# 为手持应用中的 MPU 供电

**AN6193**

## 简介

作者： *George Ivan，Microchip Technology Inc.*

随着手持设备市场的持续扩张，在如何整合各种功能方面也面临着无数的挑战。电池供电管理在初始阶段就可能构成显著风险。因此，本文档简要说明了使用简易锂离子电池通过电源管理集成电路（Power Management Integrated Circuit，PMIC）为微处理器（Microprocessor Unit，MPU）供电时的所有关键注意事项。本文档将涵盖从最简单到最复杂的各类应用，并概述每种应用的权衡取舍。

主要主题包括：

- MCP73830——电池充电管理控制器 + MCP16501/2 PMIC + 通用 MPU
- MCP73833/4——电池充电管理控制器 + MCP16501/2 PMIC + 通用 MPU
- MCP73871——电池充电管理控制器 + MCP16501/2 PMIC + 通用 MPU

本应用笔记为开发人员提供以下内容：

- 建议的框图及相关功能说明
- 电池充电管理控制器以及与 Microchip PMIC 和 MPU 配合使用的说明，包括每种设计的权衡取舍
- 使用 MCP16501 和 SAMA5D2 的典型应用详细示例

## 电源管理集成电路（PMIC）——概述

### 使用 PMIC 的优势

对于需要复杂系统电源的应用（例如采用处理器、微处理器乃至 FPGA 的应用），往往需配置多个电源轨。如果在这些系统中为每个电源轨单独使用分立器件，会导致解决方案成本高昂，难以吸引客户。PMIC 将多个稳压器和控制电路集成于单个芯片中，是实现完整电源解决方案的理想之选。该电路可最大限度地减少元件数量与电路板空间，同时以经济高效的方式管理系统电源。此外，PMIC 还具备其他优势，包括最大限度地减少工程设计与采购工作、缩短产品上市时间、降低风险以及优化功耗，从而在电池供电应用中有效延长电池寿命。

### 低成本、小尺寸 PMIC MCP16501 和高性能 PMIC MCP16502

#### MCP16501/2 说明

MCP16501/2 是一款低成本、小尺寸的 PMIC，兼容 Microchip 嵌入式微处理器（Embedded Microprocessor Unit，EMPU），该 MPU 需要使用高性能模式（High-Performance Mode，HPM，仅限 MCP16502）来实现动态电压调节（Dynamic Voltage Scaling，DVS）。MCP16501/2 兼容 SAMA5D2、SAM9X6 和 SAMA7G，通过专用的器件型号提供支持。

- MCP16501 集成了三个直流/直流降压稳压器和一个辅助低压差（Low-Dropout，LDO）稳压器，MCP16502 集成了四个直流/直流降压稳压器和两个辅助 LDO 稳压器。
- 所有降压通道均支持最高 1A 的负载，并且占空比均可达到 100%。
- 300 mA LDO 支持敏感的模拟负载。


© 2026 Microchip Technology Inc. 及其子公司

- 可通过两个三态输入引脚来选择 DDR 存储器电压（Buck2 输出）。这种方法可消除外部反馈电阻引入的误差，并最大程度地减少外部元件数量，从而提高输出电压设置精度。电压选择功能还能方便用户在不同代的存储器之间进行迁移。
- 该器件可根据 MPU 的要求内置默认的电源通道序列。通过专用引脚（LPM）可轻松切换到低功耗模式，还能实现带 DDR 自刷新功能的备用模式（休眠模式）。
- MCP16501/2 的空载工作静态电流低至 300 µA 以下。每个输出均配备主动放电电阻，输出主动放电功能默认处于使能状态。在输出电容不完全放电的情况下，预偏置输出安全启动功能可保护器件。

