

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.06.022

基于 FPGA 的交流伺服高精度反馈系统

谢强强, 周虎, 黄琦

(电子科技大学能源科学与工程学院电力系统广域测量与控制四川省重点实验室, 成都 611731)

摘要: 利用 FPGA 高速并行处理的特点, 设计了一种基于 FPGA 的交流伺服高精度反馈系统。给出了系统设计的总体思路, 并设计实现了位置环、速度环和电流环反馈信息的高速高精度采集, 将设计的系统应用于 1 kW 永磁同步电机交流伺服平台上进行试验。试验结果表明: 该系统能克服 DSP 无法完成算法控制和反馈信息采集同时进行的缺陷, 改善了反馈信息采集的实时性和精确度, 有效地提高了交流伺服的带宽和总体性能。

关键词: 交流伺服; FPGA; 反馈系统**中图分类号:** TP272 **文献标志码:** A

AC Servo High-Precision Feed-Back System Based on FPGA

Xie Qiangqiang, Zhou Hu, Huang Qi

(Key Lab of Power System Wide-Area Measurement & Control in Sichuan Province, School of Energy Science & Engineering, University of Electronic Science & Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: By using FPGA high speed parallel processing features, design the AC servo high-precision feed-back system based on FPGA. The system total design concept is given, design and realize the high-speed high-precision data acquisition system for position loop, speed loop and current loop. The designed system is tested on a 1kW permanent magnet synchronous motor (PMSM) AC servo platform. The test result shows that the designed system can overcoming the defect of single DSP that can not perform the functions of algorithm control and acquisition of feed-back information simultaneously, improves real-time performance and accuracy of data acquisition of feed-back system, hence enhances the bandwidth and overall performance of the servo control system.

Key words: AC servo system; FPGA; feed-back system

0 引言

交流伺服采用三闭环反馈控制, 分别是位置环、速度环和电流环。反馈量的测量精度在闭环控制的设计中起着至关重要的作用, 甚至直接决定着整个交流伺服的控制性能。

常用的交流伺服设计使用一片数字信号处理芯片(digital signal processor, DSP)完成整个系统的设计, 在这样的设计中, DSP 即要完成交流伺服控制算法的处理, 还要不断通过中断的形式完成反馈信息的测量。由于 DSP 执行事件是顺序进行的, 无法同时完成算法控制和反馈信息的检测, 因而严重影响了伺服的带宽。另外, 由于高精度的转子位置检测元件绝对式光电编码器、高速电流采样芯片等一些精密测量设备需要较高的处理速度, 相对复杂的逻辑时序, DSP 芯片并不能完全胜任。因此, 随着交流伺服对高精度、高带宽等指标的要求不断增加, 势必需要单独设计反馈信息采集系统。基于 FPGA (field-programmable gate array) 设计的交流伺

服反馈系统具有高速高精度的数据采集、处理能力, 能够很好地克服以上设计的缺陷; 因此, 笔者采用 DSP+FPGA 的交流伺服设计思路, 反馈部分由 FPGA 处理, DSP 只需处理控制算法, 以大大提高 DSP 的控制带宽, 提高伺服的性能。

1 系统设计总体思路

交流伺服三闭环控制分别指位置环、速度环和电流环, 如图 1^[1-2]所示。闭环反馈量的测量对反馈控制有着重要的影响。反馈量测量不准确或偏离实际值较大, 不仅会引起控制性能的下降, 甚至引起系统震荡, 破坏系统的稳定性。

在本设计中, 电流环反馈采用高精度的 AD 采样芯片采集电流值。位置环反馈使用与电机轴相连的光电编码器采集转子的位置信息, 而速度环的反馈是通过位置信息计算得到, 为了实现高精度的速度反馈, 通常还要对测算得到的速度信息进行滤波, 减小检测和计算产生的误差。

