

ТЕСТИРОВАНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ АКТИВНЫХ RFID МЕТОК В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

В. Д. Фам^{1*}, Д. В. Данилин¹, Р. В. Киричёк¹, Л. М. Семаков²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций

им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

²ООО «РОДЕ и ШВАРЦ РУС», филиал в Санкт-Петербурге, 197101, Российская Федерация

*Адрес для переписки: fam.vd@spbgut.ru

Аннотация—В последнее время, развития инфокоммуникационных технологий, в том числе технологии Интернет Вещей позволили значительно автоматизировать и облегчить жизнь людей. Технологии Интернет Вещей внедряются в различных приложениях от сельского хозяйства до индустриальных отраслей, от умных домов до умных городов. В силу такой популярности, количество умных устройств быстро увеличивается. Множественные прогнозы уже представляют цифры до нескольких миллиардов устройств в ближайшие 5 лет. Таким образом, задачи обеспечения энергопотребления для такого количества устройств стали приоритетными в разработке приложений Интернета Вещей. С целью изучения потребления энергии простейшей интернет вещью на базе технологии RFID было проведено тестирование, которое позволило рассчитать времени службы батареи, расположенной в корпусе радиочастотной метки идентификации. **Предмет исследования.** Данная статья посвящена тестированию энергопотребления типового устройства интернета вещей – RFID-метки. **Метод.** В основе исследований использованы экспериментальные методы, а также статистическая обработка результатов измерений. Разработан лабораторный стенд для натурных испытаний при поддержке компании «Роде и Шварц», разработана методика тестирования, проведен анализ энергопотребления метки при различных режимах работы. **Основные результаты.** Представлены результаты тестирования RFID метки, расчётоно определены сроки службы батареи для RFID метки. **Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы при проведении тестирования RFID меток и определения времени работы от различных батарей питания. Представленная схема лабораторного стенда и методика тестирования могут применять не только для RFID меток, а также для других типов устройств Интернета Вещей.

Ключевые слова—Интернет Вещей, RFID-метка, энергопотребление, методика, тестирование, время работы.

Информация о статье

УДК 004.3

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 27.11.19, принята к печати 10.04.20.

Ссылка для цитирования: Фам В. Д., Данилин Д. В., Киричек Р. В., Семаков Л. М. Тестирование энергопотребления активных RFID меток в лабораторных условиях // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 1. С. 42–54. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-1-42-54.

TESTING ENERGY CONSUMPTION OF ACTIVE RFID TAGS IN LABORATORY CONDITIONS

V. Pham^{1*}, D. Danilin¹, R. Kirichek¹, L. Semakov²

¹ The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

²ROHDE & SCHWARZ RUS, Branch in St. Petersburg, 197101, Russian Federation
*Corresponding author: fam.vd@spbgut.ru

Abstract—Recently, the development of communication technologies, including the Internet of Things technology, has allowed to significantly automate and make people's lives easier. Internet of Things technologies are being implemented in various applications from agriculture to industrial sectors, from smart homes to smart cities. Due to this popularity, the number of smart devices is growing rapidly. Multiple forecasts already represent numbers of up to several billion devices in the next 5 years. Thus, the task of providing energy consumption for so many devices has become a priority in the development of Internet of Things. In order to study energy consumption, the simplest Internet thing based on RFID technology was tested, which allowed to calculate the service life of the battery located in the case of the radio frequency identification tag. **Research subject**. This article is about testing the power consumption of a typical Internet of Things device — RFID tags. **Method**. The studies are based on experimental methods, as well as statistical processing of measurement results. A laboratory bench for full-scale tests was developed with the support of the Rode and Schwartz Company, a testing procedure was developed, and an analysis was made of the energy consumption of the label under various operating conditions. **Core results**. The results of testing the battery life are presented. **Practical relevance**. The results of testing the RFID tag are presented, the battery life for the RFID tag is calculated. Practical significance. The results can be used when testing RFID tags and determining the operating time from various batteries. The presented laboratory bench scheme and testing technique can be used not only for RFID tags, but also for other types of Internet of Things devices.

Keywords—Internet of Things, RFID tag, power consumption, methodology, testing, uptime.

Article info

Article in Russian.

Received 27.11.19, accepted 10.04.20.

For citation: Pham V., Danilin D., Kirichek R., Semakov L.: Testing Energy Consumption of Active RFID Tags in Laboratory Conditions // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss. 1. pp. 42-54 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-1-42-54.

Введение

В последнее десятилетие, концепция Интернета Вещей (ИВ) позволила предоставить новые услуги для развития различных отраслей и создать предпосылки к развертыванию Индустрии 4.0. «Вещи» – физические устройства и виртуальные сущности – стали умными, ввиду подключения к Интернету и обмена информацией как между собой, так и с удаленными облачными серверами. На основе Интернета Вещей предоставляются различные услуги, а в последние несколько лет наблюдается бум по разработке технологий и протоколов, ориентированных на взаимодействие устройств интернета вещей [1, 2, 3].

