

Научная статья
УДК 621.317
doi:10.37614/2949-1215.2023.14.6.006

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОДВЕСНЫХ ОПН НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА С БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ

Мария Алексеевна Лазарева¹, Виталий Валентинович Колобов²

^{1,2}Центр физико-технических проблем энергетики Севера Кольского научного центра
Российской академии наук, Апатиты, Россия

¹*m.celischeva@ksc.ru*

²*v.kolobov@ksc.ru*

Аннотация

Статья направлена на анализ возможности построения системы дистанционного измерения токов утечки, измерения параметров импульсов тока, протекающего через ОПН, с регистрацией времени события с последующим накоплением и передачей её обслуживающему персоналу. Построена система передачи измеренных параметров по протоколу ZigBee. Произведён расчёт необходимого источника питания для непрерывной эксплуатации прибора на протяжении более 20 лет.

Ключевые слова:

ZigBee, система на кристалле, ограничитель перенапряжения нелинейный, регистрация токов утечки ОПН

Благодарности:

работа выполнена в рамках государственного задания Центра физико-технических проблем энергетики Севера Кольского научного центра Российской академии наук (FMEZ-2022-0014).

Для цитирования:

Лазарева М. И., Колобов В. В. Построение системы измерения параметров подвесных ОПН на базе микроконтроллера с беспроводной передачей данных // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 14, № 6. С. 53–58. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.6.006.

Original article

CONSTRUCTION OF A SYSTEM FOR MEASURING THE PARAMETERS OF SUSPENDED SURGE ARRESTERS BASED ON A MICROCONTROLLER WITH WIRELESS DATA TRANSMISSION

Mariya A. Lazareva¹, Vitalii V. Kolobov²

^{1,2}Northern Energetics Research Centre of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences,
Apatity, Russia

¹*m.celischeva@ksc.ru*

²*v.kolobov@ksc.ru*

Abstract

The article is aimed at analyzing the possibility of constructing a system for remote measurement of leakage currents, measuring the pulses of current flowing through the surge arrester with the registration of the time of the event with subsequent accumulation and transmission to service personnel. A system for transmitting measured parameters via the ZigBee protocol is constructed. A calculation of the required power supply for continuous operation of the device for more than 20 years is made.

Keywords:

ZigBee, System-on-a-Chip, surge arrester, registration of leakage currents of a surge arrester

Acknowledgments:

The work was carried out within the framework of the State Research Program of the Northern Energetics Research Centre of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences (FMEZ-2022-0014).

For citation:

Lazareva M. I., Kolobov V. V. Construction of a system for measuring the parameters of suspended surge arresters based on a microcontroller with wireless data transmission // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2023. Vol. 14, No. 6. P. 53–58. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.6.006.

Подвесные ограничители перенапряжения нелинейные (ОПН) являются неотъемлемой частью защиты оборудования систем электроснабжения от повреждений, которые могут быть вызваны внутренним и внешним перенапряжениями. Работа ограничителя основывается на вольт-амперной характеристике нелинейного характера. Если на устройство поступает большое напряжение, то электрическое сопротивление падает практически до нулевого значения. В итоге высоковольтный импульс номиналом в несколько киловольт направляется прямым в заземляющую цепь [1].

Мониторинг за ОПН является важной задачей для обеспечения надежной работы электрических сетей. Наблюдение за их состоянием и своевременное обнаружение неисправностей или повреждений позволяет предотвратить возможные аварийные ситуации и обеспечить бесперебойную работу электрических систем [2]. В то же время подвесные ОПН, как правило, находятся в недоступном месте для обслуживающего персонала. Наиболее удобным наблюдением за ОПН являлось бы устройство с дистанционным управлением и автономным питанием, которого в идеальном случае хватало бы на половину или весь срок эксплуатации ОПН. Кроме того, за счёт мониторинга можно оптимизировать работу электрических систем, позволяя выявлять и устранять причины перенапряжений и повышать эффективность работы системы в целом.

