

数字PFC控制：实现电机控制系统监控的增值

Dara O'Sullivan
ADI公司系统
应用工程师

分享至Twitter

分享至LinkedIn

电子邮件

摘要

功率因数校正(PFC)对于工业电机驱动来说越来越重要，这在很大程度上是因为公用事业公司一端加强谐波含量监管所导致的；其他附带好处包括：效率、电压质量和导体额定值。与模拟器件相比，数字PFC控制器成本更高，且可能更复杂。但是，如果考虑到主电机控制处理器的功能，则数字PFC能为整体系统设计带来极大的附加价值。本文强调数字PFC控制器在整体系统监控、保护和时序方面为工程师带来的系统级优势。该控制器在真实电机控制系统平台上的部署以图例和/或图形表示，并显示硬件以及软件框架，同时辅以实验验证。

简介

功率因数校正(PFC)对于工业电机驱动来说越来越重要。这主要是因为公用事业公司一端加强谐波含量监管所导致的。但部署PFC也有好的一面，比如改善整体系统效率、导体额定值和分配电压质量；这些优点对于工业环境下的其他负载(如直接在线感应电机和变压器)可能是很重要的。PFC可以使用有源电路拓扑来实现，比如单相[1]或三相升压型整流器[2]，或者通过无源方式实现；后者需正确使用低频电感和电容，以便形成交流线路电流包络。两种形式的PFC均试图重现正弦或近似正弦的线路电流，并与线路电压同相，从而最大程度减少来自公用事业公司、产生损耗的谐波电流和无功功率流。有源和无源PFC之间的权衡取舍与成本、无源元件权重和数量，以及PFC相关损耗有关。

在单相电机驱动中，有源PFC使用广泛。对于三相系统而言，无源谐波校正使用更广，且三相线路上通常含有50 Hz或60 Hz大电感，或者在整流器的直流侧含有单个电感。然而，在较高功率下使用有源PFC能获得某些优势。有源PFC解决方案(直流或交

流侧)可提供最优电感尺寸、更低的功率损耗、重量和最佳功率因数。

在单相应用中(比如低功耗电机驱动)，默认使用如图1所示的整流器输入升压转换器。

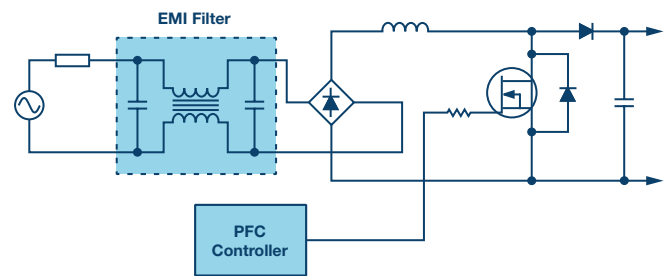


图1. 单相升压PFC电路。

这些器件通常在50 kHz至100 kHz频率范围内进行开关，因而相比无源解决方案需要使用较小的直流侧电感。对于三相系统而言，单开关拓扑可以包含交流或直流侧高频电感。

实现PFC控制的一个障碍是使用PFC电路和PFC控制器导致成本上升。系统内处理器处于隔离栅安全超低电压(SELV)侧的情况尤为如此。这种情况下，从主电机控制处理器内部实现PFC控制会增加复杂程度与成本，因为需将交流侧测量结果和控制信号与处理器I/O和ADC相隔离。此外，若要采用通常针对10 kHz至20 kHz PWM频率的电机控制应用服务优化的处理器来实现50 kHz至100 kHz PWM控制就有点难度了。

这种情况下，一种选择是使用一个廉价的模拟PFC控制器(比如UC3854[3])，并使其完全独立于主系统控制器工作。但是，使用一个数字PFC控制器(比如ADP1047[4])并搭配电机控制处理器和数字隔离器，便可实现增值。然后，处理器可将部分时序、监控和保护功能交由PFC控制器负责，增强整体系统功能，同时降低成本。这种配置的好处如下：

► 启动和关断时序

- ▶ 系统级状态信息
- ▶ 用户界面显示信息
- ▶ 异常条件监控
- ▶ 最大程度降低传感器要求
- ▶ 备份测量/冗余
- ▶ 用作整体系统故障保护的一部分
- ▶ 控制器优化(通过效率)

图2显示了典型数字PFC控制器的系统监控、保护和时序能力。将诸如ADP1047器件集成功能置于主处理器的控制与监控之下，这样做的优势从系统设计角度而言是非常明显的。可以降低总系统成本、复杂度并减少传感器数量，哪怕PFC控制器自身的成本可能要高于其模拟器件。

