

Приемники и передатчики УВЧ-диапазона производства корпорации Atmel

Беспроводная связь становится необходимостью для современных встраиваемых приложений, например, для связи с датчиком, к которому невозможно протянуть провода. В настоящее время существует множество различных решений для организации беспроводной связи, например, стандарты 802.11b или Bluetooth для высокоскоростного обмена данными. Для систем, не требующих такой сложности и высоких скоростей, используются другие решения. Особенности низкоскоростных приемников и передатчиков корпорации Atmel для высокочастотного диапазона рассматриваются в данной статье.

Приемники и передатчики

Корпорация Atmel предлагает ряд приемников и передатчиков, работающих в паре на частотах 300–928 МГц. Большую часть этой продукции составляют устройства бывшей компании Temic (в названии первая буква «Т»). Все приемники и передатчики Atmel используют узкополосную передачу на одном канале, позволяющую снизить влияние паразитных сигналов. Благодаря узкополосному фильтру промежуточной частоты (ПЧ) с крутым срезом и высокостабильному генератору удается достигнуть избирательности 60 дБ по соседнему каналу. Эти приемники и передатчики применяются в приложениях с низкой скоростью передачи данных (до 32 кбод), таких, как измерение температуры, давления, в датчиках движения, телеметрии, разнообразных счетчиках, бесконтактных ключах, системах сигнализации и безопасности, радиомодемах и т. д. Дальность связи — до 100 м. Используются: передача сигнала с амплитудным и частотным манипулированием, с манчестерским и двухфазным кодированием сигнала, ШИМ-протоколы.

Передатчики

Передатчики работают на частотах 300–928 МГц с различной выходной мощностью, со встроенным или внешним микроконтроллером (МК) (см. табл. 1).

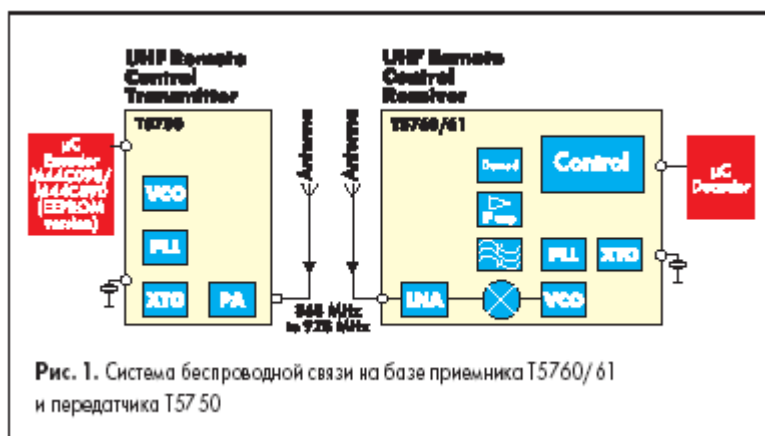
Таблица 1. Передатчики фирмы Atmel

Наименование	Встроенный МК	Частота передачи, МГц	Ток потребления/sleep	Скорость передачи данных, кбод	Напряжение питания, В	Выходная мощность, дБм	Корпус	Температурный диапазон, °С
U2741B	–	300–450	10 мА/350 нА	20	2,2–5,5	3	SSO16	–20...+70, –40...+85
U2745B	-	310–440	10 мА/2 мкА	20	2–4	3	SSO16	–40...+85
T5750	-	868–928	8,5 мА/350 нА	32	2–4	5,5	SO8	–40...+85
T5753	-	310–330	9 мА/350 нА	32	2–4	8	TSSOP8L	–40...+85/+125
T5754	-	429–439	9 мА/350 нА	32	2–4	7,5	TSSOP8L	–40...+85/+125
AT86RF401	AVR 8-разрядн., 2K Flash, 128 байт EEPROM, 128 байт SRAM, ISP	264–456	23 мА/100 нА	10	2–5	6	TSSOP20	–40...+85
ATAx862-3	MARC 4-разрядн. T44C862, 4K ROM, 128 байт SRAM, I2C, 3-wire	310–330	9,5 мА/1 мкА	32	2–4	10	SSO24	–40...+125
ATAx862-4	MARC 4-разрядн. T44C862, 4K ROM, 128 байт SRAM, I2C, 3-wire	429–439	9,5 мА/1 мкА	32	2–4	10	SSO24	–40...+125
ATAx862-8	MARC 4-разрядн. T44C862, 4K ROM, 128 байт SRAM, I2C, 3-wire	868–928	9,5 мА/1 мкА	32	2–4	10	SSO24	–40...+125

В качестве внешнего МК фирма Atmel предлагает использовать, например, 4-разрядные МК серии MARC, имеющие низкий ток потребления. В передатчик AT86RF401 встроен 8-разрядный МК AVR. Анонсирована также новая серия передатчиков ATAx862 на базе 4-разрядного МК T44C862 семейства MARC.

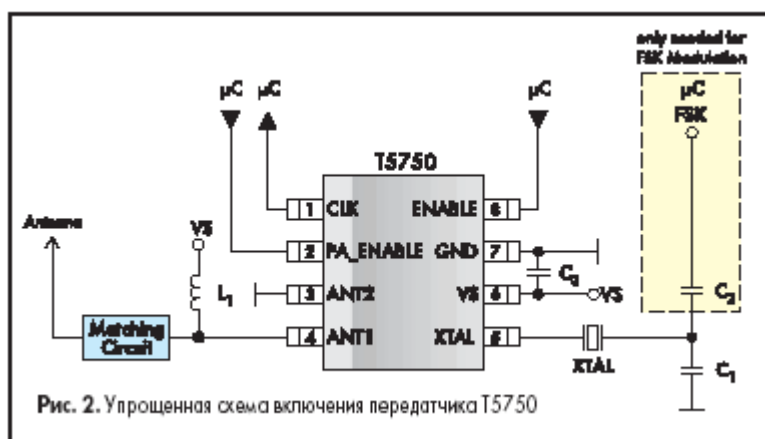
Передатчик T5750

Для частот 868–870 МГц и 902–928 МГц Atmel предлагает передатчик T5750, работающий в паре с приемниками T5760/61 (рис. 1). Передатчик и приемники содержат генератор, управляемый напряжением (ГУН), и предварительный делитель частоты.



Благодаря узкой полосе частот приемник имеет высокую чувствительность и хорошее соотношение сигнал-шум.

