

功率因数校正（PFC）与无传感器磁场定向控制（FOC）的集成系统

作者: Vinaya Skanda
Microchip Technology Inc.

引言

近年来,设计适用于各种应用场合的节能型电机驱动器已成为电机控制行业的研究焦点。消费者对电能质量要求的逐步提高也推动了这一趋势。电能质量的提高可以通过进行功率因数校正 (Power Factor Correction, PFC) 来实现,而电机的高效控制可以通过使用无传感器磁场定向控制 (Field Oriented Control, FOC) 技术来实现。家电业通常要求这些算法能够得以低成本的方式加以实现。这可通过将 PFC 和无传感器 FOC 算法集成在单片数字信号控制器 (Digital Signal Controller, DSC) 上来实现。

本应用笔记介绍如何将这两种复杂的应用,即 PFC 和无传感器 FOC,进行集成的方法。这些应用算法是在永磁同步电机 (Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM) 上加以实现的。此外,该应用笔记还介绍了这些算法的集成方法,列出了必要的硬件要求以及提供了如何优化开发过程的指导建议。该集成方案基于以下这些应用笔记:

- AN1106,《使用 dsPIC® DSC 实现能量转换应用中的功率因数校正》(DS01106A_CN)
- AN1078,《PMSM 电机的无传感器磁场定向控制》(DS01078A_CN)

应用笔记 AN1106 中介绍了功率因数校正 (PFC) 方法,而应用笔记 AN1078 中介绍了无传感器磁场定向控制 (FOC) 方法。这两篇应用笔记均给出了详细的数字化设计和实现方法。本应用笔记是上述应用笔记的补遗。

本集成应用是在以下两种 dsPIC® DSC 器件上实现的:

- dsPIC30F
- dsPIC33F

低成本、高性能的 DSC,与模数转换器 (ADC) 和脉冲宽度调制器 (PWM) 等各类电力电子外设的结合使用,使得这样一个复杂应用的数字化设计和实现变得更加简单方便。

数字化的 PFC 与电机控制

大多数电机控制系统通常将 PFC 作为系统的第一级。由于逆变器中开关器件的存在,若没有 PFC 输入级,那么所产生的电流中将会含有显著的谐波分量。此外,由于电机负载的高度感性,输入电流将会给输入系统引入大量无功功率,从而降低整个系统的效率。PFC 级作为电机控制应用中的一个前端转换器,能够较好地调节输出电压以及降低输入电流中的谐波含量。在这些应用中,按照平均电流模式控制的标准升压转换器拓扑是实现数字化 PFC 的首选方法。

双分流无传感器 FOC 法是一种驱动 PMSM 电机的转速控制方法。它克服了那些无法配置位置和速度传感器的应用中存在的限制条件。PMSM 电机的速度和位置可以通过测量相电流来估算。由于转子上的永磁体能够产生恒定的转子磁场,因此,在这些应用中使用 PMSM 电机可实现较高的效率。与感应电机相比,对于同样的体积,PMSM 电机具有更高的功率。与直流电机相比,由于没有使用电刷,PMSM 电机具有较低的噪声。因此,本应用场合选用 PMSM 电机。

使用数字信号处理器的原因

dsPIC® DSC 器件适用于那些可以在不同频率下运行多种算法以及使用多种外部设备来驱动各种电路的复杂应用场合。这些应用场合 (如洗衣机,电冰箱和空调) 使用各种电机控制外设来精确控制电机在不同工作负载下的转速。本 PFC 和无传感器 FOC 集成系统采用下列外设:

- 脉冲宽度调制器 (Pulse Width Modulator, PWM)
- 模数转换器 (Analog-to-Digital Converter, ADC)
- 正交编码器接口 (Quadrature Encoder Interface, QEI)

这些外设具有以下主要特性：

- 多源触发 ADC
- 输入转换速率最快为 1Msp
- 同步采样多个模拟通道技术
- 故障检测与处理能力
- 丰富的单周期 DSP 指令系统（如 MAC）

系统概述

图 1 显示了一个 PFC 和无传感器 FOC 集成系统的结构图。

第一级是一个将输入线电压转化为直流电压的整流级。该整流后的直流电压又是第二级即升压转换器级的输入。

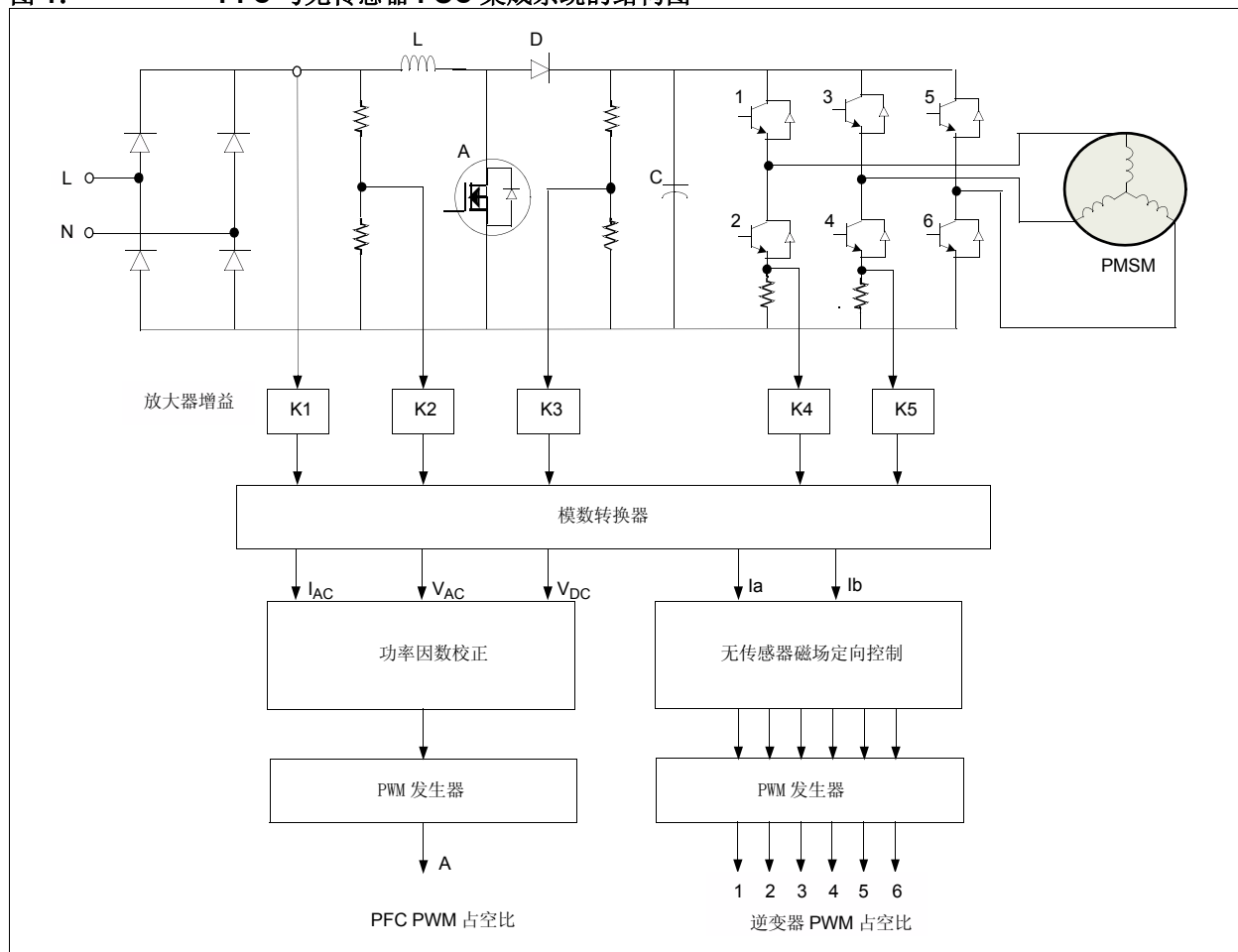
在第二级中，升压转换器将输入电压升高，并使电感电流的形状与整流后的交流电压的形状相似。这可以通过进行数字化的功率因数校正来实现。平均电流模式控制

法用于在 dsPIC[®] DSC 器件上实现 PFC。在这种控制方法中，通过改变电流幅值信号的平均值来控制输出直流电压。该电流幅值信号可用数字化方法来计算。

集成系统的第三级和最后一级是一个将直流电压转化为三相电压的三相逆变器。该转化后的三相电压作为 PMSM 电机的输入。这一级通过在 dsPIC[®] DSC 器件上实施无传感器 FOC 策略来控制。无传感器 FOC 法对流入 PMSM 中的定子电流进行控制以满足系统对期望转速和转矩的要求。所需的位置和转速信息通过在 dsPIC[®] DSC 上进行数学运算来估算。

