

# СМХ8341: цифровой и аналоговый PMR-радиопроектор

Евгений ПОТЁМКИН  
Evgeniy.Potemkin@macrogroup.ru  
Андрей САМОДЕЛОВ

**Переход с аналоговых систем связи на цифровые позволил устройствам профессиональной радиосвязи сделать огромный шаг в своем развитии. Цифровые системы радиосвязи, в отличие от аналоговых, имеют улучшенное качество передачи речи, больший радиус действия, лучшую защиту от прослушивания, современные возможности управления вызовами и интеграцию с системами передачи данных.**

## Постепенный переход на цифровые методы связи

Долгое время аналоговые средства и системы связи были необходимым инструментом для работы многих организаций, что подтверждает распространенность таких устройств во всем мире и постоянное их использование. Со временем аналоговые средства связи постоянно перерабатывались, а их характеристики улучшались, что привело к достижению пика их функциональности. Для появления новых возможностей и перехода на более производительный уровень радиосвязи необходима новая платформа.

Многие организации уже отходят от использования традиционных аналоговых систем двусторонней связи. Некоторые сталкиваются с проблемой перегруженности лицензированных каналов, поэтому возникает потребность в дополнительной емкости. Другим же нужен более универсальный способ организации связи с абонентами как внутри, так и вне рабочей группы. Остальным требуется наряду с передачей речи организовать доступ к данным для того, чтобы повысить скорость реагирования и производительность труда персонала. Цифровая система радиосвязи — это мощная и универсальная платформа, способная решить все эти проблемы, которые существуют уже сегодня и могут возникнуть в будущем.

Сейчас наблюдается постепенный переход на цифровые стандарты в профессиональных системах радиосвязи. Возрастающие

потребности абонентов систем радиосвязи, а также предъявляемые требования к устройствам приводят к тому, что производители и пользователи этих систем начинают искать возможность передавать как можно больше информации в выделенной полосе частотного диапазона: другими словами, повышают эффективность использования частотного ресурса. По существующим цифровым каналам можно передать два и более вызова в единицу времени, в то время как раньше использовался только один.

Существующая сетка частот позволяет организовать распределение каналов внутри частотного диапазона с шагом 25, 12,5 и 6,25 кГц. Несложно понять, что в современном перегруженном радиодиапазоне чем больше каналов может поместиться в заданной полосе частот, тем более эффективным будет спектр излучения. На базе микросхем CML Microcircuits можно реализовать тракты обработки немодулированного сигнала и передачи данных, как по беспроводному каналу, так и по проводам, а также цифровую обработку голоса.

## Популярные методы цифровой связи

В настоящее время наиболее популярны два метода мультиплексирования каналов связи: множественный доступ с частотным разделением каналов (Frequency Division Multiple Access, FDMA) и множественный доступ с временным разделением каналов (Time

Division Multiple Access, TDMA). На основе этих методов разработаны два стандарта цифровой радиосвязи: Digital Mobile Radio (DMR) и Digital Private Mobile Radio (dPMR). Рассмотрим более подробно каждый из них.

### Стандарт DMR

Стандарт DMR был одобрен Европейским институтом телекоммуникационных стандартов (ETSI) в 2005 году. Основное преимущество DMR заключается в более эффективном использовании спектра. Этот стандарт позволяет работать в частотах PMR, используя такую же ширину канала — 12,5 кГц. Применение метода TDMA дает возможность разделить канал на два временных интервала, с сохранением рабочих характеристик физического канала шириной 12,5 кГц. Эти логические каналы позволяют, например, передавать одновременно два самостоятельных вызова или задействовать один из каналов для передачи данных.

Этот метод разделен на три поддерживаемых рабочих режима работы:

- DMR Tier 1. Ориентирован на работу в лицензируемом диапазоне частот 446 МГц. Абонентские устройства предназначены для работы в режиме «пользователь — пользователь» (peer-to-peer), то есть без сетевой инфраструктуры. Максимальная мощность пользовательского оборудования — 0,5 Вт.
- DMR Tier 2. Охватывает лицензируемые частоты от 66 до 960 МГц. Ориентирован на качественную передачу голоса и интегрированную возможность передачи данных. Этот стандарт поддерживает двухслотовую технологию TDMA в канале 12,5 кГц.
- DMR Tier 3. Транкинговая связь в диапазонах 66–960 МГц. Здесь также используется двухслотовая технология TDMA в канале 12,5 кГц. Стандарт ориентирован на увеличение эффективности использования спектра и поддержку пакетной передачи данных, в том числе по протоколам IPv4 и IPv6.

