

## 利用角度跟踪锁相环估算器实现面向家用电器的 永磁同步电机（表面贴装和内置）的 无传感器磁场定向控制

作者: Prasad Kulkarni  
Microchip Technology Inc.

### 简介

对于空调、冰箱、洗衣机和风扇等家用电器，许多国家/地区追求的标准均要求提高能效。另外，制造商希望减小此类电器的尺寸，因为这样更受消费者青睐。永磁同步电机（Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM）具有较高的效率、能量密度和稳健性，因此成为了此类应用的理想之选。

PMSM需要定制复杂的控制方案，以此助力电机、负载和电器系统实现最理想的效率、耐用性和稳健性。

本文档将讨论用于控制PMSM驱动电器（例如压缩机、洗衣机和风扇）的控制方案和一些负载特定的算法。

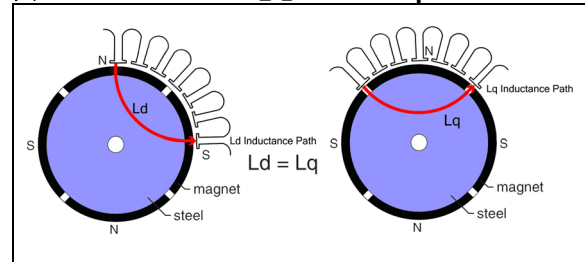
### 永磁同步电机（PMSM）

PMSM由称为定子的静止部分和称为转子的旋转部分组成。定子由三相绕组组成，当用平衡的三相电压激励时，它会产生旋转磁场。转子包含永磁体，可产生自己的磁场。当这两个磁场相互作用时会产生转矩，随后电机因此而旋转。

PMSM根据转子的结构分为两类：

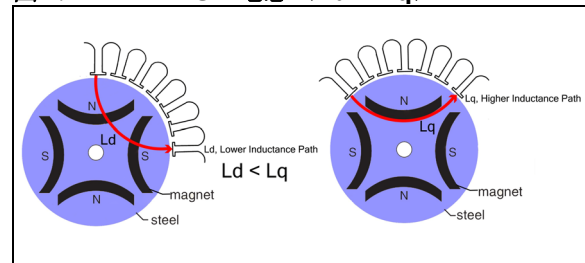
- 表面贴装：**磁体安装在转子表面。磁体需要经过特殊的性能分析以获得正弦反电动势（Back EMF, BEMF）。这会在磁通路径上产生对称气隙磁阻。此类电机称为表面贴装永磁同步电机（Surface-Mounted Permanent Magnet Synchronous Motor, SPMSM）。

图1: SPMSM电感 ( $L_d = L_q$ )



- 内置：**磁体深嵌于转子内部。这会在磁通路径上产生非对称气隙磁阻。此类电机称为内置永磁同步电机（Interior-Permanent Magnet Synchronous Motor, IPMSM）。

图2: IPMSM电感 ( $L_d < L_q$ )



实际上，由于制造工艺和所用材料的原因，即使是表面贴装PMSM在其磁阻路径上也会有轻微的非对称性。用于衡量这种非对称性的术语称为“凸极性”，它根据沿定子的电感变化计算得出。

凸极性会产生自己的转矩，类似于在螺线管中的铁棒上产生的力。这种转矩称为“磁阻转矩”，它不同于定子和转子磁场相互作用所产生的“永磁转矩”，属于后者的附加转矩。



## 估算器——角度跟踪锁相环 (AT-PLL)

转子位置的信息嵌入到转子磁通或BEMF中。如公式1所示，这可以通过将电流和电压信息馈入电机模型来估算。

公式1:

