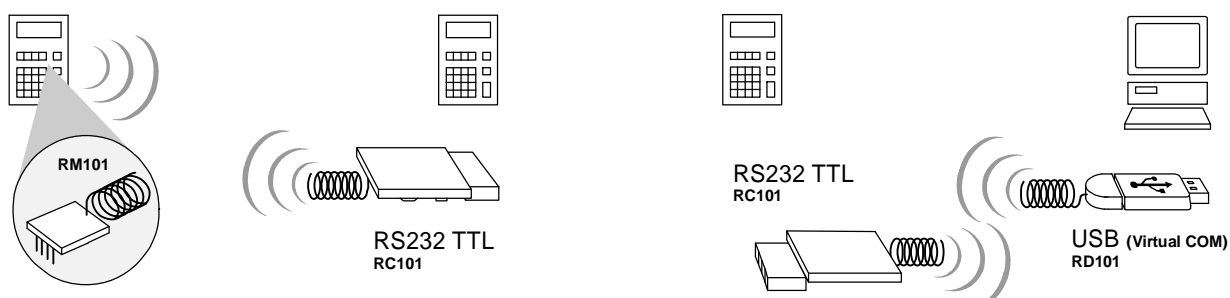


## Назначение

Серия радиомодулей на базе трансивера TRC101 (RFM) предназначена для упрощения дизайна радиочастотной части широкого спектра устройств, требующих соединения на скоростях 2400..115200 бит/с при дальности до 500 м.

Радиочастотная часть модулей идентична, что обеспечивает полную совместимость по радиоканалу и позволяет связывать модули в любом сочетании. RC101 и RD101, оснащенные микроконтроллерами PIC18F1320 и PIC18F2550 соответственно, со штатным ПО инкапсулируют связь по COM-порту. RC101 подключается через USART (RS232 TTL), RD101 работает в режиме эмуляции COM-порта через USB, что в сочетании позволяет заменить кабельное соединение на радиоканальное без модификации подключаемого устройства и компьютерного ПО. Благодаря функции самопрограммирования, прошивка контроллеров может обновляться при помощи загрузчика (bootloader) через интерфейс или радиоканал.



## Особенности ПО

Протоколы обмена для всех трех модулей обеспечивают одинаковую функциональность, которая включает в себя:

- инициализацию трансивера;
- при передаче - пакетирование данных, адресацию и подсчет CRC;
- при приеме - проверку целостности пакета и адресную фильтрацию;
- алгоритм антиколлизии;
- вспомогательные функции управления трансивером - считывание регистра состояния, выключение и режим пониженного энергопотребления.

**Режим работы трансивера по умолчанию**

частота	432,00 МГц
девиация	60 КГц
автоподстройка частоты	-40,0..+37,5 КГц шаг 2,5 КГц
выходная мощность	~ 3 дБм (-3 дБ)
скорость передачи	9600 бит/с
полоса пропускания приемного тракта	67 КГц
аттенуатор приемного тракта	0 дБ
порог цифрового RSSI	-85 дБ

Последовательность инициализации:

```

0x80, 0b00010111          // CONFIG
0xA0 + 0x05, 0x00,       // FREQ
0x82, 0b00001001,       // PWRCFG
0x98, 0b00110001,       // TXCFG
0x90 + 0b101, 0b11000011, // RXCFG
0xC2, 0b01101100,       // BBAND
0xC6, 35,                // DRATE
0xCA, 0b10000001,       // FI FORST
0xC4, 0b10010111       // AFA

```

**Подключение и управление трансивером**

TRC101 подключается к управляющему устройству при помощи порта SPI и нескольких дополнительных линий. Поскольку не все дополнительные линии требуют обязательного подключения, но влияют на функциональность устройства, то в модулях принята следующая схема:

TRC	MCU	описание
SDI	SDO	аппаратный SPI
SCK	SCK	
SDO	SDI	
nCS	GPIO	«выбор кристалла» для обращения к управляющим регистрам
DATA / nFSEL	GPIO	«выбор кристалла» для быстрого обращения к вых. буферу
CR / FINT	INT	прерывание «буфер полон»
RSSIA	ADC	аналоговый индикатор уровня сигнала

Данная схема подключения оптимизирована под использование встроенного механизма модуляции / демодуляции сигнала и обеспечивает хороший баланс между количеством линий и быстродействием радиоподсистемы. В частности, использование линий FINT и nFSEL позволяет организовать режим приема данных в фоновом режиме

через прерывание от трансивера. Драйвер обрабатывает поступающие данные побайтно, и каждый раз возвращает управление основному алгоритму. Прием происходит прозрачно для основного алгоритма, не требует вмешательства, и занимает минимум процессорного времени. Управление режимом приема ограничивается для приложения только включением / выключением и проверкой / обработкой флагов.

В качестве альтернативы режиму внутренней модуляции / демодуляции трансивер может использоваться для прямого захвата цифрового потока из эфира (вывод DATA), в т. ч. с применением встроенного механизма синхронизации (вывод CR). Этот режим может быть полезен при реализации корреляционных алгоритмов восстановления данных (например, в зашумленных или в условиях большого удаления). Также, благодаря простоте настройки и удобству наблюдения, режим прямого захвата может использоваться для мониторинга эфира на этапе настройки или диагностики.

Для получения дополнительной оперативной информации о состоянии трансивера используется подпрограмма считывания статусного регистра. При этом драйвер контролирует возможность корректного обращения к трансиверу, что освобождает приложение от дополнительных проверок.

