

# Микросхемы FM- и AM-приемников, передатчиков и приемопередатчиков фирмы Silicon Labs

Алексей КУРИЛИН  
ak@efo.ru

В данной статье представлена техническая информация по однокристалльным FM (УКВ) и FM (УКВ)/AM (СВ) приемникам, передатчикам и приемопередатчикам.

## Общая информация

Фирма Silicon Labs уже несколько лет выпускает микросхемы FM-приемников, предназначенных для использования в любых (в особенности — портативных) устройствах, имеющих функцию приема сигналов радиостанций, вещающих в FM-диапазоне. До 2008 года информация об этой продукции распространялась исключительно под соглашение о неразглашении, которое подписывалось между потребителем микросхем и фирмой Silicon Labs, что сильно ограничивало круг производителей, способных встроить эти микросхемы в свои изделия. Со второго квартала 2008 года информационная завеса была

снята, и все данные стали распространяться без сложных бюрократических процедур.

Несмотря на все сложности в прошлом, FM-продукция фирмы Silicon Labs уже успела занять прочные позиции в изделиях крупных производителей мультимедийных устройств. Эти микросхемы используются в ряде выпускаемых серийно телефонов — Samsung, Sagem, Motorola, LG, Mitsubishi, Mobitek, многих MP3-плеерах iRiver, Apple, Sagem, Samsung, Creative и массе другой продукции ведущих мировых производителей.

С момента начала производства FM-тюнеров линейка продукции Silicon Labs существенно расширилась и сегодня включает в себя дополнительно микросхемы AM/FM-тюнеров

(СВ/УКВ), FM-передатчиков и FM-приемопередатчиков. FM- и AM/FM-тюнеры предназначены для приема сигналов любых радиостанций, вещающих в диапазонах FM и AM, а некоторые микросхемы — в SW (КВ) и LW (ДВ). FM-передатчики и FM-приемопередатчики предназначены для создания радиотрансляций с малой мощностью излучаемого сигнала, то есть для работы в непосредственной близости с любым радиоприемником, принимающим сигнал в FM-диапазоне.

Некоторые FM-тюнеры имеют дополнительную функцию приема и декодирования RDS-сигнала, включаемого в сигнал радиотрансляции. Эта информация является текстовой и обычно отображается на дисплее радиоприемника. Она содержит данные о передаваемой радиостанции и воспроизводимой композиции, часто включает информацию о погоде, пробках на дорогах, рекламу и т. п. FM-передатчики, в свою очередь, имеют функцию формирования и транслирования RDS-сигнала на используемой FM-частоте.

Среди конкурентных предложений микросхемы приемников и передатчиков фирмы Silicon Labs выделяются по следующим характеристикам:

- отличное качество звука воспроизводимой радиостанции в условиях широкополосных помех и хорошая избирательность на заданной частоте в условиях плотного размещения радиостанций;
- высокая избирательность и быстрое декодирование RDS-сигналов в FM-диапазоне;
- устойчивость функции автоматического поиска доступных радиостанций к радиопомехам и, как следствие, слабая подверженность к ложным остановам;
- возможность создания универсального дизайна печатной платы для микросхем в одинаковом корпусе;

Таблица. Наименования микросхем Si47xx

Наименование	FM-приемник	AM-приемник	SW/LW-приемник	FM-передатчик	Прием данных о погоде	Цифровой вывод аудио	Поддержка интегрированной антенны	RDS-декодер	Корпус
Si4702/03	+	-	-	-	-	-	-	только Si4703	3×3 мм QFN20*
Si4704/05	+	-	-	-	-	только Si4705	+	только Si4705	3×3 мм QFN20
Si4706	+	-	-	-	-	+	+	только Si4706	3×3 мм QFN20
Si4707	+	-	-	-	+	-	-	только Si4707	3×3 мм QFN20
Si4708/09	+	-	-	-	-	-	-	только Si4709	2,5×2,5 мм QFN16
Si4710/11	-	-	-	+	-	+	+	только Si4711	3×3 мм QFN20
Si4712/13	+	-	-	+	-	+	+	только Si4713	3×3 мм QFN20
	Авт. нахождение свободных частот								
Si4720/21	+	-	-	+	-	+	+	только Si4721	3×3 мм QFN20
Si4730/31	+	+	-	-	-	только Si4731	-	только Si4731	3×3 мм QFN20
Si4734/35	+	+	+	-	-	только Si4735	-	только Si4735	3×3 мм QFN20
Si4736/37	+	+	-	-	+	только Si4737	-	только Si4737	3×3 мм QFN20
Si4749	-	-	-	-	-	-	-	только Si4749	4×4 мм QFN24