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \frac{V_{dc}}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} m_\alpha \\ m_\beta \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_s & 0 \\ 0 & r_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L_0 - L_1 \cos(2\theta) & -L_1 \sin(2\theta) \\ -L_1 \sin(2\theta) & L_0 + L_1 \cos(2\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E_\alpha \\ E_\beta \end{bmatrix}$$

$$\therefore \begin{bmatrix} E_\alpha \\ E_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} r_s & 0 \\ 0 & r_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} - \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L_0 - L_1 \cos(2\theta) & -L_1 \sin(2\theta) \\ -L_1 \sin(2\theta) & L_0 + L_1 \cos(2\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix}$$

其中:

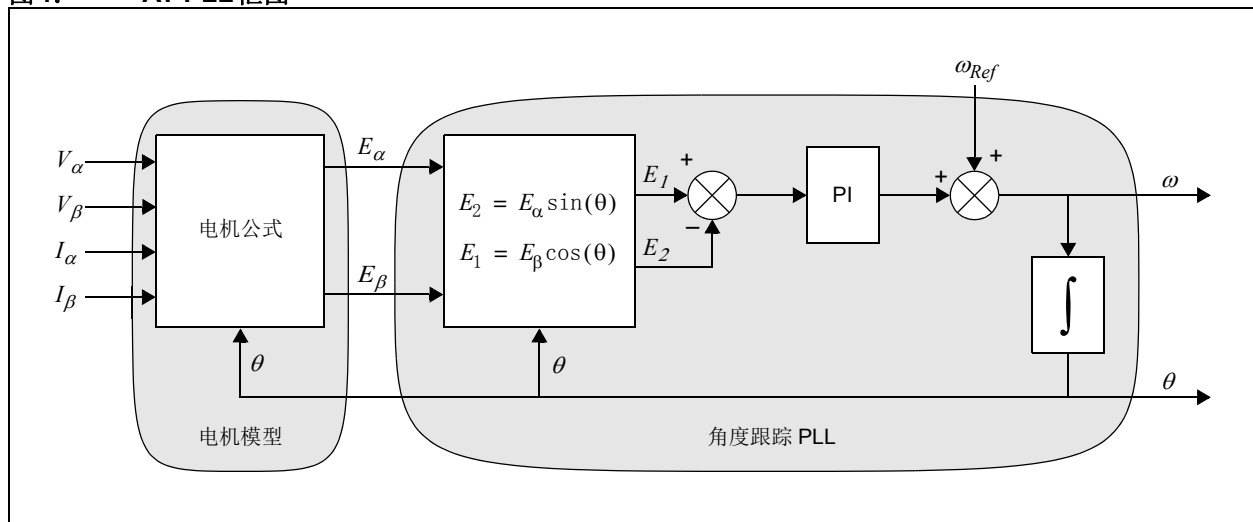
$$L_0 = \frac{L_{ds} + L_{qs}}{2} \quad \text{且} \quad L_1 = \frac{L_{ds} - L_{qs}}{2}$$

注: 在 SPMSM 中,  $L_1 = 0$ 。

一旦已知BEMF, 就可以使用AT-PLL来获取速度和位置信息。

图4给出了估算器(AT-PLL)的实现框图。

图4: AT-PLL框图



## D轴参考电流生成

在FOC中，与转子磁通对齐的电流磁通分量称为“D轴”电流（ $I_{ds}$ ）。正 $I_{ds}$ 会增强气隙磁通，负 $I_{ds}$ 会减弱气隙磁通。因此，通过控制 $I_{ds}$ ，可以控制电机的气隙磁通。

电流转矩分量称为“Q轴”电流（ $I_{qs}$ ）。控制该分量可控制电机的速度。

## 最大转矩/电流（MTPA）

如公式2所示，电机产生的转矩是永磁磁通和 $I_{qs}$ （称为永磁转矩）与 $I_{ds}$ 和 $I_{qs}$ （称为磁阻转矩）之间相互作用的结果。

### 公式2:

$$T_e = \frac{3P}{22}(\Psi_{PM} + (L_{ds} - L_{qs})I_{ds})I_{qs}$$

通过设置 $I_{ds} = 0$ ，电机消耗的全部电流均可用于产生转矩，从而确保电机在其最佳工作点运行。

对于 $L_{ds} < L_{qs}$ 的IPMSM，通过将 $I_{ds}$ 设置为负，可向永磁转矩中附加磁阻转矩。通过适当参考 $I_{ds}$ ，可以最大程度地降低消耗的总电流，从而满足给定的转矩要求。该算法（公式3）称为最大转矩/电流（Maximum Torque Per Ampere, MTPA），它可以确保IPMSM高效运行。 $I_{ds}$ 的幅值通过公式3确定。

