

Компоненты для беспроводных приложений

компании Freescale

Юрий Петропавловский

Беспроводные решения компании Freescale исчисляются своей историей еще с 30-х годов, когда ее предшественница Galvin Manufacturing Corporation (с 1947 г. Motorola, с 2004 г. Motorola и Freescale) выпустила приемник для полицейских автомобилей города Чикаго (в 1936 г.). Устройство под названием Motorola Police Cruiser (рис. 1) было выполнено в прочном металлическом корпусе с мощным динамиком. Приемник работал на частотах 1550–2800 кГц с кварцевой стабилизацией частоты гетеродина и позволял принимать передачи из полицейских участков, не прослушиваемые обычными радиовещательными приемниками. В 1940 г. компания

выпустила первую радиостанцию T6920 для двусторонней АМ-радиосвязи патрульных автомобилей (рис. 2) и переносной радиотелефон «Уоки-токи» для военных нужд Handle-Talkie SCR536 (рис. 3) [1].

В 1960 г. главным инженером Motorola по мобильным системам связи стал Джон Френсис Митчелл (John F. Mitchell, 1928–2009 гг.), в его группе работал и изобретатель сотового телефона Мартин Купер, сделавший 3 апреля 1973 г. первый в мире публичный звонок с помощью прототипа сотового телефона Motorola. Деятельность Джона Ф. Митчелла, в том числе в должности президента Motorola (1980–1995 гг.), длилась более 45 лет, к его заслугам также относятся создание первого в мире транзисторного пейджера (1960 г.) и создание аппаратуры космической связи для проекта «Иридиум» (система уже давно используется и в России, официально — с 2012 г.) [2].



Рис. 1. Приемник Motorola Police Cruiser



Рис. 2. Радиостанция T6920 в полицейском автомобиле



Рис. 3. Переносной радиотелефон SCR536

В 1983 г. компания продемонстрировала первый в мире коммерческий сотовый телефон DynaTAC 8000X (рис. 4), получивший сертификат ФКС. На рис. 5а (1972 г.) и 5б (2007 г.) можно увидеть Мартина Купера с прототипом телефона, на рис. 6 — вице-президента Motorola Джона Митчелла с сотовым телефоном на улицах Нью-Йорка (1973 г.) [3].

Разработкой компонентов для беспроводных устройств и систем занималось полупроводниковое отделение компании Motorola, в 2004 г. выделенное в самостоятельную компанию Freescale Semiconductor, Inc. В каталоге Freescale 2013 г. компоненты для беспроводных приложений представлены в категории «Трансиверы и беспроводные микроконтроллеры» [4]. Классификационные параметры микросхем этой категории приведены в таблице, как видно из нее, большая часть микросхем компании предназначена для беспроводных приложений на основе стандарта IEEE 802.15.4.

Стандарт IEEE 802.15.4 разработан альянсом ZigBee и используется для создания низкоскоростных персональных беспроводных сетей (WPAN) на основе маломощных цифровых радиоточек. Альянс ZigBee является некоммерческим промышленным консорциумом полупроводниковых и технологических компаний, OEM-производителей и конечных потребителей со всего мира. В состав альянса входят более 100 ведущих компаний мира, в том числе несколько промоутеров (Honeywell, Freescale, Samsung, Mitsubishi Electric и др.). Основной целью альянса является разработка единой спецификации программного стека протоколов ZigBee для поддержки различных топологий («звезда», «кластерное дерево», «многоячейковая сеть»).

ZigBee-устройства, обеспечивающие связь на небольшие расстояния (10–100 м), тем не менее могут передавать данные на значительные расстояния, используя промежуточные узлы, объединенные в ячеистую сеть (ZigBee — сокращение от «пчелиные соты») без централизованного управления. Скорость передачи данных в сетях ZigBee может достигать 250 кбит/с и более, что определяет их использование для периодической или прерывистой передачи данных от датчиков или устройств ввода в таких приложениях, как беспроводные переключатели, счетчики энергоресурсов, системы управления движением, системы промышленной автоматизации и др.

Технология ZigBee заняла нишу, заполненную другими, более широкополосными технологиями или решениями на основе отдельных микросхем трансиверов различных производителей. Ближайшим конкурентом ZigBee является более ранняя технология Bluetooth (стандарт IEEE 802.15.1), используемая для сходных задач. Однако ключевым преимуществом ZigBee является низкое энергопотребление, так как периоды активности устройств сети могут быть очень малыми, что обеспечивает большой срок работы батарей. Кроме того, микросхемы Bluetooth слишком дороги для организации крупных сетей различных устройств в масштабах предприятий, офисных зданий или жилых помещений.



