

БЕСПРОВОДНАЯ ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ В БЕЗЛИЦЕНЗИОННОМ ДИАПАЗОНЕ 433 МГц

В статье рассмотрены особенности построения системы передачи данных в диапазоне 433 МГц на основе готовых модулей. Показаны преимущества и недостатки готовых радиомодулей по сравнению с радиопередающими системами на основе дискретных элементов. Приводятся практические примеры схем включения радиомодулей.

Сегодня разработчик имеет в своем арсенале множество альтернативных систем для беспроводной передачи данных. Это радиомодемы с собственным протоколом в диапазонах 27 МГц, 142-172 МГц, 433 МГц, 868 МГц, 915 МГц, 2400 МГц; системы передачи данных на основе стандартов ZigBee/802.15.4, Bluetooth, Wi-Fi и даже Wi-Max.

Пропускная способность канала, дальность связи, стоимость элементной базы и вопросы лицензирования — все эти параметры имеют четкую зависимость от используемой частоты. Если требования к пропускной способности и дальности связи не высоки, но, в то же время, существенным является вопрос цены и требование безлицензионного применения изделия, то разумным выбором будет использование диапазона 433 МГц.

Согласно «Перечня радиоэлектронных средств, для которых не требуется разрешений на использование», устройства дистанционного управления охранной сигнализацией и оповещения в диапазоне 433,075-434,79 МГц (433,92 МГц $\pm 0,2\%$) с выходной мощностью до 10 мВт могут эксплуатироваться без специальной регистрации. Еще одним плюсом диапазо-

на 433 МГц является тот факт, что большое количество производителей выпускает недорогие, полностью настроенные радиочастотные модули (рис. 1), избавляющие разработчика от проектирования капризных высокочастотных цепей. Радиочастотные модули очень просты в применении — для включения модуля достаточно подать питание, передаваемые данные и подключить антенну.

ГОТОВЫЙ МОДУЛЬ ИЛИ ДИСКРЕТНЫЕ КОМПОНЕНТЫ?

У инженера есть две возможности построения высокочастотной части устройства. Он может приобрести готовый ра-

диомодуль либо самостоятельно разрабатывать приемопередающее устройство, используя ВЧ-микросхемы, кварцевый резонатор или ПАВ-фильтр и прочую необходимую «обвязку». Во втором варианте можно сэкономить немного средств, но время разработки значительно возрастает. Кроме того, у разработчика может просто не оказаться достаточного опыта для построения высокочастотной части. В общем случае, работа с ВЧ-сигналами совсем не тривиальное дело! В таблице 1 приведены аргументы «за» и «против» в пользу того или иного подхода.

Разумный водораздел между применением того или иного варианта связан с планируемым объемом выпуска продукта. При массовом производстве более эффективным будет построение ВЧ-части на дискретных компонентах, при выпуске ограниченных партий изделий