### 公式3:

$$I_{ds} = \frac{-\Psi_{PM} + \sqrt{\Psi_{PM}^2 + (4L_1 I_{qs})^2}}{4L_1}$$

## 弱磁

随着电机速度的提高，BEMF也会成比例地增大，从而需要增大施加的电压。不过，当直流母线电压存在限制（电源开关和绝缘等）而需要将速度提高到某个点（称为标称速度）以上时，无法进一步增大施加的电压。在此类情况下，通过施加负 $I_{ds}$ ，可使用定子电感两端的压降抵消部分BEMF，从而可在给定的直流母线电压下提高速度。这称为电机的磁通减弱、磁场减弱或扩展速度运行。在此，当所施加的电压处于相应速度和负载需求的最大电压限制圆上时，可实现最佳工作点。

## 停转检测

只要电机上的负载增大到超出其能力范围，或者调整不当，电机就会停转。停转可分为两种：快速停转和慢速停转。

- **快速停转：**由于电机工作点的突然变化而发生，将表现为过电流。因此，可通过监视相电流数据来检测该停转。
- **慢速停转：**由于电机负载缓慢增加或调整不当而发生。这种情况将表现为BEMF远低于基于设定速度的预期BEMF。由于估算器可提供BEMF信息，因此可通过监视BEMF数据来检测该停转。

## 应用特定的算法

上述部分介绍了通用电机应用，即用于运行PMSM的基本控制结构。但是，不同的应用/电器还需要实现其他算法来满足其特定需求。

本部分将介绍为满足这些电器特定要求而实现的算法。不过，这些算法也可用于满足其他应用的要求。以下部分将讨论其中的部分用例。

### 初始位置检测（Initial Position Detection, IPD）

通常，PMSM通过锁定到已知角度来启动。如果最近的锁定位置在相反的旋转方向上，则会导致逆向旋转。在不允许这种逆向旋转的应用中，将使用IPD。

对于凸极电机，电机的电感随转子位置而变化。因此，通过施加不同的电压向量并测量电流，可以估算出沿不同定子点的相对电感，并且可以获取转子位置。一旦获取转子位置，就可以直接从确定的位置启动电机，从而避免逆向旋转。

### 螺旋桨自转

对于典型应用，当移除施加到电机的电压（断电）时，电机会在惯性的作用下继续旋转。另外，对于风扇应用，即使电机断电，电机也会在风扇所受风力的作用下继续旋转。在此类情况下，启动电机无需锁定。由于转子中存在永磁体，电机自由旋转会产生BEMF。通过检测该BEMF，可获取转子的速度和位置信息。该信息随后用于启动电机。

### 转矩补偿

某些负载（例如压缩机）即使在稳态条件下也可能导致电机振动，这是此类负载本身的特性使然。这类振动频率可通过电机反馈确定。一旦已知频率，该算法就可抵消频率对电机的影响，从而减少振动。

## 软停止

在弱磁控制中，当运行高惯性负载的电机（例如洗衣机）突然停止时，机械系统中的能量会传递回电气系统。如果未能正确处理这种突发能量，增加的直流母线电压可能会达到不安全的级别。

对于增加的直流母线电压，其中一种处理方法是每当收到停止命令时，便以受控方式降低电机速度。这样可以确保直流母线电压不会达到不安全的级别。一旦电机的速度达到安全速度，就可以关闭施加到电机的电压，从而安全地停止电机。

