



XL2401D规格书

V1.1

2023.03

深圳市芯岭技术有限公司

www.xinlinggo.com

咨询电话：0755-32866130



版本

| Version | Date | Write | Appove | Description |
|---------|------------|-------|--------|-------------|
| V1.0 | 2023/02/08 | CHM | Andy | 首次发行 |
| V1.1 | 2023/03/01 | CHM | Andy | 修改寄存器相关说明 |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Xinling



目录

| | | |
|------|------------------------|----|
| 1 | 概述 | 5 |
| 2 | 主要特征 | 6 |
| 3 | 芯片引脚定义 | 8 |
| 3.1 | IC 内部线路连接 | 10 |
| 4 | 开发仿真说明 | 11 |
| 4.1 | 烧录说明 | 12 |
| 5 | MCU 软件编程参考 | 15 |
| 6 | 主要电气特性 | 16 |
| 7 | 极限最大额定值 | 19 |
| 8 | 系统结构方框图 | 20 |
| 9 | 芯片工作状态 | 21 |
| 9.1 | 休眠模式 | 24 |
| 9.2 | 待机模式-I (STB1) | 24 |
| 9.3 | 待机模式-II (STB2) | 24 |
| 9.4 | 待机模式-III (STB3) | 24 |
| 9.5 | 发射模式 | 25 |
| 10 | 数据通信模式 | 25 |
| 10.1 | 普通模式 | 27 |



| | | |
|-----------|---------------------------|-----------|
| 10.2 | 增强模式..... | 27 |
| 10.3 | 增强发送模式..... | 28 |
| 10.4 | 增强接收模式..... | 29 |
| 10.5 | 增强模式下的数据包识别..... | 29 |
| 10.6 | 增强模式下的接收端一对多通信..... | 30 |
| 10.7 | 中断引脚..... | 33 |
| 11 | SPI 控制接口..... | 33 |
| 12 | 控制寄存器..... | 34 |
| 13 | 数据包格式描述..... | 35 |
| 14 | 典型应用电路（参考）..... | 36 |
| 15 | PCB 设计指导（参考）..... | 37 |
| 16 | 印制天线设计（参考）..... | 38 |
| 16.1 | 印制板天线 layout 设计..... | 38 |
| 16.2 | 微型板 PIFA 天线设计..... | 38 |
| 16.3 | 遥控器控制板的中尺寸 PIFA 天线设计..... | 39 |
| 16.4 | 无线鼠标板及遥控器的单极天线设计..... | 41 |
| 17 | 芯片封装信息..... | 42 |
| 18 | 注意事项..... | 43 |
| 19 | 防护注意事项..... | 43 |
| 20 | 设计参考文档..... | 44 |



1 概述

XL2401D 芯片是工作在 2.400~2.483GHz 世界通用 ISM 频段,集成微控制器的 SOC 无线收发芯片。该芯片集成射频收发机、频率收生器、晶体振荡器、调制解调器等功能模块,并且支持一对多组网和带 ACK 的通信模式。发射输出功率、工作频道以及通信数据率均可配置。

芯片内含以 EPROM 作为内存的 8 位微控制器,专为多组 PWM 的应用设计。例如灯控,遥控车应用。采用 CMOS 制程并同时提供客户低成本、高性能、及高性价比等显著优势。XL2401D 核心建立在 RISC 精简指令集架构可以很容易地做编辑和控制,共有 55 条指令。除了少数指令需要 2 个时序,大多数指令都是 1 个时序即能完成,可以让用户轻松地以程控完成不同的应用。

在 I/O 的资源方面,XL2401D 有 10 条可编程双向 I/O 口,每个 I/O 口都有单独的暂存器控制为输入或输出脚。而且每一个 I/O 脚位都有附加的程序控制功能如上拉或下拉电阻或开漏极 (Open-Drain) 输出。

XL2401D 有三组定时器,可用系统频率当作一般的计时的应用或者从外部信号触发来计数。另外 XL2401D 提供 5 组 10 位分辨率的 PWM 输出。

XL2401D 采用双时钟机制,高速振荡或者低速振荡都可以分别选择内部 RC 振荡或外部 Crystal 输入。在双时钟机制下,XL2401D 可选择多种工作模式如正常模式 (Normal)、低速模式 (Slow mode)、待机模式 (Standby mode) 与睡眠模式 (Halt mode) 可节省电力消耗延长电池寿命。并且微控制器在使用内部 RC 高速振荡时,低速振荡可以同时使用外部精准的 Crystal 计时。可以在高速处理的同时又能精准计算时间。

在省电的模式下如待机模式 (Standby mode) 与睡眠模式 (Halt mode) 中,有多种事件可以触发中断唤醒 XL2401D 进入正常操作模式 (Normal) 或慢速模式 (Slow mode) 来处理突发事件。

芯片已将多颗外围贴片阻容感器件集成到芯片内部。容易过 FCC 等认证。



典型应用领域：

- 无线鼠标键盘
- 电视和机顶盒遥控器
- 无线游戏手柄
- 遥控玩具
- 有源无线标签
- 智能家居及安防系统

2 主要特征

- 工作电压范围：2.5~3.6V
- 2Kx14 bits EPROM
- 128 bytes SRAM
- 8 层程式堆栈 (Stack)
- 一组 8 位元上数计时器 (Timer0)包含可程式化的频率预除线路
- 二组 10 位元下数计时器 (Timer1, 3)可选重复载入或连续下数计时
- 38/57KHz 红外线载波频率可供选择，同时载波之极性也可以根据数据作选择
- 内建看门狗计时 (WDT)，可由程式人体控制开关
- 内建上电复位电路 (POR)
- 内建低压复位功能 (LVR)。
- 内建电阻频率转换器 (RFC)功能



- 双时钟机制，系统可以随时切换高速振荡或者低速振荡。

高速振荡： E_HXT (超过 6MHz 外部高速石英振荡)

E_XT (455K~6MHz 外部石英振荡)

I_HRC (1~20MHz 内部高速 RC 振荡)

低速振荡： E_LXT (32KHz 外部低速石英振荡)

I_LRC (内部 32KHz 低速 RC 振荡)

- 八种硬体中断：Timer0 溢位中断, Timer1 借位中断, Timer3 借位中断, WDT 中断, PA/PB 输入状态

改变中断, 两组外部中断输入, 低电压侦测中断。

- 功耗较低

发射模式 (0dBm) 工作电流 13.7mA; 接收模式工作电流 12.3mA; 休眠电流 3uA。

- 节省外围器件

支持外围 4 个元器件，包括 1 颗晶振和 3 个贴片电容；

支持双层或单层印制板设计，可以使用印制板天线；

芯片自带部分链路层的通信协议；配置少量的参数寄存器，使用方便。

- 性能优异

125K / 250K / 1M / 2M bps 模式的接收灵敏度为-96.5 / -95 / -92 / -90dBm;

发射输出功率最大可达 8dBm;

抗干扰性好，接收滤波器的邻道抑制度高，接收机选择性好。容易过 FCC 等认证。

- 内部四线 SPI 接口通信控制 RF 芯片、速率最高支持 4Mbps

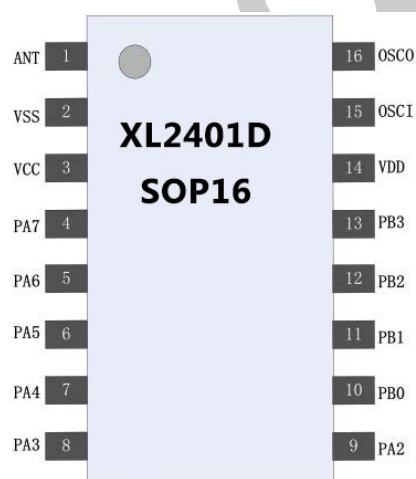
- 支持最大数据长度为 128 字节 (4 级 FIFO)

- 工作温度支持-40~+125°C



- GFSK 通信方式
- 支持自动应答及自动重传

3 芯片引脚定义



| 引脚序号 | 引脚名 | I/O | 描述 |
|------|-----|-----|------------------|
| 1 | ANT | A | 射频信号输入输出 |
| 2 | VSS | P | 地 |
| 3 | VCC | P | 电源输入(MCU) |
| 4 | PA7 | I/O | PA7 是一个双向 I/O 引脚 |



| | | | |
|----|-----|-----|--|
| | | | PA7 可当作 MCU 晶振输出引脚 Xout PA7 也可以当成指令时钟输出. |
| 5 | PA6 | I/O | PA6 是一个双向 I/O 引脚 PA6 可当作 CMU 晶振输入引脚 Xin. |
| 6 | PA5 | I/O | PA5 可选择当作输入脚或开漏输出脚 PA5 可当作复位引脚 RSTb. PA5 也是编程高压输入 VPP |
| 7 | PA4 | I/O | PA4 是一个双向 I/O 引脚 PA4 可输出 PWM1 PA4 可当作定时器 0 / 1 外部时钟来源 EX_CKIO PA4 也是编程时钟输入 SCK. |
| 8 | PA3 | I/O | PA3 是一个双向 I/O 引脚, 也可当作比较器输入引脚 PA3 可输出 PWM3 PA3 也是编程数据输出 SDO. |
| 9 | PA2 | I/O | PA2 i 是一个双向 I/O 引脚也可当作比较器输入引脚 PA2 可输出 PWM4 PA2 是外部中断 1 的输入引脚 INT1 PA2 也是编程数据输入 SDI. |
| 10 | PB0 | I/O | PB0 是一个双向 I/O 引脚 PB0 可输出 PWM5. PB0 也是外部中断 0 的输入引脚 INTO. |



| | | | |
|----|------|-----|--|
| 11 | PB1 | I/O | PB1 是一个双向 I/O 引脚 PB1 可做红外输出引脚 PB1 也是外部中断 1 的输入引脚 INT1. |
| 12 | PB2 | I/O | PB2 是一个双向 I/O 引脚 PB2 可输出 PWM2. |
| 13 | PB3 | I/O | PB3 是一个双向 I/O 引脚 PB3 可当作蜂鸣器输出或输出 PWM1 PB3 也是编程数据输出 SDO |
| 14 | VCC | P | 电源输入(RF) |
| 15 | OSCI | I/O | 晶振脚 |
| 16 | OSCO | I/O | 晶振脚 |

