

Эл. почта: [aripova.umida@mail.ru](mailto:aripova.umida@mail.ru)

**Radjabov T.D., Aripova U.Kh.**  
**Research homo- and hetero- photoconversion with amplifiers**

First established a photoconversion with amplifiers stabilization of operating modes based on photo- and injection-

voltaic effects without additional tuning of the quiescent current, resistant to five-fold voltage variations and three times the maximum allowable power dissipation.

**Keywords:** photovoltaic effect, injection-voltaic effect, photodiode, load volt-ampere characteristic.

Тел: +998946973352 почта: [aripova.umida@mail.ru](mailto:aripova.umida@mail.ru)

УДК 621.396

**Давронбеков Д.А., Алиев У.Т., Исроилов Ж.Д.**

## Анализ особенностей энергопотребления узлов беспроводных сенсорных сетей

**Аннотация:** В статье рассматриваются возможные варианты организации электропитания узлов беспроводных сенсорных сетей, основные виды источников энергии, которые характеризуются различными плотностями мощности. Выполнен анализ зависимости плотности мощности (до преобразования) для различных типов источников энергии. Установлена связь мощности, энергии и частоты в беспроводной сенсорной сети.

**Ключевые слова:** датчик, сенсорная сеть, энергопотребление, беспроводная связь, частота, энергия, мониторинг.

**Введение.** За минувшее десятилетие широкое распространение получили беспроводные сети связи. В научных исследованиях последних лет все большее внимание уделяется широкополосным беспроводным сетям. Однако, при решении многих задач, связанных с промышленным мониторингом, построением системы «Умный дом», системы распределенного сбора информации и другими, актуальными становятся сети с передачей информации до 1 Мбит/с [1]. Такой скорости достаточно для передачи управляющих и информационных данных от исполнительных устройств и сенсоров. К таким сетям относят и беспроводные сенсорные сети (БСС).

При проектировании и реализации беспроводных сенсорных сетей необходимо решить множество сложных проблем, относящихся к различным областям исследований. Одной из основных проблем является обеспечение высокой отказоустойчивости БСС. Нарушение работы сети возможно вследствие отказов узлов и каналов связи по нескольким причинам:

- большого количества узлов (согласно теории вероятности);
- внешних неблагоприятных воздействий (тяжелой помеховой обстановки, механических и электростатических воздействий);
- ограниченности ресурса энергопитания узла.

Из вышеперечисленных факторов, которые влияют на стабильную работу БСС, только ограниченную емкость источника питания можно учесть в дальнейшей работе сети и соответственно уменьшить это влияние. Следовательно, анализ и исследование вопросов энергопотребления узлов беспроводных сенсорных сетей является актуальной задачей, а его оптимизация - перспективным направлением не только в БСС, но и во многих других беспроводных сетях [2].

Ограничение по энергопотреблению связано с тем, что сенсоры работают от источника питания с ограниченным лимитом энергии (обычно батарейка или аккумулятор). Чем реже они будут заменяться или заряжаться, тем более низкую стоимость будет иметь их обслуживание. Также энергопотребление является важным ограничением при использовании сенсоров, доступ к которым сложен, следовательно, источник питания не может быть заменен или подзаряжен. Для уменьшения энергопотребления обычно предусматривается отключение передатчиков

сенсорных узлов, когда нет необходимости передачи информации. На сетевом уровне используются оптимальные пути передачи информации от сенсорного узла до координатора (базовой станции), учитывая число промежуточных узлов, требуемую энергию и доступную энергию. Кроме сетевого протокола на потребление энергии влияет конструкция узлов (например, маленький размер памяти, эффективность переключений между заданиями), программное обеспечение, механизмы защиты и даже рабочие приложения [3].

### Электропитание узлов БСС от внешней среды

Одним из основных требований, предъявляемых к узлам сенсорной сети, является длительное время их автономной работы. Задача уменьшения энергопотребления может решаться за счет оптимизации конструкции и режимов работы аналоговых и цифровых схем узлов, а также за счет извлечения энергии, необходимой для работы этих схем, из окружающей среды. В настоящее время во всем мире ведется активный поиск новых экологических и неограниченных ресурсов энергии, которые позволят сетевым устройствам избавиться от батарей или проводов и разработать автономные беспроводные сенсорные сети с теоретически неограниченным сроком службы [4].

