

基于**ARM® 32位的Cortex®-M4**的无线蓝牙微控制器，配有**256 K**字节闪存、**sLib**、**11**个定时器、**1**个**ADC**、**2**个比较器、**7**个通信接口（**CAN**和**OTGFS**）
功能

- **无线蓝牙模块**
 - 符合蓝牙®技术联盟5.0双模规范
 - 低功耗2.4 GHz收发
 - 时钟：16 MHz晶振、64 MHz PLL、32 kHz 内部时钟
 - 外设：8个GPIO带2通道PWM和1个UART，内部另有一UART21与MCU USART3连接
- **MCU内核：ARM® 32位的Cortex®-M4 CPU**
 - 最高150 MHz工作频率，带存储器保护单元（MPU）
 - 内建单周期乘法和硬件除法
 - 具有DSP指令集
- **存储器**
 - 256 K字节的闪存存储器
 - 18 K字节的启动程序代码区作启动加载程序（Bootloader）用
 - sLib：将指定之主存储区设为执行代码安全库区，此区代码仅能调用无法读取
 - 32 K字节的SRAM
- **电源管理（PWC）**
 - 2.6至3.6伏供电
 - 上电复位（POR）、低电压复位（LVR）、电源电压监测器（PVM）
 - 低功耗模式：睡眠、深睡眠、和待机
 - V_{BAT}为LEXT、ERTC和20个32位的电池供电寄存器（BPR）供电
- **时钟和复位管理（CRM）**
 - 外部主时钟输入
 - 内嵌经出厂调校的48 MHz高速内部时钟（HICK），（25 °C达1 %精度，-40 °C至+105 °C达2.5 %精度）
 - PLL可灵活配置31 ~ 500倍频和1 ~ 15分频系数
 - 32 kHz晶振（LEXT）
 - 低速内部时钟（LICK）
- **MCU模拟模块**
 - 1个12位2 MSPS A/D转换器，多达8个外部输入通道
 - 温度传感器（V_{TS}）和内部参考电压（V_{INTRV}）
 - 2个比较器（CMP）
- **MCU DMA**
 - 2个7通道DMA控制器共14通道
- **MCU快速GPIO端口**
 - 所有GPIO口可以映像到16个外部中断（EXINT）
 - 几乎所有GPIO口可容忍5 V输入信号
- **MCU多达11个定时器（TMR）**
 - 多达6个16位定时器和2个32位定时器，每个定时器最多达4个用于输入捕获/输出比较/PWM/脉冲计数的通道
 - 2个看门狗定时器（一般型WDT和窗口型WWDT）
 - 系统滴答定时器：24位自减型计数器
- **ERTC：增强型RTC，具有自动唤醒、闹钟、亚秒级精度、及硬件日历，带校准功能**
- **MCU多达7个通信接口**
 - I²C接口，支持SMBus/PMBus
 - 3个USART接口，支持ISO7816，LIN，IrDA接口和调制解调控制
 - SPI接口（36兆位/秒）
 - CAN接口（2.0B主动），内置256字节的专用缓存
 - OTGFS全速控制器含片上PHY，内置1280字节的专用缓存
- **CRC计算单元**
- **96位的芯片唯一代码（UID）**
- **MCU调试模式**
 - 串行线调试（SWD）
- **温度范围：-40至+105 °C**
- **封装**
 - QFN48 7 x 7 mm

表 1. 选型列表

| 闪存存储器 | 型号 |
|---------|-----------------|
| 256 K字节 | AT32WB415CCU7-7 |

目录

| | | |
|----------|-----------------------------------|-----------|
| 1 | 规格说明 | 8 |
| 2 | 无线蓝牙模块功能简介 | 10 |
| 2.1 | 概述 | 10 |
| 2.2 | 通用输入输出（GPIO） | 10 |
| 2.3 | PWM 定时器 | 10 |
| 2.4 | 看门狗 | 10 |
| 2.5 | 通用异步收发器（UART） | 10 |
| 2.6 | 安全性 | 10 |
| 3 | MCU 功能简介 | 11 |
| 3.1 | ARM®Cortex®-M4 | 11 |
| 3.2 | 存储器 | 11 |
| 3.2.1 | 闪存存储器（Flash） | 11 |
| 3.2.2 | 存储器保护单元（MPU） | 11 |
| 3.2.3 | 内置随机存取存储器（SRAM） | 11 |
| 3.3 | 中断 | 11 |
| 3.3.1 | 嵌套的向量式中断控制器（NVIC） | 11 |
| 3.3.2 | 外部中断（EXINT） | 11 |
| 3.4 | 电源控制（PWC） | 12 |
| 3.4.1 | 供电方案 | 12 |
| 3.4.2 | 复位和电源电压监测器（POR / LVR / PVM） | 12 |
| 3.4.3 | 电压调节器（LDO） | 12 |
| 3.4.4 | 低功耗模式 | 12 |
| 3.5 | 启动模式 | 13 |
| 3.6 | 时钟 | 13 |
| 3.7 | 通用输入输出（GPIO） | 13 |
| 3.8 | 重映射功能 | 13 |

| | | |
|----------|-------------------------------|-----------|
| 3.9 | 直接存储器访问控制器 (DMA) | 14 |
| 3.10 | 定时器 (TMR) | 14 |
| 3.10.1 | 高级定时器 (TMR1) | 14 |
| 3.10.2 | 通用定时器 (TMR2~3 和 TMR13~17) | 15 |
| 3.10.3 | 系统滴答定时器 (SysTick) | 15 |
| 3.11 | 看门狗 (WDT) | 15 |
| 3.12 | 窗口型看门狗 (WWDT) | 15 |
| 3.13 | 增强型实时时钟 (ERTC) 和电池供电寄存器 (BPR) | 16 |
| 3.14 | 通信接口 | 16 |
| 3.14.1 | 串行外设接口 (SPI) | 16 |
| 3.14.2 | 通用同步/异步收发器 (USART) | 16 |
| 3.14.3 | 内部集成电路总线 (I ² C) | 17 |
| 3.14.4 | 控制器区域网络 (CAN) | 17 |
| 3.14.5 | 通用串行总线 On-The-Go 全速 (OTGFS) | 17 |
| 3.15 | 循环冗余校验 (CRC) 计算单元 | 17 |
| 3.16 | 模拟/数字转换器 (ADC) | 17 |
| 3.16.1 | 温度传感器 (V _{TS}) | 18 |
| 3.16.2 | 内部参考电压 (V _{INTRV}) | 18 |
| 3.17 | 比较器 (CMP) | 18 |
| 3.18 | 烧录和调试接口 | 18 |
| 4 | 引脚功能定义 | 19 |
| 5 | MCU 存储器映像 | 22 |
| 6 | 无线蓝牙模块电气特性 | 23 |
| 7 | MCU 电气特性 | 25 |
| 7.1 | 测试条件 | 25 |
| 7.1.1 | 最小和最大数值 | 25 |
| 7.1.2 | 典型数值 | 25 |

| | | |
|------------|--------------------------------------|-----------|
| 7.1.3 | 典型曲线 | 25 |
| 7.1.4 | 供电方案 | 25 |
| 7.2 | 绝对最大值 | 26 |
| 7.2.1 | 额定值..... | 26 |
| 7.2.2 | 电气敏感性 | 27 |
| 7.3 | 规格 | 27 |
| 7.3.1 | 通用工作条件..... | 27 |
| 7.3.2 | 上电和掉电时的工作条件..... | 27 |
| 7.3.3 | 内嵌复位和电源控制模块特性 | 28 |
| 7.3.4 | 存储器特性 | 29 |
| 7.3.5 | 供电电流特性..... | 29 |
| 7.3.6 | 外部时钟源特性 | 37 |
| 7.3.7 | 内部时钟源特性 | 40 |
| 7.3.8 | PLL 特性 | 41 |
| 7.3.9 | 低功耗模式唤醒时间..... | 41 |
| 7.3.10 | EMC 特性 | 41 |
| 7.3.11 | GPIO 端口特性 | 42 |
| 7.3.12 | NRST 引脚特性 | 44 |
| 7.3.13 | TMR 定时器特性..... | 44 |
| 7.3.14 | SPI 接口特性 | 45 |
| 7.3.15 | I ² C 接口特性 | 47 |
| 7.3.16 | OTGFS 接口特性..... | 47 |
| 7.3.17 | 12 位 ADC 特性 | 48 |
| 7.3.18 | 内部参照电压 (V _{INTRV}) 特性..... | 50 |
| 7.3.19 | 温度传感器 (V _{TS}) 特性 | 51 |
| 7.3.20 | 比较器 (CMP) 特性 | 52 |
| 8 | 封装数据 | 53 |
| 9 | 型号说明 | 55 |
| 10 | 文档版本历史 | 56 |

表目录

| | |
|--|----|
| 表 1. 选型列表 | 1 |
| 表 2. AT32WB415 系列器件功能和配置 | 8 |
| 表 3. 启动加载程序 (Bootloader) 的引脚配置 | 13 |
| 表 4. 定时器功能比较 | 14 |
| 表 5. AT32WB415 系列引脚定义 | 19 |
| 表 6. 通用工作条件 | 23 |
| 表 7. 操作电流 | 23 |
| 表 8. GPIO 特性 | 23 |
| 表 9. RF 特性 | 23 |
| 表 10. 电压特性 | 26 |
| 表 11. 电流特性 | 26 |
| 表 12. 温度特性 | 26 |
| 表 13. 静电放电值 | 27 |
| 表 14. 静态栓锁值 | 27 |
| 表 15. 通用工作条件 | 27 |
| 表 16. 上电和掉电时的工作条件 | 27 |
| 表 17. 内嵌复位和电源管理模块特性 | 28 |
| 表 18. 可编程电压检测器特性 | 28 |
| 表 19. 内部闪存存储器特性 | 29 |
| 表 20. 内部闪存存储器寿命和数据保存期限 | 29 |
| 表 21. 运行模式下的典型电流消耗 | 30 |
| 表 22. 睡眠模式下的典型电流消耗 | 31 |
| 表 23. 运行模式下的最大电流消耗 | 32 |
| 表 24. 睡眠模式下的最大电流消耗 | 32 |
| 表 25. 深睡眠和待机模式下的典型和最大电流消耗 | 33 |
| 表 26. V_{BAT} 的典型和最大电流消耗 (LSE 和 ERTC 开启) | 35 |
| 表 27. 内置外设的电流消耗 | 36 |
| 表 28. 高速外部用户时钟特性 | 37 |
| 表 29. LEXT 32.768 kHz 晶振特性 | 38 |
| 表 30. 低速外部用户时钟特性 | 39 |

| | |
|---|----|
| 表 31. HICK 时钟特性 | 40 |
| 表 32. LICK 时钟特性 | 40 |
| 表 33. PLL 特性 | 41 |
| 表 34. 低功耗模式的唤醒时间 | 41 |
| 表 35. EMS 特性..... | 41 |
| 表 36. GPIO 静态特性 | 42 |
| 表 37. 输出电压特性 | 43 |
| 表 38. 输入交流特性 | 43 |
| 表 39. NRST 引脚特性 | 44 |
| 表 40. TMR 定时器特性..... | 44 |
| 表 41. SPI 特性..... | 45 |
| 表 42. OTGFS 启动时间..... | 47 |
| 表 43. OTGFS 直流特性..... | 47 |
| 表 44. OTGFS 电气特性..... | 48 |
| 表 45. ADC 特性..... | 48 |
| 表 46. $f_{ADC} = 14 \text{ MHz}$ 时的最大 R_{AIN} | 49 |
| 表 47. $f_{ADC} = 28 \text{ MHz}$ 时的最大 R_{AIN} | 49 |
| 表 48. ADC 精度..... | 49 |
| 表 49. 内置参照电压特性..... | 50 |
| 表 50. 温度传感器特性 | 51 |
| 表 51. 比较器特性..... | 52 |
| 表 52. QFN48 – 7 x 7 mm 48 脚正方扁平无引线封装机械数据 | 54 |
| 表 53. AT32WB415 系列型号说明..... | 55 |
| 表 54. 文档版本历史 | 56 |

图目录

| | |
|---|----|
| 图 1. AT32WB415 系列功能框图 | 9 |
| 图 2. AT32WB415 系列 QFN48 引脚分布 | 19 |
| 图 3. 存储器图 | 22 |
| 图 4. 供电方案 | 25 |
| 图 5. 上电复位和低电压复位的波形图 | 28 |
| 图 6. LDO 在运行模式时，深睡眠模式下的典型电流消耗在不同的 V_{DD} 时与温度的对比 | 33 |
| 图 7. LDO 在低功耗模式时，深睡眠模式下的典型电流消耗在不同的 V_{DD} 时与温度的对比 | 34 |
| 图 8. 待机模式下的典型电流消耗在不同的 V_{DD} 时与温度的对比 | 34 |
| 图 9. V_{BAT} 的典型电流消耗（LSE 和 ERTC 开启）在不同的 V_{BAT} 电压时与温度的对比 | 35 |
| 图 10. 外部高速时钟源的交流时序图 | 37 |
| 图 11. 使用 32.768 kHz 晶振的典型应用 | 38 |
| 图 12. 外部低速时钟源的交流时序图 | 39 |
| 图 13. HICK 时钟精度与温度的对比 | 40 |
| 图 14. 建议的 NRST 引脚保护 | 44 |
| 图 15. SPI 时序图 – 从模式和 CPHA = 0 | 46 |
| 图 16. SPI 时序图 – 从模式和 CPHA = 1 | 46 |
| 图 17. SPI 时序图 – 主模式 | 46 |
| 图 18. OTGFS 时序：数据信号上升和下降时间定义 | 47 |
| 图 19. ADC 精度特性 | 50 |
| 图 20. 使用 ADC 典型的连接图 | 50 |
| 图 21. V_{TS} 对温度理想曲线图 | 51 |
| 图 22. 比较器迟滞图 | 52 |
| 图 23. QFN48 – 7 x 7 mm 48 脚正方扁平无引线封装图 | 53 |
| 图 24. 丝印示意图 | 54 |

1 规格说明

AT32WB415系列集合蓝牙5.0双模，协议和规范可编程，支持2兆位/秒数据传输率，内含高效能RF收发，其中高阶的干扰滤波器和快速的自增益控制让芯片可在高度干扰的环境下正常运行。

AT32WB415系列微控制器部分，基于高性能的ARM®Cortex®-M4 32位的RISC内核，最高工作频率达到150 MHz，Cortex®-M4内核具有一组DSP指令和提高应用安全性的一个存储器保护单元（MPU）。

AT32WB415系列产品内置高速嵌入式存储器（高达256 K字节的闪存和32 K字节的SRAM），丰富的增强GPIO端口和连接到两条APB总线的外设。内置存储器可设置任意范围程序区受sLib保护，成为执行代码安全库区。

AT32WB415系列产品包含1个12位的ADC、2个模拟比较器、5个通用16位定时器、2个通用32位定时器、1个高级定时器、和1个低功耗ERTC。它们还带有标准和先进的通信接口：1个I²C接口、1个SPI接口、3 + 1个USART/UART接口、1个OTGFS接口、和1个CAN接口。

AT32WB415系列产品工作于-40 °C至+105 °C的温度范围，供电电压2.6 V至3.6 V，省电模式保证低功耗应用的要求。

表 2. AT32WB415 系列器件功能和配置

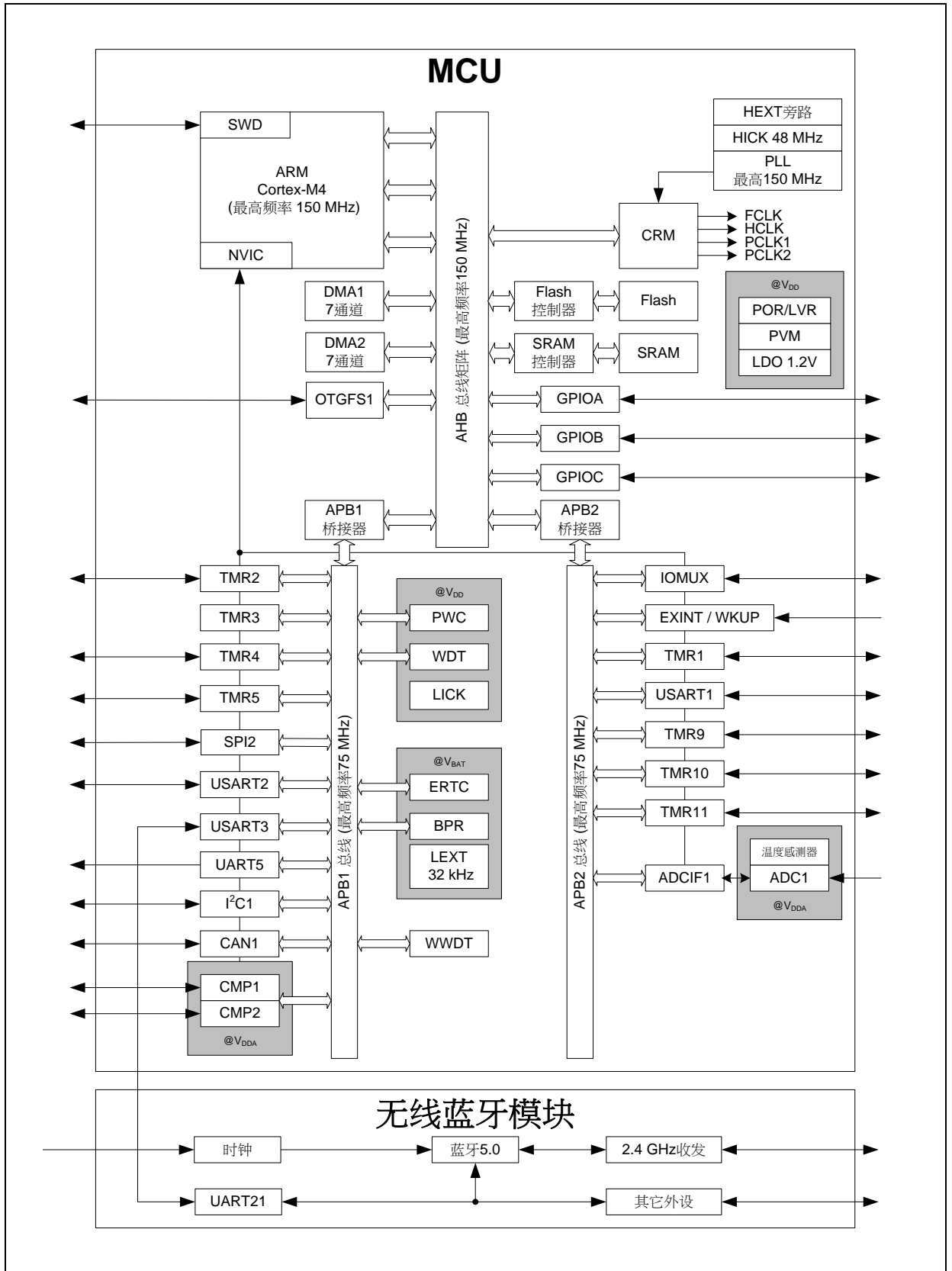
| 型号 | | AT32WB415CCU7-7 |
|-------------|----------------------|---------------------------------|
| 频率 (MHz) | | 150 |
| 闪存 (K 字节) | | 256 |
| SRAM (K 字节) | | 32 |
| 定时器 | 高级 | 1 |
| | 32 位通用 | 2 |
| | 16 位通用 | 5 |
| | SysTick | 1 |
| | WDT | 1 |
| | WWDT | 1 |
| | 增强型 RTC | 1 |
| 通信接口 | I ² C | 1 |
| | SPI | 1 |
| | USART ⁽¹⁾ | 3 (MCU) ⁽²⁾ + 1 (蓝牙) |
| | OTGFS | 1 |
| | CAN | 1 |
| 模拟 | 12 位 ADC 转换器/ 通道数 | 1 8 |
| | 比较器 | 2 |
| GPIO | | 22 (MCU) + 8 (蓝牙) |
| 工作温度 | | -40 °C 至+105 °C |
| 封装形式 | | QFN48 7 x 7 mm |

(1) 不包含MCU与无线蓝牙模块内部对接所使用的UART。

(2) MCU UART5仅有TX功能。

下图是AT32WB415系列产品的功能框图。

图 1. AT32WB415 系列功能框图



2 无线蓝牙模块功能简介

2.1 概述

- 符合蓝牙®技术联盟5.0双模规范
- 低功耗2.4 GHz收发器
- 时钟
 - 16 MHz晶振
 - 64 MHz PLL
 - 32 kHz内部时钟
- 外设
 - 8个GPIO
 - 带2通道PWM
 - 带2个UART，其中UART21与MCU USART3连接
- 真乱数发生器

2.2 通用输入输出口（GPIO）

GPIO可规划为输入或输出。GPIO上复用功能可用软件设置。当无线蓝牙模块复位后，会进入烧录模式，P04 ~ P07外接烧录工作可对无线蓝牙模块做烧录动作。

每个GPIO都可以作唤醒源将无线蓝牙模块从关机模式唤醒。当处于关机模式时，在软件预先设置的GPIO引脚上的电平改变就会触发唤醒流程。

2.3 PWM 定时器

无线蓝牙模块配有高达6个16位PWM定时器，这些定时器的时钟源可以透过寄存器选择为32 kHz时钟或16 MHz时钟。

PWM定时器有两个模式，分别为定时器模式或PWM模式。定时器模式会产生无线蓝牙模块中断，而PWM模式会产生PWM波型由GPIO输出，用来驱动外部器件。2个GPIO引脚可各自产生PWM输出。