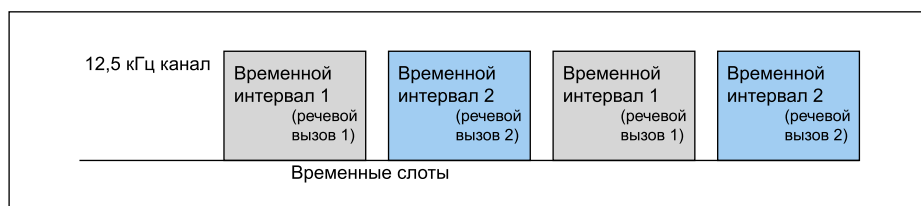


Рис. 1. Временные слоты при временном мультиплексировании каналов (TDMA)

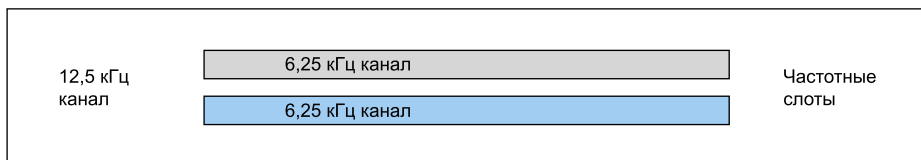


Рис. 2. Частотные слоты при частотном мультиплексировании каналов (FDMA)

**Технология dPMR-FDMA**

Digital PMR (dPMR) — это цифровая технология, направленная на повышение эффективности использования частотного ресурса, имеющегося у пользователей аналоговых радиостанций, а также на увеличение покрытия, времени работы батареи и пр. При dPMR используется метод частотного разделения канала FDMA, то есть вместо одного канала 12,5 кГц получаются два канала по 6,25 кГц. При наличии стандартного канала 12,5 кГц dPMR обеспечит удвоение его емкости как в режиме реер-to-реер, так и при использовании ретранслятора и базовых станций.

**Описание CMX8341**

Компания CML Microcircuits — один из основателей ассоциации DMR (DMR Association), цель которой — развитие и внедрение на рынок новых стандартов цифровой радиосвязи.

Новое решение компании CML Microcircuits — двухрежимный dPMR/PMR-процессор CMX8341 — способно ускорить переход к цифровому стандарту связи.

CMX8341 обладает богатым набором встроенных функций: голосовое управление и автономные системы обработки данных, включая вокодер, уменьшают взаимодействие с управляющим микроконтроллером, что позволяет значительно сократить энергопотребление и увеличить срок службы батареи радиостанций.

В CMX8341 используется запатентованная технология FirmASIC компании CML Microcircuits, которая заключается в том, что набор функций микросхемы конфигурируется с помощью файла-образа Function Image, который представляет собой массив данных и загружается при инициализации устройства через встроенный C-BUS-интерфейс с помощью хост-микроконтроллера или внешней памяти EEPROM. Функции микросхемы можно периодически расширять, загружая обновленную версию файла-образа Function Image с официального сайта производителя.

Микросхема CMX8341 состоит из двух основных частей — аналоговой и цифровой. Цифровая часть поддерживает полудуплексный dPMR-режим работы. В ее состав входят 4FSK-модем, вокодер на базе алгоритма RALCWI, практически полный dPMR-радиоинтерфейс, физический и каналный уровни, а также уровень управления.

Аналоговая часть CMX8341 предназначена для аналогового режима PMR. В соответствии с этим реализована поддержка полного диапазона звуковых частот. Встроенные каналные фильтры с полосой 12,5/25 кГц, а также DCS- и CTCSS-сигнализирование с подтональной фильтрацией обеспечивают высокую эффективность работы процессора в этом режиме.

В микросхеме дополнительно реализованы два вспомогательных АЦП с 4 коммутируемыми входами и четыре вспомогательных ЦАП (с функцией RAMDAC для первого ЦАП — для быстрого изменения мощности передатчика).

Использование этого процессора одновременно с ВЧ-приемопередатчиком и устройством управления позволяет создать компактную, дешевую, экономичную цифровую PMR-радиостанцию, которая соответствует dPMR-стандартам TS 102 490 ETSI и TS 102658.

Гибкое управление энергопотреблением позволяет микросхеме, в периоды между обработкой сигналов, оптимизировать потребляемую мощность.

Микросхема имеет вход сигнала от внешнего гетеродина для тактирования частотой 19,2 МГц и, при необходимости, может удваивать его частоту встроенной системой ФАПЧ.

Блок-схема CMX8341 показана на рис. 3.

