

在新一代智能家电中采用 FPGA 实现节能电机控制

引言

家电是现代生活方式的核心。消费者希望家电产品不但“智能”、“绿色”，当然还要价格合适。所有这些需求都促使当今的家电设计人员推出真正的高技术产品。

多年以来，智能家电采用微控制器单元 (MCU) 和数字信号处理 (DSP) 模块等通用电子器件来管理用户接口和电机控制等功能。这些由通用硬件制造的器件性能有限，家电设计人员只能通过软件来实现专用功能。

而家电设计人员利用 FPGA 能够自由地开发定制功能，以非常低的成本实现硬件和软件的定制化，完全满足其特殊应用需求。这种自由的设计为增强系统性能打开了新空间，特别是在节能电机控制方面。考虑到国内 50% 的能耗来自家电（在工业化国家中），以及能源价格和日益重要的环保要求，FPGA 可以帮助家电设计人员开发更环保的产品，获得能源之星认证，进一步降低客户的成本。

本白皮书介绍家电设计人员怎样利用 FPGA 技术和 Alizem 电机控制知识产权 (IP) 来设计新一代家电，将包括电机控制在内的所有功能集成在一个芯片中实现。

电机控制基础

家电能效之所以能够在最近几年大幅度提高主要是由电机控制技术变革带来的。和以前的家电相比，基于功率变换器的变速电机驱动功能可以节省 60% 以上的电能。利用电路中电机控制器管理的电源晶体管，这一技术将电源输出的固定频率 / 固定振幅电压转换为可变频率 / 可变振幅电压。因此，通过电机控制器功能，可以在性能和总能耗上实现最佳功率转换。

家电电机控制

电机控制系统是洗衣机、甩干机、冰箱和洗碗机的核心，而电机控制技术取决于所采用的电机类型。家电中最流行的两类电机是永磁同步电机 (PMSM) 和感应电机 (IM)。家电设计在能耗和噪声上达到较高的质量水准是满足客户需求的关键，这样才能在成本上具有竞争力，符合环保和用电规范。据美国能源部，在洗衣机中使用基于功率变换器的变速电机驱动功能每年可节省 140 kWh 的电力，并相应的在热水使用上每年节省 2,374 kWh。(1)

在电机控制中使用 FPGA 和定制 IP 的优势

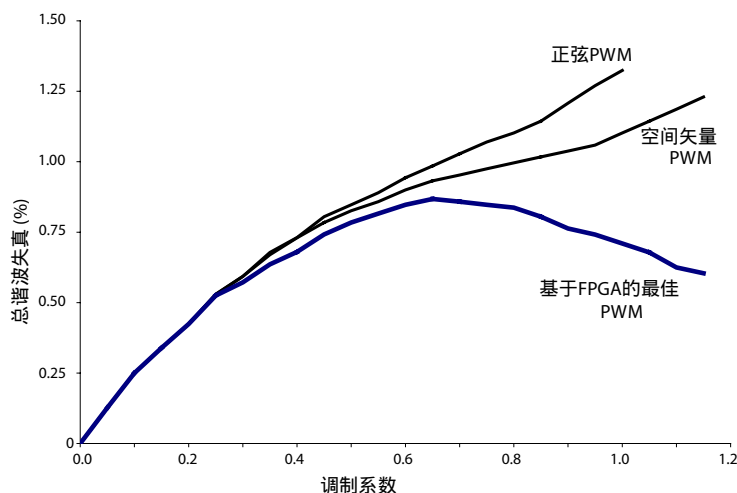
电机控制是一种非线性时变参数应用，电机和电子开关中的电流迅速变化，需要进行大量的计算。以前，通过在单独的 MCU/DSP 芯片上运行电机控制软件来达到这种计算要求，这类芯片一般集成了普通的通用脉冲宽度调制 (PWM) 模块。然而，这种系统体系结构无法在电机控制应用中实现最佳功耗和性能，也不能提高集成度。本文下面介绍怎样借助 Altera® 低成本 FPGA 和 Alizem 电机控制 IP 的功耗、性能、安全性、可靠性、系统成本和集成优势来帮助设计人员开发更节能的高性能家电电机控制系统。