По прогнозам [4], количество устройств ИВ постоянно увеличивается, в ближайшие пять лет ожидается несколько миллиардов устройств, подключенных к Интернету. При этом, одной из актуальных проблем является проблема обеспечения необходимой энергии для работы этого количества устройств [5], особенно это актуально для устройств с автономным питанием, т. е., которые используют батарею питания или перезаряжаемый аккумулятор. Затраты для обслуживания батарей устройств интернета вещей могут составлять значительную стоимость эксплуатации таких устройств и предоставляемых сервисов. В связи с этим, трендом последних лет является создание технологий и протоколов для сетей с низким энергопотреблением, которые в настоящее время используются в беспроводных сенсорных (всепроникающих) сетях. Энергоэффективные сети все больше и больше завоёвывают популярность и масштабы их использования вышли за пределы зданий. К таким сетям можно отнести: Zigbee, 6LoWPAN, BLE 5.0, LoRaWAN, NB-Fi, OpenUNB, SNBWAN, Sigfox и др. [6, 7, 8].

Исторически одной из базовых технологий в Интернете Вещей считается технология радиочастотной идентификации RFID (*Radio Frequency Identification*). Именно эту технологию представил Кевин Эштон на презентации компании Procter&Gamble в 1999 году. Он заметил, что оптимизация напрямую зависит от скорости передачи и обработки данных. Когда сбором и обработкой данных занимаются люди, то на это могут уйти дни. Использование радиочастотной идентификации (RFID) позволило ускорить процесс передачи данных непосредственно между устройствами. Считается, что именно на этой презентации впервые прозвучали слова *Internet of Things*.

И действительно, данная технология способна привнести неоценимые преимущества в различных областях, таких как социальная сфера, промышленность, торговля, образование, медицина и другие [1, 2, 3]. Технология RFID дает возможность считывать и передавать данные в Интернет в больших объемах (с большого количества устройств) в реальном времени. Благодаря преимуществам большого расстояния считывания (с активных меток), малого энергопотребления и легкой эксплуатации в многих музеях сейчас используются системы RFID не только для идентификации музеиных ценностей, но и для мониторинга окружающей среды, а также систем безопасности. Также данная технология применяется для сбора данных с сенсорных полей на базе БПЛА [9].

В данной статье, рассматривается энергопотребление типовой RFID-метки, разработана методика тестирования таких меток в лабораторных условиях. По результатам измерений было рассчитано время срока службы батареи RFID метки. Методика описывает схему и структуру лабораторного стенда, а также анализ результатов по потребленной энергии метки при различных параметрах функционирования.

Описание лабораторного стенда

Для измерения энергопотребления метки фактически измерялась потребленная мощность метки. Как известно, что для вычисления мощности можно использовать формулу $P = U \times I$. Следовательно, мы можем получить необходимое значение, измеряя напряжение и силу тока, подаваемые на устройство. Для измерений использовалось высокоточное оборудование, предоставленное

компанией «Роде и Шварц»¹. Измерительные оборудование, используемое при разработке лабораторного стенда, представлено в таблице.

Таблица
Список используемого оборудования для лабораторного стенда

Номер	Серия устройства	Назначение
1	R&S®RT-ZVC	Для измерения одновременно напряжения и силы тока
2	R&S®RTO2044	Осциллограф для измерения напряжения и силы тока, обработки и записи результатов
3	R&S®FPL1003	Анализатор спектра для анализа спектра сигнала RFID метки
4	Антенна RFID-частот 433 МГц	Для захвата сигналов
5	Набор кабелей	Для соединения меткой с пробником
6	RFID-метка Wavetrend's Personal Tag	Типовая RFID метка для данного эксперимента

Ниже представлено описание основного оборудования, которое использовалось в лабораторном стенде.

Многоканальный пробник мощности R&S®RT-ZVC (рис. 1) поддерживает одновременный сбор данных до четырех каналов тока и четырех каналов напряжения с 18-битным разрешением для измерений тока и напряжения в широком динамическом диапазоне. Пробник имеет высокочувствительный анализатор энергопотребления для измерения в активном режиме и режиме ожидания, в данном эксперименте метка работает в обеих режимах, чтобы приблизить лабораторные испытания к реальным условиям эксплуатации.



Рис. 1. Многоканальный пробник R&S®RT-ZVC



Рис. 2. Цифровой осциллограф R&S®RTO2044

Цифровой осциллограф серии R&S®RTO2044 (рис. 2) используется для измерений мощностных характеристик. Многоканальный пробник соединяется с осциллографом для наблюдения за характеристиками измеряемых параметров и сохранения результатов. Осциллограф предоставляет возможность просмотра сведений о сигналах мощности с разрешением до 16 битов для большей детализации сигналов,

¹ Rohde & Schwarz. // <https://www.rohde-schwarz.com/>

анализ нерегулярных возмущений, а также полный набор пробников для измерения мощности.

Анализатор спектра R&S®FPL1003 с антенной (рис. 3), подобранный для RFID-частот использовался для анализа спектра сигнала RFID метки и считывателя. С помощью анализатора спектра фиксировались сигналы обмена данными между меткой и считывателем, для понимания режимов работы метки с момента подключения до отключения батареи.

Используемые устройства были соединены согласно схемы, которая показана на рис. 4. Внешний вид измерительного стенда изображен на рис. 5.