集成系统采用五个补偿器来实现 PFC 和无传感器 FOC 算法。PFC 法使用两个补偿器来控制电压和电流控制环，而无传感器 FOC 法使用三个补偿器来控制转速控制环、转矩控制环和磁链控制环。所有这些补偿器都是利用比例 - 积分（Proportional-Integral, PI）控制器来实现的。

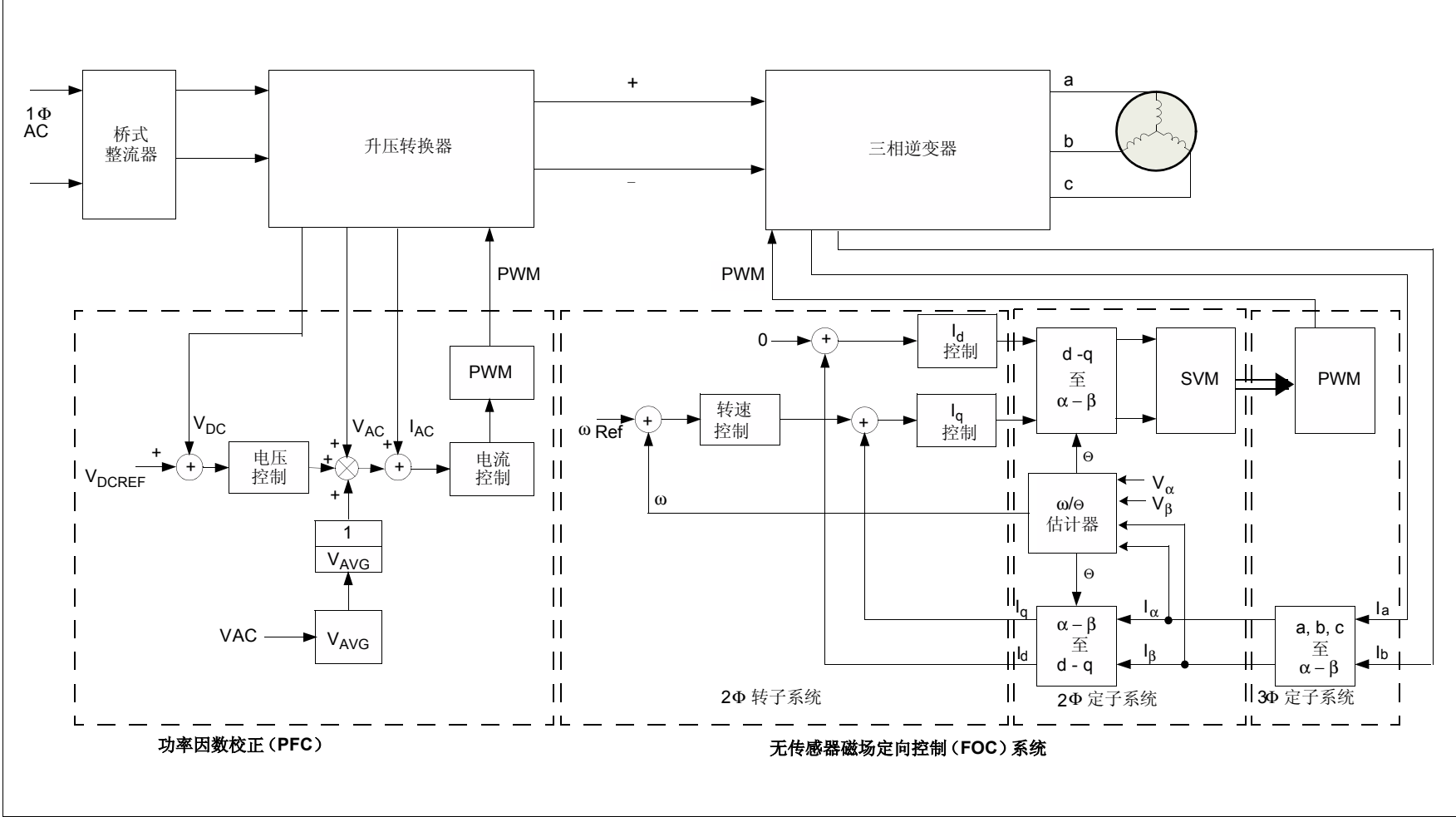
图 1： PFC 与无传感器 FOC 集成系统的结构图



PFC 和无传感器 FOC 算法的数字化实现的新方法

图 2 显示了采用 dsPIC® DSC 器件来实现数字化的 PFC 和无传感器 FOC 控制环的结构图。

图 2: 数字化的 PFC 与无传感器 FOC 的结构图



数字化的功率因数校正

电感电流 (I_{AC})、输入交流整流电压 (V_{AC}) 和直流输出电压 (V_{DC}) 可用作实现数字化 PFC 时的反馈信号。这些信号经硬件增益调理后，作为 ADC 模块模拟通道的输入信号。

PFC 算法采用三个控制环：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，计算其偏差以补偿输出电压的变化。输出电压是通过改变电流幅值信号的平均值来控制的。

电流幅值信号是通过计算整流输入电压、电压误差补偿器输出和电压前馈补偿器输出三者的乘积来得到的。

整流输入电压应成倍增加以确保电流信号波形与输入电压波形具有相同的形状。电流信号应尽可能接近地匹配整流电压以便获得较高的功率因数。

由于能够补偿输入电压的变化量，因此电压前馈补偿器对于维持给定负载下的恒定输出功率是至关重要的。电流信号一旦计算出来，就被反馈到电流补偿器中。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 PWM 模块来驱动。

读者可参阅应用笔记 AN1106，《使用 dsPIC[®] DSC 实现能量转换应用中的功率因数校正》(DS01106A_CN) 来获得这种控制方法的系统设计和数字化实现方面的信息。

无传感器磁场定向控制

无传感器 FOC 法采用相电流 I_a 和 I_b 作为反馈信号。而第三相电流 I_c 是通过进行数字化计算得到的。这三相电流在用 Park 变换转化为转子系下两相电流之前，先用 Clarke 变换转化为定子系下的两相电流。这种转换得到了两个计算电流分量： I_d 和 I_q 。磁链是电流 I_d 的函数，而转子转矩是电流 I_q 的函数。

位置估计器用于估计转子位置和速度信息。电机模型使用电压和电流来估算位置。电机模型主要使用位置观测器来间接获得转子位置信息。PMSM 模型是基于直流电机模型。

在对转速进行数学估算之后，期望转速与所得估计转速之间的偏差反馈到转速补偿器中。转速补偿器的输出作为 I_q 补偿器的参考值。对于永磁电机来说， I_d 补偿器的参考值为零。用于 I_q 和 I_d 的 PI 控制器能够补偿转矩和磁链偏差，并分别生成 V_d 和 V_q 作为输出信号。

Park 逆变换和空间矢量调制 (SVM) 技术适用于生成绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 的占空比。电机控制 PWM 模块用于产生 PWM 脉冲。

读者可参阅应用笔记 AN1078，《PMSM 电机的无传感器磁场定向控制》(DS01078A_CN)，以获取如何设计、实现和调节补偿器方面的信息。

以下各节将介绍开发集成系统时的执行详情和硬件配置详情。

基于 dsPIC[®] DSC 器件实现集成的 PFC 和无传感器 FOC 控制

当采用 dsPIC30F 和 dsPIC33F 器件来执行本集成系统时，用到了以下控制参数和程序：

- PFC PWM 频率 : 80 kHz
- FOC PWM 频率 : 8 kHz
- PFC 控制环频率 : 40 kHz
- FOC 控制环 : 8 kHz
- PFC 程序的执行点：ADC ISR
- FOC 程序的执行点：PWM ISR
- ADC 的触发源：定时器