设计利用 FPGA 并行处理的特点, 所有模块同

收稿日期: 2012-01-13; 修回日期: 2012-02-15

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划 (NCET-09-0262)

作者简介: 谢强强(1987—), 男, 浙江人, 硕士研究生, 从事电力系统自动化研究。

时运行, 互不影响, 大大提高了整个交流伺服系统的响应速度^[3]。

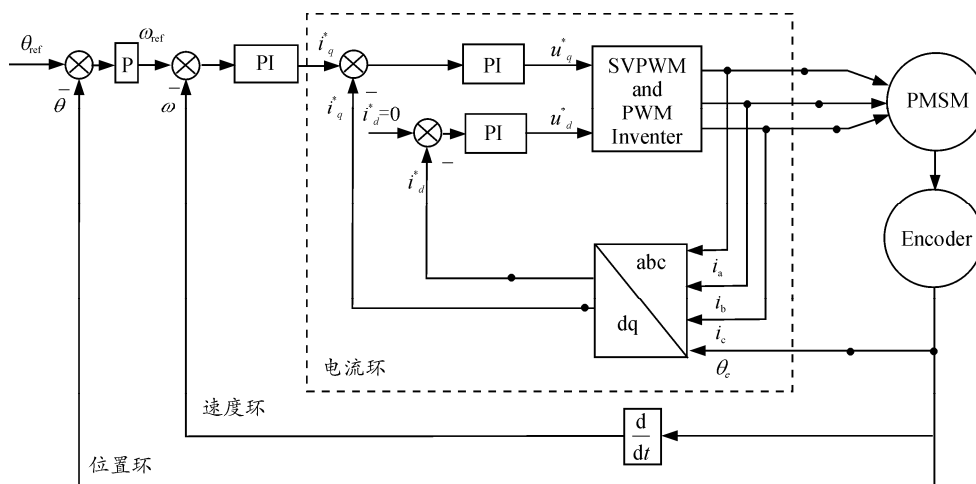


图 1 交流伺服双闭环控制框图

2 反馈系统设计

2.1 位置环反馈设计

交流伺服应用矢量控制算法, 必须精确检测伺服电机的转子位置, 其位置环控制也需要知道转子转过的角度。转子位置的采集方式是在交流伺服电机上安装同轴转动的位置传感器。

光电编码器是一种常用的位置传感器, 由于其精度高, 抗干扰能力强, 接口简单, 使用方便等优点获得了广泛的应用^[4]。

常用的光电编码器又分为增量式和绝对式 2 种。增量式编码器成本较低, 常用单 DSP 控制的交流伺服使用增量式编码器来检测转子的位置。但增量式编码器是通过采集增量脉冲来获知电机转子“转过的角度”, 无法获得电机转子初始的位置, 造成了使用增量式编码器时必须对初始位置进行校正的问题。其次, 增量脉冲如果受到干扰会发生丢失脉冲或者脉冲数出错的情况, 也会很大程度上影响精度。利用高精度的绝对式编码器能够很好地解决以上缺陷, 相比增量式编码器具有更高的精度。

绝对式编码器的编码是由码盘的机械位置决定的, 每个位置的编码是唯一的。它能够直接采集电机转子的位置, 不存在初始位置检测的问题。当需要采集的转子位置信息时, 直接读取绝对式编码器的值即可, 不需要设备持续不断地监视脉冲信号, 也没有累积误差。