**注：**在 MCP16502 上，可通过 $I^2C$ 禁止输出主动放电功能。

### MCP16501/2 特性

- 输入电压：2.7V 至 5.5V
- 1A 输出电流降压通道，最大占空比可达到 100%
- 2 MHz 降压通道 PWM 工作模式
- 300 mA 低压差（LDO）线性稳压器
- DDR（Buck2 输出）、内核（Buck3 输出）和 CPU（Buck4 输出，MCP16502）的电压精度均为±1%
- 可通过引脚选择 Buck2 的输出电压：1.2V、1.35V 和 1.8V
- 针对 MPU 的内置默认通道顺序和 nRSTO 有效延时
- 支持休眠模式、低功耗模式和具有 DVS 功能的高性能模式（仅限 MCP16502）
- 1 MHz $I^2C$ 接口，用于编程和诊断（MCP16502）
- 强化 ESD 保护，可在任何工作条件下与 MPU 进行无泄漏连接
- 降低 BOM 成本，节省电路板空间
- 热关断和电流限制保护

## MCP73830——电池充电管理控制器 + MCP16501/2 PMIC + 通用 MPU——低空间占用、低复杂度的解决方案

### 单节锂离子/锂聚合物电池充电管理控制器 MCP73830/L 概述

MCP73830/L 是高度集成的锂离子电池充电管理控制器，适用于空间局促的应用。MCP73830/L 器件为单节锂离子/锂聚合物电池提供特定的充电算法，在确保充电时间最短的前提下实现最大的容量和最高的安全性。再加上其物理尺寸小巧、所需外部元件数量较少，MCP73830/L 非常适合便携式应用。

MCP73830/L 的主要特性包括：

- 恒流/恒压工作模式
- 通过软启动避免浪涌电流
- 高精度预设稳压
- 预调理（10%和无预调理）
- 可编程充电电流：20 mA 至 200 mA（MCP73830L）或 100 mA 至 1000 mA（MCP73830）
- 完整的线性充电管理控制器——集成传输晶体管、电流检测和反向放电保护
- 固定预调理定时器：1 小时
- 固定用时定时器：4 小时
- 自动充电结束（End-of-Charge，EOC）控制终止（7.5%和 10%）
- 输入电源移除时自动掉电


© 2026 Microchip Technology Inc. 及其子公司

- 自动充电，也提供无自动充电型号

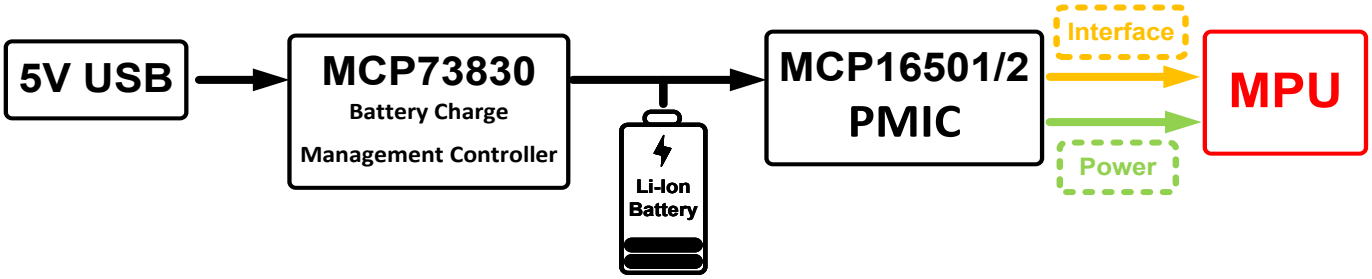
## 框图

MCP73830/L 是一款采用 2 mm x 2 mm TDFN-6 封装的紧凑型电池充电管理控制器。该控制器在提供必要充电功能的同时优化了空间占用，这种简单性使其成为空间有限的应用解决方案的绝佳选择。

图 1 中的框图是一个低复杂度、低空间占用的应用示例，展现了很多通过标准 5V USB 供电的电池供电设备所需的基本功能。MCP73830/L 负责为电池充电并向 MCP16501/2 PMIC 供电。随后，PMIC 生成所需的电压轨并提供 MPU 接口。此外，PMIC 还提供电源排序和电压编程功能，以便根据各种节能或增强性能的工作模式进行调整。该电路还能监视和控制输入和输出的电压与电流以及工作期间的热限值，并在发生任何故障情况时指示元件进行响应。