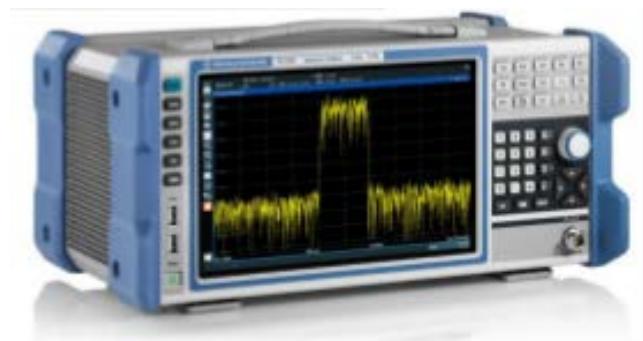


Рис. 3. Анализатор спектра R&S®FPL1003

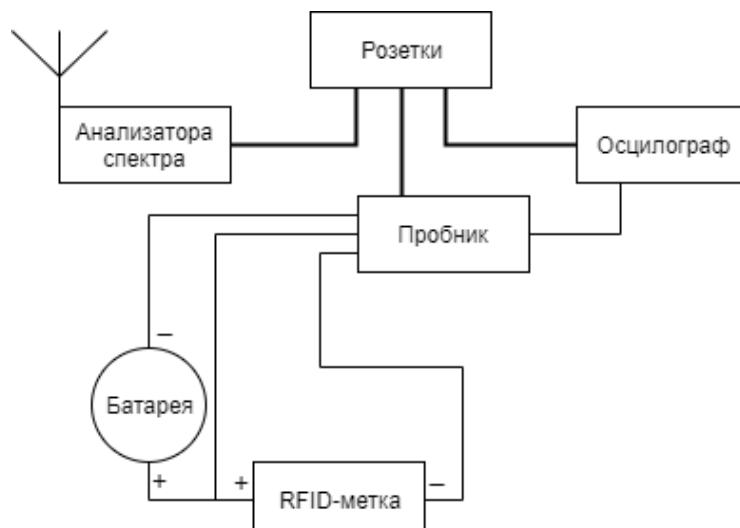


Рис. 4. Схема лабораторного стенда

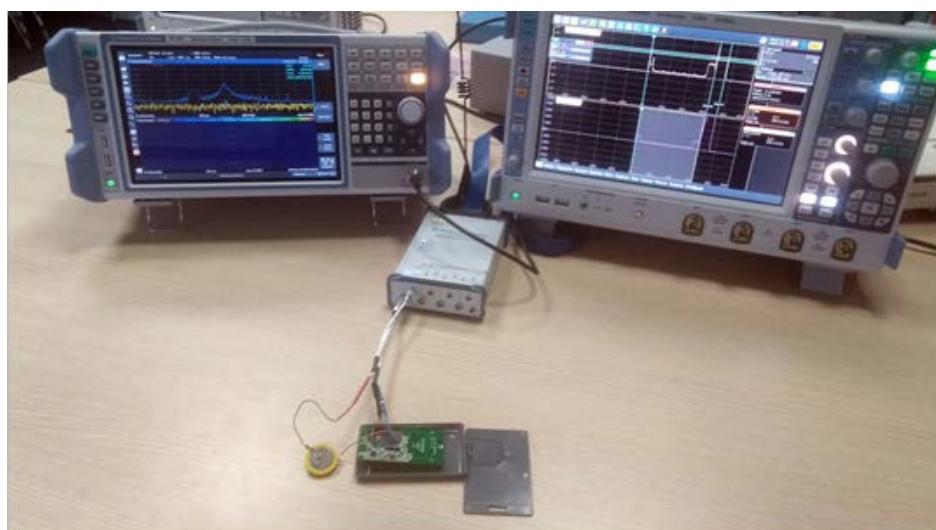


Рис. 5. Внешний вид измерительного стенда

Подготовка к измерениям

Традиционно, мощность батареи измеряется в «мАч», в этой связи можно вычислить время жизни батареи, узнав значение тока, который требуется для RFID метки как в режиме передачи данных, так и в режиме молчания т. е. без подключения к считывателю. Используя пробник было осуществлено подключение к батарее питания RFID метки для измерения тока, как показано на рис. 5.

Типовая RFID метка Wavetrend's Personal Tag является активной меткой², использовалась в эксперименте ввиду высокой популярности при эксплуатации в различных сферах. Например, данные метки используются в музее Эрмитаж для учёта и контроля за музейными ценностями. В соответствии с информацией о параметрах функционирования типовых чипах (микроконтроллерах), использующихся в данном классе RFID устройств, поддерживается несколько режимов работы:

- активный режим (передача данных с использованием радиоканала);
- режим низкого энергопотребления (нормальная работа микроконтроллера без использования радиоканала);
- запуск и калибровка микроконтроллера (одноразово при подключении батареи).

В соответствии с этим перечнем выделим несколько типов потребляемой мощности (тока): активный, спящий, пиковый, и средний.

В результате измерений, импульсы отображались на экране анализатора спектра. Для того, чтобы понимать, как выглядят соответствующие импульсы рассмотрим последовательно каждый тип импульсов:

1) Регулярный импульс потребления TIMER. Данный импульс характеризирует потребления микроконтроллера (накопление данных, вычисление, таймер) и представлен на рис. 6.

