

多捕捉 / 比较 / PWM (MCCP): 扩展低成本电机控制应用的功能

作者: Naresh Tummalapalli
Microchip Technology Inc.

简介

电机控制行业一直在致力于设计适用于各种应用的低成本电机控制驱动。推动这一趋势的是消费者对低成本电机控制应用的需求。

Microchip 最近推出了 PIC32MM 系列单片机, 它能够满足低成本电机控制的各种要求。该低成本解决方案受益于 Microchip PIC32MM 控制器中提供的多捕捉 / 比较 / PWM (Multiple Capture/Compare/PWM, MCCP) 模块功能。本文档将说明如何使用 Microchip 的 PIC32MM0064GPL036 控制器中的 MCCP 模块为电机驱动应用提供开发平台。

与本文档中所述的电机控制解决方案类似, MCCP 实现也可以扩展到具有 MCCP 功能的 Microchip PIC24 和 dsPIC33 系列器件中。

针对三相 BLDC 电机控制的六步换相

本文档介绍了使用六步梯形或 120° 换相来运行无传感器无刷直流 (Brushless DC, BLDC) 电机的算法。图 1 显示了六步换相的工作原理。每个步骤或扇区表示 60° 电角度, 六个扇区构成 360° 电角度或一次电旋转。

在图 1 中:

- 绕组图中的箭头表示六个步骤中电流通过电机绕组的方向。
- 该图显示了在六个步骤中对电机的每个引脚施加的电动势。

按顺序执行这些步骤可使电机完成一次电旋转。

图 1: 六步换相

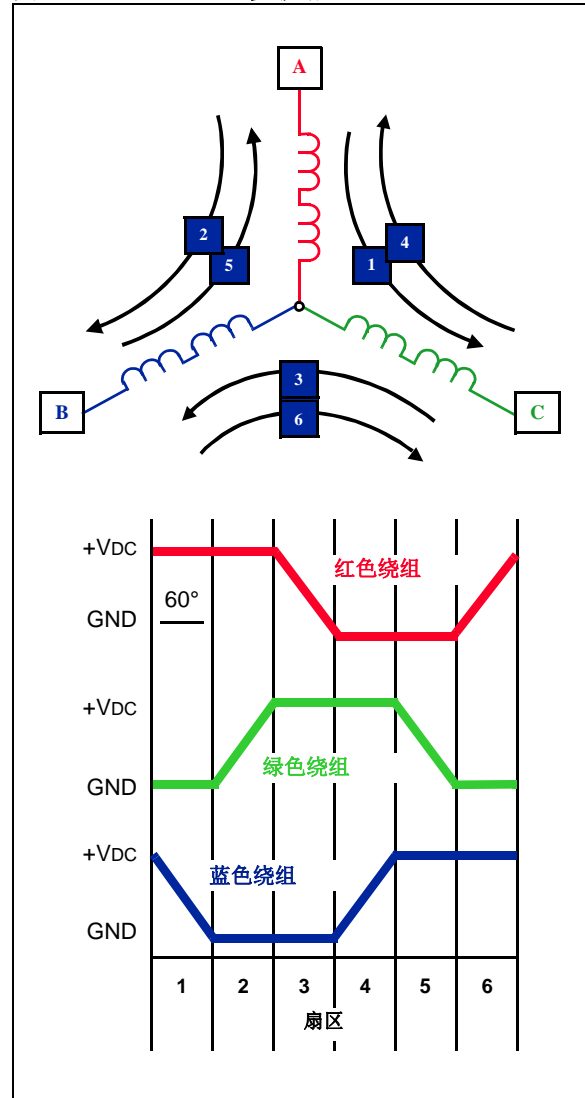


表 1 显示了典型的换相序列。

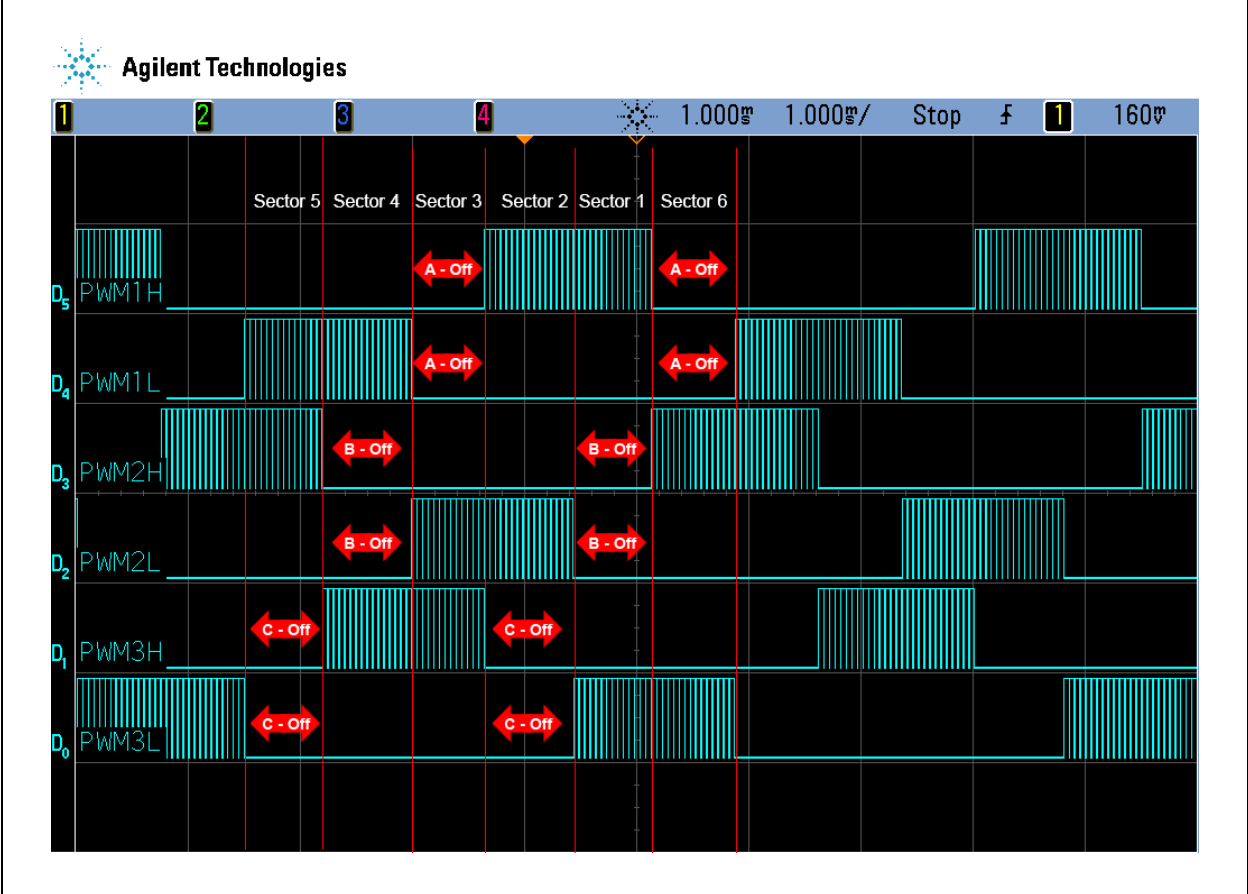
表 1: 换相序列

扇区	MOSFET 状态						相电流		
	A _{TOP}	A _{BOTTOM}	B _{TOP}	B _{BOTTOM}	C _{TOP}	C _{BOTTOM}	A	B	C
1	PWM	OFF	OFF	OFF	OFF	PWM	+	OFF	—
2	PWM	OFF	OFF	PWM	OFF	OFF	+	—	OFF
3	OFF	OFF	OFF	PWM	PWM	OFF	OFF	—	+
4	OFF	PWM	OFF	OFF	PWM	OFF	—	OFF	+
5	OFF	PWM	PWM	OFF	OFF	OFF	—	+	OFF
6	OFF	OFF	PWM	OFF	OFF	PWM	OFF	+	—

对于每个扇区，有两个绕组已励磁，另一个绕组未励磁。每个扇区中有一个绕组未励磁是六步控制的一个重要特性，这会允许测量该相的反电动势（BEMF），

从而使能无传感器换相方案。图 2 显示了六步梯形换相期间对每个绕组施加的 PWM 信号。

图 2: 六步梯形 BLDC 换相



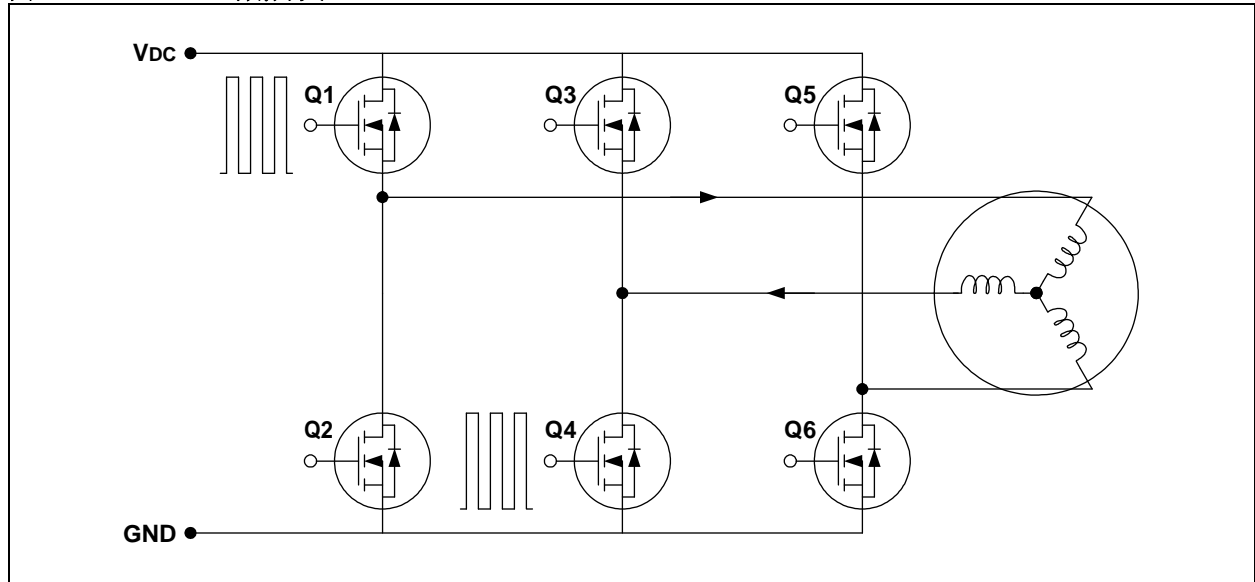
双极性独立 PWM

三相电压的控制方式为：对上桥臂和下桥臂 MOSFET/ 绝缘栅双极晶体管（Insulated-Gate Bipolar Transistor, IGBT）施加基于 PWM 的电压。本文档中所述的六步换相采用

