

Контроль параметров заземлителей устройств связи с использованием технологии интернета вещей

О. Г. Евдокимова

Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I

evdokimovaog_kf@mail.ru

Б. А. Мешков

Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I

bair.meshkov@yandex.ru

Аннотация. В рамках поиска решений, обеспечивающих выполнение указа Президента Российской Федерации «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» и индустрии 4.0, рассмотрены распространённые технологии интернета вещей, с точки зрения применимости для автоматизации измерения сопротивления заземлений.

Ключевые слова: интернет вещей, LoRa, NB-IoT, Вавиот, NB-Fi, автоматизация измерений сопротивления заземления, устройство для автоматического измерения сопротивления заземления

I. ВВЕДЕНИЕ

Важным элементом, обеспечивающим безопасную эксплуатацию устройств автоматики и связи, в железнодорожной индустрии является заземляющее устройство (ЗУ). Исследования в этой области хоть и ведутся уже продолжительное время всё ещё не «закрыли» некоторые «белые пятна», например, до сих пор не охарактеризовано поведение заземлителей при сильных, внезапных электрических воздействиях, таких как молниевые разряды и подобные им явления. Отдельной областью научных изысканий можно считать работы направленные на увеличение достоверности проводимых измерений сопротивления ЗУ, при одновременном сокращении трудозатрат обслуживающего персонала.

В наше время количество устройств, которым требуется качественное заземление (антенны, экранированные кабели и даже такая бытовая техника, как стиральные машины) неуклонно растёт, а с ним и растёт количество заземляющих устройств, что способствует повышению всё тех же трудозатрат, не говоря уже о времени требуемом на монтаж и эксплуатацию заземляющих систем.

Качество заземлений, требуемое современным устройствам, также растёт. К примеру, устаревшие системы СЦБ, выполненные на реле, менее чувствительны к различным перегрузкам, чем современные микропроцессорные устройства того же назначения. В связи с этим возрастают требования к точности измерений.

В рамках выполнения указа Президента Российской Федерации №203 от 09.05.2017 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» существует необходимость внедрения новых информационных систем, позволяющих повысить

точность измерения сопротивления ЗУ при уменьшении трудозатрат. Одной из таких цифровых технологий является интернет вещей (Internet of Things, IoT).

Прежде чем перейти к рассмотрению возможных решений поставленной задачи, давайте рассмотрим основные методы измерений сопротивления заземляющих устройств. Наиболее применимым, но очень трудоёмким методом измерений принято считать «метод амперметра-вольтметра» (рис. 1а) [1]. Другой не менее распространённый метод – «измерения при помощи токоизмерительных клещей», отличается простотой, но не может применяться в некоторых системах заземления, например, в системе ТТ (отдельные ЗУ у источника и потребителя электроэнергии) (рис. 1б) [1].

Метод амперметра-вольтметра заключается в расчете сопротивления по закону Ома ($R = U / I$). Для этого измеряются ток, протекающий через контур: измерительный генератор – регулятор тока – токовый электрод – земля – испытываемое ЗУ – амперметр, и напряжение между потенциальным и испытуемым электродами [1].

Метод токоизмерительных клещей также основан на законе Ома, только здесь напряжение не измеряется, а наводится в контур. Более подробно эти методы рассмотрены ранее [1].

На основе метода амперметра-вольтметра велись разработки автоматизированных измерительных систем коллективами ООО НПФ МИЭЭ «Приборы Мосгосэнергонадзора» [2] и ФГБОУ ВО Петербургского государственного университета путей сообщения [3].

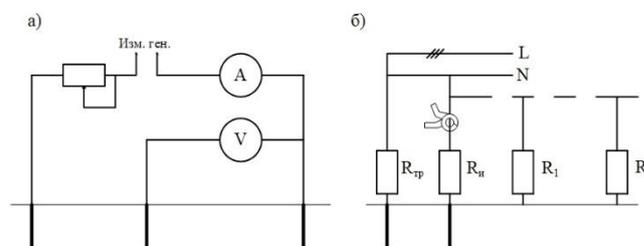


Рис. 1. Методы измерений сопротивления заземляющих устройств: а) метод амперметра-вольтметра; б) метод токоизмерительных клещей

Рассмотрим подробнее именно второе решение (рис. 2). Различные блуждающие токи, воздействующие на почву в районе установки устройства, измеряются

датчиками тока 7 и напряжения 8, после чего делитель 9 по закону Ома рассчитывает сопротивление ЗУ. Блок преобразования 10 необходим для пересчета полученного мгновенного значения сопротивления ЗУ в стационарное, это связано с тем, что блуждающие токи могут иметь различные частотные составляющие, но в рамках существующих ГОСТ Р 50571.16-2007 сопротивление ЗУ нормируется при частоте 50 Гц.

