



BeyondBits

第八期

电机控制专刊



 **freescale™**
飞思卡尔



电机控制简介

电机控制和电机驱动解决方案



凭借在电机控制领域的深厚创新历史和经验，飞思卡尔了解开发者们面临的困境，并承诺不断致力于推出完善的解决方案组合，来解决这些难题。

最新版本的Beyond Bits吸引了电机控制开发者中的初学者和资深人员的共同关注：

- 通过提供的参考设计、应用笔记和全球支持团队，快速开始设计工作，缩短开发时间
- 通过使用差异化的硬件平台和外设、电机控制算法库以及独特的开发工具所提供的最先进控制技术以优化这些系统来提高能效
- 利用具有实现非常灵活和创新控制功能、高性能、低功耗的最优微控制器组合来降低系统成本
- 免费的电机控制库和高级算法符合安全和能效的强制要求

Beyond Bits让您一窥飞思卡尔电机控制产品组合广泛的覆盖范围，它们是独一无二的，并积累了飞思卡尔几十年的研发成果。本文中我们讨论了各种电机类型的优势和控制方法，概述了各种产品组合及提供有用的选型指南。然后提供了采用飞思卡尔产品实现的应用示例和技术，最后介绍了我们的软件和开发工具产品。每篇文章的最后均列出了相关的参考设计、应用笔记、软件、开发工具和适合的微控制器产品系列等解决方案，以帮助您可以马上开始下一个项目开发。

飞思卡尔不断与创新者合作，以求使电机运行更安静、更高效、更小型化，并降低机械振动，希望我们能够帮助您使其变得更加智能。

如需完善您的电机控制技术，请访问freescale.com/motorcontrol网页，或联系您当地的飞思卡尔现场应用工程师。

商祺

Geoff Lees

副总裁兼总经理

工业和多市场微控制器事业部

飞思卡尔半导体

简介

- 4 电机类型及其控制
- 7 飞思卡尔微控制器简介
- 8 飞思卡尔解决方案指导(Freescale Solution Advisor)内的控制向导(Control Wizard)

市场趋势

- 10 BLDC 电机控制
- 13 永磁同步电机控制
- 15 交流感应电机控制
- 17 开关磁阻电机控制
- 19 编码器信号处理
- 21 三相电流测量

应用实例

- 25 为您的应用选择合适的飞思卡尔解决方案
- 27 面向小家电的电机应用
- 29 开关磁阻电机驱动器的数字控制
- 31 工业/消费电器类吊扇
- 34 家用洗衣机
- 36 基于100 MHz/32位DSC的双电机控制空调
- 38 工业/电器应用中PMSM驱动器
- 40 工业驱动控制
- 43 数字交流驱动控制
- 45 面向工业控制应用的伺服机器人：带编码器的永磁同步电机(PMSM)
- 47 持续气道正压(CPAP)通气机
- 49 呼吸机的无刷直流电机控制
- 51 基于MQX™ RTOS的电机控制

支持工具

- 53 飞思卡尔电机控制板
- 55 飞思卡尔嵌入式软件库
- 56 电机控制开发工具箱
- 59 电机应用调试向导
- 60 FreeMASTER

总结

目录



简介

电机类型及其控制

主要电机类型及控制总结

概述

飞思卡尔几乎为所有电机拓扑提供完善的电机控制解决方案。

电机控制应用需求

- 最大程度减少能源损耗
- 防止环境污染
- 减少噪音和电网谐波
- 提高系统性价比
- 提高生产率、灵活性和鲁棒性
- 提高安全性和可靠性
- 减少系统尺寸和重量
- 增加数字化控制，减少模拟组件的使用并降低总体系统成本

最有效满足这些需求的电机类型包括交流感应电机(ACIM)，永磁同步电机(PMSM)，无刷直流电机(BLDC)和开关磁阻电机(SR)以下内容将介绍其主要特点、控制类型、优势和典型应用。

数字电机控制

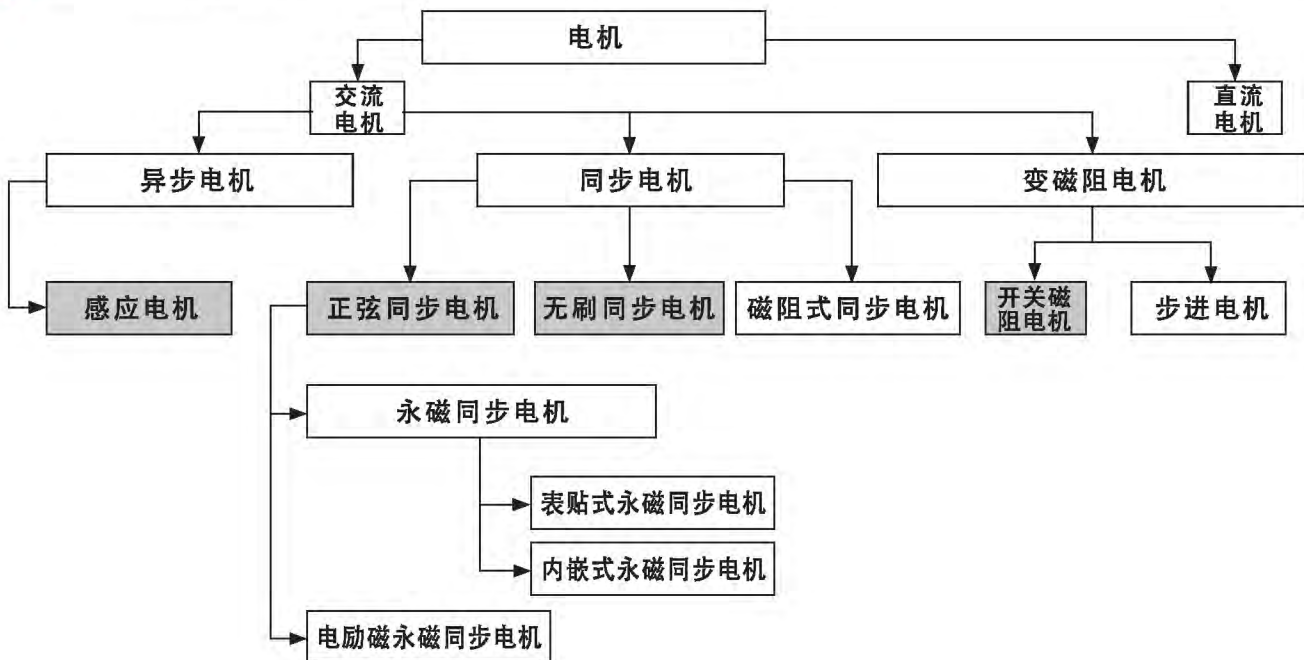
数字控制允许通过变频技术和无传感器控制实现更高效的电机控制。无传感器控制一词指在电机轴上无需安装位置/速度传感器，而是从测得的电流和电压来计算出转子位置和速度。无传感器控制提供经济高效、可靠的解决方案，因为其消除了位置/速度传感器、传感器连接线路、传感器电源等，提高了系统可靠性。

当然，仍然有一些应用更注重位置精度而不是传感器的高成本。最常见的速度/位置传感器是：

- 测速发电机
- 霍尔传感器
- 编码器
- 解析器

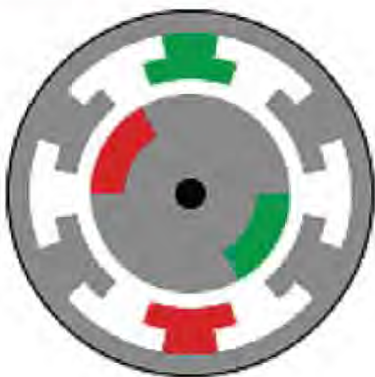
调速系统应用是控制电机运行在所需的速度(如泵、风扇和压缩机等)。在变频驱动器中，电机速度通常与频率成正比。实际的电机速度由速度控制器根据参考速度命令来保持。速度控制提供低动态性能。对于高动态性能和高稳定性，需要具有内电流环路控制的速度控制(级联控制)。

图1：电机类型分类



绝大多数的调速驱动器都采用级联控制的方式控制。大多数复杂的驱动器(伺服系统、工业机器人和线性电机)还需要额外的位置控制。需要电机以给定扭矩运行而不考虑速度的应用(手持工具、电动助力转向、牵引机和机车等)采用扭矩控制。

无刷直流电机



BLDC电机具有三相定子绕组，以及一个带有表贴永磁体的转子。BLDC电机没有换相器，并且比DC电机更可靠。数字控制和电力电子电路取代了机械换相器的功能，并根据转子位置驱动相应的电机绕组。BLDC电机广泛用于家电(例如冰箱、洗衣机和洗碗机)、泵、风机和其它需要高可靠性和效率的设备。

在BLDC电机控制中，必须知道转子位置，才能驱动对应相绕组对并控制其电压。

如果使用传感器检测转子位置，那么必须将传感信息传输至控制单元。

这需要与电机之间具有额外连接，在某些应用中这可能无法接受。另外，也可能无法接受位置传感器和布线的额外成本。物理连接问题可以通过在电机主体上内嵌驱动器的方法来解决，但是，因为大量应用本身是低成本的应用，因此基本都需要无传感器解决方案。

大多数BLDC电机无传感器技术都是在电机旋转时从定子绕组的反电动势(EMF)中提取转子位置信息。这些技术能在5%的额定速度以上才能使用，因为此时反电动势能被正确测量。由于只是在无励磁相检测反电动势，所以无需复杂的控制算法便可以使用BLDC电机反电动势无传感器技术。

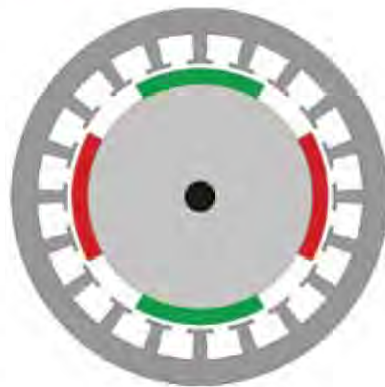
优点

- 定子生成的热量很容易消散
- 单位体积的扭矩大
- 因为消除电刷和换相器可提高可靠性
- 极高效率
- 良好的高速性能
- 可实现精确的速度监控和控制

缺点

- 换相需要转子位置信息
- 扭矩有纹波
- 电机运行需要位置传感器或无传感器技术
- 使用无传感器技术难以启动可变负载电机

永磁同步电机



与BLDC电机类似，PMSM具有三相定子，以及一个表贴/内嵌永磁体的转子。

PMSM以与电源频率同步的固定速度运行。因此，PMSM是高精度定速驱动器的理想选择。这种电机具有非常高的功率密度、非常高的效率和快速响应性能，适用于工业领域最复杂的应用。此外，它还具有高过载能力，并且大部分可以免维护，确保了最高效的运行。

运行在改良功率因数的同步电机可以提高总体系统的功率因数，并消除或减少为改善电网功率因数而带来的成本。另外，经过改良的功率因数还降低了系统的压降和电机终端的压降。

优点

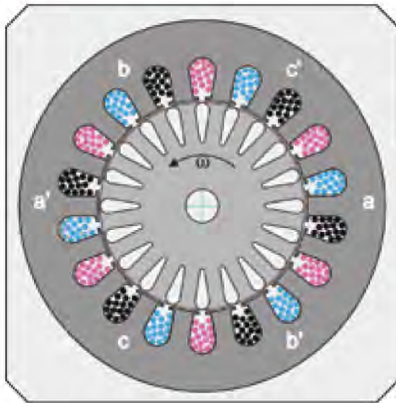
- 定子产生的热量很容易消散
- 单位体积的扭矩大
- 因为消除电刷和换相器可提高可靠性
- 极高效率
- 同步运行使磁场定向变得简单

- 良好的高速性能
- 可实现精确的速度监控和控制
- 平滑的扭矩输出

缺点

- 需要转子位置信息
- 电机运行需要位置传感器或无传感器技术
- 使用无传感器技术启动电机困难

交流感应电机



ACIM是最常见的面向工业控制和消费电子应用的电机。这是由于诸多因素，例如无需换相器/电刷(高可靠性)，高负载时的高效率，以及交流电网可直接驱动的能力，使其如此受欢迎。ACIM有一个经典的三相定子，并且通常有一个“鼠笼”型的转子，其导体在两端通过端环短接在一起。ACIM的工作原理与变压器非常相似。转子电路通过定子绕组产生的磁场感应产生转子电流。该电流产生转子磁通，并与定子磁场相互作用产生扭矩。

优点

- 单位功率成本低(无永磁体)
- 固有的交流电运行能力(直接电网驱动)
- 非常低的维护成本(无碳刷)并且具有坚固耐用的结构
- 宽功率范围
- 可使用测速发电机实现低成本速度控制
- 控制简单(8位MCU能实现V/Hz+PFC控制)

缺点

- 轻载时效率低
- 转子温度变化使无传感器控制变得复杂
- 速度控制需要改变定子频率
- 位置控制困难(需要磁场定向)

开关磁阻电机



SR电机不包含磁体，定子和转子具有凸极。电机由在每相施加一定的电流脉冲序列驱动，运行需要电子控制配合。SR电机的工作原理是，磁路尝试跟踪最小磁阻路径(最短空气间隙距离)。

定子磁场在转子上产生磁力，以使转子凸极与定子相绕组磁极保持对齐。

优点

- 结构简单带来低成本
- 高可靠性
- 高容错性
- 定子产生的热量很容易消散
- 适合高速运行

缺点

- 噪音大
- 振动大
- 磁场的非线性使扭矩的平滑控制变得困难
- 运行依赖于电子控制

如需了解关于飞思卡尔电机控制解决方案的更多信息，请访问 freescale.com/motorcontrol。

飞思卡尔微控制器简介

电机控制产品

飞思卡尔是嵌入式控制器的领先供应商，具有为电机控制应用提供解决方案的丰富经验和传统。全系列的微控制器产品组合横跨8位、16位和32位平台，集成低功率、模拟、控制和通讯外设硬件。

飞思卡尔8位HC(R)S08微控制器产品

我们的8位微控制器产品组合为中高端工业和汽车电机控制应用提供了全系列功能强大的解决方案。从小型RS08器件，到集成了定时器、模拟设备、连接和HMI外设功能强大的S08控制器，8位微控制器是面向简单的、对成本敏感的电机控制应用的理想解决方案。其中5伏S08产品系列能够在恶劣的工业环境中提供更强的耐久性和可靠性，满足IEC60730设备安全标准，同时兼具卓越的EFT/ESD性能。

16位和32位DSC产品

飞思卡尔DSC结合了DSP的强大处理能力和微控制器的控制功能，是工业运动控制理想的解决方案。这些集成专门为满足要求最苛刻的电机控制应用而设计的定时器和模拟

外设的灵活的16位和32位器件特别适合电机控制应用。飞思卡尔提供从小闪存和小封装的经济高效组合到高度集成度与优化组合的全系列解决方案，DSC产品几乎可以定制任何电机控制应用。

基于32位ARM® Cortex™-M内核的Kinetis微控制器

32位Kinetis MCU是业界扩展性最强的基于ARM Cortex-M内核的微控制器。该产品组合中共有300多种微控制器，从基于ARM Cortex™-M0+内核的入门级Kinetis L MCU，到基于ARM Cortex™-M4内核的Kinetis K系列MCU，整个系列具有全范围的IP兼容性，且同一个组合内的各种器件还具有引脚兼容性。启用具有独特FlexMemory(可配置内嵌式EEPROM)的创新90纳米薄膜存储(TFS)闪存技术的Kinetis MCU提供最新创新的低功耗特性和高性能、高精度混合信号能力。Kinetis MCU由市场领先的飞思卡尔支持团队和生态系统合作伙伴提供支持。Kinetis产品线适合中低端的电机控制应用。

它不仅仅是芯片

飞思卡尔致力于为您的产品提供增值的半导体解决方案。当您从飞思卡尔购买产品时，您购买的不仅是嵌入式处理器。您将获得广泛的技术支持服务生态系统、开发工具和培训—所有设计都是为了简化您的工作，使您的最终产品更优异。在本手册中，您将了解到除了我们的MCU以外，我们还提供了更多的资源供您设计时使用。

我们对长期供货的承诺

飞思卡尔承诺在客户的整个产品生命周期内为客户提供产品。在该范围内，飞思卡尔承诺产品的最短供货周期为10年，在某些情况下，面向工业、汽车和医疗市场的MCU供货周期为15年。如需了解产品长期供货的条款和条件，并获取支持长期供货产品清单，请访问 freescale.com/productlongevity。

飞思卡尔解决方案指导 内的控制向导

无法确定从哪里开始？飞思卡尔解决方案指导(Freescale Solution Advisor)是一款基于网页的工具，可以帮助为任何类型的设计选择最适合的处理器和开发工具。该工具可以检查引脚复用、识别匹配的塔式系统模块、连接有关的参考平台、软件和应用笔记，然后将详细信息保存在一个集中的文件以便与您的团队成员共享。解决方案指导功能非常强大，以致于我们喜欢把它称为从不睡觉的“虚拟FAE”。

为了向您的电机控制应用推荐最佳的选择，嵌入式电机控制向导开始时需要您回答六个简单的多选问题：

- 您的应用是什么？
 - 大家电，小家电，电动工具，便携式电子产品，计算设备，数据存储设备，机器人，HVAC，重工业
- 您项目的功能领域是什么？
 - 压缩机，泵，风机，旋转器，执行器或伺服器，双电机控制，逆变器
- 您使用哪种电机类型？
 - 交流感应电机(ACIM)，无刷直流电机(BLDC)，永磁同步电机(PMSM)，等等
- 从以下列表中选择您需要的所有特性
 - 安静的电机运行，高速电机(> 10K RPM)，精确的速度控制，精确的扭矩控制，重物提升或高扭矩等

图1：找到最适合的电机控制处理解决方案



- 使用哪种控制算法？
 - BLDC梯形波换相控制，标量控制(V/Hz)，或正弦波矢量控制(磁场定向控制)
 - 使用哪种传感器类型？
 - 开环控制，霍尔传感器，编码器，测速发电机，无传感器等
- 电机控制向导了解成千上万的要求组合需要哪些专门的外设和性能，以及它们对应于哪些飞思卡尔现有的解决方案。例如：
- 对于小型电机和设备控制，使用8位S08或Kinetis L系列控制器
 - 对于需要20微秒控制回路，成本优化而性能高的电机控制，使用DSC
 - 对于具有高可靠性和IEC61508安全要求的高性能电机控制，使用Qorivva

经过电机控制向导给出它的神奇推荐后，您还可按照所需要的特定需求进一步完善建议的处理器，例如模拟数字转换器(ADC)接口的数量和类型，定时器，脉冲宽度调制器(PWM)，以及Freescale FreeMASTER和Mathworks MATLAB™/Simulink™等支持工具。然后，解决方案指导也能建议适合的塔式系统模块，以及相关的参考平台和应用说明链接，并保存会话以便以后使用。无论您何时需要帮助，飞思卡尔解决方案指导都可以随时提供帮助。

如需了解详细信息，请访问
freescale.com/solutionadvisor。



市场趋势

BLDC电机控制

梯形反电动势BLDC电机控制技术

三相BLDC电机

无刷直流(BLDC)电机也被称作电子换相电机。在转子上没有电刷，换相在特定转子位置上以电子的方式执行。定子磁路通常是由磁性钢片制成。通过设定永久磁铁的磁化方式和在转子上的分布使得定子上的反电动势为梯形波(因转子运动而在定子绕组上产生的感应电压)。这允许使用矩形的三相电压系统(参见图1)，以便创建一个具有低扭矩波动的旋转磁场。

六步BLDC电机换相

施加的电压呈矩形可确保控制和驱动的简便性。BLDC电机旋转由一个六步换相技术控制(有时称为60°、120度控制)。六步技术创建了一个如图1所示的电子旋转。施加的电压需要具有与反电动势一致的幅值和相位。因此，BLDC电机控制器必须：

- 控制施加的幅值
- 根据转子位置进行六步换相

必须知道转子的某些特定位置，以便施加与反电动势(因永磁体相对绕组运动在定子上感应的电压)相位一致的电压。在该条件下，BLDC电机可实现最少的扭矩纹波和最大的功效控制。

图1：六步换相

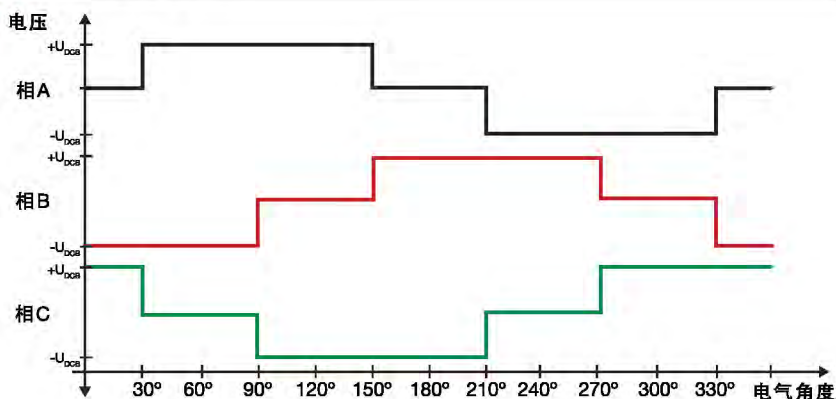
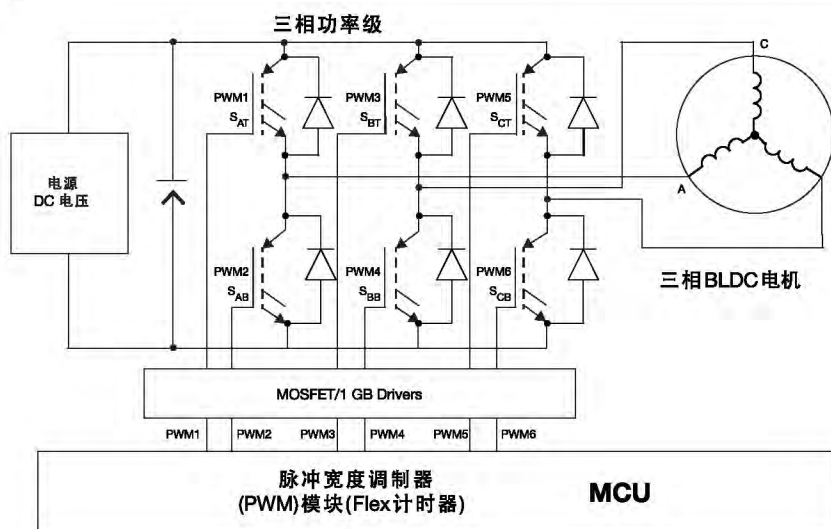


图2：功率级拓扑



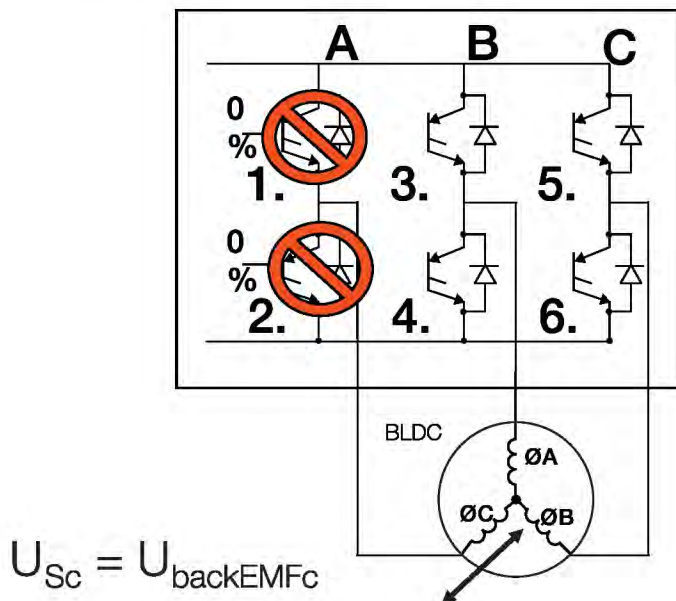
三相功率模块

三相六步电压系统由一个由MCU片上PWM模块控制的6个IGBT (MOSFET)功率模块创建。

由PWM控制的电压幅值

控制三相六步电压幅值的一种可能性是具有可变直流电压电源。该解决方案需要采用非常复杂的拓扑控制直流母线

图3：六步换相详解图



此类解决方案的优点是在BLDC电机绕组中没有高频电流纹波，这样损耗更低(尤其是电动机磁路损耗)。

对于大多数的电机和应用，这不是至关重要的，可以使用一个恒定电压的直流电源。然后，三相平均电压幅值由电机导通两相桥臂晶体管(第三相不导通)上的PWM技术控制。六步控制器使用下面两种PWM技术：

