

## 2.4GHz 射频收发芯片 nRF2401 及其应用

文章作者：武汉理工大学 郑启忠 朱宏辉 耿四军

**摘 要**：本文介绍了工作于 2.4GHz ISM 频段的射频收发芯片 nRF2401 的芯片结构、引脚功能、工作模式、接收与发送的工作流程，详细描述了 nRF2401 的器件配置，给出了应用电路图，分析了 PCB 设计时应该注意的问题，最后对全文进行了总结。

**关键词**：nRF2401；射频；无线通信；收发芯片

### 1. 引言

nRF2401 是单片射频收发芯片，工作于 2.4 ~ 2.5GHz ISM 频段，芯片内置频率合成器、功率放大器、晶体振荡器和调制器等功能模块，输出功率和通信频道可通过程序进行配置。芯片能耗非常低，以 -5dBm 的功率发射时，工作电流只有 10.5mA，接收时工作电流只有 18mA，多种低功率工作模式，节能设计更方便。其 DuoCeiver™ 技术使 nRF2401 可以使用同一天线，同时接收两个不同频道的数据。nRF2401 适用于多种无线通信的场合，如无线数据传输系统、无线鼠标、遥控开锁、遥控玩具等。

### 2. 芯片结构、引脚说明

#### 2.1 芯片结构

nRF2401 内置地址解码器、先入先出堆栈区、解调处理器、时钟处理器、GFSK 滤波器、低噪声放大器、频率合成器，功率放大器等功能模块，需要很少的外围元件，因此使用起来非常方便。QFN24 引脚封装，外形尺寸只有 5×5mm。nRF2401 的功能模块如图 1 所示。