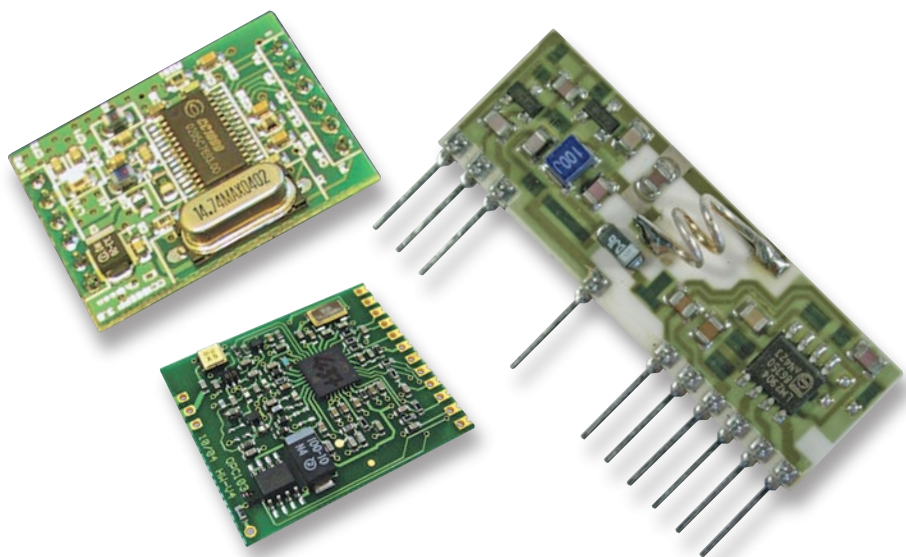


Рис. 1. Внешний вид радиочастотных модулей диапазона 433 МГц

Таблица 1. Преимущества и недостатки разных вариантов построения ВЧ-части

	Преимущества	Недостатки
Готовый радиочастотный модуль	Минимальное время проектирования Низкие затраты на оценку и тестирование Упрощенное лицензирование* Гарантированное качество, проверенное временем и большим объемом выпуска Упрощенная логистика компонентов	Характеристики могут не точно соответствовать требуемым Единственный производитель Невозможность вносить изменения** Более дорогое решение
ВЧ-часть на дискретных компонентах	Полный контроль над характеристиками Возможность вносить изменения Несколько производителей комплектующих Экономия на стоимости комплектующих	Высокая стоимость разработки Большой срок выхода на рынок Затраты на тестирование Большие затраты при монтаже Сложнее логистика комплектующих

* если лицензирован сам модуль.

** при больших количествах заказываемых модулей производитель может учитывать нужды заказчика.

покупка готового радиомодуля избавит производителя от множества потенциальных проблем. По мнению Майка Хаттона (Mike Hutton, AeroComm Inc., <http://www.sensorsmag.com/articles/1004/26/main.shtml>) скрытые затраты, которые добавляются к трем-пяти долларам стоимости отдельной микросхемы на ее пути к законченному высокочастотному изделию, довольно высоки. При производстве партии в 1000 штук конечного продукта про-

изводитель затратит несколько сот долларов скрытых затрат на каждый из выпускаемых приборов, где прямая стоимость комплектующих для высокочастотной части не превысит десятков долларов. По его мнению, производство радиочастотной части продукта экономически оправдано лишь при производстве не менее 100000 конечных устройств. Еще одна опасность, которая подстерегает неопытного разработчика высокочастотной части, это

потенциальная опасность будущих проблем. Майк Хаттон приводит пример с одним европейским производителем, который выпустил беспроводную телеметрическую систему, использующую одну частоту. Система работала превосходно в лабораторных условиях и при полевых испытаниях. Однако вскоре, после пятисотой установки системы, производитель обнаружил, что на выбранной частоте работает также множество автомобильных сигнализаций. Большой объем передаваемой телеметрической системой информации привел к периодическому совпадению кодов с расположенными рядом автомобильными охранными системами, что приводило к срабатыванию последних. После затрат в \$300000 и 18-месячной переработки системы производитель пришел к тому, что полностью сменил самостоятельно разработанный радиоблок на готовый FHSS-модуль стороннего производителя (FHSS / Frequency-hopping spread spectrum / — быстрое изменение частоты по псевдослучайному закону).

Таблица 2. Компоненты для передачи данных в диапазоне 433 МГц

Производитель	Chipcon	Telecontrolli	LinX
Модели	CC1000, CC1010, CC1020, CC1050, CC1070	RRFQ1, RRFQ2, RRS1, RRS2, RT1, RR1, RTFQ1, RTFQ2, RTQ1, RXQ1 и др.	TXM-433-LR, RXM-433-LR, TXE-433-KH, RXD-433-KH, TXM-433-LC, RXM-433-LC-S и др.
Особенности	Многоканальные трансиверы и передатчики с управлением по последовательному интерфейсу. Есть модели со встроенным микроконтроллером.	Широкая номенклатура — около 30 позиций. Разные варианты стабилизации частоты — кварцевая, ПАВ, параметрическая.	Высокая чувствительность приемников, PLL-синтезатор, наличие модулей со встроенными кодерами-декодерами.
Обобщенные параметры			
Вид модуляции	ЧМ	АМ, ЧМ	АМ
Скорость, кБит/сек	до 153	до 9,6	5...10
Вых. мощность, дБм	+10	+7	+4
Чувствительность, дБм	-121	-107	-112
Питание, В	2,1...3,6	2,7...5,5	2,1...3,6
Ипотр. прием, мА	7,4	5	5
Ипотр. передача, мА	26,7	26	13,5
Раб. температура, °С	-40...85	-25...80	-40...85

