



MICROCHIP

**dsPIC33CH Curiosity
开发板 DM330028-2
用户指南**

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指标。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，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。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- 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。

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 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，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。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伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任，并加以赔偿。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中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、PacTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TempTrackr、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

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

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet 徽标、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、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

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

Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology 和 Symmcom 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。

© 2019, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-5160-0

有关 Microchip 质量管理体系的更多信息，请访问 www.microchip.com/quality。

目录

前言	5
简介	5
文档编排	5
本指南使用的约定	6
推荐读物	7
Microchip 网站	8
开发系统变更通知客户服务	8
客户支持	9
文档版本历史	9
第1章 简介	11
1.1 原理图和物料清单 (BOM)	12
第2章 硬件	13
2.1 开发板供电	13
2.1.1 USB 电源	13
2.1.2 外部电源	13
2.2 使用预编程的演示固件	14
2.3 重新编程和调试 dsPIC33CH512MP508 器件 (U1)	14
2.4 使用隔离的 USB 转 UART 接口	15
2.5 电路详细信息	15
2.5.1 跳线/插座/连接器	15
2.5.2 SMPS 硬件过流保护	16
2.5.3 SMPS 硬件过压保护	17
2.5.4 PWM DAC/DC 偏置发生器	17
2.5.5 瞬态负载测试仪电路	18
2.6 下桥臂电流检测	19
2.7 上桥臂电流检测	20
附录 A 原理图	21
附录 B 物料清单 (BOM)	27
全球销售及服务网点	30

注:

前言

客户须知

本文档如同所有其他文档一样具有时效性。Microchip 会不断改进工具和文档以满足客户的需求，因此实际使用中有些对话框和 / 或工具说明可能与本文档所述之内容有所不同。请访问我们的网站 (www.microchip.com) 获取最新文档。

文档均标记有“DS”编号。该编号出现在每页底部的页码之前。DS 编号的命名约定为“DSXXXXXXXXA_CN”，其中“XXXXXXXX”为文档编号，“A”为文档版本。

欲了解开发工具的最新信息，请参考 MPLAB® IDE 在线帮助。从 Help（帮助）菜单选择 Topics（主题），打开现有在线帮助文件列表。

简介

本章包含使用 dsPIC33CH Curiosity 开发板 DM330028-2 前需要了解的一般信息。内容包括：

- [文档编排](#)
- [本指南使用的约定](#)
- [推荐读物](#)
- [Microchip 网站](#)
- [开发系统变更通知客户服务](#)
- [客户支持](#)
- [文档版本历史](#)

文档编排

本文档介绍了如何使用 dsPIC33CH Curiosity 开发板 DM330028-2。文档内容编排如下：

- [第1章“简介”](#) —— 本章介绍了 dsPIC33CH Curiosity 开发板 DM330028-2 并简要概述了其特性。
- [第2章“硬件”](#) —— 本章介绍了开发板上一些值得注意的硬件特性。
- [附录A“原理图”](#) —— 本附录提供了 dsPIC33CH Curiosity 开发板 DM330028-2 的原理图。
- [附录B“物料清单 \(BOM\)”](#) —— 本附录提供了开发板上组装的元件的列表。

本指南使用的约定

本指南采用以下文档约定：

文档约定

说明	表示	示例
Arial 字体：		
斜体字	参考书目	<i>MPLAB® IDE User's Guide</i>
	需强调的文字	…… 为仅有的编译器 ……
首字母大写	窗口	Output 窗口
	对话框	Settings 对话框
	菜单选择	选择 Enable Programmer
引用	窗口或对话框中的字段名	“Save project before build”
带右尖括号且有下划线的斜体文字	菜单路径	<i>File>Save</i>
粗体字	对话框按钮	单击 OK
	选项卡	单击 Power 选项卡
N'Rnnnn	verilog 格式的数字，其中 N 为总位数，R 为基数，n 为其中一位。	4'b0010, 2'hF1
尖括号 < > 括起的文字	键盘上的按键	按下 <Enter>, <F1>
Courier New 字体：		
常规 Courier New	源代码示例	#define START
	文件名	autoexec.bat
	文件路径	c:\mcc18\h
	关键字	_asm, _endasm, static
	命令行选项	-Opa+, -Opa-
	二进制位值	0, 1
	常量	0xFF, 'A'
斜体 Courier New	可变参数	<i>file.o</i> , 其中 <i>file</i> 可以是任一有效文件名
方括号 []	可选参数	mcc18 [选项] <i>file</i> [选项]
花括号和竖线: {}	选择互斥参数：“或”选择	errorlevel {0 1}
省略号 ...	代替重复文字	var_name [, var_name...]
	表示由用户提供的代码	void main (void) { ... }

推荐读物

本用户指南介绍了如何使用 dsPIC33CH Curiosity 开发板 DM330028-2。具体器件的数据手册包含有关特定单片机或数字信号控制器（Digital Signal Controller, DSC）的最新信息。以下 Microchip 文档均已提供，并建议读者作为补充参考资料。

MPLAB® XC16 C 编译器用户指南 (DS50002071E_CN)

该综合指南介绍了 Microchip 适用于 16 位器件的 MPLAB XC16 C 编译器（以前的 MPLAB C30）的用法、操作和特性。

MPLAB® X IDE 用户指南 (DS50002027C_CN)

该文档介绍了如何设置 MPLAB X IDE 软件以及如何使用其创建项目和编程器件。

dsPIC33CH512MP508 Family Data Sheet (DS70005371)

有关 dsPIC33CH 双核数字信号控制器（Digital Signal Controller, DSC）的详细信息，请参见该文档。该数据手册中包含以下参考信息：

- 器件存储器映射
- 器件引脚排列和封装细节
- 器件电气规范
- 器件中包含的外设列表

dsPIC33/PIC24 系列参考手册章节

这些系列参考手册（Family Reference Manual, FRM）章节介绍了 dsPIC® DSC MCU 系列架构和外设模块的操作。每个器件系列的具体信息在各自系列的器件数据手册中说明。

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。只要使用常用的互联网浏览器即可访问，网站提供以下信息：

- **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 顾问计划成员名单
- **Microchip 业务** —— 产品选型和订购指南、最新 Microchip 新闻稿、研讨会和活动策划表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

开发系统变更通知客户服务

Microchip 的变更通知客户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，请登录 Microchip 网站 www.microchip.com，点击“变更通知客户” (Customer Change Notification) 并按照注册说明完成注册。

开发系统产品的分类如下：

- **编译器** —— Microchip C 编译器、汇编器、链接器及其他语言工具的最新信息。包括所有 MPLAB C 编译器、所有 MPLAB 汇编器 (包括 MPASM™ 汇编器)、所有 MPLAB 链接器 (包括 MPLINK™ 目标链接器)，以及所有 MPLAB 库管理器 (包括 MPLIB™ 目标库管理器)。
- **仿真器** —— Microchip 在线仿真器的最新信息。其中包括 MPLAB REAL ICE™ 和 MPLAB ICE 2000 在线仿真器。
- **在线调试器** —— Microchip 在线调试器的最新信息。其中包括 MPLAB ICD 3 和 MPLAB ICD 4 在线调试器以及 PICKit™ 3 和 MPLAB PICKit 4 在线调试器。
- **MPLAB IDE** —— 关于开发系统工具的 Windows® 集成开发环境 Microchip MPLAB IDE 的最新信息，主要针对 MPLAB IDE、MPLAB IDE 项目管理器、MPLAB 编辑器、MPLAB SIM 软件模拟器以及一般编辑和调试功能。
- **编程器** —— Microchip 编程器的最新信息。其中包括生产编程器，例如 MPLAB REAL ICE 在线仿真器、MPLAB ICD 4 在线调试器、MPLAB PICKit 4 在线调试器以及 MPLAB PM3 器件编程器。还包括非生产用开发编程器，例如 PICKit 3 在线调试器。

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（CAE）
- 应用工程师（ESE）

客户应联系其代理商、代表或应用工程师（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 <http://microchip.com/support> 获得网上技术支持。