Перейдем к описанию функциональных особенностей CMX8341. На рис. 4 и 5 показан путь автономного прохождения сигнала в режиме передачи (Tx) и приема (Rx) соответственно.

**Особенности dPMR режима работы**

Работа системы в цифровом режиме обеспечивается загрузкой файла-образа Function Image 8341FI-1.x, который предназначен для использования в полудуплексных dPMR-системах с 4FSK-модуляцией и скоростью обмена 4800 бит/с при ширине канала 6,25 кГц. При этом обеспечивается полная обработка цифрового сигнала, включая функцию RALCWI-вокодера.

Образ Function Image 8341FI-1.x соответствует стандарту ETSI TS 102 490 и имеет встроенный протокол радиоинтерфейса (табл. 1).

**Особенности аналогового режима работы**

Особенности работы системы в аналоговом режиме приведены в таблице 2.

**Технология FirmASIC**

Запатентованная компанией CML Microcircuits технология FirmASIC способствует увеличению гибкости при разработке и эксплуатации изделий, а также сокращает время выхода их на рынок и снижает конечную стоимость устройства. FirmASIC объединяет аналоговые и цифровые технологии с возможностями обновления конфигурации (Firmware) микросхемы и работы с внешней памятью на единой кремниевой платформе, которую можно ориентировать на получение необходимого набора функций, производительности и цены для конечных изделий. Требуемый набор функций микросхемы определяется загруженным при инициализации микросхемы образом Function Image. Позднее можно загрузить новую версию образа Function Image, которая открывает дополнительные функции конечного изделия, без необходимости дополнительных изменений в конструкции. Технология FirmASIC имеет коммерческие преимущества перед решениями на заказных ASIC, структурированных ASIC, FPGA и DSP. FirmASIC можно использовать и в ситуациях, когда вопросы безопасности или интеллектуальной собственности не позволяют для реализации специфических функций применять стандартные ИС (ASSP).

Таблица 1. Особенности протокола радиоинтерфейса

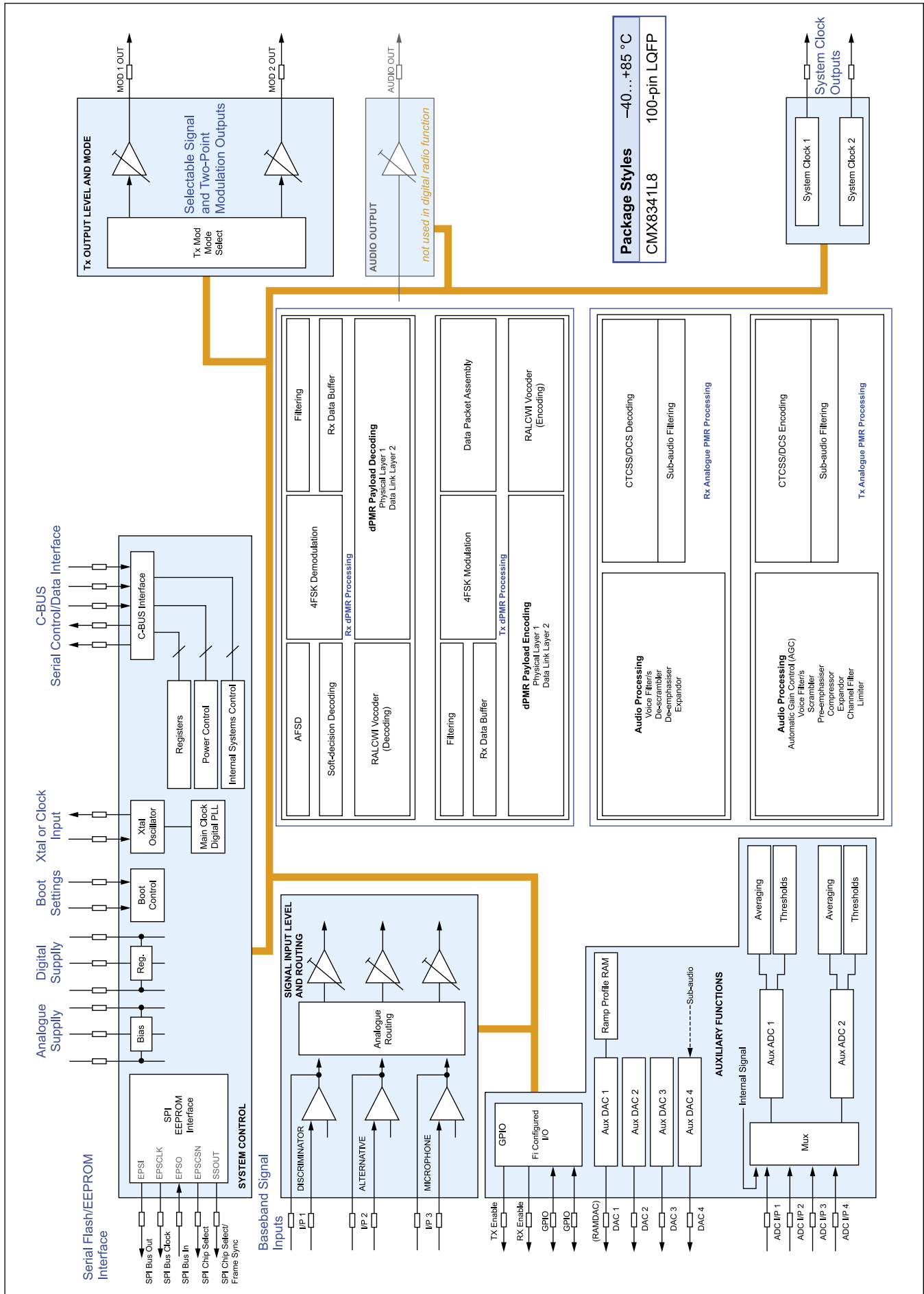
Физический уровень радиоинтерфейса	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4FSK-модуляция и демодуляция</li> <li>• Определение битов и символов</li> <li>• Синхронизация частоты и символов</li> <li>• Создание и разбиение пакета при передаче</li> </ul>
Канальный уровень радиоинтерфейса	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Канальное кодирование (FEC, CRC)</li> <li>• Перемешивание, восстановление и битовое упорядочивание</li> <li>• Создание и синхронизация фреймов и суперфреймов</li> <li>• Определение пакетов и параметров</li> <li>• Канальная адресация (источник и приемник)</li> <li>• Взаимодействие голосовых приложений (голосовые данные) с физическим уровнем</li> <li>• Обслуживание однонаправленного канала данных</li> <li>• Обмен сообщениями и/или пользовательскими данными с уровнем управления вызовами</li> <li>• Автоматическое определение Own-ID и Group-ID</li> </ul>

