

## 简介

作者：Microchip Technology Inc.的 Usha Ganesh 和 Tamoggemon Holding ks 的 Tam Hanna (tamhan@tamoggemon.com)

现代过程计算机（通常基于高端 32 位或 64 位微处理器）为开发人员提供了操作系统的绝佳选择。但是，强大的处理能力是以同样较高的功耗需求为代价，这在电池供电的实时应用中可能是一个问题。8 位 PIC® 单片机兼具简单、低功耗和高性价比的特点，使用它作为辅助器件来控制系统功耗状态会非常方便，而且性价比也高。本应用笔记将以 PIC16F 单片机作为辅助器件进行讨论。

本应用笔记演示了如何在此类应用中使用 PIC16F15244 单片机进行系统电源控制。作为案例研究，为了进行演示，使用基于 Raspberry Pi® 单板计算机（Single Board Computer, SBC）的参考应用作为过程计算机（主机），使用 PIC16F15244 Curiosity Nano 评估工具包作为电源控制模块（从机）。此外，本应用笔记中的一个用例还使用另一个 PIC16F15244 单片机对 SBC 功能进行了仿真。章节 [3.6 过程计算机固件概述](#) 和 [3.7 电源控制模块固件概述](#) 分别介绍了使用 PIC16F15244 单片机和 PIC16F15244 Curiosity Nano 评估工具包开发的过程计算机固件和电源控制模块固件。有关基于 PIC16F15245 单片机的电源控制板硬件设计文件，请参见补充文件；有关这些文件的链接，请访问 Microchip 网站上的器件产品页面。应用固件以 GitHub 项目的形式提供；本文档中提供了 GitHub 资源库的直接链接。

## 专题

本应用笔记涵盖以下专题：

- 使用 PIC16F15244 系列单片机进行系统电源控制
- 使用 PIC16F15244 Curiosity Nano 评估工具包进行系统电源控制应用仿真
- 功耗数据分析
- 使用 Raspberry Pi 和 PIC16F15245 控制板进行系统电源控制应用演示（有关完整说明，请参见章节 [6. 附录：面向 Raspberry Pi 应用的系统电源控制](#)）

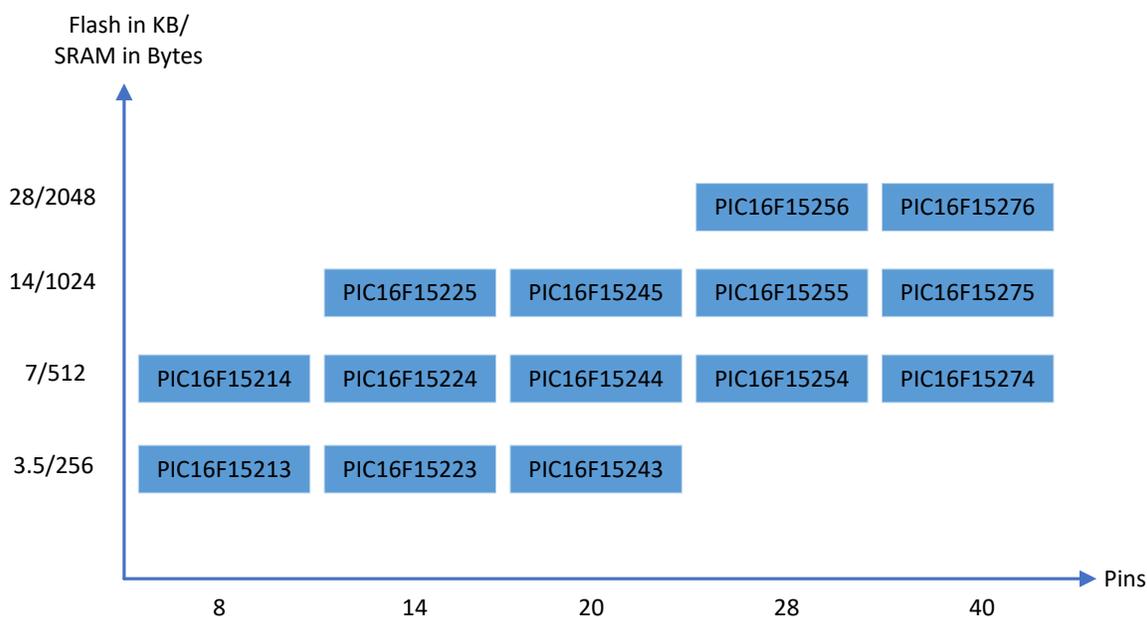
# 目录

简介.....	1
专题.....	1
1. 相关器件.....	3
2. 使用 PIC16F15244 系列单片机进行系统电源控制.....	4
3. 使用 PIC16F15244 单片机进行系统电源控制仿真.....	5
3.1. 应用概述.....	5
3.2. PIC16F15244 Curiosity Nano 评估工具包.....	5
3.3. 硬件设置.....	6
3.4. 单片机引脚配置详细信息.....	6
3.5. PIC16F15244 单片机固件.....	7
3.6. 过程计算机固件概述.....	7
3.7. 电源控制模块固件概述.....	8
3.8. 单片机配置详细信息.....	9
3.9. 存储器使用情况.....	10
3.10. 功耗分析.....	10
3.11. 演示设置.....	11
4. 实际应用.....	12
5. 结论.....	13
6. 附录：面向 Raspberry Pi®应用的系统电源控制.....	14
6.1. 应用固件.....	14
6.2. 演示设置.....	16
6.3. 功耗分析.....	16
6.4. PIC16F15245 控制板原理图.....	17
Microchip 网站.....	19
产品变更通知服务.....	19
客户支持.....	19
Microchip 器件代码保护功能.....	19
法律声明.....	19
商标.....	20
质量管理体系.....	21
全球销售及服务网点.....	22

## 1. 相关器件

PIC16F15244 单片机系列产品提供 8/14/16/20/28/40/44 引脚封装，适合成本敏感型传感器和实时控制应用。PIC16F15244 单片机系列提供最高 28 KB 的闪存和最高 2 KB 的 SRAM。该单片机系列还提供额外的存储器功能，例如支持用户实现数据保护和自举程序应用的存储器访问分区（Memory Access Partition, MAP）以及通过存储固定参考电压（Fixed Voltage Reference, FVR）失调值帮助提高 ADC 精度的器件信息区（Device Information Area, DIA）。此外，PIC16F15244 系列器件还提供了丰富的内核特性、节能功能以及数字和模拟外设。