РАДИОЧАСТОТНЫЕ ТРАНСИВЕРЫ И МОДУЛИ 433 МГц

В таблице 2 приведены параметры популярных среди российских разработчиков трансиверов и радиочастотных модулей. Стоимость трансиверов начинается от \$2, стоимость модулей лежит в диапазоне \$5-\$15. Задача разработчика — выбрать из линейки доступных компонентов такое решение, чтобы, с одной стороны, решить поставленную перед ним задачу, а с другой стороны, не переплачивать за ненужные параметры или функции.

Как правило, радиочастотные модули не содержат в себе каких-либо интеллектуальных микропроцессорных блоков, производящих обработку поступающих двоичных данных. Подача цифрового логического уровня на вход модуля приводит к включению передатчика и излучению немодулированного ВЧ-сигнала (рис. 2). Этот сигнал принимается приемником и на выходе появляется логический уровень, сигнализирующий о том, что передатчик включен.

Этот простейший вид модуляции обладает рядом недостатков, главный из которых — низкая помехоустойчивость. Во

время передачи лог. «0» передатчик не излучает несущей, и любая помеха на рабочей частоте приведет к наличию сигнала лог. «1» на выходе приемника. Применение кодирования передаваемого сигнала, т.е. использование определенного протокола, позволяет доставлять информацию даже при наличии помех. Достоинством амплитудной модуляции является низкая стоимость приемника и передатчика, малое энергопотребление и меньшее число компонентов для построения высокочастотной части. Скорость передачи данных при использовании амплитудной модуляции обычно не превышает 10 кБит/сек.

Частотная модуляция является более эффективной по сравнению с амплитудной модуляцией. При частотной модуляции передатчик излучает несущую на одной из двух фиксированных частот, в зависимости входного сигнала. Более правильно будет называть ее частотной манипуляцией, т.к. передаваемый сигнал имеет только два фиксированных уровня — лог. «0» и лог. «1» (рис. 3).

Этот принцип модуляции более устойчив к наличию помех, но требует более сложной схемы приемника и передатчи-

ка, и, соответственно, модуль получается дороже. Частотная модуляция более энергоемкая, т.к. передатчик постоянно включен, как при передаче лог. «1», так и при передаче лог. «0». Хорошая помехозащищенность частотной модуляции позволяет работать с большими скоростями передачи данных — до 100 кБит/сек.

Более сложные виды модуляции (PSK, QPSK, GFSK, OQPSK) применяются, как правило, в передатчиках более высокочастотных диапазонов — 868, 912, 2400 МГц.

ПРОТОКОЛ

Непосредственная подача передаваемой цифровой последовательности на вход передатчика — не лучшее инженерное решение системы передачи данных. Подобный подход еще может быть оправдан, если разрабатываемое устройство будет работать в изолированной от внешнего мира экранированной металлической камере. В реальности помехи присутствуют всегда и борьба с ними есть основное предназначение применяемого протокола (кодирования). Какие характеристики протокола должны приниматься в расчет

