

## 用择多函数实现反电动势滤波的无传感器 BLDC 控制

作者: Daniel Torres  
Microchip Technology Inc.

### 引言

本应用笔记介绍一种用 dsPIC<sup>®</sup> 数字信号控制器 (DSC) 来实现无刷直流 (Brushless Direct Current, BLDC) 电机无传感器控制的算法。该算法利用对反电动势 (Back-EMF) 进行数字滤波的择多函数来实现。通过对电机的每一相进行滤波来确定电机驱动电压换相的时刻。这一控制技术省却了分立的低通滤波硬件和片外比较器。需指出, 这里论述的所有内容及应用软件, 都是假定须使用三相电机。该电机控制算法包括六个主要部分:

- 利用 dsPIC 模数转换器 (Analog-to-Digital Converter, ADC) 来采样梯形波 BEMF 信号
- 重构电机虚拟中性点
- 将梯形波 BEMF 信号与重构的电机虚拟中性点进行比较, 以检测过零点
- 用择多函数滤波器对比较结果信号进行滤波
- 对电机驱动电压进行换相
- 控制环

本应用笔记的目的是对实现这种新的无传感器 BLDC 电机控制技术的各个部分进行简要介绍。此外, 这种新的控制方法是一种基于单片 dsPIC DSC 器件的解决方案, 除了需要几个电阻, 用来将 BEMF 信号限制在 dsPIC DSC 器件 ADC 的工作电压范围之内之外, 不需要其它外部硬件。

### 有传感器控制与无传感器控制的对比

由于 BLDC 电机具有尺寸小、可控制好、效率高的特点, 常用于消费和工业应用中。BLDC 电机还愈来愈多地出现在汽车应用中用来取代传送带和液压系统, 以及提供额外功能和提高燃油经济性。磁钢以及那些用于控制 BLDC 电机的电子器件成本的持续下降使得 BLDC 能够在更多的应用场合以及更高的功率级上应用。

由于电励磁必须与转子位置同步, 因此 BLDC 电机在运行时, 通常需要一个或多个转子位置传感器。由于成本、可靠性、机械包装的原因, 特别是当转子在液体中运行时, 电机适宜在无位置传感器的条件下运行, 即通常所说的无传感器运行。

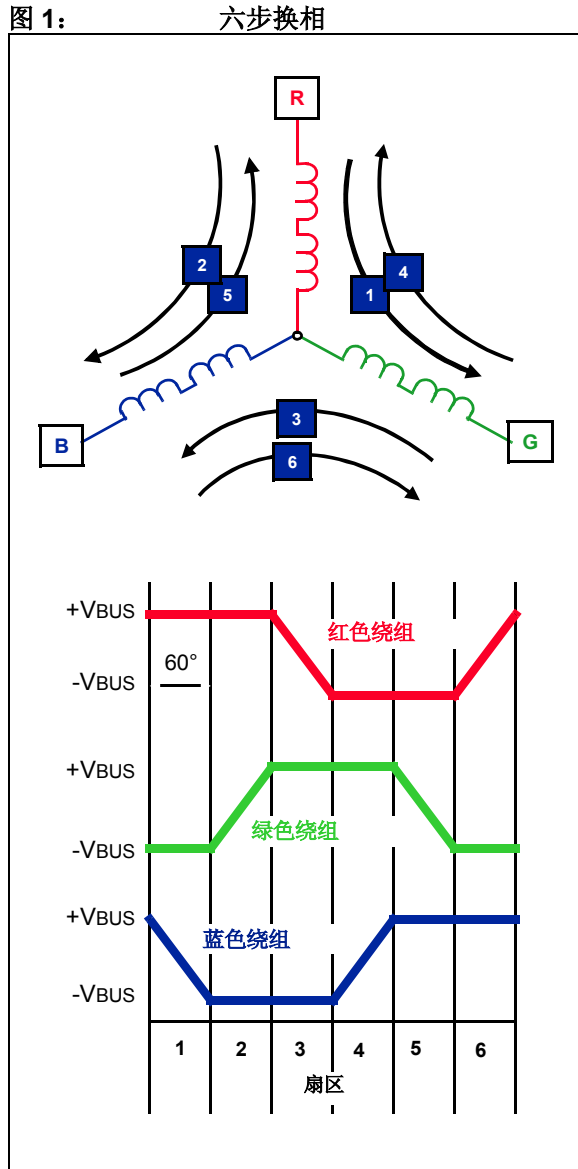
通过检测不通电相绕组上的反电动势电压可以确定电机驱动电压的换相时间。由于省却了霍尔位置传感器, 因此无传感器控制具有明显的成本优势。然而, 无传感器控制也有一些缺点:

- 由于反电动势足够大时才能被检测到, 因此电机必须运行在最低转速以上
- 电机负载突变可能引起 BEMF 驱动环失锁
- 仅当电机转速在所施电压理想换相率的有限范围内, BEMF 电压才能被测量到
- 实际换相速率高于理想速率将导致电机响应不连续

如果低成本是应用中关注的主要问题, 且无需电机在低速下运行, 以及预料电机负载不会发生快速地变化, 那么在这种情况下, 无传感器控制就可能是应用中的较好选择。但某些特定算法能够克服上面所列出的全部缺点。这种无传感器 BEMF 方法正迅速地成为最普遍的解决方法。

## 六步（梯形）换相

在该应用笔记所介绍的无传感器算法中，可以按六步梯形换相或 120° 换相的方式对电机绕组进行通电。图 1 显示了六步换相的工作原理。每一步，即一个扇区，等于 60 度电角度。六个扇区就构成 360 度电角度，即一个电周期。



绕组图中的箭头表示每一步中电机绕组内电流的流向。下面的曲线图显示了六步过程中电机每一绕组端上的反电势波形。六步依次换相推动电机运转一个电周期。

## 六步换相

- 第 1 步
  - 红色绕组正向通电。
  - 绿色绕组负向通电。
  - 蓝色绕组断电。
- 第 2 步
  - 红色绕组仍正向通电。
  - 蓝色绕组负向通电。
  - 绿色绕组断电。
- 第 3 步
  - 绿色绕组正向通电。
  - 蓝色绕组负向通电。
  - 红色绕组断电。
- 第 4 步
  - 绿色绕组正向通电。
  - 红色绕组负向通电。
  - 蓝色绕组断电。
- 第 5 步
  - 蓝色绕组正向通电。
  - 红色绕组负向通电。
  - 绿色绕组断电。
- 第 6 步
  - 蓝色绕组正向通电。
  - 绿色绕组负向通电。
  - 红色绕组断电。

对于每一个扇区，都有两相绕组通电，一相绕组断电。实际上，在每个扇区内都有一相绕组断电是适宜使用无传感器控制算法的六步控制的一个重要特性。

该应用笔记使用下面这些术语来描述电机转速：

- 每分钟电转速 (RPMElec)
- 每秒钟电转速 (RPSElec)

用上面两个术语讨论电机转速比用机械 RPM 方便，因为当说到电气 RPM 时，并不需要考虑电机极对数的问题。机械 RPM 与电气 RPM 之间的关系如下面三个公式所示：

**公式 1: 机械 / 电气 RPM 之间的关系**

$$RPM_{Mech} = \frac{2 \cdot RPMElec}{\text{电机极数}}$$

**公式 2: 电气 / 机械 RPM 之间的关系**

$$RPMElec = \frac{RPM_{Mech} \cdot \text{电机极数}}{2}$$

## 公式 3: 电气 RPS/RPM 之间的关系

$$RPSElec = \frac{RPMElec}{60}$$

## BEMF 检测法

当 BLDC 电机旋转时，根据楞次定律，每相绕组都会产生与加到该相绕组上的主电压方向相反的 BEMF。该 BEMF 的极性与通电电压的极性相反。BEMF 主要取决于以下三个电机参数：

- 定子绕组匝数
- 转子角速度
- 转子磁铁产生的磁场

BEMF（从电机参数和角速度方面）可以用公式 4 中的表达式来计算。

## 公式 4: 反电动势 (BEMF)

$$BEMF = NlrB\omega$$

其中

- $N$  = 每相绕组匝数
- $l$  = 转子长度
- $r$  = 转子内半径
- $B$  = 转子磁场
- $\omega$  = 角速度

如公式 4 所示，转子角速度是唯一的变量。因此，BEMF 与转子速度成正比；BEMF 随转速的增加而增加。

电机的 BEMF 作为转子位置和速度的函数，其波形随二者的变化而变化。因此，在零速和非常低转速时，用 BEMF 来检测转子位置是不可能的。不过，有许多应用场合（如风扇和泵）并不需要在低速下进行定位控制或闭环运行。对于这些应用，使用 BEMF 法比较适宜。BEMF 法有很多种，其中，大多数可以概括如下：

- 电机端电压检测
  - 可直接测量或推理得到（利用开关状态和直流母线电压的信息）
- 中性点电压检测
  - 仅适用于星形连接和三角形连接的电机，对于某些种类的绕组连接方式，可能并不适用
  - 实际上不需要第四根导线。可以利用电机三相来重构星点
- 母线梯度电流检测
  - 取决于母线电流的特有形状，其由转子超前或滞后时，换相变化所引起
  - 不能使用快速母线电流控制

## 所选用的 BEMF 检测法

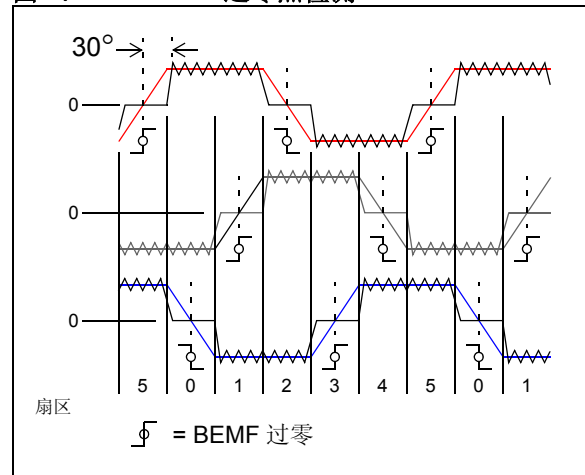
本应用笔记以中性点电压重构以及断电相的 BEMF 过零点检测为基础。因此，需要提及的重要一点是，为了捕获过零点事件，本文中采用的 BEMF 检测法仅能利用梯形波 BEMF 信号来实现。