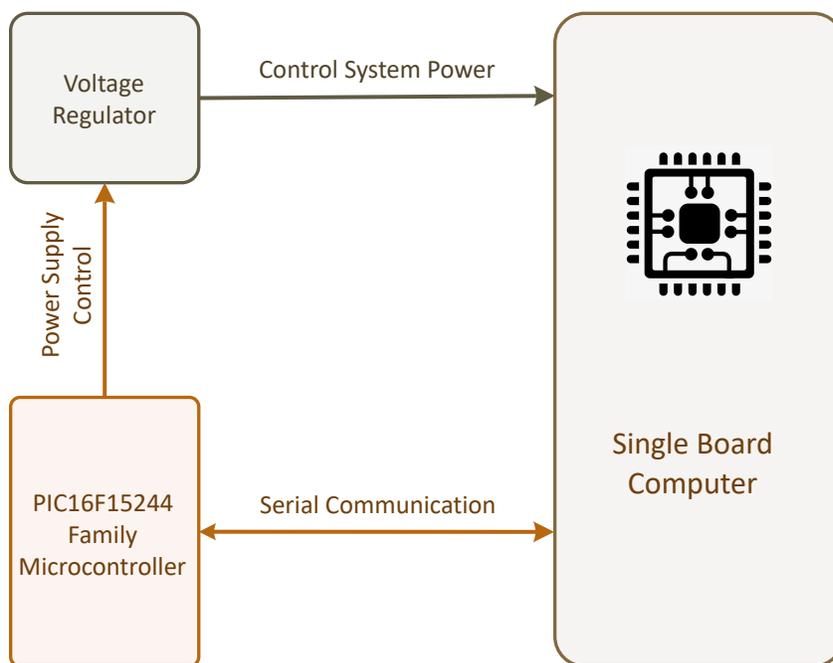
图 1-1. PIC16F15244 系列单片机概述



## 2. 使用 PIC16F15244 系列单片机进行系统电源控制

下面以基于 Raspberry Pi 单板计算机（SBC）开发的高端应用为例。SBC 在工作状态下的功耗非常大，但可能并非总是需要处于工作状态。为了最大限度地节省功耗，应切断整个 SBC 的电源，而不是仅仅关闭 CPU。为了执行该操作，使用了 PIC16F15244 系列单片机作为系统中的辅助单片机，以通过稳压器开启和关闭 SBC 电源。关闭稳压器后，单片机可进入休眠模式，以进一步降低系统功耗。

图 2-1. 使用 PIC16F15244 系列单片机进行系统电源控制



（如前文所述，电源控制系统可使用任何 8 位 PIC 单片机来实现。）

何时开启或关闭稳压器有多种可能。例如，智能主机可向从机发出命令，指示其关闭电源并向其提供保持关闭状态的时间。此外，也可以通过用户界面来开启和关闭电源。触摸时唤醒就是这样一个示例。因此，应用可通过多种方式进行扩展。本应用笔记中讨论了一个这样的用例。

### 3. 使用 PIC16F15244 单片机进行系统电源控制仿真

为了演示系统电源控制应用，使用了两个 PIC16F15244 Curiosity Nano 评估工具包：一个充当主机，另一个充当从机。主机（从此处开始称为“过程计算机”）用于仿真基于 Raspberry Pi 的 SBC 功能。从机（称为“电源控制模块”）用于控制稳压器的开启或关闭；这一功能由板上 LED 仿真。

有关基于 Raspberry Pi 板的实现和演示，请参见章节 6. 附录：面向 Raspberry Pi 应用的系统电源控制。

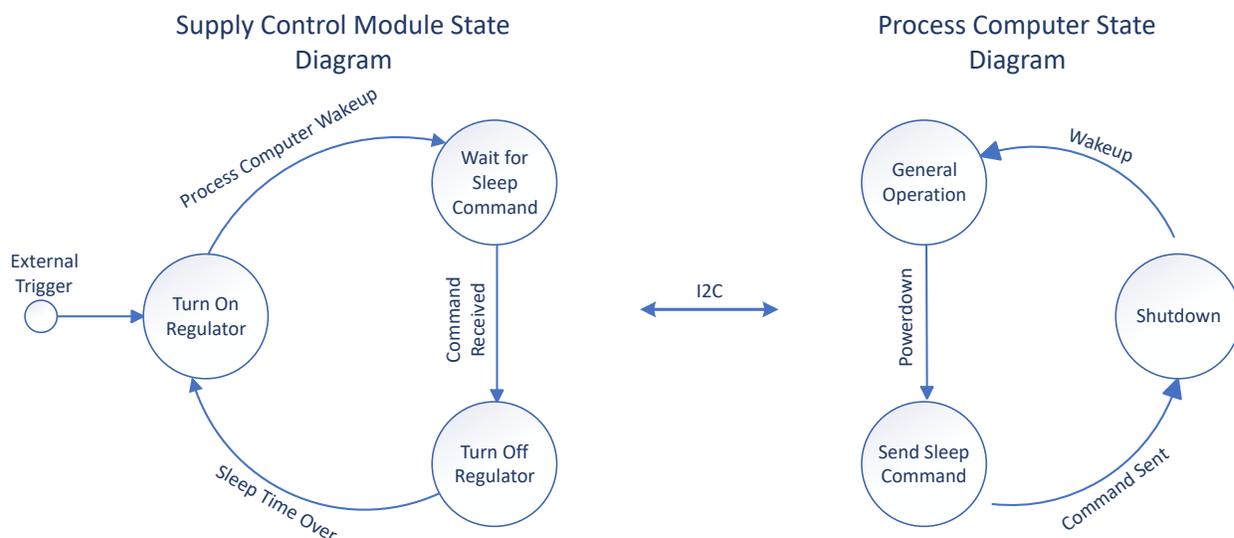
#### 3.1 应用概述

为了实现仿真的系统电源及其控制，使用两个 PIC16F15244 Curiosity Nano 评估工具包开发了一个简单的应用。过程计算机通过 I<sup>2</sup>C 总线向电源控制模块发出命令以关闭系统电源。休眠指令中包含系统需置于低功耗模式的持续时间。为简单起见，使用过程计算机（即，用于仿真过程计算机的 PIC16F15244 Curiosity Nano 工具包）板上的开关来触发掉电命令。

在收到休眠命令后，电源控制模块将等待 30 秒钟，然后才关闭稳压器。这段时间为过程计算机留出了足够的时间来执行类似 Linux<sup>®</sup> OS 的操作系统所需的关闭后台处理任务（例如调用关闭程序）。电源控制模块器件会禁止仿真的稳压器，然后进入休眠模式。电源控制模块将在掉电周期结束或检测到外部触发信号后自动开启稳压器。