绝对式编码器由于数据位数较多, 为了保证数据传输的准确性和快速性, 多数采用特定的串行通信协议传输数据。用户需在 FPGA 中配置相应的通

信协议软核 (IP), 通过差分数据线读取位置信息。绝对式光电编码器的配置电路如图 2 所示。

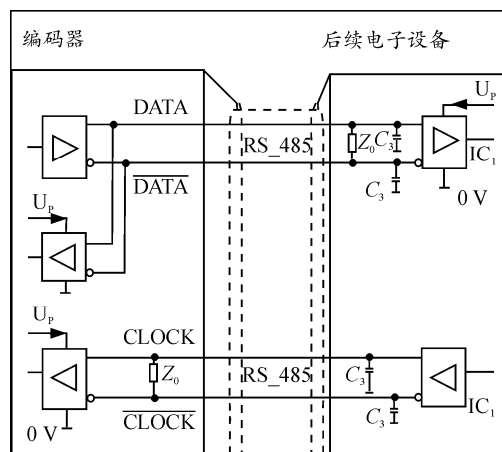


图 2 绝对式光电编码器配置电路

2.2 速度环反馈设计

电机转速控制是交流伺服控制的重要内容, 低速下的控制精度更是衡量交流伺服性能好坏的重要指标之一。因此反馈速度的测量需要高的精度。

反馈速度是通过光电编码器的位置信息测算的, 因此光电编码器的分辨率也决定了测速的精确度。常用的测速方法有 M 法、T 法, 以及 M/T 法^[5]。由于绝对式编码器给出的位置信息为数据类型, 无法得知数据发生变化的时刻, 因而无法采用 T 法。笔者采用典型的 M 法测算转子速度, 即通过固定时间采样角度信息, 通过其差值计算转速。转速计算公式如式 (1) 所示:

$$v = \Delta \times \frac{60 \times f_{\text{sample}}}{2^n} \text{ r/min} \quad (1)$$

其中: Δ 是角度差值; f_{sample} 是采样频率; n

是绝对式编码器的单圈表示位数。

式 (2) 是 M 法测速分辨率公式

$$e = 60 \times \frac{f_{\text{sample}}}{2^n} \quad (2)$$

由式 (2) 可知：降低采样频率，提高单圈编码位数能够提高测速分辨率，但降低采样频率会降低速度环带宽。因此为了获得高精度反馈速度，通常是提高光电编码器的性能。

由于存在外部干扰，在很小的概率里可能会引起反馈速度的瞬时跳变，引入噪声，非常不利于速度环的控制，需要在设计中加入数字滤波模块。笔者采用了 α 滤波器。

α 滤波器是一种常用的滤波方法，其递推形式如式 (3) 所示：

$$y(k) = y(k-1) + \alpha[x(k) - y(k-1)] \quad (3)$$

通常 $\alpha = 0.05 \sim 0.2$ 含有噪声的数字序列通过 α 滤波后可以得到较好的平滑。

α 滤波延迟小，对交流伺服的响应速度基本没有影响。通过 α 滤波的反馈速度得到较好的平滑，能够准确地反应实际的电机转速。

2.3 电流环反馈设计

根据交流伺服矢量控制的数学模型可知，反馈电流检测的精度和实时性是整个矢量控制系统成功

的关键^[6]，因此电流的检测要求高速高精度。常用的电流检测方法有：通过采样电阻检测和电流传感器检测。

采样电阻可以直接将主电路的电流信号转化为电压信号送给控制电路，简单、方便。但是这种方法一般精度不高，容易将主电路的干扰带入反馈中。霍尔元件是目前普遍采用的电流检测及过流保护元件，其特点是测量精度高、线性度好、响应速度快及电隔离性能好^[7]。因而笔者采用霍尔电流传感器模块检测反馈电流。

霍尔电流传感器输出的是弱电流信号，需要通过电阻把霍尔电流信号转化为电压信号，又由于电流反馈具有较大的噪声纹波，需要采用低通滤波器。经过滤波放大处理的相电流信号送入 AD 转换器进行模数转换。

笔者采用 TI 公司的模数转换芯片 ADS8556，该转换器的分辨率达到 16 位，能够分辨正负值，并具有量程可调的功能，能够很好地满足交流伺服反馈系统高速高精度的要求。ADS8556 的转换速度能够达到 450 k，其数据通过 16 位数据线输出，时序如图 3 所示。在 BUSY 信号的下降沿产生满足要求的 /CS、/RD 信号，继而读取数据线上的有效数据。使用 FPGA 可以方便地实现如上时序。