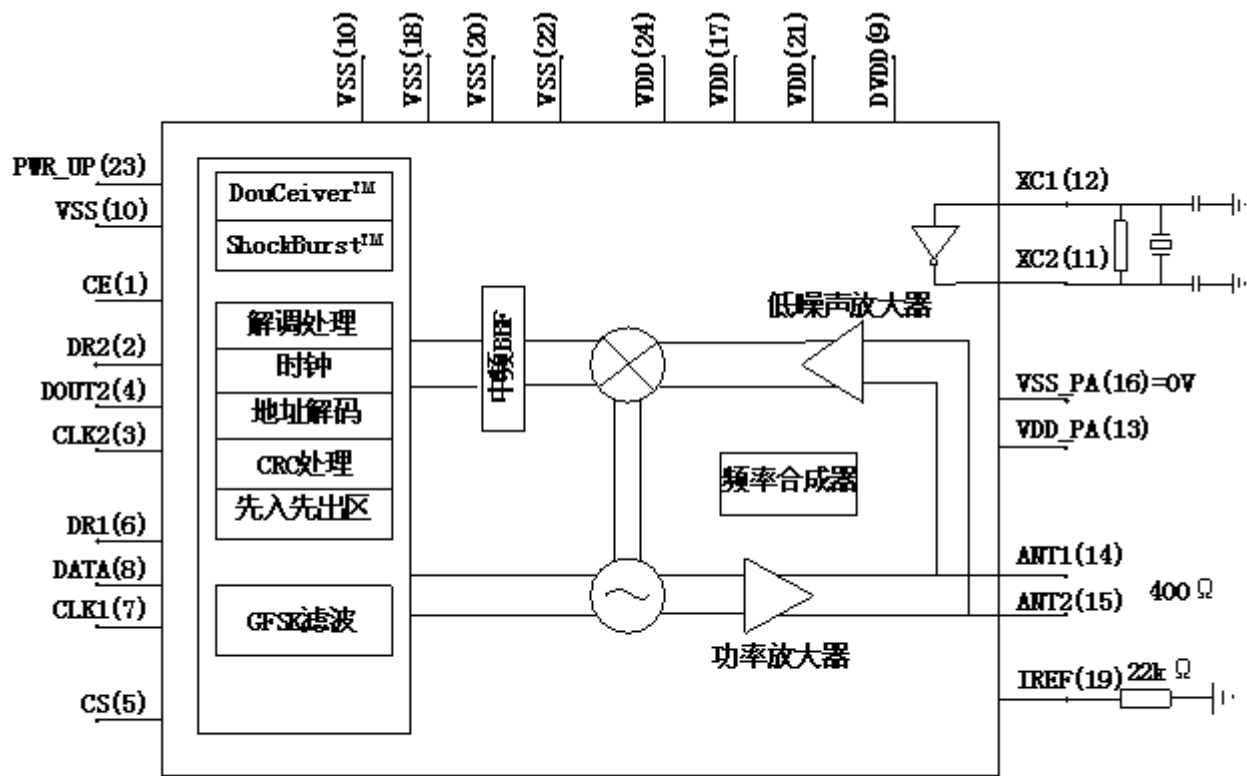


图 1 nRF2401 功能模块

2.2 引脚说明

表 1 : nRF2401 引脚

引脚	名称	引脚功能	描述
1	CE	数字输入	使 nRF2401 工作于接收或发送状态
2	DR2	数字输出	频道 2 接收数据准备好
3	CLK2	数字 I/O	频道 2 接收数据时钟输入/输出
4	DOUT2	数字输出	频道 2 接收数据
5	CS	数字输入	配置模式的片选端
6	DR1	数字输出	频道 1 接收数据准备好
7	CLK1	数字 I/O	频道 1 接收数据时钟输入/输出
8	DATA	数字 I/O	频道 1 接收/发送数据端
9	DVDD	电源	电源的正数字输出
10	VSS	电源	电源地
11	XC1	模拟输出	晶振 1
12	XC2	模拟输入	晶振 2
13	VDD_PA	电源输出	给功率放大器提供 1.8V 的电压
14	ANT1	天线	天线接口 1
15	ANT2	天线	天线接口 2
16	VSS_PA	电源	电源地
17	VDD	电源	电源正端
18	VSS	电源	电源地
19	IREF	模拟输入	模数转换的外部参考电压
20	VSS	电源	电源地
21	VDD	电源	电源正端
22	VSS	电源	电源地
23	PWR_UP	数字输入	芯片激活端
24	VDD	电源	电源正端

### 3. 工作模式

nRF2401 有工作模式有四种：收发模式、配置模式、空闲模式和关机模式。nRF2401 的工作模式由

PWR\_UP、CE、TX\_EN 和 CS 三个引脚决定，详见表 2。

表 2：nRF2401 工作模式

工作模式	PWR_UP	CE	CS
收发模式	1	1	0
配置模式	1	0	1
空闲模式	1	0	0
关机模式	0	×	×

#### 3.1 收发模式

nRF2401 的收发模式有 ShockBurstTM 收发模式和直接收发模式两种，收发模式由器件配置字决定，具体配置将在器件配置部分详细介绍。

### 3.1.1 ShockBurstTM 收发模式

ShockBurstTM 收发模式下，使用片内的先入先出堆栈区，数据低速从微控制器送入，但高速(1Mbps)发射，这样可以尽量节能，因此，使用低速的微控制器也能得到很高的射频数据发射速率。与射频协议相关的所有高速信号处理都在片内进行，这种做法有三大好处：尽量节能；低的系统费用(低速微处理器也能进行高速射频发射)；数据在空中停留时间短，抗干扰性高。nRF2401 的 ShockBurstTM 技术同时也减小了整个系统的平均工作电流。

在 ShockBurstTM 收发模式下，nRF2401 自动处理字头和 CRC 校验码。在接收数据时，自动把字头和 CRC 校验码移去。在发送数据时，自动加上字头和 CRC 校验码，当发送过程完成后，数据准备好引脚通知微处理器数据发射完毕。

#### 3.1.1.1 ShockBurstTM 发射流程

接口引脚为 CE，CLK1，DATA

A. 当微控制器有数据要发送时，其把 CE 置高，使 nRF2401 工作；

B. 把接收机的地址和要发送的数据按时序送入 nRF2401；

C. 微控制器把 CE 置低，激发 nRF2401 进行 ShockBurstTM 发射；

D. nRF2401 的 ShockBurstTM 发射

<sup>2</sup> 给射频前端供电；

<sup>2</sup> 射频数据打包(加字头、CRC 校验码)；

<sup>2</sup> 高速发射数据包；

<sup>2</sup> 发射完成，nRF2401 进入空闲状态。

### 3.1.1.2 ShockBurst™ 接收流程

接口引脚 CE、DR1、CLK1 和 DATA(接收通道 1)

- A. 配置本机地址和要接收的数据包大小；
- B. 进入接收状态，把 CE 置高；
- C. 200us 后，nRF2401 进入监视状态，等待数据包的到来；
- D. 当接收到正确的数据包(正确的地址和 CRC 校验码)，nRF2401 自动把字头、地址和 CRC 校验位移去；
- E. nRF2401 通过把 DR1(这个引脚一般引起微控制器中断)置高通知微控制器；
- F. 微控制器把数据从 nRF2401 移出；
- G. 所有数据移完，nRF2401 把 DR1 置低，此时，如果 CE 为高，则等待下一个数据包，如果 CE 为低，开始其它工作流程。