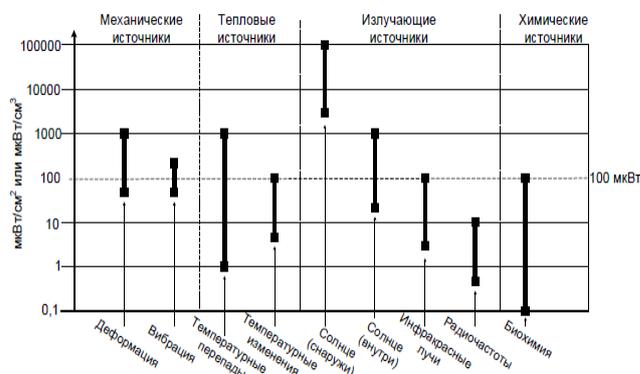


Рис. 1. Плотность мощности (до преобразования) для различных типов источников энергии из внешней среды

В окружающей среде существуют четыре основных источника энергии:

- механическая энергия (вибрации, деформации);

- тепловая энергия (температурные перепады или изменения);
- энергия излучения (солнце, инфракрасные лучи, радиочастоты);
- химическая энергия (химия, биохимия).

Эти источники характеризуются различными плотностями мощности (рис. 1).

Рисунок 1 показывает, что значение выходной мощности 10-100 мкВт является приемлемым при размерах источника в  $1\text{ см}^2$  или  $1\text{ см}^3$ . Получение энергии от солнца считается наиболее мощным (даже если значения, приведенные на рис.1, должны быть умножены на весовые коэффициенты для перевода КПД, редко превышающих 20% в фотоэлементах).

К сожалению, получение солнечной энергии невозможно в темных участках (например, в помещениях). Аналогично невозможно получать энергию от температурных перепадов, если этих перепадов нет или от несуществующих вибраций. Как следствие, источник внешней энергии должен быть выбран в соответствии с местной средой, окружающей узел беспроводной сенсорной сети, т.е. не существует универсального источника энергии из внешней среды [4].

**Анализ потребления энергии узлом БСС**

Для питания узлов сенсорной сети от окружающей энергии необходимо снизить потребления энергии датчиками (сенсорами/актуаторами), микроконтроллером и радиопередатчиком. В последние годы значительный прогресс в этом направлении был достигнут производителями микроконтроллеров и радиочастотных чипов (Atmel, Microchip, Texas Instruments и др.) как для рабочего, так и для холостого режима. Пример типичного потребления энергии узлом беспроводных сенсорных сетей приведен на рис. 2.

Можно выделить три типичных значения потребляемой мощности [5]:

- 1) 1-5 мкВт (потребление энергии в «спящем» режиме);
- 2) 500 мкВт - 1 мВт (потребление энергии в активном режиме);
- 3) 50 мВт (пик передачи энергии).

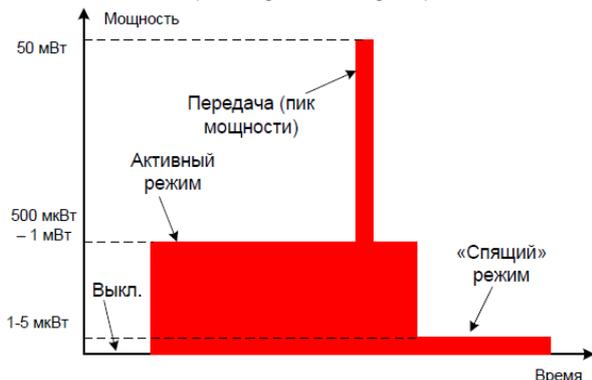


Рис. 2. График потребления энергии узлом БСС

Анализ приведенной диаграммы позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, минимальная мощность источника энергии из внешней среды для построения жизнеспособных беспроводных узлов должна быть порядка 1-5 мкВт, что соответствует достаточной величине для холостого режима микропроцессора и радиочастотного чипа [4].

