
三相永磁同步电机（PMSM）基于编码器的 有传感器磁场定向控制

简介

永磁同步电机（Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM）具有高功率密度、小巧的外形和高效率的性能，广泛用于各种行业。对于需要对速度和转矩变化进行快速动态响应的应用，必须采用磁场定向控制（Field Oriented Control, FOC）等复杂的控制技术。基于速度传感器的 FOC 对于避免控制不准确现象十分有用，这种现象可能出现在无传感器控制中，因为电机的物理参数会随温度变化和老化而发生变化。但是，此类应用的配置必须安装速度传感器，如增量编码器。本文档介绍了使用 Microchip 的 32 位 MCU 实现三相 PMSM 基于编码器的有传感器 FOC 算法。

目录

简介.....	1
1. PMSM 的磁场定向控制.....	4
2. PMSM 有传感器 FOC 的框图.....	5
3. 有传感器 FOC 实现流程图.....	7
4. PID 控制器.....	8
4.1. PID 控制器背景.....	8
4.2. 调整 PID 增益.....	8
4.3. FOC 中的控制环.....	8
5. 坐标变换.....	10
5.1. Clarke 变换.....	10
5.2. Park 变换.....	10
5.3. Park 反变换.....	11
5.4. Clarke 反变换.....	11
6. 空间矢量脉宽调制 (SVPWM)	12
7. 位置测量.....	14
8. SAME70 MCU 的正交解码器.....	15
8.1. 速度计算.....	16
9. PIC32MK MCU 的正交编码器接口.....	17
9.1. 速度测量.....	17
10. 电机启动和对准.....	19
10.1. 索引脉冲偏移.....	21
11. 结论.....	22
12. 参考和资源.....	23
Microchip 网站.....	24
变更通知客户服务.....	24
客户支持.....	24
Microchip 器件代码保护功能.....	24
法律声明.....	25

商标..... 25

DNV 认证的质量管理体系.....26

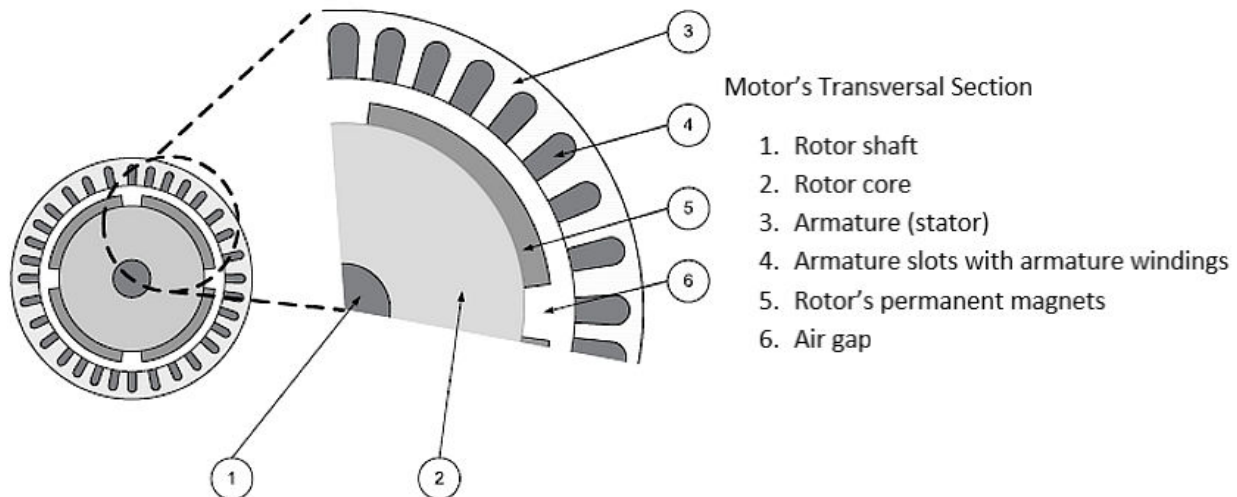
全球销售及服务网点..... 27

1. PMSM 的磁场定向控制

磁场定向控制（Field Oriented Control, FOC）表示这样一种方法：将其中一个磁通（转子、定子或气隙）视为所有其他量的参考坐标系，其目的是将定子电流解耦为用于产生转矩的分量和用于产生磁通的分量。这种解耦保证了复杂三相电机的控制方式与采用单独励磁的直流电机一样简单。这意味着电枢电流负责产生转矩，而励磁电流负责产生磁通。在本文档中，将转子磁通视为参考坐标系。

PMSM 的气隙磁通是平滑的，反电动势（Back Electromotive Force, BEMF）是正弦曲线。提出的控制方案已开发用于表面贴装式永磁同步电机。下图所示为表面贴装电机，与内置式 PMSM 相比，该电机具有低转矩纹波和低成本的优点。

图 1-1. 表面贴装 PMSM 横截面部分



表面安装永磁型 PMSM (SPM) 中 FOC 的特殊性在于定子（对应于电枢反应磁通）的 d 轴电流参考 i_{dref} 设置为零。转子中的磁体产生转子磁链 ψ_m ，这一点与交流感应电机（AC Induction Motor, ACIM）不同，后者需要正 i_{dref} 来生成磁化电流，从而产生转子磁链。

气隙磁通是定子和转子磁链的总和。在 PMSM 中，转子磁链由永磁体产生，定子磁链（电枢反应磁链）由定子电流产生。在 FOC 中，如果低于额定速度，则不会产生定子磁链，因为“ i_d ”设置为零，因此气隙磁通仅等于 ψ_m 。如果高于额定速度，“ i_d ”设置为负值，定子磁链与 ψ_m 相对，进而会减弱气隙磁通。

FOC 可使用速度传感器或无速度传感器方法实现。对于高精度控制应用，首选有传感器的控制。在有传感器的 FOC 实现中，使用编码器或解析器确定转子位置和机械速度。本应用笔记介绍了本文档中基于编码器的实现。