3.1 IC 内部线路连接

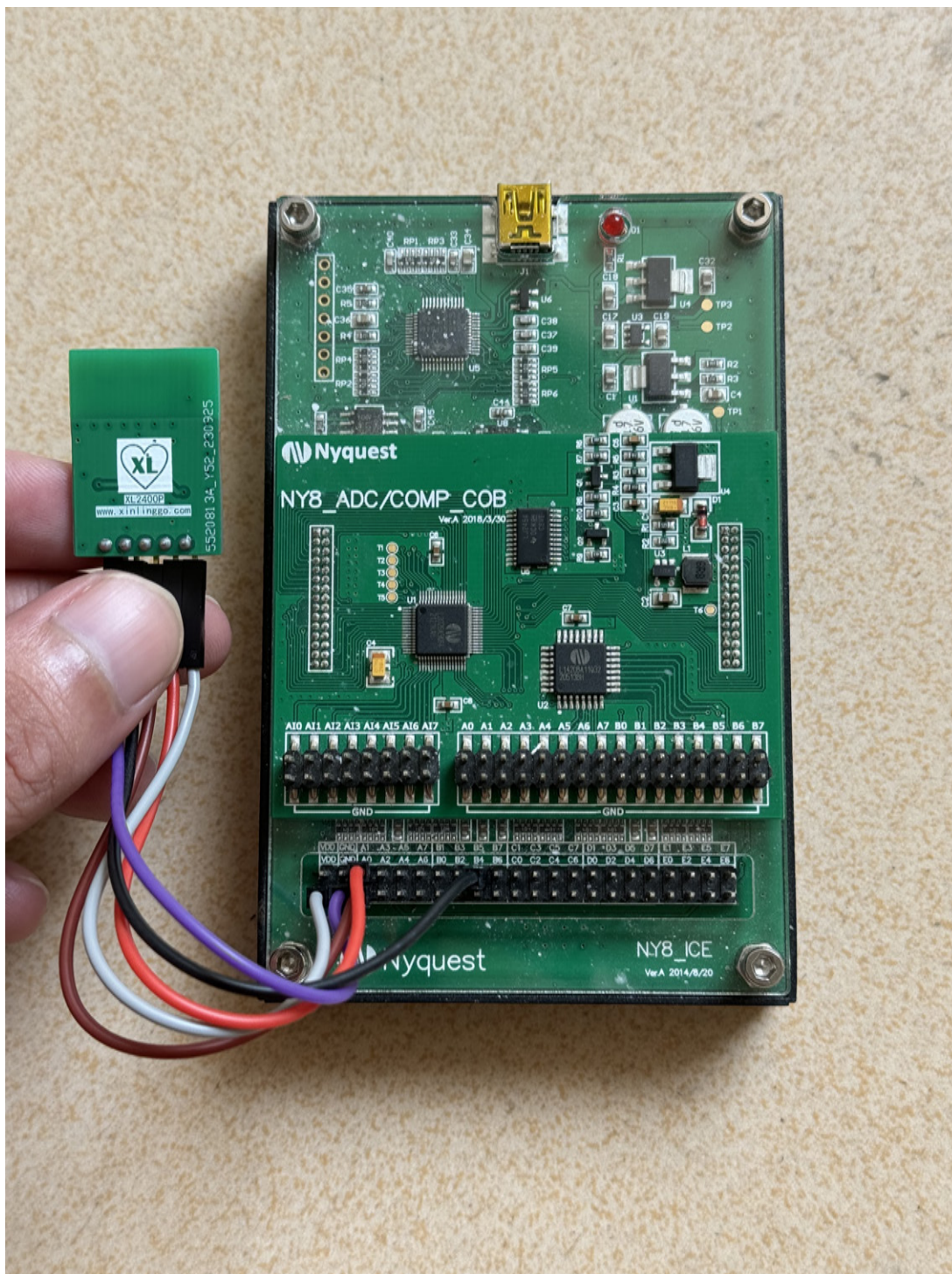
| 引脚名 | 相连位置 |
|-----|------|
| CSN | PA1 |
| SCK | PA0 |
| SDI | PB5 |
| SDO | PB4 |



4 开发仿真说明

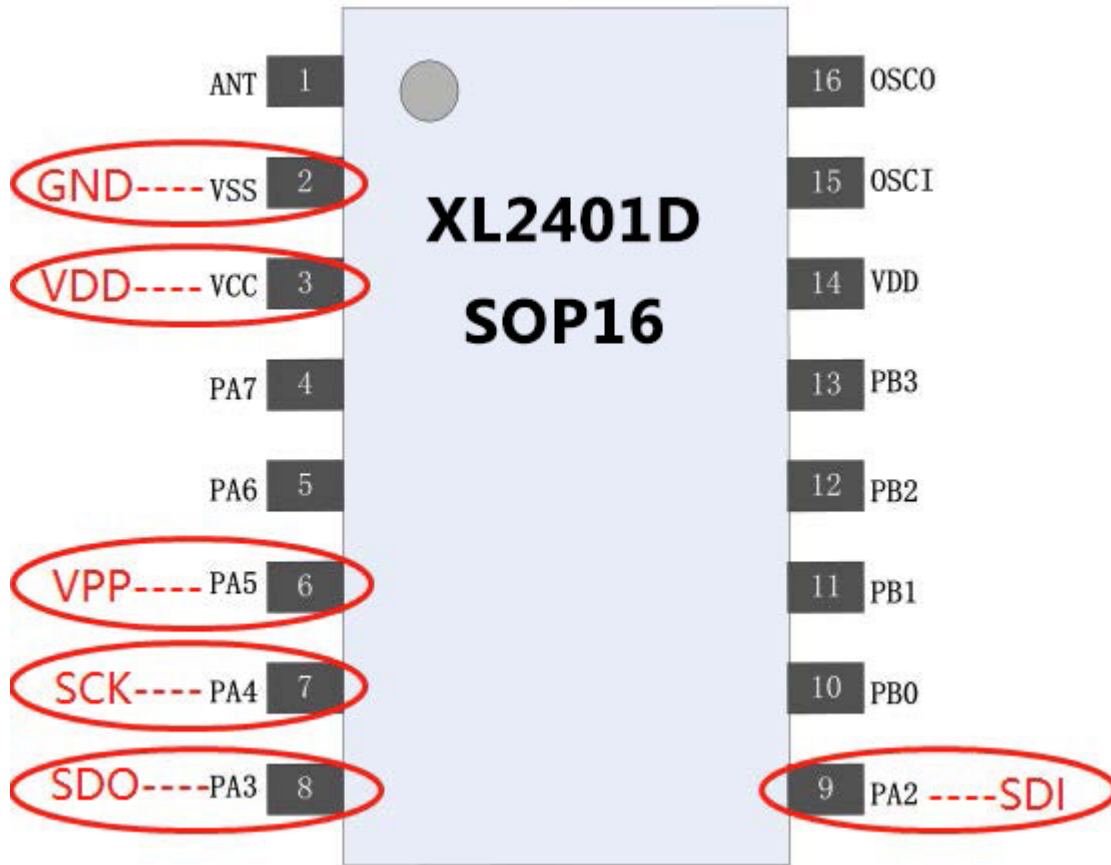
在 XL2401D 的开发阶段,可使用九齐 NY8_ICE 仿真器 + XL2400P模块的方式, XL2400P 模块与仿真器通过 SPI 相连,与芯片内部连线一致,开发完成后,烧录 XL2401D 芯片即可使用。

仿真器与 XL2400P模块共 6 条线连接,电源、地和 4 线 SPI(CSN\SCK\SDI\SDO), 对应关系如 3.1 图示。





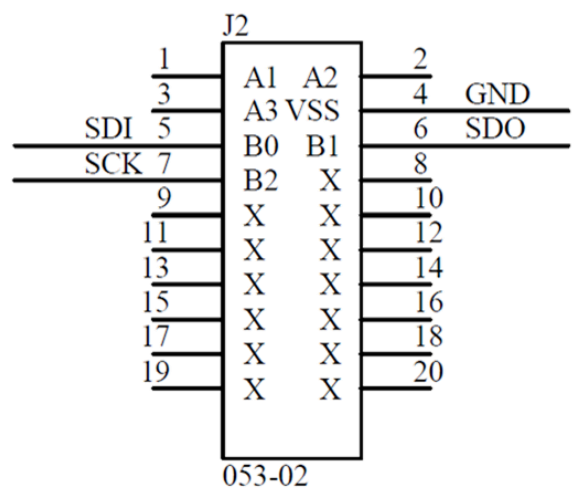
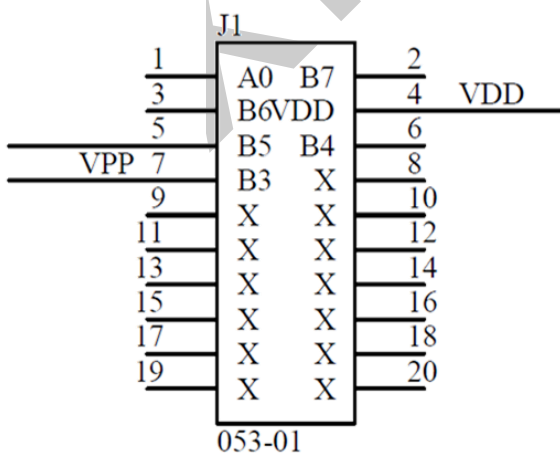
4.1 烧录说明



XL2401D 烧录时连接 2、3、6、7、8、9 脚共 6 条线，可由烧录器对应脚位引出，或使用转接座来烧录。烧录可参照《Q-Writer_UM_v4.9_SC.pdf》



J1/J2 对应脚们如下:





XL2401D 专用转接座



切记 Config Card 需插 NYBA053.





5 MCU 软件编程参考

内含 MCU 为 九齐 NY8A054E, 软件编程可参考《NY8A054E 用户手册》

Xinling



6 主要电气特性

| 特 性 | 测试条件(VCC = 3V±5%, TA=25°C) | 参数值 | | | 单位 |
|--------------------|-------------------------------|-------|------|------|------|
| | | 最小 | 典型 | 最大 | |
| ICC | 休眠模式 | | 3.6 | | uA |
| | 待机模式 1 | | 24.2 | | uA |
| | 待机模式 2 | | 1.18 | | mA |
| | 发射模式 (-24dBm) | | 9 | | mA |
| | 发射模式 (-18dBm) | | 9.5 | | mA |
| | 发射模式 (0dBm) | | 13.7 | | mA |
| | 发射模式 (2dBm) | | 17 | | mA |
| | 发射模式 (8dBm) | | 25 | | mA |
| | 接收模式 (250Kbps) | | 12.3 | | mA |
| | 接收模式 (1Mbps) | | 12.3 | | mA |
| | 接收模式 (2Mbps) | | 12.3 | | mA |
| 系统指标 | | | | | |
| f _{OP} | 工作频率 | 2400 | | 2483 | MHz |
| PLL _{res} | 锁相环频率步进 | | 1 | | MHz |
| f _{XTAL} | 晶振频率, 负载电容 12pF | | 16 | | MHz |
| DR | 码率 | 0.125 | | 2 | Mbps |
| Δf _{250K} | 调制频偏@250Kbps | | 160 | 250 | KHz |
| Δf _{1M} | 调制频偏@1Mbps | | 160 | 250 | KHz |