- 双极性PWM开关
- 单极性PWM开关

这两种PWM开关技术有一些衍生技术。根据功率模块中电压和电流的运行象限：

- 适用于电动和发电模式的四象限控制
- 只适用于电动模式的两象限控制

单极性/双极性开关和运行象限控制由所有六个晶体管开关决定(Sat-Scb)，如图2所示。

四象限控制需要互补的PWM。互补PWM表示底部开关(晶体管)和顶部开关晶体管的控制信号相反。两象限控制无需逆变器开关的互补控制。因为更低的损耗，单极性PWM互补开关应用更普遍。在一个PWM周期中施加的电压矢量具有相同的极性。矢量幅值从DC母线电压变为零。当采用双极性PWM开关时，施加的电压矢量极性在PWM周期中发生改变，因此施加的电压矢量幅值从正DC母线电压变为负DC母线电压。

PWM频率通常恒定在>10 kHz。但是，PWM开关技术的一种衍生技术可以用于非常高的电机速度范围。在这种情况下，一个换向期间只有一个PWM脉冲。这也表示PWM频率会根据电机速度发生改变。

位置反馈

要驱动BLDC电机必须知道转子位置。这个信息通过以下方式提供：

- 位置传感器或
- 无传感器

具有位置传感器的解决方案通常利用霍尔传感器。主要缺陷是：

- 在位置传感器和控制单元之间需要额外的连接
- 传感器和布线成本

因此，无传感器技术目前更加普及。有两种主要的无传感器技术类别：

- 基于反电动势检测
- 低速技术

基于反电动势检测的无传感器技术专门面向中速(>5%的额定转速)和高速范围，因为这种技术需要较大的反电动势值。该电压与转子速度成正比。

低速技术主要基于电机电感会随转子位置的变化而改变，因此这不需要反电动势，并且可以在低速或零速控制范围内使用。其中一些技术需要复杂的硬件，这会提高系统成本。在高速时，反电动势比电感的变化量更明显，因此大多数控制器将低速控制技术与基于反电动势的技术结合使用。或者，它们仅使用反电动势技术。

基于反电动势过零的无传感器技术

转子位置估计是基于因转子磁通(永久磁铁)的旋转而在定子相绕组中产生的反电动势电压。这个反电动势电压的相位反应了转子与定子之间的相对位置。

六步换相的特点是每次换向时三相中的一相都是不导通的。

经过换相瞬间之后(非导通相的电流在换相瞬间由续流二极管流走)，x相的电流为：

$IS_x = 0$ ，因此 $US_x = BEMFC$

可以测量该相的反电动势过零点。

反电动势过零检测可以使用控制器内部的ADC或比较器。

速度控制器

电机转速通常使用发送到速度调节器的转子位置反馈信息来控制。速度调节器控制三相PWM(施加的电压幅值)。

具有PLL换向的BLDC电机控制

与标准DC电机相比，BLDC电机控制的一个优点是可以通过六步换相频率精确地确定速度。这允许进行非常精确的速度控制。精确的BLDC电机速度控制的一个优点是换相期是恒定的，并且六步幅度反馈是基于估计的反电动势过零点与所需要的反电动势过零点之间的相差。

飞思卡尔支持工具

BLDC通常需要具有PWM、ADC和PDB的MCU或DSC器件，以及支持BLDC电机控制的其他模块。飞思卡尔电机控制器件支持BLDC电机控制。

如需了解用于BLDC电机控制设备的参考设计、应用笔记和软件解决方案的信息，请参见

freescale.com/motorcontrol。

永磁同步电机控制

高性能、低功耗的电机控制

介绍

永磁同步电机(PMSM)通常用于高性能、低功耗的电机驱动。高性能电机控制的特征是，电机可在整个速度范围内平稳旋转，零速度时有完全的扭矩控制，并可快速加速和减速。要实现这类控制，永磁同步电机采用了矢量控制技术。矢量控制技术通常还称为磁场定向控制

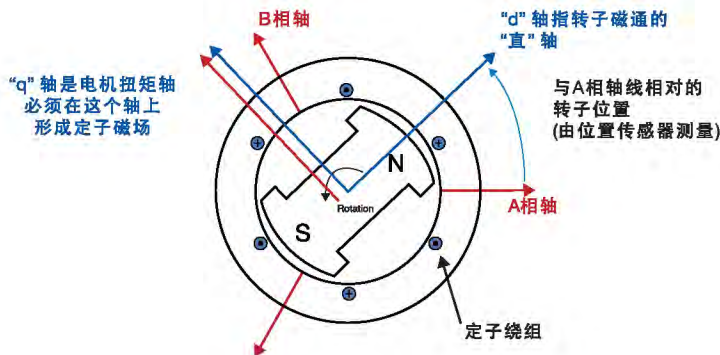
(FOC)技术。矢量控制算法的基本思路就是将一个定子电流分解为磁场生成的分量和扭矩生成的分量。分解后，这两个分量可以单独进行控制。然后，电机控制器(矢量控制控制器)的结构几乎与一个他励直流电机相同，从而简化了永磁同步电机的控制。

让我们先讨论一些基本的FOC原理。

扭矩生成

PMSM的电磁扭矩由两个磁场(一个是定子，一个是转子)的相互作用生成。定子磁场由磁通量或定子电流表示。转子磁场由恒定的永久磁铁(弱磁情况除外)的磁通量表示。我们可以将这两个磁场想象为两个条形磁铁，我们知道当磁铁互相垂直时，吸引/排斥磁铁的力是最大的。

图1：磁场定向控制的矢量说明



这意味着，我们应该要这样控制定子电流，即创建垂直于转子磁场的定子矢量。转子旋转时，我们必须更新定子电流，使定子磁通矢量与转子磁铁一直为90度垂直。当定子和转子磁场垂直时，内嵌式PMSM(IPMSM)的电磁扭矩如下。

$$\text{扭矩} = 1.5 \, pp \lambda_{PM} I_{qs}$$

pp —磁极对的数目

λ_{PM} —永久磁铁的磁通

I_{qs} —交轴的电流幅值

如上面的方程所示，磁场垂直时，电磁扭矩与 q 轴电流的幅值成正比。

MCU必须调节定子相电流强度，同时还要调节相位/角度，这不像直流电机控制那样容易做到。

如何简化相电流的控制，达到最大扭矩

直流电机控制很简单，因为所有受控的量都是稳定状态的DC值，而且电流相位/角度受机械换向器的控制。在PMSM控制中，我们如何才能实现这一点呢？

DC 值/角度控制

首先，我们需要知道转子的位置。这个位置通常与A相有关。我们可以使用一个绝对位置传感器(如解析器)或一个相对位置传感器(如编码器)，并处理所谓的对齐。对齐过程中，将转子与A相轴线对齐，这样A相轴线与直轴(励磁分量所在轴)就对齐了。在这种状态中，转子位置设为0(构建一个静态电压矢量，令所需的电压在 d 轴，位置设为0，这导致定子磁场吸引转子，并将直轴与A相轴线对齐)。

1. 三相量可以通过Clarke变换转换成等效的二相量(静止参照系)。

2. 然后, 我们通过Park变换将两相静止参照系中的量转换成两相旋转坐标系中的直流量, 这期间要用到转子位置(旋转参照系)。

转子的电气位置是转子的机械位置再乘以极对数pp。经过一系列控制之后, 我们应当在电机端子上生成三相交流电压, 因此所需/生成电压的直流值应当通过反Park/Clarke变换进行转换。

幅值控制

所有变量现在都是直流值, 可以轻松控制, 但是我们如何控制它们的幅值呢?

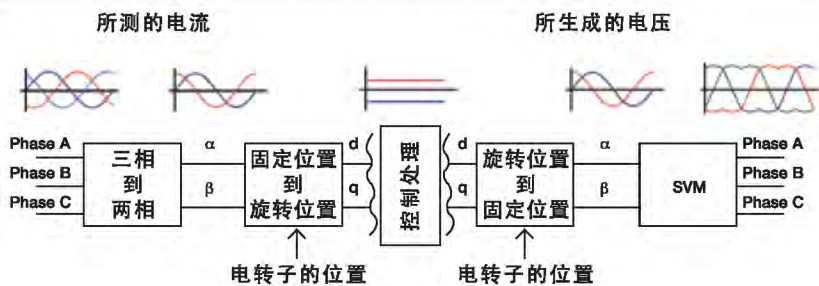
对于幅值控制, 我们使用级联结构的PI控制器。我们可以像直流电机那样控制许多状态量, 如相电流(扭矩环), 转速和位置。

FOC步骤

要进行矢量控制, 需要:

1. 测量电机的相电流
2. 使用Clarke变换将它们转换为两相系统(α, β)
3. 计算转子位置角
4. 使用Park变换将定子电流转换为 d, q 坐标系统上
5. 定子电流扭矩(i_{sq})分量和磁通量(i_{sd})生成分量由控制器单独控制
6. 通过逆向Park变换, 输出定子电压空间矢量从 d, q 坐标系转换回两相静止坐标系

图2: 磁场定向控制的基本原理



7. 使用空间矢量调制, 生成三相输出电压

使用飞思卡尔电机控制库实现的完整FOC速度控制结构, 请参见第39页标题为“工业控制/电机PMSM驱动”一文中的图2。

无传感器控制

我们需要转子的位置信息, 以高效控制永磁同步电机, 然而在传动轴上安装转子位置传感器在一些应用中会降低整个系统的耐用性和可靠性。因此, 我们的目标不是使用这个机械传感器直接测量位置, 而是利用一些间接的技术估算转子位置。

低速时, 需要高频率注入或开环启动(效率不高)等特殊技术来启动电机并使之达到某一个转速, 在这个转速下对于反电动势观测器来说, 反电动势已足够高。通常, 5%的基本速度足以使无传感器模式正常运行。

中/高速时, 使用 d/q 参照系中的反电动势观测器。PWM频率和控制环路频率必须足够高, 才能获得合理数量的相电流和直流母线电压的样本。

反电动势观测器的计算要求乘累加、除法、正弦/余弦、开方等数学计算, 适合DSC、基于ARM内核的Kinetis MCU或Power Architecture系列。

弱磁控制

超过电机额定转速的操作要求PWM逆变器提供的输出电压高于直流母线电压所限制的输出能力。要克服速度限制, 可以实施弱磁算法。负的 d 轴给定电流将提高速度范围, 但由于定子电流的限制, 可得到的最大扭矩会相应的降低。在同样的直流母线电压限制下, 控制 d 轴电流可以起到弱化转子磁场的效果, 这降低了反电动势电压, 允许更高的定子电流流入电机。

飞思卡尔支持工具

如需永磁电机控制应用的参考设计、应用笔记和软件解决方案等信息, 敬请访问

freescale.com/motorcontrol。

交流感应电机控制

工作原理

简介

本文介绍了交流感应电机(ACIM)的基本工作原理和控制。

交流感应电机凭借其简便性、可靠性以及可以通过交流电压直接运行而非常受欢迎。ACIM是异步电机，始终具有比电力线频率更低的机械转子速度。

过去，AC电机无法做到速度变化，但是变频器的开发简化了电机速度的控制，现已被广泛使用。

ACIM构建

ACIM构建从位于定子绕组槽中的三相绕组开始。有两种基本的转子绕组概念。第一种类型是将转子绕组放置在绕组槽中，在轴上有滑环，过去一直用于调速和启动。更为常见的类型是“鼠笼式”转子。

图1：ACIM示例



工作原理

ACIM的工作原理基于从定子到转子的电压感应。当定子绕组由三相供电电压供电时，绕组中流过的电流产生一个旋转的磁场。转子绕组中的感应电压将创建转子电流和转子磁场。两个磁场之间的相互作用产生转动转子所需的机械扭矩。

转子转速低于定子磁场转速，这样才能产生旋转扭矩。

有三个与ACIM相关的量：同步速度、转差速度和转差率。

同步速度与电源频率成正比，与极对的数量成反比。

$$\text{synch_speed}[\text{rpm}] = \frac{60 \cdot \text{supply_frequency}[\text{Hz}]}{\text{no of pole pairs} [-]}$$

转差速度指同步速度和额定速度之间的差。转差率是转差速度与同步速度的比率，表示转子速度随负载下降多少。

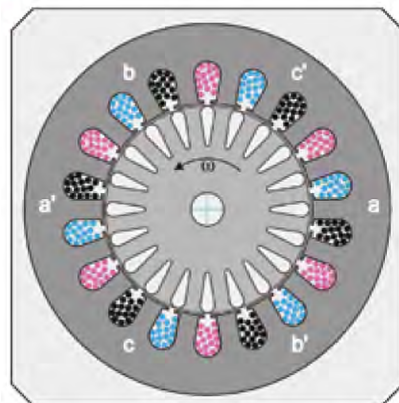
例如，一个50 Hz、具有7%转差率的六极ACIM产生以下结果：

$$\text{synch_speed} = \frac{60 \cdot 50\text{Hz}}{3} = 1000 \text{ rpm}$$

$$\text{slip_speed} = 7\% \cdot 1000 \text{ rpm} = 70 \text{ rpm}$$

$$\begin{aligned} \text{rated_speed} &= 1000 \text{ rpm} - 70 \text{ rpm} \\ &= 930 \text{ rpm} \end{aligned}$$

图2：ACIM切面示意图



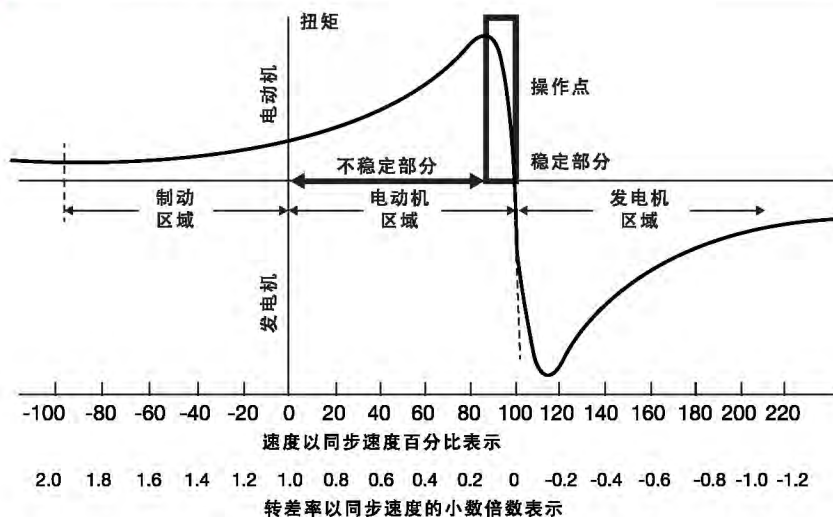
从这些结果中可以很明显看出，电机的运行速度比电源电压的频率低，需要进行调节以便得到精确的转速。

速度扭矩特性曲线

速度扭矩特性曲线显示了ACIM对负载的反应。

在电机区域的稳定部分的速度扭矩特性曲线中间可方便地选择操作点。在该区域，速度在加载后稍有下降。

图3：ACIM速度扭矩特性



ACIM可以作为发电机工作，但是必须提供机械反应能，因为没有磁场源。发电机模式下的速度扭矩特性曲线区域与扭矩过零点中心对称。在左侧有一个制动区域。当ACIM处于发电机模式时，转差率为负值。

从特性曲线中可以明显看出，电机的启动扭矩是受限制的。电机全扭矩启动可以使用高级控制方法实现。

ACIM控制

ACIM根据变频器提供的电源频率和电压改变速度。这种方式非常有效，并允许使用全部机械速度范围。

有两类控制方法。第一类是一种简单的方法，被称为电压/频率控制（或标量控制），电压与施加的频率成正比。该方法非常简单，并不依赖于电机参数，可以使用整个速度范围。但另一方面，它不包括电流控制器，并且不能较好的控制电机的瞬时状态。该技术适用于风扇、泵和压缩机。

飞思卡尔提供MC9S08P/MP等8位微控制器，具有可以轻松处理任务的专用外设。

第二类是高级控制方法，包括磁场定向控制(FOC)和直接扭矩控制(DTC)等。FOC可实现独立的电机扭矩和磁通量控制。

该控制基于将电流/电压从静止坐标系到旋转坐标系的转化，使控制与DC电机控制类似。控制采用了快速的扭矩/励磁电流控制环，和较慢速的速度/位置控制环。FOC需要知道实际的转子位置，通常由编码器或解析器测量。在某些情况下，传感器无法使用，并且转子位置使用无传感器观测器通过测量电机电流和电压计算。

高级控制技术提供了卓越的动态性能，提供从零速开始的宽速度范围，并具有出色的效率。它们可以用于工业控制和伺服驱动器，也可以用于洗衣机等高级家电应用。

但是在另一方面，它们需要具有专用电机控制外设的高性能微控制器。飞思卡尔提供了一个DSC系列，基于56800E/X内核的MC56F8xxx，以及基于ARM Cortex-M4内核的Kinetis微控制器，为交流感应电动机提供理想的高级控制解决方案。

如需了解用于ACIM的参考设计、应用笔记和软件解决方案的信息，请参见freescale.com/motorcontrol。

开关磁阻电机

采用飞思卡尔解决方案控制技术

开关磁阻电机特性

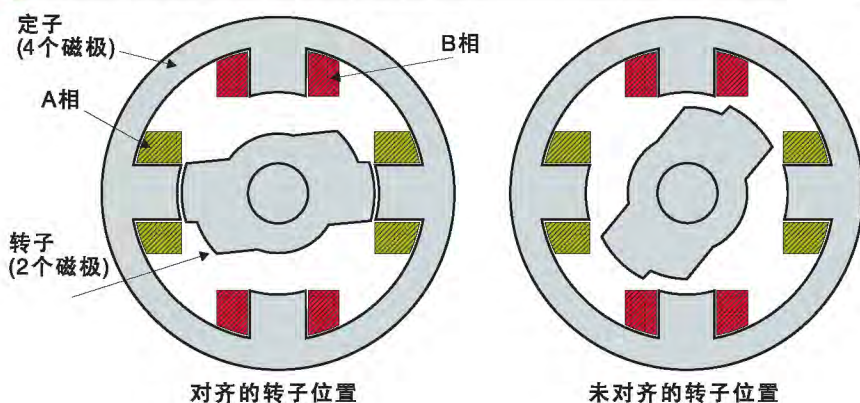
开关磁阻(SR)电机是一个旋转的电机，其中定子和转子都具有凸极。定子绕组由几组线圈组成，每个线圈缠绕在一个磁极上。转子由软磁材料堆叠压制而成，以减少涡流损耗。SR电机在定子相数上存在很大不同。每种都有不同的定子与转子极数组组合。

图1显示了一个典型的两相SR电机，带有一个4/2(定子/转子)磁极配置和一个梯状间隙。梯状间隙用于消除对称SR电机中转矩为0的盲区，它确保电机以正确的方向启动。

电机由施加在每个相上的电流脉冲序列来激励。电机每相按照一定的规则通入电流，使得电机旋转起来。根据转子位置和当前激励的绕组相，需要将电流脉冲加到对应的绕组相中。

SR电机的绕组电感随转子位置变化的曲线形状是三角形，当它在完全对齐位置时，达到最大值；当它完全未对齐时，则达到最小值。图2显示了SR电机两相电感随转子位置变化的理想三角形曲线，并注重强调A相。A相和B相的电气相位差为180度。当某相通电时，导通的位置间隔称为闭合角： Θ_{dwell} ，它由打开位置 Θ_{on} 和关闭位置 Θ_{off} 来定义。

图1：2相4/2开关磁阻(SR)电机



当定子相绕组有电压时，电机在增加该相绕组电感的方向产生扭矩。当某相绕组在最低电感值位置通电时，转子会向最近的最大电感值位置移动。这种移动由电机的磁化曲线决定。在某相上加一恒定电压时绕组中典型电流形状如图2所示。

SR电机的控制

SR电机由一系列与转子位置相关的电压脉冲来驱动。相电流的形状和电机磁化曲线决定电机扭矩的大小以及电机速度。因此，电机需要电子控制。根据电机相数和所需的控制算法，可以实现多种功率拓扑。SR电机的功率级拓扑的特定结构决定了各个相的控制自由度。

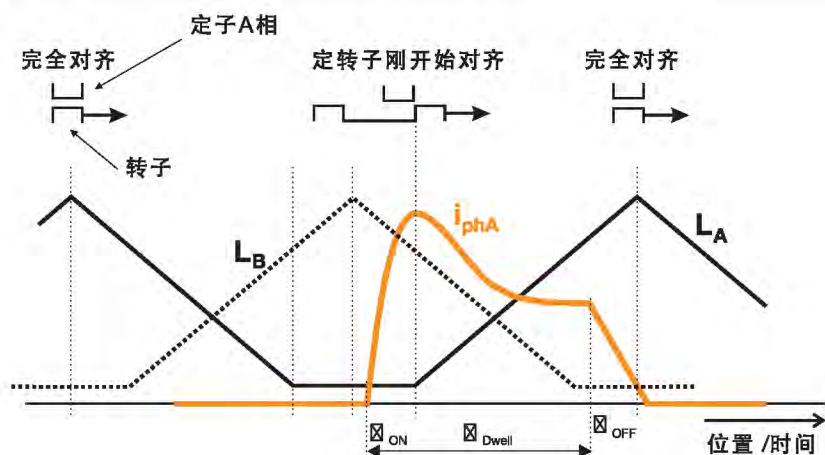
SR电机有许多控制技术。它们在控制算法结构和位置评估方面存在区别。

根据被控的电机变量，可以区分出控制SR电机的三种基本技术：

- 角度控制
- 电压控制
- 电流控制

在角度控制技术中，在SR电机中应用恒定的全电压。电机转速通过改变开/关角度来控制。转速控制器处理转速误差(所需转速与实际转速之间的差值)并计算所需的开/关角度。这种技术不适合全速范围的操作，因为低速操作过程中，最大电压幅值在电机相绕组中会生成峰值电流毛刺。这种技术被用来运行SR电机在额定转速之上。

图2：理想的相电感和相电流示意图



在额定转速下，全电压施加在电机相绕组上，通过恰当地调节开/关角度，电机可运行在额定转速之上。

在电压控制技术中，电机转速由加在电机相绕组上的电压来决定。施加在相绕组上的电压直接由速度控制器控制。速度控制器处理速度误差(所需速度和实际速度之间的差值)并生成所需的电压。由SR逆变器使用PWM调制生成所需电压。在PWM调制过程中，开/关位置是恒定的。当施加的电压达到其最大值以后，可以通过更改开/关位置使电机速度超过额定速度。

当进行电流控制时，还有一个控制环：SR电机的控制采用电流内环。在这种控制类型中，速度控制器的输出定义电机相绕组中所需的电流。根据所需电流计算出新的开/关位置。当电流达到所需幅值后，电流控制器会将相电流保持在所需电流值。

从该描述中可知，SR电机需要转子位置反馈信息以进行电机换向。在许多情况下，这一要求通过使用编码器和霍尔传感器等位置传感器来满足。其结果是机械传感器的实施增加了成本并降低了系统可靠性。过去，运动控制产品的开发人员尝试通过减少传感器数量降低系统成本。现在已经开发出多种无传感器控制算法，其中大多数涉及对磁路参数变化的评估，而这些参数的变化与转子的位置有关。