图 3-1 演示了过程计算机和电源控制模块的操作。

图 3-1. 过程计算机固件和电源控制模块固件的应用状态图



**掉电命令：**掉电命令由电源控制模块的单片机发出，以触发关闭稳压器。此外，该命令中还包含系统将处于关闭状态的持续时间。该命令包含一个用于支持跨平台操作的 ASCII 字符串：*S*（秒数），其中第一个字符是字符“S”，后面的六个字符是以秒为单位的关闭持续时间（例如，“S007200”代表系统关闭 7200 秒或两个小时）。

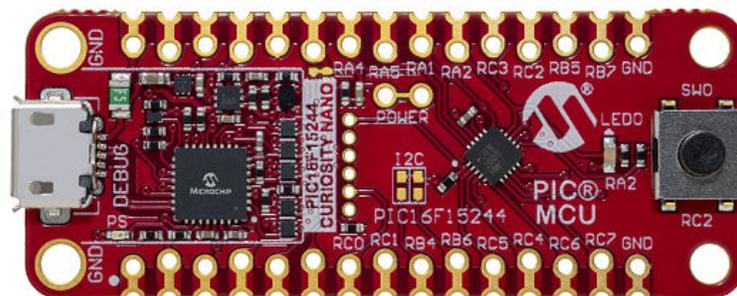
**手动唤醒中断：**如果过程计算机需要在掉电周期结束之前开启，则电源控制模块也可接受用户输入。为了演示该功能，使用了作为电源控制器的 Curiosity Nano 板上的开关。按下开关时，电源控制将立即开启稳压器。

#### 3.2 PIC16F15244 Curiosity Nano 评估工具包

PIC16F15244 Curiosity Nano 评估工具包是一个硬件平台，旨在评估 PIC16F15244 系列单片机的外设功能。Curiosity Nano 系列评估工具包板上配有编程器和调试器，无需外部工具即可对 PIC16F15244 单片机

进行编程和调试，因此成为用于演示该应用的理想硬件平台。该板通过 USB 端口连接 micro-B USB 线缆进行供电。

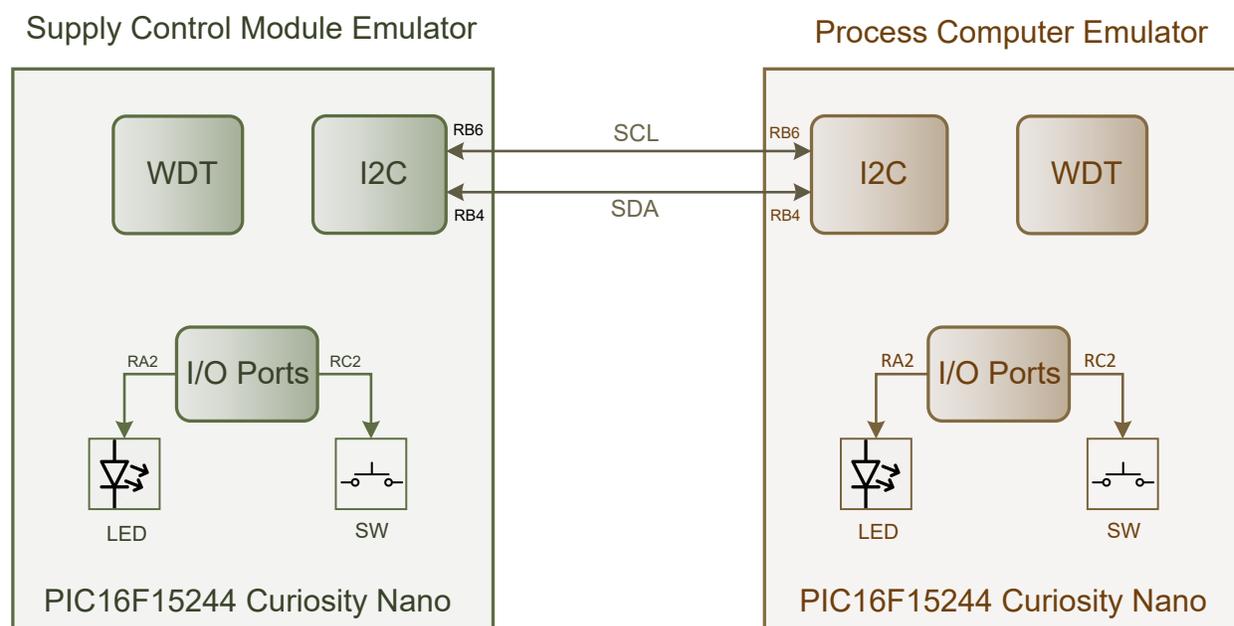
图 3-2. PIC16F15244 Curiosity Nano 评估工具包



### 3.3 硬件设置

图 3-3 给出了基于 PIC16F15244 Curiosity Nano 的系统电源控制仿真的硬件连接。

图 3-3. 硬件连接图



注：过程计算机板上配有 SDA 和 SCL 线所需的外部上拉电阻。主机 MCU 板上通常需加装上拉电阻，而从机板上不需要。

### 3.4 单片机引脚配置详细信息

表 3-1 和表 3-2 列出了主机（过程计算机）和从机（电源控制模块）PIC16F15244 Curiosity Nano 评估工具包的引脚配置详细信息。

表 3-1. 主机（过程计算机）单片机引脚配置

单片机引脚	信号名称	信号说明	引脚方向
RC2	开关	掉电命令	IN
RB4	SDA	I <sup>2</sup> C 串行数据	IN/OUT
RB6	SCL	I <sup>2</sup> C 串行时钟	IN/OUT

表 3-2. 从机（电源控制模块）单片机引脚配置

单片机引脚	信号名称	信号说明	引脚方向
RC2	开关	手动唤醒	IN
RA2	LED	稳压器	OUT
RB4	SDA	I <sup>2</sup> C 串行数据	IN/OUT
RB6	SCL	I <sup>2</sup> C 串行时钟	IN/OUT

### 3.5 PIC16F15244 单片机固件

系统电源控制应用包括两套固件，一套用于过程计算机，另一套用于电源控制模块。如前面的章节详述，主机（过程计算机）和从机（电源控制模块）均使用 PIC16F15244 Curiosity Nano 工具包进行仿真。两块板的固件均使用以下开发环境创建：

- MPLAB® X 集成开发环境（Integrated Development Environment, IDE）v5.50
- MPLAB 代码配置器（MPLAB Code Configurator, MCC）v5.0.3
- XC8 编译器 v2.32
- 主同步串行端口（Master Synchronous Serial Port, MSSP）MCC Melody 驱动程序 v6.1.0
- Timer0（TMR0）MCC Melody 驱动程序 v4.0.7



