TB3243

如何通过外部事件快速唤醒基于 Cortex® M0+的 MCU

简介

Microchip 的基于 32 位 Arm® Cortex®-M0+的单片机具有通过空闲、待机、备用和关断等不同休眠模式降低功耗的功能。进入休眠模式时，CPU 将停止运行，并且一些模块和时钟域将根据所选休眠模式自动关闭。然后可以通过外部事件（例如来自 ADC、RTC 和 DMA 的中断等）来唤醒 CPU 并返回到工作模式。

从休眠模式唤醒器件不是即时的，可能会因应用中使用的休眠模式、时钟和外设而有所不同。

本文档介绍了唤醒时间以及如何配置器件以优化唤醒时间。本文档的附录部分介绍了用于测量唤醒时间的方法。

© 2020 Microchip Technology Inc.

目录

简介 1

1. 唤醒时间 3
   - 1.1. 原理 3
   - 1.2. SAM C2x 和 SAM DA1/D09/D1x/D2x 系列详细信息 5
   - 1.3. SAM L2x 详细信息 5

2. 优化唤醒时间 7
   - 2.1. SAM C2x 和 SAM DA1/D09/D1x/D2x 系列器件 7
   - 2.2. SAM L2x 系列 7

3. 附录 A——测量唤醒时间 9

4. 总结 10

5. 参考资料 11

Microchip 网站 12

产品变更通知服务 12

客户支持 12

Microchip 器件代码保护功能 12

法律声明 12

商标 13

质量管理体系 14

全球销售及服务网点 15

1. 唤醒时间

1.1 原理

唤醒时间（也称为*响应*时间）是指将 CPU 从休眠模式转换到工作模式所需的时间。唤醒时间计算从发生外部事件到从中断处理程序中取第一条 CPU 指令的时间。根据 CPU 所处的休眠模式，唤醒时间也会有所不同，例如，CPU 从待机休眠模式恢复的时间比从空闲休眠模式恢复的时间更长。除休眠模式外，外设事件源、CPU 时钟源和稳压器模式等其他因素也会影响唤醒时间。以下各图显示了基于 Cortex-M0+的 MCU 在不同休眠模式（空闲和待机）下的总唤醒时间：