### 3.1.2 直接收发模式

在直接收发模式下，nRF2401 如传统的射频收发器一样工作。

#### 3.1.2.1 直接发送模式

接口引脚为 CE、DATA

- A. 当微控制器有数据要发送时，把 CE 置高；
- B. nRF2401 射频前端被激活；
- C. 所有的射频协议必须在微控制器程序中进行处理(包括字头、地址和 CRC 校验码)。

#### 3.1.2.2 直接接收模式

接口引脚为 CE、CLK1 和 DATA

- A. 一旦 nRF2401 被配置为直接接收模式，DATA 引脚将根据天线接收到的信号开始高低变化(由于噪声的

存在)；

B. CLK1 引脚也开始工作；

C. 一旦接收到有效的字头，CLK1 引脚和 DATA 引脚将协调工作，把射频数据包以其被发射时的数据从

DATA 引脚送给微控制器；

D. 这头必须是 8 位；

E. DR 引脚没用上，所有的地址和 CRC 校验必须在微控制器内部进行。

### 3.2 配置模式

在配置模式，15 字节的配置字被送到 nRF2401，这通过 CS、CLK1 和 DATA 三个引脚完成，具体的配置

方法请参考本文的器件配置部分。

### 3.3 空闲模式

nRF2401 的空闲模式是为了减小平均工作电流而设计，其最大的优点是，实现节能的同时，缩短芯片的起

动时间。在空闲模式下，部分片内晶振仍在工作，此时的工作电流跟外部晶振的频率有关，如外部晶振为

4MHz 时工作电流为 12uA，外部晶振为 16MHz 时工作电流为 32uA。在空闲模式下，配置字的内容保持

在 nRF2401 片内。

### 3.4 关机模式

在关机模式下，为了得到最小的工作电流，一般此时的工作电流小于 1uA。关机模式下，配置字的内容也

会被保持在 nRF2401 片内，这是该模式与断电状态最大的区别。

## 4. 器件配置

nRF2401 的所有配置工作都是通过 CS、CLK1 和 DATA 三个引脚完成，把其配置为 ShockBurstTM 收发模式需要 15 字节的配置字，而如把其配置为直接收发模式只需要 2 字节的配置字。由上文对 nRF2401 工作模式的介绍，我们可以知道，nRF2401 一般工作于 ShockBurstTM 收发模式，这样，系统的程序编制会更加简单，并且稳定性也会更高，因此，下文着重介绍把 nRF2401 配置为 ShockBurstTM 收发模式的器件配置方法。

ShockBurstTM 的配置字使 nRF2401 能够处理射频协议，在配置完成后，在 nRF2401 工作的过程中，只需改变其最低一个字节中的内容，以实现接收模式和发送模式之间切换。ShockBurstTM 的配置字可以分为以下四个部分：

数据宽度：声明射频数据包中数据占用的位数。这使得 nRF2401 能够区分接收数据包中的数据和 CRC 校验码；

地址宽度：声明射频数据包中地址占用的位数。这使得 nRF2401 能够区分地址和数据；

地址：接收数据的地址，有通道 1 的地址和通道 2 的地址；

CRC：使 nRF2401 能够生成 CRC 校验码和解码。

当使用 nRF2401 片内的 CRC 技术时，要确保在配置字中 CRC 校验被使能，并且发送和接收使用相同的协议。nRF2401 配置字的各个位的描述如表 3 所示。

表 3 : nRF2401 配置字描述

	位	位数	名字	功 能
<b>Sh oc kB ur st I 配置</b>	143:120	24	TEST	保留
	119:112	8	DATA2_W	接收频道 2 有效数据的长度
	111:104	8	DATA1_W	接收频道 1 有效数据的长度
	103:64	40	ADDR2	接收频道 2 的地址，最高为 5 字节
	63:24	40	ADDR1	接收频道 1 的地址，最高为 5 字节
	23:18	6	ADDR_W	接收频道地址位数
	17	1	CRC_L	8 或 16 位 CRC
	16	1	CRC_EN	使能 CRC 检验
<b>常用 用 器 件 配置</b>	15	1	RX2_EN	使能第二频道
	14	1	CM	通信方式设置
	13	1	RFDR_SB	发射数据速率(1Mbps 需要 16MHz 晶振)
	12:10	3	XO_F	晶振频率
	9:8	2	RF_PWR	发射输出功率
	7:1	7	RF_CH#	频道设置
	0	1	RXEN	接收或发射操作