SR电机应用

SR电机本身是一种构造简单的、经济高效的机器。因为可以进行高速运行，所以该电机适合高速应用，例如真空吸尘器、风扇和白色家电。如上所述，SR电机的缺陷是需要转子位置信息，才能正确的进行换向。另外，电机结构会导致噪音和扭矩纹波。电机极数越多，扭

矩纹波就越平顺，但是电机构造本身和电子控制器变得更加昂贵。扭矩纹波也可以通过构造相电流波形形状等高级控制技术减少。

飞思卡尔支持工具

为SR电机控制选择适合的微控制器取决于所选的算法和所需的速度范围。如果是传感器应用并且处于低速范围时，具有PWM模块的8位微控制器足以满足需求。飞思卡尔MC9S08MP16微控制器包括一个具有换向支持的6通道PWM模块，换向支持对于具有高速范围的、需要精确换向的应用非常重要。无传感器算法对于没有额外外部组件的8位器件过于复杂。飞思卡尔DSC系列提供了优化解决方案。该系列提供高级PWM模块，可与PWM模块同步的高速ADC模块，并具有强大的DSP内核，例如MC56F8006或MC56F8013。二者都是DSC系列的最小代表，并提供最佳性价比。飞思卡尔DSC系列的一些其他成员也适合这些应用。

如需了解用于SR电机控制的参考设计、应用笔记和软件解决方案的信息，请访问

freescale.com/motorcontrol。

编码器信号处理

面向工业应用的器件

简介

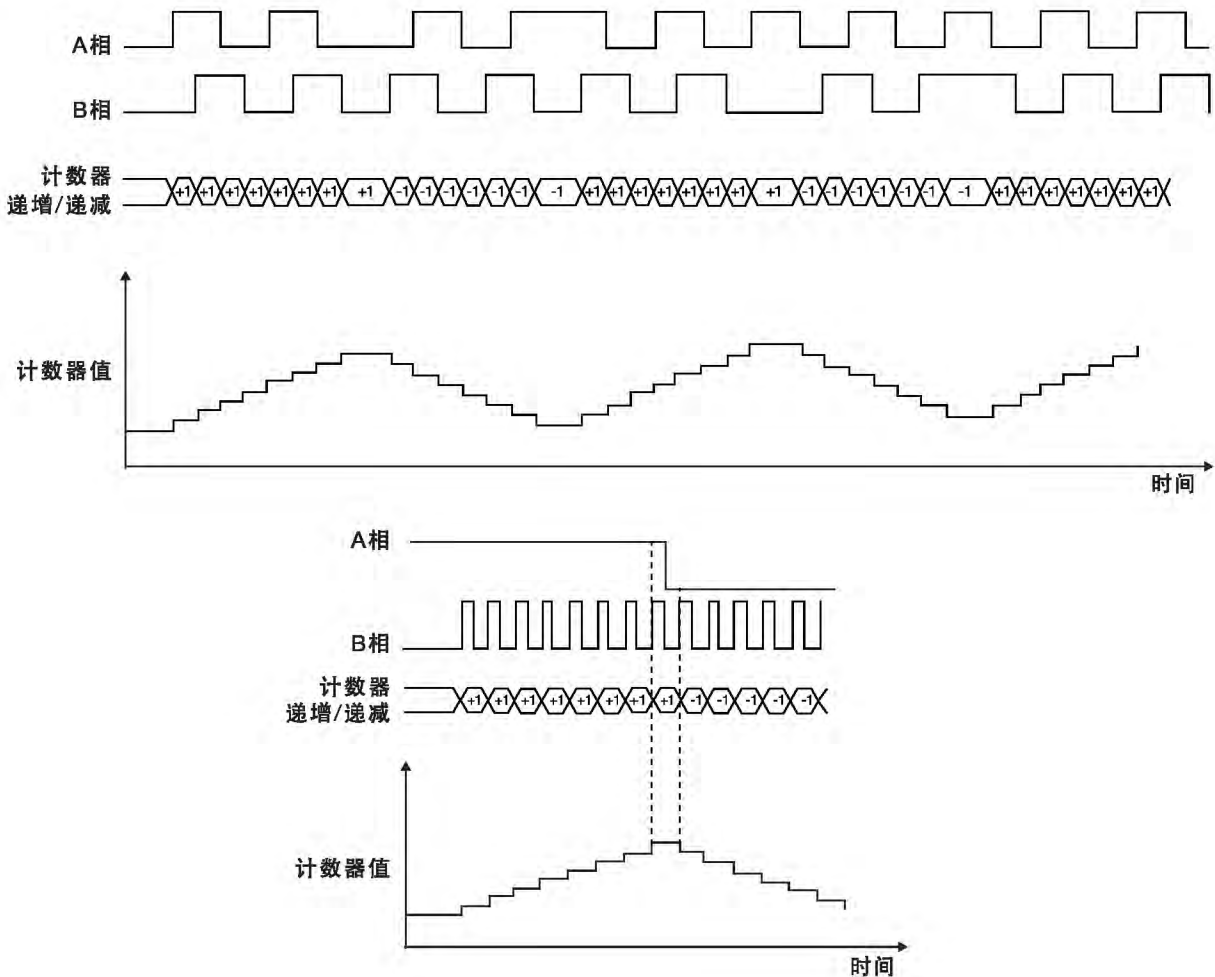
正交编码器作为安装在电机轴上的精确转子位置传感器被广泛用于工业电机控制应用领域。本文将介绍编码器工作原理、以及MCU中用于解码位置信息的正交解码器模块。

正交增量式编码器

正交增量式编码器是提供增量计数的位置反馈器件。增量式编码器提供相对位置信息，而反馈信号始终是相对于某个开始位置。编码器信号由主控微控制器的片上硬件直接处理。

正交编码器通常有三个输出信号。“A相”和“B相”信号包括一系列脉冲，相位差为90°(因此使用了术语“正交”)。第三个信号称为index”，在运动控制中提供绝对位置信息，用于检查脉冲计数的一致性。这意味着

图1：正交编码器输出信号和位置编码模式



在每旋转一圈，计数脉冲的值会被捕获并与定义值进行比较。如果检测到差异，控制算法接下来必须执行位置偏移补偿。

正交解码器

正交解码器是用于编码器信号硬件解码的微控制器外设模块，是飞思卡尔电机控制专用芯片的标准组件。虽然不同的MCU系列中正交解码器的实现存在差异，其原理是相同的：即它对两相信号的上升和下降沿进行计数。正交解码器的内部逻辑通过增加或减少计数器值评估旋转方向。另外正交解码器还有其他的功能。例如，B相信号是一串脉冲，而A相的极性决定计数方向，如图1中下面的图所示。

DSC上的正交解码器

专用增强正交编码器/解码器模块是最新推出的MC56F84xx DSC系列的一部分。它为工业电机控制应用中使用的位置/速度传感器提供了接口功能，并具有四个输入信号：A相，B相，index和home。该模块用于解码转子位置、旋转圈数和速度。它还支持不同的中断事件源。

Kinetis微控制器上的正交解码器

正交解码器是FlexTimer模块的若干特性之一，是Kinetis微控制器系列的一部分。它不像之前提到的模块那样具有丰富的特性，只有两个输入信号：A相和B相，因此只有位置可以直接评估。如果需要，需要再利用一个片上计时器来处理index信号。

如需了解关于正交解码器的初始化和配置的更多信息，请参见以下应用笔记、设计参考手册和器件参考手册：

- AN4381 (配置FlexTimer来进行基于编码器的位置和速度测量)
- DRM128 (Kinetis上基于正交编码器的PMSM矢量控制)
- DRM102 (MC56F8013/23上基于单电阻电流采样的PMSM矢量控制)
- MC56F844XXRM，
K40P100M72SF1RM

请访问

freescale.com/motorcontrol，

来阅读这些文档。

三相电流测量

飞思卡尔专用微控制器使设计变得轻松简单

概述

磁场定向控制(FOC)和直接扭矩控制(DTC)等高级电机控制算法需要检测电机相电流。为了减少传感器的数量并降低解决方案的总体成本，相电流可以通过低成本电阻采样的方式测量，只需在电阻器和MCU输入之间做一个简单的接口电路。相电流仅在某个特定的瞬间测量，因此基于电阻器的电流检测需要微控制器提供支持。飞思卡尔专用电机控制器件提供卓越的硬件支持，使用户能够解决特定应用的需求。

图1：三相逆变器拓扑

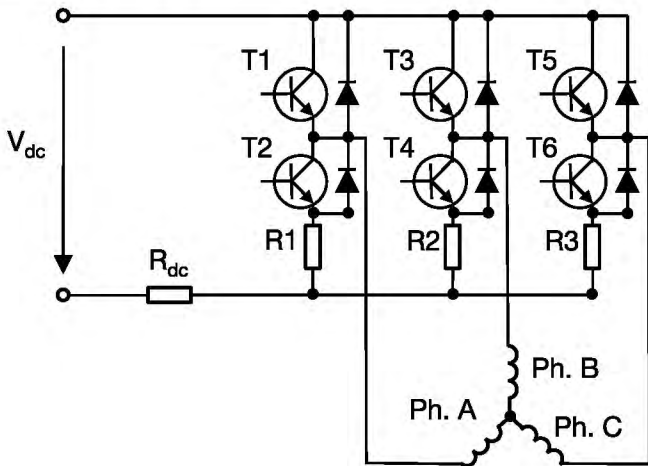


图2：电流检测

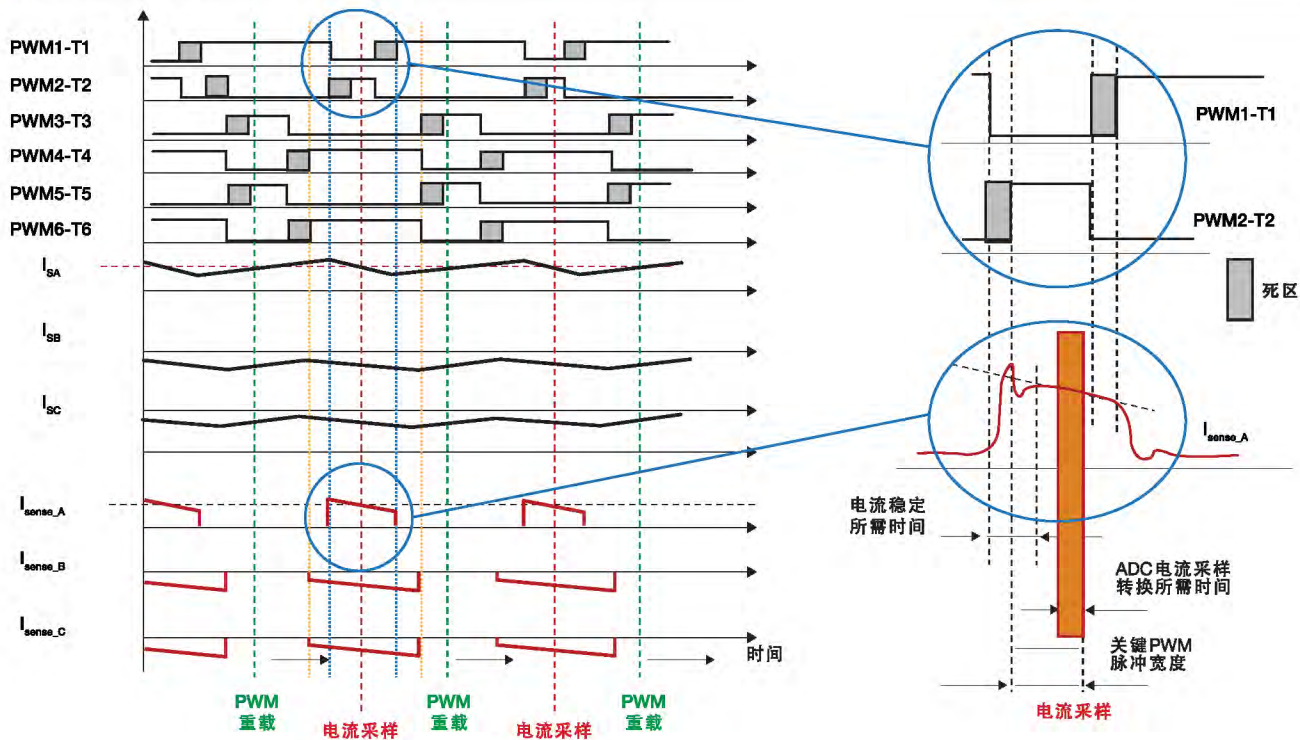
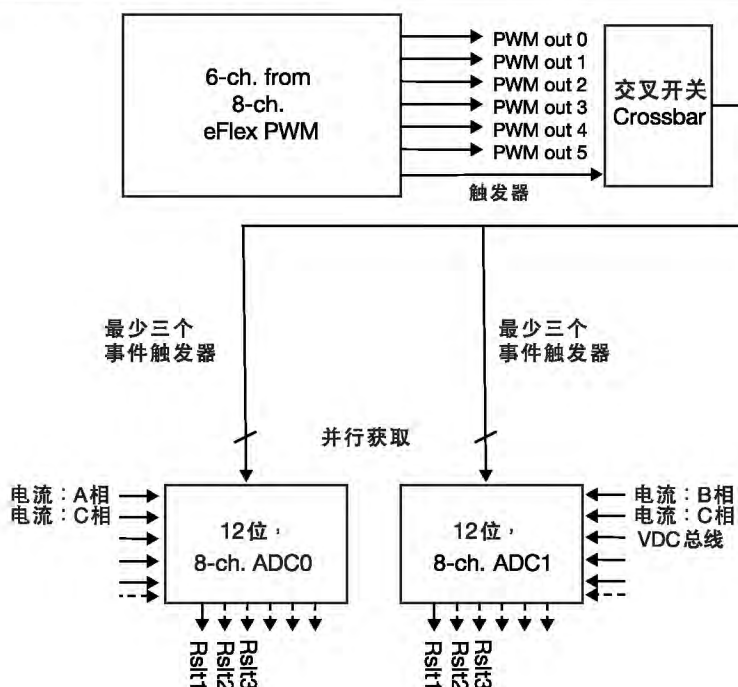


图3：内部模块的硬件互联



电流采样基本原理

电机由逆变器供电。图1所示为三相逆变器的典型拓扑。逆变器由三个半桥单元组成，每个半桥由顶部和底部两个晶体管组成。用于电流检测的电阻器(R1、R2和R3)放置在相应相的底部晶体管的下方。

在某些情况下，可以只从一个DC母线采样电阻器 R_{dc} 中重构三相电流。电阻器上的电压降由运算放大器放大，并由ADC模块采样和转换。当底部晶体管处于开启状态时(T2，T4，T6)，因为电流流经电阻器，所以ADC采样瞬间必须精确定义，并与逆变器晶体管的开关状态同步，也就是与电压生成外设模块，PWM模块同步。

互补PWM模式下逆变器中所有桥臂的详细开关条件如图2所示。

飞思卡尔为电流检测提供的微控制器支持

飞思卡尔专用电机控制微控制器可以灵活的实现电阻采样电流而进行的各种配置方式。支持智能电流检测的飞思卡尔微控制器系列包括基于DSC的微控制器、Qorivva微控制器(基于Power Architecture技术)和Kinetis解决方案(基于ARM内核)。

电流检测机制需要PWM和ADC模块之间进行同步。在无需软件干预的情况下通过硬件控制同步是非常关键的。用于产生可变占空比的PWM模块同时也产生同步信号。

用一个定时器处理该同步信号，这个定时器可以决定此同步信号和ADC触发信号之间的延时。当定时器的值被设置后，同步和ADC转换将自动工作。如果需要，可以在运行时方便地改变该定时器的寄存器值以改变ADC采样时刻。飞思卡尔电机控制微控制器的另一个重要特性是ADC模块包括两个独立的AD转换器，具有两个独立采样和保持电路。该特性使用户能够并行的采样、保持并转换两个模拟信号，所以可以并行转换两相电流。这种ADC运行模式被称为并发运行模式。因为我们始终仅测量两相电流，而第三相通过以下等式计算， $i_a + i_b + i_c = 0$ ，我们可以尽可能精确地计算第三相电流。

使用MC56F84xxx DSC系列进行电流检测

这一非常强大的DSC系列为硬件触发提供灵活的支持。ADC转换可以由连接至内部交叉开关模块(Crossbar)的任意模块同步，例如PWM、计时器模块、GPIO和比较器。除了简单的同步支持以外，MC56F84xxx DSC系列还提供多触发模式支持，通过设置可以在每次触发时可以进行多次转换。

可以通过硬件同步的内部外设模块之间的典型配置如图3所示。

eFlex PWM模块被同时用于生成PWM输出信号(PWM out 0, PWM out 1,..., PWM out 6)和ADC采样触发信号。触发事件通过交叉开关模块连接至ADC模块(两个内部ADC: ADC0和ADC1)。ADC0和ADC1同时运行,不仅可以转换电流,还可以转换模拟信号,例如母线电压和温度。

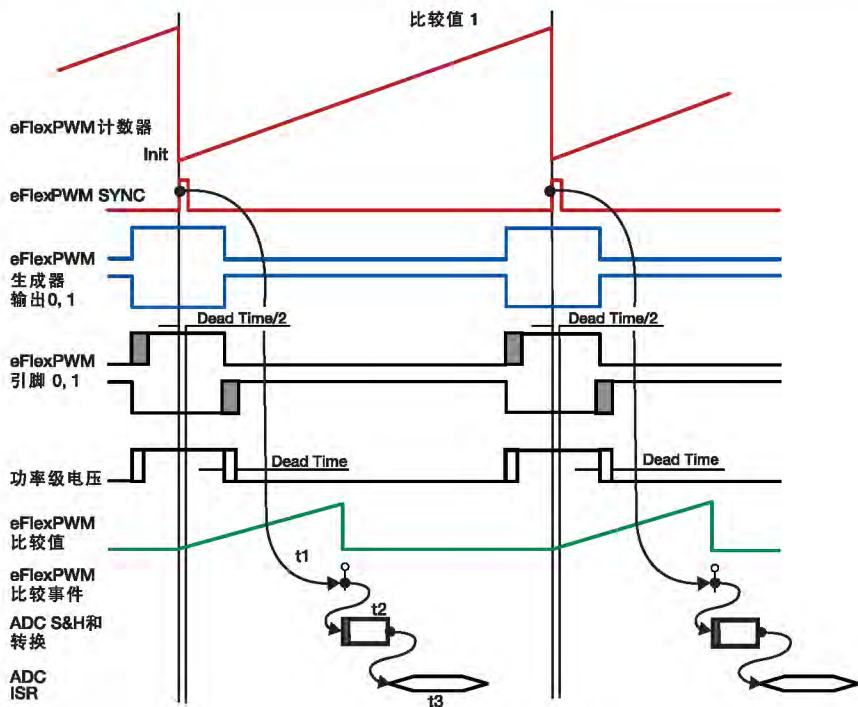
eFlex PWM模块和ADC模块之间的同步原理如图4所示。

PWM周期由两个寄存器定义:Init和比较寄存器。同步信号在PWM周期开始时生成(SYNC信号,这个同步信号不是用来与ADC同步的信号,而是用来重置PWM计数器的信号)。

每个eFlex PWM子模块都具有一个计数器和六个比较寄存器。未用于PWM信号生成的比较寄存器可以用于同步目的。当eFlex PWM子模块计数器达到设定触发事件的比较值时,生成触发信号,并启动ADC转换流程。如果ADC设置为并发运行,那么两个ADC都将在同一时刻触发。当ADC模块位于MC56F84xxx器件中时,转换时间如下所示:

- 单次转换时间: 425 ns
- 多次转换中非第一次转换所需时间: 300 ns
- 使用并行模式的八个转换: 1.325 us, 16个结果

图4: 同步原理



因为ADC模块具有16个结果寄存器,它可以在无需读取结果的情况下最多转换16个模拟信号。所有16个转换都可以由一个触发器或多个触发器触发。在ADC转换结束后可以通过中断服务程序或DMA读取转换结果。

总结

飞思卡尔电流检测和模拟信号测量解决方案允许用户简化总体解决方案并降低系统成本。智能硬件同步为模拟信号采样(电流、电压和温度等)提供了极为精确的采样时刻控制。另外,硬件同步还提高了微控制器吞吐量。

如需了解关于相应器件的硬件同步的全面信息,请访问

freescale.com.cn。在这里,您可以找到应用笔记和设计参考手册,这些文档介绍了如何配置电流检测、处理ADC结果、运行时设置同步并计算或重建电机相电流。

设计参考手册: DRM092, DRM102

应用笔记: AN1930, AN3234, AN3731, AN1933, AN4410



应用实例

为您的应用选择 飞思卡尔解决方案

根据您的需求找出最合适的器件

概述

为电机控制应用选择嵌入式微控制器需要开发人员考虑多个参数。如今，电机控制应用不再是旋转机器的专用驱动，已经变成了复杂的系统，包含多个接口、实时操作系统、高性能外设及其他元件。

飞思卡尔提供专为低端到高端器件的电机控制应用而设计的微控制器，满足了大多数性能和外设要求。

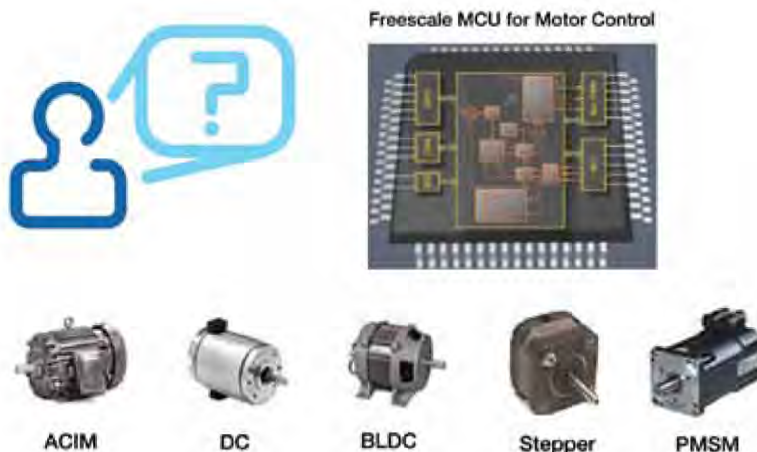
飞思卡尔为消费电子、工业控制和家电驱动提供了基于S08、DSC、Power Architecture技术的微控制器、和基于ARM Cortex-M0+和Cortex-M4内核的Kinetis微控制器。

要求

新的电机控制项目的定义阶段是应用开发流程中最重要的部分之一。在选择微控制器时应考虑这些参数：

- 目标应用：风扇、泵、洗衣机、烘干机、伺服器、一般控制、工业控制等
- 电机类型：PMSM、ACIM、BLDC、SRM、步进电机
- 要求的速率或扭矩精度
- 速度/位置传感器
 - 机械传感器(霍尔传感器、正交编码器、测速传感器、SinCos)

图1：用于电机控制的飞思卡尔微控制器



- 无传感器
- 无实际速度反馈的开环
- 控制算法：无刷直流电机换相控制、正弦标量控制、正弦矢量控制
- 内存要求：特定应用所需的RAM/flash空间
- 实时操作系统(RTOS)
- 首选内核：8位、16位或32位
- 安全标准(即IEC60730家电安全标准)

应用复杂性

典型的电机控制应用可分为两个部分：电机控制算法和与应用相关的代码。电机控制算法对于某种类型的电机和选定的控制技术几乎完全相同。它们不依赖应用类型。另一

方面，与应用相关的代码专为某个专用应用而设计，包含用户接口、通信协议、安全特性和附加的状态机功能。

电机控制算法的复杂性可根据初始要求分为若干部分。对典型的电机控制应用进行以下划分，可以定义出几个主要大类，这些类别包含外设、内存大小和典型应用的列表以及运行某些控制算法所建议的微控制器内核。