\* Для всех микросхем в корпусе QFN20/3×3 мм можно создать универсальный дизайн печатной платы

- все микросхемы выполняются на одном кристалле по КМОП-технологии, что позволяет сделать микросхему компактной и дешевой;
  - требуется минимальное количество внешних элементов и, как следствие, миниатюрный размер готового блока на базе этих микросхем;
  - не требуется подстройка внешних элементов в готовом изделии;
  - некоторые микросхемы предоставляют возможность исключения длинной (монопольной) FM-антенны — ее заменяют на встроенную компактную антенну, которая может быть выполнена на печатной плате изделия.
- Список наименований и основных технических характеристик микросхем серии Si47xx приведен в таблице.

### FM-приемники Si470x

Среди FM/AM-продукции Silicon Labs самые простые функционально — FM-приемники Si4702/Si4703. Потребительские характеристики этих FM-тюнеров таковы:

- прием, декодирование и воспроизведение FM-радиотрансляций на частотах 76–108 МГц;
- декодирование текстовых RDS-посылок (только у Si4703);
- высококачественный чистый звук в условиях непостоянного качества принимаемого радиосигнала;
- высокая избирательность в условиях плотного размещения радиостанций в FM-диапазоне.

Технически Si4702/Si4703 (рис. 1) — сложное изделие, но, к счастью, достаточно простое в применении благодаря своей высокой степени интеграции и минимальному набору внешних компонентов, счет которых идет на единицы. Вдобавок, производитель предлагает полный набор руководств по его применению, включающих дизайн схемотехнической части изделия и готовые примеры программ, что сводит проблему разработки практически к нулю.

Работает микросхема следующим образом. Сигнал, принимаемый с антенны, усиливает малошумящий усилитель (LNA), коэффициент усиления которого регулируется блоком АРУ (AGC). Далее сигнал поступает на понижающий преобразователь частоты, подавляющий сигналы от соседних радиостанций. С выхода преобразователя сигнал промежуточной частоты (128 кГц) поступает на усилитель и АЦП. Затем оцифрованный сигнал обрабатывается DSP-процессором, который демодулирует FM-сигнал, выполняет адаптивное подавление шумов в полученном мультиплексе (рис. 2), смешивая моносигнал с разностными составляющими. Далее сигнал поступает на ЦАП левого и правого каналов и после этого сигналом звуковой частоты выводится во внешний мир.