Таблица 2. Особенности работы системы в аналоговом режиме

Особенности аналогового режима работы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Полная обработка звука</li> <li>• Встроенный ФВЧ 300 Гц</li> <li>• 12,5/25 кГц каналный фильтр</li> <li>• Компандер</li> <li>• Скремблер</li> <li>• Голосовая автоматическая регулировка усиления (APU)</li> <li>• Подстройка уровня сигнала</li> <li>• Внутриполосная генерация тоновых сигналов</li> <li>• Внешняя субаудиофильтрация</li> <li>• Внутренняя субаудио (CTCSS и DCS) генерация и детектирование</li> </ul>
Универсальные PMR-функции	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Поддержка RAMDAC</li> <li>• Двухканальные выходы модулированного сигнала</li> <li>• Функции жесткого или мягкого вывода данных</li> <li>• Встроенный RALCWI-вокодер</li> </ul>

Таблица 3. Дополнительные функции

Вспомогательные функции	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Два программируемых выхода гетеродина</li> <li>• Два вспомогательных АЦП с 4 коммутируемыми входами внешнего сигнала</li> <li>• Четыре дополнительных ЦАП, один со встроенным программируемым RAMDAC-преобразователем</li> <li>• Выводы GPIO, предназначенные для управления внешними целями приема/передачи</li> </ul>
Системный интерфейс	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Оптимизированный C-BUS интерфейс (4-проводная высокоскоростная последовательная синхронная шина команд и данных) для управления и обмена данными с микроконтроллером</li> <li>• Выходы IRQ с открытым стоком</li> <li>• Режим последовательной загрузки из устройства памяти</li> <li>• Режим загрузки по шине C-BUS</li> </ul>



**Package Styles**  
 CMX8341L8      100-pin LQFP  
 -40...+85 °C

Рис. 3. Блок-схема CMX8341

## Принципы конструирования систем

Далее будет рассмотрена работа отдельных блоков и подсистем в режиме приема и передачи при цифровой и аналоговой обработке сигналов.

### Обмен данными в режиме dPMR

При передаче начальный блок полезной информации или данных канала управления необходимо загрузить из микроконтроллера в соответствующие регистры памяти через C-BUS интерфейс. Затем CMX8341 может отформатировать и передать эти данные, пока в это же время из микроконтроллера или вокодера загружается следующий блок данных.

