

А. П. Адамов, С. Г. Семенов

**СПОСОБ НАДЕЖНОГО ПИТАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СЕНСОРНОЙ СЕТИ ОТ БЕСПРОВОДНОГО ИНТЕРФЕЙСА<sup>1</sup>**

A. P. Adamov, S. G. Sementsov

**METHOD RELIABLE SUPPLY OF ELEMENTS OF A SENSOR NETWORK FROM THE WIRELESS INTERFACE**

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Работа посвящена исследованию метода надежного питания элементов сенсорной сети от источников электромагнитного излучения в диапазоне беспроводных сетей. Данная проблема является особенно актуальной с учетом ограниченности времени работы сенсоров в беспроводных сетях от встроенных источников питания. *Материалы и методы.* Основное внимание уделено периодическому режиму работы сенсорной сети, при котором активация сенсора происходит только при наличии регистрируемого события. *Результаты и выводы.* В таком режиме сенсор до 99 % времени находится в режиме ожидания, что позволяет использовать для подзарядки встроенных источников питания энергию электромагнитного излучения. Предложена структурная схема источника питания, реализующего такую подзарядку для беспроводного диапазона 2,4 ГГц. Рассмотрены ограничения такого способа питания при увеличении расстояния до точки доступа.

**Ключевые слова:** сенсорная сеть, радиомодуль, питание элементов сенсорной сети, структурированная система, формализованная система, визуализация информации, беспроводной интерфейс, приемник, преобразователь.

**Abstract.** *Background.* The Work is devoted to research method reliable supply of elements of a sensor network from sources of electromagnetic radiation in the range of wireless networks. This problem is particularly relevant given the limited working time of sensors in wireless networks from the built-in power sources. *Materials and methods.* The focus is on periodic operation of a sensor network in which the activation of the sensor occurs only in the presence of the detected events. *Results and conclusions.* In this mode, the sensor to 99 % of the time is in standby mode, which allows the use for charging the embedded power sources of energy electromagnetic radiation. The proposed structural diagram of the power source, implementing a charge for the wireless 2.4 GHz band. Considered limitations of this way of eating with increasing distance from the access point.

**Key words:** sensor network, radio module, power supply of sensor network components, structured system, formalized system, information visualization, wireless interface, receiver, converter.

**Введение**

Беспроводные сенсорные сети (БСС) все шире используются в различных областях науки и техники. Они незаменимы для контроля различных технологических процессов, при мониторинге природных объектов, в космических и подводных исследованиях. Основными элементами БСС являются сенсор, включающий в себя чувствительный элемент различных физических величин и радиомодуль, и блок управления, осуществляющий прием и первичную обработку информации от сенсоров.

В области разработки сенсорных сетей существует значительное количество прикладных задач, по которым представлен ряд исследований. В работах Е. А. Бакина предложены методы повышения эффективности сбора информации в беспроводных сенсорных сетях на основе оптимизации расписания; работы А. Д. Фомина охватывают исследования надежных методов агрегации данных; в работах Е. М. Линского рассматриваются подходы к управлению передачей пакетов и т.п. Одним из важных моментов является обеспечение эффективного электропитания элементов сенсорной сети.

<sup>1</sup> Работа выполнена при частичной финансовой поддержке по Гранту РФФИ №17-07-00689.

Требования микроминиатюризации привели к существенному уменьшению размеров сенсоров, что позволяет встраивать их непосредственно в контролируемый объект. В то же время эти требования привели к существенному усложнению организации подсистемы питания сенсоров. К блокам управления обычно не предъявляются жесткие требования по массогабаритным характеристикам, что позволяет реализовать их в стационарном исполнении.

### Способ надежного питания от беспроводного интерфейса элементов сенсорной сети

В общем случае конструкция сенсоров не предусматривает замену элементов автономного питания, что подразумевает ограниченность времени жизни БСС скоростью разряда источника питания. Значительно увеличить время жизни элементов БСС позволяет периодический режим работы сенсоров, в котором активация сенсора происходит только при наличии регистрируемого события.

Функционирование сенсорной сети заключается в сборе отдельными узлами информации об окружающей среде посредством датчиков, которая затем передается главному модулю по беспроводной сети. Главный модуль агрегирует полученные данные, после чего отображает обработанную информацию оператору, а также может принимать решения на основе заранее определенных алгоритмов. При этом оператору нет необходимости знать о показании всех сенсоров (их количество может доходить до сотен и тысяч единиц). Однако совокупная информация является наиболее важной, чтобы принимать корректные решения для последующих действий. Вследствие этого необходимо использовать алгоритмы, обеспечивающие наиболее надежное и достоверное вычисление [1].