1. 极低端市场

与这一部分相关的电机类型为单相交流、直流和通用电机。电机控制呈现低动态特点，例如控制环变化慢。闭环(如果实现的话)通常仅有一个速度环或电机以开环方式驱动。

MCU要求

- CPU速度 ≤ 32 MHz
- 带有三相PWM输出的定时器
- 单个ADC
- 比较器
- 封装 ≤ 32 引脚
- 闪存 8–32 KB

飞思卡尔S08微控制器和基于

ARM Cortex-M0+内核的Kinetis微控制器适用于此类应用。

2. 低端市场

本部分包括永磁同步电机，交流感应电机和直流无刷电机在低动态要求、有传感器或无传感器场合的应用。

微控制器能够运行FOC算法，定时器能够产生三相正弦或梯形PWM信号。

MCU要求

- CPU速度 ≤ 50 MHz
- 带有三相PWM输出的定时器
- 单个ADC(有两个针对FOC的采样保持模块)
- 带有DAC的比较器
- 封装 ≤ 32 引脚
- 闪存 12–32 KB

飞思卡尔微控制器、DSC和基于

ARM Cortex-M0+内核的Kinetis微控制器适用于此类应用。

3. 中端市场

与这部分相关的应用类型是永磁同步电机和交流感应电机的无传感器控制。微控制器内核足以实现高动态性能的FOC算法，同时还可以实现功率因素校正(PFC)。该内核支持快速数学运算(单周期乘法)和DSP指令。

MCU要求

- CPU速率 50–100 MHz

图2：电机控制应用

极低端	低端	中端	高端
开关电机	水泵	洗衣机和烘干机	复杂的工业驱动器
单相电机	住宅压缩机	商业压缩机	双电机控制
手持和电动工具	风扇	工业驱动器	伺服驱动器
食品处理器	呼吸系统	HVAC	军用驱动器

- 带三相PWM输出的定时器
- 双ADC，能够并行采样
- 带有DAC的比较器
- 正交解码器
- 封装 32–64 引脚
- 闪存 32–100 KB

飞思卡尔微控制器、DSC和Cortex-M4内核适用于此类应用。

4. 高端部分

高端电机控制应用主要包括PMSM或ACIM高动态磁场定向无传感器控制和伺服驱动器。控制算法非常复杂，并以高精度算术运算实现。控制环路可包含一个位置外环，与传统的速度和电流控制器分开实现。通常需要实现PFC。微控制器能够控制两个独立的电机。

MCU要求

- CPU速率：150+ MHz
- 浮点单元(FPU)
- 带三相PWM输出的定时器
- 4个快速ADC，能够针对双电机控制进行并行采样
- 带有DAC的比较器
- 正交解码器
- 以太网
- 高级UART
- 封装 64–144 引脚
- 闪存 512 KB–2 MB

飞思卡尔MCU、DSC、Cortex-M4和带有FPU的Power e200内核适用于此类应用。

设计考虑要素

在选择MCU时应考虑以下额外的因素：

- 未来系统扩展：为固件更新预留存储空间
- 器件封装：引脚对引脚兼容的器件，在系统要求增加时能简单快速的升级到性能更高的器件
- 功耗：针对电池供电应用的MCU应拥有更低的功耗以延长电池的使用寿命
- 片上外设：模拟和数字外设，可减少使用诸如比较器、程序增益放大器和独立时钟源等外部组件
- 应用支持：提供示例应用，加快代码开发
- 提供使用塔式系统工具包的硬件和软件工具，可以在设计最终硬件时同时准备应用代码

结束语

为应用选择正确的器件是设计概念成功的关键因素。选择指南、参考设计、硬件和软件工具有助于简化该流程。如需了解更多信息，请访问 freescale.com/motorcontrol

面向小家电的电机应用

在小型家用电器中使用BLDC电机

介绍

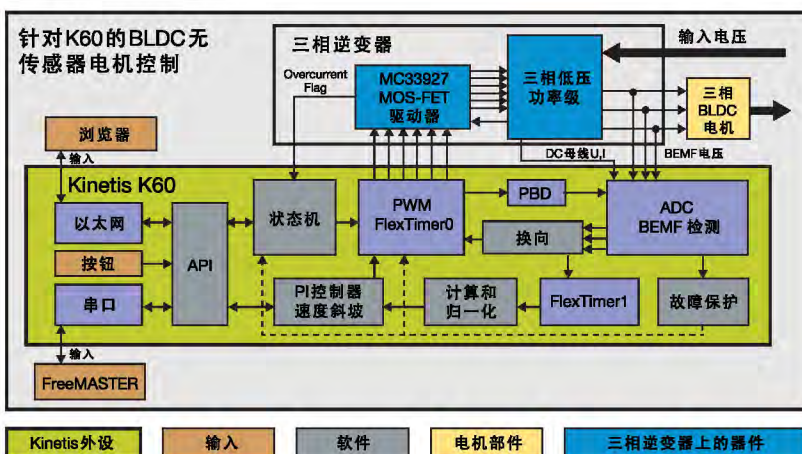
无刷电机在将电力转换成机械动力方面比有刷电机的效率更高。没有换向器可降低复杂性、减少维护、并降低电磁干扰。无刷电机可得到良好速度响应的高扭矩，并可通过微控制器轻松控制。它们也可以在宽速率范围内运行，同时支持精细运动控制并可在静止时保持扭矩。

无刷电机已经开始在许多应用中占主导地位，包括硬盘驱动器、CD/DVD播放器、水泵、风扇、机器人真空吸尘器、咖啡机、搅拌机、吹风机、面包切割机和可调或变速应用中的主轴驱动器。它们也是模型飞机、遥控(RC)汽车和便携式电动工具等需要延长电池寿命的应用中常用的电机。

应用要求

每个应用都有非常具体的要求。一个示例无法涵盖所有解决方案，但飞思卡尔提供了许多应用参考设计

图2：飞思卡尔Kinetis BLDC无传感器参考设计示意图



和/或演示软件，它们能够根据特定应用的需求轻松重新配置。

高效率

无刷电机被用来取代各种类型的交流电机。采用无刷电机最重要的原因是运行无刷电机所需的功率远低于典型的交流电机。有些设备使用无刷电机以增加整体系统效率，并取得欧盟能源标签中较高的效率等级。在小型、电池供电的设备中，提高驱动效率还有助于延长电池寿命。

变速和速度控制

除了无刷电机的高效率，某些家电设备使用无刷电机是因为内置的MCU允许以足够的精度进行编程、变速和/或负载调制。机器人真空吸尘器是需要MCU速度控制的典型例子。它支持双向运行，提供快速扭矩响应和低噪声。遥控玩具和真空吸尘器需要非常高速的运转。

低价格，高品质

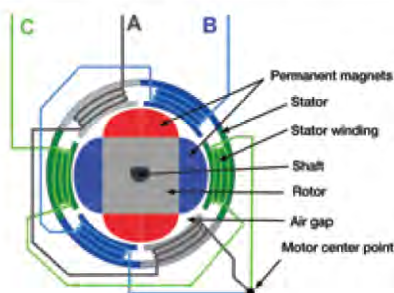
小家电的量通常非常大，因此最重要的要求之一是成本效益。通过BLDC电机实现的经济高效的控制拓扑可降低设备价格，同时保持产品的质量。

去除位置传感器还可进一步降低价格。如需了解更多有关该选项的信息，请参见本版本Beyond Bits中相关的小家电文章。

高可靠性

可靠性是无刷电机的重要方面，因为它们包含的机械部件数量最少：没有换向器、没有滑环、旋转部件上也没有绕组。驱动器最重要的部分是逆变器和控制器设计。因此，需要注意结合可靠的软件进行良好的硬件设计。

图1：BLDC电机剖面



通信

由于MCU是整个设计的一部分，因此可以用其增加系统智能和价值。通过增加现代化的用户接口、特殊特性或连接性将可以用最少的费用提高系统价值。使用正确的MCU可大大减少硬件数量。

尺寸和重量

高输出功率、轻重量和小规格适用于遥控飞机、直升机和电动工具。这正是BLDC电机已经取代了其他类型的电机和内燃机的一个原因。

应用概念

整体系统中包含用于此类电机控制的硬件和软件。

硬件包括：

- 三相逆变器
- MCU板卡
- 用户接口

软件包括：

- PWM生成控制
- 转子位置测量
- 用户界面
- 故障控制
- 电流限幅
- 速度控制器

控制器必须控制转子的旋转，因此，该控制器需要一些信息以确定转子转向/(相对于定子的)位置。一些设计可能使用霍尔效应传感器或编码器直接测量转子的位置。其他设计通过测量未通电绕组的反电动势，从而推断出转子的位置，不再需要霍尔效应传感器。这种技术被称为无传感器BEMF控制。

图3：针对特定应用的MCU选择

应用示例	应用要求	器件	工具
机器人真空吸尘器	高	Kinetis K系列MCU， 基于ARM内核、 DSC系列56F82xx、 56F83xx、56F84xx	硬件和软件工具、 电机控制驱动器和 算法、 FreeMASTER、 Processor Expert
咖啡机、遥控飞机	中	S12X、DSC系列 56F80xx、56F81xx	
玩具、搅拌机、 风扇	低	RS08、HCS08、HC08、 Kinetis L	

反电动势检测技术基于这样一个事实，即一次只给无刷直流电机的两相通电。第三个相是无馈电相，可用于检测反电动势电压。

整个系统根据用户界面输入和反馈信号，为电机逆变器产生三相PWM输出信号。

对于无传感器BLDC应用示例来说，需要在应用运行时检测下列参数：

- 直流母线电压
- 直流母线电流
- A、B、C相反电动势电压

根据这些被测量的参数计算换向时间和周期。为了管理这些任务，飞思卡尔处理器必须具备丰富的功能，例如定时器、ADC转换器和支支持PWM与ADC同步的模块。该处理器还必须包含带有硬件和软件触发器的特殊的控制寄存器，可轻松实现六步控制。

飞思卡尔的MCU

飞思卡尔提供多个8位、16位和32位MCU系列，非常适合现代工业和家庭应用的要求，具有高性能和低成本等特点。

飞思卡尔MQX™软件解决方案提供了带有模块化架构的简单的API，可进行扩展以满足大多数要求，并可轻松微调定制的应用。经过市场验

证的飞思卡尔MQX软件解决方案与芯片产品组合相结合，提供了一个精简而强大的平台，满足硬件、软件、工具和服务等综合需求。

飞思卡尔支持工具

如需了解更多有关基于ARM内核的Kinetis MCU、DSC和S08 MCU的信息，请访问 freescale.com/Kinetis，freescale.com/DSC和freescale.com/S08。

如需了解更多有关飞思卡尔模块化硬件开发平台和电机控制解决方案的信息，请访问 freescale.com/Tower和freescale.com/motorcontrol。

FreeMASTER运行时调试工具和CodeWarrior综合开发环境(IDE) studio是电机控制应用开发的组成部分。如需了解更多信息，请访问 freescale.com/FreeMASTER和freescale.com/CodeWarrior。

关于无传感器BLDC控制(包括DRM135、DRM078、DRM086、DRM128和DRM117)的多个设计参考手册以及应用笔记(例如AN4142、AN4376、AN4254和AN1914)，敬请关注freescale.com.cn。

开关磁阻电机驱动器的数字控制

适用于真空吸尘器等高速无传感器解决方案

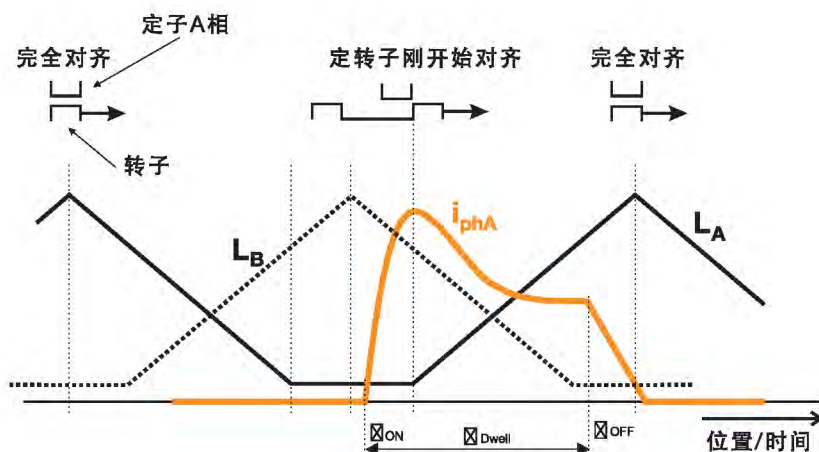
最近先进的变速驱动器旨在提高产品性能和系统效率。这类电机类型中，可从数字控制受益的是开关磁阻(SR)电机。SR电机在成本和可靠性方面都优于其他类型的可调速驱动器。它的优势包括简单的机械构造、高效率和高功率密度。但是另一方面，由于双凸极构造而产生的较大扭矩纹波又限制了SR电机在许多应用中的使用。

SR电机的另一种优势是其可以高速运转(> 50,000 RPM)。这样对于一个给定的输出功率，电机可以更小，从而减少了目标应用的尺寸和重量。能够从该特性受益的一个典型应用是真空吸尘器。高速SR电机使真空吸尘器体积更小、重量更轻，扭矩纹波产生的噪声与其他类型的电机相当。

应用要求

- 非常高的速度(>50,000 RPM)
- 开环速度控制
- 最大速度控制
- 一个旋转方向
- 快速启动时间(500–1000 ms)
- 2–3秒内达到全功率
- 小型直流母线电容器(<10 μ F)

图1：理想的相电感和电流示意图



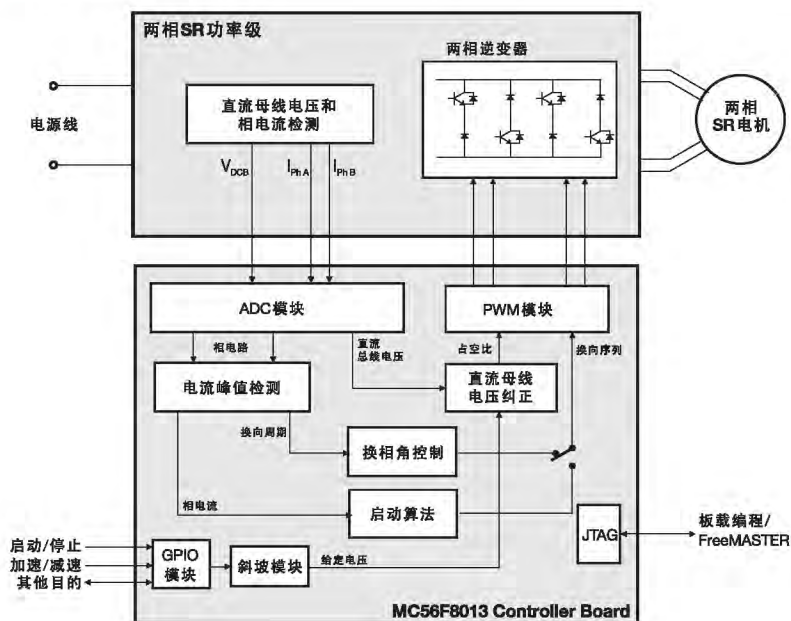
应用概念

如第17页“开关磁阻电机”一文所示，SR电机需要位置反馈，以进行电机相位换向。然而，装配机械传感器会增加成本，并降低系统可靠性。因此，真空吸尘器制造商已经尝试不用位置传感器来控制SR电机。目前已经开发了各种无传感器控制算法，其中大多数算法都涉及磁链估算。这些方法计算实际的绕组磁链并将其与参考磁链比较从而估算出转子位置。这些方法的主要缺点是磁链估算要求知道精确的绕组电阻值。而绕组电阻随温度的不同而有很大的变化，这会产生不必要的积分误差，特别是在低速时。这些积分误差会产生重大的位置估算误差。

本文阐述的另一种用于无传感器位置估算的方法是基于相电流峰值检测。这种控制方法允许SR电机在非常高速的情况下运行，适用于真空吸尘器应用。

这种方法的原理如图1所示。绕组相被激励的时刻与期待的电流幅值相关。电流上升直到定子和转子的磁极开始重叠。此时，相电流达到了其最大值。换句话说，电流峰值决定转子的确切位置。如果知道两个连续电流峰值的时间，便能够计算换向周期和相应的开关时间。电流峰值可通过外部电路检测，或使用强大的DSC直接进行软件估算。

图2：系统概念



该方法的优点是它与电机参数无关。我们需要了解的只是电流峰值时的转子位置。另一个优点是与磁链估算方法相比，电流峰值检测算法非常简单。因此，这种方法可在非常高速的情况下使用，而磁链计算在高速情况下的电流样本数较少，这会限制磁通链估算方法的精度。

虽然控制技术非常简单，但如果不使用外部组件的情况下完全实现数字化，则需要强大的MCU。该MCU需要能够提供非常快速的相电流采样和电流峰值估算。例如，在以60,000 RPM运行的两相SR电机里，换向周期仅为250 μ s。为了在电流峰值检测中获得足够的精度，需要每隔5 μ s估算一次相电流。

实施方案

MC56F8013 DSC是该应用的理想选择。该器件是MC56F80xx系列的产品，非常适用于数字电机控制、在一个芯片上结合了DSP计算功能和MCU控制器功能。这些混合控制器提供许多专用外设，例如脉冲宽度调制(PWM)模块、快速模数转换器(ADC)、定时器、通信外设(SCI、SPI、I²C)和片上闪存与RAM。使用MC56F8013 DSC的数字化电流峰值算法示例如图2所示。该示例满足上面讨论的对真空吸尘器的所有要求。图2展示了该系统概念，其中包括一个两相SR高压功率模块、一个两相SR电机和一个MC56F8013控制器板用来执行控制算法。作为对用户界面和反馈信号的响应，系统为

两相SR高压功率模块生成PWM信号。直流到交流逆变器产生的高压波形施加在电机上。

定期扫描用户界面的状态，同时对直流母线电压和激励相电流进行采样。SR电机根据启动/停止开关的命令启动。起初，转子对准到一个已知位置。当转子稳定后，启动算法开始对相绕组激励，从而使SR电机启动。在启动过程中，转子位置根据算法进行估算。当SR电机达到一个稳定速度后，转子的位置便可以从峰值电流估算得出。在启动后，SR电机速度通过速度斜坡增加到最大值。

每隔4.4 μ s对相电流进行一次采样。每个PWM周期开始时根据占空比的大小计算当前PWM周期内能够采集的ADC样本数量。电流采样值通过峰值检测算法进行评估。在检测到峰值后，根据最新的及以前的峰值时间计算出实际换向周期和开关(on/off)时间。

整个应用软件采用C语言编写，除了电流检测、电流峰值评估和换向事件中断程序外，因为它们是时间关键的，这些程序用汇编语言编写。

飞思卡尔支持工具

关于此应用的完整描述，包括软件和硬件资源，敬请关注
freescale.com.cn网站提供的参考设计DRM100。

工业控制/ 消费电器类吊扇

带有PFC的正弦BLDC吊扇的 无传感器磁场定向控制

介绍

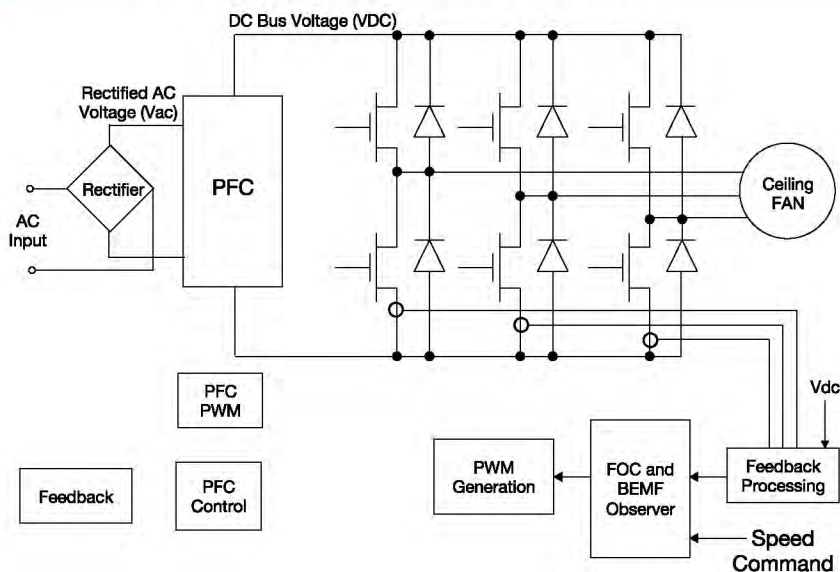
无刷直流(BLDC)电机在需要节约能源的领域越来越普及。BLDC风扇与传统的有刷直流电机和感应电机相比,拥有多个优点,包括每单位重量更大的扭矩、每瓦更大的扭矩(提高效率)、更高的动态响应、提高了可靠性、降低了噪声、延长了使用寿命、降低了功耗和总体电磁干扰(EMI)。本文介绍了带有经济高效的智能电子元件的典型吊扇应用以及上面提到的BLDC电机的优势。该应用降低了能耗,使之成为能源效率计划的理想选择。

本文专门讨论了吊扇应用的无传感器正弦BLDC/PMSM磁场定向控制。

系统概述

带有前端功率因数校正电路(PFC)的由飞思卡尔DSC控制三相逆变器,用于驱动三相正弦反电动势BLDC/PMSM电机。需要在逆变器的下桥臂级联三个电阻器来获得三相电流。电源配置如图1所示。采用了一个软件观测器以获得转子磁轴的位置,这对矢量磁场定向控制(FOC)算法是至关重要的。带有16 kHz PWM和8 kHz电流控制环的无传感器矢量控制算法用于获得卓越的性能、低噪声和高效率。

图1：无传感器正弦BLDC/PMSM FOC + PFC



吊扇的特性

- 速率范围 140–320 RPM
- 输入功率因子 > 0.95, 转速大于最小速率 90 RPM 时
- 当风扇运行时可以改变旋转方向
- 即使叶片仍在旋转(由于惯性)也能启动
- 45秒减速/加速, 90到320 RPM
- 25瓦的总功耗
- 通过红外遥控器控制五档转速

应用概念

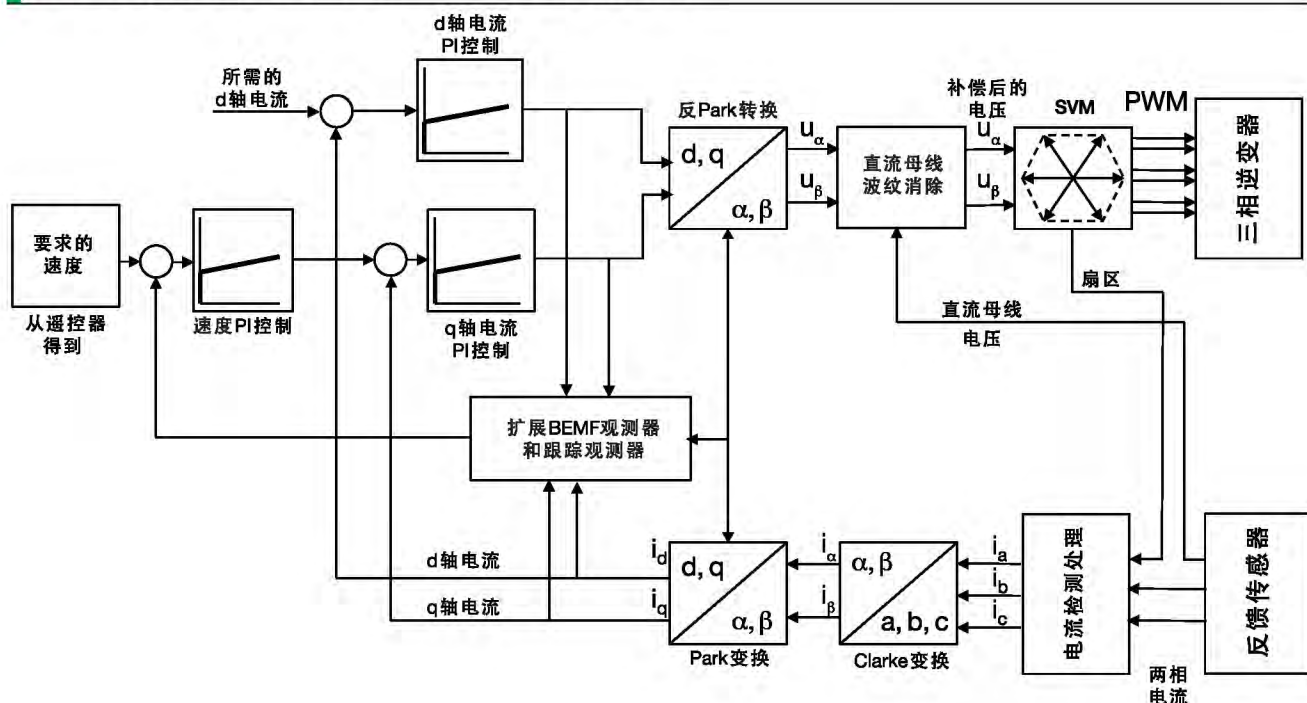
FOC

为了正确运行电机,启动风扇需要经过五个阶段,包括扇区检测、启动、开环、合并和闭环。

扇区检测阶段:电机必须以相对较大的初始扭矩启动,否则,启动风扇时将出现振荡或失败。考虑将转子位置的0–360度电角度分为六个扇区,这些扇区可通过定子磁性材料的B-H特征识别。

