



HT32L62141

产品规格书

内置感烟探测器、蜂鸣器驱动器、
1 Msps ADC、PDMA、DIV、USART、UART、SPI、I²C、
MCTM、GPTM、SCTM、BFTM、CRC、UID、RTC 和 WDT
64 KB Flash 和 8 KB SRAM 的 32-Bit Arm[®] Cortex[®]-M0+ 感烟探测器单片机

版本: V1.00 日期: 2025-04-09

www.holtek.com

目录

1 简介	6
2 特性	7
内核	7
片选存储器	7
Flash 存储器控制器 – FMC	7
复位控制单元 – RSTCU	7
时钟控制单元 – CKCU	8
电源管理 – PWRCU	8
感烟探测器 – SD	8
蜂鸣器驱动器 – BD	8
外部中断 / 事件控制器 – EXTI	9
模数转换器 – ADC	9
I/O 端口 – GPIO	9
马达控制定时器 – MCTM	10
通用功能定时器 – GPTM	10
单通道定时器 – SCTM	10
基本功能定时器 – BFTM	11
看门狗定时器 – WDT	11
实时时钟 – RTC	11
内部集成电路 – I ² C	11
串行外设接口 – SPI	12
通用同步异步收发器 – USART	12
通用异步收发器 – UART	13
循环冗余校验 – CRC	13
外设直接访问内存 – PDMA	14
硬件除法器 – DIV	14
唯一 ID – UID	14
调试支持	14
封装和工作温度	14
3 概述	15
单片机信息	15
方框图	16
存储器映射	17
时钟结构	20

4 感烟探测器 – SD	21
感烟探测器接口	22
单线通信协议	25
参数配置	27
感烟探测器寄存器	28
5 蜂鸣器驱动器 – BD	32
6 引脚图	34
7 电气特性	39
电源方案	39
极限参数	40
建议直流工作条件	40
片上 LDO 稳压器特性	40
片上超低功耗 LDO 稳压器特性	41
功耗	41
复位和电源监控特性	42
外部时钟特性	43
内部时钟特性	44
系统 PLL 特性	45
存储器特性	45
I/O 端口特性	45
A/D 转换器特性	46
VDDA 监测特性	48
Bandgap 电压特性	48
内部参考电压特性	48
SCTM/GPTM/MCTM 特性	49
感烟探测器特性	49
运算放大器特性	51
蜂鸣器驱动器特性	51
I ² C 特性	52
SPI 特性	53
8 应用电路	55
9 封装信息	57
64-pin LQFP (7mm × 7mm) 外形尺寸	58

表列表

表 1. 特性及外设列表	15
表 2. 寄存器映射	18
表 3. 运行变量模式参数配置列表	27
表 4. 感烟探测器寄存器列表	28
表 5. 蜂鸣器驱动器控制	32
表 6. 引脚分配	36
表 7. 引脚描述	38
表 8. 极限参数	41
表 9. 建议直流工作条件	41
表 10. LDO 特性	41
表 11. ULDO 特性	42
表 12. 功耗特性	42
表 13. V _{DD} 电源复位特性	43
表 14. LVD / BOD 特性	44
表 15. 外部高速时钟 (HSE) 特性	44
表 16. 内部低速时钟 (LSI) 特性	45
表 17. 内部高速时钟 (HSI) 特性	45
表 18. 内部低速时钟 (LSI) 特性	45
表 19. 系统 PLL 特性	46
表 20. Flash 存储器特性	46
表 21. I/O 端口特性	46
表 22. A/D 转换器特性	47
表 23. VDDA 监控特性	49
表 24. Bandgap 电压特性	49
表 25. 内部参考电压特性	49
表 26. SCTM/GPTM/MCTM 特性	50
表 27. 感烟探测器特性	50
表 28. 运算放大器特性	52
表 29. 蜂鸣器驱动器特性	52
表 30. I ² C 特性	53
表 31. SPI 特性	54

图列表

图 1. 方框图	16
图 2. 存储器映射	17
图 3. 时钟结构	20
图 4. 感烟探测器方框图	21
图 5. 感烟探测器连接	22
图 6. 感烟探测唤醒和时基唤醒	22
图 7. 时基唤醒	23
图 8. 感烟探测唤醒	23
图 9. 有效触发采样	23
图 10. 唤醒 / 同步采样时序 (方式 A)	24
图 11. 唤醒 / 同步采样时序 (方式 B)	25
图 12. 通信请求和有效触发采样	26
图 13. 单线通信协议	26
图 14. 发送 – 帧数据	27
图 15. 接收 – 帧数据	27
图 16. 蜂鸣器驱动器方框图	32
图 17. WDI 时序	33
图 18. 64-pin LQFP 引脚图	34
图 19. 80-pin LQFP 引脚图	35
图 20. 电源方案	40
图 21. ADC 转换器采样网络模板	48
图 22. I²C 时序图	53
图 23. SPI 时序图 – SPI 主机模式	55
图 24. SPI 时序图 – SPI 从机模式, CPHA = 1	55
图 25. 应用电路 – 他激 (2-pin) 蜂鸣器模式	56
图 26. 应用电路 – 自激 (3-pin) 蜂鸣器	57

1 简介

该 Holtek 单片机是基于 Arm® Cortex®-M0+ 处理器内核的 32-bit 高性能超低功耗单片机。Cortex®-M0+ 是把嵌套向量中断控制器 (NVIC)、系统节拍定时器 (SysTick Timer) 和先进的调试支持紧紧结合在一起的新一代处理器内核。

该单片机可工作在高达 48 MHz 的频率下，借助 Flash 加速器以提升效能。它提供 64 KB 的嵌入式 Flash 存储器用于程序 / 数据存储，8 KB 的嵌入式 SRAM 存储器供系统操作和应用程序使用。此单片机具有多种外设，如 PDMA、硬件除法器 DIV、ADC、I²C、USART、UART、SPI、MCTM、GPTM、SCTM、BFTM、96-bit 唯一 ID、CRC-16/32、RTC、WDT 和 SW-DP (串行线调试端口) 等。多种省电模式的灵活切换可实现唤醒延迟和功耗间较大优化，此特性在超低功耗应用方面尤为重要。

该单片机内建一个感烟探测器和带升压的蜂鸣器驱动器。感烟探测器具有一个感烟探测器 AFE 和两个可编程恒流通道，其通过单线接口进行通信。驱动器由带升压的蜂鸣器驱动器和蜂鸣器看门狗定时器 (BWDT) 组成。蜂鸣器驱动器可以驱动他激 (2-pin) 蜂鸣器和自激 (3-pin) 蜂鸣器。升压转换器为驱动蜂鸣器驱动器提供电源，并支持 MCU 故障报警功能。

以上这些特性使该单片机可以适用于感烟探测器产品。

arm CORTEX

2 特性

内核

- 32-bit Arm® Cortex®-M0+ 处理器内核
- 高达 48 MHz 的工作频率
- 单周期乘法
- 集成嵌套向量中断控制器 (NVIC)
- 24-bit SysTick 定时器

Cortex®-M0+ 处理器是一款低门数、高效能的 32-bit 处理器内核，专为要求面积优化、低功耗处理器的单片机及深度嵌入式应用而设计。Cortex®-M0+ 处理器基于 ARMv6-M 架构，同时支持 Thumb® 指令集、单周期输入 / 输出端口、硬件乘法器和低延迟中断响应时间。

片选存储器

- 64 KB 片上 Flash 存储器用于指令 / 数据和选项字节的存储
- 8 KB 片上 SRAM
- 支持多种启动模式

Arm® Cortex®-M0+ 处理器通过同一条外部接口对外部 AHB 外设进行访问及调试访问。处理器访问优先于调试访问。Cortex®-M0+ 的最大地址范围是 4 GB，因为它具有 32-bit 总线地址宽度。此外，预先定义的内存映射由 Cortex®-M0+ 处理器提供，以减少软件被不同的单片机供应商重复实施的复杂性。但有一些区域为 Arm® Cortex®-M0+ 系统外设所使用。更多信息请参考 Cortex®-M0+ 技术参考手册。概述章节中图 2 显示了该单片机的存储器映射，包括代码、SRAM、外设和其它预先定义的区域。

Flash 存储器控制器 – FMC

- Flash 加速器用以提升效能
- 32-bit 字编程功能，支持在线系统编程 (ISP) 和在线应用编程 (IAP)
- Flash 保护功能，防止非法访问

Flash 存储器控制器 FMC 为嵌入式片上 Flash 存储器提供所有必要的功能和缓存缓冲区。由于 Flash 存储器访问速度比 CPU 慢，故提供一个带有缓存缓冲区的宽访问接口以减少 CPU 等待时间，从而避免 CPU 指令执行延迟。Flash 存储器还提供字编程 / 页擦除功能。

复位控制单元 – RSTCU

- 电源监控
 - 上电复位 / 掉电复位 – POR / PDR
 - 欠压检测器 – BOD
 - 可编程低压检测器 – LVD

复位控制单元 RSTCU 有三种复位方式，分别是上电复位、系统复位和 APB 单元复位。上电复位，被称为冷复位，在上电时复位了整个系统。系统复位会复位处理器内核和除 SW-DP 控制器以外的外设 IP 元件。这些复位可以通过外部信号、内部事件和复位发生器触发。

时钟控制单元 – CKCU

- 外部 4 ~ 16 MHz 晶振
- 外部 32,768 Hz 晶振
- 在工作电压为 3.3 V，工作温度为 25 °C 条件下，内部 8 MHz RC 振荡器精准度可调整为 $\pm 1\%$
- 内部 32 kHz RC 振荡器
- 集成系统时钟 PLL
- 用作外设时钟源的独立的时钟分频器与门控位

时钟控制单元 CKCU 提供了一系列振荡器和时钟功能，包括内部高速 RC 振荡器 (HSI)、外部高速晶振 (HSE)、内部低速 RC 振荡器 (LSI)、外部低速晶振 (LSE)、锁相环 (PLL)、HSE 时钟监控、时钟预分频器、时钟倍频器和 APB 时钟分频器与门电路。AHB、APB 和 Cortex®-M0+ 的时钟来源于系统时钟 (CK_SYS)，而系统时钟可以来自 HSI、HSE、LSI、LSE 或者系统 PLL。看门狗定时器和实时时钟 (RTC) 使用 LSI 或 LSE 作为它们的时钟源。

电源管理 – PWRCU

- 单一电源 V_{DD} 供电：2.2 V ~ 3.6 V
- 集成 1.5 V LDO 稳压器用作 MCU 内核、外设和存储器电源
- V_{DD} 供电给 RTC
- V_{DD} 和 V_{CORE} 电源域
- 六种省电模式：休眠模式、深度休眠模式 1、深度休眠模式 2、深度休眠模式 3、暂停模式、深度暂停模式

功耗被视为许多嵌入式系统应用中最重要的问题之一。因此，在此单片机中，电源控制单元 PWRCU 提供多种省电模式如休眠模式、深度休眠模式 1、深度休眠模式 2、深度休眠模式 3、暂停模式和深度暂停模式。这些工作模式可以降低功耗，使得应用可在对 CPU 运行时间、速度和功耗这些相互冲突的需求中达到较佳平衡。

感烟探测器 – SD

- 感烟探测器 AFE，包含两个运算放大器
- 双通道灌电流发生器，用于恒定电流输出
- 单线通信接口

内置可编程灌电流发生器和感烟探测器 AFE，不需要再外接元件，即可实现感烟探测功能。灌电流范围可以在两个范围内调节：20 mA ~ 275 mA 和 50 mA ~ 305 mA (1 mA/step)。可通过单线通信接口设定相关参数。

蜂鸣器驱动器 – BD

- 内置 2-pin 和 3-pin 蜂鸣器驱动器
- 内置升压转换器
- 蜂鸣器看门狗定时器 (BWDT) 用于 MCU 故障报警功能

蜂鸣器驱动器可以驱动他激 (2-pin) 蜂鸣器和自激 (3-pin) 蜂鸣器，这取决于模式引脚的设置，并且升压转换器为驱动蜂鸣器驱动器提供电源。在正常操作中，单片机会在 t_{WDI} 时间内周期

性翻转 WDI 引脚以复位 BWDI 定时器。如果单片机未能在规定时间内翻转 WDI 引脚，就会发生超时，蜂鸣器驱动器激活并发出报警。

外部中断 / 事件控制器 – EXTI

- 高达 16 个可配置触发源和触发类型的 EXTI 线
- 所有 GPIO 引脚都可选作 EXTI 触发源
- 触发源类型包括：高电平、低电平、下降沿、上升沿或者双沿
- 每条 EXTI 线都具有独立的中断使能、唤醒使能和状态位设置
- 每条 EXTI 线都具有软件中断触发模式
- 集成去干扰滤波器，用于封锁短脉冲外部中断 / 事件控制器

EXTI 由 16 个可独立产生唤醒事件和中断请求的边沿检测器组成。每个 EXTI 输入线也可被单独屏蔽。

模数转换器 – ADC

- 12-bit SAR A/D 转换器启动装置
- 高达 1 Msps 转换速率
- 高达 8 个外部模拟输入通道
- 内置参考电压 V_{REF} 用作内部模拟输入通道
- 支持外部参考电压输入
- 转换范围： $V_{REF+} \sim V_{SSA}$

此单片机包含一个多通道 12-bit A/D 转换器，其具有多路复用通道，包括 8 个提供模拟信号的外部通道和 4 个可测量的内部通道。如果输入电压必须保持在一个特定的阈值窗口，模拟看门狗功能将监控和检测这些信号。当输入电压高于或低于设定的阈值，将产生中断。有三种转换模式用来把模拟信号转换成数字数据。A/D 转换器可工作在单次转换、连续和非连续转换模式。

内部参考电压 V_{REF} 为 A/D 转换器提供了稳定的参考电压， V_{REF} 连接于 A/D 转换器的输入通道。 V_{REF} 的精确电压由 Holtek 公司在生产测试中为每个部件单独测量。

I/O 端口 – GPIO

- 多达 30 个通用输入 / 输出口 (GPIO)
- 端口 A、B、C 映射为 16-line EXTI 中断
- 几乎所有 I/O 引脚都具有可编程输出驱动电流
- 几乎所有 I/O 引脚为 5 V 耐受，除了与模拟输入共用的引脚

单片机有多达 30 个通用 I/O 引脚，GPIO，可以实现逻辑输入 / 输出功能。每个 GPIO 端口都有相关的控制和配置寄存器，扩大了灵活性并满足特定的应用需求。

在封装上 GPIO 引脚与其它复用功能引脚共用，以获得较大的灵活性。通过配置相应的寄存器，GPIO 口可以被用作复用功能的引脚。单片机 GPIO 引脚的外部中断在外部中断控制单元，EXTI，都有相关的控制和配置寄存器。

马达控制定时器 – MCTM

- 16-bit 向上、向下、向上 / 向下自动重载计数器
- 多达 4 个独立通道
- 16-bit 可编程预分频器，可以对其时钟源进行 1 ~ 65536 之间的任意数值的分频产生计数器时钟频率
- 输入捕捉功能
- 比较匹配输出
- PWM 波形产生功能，具有边沿对齐和中心对齐两种计数模式
- 单脉冲输出模式
- 带可编程死区时间插入的互补输出
- 支持三相马达控制和霍尔传感器接口
- 刹车信号输入可强制定时器输出复位或输出固定电平

马达控制定时器 MCTM 包括一个 16-bit 向上 / 向下计数器、四个 16-bit 捕捉 / 比较寄存器 (CCR)、一个 16-bit 计数器重载寄存器 (CRR)、一个 8-bit 重复计数器和几个控制 / 状态寄存器。可用于多种用途，包括测量输入信号脉冲宽度或产生输出波形，如比较匹配输出、PWM 输出或带死区时间插入的 PWM 互补输出。MCTM 能够为马达控制、霍尔传感器接口和刹车输入提供全功能支持。

通用功能定时器 – GPTM

- 16-bit 向上、向下、向上 / 向下自动重载计数器
- 多达 4 个独立通道
- 16-bit 可编程预分频器，可以对其时钟源进行 1 ~ 65536 之间的任意数值的分频产生计数器时钟频率
- 输入捕捉功能
- 比较匹配输出
- PWM 波形产生功能，具有边沿对齐和中心对齐两种计数模式
- 单脉冲输出模式
- 使用正交解码器带两个输入端口的编码器接口控制器

通用功能定时器 GPTM 包括一个 16-bit 向上 / 向下计数器，4 个 16-bit 捕捉 / 比较寄存器 (CCR)，一个 16-bit 计数器重载寄存器 (CRR) 和多个控制 / 状态寄存器。可用于多种用途，包括通用计时、输入信号脉冲宽度测量、输出波形产生，如单脉冲波形产生或 PWM 输出。GPTM 支持的编码器接口是带有两个输入端口的正交解码器。

单通道定时器 – SCTM

- 16-bit 向上自动重载计数器
- 每个定时器具有 1 个独立通道
- 16-bit 可编程预分频器，可以对其时钟源进行 1 ~ 65536 之间的任意数值的分频产生计数器时钟频率
- 输入捕捉功能

- 比较匹配输出
- PWM 波形产生功能，具有边沿对齐计数模式

单通道定时器 SCTM 包括一个 16-bit 向上计数器，一个 16-bit 捕捉 / 比较寄存器 (CCR)，一个 16-bit 计数器重载寄存器 (CRR) 和多个控制 / 状态寄存器。它们可用于多种用途，包括通用计时、输入信号脉冲宽度测量、输出波形产生，如 PWM 输出。

基本功能定时器 – BFTM

- 32-bit 比较匹配向上计数器 – 无 I/O 控制
- 单次模式 – 比较匹配发生时停止计数
- 重复模式 – 比较匹配发生时重新开始计数

基本功能定时器 BFTM 是一个简单的 32-bit 向上计数器，可用于测量时间间隔并产生一个单次或者重复中断。BFTM 工作在两种功能模式下，即重复模式或单次模式。在重复模式下，当一个比较匹配事件发生时，BFTM 重新开始计数。BFTM 也包含一个单次模式，在此模式下，当一个比较匹配事件发生时，计数器停止计数。