AN4121: Process Computer Firmware

[Click to browse repositories](#)



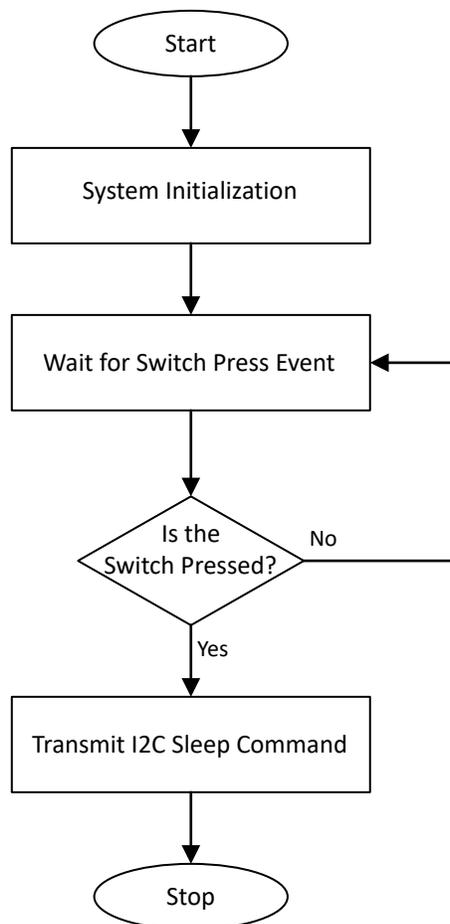
AN4121: Supply Control Module Firmware

[Click to browse repositories](#)

### 3.6 过程计算机固件概述

用于系统电源控制演示的过程计算机端固件是为了仿真过程计算机的掉电功能而开发的。如章节 3.1. 应用概述中详述，当检测到开关按下事件时，计算机将发出掉电命令。图 3-4 给出了详细的固件实现方法。

图 3-4. 系统电源控制——过程计算机固件流程图

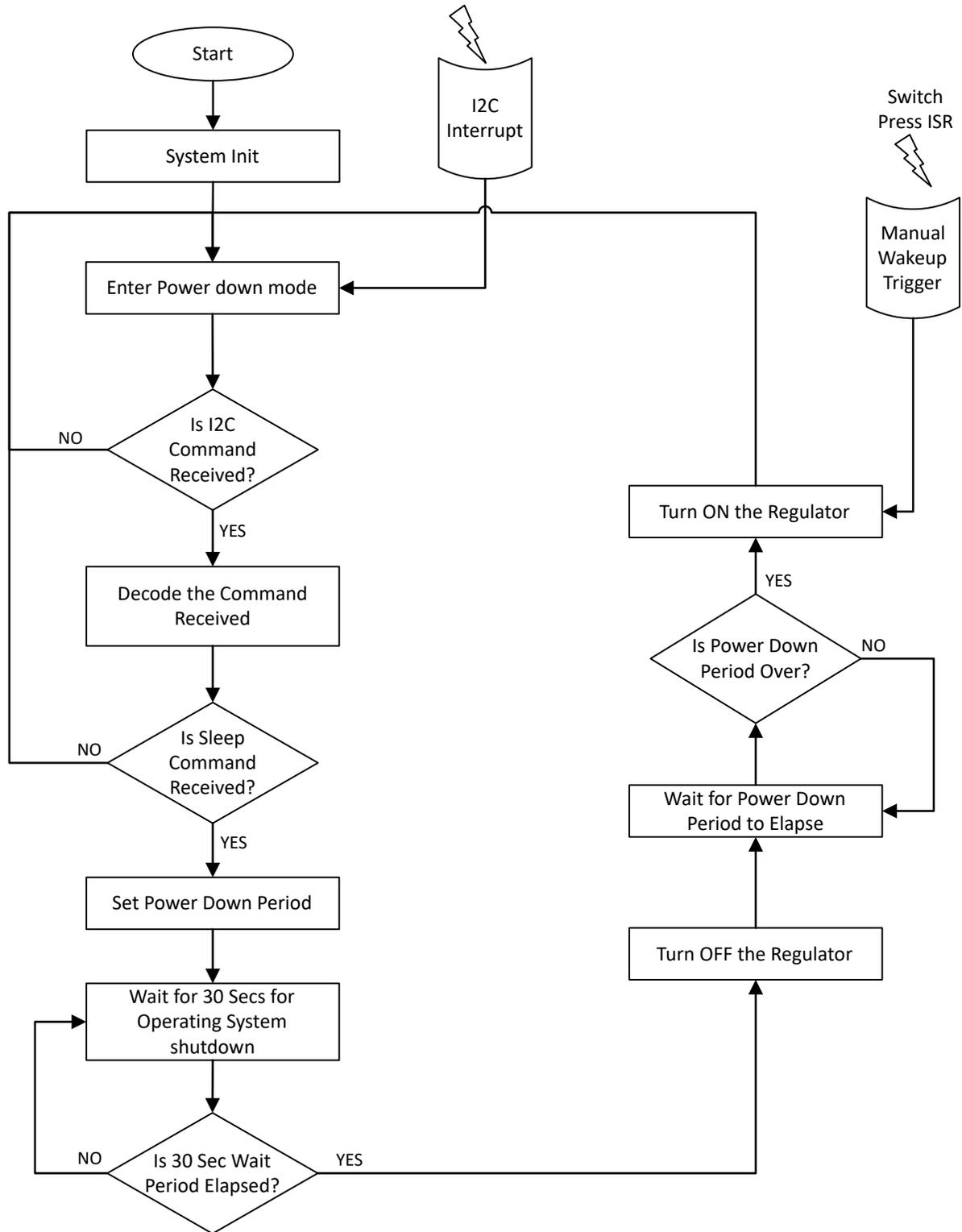


### 3.7 电源控制模块固件概述

电源控制模块应用固件首先初始化系统和 PIC16F15244 单片机所需的外设。完成初始化后，单片机进入掉电模式。单片机将保持掉电模式，直到收到来自过程计算机的 I<sup>2</sup>C 命令为止。收到 I<sup>2</sup>C 中断后，单片机从休眠状态唤醒并验证收到的 I<sup>2</sup>C 命令是否有效。

