

工业4.0的智能设备中应实现 更高性能与更强的隔离

Industrial 4.0 smart devices should achieve higher performance and more isolated

叶云燕

摘要：本文主要对智能设备系统与工业测量电气两大领域中隔离设施新型技术与芯片应用作分析说明，并以此为前提对拓展隔离技术应用的新趋势作研讨。

关键词：智能设备，隔离放大器，控制电机，逆变器

Abstract: this paper mainly discusses the intelligent equipment system and industrial measuring electrical isolation facilities in the two fields of new technology and chip, also analyzed the application and premise to expand new tendency of isolation technology application research.

Keywords: intelligent devices, Isolation amplifier, Control motor, inverter

0 前言

随着工业4.0和中国制造2025号角的吹响，智能化技术与设备的深入发展并逐步主导于工业领域。即智能电网到新能源汽车，再到工业机器人和机器视觉，高效、智能、绿色已经是工业的主命题。伴随而来的是电隔离技术的要求愈来愈高，并将成系统可靠性与稳定性运行新的挑战，由此其该领域中应实现更高性能与更强的隔离已成为工程师迫切需要解决的新课题。而工业4.0版的智能设备中引导出隔离技术的新挑战有多个方面。值此本文主要仅以智能设备系统与工业测量电气两大领域中隔离设施新型技术与芯片应用作分析说明，并以此为前提对拓展隔离技术应用的新趋势作研讨。为此应先对工业4.0的隔离挑战相关理念作阐明。

1 “隔离”型挑战从何而起

在许多工业系统应用中，传感器与由其提供数据的系统之间需要甚至必要的非直接的（导电）电连接，从而在提供数据的同时避免来自系统某一部分的危险电压（或电流）对其另一部分造成损害。这种系统被称为“隔离”型，而未接电的情况下阻碍信号传递的区域则被称作“绝缘势垒”。绝缘势垒的保护作用是双向的，对于系统的两个组成部分来说，或许只有一个部分需要这种保护，也或许两个

部分都需要。要求进行隔离保护的常见应用是那些传感器有可能偶尔遭遇高电压，而这个由传感器驱动的系统又是必须加以保护的场合。也有可能需要将传感器与出现在下游电路中的意外高压加以隔离，以保护其周围环境，例如包括防止由传感器所在区域的火花引起易爆气体燃烧或保护患者免遭ECG、EEG和EMG测试和监测设备的电击。ECG应用可能需要双向绝缘势垒，例如必须保护患者免遭心脏除颤器所施加的高电压($>7.5kV$)的电击，并防止操作设备的技术人员承受意外反馈电压。

2 工业测量电气的隔离与举措

在工业测量电气中，为了安全和达到最佳的信号质量，测量和控制信号的传送总会要求信号经过电气隔离处理，见图1(a)危险高压的隔离示意图。

在危险高压或有爆炸危险的区域：不同的接地电位（见图1(b)避免电位差异引起的干扰所示）；如工厂的厂区分开很远；还有高的共模电压都不允许直接连接测量信号到工厂设备。这些情况下，电气隔离传送信号是绝对必要的。