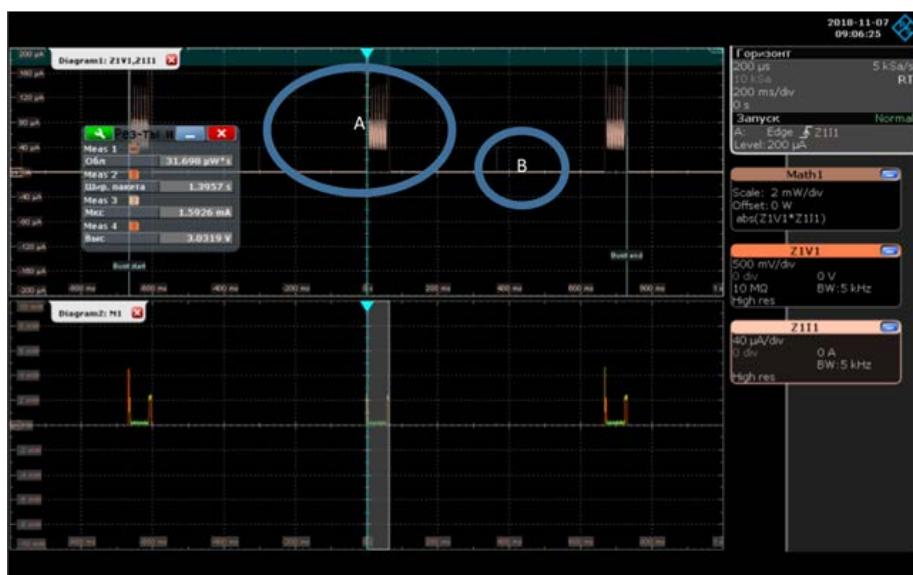


Рис. 6. Регулярный импульс потребления

² Wavetrend. Personal Tag. // http://www.fastrfid.com/wavetrend/tgp_personnel.pdf

2) Импульс потребления – WATCHDOG.

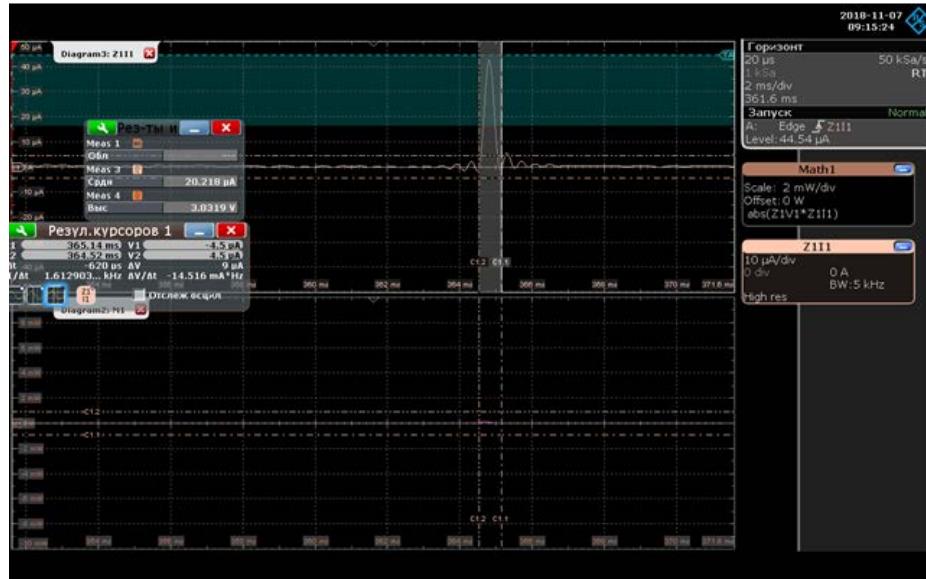


Рис. 7. Импульс потребления

3) Импульс регулярной передачи идентификатора SEND ID.

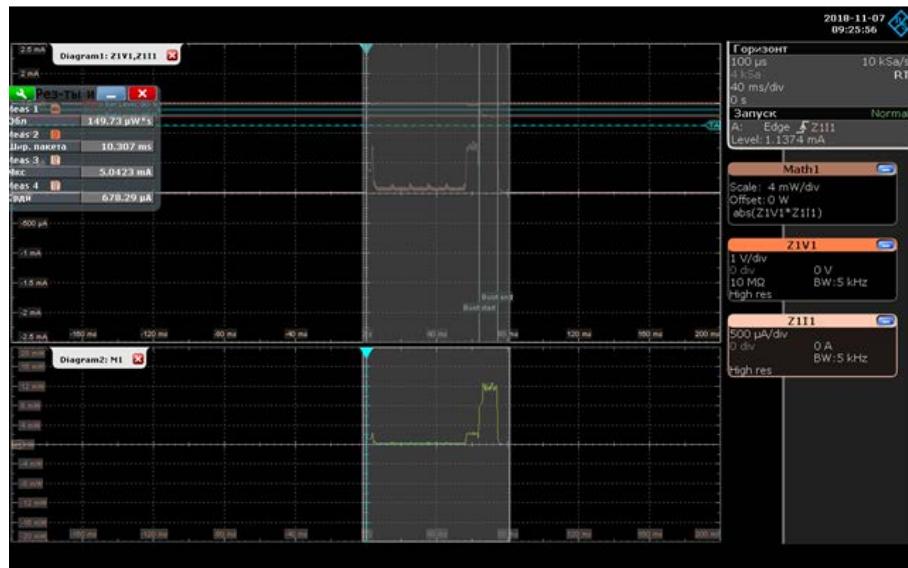


Рис. 8. Импульс регулярный передачи идентификатора

4) Импульс DATA (передачи данных). Возникает при срабатывании метки, например, в режиме Тревога, в таком случае – данные передаются в виде импульса.