文档版本历史

版本A（2018年9月）

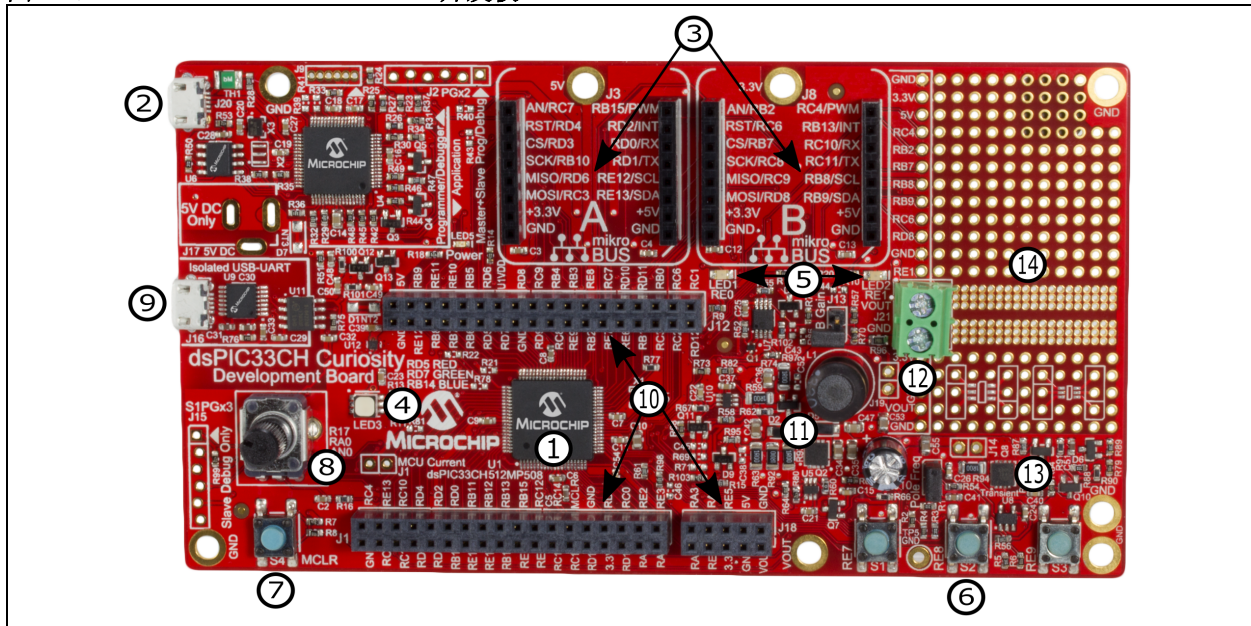
这是本文档的初始版本。

注:

第1章 简介

dsPIC33CH Curiosity 开发板 DM330028-2 旨在为 dsPIC33CH512MP508 系列双核高性能数字信号控制器提供经济高效的开发和演示平台。图 1-1 中突出显示了开发板的一些硬件特性。

图 1-1: dsPIC33CH CURIOSITY 开发板 DM330028-2



硬件特性:

1. dsPIC33CH512MP508 双核 16 位 DSP 目标器件。
2. 集成的板上 PICKit™ (PICKit-On-Board, PKOB) 编程器/调试器。
3. 2 个用于硬件扩展的 mikroBUS™ 接口，与 MikroElektronika (www.mikroe.com) 现有的多款 Click board™ 兼容。
4. 1 个红色/绿色/蓝色 (Red/Green/Blue, RGB) LED。
5. 2 个通用红色 LED 指示灯。
6. 3 个通用按钮。
7. 1 个 MCLR 复位按钮。
8. 10k 电位器。
9. 电隔离的 USB-UART 接口，波特率最高为 460,800。
10. I/O 引脚访问母头插座 (间距 100 mil)，用于探测和连接目标单片机的所有 GPIO 引脚。
11. 可配置开关电源 (Switch Mode Power Supply, SMPS) 测试电路，可在降压、升压或降压-升压三种模式下工作，支持使用电压模式或峰值电流模式控制。
12. 转换器输出电压螺钉端子。
13. 可配置的负载阶跃瞬态发生器。
14. 通用通孔和 SMT 原型设计区域。

1.1 原理图和物料清单 (BOM)

dsPIC33CH Curiosity 开发板 DM330028-2 的原理图和 BOM 分别位于 [附录 A “原理图”](#) 和 [附录 B “物料清单 \(BOM\)”](#) 部分。

第2章 硬件

2.1 开发板供电

2.1.1 USB 电源

该开发板主要由PKOB USB micro-B连接器J20供电。不由USB连接器J16提供电源，因为它是隔离的USB-UART接口的一部分。根据官方“*USB 2.0规范*”中的相关限制，USB应用从主机USB VBUS电源汲取的电流不得超过500 mA。自恢复保险丝TH1的额定电流为500 mA，可以强制执行USB电流限制，并且有助于在发生意外短路或SMPS输出过载时防止开发板或主机损坏。

用USB电源为开发板供电时，大约300 mA的VBUS电流可用于SMPS电路，因为应为开发板上的其他非SMPS电路（例如：主要是U1、U4、U11、R17和LED5等）保留共约200 mA的电流。

2.1.2 外部电源

如果在未安装的J17处安装了DC圆形插孔，则可以选择连接外部DC墙式适配器。如果使用外部墙式适配器，则它应合理稳压为输出额定电压5.0V，电流 $\leq 1.5A$ ，中心引脚为正。与使用USB电源供电相比，使用外部墙式适配器为开发板供电可使电路板上的SMPS电路获得更大功率。当需要较低电流时（例如，SMPS电路输出负载功率约 $< 1.2W$ ），无需使用外部电源即可进行标准操作。

当开发板通过J17供电时，自恢复保险丝TH1被旁路，因此，建议使用具有内部短路和过载保护（ $\leq 1.5A$ ）的墙式适配器，以便在意外短路时将电路损坏的风险降至最低。此外，如果使用外部墙式适配器，建议切断走线（PCB顶部的NT2）并在D1位置安装额定值 $\geq 1A$ 的肖特基二极管（SOD-123）。这将阻止任何USB VBUS“反向驱动”电流从墙式适配器流出并通过J20流入连接的主机。USB VBUS反向驱动电流可能不一定是破坏性的（当电流限制为一定大小时），但会违反USB合规性。此电流可能会干扰主机操作，尤其是在主机未通电时。不过，可以通过D1避免这种情况。

2.2 使用预编程的演示固件

开发板上预编程了一些基本的演示固件，可用于演示开发板的几种硬件功能。有关如何使用预编程的演示固件的详细信息，请参见与演示源代码相关的文档，可从以下位置获取：

www.microchip.com/dspic33chcuriosity

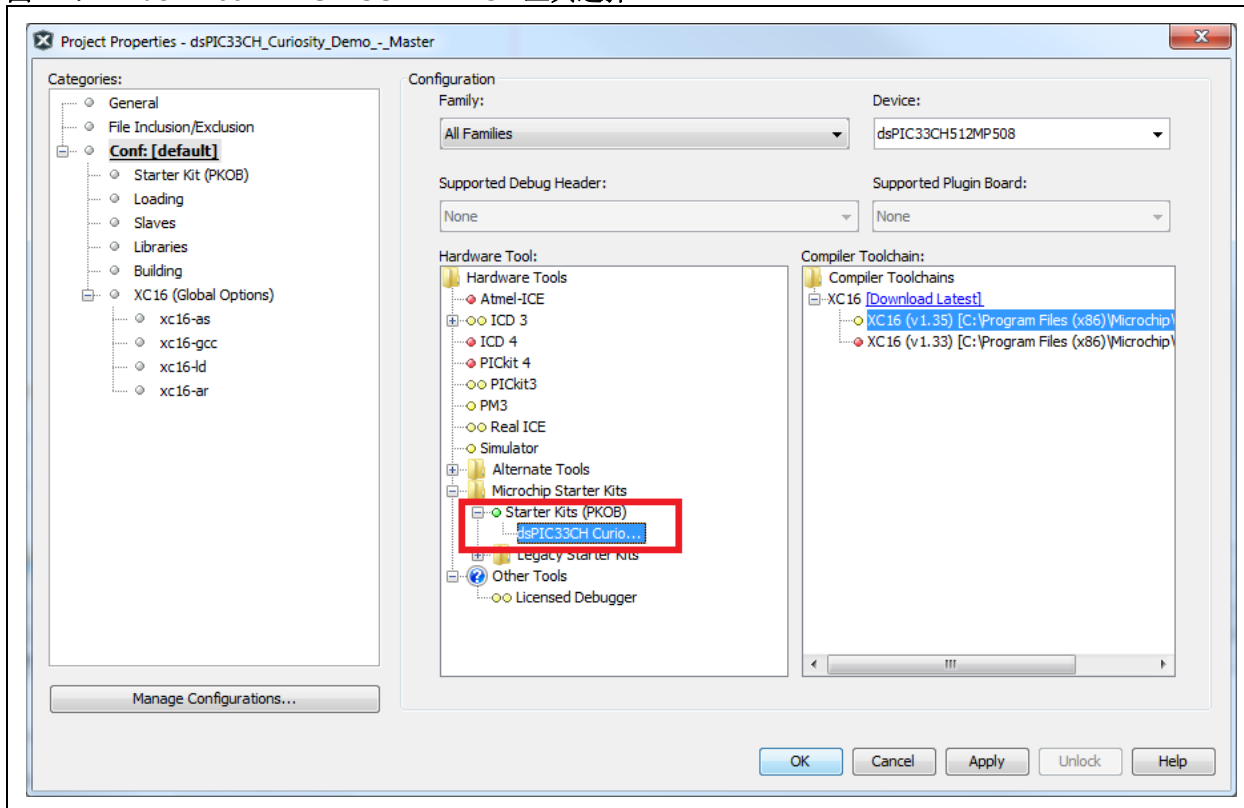
2.3 重新编程和调试 dsPIC33CH512MP508 器件 (U1)