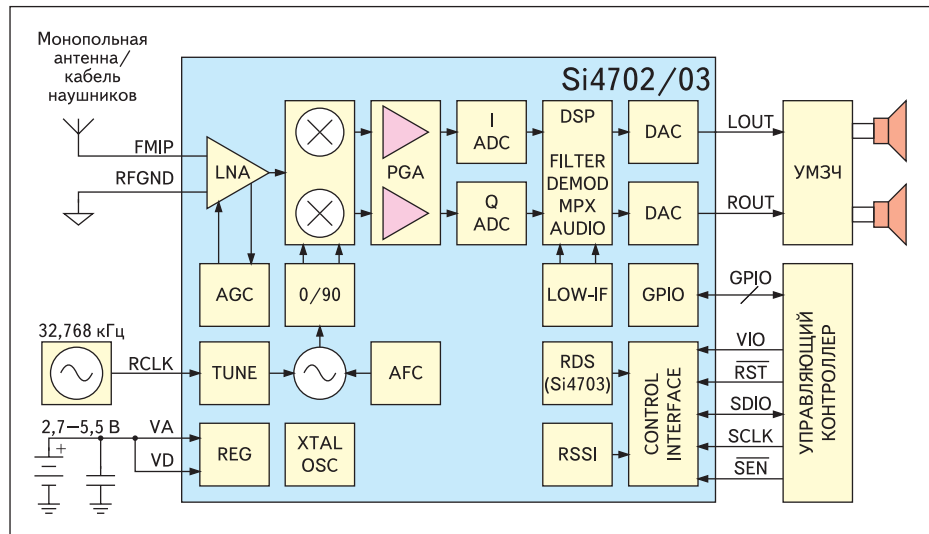


Рис. 1. Функциональная схема Si4702/Si4703

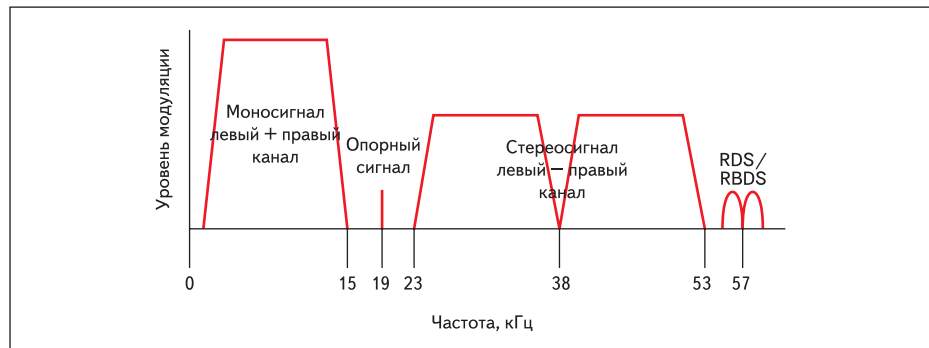


Рис. 2. Мультиплексированный FM-сигнал

Следует отметить, что с точки зрения потребительских характеристик микросхема получилась очень удачной, в первую очередь — благодаря DSP-процессору, технология работы которого была отлажена производителем еще на GSM-приемниках этой фирмы, получившей во времена ее активного продвижения признание ведущих производителей сотовых телефонов. При прослушивании радиотрансляции на Si4702/Si4703 при неустойчивом приеме радиосигнала, обеспечивается устойчивое звучание — чистое от помех и сигналов соседних радиостанций.

В абсолютных цифрах подавление сигнала прочих радиостанций превышает 70 дБ, а соседних — не менее 50 дБ.

Настройка на радиостанцию в микросхеме происходит на этапе выделения промежуточной частоты, где в качестве опорной частоты понижающего преобразователя используется квадратурный опорный (гетеродинный) сигнал, формируемый на основе ГУН, интегрированного на кристалл. Опорным сигналом для ГУН является либо внешний тактовый сигнал на частоте 32,768 кГц, либо встроенный генератор с внешним часовым

### Перевод некоторых надписей на рисунках:

- LNA (Low Noise Amplifier) — малошумящий усилитель
- AGC (Automatic Gain Control) — автоматическая регулировка усиления
- AFC (Automatic Frequency Control) — автоматическая регулировка частоты
- PGA (Programmable-Gain Amplifier) — усилитель с программируемым коэффициентом усиления
- DSP (Digital Signal Processor) — цифровой сигнальный процессор
- REG (Regulator) — регулятор напряжения
- ADC (Analog to Digital converter) — аналого-цифровой преобразователь
- DAC (Digital to Analog Converter) — цифро-аналоговый преобразователь
- Low-IF (Low Intermediate Frequency) — низкочастотный сигнал промежуточной частоты
- GPIO (General Purpose Input/Output) — линии ввода/вывода общего назначения
- RSSI (Received Signal Strength Indicator) — индикатор уровня принимаемого сигнала
- MPX (Multiplexer) — мультиплексор
- LDO (Low DropOut) — регулятор с малым падением напряжения

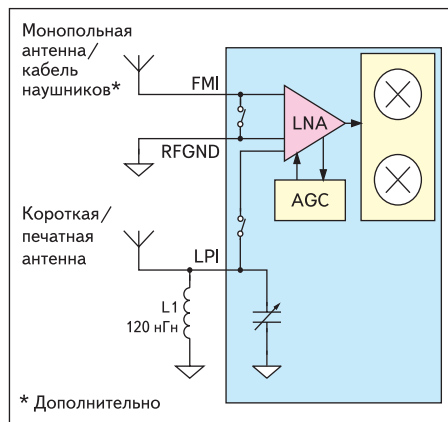


Рис. 3. Антенные входы Si4704/05

кварцем. Подстройка частоты (настройка на радиостанцию) осуществляется программно через регистры блока AGC. Существует возможность переключения частоты с шагом 50, 100 или 200 кГц.