双极性独立 PWM 开关。此类换相需要对角打开上桥臂和下桥臂 MOSFET，但是不需要互补开启相同相。

图 3 显示了对角开关的示例，其中 A 相上桥臂（Q1）和 B 相下桥臂（Q4）MOSFET 已开启。

图 3： 对角开关



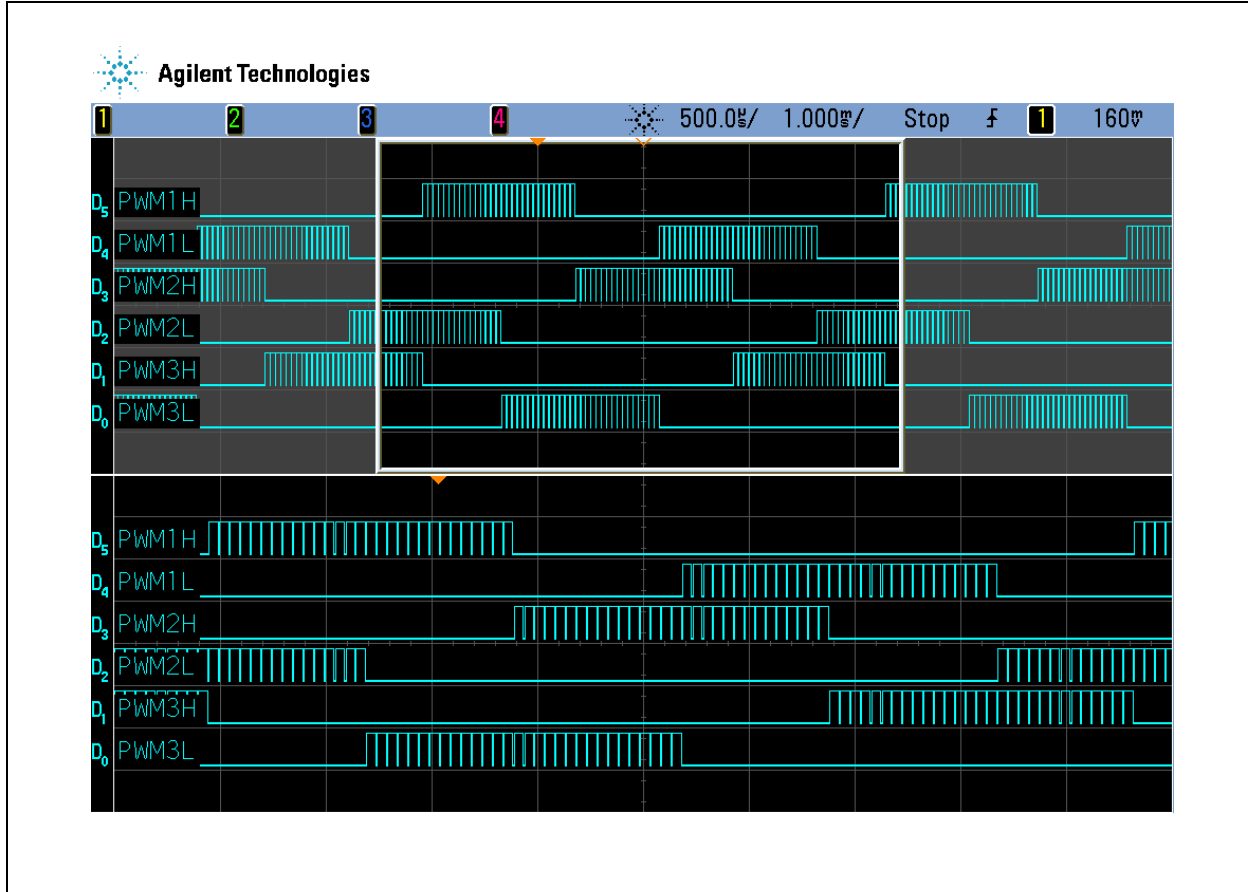
该开关方案的优势在于 BEMF 信号更干净，而且避免互补开关，从而使开关模式更简单且无需插入死区。缺点是由于开关对角 MOSFET，导致开关损耗也更高。但是据观察，在低成本解决方案中，相对于其他损耗，开关损耗量明显较低。具体的技术细节如图 4 中所示。

