

BR1601B02

规格书

2023.12.22
Version 1.2



版本记录

版本	修改内容	修改日期	修改人
1.0	初始版本	2023-02-18	徐永强
1.1	更新蓝牙规格书	2023-06-27	Sweet
1.2	更新MOQ	2023-12-22	Sweet

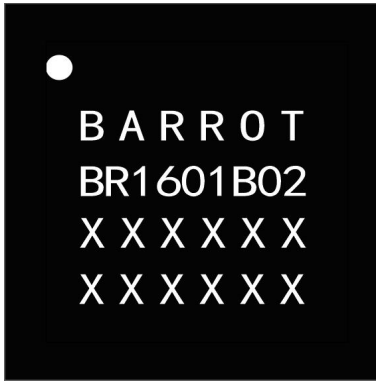
Barrot Confidential

目录

1. 芯片框图	7
2. 管脚图	8
3. 管脚定义	8
3.1. 管脚描述	8
4. 功能描述	12
4.1. 处理器内核	12
4.2. 存储器	13
4.3. 串行外设接口(SPI)	14
4.4. 通用同步异步收发器(USART)	14
4.5. 串行音频接口(I2S)	16
4.6. I2C 总线接口	17
4.7. 通用输入输出口(GPIO)	18
4.8. 按键扫描(KEYSCAN)	19
4.9. 通用模拟/数字转换器(ADC)	19
4.10. 音频模拟/数字转换器(ADC)	20
4.11. 低功耗模式	20
4.12. 外部中断/事件控制器(EXTI)	20
4.13. 直接存储器存取(DMA)	20
4.14. 循环冗余校验计算单元(CRC)	21
4.15. 时钟系统	21

4.16.	实时时钟(RTC)	21
4.17.	红外控制器(IRC)	22
4.18.	调试口(SWD)	22
4.19.	定时器和看门狗	22
5.	电气特性	25
5.1.	测试条件	25
5.2.	绝对最大额定值	27
5.3.	工作条件	28
6.	参考电路和画板设计	46
7.	封装尺寸	46
8.	包装	48
9.	公司简介	48
10.	联系我们	49
11.	版权	49

Barrot Confidential



说明

BR1601B02 是一颗支持蓝牙 BLE 5.4 版本的系统级芯片。包含一颗 32 位高性能低功耗处理器(RISC)，主频高达 64MHz，内置 48K 字节休眠可保持 SRAM，512K 字节 Flash 程序存储器,具有低功耗，高性能特性。

BR1601B02 集成先进的 BLE5.4 射频收发器，符合蓝牙 BLE5.4 规范，可配置为标准的 1Mbps BLE 模式，2Mbps 增强 BLE 模式，125kbps BLE 远程模式(S8)，500kbps BLE 远程模式(S2)。支持 AOA(到达角)和 AOD(离去角)，支持 RSSI(接收器信号强度指示)，支持主从角色，支持多连接，支持数据包长度扩展，支持 KEYSKAN，IRC，10 位 1.33Msps 通用 ADC，16 位 16kHz 音频 ADC，支持模拟 MIC 输入，PGA 放大，支持基本、通用、高级 TIMER，RTC，WWDG，IWDG，LPUART，USART，SPI，I2C 等外设。

处理器

- ◆ 32 位 RISC,最高工作主频 64MHz
- ◆ 支持 SWD 接口升级程序
- ◆ 支持调试模式

电源管理

- ◆ 支持供电范围 1.8V~3.6V
- ◆ 内置降压 DCDC 和 LDO
- ◆ 电源电压检测
- ◆ 接收电流：3.8mA@3.3V
- ◆ 发射电流：4.2mA @0dBm/3.3V
- ◆ Sleep 模式(48KB RAM 保持)：1.4μA@3V

- ◆ 掉电模式(仅唤醒脚和复位可唤醒)：130nA

软件

- ◆ 完全兼容蓝牙 BLE5.1 标准,优化功耗的协议栈和蓝牙控制器。
- ◆ 支持蓝牙应用协议和外设例程
- ◆ 支持空中升级程序

内存

- ◆ 48K 字节 SRAM
- ◆ 512K 字节 FLASH

时钟

- ◆ HSE: 32MHz 外部高速晶体
- ◆ LSE: 32.768KHz 外部低速晶体
- ◆ HSI: 64MHz 内部高速 RC 振荡器
- ◆ LSI: 32KHz 内部低速 RC 振荡器
- ◆ 支持 1 路时钟输出，可配置为不同的时钟，4 分频后输出

外设

- ◆ 1 个高速 5 通道 DMA 控制器
- ◆ 2 个 USART 接口，最高速率 8 Mbps(可配置为 ISO7816，IrDA，LIN)
- ◆ 1 个 LPUART 接口，支持低功耗特性，Sleep 模式下最高通讯速率 9600bps，支持低功耗唤醒
- ◆ 2 个 SPI 接口，最高速率 16MHz，主从模式可配，可配置为 I2S
- ◆ 1 个 I2C 接口，最高速率 1 MHz，主从模式可配
- ◆ 21 个支持复用功能的 GPIO
- ◆ 支持上电/掉电/外部引脚复位
- ◆ 支持看门狗复位
- ◆ 1 个 16 位高级定时计数器，支持输入捕获、输出比较、PWM 输出以及正交编码信号解码等功能；有 4 个独立的通道，其中 3 个通道支持 6 路互补 PWM 输出
- ◆ 1 个 16 位通用定时计数器，支持输入捕获、输出比较、PWM 输出、单脉冲输出，有 4 个独立的通道
- ◆ 1 个 16 位基本定时计数器

- ◆ 1 个 24 位系统时间定时器
- ◆ 1 个 7 位窗口看门狗(WWDG)
- ◆ 1 个 12 位独立看门狗(IWDG)
- ◆ 1 个 10 位 1.33Msps 通用 ADC, 支持 5 路外部单端通道, 2 路内部通道
- ◆ 1 个 16 位 音频 ADC, 支持 1 路差分 MIC 输入
- ◆ 内置 PGA, 支持最大 128 倍放大
- ◆ MIC BIAS 电压支持 1.6V-2.3V 可调
- ◆ 1 个 IR 发送控制器, 支持可配置红外遥控协议
- ◆ 1 个 KEYSKAN 模块, 支持 8/10/13 个 GPIO 可配置为 44/65/104 个按键功能
- ◆ RTC 实时时钟, 支持闰年万年历, 闹钟事件, 周期性唤醒
- ◆ 支持硬件 CRC16、CRC32 运算

射频指标

- ◆ BLE 1Mbps 接收灵敏度: -97dBm
- ◆ BLE 2Mbps 接收灵敏度: -95dBm
- ◆ 可编程的发射机功率, 最大+8dBm
- ◆ 单端天线口

工作条件

- ◆ 工作温度范围: -40°C~+85°C

- ◆ 静电: ±2KV(人体模式)

封装

- ◆ QFN32(4mm x 4mm)

应用

- ◆ 智能家居和建筑自动化
- ◆ 连接电器、照明、锁、网关、安全系统
- ◆ 工业
- ◆ 物流、生产和制造、自动化、资产跟踪和管理、远程显示、电缆替换、人机接口、访问控制
- ◆ 零售
- ◆ 信标, 广告, 电子货架标签和价格标签, 销售点和支付系统
- ◆ 健康与医疗
- ◆ 温度计, 血糖和压力计, 体重秤, 生命监测, 助听器
- ◆ 运动与健身
- ◆ 采集运动监视器和健身跟踪器, 心率监视器, 跑步传感器, 自行车传感器, 运动手表, 健身房设备, 团队运动设备
- ◆ 遥控器、键盘和鼠标、游戏外设
- ◆ 配件
- ◆ 玩具, 跟踪器, 行李标签, 可穿戴设备

1. 芯片框图

BR1601B02 集成了电源管理，时钟电路，蓝牙基带，调制解调器和射频电路。微处理(CPU)通过 AHB 总线控制蓝牙基带，SRAM，DMA，FLASH，ADC，CRC，IRC。其他外设 CPU 通过 AHB 转 APB 桥接来控制。