2. PMSM 有传感器 FOC 的框图

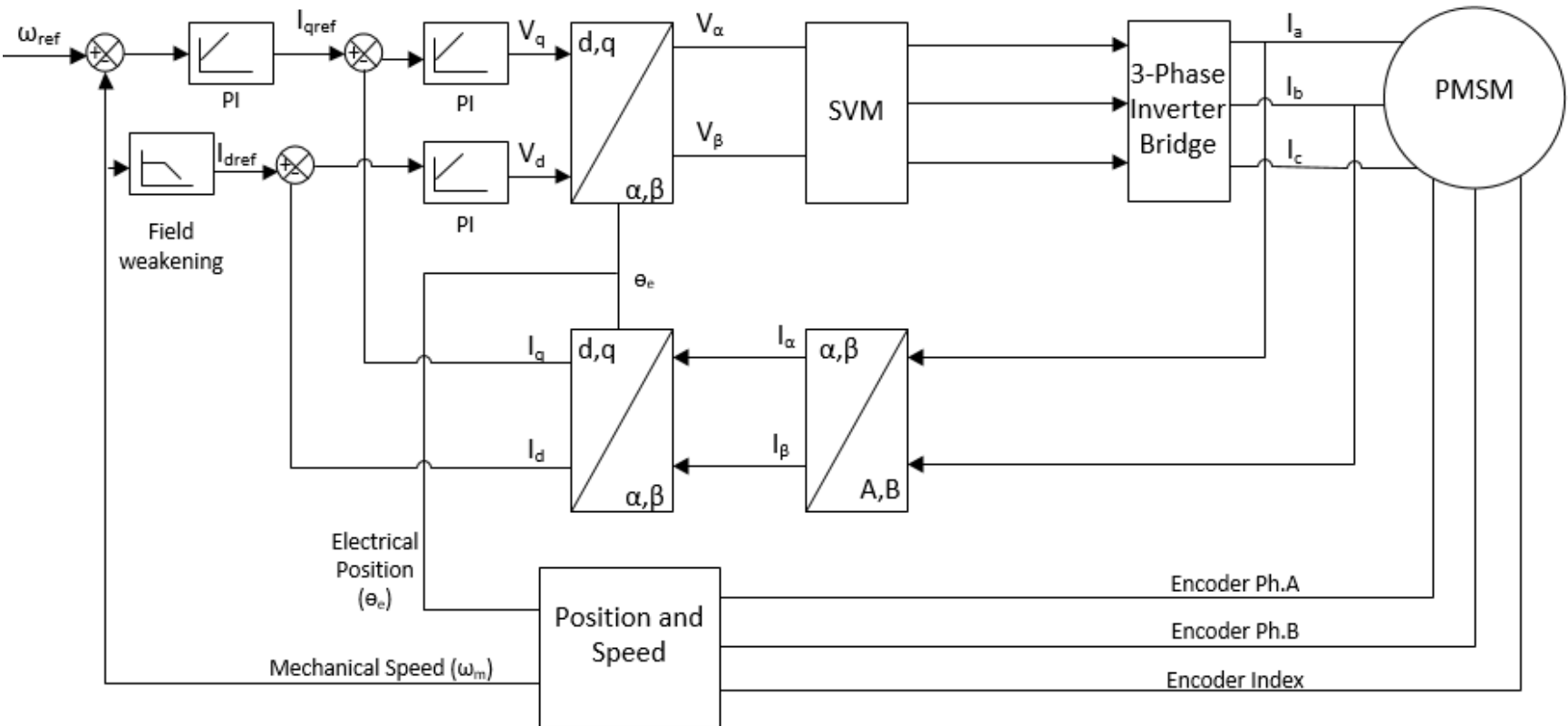
控制过程总结如下：

- 测量三相定子电流。对于具有平衡三相绕组的电机，只需测量两个电流即可。第三个电流可使用以下公式计算得出：
$$i_a + i_b + i_c = 0$$
- 将三相电流转换到静止双轴系统。该转换通过测量的 i_a 、 i_b 和 i_c 值提供 i_α 和 i_β 变量。从定子的角度来看，值 i_α 和 i_β 是随时间变化的正交电流值。
- 使用在控制环最后一次迭代时测量的变换角度旋转静止双轴坐标系，以与转子磁通对准。该转换通过 i_α 和 i_β 提供 i_d 和 i_q 变量。值 i_d 和 i_q 是变换到旋转坐标系的正交电流。对于稳态条件， i_d 和 i_q 恒定。
- 电流参考值的说明如下：
 - i_d 参考：控制转子磁通
 - i_q 参考：控制电机转矩输出
- 将误差信号馈入到 PI 控制器。控制器的输出提供 v_d 和 v_q ，它们是将施加到电机上的电压向量。
- 新的变换角度通过编码器脉冲输入测得。这一新角度将指导 FOC 算法确定放置下一个电压向量的位置。
- 使用新的角度将来自 PI 控制器的 v_d 和 v_q 输出值旋转回静止参考坐标系。该计算可提供下一个正交电压值 v_α 和 v_β 。
- v_α 和 v_β 值用于计算生成所需电压向量所用的全新 PWM 占空比值
- 在每个离散 PWM 周期后都会计算机械速度 (ω_m)

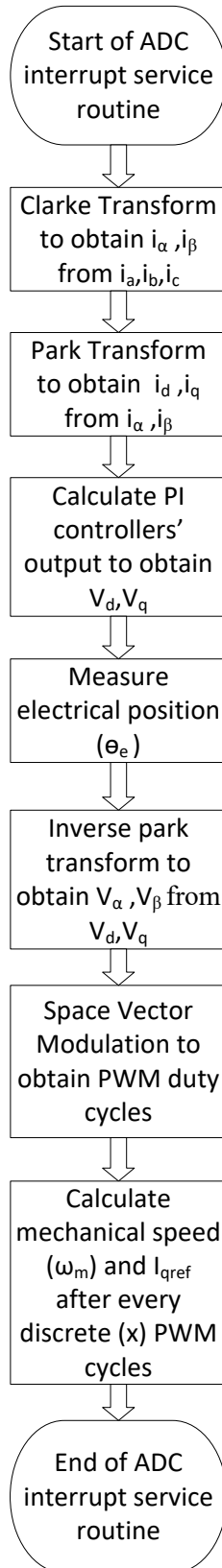
在数据转换结束后，FOC 软件在 ADC 中断服务程序中实现。其运行速率与 PWM 开关频率相同。

PMSM 的磁场定向控制框图如下图所示。

图 2-1. PMSM 有传感器 FOC 的框图



3. 有传感器 FOC 实现流程图



4. PID 控制器

4.1 PID 控制器背景

比例积分微分（Proportional Integral Derivative, PID）控制器的完整说明已超出本文档范围。不过，本节提供了 PID 操作的一些基础知识。

PID 控制器在闭合控制环中响应误差信号，并尝试调节控制量以实现所需的系统响应。受控参数可以是任何可测量的系统量，例如速度或磁通。PID 控制器的优势在于，可以通过改变一个或多个增益值并观察系统响应的变化来凭经验进行调节。