在图 4 中，信号是栅极驱动器输入，高电平表示开启，低电平表示关闭。

此处遵循的信号约定包括：

- A 相上桥臂 (Q1) 为 PWM1H,
A 相下桥臂 (Q2) 为 PWM1L
- B 相上桥臂 (Q3) 为 PWM2H,
B 相下桥臂 (Q4) 为 PWM2L
- C 相上桥臂 (Q5) 为 PWM3H,
C 相下桥臂 (Q6) 为 PWM3L

图 4: 双极性独立 PWM



多捕捉 / 比较 / PWM (MCCP)

本节介绍如何配置适用于低成本 BLDC 电机控制应用的多捕捉 / 比较 / PWM (MCCP) 模块，并简述外设初始化与 MCCP 模块的 PWM 占空比控制。

PIC32MM 系列器件包含一个或多个捕捉 / 比较 / PWM / 定时器 (CCP) 模块。此外，它们还提供与先前所有 PIC32 器件上的输入捕捉、输出比较和通用定时器外设相当的功能。

CCP 模块可在以下三种主要模式下工作：

- 通用定时器
- 输入捕捉
- 输出比较 / PWM

模块具有两种不同的形式，通过模块可产生的 PWM 输出数量来区分。单输出模块 (SCCP) 仅提供一路 PWM 输出。多输出模块 (MCCP) 可以提供最多六路输出和扩展的输出控制功能，具体取决于特定器件的引脚数。

所有模块 (SCCP 和 MCCP) 都包含以下特性：

- 用户可选的时钟输入，包括系统时钟和外部时钟输入引脚
- 用于时基的输入时钟预分频器
- 用于模块中断事件或触发事件的输出后分频器
- 用于协调其他 MCCP/SCCP 模块的同步输出信号带有用户可配置的备用和辅助源选项
- 所有模式和低功耗操作下的完全异步操作
- 用于模数转换的特殊输出触发事件

- 带有可选门控操作的 16 位和 32 位通用定时器模式，用于简单的时间测量
- 捕捉模式：
 - 与 PIC32 系列先前的输入捕捉外设向后兼容
 - 对外部事件进行 16 位或 32 位时基捕捉
 - 捕捉源输入多路开关
 - 门控捕捉操作可减少噪声导致的误捕捉
- 输出比较 / PWM 模式：
 - 与 PIC32 系列先前的输出比较外设向后兼容
 - 单边沿和双边沿比较模式
 - 中心对齐比较模式
 - 可变频率脉冲模式
 - 外部输入模式