系统的整体设计框图如图 4 所示。

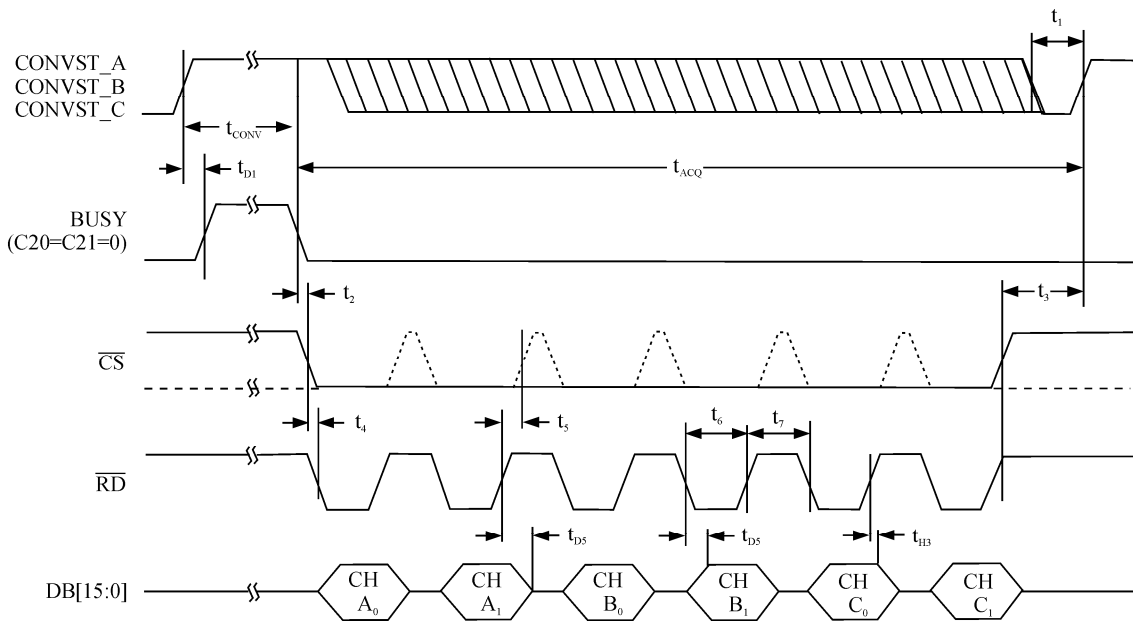


图 3 ADS 8556 读写时序

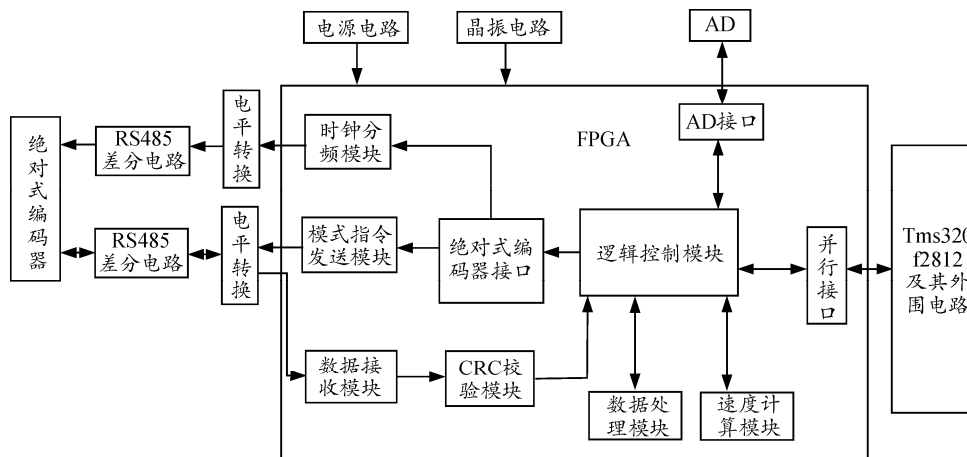


图 4 整体设计框图

3 硬件实现及调试结果

笔者采用 Altera 公司的 Cyclone II 系列 FPGA EP2C5T144C8, 其具有丰富的逻辑资源以及足够的 I/O 引脚。位置传感器采用海德汉公司的绝对式光电编码器 EQI 1331。模数转换芯片采用 TI 公司 ADS8556。使用 Verilog 硬件描述语言实现 FPGA 的逻辑编程。

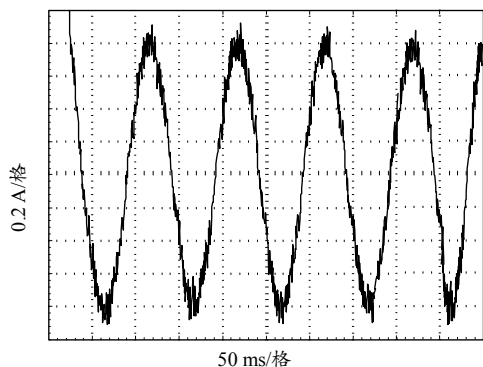


图 5 a 相电流波形

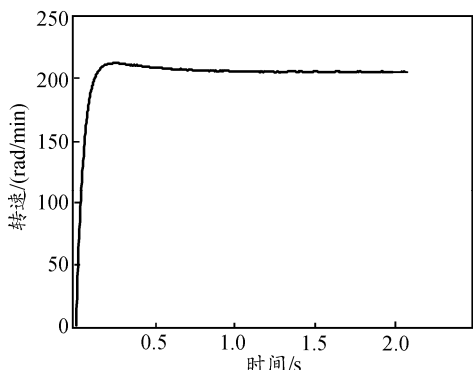


图 6 交流电机转速控制效果

该系统应用于 1 kW 的永磁同步电机交流伺服平台。通过实验测得 a 相电流波形如图 5 所示。观察上位机采集的转速波形, 如图 6 所示, 转速平稳准确。验证该系统实用可靠, 能够有效应用于高精度高带宽要求的交流伺服控制系统。

4 结束语