收到有效的休眠命令后，控制模块将等待 30 秒钟（使用定时器外设），然后才关闭稳压器。当 30 秒等待时间结束后，应用固件将立即禁止 I<sup>2</sup>C 外设并关闭 LED（稳压器），然后通过进入休眠状态以进入低功耗模式。用户可根据应用要求来配置该等待时间。电源控制器件使用看门狗定时器（Watchdog Timer, WDT）定期从休眠模式唤醒。当总掉电持续时间结束后，或者检测到有效的开关按下事件后，电源控制模块会点亮 LED。图 3-5 给出了应用的固件流程。

图 3-5. 系统电源控制固件流程图



### 3.8 单片机配置详细信息

表 3-3 列出了 PIC16F15244 单片机的工作条件以及用于系统电源控制演示的电源控制模块上配置的外设。

表 3-3. 电源控制模块单片机配置

参数	值
单片机	PIC16F15244
系统时钟	HFINTOSC, 8 MHz
工作电压	3.3V
MSSP 配置	I <sup>2</sup> C (从模式)
TMR0 配置	溢出中断模式, 10 ms
看门狗配置	已使能, 8s
外部中断 (EXT) 配置。	已使能, 引脚 RC2

### 3.9 存储器使用情况

表 3-4 详细给出了使用 PIC16F15244 单片机开发电源控制演示固件时对代码存储器和数据存储器的使用情况。

表 3-4. 程序存储器和数据存储器的使用情况

MPLAB <sup>®</sup> 编译器优化	程序存储器 (字节)	数据存储器 (字节)
0	2411	133
1	2154	133
2	2084	133
3	1760	129
s	1760	129

### 3.10 功耗分析

在本应用中，系统功耗是指过程计算机板与电源控制模块板的功耗之和。当过程计算机板掉电时，系统总功耗即为电源控制模块板的功耗。因此，为了将系统平均功耗保持在最低水平，将电源控制板上的 PIC16F15244 单片机配置为休眠模式至关重要。单片机的休眠时间越长，单片机的平均功耗越低。表 3.5 列出了 PIC16F15244 单片机在不同休眠周期下的电流消耗数据。

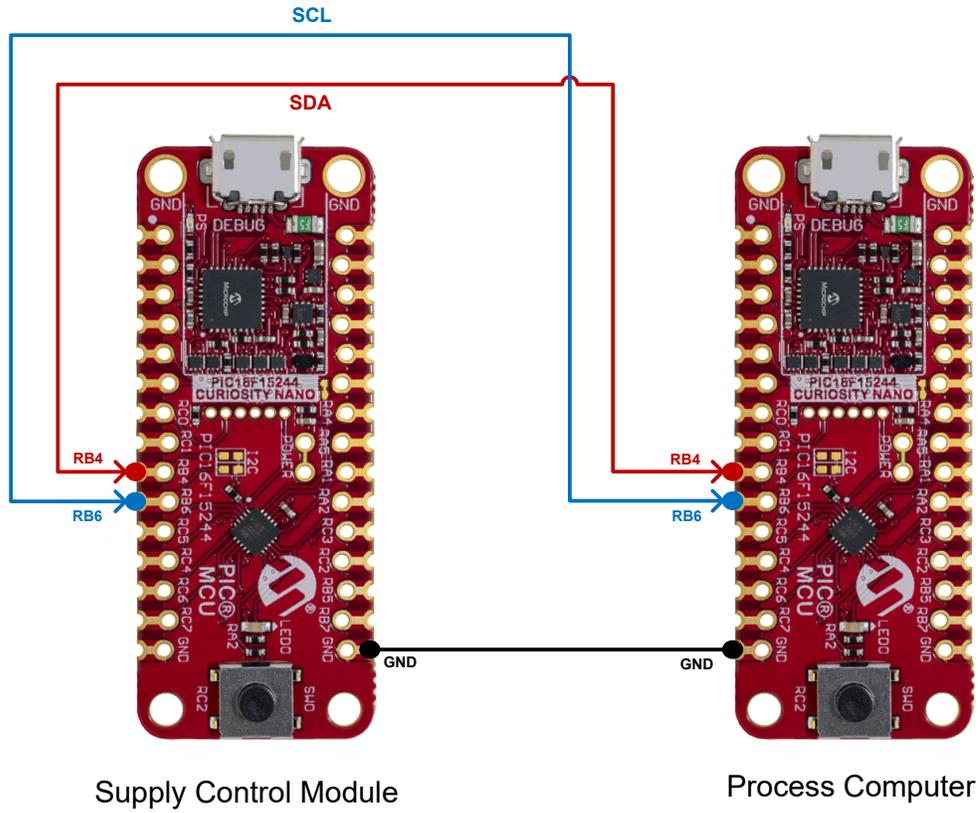
注：使用 Microchip [功率调试器](#) 硬件和 MPLAB [数据可视化器](#) 捕捉 PIC16F15244 单片机的电流消耗值。

表 3-5. PIC16F15244 单片机的电流消耗

工作电流 (μA)	工作周期 (μs)	休眠电流 (μA)	休眠时间 (s)	平均电流 (μA)
160	202	2	8	2
160	202	2	16	2
160	202	2	32	2
160	202	2	64	2

### 3.11 演示设置

图 3-6. PIC16F15244 Curiosity Nano 评估工具包硬件设置



## 4. 实际应用

在大多数使用高端 32 位单片机和微处理器设计的功耗关键型实际应用中，通常使用单独的集成电路进行高效的系统电源控制和管理。但某些应用可能只需要一个简单的电源控制器件，同时具备一定的扩展能力即可，例如动态配置系统休眠时间以及通过线性降压稳压器电路及时控制系统电源。在这类应用中，使用 PIC16F 系列单片机作为辅助单片机来控制系统电源不仅能满足应用要求，还能保证解决方案的高性价比。

本章重点介绍了可在系统中使用 PIC16F 系列单片机作为辅助单片机进行电源控制的实际应用。

安装在校车中的 GPS 跟踪和驾驶员辅助设备就是一个很好的用例示例。该设备需要在清晨和傍晚的两段固定时间内跟踪校车的行驶轨迹，其余时间处于非工作状态。该设备由校车电气系统中的 12V 电池供电；校车交流发电机在运行状态下始终为电池充电。但是，非活动期（如周末和节假日）时间较长，设备有可能会耗尽电池电量，这是一种潜在的风险。为了缓解这一问题，可使用 PIC16F 系列单片机作为跟踪设备上的辅助单片机，以通过稳压器电路控制设备的电源。这样，设备便可以仅在非节假日为过程计算机供电，从而避免耗尽校车的电池。