隔离设施技术上均应如下举措：

* 在变送器上，交流电压和交流电流更容易被传送和电气隔离。变送器是可靠的，容易生产，并且根据配置可以适合高的工作电压（隔离高压）。变送器不适合传送直流

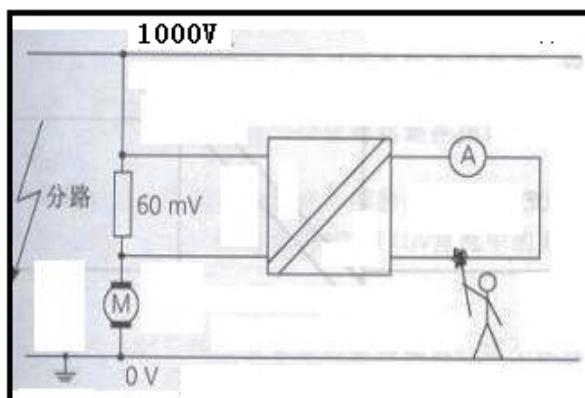


图 1 (a) 危险高压的隔离示意图

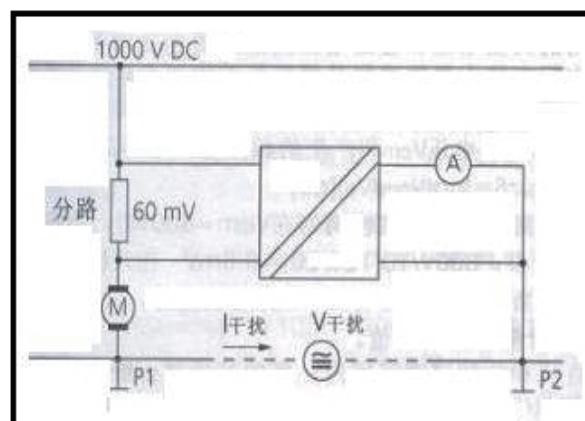


图 1 (b) 避免电位差引起干扰所示

信号。直流测量信号首先由一个电子交流发生器转变为交流。交流电压通过变送器传送到第二个电路，并在此调整交流发生器的同步频率和进行必要的传送或放大。其隔离器的变送器隔离原理见图 2 (a) 所示。

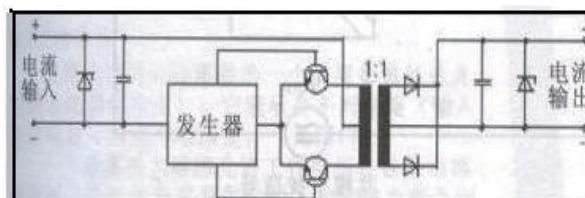


图 2 (a) 隔离器的变送器隔离原理示意图

* 另一个运用在现有信号处理原理及可变换隔离放大。输入信号<见图 2 (b) 左下所示>被转换一个固定频率的矩形信号。矩形信号的主要循环是依靠输入电压(脉冲宽度调制 PWM 矩形信号, 见图 2 (b) 中下所示)。脉冲宽度调制矩形信号通过隔离的传送器被传送到输出端,

通过过滤器重新转变成电压或电流, 见图 2 (b) 所示为 PWM 脉冲宽度调制隔离原理所示。

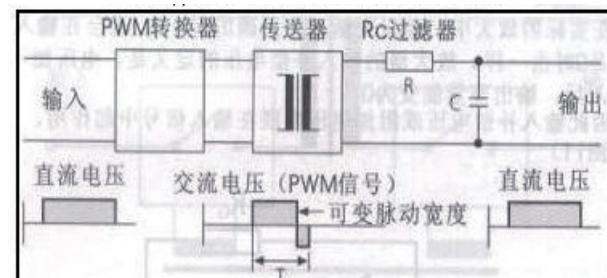


图 2 (b) 所示为 PWM 脉冲宽度调制隔离原理

在此其隔离放大器的传送率是由一个微型电子控制器控制的。装置使用 DIL 开关控制。这些 DIL 开关不组成放大器电路的负反馈, 仅仅替换数字信号, 不带电流和也不发生接触电阻故障。

3 智能设备系统中数字控制电机隔离的挑战与设施技术

3.1 数字控制电机隔离的挑战从何而起

作为智能设备系统, 它包括隔离设施与工业供电设计、智能传感器、流程控制、马达控制、安全、测试及测量、工业无线网络、可编程逻辑控制、场总线系统等多项技术。而今, 在大多数智能化设备制造厂中, 都能够看到利用自动机器人技术进行负重托举和部件组装的身影。全球工业电机耗电量占了全球用电总量近 30%。老旧的电机驱动器已经不能跟上时代的步伐, 精度更高、运行更快、系统成本更低、效率更高是电机驱动器的发展方向。

尤为突出的是其中电机控制应用系统向电子电路提出了最高效率、最低功耗和最高精度控制等诸多挑战。

应该说电机有多种类型, 其中数字和模拟解决方案将起着提升电机控制应用系统性能的作用。如同步电机也被称作 PMSM (永磁同步电机) 见图 3 传统示意图。其 PMSM 电机中反向电动势波形是正弦波形的。

由此, 其电机控制精度成为了一个十分关键的因素, 因为电机、机器人手臂、开关和高压设备都必须像交响乐一样保持协调一致。然而, 要在电气嘈杂的环境中保持系统的零错误却不那么简单。必须有针对工业噪声的新方法, 通过与凭借强化的隔离技术、修饰和过滤, 确保电机控制

