

基于集成化电机控制平台的节能解决方案

Using an Integrated Micro-based Motor Control Platform to Saving Energy and Cost

International Rectifier iMOTION 产品管理主管 Aengus Murray

OEM们正在期待着调速电机驱动技术能够最大限度提高从家用电器到空调器的各种产品的效率。工程师们所面临的挑战在于,变速电机驱动解决方案的实现,并非一个轻而易举的任务,开发工作的复杂性和成本都大为增加,这个事实与仅以略高于传统设计的成本提供产品如下的需求是相矛盾的。不过,现在功率半导体技术领域的发展,连同混合信号集成方面的进步,共同模块化的解决方案的发展,这些解决方案可以让工程师们缩短复杂的调速电机驱动设计的开发时间和所需的元件数量,并让他们能无牵无挂,把注意力集中在专门针对具体应用、可以提供极强竞争力的产品功能特性方面。

在中国,总耗电量中的约60%都为驱动机电设备的电机所消耗,如水泵、风机和压缩机。而如果采用能量效率高的电机和电子运动控制技术,则电机的能量消耗可以节约10%。

这些电力都为工业过程所消耗,但是中国的居民用电也占了相当大的比重。1985年,

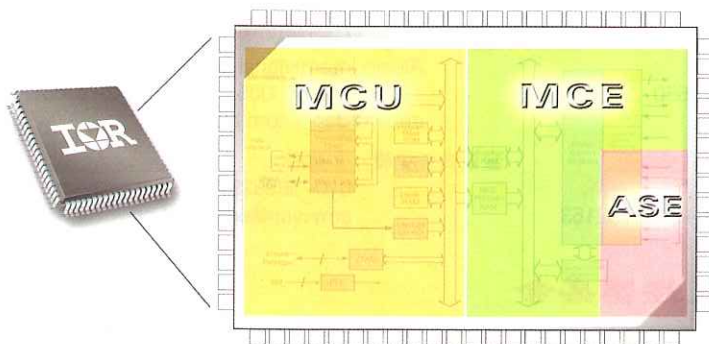
冰箱的数量为400万台,1996年增长到6000万台,现在则消耗了居民用电总量的一半。此外,空调的使用量也在增长,从1995年8台/百户增加到2000年31/百户。显然,能量利用率高的电力电子技术的巨大商机就存在于节能型运动控制架构中。

对于大多数变速电器应用来说,永磁(PM)电机是首选的技术。PM电机技术损耗更低和单位电流所产生的转矩更高的特点使得设计者能够选用一个尺寸较小、重量更轻和成本更低的电机,而可变速的工作模式可以降低其机械振动,提高可靠性和寿命,同时减少声学噪声。

成本和性能方面的考虑

在目前已经为无刷AC电机开发出的成熟调速技术中,梯形电流波形控制技术 in 高速区存在一定的限制,而且由于电流波形呈矩形,无法产生平滑的力矩输出。另外一种方法,基于正弦电流波形的磁场定向控制(Field Oriented Control, FOC)技术将可以提供更出色的全性能。这一技术一般是通过在数学上将所期望的电流值从定子域变换为转子域,然后再将所期望的电压值从转子域变换为定子域来实现的。对变化后的结果还可以进行进一步然而,完善一个FOC算法,使之能在微控制器或者DSP上运行,就需要开发者在电机控制和软件代码编写方面具有深厚的专业素养。在所面对的多方面的挑战中,电机电流采用的时间控制

