

ENERGY HARVESTING для приложений INDUSTRY 4.0

Н.А. Захаров (МТУСИ, НПП «Дозор» ОАО «Концерн КЭМЗ»)

Рассмотрено применение технологии получения энергии из окружающей среды energy harvesting для организации питания беспроводных датчиков и сенсорных сетей. Приведены примеры использования электромагнитной энергии сетей сотовой связи, света, вибрации, воздушного потока от проходящих автомобилей, утечки от электросети. Рассмотрена организация циклической работы датчиков с длительным зарядом конденсатора в цепи питания и последующим кратковременным срабатыванием схемы обработки показаний чувствительного элемента и радиочастотного модуля. Такая организация обусловлена тем, что мощность источника энергии намного меньше требуемой датчику для работы.

Ключевые слова: Industry 4.0, сенсорная сеть, energy harvesting, беспроводные датчики, сенсорные сети.

Введение

В настоящее время как составная часть концепции Industry 4.0 активно развиваются беспроводные сетевые технологии, что способствует внедрению на производстве сенсорных сетей на основе беспроводных датчиков. Питание датчиков, как правило, осуществляется от гальванических элементов или аккумуляторов, поскольку прокладка к ним проводов внешнего питания делает бессмысленным применение беспроводной связи. Ограниченный по времени срок службы автономного источника питания приводит к необходимости его периодической замены, что удорожает эксплуатацию датчика, особенно при его расположении в труднодоступном месте. А использование беспроводных технологий как раз наиболее востребовано для устройств, техническое обслуживание которых затруднено из-за неудобного доступа. Альтернативой применению батареек и аккумуляторов является технология energy harvesting – преобразование энергии побочных механических, тепловых или электромагнитных воздействий окружающей среды в электрический ток, необходимый для питания устройства.

*Вот балерина – крутится.
Крутится, крутится, аж в глазах
рябит. Крикнуть ее к динамо –
пусть ток дает
в недоразвитые районы.*
М. Жванецкий.

Энергия сотовой связи

Возможность использования энергии электромагнитных волн сотовой связи рассмотрена в [1]. Исследование выполнено в международном университете Nanyang Polytechnic (Сингапур). Результаты применимы к городской местности с большим числом источников радиосигнала, излучающих во всех направлениях. Источником энергии являются электромагнитные волны сотовой связи GSM 900 и GSM 1800. Для сбора энергии использована антенна, состоящая из восьми последовательно соединенных рамок размером 5x10 см, рамки расположены рядом друг с другом. Сигнал с антенны поступает на восьмиступенчатый выпрямитель с умножением. На выходе получено постоянное напряжение 0,5 В, в качестве нагрузки выступает вольтметр. В [1] делается вывод о возможности запитать от предлагаемого устройства маломощный узел сенсорной сети, при этом нагрузочная способность устройства не указана, какой ток реально можно отдать в нагрузку непонятно. На фотографии в [1] представлен лабораторный макет для оценки принципиальной возможности использования энергии сотовой связи, а не прототип пригодного к эксплуатации изделия. Привести здесь данную фотографию не представляется возможным ввиду ее низкого качества. Устройство получилось весьма громоздким, что не соответствует сложившимся тенденциям миниатюризации.

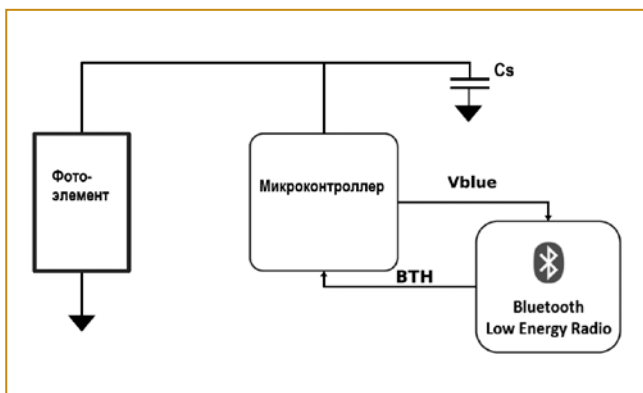


Рис. 1. Структурная схема датчика освещенности [2]