Для осуществления мониторинга можно использовать системы на кристалле (SoC) [3]. SoC работают на основе сенсоров, которые могут обнаружить перенапряжения в сети и передать эту информацию на устройство оператору. Они могут быть запрограммированы для автоматического реагирования на перенапряжения. Такие системы на кристалле имеют ряд преимуществ перед другими типами систем мониторинга за ОПН:

- компактность, что позволяет установить его непосредственно на устройство;
- высокая точность и чувствительность, которая позволяет обнаруживать перенапряжения.

Системы на кристалле для мониторинга за ОПН в целом являются эффективным и надёжным способом защиты электронных устройств от повреждений, вызванных перенапряжениями в сети. Одним из примеров SoC, который может предоставлять необходимую информацию о срабатываниях устройства защиты от перенапряжений и его состоянии, является модуль CC2530, разработанный компанией Texas Instruments. Его технические характеристики представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики микроконтроллера CC2530
Characteristics of the microcontroller CC2530

Параметры	Значения
Память	256 Кб
Частота ядра	32 МГц
Поддерживаемые стандарты беспроводной связи	IEEE 802.15.4, ZigBee
Потребление энергии	Режим сна: 1 мкА; режим передачи: 24,3 мА
Рабочая температура	min –40 °C; max +125 °C

Главные преимущества CC2530 заключаются в следующем:

- низкое энергопотребление (всего 1 мкА в режиме сна с включённым таймером реального времени и 24,3 мА в режиме приёма-передачи данных);
- возможность работать на автономных источниках питания, что позволяет использовать их в различных условиях, в том числе в удалённых или труднодоступных местах;
- поддержка стандартов беспроводной связи;
- высокая точность и надёжность измерений, что позволяет получать более точную информацию о состоянии оборудования и предотвращать возможные поломки или аварии.

Для осуществления мониторинга за состоянием ОПН к нему подключается модуль CC2530, оснащённый восемью входными каналами, которые позволяют снимать показания. При этом модуль

выполняет функцию аналого-цифрового преобразователя (АЦП), преобразуя входные аналоговые сигналы в цифровой формат. После сбора показаний микроконтроллер обрабатывает данные, выполняя необходимые математические операции для получения конечных значений, например, вычисление среднего, максимального, минимального значения и т. д. Модуль CC 2530 использует протокол ZigBee для передачи данных на второй модуль CC2530, расположенный в пункте приёма данных. Для этого он генерирует пакеты данных, которые передаются через беспроводную сеть ZigBee. Пакеты данных содержат информацию о снятых показаниях, а также информацию о модуле CC2530. После получения данных в пункте приёма они обрабатываются специальным программным обеспечением. Это может включать в себя отображение графиков, анализ данных и т. д. (рис. 1).

Модуль CC2530 поддерживает стандарт IEEE 802.15.4, предназначенный для организации сетей стандарта ZigBee [4]. Для ZigBee определены три сетевые топологии (рис. 2).