2.4 看门狗

看门狗在无线蓝牙模块使用内部32 kHz时钟，是一个16位定时器支持最大周期16秒。当看门狗到时，它会将整个无线蓝牙模块复位。

2.5 通用异步收发器（UART）

无线蓝牙模块配有两个UART（UART21和UART22），其中UART21与MCU USART3连接。UART波特率可高3.2 MHz。

2.6 安全性

无线蓝牙模块配有真乱数产生器可使整个系统达到更好的安全通讯。

3 MCU 功能简介

3.1 ARM®Cortex®-M4

ARM®Cortex®-M4是最新一代的嵌入式ARM®内核处理器，它是一款32位的RISC高性能处理器，具有优异的代码效率，卓越的计算性能和先进的中断系统响应。该处理器支持一组DSP指令，能够实现有效的信号处理和复杂的算法执行。

3.2 存储器

3.2.1 闪存存储器（Flash）

内置高达256 K字节的闪存存储器，用于存放程序和数据。内置存储器可指定任意一范围程序区受sLib保护，成为仅能执行无法被读取的执行代码安全库区。sLib是基于保护方案商代码安全之下，又顾及其客户便于进行二次开发而设计的。

片上另有18 K字节的启动程序代码区，启动加载程序（Bootloader）存放于其中。

另外片上包含用户系统数据区块，用于配置访问擦写保护、看门狗自启动等硬件设置行为。用户系统数据对于存储器提供擦写保护和访问保护各自设置功能。

3.2.2 存储器保护单元（MPU）

存储器保护单元（MPU）用于管理CPU对存储器的访问，防止一个任务意外损坏另一个激活任务所使用的存储器或资源。此存储区由最多8个保护区组成，还可依次再被分为最多8个子区。保护区大小可为32字节至可寻址存储器的整个4 G字节。MPU特别适合有一些关键的或认证的代码必须受到保护，以免被其它任务的错误行为影响。它通常是一个RTOS（实时操作系统）。

3.2.3 内置随机存取存储器（SRAM）

高达32 K字节的嵌入式SRAM，CPU能以零等待周期访问（读/写）。

3.3 中断

3.3.1 嵌套的向量式中断控制器（NVIC）

AT32WB415系列产品内置嵌套的向量式中断控制器，可管理16个优先级，处理Cortex®-M4内核的可屏蔽中断通道及16个中断线。该模块以最小的中断延迟提供灵活的中断管理功能。

3.3.2 外部中断（EXINT）

外部中断（EXINT）与NVIC直接连接，EXINT包含23个边沿检测器，用于产生中断请求。每个中断线都可以独立地配置它的触发事件（上升沿、下降沿、或双边沿），并能够单独地被屏蔽；挂起寄存器维持所有中断请求的状态。外部中断其中最多有16根可从GPIO中选择连接。

3.4 电源控制（PWC）

3.4.1 供电方案

- $V_{DD} = 2.6 \sim 3.6 \text{ V}$ ：通过 V_{DD} 引脚为GPIO引脚和LDO等内部模块供电。
- $V_{DDA} = 2.6 \sim 3.6 \text{ V}$ ：通过 V_{DDA} 引脚为ADC和CMP供电。 V_{DDA} 和 V_{SSA} 必须分别与 V_{DD} 和 V_{SS} 等电位。
- $V_{BAT} = 1.8 \sim 3.6 \text{ V}$ ：当关闭 V_{DD} 时，通过内部电源切换器为ERTC、外部32 kHz振荡器（LEXT）和电池供电寄存器（BPR）供电。

3.4.2 复位和电源电压监测器（POR / LVR / PVM）

本产品内部集成了上电复位（POR）和低电压复位（LVR）电路，该电路始终处于工作状态，可使器件在供电超过2.6 V时工作；当 V_{DD} 压降低于规定阈值（ V_{LVR} ）时，置器件于复位状态，而不必使用外部复位电路。

产品中还包含一个电源电压监测器（PVM），它监视 V_{DD} 供电并与阈值 V_{PVM} 比较，当 V_{DD} 低于或高于阈值 V_{PVM} 时产生中断。PVM功能需要通过程序开启。

3.4.3 电压调节器（LDO）

LDO有三个操作模式：正常模式、低功耗模式、和关断模式。

- 正常模式：用于正常的运行/睡眠操作并可用于CPU的深睡眠模式；
- 低功耗模式：可用于CPU的深睡眠模式；
- 关断模式：用于CPU的待机模式。LDO的输出为高阻状态，内核电路的供电切断，寄存器和SRAM的内容将丢失。

该LDO在复位后处于正常模式工作状态。

3.4.4 低功耗模式

AT32WB415系列产品支持三种低功耗模式。

- 睡眠模式（Sleep）

在睡眠模式，只有CPU停止，所有外设处于工作状态并可在发生中断/事件时唤醒CPU。

- 深睡眠模式（Deepsleep）

深睡眠模式下可以实现低功耗，同时保持SRAM和寄存器的内容。此时，LDO供电域中的所有时钟都会停止，PLL、HICK时钟、和HEXT时钟也被关闭。还可以将LDO置于正常模式或低功耗模式。

可以通过任一配置成EXINT的信号把微控制器从深睡眠模式中唤醒，EXINT信号可以是16个外部GPIO口之一、PVM的输出、ERTC闹钟、OTGFS或CMP的唤醒信号。

- 待机模式（Standby）

在待机模式下可以达到最低的电能消耗。内部的LDO被关闭，因此所有内部LDO供电被切断。PLL、HICK时钟、和HEXT时钟也被关闭。进入待机模式后，SRAM和寄存器的内容将消失，但ERTC寄存器和电池供电寄存器的内容仍然保留，待机电路仍工作。

从待机模式退出的条件是：NRST上的外部复位信号、WDT复位、WKUP引脚上的一个上升边沿或ERTC的闹钟到时。

注：在进入深睡眠或待机模式时，ERTC、WDT对应的时钟不会被停止。

3.5 启动模式

在启动时，通过BOOT0和BOOT1引脚可以选择三种启动模式中的一种：

- 从用户闪存存储器启动；
- 从启动程序代码区启动；
- 从内部SRAM启动。

启动加载程序（Bootloader）存放于启动程序代码区中，可以通过USART2或OTGFS1设备模式（DFU：设备固件更新）对闪存重新编程。表3提供启动加载程序（Bootloader）对AT32WB415的引脚配置。

表 3. 启动加载程序（Bootloader）的引脚配置

| 外设 | 对应管脚 |
|--------|--|
| USART2 | PA2: USART2_TX ⁽¹⁾ PA3: USART2_RX ⁽¹⁾ |
| OTGFS1 | PA11: OTGFS1_D- PA12: OTGFS1_D+ |

(1) 注意使用管脚非5 V耐压。

3.6 时钟

系统时钟在复位后，高速内部48 MHz时钟（HICK）经6分频后（8 MHz）被选为默认的CPU时钟，随后可以选择外部旁路、具失效监控的4~25 MHz高速外部时钟（HEXT）；当检测到高速外部时钟失效时，它将被关闭，系统将自动地切换到HICK，软件可以接收到相应的中断。同样当PLL使用的高速外部时钟失效时，硬件也会如此自动设置。

时钟控制分成多个预分频器用于配置AHB的频率和APB（APB1和APB2）的频率。AHB的最高频率是150 MHz，APB的最高频率为75 MHz。

3.7 通用输入输出口（GPIO）

每个GPIO引脚都可以由软件配置成输出（推挽或开漏）、输入（浮空、带或不带上拉或下拉）或复用的外设功能端口。多数GPIO引脚都与数字或模拟的多个外设共享。所有的GPIO引脚都有大电流通过能力。

在需要的情况下，GPIO引脚的外设功能可以通过一个特定的操作锁定，以避免意外的写入GPIO寄存器。

3.8 重映射功能

此功能使用户可以在选定的器件下实现最多数量的外设功能。那些复用的外设功能不仅仅可以通过默认的引脚实现，还可以通过其他那些可重映射的引脚实现。这使得引脚的选择更加灵活，制板更加方便。

具体请参考表5，列出了所有那些可以重映射的外设功能，以及重映射到的引脚。请参考AT32WB415参考手册来获得软件配置的详细信息。

3.9 直接存储器访问控制器（DMA）

灵活的14通道通用DMA（DMA1上有7个通道，DMA2上有7个通道）能够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。2个DMA控制器支持环形缓冲区的管理，当控制器到达缓冲区末尾时，无需通过用户代码进行干预。

每个通道都与专门的硬件DMA请求相连，同时支持软件触发。通过软件进行相关配置，并且数据源和数据目标之间传输的数据量不受限制。

DMA可以用于主要的外设：SPI，I²C，USART，通用和高级控制定时器TMRx，和ADC。

3.10 定时器（TMR）

AT32WB415系列产品包含最多1个高级定时器和7个通用定时器，以及1个系统滴答定时器。

下表比较了高级定时器和通用定时器的功能：

表 4. 定时器功能比较

| 定时器类型 | 定时器 | 计数器分辨率 | 计数器类型 | 预分频系数 | 产生 DMA 请求 | 捕获/比较通道 | 互补输出 |
|-------|----------------|-----------|-----------------|---------------------|-----------|---------|------|
| 高级 | TMR1 | 16 位 | 递增，递减， 递增/递减 | 1~65536 之间的 任意整数 | 有 | 4 | 1 |
| 通用 | TMR2 TMR5 | 16 或 32 位 | 递增，递减， 递增/递减 | 1~65536 之间的 任意整数 | 有 | 4 | 无 |
| | TMR3 TMR4 | 16 位 | 递增，递减， 递增/递减 | 1~65536 之间的 任意整数 | 有 | 4 | 无 |
| | TMR9 | 16 位 | 递增 | 1~65536 之间的 任意整数 | 无 | 2 | 无 |
| | TMR10 TMR11 | 16 位 | 递增 | 1~65536 之间的 任意整数 | 无 | 1 | 无 |

3.10.1 高级定时器（TMR1）

一个高级定时器（TMR1）被当成完整的通用定时器。四个独立的通道可以用于：

- 输入捕获
- 输出比较
- 产生PWM（边缘或中心对齐模式）
- 单周期输出

配置为16位标准定时器时，它与TMRx定时器具有相同的功能。配置为16位PWM发生器时，它具有全调制能力（0~100%）。

在调试模式下，计数器可以被冻结，同时PWM输出被禁止，从而切断由这些输出所控制的开关。

很多功能都与通用定时器相同，内部结构也相同，因此高级定时器可以通过定时器链接功能与通用定时器协同操作，提供同步或事件连接功能。

3.10.2 通用定时器（TMR2~3 和 TMR13~17）

AT32WB415系列产品中，内置了多达7个可同步运行的通用定时器。

- **TMR2, TMR3, TMR4, 和TMR5**

TMR2和TMR5是基于一个32位自动加载递增/递减计数器和一个16位的预分频器，而TMR3和TMR4是基于一个16位自动加载递增/递减计数器和一个16位的预分频器。这些定时器在最大的封装配置中可提供4个独立的通道，每个通道都可用于输入捕获、输出比较、PWM和单周期模式输出。

它们还能通过定时器链接功能与高级定时器共同工作，提供同步或事件链接功能。在调试模式下，计数器可以被冻结。任一标准定时器都能用于产生PWM输出。每个定时器都有独立的DMA请求机制。

这些定时器还能够处理增量编码器的信号，也能处理1至3个霍尔传感器的数字输出。

- **TMR9**

TMR9有一个16位的自动加载递增计数器、一个16位的预分频器和2个独立的通道，每个通道都可用于输入捕获、输出比较、PWM和单周期模式输出，它们可以与全功能通用定时器同步。它们也可以用作简单的定时器。在调试模式下，计数器可以被冻结。

- **TMR10和TMR11**

这些定时器都有一个16位的自动加载递增计数器、一个16位的预分频器和1个独立的通道，每个通道都可用于输入捕获、输出比较、PWM和单周期模式输出，它们可以与全功能通用定时器同步。它们也可以用作简单的定时器。在调试模式下，计数器可以被冻结。

3.10.3 系统滴答定时器（SysTick）

这个定时器是专用于实时操作系统，也可当成一个通用的递减计数器。它包含以下功能：

- 24位的递减计数器
- 自动重加载功能
- 当计数器为0时，产生一个可屏蔽系统中断
- 可编程时钟源（HCLK或HCLK/8）

3.11 看门狗（WDT）

看门狗由一个12位的递减计数器和一个8位的预分频器所组成，它的时钟源由低速内部时钟（LICK）提供；因为这个时钟独立于主时钟，所以它可运行于深睡眠和待机模式。它可以被当成看门狗用于在发生错误时复位整个系统，或作为一个自由定时器为应用程序提供超时管理。通过用户系统数据可以配置看门狗是否自启动。在调试模式下，计数器可以被冻结。

3.12 窗口型看门狗（WWDT）

窗口型看门狗内有一个7位的递减计数器，并可以设置成自由运行。它可以被当成看门狗用于在发生错误时复位整个系统。它由主时钟驱动，具有早期预警中断功能；在调试模式下，计数器可以被冻结。

3.13 增强型实时时钟（ERTC）和电池供电寄存器（BPR）

电池供电域包括：

- 增强型实时时钟（ERTC）
- 20个32位电池供电寄存器（BPR）

增强型实时时钟（ERTC）是一个独立的BCD定时器/计数器。它支持下列功能：

- 日历具有秒、分、小时（12或24小时格式）、星期几、日、月、年，格式为BCD（二进制十进制）。
- 提供二进制格式的亚秒值。
- 自动调整每月的天数为28、29（闰年）、30、还是31天。
- 可编程闹钟和可编程的周期性中断具有从深睡眠和待机模式唤醒的能力。
- 为补偿天然石英的偏差，可通过512 Hz的外部输出对ERTC进行校准。

闹钟寄存器用于在特定的时间生成闹钟，可单独屏蔽日历字段以比较闹钟。为生成周期性中断，使用了分辨率可编程的16位可编程二进制自动重载递减计数器，可从每隔120 μ s至每隔36小时自动唤醒和周期性闹钟。其它32位寄存器还包含可编程的闹钟亚秒、秒、分钟、小时、星期几和日期。

预分频器用于时间基准时钟。默认情况下，它被配置为从32.768 kHz时钟生成1秒的时间基准。

电池供电寄存器（BPR）为32位寄存器，用于在V_{DD}电源不存在时存储80字节的用户应用数据。电池供电寄存器不会在系统复位或电源复位时复位，也不会当器件从待机模式唤醒时复位。ERTC和20个后备寄存器通过开关供电，当V_{DD}电源存在时，该开关选择V_{DD}供电，否则选择由V_{BAT}引脚供电。

3.14 通信接口

3.14.1 串行外设接口（SPI）

1个SPI接口，在主或从模式，全双工和半双工下的通信速率可达36兆位/秒。预分频器可产生多种主模式频率，可配置成每帧8位或16位。硬件的CRC产生/校验支持基本的SD卡、MMC、和SDHC模式。SPI接口可以使用DMA操作。

因SPI_CS引脚未引出，CS片选状态必须由软件控制，SPI从机模式较不推荐使用。

3.14.2 通用同步/异步收发器（USART）

AT32WB415系列产品中，内置了3个通用同步/异步收发器（USART1，USART2，和USART3），和1个通用异步收发器（UART5）。其中USART3于芯片内部与无线蓝牙模块连接，UART5仅支持TX。

USART接口提供异步通信、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、和LIN主/从功能。所有接口具有硬件的CTS和RTS信号管理、兼容ISO7816的智能卡和类似SPI通信模式。所有接口都可以使用DMA操作。

所有接口通信速率均可达4.6875兆位/秒。

3.14.3 内部集成电路总线 (I²C)

1个I²C总线接口，能够工作于多主模式或从模式。它们支持标准模式（standard mode，最高100 kHz）和快速模式（fast mode，最高400 kHz）。

I²C接口支持7位或10位寻址，7位从模式时支持双从地址寻址。内置了硬件CRC发生器/校验器。可以使用DMA操作并支持SMBus总线2.0版/PMBus总线。

3.14.4 控制器区域网络 (CAN)

1个CAN接口兼容规范2.0A和2.0B（主动），位速率高达1兆位/秒。它可以接收和发送11位标识符的标准帧和29位标识符的扩展帧。具有3个发送邮箱，2个具3级深度的接收FIFO，和14个可调节的滤波器。CAN控制器分配有256个字节的专用缓存，此专用缓存不和其他硬件外设共享。

为保证传输品质，根据CAN 2.0协议规范的时钟准确度要求，CAN的时钟源必须来自自由HEXT时钟为源头所产生的PLL时钟。

3.14.5 通用串行总线 On-The-Go 全速 (OTGFS)

AT32WB415内置1个集成了收发器（PHY）的OTG全速（12 Mb/s）设备和主机模式控制模块。它具有可由软件配置的端点设置，并支持挂起/恢复机制。OTGFS模块要求专用的48 MHz时钟，必须来自自由HEXT时钟为源头所产生的PLL时钟源。

模块的主要特性有：

- 专用的1280字节缓存（不和其他任何外设共享）
- 8个IN + 8个OUT端点（包含端点0，设备模式）
- 16个通道（主机模式）
- SOF输出
- 兼容USB2.0协议，提供以下传输速率：
 - 主机模式：全速和低速
 - 设备模式：全速

因OTGFS_VBUS和OTGFS_ID引脚未引出，OTGFS1作主机模式时部分功能无法使用。

3.15 循环冗余校验 (CRC) 计算单元

CRC（循环冗余校验）计算单元使用一个固定的多项式发生器，从一个32位的数据字产生一个CRC码。在众多的应用中，基于CRC的技术被用于验证数据传输或存储的一致性。

3.16 模拟/数字转换器 (ADC)

AT32WB415系列产品，内嵌1个12位的模拟/数字转换器（ADC），可以实现单次或序列转换，共享多达8个外部通道和2个内部通道，其中这两个内部通道分别内部连接到温度传感器（V_{TS}）和内部参考电压（V_{REFINT}）。在序列模式下，自动进行在选定的一组模拟通道上的转换。

ADC可以使用DMA操作。

电压监测功能允许非常精准地监视一路、多路或所有选中的通道，当被监视的信号超出预置的阈值时，将产生中断。

由通用定时器（TMRx）和高级定时器（TMR1）产生的事件，分别可以内部连到ADC的普通转换和抢占转换，应用程序能使ADC转换与时钟同步。

3.16.1 温度传感器 (V_{TS})

温度传感器产生一个随温度线性变化的电压 V_{TS} 。温度传感器在内部被连接到ADC1_IN16的输入通道上，用于将传感器的输出转换到数字数值。

由于工艺不同，温度传感器的偏移因芯片而异，因此内部温度传感器主要适合检测温度变化的应用，而不是检测绝对温度的应用。如果需要读取精确温度，则应使用外部温度传感器部分。

3.16.2 内部参考电压 (V_{INTRV})

内部参考电压 (V_{INTRV}) 为ADC提供了一个稳定的电压输出。 V_{INTRV} 内部连接到ADC1_IN17输入通道。

3.17 比较器 (CMP)

