

---

---

## Microchip 32位单片机的集成功率因数校正（PFC） 与无传感器磁场定向控制（FOC）系统

---

---

### 简介

---

近年来，电机控制行业一直致力于为各种应用设计高效率的电机控制驱动。消费者对更高电能质量标准的需求推动了这一趋势。通过实现功率因数校正（Power Factor Correction, PFC）可以增强电能质量，使用无传感器磁场定向控制（Field Oriented Control, FOC）可以实现对电机的高效控制。家电行业通常需要以低成本实现这些算法。这可以通过在单个单片机中集成PFC和无传感器FOC算法实现。Microchip的32位单片机具有充足的计算和外设资源，能够在单个单片机上支持PFC和无传感器FOC。

本应用笔记介绍了集成这两个复杂应用的过程：PFC和无传感器FOC。这些应用在永磁同步电机（Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM）上实现。此外，本应用笔记还介绍了算法的集成，列出了必要的硬件要求，并且提供了优化开发过程的指导方针。

集成解决方案基于以下应用笔记：

- AN1106——《使用dsPIC<sup>®</sup> DSC实现能量转换应用中的功率因数校正》
- AN2520——《利用PLL估算器和基于公式的弱磁技术（FW）实现永磁同步电机（PMSM）的无传感器磁场定向控制（FOC）》

**注：**这些文档可从以下Microchip网站下载：[www.microchip.com](http://www.microchip.com)。

应用笔记AN1106介绍了功率因数校正（PFC）方法。应用笔记AN2520介绍了无传感器磁场定向控制（FOC）方法。这些应用笔记中提供了详细的数字设计和实现技术。本应用笔记是上述应用笔记的补充。

单片机（MCU）成本低且性能高，并结合了许多功能强大的电子外设，如模数转换器（Analog-to-Digital Converter, ADC）、脉宽调制器（Pulse-Width Modulator, PWM）、片上运放和比较器，有助于简化数字设计和轻松实现上述复杂应用。

---

## 目录

---

简介 .....	1
1. 数字PFC和电机控制.....	3
2. 为什么使用32位单片机? .....	4
3. 系统概览 .....	5
4. PFC和无传感器FOC算法的数字实现.....	7
4.1 数字功率因数校正 .....	9
4.2 无传感器磁场定向控制 .....	9
5. PIC32MK器件上的集成PFC和无传感器FOC实现.....	11
5.1 PWM配置.....	11
5.2 ADC配置 .....	11
6. 开发资源 .....	16
7. 实验室测试结果和波形 .....	17
8. 结论 .....	18
9. 参考资料 .....	19
10. 源代码.....	20
Microchip网站 .....	21
变更通知客户服务 .....	21
客户支持 .....	21
Microchip器件代码保护功能.....	21
法律声明 .....	22
商标.....	22
DNV认证的质量管理体系.....	23
全球销售及服务网点 .....	24

## 1. 数字PFC和电机控制

大多数电机控制系统通常将PFC作为系统的第一级。如果没有PFC输入级，注入电流会由于逆变器的开关元件而产生较大的谐波分量。此外，由于电机负载具有高感性，输入电流会使输入系统产生很大的无功功率，从而降低整个系统的效率。PFC级是电机控制应用的前端转换器，可提供性能更优的输出电压稳定度，减少输入电流的谐波分量。在应用中实现数字PFC的首选方法是采用带有平均电流模式控制的标准升压转换器拓扑。

使用双电流无传感器FOC方法在速度控制模式下驱动PMSM。一些应用无法部署位置或速度传感器，使用无传感器FOC技术能够克服这种限制。通过测量相电流估算PMSM的速度和位置。凭借转子上永磁体提供的恒定转子磁场，PMSM在家电应用中十分高效。与感应电机相比，相同给定规格的PMSM功能更强大。此外，由于PMSM为无刷电机，因此噪声比直流电机更小。因此，通常为此应用选择PMSM。

## 2. 为什么使用32位单片机？

Microchip的32位单片机是各种复杂应用的理想选择，它能在不同频率下运行多种算法，并使用多种外设驱动各种电路。这些应用（例如洗衣机、冰箱和空调）利用各种电机控制外设精确控制电机在各种工作负载下的速度。

凭借以下特性，Microchip的32位单片机成为集成PFC和FOC电机控制应用的绝佳选择：

### **PIC32MK系列特性：**

#### *CPU*

- 32位MIPS32® microAptiv™ MCU 内核——120 MHz（198 DMIPS）
- DSP增强型内核
- 双精度浮点单元（Floating Point Unit, FPU）——符合IEEE 754标准

#### *模拟*

- 最多六个专用12位ADC通道（最高3.75 msp/s），外加一个共用12位ADC通道
- 最多四个片上运放模块
- 最多五个片上模拟比较器模块
- 最多三个12位DAC模块

