

Микросхемы компании Silicon Labs

для беспроводной связи в субгигагерцовом
диапазоне частот

Субгигагерцовый диапазон частот широко используется для реализации беспроводного канала в низкоскоростных малопотребляющих системах автоматизации и управления, применяющих простые протоколы передачи данных и требующих высокой проникающей способности радиоволн в условиях городских застроек и в помещениях. В Российской Федерации в этом диапазоне на основании решений Государственной Радиочастотной Комиссии (ГРЧ) выделены полосы частот 433,075–434,750/868,0–868,2/868,7–869,2 МГц, которые могут использоваться без оформления соответствующего разрешения при условии соблюдения требований по ширине полосы, излучаемой мощности и назначению готового изделия.

Для реализации устройств субгигагерцового диапазона интересные по своим характеристикам и функциональным возможностям микросхемы предлагает компания Silicon Labs. В статье приводится обзор низкопотребляющих однокристальных приемников, передатчиков и приемопередатчиков семейств EZRadio и EZRadioPRO, а также беспроводных микроконтроллеров (передатчиков и приемопередатчиков с микроконтроллером) семейств Si100x/Si101x и Si102x/Si103x.

Сергей Солодунов
sys@efo.ru

Приемники, передатчики и приемопередатчики

Silicon Labs предлагает два семейства микросхем приемников, передатчиков и приемопередатчиков: EZRadio и EZRadioPRO. В таблице 1 приведен полный список микросхем для каждого семейства. Внутри семейства микросхемы в основном отличаются по таким характеристикам как мощность, чувствительность и скорость передачи данных. Отличие между семействами более значительное, они существенно различаются по радиочастотным характеристикам, набору встроенных возможностей и относятся к разным ценовым категориям (табл. 2).

EZRadio — это линейка микросхем низкой стоимости, оптимизированных с целью максимально упростить конфигурацию и снизить энергопотребление. При этом они обеспечивают лучшие в своем классе чувствительность, мощность и скорость передачи данных. В семействе также реализованы такие уникальные возможности, как поддержка работы без кварцевого резонатора, аппаратная конфигурация параметров радиоканала и конфигурируемый обработчик пакетов.

Микросхемы EZRadioPRO обладают более мощными, по сравнению с EZRadio, радиочастотными характеристиками, поддерживают в два раза большую скорость передачи (до 1 Мбит/с), содержат множество дополнительных встроенных функций и позволяют производить тонкую настройку всех параметров радиоканала. Очень важным преимуществом, особенно выделяющим микросхемы EZRadioPRO среди конкурентных решений, является обеспечение чувствительности до -126 дБм и выходной мощности до 20 дБм без использования внешнего усилителя или front-end-модуля, что одновременно экономит место на плате и снижает стоимость конечного устройства. Избирательность по соседнему каналу 58 дБ при разносе между каналами 12,5 кГц обеспечивает надежный прием узкополосного сигнала в условиях повышенных радиочастотных помех.

Помимо всех периферийных узлов, реализованных в семействе EZRadio, микросхемы EZRadioPRO также содержат схему автоматического управления внешним антенным переключателем, таймер запуска, температурный датчик, детектор низкого напряжения питания и пользовательский 11-битный АЦП.

Таблица 1. Микросхемы семейств EZRadio и EZRadioPRO

| Семейство | Приемники | Передатчики | Приемопередатчики |
|------------|------------------------|----------------|--------------------------------|
| EZRadio | Si4356; Si4313; Si4355 | Si4012 | Si4455 |
| EZRadioPRO | Si4362 | Si4060; Si4063 | Si4460; Si4461; Si4463; Si4464 |