MCP73830/L 只有一个状态指示器，可用于点亮 LED 或用作主机单片机的接口。但是，根据应用的不同，一个指示器往往不足以实现与 MPU 的全面连接。

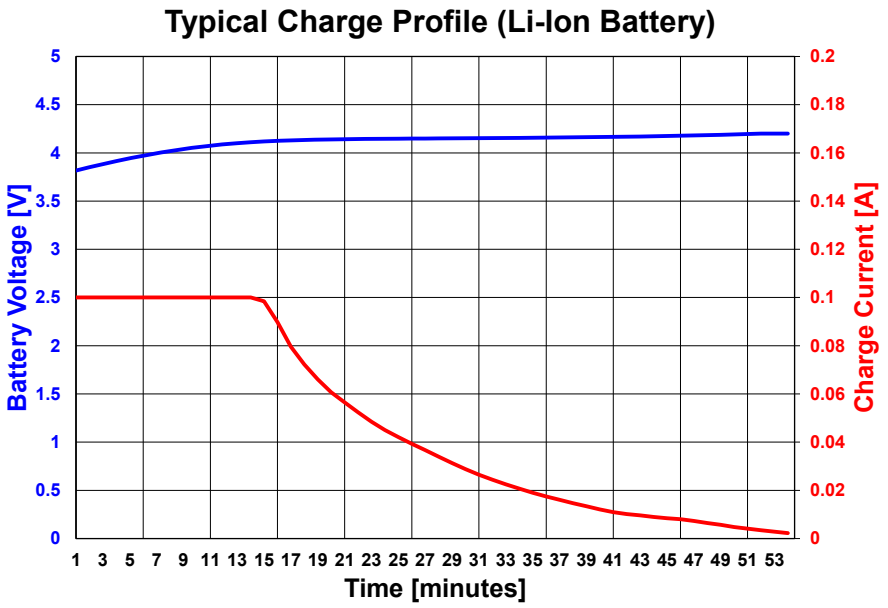
**图 1.** 低空间占用、低复杂度的解决方案框图




充电终止是指电池达到满充容量后停止充电的过程。这对于防止过充至关重要，过充可能导致电池损坏、寿命缩短和潜在的安全隐患。在恒压模式下，当平均充电电流降至快充电流的预设阈值以下或内部定时器超时时，充电周期即终止。 图 2 展示了锂离子电池的典型充电曲线，其充电终止阈值设置为充电电流的 10%。如果应用必须在电池充电时运行，则务必留意电池/PMIC 的负载电流。如果电池的负载超过 MCP73830 的充电电流，充电周期将不会终止，最终导致定时器故障。因此，若要完全充满电池，可能需要采取额外的步骤，例如取出电池并重新插入或者使 CE 引脚掉电重启。


© 2026 Microchip Technology Inc. 及其子公司

**图 2.** 锂离子电池典型充电曲线




# MCP73833/4——电池充电管理控制器 + MCP16501/2 PMIC + 通用 MPU——低空间占用、中等复杂度的解决方案

## 独立线性锂离子/锂聚合物充电管理控制器 MCP73833/4 概述

MCP73833/4 是一款高度先进的线性充电管理控制器，适用于空间局促、成本敏感的应用。再加上其物理尺寸小巧（3 mm x 3 mm DFN 封装）、所需外部元件数量较少，非常适合便携式应用。对于通过 USB 端口充电的应用，MCP73833/4 可满足所有 USB 电源总线的规范。MCP73833/4 采用恒流/恒压充电算法，并具备可选的预调理和充电终止控制。

MCP73833/4 的主要特性包括：

- 恒流/恒压工作模式，可维持温度稳定
- 高精度预设稳压
- 可编程充电电流：1A（最大值）
- 完整的线性充电管理控制器——集成传输晶体管、电流检测和反向放电保护
- 自动充电终止控制，可选电流阈值或安全时长
- 输入电源移除时自动掉电
- 自动充电，也提供无自动充电型号
- 深度放电电池预调理
- 电池温度监视器
- 两个充电状态输出

## 框图

图 3 中的框图是一个中等复杂度、低空间占用的应用示例，展现了很多通过标准 5V USB 供电的电池供电设备所需的功能。MCP73833/4 负责为电池充电并向 MCP16501/2 PMIC 供电。