看门狗定时器 – WDT

- 带有 3-bit 预分频器的 12-bit 向下计数器
- 复位系统事件
- 可编程看门狗定时器窗口功能
- 寄存器写保护功能

看门狗定时器是一个硬件定时电路，可用于检测因软件陷入死锁导致的系统故障。它包括一个 12-bit 向下计数器、预分频器、一个 WDT 增量值寄存器、WDT 操作控制电路和 WDT 保护机制。如果软件在看门狗定时器溢出前没有重载计数器的值，计数器溢出时将产生复位。此外，在计数器达到一个增量值前，如果软件重新加载计数器，也会产生复位。这意味着计数器必须在有限的时间窗口内用特定方法重新加载。当处理器处于调试模式，看门狗定时器计数器可停止计数。该寄存器写保护功能被使能，来防止看门狗定时器配置的突然改变。

实时时钟 – RTC

- 带可编程预分频器的 24-bit 向上计数器
- 闹钟功能
- 中断和唤醒事件

实时时钟，RTC 电路包括 APB 接口、24-bit 向上计数器、一个控制寄存器、一个预分频器、一个比较寄存器和一个状态寄存器。除了 APB 接口位于 V_{CORE} 电源域外，RTC 电路大多位于 V_{DD} 电源域。因此，当 V_{CORE} 电源域掉电即单片机进入暂停模式时隔离来自电源控制单元的 ISO 信号，是很有必要的。RTC 计数器被用作唤醒定时器使系统从暂停模式中恢复。

内部集成电路 – I²C

- 支持高达 1 MHz 频率的主机和从机模式
- 提供仲裁功能和时钟同步功能
- 支持 7-bit 和 10-bit 寻址模式和广播呼叫寻址
- 屏蔽地址功能可支持从机多寻址模式

I²C 内部电路可与外部 I²C 接口通信，是一个符合工业标准的两线串行接口用于外部硬件连接。这两个串行线分别为串行数据线 SDA 和串行时钟线 SCL。I²C 模块提供了三种数据传输速率：100 kHz 的标准模式、400 kHz 的快速模式和 1 MHz 的高速模式。SCL 周期产生寄存器可为 SCL 脉冲设置不同的占空比。SDA 线是一条双向数据线，它连接整个 I²C 总线，在主机和从机之间用于数据的发送和接收。I²C 模块还具有仲裁检测功能和时钟同步，可防止多个主机试图同时传送数据到 I²C 总线的情况。

串行外设接口 – SPI

- 支持主机 / 从机模式
- 主机模式频率高达 ($f_{PCLK}/2$) MHz，从机模式频率高达 ($f_{PCLK}/3$) MHz
- FIFO 深度：8 级
- 多主机和多从机工作模式

串行外设接口 SPI 使用 SPI 协议可在主机和从机模式下进行数据发送和接收。SPI 接口使用 4 个引脚，其中有串行数据输入和输出线，MISO 和 MOSI，时钟线 SCK 和从机选择线 SEL。SPI 作为主机使用，用 SEL 和 SCK 信号控制数据流来说明数据通信开始和数据采样率。要接收数据字节，数据流在特定的时钟边沿时被锁存且存储在数据寄存器或 RX FIFO。数据发送也是通过类似的方式，但以相反的顺序。模式故障检测功能使其适用于多主机应用。

通用同步异步收发器 – USART

- 支持异步和时钟同步串行通信模式
- 可编程波特率时钟频率：异步模式高达 ($f_{PCLK}/16$) MHz，同步模式高达 ($f_{PCLK}/8$) MHz
- 全双工通信能力
- 支持 LIN (局域互连网络) 模式
- 支持单线模式
- 完全可编程串行接口通信特性包括：
 - 字长：7, 8 或 9-bit 字符
 - 校验：奇校验、偶校验或无奇偶校验位的产生和检测
 - 停止位：1 或 2 个停止位产生
 - 位顺序：最低位优先或最高位优先传输
- 错误侦测：奇偶校验、溢出和帧错误
- 自动硬件流控模式 – RTS、CTS
- IrDA SIR 编码器和解码器
- 具有输出使能控制的 RS485 模式
- FIFO 深度：接收器和发送器均为 8 级

通用同步异步收发器 USART 提供了一个灵活的采用同步或异步传输的全双工数据交换。USART 用来转换并行和串行接口之间的数据，通常也被用作 RS232 标准通信。USART 外设功能支持四种类型的中断，包括线路状态中断、发送 FIFO 空中断、接收器阈值级别到达中断和超时中断。USART 模块包括一个 8 级深度的发送器 FIFO (TX_FIFO) 和一个 8 级深度的接收器 FIFO (RX_FIFO)。通过读取 USART 状态 & 中断标志位寄存器 USRSIFR，软件可以检测 USART 的错误状态。这些状态包括传输运行类型和状况以及因奇偶校验、溢出、帧错误和线中止事件造成的错误状况。

通用异步收发器 – UART

- 异步串行通信工作波特率时钟频率高达 ($f_{PCLK}/16$) MHz
- 全双工通信能力
- 支持 LIN (局域互连网络) 模式
- 支持单线模式
- 完全可编程串行接口通信特性包括：
 - 字长：7、8 或 9-bit 字符
 - 校验：奇校验、偶校验或无奇偶校验位的产生和检测
 - 停止位：1 或 2 个停止位产生
 - 位顺序：最低位优先或最高位优先传输
- 错误侦测：奇偶校验、溢出和帧错误

通用异步收发器 UART 提供了一个灵活的采用异步传输的全双工数据交换。UART 用来转换并行和串行接口之间的数据，通常也被用作 RS232 标准通信。UART 外设功能支持线路状态中断。通过读取 UART 状态 & 中断标志位寄存器 URSIFR，软件可以检测 UART 的错误状态。状态包括传输模式下的类型和状况以及因奇偶、溢出、帧和暂停事件造成的错误状况。

循环冗余校验 – CRC

- 支持 CRC16 多项式：0x8005，
$$X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$$
- 支持 CCITT CRC16 多项式：0x1021，
$$X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$$
- 支持 IEEE-802.3 CRC32 多项式：0x04C11DB7，
$$X^{32} + X^{26} + X^{23} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X + 1$$
- 支持对数据和校验码进行 1 的补码、字节取反和位取反操作
- 支持字节、半字和字数据大小
- 可编程 CRC 初始种子值
- 对 8-bit 数据在 1 AHB 时钟周期下和 32-bit 数据在 4 AHB 时钟周期执行 CRC 计算
- 支持 PDMA 对一个存储器区块进行 CRC 计算

CRC 计算单元是用于验证数据传输或存储的数据正确性的错误检测技术测试算法。CRC 计算将数据流或数据块作为输入，并生成一个 16-bit 或 32-bit 输出余数。通常情况下，当数据流被发送或存储时，会带有一个 CRC 码用作校验码。在此数据被接收或重新储存时进行与之前相同的生成多项式计算。如果新的 CRC 码数据与先前计算的不匹配，说明数据流出错了。

外设直接访问内存 – PDMA

- 6 个通道对应不同的触发源组
- 支持 8-bit、16-bit、32-bit 宽度数据传输
- 支持线性地址、环形地址和固定地址模式
- 4 阶可编程通道优先级
- 自动重载模式
- 支持的触发源包括：

ADC、SPI、USART、UART、I²C、MCTM、GPTM 和软件请求

外设直接访问内存控制器 PDMA 对 AHB 总线上的数据在外设与系统存储器之间进行转移。每一个 PDMA 通道都有一个源地址、目的地址、存储块长度和发送数量。PDMA 可以排除 CPU 干扰，避免执行中断服务程序。由于软件无需参与每个数据的转移操作，此举提高了系统性能。

硬件除法器 – DIV

- 32-bit 有符号 / 无符号除法器
- 运算需要 8 个时钟周期，加载需要 1 个时钟周期
- 除数为零错误标志

该除法器采用舍尾除法，需通过 START 控制位来触发除法器开始计算。8 个时钟周期后当除法器计算结束，完成标志位将被置高，但若除数寄存器内数据为零，那么除数为零错误标志将被置位。

唯一 ID – UID

- 总共 96-bit UID 是独一无二的，不会与任意 HT32 MCU 重复
- 不可更改，由 MCU 制造商决定

调试支持

- 串行线调试端口 – SW-DP
- 4 个用于硬件断点或代码 / 文字补丁的比较器
- 2 个用于硬件数据观察点的比较器

封装和工作温度

- 64-pin LQFP 封装
- 工作温度：-40 °C ~ 85 °C

3 概述

单片机信息

表 1. 特性及外设列表

外设		HT32L62141
主 Flash (KB)		63
选项字节 Flash (KB)		1
SRAM (KB)		8
定时器	MCTM	1
	GPTM	1
	SCTM	2
	BFTM	2
	RTC	1
	WDT	1
通信	SPI	2
	USART	1
	UART	2
	PC	2
硬件除法器		1
PDMA		6 通道
CRC-16/32		1
EXTI		16
12-bit ADC 通道数		1
		8 外部通道
感烟探测器控制器		1
蜂鸣器驱动器		1
GPIO		30 (Max.)
CPU 频率		高达 48 MHz
工作电压		2.2 V ~ 3.6 V
工作温度		-40 °C ~ 85 °C
封装		64-pin LQFP

注：该表格列出的功能，除了感烟探测器和蜂鸣器驱动器外，其它功能都与单片机 HT32L52241 兼容。
具体功能描述请参考 HT32L52231/HT32L52241 用户手册。

概述



存储器映射

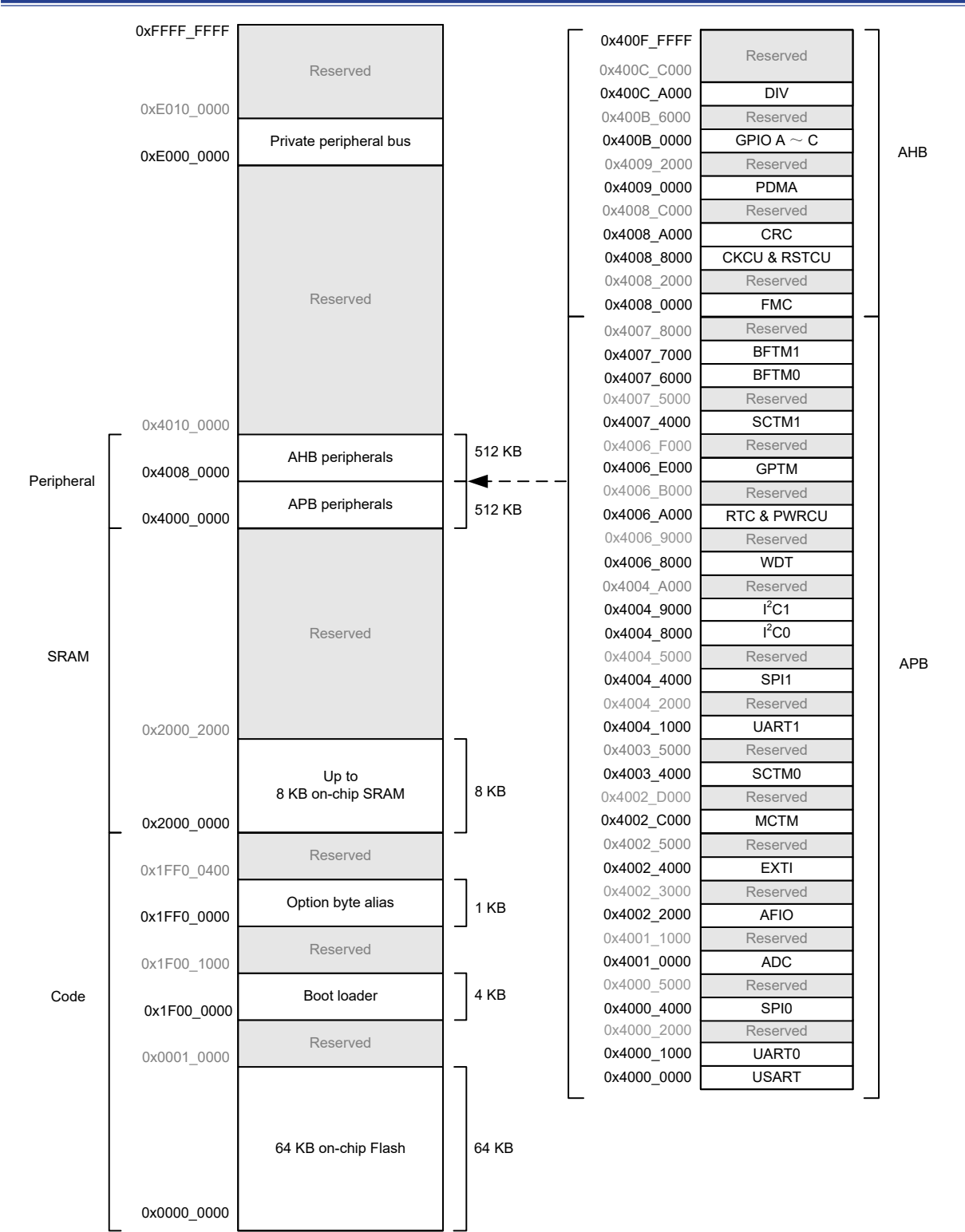


图 2. 存储器映射

表 2. 寄存器映射

起始地址	结束地址	外设	总线
0x4000_0000	0x4000_0FFF	USART	APB
0x4000_1000	0x4000_1FFF	UART0	
0x4000_2000	0x4000_3FFF	保留	
0x4000_4000	0x4000_4FFF	SPI0	
0x4000_5000	0x4000_FFFF	保留	
0x4001_0000	0x4001_0FFF	ADC	
0x4001_1000	0x4002_1FFF	保留	
0x4002_2000	0x4002_2FFF	AFIO	
0x4002_3000	0x4002_3FFF	保留	
0x4002_4000	0x4002_4FFF	EXTI	
0x4002_5000	0x4002_BFFF	保留	
0x4002_C000	0x4002_CFFF	MCTM	
0x4002_D000	0x4003_3FFF	保留	
0x4003_4000	0x4003_4FFF	SCTM0	
0x4003_5000	0x4004_0FFF	保留	
0x4004_1000	0x4004_1FFF	UART1	
0x4004_2000	0x4004_3FFF	保留	
0x4004_4000	0x4004_4FFF	SPI1	
0x4004_5000	0x4004_7FFF	保留	
0x4004_8000	0x4004_8FFF	I2C0	
0x4004_9000	0x4004_9FFF	I2C1	
0x4004_A000	0x4006_7FFF	保留	
0x4006_8000	0x4006_8FFF	WDT	
0x4006_9000	0x4006_9FFF	保留	
0x4006_A000	0x4006_AFFF	RTC & PWRCU	
0x4006_B000	0x4006_DFFF	保留	
0x4006_E000	0x4006_EFFF	GPTM	
0x4006_F000	0x4007_3FFF	保留	
0x4007_4000	0x4007_4FFF	SCTM1	
0x4007_5000	0x4007_5FFF	保留	
0x4007_6000	0x4007_6FFF	BFTM0	
0x4007_7000	0x4007_7FFF	BFTM1	
0x4007_8000	0x4007_FFFF	保留	

起始地址	结束地址	外设	总线
0x4008_0000	0x4008_1FFF	FMC	AHB
0x4008_2000	0x4008_7FFF	保留	
0x4008_8000	0x4008_9FFF	CKCU & RSTCU	
0x4008_A000	0x4008_BFFF	CRC	
0x4008_C000	0x4008_FFFF	保留	
0x4009_0000	0x4009_1FFF	PDMA	
0x4009_2000	0x400A_FFFF	保留	
0x400B_0000	0x400B_1FFF	GPIO A	
0x400B_2000	0x400B_3FFF	GPIO B	
0x400B_4000	0x400B_5FFF	GPIO C	
0x400B_6000	0x400C_9FFF	保留	
0x400C_A000	0x400C_BFFF	DIV	
0x400C_C000	0x400F_FFFF	保留	

概述



4 感烟探测器 – SD

感烟探测器内建一个感烟探测器 AFE，一个灌电流发生器和单线通信接口。

感烟探测器 AFE 可用于感烟探测器应用中的光信号检测。电路由两个完全集成的运算放大器构成，用于实现光信号的检测与处理。

灌电流发生器可在 $0.7\text{ V} \sim 4.5\text{ V}$ 的 V_{ISINK} 电压及 $2.2\text{ V} \sim 3.6\text{ V}$ 的 $V_{\text{DD_SD}}$ 电压下提供恒定电流，该恒定电流值由 ISGDAT0/ISGDAT1 寄存器控制，其范围为 $50\text{ mA} \sim 305\text{ mA}$ 和 $20\text{ mA} \sim 275\text{ mA}$ ($1\text{ mA}/\text{steps}$ 和 8-bit 分辨率)。