## 用例

本部分将介绍一些电器特定的要求，这些要求可以通过上一部分中讨论的应用特定算法来满足。

### 风扇

旧风扇模型使用的是单相感应电机，即使在瞬间断电的情况下，通常也会继续以当前速度旋转，直到达到设定速度，而不会发生任何反向旋转。这些传统功能有望在PMSM驱动风扇中使用。

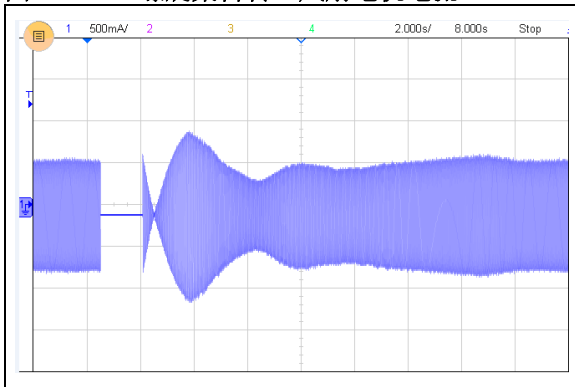
具体要求可以总结如下：

- 从静止位置启动风扇。扇叶不得发生明显的逆向运动。
- 当断电的风扇正向运行（由于惯性或外界风吹动）时，如果恢复供电，风扇应能够快速恢复速度。
- 当断电的风扇逆向运行（由于惯性或外界风吹动）时，应使其平稳安全地停止运行，然后再正向运行。

可以看出，其中一些要求是关于运行风扇时的美学要求，因此，无需作为所有风扇应用的基本要求。例如，吊扇可能具有上述所有要求，而对于隐藏式厨柜风扇，逆向运动是可以接受的。恢复供电时，可能仍需要快速恢复速度。IPD（在“[初始位置检测（IPD）](#)”部分讨论）和螺旋桨自转（在“[螺旋桨自转](#)”部分讨论）可满足这些要求。

图5给出了在螺旋桨自转时停止，然后沿相反方向平稳重启的风扇的电流波形。

图5: 螺旋桨自转: 风扇电机电流

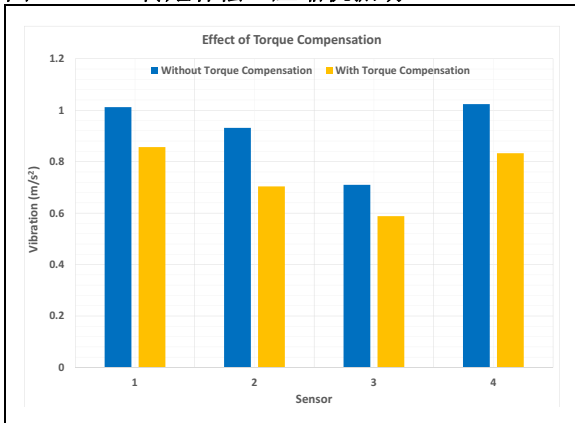


## 空调和冰箱

空调和冰箱系统的主要元件为电机驱动压缩机，用于实现热交换。由于压缩周期内的压力会发生变化，因此压缩机对电机施加的负载并不均匀，进而导致在电机、压缩机和管道中产生振动。这类振动会使管道发生疲劳，甚至可能过早失效。

这类振动应尽可能避免，尤其是在电机速度较低时。当速度较高时，电机、压缩机和管道通常不会作出过多的反应，这要归功于它们自身的典型机械响应。使用“**转矩补偿**”部分中讨论的转矩补偿算法可满足该要求。

