# PAN3501

## 用户使用说明书

## 三通道低功耗 ASK 接收机

当前版本: 1.0

发布日期: 2019.03


## 深圳市动能世纪科技有限公司

地址：深圳市福田区振中路国利大厦1139-1142

联系电话：0755-82539044

网址：www.dnsj88.com

## 文档说明

由于版本升级或存在其他原因，本文档内容会不定期进行更新。除非另有约定，本文档内容仅作为使用指导，本文档中的所有陈述、信息和建议不构成任何明示或暗示的担保。

## 商标

磐启是磐启微电子有限公司的商标。本文档中提及的其他名称是其各自所有者的商标/注册商标。

## 免责声明

本文档中描述的全部或部分产品、服务或特性可能不在您的购买或使用范围之内。除非合同另有约定，磐启微电子有限公司对本文档内容不做任何明示或暗示的声明或保证。

## 修订历史

| 版本 | 修订时间 | 更新内容 | 相关文档 |
|---|---|---|---|
| V1.0 | 2019.03 | 第一版 | - |

# 目 录

# 图 清 单

## 表 清 单

# 缩 略 语

| | |
|---|---|
| AC | 交流电流 |
| AGC | 自动增益控制 |
| ASK | 振幅键控 |
| CMOS | 互补金属氧化物半导体 |
| DC | 直流电流 |
| ESD | 静电放电 |
| LF | 低频 |
| MCU | 微控制单元 |
| MSL | 湿气敏感性等级 |
| PKE | 无钥匙门禁系统 |
| RSSI | 接收信号的强度指示 |
| RTC | 实时时钟 |
| SPI | 串行外设接口 |

# 1 概述

PAN3501 是一款最多三个通道接收的低功耗 ASK 接收机，可用于检测 15kHz-150kHz 之间的 LF 载波频率的数据信号并触发唤醒信号。支持检测可编程的 16 位或 32 位曼彻斯特唤醒模式。

PAN3501 具有 RSSI 检测功能，可以检测出每个通道的信号大小。PAN3501 具有内部时钟发生器，可来自晶体振荡器或内部 RC 振荡器。用户可根据应用场景选择外部时钟发生器代替。

PAN3501 可根据不同的应用场景对接收灵敏度进行调节，在保证接收灵敏度的情况下实现更长距离的通信。同时，自动调谐特性能确保芯片与期望的载波频率完美匹配，极大简化了天线调谐器。

PAN3501 可根据不同应用场景，通过切换曼彻斯特识别模式来达到方向定位和位置识别。

## 1.1 主要特性

- 三通道低功耗 ASK 接收机
- 载波频率范围：15kHz-150kHz
- 接收唤醒灵敏度：80uVRMS
- 低功耗模式下侦听状态最低功耗：2.2uA
- 1/2/3 通道独立运行
- 32 位可编程的曼彻斯特唤醒模式
- 支持三种唤醒模式：
  - 频率检测
  - 模式识别
  - 位置识别
- 可编程的灵敏度调节范围
- 误触发计数器
- 支持 RTC 唤醒定时
- 工作电压：2.4v – 3.6v（TA=25℃）
- 工作温度：-40℃~85℃

## 1.2 典型应用

- 校园门禁卡
- PKE无钥匙门禁系统

# 2 系统结构方框图

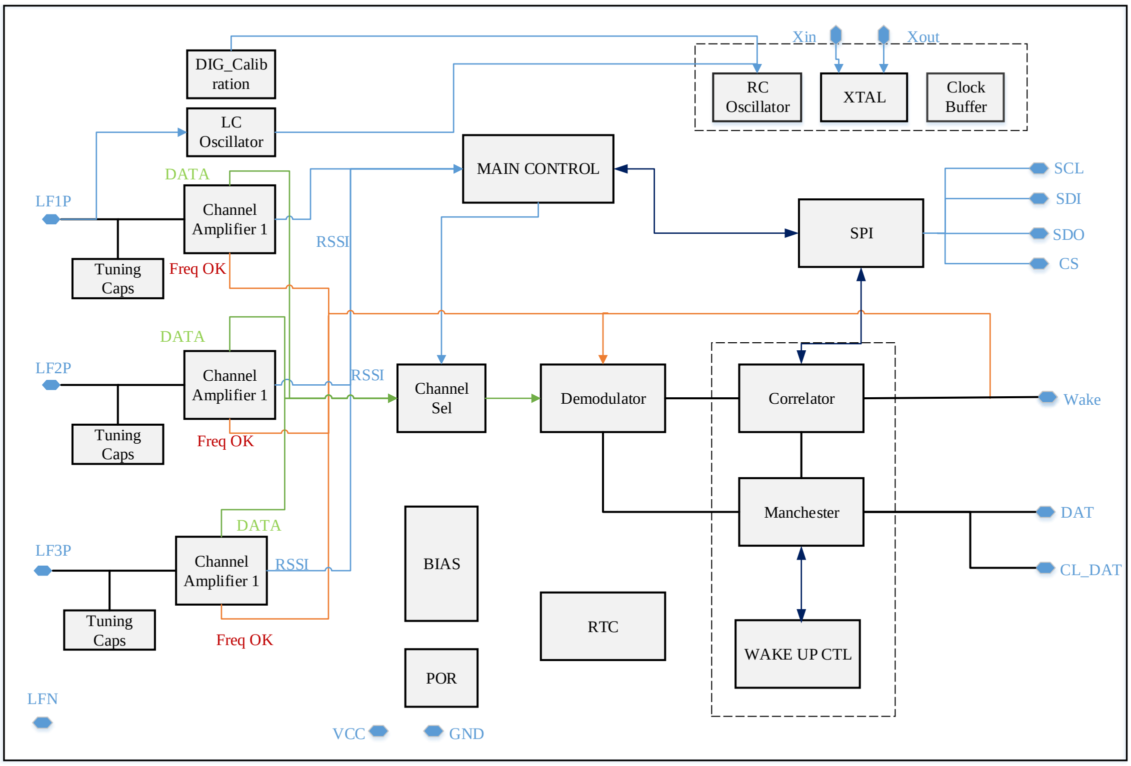


图 2-1 PAN3501 系统结构方框图

# 3 引脚定义和说明

## 3.1 引脚定义

PAN3501 芯片 TSSOP16 封装形式的引脚图如图 3-1 所示。

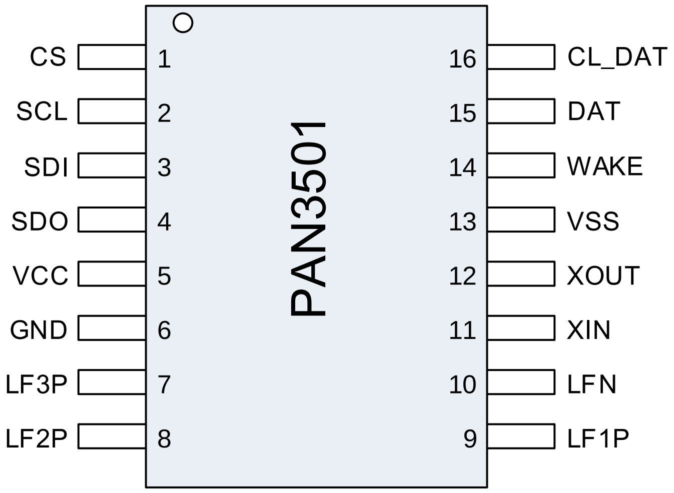


图 3-1 PAN3501 芯片引脚图（TSSOP16 封装）

## 3.2 引脚说明

表 3-1 PAN3501 引脚说明（TSSOP16 封装）

| 引出端序号 | 符号 | I 管脚 | 功能 |
|---|---|---|---|
| 1 | CS | Digital Input | 片选信号 |
| 2 | SCL | Digital Input | SDI 接口时钟 |
| 3 | SDI | Digital Input | SDI 数据输入 |
| 4 | SDO | Digital Output | SDI 数据输出 |
| 5 | VCC | Power | 电源 |
| 6 | GND | GND | 地 |
| 7 | LF3P | Analog Input | 通道 3 输入 |
| 8 | LF2P | Analog Input | 通道 2 输入 |
| 9 | LF1P | Analog Input | 通道 1 输入 |
| 10 | LFN | Analog Input | 通道共用地 |
| 11 | XIN | Analog Input | 晶振输入 |
| 12 | XOUT | Analog Output | 晶振输出 |
| 13 | VSS | GND | 地 |
| 14 | WAKE | Digital Output | 唤醒中断信号 |
| 15 | DAT | Digital Output | 数据输出 |
| 16 | CL_DAT | Digital Output | 曼彻斯特恢复时钟 |

# 4 主要电特性

## 4.1 极限最大额定值

表 4-1 PAN3501 芯片极限最大额定值

| 特　性 | 条件 | 参数值 | | | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 最小 | 典型 | 最大 | |
| $V_{DD}$ | 供电电压 | -0.5 | - | 3.6 | V |
| $V_I$ | 输入电压 | -0.5 | - | 3.6 | V |
| ISOURCE | Latch up 电流 | -100 | | 100 | mA |
| ESD | 静电放电 | ±3 | | | KV |
| Pt | 总功耗（所有输入和输出） | - | - | 0.07 | mW |
| TSTRG | 储存温度 | -65 | - | 150 | ℃ |
| TBODY | 封装体温度 | - | - | 260 | ℃ |
| RHNC | 相对湿度（非冷凝） | 5 | - | 85 | % |
| MSL | 湿气敏感性等级 | 3 | | | - |

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。

注 2：静电敏感器件，操作时遵守防护规则。

## 4.2 工作条件

表 4-2 工作条件

| 符号 | 参数 | 参数值 | | | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 最小 | 典型 | 最大 | |
| $V_{DD}$ | 工作电压 | 2.4 | 3 | 3.6 | V |
| $V_{SS}$ | 地 | 0 | - | 0 | V |
| $T_{AMB}$ | 工作温度 | -40 | - | 85 | ℃ |

## 4.3 DC/AC 特性

表 4-3 DC/AC 特性

| 符号 | 参数 | 参数值 | | | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 最小 | 典型 | 最大 | |
| CMOS 输入 | | | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $V_{IH}$ | 高电平输入电压 | 0.6*$V_{DD}$ | | $V_{DD}$ | V |
| $V_{IL}$ | 低电平输入电压 | 0.12*$V_{DD}$ | | 0.3*$V_{DD}$ | V |
| $I_{LEAK}$ | 输入漏电流 | - | - | 100 | nA |
| CMOS 输出 | | | | | |
| $V_{OH}$ | 高电平输出电压 | $V_{DD}$-0.4 | - | - | V |
| $V_{OL}$ | 低电平输出电压 | - | - | $V_{SS}$+0.4 | V |
| $C_L$ | 电容负载 | - | - | 400 | nA |
| 三态 CMOS 输出 | | | | | |
| $V_{OH}$ | 高电平输出电压 | $V_{DD}$-0.4 | - | - | V |
| $V_{OL}$ | 低电平输出电压 | - | - | $V_{SS}$+0.4 | V |
| $I_{OZ}$ | 三态泄露电流 | - | - | 100 | nA |