这种检测法的一个重要特点是只需要几个外部元件即可确定过零点。除 BEMF 信号调理和功率开关栅极驱动器之外，实现仅使用了能够提供所有控制功能的单片 dsPIC DSC 器件。

选择 BEMF 过零技术是基于以下原因：

- 它适用于多种类型的电机。
- 理论上，对于星型连接和三角形连接的三相电机都适用。对于某些种类的连接方式，可能并不适用。
- 不需要了解太多有关电机特性的知识。
- 对电机制造容差的变化不太敏感。
- 既可用于电压控制，也可用于电流控制。
- 这种过零检测技术适用于多种零速附近无需进行闭环控制的应用场合。假设转速大于零，那么每个电周期只有两个 BEMF 为零的位置，而这两个位置可以通过 BEMF 过零时的曲线斜率来识别，如图 2 所示。

图 2: 过零点检测



一个电周期由六个相等的  $60^\circ$  部分组成，每个扇区与其中的一个部分相对应（扇区个数完全可以任意取）。换相发生在每个扇区的边界处。因此，需要检测扇区边界。在 BEMF 过零点和需要换相的位置之间，有一个  $30^\circ$  偏移，必须对其进行补偿，以确保电机能够进行高效、平滑地运行。

图 2 还显示了各相 BEMF 的理想波形。假设只有三条电机引出线可用于检测 BEMF，那么必须确定电机的星点电压，因为 BEMF 波形的偏移是由星点电压引起的。

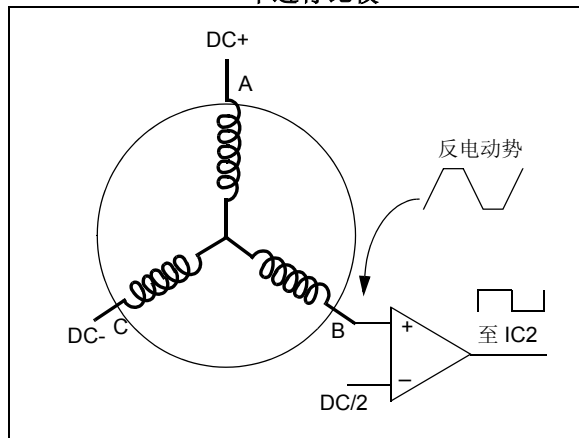
### BEMF 过零信号检测法

可以使用不同的方法来检测 BEMF 电压过零信号。这一节将介绍其中的两种。所有这些方法都有各自的优缺点，这将在下一节中讲到。所有这些方法都是基于大多数时候电机的中性点无法获得的情形，因为中性点没有用导线引出或是电机绕组是三角形连接方式。

### BEMF 电压与直流母线电压的一半进行比较

该方法是在假定 BEMF 电压等于  $V_{dc}/2$  时发生过零事件的情况下，利用比较器将 BEMF 电压与直流母线电压的一半进行比较。图 3 显示了实现该方法所用的电路。

图 3: BEMF 电压与直流母线电压的一半进行比较



假设电机处于第一个换相步（根据图 1），即 A 相通过一个电子开关与  $+V_{BUS}$  相连，C 相通过一个电子开关与  $-V_{BUS}$  相连，而 B 相开路。就在第二个换相步将要到来时，从 B 相上观察到的 BEMF 信号的斜率为负，其最大值接近  $+V_{dc}$ 。当第二个换相步发生时，B 相电压达到  $+V_{dc}$ 。

此时，B 相通过一个电子开关与  $+V_{dc}$  相连，A 相开路，而 C 相仍与  $-V_{dc}$  相连。就在第三个换相步将要到来时，从 A 相上观察到的 BEMF 信号的斜率为正，其最小值接近  $-V_{dc}$ 。为了确定过零事件的发生，将 B 相和 A 相上观察到的斜率与  $V_{dc}/2$  进行比较。这种电路易于实现，将三个运放用作比较器即可。

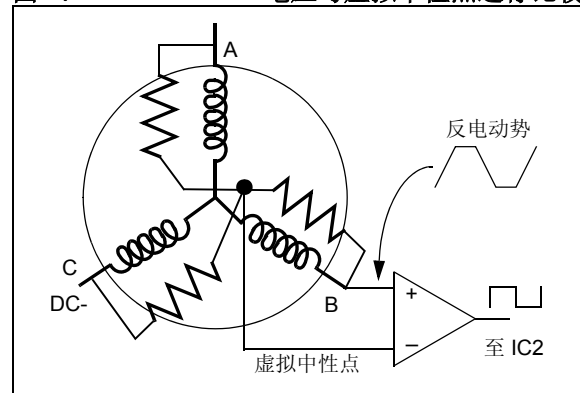
这种方法的缺点为：

- 该方法假定电机绕组参数是相同的。
- 所检测到的 BEMF 信号具有正负相移。
- 大多数时候，电机额定电压小于  $V_{dc}$  电压；因此，过零事件并非总是发生在  $V_{dc}/2$  处。

### BEMF 电压与电机中性点电压比较

前文介绍的过零检测法可以通过设置用于检测过零事件的可变阈值电压点加以改进。实际上，该可变电压就是电机的中性点。通常，电机制造商不会把电机中性点引出。但可以用电阻网络来构造中性点。将三个电阻网络的一端分别与电机的三相绕组并联，另一端连在一起以产生一个虚拟中性点。图 4 给出了接线图。

图 4: BEMF 电压与虚拟中性点进行比较



该应用笔记中使用的方法是基于简单的原理。然而，中性点电压是通过软件重构的，其值等于三相 BEMF 信号的平均值。因此，过零阈值的表达式如公式 5 所示。

**公式 5: 虚拟中性点与 BEMF 信号的关系**

$$V_n = \frac{BEMF A + BEMF B + BEMF C}{3}$$

其中

$V_n$  表示电机中性点电压

$BEMF A$  表示 A 相 BEMF

$BEMF B$  表示 B 相 BEMF

$BEMF C$  表示 C 相 BEMF

然后，将重构的电机中性点与每一个 BEMF 信号进行比较以判断是否发生过零事件。当 BEMF 信号电压等于电机中性点电压时，发生过零事件。图 5 显示了如何用 ADC 来检测 BEMF 信号。

如何利用软件来实现该方法将在下面各节中加以讨论。由于 ADC 采样到的样本受 PWM 开关频率引起的谐振过渡电压的影响，因此，如何确定 BEMF 信号被采样到的正确时刻是该方法的难点。这些样本还可能受电机绕组断电时产生的反冲电流的影响。图 6 显示了 BEMF 信号与电机虚拟中性点的曲线图。图 7 显示了 BEMF 信号与重构的虚拟中性点的曲线图。

就测量而言，这种方法的优点是它更为灵活。当速度变化时，绕组特性可能发生波动，从而引起 BEMF 发生变化。在这种情况下，dsPIC DSC 器件对于确定何时产生过零点，是完全可控的。可以利用数字滤波器将高频开关噪声分量从 BEMF 信号中滤除。