以周期性采样间隔执行数字 PID 控制器。假设控制器频繁执行，因此可以控制系统。通过从要控制参数的实际测量值中减去该参数的预期设置来得到误差信号。误差符号表示控制输入所需的更改方向。

控制器的比例（P）项通过将误差信号乘以“P”增益得到，这会使 PID 控制器产生控制响应，此响应是误差幅值的函数。随着误差信号变大，控制器的“P”项会变大，进而实现进一步校正。

“P”项的作用是随着时间的推移减小总体误差。不过，误差接近零时，“P”项的作用将减小。在大多数系统中，受控参数的误差非常接近于零，但不会收敛。因此，最终会有一个较小的剩余稳态误差。

控制器的积分（I）项用于消除这个小稳态误差。“I”项计算连续运行的误差信号总和。因此，小稳态误差随时间累积成大误差值。此累积误差信号与“I”增益因子相乘，成为 PID 控制器的“I”输出项。

PID 控制器的差分（D）项用于提高控制器的速度并响应误差信号的变化率。通过从先前值减去当前误差值计算得出“D”项输入。此增量误差值与“D”增益因子相乘，成为 PID 控制器的“D”输出项。

当系统误差快速变化时，控制器的“D”项会产生更多的控制输出。并非所有控制器都会实现“D”或“I”项（不常用）。例如，此应用不使用“D”项，因为它会放大噪声，这反过来会导致 PWM 占空比发生过度变化，从而影响算法的工作并产生过电流跳闸。

4.2 调整 PID 增益

PID 控制器的“P”增益用于设置整体系统响应。要调整 PID 控制器，请将“I”和“D”增益设置为零。然后，增大“P”增益，直到系统响应设定值变化，且无过多过冲或振荡。如果使用的“P”增益值较小，则以缓慢方式控制系统；如果使用的值较大，则会实现积极控制。现在系统可能不会收敛到设定值。

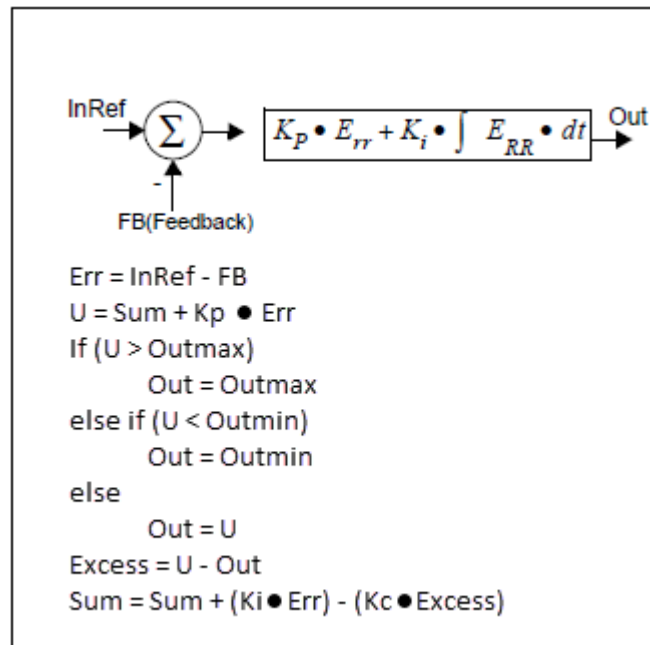
选择完合理的“P”增益后，慢慢增大“I”增益以强制系统误差为零。在大多数系统中只需要较小的“I”增益。如果“I”增益足够大，则其作用可以克服“P”项的作用、减慢整体控制响应速度并使系统在设定值处上下振荡。如果发生振荡，减小“I”增益并增大“P”增益通常可以解决此问题。

此应用包括一个用于限制积分饱和的项，如果积分误差使输出参数饱和，则会出现该项。积分误差的任何进一步增大都不会影响输出。累积误差在减小时，必须下降（或回退）到低于导致输出饱和的值。“Kc”系数会限制这种不必要的累积。对于大多数情况，该系数可以设置为等于“Ki”。

4.3 FOC 中的控制环

三个 PI 环用于独立控制三个交互变量。转子速度、转子磁通和转子转矩分别由单独的 PI 控制器模块控制。这是一种传统实现，其中包含限制积分饱和的项（Kc.Excess），如下图所示。Excess 通过无限制输出（U）减去有限制输出（Out）计算而得。项 Kc 与 Excess 相乘，限制累积的积分部分（Sum）。

图 4-1. PI 控制



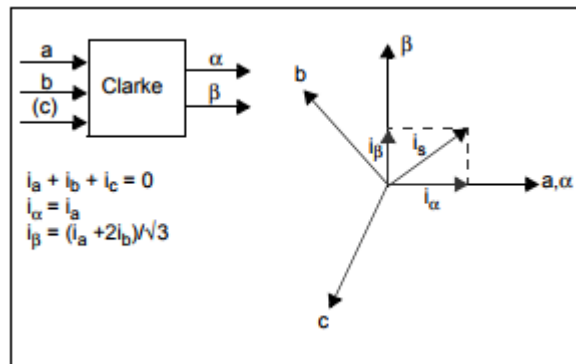
5. 坐标变换

通过一系列坐标变换，用户可以通过经典的“PI”控制环间接确定和控制不随时间变化的转矩和磁通值。该过程从测量三相电机电流开始。实际上，三个电流值的瞬时总和为零。因此，只需测量三个电流中的两个，就可以确定第三个电流，这样便无需第三个电流传感器，从而降低硬件成本。