图 3 显示了 PFC 和无传感器 FOC 集成系统的时序图。

图 4 至图 6 显示了该集成系统的状态流程图。

图 3: 时序图

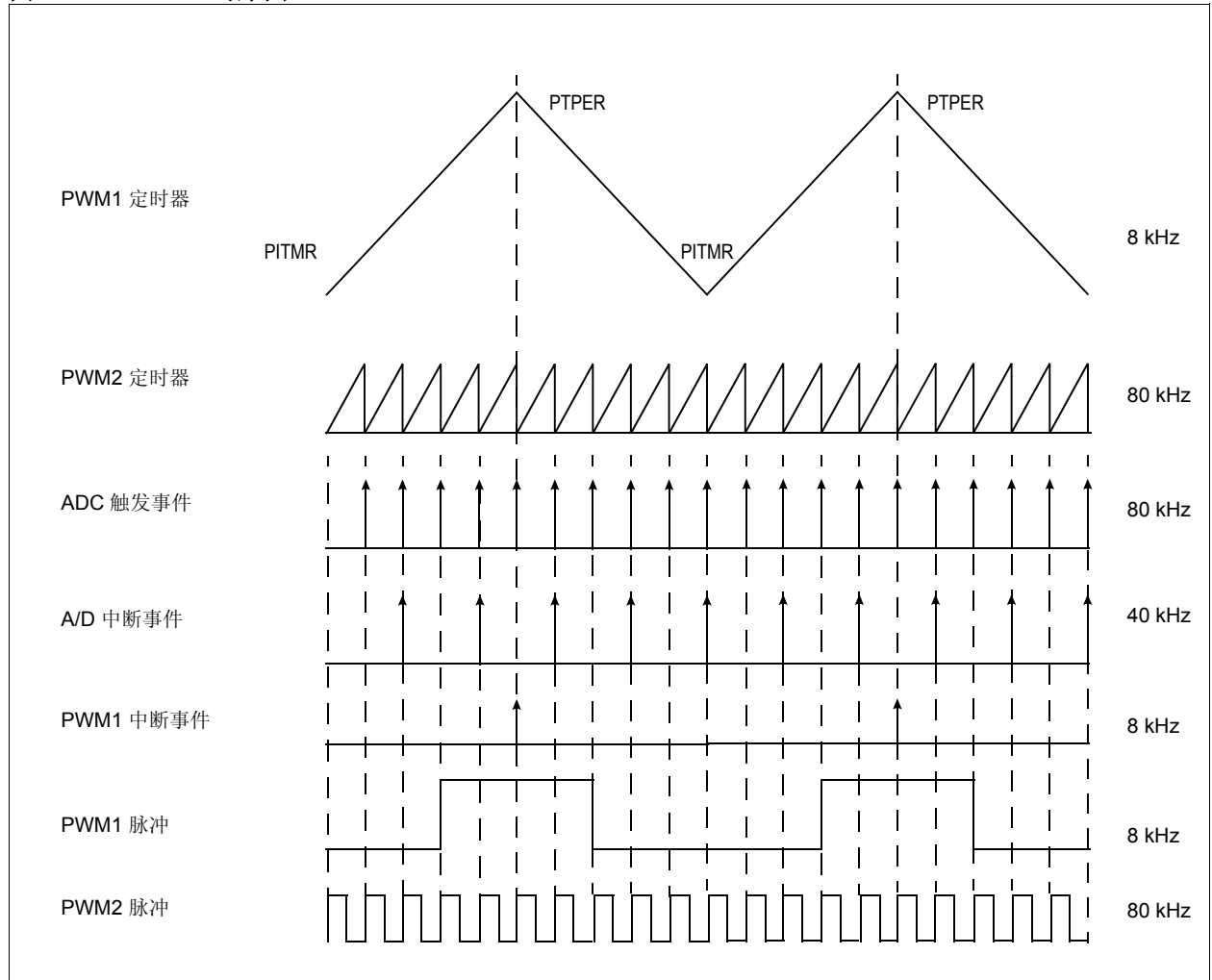


图 4: 集成系统的状态流程图