| | | | | | |
|---------------------|-------------------------------|-----|-------|---|-----|
| Δf_{2M} | 调制频偏@2Mbps | | 320 | | KHz |
| FCH _{250K} | 频道间隔@250Kbps | | 1 | | MHz |
| FCH _{1M} | 频道间隔@1Mbps | | 1 | | MHz |
| FCH _{2M} | 频道间隔@2Mbps | | 2 | | MHz |
| 发射模式指标 | | | | | |
| PRF | 典型输出功率 | | 0 | | dBm |
| PRFC | 输出功率范围 | -24 | | 8 | dBm |
| PBW1 | 发射带数据调制的 20dB 带宽 (250Kbps) | | 1 | | MHz |
| PBW2 | 发射带数据调制的 20dB 带宽 (1Mbps) | | 1 | | MHz |
| PBW3 | 发射带数据调制的 20dB 带宽 (2Mbps) | | 2 | | MHz |
| 接收模式指标 (注 1) | | | | | |
| RX _{max} | 误码率 < 0.1% 时的最大接收幅度 | | 0 | | dBm |
| RXSENS1 | 接收灵敏度 (0.1%BER) @125 Kbps | | -96.5 | | dBm |
| RXSENS2 | 接收灵敏度 (0.1%BER) @250 Kbps | | -95 | | dBm |
| RXSENS3 | 接收灵敏度 (0.1%BER) @1Mbps | | -92 | | dBm |



| | | | | | |
|--------------------|---------------------------|--|-----|--|-----|
| RXSENS4 | 接收灵敏度 (0.1%BER) @2Mbps | | -90 | | dBm |
| 接收模式邻道选择性 | | | | | |
| C/I _{CO} | 同频的通道选择性@250kbps | | 2 | | dBc |
| C/I _{1ST} | 第 1 相邻道选择性@250kbps | | -8 | | dBc |
| C/I _{2ND} | 第 2 相邻道选择性@250kbps | | -18 | | dBc |
| C/I _{3RD} | 第 3 相邻道选择性@250kbps | | -24 | | dBc |
| C/I _{4TH} | 第 4 相邻道选择性@250kbps | | -28 | | dBc |
| C/I _{5TH} | 第 5 相邻道选择性@250kbps | | -32 | | dBc |
| C/I _{6TH} | 第 6 相邻道选择性@250kbps | | -35 | | dBc |
| C/I _{CO} | 同频的通道选择性@1Mbps | | 10 | | dBc |
| C/I _{1ST} | 第 1 相邻道选择性@1Mbps | | 1 | | dBc |
| C/I _{2ND} | 第 2 相邻道选择性@1Mbps | | -18 | | dBc |
| C/I _{3RD} | 第 3 相邻道选择性@1Mbps | | -23 | | dBc |
| C/I _{4TH} | 第 4 相邻道选择性@1Mbps | | -28 | | dBc |
| C/I _{5TH} | 第 5 相邻道选择性@1Mbps | | -32 | | dBc |
| C/I _{6TH} | 第 6 相邻道选择性@1Mbps | | -35 | | dBc |
| C/I _{CO} | 同频的通道选择性@2Mbps | | 10 | | dBc |
| C/I _{1ST} | 第 1 相邻道选择性@2Mbps | | -6 | | dBc |
| C/I _{2ND} | 第 2 相邻道选择性@2Mbps | | -10 | | dBc |
| C/I _{3RD} | 第 3 相邻道选择性@2Mbps | | -22 | | dBc |



| | | | | | |
|--------------------|------------------|---------|-----|---------|-----|
| C/I _{4TH} | 第 4 相邻道选择性@2Mbps | | -28 | | dBc |
| C/I _{5TH} | 第 5 相邻道选择性@2Mbps | | -34 | | dBc |
| 操作条件 | | | | | |
| VDD | 供电电压 | 1.7 | 3 | 3.6 | V |
| VSS | 芯片地 | | 0 | | V |
| V _{OH} | 高电平输出电压 | VDD-0.3 | | VDD | V |
| V _{OL} | 低电平输出电压 | VSS | | VSS+0.3 | V |
| V _{IH} | 高电平输入电压 | VDD-0.3 | | VDD | V |
| V _{IL} | 低电平输入电压 | VSS | | VSS+0.3 | V |

* 注 1: 在晶振 16MHz 的整数倍 (如 2416、2432MHz 等) 的频道及相邻正负 1MHz 的频道的接收灵敏度退化 2dB; 发射信号调制精度 (EVM) 退化 10%。**请使用我们建议信道。**

7 极限最大额定值

| 特性 | 条件 | 参数值 | | | 单位 |
|-----------------|------|------|----|-----|----|
| | | 最小 | 典型 | 最大 | |
| 最大额定值 | | | | | |
| V _{DD} | 供电电压 | -0.3 | | 3.6 | V |
| V _I | 输入电压 | -0.3 | | 3.6 | V |
| V _O | 输出电压 | VSS | | VDD | |



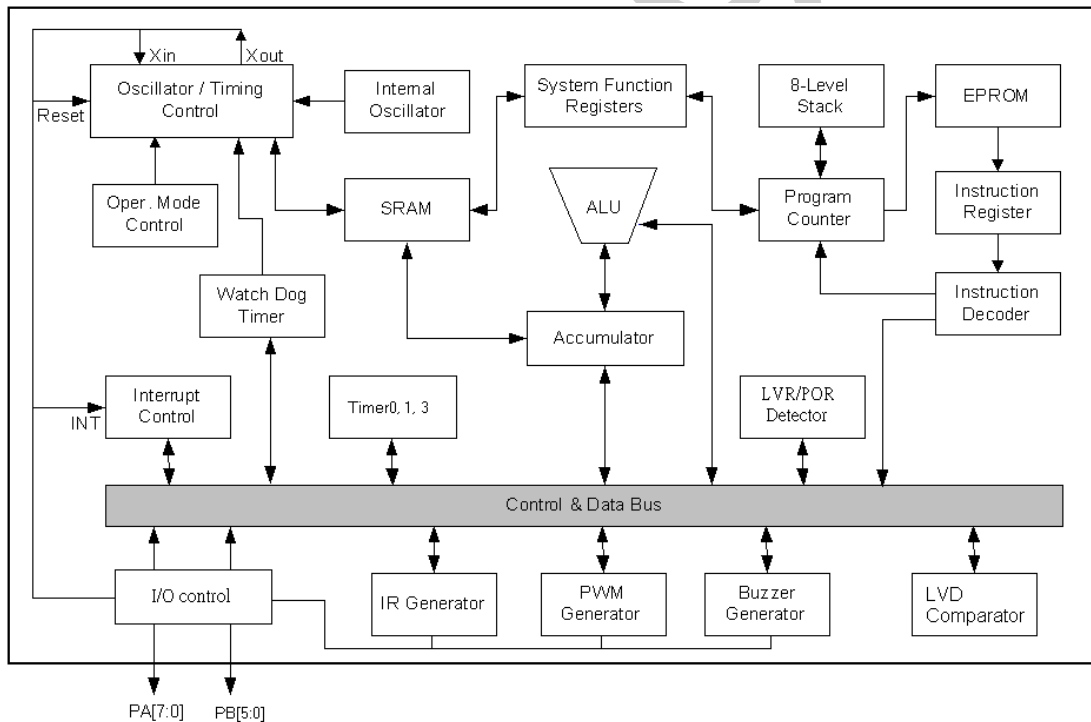
| | | | | | |
|------------------|---------------------|-----|--|-----|----|
| P _d | 总功耗 (TA=-40°C~85°C) | | | 300 | mW |
| T _{OP} | 工作温度 | -40 | | 125 | °C |
| T _{STG} | 存储温度 | -40 | | 125 | °C |