## 4.4 电气系统特性

表 4-4 电气系统特性

| 符号 | 参数 | 参数值 | | | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 最小 | 典型 | 最大 | |
| 输入特性 | | | | | |
| RIN | 交流输入阻抗在 125KHz | - | 2 | - | MΩ |
| F1max | 最大输入频带 1 | - | 150 | - | KHz |
| F1min | 最小输入频带 1 | - | 95 | - | KHz |
| F2max | 最大输入频带 2 | - | 95 | - | KHz |
| F2min | 最小输入频带 2 | - | 65 | - | KHz |
| F3max | 最大输入频带 3 | - | 65 | - | KHz |
| F3min | 最小输入频带 3 | - | 40 | - | KHz |
| F4max | 最大输入频带 4 | - | 40 | - | KHz |
| F4min | 最小输入频带 4 | - | 23 | - | KHz |
| F5max | 最大输入频带 5 | - | 23 | - | KHz |
| F5min | 最小输入频带 5 | - | 15 | - | KHz |
| 电流损耗 | | | | | |
| $I1_{CHRC}$ | 具有一个有源通道和 RC 振荡器作为时钟发生器在标准监听模式下的电流消耗 | - | 3.1 | - | uA |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $I2_{CHRC}$ | 具有二个有源通道和 RC 振荡器作为时钟发生器在标准监听模式下的电流消耗 | - | 4.6 | - | uA |
| $I3_{CHRC}$ | 具有三个有源通道和 RC 振荡器作为时钟发生器在标准监听模式下的电流消耗 | - | 6.1 | - | uA |
| $I3_{CHSCRC}$ | 具有三个有源通道和 RC 振荡器作为时钟发生器在扫描模式下的电流消耗 | - | 3.1 | - | uA |
| $I2_{CHOORC}$ | 具有二个有源通道和 RC 振荡器作为时钟发生器在 ON/OFF 模式下的电流消耗 | - | 2.3 | - | uA |
| $I3_{CHOORC}$ | 具有三个有源通道和 RC 振荡器作为时钟发生器在 ON/OFF 模式下的电流消耗 | - | 2.7 | - | uA |
| $I3_{CHXT}$ | 具有三个有源通道和晶体振荡器作为时钟发生器在标准监听模式下的电流消耗 | - | 6.5 | 8.9 | uA |
| $I_{DATA}$ | 前导码检测中的电流消耗/模式相关/数据接收模式（RC 振荡器） | - | 8.3 | 12 | uA |
| $I_{BOOST}$ | 如果启用增益，每通道额外的电流消耗 | - | 150 | - | nA |
| 输入灵敏度 | | | | | |
| SENS1 | Band1 中所有通道的输入灵敏度 | - | 100 | - | uVRMS |
| SENS1B | 在 Band1 的所有通道上输入灵敏度，增益为 3dB | - | 80 | - | uVRMS |
| SENS2 | Band2 中所有通道的输入灵敏度 | - | 100 | - | uVRMS |
| SENS2B | 在 Band2 的所有通道上输入灵敏度，增益为 3dB | - | 80 | - | uVRMS |
| SENS3 | Band3 中所有通道的输入灵敏度 | - | 100 | - | uVRMS |
| SENS3B | 在 Band3 的所有通道上输入灵敏度，增益为 3dB | - | 80 | - | uVRMS |
| SENS4B | 在 Band4 的所有通道上输入灵敏度，增益为 3dB | - | 80 | - | uVRMS |
| SENS5B | 在 Band5 的所有通道上输入灵敏度，增益为 3dB | - | 80 | - | uVRMS |
| 频道建立时间 | | | | | |
| $T_{SAMP}$ | 放大器稳定时间 | - | 250 | - | us |
| 晶体振荡器 | | | | | |
| $F_{XTAL}$ | 频率 | 25 | 32.768 | 45 | KHz |
| $T_{XTAL}$ | 启动时间 | - | - | 1 | s |
| $I_{XTAL}$ | 电流损耗 | - | 300 | - | nA |
| 外部时钟源 | | | | | |
| $I_{EXTCL}$ | 电流损耗 | - | 0.8 | - | uA |
| $F_{EXTCL}$ | 频率 | 25 | - | 45 | KHz |
| RC 振荡 | | | | | |
| $F_{RCNCAL}$ | 如果不进行校准 | 25 | 32.768 | 45 | KHz |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $F_{RCCAL32}$ | 如果使用 32.768KHz 参考信号进行校准 | 31 | 32.768 | 34.5 | KHz |
| $F_{RCCALMAX}$ | 校准后可达到的最大频率 | - | 45 | - | KHz |
| $F_{RCCALMIN}$ | 校准后最小可实现的频率 | - | 22 | - | KHz |
| $T_{RC}$ | 启动时间 | - | - | 1 | s |
| $T_{CALRC}$ | 校准时间 | 65 | - | - | Periods of reference clock |
| $I_{RC}$ | 电流消耗 | - | 650 | - | nA |
| LC 振荡 | | | | | |
| $F_{LCOMIN}$ | 最小频率 | - | 15 | - | KHz |
| $F_{LCOMAX}$ | 最大频率 | - | 150 | - | KHz |
| $R_{PARMIN}$ | - | - | 10 | - | KΩ |
| 可调电容 | | | | | |
| LF1Ptuning | 电容 | - | 31 | - | pF |
| LF2Ptuning | | - | 31 | - | pF |
| LF3Ptuning | | - | 31 | - | pF |

# 5 运行模式

## 5.1 监听模式

PAN3501 工作在监听模式时，所有使能通道的天线输入接收载波信号。在这种模式下，只有模拟前端的通道放大器和时钟发生器工作。如果检测到特定频率的载波，则在所有三个信道上开始 RSSI 测量，并将结果存储在相应寄存器中。

如果不需要多个方向检测，则可以停用一个或多个通道。如果只需要两个通道，则需要停用通道 2；如果只需要一个通道，则使能通道必须是通道 1。

监听模式可以细分为以下三种工作模式：

（1） 标准监听模式：所有使能通道在同一时间同时工作

（2） 扫描模式（低功耗模式 1）

在扫描模式中，定义了时间窗口 T=1ms，并且在每个时间窗口中只能有一个通道处于活动状态。如图 5-1 所示，当某个时间窗口结束时，当前活动通道被关闭，下一个通道变为活动通道，依此类推。例如，如果使能了三个通道，则在第一个时间窗口中，唯一的活动通道是通道 1。当第一个时间窗口结束时，通道 1 关闭，通道 3 被激活；第二个时间窗口结束时，通道 3 关闭，通道 2 被激活；在第三个时间窗口结束时，通道 2 关闭，通道 1 重新被激活，并继续按照上述顺序依次进行，直到任何信道检测到载波的存在为止。

扫描模式(通道变换)由芯片内部逻辑控制。一旦任何一个信道检测到载波频率，所有三个通道都会立即被同时激活，此时芯片将比较哪个信道具有最强的 RSSI。具有最高 RSSI 的信道将被连接至解调器。通过这种方式，可以用单个通道的电流消耗来执行对多方向的监视，降低功耗的同时能够具有同标准监听模式相同的灵敏度。

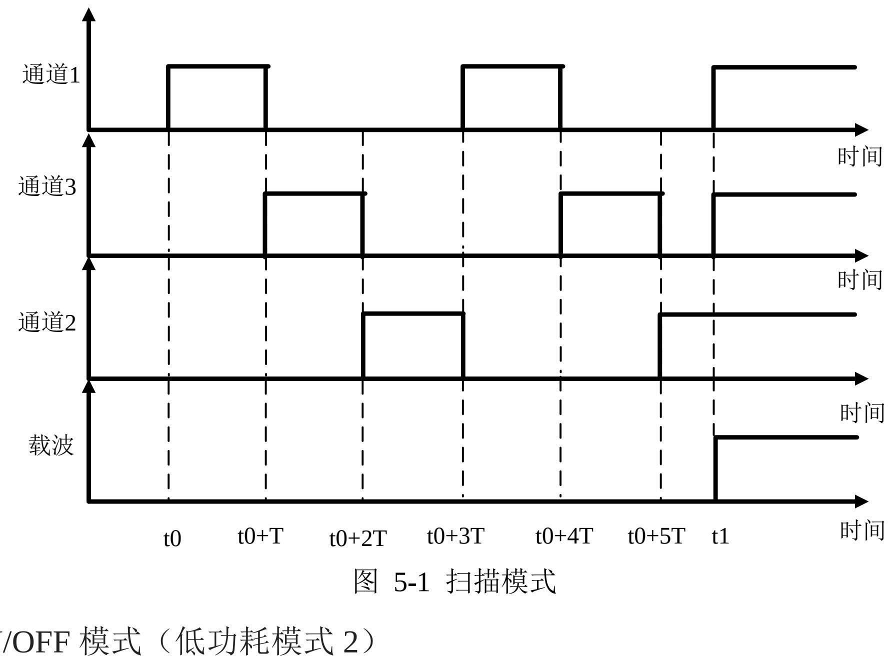


图 5-1 扫描模式

（3） ON/OFF 模式（低功耗模式 2）

在此模式下，芯片将接收通道设置为间歇工作模式；所有信道在一定时间 T 中都同时打开，

在下一段时间中都同时关闭，如图 5-2 所示。关闭时间可以由寄存器控制位 R4<7:6>来定义。例如，如果 R4<7:6>=11，则开启时间为 1ms，关闭时间为 8ms。

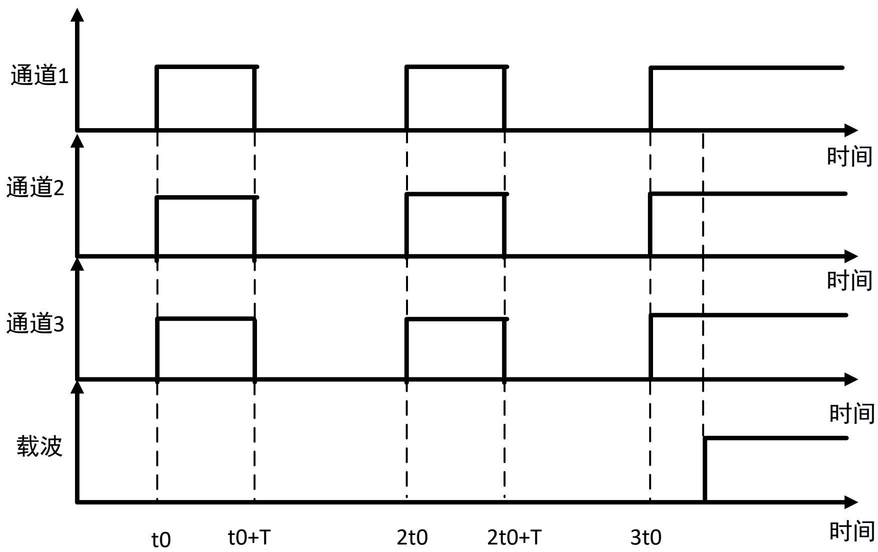


图 5-2 ON/OFF 模式

## 5.2 人工唤醒

人工唤醒的时间窗口是基于使用的时钟发生器的计数器，由寄存器控制位 R8<2:0>定义。如果在此时间窗口内没有检测到任何活动，芯片将在 WAKE 引脚上产生一个持续 128us 的中断。通过该中断，MCU 可以获得对周围环境的反馈(例如，读取错误唤醒寄存器 R13<7:0>)，从而采取更改设置措施。

## 5.3 前导码/模式相关器

只有在使能数据(R1<1>=1)时，芯片才能在检测到 LF 载波后进入此模式。相关器首先搜索前导位，然后检测数据 Pattern。如果 Pattern 相关器被禁用(R1<1>=0)，PAN3501 芯片将直接进入数据接收模式。如果接收到的 Pattern 匹配成功，则唤醒中断通过 WAKE 输出（WAKE 变为高电平），芯片进入数据接收模式。如果 Pattern 匹配失败，则终止内部唤醒 (在所有活动通道上)。

默认情况下 DAT_MASK 禁用(R0<6>=0)，DAT 引脚显示整个解调后的输入信号(carrierburst+preamble+pattern+data)。如果使能了 DAT_MASK(R0<6>=1)，则数据仅在产生 WAKE 中断后才会被输出。