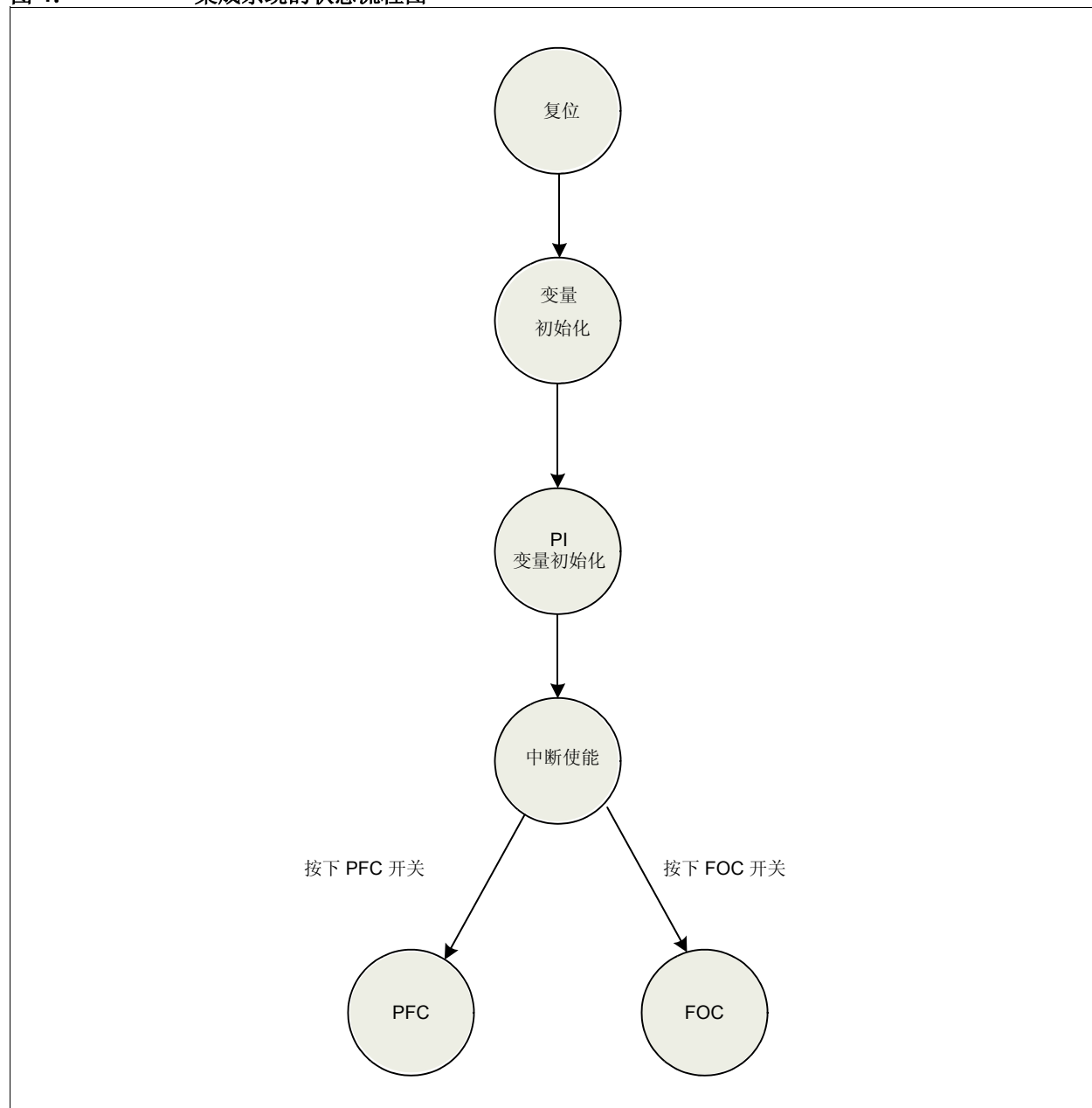


图 5: 数字化 PFC 的状态流程图

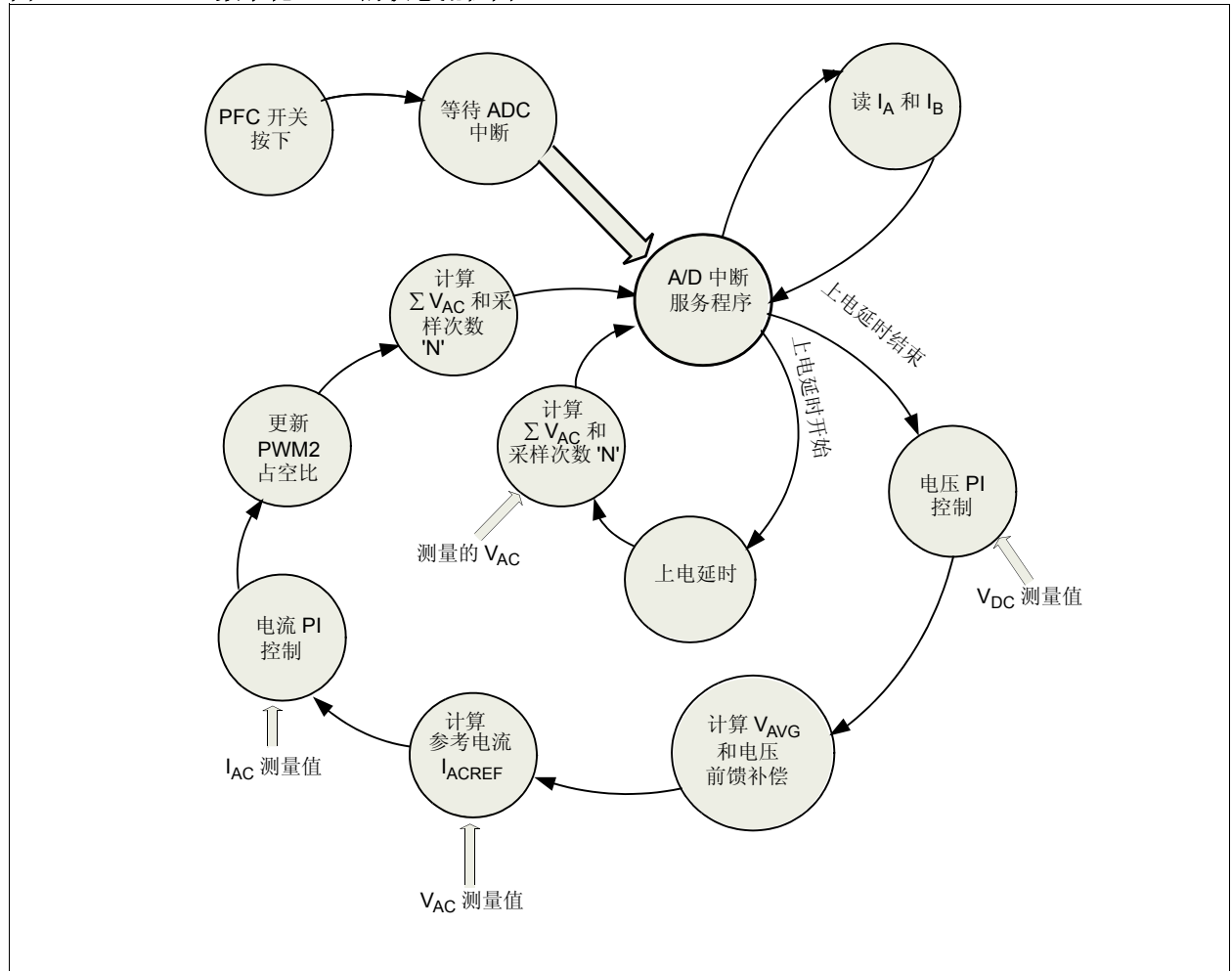
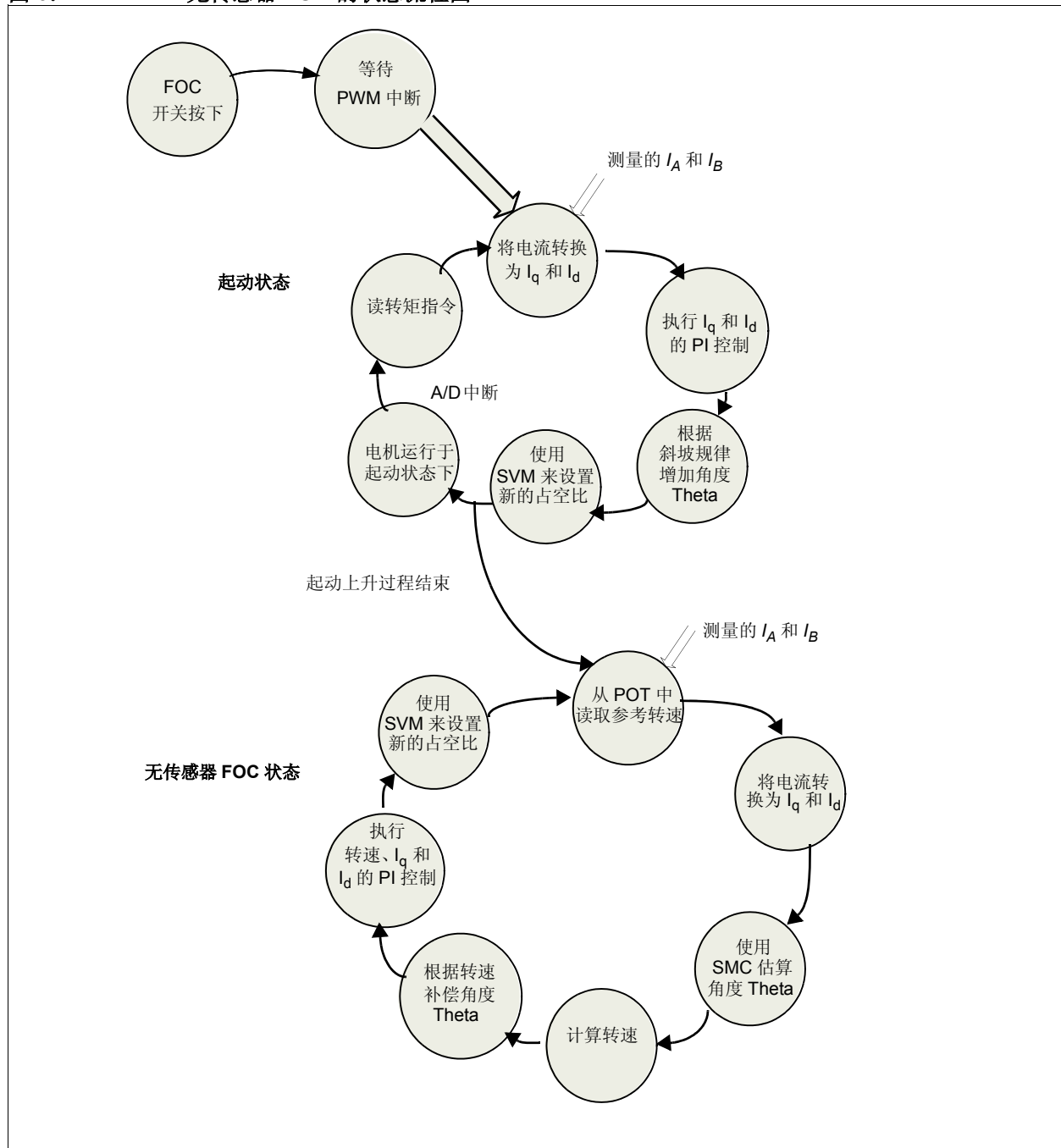