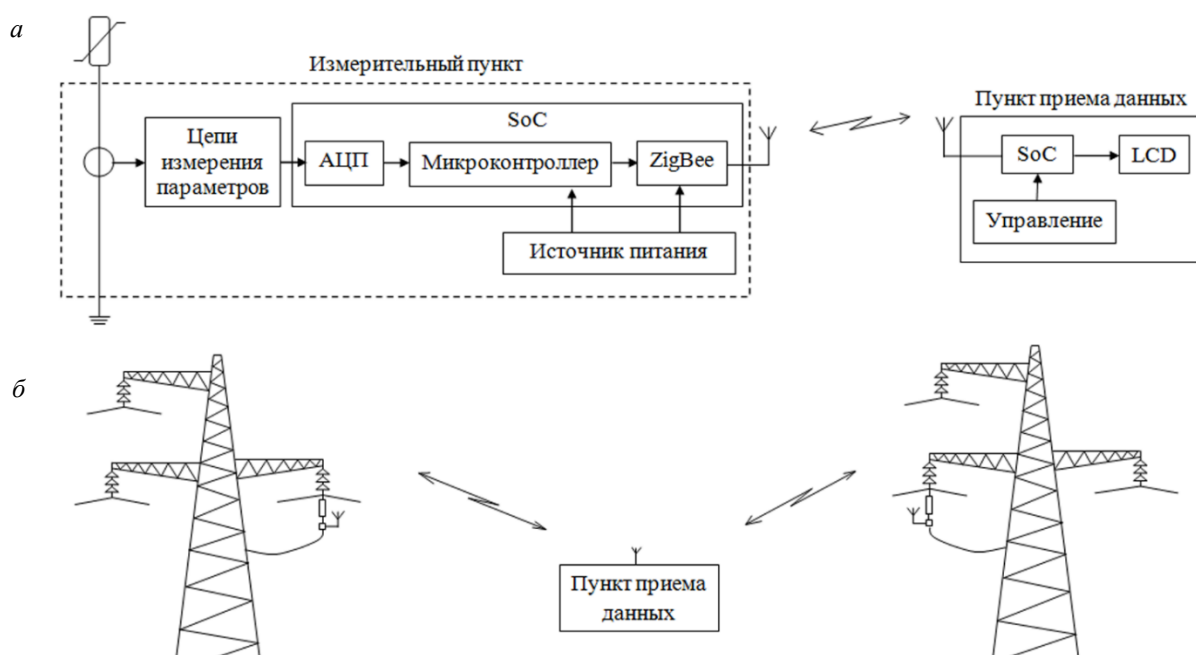


Рис. 1. Передача показаний данных с ОПН: *а* — принципиальная схема; *б* — схема внешнего вида

Fig. 1. Transmission of data readings from the surge arrester: *a* — the circuit diagram; *b* — the appearance diagram

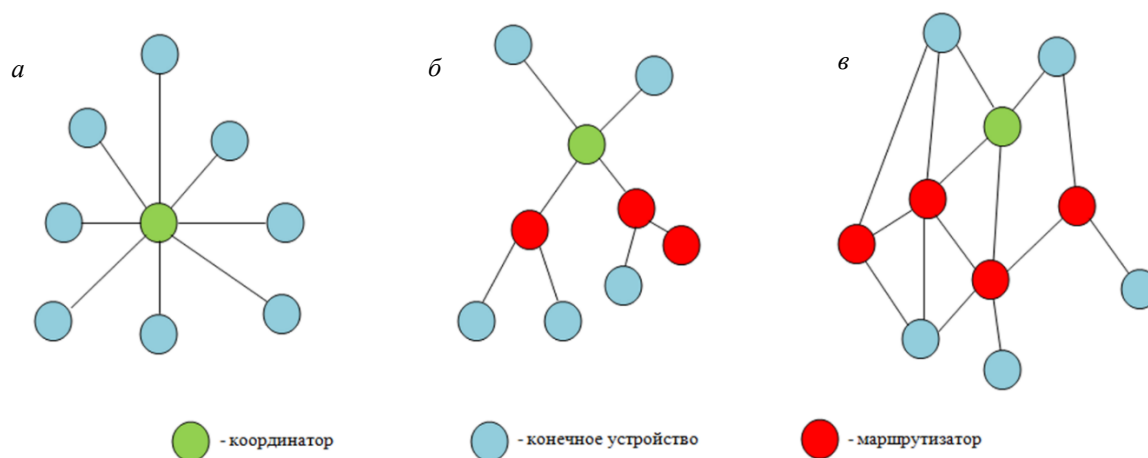


Рис. 2. Сетевые топологии ZigBee: *а* — звезда; *б* — дерево; *в* — сетка

Fig. 2. ZigBee network topologies: *a* — star; *b* — tree; *c* — mesh

Звезда (StarNetwork) представляет собой координатор, расположенный в центре сети, к которому напрямую подключены несколько конечных устройств. Взаимодействие между конечными устройствами непосредственно друг с другом невозможно. Основной недостаток данной топологии заключается в том, что передача и приём данных осуществляются через координатор, что может увеличить на него нагрузку и повлечь за собой перегрузку в сети.

Дерево (ClusterTreeNetwork) — это координатор, к которому подключено несколько маршрутизаторов и конечных устройств. Маршрутизаторы являются дочерним узлом координатора, но при этом могут иметь свои дочерние узлы, в качестве которых выступают конечные устройства или другие маршрутизаторы. Каждый дочерний узел может обмениваться информацией только со своим родителем. Недостаток данной топологии заключается в том, что в случае отключения родительского узла дочерние не могут взаимодействовать с другими узлами сети, следовательно, данные не дойдут до конечного пункта.

