Fremont Micro Devices

# FT32E030x8

## 数据手册

### 主要特性

基于 ARM Cortex M0+核心的 MCU

Flash：64 Kbytes，SRAM：8 Kbytes

20 / 24 / 28 / 32 引脚

1.2 Msps 12-bit 高精度 ADC

30 个高速 I/O

32/32 硬件除法器（17 周期)

32 硬件开方单元（17 周期)

可编程多项式的 CRC 模块

18 个定时器，3 个高速比较器，3 个运算放大器

低功耗模式：睡眠/停止/待机

1 个标准 I2C，支持模拟噪声滤波功能和 PEC 验证

2 个 USART，支持同步 SPI 模式以及 Modem 控制，自动波特率检测

1 个 SPI，支持 8 或 16bit 的位帧

Rev 1.03
www.fremontmicro.com

# 1. 产品特性

**内核**

- ✓ 32 位 Cortex M0+，最高工作频率 72 MHz
- ✓ 单指令周期 32 位硬件乘法器
- ✓ 32 个中断向量的 NVIC，4 种优先级
- ✓ 支持 SWD 接口调试，2 个观察点以及 4 个硬件断点

**存储器**

- ✓ 64 KB 闪存，用于放在程序代码和数据
- ✓ 2 KB 闪存，用于存放启动代码 (bootloader)
- ✓ 8 KB SRAM

**电源模块**

- ✓ 电源电压范围：$V_{DD}$ = 1.8 V – 5.5 V
- ✓ 上电复位及掉电复位 (POR/PDR)
- ✓ 可编程的欠压复位 (LVR)
- ✓ 可编程的电压检测模块 (PVD)
- ✓ 低功耗模式：睡眠/停止/待机
- ✓ 低功耗电流 @ 3.3 V：
  - 待机模式：14 μA

**时钟管理**

- ✓ 内置 15 kHz 低频振荡器
- ✓ 内置 48/64/72 MHz 高频振荡器

**外设**

- ■ 最多 30 个高速 I/O
  - ✓ 可映射到外部中断向量
- ■ 可编程多项式的 CRC 模块
- ■ 32/32 位硬件除法器
  - ✓ 32/32 带符号除法
  - ✓ 支持除零检测
  - ✓ 17 个总线周期完成一次运算
- ■ 32 位开方单元
  - ✓ 32 开平方运算
  - ✓ 17 个总线周期完成一次运算
- ■ 1.2 Msps 12 位 ADC
  - ✓ 15 个外部通道
  - ✓ 2 个电源地通道 (VDD、VSS)
  - ✓ 内部通道
    - 温度传感器 ($V_{TS}$)
    - 内部电压基准 ($V_{REFINT}$)
    - DAC ($V_{DAC}$)
    - 3 个运算放大电路 ($V_{OP}$)
  - ✓ 转换电压范围：0 – $V_{REF+}$
  - ✓ 3 个内部参考：$V_{DD}$，4.2V，3.6V
- ■ 1 个 8 位 DAC
- ■ 3 个高速比较器
  - ✓ 8 位 DAC 与反相端相连，可配置
- ■ 3 个运算放大器
  - ✓ 运放 1 支持外部增益和校准功能
  - ✓ 运放输出可作为 ADC 输入
  - ✓ 支持可编程增益 (PGA)
- ■ 18 个定时器
  - ✓ EPWM_TIM1，16-bit，6 路独立周期及占空比 PWM，支持 3 对互补通道，支持霍尔传感器接口
  - ✓ CCP0_TIM2，16-bit，2 路同周期独立占空比 PWM
  - ✓ CCP1_TIM3，16-bit，2 路同周期独立占空比 PWM，可连接到霍尔传感器接口
  - ✓ CCP2_TIM4，16/8-bit，高级定时器，可配置最多 2 路独立周期及占空比 PWM，或者最多 3 路同周期独立占空比 PWM
  - ✓ GP_TIM5，32/16-bit，通用定时器
  - ✓ GP_TIM6，32/16-bit，通用定时器
  - ✓ LPTIM，12bit，低功耗定时器，支持从睡眠模式、停止模式和深度睡眠模式唤醒
  - ✓ 2 个看门狗：WWDG 与 IWDG
  - ✓ 1 个 24 位的系统定时器
- ■ 通信接口
  - ✓ 1 个标准 I2C，支持模拟噪声滤波功能和 PEC 验证
  - ✓ 2 个 USART，支持同步 SPI 模式以及 Modem 控制，自动波特率检测
  - ✓ 1 个 SPI，支持 8 或 16bit 的位帧
- ■ 96 位芯片唯一 ID
- ■ 封装：QFN20，TSSOP20，SSOP24，QFN28，LQFP32，QFN3

# 目录

1. 产品特性 ..... 2
2. 规格说明 ..... 6
3. 产品概述 ..... 9
3.1. ARM 的 Cortex-M0+内核并内嵌闪存和 SRAM ..... 9
3.2. 内置闪存存储器 ..... 9
3.3. 加载模式 ..... 9
3.4. CRC 运算单元 ..... 10
3.5. 电源管理 ..... 10
3.5.1. 电源供电方案 ..... 10
3.5.2. 电源供电监控 ..... 10
3.5.3. 电压调节器 ..... 10
3.5.4. 低功耗模式 ..... 10
3.6. GPIO ..... 11
3.7. 时钟和启动 ..... 11
3.8. 比较器 ..... 12
3.9. 运算放大器 ..... 12
3.10. 除法/开方运算单元 ..... 12
3.11. 中断和事件 ..... 12
3.11.1. 中断向量控制器 (NVIC) ..... 12
3.11.2. 外部中断/事件控制器 (EXTI) ..... 13
3.12. 模数转换器 (ADC) ..... 13
3.12.1. 温度传感器 ($V_{TS}$) ..... 13
3.12.2. 内部电压基准 ($V_{REFINT}$) ..... 13
3.12.3. DAC 输出 ($V_{DAC}$) ..... 14
3.13. 定时器和看门狗 ..... 14
3.13.1. 增强型 PWM 定时器 (EPWM_TIM1) ..... 14
3.13.2. 捕捉/比较/脉宽调制定时器 (CCP0_TIM23) ..... 15
3.13.3. 高级定时器 (CCP2_TIM4) ..... 16
3.13.4. 通用定时器 (GP_TIM5/GP_TIM6) ..... 17
3.13.5. 低功耗定时器 (LPTIM) ..... 17

3.13.6. 独立看门狗 ..... 17
3.13.7. 窗口看门狗 ..... 17
3.13.8. 系统时基定时器 ..... 17
3.14. I2C 接口 ..... 17
3.15. USART 异步同步通信接口 ..... 18
3.16. 串行外设接口 (SPI) ..... 18
3.17. 串行单线 SWD 调试口 (SW-DP) ..... 18
4. 引脚定义 ..... 19
5. 内存映射 ..... 32
6. 电气特性 ..... 34
6.1. 测试条件 ..... 34
6.1.1. 最小值和最大值 ..... 34
6.1.2. 典型值 ..... 34
6.1.3. 典型曲线 ..... 34
6.1.4. 负载电容 ..... 34
6.1.5. 引脚输入电压 ..... 34
6.1.6. 供电方案 ..... 35
6.1.7. 电流消耗测量 ..... 35
6.2. 绝对最大额定值 ..... 36
6.3. 操作条件 ..... 36
6.3.1. 通用工作条件 ..... 36
6.3.2. 上电和掉电时的工作条件 ..... 37
6.3.3. 内部复位和电源控制模块特性 ..... 37
6.3.4. 内部基准电压 ..... 39
6.3.5. 供电电流特性 ..... 40
6.3.6. 低功耗模式唤醒时间 ..... 41
6.3.7. 内部时钟源特性 ..... 41
6.3.8. 存储器特性 ..... 42
6.3.9. EMC 特性 ..... 42
6.3.10. 电气敏感特性 ..... 43
6.3.11. I/O 端口特性 ..... 44
6.3.12. NRST 管脚特性 ..... 45

6.3.13. 12 位 ADC 特性 ..... 46
6.3.14. 温度传感器 ($V_{TS}$) 特性 ..... 48
6.3.15. PGA1/2/3 电路特性 ..... 48
6.3.16. 比较器特性 ..... 50
6.3.17. TIM 定时器特性 ..... 51
7. 封装信息 ..... 52
文档更改历史 ..... 58

## 2. 规格说明

FT32E030x8 使用高性能的 ARM®Cortex®-M0+ 32 位的 RISC 内核，最高工作频率为 72 MHz，内置高速存储器 (高达 64K 字节的闪存和 8K 字节的 SRAM) 和丰富的增强型 I/O 端口。芯片包括标准的通信接口 (1 个 I2C 接口、1 个 SPI 接口、2 个 USART 接口)、1 个 12 位 ADC、3 个模拟比较器、3 个可编程增益放大器、32 位除法开方单元和 2 个通用 32/16 位计数器、2 个捕捉/比较/脉宽调制计数器、1 个多功能高级计数器、1 个增强型 PWM 计数器和 1 个低功耗定时器。

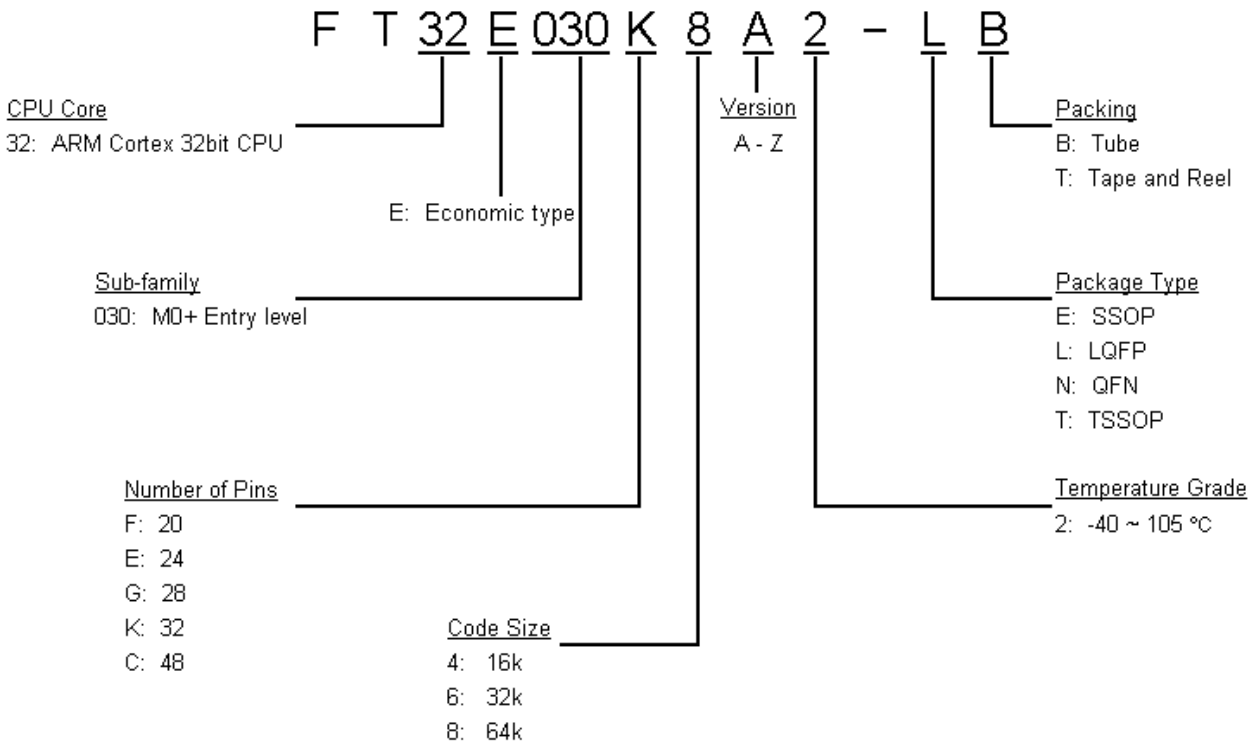
FT32E030x8 工作于-40 °C – 105 °C 温度范围，供电电压 1.8 V 至 5.5 V。一系列的省电模式保证低功耗应用的要求。

FT32E030x8 提供多种不同封装：从 20 脚到 32 脚。

这些特点使得 FT32E030x8 微控制器适用于广泛的应用，如三相无刷电机驱动，单相直流无刷电机驱动，PLC，变频器，以及白色家电等领域。

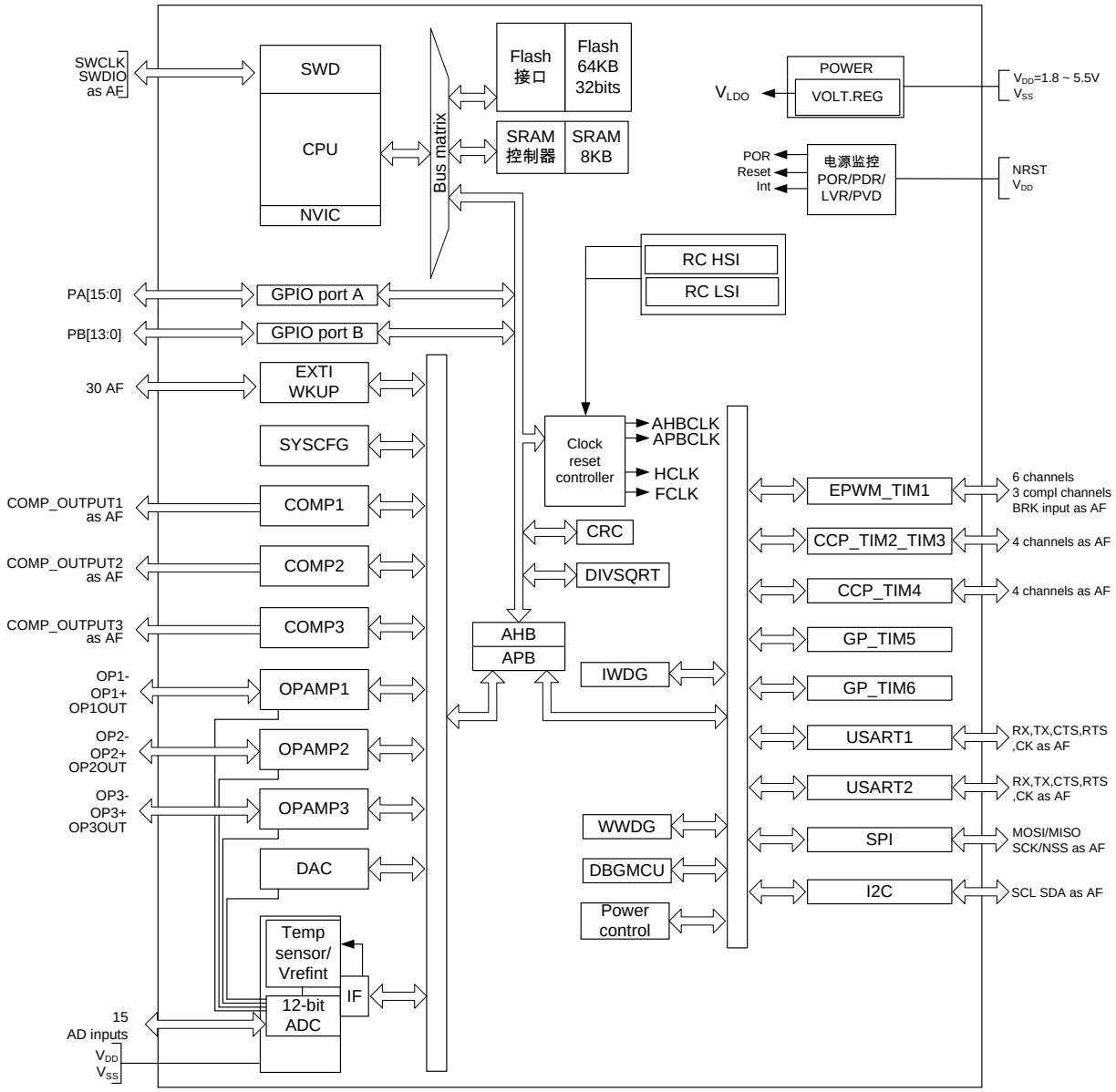
**表 2-1 FT32E030x8 系列芯片选型表**

<table>
<tr><th colspan="2">外设</th><th>FT32E030F8<br>A2-NB</th><th>FT32E030F8<br>A2-TB</th><th>FT32E030E8<br>A2-EB</th><th>FT32E030G8<br>A2-NB</th><th>FT32E030K8<br>A2-LB</th><th>FT32E030K8<br>N2-LB</th><th>FT32E030K8<br>A2-NB</th></tr>
<tr><td>Flash</td><td>Kbytes</td><td colspan="7">64</td></tr>
<tr><td>SRAM</td><td>Kbytes</td><td colspan="7">8</td></tr>
<tr><td rowspan="6">定时器</td><td>EPWM_TIM1</td><td colspan="7">6 (16bit)</td></tr>
<tr><td>CCP0_TIM2</td><td colspan="7">1 (16bit)</td></tr>
<tr><td>CCP0_TIM3</td><td colspan="7">1 (16bit)</td></tr>
<tr><td>CCP2_TIM4</td><td colspan="7">4 (16/8bit)</td></tr>
<tr><td>GP_TIM5/6</td><td colspan="7">2 (32/16bit)</td></tr>
<tr><td>LPTIM</td><td colspan="7">1 (12bit)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">通信接口</td><td>SPI</td><td colspan="7">1</td></tr>
<tr><td>I2C</td><td colspan="7">1</td></tr>
<tr><td>USART</td><td colspan="7">2</td></tr>
<tr><td colspan="2">32/32 硬件除法器</td><td colspan="7">√</td></tr>
<tr><td colspan="2">32 开方单元</td><td colspan="7">√</td></tr>
<tr><td colspan="2">12 位 ADC (通道数)</td><td colspan="2">15 ext + 6 int</td><td>14 ext + 6 int</td><td colspan="4">15 ext + 6 int</td></tr>
<tr><td colspan="2">8 位 DAC</td><td colspan="7">1</td></tr>
<tr><td colspan="2">模拟比较器</td><td colspan="7">3</td></tr>
<tr><td colspan="2">运放</td><td colspan="7">3</td></tr>
<tr><td colspan="2">GPIOs</td><td colspan="2">18</td><td>22</td><td>26</td><td colspan="3">30</td></tr>
<tr><td colspan="2">最大 CPU 频率</td><td colspan="7">72 MHz</td></tr>
<tr><td colspan="2">工作电压范围</td><td colspan="7">1.8 – 5.5 V</td></tr>
<tr><td colspan="2">工作温度范围</td><td colspan="7">-40 °C – 105 °C</td></tr>
<tr><td colspan="2">封装类型</td><td>QFN20</td><td>TSSOP20</td><td>SSOP24</td><td>QFN28</td><td colspan="2">LQFP32</td><td>QFN32</td></tr>
</table>