该开发板配有一个板上 PICKIT (PKOB) 编程器 / 调试器电路，可用于编程和调试 dsPIC33CH512MP508 目标器件 (U1) 上的主从内核。此外，还可以使用公对公 100 mil 间距 6 引脚插针通过开发板上的 6 引脚直插式连接器 J2 连接外部编程器 / 调试器工具。

在对主内核和从内核同时进行调试的“双核调试”期间，需要两个调试器工具。在同时进行双核调试操作期间，PKOB 电路可用于调试主内核，而外部编程器 / 调试器工具应使用公对公插针通过 6 引脚 100 mil 间距的连接器 J15 进行连接。只有在执行双核同时调试操作时才需要两个编程器 / 调试器工具。当一次只编程或调试单个内核（主内核或从内核）时，板上 PKOB 电路便已足够。

当 Curiosity 板通过 USB micro-B 连接器 J20 连接到主机时，PKOB 电路应自动枚举并由 MPLAB® X IDE v5.00 或更高版本识别。由于 PKOB 电路依赖于标准操作系统提供的 HID 驱动程序，因此驱动程序安装过程应是完全自动的，不需要执行自定义 USB 驱动程序安装。插入开发板后，可从 MPLAB X Project Properties (项目属性) 页面中的 **Hardware Tools > Microchip Starter Kits > Starter Kits (PKOB) > dsPIC33CH Curio...** (硬件工具 > Microchip 入门工具包 > 入门工具包 (PKOB) > dsPIC33CH Curio...) 下选择 PKOB 编程器 / 调试器工具，如图 2-1 所示。

图 2-1: dsPIC33CH CURIOSITY PKOB 工具选择



2.4 使用隔离的USB转UART接口

该开发板基于MCP2221A芯片实现了电隔离USB转UART接口。MCP2221A实现了标准通信设备类（Communication Device Class, CDC）——抽象控制模型（Abstract Control Model, ACM）协议，因此可以使用现代Windows®、Mac®和Linux®操作系统附带的标准USB驱动程序。在大多数操作系统下，USB驱动程序安装过程将是完全自动的。在某些早期的操作系统下，或者当设备连接到没有活动Internet连接且操作系统早于Windows 10的计算机上时，可能需要手动安装驱动程序。在这种情况下，可从以下位置下载驱动程序包：

www.microchip.com/mcp2221a

有关如何从Mac和Linux操作系统访问串行端口的详细信息，请参见MCP2221A的相关材料。在Windows操作系统下，当USB驱动程序安装成功后，设备将显示为“COMx”端口对象。通过该对象，可打开/读取/写入标准串行终端程序。

2.5 电路详细信息

原理图中有些电路模块的作用或操作方法可能并非显而易见。本节重点介绍电路中的部分元件，并对其设计意图和功能进行说明。

2.5.1 跳线/插座/连接器

J1——未安装的2引脚100 mil跳线插座，可选择用于插入与U1 VDD电流路径串联的电流表，以测量单片机的电流消耗。为了测量U1电流，应切断PCB底部使J1的两个引脚短接的走线，同时应将一个2引脚跳线焊接到J1中。

J2——未安装的6引脚交错插座接口，可选择用于将外部编程器/调试器工具连接到目标单片机U1。通常情况下没有必要使用J2，因为集成的编程器/调试器（PKOB）电路连接到相同的U1编程/调试接口引脚。

J3——实现mikroBUS接口A的母头插座，可用于连接硬件子板以扩展开发板的功能。

J8——实现mikroBUS接口B的母头插座，可用于连接硬件子板以扩展开发板的功能。

J10——此跳线设置R54 + C26/C41组成的RC网络的-3 dB低通滤波器截止频率。当跳线断开时，低通滤波器频率约为15.9 kHz，而当跳线闭合时，该值约为1.4 kHz。当在RC5上产生足够高频的PWM波形时，低通滤波器可以将其平滑处理为接近直流的电压，该电压由运算放大器U8缓冲，从而提供软件控制的DAC功能。

J11——I/O引脚访问母头插座，用于访问U1单片机I/O引脚。

J12——I/O引脚访问母头插座，用于访问U1单片机I/O引脚。

J13——此跳线设置 SMPS 输出电压（通过 U1 ADC 测量时）的有效电阻分压器反馈比。当 SMPS 用于产生相对较低的电压时（例如：0V-6.5V），建议使 J13 保持闭合以最大程度提高反馈电路灵敏度。当 SMPS 用于产生高于 6.5V 的电压时，J13 应断开以确保反馈电压保持在 ADC 的输入检测范围内。

J14——未安装的 2 引脚跳线位置，可用于断开 SMPS 瞬态发生器电路与 SMPS 电路输出的连接。要断开瞬态发生器电路，建议在 J14 处安装一个 2 引脚跳线插座并切断 PCB 底部连接 J14 的引脚的走线（NT5）。

J15——未安装的 6 引脚交错插座接口，可选择用于在执行双核（主内核和从内核）同时调试时将外部编程器/调试器工具连接到目标单片机 U1。J15 插座连接到从调试端口 S1PGx3，仅用于双核调试操作。对于单核（主内核或从内核）调试，应使用 J2 或 PKOB 电路。J15 的插孔排列略微交错，可在直排公对公或直角公对公插针安装到 J15 中时提供一定的摩擦力加以固定，从而无需物理焊接。

J16——标准母头 USB micro-B 连接器，用于连接 MCP2221A USB-UART 转换器芯片。此 USB 接口仅是数据接口，因为它与应用电路的其余部分电隔离，不为开发板的其余部分供电。

J17——未安装，可选择用于安装标准 DC 圆形插孔，以通过稳压的 5.0V 墙式适配器从外部为开发板供电。

J18——I/O 引脚访问母头插座，用于访问某些 U1 单片机 I/O 引脚以及开发板上实现的各种电源轨。

J19——未安装的 2 引脚跳线插座，可选择用作连接外部频率响应分析仪工具的连接点，以便测量 SMPS 控制环相位/增益特性。20Ω 负载电阻（R96）直接跨接在 J19 两个引脚上。

J20——标准母头 USB micro-B 连接器，用于为开发板供电，可在使用集成编程器/调试器（PKOB）电路时提供 USB 通信路径。

J21——2 引脚螺钉端子，用于访问 SMPS Vout 和 GND 网络。可通过它方便地连接可由 SMPS 电路供电的外部负载。

2.5.2 SMPS 硬件过流保护

元件 Q11、C22、R67、U10 和上桥臂电流检测电阻 R59 + R74 实现了基于硬件的简单形式的过流保护。在常规/实际应用的 SMPS 设计中，通常通过使用比较器来提供过电流保护，这通常使用单片机内部的比较器和 DAC 来实现。但是，在初始固件开发期间，用于使能 DAC + 比较器的代码可能尚未编写和调试，例如，在将示波器接地引线意外掉落到演示板上时。这可能导致意外随机短路。在这些情况下，通过 Q11、U10 和周围元件实现的硬件过流保护电路可以帮助保护电路免受损坏。