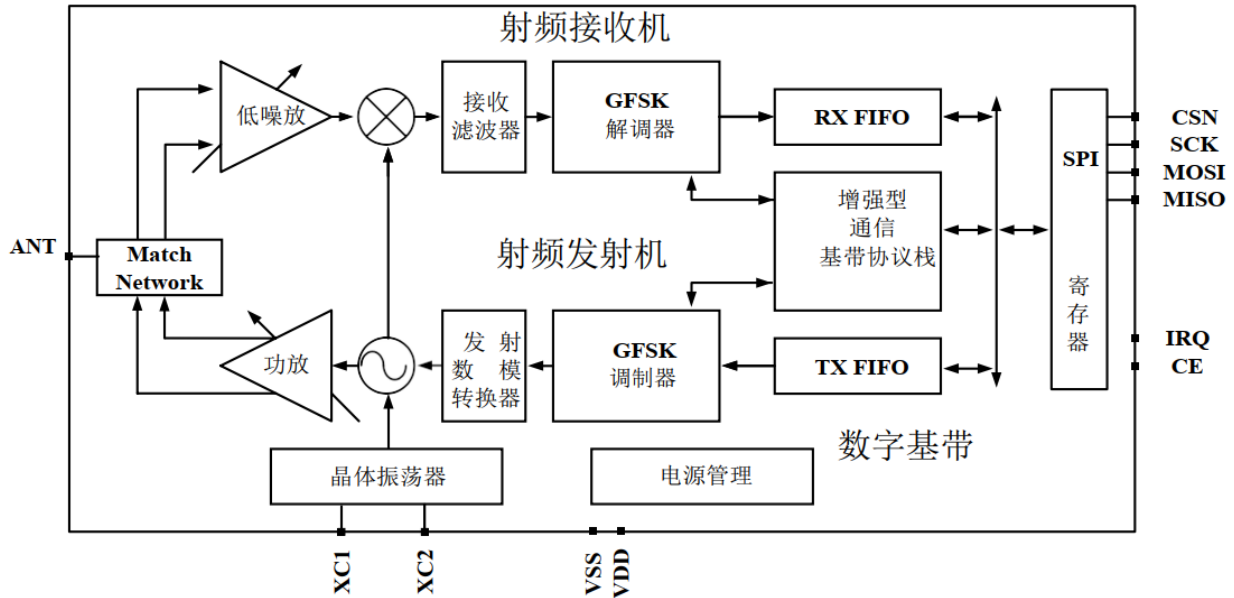
注：1、使用中强行超过一项或多项极限最大额定值会导致器件永久性损坏。

2、静电敏感器件，操作时遵守防护规则。

8 系统结构方框图

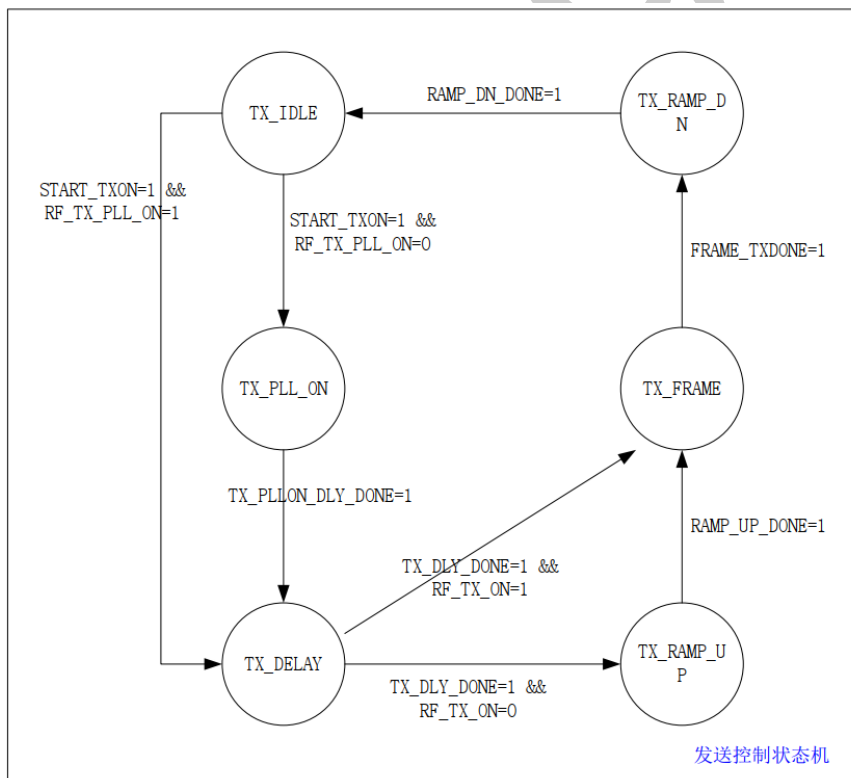
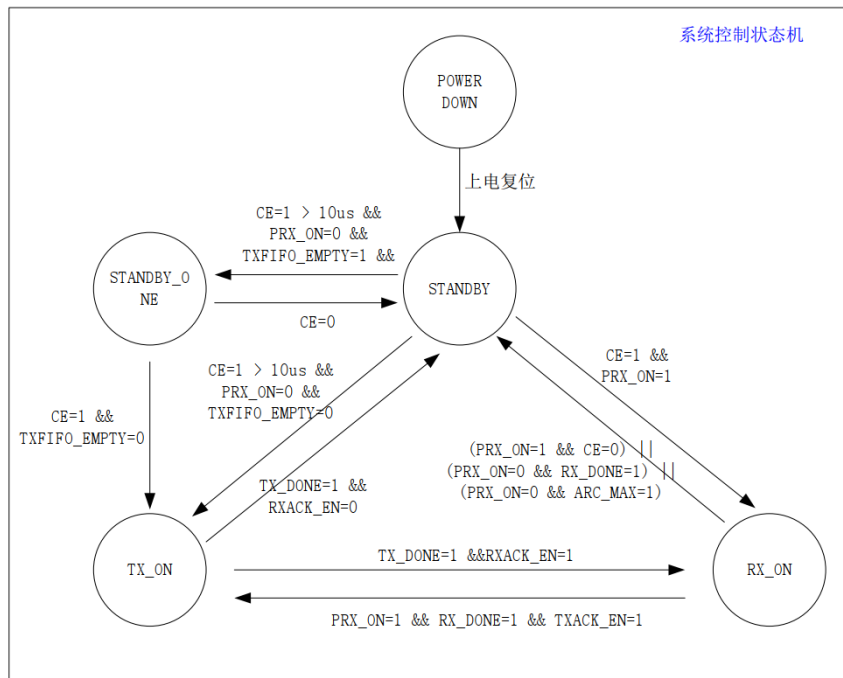
微控制器

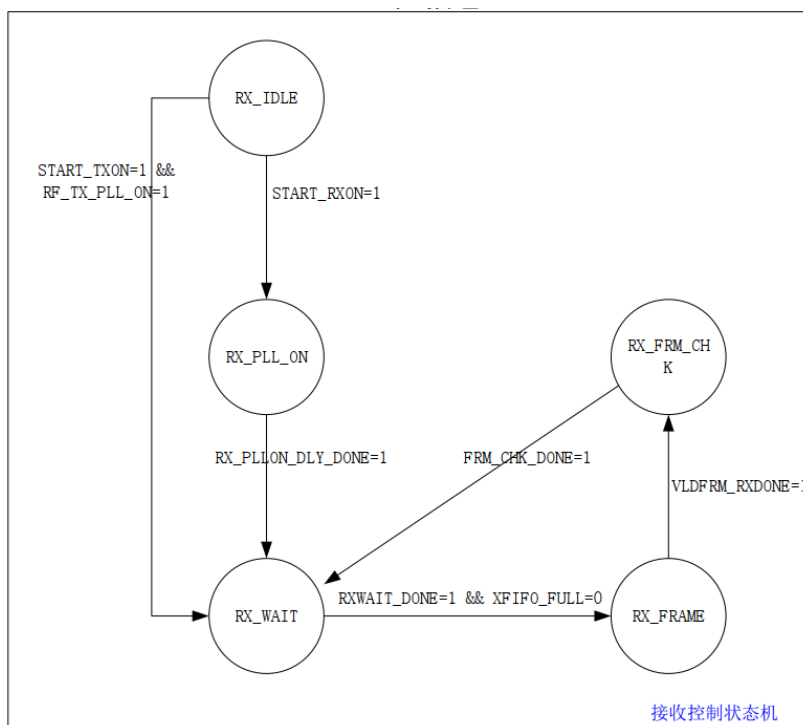




9 芯片工作状态

本章描述 XL2401D 系列芯片的各种工作模式，以及用于控制芯片进入各工作模式的方法。XL2401D 芯片自带状态机受控于芯片内部寄存器的配置值和外部引脚信号。





如上所示，XL2401D RF 工作状态图，表示 5 种工作模式之间的跳变。XL2401D 在 VDD 大于 2.5V 才开始正常工作。即使进入休眠模式，MCU 还是可以通过 SPI 发送配置命令及 CE 管脚使芯片进入其它 5 种状态。

如上所示，系统包括 5 个主要状态，分别如下：

1. POWER DOWN。数字系统断电状态。
2. STANDBY。系统上电后自动进入该状态。
3. STANDBY ONE。当配置为 PTX 器件，且 CE=1 持续时间大约 10us，且 TXFIFO 中没有数据，系统进入该状态，等待发送数据。
4. TX ON。当配置为 PTX 器件，且 CE=1 持续时间大约 10us，且 TXFIFO 中有数据，系统进入该状态。在该状态下完成数据的发送处理，系统会启动发送控制状态机进行工作，直到数据发送完成。若配置自动 ACK 接收，则系统会进入 RX ON 状态开始接收 ACK。
5. RX ON。当配置为 PRX 器件，且 CE=1 时，系统进入该状态。在该状态下完成数据的接收处理，系统会启动接收控制状态机进行工作，直到接收到一个帧。当配置自动 ACK 发送，则系统会就进入 TX ON 状



态发送 ACK。若 PTX 器件有效，且自动 ACK 接收使能，则还会启动发送重传。

9.1 休眠模式

在休眠模式下，XL2401D 所有功能关闭，保持电流消耗最小。进入休眠模式后，XL2401D 停止工作，但寄存器内容保持不变。休眠模式由寄存器中 PWR_UP 位控制。

9.2 待机模式-I (STB1)

在待机模式-I 下，芯片维持晶振振荡但不输出给其它模块，其余功能模块均关闭，消耗电流较小。在休眠模式下，通过配置寄存器 PWR_UP 的值为 1，芯片即可进入待机模式-I。而处于发射或接收模式时，可以通过配置 CE 和 EN_PM 控制信号为 0，芯片返回到待机模式-I。

9.3 待机模式-II (STB2)

收送端 TX FIFO 寄存器为空并且 CE 引脚置 1，进入待机模式-II (待机模式-II 通常可以理解为预备发射模式)。此时，晶振有较强的输出驱动能力且芯片的电源管理模块开启。待机模式-II 下，如果有数据包送入 TX FIFO，此时芯片内部锁相环立刻启动工作并且经过一段锁相环的锁定时间后，发射机将数据包发射出去。

9.4 待机模式-III (STB3)

在待机模式-I 时，配置 EN_PM 控制信号为 1，芯片进入到待机模式-III。待机模式-III 主要目的是使得芯片的电源管理模块启动和输出 16M 高速时钟。接收模式

当 PWR_UP、PRIM-RX、EN_PM、CE 置 1 时，进入接收模式。



在 RX 模式下，射频部分接收从天线来的信号，将其放大、下变频、滤波和解调，根据地址、校验码、数据长度等，判断是否收包有效，有效收包上传 RX FIFO，上报中断。如果 RX FIFO 是满的，接收的数据包就会被丢弃。

9.5 发射模式

当 PWR_UP、EN_PM 置 1，PRIM-RX 置 0，CE 置 1，且 TX FIFO 中存在有效数据，进入发射模式。

XL2401D 在数据包发送完之前都会保持在发送模式。发送完成后，返回到待机模式。XL2401D 支持连续发包和发长包模式。

10 数据通信模式

XL2401D 芯片搭配 MCU 来共同完成通信功能。链路层，如数据组帧、校验、地址判断、数据白化的扰码、数据重传和 ACK 响应等处理是由芯片内部完成的，无需 MCU 参与。

XL2401D 芯片可配置为四个不同的 RX FIFO 寄存器（32 字节）或者一个 RX FIFO 寄存器（128 字节）（6 个接收通道共享）、四个不同的 TX FIFO 寄存器（32 字节）或者一个 TX FIFO 寄存器（128 字节）。在休眠模式和待机模式下，MCU 可以访问 FIFO 寄存器。

XL2401D 芯片主要有二种数据通信模式：

- 不带自动重传不带 ACK 的通信模式（后简称为普通模式），发射端可以使用命令有 W_TX_PAYLOAD, REUSE_TX_PL 等；
- 带自动重传带 ACK 的通信模式（后简称为增强模式），发射端可以使用命令有 W_TX_PAYLOAD, W_TX_PAYLOAD_NOACK, REUSE_TX_PL 等；接收端可以使用命令有 W_ACK_PAYLOAD 等；



普通模式

| 通信名称 | 普通模式 | |
|-------------------|-----------|------|
| 通信方 | PTX | PRX |
| 特点 | 单向发送 | 单向接收 |
| 收送数据的组帧方式 | I | 无 |
| 开启 REUSE_TX_PL 命令 | 重复发送前一包数据 | 无 |

增强模式

| 通信名称 | 增强模式 | |
|---|---------------------------|----------------------------------|
| 通信方 | PTX | PRX |
| 特点 | 发送数据后，等待接收 ACK | 接收数据后，回收送 ACK |
| 发送数据的组帧方式 | 发送数据组帧方式 II | 回发送 ACK 组帧方式 III |
| PTX 使用 REUSE_TX_PL 命令 | 重复发送前一包数据 | 每收到一包，回发送 ACK |
| PTX 使用 W_TX_PAYLOAD 命令 PRX 使用 W_ACK_PAYLOAD 命令 | 发送数据后，等待接收 ACK PAYLOAD | 接收数据后，回发送 ACK PAYLOAD，组帧方式 II |
| PTX 使用 W_TX_PAYLOAD_NO ACK 命令 | 发送一次数据，不等 ACK，组 帧方式 II | 接收数据，不回 ACK |



10.1 普通模式

普通模式下，发送端从 TX FIFO 寄存器中取出数据并且发送，发送完成后上报中断（中断需要清除），同时 TX FIFO 寄存器清除该数据（TX FIFO 需要清空）；接收端接收到有效的地址和数据时上报中断通知 MCU，随后 MCU 可将该数据从 RX FIFO 寄存器中读出（TXFIFO 和 RX FIFO 需要清空，中断需要清除）。

普通模式，(0X01) EN_AA 寄存器置 0X00，(0X04) SETUP_RETR 寄存器置 0X00，(0X1C) DYNPD 寄存器置 0X00，(0X1D) FEATURE 寄存器的低 3 bit 置 000。