F T 32 E 030 K 8 A 2 - L B
CPU Core
32: ARM Cortex 32bit CPU
E: Economic type
Sub-family
030: M0+ Entry level
Number of Pins
F: 20
E: 24
G: 28
K: 32
C: 48
Code Size
4: 16k
6: 32k
8: 64k
Version
A - Z
Temperature Grade
2: -40 ~ 105 °C
Package Type
E: SSOP
L: LQFP
N: QFN
T: TSSOP
Packing
B: Tube
T: Tape and Reel

MCU 产品订购信息

**图 2-1 系统框图**


SWCLK
SWDIO
as AF
SWD
CPU
NVIC
Bus matrix
Flash 接口
Flash 64KB 32bits
SRAM 控制器
SRAM 8KB
POWER
VOLT.REG
VLDO
VDD=1.8 ~ 5.5V
VSS
POR
Reset
Int
电源监控 POR/PDR/ LVR/PVD
NRST
VDD
RC HSI
RC LSI
PA[15:0]
GPIO port A
PB[13:0]
GPIO port B
30 AF
EXTI WKUP
SYSCFG
Clock reset controller
AHBCLK
APBCLK
HCLK
FCLK
CRC
DIVSQRT
AHB
APB
IWDG
WWDG
DBGMCU
Power control
COMP_OUTPUT1 as AF
COMP1
COMP_OUTPUT2 as AF
COMP2
COMP_OUTPUT3 as AF
COMP3
OP1- OP1+ OP1OUT
OPAMP1
OP2- OP2+ OP2OUT
OPAMP2
OP3- OP3+ OP3OUT
OPAMP3
DAC
Temp sensor/ Vrefint
IF
12-bit ADC
15 AD inputs
VDD
VSS
EPWM_TIM1
6 channels
3 compl channels
BRK input as AF
CCP_TIM2_TIM3
4 channels as AF
CCP_TIM4
4 channels as AF
GP_TIM5
GP_TIM6
USART1
RX,TX,CTS,RTS ,CK as AF
USART2
RX,TX,CTS,RTS ,CK as AF
SPI
MOSI/MISO SCK/NSS as AF
I2C
SCL SDA as AF

# 3. 产品概述

## 3.1. ARM 的 Cortex-M0+内核并内嵌闪存和 SRAM

ARM 的 Cortex-M0+处理器是是 ARM 针对嵌入式系统的新一代处理器，它为实现 MCU 的需要提供了低成本的平台、缩减的引脚数目、降低的系统功耗，同时提供卓越的计算性能和先进的中断系统响应。

ARM 的 Cortex-M0+是 32 位的 RISC 处理器，具备比 8 位或 16 位系统更高的的代码效率，提供 ARM 内核的高性能预期。

FT32E030x8 采用嵌入式的 ARM 内核，因此与所有的 ARM 工具和软件兼容。

## 3.2. 内置闪存存储器

器件具有以下特点：

- CPU 时钟以 0 等待状态读/写访问 8K 字节的嵌入式 SRAM
- 非易失性存储器：
  - 64K+2K 字节嵌入式闪存用来编程和存数据
  - 选项字节

选项字节可对闪存写保护 (2K 字节粒度) 或使用以下选项对整个闪存读保护：

- 级别 0：无读保护
- 级别 1：闪存读保护，在 debug 模式下，或由 SRAM 启动，或系统存储区启动的代码均不能访问主程序区
- 级别 2：芯片读保护，只能从主程序区启动，且 debug 模式被禁用

## 3.3. 加载模式

开机时，开机引脚和开机配置选项位用于选择三种开机选项之一，如**表 3-1** 所示：

- 从主程序区启动。
- 从系统存储区启动。
- 从嵌入式 SRAM 启动。

**表 3-1** Boot 模式配置

| Boot 模式配置 | | | | 启动模式 |
|---|---|---|---|---|
| nBOOT_SEL | nBOOT1 | nBOOT0 | BOOT | |
| 0 | x | x | 0 | 主程序区启动 |
| 1 | x | 1 | x | 主程序区启动 |
| 0 | 1 | x | 1 | 系统区启动 |
| 1 | 1 | 0 | x | 系统区启动 |
| 0 | 0 | x | 1 | 内置 SRAM 启动 |
| 1 | 0 | 0 | x | 内置 SRAM 启动 |

### 3.4. CRC 运算单元

CRC (循环冗余校验) 运算单元主要功能是采用一个可编程的生成多项式来得到一个 CRC 校验码。

在其他的应用中，CRC 校验技术被用来校验数据发送或者数据完整性。在 EN/IEC 标准中，提供了一个校验存储器数据完整性的方法。CRC 运算单元可以帮助计算一个软件的签名，用来与软件生成的码值做比较。

### 3.5. 电源管理

#### 3.5.1. 电源供电方案

- $V_{DD}$ = 1.8~5.5 V：通过外部 VDD 管脚给 ADC、OPAMP、COMP、复位模块、I/O 模块和内部电压调节器供电。

#### 3.5.2. 电源供电监控

该芯片有上电复位 (POR) 和掉电复位 (PDR) 电路。如果电源电压大于检测电压 ($V_{POR}$)，就解除复位，但是在达到工作电压范围前，必须通过电压检测电路或者外部复位保持复位状态。当电源电压小于检测电压 ($V_{PDR}$)，产生内部复位信号，但是在电源下降时，必须在小于工作电压范围前，转移到深度睡眠模式，或者通过电压检测电路或者外部复位保持复位状态，如果要重新开始运行，必须确保电源电压已经恢复到工作电压范围内。

该芯片有欠压复位 (LVR) 电路。在上电期间，欠压复位使得器件处于复位状态，直到电压达到指定的 $V_{LVR}$。$V_{LVR}$ 可在选项字节里编程配置，共可选择 8 档。

该芯片内置一个可编程电压检测 (PVD) 电路，可以检测 $V_{DD}$ 电压并且与设置的阈值电压作比较，共可选择 16 档。当 $V_{DD}$ 电压低于 $V_{PVD}$ 阈值电压或者 $V_{DD}$ 高于 $V_{PVD}$ 阈值电压时，可以产生一个中断，该中断服务程序可以产生警告信息或者使 MCU 进入一个安全状态。可编程电压检测功能通过软件使能。

#### 3.5.3. 电压调节器

该芯片有一个电压调节器。

电压调节器有两种工作模式，并且复位之后一直处于工作状态：

- Normal：用于正常操作模式。
- LP：只用于停止模式或待机模式，这样可以降低电源功耗。

在待机模式下，FLASH 和部分数字外设处于掉电状态，内核电路不掉电，SRAM 内容不会丢失。

#### 3.5.4. 低功耗模式

该芯片支持三种低功耗模式，三种低功耗模式实现在低功耗、启动时间短和有效唤醒源之间很好的平衡。

注意：为保证芯片能进入最低功耗状态，所有 I/O 必须有固定状态 (输出 0 或 1，输入上拉或下拉)，或配置为模拟模式，不能悬空，以免不必要的漏电。

- 睡眠模式

在睡眠模式下，只有 CPU 处于停止状态。所有的外设均继续正常工作，当一个中断或者事件产生，可以唤醒 CPU。

- 停止模式

停止模式可以完成低功耗的目标并且 SRAM 和寄存器内容不会丢失。所有 $V_{LDO}$ 域的时钟都会停止，HSI 振荡器被关闭，LSI 振荡器取决于配置。电压调节器处于低功耗模式。

该芯片可以通过任意EXTI线唤醒停止模式,EXTI线触发源可以是16个外部线或者比较器、I2C、LPTIM。

停止模式下，独立看门狗可以正常工作。

- 待机模式

待机模式被用于完成极低功耗目标情况，内部电压调节器处于低功耗模式，部分 $V_{LDO}$ 域处于掉电状态。HSI 振荡器关闭。进入待机模式后，除了 SRAM 和部分寄存器，大多数寄存器内容被丢失。

当外部复位、一个独立看门狗复位、或者 LPTIM 中断事件发生时，芯片退出待机模式。

在待机模式下，独立看门狗 (使能时) 及相应的时钟不会停止。在进入待机模式前，如果使能了 LPTIM，在进入待机模式后，LPTIM 及相应的时钟不会停止。

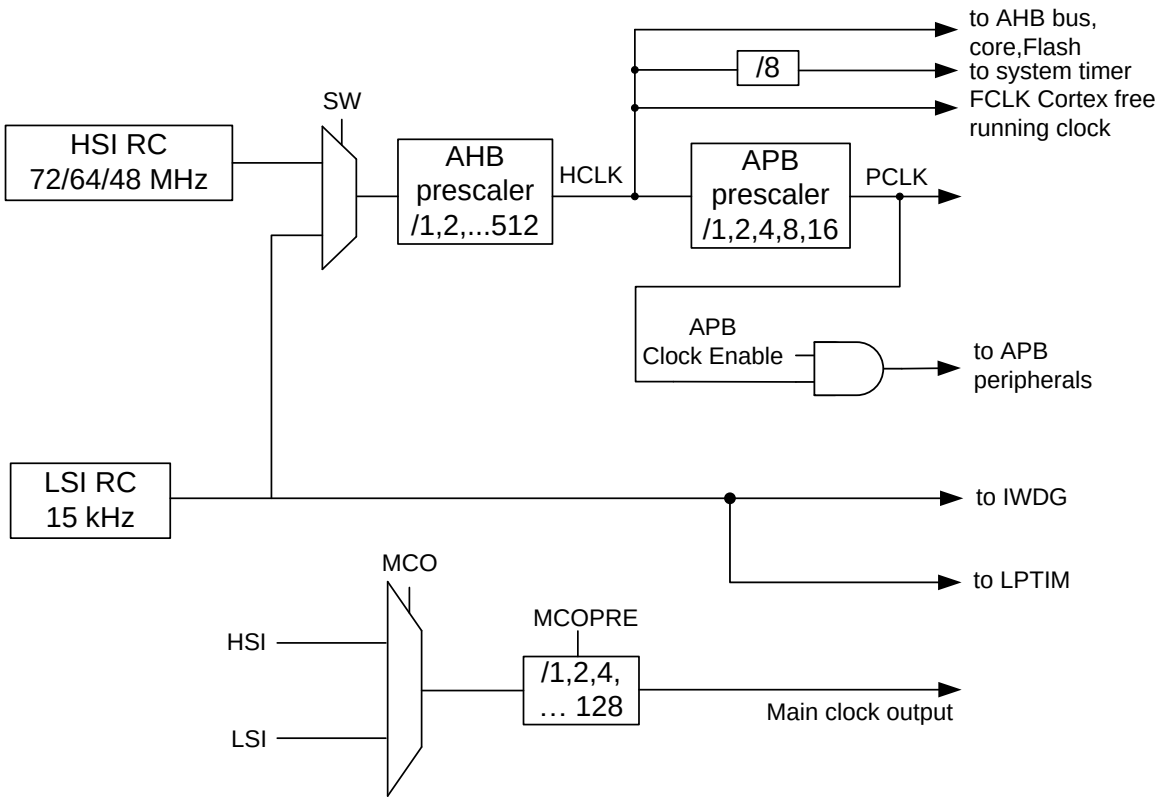
### 3.6. GPIO

每个 GPIO 引脚都可以由软件配置成输出 (推挽或开漏)、输入 (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复用外设共用。除了具有模拟输入功能的端口，所有的 GPIO 引脚都有大电流通过能力。

在需要的情况下，I/O 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 I/O 寄存器。

### 3.7. 时钟和启动

**图 3-1** 时钟框图



### 3.8. 比较器

该芯片内部内置 3 个快速低功耗模拟比较器，共同具有如下特性：

- 支持单边/双边迟滞功能。
- 支持迟滞电压选择 (10mV/20mV/60mV-典型值)。
- 正端可选择多路 IO 端口输入。
- 输出滤波时间可选择：0~512*Tpclk。
- 比较器输出以及输出边沿变化事件可作为增强型 PWM 的刹车触发信号。
- 比较器输出边沿变化事件可作为 ADC 触发转换信号。
- 比较器输出可被 CCP1_TIM3 捕捉。
- 输出边沿变化事件可产生中断。
- 可选择输出极性。

### 3.9. 运算放大器

芯片内置 3 个运算放大器，运算放大器结果可以输出到 IO 或者 ADC 通道。

运算放大器具有支持伪差分结构，放大倍数可选等特点。

运算放大器 1 支持外部增益模式和失调电压校准。

### 3.10. 除法/开方运算单元

该芯片内置了一个 32bit 除 32bit 的硬件除法器与 32bit 开平方运算单元，用于处理用户数据除法或开方任务，两者无法同时使用。该单元具有如下特性：

- 支持有/无符号的除法与开方运算，有符号开方视为取绝对值再开方。
- 具有除零标志指示位，无除零检测中断。
- 商和余数的位宽均为 32 位。
- 平方根的位宽为 16 位。
- 写 ALUB 寄存器即启动运算。
- 除法和开方均需要 17 个 AHB 时钟完成一次运算。

### 3.11. 中断和事件

#### 3.11.1. 中断向量控制器 (NVIC)

该芯片内置中断向量控制器，能够管理 32 个可屏蔽中断通道 (不包括 Cortex-M0+的 16 个中断线) 和 4 个优先级。

- 紧耦合的 NVIC 能够达到低延时的中断响应处理。
- 中断向量入口地址直接进入内核。

- 紧耦合的 NVIC 接口。
- 允许中断的早期处理。
- 处理晚到的较高优先级的中断。
- 支持中断尾部链接功能。
- 自动保存处理器状态。
- 中断返回时自动恢复，无需额外指令开销。

该模块以最小的终端延时提供灵活的中断管理功能。

### 3.11.2. 外部中断/事件控制器 (EXTI)

外部中断/事件控制器包括 32 个边沿检测器，用于产生中断/事件请求和唤醒系统。每个线可独立地配置它的触发事件 (上升沿、下降沿或者双边沿)，并能够单独地被屏蔽。有一个挂起寄存器维持中断请求的状态。EXTI 可以检测到小于内部时钟周期的脉冲。

## 3.12. 模数转换器 (ADC)

12 位模数转换器有高达 15 个外部、2 个电源地和 6 个内部 (温度传感器、电压基准测量、DAC 输出、3 个运放电路输出) 通道，可执行单个或扫描模式。在扫描模式中，对选中的一组模拟输入执行自动转换。每个通道的转换结果都存储在对应的数据寄存器。

具有 2 个数字比较器，每个比较器能提供一个选中通道转换电压的监控，可选择在转换电压超出或者低于编程阈值，且累积达到一定编程次数时，产生一个事件输出，可以用作中断或者 EPWM_TIM1 的刹车信号。

支持两种功耗模式：高速模式和低电流模式。相较于高速模式，低电流模式的转换功耗降低，但转换时间增加。

支持外部通道采样时间和内部通道采样时间独立设置。在扫描模式中使能多个通道，采样时间会依据当前转换通道是外部还是内部自动切换设置。

支持 EPWM_TIM1 的事件触发选择独立的转换通道序列。

### 3.12.1. 温度传感器 ($V_{TS}$)

温度传感器 (TS) 产生随温度线性变化的电压 $V_{TS}$。温度传感器内部连接 ADC 的 AN21 输入通道，用于将传感器输出电压转换为数字值。

**表 3-2** 温度传感器校准值

| 校准数值名称 | 描述 | 存储地址 |
|---|---|---|
| TS_CAL1 | 原始数据，获取于 25 °C (±5 °C)、电压 $V_{DD}$ = 3.0 V(±10 mV) | 0x1FFF 025C - 0x1FFF 025D |

### 3.12.2. 内部电压基准 ($V_{REFINT}$)

内部电压基准 ($V_{REFINT}$) 提供一个稳定 (带隙) 电压输出给 ADC。$V_{REFINT}$ 的精确电压由 FMD 在产品测试时对每部分单独测试，存储在系统存储区域，仅只读模式访问。

**表 3-3** 内部电压基准校准值

| 校准数值名称 | 描述 | 存储地址 |
|---|---|---|
| $V_{REFINT_CAL}$ | 原始数据，获取于 25 °C (±5 °C)、电压 $V_{DD}$ = 3.0 V (±10 mV) | 0x1FFF 025E - 0x1FFF 025F |

### 3.12.3. DAC 输出 ($V_{DAC}$)

数模转换器 DAC 将数字信号转换为模拟电压信号，作为比较器的参考电压或者 ADC 输入。

## 3.13. 定时器和看门狗

该芯片包含 1 个增强型 PWM 定时器、2 个捕捉/比较/脉宽调制定时器，1 个高级定时器，2 个通用定时器和 1 个低功耗定时器。

下表比较了增强型 PWM 定时器、捕捉/比较/脉宽调制定时器、高级定时器和通用定时器的功能。

**表 3-4** 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 | 捕获通道 | 比较通道 | 互补输出 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 增强型 PWM | EPWM_TIM1 | 16 位 | 递减、递增/递减 | 1 和 128 之间的任意整数 | — | 6 | 3 |
| 捕捉/比较/脉宽调制 | CCP0_TIM2 | 16/8 位 | 递减 | 1、4、16、64 | 2 | 2 | — |
| | CCP1_TIM3 | 16/8 位 | 递减 | 1、4、16、64 | 6 | 2 | — |
| 高级 | CCP2_TIM4 | 16 位 | 递增、递减 | 1 和 16 之间的任意整数 | 4 | 4 | — |
| 通用 | GP_TIM5 | 32/16 位 | 递减 | 1、16、256 | — | — | — |
| | GP_TIM6 | 32/16 位 | 递减 | 1、16、256 | — | — | — |

### 3.13.1. 增强型 PWM 定时器 (EPWM_TIM1)

增强型 PWM 模块支持 6 路 PWM 发生器，周期和占空比可独立设置，具有全调制能力 (0 ~ 100%)。包含 3 组预分频计数器，通道 EPWM0-1，EPWM2-3，EPWM4-5 分别共用一组。计数时钟可选在 pclk 预分频之后继续选择 1、2、4、8、16 分频，或者跳过分频直接选择使用 pclk。其他特性如下：

- 支持单脉冲输出和连续输出。
- 支持独立、互补、同步、组控 4 种控制模式。
- 支持边沿对齐、中心对齐 2 种计数模式。
- 支持 4 种周期和占空比加载更新方式。
- 可设置输出极性。
- 支持周期、向上比较、向下比较、零点中断。
- 支持通道可选的故障刹车保护以及恢复功能。
- 支持对 CCP1_TIM3 捕捉到的霍尔传感器信号进行检测。
- 调试模式可冻结计数器输出刹车信号。