#### *PWM*

- 最多12个PWM对（8.33 ns分辨率），能够在边沿对齐和对称/不对称中心对齐模式下生成带死区的互补PWM
- PWM通道能够生成精确的同步ADC触发信号，无需任何软件干预
- 异步故障输入允许在故障状态下快速响应（50 ns）PWM关断，无需任何软件干预

#### *位置传感*

- 片上QE1通过与增量编码器接口来获取转子的机械位置

### 3. 系统概览

图3-1给出了集成PFC和无传感器FOC系统的框图。

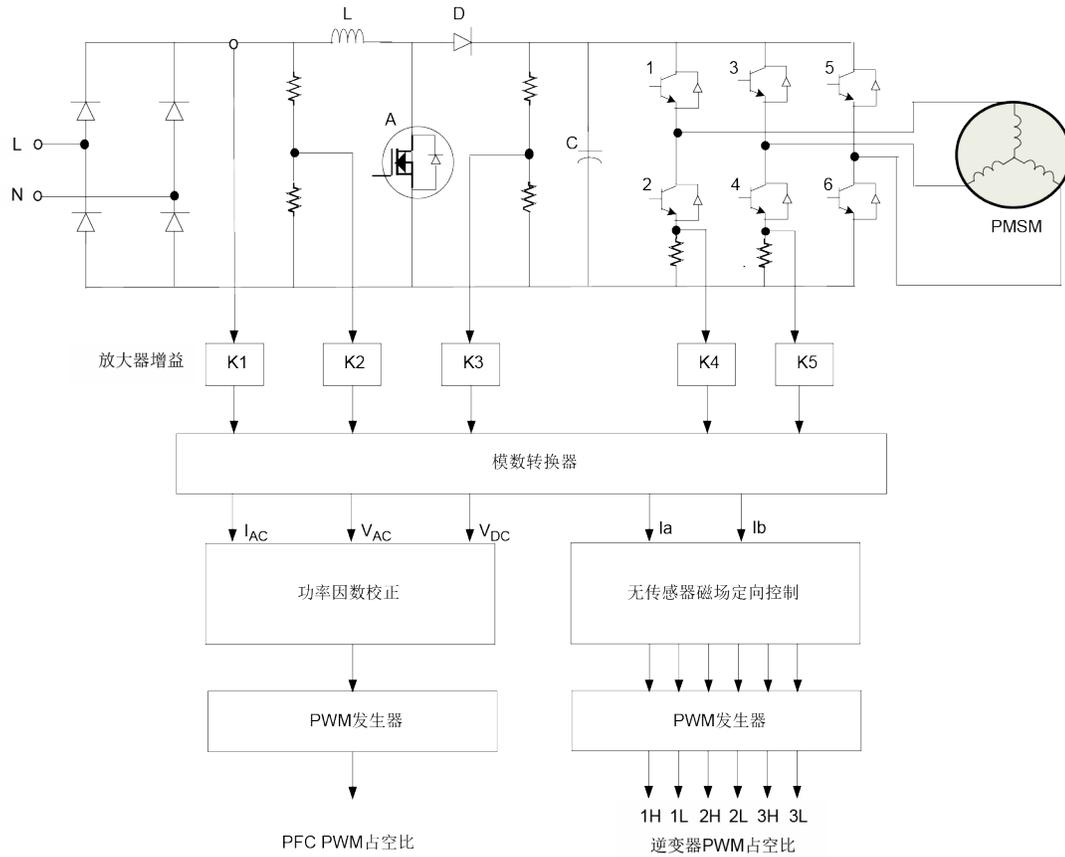
第一级为整流器级，用于将输入交流电源电压转换为整流后的交流电压。整流后的交流电压是第二级的输入，第二级是升压转换器级。

在第二级内，升压转换器放大输入电压，并将电感电流的波形调整为与整流后的交流电压相似。这通过执行数字功率因数校正来实现。使用平均电流模式控制方法实现PFC。在这种控制方法中，通过改变以数字方式计算的电流幅值信号参考的平均值来控制输出直流电压。

集成系统的第三级和末级是三相逆变器级，用于将直流电压逆变为三相交流电压。逆变后的三相交流电压是PMSM的输入。在器件上实施无传感器FOC策略可以控制该级。无传感器FOC通过控制流入PMSM的定子电流来满足系统的速度和转矩需求。根据定子电流估算转子的位置和速度信息。有关使用定子电流估算转子位置的详细信息，请参见AN2520《利用PLL估算器和基于公式的弱磁技术（FW）实现永磁同步电机（PMSM）的无传感器磁场定向控制（FOC）》。