Таблица 2. Сравнение характеристик микросхем семейств EZRadio и EZRadioPRO

| Семейство | EZRadio | EZRadioPRO | |
|---|-----------------------|---------------|----|
| Частотный диапазон, МГц | 27–960 | 119–1050 | |
| Максимальная чувствительность, дБм | –118 | –126 | |
| Максимальная выходная мощность, дБм | 13 | 20 | |
| Скорость передачи данных, кбит/с | 500 | 1000 | |
| Избирательность/при шаге между каналами, дБ/кГц | –56/100 | –60/12,5 | |
| Функция Antenna Diversity | - | + | |
| Автоматическое управление внешним антенным переключателем | - | + | |
| Совместимость со стандартом IEEE 802.15.4g | - | + | |
| Обработчик пакетов | + | + | |
| Вычисление CRC | + | + | |
| Детектирование преамбулы/синхрослова | + | + | |
| Автоматическая подстройка к антенне | + | + | |
| Авто-контроль усиления | + | + | |
| Монитор напряжения питания | + | + | |
| Аппаратная конфигурация | + | - | |
| Работа без внешнего кварца | + | - | |
| Температурный датчик | - | + | |
| АЦП | - | + | |
| Ток потребления: | прием, мА | 10 | 10 |
| | передача (10 дБм), мА | 18 | 18 |
| | режим ожидания, нА | 10 | 50 |
| Напряжение питания, В | 1,8–3,6 | 1,8–3,6 | |
| Размер корпуса, мм | 3×3 | 4×4 | |
| Цена | низкая | более высокая | |

Конфигурация и управление микросхемами обоих семейств осуществляется через последовательный порт SPI. Прием и передача данных может осуществляться как через интерфейс SPI, с использованием встроенного обработчика пакетов и 64-байтного FIFO-буфера, так и напрямую, через входы/выходы общего назначения (используются два вывода: для передаваемых/принимаемых данных и системного тактового сигнала). В последнем случае формирование и распаковка пакетов выполняются на управляющем процессорном устройстве. Такой режим называется Direct Mode и может применяться в системах, где уже используется готовый пользовательский протокол связи или просто необходимо передавать битовую последовательность.

Ниже более подробно рассмотрены наиболее интересные возможности и преимущества каждого семейства.

EZRadio

Благодаря своей высокой степени интеграции микросхемы EZRadio требуют минимальное количество внешних компонентов. В частности, в основе системы тактирования кристаллов Si4012 и Si4010 лежит запатентованная архитектура Si500, не требующая использования внешнего кварцевого резонатора, которая обеспечивает точность генерации несущей частоты до ± 150 ppm в коммерческих диапазоне температур и ± 250 ppm в диапазоне промышленных температур, что вдвое выше точности, обеспечиваемой традиционными недорогими

передатчиками на основе ПАВ без внешнего кварцевого резонатора.

Кроме того, недавно семейство было пополнено новым недорогим приемником Si4356, который конфигурируется полностью аппаратно — с помощью специальных внешних выводов. Таким образом, он не требует управления от внешнего процессорного устройства, за счет чего быстро выходит на рабочий режим и может работать полностью автономно, принимая и передавая данные с использованием ранее упомянутого режима Direct Mode.

Также важно отметить, что входящие в семейство приемник Si4355 и приемопередатчик Si4455 имеют общую схему расположения выводов, что позволяет переходить от одностороннего канала связи к двустороннему без необходимости изменять дизайн платы устройства.

EZRadioPRO

Как уже упоминалось, микросхемы EZRadioPRO поддерживают очень высокие для субгигагерцового диапазона скорости передачи данных — до 1 Мбит/с. Это стало возможным за счет использования сложного с точки зрения аппаратной реализации передового метода модуляции 4GFSK. Особенность данного метода заключается в том, что, в отличие от GFSK, где битовая последовательность представлена двумя определенными частотами (рис. 1а), в 4GFSK используется четыре частоты, и каждой частоте соответствует не один бит, а комбинация двух битов (рис. 1б), что в результате увеличивает фактическую скорость передачи данных вдвое.