## 5.4 数据接收

成功唤醒后，芯片进入数据接收模式。在这种模式下，芯片可以保留一个普通的 OOK 接收机。数据通过 DAT 引脚输出，当曼彻斯特解码器使能时(参见 R1<3>)，回复的同步时钟通过 CL_DAT 引脚输出。

有两种方式可使芯片的运行状态设置回监听模式：一是直接通过命令 CLEAR_WAKE 直接设置返回；二是使用超时功能将芯片设置为监听模式。由配置寄存器 R7<7:5>定义此功能自动将芯片设置为监听模式。

## 5.5 RSSI 识别判定

如果有两个发射不同 Pattern 码的发射源，且该发射源位于“门”两侧，则芯片可以实现单侧门唤醒。发射源的信号发送方式如图 5-3 所示。

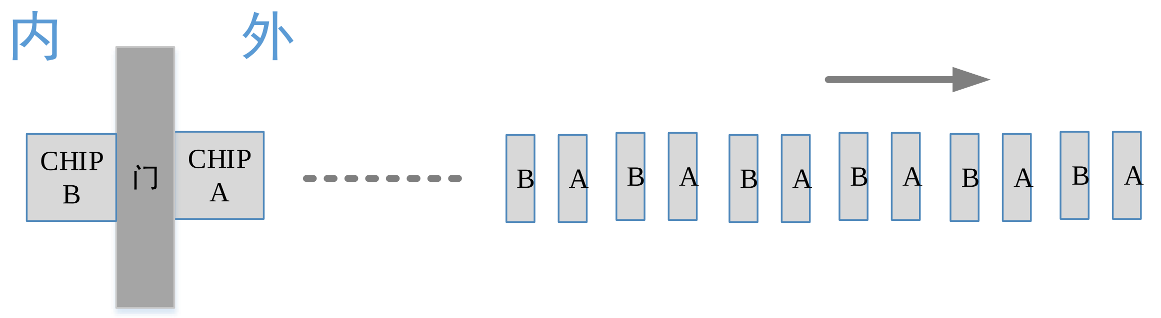


图 5-3 位于门两侧的发射信号

此时，芯片内部需要两个 Pattern 模块，并且增加了 RSSI 的判定和寄存电路、WAKE Counter 模块、RSSI A/B 比较，其中 RSSI A/B 默认值为 0。

由于发射源 A/B 间隔发送信号，如果 Pattern 码匹配，则会分别产生 Wake A/B，每次匹配，WAKE Counter 记录一次。因此，两帧信号后，Pattern A/B 可以分别判定出 RSSI A/B 并寄存其值。当 WAKE Counter 记录两次值，且 RSSI A ≥ RSSIB 时，则触发 Wake_Pre，信号进入 Data Cache 模块。

由于 RSSI A/B 默认值为 0，因此，当只有一个发射源时，两帧信号后，Pattern A 匹配，芯片同样也可以实现唤醒。

# 6 寄存器和SPI

## 6.1 寄存器概述

表 6-1 寄存器概述

| | **7** | **6** | **5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R0 | PATT32 | DAT_MASK | ON_OFF | MUX_123 | EN_A2 | EN_A3 | EN_A1 | n.a |
| R1 | ABS_HY | AGC_TLIM | AGC_UD | ATT_ON | EN_MANCH | EN_PAT2 | EN_WPAT | EN_XTAL |
| R2 | S_ABS | EN_EXT_CLK | G_BOOST | AGC_LOW_CTRL | DISPLAY_CLK | | S_WU1 | |
| R3 | HY_20m | HY_POS | FS_SLC | | | FS_ENV | | |
| R4 | T_OFF | | D_RES | | GR | | | |
| R5 | PATT2B | | | | | | | |
| R6 | PATT1B | | | | | | | |
| R7 | T_OUT | | | T_HBIT | | | | |
| R8 | BAND_SEL | | | - | | T_AUTO | | |
| R9 | BLOCK_AGC | RESERVED | | | | | | |
| R10 | n.a. | | | RSSI1 | | | | |
| R11 | n.a. | | | RSSI2 | | | | |
| R12 | n.a. | | | RSSI3 | | | | |
| R13 | F_WAKE | | | | | | | |
| R14 | RC_CAL_OK | RC_CAL_KO | RC_OSC_TAPS | | | | | |
| R15 | n.a. | | | LC_OSC_OK | LC_OSC_KO | n.a. | | |
| R16 | CLOCK_GEN_DIS | n.a | RC_OSC_MIN | RC_OSC_MAX | n.a | LC_OSC_MUX | | |
| R17 | n.a | | | CAP_CH1 | | | | |
| R18 | n.a | | | CAP_CH2 | | | | |
| R19 | n.a | | | CAP_CH3 | | | | |
| R20 | n.a | FS_BOOST | | | | | | VBIAS3_SEL |
| R21 | G_BOOST_B | G_BOOST_A | RSSI_SEL | RSSI_IN | | | | |
| R22 | n.a | RC_TAPS_SEL | RC_TAPS_IN | | | | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| R23 | IN-OUT_MODE_EN | A_OUTSIDE | DEMO_EN | BASE-BAND_TEST | RC_CAP | PD_LC |
| R24 | PATT4B | | | | | |
| R25 | PATT3B | | | | | |

## 6.2 寄存器配置

表 6-2 寄存器配置表

| Register | Name | PIN Type | Default | Description |
|---|---|---|---|---|
| R0<7> | PAT32 | R/W | 0 | 模式扩展<br>0: 16 bits<br>1: 32 bits |
| R0<6> | DAT_MASK | R/W | 0 | 唤醒前 DAT 引脚上的数据掩码<br>0: 不屏蔽<br>1: 数据被屏蔽 |
| R0<5> | ON_OFF | R/W | 0 | ON/OFF 操作模式 |
| R0<4> | MUX_123 | R/W | 0 | 扫描模式使能 |
| R0<3> | EN_A2 | R/W | 1 | 通道 2 使能 |
| R0<2> | EN_A3 | R/W | 1 | 通道 3 使能 |
| R0<1> | EN_A1 | R/W | 1 | 通道 1 使能 |
| R0<0> | Reserved | R/W | 0 | 保留位 |
| R1<7> | ABS_HY | R/W | 0 | 配置数据分割器采用绝对参考值 |
| R1<6> | AGC_TLIM | R/W | 0 | AGC 仅作用于第一载波突发 |
| R1<5> | AGC_UD | R/W | 1 | AGC 工作在 up & down 模式 |
| R1<4> | ATT_ON | R/W | 0 | 天线阻尼器使能 |
| R1<3> | EN_MANCH | R/W | 0 | 曼彻斯特解码器使能 |
| R1<2> | EN_PAT2 | R/W | 0 | 双唤醒 Pattern 相关器 |
| R1<1> | EN_WPAT | R/W | 1 | Pattern 相关器使能 |
| R1<0> | EN_XTAL | R/W | 1 | 晶体振荡器使能 |
| R2<7> | S_ABSH | R/W | 0 | 数据分割器绝对阈值降低 |
| R2<6> | EN_EXT_CLK | R/W | 0 | 外部时钟发生器使能 |
| R2<5> | G_BOOST | R/W | 0 | 1: 1.5dB 额外增益（80nA） |
| R2<4> | AGC_LOW_CTRL | R/W | 0 | AGC 下限控制位 |
| R2<3:2> | DIS-PLAY_CLK | R/W | 00 | 设置为 11 将时钟 32KHZ 的频率通过 CL_DAT 输出 |
| R2<1:0> | S_WU1 | R/W | 00 | 唤醒的公差设置 |
| R3<7> | HY_20m | R/W | 0 | 数据分割器迟滞 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | 0: 迟滞为 40mV<br>1: 迟滞为 20mV |
| R3<6> | HY_POS | R/W | 0 | 0: 迟滞发生在上升沿和下降沿<br>1: 迟滞只发生在上升沿 |
| R3<5:3> | FS_SCL | R/W | 100 | 产生迟滞比较器参考波形的滤波时间常数 |
| R3<2:0> | FS_ENV | R/W | 000 | 包络检测器时间常数 |
| R4<7:6> | T_OFF | R/W | 00 | ON/OFF 模式 OFF 时间设置<br>00: 1ms<br>01: 2ms<br>10: 4ms<br>11: 8ms |
| R4<5:4> | D_RES | R/W | 01 | 天线阻尼器电阻值设置 |
| R4<3:0> | GR | R/W | 0000 | AGC 增益衰减设置 |
| R5<7:0> | TS2 | R/W | 01101001 | 唤醒 Pattern 的第二个字节 |
| R6<7:0> | TS1 | R/W | 10010110 | 唤醒 Pattern 的第一个字节 |
| R7<7:5> | T_OUT | R/W | 000 | 自动超时 |
| R7<4:0> | T_HBIT | R/W | 01011 | 波特率定义 |
| R8<7:5> | BAND_SEL | R/W | 000 | 带宽选择 |
| R8<2:0> | T_AUTO | R/W | 000 | 人工唤醒<br>000: 没有人工唤醒<br>001: 1sec<br>010: 5sec<br>011: 20sec<br>100: 2min<br>101: 15min<br>110: 1hour<br>111: 2hour |
| R9<7> | BLOCK_AGC | R/W | 0 | 禁用 AGC |
| R9<6:0> | - | - | 000000 | 保留位 |
| R10<4:0> | RSSI1 | R | | 通道 1 RSSI 值 |
| R11<4:0> | RSSI2 | R | | 通道 2 RSSI 值 |
| R12<4:0> | RSSI3 | R | | 通道 3 RSSI 值 |
| R13<7:0> | F_WAK | R | | 错误唤醒寄存器 |
| R14<7> | RC_CAL_OK | R | | RC 校准成功 |
| R14<6> | RC_CAL_KO | R | | RC 校准失败 |
| R14<5:0> | RC_OSC_TAPS | R | | RC 校准设置 |
| R15<4> | LC_OSC_OK | R | | LC 振荡器工作 |
| R15<3> | LC_OSC_KO | R | | LC 振荡器不工作 |
| R16<7> | CLOCK_GEN | R/W | 0 | 将时钟 32khz 输出在 CL_DAT 引脚上 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | _DIS | | | |
| R16<6> | LC_OSC_DIS | R/W | 0 | 将 LC 的谐振频率显示在 DAT 引脚上 |
| R16<5> | RC_OSC_MIN | R/W | 0 | 将 RC 振荡器设置为最小频率 |
| R16<4> | RC_OSC_MAX | R/W | 0 | 将 RC 振荡器设置为最大频率 |
| R16<2> | LC_OSC_MUX3 | R/W | 0 | 将 LF3P 的谐振频率显示在 DAT 引脚上 |
| R16<1> | LC_OSC_MUX2 | R/W | 0 | 将 LF2P 的谐振频率显示在 DAT 引脚上 |
| R16<0> | LC_OSC_MUX1 | R/W | 0 | 将 LF1P 的谐振频率显示在 DAT 引脚上 |
| R17<4:0> | CAPS_CH1 | R/W | 00000 | 设置通道 1 的调谐电容值 |
| R18<4:0> | CAPS_CH2 | R/W | 00000 | 设置通道 2 的调谐电容值 |
| R19<4:0> | CAPS_CH3 | R/W | 00000 | 设置通道 3 的调谐电容值 |
| R20<6:1> | FS_BOOST | R/W | 001010 | 调节放大器各级零点 |
| R20<0> | VBIAS3_SEL | R/W | 0 | AGC 上限控制位 |
| R21<7> | G_BOOST_B | R/W | 1 | 增益提升 1.3dB(80nA,R2<5>必须为 1) |
| R21<6> | G_BOOST_A | R/W | 1 | 增益提升 5.8dB(160nA) |
| R21<5> | RSSI_SEL | R/W | 1 | 0: 自动增益设置<br>1: 手动增益设置 |
| R21<4:0> | RSSI_IN<4:0> | R/W | 11111 | 手动增益设置 |
| R22<6> | RC_TAPS_SEL | R/W | 1 | 0: RC 自动校准<br>1: RC 手动校准 |
| R22<5:0> | RC_TAPS_IN<5:0> | R/W | 111111 | RC 手动校准设置 |
| R23<7> | IN-OUT_MODE_EN | R/W | 1 | 0: 单帧数据，单个发射源，单个 Pattern；<br>1: 双帧数据，可以有一个发射源，单个 Pattern；也可以有两个发射源，两个 Pattern。 |
| R23<6> | A_OUTSIDE | R/W | 1 | {INOUT_MODE_EN，A_OUTSIDE }<br>00: PatternB 对比成功 wakeup。<br>01: PatternA 对比成功 wakeup。<br>10: 单发射源时，第二次 PatternB 对比成功 wakeup；双发射源时，PatternB 的 RSSI 值高时成功 wakeup。<br>11: 单发射源时，第二次 PatternA 对比成 wakeup；双发射源时，PatternA 的 RSSI 值高时成功 wakeup。 |
| R23<5> | DEMO_EN | R/W | 1 | 模拟解调器使能 |
| R23<4> | BASEBAND_TEST | R/W | 1 | 基带信号测试使能 |
| R23<3:1> | RC_CAP<2:0> | R/W | 100 | RC 电容调整控制位 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| R23<0> | PD_LC | R/W | 1 | LC 振荡器 Power Down |
| R24<7:0> | PATT4B | R/W | 11111111 | 额外的 Pattern 高 8 位 |
| R25<7:0> | PATT3B | R/W | 11111111 | 额外的 Pattern 低 8 位 |