图 6: 无传感器 FOC 的状态流程图



基于 dsPIC30F6010A 器件的实现

这一节将介绍以下内容：

- ADC 配置详情
- 开发资源
- 硬件设置
- 系统执行步骤

ADC 配置详情

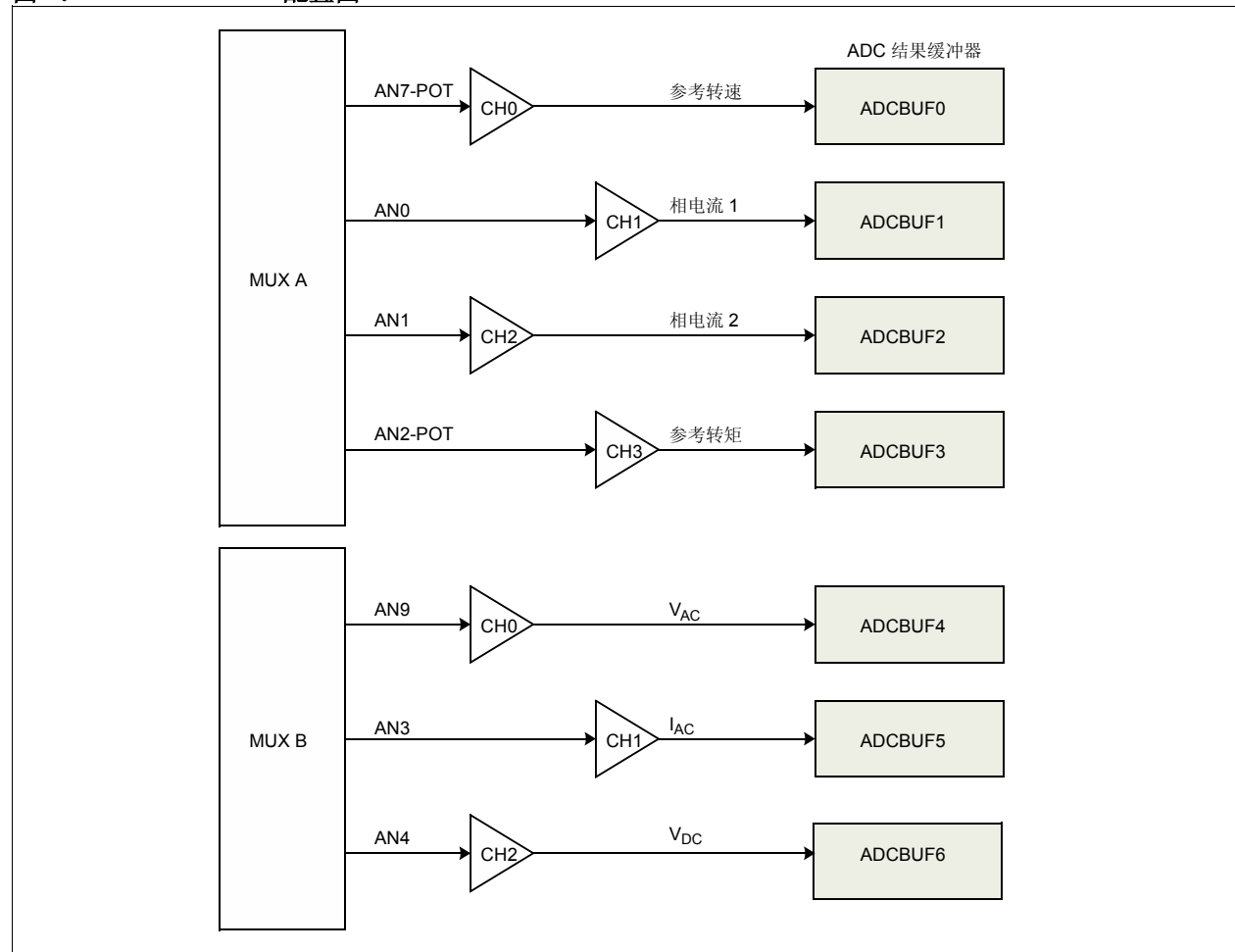
图 7 显示了各个模拟输入与 ADC 模块的模拟通道之间的接线方式。它还显示了存储数字结果的结果缓冲器位置。

开发资源

为了开发和测试该集成算法，需要使用如下软件和硬件工具：

- 硬件工具：
 - dsPICDEM™ MC1H 三相高压电源模块 (P/N: DM300021)
 - dsPICDEM™ MC1 电机控制开发板 (P/N: DM300020)
 - dsPIC30F6010A 数字信号控制器 (P/N: MA300015)
 - PMSM 电机
 - MPLAB® REAL ICE™ 调试器 / 编程器
 - 220V、50 Hz 交流电源
 - 9V 直流电源
- 软件工具：
 - MPLAB IDE - 7.61 版本 (或更高)
 - C30 编译器 3.01 版本 (或更高)

图 7: ADC 配置图



硬件设置

dsPICDEM MC1 电机控制开发板的配置

下列概述了如何设置 dsPICDEM MC1 开发板的步骤：

1. 移除以下元件：
 - 位于 AN3 线上的 R36 和 C33
 - 位于 AN5 线上的 R39 和 C35
 - 位于 AN4 线上的 R42 和 C37
2. 将模拟通道 AN3 与通道 AN6 相连。
3. 将模拟通道 AN4 与通道 AN11 相连。
4. 将模拟通道 AN2 与 J6 连接器上的 VR1 相连。

访问高压电源模块的使用

在拿掉盖子之前，应严格遵循以下步骤：

1. 关掉系统中所有的电源。
2. 等待至少 3 分钟，使内部放电电路将直流母线电压降到一个安全水平。不要点亮那个从上方通风孔可以看到的红色 LED 母线电压指示器。
3. 在操作之前，使用伏特计检查引脚 7 输出连接器的正 (+) 负 (-) 直流终端之间的电压以确保放电已经发生。在进行下一步之前，应确保该电压低于 10V。

注意： 如果该电压超过 10V，应重复步骤 2 和 3，直到电压低于 10V。只有电压低于 10V，系统才能安全运行。如果不注意这一点，可能造成人身伤害。

4. 移除系统中所有的电线。
5. 去掉那些将盖子固定在底盘上的螺丝钉以及顶部和底部的散热片。
6. 向前滑动盖子同时握住散热器固定该单元
7. 在取出开发板之后，可按照下一节中描述的方法来改进电源模块。

dsPICDEM MC1H 高压电源模块的配置

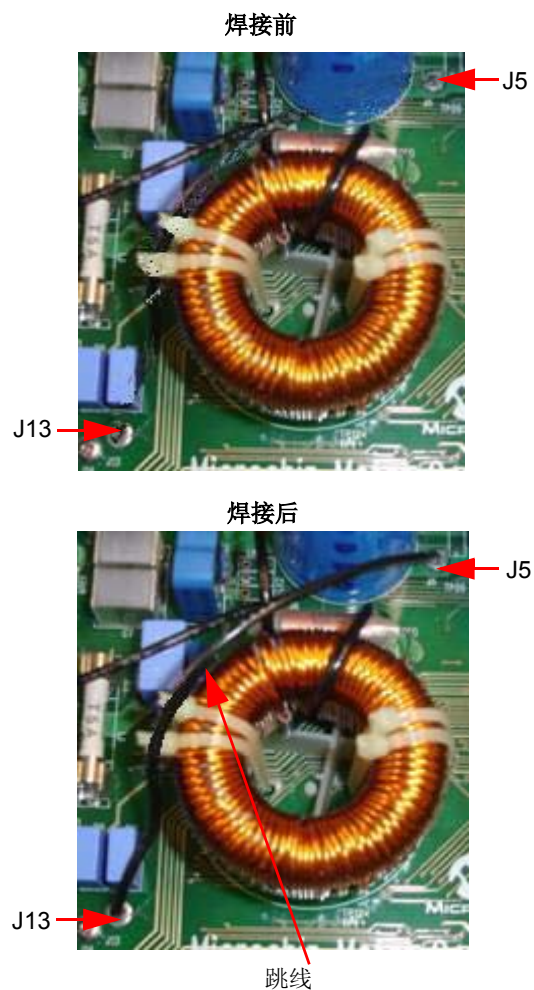
以下各步概述了如何设置开发板的步骤：

1. 在 J5 和 J13 之间焊接一条可容许大电流流过的跳线（最小为 AWG 18），如图 8 所示。

图 8： 建立电源和数字信号的公共地

由于使用分流电阻器来检测电机中的电流，因此，电源和数字信号必须共地。

在 J5 和 J13 之间焊接一条可容许大电流流过的跳线（最小为 AWG 18）。



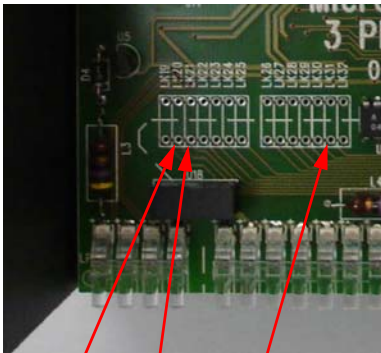
2. 用一条信号线将 LK30 和 BUS_SENSE 端连接起来。
3. 在链路 LK20、LK21 和 LK31 上分别放置 5.6 kΩ 的电阻器，如图 9 所示。

图 9: 安装反馈电流的检测电阻

为获得反馈电流，必须完成电路链接。

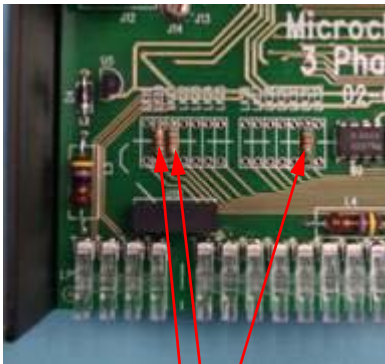
为检测本应用中的反馈电流，需在链路 LK20, LK21 和 LK31 上安装 $5.6\text{ k}\Omega$ 的电阻器。