在过流情况下，当通过R59 + R74的电流开始超出大约1.2A时（例如：600 mV检测电压），Q11的基极将变为正向偏置，并开始导通。这将使电容C22快速充电至U10逻辑芯片（配置为施密特触发器“或”门）的施密特触发器V_{IH}输入逻辑高电平阈值。一旦达到V_{IH}电平，U10就会变为高电平（与RC14_S1PWM7H信号无关），从而使上桥臂P沟道MOSFET Q6关闭。

此时，流经Q6的电流将降至零，Q11将关闭，但C22将保持充电至V_{IH}左右，直到其通过R67最终降为V_{IL}电平。受介于U10的V_{IH}和V_{IL}输入阈值之间的施密特触发器滞后电压的影响，U10输出不会立即重新导通。大约需要占RC时间常量（在C22 + R67之间）40%的时间才能达到V_{IL}阈值，这将强制执行大约80 μs的最小Q6关闭时间。由于二极管D2和D5中的能量损耗和续流电流路径中的电阻，此延时足以使L1电感电流一直降至零。

因此，即使在固件控制信号未正确实现的短路条件下，平均电流也可以保持在合理安全水平。在用于使能和使用U1内部比较器和DAC的固件完成开发/调试后，就可以省去Q11和相关的硬件过流保护元件，因为它们最终应用设计中有些多余。

2.5.3 SMPS 硬件过压保护

元件Q7、C15、R64、R65、R66和U5采用类似于硬件过流保护电路的方式实现了基于硬件的输出过压保护功能。当传统升压转换器在没有足够输出负载的情况下开环运行时，输出电压理论上会上升到不确定的高电压，这可能使输出肖特基二极管、升压MOSFET或输出电容发生雪崩。

当输出电压上升至大约16V以上时，电阻分压器（R65 + R66）的输出将变得足够高，以开始正向偏置Q7基极并导通晶体管。这将使C15迅速放电，从3.3V降至U5实现的施密特“与”门的V_{IL}施密特触发器输入阈值。这会改写PWM控制信号并关断Q2，直到输出过压条件消失，并且所经过的时间足以使R64将C15充电回U5的V_{IH}施密特触发器输入阈值（自动重新使能Q2上的PWM活动）。

在典型/实际SMPS应用中，闭环输出反馈控制环通常负责防止输出过压状况发生。然而，在初始固件开发期间，闭环控制算法可能尚未完全实现和运行（或者可能从正常运行中暂停，例如，由于命中固件中的调试断点）。在这些情况下，硬件输出过压保护电路可以帮助防止电路损坏。

2.5.4 PWM DAC/DC 偏置发生器

RC5_S1PWM2L网络旨在通过固定频率PWM波形驱动。由R54 + C26（当跳线J10闭合时还包括C41）组成的低通滤波器对PWM波形进行平均处理，对于高PWM频率，可产生可调直流电压。运算放大器U8用于缓冲直流电压，从而提供低阻抗且可通过固件调整的DAC，其输出电压基于提供给电路的PWM占空比。

2.5.5 瞬态负载测试电路

MOSFET Q8 和周围元件实现了可调恒流灌电流，可以周期性导通且每次导通仅持续几毫秒，以产生短暂 SMPS 输出负载瞬态脉冲。在控制环固件开发期间，通常需要研究控制系统对大信号阶跃变化的响应行为。

通过监视对负载阶跃瞬态事件的 SMPS 输出电压响应波形，可以了解瞬态期间的实际输出电压下冲以及瞬态负载快速消除后发生的后续过冲。此外，瞬态响应恢复波形的形状还可以提供关于可能的控制环稳定性和近似相位裕量的提示。

负载阶跃瞬态响应曲线呈现出阻尼正弦振荡输出电压，此电压需要很长时间才能恢复到稳态直流值，这意味着控制环的相位裕量较低，而与过阻尼 RC 类似的恢复波形则意味着相位裕量较高。

当 RC13_TRANSIENT 逻辑信号被驱动为高电平时，MOSFET Q8 将通过栅极电阻 R79 开始导通。不过，随着栅极电压升高，电流将开始流过 MOSFET 和电流检测电阻 R94，这将产生由 Q9 检测的电压。当 Q9 的基极电压足以使其导通时，它将开始从 Q8 的栅极灌入电流，防止栅极电压进一步上升并将 MOSFET Q8 保持在线性区域，此时 Q8 的行为类似于电压控制的恒流灌电流。

元件 R83 和 C40 为 MOSFET Q8 栅极波形提供补偿，以确保恒定电流的小信号稳定调节。R79 和 R87 的相对大小用于设置恒流调节控制环的直流增益。

电流检测电阻 R94 的值用于设置电流限值，但可以通过用电阻分压器（R84 和 R85）偏置 Q9 基极的方式调高或调低电流限值。当 S1PWM2L_DAC_ISET 直流电压值较高（例如，接近 3.3V）时，即使由于电阻分压器输出（R84 + R85）高于 BJT Q9 的导通电压导致没有电流流过 R94，Q9 也会一直导通。相反，当 S1PWM2L_DAC_ISET 直流电压较低（例如，接近 0.0V）时，Q9 基极上的电压会降低，在 MOSFET Q8 栅极电压受限之前需要有更大的电流流过 R94。

将 RC5_S1PWM2L 上的 PWM 波形占空比调高 1.0% 会使 Q8 恒流灌电流值减小约 12 mA。在 50% PWM 占空比下，近似的灌电流值约为 390 mA，但不同开发板之间和不同环境温度下会有所不同，因为这些因素会影响 Q9 的导通电压。要获得精确的灌电流值，需要通过在运行时借助 ADC 测量 RA2_TRANSIENTFB 电流检测电压的方式来使用闭环控制。然后，使用得到的值微调 RC5_S1PWM2L 的 PWM 占空比。

由于 Q8 在瞬态脉冲期间在线性区域驱动，因此 MOSFET 内的瞬时功耗可能非常高，如果电路配置为 15V 输出和 1A 脉冲负载电流，则功耗最高可能会达到 15W。如果没有高效的散热器，这种功耗水平不能无限期地持续，但对于短脉冲（例如：≤100 ms，基于 MCP87130T MOSFET 数据手册中的安全工作区图表），MOSFET 管芯和封装的热惯性允许结温保持在器件最大温度 150°C 以下。不过，脉冲之间必须有足够的时间使管芯和封装在下一个脉冲之前冷却回室温，以确保电路可靠运行。因此，建议控制 RC13_TRANSIENT，以便产生短脉冲（例如：≤10 ms），且脉冲之间的关闭时间较长（例如：脉冲频率约为 5 Hz）。

如果RC13_TRANSIENT网络的固件控制不当（例如，保持在直流逻辑高电平或高电平脉冲时间 > 10 ms），Q8可能会持续产生高功耗，除非受到某种方式的保护，否则容易出现热失效。为防止出现这种情况，元件Q10、R88、C51、R90和R91实现了简单的最大导通时间限制子电路，可用于将Q8导通时间限制在大约10 ms的最大值。

当RC13_TRANSIENT变为高电平时，C51开始通过R88充电，最终达到导通Q10所需的VBE正向电压的2倍左右。此时，电阻分压器（R90和R91）的输出电压上升到足以使Q10开始导通的大小，从Q8的栅极灌入电流/电压并最终关闭MOSFET Q8。当RC13_TRANSIENT最终被驱动为逻辑低电平时，C51通过R90和R91放电，同时自动复位电路。

2.6 下桥臂电流检测

在降压模式操作期间，有时希望能够在实现某种形式的“峰谷”电流模式或平均电流模式控制算法时测量MOSFET Q6关闭期间的电流。MOSFET关闭期间的下桥臂电流检测可通过电流检测电阻R63、R92和R93实现。不过，电流检测电阻上产生的电压将为负电压（相对于地）。因此，该信号连接到单片机中一个PGA的反相输入，之后可将负电压反相并放大为正电压，此电压可由ADC测量或由器件内部的比较器使用。

在向PGA提供负输入电压时，务必使I/O引脚电压保持在器件数据手册中规定的绝对最大值范围内，规范仅允许负电压在Vss至(Vss - 300 mV)范围内。因此，肖特基二极管D9和电阻R95用于将负电压钳位在0V至-300 mV范围内。不过，务必注意器件上PGA的反相输入具有大约10 kΩ的典型输入阻抗（根据器件数据手册），因此，对于给定的PGA设置，R95的阻值会降低放大器的增益。因此，在这类配置中，固件不应依赖于PGA的绝对输出电压来反映流过检测电阻的真实电流，除非直接测量整个电路的总增益并将其考虑到固件的计算中。