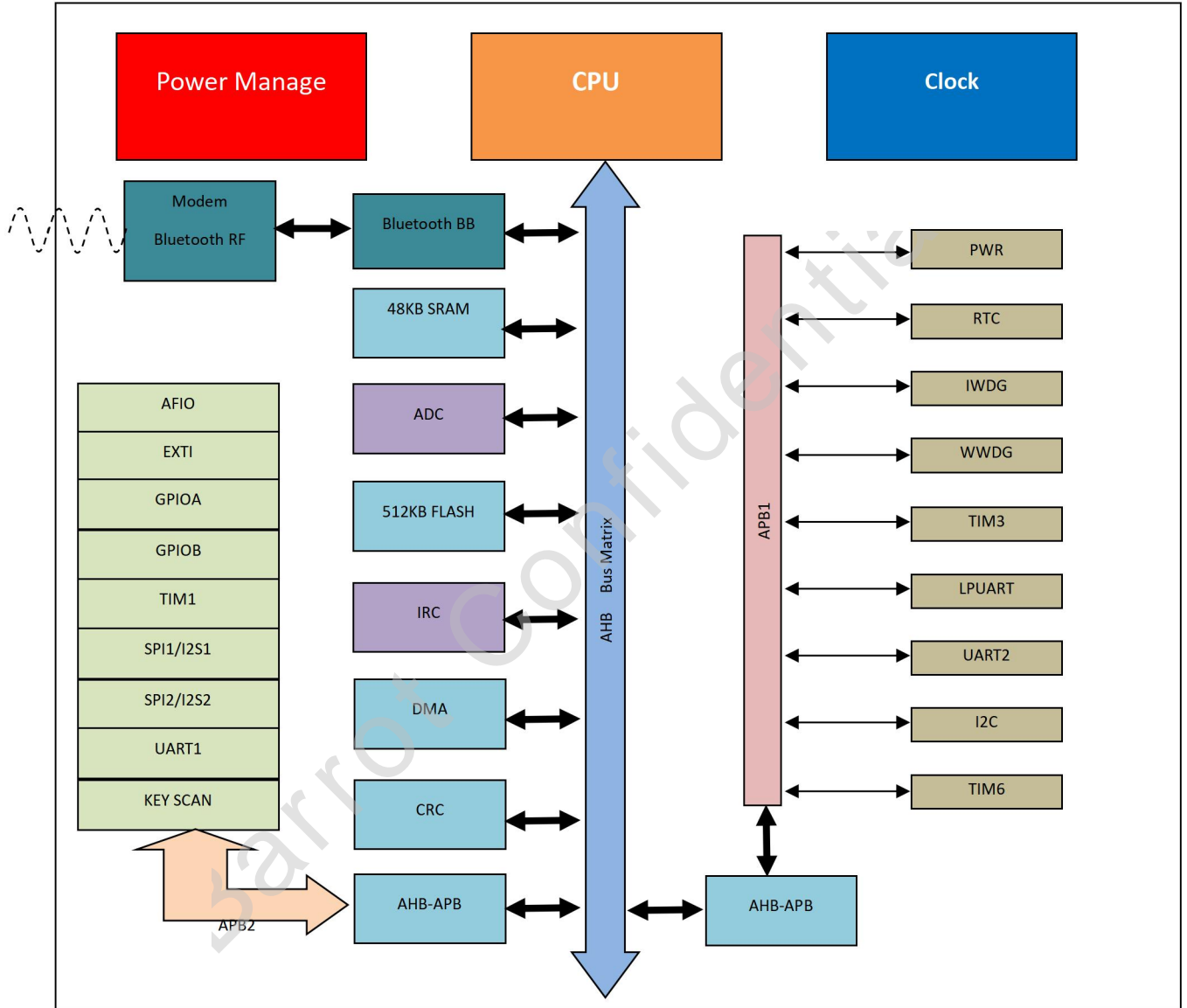


图 1 BR1601B02 框图

2. 管脚图

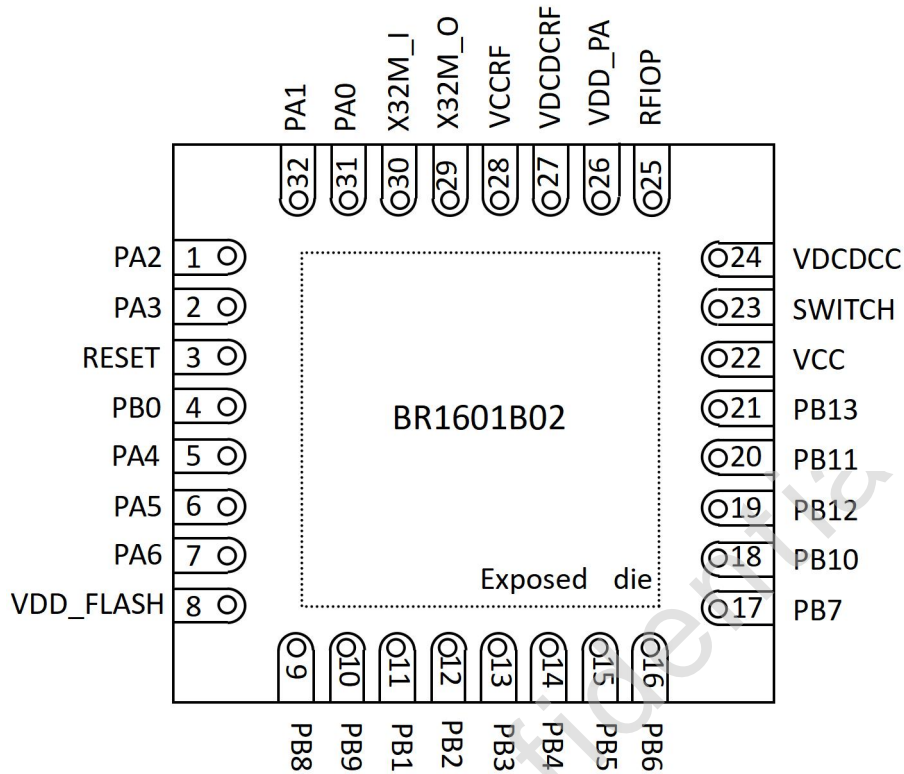


图 2 BR1601B02 管脚顶视图

3. 管脚定义

3.1. 管脚描述

表 1 BR1601B02 管脚符号描述

符号	描述
I	输入
O	输出
I/O	双向
OD	开漏
P	电源
G	地
AIO	模拟端口

表 2 BR1601B02 管脚描述

管脚名称 (默认功能)	编号	IO类型	复用功能	功能描述
PA2	1	I/O	SPI1_MOSI(I2S1_SD) KEY3	-
PA3	2	I/O	SPI1_MISO(I2S1_MCK) KEY4	-
RESET	3	AIO	-	-
PB0	4	I/O	TIM1_CH1 SPI2_NSS(I2S2_WS) USART1_RTS LPUART_RTS KEY11	-
PA4 (SWDCLK)	5	I/O	TIM1_CH3N USART1_TXD(7816_TX1) KEY9	-
PA5 (SWDIO)	6	I/O	TIM1_ETR USART1_RXD(7816_RST1) KEY10	-
PA6	7	I/O	TIM1_BKIN USART2_TXD USART1_CK(7816_CLK1) KEY5	-
VDD_FLASH	8	P	-	外挂2.2uF电容
PB8 (X32K_I)	9	I/O	TIM1_CH1 IIC_SDA USART1_RTS KEY7	ADC3
PB9 (X32K_O)	10	I/O	TIM1_CH2 IIC_SCL USART1_CTS KEY8	ADC2

PB1	11	I/O	TIM1_CH2 SPI2_CLK(I2S2_CLK) USART1_CTS LPUART_TXD KEY12 ANT_SW4	-
PB2	12	I/O	TIM1_CH3 SPI2_MOSI LPUART_RXD KEY13 ANT_SW5	-
PB3	13	I/O	TIM1_CH4 SPI2_MISO(I2S_MCK) LPUART_CTS PA_LDO_EN ANT_SW1	WAKEUP
PB4	14	I/O	SPI2_CLK(I2S2_CLK) TIM3_CH1(IRC_TX) USART2_TXD(7816_TX2) ANT_SW6	-
PB5	15	I/O	SPI2_MISO(I2S2_MCK) TIM3_CH2(IRC_RX) USART2_RXD(7816_RST2) RCC_MCO ANT_SW7	-
PB6	16	I/O	SPI2_MOSI(I2S2_SD) TIM3_CH3 IIC_SDA USART1_TXD SWDCLK ANT_SW2	ADC5
PB7	17	I/O	SPI2_NSS(I2S2_WS) TIM3_CH4	ADC4

			IIC_SCL USART1_RXD SWDIO ANT_SW3	
PB10	18	I/O	TIM1_CH3 LPUART_RTS USART2_RXD IIC_SMBA KEY6	ADC1
PB12	19	I/O	TIM1_CH1N LPUART_TXD USART2_CTS	AMIC_BIAS
PB11	20	I/O	TIM1_CH4 LPUART_RXD USART2_RTS IIC_SMBA	AMIC_N
PB13	21	I/O	TIM1_CH2N LPUART_CTS USART2_CK	AMIC_P
VCC	22	P	-	芯片电源
SWITCH	23	P	-	DCDC外部接口
VDCDC	24	P	-	DCDC输出
RFIOP	25	AIO	-	天线端口
VDD_PA	26	P	-	PA电源
VDCDCRF	27	P	-	DCDC输出, 与 VDCDC接在一起
VCCRF	28	P	-	芯片电源
X32M_O	29	AIO	GPIO31	外部32MHz晶体
X32M_I	30	AIO	GPIO32	外部32MHz晶体
PA0	31	I/O	SPI1_NSS(I2S1_WS) KEY1	-

PA1	32	I/O	SPI1_CLK(I2S1_CLK) KEY 2	-
Ground PAD	-	P	-	地

注意：复位后，I/O 端口处于模拟输入模式。除了以下信号：

- RESET：处于上拉输入
- PA4：SWCLK 处于下拉输入模式
- PA5：SWDIO 处于上拉输入模式

4. 功能描述

4.1. 处理器内核

BR1601B02 集成了 32 位的 RISC 内核。处理器运行蓝牙协议栈和所有用户应用程序。

4.2. 存储器

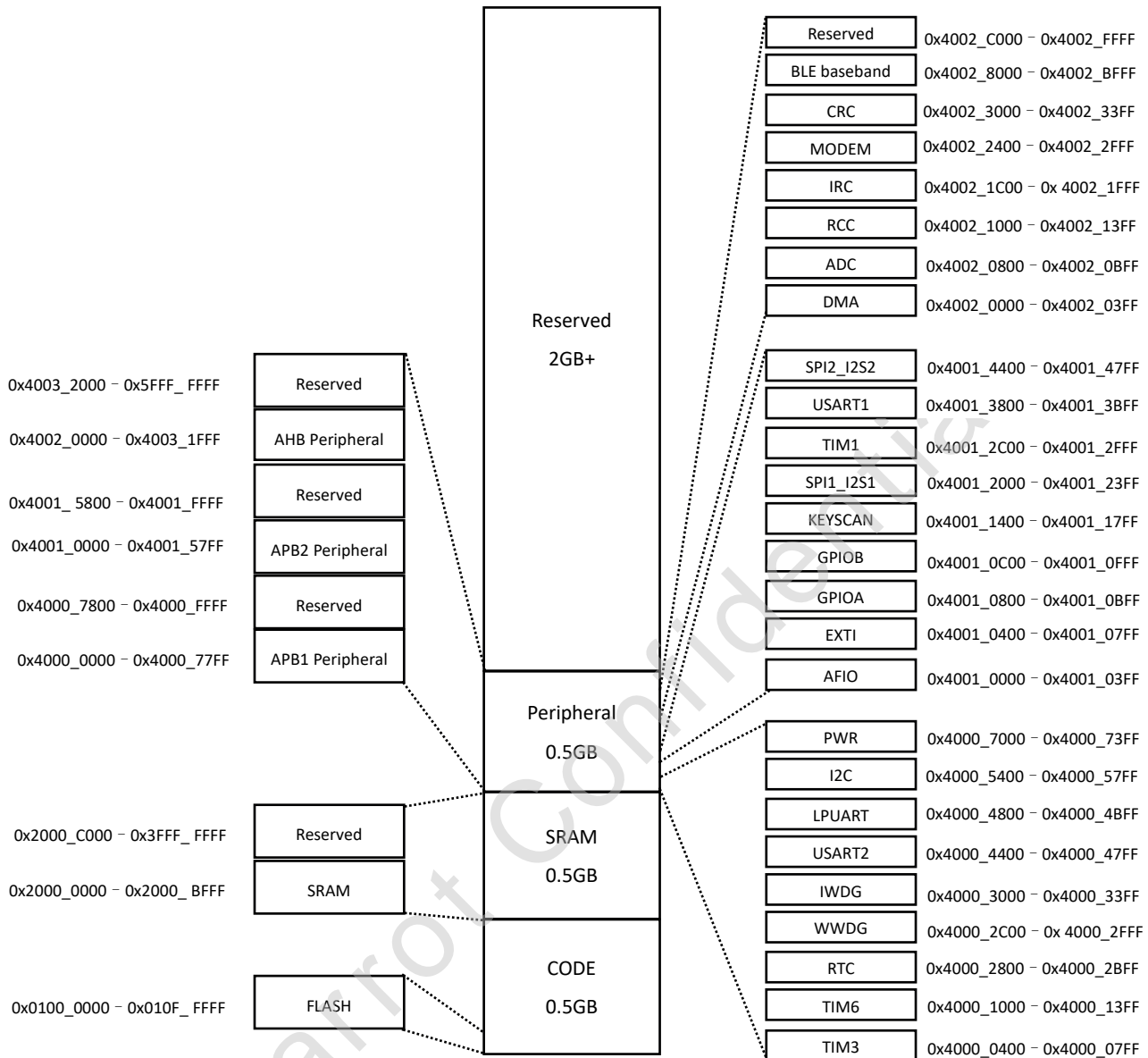


图 3 BR1601B02 存储器映射图

4.2.1. FLASH

512K 字节的 Flash，程序运行最大空间 256K 字节。

4.2.2. SRAM

48K 字节的 SRAM，Sleep 模式下可以全保持。

4.3. 串行外设接口(SPI)

本芯片提供 2 个 SPI 接口，这些接口支持半双工或全双工通信。用户可以将其配置为主模式，多主模式，从模式。此外，接口还提供 CRC 校验功能，以确保可靠的通信。

主要功能如下：

- 全双工同步传输
- 传输帧格式可选择 8 或 16 位
- 支持主模式或从模式
- 支持多主模式
- 主模式和从模式的快速通信
- 主模式和从模式下 NSS 均支持软件或硬件控制：可动态改变主/从操作模式
- 时钟极性和相位可编程
- 数据顺序可编程，MSB 在前或 LSB 在前
- 可触发中断的专用发送和接收标志
- SPI 总线忙状态标志
- 支持硬件 CRC
 - 在发送模式下，CRC 值可以被作为最后一个字节发送
 - 在全双工模式中对接收到的最后一个字节自动进行 CRC 校验
- 主模式故障、过载以及 CRC 错误标志可触发中断
- 支持 DMA 功能的单字节发送和接收缓冲器：产生发送和接受请求
- 最高速率：16Mbps

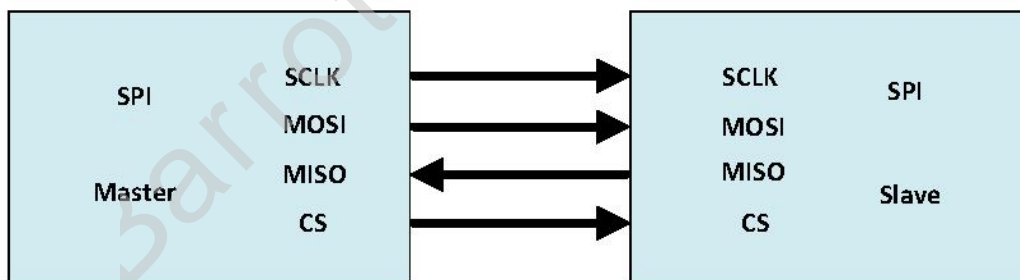


图 4 SPI 连接

4.4. 通用同步异步收发器(USART)

本芯片集成了 3 个串行收发接口，其中包括 2 个通用同步/异步收发器(USART1、USART2)和 1 个通用异步收发器(LPUART)，支持低功耗特性。USART1、USART2 支持同步/异步通信，并支持 IrDA SIR ENDEC 传输编解码、多处理器通信模式、单线半双工通信模式以及 LIN 主/从功能。USART1 和 USART2 接口具有硬件的 CTS 和 RTS 信号管理功能，同时还兼容 ISO7816 的智能