安装前



LK20、LK21 和 LK31 链路

安装后

 $5.6\text{ k}\Omega$ 分流电阻器

4. 移除跳接 LK2，在跳线 LK1 上放置一个链路。
5. 在 1-2 位置之间放置跳线 LK4。
6. 在链路 LK5 到 LK12 上放置跳线。

系统执行步骤

完成以下步骤以执行控制电机的集成化 PFC 和无传感器 FOC 算法：

1. 启动 MPLAB 软件，打开程序。
2. 运行算法。
3. 给 dsPICDEM MC1H 高压电源模块施加交流输入电压。
4. 确保参考速度 POT（电位器）VR2 处于其最小位置上，而初始参考转矩 POT（电位器）VR1 设置在 0% 和 25% 之间的位置上。
5. 按下开关 S4，启动电机。
电机在开环模式下启动，转速上升到 900 rpm，然后从开环模式转换到闭环模式。
6. 当电机进入闭环模式达到稳态时，按下开关 S7，启动 PFC 算法。
直流母线电压从其初值（基于所施加的交流输入电压的幅值）开始上升。
7. 改变 VR2 POT（电位器）的值以使电机在不同转速下运行。
8. 按下开关 S4，电机停转。

基于 dsPIC33FJ12MC202 器件的实现

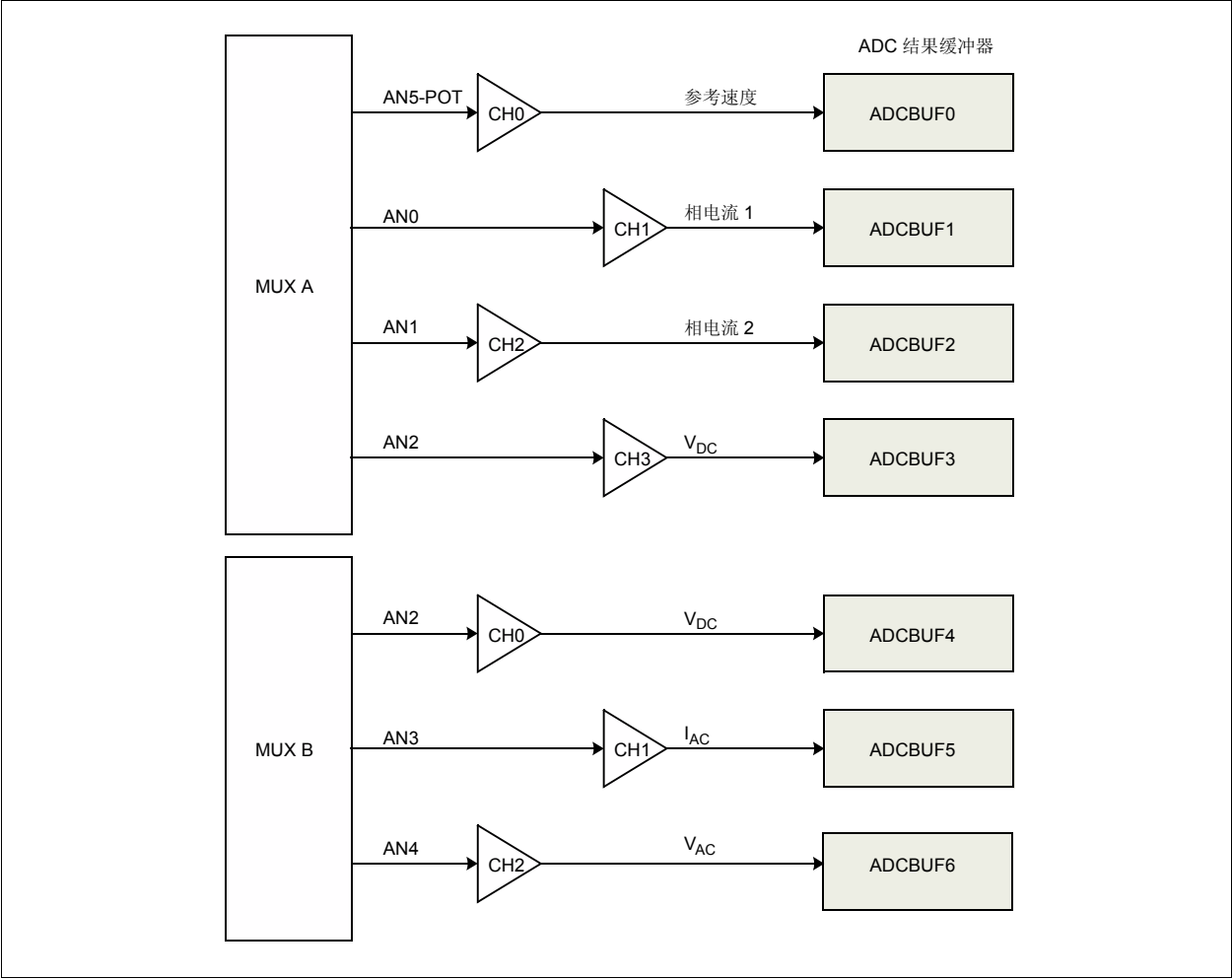
这一节将介绍以下内容：

- ADC 配置详情
- dsPIC33FJ12MC202 引脚分配
- 开发资源
- 硬件设置
- 硬件互连
- 系统执行步骤

ADC 配置详情

图 10 显示了各个模拟输入与 ADC 模块的模拟通道之间的连接关系。它还显示了存储数字结果的结果缓冲器位置。

图 10: ADC 配置图



dsPIC33FJ12MC202 引脚分配

由于 dsPIC33FJ12MC202 器件是一种 I/O 可重映射器件，因此，每个引脚的功能可由用户自定义。表 1 列出了各个引脚以及分配给该引脚的功能。

表 1: 引脚功能

No.	名称	功能
1	AN2	VDC
2	AN3	IAC
3	AN4	VAC
4	AN5	参考速度 (POT)
5	Vss	地
6	RA2	主振荡器线
7	RA3	主振荡器线
8	PGD/EMUD3	数据调试线
9	PGC/EMUC3	时钟调试线
10	VDD	器件电源
11	RB5	故障输入信号
12	RB6	开关 1- 电机开 / 关
13	RB7	开关 2-PFC 开 / 关
14	PWM2H1	PFC MOSFET 导通
15	RB9	故障复位 / PWM 使能
16	Vss	数字地
17	VDDCORE	器件电源
18	PWM1H3	逆变器 IGBT3 高端导通
19	PWM1L3	逆变器 IGBT3 低端导通
20	PWM1H2	逆变器 IGBT2 高端导通
21	PWM1L2	逆变器 IGBT2 低端导通
22	PWM1H1	逆变器 IGBT1 高端导通
23	PWM1L1	逆变器 IGBT1 低端导通
24	AVss	模拟地
25	AVDD	器件电源
26	MCLR	复位 / 清零
27	AN0	A 相电流
28	AN1	B 相电流

开发资源

为开发和测试 PFC 应用，需要使用以下硬件和软件开发工具：

- 硬件工具：
 - dsPICDEM MC1H 三相高压电源模块 (P/N: DM300021)
 - Explorer 16 开发板 (P/N: DM240001)
 - 电机控制接口 PICTail 及其子板 (P/N: AC164128)
 - 接插模块 (P/N: MA330014)
 - 9V 直流电源
 - 可变交流电源 (0-220V)
 - PMSM 电机
 - MPLAB ICD 2 调试器 / 编程器
- 软件工具：
 - MPLAB IDE - 8.00.04 版本 (或更高)
 - C30 - 3.01 版本 (或更高)

硬件设置

使用高压电源模块

在拿掉盖子之前，应严格遵循以下步骤：

1. 关掉系统中所有的电源。
2. 等待至少 3 分钟，使内部放电电路将直流母线电压降到一个安全水平。不要点亮那个从上方通风孔可以看到的红色 LED 母线电压指示器。
3. 在操作之前，使用伏特计检查 7 引脚输出连接器的正 (+) 负 (-) 直流终端之间的电压以确保放电已经发生。在进行下一步之前，应确保该电压低于 10V。