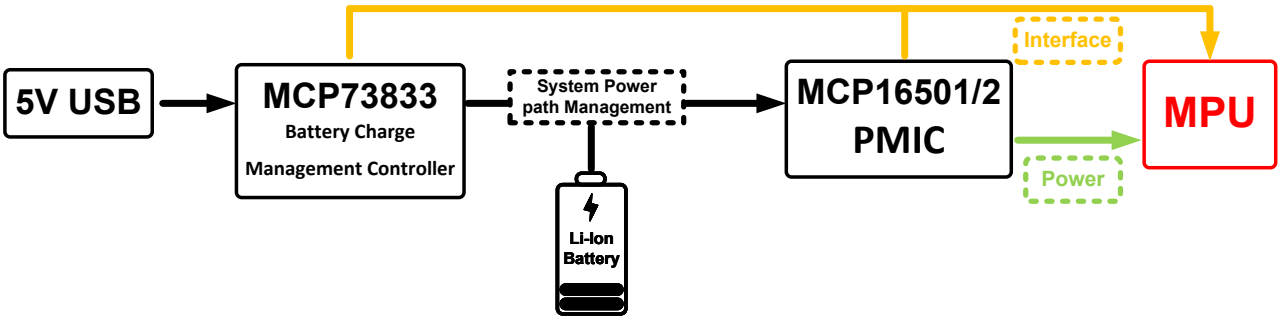
在此阶段，可能需要增加一个额外的系统电源路径管理模块，该模块应根据特定用例的需要集成到最终应用中。如前所述，如果应用需要在电池充电时运行，则可能永远无法达到充电终止阈值，因为负载电流超过了充电终止电流。在


© 2026 Microchip Technology Inc. 及其子公司

这种情况下，将产生定时器故障，若要完全充满电池，需要采取额外的步骤，例如取出电池并重新插入、对器件进行掉电重启或者将 PROG 引脚设置为高阻态。幸运的是，MCP73834 型号提供了定时器使能输入（代替电源正常引脚），可用于在充电器为电池充电并为系统负载供电时禁止定时器。如果因需要电源正常输出功能而必须使用 MCP73833，请参见文档 *“MCP7383X Li-Ion System Power Path Management Reference Design”*，其中介绍了针对此问题的变通方法。该文档说明了系统电源路径管理如何仅通过在最终应用中添加少量额外元件，即可让最终用户实现不间断的电池充电。

PMIC 生成所需的电压轨并提供 MPU 接口。此外，PMIC 还提供电源排序和电压编程功能，以便根据各种节能或增强性能的工作模式进行调整。该电路还能监视和控制输入和输出的电压与电流以及工作期间的热限值，并在发生任何故障情况时指示元件进行响应。MCP73833/4 具有两个状态指示器，可用于点亮 LED 或用作主单片机的接口。

**图 3.** 低空间占用、中等复杂度的解决方案框图





© 2026 Microchip Technology Inc. 及其子公司

# MCP73871——电池充电管理控制器 + MCP16501/2 PMIC + 通用 MPU——尺寸小巧、高复杂度的解决方案

## 具有系统负载均衡功能的独立锂离子/锂聚合物电池充电管理控制器 MCP73871 概述

MCP73871 器件是一款完全集成的线性解决方案，用于系统负载均衡和锂离子/锂聚合物电池充电管理，可选择交流/直流墙式适配器或 USB 端口电源。此外，该器件还能在输入与电池之间实现自主电源选择。再加上其物理尺寸小、所需外部元件数量较少，因此非常适合便携式应用。