集成系统使用五个补偿器实现PFC和无传感器FOC技术。其中PFC技术使用两个补偿器控制电压和电流控制环，无传感器FOC技术使用三个补偿器控制速度控制环、转矩控制环和磁通控制环。所有补偿器均由比例积分（Proportional-Integral, PI）控制器实现。

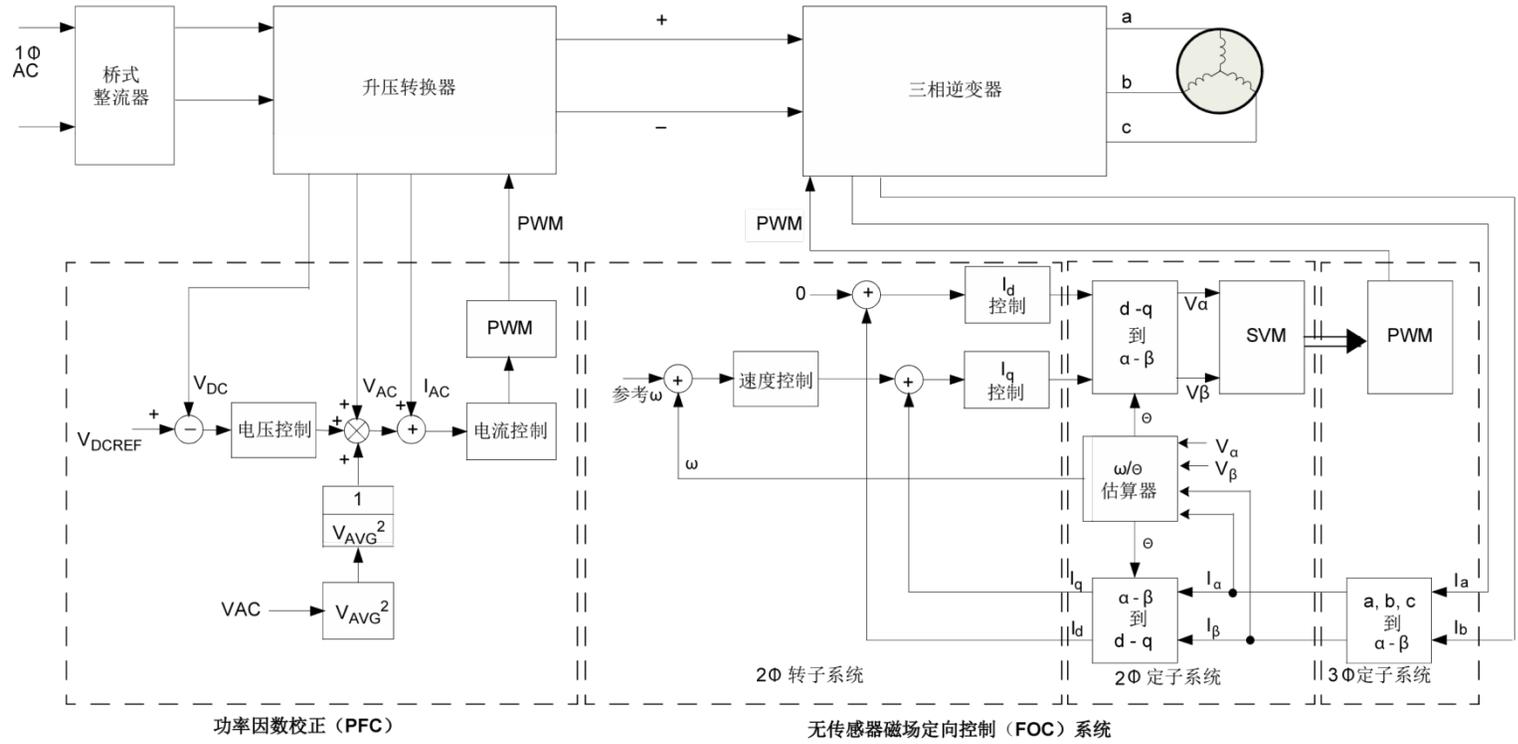
图3-1. 集成PFC和无传感器FOC系统框图



#### 4. PFC和无传感器FOC算法的数字实现

图4-1给出了使用32位单片机以数字方式实现PFC和无传感器FOC控制环的框图。

图 4-1. 数字 PFC 和无传感器 FOC 框图



## 4.1 数字功率因数校正

电感电流 ( $I_{AC}$ )、输入整流交流电压 ( $V_{AC}$ ) 和直流输出电压 ( $V_{DC}$ ) 用作实现数字PFC的反馈信号。这些信号由内部/外部差分运放增益设置的硬件增益缩放，并输入到ADC模块的模拟通道。

