TB3185

基于 Arm® Cortex®-M0+的 MCU 上的 ADC 增益误差和失调误差校准

简介

本技术简介对 ADC 中的增益误差和失调误差进行了简要介绍。它还介绍了一种在带有 Arm® Cortex®-M0+内核的 SAM 系列单片机（MCU）中校准增益误差和失调误差的方法。在 SAM Cortex™-M0 + MCU 中，ADC 增益和失调误差可通过硬件进行补偿，从而降低了补偿这些 ADC 误差的应用开销。

适用的 MCU

所有 SAM Cortex-M0 + MCU，SAM C21 器件中的 Σ-Δ ADC（Sigma Delta ADC，SDADC）除外。

© 2018 Microchip Technology Inc.

目录

简介 1

1. 失调误差 3

2. 增益误差 4

3. 使用两点校准方法校准失调和增益误差 5

4. 相关资源 9

Microchip 网站 10

变更通知客户服务 10

客户支持 10

Microchip 器件代码保护功能 10

法律声明 11

商标 11

DNV 认证的质量管理体系 12

全球销售及服务网点 13

© 2018 Microchip Technology Inc.

1. 失调误差

ADC 失调误差被定义为第一次理想编码跳变与第一次实际编码跳变之间的偏差。第一次理想编码跳变发生在 0.5 LSB 处。

如果输入电压小于 0.5 LSB 时输出代码大于零，则 ADC 产生正失调误差。如果输入电压大于 0.5 LSB 时发生第一次输出编码跳变，则 ADC 产生负失调误差。

正负失调误差均限制了 ADC 的可用范围。如果正失调误差较大，会导致 ADC 在输入电压达到上限值之前就达到饱和。对于小输入电压，如果负失调误差大，则会导致 ADC 输出编码为零。

有关更多信息，请参见 Microchip 开发人员帮助网站上的 ADC 失调误差页。

© 2018 Microchip Technology Inc.

2. 增益误差

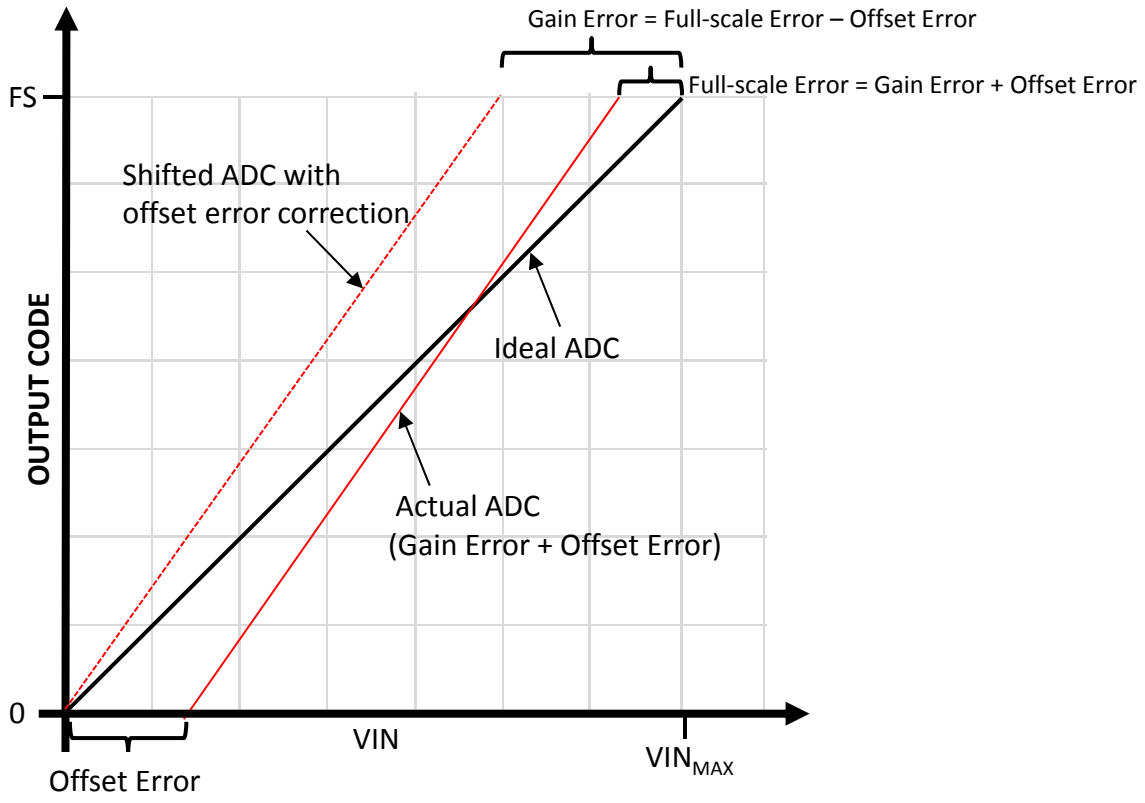
增益误差被定义为补偿失调误差后*理想* ADC 传输的最后一步中点与*实际* ADC 的最后一步中点的偏差。

