

## CC2500

# Недорогой маломощный 2.4 ГГц ВЧ трансивер

## ПРИМЕНЕНИЕ

- Системы ISM/SRD частот 2400-2483.5 MHz
- Бытовая электроника
- Беспроводные игровые контроллеры
- Беспроводное аудио
- Беспроводные клавиатуры и мыши
- Дистанционное радиоуправление

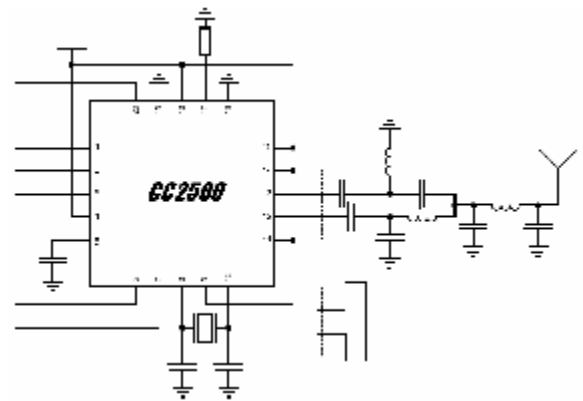
## ОПИСАНИЕ ИЗДЕЛИЯ

CC2500 является недорогим полностью однокристалльным трансивером для частоты 2.4GHz, разработанным для ультрамаломощных беспроводных приложений. Его схемотехника предназначена для применения в диапазонах ISM (Industrial, Scientific and Medical – промышленные, научные и медицинские) и SRD (Short Range Device – устройства ближней связи) на частотах 2400MHz-2483.5MHz.

Радиотрансивер интегрирован с гибко конфигурируемым модемом основной частоты связи. Модем поддерживает различные виды модуляции и имеет конфигурируемую скорость данных до 500 kBaud.

CC2500 обеспечивает широкую аппаратную поддержку обработки пакетов, буферизации данных, пакетной передачи, оценку свободы канала, индикацию качества связи и пробуждения от радио.

Основные рабочие параметры и 64-байтные FIFO-буферы приема/передачи CC2500 могут управляться при помощи интерфейса SPI. В типичной системе CC2500 используется вместе с микроконтроллером и несколькими дополнительными пассивными элементами.



## ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

### Радиочастотные характеристики

- Высокая чувствительность (-104 dBm на 2.4 kBaud, 1%-й уровень ошибок пакета)
- Низкое энергопотребление (13.3 mA в режиме RX, 250 kBaud, входной уровень выше порога чувствительности)
- Программируемая выходная мощность до +1 dBm
- Превосходная избирательность приемника и эффективность блокирования
- Программируемая скорость данных от 1.2 до 500 kBaud
- Диапазон частот: 2400-2483.5 MHz

### Аналоговые характеристики

- Поддержка модуляции OOK, 2-FSK, GFSK и MSK
- Пригодность для многоканальных систем и систем с прыгающей частотой при быстрой установке синтезатора частоты за время 90 μS

- Автоматическая подстройка частоты (AFC) может использоваться для выравнивания синтезатора частоты к средней частоте приема
- Интегрированный аналоговый датчик температуры

### Цифровые характеристики

- Гибкая поддержка систем пакетной связи: детектирование синхрослова, проверка адреса, разная длина пакета, автоматический контроль CRC
- Эффективный интерфейс SPI: все регистры могут программироваться передачей одного пакета
- Цифровой выход индикации мощности сигнала приёма (RSSI)
- Программируемая полоса частот фильтра канала
- Программируемый индикатор обнаружения несущей

- Программируемый индикатор качества преамбулы (PQI) для обнаружения преамбулы и улучшенной защиты от ложного обнаружения синхрослова в случайном шуме
- Поддержка автоматической оценки свободы канала (CCA) перед передачей (для систем "прослушивания перед передачей")
- Поддержка индикации качества связи для каждого пакета (LQI)
- Опциональное автоматическое маскирование и демаскирование данных цифровым псевдослучайным кодом

### Энергетические характеристики

- Потребление тока 400 nA в режиме SLEEP
- Короткое время старта: 240  $\mu$ S из режима SLEEP в режим RX или TX
- Пробуждение от радио для автоматического маломощного опроса приёма
- Раздельные 64-байтные FIFO-буферы данных RX и TX

### Общее

- Минимальное число внешних компонентов: полный синтезатор частоты на кристалле, не требуется внешних фильтров и ВЧ ключей
- Экологичный корпус: соответствие RoHS, без сурьмы или брома
- Миниатюрный корпус QLP размером 4x4 мм и 20 выводами
- Пригоден для систем, соответствующих требованиям EN 300 328 и EN 300 440 класса 2 (Европа), CFR47 часть 15 (США), и ARIB STD-T66 (Япония)
- Поддержка прозрачного асинхронного режима приема/передачи для обратной совместимости с существующими протоколами радиосвязи

