

# Однокристалльные системы для беспроводной связи в ISM-диапазоне от компании Nordic Semiconductor

Артём Дудин (Москва)

В последние годы беспроводные технологии управления и передачи данных представляют огромный интерес для разработчиков электронной техники. В статье рассмотрены уникальные продукты компании NORDIC – приёмопередатчики со встроенным АЦП и микроконтроллером, позволяющие разрабатывать высокоинтегрированные малогабаритные устройства для нужд промышленной автоматики, медицинской техники, автоэлектроники и многих других приложений.

Уже ни у кого не вызывает сомнений, что XXI век определённо станет веком бурного развития беспроводных технологий. Особенно это касается локальных и персональных сетей, где взаимодействуют устройства в радиусе нескольких метров. Свидетельство тому – появление многих беспроводных стандартов, таких как WLAN, Bluetooth, ZigBee, и стремительный рост числа компаний, предлагающих устройства на их основе. Но среди множества областей применения радиопередатчиков есть те, в которых не нужна высокая скорость передачи большого объёма информации, а важными параметрами являются энергопотребление, помехозащищённость и стоимость конечного решения. Во-первых, это относится к изделиям бытовой, потребительской электроники с батарейным питанием, обменивающимися между собой в основном управляющими сигналами. Во-вторых, это

телеметрия и промышленные сети, где происходит сбор, измерение и обработка сигналов с различных датчиков.

Например, при построении систем сбора данных с последующей передачей их по беспроводной промышленной сети, узлы, передающие данные с датчиков, имеют структуру, показанную на рис. 1. Управление узлом осуществляется 8-битным микроконтроллером. Необходимые конфигурационные данные и программа работы загружаются из ППЗУ. Радиочастотный приёмопередатчик обеспечивает непосредственно интерфейс с радиоканалом. При необходимости обработки аналоговых сигналов в узле также содержится АЦП.

Одним из лидеров на рынке беспроводной ближней связи является норвежская компания Nordic Semiconductor. Специализируется компания на системах радиопередачи данных в ISM (Industrial Scientific Medical) диапазоне. В разных странах по-разному регламентируются границы этого диапазона, но основной особенностью является отсутствие необходимости лицензирования при использовании частот, входящих в ISM-диапазон. Выпустив на рынок ряд популярных приёмопередатчиков для частот от 433 МГц до 2,4 ГГц, Nordic Semiconductor решила развить это направление и разработала несколько интегрированных решений, о которых и пойдёт речь ниже.

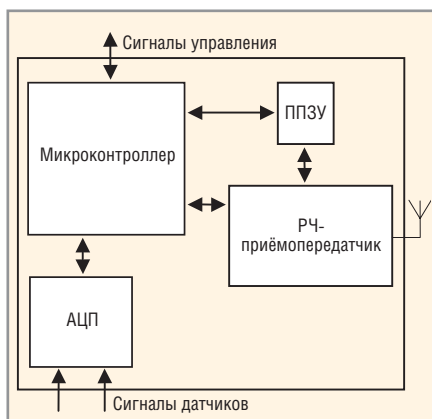


Рис. 1. Структурная схема системы сбора данных с радиоканалом

включающую РЧ-приёмопередатчик, 8051-совместимый микроконтроллер и 10-битный АЦП. И приёмопередатчик, и АЦП являются собственными разработками Nordic Semiconductor, а вот интегрированный микроконтроллер – DW8051 Macrocell от Synopsys. Общая схема nRF9E5 приведена на рис. 2, основные параметры приведены в табл. 1.

## Приёмопередатчик

В качестве РЧ-приёмопередатчика используется nRF905, который работает на частотах 433/868/915 МГц. В его состав входят практически все необходимые элементы, такие как синтезатор частот, приёмная часть с малошумящим усилителем и демодулятором, усилитель мощности, кварцевый резонатор и модулятор. Встроенный стабилизатор напряжения позволяет схеме работать в широком диапазоне питающих напряжений. Приёмопередатчик обменивается данными с микроконтроллером посредством стандартного SPI-интерфейса. Стек регистров SPI содержит данные и адрес для пересылки, а также конфигурацию приёмопередатчика, которая определяет такие параметры, как несущая частота, выходная мощность и т.д. Поскольку требуется всего несколько внешних пассивных элементов, значительно упрощается и сокращается время разработки конечного устройства.