Рассмотрим типовое потребление энергии различными подсистемами сенсора в различных режимах (рис. 1) [2]. На обслуживание чувствительного элемента расходуется примерно 4 % от суммарного энергопотребления сенсора. В то же время 90 % энергии расходуется на организацию радиосвязи в режиме приема/передачи.

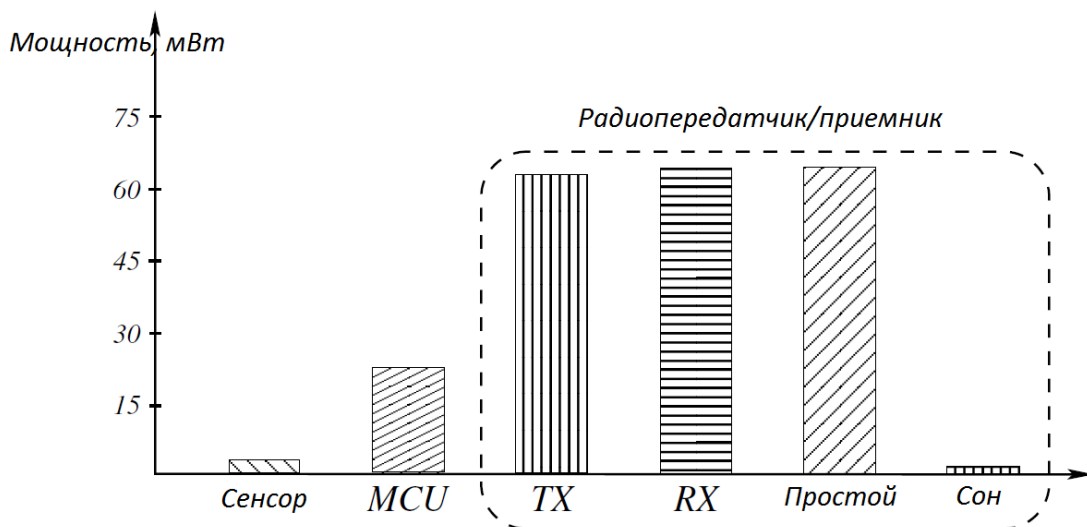


Рис. 1. Распределение потребления энергии различными элементами сенсора

Периодический режим работы сенсорной сети, например при использовании подхода кластеризации на основе события, предполагает, что в режиме ожидания сенсоры потребляют минимальную энергию, необходимую лишь для обслуживания чувствительного элемента сенсора. Радиочастотные цепи в этом режиме отключены, что существенно снижает энергопотребление системы в целом.

В данном случае очевидно, что суммарное потребление энергии сенсором определяется частотой включения радиомодуля. В свою очередь включение радиомодуля определяется частотой наступления регистрируемого события. Если сенсорная сеть используется для регистрации часто наступающих событий, требующих включения радиомодуля, то, очевидно, необходимо применение встроенных источников энергии высокой емкости (аккумуляторы, химические источники). Если же регистрируемое событие происходит с интервалом в сутки или месяцы, то для организации подсистемы питания сенсоров возможно использование альтернативных источников энергии [3].

Одним из перспективных направлений организации питания сенсоров БСС является использование энергии электромагнитного излучения в радиодиапазоне. Подобный подход применялся на заре развития радиотехники с появлением первых детекторных приемников прямого усиления. В них для детектирования и излучения низкочастотного модулированного сигнала использовалась энергия высокочастотной несущей. Несмотря на то, что работа таких приемников обеспечивалась только в непосредственной близости от передающих центров, такие приемники получили в свое время широкое распространение.

В современных условиях за счет развития систем сотовой связи и беспроводных технологий плотность мощности во всех частотных диапазонах значительно увеличилась. Особенно заметен этот прирост в диапазонах беспроводной связи Wi-Fi 2,4 и 5 ГГц, в которых работают различные передающие устройства и точки доступа. Использование этого диапазона энергетически выгодно, поскольку точки доступа как правило находятся в пределах прямой видимости от приемника (сенсора). Функции точки доступа в БСС выполняет блок управления, непрерывно опрашивая сенсоры и передавая служебную информацию в радиодиапазоне всем сенсорам, находящимся в зоне прямой видимости.