### 3.13.2. 捕捉/比较/脉宽调制定时器 (CCP0_TIM23)

该芯片包含两个捕捉/比较/脉宽调制功能的定时器 CCP0_TIM2/CCP1_TIM3，它们集成在同一个单元 CCP0_TIM23 内。每个定时器对应都有 A，B 两路通道，CCP0_TIM2 对应引脚为 CCP0A/B，CCP1_TIM3 对应引脚为 CCP1A/B。CCP1_TIM3 另外有 4 路 CAP0、CAP1、CAP2、CAP3 内部捕捉通道。CCP0_TIM2 支持 PWM 输出、捕捉模式 0，CCP1_TIM3 支持 PWM 输出、捕捉模式 0、捕捉模式 1、捕捉模式 2。

1) PWM 输出具有如下特性：

- CCP0_TIM2 的 A、B 两路共用一个周期寄存器、CCP1_TIM3 的 A、B 两路共用另一个周期寄存器。
- CCP0_TIM2/CCP1_TIM3 的 A、B 两路输出占空比可独立设置。
- 最多可输出 4 路 PWM。
- 支持 50%占空比的方波输出。
- 输出极性可选。

2) 捕捉模式 0 具有如下特性：

- CCP0_TIM2 可选择从 A 路或者 B 路作为外部捕捉输入信号。
- CCP1_TIM3 可选择从 A 路或者 B 路作为外部捕捉输入信号。
- 可选择软件开始计数、上升沿捕捉；软件开始计数、下降沿捕捉；上升沿计数、下降沿捕捉；下降沿计数、上升沿捕捉，4 种捕获方式。
- 当捕捉条件触发后计数器停止。

3) 捕捉模式 1 具有如下特性：

- 仅 CCP1_TIM3 具有捕捉模式 1，当 CCP1_TIM3 设置成捕捉模式 1 时，CCP0_TIM2 不可设置 PWM 输出或捕捉模式 0。支持 CCP1_TIM3 捕捉触发 CCP0_TIM2 计数器加载使能。
- CAP0、CAP1、CAP2、CAP3，4 路捕捉通道，每路捕捉通道具有 4 位控制选择不同输入。
- 可选择写寄存器触发的软件捕捉方式。
- 可选择外部信号的上升沿、下降沿、双沿触发的边沿捕捉方式。

4) 捕捉模式 2 具有如下特性：

- 仅有 CCP1_TIM3 具有捕捉模式 2，当 CCP1_TIM3 设置成捕捉模式 2 时，CCP0_TIM2 可自由设置。
- CAP1、CAP2、CAP3，3 路共用同一个捕捉通道，对同一信号进行捕捉，CAP0 被禁止。
- 每个通道可独立选择外部信号的上升沿、下降沿、双沿触发的边沿捕捉方式。
- CAP3 捕捉完成后可自动计算周期与占空比的数据。

5) CCP 模块的中断具有如下几种：

- 计数器比较中断。
- 计数器溢出中断。
- 捕捉模式 0 捕获中断。

- 捕捉模式 1 的 CAP0、CAP1、CAP2、CAP3 中断。
- 捕捉模式 2 的 CAP1、CAP2、CAP3 中断 (该模式 CAP1、CAP2、CAP3 中断会同时置起，需要同时清除标志位)。

### 3.13.3. 高级定时器 (CCP2_TIM4)

该芯片内置 1 个含有 4 通道 16 位计数器的高级定时器单元 CCP2_TIM4，不仅具有捕捉/比较功能，也可以当成通用定时器使用。每个通道既能分别用作独立的定时器，也能组合多个通道用作更复杂的功能。 通道 1 和通道 3 支持拆分成 2 个 8 位计数器运行。

**表 3-5** 高级定时器功能

| 独立通道运行功能 | 多通道联动运行功能 |
|---|---|
| • 间隔定时器<br>• 方波输出<br>• 外部事件计数器<br>• 分频器<br>• 输入脉冲间隔的测量<br>• 输入信号的高/低电平宽度的测量<br>• 延迟计数器 | • 单触发脉冲输出<br>• PWM 输出<br>• 多重 PWM 输出 |

独立通道运行功能说明 (n = 0~3)：

1) 间隔定时器：能用作以固定间隔产生中断的基本定时器。
2) 方波输出：定时器输出引脚 (CCP2On) 当产生中断时触发翻转，输出 50%占空比的方波。
3) 外部事件计数器：对定时器输入引脚 (CCP2In) 的输入信号的有效边沿进行计数，如果达到规定次数，就能用作产生中断的事件计数器。
4) 分频器功能 (只限于通道 0)：对定时器输入引脚 (CCP2I0) 的输入时钟进行分频，然后从输出引脚 (CCP2O0) 输出。
5) 输入脉冲间隔的测量：在定时器输入引脚 (CCP2In) 的输入脉冲信号的有效边沿开始计数并且在下一个脉冲的有效边沿捕捉计数值，从而测量输入脉冲的间隔。
6) 输入信号的高/ 低电平宽度的测量：在定时器输入引脚 (CCP2In) 的输入信号的一个边沿开始计数并且在另一个边沿捕捉计数值，从而测量输入信号的高电平或者低电平的宽度。
7) 延迟计数器：在定时器输入引脚 (CCP2In) 的输入信号的有效边沿开始计数并且在经过任意延迟期间后产生中断。

多通道联动运行功能说明：

1) 单触发脉冲输出：主控通道和从属通道都设置成单次计数模式，当主控通道的中断产生时，从属通道输出引脚 (CCP2On) 触发翻转，主控通道停止计数，从属通道开始计数。当从属通道的中断产生时，从属通道输出引脚 (CCP2On) 再次触发翻转，从属通道停止计数。
2) PWM 输出：主控通道设置成间隔定时器模式，作为周期设置，从属通道设置成单次计数模式，作为占空比设置。当主控通道的中断产生时，触发从属通道计数，从属通道输出引脚 (CCP2On) 回到复位状态。当从属通道的中断产生时，从属通道输出引脚 (CCP2On) 触发翻转。

3) 多重 PWM 输出：可以设置多个从属通道，产生相同周期不同占空比 PWM 输出。

### 3.13.4. 通用定时器 (GP_TIM5/GP_TIM6)

该芯片包含 2 路可编程的 32 位/16 位向下计数器，能为用户提供便捷的定时计数功能。GP_TIM5、GP_TIM6 具有如下特性：

- 具有单次触发、周期计数、连续计数 3 种计数操作模式。
- 支持延时加载计数初值功能。
- 支持计数器递减到 0 时，产生中断。

### 3.13.5. 低功耗定时器 (LPTIM)

该芯片内置一个 12 位可编程向上计数的低功耗定时器，由 LSI 驱动，周期性地产生中断，可用于从睡眠模式、停止模式和深度睡眠模式中唤醒。

### 3.13.6. 独立看门狗

独立看门狗是基于一个 12 位的递减计数器和一个 8 位的预分频器，它由一个内部 LSI 振荡器提供时钟；因为这个振荡器独立于主时钟，所以它可运行于停机和待机模式。它可以被当成看门狗用于在发生问题时复位整个系统，或作为一个自由定时器为应用程序提供超时管理。通过选项字节可以配置成是软件或硬件启动模式。在调试模式下，计数器可以被冻结。

### 3.13.7. 窗口看门狗

窗口看门狗内有一个 7 位的递减计数器，并可以设置成自由运行。它可以在系统发生问题时复位整个系统。它由主时钟 PCLK 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。

### 3.13.8. 系统时基定时器

这个定时器是专用于实时操作系统，也可以当成一个标准的递减计数器。它具有下述特性：

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

## 3.14. I2C 接口

器件包含 1 个 I2C 接口 (I2C1)，可以工作在多主机模式和从机模式。接口支持标准模式 (100 kbit/s) 和快速模式 (400 kbit/s)。

接口支持 10 比特地址和 7 比特地址模式，多 7 比特地址模式 (两个从机地址)。支持模拟滤波。

**表 3-6** I2C 功能实现

| I2C 特性 |
| --- |
| 7 比特地址模式 |
| 10 比特地址模式 |
| 标准模式 |
| 快速模式 |
| 多时钟域 |
| PEC 校验 |
| 从 STOP 模式唤醒 |

### 3.15. USART 异步同步通信接口

器件包含两个结构功能一样的异步同步通信接口 (USART1 和 USART2)，其最大速度是 8 Mbit/s。接口可以提供 CTS 和 RTS 信号的硬件管理，多处理器模式，主机同步通信和单线半双工通信模式。

**表 3-7** USART 功能实现

| USART 功能 |
| --- |
| MODEM 所需的硬件流控制 |
| 多机通信 |
| 同步模式 |
| 半双工模式 |
| 自动波特率检测 |

### 3.16. 串行外设接口 (SPI)

器件包含 1 个 SPI 接口。8 位的预分频可产生 256 种主模式频率，可配置成每帧 8 位或 16 位。

**表 3-8** SPI 功能实现

| SPI 功能 |
| --- |
| 接收/发送 FIFO |
| NSS 脉冲模式 (摩托罗拉模式) |

### 3.17. 串行单线 SWD 调试口 (SW-DP)

内嵌 ARM 的两线串行调试端口 (SW-DP)

ARM 的 SW-DP 接口允许通过串行线调试工具连接到单片机。

# 4. 引脚定义

**图 4-1** QFN20 引脚分配

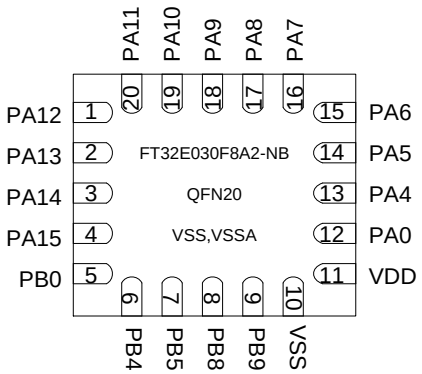



**图 4-2** TSSOP20 引脚分配

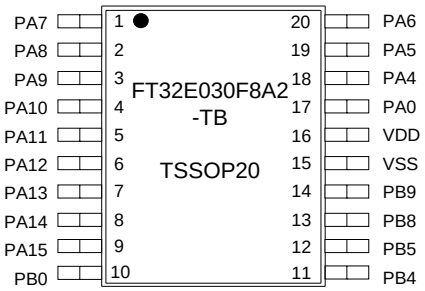
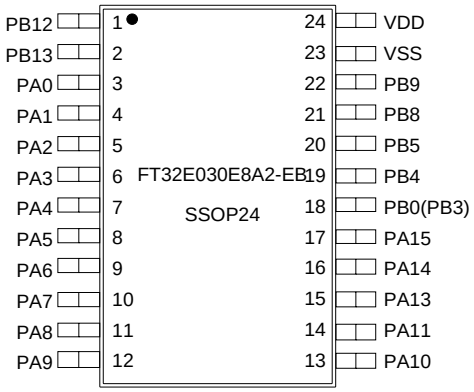



**图 4-3** SSOP24 引脚分配 [1]




[1] PIN18 由 PB0、PB3 合并在一起，使用时应注意不要同时使用，尤其不要输出相反电平。

**图 4-4** QFN28 引脚分配

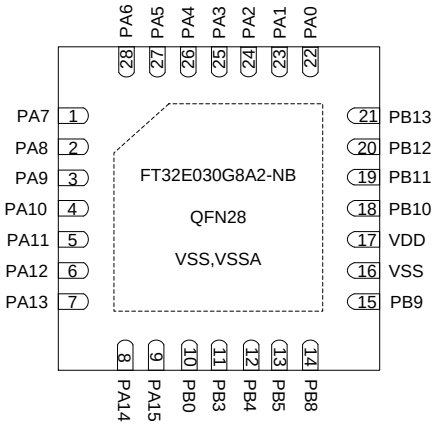



**图 4-5** LQFP32 (A) 引脚分配

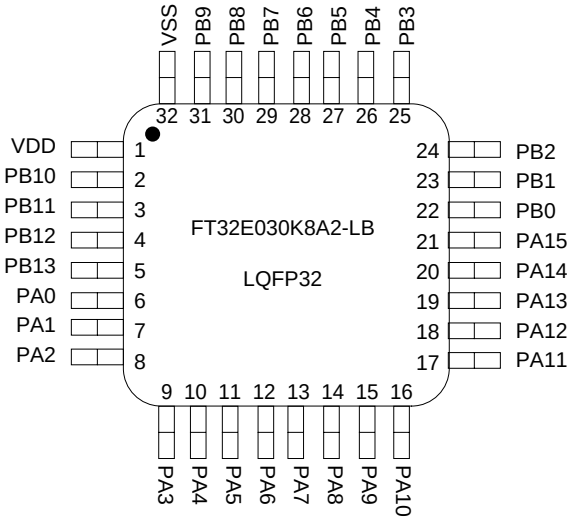



**图 4-6** LQFP32 (N) 引脚分配

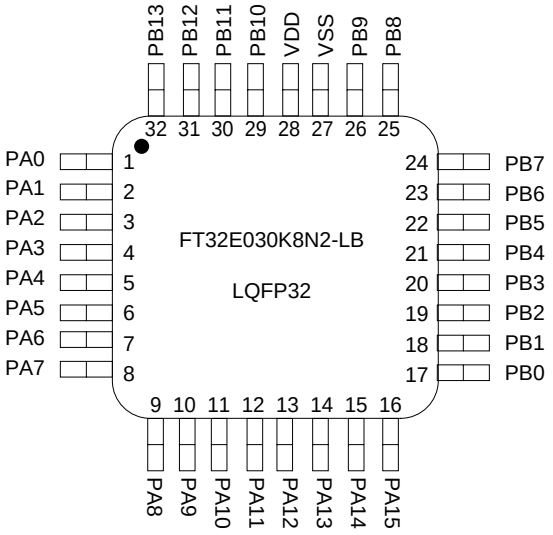


**图 4-7** QFN32 引脚分配

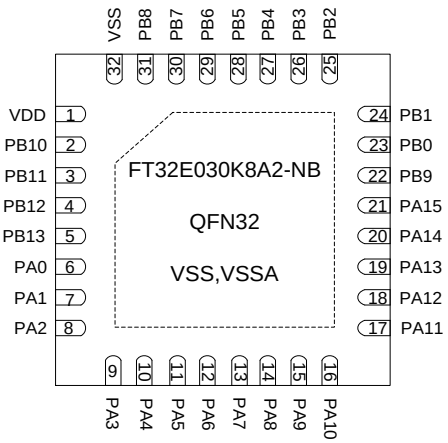


**表 4-1** FT32E030x8 引脚定义

| QFN20 | TSSOP20 | SSOP24 | QFN28 | LQFP32 (A) | LQFP32 (N) | QFN32 | Pin name | Pin type | Structure | AF | | Add. Func |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 17 | 3 | 22 | 6 | 1 | 6 | PA0 | I/O | FC | 0 | CCP2O0 | CM1P |
| | | | | | | | | | | 1 | CCP2O1 | — |
| | | | | | | | | | | 2 | I2C_SCL | |
| | | | | | | | | | | 3 | SPI_NSS | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP0A | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM3 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |
| — | — | 4 | 23 | 7 | 2 | 7 | PA1 | I/O | FC | 0 | — | CM1N |
| | | | | | | | | | | 1 | USART1_SCK | — |
| | | | | | | | | | | 2 | CCP2O0 | |
| | | | | | | | | | | 3 | CCP2O1 | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP0A | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM2 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |
| — | — | 5 | 24 | 8 | 3 | 8 | PA2 | I/O | FC | 0 | ADET | CM2P |
| | | | | | | | | | | 1 | USART1_RX | — |
| | | | | | | | | | | 2 | EPWM1 | |
| | | | | | | | | | | 3 | SPI_CLK | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP0B | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM0 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |
| — | — | 6 | 25 | 9 | 4 | 9 | PA3 | I/O | FC | 0 | EPWM0 | — |
| | | | | | | | | | | 1 | USART1_TX | |
| | | | | | | | | | | 2 | CCP2O2 | |
| | | | | | | | | | | 3 | CCP2O3 | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP0B | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM1 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |

| QFN20 | TSSOP20 | SSOP24 | QFN28 | LQFP32 (A) | LQFP32 (N) | QFN32 | Pin name | Pin type | Structure | AF | | Add. Func |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13 | 18 | 7 | 26 | 10 | 5 | 10 | PA4 | I/O | FC | 0 | BKIN | AN4 |
| | | | | | | | | | | 1 | USART1_CTS | CM2P |
| | | | | | | | | | | 2 | I2C_SCL | — |
| | | | | | | | | | | 3 | SPI_MISO | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP1A | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM4 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |
| 14 | 19 | 8 | 27 | 11 | 6 | 11 | PA5 | I/O | FC | 0 | BKIN | AN5 |
| | | | | | | | | | | 1 | USART1_RX | CM2P |
| | | | | | | | | | | 2 | I2C_SDA | — |
| | | | | | | | | | | 3 | SPI_MOSI | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP1B | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM1 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |
| 15 | 20 | 9 | 28 | 12 | 7 | 12 | PA6 | I/O | FC | 0 | BKIN | AN6 |
| | | | | | | | | | | 1 | USART1_TX | CM2P |
| | | | | | | | | | | 2 | I2C_SDA | — |
| | | | | | | | | | | 3 | SPI_CLK | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP0A | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM3 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |
| 16 | 1 | 10 | 1 | 13 | 8 | 13 | PA7 | I/O | FC | 0 | MCO | AN7 |
| | | | | | | | | | | 1 | USART1_RTS | CM2N |
| | | | | | | | | | | 2 | I2C_SCL | — |
| | | | | | | | | | | 3 | SPI_NSS | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP0B | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM5 | |
| | | | | | | | | | | 6 | CCP0A | |
| | | | | | | | | | | 7 | CCP1A | |

| QFN20 | TSSOP20 | SSOP24 | QFN28 | LQFP32 (A) | LQFP32 (N) | QFN32 | Pin name | Pin type | Structure | AF | | Add. Func |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | 2 | 11 | 2 | 14 | 9 | 14 | PA8 | I/O | FC | 0 | MCO | AN8 |
| | | | | | | | | | | 1 | BKIN | CM1P |
| | | | | | | | | | | 2 | CCP2O0 | CM2P |
| | | | | | | | | | | 3 | CCP2O1 | CM3P |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP1A | OP2P |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM0 | — |
| | | | | | | | | | | 6 | CCP0B | |
| | | | | | | | | | | 7 | CCP1B | |
| 18 | 3 | 12 | 3 | 15 | 10 | 15 | PA9 | I/O | FC | 0 | USART1_CTS | AN9 |
| | | | | | | | | | | 1 | USART1_RX | CM3P |
| | | | | | | | | | | 2 | I2C_SCL | OP2N |
| | | | | | | | | | | 3 | — | — |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP0B | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM2 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |
| 19 | 4 | 13 | 4 | 16 | 11 | 16 | PA10 | I/O | FC | 0 | BKIN | AN10 |
| | | | | | | | | | | 1 | USART1_RTS | CM2P |
| | | | | | | | | | | 2 | CM3O | CM3P |
| | | | | | | | | | | 3 | I2C_SDA | OP3P |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP0A | — |
| | | | | | | | | | | 5 | CCP1A | |
| | | | | | | | | | | 6 | CCP0B | |
| | | | | | | | | | | 7 | CCP1B | |
| 20 | 5 | 14 | 5 | 17 | 12 | 17 | PA11 | I/O | FC | 0 | BKIN | AN11 |
| | | | | | | | | | | 1 | USART1_RX | CM3N |
| | | | | | | | | | | 2 | I2C_SCL | OP3N |
| | | | | | | | | | | 3 | — | — |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP1B | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM5 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |

| QFN20 | TSSOP20 | SSOP24 | QFN28 | LQFP32 (A) | LQFP32 (N) | QFN32 | Pin name | Pin type | Structure | AF | | Add. Func |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 6 | — | 6 | 18 | 13 | 18 | PA12 | I/O | FC | 0 | USART2_CTS | AN12 |
| | | | | | | | | | | 1 | USART1_TX | — |
| | | | | | | | | | | 2 | I2C_SCL | |
| | | | | | | | | | | 3 | I2C_SDA | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP0A | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM0 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |
| 2 | 7 | 15 | 7 | 19 | 14 | 19 | PA13 | I/O | FC | 0 | USART2_RTS | AN13 |
| | | | | | | | | | | 1 | USART1_SCK | CM3P |
| | | | | | | | | | | 2 | I2C_SDA | OP1P |
| | | | | | | | | | | 3 | BKIN | — |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP0B | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM1 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |
| 3 | 8 | 16 | 8 | 20 | 15 | 20 | PA14 | I/O | FC | 0 | CCP2O2 | AN14 |
| | | | | | | | | | | 1 | CCP2O3 | OP1N |
| | | | | | | | | | | 2 | I2C_SDA | — |
| | | | | | | | | | | 3 | — | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP1A | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM2 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |
| 4 | 9 | 17 | 9 | 21 | 16 | 21 | PA15 | I/O | FC | 0 | EPWM3 | AN15 |
| | | | | | | | | | | 1 | USART2_SCK | OP1O |
| | | | | | | | | | | 2 | I2C_SCL | NRST |
| | | | | | | | | | | 3 | SPI_NSS | — |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP0A | |
| | | | | | | | | | | 5 | CCP1A | |
| | | | | | | | | | | 6 | CCP0B | |
| | | | | | | | | | | 7 | CCP1B | |

| QFN20 | TSSOP20 | SSOP24 | QFN28 | LQFP32 (A) | LQFP32 (N) | QFN32 | Pin name | Pin type | Structure | AF | | Add. Func |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 10 | 18 | 10 | 22 | 17 | 23 | PB0 | I/O | FC | 0 | CM1O | AN16 |
| | | | | | | | | | | 1 | CCP2O0 | — |
| | | | | | | | | | | 2 | CCP2O1 | |
| | | | | | | | | | | 3 | SPI_CLK | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP0A | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM4 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |
| — | — | — | — | 23 | 18 | 24 | PB1 | I/O | FC | 0 | BKIN | — |
| | | | | | | | | | | 1 | CCP2O2 | |
| | | | | | | | | | | 2 | CCP2O3 | |
| | | | | | | | | | | 3 | SPI_MISO | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP1A | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM2 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |
| — | — | — | — | 24 | 19 | 25 | PB2 | I/O | FC | 0 | USART2_RTS | — |
| | | | | | | | | | | 1 | CCP2O0 | |
| | | | | | | | | | | 2 | CCP2O1 | |
| | | | | | | | | | | 3 | SPI_MOSI | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP1B | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM5 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |
| — | — | 18 | 11 | 25 | 20 | 26 | PB3 | I/O | FC | 0 | CCP2O2 | — |
| | | | | | | | | | | 1 | CCP2O3 | |
| | | | | | | | | | | 2 | I2C_SDA | |
| | | | | | | | | | | 3 | SPI_CLK | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP1B | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM4 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |

| QFN20 | TSSOP20 | SSOP24 | QFN28 | LQFP32 (A) | LQFP32 (N) | QFN32 | Pin name | Pin type | Structure | AF | | Add. Func |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 11 | 19 | 12 | 26 | 21 | 27 | PB4 | I/O | FC | 0 | USART2_CTS | AN17 |
| | | | | | | | | | | 1 | EPWM3 | OP23O |
| | | | | | | | | | | 2 | I2C_SCL | — |
| | | | | | | | | | | 3 | SPI_MISO | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP0A | |
| | | | | | | | | | | 5 | CCP1A | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | CCP1B | |
| 7 | 12 | 20 | 13 | 27 | 22 | 28 | PB5 | I/O | FC | 0 | — | AN18 |
| | | | | | | | | | | 1 | USART2_RTS | BOOT |
| | | | | | | | | | | 2 | ADET | — |
| | | | | | | | | | | 3 | SPI_MOSI | |
| | | | | | | | | | | 4 | CM2O | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM2 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |
| — | — | — | — | 28 | 23 | 29 | PB6 | I/O | FC | 0 | USART2_CTS | — |
| | | | | | | | | | | 1 | USART1_SCK | |
| | | | | | | | | | | 2 | SPI_CLK | |
| | | | | | | | | | | 3 | SPI_NSS | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP0A | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM1 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |
| — | — | — | — | 29 | 24 | 30 | PB7 | I/O | FC | 0 | ADET | — |
| | | | | | | | | | | 1 | USART1_RX | |
| | | | | | | | | | | 2 | USART1_RTS | |
| | | | | | | | | | | 3 | SPI_NSS | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP0B | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM0 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |

| QFN20 | TSSOP20 | SSOP24 | QFN28 | LQFP32 (A) | LQFP32 (N) | QFN32 | Pin name | Pin type | Structure | AF | | Add. Func |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 13 | 21 | 14 | 30 | 25 | 31 | PB8 | I/O | FC | 0 | SWDCLK | — |
| | | | | | | | | | | 1 | USART1_RX | |
| | | | | | | | | | | 2 | USART1_CTS | |
| | | | | | | | | | | 3 | SPI_CLK | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP0A | |
| | | | | | | | | | | 5 | CCP1A | |
| | | | | | | | | | | 6 | CCP0B | |
| | | | | | | | | | | 7 | CCP1B | |
| 9 | 14 | 22 | 15 | 31 | 26 | 22 | PB9 | I/O | FC | 0 | SWDDAT | — |
| | | | | | | | | | | 1 | USART1_TX | |
| | | | | | | | | | | 2 | CCP0A | |
| | | | | | | | | | | 3 | CCP1A | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP1B | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM1 | |
| | | | | | | | | | | 6 | CCP0B | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |
| 10 | 15 | 23 | 16 | 32 | 27 | 32 | VSS | S | Ground | | | |
| 11 | 16 | 24 | 17 | 1 | 28 | 1 | VDD | S | Digital power supply | | | |
| — | — | — | 18 | 2 | 29 | 2 | PB10 | I/O | FC | 0 | — | — |
| | | | | | | | | | | 1 | USART1_TX | |
| | | | | | | | | | | 2 | USART2_CTS | |
| | | | | | | | | | | 3 | — | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP0A | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM1 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |
| — | — | — | 19 | 3 | 30 | 3 | PB11 | I/O | FC | 0 | USART2_RTS | — |
| | | | | | | | | | | 1 | USART1_RX | |
| | | | | | | | | | | 2 | I2C_SDA | |
| | | | | | | | | | | 3 | SPI_CLK | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP1B | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM0 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |

| QFN20 | TSSOP20 | SSOP24 | QFN28 | LQFP32 (A) | LQFP32 (N) | QFN32 | Pin name | Pin type | Structure | AF | | Add. Func |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| — | — | 1 | 20 | 4 | 31 | 4 | PB12 | I/O | FC | 0 | CCP2O0 | CM1P |
| | | | | | | | | | | 1 | USART1_TX | — |
| | | | | | | | | | | 2 | I2C_SCL | |
| | | | | | | | | | | 3 | SPI_MISO | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP1A | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM5 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |
| — | — | 2 | 21 | 5 | 32 | 5 | PB13 | I/O | FC | 0 | — | CM1P |
| | | | | | | | | | | 1 | USART2_SCK | — |
| | | | | | | | | | | 2 | I2C_SDA | |
| | | | | | | | | | | 3 | SPI_MOSI | |
| | | | | | | | | | | 4 | CCP0A | |
| | | | | | | | | | | 5 | EPWM4 | |
| | | | | | | | | | | 6 | USART2_TX | |
| | | | | | | | | | | 7 | USART2_RX | |

**表 4-2** 引脚定义表中缩写说明

| 名称 | 缩写 | 定义 |
|---|---|---|
| 管脚名称 | 除非在管脚名称下方的括号中另有规定，复位期间和之后的管脚功能与实际管脚名称相同。 | |
| 管脚类型 | S | 电源脚 |
| | I/O | 输入/输出脚 |
| I/O 结构 | FC | 标准 I/O |
| 注释 | 除非另有说明，否则所有的 I/O 在复位期间和复位之后被设置为模拟模式 | |
| 管脚功能 | 复用功能 | 通过 GPIOx_AFR 寄存器来选择相应的功能 |
| | 添加功能 | 通过外围寄存器直接去选中相应的功能，不受 GPIO 的控制寄存器影响 |

**表 4-3** PA 端口复用功能

| Pin name | AF0 | AF1 | AF2 | AF3 | AF4 | AF5 | AF6 | AF7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PA0 | CCP2O0 | CCP2O1 | I2C_SCL | SPI_NSS | CCP0A | EPWM3 | USART2_TX | USART2_RX |
| PA1 | — | USART1_SCK | CCP2O0 | CCP2O1 | CCP0A | EPWM2 | USART2_TX | USART2_RX |
| PA2 | ADET | USART1_RX | EPWM1 | SPI_CLK | CCP0B | EPWM0 | USART2_TX | USART2_RX |
| PA3 | EPWM0 | USART1_TX | CCP2O2 | CCP2O3 | CCP0B | EPWM1 | USART2_TX | USART2_RX |
| PA4 | BKIN | USART1_CTS | I2C_SCL | SPI_MISO | CCP1A | EPWM4 | USART2_TX | USART2_RX |
| PA5 | BKIN | USART1_RX | I2C_SDA | SPI_MOSI | CCP1B | EPWM1 | USART2_TX | USART2_RX |
| PA6 | BKIN | USART1_TX | I2C_SDA | SPI_CLK | CCP0A | EPWM3 | USART2_TX | USART2_RX |
| PA7 | MCO | USART1_RTS | I2C_SCL | SPI_NSS | CCP0B | EPWM5 | CCP0A | CCP1A |
| PA8 | MCO | BKIN | CCP2O0 | CCP2O1 | CCP1A | EPWM0 | CCP0B | CCP1B |
| PA9 | USART1_CTS | USART1_RX | I2C_SCL | — | CCP0B | EPWM2 | USART2_TX | USART2_RX |
| PA10 | BKIN | USART1_RTS | CM3O | I2C_SDA | CCP0A | CCP1A | CCP0B | CCP1B |
| PA11 | BKIN | USART1_RX | I2C_SCL | — | CCP1B | EPWM5 | USART2_TX | USART2_RX |
| PA12 | USART2_CTS | USART1_TX | I2C_SCL | I2C_SDA | CCP0A | EPWM0 | USART2_TX | USART2_RX |
| PA13 | USART2_RTS | USART1_SCK | I2C_SDA | BKIN | CCP0B | EPWM1 | USART2_TX | USART2_RX |
| PA14 | CCP2O2 | CCP2O3 | I2C_SDA | — | CCP1A | EPWM2 | USART2_TX | USART2_RX |
| PA15 | EPWM3 | USART2_SCK | I2C_SCL | SPI_NSS | CCP0A | CCP1A | CCP0B | CCP1B |

**表 4-4** PB 端口复用功能

| Pin name | AF0 | AF1 | AF2 | AF3 | AF4 | AF5 | AF6 | AF7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PB0 | CM1O | CCP2O0 | CCP2O1 | SPI_CLK | CCP0A | EPWM4 | USART2_TX | USART2_RX |
| PB1 | BKIN | CCP2O2 | CCP2O3 | SPI_MISO | CCP1A | EPWM2 | USART2_TX | USART2_RX |
| PB2 | USART2_RTS | CCP2O0 | CCP2O1 | SPI_MOSI | CCP1B | EPWM5 | USART2_TX | USART2_RX |
| PB3 | CCP2O2 | CCP2O3 | I2C_SDA | SPI_CLK | CCP1B | EPWM4 | USART2_TX | USART2_RX |
| PB4 | USART2_CTS | EPWM3 | I2C_SCL | SPI_MISO | CCP0A | CCP1A | USART2_TX | CCP1B |
| PB5 | — | USART2_RTS | ADET | SPI_MOSI | CM2O | EPWM2 | USART2_TX | USART2_RX |
| PB6 | USART2_CTS | USART1_SCK | SPI_CLK | SPI_NSS | CCP0A | EPWM1 | USART2_TX | USART2_RX |
| PB7 | ADET | USART1_RX | USART1_RTS | SPI_NSS | CCP0B | EPWM0 | USART2_TX | USART2_RX |
| PB8 | SWDCLK | USART1_RX | USART1_CTS | SPI_CLK | CCP0A | CCP1A | CCP0B | CCP1B |
| PB9 | SWDDAT | USART1_TX | CCP0A | CCP1A | CCP1B | EPWM1 | CCP0B | USART2_RX |
| PB10 | — | USART1_TX | USART2_CTS | — | CCP0A | EPWM1 | USART2_TX | USART2_RX |
| PB11 | USART2_RTS | USART1_RX | I2C_SDA | SPI_CLK | CCP1B | EPWM0 | USART2_TX | USART2_RX |
| PB12 | CCP2O0 | USART1_TX | I2C_SCL | SPI_MISO | CCP1A | EPWM5 | USART2_TX | USART2_RX |
| PB13 | — | USART2_SCK | I2C_SDA | SPI_MOSI | CCP0A | EPWM4 | USART2_TX | USART2_RX |

# 5. 内存映射

**表 5-1** 外设寄存器边界地址

| 总线 | 地址范围 | 大小 | 外设 |
|---|---|---|---|
| AHB | 0x4800 1800 - 0x5FFF FFFF | ~384 MB | Reserved |
| | 0x4800 1400 - 0x4800 17FF | 1 KB | Reserved |
| | 0x4800 1000 - 0x4800 13FF | 1 KB | Reserved |
| | 0x4800 0C00 - 0x4800 0FFF | 1 KB | Reserved |
| | 0x4800 0800 - 0x4800 0BFF | 1 KB | Reserved |
| | 0x4800 0400 - 0x4800 07FF | 1 KB | GPIOB |
| | 0x4800 0000 - 0x4800 03FF | 1 KB | GPIOA |
| | 0x4002 4400 - 0x47FF FFFF | ~128 MB | Reserved |
| | 0x4002 4000 - 0x4002 43FF | 1 KB | Reserved |
| | 0x4002 3800 - 0x4002 3FFF | 2 KB | Reserved |
| | 0x4002 3400 - 0x4002 37FF | 1 KB | DIV/SQRT |
| | 0x4002 3000 - 0x4002 33FF | 1 KB | CRC |
| | 0x4002 2400 - 0x4002 2FFF | 3 KB | Reserved |
| | 0x4002 2000 - 0x4002 23FF | 1 KB | FLASH Interface |
| | 0x4002 1400 - 0x4002 1FFF | 3 KB | Reserved |
| | 0x4002 1000 - 0x4002 13FF | 1 KB | RCC |
| | 0x4002 0400 - 0x4002 0FFF | 3 KB | Reserved |
| | 0x4002 0000 - 0x4002 03FF | 1 KB | Reserved |
| APB | 0x4001 8000 - 0x4001 FFFF | 32 KB | Reserved |
| | 0x4001 5C00 - 0x4001 7FFF | 9 KB | Reserved |
| | 0x4001 5800 - 0x4001 5BFF | 1 KB | DBGMCU |
| | 0x4001 4C00 - 0x4001 57FF | 3 KB | Reserved |
| | 0x4001 4800 - 0x4001 4BFF | 1 KB | LPTIM |
| | 0x4001 4400 - 0x4001 47FF | 1 KB | GP_TIM6 |
| | 0x4001 4000 - 0x4001 43FF | 1 KB | GP_TIM5 |
| | 0x4001 3C00 - 0x4001 3FFF | 1 KB | Reserved |
| | 0x4001 3800 - 0x4001 3BFF | 1 KB | USART1 |
| | 0x4001 3400 - 0x4001 37FF | 1 KB | Reserved |
| | 0x4001 3000 - 0x4001 33FF | 1 KB | SPI |
| | 0x4001 2C00 - 0x4001 2FFF | 1 KB | EPWM_TIM1 |
| | 0x4001 2800 - 0x4001 2BFF | 1 KB | Reserved |
| | 0x4001 2400 - 0x4001 27FF | 1 KB | ADC |
| | 0x4001 0800 - 0x4001 23FF | 7 KB | Reserved |
| | 0x4001 0400 - 0x4001 07FF | 1 KB | EXTI |
| | 0x4001 0000 - 0x4001 03FF | 1 KB | SYSCFG+COMPx+OPx+DAC |
| | 0x4000 FC00 - 0x4000 FFFF | 1 KB | Reserved |
| | 0x4000 7400 - 0x4000 FBFF | 34 KB | Reserved |

| 总线 | 地址范围 | 大小 | 外设 |
|---|---|---|---|
| APB | 0x4000 7000 - 0x4000 73FF | 1 KB | PWR |
| | 0x4000 6C00 - 0x4000 6FFF | 1 KB | Reserved |
| | 0x4000 6400 - 0x4000 6BFF | 2 KB | Reserved |
| | 0x4000 6000 - 0x4000 63FF | 1 KB | Reserved |
| | 0x4000 5C00 - 0x4000 5FFF | 1 KB | Reserved |
| | 0x4000 5800 - 0x4000 5BFF | 1 KB | Reserved |
| | 0x4000 5400 - 0x4000 57FF | 1 KB | I2C |
| | 0x4000 4800 - 0x4000 53FF | 3 KB | Reserved |
| | 0x4000 4400 - 0x4000 47FF | 1 KB | USART2 |
| | 0x4000 3C00 - 0x4000 43FF | 2 KB | Reserved |
| | 0x4000 3800 - 0x4000 3BFF | 1 KB | Reserved |
| | 0x4000 3400 - 0x4000 37FF | 1 KB | Reserved |
| | 0x4000 3000 - 0x4000 33FF | 1 KB | IWDG |
| | 0x4000 2C00 - 0x4000 2FFF | 1 KB | WWDG |
| | 0x4000 2800 - 0x4000 2BFF | 1 KB | Reserved |
| | 0x4000 2400 - 0x4000 27FF | 1 KB | Reserved |
| | 0x4000 2000 - 0x4000 23FF | 1 KB | Reserved |
| | 0x4000 1400 - 0x4000 1FFF | 3 KB | Reserved |
| | 0x4000 1000 - 0x4000 13FF | 1 KB | CCP2_TIM4 |
| | 0x4000 0800 - 0x4000 0FFF | 2 KB | Reserved |
| | 0x4000 0400 - 0x4000 07FF | 1 KB | CCP_TIM23 |
| | 0x4000 0000 - 0x4000 03FF | 1 KB | Reserved |