Кроме того, приёмопередатчик содержит несколько ноу-хау. Основная из них – технология Shockburst™. Суть её заключается в следующем. В режиме передачи автоматически генерируются преамбула (синхронизирующая последовательность бит) и контрольная сумма (CRC), которые присоединяются к пересылаемому пакету данных. Во время приёма из принятого пакета извлекаются данные и посылается сигнал микроконтроллеру, разрешающий выгрузку данных из соответствующего регистра приёмопередатчика.

## МИКРОСХЕМА nRF9E5

Микросхема nRF9E5 представляет собой однокристалльную систему,

Преимущества этой технологии очевидны. Во-первых, разгружается микроконтроллер, снижаются требования как к его вычислительным возможностям, так и к размеру его внутренней памяти. Во-вторых, Shockburst™ позволяет передавать и принимать данные по радиоканалу на гораздо большей скорости, чем может позволить цифровая часть схемы. В свою очередь это значительно увеличивает пропускную способность канала. Ну и, конечно, снижается среднее значение потребляемого тока в режиме приёма/передачи.

Необходимо отметить, что в nRF9E5 используется гауссовская частотная модуляция (GFSK). Это также увеличивает пропускную способность канала и снижает уровень помех, создаваемых на соседних частотах. Кроме того, в приёмопередатчик встроена функция кодирования/декодирования данных манчестерским кодом.

Во избежание коллизий при использовании несколькими передатчиками одной несущей частоты с помощью nRF9E5 можно реализовать прослушивание канала. Для передачи данных по радиоканалу nRF9E5 сначала переключается в режим приёмника и прослушивает свою частоту. Как только канал освобождается, происходит быстрое переключение в режим передатчика.

### Микроконтроллер и память

Память микроконтроллера, интегрированного в nRF9E5, содержит 4 Кб памяти программ, 256 байт для хранения данных, а также программу-загрузчик, которая запускается при загрузке пользовательской программы из внешней EEPROM через SPI. После загрузки SPI-порт может использоваться для ввода/вывода с других внешних устройств. Также nRF9E5 имеет 8 цифровых двунаправленных выводов, которые могут использоваться либо для обмена данными с внешними устройствами, либо иметь назначенные функции, к которым относятся внешние прерывания, таймеры, порт UART и выход ШИМ-контроллера.

Командный цикл микроконтроллера занимает всего четыре такта, и количество циклов в командах не совпадает с соответствующими значениями в классическом микроконтроллере 8051, но за счёт этого некоторые операции выполняются быстрее. Есть и другие отличия от классической архитектуры 8051 в системе прерыва-