使用者可通过单线通信接口，做简单的设置后，即可实现感烟探测功能，让客户可以快速完成感烟探测器产品开发。

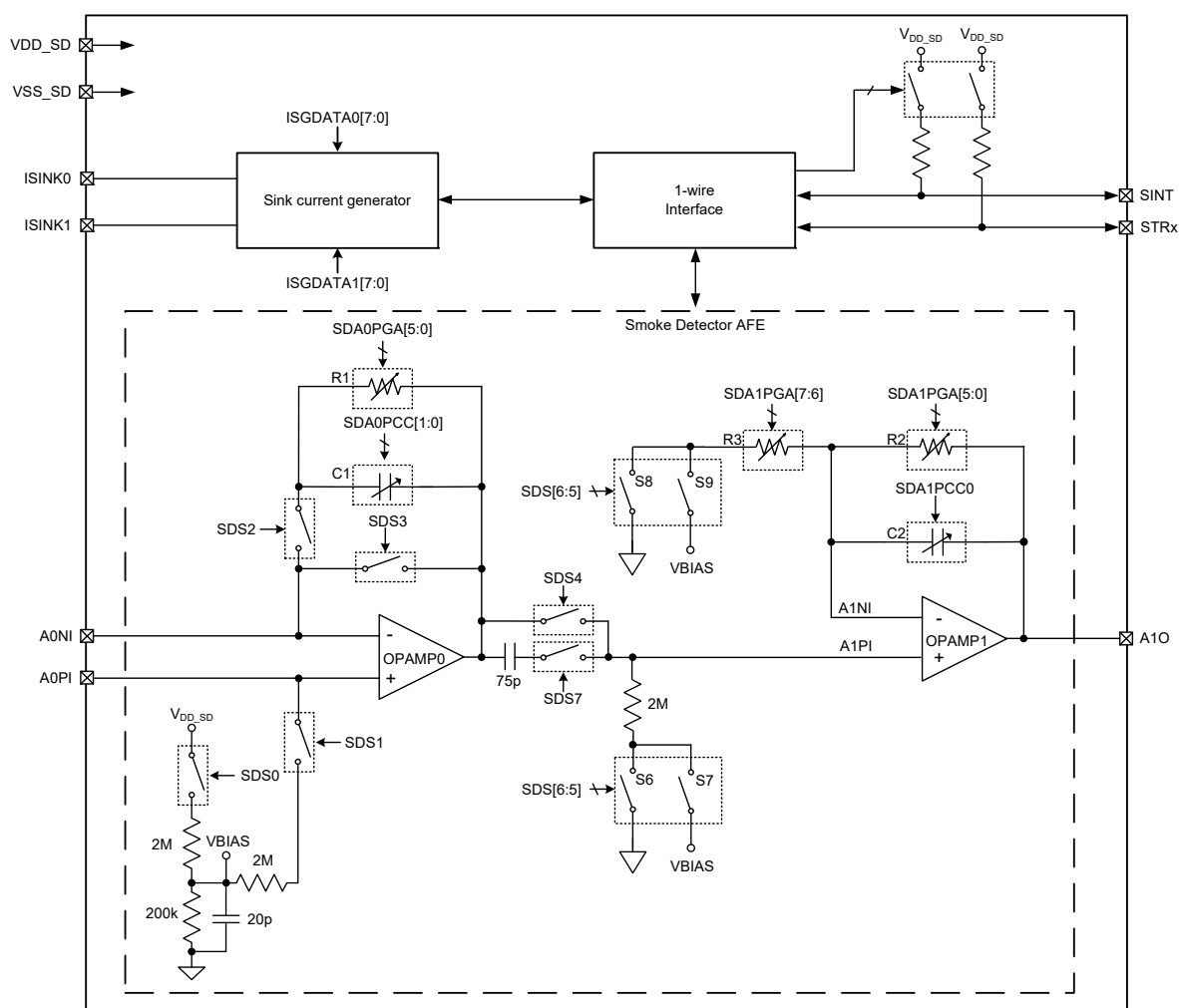


图 4. 感烟探测器方框图

应注意，虽然 SD OPAn 带宽由 SDA_nBW₁ ~ SDA_nBW₀ (n = 0 ~1) 位决定，但 OPAn 搭配 A/D 转换器使用时则有一些限制。由于 OPAn 带宽导致输出电流较小，所以选择 SD OPAn 带宽就必须小心。

SD OPAn 带宽	ADC 时钟最大值 (kHz)	SD OPAn 带宽	ADC 时钟最大值 (kHz)
SDAnBW[1:0] = 00	15.625	SDAnBW[1:0] = 10	2000
SDAnBW[1:0] = 01	125	SDAnBW[1:0] = 11	2000

感烟探测器接口

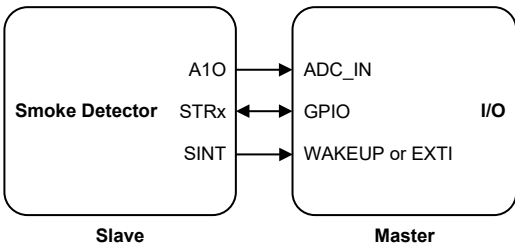


图 5. 感烟探测器连接

感烟探测器的连接如上图，A1O 为 AFE 的输出，可接任意 A/D 模拟输入引脚；STRx 为单线通信引脚，可接任意输入 / 输出端口 (不需要中断)；SINT 用于产生唤醒信号，需要接任意一个 WAKUP 或 EXTI 线。

唤醒信号引脚 SINT 只有在感烟探测周期或时基唤醒周期大于 0 时才会生效 (周期设为 0 则除能，具体见参数配置)，感烟探测周期和时基唤醒周期允许设置不同的值，两者可以通过 STRx、SINT 的脉冲及各自的低电平持续时间来进行区分。唤醒脉冲宽度固定为 15 μs，唤醒持续时间可以通过运行变量修改，各情况的唤醒信号如下：

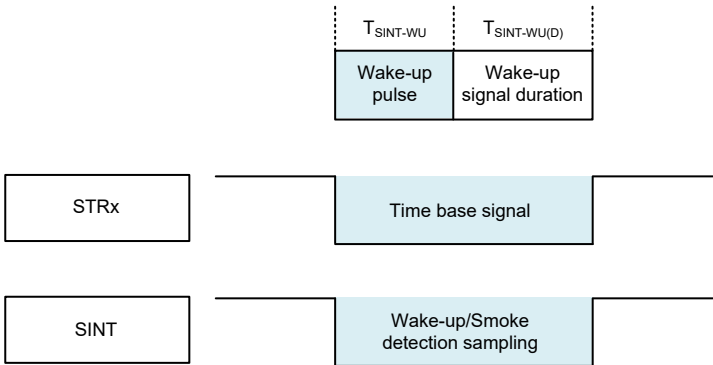


图 6. 感烟探测唤醒和时基唤醒

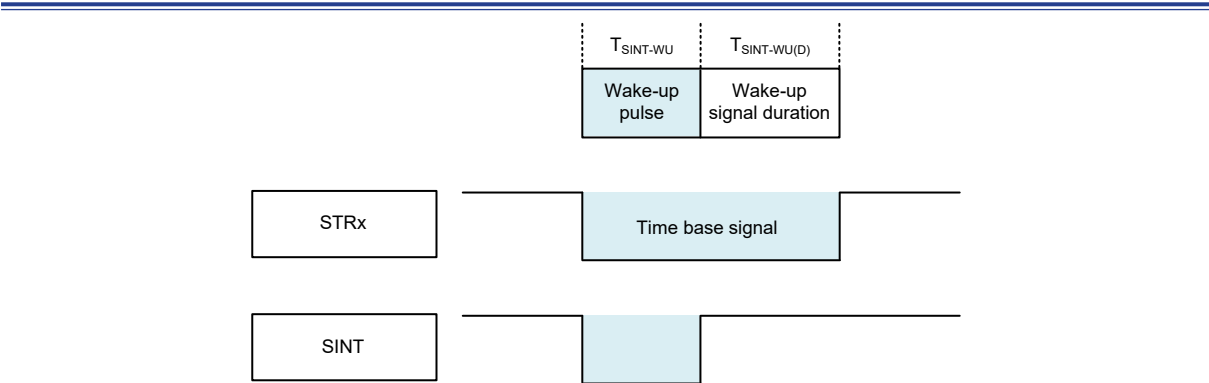


图 7. 时基唤醒

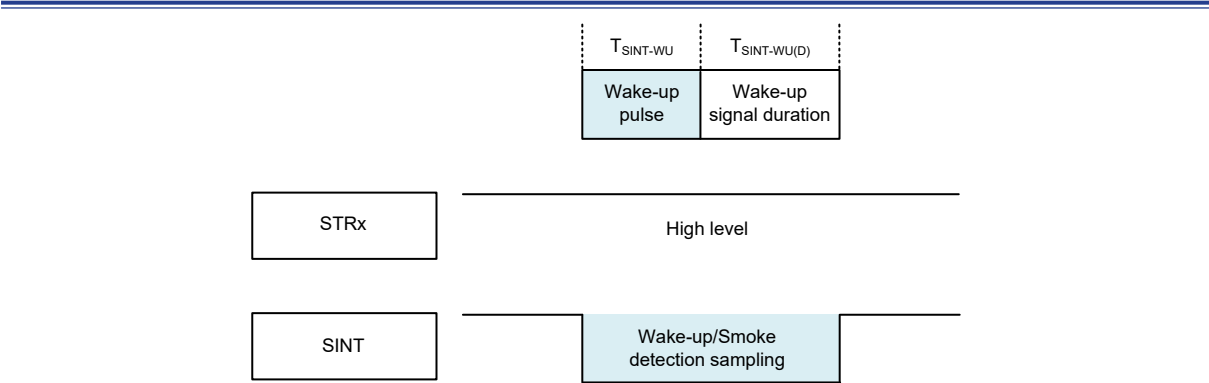


图 8. 感烟探测唤醒

一般情况，在配置好感烟探测周期后，感烟探测器会周期性触发唤醒 / 同步采样时序，通知进行中断采样（被动式）。在需要主动进行采样的场景，向 STRx 发送脉宽超过 40 μs 的低脉冲（脉宽太小会被识别为单线通信请求，具体参考单线通信协议）可以主动触发已经配置好的感烟采样时序，不需要等待探测周期开始。



图 9. 有效触发采样

唤醒 / 同步采样时序（方式 A）

由于感烟一般为脉冲式工作模式（低功耗），AFE 工作及 ISINK 发射有较严格的时序要求，否则会引起额外的耗电。SINT 除了唤醒，还具有同步功能，如果运行变量 A、B 通道有使能，且探测周期设置大于 0，则 SINT 在执行完唤醒动作后，会继续产生采样脉冲，以通知进行 A/D 转换器采样，脉冲宽度为 15 μs。每个通道都会有两个采样脉冲，分别对应 ISINK OFF 时的 AIO 输出以及 ISINK ON 时的 AIO 输出。具体时间可以通过相关运行变量修改。以下为 A、B 两个通道均使能时的时序。

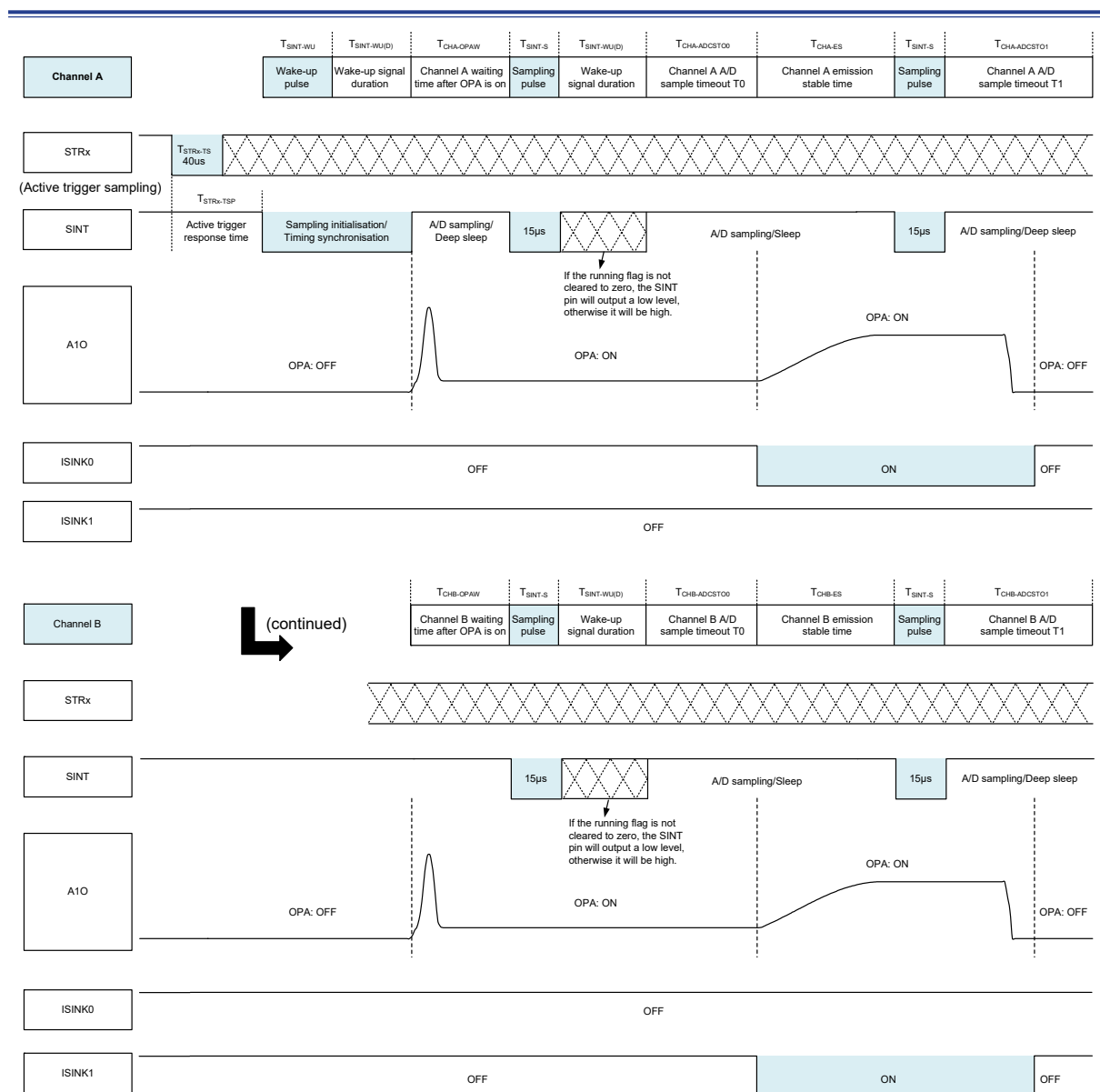


图 10. 唤醒 / 同步采样时序 (方式 A)

- 注：1. 需要运行变量中 A、B 通道使能且感烟探测周期大于 0 才会有同步脉冲，具体见参数配置章节。
2. A、B 通道若只使能了一个，则只有一个通道的时序。
3. 非主动触发时不需要 STRx 时序 (感烟探测周期设置大于 0)。

唤醒 / 同步采样时序 (方式 B)

方式 B 主要在方式 A 的基础上增加了 ISINK 提前关闭功能，以避免不必要的耗电 (延时等待)。在 ISINK 发射期间，感烟探测器发送完采样脉冲后，SINT 引脚会保持输入上拉状态，此时如果 ADC 转换器采样完成后，给 SINT 控制低脉冲，可以主动提前关闭 ISINK，不用等到 ADC 采样超时时间结束 (如果没有给脉冲就是方式 A)。需注意 ADC 采样时间不应小于 5 μ s (SINT 高电平宽度)，控制低脉冲宽度不应小于 5 μ s，否则会无法识别。以下为 A、B 两个通道均使能时的时序。

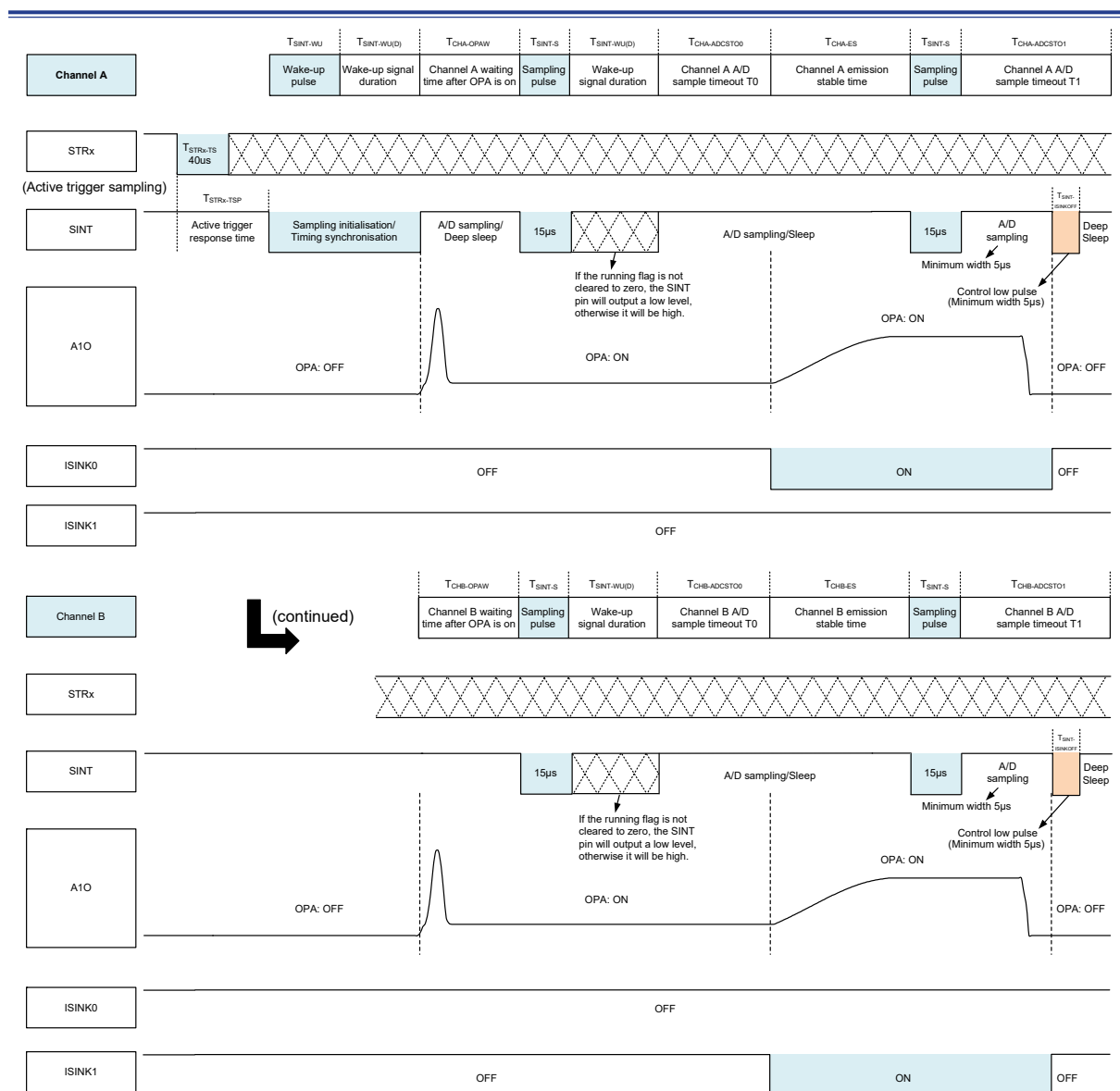


图 11. 唤醒 / 同步采样时序 (方式 B)

- 注: 1. 需要运行变量中 A、B 通道使能且感烟探测周期大于 0 才会有同步脉冲, 具体见参数配置章节。
2. A、B 通道若只使能了一个, 则只有一个通道的时序。
3. 非主动触发时不需要 STRx 时序 (感烟探测周期设置大于 0)。