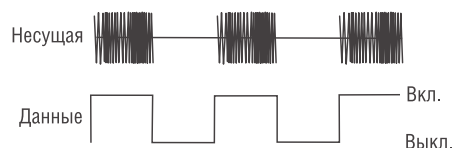


Рис. 2. Принцип амплитудной модуляции

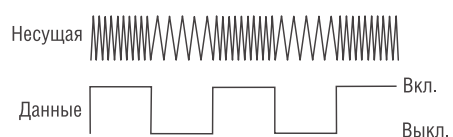


Рис. 3. Принцип частотной модуляции

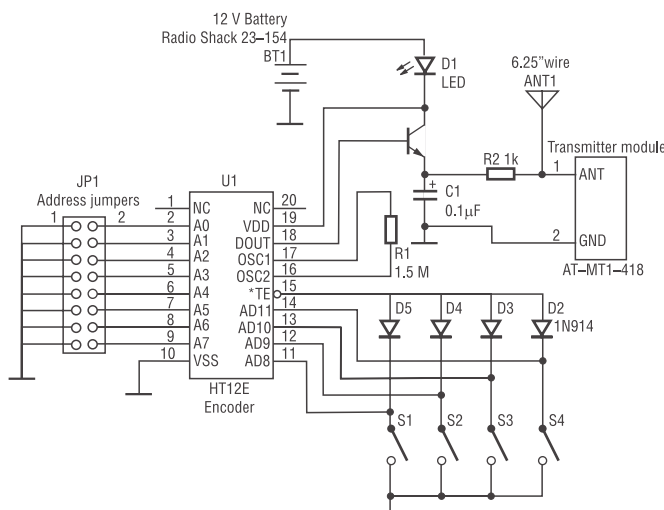


Рис. 4. Подключение микросхемы кодера к радиомодулю

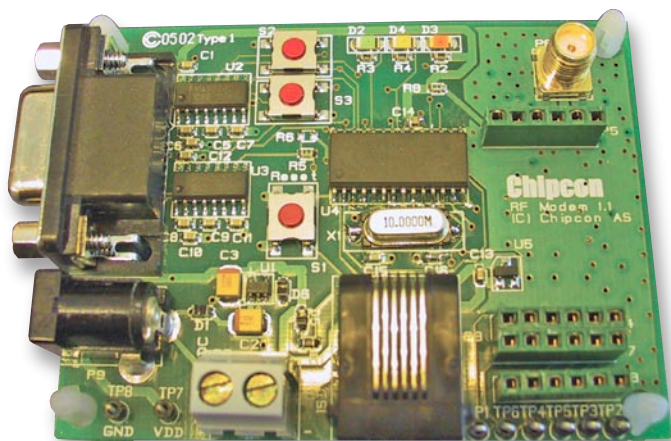


Рис. 5. Радиомодем на основе трансивера Chipcon CC1000

Безопасность

Для предотвращения несанкционированного доступа к передаваемым данным может применяться шифрование (криптозащита). Применение криптозащиты требует значительной вычислительной мощности от микроконтроллерного блока, как на приемной, так и на передающей стороне.

Избыточность

Избыточность протокола показывает сколько «лишней» служебной информации передается на каждый полезный байт данных. Большое количество служебной информации повышает устойчивость линии связи, но требует больших затрат энергии и времени на передачу и «разбор» информации.

При разработке протокола необходимо выбрать разумный компромисс между перечисленными выше характеристиками. В случае использования трансиверов Chipcon CC1010 разработчик может использовать ресурсы встроенного микроконтроллера для формирования протокола практически любой сложности. В ряде случаев представляется разумным вообще не тратить время на разработку протокола, а воспользоваться отдельными микросхемами кодеров-декодеров. Такие микросхемы выпускаются многими производителями, например HT12 (Holtek), PT2272 (Princeton), MC145026/7/8 (Freescale), MM53200 (National). На рисунке 4 приведена схема подключения аппаратного кодера к радиочастотному модулю.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Область применения радиомодулей довольно широка. Это всевозможные охранные системы, беспроводные системы до-

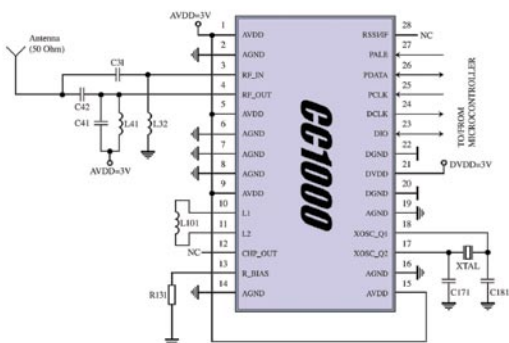


Рис. 6. Схема включения трансивера CC1000 для работы с внешним микроконтроллером

при кодировании передаваемых данных?