图 1-1. 空闲模式下的总唤醒时间

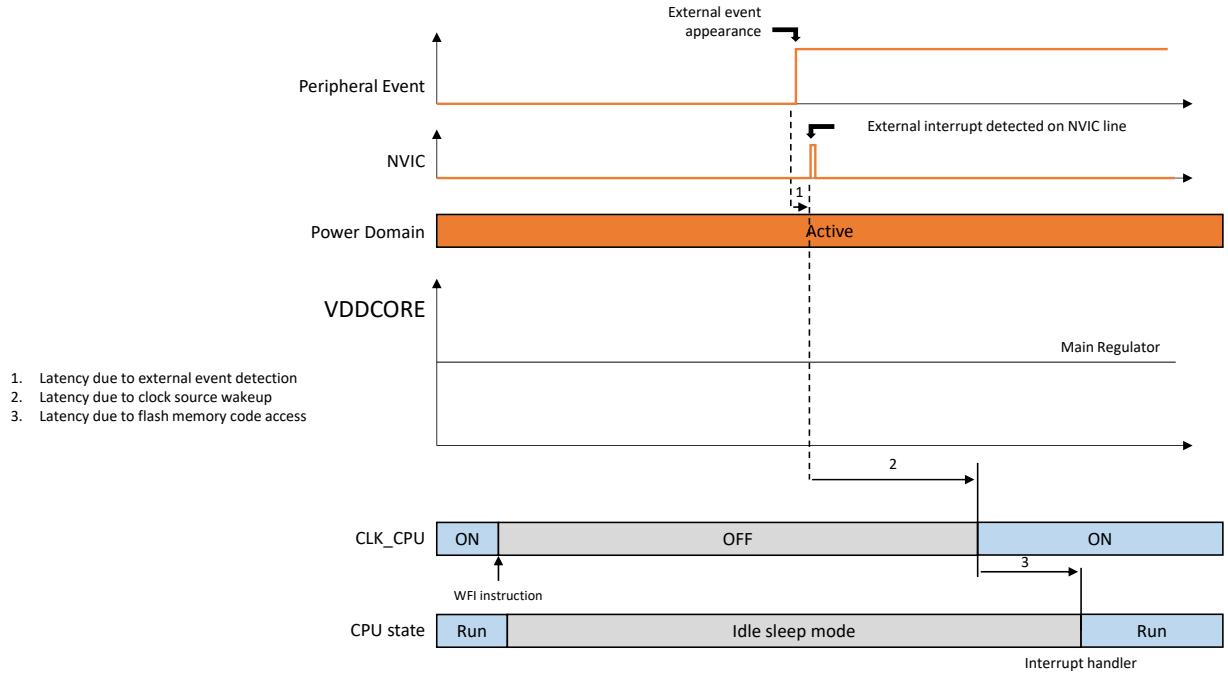
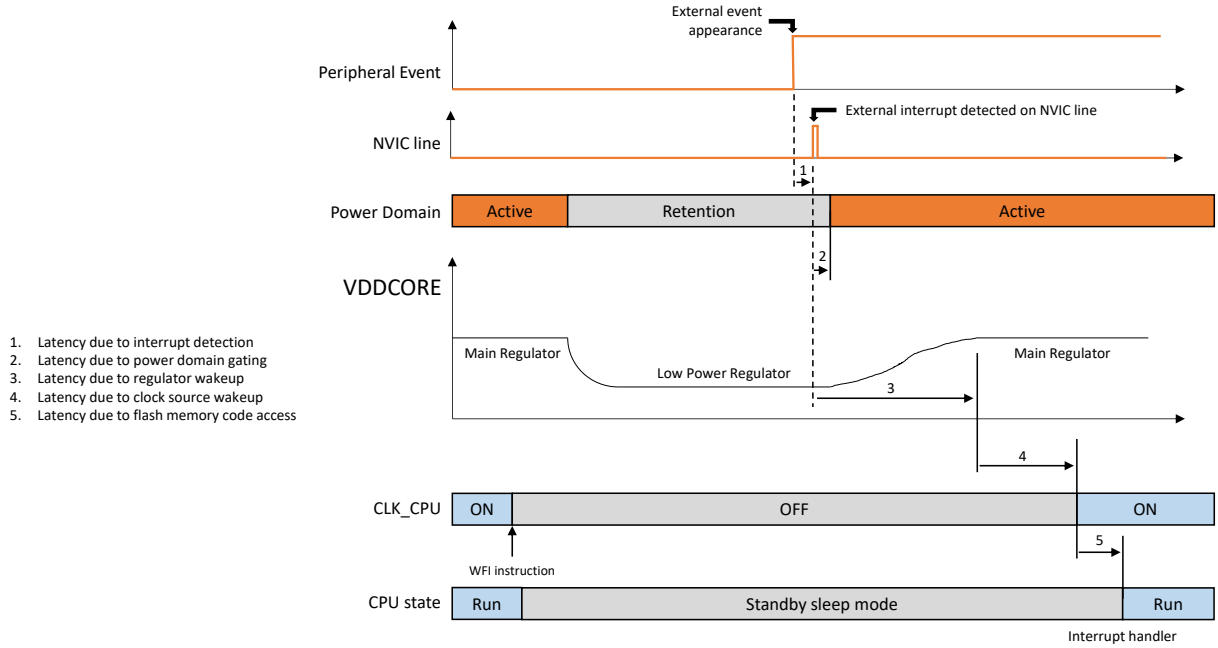