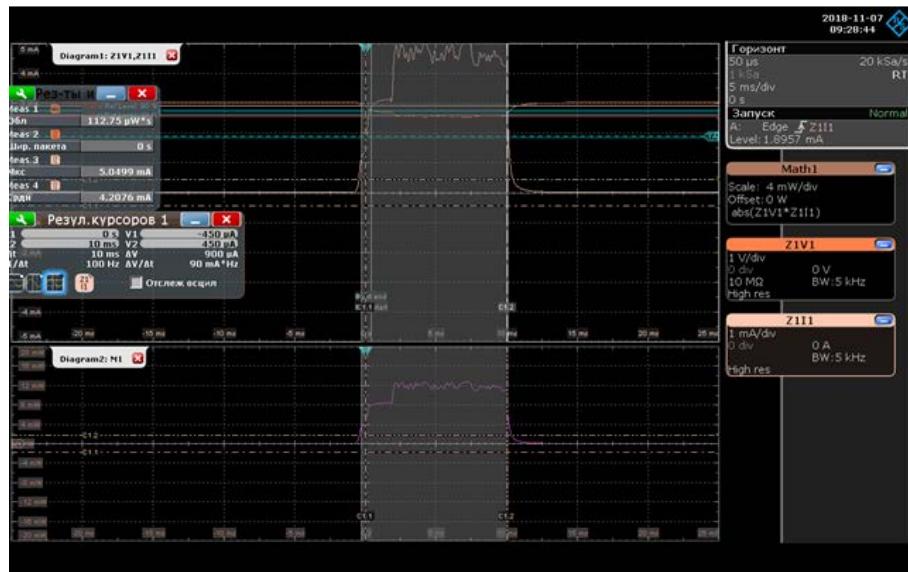


Рис. 9. Импульс передачи данных

Анализ энергопотребления метки

Импульс TIMER состоит из двух импульсов потребления шириной 4,5 и 6,6 (мс) и средним значением тока 0,488 и 0,64 (мА) соответственно, как показано на рис. 10–11. Импульс возникает с частотой повторения – 0,67 сек. Таким образом, характер энергопотребления нелинейный, импульсный. Первый импульс в серии – редко, но регулярно может потреблять ток до 0,7 (мА) (вероятно, при осуществлении записи/чтение в память), поэтому средний ток данного импульса увеличивается.