**图 5: 利用 dsPIC® DSC ADC 来检测 BEMF 电压**

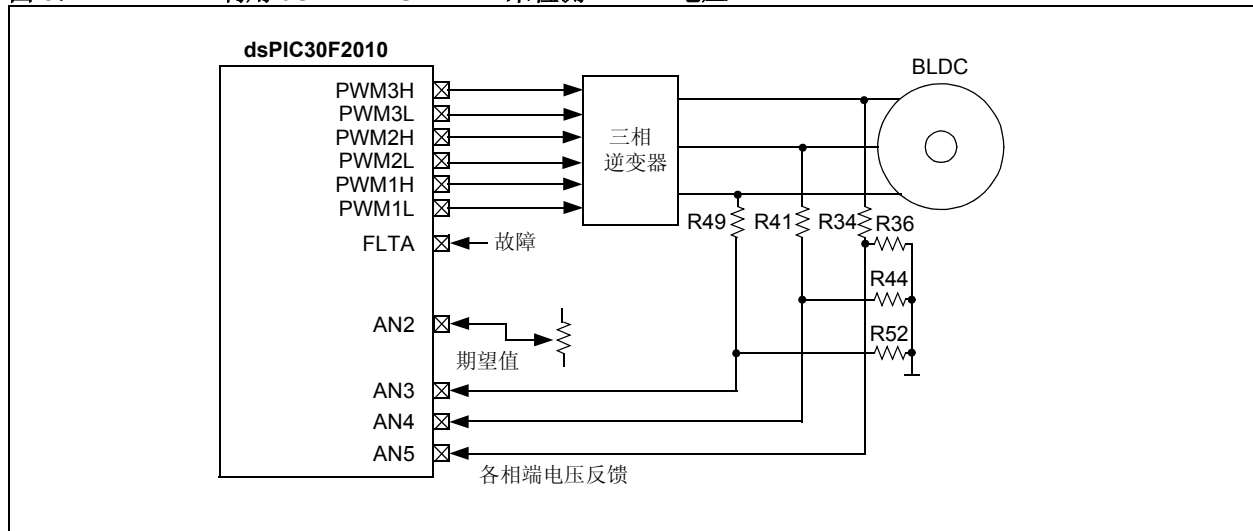


图 6: 当 PWM 占空比为 100% 时, BEMF 信号与虚拟中性点的对比曲线

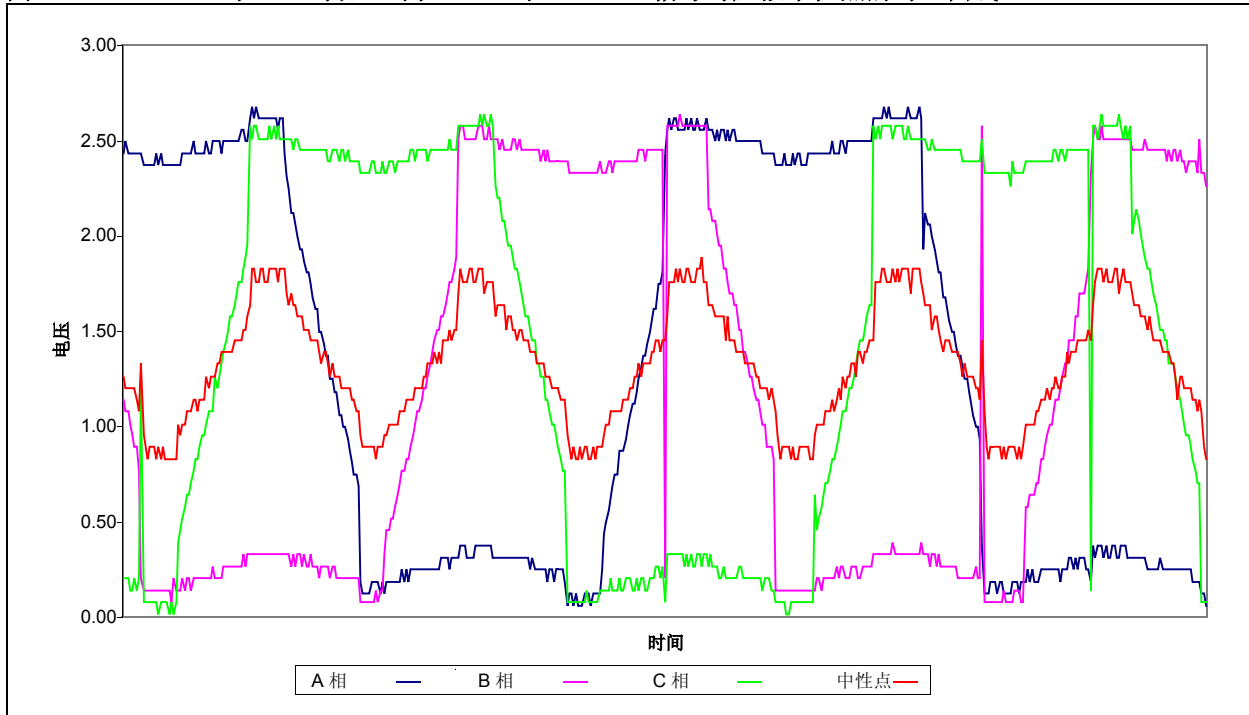
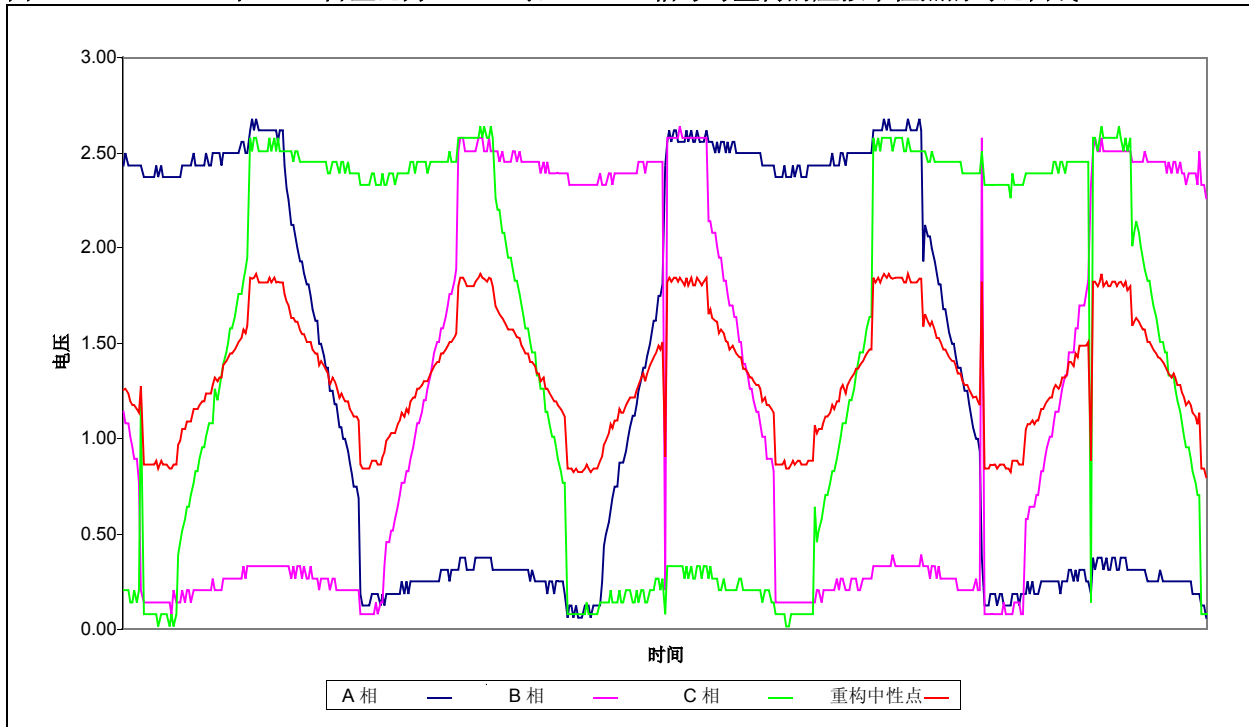


图 7: 当 PWM 占空比为 100% 时, BEMF 信号与重构的虚拟中性点的对比曲线



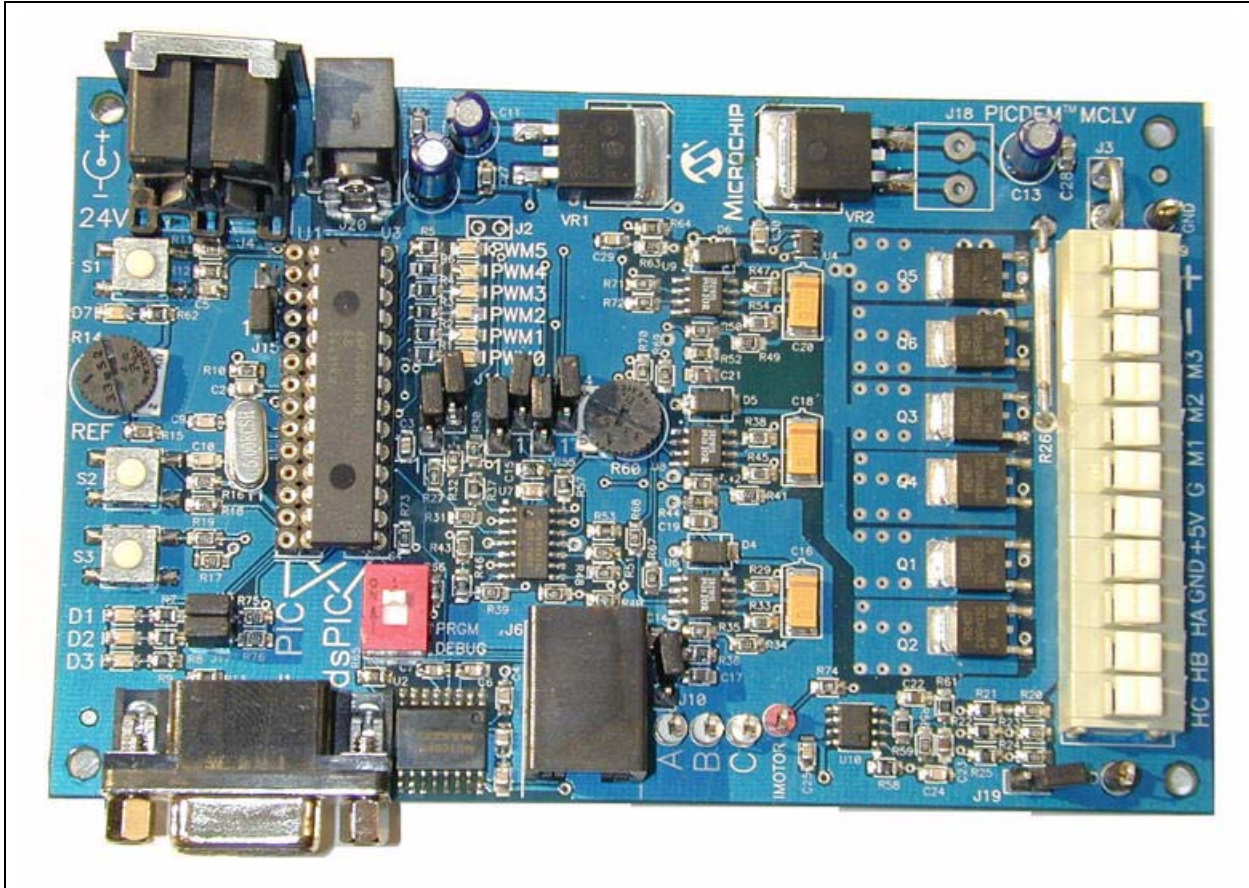
## 所需硬件

在该应用笔记中介绍的 BLDC 电机控制方法，所需硬件如下：

### dsPIC30F 软件版本

- PICDEM™ MCLV 开发板（图 8）
- Hurst DMB0224C10002 CL B 6403 24V BLDC 电机
- 24 VDC 电源

图 8: PICDEM™ MCLV 开发板



# AN1160

## dsPIC33F 软件版本

- dsPIC33FJ12MC202 PIM
- Explorer 16 开发板
- 电机控制接口 PICtail™ Plus 子板
- dsPICDEM™ MC1L 三相低压功率模块
- Hurst DMB0224C10002 CL B 6403 24V BLDC 电机
- 24 VDC 电源

图 9: dsPIC33F 软件版本所对应的硬件连接图



以上这些配置既可按完整的套件，也可按单独的组件从 Microchip 公司购买。读者可参阅 Microchip 公司网站上的“开发工具”部分来了解订购信息。



## 硬件改动

图 5 所示的硬件框图是一个电机控制应用的简化框图。它显示了实现这种算法所需采用的基本接线方式。

在 MCLV 板上实现图 5 所示的硬件配置时，可以采用表 1 所列跳线设置进行实现。

**表 1: MCLV 跳线配置**

跳线	设置
J8	开路
J10	开路
J12	开路
J14	开路
J19	开路
J7	位置 2 - 3 短接
J11	位置 2 - 3 短接
J13	位置 2 - 3 短接
J15	位置 2 - 3 短接
J16	短接
J17	短接

用于配置 MCLV 板的跳线设置如下：

- 电位器 R14 用于选择所需的速度。它与 dsPIC DSC ADC 的通道 AN4 相连。
- 利用电阻网络 R34/R36/R35、R41/R44/R42 和 R49/R52/R50 来检测 BEMF 信号。A、B、C 三相的 BEMF 信号分别加到 ADC 的通道 AN3、AN4、AN5 上。
- 用于 BEMF 信号滤波的电容 C17、C19 和 C21 是断开的，因为所有的 BEMF 滤波都由软件来实现。
- 故障输入是通过一个与电流反馈电路相连的比较器电路（U7D）来接收的。该电流利用一个 0.1Ω 的电阻（R26）来检测。比较器的阈值点可以通过电位器 R60 来调节。