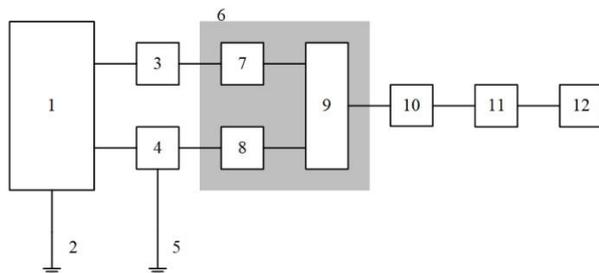


Рис. 2. Устройство для автоматического измерения сопротивления заземления

Блоки гальванической развязки для датчика тока 3 и Блок гальванической развязки для датчика напряжения 4 необходимы для повышения надежности устройства. Блуждающие токи, воздействующие на шину заземления 1, заземляющее устройство 2 и удаленный электрод 5 могут иметь силу тока до десятков кА [3].

Блоки сравнения 11 и вывода информации 12 служат для информирования обслуживающего персонала о состоянии ЗУ [1].

Вернёмся к цифровым технологиям во исполнения указов Президента Российской Федерации. Как было сказано ранее возможно создание автоматизированной системы измерений сопротивлений ЗУ. В такой системе непосредственно измерителем может быть устройство для автоматического измерения сопротивления заземления, разработанное коллективом ФГБОУ ВО ПГУПС. Тогда остаётся решить вопрос передачи измеренных параметров от измерителя в цифровую среду предприятия. Для дирекции связи ОАО «РЖД» это единая система мониторинга и администрирования (ЕСМА).

II. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Рассмотрим распространённые решения технологии интернета вещей такие как: LoRa, NB-IoT; Вавиот (NB-Fi).

A. LoRa

LoRa (сокращение от long range – большой радиус) – собственная разработка компании Semtech, использующая нелицензируемые диапазоны, например, RU868. Дальность связи в густонаселенных районах до 1 километра, в сельской местности до 10. Режим связи – полудуплекс, ширина канала 125 или 250 кГц [4, 5].

Сетевая архитектура (рис. 3) позволяет любому узлу (оконечному устройству) находиться в зоне действия нескольких шлюзов. Каждый шлюз (базовая станция), получивший сообщение от узла, передает его на сетевой сервер (сетевой шлюз) – пункт обработки информации, определяющий принадлежность узла-инициатора передачи к сети, и в случае, если узел подлинный и принадлежит к зоне ответственности этого сетевого

сервера, происходит передача сообщения далее на сервер приложений. Сетевой шлюз определяет, через какой шлюз будет осуществляться передача на узел, сетевой сервер взаимодействует со шлюзами по собственному протоколу LoRaWAN, но в некоторых случаях возможно подключение по стеку TCP/IP. Сервер приложений – сервер, являющийся шлюзом между сетью LoRa и остальной сетью Ethernet [6].

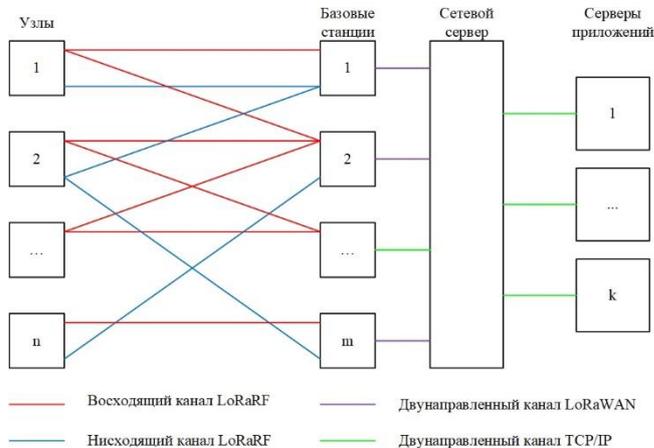


Рис. 3. Сетевая архитектура LoRa

LoRaRF – адаптивный протокол передачи данных по радиоканалу. Скорость передачи регулируется коэффициентом расширения SF. SF может принимать целые значения в диапазоне от 7 до 12 включительно, от быстрого (5,5 кбит/с), но помехозащищённого до медленного 0,25 кбит/с), но помехозащищённого [4].