功耗优势

任何电流控制方法的关键都是通过使用一种 PWM 技术来实现电压激励。PWM 控制功率变换器晶体管状态，以满足电压激励的时间平均值。这些方法减小了电机和功率变换器的损耗，同时提高了直流总线的电压利用率。

FPGA 的真正优势在于它可以根据需要来定制实现以前 MCU 或者 DSP 模块中功能固定的通用硬件。对此，FPGA 中的专用 PWM IP 内核针对能效和电机参数进行了全面优化，可以替代 MCU 或者 DSP 电机控制芯片中的标准 PWM 模块。图 1 显示了与 MCU 或者 DSP 模块中的标准 PWM 相比，FPGA 中经过优化的 PWM 是怎样把大调制系数总谐波失真 (THD) 降低了近 50%。电机中时间谐波损耗随之降低，减小了听觉噪声，提高了电机的总体可靠性。

图 1. 基于 FPGA 的电机控制和基于 MCU 的电机控制 THD 对比



对 PMSM 的试验验证表明，减小 THD 能够降低电机和功率变换器损耗 50% 至 55%，从而大大提高了总能效。损耗的大幅降低还提高了家电在能源之星上的等级，帮助设计人员增加能够突出产品优势的新功能，例如基于 HDTV 的增强型人机接口等。

性能、安全、可靠性和系统成本优势

FPGA 的硬件可编程能力简化了专用高性能逻辑电路的实现。电机电流和扭矩控制专用逻辑电路与通用 MCU 或者 DSP 模块中的软件不同，能够支持频率非常高（大于 100 kHz）的控制环带宽 (2)。宽带控制可以实现更好的稳压功能，有利于提高电流质量。这样，电机控制器还可以提取出电机在工作时的关键状态信息，将这些信息送到家电主控制器，提醒用户电机可能出现故障，调整电机控制参数以降低故障风险，提高工作安全性。(3)

FPGA 具有系统成本优势。使用 FPGA 的好处之一是能够提高电机控制应用的性能，在元件布局上有很大的灵活性，在主控制方案中集成大计算量功能，并行运行实现这些功能。这些功能可以是自适应的，实时电机参数和状态估算可提高电机控制性能，不需要速度或者位置变换器就可以运行（无传感器工作）。另一个例子是使用高级 DSP 技术实现测量信号调理，支持使用低质量电流、速度和位置变换器，同时降低了成本。

设计人员在 MCU 或者 DSP 模块中实现这类功能时不得不牺牲电机控制性能或者系统性能。而在 FPGA 中，这些功能是完全独立的。因此，与 MCU 或者 DSP 模块的串行指令执行方法相比，基于 FPGA 的电机控制器不但性能确定而且还提高了产品的可靠性。(4)

集成优势

FPGA 硬件集成完全不同于分立元件。集成的每一步都是在 Altera Quartus® II 开发软件中完成，这一电子设计自动化 (EDA) 应用软件帮助设计人员在完全可视化环境中集成并测试系统元件工作。通过这种方式，家电设计人员从头开始设计，只需要很短的时间就能够实现完全可运行的系统，留出更多的设计时间来突出产品优势。利用这一简捷的电机控制器元件集成方法，家电设计人员能够：

- 减少元件数量
- 降低系统复杂度
- 提高系统可靠性
- 定制电机系统配置，适应每一设计的性能和价格。

FPGA 硬件集成的另一优势是在同一芯片中集成多个独立的受控电机控制器（如图 2 所示）。这一功能对采用了多个电机的家电特别有用，例如组合了洗衣和甩干功能的洗衣机。