注意： 如果该电压超过 10V，应重复步骤 2 和 3，直到电压低于 10V。只有电压低于 10V，系统才能安全运行。如果不注意这一点，可能造成人身伤害。

4. 移除系统中所有的电缆。
5. 去掉那些将盖子固定在底盘上的螺丝钉以及顶部和底部上的散热片。
6. 借助散热器握住模块单元并向前滑动盖子。
7. 在取出开发板之后，可按照下一节中描述的方法来改进电源模块。

dsPICDEM 高压电源模块的改进

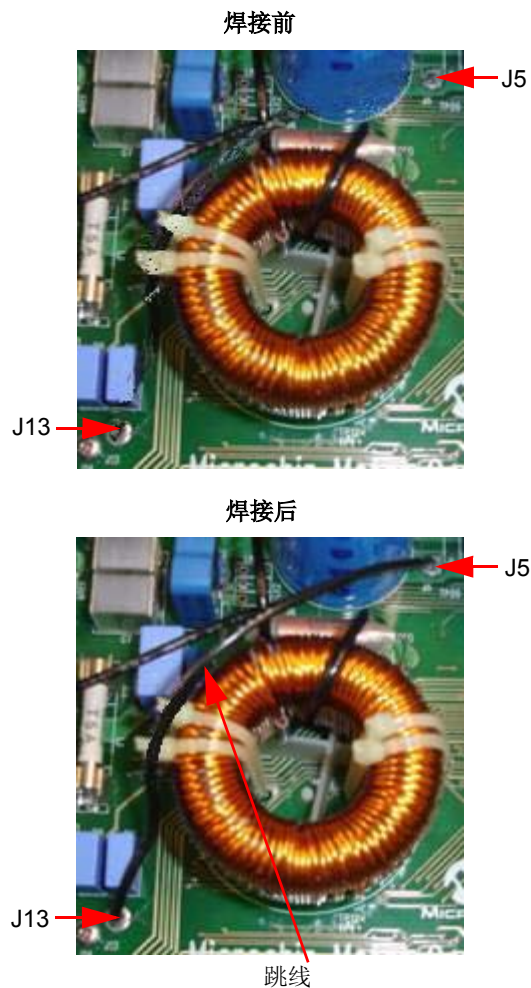
以下概述了如何设置开发板的步骤：

1. 在 J5 和 J13 之间焊接一条可容许大电流流过的跳线（最小为 AWG 18），如图 11 所示。

图 11: 建立电源和数字信号的公共地

由于使用分流电阻器来检测电机中的电流，因此，电源和数字信号必须共地。

在 J5 和 J13 之间焊接一条可容许大电流流过的跳线（最小为 AWG 18）。



2. 用一个 390 k Ω 的电阻器来代替电阻器 R15。
3. 用一个 158 k Ω 的电阻器来代替电阻器 R13。
4. 用一条信号线将 LK30 和 BUS_SENSE 端连接起来。

5. 在链路 LK20、LK21 和 LK31 上放置 5.6 k Ω 的电阻器，如图 12 所示。

图 12: 安装反馈电流的检测电阻

为获得反馈电流，必须完成电路链接。

为完成本应用中的反馈电流，需在链路 LK20, LK21 和 LK31 上安装 5.6 k Ω 的电阻器。



6. 移除跳接 LK2，在跳线 LK1 上放置一个链路。
7. 在 1-2 位置之间放置跳线 LK4。
8. 在链路 LK5 到 LK12 上放置跳线。

设置 EXPLORER 16 开发板

以下概述了如何设置开发板的步骤：

1. 在位置 PIC24 处放置跳线 J7。
2. 将开关 S2 切换到 PIM 位置。
3. 移除 LCD 连线。一些 LCD 具有内部上拉电阻；因此，建议去掉 LCD。

配置和设置电机控制接口 PICtail PLUS 子板采用以下步骤来配置和设置开发板：

1. 使用跳线 J4 将引脚 1 和引脚 2 连起来。
2. 使用跳线 J10 将引脚 2 和引脚 3 连起来。
3. 使用跳线 J11 将引脚 2 和引脚 3 连起来。
4. 放置跳线 J27。

配置 dsPIC33FJ12MC202 接插模块

以下概述了如何设置开发板的步骤：

1. 将 RP1 接到引脚 34 上。
2. 将 RP2 接到引脚 33 上。
3. 将 RP3 接到引脚 20 上。
4. 将 RP5 接到引脚 18 上。
5. 将 RP6 接到引脚 83 上。
6. 将 RP7 接到引脚 92 上。
7. 将 RP8 接到引脚 84 上。
8. 将以下电阻器的阻值设置为零欧姆：
R12、R13、R14、R15、R16、R17、R18、R19、
R20、R24 和 R25。
9. 将以下零欧姆的电阻器去掉：
R5、R6、R7、R8、R9、R10、R11、R21、R22、
R23、R26、R27、R28、R29、R30、R31、R32
和 R33。

硬件连接

为设置系统，需完成以下步骤：

1. 合理配置硬件。读者可参阅“硬件设置”来获取硬件改进方面的更多信息。
2. 在 Explorer 16 开发板上放置 dsPIC33FJ12MC202 PIM。
3. 使用 120 针的连接器将 Explorer 16 开发板与电机控制接口 PICtail Plus 子板连接起来。
4. 使用 37 针的连接器将电机控制接口 PICtail Plus 子板与高压电源模块 dsPICDEM 连接起来。
5. 将 9V 直流电源接到 Explorer 16 开发板上。
6. 将可变交流电源接到 dsPICDEM MC1 三相高压电源模块上。
7. 接通 9V 电源。
8. 接通交流输入电源。

系统执行步骤

完成以下各步以执行在 dsPIC33F DSC 器件上的算法：

1. 启动 MPLAB 软件，打开程序。
2. 编译与链接，并将程序烧写到闪存中。确保选择了 MPLAB IDE 中的调试选项。
3. 运行算法。
4. 给 dsPICDEM MC1 三相高压电源模块施加交流输入电压。
5. 确保 Explorer 16 开发板上的参考速度引脚 R6 处于其最小位置（CCW）上。
6. 按下开关 S3，启动电机。
电机在开环模式下起动，转速上升到 900 rpm，然后从开环模式转换到闭环模式。
7. 当电机进入闭环模式，达到稳态时，按下开关 S5，启动 PFC 算法。
8. 直流母线电压从其初值（基于所施加的交流输入电压的幅值）开始上升。
9. 改变 R6 POT 的值以使电机在不同转速下运行。
10. 按下开关 S3，电机停转。

实验测试结果和波形

图 13 和图 14 显示了执行本集成应用算法时，输入电流、R 相电流和 Y 相电流的波形。这一信息有助于证实 PFC 和无传感器 FOC 法在 dsPIC[®] DSC 器件上执行的有效性。