PIC16F 系列单片机可在许多其他应用中用作控制系统电源的辅助单片机，例如：

- 电池供电的室外气象站
- 自动售货机
- 自动售票系统
- 数字标牌
- 家庭和楼宇自动化
- 电机控制

## 5. 结论

本应用笔记向开发人员简要介绍了如何使用 8 位单片机来降低过程计算机（如 SBC）的功耗。

本应用笔记中所述的概念验证应用可通过多种方式进行扩展。例如，可通过过程计算机自身监视实际休眠时间来补偿振荡器的误差和启动延时。这样，过程计算机便可调整系统的预期休眠时间。此外，各种实时任务也可转交给 8 位 PIC 单片机进行处理。

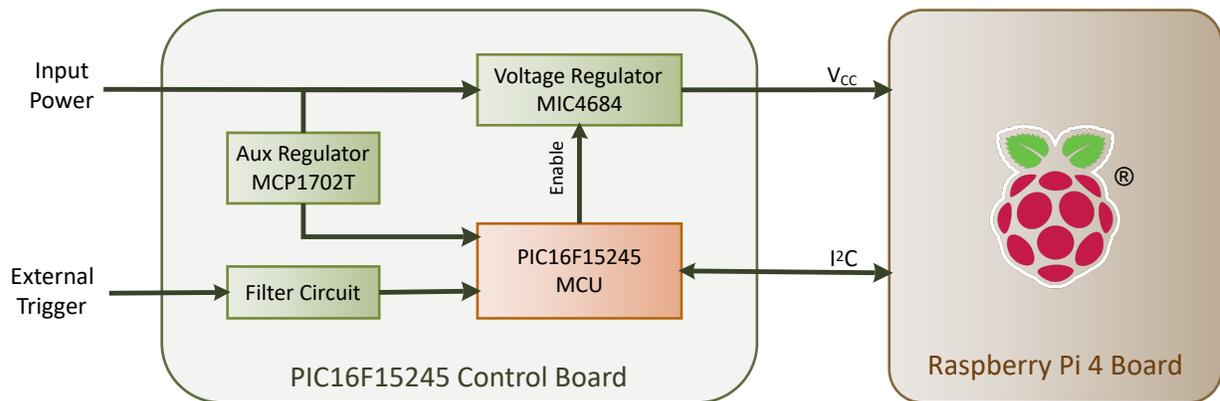
## 6. 附录：面向 Raspberry Pi® 应用的系统电源控制

本章演示了适用于基于 Raspberry Pi 的参考应用的系统电源控制用例。这里讨论的过程计算机功能也可以在其他平台上实现，例如 Shenzhen Xunlong 的一款 Orange Pi™ 板。

在本演示中，电源控制模块器件将控制 Raspberry Pi 板在需要进入掉电模式时的功耗。针对 Raspberry Pi 板的电源控制是使用一块装有 PIC16F15245 单片机和具备使能控制功能的 MIC4684 开关稳压器的专用硬件板来实现。该硬件还配备了一个 MCP1702T 低压差稳压器，用于为 PIC16F15245 单片机供电。图 6-1 给出了用于演示的硬件连接框图。

如果需要立即唤醒 Raspberry Pi 板，PIC16F15245 控制板上则提供了外部触发输入。

图 6-1. Raspberry Pi® 电源控制演示的硬件连接



该应用的功能与章节 3. 使用 PIC16F15244 单片机进行系统电源控制仿真中详述的基于 PIC16F15244 Curiosity Nano 工具包的实现类似。过程计算机实现改为 Raspberry Pi 板，电源控制模块实现改为专用硬件设置，即 PIC16F15245 控制板。

如章节 3.1. 应用概述中所述，当需要关闭 Raspberry Pi 板时，将通过 I<sup>2</sup>C 通信接口向 PIC16F15245 单片机发出掉电命令。PIC16F15245 单片机随后通过控制对 MIC4684 的使能信号来关闭稳压器。这将切断 Raspberry Pi 板的电源。关闭电源后，PIC16F15245 单片机将进入低功耗模式。这将为整个系统节省相当大的功耗。当休眠时间结束或检测到外部触发信号时，PIC16F15245 单片机将再次开启电源。

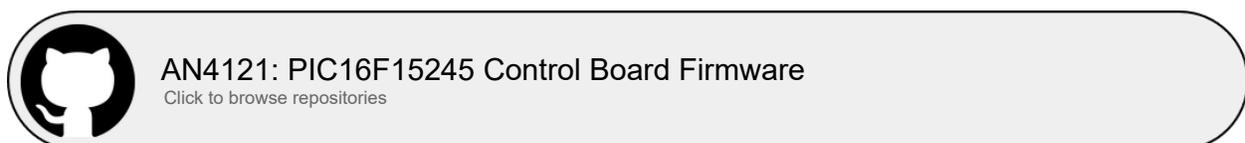
注：“Raspberry Pi”和 Raspberry Pi 徽标是 Raspberry Pi Foundation 的注册商标。“Orange Pi”是 Shenzhen Zunlong Software CO. 的商标。

### 6.1 应用固件

用于 PIC16F15245 单片机的固件与章节 3.7. 电源控制模块固件概述中所述的电源控制模块固件相同。更多详细信息，请参见相应的章节。

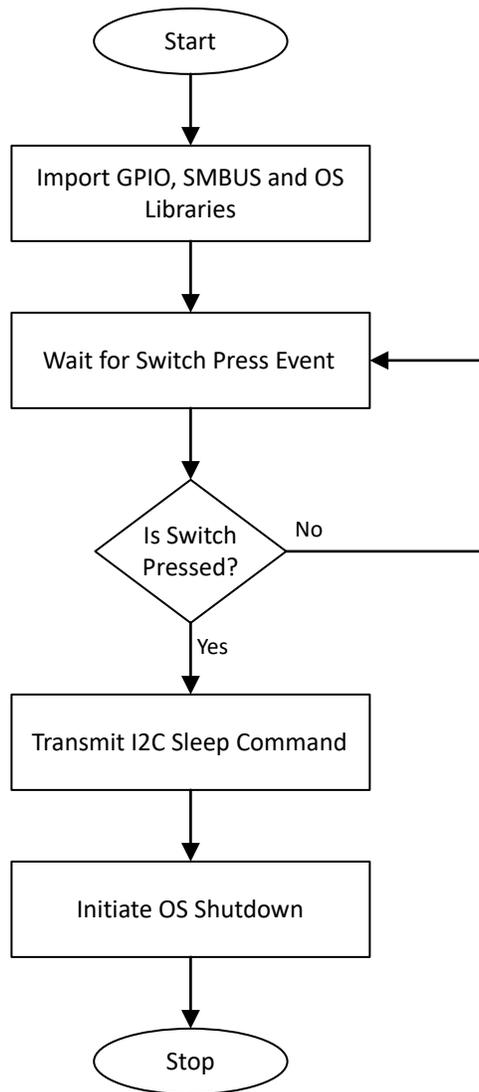
#### Raspberry Pi 固件

Raspberry Pi 4 板上编程的基本固件会在发生开关按下事件时通过 I<sup>2</sup>C 接口发出休眠命令。在本应用笔记中，Raspberry Pi 板使用 Python™ 编程语言进行编程。