**СОКРАЩЕНИЯ**

ACP	Мощность соседнего канала	MSB	Старший значащий бит
ADC	Аналого-цифровой преобразователь (АЦП)	MSK	Минимальная частотная манипуляция
AFC	Автоматическая подстройка частоты (АПЧ)	NA	Неприменимо
AGC	Автоматическая регулировка усиления (АРУ)	NRZ	Невозвращающееся к нулю (кодирование)
AMR	Автоматическое чтение измерений	OOK	Ключевая манипуляция
ARIB	Ассоциация радиоиндустрии и бизнеса	PA	Усилитель мощности (в передатчиках) (УМ)
BER	Уровень битовых ошибок	PCB	Печатная плата
BT	Bandwidth-Time продукт	PD	Выключение питания
CCA	Оценка свободы канала	PER	Уровень ошибок пакета
CFR	Код федеральных правил	PLL	Фазовая автоподстройка частоты (ФАПЧ)
CRC	Контроль циклическим избыточным кодом	POR	Сброс по включению питания
CS	Обнаружение несущей	PQI	Индикатор качества преамбулы
CW	Непрерывная частота (немодулированная несущая)	PQT	Порог качества преамбулы
DC	Постоянный ток	RCOSC	RC-генератор
DVGA	Усилитель с цифровой регулировкой усиления	QPSK	Квадратурная фазовая модуляция
ESR	Эквивалентное последовательное сопротивление	QLP	Квадратный безвыводной корпус
FCC	Федеральная комиссия по связи	RF	Радиочастота (ВЧ)
FEC	Прямая коррекция ошибок	RSSI	Индикатор мощности сигнала приема
FIFO	Буфер "первый вошел – первый вышел"	RX	Прием, режим приема
FHSS	Спектр разброса прыгающей частоты	SMD	Устройство для поверхностного монтажа
2-FSK	Частотная манипуляция (ЧМ)	SNR	Отношение сигнал/шум
GFSK	Гауссова частотная манипуляция	SPI	Последовательный периферийный интерфейс
IF	Промежуточная частота (ПЧ)	SRD	Устройство ближней связи
I/Q	Внутрифазовая/квадратурная	T/R	Передача/прием
ISM	Промышленное, научное и медицинское	TX	Передача, режим передачи
LBT	Прослушивание перед передачей	VCO	Генератор управляемый напряжением (ГУН)
LC	Катушка индуктивности и конденсатор	WLAN	Беспроводная локальная сеть
LNA	Малошумящий усилитель	WOR	Пробуждение от радио
LO	Локальный генератор	XOSC	Кварцевый генератор
LQI	Индикатор качества связи	XTAL	Кварцевый резонатор
LSB	Младший значащий бит		
MCU	Микроконтроллерное устройство		

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ПРИМЕНЕНИЕ</b> .....	<b>1</b>
<b>ОПИСАНИЕ ИЗДЕЛИЯ</b> .....	<b>1</b>
<b>ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ</b> .....	<b>1</b>
<b>СОКРАЩЕНИЯ</b> .....	<b>3</b>
<b>СОДЕРЖАНИЕ</b> .....	<b>4</b>
<b>1 ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ РЕЖИМЫ</b> .....	<b>6</b>
<b>2 УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ</b> .....	<b>6</b>
<b>3 ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ</b> .....	<b>6</b>
<b>4 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ</b> .....	<b>7</b>
4.1 Потребление тока .....	7
4.2 Приемная ВЧ секция.....	8
4.3 Передающая ВЧ секция .....	10
4.4 Кварцевый генератор .....	10
4.5 Маломощный RC-генератор .....	11
4.6 Характеристики синтезатора частоты.....	11
4.7 Аналоговый датчик температуры .....	12
4.8 Характеристики по постоянному току .....	12
4.9 Сброс по включению питания.....	12
<b>5 КОНФИГУРАЦИЯ ВЫВОДОВ</b> .....	<b>13</b>
<b>6 ОПИСАНИЕ СХЕМЫ</b> .....	<b>15</b>
<b>7 СХЕМА ПРИМЕНЕНИЯ</b> .....	<b>15</b>
<b>8 ОБЗОР КОНФИГУРАЦИИ</b> .....	<b>17</b>
<b>9 ПРОГРАММА КОНФИГУРИРОВАНИЯ</b> .....	<b>19</b>
<b>10 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ КОНФИГУРИРОВАНИЕ И ИНТЕРФЕЙС ДАННЫХ</b> .....	<b>19</b>
10.1 Байт состояния микросхемы.....	21
10.2 Доступ к регистрам .....	21
10.3 Чтение по интерфейсу SPI.....	22
10.4 Командные стробы .....	22
10.5 Доступ к буферам FIFO .....	22
10.6 Доступ к массиву PATABL.....	23
<b>11 ИНТЕРФЕЙС МИКРОКОНТРОЛЛЕРА И КОНФИГУРИРОВАНИЕ ВЫВОДОВ</b> .....	<b>23</b>
11.1 Интерфейс конфигурирования .....	23
11.2 Выводы управления и состояния .....	23
11.3 Опциональные возможности управления радиотрактом.....	23
<b>12 ПРОГРАММИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ДАННЫХ</b> .....	<b>24</b>
<b>13 ПОЛОСА ЧАСТОТ ФИЛЬТРА КАНАЛА ПРИЕМНИКА</b> .....	<b>24</b>
<b>14 ДЕМОДУЛЯТОР, СИНХРОНИЗАТОР СИМВОЛОВ И СЕЛЕКЦИЯ ДАННЫХ</b> .....	<b>25</b>
14.1 Подстройка частоты.....	25
14.2 Битовая синхронизация.....	25
14.3 Байтовая синхронизация.....	25
<b>15 АППАРАТНАЯ ПОДДЕРЖКА ОБРАБОТКИ ПАКЕТА</b> .....	<b>26</b>
15.1 Маскирование данных белым шумом .....	26
15.2 Формат пакета .....	27
15.3 Фильтрация пакета в режиме приема.....	29
15.4 Проверка CRC .....	29
15.5 Обработка пакета в режиме передачи.....	30
15.6 Обработка пакета в режиме приема .....	30
15.7 Обработка пакета в прошивке .....	30
<b>16 ВИДЫ МОДУЛЯЦИИ</b> .....	<b>30</b>
16.1 Частотная манипуляция .....	30
16.2 Минимальная манипуляция .....	30
16.3 Амплитудная модуляция.....	31
<b>17 ПОКАЗАТЕЛИ ПРИНЯТОГО СИГНАЛА И КАЧЕСТВА СВЯЗИ</b> .....	<b>31</b>
17.1 Показатель слова синхронизации .....	31
17.2 Порог качества преамбулы (PQT) .....	31
17.3 Индикатор мощности сигнала приема (RSSI) .....	31
17.4 Обнаружение несущей (CS).....	32