Рис. 4. Первый сотовый телефон DynaTAC-8000X

Технология ZigBee позволяет разрабатывать беспроводные интерфейсы с минимальными затратами за счет простой схмотехники и минимума внешних элементов на печатных платах. Стандарт IEEE 802.15.4 позволяет создавать сети с очень большим количеством узлов (65 536 при 16-разрядных адресах) и увеличивать дальность связи без применения ВЧ-усилителей мощности.

Устройства сети ZigBee большую часть времени находятся в спящем режиме, при по-



Рис. 5. Мартин Купер: а) 1972 г.; б) 2007 г.



Рис. 6. Джон Митчелл (1973 г.)



ступлении новой информации либо во время очередного сеанса связи они активизируются, быстро передают данные и снова «засыпают». За счет такого порядка функционирования срок службы батарей сетевых устройств может достигать 10 лет и более.

Стандарт IEEE 802.15.4 определяет физический уровень (PHY) и уровень доступа к среде (MAC). Физический уровень обеспечивает доступ к среде распространения радиосигналов, задает тип модуляции, скорость передачи и другие параметры сигнала. Уровень MAC осуществляет добавление и вывод устройств из сети, контролирует доставку пакетов данных, обеспечивает автоматическое подтверждение приема данных, 128-разрядное AES-шифрование и другие функции. Структура стека ZigBee представлена на рис. 7. Как показано, в состав стека кроме уровней PHY и MAC входят: сетевой уровень NWK, уровень канала передачи данных (DLC), подуровень поддержки приложений (APS), профили устройств сети [5].

Сети ZigBee работают в промышленных, научных и медицинских диапазонах ISM 868 МГц (Европа), 915 МГц (США) и 2,4 ГГц (большинство стран по всему миру). Большая часть микросхем выпускается для диапазона 2,4 ГГц, так как в Европе в диапазоне 868 МГц доступен только небольшой участок спектра, а диапазон 915 МГц разрешен только в США, Канаде, Корее и Австралии. Для связи используется двоичная фазовая манипуляция BPSK в диапазонах 868/915 МГц и квадратичная фазовая манипуляция со смещением O-QPSK в диапазоне 2,4 ГГц. Для обеспечения доступа к среде используется механизм множественного доступа с контролем несущей и предотвращением коллизий (CSMA-CA).

ZigBee является технологией, изначально нацеленной на такие приложения, как:

- промышленная и потребительская автоматика, управление отоплением, вентиляцией, кондиционированием и освещением;

- управление бытовой техникой и электроникой;
- периферийное оборудование ПК;
- устройства медицинской диагностики и мониторинга;
- системы сигнализации, контроля доступа, датчики дыма, газа, температуры, движения, давления и т. д.;
- удаленное управление технологическими процессами, движущимися аппаратами, станками и промышленным оборудованием, дистанционный сбор данных;
- устройства обмена данными, передача аудиосигналов и фотографий;
- автомобильная электроника (противоугонные системы, системы идентификации и диагностики, датчики давления в шинах и др.);
- мониторинг промышленных и портовых терминалов, системы логистики;

- мониторинг систем электро-, водо- и газоснабжения (беспроводные счетчики энергоресурсов) [6].

Компания Freescale предлагает разнообразные однокристалльные решения для систем на основе стандарта IEEE 802.15.4. Рассмотрим особенности современных микросхем из приведенных в таблице более подробно.

MKW01Z128

MKW01Z128 (спецификация 2013 г.) — недорогое однокристалльное решение для субгигагерцовых приложений высокой степени интеграции. В микросхему интегрированы приемопередатчик с модуляцией FSK, GFSK, MSK, OOK, работающий в субгигагерцовых диапазонах ISM, в том числе 315, 433, 470, 868, 915, 928, 955 МГц, и микропроцессор на ядре ARM Cortex M0+. Программируемая