2.7 上桥臂电流检测

SMPS 导通时间电流可通过上桥臂电流检测电阻 R59 和 R74 上产生的电压来测量。不过，ISENSEH 信号以 SMPS 电路的 +5V 输入轨（而不是地）为参考，这可防止它直接由单片机 U1 中的 ADC 或比较器测量。因此，ISENSEH 电压信号要进行电平转换（转换为以地为参考）并通过元件 U7A、Q1、R52 和 R98 以 3.3 的有效增益放大。

元件 R97 和 R102 会添加一个较小的直流偏置电压（约 -71 mV（在电平转换器增益之前）或约 +235 mV（在 RA3_ISENSEH 处）），此偏置电压出现在 RA3_ISENSEH 单片机引脚上，作为电流测量中的人为失调误差。此人为直流偏置电压可确保电流检测电压信号始终处于 U1 内部比较器输入检测范围和内部 DAC 可达范围内，即使 Q6 电流在实际比较器和 DAC 失调电压的作用下精确变为 0.0 mA 时也是如此。

RA3_ISENSEH 上的最终输出电压与 Q6 电流近似相关，如公式 2-1 和公式 2-2 所示（其中 RA3_ISENSEH 是可通过单片机 ADC 测量的电压（V）；VIN 是 +5V 轨输入电压，在带负载工作期间可能约为 4.6V，IQ6 是流过 MOSFET Q6 的电流（A））。公式 2-1 和公式 2-2 是通过简化和将电阻值代入公式 2-3 至公式 2-6 得到的，而公式 2-3 至公式 2-6 来自原理图实现。

公式 2-1:

$$RA3_ISENSEH \cong 0.04877 \cdot V_{IN} + 1.626 \cdot I_{Q6}$$

公式 2-2:

$$I_{Q6} \cong \frac{RA3_ISENSEH - 0.04877 \cdot V_{IN}}{1.626}$$

公式 2-3:

$$R_{sense} = \left(\frac{1}{R59} + \frac{1}{R74} \right)^{-1} = 0.5\Omega$$

公式 2-4:

$$ISENSEH_BIASED = (V_{IN} - I_{Q6} \cdot R_{sense}) \frac{R102}{(R102 + R97)}$$

公式 2-5:

$$RA3_ISENSEH = \frac{R98}{R52} (V_{IN} - ISENSEH_BIASED)$$

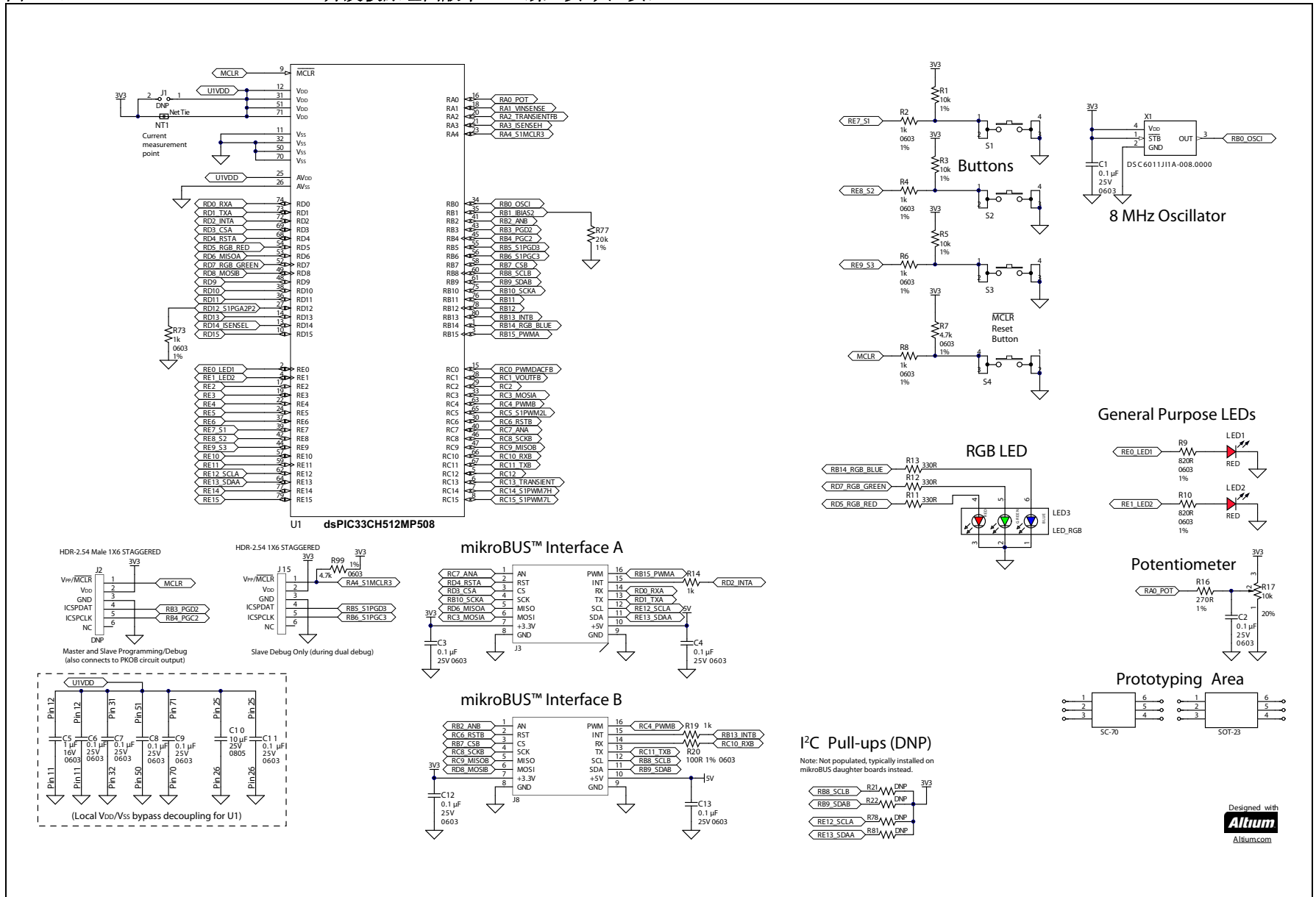
公式 2-6:

$$RA3_ISENSEH = \frac{R98}{R52} \left[V_{IN} - \left(\frac{(V_{IN} - I_{Q6} \cdot R_{sense})(R102)}{R102 + R97} \right) \right]$$

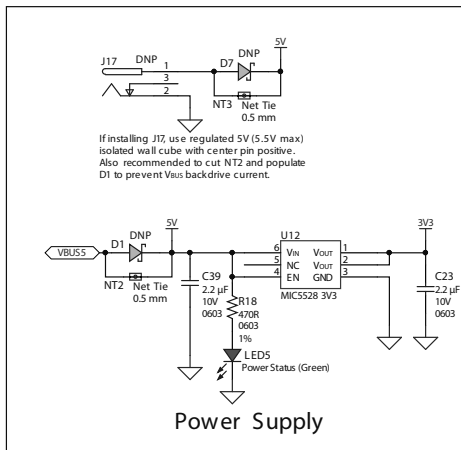
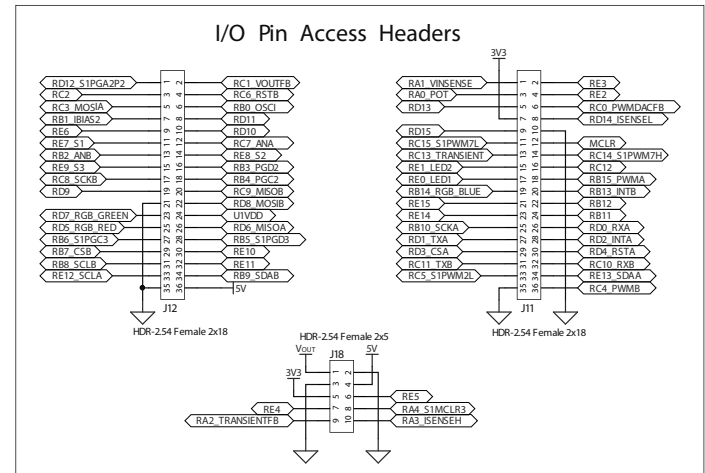
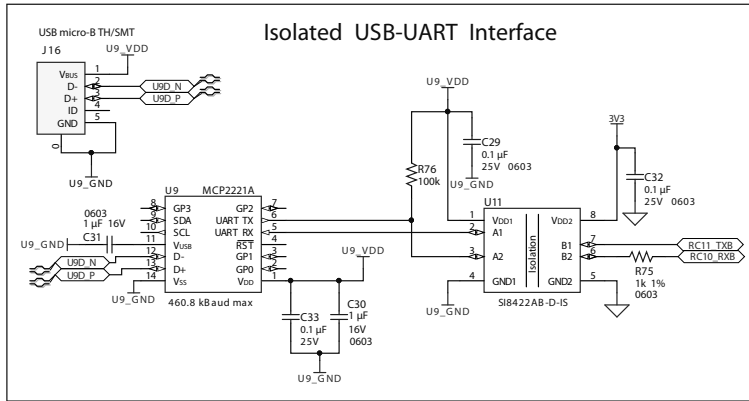
附录 A 原理图