启动阶段:由于在检测转子的初始位置时绕组中有电流脉冲,因此这些电流脉冲可能会造成一些机械振动。这个阶段主要是在实际启动风扇之前增加一些延迟。

图2：无传感器正弦BLDC/PMSM FOC软件框图



开环阶段：当检测到转子的初始位置后，使用速度开环控制。在开环操作过程中，启动用于位置和速度估算的观测器，也启动速度环，以获得闭环中要使用的参考 i_q 。

合并阶段：在电机达到了所需的速度后，控制从速度开环转换到速度闭环。在闭环中，估算的转子位置被用于执行Park和反Park变换，并使用速度环的输出作为交轴电流基准。在开环运行阶段，预估位置和模拟位置之间可能存在相位差。

闭环阶段：由于合并阶段在算法中使用的转子位置已经从模拟转子位置顺利转移到估算的转子位置，因此，现在速度控制环的输出被用作 i_q 基准，而不使用给定的参考值。

PFC控制

非连续电流模式下的升压电路用于执行PFC内部电流模式控制。外部电压环控制直流母线电压，在输入和风扇速度改变的情况下也提供恒定电压。内部电流环控制输入电流并校正输入功率因数使之大于0.95和输入电流THD。

软件设计

使用状态机进行软件设计，可使软件易于理解和控制。故障任务处理过流、过压和欠压等情况。初始任务用于初始化算法中使用的所有变量。校准任务用于获得与逆变器的下桥臂级联的三个采样电阻上的直流偏移。完成校准后，进入停止任务。在停止任务中启动检测任务。位置检测任务旨在实现扇区检测阶

段提到的功能。启动任务实现启动阶段提到的功能，运行任务实现开环阶段、合并阶段和闭环阶段提到的功能。

带PFC的无传感器驱动

要读取无传感器控制的速度和位置，需要非常了解电机参数以计算其模型观测器。这些参数被编程到BEMF观测器算法中。该观测器的功能是计算BEMF的大小，这是驱动电机所需的。然后位置被传递给跟踪观测器进行过滤，作为附带产物，这样可以确定实际的速度。PFC电流环算法的计算频率是FOC的三倍，电压环路速度要低很多。

此时我们看到该解决方案需要采用飞思卡尔功能强大的56800E/Ex DSC系列控制器。

实施方案

飞思卡尔为这个重要任务提供了多种DSC。下面是此类应用必备的组件列表：

- PWM：两套PWM配置
 - 一个用于FOC，应提供中心对齐模式、配套的开关功能和死区时间插入以及三相定位
 - 一个用于PFC以及PWM与ADC之间的同步
- ADC：同时测量两个FOC电流和PFC电流，两个通道并行工作
- SCI：是与FreeMASTER通信所必不可少的，可以进行应用程序调试
- 中断控制器：必须基于优先级进行控制，以避免控制技术不完整。中断延迟应尽量短
- 内核：在数学运算方面必须具有很大的计算潜力

性能

该应用使用两个系统控制环路。

FOC：有两个主要的控制环，即电流环和速度环。电流环路非常重要，它以16 kHz的PWM为基准。该环路执行多个任务：

- 读取测量的电流和电压，并重组电流，从两个值变成三个
- BEMF观测器+跟踪观测器
- Clarke和Park变换
- D和Q轴电流控制器，它们的限值取决于直流母线电压的限制
- 直流母线电压纹波补偿
- 空间矢量调制
- 三相逆变器的PWM更新
- 为下一步进行ADC配置

PFC：有两个主要控制环路，即电流和电压。慢速控制的电压环环使直流母线电压保持恒定。电流环至关重要，因为它控制输入电流波形。

飞思卡尔支持工具

- 基于FSLESL的应用
freescale.com/motorcontrol
- 嵌入式软件和电机控制库
freescale.com/fslesl
- FreeMASTER可视化工具
freescale.com/FreeMASTER
- 来自飞思卡尔电机控制专家的应用支持

家用洗衣机

飞思卡尔MCU为家用电器提供智能解决方案

概述

洗衣机是世界各地家庭最常使用的一种家用电器。由于MCU的使用，制造商能够实现更多有用的功能，因此洗衣机的功能仍在不断改进着。大多数现代家用洗衣机提供的典型功能包括：

- 针对不同衣服类型的各种预定义的程序
- 温度设置
- 洗衣转速设置
- 快速洗涤程序
- 可变负载支持
- 水位控制
- 延迟启动功能

洗衣机品种

有许多类型的洗衣机，它们在机械结构、驱动滚筒的电机类型、电机控制系统、人机界面、能效等级、洗涤性能、烘干性能和耗水量等方面都不同。

机械结构：

- 1) 滚筒位置
 - a. 水平筒装洗衣机
(在欧盟地区占主导地位)
 - b. 垂直筒装洗衣机
(在美国和亚太地区市场广受欢迎)
- 2) 滚筒装载方向
 - a. 前端装载洗衣机
 - b. 顶端装载洗衣机
- 3) 驱动类型
 - a. 皮带驱动
 - b. 直接驱动

图1：盘式永磁同步电机



驱动洗衣机的电机类型：

- 1) 老式电机
 - a. 单相交流感应电机
 - b. 单相通用电机
- 2) 现代电机
 - a. 三相交流感应电机
 - b. 三相永磁同步电机

电机控制所用的控制系统

现代控制系统专注于更复杂的支持正弦波控制的控制拓扑。最受欢迎的控制拓扑之一是磁场定向控制(FOC)，可最大限度地提高效率 and 电机功率、减少扭矩纹波，减少噪声，并在电机/滚筒启动时的加速过程提供最大扭矩。交流感应电机驱动解决方案仅需要电机速度的信息。而永磁同步电机驱动解决方案需要转子位置和速度的信息。永磁同步电机的控制算法处理转子位置，并根据实时转子位置差计算速度。由于位置传感器相对昂贵，因此洗衣机制造商专注于不采用位置传感器的无传感器控制技术。而无

传感器控制技术需要强大的MCU来支持。

典型的皮带驱动式水平筒装洗衣机

电机类型

- 三相ACIM(两极)
- 三相PMSM(八极)

尺寸为60 cm x 60 cm x 85 cm
的标准洗衣机的负载能力

- 从5kg到12kg
- 通常情况下，7kg或8kg

滚筒旋转速度

- 从1000 RPM到1600 RPM

滚筒与电机的传送比

- 从1:6到1:16
- 通常大约为1:10

电机功率

- 大约750 W

电机扭矩

- 大约2 Nm
- 在某些情况下为3.5 Nm

洗衣机应用的主要特点

- 电机控制部分
 - FOC

- 速度闭环
- 扭矩控制环路
- 磁通控制环路
- 无传感器控制情况下的位置和速度估算
- 故障控制逻辑
- 洗衣机安全性能
- 安规等级B
- 应用状态机
- 与主控制系统的通讯

皮带驱动式与直接驱动式的洗衣机比较

最常见的洗衣机驱动都包含皮带。这种机械构造包括两个滑轮，皮带将功率、扭矩和速度从电机传送到滚筒。较小尺寸的滑轮安装在电机转轴上，而较大尺寸的滑轮则安装在滚筒轴上。假设典型的电机到滚筒传动比为1:10，洗衣时滚筒速度为1600 RPM和启动时电机侧扭矩为2 Nm，我们可简单地计算出洗衣时电机的速度为16000 RPM和启动时滚筒侧的扭矩为20 Nm。

而直接驱动式洗衣机的结构则不包含滑轮和皮带，因此电机转轴直接安装在滚筒轴上。支持这种机械结构的电机适用于高扭矩和相对低速运行的工况。此类电机被称为“盘式电机”，具有特殊的构造，如图1所示。

盘式电机的典型结构包括：

- 转子—永磁体
- 定子绕组—三相
- 24到48极

飞思卡尔为洗衣机应用提供的解决方案支持

飞思卡尔MCU系列产品为各种各样的洗衣机应用提供了完善的解决方案。飞思卡尔DSC系列具有性能强

劲的内核和智能、灵活的外设资源如eFlexPWM、ADC、定时器、外设互连总线开关和硬件通讯接口等，是复杂洗衣机应用的理想解决方案。典型的DSC产品包括：

- MC56F825x/4x系列
- MC56F844x/5x/7x系列

MC56F825x/4x是飞思卡尔基于56800E内核的DSC家族中的一个系列。该系列的主要特性包括：

- 内核工作频率—60 MHz
- 高速外设时钟—120 MHz
- 闪存—从48 KB到64 KB
- RAM内存—从6 KB到8 KB
- eFlexPWM模块—4个子模块，9个通道
- 带有可编程增益放大器的12位ADC—从2x4个通道到2x8个通道
- 带有集成5位DAC的模拟比较器—三个模块
- 12位DAC—一个模块
- 外设互连总线开关模块
- 队列SCI、队列SPI、I²C、MSCAN

MC56F844x/5x/7x是基于32位56800EX内核的DSC家族中最早的一个系列。56800EX包含56800E内核的所有功能以及下列增强功能：

- 32位x32位MULT/MAC运算
 - 地址生成单元(AGU)，所有地址寄存器带影子寄存器
 - 位反寻址模式，支持FFT算法
 - 新的位操作指令—BFSC
- 该系列产品的特性：
- 内核运行频率—高达100 MHz
 - 高速外设时钟—200 MHz
 - 程序/数据闪存—高达256 KB
 - 程序/数据RAM—高达32 KB
 - FlexMemory
 - 高达32 KB的FlexNVM—额外的程序或数据闪存
 - 高达2 KB的FlexRAM—额外的RAM内存

- eFlexPWM模块—8个子模块，24个通道
- 300 ns转换时间的12位ADC—2x8个通道
- 带有温度传感器的16位SAR ADC—1x24个通道
- DMA—四个通道
- 两个定时器模块—8个通道
- 一个正交解码器模块
- 两个周期间隔定时器
- 带有集成6位DAC的模拟比较器—四个模块
- 12位DAC—一个模块
- 外设互连总线开关模块
- 三个队列SCI、三个队列SPI、两个I²C、一个FlexCAN

结束语

洗衣机在电机控制方面是最复杂的白色家电之一，因为它拥有较宽的工作速度范围、负载变化范围而且成本敏感。飞思卡尔提供的专用MCU能够有效地满足这些复杂应用的需求。

如果想了解快速应用开发所用的MCU、编程和调试工具以及通用高压逆变器平台的综合信息，请访问网站freescale.com.cn。在此您可以找到应用笔记和设计参考手册。它们描述了具体洗衣机应用的详细信息，还提供如何使用飞思卡尔MCU的强大功能的设计提示。

参考设计—DRM110、DRM075、DRM070、DRM099

应用笔记—AN3476、AN3234

视频—PMSM无传感器电机驱动器

高压功率板—3PHACBLDCHVPSUG

如需了解与洗衣机应用相关的其它信息，例如触摸感应控制、连接设备(ZigBee)和水位测量(压力传感器)等，请访问freescale.com.cn。

采用 100 MHz/32位 DSC 的双电机控制空调

一个DSC控制两个电机和PFC变换器

介绍

电机驱动器是各种家电不可缺少的组成部分。它们的发展是出于安全和环境友好的要求、性能要求，当然也受到制造成本的推动。目前家电产品的电机驱动通常使用矢量控制技术(也称为磁场定向控制(FOC))。因为矢量控制提供卓越的动态性能，利用最大电机扭矩能力，并高效、瞬时地控制电机运行。此外，为了提高输入功率因数，需要实现功率因数校正(PFC)电路。

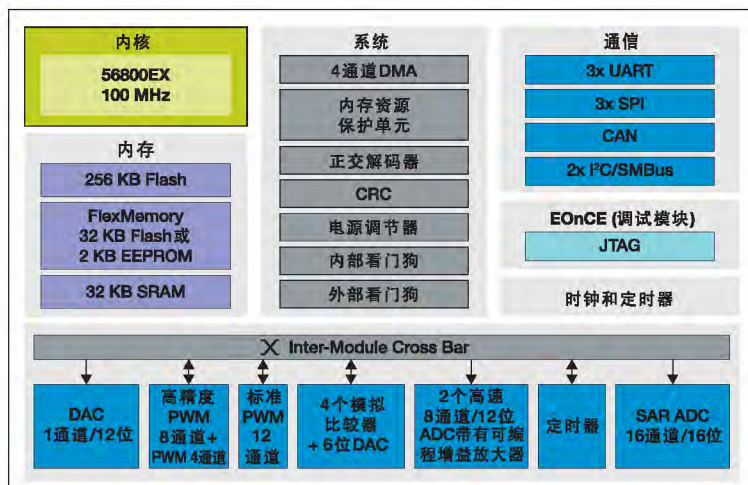
有些家电包含多个电机。一个例子就是带有水泵和驱动电机的洗衣机，或带有压缩机和风机的空调设备。以前这些电机由独立的电路驱动。然而，由于追求最低成本，导致驱动器需要通过一个MCU并行控制两个电机，从而最大限度地减少昂贵的重复电子器件。

专用于双电机控制的飞思卡尔DSC产品

飞思卡尔提供许多满足先进的电机控制应用要求的DSC产品。最近推出的基于32位MC56800EX内核的100 MHz MC56F84xxx DSC适用于数字电源转换和无传感器的双电机控制。

MC56F84xxx包含用于电机控制应用的先进的高速和高精度外设。两个脉冲宽度调制器(eFlexPWM)模块支持双电机控制的实现。两个12位高

图1：MC56F84xxx 示意图



速模数转换器(ADC)支持高达300 ns/3.33 Msps的采样频率，用于模拟量的检测。四个模拟比较器模块内部集成6位数模转换器(DAC)，支持紧急关闭PWM输出。可编程延迟模块(PDB)可用于为电机电流重建提供使用PWM脉冲同步触发ADC转换。直接存储器访问(DMA)控制器减少了内核中断，提高了系统性能。外设互连总线开关是一个多功能外设，可以实现片上外设之间的信号互连。

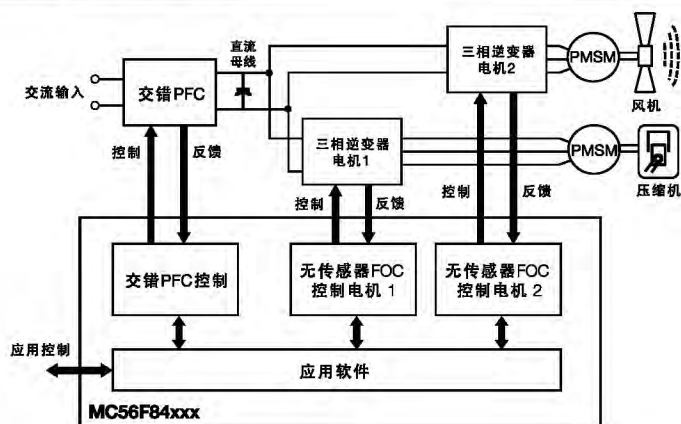
应用需求

带有功率因数校正电路的无传感器双正弦波矢量控制解决方案是典型的洗衣机和空调室外机应用。对洗衣机来说，一个MCU控制水泵和驱动电机；在空调室外机中，一个MCU同时控制风机和压缩机。

此类系统的应用要求如下：

- 双永磁同步电机控制
- 两个电机正弦波矢量控制
- 无传感器电机位置估算
- 较高的启动扭矩，较宽的转速范围
- 8–16 kHz PWM频率
- 通过分流电阻进行的三相电流检测(在某些情况下，可能使用单分流电阻进行直流母线电流检测)、直流母线电压检测
- 输入端功率因数校正(取决于地区政策和总功率容量)
- 硬件和软件故障保护
- 与主/从系统的连接
- 满足IEC60730家电安规标准

图2：双电机控制拓扑



应用概念

该解决方案概念演示了一个MC56F84xxx DSC控制整个应用(两个电机和PFC变换器，并提供连接和应用控制)。功率硬件包括共享直流母线电路的两个功率逆变器、PFC功率电路、电流和电压检测和辅助电源。

高级电机控制算法基于矢量控制技术。在一个特殊的参考系里，定子电流可分解为扭矩分量和磁场分量。这些分量都是直流值，独立地控制。

矢量控制算法需要使用快速ADC来测量三相电机电流。电流测量点必须与PWM脉冲的中心同步，以避免开关噪声并获得有效的平均电流值。通常，两相电流被同时检测，并计算第三相的电流。控制系统包含两个电流控制环路，一个用于扭矩控制，另一个用于磁场控制。根据这些控制器的结果，计算输出电压矢量，并产生正确的互补PWM信号

驱动逆变器。对于运行于额定转速以上的情况下，必须采用一种特殊的算法，允许在弱磁区运行。此外，一些电机拥有高磁阻扭矩。为了使用该磁阻扭矩从而允许构建小尺寸的(具有成本效益)电机，开发人员使用称为单位安培电流最大扭矩(MTPA)的特殊算法，以充分利用磁阻扭矩。独立地控制扭矩电流和磁场电流可以实现高动态运行以充分利用磁阻扭矩。独立地控制扭矩电流和磁场电流可以实现高动态运行，卓越的控制性能，甚至在超低转速情况。

确保正常运行，矢量控制算法需要电机转子位置和速度信息。永磁同步电机的无传感器技术最常使用基于电机的反电动势数学模型的算法。在运行时，DSC解析一组方程，经过数字滤波器和观测器，计算出电机的位置和速度信息。

双电机控制需要并行计算两个完整的矢量控制算法。通常两个电机共

享逆变器的一个直流母线电路。为了减少单个直流母线电容器的电流应力并获得最小的直流母线电压纹波，这两个电机的PWM脉冲彼此相移50%的PWM周期。这种PWM移相操作允许ADC交替采样，这样两个ADC便足够完成两个电机控制量的检测。同样，每个电机的无传感器矢量控制算法的快速环路计算也交替进行。

作为可选项，PFC可能也需要用到。取决于性能要求、输出功率和负载条件，多种类型的PFC拓扑可以实现。对于较大的功率容量，通常使用连续导通模式下运行的交错式PFC拓扑，交错式PFC包含两个MOSFET功率开关和两个PFC电感器。MCU检测输入电流并控制功率开关，以使输入电流保持正弦波并与电网电压同相位。PFC的典型PWM频率在50–100 kHz的范围内。

高级电机控制算法需要MCU提供专用外设功能和高性能CPU，以管理两个电机及PFC控制。飞思卡尔MC56F84xxx满足这些应用要求，是此类先进应用的理想选择解决方案。

飞思卡尔支持工具

飞思卡尔在

freescale.com/motorcontrol提供一套完整的参考设计、应用笔记和针对电机控制的开发工具。

2013年第一季度将提供参考设计手册，介绍如何通过MC56F84xxx实现带PFC的双电机控制。

工业/电器PMSM驱动器

适用于压缩机、风机、泵和类似驱动器的
无传感器PMSM磁场定向控制

介绍

针对工业或电器驱动器的无传感器永磁同步电机(PMSM)磁场定向控制作为一个具有成本效益、高效节能的控制器解决方案正在日益普及。本文介绍了适用于压缩机、风机、泵及类似驱动器的无传感器PMSM FOC信息。

典型需求

压缩机、风机和泵等工业控制和电器驱动器通常具有可变的功率，和中速运行范围。

控制要求包括：

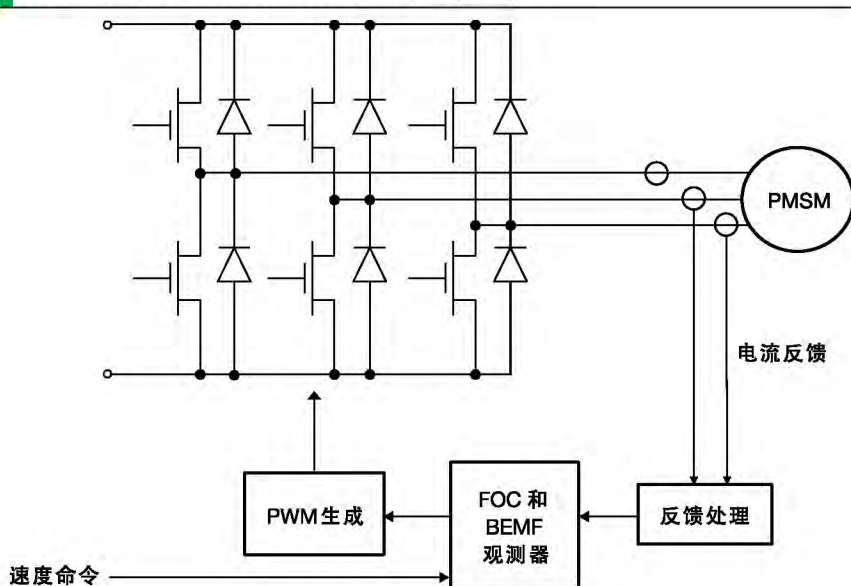
- 永磁同步电机的无传感器FOC。为了实现该目标，必须选择一颗强劲的DSC产品。
- 机械速度范围从200到10,000 RPM。无传感器算法必须在该速度范围内估算位置和速度信息。
- 启动和对齐扭矩取决于驱动器。压缩机拥有较高的启动扭矩而风机的启动扭矩较低。
- 5到10kHz的PWM频率。这是平衡开关损耗、可听噪声和足够采样数后的一个折中数字。此外无传感器控制需要ADC与PWM同步。