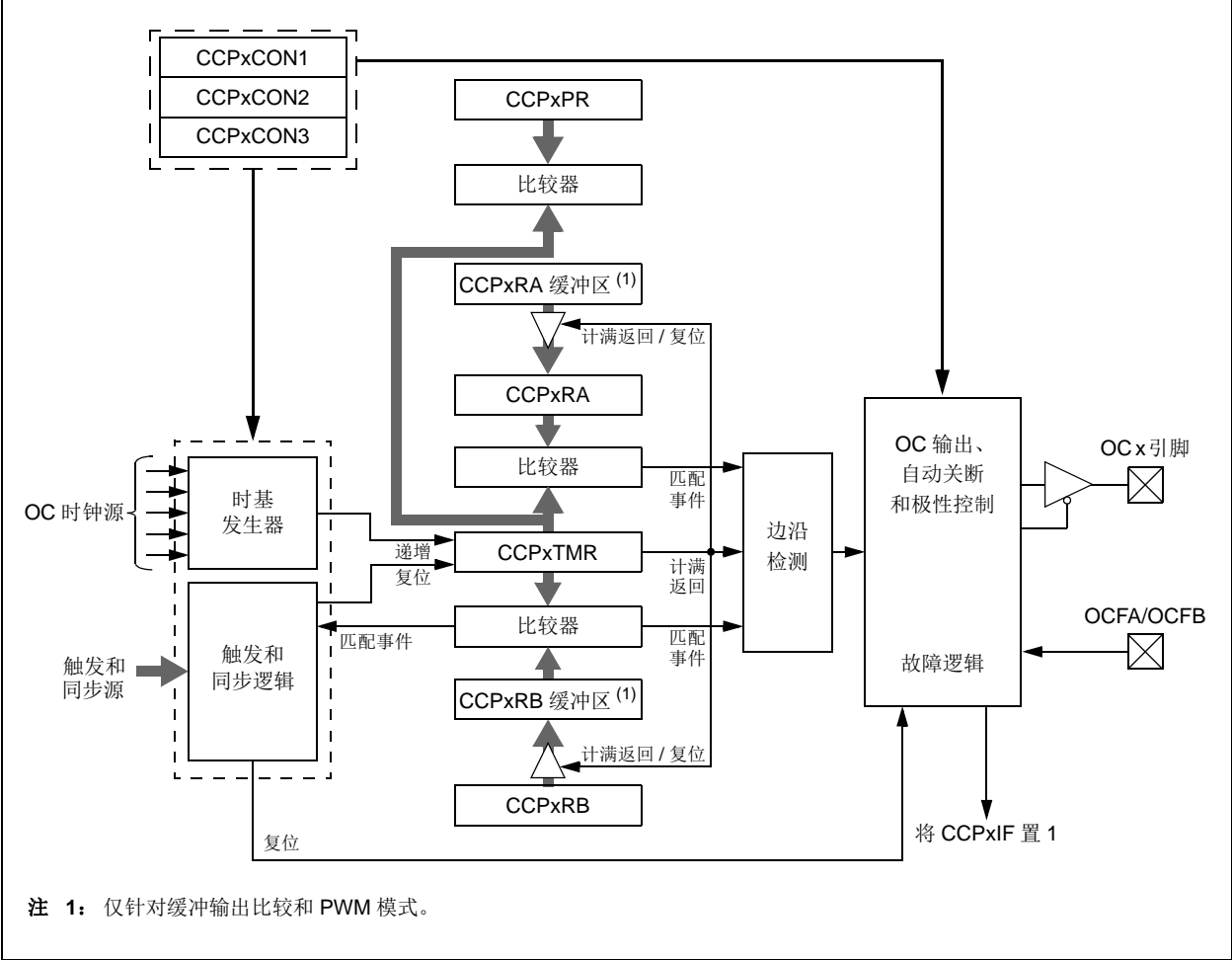
MCCP 模块还包含了以下扩展 PWM 特性：

- 单输出可控模式
- 有刷直流电机（正向和反向）模式
- 带死区延时的半桥模式
- 推挽 PWM 模式
- 输出扫描模式
- 可通过可编程源和关断状态进行自动关断
- 可编程输出极性

在任何时候，SCCP 和 MCCP 模块都只能在三种主要模式（捕捉、比较或定时器）的其中一种模式下工作。例如，如果在比较模式下配置 SCCP 或 MCCP，则在重新配置同一模块之前，捕捉或定时器模式对该模块不可用。

图 5 显示了 MCCP 的概念框图。MCCP 的所有三个子模块均使用公共的时基发生器 (Time Base Generator, TBG)、定时器寄存器 (CCPxTMR) 和比较寄存器。其他共用硬件组件（例如比较器和缓冲寄存器）根据特定模式的需要激活和使用。

图 5: MCCP 框图



针对 BLDC 电机控制配置 MCCP

本节介绍如何为 BLDC 电机控制配置 MCCP 模块。

捕捉 / 比较模式选择

将 CCSEL (CCPxCON1<4>) 位清零可在输出比较/PWM 或定时器模式下使能该模块。

```
CCP1CON1bits.CCSEL = 0;           // Set MCCP operating mode (Output Compare mode)
```

输出比较模式选择

对于此应用，选择双边沿缓冲比较 (PWM) 模式。在双边沿缓冲模式下，将 MCCP 模块输出配置为产生一组脉冲。

```
CCP1CON1bits.MOD = 0b0101;       // Set mode (Buffered Dual-Compare/PWM mode)
```

时基选择

双边沿缓冲比较模式仅在 16 位模式下可用。T32 位不起作用。

```
CCP1CON1bits.T32 = 0;             // Set timebase width (16-bit)
```

时基时钟同步

在此应用中，时基时钟模块与内部系统时钟不同步。如果该模块应在睡眠模式下工作，则 TMRSYNC 位应保持清零。

```
CCP1CON1bits.TMRSYNC = 0;         // Set timebase synchronization
```

时基时钟源和预分频比选择

时基发生器可接受八个可能的时钟源 (包括系统时钟 Tcy)，并使用单片机上的时钟信号为模块的其余部分提供时基。

对于此应用，选择时钟源作为 Tcy，选择预分频比 1:1。

应在使能模块之前选择时钟源，并且在工作期间不应更改时钟源；否则，可能会发生无法预料的结果。

```
CCP1CON1bits.CLKSEL = 0;           // Set the clock source (Tcy)
CCP1CON1bits.TMRPS = 0;             // Set the clock pre-scaler (1:1)
```

输出引脚使能

由MCCP模块控制的每个输出引脚都可以通过将OCxEN控制位置1（CCPxCON2<29:24>）来单独使能。这其中的每个位（OCAEN至OCFEN）控制相应的CCP输出：OCxA至OCxF。如果将OCxEN控制位置1，相应的I/O引脚会接收到由该模块产生的输出比较信号。如果将OCxEN控制位清零，则I/O引脚由端口控制。用户必须小心确保在将OCxEN控制位清零时，I/O引脚处于正确的状态。

在初始化期间，将OCxEN位清零可禁止OCx引脚，以确保逆变器桥中没有任何MOSFET处于打开状态。在电机换相期间，基于扇区信息使能/禁止与MCCP输出相关的位。

在示例代码中，除MCCP输出（CCPxCON2<29:24>）之外，CCPxCON2寄存器的其余位均被屏蔽，以防止在控制引脚状态时可能发生的任何更改。

```
CCP1CON2 = ((CCP1CON2 & 0XC0FFFFFF) | PWM_STATE[ADCCommState]);
```

PWM 输出模式控制

OUTM<2:0>控制位（CCPxCON3<26:24>）用于选择MCCP的输出模式。在输出比较模式下工作时，可以选择几种输出模式之一，它们将以不同的方式使用OCxA至OCxF输出引脚。

对于此应用，选择可控单输出模式。在该模式下，由输出比较逻辑产生的单个信号将送至所有可用的模块输出引脚。这种转向功能在电机和电源控制应用中非常有用。

```
CCP1CON3bits.OUTM = 0; // Steerable Single Output Mode
```