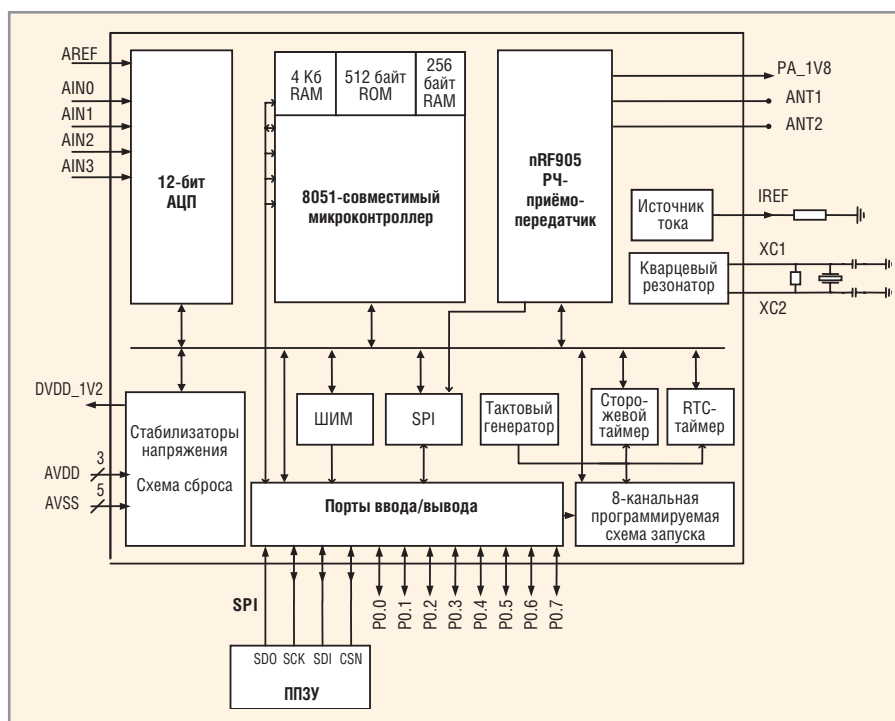


Рис. 2. Структурная схема nRF9E5

ний и таймерах, которые оптимизируют взаимодействие микроконтроллера с приёмопередатчиком.

Тактовая частота процессора задаётся делением частоты кварцевого резонатора и может варьироваться от 0,5 до 20 МГц.

### АЦП

В nRF9E5 интегрирован 10-битный АЦП, поддерживающий скорость до 80 киловыборок/с.

АЦП имеет четыре входа для оцифровки и вход для задания опорного напряжения. Также в nRF9E5 встроены внутренний ИОН на 1,22 В. АЦП позволяет осуществлять преобразование дифференциального входа и мониторинг питания. Связь с остальными структурными элементами, входящими в nRF9E5, осуществляется по мультиплексированной шине SPI-интерфейса, а настройки АЦП хранятся в соответствующих регистрах специального назначения.

### Режимы пониженного энергопотребления

Поскольку непосредственно приём и передача данных осуществляется лишь периодически в течение коротких интервалов времени, важную роль играет организация работы приёмопередатчика в режиме покоя. Фактически у приёмопередатчика nRF9E5 два режима пониженного энергопотребления.

В режиме standby обычно происходит загрузка конфигурационных данных через SPI-интерфейс, а радиопередающая часть молчит. Кварцевый резонатор работает, поэтому экономия незначительная, зато требуется минимальное время для переключения в режим приёма/передачи.

В режиме power down кварцевый резонатор отключается и потребление тока всей схемой уменьшается до

Таблица 1. Основные параметры nRF9E5

Корпус	32 pin QFN, 5 × 5 мм
Частотный диапазон, МГц	433/868/915
Ширина канала, кГц	100 (433 МГц); 200 (868/915 МГц)
Максимальная выходная мощность, дБм	10
Чувствительность приёмника, дБм	-100
Тип модуляции	GFSK
Кодирование данных	Manchester code
Максимальная скорость передачи, Кбит/с	100
Напряжение питания, В	1,9...3,6
Ток в режиме передатчика (10 дБм), мА	28
Ток в режиме приёмника, мА	12,5
Ток в режиме power down, мкА	2,5
Время переключения между каналами, мкс	550
Частота кварцевого генератора, МГц	4/8/12/16/20
Точность кварцевого генератора, ppm	±30
Температурный диапазон, °C	-40...+85

