

简介

作者：Mihai Ricanu, Microchip Technology Inc.

通过使用模拟外设管理器（Analog Peripheral Manager, APM）及其内部的专用定时器，可以定期打开和关闭模拟模块，无需内核干预。用户可以使用APM设置自定义时间间隔，让配置的模拟模块按照该时间间隔定期激活以执行指定的功能，然后在该时间间隔结束后禁用并返回低功耗状态。该外设非常适合只需对使用的模拟传感器进行定期测量（而非必须持续监视传感器）的低功耗应用。因此，用户可以通过该外设来调度模拟外设的操作而无需唤醒CPU，以此优化应用中的总功耗。

本技术简介重点帮助用户熟悉APM的应用领域、软硬件要求以及MPLAB®代码配置器（MPLAB Code Configurator, MCC）配置。文中将介绍三个用例，都是使用MPLAB代码配置器（MCC）生成的代码实现。展示的代码示例是基于PIC18F56Q71单片机开发的，但对于其他具有模拟外设管理器外设的8位PIC®系列器件同样适用。

本文档涵盖以下用例：

- **使用模拟比较器的感光报警（通过APM模块控制）：**
 - 使用APM定期使能和禁止比较器外设以测量模拟信号，并在测量值达到用户设置的阈值时触发报警。
- **使用模数转换器（Analog-to-Digital Converter, ADC）和数模转换器（Digital-to-Analog Converter, DAC）生成可变频率的正弦波形（通过APM模块控制）：**
 - 使用APM定期使能和禁止ADC和DAC外设，以输出可变频率的正弦波形（由电位器测得的值控制）。
- **使用固定参考电压（Fixed Voltage Reference, FVR）、ADC和DAC生成可变幅值的三角波形（通过APM模块控制）：**
 - 使用APM定期使能和禁止FVR、ADC和DAC外设，以输出可变幅值的三角波形（由电位器测得的值控制）。

本技术简介中介绍的每个用例在Microchip MPLAB Discover网站上都有对应的网页，其中全面介绍了演示该用例的软硬件要求，并提供了必要的代码示例和完整配置说明的链接。



单击查看MPLAB DISCOVER上的代码示例

目录

简介	1
1. 外设概述	3
2. 使用模拟比较器和APM模块的感光报警	7
3. 使用ADC、DAC和APM生成可变频率的正弦波形	8
4. 使用ADC、DAC和APM生成可变幅值的三角波形	9
5. 参考资料	10
6. 版本历史	11
Microchip 信息	12
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. 外设概述

通过使用APM及其内部的专用定时器，可以定期打开和关闭模拟模块，无需占用CPU周期。该功能对于使用模拟传感器并需要优化总功耗的低功耗应用来说非常实用。用户可以使用APM设置自定义时间间隔，让配置的模拟模块按照该时间间隔定期激活以执行指定的功能，然后在该时间间隔结束后禁用并返回低功耗状态。APM可用于打开和关闭诸如以下外设：

- 过零检测外设（ZCD）
- 模拟比较器外设（CMP）
- 数模转换器外设（DAC）
- 运算放大器外设（OPA）
- 温度指示器外设（TEMP）
- 模数转换器外设（ADC）
- 固定参考电压外设（FVR）
- 带隙参考外设（BG）

上面列出的外设仅为示例，具体包含的模拟模块因器件系列而异，可能更多也可能更少。

APM利用集成的16位定时器和16位预分频器来控制指定模拟外设激活和禁用的频率。该定时器可使用多种时钟源，例如：

- LFINTOSC（31 kHz）
- SOSC（32.768 kHz）
- ADCRC
- 连接至专用外设引脚选择（Peripheral Pin Select, PPS）输入引脚的外部时钟源。

用户可以使用APM将模拟模块分为开始（S1/S2）时间事件和结束（E1/E2）时间事件两组，以便灵活地配置每个事件期间使能或禁止的模块。该功能通过为所有时间事件配置专用外设控制寄存器来实现。