# 6. 电气特性

## 6.1. 测试条件

除非特别说明，所有的电压都以 $V_{SS}$ 为基准。

### 6.1.1. 最小值和最大值

除非特别说明，最小值和最大值是在环境温度 $T_A$ = 25 °C，$V_{DD}$ = 3.6 V 下执行的测试。在每个表格下方的注解中说明为设计模拟或工艺特性得到的数据，不会在生产线上进行测试。

### 6.1.2. 典型值

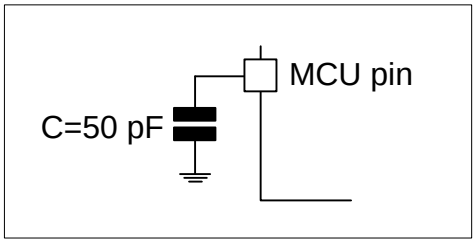
除非特别说明，典型值基于 $T_A$ = 25 °C 和 $V_{DD}$ = 3.6 V。这些数据仅用于设计指导而未经测试。

### 6.1.3. 典型曲线

除非特别说明，典型曲线仅用于设计指导而未经测试。

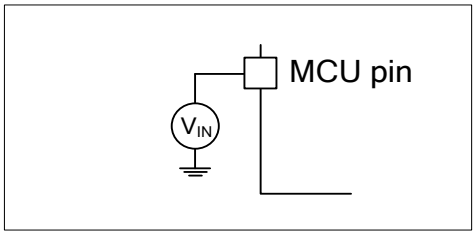
### 6.1.4. 负载电容

**图 6-1** 引脚的负载条件



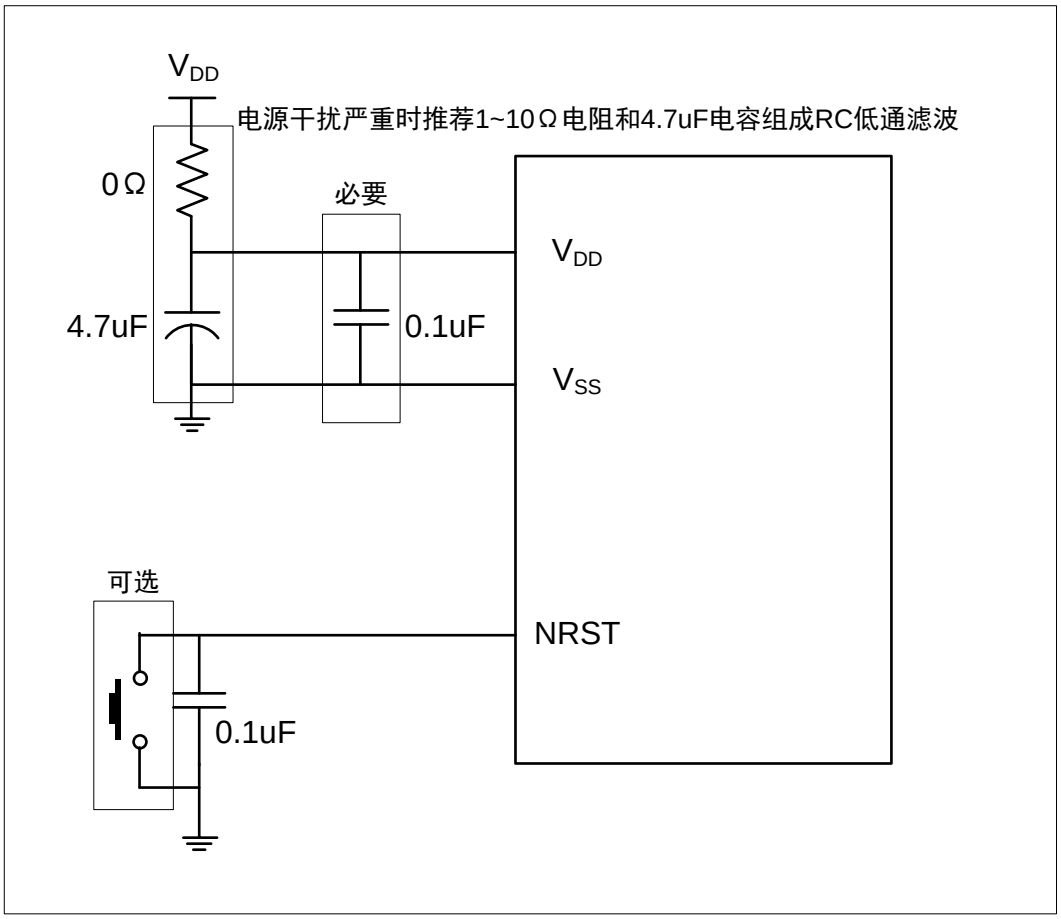

### 6.1.5. 引脚输入电压

**图 6-2** 引脚输入电压



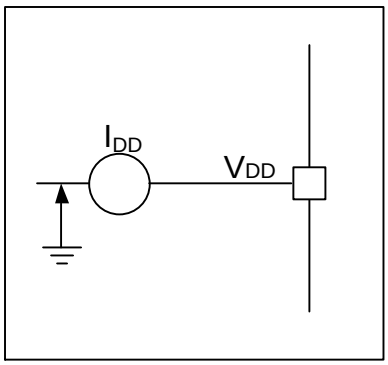
### 6.1.6. 供电方案

**图 6-3 供电方案图**




### 6.1.7. 电流消耗测量

**图 6-4 电流消耗测量方案**



## 6.2. 绝对最大额定值

加在器件上的载荷如果超过最大额定值列表给出的值，可能会导致器件永久性地损坏。这里只给出了能承受的最大载荷，并不意味着在此条件下器件的功能性运行正常。器件长期工作在最大值条件下会影响器件的可靠性。

**表 6-1** 最大额定电压特性

| 符号 | 描述 | 最小值 | 最大值 | 单位 |
|---|---|---|---|---|
| $V_{DD}$-$V_{SS}$ | 外部主供电电压(1) | -0.3 | 6.0 | V |
| $V_{IN}$ | 在引脚上的输入电压 | $V_{SS}$-0.3 | $V_{DD}$+0.3(2) | V |

1. 所有的电源（$V_{DD}$）和地（$V_{SS}$)引脚必须始终连接到外部允许范围内的供电系统上。
2. 不超过 6.0 V。

**表 6-2** 最大额定电流特性

| 符号 | 描述 | 最大值 | 单位 |
|---|---|---|---|
| $\Sigma I_{VDD}$ | 经过 $V_{DD}$ 电压线的总电流（供应电流）(1) | 100 | mA |
| $\Sigma I_{VSS}$ | 经过 $V_{SS}$ 地线的总电流（流出电流）(1) | 100 | |
| $I_{IO}$ | 任意 I/O 和控制引脚上的输出灌电流 | 28 | |
| | 任意 I/O 和控制引脚上的输出源电流 | 10 | |

1. 电源（$V_{DD}$）和地（$V_{SS}$）引脚必须始终连接到外部允许范围内的供电系统上。

**表 6-3 温度特性**

| 符号 | 描述 | 数值 | 单位 |
|---|---|---|---|
| $T_A$ | 工作环境温度范围 | -40 to +105 | °C |
| $T_{STG}$ | 存储温度范围 | -65 to +150 | °C |

## 6.3. 操作条件

### 6.3.1. 通用工作条件

**表 6-4** 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 | 72 | MHz |
| $f_{PCLK}$ | 内部 APB 时钟频率 | | - | 0 | 72 | MHz |
| $V_{DD}$ | 标准工作电压 | | - | 1.8 | 5.5 | V |
| | 模拟部分工作电压 | ADC | - | 2.5 | 5.5 | V |
| | | OP | | 2.5 | 5.5 | V |
| | | COMP | | 2.1 | 5.5 | V |
| $T_A$ | 环境温度 | | - | -40 | 105 | °C |

1. 如果 $T_A$ 较低，只要 $T_J$ 不超过 $T_{JMAX}$，则允许更高的 $P_D$ 数值。

### 6.3.2. 上电和掉电时的工作条件

下表参数是在一般工作条件测试得出。

**表 6-5** 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 | $T_A$ = 25 °C | - | 54 | V/ms |
| | $V_{DD}$ 下降速率 | | - | ∞ | |

### 6.3.3. 内部复位和电源控制模块特性

**表 6-6** 内部复位和电源控制模块特性表

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{POR/PDR}$ | 上电/掉电复位阈值 | 下降沿 | - | 1.55 | - | V |
| | | 上升沿 | - | 1.65 | - | V |
| $V_{PDRHYST}$(1) | 掉电迟滞 | - | - | 100 | - | mV |
| $t_{RSTTEMPO}$(1) | 复位持续时间 | - | - | 2.5 | - | ms |

1. 数据基于特性值，并未生产测试。

**表 6-7** 欠压复位电压检测特性表

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{LVR0}$ | LVR 阈值 0 | LVRS[2:0] = 000 | - | 1.8 | - | V |
| $V_{LVR1}$ | LVR 阈值 1 | LVRS[2:0] = 001 | - | 2.0 | - | V |
| $V_{LVR2}$ | LVR 阈值 2 | LVRS[2:0] = 010 | - | 2.2 | - | V |
| $V_{LVR3}$ | LVR 阈值 3 | LVRS[2:0] = 011 | - | 2.4 | - | V |
| $V_{LVR4}$ | LVR 阈值 4 | LVRS[2:0] = 100 | - | 2.6 | - | V |
| $V_{LVR5}$ | LVR 阈值 5 | LVRS[2:0] = 101 | - | 2.8 | - | V |
| $V_{LVR6}$ | LVR 阈值 6 | LVRS[2:0] = 110 | - | 3.0 | - | V |
| $V_{LVR7}$ | LVR 阈值 7 | LVRS[2:0] = 111 | - | 3.2 | - | V |

**表 6-8** 可编程电压检测特性表

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{PVD0}$ | PVD 阈值 0 | PLS[3:0] = 0000 (上升沿) | - | 1.78 | - | V |
| | | PLS[3:0] = 0000 (下降沿) | - | 1.68 | - | V |
| $V_{PVD1}$ | PVD 阈值 1 | PLS[3:0] = 0001 (上升沿) | - | 1.88 | - | V |
| | | PLS[3:0] = 0001 (下降沿) | - | 1.78 | - | V |
| $V_{PVD2}$ | PVD 阈值 2 | PLS[3:0] = 0010 (上升沿) | - | 1.98 | - | V |
| | | PLS[3:0] = 0010 (下降沿) | - | 1.88 | - | V |
| $V_{PVD3}$ | PVD 阈值 3 | PLS[3:0] = 0011 (上升沿) | - | 2.08 | - | V |
| | | PLS[3:0] = 0011 (下降沿) | - | 1.98 | - | V |
| $V_{PVD4}$ | PVD 阈值 4 | PLS[3:0] = 0100 (上升沿) | - | 2.18 | - | V |
| | | PLS[3:0] = 0100 (下降沿) | - | 2.08 | - | V |
| $V_{PVD5}$ | PVD 阈值 5 | PLS[3:0] = 0101 (上升沿) | - | 2.28 | - | V |
| | | PLS[3:0] = 0101 (下降沿) | - | 2.18 | - | V |
| $V_{PVD6}$ | PVD 阈值 6 | PLS[3:0] = 0110 (上升沿) | - | 2.38 | - | V |
| | | PLS[3:0] = 0110 (下降沿) | - | 2.28 | - | V |
| $V_{PVD7}$ | PVD 阈值 7 | PLS[3:0] = 0111 (上升沿) | - | 2.48 | - | V |
| | | PLS[3:0] = 0111 (下降沿) | - | 2.38 | - | V |
| $V_{PVD8}$ | PVD 阈值 8 | PLS[3:0] = 1000 (上升沿) | - | 2.58 | - | V |
| | | PLS[3:0] = 1000 (下降沿) | - | 2.48 | - | V |
| $V_{PVD9}$ | PVD 阈值 9 | PLS[3:0] = 1001 (上升沿) | - | 2.68 | - | V |
| | | PLS[3:0] = 1001 (下降沿) | - | 2.58 | - | V |
| $V_{PVD10}$ | PVD 阈值 10 | PLS[3:0] = 1010 (上升沿) | - | 2.78 | - | V |
| | | PLS[3:0] = 1010 (下降沿) | - | 2.68 | - | V |
| $V_{PVD11}$ | PVD 阈值 11 | PLS[3:0] = 1011 (上升沿) | - | 2.88 | - | V |
| | | PLS[3:0] = 1011 (下降沿) | - | 2.78 | - | V |
| $V_{PVD12}$ | PVD 阈值 12 | PLS[3:0] = 1100 (上升沿) | - | 3.08 | - | V |
| | | PLS[3:0] = 1100 (下降沿) | - | 2.98 | - | V |
| $V_{PVD13}$ | PVD 阈值 13 | PLS[3:0] = 1101 (上升沿) | - | 3.28 | - | V |
| | | PLS[3:0] = 1101 (下降沿) | - | 3.18 | - | V |
| $V_{PVD14}$ | PVD 阈值 14 | PLS[3:0] = 1110 (上升沿) | - | 3.68 | - | V |
| | | PLS[3:0] = 1110 (下降沿) | - | 3.58 | - | V |
| $V_{PVD15}$ | PVD 阈值 15 | PLS[3:0] = 1111 (上升沿) | - | 3.98 | - | V |
| | | PLS[3:0] = 1111 (下降沿) | - | 3.88 | - | V |
| $V_{PVDhyst}$ | PVD 迟滞 | - | - | 100 | - | mV |

### 6.3.4. 内部基准电压

**表 6-9** 中给出的参数来自于**表 6-4** 中概括的环境温度和电源电压条件下的测试。

**表 6-9** 嵌入式内部基准电压 (1)

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{REFINT}$ | 内部基准电压 | -40 °C – 105 °C | 1.41 | 1.45 | 1.49 | V |
| $t_{START}$ | 运行稳定等待时间 | - | 5 | - | - | μs |

1. 设计保证，未在产品中测试。

**表 6-10** ADC 参考电压

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值(1) | 典型值 | 最大值(1) | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{ADCREF}$ | ADC 内部参考电压 3.6V | (-40 °C – 105 °C) | 3.52 | 3.6 | 3.68 | V |
| | ADC 内部参考电压 4.2V | (-40 °C – 105 °C) | 4.11 | 4.2 | 4.29 | |

1. 设计保证，未在产品中测试。

**表 6-11** DAC 参考电压

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值(1) | 典型值 | 最大值(1) | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{DACREF}$ | DAC 内部 3.6V 参考电压 | (-40 °C – 105 °C) | 3.52 | 3.6 | 3.68 | V |
| | DAC 内部 4.2V 参考电压 | (-40 °C – 105 °C) | 4.11 | 4.2 | 4.29 | |
| | DAC 参考电压 | (-40 °C – 105 °C) | - | $V_{DD}$ | - | |

1. 设计保证，未在产品中测试。

### 6.3.5. 供电电流特性

电流消耗是多种参数和因素的综合指标，这些参数和因素包括工作电压、环境温度、I/O 引脚的负载、产品的软件配置、工作频率、I/O 脚的翻转速率、程序在存储器中的位置及执行的代码等。

电流消耗的测量方法说明，详见**图 6-4**。

本节中给出的所有运行模式下的电流消耗测量值，都是在执行一套精简的代码。

微控制器处于下列条件：

- 所有的 I/O 引脚都处于模拟输入模式。
- 所有的外设处于关闭状态，除非特殊说明。
- 闪存存储器的访问时间随 $f_{HCLK}$ 的频率不同而相应调整。
- 当外设打开时 $f_{HCLK} = f_{PCLK}$。

**表 6-12** 在 $V_{DD}$ = 5 V 条件下典型电流消耗

| 符号 | 参数 | 条件 | $f_{HCLK}$ | 所有外设使能 | | 所有外设关闭 | | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 典型值@$T_A$(1) | | 典型值@$T_A$(1) | | |
| | | | | 25 °C | 105 °C | 25 °C | 105 °C | |
| $I_{DD}$ | 运行模式的电流 | HSI | 36 MHz | 4.6 | 4.8 | 3.8 | 4.0 | mA |
| | | | 72 MHz | 6.9 | 7.1 | 5.3 | 5.5 | |
| | | LSI | 15 KHz | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0.4 | |
| | 睡眠模式下的电流 | HSI | 36 MHz | 2.0 | 2.1 | 1.1 | 1.2 | mA |
| | | | 72 MHz | 3.1 | 3.3 | 1.3 | 1.4 | |
| | | LSI | 15 KHz | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0.4 | |

1. 数值基于特性值，未实际生产测试。

**表 6-13** 停止模式和待机模式下电流消耗 (1)

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值(1) | 典型值 | 最大值(1) | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $I_{DD}$ | 停止模式电流 | $T_A$ = -40 °C – 105 °C | - | 27 | - | μA |
| | 待机模式电流 | $T_A$ = -40 °C – 105 °C | - | 14 | - | |

1. 数值基于特性值，并未生产测试。

### 6.3.6. 低功耗模式唤醒时间

**表 6-14** 低功耗模式唤醒时间

| 符号 | 参数 | 条件 | 典型值@$V_{DD}$ | 单位 |
|---|---|---|---|---|
| | | | 3.3 V | |
| $t_{WUSTOP}$ | 从停止模式唤醒 | 调节器处于低功耗运行模式 | 40 (1) | μs |
| $t_{WUSTANDBY}$ | 从待机模式唤醒 | 调节器处于极低功耗模式 | 80 (1) | |
| $t_{WUSLEEP}$ | 从睡眠模式唤醒 | - | 12 个 SYSCLK 时钟周期 | |