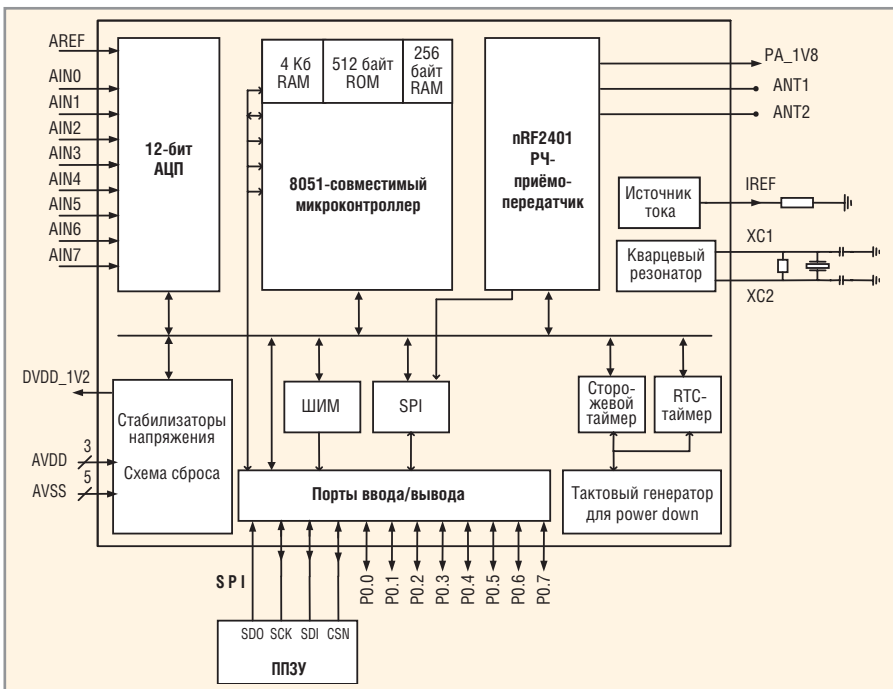


Рис. 3. Структурная схема nRF24E1

2,5 мкА. В этот момент работает встроенный тактовый генератор на частоте 4 кГц, обеспечивающий функционирование таймера реального времени (RTC), сторожевого таймера (watchdog) и возможность запуска от внешнего события. Все регистры и память микроконтроллера сохраняют текущее состояние.

В nRF9E5 существуют и другие способы уменьшить потребление энергии и там, где это актуально, – увеличить время работы от батарей. Если при каком-то конкретном примене-

нии не требуется высокая чувствительность приёмника, то в nRF9E5 предусмотрен дополнительный режим, в котором чувствительность снижается с –100 до –85 дБм, а потребление тока во время приёма – с 12,5 до 10,5 мА.

Управлять энергопотреблением можно также изменяя выходную мощность передатчика, тактовую частоту микроконтроллера и т.д.

В целом nRF9E5 является удачным решением для построения беспроводных систем сбора данных, охраняемых систем, устройств телеметрии и удалённого управления по беспроводной связи. Особенно привлекателен диапазон нижних частот 433 МГц как наименее занятый другими стандартами радиосвязи. Nordic Semiconductor также выпускает nRF905, содержащий только приёмопередатчик. Назначая узлам различную функциональность с помощью nRF9E5 и nRF905, можно строить разнообразные беспроводные сети.

### МИКРОСХЕМА nRF24E1

Это ещё одно интегрированное решение от Nordic Semiconductor, но для работы на частотах 2,4...2,5 ГГц. Скорость передачи данных по радиоканалу в этом диапазоне выше, но выходная мощность передатчика ниже, соответственно и максимально допустимое расстояние между взаимодействующими объектами меньше. Основные характеристики nRF24E1

Таблица 2. Основные характеристики nRF24E1

Корпус	36 pin QFN, 6 × 6 мм
Частотный диапазон, МГц	2400
Количество каналов	125
Максимальная выходная мощность, дБм	0
Чувствительность приёмника, дБм	–90
Тип модуляции	GFSK
Максимальная скорость передачи, Кбит/с	1000
Напряжение питания, В	1,9...3,6
Ток в режиме передатчика (10 дБм), мА	13
Ток в режиме приёмника, мА	19
Ток в режиме power down, мкА	2
Время переключения между каналами, мкс	200
Частота кварцевого генератора, МГц	4/8/12/16/20
Точность кварцевого генератора, ppm	±30
Температурный диапазон, °С	–40...+85

содержатся в таблице 2. Структурная схема приведена на рис. 3.

### Приёмопередатчик

Приёмопередатчик, входящий в состав nRF24E1, также поддерживает технологию Shockburst™. Здесь преимущества этого подхода ещё более ощутимы, так как скорость передачи по радиоканалу гораздо выше скорости микроконтроллера. Наверное, именно поэтому Nordic Semiconductor реализовала в nRF24E1 ещё одну функцию – DuoCeiver™. nRF24E1 может принимать данные по двум каналам одновременно, причём с одинаковой скоростью до 1 Мбит/с. Единственное ограничение – несущие частоты должны быть разнесены на 8 МГц друг от друга.

### Микроконтроллер и память

Эта часть nRF24E1 идентична nRF9E5.

### АЦП

В nRF24E1 интегрирован 10-битный АЦП с 8 входами для оцифровки и входом для задания опорного напряжения. Скорость сэмпирования – 100 килывборок/с.

### Режимы пониженного энергопотребления

В nRF24E1 реализованы те же режимы standby и power down, что и в nRF9E5. Программно могут отключаться АЦП и приёмопередатчик.