卡模式。此外，所有接口都支持 DMA 操作。

USART 主要特性如下：

- NRZ 标准格式
- 波特率可编程，最高达 4Mbits/s，支持分数波特率
- 数据字长度(8 位或 9 位)可编程
- 停止位可配置为 1 或 2 个
- LIN 主模式具备发送同步断开符的能力以及 LIN 从模式具备检测断开符的能力，当 USART 硬件配置成 LIN 时，生成 13 位断开符，检测 10/11 位断开符
- 输出用于同步传输的时钟
- IRDA SIR 编码器解码器，在正常模式下，支持 3/16 位的持续时间
- 智能卡模拟功能
 - 支持 ISO7816-3 标准定义的异步智能卡协议
 - 支持智能卡用到的 0.5 和 1.5 个停止位
- 单线半双工通信
- 可配置的 DMA 的多缓冲器通信，在 SRAM 里利用 DMA 缓冲接收/发送字节
- 发送器、接收器使能位独立
- 状态标志
 - 接收缓冲器满
 - 发送缓冲器空
 - 传输结束标志
- 校验支持
 - 发送校验位
 - 校验接收数据
- 错误检测标志
 - 溢出错误
 - 噪音错误
 - 帧错误
 - 校验错误
- 10 个 USART 中断源
 - CTS 改变
 - LIN 断开符检测
 - 发送数据寄存器空
 - 发送完成
 - 接收数据寄存器满
 - 检测到总线为空闲

- 溢出错误
- 帧错误
- 噪音错误
- 校验错误
- 多处理器通信，如果地址不匹配，则进入静默模式
- 从静默模式中唤醒（通过检测总线空闲或检测地址标志）
- 两种唤醒接收器的方式：地址位(MSB，第 9 位)，总线空闲

模式配置：

表 3 BR1601B02 串口支持功能表

通信模式	USART1	USART2	LPUART
异步模式	支持	支持	支持
硬件流控控制	支持	支持	支持
多缓存通讯(DMA)	支持	支持	支持
多处理器通讯	支持	支持	不支持
同步	支持	支持	不支持
半双工(单线模式)	支持	支持	不支持
智能卡	支持	支持	不支持
IrDA	支持	支持	不支持
LIN	支持	支持	不支持

4.5. 串行音频接口(I2S)

I2S 是一种数字音频传输标准，它使用 3 个引脚进行同步串行通信，并可工作于主从模式。在传输音频数据时，它支持 16 位、24 位或 32 位数据宽度，并可配置为输入或输出通道。此外，I2S 支持四种音频标准，包括飞利浦 I2S 标准、MSB 和 LSB 对齐标准、PCM 标准。I2S 还支持广泛的音频采样频率范围，从 8kHz 到 96kHz 不等。该标准已经广泛应用于音频处理器、数字信号处理器和音频解码器之间的连接，以及音频设备、智能家居、汽车音响等领域。

I2S 支持半双工通信，可工作在主、从两种模式下。作为主设备时，向外部的从设备提供时钟信号。

I2S 接口的主要功能如下：

- 半双工通信
- 主、从模式
- 8 位可编程预分频器，产生精确的音频采样频率(8kHz 到 96kHz)
- 数据格式 (16 位、24 位或者 32 位)
- 音频信道固定数据帧为 16 位(16 位数据帧)或 32 位(16、24 或 32 位数据帧)

- 时钟极性可编程
- 从发送模式下的下溢标志位和主/从接收模式下的溢出标志位
- 通道两端各有一个 16 位寄存器用来发送和接收
- I2S 协议支持
 - I2S 飞利浦标准
 - MSB 对齐标准(左对齐)
 - LSB 对齐标准(右对齐)
 - PCM 标准(16 位通道帧上带长或短帧同步或者 16 位数据帧扩展为 32 位通道帧)
- 数据方向总是 MSB 在先
- 发送和接收都具有支持 DMA

4.6.I2C 总线接口

I2C 总线是一种两线通讯接口，本接口支持多主机功能，控制 I2C 总线时序、协议、仲裁和定时。支持多种通信速率(最高支持 1MHz)，支持 DMA，同时兼容 SMBus 2.0。I2C 单元有多种用途，包括 CRC 码的生成和校验、SMBus(系统管理总线—System Management Bus)和 PMBus(电源管理总线—Power Management Bus)。

I2C 接口的主要功能如下：

- 多主机功能：既可做主设备也可做从设备
- I2C 主设备
 - 产生时钟
 - 产生起始和停止信号
- I2C 从设备
 - 设备地址可编程
 - 支持 7 位或 10 位寻址
 - 7 位从模式下支持双从地址响应
 - 停止位检测
- 产生和检测 7 位/10 位地址和广播呼叫
- 通讯速度支持
 - 标准(高达 100kHz)
 - 快速(高达 400kHz)
 - 快速+(高达 1MHz)
- 支持多种状态标志
 - 发送器/接收器模式标志
 - 字节发送结束标志

- I2C 总线忙标志
- 支持多种错误标志
 - 主模式时的仲裁丢失
 - 地址/数据传输后的应答(ACK)错误
 - 检测到错位的起始或停止条件
 - 禁止拉长时钟功能时的上溢或下溢
- 1 个中断向量：
 - 事件中断和错误中断共用一个中断向量
- 可选的拉长时钟功能
- 支持单字节缓存器的 DMA
- 可配置的 PEC(信息包错误检测)的产生或校验
 - 发送模式中 PEC 值可以作为最后一个字节传输
 - 接收模式中接收最后一个字节的 PEC 错误校验
- 兼容 SMBus 2.0
 - 25ms 时钟低超时延时
 - 10ms 主设备累积时钟低扩展时间
 - 25ms 从设备累积时钟低扩展时间
 - 带 ACK 控制的硬件 PEC 产生/校验
 - 支持地址分辨协议(ARP)
- 兼容 SMBus

4.7. 通用输入输出(GPIO)

GPIO 通用型 I/O 和复 AFIO 用功能 I/O。芯片最多支持 21 个 GPIO，这些 GPIO 被分为两组 (GPIOA 和 GPIOB)，其中 A 组有 7 个端口，B 组有 14 个端口。这些 GPIO 与其他外设共享引脚，用户可对其进行灵活配置。每个 GPIO 可独立地配置为输出、输入或复用的外设功能端口，此外，它们还具备较高的电流通过能力。

GPIO 主要特性如下：

- GPIO 端口模式：
 - 浮空输入。
 - 上拉输入。
 - 下拉输入。
 - 模拟功能。
 - 开漏输出。
 - 推挽输出。

- 推挽式复用。
- 开漏式复用。
- 单独的置位或清零功能。
- 所有 IO 支持外部中断。
- 所有 IO 支持休眠唤醒，上升或下降沿可配置。
- 8 个 EXTI 可用于休眠唤醒，所有 I/O 可复用为 EXTI。
- PB3 可用作 PowerDown 模式唤醒 IO，上升沿唤醒。
- 支持 I/O 复用功能软件重新映射。
- 支持 GPIO 锁定机制，复位方式清除锁定状态。
- 每个 I/O 端口寄存器位可以任意编程，但必须按照 32 位字访问。

4.8. 按键扫描(KEYSCAN)

支持 8/10/13 个 IO 口，分别对应 44/65/104 个按键。

支持按键消抖可配置。

支持三种模式扫描：自动扫描，软件扫描，低功耗。

- 自动模式：可配置成固定时间间隔的自动扫描方式。
- 软件模式：通过软件触发的扫描方式。
- 低功耗模式：可配置成检测按键按下时启动一轮共计三次的扫描方式。

4.9. 通用模拟/数字转换器(ADC)

支持 10 位 1.33Msps 通用 ADC。

有多达 7 个通道，5 个外部单端和 2 个内部通道。内部通道包括 VCC 检测通道和温度传感器通道。5 个外部通道，通道 1(PB10)，2(PB9)检测范围 0V-1V，通道 3(PB8)，4(PB7)，5(PB6)检测范围 0V-3.6V，其中通道 3(PB8)，4(PB7)，5(PB6)的输入电压 $\leq VCC+300mV$ 。

通用 ADC 主要特性描述如下：

- 支持 1 个 ADC，可测量 5 个外部单端，1 个差分 MIC 和 2 个内部通道，输入通道可选
- 内部通道支持 TempSensor、VCC
- 10 位 1.33Msps ADC
- 支持单次和连续转换模式
- 通道转换期间可配有 DMA 请求产生
- 模拟看门狗特性允许应用程序检测输入 PB10 电压是否超出用户定义的高/低阈值
- 转换结束、发生模拟看门狗事件时产生中断

4.10. 音频模拟/数字转换器(ADC)

支持为 16 位 16kHz 音频 ADC，支持单端或差分 AMIC，内置 PGA，增益最大 42dB。提供电压可调节的 MICBIAS 给 MIC 供电，输出 1.6V~2.3V 可选。

音频 ADC，利用内置的可编程增益放大器(PGA)和麦克风偏置，MIC 信号通过 PGA 放大，然后通过模拟 ADC 转换为数字信号，通过音频输入控制(低通抽取滤波及可选的能量与过零检测)后，音频数据通过 DMA 存储到系统 RAM 中，最终输出 16 位 16kHz 音频信号格式数据。

音频 ADC 主要特性描述如下：

- 支持 AMIC 输入，麦克风偏置可调
- PGA 支持单端或差分输入，增益可调
- 支持数字滤波器噪声滤波
- 音频 ADC 输出数据存储于 16 位数据寄存器中。

4.11. 低功耗模式

BR1601B02 支持四种低功耗模式

- Idle 模式

此模式下 CPU 停止运行，所有外设处于工作状态并可发生中断/事件来唤醒 CPU。

- Standby 模式

电源正常运行，CORE 电源域关电，BLE 可运行。

- Sleep 模式

高速时钟关闭，电源运行在低功耗模式，CORE 电源域关电，BLE 关电。

- PD(PowerDown)模式

所有系统关闭，仅 WAKEUP IO 及 RESET 可唤醒。

4.12. 外部中断/事件控制器(EXTI)

本芯片的外部中断/事件控制器共包含 14 个边沿检测电路，用于产生中断/事件请求。每个中断线都可以独立地配置为事件或中断，并支持上升沿、下降沿或双边沿 3 种触发类型。同时，每个中断线也可以独立地被屏蔽。设备的挂起寄存器保持着状态线的中断请求，并且通过在挂起寄存器的对应位写入‘1’，清除相应的中断请求。

4.13. 直接存储器存取(DMA)

本芯片内置 1 个通用 5 通道 DMA 控制器，可管理存储器到存储器、外设到存储器和存储器到外设的数据传输。每个通道都带有专门的硬件 DMA 请求逻辑，并且可以由软件触发。此外，每个通

道的传输长度、源地址和目标地址都可以由软件单独设置。DMA 控制器支持的外设，包括 SPI、I2S、I2C、USART，以及通用、基本和高级控制定时器 TIMx 和 ADC。

4.14. 循环冗余校验计算单元(CRC)

本芯片集成了 CRC32 和 CRC16 电路单元，循环冗余校验(CRC)电路单元根据固定的生成多项式得到 CRC 计算结果。

CRC 的主要特性：

- CRC16: 多项式 $X^{16}+X^{15}+X^2+X^0$
- CRC16 计算时间: 1 个 AHB 时钟周期(HCLK)
- CRC32: 多项式 $X^{32}+X^{26}+X^{23}+X^{22}+X^{16}+X^{12}+X^{11}+X^{10}+X^8+X^7+X^5+X^4+X^2+X+1$
- CRC32 计算时间: 4 个 AHB 时钟周期(HCLK)
- 可配置循环冗余计算初始值
- 支持 DMA

4.15. 时钟系统

2 个高速时钟：

- HSI 振荡器时钟(64MHz)
- HSE 振荡器时钟(32MHz)

2 个二级时钟源：

- LSI 振荡器时钟(32KHz)
- LSE 振荡器时钟(32.768KHz)

在系统上电/复位后，HSI 和 HSE 默认使能，系统时钟默认为 HSI；LSI 可用于驱动独立看门狗 IWDG 和配置成驱动 RTC、KEYSCAN 和 LPUART；LSE 可配置成驱动 RTC、KEYSCAN 和 LPUART。LSI/LSE 可用于从 Idle /Standby/Sleep/PowerDown 模式下唤醒系统。当不被使用时，任一个时钟源都可被独立地启动或关闭。

4.16. 实时时钟(RTC)