下面列出了实现图 5 所示的 dsPIC33FJ12MC202 硬件配置时所采用的接线方式。

为与表 2 所示的配置相匹配，必须修改 dsPIC33FJ12MC202 PIM 的默认硬件配置。

**表 2: PIM 电阻配置**

电阻	设置
R29, R30, R8, R6, R20, R31, R27, R25, R9, R7, R5	板上未组装
R15, R16, R17, R18, R19, R32, R33, R14, R10, R23, R22, R21, R28, R26, R24, R13, R11, R12	板上已组装

为与表 3 所示的配置相匹配，必须修改 Explorer 16 开发板的默认硬件配置。

**表 3: EXPLORER 16 跳线和电阻配置**

硬件改进	设置
跳线 JP2	短接
跳线 J7	位置 PIC24 短接
开关 S2	位置 PIM 短接
电阻 R50、R51 和 R52	板上未组装

为与表 4 所示的配置相匹配，必须修改电机控制接口 PICtail™ Plus 子板的默认硬件配置。

**表 4: 电机控制接口 PICtail plus 子板的跳线配置**

跳线	设置
J12, J11, J10	开路
J1, J4	开路
J14, J15, J16	开路
J17	短接
J6, J7, J8	开路
J13	开路

dsPICDEM™ MC1L 三相低压功率模块上的 37W\_DTYPE\_PLUG LK 电阻的默认硬件配置必须按表 5 所示的方式进行配置。

**注意：** 移去金属外壳的顶部可能会导致触电事故。在拔掉模块的电源之后，至少要等待 5 分钟，才能接触外壳中的 PCB。在移去金属外壳的顶部之前，请遵守 dsPICDEM™ MC1L 3-Phase Low Voltage Power Module User's Guide 的 Section 1.6.2 “Accessing the System” 中所述的安全规则。

**表 5: dsPICDEM™ MC1L 三相低压功率模块电阻的配置**

LK 51Ω 电阻	设置
LK22, LK24, LK25, LK26, LK30	板上已组装
LK19, LK20, LK21, LK23, LK27, LK28, LK29, LK31, LK32	板上未组装

## 数字滤波器（择多函数）

BEMF 检测法以名为“择多函数”的非线性数字滤波器为基础。在某些情况下，它也被称为“中值法”。择多函数是一种布尔函数，它取  $n$  个二进制数作为输入并返回这些数中出现次数最多的那个数。假如有 3 个布尔输入，那么它返回的是那个至少出现了两次的数（真或假）。在这种情况下，这两个相等的值占总数的 66%。择多函数总是返回那个占总数的比例为多数（> 50%）的数。表 6 给出了一个具有 3 输入的择多函数示例。

**表 6: 使用 3 个输入的择多函数示例**

A	B	C	多数
1	1	1	1
1	1	0	1
1	0	1	1
1	0	0	0
0	1	1	1
0	1	0	0
0	0	1	0
0	0	0	0

数值中的大多数可以用逻辑运算符，与（ $\wedge$ ）和或（ $\vee$ ）来表示，如公式 6 所示。

**公式 6: 择多函数的布尔表示法**

$$\text{Majority} = (A \wedge B) \vee (A \wedge C) \vee (B \wedge C)$$

## 实现算法

前文已指出，这种 BEMF 法是以检测 BEMF 信号上发生的过零事件为基础的。这一节将介绍如何利用 dsPIC DSC 器件资源及其外设来实现该算法。

对 BEMF 信号进行采样

执行算法的第一步是对 BEMF 信号进行采样。为实现这一任务，在配置 dsPIC DSC ADC 时，应使 BEMF 信号的采样频率与 PWM 的重载频率相等，这里取 20 kHz。因此，ADC 与 PWM 重载事件是同步的。

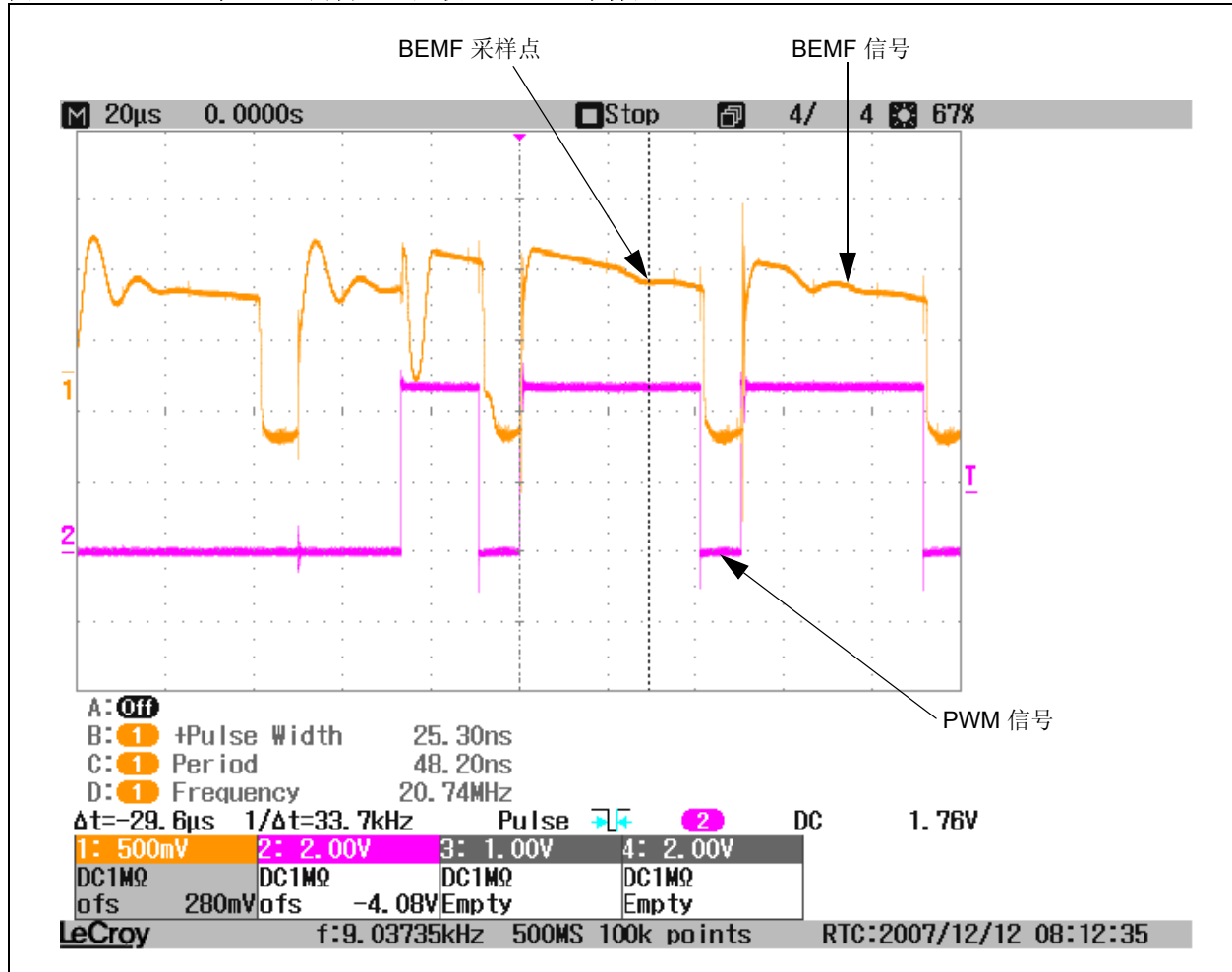
为了避免产生由电子开关引起的振铃噪声以及由绕组断电事件引起的高压尖峰脉冲等其它噪声，需将 dsPIC DSC ADC 设置为在 PWM 开通时间采样。这些噪声可能造成假的过零事件，即假的换相状态。

当电机的转速发生变化时，在 PWM 开通时刻的采样点也随之发生变化。低速时，dsPIC DSC 器件在 PWM 开通时间的 50% 处对 BEMF 信号进行采样。然而，该采样点会根据 PWM 占空比的不同，向前移动到 PWM 开通时间的 75% 这一最大点。图 10 和图 11 显示了这些采样点。

然后，利用采样到的 A、B、C 三相 BEMF 信号，通过软件来重构电机中性点。这一重构信号与采样到的 BEMF 信号进行比较以识别过零事件。在该点上，外部比较器已用软件仿真；这些软件比较器的输出是一些用二进制数表示的 BEMF 信号。这些用软件比较产生的信号仍会含有绕组断电事件引起的高压尖峰噪声以及电子开关引起的振铃噪声。