Сообщение состоит из преамбулы, заголовка и поля «данные». На рис. 4 представлены структуры восходящего (а) и нисходящего (б) радиосообщений на физическом уровне, соответственно [5].



Рис. 4. Структура восходящего радиосообщения: а) восходящее сообщение; б) нисходящее сообщение

Преамбула предназначена для синхронизации приёмника перед детектированием и состоит из 8 символов [5]. Заголовок предназначен для информирования приёмника о длине поля «данные», масштабе кода исправления ошибок и наличии/отсутствии поля «циклическая контрольная сумма» [5]. Циклическая контрольная сумма предназначена для определения целостности всего сообщения и присутствует только при передаче «вверх» [6]. В обоих случаях поле «данные» начинается с «MAC-заголовка» размером 1 байт, продолжается «MAC-сообщением» и заканчивается «кодом целостности данных» размером 4 байта [5].

B. NB-IoT

NB-IoT (сокращение от narrow band IoT – узкополосный интернет вещей) – результат работы

консорциума 3GPP, использующий частоты сотовой связи. Дальность связи в городе до 3 километров, в «полях» до 15. Режим связи – дуплекс, ширина канала 180 или 200 кГц [4].

Сетевая архитектура (рис. 5) подобна сетевой архитектуре сотовой связи LTE. Несколько пользовательских терминалов подключены к одной базовой станции, эта базовая станция подключена к одному серверу, сервер является шлюзом для перехода в остальной ethernet [7].

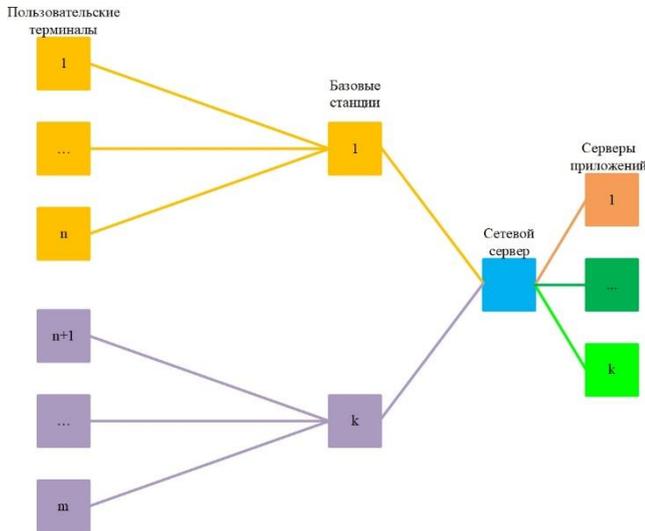


Рис. 5. Сетевая архитектура NB-IoT

Оборудование NB-IoT полностью совместимо с оборудованием развернутых современных сотовых сетей, например LTE и LTE-A Pro. Причем возможно два варианта интеграции NB-IoT в сети сотовой связи стандарта LTE и один вариант подключения в сети GSM: подключение к LTE вместо одного канала сотовой связи (рис. 6а), подключение к LTE в защитной зоне диапазона (рис. 6б); подключение к GSM вместо двух каналов сотовой связи (рис. 6в) [8].

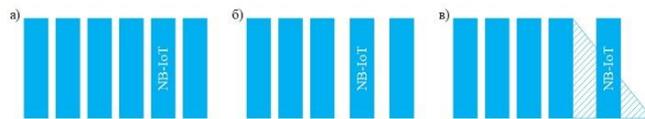


Рис. 6. Интеграция NB-IoT в развернутые сотовые сети

С. Вавиот (NB-Fi)

Вавиот – адаптированная и улучшенная для РФ версия технологии интернета вещей SIGFOX, разработанная ООО «Телематические Решения». Нередко именуется по названию используемой модуляции NB-Fi (сокращение от narrow band fidelity – качественный узкополосный), использует нелицензируемый в России диапазон RU868. Дальность связи в городе до 10 км, а на открытой местности до 30. Режим связи – полудуплекс, ширина канала 100 Гц [9, 10].