10.2 增强模式

增强模式下，把主动发起通信的一方称为 PTX(主发端)，把接收数据并响应的一方称为 PRX(主收端)。PTX 发出数据后等待应答信号，PRX 接收到有效数据后回应答信号。PTX 规定时间内未收到应答信号，自动重新发送数据。自动重传和自动应答功能为 XL2401D 芯片自带，无需 MCU 参与。

PTX 在发送数据后自动转到接收模式等待应答信号。如果没有在规定时间内收到正确的应答信号，PTX 将重发相同的数据包，直到收到应答信号，或传输次数超过 ARC 的值（SETUP_RETR 寄存器）产生 MAX_RT 中断。PTX 收到应答信号，即认为数据已经发送成功（PRX 收到有效数据），清除 TX FIFO 中的数据并产生 TX_DS 中断（TX FIFO 和 RX FIFO 需要清空，中断需要清除）。

PRX 每次收到一包有效数据都会回 ACK 应答信号，该数据如果为新数据（PID 值与上一包数据不同）保存到 RX FIFO，否则就丢弃。

增强模式，需要保证 PTX 的 TX 地址 (TX_ADDR)、通道 0 的 RX 地址 (如 RX_ADDR_P0)，以及 PRX 的 RX 地址 (如 RX_ADDR_P5) 三者相同。例：在图 5 中，PTX5 对应 PRX 的数据通道 5，地址设置如下：

PTX5: TX_ADDR=0xC2C3C4C5C1

PTX5: RX_ADDR_P0=0xC2C3C4C5C1



RX: RX_ADDR_P5=0xC2C3C4C5C1

增强模式有如下特征:

- 减少 MCU 的控制, 简化软件操作;
- 抗干扰能力强, 减少无线传输中因瞬间同频干扰造成的丢包, 更易开发跳频算法;
- 重传过程中, 减少 MCU 通过 SPI 接口的每次写入待发送数据的操作时间。

10.3 增强发送模式

1、CE 置 0, CONFIG 寄存器的 PRIM_RX 位先置 0。

2、当发送数据时, 发送地址 (TX_ADDR) 和有效数据 (TX_PLD) 通过 SPI 接口按字节写入地址寄存器和 TX FIFO。CSN 引脚为低时, 数据写入, CSN 引脚再次为高, 数据完成写入。

3、CE 从 0 置 1, 启动发射 (CE 至少持续置 1 在 30us 以上, 该操作生效)。

4、自动应答模式下 (SETUP_RETR 寄存器置不为 0, ENAA_P0=1), PTX 发送完数据后立即自动将通道 0 切换到接收模式等待应答信号。如果在有效应答时间范围内收到 ACK 应答信号, 则认为数据发送成功, 状态寄存器的 TX_DS 位置 1 并自动清除 TX FIFO 中的数据。如果在设定时间范围内没有接收到应答信号, 则自动重传数据。

5、如果自动传输计数器 (ARC_CNT) 溢出 (超过了设定值), 则状态寄存器的 MAX_RT 位置 1, 不清除 TX FIFO 中的数据。当 MAX_RT 或 TX_DS 为 1 时, IRQ 引脚产生低电平中断 (需要使能相应中断)。中断可以通过写状态寄存器来复位。

6、数据包丢失计数器 (PLOS_CNT) 在每次产生 MAX_RT 中断后加一。自动传输计数器 ARC_CNT 统计重发数据包的次数; 数据包丢失计数器 PLOS_CNT 统计在达到最大允许传输次数时仍没有发送成功的数据包个数。

7、产生 MAX_RT 或 TX_DS 中断后, 系统进入待机模式。



10.4 增强接收模式

1、CE 置 0，CONFIG 寄存器的 PRIM_RX 位先置 1。准备接收数据的通道必须被使能（EN_RXADDR 寄存器），所有工作在增强型通信模式下的数据通道的自动应答功能是由 EN_AA 寄存器来使能的，有效数据宽度是由 RX_PW_PX 寄存器来设置的。

2、接收模式由设置 CE 为 1 启动。

3、预设的等待时间后，PRX 开始检测无线信号。

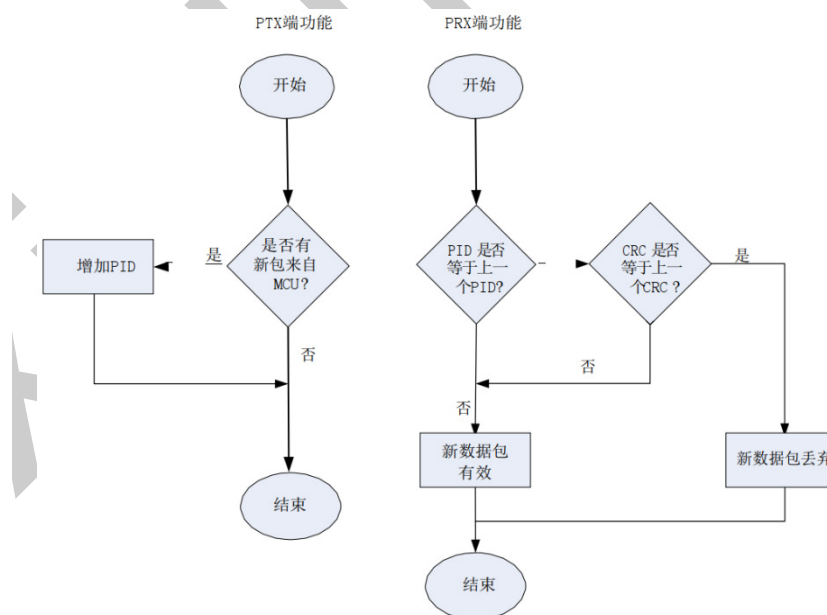
4、接收到有效的数据包后，数据存储在 RX_FIFO 中，同时 RX_DR 位置 1，产生中断。状态寄存器中 RX_P_NO 位显示数据是由哪个通道接收到的。

5、自动收送 ACK 应答信号。

6、如果 CE 保持为 1，继续进入接收模式；如果 CE 置为 0，则进入待机模式-III；

7、MCU 以合适的速率通过 SPI 口将数据读出。

10.5 增强模式下的数据包识别



PID 生成和检测

每一包数据都包括两位的 PID (数据包标志位)，来帮助接收端识别该数据是新数据包还是重发的数据包，防止多次存入相同的数据包，PID 的生成和检测如图所示。发送端从 MCU 取得一包新数据后 PID 值加一。



10.6 增强模式下的接收端一对多通信

XL2401D 芯片作为发射端，对于一对多通信，可以采用不同的地址与多个接收端进行通信。

XL2401D 芯片作为接收端，可以接收 6 路不同地址、相同频率的发送端数据。每个数据通道拥有自己的地址。

使能哪些数据通道是通过寄存器 EN_RXADDR 来设置的。每个数据通道的地址是通过寄存器 RX_ADDR_PX 来配置的。通常情况下不允许不同的数据通道设置完全相同的地址。如下表给出了一例多接收通道地址配置的示例。

| | Byte 4 | Byte 3 | Byte 2 | Byte 1 | Byte 0 |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Data pipe 0(RX_ADDR_P0) | 0xF1 | 0xD2 | 0xE6 | 0xA2 | 0x33 |
| Data pipe 1(RX_ADDR_P1) | 0xD3 | 0xD3 | 0xD3 | 0xD3 | 0xD3 |
| | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | |
| Data pipe 2(RX_ADDR_P2) | 0xD3 | 0xD3 | 0xD3 | 0xD3 | 0xD4 |
| | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | |

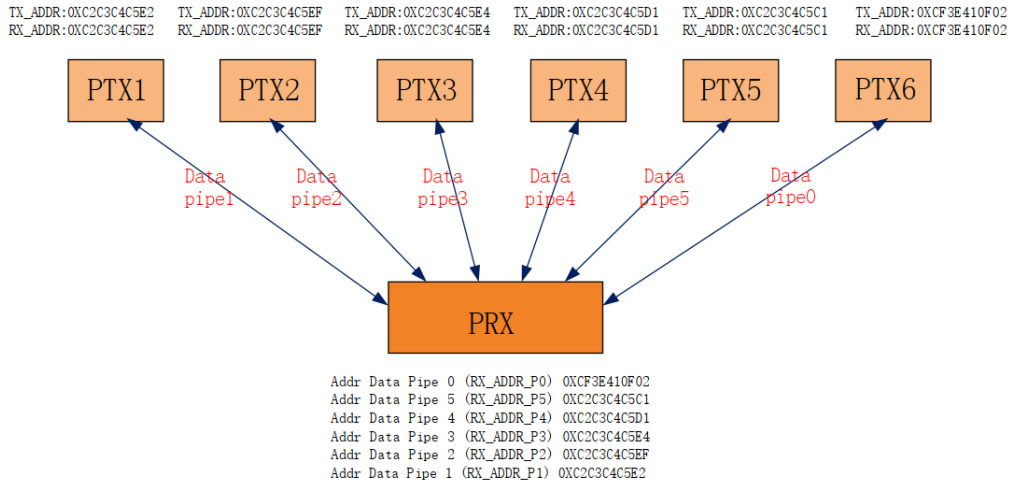


| | | | | | |
|----------------------------|------|------|------|------|------|
| Data pipe 3(RX_ADDR_P3) | 0xD3 | 0xD3 | 0xD3 | 0xD3 | 0xD5 |
| | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | |
| Data pipe 4(RX_ADDR_P4) | 0xD3 | 0xD3 | 0xD3 | 0xD3 | 0xD6 |
| | ↓ | | ↓ | ↓ | |
| Data pipe 5(RX_ADDR_P5) | 0xD3 | 0xD3 | 0xD3 | 0xD3 | 0xD7 |