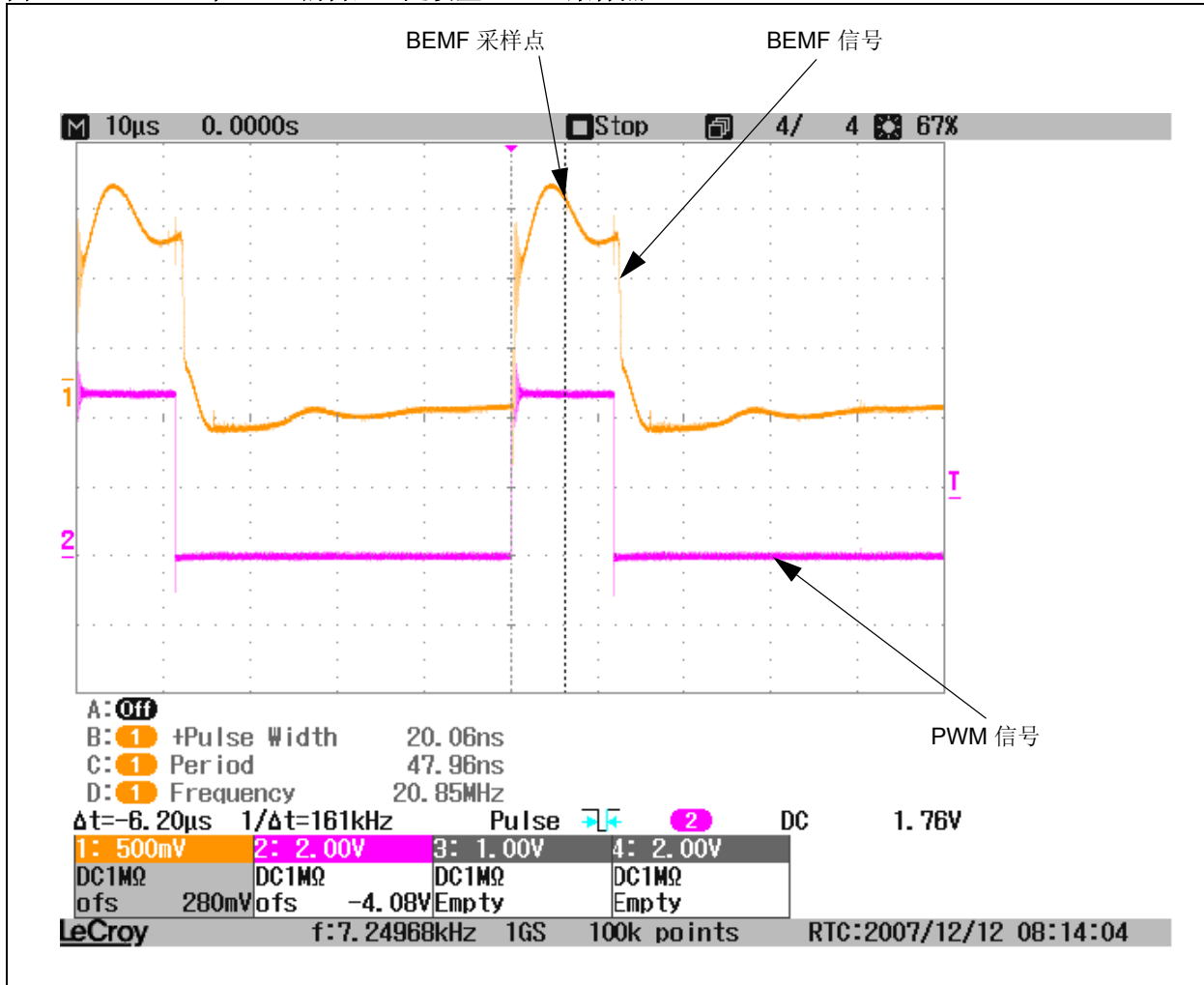
在 20 kHz 处对 BEMF 信号进行采样能够显著降低 BEMF 信号中的开关噪声；因此，在这种情况下检测过零事件较为容易。但这种混淆方法不足以完全过滤 BEMF 信号。因此，需要使用择多函数滤波器。

图 10: 在 80% 的占空比处设置 BEMF 采样点



# AN1160

图 11: 在 20% 的占空比处设置 BEMF 采样点



用择多函数滤波器对 BEMF 信号进行滤波

这种非线性滤波器的实现是基于一个 6 样本窗口，其中，三个最重要的样本中至少有 51% 应该等于“1”，而剩下三个不重要样本应该等于“0”，以识别数字 BEMF 信号中是否发生过零事件。这一步滤波处理使算法功能变得更加强大。

执行择多函数的第一步是利用两个逻辑存在符，其中，“与”操作符用来检测与当前换相状态相对应的当前 BEMF 信号，“异或”（XOR）操作符用来检测当前 BEMF 信号的下降沿或上升沿。在以下各节中，将该逻辑运算的输出称为“当前屏蔽的 BEMF 信号”。

然后，利用择多检测滤波器来对当前屏蔽的 BEMF 信号进行滤波。该滤波器在实现时，用到了一个由 64 个数值组成的数组以及一个用于修改下一个数组的指针的特殊逻辑测试条件。该逻辑测试条件还能识别当前屏蔽 BEMF 信号的下降沿和上升沿；这两个沿都能表征为逻辑测试条件输出端的“真到假”事件。该条件的输出还能用作择多检测滤波器的一个输入。

这 64 个数值表示 6 样本窗中含有当前屏蔽 BEMF 信号的  $2^6$  种可能的组合；在查找表中的每个数值都是一个指向随时间变化的下一个信号状态的指针。该滤波器不断地查找逻辑测试条件输出端的“真到假”变化，如果这个“真到假”的条件被检测到，滤波器就会查找三个连续的假状态来验证发生的过零事件。一个逻辑测试输出端的“真到假”条件表示一个过零事件，亦表示电机的一个换相状态，其在一段延时后发生。该延时等于 30 电角度对应的时间减去执行数字滤波所需要的时间。换相之后，就该检测下一个 BEMF 信号了。

这 64 个数组值可按以下方法确定：

- 前 32 个数的计算方法是用数组元素下标乘以 2，如公式 7 所示。

**公式 7： 计算数组的前一半**

$$\text{Array Value } [N] = N \cdot 2$$

- 后 32 个值用公式 8 计算。

**公式 8： 计算数组的后一半**

$$\text{Array Value } [N] = (N - 32) \cdot 2$$

**表 7： 数组值**

数组元素下标 [N]	数组值	数组元素下标 [N]	数组值
0	0	32	0
1	2	33	2
2	4	34	4
3	6	35	6
4	8	36	8
5	10	37	10
6	12	38	12
7	14	39	14
8	16	40	16
9	18	41	18
10	20	42	20
11	22	43	22
12	24	44	24
13	26	45	26
14	28	46	28
15	30	47	30
16	32	48	32
17	34	49	34
18	36	50	36
19	38	51	38
20	40	52	40
21	42	53	42
22	44	54	44
23	46	55	46
24	48	56	48
25	50	57	50
26	52	58	52
27	54	59	54
28	56	60	56
29	58	61	58
30	60	62	60
31	62	63	62

其中，共有 16 个能够表征“真到假”条件的独特数组元素下标编号。这些数依次为 24、25、26、28、40、41、42、44、48、49、50、52、56、57、58、60。由这些独特数组元素下标指向的值得用“1”来代替，以表示“真到假”条件的发生。

这 16 个独特的数组元素下标值可以利用下面的择多函数准则来选择。如果一个数组元素下标用二进制数表示时，其前三个最高有效位中包含了大多数“1”(> 50%)，而三个最低有效位中包含了大多数“0”，那么该数组元素下标就是一个独特的值。表 8 显示了与这两个条件相匹配的 16 个可能的编号。

**表 8:** 能够表征当前屏蔽 BEMF 中的真到假条件的 16 个独特编号

编号	6 位二进制表示
24	011000
25	011001
26	011010
28	011100
40	101000
41	101001
42	101010
44	101100
48	110000
49	110001
50	110010
52	110100
56	111000
57	111001
58	111010
60	111100

剩下的 48 个数组编号是指向独特值的指针，以防真到假条件发生。有些数值从不指向任何一个独特值，因为它们不是这 16 个独特编号中任何一个的倍数。表 9 给出了一些符合这种条件的编号。

**表 9:** 值为独特编号倍数的编号

编号	6 位二进制表示	左移的次数	被指向的独特数值	独特编号的 6 位二进制表示
3	000011	3	24	011000
11	001011	3	24	011000
54	110110	1	44	101000
7	000111	2	28	011100

然后，这些编号（从不指向任何一个 16 位独特编号）指向其倍数并以滤波器不断等待一个指向独特值的新值的方式陷入循环。表 10 显示了那些其值不是独特值的倍数的编号。

**表 10:** 从不指向独特值的编号

编号	6 位二进制表示	在变为零前被指向的编号	右移的次数
1	000001	2, 4, 8, 16, 32	5
9	001001	18, 36, 8, 16, 32	5
36	100100	8, 16, 32	3
17	010001	34, 4, 8, 16, 32	5

表 11 给出了一套完整的滤波器系数。

**表 11:** 择多滤波器系数

数组元素下标 [N]	数组值	数组 (独特编号)	数组元素下标 [N]	数组值	数组 (独特编号)
0	0	0	32	0	0
1	2	2	33	2	2
2	4	4	34	4	4
3	6	6	35	6	6
4	8	8	36	8	8
5	10	10	37	10	10
6	12	12	38	12	12
7	14	14	39	14	14
8	16	16	40	16	1
9	18	18	41	18	1
10	20	20	42	20	1
11	22	22	43	22	22
12	24	24	44	24	1
13	26	26	45	26	26
14	28	28	46	28	28
15	30	30	47	30	30
16	32	32	48	32	1
17	34	34	49	34	1
18	36	36	50	36	1
19	38	38	51	38	38
20	40	40	52	40	1
21	42	42	53	42	42
22	44	44	54	44	44
23	46	46	55	46	46
24	48	1	56	48	1
25	50	1	57	50	1
26	52	1	58	52	1
27	54	54	59	54	54
28	56	1	60	56	1
29	58	58	61	58	58
30	60	60	62	60	60
31	62	62	63	62	62

表 12 给出了一个完整的滤波过程示例，其输入是一些用二进制数表示的无噪声的 BEMF 信号。表 13 也给出了一个完整的滤波过程示例，但其输入是一些用二进制数表示的有噪声的 BEMF 信号。

表 12: 使用无噪声的 BEMF 信号的数字滤波计算示例

电角度	BEMF 相			“异或”屏蔽相			“与”屏蔽相			逻辑测试条件	换相步	数字滤波器输出	过零事件	“与”屏蔽	“异或”屏蔽
	C	B	A	C	B	A	C	B	A						
0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	假	000	000
3	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	假	010	000
6	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	2	假	001	111
9	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	6	假	100	000
12	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	14	假	010	111
15	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	30	假	001	000
18	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	62	假	100	111
21	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	62	假	000	000
24	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	62	假	—	—
27	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	62	假	—	—
30	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	62	假	—	—
33	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	62	假	—	—
36	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	62	假	—	—
39	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	62	假	—	—
42	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	62	假	—	—
45	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	62	假	—	—
48	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	62	假	—	—
51	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	62	假	—	—
54	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	62	假	—	—
57	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	62	假	—	—
60	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	62	假	—	—
63	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	60	假	—	—
66	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	假	—	—
69	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	真	—	—
72	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	4	假	—	—
75	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	10	假	—	—
78	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	22	假	—	—
81	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	46	假	—	—
84	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	30	假	—	—
87	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	62	假	—	—

# AN1160

表 12: 使用无噪声的 BEMF 信号的数字滤波计算示例 (续)