## 6.3 串行外设接口（SPI）

MCU 使用 SPI 接口对 PAN3501 进行编程。SPI 的最大工作时钟频率为 6 MHz。

表 6-3 串行外设接口引脚说明

| 名称 | 类型 | 描述 |
|---|---|---|
| CS | 数字输入 | 片选 |
| SIN | 数字输入 | 用于写入寄存器的串行数据输入，用于传输的数据和/或选择可读寄存器的写入地址 |
| SOUT | 数字输出 | 接收到的数据或选定寄存器的读取值的串行数据输出 |
| SCLK | 数字输入 | 串行数据的读写时钟 |

当 CS 为 0，SDO 设置为三态时，则多个设备可以在同一 SDO 总线上进行通信。

### 6.3.1 SDI 命令结构

要对 SPI 进行编程。需要将 CS 设为高电平。SPI 命令由两个字节组成，数据在 SCLK 的下降沿进行采样。表 6-4 显示了命令从 MSB(B15)到 LSB(B0)。数据流必须从 MSB(B15) 到 LSB(B0)发送到 SPI。

表 6-4 SDI 命令格式 1

| 模式 | | 寄存器地址/直接命令 | | | | | | 寄存器数据 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B15 | B14 | B13 | B12 | B11 | B10 | B9 | B8 | B7 | B6 | B5 | B4 | B3 | B2 | B1 | B0 |

前两位(B15 和 B14)定义操作模式。有三种可用模式(读、写、直接命令)加上一个备用(未使用)，如表 6-5 所示。

表 6-5 SDI 命令格式 2

| B15 | B14 | 模式 |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 写 |
| 0 | 1 | 读 |
| 1 | 0 | 不使用 |
| 1 | 1 | 直接命令 |

当发生读或写命令，后 6 位(B13 到 B8)必须定义为分别对应的寄存器地址，如表 6-6 所示。

表 6-6 SDI 命令格式 3

| B13 | B12 | B11 | B10 | B9 | B8 | Read/Write Register |
|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | R0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | R1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | R2 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | R3 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | R4 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | R5 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | R6 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | R7 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | R8 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | R9 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | R10 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | R11 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | R12 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | R13 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | R14 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | R15 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | R16 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | R17 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | R18 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | R19 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | R20 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | R21 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | R22 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | R23 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | R24 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | R25 |

最后 8 位是读/写的数据。CS 切换高-低-高终止命令模式。

如果发送直接命令(B15-B14=11)，则从 B13 到 B8 的定义直接命令，而省略最后 8 位。表 6-7 显示了所有可能的直接命令：

表 6-7 直接命令列表

| **命令模式** | **B13** | **B12** | **B11** | **B10** | **B9** | **B8** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Clear_wake | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Reset_RSSI | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Trim_osc | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| clear_false | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| preset_default | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Calib_RCO_LC | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |

所有直接命令的解释如下：·

clear_wake：清除芯片的唤醒状态。如果芯片已经唤醒(WAKE 引脚为高电位)，芯片将被设置回监听模式。·

reset_RSSI：重置 RSSI。

Calib_RCosc：启动内部 RC 振荡器的校准过程。·

clear_false：重置误唤醒寄存器(R13<7:0>=00)。

preset_default：复位所有寄存器为默认值。

Calib_RCO_LC：用外部 LC 调谐模块校准 RC 振荡器。

### 6.3.2 写入模式

SPI 在 SCLK 的下降边缘取样(如图 6-2 所示)。CS 切换高-低-高指示写命令在写完寄存器后结束。图 6-1 示例显示了一个写命令。

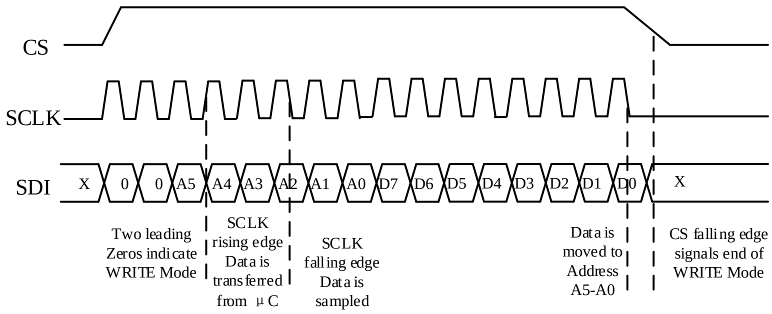


图 6-1 写入单个 Byte

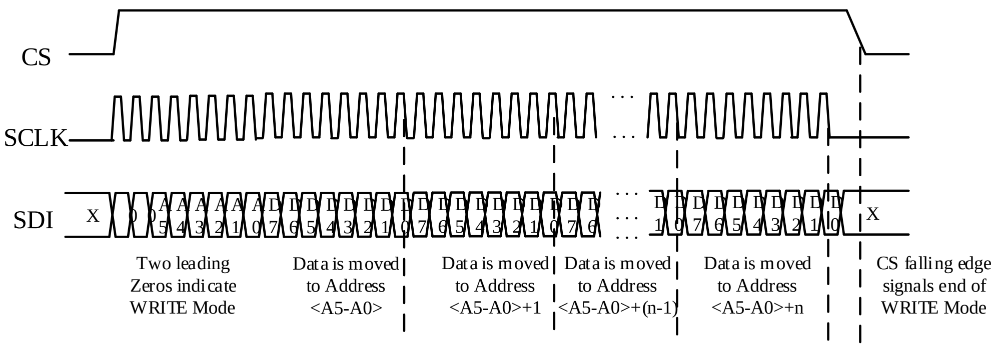


图 6-2 使用自动递增地址写入寄存器数据

### 6.3.3 读取模式

一旦通过 SPI 发送了地址，数据就可以通过 SDO 引脚输出到 MCU。在读取模式会话结束后，必须执行 CS 高电平-低电平-高电平，以指示读取命令的结束，并将接口准备到下一个命令控制 Byte。

为了从连续地址读取数据，SPI 主机必须保持 CS 信号为高电平，SCLK 时钟必须处于活动状态。

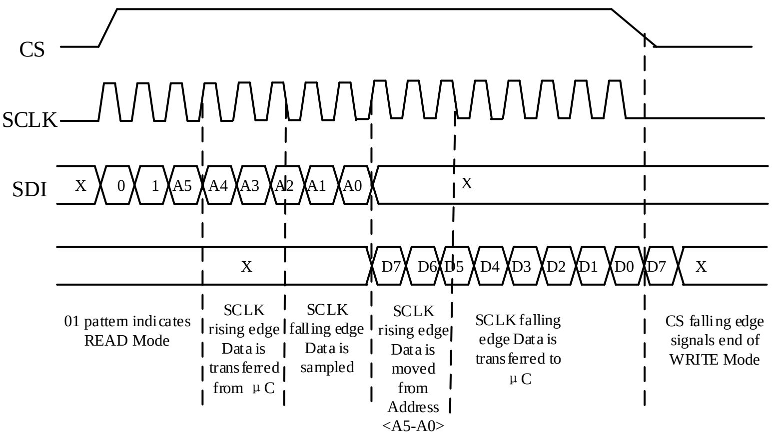


图 6-3 单寄存器字节的读取

直接命令模式：

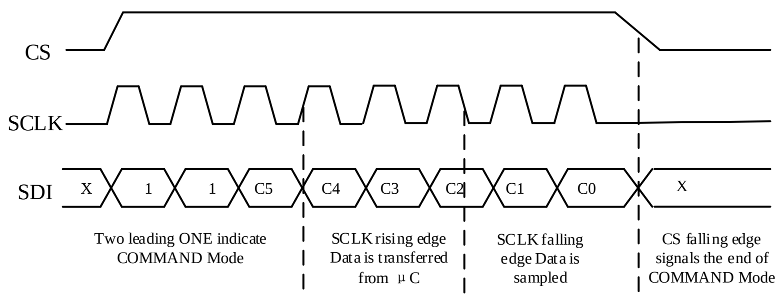


图 6-4 发送直接命令

### 6.3.4 SDI 时序

SDI 时序参数如表 6-8 所示。

表 6-8 SDI 时序参数表

| 名称 | 参数描述 | MIN | 单位 |
|---|---|---|---|
| TCSCLK | CS 上升沿到数据采样时刻 | 150 | ns |
| TDCLK | 数据上升沿到数据采用时刻 | 100 | ns |
| THCL | SCLK 高电平时间 | 70 | ns |
| TCLK | SCLK 周期 | 170 | ns |
| TCLKCS | 数据采样时刻到 CS 下降沿 | 150 | ns |
| TCST | CS 切换时间 | 500 | ns |