实时时钟(RTC)具有一组独立的连续计数的 BCD 定时器/计数器。在相应软件配置下，可提供日历的功能。同时通过编程，RTC 提供一个闹钟中断。

两个 32 位寄存器记录十进制格式(BCD)的时间，包括亚秒、秒、分钟、小时(12 或 24 小时格式)、天(星期几)、日(几号)、月和年。

单独的 32 位寄存器提供二进制格式的亚秒值。另外的 32 位寄存器提供可编程的秒、分钟、小时、天、日、月和年。

RTC 提供了在低功耗模式下唤醒系统的功能。

4.17. 红外控制器(IRC)

红外控制器可由软件配置为不同的编码格式，以实现不同的红外协议信号，支持软件红外自学习功能。

主要特性：

- 载波频率范围：30kHz~60kHz
- 支持脉冲宽度编码和脉冲距离编码
- 支持曼切斯特编码
- 支持无载波模式
- 支持 mark 码和 space 码的任意组合
- 提供了 16x21bit 宽的 Code FIFO 用于储存编码命令
- 支持命令重复发送功能
- 传输完成后产生中断

4.18. 调试口(SWD)

内嵌 SWJ-DP 接口。

4.19. 定时器和看门狗

本芯片配备了一个高级控制定时器、一个普通定时器和一个基本定时器，并且还具有两个看门狗定时器和一个系统嘀嗒定时器。

4.19.1. 基本定时器(TIM6)

基本定时器(TIM6)包含一个 16 位可自动装载计数器，由可编程预分频器驱动。

基本定时器的主要功能如下：

- 16 位自动重装载累加计数器。
- 16 位可编程(可实时修改)预分频器，对输入的时钟按系数为 1~65536 之间的任意数值分

频。

- 在更新事件(计数器溢出)时产生中断/DMA 请求。

4.19.2. 通用定时器(TIM3)

通用定时器具有一个 16 位的自动加载递加/递减计数器，并且配备一个 16 位的预分频器。此外，该定时器还具有 4 个独立的通道，每个通道都可以用于输入捕获（用于测量脉冲宽度）、输出比较、PWM 和单脉冲模式输出；

通用定时器的主要功能包括：

- 16 位向上、向下、向上/向下自动装载计数器
- 16 位可编程(可以实时修改)预分频器，计数器时钟频率的分频系数为 1~65536 之间的任意数值
- 4 个独立通道：
 - 输入捕获
 - 输出比较
 - PWM 生成(边缘或中间对齐模式)
 - 单脉冲模式输出
- 使用外部信号控制定时器和定时器互连的同步电路
- 如下事件发生时产生中断/DMA：
 - 更新事件：计数器向上溢出/向下溢出，计数器初始化(通过软件或者内部触发)
 - 触发事件(计数器启动、停止、初始化或者由内部触发计数)
 - 输入捕获
 - 输出比较
- 支持定位应用中使用的增量（正交）编码器和霍尔传感器电路
- 触发输入可以作为外部时钟使用，也可以用于按周期的电流管理

4.19.3. 高级控制定时器(TIM1)

高级控制定时器是由可编程预分频器驱动的 16 位自动装载计数器构成的，它支持多种功能，包括测量输入信号的脉冲宽度（输入捕获）或产生输出波形（输出比较、PWM、嵌入死区时间的互补 PWM 输出等）。通过使用定时器预分频器和 RCC 时钟控制预分频器，可以调节脉冲宽度和波形周期，范围从几个微秒到几个毫秒。

高级定时器的主要功能：

- 16 位向上、向下、向上/下自动装载计数
- 16 位可以实时修改的可编程预分频器，分频系数为 1~65536 之间的任意数值

- 定时器最高输入时钟支持 64MHz
- 4 个独立通道：
 - 输入捕获
 - 输出比较
 - PWM 生成(边缘或中间对齐模式)
 - 单脉冲模式输出
- 触发时间点软件可以配置 (PWM 整个周期内)
- 互补输出的死区时间可配置
- 使用外部信号控制定时器，多个定时器互联同步电路
- 可在指定数目的计数器周期之后更新定时器寄存器的重复计数器
- Break 输入信号可以将定时器输出信号置于复位状态或者一个已知状态
- 产生中断/DMA 的事件：
 - 更新：计数器向上溢出/向下溢出，计数器初始化(通过软件或者内部/外部触发)；
 - 触发事件(计数器启动、停止、初始化或者由内部/外部触发计数)；
 - 输入捕获；
 - 输出比较；
 - Break 信号输入
- 支持定位应用中使用的增量（正交）编码器和霍尔传感器电路；
- 触发输入作为外部时钟或者按周期的电流管理

4.19.4. 计数器

可以在调试模式下被冻结，同时禁止 PWM 输出，从而切断由这些输出所控制的开关。高级控制定时器可以通过定时器链接功能与 TIM 定时器协同操作，提供同步或事件链接功能。系统时基定时器(SysTick)

这个定时器既可以作为实时操作系统的专用定时器，也可以像标准的递减计数器一样使用。它具有以下特性：

- 24 位的递减计数器
- 自动重加载功能
- 当计数器为 0 时能产生一个可屏蔽系统中断
- 时钟源可编程

4.19.5. 看门狗定时器(WDG)

本芯片内含两个看门狗，独立看门狗(IWDG)和窗口看门狗(WWDG)。

独立看门狗(IWDG)

独立看门狗由一个 12 位的递减计数器和一个 8 位的预分频器构成，由独立的低速 RC 振荡器驱动，即使主时钟发生故障它也仍然有效。IWDG 一旦被激活，如果不在设定的时间内清除看门狗计数器，则在计数器计数至 0x000 时产生复位。

窗口看门狗(WWDG)

窗口看门狗通常被用来监测软件故障，即由外部干扰或不可预见的逻辑条件造成的应用程序背离正常的运行序列的故障。如果递减计数器的值在 T6 位变成 0 前没有被刷新，则看门狗电路在达到预置时间周期时会产生一个芯片复位。在递减计数器达到窗口寄存器数值之前，如果 7 位的递减计数器数值(在控制寄存器中)被刷新，也将产生一个芯片复位。这表明递减计数器需要在一个有限的时间窗口中被刷新。

主要特点:

- WWDG 由 APB1 时钟分频后作为时钟输入
- 可编程的递减计数器
- 条件复位
- 若看门狗被启动，当递减计数器的值小于 0x40 则产生复位；
- 若看门狗被启动，当递减计数器在窗口外被重新装载，则产生复位；
- 若看门狗被启动，并且允许中断，当计数器等于 0x40 时产生早期唤醒中断(EWI)，用于重新装载计数器以避免 WWDG 复位。

5. 电气特性

5.1. 测试条件

如无特别说明，所有电压都以 V_{SS} 为基准。

5.1.1. 最小和最大数值

如无特别说明，在生产线上通过对 100%的产品在环境温度 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 和 $T_A = T_{Amax}$ 下执行的测试(T_{Amax} 与选定的温度范围匹配)，所有最小和最大值将在最坏的环境温度、供电电压和时钟频率条件下得到保证。

在每个表格下方的注解中说明为通过实验室测试、设计模拟和/或工艺特性得到的数据，不会在生产线上进行测试；在实验室测试的基础上，最小和最大数值是通过样本测试后，取其平均值再加减三倍的标准分布(平均 $\pm 3\sigma$)得到。

5.1.2. 典型数值

除非特别说明，典型数据是基于 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 和 $V_{CC} = 3.3\text{V}$ ($1.8\text{V} \leq V_{CC} \leq 3.6\text{V}$ 电压范围)。这些数据仅用于设计指导而未经测试。

5.1.3. 典型曲线

除非特别说明，典型曲线仅用于设计指导而未经测试。

5.1.4. 负载电容

测量引脚参数时的负载条件示于下图中。

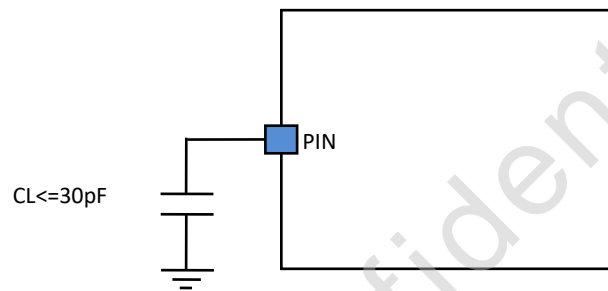


图 5 负载电容测试

5.1.5. 引脚输入电压

引脚上输入电压的测量方式示于下图中。

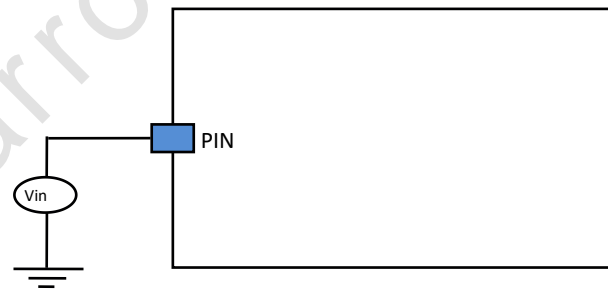


图 6 引脚输入电压测试

5.1.6. 供电方案

请参考 BR1601B02 参考电路图。

5.1.7. 电流消耗测量

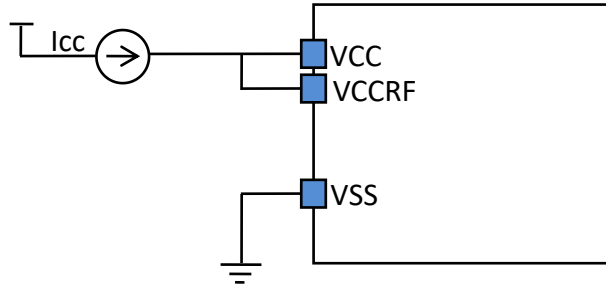


图 7 电流消耗测量

5.2. 绝对最大额定值

加在器件上的载荷如果超过下列表中给出的“绝对最大额定值”，可能会导致器件永久性地损坏。这里只是给出能承受的最大载荷，并不意味在此条件下器件的功能性操作无误。器件长期工作在最大值条件下会影响器件的可靠性。

表 4 电压特性

符号	描述	最小值	最大值	单位
VCC-VSS	外部主供电电压VCC(1)	-0.3	3.6	V
VIN	在其它引脚上的输入电压(2)	VSS-0.3	VCC+0.3	V
V ESD(HBM)	ESD静电放电电压(人体模型)	参考绝对最大值(电气敏感性)章节		

- 所有的电源(VCC)和地(VSS)引脚必须始终连接到外部允许范围内的供电系统上。
- IINJ(PIN) 绝对不可以超过它的极限(见下表)，即保证 VIN 不超过其最大值。如果不能保证 VIN 不超过其最大值，也要保证在外部限制 IINJ(PIN) 不超过其最大值。当 VIN <VSS 时，有一个反向注入电流。

表 5 电流特性

符号	描述	最大值	单位
IVCC	经过 VCC/VCCRF 电源线的总电流(供应电流) ⁽¹⁾	150	mA
IVSS	经过 VSS 地线的总电流(流出电流) ⁽¹⁾	150	
IIO	任意 I/O 和控制引脚上的输出灌电流	12	
	任意 I/O 和控制引脚上的输出电流	-12	
I _{INJ(PIN)} ⁽²⁾⁽³⁾	RESET 引脚的注入电流	±5	
	HSE 的 OSC_IN 引脚和 LSE 的 OSC_IN 引脚的注入电流	±5	
	其他引脚的注入电流 ⁽⁴⁾	±12	

$\Sigma I_{INJ(PIN)}^{(2)}$	所有 I/O 和控制引脚上的总注入电流 ⁽⁴⁾	± 150	
-----------------------------	------------------------------------	-----------	--

- 所有的电源(VCC, VCCRF)和地(VSS)引脚必须始终连接到外部允许范围内的供电系统上。
- $I_{INJ(PIN)}$ 绝对不可以超过它的极限, 即保证 V_{IN} 不超过其最大值。如果不能保证 V_{IN} 不超过其最大值, 也要保证在外部限制 $I_{INJ(PIN)}$ 不超过其最大值。
- 当几个 I/O 口同时有注入电流时, $\Sigma I_{INJ(PIN)}$ 的最大值为正向注入电流与反向注入电流的即时绝对值之和。

表 6 温度特性

符号	描述	数值	单位
T_{STG}	储存温度范围	-40 ~ + 125	°C
T_J	最大结温度	150	°C

5.3. 工作条件

5.3.1. 通用工作条件

表 7 通用工作条件

符号	参数	最小值	最大值	单位
f HCLK	内部AHB时钟频率	-	64	MHz
f PCLK1	内部APB1时钟频率	-	32	
f PCLK2	内部APB2时钟频率	-	64	
VCC	标准工作电压	1.8	3.6	V
VCCRF	模拟部分工作电压	1.8	3.6	V
T_A	环境温度	-40	85	°C
T_J	结温度范围	-40	105	°C