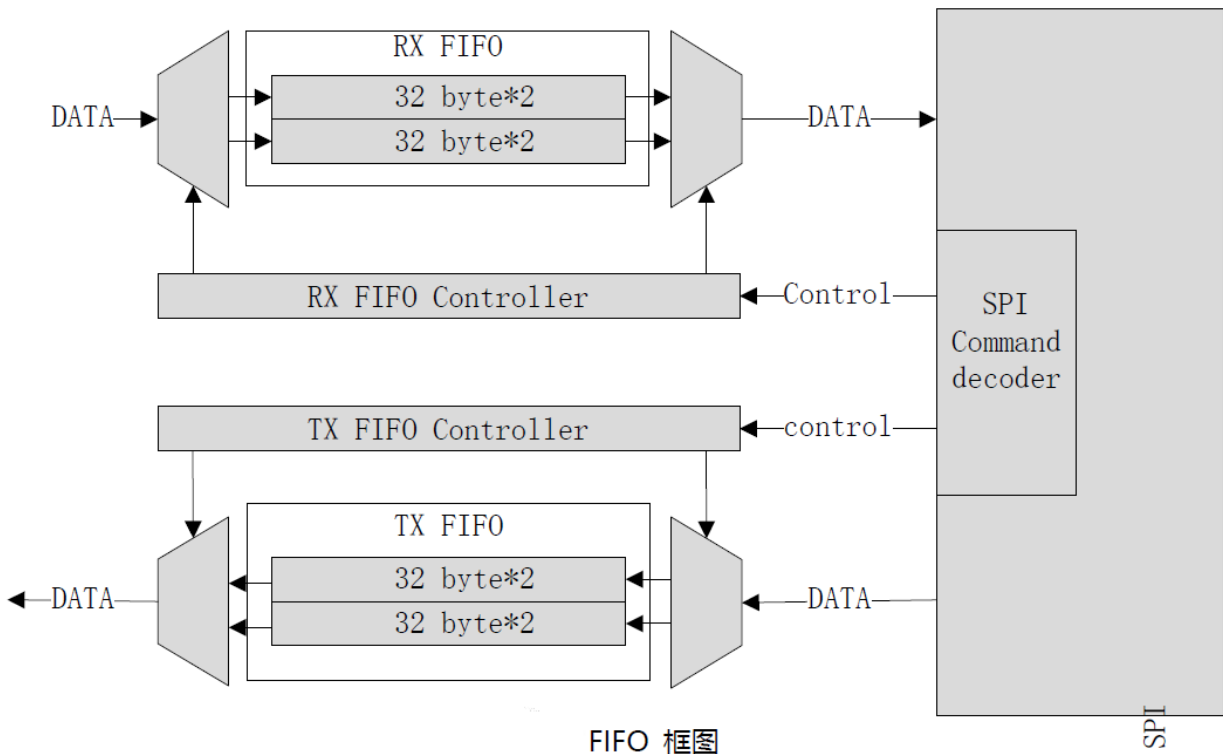
从表中可以看出数据通道 0 的 5byte 总共 40 位的地址都是可配的；数据通道 1~5 的地址配置为 32 位共用地址（不数据通道 1 共用）+8 位各自的地址（最低字节）。

XL2401D 芯片在接收模式下可以不最多 6 路不同通道通信，如图所示。每一个数据通道使用不同的地址，共用相同的频道。所有的发射端和接收端设置为增强模式。

PRX 在接收到有效数据后记录 PTX 的 TX 地址，并以此地址为目标地址发送应答信号。PTX 数据通道 0 被用做接收应答信号时，数据通道 0 的 RX 地址要与 TX 地址相等以确保接收到正确的应答信号。下图给出了 PTX 和 PRX 地址如何配置的例子。



多通道数据传输应答地址示例





XL2401D 包含发 TX_FIFO, RX_FIFO。通过 SPI 命令可读写 FIFO。在发送模式下通过 W_TX_PAYLOAD 和 W_TX_PAYLOAD_NO_ACK 指令来写 TX_FIFO。如果产生 MAX_RT 中断，在 TX_FIFO 中的数据不会被清除。在接收模式下通过 R_RX_PAYLOAD 指令读取 RX_FIFO 中的 payload, R_RX_PL_WID 指令读取 payload 的长度。FIFO_STATUS 寄存器指示 FIFO 的状态。

10.7 中断引脚

对于 SOP8 封装，中断状态靠查询 STATUS 寄存器方式来获取。

对于非 SOP8 封装，XL2401D 芯片的中断引脚 (IRQ) 为低电平触发，IRQ 引脚初始状态为高电平，当状态寄存器中 TX_DS、RX_DR 或 MAX_RT 为 1，以及相应的中断上报使能位为 0 时，IRQ 引脚的中断触发。MCU 给相应中断源写 '1' 时，清除中断。IRQ 引脚的中断触发可以被屏蔽或者使能，通过设置中断上报使能位为 1，禁止 IRQ 引脚的中断触发。

11 SPI 控制接口

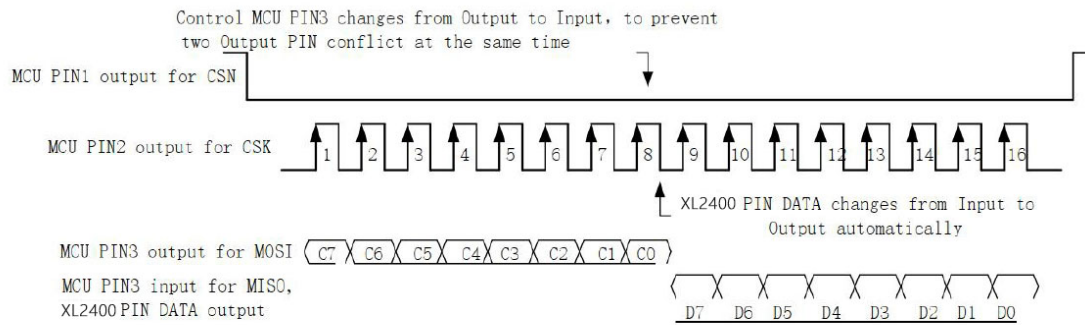
如有读的命令操作 (包括 R_REGISTER、R_RX_PAYLOAD、R_RX_PL_WID 三条命令)，DATA 引脚先为输入状态，在 SCK 信号的第八个时钟下降沿自动切换为输出状态，并且在后续时钟上升沿输出信号；要求 MCU 的对应 DATA 引脚的 GPIO，在 SCK 信号的第八个时钟上升沿的保持时间后，从输出状态转为输入状态。

需要 CE_SEL 设为 1，启动命令方式控制；CE_L_sel 设为 1，将 CE 的 GPIO 弱下拉电阻使能；使用 CE_FSPI_ON/CE_FSPI_OFF 命令方式控制 CE 状态。

中断状态靠查询 STATUS 寄存器方式来获取。



在发送过程中，采用先在 STB1 或 STB3 状态下修改必要的寄存器，并写入 PAYLOAD；CE high 30us 后 CE low，使得进入发射模式，等待发送完成后（约 1ms）再进行 SPI 读写操作。如在发送过程中，进行 SPI 读写操作会引起电源纹波，影响发射信号的质量。



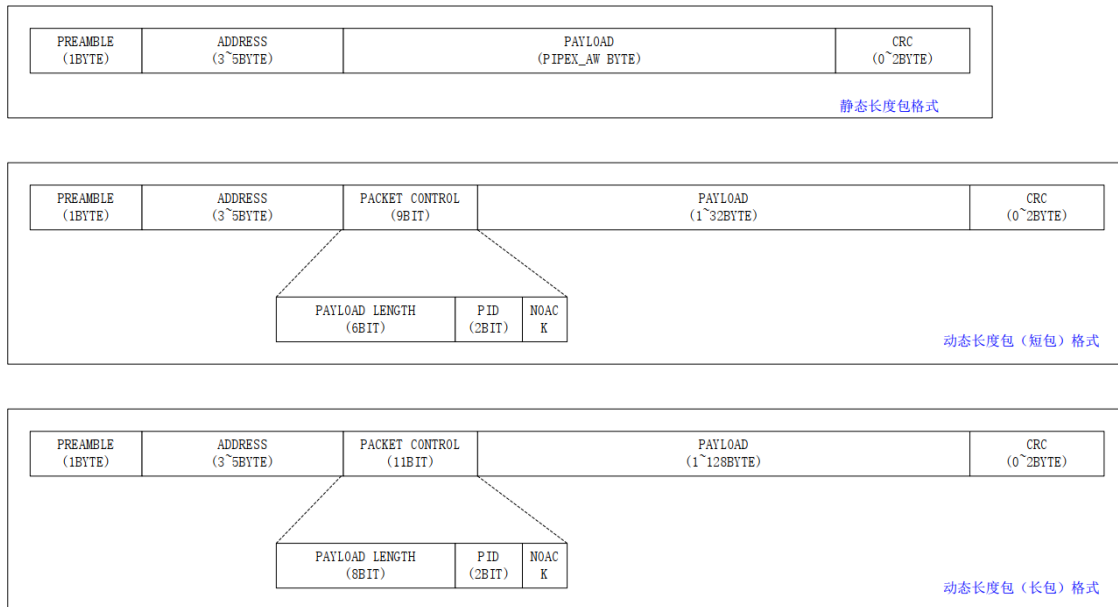
12 控制寄存器

可以通过 SPI 读写操作表中的寄存器，来配置和控制 XL2401D RF 芯片。

寄存器配置和说明请见《XL2400P_Register Map_V1.1.xlsx》。



13 数据包格式描述



如上图所示，系统支持 3 种包格式：

- 1.静态长度包。固定长度包，包长度由收发双方协商确定。
- 2.动态长度包（短包）格式，支持最大包长度为 32byte，该模式下系统可以最多缓存 4 个包。需使能 FEATURE 寄存器中的 EN_DPL。
- 3.动态长度包（长包）格式，支持最大包长度为 128byte。使用长包模式需要使能 FEATURE 寄存器中的 EN_DPL 和 EN_LONG_PLD，且该模式下系统只能缓存 1 个包

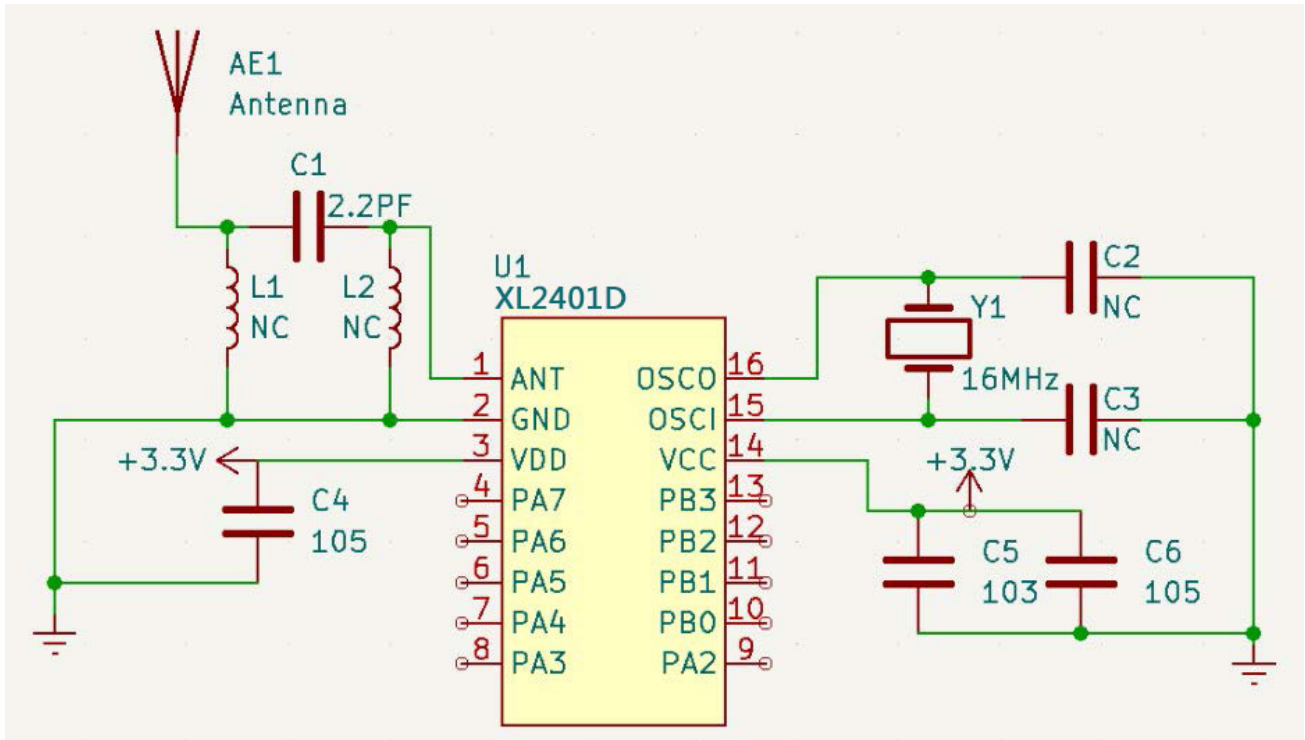
注：BLE 广播包配置会有点区别，我们会提供驱动软件包。

2.4G 接入地址注意事项：（2.4G 接入地址为 4 个字节长度，和 BLE 一样，接入地址可参考 BLE）

- 不超过 6 个连续的 1 或者 0。
- 不能 4 个字节完全相同。
- 高 6 位必须有超过 2 位以上的变化。
- 不能有超过 2 4 个“0”和“1”的转换。
- 前 3 个字节不能都为 0x55 或者 0xAA。尽量不要用 0x55 或者 0xAA。
- 不能和蓝牙广播包地址一样或者和广播包地址只差一位。广播包地址 0x8E89BED6。