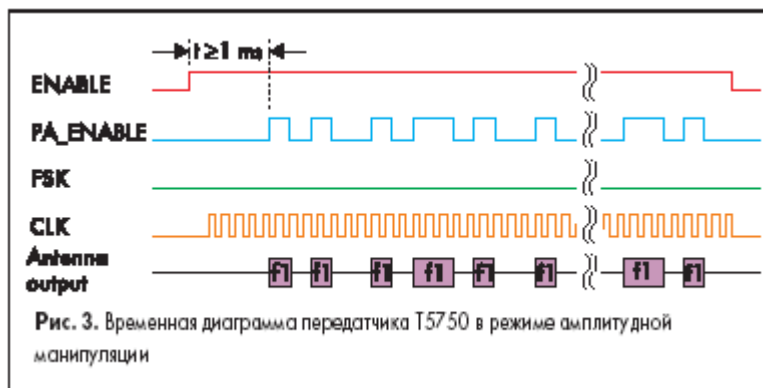
В передатчик T5750 входят блок фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), усилитель мощности и кварцевый генератор. В режиме передачи ток потребления составляет 8,5 мА. При отсутствии передачи подачей на выходы ENABLE (вход разрешения) и PA_ENABLE (вход разрешения усилителя мощности PA) сигнала низкого уровня осуществляется переключение микросхемы в режим sleep, ток потребления при этом снижается до 0,35 мкА. Таким образом, литиевый элемент, обычно служащий источником питания в автономных системах, может служить много лет и позволяет использовать такие передатчики, например, в шинах автомобилей для мониторинга давления.



Передатчик имеет тактовый выход для синхронизации работы внешнего микроконтроллера, который используется для кодирования сигналов. T5750 поддерживает амплитудное и частотное манипулирование, имеет одиночный вывод с открытым коллектором для подключения внешней петлевой или $\lambda/4$ антенны.

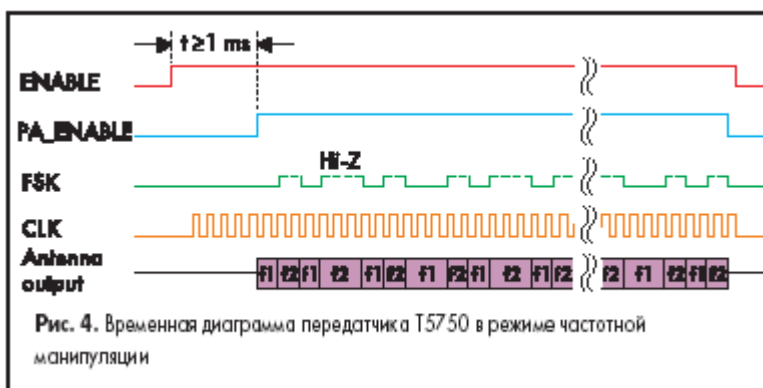
Амплитудная и частотная манипуляции

Если на вывод ENABLE передатчика подан высокий уровень, выходы PLL (ФАПЧ) и CLK активизируются. Сигнал тактирования с вывода CLK подается на МК. Подачей соответствующего сигнала на вывод PA_ENABLE осуществляется включение и выключение усилителя мощности PA, то есть реализуется амплитудная манипуляция (AMn) на частоте f1 или манипуляции включение-выключение (OOK, On-Off-Keying) (рис. 3). Для стабилизации кварцевому генератору и ФАПЧ требуется обычно около 1 мс после подачи сигнала высокого уровня на вывод ENABLE, поэтому вывод PA_ENABLE следует удерживать на низком уровне более 1 мс после подачи сигнала ENABLE.



T5750 содержит полностью интегрированную ФАПЧ, из внешних компонентов необходим только внешний резонатор 13,567187 МГц для передачи данных на частоте 868,3 МГц, или 14,296875 МГц — для частоты 915 МГц (см. рис. 3). Конденсатор C3 — разделительный конденсатор по питанию. Постоянное напряжение на выход с открытым коллектором подается через дроссель L1.

Для АМн конденсатор C2 не требуется, для частотной манипуляции (ЧМн) требуются оба конденсатора C1 и C2. После стабилизации кварцевого генератора и ФАПЧ на вывод PA_ENABLE подается высокий уровень для включения усилителя мощности PA (рис. 4).



Передатчик готов для частотной манипуляции. Изменение частоты достигается подключением и отключением конденсатора C2 параллельно нагрузочному конденсатору C1 путем подачи на управляющий вывод МК низкого уровня или переключением его в высокоимпедансное состояние, изменяя таким образом частоту на выходе антенны с f1 на f2 и обратно.

Для уменьшения энергопотребления после окончания передачи на вывод PA_ENABLE должен быть подан сигнал низкого уровня.

Сигнал CLK отключается после подачи на вывод ENABLE сигнала низкого уровня.

Усилитель мощности имеет выход с открытым коллектором, обеспечивающий импульсный ток, практически не зависящий от импеданса нагрузки. Таким образом, уровень выходной мощности определяется импедансом подключаемой нагрузки, и для получения максимальной выходной мощности (5,5 дБм) импеданс антенны должен быть согласован с выводом передатчика.

Для приложений с небольшой дальностью связи рекомендуется использовать печатную петлевую антенну. Основное требование, которому должны соответствовать такие антенны, — это способность возбуждать сильные токи для создания электромагнитного поля.

Выходная мощность антенны определяется значением ее сопротивления излучения: $R_{\text{rad}} = 31 \text{ кОм} (A/\lambda^2)^2$, где A — внутренняя площадь петлевой антенны, λ — длина волны передаваемого сигнала. Мощность излучения антенны $P_{\text{rad}} = R_{\text{rad}} \times I_{\text{Loop}}^2$.

Расстояние передачи зависит также от корпуса передатчика, ориентации антенны, конфигурации пространства, в котором происходит передача (открытое, замкнутое), а также типа антенны (печатная, проводная). Например, при выходной мощности передатчика около 3 дБм (U2741B) печатной антенне на плате передатчика и проводной антенне на плате приемника передача может осуществляться в открытом пространстве до 100 м. В других условиях может быть удобнее использовать T5743 или T5754, имеющих большую выходную мощность 8,0 и 7,5 дБм, соответственно.