5.3.2. 上电和掉电时的工作条件

下表中给出的参数是依据上表列出的环境温度下测试得出。

表 8 上电和掉电工作条件

符号	参数	条件	最小值	最大值	单位
T_{VCC}	VCC上升速率	VCC=3.3V	20	∞	us/V
	VCC下降速率		100	∞	

5.3.3. 内嵌复位和电源控制模块特性

下表中给出的参数是依据表(通用工作条件)列出的环境温度下和 VCC 供电电压下测试得出。

表 9 内嵌复位和电源控制模块特性⁽¹⁾

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{BOR}	VCC 上电阈值电压	T _A =25°C	-	1.65 ⁽²⁾	-	V
	VCC 下电阈值电压	T _A =25°C	-	1.60 ⁽²⁾	-	
V _{BORhyst}	BOR 迟滞	T _A =25°C	-	20	-	mV

- 由设计保证，不在生产中测试。
- VCC 上电阈值电压 2.27V，下电阈值电压 2.25V。

5.3.4. DCDC 特性

DCDC 为内部电压产生模块，下表中给出的参数是依据表(通用工作条件)列出的环境温度下和 VCC 供电电压下测试得出。

表 10 内嵌 DCDC 电源管理模块特性⁽¹⁾

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
VCC	供电电压	-	-	3.3	-	V
VDCDC	DCDC 输出电压	-	-	1.15	-	V
I _{load}	DCDC 负载电流能力	输出电流@ VDCDC=1.15V	-	-	20	mA
η	DCDC 转化效率 ⁽²⁾	-	-	82.5	-	%
V _{RPL}	DCDC 输出电压波动	-	-	10	-	mV
L	DCDC 负载电感	-	1	2.2	10	uH
C _{OUT}	DCDC 负载电容	-	0.5	2	10	uF
t _{STAR}	DCDC 输出电压建立时间	-	-	90	-	uS

- 由设计保证，不在生产中测试。
- 测试使用的电感型号为 FDK MIPSZ1608G2R2PA，不同型号电感会导致 DCDC 效率有差异。

5.3.5. 供电电流特性

电流消耗是多种参数和因素的综合指标，这些参数和因素包括工作电压、环境温度、I/O 引脚的负

载、产品的软件配置、工作频率、I/O 脚的翻转速率、程序在存储器中的位置以及执行的代码等。电流消耗的测量方法说明，详见图(电流消耗测量方案)。

典型的电流消耗

表 11 睡眠模式下的典型电流消耗⁽¹⁾

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
I_{CC}	待机模式(Sleep)下的电流	低速时钟开启, 48K SRAM 保持, I/O 状态保持	-	1.6	3.8	uA
	PD 模式下的电流	VCC 保持, WAKEUP IO 及 RESET 可唤醒	-	0.13	1.0	uA

- 测试条件是 $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ 、 $V_{CC} = 3.3\text{V}$ 。

运行模式下典型电流消耗

芯片处于下述条件下:

- 所有的 I/O 引脚都处于复位状态。
- 所有的外设都处于关闭状态, 除非特别说明。
- 环境温度和 VCC 供电电压条件列于表(通用工作条件)。

表 12 运行模式下的典型电流消耗

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
I_{CC}	运行模式下的供应电流	内部高速 RC 振荡器(HSI) ⁽²⁾	-	2.0	-	mA

- 典型值是在 $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ 、 $V_{CC} = 3.3\text{V}$ 时测试得到。
- 内部高速时钟为 64MHz。

表 13 BLE 功耗

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
I_{CC}	运行模式下的供应电流	发射功率为 0dbm, VCC 电流	-	4.2	-	mA
		最小灵敏度接收, VCC 电流	-	3.8	-	mA
		1s 广播间隔, VCC 平均电流	-	13	-	uA
		100ms 广播间隔, VCC 平均电流	-	109	-	uA
		100ms 连接间隔, VCC 平均电流	-	70	-	uA

- 典型值是在 $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ 、 $V_{CC} = 3.3\text{V}$ 时测试得到。

5.3.6. 外部时钟源特性

用一个晶体/陶瓷谐振器产生的高速外部时钟

高速外部时钟(HSE)可用一个 32MHz 的晶体/陶瓷谐振器产生。本节中所给出的信息是基于使用下表所列出的典型外部元器件，通过综合特性评估得到的结果。在应用中，谐振器和负载电容必须尽可能地靠近振荡器的引脚，以减小输出失真和启动时的稳定时间。有关晶体谐振器的详细参数(频率、封装、精度等)，请咨询相应的生产厂商。(这里提到的晶体谐振器就是我们通常说的无源晶振)

注意：对于 CL1 和 CL2，建议使用瓷介电容器，并挑选符合要求的晶体或谐振器。通常 CL1 和 CL2 具有相同参数。

晶体制造商通常以 CL1 和 CL2 的串行组合给出负载电容 CL 的参数，不同晶体或谐振器所需的负载电容 CL 通常不同，CL1 和 CL2 的选择必须与所用晶体或谐振器相匹配。

负载电容 CL 计算公式： $CL = \frac{CL1 \times CL2}{CL1 + CL2} + C_{stray}$ ，其中 C_{stray} 是引脚的电容和 PCB 板或 PCB 相关的电容，它的典型值是介于 2pF 至 7pF 之间。

表 14 HSE 32MHz 振荡器特性⁽¹⁾⁽²⁾

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
f_{OSC_IN}	振荡器频率	-	-	32	-	MHz
C_{L1} $C_{L2}^{(3)}$	建议的负载电容	-	-	12 ⁽³⁾	-	pF
$R_s^{(4)}$	晶体串行阻抗(R S) ⁽⁴⁾	-	60	-	100	Ω
I_D	HSE 驱动电流	VCC=3.3V, 12pF 负载	-	0.2	-	mA
$t_{SU(HSE)}^{(5)}$	启动时间		-	0.2	-	mS

- 谐振器的特性参数由晶体/陶瓷谐振器制造商给出。
- 由实验室测试得出，不在生产中测试。
- 对于 CL1 和 CL2，建议使用高质量的、为射频应用而设计的瓷介电容器，并挑选符合要求的晶体或谐振器。CL1 和 CL2 根据晶体制造商的给定的负载电容计算出后还需根据射频频率特性进行调整。在选择 CL1 和 CL2 时，PCB 和芯片引脚的容抗应该考虑在内。
- RS 值详情请咨询晶体制造商。
- $t_{SU(HSE)}$ 是启动时间，是从软件使能 HSE 开始测量，直至得到稳定的 32MHz 振荡这段时间。这个数值是在一个标准的晶体谐振器上测量得到，它可能因晶体制造商的不同而变化较大。

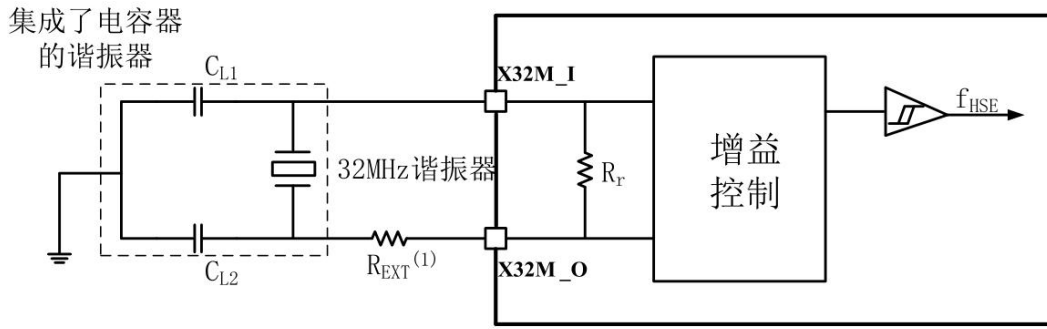


图 8 使用 32MHz 晶体的典型应用

- REXT 数值由晶体的特性决定。

用一个晶体/陶瓷谐振器产生的低速外部时钟

低速外部时钟(LSE)可以使用一个 32.768kHz 的晶体/陶瓷谐振器构成的振荡器产生。本节中所给出的信息是基于使用下表中列出的典型外部元器件，通过综合特性评估得到的结果。在应用中，谐振器和负载电容必须尽可能地靠近振荡器的引脚，以减小输出失真和启动时的稳定时间。有关晶体谐振器的详细参数(频率、封装、精度等)，请咨询相应的生产厂商。

注意：对于 CL1 和 CL2，建议使用 8pF~20pF 之间的瓷介电容器，并挑选符合要求的晶体或谐振器。通常 CL1 和 CL2 具有相同参数。晶体制造商通常以 CL1 和 CL2 的串行组合给出负载电容的参数，不同晶体或谐振器所需要的所需的负载电容 CL 通常不同，CL1 和 CL2 的选择必须与所用晶体或谐振器相匹配。

负载电容 CL 由下式计算： $CL = CL1 \times CL2 / (CL1 + CL2) + C_{stray}$ ，其中 C_{stray} 是引脚的电容和 PCB 板或 PCB 相关的电容，它的典型值是介于 2pF 至 7pF 之间。

表 15 LSE 振荡器特性($f_{LSE} = 32.768kHz$)⁽¹⁾

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
C_{L1} C_{L2} ⁽²⁾	建议的负载电容与对应的晶体串行阻抗(R_S) ⁽³⁾	$R_S: 30K\Omega \sim 90K\Omega$	-	10	-	pF
I ₂	LSE 驱动电流	$VCC=3.3V, C_{L1} = C_{L2} = 10pF, R_S=30K\Omega$	-	0.2	-	uA
$t_{SU(LSE)}$ ⁽⁴⁾	启动时间		-	0.84	-	S

- 由实验室测试得出，不在生产中测试。
- 参见本表格上方的注意段落。
- 选择具有较小 R_S 值的高质量振荡器，可以优化电流消耗。详情请咨询晶体制造商。
- $t_{SU(LSE)}$ 是启动时间，是从软件使能 LSE 开始测量，直至得到稳定的 32.768KHz 振荡这段时间。这个数值是在一个标准的晶体谐振器上测量得到，它可能因晶体制造商的不同而变化

较大。

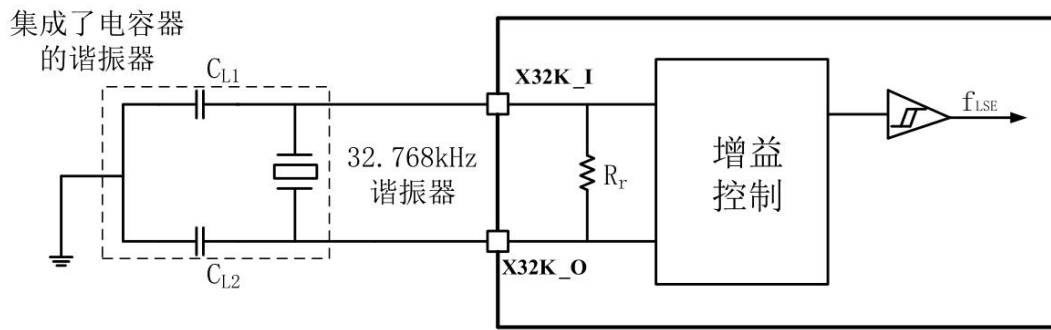


图 9 低速外部时钟

5.3.7. 内部时钟源特性

下表中给出的特性参数是在表 7(通用工作条件)的环境温度和供电电压的条件下测量得到。

高速内部(HSI)RC 振荡器

表 16 HSI 振荡器特性⁽¹⁾⁽²⁾

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
f_{HSI}	频率	$T_A = 25^\circ\text{C}$	63.36	64	64.64	MHz
ACC_{HSI}	HSI 振荡器的温漂	$T_A = -40\sim 105^\circ\text{C}$, 温漂	-3	-	3	%
		$T_A = -10\sim 85^\circ\text{C}$, 温漂	-2	-	2	%
		$T_A = 0\sim 70^\circ\text{C}$, 温漂	-1	-	1	%
$t_{\text{SU(HSI)}}$	HSI 振荡器启动时间	-	-	-	0.3	μs
$I_{\text{CC(HSI)}}$	HSI 振荡器功耗	-	-	180	260	μA

- $V_{\text{CC}} = 3.3\text{V}$, $T_A = -40\sim 105^\circ\text{C}$ 。
- 由设计保证, 不在生产中测试。