图 1-2. 待机模式下的总唤醒时间



以上各图突出显示了会影响 Microchip 所有基于 Cortex-M0+的 MCU 响应时间的典型因素：

- **休眠模式：**如果器件处于深度休眠模式，则需要更长时间才能唤醒。这是由以下因素引起的：
  - CPU 时钟在休眠模式下停止。
  - **稳压器：**在待机模式下，系统会关闭主稳压器（除非用户在待机模式下强制使稳压器保持工作状态），并根据芯片上使用的配置改用低功耗稳压器。这意味着，当检测到中断时，低功耗稳压器将关闭，而主稳压器需要时间才能打开，这会影响器件的总唤醒时间。
  - 主时钟在空闲模式下运行，但在深度休眠模式下运行时会关闭。
- **CPU 时钟源：**外设和内核需要特定数量的异步/同步时钟周期来执行唤醒和中断管理操作。使用较高的时钟频率可以缩短唤醒时间。此外，与使用其他时钟源（晶体振荡器、DFLL 和 DPLL）的唤醒时间相比，使用内部振荡器（OSC8M 和 OSC48M）作为时钟源的 CPU 唤醒时间更短。这些其他时钟源需要一些时间才能唤醒和初始化，因此会增加总唤醒时间。
  注： 增加时钟频率会影响休眠模式下的功耗。
- **外设（中断源）：**用于生成中断以唤醒 CPU 的外设可能会增加响应时间。例如，外部中断控制器（External Interrupt Controller，EIC）具有电平或边沿检测、滤波和消抖功能。如果在禁止滤波或消抖的情况下将中断配置为进行电平检测，则检测将异步进行。在启用滤波或者同步边沿检测或消抖的情况下，EIC 会自动请求 GCLK_EIC 或 CLK_ULP32K 以实现同步检测。因此，启用滤波、消抖或同步边沿检测将需要更多的时钟周期来检测中断，这会增加唤醒时间，如下表所示。由于这些考虑因素，用户必须确保将外设配置为尽可能快地检测出中断，并避免在中断检测过程中增加时间。

表 1-1. EIC 检测延迟

检测模式	延迟（最坏情况）
电平（无滤波器）	五个 CLK_EIC_APB 周期
电平（有滤波器）	四个 GCLK_EIC/CLK_ULP32K 周期 + 五个 CLK_EIC_APB 周期
边沿（无滤波器）	四个 GCLK_EIC/CLK_ULP32K 周期 + 五个 CLK_EIC_APB 周期
边沿（有滤波器）	六个 GCLK_EIC/CLK_ULP32K 周期 + 五个 CLK_EIC_APB 周期

- **中断检测：**嵌套向量中断控制器需要时间来检测外部事件。对于基于 Cortex-M0+的 MCU，需要 12 至 20 个时钟周期来测量和识别中断，因此 CPU 时钟的运行速度越快，唤醒时间就越短。

- **电源域：**电源域允许在待机模式下关闭时钟组，从而以增加唤醒时间为代价进一步降低功耗。使用电源域门控时，将电源域从保持状态更改为工作状态将需要时间。如果在待机模式下所有电源域都已经处于工作模式，则此延迟时间为零。
- **非易失性存储器访问：**进入休眠模式时，非易失性存储器（Non-Volatile Memory，NVM）模块将进入低功耗模式，这会增加唤醒时间。如果 MCU 支持 NVM 的*即时唤醒*功能，则 NVM 模块在退出休眠模式时将退出低功耗模式，并在降低功耗的同时保持较短的唤醒时间。
- **电源电压：**出于应用考虑，可以为芯片提供不同范围的电源电压，只要提供的电源电压符合 CPU 的工作条件即可。但是，电源电压会影响唤醒时间。根据欧姆定律（V = R * I），对于固定的电阻值，输入电压越高，负载电流就越大，这将提高 CPU 性能并缩短唤醒时间。
  注： 增加电源电压会增加电流负载，不利于降低功耗。

然后，获得的总唤醒时间取决于上面列出的各个因素。以上各图未显示影响唤醒时间的其他因素，例如：

- **等待状态：**在 MCU 上运行快速时钟时，用户必须确保根据时钟速度添加特定数量的等待状态，以同步内核与 NVM 存储器之间的读取操作，从而避免在读取 NVM 时挂起 MCU。这些等待状态将使时钟暂停几个时钟周期，这将增加响应时间。
- **高速缓存存储器：**高速缓存存储器是邻近内核的易失性存储器，它允许存储少量代码以进行快速访问。由于它邻近 CPU，因此即使器件配置为在等待状态下以最大频率运行，也不会有等待状态来启动存储在高速缓存存储器中的处理程序指令。这意味着唤醒时间将缩短。但是，如果器件允许使用不同的唤醒源，则在进入低功耗模式之前，可能会发生正确的处理程序未存储在高速缓存中的情况。因此，启用高速缓存存储器不会影响唤醒时间，或者由于高速缓存未命中时并行存储指令，可能会增加响应时间。

1.2 SAM C2x 和 SAM DA1/D09/D1x/D2x 系列详细信息

SAM C2x 和 SAM DA1/D09/D1x/D2x 系列器件具有相似的架构，但 SAM C2x 和 SAM DA1/D09/D1x/D2x 器件之间有以下几点不同，会影响唤醒时间：