电角度	BEMF 相			“异或”屏蔽相			“与”屏蔽相			逻辑测试条件	换相步	数字滤波器输出	噪声是否通过	“与”屏蔽	“异或”屏蔽
	C	B	A	C	B	A	C	B	A						
90	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	62	假	—	—
93	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	62	假	—	—
96	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	62	假	—	—
99	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	62	假	—	—
102	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	62	假	—	—
105	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	62	假	—	—
108	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	62	假	—	—
111	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	62	假	—	—
114	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	62	假	—	—
117	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	62	假	—	—
120	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	2	62	假	—	—
123	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	2	60	假	—	—
126	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	2	1	假	—	—
129	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	2	2	真	—	—
132	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	3	4	假	—	—



表 13: 使用有噪声的 BEMF 信号的数字滤波计算示例

电角度	BEMF 相			“异或”屏蔽相			“与”屏蔽相			逻辑测试条件	换相步	出 数字滤波器输出	零 过事件	“与”屏 蔽	“异或” 屏蔽
	C	B	A	C	B	A	C	B	A						
0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	假	000	000
3	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	假	010	000
6	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	2	假	001	111
9	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	4	假	100	000
12	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	10	假	010	111
15	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	22	假	001	000
18	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	46	假	100	111
21	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	假	000	000
24	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	2	假	—	—
27	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	6	假	—	—
30	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	14	假	—	—
33	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	30	假	—	—
36	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	62	假	—	—
39	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	假	—	—
42	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	2	假	—	—
45	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	6	假	—	—
48	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	12	假	—	—
51	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	26	假	—	—
54	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	54	假	—	—
57	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	假	—	—
60	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	真	—	—
63	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	2	4	假	—	—
66	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	10	假	—	—
69	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	2	22	假	—	—
72	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	2	44	假	—	—
75	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	1	假	—	—
78	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	2	2	假	—	—
81	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	4	假	—	—
84	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	2	10	假	—	—
87	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	2	22	假	—	—
90	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	2	44	假	—	—
93	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	1	假	—	—
96	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	2	2	假	—	—
99	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	2	4	假	—	—
102	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	10	假	—	—

# AN1160

表 13: 使用有噪声的 BEMF 信号的数字滤波计算示例 (续)

电角度	BEMF 相			“异或”屏蔽相			“与”屏蔽相			逻辑测试条件	换相步	数字滤波器输出	零事件	“与”屏蔽	“异或”屏蔽
	C	B	A	C	B	A	C	B	A						
105	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	22	假	—	—
108	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	2	46	假	—	—
111	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	1	假	—	—
114	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	2	2	假	—	—
117	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	2	6	假	—	—
120	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	2	14	假	—	—
123	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	2	28	假	—	—
126	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	2	1	假	—	—
129	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	2	2	真	—	—
132	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	3	4	假	—	—

由这些计算示例可知，BEMF 信号的二进制表示是在 BEMF 采样信号与虚拟中性点电压比较之后生成的。上面两个表中使用的采样频率并不一定是 20 KHz，可见，该示例中的样本是按随机采样频率进行随机采样而得到的。

当检测到过零事件时，dsPIC DSC 器件会经一个延时后，根据 6 个换相步来对驱动电压进行换相。为保持定子磁场超前于转子磁场，必须在精确的转子位置处进行一个扇区到另一个扇区的切换，才能获得最佳转矩。

该换相延迟时间等于 30 电角度对应的时间减去执行数字滤波过程所需要的时间。为了确定这一换相延迟时间，需使用 dsPIC DSC 上的一个通用片上定时器来测量两个过零事件之间的时间间隔。该间隔等于 60 电角度对应的时间。

假设检测到一个过零事件时，没有发生相位延迟，那么下一次换相应发生在电机再旋转 30 度之后。将定时器捕获到的值除以 2 就得到了 30 电角度对应的时间。然后将该值装载到另一个定时器的周期寄存器中来产生换相延迟；这一定时器也称为换相定时器。当发生换相定时器中断时，就到了将电机绕组换相到下一个状态的时刻了。

### 启动序列

电机启动序列分为以下两个阶段：

- 在 1 毫秒内，按照预定义换相序列施加 1024 个脉冲以确定电机位置。
- 然后通过施加正确的换相步（具有所需的最小占空比），在开环模式下运转电机，以结束电机的空闲状态。

对于 HURST 电机来说，克服静止惯性所需的 PWM 占空比为 7.5%。一旦电机旋转起来，BEMF 信号就可以被检测到，该算法既可用于开环模式又可用于闭环模式。

### 控制环

在某种程度上，BLDC 电机是同步运行的，这是一个值得关注的特性。这意味着对于给定负载、所施加电压和换相率，电机的开环旋转速率将与换相速率保持一致，只要这三个变量的值与其理想值没有偏离太多。该理想值由电机的电压和转矩常数来确定。

对于所施加电压，当换相率太低时，BEMF 就会太小，从而引起电机电流较大。于是，电机将加速到下一个换相位置，然后减速，等待下一次换相。

在相反的情况下，BLDC 电机像步进电机一样，移动到每个位置处卡住，直到下一次换相发生。由于电机能够加速到比换相率还高的速率处，因此，在不失锁的情况下，电机可以运行于比理想情况慢得多的速率下，但这样会消耗过多的电流。

如果换相时刻来得太早，以致于电机无法加速足够快来赶上下一次换相，就会发生失锁现象，电机慢下来。这种情况会在离理想速率不远的地方突然发生。像发生电机响应不连续的情况一样，突然失锁会使闭环控制变得困难。代替闭环控制的一个方法是，调整换相率直到实现自锁开环控制为止。

该应用软件中有两种控制模式可供电机进行无传感器运行时使用。这两种模式为：

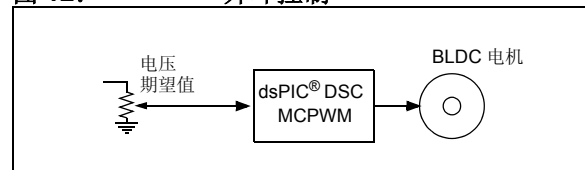
- 开环
- 闭环

### 开环模式

当电机上所带负载是其运行范围内的常数时，电机转速对所施加电压的响应曲线是线性的。如果电源电压非常稳定，且转矩负载恒定，那么电机可在整个速度范围内开环运行。

假定进行脉冲宽度调制时，有效电压与 PWM 占空比线性成比例。那么，将 PWM 占空比与一个 16 位变量对应起来就可以实现开环控制器。该 16 位变量的值可通过一个电位器来设置，利用一路 ADC 通道来检测跨接到电位器端间的电压。该模式的框图如图 12 所示。

图 12: 开环控制



该模数转换值以 10 位无符号整数的形式进行传送；因此，这些转换值的取值范围是 0 – 1024。为了与 PWM 占空比的范围相匹配，需要对该转换值进行换算（见公式 9）。在该应用示例中，PWM 占空比的取值范围是 0 到 1473。

## 公式 9: 计算 PWM 占空比的范围

$$PWM_{占空比范围} = \frac{F_{CY}}{F_{PWM}} - 1$$

其中

$F_{CY}$  为系统频率, 大约 29.4 MHz

$F_{PWM}$  为期望 PWM 频率, 本应用中为 20 kHz

在对 MCPWM、ADC、各端口 以及 Timer3 进行初始化之后, 程序等待一个激活信号 (如一次按键) 来启动电机运转 (见图 14)。当按键被按下时, 程序就开始执行启动序列, 对 BEMF 信号和电位器值进行采样再进行滤波。

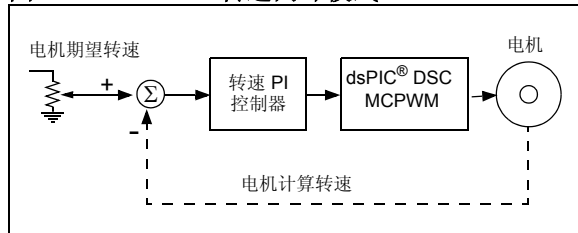
基于过零事件和电流换相状态, 程序通过查表, 从中取一个相应的值写到 PWM OVDCON 寄存器中, 来设置换相延迟之后的下一个换相步的电子开关状态。该程序流程图如图 16 和图 17 所示。

最初, 占空比的默认值设置为 7.5%。但就在紧接着的 ADC 中断服务程序中, 对电位器进行了读操作和换算。得到的值一旦被复制到 PWM PDCx 寄存器中, 就作为占空比嵌入。这一操作能够决定电机的转速。PDCx 寄存器中的值越大, 电机转得越快。

### 闭环模式

在闭环模式中, 转速控制环用于控制传送到电机的 PWM 占空比。转速期望值由电位器的值来确定, 该值需进行换算以满足所期望的速度范围。该速度控制器通过一个 PI 控制器来实现, 以补偿电机期望转速与计算转速之间的误差。图 13 显示了转速闭环模式的框图。

图 13: 转速闭环模式



根据公式 1、公式 2 和公式 3, 如果已知电机的极对数和每秒电转速, 就可以确定电机的转速。一个每秒电气转速等于一个六步换相周期, 而每秒机械转速与六步换相周期的个数直接相关。

对于一台具有两对极的电机 (或称 4 极电机) 来说, 需要执行两个六步换相周期才能完成一个完整的机械周期。因此, 可以通过计算六步换相周期的个数, 然后将其与电机的极对数进行比较来计算每秒机械转速。

为测量每秒机械转速, 需将 Timer3 配置为在自由运行向上计数模式下运行, 将系统时钟频率 (约 29.4 MHz) 进行 256 分频后作为时基 (8.68 μs)。在该时基下, Timer3 能够从 8.68 μs 计数到 568.84 ms。因此, 该方法能够以足够的分辨率来精确地确定电机的转速 (无论是低速还是高速)。

然后, 每完成一次 N 个六步换相周期, Timer3 就被触发一次。实际上, 因数 N 是电机的极对数。因此, 每完成一个每秒机械转速, Timer3 被触发一次。

