

MRF49XA 收发器与 PIC[®] 单片机的接口设计

作者: Cristian Toma
Microchip Technology Inc.

简介

Microchip Technology 的 MRF49XA 是高度集成的 RF 收发器，用于 433、868 和 915 MHz 波段。该收发器在内部使用 FSK 调制。

收发器是可用于发送和接收的器件。因此命名为“收发器”。可同时发送和接收数据的系统称为全双工系统。另一方面，在某个时间只能发送或接收的系统称为半双工系统。因此，半双工系统仅使用一种频率的载波，并且两端使用相同的频率。全双工系统使用两种频率的载波，即上行频率和下行频率。

本文档讨论使用 Microchip Technology 的 MRF49XA 收发器成功开发半双工射频应用所需的知识。关于此收发器的更多信息，请参阅《MRF49XA 数据手册》(DS70590B_CN)。

FSK 理论的简短说明

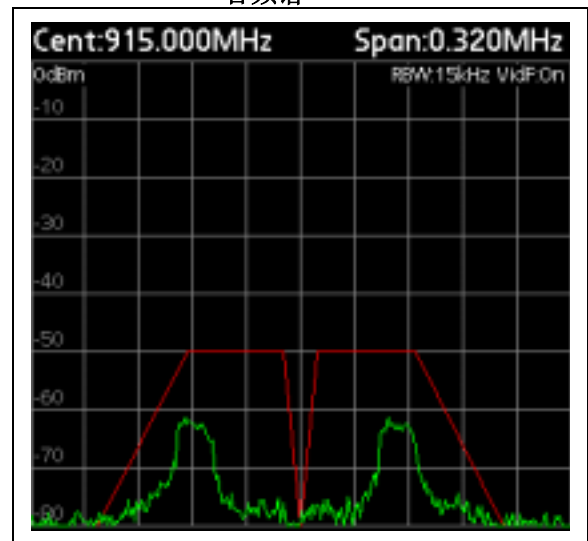
在远程无钥匙进入 (Remote Keyless Entry, RKE) 系统中使用的最常见射频调制是幅移键控 (Amplitude Shift Keying, ASK)。可通过改变固定频率载波的幅度来发送数据。当数据被编码为最大幅度时代表 1 或标记，零幅度即功率放大器 (power amplifier, PA) 关闭时代表 0 或空，这种类型的调制也称为通断键控 (On-Off Keying, OOK)。这种调制格式使收发器的设计变得极其简单而成本又低。

另一种调制类型是频移键控 (Frequency Shift Keying, FSK)。它通过在平均 (或载波) 频率的任一端移动载波频率来实现。在载波频率的任一端上移动的载波量称为偏差。与 ASK 调制相比，FSK 调制有几个优点。当 AM 调制对幅度和噪声的变化非常敏感时，FSK 编码的发送更不易受信号衰减的影响或其他基于幅度的干扰。尽管表面上带宽范围是从 $f_0 - \Delta f$ 到 $f_0 + \Delta f$ ，但是由于两种

频率之间的发送速度可产生额外的频谱信号，带宽的实际范围要比 $f_0 - \Delta f$ 和 $f_0 + \Delta f$ 之间的跨度大。

简而言之，我们可将 FSK 调制视作一种可靠度更高同时噪声又较少的发送介质。为了实现成功的设计，您需要对 FSK 调制的射频链路的要求有更深入的了解。

图 1: 由“01010...”模式产生的组合频谱



要查看有关 FSK 的示例，请看图 1 至 3。这些图都来自频谱分析仪，频谱分析仪是一种绘制幅度 (单位为 dB) 和频率 (线性，单位为 Hz) 之间的关系图的工具。每个图的幅度范围大约为 80 dB，频率范围或跨度为 320 kHz (分为 10 小段，每段为 32 kHz)。

图以 915 MHz 为中心对称。这表示图的左边和右边是以 915 MHz 为中心点严格对齐。该点左边的频率较低，右边的频率较高 (每段 32 kHz)。

图 1 给出了在此示例设计中，发送器产生连续的 1 和 0 交替出现的信号流 (01010101... 模式) 时的频率图。绿线来自频谱分析仪，显示了两个峰值。因为 FSK 表示基于发送的符号 (1 或 0) 的频移，所以有两个峰值。