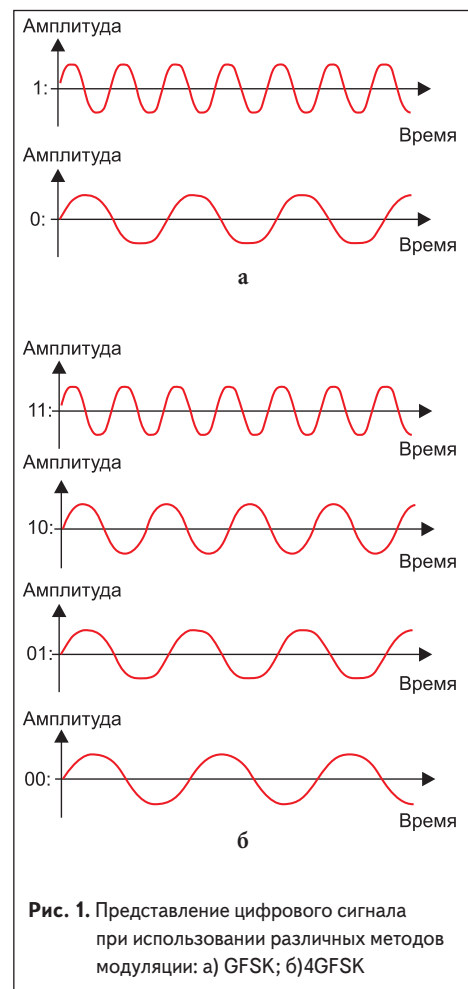


Рис. 1. Представление цифрового сигнала при использовании различных методов модуляции: а) GFSK; б) 4GFSK

Стоит также отметить еще одну интересную возможность, реализованную в данном семействе: запатентованный алгоритм пространственного разнесения антенн — Antenna Diversity. Этот алгоритм предусматривает использование одновременно двух антенн на прием и на передачу. Каждый раз при приеме преамбулы нового входящего пакета алгоритм оценивает качество сигнала на обеих антеннах и выбирает антенну с наилучшим качеством связи для приема оставшейся части пакета. Таким образом, алгоритм Antenna Diversity нейтрализует воздействие многолучевого распространения и замирания, тем самым практически удваивая дальность связи в условиях многолучевого распространения сигнала от передатчика к приемнику.

Беспроводные микроконтроллеры

В большинстве систем автоматизации и управления главными требованиями к беспроводным устройствам являются компактность и низкое энергопотребление. Общим требованиям способны удовлетворить производимые Silicon Labs беспроводные микроконтроллеры — интегральные решения, объединяющие в одном чипе радиочасть микросхем EZRadio/EZRadioPRO и низкопотребляющий 8-бит высокопроизводительный микроконтроллер (до 25 MIPS) с популярной системой команд 8051.

Silicon Labs предлагает три семейства беспроводных микроконтроллеров, различающихся типом связи (только приемник, либо приемо-

передатчик), характеристиками радиоканала, типом и размером памяти, а также набором встроенных микроконтроллерных узлов (табл. 3).

Микроконтроллеры с передатчиком Si4010

Для реализации низкоскоростной одно-сторонней связи между устройствами разработчик предлагается микроконтроллер с передатчиком Si4010. Для хранения пользовательской программы в нем используется однократно программируемая память объемом 8 кбайт, благодаря чему он отличается очень низкой стоимостью. При этом в Si4010 также имеется память ROM объемом 12 кбайт, которая хранит библиотеку готовых полезных программных функций, таких как AES-шифрование, запатентованный 20-бит счетчик, обеспечивающий до 1 млн циклов чтения/записи во встроенную EEPROM, и др. Наличие данной библиотеки позволяет значительно сократить размер пользовательского кода и время на его разработку.

Пользователю также доступны до 10 входов/выходов общего назначения с поддержкой функции пробуждения по нажатию кнопки, два 16-бит таймера, низкопотребляющий таймер спящего режима, частотомер, монитор напряжения питания и температурный датчик.