Сетка (MeshNetwork), как и дерево, состоит из координатора, нескольких маршрутизаторов и конечных устройств. Главное отличие данной сети от предыдущей заключается в том, что дочерние узлы могут обмениваться информацией между собой и это позволяет в случае сбоя пути предоставить альтернативные пути для достижения пакетов данных места назначения.

Основная особенность сети ZigBee заключается в том, что она при малом энергопотреблении поддерживает не только простые топологии сети (звезда, дерево), но и самовосстанавливающуюся сетку с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений [5].

Данная сеть имеет высокую степень надёжности и безопасности благодаря использованию процесса шифрования данных и механизма повторной передачи сообщений в случае потери связи. Также она имеет низкое энергопотребление, что позволяет устройствам работать на автономных источниках питания в течение длительного времени.

В качестве источника питания для модуля CC2530 можно использовать литий-тионилхлоридные (Li-SOCl₂) источники питания, которые являются оптимальными для устройств с небольшим токопотреблением и с продолжительным сроком автономной работы [6]. Они приобрели свою популярность во многих сферах промышленной деятельности благодаря своим главным преимуществам:

- высокой энергетической ёмкости;
- длительному сроку службы;
- широкому диапазону рабочих температур, варьирующийся от –55 до +200 °С.

Для подбора наиболее эффективного источника питания к модулю CC2530 рассмотрим основные параметры наиболее популярных элементов питания, которые производятся компанией EEMB (табл. 2).

Таблица 2

Параметры литий-тионилхлоридных источников питания от компании EEMB
Parameters of EEMB lithium-thionylchloride power supplies

Модель	Номинальное напряжение, В	Номинальная ёмкость, мА·ч	Стандартный ток разряда, мА	Диапазон рабочей температуры, °С
ER14505	3,6	2400	2	от –55 до +85
ER14505S		1600	100	от –20 до +125
ER14505M		1800	10	от –55 до +85

Сравнивая представленные модели, мы остановили свой выбор на ER14505, что связано с его наиболее высокой ёмкостью. Использование такого источника питания для модуля CC2530 позволит обеспечить надёжное и длительное питание устройства, не требующее частой замены.

Модуль CC2530 — это высокоэффективный беспроводной модуль. Один из его ключевых параметров — энергопотребление, которое является важным фактором для выбора источника питания,

чтобы длительность срока эксплуатации была как можно больше. Для оценки энергопотребления рассматривался элемент питания модели ER14505, выбранный ранее. Передача данных с модуля осуществляется каждые 5 мин по 0,1 с. В течение этого времени происходит уточнение точного времени, передача накопленной информации и приём команды, например, на внеплановое измерение токов утечки ОПН. Согласно документации от производителя модуля CC2530, потребление энергии в режиме передачи данных составляет 24 мА, а в спящем режиме 1 мкА. Таким образом, за год он потребляет 79 мА·ч (в активном режиме — 70 мА·ч, в режиме сна — 9 мА·ч).

Для определения срока эксплуатации прибора на автономном источнике питания необходимо учитывать не только потребление энергии самого модуля, но и его саморазряд. Ёмкость ER14505 — 2400 мА·ч, напряжение — 3,6 В. Его саморазряд составляет около 1 % в год, что означает, что за год он потеряет 24 мА·ч. С учетом саморазряда и потребления энергии модулем CC2530 за год общее энергопотребление составит около 103 мА·ч. Таким образом, при использовании модуля CC2530 с источником питания ER14505 для передачи данных каждые 5 мин по 0,1 с можно ожидать, что его срок службы составит около 23 лет (рис. 3).



Рис. 3. Диаграмма потребляемой энергии за 23 года эксплуатации источника питания
Fig. 3. Diagram of energy consumption over 23 years of operation

Заключение

Произведённый анализ показывает, что на базе микроконтроллера CC2530 с модулем ZigBee можно построить систему регистрации параметров токов утечки и импульсов тока, протекающего через ОПН. Произведён расчёт возможности построения устройства с эксплуатацией на протяжении более 20 лет от одного автономного источника питания. Возможности системы позволяют организовать различные сетевые топологии, которые могут отличаться для разных случаев размещения устройств регистрации. Непрерывная диагностика импульсных токов, проходящих через ОПН, позволит внести вклад в анализ молниезащиты, тем самым выявляя самые уязвимые и самые бесполезные места установки ОПН.