PFC算法使用三个控制环：电压控制环、电流控制环和电压前馈控制环。

电压补偿器使用参考电压和实际输出电压作为输入，以计算差值并补偿输出电压的变化。通过改变电流幅值参考的平均值控制输出电压。

通过计算整流后输入电压、电压误差补偿器输出和电压前馈补偿器输出的乘积，以数字形式计算得到电流幅值参考。

乘以整流后的输入电压的目的是使电流参考的波形与输入电压波形相同。为了获得高功率因数，电流信号应当尽量与整流后的电压相匹配。

电压前馈补偿器能够补偿输入电压的变化，是保持给定负载稳定输出功率的基本条件。计算出电流参考后，立即将其馈送到电流补偿器中。电流补偿器的输出决定了PWM脉冲的占空比。升压转换器可以由输出比较模块或者PWM模块驱动。

有关此控制方法的系统设计和数字实现的信息，请参见应用笔记AN1106《使用dsPIC<sup>®</sup> DSC实现能量转换应用中的功率因数校正》(DS01106A\_CN)。

## 4.2 无传感器磁场定向控制

相电流 $I_a$ 和 $I_b$ 用作实现无传感器FOC技术的反馈信号。

由于PMSM具有平衡三相绕组，我们已知 $I_a + I_b + I_c = 0$ 。因此我们可以根据 $I_a$ 和 $I_b$ 推导出第三相电流 $I_c$ 。在使用Park变换将三相电流转换为两相转子系统之前，先使用Clarke变换将其转换为两相定子系统。通过变换得到两个计算电流分量： $I_d$ 和 $I_q$ 。磁通量是电流 $I_d$ 的函数，转子转矩是电流 $I_q$ 的函数。

位置估算器估算转子位置和速度信息。电机模型使用电压和电流估算位置。电机模型本质上是通过位置观察器间接得出转子位置。PMSM模型基于直流电机模型。

数学估算确定速度后，将期望速度和估算速度之间的误差馈送到速度补偿器。速度补偿器生成一个输出，作为 $I_q$ 补偿器的参考。对于表面贴装永磁同步电机， $I_q$ 补偿器的参考值为零。 $I_q$ 和 $I_d$ 的PI控制器补偿转矩和磁通量的误差，分别产生 $V_d$ 和 $V_q$ 作为输出信号。

应用逆Park变换和空间矢量调制 (Space Vector Modulation, SVM) 技术为绝缘栅双极晶体管 (Insulated Gate Bipolar Transistors, IGBT) 生成占空比。电机控制PWM模块用于生成PWM脉冲。

有关如何设计、实现和调整补偿器的信息，请参见应用笔记AN1078《PMSM电机的无传感器磁场定向控制》（DS01078B\_CN）。

以下几节将讨论开发集成系统所需的实现和硬件配置详细信息。

## 5. PIC32MK器件上的集成PFC和无传感器FOC实现

### 5.1 PWM配置

实现集成PFC和FOC需要四个PWM通道。表5-1给出了PWM通道配置的详细信息。

表5-1. 使用MCHV-3在PIC32MK PIM上实现集成PFC和FOC的PWM配置

应用	PWM通道数	PWM频率	PWM对齐模式	PWM输出模式	控制环速度
PFC	1 (PWM5)	80 kHz	边沿对齐	单端	40 kHz
FOC	3 (PWM1、PWM2和PWM3)	20 kHz	中心对齐	互补	20 kHz

### 5.2 ADC配置

32位单片机上的每个PWM通道都可以独立触发任意模拟输入上的ADC转换。实现集成PFC和无传感器FOC需要检测六个模拟输入，如表5-2所示。由PFC PWM通道同时触发PFC相关的各模拟输入转换，由三个FOC PWM通道中的任意一个同时触发FOC相关的各模拟输入转换。尽管PFC和FOC都需要直流总线电压检测，但其模拟转换会由PFC PWM通道触发，因为PFC控制环的运行速度比FOC控制环快。

表5-2. 使用MCHV-3在PIC32MK PIM中实现集成PFC和FOC的ADC配置

模拟输入	应用	ADC模块	ADC触发信号	采样率
交流电源电压	PFC	ADC4	PFC PWM通道	40 kHz
PFC电感电流	PFC	ADC0	PFC PWM通道	40 kHz
直流母线电压	PFC/FOC	ADC7 (共用ADC)	PFC PWM通道	40 kHz
A相电机电流	FOC	ADC3	FOC PWM通道	20 kHz
B相电机电流	FOC	ADC1	FOC PWM通道	20 kHz
速度参考电位器	FOC	ADC7 (共用ADC)	FOC PWM通道	20 kHz