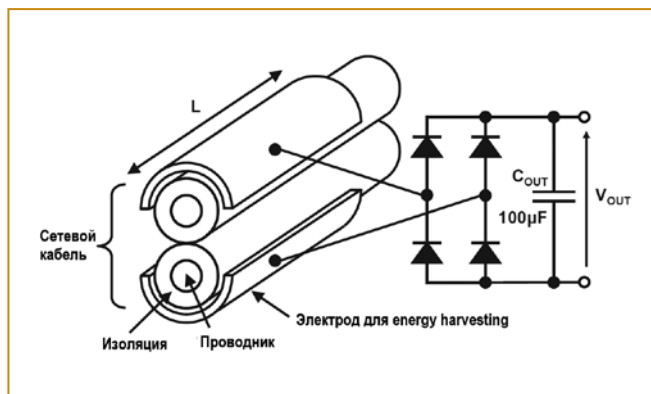


Рис. 2. Подключение к кабелю [7]

Датчик освещенности

Беспроводной датчик освещенности описан в [2]. Структурная схема датчика показана на рис. 1. В состав датчика входят: фотоэлемент, конденсатор для накопления энергии (Cs), микроконтроллер, устройство беспроводного интерфейса Bluetooth Low Energy (BLE).

Цикл работы датчика состоит из двух фаз – накопления энергии и передачи данных. В фазе накопления происходит заряд конденсатора от фотоэлемента. Напряжение на конденсаторе отслеживается микроконтроллером, находящимся в дежурном режиме с ультрамалым потреблением энергии. Когда напряжение достигает заданной величины, система переходит в фазу передачи. Микроконтроллер выдает на свой выход сигнал Vblue, осуществляя тем самым подачу питания на приемопередатчик BLE. В фазе передачи конденсатор должен питать систему током силой в несколько миллиампер, в то время как ток I фотоэлемента составляет десятки микроампер. Это приводит к снижению напряжения на конденсаторе. Когда устройство BLE заканчивает обмен, оно выдает на вход микроконтроллера сигнал BTH (back to harvest), после чего микроконтроллер отключает питание приемопередатчика, и система переходит в фазу накопления. Сигнал от датчика принимается и обрабатывается базовой станцией. Частота включений передатчика определяется скоростью зарядки конденсатора, которая, в свою очередь, увеличивается с освещенностью. Этот факт положен в основу преобразования освещенности в цифровой сигнал. Пересчет частоты отправки датчиком пакетов в значение освещенности выполняется базовой станцией.

Основной проблемой при создании устройств energy harvesting является ограниченная доступная энергия. По этой причине для реализации рассматриваемой системы выбран отличающийся сверхнизким энергопотреблением микроконтроллер STM32L0 производства STMicroelectronics (Швейцария). Технология связи BLE также была выбрана из соображений энергоэффективности, во внимание приняты адекватная стоимость разработки и ее доступность в смартфонах. Использована система на кристалле BLUENRG-2 также производства STMicroelectronics.

Нижний предел измерений датчика составляет 200 лк (это нормативная освещенность для переговорных комнат, спортзалов и т.п.), верхний – свыше 50 тыс. лк. Для мест с ограниченной нагрузкой на зрение предписана

освещенность 200...500 лк. Для помещений, требующих особых условий освещения (например, операционные), необходима освещенность 10...20 тыс. лк. Рассмотренный датчик принципиально отличается от широко распространенных датчиков и систем сбора информации с питанием от фотоэлементов тем, что в качестве источника энергии используется чувствительный элемент датчика, а не предусмотренной конструкцией выделенный фотоэлемент (батарея).