AT32WB415器件内置两个轨到轨比较器 (CMP)，具有可编程的参考电压 (内部或外部)、迟滞和速度、可选的输出极性。

参考电压可为以下之一：

- 外部I/O
- 内部参考电压或其约数 (1/4、1/2、3/4)。请参考表49以获取内部参考电压的值和精度。

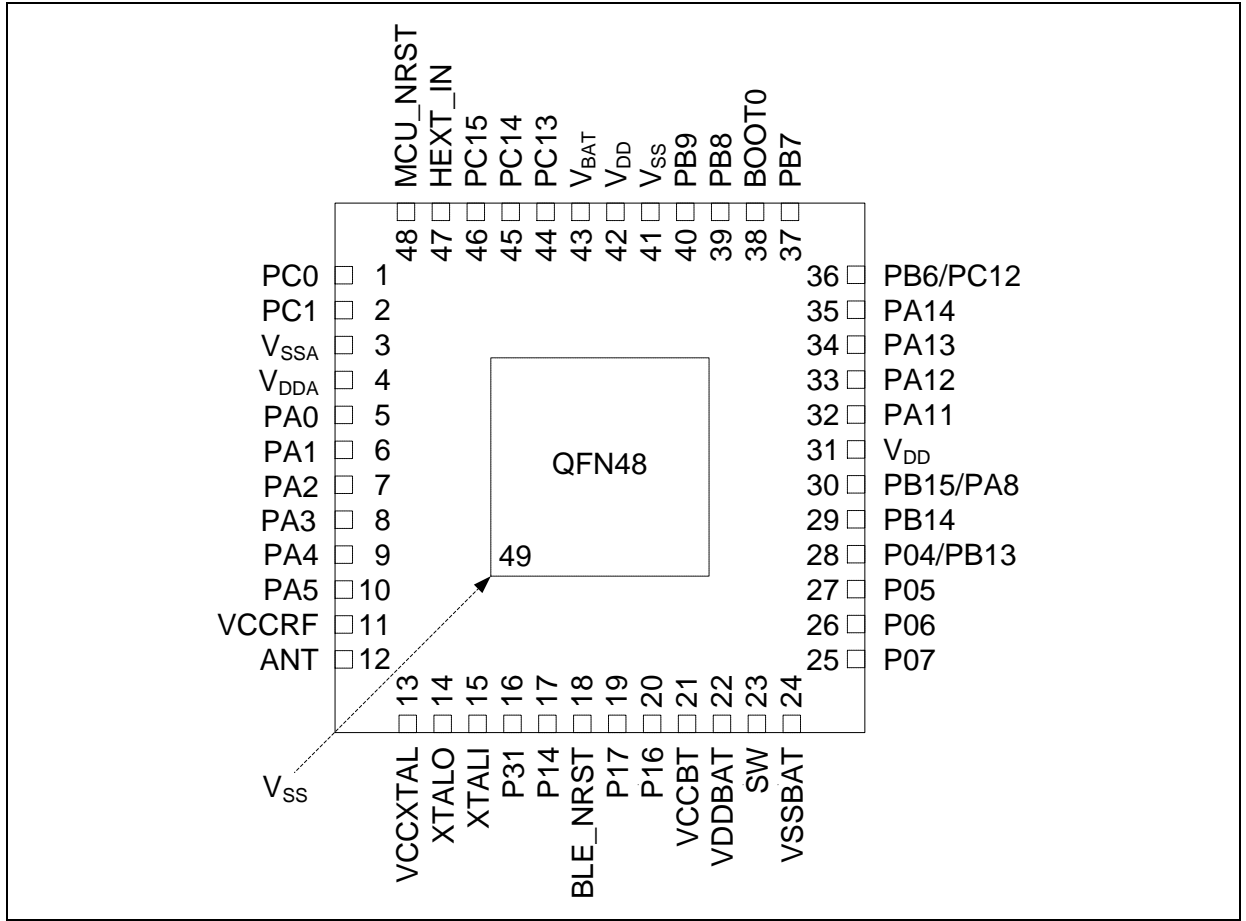
两个比较器都可从深睡眠模式唤醒，也可将输出重映射至定时器，并可组合成一个窗口比较器。

3.18 烧录和调试接口

AT32WB415本身MCU内嵌ARM®的SWD接口，这是一个串行线调试的接口，可以实现串行线调试接口连接到目标PA13和PA14引脚，实现对目标的烧录及调试。

而蓝牙模块另经由一组SPI的烧录接口，使用引脚P04，P05，P06，和P07为蓝牙模块烧入代码。

4 引脚功能定义

图 2. AT32WB415 系列 QFN48 引脚分布

表 5. AT32WB415 系列引脚定义

| 引脚号 | 引脚名称 | 种类 ⁽¹⁾ | IO电平 ⁽²⁾ | 主功能 | 复用功能 ⁽³⁾ | |
|-----|------------------|-------------------|---------------------|------------------|---|----------|
| | | | | | 默认功能 | 重映射 |
| 1 | PC0 | I/O | - | MCU PC0 | ADC1_IN10 | - |
| 2 | PC1 | I/O | - | MCU PC1 | ADC1_IN11 | - |
| 3 | V _{SSA} | S | - | V _{SSA} | MCU模拟地 | |
| 4 | V _{DDA} | S | - | V _{DDA} | MCU模拟电源 | |
| 5 | PA0-WKUP | I/O | - | MCU PA0 | ADC1_IN0 / WKUP / CMP1_OUT ⁽⁴⁾ / CMP1_INP2 / CMP1_INM6 / USART2_CTS / TMR2_CH1 ⁽⁴⁾ / TMR2_EXT ⁽⁴⁾ / TMR5_CH1 ⁽⁴⁾ | TMR1_EXT |
| 6 | PA1 | I/O | - | MCU PA1 | ADC1_IN1 / CMP1_INP1 / USART2_RTS / TMR2_CH2 ⁽⁴⁾ / TMR5_CH2 ⁽⁴⁾ | - |
| 7 | PA2 | I/O | - | MCU PA2 | ADC1_IN2 / CMP2_OUT ⁽⁴⁾ / CMP2_INP2 / CMP2_INM6 / USART2_TX / TMR2_CH3 ⁽⁴⁾ / TMR5_CH3 / TMR9_CH1 ⁽⁴⁾ | - |
| 8 | PA3 | I/O | - | MCU PA3 | ADC1_IN3 / CMP2_INP1 / USART2_RX / TMR2_CH4 ⁽⁴⁾ / TMR5_CH4 / TMR9_CH2 ⁽⁴⁾ | - |

| 引脚号 | 引脚名称 | 种类 ⁽¹⁾ | IO电平 ⁽²⁾ | 主功能 | 复用功能 ⁽³⁾ | |
|-------------------|-----------------|-------------------|---------------------|--------------------|---|--------------------|
| | | | | | 默认功能 | 重映射 |
| 9 | PA4 | I/O | - | MCU PA4 | ADC1_IN4 / CMP1_INM4 / CMP2_INM4 / USART2_CK | - |
| 10 | PA5 | I/O | - | MCU PA5 | ADC1_IN5 / CMP1_INP0 / CMP1_INM5 / CMP2_INM5 | - |
| 11 | VCCRF | S | - | VCCRF | 蓝牙RF电源1.6 V输入 | |
| 12 | ANT | RF | - | ANT | 蓝牙RF信号 | |
| 13 | VCCXTAL | S | - | VCCXTAL | 蓝牙晶振电源1.6 V输入 | |
| 14 | XTALO | O | - | XTALO | 蓝牙16 MHz晶振输出 | |
| 15 | XTALI | I | - | XTALI | 蓝牙16 MHz晶振输入 | |
| 16 | P31 | I/O | - | P31 | - | |
| 17 | P14 | I/O | - | P14 | 蓝牙PWM4 | |
| 18 | BLE_NRST | I | - | BLE_NRST | 蓝牙复位引脚，低电平有效 | |
| 19 | P17 | I/O | - | P17 | 蓝牙UART22_RX | |
| 20 | P16 | I/O | - | P16 | 蓝牙UART22_TX | |
| 21 | VCCBT | S | - | VCCBT | 蓝牙电源1.6 V输入 | |
| 22 | VDDBAT | S | - | VDDBAT | 蓝牙电源3.3 V | |
| 23 | SW | S | - | SW | 蓝牙DC-DC电源（经LC滤波后输出1.6 V） | |
| 24 | VSSBAT | S | - | VSSBAT | 蓝牙电源地 | |
| 25 | P07 | I/O | - | P07 | 蓝牙烧录CS / 蓝牙PWM5 | |
| 26 | P06 | I/O | - | P06 | 蓝牙烧录SCK | |
| 27 | P05 | I/O | - | P05 | 蓝牙烧录MISO | |
| 28 ⁽⁵⁾ | P04 | I/O | - | P04 | 蓝牙烧录MOSI | |
| | PB13 | I/O | FT | MCU PB13 | TMR1_CH1C ⁽⁴⁾ / SPI2_SCK ⁽⁴⁾ | - |
| 29 | PB14 | I/O | FT | MCU PB14 | TMR1_CH2C ⁽⁴⁾ / SPI2_MISO ⁽⁴⁾ | TMR9_CH1 |
| 30 ⁽⁵⁾ | PB15 | I/O | FT | MCU PB15 | TMR1_CH3C ⁽⁴⁾ / ERTC_REFIN SPI2_MOSI ⁽⁴⁾ | TMR9_CH2 |
| | PA8 | I/O | FT | MCU PA8 | CLKOUT / TMR1_CH1 | - |
| 31 | V _{DD} | S | - | V _{DD} | MCU数字电源 | |
| 32 | PA11 | I/O | - | MCU PA11 | OTGFS1_D- / CAN1_RX ⁽⁴⁾ / TMR1_CH4 | CMP1_OUT |
| 33 | PA12 | I/O | - | MCU PA12 | OTGFS1_D+ / CAN1_TX ⁽⁴⁾ / TMR1_EXT | CMP2_OUT |
| 34 | PA13 | I/O | FT | MCU JTMS- SWDIO | - | PA13 |
| 35 | PA14 | I/O | FT | MCU JTCK- SWCLK | - | PA14 |
| 36 ⁽⁵⁾ | PC12 | I/O | FT | MCU PC12 | UART5_TX | - |
| | PB6 | I/O | FT | MCU PB6 | I2C1_SCL ⁽⁴⁾ / TMR4_CH1 | USART1_TX |
| 37 | PB7 | I/O | FT | MCU PB7 | I2C1_SDA ⁽⁴⁾ / TMR4_CH2 | USART1_RX |
| 38 | BOOT0 | I | - | BOOT0 | - | - |
| 39 | PB8 | I/O | FT | MCU PB8 | TMR4_CH3 / TMR10_CH1 ⁽⁴⁾ | I2C1_SCL / CAN1_RX |

| 引脚号 | 引脚名称 | 种类 ⁽¹⁾ | IO电平 ⁽²⁾ | 主功能 | 复用功能 ⁽³⁾ | |
|------|---|-------------------|---------------------|------------------|--|--------------------|
| | | | | | 默认功能 | 重映射 |
| 40 | PB9 | I/O | FT | MCU PB9 | TMR4_CH4 / TMR11_CH1 ⁽⁴⁾ | I2C1_SDA / CAN1_TX |
| 41 | V _{SS} | S | - | V _{SS} | MCU数字地 | |
| 42 | V _{DD} | S | - | V _{DD} | MCU数字电源 | |
| 43 | V _{BAT} | S | - | V _{BAT} | MCU电池供电电源 | |
| 44 | PC13 ⁽⁶⁾ | I/O | - | MCU PC13 | TAMPER-ERTC ⁽⁷⁾ | - |
| 45 | PC14 ⁽⁶⁾ | I/O | - | MCU PC14 | LEXT_IN ⁽⁷⁾ | - |
| 46 | PC15 ⁽⁶⁾ | I/O | - | MCU PC15 | LEXT_OUT ⁽⁷⁾ | - |
| 47 | HEXT_IN ⁽⁸⁾ | I/O | - | HEXT_IN | HEXT_IN | - |
| 48 | MCU_NRST | I/O | - | MCU_NRST | MCU复位引脚，低电平有效 | |
| 49 | EPAD | S | - | V _{SS} | MCU数字地 | |
| 内部互连 | PA6 | I | - | MCU PA6 | - | USART3_RX |
| | P00 | O | - | P00 | 蓝牙UART21_TX | |
| 内部互连 | PA7 | O | - | MCU PA7 | - | USART3_TX |
| | P01 | I | - | P01 | 蓝牙UART21_RX | |
| 内部 | PB2 / BOOT1 | - | - | BOOT1 | MCU该引脚内部固定连接V _{SS} （PB2功能不可用） | |
| - | 注：MCU PA9, PA10, PA15, PB0, PB1, PB3~5, PB10~12, PC0~11, PD2, PF4~7未连接 建议软件将这些引脚全部设置为输出模式低电平以强化抗干扰能力并避免额外漏电。 | | | | | |

(1) I = 输入, O = 输出, S = 电源, RF = 射频信号。

(2) FT = 5 V容忍。

(3) 如果有多个外设功能映射到了同一个GPIO，为了避免外设的冲突，在同一时间，只能通过外设时钟的使能位（在相应的CRM外设时钟使能寄存器中）使能一个外设。

(4) 此类复用功能能够由软件配置到其他引脚上（如果相应的封装型号有此引脚）。

(5) 内部GPIO共同打线至外部引脚，同时只能使能其中一个GPIO及其复用功能，未使能的另一GPIO必须设置为模拟或浮空输入模式。

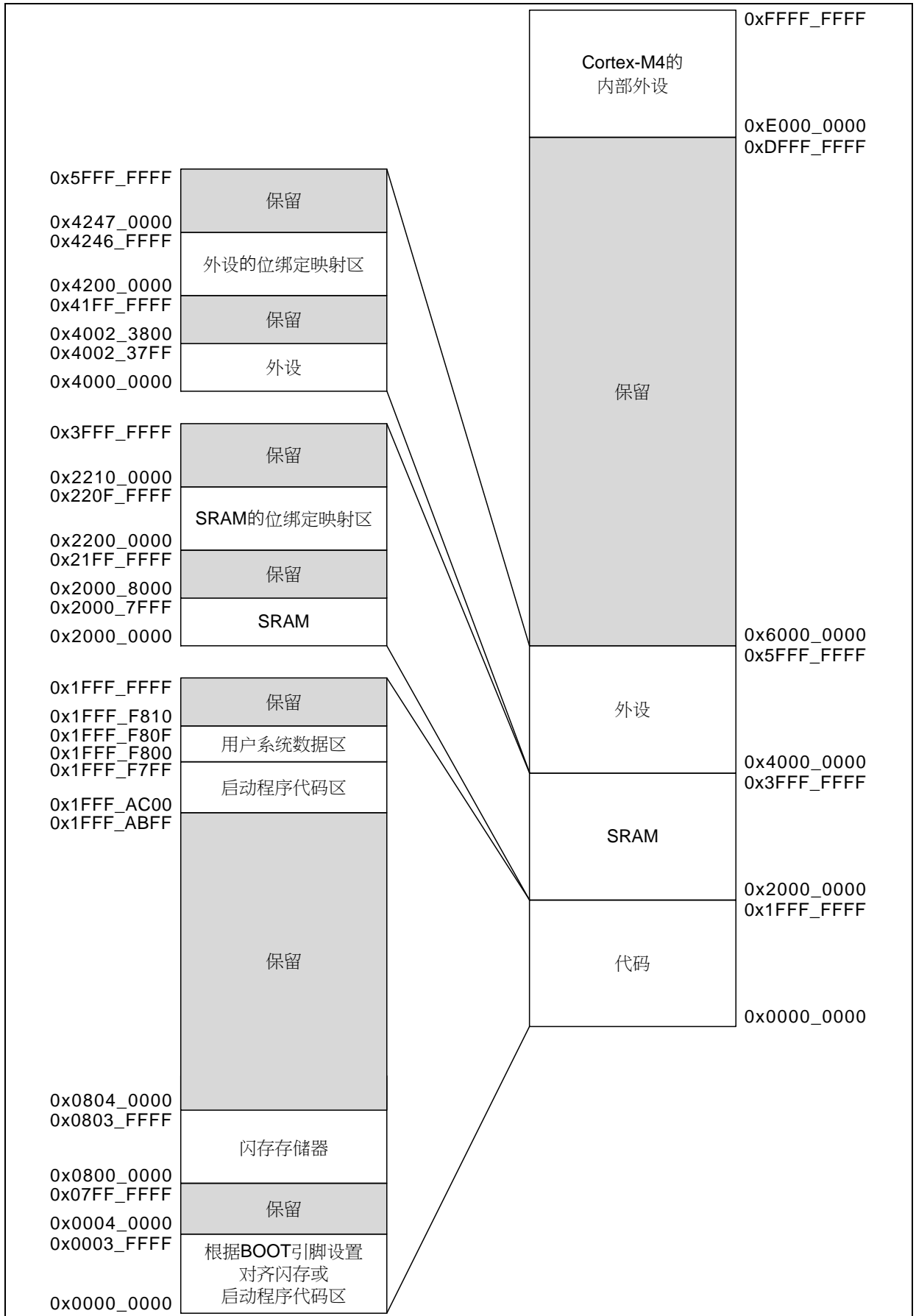
(6) PC13、PC14、和PC15引脚通过电源开关进行供电，而这个电源开关只能够推动有限的电流（3 mA），因此这三个引脚作为输出引脚时不能作为电流源（如驱动LED）。

(7) 这些引脚在备份区域第一次上电时处于主功能状态下，之后即使复位，这些引脚的状态由备份区域寄存器控制（这些寄存器不会被主复位系统所复位）。

(8) 使能HEXT时一律开启旁路模式。

5 MCU 存储器映像

图 3. 存储器图



6 无线蓝牙模块电气特性

表 6. 通用工作条件

| 符号 | 参数 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|--------------------|-----------|-----|-----|-----|----|
| V _{DD} | 工作电压 | 2.6 | 3.3 | 3.6 | V |
| V _{DC-DC} | DC-DC输出电压 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | V |
| T _A | 环境温度 | -40 | 25 | 105 | °C |

表 7. 操作电流

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|-----------------|-------|---|-----|-----|-----|----|
| I _{DD} | 深睡眠模式 | - | - | 0.5 | - | μA |
| | 睡眠模式 | RF关闭, 32 kHz时钟开启, 数字电路保持 | - | 1.8 | - | μA |
| | 工作模式 | 接收, V _{DD} = 3.3 V, DC-DC调压器开启 | - | 5.1 | - | mA |
| | | 发送, -1 dBm, V _{DD} = 3.3 V, DC-DC调压器开启 | - | 4.8 | - | mA |

表 8. GPIO 特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|-----------------|---------|---------------------------|-----------------------|-----|-----------------------|----|
| V _{IL} | 输入低电平电压 | - | 0 | - | 0.3 | V |
| V _{IH} | 输入高电平电压 | - | V _{DD} - 0.3 | - | V _{DD} + 0.3 | V |
| V _{OL} | 输出低电平电压 | I _{OL} = 250 μA | 0 | - | 0.3 | V |
| V _{OH} | 输出高电平电压 | I _{OH} = -250 μA | V _{DD} - 0.3 | - | V _{DD} | V |

表 9. RF 特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|----------------------|---------------|--|------|-----|------|-------|
| 一般RF特性 | | | | | | |
| FOP | 工作频率 | - | 2400 | - | 2480 | MHz |
| FXTAL | 晶振频率 | - | - | 16 | - | MHz |
| RFSK | 无线资料传输率 | - | - | 1 | 2 | Mbps |
| 发送 (1 Mbps模式) | | | | | | |
| PO | 输出功率 | - | -20 | -1 | +4 | dbm |
| PBW | 调变20db频宽 | - | - | - | 1 | MHz |
| PRF | 带外溢出 | 2 MHz | - | -20 | - | dB |
| | | 3 MHz | - | -58 | - | |
| Dev | 发送FM偏差 | - | 115 | 250 | 300 | kHz |
| Drift | 发送偏移在任意位置 | - | - | - | 400 | Hz/μs |
| 接收 (BLE模式) | | | | | | |
| Max input | 1E-3 BER | - | - | -10 | - | dBm |
| RXSNS | 1E-3 BER灵敏度 | - | - | -96 | -97 | dBm |
| INTMOD | 互调变 | P _{IN} = -64 dbm, P _{unwant} = -50 dbm; f ₀ = 2 x f ₁ - f ₂ , f ₂ - f ₁ = 3或4或5 MHz | - | -25 | -22 | dBm |
| C/I _{CO} | 共同通道C/I | - | - | 7 | - | dB |
| C/I _{1ST} | ACS C/I 1 MHz | - | -9 | - | -6 | dB |

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|---------|---------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|
| C/I2ND | ACS C/I 2 MHz | - | - | -44 | - | dB |
| C/I3RD | ACS C/I 3 MHz | - | - | -50 | - | dB |
| C/I1STI | ACS C/I影象通道 | - | - | -25 | - | dB |
| C/I2NDI | ACS C/I 1 MHz | - | -35 | | - | dB |
| Block | 块 | @ 2339 MHz和2484 MHz | - | -15 | - | dBm |
| | | @ 2 GHz和3 GHz | - | -15 | - | |
| Lkg | 泄漏 | @ < 1 GHz | - | -71 | | dBm |
| | | @ > 1 GHz | - | -56 | - | |

7 MCU 电气特性

7.1 测试条件

7.1.1 最小和最大数值

所有最小和最大值是在最坏的条件下得出，在每个表格下方的注解中说明为通过综合评估、设计模拟和/或工艺特性，以其平均值 $\pm 3\sigma$ 得到的数据，不会在生产线上进行测试。