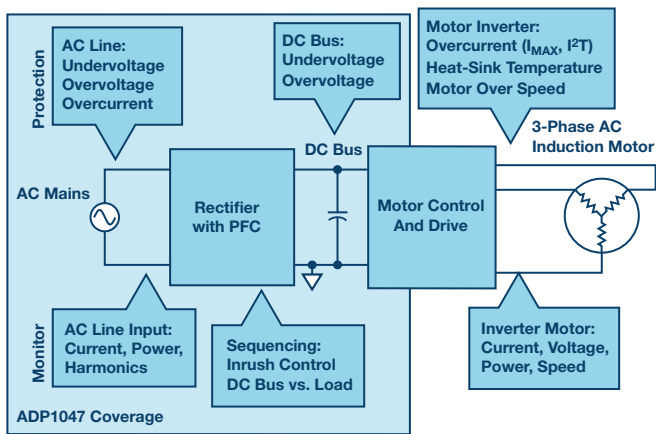


图2. 电机控制系统中的数字PFC控制器功能范围。

硬件平台

ADI提供实验平台，用来在真实电机控制系统中验证信号链元件和软件工具。该平台的电路架构如图3所示，平台硬件如图4所示。

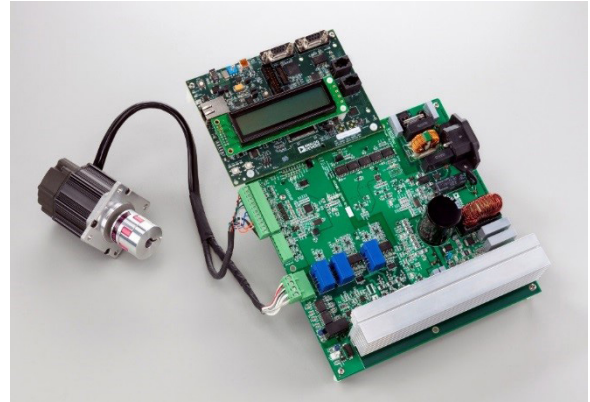


图4. 电机控制平台硬件。

该系统表示一个功能完整的PMSM市电输入电机驱动，具有功率因数校正、完全控制、通信信号隔离和光学编码器反馈功能。系统的核心是ARM®Cortex®-M4混合信号控制处理器，即ADI的ADSP-CM408。由ADP1047来执行PFC前端控制，该器件集成精密输入功率计量功能和浪涌电流控制。ADP1047设计用于单相PFC应用，ADP1048则特别针对交错式和无电桥PFC应用而设计。数字PFC功能基于传统的升压PFC与输出电压反馈的乘法运算，并结合输入电流和电压来为AC/DC系统提供最佳的谐波校正和功率因数。所有信号都转换到数字域以提供最大的灵活性，并且关键参数都可以通过PMBus接口提供报告和调整。ADP1047/ADP1048允许用户优化系统性能，最大程度地提高负载范围内的效率，并缩短设计上市时间。灵活的数控PFC引擎与精确的输入功率计量功能的完美结合有利于智能电源管理系统的采用，从而利用其智能决策能力提高终端用户的系统效率。在轻负载时，该器件支持以编程方式降低频率，并能降低输出电压，从