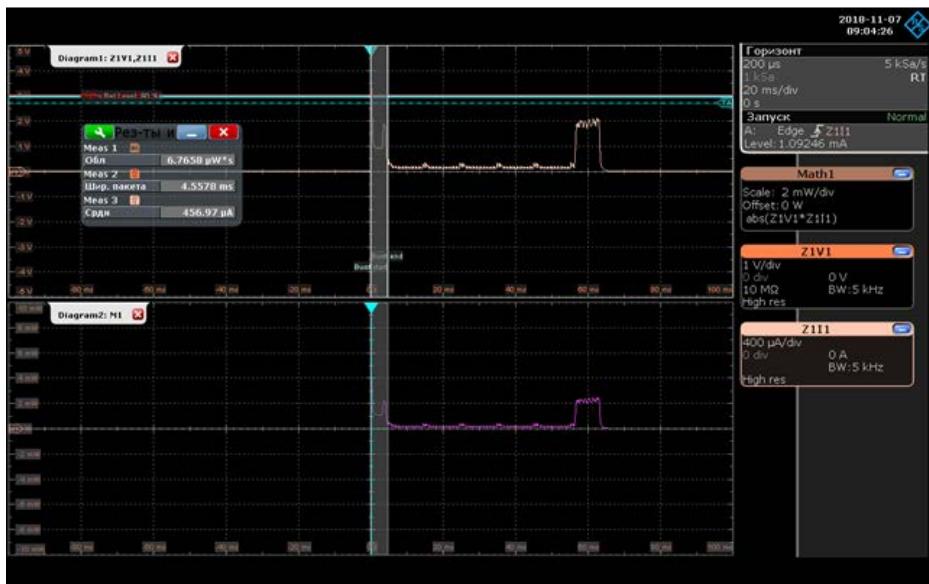


Рис. 10. Энергопотребление импульса TIMER

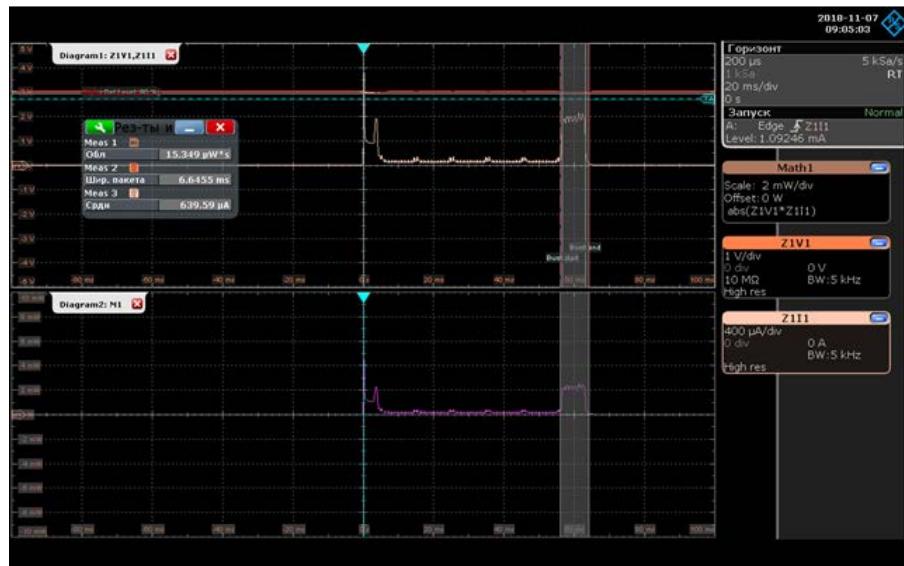


Рис. 11. Энергопотребление импульса TIMER

Импульс WATCHDOG (рис. 7) представляет собой регулярный импульс с частотой повторения 0,67 секунд, находящийся между двумя соседними импульсами TIMER. Потребление крайне малое, невозможно обнаружить мультиметром. Для обнаружения потребовался высокоточный пробник RT-ZVC04.

Каждые 33 секунды метка передаёт импульс с уникальным идентификатором, что соответствует импульсу потребления «SEND ID» (рис. 12). Импульс всегда следует за импульсом «TIMER».

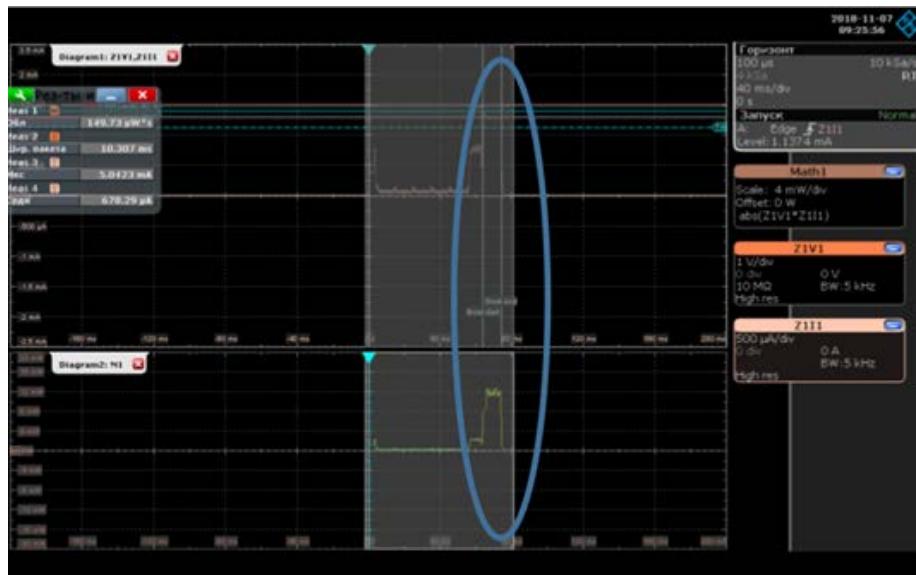


Рис. 12. Импульс «SEND ID»

При срабатывании метки (режим тревога), передаётся блок данных от 6 до 32 импульсов с периодом 312,6 мс. Характеристики каждого импульса представлены на диаграмме (рис. 13).