使能APM后，16位定时器将立即开始基于编程的周期和预分频值进行计数。当周期计数器与开始1事件指定的值匹配时，APM将使用APMPERS1寄存器使能指定的模拟外设。此时，不使用预分频器的辅助24位内部偏移计数器将开始计数。该偏移计数器用于确定后续的开始1事件、开始2事件和结束2事件的时序。

后续事件与开始1事件有所不同，后续事件指定的值将与24位偏移计数器（而非使用预分频器的16位APM周期计数器）进行比较。当偏移计数器与每个相应的APM事件时序配置寄存器指定的值匹配时，APM将禁止或使能指定的模拟外设。当偏移计数器与结束2事件指定的值匹配时，将禁止已配置的外设，24位内部偏移计数器将停止计数并复位，直到开始1事件再次发生时重新激活。

APM模块的设计特性决定了开始1事件始终作为第一个事件发生，但硬件层面并未设置限制，结束2事件可能在结束1事件之前发生。用户在配置APM模块的事件时序时务必谨慎操作。如果将开始2事件或结束1事件设置在结束2事件之后，将会导致这些事件永远不会发生。这是因为一旦发生结束2事件，偏移计数器将停止计数，此后将无法进行其他事件的时序匹配。

APM的一个主要特性是当其由可用的最慢内部时钟源LFINTOSC（低频内部振荡器）驱动时，16位周期计数器配合16位预分频器可在溢出前提供约38.4小时的最大周期，24位偏移计数器可提供约541.2秒的最大时间窗口，用于控制模拟外设的打开和关闭。该特性为用户提供了高度的灵活性，并能适配各类需要使用模拟外设的低功耗应用。

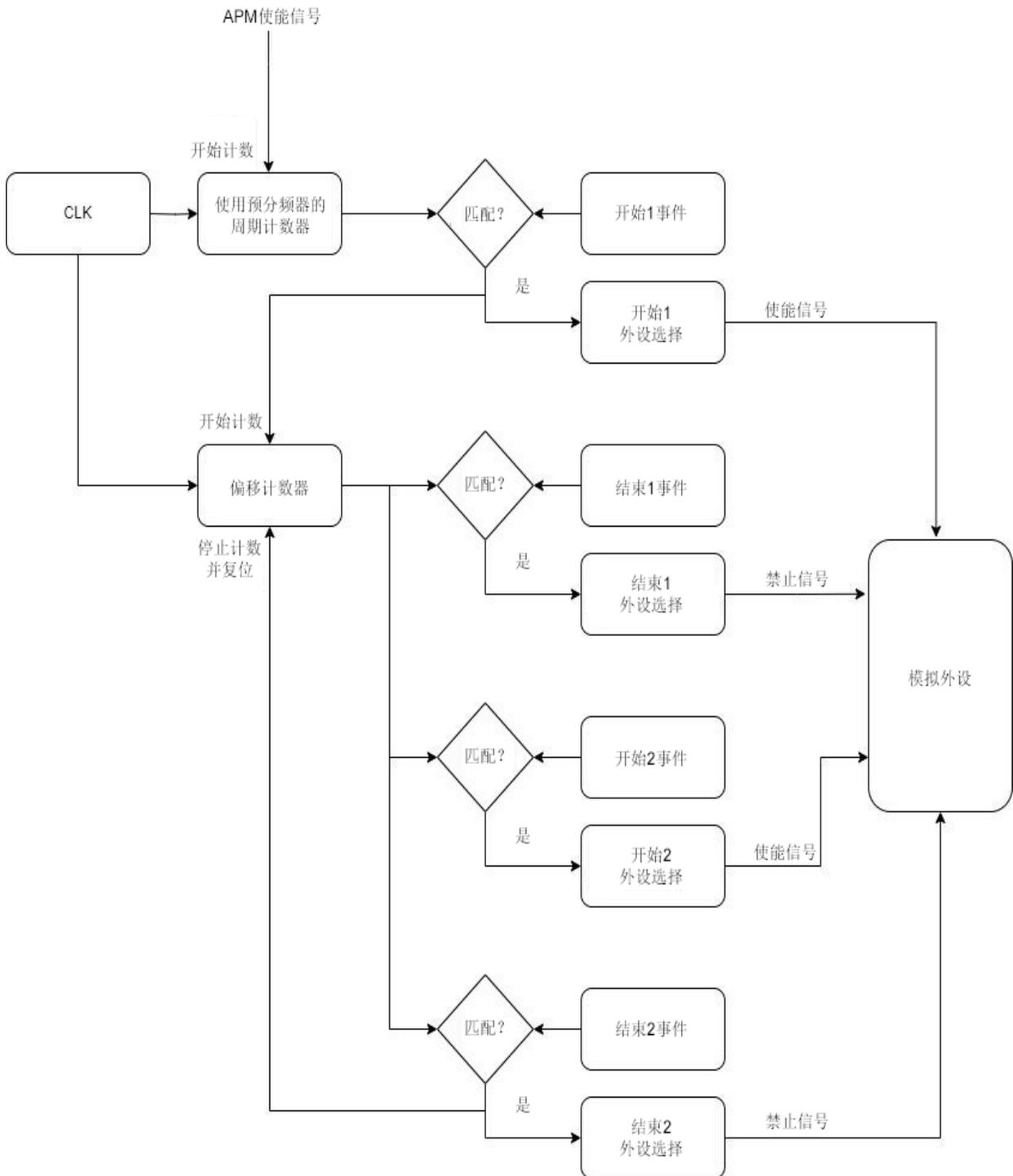
APM可用于定期激活模数转换器（ADC）外设，以控制转换操作的时序。在APM可以控制的模拟模块中，ADC比较特殊，其模拟部分（ADCA）与数字部分（ADCD）分别具有独立的外设启动和停止使能位。