5.1 Clarke 变换

Clarke 变换将参考定子的三轴二维坐标数值变换为双轴静止坐标系。

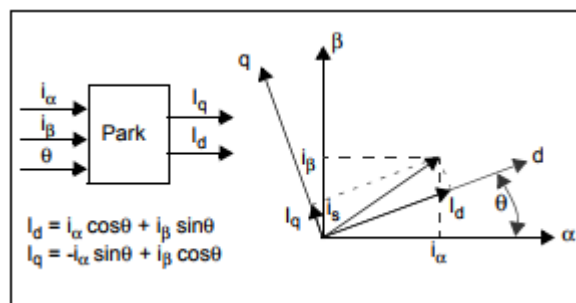
图 5-1. Clarke 变换



5.2 Park 变换

Park 变换将双轴静止坐标系的量变换为相对于转子磁通的双轴旋转坐标系。

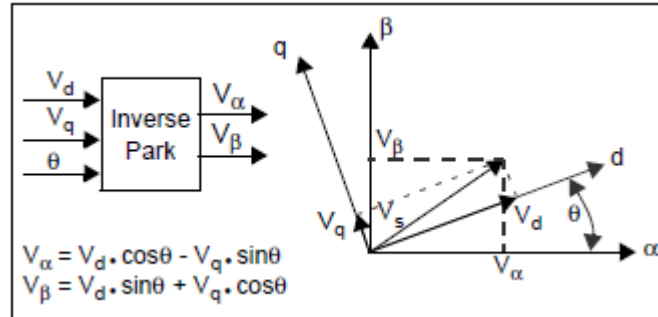
图 5-2. Park 变换



5.3 Park 反变换

Park 反变换将相对于转子磁通的双轴旋转坐标系的量变换为双轴静止坐标系。

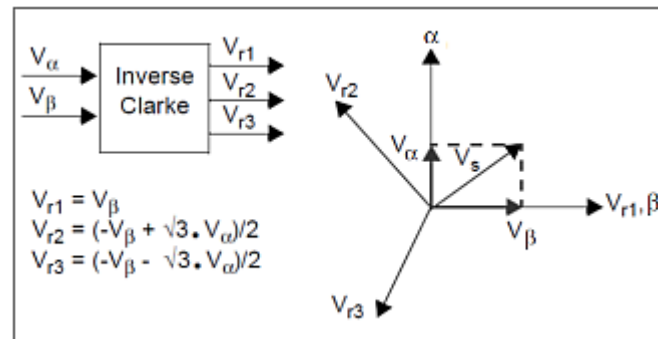
图 5-3. Park 反变换



5.4 Clarke 反变换

Clarke 反变换将双轴静止坐标系的量变换为相对于定子的三轴二维坐标系。alpha 和 beta 轴基于传统的 Clarke 反变换实现互换，以便简化 SVPWM 实现，这将在下一节中介绍。

图 5-4. Clarke 反变换



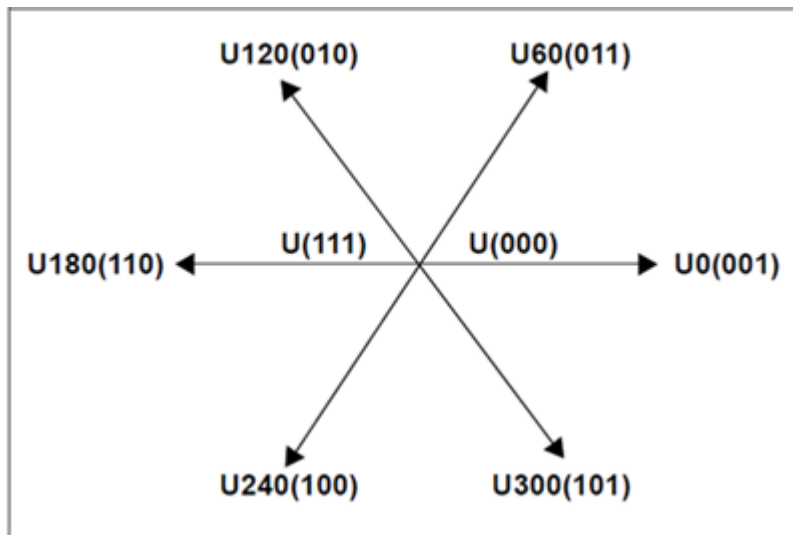
6. 空间矢量脉宽调制 (SVPWM)

矢量控制过程的最后一步是获取逆变器开关的脉宽调制信号来生成三相电机电压。如果使用空间矢量调制 (SVPWM) 技术, 则生成 PWM 的过程简化为几个简单的公式。在此实现中, Clarke 反变换集成到 SVM 程序中, 这进一步简化了计算过程。

三个逆变器输出中的每一个均可处于两种状态之一。逆变器输出可以连接到正 (+) 母线轨或负 (-) 母线轨, 共支持 $2^3 = 8$ 种输出状态。

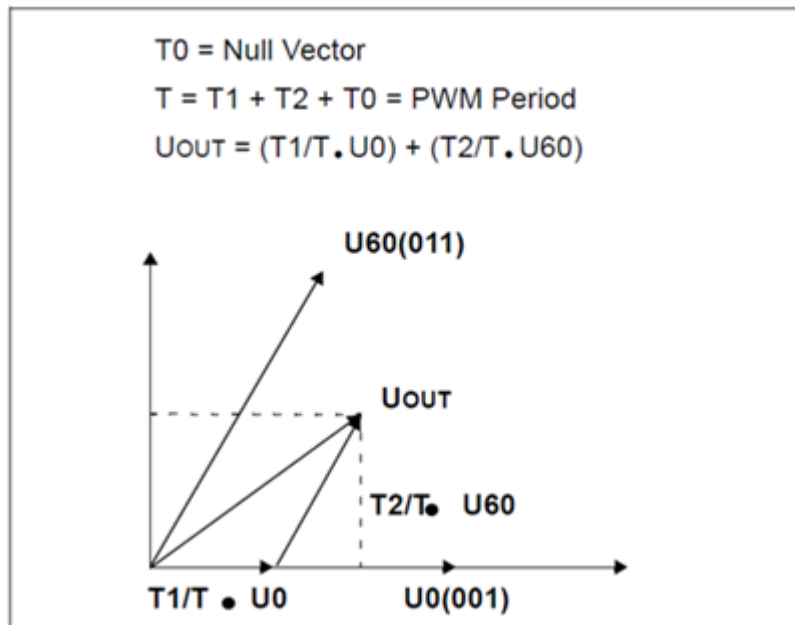
全部三个输出都连接到正 (+) 母线或负 (-) 母线的两种状态被视为空状态, 因为相位间无任何线电压。这两个状态绘制在 SVM 星形的原点上。其余六个状态表示为相邻状态之间有 60 度相位差的矢量, 如下图所示。