Пакетная передача данных

Передаваемые данные дробятся на небольшие пакеты, которые легче обрабатывать на приемной стороне. К каждой порции передаваемых данных добавляется небольшое количество служебных данных, которые облегчают манипулирование пакетами. К этим служебным данным относятся, например, адрес получателя, длина пакета, контрольная сумма. Служебные данные удлиняют пакет и увеличивают время передачи.

Обеспечение надежности

Протокол должен обеспечивать возможность отличить испорченные данные от достоверных. Для этого в протокол встраиваются методы обнаружения ошибок. Наиболее рас-

пространенные методы — это использование четности, контрольной суммы и циклической контрольной суммы (CRC). Для повышения надежности можно применять также корректирующие коды, которые позволяют не только обнаружить наличие ошибки в принятых данных, но и исправить ее. Один из лучших методов обеспечения надежности это использование подтверждения успешной передачи и, в случае отсутствия подтверждения, повторная отсылка данных. Если в системе используется несколько передатчиков, то для повышения надежности необходимы какие-либо методы предотвращения коллизий (одновременная работа нескольких передатчиков на одной частоте). Классическим методом является проверка канала на «незанятость» перед передачей данных.

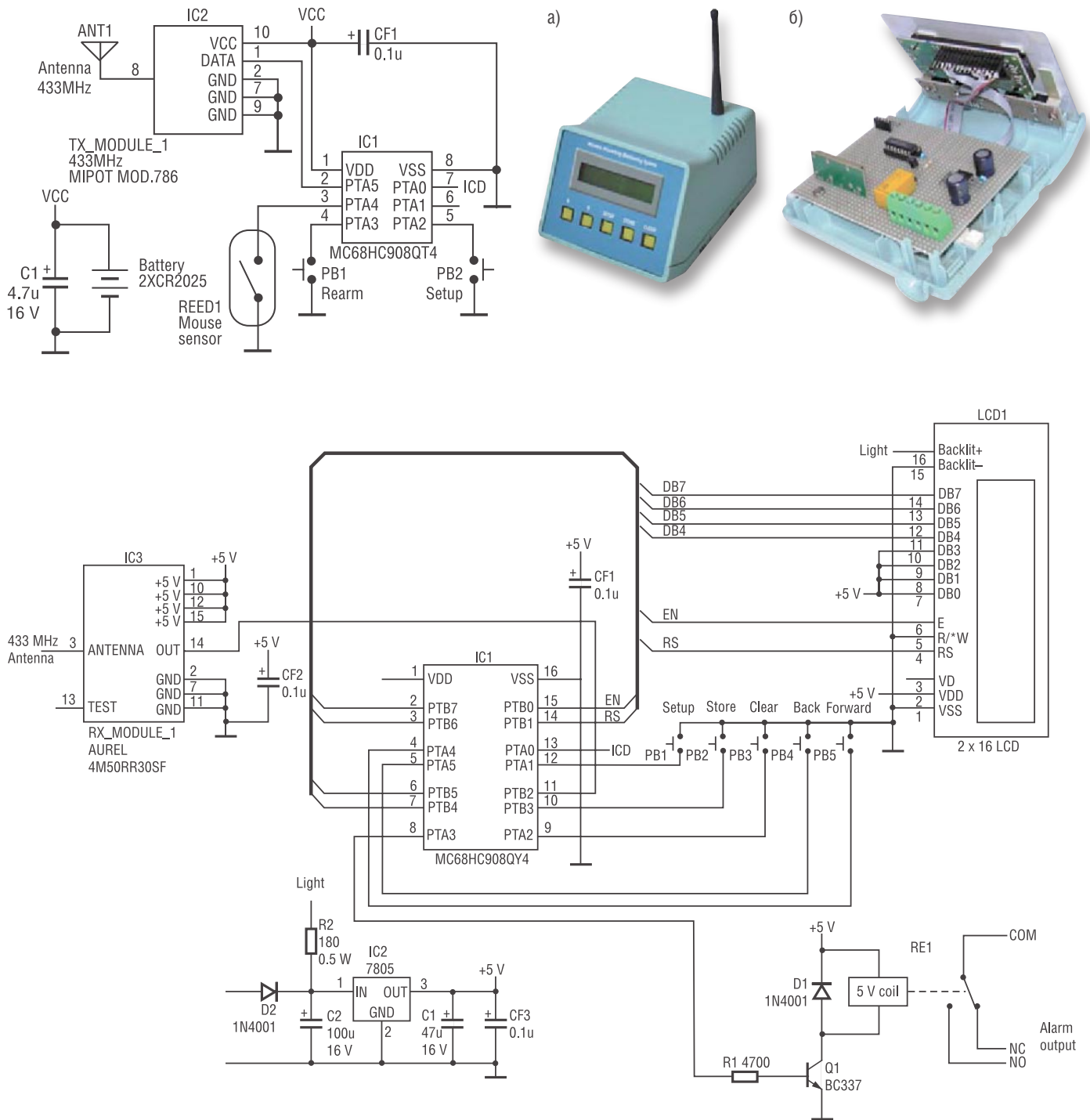


Рис. 7. Пример построения системы из 20 беспроводных датчиков с батарейным питанием

ступа, RFID-системы большой дальности, разнообразная бытовая и промышленная автоматика. Преимуществом радиоканала перед ИК-излучением является отсутствие требований прямой видимости между устройствами. Радиомодули незаменимы при передаче данных от различных измерительных

приборов, например счетчиков расхода воды, газа или электроэнергии, когда непосредственный визуальный контакт с прибором невозможен или нежелателен. Благодаря низкой стоимости они могут с успехом применяться во множестве уже разработанных приборов, добавляя туда новые возможнос-

ти и не увеличивая значительно цену последних.