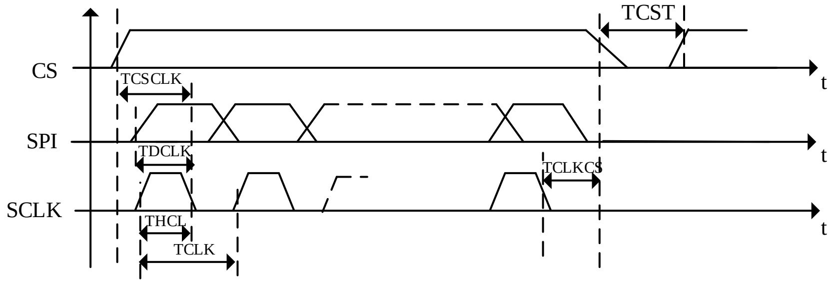


图 6-5 SDI 时序图

# 7 天线调谐电容

PAN3501 芯片提供了实现精细天线调谐的可能性。如图 7-1 所示，显示了如何在 MCU 的帮助下实现调谐功能。

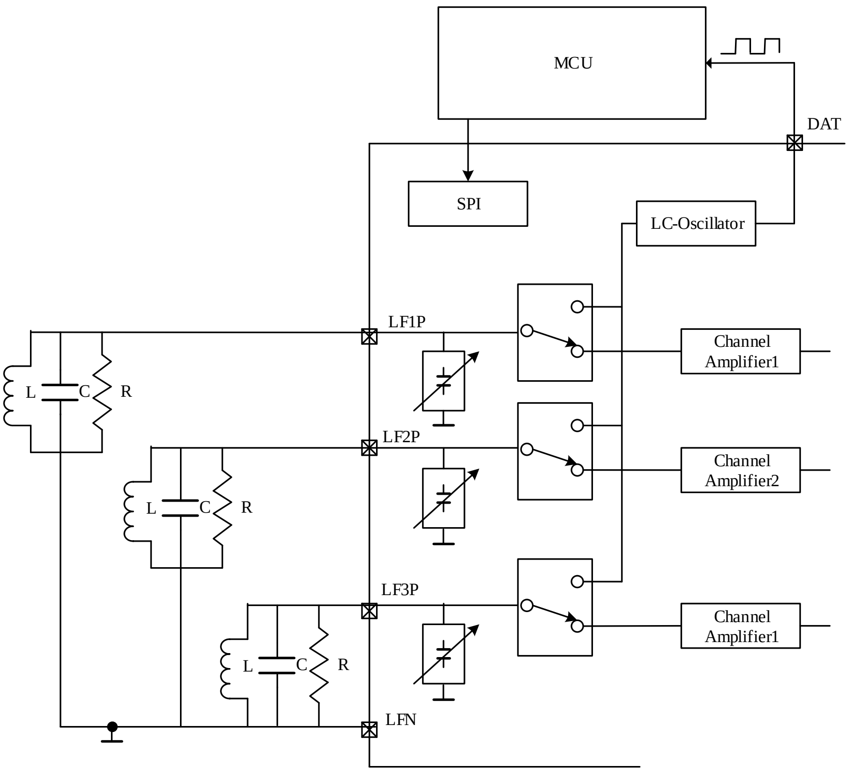


图 7-1 天线调谐

三个通道均有内部电容微调模块，实现对外部天线的调谐优化。电容可以通过寄存器 R17<4:0>、R18<4:0>和 R19<4:0>连接或断开(增加或减去外部谐振器的并联电容)，实现 0~31pF/1pF step 变化。

表 7-1 微调电容调节设置

| Register | Name | Type | Default | Description |
|---|---|---|---|---|
| R19<4:0> | CAPS_CH3<4:0> | R/W | 5'b00000 | Capacitor banks on the channel3 |
| R18<4:0> | CAPS_CH2<4:0> | R/W | 5'b00000 | Capacitor banks on the channel2 |
| R17<4:0> | CAPS_CH1<4:0> | R/W | 5'b00000 | Capacitor banks on the channel1 |

这三个通道均可以单独调谐。MCU 必须将 LC 谐振器连接到天线上，以测量引脚 DAT 上的谐振频率。主机应测量此引脚上的频率，只需更改寄存器设置即可将其调整到尽可能接近载波频率的标称值。通过改变寄存器 R16<2:0>的值，可以将 LC 谐振器连接到三个不同的天线。

表 7-2 LC 显示通道选择

| Register | Name | Type | Default | Description |
|---|---|---|---|---|
| R16<2> | LC_OSC_MUX3 | R/W | 1'b0 | Displays the resonance frequency of LF3P on DAT pin |
| R16<1> | LC_OSC_MUX2 | R/W | 1'b0 | Displays the resonance frequency of LF2P on DAT pin |
| R16<0> | LC_OSC_MUX1 | R/W | 1'b0 | Displays the resonance frequency of LF1P on DAT pin |

# 8 通道放大器

## 8.1 概述

每一个通道都具有自动增益控制(AGC)的可变增益放大器(VGA)和频率检测器组成。

当 PAN3501 芯片处于监听模式时，所有通道放大器的初始增益均被设置为最大。频率检测器对放大的 RF 信号的过零点进行计数，以检测所需载波是否存在。一旦检测到载波，AGC 就被使能，VGA 的增益被降低并设置为正确的值。RSSI(接收信号强度指示符)表示输入信号的强度，它是 VGA 增益的逆向表示。实际上，如果输入信号很强，AGC 会降低 VGA 的增益。增益衰减值对应于 RSSI，因为它与 VGA 的增益设置相反(小增益对应于大的 RSSI，反之亦然)。

PAN3501 芯片可接收的频率带宽为 15kHz~150kHz。通过配置寄存器位 R8<7:5>将放大器设置在适当的工作带宽。

## 8.2 模块特性

- 接收载波频率范围 15kHz~150kHz，四档位可选。
- 动态增益范围 64dB，5Bit RSSI Step/2dB per step。
- 额外的增益提高选项，使得接收灵敏度达到 80 uVRMS (tpy)。
- 根据应用环境对灵敏度实现降敏功能。
- 每个通道的电流为 1.5uA。

## 8.3 模块接口和基本配置

表 8-1 通道放大器寄存器配置

| Name | PIN Type | Default | Description |
|---|---|---|---|
| DISPLAY_CLK<1:0> | R2<3:2> | 2'b00 | 设置为 11 时，可以在 CL_DAT 引脚看到时钟信号。 |
| BAND_SEL<2:0> | R8<7:5> | 3'b000 | 频带选择<br>000　95~150　kHz<br>001　65~95　kHz<br>010　40~65　kHz<br>011　23~40　kHz<br>111　15~23　kHz |
| S_WU1<1:0> | R2<1:0> | 2'b00 | 频率侦测成功的频率范围设置 |
| GR<3:0> | R4<3:0> | 4'b0000 | VGA 的初始增益衰减。<br>4'b0000　无衰减<br>4'b0001　n.a<br>4'b001X　n.a |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | 4'b010X -4dB<br>4'b011X -8dB<br>4'b100X -12dB<br>4'b101X -16dB<br>4'b110X -20dB<br>4'b111X -24dB |
| D_RES<1:0> | R4<5:4> | 2'b00 | 设置天线阻尼器的电阻值<br>2'b00 1KΩ<br>2'b01 3KΩ<br>2'b10 9KΩ<br>2'b11 27KΩ |
| ATT_ON | R4<5:4> | 1'b0 | 天线阻尼器的使能信号 |
| G_BOOST | R2<5> | 1'b0 | 1.5dB 增益强化使能 |
| AMP_RSSI<4:0> | R12<4:0> | | 通道 3 RSSI |
| | R11<4:0> | | 通道 2 RSSI |
| | R10<4:0> | | 通道 1 RSSI |

## 8.4 功能描述

频率检测是基于过零计数器，以时钟发生器为时间基准。该计数器对时钟发生器定义的时间窗口内的输入信号的过零点进行计数，如果它与期望值匹配，则启用 AGC(RSSI 测量开始)。时钟发生器可以基于内部 RC 振荡器或晶体振荡器或外部时钟源。时钟发生器产生的时间窗口等于其周期的 N 倍，其中 N 依赖于工作频带，如表 8-2 所示。

表 8-2 时间窗口与载波频率的函数关系

| R8<7> | R8<6> | R8<5> | N | 频带范围（KHz） |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 4 | 95-150 |
| 0 | 0 | 1 | 6 | 65-95 |
| 0 | 1 | 0 | 10 | 40-65 |
| 0 | 1 | 1 | 18 | 23-40 |
| 1 | 1 | 1 | 14 | 15-23 |

如果在连续两个时间窗口中，过零计数器检测到 M 过零点（其中 M 也依赖于工作频带设定）在表 8-3 的容差范围内，则频率检测是成功的。根据 R2<1:0>中描述的设置，频率检测标准可以更严格或更宽松如表 8-2 所示。

表 8-3 过零计时器的容限设置 1

| R2<1> | R2<0> | M |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 32±12 |
| 0 | 1 | 32±8 |
| 1 | 0 | 32±4 |
| 1 | 1 | n.a |

表 8-3 给出了 23kHz ~150kHz 工作频带的不同容限的 M 值。表 8-4 显示了如果工作频率范围是最低的情况下的 M 值的容限(15 到 23 kHz)。

表 8-4 过零计数器的容限设置 2

| R2<1> | R2<0> | M |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 16±6 |
| 0 | 1 | 16±4 |
| 1 | 0 | 16±2 |
| 1 | 1 | n.a |

下面将举例说明：

假设时钟信号的频率为$f_{clk}$=31.25k，周期为$T_{clk}$，信号频率为$f_{sig}$=125k，周期为$T_{sig}$。当时钟通过 Time window 模块，产生一个间隔为 128us 的时间间隔$T_1$，即 4 倍的$T_{clk}$，由此得到 125k 信号频率在$T_1$时间内通过零点的次数为 32 次，将该值记为 M。信号通过比较器 CMP1 和 CMP2 得到信号频率，将带有信号频率的脉冲信号通过过零计数器，当 M=32 时，该信号为所需求的信号。

当信号频率在选频范围内时，AGC 开始工作，将放大器增益的设置为要求增益数值。该接收器可实现 64dB 增益调节范围，且增益步进为 2dB。放大器初始时，增益设为最大。通过调节参考电压，可以得到规定幅值的输出信号。当输出信号峰值比参考电位高时，将给 AGC 电路反馈带有信号频率信息的脉冲信号，AGC 调节放大器的增益控制位，直到输出信号峰值满足要求，此时比较器输出为一固定电平。

这样，该架构就通过数字电路实现了频率识别和增益自动调节。

# 9 模拟解调

## 9.1 概述

只要 PAN3501 成功的检测到谐振频率，并且 RSSI 已经稳定，则通道选择器将所有活动通道上的 RSSI 值进行比较，并将具有最大 RSSI 值的通道放大器连接到解调器。通道选择器需要 32 个射频载波周期来完成通道选择。所选通道的输出信号(放大的 LF 载波)连接到解调器的输入端。通过解调器，将加载在载波上的 DATA 解调出来。

解调器将信号从载波频率解调到基带，并从放大后的 RF 信号中恢复出两个包络信号，根据电阻电容充放电的时间常数，可以分为快包络和慢包络。这两个信号被送到数据分割器，数据分割器是具有可编程迟滞的比较器，在数据分割器的输出端将接收到的数字信号输出。解调器的结构框图如图 9-1 所示。

## 9.2 结构框图

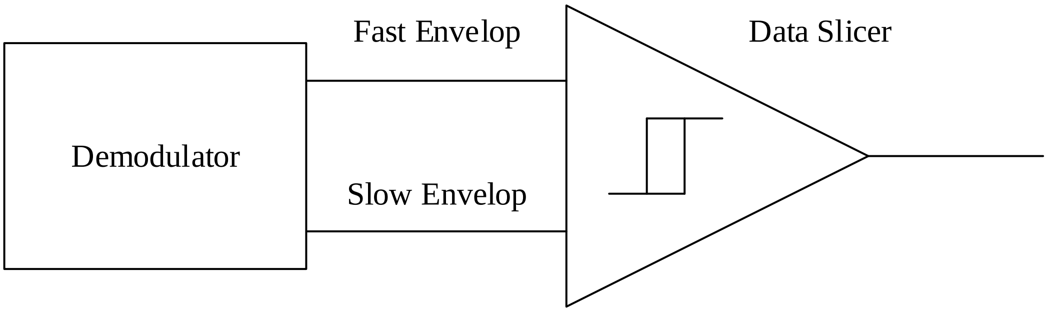


图 9-1 模拟解调结构

## 9.3 模块接口和基本配置

表 9-1 模拟解调模块接口

| Name | PIN Type | Default | Description |
|---|---|---|---|
| S_ABSH | R2<7> | 1'b0 | 迟滞比较器参考电位衰减 |
| FS_SCL<2:0> | R3<5:3> | 3'b000 | 迟滞比较器参考信号时间常数 |
| FS_ENV<2:0> | R3<2:0> | 3'b000 | 解调器输出信号时间常数设置 |
| ABS_HY | R1<7> | 1'b0 | 迟滞比较器参考电位选择使能 |
| HY_POS | R3<6> | 1'b0 | 0：迟滞发生在上升沿河下降沿<br>1：迟滞只发生在上升沿 |
| dHY_20M | R3<7> | 1'b0 | 迟滞阈值选择<br>0:40mV<br>1:20mV |