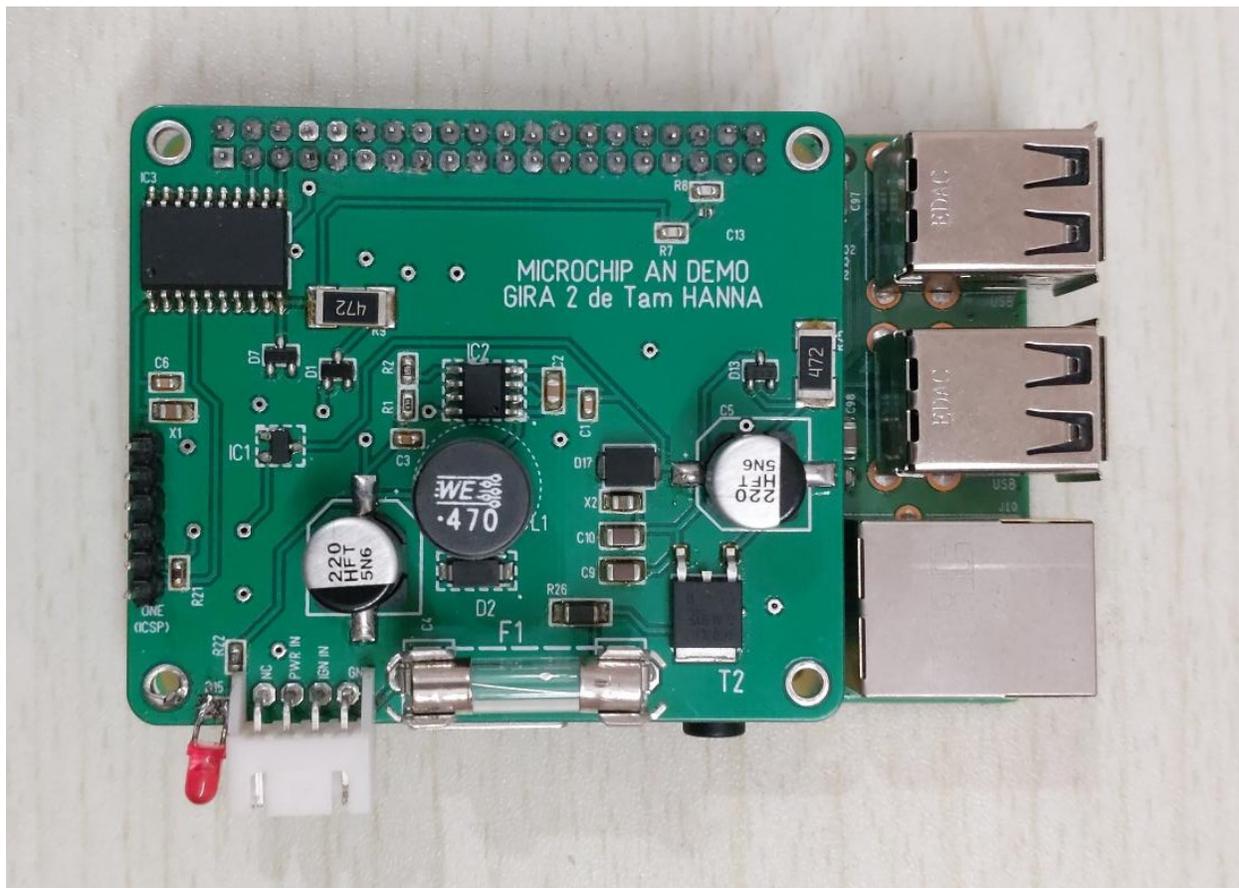
下图给出了 Raspberry Pi 固件的简化流程。

图 6-2. Raspberry Pi® 固件流程图



## 6.2 演示设置

图 6-3. Raspberry Pi® 硬件设置



## 6.3 功耗分析

在软件关断模式下，Raspberry Pi 板的功耗为 1.6W，而包括 PIC16F15245 控制板在内的整个系统功耗为 1.9W。假设 Raspberry Pi 系统每天需要工作 12 小时，那么一天下来节省的电量约为 19.2 Wh ( $1.6W * 12$  小时)。如果将 PIC16F15245 单片机置于休眠模式，则可进一步节省功耗。表 6-1 详细列出了 Raspberry Pi 板处于工作状态与休眠状态时应用的功耗。在工作模式下，Raspberry Pi 板消耗 2.5W，而控制板上的 PIC16F15245 单片机消耗 508  $\mu$ W。

表 6-1. 整个应用系统的功耗

系统状态	Raspberry Pi 功耗 (W) <sup>(1)</sup>	PIC16F15245 MCU 功耗 ( $\mu$ W) <sup>(1)</sup>	系统总功耗 (W) <sup>(1, 2, 3)</sup>
工作	2.5	508	2.9
休眠	0	6.6	0.03

**注：**

1. 使用 Microchip 功率调试器硬件和 MPLAB 数据可视化器软件捕捉 PIC16F15245 单片机的电流消耗值。
2. 系统总功耗是 Raspberry Pi 板功耗与 PIC16F15245 控制板功耗之和。
3. “系统总功耗”列中额外的功耗是由于 PIC16F15245 控制板上额外的硬件产生，例如稳压器 (MIC4684)、辅助稳压器 (MCP1702T) 和滤波电路。