Микросхема Si4010 оптимизирована для использования в устройствах с батарейным питанием, с рабочим напряжением питания 1,8–3,6 В и ультранизким потреблением тока, которое в режиме ожидания составляет менее 10 нА.

Микроконтроллеры с приемопередатчиком семейств Si100x/Si101x и Si102x/Si103x

Семейства Si100x/Si101x и Si102x/Si103x используют два успешных решения Silicon Labs — низкопотребляющий 8-бит микроконтроллер C8051F9xx и приемопередатчик семейства EZRadioPRO.

Семейства включают в себя микросхемы с различным объемом Flash-памяти (до 128 кбайт), RAM (до 8 кбайт) и максимальной выходной мощностью (до 20 дБм). В микроконтроллеры встроены четыре 16-бит таймера, 12-бит АЦП (16 каналов), Watchdog-таймер, интерфейсы SMBus/I²C, UART, 2xSPI, а также массив программируемых счетчиков (PCA), включающий в себя 16-разрядный таймер-счетчик и шесть модулей сравнения-захвата. Кроме того, некоторые модели семейства Si102x/Si103x содержат контроллер 128-сегментного ЖКИ.

Интегрированные в микроконтроллеры часы реального времени (RTC) для работы в спящем режиме требуют в среднем на 40% меньше энергии по сравнению с решениями других производителей. В спящем режиме микросхемы потребляют 400 нА при включенном блоке RTC, и 110 нА — при выключенном (для напряжения питания 3,6 В). Кроме того, микросхемы обеспечивают очень быстрое время пробуждения из спящего режима — 2 мкс.

Таблица 3. Сравнение характеристик беспроводных микроконтроллеров Silicon Labs

| Микросхемы | Si4010 | Si100x/Si101x | Si102x/Si103x |
|-------------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|
| Микроконтроллер | | | |
| Микроконтроллерное ядро | 8-бит; CIP-51 8051 | 8-бит; C8051F9xx | 8-бит; C8051F96x |
| Производительность | 24 MIPS | 25 MIPS | |
| Память программ, кбайт | 8 (однократно программируемая) | 64 (Flash) | 128 (Flash) |
| Память RAM, кбайт | 4 | 4,25 | 8,25 |
| Счетчик импульсов | нет | нет | есть |
| АЦП | | 12 бит | |
| Контроллер ЖКИ | | есть | |
| Компараторы напряжений | | 2 шт. | |
| Радиоканал | | | |
| Тип | приемник | приемопередатчик | |
| Частотный диапазон, МГц | 27–960 | 240–960 | |
| Максимальная чувствительность, дБм | –121 | | |
| Максимальная выходная мощность, дБм | 10 | 20 | |
| Скорость передачи данных, кбит/с | 100 | 256 | |
| Функция Antenna Diversity | нет | есть | |
| Обработчик пакетов | | | |
| Общие характеристики | | | |
| Понижающий DC/DC | нет | нет | есть |
| Повышающий DC/DC | нет | есть | нет |
| Напряжение питания, В | 1,8–3,6 | 0,9–3,6 | 1,8–3,6 |
| Размер корпуса, мм | 3×5 | 5×7 | 6×8 |

Наличие в семействе Si100x/Si101x встроенного повышающего DC/DC-преобразователя у некоторых моделей позволяет использовать эти микроконтроллеры даже при снижении питающего напряжения до значения 0,9 В. Это дает возможность увеличить срок службы батареи питания на 25%.