7.1.2 典型数值

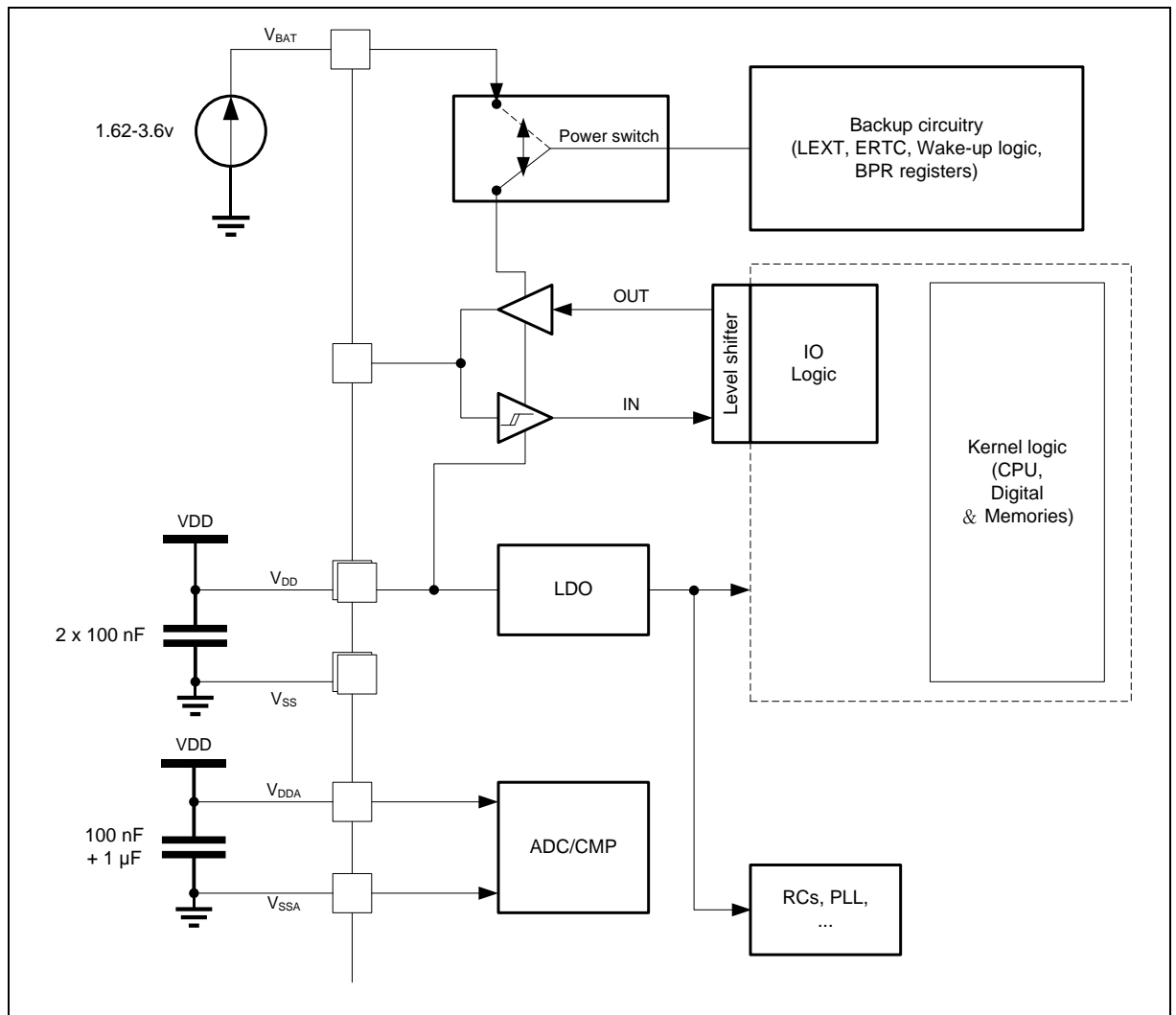
典型数据是基于 $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $V_{DD} = 3.3\text{ V}$ 。

7.1.3 典型曲线

典型曲线仅用于设计指导而未经测试。

7.1.4 供电方案

图 4. 供电方案



7.2 绝对最大值

7.2.1 额定值

加在器件上的载荷如果超过「绝对最大额定值」列表（表10, 表11, 表12）中给出的值, 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, 并不意味着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 10. 电压特性

| 符号 | 描述 | 最小值 | 最大值 | 单位 |
|--------------------|--------------|--------------|-----|----|
| $V_{DDx}-V_{SS}$ | 外部主供电电压 | -0.3 | 4.0 | V |
| V_{IN} | 在FT引脚上的输入电压 | $V_{SS}-0.3$ | 6.0 | |
| | 在其它引脚上的输入电压 | $V_{SS}-0.3$ | 4.0 | |
| $ \Delta V_{DDx} $ | 不同供电引脚之间的电压差 | - | 50 | mV |
| $ V_{SSx}-V_{SS} $ | 不同接地引脚之间的电压差 | - | 50 | |

表 11. 电流特性

| 符号 | 描述 | 最大值 | 单位 |
|-----------|---------------------------|-----|----|
| I_{VDD} | 经过 V_{DD} 电源线的总电流（流入电流） | 150 | mA |
| I_{VSS} | 经过 V_{SS} 地线的总电流（流出电流） | 150 | |
| I_{IO} | 任意GPIO和控制引脚上的输出灌电流 | 25 | |
| | 任意GPIO和控制引脚上的输出电流 | -25 | |

表 12. 温度特性

| 符号 | 描述 | 数值 | 单位 |
|-----------|--------|------------|----|
| T_{STG} | 储存温度范围 | -60 ~ +150 | °C |
| T_J | 最大结温度 | 125 | |

7.2.2 电气敏感性

基于三个不同的测试（HBM，CDM，和LU），使用标准的测量方法，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）

静电放电施加到所有样品的所有引脚上。这个测试符合JS-001-2017/JS-002-2018标准。

表 13. 静电放电值

| 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 °C，符合JS-001-2017 | 3A | ±5000 | V |
| V _{ESD(CDM)} | 静电放电电压（充电设备模型） | T _A = +25 °C，符合JS-002-2018 | III | ±1000 | |

(1) 由综合评估得出，不在生产中测试。

静态栓锁（Static latch-up）

为了评估栓锁性能需要在样品上进行符合EIA/JESD78E集成电路栓锁标准的互补静态栓锁测试：

- 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GPIO引脚上注入电流。

表 14. 静态栓锁值

| 符号 | 参数 | 条件 | 级别/类型 |
|----|------|--|----------------|
| LU | 静态栓锁 | T _A = +105 °C，符合EIA/JESD78E | II 类A（±200 mA） |

7.3 规格

7.3.1 通用工作条件

表 15. 通用工作条件

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 最大值 | 单位 |
|----------------------|--------------|-------------------------|-----------------|-----|-----|
| f _{HCLK} | 内部AHB时钟频率 | - | 0 | 150 | MHz |
| f _{PCLK1/2} | 内部APB1/2时钟频率 | - | 0 | 75 | MHz |
| V _{DD} | 数字电源工作电压 | - | 2.6 | 3.6 | V |
| V _{DDA} | 模拟电源工作电压 | 必须与V _{DD} 相同电位 | V _{DD} | | V |
| V _{BAT} | 电池供电工作电压 | - | 1.8 | 3.6 | V |
| T _A | 环境温度 | - | -40 | 105 | °C |

7.3.2 上电和掉电时的工作条件

表 16. 上电和掉电时的工作条件

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 最大值 | 单位 |
|------------------|----------------------|----|-----|------------------|------|
| t _{VDD} | V _{DD} 上升速率 | - | 0 | ∞ ⁽¹⁾ | ms/V |
| | V _{DD} 下降速率 | | 20 | ∞ | μs/V |

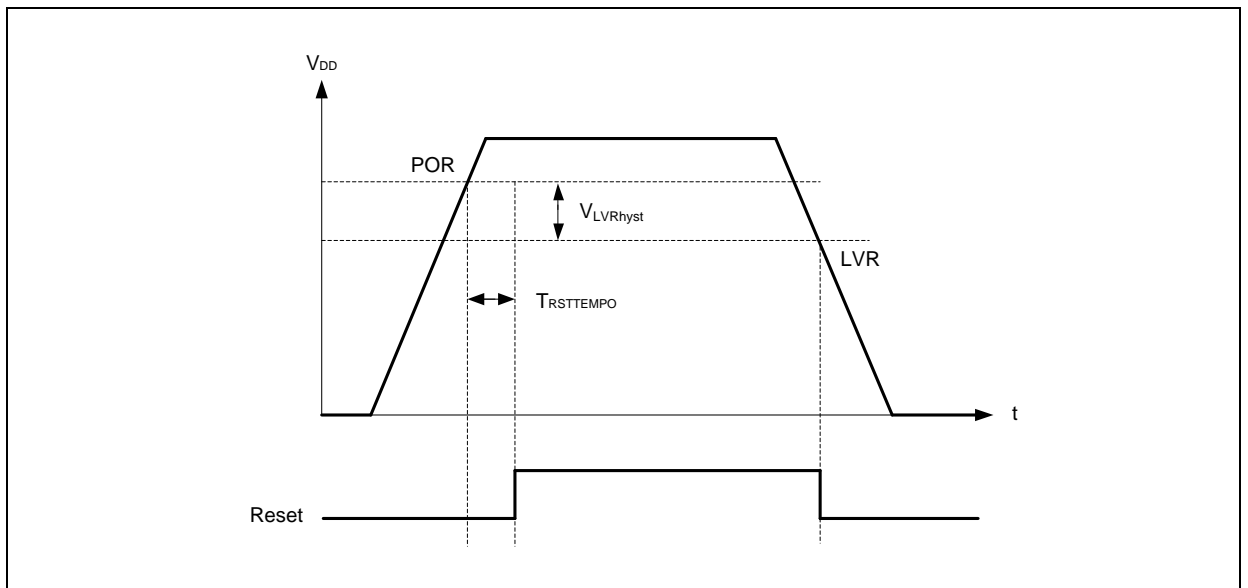
(1) 若V_{DD}上电速率慢于6 ms/V，必须确认V_{DD}电压高于V_{POR} + 0.1V，代码才能对后备域寄存器进行存取。

7.3.3 内嵌复位和电源控制模块特性

表 17. 内嵌复位和电源管理模块特性⁽¹⁾

| 符号 | 参数 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|-----------------------|--|---------------------|------|------|----|
| V _{POR} | 上电复位阈值 | 2.05 | 2.3 | 2.5 | V |
| V _{LVR} | 低电压复位阈值 | 1.85 ⁽²⁾ | 2.15 | 2.35 | V |
| V _{LVRhyst} | LVR迟滞 | - | 180 | - | mV |
| T _{RSTTEMPO} | 复位持续时间: V _{DD} 高于V _{POR} 且持续时间超过T _{RSTTEMPO} 后CPU开始运行 | - | 600 | - | μs |

- (1) 由综合评估得出, 不在生产中测试。
 (2) 产品的特性由设计保证至最小的数值V_{LVR}。

图 5. 上电复位和低电压复位的波形图

表 18. 可编程电压检测器特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|-----------------------------------|----------------------------|--------------------|------|------|------|----|
| V _{PVM1} | PVM阈值1 (PVMSEL[2:0] = 001) | 上升沿 ⁽¹⁾ | 2.19 | 2.28 | 2.37 | V |
| | | 下降沿 ⁽¹⁾ | 2.09 | 2.18 | 2.27 | V |
| V _{PVM2} | PVM阈值2 (PVMSEL[2:0] = 010) | 上升沿 ⁽¹⁾ | 2.28 | 2.38 | 2.48 | V |
| | | 下降沿 ⁽¹⁾ | 2.18 | 2.28 | 2.38 | V |
| V _{PVM3} | PVM阈值3 (PVMSEL[2:0] = 011) | 上升沿 ⁽²⁾ | 2.38 | 2.48 | 2.58 | V |
| | | 下降沿 ⁽²⁾ | 2.28 | 2.38 | 2.48 | V |
| V _{PVM4} | PVM阈值4 (PVMSEL[2:0] = 100) | 上升沿 ⁽²⁾ | 2.47 | 2.58 | 2.69 | V |
| | | 下降沿 ⁽²⁾ | 2.37 | 2.48 | 2.59 | V |
| V _{PVM5} | PVM阈值5 (PVMSEL[2:0] = 101) | 上升沿 ⁽²⁾ | 2.57 | 2.68 | 2.79 | V |
| | | 下降沿 ⁽²⁾ | 2.47 | 2.58 | 2.69 | V |
| V _{PVM6} | PVM阈值6 (PVMSEL[2:0] = 110) | 上升沿 ⁽²⁾ | 2.66 | 2.78 | 2.9 | V |
| | | 下降沿 ⁽²⁾ | 2.56 | 2.68 | 2.8 | V |
| V _{PVM7} | PVM阈值7 (PVMSEL[2:0] = 111) | 上升沿 | 2.76 | 2.88 | 3 | V |
| | | 下降沿 | 2.66 | 2.78 | 2.9 | V |
| V _{Hsy_P} ⁽²⁾ | PVM迟滞 | - | 100 | - | mV | |

- (1) PVMSEL[2:0] = 001, 010电平可能因低于V_{POR}无法使用。
 (2) 由综合评估得出, 不在生产中测试。

7.3.4 存储器特性

表 19. 内部闪存存储器特性⁽¹⁾

| 符号 | 参数 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|-------------------|--------|-----|-----|----|
| T _{PROG} | 编程时间 | 40 | 42 | μs |
| t _{SE} | 扇区擦除时间 | 6.6 | 8 | ms |
| t _{ME} | 全擦除时间 | 8.2 | 10 | ms |

(1) 由设计保证，不在生产中测试。

表 20. 内部闪存存储器寿命和数据保存期限⁽¹⁾

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|------------------|----------|-------------------------------|-----|-----|-----|----|
| N _{END} | 寿命（擦写次数） | T _A = -40 ~ 105 °C | 100 | - | - | 千次 |
| t _{RET} | 数据保存期限 | T _A = 105 °C | 10 | - | - | 年 |

(1) 由设计保证，不在生产中测试。

7.3.5 供电电流特性

电流消耗是与多种参数和因素有关的综合指标，由综合评估得出，不在生产中测试。这些参数和因素包括工作电压、环境温度、GPIO引脚的负载、产品的软件配置、工作频率、GPIO脚的翻转速率、以及执行的代码等。

典型和最大电流消耗

微控制器处于下述条件下：

- 所有的GPIO引脚都处于模拟模式。
- 闪存存储器的访问时间随f_{HCLK}的频率调整（0 ~ 32 MHz时为0个等待周期，33 ~ 64 MHz时为1个等待周期，65 ~ 96 MHz时为2个等待周期，97~128 MHz时为3个等待周期，超过128 MHz时为4个等待周期）。
- 指令预取功能开启。
- 当开启外设时：
 - 若f_{HCLK} > 72 MHz，f_{PCLK1} = f_{HCLK}/2，f_{PCLK2} = f_{HCLK}/2，f_{ADCCLK} = f_{PCLK2}/4；
 - 若f_{HCLK} ≤ 72 MHz，f_{PCLK1} = f_{HCLK}，f_{PCLK2} = f_{HCLK}，f_{ADCCLK} = f_{PCLK2}/4。
- 除非特别标注，典型值是在V_{DD} = 3.3 V和T_A = 25 °C时测试得到，最大值是在V_{DD} = 3.6 V时测试得到。

表 21. 运行模式下的典型电流消耗

| 符号 | 参数 | 条件 | f _{HCLK} | 典型值 | | 单位 |
|-----------------|---------------|---------------------------------------|-------------------|--------|--------|----|
| | | | | 使能所有外设 | 关闭所有外设 | |
| I _{DD} | 运行模式的 供应电流 | 高速外部时钟 (HEXT) ⁽¹⁾⁽²⁾ | 150 MHz | 43.5 | 20.1 | mA |
| | | | 120 MHz | 36.2 | 17.6 | |
| | | | 108 MHz | 32.1 | 15.3 | |
| | | | 72 MHz | 24.6 | 11.4 | |
| | | | 48 MHz | 17.6 | 8.8 | |
| | | | 36 MHz | 13.1 | 6.54 | |
| | | | 24 MHz | 9.62 | 5.24 | |
| | | | 16 MHz | 6.98 | 4.06 | |
| | | | 8 MHz | 4.13 | 2.79 | |
| | | | 4 MHz | 2.98 | 2.32 | |
| | | | 2 MHz | 2.41 | 2.09 | |
| | | | 1 MHz | 2.13 | 1.97 | |
| | | | 500 kHz | 1.99 | 1.91 | |
| | | 125 kHz | 1.88 | 1.87 | | |
| | | 运行于高速内部RC振荡器 (HICK) ⁽²⁾ | 150 MHz | 43.5 | 20.0 | mA |
| | | | 120 MHz | 35.5 | 16.7 | |
| | | | 108 MHz | 32.1 | 15.2 | |
| | | | 72 MHz | 24.0 | 10.8 | |
| | | | 48 MHz | 16.9 | 8.06 | |
| | | | 36 MHz | 13.0 | 6.44 | |
| | | | 24 MHz | 9.52 | 5.13 | |
| | | | 16 MHz | 6.88 | 3.96 | |
| | | | 8 MHz | 3.84 | 2.49 | |
| | | | 4 MHz | 2.68 | 2.02 | |
| 2 MHz | 2.11 | | 1.79 | | | |
| 1 MHz | 1.83 | 1.67 | | | | |
| 500 kHz | 1.69 | 1.61 | | | | |
| 125 kHz | 1.59 | 1.57 | | | | |

(1) 外部时钟为8 MHz。

(2) 当f_{HCLK} > 8 MHz时启用PLL。

表 22. 睡眠模式下的典型电流消耗

| 符号 | 参数 | 条件 | f _{HCLK} | 典型值 | | 单位 |
|-----------------|---------------|---------------------------------------|-------------------|--------|--------|----|
| | | | | 使能所有外设 | 关闭所有外设 | |
| I _{DD} | 睡眠模式的 供应电流 | 高速外部时钟 (HEXT) ⁽¹⁾⁽²⁾ | 150 MHz | 33.5 | 5.29 | mA |
| | | | 120 MHz | 27.4 | 4.83 | |
| | | | 108 MHz | 24.8 | 4.47 | |
| | | | 72 MHz | 19.0 | 3.48 | |
| | | | 48 MHz | 13.4 | 2.97 | |
| | | | 36 MHz | 10.3 | 2.49 | |
| | | | 24 MHz | 7.50 | 2.31 | |
| | | | 16 MHz | 5.35 | 1.91 | |
| | | | 8 MHz | 2.79 | 1.17 | |
| | | | 4 MHz | 1.88 | 1.08 | |
| | | | 2 MHz | 1.43 | 1.06 | |
| | | | 1 MHz | 1.20 | 1.03 | |
| | | | 500 kHz | 1.09 | 1.02 | |
| | | | 125 kHz | 1.01 | 0.99 | |
| | | 运行于高速内部RC振荡器 (HICK) ⁽²⁾ | 150 MHz | 33.4 | 5.22 | mA |
| | | | 120 MHz | 27.4 | 4.74 | |
| | | | 108 MHz | 24.7 | 4.35 | |
| | | | 72 MHz | 18.9 | 3.39 | |
| | | | 48 MHz | 13.3 | 2.88 | |
| | | | 36 MHz | 10.2 | 2.39 | |
| | | | 24 MHz | 7.42 | 2.21 | |
| | | | 16 MHz | 5.26 | 1.79 | |
| | | | 8 MHz | 2.70 | 1.10 | |
| | | | 4 MHz | 1.79 | 0.98 | |
| 2 MHz | 1.33 | 0.96 | | | | |
| 1 MHz | 1.11 | 0.91 | | | | |
| 500 kHz | 1.00 | 0.90 | | | | |
| 125 kHz | 0.92 | 0.89 | | | | |

(1) 外部时钟为8 MHz。

(2) 当f_{HCLK} > 8 MHz时启用PLL。

表 23. 运行模式下的最大电流消耗

| 符号 | 参数 | 条件 | f _{HCLK} | 最大值 | 单位 |
|-----------------|-----------|--|-------------------|-------------------------|------|
| | | | | T _A = 105 °C | |
| I _{DD} | 运行模式的供应电流 | 高速外部时钟 (HEXT) ⁽¹⁾ 使能所有外设 | 150 MHz | 55.6 | mA |
| | | | 120 MHz | 48.4 | |
| | | | 108 MHz | 44.0 | |
| | | | 72 MHz | 36.1 | |
| | | | 48 MHz | 28.8 | |
| | | | 36 MHz | 24.1 | |
| | | | 24 MHz | 20.5 | |
| | | | 16 MHz | 17.7 | |
| | | 8 MHz | 14.7 | mA | |
| | | 高速外部时钟 (HEXT) ⁽¹⁾ 关闭所有外设 | 150 MHz | | 31.1 |
| | | | 120 MHz | | 28.7 |
| | | | 108 MHz | | 26.3 |
| | | | 72 MHz | | 22.3 |
| | | | 48 MHz | | 19.5 |
| | | | 36 MHz | | 17.2 |
| | | | 24 MHz | | 15.8 |
| 16 MHz | 14.6 | | | | |
| 8 MHz | 13.4 | | | | |

(1) 外部时钟为8 MHz，当f_{HCLK} > 8 MHz时启用PLL。

表 24. 睡眠模式下的最大电流消耗

| 符号 | 参数 | 条件 | f _{HCLK} | 最大值 | 单位 |
|-----------------|-----------|--|-------------------|-------------------------|------|
| | | | | T _A = 105 °C | |
| I _{DD} | 睡眠模式的供应电流 | 高速外部时钟 (HEXT) ⁽¹⁾ 使能所有外设 | 150 MHz | 46.1 | mA |
| | | | 120 MHz | 39.7 | |
| | | | 108 MHz | 37.0 | |
| | | | 72 MHz | 30.9 | |
| | | | 48 MHz | 24.9 | |
| | | | 36 MHz | 21.7 | |
| | | | 24 MHz | 18.8 | |
| | | | 16 MHz | 16.5 | |
| | | 8 MHz | 13.8 | mA | |
| | | 高速外部时钟 (HEXT) ⁽¹⁾ 使能所有外设 | 150 MHz | | 16.5 |
| | | | 120 MHz | | 16.0 |
| | | | 108 MHz | | 15.6 |
| | | | 72 MHz | | 14.6 |
| | | | 48 MHz | | 14.1 |
| | | | 36 MHz | | 13.5 |
| | | | 24 MHz | | 13.4 |
| 16 MHz | 12.9 | | | | |
| 8 MHz | 12.1 | | | | |