Использование электромагнитной энергии в диапазоне Wi-Fi при организации сенсорных сетей позволит значительно повысить ее энергоэффективность за счет дополнительной подпитки сенсоров в режиме ожидания. Рассмотрим один из вариантов построения структурной схемы подсистемы электропитания сенсорной сети, использующей энергию электромагнитного излучения (рис. 2). На этой схеме чувствительный элемент преобразует энергию электромагнитного излучения в постоянный ток, который поступает в накопительный элемент (например, ионистор или аккумулятор). Далее постоянный ток от чувствительного элемента либо накопительного элемента поступает в DC/DC-преобразователь для формирования необходимого для функционирования сенсорной сети напряжения. Отдельные узлы сенсора могут иметь отдельные вторичные преобразователи, формирующие дополнительные питающие напряжения.



Рис. 2. Типовая структурная схема подсистемы электропитания сенсорной сети

Как показывают эксперименты [4–7], достаточную для полного заряда ионистора сенсора энергию можно извлечь при расстоянии до 6–9 м от точки доступа в зоне прямой видимости. Рассмотрим структурную схему системы накопления энергии, работающей в диапазонах беспроводной связи (рис. 3).

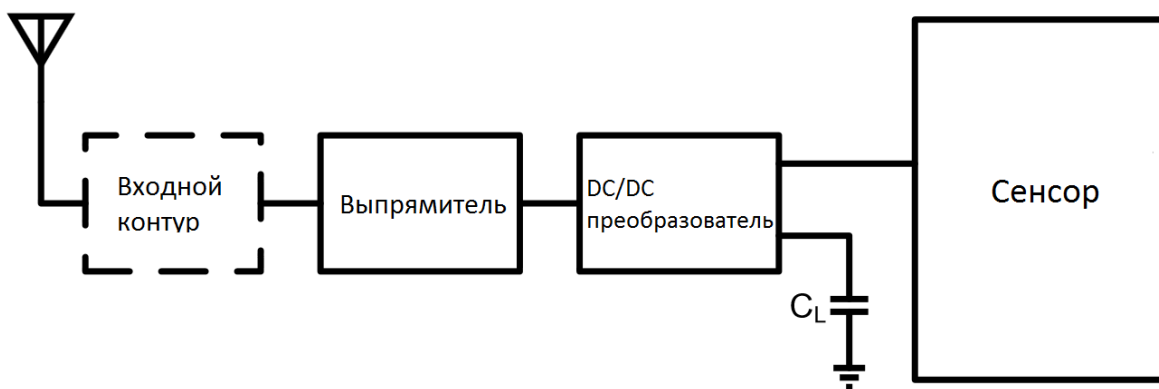


Рис. 3. Структурная схема источника энергии с Wi-Fi приемником

Приемник рассчитан на работу в диапазоне 2,4 ГГц. При работе в диапазоне 5 ГГц изменяются только параметры входного контура. Коэффициент полезного действия такого преобразователя определяется в общем случае расстоянием от точки доступа и интенсивностью информационного обмена между сенсорами и блоком управления (количество пакетов в секунду) [8–12]. Чем ближе сенсор находится к блоку управления и чем интенсивнее информационный обмен, тем быстрее может происходить процесс заряда ионистора.

К выпрямителю предъявляются требования максимального выходного напряжения. Поэтому выпрямитель может быть реализован по схеме удвоителя напряжения на диодах с минимальным прямым падением (диоды Шоттки) (рис. 4).