如果实际 ADC 的传递函数使 ADC 在输入电压达到上限值之前就达到饱和，则产生正增益误差。如果实际 ADC 的传递函数在输入电压达到上限值时未让 ADC 达到满量程值，则产生负增益误差。

有关更多信息，请参见 Microchip 开发人员帮助网站上的 ADC 增益误差页。

增益误差也可以表示为满量程误差减去失调误差，如下图所示。

图 2-1. ADC 中的满量程误差、增益误差和失调误差



3. 使用两点校准方法校准失调和增益误差

对于单极性 ADC，输入范围始终为正，输出代码范围为 0 至满量程（对于 12 位 ADC 为 0xFFF）。但是，单极性 ADC 可能同时存在正负失调误差。对于 ADC 输入，虽然可通过施加零伏输入来计算（和校准）正失调误差，但无法通过施加零伏输入来计算负失调误差。这是因为，存在负失调误差时，施加零伏输入将读取 0x000，从而给人以无失调误差的假象。因此，必须使用两点校准方法，而且在选择两个校准点时必须使一个校准点略低于满量程范围的 10%，而另一个略高于满量程范围的 90%。

请注意，本例中使用的是 SAM D21 MCU。

在本例中，所选的两个校准点为 V1 = 0.15V 和 V2 = 1.55V，它们分别是满量程值 1.65V 的 9%和 93%（选择了内部参考电压 INTVCC1，它将 ADC 参考电压设为 VDDANA 的一半）。

V1 和 V2 的理想 ADC 输出值以 C_i1 和 C_i2 表示。

V1 和 V2 的实际 ADC 输出值以 C_a1 和 C_a2 表示。

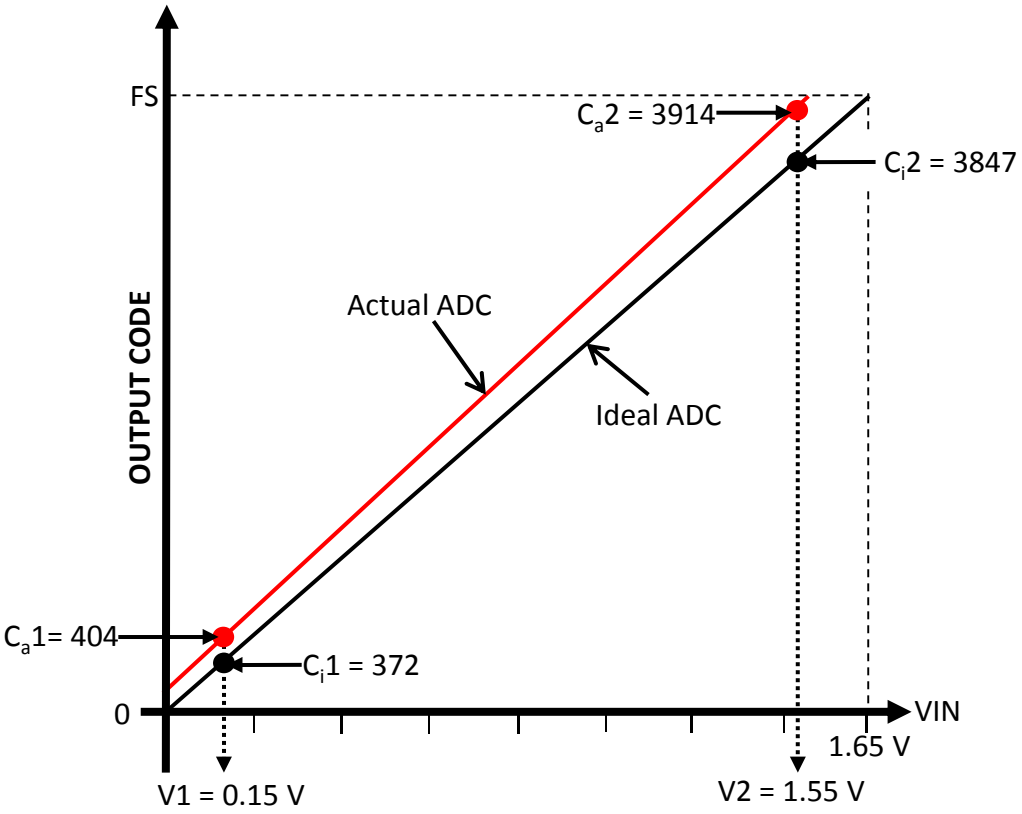
利用精确的电压源施加 V1 = 0.15V 并将实际 ADC 输出值记为 C_a1。V1 = 0.15V 时的理想 ADC 输出值 C_i1 的计算方式为（V1 x 4096）/1.65 ≈ 372。