一旦当前转速计算出来, 就将其与电位器换算值设定的期望转速进行比较。然后计算期望转速与当前转速之间的比例和积分误差, 再乘以 PI 常数, 如公式 10 所示。

## 公式 10: PI 控制器计算

$$转速误差 = 期望转速 - 当前转速$$

$$积分误差 = 积分误差 + 转速误差$$

$$PI 输出 = (k_p) \cdot (转速误差) + (K_i) \cdot (积分误差)$$

接下来, 对 PI 输出进行标度, 以匹配 PWM 占空比的范围。图 14、图 15 和图 16 显示了开环模式和闭环模式下的完整软件流程图。

图 14: 主程序

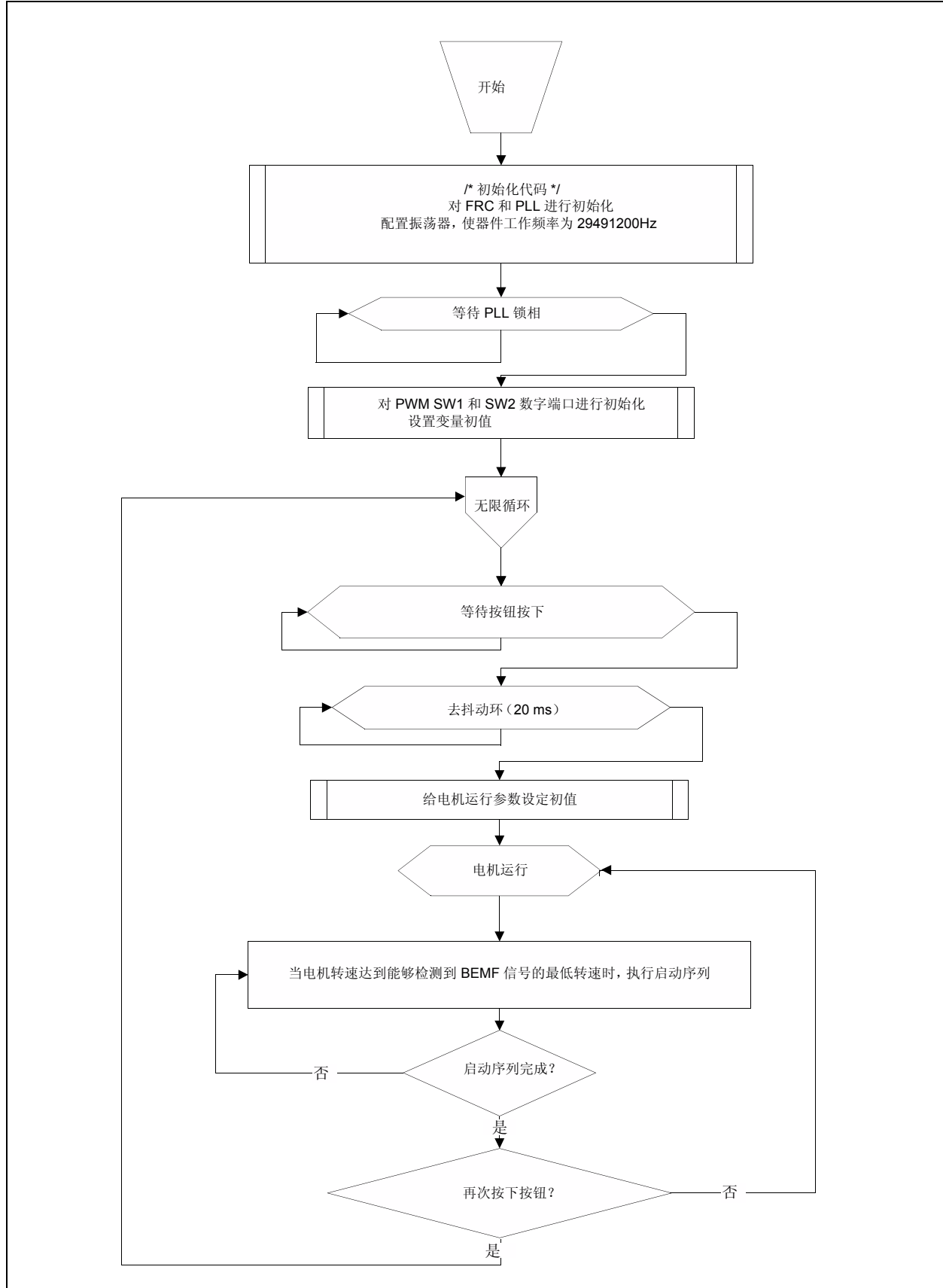


图 15: ADC 中断服务程序

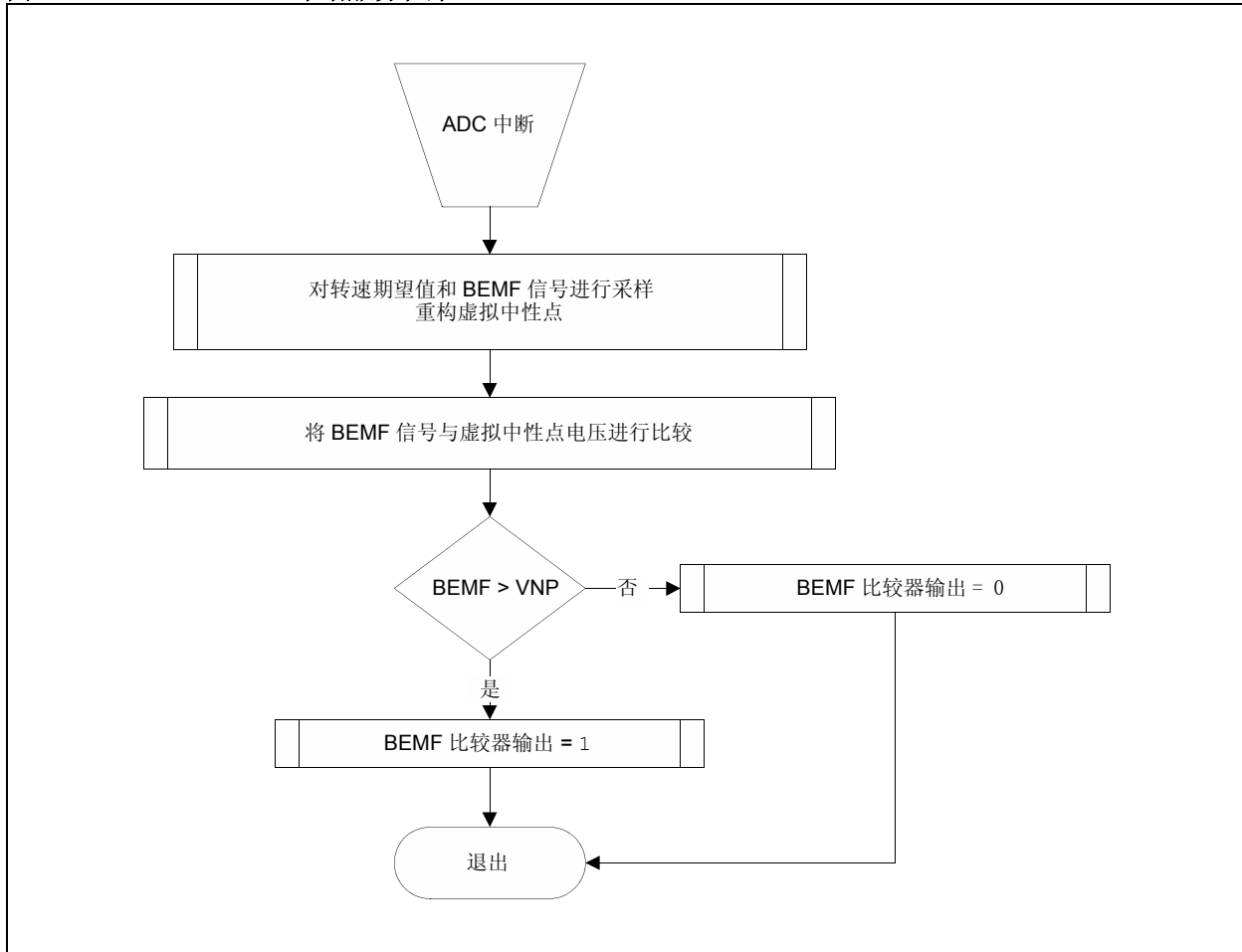


图 16: PWM 中断服务程序

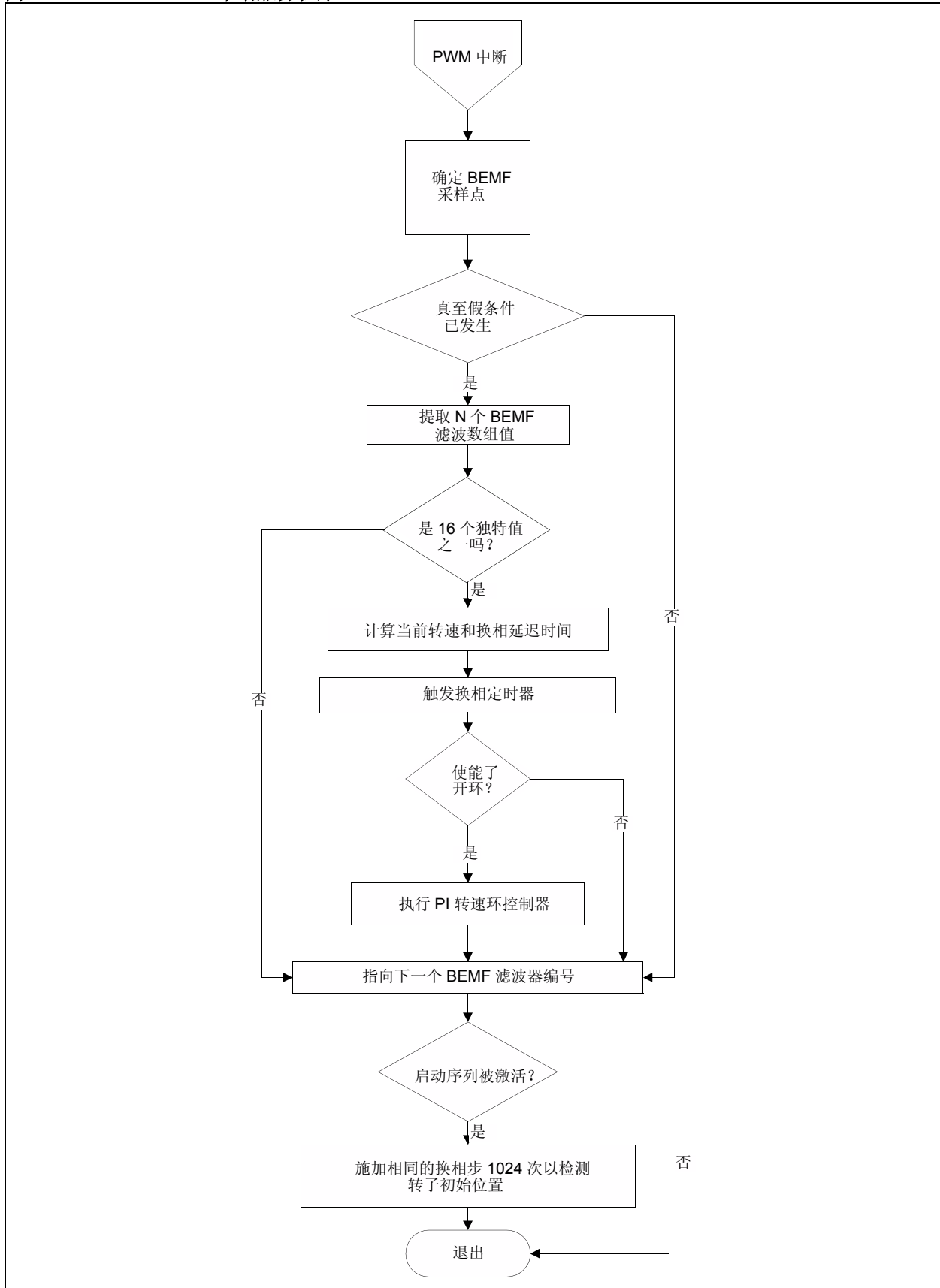
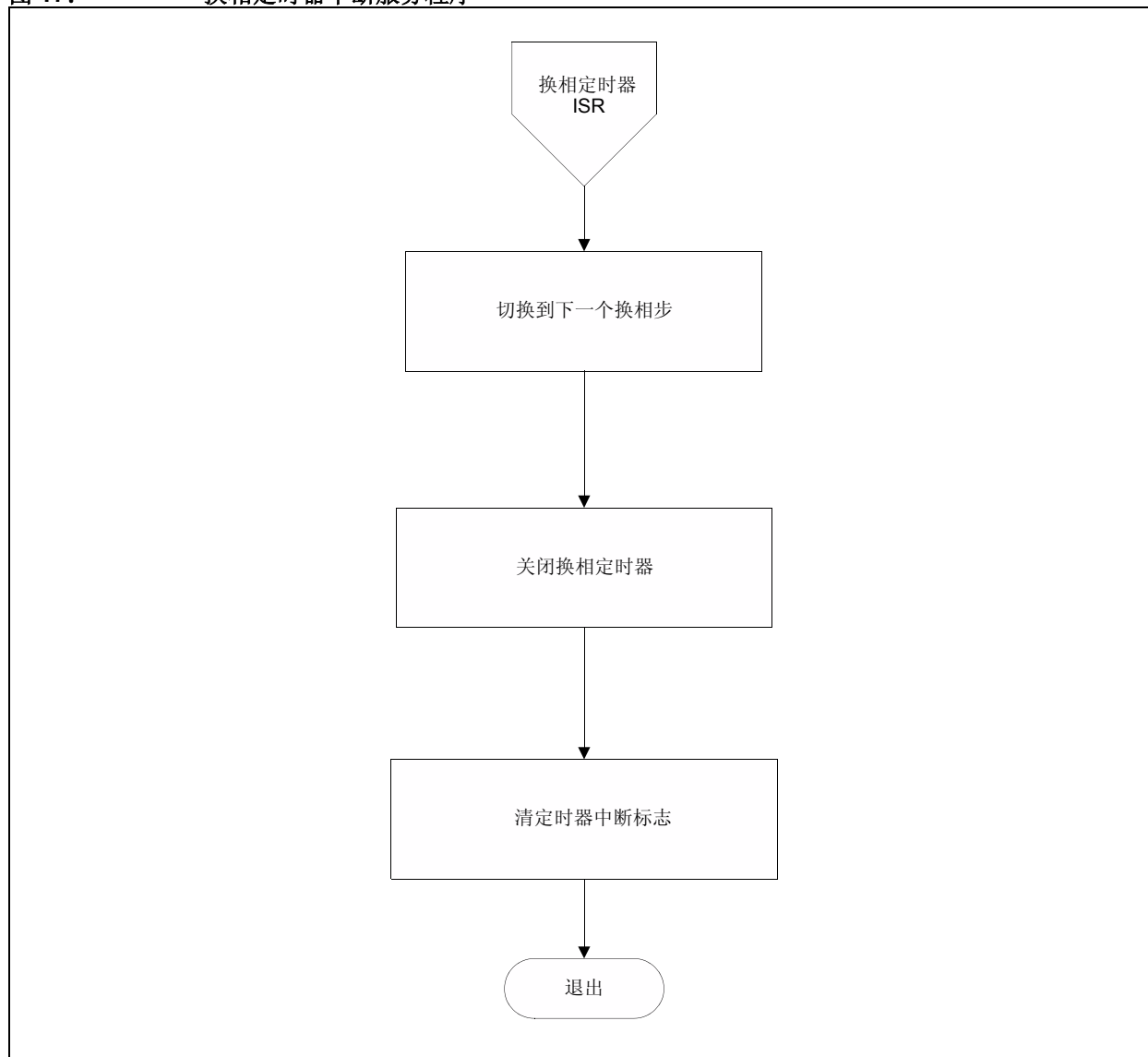


图 17: 换相定时器中断服务程序





## 结论

该应用笔记的对象是希望利用这种简单实用的新型 BLCD 控制技术来驱动无传感器 BLCD 电机的开发人员，这种方法无需使用分立的低通滤波硬件和片外比较器。

此外，这种新的控制方法是一种基于单片 dsPIC DSC 器件的解决方案，除了需要几个电阻，用来将 BEMF 信号限制在 dsPIC DSC 器件 ADC 的工作电压范围之内之外，不需要其它外部硬件。该算法使用基于择多检测函数的非线性数字滤波器来检测旋转 BLDC 电机产生的反电动势信号。

需指出，该方法与先前 Microchip 公司提供的应用笔记 AN901、AN992 或 AN1083（见“参考文献”）有很大的差异。下面介绍一下它们之间最主要的差别。

AN1083 中采用的 ADC 是以很高的采样频率对 BEMF 进行采样的。这些样本再经 IIR 滤波器处理来重构 BEMF 信号，而用来识别过零事件的阈值电压为  $V_{bus}/2$ 。该文献也使用定时器来确定 IIR 滤波处理引起的换相延迟时间。在低速时，它对三个 BEMF 信号进行滤波，使用一个定时器来确保六个换相步准时发生。而在高速时，它仅对一个 BEMF 信号进行滤波，使用三个定时器来确保六个换相步准时发生。

AN901 中介绍的方法在 PWM 关断时刻进行采样，但 PWM 信号的极性被翻转，因此，其结果与在 PWM 开通时刻进行采样相似。在这种情况下，信号采样点是一个靠近 PWM 关断时刻末尾的固定点。然后将这些采样到的信号与  $V_{bus}/2$  作比较以确定过零事件的发生。这可以利用一个  $n$ - 样本窗来实现。包含在  $n$ - 样本窗中的各样本与  $V_{bus}/2$  进行比较。如果这些样本的前一半低于  $V_{bus}/2$ ，而后一半高于  $V_{bus}/2$ ，那么，这意味着一个真的过零事件已发生。

数字滤波器的使用使得反电动势信号上过零事件的检测更为精确。当过零事件被 dsPIC DSC 器件检测到时，它就为算法提供了实现电机绕组换相所需要的信息。

精确检测反电动势上的过零事件是实现 BLDC 电机（由六步或梯形换相来驱动）无传感器控制的关键。与使用硬件滤波器或外部比较器的场合相反，使用数字滤波器所需的硬件少，从而节省了成本，减小了 PCB 的体积。

## 参考文献

- Valiant, L. (1984), "Short Monotone Formulae for the Majority Function", Journal of Algorithms 5: 363–366.
- "Modern Power Electronics and AC Drives", B. Bose, Prentice Hall PTR, ISBN 0130167436
- "Electric Motors and Drives", A. Hughes, Heinemann Newnes, ISBN 0750617411
- "Brushless Permanent Magnet and Reluctance Motor Drives", T. Miller, Oxford Clarendon, ISBN 0198593694