AT86RF401 представляет собой интеллектуальный миниатюрный передатчик с высокой степенью интеграции на базе 8-разрядного RISC-микроконтроллера AVR. Для организации законченной радиосистемы с манипуляцией включение-выключение (OOK) необходим только кварцевый резонатор, литиевый элемент, три конденсатора, дроссель и петлевая антенна (рис. 5).

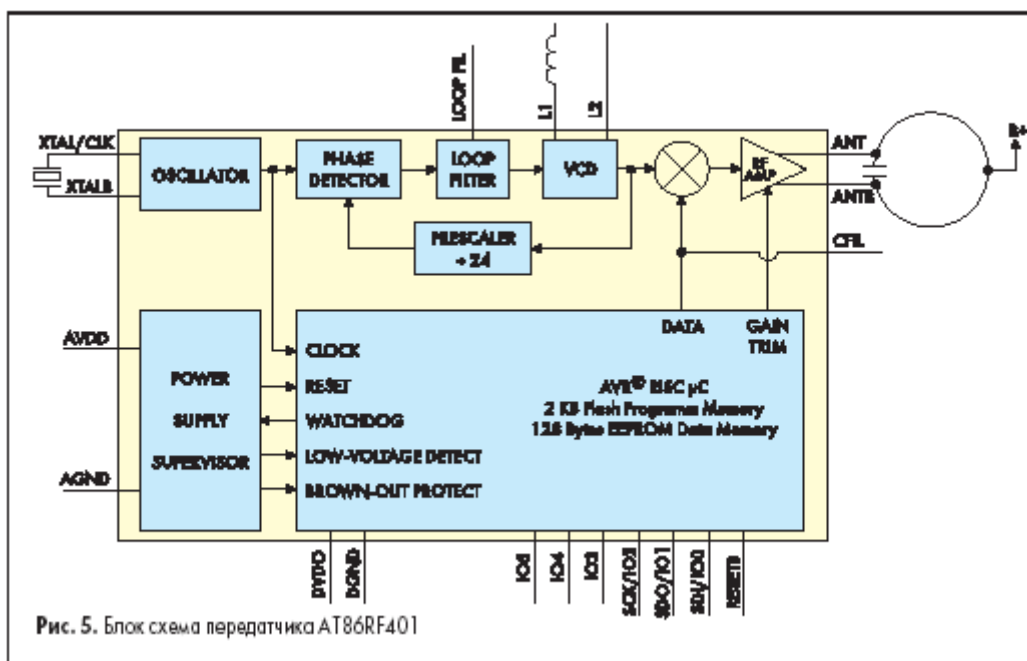


Рис. 5. Блок-схема передатчика AT86RF401

AT86RF401 может быть переключен в режим sleep, ток потребления в этом режиме составляет 0,5 мкА.

AT86RF401 имеет программируемый регистр детектора снижения напряжения батареи.

При поступлении сигнала на любую линию ввода-вывода микросхема переходит в режим передачи, при этом происходит активизация цепи генератора синхросигналов для микроконтроллера AVR. Несущая радиосигнала синтезируется с помощью ГУН. Оптимальная настройка ГУН поддерживается с помощью допусков на элементы схемы через использование программно управляемой матрицы на переключаемых конденсаторах.

Внутрисхемно программируемые энергонезависимая память программ (2 кбайт), выполненная по технологии Flash, и память данных (128 байт), выполненная по технологии EEPROM, позволяют осуществлять разработку за короткое время. Имеется также внутреннее статическое ОЗУ объемом 128 байт (SRAM).

Как и во всех микроконтроллерах AVR, короткая команда выполняется за один машинный цикл, который составляет один период тактовой частоты 1,25 МГц. Система команд насчитывает 114 различных инструкций. Для реализации функций передатчика и некоторых дополнительных функций встроенный МК AT86RF401 имеет отличные от стандартных AVR регистры ввода-вывода (таблица 2).

Таблица 2. Регистры ввода-вывода AT86RF401

Адрес (Hex)	Наименование регистра	Функции
\$3F	SREG	Status Register
\$3E	SPH	Stack Pointer High Register (program to 0.00)
\$3D	SPL	Stack Pointer Low Register
\$35	BL_CONFIG	Battery Low Configuration Register
\$34	B_DET	Button Detect Register
\$33	AVR_CONFIG	AVR Configuration Register
\$32	IO_DATIN	I/O DATA IN Register
\$31	IO_DATOUT	I/O DATA OUT Register
\$30	IO_ENAB	I/O Enable Register
\$22	WDTCR	Watchdog Timer Control Register
\$21	BTCR	Bit Timer Control Register
\$20	BTCNT	Bit Timer Count Register
\$1E	DEEAR	Data EEPROM Address Register
\$1D	DEEDR	Data EEPROM Data Register
\$1C	DEECR	Data EEPROM Control Register
\$17	LOCKDET2	Lock Detector Configuration Register 2
\$16	VCOTUNE	VCO Tuning Register
\$14	PWR_ATTEN	Power Attenuation Control Register
\$12	TX_CNTL	Transmitter Control Register
\$10	LOCKDET1	Lock Detector Configuration Register 1

Встроенный таймер микроконтроллера AVR с работой по прерываниям упрощает применение ШИМ или манчестерского кодирования для модуляции несущей. Радиосигнал передается на настроенную петлевую антенну, которая может быть реализована медным проводником на печатной плате.

Усилитель мощности генерирует дифференциальный сигнал, который передается с выхода ФАПЧ на внешнюю антенну. Выходная мощность передатчика может изменяться программно в пределах 36 дБ с шагом 1 дБ путем конфигурирования усилителя мощности.

Генератор с подкачкой (номинальное значение 1,2 В) обеспечивает работу в широком диапазоне питающих напряжений.

В устройстве имеются встроенные аппаратные функции brown-out protection и контроля уровня напряжения батареи. Цепь brown-out protection определяет, когда напряжение питания опускается ниже минимального значения, обеспечивающего нормальную работу (обычно 1,8 В). При значении напряжения питания ниже указанного происходит аппаратный сброс микроконтроллера. Пороговое напряжение, при котором индицируется разряд батареи, задается программно.