dsPIC33CH Curiosity 开发板有两个版本。初始DM330028（无后缀）版本的开发板在 U1 中安装了 dsPIC33CH128MP508 单片机，而DM330028-2 版本的开发板则安装了 dsPIC33CH512MP508 器件。两款单片机都是双核并具有相似的功能，所安装的 U1 不同是两个开发板之间惟一的原理图差异。dsPIC33CH Curiosity 开发板DM330028-2的原理图如[图A-1](#)至[图A-4](#)所示。

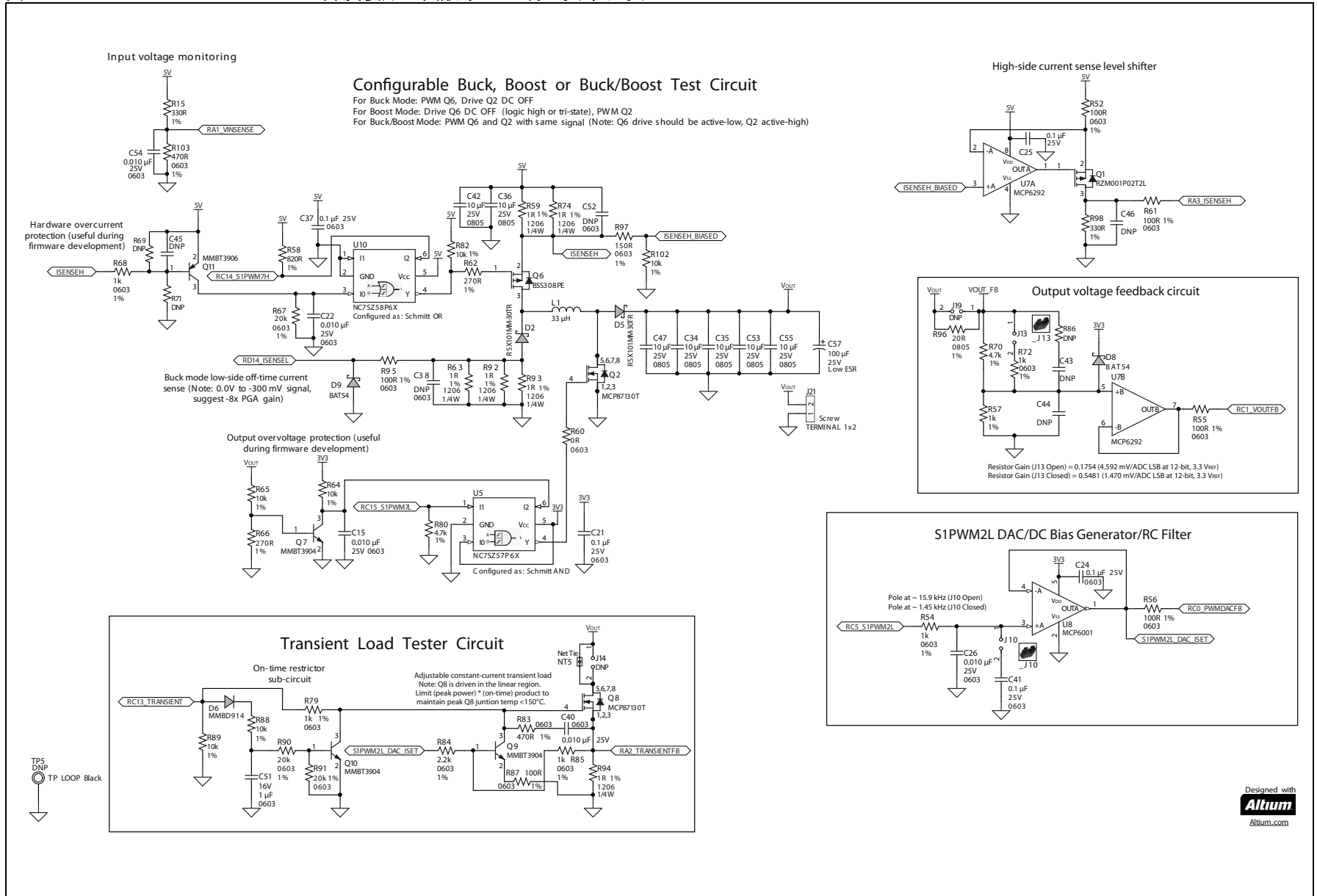
图A-1: dsPIC33CH CURIOSITY 开发板原理图版本 1.0 (第 1 页/共 4 页)



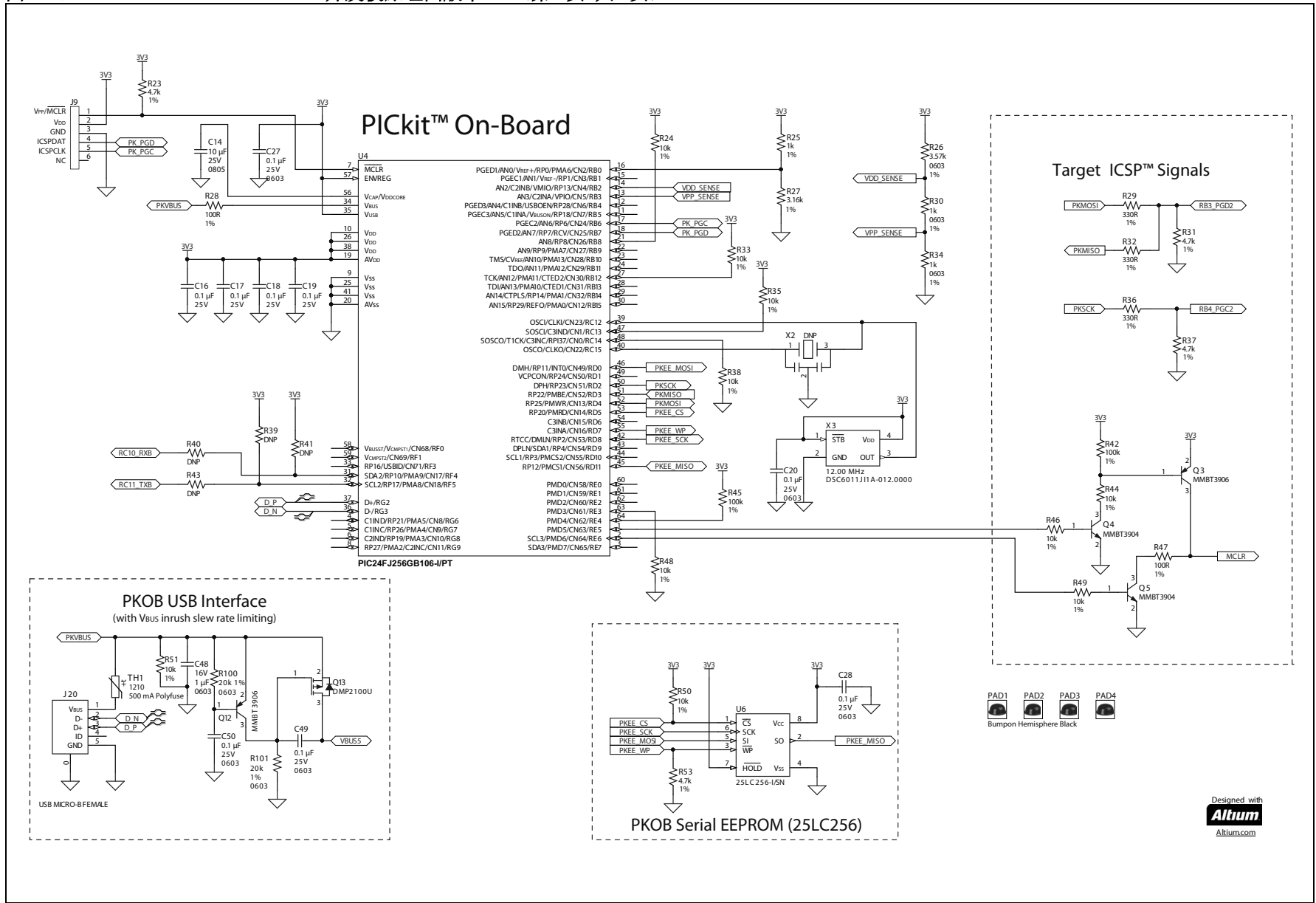
图A-2: dsPIC33CH CURIOSITY 开发板原理图版本 1.0 (第 2 页 / 共 4 页)