- K. Iizuka et. al., "Microcomputer Control for Sensorless Brushless Motor", IEEE Transactions on Industrial Applications, Vol. 21, No.4 1985, pp 595-601
- AN857, "Brushless DC Motor Control Made Easy", Microchip Technology Inc., 2002
- AN901, 《dsPIC30F 在无传感器 BLDC 控制中的应用》，Microchip Technology Inc., 2007
- AN957, 《使用 dsPIC30F2010 控制带传感器的 BLDC 电机》，Microchip Technology Inc., 2005
- AN970, "Using the PIC18F2431 for Sensorless Motor Control", Microchip Technology Inc., 2005
- AN992, 《用 dsPIC30F2010 控制无传感器 BLDC 电机》，Microchip Technology Inc., 2005
- AN1017, 《使用 dsPIC30F DSC 实现 PMSM 电机的正弦驱动》，Microchip Technology Inc., 2005
- AN1078, 《PMSM 电机的无传感器磁场定向控制》，Microchip Technology Inc., 2007

# AN1160

---

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、Accuron、dsPIC、KEELOQ、KEELOQ 徽标、MPLAB、PIC、PICmicro、PICSTART、rfPIC、SmartShun 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、Linear Active Thermistor、MXDEV、MXLAB、SEEVAL、SmartSensor 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、In-Circuit Serial Programming、ICSP、ICEPIC、Mindi、MiWi、MPASM、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、mTouch、PICKit、PICDEM、PICDEM.net、PICtail、PIC<sup>32</sup> 徽标、PowerCal、PowerInfo、PowerMate、PowerTool、REAL ICE、rfLAB、Select Mode、Total Endurance、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。

© 2008, 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<sup>®</sup> MCU 与 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 and 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和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。



**MICROCHIP**

## 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](http://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

#### 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: 886-3-572-9526  
Fax: 886-3-572-6459

### 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: 91-80-4182-8400  
Fax: 91-80-4182-8422

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

01/02/08