Все управление режимами работы микросхемы производится цифровым способом через регистры, обращение к которым извне производится по интерфейсу SPI или TWI/I<sup>2</sup>C. Микросхема, в свою очередь, предоставляет пользователю возможность прочитать текущее состояние этих регистров, а также получить данные текстовых посылок в формате RDS, декодированные ей. Благодаря встроенному регулятору напряжения, микросхема может питаться от внешнего источника питания напряжением 2,7–5,5 В.

Серия микросхем FM-тюнеров Silicon Labs за последний год расширилась. Совсем недавно был начат серийный выпуск FM-тюнеров Si4704/05, имеющих улучшенные технические характеристики. Основные отличия Si4704/05 от Si4702/03 заключаются в следующем:

1. Добавлена поддержка встроенной (или короткой внешней) резонирующей антенны, выполненной на печатной плате изделия. Схема подключений приведена на рис. 3. Работа встроенной антенны обеспечивается интегрированным на кристалл варикапом. Изменяя емкость варикапа, микросхема настраивает контур, организованный в паре с внешней индуктивностью и печатной антенной, на требуемую частоту/радиостанцию. Предусмотрена аппаратная возможность определения наличия внешней антенны и переключения на нее.
2. Поддерживается прием сигнала, транслируемого в режиме моно, на частотах 64–76 МГц. Отметим, что это изменение введено для России и некоторых провинций Китая, так как в других странах на этих частотах трансляций нет.
3. В Si4705, помимо аналогового вывода аудиосигнала, предусмотрен цифровой интерфейс для его вывода в формате PCM. Такая возможность упрощает запись трансляций при использовании FM-тюнера в составе цифрового устройства.

4. Расширен диапазон частот опорного сигнала, подаваемого на вход ГУН. Это позволяет использовать уже имеющиеся в изделии кварцованные тактовые сигналы в диапазоне от 31,140 кГц до 40 МГц. Предусмотрена возможность использования часового кварца.

5. В отличие от Si4702/03, где аналоговое и цифровое питание микросхемы было выведено отдельно, в Si4704/05 эти линии питания разведены внутри. Благодаря этому можно избавиться от лишнего блокировочного конденсатора по питанию.

6. Топология кристалла оптимизирована так, чтобы по уровню радиочастотных помех, создаваемых микросхемами Si4704/05, обеспечить совместимость со стандартом EN55020/22.

Был сделан ряд других незначительных изменений, которые улучшили технические характеристики Si4704/05.

### FM/AM-приемники Si473x

Среди микросхем приемников также выпускаются AM/FM-приемники серии Si473x. Все микросхемы AM/FM-приемников Si473x принимают FM-радиотрансляции в диапазоне частот 76–108 МГц (FM/УКВ) и AM-радиотрансляции на частотах 520–1720 кГц (AM/CB). Микросхема Si4731 дополнительно может принимать и декодировать RDS-сигнал, сопровождающий FM-радиостанции. Микросхемы Si4734 и Si4735, вдобавок, принимают радиотрансляции в диапазоне 159–279 кГц (LW/ДВ) и 2,3–21,85 МГц (SW/KB).

Технически микросхемы Si473x (рис. 4) аналогичны Si4702/03, но в отличие от нее имеют дополнительный антенный вход для AM-сигнала. Сигнал с входа поступает на отдельные усилитель и понижающий преобразователь частоты, настроенные на более длин-

ные волны. Сигнал промежуточной частоты на выходе преобразователя, имеющий ту же частоту, что и на выходе FM-преобразователя, поступает далее на общие с FM-трактом цепи (ADC, DSP, DAC), где обрабатывается по несколько другому программному алгоритму.

Прелесть интегрального решения Si473x заключается в том, что при производстве изделий на базе Si473x не требуется подстройка каких-либо внешних элементов.