#### 5.2.1 ADC中断

PFC和FOC控制环分别在各自的中断服务程序中执行。由于PFC控制环的运行速度比FOC控制环快，因此PFC的中断服务程序在优先级上高于FOC。

图5-1给出了集成PFC和无传感器FOC系统的时序图。图5-2到图5-4给出了集成系统的状态流程图。

图5-1. 时序图

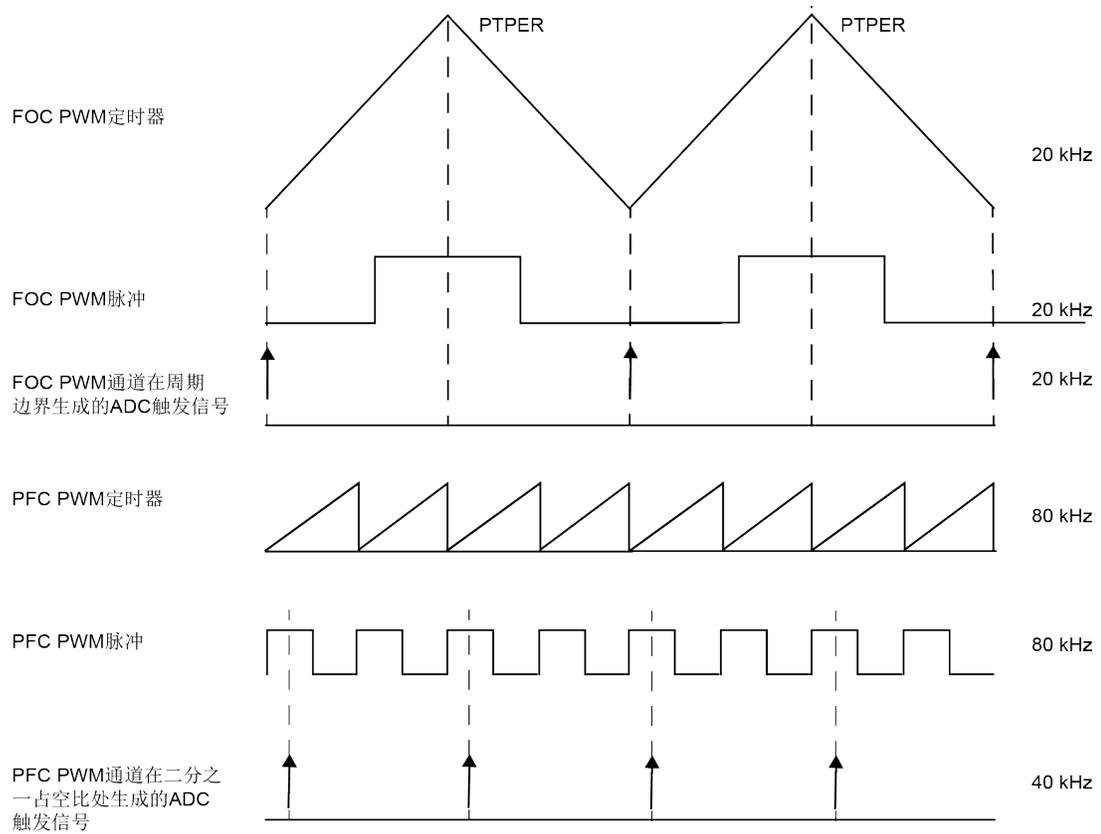