В семейство Si102x/3x, напротив, встроен понижающий DC/DC-преобразователь, который позволяет значительно эффективнее преобразовывать напряжение питания, по сравнению со стандартным линейным регулятором, обеспечивая в результате КПД передачи энергии до 85%. Он поддерживает мощность до 250 мВт, что обеспечивает энергией не только микроконтроллерное ядро, но и встроенный приемопередатчик. Silicon Labs стала первой компанией-производителем полупроводниковых компонентов, которая интегрировала в свои микроконтроллеры понижающий DC/DC-преобразователь, благодаря чему удалось добиться не только максимально эффективного использования энергии, но и снизить число и стоимость необходимых внешних компонентов.

Особенного внимания также заслуживает встроенный в микросхемы Si102x/3x низкопотребляющий счетчик импульсов с блоком устранения дрейфа контактов, который может работать в спящем режиме без использования ресурсов ЦПУ. Он особенно эффективен для снижения энергопотребления в устройствах автоматического снятия показания со счетчиков расхода энергоресурсов (электроэнергии, воды, тепла, газа и др.), имеющих импульсный выход.

Средства разработки и отладки

Для облегчения знакомства с микросхемами беспроводных семейств, а также для сокращения времени на разработку выполненных на их базе устройств компания Silicon Labs предлагает разнообразные, доступные по цене и легкие в освоении средства разработки, включая отладочные наборы, тестовые радиомодули, конфигурационный пакет Wireless Development Suite, референс-дизайны, а также исходные коды примеров приложений.

Большинство отладочных наборов и тестовых радиомодулей предлагается в нескольких вариантах, рассчитанных на разные рабочие частоты: как правило, это разрешенные в РФ частоты 434 и 868 МГц.

Wireless Development Suite

Программный пакет Wireless Development Suite (WDS) предоставляет в распоряжение инженеров все необходимые инструменты для создания новых проектов на базе микросхем семейств EZRadio и EZRadioPRO. Он включает в себя пошаговый мастер конфигурации, позволяющий производить настройку радиочастотных параметров, конфигурацию обработчика пакетов, прерываний и входов/выходов. Мастер также предлагает разработчику выбор из списка уже готовых радиочастотных настроек, оптимизированных и протестированных Silicon Labs для получения наилучших характеристик. Если требуемая конфигурация отсутствует в этом списке, простая в использовании панель настроек позволяет быстро создавать пользова-

тельную конфигурацию по своему выбору (рис. 2). Для выбранной конфигурации WDS автоматически генерирует соответствующие SPI-команды, которые затем можно интегрировать в инициализирующий код управляющего микроконтроллера.

Кроме того, пакет WDS содержит утилиты для оценки качества связи (PER), инструменты для лабораторных измерений и набор демонстрационных проектов.

Заключение

Рекордно малые токи потребления, исключительные значения чувствительности (-126 дБм) и избирательности (58 дБм при $\Delta f = 12,5$ кГц), высокая выходная мощность (до 20 дБм), поддержка скоростей передачи до 1 Мбит/с, встроенная функция пространственного разнесения антенн, интегрированный обработчик пакетов, а также наличие моделей со встроенным микроконтроллером делают микросхемы Silicon Labs крайне привлекательными для реализации беспроводного канала связи в таких приложениях, как системы дистанционного управления и контроля, датчики систем охраны и безопасности, автосигнализации, бытовая электроника и радиоуправляемые игрушки.

Следует также добавить, что беспроводное направление в Silicon Labs сейчас очень активно развивается. В дополнение к уже имеющейся каркасным проектам, позволяющим создавать простые приложения с пользовательскими протоколами связи, Silicon Labs вскоре планирует выпуск нового встраиваемого ПО в виде компактных стеков (примерно от 5 до 16 кбайт), предназначенных для реализации различных типов задач: от простой односторонней связи между двумя устройствами до топологии «звезда» с поддержкой нескольких ретрансляций и обновления прошивки устройств по радиоканалу. Ожидается, что стеки станут доступны пользователям уже в начале следующего года. ■