Для приема радиотрансляций на средних и длинных волнах можно использовать два типа антенн: ферритовую или рамочную. Преимущество ферритовой антенны состоит в том, что она легко размещается внутри изделия. Так как Si473x поддерживают антенны даже с небольшой индуктивностью (от 180 мкГн), то сама антенна может быть достаточно компактной (от 3×3×25 мм).

Однако в условиях слабого сигнала миниатюрность ферритовой антенны и ее местоположение внутри приемника может сказаться на качестве приема сигнала. Причем помехи, создаваемые электрическими цепями внутри изделия, могут иметь частотные составляющие в диапазоне средних волн, а значит, антенна, находясь вблизи с ними, будет принимать и эти сигналы. Этому следует уделить особое внимание при проектировании печатной платы и размещении антенны в изделии. В качестве альтернативы производитель рекомендует применять внешнюю рамочную антенну. Но рамочная антенна имеет небольшую индуктивность (10–20 мкГн), поэтому дополнительно необходимо использовать миниатюрный трансформатор с коэффициентом трансформации 1:5, увеличивающим индуктивность практически в 25 раз.

Для приема коротковолновых радиостанций на Si4734/35 необходима такая же штыревая антенна, как и для УКВ-диапазона.

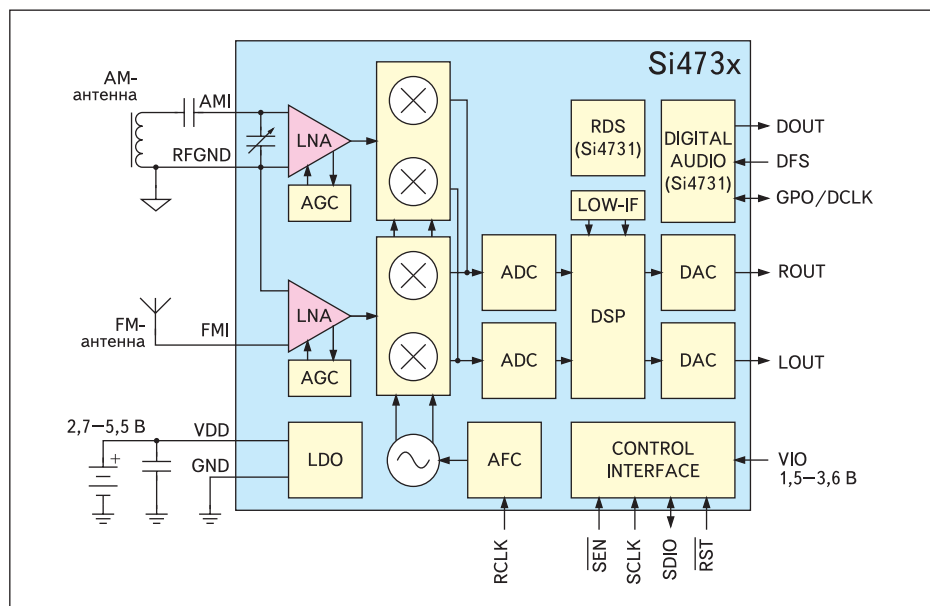


Рис. 4. Функциональная схема Si473x

Так как для диапазона УКВ и КВ предусмотрены два различных антенных входа, то для совместного использования одной антенны потребуются дополнительные элементы — катушка индуктивности 4,7 мкГн и аналоговый или механический выключатель для отключения элементов схемы на входе АМ, мешающих в режиме приема FM-сигнала.

Гибкость использования широкого спектра антенн и индуктивных компонентов обеспечивается встроенным в микросхему варикапом. Аналогично FM-тюнерам Si4704/05, емкость варикапа/входных каскадов антенного входа автоматически подстраивается в соответствии с параметрами антенны.

Так же как и в Si470x, в АМ/FM-тюнерах настройка на радиостанцию может производиться как в режиме автоматического поиска, так и «вручную». Шаг подстройки для АМ-, SW- и LW-частот в ручном режиме составляет 1 кГц.

Серия микросхем Si473x получилась очень удачной и востребованной. Одно из подтверждений этому — награда «Продукт года», полученная в январе 2008 года в рамках голосования редакторского совета издания «Electronic products» ([www.electronicproducts.com](http://www.electronicproducts.com)) в номинации «Самые выдающиеся электронные компоненты 2007 года». На конкурс были представлены все электронные компоненты различных производителей, анонсированные за 2007 год. Это многие тысячи микросхем, но только 24 из них удостоились этой премии.