MCP73871 的主要特性包括：

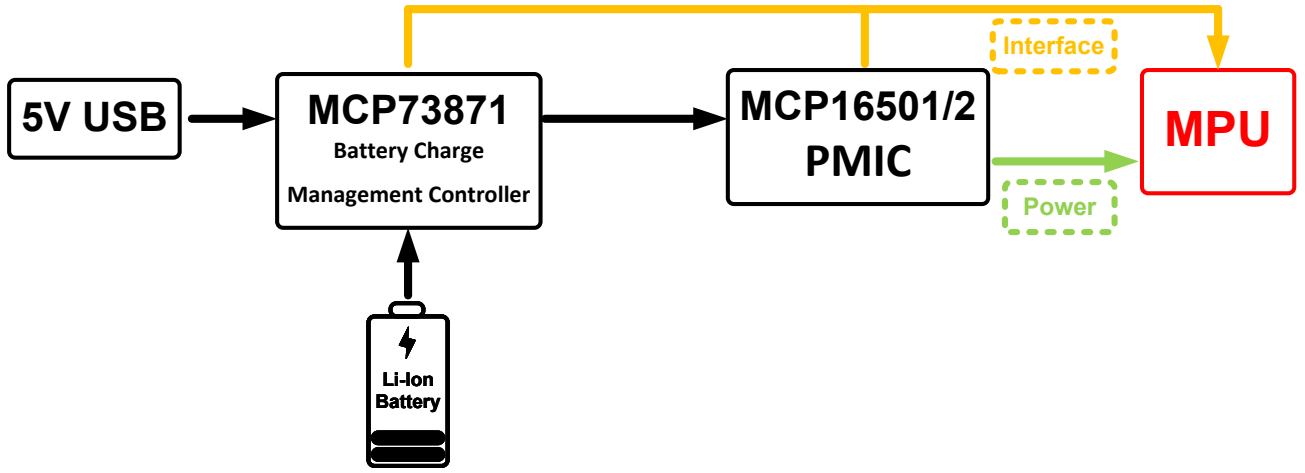
- 集成系统负载均衡和电池充电管理功能：
  - 可同时为系统供电以及为锂离子电池充电
  - 电压比例电流控制（Voltage Proportional Current Control，VPCC）确保系统负载优先于锂离子电池充电电流
  - 低损耗电源路径管理，具备理想的二极管工作模式
- 完整的线性充电管理控制器
  - 集成传输晶体管
  - 集成电流检测
  - 集成反向放电保护
  - 可选输入电源：USB 端口或交流/直流插墙式适配器
- 高精度预设稳压
- 恒流/恒压工作模式，可维持温度稳定
- 最高 1.8A 总输入电流控制
- 可通过电阻编程的快充电流控制：50 mA 至 1A
- 可通过电阻编程的终止设定值
- 带定时器使能/禁止控制的安全定时器
- 自动充电结束控制
- 自动充电
- 电池温度监视器
- 低电量状态指示器（LBO）
- 电源正常状态指示器（PG）
- 充电状态和故障状态指示器

## 框图

图 4 中的框图是一个高复杂度、小尺寸的应用示例，展现了很多通过标准 5V USB 供电的电池供电设备所需的功能。与前述器件相比，MCP73871 可在为电池充电的同时为 PMIC 供电，不需要额外添加系统电源路径管理模块。MCP73871 已集成系统负载均衡功能，因此不再需要采用之前讨论的变通方法。这样便可同时进行系统供电和电池充电，无需担心充电终止问题。PMIC 随后会生成所需的电压轨并提供 MPU 接口。


© 2026 Microchip Technology Inc. 及其子公司

**图 4.** 尺寸小巧、高复杂度的解决方案框图




电池充电管理控制器提供 7 个用于连接 MPU 的引脚。其中 3 个引脚用于指示器件和电池的状态，其余 4 个引脚用于器件配置。

配置引脚包括：

- **CE**——器件充电使能；CE = 高电平时使能
- **SEL**——输入类型选择（低电平时选择 USB 端口，高电平时选择交流/直流适配器）
- **PROG2**——SEL = 低电平时的 USB 端口输入电流限值选择（低电平 = 100 mA，高电平 = 500 mA）
- **TE**——定时器使能；有效低电平时使能安全定时器

状态引脚包括：

- **PG**——电源正常引脚是用于输入电源指示的漏极开路逻辑输出
- **STAT2**——充电状态输出 2 是用于连接 LED 以指示充电状态的漏极开路逻辑输出
- **STAT1/LBO**——充电状态输出 1（漏极开路）。在 $V_{BAT} > V_{IN}$ 时充当低电量输出指示器

