

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.09.021

旋转变压器的角度误差校正系统设计^{*}

何 敏^{1,2}, 刚 煜^{1,2}, 陈 浩^{1,2}, 吴定祥^{2,3}, 唐立军^{1,2*}

(1. 长沙理工大学 物理与电子科学学院, 湖南 长沙 410114; 2. 近地空间电磁环境监测与建模湖南省普通高校重点实验室, 湖南 长沙 410114; 3 长沙亿旭机电科技有限公司, 湖南 长沙 410114)

摘要:针对旋转变压器输出数据存在的角度误差问题,对旋转变压器校正方法进行了研究,设计并实现了旋转变压器角度误差校正系统。该系统充分利用了旋转变压器工作原理,发挥了光电编码器优势,采用了 FPGA 和 ARM 的优点,由同一电机带动光电编码器和被测旋转变压器,以 FPGA + ARM 组成的控制模块读出光电编码器和被测旋转变压器的角度,并进行比较分析,测量旋转变压器的非线性误差,建立误差分析表,提出了一种根据系数进行补偿的方式,对旋转变压器的误差进行了补偿。研究结果表明,该系统能对旋转变压器的输出数据进行校正,校正前旋转变压器的角度误差最大为 21.2 弧分,通过该系统校正后,测角误差最大为 5.3 弧分,系统校正速度较快且效果明显。

关键词:旋转变压器;校正系统;误差分析

中图分类号:TM383.2 文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)09-1140-05

Design of angle error correction system for resolver

HE Ming^{1,2}, GANG Yu^{1,2}, CHEN Hao^{1,2}, WU Ding-xiang^{2,3}, TANG Li-jun^{1,2}

(1. School of Physics and Electronic Sciences, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China; 2. Hunan Province Higher Education Key Laboratory of Modeling and Monitoring on the Near-Earth Electromagnetic Environments, Changsha 410114, China; 3. Billion Set Electronic Technology Co. Ltd., Changsha 410114, China)

Abstract: Aiming at the angle error problem of the data output by resolver, the correction method of resolver was studied, and a correction system based on FPGA was proposed and designed. The system based on the encoder was combined with FPGA and ARM. A photoelectric encoder and a resolver were driven by the same motor, and the angle between photoelectric encoder and resolver was measured by a control model which was consisted of ARM and FPGA. Data and measured nonlinear errors of the encoder and resolver were analyzed and compared. The error analysis table was established, and the compensation of errors based on coefficient was applied. The experimental results indicate that the system can correct the output data of the resolver. Before correction, the largest angle error of resolver is 21.2 arc min, which reduces to 5.3 arc min after correction. The correction method is effective and the correction speed is fast.

Key words: resolver; correction system; errors analysis

0 引言

旋转变压器是一种高精度的角度位移传感器,具有稳定性高、成本低、精度高等优点,在环境耐受能力和抗干扰能力上较光电编码器具有一定的优势^[1-3]。但

在实际应用中,旋转变压器测量的是角位置和角速度,由于存在激励信号失真、谐波干扰等因素,其输出的数据会不可避免地出现角度误差,经反馈至控制系统中会造成系统精度降低^[4-5],故对于旋转变压器误差的标定及补偿是提升控制系统精度的关键,但通过提高生产工艺及安装精度的方法来提高整体测角精度会耗费

收稿日期:2016-03-24

基金项目:国家科技支撑计划项目(2014BAH28F04);湖南省教育厅科学研究重点项目(15K009)

作者简介:何 敏(1991-),男,湖南邵阳人,硕士,主要从事电路与系统方面的研究. E-mail:619689848@qq.com

通信联系人:唐立军,男,教授,硕士生导师. E-mail:tanglj2000@263.net

大量的时间和物力,也会大幅度提高生产成本,对旋转变压器使用者来说并不是可用的解决办法。本研究根据旋转变压器测角原理,融合光电编码器精确测量特性,充分运用好FPGA+ARM的控制和数据处理能力,探索旋转变压器角度误差校正方法,并设计实现旋转变压器角度误差校正系统。