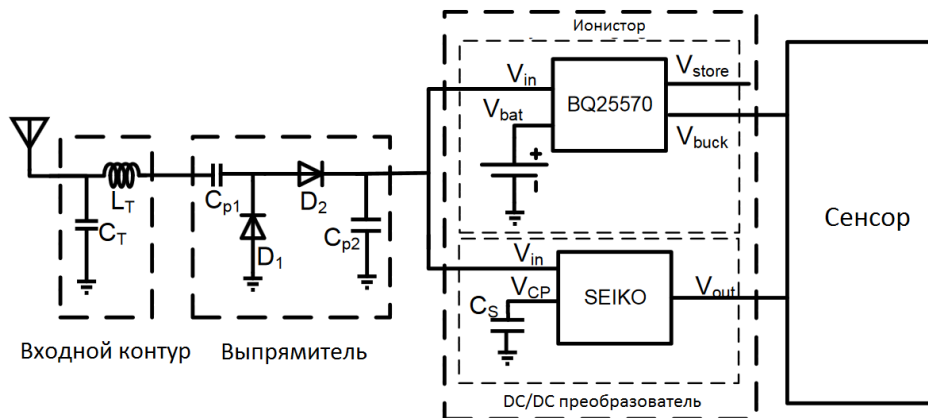


Рис. 4. Вариант реализации источника питания сенсора

При выборе DC/DC-преобразователя необходимо учитывать минимально необходимое напряжение для запуска преобразователя. В данной схеме может быть использован повышающий преобразователь BQ25570 фирмы Texas Instruments с минимальным напряжением запуска 300 мВ и выходным напряжением 3,3 В и рассчитанный на совместную работу с ионистором в качестве накопителя энергии. Его КПД при входном напряжении 400 мВ и выходном 3,3 В превышает 80 % при нагрузке 75 % от максимальной. При работе в зоне прямой видимости от блока управления предложенная схема организации питания сенсоров БСС позволяет полностью зарядить ионистор сенсора давления на базе специализированного контроллера MLX90808 фирмы Melexis за 2–8 ч в зависимости от интенсивности информационного обмена в БСС.

### Заключение

Использование при организации подсистемы питания сенсоров БСС альтернативных источников энергии позволяет существенно увеличить время автономной работы элементов сети. Такой подход особо эффективен при периодическом режиме работы сенсоров, в котором 99 % времени сенсоры находятся в режиме ожидания. За время ожидания накопительный элемент сенсора может быть полностью заряжен при достаточно близком расположении точки доступа беспроводной сети и наличии интенсивного информационного обмена между элементами БСС.

### Библиографический список

1. Адамов, А. П. Классификация состояний беспроводной сенсорной сети с использованием методов машинного обучения / А. П. Адамов, А. А. Адамова, М. Н. Юлдашев // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). – 2016. – № 2. – С. 248–251.
2. Akyildiz, F. Wireless sensor networks: a survey / F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci // Computer Networks. – 2002. – № 38 (4). – P. 393–422.
3. Нестеров, В. А. Интеллектуальный датчик давления на основе моста Уинстона / В. А. Нестеров, А. В. Однокольцев, К. А. Андреев // Молодежный научно-технический вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2012. – № 10. – С. 187–203.
4. Fodor, V. Detecting low-power primary signals via distributed sensing to support opportunistic spectrum access / V. Fodor, I. Glaropoulos, L. Pescosolido // Proceedings of IEEE ICC'09. – Dresden, Germany, 2009. – P. 1381–1389.

5. VigilNet: an integrated sensor network system for energy-efficient surveillance / T. He, S. Krishnamurthy, J. A. Stankovic, T. Abdelzaher, L. Luo, R. Stoleru, T. Yan, L. Gu, G. Zhou, J. Hui, B. Krogh // ACM Transactions on Sensor Networks. – 2006. – № 2 (1). – P. 1–38.
6. Jaikaeo, C. Diagnosis of sensor networks / C. Jaikaeo, C. Srisathapornphat, C. Shen // In Proceedings of IEEE ICC'01. – Helsinki, Finland, 2001. – Vol. 5. – P. 1627–1632.
7. Design and deployment of industrial sensor networks: experiences from a semiconductor plant and the North Sea / L. Krishnamurthy, R. Adler, P. Buonadonna, J. Chhabra, M. Flanigan, N. Kushalnagar, L. Nachman, M. Yarvis // Proceedings of SenSys'05. – San Diego, CA, USA, 2005. – P. 64–75.

**Адамов Александр Петрович**

доктор технических наук, профессор,  
кафедра микроэлектроники,  
Дагестанский государственный  
технический университет  
(367006, Россия, Республика Дагестан,  
г. Махачкала, ул. Пирамидальная, д. 49)  
E-mail: info@iu4.bmstu.ru

**Семенцов Станислав Григорьевич**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой проектирования и техно-  
логии производства электронной аппаратуры,  
Московский государственный  
технический университет им. Н. Э. Баумана  
(105005, Россия, г. Москва,  
2-я Бауманская ул., 5, стр. 1)  
E-mail: info@iu4.bmstu.ru

**Adamov Alexander Petrovitch**

doctor of technical sciences, professor,  
sub-department of microelectronics,  
Dagestan State Technical University  
(367006, 49 Piromidalnaja street, Mahachkala,  
Dagestan, Russia)

**Sementsov Stanislav Grigor'evich**

doctor of technical sciences, professor,  
head of sub-department of design and production  
technology of the electronic equipment,  
Bauman Moscow State Technical University  
(105005, apartment 5, page 1, 2-ya Baumanskaya  
street, Moscow, Russia)

**УДК 658.52**

**Адамов, А. П.**

**Способ надежного питания элементов сенсорной сети от беспроводного интерфейса /**  
А. П. Адамов, С. Г. Семенцов // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 1 (21). – С. 79–83.  
DOI 10.21685/2307-4205-2018-1-10.