同样地，施加 V2 = 1.55V 并将 ADC 输出值记为 C_a2。理想 ADC 值 C_i2 的计算方式为（V2 x 4096）/1.65 ≈ 3847。

使用直线等式 $y = mx + b$ 计算增益和失调误差，其中 m 表示线的斜率，b 表示失调量。

© 2018 Microchip Technology Inc.

图 3-1. 两点校准方法



增益误差的计算方式为实际 ADC 输出的斜率除以理想 ADC 输出的斜率。

增益误差=（C_a2-C_a1）/（C_i2 - C_i1）

=（3914 – 404）/（3847 – 372）

= 1.01

一旦计算出了增益误差，便可计算失调误差 $b = y - m.x$

失调误差= C_a1 –（增益误差 x C_i1）= 404 –（1.01 x 372）= 28

通过将计算出的误差值写入 GAINCORR 和 OFFSETCORR 寄存器，即可补偿增益和失调误差。

GAINCORR 是一个 12 位寄存器，值范围为 1024 到 4095。GAINCORR 寄存器必须编程为如下所示：

```
GAINCORR = 2048 /增益误差
```

GAINCORR 寄存器的范围为 0.5 <= GAINCORR <2，其中增益误差 0.5 对应于 GAINCORR 值 4095，增益误差 2 对应于 GAINCORR 值 1024。

在上例中，GAINCORR = 2048/1.01 = 2027

OFFSETCORR 也是一个 12 位寄存器，采用二进制补码格式对它的值编程。

```
OFFSETCORR =失调误差
```

在上例中，OFFSETCORR 寄存器必须编程为 28。

一旦对 GAINCORR 和 OFFSETCORR 寄存器进行了编程，就可以通过将 CTRLB.CORREN 位置 1 来使能增益和失调校正。

注： 对于 SAM D21 MCU，CORREN 位属于 CTRLB 寄存器。有关其他基于 Arm Cortex-M0+的 MCU 的寄存器详细信息，请参见具体器件的数据手册。