### FM-передатчики и приемопередатчики

FM-передатчики серии Si471x выполняют обратную FM-тюнерам задачу. Она состоит в том, чтобы передать аудиосигнал (плюс некоторые текстовые посылки) на FM-частоте любому FM-приемнику, находящемуся в зоне действия передатчика.

Основные функции микросхемы Si471x:

- радиотрансляция аудиосигнала на частотах 76–108 МГц;
- кодирование и передача текстовых сообщений в формате RDS (только Si4711/13);
- выполнение стандартных для FM-радиотрансляции преобразований входного звукового сигнала.

Структурно передатчики организованы по тому же принципу, что и приемники, только сигналы в микросхеме проходят в обратную сторону (рис. 5). Входной аудиосигнал в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц поступает на аналоговые входы, нормируется, фильтруется и оцифровывается. Также предусмотрен ввод аналогового сигнала сразу в цифровом формате, минуя цепи первичной обработки аналогового сигнала.

Далее цифровой сигнал поступает на DSP-процессор, который выполняет все функции его обработки, формирования мультиплексированного сигнала (рис. 2) и прочих частотных преобразований, требуемых для даль-

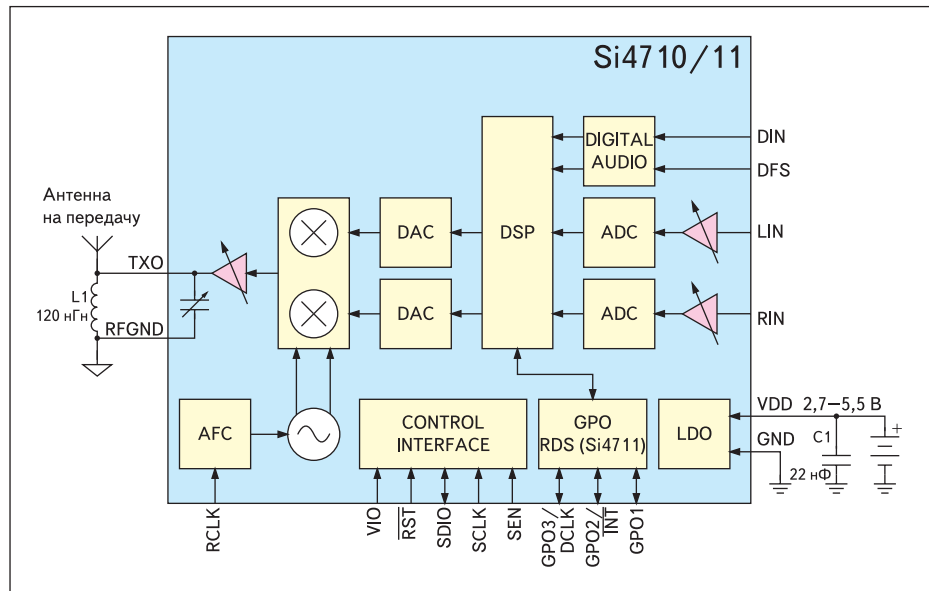
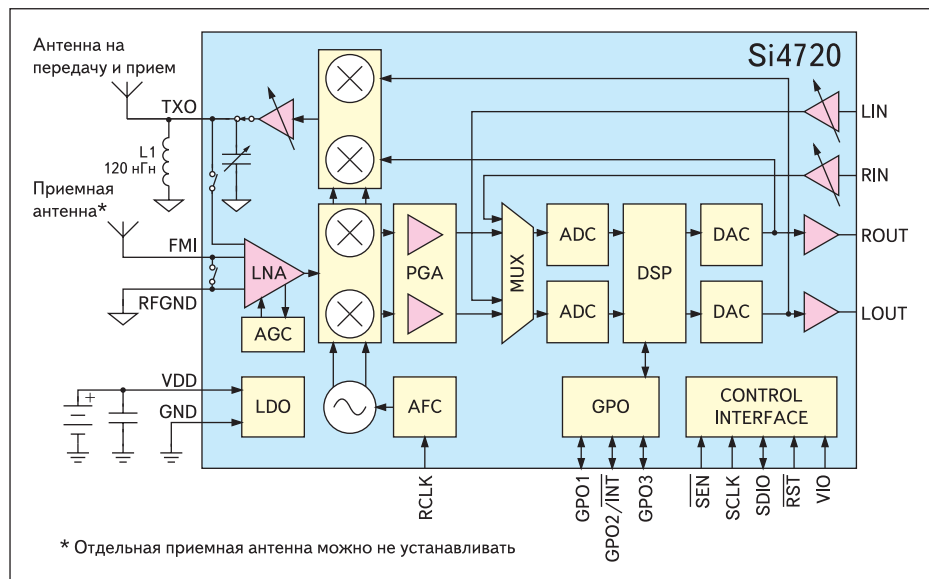