因此，电池充电管理控制器负责处理通常由 MPU 或单片机管理的几项关键功能。从电池或电源连接到 MCP73871 的那一刻起，该控制器即可执行小型诊断，因此能够向用户显示以下信息：

- VBAT 引脚的电压是否低于预处理阈值 ➔ 器件将进入预调理模式
- 电池的连接器是否损坏（表明不存在电池）
- 是否存在定时器故障（这意味着系统负载大幅限制了可用于为电池充电的电源电流）
- 电池是否完成充电
- 温度是否超出正常工作条件 ➔ 器件将立即暂停充电周期
- 电池电压是否较低（这意味着需要充电，以便 MPU 或单片机能够通知用户需要连接交流/直流插墙式适配器或 USB 端口电源）

得益于所有这些功能，无需在电池供电应用中额外配置复杂电路就能令微处理器实现相同的功能。


© 2026 Microchip Technology Inc. 及其子公司

## SAMA5D2 典型应用示例

图 5 展示了前述解决方案的实现细节。该电路板使用 USB 端口通过 MCP73871 为锂离子电池充电，MCP73871 还为 PMIC 提供负载电流。

充电电流通过连接到 PROG1 引脚的单个电阻确定，充电终止电流通过连接到 PROG3 引脚的电阻确定。MCP73871 器件在充电周期内通过测量 THERM 引脚与地之间的电压来持续监视电池温度。一旦在充电周期内检测到超出阈值的电压，MCP73871 将立即暂停充电周期。MCP73871 通过关闭充电传输晶体管并保持定时器值来暂停充电。当 THERM 引脚的电压恢复到正常范围内时，充电周期恢复。MCP73871 的配置引脚由 MPU 控制，MPU 根据电池充电管理控制器的状态确定何时为电池充电、限制输入电流或使能安全定时器。

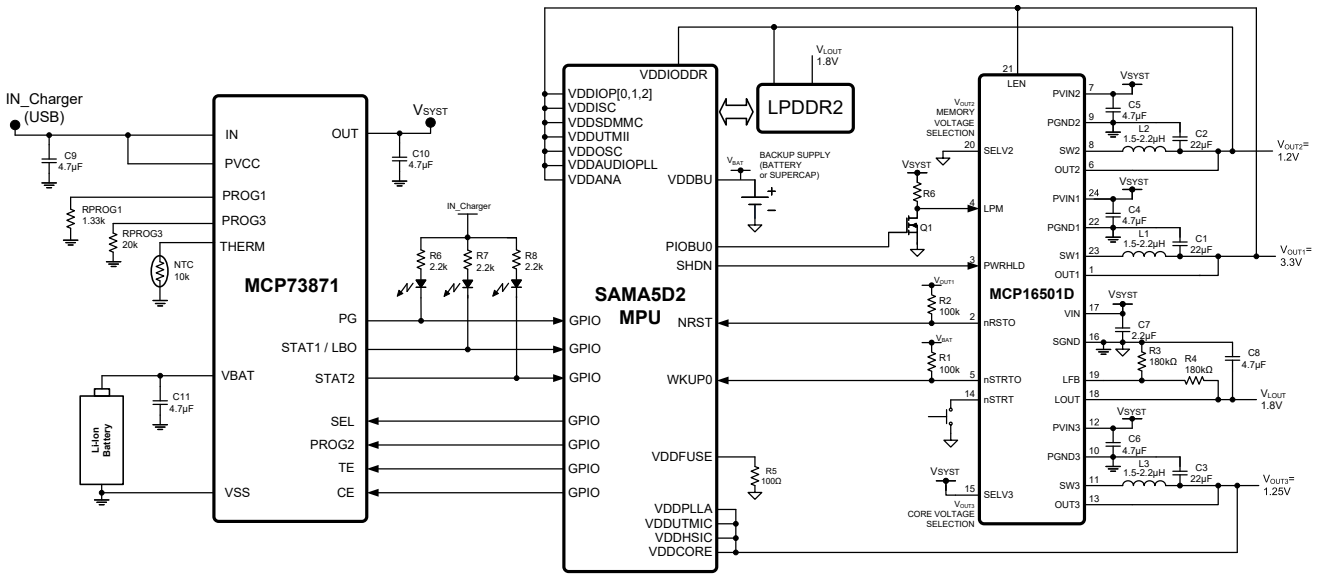
在 PMIC 级别，SELV2 和 SELV3 引脚用于对某些电压轨的默认设置进行编程，这些电压轨必须在上电序列期间激活，但其电压值取决于应用。它们是 Buck2 和 Buck3，前者专用于 DDRx/LPDDRx 电源，后者专用于内核电源。在本例中，SAMA5D2 连接了 LPDDR2 存储器。