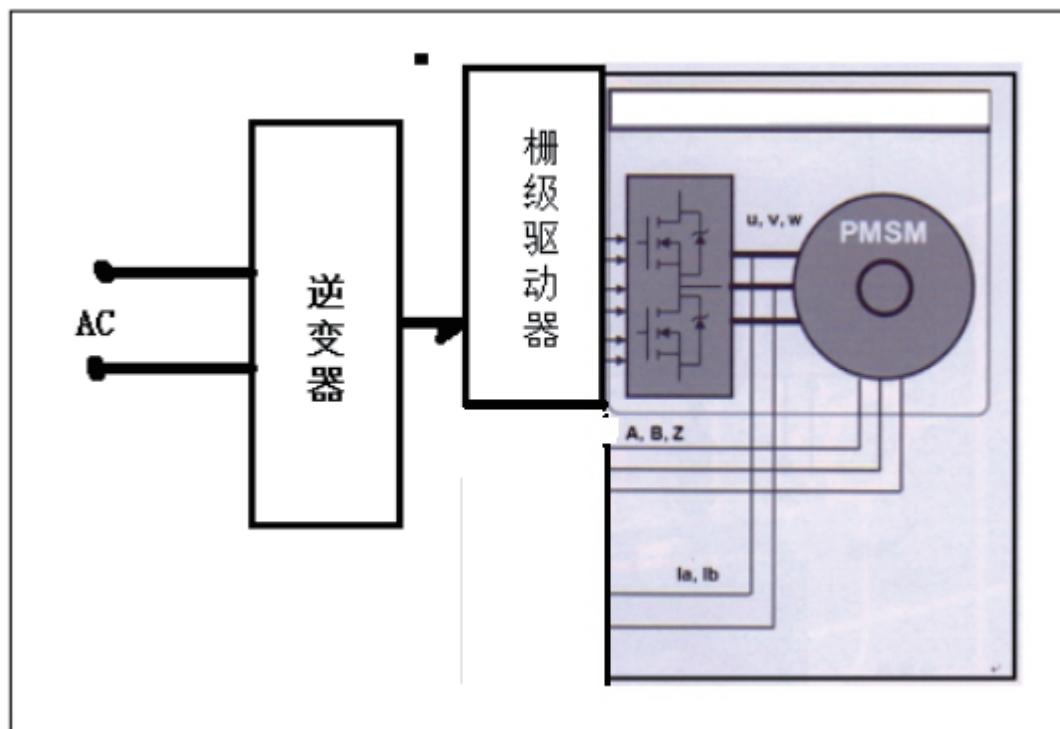


图 3 为 PMSM(永磁同步电机)示意图

的精确度。如全新的具有电流、电压和温度保护的增强隔离三相逆变器设计。

3.2 增强型隔离放大器隔离设施技术在数字控制电机中应用

* 增强型隔离放大器应用特征 而当今的增强型隔离放大器通过隔离技术提供额外的保护格栅（也被称为双隔离）它是隔离设施技术有效举措。它的应用特征为：额定隔离电压 - 即能够加到放大器输入侧和输出侧之间的最大电压。其范围可达几千伏。交流电压和直流电压的额定值可能有所不同，且应用要求有可能限定安全系数或特殊的工业标准；漏电流 - 在 240V/60Hz 条件下的最大漏电通常为 $0.5\mu\text{A RMS}$ ；电源要求 - 选择隔离放大器的标准常常被忽略和低估。这不仅仅是附加能源要求决定的，因为不必要的高能源要求的电源损失会产生热量。这些小利因素会产生反作用，尤其在高包装密度时。隔离放大器产生的热量有时会很大，影响到在无空间时的相邻安装。这会抵消小尺寸的优势。另外一个高温的结果是降低了电子元件的使用寿命。理论上，在 40°C 到 50°C 的范围里，每增加 10K 的工作温度就会降低 50% 的设备寿命，因而降低产品的可靠性。因此，隔离放大器的选择标准中的电源要求不能忽略。