使能增益和失调校正后，ADC 计算的补偿值如下：

```
结果=（转换值 - OFFSETCORR）x（GAINCORR/2048）
```

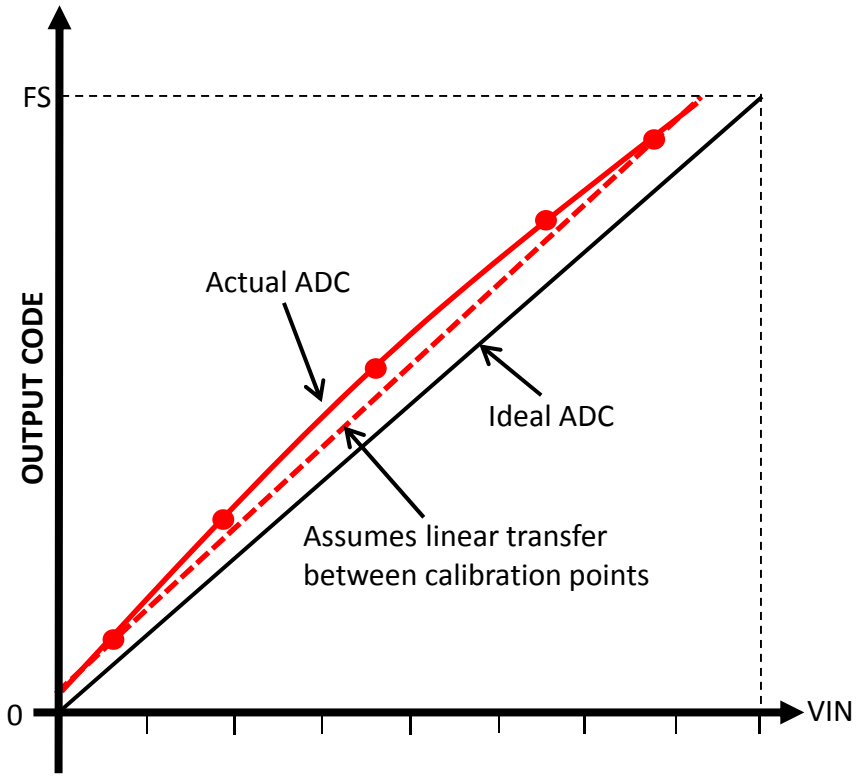
对于上例，ADC 将按如下所示补偿增益和失调误差：

C_a1 =（404 - 28）x（2027/2048）≈372（匹配 C_i1）

C_a2 =（3914 - 28）x（2027/2048）≈3846（接近 C_i2）

上述校准方法假定了各校准点的值呈直线或线性传递函数关系。若想确保整个 ADC 范围内的精度，则可以执行多点校准，如下图所示。校准值可以存储在查找表中，以供软件用来在运行时补偿误差。当然，可以在校准点数量、执行时间和存储器使用之间进行适当取舍。

图 3-2. 用于补偿 ADC 传递函数中非线性部分的基于软件的多点校准



还有一些其他应用注意事项，其中包括选择的校准点必须位于所使用的 ADC 范围内。例如，如果传感器输出在 0.75 V 至 1.25 V 之间变化，则选择的校准点必须确保值也在此范围内。此外，为了提高校准值的精度，可使能 ADC 中可用的平均功能来求取 ADC 样本的平均值。

© 2018 Microchip Technology Inc.

4. 相关资源

有关更多信息，请参见以下文档和网页：

- Microchip 开发人员帮助网站上的了解 ADC 规范页
- Microchip 应用笔记：AN693——了解 A/D 转换器性能规范
- Microchip 应用笔记：AT11481——ADC 配置与示例

Microchip 网站

Microchip 网站 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。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（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、研讨会和活动安排表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

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 http://www.microchip.com/。在“支持”（Support）下，点击“变更通知客户”（Customer Change Notification）服务后按照注册说明完成注册。

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（FAE）
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或应用工程师（FAE）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。

也可通过以下网站获得技术支持： http://www.microchip.com/support

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 愿意与关心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

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，否则在 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、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O 和 XMEGA 是 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge 和 Quiet-Wire 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、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、motorBench、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 为 Microchip Technology Incorporated 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。

Silicon Storage Technology 为 Microchip Technology Inc.在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 是 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。

© 2018, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN： 978-1-5224-3742-0

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 是 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。

DNV 认证的质量管理体系

ISO/TS 16949

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2009 认证。Microchip 的 PIC® MCU 和 dsPIC® DSC、KEELOQ®跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器及模拟产品严格遵守公司的质量体系流程。此外，Microchip 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

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：1-480-792-7200 传真：1-480-792-7277 技术支持： http://www.microchip.com/support 网址： www.microchip.com **亚特兰大** 德卢斯，乔治亚州 电话：1-678-957-9614 传真：1-678-957-1455 **奥斯汀，德克萨斯州** 电话：1-512-257-3370 **波士顿** 韦斯特伯鲁，马萨诸塞州 电话：1-774-760-0087 传真：1-774-760-0088 **芝加哥** 艾塔斯卡，伊利诺伊州 电话：1-630-285-0071 传真：1-630-285-0075 **达拉斯** 艾迪生，德克萨斯州 电话：1-972-818-7423 传真：1-972-818-2924 **底特律** 诺维，密歇根州 电话：1-248-848-4000 **休斯敦，德克萨斯州** 电话：1-281-894-5983 **印第安纳波利斯** 诺布尔斯维尔，印第安纳州 电话：1-317-773-8323 传真：1-317-773-5453 电话：1-317-536-2380 **洛杉矶** 米申维耶霍，加利福尼亚州 电话：1-949-462-9523 传真：1-949-462-9608 电话：1-951-273-7800 **罗利，北卡罗来纳州** 电话：1-919-844-7510 **纽约，纽约州** 电话：1-631-435-6000 **圣何塞，加利福尼亚州** 电话：1-408-735-9110 电话：1-408-436-4270 **加拿大 - 多伦多** 电话：1-905-695-1980 传真：1-905-695-2078	**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 - 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 - 香港特别行政区** 电话：852-2943-5100 **中国 - 珠海** 电话：86-756-3210040 **台湾地区 - 高雄** 电话：886-7-213-7830 **台湾地区 - 台北** 电话：886-2-2508-8600 **台湾地区 - 新竹** 电话：886-3-577-8366	**澳大利亚 - 悉尼** 电话：61-2-9868-6733 **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 **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：45-4450-2828 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：49-7131-67-3636 **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 - 赖阿南纳** 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：47-7288-4388 **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

© 2018 Microchip Technology Inc.