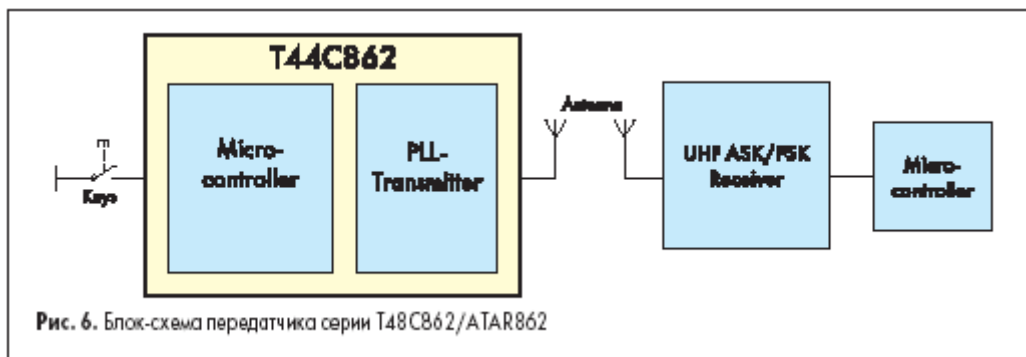
Источником прерывания в AT86RF401 могут быть события «регистр данных пуст» и «передача данных окончена». Таймер также поддерживает режим, при котором вместо прерывания используется опрос, позволяющий получить большую скорость передачи.

Этот таймер также может быть использован для декодирования сигнала, полученного внешним приемником.

AT86RF401 имеет несколько источников сброса: Power-on Reset — по включению питания, внешний сброс, сброс от сторожевого таймера, Brown-out Reset — при снижении напряжения батареи ниже установленного, Button Reset (программный сброс).

Передатчики ATAxR862

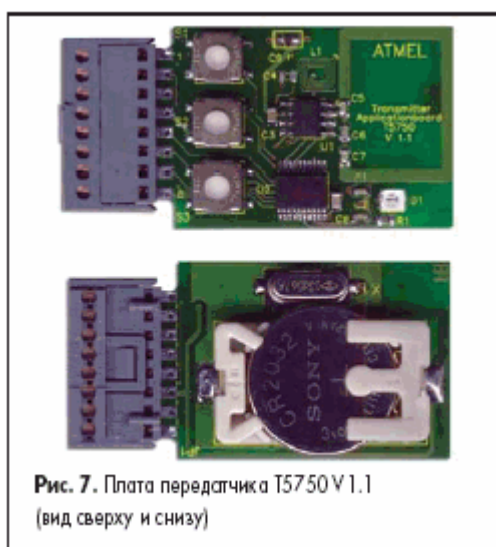
Новые передатчики ATAxR862 на базе МК T44C892 семейства MARC4 (рис. 6) подходят для применения как на стороне приемника, так и на стороне передатчика (для декодирования данных). ATAx862 содержит ROM, RAM, 16 линий ввода-вывода, два 8-разрядных многофункциональных таймера-счетчика с функцией модуляции и демодуляции, супервизор напряжения питания, сторожевой таймер и сложный генератор тактовых импульсов с внешним выводом (встроенный RC-генератор, кварцевый генератор 32 кГц и 4 МГц).



Программное ПЗУ выполняется по технологии EEPROM (ATAM862 — Flash-версия) или по маске (ATAR862 — ROM-версия). Кроме микропроцессорного и радиочастотного блока, передатчик ATAx862 имеет дополнительный блок последовательной памяти данных емкостью 512 бит, выполненной по технологии EEPROM.

Плата передатчика T5750

Фирма Atmel выпускает отдельно плату передатчика T5750 V1.1 на базе передатчика T5750 и 4-разрядного МК T48C893N семейства MARC (рис. 7), предназначенную для частотной и амплитудной манипуляций.



Плата питается от одного литиевого элемента 3 В (например, CR2032). Ток потребления покоя составляет менее 1 мкА, ток потребления при передаче данных — около 8,5 мА. Плата может работать на частотах 868,3 МГц и 915 МГц, переход с одной частоты на другую осуществляется сменой резонатора и конденсаторов C5, C6, C7 цепи согласования импеданса печатной антенны.

По умолчанию, плата настроена на частотную манипуляцию со скоростью передачи данных 1 кбод. Для ЧМн девиация частоты составляет около 30 кГц. На плате имеется программный адаптер JP1, через который реализуется внутрисхемное программирование памяти EEPROM микроконтроллера T48C893N. Для разработки программного обеспечения может использоваться стартовый набор разработчика TMEB893 для МК MARC4.

Приемники

Приемники фирмы Atmel поддерживают скорость приема данных в режиме АМн до 10 кбод и в режиме ЧМн до 3,2 кбод, различаются частотой приема данных и шириной полосы промежуточной частоты (ПЧ) (таблица 3).