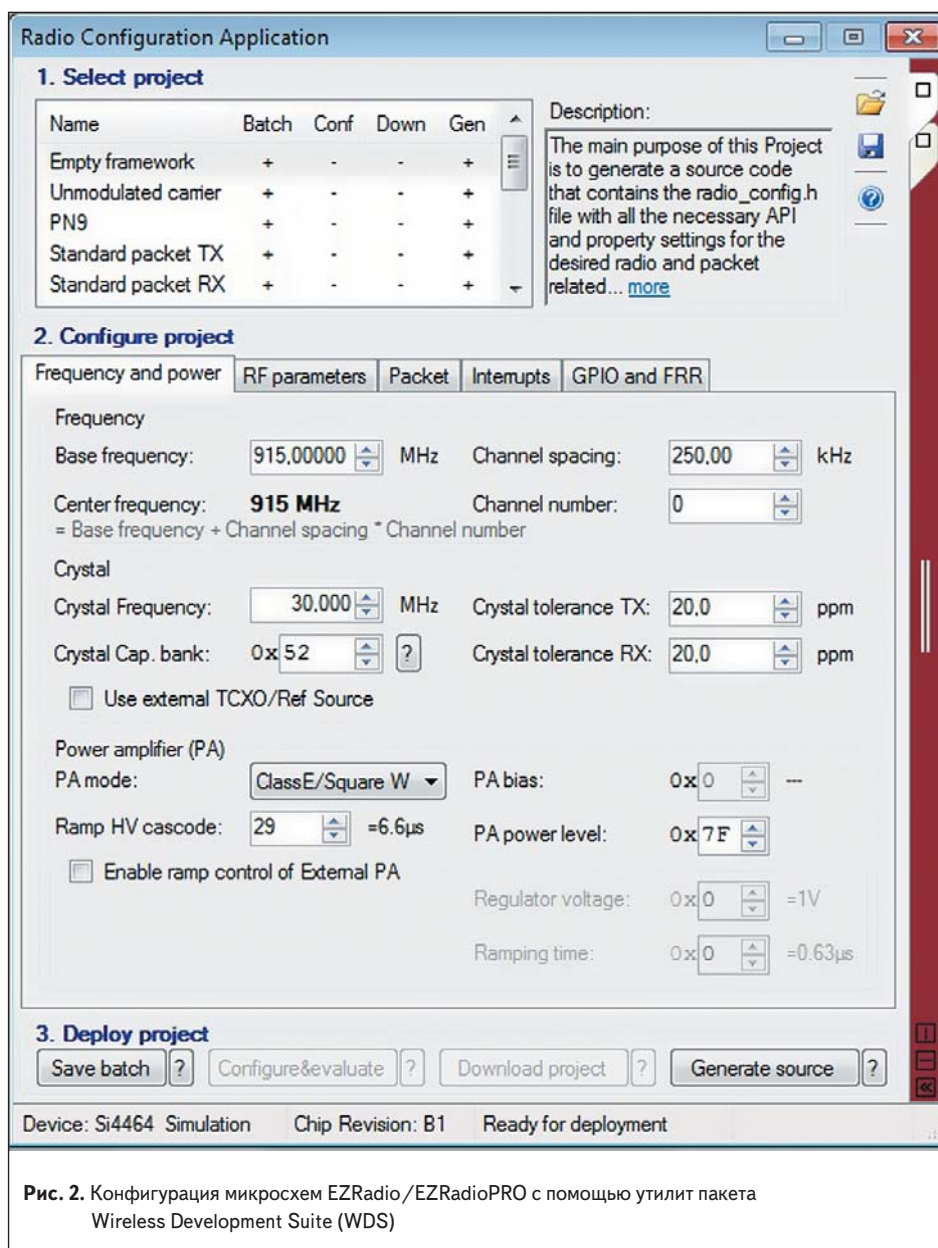


Рис. 2. Конфигурация микросхем EZRadio/EZRadioPRO с помощью утилит пакета Wireless Development Suite (WDS)