单线通信协议

单线通信只能由主控发起, 一个完整的通信过程主要由请求信号、请求应答信号、数据起始信号、数据 0、数据 1、校验位 (偶校验)、末位应答组成, 校验位为数据 0 或 1 (偶校验)。需注意, 如果起始低电平时间超过 $40\mu s$, 则判断为触发采样, 而不是通信请求。其中请求应答主要用于确认从机是否在线, 而末位应答是由从机对前面的数据进行校验后决定是否应答, 则主机可以得知本次发送数据从机是否已经正确接收, 有异常主机可以考虑重发。

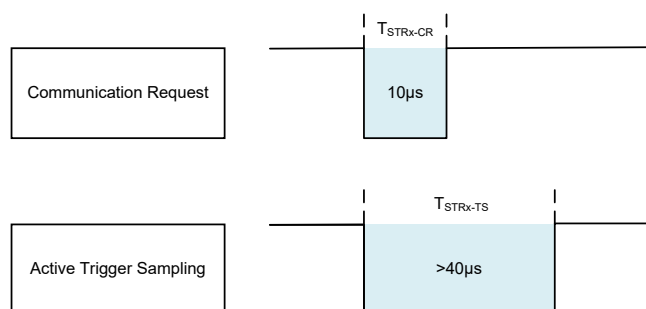


图 12. 通信请求和有效触发采样

注：起始低电平时间超过 40 μs 表示触发采样时序，否则为单线通信请求。

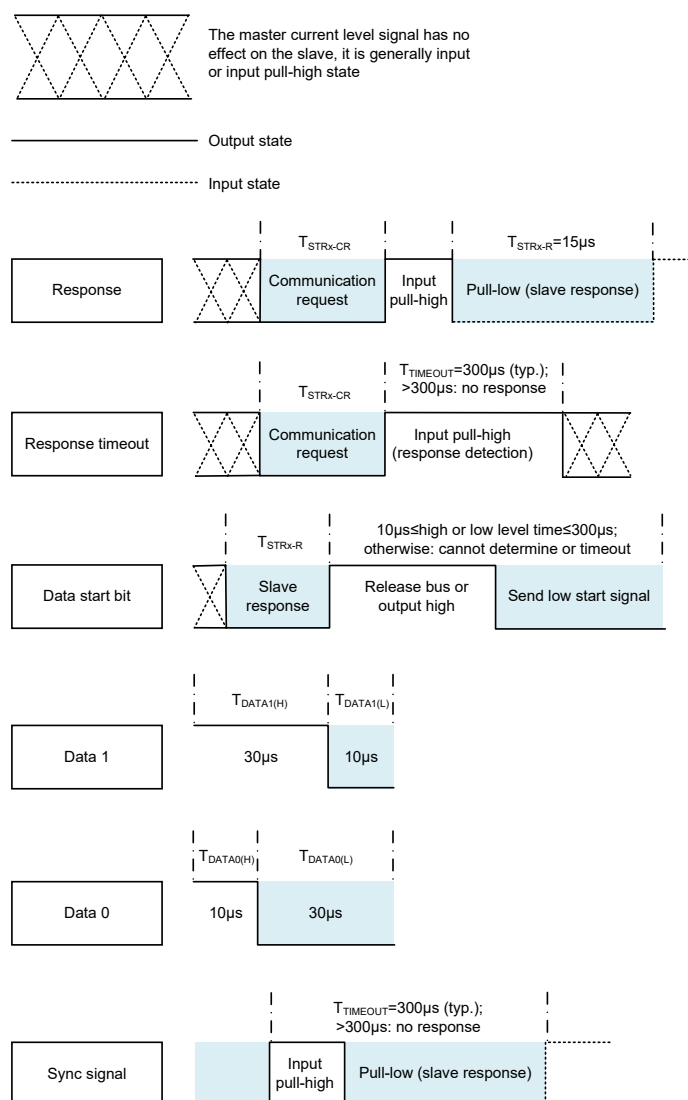


图 13. 单线通信协议

数据帧

数据传输时，LSB 先行。地址字节最高位 bit 7 用于区分读、写指令，为 0 表示发送指令，为 1 表示接收指令。校验位为地址字节和数据字节的偶校验，若地址字节 0x01，数据字节 0x77，则校验位为 1。

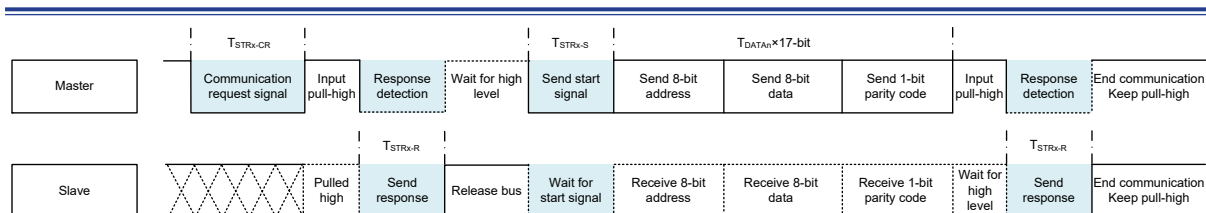


图 14. 发送 – 帧数据

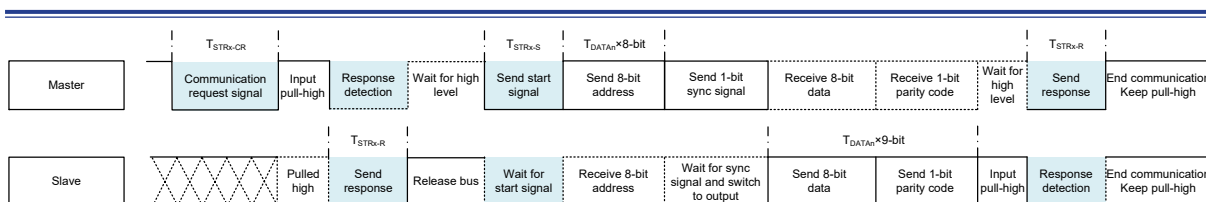


图 15. 接收 – 帧数据

参数配置

烟雾探测器有 A、B 两个通道，通道 A 使用 ISINK0 进行烟雾检测，而通道 B 使用 ISINK1。各通道的 AFE 参数及发射电流都是独立的，主控配置好相应的参数并使能后，不再需要进行通信处理，感烟探测器会自动以设定好的参数发出唤醒信号，配置 AFE，开启 ISINK，结束后再进入低功耗待机。该模式可以有效避免主控频繁通信，减小待机功耗。具体的工作顺序见上述章节。以下数据均为 8-bit。

表 3. 运行变量模式参数配置列表

功能	地址	类型	初始值	说明
写保护	0x1A	R/W	0x00	需设置为 0xA5 才能对运行变量进行写操作，其它值。将禁止写操作。
唤醒信号持续时间 (低电平)	0x00	R/W	0x00	$T_{SINT-WU(D)} = (1.5 + 1.5 N) \times 4 \mu s$ ，为 0x00 则 $N = 255$ 。
A 通道 SDSW0	0x01	R/W	0x00	参考感烟探测器的 SDSW0 寄存器。
A 通道 SDSW1	0x1B	R/W	0x00	参考感烟探测器的 SDSW1 寄存器。
A 通道 SDPGAC0	0x02	R/W	0x00	参考感烟探测器的 SDPGAC0 寄存器。
A 通道 SDPGAC1	0x03	R/W	0x00	参考感烟探测器的 SDPGAC1 寄存器。
A 通道 ISGDATA0 (发射电流)	0x04	R/W	0x00	参考感烟探测器的 ISGDATA0 寄存器。
A 通道 OPA 开启后的等待时间	0x05	R/W	0x00	$T_{CHA-OPAW} = (1.5 + 1.5 N) \times 4 \mu s$ ，为 0x00 则 $N = 255$ 。
A 通道发射稳定时间	0x06	R/W	0x00	$T_{CHA-ES} = (1.5 + 1.5 N) \times 2 \mu s$ ，为 0x00 则 $N = 255$ 。
A 通道 ADC 采样超时时间	0x07	R/W	0x00	T0: $T_{CHA-ADCSTO0} = (1.5 + 1.5 N) \mu s$ ，为 0x00 则 $N = 255$ 。 T1: $T_{CHA-ADCSTO1} = (2.5 + 2.5 N) \mu s$ ，为 0x00 则 $N = 255$ 。

功能	地址	类型	初始值	说明
B 通道 SDSW0	0x08	R/W	0x00	参考感烟探测器的 SDSW0 寄存器。
B 通道 SDSW1	0x1C	R/W	0x00	参考感烟探测器的 SDSW1 寄存器。
B 通道 SDPGAC0	0x09	R/W	0x00	参考感烟探测器的 SDPGAC0 寄存器。
B 通道 SDPGAC1	0x0A	R/W	0x00	参考感烟探测器的 SDPGAC1 寄存器。
B 通道 ISGDATA1 (发射电流)	0x0B	R/W	0x00	参考感烟探测器的 ISGDATA1 寄存器。
B 通道 OPA 开启后的等待时间	0x0C	R/W	0x00	$T_{CHB-OPAW} = (1.5 + 1.5 N) \times 4 \mu s$, 为 0x00 则 $N = 255$ 。
B 通道发射稳定时间	0x0D	R/W	0x00	$T_{CHB-ES} = (1.5 + 1.5 N) \times 2 \mu s$, 为 0x00 则 $N = 255$ 。
B 通道 ADC 采样超时时间	0x0E	R/W	0x00	T0: $T_{CHB-ADCSTO0} = (1.5 + 1.5 N) \mu s$, 为 0x00 则 $N = 255$ 。 T1: $T_{CHB-ADCSTO1} = (2.5 + 2.5 N) \mu s$, 为 0x00 则 $N = 255$ 。
A 通道使能	0x0F	R/W	0x00	0x00 除能, 大于 0 使能。
B 通道使能	0x10	R/W	0x00	0x00 除能, 大于 0 使能。
感烟探测周期	0x11	R/W	0x00	$T_{SD} = N$, 单位: s, 为 0x00 则除能。
时基唤醒周期	0x12	R/W	0x00	$T_{TB} = N$, 单位: s, 为 0x00 则除能。
运行标记	0x1D	R/W	0xBA	上电后默认值为 0xBA, 需手动写入 0x00 清零, 如果该标记不为 0x00, 采样时序的唤醒信号期间唤醒引脚会输出低电平, 否则为高电平, 以指示运行状态是否正常 (具体见时序图)。正常运行过程该标记会保持为最后写入的值。
OPA 校准	0x1E	R/W	0x00	写入值 0xA0 触发 OPA 校准, 校准结束值为 0x55。OPA 校准期间不响应通信, 校准需要 300 ms 左右。
SDA0VOS	0x5D	R/W	XX	参考感烟探测器的 SDA0VOS 寄存器。
SDA1VOS	0x5F	R/W	XX	参考感烟探测器的 SDA1VOS 寄存器。

注: 对于有效触发采样, 将感烟探测周期和时基唤醒周期设置为 0x00 可以防止唤醒信号和有效触发采样信号之间的冲突, 确保烟雾探测器正常工作。

感烟探测器寄存器

感烟探测器 AFE 电路的所有操作通过一系列寄存器控制。SDSW0 寄存器通过控制开关 On/Off 状态来控制运算放大器工作模式。SDSW1 寄存器用于选择 SD OPA0 和 OPA1 补偿电容值。SDPGAC0 和 SDPGAC1 寄存器用于选择电阻 R1、R2 和 R3 的阻值。SDAnC 寄存器 ($n = 0 \sim 1$) 用于控制 SD OPA_n 的使能 / 除能和带宽。灌电流发生器可在 0.7 V ~ 4.5 V 的 V_{ISINK} 电压下提供恒定电流, 该恒定电流值由 ISGDATA0/ISGDATA1 寄存器控制, 其范围为 50 mA ~ 305 mA 和 20 mA ~ 275 mA (1 mA/steps 和 8-bit 分辨率)。

表 4. 感烟探测器寄存器列表

寄存器名称	位							
	7	6	5	4	3	2	1	0
SDSW0	SDS7	SDS6	SDS5	SDS4	SDS3	SDS2	SDS1	SDS0
SDSW1	D7	—	SDA0PCC1	SDA0PCC0	—	—	—	SDA1PCC0
SDPGAC0	—	—	SDA0PGA5	SDA0PGA4	SDA0PGA3	SDA0PGA2	SDA0PGA1	SDA0PGA0
SDPGAC1	SDA1PGA7	SDA1PGA6	SDA1PGA5	SDA1PGA4	SDA1PGA3	SDA1PGA2	SDA1PGA1	SDA1PGA0
SDA0VOS	D7	D6	SDA0OF5	SDA0OF4	SDA0OF3	SDA0OF2	SDA0OF1	SDA0OF0
SDA1VOS	D7	D6	SDA1OF5	SDA1OF4	SDA1OF3	SDA1OF2	SDA1OF1	SDA1OF0
ISGDATA0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
ISGDATA1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

• SDSW0 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	SDS7	SDS6	SDS5	SDS4	SDS3	SDS2	SDS1	SDS0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	1	0	0	0	0	0	0	0

- Bit 7 **SDS7:** 开关 on/off 控制
0: Off
1: On
- Bit 6 ~ 5 **SDS6 ~ SDS5:** 模式控制
00: 外部模式
01: 交流耦合模式
10: 外部模式
11: 直流耦合模式 (SDS1 开关不能同时 On)
- Bit 4 **SDS4:** 开关控制
0: Off
1: On
- Bit 3 **SDS3:** 开关控制
0: Off
1: On
- Bit 2 **SDS2:** 开关控制
0: Off
1: On
- Bit 1 **SDS1:** 开关控制
0: Off
1: On
- Bit 0 **SDS0:** 开关控制
0: Off
1: On

• SDSW1 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	—	SDA0PCC1	SDA0PCC0	—	—	—	SDA1PCC0
R/W	R/W	—	R/W	R/W	—	—	—	R/W
POR	0	—	0	0	—	—	—	0

- Bit 7 **D7:** 该位必须清除为零。
- Bit 6 未定义，读为“0”
- Bit 5 ~ 4 **SDA0PCC1 ~ SDA0PCC0:** SD OPA0 补偿电容控制位
00: 20 pF
01: 15 pF
10: 10 pF
11: 20 pF
- Bit 3 ~ 1 未定义，读为“0”
- Bit 0 **SDA1PCC0:** SD OPA1 补偿电容控制位
0: 30 pF
1: 15 pF

• **SDPGAC0 寄存器**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	—	—	SDA0PGA5	SDA0PGA4	SDA0PGA3	SDA0PGA2	SDA0PGA1	SDA0PGA0
R/W	—	—	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	—	—	0	0	0	0	0	0

Bit 7 ~ 6 未定义，读为 “0”

Bit 5 ~ 0 **SDA0PGA5 ~ SDA0PGA0**: R1 阻值控制

$$R1 = (SDA0PGA[5:0] \times 100 \text{ k}\Omega)$$

这些位用于选择 R1 阻值，应注意，由于开关导通电阻，当这些位设置为 “000000” 时 $R1 \neq 0 \Omega$ 。

• **SDPGAC1 寄存器**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	SDA1PGA7	SDA1PGA6	SDA1PGA5	SDA1PGA4	SDA1PGA3	SDA1PGA2	SDA1PGA1	SDA1PGA0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7 ~ 6 **SDA1PGA7 ~ SDA1PGA6**: R3 阻值控制位

00: 10 k Ω

01: 20 k Ω

10: 30 k Ω

11: 40 k Ω

Bit 5 ~ 0 **SDA1PGA5 ~ SDA1PGA0**: R2 阻值控制位

$$R2 = SDA1PGA[5:0] \times 100 \text{ k}\Omega$$

这些位用于选择 R2 阻值，应注意，由于开关导通电阻，当这些位设置为 “000000” 时 $R2 \neq 0 \Omega$ 。

• **SDA0VOS 寄存器**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	D6	SDA0OF5	SDA0OF4	SDA0OF3	SDA0OF2	SDA0OF1	SDA0OF0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	1	0	0	0	0	0

Bit 7 ~ 6 **D7 ~ D6**: 这些位必须设置为 00

Bit 5 ~ 0 **SDA0OF5 ~ SDA0OF0**: SD OPA0 输入失调电压校准控制位

• **SDA1VOS 寄存器**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	D6	SDA1OF5	SDA1OF4	SDA1OF3	SDA1OF2	SDA1OF1	SDA1OF0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	1	0	0	0	0	0

Bit 7 ~ 6 **D7 ~ D6**: 这些位必须设置为 00

Bit 5 ~ 0 **SDA1OF5 ~ SDA1OF0**: SD OPA1 输入失调电压校准控制位

• ISGDATA0 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7 ~ 0 **D7 ~ D0:** ISINK0 引脚灌电流发生器控制
 电流值 (mA) = $50 + 1 \times (D[7:0])$
 注：当 ISGS0 = 0，ISGDATA0[7:0] 需设置为 00000，以避免漏电的情况发生

• ISGDATA1 寄存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7 ~ 0 **D7 ~ D0:** ISINK1 引脚灌电流发生器控制
 电流值 (mA) = $20 + 1 \times (D[7:0])$
 注：当 ISGS1 = 0，ISGDATA1[7:0] 需设置为 00000，以避免漏电的情况发生。

5 蜂鸣器驱动器 – BD

蜂鸣器驱动器内置一个升压转换器和一个蜂鸣器看门狗定时器 (BWDT)。蜂鸣器驱动器用来驱动他激 (2-pin) 蜂鸣器和自激 (3-pin) 蜂鸣器。方框图如下图所示。