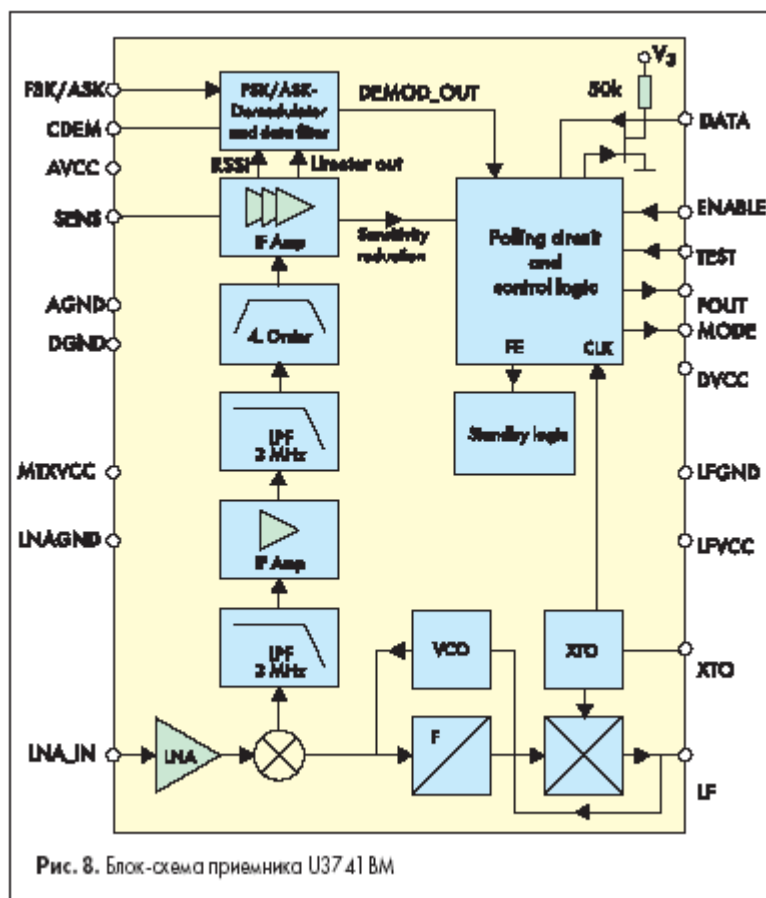
Таблица 3. Приемники фирмы Atmel

Наименование	Частота передачи, МГц	Полоса ПЧ, кГц	Напряжение питания, В	Ток потребления, мА	Корпус	Температурный диапазон, °С
U3741BM	300–450	300/600	4,5–5,5	7	SO20	–40...+105
U3742BM	300–450	600	4,5–5,5	7	SO20	–40...+105
U3745BM	310–440	600	4,5–5,5	7	SO20	–40...+85
T5743N	300–450	600	4,5–5,5	7,5	SO20	–40...+105
T5760	868–870	950	4,5–5,5	7,4	SO20	–40...+105
T5761	902–928	600	4,5–5,5	7,4	SO20	–40...+105
T5744	300–450	600	4,5–5,5	7,1	SSO20, SO20	–40...+105

Приемники поддерживают протоколы ЧМн, АМн, ШИМ, манчестерское и двухфазное кодирование. Чувствительность приемников в среднем составляет –110, –114 дБм (в режиме АМн, низкая скорость передачи данных) и –106 дБм (для ЧМн). Приемники имеют электростатическую защиту 4 кВ (кроме T5760/61 — 2 кВ) согласно MIL-STD-883. Принцип построения приемников одинаков, рассмотрим его на примере U3741BM.

U3741BM предназначен для работы на частотах 300–450 МГц, в технической документации Atmel приводятся параметры микросхемы и ее «обвязка» только для двух частот: 315 МГц (стандартный диапазон в США) и 433,92 МГц (стандартный диапазон для Европы). Переход с одной частоты на другую осуществляется с помощью смены нескольких внешних компонентов (резонатора и конденсаторов).

Входной каскад РЧ-приемника U3741BM представляет собой супергетеродин с промежуточной частотой 1 МГц и состоит из малошумящего усилителя, гетеродина, смесителя с подавлением зеркального канала до 30 дБ и усилителя РЧ (рис. 8). Сигнал с входного каскада РЧ фильтруется интегрированным фильтром ПЧ 4-го порядка, поступает на RSSI-усилитель, демодулятор и затем на фильтр данных (ФВЧ 1-го порядка и ФНЧ 1-го порядка). Далее сигнал передается в схему обработки данных.



Для повышения избирательности приемника до 40 дБ используют внешний ПАВ-фильтр. Для идентификации и фильтрации «шумов» в приемнике U3741BM может использоваться функция индикации уровня принимаемого сигнала RSSI (Receive Signal Strength Indication), позволяющая игнорировать фронты, которые случаются при отсутствии сильного радиосигнала. Недостатком использования RSSI является изменение условий приема (снижение чувствительности).

Для снижения энергопотребления используется специальный режим опроса — polling. В этом режиме приемник находится попеременно в трех состояниях. В режиме sleep цепь обработки сигнала отключена на время Tsleep, и микросхема потребляет низкий ток. Во время запуска Tstartup цепь обработки сигнала запускается.

Следующий режим — проверка количества битов в соответствии с установленным временным окном (bitcheck). Если полезный сигнал не обнаружен за время Tbitcheck, приемник переходит опять в режим sleep. То есть приемник включается на короткие промежутки времени и проверяет присутствие полезного сигнала на входе. Если сигнал обнаружен, приемник переходит в активный режим и передает данные во внешний МК. Приемник конфигурируется с помощью двух регистров разрядностью 12 бит, определяющих скорость передачи данных, интервалы и параметры различных режимов (Tsleep, Tstartup, Tbitcheck и т. д.).

U3741BM доступен с двумя различными полосами ПЧ. U3741BM-M2 — версия с шириной ПЧ 300 кГц — хорошо подходит для систем с АМн, где используется передатчик с ФАПЧ U2741В. U3741BM-M3 имеет полосу ПЧ 600 кГц. Этот вариант может быть использован совместно с U2741В в режимах ЧМн и АМн.

Использование U3741BM в режиме АМн дает более высокую точность частоты несущей.

Отладочные комплекты

Корпорация Atmel предлагает отладочные комплекты для разработки приемников и передатчиков, позволяющих осуществить разработку беспроводной системы до создания собственной платы. В отладочный комплект входит базовая плата с МК, плата приемника, плата передатчика и программное обеспечение (рис. 9). Отдельно могут поставляться платы приемника или передатчика. Для каждой пары «приемник — передатчик» предлагается свой отладочный комплект (таблица 4).