图5-2. 集成系统的状态流程图

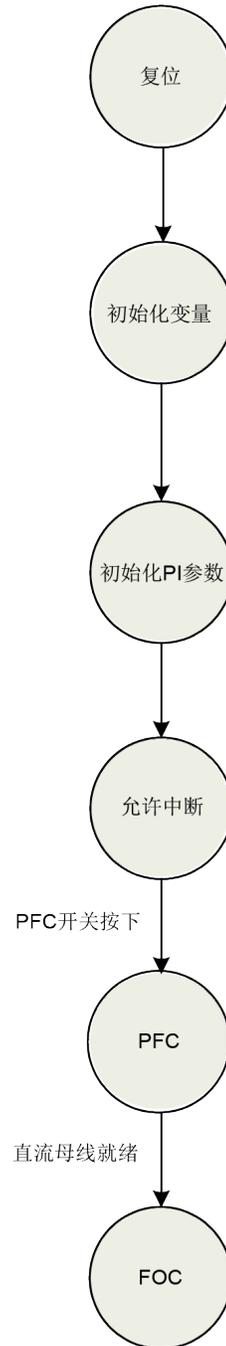


图5-3. 数字PFC的状态流程图

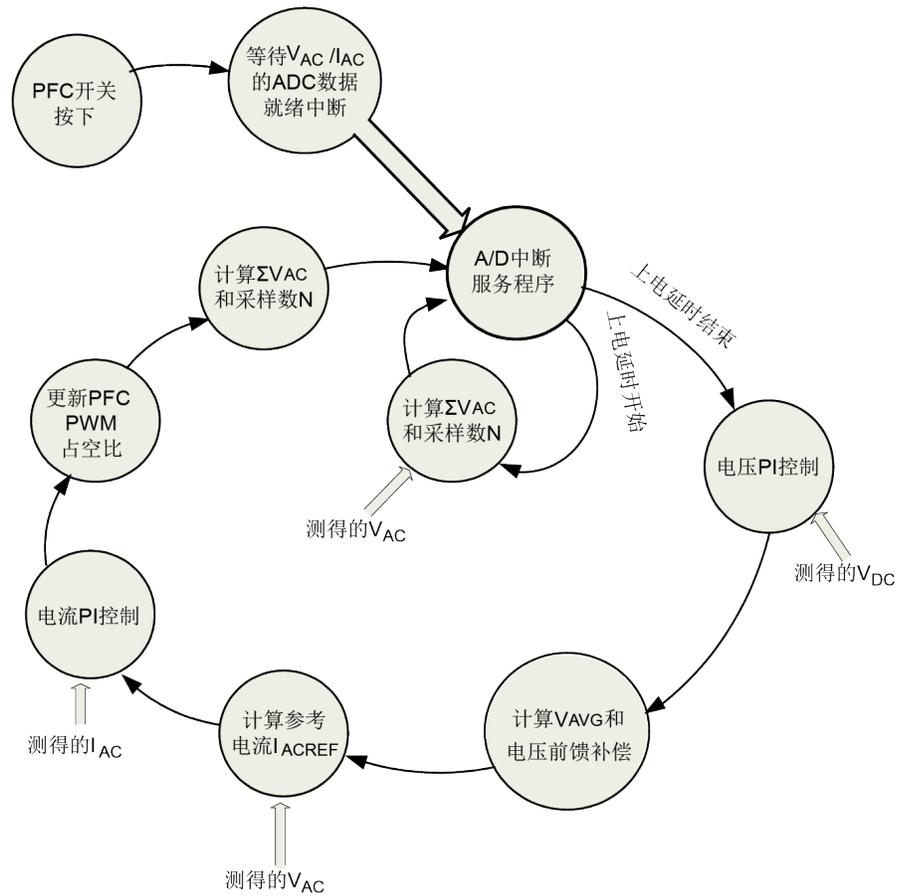
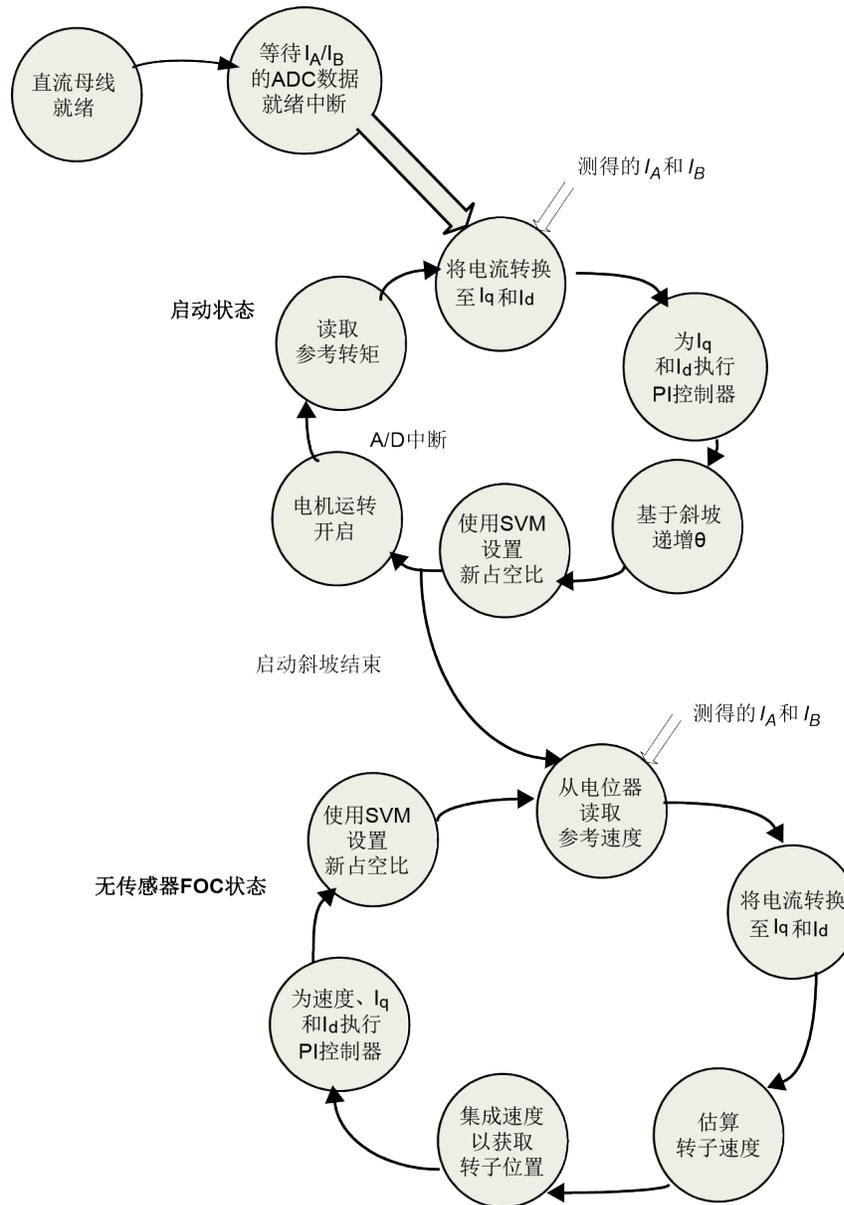