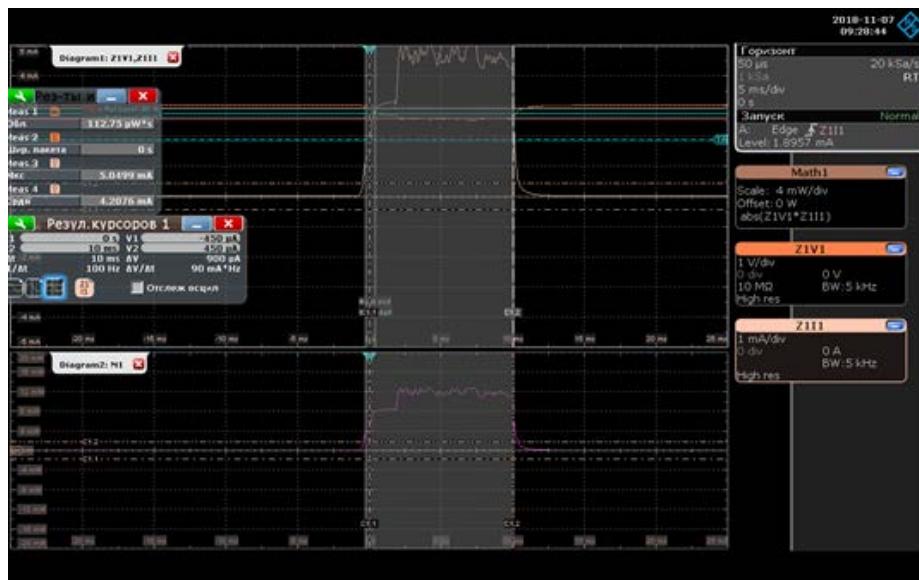


Рис. 13. Импульс передачи данных

Анализ полученных данных и расчет энергопотребления

При измерении каждого типа импульса были получены 3 параметра: период повторения импульса – t_{pulse} в секундах, ширина импульса – l_{pulse} в миллисекундах, средний ток – C_{avg} в (mA), также допускаем средний ток сна – $C_{sleep} = 10^{-6}$ (mA). Кроме этого, учитываются влияние температурных колебаний на емкость батареи, а также ненулевой ток в режиме сна устройства. В этой связи, ток сна может быть больше допускаемого значения.

По данным, полученным в ходе серии экспериментов, были проведены вычисления, согласно следующих расчетных формул:

- Количество потреблений в час: $N = \frac{3600}{t_{pulse}}$.
- Время работы в час (сек.): $T_{\text{час}} = \frac{N \times l_{pulse}}{1000}$.
- Время работы в час (%): $T_{\text{процент}} = \frac{T_{\text{час}}}{3600} \times 100$.
- Время сна в час (мс):

$$T_{\text{сна}} = 3600000 - \sum T(\text{timer} + \text{timer2} + \text{watchdog} + \text{sendID} + \text{sendData})$$
.
- Время сна в час (%): $T_{\text{сна_процент}} = \frac{T_{\text{сна}}}{3600000} \times 100$.
- Средний ток (mA): $avgC = \frac{(T_{\text{час}} \times C_{avg}) + (T_{\text{сна}} \times C_{sleep})}{3600000}$.

Стоит отметить, что, зная паспортную ёмкость батареи³ с максимумом – P_{max} (мАч), допускаем, что теоретическая ёмкость равна $P_{\text{max}} * (1-10\%)$. В таком случае, получаем суммарное время работы RFID метки от батареи:

³ Renata. CR245N Technical Data Sheet. URL: <https://www.alliedelec.com/m/d/e1a5e5a5cd54dc0347360567d6564224.pdf>

$$Time = \frac{P_{\max} \times (1-0,1)}{avgC \times 24} \text{ (дней).}$$

Результаты измерений и вычислений в ходе экспериментов представлены в таблице на рис. 14.

Паспортная ёмкость батареи, с MAX (mA)	540		mAh			
Допуск	10		%			
Теоретическая ёмкость	486		mAh			
Импульс потребления	TIMER	TIMER2	Watchdog	Send ID	DATA	SLEEP
Период повторения импульса, t_{pulse} (s)	0,67	0,67	0,67	33	0,327	
Ширина импульса, l_{pulse} (ms)	4,5	6,6	0,66	7,97	10	
Средний ток (mA)	0,491	0,64	0,02	4,4	4,2	1E-06
Вероятность передачи (%)						1
Количество потреблений в час	5373,13433	5373,134	5373,1343	109,091	2,6422	
мс в 1 час	3600000					
Время работы в час (ms)	24179,1045	35462,69	3546,2687	869,455	26,422	
Время работы в час (s)	24,1791045	35,46269	3,5462687	0,86945	0,0264	
Время работы в час (%)	0,67164179	0,985075	0,0985075	0,02415	0,0007	
Время сна в час (ms)	3535916,06					
Время сна в час (%)	98,2198907					
Средний ток (mA)	0,01071641					
ДНЕЙ, days	1889,62449					
ЛЕТ, years	5,17705341					

Рис. 14. Таблица вычисления времени работы RFID метки от батареи

Заключение

Расчет энергопотребления устройств интернета вещей является важной и насущно необходимой задачей. Ввиду того, что невозможно провести натурный эксперимент с анализом работы батареи на протяжении 5–10 лет работы исследователи прибегают к полунатурным экспериментам. В ходе этих экспериментов рассчитываются параметры энергопотребления работы устройства интернета вещей в различных режимах и делается прогноз по работе устройства на несколько лет. Стоит учитывать, что работа батареи во многом зависит от условий эксплуатации и от химических процессов в структуре наполнителя батареи, но в целом с чётом ряда допущений можно достаточно точно прогнозировать срок работы батареи конкретного типа устройств интернета вещей.

В этой статье представлены результаты тестирования энергопотребления активных RFID меток в лабораторных условиях. По полученным результатам измерений было вычислено время работы меток от батареи. Методика тестирования, описанная в данной статье, может использовать для тестирования энергопотребления не только RFID меток, но также и других типов устройств Интернета Вещей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации в рамках научного проекта НШ-2604.2020.9.