图 6-1. 三相逆变器的空间矢量



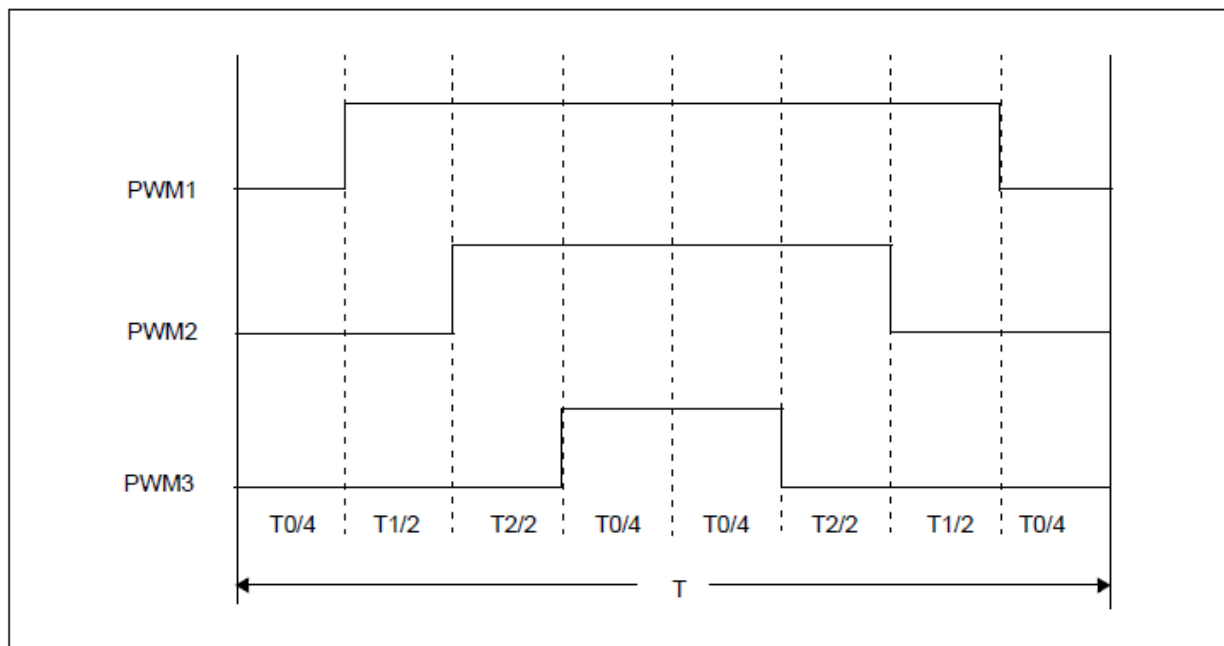
SVPWM 的过程允许通过两个相邻矢量的分量之和来表示合成矢量。例如, 在下图中, U_{OUT} 为预期合成矢量。它位于 U_{60} 和 U_0 之间的区域。如果在给定 PWM 周期 “T” 期间, U_0 施加时间 T_1 并且 U_{60} 输出时间 T_2 , 则周期 T 产生的电压将为 U_{OUT} 。

图 6-2. 平均 SVPWM



T_0 表示没有为绕组施加有效电压的时间，即，施加零矢量的时间。可使用修改后的 Clark 反变换，在不进行额外计算的情况下得出 T_1 和 T_2 的值。如果 V_α 和 V_β 反转，将生成 SVM 的参考轴，此参考轴与 SVM 星形偏移 30 度，如下图所示。沿约束该区域的两个轴的电压矢量时序等于 T_1 和 T_2 。在切换周期 T 的剩余时间 T_0 内施加零矢量。

下图给出了对称脉冲模式的结构，这种结构产生的输出谐波最小。

图 6-3. 周期 T 的 PWM 信号

7. 位置测量

明确确切转子位置对于 FOC 正常工作至关重要。增量式光学编码器提供两个彼此正交的脉冲串，如下图所示。一些编码器具有索引脉冲，这有助于在空间上明确确切的转子位置。如果脉冲串 A 超前脉冲串 B，则电机将沿一个方向旋转，如果脉冲串 B 超前脉冲串 A，则电机将沿相反方向旋转。编码器脉冲数越多，位置测量精度就越高。

图 7-1. 特定旋转方向的编码器相位信号和索引脉冲

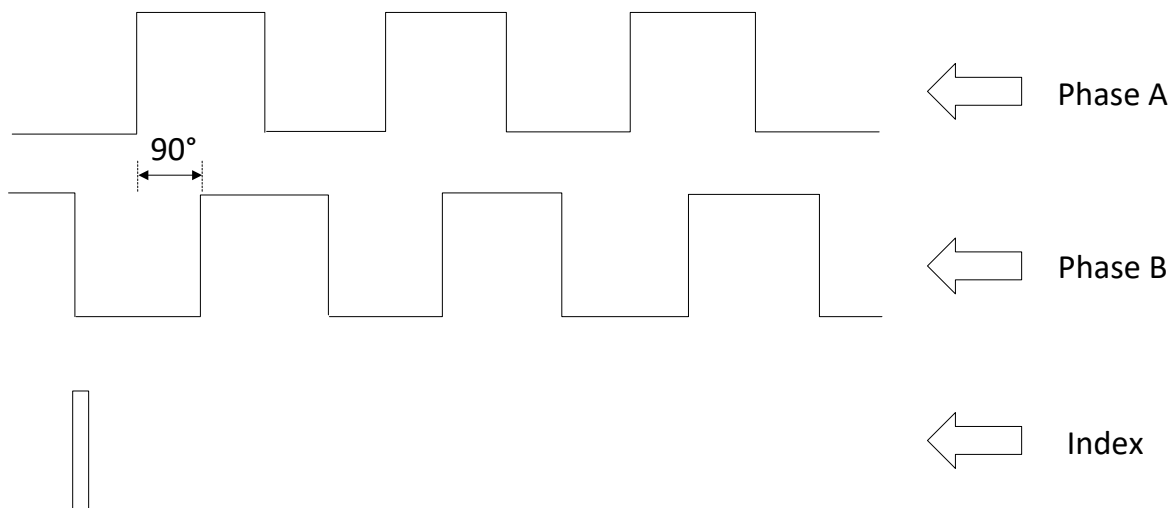
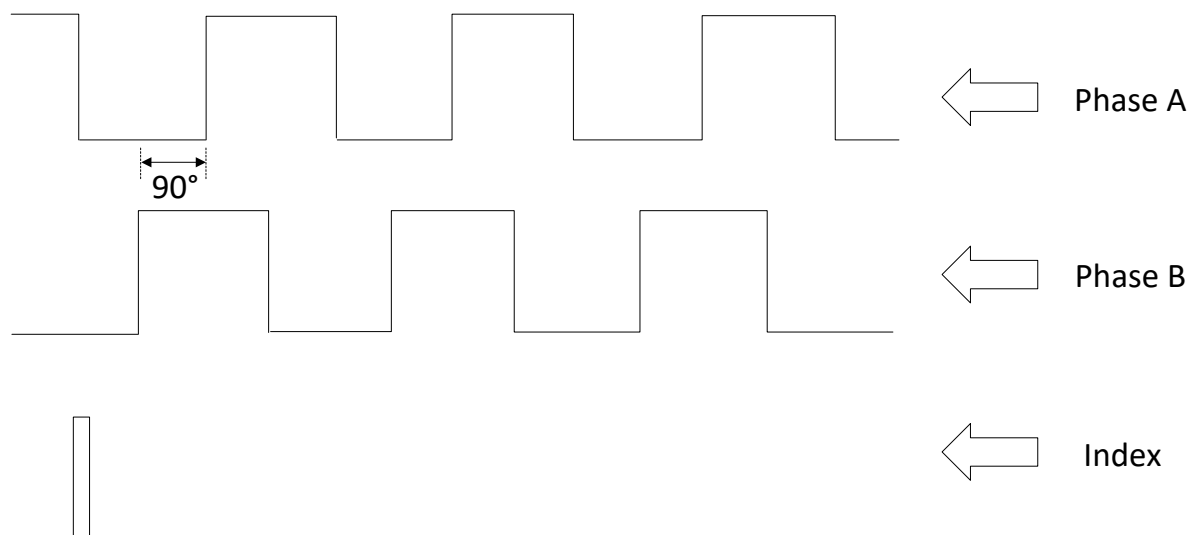