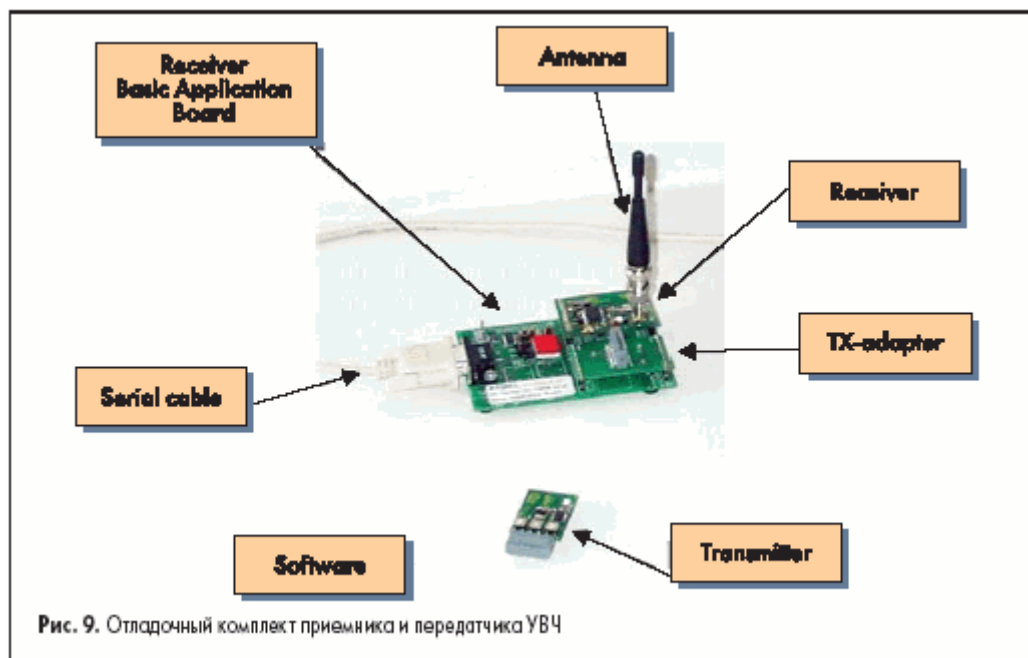


Таблица 4. Отладочные комплекты приемников и передатчиков

Отладочный комплект	Приемник	Передатчик	Частота, МГц	Ширина полосы пропускания, кГц	Примечание
TMEBx741A	U2741	U3741	433	300	
TMEBx741B	U2741	U3741	433	600	
TMEBx741C	U2741	U3741	315	300	
TMEBx741D	U2741	U3741	315	600	
TMEBx745A	U2745	U3745	433	600	
TMEBx745B	U2745	U3745	315	600	
TMEB57x0	T5750	T5760	868	600	
TMEB57x1	T5750	T5761	915	600	
	T5753		315		планируется к выпуску в 2003 г.
	T5754		433		планируется к выпуску в 2003 г.
TMEB5744S3		T5744	315	600 (saw)	плата приемника с ПАВ-фильтром
TMEB5744N3		T5744	315	600	плата приемника
TMEB5744S4		T5744	433	600 (saw)	плата приемника с ПАВ-фильтром
TMEB5744N4		T5744	433	600	плата приемника
AT86RF401U-EK1	AT86RF401U		315		плата передатчика
AT86RF401E-EK1	AT86RF401E		433		плата передатчика
ATAK4015744U	AT86RF401U	T5744	315		
ATAK4015744E	AT86RF401E	T5744	433		
AT86RF211-DK433107	AT86RF211	AT86RF211	433		
AT86RF211-DK868107	AT86RF211	AT86RF211	868		
AT86RF211-DK915107	AT86RF211	AT86RF211	915		

Отладочный комплект TMEB57x0

Рассмотрим некоторые отладочные комплекты, приведенные в таблице 4. Отладочный комплект TMEB57x0 предназначен для ознакомления с приемником T5760 и передатчиком T5750, работающими на частоте 868 МГц. Он состоит из базовой платы на основе 4-разрядного микроконтроллера семейства MARC4, платы приемника и платы передатчика (рис. 10). Приемник и передатчик программируются через внешний компьютер под управлением программного обеспечения передатчика или приемника соответственно, поставляемого вместе с отладочным комплектом.

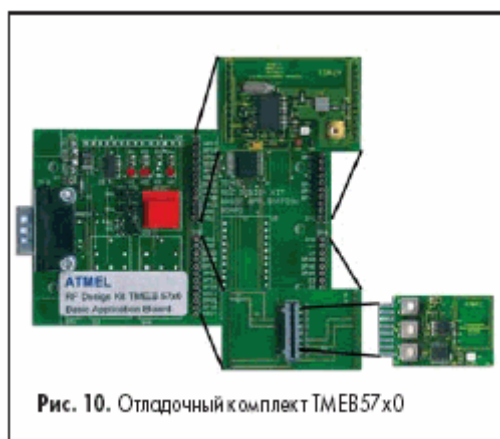


Рис. 10. Отладочный комплект TMEB57x0

Программное обеспечение передатчика позволяет устанавливать скорость передачи данных, тип модуляции, тестовое слово и т. д.

После записи программного кода в передатчик плата передатчика работает независимо и может быть снята с базовой платы. Программное обеспечение приемника имеет средства оценки передачи данных (гистограммы, временные таблицы). Приемник работает только совместно с базовой платой.

Соответствующие светодиоды индицируют включение питания, правильность тестового слова, соответствие телеграммы установленному временному окну.

Отладочный комплект АТАК4015744

Отладочный комплект АТАК4015744 включает в себя платы приемника Т5744 и передатчика АТ86RF401, образцы АТ86RF401 и Т5744, необходимые программные средства для разработки двунаправленной передачи данных. Программное обеспечение позволяет передавать передатчику уникальный 8-битовый код, соответствующий одной из четырех кнопок платы передатчика. Он содержит идентификационный код кнопки и данные о состоянии батарейного элемента. Приемник Т5744 демодулирует радиосигнал в цифровую форму и передает его для обработки в АТ86RF401.



После обработки сигнала двоичное представление кода нажатой клавиши и статус батарейного элемента отображаются с помощью трех светодиодов. В наборе используется манипуляция включение-выключение (ООК) для модуляции несущей и ШИМ для кодирования цифровой информации.

Плата передатчика имеет в своем составе АТ86RF401, кнопки, держатель батареи, печатную антенну, разъем, дискретные компоненты. Внутрисхемное программирование (ISP) возможно через интерфейс SPI с помощью 6-полосного ленточного кабеля, подсоединяемого к COM-порту PC. Плата приемника имеет в своем составе две микросхемы Т5744 и АТ86RF401, держатель батарейного элемента, печатную антенну, разъем, дискретные компоненты. Сохранена возможность реализации функции RSSI приемника Т5744, которая не используется в отладочном комплекте.

Три светодиода подсоединены к АТ86RF401 и загораются при получении соответствующим образом промодулированного сигнала.

Т5744 имеет вывод для антенны с одним входом. Плата приемника содержит средства для согласования цепи с печатной антенной на плате или простой штыревой антенной $\lambda/4$. Печатная антенна не согласована с импедансом 50 Ом цепи, она предназначена для демонстрации работы только на коротких расстояниях. Согласовать импеданс (и получить большее расстояние связи) возможно отсоединением печатной антенны и подключением антенны $\lambda/4$.

В наборе применено ШИМ-кодирование 1/3:2/3, которое может быть изменено программно. 1/3:2/3 означает, что «1» представляется первой 1/3 периода, содержащей радиосигнал, а последние 2/3 периода не содержат сигнала. Для «0», наоборот, первые 2/3 не содержат сигнала, а последняя 1/3 содержит. Сообщение состоит из 2 байт: преамбулы (0xFFFE) и байта данных (старшая половина байта содержит статус батареи, а младшая — идентификационный номер кнопки).