Рис. 5. Функциональная схема Si4710/11



\* Отдельная приемная антенна можно не устанавливать

Рис. 6. Функциональная схема Si472x

нейшего распознавания любым FM-приемником. Полученный сигнал промежуточной частоты смешивается с гетеродинным сигналом и через усилитель мощности выводится на антенну. Выходная мощность передатчика перестраивается программно с шагом 1 дБ до максимального значения 10 дБ.

В Si471x встроен варикап, который, аналогично Si4704/Si4705, обеспечивает подстройку контура антенны на оптимальную выходную мощность и АЧХ. Благодаря этому могут быть использованы разные антенны: встроенная, длинная или короткая monopольная (штыревая), а также рамочная.

В микросхемах Si4712/13 предусмотрена функция автоматического сканирования FM-диапазона для поиска свободных частот, которые передатчик сможет использовать для радиотрансляции. Это существенно упрощает

задачу выбора желаемой частоты при использовании изделий на базе этих микросхем.

В номенклатуре FM изделий Silicon Labs также существует класс микросхем, которые выполняют функцию приема и передачи FM-сигнала. Это микросхемы Si472x. В определенный момент времени микросхема может либо принимать, либо передавать сигнал. Функциональная схема Si472x приведена на рис. 6.

Подробно останавливаться на описании этих микросхем в рамках данной статьи не будем. Отметим лишь, что функционально микросхема Si4720 аналогична паре микросхем Si4710 и Si4704, а Si4721 — паре Si4713 и Si4705.

В качестве примера применения Si472x можно привести MP3-плеер с функцией радио и дополнительной функцией передачи MP3-записей на FM-приемник, обладающий, например, более качественной акустикой.

### Программные и аппаратные средства поддержки разработок

Фирма Silicon Labs предоставляет полный набор программных и аппаратных средств, позволяющих проектировать изделия с использованием микросхем Si47xx даже разработчику, который мало знаком со специфическими особенностями создания подобных устройств.

Состав документов и ПО разработчика включает:

- Графическую среду для ПК, обеспечивающую удобный графический интерфейс ко всем функциям и регистрам микросхем.
- Универсальное руководство по применению для всех стартовых наборов (AN388).

- Руководство программиста/примеры программ (AN332).
- Руководство по разработке принципиальной схемы, печатной платы изделия и антенн (AN383).
- Руководство по испытаниям/тестированию в лабораторных условиях (AN388).
- Руководство по испытаниям/тестированию в «полевых» условиях (AN316).
- Руководство по организации тактирования Si47xx (AN299).

Эти документы охватывают практически весь спектр вопросов, возникающих при разработке изделий с использованием микросхем Si47xx. Некоторые вопросы, специфичные для определенных линеек микросхем, рассматриваются в отдельных руководствах.

### Заключение

Отметим, что микросхемы Si47xx получились удачными и некоторые из них уже начали массово применяться в России в изделиях различного назначения. Разработчики, проектирующие AM/FM-приемники на дискретных компонентах и некоторых интегральных решениях других фирм, отмечают, что никогда ранее не видели столь компактных микросхем, требующих минимального набора внешних элементов и выполняющих функции приема, декодирования и воспроизведения радиотрансляций одинаково как в лабораторных, так и реальных условиях. Отсутствие подстраиваемых внешних элементов придает микросхемам Si47xx особую привлекательность. ■