- SAM DA1/D09/D1x/D2x 系列器件提供三个级别的空闲模式（Idle0、Idle1 和 Idle2），而 SAM C2x 系列器件提供两个级别的空闲模式。
  - Idle0 模式——仅关闭 CPU 时钟。
  - Idle1 模式——关闭 APB 时钟。
  - Idle2 模式——关闭 AHB 时钟。

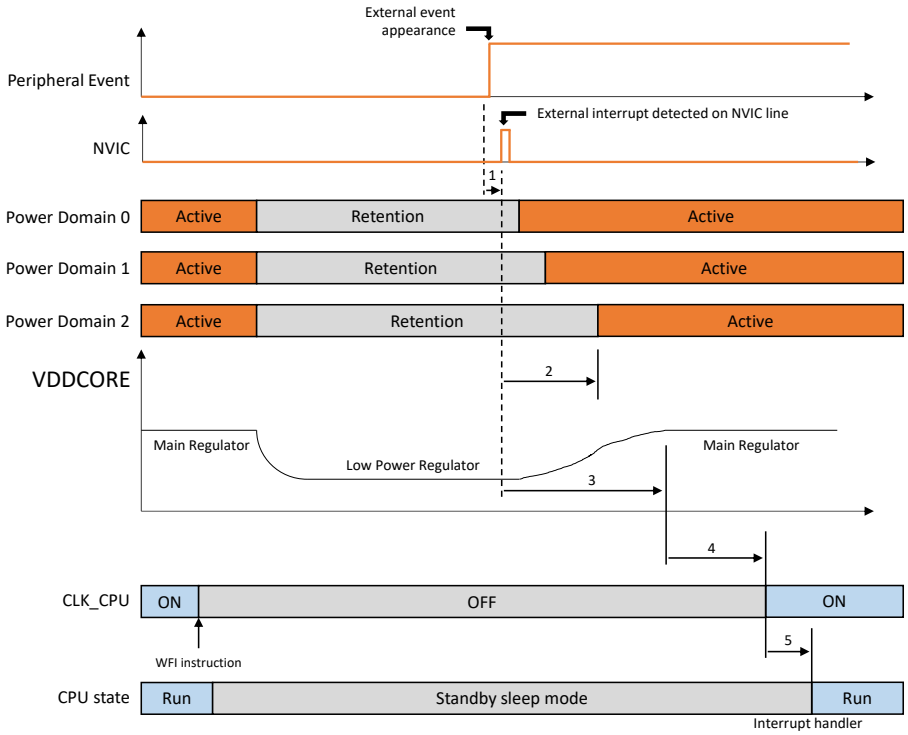
  与从 Idle0 模式转到工作模式相比，从 Idle2 模式转到工作模式需要更多的时间。
- SAM C2x 系列器件嵌入 OSC48M 作为 RC 振荡器，而 SAM DA1/D09/D1x/D2x 系列器件提供 8 MHz RC 振荡器时钟源。
- SAM C2x 系列器件是 5V 耐压 MCU，而 SAM DA1/D09/D1x/D2x 系列器件是传统的 3.3V MCU。

1.3 SAM L2x 详细信息

SAM L2x 系列器件提供多种基于 32 位 Arm Cortex-M0+的超低功耗单片机。除了 SAM C2x 和 SAM DA1/D09/D1x/D2x 的空闲模式及待机模式之外，SAM L2x 系列器件还具备其他几项功能，例如备用模式和关断模式、电源域性能级别和特定的稳压器。这些功能都会影响全局唤醒时间：

- **休眠模式（备用模式和关断模式）：**备用模式和关断模式使 SAM L2x 系列器件能够降低功耗。在备用模式下，只有备用域保持供电状态，允许运行少数功能（RTC、32 kHz 时钟源和从外部引脚唤醒）。在关断模式下，整个器件处于关断状态，需要复位整个芯片才能唤醒。
- **性能级别：**SAM L2x 器件上的两个性能级别是 PL0 和 PL2。PL0 旨在通过限制逻辑时钟的速度和 CPU 频率来最大程度地降低功耗，而这会增加唤醒时间。PL2 允许芯片使用全部功能。
- **稳压器（LDO 或降压转换器）：**SAM L2x 系列器件嵌入了两个可以在工作模式下运行的稳压器：LDO 稳压器和降压转换器。就电源效率而言，降压转换器是最合适的稳压器。与降压转换器相比，LDO 稳压器可以针对负载电荷提供快速响应，这使其成为考虑到快速唤醒时间情况下最快的稳压器。