При приеме хост-микроконтроллер должен выдержать промежуток времени, пока CMX8341 отфильтрует, демодулирует и декодирует выходные данные перед их отправкой в микроконтроллер или вокодер. Для улучшения производительности голосовые данные можно выводить в 4-разрядном формате, совместимом с форматом данных вокодера. В этом режиме скорость обмена по шине C-BUS увеличивается в четыре раза.

### Измерение уровня мощности принимаемого сигнала (RSSI)

Вспомогательный АЦП можно использовать для реализации бесшумной настройки или измерения уровня мощности принимаемого сигнала (RSSI) от ВЧ-модуля при работе микросхемы в холостом или приемном режимах. Это позволяет значительно уменьшить энергопотребление CMX8341 и избавляет от необходимости задействовать микроконтроллер. С помощью программируемых порогов ЦАП можно задавать уровень шумоподавления.

### Последовательное подключение памяти

Последовательный интерфейс памяти (EPSCSN) позволяет подключить внешнюю микросхему памяти, которую можно использовать для хранения файла-образа Function Image.

### Описание dPMR-модема

Модем предназначен для работы на скорости 4800 бит/с в пределах ВЧ-канала шириной 6,25 кГц. Он реализован таким образом, что при использовании вместе с подходящим ВЧ-сегментом, хост-микроконтроллером и управляющим программным обеспечением соответствует всем требованиям стандартов EN 301 166 и TS 102 490.

Стандарт dPMR не оговаривает алгоритмы кодирования звука, поэтому для этих целей в CMX8341 используется RALCWI-вокодер.

### Модуляция

Реализованная схема модуляции 4FSK использует ширину канала 6,25 кГц с индексом

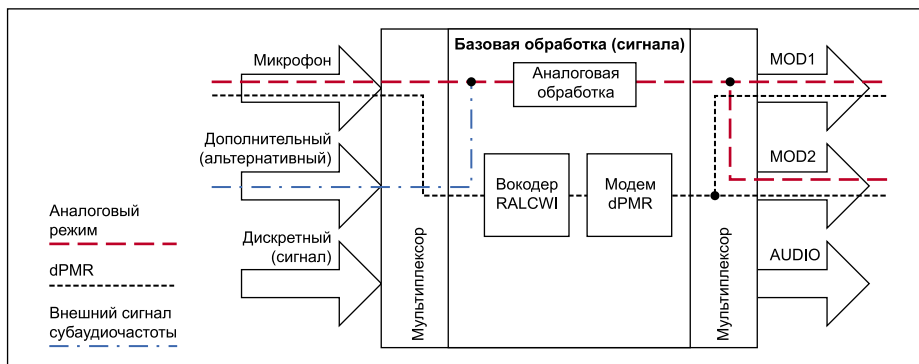


Рис. 4. Автономное прохождение сигнала в режиме передачи (Tx)

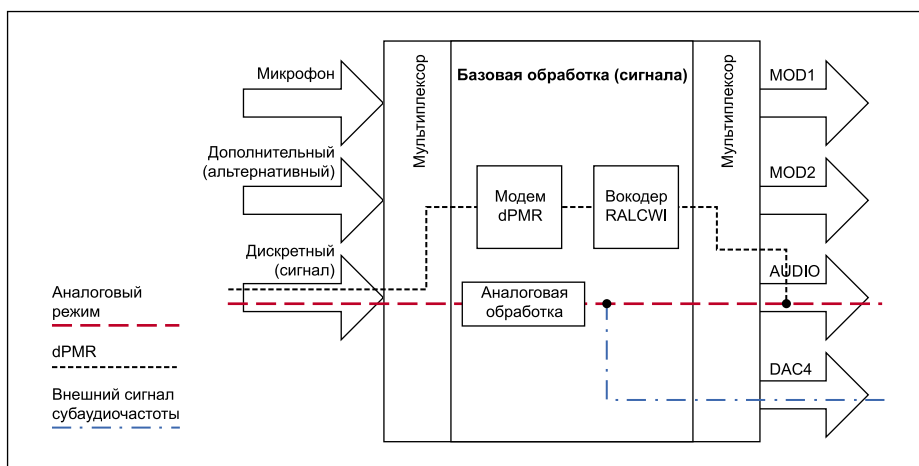


Рис. 5. Автономное прохождение сигнала в режиме приема (Rx)

девиации частоты 0,29 и имеет скорость обмена данными в эфире 4800 бит/с. RRC-фильтры с коэффициентом сглаживания  $\alpha = 0,2$  реализованы как в передающем (Tx), так и в приемном (Rx) канале. Максимальная ошибка по частоте составляет  $\pm 625$  Гц. Микросхема имеет возможность адаптации к временному уходу частоты тактового генератора до 2 ppm при передаче 180-секундного пакета.