低速内部(LSI)RC 振荡器

表 17 LSI 振荡器特性⁽¹⁾

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
$f_{\text{LSI}}^{(2)}$	输出频率	25°C校准后	31.9	32	32.2	KHz
		$T_A = -40\sim 85^\circ\text{C}$, 温漂	-1	-	1	%
$t_{\text{SU(LSI)}}^{(3)}$	LSI 振荡器启动时间	-	-	-	200	μs
$I_{\text{CC(LSI)}}^{(3)}$	LSI 振荡器功耗	-	-	0.23	-	μA

- $V_{\text{CC}} = 3.3\text{V}$, $T_A = -40\sim 85^\circ\text{C}$ 。

- 由实验室测试得出，不在生产中测试。
- 由设计保证，不在生产中测试。

5.3.8.从低功耗模式唤醒的时间

下表列出的唤醒时间是在一个 64MHz 的 HSI RC 振荡器的唤醒阶段测量得到。唤醒时使用的时钟源依当前的操作模式而定：

Sleep 或 PD 模式：时钟源是 RC 振荡器

所有的时间是在环境温度和供电电压符合表 7(通用工作条件)的条件测量得到

表 18 低功耗模式的唤醒时间

符号	参数	最小值	典型值	最大值	单位
$t_{WUSLEEP}^{(1)}$	从 Sleep 模式唤醒	-	0.2	-	mS
$t_{WUPD}^{(1)}$	从 PD 模式唤醒	-	42	-	mS

- 唤醒时间是指从唤醒事件开始至用户程序读取第一条指令的间隔时间。

5.3.9.FLASH 存储器特性

除非特别说明，所有特性参数是在 $T_A = -40\sim 85^\circ\text{C}$ 得到。

表 19 存储器特性

符号	参数	条件	最小值	典型值(1)	最大值(1)	单位
t_{PP}	页(256 字节)编程时间	$T_A = -40\sim 85^\circ\text{C}$	-	2	3	mS
t_{PE}	页(256 字节)擦除时间	$T_A = -40\sim 85^\circ\text{C}$	-	16	30	mS
t_{SE}	扇区(4K 字节)擦除	$T_A = -40\sim 85^\circ\text{C}$	-	16	30	mS
t_{CE}	整片擦除时间	$T_A = -40\sim 85^\circ\text{C}$	-	16	30	mS

- (1)由设计保证，不在生产中测试。

表 20 闪存存储器寿命和数据保存期限

符号	参数	条件	最小值(1)	单位
N END	寿命(注：擦写次数)	$T_A = -40\sim 85^\circ\text{C}$	10	万次
		$T_A = -40\sim 105^\circ\text{C}$	1	万次
t RET	数据保存期限	$T_A = 105^\circ\text{C}$	20	年

- 由实验室测试得出，不在生产中测试。

5.3.10. 电气敏感性

基于不同的测试(ESD, LU), 使用特定的测量方法, 对芯片进行强度测试以决定它的电气敏感性方面的性能。

静电放电(ESD)

静电放电测试(一个正的脉冲然后间隔一秒钟后一个负的脉冲)施加到所有样品的所有引脚上, 样品的大小与芯片上供电引脚数目相关(3片 x (n+1) 供电引脚)。此测试符合 MIL-STD-883K、ESDA/JEDEC JS -002-2018 标准。

表 21 ESD 绝对最大值

符号	参数	条件	类型	最小值(1)	单位
$V_{ESD(HBM)}$	静电放电电压(人体模型)	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$, 符合 MIL-STD-883K	II	2000	V
$V_{ESD(CDM)}$	静电放电电压(充电设备模型)	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$, 符合 ESDA/JEDEC JS-002-2018	II	1000	V

- 由实验室测试得出, 不在生产中测试。

静态栓锁

为每个电源引脚, 提供超过极限的供电电压。
 在每个输入、输出和可配置的 I/O 引脚上注入电流。
 本测试符合 JEDEC78E 集成电路栓锁标准。

表 22 电气敏感性

符号	参数	条件	类型
LU	静态栓锁类	$T_A = +25/+85^{\circ}\text{C}$, 符合 JEDEC78E	II 类 A

5.3.11. I/O 端口特性

通用输入/ 输出特性

除非特别说明, 下表列出的参数是在表 7(通用工作条件)的条件下测量得到。所有的 I/O 端口都是兼容 CMOS 和 TTL。

表 23 I/O 静态特性⁽¹⁾⁽²⁾

符号	参数	条件	最小值	最大值	单位
V_{IL}	输入低电平电压	$V_{CC}=3.3\text{V}$	VSS	0.8	V
		$V_{CC}=2.5\text{V}$	VSS	0.7	V

V_{IH}	输入高电平电压	$V_{CC}=3.3V$	2	V_{CC}	V
		$V_{CC}=2.5V$	1.7	V_{CC}	V
V_{hys}	施密特触发器电压迟滞 ⁽¹⁾	$V_{CC}=3.3V/2.5V$	200	-	mV
I_{lkg}	输入漏电流 ⁽³⁾	$V_{PAD} = 0$	-1	1	uA
		$V_{PAD} = V_{CC}$			
R_{PU}	弱上拉等效电阻 ⁽⁴⁾	$V_{CC}=3.3V$ $V_{IN} = V_{IL}$	120	140	K Ω
R_{PD}	弱下拉等效电阻 ⁽⁴⁾	$V_{CC}=3.3V$ $V_{IN} = V_{IL}$	120	140	K Ω
C_{IO}	I/O 引脚的电容		-	0.1	pF

- 施密特触发器开关电平的迟滞电压。由实验室测试得出，不在生产中测试。
- 如果在相邻引脚有反向电流倒灌，则漏电流可能高于最大值。

输出驱动电流

GPIO(通用输入/输出端口)可以吸收或输出最大+/-12mA 电流。

输出电压

表 24 I/O 输出电压

符号	参数	条件	最小值	最大值	单位
V_{OL}	输出低电平	$V_{CC}=3.3, I_{OH} = 2mA, 4mA, 8mA, 12mA$	VSS	0.4	V
		$V_{CC}=2.5, I_{OH} = 2mA, 4mA, 8mA, 12mA$	VSS	0.4	V
V_{OH}	输出高电平	$V_{CC} = 3.3V, I_{OH} = -2mA, -4mA, -8mA, -12mA$	2.4	V_{CC}	V
		$V_{CC} = 2.5V, I_{OH} = -2mA, -4mA, -8mA, -12mA$	2	V_{CC}	V

输入输出交流特性

输入输出交流特性的定义和数值在下表给出。

除非特别说明，参数是在表 7(通用工作条件)的环境温度和供电电压条件下测量得到。

表 25 输入输出交流特性⁽¹⁾

寄存器配置	符号	参数	条件	最小值	最大值	单位
00 (2mA)	$f_{max(IO)out}$	最大频率	$C_L=5pF, V_{CC} = 3.3V$	-	64	MHz
			$C_L=5pF, V_{CC} = 2.5V$	-	50	MHz

	$t_{(IO)out}$	输出延时	$C_L=5pF, VCC =3.3V$	-	3.66	nS
			$C_L=5pF, VCC =2.5V$	-	4.72	
	$t_{(IO)in}$	输入延时	$C_L=50fF, VCC =2.97V$	-	1.2	nS
			$VCC= 2.5V$	-		
01 (4mA)	$f_{max(IO)out}$	最大频率	$C_L=10pF, VCC =3.3V$	-	64	MHz
			$C_L=10pF, VCC =2.5V$	-	60	MHz
	$t_{(IO)out}$	输出延时	$C_L=10pF, VCC =3.3V$	-	3.5	nS
			$C_L=10pF, VCC =2.5V$	-	4.5	nS
	$t_{(IO)in}$	输入延时	$C_L=50fF, VCC =2.97V$	-	1.2	nS
$C_L=50fF, VCC =2.5V$			-			
10 (8mA)	$f_{max(IO)out}$	最大频率	$C_L=20pF, VCC =3.3V$	-	64	MHz
			$C_L=20pF, VCC =2.5V$	-	50	MHz
	$t_{(IO)out}$	输出延时	$C_L=20pF, VCC =3.3V$	-	3.42	nS
			$C_L=20pF, VCC =2.5V$	-	4.73	nS
	$t_{(IO)in}$	输入延时	$C_L=50fF, VCC =2.97V$	-	1.2	nS
$C_L=50fF, VCC =2.5V$			-			
11 (12mA)	$f_{max(IO)out}$	最大频率	$C_L=30pF, VCC =3.3V$	-	64	MHz
			$C_L=30pF, VCC =2.5V$	-	50	MHz
	$t_{(IO)out}$	输出延时	$C_L=30pF, VCC =3.3V$	-	3.34	nS
			$C_L=30pF, VCC =2.5V$	-	4.26	nS
	$t_{(IO)in}$	输入延时	$C_L=50fF, VCC =2.97V$	-	1.2	nS
$C_L=50fF, VCC =2.5V$			-			

- 由设计保证，不在生产中测试。

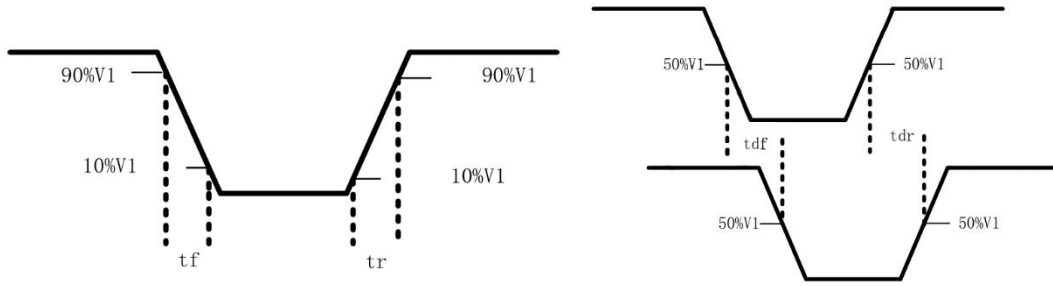


图 10 输入输出交流特性定义

5.3.12. RESET 引脚特性

RESET 引脚连接了一个不能断开的上拉电阻 RPU。

除非特别说明，下表列出的参数是在表 7(通用工作条件)的使用环境温度和供电电压的条件下测量得到。

表 26 RESET 引脚特性

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
$V_{IL(RESSET)}^{(1)}$	RESET 输入低电平电压	VCC = 3.3V	VSS	-	0.8	V
$V_{IH(RESSET)}^{(1)}$	RESET 输入高电平电压	VCC = 3.3V	2	-	VCC	V
$V_{hys(RESSET)}^{(1)}$	RESET 施密特触发器电压迟滞	-	-	200	-	mV
R_{PU}	弱上拉等效电阻	VCC = 3.3V	40	50	60	KΩ
$V_{F(RESSET)}^{(1)}$	RESET 输入滤波脉冲	-	-	-	500	ns
$V_{NF(RESSET)}^{(1)}$	RESET 输入非滤波脉冲	-	5	-	-	us

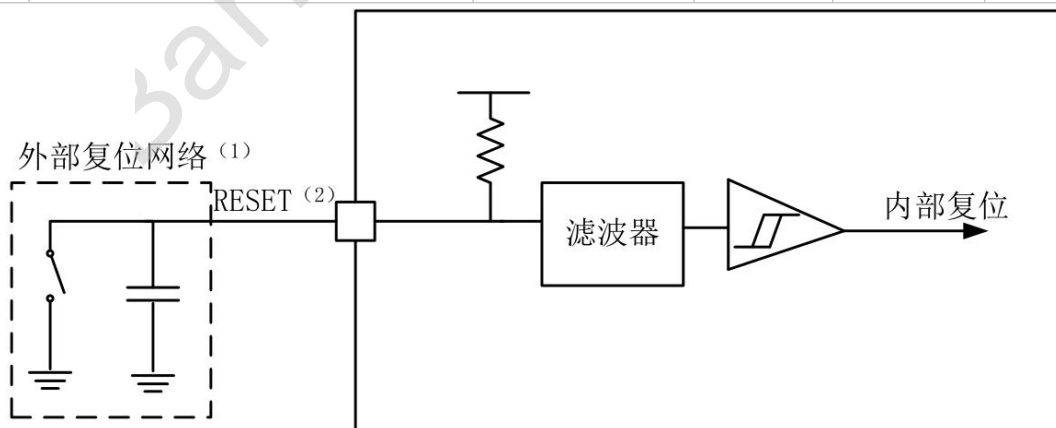


图 11 建议的 RESET 引脚保护

- 由设计保证，不在生产中测试。

- 外部复位网络是为了防止寄生复位。
- 用户必须保证 RESET 引脚的电位能够低于上表中列出的最大 VIL(RESET) 以下，否则芯片不能得到复位。

5.3.13. TIM 定时器特性

下表列出的参数是在表 7(通用工作条件)的环境温度和供电电压条件下测量得到。

表 27 TIMx⁽¹⁾⁽²⁾特性

符号	参数	条件	最小值	最大值	单位
t _{res(TIM)}	定时器分辨时间	f _{TIMxCLK} = 64MHz	1	-	t _{TIMxCLK}
			15.625	-	ns
f _{EXT}	CH1 至 CH4 的定时器外部 时钟频率		0	f _{TIMxCLK} /2	MHz
			0	32	MHz
Res _{TIM}	定时器分辨率		-	16	位
t _{COUNTER}	当选择了内部时钟时，16 位计数器时钟周期		1	65536	t _{TIMxCLK}
		0.015625	1024	us	
t _{MAX_COUNT}	最大可能的计数	-	65536x65536	t _{TIMxCLK}	
		-	67.1	s	