图 7-2. 相反旋转方向的编码器相位信号和索引脉冲



Microchip 的 32 位 MCU 提供位置解码器，可从速度传感器（例如增量编码器、霍尔传感器和解析器等）获得精确的位置和速度。

- 通过将 TC_CMR 寄存器的 ABETRG 位设置为 1，选择“TIOA”作为通道“0”的外部触发复位
- 通过将 TC_CMR 寄存器的 ETRGEDG 位设置为 1，选择“上升沿”作为通道“0”的外部触发复位边沿。

根据具体应用，也可以设置上述寄存器的其他位来实现滤波和交换编码器相位等目的。

可以从 TC_CV0 和 TC_CV1 寄存器获得位置和旋转信息。

TC_QIMR、TC_QIER 和 TC_QIDR 寄存器可用于提供信息，并根据方向变化、索引脉冲到达状态和正交误差采取操作。

SAM E70 数据手册（DS60001527）中介绍了寄存器的所有位域。

从寄存器获得的位置信息表示机械位置（ Θ_m ）。可以通过将机械位置乘以极对数来获得电气位置（ Θ_e ）。

8.1 速度计算

可以通过测量固定时间间隔内出现的编码器脉冲的边沿数（位置差），或者通过测量出现的编码器脉冲固定边沿数之间经过的时间来计算速度。

- 通过测量固定时间间隔内的位置差来计算速度。

公式 8-1.

$$\omega_m = \frac{\Theta_{m(n+1)} - \Theta_{m(n)}}{\Delta t}$$

- 通过测量固定编码器脉冲数之间经过的时间来计算速度

公式 8-2.

$$\omega_m = \frac{\Delta\Theta_m}{t_{(n+1)} - t_{(n)}}$$

公式 8-1 在较高速度下提供良好精度，公式 8-2 在较低速度下提供良好精度，但必须解决定时器溢出问题。在本文档中，第一种方法用于整个速度范围。在这种情况下，必须考虑到可通过以下公式测得最低速度：

公式 8-3.

$$\omega_{m(\min)} = \frac{120}{\frac{\text{编码器脉冲数}}{\text{机械转数}} * (\text{以秒为单位的速率采样率})}$$

9. PIC32MK MCU 的正交编码器接口

PIC32MK MCU 上的正交编码器接口外设是一个 32 位递增和递减计数器，它通过超前或滞后正交信号实现递增和递减，如特定旋转方向的编码器相位信号和索引脉冲和相反旋转方向的编码器相位信号和索引脉冲中所示。以下是 PIC32MK 上 QEI 外设的主要特性。

- 有如下四个输入：
 - QEA 和 QEB: 编码器的 A 相和 B 相正交信号
 - INDX: 索引脉冲输入，当置为有效时，会复位位置计数器
 - HOME: 归位输入，当置为有效时，会用“归位”位置值装载位置计数
- 输入的可编程数字噪声滤波器
- 32 位位置计数器
- 32 位速度计数器
- 间隔定时器: 测量正交脉冲的持续时间。支持在低速下进行高分辨率速度测量。
- 模计数模式: 当位置计数器值等于 QEIXGEC 寄存器值并且检测到递增计数脉冲时，位置计数器会装载 QEIXLEC 寄存器的内容。当位置计数器值等于 QEIXLEC 寄存器值并且检测到递减计数脉冲时，计数器会装载 QEIXGEC 寄存器的内容。

9.1 速度测量

PIC32MK 的 QEI 外设包含一个 32 位宽的速度计数器，可根据正交解码器逻辑的信号进行递增或递减计数。读取该寄存器 (VELXCNT) 会将其复位。速度计数器提供连续读取 VELXCNT 寄存器之间的行进距离 (以位置计数为单位)。因此，以固定的已知速率读取时，速度计数器 (VELXCNT 寄存器) 可以提供电机的速度。索引输入或 PIMOD<2:0>位 (QEIXCON<12:10>) 指定的任何模式都不会影响速度计数器的运行。

注: 从 QEI 寄存器获得的位置和速度信息表示机械单位，而非电气单位。

请参见器件数据手册和系列参考手册的 [第 43 节: 正交编码器接口 \(QEI\)](#) (DS60001346)。

10. 电机启动和对准

为获得 PMSM 电机的最大转矩，转子和定子磁通之间的角度应为 90 度。为使两个磁通之间保持 90 度，了解转子的初始位置至关重要。由于电机的初始位置无法控制，因此应将其与某个已知位置对准。这可以通过激励 d 轴而不激励 q 轴，或者通过激励 q 轴而不激励 d 轴来实现。在速度控制期间后一种方法是首选，因为 d 轴定子激励可以继续保持为 0。