应用概念

FOC

当永磁同步电机的三相绕组由三相对称正弦电流供电时便会旋转。每个正弦波电流的相位必须与转子位置对齐时，才能产生扭矩。该扭矩与所提供的电流成正比。控制三相

图1：无传感器PMSM磁场定向控制



电流正弦波形非常耗时。因此，需要将三个电流分量分解成与转子位置对齐的两个电流分量。然后，这两个电流分量用于系统控制：一个分量控制磁场，另一个控制扭矩。

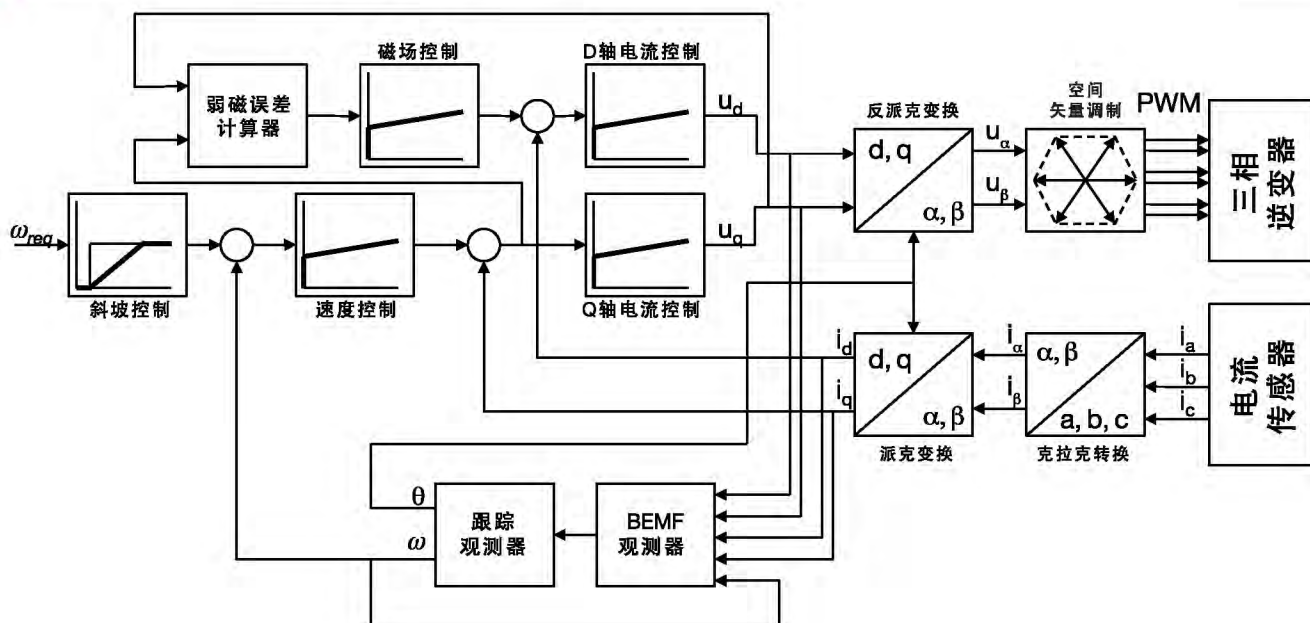
最后，由PI控制器控制这两个电流。所需的扭矩电流值由速度PI控制器的输出控制。所需的励磁电流值保持为零直到磁场强度需要被减小。当速度较高同时感应的BEMF达到直流母线电压时，将再也无法达到更高的速度。通过减小磁场强度，可感应较低的BEMF值。在这种情况下，直流母线电压有一个预留值，可以施加到电机上，增加电机中的电流，然后达到更高的速度。飞思卡尔已经开发出了这种弱磁方法。

无传感器驱动

该应用需要位置和速度信息。因为位置传感器非常昂贵，因此这里不使用。这样，需要在不使用额外物理位置传感器的情况下获得位置和速度信息。

为了获得速度和位置信息，需要非常了解电机参数，以计算其模型观测器。这些参数被编程到被称为BEMF观测器的算法。该观测器的功能是计算BEMF的位置，以此来驱动电机。然后该位置信息通过跟踪观测器，进行滤波，作为副产物，这可以过滤出实际速度。该观测器的输入是电流、施加的电压和输出速度。该解决方案需要使用飞思卡尔强劲的56800E/EX DSC系列控制器。

图2：无传感器PMSM FOC软件框图



方案实现

飞思卡尔为这个重要任务提供了精选的DSC产品。下面列出了此类应用必须具备的特性：

- PWM：应提供中心对齐的模式、带有死区时间插入的互补开关功能、与ADC同步
- ADC：同时测量两相电流，两个通道并行工作
- SCI：与FreeMASTER通信需要SCI，以支持应用调试
- 中断控制器：必须基于优先级进行控制，以避免控制技术不完整，中断延迟应尽量短
- 内核：在数学运算方面必须拥有强大的计算能力

性能

该应用使用两个主环路：电流环和速度环。电流环路非常重要，并以10 kHz PWM频率进行计算。该环路有以下几项任务：

- 读取测量的电流和电压，并从两相电流值中重建第三相电流值
- BEMF + 跟踪观测器
- Clarke和Park变换
- D和Q电流控制器及其根据直流母线电压决定的限幅控制
- 直流母线纹波补偿
- 空间矢量调制
- PWM更新
- 为下一拍配置ADC通道

电流环路的执行时间为14 μs(在100 MHz DSC上测量)。速度环路以1至5 ms的周期运行。其任务包括：

- 速度坡度计算
 - 速度PI控制器计算
 - 弱磁算法
- 速度环路执行时间为1.8 μs。代码共占用3165字的ROM空间和279字的RAM空间。

飞思卡尔支持工具

- 基于FSLES1的应用
freescale.com/motorcontrol
- 嵌入式软件和电机控制库
freescale.com/fsles1
- FreeMASTER可视化工具
freescale.com/freemaster
- 来自飞思卡尔电机控制专家的应用支持

工业驱动器

简单的交流感应电机V/Hz驱动

介绍

本文介绍了交流感应电机(ACIM)的基本控制方法，解释了方法原理、硬件和软件实现，同时推荐并阐述了一些解决方案。

ACIM V/Hz控制

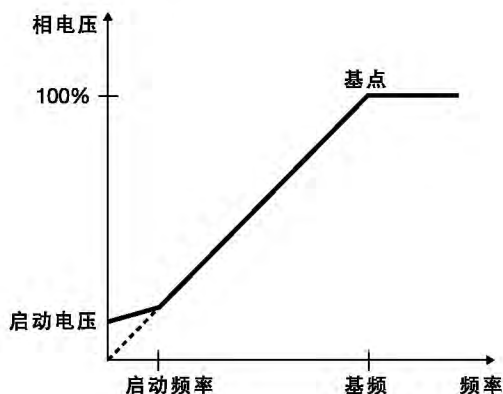
开环电压/频率(V/F)控制(标量控制)是一种最常用、最简单的方法。此方法不要求高计算能力，也没有反馈信号，这意味着低转速精度，但不需要昂贵的速度传感器。

标量控制通常用于需要变速的驱动器，而且低调速精度和低动态性能也是可以接受的。这使得具有V/Hz控制功能的ACIM可以方便地用于低成本的驱动器，如风机、通风机、泵、压缩机，或用作其它设备的驱动器。此外，这些驱动器还有一个好处是低维护成本。

V/Hz原理

V/Hz控制方法是最受欢迎的标量方法之一，可控制频率、电压或电流等变量的幅值和频率。此方法的原理基于电机速度与电压频率成正比，这使得可以轻松改变电机速度。所施加的定子电压由所施加的频率直接计算得到，以便在机器内保持恒定的气隙磁通量。

图1：电压/频率关系图



定子电压也必须根据频率而变化，否则电机绕组将出现过流。控制算法让定子电压随着频率而变化，在电机中保持一个恒定的励磁电流(磁通量)。图1显示了定子电压和频率之间的关系。

通过脉宽调制(PWM)来保持平均电压是最常用的一种高效技术。在此方法中，电压脉冲不是一个问题，因为电机绕组包含了可确保平稳定子电流的电感。

对于正弦定子电流的产生，定子电压脉冲的占空比随着正弦基准信号而变化。

在基点以下，由于恒定的V/F比值，电机以最优励磁电压操作，称为恒定扭矩操作区。在基点以上，由于额定电压的限制，电机以欠励电压操作，称为恒定功率操作区。

控制方案

图2显示了V/Hz控制结构，可分为硬件和软件两部分。硬件由频率转换器、传感器和驱动器组成，而软件包括一个控制算法。

硬件

带直流母线电压的频率转换器产生可调频率的电压驱动电机。该频率转换器由一个输入二极管整流器、直流母线电容器和输出电压三相逆变器组成。

图2：控制结构

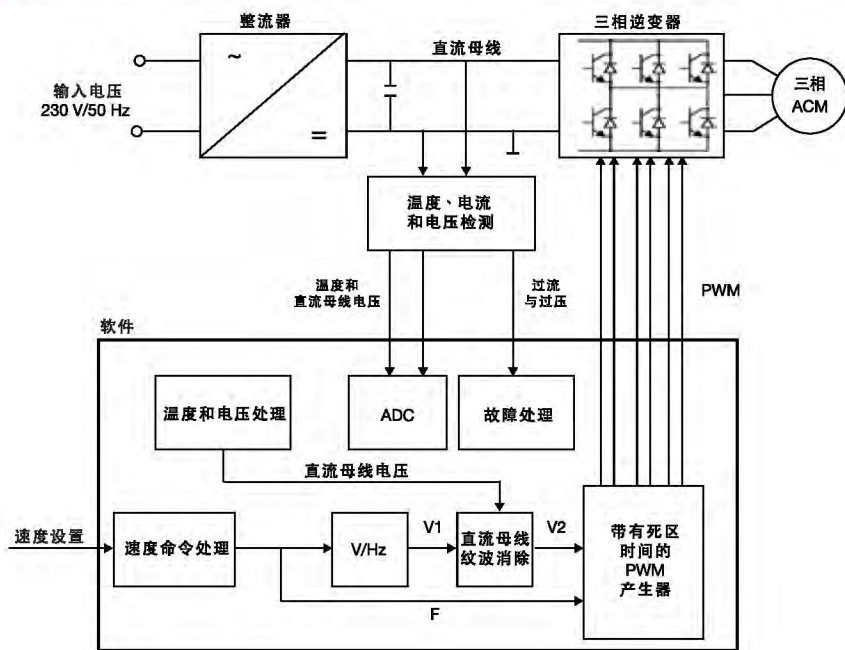
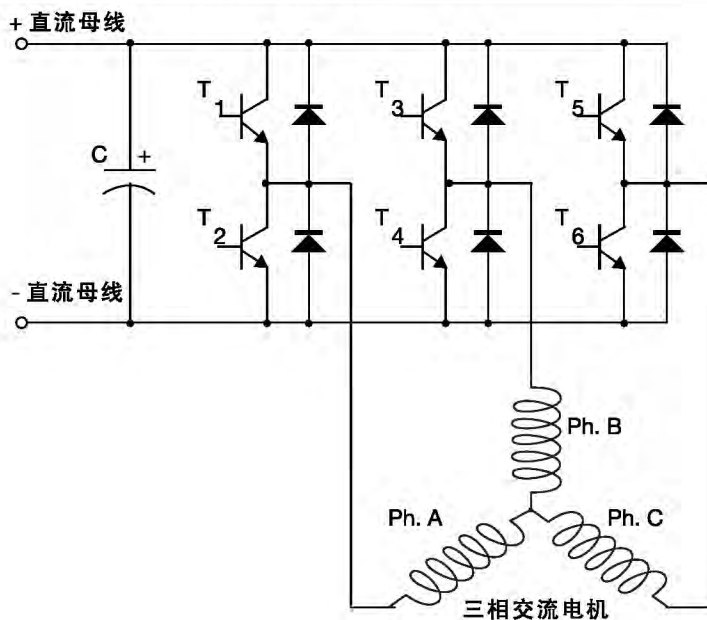


图3：带直流母线的三相逆变器



逆变器由三个半桥单元组成(见图3)，其中顶部开关和底部开关是互补控制的。这意味着，一旦打开第一个开关，必须关闭第二个开关，反之亦然。在状态改变期间，两个开关都关闭，这就是死区时间。

电机控制应用最常用的器件就是功率MOSFET和IGBT。

调制技术

每个互补对PWM有两种脉冲生成方法。一种较容易的方法是使用等腰三角形载波与正弦调制波进行比较，如图4所示。

一种更复杂、但更有效的方法是空间矢量调制方法，它使用6个运动矢量和2个零矢量。每个运动矢量对应激活顶部和底部区域的3个开关管。零矢量对应激活所有顶部或所有底部的3个开关管。运动矢量之间的空间矢量是邻近的运动矢量和任意零矢量的组合。

软件

该应用程序检测直流母线电压、电流和温度。检查过流和过压故障情况，以避免驱动器故障。此外，直流母线电压还用于消除纹波。

速度命令使用斜坡来处理。对应电压使用V/Hz斜率来计算，然后根据生成的相电压的幅值，直流母线纹波消除模块消除直流母线电压纹波的影响。PWM产生模块根据所需的幅值和频率计算出三相电压。

最后，生成三相逆变器PWM脉冲信号。

推荐器件

对于上述解决方案，根据所要求的内核推荐使用飞思卡尔S08MP16或Kinetis系列的MCU。

S08MP16是一颗HCS08内核的8位芯片，主频高达50 MHz。Kinetis K系列具有一个更强劲的32位ARM Cortex-M4内核，主频高达150 MHz。

此外，K系列还集成了1 MB闪存和128 KB SRAM内存，而S08MP16则集成了16 KB闪存和1 KB RAM内存。

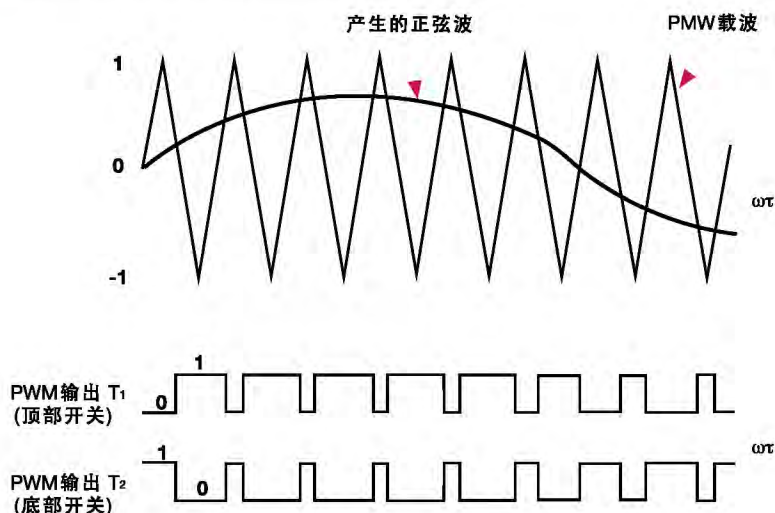
S08MP16采用最大48引脚的LQFP封装，而Kinetis K40 MCU提供144引脚的LQFP或MAPBGA封装。

这两个系列器件还包括产生PWM的FlexTimer模块和用于触发ADC的PDB模块。S08MP16只有一个12位分辨率ADC，而Kinetis K40 MCU则配备了两个16位分辨率的ADC。

根据您的具体应用要求选择适当的器件。如果您的应用需要在单颗器件上执行多个任务，更强劲、更高性能的Kinetis MCU可提供一个简单的解决方案。而对于更经济高效的解决方案，S08MP16则是一个理想的选择。

如需关于ACIM V/Hz控制的更多信息，请访问freescale.com.cn。

图4：脉宽调制技术



数字交流驱动控制

飞思卡尔工业交流驱动解决方案

工业交流驱动器用于驱动大量异步或同步的交流电机。交流感应电机常用于工业自动化和OEM机械应用。工业自动化涵盖了广泛的应用，包括泵、风机、暖通空调(HVAC)、离心机、电梯、自动扶梯、自动测试台、封装机、智能材料加工以及智能行李处理等。

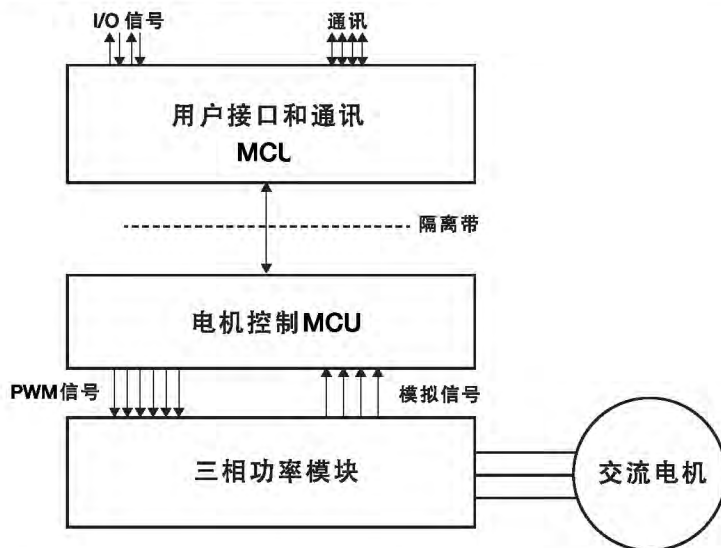
交流驱动器根据最终的应用而采用不同的控制技术。最常用的是开环V/Hz，可用于风机或泵等低动态响应的应用。而高动态响应的应用则使用磁场定向控制(FOC)，这可实现各种条件下的精确电机控制。很多交流驱动器配备了电机参数的自动检测，允许无传感器驱动操作。

交流驱动器有宽范围的输出功率，从250 W(DIN 导轨安装)到几兆瓦不等。功率非常高的交流驱动器通常使用多个较低功率的交流驱动器并行操作。

除了交流电机控制外，工业控制驱动器还配备了很多其它功能。交流驱动器的典型功能包括实现可编程逻辑控制器(PLC)以及板载或扩展的I/O端口。这些I/O端口可在实际应用当中连接开关、继电器和其它传感器等。PLC可以加快目标应用开发并消除复杂的布线。交流驱动器的另一个重要功能就是通讯支持。

工业控制驱动器使用多种类型的通信接口，包括PROFI总线、

图1：双MCU工业交流驱动器拓扑



MODBUS、CANopen、DeviceNet以及EtherNet IP等。

应用需求

对交流驱动器MCU的需求因交流驱动器的复杂性和隔离带的位置不同而存在很大的差异。低功率的驱动器常常使用双MCU拓扑，其中非隔离侧的MCU负责电机控制，而隔离侧的MCU处理用户接口和I/O信号。该拓扑如图1所示。DSC产品经常用作一个主控制器。飞思卡尔MC56F80xx、MC56F82xx和MCF56F84xxx系列将DSP的计算能力与MCU的控制器功能结合在单一芯片上，非常适合数字电机控制。这些混合控制器具有很多专用的外设，如脉宽调制器(PWM)模块、模数转换器(ADC)、定时器、通信外设(SCI、SPI和I²C)以及片内闪存和RAM等。

辅助控制器的选择具体取决于用户界面的复杂性和I/O信号的数量。通用的MCU往往适合简单的用户界面，而带有LCD或VGA控制器的MCU则常是更先进应用的首选。Kinetis L和K系列MCU是这些先进用户界面应用的理想解决方案。

Kinetis K 系列

当交流驱动器采用一个MCU拓扑时，MCU则位于非隔离侧，同时，所有I/O和通信与用户接口采用了电气隔离。Kinetis K系列非常适合交流驱动器，可以实现可编程逻辑控制器、操作系统和大量的通信接口。

Kinetis MCU是业界扩展性最强的低功耗、基于混合信号ARM Cortex-M4内核的解决方案。该产品组合由7个微控制器系列组成，可提供200多个

引脚、外设以及软件均兼容的器件(见图2)。每个系列都提供卓越的性能、内存和功能可扩展性如通用外设、存储器映射和封装，实现在产品系列内部和之间轻松移植。

先进的交流驱动器最适合的系列是Kinetis K70系列，该系列具有一个强劲的ARM Cortex-M4内核，运行频率120/150 MHz。外设包括集成的图形LCD控制器、IEEE® 1588以太网MAC、硬件加密和防篡改检测功能、以及带设备充电检测功能的全速和高速USB 2.0 OTG等。K70采用256引脚MBGA封装，有512 KB和1 MB闪存两个型号。每颗MCU包括一个丰富的模拟、通信、定时和控制外设套件，以及一个单精确浮点单元和NAND闪存控制器。256引脚版本包括实现系统扩展的一个片内DRAM控制器。此外，K70还包括电机控制的外设，例如带2通道或8通道PWM输出的4个FlexTimer定时器，4个ADC和为实现FlexTimer与ADC同步的可编程延迟模块。这些外设配置允许设计强大且复杂的交流驱动器。

图2：Kinetis MCU产品组合

系列	程序闪存	封装	特性
K70系列	512 KB–1 MB	196–256引脚	低功耗、混合信号、USB、以太网、加密和防篡改检测、DDR、图形LCD
K6x系列	256 KB–1 MB	100–256引脚	低功耗、混合信号、USB、以太网、加密和防篡改检测、DDR
K50系列	128–512 KB	64–144引脚	低功耗、混合信号、USB、段式LCD、以太网、加密和防篡改检测、跨导运算放大器
K40系列	64–512 KB	64–144引脚	低功耗、混合信号、USB、段式LCD
K30系列	64–512 KB	64–144引脚	低功耗、混合信号、段式LCD
K20系列	32 KB–1 MB	32–144引脚	低功耗、混合信号、USB
K10系列	32 KB–1 MB	32–144引脚	低功耗、混合信号

Vybird 控制器系列

对于运行Linux等操作系统的更先进的交流驱动器，Vybird系列，尤其是VF6xx系列的器件，都非常适合这种高要求的应用。VF6xx系列具有一个异构的双核解决方案，结合了ARM Cortex™-A5和Cortex-M4内核。此外，该系列还带有两个集成PHY的USB 2.0 OTG控制器、带L2开关的双10/100以太网控制器，1.5 MB的片内SRAM以及一个丰富的通信、连接和人机界面的套件，包括多个串行接口，如可支持

ISO7816 SIM/智能卡的UARTs、SPI和I²C以及两个CAN模块。VF6xx器件可以连接各种外围设备和外部存储器，支持系统扩展和数据存储。

这些器件允许将一个应用分为两部分。ARM Cortex-M4内核负责电机驱动的实时控制，包括PLC，而ARM Cortex-A5内核负责支持丰富多媒体功能的操作系统。

如需了解更多信息，请访问：
freescale.com/Kinetis 或
freescale.com/dsc

面向工业控制应用的伺服机器人： 带编码器的永磁同步电机(PMSM)

Kinetis MCU和DSC

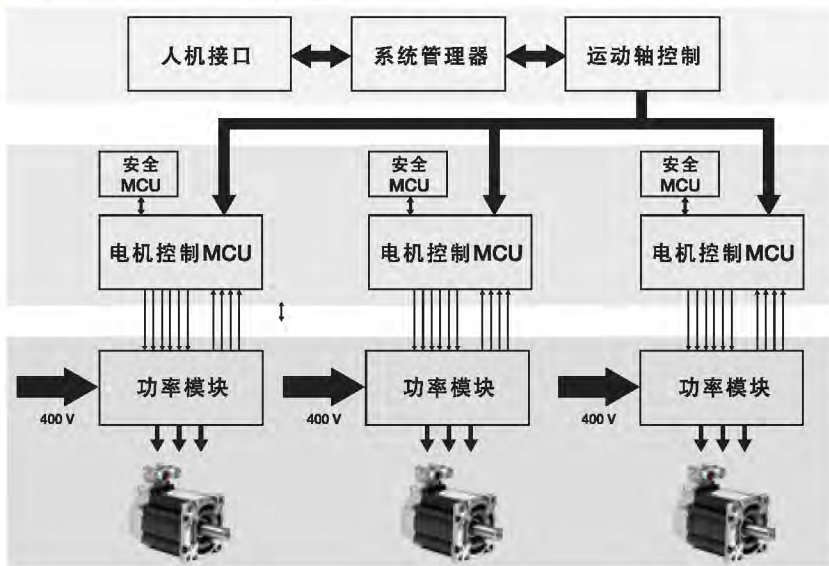
介绍

机器人已经开始在工厂自动化处理中发挥着重要的作用，它们代替工人进行焊接、涂装、装配、切割、码垛堆积，和机器可以更经济、更快速和更准确完成的一些常规操作。本文从电机控制角度重点介绍了系统描述和需求。

需求

无论是线性的还是铰接式的机器人架构配置，大部分应用都要求高精度的机械臂运动。因此，电机控制策略采用位置控制环路，其中实际位置由位置传感器来捕获，通常增量编码器或绝对编码器的分辨率都非常高。机器人系统的自由度(DOF)即移动关节数与所使用的电机数是相等的。结果是，DOF的值越高，每个电机的移动精度要求就越高，因为每个电机产生的位置误差是相乘的。在这些种类的应用中，需要具有数以百万计脉冲的编码器。与焊接或铣削数控机床相比，冲孔或钻孔数控机床的刀具夹的位置控制要求较低，因为焊接或铣削数控机床的关节运动必须精确地同步，以保持所需的运动轨迹。