本研究先建立误差分析平台测量旋转变压器的误差数据,再进行误差分析,最终完成对误差数据的补偿和输出,达到校正旋转变压器数据的目的。

1 旋转变压器的测角原理

旋转变压器由励磁绕组和输出绕组构成。当励磁绕组以一定频率的交流电压励磁时,输出绕组的输出电压 U_a 和 U_b 与转子转角成正余弦函数关系^[6-7]。内部结构如图1所示。

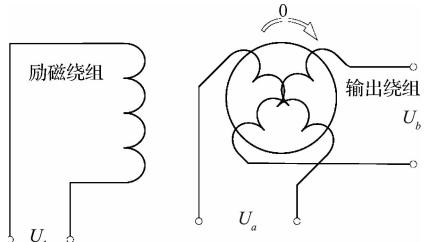


图1 旋转变压器结构图

设励磁绕组端的励磁电压为:

$$U_1 = E \sin \omega t \quad (1)$$

式中: E —励磁电压信号幅值, ω —励磁信号的角速度, t —时间。

则输出电压 U_a 和 U_b 分别为:

$$U_a = K E \sin \omega \sin \theta \quad (2)$$

$$U_b = K E \sin \omega \cos \theta \quad (3)$$

式中: K —绕组变压器的变比, θ —转子旋转的角度值。

经过旋转变压器转子的旋转,旋转角 θ 转化为输出绕组输出的 U_a 、 U_b 电压信号,再对信号进行解码可得转子的角度。

2 旋转变压器角度误差测量

由于旋转变压器的输出角度会有误差,而光电编码器是一种高精度的旋转式位置传感器,具有分辨率高、测量范围广的优点,本研究选用光电编码器作为正确角度的参考,使光电编码器与旋转变压器转动相同的角度,比较两者输出的数据,可得到旋转变压器的误差。

将电机的旋转轴与光电编码器、旋转变压器相连接,保证电机转轴转动时光电编码器与旋转变压器的转动角度相同。电机转动时,光电编码器和旋转变压器同时输出角度信号,光电编码器输出的信号直接由

FPGA采集处理,而旋转变压器输出的信号通过AD2S1210解码电路转换后进入FPGA,通过FPGA进行比较得出旋转变压器的测角误差。由FPGA根据误差数据建立误差查询表,并将误差信息与当前转子旋转角通过SPI协议传送至STM32。通过STM32与PC上位机的通信,PC上位机将相关信息实时显示^[8]。

角度误差测量方案由FPGA、STM32、光电编码器、电机、旋转变压器以及解码电路构成,可在PC端上位机查看误差信息。角度误差测量方案如图2所示。

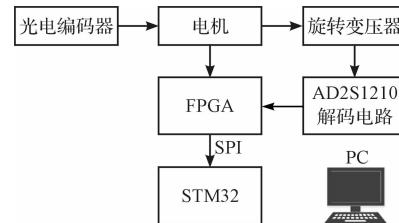


图2 角度误差测量方案

由于光电编码器与旋转变压器的分辨率都是12位的,故最大可建立4 096组误差数据,为简化FPGA内逻辑设计,在建立误差校正表时,本研究设置每20 LSB为一个采样点,共采样205组,误差校正时根据当前数据的位置,使用最近的采样点误差数据的进行校正。

3 误差校正

由角度误差测量方案得到其误差数据,并由FPGA根据误差数据建立误差查询表。将待校正旋转变压器和带误差查询表的FPGA放入该校正系统,由FPGA读出AD2S1210解码的数据后直接对旋变输出进行补偿,修正后的角度数据可用于驱动电机或数据输出至其他端使用。旋转变压器校正系统如图3所示。

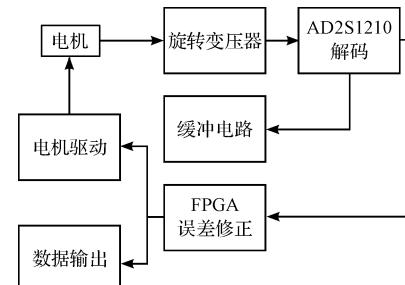


图3 校正系统结构图

3.1 AD2S1210解码电路

AD2S1210是ADI公司推出的一款能输出最高16 bit分辨率的旋转变压器数字转换器,内部拥有一个TypeII数字伺服跟踪环路用于跟踪输入的正、余弦信号。为给旋变提供正弦激励,片内集成了可编程的正弦波振荡器,可产生2 kHz~20 kHz的正弦波,其最大跟踪速率为3 125 r/s,完全满足电机控制的解码要求^[9]。为保证