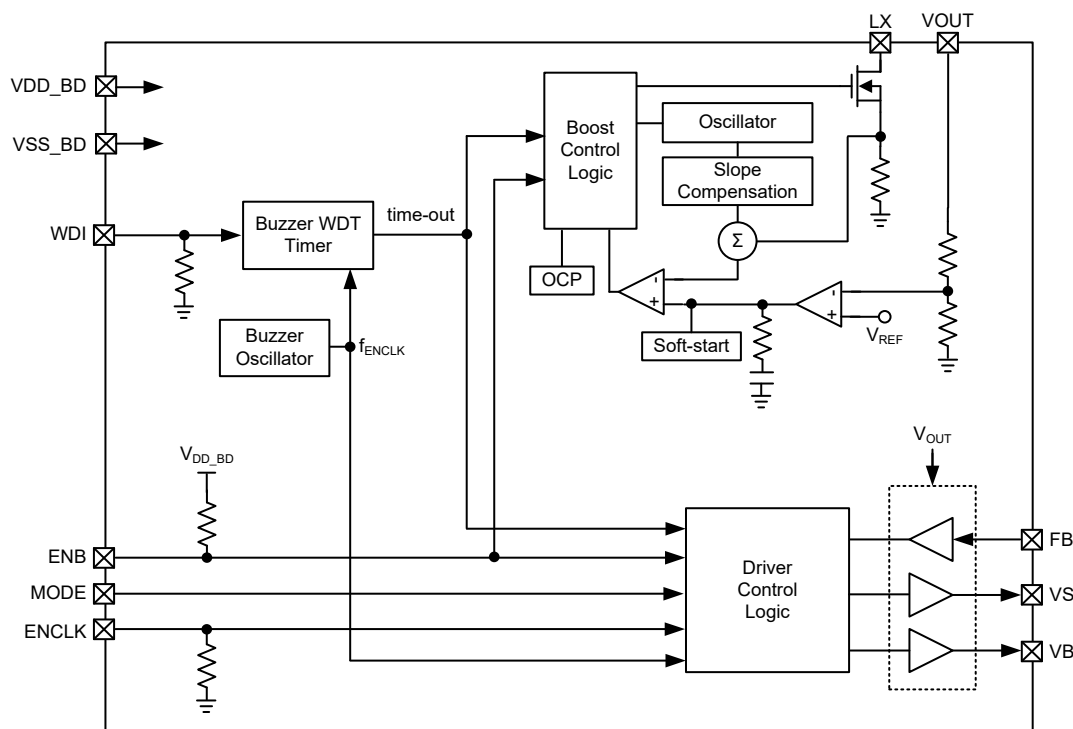


图 16. 蜂鸣器驱动器方框图

BWDT 提供 MCU 故障报警功能。须在 WDT 周期 t_{WDI} 内输入一个脉冲给 WDI 引脚来翻转 WDI 从而重置 BWDT 计数器。否则，未能翻转 WDI 引脚则会发生超时，蜂鸣器驱动器将会被激活并发出报警。

在正常模式下，BWDT 超时标志为 0，蜂鸣器驱动器由 ENB 和 ENCLK 控制。当 BWDT 超时标志为 1 时，ENB 和 ENCLK 无效。蜂鸣器驱动器设置的真值表如下表所示。

表 5. 蜂鸣器驱动器控制

BWDT 超时标志位	ENB	MODE	ENCLK	功能说明
0	0	0	0	升压转换器 on, 3-pin 蜂鸣器模式
0	0	0	1	升压转换器 on, 蜂鸣器 off
0	0	1	x	升压转换器 on, 2-pin 蜂鸣器模式 蜂鸣器时钟输入由 ENCLK 提供
0	1	x	x	升压转换器 off, 蜂鸣器 off
1	x	0	x	升压转换器 on, 3-pin 蜂鸣器模式
1	x	1	x	升压转换器 on, 2-pin 蜂鸣器模式 蜂鸣器时钟输入由 BWDT 提供

“x”：无关

WDI 时序图如下图所示。

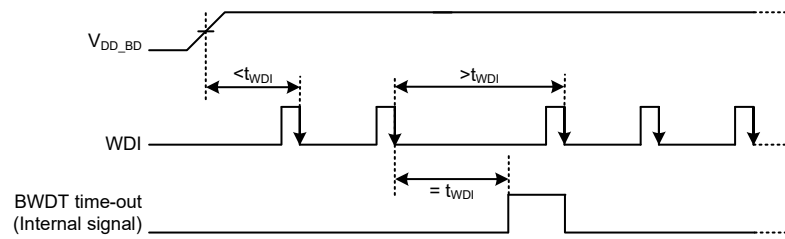


图 17. WDI 时序

引脚图



表 6. 引脚分配

封装	复用功能映射															
	AF0	AF1	AF2	AF3	AF4	AF5	AF6	AF7	AF8	AF9	AF10	AF11	AF12	AF13	AF14	AF15
64 LQFP	系统默认	GPIO	ADC	N/A	MCTM/GPTM	SPI	USART/UART	I ² C	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	SCTM	N/A	系统其它
1	PA0		ADC_IN2		GT_CH0	SPI1_SCK	USR_RTS	I2C1_SCL								VBG
2	PA1		ADC_IN3		GT_CH1	SPI1_MOSI	USR_CTS	I2C1_SDA								
3	PA2		ADC_IN4		GT_CH2	SPI1_MISO	USR_TX									
4	PA3		ADC_IN5		GT_CH3	SPI1_SEL	USR_RX									
5	PA4		ADC_IN6		GT_CH0	SPI0_SCK	UR1_TX	I2C0_SCL								
6	PA5		ADC_IN7		GT_CH1	SPI0_MOSI	UR1_RX	I2C0_SDA								
7	ISINK1															
8	ISINK0															
9	SINT															
10	VDD_SD															
11	VSS_SD															
12	A0NI															
13	A0PI															
15	A1O															
16	STRx															
17	CLDO															
18	VDD_1															
19	VSS_1															
20	nRST															
21	PB9				MT_CH3											WAKEUP1
22	X32KIN	PB10			GT_CH0	SPI1_SEL	USR_TX							SCTM0		
23	X32KOUT	PB11			GT_CH1	SPI1_SCK	USR_RX							SCTM1		
24	RTCOUT	PB12				SPI0_MISO	UR0_RX							SCTM0		WAKEUP0
25	XTALIN	PB13			MT_CH1		UR0_TX	I2C0_SCL								
26	XTALOUT	PB14			MT_CH1N		UR0_RX	I2C0_SDA								
30	PB15				MT_CH0	SPI0_SEL		I2C1_SCL								
31	PC0				MT_CH0N	SPI0_SCK		I2C1_SDA						SCTM1		
32	PA8						USR_TX							SCTM0		
33	PA9_BOOT					SPI0_MOSI								SCTM1		CKOUT
34	PA10				MT_CH1	SPI0_MOSI	USR_RX									
35	PA11				MT_CH1N	SPI0_MISO								SCTM0		
36	SWCLK	PA12														
37	SWDIO	PA13														

封装	复用功能映射															
	AF0	AF1	AF2	AF3	AF4	AF5	AF6	AF7	AF8	AF9	AF10	AF11	AF12	AF13	AF14	AF15
64 LQFP	系统默认	GPIO	ADC	N/A	MCTM/GPTM	SPI	USART/UART	I ² C	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	SCTM	N/A	系统其它
38	PA14				MT_CH0	SPI1_SEL	USR_RTS	I2C1_SCL								
39	PA15				MT_CH0N	SPI1_SCK	USR_CTS	I2C1_SDA						SCTM1		
40	PB0				MT_CH1	SPI1_MOSI	USR_TX	I2C0_SCL								
41	PB1				MT_CH1N	SPI1_MISO	USR_RX	I2C0_SDA						SCTM0		
42	VDD_2															
43	VSS_2															
45	PB2				MT_CH2	SPI0_SEL	UR1_TX									CKIN
46	PB3				MT_CH2N	SPI0_SCK	UR1_RX							SCTM1		
47	PB4				MT_BRK	SPI0_MOSI	UR1_TX							SCTM0		
48	PB5				GT_CH2	SPI0_MISO	UR1_RX									
50	FB															
51	VB															
52	VS															
53	VOUT															
54	LX															
55	VSS_BD															
56	VDD_BD															
57	MODE															
58	ENB															
59	ENCLK															
60	WDI															
61	PB7		ADC_IN0		MT_CH1	SPI0_MISO	UR0_TX	I2C1_SCL								
62	PB8		ADC_IN1		MT_CH1N	SPI0_SEL	UR0_RX	I2C1_SDA								
63	ADVREFP															
64	VSSA															
14, 27~29, 44, 49	NC															

表 7. 引脚描述

引脚编号 64 LQFP	引脚名称	类型 ⁽¹⁾	I/O 结构 ⁽²⁾	输出驱动	描述
					默认功能 (AF0)
1	PA0	AI/O	33V	4/8/12/16 mA	PA0
2	PA1	AI/O	33V	4/8/12/16 mA	PA1
3	PA2	AI/O	33V	4/8/12/16 mA	PA2
4	PA3	AI/O	33V	4/8/12/16 mA	PA3
5	PA4	AI/O	33V	4/8/12/16 mA	PA4, 在 Boot loader 模式下, 此引脚提供 UART_TX 功能
6	PA5	AI/O	33V	4/8/12/16 mA	PA5, 在 Boot loader 模式下, 此引脚提供 UART_RX 功能
7	ISINK1	AO	5V	—	灌电流源 1
8	ISINK0	AO	5V	—	灌电流源 0
9	SINT	I/O	33V	—	感烟探测器唤醒引脚
10	VDD_SD	P	—	—	感烟探测器电压
11	VSS_SD	P	—	—	感烟探测器接地参考电压
12	A0NI	AI	33V	—	感烟探测器 OPA0 负端输入
13	A0PI	AI	33V	—	感烟探测器 OPA0 正端输入
15	A1O	AO	33V	—	感烟探测器 OPA1 输出
16	STRx	I/O	33V	—	感烟探测器单线通信引脚
17	CLDO	P	—	—	内核 LDO V _{CORE} 输出电源 必须连接一个 2.2μF 电容, 尽量靠近 CLDO 与 VSS_1 引脚
18	VDD_1	P	—	—	数字 I/O 口电压
19	VSS_1	P	—	—	数字 I/O 口接地参考电压
20	nRST ⁽³⁾	I	33V_PU	—	暂停模式下外部复位引脚和外部唤醒引脚
21	PB9 ⁽³⁾	I/O (V _{DD})	5VT	4/8/12/16 mA	PB9
22	PB10 ⁽³⁾	AI/O (V _{DD})	33V	4/8/12/16 mA	X32KIN
23	PB11 ⁽³⁾	AI/O (V _{DD})	33V	4/8/12/16 mA	X32KOUT
24	PB12 ⁽³⁾	I/O (V _{DD})	5VT	4/8/12/16 mA	RTCOUT
25	PB13	AI/O	33V	4/8/12/16 mA	XTALIN
26	PB14	AI/O	33V	4/8/12/16 mA	XTALOUT
30	PB15	I/O	5VT	4/8/12/16 mA	PB15
31	PC0	I/O	5VT	4/8/12/16 mA	PC0
32	PA8	I/O	5VT	4/8/12/16 mA	PA8
33	PA9	I/O	5VT_PU	4/8/12/16 mA	PA9_BOOT
34	PA10	I/O	5VT	4/8/12/16 mA	PA10
35	PA11	I/O	5VT	4/8/12/16 mA	PA11
36	PA12	I/O	5VT_PU	4/8/12/16 mA	SWCLK
37	PA13	I/O	5VT_PU	4/8/12/16 mA	SWDIO
38	PA14	I/O	5VT	4/8/12/16 mA	PA14
39	PA15	I/O	5VT	4/8/12/16 mA	PA15
40	PB0	I/O	5VT	4/8/12/16 mA	PB0
41	PB1	I/O	5VT	4/8/12/16 mA	PB1
42	VDD_2	P	—	—	数字 I/O 口电压
43	VSS_2	P	—	—	数字 I/O 口接地参考电压

引脚编号 64 LQFP	引脚名称	类型 ⁽¹⁾	I/O 结构 ⁽²⁾	输出驱动	描述 默认功能 (AF0)
45	PB2	I/O	5VT	4/8/12/16 mA	PB2
46	PB3	I/O	5VT	4/8/12/16 mA	PB3
47	PB4	I/O	5VT	4/8/12/16 mA	PB4
48	PB5	I/O	5VT	4/8/12/16 mA	PB5
50	FB	AI	9V	—	在自激 (3-pin) 蜂鸣器下的反馈引脚；在他激 (2-pin) 蜂鸣器模式下，强制接地
51	VB	AO	9V	—	蜂鸣器驱动器互补式输出
52	VS	AO	9V	—	蜂鸣器驱动器输出
53	VOUT	AO	9V	—	升压转换器输出
54	LX	AO	9V	—	电源转换输出
55	VSS_BD	P	—	—	蜂鸣器驱动器正电源
56	VDD_BD	P	—	—	蜂鸣器驱动器负电源，接地
57	MODE	I	33V	—	他激 (2-pin) 蜂鸣器或自激 (3-pin) 蜂鸣器模式选择引脚，连接到 VDD_BD 或 VSS_BD
58	ENB	I	33V	—	控制蜂鸣器驱动器 on/off
59	ENCLK	I	33V	—	他激 (2-pin) 蜂鸣器时钟输入和蜂鸣器 on/off
60	WDI	I	33V	—	BWDT 输入带下拉电阻。蜂鸣器在 BWDT 超时激活
61	PB7	AI/O	33V	4/8/12/16 mA	PB7
62	PB8	AI/O	33V	4/8/12/16 mA	PB8
63	ADVREFP	P	—	—	A/D 转换器模拟电压
64	VSSA	P	—	—	A/D 转换器接地参考电压
14, 27 ~ 29, 44, 49	NC	—	—	—	未连接

注：1. I = 输入，O = 输出，A = 模拟端口，P = 电源，PU = 上拉，V_{DD} = V_{DD} 电源。

2. 33V = 3.3 V 耐受，5VT = 5 V 耐受，9V = 9 V 耐受。

3. 这些引脚位于 V_{DD} 电源域。

4. 在 Boot loader 模式下，可使用 UART 连接通信。

7 电气特性

电源方案

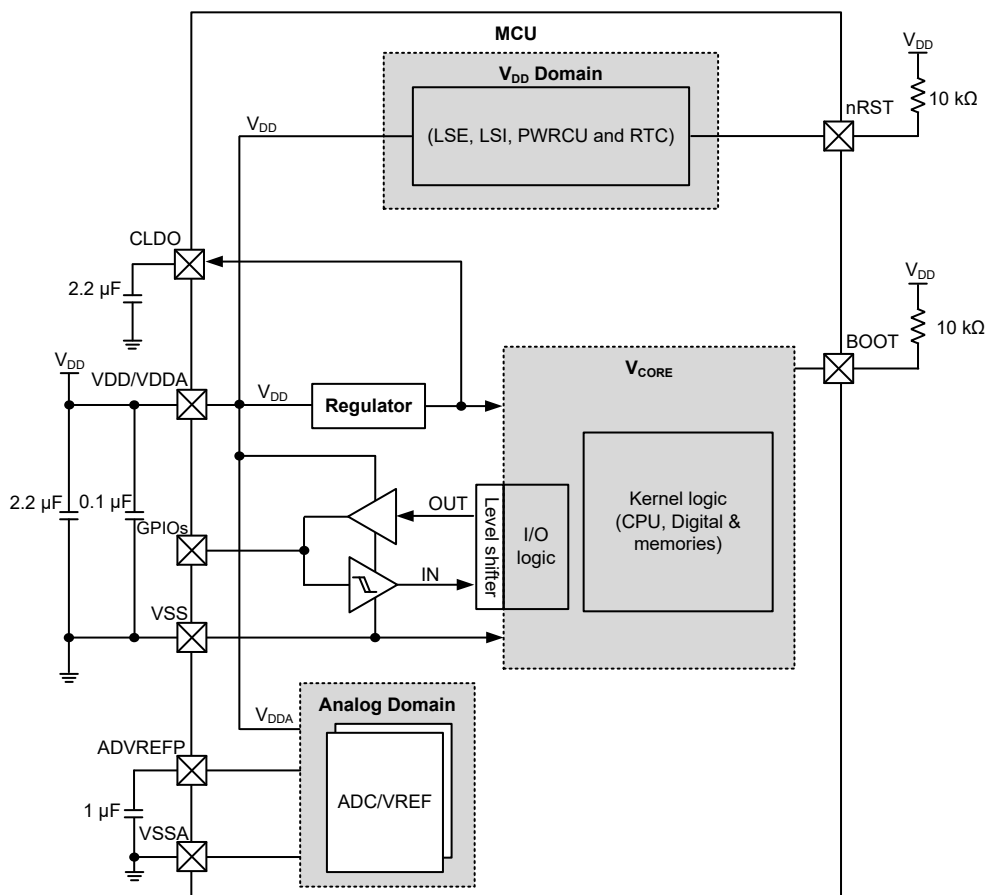


图 19. 电源方案

- 注：1. 所有稳压电容都需尽量靠近 MCU。
2. BOOT 引脚上拉电阻建议为 10 kΩ。
3. nRST 引脚上拉电阻建议为 10 kΩ。

极限参数

下面的表格说明单片机的极限参数。这里只强调额定功率，超过极限参数所规定的范围将对芯片造成损害，无法预期芯片在上述标示范围外的工作状态，而且若长期在标示范围外的条件下工作，可能影响芯片的可靠性。

表 8. 极限参数

符号	参数	最小值	最大值	单位
V _{DD}	外部主电源供应电压	V _{SS} - 0.3	V _{SS} + 3.6	V
V _{DD_SD}	外部感烟探测器电源电压	V _{SS} - 0.3	V _{SS} + 3.6	V
V _{DD_BD}	外部蜂鸣器驱动器电源电压	V _{SS} - 0.3	V _{SS} + 3.6	V
V _{DDA}	外部模拟电源供应电压	V _{SSA} - 0.3	V _{SSA} + 3.6	V
V _{OUT} , LX, FB, VS, VB	升压转换器电源电压	V _{SS_BD} - 0.3	V _{SS_BD} + 18	V
V _{SINK0} , V _{SINK1}	SINK0 和 SINK1 电源电压	V _{SS_SD} - 0.3	V _{SS_SD} + 6	V
V _{IN}	5 V 耐受 I/O 口输入电压	V _{SS} - 0.3	V _{SS} + 5.5	V
	其他 I/O 口输入电压	V _{SS} - 0.3	V _{DD} + 0.3	V
T _A	环境工作温度范围	-40	85	°C
T _{STG}	储存温度范围	-60	150	°C
T _J	最大结温	—	125	°C
P _D	总功耗	—	500	mW