14 典型应用电路（参考）



*注 1：芯片的 NC 引脚可以悬空；

*注 2：外围元器件备注；

| 物料编号 | 备注 |
|------|------------------------------------|
| C1 | 推荐 2.2pF，可选择范围在 1.5~3pF |
| C4 | 1uF |
| C5 | 10nF |
| C6 | 1uF |
| Y1 | 16MHz & C _L =12pF 10ppm |

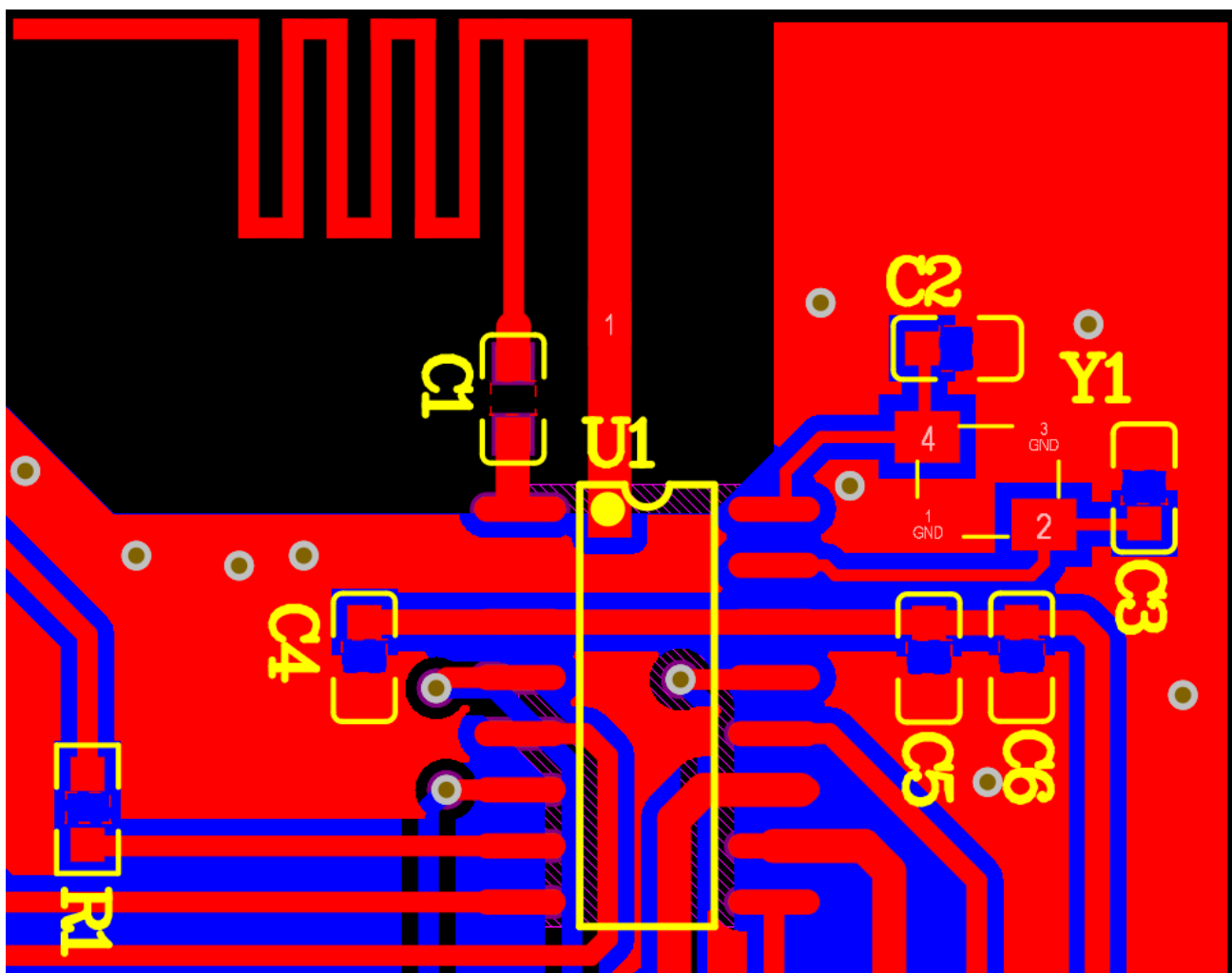
*注 3：过安规无需额外的匹配和滤波；

*注 4：VDD 供电电压严格控制在 3.6V 以下；



15 PCB 设计指导 (参考)

- XL2401D 有两个电源, PCB 走线时, 两个 VDD 相连并尽量走近一些, 最好能在 IC 底下相连。
- VCC 脚滤波电容最好是越靠近 IC 管脚位越好。
- XL2401D 对电源要求较高, 必须保证供电的稳定。
- 晶振尽量靠近 IC 管脚。





16 印制天线设计（参考）

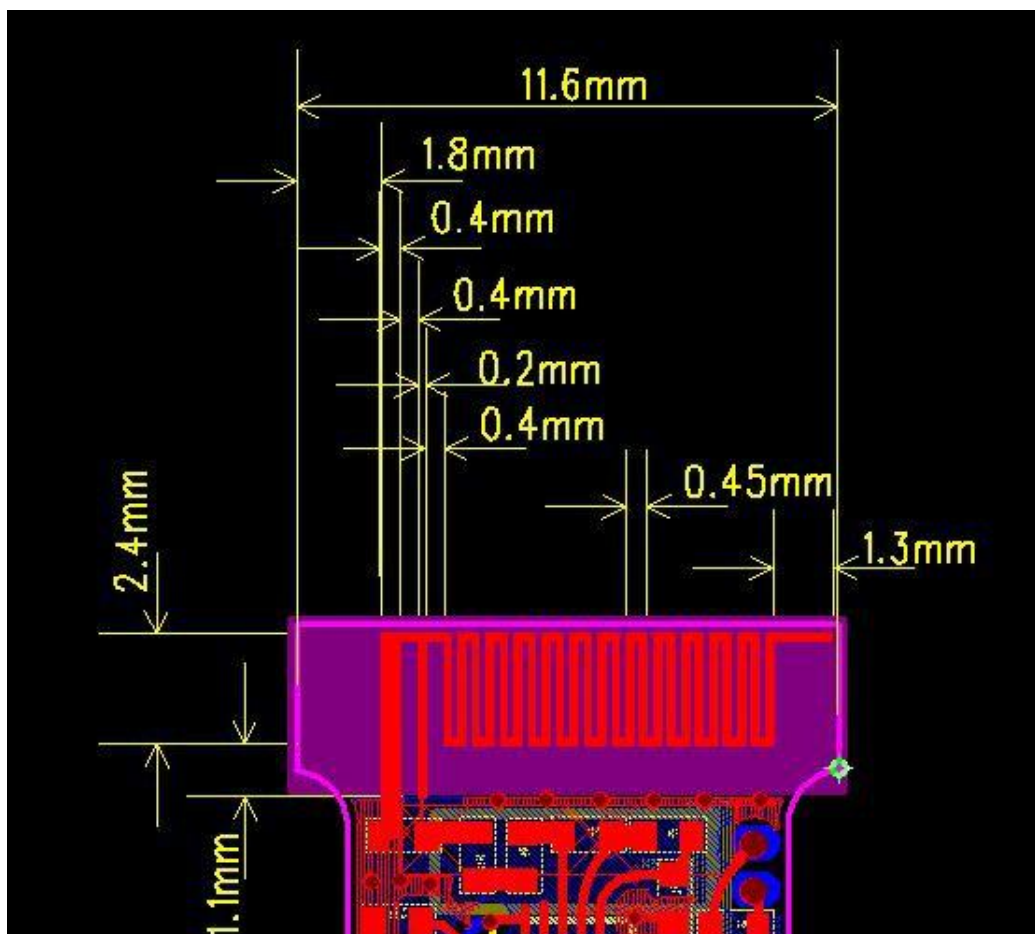
16.1 印制板天线 layout 设计

2.4G 的印制版天线主要有两种结构，PIFA 天线和单级天线。PIFA 天线的天线馈电点和地点是连接到一起的，天线和地之间形成一个电容效应，就是信号通过天线（等效为电感）升压到等效电容上，通过电容再把能量辐射出去。单级天线是采用 $1/4$ 波长原理，其中一个馈点是螺旋或者单杆，另外一极是地。两种天线的场结构简单，可以简单等效为一个 LC 谐振回路，其中 C 特别小，一个一个的谐振回路耦合上去，最后电磁场释放到外部。

PIFA 天线的电容相对于单级天线来说大很多，也就是说能量在谐振腔中更多，外界不容易干扰，也很难改变 PIFA 天线的阻抗，所以稳定性比单级天线强；但也因为他的电容太大，导致外界的相同的能量进入，在 PIFA 天线上产生的电压变化，远远不如单级天线打。所以效率和灵敏度低于单级天线。