Таблица. Микросхемы компании Freescale

Тип микросхемы	Корпус	Назначение
MC13224V	LGA145	2,4 ГГц, стандарт 802.15.4, МП ARM7 (32 разряда), 128 кбайт flash, 96 кбайт ОЗУ
MKW01Z128	MAPBGA60	Kinetis суб-ГГц радио, МП ARM Cortex-M0+ с 128 кбайт flash, 64 байт кэш, 16 кбайт ОЗУ
MKW2x	LGA63	Kinetis 2,4 ГГц 802.15.4, МП ARM Cortex-M4 с 512 кбайт flash, 64 кбайт ОЗУ
MC12311	MAPBGA60	Суб-ГГц радио, МП HCS08 (8 разрядов) с 32 кбайт flash, 2 кбайт ОЗУ
MC13201	QFN32	2,4 ГГц трансивер для проприетарных приложений
MC13202	QFN32	2,4 ГГц трансивер для стандарта 802.15.4
MC13211	LGA71	2,4 ГГц, стандарт 802.15.4, МП HCS08 с 16 кбайт flash, 1 кбайт ОЗУ
MC13212	LGA71	2,4 ГГц, стандарт 802.15.4, МП HCS08 с 32 кбайт flash, 2 кбайт ОЗУ
MC13213	LGA71	2,4 ГГц, стандарт 802.15.4, МП HCS08 с 60 кбайт flash, 4 кбайт ОЗУ
MC13226V	LGA145	2,4 ГГц, стандарт 802.15.4, МП ARM7 (32 разряда), 128 кбайт flash, 96 кбайт ОЗУ
MC13233	MAPBGA48	2,4 ГГц, стандарт 802.15.4, МП HCS08 с 82 кбайт flash, 5 кбайт ОЗУ
MC1323x	MAPBGA48	2,4 ГГц, стандарт 802.15.4, МП HCS08 с 128 кбайт flash, 8 кбайт ОЗУ
MC33596	QFN32, QFP32	УКВ-приемник с ФАПЧ настройкой
MC33696	QFP32, QFN32	УКВ-трансивер с ФАПЧ настройкой
MPXY8300	SOIC20	МК, датчик давления, акселерометр и ВЧ-передатчик

скорость передачи данных, обеспечиваемая микросхемой, может достигать 600 кбит/с при модуляции FSK. Чувствительность приемника зависит от скорости потока данных, увеличивается со снижением скорости передачи и находится в пределах от -120 дБм (при скорости 1,2 кбит/с) до -105 дБм (38,4 кбит/с, в режиме FSK).

Микросхема ориентирована на применение в маломощных беспроводных приложениях: автоматический съем показаний счетчиков энергоресурсов; сети беспроводных датчиков; автоматизация зданий и жилых помещений; системы оповещения и безопасности; промышленный мониторинг и управление. Углубленная структура микросхемы приведена на рис. 8. В высокочастотную часть микросхемы интегрированы следующие узлы:

- синтезатор частоты с шагом 61 Гц;
- схема побитовой синхронизации для восстановления тактовой частоты;
- схема автоматического определения несущей частоты с высокоскоростной автоподстройкой;
- обработчик пакетов данных с контролем циклическим избыточным кодом (CRC);
- высокоизбирательный канальный фильтр с конечной импульсной характеристикой 16-го порядка (16-tap FIR Channel Filter);
- модуль кодирования AES-128;
- генератор тактовой частоты на 32 МГц;
- датчик температуры и схема сигнализации разряда батареи.

Диапазоны перестройки синтезатора частоты: 290–340, 424–510, 862–1020 МГц. Выходная

мощность передатчика микросхемы регулируется в пределах $-18...+17$ дБм с шагом 1 дБ. Напряжение питания 1,8–3,6 В. Ток потребления микросхемы определяется текущим режимом: в спящем режиме не более 100 нА, в режиме готовности не более 120 нА (включен RC-генератор), при включении кварцевого генератора ток увеличивается до 1,25 мА, при перестройке синтезатора частоты — до 9 мА, в режиме приема данных — до 16 мА. В режиме передачи потребляемый ток зависит от выходной мощности и находится в пределах от 16 мА (при $P_{\text{вых}} = -1$ дБм) до 95 мА (+17 дБм).

Процессорное ядро ARM Cortex-M0+ с максимальной тактовой частотой 48 МГц содержит следующие узлы:

- контроллер вложенных векторных прерываний (NVIC) и контроллер прерываний для команды выхода из сна (WIC);
- четырехканальный контроллер прямого доступа к памяти (DMA) и мультиплексор обращений к нему;
- модуль определения нормального хода выполнения программ (COP);
- модуль выхода из сна с малым током утечки (LLWU);
- блок немаскируемых прерываний (NMI);
- модуль периферийного сканирования.

Отладка и трассировка ядра производится через последовательный отладочный интерфейс (Single Wire Debug, SWD).

Тактирование микросхемы может осуществляться от внутренних генераторов на частоты $31,25\text{--}39,063 \pm 2\%$, $4 \text{ МГц} \pm 5\%$ и 1 кГц , а также от внешних генераторов или

резонаторов с частотами 3–32 МГц и 32–40 кГц. Автоподстройка частоты генератора, управляемого напряжением, осуществляется с помощью ФАПЧ, используется также частотная автоподстройка (FLL) в диапазонах 20–25 и 40–48 МГц.