### Внутренняя обработка данных

CMX8341 работает в полудуплексном режиме: либо принимает сигнал от ВЧ-части в режиме Rx, либо передает сигнал в ВЧ-схеме в режиме Tx. Кроме того, она имеет режим ожидания (Idle) для продления срока службы батарей. Блоки внутренней обработки данных в режимах Tx и Rx показаны на рис. 6.

### Синхронизация кадров и демодуляция

Аналоговый сигнал от ограничителя/дискриминатора внешнего ВЧ-блока должен подаваться на один из входов CMX8341, где его уровень доводится до необходимого значения выбором резистора обратной связи или подстройкой коэффициента усиления входного усилителя. Сигнал проходит через RRC и инверсный фильтр, затем поступает на автоматический детектор синхросылок (Automated Frame Sync Detector, AFSD), который, в свою очередь, выделяет символ син-

хронизации фрейма. В этом процессе 4FSK-демодулятор и блоки обработки данных выключены для уменьшения потребляемой мощности. После синхронизации фрейма блок AFSD выключается, и полученная информация передается в 4FSK-демодулятор, который начинает декодирование данных. CMX8341 может обнаружить конец вызова, автоматически отключить демодулятор и перезапустить поиск синхросылок без вмешательства микроконтроллера.

Цифровой вызов начинается с 72-разрядной или более длинной последовательности, за которой следует 80-мс кадр заголовка (Header Frame), который содержит 48-разрядную синхросылку (FS1 или FS4). Последующие кадры полезных данных содержат или 24-разрядную синхросылку (FS2), или 24-разрядный код цвета. CMX8341 может одновременно сканировать все dPMR-синхросылки. Микросхема использует FS1 для обнаружения начала передачи и сообщает об этом микроконтроллеру путем установки бита FS1 Detect в регистре IRQ Status. Она может также дополнительно использовать FS2 для выполнения «позднего входа» в имеющемся вызове путем установки бита FS2 Detect. Малая длина FS2 дает более высокую вероятность ложных срабатываний, таким образом, по умолчанию CMX8341 будет генерировать FS2 Detect только при обнару-