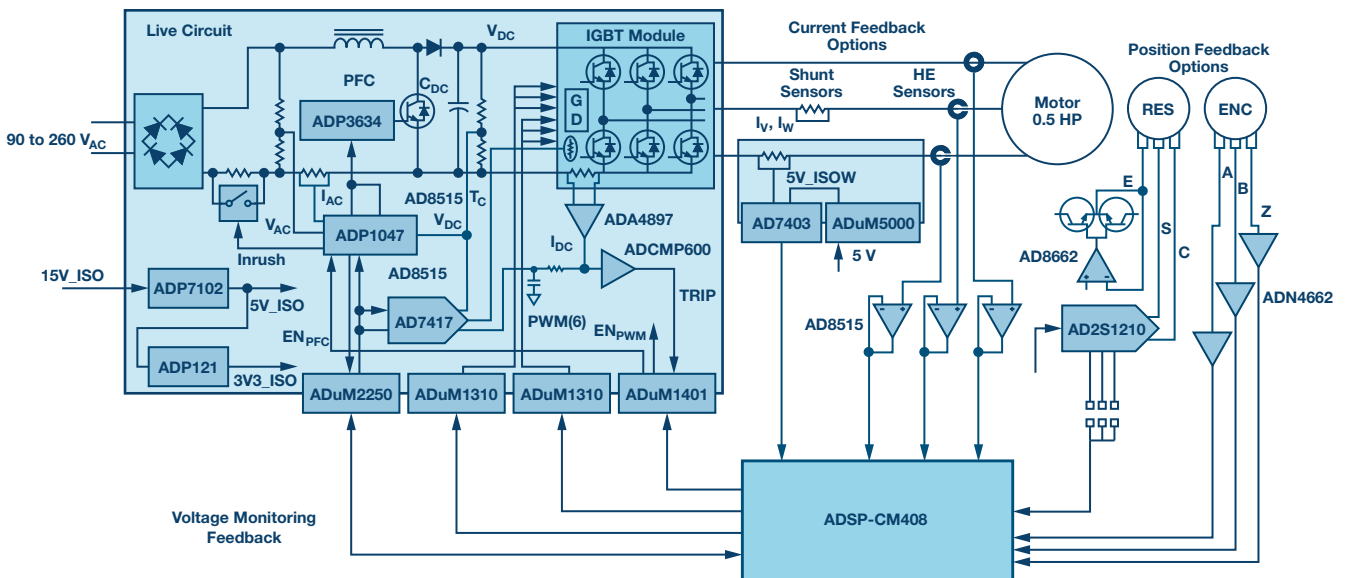


图3. 通用交流输入电机控制平台。

而进一步提高效率。ADP1047/ADP1048提供增强的集成特性和功能；浪涌电流和软启动控制功能的集成使元件数量显著减少，并使优化设计更轻松。该器件针对高可靠性、冗余电源应用而设计，具有广泛、鲁棒的保护电路。它们还具备独立过压保护(OVP)和过流保护(OCF)、接地连续性监控和交流检测。同时提供内部过温保护(OTP)，外部温度则可以通过外部检测器件记录。

系统工作原理

通过I²C/PMBus接口实现处理器与PFC控制器的通信，I²C数字隔离器提供域之间的接口，如图5所示。处理器位于SELV电气域内，PFC控制器参考高压域内的直流总线通用电轨。三相逆变器的栅极驱动器开关信号通过双通道隔离器，从处理器PWM模块路由输出。I²C接口的数据和时钟信号以及通用数字信号同样通过数字隔离器路由。

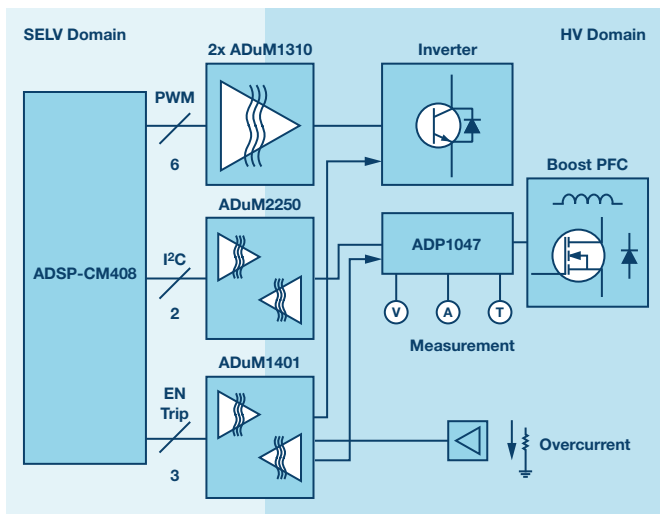


图5. 数字信号隔离。

PFC控制器管理升压PFC电路的控制和监控。这些任务从主电机控制软件的流程中分流至低优先级的程序中，如图6所示。PFC控制器参数在启动期间配置。如果已有该功能，则通常可以通过将配置参数写入控制器IC的EEPROM存储器而跳过该步骤。如图6所示，在典型电机控制系统中，速度和电流测量以及PWM控制器更新将作为高优先级中断处理，而电流测量与PWM信号同步。可设置PFC控制器以便处理输入侧测量，比如输入交流线路电压和电流、直流总线电压、输入功率、PFC电路温度。这些测量对于电机控制算法而言不算关键，不过直流总线电压测量对于无传感器算法可能比较重要。但这些测量对于整体系统级监控和控制器优化而言比较重要。它们可以进而由低优先级I²C数据处理任务或中断例程请求和处理，并且计划速率匹配系统监控时间常数。