图 2. 传统的 MCU/DSP 设计（左侧）和基于 FPGA 的设计（右侧）



而且，FPGA 是可编程器件，很容易在现场进行更新。这样，家电生产商不需要通过昂贵的服务呼叫和元件替换就能够修复故障，为客户提供最新版固件。

Alizem 电机控制 IP

Alizem 为使用功率变换器的 PMSM 和 IM 提供全面的高级控制和故障诊断 IP，设计实现高能效家电，提高家电的安全性。可以通过选择合适的 IP 产品组合并进行集成来为每一应用提供最佳电机控制 IP：

- *Zem-PWM™ IP* 支持电压激励高性能 PWM 集成，范围从标准空间矢量 PWM 到最佳定制 PWM。
- *Zem-CC™ IP* 支持对电机稳流进行成本 / 性能综合考虑，范围从标准标量控制到自适应无传感器矢量控制。
- *Zem-Diag™ IP* 监视测量信号和机器状态，提前探测并诊断电机、功率变换器、传感器和负载的故障。然后，利用这一信息来规划以后的维护方案，切换到安全工作模式。

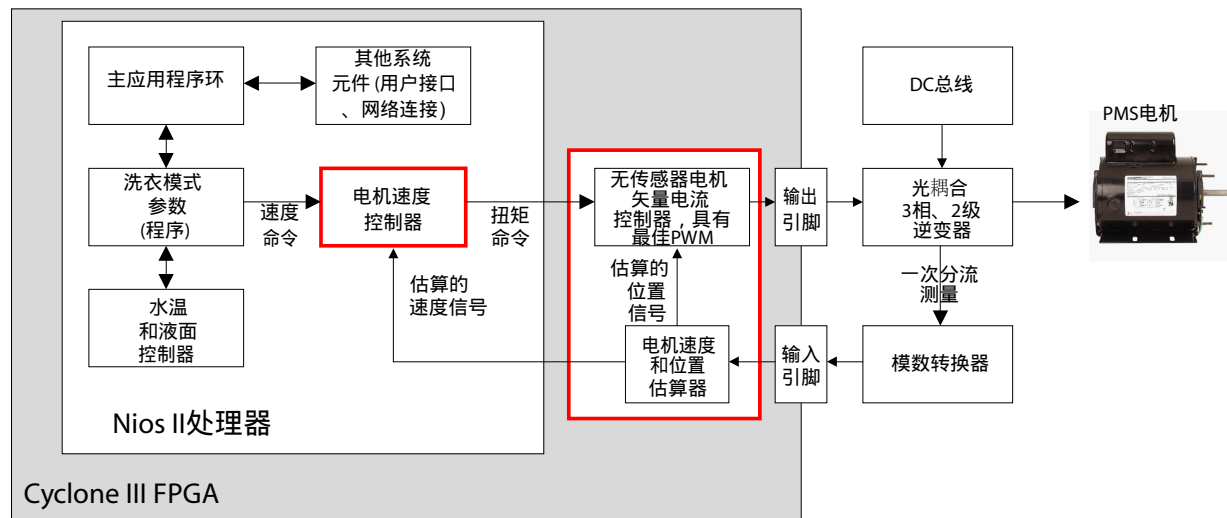
所有的 Alizem 电机控制 IP 内核都采用了专用 DSP 算法进行设计，在性能和逻辑单元 (LE) 等 FPGA 资源上达到了最佳组合。例如，包括 PWM 和电流控制的 PMSM 所有电机驱动功能在低成本 Altera Cyclone® III FPGA 上实现时只需要不到 500 个 LE。使用 IP 不但降低了芯片成本，而且占用很少的引脚，为家电设计人员留出足够的 FPGA 资源来增加更有价值的功能，突出产品优势。

与使用 MCU 和 DSP 模块相比，Alizem 电机控制 IP 的另一优势在于它是软核 IP 而非硬核 IP，可以在 FPGA 中进行编程。这一特性为家电生产商带来了明显的优势，包括不受限制的供货（没有过时的风险），每一发售的产品都有稳定的产品质量，容易集成，可确保交付最新的电机控制芯片等。