Микросхема оснащена рядом аналоговых (АЦП, ЦАП), коммуникационных (SPI, I²C, UART) и человеко-машинных интерфейсов, несколькими таймерами и может эксплуатироваться при температурах окружающей среды $-40...+85$ °С.

MKW2x

MKW2x (спецификация 2013 г.) — серия микроконтроллеров Kinetis KW20 для беспроводных решений в диапазоне 2,4 ГГц на основе стандарта IEEE 802.15.4, построенных на базе процессора ARM Cortex-M4 и трансивера MC13242. В состав серии входят микросхемы MKW21D256VHA5 (32 кбайт ОЗУ, 256 кбайт flash-3У), MKW22D512VHA5 (64 кбайт ОЗУ, 512 кбайт flash-3У, USB 2.0), MKW24D512VHAT (64 кбайт ОЗУ, 512 кбайт flash-3У, USB, интеллектуальное управление питанием). Серия разработана для обеспечения возросших требований к производительности интеллектуальных сетей в соответствии с требованиями нового стандарта ZigBee Smart Energy 2.0 и спецификациями протоколов Интернета [7].

Микросхемы серии обеспечивают большую гибкость применения, позволяющую пользователям в дальнейшем улучшать системные характеристики своих устройств за счет более

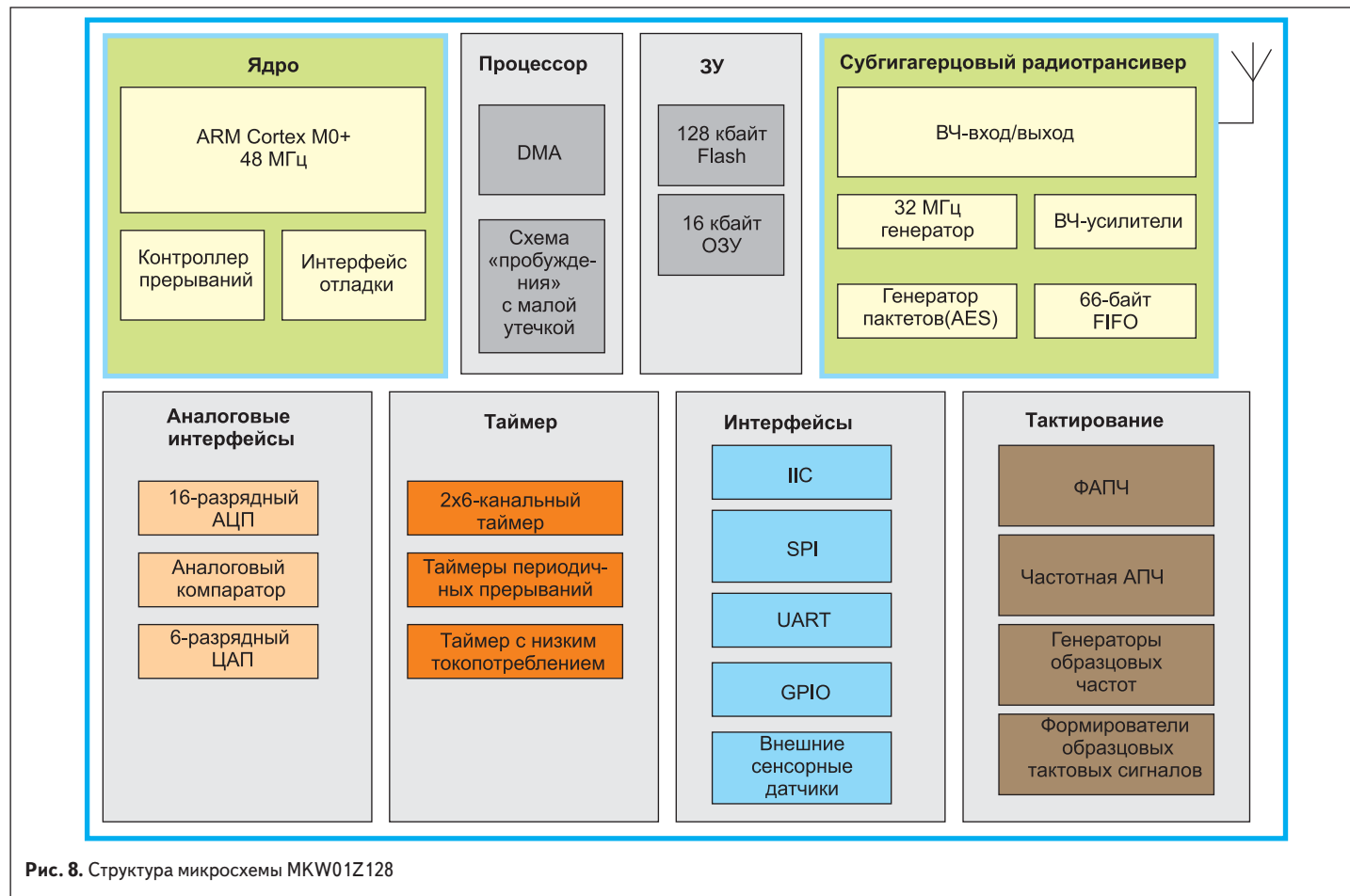


Рис. 8. Структура микросхемы MKW01Z128

надежной и защищенной радиосвязи. В настоящее время такое явление, как «Интернет вещей», стало реальностью, и все большее число электронных устройств оснащается беспроводными интерфейсами. Требования по производительности и объему памяти таких решений постоянно возрастают, поэтому одним из главных требований к беспроводным микроконтроллерам является возможность масштабирования. Решения на базе микроконтроллеров Kinetis KW20 компании Freescale могут быть быстро переконфигурированы без изменения печатных плат, что позволяет продлить производственный цикл конечных решений с улучшением технических характеристик.

Микроконтроллеры серии Kinetis KW20 обладают способностью работать в двухканальном режиме в персональных сетях PAN, при котором одно устройство способно работать в двух сетях ZigBee одновременно, что позволяет отказаться от использования нескольких радиочастотных узлов. Углубленная структура микросхем приведена на рис. 9. Трансивер микросхемы с квадратурной фазовой манипуляцией со смещением (O-QPSK), получаемой методом прямой последовательности (DSSS), работающей в диапазоне 2,405–2,480 ГГц (16 каналов шириной 5 МГц), обеспечивает скорость передачи данных 250 кбит/с, поддерживается также «медицинский» диапазон ISM (MBAN) — 2,36–2,39 ГГц. Основные особенности и параметры трансивера:

- регулируемая выходная мощность передатчика в пределах $-30...+10$ дБм;
- чувствительность приемника -102 дБм;
- дифференциальные двунаправленные ВЧ-входы/выходы с интегрированными переключателями прием/передачи;
- оценка доступности беспроводной среды (CCA) с помощью индикатора силы принимаемого сигнала (RSSI);
- детектор энергии принимаемого сигнала (ED) на основе данных RSSI для сигналов длительностью более 128 мкс;
- индикатор качества соединения (LQI);
- процессор пакетов данных с широкой функциональностью и буфером;
- одновременная работа в двух персональных сетях PAN.

С целью максимальной экономии энергии батарей в микроконтроллерах используется специальный алгоритм управления режимами питания, предусмотрено 6 режимов с потреблением от 100 нА до 19 мА (режим передачи с выходной мощностью 0 дБм).

Высокопроизводительное процессорное ядро Cortex-M4 с тактовой частотой 50 МГц обеспечивает широкую функциональность и повышенный уровень защиты данных, а именно: применение усовершенствованных методов шифрования, генерации ключей, защиту памяти и предотвращение несанкционированного доступа. Модуль ускорителя шифрования с распределением памяти (MMCAU) поддерживает набор специализированных функций, позволяющих увеличить

производительность операций и кодирования/декодирования, а также функции дайджеста сообщений.

Микросхемы рассчитаны для эксплуатации в расширенном диапазоне температур окружающей среды $-40...+105$ °С и при повышенной влажности (MSL Level 3), что позволяет использовать их в жестких условиях промышленной эксплуатации.

MC13234, MC13237

MC13234, MC13237 (спецификация 2013 г.), MC13233 (2011 г.) — недорогие экономичные СнК для беспроводных решений стандарта IEEE 802.15.4 с маломощным трансивером диапазона 2,4 ГГц (2,405–2,480 ГГц), микроконтроллером HCS08 (восемь разрядов) и аналоговой периферией. Трансиверы микросхем работают с модуляцией O-QPSK в полосе частот 5 МГц (16 каналов стандарта 802.15.4) и обеспечивают скорость передачи данных 250 кбит/с. Выходная мощность передатчиков регулируется в пределах $-30...+2$ дБм, чувствительность приемников не хуже -93 дБм (выше, чем требования стандарта — -85 дБм). Структура СнК приведена на рис. 10. Основные особенности и параметры микросхем:

- аппаратные ускорители для IEEE 802.15.4 (версии 2003, 2006 гг.): интерфейс DMA, модуль AES-128 шифрования, 16-разрядный генератор случайных чисел, автоматическая поддержка последовательностей (Auto-sequence Support), фильтрация кадров в приемнике (Receiver Frame Filtering);

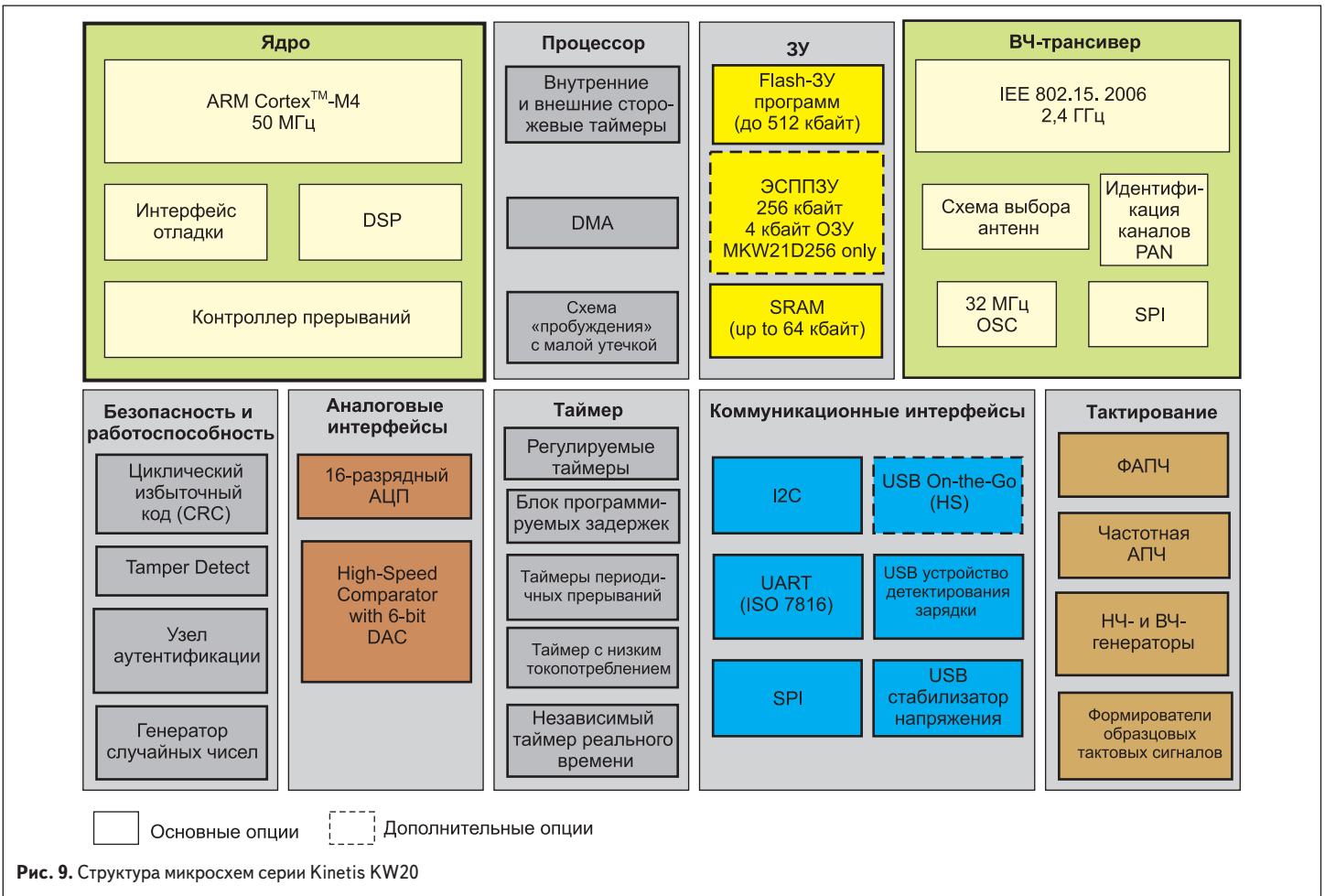


Рис. 9. Структура микросхем серии Kinetis KW20

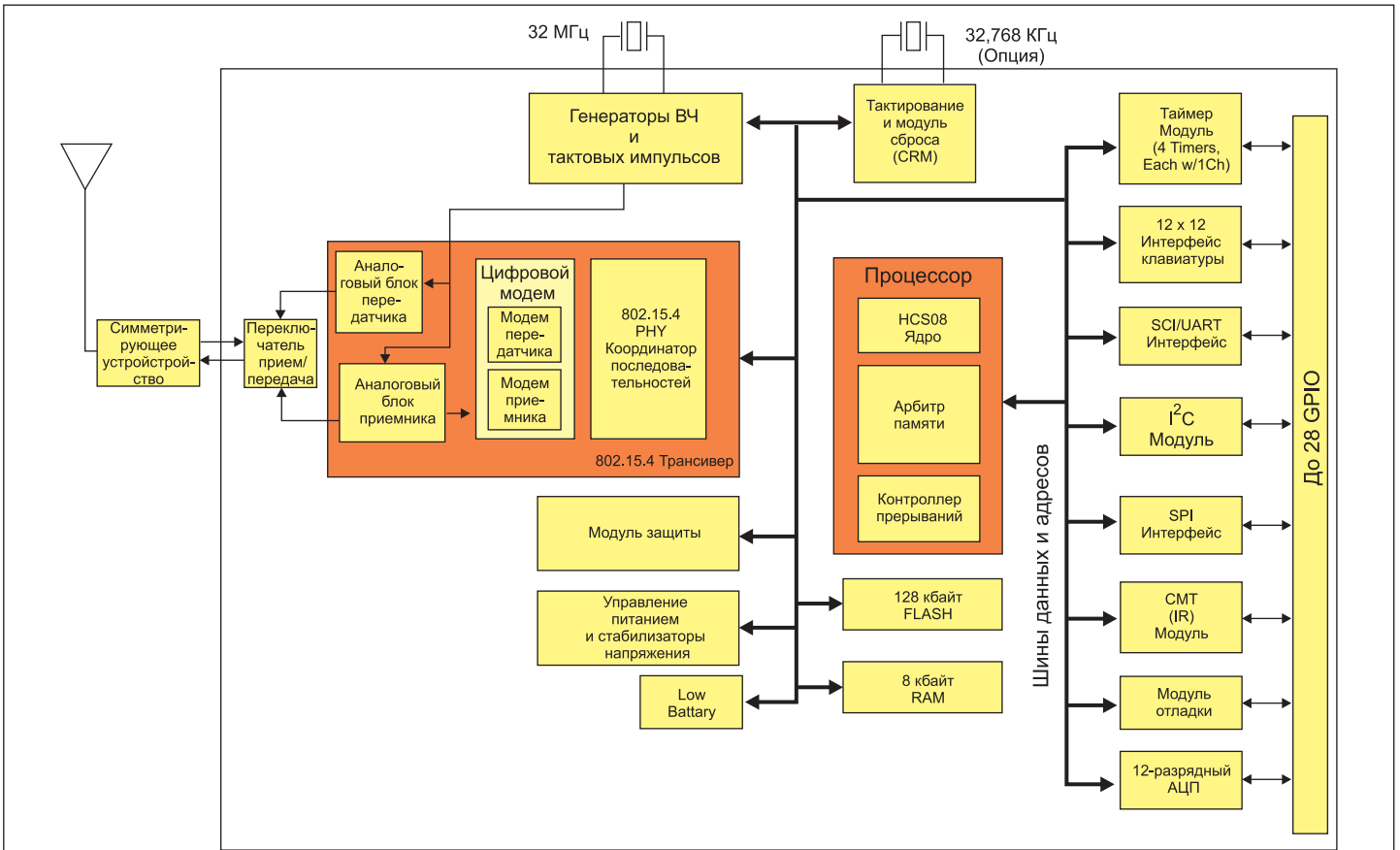


Рис. 10. Структура микросхем серии MC132x

- образцовый кварцевый генератор 32 МГц, генератор «пробуждения» на 1 кГц или кварцевый генератор на 32,768 кГц для режима энергосбережения;
- специальный алгоритм управления питанием для эффективного энергосбережения;
- модули прерывания клавиатуры (КВИ), 12/8 прерывателей (MC13233, MC13234/MC13237);
- интерфейсы SCI, LIN, SPI, I²C;
- четыре 16-разрядных таймера с ШИМ;
- 8-канальный 12-разрядный АЦП (только у MC13237);
- счетчик реального времени;
- 32 (MC13233, MC13234)/28 (MC13237) входов/выходов общего назначения;
- диапазон рабочих температур — -40...+85 °С.