通过“q 轴激励”实现初始对准之后，将电角度移动 90 度以获得最大转矩。如果无偏移，电机将停转，因为定子和转子磁通之间没有任何角度差。

下图显示了在初始激励 q 轴和发生 90 度电偏移之后静止时的转子磁通位置。

图 10-1. 某一时刻静止时的转子磁通位置

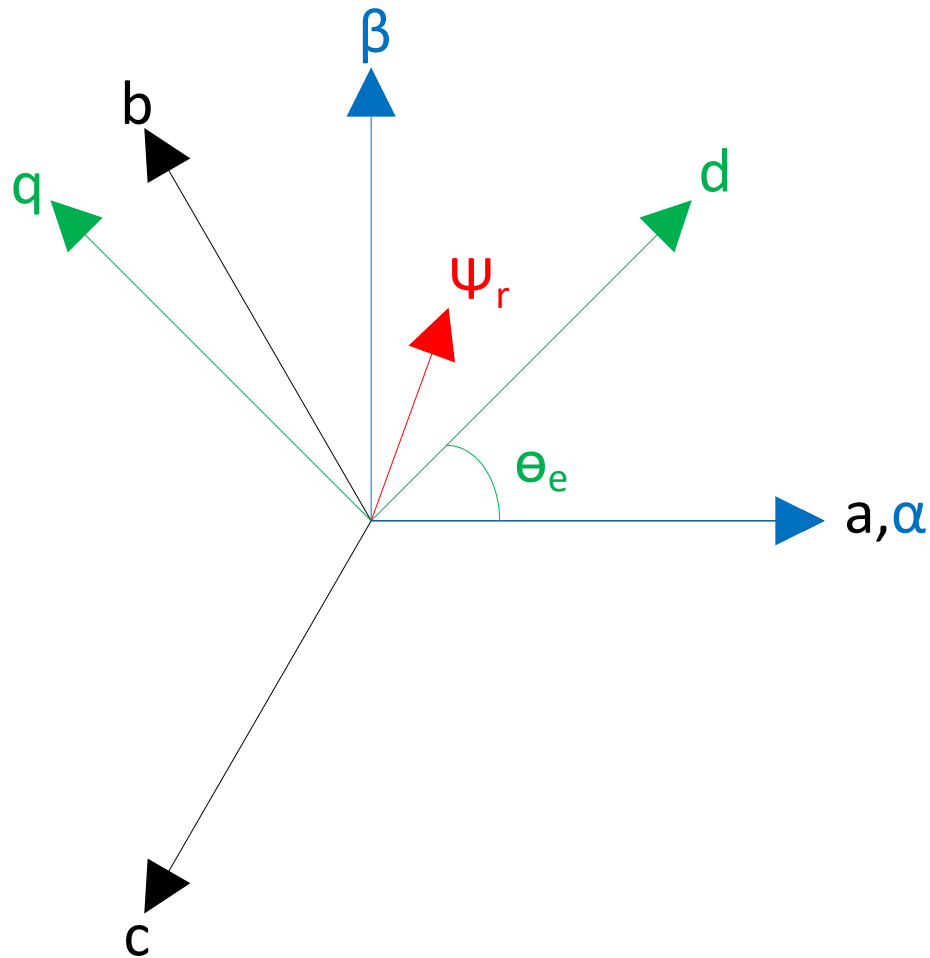


图 10-2. 初始激励 Q 轴后的转子磁通位置

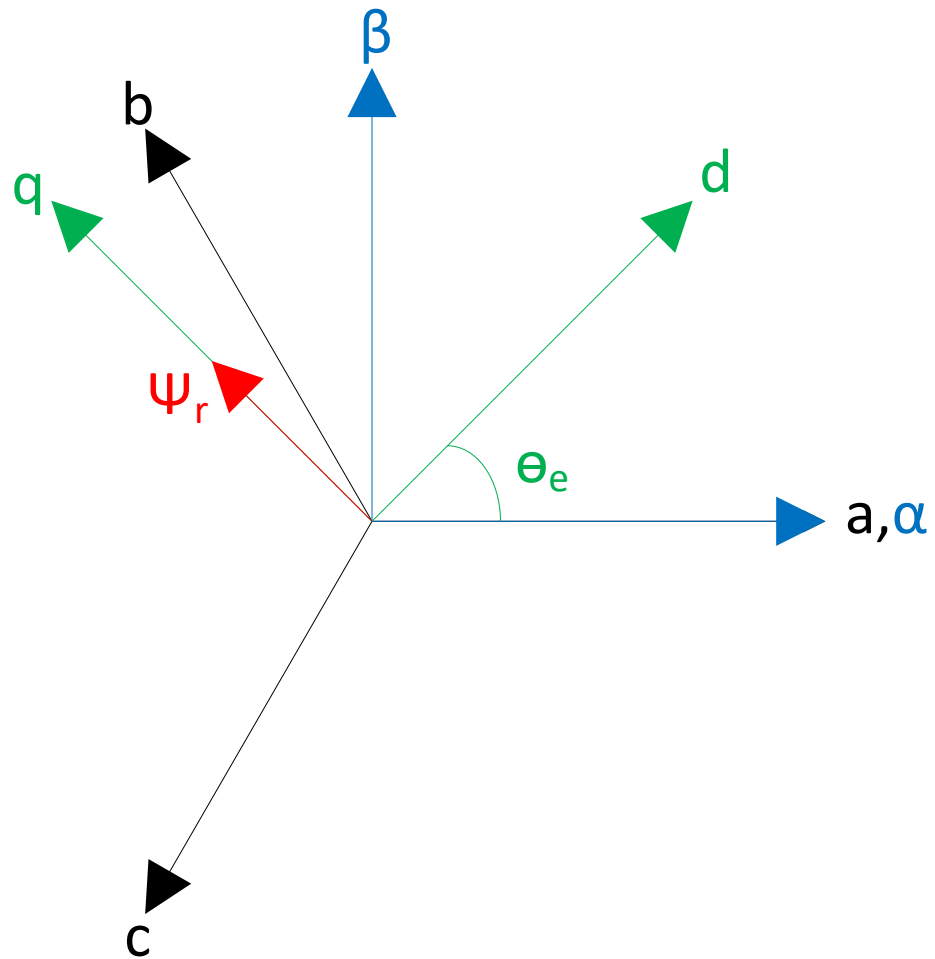
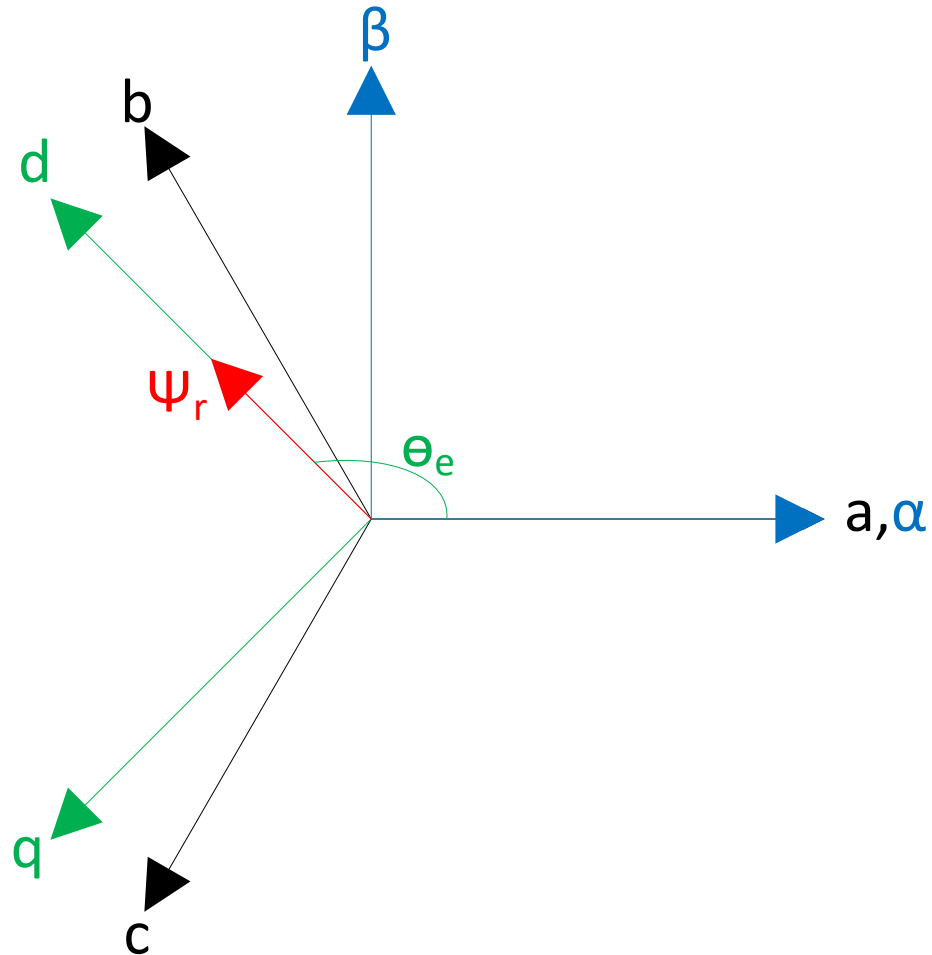