1. 数值为设计值，并未生产测试。

### 6.3.7. 内部时钟源特性

#### 内部高速 (HSI) RC 振荡器

下表给出的特性参数是在环境温度和供电电压符合**表 6-4** 的条件下测量得到。

**表 6-15** HSI 振荡器特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值(1) | 典型值(1) | 最大值(1) | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $f_{HSI}$ | 频率 | 25 °C | - | 72 | - | MHz |
| ACC | HSI 精度 | 0 °C – 85 °C | -1.5 | - | +1.5 | % |
| | | -40 °C – 105 °C | -2.0 | - | +2.0 | |
| $I_{DD(HSI)}$ | HSI 功耗 | - | - | 380 | - | μA |

1. 数值基于特性值，并未生产测试。

#### 内部低速 (LSI) RC 振荡器

**表 6-16** LSI 振荡器特性

| 符号 | 参数 | 最小值(1) | 典型值(1) | 最大值(1) | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|
| $f_{LSI}$ | 频率 | 13.5 | 15 | 16.5 | kHz |
| $I_{DD(LSI)}$(1) | LSI 功耗 | - | 0.21 | - | μA |

1. 数据基于特性值，并未生产测试。

### 6.3.8. 存储器特性

除非特殊说明，所有特性参数是在 $T_A$ = -40 °C – 105 °C 得到。

**表 6-17** Flash 存储器特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值(1) | 典型值(1) | 最大值(1) | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| tprog | 32bit<br>编程时间 | $T_A$ = -40 °C – 105 °C | - | 160 | - | μs |
| $t_{ERASE}$ | 页(1 KB)<br>擦除时间 | $T_A$ = -40 °C – 105 °C | - | 2 | - | ms |
| $t_{ME}$ | 整片<br>擦除时间 | $T_A$ = -40 °C – 105 °C | - | 30 | - | ms |
| $I_{DD}$ | 供电电流 | 写模式 | - | - | 1.6 | mA |
| | | 擦除模式 | - | - | 0.8 | mA |

1. 数值基于特性值，并未生产测试。

**表 6-18** Flash 存储器寿命和数据保存期限

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值(1) | 单位 |
|---|---|---|---|---|
| $N_{END}$ | 寿命 (擦写次数) | $T_A$ = -40 °C – 105 °C | 100 | 千次 |
| $t_{RET}$ | 数据保存期限 | $T_A$ = 85 °C (2)，1000 次擦写之后 | 20 | 年 |
| | | $T_A$ = 105 °C (2)，1000 次擦写之后 | 10 | |

1. 数值基于特性值，并未生产测试。
2. 满足整个温度范围。

### 6.3.9. 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)**

当运行一个简单的应用程序时 (通过 I/O 端口闪烁 2 个 LED)，测试样品被施加 2 种电磁干扰直到产生错误，LED 闪烁指示错误的产生：

- 静电释放 (ESD) (正放电和负放电) 施加到芯片的所有的引脚直到产生功能性错误。这个测试符合 IEC 61000-4-4 标准。
- FTB：在所有 $V_{DD}$ 和 $V_{SS}$ 上各接 1μF 的电容 (共 1μF*4)，并施加一个瞬变电压的脉冲群 (正向和负向) 直到产生功能性错误，这个此时符合 IEC 61000-4-4 标准。

芯片复位可以使系统恢复正常操作。

**表 6-19** EMS 特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 级别/类型 |
|---|---|---|---|
| $V_{FESD}$ | 施加到任意 I/O 脚，从而导致功能性错误的电压极限 | $V_{DD}$=5.0 V, $T_A$=25 °C, $f_{HCLK}$ = 72 MHz，符合 IEC 61000-4-2 标准 | TBD |
| $V_{EFTB}$ | 在 $V_{DD}$ 和 $V_{SS}$ 上通过 1μF 的电容(共 1μF*4)施加的，直到产生功能性错误的瞬变脉冲电压极限 | $V_{DD}$=5.0 V, $T_A$=25 °C, $f_{HCLK}$ = 72 MHz，符合 IEC 61000-4-4 标准 | TBD |

**设计牢靠的软件以避免噪声的问题**

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。应该注意的是，良好的 EMC 性能与用户应用和具体软件密切相关。因此建议用户对软件进行 EMC 优化，并进行与 EMC 相关的认证测试。

**软件建议**

软件的流程中必须包含控制程序跑飞的情况如：

- 被破坏的程序计数器
- 意外的复位
- 关键数据被破坏

**认证前的试验**

很多常见的失效 (意外的复位和程序计数器被破坏)，可以通过手动在 NRST 管脚上接上低电平或在晶振引脚引入一个持续 1 秒的低电平重现。

在进行 ESD 测试时，可以把超出应用要求的电压直接施加到芯片上，当检测到意外动作时，软件部分需要加强以防范发生不可恢复的错误。

### 6.3.10. 电气敏感特性

基于三个不同的测试 (ESD，LU)，使用特定的测量方法，对芯片进行强度测试以决定它的电气敏感性方面的性能。

**静电释放 (ESD)**

静电释放 (一个正的脉冲然后间隔一秒钟一个负的脉冲) 施加到所有的样品的引脚上，样品大小与芯片上供电引脚数目相关。这个测试符合 MIL-STD-883 / JESD22-C101 标准。

**表 6-20** ESD 特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 封装 | 类型 | 最小值(1) | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{ESD(HBM)}$ | 静电释放电压 (人体模型) | $T_A$ = 25 °C，符合 MIL-STD-883 标准 | 所有 | 3A | 4000 | V |
| $V_{ESD(CDM)}$ | 静电释放电压 (充电设备模型) | $T_A$ = 25 °C，符合 JESD22-C101 标准 | 所有 | C3 | 1000 | V |

1. 数据基于特性值，并未生产测试。

**静态拴锁**

为了评估拴锁性能，需要进行 2 个互补的静态拴锁测试：

- 为了每个电压引脚，提供超过极限的供电电压
- 在每个输入、输出和可配置的 I/O 引脚上注入电流

这些测试符合 EIA/JESD 78 IC 拴锁标准。

**表 6-21 电气敏感特性**

| 符号 | 参数 | 条件 | 类型 |
|---|---|---|---|
| LU | 静态拴锁类型 | $T_A$ = 25 °C，符合 JESD78 标准 | I 类 A |

### 6.3.11. I/O 端口特性

- **通用输入输出特性**

除非另有规定，下表列出的参数是按照**表 6-4** 的条件测量得到。

**表 6-22 I/O 静态特性**

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值(1) | 典型值(1) | 最大值(1) | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{IL}$ | 输入低电平电压 | FC I/O | - | - | 0.2*$V_{DD}$ | V |
| $V_{IH}$ | 输入高电平电压 | FC I/O | 0.8*$V_{DD}$ | - | - | V |
| $I_{IKg}$ | 输入漏电流 | FC I/O<br>$V_{SS} \le V_{IN} \le V_{DD}$ | - | - | ±1 | μA |
| $R_{PU}$ | 弱上拉等效电阻(2) | $V_{IN} = V_{SS}$ | - | 25 | - | kΩ |
| $R_{PD}$ | 弱下拉等效电阻(2) | $V_{IN} = V_{DD}$ | - | 25 | - | kΩ |
| $C_{IO}$ | I/O 引脚的电容 | - | - | 5 | - | pF |

1. 数据基于特性值，并未生产测试。
2. 上拉和下拉电阻是设计为一个真正的电阻串联一个可开关的 PMOS/NMOS 实现。这个 PMOS / NMOS 开关的电阻很小 (约占 10%)。

- **输出驱动电流**

GPIO (通用输入/输出端口) 可以吸收或输出多达+/-8 mA 电流，并且吸收+20 mA 电流 (不严格的 $V_{OL}$)。

在用户应用中，I/O 脚的数目必须保证驱动电流不能超过 **6.2** 节给出的绝对最大额定值：

- 所有 I/O 端口从 VDD 上获取的电流总和，加上 MCU 在 VDD 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 6-2**)。
- 所有 I/O 端口吸收并从 VSS 上流出的电流总和，加上 MCU 在 VSS 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 6-2**)。

- **输出电压**

除非特别说明下表中的参数是使用环境温度和 $V_{DD}$ 供电电压符合**表 6-4** 的条件测量得到。

**表 6-23 输出电压特性(1)**

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 最大值 | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|
| $V_{OH}$(2) | I/O 引脚输出高电平 | $\|I_{IO}\|$ = 8 mA, $V_{DD}$ ≥ 3.6 V, [SRCIRx](3) = 1 | $V_{DD}$-0.5 | - | V |
| | | $\|I_{IO}\|$ = 4 mA, $V_{DD}$ ≥ 3.6 V, [SRCIRx](3)=0 | $V_{DD}$-0.5 | - | |
| | | $\|I_{IO}\|$ = 4 mA, $V_{DD}$ ≥ 1.8 V, [SRCIRx](3) = 1 | $V_{DD}$-0.5 | - | |
| | | $\|I_{IO}\|$ = 2 mA, $V_{DD}$ ≥ 1.8 V, [SRCIRx](3) = 0 | $V_{DD}$-0.5 | - | |
| $V_{OL}$(2) | I/O 引脚输出低电平 | $\|I_{IO}\|$ = 20 mA, $V_{DD}$ ≥ 3.6 V, [SNKIRx](4) = 1 | - | 0.4 | V |
| | | $\|I_{IO}\|$ = 8 mA, $V_{DD}$ ≥ 3.6 V, [SNKIRx](4) = 0 | - | 0.3 | |
| | | $\|I_{IO}\|$ = 8 mA, $V_{DD}$ ≥ 1.8 V, [SNKIRx](4) = 1 | - | 0.3 | |
| | | $\|I_{IO}\|$ = 4 mA, $V_{DD}$ ≥ 1.8 V, [SNKIRx](4) = 0 | - | 0.3 | |

1. 芯片输入或者输出的电流 $I_{IO}$ 必须遵守**表 6-2** 中给出的绝对最大额定值，同时所有 I/Os 吸收或输出电流之和必须遵守绝对最大额定值。
2. 数据基于特性值。并未生产测试。
3. 详情请查阅参考手册端口源电流强度控制寄存器。
4. 详情请查阅参考手册端口灌电流强度控制寄存器

### 6.3.12. NRST 管脚特性

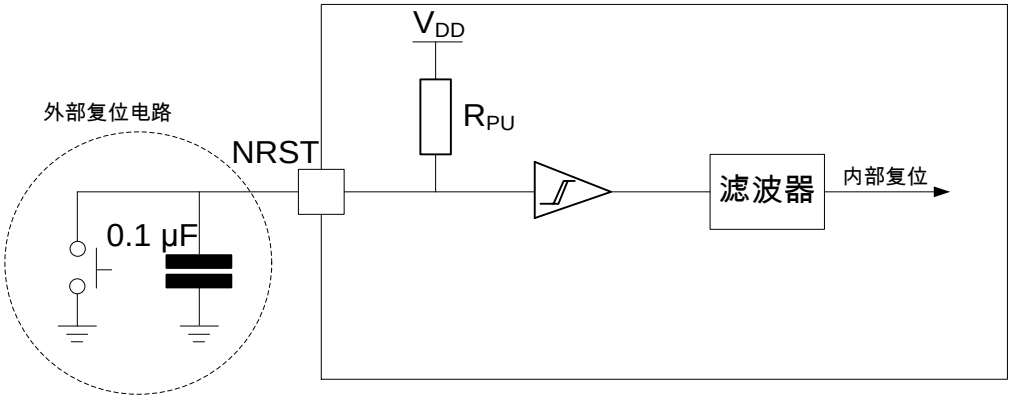
NRST 管脚输入驱动使用 CMOS 工艺，它连接了一个不能断开的上拉电阻 $R_{PU}$。除非特殊说明，下表列出参数是使用环境温度和 $V_{DD}$ 供电电压符合**表 6-4** 的条件测量得到的。

**表 6-24 NRST 管脚特性**

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值(1) | 典型值(1) | 最大值(1) | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{IL(NRST)}$ | NRST 输入低电平电压 | - | - | - | 0.2*$V_{DD}$ | V |
| $V_{IH(NRST)}$ | NRST 输入高电平电压 | - | 0.8*$V_{DD}$ | - | - | |
| $R_{PU}$ | 弱上拉等效电阻 | - | - | 25 | - | kΩ |
| $V_{F(NRST)}$ | NRST 滤波 | - | - | 170 | - | ns |

1. 数据基于特性值，并未生产测试。

**图 6-5** 建议的 NRST 引脚保护




1. 外部电容为了保护防止寄生复位。

用户必须保证 NRST 管脚的电位低于**表 6-24** 中最大的 $V_{IL(NRST)}$,否则 MCU 不能复位。

### 6.3.13. 12 位 ADC 特性

除非另有说明，**表 6-25** 中给出的参数是在**表 6-4** 中概括的环境温度、$f_{PCLK}$ 频率和 $V_{DD}$ 电源电压条件下进行测试得出的初步数值。

**表 6-25** ADC 特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{DD}$ | 用于 ADC 的模拟电源电压 | ADC_VREF = $V_{DD}$ | 2.5 | - | 5.5 | V |
| $I_{DD(ADC)}$ | ADC 工作电流 | $V_{DD}$ = 3.3 V,<br>ADCCLK = 64 MHz，高速模式 | - | 1.6 | - | mA |
| $f_{ADC}$ | ADC 时钟频率 | - | - | - | 64 | MHz |
| $f_S$(1) | 采样速率 | - | - | 1.2 | - | MHz |
| $V_{AIN}$ | 转换电压范围 | - | $V_{SS}$ | - | ADC<br>_VREF | V |
| $t_{CONV}$(1) | 整个转换时间<br>(包括采样时间) | 12 位分辨率 | - | 52 | - | 1/$f_{ADC}$ |

1. 设计保证，未在产品中测试。

**表 6-26** ADC 精度(1)

| 符号 | 参数 | 测试条件 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|
| EO | 偏移误差 | 2.5 ≤ $V_{DD}$ ≤ 5.5 | ±1.5 | - | LSB |
| EG | 增益误差 | 2.5 ≤ $V_{DD}$ ≤ 5.5 | ±1.5 | - | |
| ED | 差分线性误差 | 2.5 ≤ $V_{DD}$ ≤ 5.5 | ±1.5 | - | |
| EL | 积分线性误差 | 2.5 ≤ $V_{DD}$ ≤ 5.5 | ±2.0 | - | |

1. 数据基于特性值，并未生产测试。

**图 6-6** ADC 精度特性

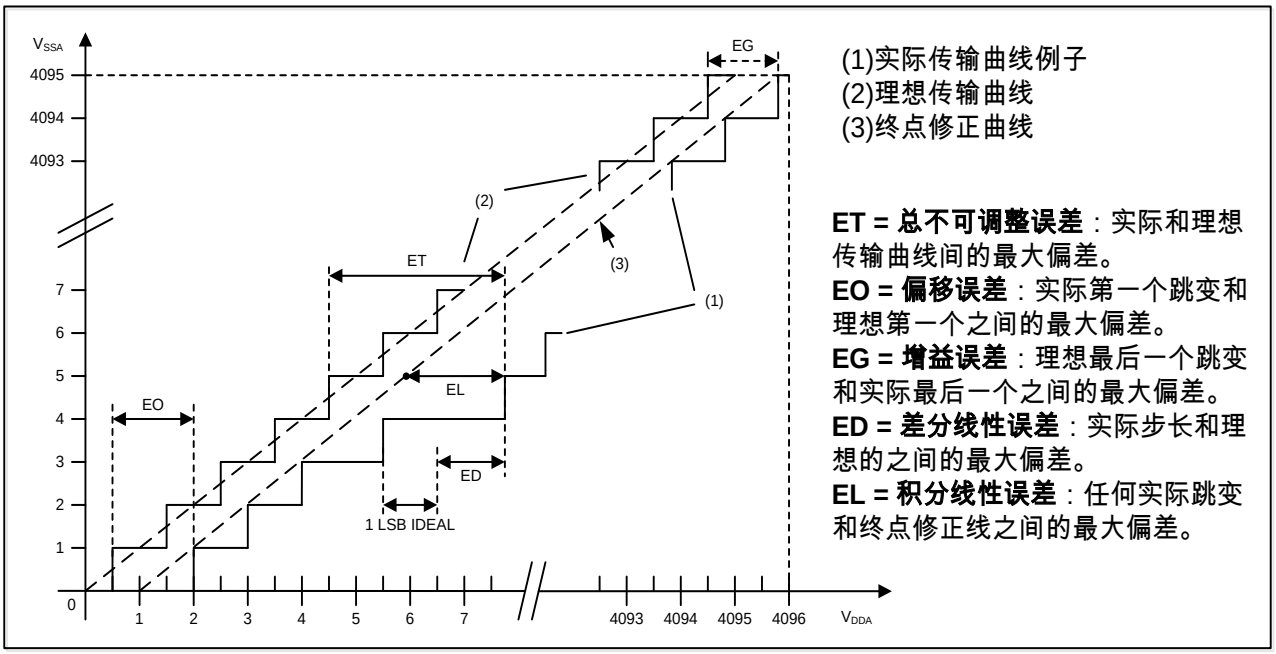
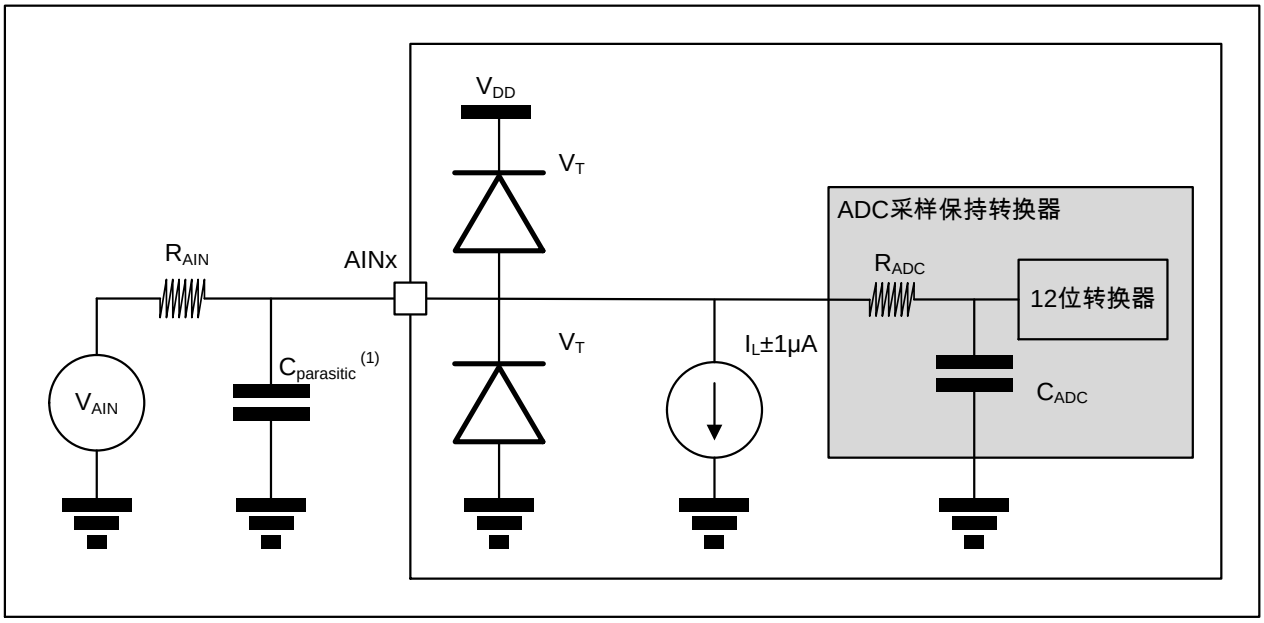