С целью снижения энергопотребления в микросхемах применена оптимизация питания в различных режимах работы, предусмотрено восемь

различных режимов питания с потреблением тока от 0,45 мА (режим «стоп 3») до 34 мА (режим приема данных). В режиме приема также производится частичная оптимизация токопотребления (Partial Power Down Receive mode, PPD_RX) в зависимости от конкретных условий.

Для реализации сетевых устройств требуется небольшое число внешних компонентов. Пример включения микросхемы MC13234 приведен на рис. 11. Для отладки решений на базе микро-

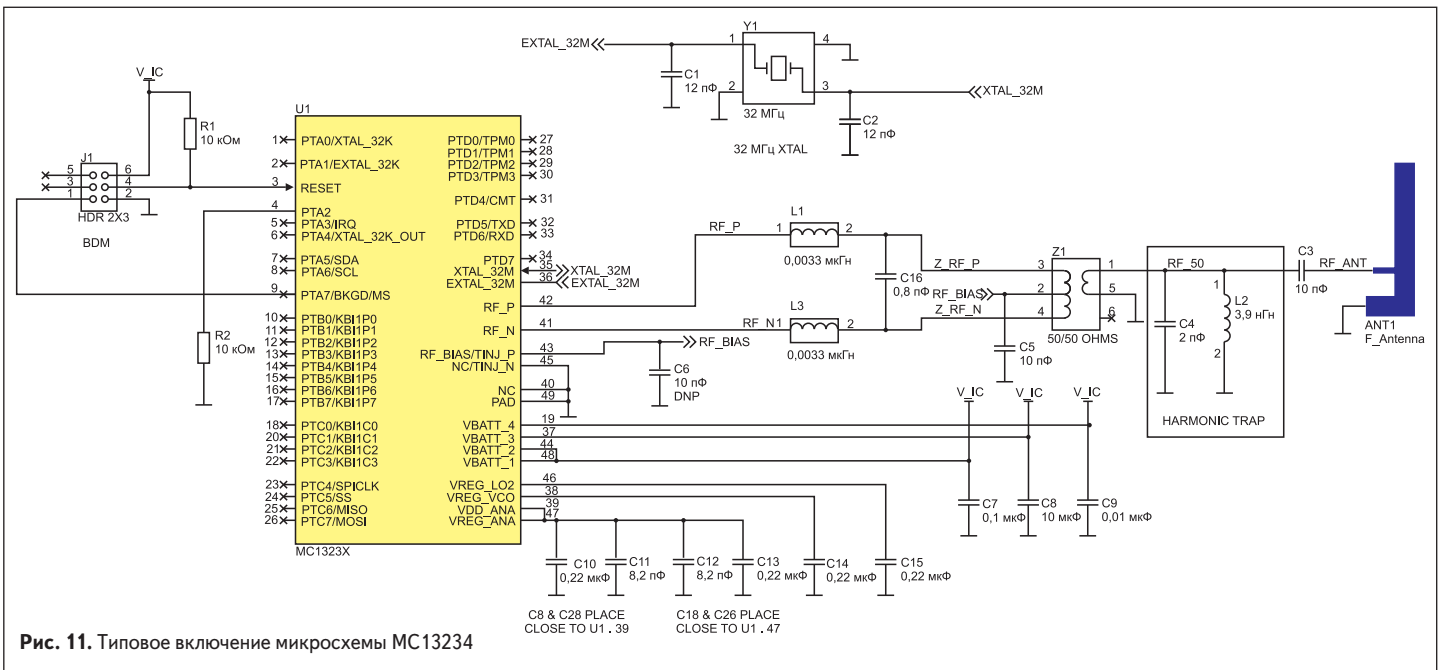


Рис. 11. Типовое включение микросхемы MC13234



Рис. 12. Отладочные платы

схем компания выпускает специальные отладочные платы и комплекты, а также инструменты разработки. На рис. 12 показан внешний вид

отладочных плат MC13234СНТ и MC13237СНТ, на рис. 13 — комплект разработчика 1222X Evaluation Kit (предусмотрено пять вариантов поставки).

Литература

- 1 www.w5txr.net/Motorola-History.html
- 2 www.fbgroup.com.jo/c/page/History
- 3 www.brophy.net/PivotX/?p=john-francis-mitchell-biography
- 4 www.freescale.com/webapp/sps/site/taxonomy.jsp?code=RF_TRANSCEIVERS
- 5 <http://www.netmf.ru/Downloads/2009-10-01.XBee.pdf>
- 6 <http://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee>
- 7 <http://media.freescale.com/phoenix.zhtml?c=196520&p=irol-newsArticle&ID=1730423&highlight=>



Рис. 13. Комплект разработчика