当ADCA外设启动位置1时，APM将在相应的开始事件发生时使能ADC模块及其所需的模拟参考电压，并使该模块准备就绪以执行转换。当ADCD外设启动位置1时，APM将在相应的开始事件发生时激活ADC的数字部分并触发转换。用户在配置ADC时必须选择APM作为自动转换触发源，以便APM能够自动触发转换。

在配置ADCA和ADCD的开始事件和结束事件时，用户必须注意以下几点：

- ADCA开始事件必须在ADCD开始事件之前发生，以确保在触发转换之前已使能并初始化ADC外设的模拟部分。
- 用户必须确保在ADCA开始事件之后留出足够的时间，以便ADC能够在ADCD开始事件触发转换之前稳定下来。
- 用户必须确保在ADCD开始事件之后留出足够的时间，以便在APM禁止ADC之前完成ADC转换。如果APM配置为在转换完成之前禁止ADC的模拟部分或数字部分，则转换结果可能不正确。
- ADC转换完成后可能同时发生ADCA和ADCD的结束事件。

图1-1. APM功能框图



考虑到APM的工作原理（基于计数器定时器与为不同模拟外设指定的使能和禁止时序的匹配），为了实现应用所需的功能，用户在配置APM时必须注意以下几点：

- 开始2事件必须始终在结束2事件之前发生（ $S2 < E2$ ）。否则，开始2事件将永远不会发生，因为偏移计数器会在与结束2事件匹配时停止计数并复位。
- 结束1事件必须始终在结束2事件之前发生或与结束2事件同时发生（ $E1 \leq E2$ ）。否则，结束1事件将永远不会发生，因为偏移计数器会在与结束2事件匹配时停止计数并复位。
- 在特定情况下，需要将开始1事件编程为在周期计数器启动时立即发生（ $S1 = 0s$ ），此时结束2事件必须始终在APM周期结束之前发生（ $E2 < PER$ ）。这一条件是为了避免以下情况：在偏移计数器与上一个周期的结束2事件时序匹配后复位之前，周期计数器复位并与开始1事件时序匹配。这种情况会导致偏移计数器“错过”由周期计数器与开始1事件时序匹配所产生的使能信号，并导致后续事件在当前周期内不会发生。
- 在将开始1事件编程为在周期计数器启动之后发生（ $S1 > 0s$ ）的情况下，为了确保用户实现所需的行为，开始1事件时序和结束2事件时序的总和必须小于等于APM周期（ $[S1 + E2] \leq PER$ ）。这一条件是为了实现用户指定的事件时序和周期性。