在配置模式下，注意保证 PWR\_UP 引脚为高电平，CE 引脚为低电平。配置字从最高位开始，依次送入

nRF2401。在 CS 引脚的下降沿，新送入的配置字开始工作。

## 5. 应用电路



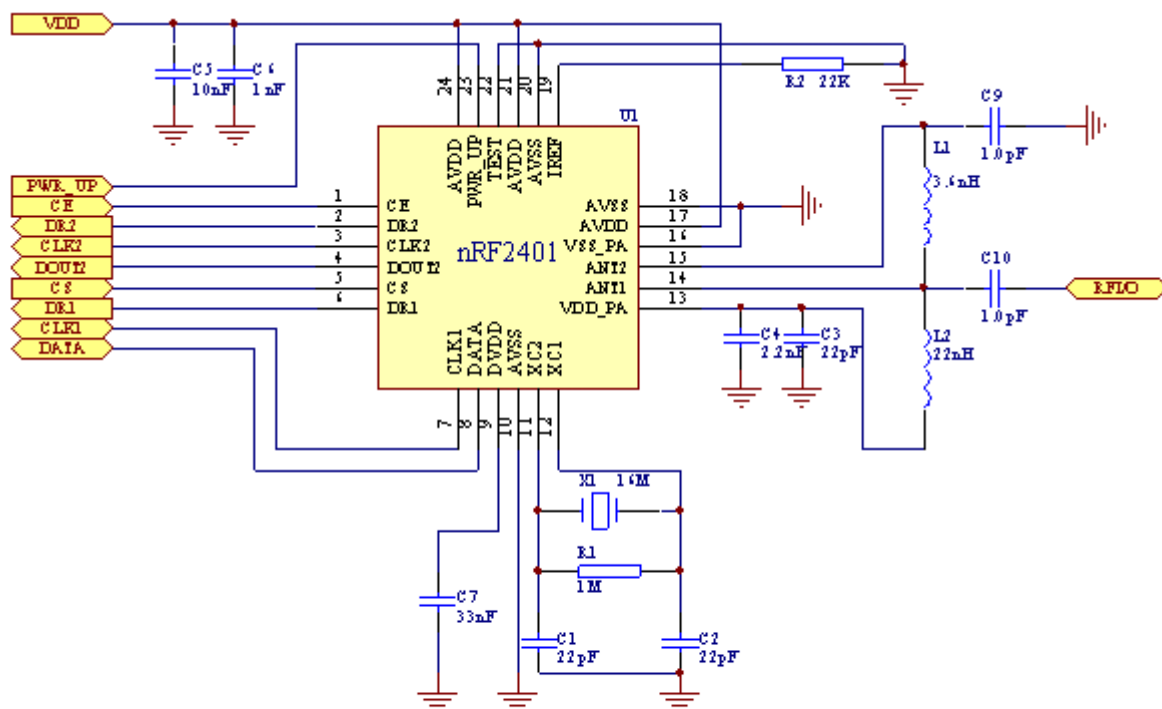


图 2 nRF2401 应用电路

图 2 为 nRF2401 的应用电路,由图可知,其只需要 14 个外围元件。nRF2401 应用电路一般工作于 3V,它可用多种低功耗微控制器进行控制。在设计过程中,设计者可使用单鞭天线或环形天线,上图为 50 欧姆单鞭天线的应用电路。在使用不同的天线时,为了得到尽可能大的收发距离,电感电容的参数应适当调整。

## 6. PCB 设计

PCB 设计对 nRF2401 的整体性能影响很大，所以 PCB 设计在 nRF2401 收发系统的开发过程中主要的工作之一，在 PCB 设计时，必须考虑到各种电磁干扰，注意调整电阻、电容和电感的位置，特别要注意电容的位置。

nRF2401 的 PCB 一般都是双层板，底层一般不放置元件，为地层，顶层的空余地方一般都敷上铜，这些敷铜通过过孔与底层的地相连。直流电源及电源滤波电容尽量靠近 VDD 引脚。nRF2401 的供电电源应通

过电容隔开，这样有利于给 nRF2401 提供稳定的电源。在 PCB 中，尽量多打一些通孔，使顶层和底层的地能够充分接触。

## 7. 结束语

nRF2401 通过 ShockBurst™ 收发模式进行无线数据发送，收发可靠，其外形尺寸小，需要的外围元器件也少，因此，使用方便，在工业控制、消费电子等各个领域都具有广阔的应用前景。