图1 iMOTION 数字化控制IC



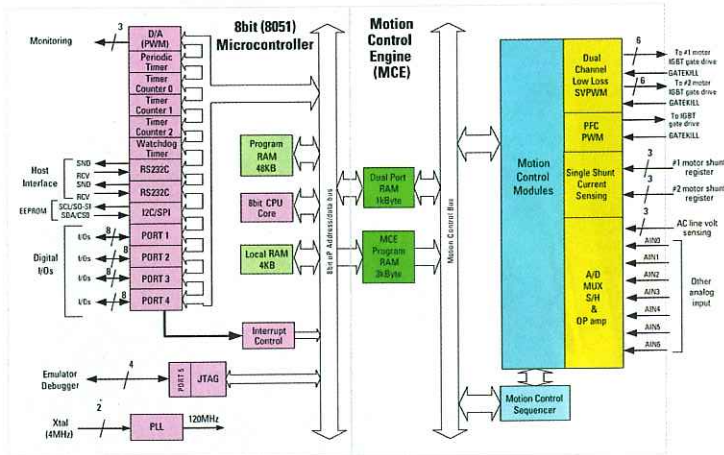


图2 IRMCF312框图

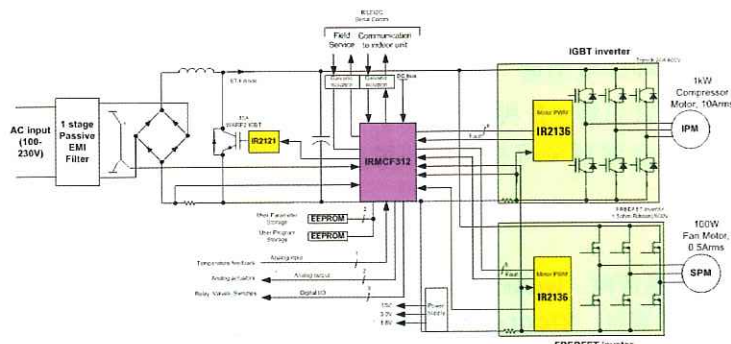
非常关键，而且取决于具体设计的PWM时序关系。虽然现售的算法一般可以提供速度更快和成本更低的解决方案，但执行FOC算法所需的资源往往要占用许多有现货提供的DSP的处理器容量。

使用现成的算法也使得电机控制设计在更多方面的问题无法得到解决，包括电力电子的设计、模拟电流的敏感、电源管理、保护和整个解决方案的集成。

集成化的运动控制平台

International Rectifier 已经开发出一个基于通过寄存器定义的混合模式控制器 IC 的设计平台(图1)，该平台被称为 iMOTION，集成了若干关键的功能，包括通过硬件实现的 FOC 算法，以支持无传感器电机速度和位置控制。在同一块芯片上集成了一个 60MIPS 微控制器，从而在运动控制平台上引入了应用层代码的执行。该代码是通过第三方 C 和 ASM 工具开发的，因为 MCU 是基于广为人知的

图3 基于 iMOTION 的室外机设计



8051 内核构建的。应用也可以在独立于 MCE 定义的情况下进行修改；MCE 于是实际上成为应用的处理器一个从属。由于片上集成了 8051，电机速度的设计和应用层功能的运行，包括顺序控制和与 UART、PC/SPI、定时器/计数器、捕捉和数字 I/O 外设的通信，都不需要系统添加一个外部的控制器。

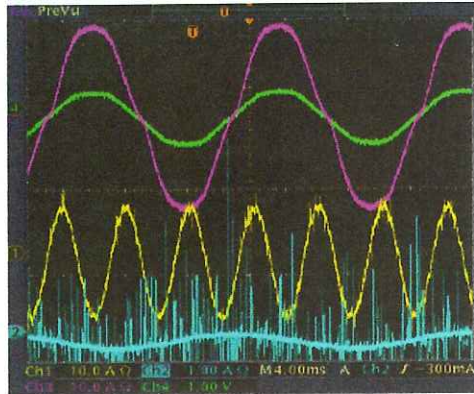
最新一代的控制器 IC 也集成了模拟信号调理和变换功能，成为一个混合模式的控制器 IC，进一步减少了实现完整的控制器设计时所需的元件数量。用于直接测量外部电流敏感电阻两端的电压降的五个运放及其相关的增益电路，都在芯片上得到实现，而这些元件通常是以外部元件的形式实现的；片上还集成了一个 12bit ADC 以实现电机电流的重构。通过这种方式，iMOTION 混合模控制 IC 将无传感器控制所需要的分立元件的数量缩减为单个敏感电阻和 4 个设定差分放大器增益的电阻。

兼容的模拟接口和功率模块使设计平台变得完整，让设计者能在不必编写软件代码的情况下快速完成全套 PM 电机控制器的配置，使之实现各种功能，如控制对电流采样电阻进行时间要求严格的采样。电力电子设计、模拟设计和系统集成任务也可以从设计者的任务列表中删去，这有助于快速、高效地实现高品质的电机控制解决方案，该方案可保证单位驱动电流能产生高转矩并保证安静的工作，而且所需外接元件数很少。