Сетевая архитектура Вавиот (рис. 7) подобна сетевой архитектуре, рассмотренной ранее технологии LoRa. Каждое оконечное устройство может находиться в зоне действия нескольких базовых станций. Базовые станции передают принятые сообщения на NB-Fi сервер принимающий, обрабатывающий и хранящий данные от

всех базовых станций для всех оконечных устройств, а также передающий данные на сервер приложений, выполняющий те же функции, что и одноименный сервер в архитектуре технологии LoRa [10].

В сетевой архитектуре Вавиот есть одно очень «полезное» отличие от LoRa – оконечные устройства могут обмениваться данными, минуя базовые станции. Такой режим называется «peer-to-peer», включается эта возможность при конфигурировании оконечных устройств. Обмен в режиме «peer-to-peer» осуществляется передачей нисходящих пакетов [10].

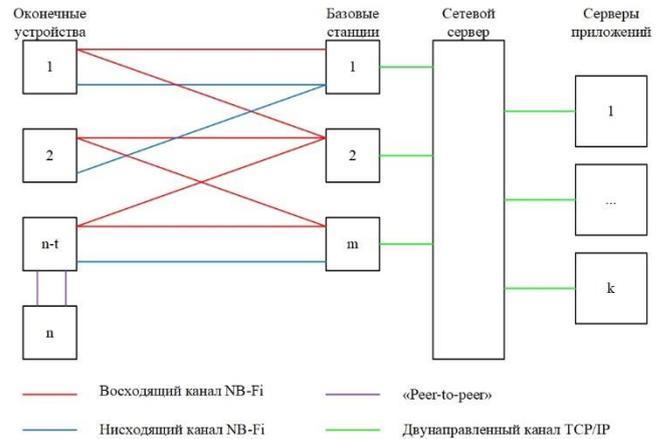


Рис. 7. Сетевая архитектура Вавиот

Радиосообщения (пакеты), передаваемые в направлениях от базовой станции на оконечное устройство, и обратно состоят из преамбулы и данных (рис. 8) [10].



Рис. 8. Структура восходящего радиосообщения: а) восходящее сообщение; б) нисходящее сообщение

Преамбула, состоит из 4 байт, предназначена для обнаружения передачи и синхронизации детектора приемника [12]. Данные передаваемые «вниз» состоят из таких частей как «крипто-итератор» (1 байт), «данные транспортного уровня» (9 байт), «имитовставка» (3 байта) и блока определения ошибок и коррекции (3 байта – контрольная сумма частей «крипто-итератор», «данные транспортного уровня» и «имитовставка»; 16 байт – контрольная сумма помехоустойчивого кода) [11].

Сообщение в направлении «вверх», кроме преамбулы и частей, содержащихся в данных «вниз», включает в себя ещё поле «идентификатор» (4 байта). Контрольная сумма данных в этом направлении на 4 байта меньше [11].

Ещё одной особенностью, отличающей Вавиот от других рассмотренных выше технологий, можно назвать тип приемника, используемого в базовой станции. Для приёма восходящих радиосообщений используется SDR-приёмник [11].

SDR (сокращение от Software-Defined Radio – программно-определяемое радио) – сравнительно новая технология, отличающаяся от традиционного радио тем, что прием ведется на какой-то определенной частоте, на каком-то канале, а во всём диапазоне сразу, после чего детектирование осуществляется средствами цифровой обработки сигналов. Такая методика обработки позволяет обрабатывать несколько каналов одновременно [12].

Кроме того, применение программно-определяемого радио позволяет отправлять, принимать и обрабатывать радиосообщения других технологий, например, российской технологии интернета вещей «Стриж», использующей тот же диапазон, имеющую такую же ширину канала, но отличающуюся видом модуляции (XNB) [4].

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные технологии IoT применимы для передачи результатов измерений сопротивления заземляющих устройств. Основные различия между этими решениями, которые стоит выделить в первую очередь: используемый диапазон частот, ширина канала, сетевая архитектура.

NB-IoT, использующий, как было указано выше, диапазоны сотовой связи, не может быть развернут предприятием, не являющимся сотовым оператором, самостоятельно, ввиду занятости частот.

Вавиот, в базовой конфигурации, может быть развернут только в диапазоне RU868, который может быть забит сигналами других сетей, но благодаря применению программно-определяемого радио достаточно легко может быть перенесён в другие диапазоны, например, RU433. Но в таком случае необходима замена оконечных устройств, не поддерживающих SDR.