图1：数控机床结构框图



概念

图1所示的概念结构框图显示了一个简单机器人系统的组成，这是一个铣削数控机床的例子。机床控制结构的顶层是数控机床主控制器，通常需要使用多内核的MCU。它必须执行的任务和服务包括：

- 人机界面/显示器应当能够输入、显示并编辑整个数控程序。
- 系统管理器监控并指挥其它MCU，处理系统异常情况和中断信号，存储数控控制程序、刀具校准和刀具补偿参数，以及不同用户的补偿和其它设置。
- 运动轴控制处理器解析数控程序并计算位置指令，将这些指令内插到各种坐标系统，并将消息发送给指定的电机控制器。

从外围设备要求角度来看，MCU应当能够处理各种工业通信协议，并包含一片大容量的片内内存。另一方面，无需特定的电机控制外设模块。

电机控制层的需求与上层不同。使用单颗MCU可能不会满足每种情况下的应用需求。这可能需要一颗额外的监控安全的MCU。除了通信外，主MCU执行电机控制算法并处理特定驱动器的故障状态。电机控制算法包括位置、速度和电流(扭矩)控制环路的计算。片上非易失性内存的最佳大小在数十KB范围内，且MCU必须有专用的电机控制外设模

块，包括一个6通道的PWM产生定时器、一个快速精确的模数转换器以及一个处理编码器信号的接口。

有时，数控机床的主控制器和电机控制MCU之间的通信通过光纤总线来实现，以确保恶劣、嘈杂环境下位置信息的准确传递。

底层为功率模块，每个模块驱动一个电机。这些还不包括具体的MCU逻辑，但能够配备一个智能的IGBT或功率MOSFET驱动器，它可以进行故障保护和诊断功能。功率模块测量控制算法中所用的反馈信号(相电流、电压)，并通过快速通信接口传送给电机控制MCU。

机器人系统通常包括必须由MCU控制的附加组件，如自动换刀装置和刀具冷却控制，或者在数控车床情况中，需要主轴驱动控制。

基于飞思卡尔MCU的实现

控制链的每一层都可以配备飞思卡尔MCU产品。

如上所述，顶层要求强劲的计算能力执行多个任务，但它并不要求特定的电机控制外设。飞思卡尔32位解决方案产品组合提供多种选择，满足这一需求：

- 基于单核或双核ARM Cortex-A5/Cortex-M4的Vybrid控制器解决方案
- 基于ARM Cortex-M4内核的Kinetis K70 MCU

这些MCU包括配备浮点单元的安全功能，具有高性能内核，非常适合轨迹计算。

下列飞思卡尔系列提供专用电机控制MCU：

- 基于56800EX内核的MC56F84xxx，32位/100 MHz DSC
- 基于ARM Cortex-M4内核的Kinetis K40、K60 MCU

这些解决方案有专用电机控制外设模块，包括与ADC同步的PWM模块。但浮点单元是不需要的，因为内核性能足以执行矢量控制算法。

飞思卡尔支持工具

如需电机控制的参考设计、应用笔记和嵌入式软件库等其它信息，敬请访问

freescale.com/motorcontrol。

持续气道正压 (CPAP) 通气机

组成、特性和设备实现

介绍

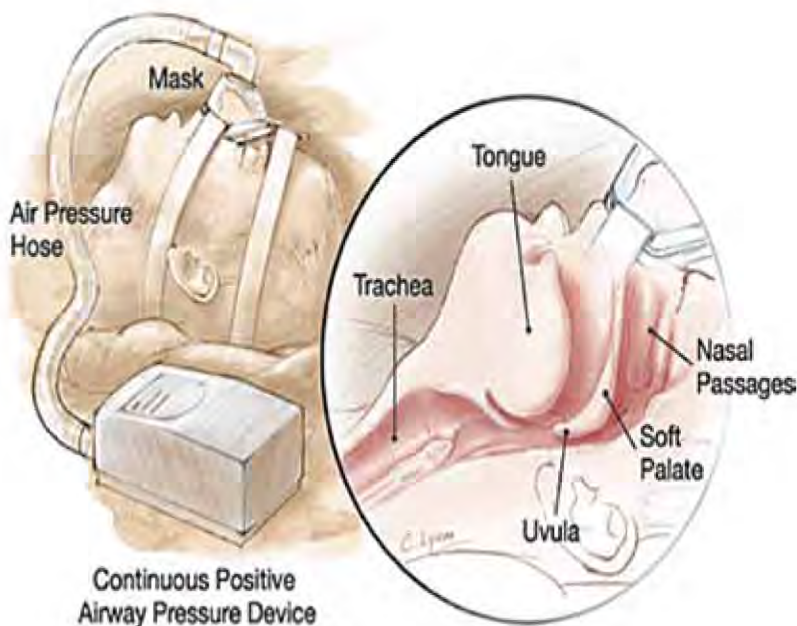
据美国睡眠基金会统计，有超过1800万的美国成人有阻塞性睡眠呼吸暂停症(OA)。睡觉时喉咙后部肌肉放松时，会发生OA，引起气道变窄，导致打鼾。这些肌肉还可以完全阻塞空气流入肺部。当大脑检测到缺氧时，它会给肌肉发送一个刺激，迫使它们重新开始呼吸。虽然这是一个正常的过程，它对健康的人们来说经常发生，但患有OA的患者可能整晚都会数百次地重复这个过程，而并没有意识到这个问题。

一些OA症状就是白天嗜睡、头疼和易怒。患有睡眠呼吸暂停症的人们也容易肥胖。这一症状男性比女性较为常见。

最常见的睡眠呼吸暂停症的治疗方法，就是通过称为持续气道正压(CPAP)的气道来推送空气，如图1所示。该设备的主要目的是为呼吸系统提供恒定的正压，以防止肌肉阻塞气道。

本文显示了CPAP的主要组成、特性以及飞思卡尔为CPAP设备实现提供的解决方案。

图1：CPAP 实现



应用需求

恒定的气流压力通过持续监控系统压力与控制风机电机速度调整来获得。主要控制目标是输出压力，而不是气流。

由于该综合症的本质，CPAP必须放在处于睡眠中的患者附近。因此，它必须是无噪音的，以避免切换时可能会干扰患者的睡眠。

在面罩泄漏的情况下，CPAP通过加湿室增加空气中的水蒸汽量，避免气道和皮肤干燥。

这种应用最常见的加湿器就是热加湿器。湿度等级可以由患者调节。

用户界面需要尽可能地简单，但仍然可以为医生提供准确的信息反馈。该设备必须耐用，并且能够长时间的运行。

如图1所示，患者需要整晚带着面罩。由于这种方法不是很理想，因此，CPAP包括一些可以让患者习惯这一异物的功能。例如，一些CPAP设备具有在呼气过程中降低气压以及在吸气过程中提高气压的算法。

此外，一些算法还能使设备在不同睡眠层次中调节功能。坡度压力算法还可进行设置，有助于患者入睡。如果面罩在睡眠中脱落，造成气压损失，则呼吸机会自动关闭。

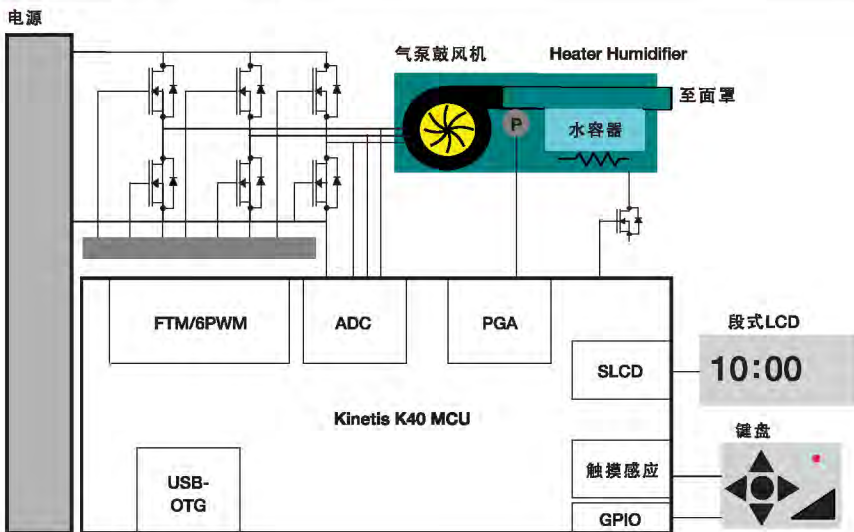
应用概念

图2显示了基于Kinetis K40 MCU的CPAP结构框图。K40 MCU包含带设备充电检测功能的全速USB 2.0 OTG，以及配有一个灵活的低功耗段式LCD控制器，可以支持320个段。

这些器件有不同的型号，从64 KB闪存的64引脚QFN封装，到512 KB闪存的144引脚MAPBGA封装，此外还集成丰富的模拟、通信、定时和控制等外设模块。

K40 USB和段式LCD MCU是飞思卡尔高能效的解决方案。除了用于检测无传感器BLDC电机的相电压所需的定时器、ADC和PDB等外设，K40还包括一个FlexTimer，可为BLDC电机控制产生PWM信号。

图2：CPAP结构图



K40器件还提供段式LCD控制器和触摸感应接口外设。

Kinetis K40 MCU是基于ARM Cortex-M4内核，它具有DSP功能，方便实现压力控制算法和用于压力检测的数字滤波器算法。

该系统使用MPXV7002压力传感器。该器件的压力检测范围在2 kPa以内，这恰是呼吸系统适当的压力。除了MPXV7002，差压传感器也可添加到该系统中，以检测气流、监控呼吸行为或检测面罩移位等。

要控制加湿室的加热器，可以通过一个16位ADC通道测量温度，并利用一个GPIO来实现。

飞思卡尔支持工具

飞思卡尔提供大量的软件和工具，帮助用户减少开发时间。它们包括模块化平台，如塔式系统开发板、CodeWarrior IDE、以及实时调试监控和数据可视化工具，如FreeMASTER等。

呼吸机的无刷直流电机控制

在医疗设备中使用的无传感器高速无刷直流电机控制

介绍

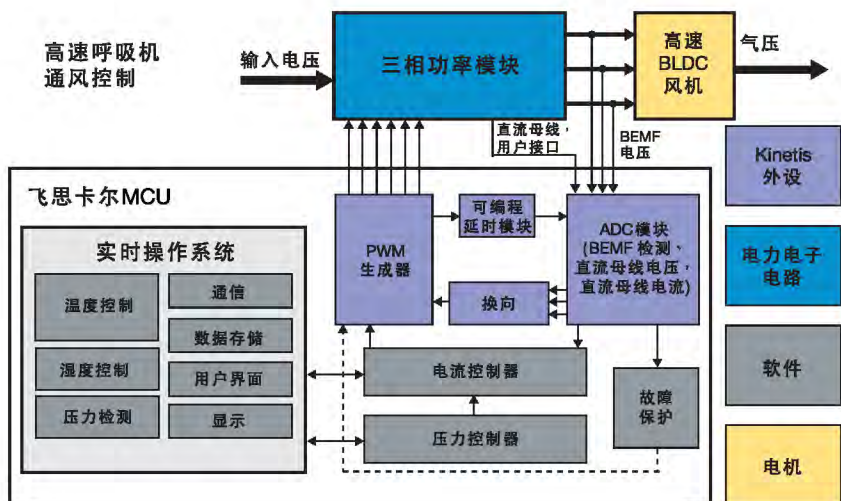
无刷直流(BLDC)电机因其高可靠性、高效、低维护成本和很多其它优势而广泛应用于医疗设备中。最普遍的一个应用就是睡眠呼吸机。对于患有睡眠呼吸暂停症的人们，最常见的治疗就是使用持续气道正压(CPAP)机，通过对空气加压，使其流进喉咙，使睡眠中患者的气道打开。患者通常戴着塑料面罩，通过一个柔性管连接小型CPAP机。先进的机型可以加热或加湿空气，监控患者呼吸，以确保正确的治疗。为了对空气施压，需要使用小型和极高速的BLDC或PMSM电机。

应用需求

睡眠呼吸机的电机控制有非常复杂的要求。首要的需求就是MCU处理能力。专用MCU需要执行很多其它算法，因此电机控制部分的消耗不应超过总控制器处理能力的20%。除了电机控制，该控制器还应当实现：

- 显示控制
- 通信
- 空气湿度控制
- 空气温度控制
- 记录数据，允许医生验证治疗方法是否得当，或调节所需压力
- 安全算法

图1：基于Kinetis K60 MCU系统框图



如果我们更密切关注这个应用，我们可以了解到其对电机控制的要求也是非常严格的。

- 可靠性：由于睡眠呼吸机是医疗设备，可靠性则是这种电机的重中之重，任何情况下的启动和操作都必须具有100%可靠性。这意味着电机在已经向前或向后方向旋转的情况下也能可靠启动。
- 压力控制：与标准BLDC应用所不同的是，风机通常是根据所需的压力而不是所需的速度来进行控制的。机器必须根据预定义的坡度和患者的需要产生压力。
- 高速操作和宽速度范围：要让小型电机产生足够的气流，必须提高电机速度。另一方面，当电机高速运行时，便很容易获得所需的气压。

通常最大速度在30,000至60,000 RPM范围。而在低速模式，电机运行速度为1500 RPM。这相当于最高速度的2.5-5%。由于速度范围非常宽，从PI控制器设置角度看这非常复杂。此外在高速区，也很难确定换向点，因为在换向点之间仅能测量少量的BEMF样本。对于高速操作，非常快速和非常精确的ADC是必需的。

- 低噪音：安静的电机使患者和他们伴侣的睡眠更舒适。噪音可以通过风机的机械部件产生，但它也能由电机扭矩纹波而引起。

- 高加速度和制动：电机通常配备小直径轻量级叶轮，因此惯性较低。这允许系统非常高动态地进行操作，如每秒约200,000 RPM的加速度和制动。需要如此高动态性能是为了在非常短的时间内获得所需的压力。
- 内环电流控制：要实现如此高动态性能，该应用必须配备电流控制器。否则，当超过最大电机电流时，电机就会发生过载现象。此外电流控制还有噪音降低功能。与常规的BLDC电机比较，小型高速BLDC电机通常有非常小的电感。在这种情况下，不能使用双极性PWM策略。其解决方案可以使用高频率、单极性PWM策略带有能够根据电机转速改变电机供电电压的输入DC-DC变换器的功率模块。
- 内存尺寸和MCU性能：所有之前描述的电机控制需求必须被满足，同时仅消耗20%的MCU处理能力。

应用概念

该应用概念是一个压力闭环的BLDC电机驱动，同时使用了内电流环控制和基于反电动势的无传感器技术。无传感器BLDC电机驱动中的FlexTimer、PDB和ADC模块提供典型的应用实例。FlexTimer使用自动互补信号生成和死区时间插入简化了PWM信号的计算。这大大增强了PWM生成和整个应用的安全性。PDB为ADC采样事件提供精确的定时。

这提高了所测反电动势电压的精度。对于这种无传感器BLDC电机控制应用，必须在系统运行时检测下列参数：

- 直流母线电压
- 直流母线电流
- A、B和C相反电动势电压

通过所测的这些参数可以计算换向时间和周期。换向时间的精确计算是该应用的一个最重要方面。在非常高速的区域，只能测量BEMF电压的几个采样数据，应当使用下列方法来实现足够的精度。

- 在一个PWM周期内对BEMF电压进行多次采样
- 增加PWM频率，获得更多样本
- 软件过零逼近法
- 使用模拟比较器

基于飞思卡尔MCU的实现

Kinetis K60 MCU上的外设模块所具备的硬件功能显著降低了用户软件的CPU负荷，并实现了精确的高速无传感器BLDC电机控制。Kinetis K60 MCU基于ARM Cortex-M4内核，集成脉宽调制器(PWM)、2个16位ADC(具有ADC-PWM同步功能)、可编程延迟模块、模拟比较器、提供全局故障控制的4个故障输入、以太网控制器、可编程增益放大器(PGA)、DAC、USB、高达1 MB的片内闪存以及128 KB的SRAM。此外，它还包含配有硬件和软件触发的屏蔽和倒置控制寄存器，以实现简化的6步控制。这些模块反映了电机控制应用的具体要求，确保在最少MCU干预下实现安全的PWM信号生成。

K60器件有3个FlexTimer模块(FTM)。FTM0是一个8通道定时器，而FTM1和FTM2则是双通道定时器。每个FTM模块都有一个独立的定时器，支持输入捕捉、输出比较和PWM信号生成功能，以满足电机控制和电源管理应用。

性能数据

- 供电电压：24 V
- 供电电流：3.5 A
- 最大速度：30,000 RPM
- 动态性能：每秒200,000 RPM
- ROM：6.2 KB
- RAM：390字节
- 处理器负荷16% (96 MHz主频)

飞思卡尔支持工具

如需了解关于Kinetis MCU的更多信息，请访问 freescale.com/Kinetis。

如需了解关于飞思卡尔塔式系统的更多信息，请访问 freescale.com/Tower。

如需了解关于飞思卡尔FreeMASTER实时调试工具的更多信息，请访问 freescale.com/FreeMASTER。

也请参见设计参考册子：DRM135、DRM078、DRM086、DRM128、DRM117以及应用笔记：AN4142、AN4376、AN4254和AN1914，这些都可在freescale.com.cn网站下载。

基于MQX™RTOS的电机控制

实时库的应用控制

电机控制与MQX操作系统

嵌入式应用变得越来越复杂，导致嵌入式系统软件编程人员的压力也越来越大。在一个复杂系统中，大量的任务必须在操作系统中并行实时地运行，诸如以太网、USB和SDHC等。此外还包括一个电机控制任务，如直流电机、无刷直流电机、步进电机或者PMSM或ACIM等三相正弦电机控制。

MQX RTOS

MQX RTOS是一个实时功能库，可用于实时多任务的应用。

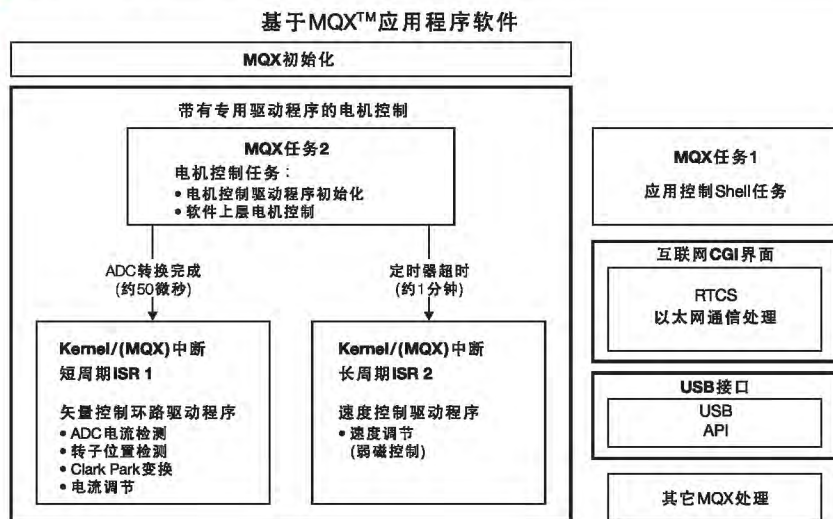
MQX RTOS支持MPU应用，可与灵活的嵌入式I/O产品一起，应用于网络、数据通信、文件管理和控制等。

主要的MQX应用领域针对大型控制器，如带有以太网、USB、SDHC等外设和其它外设支持的基于ARM Cortex-M4处理器的Kinetis MCU。该系列的一些器件集成了PWM模块和为电机控制设计的其它外设模块。

何时应使用基于MQX RTOS的电机控制

典型的基于MQX的电机控制应用可控制一个或多个电机，还支持专用传感器和其它应用功能，如以太网或USB连接、显示控制和用户界面。在时间调度方面，高级电机控

图1：基于MQX RTOS的电机控制过程



制应用本质上基于需要快速系统响应的恒定采样频率(例如，ACIM和PMSM正弦电机控制)或异步事件(例如BLDC电机换向控制)。而最关键事件的响应需求通常在一到几十微秒之间。MQX RTOS是一个具有动态分配和POSIX调度的复杂系统，其系统调度器的时间片默认时长为5微秒。显然，电机控制需要支持高优先级的中断来处理。

基于MQX RTOS的电机控制

基于MQX RTOS的电机控制实现取决于电机类型、控制算法以及应用需求。每个电机控制技术由周期任务和异步任务组成。

在MQX RTOS下编写电机控制应用程序通常将其作为一个专用电机控制驱动程序来处理，独立于MQX的任务处理。电机控制过程由一个或

多个内核中断或MQX最高优先级中断任务提供的。电机控制处理软件也与标准的非操作系统方法相似。MQX RTOS用于电机控制的初始化，和非电机控制有关的任务，如以太网通信，这是为确保时间关键的电机控制任务始终按时执行，而基于MQX的任务则在剩余的时隙中完成。

飞思卡尔支持工具

对于MQX控制应用，飞思卡尔可提供硬件平台、MQX软件安装、应用笔记以及参考设计。AN4254介绍了基于MQX操作系统的电机控制。DRM135介绍了使用K60N512微控制器的基于MQX RTOS的三相BLDC电机无传感器控制应用。



支持工具

飞思卡尔电机控制板

硬件开发套件提供电机控制应用快速样机实现

概况

飞思卡尔电机控制开发板是基于飞思卡尔MCU，为支持各种电机控制应用的快速评估和样机实现而开发的。为了覆盖低压和高压应用，飞思卡尔构建了两种电机控制开发板：

- 与塔式系统兼容的低压平台
- 高压平台

塔式系统三相低压功率板

TWR-MC-LV3PH低压三相电机控制模块旨在为电机控制应用提供与塔式开发系统兼容的模块。该外围模块能在开发平台之间进行互换并与各种现有控制器模块共同使用。

三相高压功率板

高压应用(电网供电)需要一个不同的逆变器板设计，以满足安全要求和隔离距离。飞思卡尔高压功率板结合了三相逆变器和功率因数校正变换器。该板支持白色家电、工业控制和通用驱动器的应用开发和样机实现。

三相低压塔式系统模块

三相低压控制板(TWR-MC-LV3PH)是一个外围塔式系统模块。

当它配合一个MCU塔式系统板，其中包含一颗精选的MCU，可为三分之一马力的离线电机提供现成的软件开发平台。另外，它提供的反馈

图1：电机控制板



信号，支持控制三相永磁同步电机(PMSM)和无刷直流(BLDC)电机的各种算法。

TWR-MC-LV3PH模块具有以下特性：

- 输入电源电压值12至24VDC，可扩展到50V
- 输出电流高达8A
- 电源反极性保护电路
- 三相桥式逆变器(6个MOSFET)

- 三相MOSFET门极驱动器，带有过流和欠压保护
- 三相和直流母线电流检测分流器
- 直流母线电压检测
- 三相反电动势电压检测电路
- 低压板上电源
- 编码器/霍尔传感器检测电路
- 电机功率和信号连接器
- 用户LED，上电LED，六个PWM LED二极管
- 制动电阻MOSFET

位于板上的跳线器支持模拟信号的配置设置。SPI通信信道和MC33937驱动信号选择通过零欧姆电阻连接。

除其它功能外，MC33937还支持过流和欠压功能。

经过滤波的直流母线电流信号送到预驱动器的电流比较器输入口。如果电流超过可调整的基准值，则关闭所有六个晶体管，同时在状态寄存器中设置一个故障位。

TWR-MC-LV3PH套件包含一个带霍尔传感器的三相无刷直流电机LINIX 45ZWN24-40，其参数如下：

- 额定电压为24 VDC
- 额定速度为4000 RPM
- 额定功率为40 W
- 持续电流为2.34 A

该板支持塔式系统标准和接口引脚布局。但是，并非所有的飞思卡尔MCU都适用于电机控制应用。下面列出了与TWR-MC-LV3PH在PWM、ADC和定时器通道的数量上完全兼容的推荐塔式系统MCU模块：