- TIMx 是一个通用的名称，代表 TIM1/TIM3/TIM6。
- 参数由设计保证。

5.3.14. I2C 接口特性

除非特别说明，参数在表 7(通用工作条件)的使用环境温度，fPCLK1 频率和 VCC 供电电压的条件下测量得到。

I2C 接口符合标准 I2C 通信协议，但有如下限制：SDA 和 SCL 不是“真”开漏的引脚，当配置为开漏输出时，在引出脚和 VCC 之间的 PMOS 管被关闭，但仍然存在。

I2C 接口特性见下表，有关输入输出复用功能引脚(SDA 和 SCL)的特性详情，参见(I/O 端口特性)。

表 28 I2C 接口特性⁽¹⁾

符号	参数	标准模式		快速模式		单位
		最小值	最大值	最小值	最大值	
f _{SCL}	I2C 接口频率	-	100	-	1000	KHz
t _{h(STA)}	开始条件保持时间	4.0	-	0.6	-	us

$t_{w(SCLL)}$	SCL 时钟低时间	4.7	-	1.3	-	us
$t_{w(SCLH)}$	SCL 时钟高时间	4.0	-	0.6	-	us
$t_{su(STA)}$	重复的开始条件建立时间	4.7	-	0.6	-	us
$t_{h(SDA)}$	SDA 数据保持时间	-	3.4	-	0.9	us
$t_{su(SDA)}$	SDA 建立时间	250		100		ns
$t_{r(SDA)}$ $t_{r(SCL)}$	SDA 和 SCL 上升时间	-	1000	20	300	ns
$t_{f(SDA)}$ $t_{f(SCL)}$	SDA 和 SCL 下降时间	-	300	-	300	ns
$t_{su(STO)}$	停止条件建立时间	4.0	-	0.6	-	us
$t_{w(STO:STA)}$	停止条件至开始条件的时间(总线空闲)	4.7	-	1.3	-	us
C_b	每条总线的容性负载	-	400	-	100	pF
$t_{v(SDA)}$	数据有效时间	3.45	-	0.9	-	us
$t_{v(ACK)}$	应答有效时间	3.45	-	0.9	-	us

- 由设计保证，不在生产中测试。
- 为达到标准模式 I2C 的最大频率，fPCLK1 必须大于 2MHz。为达到快速模式 I2C 的最大频率，fPCLK1 必须大于 10MHz。

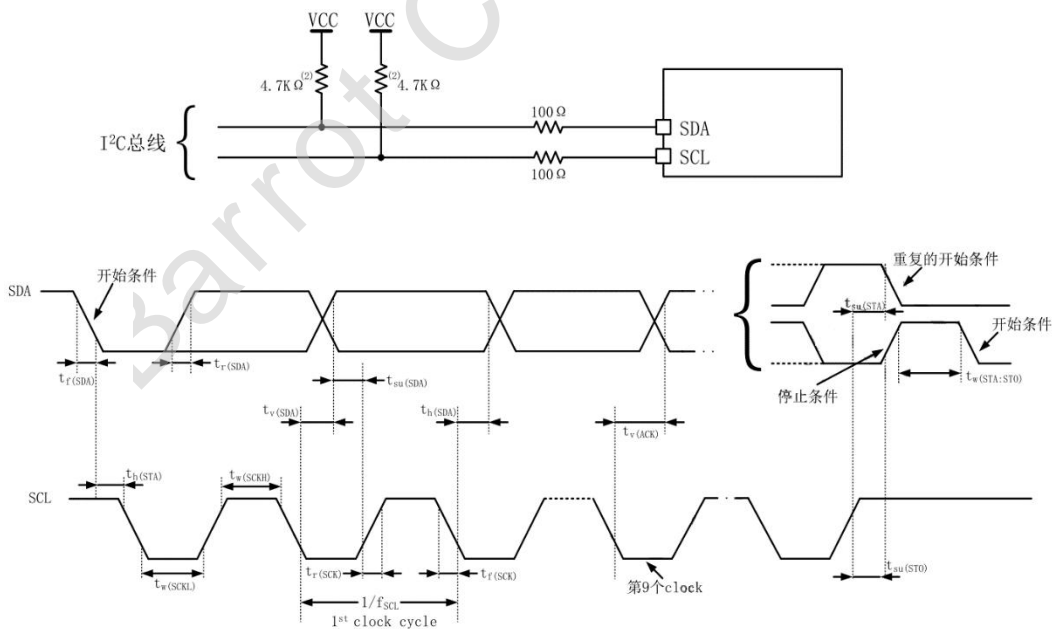


图 12 I2C 总线交流波形和测量电路⁽¹⁾

- 测量点设置于 CMOS 电平：0.3VCC 和 0.7VCC。

5.3.15. SPI 接口特性

除非特别说明，SPI 参数在表 7(通用工作条件)的环境温度，fPCLK2 频率和 VCC 供电电压符合表条件下测量得到。

有关输入输出复用功能引脚(NSS、SCLK、MOSI、MISO)的特性详情，参见(I/O 端口特性)。

表 29 SPI 特性⁽¹⁾

符号	参数	条件	最小值	最大值	单位	
f _{SCLK}	SPI 时钟频率	主模式	-	16	MHz	
1/t _{c(SCLK)}		从模式	-	16		
t _{r(SCLK)}	SPI 时钟上升和下降时间	负载电容: C = 30pF	-	8	us	
t _{f(SCLK)}						
DuCy _(SCK)	SPI 从输入时钟占空比	SPI 从模式	30	70	%	
t _{su(NSS)} ⁽¹⁾	NSS 建立时间	从模式	4 _{tPCLK}	-	ns	
t _{h(NSS)} ⁽¹⁾	NSS 保持时间	从模式	2 _{tPCLK}	-	ns	
t _{w(SCLKH)} ⁽¹⁾	SCLK 高和低的时间	主模式	t _{PCLK} -2	t _{PCLK} +2	ns	
t _{w(SCLKL)} ⁽¹⁾						
t _{su(MI)} ⁽¹⁾	数据输入建立时间	主模式	SPI1	5	-	ns
			SPI2	6	-	
t _{su(SI)} ⁽¹⁾		从模式	SPI1	5	-	ns
			SPI2	6	-	
t _{h(MI)} ⁽¹⁾	数据输入保持时间	主模式	4	-	ns	
t _{h(SI)} ⁽¹⁾		从模式	3	-	ns	
t _{a(SO)} ⁽¹⁾⁽²⁾	数据输出访问时间	从模式, f _{PCLK} = 32MHz	0	3 _{tPCLK}	ns	
t _{dis(SO)} ⁽¹⁾⁽³⁾	数据输出禁止时间	从模式	2	10	ns	
t _{v(SO)} ⁽¹⁾	数据输出有效时间	主模式	SPI1	-	16	ns
			SPI2	-	20	
t _{v(MO)} ⁽¹⁾		从模式	SPI1	-	8	
			SPI2	-	10	
t _{h(SO)} ⁽¹⁾	数据输出保持时间	从模式(使能边沿之后)	2	-	ns	
t _{h(MO)} ⁽¹⁾		主模式(使能边沿之后)	0	-		