## 6.4 PIC16F15245 控制板原理图

图 6-4. 稳压器IC1 原理图（为PIC®单片机供电）

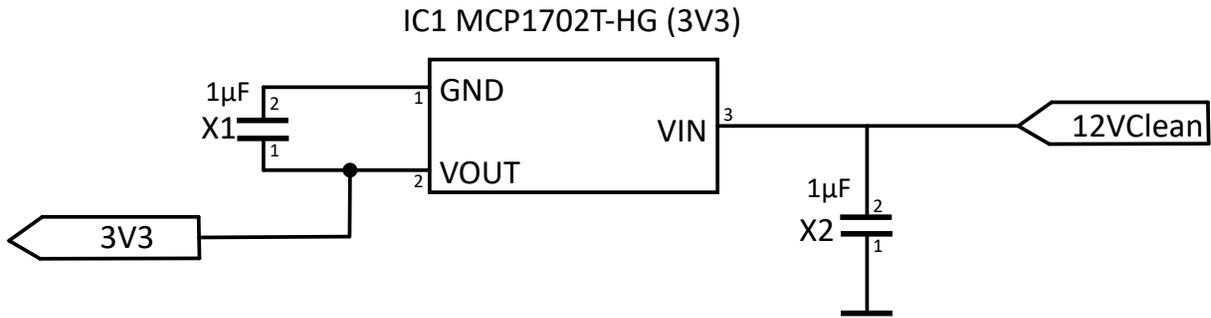


图 6-5. 稳压器IC2 原理图（为Raspberry Pi 板供电）

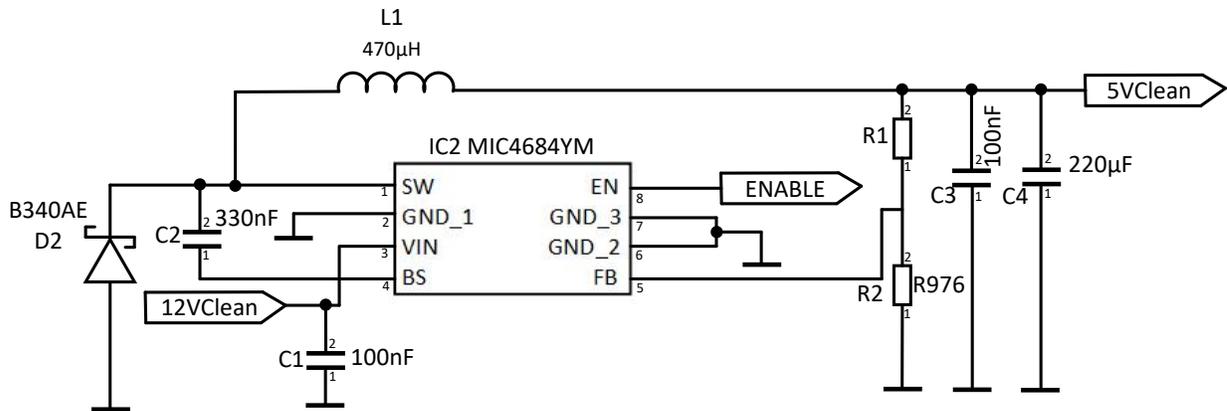
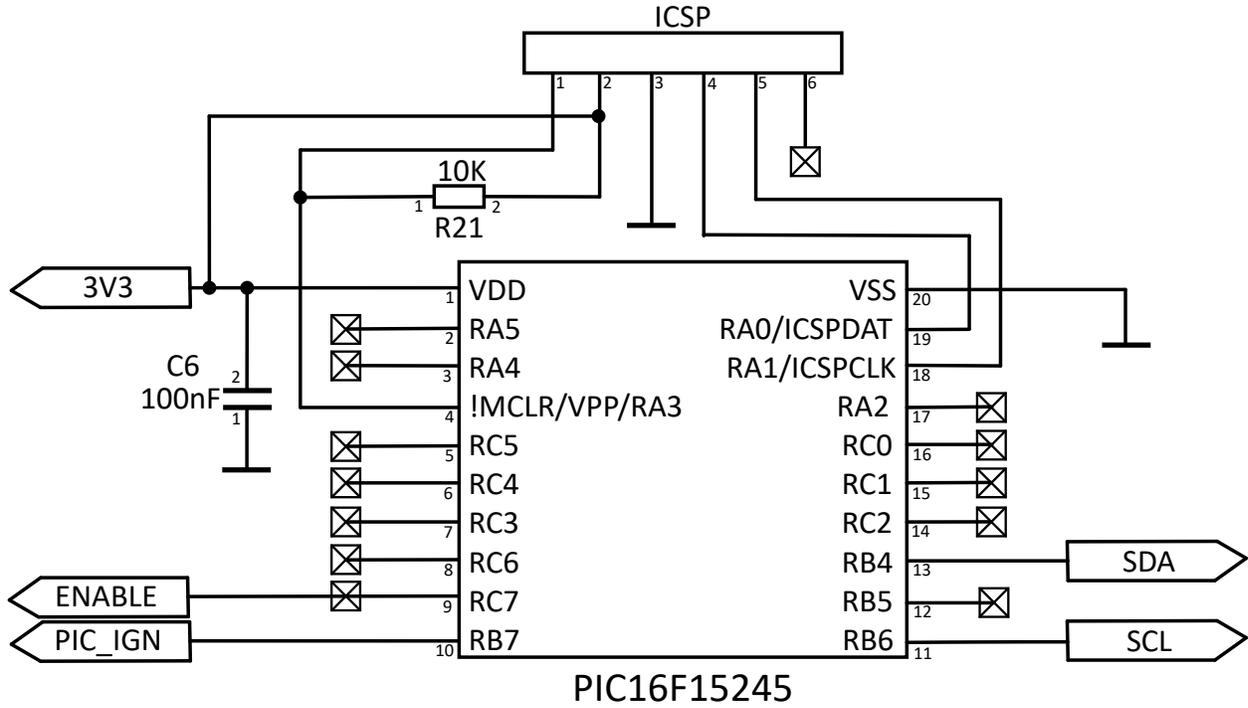


图 6-6. PIC16F15245 原理图



## Microchip 网站

Microchip 网站 ([www.microchip.com](http://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](http://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](http://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 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：在按照操作规范正常使用的情况下，Microchip 系列产品非常安全。
- Microchip 重视并积极保护其知识产权。任何试图破坏 Microchip 产品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)》并予以严禁。
- 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。

## 法律声明

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、测试以及与应用相集成。以任何其他方式使用这些信息，都将违反相关条款。器件应用信息仅为您提供便利，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。如需更多支持，请联系您当地的 Microchip 销售办事处，或访问 [www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-support-services](http://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、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maxStylus、maxTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、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 和 XMEGA 是 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家/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、TrueTime、WinPath 和 ZL 是 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、GridTime、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、Knob-on-Display、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、NVM Express、NVMe、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、SmartHLS、SMART-I.S.、storClad、SQL、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect 和 ZENA 是 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家/地区的商标。

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

Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology、Symmcom 和 Trusted Time 是 Microchip Technology Inc. 在其他国家/地区的注册商标。

GestIC 是 Microchip Technology Inc. 子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG 在其他国家/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。

© 2024, Microchip Technology Incorporated 及其子公司。版权所有。

ISBN: 978-1-6683-3961-9

## 质量管理体系

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