建议直流工作条件

表 9. 建议直流工作条件

T_A = 25 °C，除非另有规定

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{DD}	工作电压	—	2.2	3.3	3.6	V
V _{DD_SD}	外部感烟探测器电源电压	—	2.2	3.3	3.6	V
V _{DD_BD}	外部蜂鸣器转换器电源电压	—	2.2	3.3	3.6	V
V _{DDA}	模拟工作电压	—	2.0	3.3	3.6	V

片上 LDO 稳压器特性

表 10. LDO 特性

T_A = 25 °C，除非另有规定

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{LDO}	内部稳压器输出电压	调整后， V _{DD} ≥ 2.2 V 稳压器输入 @ I _{LDO} = 35 mA 且电压变化为 ±5 %	1.425	1.5	1.57	V
I _{LDO}	输出电流	V _{DD} = 2.2 V 稳压器输入	—	30	35	mA
C _{LDO}	内核供电的外部滤波电容值	电容值取决于内核电源的电流消耗	1	2.2	—	μF

片上超低功耗 LDO 稳压器特性

表 11. ULDO 特性

T_A = 25 °C，除非另有规定

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{ULDO}	内部稳压器输出电压	调整后， V _{DD} ≥ 2.2 V 稳压输入 @ I _{ULDO} = 2 mA 且电压变化为 ±5 %	1.425	1.5	1.57	V
I _{ULDO}	输出电流	V _{DD} = 2.2 V ~ 3.6 V 稳压器输入 @ V _{ULDO} = 1.5 V	—	2	5	mA
C _{ULDO}	内核供电的外部滤波电容值	电容值取决于内核电源的功耗	1	2.2	—	μF

功耗

电流消耗受多个参数和因素的影响，包括工作电压、环境温度、I/O 引脚负载、单片机软件配置、工作频率、I/O 引脚切换速率、程序在存储器中的位置和执行的二进制代码。

单片机配置为以下条件以测量电流消耗：

- 所有 I/O 引脚设置为高阻抗（浮空）状态。
- 所有外设均除能，除非另有说明。
- 根据 f_{HCLK} 频率，使用最小等待状态数来优化 Flash 存储器访问时间。
- 当外设使能时，f_{PLK} = f_{HCLK}。

表 12. 功耗特性

T_A = 25 °C，除非另有规定

符号	参数	f _{HCLK}	条件		典型值	最大值 @ T _A		单位
						25 °C	85 °C	
I _{DD}	工作电流 (运行模式)	48 MHz	V _{DD} = 3.3 V, HSI = 8 MHz, PLL = 48 MHz	所有外设使能	9.2	9.8	—	mA
				所有外设除能	3.9	4.2	—	
		32 MHz	V _{DD} = 3.3 V, HSI = 8 MHz, PLL = 32 MHz	所有外设使能	6.5	6.9	—	
				所有外设除能	3.0	3.2	—	
		16 MHz	V _{DD} = 3.3 V, HSI = 8 MHz, PLL = 16 MHz	所有外设使能	3.4	3.6	—	
				所有外设除能	1.60	1.73	—	
		8 MHz	V _{DD} = 3.3 V, HSI = 8 MHz, PLL = off	所有外设使能	1.67	1.79	—	
				所有外设除能	0.82	0.89	—	
		32 kHz	V _{DD} = 3.3 V, LSI = 32 kHz, LDO off, ULDO on	所有外设使能	7.0	7.6	—	μA
				所有外设除能	3.5	3.9	—	

符号	参数	f _{HCLK}	条件		典型值	最大值 @ T _A		单位
						25 °C	85 °C	
I _{DD}	工作电流 (休眠模式)	48 MHz	V _{DD} = 3.3 V, HSI = 8 MHz, PLL = 48 MHz	所有外设使能	6.8	7.3	—	mA
				所有外设除能	0.81	0.90	—	
		32 MHz	V _{DD} = 3.3 V, HSI = 8 MHz, PLL = 32 MHz	所有外设使能	4.8	5.1	—	
				所有外设除能	0.68	0.77	—	
		16 MHz	V _{DD} = 3.3 V, HSI = 8 MHz, PLL = 16 MHz	所有外设使能	2.5	2.7	—	
				所有外设除能	0.56	0.65	—	
		8 MHz	V _{DD} = 3.3 V, HSI = 8 MHz, PLL = off	所有外设使能	1.24	1.34	—	μA
				所有外设除能	295.9	345.7	—	
		32 kHz	V _{DD} = 3.3 V, LSI = 32 kHz, LDO off, ULDO on	所有外设使能	5.3	7.0	—	
				所有外设除能	1.41	1.75	—	
	工作电流 (深度休眠 1 模式)	—	V _{DD} = 3.3 V, HSI/HSE/PLL 时钟 off, LDO off, ULDO on, LSE off, LSI on, RTC on		1.15	1.48	—	μA
	工作电流 (深度休眠 2 模式)	—	V _{DD} = 3.3 V, HSI/HSE/PLL 时钟 off, LDO off, ULDO on, LSE off, LSI on, RTC on		1.15	1.48	—	μA
	工作电流 (深度休眠 3 模式)	—	V _{DD} = 3.3 V, HSI/HSE/PLL 时钟 off, LDO off, ULDO on, LSE off, LSI off, RTC off		0.54	0.86	—	μA
	工作电流 (暂停模式)	—	V _{DD} = 3.3 V, LDO 和 ULDO off, LSE off, LSI on, RTC on		0.86	0.93	—	
			V _{DD} = 3.3 V, LDO 和 ULDO off, LSE off, LSI on, RTC off		0.75	0.81	—	μA
	工作电流 (深度暂停模式)	—						
			V _{DD} = 3.3 V, LDO 和 ULDO off, LSE off, LSI off		0.12	0.14	—	

注：1. HSE 是外部高速振荡器，而 HSI 是内部 8 MHz 高速振荡器。
2. LSE 是 32.768 kHz 外部低速振荡器，而 LSI 是内部 32 kHz 低速振荡器。
3. RTC 表示实时时钟。
4. 在 Flash 执行代码：while (1) {208 NOP}。
5. LVD 或 BOD 功能只能在单片机处于运行或休眠模式时使用。这些功能在深度休眠或暂停模式下不可用。

复位和电源监控特性

表 13. V_{DD} 电源复位特性

T_A = 25 °C，除非另有规定

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{DD}	工作电压	T _A = -40 °C ~ 85 °C	0.6	—	3.6	V
V _{POR}	上电复位阈值 (V _{DD} 电压上升)	T _A = -40 °C ~ 85 °C	1.40	1.55	1.65	V
V _{PDR}	掉电复位阈值 (V _{DD} 电压下降)	T _A = -40 °C ~ 85 °C	1.27	1.45	1.57	V
V _{PORHYST}	POR 迟滞	—	—	100	—	mV
t _{POR}	复位延迟时间	V _{DD} = 3.3 V	—	0.1	0.2	ms

注：1. 数据仅为特性描述结果，未在生产中测试。
2. 若 LDO 开启，则 V_{DD} POR 处于无效状态。当 V_{DD} POR 处于有效状态时，LDO 和 ULDO 将被关闭。

表 14. LVD / BOD 特性

T_A = 25 °C, 除非另有规定

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{BOD}	欠压检测电压	工厂调整后	V _{DD} 下降沿	1.62	1.68	1.74
			V _{DD} 上升沿	1.68	1.74	1.8
V _{BODHYST}	BOD 迟滞	V _{DD} = 2.2 V	—	60	—	mV
V _{LVD}	低压检测电压	V _{DD} 下降沿	LVDS = 000	1.67	1.75	1.83
			LVDS = 001	1.87	1.95	2.03
			LVDS = 010	2.07	2.15	2.23
			LVDS = 011	2.27	2.35	2.43
			LVDS = 100	2.47	2.55	2.63
			LVDS = 101	2.67	2.75	2.83
			LVDS = 110	2.87	2.95	3.03
			LVDS = 111	3.07	3.15	3.23
V _{LVDHYST}	LVD 迟滞	V _{DD} = 3.3 V	—	100	—	mV
t _{suLVD}	LVD 建立时间	V _{DD} = 3.3 V	—	—	5	μs
t _{atLVD}	LVD 有效延迟时间	V _{DD} = 3.3 V	—	200	—	μs
I _{DDLVD}	工作电 ⁽²⁾	V _{DD} = 3.3 V	—	5	15	μA

注：1. 数据仅为特性描述结果，未在生产中测试。

2. 不包括 Bandgap 电流。

3. LVDS 位域位于 PWRCU LVDCSR 寄存器中。

外部时钟特性

表 15. 外部高速时钟 (HSE) 特性

T_A = 25 °C, 除非另有规定

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{DD}	工作电压	—	2.2	—	3.6	V
f _{HSE}	HSE 频率	—	4	—	16	MHz
C _L	负载电容	V _{DD} = 3.3 V, R _{ESR} = 100 Ω @ 16 MHz	—	—	22	pF
R _{FBHSE}	XTALIN 和 XTALOUT 引脚间的内部反馈电阻	—	—	1	—	MΩ
R _{ESR}	等效串联电阻	V _{DD} = 3.3 V, C _L = 12 pF @ 16 MHz, HSEGAIN = 00 V _{DD} = 2.4 V, C _L = 12 pF @ 16 MHz, HSEGAIN = 11	—	—	160	Ω
D _{HSE}	HSE 振荡器占空比	—	40	—	60	%
I _{DDHSE}	HSE 振荡器工作电流	V _{DD} = 3.3 V @ 16 MHz	—	TBD	—	mA
I _{PWDHSE}	HSE 振荡器暂停电流	V _{DD} = 3.3 V	—	—	0.01	μA
t _{suHSE}	HSE 振荡器启动时间	V _{DD} = 3.3 V	—	—	4	ms

表 16. 内部低速时钟 (LSI) 特性

T_A = 25 °C, 除非另有规定

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{DD}	工作电压	—	2.2	—	3.6	V
f _{CK_LSE}	LSE 频率	V _{DD} = 2.2 V ~ 3.6 V	—	32.768	—	kHz
R _F	内部反馈电阻	—	—	10	—	MΩ
R _{ESR}	等效串联电阻	V _{DD} = 3.3 V	30	—	TBD	kΩ
C _L	负载电容	V _{DD} = 3.3 V	6	—	TBD	pF
I _{DDLSE}	LSE 振荡器工作电流 (高电流模式)	f _{CK_LSE} = 32.768 kHz, R _{ESR} = 50 kΩ, C _L ≥ 7 pF V _{DD} = 2.2 V ~ 2.7 V T _A = -40 °C ~ 85 °C	—	3.3	6.3	μA
	LSE 振荡器工作电流 (低电流模式)	f _{CK_LSE} = 32.768 kHz, R _{ESR} = 50 kΩ, C _L < 7 pF V _{DD} = 2.2 V ~ 3.6 V T _A = -40 °C ~ 85 °C	—	1.8	3.3	μA
	LSE 振荡器暂停电流	—	—	—	0.01	μA
t _{SULSE}	LSE 振荡器启动时间 (低电流模式)	f _{CK_LSE} = 32.768 kHz, V _{DD} = 2.2 V ~ 3.6 V	500	—	—	ms

注: PCB 布局时建议参考以下几点以提高 HSE/LSE 时钟晶体电路的稳定性:

1. 晶体振荡器应当尽可能的靠近单片机来缩短走线长度, 进而减少寄生电容。
2. 晶体电路部分采用铺地做保护来减少噪音干扰的影响。
3. 高频信号走线时远离晶体振荡器区域, 可防止串扰。

内部时钟特性

表 17. 内部高速时钟 (HSI) 特性

T_A = 25 °C, 除非另有规定

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{DD}	工作电压	—	2.2	—	3.6	V
f _{HSI}	HSI 频率	V _{DD} = 3.3 V, T _A = 25 °C	—	8	—	MHz
ACC _{HSI}	工厂调整后 HIS 振荡器频率精度	V _{DD} = 3.3 V, T _A = 25 °C	-1	—	1	%
		V _{DD} = 2.2 V ~ 3.6 V, T _A = -20 °C ~ 60 °C	-1.5	—	2	%
		V _{DD} = 2.2 V ~ 3.6 V T _A = -40 °C ~ 85 °C	-2.5	—	2.5	%
Duty	占空比	f _{HSI} = 8 MHz	35	—	65	%
I _{DDHSI}	HSI 振荡器工作电流	f _{HSI} = 8 MHz	—	300	500	μA
	HSI 振荡器暂停电流	f _{HSI} = 8 MHz	—	—	0.05	μA
t _{SUHSI}	HSI 振荡器启动时间	f _{HSI} = 8 MHz	—	—	10	μs

表 18. 内部低速时钟 (LSI) 特性

T_A = 25 °C, 除非另有规定

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{DD}	工作电压	T _A = -40 °C ~ 85 °C	2.2	—	3.6	V
f _{LSI}	LSI 频率	V _{DD} = 3.3 V, T _A = -40 °C ~ 85 °C	21	32	43	kHz
ACC _{LSI}	LSI 振荡器频率精度	工厂调整后, V _{DD} = 3.3 V	-10	—	+10	%
I _{DDL SI}	LSI 振荡器工作电流	V _{DD} = 3.3 V	—	0.4	0.8	μA
t _{SULSI}	LSI 振荡器启动时间	V _{DD} = 3.3 V	—	—	100	μs

系统 PLL 特性

表 19. 系统 PLL 特性

T_A = 25 °C，除非另有规定

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
f _{PLLIN}	PLL 输入时钟频率	—	4	—	16	MHz
f _{CK_PLL}	PLL 输出时钟频率	—	16	—	48	MHz
t _{LOCK}	PLL 锁相时间	—	—	200	—	μs

存储器特性

表 20. Flash 存储器特性

T_A = 25 °C，除非另有规定

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
N _{ENDU}	可擦写次数 (耐久性)	T _A = -40 °C ~ 85 °C	20	—	—	K cycles
t _{RET}	数据保存时间	T _A = -40 °C ~ 85 °C	10	—	—	Years
t _{PROG}	字编程时间	T _A = -40 °C ~ 85 °C	20	—	—	μs
t _{ERASE}	页擦除时间	T _A = -40 °C ~ 85 °C	2	—	—	ms
t _{MERASE}	整片擦除时间	T _A = -40 °C ~ 85 °C	10	—	—	ms

I/O 端口特性

表 21. I/O 端口特性

T_A = 25 °C，除非另有规定

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
I _{IL}	低电平输入电流	3.3 V I/O	—	—	3	μA
		5 V 耐受 I/O				
		复位引脚				
I _{IH}	高电平输入电流	3.3 V I/O	—	—	3	μA
		5 V 耐受 I/O				
		复位引脚				
V _{IL}	低电平输入电压	3.3 V I/O	- 0.3	—	V _{DD} × 0.35	V
		5 V 耐受 I/O				
		复位引脚				
V _{IH}	高电平输入电压	3.3 V I/O	V _{DD} × 0.65	—	V _{DD} + 0.3	V
		5 V 耐受 I/O			5.5	
		复位引脚			V _{DD} + 0.3	
V _{HYS}	施密特触发器输入电压迟滞	3.3 V I/O	—	0.12 × V _{DD}	—	mV
		5 V 耐受 I/O				
		复位引脚				
I _{OL}	低电平输出电流 (GPIO 灌电流)	3.3 V I/O	4 mA 驱动, V _{OL} = 0.4 V	—	—	mA
		5 V 耐受 I/O				
		3.3 V I/O	8 mA 驱动, V _{OL} = 0.4 V	—	—	mA
		5 V 耐受 I/O				
		3.3 V I/O	12 mA 驱动, V _{OL} = 0.4 V	—	—	mA
		5 V 耐受 I/O				
		3.3 V I/O	16 mA 驱动, V _{OL} = 0.4 V	—	—	mA
		5 V 耐受 I/O				

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
I _{OH}	高电平输出电流 (GPIO 源电流)	3.3 V I/O 4 mA 驱动, 5 V 耐受 I/O V _{OH} = V _{DD} - 0.4 V	4	—	—	mA
		3.3 V I/O 8 mA 驱动, 5 V 耐受 I/O V _{OH} = V _{DD} - 0.4 V	8	—	—	mA
		3.3 V I/O 12 mA 驱动, 5 V 耐受 I/O V _{OH} = V _{DD} - 0.4 V	12	—	—	mA
		3.3 V I/O 16 mA 驱动, 5 V 耐受 I/O V _{OH} = V _{DD} - 0.4 V	16	—	—	mA
		3.3 V I/O 4 mA 驱动, I _{OL} = 4 mA	—	—	0.4	V
		5 V 耐受 I/O	—	—	0.4	V
V _{OL}	低电平输出电压	3.3 V I/O 8 mA 驱动, I _{OL} = 8 mA	—	—	0.4	V
		5 V 耐受 I/O	—	—	0.4	V
		3.3 V I/O 12 mA 驱动, I _{OL} = 12 mA	—	—	0.4	V
		5 V 耐受 I/O	—	—	0.4	V
		3.3 V I/O 16 mA 驱动, I _{OL} = 16 mA	—	—	0.4	V
		5 V 耐受 I/O	—	—	0.4	V
V _{OH}	高电平输出电压	3.3 V I/O 4 mA 驱动, I _{OH} = 4 mA	V _{DD} - 0.4	—	—	V
		5 V 耐受 I/O	V _{DD} - 0.4	—	—	V
		3.3 V I/O 8 mA 驱动, I _{OH} = 8 mA	V _{DD} - 0.4	—	—	V
		5 V 耐受 I/O	V _{DD} - 0.4	—	—	V
		3.3 V I/O 12 mA 驱动, I _{OH} = 12 mA	V _{DD} - 0.4	—	—	V
		5 V 耐受 I/O	V _{DD} - 0.4	—	—	V
R _{PU}	内部上拉电阻	3.3 V I/O @ 3.3 V 5 V 耐受 I/O @ 3.3 V	—	60	—	kΩ
R _{PD}	内部下拉电阻	3.3 V I/O @ 3.3 V 5 V 耐受 I/O @ 3.3 V	—	60	—	kΩ