17.5	Оценка свободы канала (ССА)	33
17.6	Индикатор качества связи (LQI)	34
<b>18</b>	<b>ПРЯМАЯ КОРРЕКЦИЯ ОШИБОК С ЧЕРЕДОВАНИЕМ</b>	<b>34</b>
18.1	Прямая коррекция ошибок (FEC)	34
18.2	Чередование	34
<b>19</b>	<b>УПРАВЛЕНИЕ РАДИОТРАКТОМ</b>	<b>36</b>
19.1	Стартовая последовательность при подаче питания	37
19.2	Управление кварцевым резонатором	37
19.3	Управление регулятором напряжения	38
19.4	Активные режимы	38
19.5	Пробуждение от радио (WOR)	38
19.6	Временные соотношения	39
19.7	Таймер прекращения приема	40
<b>20</b>	<b>БУФЕР ДАННЫХ FIFO</b>	<b>40</b>
<b>21</b>	<b>ПРОГРАММИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ</b>	<b>42</b>
<b>22</b>	<b>ГЕНЕРАТОР УПРАВЛЯЕМЫЙ НАПРЯЖЕНИЕМ</b>	<b>42</b>
22.1	Самокалибровка VCO и PLL	42
<b>23</b>	<b>РЕГУЛЯТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ</b>	<b>43</b>
<b>24</b>	<b>ПРОГРАММИРОВАНИЕ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ</b>	<b>43</b>
<b>25</b>	<b>ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬ</b>	<b>45</b>
<b>26</b>	<b>КВАРЦЕВЫЙ ГЕНЕРАТОР</b>	<b>47</b>
26.1	Опорный сигнал	47
<b>27</b>	<b>СОГЛАСОВАНИЕ С ВНЕШНЕЙ РАДИОЧАСТОТОЙ</b>	<b>47</b>
<b>28</b>	<b>РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗВОДКЕ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ</b>	<b>48</b>
<b>29</b>	<b>КОНТРОЛЬНЫЕ ВЫВОДЫ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ/ТЕСТИРОВАНИЯ</b>	<b>48</b>
<b>30</b>	<b>АСИНХРОННЫЕ И СИНХРОННЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ</b>	<b>51</b>
30.1	Асинхронные операции	51
30.2	Синхронные операции	51
<b>31</b>	<b>СИСТЕМНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ</b>	<b>51</b>
31.1	Правила устройств ближней связи (SRD)	51
31.2	Прыгающая частота и многоканальные системы	52
31.3	Широкополосная модуляция с узким спектром	52
31.4	Пакетная передача данных	52
31.5	Непрерывная передача	52
31.6	Компенсация дрейфа кварцевого резонатора	52
31.7	Эффективная ширина спектра модуляции	53
31.8	Системы низкой стоимости	53
31.9	Системы с батарейным питанием	53
31.10	Повышение выходной мощности	53
<b>32</b>	<b>РЕГИСТРЫ КОНФИГУРАЦИИ</b>	<b>54</b>
32.1	Регистры с сохраняемыми значениями в состоянии SLEEP	58
32.2	Регистры с теряемыми значениями в состоянии SLEEP	78
32.3	Регистры состояния	79
<b>33</b>	<b>ОПИСАНИЕ КОРПУСА QFN 20</b>	<b>83</b>
33.1	Рекомендуемая топология печатной платы	83
33.2	Информация о пайке	83
<b>34</b>	<b>ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ЗАКАЗА</b>	<b>84</b>
<b>35</b>	<b>СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ</b>	<b>85</b>
<b>36</b>	<b>ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ</b>	<b>86</b>
36.1	История документа	86