Рассмотрим несколько практических схем включения. Компания Chipson предоставляет разработчику полнейший комплект документации для построения радиомодуля на базе трансивера CC1000. Комплект документации, включающий в

себя принципиальную схему, топологию печатной платы и программы для микроконтроллеров ATmega и Microchip можно свободно скачать с сайта производителя — www.Chipcon.com. На основе выложенных файлов можно создать законченный модем, работающий в диапазоне 433 МГц (рис. 5)

Схема радиомодуля на основе трансивера CC1000 приведена на рисунке 6.

На рисунке 7 приведена схема устройства сбора информации от 20-ти беспроводных датчиков с отображением информации на ЖКИ-дисплее. Данный проект был размещен в журнале CircuitCellar. Оригинал статьи с подробным описанием проекта можно найти по адресу <http://www.circuitcellar.com/library/print/0604/RicciBitti-167>

Радиомодули можно с успехом применять в автономных датчиках с батарейным питанием. Выбрав правильный алгоритм функционирования устройства, можно добиться невероятной продолжительности работы — до нескольких лет на одном комплекте батарей. Автономный датчик оповещает о произошедшем событии (например, «периметр нарушен») или периодически передает информацию небольшими порциями. Данные передаются за короткий промежуток времени, после чего устройство переходит в спящий режим с минимальным потреблением энергии. Потребление тока в спящем режиме определяется применяемым микроконтроллером, т.к. радиомодуль на это время можно полностью обесточивать.

Современные микроконтроллеры очень экономичны, например популярный MSP430 (Texas Instrument) потребляет в спящем режиме менее одного микроампера, что сравнимо с током разряда первичных батарей. Допустим, что беспроводной датчик имеет следующие параметры: передача информации каждый час; время работы передатчика 100 миллисекунд при потребляемом токе 15 мА; потребление тока в остальное время — 1 мкА. В этом случае устройство проработает более 3 лет от одного комплекта батарей емкостью 1 А/ч.