红线表示接收器的基带滤波器响应，这将在本文档的后面部分进行讨论。在此设计中，接收器部分要求绿线落在红线包围的每个区域内。如您所见，每个绿线峰值都合理地处于每个区域下的中间位置，表示收发器性能正常。稍后将给出不匹配的示例。

图 2: 符号“0”产生的频谱

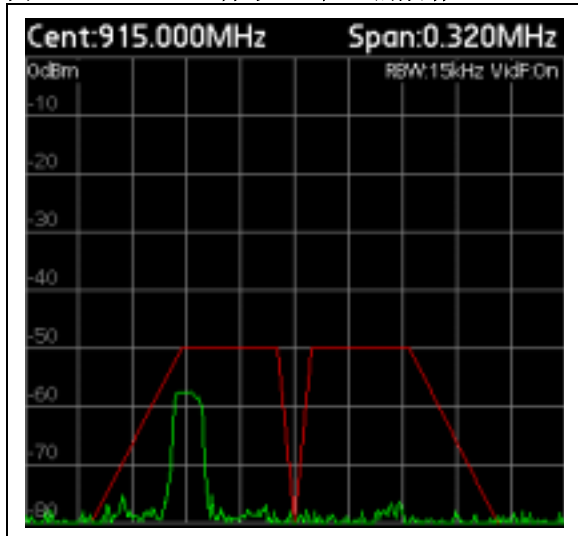


图 2 给出了仅发送 0 时的输出。注意，此图只显示了一个峰值，在此示例中只存在较低频率的峰值。

图 3: 符号“1”产生的频谱

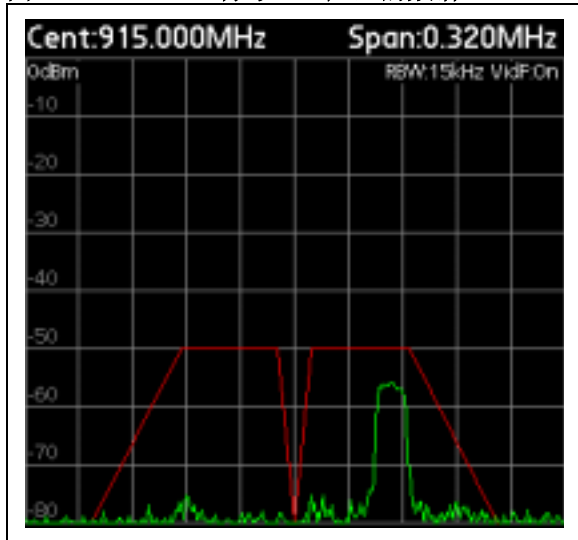


图 3 给出了仅发送符号 1 时的结果，只有一个预期的较高频率的峰值。

控制接口

MRF49XA 使用 4 线 SPI 接口与主单片机 / 系统通信。这些线是 SDO、SDI、CLK 和 CS。SPI 端口用于控制接口、发送数据到 16 位数据 TX 寄存器和从 16 位数据 RX FIFO 接收数据（如果通用配置寄存器中的 TXDEN/FIFOEN 位使能了的话）。

为了使用 MRF49XA 射频器件，必须先将其初始化。通过控制接口将命令写入内部寄存器来初始化器件。有 16 个控制（命令）寄存器和一个状态读寄存器。这些寄存器的说明请参阅 MRF49XA 数据手册。

到收发器的命令是以串行方式发送的。在片选引脚 CS 为低电平时，引脚 SDI 上的数据位在引脚 SCK 上的时钟信号的上升沿移入器件。当 CS 信号为高电平时，初始化串行接口。所有寄存器都由一个命令代码后跟不同数量的参数或数据位组成。所有数据在发送时都首先发送 MSB（例如，16 位寄存器的 bit 15）。上电复位时，电路将所有寄存器都设置为其默认值。

如果发生以下任一事件，收发器将通过将 IRO 线拉低，向主单片机发出中断请求。

- TX 寄存器已准备好接收下一个字节
- RX FIFO 接收到了预编程的位数
- FIFO 上溢 / TX 寄存器下溢（接收模式下 TXUROW 上溢，发送模式下 TXUROW 下溢）
- 中断输入引脚 INT 上出现负脉冲信号
- 唤醒定时器超时
- 检测到电源电压低于预编程的值
- 上电复位