(1) 外部时钟为8 MHz，当f_{HCLK} > 8 MHz时启用PLL。

表 25. 深睡眠和待机模式下的典型和最大电流消耗

| 符号 | 参数 | 条件 | 典型值 ⁽¹⁾ | | 最大值 ⁽²⁾ | | | 单位 |
|-----------------|----------------|---|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|----|
| | | | V _{DD} = 2.6 V | V _{DD} = 3.3 V | T _A = 25 °C | T _A = 85 °C | T _A = 105 °C | |
| I _{DD} | 深睡眠模式的 供应电流 | LDO 处于运行模式, HICK 和 HEXT 关闭, WDT 关闭 | 735 | 740 | 参见 ⁽³⁾ | 4000 | 6600 | μA |
| | | LDO 处于低功耗模式且 LPDS1 设置为 1, HICK 和 HEXT 关 闭, WDT 关闭 | 675 | 680 | | 3480 | 6000 | |
| | 待机模式的 供应电流 | LEXT和ERTC关闭 | 2.5 | 3.6 | 4.8 | 7.0 | 10.3 | |
| | | LEXT和ERTC开启 | 4.3 | 6.6 | 7.5 | 10.0 | 13.7 | |

- (1) 典型值是在T_A = 25 °C下测试得到。
- (2) 由综合评估得出, 不在生产中测试。
- (3) 随工艺偏移可能为典型值的数倍。

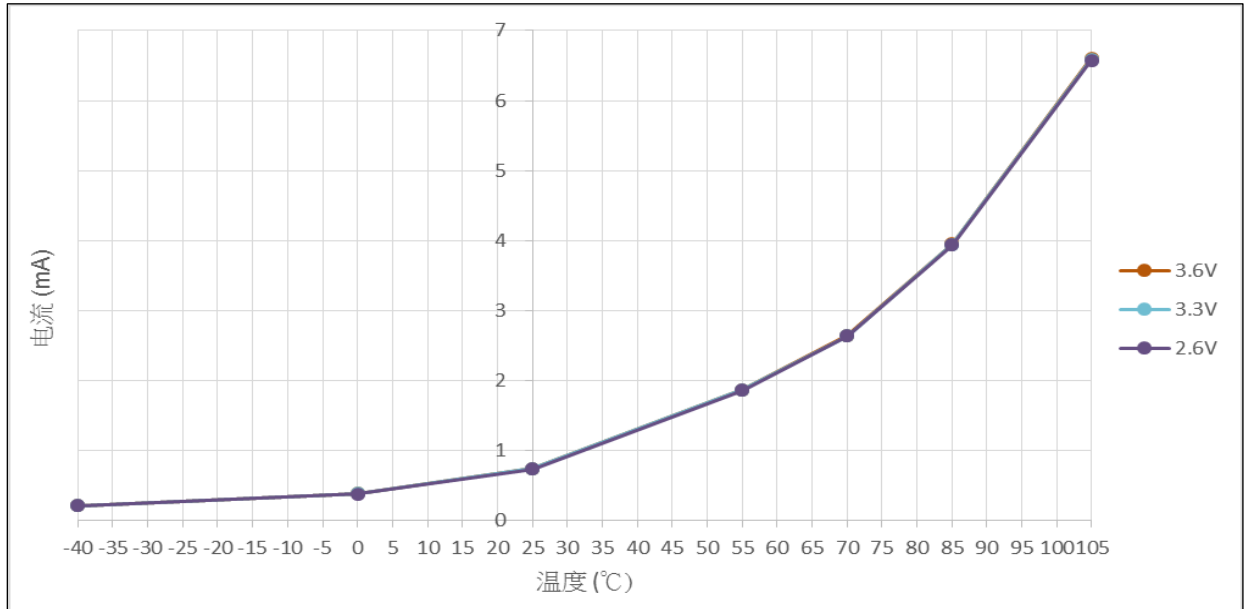
图 6. LDO 在运行模式时, 深睡眠模式下的典型电流消耗在不同的 V_{DD} 时与温度的对比


图 7. LDO 在低功耗模式时，深睡眠模式下的典型电流消耗在不同的 V_{DD} 时与温度的对比

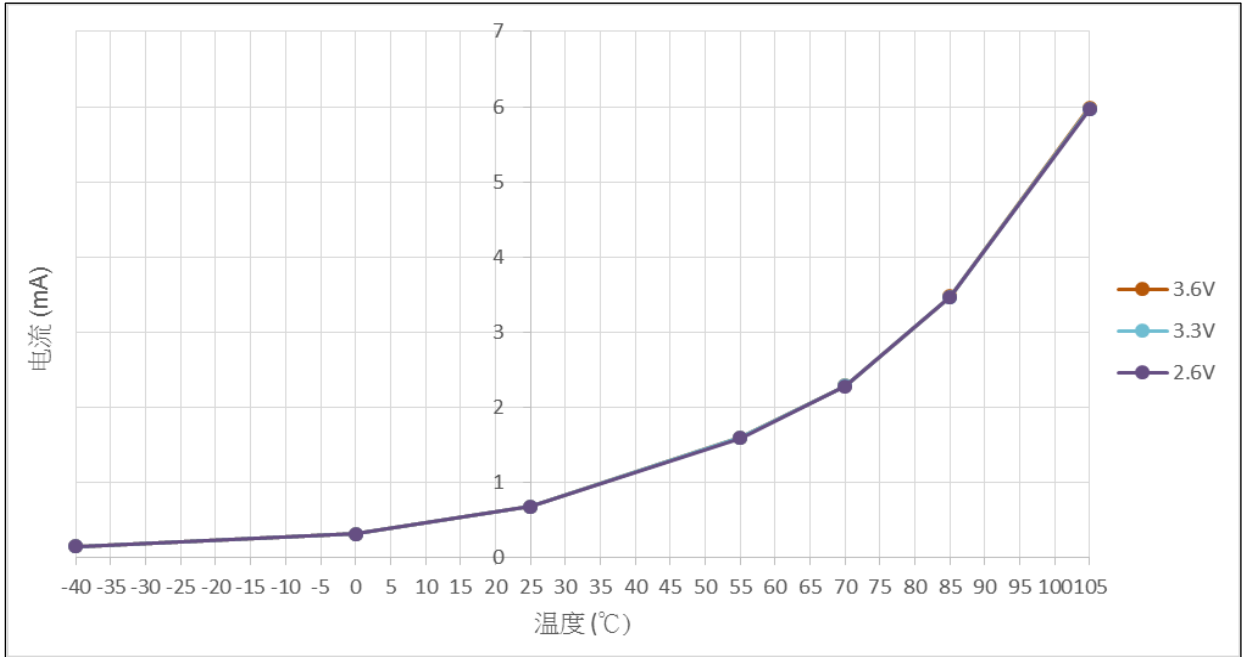


图 8. 待机模式下的典型电流消耗在不同的 V_{DD} 时与温度的对比

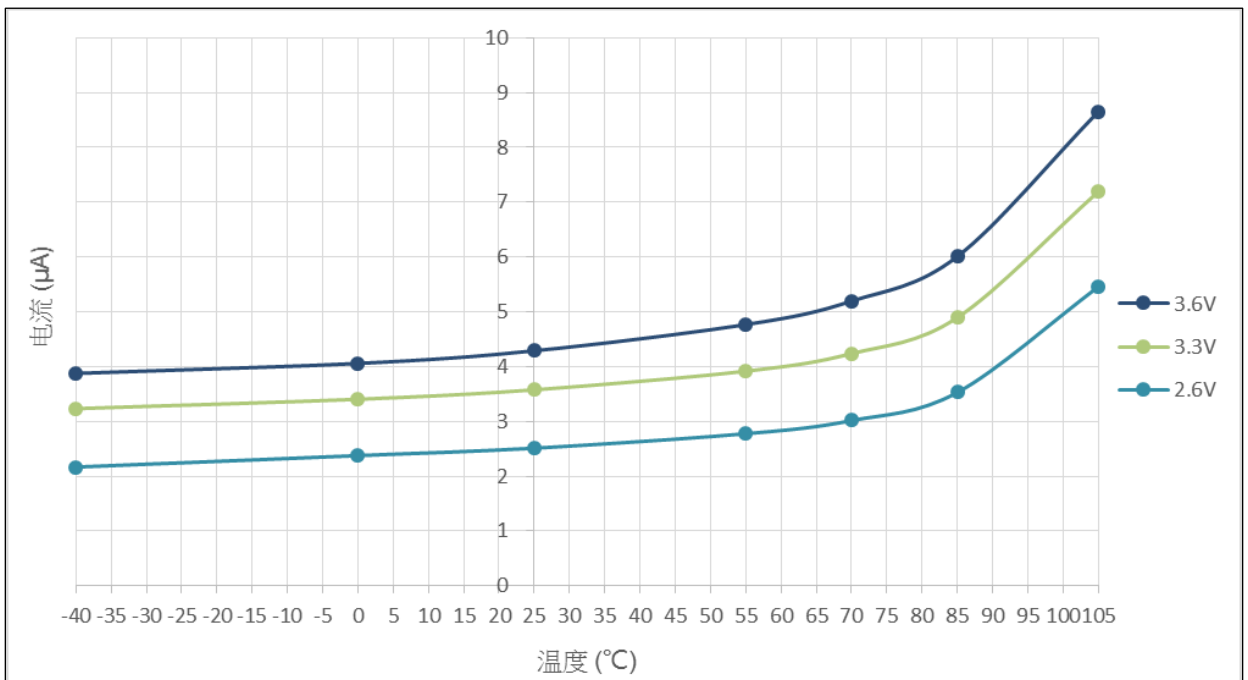


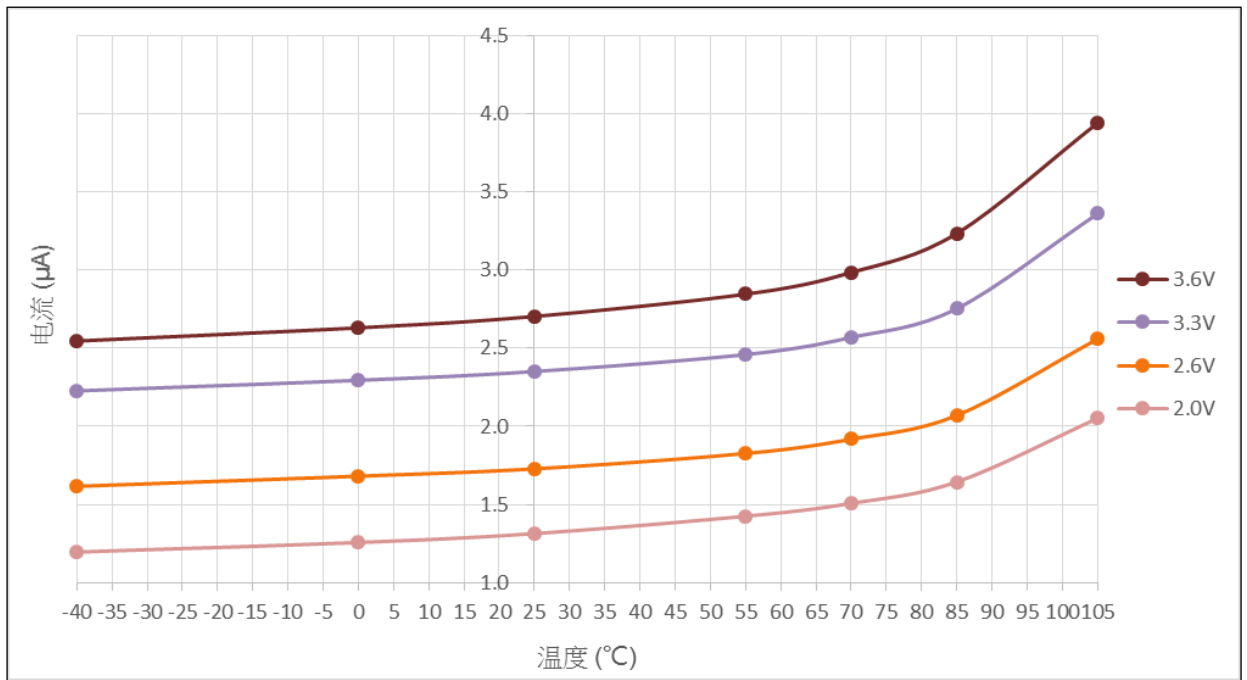
表 26. V_{BAT} 的典型和最大电流消耗

| 符号 | 参数 | 条件 | 典型值 ⁽¹⁾ | | | 最大值 ⁽²⁾ | | | 单位 |
|----------------|-----------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| | | | $V_{BAT} = 2.0\text{ V}$ | $V_{BAT} = 2.6\text{ V}$ | $V_{BAT} = 3.3\text{ V}$ | $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ | $T_A = 85\text{ }^\circ\text{C}$ | $T_A = 105\text{ }^\circ\text{C}$ | |
| I_{DD_VBAT} | V_{BAT} 的供应电流 | LEXT和RTC开启, $V_{DD} < V_{LVR}$ | 1.3 | 1.7 | 2.4 | 2.8 | 3.7 | 4.6 | μA |

(1) 典型值是在 $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ 下测试得到。

(2) 由综合评估得出, 不在生产中测试。

图 9. V_{BAT} 的典型电流消耗 (LSE 和 ERTC 开启) 在不同的 V_{BAT} 电压时与温度的对比



内置外设电流消耗

微控制器的工作条件如下：

- 所有的GPIO引脚都处于模拟模式。
- 给出的数值是通过测量只开启一个外设的时钟与关闭所有外设的时钟电流消耗相差值计算得出。

表 27. 内置外设的电流消耗

| 内置外设 | | 典型值 | 单位 |
|------|-------------------|------|--------|
| AHB | DMA1 | 9.32 | μA/MHz |
| | DMA2 | 9.41 | |
| | GPIOA | 1.25 | |
| | GPIOB | 1.33 | |
| | GPIOC | 1.27 | |
| | CRC | 1.64 | |
| | OTGFS1 | 46.3 | |
| APB1 | TMR2 | 8.96 | |
| | TMR3 | 6.76 | |
| | TMR4 | 6.73 | |
| | TMR5 | 8.97 | |
| | SPI2 | 2.84 | |
| | USART2 | 2.40 | |
| | USART3 | 2.53 | |
| | UART5 | 2.68 | |
| | I ² C1 | 2.66 | |
| | CAN1 | 3.56 | |
| | WWDT | 0.45 | |
| | PWC | 0.38 | |
| | CMP | 0.81 | |
| APB2 | IOMUX | 2.53 | |
| | USART1 | 2.48 | |
| | TMR1 | 8.74 | |
| | TMR9 | 4.03 | |
| | TMR10 | 2.56 | |
| | TMR11 | 2.60 | |
| | ADC1 | 6.92 | |

7.3.6 外部时钟源特性

使用外部振荡源产生的高速外部时钟

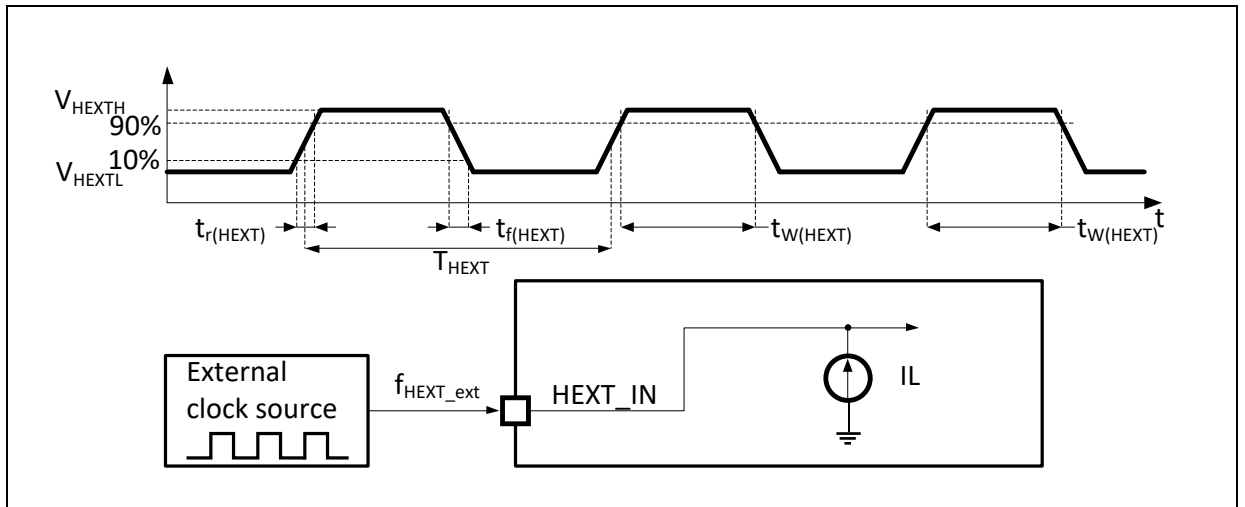
下表中给出的特性参数是使用一个高速的外部时钟源测得。

表 28. 高速外部用户时钟特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|--|--------------------------------|---|--------------------|-----|--------------------|---------------|
| $f_{\text{HEXT_ext}}$ | 用户外部时钟频率 ⁽¹⁾ | | 1 | 8 | 25 | MHz |
| V_{HEXTH} | HEXT_IN输入引脚高电平电压 | | $0.7V_{\text{DD}}$ | - | V_{DD} | V |
| V_{HEXTL} | HEXT_IN输入引脚低电平电压 | | V_{SS} | - | $0.3V_{\text{DD}}$ | |
| $t_{\text{w(HEXT)}}$ $t_{\text{w(HEXT)}}$ | HEXT_IN高或低的时间 ⁽¹⁾ | - | 5 | - | - | ns |
| $t_{\text{r(HEXT)}}$ $t_{\text{r(HEXT)}}$ | HEXT_IN上升或下降的时间 ⁽¹⁾ | - | - | - | 20 | |
| $C_{\text{in(HEXT)}}$ | HEXT_IN输入容抗 ⁽¹⁾ | - | - | 5 | - | pF |
| Duty(HEXT) | 占空比 | - | 45 | - | 55 | % |
| I_{L} | HEXT_IN输入漏电流 | $V_{\text{SS}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{DD}}$ | - | - | ± 1 | μA |

(1) 由设计保证，不在生产中测试。

图 10. 外部高速时钟源的交流时序图



使用晶体/陶瓷谐振器产生的低速外部时钟

低速外部晶振（LEXT）可以使用一个32.768 kHz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。

表 29. LEXT 32.768 kHz 晶振特性⁽¹⁾⁽²⁾

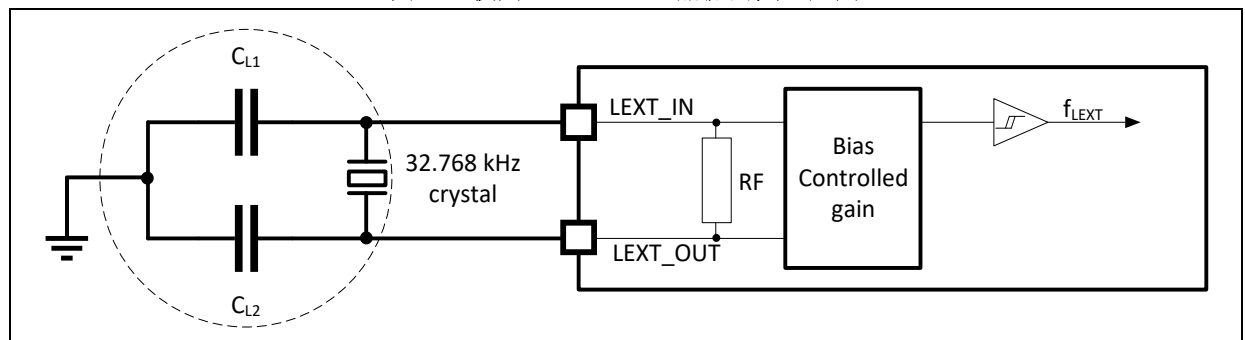
| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|----------------|------|---------------|-----|-----|-----|----|
| $t_{SU(LEXT)}$ | 启动时间 | V_{DD} 是稳定的 | - | 200 | - | ms |

(1) 谐振器的特性参数由晶体/陶瓷谐振器制造商给出。

(2) 由综合评估得出，不在生产中测试。

对于 C_{L1} 和 C_{L2} ，建议使用高质量的5 ~ 20 pF之间的瓷介电容器，并挑选符合要求的晶体或谐振器。通常 C_{L1} 和 C_{L2} 具有相同参数。晶体制造商通常以 C_{L1} 和 C_{L2} 的串行组合给出负载电容的参数。

负载电容 C_L 是基于下型算式计算出： $C_L = C_{L1} \times C_{L2} / (C_{L1} + C_{L2}) + C_{stray}$ ，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2 pF至7 pF之间。