Во-вторых, современные источники энергии из внешней среды не могут обеспечивать беспроводные сенсорные сети энергией, достаточной для активного режима

(потребление энергии в 500 мкВт - 1 мВт против 10-100 мкВт для выходной мощности таких источников). Однако, благодаря ультранизкому потреблению энергии в спящем режиме, беспроводные сенсорные сети, питаемые от внешней среды, могут использовать прерывистый рабочий цикл, изображенный на рис. 3. Энергия хранится в буфере (а) (конденсаторы, батареи) и используется для выполнения измерительного цикла, как только энергии в буфере становится достаточно (б и в). Далее система опять возвращается к спящему режиму (г), ожидая нового измерительного цикла.

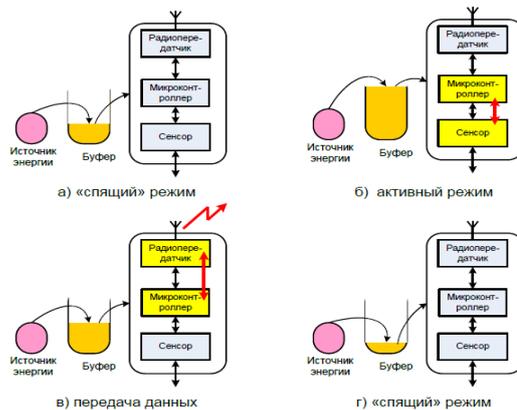


Рис. 3. Рабочий цикл в беспроводной сенсорной сети

Таким образом, используя энергию из внешней среды возможно питание любых приложений, даже самых неэкономных. Основной проблемой является адаптация частоты измерительного цикла к непрерывно вырабатываемой энергии. Среднее энергопотребление сенсорных узлов ( $P$ ) соответствует общему количеству энергии, необходимой для одного измерительного цикла ( $W$ ), умноженному на частоту этого действия ( $f$ ):

$$P = W \cdot f.$$

Эта простая связь между  $P$ ,  $W$  и  $f$  проиллюстрирована на рис. 4. Используя логарифмические масштабы по оси абсцисс (энергия в Джоулях) и по оси ординат (частота измерений), среднее энергопотребление 100 мкВт показано прямой линией с коэффициентом наклона -1.

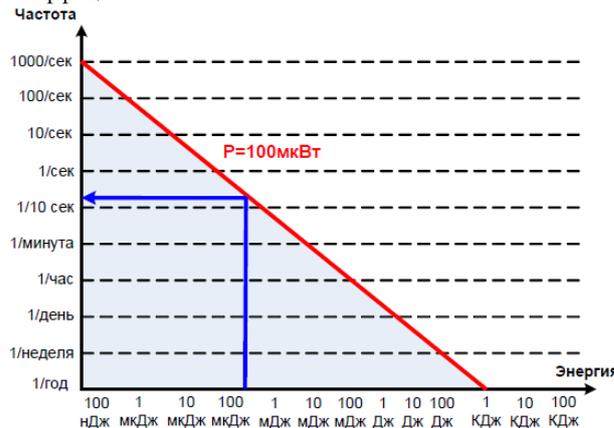


Рис. 3. Связь мощности, энергии и частоты

Например, выполнение полного цикла работы сенсорного узла (измерение + преобразование + передача) требует 250-500 мкДж. Следовательно, непрерывно получая 100 мкВт мощности, можно выполнять полный цикл работы узла сенсорной сети каждые 1-10 секунд (0,1-1 Гц). Это подходит многим промышленным

нуждам, особенно тем, где обслуживание предсказуемо [4].

#### Заключение

В целом получение энергии из внешней среды - за исключением фотоэлемента - только развивающаяся отрасль, еще не приспособленная для промышленного применения. Тем не менее, улучшение существующих технологий может привести в перспективе к жизнеспособным решениям электропитания автономных беспроводных сенсорных сетей [6].

Благодаря таким характеристикам БСС, как миниатюрность узлов, низкое энергопотребление, встроенный радиоинтерфейс, достаточная вычислительная мощность, сравнительно невысокая стоимость, стало возможным их широкое использование во многих сферах человеческой деятельности с целью автоматизации процессов сбора информации, мониторинга и контроля характеристик разнообразных технических и природных объектов. БСС целесообразно применять в следующих предметных областях Интернета вещей [5]:

- мониторинг телекоммуникационной инфраструктуры сетей;
- мониторинг транспортных магистралей (железных дорог, метрополитена и др.), нефте- и газопроводов, инженерных сетей энерго- и теплоснабжения;
- контроль и анализ транспортных грузопотоков;
- экологический, биологический и медицинский мониторинг;
- автоматизация систем жизнеобеспечения в системах класса "Умный дом";
- выявление и предупреждение чрезвычайных ситуаций (мониторинг сейсмической активности и вулканической деятельности, анализ атмосферы и прогноз погоды для своевременного предупреждения о наступлении стихийных бедствий) и другие.