Список литературы

1. Ограничители перенапряжения: назначение, устройство и принцип действия // Электротовары: сайт. URL: <https://elektro-tovars.ru/novosti/ogranichiteli-perenapryazheniya.html> (дата обращения: 15.05.2023).
2. Евстигнеев А. В., Колобов В. В. Способы построения устройства для контроля состояния подвесных ОПН // Труды Кольского научного центра РАН. 2018. Т. 9, № 8 (17). С. 98–101. doi:10.25702/KSC.2307-5252.2018.9.8.98-101. EDN: AYZBCP.

3. Колобов В. В., Баранник М. Б., Ивонин В. В. Опыт эксплуатации устройств регистрации импульсных токов в нелинейных ограничителях перенапряжений // *Материаловедение. Энергетика*. 2021. Т. 27, № 3. С. 39–49. doi:10.18721/JEST.27304. EDN: ELHUJG.
4. Ильин П., Пушкарёв О. CC2530 — новый ZigBee-трансивер для широкого спектра применений // *Компоненты и технологии*. 2009. № 10 (99). С. 98–100. EDN: MTFTBX.
5. ZigBee // Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Zigbee> (дата обращения: 15.05.2023).
6. Литий-тионилхлоридные источники питания (Li-SOCl₂) // KupiFonar.kz: сайт. URL: <https://www.kupifonar.kz/wiki/lisocl2-batteries/> (дата обращения: 15.05.2023).

References

1. Ogranichiteli perenapryazheniya: naznachenie, ustrojstvo i princip dejstviya [Overvoltage limiters: purpose, device and principle of operation]. (In Russ.). Available at: <https://elektrotovars.ru/novosti/ogranichiteli-perenapryazheniya.html> (accessed 15.05.2023).
2. Evstigneev A. V., Kolobov V. V. Spособы postroeniya ustroystva dlya kontrolya sostoyaniya podvesnykh OPN [Methods of constructing a device for monitoring the state of suspended surge arresters]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN* [Transactions of the Kola Scientific Centre of the RAS], 2018, Vol. 9, No. 8 (17), pp. 98–101. (In Russ.). doi:10.25702/KSC.2307-5252.2018.9.8.98-101. EDN: AYZBCP.
3. Kolobov V. V., Barannik M. B., Ivonin V. V. Opyt ekspluatatsii ustroystv registratsii impul'snykh tokov v nelineynykh ogranichitelyakh perenapryazheniy [Experience in operating devices for recording pulsed currents in non-linear surge arresters]. *Materialovedenie. Energetika* [Materials science. Power engineering], 2021, Vol. 27, No. 3, pp. 39–49. (In Russ.). doi:10.18721/JEST.27304. EDN: ELHUJG.
4. Il'in P., Pushkarev O. CC2530 — novyy ZigBee-transiver dlya shirokogo spektra primeneniya [CC2530 is a new ZigBee transceiver for a wide range of applications]. *Komponenty i tekhnologii* [Components and technologies], 2009, No. 10 (99), pp. 98–100. (In Russ.). EDN: ELHUJG.
5. ZigBee. Wikipedia. (In Russ.). Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Zigbee> (accessed 15.05.2023).
6. Litij-tionilhlordnye istochniki pitaniya [Lithium-thionyl chloride power supplies]. (In Russ.). Available at: <https://www.kupifonar.kz/wiki/lisocl2-batteries/> (accessed 15.05.2023).

Информация об авторах

М. А. Лазарева — инженер;

В. В. Колобов — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник.

Information about the authors

M. A. Lazareva — Engineer;

V. V. Kolobov — PhD (Engineering), Leading Researcher.

Статья поступила в редакцию 12.05.2023; одобрена после рецензирования 15.05.2023; принята к публикации 29.05.2023.
The article was submitted 12.05.2023; approved after reviewing 15.05.2023; accepted for publication 29.05.2023.