上升沿和下降沿比较值

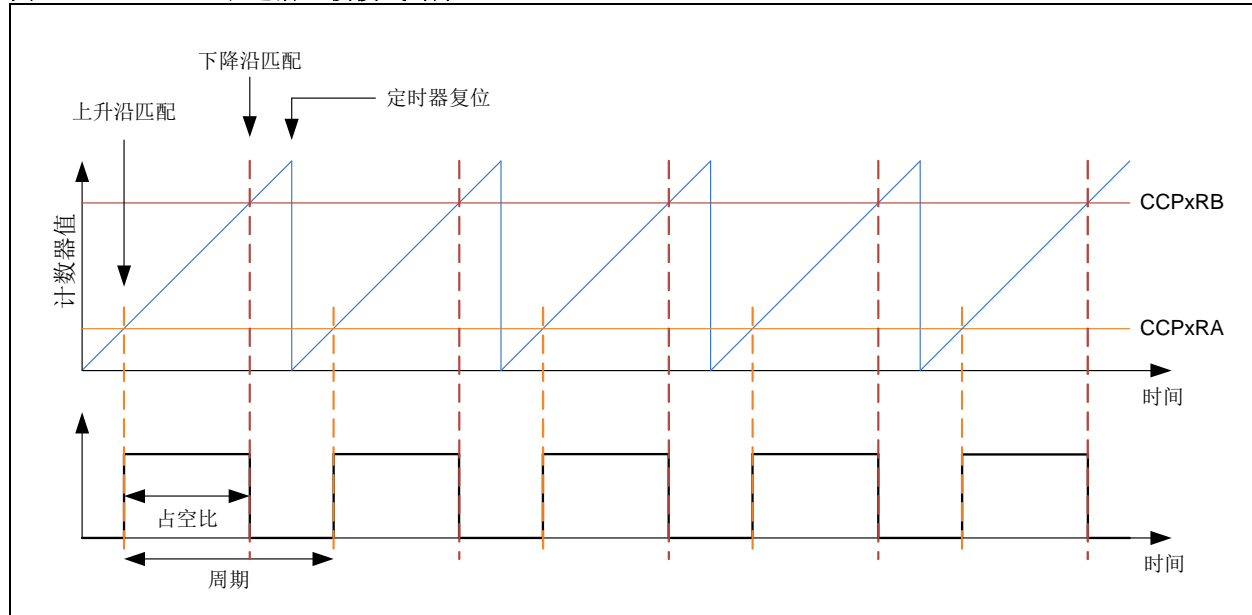
在双边沿缓冲比较模式下，CCPxRA寄存器用于设置下一个周期的上升沿，而CCPxRB寄存器用于设置下降沿。如图6中所示，上升沿和下降沿确定了占空比。此

处，由于需要边沿对齐的PWM信号，因此CCPxRA的值将保持为“0”。对应于所需占空比的值将加载到CCPxRB寄存器中以输出正确的PWM信号。

以下代码是MCCP初始化程序的一部分。

```
CCP1RAbits.CMPA = 0; // Set to 0 for Edge Aligned PWM
CCP1RBbits.CMPB = 10; // Small Duty Cycle to enable MCCP Interrupt function
```


图 6: 双边沿比较模式时序



MCCP 定时器周期寄存器

将 CCPxPR SFR 的 PRL<15:0> 位配置为在特定频率下运行 PWM。在此应用中，将周期设置为产生 20 kHz 频率时的脉冲。

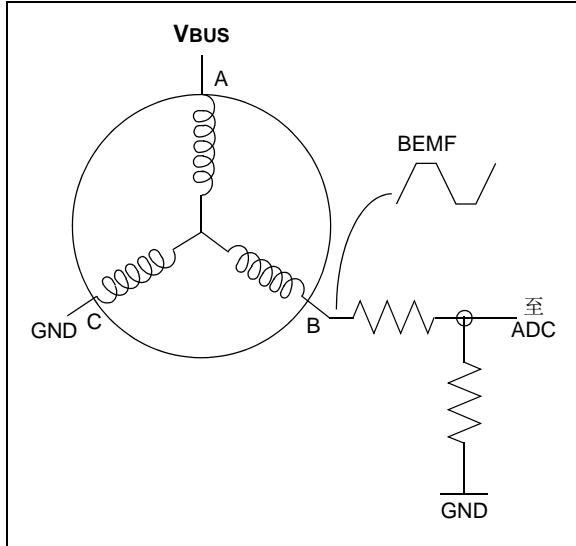
将 Fcy 的运行速度配置为 24 MIPS，将 FPWM 设置为 20 kHz 频率。实际上，值 1999 定义 PWM 的周期，以在 20 kHz 时产生输出。

```
CCP1PRbits.PRL = ((FCY/FPWM) - 1); //Setting PWM Period
```

针对 BLDC 电机控制应用 MCCP

本技术简介中所述的无传感器换相方案的工作原理为：测量未励磁相的 BEMF，然后将其与 ADC 中断服务程序（Interrupt Service Routine, ISR）中直流总线电压的一半（ $V_{BUS}/2$ ）进行比较。利用择多检测滤波器来确定换相（过零事件）的确切点，从而无需外部低通滤波和片外比较器。图 7 显示了用于实现此方法的电路。