Байт данных повторяется 3 раза. Идентификационные номера кнопок кодируются следующим образом: кнопка 0 — 0001, кнопка 1 — 0011, кнопка 2 — 0111, кнопка 3 — 1111. Такие идентификационные номера позволяют однозначно идентифицировать каждую кнопку и при сдвиге одного бита ошибки идентификации не возникает. Бит-таймер выполняет функцию манипуляции передатчика, обеспечивая синхронность модуляции усилителем мощности.

Приемник находится во включенном состоянии постоянно, поэтому он может реагировать на шум. Микроконтроллерная часть АТ86RF401 должна проверять каждый фронт с помощью бит-таймера для определения полезного сигнала. При использовании ШИМ-кодирования бит может быть определен как «1» или «0» путем измерения интервала от переднего до заднего фронта (рис. 12).

Приемопередатчик может работать в нормальном режиме приема-передачи, в независимом режиме «wakeur» и режиме энергосбережения «power down».

В нормальном режиме микросхема конфигурируется через МК, устанавливаются частота и режим (прием или передача). Далее микросхема действует как конвейер: данные, поступающие на вывод DATAMSG, немедленно передаются в эфир (Tx), либо сигнал, поступающий с антенны, демодулируется и передается побитно в МК по тому же выводу DATAMSG (Rx). Данные в кристалле не хранятся и не обрабатываются.

В режиме «wakeur» кристалл устанавливается в специальный режим передачи, называемый sleep. Кристалл периодически запускается по сигналу от внутреннего таймера (отдельная функция, не зависящая от МК, находящегося в режиме power-down) и ожидает данные в виде специального сообщения, формат которого определяется предварительно. При получении правильного сообщения данные сохраняются в AT86RF211 (до 32 бит), и на выводе WAKEUP генерируется сигнал прерывания. В противном случае процедура продолжается.

AT86RF211 имеет несложный интерфейс подключения к МК, при котором его можно рассматривать как внешний периферийный узел МК. Обмен данными между AVR МК и РЧ-модулем AT86RF211 осуществляется через 3 регистра ввода-вывода общего назначения МК, которые используются для чтения и записи данных в 16 внутренних регистров AT86RF211. 8 регистров AT86RF211 используются для конфигурирования нормального режима обмена данными, 4 регистра для режима «wake-up», 4 регистра для реализации специальных функций, определяемых конечным приложением. Размеры регистров варьируются от 32 бит до 1 бита регистра RESET. Наиболее часто используемые биты расположены в старших разрядах регистров. Режимы чтения и записи позволяют осуществлять доступ к отдельным битам регистра.

Сигналы SLE, SCK и SDATA МК формируют последовательный цифровой интерфейс для управления работой приемопередатчика и могут быть назначены на любые выводы общего назначения AVR. Сигнал SLE (enable/chip select) и SCK (clock) работают на выход, сигнал SDATA является двунаправленным.

Сигнал DATAMSG используется для организации полудуплексной передачи между МК и РЧ модулем (рис. 14).

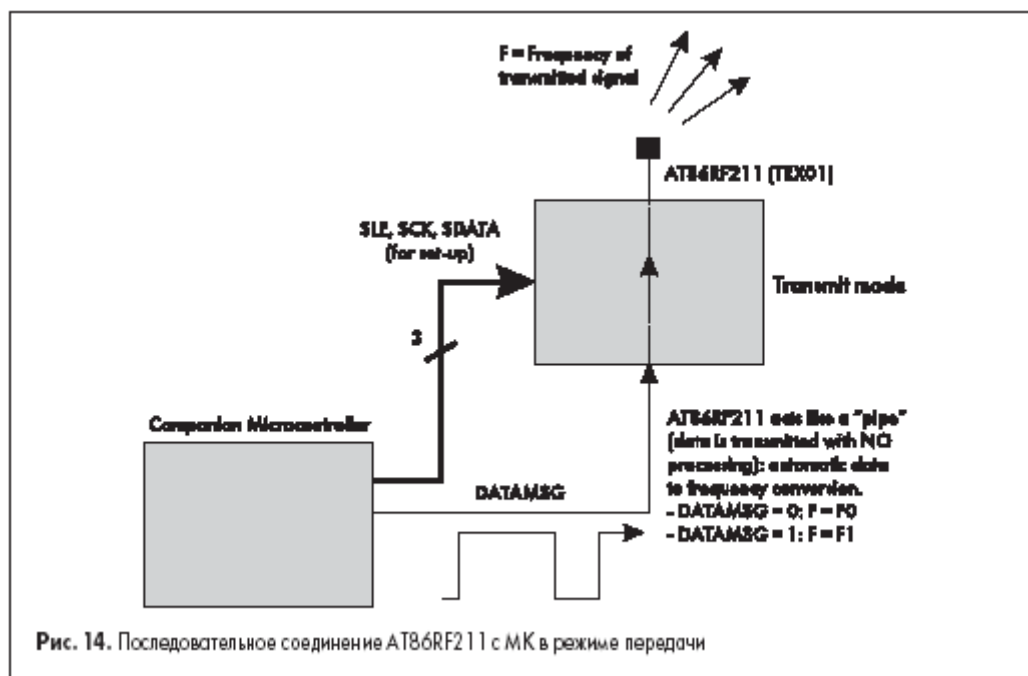


Рис. 14. Последовательное соединение AT86RF211 с МК в режиме передачи

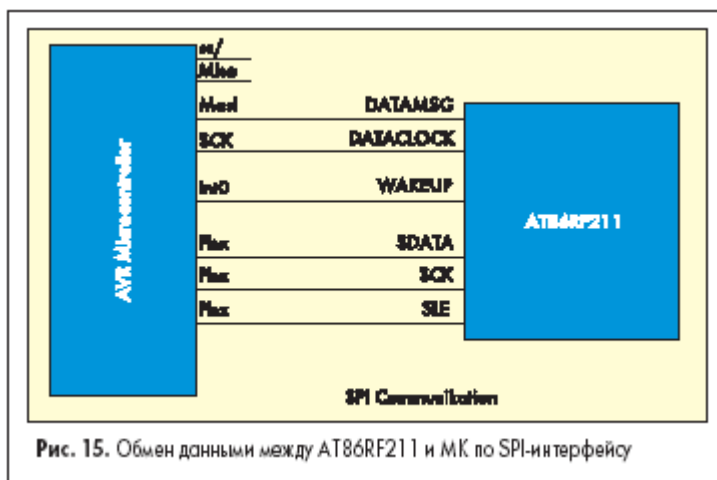
При организации асинхронного интерфейса UART оба вывода RxD и TxD МК соединяются с двунаправленным вводом-выводом DATAMSG AT86RF211. Так как осуществляется полудуплексная передача, при отсутствии передачи данных вывод TxD должен находиться в высокоимпедансном состоянии.