Использование энергии вибрации

Аналогичный рассмотренному выше подход к организации питания с накоплением энергии между периодами активной работы описан в [3]. Здесь рассмотрен многопараметрический датчик температуры, влажности и вибрации. В основу датчика положены система на кристалле (СНК) и три аналоговых сенсора. Использована СНК JN5148 производства NXP Semiconductors (Эйндховен, Нидерланды). В состав СНК входит 2,4 ГГц трансивер стандарта IEEE 802.15.4, поддерживающий связь по протоколу ZigBee. В составе СНК предусмотрены ОЗУ и ПЗУ объемом 128 кБ каждое. Применяются трехосевой акселерометр ADXL335 производства Analog Devices (Норвуд, шт. Массачусетс, США), сенсор температуры MCP9700, Microchip Technology, Inc. (Чандлер, шт. Аризона, США) и низковольтный сенсор влажности H1H-5030 производства Honeywell (Шарлотт, шт. Северная Каролина, США). Выбор указанных компонентов обусловлен низким энергопотреблением и минимальными требованиями к вторичной обработке сигнала. Питание устройства осуществляется от пьезоэлектрического преобразователя, использующего энергию вибрации. Преобразователь заряжает суперконденсатор емкостью 10 мФ. Время первоначальной зарядки конденсатора составляет 22,5 с, затем чередуются фазы активной работы и накопления энергии. Длительность фазы активной работы, в течение которой осуществляются измерения и передача 388 байт результатов, составляет 1,15 с. Длительность фазы накопления составляет 7,8 с. Эти результаты получены на стенде, имитирующем крыло самолета.

Воздушный поток от проходящих автомобилей

Использование энергии турбулентности от проезжающих автомобилей рассмотрено в [4, 5]. Предлагается система сбора энергии от потока машин по шоссе. Предлагается расположение ветряных турбин с вертикальной осью на раздельной полосе автомобильной дороги (рис. 2). Ветряная турбина с вертикальной осью — это тип ветряной турбины, в которой вал несущего винта установлен поперек ветра, в то время как основные компоненты расположены в основании турбины. Такая компоновка позволяет разместить снизу генератор и коробку передач, что облегчает техническое обслуживание и ремонт. Эту турбину не нужно направлять по ветру, что устраняет необходимость в механизмах восприятия ветра и ориентации.

В [5] представлено математическое моделирование с использованием методов вычислительной гидродинамики. Расчеты выполнены для двух сценариев – движение по одной полосе одиночного автомобиля и движение по одной полосе двух автомобилей. Расчеты для движения

транспорта по двум полосам в одном направлении и во встречном направлении не выполнялись. Использованы 3D модели седана, внедорожника, минивэна и грузовика. Отмечена необходимость наряду с воздействием на турбину проходящих автомобилей учитывать естественный ветер. В зависимости от направления ветер может как увеличивать, так и снижать получаемую на валу турбины мощность.

Номинальная мощность генератора турбины составляет 200 Вт. В качестве нагрузки генератора выбран светодиодный светильник. Светильник имеет в своем составе альтернативный источник энергии – солнечную батарею, а также аккумулятор. Номинальная мощность светильника 50 Вт, емкость аккумуляторной батареи 120 А • ч, напряжение 6,5 В, световой поток 8 тыс. Лм, высота установки 6...8 м.

Использование двух альтернативных источников энергии и аккумулятора позволяет обеспечить устойчивое освещение, мало зависящее от погодных условий. Значительная мощность, получаемая на одном узле, позволяет организовывать питание различных устройств, обеспечивающих безопасность на дороге и эффективное управление трафиком, в том числе с использованием технологий 5G.

Утечка энергии из сети электроснабжения

В системах управления энергопотреблением зданий требуется измерение температуры, влажности и освещенности, полученные данные используются для управления системами кондиционирования и освещения с целью уменьшения потребления электроэнергии. Подходящим решением для таких систем будет использование беспроводных датчиков с питанием от утечек из кабеля электросети. Для использования энергии электромагнитного поля требуется прохождение тока по кабелю, при отключенной нагрузке ток не идет, соответственно, датчик остается без питания. Для использования утечки электрического тока через изоляцию [6] требуется организовать заземление, что удорожает работы по монтажу. В [7] предлагается организовать емкостную связь между сетевым кабелем и датчиком (рис. 2).