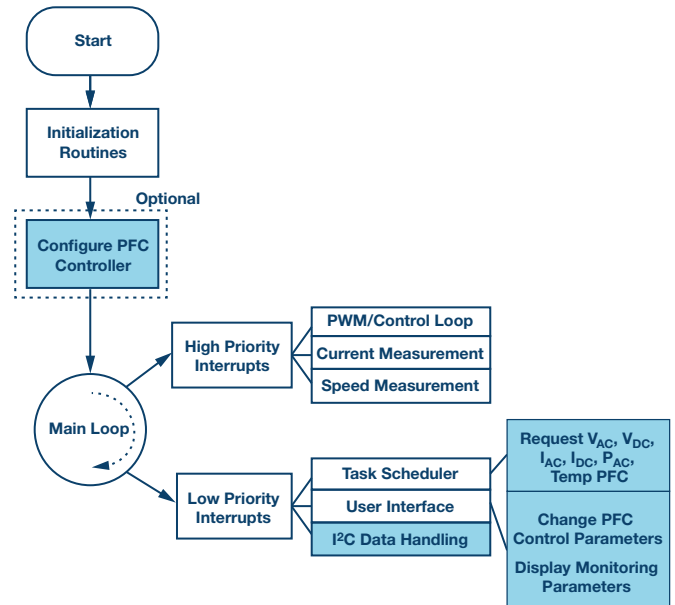


图6. 主电机控制程序结构。

图7所示为平台的Micrium Probe™用户界面，其中直流总线基准电压设为250 V。可以清楚看到交流和直流侧的监控变量以及电机控制。



图7. 用户界面。

结论

由此节省的额外传感器、数字I/O和处理器上的模拟引脚，以及调节和解释测量变量的软件开销可能意味着处理器成本的下降，只要选择性能较低的变体，或者释放处理器硬件和软件空间供其他优先级更高或系统增强型功能使用就可以实现。

本例中，相对于交流线路电压的系统启动序列，直流总线欠压、过压和交流侧过流保护均通过PFC控制器实现。然而，必须谨慎地进行整体系统设计，因为主控制处理器应始终由PFC控制器负责控制或保护，以便在受到副边影响时不会独立执行操作。这种情况的一个例子便是PFC控制器由于直流总线瞬变过压(比如因为电机制动事件)而经历了一次全局PWM信号禁用。如果控制器未能检测到该事件，则它将试图调节PWM输出(不会成功)以保持工作点。如果PFC控制器在过压瞬变消失后重新使能PWM，则系统可能会由于PWM占空比的突然大幅增加而出现副边故障。因此，管理PFC控制器与电机控制处理器之间的保护通信和时序时必须非常仔细。

总之，若在较低成本的模拟PFC控制器与更为昂贵的数字控制器之间选择，那么潜在的权衡取舍就应当不仅根据PFC电路自身进行评估，还应考虑数字控制器更强大的功能所带来的潜在系统级功能、增强性和成本的下降。本文旨在强调部分关键系统级增强特性，使用了ADP1047以及单相电机驱动系统作为示例。

参考文献

[1] L. Rossetto, G. Spiazzi, 和 P. Tenti. “Control Techniques for Power Factor Correction Converters (功率因数校正转换器的控制技术)”。Proc. Int. Conf. Power Electron. Motion Control. Warsaw, Poland, 1994, pp.

[2] T. Friedli 和 J.W. Kolar. “The Essence of Three-Phase PFC Rectifier Systems (三相PFC整流器系统的本质)”。电信能源会议(INTELEC), 2011 IEEE 33rd International, Vol., No., pp. 2011年10月。

[3] <http://www.ti.com/product/uc3854>

[4] <http://www.analog.com/en/products/power-management/digital-power-management-ic/digital-pfc-controllers-power-metering/ADP1047.html>

在线支持社区

访问ADI在线支持社区，与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

ezchina.analog.com



全球总部
One Technology Way
P.O. Box 9106, Norwood, MA
02062-9106 U.S.A.
Tel: (1 781) 329 4700
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部
上海市浦东新区张江高科技园区
祖冲之路 2290 号展想广场 5 楼
邮编: 201203
电话: (86 21) 2320 8000
传真: (86 21) 2320 8222

深圳分公司
深圳市福田中心区
益田路与福华三路交汇处
深圳国际商会中心
4205-4210 室
邮编: 518048
电话: (86 755) 8202 3200
传真: (86 755) 8202 3222

北京分公司
北京市海淀区
上地东路 5-2 号
京蒙高科大厦 5 层
邮编: 100085
电话: (86 10) 5987 1000
传真: (86 10) 6298 3574

武汉分公司
湖北省武汉市东湖高新区
珞瑜路 889 号光谷国际广场
写字楼 B 座 2403-2405 室
邮编: 430073
电话: (86 27) 8715 9968
传真: (86 27) 8715 9931

©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices, Inc. TA13149sc-0-8/15

analog.com/cn



超越一切可能™