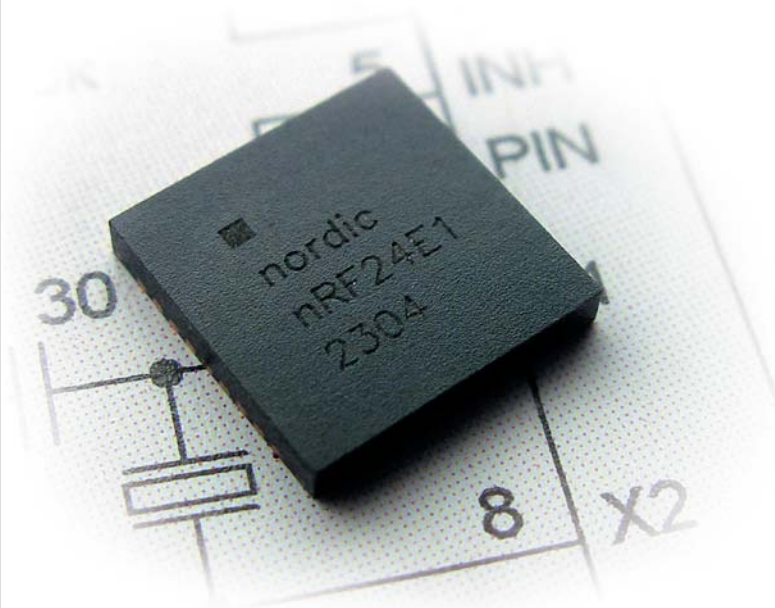
Nordic Semiconductor также выпускает nRF2401 – приёмопередатчик без АЦП и контроллера и nRF24E2 – аналог nRF24E1, но без приёмника. Что касается областей применения nRF24E1, то это в основном потребительская электроника персонального пользования. Крупным клиентом Nordic Semiconductor является известный производитель компьютерной периферии Logitech, использовавший nRF24E1 в нескольких моделях беспроводных компьютерных мышей и клавиатур.

Nordic Semiconductor осуществляет всестороннюю техническую поддержку своих клиентов, на сайте компании можно найти исчерпывающую информацию о продуктах с примерами кода, разводки печатных плат и советы по выбору антенн. Доступны наборы для разработчиков (evaluation kits).

При подготовке статьи использовались материалы с сайта <http://www.nlsi.no>.



# Твой шаг в мир без проводов!



*Приёмопередатчик nRF24E1  
со встроенным микроконтроллером и АЦП*

## Радиочастотные приёмопередатчики со встроенным микроконтроллером и АЦП

### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

- диапазон частот 2,4 ГГц
- встроенный 8051-совместимый микроконтроллер
- встроенный 9-канальный АЦП 10 бит, 100 Квыб./с
- максимальная мощность передачи 1 мВт
- расширенный диапазон питающих напряжений 1,9...3,6 В
- скорость передачи до 1 Мбит/с
- чувствительность приемника -90 дБм
- промышленный диапазон рабочих температур
- корпус QFN 36-пин 6 мм × 6 мм

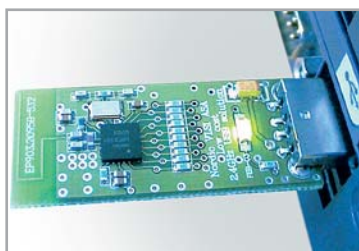
### ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

- высокая степень интеграции требует минимального количества внешних компонентов
- технология Shockburst™ увеличивает скорость передачи данных и пропускную способность радиоканала
- технология DuoCeiver™ позволяет принимать данные по двум каналам одновременно
- помехоустойчивая частотная модуляция
- сверхнизкое потребление тока в режиме покоя 2мкА

### Области применения

- устройства ввода для ПК
- системы охраны и наблюдения
- автомобильная электроника
- промышленная автоматика
- телеметрия
- электроника для дома
- беспроводная передача данных

### Пример использования



*Полнодуплексный приёмопередатчик  
с USB-интерфейсом для связи  
с клавиатурой и мышью на nRF24E1*

**PROSOFT**®

ПРОСОФТ — АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

Телефон: (095) 234-0636 • E-mail: info@prochip.ru • Web: www.prochip.ru