图 11. 使用 32.768 kHz 晶振的典型应用


注：LEXT_IN和LEXT_OUT间不需要外部电阻，也禁止添加。

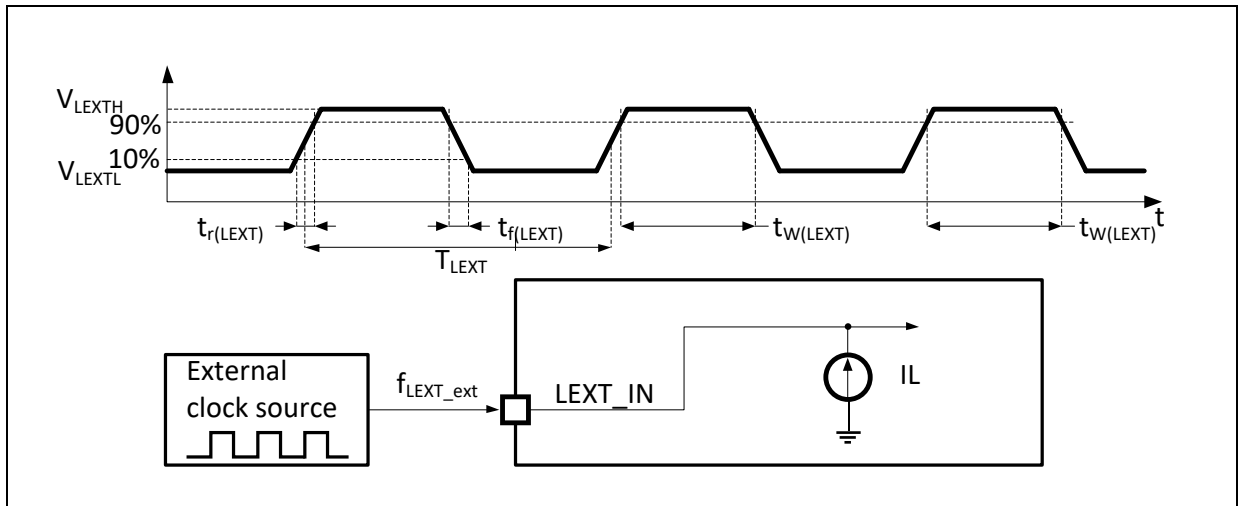
使用外部振荡源产生的低速外部时钟

下表中给出的特性参数是使用一个低速的外部时钟源测得。

表 30. 低速外部用户时钟特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|--|--------------------------------|---|--------------------|--------|--------------------|---------------|
| $f_{\text{LEXT_ext}}$ | 用户外部时钟频率 ⁽¹⁾ | - | - | 32.768 | 1000 | kHz |
| V_{LEXTH} | LEXT_IN输入引脚高电平电压 | | $0.7V_{\text{DD}}$ | - | V_{DD} | V |
| V_{LEXTL} | LEXT_IN输入引脚低电平电压 | | V_{SS} | - | $0.3V_{\text{DD}}$ | |
| $t_{\text{w(LEXT)}}$ $t_{\text{w(LEXT)}}$ | LEXT_IN高或低的时间 ⁽¹⁾ | | 450 | - | - | ns |
| $t_{\text{r(LEXT)}}$ $t_{\text{f(LEXT)}}$ | LEXT_IN上升或下降的时间 ⁽¹⁾ | | - | - | 50 | |
| $C_{\text{in(LEXT)}}$ | LEXT_IN输入容抗 ⁽¹⁾ | | - | - | 5 | |
| Duty(LEXT) | 占空比 | | - | 30 | - | 70 |
| I_{L} | LEXT_IN输入漏电流 | $V_{\text{SS}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{DD}}$ | - | - | ± 1 | μA |

(1) 由设计保证，不在生产中测试。

图 12. 外部低速时钟源的交流时序图


7.3.7 内部时钟源特性

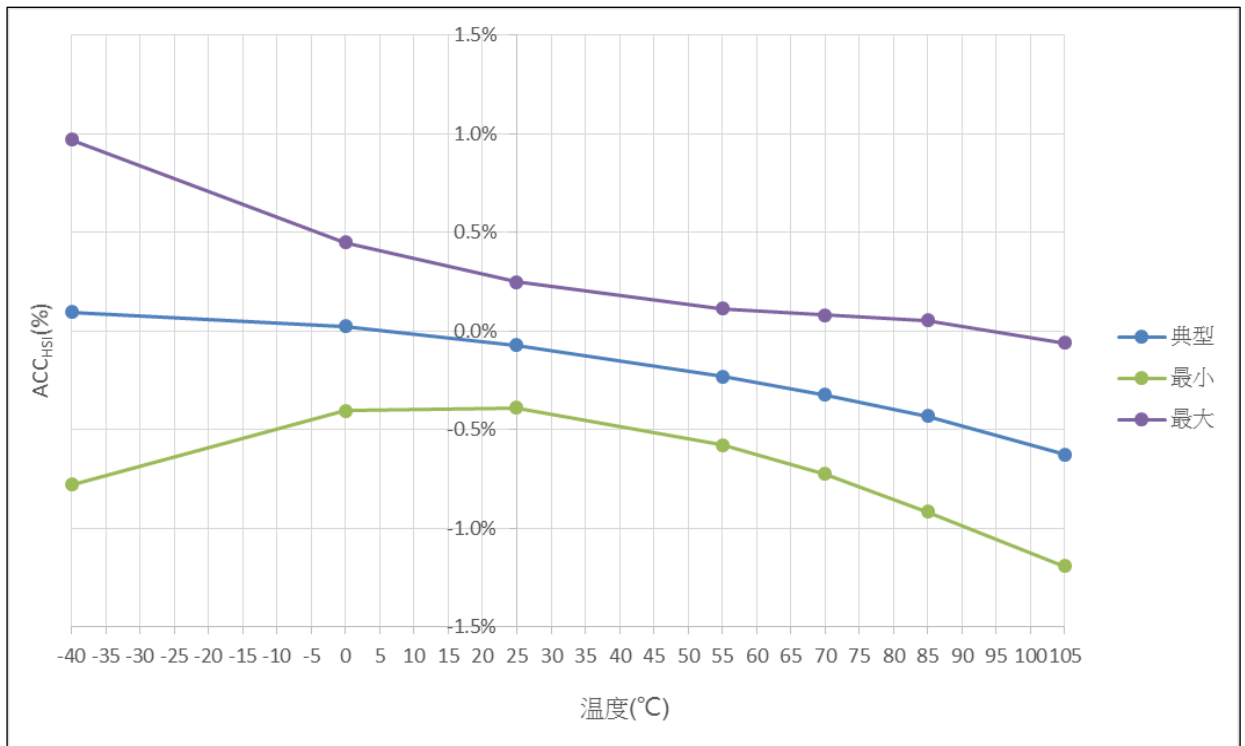
高速内部时钟 (HICK)

表 31. HICK 时钟特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 | |
|---------------------------------------|------------|----------------------------------|-------------------------------|------|-----|-----|-----|
| f _{HICK} | 频率 | - | - | 48 | - | MHz | |
| DuCy _(HICK) | 占空比 | - | 45 | - | 55 | % | |
| ACC _{HICK} | HICK时钟的精度 | 使用者以寄存器CRM_CTRL校准 ⁽¹⁾ | -1 | - | 1 | % | |
| | | 出厂校准 ⁽²⁾ | T _A = -40 ~ 105 °C | -2 | - | | 1.5 |
| | | | T _A = -40 ~ 85 °C | -1.5 | - | | 1.5 |
| | | T _A = 25 °C | -1 | 0.5 | 1 | | |
| tsu _(HICK) ⁽²⁾ | HICK时钟启动时间 | - | - | - | 10 | μs | |
| I _{DD} (HICK) ⁽²⁾ | HICK时钟功耗 | - | - | 200 | 215 | μA | |

- (1) 由设计保证，不在生产中测试。
 (2) 由综合评估得出，不在生产中测试。

图 13. HICK 时钟精度与温度的对比



低速内部时钟 (LICK)

表 32. LICK 时钟特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|----------------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|
| f _{LICK} ⁽¹⁾ | 频率 | - | 30 | 40 | 60 | kHz |

- (1) 由综合评估得出，不在生产中测试。

7.3.8 PLL 特性

表 33. PLL 特性

| 符号 | 参数 | 最小值 | 典型值 | 最大值 ⁽¹⁾ | 单位 |
|----------------------|------------------------|-----|-----|--------------------|-----|
| f _{PLL_IN} | PLL输入时钟 ⁽²⁾ | 2 | 8 | 16 | MHz |
| | PLL输入时钟占空比 | 40 | - | 60 | % |
| f _{PLL_OUT} | PLL倍频输出时钟 | 16 | - | 150 | MHz |
| t _{LOCK} | PLL锁相时间 | - | - | 200 | μs |
| Jitter | Cycle-to-cycle jitter | - | - | 300 | ps |

(1) 由设计保证，不在生产中测试。

(2) 需要注意使用正确的倍频系数，从而根据PLL输入时钟频率使得f_{PLL_OUT}处于允许范围内。

7.3.9 低功耗模式唤醒时间

下表列出的唤醒时间是在系统时钟为HICK时钟的唤醒阶段测量得到。唤醒时使用的时钟源依据当前的操作模式而定：

- 睡眠模式：时钟源是进入睡眠模式时所使用的时钟；
- 深睡眠或待机模式：时钟源是HICK时钟。

表 34. 低功耗模式的唤醒时间

| 符号 | 参数 | 典型值 | 单位 |
|--------------------------|----------------------|-----|----|
| t _{WUSLEEP} | 从睡眠模式唤醒 | 4.2 | μs |
| t _{WUDEEPSLEEP} | 从深睡眠模式唤醒（LDO处于运行模式） | 300 | μs |
| | 从深睡眠模式唤醒（LDO处于低功耗模式） | 360 | |
| t _{WUSTDBY} | 从待机模式唤醒 | 600 | μs |

7.3.10 EMC 特性

敏感性测试是在产品的综合评估时抽样进行测试的。

功能性EMS（电磁敏感性）

- **EFT**：在V_{DD}和V_{SS}上通过耦合/去耦合网路施加一个瞬变电压的脉冲群（正向和反向）直到产生功能性错误。这个测试符合IEC 61000-4-4标准。

表 35. EMS 特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 级别/类型 |
|------------------|---|---|------------|
| V _{EFT} | 在V _{DD} 和V _{SS} 上通过符合IEC 61000-4-4规范的耦合/去耦合网路施加导致功能错误的瞬变脉冲群电压极限，V _{DD} 和V _{SS} 入口有一47 μF电容并且每对V _{DD} 和V _{SS} 电源各有一0.1μF旁路电容 | V _{DD} = 3.3 V, T _A = +25 °C, f _{HCLK} = 150 MHz。符合IEC 61000-4-4 | 4A (±4 kV) |
| | | V _{DD} = 3.3 V, T _A = +25 °C, f _{HCLK} = 72 MHz。符合IEC 61000-4-4 | |

在器件级进行EMC的评估和优化，是在典型的应用环境中进行的。应注意好的EMC性能与用户应用和具体的软件密切相关。因此，建议用户对软件实行EMC优化，并进行与EMC有关的测试。

7.3.11 GPIO 端口特性

通用输入/输出特性

所有的GPIO端口都是兼容CMOS和TTL。

表 36. GPIO 静态特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|-----------|---------------------------|---|----------------------------|-----|----------------------------|------------|
| V_{IL} | 输入低电平电压 | - | -0.3 | - | $0.28 \times V_{DD} + 0.1$ | V |
| V_{IH} | 标准GPIO输入高电平电压 | - | $0.31 \times V_{DD} + 0.8$ | - | $V_{DD} + 0.3$ | V |
| | FT GPIO脚输入高电平电压 | - | 0.8 | - | 5.5 | |
| V_{hys} | 施密特触发器电压迟滞 ⁽¹⁾ | - | 200 | - | - | mV |
| | | - | 5% V_{DD} | - | - | - |
| I_{ikg} | 输入浮空模式漏电流 ⁽²⁾ | $V_{SS} \leq V_{IN} \leq V_{DD}$ 标准GPIO脚 | - | - | ± 1 | μA |
| | | $V_{SS} \leq V_{IN} \leq 5.5V$ 5 V 容忍 GPIO 脚 | - | - | ± 10 | |
| R_{PU} | 弱上拉等效电阻 ⁽³⁾ | $V_{IN} = V_{SS}$ | 60 | 75 | 110 | k Ω |
| R_{PD} | 弱下拉等效电阻 ⁽³⁾⁽⁴⁾ | $V_{IN} = V_{DD}$ | 60 | 80 | 120 | k Ω |
| C_{IO} | GPIO引脚的电容 | - | - | 5 | - | pF |

(1) 施密特触发器开关电平的迟滞电压。由综合评估得出，不在生产中测试。

(2) 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。

(3) FT引脚当输入高于 $V_{DD} + 0.3 V$ 时，必须禁用内部上拉/下拉电阻。

(4) BOOT0引脚弱下拉电阻不可禁用。

所有GPIO端口都是CMOS和TTL兼容（不需软件配置），它们的特性考虑了多数严格的CMOS工艺或TTL参数。

输出驱动电流

在用户应用中，GPIO脚的数目必须保证驱动电流不能超过7.2.1节给出的绝对最大额定值：

- 所有GPIO端口从 V_{DD} 上获取的电流总和，加上MCU在 V_{DD} 上获取的最大运行电流，不能超过绝对最大额定值 I_{VDD} （参见表11）。
- 所有GPIO端口吸收并从 V_{SS} 上流出的电流总和，加上MCU在 V_{SS} 上流出的最大运行电流，不能超过绝对最大额定值 I_{VSS} （参见表11）。

输出电压

所有的GPIO端口都是兼容CMOS和TTL的。

表 37. 输出电压特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 最大值 | 单位 |
|--------------------|-------|----------------------------------|--------------|-----|----|
| 适中电流推动/吸入能力 | | | | | |
| $V_{OL}^{(1)}$ | 输出低电平 | CMOS端口, $I_{IO} = 4 \text{ mA}$ | - | 0.4 | V |
| $V_{OH}^{(1)}$ | 输出高电平 | | $V_{DD}-0.4$ | - | |
| $V_{OL}^{(1)}$ | 输出低电平 | TTL端口, $I_{IO} = 2 \text{ mA}$ | - | 0.4 | V |
| $V_{OH}^{(1)}$ | 输出高电平 | | 2.4 | - | |
| $V_{OL}^{(1)}$ | 输出低电平 | $I_{IO} = 9 \text{ mA}$ | - | 1.3 | V |
| $V_{OH}^{(1)}$ | 输出高电平 | | $V_{DD}-1.3$ | - | |
| 较大电流推动/吸入能力 | | | | | |
| V_{OL} | 输出低电平 | CMOS端口, $I_{IO} = 6 \text{ mA}$ | - | 0.4 | V |
| V_{OH} | 输出高电平 | | $V_{DD}-0.4$ | - | |
| $V_{OL}^{(1)}$ | 输出低电平 | TTL端口, $I_{IO} = 3 \text{ mA}$ | - | 0.4 | V |
| $V_{OH}^{(1)}$ | 输出高电平 | | 2.4 | - | |
| $V_{OL}^{(1)}$ | 输出低电平 | $I_{IO} = 18 \text{ mA}$ | - | 1.3 | V |
| $V_{OH}^{(1)}$ | 输出高电平 | | $V_{DD}-1.3$ | - | |
| 极大电流推动/吸入能力 | | | | | |
| $V_{OL}^{(1)}$ | 输出低电平 | CMOS端口, $I_{IO} = 15 \text{ mA}$ | - | 0.4 | V |
| $V_{OH}^{(1)}$ | 输出高电平 | | $V_{DD}-0.4$ | - | |
| $V_{OL}^{(1)}$ | 输出低电平 | TTL端口, $I_{IO} = 6 \text{ mA}$ | - | 0.4 | V |
| $V_{OH}^{(1)}$ | 输出高电平 | | 2.4 | - | |

(1) 由综合评估得出，不在生产中测试。

输入交流特性

输入交流特性的定义和数值在下表给出。

表 38. 输入交流特性

| 符号 | 参数 | 最小值 | 最大值 | 单位 |
|---------------|----------------------|-----|-----|----|
| $t_{EXINTpw}$ | EXINT控制器检测到外部信号的脉冲宽度 | 10 | - | ns |

7.3.12 NRST 引脚特性

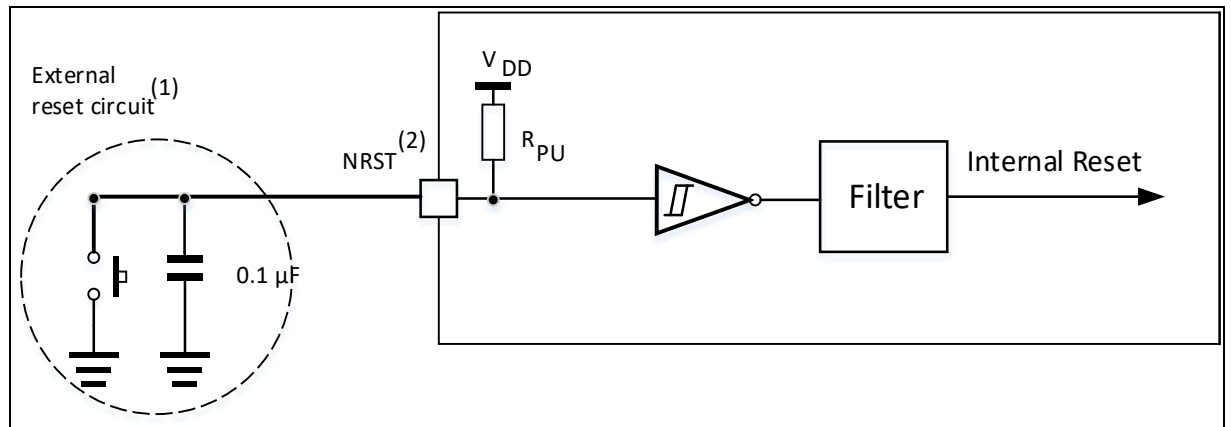
NRST引脚输入驱动使用CMOS工艺，它连接了一个不能断开的上拉电阻， R_{PU} （参见下表）。

表 39. NRST 引脚特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|------------------------|----------------|-------------------|------|-----|----------------|------------|
| $V_{IL(NRST)}^{(1)}$ | NRST输入低电平电压 | - | -0.5 | - | 0.8 | V |
| $V_{IH(NRST)}^{(1)}$ | NRST输入高电平电压 | - | 2 | - | $V_{DD} + 0.3$ | |
| $V_{hys(NRST)}$ | NRST施密特触发器电压迟滞 | - | - | 400 | - | mV |
| R_{PU} | 弱上拉等效电阻 | $V_{IN} = V_{SS}$ | 30 | 40 | 50 | k Ω |
| $t_{ILV(NRST)}^{(1)}$ | NRST输入低电平无效时间 | - | - | - | 33.3 | μ s |
| $t_{ILNV(NRST)}^{(1)}$ | NRST输入低电平有效时间 | - | 66.7 | - | - | μ s |

(1) 由设计保证，不在生产中测试。

图 14. 建议的 NRST 引脚保护



(1) 复位网络是为了防止寄生复位。

(2) 用户必须保证NRST引脚的电位能够低于表39中列出的最大 $V_{IL(NRST)}$ 以下，否则MCU不能得到复位。

7.3.13 TMR 定时器特性

下表列出的参数由设计保证。

表 40. TMR 定时器特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 最大值 | 单位 |
|----------------|-------------------|---------------------------------|-----|-----------------|---------------|
| $t_{res(TMR)}$ | 定时器分辨时间 | - | 1 | - | $t_{TMRxCLK}$ |
| | | $f_{TMRxCLK} = 150 \text{ MHz}$ | 6.7 | - | ns |
| f_{EXT} | CH1至CH4的定时器外部时钟频率 | - | 0 | $f_{TMRxCLK}/2$ | MHz |

7.3.14 SPI 接口特性
表 41. SPI 特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 最大值 | 单位 |
|--|---------------------------|----------------|------------------------|------------------------|-----|
| f _{SCK} (1/t _{c(SCK)}) ⁽¹⁾ | SPI时钟频率 ⁽²⁾⁽³⁾ | 主模式 | - | 36 | MHz |
| | | 从收模式 | - | 36 | |
| | | 从发模式 | - | 32 | |
| t _{w(SCKH)} ⁽¹⁾ t _{w(SCKL)} ⁽¹⁾ | SCK高和低的时间 | 主模式, 预分频系数 = 4 | 2t _{PCLK} - 3 | 2t _{PCLK} + 3 | ns |
| t _{su(MI)} ⁽¹⁾ | 数据输入建立时间 | 主模式 | 5 | - | ns |
| t _{su(SI)} ⁽¹⁾ | | 从模式 | 5 | - | |
| t _{h(MI)} ⁽¹⁾ | 数据输入保持时间 | 主模式 | 5 | - | ns |
| t _{h(SI)} ⁽¹⁾ | | 从模式 | 4 | - | |
| t _{a(SO)} ⁽¹⁾⁽⁴⁾ | 数据输出访问时间 | 从模式 | 0 | 3t _{PCLK} | ns |
| t _{dis(SO)} ⁽¹⁾⁽⁵⁾ | 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 | 从模式 (使能边沿之后) | - | 25 | ns |
| t _{v(MO)} ⁽¹⁾ | 数据输出有效时间 | 主模式 (使能边沿之后) | - | 5 | ns |
| t _{h(SO)} ⁽¹⁾ | 数据输出保持时间 | 从模式 (使能边沿之后) | 15 | - | ns |
| t _{h(MO)} ⁽¹⁾ | | 主模式 (使能边沿之后) | 2 | - | |