图 1-3. SAM L2x 系列在待机模式下的总唤醒时间



1. Latency due to interrupt detection
2. Latency due to power domain gating
3. Latency due to regulator wakeup
4. Latency due to clock source wakeup
5. Latency due to flash memory code access

2. 优化唤醒时间

为了优化唤醒时间，必须考虑以下重要因素：

- 必须将外设配置为尽可能快地检测或生成中断，以避免在中断检测过程中增加时间。
- 在基于 Cortex-M0+的 MCU 中实现了 CPU 局部总线（IOBUS）功能。IOBUS 是将 CPU 连接到 PORT 的接口。此单周期总线接口通常用于低延迟操作。如果器件要获取的第一条指令是引脚状态修改，建议通过 PORT IOBUS 寄存器配置该引脚，以缩短唤醒时间。

2.1 SAM C2x 和 SAM DA1/D09/D1x/D2x 系列器件

为了优化 SAM C2x 和 SAM DA1/D09/D1x/D2x 系列器件的唤醒时间，必须根据器件使用的休眠模式向器件应用以下配置：

从空闲模式唤醒：

- VDD = 3.3V（对于 SAM C2x，VDD = 5.0V）
- Idle0 模式
- OSC8M 运行频率为 8 MHz（对于 SAM C2x，OSC48M 运行频率为 48 MHz），馈送 GCLK0
- 非易失性存储器处于即时唤醒模式
- “0”个等待状态（对于 SAM C2x，配置为 2 个等待状态）
- 高速缓存存储器已启用

从待机模式唤醒：

- VDD = 3.3V（对于 SAM C2x，VDD = 5.0V）
- 待机模式
- OSC8M 运行频率为 8 MHz（对于 SAM C2x，OSC48M 运行频率为 48 MHz），馈送 GCLK0
- 非易失性存储器处于即时唤醒模式
- “0”个等待状态（对于 SAM C2x，配置为 2 个等待状态）
- 高速缓存存储器已启用
- 稳压器处于自动模式

2.2 SAM L2x 系列

为了优化 SAM L2x 系列器件上的响应时间，建议根据器件所处的休眠模式进行以下配置：

从空闲模式唤醒：

- VDD = 3.3V
- OSC16M 运行频率为 12 MHz，1 个等待状态
- 非易失性存储器处于即时唤醒模式
- 高速缓存存储器已启用
- 稳压器：LDO
- 性能级别 2

从待机模式唤醒：

- VDD = 3.3V
- OSC16M 运行频率为 12 MHz，1 个等待状态
- 非易失性存储器处于即时唤醒模式
- 高速缓存存储器已启用
- 稳压器：LDO
- 稳压器处于正常工作模式

- 性能级别 0
- 强制使所有电源域均处于工作状态

注：

1. 上面列出的配置经过优化，可在考虑功耗的同时从最佳唤醒时间值中获益。原因在于要在快速唤醒和功耗之间进行权衡。缩短唤醒时间会增加功耗，反之亦然。
2. 建议在进入休眠模式之前使用上面列出的配置来配置芯片，从而优化响应时间。唤醒器件后，可以重新配置器件（时钟源、外设和其他芯片配置），以满足应用要求。
3. 本文档是专为 Cortex-M0+器件设计的，但也涵盖了其他 Cortex 系列中的许多类似概念，因此可以用作参考，以供使用其他 Cortex 产品优化唤醒时间。

3. 附录 A——测量唤醒时间

用户可以使用不同的方法来测量唤醒时间。本节介绍用于测量唤醒时间的最常用方法。在测量唤醒时间之前，用户需要考虑满足以下先决条件：

硬件要求：

- 1 块 Microchip Xplained Pro 评估板（SAM C2x Xpro、SAM L2x Xpro 和 SAM D1x Xpro 等）
- 1 台示波器或 1 台逻辑分析仪