- 由实验室测试得出，不在生产中测试。

- 最小值表示驱动输出的最小时间，最大值表示正确获得数据的最大时间。
- 最小值表示关闭输出的最小时间，最大值表示把数据线置于高阻态的最大时间。

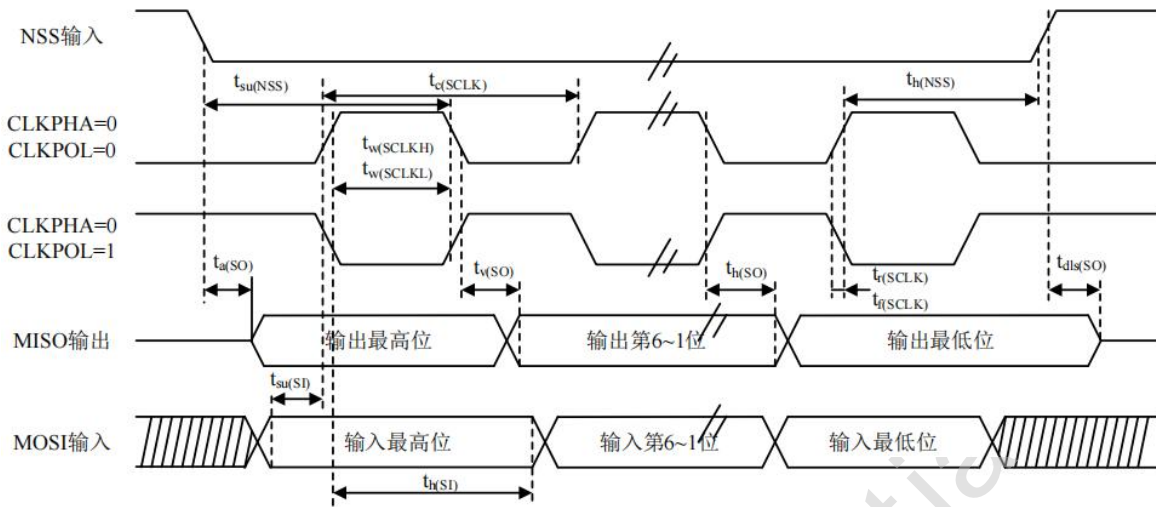


图 13 SPI 时序图-从模式和 CPHA=0

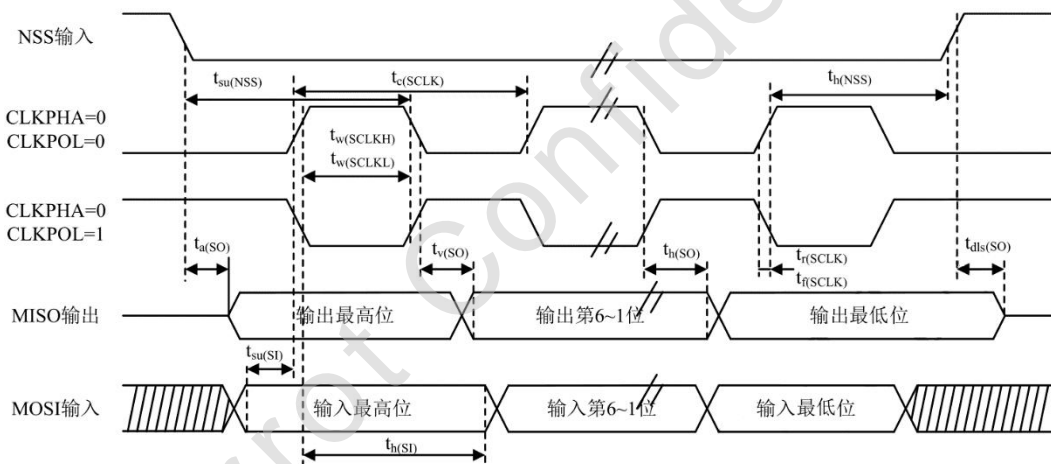


图 14 SPI 时序图-从模式和 CPHA=1⁽¹⁾

- 测量点设置于 CMOS 电平: 0.3VCC 和 0.7VCC。

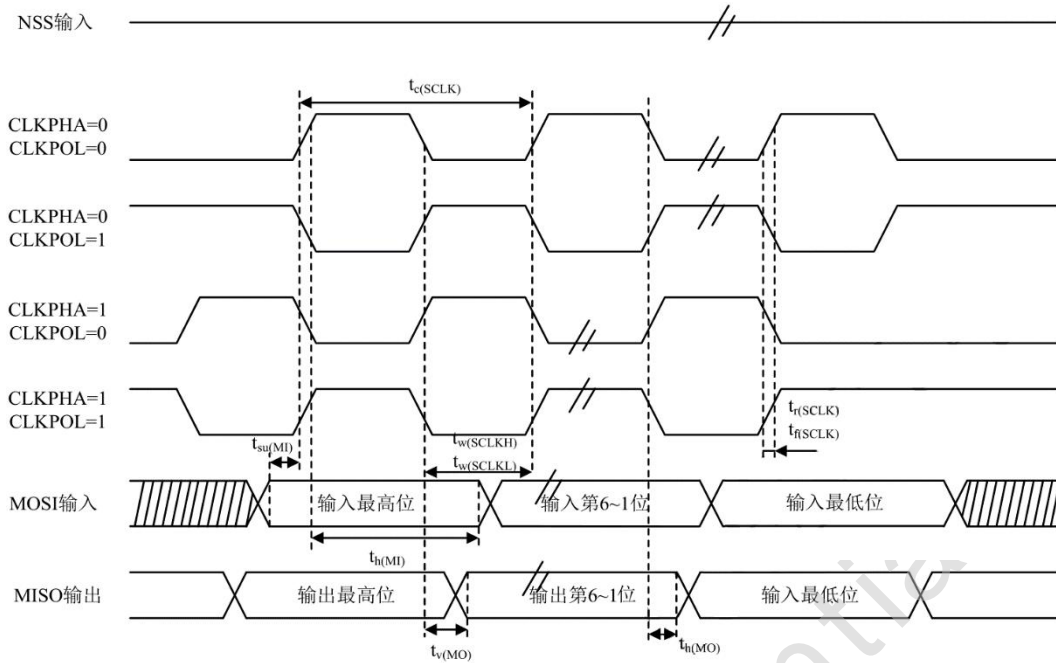


图 15 SPI 时序图-主模式⁽¹⁾

- 测量点设置于 CMOS 电平：0.3VCC 和 0.7VCC。

5.3.16. TS 温度传感器特性

除非特别说明，参数是在表 7(通用工作条件)的环境温度、fHCLK 频率和 VCC 供电电压条件下测量得到。

表 30 温度传感器特性

符号	参数	最小值	典型值	最大值	单位
$T_L^{(1)}$	V_{SENSE} 相对于温度的线性度	-	± 4	-	$^{\circ}\text{C}$
$\text{Avg_Slope}^{(1)}$	平均斜率	-	2.14 ⁽²⁾	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
$t_{\text{START}}^{(1)}$	建立时间	-	-	10	us

- 由设计保证，不在生产中测试。
- 由实验室测试得出，不在生产中测试。

5.3.17. 通用 ADC 特性

除非特别说明，参数是在表 7(通用工作条件)的环境温度、fHCLK 频率和 VCC 供电电压条件下测量得到。

表 31 ADC 特性

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{REF+}	正参考电压	-	-	1.0	-	V
f_{ADC}	ADC 采样速率	-	-	-	1.33	MHz
V_{AIN}	转换电压范围, 外部低压通路	-	0	-	1000	mV
	转换电压范围, 外部高压通路	-	0	-	3600 ⁽²⁾	mV
SNDR	Singal-to-Noise-and-Distortion Ratio	输入频率=1.03KHz, VCC=3.3V, T A =25°C $f_{ADC} = 1\text{Msps}$	-	58	-	dBFS
$t_{STAB}^{(1)}$	上电时间	-	-	16	-	us
$t_{CONV}^{(1)}$	转换时间	-	752	-	-	ns
DNL	微分线性误差	VCC=3.3V, T A =25°C	-1	-	6	LSB
INL	积分线性误差	VCC=3.3V, T A =25°C	-8	-	2	LSB

- 由实验室测试得出, 不在生产中测试。
- 最大值 3600mV 且 $\leq VCC+300\text{mV}$ 。

5.3.18. PGA 特性

除非特别说明, 参数在表 7(通用工作条件)的环境温度和 VCC 供电电压的条件下测量得到。

表 32 PGA 特性

符号	参数	最小值	典型值	最大值	单位
GAIN	PGA 增益	0	-	42	dB
GAIN STEP	PGA 增益步长	-	6	-	dB
THD+N ⁽¹⁾	Gain=0dB	73	82	85	dB
	Gain=42dB	73	83	87	dB
In-band ripple ⁽¹⁾	300~3400Hz 频带内增益波动	-	0.78	-	dB
$T_{PGA}^{(1)}$	PGA 建立时间	-	15	-	ms
MIC_BIAS voltage	MIC 偏置电压, step=0.1v	1.6	-	2.3	V
MIC_BIAS Noise ⁽¹⁾	20Hz to 8kHz A-weighted with 4.7uF	-	-92	-	dBV

- 由实验室测试得出, 不在生产中测试。

5.3.19. KEYSKAN 特性

除非特别说明，参数在表 7(通用工作条件)的环境温度和 VCC 供电电压的条件下测量得到。

表 33 KEYSKAN 特性

符号	参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
T_{WTS}	每轮键盘扫描时间间隙	-	-	32	224	ms
T_{DTS}	按键消抖时间	-	10	-	640	ms
$I_{cc}^{(1)}$	自动扫描模式功耗 (104 按键)	$T_{DTS}=40ms, T_{WTS}=32ms$ $VCC=3.3V, T_A=25^{\circ}C$	-	2.9	-	μA
	低功耗模式功耗(104 按键)	$VCC=3.3V, T_A=25^{\circ}C$	-	2.3	-	μA

- 由实验室测试得出，不在生产中测试。

5.3.20. BLE 特性

除非特别说明，参数是在表 7(通用工作条件)的环境温度和 VCC 供电电压的条件下测量得到。

表 34 BLE 接收特性⁽¹⁾

序号	参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
1	灵敏度, 1Mbps	$VCC=3.3V, T_A=25^{\circ}C$	-	-97	-	dBm
2	灵敏度, 2Mbps		-	-95	-	dBm
3	同道干扰		-	8	-	dB
4	邻近信道干扰, +-1MHz		-	1	-	dB
5	邻近信道干扰, +-2MHz		-	-31	-	dB
6	邻近信道干扰, >=+-3MHz		-	-40	-	dB
7	镜像信道干扰		-	-24	-	dB
8	邻近镜像信道干扰, +-1MHz		-	-28	-	dB
9	最大输入功率		-	-	6	dBm

- 由实验室测试得出，不在生产中测试。

表 35 BLE 发送特性⁽¹⁾

序号	参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
1	输出功率	VCC=3.3V, T _A =25°C	-	-	8	dBm
2	频率精度		-	7.5	-	KHz
3	频率漂移速率		-	-9.4	-	KHz/50us
4	频率漂移		-	-15.1	-	KHz
5	初始频率漂移		-	-13.2	-	KHz
6	Δf1 平均		-	258	-	KHz
7	Δf2 99.9%		-	218	-	KHz
8	Δf2/Δf1		-	1.06	-	-
9	谐波功率, 二次谐波		-	-26	-	dBm
10	谐波功率, 三次谐波		-	-28	-	dBm
11	谐波功率, 四次谐波		-	-54	-	dBm
12	谐波功率, 五次谐波		-	-55	-	dBm

- 由实验室测试得出, 不在生产中测试。

6. 参考电路和画板设计

可以参考《应用电路图_BR1601B02_V1.0.pdf》。

7. 封装尺寸

QFN32(4X4mm)封装尺寸:

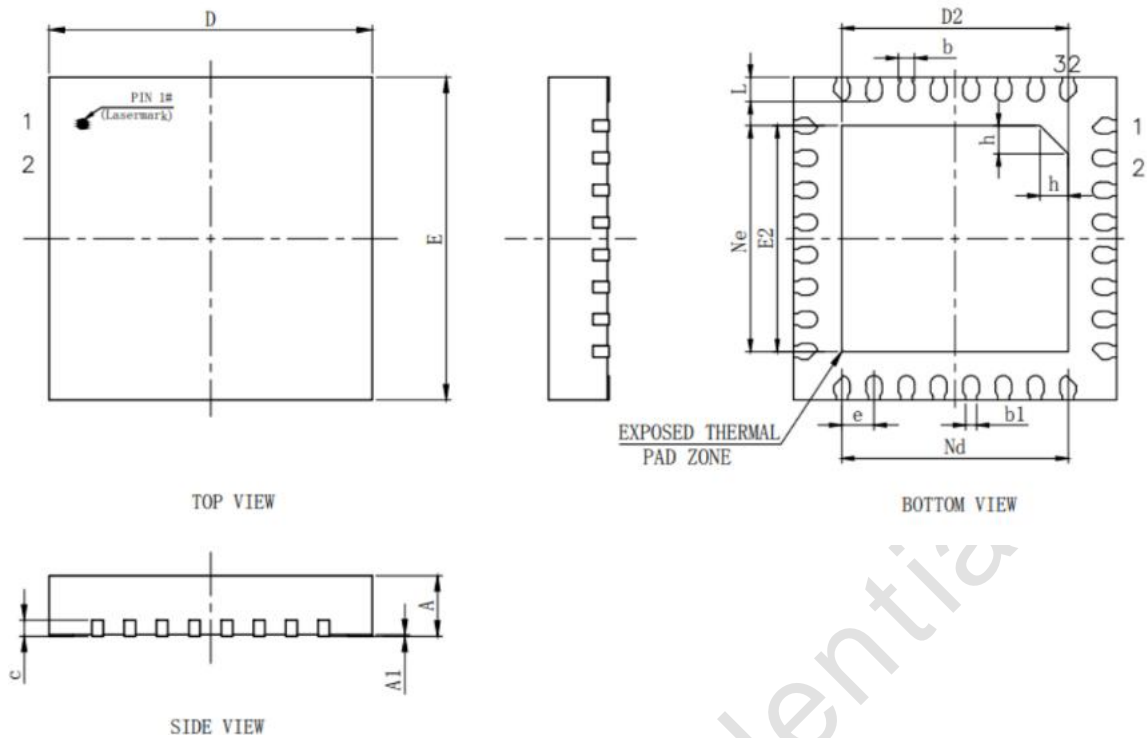


图 16 BR1601B02 封装尺寸

表 36 封装尺寸

编号	(mm)		
	最小值	典型值	最大值
A	0.70	0.75	0.80
	0.80	0.85	0.90
	0.85	0.90	0.95
A1	0	0.02	0.05
b	0.15	0.20	0.25
b1	0.14REF		
c	0.18	0.20	0.25
D	3.90	4.00	4.10
D2	2.70	2.80	2.90
e	0.40BSC		
Ne	2.80BSC		
Nd	2.80BSC		
E	3.90	4.00	4.10

E2	2.70	2.80	2.90
L	0.25	0.30	0.35
h	0.30	0.35	0.40
L/F 载体尺寸	122X122		

8. 包装

包装: 卷带

每包最小数量: 3000 PCS/卷

9. 公司简介

百瑞互联——世界领先的拥有自主知识产权的一站式芯片级无线物联网方案提供商，是蓝牙国际组织（Bluetooth SIG）的高级会员，国内唯一的蓝牙标准制定公司，拥有自主知识产权的蓝牙射频、协议栈、音频算法三大 IP，聚焦物联网和汽车电子两大领域。

致力成为全球最值得信赖的无线短距离通信公司！

10. 联系我们



Beijing (Headquarter)

- ☎ : +86 10 82702580
- ☎ : +86 10 82898219
- 📍 : A1009, Block A, Jia Hua Building, No.9 Shangdisanjie St, Haidian District, Beijing

Shanghai

- 📍 : 2nd Floor, No. 500, Bibo Road, Zhangjiang Gaoke, Pudong New Area, Shanghai

Shenzhen

- ☎ : +86 755 27885822-603
- 📍 : Floor 5, building 1, COFCO business park, district 67, Xingdong community, Xin'an street, Bao'an District, Shenzhen City, Guangdong Province

✉ : marketing@barrot.com.cn

✉ : support@barrot.com.cn

🌐 : www.barrot.com.cn

11. 版权

版权 ©2023 北京百瑞互联技术股份有限公司

版权所有。

蓝牙商标由美国 Bluetooth SIG Inc.拥有，并许可北京百瑞互联技术股份有限公司使用。

本文中列出的所有其他商标均由其各自所有者拥有。