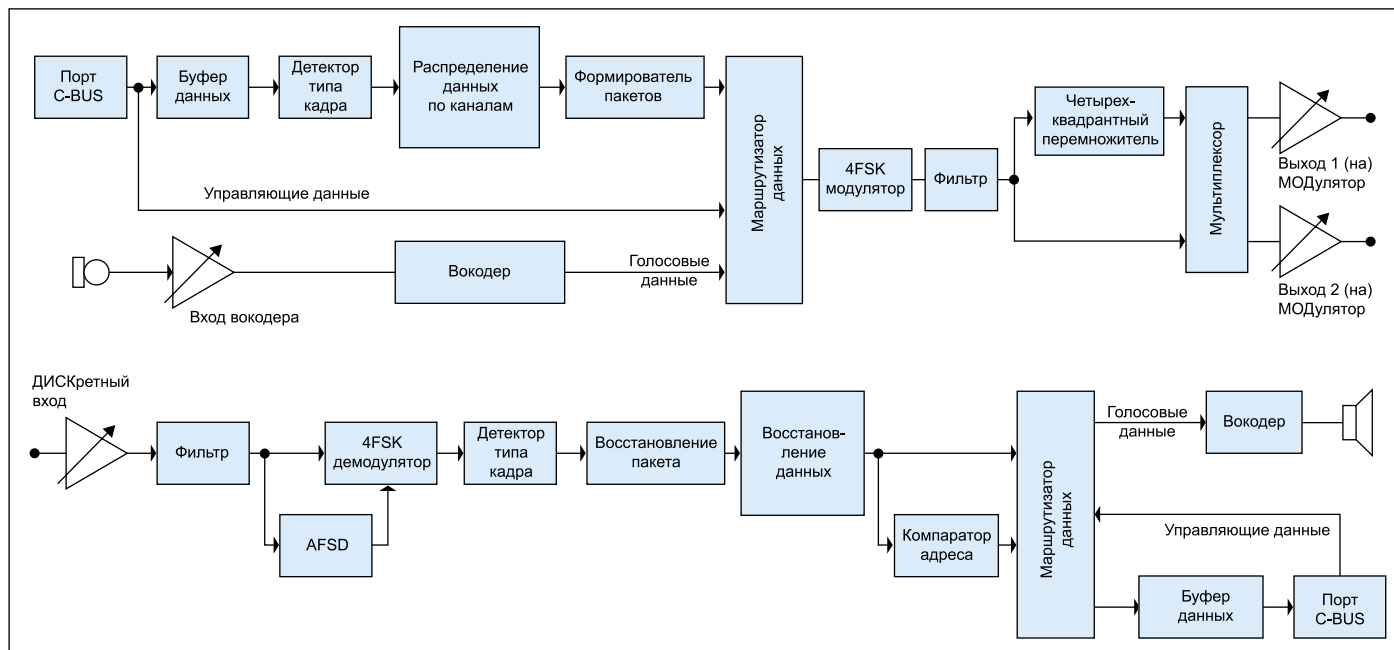


Рис. 6. Блоки внутренней обработки данных

жении в принимаемом сигнале двух последовательных FS2-синхропосылок в определенном интервале.

Используются синхропосылки и преамбула, определенные стандартом TS 102 490. При синхронизации кадра и включенном 4FSK демодуляторе детектор кадров выключается и любые последующие синхропосылки не обрабатываются.

#### FEC и кодирование

В микросхеме CMX8341 полностью реализованы алгоритмы CRC, коды Хемминга, уплотнение каналов и скремблирование согласно стандарту dPMR. При возникновении ошибки контрольной суммы генерируется сообщение, которое затем записывается в соответствующий регистр. Это избавляет микроконтроллер от ненужной загрузки и дает дополнительные преимущества, при этом уменьшаются сложность протокола и время обмена узлов.

В формате dPMR Header Frame предусмотрено дублирование всех полей канала управления, но только одна декодированная копия будет отправлена в микроконтроллер. После приема кадра Header Frame микросхема CMX8341 декодирует оба блока, проверяет их контрольную сумму и может принять вызов, если блок правильный.

#### Кодирование голоса

CMX8341 содержит RALCWI-вокодер и использует последовательный интерфейс для передачи команд управления и голосовых данных непосредственно в блок вокодера.

При передаче голосовых данных в блок вокодера в режиме приема всегда используется 4-разрядный формат. Эта функция доступна и при передаче голосовых данных в микро-

контроллер (режим передачи), хотя и увеличивает необходимый уровень передаваемых данных в четыре раза.

#### Требования к производительности ВЧ-сегмента

Демодулятор CMX8341 спроектирован для обработки 4FSK-сигнала, поступающего от ограничителя/дискриминатора. Для достижения оптимальной производительности сигнал не должен значительно ослабляться фильтрами, которые являются слишком узкополосными и/или приводят к значительной групповой задержке. Необходимо позаботиться о согласовании с ВЧ-схемами для поддержания постоянства частотного и фазового ответа (на низшей и высшей частотах диапазона), чтобы достичь оптимальной производительности. Наличие тестового режима облегчает разработку и настройку изделий.

#### Тональный генератор

Он позволяет генерировать сигнал с частотой от 300 Гц до 3 кГц (по умолчанию — 1 кГц). Отдельно регулируется уровень сигнала. Для задания частоты сигнала используется регистр интерфейса C-BUS.

#### Аналоговый режим

Микросхема CMX8341 способна работать и в аналоговом режиме, который может оказаться полезным при переходе от существующих аналоговых приложений к цифровым устройствам. Далее будут рассмотрены особенности работы CMX8341 в аналоговом режиме.

#### Режим передачи

В аналоговом режиме передачи сигнал от микрофона обрабатывается и суммируется

либо с внешним, либо с внутренним субаудиосигналом. Выбор пути прохождения сигнала определяется значением, записанным в соответствующий регистр.

#### Режим приема

В режиме приема принятый сигнал фильтруется и обрабатывается таким образом, что полезный звуковой сигнал поступает на соответствующий вывод, а субаудиосигнал подается либо на вывод дополнительного ЦАП, либо на внутренний субаудиодетектор. Выбор пути прохождения сигнала определяется значением, записанным в регистр памяти.

#### Оптимизация уровня сигнала

Внутренняя обработка сигнала CMX8341 осуществляется в широком динамическом диапазоне и с малым уровнем вносимых искажений. Если микросхема работает от источника питания 3,3 В, то максимальный уровень сигнала, который будет обрабатываться без искажений, составляет  $[(3,3 \times 90\%) - (2 \times 0,3)]$  В (пиковое значение) = 838 мВ при синусоидальном сигнале. Этот уровень не должен быть превышен ни в одном блоке. В аналоговом режиме функция APV обеспечивает в широком диапазоне оптимизацию уровня сигнала с микрофонного входа. В этом режиме эффекты предвысказаний (Pre-emphasis) и их компенсации (De-emphasis), а также условия перегрузки необходимо задавать в соответствии с уровнем входного сигнала.