Вывод DATACLK используется для синхронной передачи и поэтому при использовании UART не задействован.

Для организации синхронной передачи данных между AVR и AT86RF211 необходимо использовать либо интерфейс «bit banging», либо узел SPI.

Интерфейс SPI используется для высокоскоростного обмена данными. Вывод DATACLK AT86RF211 подсоединяется к выводу SCK порта SPI МК (рис. 15). При приеме данных порт SPI работает в режиме slave. Вывод SCK работает в режиме входа и управляется выводом DATACLK AT86RF211. Вывод MOSI порта SPI

подсоединяется к выводу DATAMSG AT86RF211. Так как обмен данных происходит в полудуплексном режиме, вывод MISO остается свободным. Вывод SS/ следует подсоединить к «земле». В режиме передачи вывод SCK порта SPI остается в неподключенном состоянии, чтобы избежать конфликта с выводом DATACLK AT86RF211.



При такой организации обмена данными между AT86RF211 и МК следует учитывать скорость передачи по интерфейсу SPI, зависящую от тактовой частоты МК и делителя.

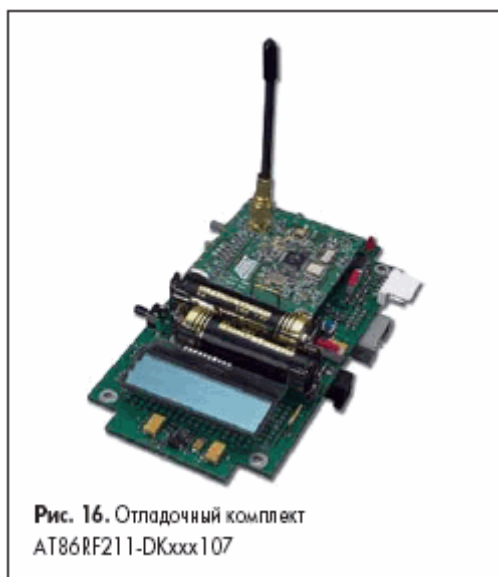
Если тактовая частота МК велика, может оказаться, что скорость SPI окажется слишком большой для AT86RF211 в режиме передачи, и AT86RF211 не будет успевать передавать данные в эфир. Скорость порта SPI в режиме приема будет всегда совместима с AT86RF211.

Для получения требуемой скорости передачи данных, не накладывающей ограничения на выбор МК по скорости, возможно использование комбинации аппаратной реализации порта SPI для режима приема, имеющего жесткие требования по синхронизации, и аппаратно управляемых вводов-выводов приемопередатчика от таймера (bit banging) для режима передачи.

Также удобно использовать режим аппаратно управляемых вводов-выводов, если МК не имеет периферийных узлов портов UART или SPI. Для реализации такого обмена вывод DATAMSG подсоединяется к любому выводу МК, вывод DATACLK к любому выводу, выполняющему функцию запроса прерывания из внешнего источника. Функция восстановления синхросигнала после сброса обеспечивает появление фронта тактового сигнала в середине получаемого бита данных, по которому инициализируется прерывание.

Для всех вариантов последовательного подключения выводы SDATA, SCK и SLE AT86RF211 подключаются к вводам-выводам общего назначения МК. Если используется экономичный режим питания (standby), вывод WAKEUP должен быть подсоединен к выводу МК с функцией запроса прерывания из внешнего источника.

Отладочный комплект AT86RF211



Отладочный комплект AT86RF211-DKxxx107 (рис. 16) предназначен для быстрой и простой разработки системы на базе AT86RF211 и AVR МК 8-бит AT90LS8535. Отладочный комплект содержит два одинаковых модуля. Каждый модуль состоит из базовой платы, имеющей в своем составе AVR МК, ЖКИ, кнопку, переключатель, датчик освещенности и несколько светодиодов, а также дочерней платы РЧ-модуля, состоящей из AT86RF211, соответствующей обвязки и гибкой штыревой антенны, которая может быть отсоединена для подключения тестового оборудования. МК AT90LS8535 поставляется с запрограммированной демо-версией, которая передает между двумя модулями данные об освещенности, полученные с помощью интегрированного АЦП МК. Исходные коды для этой и других программ на языке С поставляются вместе с комплектом.

Отладочный комплект следует заказывать на конкретную частоту: 915 МГц, 868 МГц или 433 МГц. Базовая плата одинакова для всех комплектов, отличаются только дочерние платы РЧ-модуля.

На РЧ-модуле отладочного комплекта имеется ПАВ-фильтр, фильтр первой ПЧ 10,7 МГц и фильтр второй ПЧ 455 кГц. Конструкция модуля обеспечивает узкополосную передачу, высокую избирательность и большую дальность связи. Из-за полосы фильтра второй ПЧ 455 кГц скорость передачи данных ограничена 20 кбит/с.

Для применений, требующих скорости данных более 64 кбит/с и, соответственно, более широкой полосы, следует заменить на плате фильтр второй ПЧ на конденсатор. Отладочный комплект сопровождается необходимой документацией для разработки различных встроенных приложений.



Рис. 17. Дочерняя плата РЧ-модуля AT86RF211 со штыревой антенной

Отдельно поставляются дочерние платы РЧ-модулей для дальней связи со штыревой антенной (рис. 17) и для небольшой дальности связи с печатной антенной (рис. 18).



Рис. 18. Дочерняя плата РЧ-модуля AT86RF211 с печатной антенной

Дочерние платы совместимы с отладочным комплектом. Gerber-файлы, список компонентов и принципиальные схемы поставляются вместе с дочерними платами.

Елена Ламберт

elena@efo.ru