Поверх изоляции кабеля накладываются два электрода длиной L. Исследования в [7] выполнены для длин электродов L = 10, 20, 30 и 40 см. Напряжение сети ~100 В, частота не указана. Работа выполнена в Токийском университете, частота сети в северо-восточной части Японии, включая Токио, составляет 50 Гц, в юго-западной части – 60 Гц.

Сила тока зарядки конденсатора при длине электродов 20 см составляет 0,4 мкА, что намного меньше пикового тока потребления радиочастотного модуля датчика. Соответственно, как и в рассмотренных выше решениях, применяется схема с зарядом конденсатора до заданной величины и последующим кратковременным срабатыванием датчика. Датчик многопараметрический, измеряет температуру, влажность и освещенность. Периодичность срабатывания

датчика при длине электродов 20 см составляет 250 с. Дальность связи по радиоканалу – до 100 м.

Предложенный способ организации питания предполагает искусственную организацию утечки электроэнергии из кабеля через создаваемый емкостной канал, при этом потребляемая мощность несопоставимо мала по сравнению с потреблением штатной нагрузки сети, поэтому его тоже можно считать разновидностью energy harvesting.

Заключение

Применение технологии energy harvesting в сочетании с беспроводными датчиками и сенсорными сетями позволяет эффективно организовать сбор информации в распределенных системах. При этом сокращаются затраты на монтажные работы и последующее техническое обслуживание. Отказ от использования гальванических элементов и аккумуляторов позволяет сократить количество токсичных отходов. Исключение батареек из состава устройств положительно сказывается на их массогабаритных характеристиках. Предшественниками energy harvesting являются широко распространенные солнечные батареи и ветрогенераторы, не включенные в настоящий обзор.

Список литературы

1. *Beng Lim T., Lee N.M., Poh B.K.* Feasibility study on ambient RF energy harvesting for wireless sensor network // 2013 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on RF and Wireless Technologies for Biomedical and Healthcare Applications (IMWS-BIO), 2013, pp. 1-3.
2. *Rosa R.L., Dehollain C., Burg A., Costanza M., P. Livreri.* An Energy-Autonomous Wireless Sensor With Simultaneous Energy Harvesting and Ambient Light Sensing // IEEE Sensors Journal, vol. 21, no. 12, pp. 13744-13752.
3. *Ruan T., Chew Z. J., Zhu M.* Energy-Aware Approaches for Energy Harvesting Powered Wireless Sensor Nodes // IEEE Sensors Journal, vol. 17, no. 7, 2017, pp. 2165-2173.
4. *Al-Aqel A.A., Lim B.K., Mohd Noor E.E., Yap T.C., Alkaff S.A.* Potentiality of small wind turbines along highway in Malaysia // 2016 International Conference on Robotics, Automation and Sciences (ICORAS), 2016, pp. 1-6.
5. *Han F., Bandarkar A.W., Sozer Y.* Energy Harvesting from Moving Vehicles on Highways // 2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2019, pp. 974-978.
6. *Kim H., Choi D., Gong S., Park K.* Stray electric field energy harvesting technology using MEMS switch from insulated AC powerlines // IET Electronic Letters, Vol. 50, No. 17, pp. 1236-1238, 2014.
7. *Honda M., Sakurai T., Takamiya M.* Wireless temperature and illuminance sensor nodes with energy harvesting from insulating cover of power cords for building energy management system // 2015 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2015, pp. 1-5.

Захаров Николай Анатольевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Теория электрических цепей» МТУСИ, зам. руководителя научно-производственного подразделения «Дозор» ОАО «Концерн КЭМЗ». Контактный телефон (495) 640-09-47. E-mail: nazakharov@npp-dozor.ru