#### Уровни сигнала в тракте передачи

Для получения максимальных уровней сигнала на выходах аттенюаторов необходимо, чтобы значение уровня сигнала на выходе блока модема составляло 0 дБ. Имеется возможность регулировки ослабления от 0

до +40 дБ. В аналоговом режиме рекомендуется использовать функцию голосовой автоматической регулировки усиления (АРУ).

### Уровни сигнала в тракте приема

С помощью значений регистра памяти можно изменять усиление от 0 до +22,4 дБ. При минимальном значении (0 дБ) допустимо максимальное значение уровня входного сигнала, которое составляет 838 мВ. Однако этот уровень сигнала никогда не должен превышать.

### Обработка звука

Для обработки звука в аналоговом режиме имеются составляющие, которые представлены в таблице 4.

### Заключение

Мы рассмотрели новейшую микросхему CMX8341 компании CML Microcircuits, которая может быть использована в качестве процессора низкочастотной обработки сигналов в системах гражданской радиосвязи. Микросхема поддерживает два режима работы: цифровой (dPMR) и аналоговый (PMR). Широкие возможности процессора позволяют выполнять большинство функций обработки звука без участия управляющего микроконтроллера.

В цифровом режиме обмен данными осуществляется по прерываниям, поэтому

300 Гц ФВЧ	Предназначен для подавления сигнала с частотой, меньшей 300 Гц, в звуковом тракте, таким образом, чтобы можно было вставить (в режиме передачи) или удалить (в режиме приема) субаудиосигнал. Он должен быть задействован при работе с такими сигналами
Канальные фильтры 12,5/25 кГц	Предназначены для обработки звукового сигнала и имеют полосу пропускания 2,55 и 3 кГц соответственно. По умолчанию выбран канальный фильтр на 12,5 кГц
Ограничитель	Обеспечивает ограничение пиковой девиации радиосигнала в соответствии с требованиями стандарта ETSI EN 300 296. Для уменьшения уровня гармоник сигнала в процессе его обработки используется помехоподавляющий фильтр. Порог ограничения устанавливается в соответствующем регистре памяти
Компандер	Для увеличения динамического диапазона звукового сигнала используется блок сжатия/расширения динамического диапазона сигнала
Скремблер	Скремблер инверсии частоты обеспечивает базовый уровень конфиденциальности. По умолчанию инвертируется частота 3300 Гц, но также имеется возможность запрограммировать другое ее значение, однако при этом могут возрасти потери сигнала в канальном фильтре
Автоматическая регулировка усиления звука	Система автоматического контроля коэффициента усиления, расположенная в звуковом тракте, использует возможность программирования коэффициента усиления усилителя на входе сигнала. При использовании совместно с функцией ограничения сигнала можно компенсировать большие вариации уровня сигнала на входе от микрофона, без внесения значительных искажений
Регулировка уровня сигнала	Поддерживается возможность независимой регулировки уровня для звукового, внутрисполосного и субаудиосигналов
Внутрисполосные аудиогенераторы	Встроены в оба тракта приема и передачи

управляющий микроконтроллер большую часть времени может находиться в режиме ожидания. Эти особенности способствуют снижению общего энергопотребления конечного изделия и увеличению времени работы от автономных источников электропитания. В аналоговом режиме можно использовать изделие совместно с существующими PMR-устройствами.

Поддержка технологии FirmASIC обеспечивает выбор режима работы и конфигурирование внутренних подсистем без внесения изменений в конструкцию и перепрошивку управляющего микроконтроллера. Микросхема CMX8341 будет полезна разработчикам, планирующим переход от анало-

говых средств связи к цифровым в системах гражданской радиосвязи. ■

### Литература

1. CMX8341. Dual-mode Analogue PMR and Digital PMR (dPMR). <http://www.cmlmicro.com/products/index.asp?searchvalue=8341&setindex>
2. Блок-схема CMX8341. <http://www.cmlmicro.com/Products/TwoWay/blocks/CMX8341Block.pdf>
3. Digital Two-way Radio Voice, Signalling and Data for FDMA Digital Radio Systems. <http://www.cmlmicro.com/Products/innovate/docs/DigitalRadio.pdf>
4. European Telecommunications Standards Institute (ETSI). [www.etsi.org](http://www.etsi.org)