注：仅当预分频值为0（即，APM由LFINTOSC时钟驱动时的最大周期为2.115s）时， $S1 = 0s$ 的情况才会按预期工作。

2. 使用模拟比较器和APM模块的感光报警

以下用例旨在重点介绍APM的功能并展示其在MCC Melody中的配置。搭配使用比较器（CMP）外设与APM来设计感光报警。

比较器的输入信号由POT 3和AMBIENT Click板提供。比较器的输出信号与PWM信号一起输入设置为与门的可配置逻辑单元（Configurable Logic Cell, CLC）外设，其输出驱动BUZZ Click板。

用户可以借助电位器设置驱动扬声器的光强度阈值。一旦环境光强度超过电位器设置的值，比较器就会输出逻辑1信号，随后将驱动扬声器。APM将根据指定的周期和事件时序打开和关闭比较器。



单击查看MPLAB DISCOVER上的代码示例

3. 使用ADC、DAC和APM生成可变频率的正弦波形

以下用例旨在重点介绍APM的功能并展示其在MCC Melody中的配置。使用DAC外设输出可变频率的正弦波形（由ADC外设从电位器测得的值控制）。使用TMR0模块作为ADC外设的自动转换触发源，并使用TMR1模块的溢出中断改变DAC外设的输出。使用ADC外设的转换完成中断修改TMR1模块的溢出周期。APM定期使能ADC和DAC进行转换并分别输出正弦波形。



单击查看MPLAB DISCOVER上的代码示例

4. 使用ADC、DAC和APM生成可变幅值的三角波形

以下用例旨在重点介绍APM的功能并展示其在MCC Melody中的配置。使用FVR外设分别为ADC和DAC外设提供2.048V和4.096V的固定参考电压。使用DAC外设输出可变幅值的三角波形（由ADC从电位器测得的值控制）。将APM配置为ADC的自动转换触发源，并使用TMR1模块的溢出中断改变DAC的输出。使用ADC外设的转换完成中断修改三角波形的幅值。APM定期使能FVR以设置参考电压、定期使能ADC以执行单次转换，并定期使能DAC以输出三角波形。

注：为确保DAC外设获得4.096V的固定参考电压，必须对Curiosity Nano适配器板进行硬件更改，否则DAC的输出将限制为3.3V。有关如何执行这些更改的详细信息，请参见[Curiosity Nano Base for Click boards™ Hardware User Guide](#)（DS5002839）的**第3.2节“Power Supply”**。



单击查看MPLAB DISCOVER上的代码示例

5. 参考资料

- 《MPLAB®代码配置器v3.xx用户指南》（DS40001829B_CN）。Microchip Technology, Inc., 2018年。
- “PIC18F26/46/56Q71 Data Sheet ”（DS40002329）。Microchip Technology Inc., 2023年。
- “Curiosity Nano Base for Click boards™ Hardware User Guide ”（DS50002839）。Microchip Technology Inc., 2021年。
- Săbiuță Cristian和Ionescu Cristina所著的 “PIC1000: Getting Started with Writing C-Code for PIC16 and PIC18 (TB3261) ”（DS90003261）。Microchip Technology Inc., 2020年。

6. 版本历史

文档版本	日期	注释
A	2023年7月	文档初始版本

Microchip 信息

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 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。

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。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、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 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

AgileSwitch、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Flashtec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider 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、Clockstudio、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、EyeOpen、GridTime、IdealBridge、IGaT、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、IntelliMOS、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、Knob-on-Display、MarginLink、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、mSiC、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICKit、PICtail、Power MOS IV、Power MOS 7、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、Trusted Time、TSHARC、Turing、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。

© 2025, Microchip Technology Incorporated 及其子公司版权所有。

ISBN: 979-8-3371-1048-6

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。

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	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 - 霍德夏沙隆 电话: 972-9-775-5100 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
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			