Altera 家电电机控制开发套件

Altera 家电电机控制开发套件基于采用了 Nios® II 处理器的 Cyclone III 平台，能够帮助家电设计人员使用 Alizem 电机控制 IP (图 3 中红色所示) 迅速设计定制电机控制功能。Alizem IP 分成两部分：运行在 Nios II 处理器中的软件部分用于速度控制（慢变），封装为 Quartus II SOPC Builder 组件的硬件部分用于电流 / 扭矩控制和 PWM（快变）。

图 3. Altera 家电电机控制开发套件中的 Alizem 电机控制 IP



这一采用了无传感永磁同步电机的洗衣机设计原理图展示了一个非常好的例子——具有较强计算能力的 FPGA 是怎样帮助家电设计降低成本、提高可靠性的。控制器中的高性能估算算法替代了电机位置和速度传感器，根据以前的电流测量值来重建信号。基于洗衣机型号，在这一设计中很容易集成故障诊断 Zem-Diag 组件（例如，进行非平衡负载探测），提高可靠性和性能，而且不会牺牲系统总性能，也不用想办法进行分布式计算。

结论

由于使用了低成本可编程硬件，集成了 Nios II 嵌入式处理器，并且可采用 Alizem 电机控制 IP，Altera 基于 FPGA 的系统为很多应用提供了 MCU 或者 DSP 系统无法实现的新功能（参见表 1）。这些功能包括增强电机控制性能，以帮助家电设计人员开发极具优势的产品，不但功耗非常低，而且提高了可靠性，降低了成本，加速了产品面市。

表 1. MCU/DSP 和 FPGA 对比

特性	MCU/DSP 模块	FPGA
定制 PWM		✓
一个芯片中多个电机控制器		✓
定制电机驱动配置		✓
方便的元件集成		✓
并行元件体系结构		✓
需要的 IC 数量	2+	1
性能确定	否	是
宽带控制环		✓
高可靠性		✓

参考文献

- DOE/EE-0218, “Assessment of High-Performance, Family-Sized Commercial Clothes Washers,” 2000: <http://www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/clotheswashers.pdf>

2. Monmasson E., Cirstea, M., “FPGA Design Methodology for Industrial Control Systems - A review,” *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 54, No. 4, August 2007:
<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/41/4265775/04267891.pdf?arnumber=4267891>
3. Le Roux, W., Harley, R.G., Habetler, T.G., “Detecting faults in rotors of PM drives,” *Industry Applications Magazine*, IEEE, vol.14, no.2, pp.23-31, March-April 2008:
http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4487121
4. Parker, M., *FPGA vs. DSP Design Reliability and Maintenance*, Altera white paper, May 2007:
www.altera.com/literature/wp/wp-01023.pdf

致谢

- Marc Perron, Alizem 有限公司 CEO, IEEE 工业电子协会芯片系统委员会技术顾问。
- Juju Joyce, 资深战略市场工程师, 消费类和汽车业务部, Altera 公司。



101 Innovation Drive
San Jose, CA 95134
www.altera.com

版权 © 2008 Altera 公司。保留所有版权。Altera、可编程解决方案公司、程式化 Altera 标识、专用器件名称和其他所有其他专有商标或者服务标记, 除非特别声明, 均为 Altera 公司在美国和其他国家的商标和服务标记。所有其他产品或者服务名称的所有权属于其各自持有人。Altera 产品受美国和其他国家多种专利、未决应用、掩模著作权和版权的保护。Altera 保证当前规范下的半导体产品性能与 Altera 标准质保一致, 但是保留对产品和服务在没有事先通知时的变更权利。除非与 Altera 公司的书面条款完全一致, 否则 Altera 不承担由使用或者应用此处所述信息、产品或者服务导致的责任。Altera 建议客户在决定购买产品或者服务, 以及确信任何公开信息之前, 阅读 Altera 最新版的器件规范说明。