### Формат пакета

Смещение	-04	00	01	03	05	N+05
Длина	04	01	02	02	N	01
Поле	SYNC	LEN	SRC	DEST	DATA	CRC

SYNC	Паттерн синхронизации приемника [AA AA 2D D4]
LEN	Длина пакета, включая адресные поля, LEN = N + 3
SRC	Адрес отправителя
DEST	Адрес получателя (FF – широковещательный пакет)
DATA	Данные, рекомендуемая длина пакета – 8..32 байт
CRC	8-битный контрольный код, быстрый полиномиальный алгоритм Dallas

Поле SYNC является обязательным и жестко определенным для трансивера TRC101. Передача паттерна синхронизации происходит принудительно на уровне ПО. В режиме приема паттерн отбрасывается трансивером на аппаратном уровне, и заполнение буфера начинается со следующего байта.

Адресные поля являются необязательными, и целесообразность использования адресации зависит от задачи. Стандартные прошивки подразумевают жесткое сопряжение пары устройств, однако возможности протокола допускают оперативную адресацию и передачу широковещательных пакетов (адрес получателя FF).

Поля LEN и CRC являются необязательными, но крайне желательными. При реализации простого режима «точка-точка» возможно упрощение протокола с отключением адресации, что позволит уменьшить накладные расходы на пакетирование, при этом контроль длины и целостности пакета рекомендуется сохранить.

## Проверка целостности и фильтрация пакетов

Обработка пакетов происходит по следующему алгоритму:

1. Проверка длины – пакеты с нулевой длиной и превышающей размер буфера считаются сбойными. Принимается пакет, равный размеру буфера, но флаг готовности данных не устанавливается (с т. з. приложения пакет пропускается).
2. Проверка адреса получателя – если адрес не совпадает с собственным и широковещательным, то пакет пропускается.
3. Проверка CRC – при несовпадении контрольного кода устанавливается флаг ошибки CRC, и пакет пропускается.

В стандартном ПО предусмотрен режим мониторинга эфира (sniff), в котором фильтрация отключена. При этом флаг готовности данных выставляется в случае приема любого пакета, а алгоритм обработки отличается от нормального режима:

1. При неверной длине пакета выставляется флаг ошибки длины, объем принимаемых данных ограничивается размером буфера, проверка CRC не производится.
2. Независимо от адреса получателя, пакет принимается.
3. В случае ошибки CRC выставляется соответствующий флаг ошибки, пакет принимается.

## Антиколлизия

Примененный алгоритм подразумевает только внутрисетевую антиколлизия, что обеспечивает высокую надежность и хорошее быстродействие, однако не позволяет отслеживать наличие в эфире сигналов несовместимого формата. Алгоритм основан на постоянном прослушивании эфира и приеме каждого пакета (в случае непрохождения фильтра пакет пропускается). Перед началом передачи производится проверка занятости канала (по наличию несущей). Если канал занят, выдерживается пауза случайной длительности в диапазоне 0,1..1 мс и проверка производится повторно.

Поскольку ни один алгоритм антиколлизии не обеспечивает стопроцентную надежность, в критичных задачах необходимо предусмотреть подтверждение приема данных на уровне приложения (это требование справедливо и для проводных каналов связи). При этом контролировать целостность пакетов необходимости нет, так как в случае повреждения пакет будет отброшен фильтром на этапе приема.

## Потенциальные возможности

Характеристики трансивера позволяют работать в широком диапазоне условий применения. Базовые настройки включают в себя выбор частоты, девиации, скорости передачи данных, выходной мощности и связанных с ними параметров. Дальнейшее развитие подразумевает усложнение программной части и допускает добавление следующих возможностей.

Распределение спектра переключением частоты (Hopping Frequency Spread Spectrum) – алгоритм, при котором приемник и передатчик синхронно переключают

частоту через определенные промежутки времени. Последовательность переключения может быть как прямой, так и фиксированной псевдослучайной (постоянна на каждом сеансе) или динамической псевдослучайной (меняется на каждом сеансе). Выгоды от использования алгоритмов переключения частоты заключаются в снижении вероятности коллизий, высокой защищенности от интерференции, прослушивания и узкополосных помех, в меньшем воздействии на окружающую среду. В силу последнего обстоятельства для устройств с распределением спектра допустимо применение более высоких выходных мощностей по сравнению с работающими на фиксированной частоте (например, FCC Rules §§15.247 и 15.249).

Как отмечалось выше, в режиме прямого захвата цифрового потока трансивер может использоваться совместно с корреляционными алгоритмами, в т. ч. с распределением спектра прямой последовательностью (Direct-Sequence Spread Spectrum) – биты передаются шумоподобными псевдослучайными последовательностями (кодами Баркера), что позволяет размыть спектр излучаемого сигнала. При этом алгоритм обработки входного потока корректно восстанавливает данные даже в случае частичного искажения сигнала. Минусом корреляционных алгоритмов является высокая загрузка процессора, что в большинстве задач не позволяет осуществлять демодуляцию данных в фоновом режиме.

Из дополнительных аппаратных возможностей трансивера необходимо отметить режим пониженного потребления с периодическим прослушиванием эфира. Переход в рабочий режим происходит по событию FIFO Full (для этого требуется принять паттерн синхронизации и следующий байт) с одновременной установкой FINT. В зависимости от задачи трансивер программируется на произвольный период включения и время прослушивания, при этом меняются средний ток потребления системы и время реакции на радиосигнал.

Для увеличения дальности передачи возможна установка внешнего усилителя мощности с антенным переключателем. Пример такого технического решения приведен в документе «TRC101/102 with Power Amp» от RFM. Применение укомплектованного варианта радиочасти рекомендуется только в сочетании с алгоритмами распределения спектра.