Литература

1. Кучеряный А. Е. Интернет Вещей // Электросвязь. 2013. № 1. С. 21–24.
2. Боронин П. Н., Кучеряный А. Е. Интернет вещей как новая концепция развития сетей связи // Информационные технологии и телекоммуникации. 2014. № 3. С. 7–30.
3. Росляков А. В., Ваняшин С. В., Гребешков А. Ю., Самсонов М. Ю. Интернет вещей: учебной пособие. Самара: ПГУТИ, ООО «Издательство Ас Гард», 2014. 136 с.
4. Bradley J., Reberger C., Dixit A., Gupta V. Internet of everything: A \$4.6 trillion public-sector opportunity // Cisco White Paper – 2013.
5. Воробьев А. И., Колбанев А. М., Колбанев М. О. Модель оптимизации энергопотребления умными вещами // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 7. С. 46.
6. Фам В. Д., Киричек Р. В., Глушаков Р. И., Пирмагомедов, Р. Я. Технологии интернета вещей для приложений здравоохранения // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Том 5. № 4. С. 71–77.
7. Makolkina M., Pham V. D., Dinh T. D., Ryzhkov, A., Kirichek, R. Transmission of Augmented Reality Contents Based on BLE 5.0 Mesh Network // In: Galinina O., Andreev S., Balandin S., Koucheryavy Y. (eds) Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. NEW2AN 2018, ruSMART 2018. Lecture Notes in Computer Science, vol 11118. pp. 394–404. Springer, Cham.
8. Kirichek R., Pham V. D., Kolechkin A., Al-Bahri M., Paramonov A. Transfer of Multimedia Data via LoRa // In: Galinina O., Andreev S., Balandin S., Koucheryavy Y. (eds) Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. ruSMART 2017, NsCC 2017, NEW2AN 2017. Lecture Notes in Computer Science, vol 10531. pp. 708–720. Springer, Cham.
9. Pirmagomedov, R., Blinnikov M., Kirichek R., Koucheryavy A. Wireless nanosensor network with flying gateway // 16th IFIP WG 6.2 International Conference on Wired/Wireless Internet Communication (WWIC) conference proceedings. "Lecture Notes in Computer Science". 2018. PP. 258–268.

References

1. Koucheryavy A. The Internet of Things // Electrosvyaz'. 2013. No. 1. pp. 21–24.
2. Boronin P. N., Kucheryavy A. E. Internet of things as a new concept of the telecommunication networks development // Telecom IT. 2014. No. 3. pp. 7–30.
3. Roslyakov A. V., Vanyashin S. V., Grebeshkov A. Yu., Samsonov M. Yu. Internet veshhej: uchebnoj posobie. Samara: PGUTI, ООО «Издательство Ас Гард», 2014. 136 s.
4. Bradley J., Reberger C., Dixit A., Gupta V. Internet of everything: A \$ 4.6 trillion public-sector opportunity // Cisco White Paper – 2013.
5. Vorobyov, A. I., Kolbanev, A. M., Kolbanev, M. O. Model energy optimization clever things // Proceedings of Saint Petersburg Electrotechnical University. 2015. No. 7. P. 46.
6. Pham V. D., Kirichek R., Glushakov R., Pirmagomedov R.: Internet of Things technologies for Healthcare applications // Telecom IT. 2017. Vol. 5. Iss. 4. pp. 71–77 (in Russian).
7. Makolkina M., Pham VD, Dinh TD, Ryzhkov, A., Kirichek, R. Transmission of Augmented Reality Contents Based on BLE 5.0 Mesh Network // In: Galinina O., Andreev S., Balandin S., Koucheryavy Y. (eds) Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. NEW2AN 2018, ruSMART 2018. Lecture Notes in Computer Science, vol 11118. pp. 394–404. Springer, Cham.
8. Kirichek R., Pham VD, Kolechkin A., Al-Bahri M., Paramonov A. Transfer of Multimedia Data via LoRa // In: Galinina O., Andreev S., Balandin S., Koucheryavy Y. (eds) Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. enSMART 2017, NsCC 2017, NEW2AN 2017. Lecture Notes in Computer Science, vol 10531. pp. 708–720. Springer, Cham.

9. Pirmagomedov, R., Blinnikov M., Kirichek R., Koucheryavy A. Wireless nanosensor network with flying gateway // 16th IFIP WG 6.2 International Conference on Wired/Wireless Internet Communication (WWIC) conference proceedings. "Lecture Notes in Computer Science". 2018. PP. 258–268.

Фам Ван Даи – аспирант Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, fam.vd@spbgut.ru

Pham Van – Postgraduate, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, fam.vd@spbgut.ru

Данилин Дмитрий Валерьевич – магистрант Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, dimadanillin@yandex.ru

Danillin Dmitry – Undergraduate student, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, dimadanillin@yandex.ru

Киричек Руслан Валентинович – доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kirichek.sut@mail.ru

Kirichek Ruslan – Doctor of Engineering Sciences, Professor, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, kirichek.sut@mail.ru

Семаков Леонид Михайлович – менеджер по продукту, ООО «РОДЕ и ШВАРЦ РУС», филиал в Санкт-Петербурге, Leonid.Semakov@rohde-schwarz.com

Semakov Leonid – Product Manager, ROHDE & SCHWARZ RUS, Branch in St. Petersburg, Leonid.Semakov@rohde-schwarz.com