A/D 转换器特性

表 22. A/D 转换器特性

T_A = 25 °C, 除非另有规定

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{DDA}	工作电压	—	2.0	3.3	3.6	V
V _{ADCIN}	A/D 转换器输入电压范围	—	0	—	V _{REF+}	V
V _{REF+}	A/D 转换器参考电压	—	—	V _{DDA}	V _{DDA}	V
I _{ADC}	A/D 转换器电流消耗	V _{DDA} = 3.3 V, 1 Msps	—	0.4	0.5	mA
I _{ADC_DN}	A/D 转换器暂停电流消耗	V _{DDA} = 3.3 V	—	—	0.01	μA
f _{ADC}	A/D 转换器时钟频率	—	0.7	—	16	MHz
f _s	采样率	—	0.05	—	1	Msps
t _{DL}	数据延迟	—	—	13	—	1/f _{ADC} Cycles
t _{s&H}	采样 & 保持时间	—	—	3	—	1/f _{ADC} Cycles

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
t _{ADCCONV}	A/D 转换器转换时间	ADST[7:0] = 2	—	16	—	1/f _{ADC} Cycles
R _I	输入采样开关电阻	—	—	—	1	kΩ
C _I	输入采样电容	不包括 pin/pad 电容	—	4	—	pF
t _{SU}	启动时间	—	—	—	1	μs
N	A/D 转换器分辨率	—	—	12	—	bits
INL	积分非线性误差	f _S = 750 ksps, V _{DDA} = 2.5 V ~ 3.6 V, ADCLVM = 0 f _S = 750 ksps, V _{DDA} = 2.0 V ~ 3.5 V, ADCLVM = 1	—	±2	±5	LSB
DNL	微分非线性误差	f _S = 750 ksps, V _{DDA} = 2.5 V ~ 3.6 V, ADCLVM = 0 f _S = 750 ksps, V _{DDA} = 2.0 V ~ 3.5 V, ADCLVM = 1	—	±1	—	LSB
E _O	失调误差	—	—	—	±10	LSB
E _G	增益误差	—	—	—	±10	LSB

注：1. 数据仅为特性描述结果，未在生产中测试。

- 由于 A/D 转换器输入通道和 GPIO 引脚共用功能设计的限制，在应用电路中 A/D 转换器的供电电源 V_{DDA} 必须等于单片机的供电电源 V_{DD}。
- 下图显示了 A/D 转换器采样 - 保持输入级的等效电路，图中 C_I 为内部存储电容，R_I 为内部采样开关电阻，R_S 是信号源 V_S 的输出阻抗。在正常情况下，采样阶段的持续时间大约是 3.5/f_{ADC}。在此阶段，对 C_I 充电以确保在其两端的电压变得足够接近 V_S。为了保证这一点，R_S 取值会有一定的限制。

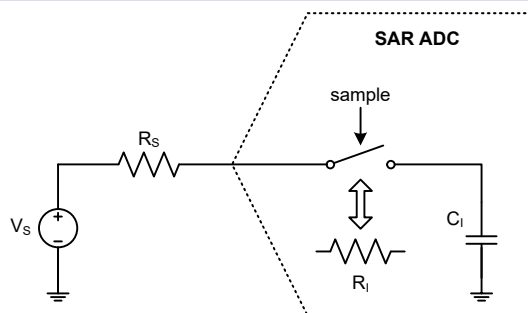


图 20. ADC 转换器采样网络模板

最差的情况是，当在输入电压范围的极限 (0 V 和 V_{REF}) 进行连续采样，可采用下面公式来确保采样误差低于 1/4 LSB：

$$R_S < \frac{3.5}{f_{ADC} C_I \ln(2^{N+2})} - R_I$$

其中，f_{ADC} 是 A/D 转换器时钟频率，N 是 A/D 转换器分辨率 (此处 N = 12)。另外需考虑引脚 / 焊盘寄生电容。在这个简单的例子中未作说明。

如果系统使用 A/D 转换器，在连续采样阶段没有轨到轨的输入电压变化，R_S 可能大于上述公式表示值。

VDDA 监测特性

表 23. VDDA 监控特性

T_A = 25 °C, 除非另有规定

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
R	V _{DDA} 电阻桥	—	—	50	—	kΩ
Q	V _{DDA} 测量比	—	—	2	—	—
E _R	比率误差	—	-1	—	+1	%
t _{SVDDA}	读取 V _{DDA} 时的 A/D 转换器采样时间	—	5	—	—	μs

注：数据仅为特性描述结果，未在生产中测试。

Bandgap 电压特性

表 24. Bandgap 电压特性

T_A = 25 °C, 除非另有规定

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{DDA}	工作电压	—	2.0	3.3	3.6	V
V _{BG}	Bandgap 参考电压	V _{DDA} = 2.0 V ~ 3.6 V @ T _A = -40 °C ~ 85 °C	1.206	1.218	1.23	V
I _{BG}	Bandgap 电压工作电流	V _{DDA} = 3 V @ T _A = -40 °C ~ 85 °C	—	57	90	μA
I _{BG_BUF}	Bandgap 缓冲器工作电流	V _{DDA} = 3 V @ T _A = -40 °C ~ 85 °C, VREFEN = 1	—	75	120	μA
t _{BGST}	Bandgap 电压稳定时间	V _{DDA} = 3.3 V @ T _A = -40 °C ~ 85 °C	—	5	20	μs
t _{SBG}	读取 Bandgap 电压时的 A/D 转换器采样时间	—	5	—	—	μs
I _{BGPD}	Bandgap 电压暂停电流	—	—	—	0.01	μA

注：数据仅为特性描述结果，未在生产中测试。

内部参考电压特性

表 25. 内部参考电压特性

T_A = 25 °C, 除非另有规定

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{DDA}	工作电压	—	2.3	—	3.6	V
V _{REF}	工厂调整后内部参考电压 @ T _A = 25 °C	V _{DDA} ≥ 2.3 V, VREFSEL[1:0] = 00	1.94	2.0	2.06	V
		V _{DDA} ≥ 2.8 V, VREFSEL[1:0] = 01	2.425	2.5	2.575	
		V _{DDA} ≥ 3.0 V, VREFSEL[1:0] = 10	2.619	2.7	2.781	
		V _{DDA} ≥ 3.3 V, VREFSEL[1:0] = 11	2.91	3.0	3.09	
C _L	负载电容	—	0.1	2.2	4.7	μF
ACC _{VREF}	调整后的参考电压精准度	V _{DDA} = 2.3 V ~ 3.6 V, V _{REF} = 2.0 V, T _A = -40 °C ~ 85 °C	-1.5	—	1.5	%
t _{STABLE}	参考电压稳定时间	V _{DDA} = 3.3 V, V _{BG} 已经稳定, C _L = 2.2 μF, T _A = -40 °C ~ 85 °C, VREFOE = 1	—	—	350	μs
I _{DD}	工作电流	V _{DDA} = 3.3 V, V _{REF} = 2.0 V, T _A = -40 °C ~ 105 °C, VREFOE = 1	—	20	30	μA
I _{DDPWD}	参考电压暂停电流	—	—	—	0.01	μA

SCTM/GPTM/MCTM 特性

表 26. SCTM/GPTM/MCTM 特性

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
f_{TM}	SCTM / GPTM / MCTM 定时器时钟源	—	—	—	48	MHz
t_{RES}	定时器分辨率时间	—	1	—	—	1/ f_{TM}
f_{EXT}	通道 0 ~ 3 的外部信号频率	—	—	—	1/2	f_{TM}
RES	定时器分辨率	—	—	—	16	bits

感烟探测器特性

表 27. 感烟探测器特性

$T_A = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, 除非另有规定

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{DD_SD}	工作电压	—	2.2	3.3	3.6	V
V_{IL}	STRx 和 SINT 引脚低电平输入电压	—	0	—	$0.2V_{DD_SD}$	V
V_{IH}	STRx 和 SINT 引脚高电平输入电压	—	$0.8V_{DD_SD}$	—	V_{DD_SD}	V
R_{PU}	STRx 和 SINT 引脚内部上拉电阻	$V_{DD_SD} = 3.3\text{ V}$	—	60	—	$k\Omega$
I_{OL}	STRx 和 SINT 引脚灌电流	$V_{OL} = 0.1 V_{DD_SD}$, $V_{DD_SD} = 3.3\text{ V}$	16	32	—	mA
I_{OH}	STRx 和 SINT 引脚源电流	$V_{OH} = 0.9 V_{DD_SD}$, $V_{DD_SD} = 3.3\text{ V}$	-4	-8	—	mA
I_{SINK0}	ISINK0 引脚灌电流	$V_{ISINK0} = 3.0\text{ V}$, ISGDATA0[7:0] = 00000000B	43.5	50	56.5	mA
		$T_A = -40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_{ISINK0} = 1.0\text{ V} \sim 4.5\text{ V}$ ISGDATA0[7:0] = 00000000B	41	50	59	
		$T_A = -40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_{ISINK0} = 0.7\text{ V} \sim 1.0\text{ V}$ ISGDATA0[7:0] = 00000000B	37.5	50	52.5	
		$V_{ISINK0} = 3.0\text{ V}$, ISGDATA0[7:0] = 11111111B	265	305	345	
		$T_A = -40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_{ISINK0} = 1.0\text{ V} \sim 4.5\text{ V}$ ISGDATA0[7:0] = 11111111B	250	305	360	
		$T_A = -40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_{ISINK0} = 0.7\text{ V} \sim 1.0\text{ V}$ ISGDATA0[7:0] = 11111111B	228	305	320	

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
I _{SINK1}	ISINK1 引脚灌电流	V _{ISINK1} = 3.0 V, ISGDATA1[7:0] = 00000000B	18.4	20	21.6	mA
		T _A = -40 °C ~ 85 °C, V _{ISINK1} = 1.0 V ~ 4.5 V ISGDATA1[7:0] = 00000000B	16.4	20	23.6	
		T _A = -40 °C ~ 85 °C, V _{ISINK1} = 0.7 V ~ 1.0 V ISGDATA1[7:0] = 00000000B	15	20	21	
		V _{ISINK1} = 3.0 V, ISGDATA1[7:0] = 11111111B	253	275	297	
		T _A = -40 °C ~ 85 °C, V _{ISINK1} = 1.0 V ~ 4.5 V ISGDATA1[7:0] = 11111111B	225	275	324	
		T _A = -40 °C ~ 85 °C, V _{ISINK1} = 0.7 V ~ 1.0 V ISGDATA1[7:0] = 11111111B	206	275	289	
T _{SST}	上电启动时间	—	47	50	60	ms
T _{SINT-WU}	SINT 唤醒脉冲时间	—	12	15	18	μs
T _{SINT-WU(D)}	SINT 唤醒信号持续时间	运行变量 [0x00] = 0x00	1382	1536	1690	μs
T _{SINT-S}	SINT 采样脉冲时间	—	12	15	18	μs
T _{CHn-OPAW}	n 通道 OPA 开启后的等待时间	n = A, 运行变量 [0x05] = 0x00 n = B, 运行变量 [0x0C] = 0x00	1382	1536	1690	μs
T _{CHn-ES}	n 通道发射稳定时间	n = A, 运行变量 [0x06] = 0x00 n = B, 运行变量 [0x0D] = 0x00	691	768	845	μs
T _{CHn-ADCSTO0}	n 通道 ADC 采样超时时间 0	n = A, 运行变量 [0x07] = 0x00 n = B, 运行变量 [0x0E] = 0x00	345	384	443	μs
T _{CHn-ADCSTO1}	n 通道 ADC 采样超时时间 1	n = A, 运行变量 [0x07] = 0x00 n = B, 运行变量 [0x0E] = 0x00	576	640	704	μs
T _{SINT-ISINKOFF}	SINT 提前关闭 ISINK 触发时间	—	5	—	—	μs
T _{SD}	感烟探测周期	运行变量 [0x11] = 0x01	0.9	1	1.1	s
T _{TB}	时基唤醒周期	运行变量 [0x12] = 0x01	0.9	1	1.1	s
T _{STRx-CR}	STRx 通信请求时间	—	9	10	20	μs
T _{STRx-S}	STRx 发送起始信号时间	—	10	—	T _{TIMEOUT}	μs
T _{STRx-TS}	STRx 触发采样时间	—	38	40	50	μs
T _{STRx-TSP}	STRx 触发响应时间	—	—	60	80	us
T _{STRx-R}	STRx 从机应答时间	—	12	15	18	μs
T _{DATA1(H)}	数据 1 高电平时间	—	26	30	36	μs
T _{DATA1(L)}	数据 1 低电平时间	—	8	10	12	μs
T _{DATA0(H)}	数据 0 高电平时间	—	8	10	12	μs
T _{DATA0(L)}	数据 0 低电平时间	—	26	30	36	μs
T _{TIMEOUT}	通信超时时间	—	—	454	520	μs
T _{OPACALI}	OPA 校准时间	—	—	300	600	ms

运算放大器特性

表 28. 运算放大器特性

$T_A = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, 除非另有规定

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
I_{OPA}	工作电流	无负载	—	200	320	μA
V_{OS}	输入失调电压	校准后	-2	—	2	mV
I_{OS}	输入失调电流	$V_{IN} = 1/2 V_{CM}$	—	1	10	nA
V_{CM}	共模电压范围	—	V_{SS_SD}	—	$V_{DD_SD} - 1.4$	V
PSRR	电源抑制比	—	50	70	—	dB
CMRR	共模抑制比	—	50	80	—	dB
A_{OL}	开环增益	—	60	80	—	dB
SR	转换速率	$R_{LOAD} = 1\text{ M}\Omega$, $C_{LOAD} = 60\text{ pF}$	600	1800	—	V/ms
GBW	增益带宽	$R_{LOAD} = 1\text{ M}\Omega$, $C_{LOAD} = 60\text{ pF}$	800	2000	—	kHz
V_{OR}	最大输出电压范围	$R_{LOAD} = 5\text{ k}\Omega \sim V_{DD_SD}/2$	$V_{SS_SD} + 120$	—	$V_{DD_SD} - 140$	mV
I_{SC}	输出短路电流	$R_{LOAD} = 5.1\text{ }\Omega$	± 2	± 20	—	mA

注：数据仅为特性描述结果，未在生产中测试。

蜂鸣器驱动器特性

表 29. 蜂鸣器驱动器特性

$V_{DD_BD} = 3.3\text{ V}$, $C_{IN} = 47\text{ }\mu\text{F}$, $L_X = 10\text{ }\mu\text{H}$, $C_{OUT} = 2.2\text{ }\mu\text{F}$, $T_A = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, 除非另有规定

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
I_Q	静态电流	无负载, BWDT on, 其它电路 off	—	—	2	μA
I_{BD}	工作电流	无负载, BWDT on, 升压转换器 on, 稳压器 on, 2-pin 蜂鸣器模式, $f_{ENCLK} = 4\text{ kHz}$	—	2	4	mA
I_{LEAK}	输入漏电流	MODE = V_{DD_BD} 或 V_{SS_BD}	—	—	± 1	μA
		ENB = V_{DD_BD}	—	—	-1	μA
		WDI, ENCLK = V_{SS_BD}	—	—	1	μA
R_{PH}	上拉电阻	ENB	—	200	—	k Ω
R_{PL}	下拉电阻	WDI, ENCLK	—	1	—	M Ω
t_{WDI}	WDI 周期	$V_{DD_BD} = 2.2\text{ V} \sim 3.6\text{ V}$, $T_A = -40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$	10.3	11.5	14.3	s
t_{WDTP}	WDT 复位脉宽	—	50	—	—	ns
V_{OUT}	输出电压	—	8.1	9	9.9	V
I_{OUT}	输出电流	—	50	—	—	mA
I_{OCP}	过流保护	—	—	0.95	—	A
f_{SW}	切换频率	—	0.8	1	1.2	MHz
I_{LFB}	FB 漏电流	蜂鸣器 off, FB = V_{SS_BD}	—	—	+1	μA
		蜂鸣器 off, FB = V_{OUT}	—	-2.25	—	μA
V_{IH}	高电平输入电压	FB	—	$0.7 \times V_{OUT}$	V_{OUT}	—
V_{IL}	低电平输入电压	FB	V_{SS_BD}	$0.3 \times V_{OUT}$	—	—
I_{OH}	VB, VS 源电流	$V_{OUT} = 9\text{ V}$, $V_{OH} = 0.9 V_{OUT}$	-70	-90	—	mA
I_{OL}	VB, VS 灌电流	$V_{OUT} = 9\text{ V}$, $V_{OL} = 0.1 V_{OUT}$	70	90	—	mA

I²C 特性

表 30. I²C 特性

符号	参数	标准模式		快速模式		高速模式		单位
		最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	
f _{SCL}	SCL 时钟频率	—	100	—	400	—	1000	kHz
t _{SCL(H)}	SCL 时钟高电平时间	4.5	—	1.125	—	0.45	—	μs
t _{SCL(L)}	SCL 时钟低电平时间	4.5	—	1.125	—	0.45	—	μs
t _{FALL}	SCL 和 SDA 下降沿时间	—	1.3	—	0.34	—	0.135	μs
t _{RISE}	SCL 和 SDA 上升沿时间	—	1.3	—	0.34	—	0.135	μs
t _{SU(SDA)}	SDA 数据建立时间	500	—	125	—	50	—	ns
t _{H(SDA)}	SDA 数据保持时间 ⁽⁵⁾	0	—	0	—	0	—	ns
	SDA 数据保持时间 ⁽⁶⁾	100	—	100	—	100	—	ns
t _{VD(SDA)}	SDA 数据有效时间	—	1.6	—	0.475	—	0.25	μs
t _{SU(STA)}	START 条件建立时间	500	—	125	—	50	—	ns
t _{H(STA)}	START 条件保持时间	0	—	0	—	0	—	ns
t _{SU(STO)}	STOP 条件建立时间	500	—	125	—	50	—	ns

注：1. 数据仅为特性描述结果，未在生产中测试。
2. 为达到标准模式 100 kHz，外设时钟频率必须高于 2 MHz。
3. 为达到快速模式 400 kHz，外设时钟频率必须高于 8 MHz。
4. 为达到高速模式 1 MHz，外设时钟频率必须高于 20 MHz。
5. 以上 I²C 总线时序图的特性参数是基于：COMBFILTEREN = 0 且 SEQFILTER = 00 的情况。
6. 以上 I²C 总线时序图的特性参数是基于：COMBFILTEREN = 1 且 SEQFILTER = 00 的情况。