## 9.4 功能描述

使用快慢包络的模拟解调过程如图 9-2 所示。

慢包络信号(图 9-2 中的蓝色信号)表示解调信号的平均值，因此迟滞比较器的参考信号。如果发射源输入信号的携带数据流的占空比远离 50%(例如，在 NRZ 协议中可以有几个连续的 1 或 0)，则慢包络信号将不是迟滞比较器的稳定参考信号。在这种情况下，迟滞比较器也可以使用绝对阈值(R1<7>)，如表 9-3 所示。如果启用绝对阈值，则位 R3<2:0>不会影响性能。在环境不特别嘈杂的情况下，甚至可以降低绝对阈值(R2<7>)。

由于输入信号可能由于发射机环境的物理影响而受到抑制，如果启用绝对阈值以确保正确检测到数据流，则需要调整(降低)数据流速率。信号的峰值应在数据流每一位持续时间的 1/3 范围内达到，该数据位持续时间被定义为比特位持续时间的两倍。位持续时间在寄存器 R7<4:0>中定义为时钟生成器产生的时钟周期的函数。

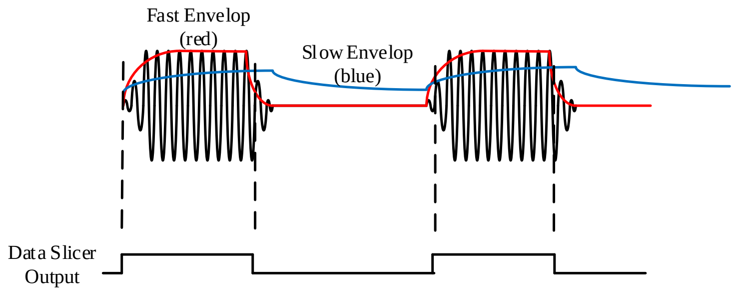


图 9-2 慢包络快包络的比较方式

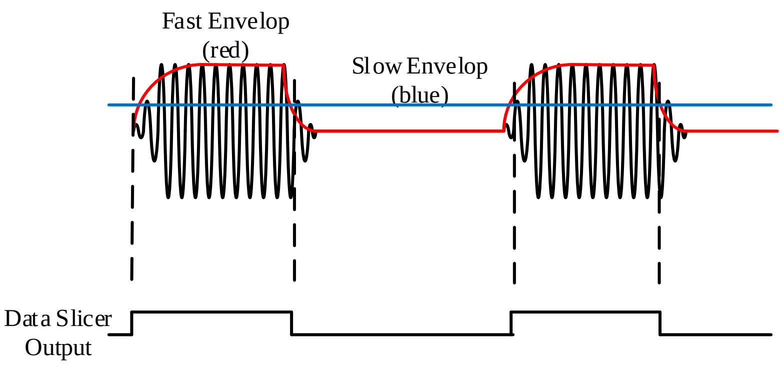


图 9-3 快包络和绝对参考电位比较方式

解调器的性能可以根据数据比特率和前导码长度进行优化，如表 9-2 和表 9-3 所示。

表 9-2 快包络解调时间常数与数据速率关系

| R3<2> | R3<1> | R3<0> | 曼彻斯特数据率/s |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 4096 |
| 0 | 0 | 1 | 2184 |
| 0 | 1 | 0 | 1490 |
| 0 | 1 | 1 | 1130 |
| 1 | 0 | 0 | 910 |
| 1 | 0 | 1 | 762 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0 | 655 |
| 1 | 1 | 1 | 512 |

调整快包络信号的时间常数(R3<2:0>)对应所需的波特率如表 9-2 所示。如果降低快速包络的时间常数意味着较宽的频带，将会注入更多的噪声。慢包络信号作为输入数据的有效值。其时间常数越大，其抗噪效果就越好。然而，慢包络(R3<5:3>)设置较大的时间常数需要较大的前导码才能解调正确的值，慢包络设置对应最小前导码长度设置如表 9-3 所示。

表 9-3 慢包络时间常数与前导码时间长度关系

| **R3<5>** | **R3<4>** | **R3<3>** | **最小前导长度[ms]** |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0.8 |
| 0 | 0 | 1 | 1.15 |
| 0 | 1 | 0 | 1.55 |
| 0 | 1 | 1 | 1.9 |
| 1 | 0 | 0 | 2.3 |
| 1 | 0 | 1 | 2.65 |
| 1 | 1 | 0 | 3 |
| 1 | 1 | 1 | 3.5 |

# 10 数字解调与RTC

## 10.1 概述

该模块主要由时钟恢复，Pattern 相关器，曼彻斯特解调器，RTC 四部分组成，完成了对基带信号的识别，解调，对其携带时钟信息的恢复功能。通过设定唤醒协议，提供几种唤醒方式，针对不同应用场景设计更多种产品方案的可能性。

## 10.2 模块特性

- 可编程的 Pattern 码匹配方式，分别为 16 位的直接比对和 32 位的曼彻斯特码比对。
- 两种比对方式都支持双倍比对，即重复比对一次再输出唤醒信号。
- 支持周期性的人工唤醒（1s-2h）。
- 支持数据速率可调 0.5kbps-4kbps。(曼彻斯特编码)
- 可以根据输入的基带曼彻斯特码恢复出时钟信号。

## 10.3 模块接口和基本配置

表 10-1 数字解调与 RTC 模块接口

| Name | PIN Type | Default | Description |
|---|---|---|---|
| EN_MANCH | R1<3> | 1'b1 | 曼彻斯特使能信号 |
| R9<6:0> | R9<6:0> | 7'b0 | 测试位 |
| T_HBIT<4:0> | R7<4:0> | 5'b0 | 数据位速率的定义设置 |
| EN_PAT2 | R1<2> | 1'b0 | 重复 Pattern 验证使能 |
| T_AUTO<2:0> | R8<2:0> | 3'b000 | 人工唤醒<br>3'b000 ： 无人工唤醒<br>3'b001 ： 1sec<br>3'b010 ： 5sec<br>3'b011 ： 20sec<br>3'b100 ： 2min<br>3'b101 ： 15min<br>3'b110 ： 1hour<br>3'b111 ： 2hour |
| DAT_MASK | R0<6> | 1'b1 | DAT PIN 在唤醒之前不显示数据 |
| MANCH_CODE_SEL | R8<4> | 1'b0 | 曼彻斯特码输出选择位 |
| CLOCK_GEN_DIS | R16<7> | 1'b0 | 在 CL_DAT PIN 显示时钟使能 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| EN_WPAT | R1<1> | 1'b1 | Pattern 比对使能 |
| PAT32 | R0<7> | 1'b1 | 1：比对码扩展至 32bits。 |
| LC_OSC_MUX1 | R16<0> | 1'b0 | 在 DATPIN 显示通道 1 输入的载波频率 |
| LC_OSC_MUX2 | R16<1> | 1'b0 | 在 DATPIN 显示通道 2 输入的载波频率 |
| LC_OSC_MUX3 | R16<2> | 1'b0 | 在 DATPIN 显示通道 3 输入的载波频率 |
| EN_LC | R16<3> | 1'b0 | 在 DATPIN 显示载波频率使能 |

## 10.4 功能描述

### 10.4.1 相关器和 Pattern 码定义

为了防止在噪声或干扰环境中 PAN3501 唤醒 MCU，内部 Pattern 相关器检测从数据分割器传送的位序列是否对应预设的 Pattern 值。预设的 Pattern 值可以存储在寄存器 R5<7:0>和 R6<7:0>中。只有在使能了相关器(R1<1>=1)且在频率检测成功之后才会执行 Pattern 对比。仅在单位持续时间内 Pattern 数据接收并匹配时，Pattern 相关检测才会成功(Wake 变高)。

曼彻斯特的编解码定义如图 10-1 所示。在曼彻斯特代码中，DATA 的每个“symbol”位由两个 Manchester 的“bits”位构成，记录了相邻两个“bits”位的变化，PAN3501 芯片中，采用 Tomas 标准，将“高到低”记录为 1，“低到高”记录为 0。在图 10-1 中，举例说明了曼彻斯特编解码对应关系。在曼彻斯特编码的比特流中，不可能有三个连续的 0 或 1。这有助于接收器恢复时钟信号。

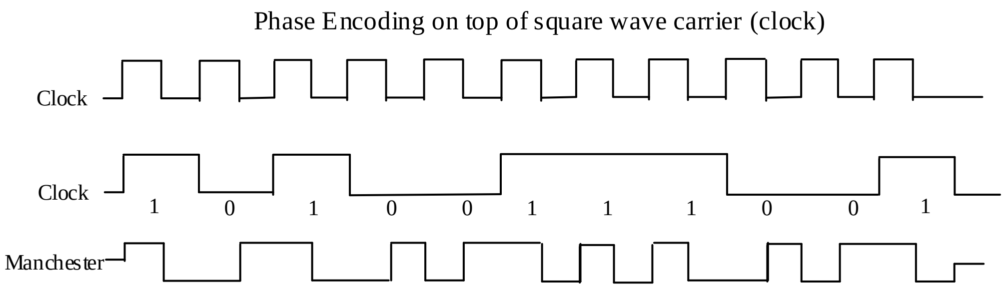


图 10-1 曼彻斯特编解码

用户可以在寄存器 R5<7:0>和 R6<7:0>中定义相关器的匹配码，一共 16bits。且用户可以通过寄存器位 R0<7>来设置相关器的比对方式。R0<7>=0，寄存器中存储 16bits 曼彻斯特码，与输入的 16bits 曼彻斯特码对比，共有 8 个“symbols”; R0<7>=1，寄存器中预存 16 位“symbols”，与输入的 32bits 曼彻斯特码比对。即，一种将寄存的码进行了曼彻斯特解码，一种直接寄存与输入相关的曼彻斯特码。

### 10.4.2 时钟恢复

通过输入的曼彻斯特码和时钟的相关性需要使用最少 6“Bits”恢复出时钟信号。

在寄存器 R7<4:0>中定义了每个“bit”的持续时间。表 10-2 显示了该持续时间是时钟发生器周期的倍数。通过使用 31.25KHz 的时钟信号与输入基带信号每“bits”持续时间的倍数关系，恢复出数据的时钟信号。

表 10-2 时钟恢复设置与数据率关系

| R7<4> | R7<3> | R7<2> | R7<1> | R7<0> | Bit 持续时间与时钟关系 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 4 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 7 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 8 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 10 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 11 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 12 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 13 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 14 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 15 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 16 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 18 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 19 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 20 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 21 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 22 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 23 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 24 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 25 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 26 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 27 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 28 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 29 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 30 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 31 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 32 |