图5-4. 无传感器FOC的状态流程图



## 6. 开发资源

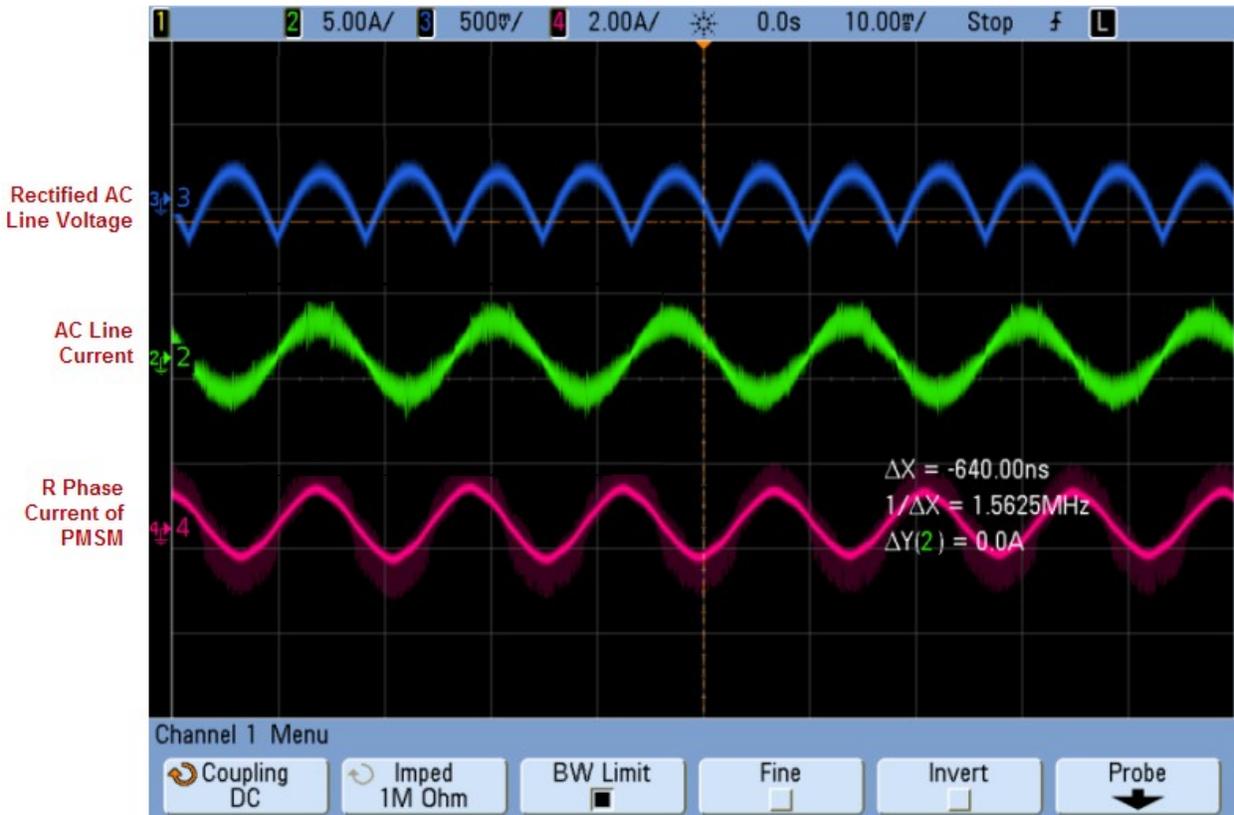
开发和测试集成算法需要以下硬件和软件工具。

- *硬件工具:*
  - dsPICDEM™ MCHV-3开发板（高电压）（部件编号：DM330023-3）
  - PIC32MK1024电机控制插件模块（Plug-in Module, PIM）（部件编号：MA320024）
  - 永磁同步电机（PMSM）
  - MPLAB® REAL ICE™调试器/编程器
  - 110V, 60 Hz交流电源
- *软件工具:*
  - MPLAB X IDE——版本4（或更高版本）
  - 面向PIC32 MCU的MPLAB XC32 C/C++编译器——版本1.43（或更高版本）