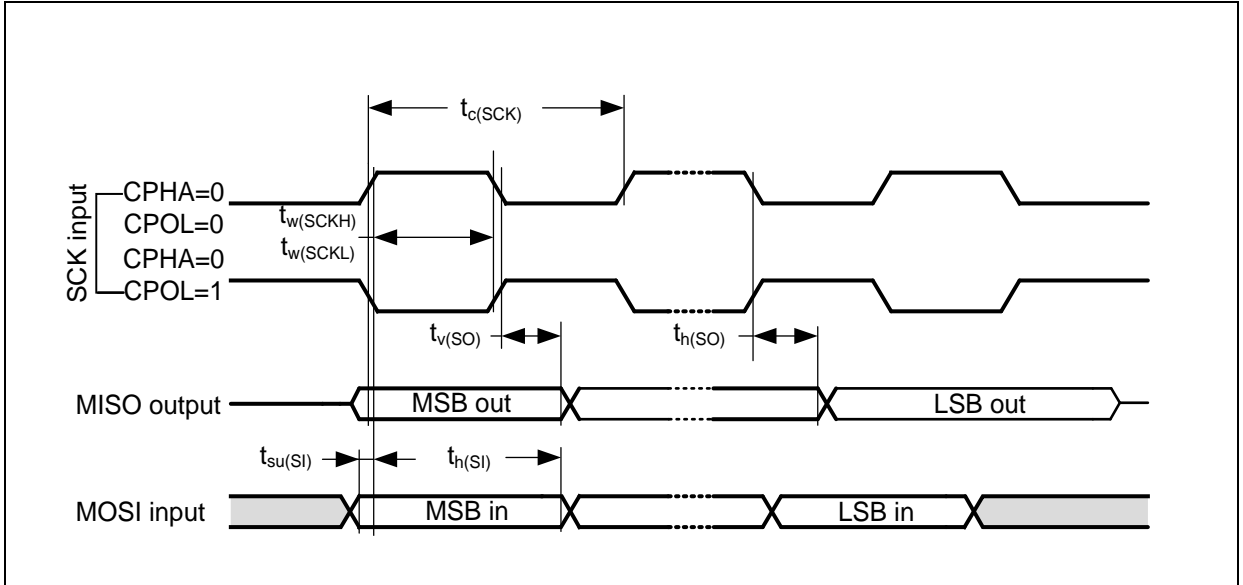
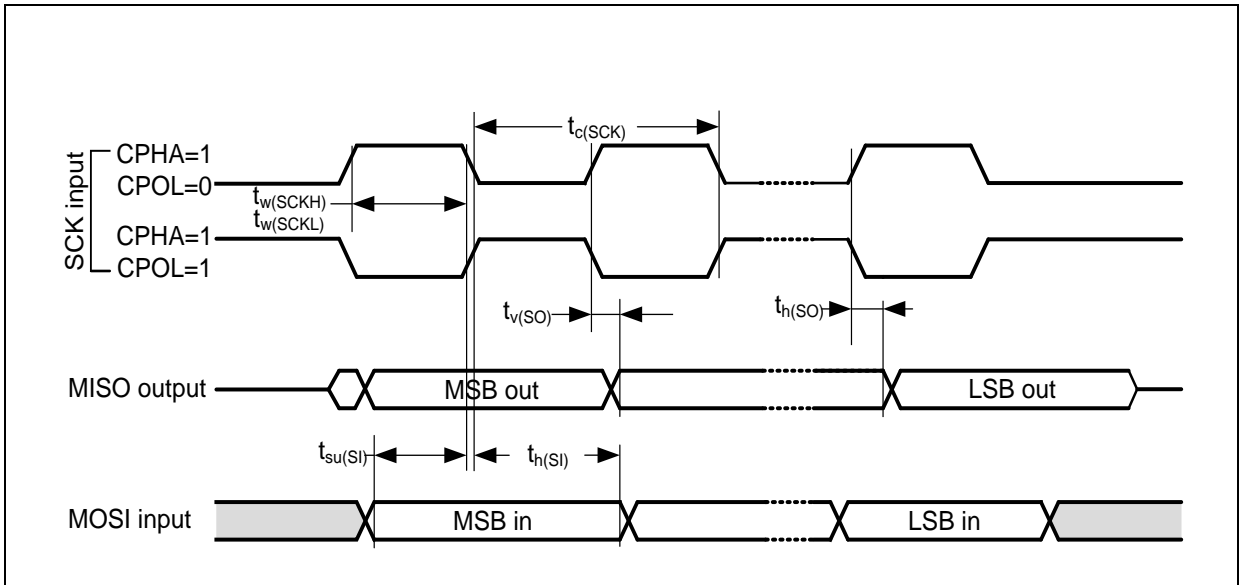
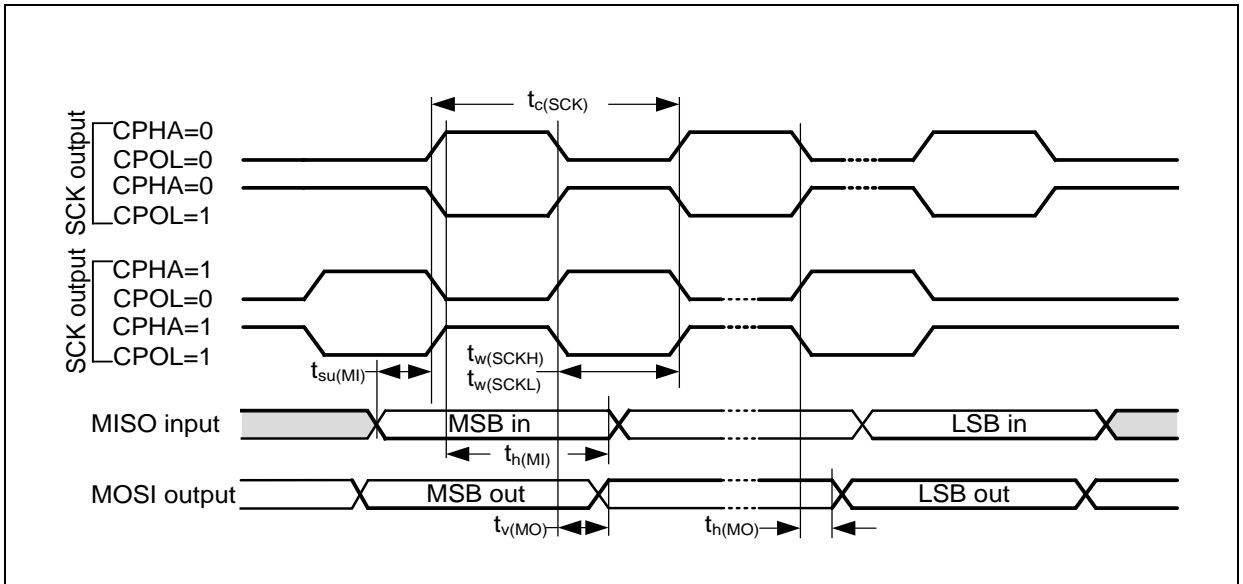
(1) 由设计保证, 不在生产中测试。

(2) 从模式最大时钟频率不得超过f_{PCLK}/2。

(3) 最大时钟频率与器件和PCB布局高度相关。想要获得更完整详细的解决方案, 可以联系您本地的雅特力销售处寻求技术支持。

(4) 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。

(5) 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 15. SPI 时序图 - 从模式和 CPHA = 0

图 16. SPI 时序图 - 从模式和 CPHA = 1

图 17. SPI 时序图 - 主模式


7.3.15 I²C 接口特性

SDA和SCL GPIO要求的满足有以下限制：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V_{DD}之间的PMOS管被关闭，但仍然存在。

I²C总线接口支持标准模式（最高100 kHz）和快速模式（最高400 kHz）。I²C总线频率可以最高增加到1 MHz。想要获得更完整详细的解决方案，可以联系本地的雅特力销售处寻求技术支持。

7.3.16 OTGFS 接口特性

表 42. OTGFS 启动时间

| 符号 | 参数 | 最大值 | 单位 |
|-------------------------------------|--------------|-----|----|
| t _{STARTUP} ⁽¹⁾ | OTGFS收发器启动时间 | 1 | μs |

(1) 由设计保证，不在生产中测试。

表 43. OTGFS 直流特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 ⁽¹⁾ | 典型值 | 最大值 ⁽¹⁾ | 单位 | |
|-----------------|--------------------------------|-----------------------------------|---|--------------------|--------------------|-----|---|
| 输入电平 | V _{DD} | OTGFS操作电压 | - | 3.0 ⁽²⁾ | - | 3.6 | V |
| | V _{DI} ⁽³⁾ | 差分输入灵敏度 | I (OTGFS_D+/D-) | 0.2 | - | - | V |
| | V _{CM} ⁽³⁾ | 差分共模范围 | 包含V _{DI} 范围 | 0.8 | - | 2.5 | |
| | V _{SE} ⁽³⁾ | 单端接收器阈值 | - | 1.3 | - | 2.0 | |
| 输出电平 | V _{OL} | 静态输出低电平 | 1.24 kΩ的R _L 接至3.6 V ⁽⁴⁾ | - | - | 0.3 | V |
| | V _{OH} | 静态输出高电平 | 15 kΩ的R _L 接至V _{SS} ⁽⁴⁾ | 2.8 | - | 3.6 | |
| R _{PU} | OTGFS_D+内部上拉电阻 | V _{IN} = V _{SS} | 0.97 | 1.24 | 1.58 | kΩ | |
| R _{PD} | OTGFS_D+/D-内部下拉电阻 | V _{IN} = V _{DD} | 15 | 19 | 25 | kΩ | |

(1) 所有的电压测量都是以设备端地线为准。

(2) AT32WB415系列的正确USB功能可以在2.7 V得到保证，而不是全部的电气特性在2.7~3.0 V电压范围下降级。

(3) 由设计保证，不在生产中测试。

(4) R_L是连接到USB驱动器上的负载。

图 18. OTGFS 时序：数据信号上升和下降时间定义

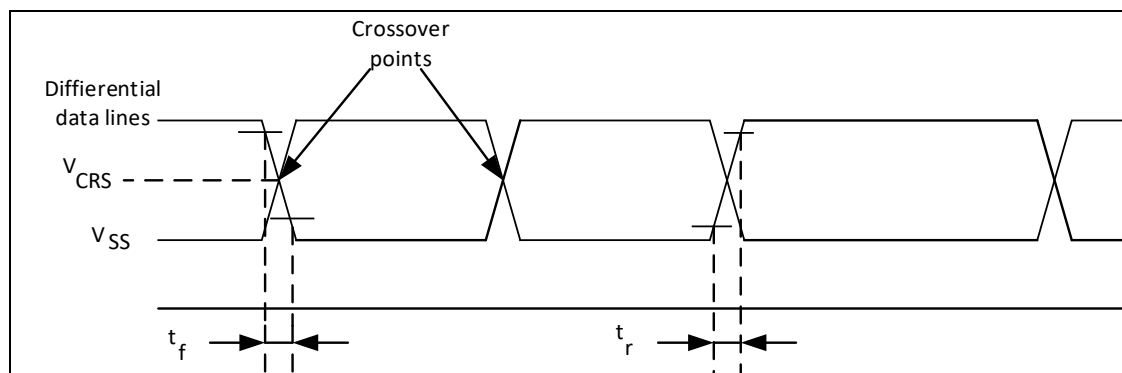


表 44. OTGFS 电气特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 ⁽¹⁾ | 最大值 ⁽¹⁾ | 单位 |
|------------|---------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|----|
| t_r | 上升时间 ⁽²⁾ | $C_L \leq 50 \text{ pF}$ | 4 | 20 | ns |
| t_f | 下降时间 ⁽²⁾ | $C_L \leq 50 \text{ pF}$ | 4 | 20 | ns |
| $t_{r/fm}$ | 上升下降时间匹配 | t_r/t_f | 90 | 110 | % |
| V_{CRS} | 输出信号交叉电压 | - | 1.3 | 2.0 | V |

(1) 由设计保证，不在生产中测试。

(2) 测量数据信号从10%至90%。更多详细信息，参见USB规范第7章（2.0版）。

7.3.17 12 位 ADC 特性

除非特别说明，下表的参数是使用符合表15的条件的环境温度， f_{PCLK2} 频率和 V_{DDA} 供电电压测量得到。

注：建议在每次上电时执行一次校准。

表 45. ADC 特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------|------------------|---------------|
| V_{DDA} | 供电电压 | - | 2.6 | - | 3.6 | V |
| I_{DDA} | 在 V_{DDA} 输入脚上的电流 | - | - | 560 ⁽¹⁾ | 660 | μA |
| f_{ADC} | ADC时钟频率 | - | 0.6 | - | 28 | MHz |
| $f_s^{(2)}$ | 采样速率 | - | 0.05 | - | 2 | MHz |
| $f_{TRIG}^{(2)}$ | 外部触发频率 | $f_{ADC} = 28 \text{ MHz}$ | - | - | 1.65 | MHz |
| | | - | - | - | 17 | $1/f_{ADC}$ |
| V_{AIN} | 转换电压范围 ⁽³⁾ | - | 0 (V_{REF} -内部连接到地) | - | V_{REF+} | V |
| $R_{AIN}^{(2)}$ | 外部输入阻抗 | - | 参见表46和表47 | | | Ω |
| $C_{ADC}^{(2)}$ | 内部采样和保持电容 | - | - | 15 | - | pF |
| $t_{CAL}^{(2)}$ | 校准时间 | $f_{ADC} = 28 \text{ MHz}$ | 6.14 | | | μs |
| | | - | 172 | | | $1/f_{ADC}$ |
| $t_{lat}^{(2)}$ | 注入触发转换时延 | $f_{ADC} = 28 \text{ MHz}$ | - | - | 107 | ns |
| | | - | - | - | 3 ⁽⁴⁾ | $1/f_{ADC}$ |
| $t_{latr}^{(2)}$ | 常规触发转换时延 | $f_{ADC} = 28 \text{ MHz}$ | - | - | 71.4 | ns |
| | | - | - | - | 2 ⁽⁴⁾ | $1/f_{ADC}$ |
| $t_s^{(2)}$ | 采样时间 | $f_{ADC} = 28 \text{ MHz}$ | 0.053 | - | 8.55 | μs |
| | | - | 1.5 | - | 239.5 | $1/f_{ADC}$ |
| $t_{STAB}^{(2)}$ | 上电时间 | - | 42 | | | $1/f_{ADC}$ |
| $t_{CONV}^{(2)}$ | 总转换时间（包括采样时间） | $f_{ADC} = 28 \text{ MHz}$ | 0.5 | - | 9 | μs |
| | | - | 14~252（采样 t_s + 逐步逼近12.5） | | | $1/f_{ADC}$ |

(1) 由综合评估得出，不在生产中测试。

(2) 由设计保证，不在生产中测试。

(3) V_{REF+} 在内部连接到 V_{DDA} ， V_{REF-} 在内部连接到 V_{SSA} 。

(4) 对于外部触发，必须在表45列出的时延中加上一个延迟 $1/f_{PCLK2}$ 。

表46和表47决定最大的外部阻抗，使得误差可以小于1 LSB。

表 46. $f_{ADC} = 14 \text{ MHz}$ 时的最大 $R_{AIN}^{(1)}$

| T_s (周期) | t_s (μs) | 最大 R_{AIN} (k Ω) |
|------------|-------------------------|----------------------------|
| 1.5 | 0.11 | 0.25 |
| 7.5 | 0.54 | 1.3 |
| 13.5 | 0.96 | 2.5 |
| 28.5 | 2.04 | 5.0 |
| 41.5 | 2.96 | 8.0 |
| 55.5 | 3.96 | 10.5 |
| 71.5 | 5.11 | 13.5 |
| 239.5 | 17.11 | 40 |

(1) 由设计保证。

表 47. $f_{ADC} = 28 \text{ MHz}$ 时的最大 $R_{AIN}^{(1)}$

| T_s (周期) | t_s (μs) | 最大 R_{AIN} (k Ω) |
|------------|-------------------------|----------------------------|
| 1.5 | 0.05 | 0.1 |
| 7.5 | 0.27 | 0.6 |
| 13.5 | 0.48 | 1.2 |
| 28.5 | 1.02 | 2.5 |
| 41.5 | 1.48 | 4.0 |
| 55.5 | 1.98 | 5.2 |
| 71.5 | 2.55 | 7.0 |
| 239.5 | 8.55 | 20 |

(1) 由设计保证。

表 48. ADC 精度⁽¹⁾⁽²⁾

| 符号 | 参数 | 测试条件 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|----|--------|--|-----------|-----------|-----|
| ET | 综合误差 | $f_{ADC} = 28 \text{ MHz}$, $R_{AIN} < 10 \text{ k}\Omega$, $V_{DDA} = 3.0\sim 3.6 \text{ V}$, $T_A = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ | ± 2 | ± 3 | LSB |
| EO | 偏移误差 | | ± 1 | ± 1.6 | |
| EG | 增益误差 | | ± 1.5 | ± 3 | |
| ED | 微分线性误差 | | ± 0.6 | ± 1 | |
| EL | 积分线性误差 | | ± 1 | ± 2 | |
| ET | 综合误差 | $f_{ADC} = 28 \text{ MHz}$, $R_{AIN} < 10 \text{ k}\Omega$, $V_{DDA} = 2.6\sim 3.6 \text{ V}$, $T_A = -40 \sim 105 \text{ }^\circ\text{C}$ | ± 2 | ± 4 | LSB |
| EO | 偏移误差 | | ± 1 | ± 2 | |
| EG | 增益误差 | | ± 1.5 | ± 3.5 | |
| ED | 微分线性误差 | | ± 0.6 | $+1.5/-1$ | |
| EL | 积分线性误差 | | ± 1 | ± 2 | |

(1) ADC的直流精度数值是在经过内部校准后测量的。

(2) 由综合评估得出，不在生产中测试。

图 19. ADC 精度特性

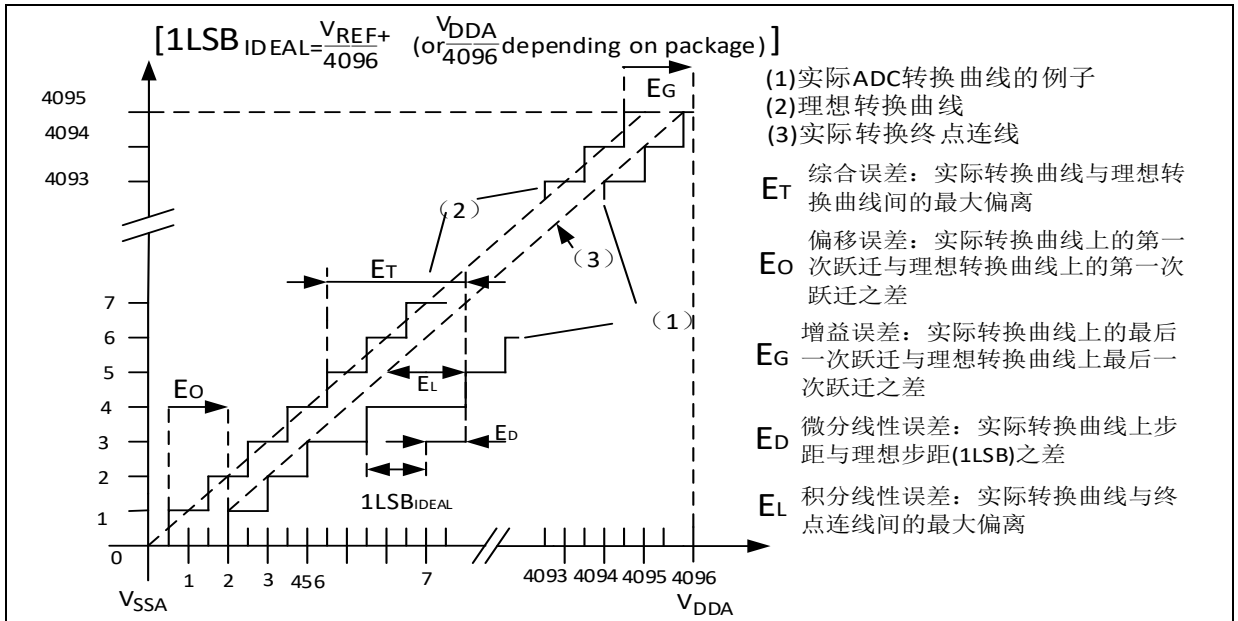
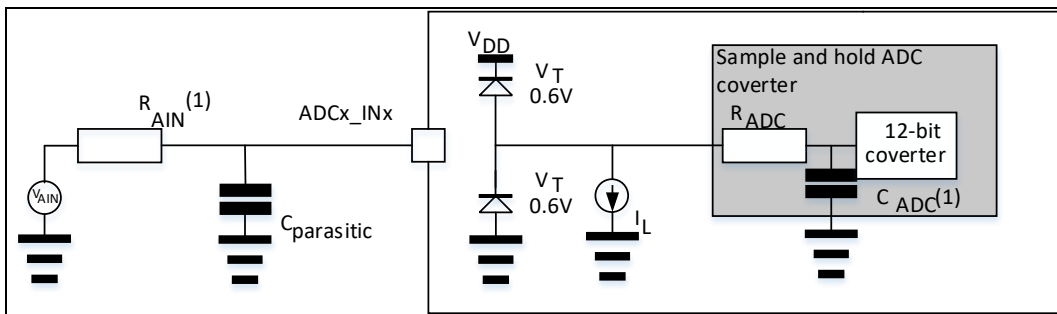