- 8位
 - TWR-S08PT60
- ColdFire
 - TWR-MCF5441X
- DSC
 - TWR-56F8257
 - TWR-56F8400
- 基于ARM内核的Kinetis MCU
 - TWR-K40X256
 - TWR-K60N512
 - TWR-K70F120M

三相高压功率板

三相高压功率板是一个功率模块，是飞思卡尔嵌入式运动控制系列开发平台的组成部分。该套件包括主板和一个MCU子卡。子卡与主功率板之间的接口提供一个96引脚的PCI连接器，支持三相逆变器和有源功率因数校正变换器所需的所有信号。

功率板能够控制功率高达1 kW的带传感器或无传感器的永磁同步电机、交流感应电机和无刷直流电机。使用PFC变换器可以将直流母线电压调整为400 VDC，从而可以生成高达230 VAC的三相输出电压。

除了功能强劲的MCU，电机控制应用算法还需要电机模拟信号(电流、电压)和转子位置反馈。无传感器应用的电机位置使用电机模型进行计算。然而，转子的实际位置非常重要，至少对于应用初期调试来说非常重要。功率板还包含用于正交解码器、霍尔传感器、测速发电机和可选的解析器的位置和速度反馈接口。

高压功率板包括以下特性：

- 输入电压为85–250 VAC
- 输出电流高达15 A
- 15V和5V DC的辅助电源，取电于整流电压
- 三相IGBT功率模块
- 模拟信号检测(直流母线电压，直流母线电流，相电流，反电动势电压)
- 电机速度/位置传感器接口(编码器、霍尔、测速发电机、解析器)

- 硬件过流故障保护
- 有源功率因数校正
- 过压比较器，带有直流制动电阻接口
- SCI-to-USB 光隔离通信接口

三相逆变器的主要组件是智能功率模块(SPM)。内置的高速HVIC提供无光耦的单电源IGBT门控驱动功能，减小了逆变器系统设计的整体尺寸。由于采用了分立的直流母线负端，所以逆变器的各个相电流都能够单独进行监测。

该平台目前支持用于电机控制应用的主要MCU为：

- MC9S08MP16
- MC56F80xx
- MC56F82xx
- MC56F84xx
- MPC564xL
- K40X256

供货情况

目前可在freescale.com.cn上可直接订购或通过经销商订购TWR-MC-LV3PH塔式系统模块。该套件包含三相无刷直流电机，24 VDC电源和塔式系统模块。另外还提供Kinetis MCU和DSC平台的无刷直流电机应用示例。

如需获取有关该套件和应用的软件，请登录freescale.com/Tower

在2013年可订购高压功率板。目前，正在重新设计该板并进行量产准备。Kinetis MCU和DSC平台的MCU子卡也将供货。

飞思卡尔 嵌入式软件库

旨在简化软件开发的 快速产品开发工具

概况

飞思卡尔嵌入式软件库是一组补充的算法，从基本的数学运算到高级的变换和观测器，可被轻松地整合到复杂的实时控制应用中。这套补充算法有助于加快开发，和易于应用在需要密集数学运算和如先进高效的电机控制和功率变换控制等应用。

特性

该函数库高度优化，经过飞思卡尔硬件测试，且因为具有C语言可调用的函数接口，非常方便使用。这些函数都已与MATLAB中的参考模型进行了对比测试。

这个函数库分为四个主要功能组：

- 通用函数库：包含一个实时控制应用的基本构建模块。基本数学运算函数，三角函数，简单的查询函数和控制函数，如PI 和PID控制器。
- 电机控制库：电机控制应用的基础模块，这个函数库包括矢量调制、Park和Clarke变换及与特定电机有关的函数，以建立数字控制的电机驱动算法。
- 通用数字滤波器库：包括用于信号处理的滤波函数(各阶的IIR滤波器算法)。
- 高级控制库：包含支持构建变速交流电机驱动系统的函数，可为实现无位置或速度传感器的磁场定向控制技术提供最低成本的解决方案。

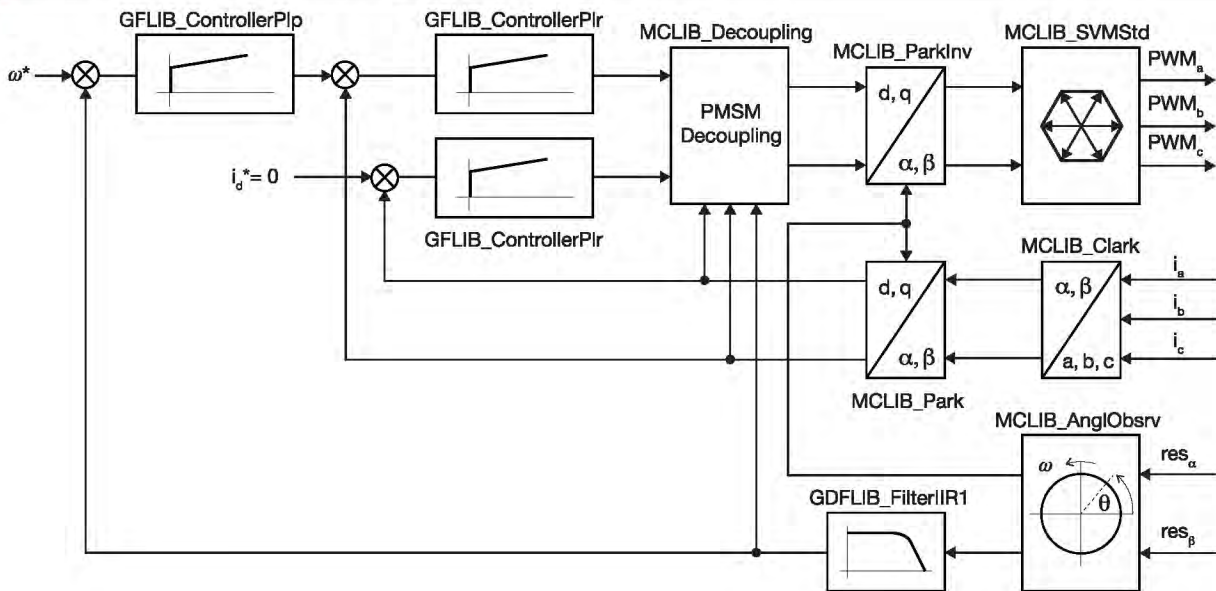
各个函数库作为独立模块提供，但其接口被整合到一个公共接口文件，以降低应用程序整合所需的文件数量，并简化开发。

飞思卡尔支持工具

目前已为基于56800E/56800EX内核的DSC，ColdFire V1和基于ARM Cortex-M4内核的Kinetis平台提供这些函数库。

该函数可从freescale.com/fsiesl上下载。

图1：采用算法模块的磁场定向控制



电机控制开发工具箱

基于模型的开发工具支持飞思卡尔MCU的快速应用开发

基于模型的设计(MBD)正成为开发嵌入式系统的标准方法，易于实现控制系统所需的功能。MBD是一种图形设计法，采用数学模型和状态来定义和设计各种控制应用，如汽车、航空航天和工业控制应用领域的电机控制系统等。许多企业使用图形仿真环境对其电机控制算法和目标电机或对象进行建模，以加快开发进度。

相对于只依赖于目标硬件，MBD允许工程师在其桌面上做更多的工作，从而减少开发时间。相对于传统方法，采用MBD可提高系统设计质量，因为无需硬件，在更早期阶段便可开始测试验证工作。由于能够及早发现设计错误并在开发过程的早期阶段就纠正过来，这样就可降低财务成本。

此外，由于模型是一个可执行规格，其功能和行为不会存在歧异，这有助于需求验证。采用自动代码生成机制，整个开发过程可重复使用同一模型，加快了样机建立、产品代码生成和各种形式的集成测试。

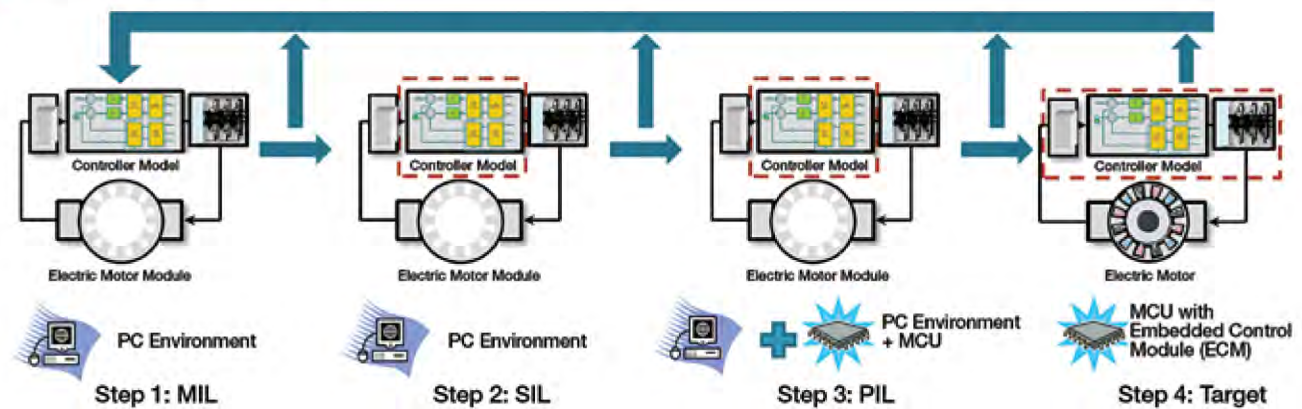
加上嵌入式目标系统的额外支持，回路中的模型(MIL)，回路中的软件(SIL)和回路中的处理器(PIL)可在同一模型上验证，与传统设计和验证方法相比，可更快速和全面地评估应用设计。

MBD的开发步骤

MBD支持的设计流程有四个步骤(见图1)，与开发“V”图左侧关联。所有这些步骤可反复迭代并可从后一步重新访问回上一步。这四个步骤分别是：

- **MIL**：使用一个模型来开发整个应用控制策略的需求且在早期阶段即在PC环境中使用理想化仿真开始测试。控制器和电机(对象)模型的理想化仿真在PC主机中完成，无需考虑嵌入式控制器或目标硬件特征。由于测试可在需求分析阶段开始，可立即找出规范和建模错误，而不是在设计的后面步骤中才发现问题，这样对算法模型进行校正，且没有成本和时间的影响。
- **SIL**：使用该模型生成ANSI C代码。这可在PC主机的编译器中使用与步骤1相同的测试向量测试C代码。

图1：基于模型的开发步骤



C代码的功能验证通过比较MIL输出与SIL输出来完成。组件或单元测试也可在生成的C代码上进行。因为这个步骤在PC主机上完成，相对于在目标MCU上进行的单元测试，将大大减少测试时间。这个步骤验证了生成C代码的数值结果的准确性。

- **PIL**：使用该模型生成目标MCU代码，在评估硬件上进行编译和测试。通过比较其输出值与第2步的结果进行数值相等测试，来验证在目标MCU上运行的软件的数据一致性。在此次步骤中，可以验证该模型在代码生成、编译及与目标MCU和编译器连接过程中得到保留的执行语义。这可以收集目标MCU的执行指标，允许来评估MCU性能。该类测试也可用于那些在目标硬件上运行非常危险或过于昂贵的测试矢量。这也是对特定目标的优化代码进行单元测试的唯一方式。只有建模环境中存在嵌入式目标设备时，PIL才需要完成。
- **Target**：直接与外设接口的嵌入式控制模块(ECM)硬件和MCU实现使用在之前各步骤中的模型生成的代码来完成。在最后一步，控制算法软件与目标MCU硬件的集成通常使用人工编码或混合使用人工编码和模型生成代码来完成。对于一个现有的嵌入式目标，它也是可能的从模型中自动产生MCU初始化和外设接口软件代码。在这个阶段，可以在目标应用环境中对目标MCU

上执行的代码进行验证、记录数据、校准和分析。很有可能，带有目标MCU的嵌入式控制模块不能像仿真环境那样在实际系统中运行。因此，需要分析ECM/MCU上的结果，修改模型或其接口，再重复进行迭代测试过程。

基于MBD的电机控制

电机控制开发(MCD)工具箱是一套完善的工具集，可针对飞思卡尔MCU插入到MATLAB®/Simulink®快速应用开发工具中。电机控制开发(MCD)工具箱包括电机控制应用开发支持，帮助控制开发工程师和嵌入式开发人员缩短项目生命周期。电机控制开发工具箱还包括一个集成的嵌入式目标Embedded Coder®，带有Simulink及其产品代码生成工具。这使得飞思卡尔MCU能够支持基于模型设计(MBD)的流程，MIL、SIP、PIL和MCU初始化和外设的软件代码生成。

MATLAB和Simulink系列产品与Embedded Coder®一起提供验证工作流程，且通过了TÜV SÜD认证。Mathworks提供一个IEC认证套件，包括TÜV SÜD证书，一个认证报告和其它需要认证的东西。为了遵循认证的工作流程，必须具备运行PIL或类似的目标测试方法的能力。电

机控制开发工具箱及其嵌入式目标MCU设备提供PIL功能，支持通过TÜV SÜD全面认证的工作流程，因此可以为嵌入式系统认证生成全套ISO 26262工具资质包。由于电机控制开发工具箱支持飞思卡尔MPC564xLMCU，独立的第三方机构可以采用这个流程为业界第一款MCU获得一张ASIL D功能的安全性能的正式ISO 26262证书。将Mathworks IEC®、电机控制开发工具箱(提供PIL所需的目标支持)及ASIL D认证的MCU相结合，允许汽车和工业控制工程师在基于模型设计且符合IEC 61508(SIL3)和ISO 26262(ASIL-D)要求的应用中设计电机控制系统。

在MBD流程的第3步，电机控制开发工具箱不仅支持PIL，还生成所需代码以启动MCU，并配置闪存或RAM运行模式。支持的开发软件包括CodeWarrior IDE，Green Hills Software MULTI和Wind River Diab编译器等。电机控制开发工具箱包括实用程序可以测量执行PIL操作时MCU的执行时间。

为了支持MBD的第4步，电机控制开发工具箱包含外围设备接口模块和支持电机控制开发的驱动程序，包括带有交叉同步触发功能的ADC和PWM，用于门控预驱动器通信的SPI和CAN通信。电机控制开发工具箱本身支持通过RAppID引导程序直接将代码下载到目标MCU，充分利用基于Qorivva MCU的内置引导程序辅助模块。飞思卡尔的FreeMASTER实时调试监控和数据可视化工具接口也内置在里面，可以实时监测MCU上的信号，支持数据记录、数据分析、信号捕捉和参数调试。FreeMASTER可以洞察目标MCU，进行算法校正和调整，这通常是高级控制系统所需要的，也是电机控制开发所需要的。

电机控制开发工具箱包括由飞思卡尔电机控制专家中心开发的车用数学运算库和电机控制库。这个函数库提供三角函数、PI控制器、FIR和IIR滤波器等数学函数，和包括Park和Clarke变换等电机控制运算函数。工程师可使用这个函数库在MBD流程中的第1步和第2步中采用基于飞思卡尔MCU的优化模块和运行位精确的仿真算法，来开发他们的算法。

小结

基于MBD的电机控制开发工具箱采用MATLAB，Simulink和Embedded Coder®，提供MBD流程所有四个步骤所需的软件工具。通过使用MBD方法的这些工具，企业能够降低开发时间和成本，并提高电机控制应用的质量。对于电动助力转向系统等注重功能安全的电机控制应用，这套开发工具箱还有一个软件工具集，提供控制应用认证所需的SIL3/ASIL D材料。

电机控制开发工具箱支持飞思卡尔MPC564xL，MPC567xK，PXS20和PXS30 MCU。MPC564xL是业界第一款获得ASIL D功能安全能力的正式ISO 26262证书的MCU。

有了电机控制开发工具箱，MATLAB和Simulink MBD环境，以及飞思卡尔MCU产品为从初始系统需求到最后的实现提供了完善的嵌入式软件开发环境。

参考

mathworks.com/model-based-design
mathworks.com/products/iec-61508
en.wikipedia.org/wiki/Model-based_design
businesswire.com/portal/site/home/permalink/?ndmViewId=multimedia_detail&eid=50398223&newsLang=en

电机控制应用调试向导

定制您的永磁同步电机控制应用

概述

目前电机控制应用开发的趋势是提高电机驱动效率，降低成本和加快上市速度。满足严格要求的途径是实现高级的电机控制算法和使用能够高效驱动的电机电。

飞思卡尔提供永磁同步电机无传感器控制解决方案。这种无传感器算法无需转子位置传感器，降低了系统总成本。

代替位置传感器的无传感器算法通过实时计算状态观测器来估算转子位置。这些复杂的程序需要对电机模型参数进行精确的设置。

为了简化控制算法参数计算、设置和优化的过程，飞思卡尔开发了调试向导工具。

特征

调试向导是面向FreeMASTER的基于HMTL的用户友好图形插件。这个工具可被用于永磁同步电机磁场定向控制应用开发和实时参数优化，并帮助电机控制用户在他们的项目中使用飞思卡尔电机控制应用，而无需详细了解源代码和控制常量计算。

调试向导主要特点：

- 控制参数的静态计算
- 所选取控制结构的实时调试
- 存储输出常量到头文件中
- 可配置的IDE

图1：调试向导控制结构页



- 可支持多达三个永磁同步电机
 - 16位、32位纯小数和浮点数格式选择器
 - 在线更新所选的应用控制变量
- 为了使用飞思卡尔应用代码运行一台新的永磁同步电机，需要将输入参数添加到调试向导中。这些参数用于计算状态观测器、控制环路PI控制器和应用相关的常量。这些所需的参数可从电机数据表中获取或使用飞思卡尔永磁同步电机参数测量程序获得。

调试向导插件包括一些专用的控制选项卡。选项卡的具体配置取决于应用类型(传感器或无传感器)。可用的控制选项卡如下：

1. **简介**：基本应用描述
2. **参数**：必须输入的电机和应用参数
3. **电流环路**：内层控制环路，d，q轴电流PI控制器(并行或回归形式)
4. **速度环路**：外层控制环路，PI控制器(并行或回归形式)，速度斜坡控制和滤波器

5. **位置和速度**：传感器选择器(正交编码器、霍尔传感器、SinCos、解析器)
6. **无传感器**：BEMF DQ观测器，跟踪观测器
7. **输出文件**：以所需的目标格式生成常量表输出头文件
8. **级联**：根据级联控制结构的应用优化(标量控制、电压FOC、电流FOC、速度FOC、弱磁控制)
9. **应用控制**：FreeMASTER自定义控制页面

飞思卡尔支持工具

调试向导工具将作为永磁同步电机参考设计的一部分提供，可让用户适应飞思卡尔电机控制应用。

正在编写的应用笔记将从结构和特性方面描述调试向导概念，以及如何将该插件工具集成到现有的电机控制应用中。

有关调试向导工具的应用笔记和其它相关信息，请访问

freescale.com/motorcontrol。

FreeMASTER

实时数据可视化工具 简化电机控制应用开发

电机控制驱动器是带有大量系统变量和控制参数的实时嵌入式应用。为了以最优的方式开发、建立和优化控制算法，需要对这些参数和变量进行实时观察和评估。通常，开发人员使用代码调试器和示波器来开发电机控制算法。

但是，这种传统开发非常难以操作。因为使用示波器的一个局限性是驱动的电和电压信号与处理器处理的数值不同。检测电路、测量噪音以及模数转换器的失调和增益误差会影响所测量的信号。由于开发人员需要对处理器侧的测量信号进行评估，因此，示波器无法支持对复杂应用的有效开发。

FreeMASTER

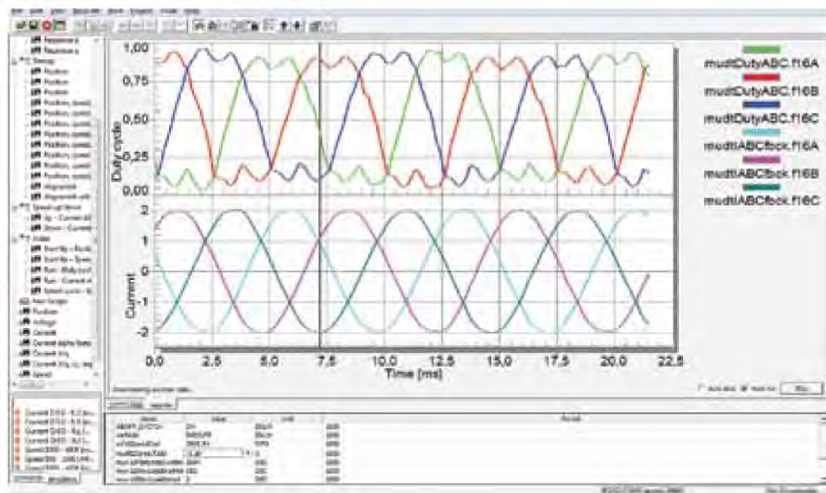
为了帮助用户对实时嵌入式应用的开发，飞思卡尔提供了FreeMASTER，一种实时调试、监测和数据可视化工具。它支持全面的非侵入性监测、可视化和嵌入式系统变量控制，这对于实时应用开发和优化非常重要。

主要特征

实时控制

控制页面可有效控制应用程序。还支持HTML格式，让用户可轻松设计定制项目。可视化区域支持第三方测量组件作为ActiveX对象插入到

图1：FreeMASTER可视化页面



HTML代码中。这允许创建一个用户友好的仪表盘，显示复杂的实时数据。

实时数据可视化

变量窗口显示所选变量或目标处理器的内存地址。这个设置最重要的一个部分是变量的实际类型转换。它可将目标处理器中的变量转换为用户更易于理解的格式(伏特，安培，每分钟转数等)。

实时数据示波器

该工具以类似于传统示波器的方式来显示目标处理器的变量。并能够在在一个示波器窗口内最大显示八个波形。示波器可用于跟踪变化相对较慢的变量。典型例子就是电机速度。

记录器窗口可用于显示变化迅速的变量。

位于用户代码中的一个小程序可将所选变量存储在片内内存缓冲区中，然后将这些变量加载到PC并作为一个进程显示。记录器用于跟踪示波器不能跟踪的变化较快的变量。典型例子就是电机电流。

激励器(simulator)可实时激励所选变量。典型例子就是洗衣机应用中的速度曲线。

供货情况

飞思卡尔支持汽车、工业控制和家电应用的MCU和DSC，包括56F8xxx，S08，Kinetis，S12/S12X，Qorivva和ColdFire V1/V2/V4。还支持各种通信接口，包括BDM，SCI，CAN，USB，MQX I/O，和JTAG。FreeMASTER现可与飞思卡尔产品一起使用，并可在freescale.com/FreeMASTER上下载。

总结

我们希望这期的Beyond Bits能帮助您更好地了解我们可以提供给您的电机控制解决方案以及如何能帮助您未来的设计。我们的目的是帮助您克服在开发电机控制应用时会遇到的挑战，以及提供信息让您快速、容易地找到适合的解决方案来满足您的具体需求。想要这期Beyond Bits所介绍解决方案的更多信息，请访问：freescale.com/motorcontrol，freescale.com/solutionadvisor和freescale.com/support

需要进一步的支持，请联系我们的地区销售办事处。我们当地的授权代理商也可以在您的整个设计过程中给予您支持。



如需了解更多信息，请访问 freescale.com/motorcontrol

Freescale/飞思卡尔和Freescale logo/飞思卡尔标识、CodeWarrior、ColdFire、Kinetis、Processor Expert和Qorivva 是Freescale Semiconductor, Inc./飞思卡尔半导体公司所有的商标。在美国联邦专利商标局注册。Vybrid是Freescale Semiconductor, Inc./飞思卡尔半导体公司的商标。所有其他产品和服务名称之所有权均归其相应所有人。ARM是ARM公司的注册商标。ARM Cortex-A5、ARM Cortex-M4和ARM Cortex-M0+是ARM公司的商标。Power Architecture和Power.org文字标记与Power和Power.org 标识以及相关标记是Power.org授权的注册商标和准备标记。
© 2012 Freescale Semiconductor, Inc./飞思卡尔半导体公司版权所有。

文档编号：BBMTRCTRL REV 1