图6: 转矩补偿: 压缩机振动

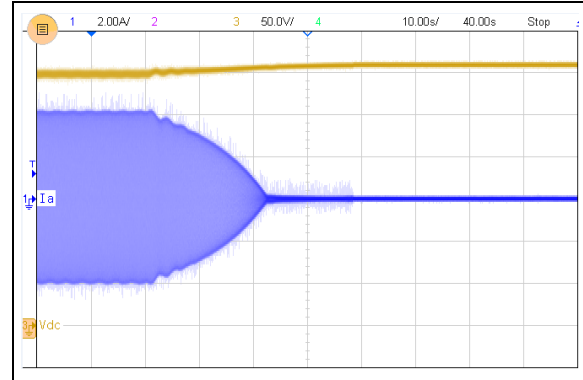


## 洗衣机

洗衣机应用具有很高的机器惯性，并且能够以极高的速度运行电机。当洗衣机以甩干模式运行时，如果收到停止命令，则应用必须安全地停止电机，以避免直流母线电压发生浪涌。有关更多信息，请参见“**软停止**”部分。

图7给出了使用软启动算法防止直流母线过压的洗衣机的电流波形。

图7: 软停止: 洗衣机电机电流



## 结论

本文档前述内容论证了相关算法和用例在实现PMSM驱动电器（例如风扇、洗衣机、冰箱和空调）所需能效、耐用性和稳健性方面的能力。这些算法已在Microchip dsPIC<sup>®</sup> DSC器件中证实有效，并可扩展到其他基于PMSM的应用中。

## 命名法

下表列出了本档中引用的符号和常量。

**表1: 命名法**

$r_s$	定子电阻
$L_{ds}$	D轴定子电感 ( $L_{ds} < L_{qs}$ )
$L_{qs}$	Q轴定子电感
$\Psi_{PM}$	电机反电动势 (BEMF) 常量
$V_\alpha$	沿“a”相施加的电压
$V_\beta$	与“a”相正交施加的电压
$I_\alpha$	沿“a”相的定子电流
$I_\beta$	与“a”相正交的定子电流
$E_\alpha$	沿“a”相的BEMF
$E_\beta$	与“a”相正交的BEMF
$\omega_{Ref}$	转子参考速度
$\omega$	转子速度
$\theta$	估算的BEMF角度
$I_{dsRef}$	沿D轴的参考定子电流
$I_{qsRef}$	沿Q轴的参考定子电流
$I_{ds}$	沿D轴的定子电流
$I_{qs}$	沿Q轴的定子电流
$V_{dc}$	检测到的直流链路电压

## 参考资料

- AN1078 《PMSM的无传感器磁场定向控制》
- AN1292 《利用PLL估算器和弱磁技术 (FW) 实现永磁同步电机 (PMSM) 的无传感器磁场定向控制 (FOC)》
- “*Speed Estimators, Flux Weakening and Efficient Use of SPMSM and IPMSM*” —— Prasad Kulkarni, 20089 MC7, Microchip 2016年技术精英年会
- “*Motor Control for White Goods Applications*” —— Prasad Kulkarni, 21095 MC5, Microchip 2017年技术精英年会
- “*Closed Loop Flux Weakening for Permanent Magnet Synchronous Motors*” —— P.Kulkarni, R. Kankanala, D. Deb, 美国专利10 008 967, 2018年6月26日
- “*Closed Loop Torque Compensation for Compressor Applications*” —— P. Kulkarni, D. Deb, R. Kankanala, 美国专利申请日期: 2017年12月17日, MTI参考编号: 5929.US.0, 美国申请编号: 15/844,569

# TB3220

---

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。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。

有关 **Microchip** 质量管理体系的更多信息，请访问 [www.microchip.com/quality](http://www.microchip.com/quality)。

## 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**、**PackeTime**、**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 Incorporated** 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**、**Precision Edge**、**ProASIC**、**ProASIC Plus**、**ProASIC Plus** 徽标、**Quiet-Wire**、**SmartFusion**、**SyncWorld**、**Temux**、**TimeCesium**、**TimeHub**、**TimePictra**、**TimeProvider**、**Vite**、**WinPath** 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**、**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 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。

© 2020, **Microchip Technology Incorporated** 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-5670-4

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

网址: [www.microchip.com](http://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