**图 6-7** ADC 典型应用连接图




1. Cparasitic 代表 PCB 板上的电容（取决于焊接和 PCB 布线质量）加上 PAD 电容（大约 7 pF）。一个高的 Cparasitic 数值会降低转换精度。为了弥补这点，应该要减小 $f_{ADC}$。

### 通用 PCB 设计参考

电源供电去耦如图 6-3 所示的方法执行。电容应该是陶瓷的（质量好），并且应该尽可能摆放在靠近芯片。

### 6.3.14. 温度传感器（$V_{TS}$）特性

**表 6-27** TS 特性

| 符号 | 参数 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|
| Avg_Slope(1) | 平均斜率 | - | -3.5 | - | mV/°C |
| $V_{25}$ | 25 °C 下的电压（±5 °C)(2) | - | 1.17 | - | V |
| $T_{TS_sample}$ | 读取温度传感器电压的采样时间 | 4 | - | - | μs |

1. 设计保证，未在产品中测试。
2. 在 $V_{DD}$ = 3.0 V ± 10 mV 条件下测量。$V_{25}$ ADC 转换结果存储在 TS_CAL1 字节中。参考**表 3-2**：温度传感器校准值。

### 6.3.15. PGA1/2/3 电路特性

**表 6-28** PGA1 特性(1)(2)

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{DD}$ | 电源电压 | - | 2.5 | - | 5.5 | V |
| $I_Q$ | 静态电流 | - | - | 1.2 | - | mA |
| $I_{SD}$ | 关断电流 | - | - | 10 | - | nA |
| $T_A$ | 工作温度 | - | -40 | 25 | 105 | °C |
| 输入特性 | | | | | | |
| $V_{OS}$ | 输入失调电压 | 校准前 | - | ±5 | - | mV |
| | | 校准后 | - | ±0.5 | - | |
| $V_{CM}$ | 共模输入电压范围 | -40°C ~ 105 °C, G ≥ 2 | (0.35-Vref)/G | - | ($V_{DD}$-0.35-Vref)/G | V |
| 输出特性 | | | | | | |
| PGA Gain | PGA 增益 | - | - | 1.0<br>2.0<br>2.5<br>5.0<br>7.5<br>10.0<br>15.0<br>30.0 | - | - |
| Gain error | 增益误差 | - | -2 | - | +2 | % |
| $C_{LOAD}$ | 电容性负载 | - | - | 10 | - | pF |
| $V_{OH}$ | 最大输出电压 | -40°C ~ 105 °C | - | - | $V_{DD}$ - 0.35 | V |
| $V_{OL}$ | 最小输出电压 | -40°C ~ 105 °C | 0.35 | - | - | V |
| 频率特性 | | | | | | |
| BW | 带宽 | $R_{LOAD}$ = 2 kΩ, $C_{LOAD}$ = 100 pF, G = 1 | - | 10 | - | MHz |
| PSRR | 电源抑制比 | $V_{DD}$ = 2.5 ~ 5.5 V | - | 60 | - | dB |
| CMRR | 共模抑制比 | -40°C ~ 105 °C | - | 80 | - | dB |
| 瞬态特性 | | | | | | |
| SR | 摆率 | - | - | 10 | - | V/μs |

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $T_{STB}$ | 稳定时间 | - | - | 4 | - | μs |

1. 设计保证，未在产品中测试。
2. G 为增益倍数。

**表 6-29** PGA23 特性(1)(2)

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{DD}$ | 电源电压 | - | 2.5 | - | 5.5 | V |
| $I_Q$ | 静态电流 | - | - | 1.0 | - | mA |
| $I_{SD}$ | 关断电流 | - | - | 10 | - | nA |
| $T_A$ | 工作温度 | - | -40 | 25 | 105 | °C |
| 输入特性 | | | | | | |
| $V_{OS}$ | 输入失调电压 | - | -10 | | +10 | mV |
| $V_{CM}$ | 共模输入电压范围 | -40°C ~ 105 °C,G ≥ 2 | (0.35-Vref)/G | - | ($V_{DD}$-0.35-Vref)/G | V |
| 输出特性 | | | | | | |
| PGA gain | PGA 增益 | - | - | 1.0<br>2.0<br>2.5<br>5.0<br>7.5<br>10.0<br>15.0 | - | - |
| Gain error | 增益误差 | - | -2 | - | +2 | % |
| $C_{LOAD}$ | 电容性负载 | - | - | 10 | - | pF |
| $V_{OH}$ | 最大输出电压 | -40°C ~ 105 °C | - | - | $V_{DD}$ - 0.35 | V |
| $V_{OL}$ | 最小输出电压 | -40°C ~ 105 °C | 0.35 | - | - | V |
| 频率特性 | | | | | | |
| BW | 带宽 | $R_{LOAD}$ = 2 kΩ, $C_{LOAD}$ = 100 pF, G = 1 | - | 10 | - | MHz |
| PSRR | 电源抑制比 | $V_{DD}$ = 2.5 ~ 5.5 V | - | 60 | - | dB |
| CMRR | 共模抑制比 | -40°C ~ 105 °C | - | 80 | - | dB |
| 瞬态特性 | | | | | | |
| SR | 摆率 | - | - | 7 | - | V/μs |
| $T_{STB}$ | 稳定时间 | - | - | - | 2 | μs |

1. 设计保证，未在产品中测试。
2. G 为增益倍数。

### 6.3.16. 比较器特性

**表 6-30** 比较器特性(1)(2)

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{DD}$ | 电源电压 | - | 2.1 | - | 5.5 | V |
| $I_Q$ | 静态电流 | - | - | 80 | | μA |
| $I_{SD}$ | 关断电流 | - | - | 5 | - | nA |
| $T_A$ | 工作温度 | - | -40 | 25 | 105 | °C |
| 输入特性 | | | | | | |
| $V_{OS}$ | 输入失调电压 | - | -10 | - | 10 | mV |
| $V_{CM}$ | 共模输入电压范围 | -40°C ~ 105 °C | -0.1 | - | $V_{DD}$-1.3 | V |
| $V_{HYS}$ | 输入迟滞电压 | $V_{DD}$ = 2.1 ~ 5.5 V,<br>$V_{IN+}$ = 0.5 V | - | 0<br>±10<br>±20<br>±60 | - | mV |
| 输出特性 | | | | | | |
| $V_{OH}$ | 最大输出电压 | -40°C ~ 105 °C | - | - | $V_{DD}$ | V |
| $V_{OL}$ | 最小输出电压 | -40°C ~ 105 °C | 0 | - | - | V |
| 频率特性 | | | | | | |
| $A_{OL}$ | 开环增益 | - | - | 80 | - | dB |
| BW | 带宽 | - | - | 120 | - | MHz |
| PSRR | 电源抑制比 | $V_{DD}$ = 2.1 ~ 5.5 V,<br>$V_{IN+}$ = 1 V,<br>$V_{SENSE}$ = 0 mV | - | 80 | - | dB |
| CMRR | 共模抑制比 | $V_{DD}$ = 2.1 ~ 5.5 V,<br>-40°C ~ 105 °C | - | 90 | - | dB |
| 瞬态特性 | | | | | | |
| $T_{STB}$ | 稳定时间 | - | - | - | 2 | μs |
| $T_{PGD}$ | 响应延时 | $V_{COM}$ = 1 V,<br>$V_{IN+}$ = $V_{IN-}$ ± 0.1 V | - | 50 | 100 | ns |

1. 设计保证，未经量产测试。
2. $T_A$ = 25 °C，$V_{SENSE}$ = $V_{IN+}$ -$V_{IN-}$，$V_{DD}$ = 3.6 V，$V_{IN+}$ = 1V，除非另有说明。

### 6.3.17. TIM 定时器特性

有关输入输出复用功能引脚 (输出比较、输入捕获、外部时钟、PWM 输出) 的特性详情，参见**第 6.3.11 节**。

**表 6-31** TIMx 特性

| 符号 | 参数 | 条件 | 最小值(1) | 最大值(1) | 单位 |
|---|---|---|---|---|---|
| $t_{res}$(TIM) | 定时器分辨率 | - | - | - | $t_{TIMXCLK}$ |
| | | $f_{TIMXCLK}$ = 72 MHz | 13.9 | - | ns |
| $t_{COUNTER}$ | 当选择了内部时钟时，16 位计数器时钟周期 | - | - | 65536 | $t_{TIMXCLK}$ |
| | | $f_{TIMXCLK}$ = 72 MHz | 0.0139 | 910 | μs |
| $t_{MAX\ COUNT}$ | 最大可能的计数 | - | - | 65536*65536 | $t_{TIMXCLK}$ |
| | | $f_{TIMXCLK}$ = 72 MHz | - | 59.65 | s |

1. 设计保证，未在产品中测试。

**表 6-32** 独立看门狗在 15 kHz 时钟 (LSI) 下的最小最大超时时间(1)

| 分频系数 | PR[2:0] | 最小超时 RL[1:0] = 0x000 | 最大超时 RL[1:0] = 0xFFF | 单位 |
|---|---|---|---|---|
| /4 | 0 | 0.27 | 1092.26 | ms |
| /8 | 1 | 0.53 | 2184.53 | |
| /16 | 2 | 1.07 | 4369.07 | |
| /32 | 3 | 2.13 | 8738.13 | |
| /64 | 4 | 4.27 | 17476.27 | |
| /128 | 5 | 8.53 | 34952.53 | |
| /256 | 6 或 7 | 17.06 | 69905.07 | |

1. 上述超时时间是由 15 kHz 时给出的，但是微型控制器内部 RC 频率范围可以从 13.5 kHz 到 16.5 kHz。此外，即使由一个准确的外部 RC 振荡器频率，准确超时时间仍然需要依据 APB 时钟与 LSI 时钟的相位比值去确定，所以 RC 周期有很大的不确定性。

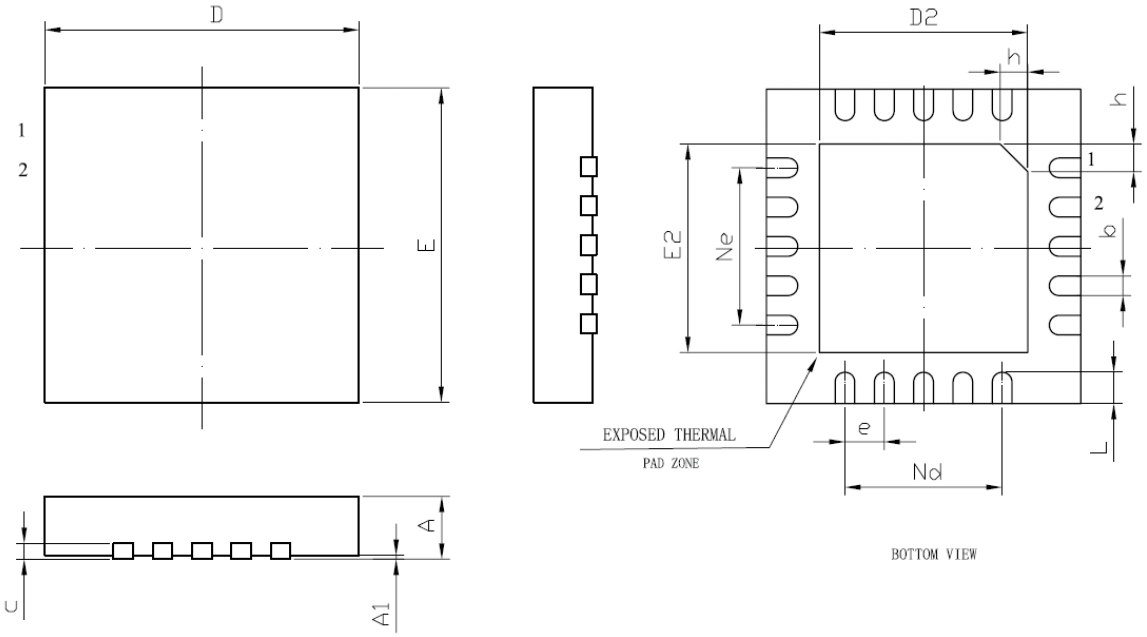
**表 6-33** 窗口看门狗在 72 MHz 时钟 (PCLK) 下的最小最大超时时间

| 预分频器 | WDGTB | 最小超时值 | 最大超时值 | 单位 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0.0568 | 3.6409 | ms |
| 2 | 1 | 0.1138 | 7.2817 | |
| 4 | 2 | 0.2275 | 14.5635 | |
| 8 | 3 | 0.4551 | 29.1271 | |

## 7. 封装信息

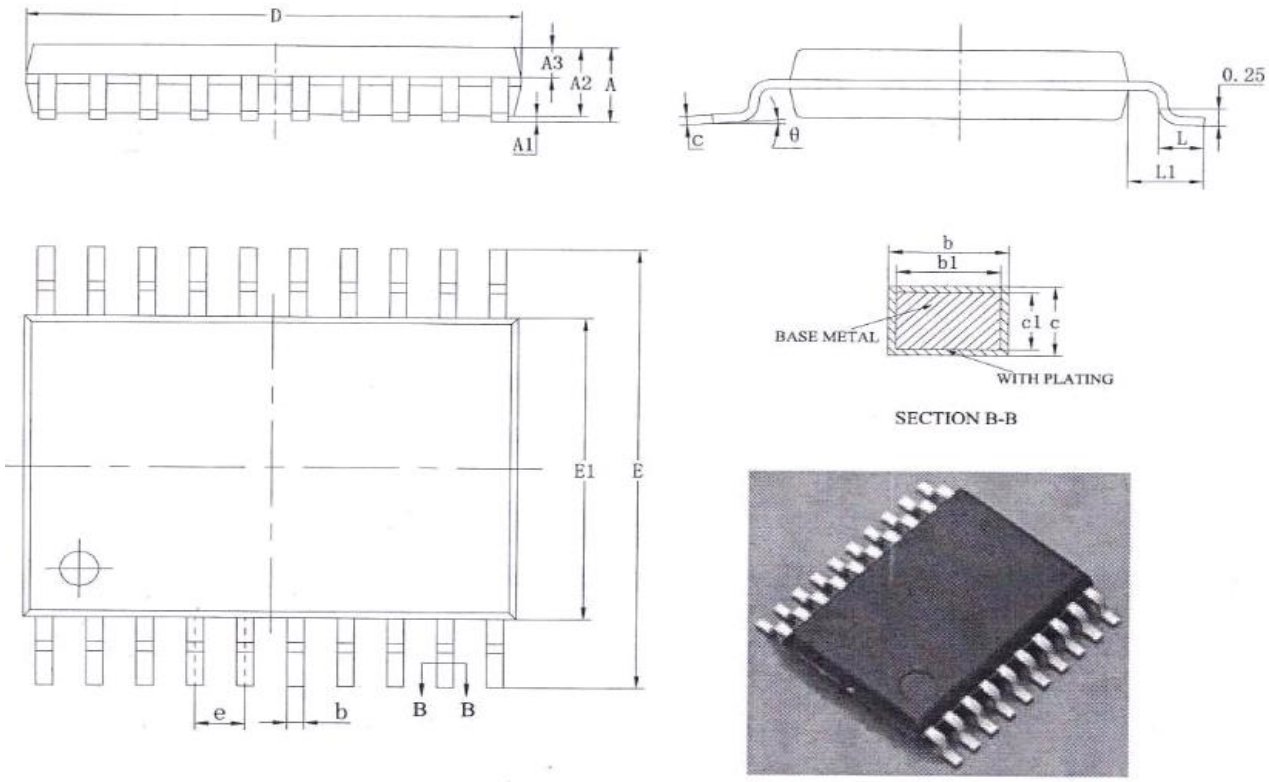
FT32E030x8 芯片有 QFN20，TSSOP20，SSOP24，QFN28，LQFP32 和 QFN32 封装。