当 R7<4:0>设置为 00011 时，输入信号的每个 bit 的持续时间为

$$32\mu s \times 4 = 128\mu s$$

由于每个曼彻斯特的“symbol”由两个“Bit”组成，且最快的曼彻斯特的数据速率就是 3.90625kbps，所以输入的数据流为 7.8125Kbps。

### 10.4.3 唤醒协议

从系统状态机的时序图可以看出，PAN3501 芯片支持以下几种唤醒方式：·

- 频率检测(无模式相关)
- 单模式检测

- 16 位模式
- 32 位模式

● 双模式检测

- 16 位模式
- 32 位模式

唤醒状态可以由 MCU 通过 SPI 发送的直接命令 CLEAR_WAKE 或使用超时设置(TIME_OUT)来终止。如果使用后者，MCU 不需要采取任何措施来终止唤醒状态，并且在预定义的时间后，芯片将自动恢复到监听模式。可以使用寄存器 R7<7:5>设置超时的持续时间。

如果模式相关器被禁用(R1<1>=0)，芯片只有在检测到载波频率时，就会触发唤醒，如图 10-2 所示。发射源每一帧的 carrier burst 的持续时间必须满足表 10-3 的设定，才能确保芯片的唤醒功能和 RSSI 达到稳定状态。此外，carrier burst 的持续时间最好少于 31.25K 时钟周期的 155 倍。如图 10-2 所示，在检测到载波并得到稳定的 RSSI 值后，芯片状态直接从监听模式转到了数据接收模式。

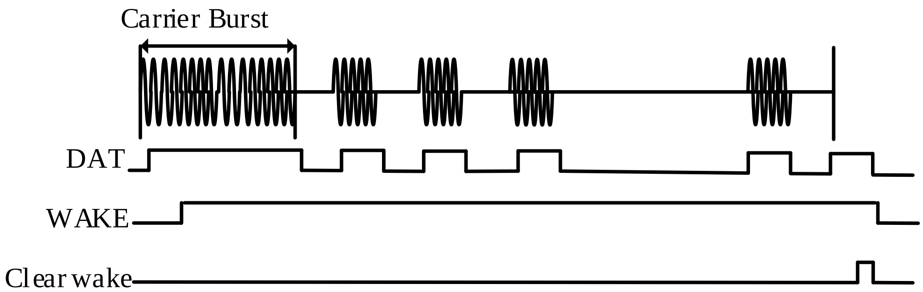


图 10-2 无 Pattern 码的唤醒过程

在启用 Pattern 相关器(R1<1>=1)的情况下，如果完成了唤醒协议，芯片将产生唤醒中断。该通信协议设定发射源的每一帧信号由 carrier burst、前导码(0101010…，开关调制载波和 16 位 Pattern 匹配码组成。如果使能了双 Pattern 选项(R1<2>=1)，则 16 位模式必须重复 2 次(2 次相同 Pattern)。在模式匹配结束后一位处，WAKE 引脚将跳变位高电平，开始数据传输，如图 10-3 所示。

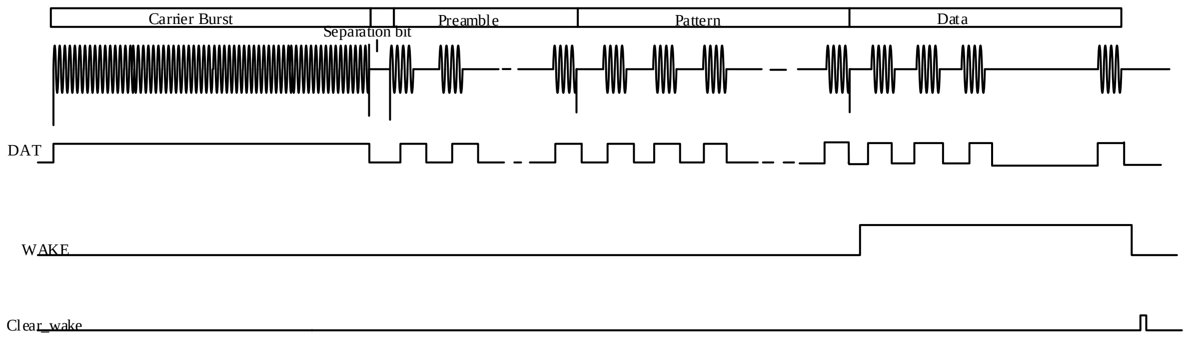


图 10-3 加入 Pattern 码的唤醒过程

Carrier burst 的最小长度取决于工作频率范围，如表 10-3 所示。

表 10-3 Carrier burst 最小持续时间 1

| **频带范围（KHz）** | **Burst 最短持续时间** |
| --- | --- |
| 95-150 | 16Tclk+16Tcarr |

| | |
|---|---|
| 65-95 | 28Tclk+16Tcarr |
| 40-65 | 52Tclk+16Tcarr |
| 23-40 | 96Tclk+16Tcarr |
| 15-23 | 92Tclk+8Tcarr |

如果 Carrier Burst 的持续时间，比表 10-3 中指定的时间短，则不能保证频率检测成功。为了实现该协议，Carrier Burst 必须小于 155 个内部运行的时钟周期。Carrier Burst 之后必须有分离位和至少 6 位前导码(101010)。分离位必须持续半个慢切斯特码元。

在启用 16 位 Pattern 检测的情况下，前导码和 Pattern 匹配码不能超过 30 个码元，如果启用 32 位 Pattern 检测，则为 46 个码元。

如果使能了 ON/OFF 选项(R0<5>=1)，则 Carrier Burst 的最小持续时间必须根据关闭时间适当延长。

如果使能扫描模式(R0<4>=1)，则载波突发的最小持续时间见表 10-4 所示。

表 10-4 Carrier burst 最小持续时间 2

| **频带范围（KHz）** | **Burst 最短持续时间** |
|---|---|
| 95-150 | 80Tclk+16Tcarr |
| 65-95 | 92Tclk+16Tcarr |
| 40-65 | 180Tclk+16Tcarr |
| 23-40 | 224Tclk+16Tcarr |
| 15-23 | 220Tclk+8Tcarr |

### 10.4.4 曼彻斯特解码

在使能曼彻斯特解码器(R1<3>=1)的情况下，PAN3501 芯片将自动将对传入的曼彻斯特比特码进行自动解码。曼彻斯特解码后的数据显示在 DAT 引脚上。从 DAT 引脚输出的数据在 CL_DAT 时钟的上升沿采集，如图 10-4 所示。

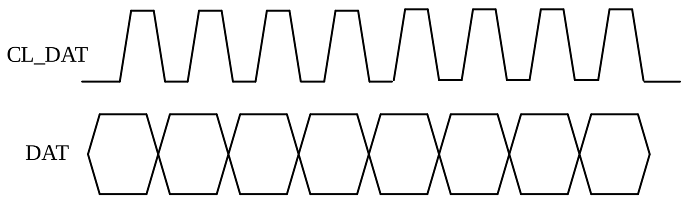


图 10-4 芯片数据输出与时钟信号

在发生曼彻斯特时序违规的情况下，SPO 上的信号在内部时钟的 4 个周期的持续时间内变高。

# 11 芯片运行与时钟控制

## 11.1 概述

该模块主要由时钟选择、时间窗口发生器、内部运行主控电路和 AGC 运行控制电路四部分组成。实现了芯片在监听模式下，对不同的运行方式的控制、内部运行时钟选择、频率识别中时间窗口的产生和 AGC 运行模式的控制。

## 11.2 模块接口和基本配置

表 11-1 内部主控电路与 AGC 运行控制

| Name | PIN Type | Default | Description |
|---|---|---|---|
| AGC_TLIM | R1<6> | 1'b0 | AGC 仅在第一个 Carrier Burst 时运行 |
| AGC_UD | R1<5> | 1'b1 | 1：AGC 运行时增益可上升下降<br>0：AGC 运行时增益只能下降 |
| BAND_SEL<1:0> | R8<6:5> | 2'b00 | 频带选择 |
| T_HBIT<4:0> | R7<4:0> | 5'b00011 | 数据率定义 |
| EN_A<3:1> | R0<3:1> | 3'b111 | 通道选择 |
| ON_OFF | R0<5> | 1'b0 | 开关模式使能 |
| T_OFF<1:0> | R4<7:6> | 2'b00 | 开关模式中关闭时间设置 |
| MUX123 | R0<4> | 1'b0 | 扫描模式 |

## 11.3 功能描述

### 11.3.1 AGC 运行控制

AGC 可以在两种模式下工作：AGC 下行(R1<5>=0)，AGC 上行(R1<5>=1)，如果选择 AGC 下行模式，AGC 只能在整个数据接收过程中降低增益，在这种模式下系统保持 RSSI 峰值。

当选择 AGC 上下模式时，RSSI 可以动态跟踪输入信号强度在两个方向上的变化。RSSI 同时适用于所有三个通道，并存储在 3 个寄存器中(R10<4:0>、R11<4:0>、R12<4:0>)。一旦 RSSI 稳定(在频率检测后 35 个载波周期之后最大)，通道选择器检查哪个通道接收最强信号。通道选择器比较活动通道上的 RSSI 值，并在具有较小 RSSI 的通道上冻结 AGC。从此时起，AGC 仅在所选通道上处于活动状态。

可以通过发送 CLEAR_WAKE(将芯片设置为监听模式)信号或 RESET_AGC 命令，让芯片返回监听模式，激活所有通道上的 AGC。

两种 AGC 模式(仅向下或向下和向上)也可以在时间限制下运行。此选项只允许在频率检测成功(在 Carrier Burst 期间)后的 256us 中进行运行，时间到后将冻结 RSSI 运行，直到 CLEAR_WAKE 或 Reset_RSSI 发生。

Reset_RSSI 命令仅重置 VGA 设置，但不清楚频率识别位的状态。这意味着，如果信号仍

然存在，新的 AGC 运行得到稳定的 RSSI 值，所需要的时间将不超过 35 个载波周期。

如果在数据接收阶段，3.5 个曼彻斯特“symbol”期间没有检测到载波，则将重置 AGC 的设定。

### 11.3.2 内部主控电路

如表 11-1 所示，通过设置 EN_A<3:1>，来选择通道放大器，对应的输出是 EN_AMP1/2/3，当芯片运行在低功耗监听模式时，将通过控制 EN_AMP1/2/3，来实现对通道放大器开关的控制。

主控电路还具有 RSSI 比对功能，通过 CS_AMP1/2/3 和 AMP1/2/3_RSSI_EN 实现对最大 RSSI 值那一通道的选择控制。

三通道只要有一路通道检测到指定的频率，输出引脚 F_OK_OR123 都会显示为高电平。

### 11.3.3 时钟选择

通过设置 EN_EXT_CLK、EN_XTAL 分别选择外部时钟和晶振时钟，如果这两个全部不使能，则默认选择内部 RC 振荡器产生时钟。

### 11.3.4 时间窗口

产生与载波频率相关的时间窗口，如表 11-2 所示。

表 11-2 时钟选择与时钟窗口发生器

| Name | PIN Type | Default | Description |
|---|---|---|---|
| BAND_SEL<2:0> | R8<7:5> | 2'b000 | 频带选择 |
| EN_EXT_CLK | R2<6> | 1'b0 | 外部时钟选择使能 |
| EN_XTAL | R1<0> | 1'b0 | 晶振选择使能 |

# 12 时钟发生器

## 12.1 概述

PAN3501 芯片的时钟发生器可以基于晶体振荡器(R1<0>=1)、内部 RC 振荡器(R1<0>=0)或外部时钟源(R1<0>=1)。晶体振荡器具有较高的频率精度和较高的电流消耗，需要三个外部元件(晶体和两个电容器)。RC 振荡器是完全集成的，可以校准，以提高其精度。外部的数字时钟可以直接应用到 XOUT 引脚(XIN 到 VDD)。