**注：**SELV2 和 SELV3 在最终应用中始终采用硬接线，因此在运行期间无法动态更改。

当 MCP73871 向 PMIC 供电后，可通过两种方案来发起 PMIC 的有效启动事件：按下连接到 nSTRT 引脚的按钮，或者由 MPU 决定何时在 PWRHLD 引脚上产生低电平到高电平的跳变。

该器件可根据 MPU 的要求内置默认的电源通道序列。通过专用引脚（LPM）可轻松切换到低功耗模式，还能实现带 DDR 自刷新功能的备用模式（休眠模式）。

**图 5.** 使用 SAMA5D2 的典型应用详细示例




# 参考文档

| 文档标题 | 文档编号 | 下载 |
|---|---|---|
| MCP73830/L Data Sheet | DS20005049E | www.microchip.com/en-us/product/MCP73830L |
| MCP73833/4 数据手册 | DS22005A_CN | www.microchip.com.cn/newcommunity/Uploads/Download/Library/22005a_cn.pdf |
| MCP73871 Data Sheet | DS20002090F | www.microchip.com/en-us/product/MCP73871 |


© 2026 Microchip Technology Inc. 及其子公司

| 参考文档 （续） | | |
|---|---|---|
| 文档标题 | 文档编号 | 下载 |
| MCP16501 数据手册 | DS20006388B_CN | www.microchip.com.cn/newcommunity/Uploads/202104/6073de7146727.pdf |
| MCP16502 数据手册 | DS20006275B_CN | www.microchip.com.cn/newcommunity//Uploads/202008/5f45b6e4c721b.pdf |
| AN4298 应用笔记 | DS00004298A_CN | www.microchip.com.cn/newcommunity/Uploads/202304/6442194934423.pdf |
| LI-ION SYSTEM PPM Reference Design | DS51746A | ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/51746a.pdf |

# 版本历史

版本历史部分汇总了文档中所做的更改，并按照出版物版本从新到旧的顺序列出。

| 版本 | 日期 | 章节 | 说明 |
|---|---|---|---|
| A | 2025 年 9 月 | | 本文档的初始版本 |


© 2026 Microchip Technology Inc. 及其子公司

# Microchip 信息

## 商标

“Microchip”的名称和徽标组合、“M”徽标及其他名称、徽标和品牌均为 Microchip Technology Incorporated 或其关联公司和/或子公司在美国和/或其他国家或地区的注册商标或商标（“Microchip 商标”）。有关 Microchip 商标的信息，可访问 https://www.microchip.com/en-us/about/legal-information/microchip-trademarks。

ISBN： 979-8-3371-2806-1

## 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。

本出版物及其提供的信息仅适用于 Microchip 产品，包括设计、测试以及将 Microchip 产品集成到您的应用中。以其他任何方式使用这些信息都将被视为违反条款。本出版物中的器件应用信息仅为您提供便利，将来可能会发生更新。您须自行确保应用符合您的规范。如需额外的支持，请联系当地的 Microchip 销售办事处，或访问 www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-support-services。

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、偶然的或附带的损失、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。

## Microchip 器件代码保护功能

请注意以下有关 Microchip 产品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：在正常使用且符合工作规范的情况下，Microchip 系列产品非常安全。
- Microchip 注重并积极保护其知识产权。严禁任何试图破坏 Microchip 产品代码保护功能的行为，这种行为可能会违反《数字千年版权法案》（Digital Millennium Copyright Act）。
- 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。


© 2026 Microchip Technology Inc. 及其子公司