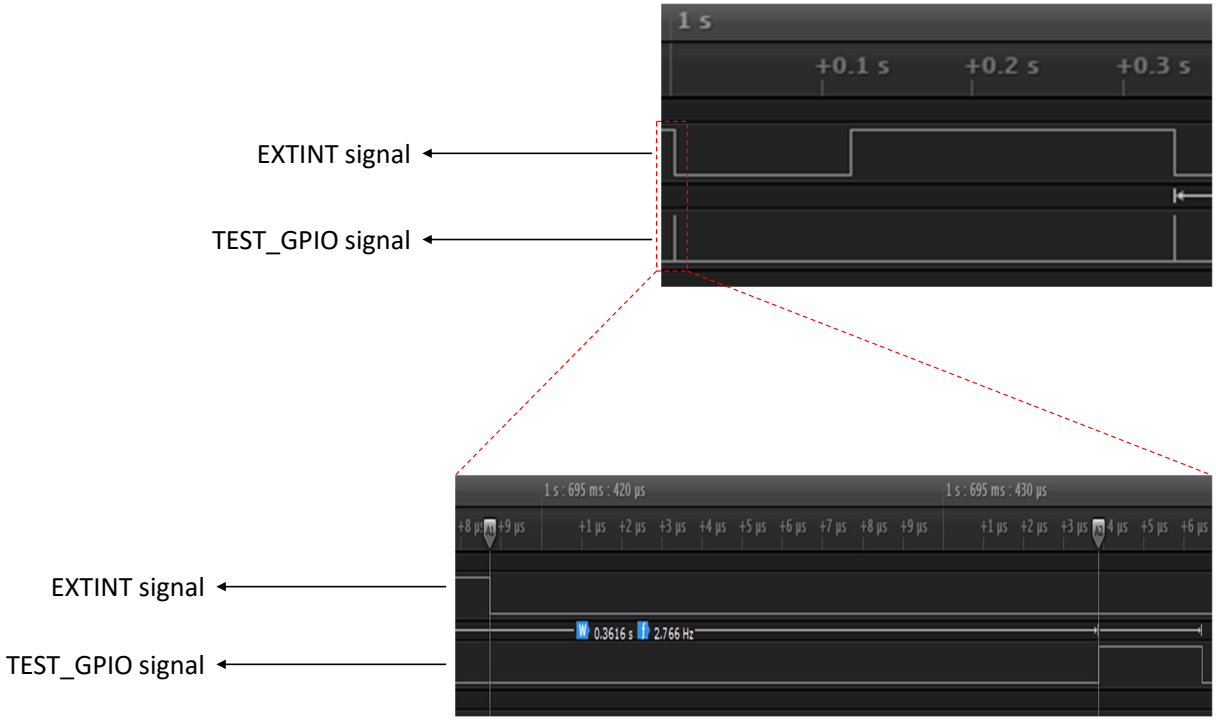
注： 本节中介绍的此方法可应用于所有 Microchip Xplained Pro 评估板。

请使用 SAM C21 Xplained Pro 评估板和逻辑分析仪按照以下步骤测量唤醒时间：

1. 使用外部中断控制器（External Interrupt Controller，EIC）将第一个引脚 EXTINT 配置为外部中断。
2. 将第二个引脚 TEST_GPIO 配置为输出低电平或高电平的 GPIO。
3. 将示波器（或逻辑分析仪）探头连接到这两个引脚：TEST_GPIO 和 EXTINT。
4. 在 EXTINT 引脚上进行中断检测后，在 TEST_GPIO 上会生成脉冲。
5. 在 EXTINT（唤醒输入）的边沿和 TEST_GPIO 的第一个边沿之间测得唤醒时间。

以下各图说明了使用 SAM C21 Xplained Pro 评估板和逻辑分析仪测量唤醒时间的过程：

图 3-1. 逻辑分析仪上的响应时间测量



4. 总结

降低功耗对于降低成本和延长应用的电池使用寿命非常重要。但务必要进行权衡，需要在功耗和唤醒时间之间找到适当的平衡。为了实现最短的唤醒时间，用户必须配置器件的特定功能，例如休眠模式、CPU 时钟源和 NVM 访问等。建议在进入休眠模式之前配置芯片，确保与运行在工作模式下修改器件时钟配置相比，能够实现更短的唤醒时间，从而满足应用要求。

5. 参考资料

欲了解更多信息，请参见以下文档（可从 Microchip 网站下载）：

- SAM C2x 系列数据手册：
  - http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/SAM-C20C21-Family-Datasheet-DS60001479C.pdf
- SAM DA1/D09/D1x/D2x 系列数据手册：
  - https://www.microchip.com/design-centers/32-bit/sam-32-bit-mcus/sam-d-mcus
- SAM L2x 系列数据手册：
  - https://www.microchip.com/design-centers/32-bit/sam-32-bit-mcus/sam-l-mcus