无论选择哪个时钟发生器，时钟发生器的频率必须根据载波频率来设置。表 12-1 显示了时钟发生器频率与载波频率和工作频带的关系。

表 12-1 内部时钟与载波频率关系

| 载波频率（KHz） | 时钟频率 |
|---|---|
| 95-150 | $f_{RC} = f_{carrier} \cdot \frac{1}{4}$ |
| 65-95 | $f_{RC} = f_{carrier} \cdot \frac{3}{8}$ |
| 40-65 | $f_{RC} = f_{carrier} \cdot \frac{5}{8}$ |
| 23-40 | $f_{RC} = f_{carrier} \cdot \frac{9}{8}$ |
| 15-23 | $f_{RC} = f_{carrier} \cdot \frac{14}{8}$ |

通过设置 R2<3:2>=11 和 R16<7>=1，可以在 CL_DAT 引脚显示时钟发生器的频率。

## 12.2 RC 校准模块接口相关配置

表 12-2 RC 校准模块

| Name | PIN Type | Default | Description |
|---|---|---|---|
| CALIB_RCO_LC | B<13:8> | 6'b5 | 使用载波频率做校正 |
| RC_OSC_MAX | R16<4> | 1'b0 | RC 振荡器设置为最大频率 |
| RC_OSC_MIN | R16<5> | 1'b0 | RC 振荡器设置为最小频率 |
| TRIM_OSC | B<13:8> | 6'b3 | 使用外部时钟校正时钟 |
| RC_CAL_KO | R14<6> | | RC 校正不成功 |
| RC_CAL_OK | R14<7> | | RC 校正成功 |
| RC_TAPS<5:0> | R14<5:0> | | 校正的控制位 |

## 12.3 功能描述

### 12.3.1 晶体振荡器

如果用户决定使用晶体振荡器作为参考时钟，则可以使用 32.768 kHz 的晶振作为时钟频率，以便放宽频率检测的公差设置(R2<1:0>=00)。如果 PAN3501 芯片在 23-40 kHz 带宽内工作，那么建议不要使用 Xtal 振荡器以避免输入天线和晶振之间的耦合。

### 12.3.2 RC 振荡器

如果没有使能 Pattern 检测和曼彻斯特解码器(R1<1>=0 和 R1<3>=1)，则不需要对 RC 振荡器进行校准。如果启用，则必须对 RC 振荡器进行校准。RC 振荡器的校准可以通过以下两种不同的方式进行：

（1） 通过 SPI，MCU 必须能够提供参考时钟的 65 个时钟脉冲。在这种情况下，主机必须具有精确的参考时钟(晶振，谐振器等)。·

（2） 使用基于天线谐振器的内部校准程序。使用这种校准方法，RC 振荡器根据工作频带自动调整到适当的频率。校准的精度取决于与 LF1P 连接的第一通道谐振器(LC)的公差。

通过 SPI 校准。由于芯片上没有非易失性存储器，所以每次更换电池后都必须进行校准。从表 12-1 定义的时钟频率与载波频率的关系，可以看出选择的校准时钟频率取决于载波频率。

在通过 SPI 校准 RC 振荡器时，需要先将片选(CS)设置为高，然后再通过 SPI 发送直接命令 Calib_RCosc。必须通过时钟总线(SCLK)上发送 65 个数字时钟周期(例如，125 kHz/4=31.25kHz)的参考时钟。在此之后，片选(CS)必须被拉低。校准在第 65 个参考时钟边沿之后有效，并将其校准值存储在寄存器 R14<5:0>中。

如果 RC 振荡器被关闭或发生上电复位(例如电池更换)，则必须重复校准。

自校准方式。此时连接到通道 LF1P 的 LC 天线的谐振器作为参考时钟，内部 LC 谐振器通过多路复用器连接到外部 LC 天线。

LC 振荡器产生的时钟频率将接近载波频率。振荡频率与 LC 时间常数之间的数学关系为：

$$F_{LC} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

在 SPI 上发送 Calib_RCO_LC 命令开始校准，当位 R14<7>为高电平时，对 RC 振荡器进行校准。

### 12.3.3 外部时钟源

要使用外部信号作为 PAN3501 的时钟发生器，需要使能外部时钟发生器（R2<6>=1）和晶体振荡器（R1<0>=1）。

# 13 参考原理图

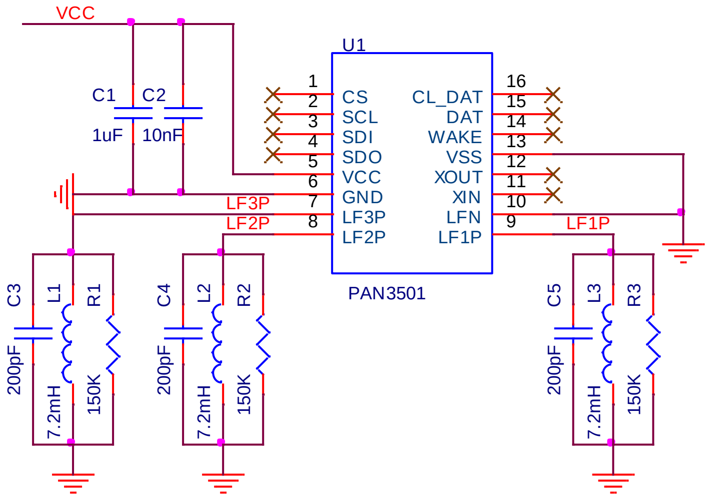


图 13-1 PAN3501 参考原理图（内部 RC 作为时钟）

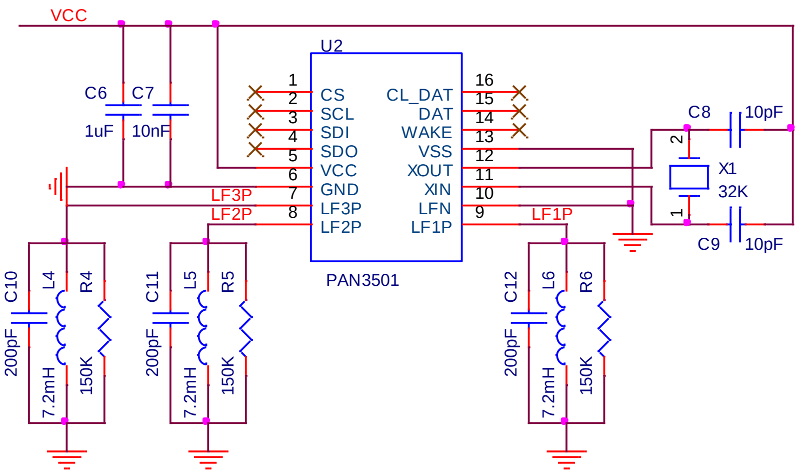


图 13-2 PAN3501 参考原理图（外部晶体作为时钟）

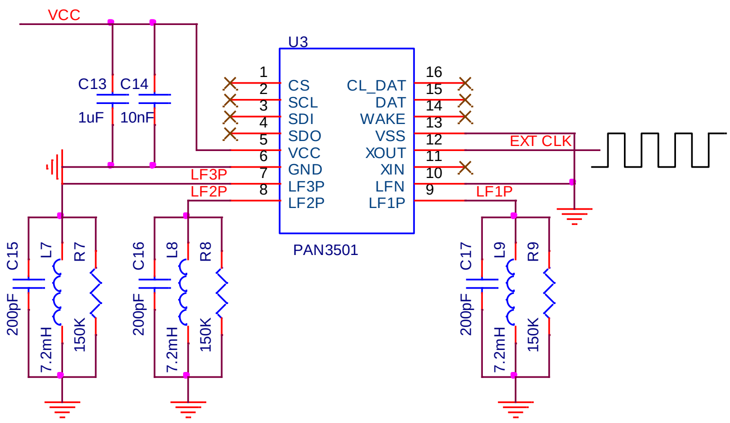


图 13-3 PAN3501 参考原理图（外部时钟输入作为时钟）

# 14 封装尺寸

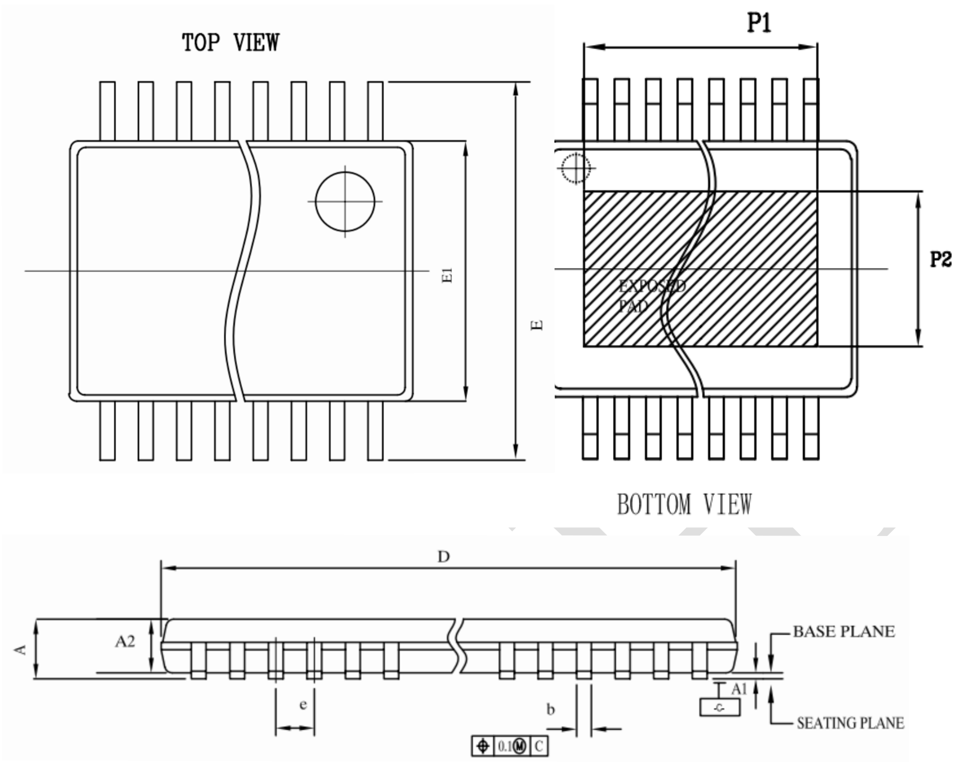


图 14-1 PAN3501 封装图

表 14-1 PAN3501 TSSOP16 封装尺寸

| 符号 | 最小 | 最大 |
|---|---|---|
| A | | 1.20 |
| A1 | 0.05 | 0.15 |
| A2 | 0.80 | 1.05 |
| E | 6.25 | 6.55 |
| E1 | 4.30 | 4.50 |
| D | 4.90 | 5.10 |
| L | | 1.00 |
| L1 | 0.45 | 0.75 |
| e | 0.65 | |
| b | 0.19 | 0.30 |
| R1 | 0.15 TYP | |
| R2 | 0.15 TYP | |
| A-A | 0.09 | 0.20 |
| Ø1 | 12° TYP | |
| Ø2 | 12° TYP | |
| Ø3 | 0 | 8 |

# 15　注意事项

（1）该产品属 CMOS 器件，在储存、运输、使用过程中要注意防静电。

（2）器件使用时接地要良好。

（3）回流焊温度不能超过 260℃。

# 16 储存条件

（1）产品在密封包装中储存：温度小于 30℃ 且湿度小于 90%时，可达 12 个月。

（2）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：

1) 在 72 小时内且工厂环境为小于 30℃≤60%RH 完成；
2) 保存在 10%RH 环境下；
3) 使用前进行 125℃，24H 烘烤去除内部水汽。