УДК 621.396

**Ибраимов Р.Р., Ахмедов Б.И.**

## Двойной доступ (EN-DC) при развертывании 5G по сценарию Non-Standalone

**Аннотация.** В статье обосновывается развертывание 5G на ранних стадиях по сценарию Non-Standalone. Поясняется процесс двойного доступа (EN-DC) в сеть, при организации сеанса связи. Приводятся модели обмена сигнальной информацией в общем процессе подключения в 5G по структуре предложенной Samsung, а также передачи команд сигнализации, добавление данных в EPC и обмена данными происходящими в UE, 5G-gNB, LTE-eNB и EPC.

**Ключевые слова:** Двойное подключение, развертывания, спецификация, базовая станция, пользовательские терминалы.

**Введение.** Наиболее популярная у операторов связи стратегия развертывания 5G заключается в совместном существовании сетей 4-го и 5-го поколений, при котором максимально используются инфраструктура, узлы и сетевые элементы 4G. В таких сетях модернизация происходит эволюционно, с одной стороны сохраняются инвестиции в строительство сетей LTE и широкая зона радиопокрытия, с другой - предоставляются клиентам новые услуги, базирующиеся на 5G. Подобная архитектура сети 5G получила название Non-Standalone (неавтономная) [1-3].

#### Литература

- [1] В. Гавриков. Модули от Powercast: Питание датчика от сотовой сети. НОВОСТИ ЭЛЕКТРОНИКИ № 7, 2015.
- [2] П. В. Галкин. Анализ энергопотребления узлов беспроводных сенсорных сетей. Технические науки Scientific Journal «ScienceRise» №2(2)2014
- [3] В. Майская. Альтернативные источники энергии. Освоение "даровой" энергии. ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес 8/2009.
- [4] А.В. Росляков, С.В. Ваняшин, А.Ю. Гребешков. Интернет вещей. Учебное пособие. Самара – 2015.
- [5] D. Davronbekov, U. Aliev, J.D.Isroilov Using the Energy of Electromagnetic Radiation as a Source of Power.
- [6] У.Т. Алиев. Использование энергии радиоизлучения в качестве автономного электропитания электронных устройств. Республика илмий-техник анжуманининг Маърузалар тўплами (2-ҚИСМ). Тошкент 2017 й.

#### Сведения об авторах

**Давронбеков Д.А.** к.т.н., доцент кафедры Технологии мобильной связи ТУТТ, Тел. (99)-804-24-00, Email: [d.davronbekov@tuit.uz](mailto:d.davronbekov@tuit.uz).

**Алиев У.Т.** - старший преподаватель кафедры Технологии мобильной связи ТУТТ, Тел. (97)-446-51-44

**Исроилов Ж.Д.** - старший преподаватель кафедры Технологии мобильной связи ТУТТ, Тел. (99)-880-50-57

#### Analysis of features of energy consumption of knots of wireless touch networks

**Summary.** In article possible options of the organization of power supply of nodes of wireless sensor networks, main types of power sources which are characterized by different density of power are considered. The analysis of dependence of density of power (before conversion) for different types of power sources is made. Connection of power, energy and frequency on the wireless sensor network is established.

**Keywords:** reliability, indicator, refusal, failure, element, component, device, system.

При развертывании 5G по сценарию Non-Standalone, необходима модернизация базовых станций сети 4G-LTE до уровня eLTE (или enhanced LTE) с целью поддержки расширенного функционала взаимодействия с базовыми станциями 5G (gNB). Стандартизация данного сценария (в рамках релиза 15 3GPP) была завершена в январе 2018г [2].

Важным аспектом сценария Non-Standalone является концепция двойного подключения (Dual Connectivity) (специфицированная 3GPP в релизе 12), подразумевающая подключение пользовательских терминалов (UE) в