**QFN20**



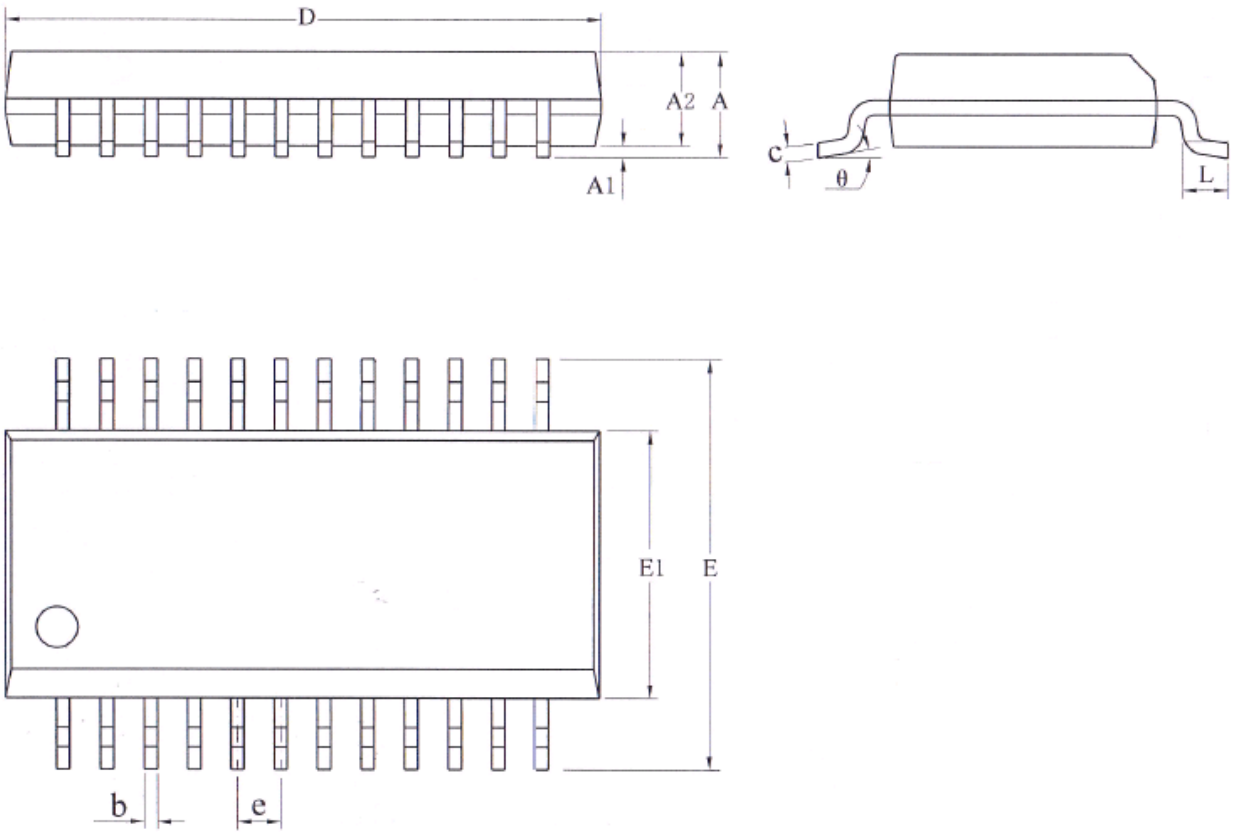

| Symbol | Dimensions (mm) | | | Dimensions (inches) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max |
| A | 0.700 | 0.750 | 0.800 | 0.028 | 0.030 | 0.031 |
| A1 | – | 0.020 | 0.050 | – | 0.001 | 0.002 |
| b | 0.180 | 0.250 | 0.300 | 0.007 | 0.010 | 0.012 |
| c | 0.180 | 0.200 | 0.250 | 0.007 | 0.008 | 0.010 |
| D | 3.900 | 4.000 | 4.100 | 0.154 | 0.157 | 0.161 |
| D2 | 2.550 | 2.650 | 2.750 | 0.100 | 0.104 | 0.108 |
| e | 0.500 BSC | | | 0.020 BSC | | |
| Ne | 2.000 BSC | | | 0.079 BSC | | |
| Nd | 2.000 BSC | | | 0.079 BSC | | |
| E | 3.900 | 4.000 | 4.100 | 0.154 | 0.157 | 0.161 |
| E2 | 2.550 | 2.650 | 2.750 | 0.100 | 0.104 | 0.108 |
| L | 0.350 | 0.400 | 0.450 | 0.014 | 0.016 | 0.018 |
| h | 0.300 | 0.350 | 0.400 | 0.012 | 0.014 | 0.016 |

## TSSOP20



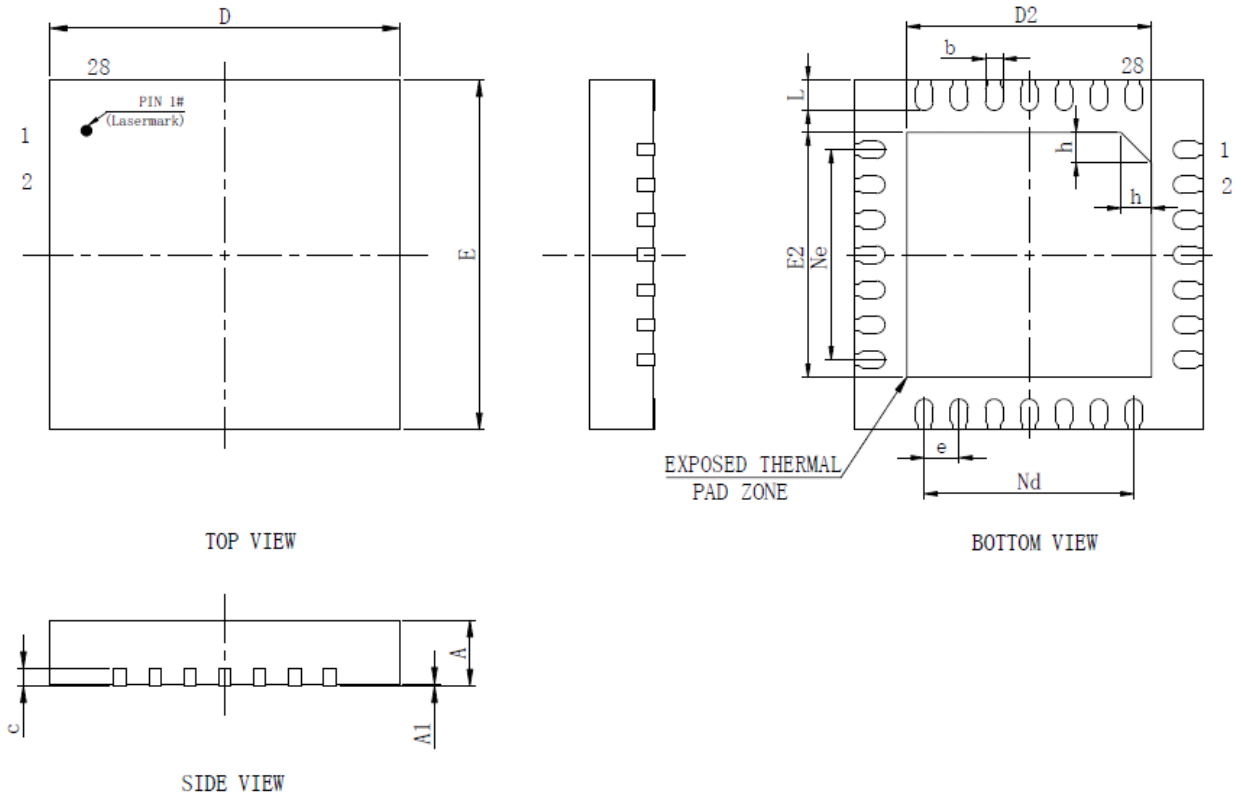

| Symbol | Dimensions (mm) | | Dimensions (inches) | |
|---|---|---|---|---|
| | Min | Max | Min | Max |
| A | – | 1.20 | – | 0.047 |
| A1 | 0.05 | 0.15 | 0.002 | 0.006 |
| A2 | 0.80 | 1.05 | 0.031 | 0.041 |
| A3 | 0.39 | 0.49 | 0.015 | 0.019 |
| b | 0.20 | 0.28 | 0.008 | 0.011 |
| b1 | 0.19 | 0.25 | 0.007 | 0.010 |
| c | 0.13 | 0.17 | 0.005 | 0.007 |
| c1 | 0.12 | 0.14 | 0.005 | 0.006 |
| D | 6.40 | 6.60 | 0.252 | 0.260 |
| E1 | 4.30 | 4.50 | 0.169 | 0.177 |
| E | 6.20 | 6.60 | 0.244 | 0.259 |
| e | 0.65 BSC | | 0.026 BSC | |
| L | 0.45 | 0.75 | 0.018 | 0.030 |
| L1 | 1.00 REF | | 0.039 REF | |
| θ | 0° | 8° | 0° | 8° |

## SSOP24



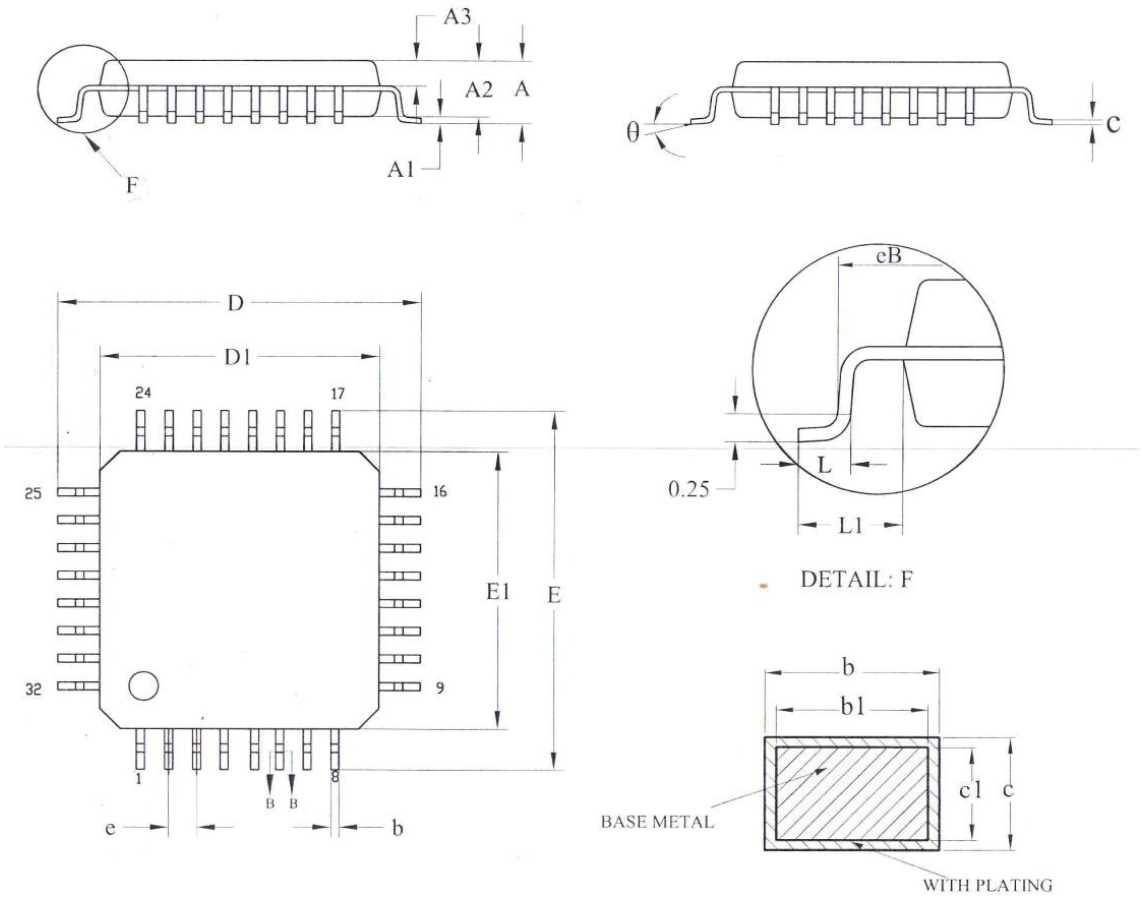

| Symbol | Dimensions (mm) | | Dimensions (inches) | |
|---|---|---|---|---|
| | Min | Max | Min | Max |
| A | – | 1.750 | – | 0.069 |
| A1 | 0.100 | 0.250 | 0.004 | 0.010 |
| A2 | 1.300 | 1.550 | 0.051 | 0.061 |
| b | 0.229 | 0.310 | 0.009 | 0.012 |
| c | 0.200 | 0.240 | 0.008 | 0.009 |
| D | 8.500 | 8.760 | 0.335 | 0.345 |
| E | 5.800 | 6.200 | 0.228 | 0.244 |
| E1 | 3.800 | 4.000 | 0.150 | 0.157 |
| e | 0.635 BSC | | 0.025 BSC | |
| L | 0.500 | 0.810 | 0.020 | 0.032 |
| θ | 0° | 8° | 0° | 8° |

## QFN28



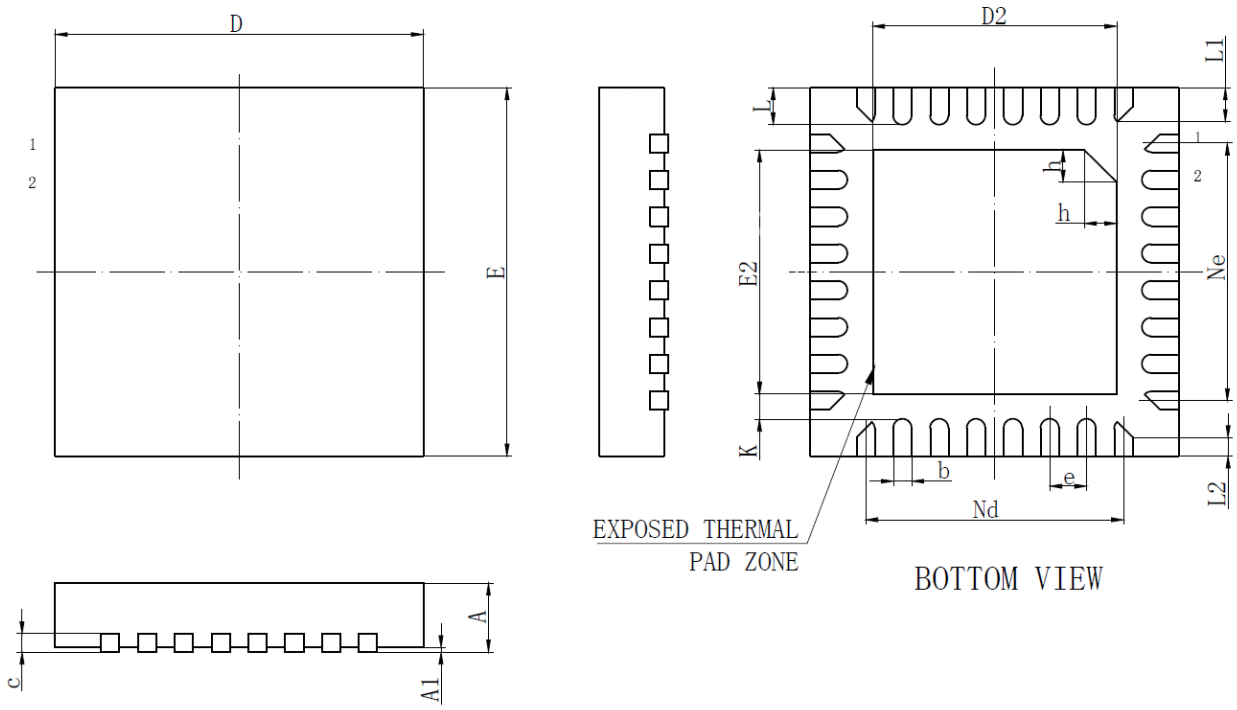

| Symbol | Dimensions (mm) | | | Dimensions (inches) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max |
| A | 0.700 | 0.750 | 0.800 | 0.028 | 0.030 | 0.031 |
| A1 | 0.000 | 0.020 | 0.050 | 0.000 | 0.001 | 0.002 |
| b | 0.150 | 0.200 | 0.250 | 0.006 | 0.008 | 0.010 |
| c | 0.180 | 0.200 | 0.250 | 0.007 | 0.008 | 0.010 |
| D | 3.900 | 4.000 | 4.100 | 0.154 | 0.157 | 0.161 |
| D2 | 2.700 | 2.800 | 2.900 | 0.106 | 0.110 | 0.114 |
| e | 0.40 BSC | | | 0.016 BSC | | |
| Nd | 2.40 BSC | | | 0.094 BSC | | |
| E | 3.900 | 4.000 | 4.100 | 0.154 | 0.157 | 0.161 |
| E2 | 2.700 | 2.800 | 2.900 | 0.106 | 0.110 | 0.114 |
| Ne | 2.40 BSC | | | 0.094 BSC | | |
| L | 0.300 | 0.350 | 0.450 | 0.012 | 0.014 | 0.018 |
| h | 0.300 | 0.350 | 0.400 | 0.012 | 0.014 | 0.016 |

## LQFP32




| Symbol | Dimensions (mm) | | | Dimensions (inches) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max |
| A | − | − | 1.600 | − | − | 0.063 |
| A1 | 0.050 | − | 0.150 | 0.002 | − | 0.006 |
| A2 | 1.350 | 1.400 | 1.450 | 0.053 | 0.055 | 0.057 |
| A3 | 0.590 | 0.640 | 0.690 | 0.023 | 0.025 | 0.027 |
| b | 0.330 | − | 0.410 | 0.013 | − | 0.016 |
| b1 | 0.320 | 0.350 | 0.380 | 0.013 | 0.014 | 0.015 |
| c | 0.130 | − | 0.170 | 0.005 | − | 0.007 |
| c1 | 0.120 | 0.130 | 0.140 | 0.005 | 0.005 | 0.006 |
| D | 8.800 | 9.000 | 9.200 | 0.346 | 0.354 | 0.362 |
| D1 | 6.900 | 7.000 | 7.100 | 0.272 | 0.276 | 0.280 |
| E | 8.800 | 9.000 | 9.200 | 0.346 | 0.354 | 0.362 |
| E1 | 6.900 | 7.000 | 7.100 | 0.272 | 0.276 | 0.280 |
| eB | 8.100 | − | 8.250 | 0.319 | − | 0.325 |
| e | 0.800 BSC | | | 0.031 BSC | | |
| L | 0.450 | − | 0.750 | 0.018 | − | 0.030 |
| L1 | 1.000 REF | | | 0.039 REF | | |
| θ | 0° | − | 7° | 0° | − | 7° |

## QFN32




| Symbol | Dimensions (mm) | | | Dimensions (inches) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Min | Nom | Max | Min | Nom | Max |
| A | 0.700 | 0.750 | 0.800 | 0.028 | 0.030 | 0.031 |
| A1 | 0.000 | 0.020 | 0.050 | 0.000 | 0.001 | 0.002 |
| b | 0.150 | 0.200 | 0.250 | 0.006 | 0.008 | 0.010 |
| c | 0.180 | 0.200 | 0.250 | 0.007 | 0.008 | 0.010 |
| D | 3.900 | 4.000 | 4.100 | 0.154 | 0.157 | 0.161 |
| D2 | 2.600 | 2.650 | 2.700 | 0.102 | 0.104 | 0.106 |
| e | 0.400 BSC | | | 0.016 BSC | | |
| Nd | 2.800 BSC | | | 0.110 BSC | | |
| E | 3.900 | 4.000 | 4.100 | 0.154 | 0.157 | 0.161 |
| E2 | 2.60 | 2.650 | 2.700 | 0.102 | 0.104 | 0.106 |
| Ne | 2.800 BSC | | | 0.110 BSC | | |
| K | 0.200 | – | – | 0.008 | – | – |
| L | 0.350 | 0.400 | 0.450 | 0.014 | 0.016 | 0.018 |
| L1 | 0.300 | 0.350 | 0.400 | 0.012 | 0.014 | 0.016 |
| L2 | 0.150 | 0.200 | 0.250 | 0.006 | 0.008 | 0.010 |
| h | 0.300 | 0.350 | 0.400 | 0.012 | 0.014 | 0.016 |

## 文档更改历史

| 版本 | 日期 | 内容 |
|---|---|---|
| 1.00 | 2026-05-11 | 初版 |
| 1.01 | 2026-05-14 | 更新供电电流测试条件的描述；<br>更新 TIM 定时器特性 |
| 1.02 | 2026-06-12 | 更新表 3-2、表 3-3 和表 6-15；<br>更正图 4-1 和图 4-4 中的笔误 |
| 1.03 | 2026-09-20 | 更正选型表中的 ADC 内部通道数；<br>删除 TS_CAL2；<br>更新定时器和看门狗、I2C 接口的部分描述；<br>更新 ESD CDM 电气特性 |