接收到中断请求后，主单片机通过读状态位确认中断源。

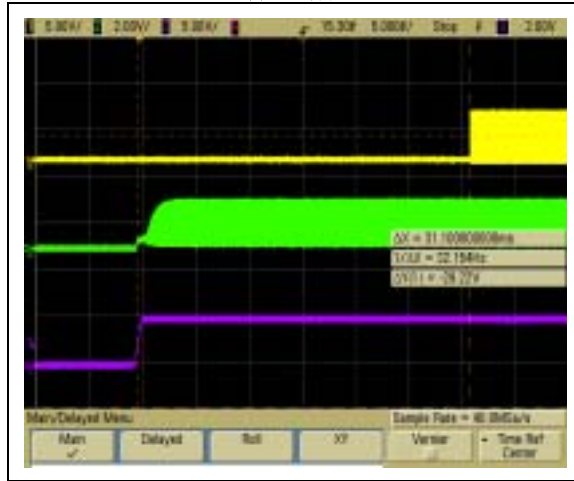
器件初始化

器件具有一个延时时间为 100 ms 的上电复位电路。在此延时时间内，振荡器应有足够的时间来起振并达到稳定点。

在图 4 中，信号 1（黄色）是 CLK 输出（1 MHz），信号 2（绿色）是晶振输出处的波形，信号 3（紫色）是 VDD。此示波图形说明向器件施加 VDD 电压后，晶振起振并达到稳定且数字电路开始工作需要 31.1 ms 的时间。在 POR 超时之前发送的 SPI 命令将被忽略。因此，

上电后应至少提供 100 ms 的延时。或者，主机使 RESET 线有效。

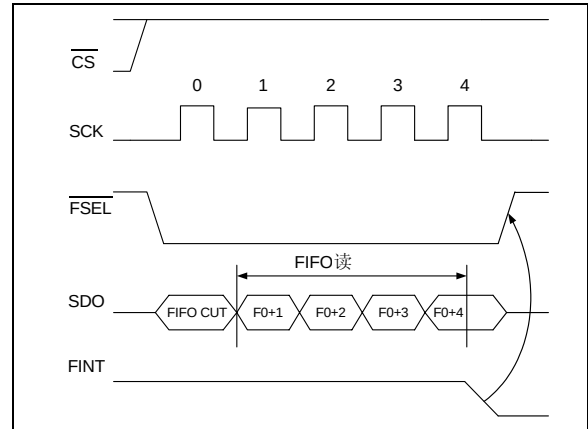
图 4: 器件初始化



缓冲数据接收

如果使能了接收 FIFO，那么接收的数据将随着时钟移入 16 位缓冲器。当同步模式电路检测到有效的数据包时，接收器开始填充 FIFO。这可防止 FIFO 装载随机数据。当 FIFO 达到预定义的装载级别时，在 FINT 引脚（器件的引脚 7，高电平有效）上提供一个信号。该引脚上的逻辑电平 1 表示 RX FIFO 中的位数已达到预编程的限制。可通过 FIFO 和复位模式配置寄存器设置 RF 器件将产生中断的电平。该值通常设置为 8 位（一个字节），以允许发送/接收过程中可以逐字节地装载 FIFO。这只在 FIFO 模式下（即通用配置寄存器中的位 FIFOEN 置 1 时）适用。SPI 缓冲器读将导致 RX FIFO 达到较低位数，并且 FINT 引脚返回到逻辑电平 0。当 FSEL 线为低电平时，FIFO 输出将连接到 SDO 引脚且随着时钟移出其内容。

图 5: 缓冲模式



除了缓冲模式外，MRF49XA 器件还可用于非缓冲模式，在此模式下，引脚 6（FSK/DATA/FSEL）用作在发送模式下的 TX 数据输入引脚或在接收模式下的 RX 数据输出引脚。引脚 7（RCLKOUT/FCAP/FINT）用作 RX 数据时钟输出。

缓冲数据发送

在此模式下，数据随着时钟移入用于构成一个 16 位寄存器的两个 8 位数据寄存器中的一个。当在电源管理配置寄存器中将 TXCEN 位置 1 后，发送器开始从第一个寄存器发送数据。这两个寄存器包含初始值 0xAA，此值可用于产生数据包的前导码。在发送过程中，必须监视 SDO 引脚（SDO 变为高电平）以查看数据寄存器是否准备好从主单片机接收下一个字节。