数字控制要求

数字 FOC 算法是由混合模式控制器 IC 内部一个定制化的处理内核执行的，该 IR 被称为运动控制引擎(Motion Control Engine, MCE)。该 MCE 所执行的各种行为，包括了在 11ms 内对完整的正弦 FOC 循环的计算。对于驱动两台电机的、在很宽范围内的转矩和速度控制技术来说，这一速度已经足够了。于是，现在单片控制器 IC 可以执行应用所需要完成的所有数字处理任务，例如空调器应用就需要对风扇和压缩机进行有效地控制。该设计还有

图4示出了在AC输入和逆变器输出功率测量值基础上得到的逆变器+PFC效率数据。PFC工作在连续电流模式下,其数字计算刷新速率为20kHz, PWM载波频率为40kHz。PFC+逆变器组合的总效率超过了95%。



充裕的处理能力,可以在片上执行数字功率因数修正,从而可以进一步取消一批外接的元件。

MCE可以通过寄存器来进行定义,以便满足特定的系统参数。然而,由于FOC转矩控制环路在硬件方面已经得到了优化,客户的工程师只需要对更外圈的速度和位置环路进行定制化,以便完成任何具体项目的数字设计任务。这可以通过一件基于PC的配置工具方面地实现。

iMOTION 模拟和功率模块

与数字控制和电力电子模块兼容的3相模拟驱动器和保护IC,也作为iMotion平台的一部分提供。这些IC包含3个独立的、内置阴极负载二极管(bootstrap diode)的600V半桥逆变器栅驱动器(inverter gate driver)。这样的集成水平所带来的好处包括参数的匹配性,如高端和低端通道的传输延迟方面的匹配。这些参数在产品的整个寿命期中也可以保持稳定性。设计提供了死区插入(Deadtime insertion)功能和保护功能,包括逆变器的过流脱扣动作和带

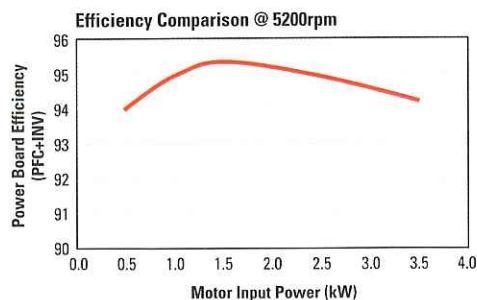


图5 效率测试结果 (PFC+压缩机逆变器)

自动故障清除功能的欠压切断保护(Lockout)。单独的功率和信号地线连接可以在低端IGBT上实现单一的DC线配置,以完成电流敏感。设计中还有交叉导通保护,该功能可以防止意外出现的直通,从而提高逆变器的可靠性。

作为iMOTION系列产品的一部分而提供的功率开关元件,则是高效率的耗尽-阻止Trench IGBT,它们可以构成多种构形,包括各种分立的和集成的模块。与穿通(punch-through, PT)和非穿通(NPT) IGBT相比,这些器件展示了更低的集电极-发射极饱和电压($V_{CE(ON)}$)和总开关损耗(ETS)。

开发工具与支持

为了简化客户的设计负担,提供了基于iMOTION平台的开发系统。举例来说,IRMCF3xx开发工具包括了多种参考设计,其中包含IRMCF3xx芯片以及一个与之相配套的iMOTION功率级和附属电路。这使得基本的功能度可以在项目的早期就得到验证,从而让设计团队的注意力能够快速转向应用开发。

所提供的控制器IC包含了8051内核,到MCE的接口已经载入了嵌入式软件。该芯片还包括了MCE本身以及集成的模拟信号引擎。8051应用的开发在C环境中完成,利用可以广泛获得的、在PC上运行的开发工具实现,而8051内核可以通过所提供的JTAG端口下载。

MCE可以在无需代码的情况下完成快速配置。用户只需简单地将高层次的参数输入“驱动参数计算器”(Drive Parameter Calculator)即可。在MCEDesigner工具的控制下,这些数据随后被自动地转换为恰当的数值,并被写入8051主控寄存器接口中。MCEDesigner作为iMOTION平台的一部分提供。