图 7： 相比于 $V_{BUS}/2$ 的 BEMF 电压



假设电机处于换相步骤 1（见图 1），在该步骤中，A 相通过电子开关与 $+V_{BUS}$ 连接，C 相通过电子开关连接 GND，B 相为开路。在 B 相上测得的 BEMF 信号具有负斜率且在执行换相步骤 2 的前一刻其最小值几乎等于 GND。执行换相步骤 2 时，B 相达到 GND 值。此时，B 相通过电子开关与 GND 连接，C 相现在为开路，A 相则保持与 V_{DC} 相连。在 C 相上观察到的 BEMF 信号具有正斜率且在执行换相步骤 3 的前一刻其最大值几乎等于 V_{DC} 。在 B 相和 C 相上观察到的这两个斜率将与 $V_{DC}/2$ 进行比较，以确定是否存在过零事件。这可以使用“if-else”程序在软件中轻松实现。

Timer1 触发的 ADC

在典型的无传感器梯形换相中，PWM 将触发 ADC，从而导致每个 PWM 周期进行一次测量。

为提高过零事件检测的效率，ADC 由 Timer1 以高于 PWM 的频率触发。当前，该算法已配置为以 PWM 频率的六倍触发 ADC 中断，即 120 kHz（ $6 \times 20 \text{ kHz}$ ）。此配置的优势在于每个 PWM 周期进行 6 次 ADC 读操作可大幅缩短大部分检测时间。

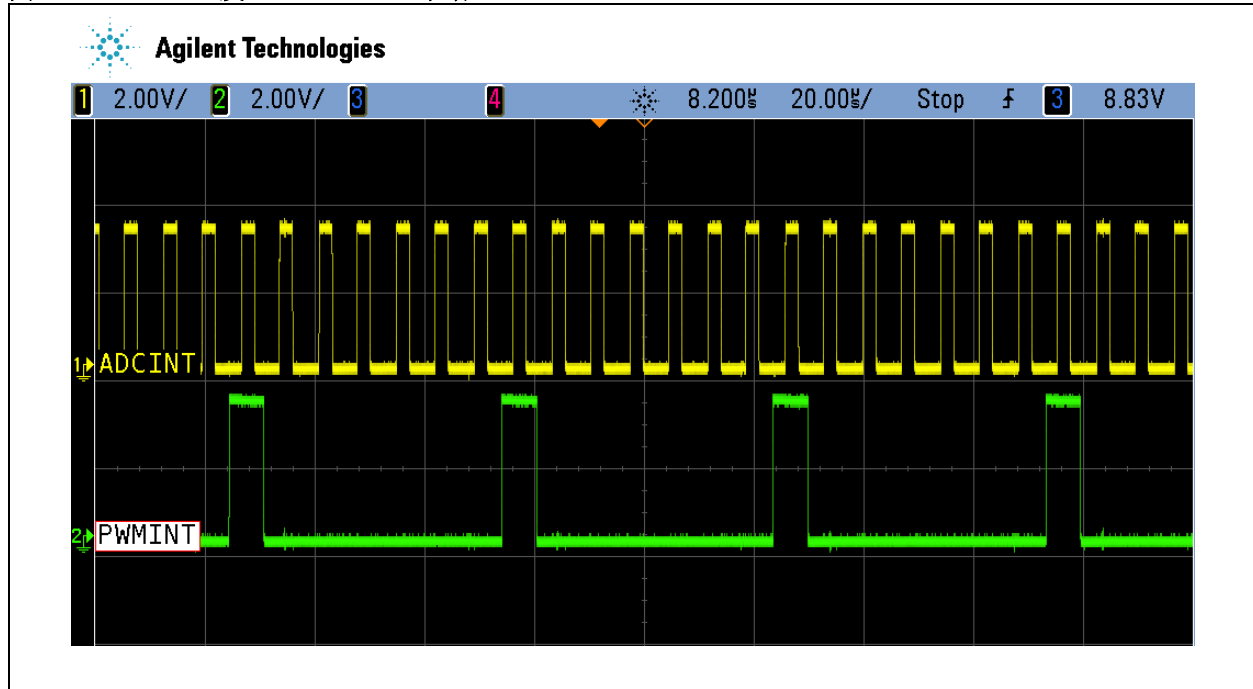
然后，检测到的 BEMF 信号将通过数字滤波器（择多函数）以获得更干净的信号。择多函数的概念不在本文档的讨论范围之内。有关更多信息，请参见“参考资料”部分中列出的文档。

1 个 ADC 通道（而非 4 个）

无传感器梯形算法需要电机的三个相的 BEMF 信息，并且可能需要执行电位器读操作以获取速度参考值信息。此操作需要 4 个 ADC 通道。

PIC32MM 系列具有 1 个 ADC 通道。根据现有的电机扇区，在固件中为每个相切换模拟输入选择。当无需来自电机相的采样时，读取电位器（紧接在过零检测之后）。图 8 显示了执行 ADC 和 PWM ISR 的示例。