图A-3: dsPIC33CH CURIOSITY 开发板原理图版本 1.0 (第 3 页/共 4 页)



图A-4: dsPIC33CH CURIOSITY 开发板原理图版本 1.0 (第 4 页 / 共 4 页)



Designed with Altium Altium.com

注:

附录 B 物料清单 (BOM)

表 B-1: dsPIC33CH CURIOSITY 开发板 DM330028-2 物料清单

数量	标识	说明	制造商 1	制造商 1 部件编号	制造商 2	制造商 2 部件编号
28	C1, C2, C3, C4, C6, C7, C8, C9, C11, C12, C13, C16, C17, C18, C19, C20, C21, C24, C25, C27, C28, C29, C32, C33, C37, C41, C49, C50	Capacitor Ceramic, 0.1 μ F, 25V, 10%, X7R, SMD, 0603	Murata Electronics®	GRM188R71E104KA01D	Würth Elektronik	885012206071
5	C5, C30, C31, C48, C51	Capacitor Ceramic, 1 μ F, 16V, 10%, X7R, SMD, 0603	Taiyo Yuden Co., Ltd.	EMK107B7105KA-T	Würth Elektronik	885012206052
9	C10, C14, C34, C35, C36, C42, C47, C53, C55	Capacitor Ceramic, 10 μ F, 25V, 10%, X5R, SMD, 0805	Murata Electronics	GRM21BR61E106KA73L		
5	C15, C22, C26, C40, C54	Capacitor Ceramic, 0.010 μ F, 25V, 10%, X7R, SMD, 0603	Yageo Corporation	CC0603KRX7R8BB103	Würth Elektronik	885012206065
2	C23, C39	Capacitor Ceramic, 2.2 μ F, 10V, 10%, X7R, SMD, 0603	Murata Electronics	GRM188R71A225KE15D	Würth Elektronik	885012206027
1	C57	Capacitor Aluminum, 100 μ F, 20%, 25V, Low-ESR, Radial	KEMET	ESY107M025AE3AA		
19	R1, R3, R5, R24, R33, R35, R38, R44, R46, R48, R49, R50, R51, R64, R65, R82, R88, R89, R102	Resistor TKF, 10k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic® - ECG	ERJ-3EKF1002V		
17	R2, R4, R6, R8, R14, R19, R25, R30, R34, R54, R57, R68, R72, R73, R75, R79, R85	Resistor TKF, 1k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic - ECG	ERJ-3EKF1001V		
8	R7, R23, R31, R37, R53, R70, R80, R99	Resistor TKF, 4.7k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	ROHM Semiconductor	MCR03EZPFX4701		
3	R9, R10, R58	Resistor TKF, 820R, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Stackpole Electronics, Inc.	RMCF0603FT820R		
8	R11, R12, R13, R15, R29, R32, R36, R98	Resistor TKF, 330R, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic - ECG	ERJ-3EKF3300V		
3	R16, R62, R66	Resistor TKF, 270R, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic - ECG	ERJ-3EKF2700V		
1	R17	Resistor, Variable, 10K, 20%, TH	Alps Electric Co., Ltd.	RK09K1130A5R		
3	R18, R83, R103	Resistor TKF, 470R, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic - ECG	ERJ-3EKF4700V		
9	R20, R28, R47, R52, R55, R56, R61, R87, R95	Resistor TKF, 100R, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic - ECG	ERJ-3EKF1000V		
1	R26	Resistor, SMD, 3.57 kOhm, 1%, 1/10W, 0603	Vishay/Dale	CRCW06033K57FKEA		
1	R27	Resistor TKF, 3.16k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic - ECG	ERJ-3EKF3161V		
3	R42, R45, R76	Resistor TKF, 100k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic - ECG	ERJ-3EKF1003V		
6	R59, R63, R74, R92, R93, R94	Resistor TKF, 1R, 1%, 1/4W, SMD, 1206	ROHM Semiconductor	MCR18EZHL1R00		
1	R60	Resistor TKF, 0R, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic - ECG	ERJ-3GSY0R00V		
6	R67, R77, R90, R91, R100, R101	Resistor TKF, 20k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic - ECG	ERJ-3EKF2002V		

dsPIC33CH Curiosity 开发板 DM330028-2 用户指南

表B-1: dsPIC33CH CURIOSITY 开发板 DM330028-2 物料清单 (续)

数量	标识	说明	制造商 1	制造商 1 部件编号	制造商 2	制造商 2 部件编号
1	R84	Resistor TKF, 2.2k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic - ECG	ERJ-3EKF2201V		
1	R96	Resistor TKF, 20R, 1%, 1/8W, SMD, 0805	ROHM Semiconductor	MCR10EZH20R0		
1	R97	Resistor TKF, 150R, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Stackpole Electronics, Inc.	RMCF0603FT150R		
1	L1	Inductor, 33 μ H, 1.7A, 0.120R, TH	Bourns [®] , Inc.	RLB0914-330KL	Würth Elektronik	7447471330
2	D2, D5	Diode Schottky, 30V, 1A, PMDU	ROHM Semiconductor	RSX101MM-30TR		
1	D6	Diode Rectifier, MMBD914LT1G, 1V, 10 mA, 100V, SMD, SOT-23-3	ON Semiconductor [®]	MMBD914LT1G		
2	D8, D9	Diode Schottky, BAT54, 800 mV, 200mA, 30V, SOT-23-3	Diodes Incorporated [®]	BAT54-7		
2	LED1, LED2	Diode LED Red, 2V, 20 mA, 104 mcd, Diffuse, SMD, 0805	OSRAM Opto Semiconductors GmbH.	LS R976-NR-1	Würth Elektronik	150080RS75000
1	LED3	Diode LED Tri Red, Green, Blue	Cree, Inc.	CLX6D-FKB-CMPQSGKBB7A363		
1	LED5	Diode LED Green, 2.2V, 25 mA, 15 mcd, Clear, SMD, 0603	Kingbright Electronics Co., Ltd.	APT1608SGC	Würth Elektronik	150060GS75000
3	Q3, Q11, Q12	Transistor BJT PNP, MMBT3906, -40V, -200 mA, 300 mW, SOT-23-3	Diodes Incorporated	MMBT3906-7-F		
5	Q4, Q5, Q7, Q9, Q10	Transistor BJT NPN, MMBT3904, 40V, 200 mA, 310 mW, SOT-23-3	Diodes Incorporated	MMBT3904-7-F		
1	Q1	MOSFET P-CH, 20V, 0.1A, SOT-723-3	ROHM Semiconductor	RZM001P02T2L		
1	Q6	MOSFET P-CH, 30V, 2A, SOT-23	Infineon Technologies AG	BSS308PEH6327XTSA1		
1	Q13	MOSFET P-CH, 20V, 4.3A, SOT-23	Diodes Incorporated	DMP2100U-7		
2	Q2, Q8	MOSFET N-CH, 25V, MCP87130T-U/LC	Microchip Technology Inc.	MCP87130T-U/LC		
4	J3, J8	Connector Header-2.54 Female, 1x8, 0.100" (2.54 mm), Tin, Through-Hole	Sullins Connector Solutions	PPTC081LFBN-RC	Würth Elektronik	61300811821
2	J10, J13	Connector Header-2.54 Male, 1x2, Gold, 5.84MH, TH, Vertical	FCI	77311-118-02LF	Würth Elektronik	61300211121
2	_J10, _J13	Mechanical Hardware Jumper Cap, 2.54 mm, 1x2	3M	969102-0000-DA	Würth Elektronik	60900213421
2	J11, J12	Connector Header-2.54 Female, 2x18, 0.100" Pitch, Gold, TH	Samtec Inc.	SSW-118-01-G-D	Würth Elektronik	61303621821
2	J16, J20	Connector USB 2.0 micro-B Female, TH/SMD, R/A	FCI	10118194-0001LF	Würth Elektronik	629105136821
1	J18	Connector Header-2.54 Female, 2x5, 0.100", Gold, TH	Samtec Inc.	SSQ-105-02-G-D	Würth Elektronik	61301021821
1	J21	Connector Screw Terminal, 5 mm, 1x2, Female, 12-26AWG, 18A, TH, R/A	Phoenix Contact GmbH & Co.	1935161	Würth Elektronik	691102710002
4	S1, S2, S3, S4	Switch Tact, SPST, 12V, 50 mA, PTS645SM43SMTR92 LFS, SMD	C&K Components	PTS645SM43SMTR92 LFS	Würth Elektronik	430182043816
4	PAD1, PAD2, PAD3, PAD4	Mechanical Hardware Rubber Pad, Bumpon Hemisphere, 0.44" x 0.20", Black	3M	SJ-5003 (BLACK)		
1	TH1	PTC Resettable, 0.50A, 16V, Chip, 1210	Bel Fuse Inc.	0ZCB0050FF2G		
1	U11	Digital ISO, 2.5KV, General Purpose, 8-SOIC	Silicon Laboratories [®] Inc.	SI8422AB-D-IS		