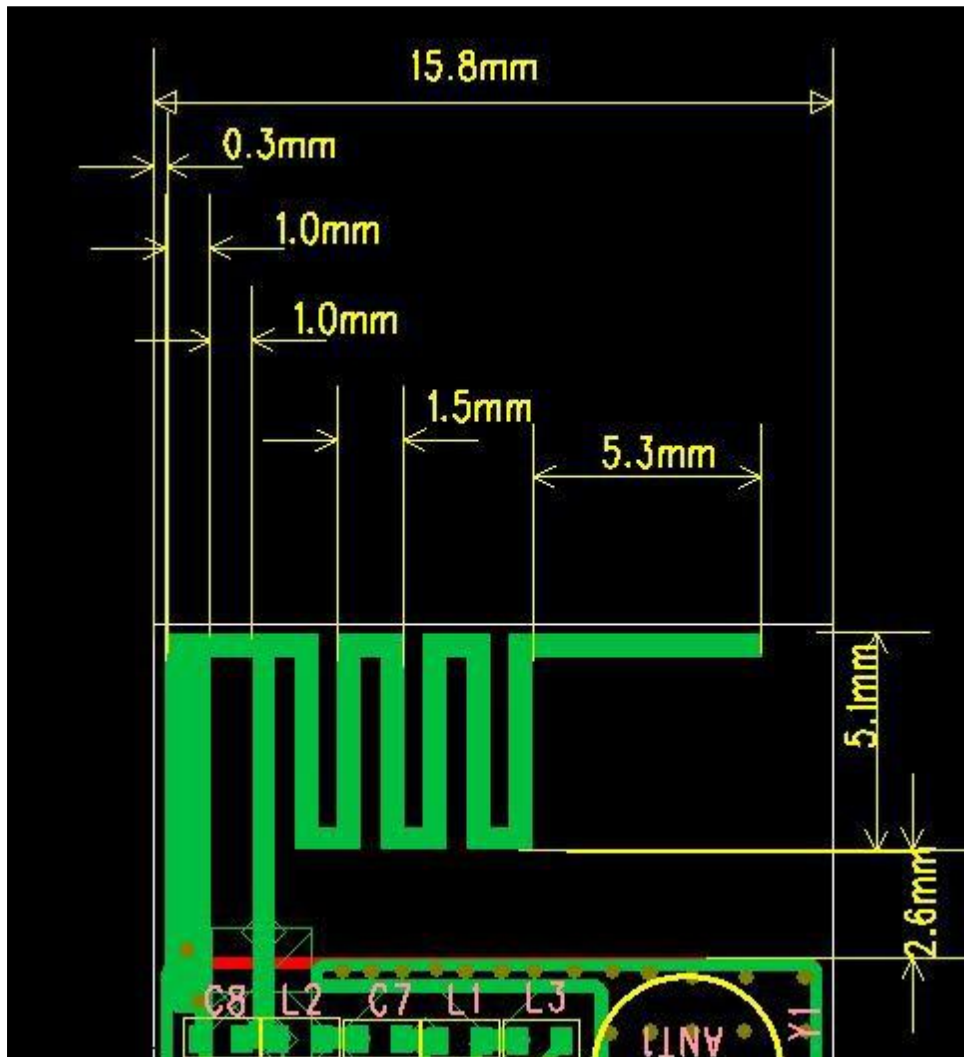
16.2 微型板 PIFA 天线设计

微型板天线采用超小型的 PIFA 天线，由于 PCB 面积受限，该天线的增益会比其他天线小，对通信距离会有影响，一般通信距离可以达到 15-20 米左右。天线具体尺寸如下图所示。天线的增益最大增益为 -0.5dB 。



16.3 遥控器控制板的中尺寸 PIFA 天线设计

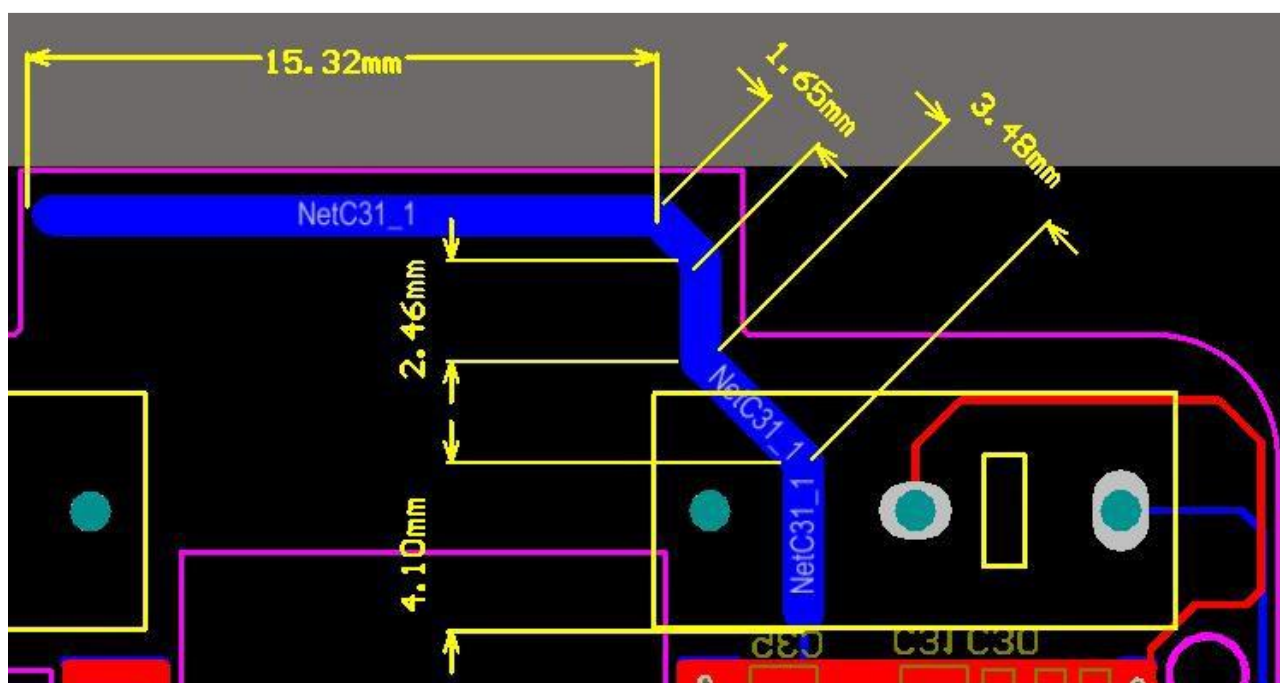
遥控器控制板的中尺寸 PIFA 天线尺寸下图所示，天线的最大增益为 0.9dB。





16.4 无线鼠标板及遥控器的单极天线设计

无线鼠标板的单极天线，增益较大，走线灵活，在有足够的 PCB 空间的情况下可以使用。在设计天线位置时，天线放置在无线鼠标板的前部或者左前部，减少右手握住鼠标的情况下手对辐射功率的吸收和衰减，该天线也可以应用到遥控器上；并且根据产品外形可以稍微更改天线的走线形状。参考尺寸如下图所示，天线的最大增益为 3.7dB。

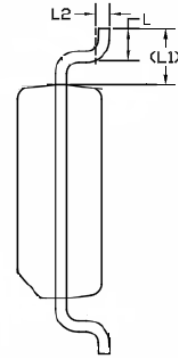
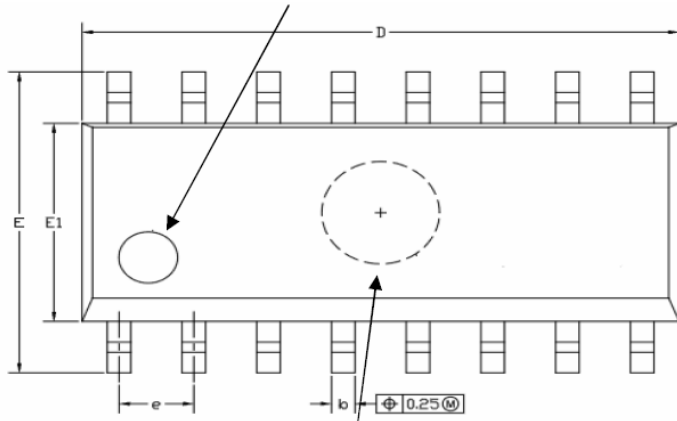




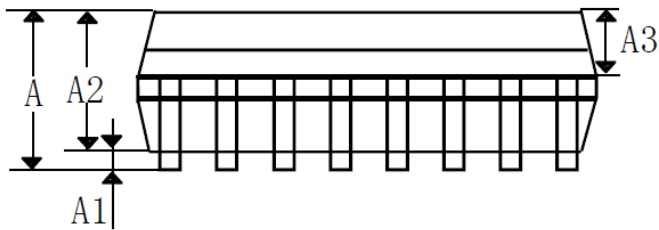
17 芯片封装信息

本芯片采用 SOP16 封装方式，具体封装尺寸信息如下：

SOP-16 封装尺寸如下：



$\Phi 2.0 \pm 0.05$ DEP $0.1 + 0.03 / -0.05$



| 尺寸符号 | 数值 | | 数值 | |
|------|-------------|--------|-------------|-------|
| | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 |
| A | - | 1.700 | - | 0.066 |
| A1 | 0.100 | 0.200 | 0.039 | 0.008 |
| A2 | 1.420 | 1.480 | 0.554 | 0.058 |
| A3 | 0.620 | 0.680 | 0.242 | 0.027 |
| D | 9.960 | 10.160 | 3.884 | 0.396 |
| E | 5.900 | 6.100 | 2.301 | 0.238 |
| E1 | 3.870 | 3.930 | 1.509 | 0.153 |
| b | 0.370 | 0.430 | 0.144 | 0.017 |
| e | 1.240 | 1.300 | 0.484 | 0.051 |
| L | 0.500 | 0.700 | 0.195 | 0.027 |
| L1 | 1.050 (REF) | | 0.041 (REF) | |
| L2 | 0.250 (BSC) | | 0.010 (BSC) | |

单位：毫米



18 注意事项

- 接地：金属底板采用尽量多的通孔接地，减小寄生电感。
- 电源旁路：为了器件能很好工作，电源引线处建议用 $0.1\mu\text{F}$ 电容滤波，电容需靠近器件。
- 防静电损伤：器件为静电敏感器件，传输、装配、测试过程中应采取充分的防静电措施。
- 用户在使用前应进行外观检查，电路底部、侧面、四周光亮方可进行焊接。如出现氧化可采用去氧化手段对电路进行处理，处理完成电路必须在 4 小时内完成焊接。
- 包装袋被打开后，元器件将被回流焊制程或其他的高温制程所采用时必须符合：
 - a) 在 12 小时内且工厂环境为温度 $< 30^{\circ}\text{C}$ ，湿度 $\leq 60\% \text{RH}$ 完成；
 - b) 使用前需进行去湿处理（建议 125°C ，4 小时烘烤）。
- 生产贴片的最高炉温为 245°C 。
- 产品说明书以发布日期为准，适时修改不另行说明。

19 防护注意事项

- 产品必须进行密封真空包装，并建议放置在干燥柜中储存，在温度小于 30°C 且湿度小于 60% 时，可达 12 个月。
- 打开包装后，如未使用完，则剩余产品需进行抽真空并放置在干燥柜中保管。超期产品使用前必须进行去湿和去氧化处理。



20 设计参考文档

- 1、《NY8A054E 用户手册.pdf》
- 2、《XL2400P 使用说明.pdf》
- 3、《XL2400 软件设计参考说明.pdf》
- 4、《XL2400 FCC 认证设计参考说明.pdf》
- 5、《XL240X 应用说明 v2.4.pdf》
- 6、《NYIDE_UM_v4.5_TC.pdf》
- 7、《Q-Writer_UM_v4.9_SC.pdf》

Xinling