注： 用户必须注意，在使用这些寄存器时，在其初始状态，这些寄存器可能就已经包含数据。而且，在寄存器中的最后一个字节发送完毕前，发送器不应关闭。要满足这个要求，装入 FIFO 的最后一个字节应该是无效字节，以允许发送最后一个字节。发送器可在下一个 SDO 引脚信号的上升沿（FIFO 准备好接收新的字节）关闭。

射频链路要求

对于 FSK 调制的射频链路，有一组用于描述链路本身的几个基本参数：

- 数据传输速率
- 偏差
- RX 基带带宽
- 晶振精度（参考频率）

数据传输速率

根据应用的不同，可酌情采用低速射频链路或高速射频链路。低速链路通常用于仅需要发送短数据包而且两次发送之间的延时非常长（几小时到几天不等）的应用中。高速链路仅在器件需要发送大量数据时使用，例如在射频调制解调器和数字音频链路中等。由于在接收器解调电路中噪声较少，较低的数据传输速率使得射频链路的覆盖范围较大。另一方面，高速链路还可用于提供非常短的数据包，从而延长电池寿命（如果通过电池供电的话）。

偏差

要计算建议偏差，您需要了解数据传输速率和晶振精度。一般来说，偏差必须比数据传输速率大。那么，您还必须为 RX 到 TX 的频率偏移（这个偏移是可调的，将在本文档稍后部分讨论）提供一些空间。最小的建议偏差是 30 kHz。

RX 基带带宽

RX 基带带宽由晶振精度和覆盖范围的要求来定义。需要的覆盖范围越大，基带带宽越小（为了过滤噪声）。

晶振精度

使用低 ppm 精度的晶振。晶振的精度越高，TX 到 RX 的偏移越小，且偏差和基带带宽也越小。一个好的晶振具有的 ppm 值应 ≤ 40 ppm。

注： 晶振的 ppm 值定义了其精度。它表示百万分率。ppm 值越低，晶振精度越高。晶振产生的频率误差可通过以下公式计算：

$$\Delta f_0 = ppm_value * \frac{f_0}{10^6}$$

其中 f_0 是晶振标称频率。

示例计算

数据传输速率为 9.6 kbps，晶振精度为 40 ppm，波段为 915 MHz。据此对偏差和基带带宽求值。

公式 1:

$$\Delta f_0 = \frac{40ppm}{10^6} * 915 * 10^6 = 36.6kHz$$

公式 2:

$$\begin{aligned} \text{偏差} &= \text{数据传输速率} + 2 * \Delta f_0 + 10 * 10^3 \text{ Hz} \\ &= 9600 + 2 * 36600 + 10 * 10^3 \text{ Hz} = 92.800 \text{ kHz} \end{aligned}$$

因此，根据标准频率要求，最接近的可能偏差为 90 kHz。

公式 3:

$$\begin{aligned} \text{基带带宽} &= (\text{偏差} * 2 - 10) * 10^3 \text{ Hz} \\ &= (90 * 2 - 10) * 10^3 \text{ Hz} = 170 \text{ kHz} \end{aligned}$$

最接近的可能基带带宽是 200 kHz。

频率偏移

在射频链路中，发送器和接收器使用相同频率工作。某一时间只有一个器件可以发送数据，而另一个器件必须接收数据。

发送完毕后，它们可以互换角色并发回数据（即，发回应答信号）。

虽然理论上两端使用相同的频率，但实际上将会有一定的频率偏移。参考频率中的差异可导致 RX-TX 频率偏移。这是由晶振产生的。要最大程度地减少此频率误差，建议在射频链路的两端使用相同类型的晶振，并且尽可能在晶振参考部分使用相同的 PCB 布线。

要确定实际的 RX-TX 偏移，建议使用高精度的频率计数器。要测量晶振频率，请在 RX 和 TX 单元的 CLKOUT（引脚 8）上连接测量探针。不要将探针与晶振引脚直接连接，因为探针本身具有内部电容，测量过程将修改参考频率。器件的 CLKOUT 提供的频率在默认情况下是参考振荡器频率的十分频值（可编程为其他值）。要禁止 CLKOUT，请将电源管理配置寄存器的 CLKOE 位置 1。