注：

1. SAM D5x 系列器件基于 Cortex-M4 架构；但是，该技术简介可以用作优化唤醒时间的源文档。
2. SAM L1x 系列器件基于 Cortex-M23 架构；但是，该技术简介可以用作优化唤醒时间的源文档。

Microchip 网站

Microchip 网站（www.microchip.com/）为客户提供在线支持。客户可通过该网站方便地获取文件和信息。我们的网站提供以下内容：

- **产品支持**——数据手册和勘误表、应用笔记和示例程序、设计资源、用户指南以及硬件支持文档、最新的软件版本以及归档软件
- **一般技术支持**——常见问题解答（FAQ）、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 设计伙伴计划成员名单
- **Microchip 业务**——产品选型和订购指南、最新 Microchip 新闻稿、研讨会和活动安排表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

产品变更通知服务

Microchip 的产品变更通知服务有助于客户了解 Microchip 产品的最新信息。注册客户可在他们感兴趣的某个产品系列或开发工具发生变更、更新、发布新版本或勘误表时，收到电子邮件通知。

欲注册，请访问 www.microchip.com/pcn，然后按照注册说明进行操作。

客户支持

Microchip 产品的用户可通过以下渠道获得帮助：

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 应用工程师（ESE）
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或 ESE 寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档后附有销售办事处的联系方式。

也可通过 www.microchip.com/support 获得网上技术支持。

Microchip 器件代码保护功能

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术规范。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品非常安全。
- 目前，仍存在着用恶意、甚至是非法的方法来试图破坏代码保护功能的行为。我们确信，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这种试图破坏代码保护功能的行为极可能侵犯 Microchip 的知识产权。
- Microchip 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案（Digital Millennium Copyright Act）》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

法律声明

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc.及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc.的英文原版文档。

本出版物中提供的信息仅仅是为方便您使用 Microchip 产品或使用这些产品来进行设计。本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。

Microchip“按原样”提供这些信息。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保，或针对其使用情况、质量或性能的担保。

在任何情况下，对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或间接的损失、损害或任何类型的开销，Microchip 概不承担任何责任，即使 Microchip 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内，对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔，Microchip 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 Microchip 直接支付的金额（如有）。如果将 Microchip 器件用于生命维持和/或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切损害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中或以其他方式转让任何许可证。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Adaptec、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PackeTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

AgileSwitch、APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、WinPath 和 ZL 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SMART-I.S.、storClad、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect 和 ZENA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Incorporated 在美国的服务标记。

Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology 和 Symmcom 均为 Microchip Technology Inc.在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc.的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2020, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN： 978-1-5224-7035-9

AMBA、Arm、Arm7、Arm7TDMI、Arm9、Arm11、Artisan、big.LITTLE、Cordio、CoreLink、CoreSight、Cortex、DesignStart、DynamIQ、Jazelle、Keil、Mali、Mbed、Mbed Enabled、NEON、POP、RealView、SecurCore、Socrates、Thumb、TrustZone、ULINK、ULINK2、ULINK-ME、ULINK-PLUS、ULINKpro、µVision 和 Versatile 均为 Arm Limited（或其子公司）在美国和/或其他国家/地区的商标或注册商标。