后来，不同隔离放大器的电源通常是相同的，不同范围的电源要求能直接比较。

* 隔离放大器运行 隔离放大器传送模拟信号时，使其通过直流绝缘势垒。与光隔离数字耦合器相似，通常需要隔离电源来给放大器的两侧供电。有些隔离放大器在放大器的输入侧提供内部隔离电源。即在存在高共模电压时对低电平信号进行放大和测量；传感器相对其他电路处于高电位的场合；不管其他电路出现什么故障（比如患者监控设备以及原本安全的设备使用时遇到易爆气体），传感器都不能承受危险电压的场合；断开接地回路和 / 或切断电源与地的连接；为电子仪器和设备提供隔离保护。

全新增强型隔离放大器最为常见的三类应用，包括工业电机驱动、太阳逆变器和不间断电源（UPS）。目前，设计人员正在将这款放大器应用于高精度电机控制系统（如电梯电机控制系统），这也是另外一个对可靠性有严格要求的领域，因为制造商希望他们的装置能够无故障运行多年。在高层建筑中，可以实现快速电梯的迅速启停。为了满足这一需求，它们需要十分精确的测量温度和电压，也可以用于测量电机驱动系统中的电流，而这个系统需要非常精准的控制。

3.3 三相逆变器 TIDA-00366 组成及其隔离的放大器的应用

* 创新型的三相氮化镓 (GaN) 逆变器应用 该逆变器采用了增强型隔离放大器 (AMC1301 型) 为主体。它采用增强型隔离式双 IGBT 栅极驱动器 (如 UCC21520 型)、增强型隔离式放大器 (如 AMC1301 型) 和微控制器 MCU (如 TMS320F28027 型) 设计而成。通过配合使用 AMC1301 与 MCU 的内部 ADC 来测量电机电流，以及为 IGBT 栅极驱动器使用自举电源，可以实现更低的系统成本。具有 200 ~ 690V AC 驱动，额定功率高达 10kW 和较低的成本，并具有过载、短路、接地故障、欠压 / 过 DC 总线电压以及 IGBT 超温等保护功能。逆变器旨在提供针对过载、短路、接地故障、欠 / 过直流总线电压和 IGBT 模块超温的保护。

而隔离的放大器 AMC1301 主要特性是一款高精度隔离式放大器，通过磁场抗扰度较高的隔离栅隔离输出和输入电路。该隔离栅经认证可提供高达 7kVPEAK 的增强型电流隔离。当与隔离电源配合使用时，该器件可防止共模高电压线路上的噪声电流流入本地接地并干扰或损害敏感电路。AMC1301 器件的输入针对直接连接至分流电阻或其他低电压等级信号源进行了优化。该器件性能优异，支持精确电流控制，从而降低系统级功耗（尤其在电机控制应用中）并减少扭矩纹波。AMC1301 的集成共模过压和高侧电源电压缺失检测特性简化了系统级设计和诊断。AMC1301 器件在扩展工业温度范围内（-40℃ 到 +125℃）完全额定运行，采用宽体 8 引脚小外形尺寸集成电路 (SOIC) (DWV) 封装。

基于 AMC1301 隔离的放大器的分流电阻的电流感测可用于：隔离电压感、电机驱动器、变频器、不间断电源。而 AMC1301 隔离的放大器在基于分流电阻的电流感测下的隔离应用可从图 4 所示的频率反相器电流检测中得以实施。

该创新型的三相氮化镓 (GaN) 逆变器应用方案的三大优点：采用了增强型隔离放大器；其一是因为开关频率高，能够最大限度优化电源设计方案；其二是提高控制精度，特别是在高速运转时；其三是凭借 GaN 工艺，设计师能够优化开关性能，减少电机功率损耗，缩小散热器的体积，从而节省占板空间。对伺服系统乃至整个工业设备，最需要的还是稳定供电，它可用于 48 ~ 400V 不间断电源 (UPS) 和能量存储系统的 2kW 隔离双向 DC/DC 转换器参考设计。由于采用了增强型隔离放大器又大大提供了高性能的方案。而伺服驱动控制只是工业系统的一个方面，但是从侧面反映了半导体技术在工业领域的融合程度更加深化。