## 7. 实验室测试结果和波形

下图所示为执行集成应用时，整流后的交流电压、输入电流和PMSM的R相电流的波形。此信息有助于验证32位单片机中PFC和无传感器FOC的实现。

图7-1. 整流后的交流电源电压、输入电流和R相电流波形



---

---

## 8. 结论

考虑到耗电设备需要的效率不断提高以及对环境标准的需求日益增长，设计人员一直在寻找新的算法来开发低成本、高能效的电机控制系统。

Microchip的32位单片机具有强大的处理能力和外设丰富的平台，能够在单一芯片上实现复杂算法。无传感器FOC过程使用三个控制环补偿电流和速度。PFC过程使用两个控制环补偿输入电流和输出电压。所有这些补偿器都使用PI控制器来补偿参数变化，这需要系统具有强大的处理能力和精密的控制能力。32位单片机是处理上述要求的理想选择，因为它具有较高的分辨率、良好的处理速度、高级模拟外设以及支持这些功能的各种指令。

Microchip提供了丰富的资源来帮助用户开发该集成系统。如果想要获得更多支持，请联系当地Microchip销售办事处。

## 9. 参考资料

Microchip已发布多篇应用笔记，这些应用笔记介绍了如何在电机控制应用中使用我们的器件。

有关**ACIM**控制，请参见：

- AN984, 《使用dsPIC30F MCU控制交流感应电机》 (DS00984A\_CN)
- AN908, 《使用dsPIC30F实现交流感应电机的矢量控制》 (DS00908A\_CN)
- GS004, 《用dsPIC<sup>®</sup> DSC MCPWM模块驱动交流感应电机》 (DS93004A\_CN)
- AN1162, 《交流感应电机 (ACIM) 的无传感器磁场定向控制 (FOC)》 (DS01162A\_CN)
- AN1206, 《使用弱磁技术实现交流感应电机 (ACIM) 的无传感器磁场定向控制 (FOC)》 (DS01206A\_CN)

有关**BLDC**电机控制，请参见：

- AN901, 《dsPIC30F在无传感器BLDC控制中的应用》 (DS00901A\_CN)
- AN957, 《使用dsPIC30F2010控制带传感器的BLDC电机》 (DS00957A\_CN)
- AN992, 《用dsPIC30F2010控制无传感器BLDC电机》 (DS00992A\_CN)
- AN1083, 《使用反电动势滤波进行无传感器BLDC控制》 (DS01083A\_CN)
- AN1160, 《用择多函数实现反电动势滤波的无传感器BLDC控制》 (DS01160B\_CN)

有关**PMSM**控制，请参见：

- AN1017, 《使用dsPIC30F DSC实现PMSM电机的正弦驱动》 (DS01017A\_CN)
- AN1078, 《PMSM电机的无传感器磁场定向控制》 (DS01078A\_CN)
- 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)》 (DS01292A\_CN)
- AN2520, 《利用PLL估算器和基于公式的弱磁技术 (FW) 实现永磁同步电机 (PMSM) 的无传感器磁场定向控制 (FOC)》 (DS00002520B\_CN)

有关**功率**控制，请参见：

- AN1106, 《使用dsPIC<sup>®</sup> DSC实现能量转换应用中的功率因数校正》 (DS01106A\_CN)

有关**dsPICDEM MCHV-3**开发板 (高电压) 的信息，请参见：

- dsPICDEM MCHV-3 (DM330023-3) Development Board User's Guide (DS50002505)

这些文档可以从Microchip网站下载：[www.microchip.com](http://www.microchip.com)。

## 10. 源代码

本应用笔记中提及的所有软件都以MPLAB® Harmony应用程序的形式提供。此应用程序可以在MPLAB Harmony安装文件夹的<install\_dir>\apps\motor\_control文件夹中找到。

MPLAB Harmony集成软件框架可以从Microchip网站下载：[www.microchip.com/harmony](http://www.microchip.com/harmony)。

---

## 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，不得暗或以其他方式转让任何许可证。

## 商标

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及XMEGA均为**Microchip Technology Inc.**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、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。

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: 978-1-5224-3146-6

## **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<sup>®</sup> MCU和dsPIC<sup>®</sup> DSC、KEELOQ<sup>®</sup>跳码器件、串行EEPROM、单片机外设、非易失性存储器和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](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: 49-7131-67-3636

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: 47-7289-7561

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