将MCE IP和相关的应用层以及模拟信号调理功能嵌入到一系列控制器IC中,将可以显著地降低针对特定应用的调速电机控制的发展中所隐藏的成本和风险。这些将包括各种调速功能能发挥其作用的设备类型,这些设备的

能量效率、成本、尺寸的缩减或者功能的增强等方面都将在不同程度上受益于调速功能的实现。潜在的应用包括家用电器、风扇和泵。每项针对专门应用的控制器都将附带 iMOTION 系列中的各种兼容的模拟和功率元件,以及包含实现快速和高效应用开发所需的全部硬件的参考设计。

应用实例: 一个具有95%效率的空调设计


为了解 iMOTION 的优点,不妨考虑一个空调器产品的实例。这种产品的优值是性能系数(Coefficient of Performance, CoP),它描述的是加热或者制冷功率与输入功率之比。研究表明,把带开-关控制的感应电机驱动的压缩机更换为基于永磁电机的调速压缩机,可以将 CoP 改善 300%。不过,这一更好的性能必须在成本不变或者小幅上升的前提下提供给最终用户。

为了帮助这一切换的实现,IRMCF312 使用了 MCE 架构,以集成无传感器电机速度和位置控制,外加数字式 PFC 控制,并取消了传统的空调控制系统所需要的独立的风扇控制器和单独的模拟 PFC 控制功能。图 2 示出了其内部框图。

与 IR2136 高压 IC 相结合后,这一方案可以实现一种成本经济性好、高效率的空调室外机设计。该 IC 集成了 3 路独立的 600V 半桥式逆变器栅驱动器,内带保护功能,如逆变过流脱扣和带自动故障清除功能的欠压切断保护。该模拟栅驱动器在整个产品寿命期内都可以保证参数的稳定性和参数的匹配性,例如高端和低端通道的传输延迟、死区插入。单独的电源和信号地连接可以在低端 IGBT 上实现单 DC 线配置,以形成电流敏感。交叉导通保护则防止了偶发性的直通,提供了逆变的可靠性。

设计了新的高压 IC,以便与 IR 公司覆盖面广的高效率的耗尽阻止 Trench IGBT,这些设计采用了丰富的结构类型,包括分立的和集成的模块。与穿通(PT)和非穿通(NPT)的 IGBT 相比,Trench IGBT 的集电极-发射极饱和电压 $V_{CE(ON)}$ 以及总的开关损耗 ETS 更低。

图 3 示出了完整的、基于 iMOTION 的空调室外机设计。该芯片组取消了 10 个以上的有源元件,包括一个 PFC 控制器,从而简化了设计。

MCE 数字 PFC 算法控制了输入 PFC 电路。IRMCF312 控制了两台无位置传感器的电机,其每台电机的 DC 连接上只需要一个旁路电阻即可。

52

料外壳、电缆、含镀层的紧固件等,都可以用 XLt 797 来检测。XLt 797 做 RoHS 筛选检测,可消除由于等待实验室结果而导致的生产延误,由于采用 X 荧光能量色散原理,不需要取样及破坏待测样品。快速、无损测试样品以及操作简单明了的特点,可帮助用户在短时间内实现更大范围的样品抽检,大大地减少了 RoHS 限制的物质进入生产过程的机会。NITON NDT 软件工具可将设备无线连接到计算机或掌上电脑上,实现仪器远程控制和数据分析。

据 Thermo Fisher 公司中国总经理 Bill Kinsey 介绍,中国作为世界电子产品制造中心成为化学元素检测的最大市场,公司通过提供

尖端的检测设备、完善的产品毒害物质管制和检测方案,以及专业的技术支持来帮助企业应对 RoHS/WEEE 指令全面实施挑战,包括 AA 光谱仪、ICP-OES 光谱仪、UV-Vis 光度计、XRF 分析仪、GC-MS 联用仪、FT-IR 光谱仪和实验室分析软件(LIMS),除了能帮助企业全面应对环保新法规的挑战,还将提升国内电子厂商在国际市场的竞争实力。比如荧光光谱仪可以实现 RoHS 和 WEEE 法规所需的检测灵敏度和必不可缺的自由度,国内很多技术监督局都已经采用该仪器进行 RoHS 检测,富士康公司则是 Thermo Fisher 电子产品化学元素检测设备在电子制造领域的忠实用户。