3.4 高速数字隔离器 ISO721 及其构建电机与其它电器设备电隔离方案

高速数字隔离器 ISO721 数字隔离器是逻辑输入和输出缓冲器，由提供高达 1000V 电隔离的二氧化硅 (SiO_2) 绝缘势垒分开。当与隔离电源一道使用时，该器件可防止数据总线或其他电路上的噪声电流进入本机接地以及干扰或损坏敏感电路。图 5 (a) 为 ISO721 构建框图。

由高速数字隔离器 ISO721 构建的电机与其它电器设备电隔离方案见图 5 (b) 所示。该隔离解决方案包括多通

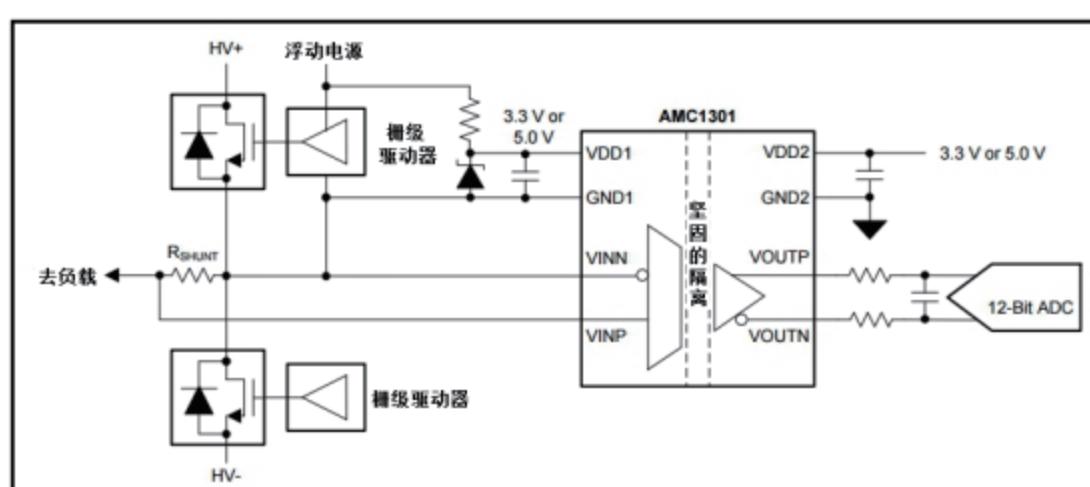


图 4 所示为 AMC1301 隔离放大器基于分流电阻的电流感测作用下的隔离应用

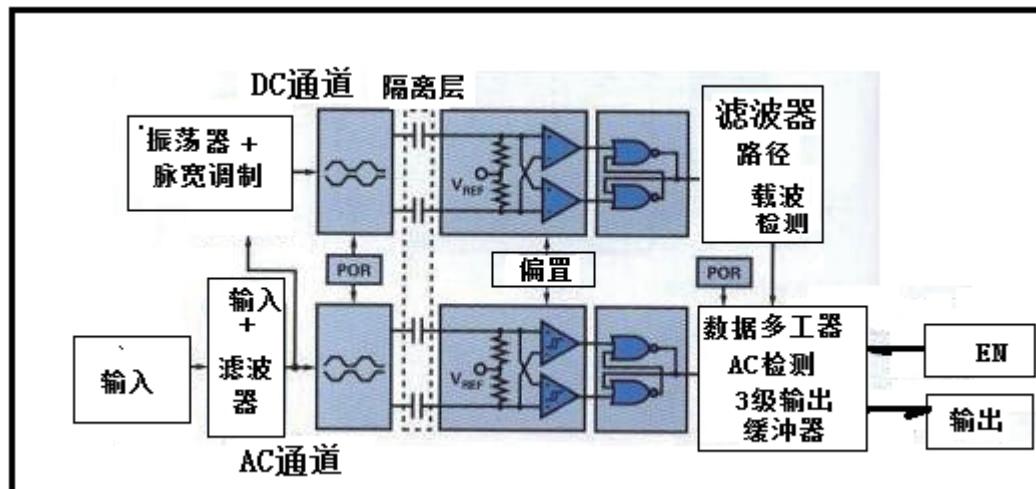


图 5 (a) 为 IS0721 构建框图

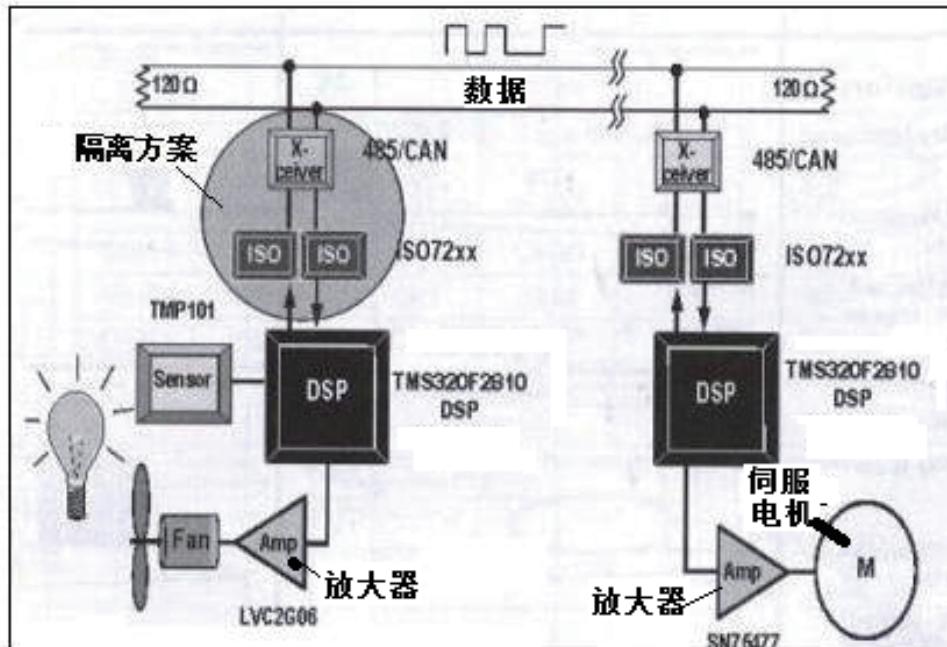


图 5 (b) 所示为高速数字隔离器 IS0721 建的电机与其它电器设备电隔离方案

道隔离器、隔离式 CAN 及 RS-485 收发器、隔离运算放大器、隔离数据转换器和隔离门控制器接口。

在图 5 (b) 的灰色圆中, 用数字耦合器 ISO72xx+RS485 发送器或 CAN 发送器组成的电隔离方案, 使 DSP TMS320C28X 能安全可靠的实施电机与其它电器设备的数字控制。

3.5 拓展隔离技术应用的新趋势

开发现代工业 4.0 的智能设备往往需要同时控制多个

电机时, 从而引发隔离技术要求拓展出更高更安全应用的新技术, 这对工程师来说是一大挑战。因工程师不仅要处理更高的复杂性, 还必须确保任何情况下的安全运行, 包括设备故障时的安全。

然而近年来微控制器 (MCU) 或 DSP (数字信号处理器) 及物联网应用所采用的数字技术使得能够为各种类型的电机选择正确的控制技术。其现代电机控制算法, 也能够对简化机械驱动传动装置设计有所帮助, 同样可实现