图 10-3. 发生 90°电偏移后的转子磁通位置



10.1 索引脉冲偏移

配有编码器索引脉冲有助于在电机运行期间了解确切的转子位置。某些处理器配置为在命中索引脉冲后复位位置信息。在这种情况下，在转子命中索引脉冲之前明确位置偏移至关重要。始终使转子和定子磁通之间保持 90 度相位差。

11. 结论

本应用笔记介绍了如何使用 Microchip 的 32 位 MCU，通过基于编码器的磁场定向控制算法实现三相 PMSM 的高精度速度控制。其中详细介绍了 SAME70 的正交解码器和 PIC32MK 的正交编码器接口，二者用于实现精确位置测量和速度计算。本应用笔记还说明了电机启动、对准和索引脉冲偏移计算，这些内容可实现定子和转子磁通之间的 90 度相移。

本文介绍的位置和速度测量方法不仅适用于 PMSM，也适用于其他电机，如 ACIM 和 BLDC。

12. 参考和资源

有关详细信息，请参见以下文档：

- [Sensorless Field Oriented Control \(FOC\) for a Permanent Magnet Synchronous Motor \(PMSM\) Using a PLL Estimator and Field Weakening \(FW\)](#)
- [Sensorless Field Oriented Control of a PMSM](#)
- [VF Control of 3-Phase Induction Motor Using Space Vector Modulation](#)
- [Sensorless Field Oriented Control \(FOC\) for a Permanent Magnet Synchronous Motor \(PMSM\) Using a PLL Estimator and Equation-based Flux Weakening \(FW\)](#)
- [SAM E70/S70/V70/V71 Family Data Sheet](#)
- [SAM E70 Atmel SMART ARM-based Flash MCU Data Sheet](#)
- [Section 43. Quadrature Encoder Interface \(QEI\)](#)
- [DM330021-2 - dsPICDEM MCLV-2 Development Board](#)

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.、SQL、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。

© 2019, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-4015-4

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。

全球销售及服务中心

美洲	亚太地区	亚太地区	欧洲
公司总部 2355 West Chandler Blvd. 钱德勒, 亚利桑那州 85224-6199 电话: 480-792-7200 传真: 480-792-7277 技术支持: http://www.microchip.com/support 网址: www.microchip.com	澳大利亚 - 悉尼 电话: 61-2-9868-6733 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 - 香港特别行政区 电话: 852-2943-5100 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 - 珠海 电话: 86-756-3210040	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 - 檳榔嶼 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 台湾地区 - 新竹 电话: 886-3-577-8366 台湾地区 - 高雄 电话: 886-7-213-7830 台湾地区 - 台北 电话: 886-2-2508-8600 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 - 若那那市 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: 47-72884388 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
亚特兰大 德卢斯, 佐治亚州 电话: 678-957-9614 传真: 678-957-1455 奥斯汀, 德克萨斯州 电话: 512-257-3370 波士顿 韦斯特伯鲁, 马萨诸塞州 电话: 774-760-0087 传真: 774-760-0088 芝加哥 艾塔斯卡, 伊利诺伊州 电话: 630-285-0071 传真: 630-285-0075 达拉斯 阿迪森, 德克萨斯州 电话: 972-818-7423 传真: 972-818-2924 底特律 诺维, 密歇根州 电话: 248-848-4000 休斯顿, 德克萨斯州 电话: 281-894-5983 印第安纳波利斯 诺布尔斯维尔, 印第安纳州 电话: 317-773-8323 传真: 317-773-5453 电话: 317-536-2380 洛杉矶 米慎维荷, 加利福尼亚州 电话: 949-462-9523 传真: 949-462-9608 电话: 951-273-7800 罗利, 北卡罗来纳州 电话: 919-844-7510 纽约, 纽约州 电话: 631-435-6000 圣何塞, 加利福尼亚州 电话: 408-735-9110 电话: 408-436-4270 加拿大 - 多伦多 电话: 905-695-1980 传真: 905-695-2078			