图 13: 输入电流和电机相电流波形

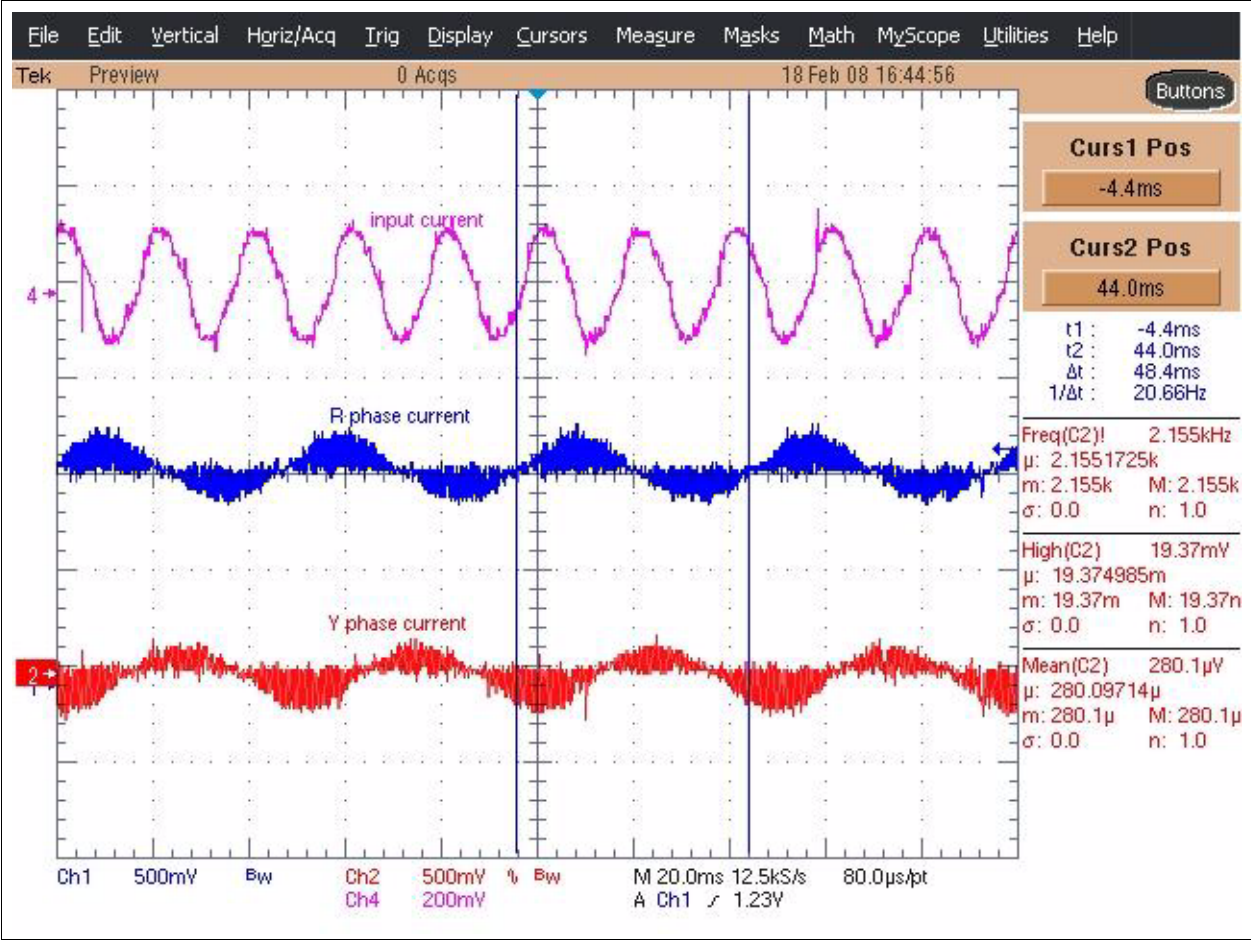
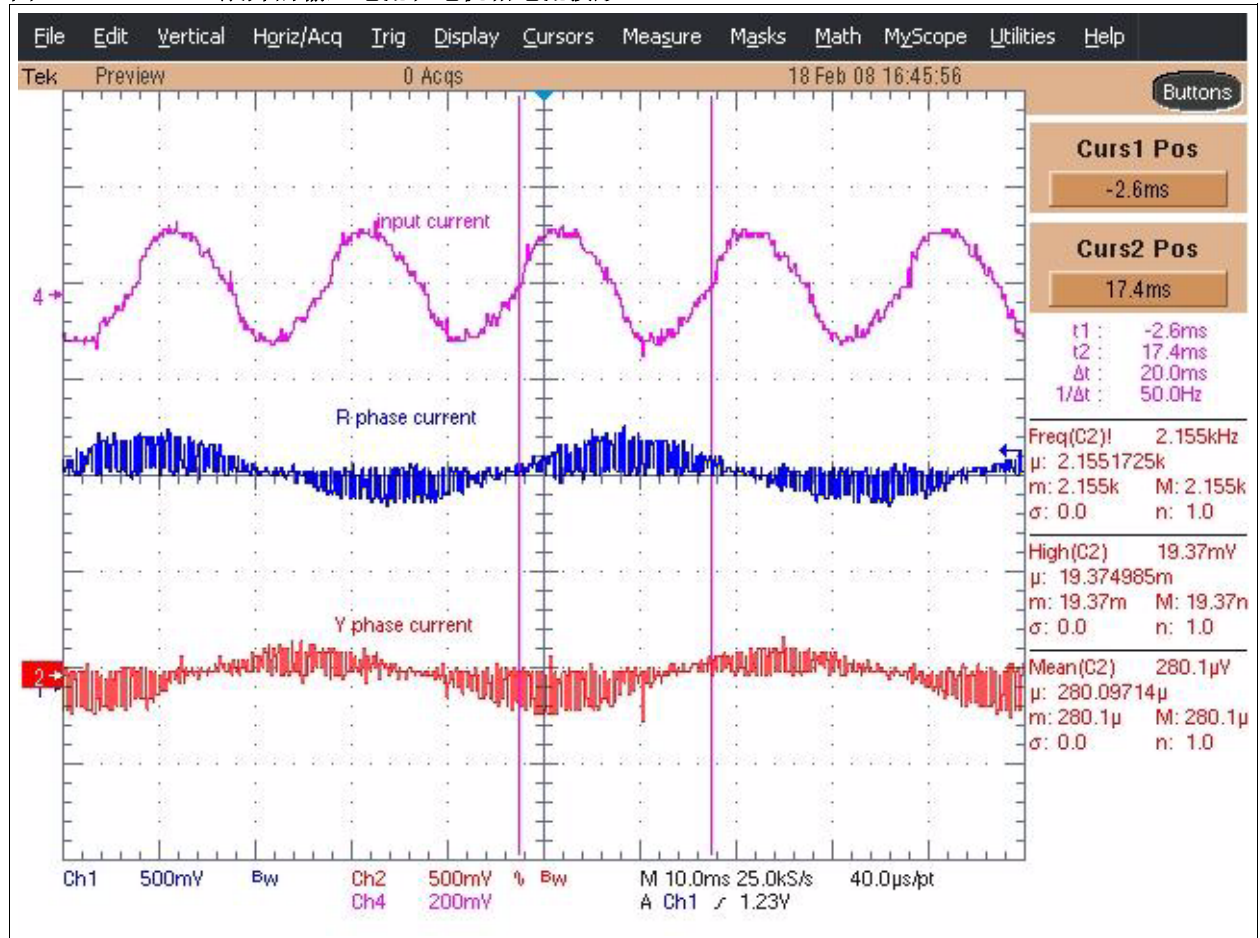


图 14: 展开的输入电流和电机相电流波形



结论

鉴于消费者对提高效率和提高环境标准这些日益增长的需求，设计人员一直在寻找那些可用于开发低成本、节能电机控制系统的新算法。

dsPIC[®] DSC 器件具有强大的处理能力和丰富的外设平台，这使得复杂算法能够在单一芯片上得以执行。无传感器 FOC 算法采用三个控制环来对电流和速度进行补偿。PFC 算法采用两个控制环来对输入电流和输出电压进行补偿。所有这些补偿器都使用 PI 控制器来补偿这些参数的变化，这就需要系统具有非常强大的处理能力和精确的控制能力。dsPIC[®] DSC 器件因具有分辨率高，处理速度快，易与先进的模拟外设结合以及指令丰富这些优点而最符合上述要求。

Microchip 有丰富的资源来协助读者开发本集成系统。如果读者想要获得进一步的支持，可与 Microchip 当地的销售办事处联系。

参考文献

参考文献是 Microchip 公司发表的一些应用笔记，其介绍了 dsPIC[®] DSC 器件在电机控制应用中的使用。

- 在 **ACIM 控制** 方面，请参阅：
 - 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[®] 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)
- 在 **BLDC 电机控制** 方面，请参阅：
 - 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》(DS01160A_CN)
- 在 **PMSM 控制** 方面，请参阅：
 - 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)
- 在 **功率控制** 方面，请参阅：
 - AN1106，《使用 dsPIC[®] DSC 实现能量转换应用中的功率因数校正》(DS01106A_CN)
- 有关 **dsPICDEM MC1 电机控制开发板** 方面的信息，请参阅：
 - *dsPICDEM MC1 Motor Control Development Board User's Guide* (DS70098)
 - *dsPICDEM MC1H 3-Phase High Voltage Power Module User's Guide* (DS70096)
 - *dsPICDEM MC1L 3-Phase Low Voltage Power Module User's Guide* (DS70097)
 - 《Explorer 16 开发板用户指南》(DS51589A_CN)
 - *Motor Control Interface PICtail Plus Daughter Board User's Guide* (DS51674)

这些文档可从 Microchip 网站 (www.microchip.com) 上获取。

附录 A: 源代码

软件许可协议

Microchip Technology Incorporated（以下简称“本公司”）在此提供的软件旨在向本公司客户提供专门用于 Microchip 生产的产品软件。

本软件为本公司和 / 或其供应商所有，并受到适用的版权法保护。版权所有。使用时违反前述约束的用户可能会依法受到刑事制裁，并可能由于违背本许可的条款和条件而承担民事责任。

本软件是按“现状”提供的。任何形式的保证，无论是明示的、暗示的或法定的，包括但不限于有关适销性和特定用途的暗示保证，均不适用于本软件。对于在任何情况下、因任何原因造成的特殊的、附带的或间接的损害，本公司概不负责。

在本应用笔记中包含的所有软件均可从一个 WinZip 存档文件中获取。该文档可从 Microchip 网站下载：

www.microchip.com

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。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。

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、SEEEVAL、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、PIC³² 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[®] MCU 与 dsPIC[®] DSC、KEELOQ[®] 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器和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

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