基于 FPGA 的交流伺服高精度反馈系统利用了 FPGA 高速并行处理的特点, 通过 Verilog 硬件描述语言完成对高精度位置传感器绝对式光电编码器和模数转换芯片的时序配置, 实现反馈信息的精确采集。该反馈系统应用在 1 kW 永磁同步电机交流伺服控制平台, 通过实验证明具有很好的效果。

参考文献:

- [1] 王宏, 于泳, 徐殿国. 永磁同步电机位置伺服系统[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(7): 150-155.
- [2] 李叶松, 宋宝, 秦忆. 全数字交流永磁同步电机伺服系统设计[J]. 电力电子技术, 2002, 36(3): 26-28.
- [3] 黄涛, 程鑫. FPGA 在高速高精运动控制系统中的应用[J]. 武汉理工大学学报, 2007, 29(2): 28-31.
- [4] 陈荣, 严仰光. 永磁电机的转子位置检测与定位[J]. 中小型电机, 2003, 30(3): 61-65.
- [5] 邓建, 林桦. 基于 DSP 的绝对式光电编码器的电机转速测量[J]. 电机与控制应用, 2010, 37(1): 50-55.
- [6] 陈荣, 邓智泉, 严仰光. 永磁同步伺服系统电流环的设计[J]. 南京航空航天大学学报, 2004, 36(2): 220-225.
- [7] 刘日龙, 殷德奎, 赵晓科. 基于 FPGA 的电流采集系统设计[J]. 计算机工程, 2011, 37(10): 226-227.