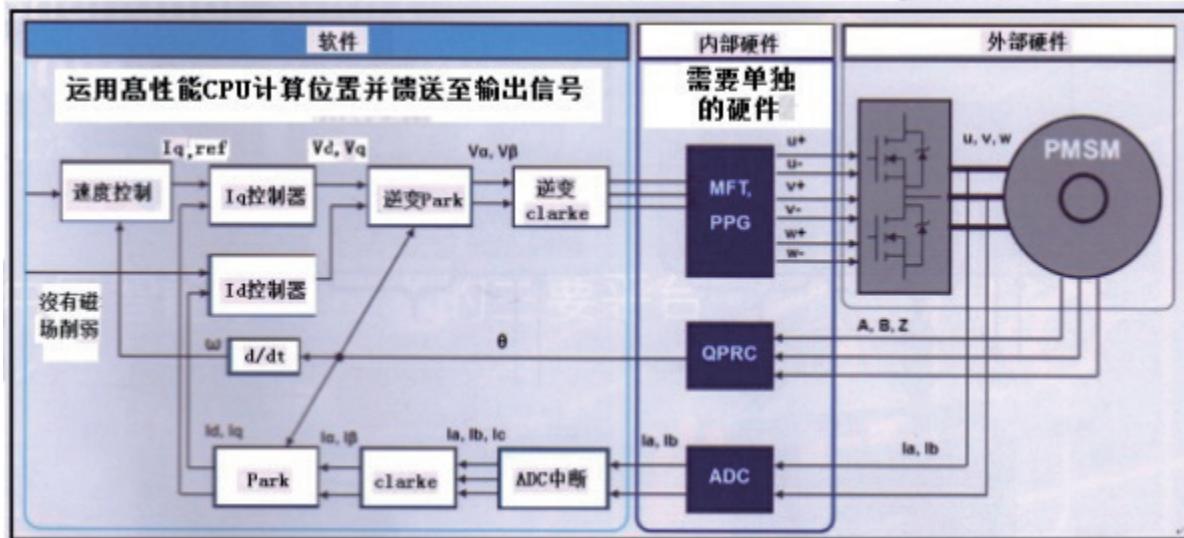


图 6 所示为现代电机控制中常用于永磁同步电动机的基本架构

系统成本的削减，则可以让这些智能设备从中受益，以实现高效安静运行；而 MCU 还能应用于物联网应用的机对机通信以及整机控制中。总的来说，制造商能够生产更高效、运行噪音更小的智能电器设备，并且在大大提高性能安全，使其实现并拓展出隔离技术的新趋势（见图 6 所示现代电机控制中常用于永磁同步电动机的基本架构）。

图 6 左边的浅蓝色模块表示软件内执行的功能，包括坐标变换（clarke、Park 及其逆变量）和 PID（比例、积分、微分）控制器等，也就是永磁同步电动机（PMSM）的向量控制和磁场定向控制（FOC）算法；图 6 中为“内部硬件”由专用的微控制器外设组成，这让软件模块能够有效地执行。其中模拟数字转换器（ADC）用于测量与脉冲宽度调制（PWM）同步的电机绕组的电流，并馈送回控制算法。控制算法的输出必须传达至逆变器中的功率开关器。逆变器则使用 PWM 控制技术来驱动电机，包括用于应对功率晶体管有限开关速度的死区时间插入；图 6 右为内部硬件中的多功能计时器（MFT）不但可以为每一个输出信号（ u_+ 、 v_+ 、 w_+ ）及其互补信号（ u_- 、 v_- 、 w_- ）产生基本 PWM 脉冲，包括死区时间。这些信号是用于驱动输出桥的高低侧开关。

需要指出的是，在这个示例中，采用内部正交位置和分辨率计数器（QPRC）外设以获取转子位置信息。磁场定向控制（FOC）算法执行所需的转子信息可通过工业环境中 PMSM 电机上安装的光学或磁性编码器获取，如伺服驱动器。在家用电器或其他应用中，该模块通常使用“无

传感”控制方法实行。无传感控制通过电机数学模型计算转子距离已测量电机电流的位置，而不是测量转子的位置。

4 后话

开发现代工业 4.0 的智能设备实现更高性能与更强的隔离解决方案是专为消除现有隔离技术不足的问题而设计的。常见的问题有：新型磁耦合隔离技术依然存在着像缺乏故障保险输出、无法处理仅含直流分量的信号、以及工作温度范围受限这些老问题；高功耗、缺乏故障保险输出、低信号传输速率以及高脉宽失真等；采用光电耦合器时，由于接通光电晶体管所需的电流量随器件的老化而增加，因此光电转换的低效率问题变得尤为突出。这是因为 LED 的光发射效率会随着其使用时间的增加而下降，而且高工作温度还会加剧这种情况。

为此工业 4.0 的智能设备的实施隔离技术时系统设计师必须处理会影响或破坏系统性能的电源质量低劣、接地故障和雷击等各种问题。此外，网络节点的间距可能相当大，且常常由不同接地区域的 AC 插座来给这些节点供电。这些接地区域之间的电位差可能含有 DC 偏压、50 或 60Hz 的 AC 谐波和各种瞬态噪声分量。

如果通过电缆逻辑接地或屏蔽将这些地线连接在一起，则可能形成接地环路，且电流将流入该电缆。接地环路电流会对网络产生严重影响，包括数据恶化、EMI 过大、元件损坏，当电位差足够大时，人体就有遭受电击的危险。