图 8: 发生 ADC-PWM 中断



控制环

此应用软件具有两个控制环，可选择供编译时使用：

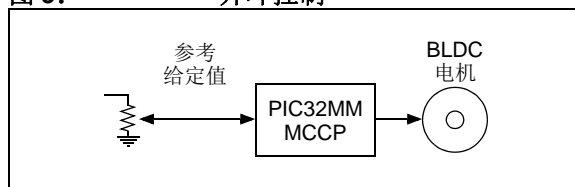
- 开环控制
- 闭环 PI 控制

开环控制

如果电机上的负载在其工作范围内保持不变，则电机速度相对于所施加电压的响应曲线为线性曲线。如果供电电压非常稳定，则恒定扭矩下的电机可以在其整个速度范围内在开环模式下工作。

使用 PWM 时，有效电压与 PWM 占空比成线性比例关系。可以通过将 PWM 占空比链接到 16 位变量（由 ADC 进行采样的电位器生成）来实现开环控制器。此模式的框图如图 9 中所示。

图 9: 开环控制

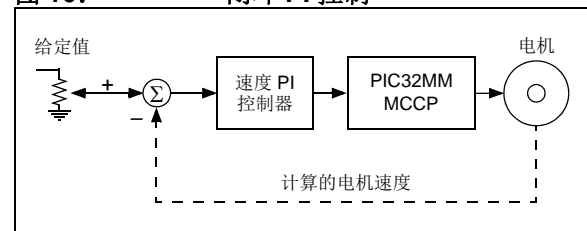


模数转换值以 10 位无符号整数格式读取；因此，可能的转换值范围在 0 到 1023 之间。需要按“针对 BLDC 电机控制配置 MCCP”部分中所述按比例换算此转换值以匹配 PWM 占空比范围（0 到 1999）。

闭环 PI 控制

闭环模式测量电机的实际速度，并根据该速度与给定值之间的差异，采取适当的校正措施。速度给定值通常由电位器值设置，它可以按比例换算为所需的速度范围。图 10 显示了速度 PI 闭环模式的框图。

图 10: 闭环 PI 控制



为测量机械速度 (RPM)，在定时器模式下配置的 SCCP3 将用于测量每次换相 (60° 电角度) 的间隔时间。然后，通过根据电机极对数应用相应的比例因数，将测得的时间转换为机械速度。计算出当前速度后，即可将其与所需速度 (由电位器的比例换算值设置) 进行比较。误差将发送到 PI 控制器，然后按比例换算输出以匹配 PWM 占空比的范围。

软件概述

ADC ISR

ADC ISR 通过传送 BEMF 的最新测量数据来运行择多检测滤波器程序。检测到过零事件后，ISR 还会将相当于 30° 电角度的值加载到 SCCP2 中。ISR 还监视电位器上的任何速度输入，并根据需要按比例换算 ADC 值。

MCCP ISR

MCCP ISR 可在机器运行时监视转子停转检测，如果检测到转子停转，它将进入故障模式并尝试重新启动电机。

SCCP2 ISR

两个 SCCP 之一的 SCCP2 将配置为进行 MOSFET 换相的定时器。一旦 SCCP2 溢出，就会产生中断，并且在 ISR 内部会发生 MOSFET 换相。

结语

本文通过解释如何在无需外部滤波器的情况下使用择多检测滤波器使硬件设计更简洁，讨论了如何在电机控制应用中使用 PIC32MM 器件的 MCCP。据此证实了所讨论的方案非常适合于应对低成本电机控制驱动的各种挑战。

参考资料

- AN1160, “用择多函数实现反电动势滤波的无传感器 BLDC 控制” (DS01160B_CN)

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，不得暗中以其他方式转让任何许可证。

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 与 dsPIC® DSC、KEELOQ® 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器 and 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。

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

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BeaconThings、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KEELOQ、KEELOQ 徽标、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、Prochip Designer、QTouch、RightTouch、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、chipKIT、chipKIT 徽标、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet 徽标、Mindi、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PureSilicon、QMatrix、RightTouch 徽标、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 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。

© 2017, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-1271-7

全球销售及服务网点

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

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

亚太总部 **Asia Pacific Office**
Suites 3707-14, 37th Floor
Tower 6, The Gateway
Harbour City, Kowloon
Hong Kong
Tel: 852-2943-5100
Fax: 852-2401-3431

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000
Fax: 86-10-8528-2104

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

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588
Fax: 86-23-8980-9500

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
Fax: 86-571-8792-8116

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: 86-21-3326-8000
Fax: 86-21-3326-8021

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

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200
Fax: 86-755-8203-1760

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

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

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

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100
Fax: 852-2401-3431

亚太地区

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

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600
Fax: 886-2-2508-0102

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-5778-366
Fax: 886-3-5770-955

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: 91-80-3090-4123

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

印度 India - Pune
Tel: 91-20-3019-1500
日本 Japan - Osaka
Tel: 81-6-6152-7160

Fax: 81-6-6152-9310

日本 Japan - Tokyo
Tel: 81-3-6880-3770
Fax: 81-3-6880-3771

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

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

法国 France - Saint Cloud
Tel: 33-1-30-60-70-00

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