物料清单 (BOM)

表B-1: dsPIC33CH CURIOSITY 开发板 DM330028-2 物料清单 (续)

数量	标识	说明	制造商 1	制造商 1 部件编号	制造商 2	制造商 2 部件编号
1	U5	IC Logic Gate, UHS, 2-INP, SC70-6	Fairchild Semiconductor®/ ON Semiconductor	NC7SZ57P6X		
1	U10	IC Logic Gate, UHS, 2-INP, SC70-6	Fairchild Semiconductor/ ON Semiconductor	NC7SZ58P6X		
1	U1	dsPIC33CH512MP508, TQFP-80	Microchip Technology Inc.	dsPIC33CH512MP508-I/PT		
1	U4	Microchip MCU, 16-Bit, 32 MHz, 256 kB, 16 kB, PIC24FJ256GB106-I/PT, TQFP-64	Microchip Technology Inc.	PIC24FJ256GB106-I/PT		
1	U6	Microchip Memory Serial EEPROM, 256k, SPI, 25LC256-I/SN, SOIC-8	Microchip Technology Inc.	25LC256T-I/SN		
1	U7	Microchip Analog Op Amp, 2-Ch, 10 MHz, MCP6292T-E/MS, MSOP-8	Microchip Technology Inc.	MCP6292T-E/MS		
1	U8	Microchip Analog Op Amp, 1-Ch, 1 MHz, MCP6001T-I/OT, SOT-23-5	Microchip Technology Inc.	MCP6001T-I/OT		
1	U9	Microchip Interface, USB, I ² C, UART, MCP2221A-I/ST, TSSOP-14	Microchip Technology Inc.	MCP2221A-I/ST		
1	U12	MIC5528-3.3 Linear Voltage Regulator IC, Positive, Fixed, 1 Output, 3.3V, 500 mA, 6-TDFN (1.2x1.2)	Microchip Technology Inc.	MIC5528-3.3YMT-TR		
1	X1	MEMS Oscillator, 8.0000 MHz, 2.5x2.0 mm	Microchip Technology Inc.	DSC6011J11A-008.0000		
1	X3	MEMS Oscillator, 12.0000 MHz, 2.5x2.0 mm	Microchip Technology Inc.	DSC6011J11A-012.0000		
不要安装下列元件						
3	C38, C45, C52	未安装元件的焊盘				
3	C43, C44, C46	未安装元件的焊盘				
2	D1, D7	未安装元件的焊盘				
3	J1, J14, J19	未安装元件的焊盘				
2	J2, J15	未安装元件的焊盘				
1	J9	未安装元件的焊盘				
1	J17	未安装元件的焊盘				
7	R21, R22, R69, R71, R78, R81, R86	未安装元件的焊盘				
4	R39, R40, R41, R43	未安装元件的焊盘				
1	TP5	未安装元件的焊盘				
1	X2	未安装元件的焊盘				

全球销售及及服务网点

美洲

公司总部 **Corporate Office**
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:
<http://www.microchip.com/support>

网址: www.microchip.com

亚特兰大 **Atlanta** Duluth, GA

Tel: 1-678-957-9614
Fax: 1-678-957-1455

奥斯汀 **Austin, TX** Tel: 1-512-257-3370

波士顿 Boston
Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 Chicago
Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

达拉斯 Dallas
Addison, TX
Tel: 1-972-818-7423
Fax: 1-972-818-2924

底特律 Detroit
Novi, MI
Tel: 1-248-848-4000

休斯敦 Houston, TX
Tel: 1-281-894-5983

印第安纳波利斯 Indianapolis
Noblesville, IN
Tel: 1-317-773-8323
Fax: 1-317-773-5453
Tel: 1-317-536-2380

洛杉矶 Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608
Tel: 1-951-273-7800

罗利 Raleigh, NC
Tel: 1-919-844-7510

纽约 New York, NY
Tel: 1-631-435-6000

圣何塞 San Jose, CA
Tel: 1-408-735-9110
Tel: 1-408-436-4270

加拿大多伦多 Toronto
Tel: 1-905-695-1980
Fax: 1-905-695-2078

亚太地区

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588

中国 - 东莞
Tel: 86-769-8702-9880

中国 - 广州
Tel: 86-20-8755-8029

中国 - 杭州
Tel: 86-571-8792-8115

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355

中国 - 上海
Tel: 86-21-3326-8000

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200

中国 - 苏州
Tel: 86-186-6233-1526

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-577-8366

亚太地区

澳大利亚 **Australia - Sydney**
Tel: 61-2-9868-6733

印度 **India - Bangalore**
Tel: 91-80-3090-4444

印度 **India - New Delhi**
Tel: 91-11-4160-8631

印度 **India - Pune**
Tel: 91-20-4121-0141

日本 **Japan - Osaka**
Tel: 81-6-6152-7160

日本 **Japan - Tokyo**
Tel: 81-3-6880-3770

韩国 **Korea - Daegu**
Tel: 82-53-744-4301

韩国 **Korea - Seoul**
Tel: 82-2-554-7200

马来西亚
Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-7651-7906

马来西亚 **Malaysia - Penang**
Tel: 60-4-227-8870

菲律宾 **Philippines - Manila**
Tel: 63-2-634-9065

新加坡 **Singapore**
Tel: 65-6334-8870

泰国 **Thailand - Bangkok**
Tel: 66-2-694-1351

越南 **Vietnam - Ho Chi Minh**
Tel: 84-28-5448-2100

欧洲

奥地利 **Austria - Wels**
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦
Denmark - Copenhagen
Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829

芬兰 **Finland - Espoo**
Tel: 358-9-4520-820

法国 **France - Paris**
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 **Germany - Garching**
Tel: 49-8931-9700

德国 **Germany - Haan**
Tel: 49-2129-3766400

德国 **Germany - Heilbronn**
Tel: 49-7131-72400

德国 **Germany - Karlsruhe**
Tel: 49-721-625370

德国 **Germany - Munich**
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

德国 **Germany - Rosenheim**
Tel: 49-8031-354-560

以色列 **Israel - Ra'anana**
Tel: 972-9-744-7705

意大利 **Italy - Milan**
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

意大利 **Italy - Padova**
Tel: 39-049-7625286

荷兰 **Netherlands - Drunen**
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

挪威 **Norway - Trondheim**
Tel: 47-7288-4388

波兰 **Poland - Warsaw**
Tel: 48-22-3325737

罗马尼亚
Romania - Bucharest
Tel: 40-21-407-87-50

西班牙 **Spain - Madrid**
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

瑞典 **Sweden - Gothenberg**
Tel: 46-31-704-60-40

瑞典 **Sweden - Stockholm**
Tel: 46-8-5090-4654

英国 **UK - Wokingham**
Tel: 44-118-921-5800
Fax: 44-118-921-5820