质量管理体系

有关 Microchip 的质量管理体系的信息，请访问 www.microchip.com/quality。

全球销售及服务网点

美洲	亚太地区	亚太地区	欧洲
公司总部 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 电话：480-792-7200 传真：480-792-7277 技术支持： www.microchip.com/support 网址： www.microchip.com **亚特兰大** 德卢斯，佐治亚州 电话：678-957-9614 传真：678-957-1455 **奥斯汀，德克萨斯州** 电话：512-257-3370 **波士顿** 韦斯特伯鲁，马萨诸塞州 电话：774-760-0087 传真：774-760-0088 **芝加哥** 艾塔斯卡，伊利诺伊州 电话：630-285-0071 传真：630-285-0075 **达拉斯** 阿迪森，德克萨斯州 电话：972-818-7423 传真：972-818-2924 **底特律** 诺维，密歇根州 电话：248-848-4000 **休斯顿，德克萨斯州** 电话：281-894-5983 **印第安纳波利斯** 诺布尔斯维尔，印第安纳州 电话：317-773-8323 传真：317-773-5453 电话：317-536-2380 **洛杉矶** 米慎维荷，加利福尼亚州 电话：949-462-9523 传真：949-462-9608 电话：951-273-7800 **罗利，北卡罗来纳州** 电话：919-844-7510 **纽约，纽约州** 电话：631-435-6000 **圣何塞，加利福尼亚州** 电话：408-735-9110 电话：408-436-4270 **加拿大 - 多伦多** 电话：905-695-1980 传真：905-695-2078	**澳大利亚 - 悉尼** 电话：61-2-9868-6733 **中国 - 北京** 电话：86-10-8569-7000 **中国 - 成都** 电话：86-28-8665-5511 **中国 - 重庆** 电话：86-23-8980-9588 **中国 - 东莞** 电话：86-769-8702-9880 **中国 - 广州** 电话：86-20-8755-8029 **中国 - 杭州** 电话：86-571-8792-8115 **中国 - 香港特别行政区** 电话：852-2943-5100 **中国 - 南京** 电话：86-25-8473-2460 **中国 - 青岛** 电话：86-532-8502-7355 **中国 - 上海** 电话：86-21-3326-8000 **中国 - 沈阳** 电话：86-24-2334-2829 **中国 - 深圳** 电话：86-755-8864-2200 **中国 - 苏州** 电话：86-186-6233-1526 **中国 - 武汉** 电话：86-27-5980-5300 **中国 - 西安** 电话：86-29-8833-7252 **中国 - 厦门** 电话：86-592-2388138 **中国 - 珠海** 电话：86-756-3210040	**印度 - 班加罗尔** 电话：91-80-3090-4444 **印度 - 新德里** 电话：91-11-4160-8631 **印度 - 浦那** 电话：91-20-4121-0141 **日本 - 大阪** 电话：81-6-6152-7160 **日本 - 东京** 电话：81-3-6880-3770 **韩国 - 大邱** 电话：82-53-744-4301 **韩国 - 首尔** 电话：82-2-554-7200 **马来西亚 - 吉隆坡** 电话：60-3-7651-7906 **马来西亚 - 槟榔屿** 电话：60-4-227-8870 **菲律宾 - 马尼拉** 电话：63-2-634-9065 **新加坡** 电话：65-6334-8870 **台湾地区 - 新竹** 电话：886-3-577-8366 **台湾地区 - 高雄** 电话：886-7-213-7830 **台湾地区 - 台北** 电话：886-2-2508-8600 **泰国 - 曼谷** 电话：66-2-694-1351 **越南 - 胡志明市** 电话：84-28-5448-2100	**奥地利 - 韦尔斯** 电话：43-7242-2244-39 传真：43-7242-2244-393 **丹麦 - 哥本哈根** 电话：45-4485-5910 传真：45-4485-2829 **芬兰 - 埃斯波** 电话：358-9-4520-820 **法国 - 巴黎** 电话：33-1-69-53-63-20 传真：33-1-69-30-90-79 **德国 - 加兴** 电话：49-8931-9700 **德国 - 哈恩** 电话：49-2129-3766400 **德国 - 海尔布隆** 电话：49-7131-72400 **德国 - 卡尔斯鲁厄** 电话：49-721-625370 **德国 - 慕尼黑** 电话：49-89-627-144-0 传真：49-89-627-144-44 **德国 - 罗森海姆** 电话：49-8031-354-560 **以色列 - 若那那市** 电话：972-9-744-7705 **意大利 - 米兰** 电话：39-0331-742611 传真：39-0331-466781 **意大利 - 帕多瓦** 电话：39-049-7625286 **荷兰 - 德卢内市** 电话：31-416-690399 传真：31-416-690340 **挪威 - 特隆赫姆** 电话：47-72884388 **波兰 - 华沙** 电话：48-22-3325737 **罗马尼亚 - 布加勒斯特** 电话：40-21-407-87-50 **西班牙 - 马德里** 电话：34-91-708-08-90 传真：34-91-708-08-91 **瑞典 - 哥德堡** 电话：46-31-704-60-40 **瑞典 - 斯德哥尔摩** 电话：46-8-5090-4654 **英国 - 沃金厄姆** 电话：44-118-921-5800 传真：44-118-921-5820