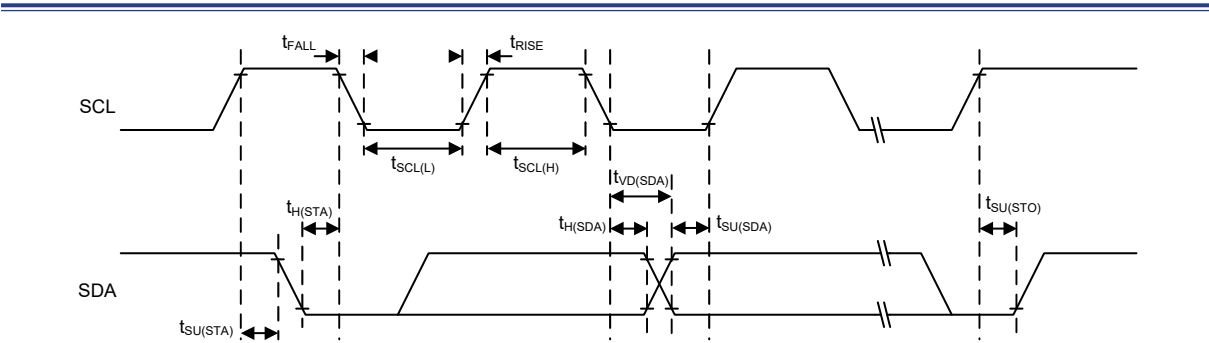


图 21. I²C 时序图

SPI 特性

表 31. SPI 特性

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
SPI 主机模式						
f _{SCK}	SPI 主机输出 SCK 时钟频率	主机模式 SPI 外设时钟频率 f _{PCLK}	—	—	f _{PCLK} /2	MHz
t _{SCK(H)} t _{SCK(L)}	SCK 时钟高电平和低电平时间	—	t _{SCK} /2 - 2	—	t _{SCK} /2 + 1	ns
t _{V(MO)}	数据输出有效时间	—	—	—	5	ns
t _{H(MO)}	数据输出保持时间	—	2	—	—	ns
t _{SU(MI)}	数据输入建立时间	—	5	—	—	ns
t _{H(MI)}	数据输入保持时间	—	5	—	—	ns
SPI 从机模式						
f _{SCK}	SPI 从机输入 SCK 时钟频率	从机模式 SPI 外设时钟频率 f _{PCLK}	—	—	f _{PCLK} /3	MHz
Duty _{SCK}	SPI 从机输入 SCK 时钟占空比	—	30	—	70	%
t _{SU(SEL)}	SEL 使能建立时间	—	3 × t _{PCLK}	—	—	ns
t _{H(SEL)}	SEL 使能保持时间	—	2 × t _{PCLK}	—	—	ns
t _{A(SO)}	数据输出存取时间	—	—	—	3 × t _{PCLK}	ns
t _{DIS(SO)}	数据输出除能时间	—	—	—	10	ns
t _{V(SO)}	数据输出有效时间	—	—	—	25	ns
t _{H(SO)}	数据输出保持时间	—	15	—	—	ns
t _{SU(SI)}	数据输入建立时间	—	5	—	—	ns
t _{H(SI)}	数据输入保持时间	—	4	—	—	ns

注：1. f_{SCK} 为 SPI 输出 / 输入时钟频率，t_{SCK} = 1/f_{SCK}。
2. f_{PCLK} 为 SPI 外设时钟频率，t_{PCLK} = 1/f_{PCLK}。

电气特性

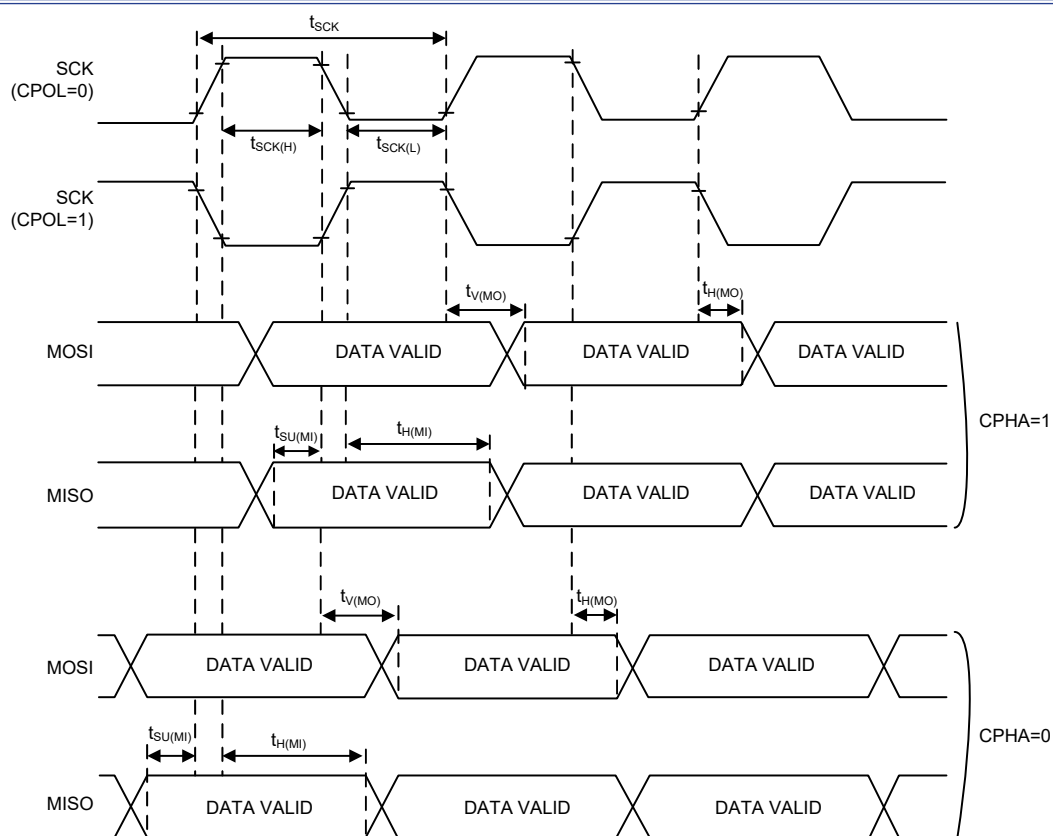


图 22. SPI 时序图 – SPI 主机模式

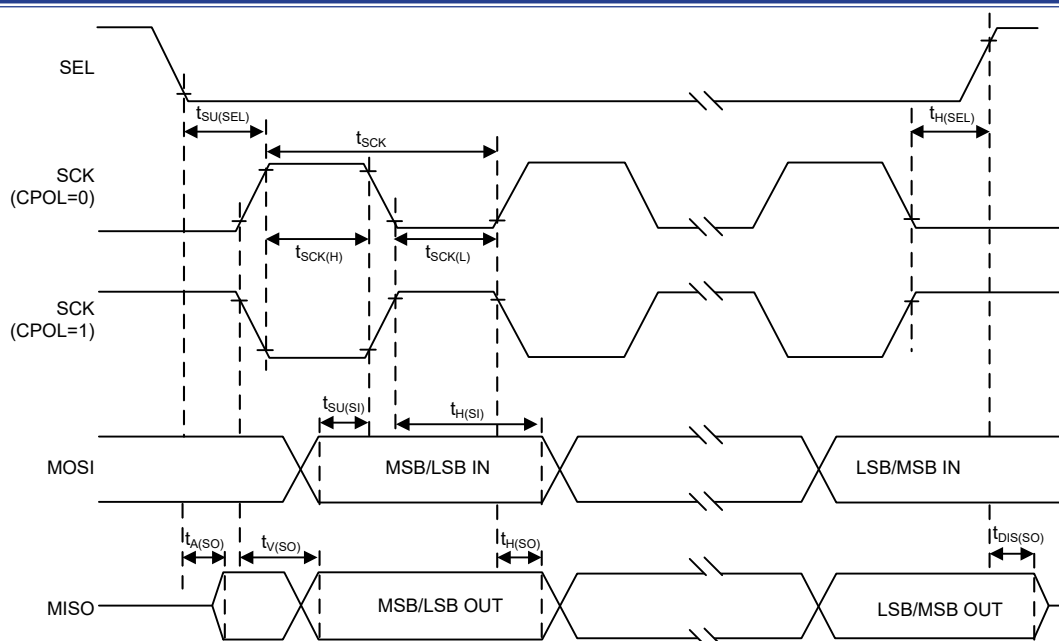


图 23. SPI 时序图 – SPI 从机模式, CPHA = 1

8 应用电路

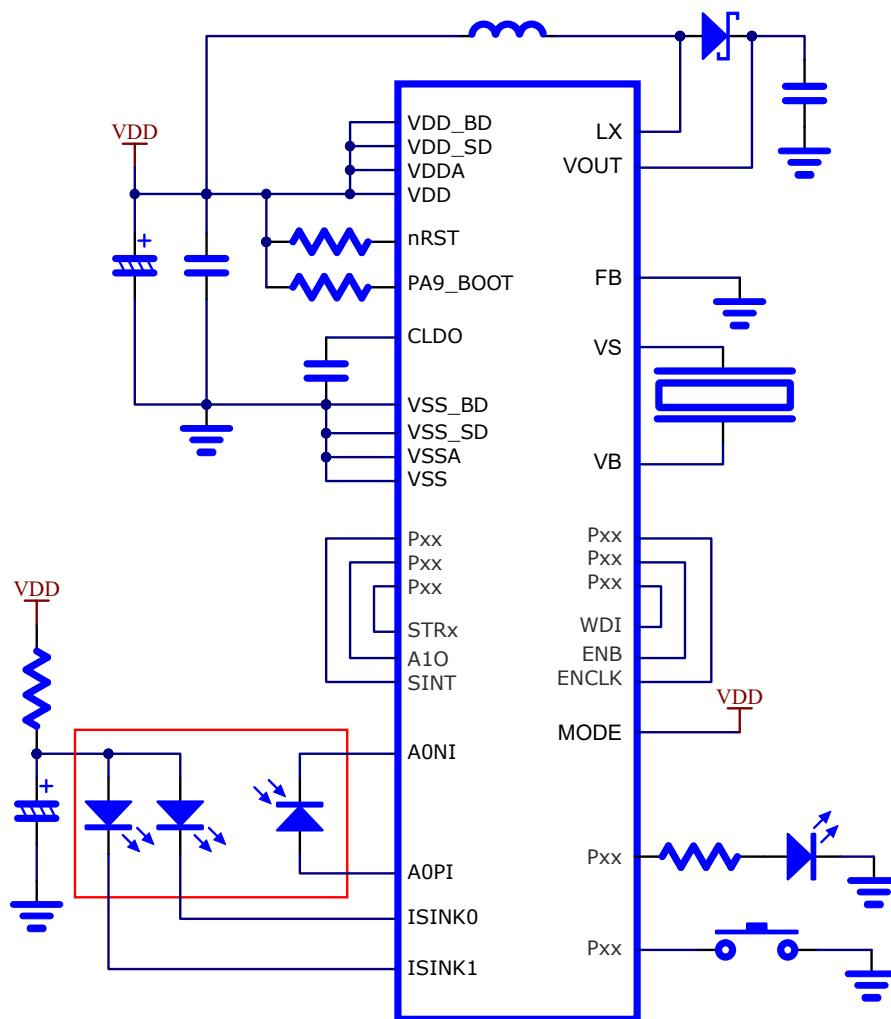


图 24. 应用电路 – 他激 (2-pin) 蜂鸣器模式

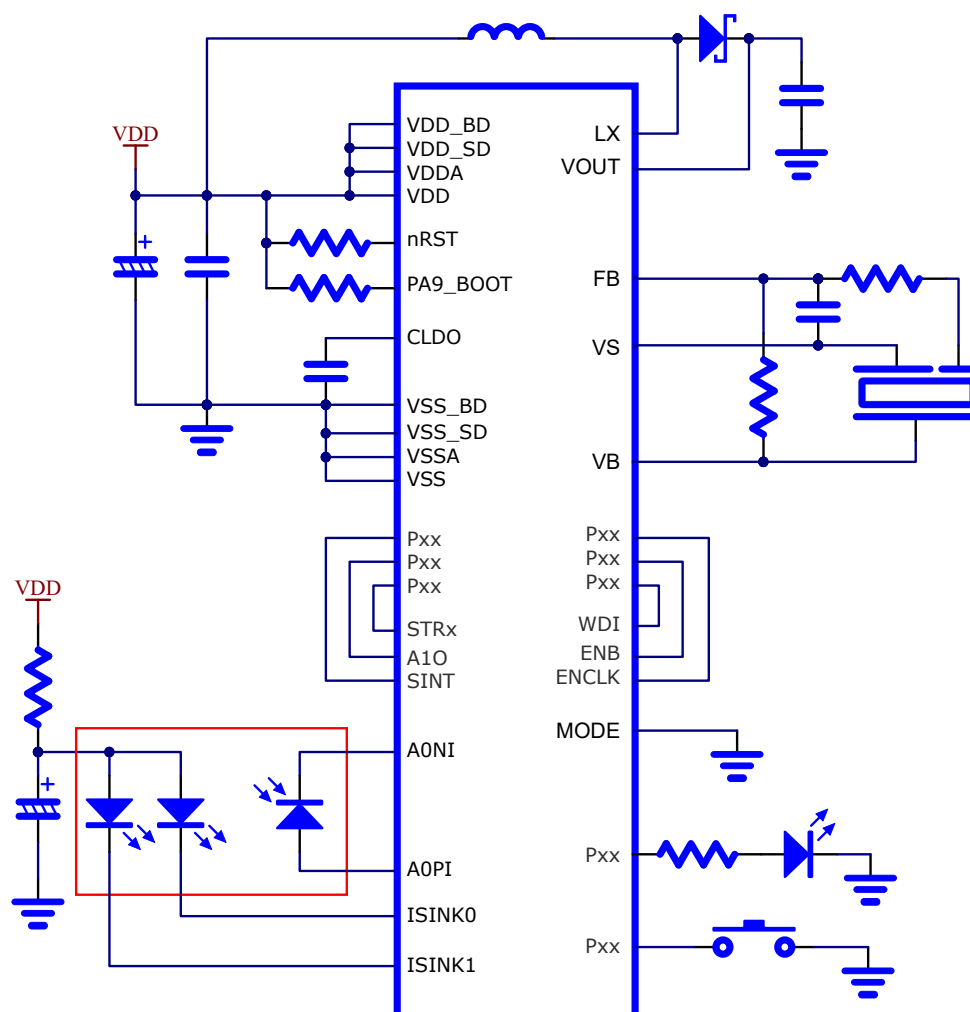


图 25. 应用电路 – 自激 (3-pin) 蜂鸣器

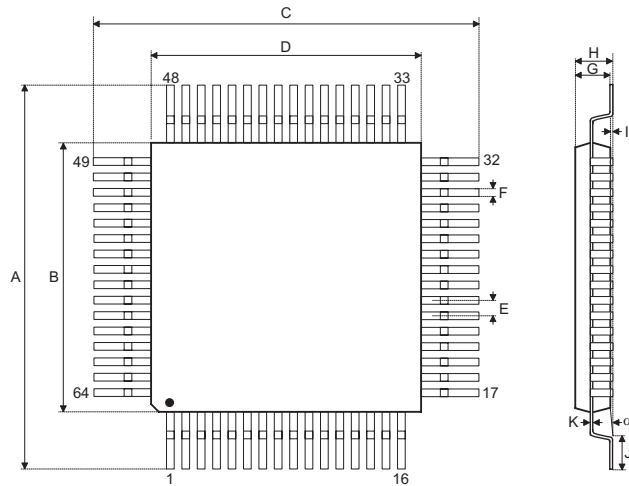
9 封装信息

请注意，这里提供的封装信息仅作为参考。由于这个信息经常更新，提醒用户咨询 [Holtek 网站](http://www.holtek.com) 以获取最新版本的 [封装信息](#)。

封装信息的相关内容如下所示，点击可链接至 Holtek 网站相关信息页面。

- 封装信息 (包括外形尺寸、包装带和卷轴规格)
- 封装材料信息
- 纸箱信息

64-pin LQFP (7mm × 7mm) 外形尺寸



符号	尺寸 (单位: inch)		
	最小值	典型值	最大值
A	0.354 BSC		
B	0.276 BSC		
C	0.354 BSC		
D	0.276 BSC		
E	0.016 BSC		
F	0.005	0.007	0.009
G	0.053	0.055	0.057
H	—	—	0.063
I	0.002	—	0.006
J	0.018	0.024	0.030
K	0.004	—	0.008
α	0°	—	7°

符号	尺寸 (单位: mm)		
	最小值	典型值	最大值
A	9.00 BSC		
B	7.00 BSC		
C	9.00 BSC		
D	7.00 BSC		
E	0.40 BSC		
F	0.13	0.18	0.23
G	1.35	1.40	1.45
H	—	—	1.60
I	0.05	—	0.15
J	0.45	0.60	0.75
K	0.09	—	0.20
α	0°	—	7°

Copyright© 2025 by HOLTEK SEMICONDUCTOR INC. All Rights Reserved.

本文件出版时 HOLTEK 已针对所载信息为合理注意，但不保证信息准确无误。文中提到的信息仅是提供作为参考，且可能被更新取代。HOLTEK 不担保任何明示、默示或法定的，包括但不限于适合商品化、令人满意的质量、规格、特性、功能与特定用途、不侵害第三方权利等保证责任。HOLTEK 就文中提到的信息及该信息之应用，不承担任何法律责任。此外，HOLTEK 并不推荐将 HOLTEK 的产品使用在会由于故障或其他原因而可能会对人身安全造成危害的地方。HOLTEK 特此声明，不授权将产品使用于救生、维生或安全关键零部件。在救生 / 维生或安全应用中使用 HOLTEK 产品的风险完全由买方承担，如因该等使用导致 HOLTEK 遭受损害、索赔、诉讼或产生费用，买方同意出面进行辩护、赔偿并使 HOLTEK 免受损害。HOLTEK (及其授权方，如适用) 拥有本文件所提供信息 (包括但不限于内容、数据、示例、材料、图形、商标) 的知识产权，且该信息受著作权法和其他知识产权法的保护。HOLTEK 在此并未明示或暗示授予任何知识产权。HOLTEK 拥有不事先通知而修改本文件所载信息的权利。如欲取得最新的信息，请与我们联系。