图 20. 使用 ADC 典型的连接图



- (1) 有关 R_{AIN} 和 C_{ADC} 的数值，参见表45。
- (2) $C_{parasitic}$ 表示PCB（与焊接和PCB布局质量相关）与焊盘上的寄生电容（大约7 pF）。较大的 $C_{parasitic}$ 数值将降低转换的精度，解决的办法是减小 f_{ADC} 。

PCB设计建议

应如图4中所示执行电源去耦。100 nF的电容器应为陶瓷型（高质量），应与芯片尽可能靠近放置。

7.3.18 内部参照电压（ V_{INTRV} ）特性

表 49. 内置参照电压特性

| 符号 | 参数 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|-----------------------|---------------------|------|------|------|--------|
| V_{INTRV} | 内部参照电压 | 1.16 | 1.20 | 1.24 | V |
| $T_{Coef}^{(1)}$ | 温度系数 | - | 50 | 100 | ppm/°C |
| $T_{S_VINTRV}^{(2)}$ | 当读出内部参照电压时，ADC的采样时间 | 5.1 | - | - | μs |

- (1) 由综合评估得出，不在生产中测试。
- (2) 由设计保证，不在生产中测试。

7.3.19 温度传感器 (V_{TS}) 特性

表 50. 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 _{TS} 相对于温度的线性度 | - | ±2 | ±5 | °C |
| Avg_Slope ⁽¹⁾⁽²⁾ | 平均斜率 | -4.13 | -4.34 | -4.54 | mV/°C |
| V ₂₅ ⁽¹⁾⁽²⁾ | 在25 °C时的电压 | 1.26 | 1.32 | 1.38 | V |
| t _{START} ⁽³⁾ | 建立时间 | - | - | 100 | μs |
| T _{S_temp} ⁽³⁾ | 当读取温度时, ADC采样时间 | 5.1 | - | - | μs |

(1) 由综合评估得出, 不在生产中测试。

(2) 温度传感器输出电压随温度线性变化, 由于生产过程中的变化, 温度变化曲线的偏移在不同芯片上会有不同(最多相差50°C)。内部温度传感器更适合于检测温度的变化, 而不是测量绝对的温度。如果需要测量精确的温度, 应该使用一个外置的温度传感器。

(3) 由设计保证, 不在生产中测试。

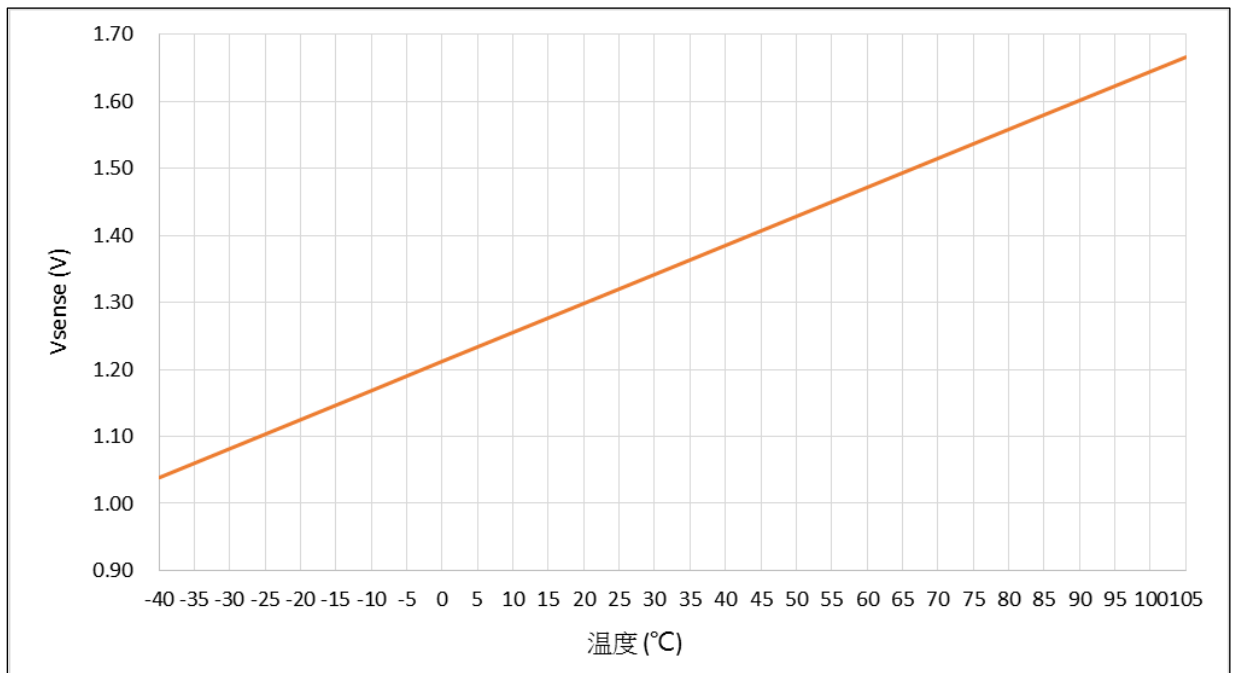
利用下列公式得出温度:

$$\text{温度}(^{\circ}\text{C}) = \{(V_{25} - V_{TS}) / \text{Avg_Slope}\} + 25$$

这里:

V₂₅ = V_{TS}在25 °C时的数值

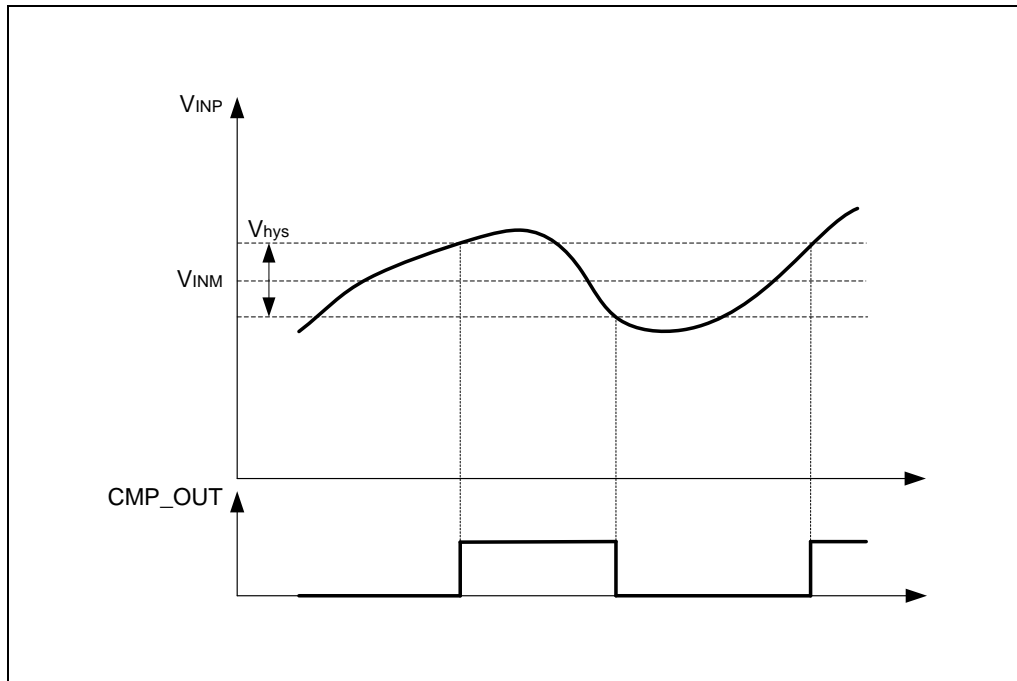
Avg_Slope = 温度与V_{TS}曲线的平均斜率(单位为mV/°C)

图 21. V_{TS}对温度理想曲线图


7.3.20 比较器 (CMP) 特性
表 51. 比较器特性⁽¹⁾

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 | |
|---------------------|-----------------------------|-------|-----|-----|------------------|----|-----|
| V _{DDA} | 供电电压 | - | 2.6 | - | 3.6 | V | |
| V _{IN} | 输入电压范围 | - | 0 | - | V _{DDA} | V | |
| t _{START} | 启动时间 | 高速模式 | - | 2.0 | 3.2 | μs | |
| | | 低功耗模式 | - | 3.6 | 5.5 | | |
| t _D | 200 mV步进, 100 mV 超载的传播延迟 | 高速模式 | - | 105 | 320 | ns | |
| | | 低功耗模式 | - | 1.2 | 3 | μs | |
| V _{offset} | 偏移误差电压 | - | - | ±3 | ±10 | mV | |
| V _{hys} | 迟滞电压 | 无迟滞 | - | 0 | 1 | mV | |
| | | 高速模式 | 低迟滞 | 40 | 65 | | 100 |
| | | | 中迟滞 | 120 | 180 | | 280 |
| | | | 高迟滞 | 200 | 320 | | 450 |
| | | 低功耗模式 | 低迟滞 | 15 | 25 | | 35 |
| | | | 中迟滞 | 50 | 70 | | 90 |
| 高迟滞 | 90 | | 120 | 160 | | | |
| I _{DDA} | 在V _{DDA} 输入脚上的电流 | 高速模式 | - | 120 | 165 | μA | |
| | | 低功耗模式 | - | 1.9 | 3.5 | | |

(1) 由综合评估得出, 不在生产中测试。

图 22. 比较器迟滞图


8 封装数据

图 23. QFN48 – 7 x 7 mm 48 脚正方扁平无引线封装图

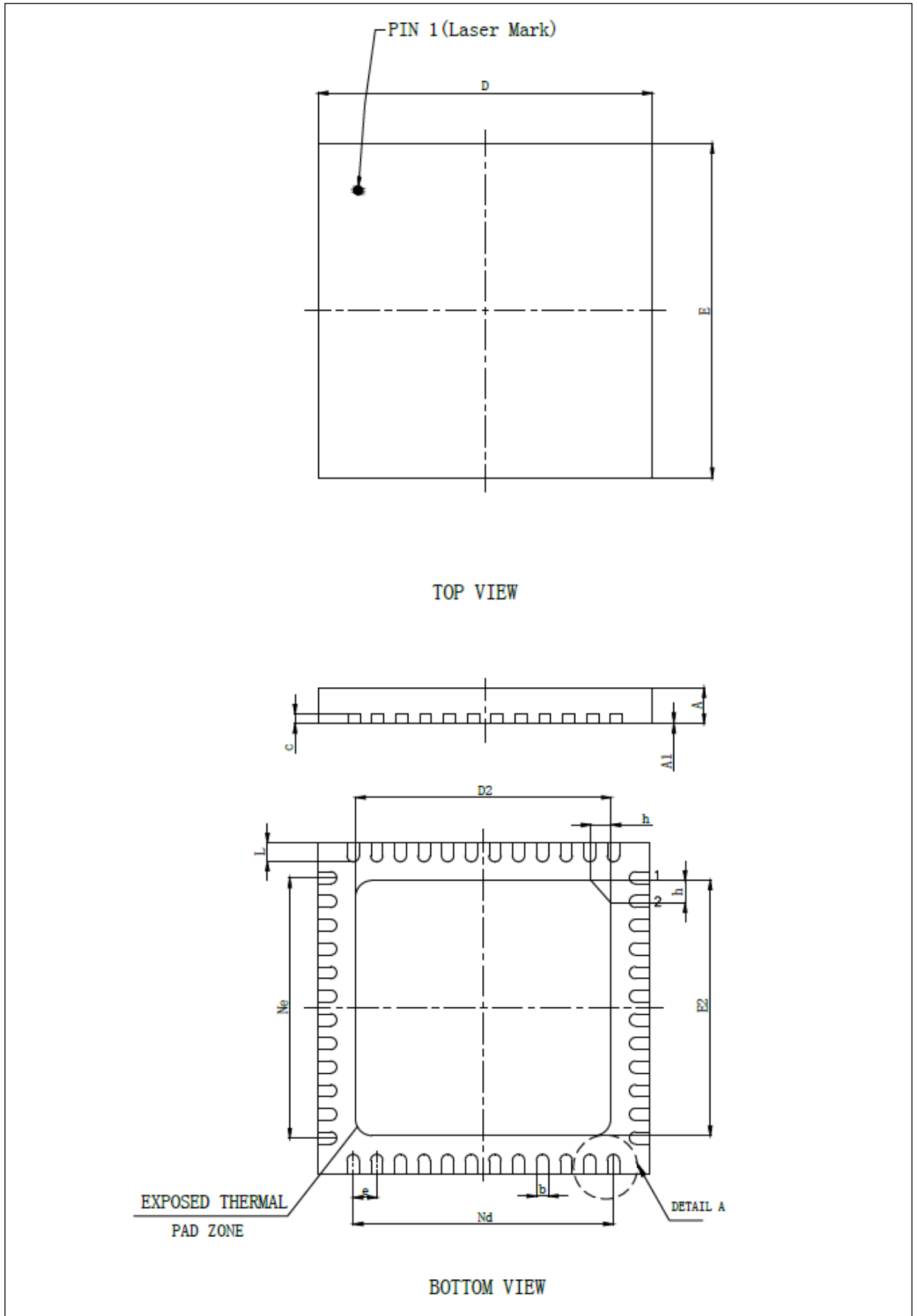
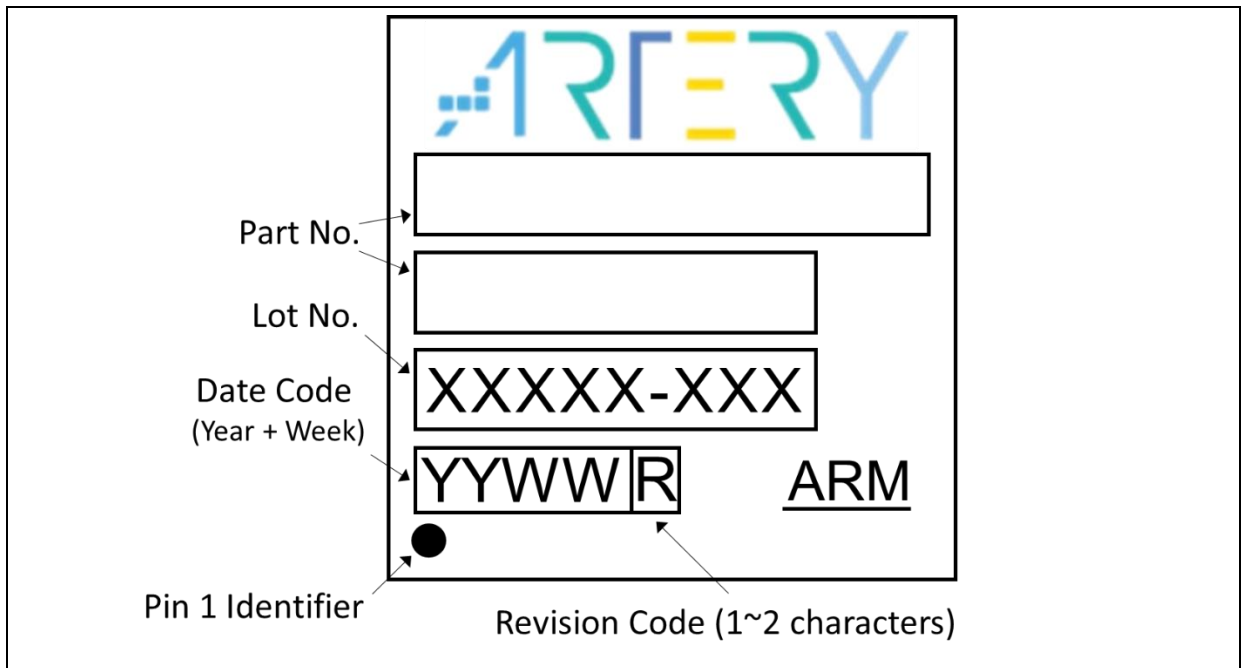


表 52. QFN48 – 7 x 7 mm 48 脚正方扁平无引线封装机械数据

| 标号 | 毫米 | | |
|----|-----------|------|------|
| | 最小值 | 典型值 | 最大值 |
| A | 0.70 | 0.75 | 0.80 |
| A1 | 0.00 | 0.02 | 0.05 |
| b | 0.18 | 0.25 | 0.30 |
| c | 0.18 | 0.20 | 0.23 |
| D | 6.90 | 7.00 | 7.10 |
| D2 | 5.30 | 5.40 | 5.50 |
| E | 6.90 | 7.00 | 7.10 |
| E2 | 5.30 | 5.40 | 5.50 |
| e | 0.50 BSC. | | |
| Nd | 5.50 BSC. | | |
| Ne | 5.50 BSC. | | |
| L | 0.35 | 0.40 | 0.45 |
| h | 0.30 | 0.35 | 0.40 |

丝印显示内容图示如下：

图 24. 丝印示意图


(1) 未按比例绘制。

9 型号说明

表 53. AT32WB415 系列型号说明

| 例如: | AT32 | WB | 4 | 1 | 5 | C | C | U | 7 | -7 |
|--------------------------|------|----|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 产品系列 | | | | | | | | | | |
| AT32 = 基于ARM®的32位微控制器 | | | | | | | | | | |
| 产品类型 | | | | | | | | | | |
| WB = 无线蓝牙通讯类型 | | | | | | | | | | |
| 内核 | | | | | | | | | | |
| 4 = Cortex®-M4 | | | | | | | | | | |
| 产品子系列 | | | | | | | | | | |
| 1 = 超值型 | | | | | | | | | | |
| 产品应用别 | | | | | | | | | | |
| 5 = OTG系列 | | | | | | | | | | |
| 引脚数目 | | | | | | | | | | |
| C = 48脚 | | | | | | | | | | |
| 闪存存储器容量 | | | | | | | | | | |
| C = 256 K字节的闪存存储器 | | | | | | | | | | |
| 封装 | | | | | | | | | | |
| U = QFN | | | | | | | | | | |
| 温度范围 | | | | | | | | | | |
| 7 = -40 °C至+105 °C | | | | | | | | | | |
| 封装细节 | | | | | | | | | | |
| -7 = QFPN48 - 7 x 7 mm封装 | | | | | | | | | | |

关于更多的选项列表（速度、封装等）和其他相关信息，请与您本地的雅特力销售处联络。

10 文档版本历史

表 54. 文档版本历史

| 日期 | 版本 | 变更 |
|------------|------|--|
| 2022.1.24 | 2.00 | 最初版本 |
| 2023.7.7 | 2.01 | 1. 修改DC-DC输出电压为1.6 V 2. 新增3.18蓝牙模块烧录说明 |
| 2023.10.17 | 2.02 | 1. 新增表36注脚3 2. 新增3.14.4 CAN必须使用HEXT说明 3. 修改重要通知第四段 |

重要通知 - 请仔细阅读

买方自行负责对本文所述雅特力产品和服务的选择和使用，雅特力概不承担与选择或使用本文所述雅特力产品和服务相关的任何责任。

无论之前是否有过任何形式的表示，本文档不以任何方式对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。如果本文档任何部分涉及任何第三方产品或服务，不应被视为雅特力授权使用此类第三方产品或服务，或许可其中的任何知识产权，或者被视为涉及以任何方式使用任何此类第三方产品或服务或其中任何知识产权的保证。

除非在雅特力的销售条款中另有说明，否则，雅特力对雅特力产品的使用和/或销售不做任何明示或默示的保证，包括但不限于有关适销性、适合特定用途（及其依据任何司法管辖区的法律的对应情况），或侵犯任何专利、版权或其他知识产权的默示保证。

雅特力产品并非设计或专门用于下列用途的产品：（A）对安全性有特别要求的应用，例如：生命支持、主动植入设备或对产品功能安全有要求的系统；（B）航空应用；（C）航天应用或航天环境；（D）武器，且/或（E）其他可能导致人身伤害、死亡及财产损害的应用。如果采购商擅自将其用于前述应用，即使采购商向雅特力发出了书面通知，风险及法律责任仍将由采购商单独承担，且采购商应独立负责在前述应用中满足所有法律和法规要求。

经销的雅特力产品如有不同于本文档中提出的声明和/或技术特点的规定，将立即导致雅特力针对本文所述雅特力产品或服务授予的任何保证失效，并且不应以任何形式造成或扩大雅特力的任何责任。

© 2023 雅特力科技 保留所有权利