实际频率可使用下列公式计算：

公式 4:

对于 915 MHz：

$$F_{ref} = (\text{频率 [Mhz]}) * 91.5$$

对于 868 MHz：

$$F_{ref} = (\text{频率 [Mhz]}) * 86.8$$

对于 433 MHz：

$$F_{ref} = (\text{频率 [Mhz]}) * 43.3$$

30 ppm、10 MHz 的晶振产生的最大误差为：

公式 5:

$$\Delta f_0 = \frac{\text{CrystalAccuracy[ppm]} * \text{XtalFrequency[MHz]} * 10^6}{10^6}$$

$$= \frac{30}{10^6} * 10 * 10^6 = 300\text{Hz}$$

因此，最大的频率误差是：

公式 6:

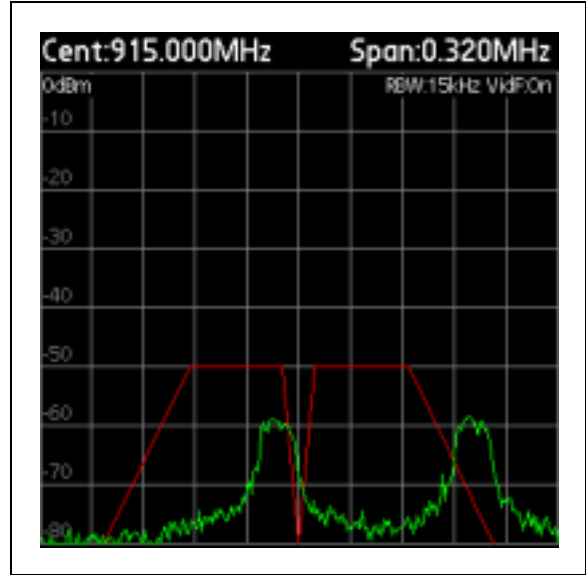
$$F_0 = \frac{\text{频率 [Mhz]}}{10} * (\text{XtalFrequency[MHz]} * 10^6 \pm \Delta f_0)$$

$$= 915 \text{ MHz} \pm 27.45 \text{ KHz}$$

其中，发送波段为 868 或 915，具体选择哪个取决于频率设置。

RX-TX频率偏移的调整可通过使用通用配置寄存器并更改晶振负载电容来完成。这允许参考频率有小的变动。调整晶振负载电容可使两个器件具有尽可能接近的相同频率。

图 6: 未调整好的发送器示例



在图 6 中给出了一个未调整好的发送器示例。这里，我们将看到中心频率未对齐。红线表示接收器基带滤波器响应。您可以清楚地看到，在此示例中无法建立射频链路，因为接收器无法解释符号 1 和 0。我们并不关注此处的信号幅度，将其显示出来只是为了进行说明。

结论

MRF49XA 是高度集成的 RF 收发器。它只需要少数几个外部组件，并可通过 SPI 接口进行控制。

因此，MRF49XA 是主系统为单片机（例如 Microchip 的 PIC® 单片机）的低功耗、短程射频通信应用的理想选择。

常见问题解答

Q1: 我无法建立射频通信。两个模块（TX 和 RX）仅在彼此非常靠近（几英寸）时工作。

A1: 使用频率计数器，检查 MRF49XA CLKOUT（引脚 8）的时钟输出。在射频链路的两端尽可能接近地对齐参考频率（使用通用配置寄存器）。不要将探针放在 RFX TAL 引脚上，因为探针也有一些内部电容，测量过程将会使实际频率产生偏移。

Q2: 发送只能在一个方向上进行。接收可以双向进行。

A2: 这很可能是硬件故障。尝试使用另一个相同的单元建立射频链路。例如，与其他基站对话的基站和 / 或其他密钥卡对话的远程密钥卡。天线与 VDD 线之间需要一个中间连接。检查是否有中间连接。

Q3: 要开发一个类似于这里描述的系统，我至少需要哪些测试 / 测量工具？

A3: 您不需要任何特殊 RF 工具就可进行开发。如果不行，请再看一遍本文档。

附录 A: 源代码

由于篇幅有限，本文档中未包含此应用笔记的完整源代码。用户可从 Microchip 网站下载源代码的完整版本和所有需要的支持文件的 Zip 文档：

www.microchip.com

注:

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。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、dsPIC、KEELOQ、KEELOQ 徽标、MPLAB、PIC、PICmicro、PICSTART、rfPIC 和 UNI/O 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

FilterLab、Hampshire、HI-TECH C、Linear Active Thermistor、MXDEV、MXLAB、SEEVAL 和 The Embedded Control Solutions Company 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Analog-for-the-Digital Age、Application Maestro、CodeGuard、dsPICDEM、dsPICDEM.net、dsPICworks、dsSPEAK、ECAN、ECONOMONITOR、FanSense、HI-TIDE、In-Circuit Serial Programming、ICSP、Mindi、MiWi、MPASM、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、mTouch、Octopus、Omniscient Code Generation、PICC、PICC-18、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PIC³² 徽标、REAL ICE、rfLAB、Select Mode、Total Endurance、TSHARC、UniWinDriver、WiperLock 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

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

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2009, Microchip Technology Inc. 版权所有。

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
== ISO/TS 16949:2002 ==

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-16949:2002 认证。公司在 PIC[®] MCU 与 dsPIC[®] DSC、KEELOQ[®] 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器和模拟产品方面的质量体系流程均符合 ISO/TS-16949:2002。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。

全球销售及服务中心

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://support.microchip.com>
网址: www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta
Duluth, GA

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

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

克里夫兰 Cleveland
Independence, OH
Tel: 216-447-0464

Fax: 216-447-0643

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

底特律 Detroit
Farmington Hills, MI
Tel: 1-248-538-2250
Fax: 1-248-538-2260

科科莫 Kokomo
Kokomo, IN
Tel: 1-765-864-8360
Fax: 1-765-864-8387

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

圣克拉拉 Santa Clara
Santa Clara, CA
Tel: 408-961-6444
Fax: 408-961-6445

加拿大多伦多 Toronto
Mississauga, Ontario,
Canada
Tel: 1-905-673-0699
Fax: 1-905-673-6509

亚太地区

亚太总部 **Asia Pacific Office**
Suites 3707-14, 37th Floor
Tower 6, The Gateway
Harbour City, Kowloon
Hong Kong
Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

中国 - 北京
Tel: 86-10-8528-2100
Fax: 86-10-8528-2104

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511
Fax: 86-28-8665-7889

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460
Fax: 86-25-8473-2470

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355
Fax: 86-532-8502-7205

中国 - 上海
Tel: 86-21-5407-5533
Fax: 86-21-5407-5066

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829
Fax: 86-24-2334-2393

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8203-2660
Fax: 86-755-8203-1760

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300
Fax: 86-27-5980-5118

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138
Fax: 86-592-238-8130

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252
Fax: 86-29-8833-7256

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040
Fax: 86-756-321-0049

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-536-4818
Fax: 886-7-536-4803

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2500-6610
Fax: 886-2-2508-0102

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-6578-300
Fax: 886-3-6578-370

亚太地区

澳大利亚 Australia - Sydney
Tel: 61-2-9868-6733
Fax: 61-2-9868-6755

印度 India - Bangalore
Tel: 91-80-3090-4444
Fax: 91-80-3090-4080

印度 India - New Delhi
Tel: 91-11-4160-8631
Fax: 91-11-4160-8632

印度 India - Pune
Tel: 91-20-2566-1512
Fax: 91-20-2566-1513

日本 Japan - Yokohama
Tel: 81-45-471- 6166
Fax: 81-45-471-6122

韩国 Korea - Daegu
Tel: 82-53-744-4301
Fax: 82-53-744-4302

韩国 Korea - Seoul
Tel: 82-2-554-7200
Fax: 82-2-558-5932 或
82-2-558-5934

马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-6201-9857
Fax: 60-3-6201-9859

马来西亚 Malaysia - Penang
Tel: 60-4-227-8870
Fax: 60-4-227-4068

菲律宾 Philippines - Manila
Tel: 63-2-634-9065
Fax: 63-2-634-9069

新加坡 Singapore
Tel: 65-6334-8870
Fax: 65-6334-8850

泰国 Thailand - Bangkok
Tel: 66-2-694-1351
Fax: 66-2-694-1350

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

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

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

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

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

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

英国 UK - Wokingham
Tel: 44-118-921-5869
Fax: 44-118-921-5820