LoRa не имеет возможности изменять рабочий диапазон, как Вавиот, но в отличие от NB-IoT использует нелицензируемые диапазоны, что позволяет развернуть систему самостоятельно, но в случае слишком сильной занятости диапазона, замена оборудования неизбежна.

Принципиальное отличие между LoRa и NB-IoT, с одной стороны, и Вавиот, такое как ширина канала, определяет особенности приема сообщения. Широкополосные сигналы имеют меньшую энергетику по сравнению с узкополосными, но на фоне различных шумов, маскируются не так сильно. Поэтому в условиях изобилия помех более предпочтительны системы, использующие широкополосные сигналы, но в случаях, когда помехи незначительны, и требуется большая дальность, лучшим решением будет использование технологий подобных NB-Fi.

Сетевая архитектура NB-IoT отличается, от других рассмотренных сегодня технологий, своей определенностью: каждый пользовательский терминал «общается» только с одной базовой станцией, что не позволяет распределить нагрузку между базовыми станциями более равномерно, а также понижает отказоустойчивость системы.

Сетевая архитектура LoRa позволяет более равномерно распределять нагрузку на базовые станции, имеет большие шансы принять сообщение «вверх» за счет приема сразу на нескольких базовых станциях, что несомненно позволяет использовать эту технологию в более худших условиях.

Сетевая архитектура Вавиот ещё более гибка, чем у LoRa. Помимо всех возможностей сети LoRa благодаря режиму «peer-to-peer» некоторые оконечные устройства могут выступать в роли ретрансляторов между базовыми станциями и удаленными оконечными устройствами, что существенно зону покрытия сети.

В зонах со сложной помеховой обстановкой, таких как электрифицированные участки железных дорог, промышленные районы, густонаселенные территории, предпочтительно применение технологии LoRa, но на неэлектрифицированных участках в «глуши» разумно применение нашего Вавиота, например, для диагностики ЗУ, обслуживающих дополнительные стационарные радиостанции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Евдокимова О.Г., Шишигин С.Л., Куценко С.М., Мешков Б.А. Анализ методов измерения сопротивления заземлителей устройств автоматике и связи // Автоматика, связь, информатика. 2023. №4. С. 27-30 DOI: 10.34649/AT.4.4.002
- [2] Патент РФ №140217 U1. G01R 27/00. Устройство для измерения сопротивления заземления / Пасеков А.Ю., Педанов М.В., Толмачев В.Д.; опубл. 10.05.2014. Бюл. 13.
- [3] Патент РФ №2736073. G01R 27/20. Устройство для измерения сопротивления заземления / Костроминов А.М., Костроминов А.А., Ложкин Р.О., Шишигин С.Л.; опубл. 11.11.2020. Бюл. № 32.
- [4] Евдокимова О.Г., Куценко С.М., Мешков Б.А. Применение технологий интернета вещей для передачи данных от автоматического измерителя сопротивления заземления // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2023. Т.20. Вып. 3. С. 758-767. DOI: 10.20295/1815-588X-2023-3-758-767
- [5] ПНСТ 516-2021 Информационные технологии. Интернет вещей. Спецификация LORAWAN RU. Москва: Стандартиформ, 2021. 58 с.
- [6] LoRaWAN What is it? A technical overview of LoRa and LoRaWAN. San Ramon, USA: LoRa Alliance, 2015. 20 с.
- [7] LTE-Advanced Pro Introduction eMBB Technology Components in 3GPP Release 13/14. Munich, Germany: Rohde & Schwarz, 2017. 50 с.
- [8] Nokia LTE Evolution for IoT Connectivity. Espoo, Finland: Nokia, 2017. 18 с.
- [9] Алексеев В. Сравнительные характеристики широкополосных и узкополосных сетей LPWAN нелицензируемого диапазона для приложений M2M и IoT // Беспроводные технологии. 2019. №3. С. 10-20.
- [10] Вавиот [сайт]. URL: <https://waviot.ru/> (дата обращения 08.03.2024)
- [11] ГОСТ Р 70036-2022 «Информационные технологии. Интернет вещей. Протокол беспроводной передачи данных на основе узкополосной модуляции радиосигнала NB-Fi».
- [12] Report ITU-R M.2117-1 (11/2012) Software-defined radio in the land mobile, amateur and amateur-satellite services. Geneva, Switzerland: UIT, 2012. 42 с.