解码芯片的正常工作,本研究设计的 AD2S1210 解码电

路如图 4 所示。

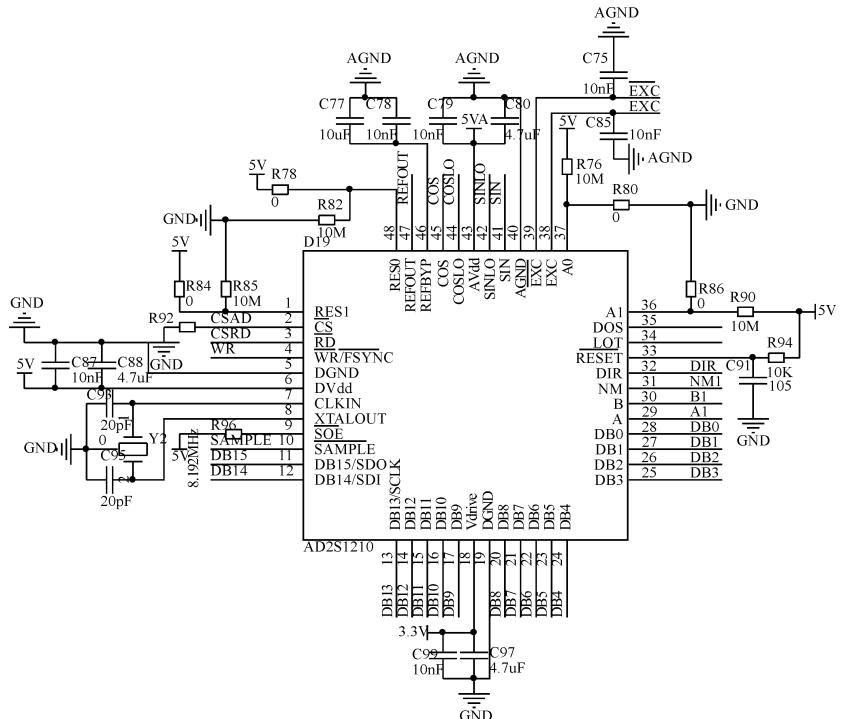


图 4 AD2S1210 外围电路

元件的 AGND 和 DGND 为接地引脚,通过 10 nF 和 4.7 uF 的滤去耦电容与电源 AVDD 和 DVDD 相连接,为防止芯片受到二次干扰,电容尽可能的靠近电源引脚及接地引脚。模拟电源、数字电源采用 $+5\text{ V}$ 供电,芯片逻辑电源 VDRIVE 使用 $+3.3\text{ V}$ 供电。为使芯片输出的数据分辨率为 12 位,本研究将分辨率配置引脚 RES0 接地,RES1 接逻辑电压 $+3.3\text{ V}$ 。

3.2 缓冲驱动电路

由于 AD2S1210 输出的正弦波激励信号驱动能力有限,缓冲电路提供增益和额外电流,本研究采用 ADI 公司的 AD8397 芯片作为功率放大器,以保证旋转变压器的正常工作^[10,11]。AD8397 内置了两个电压反馈型运算放大器,能以较好的线性度驱动负载。

缓冲驱动电路如图 5 所示。

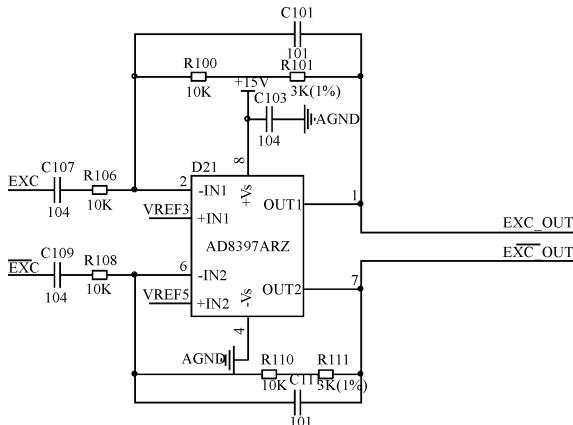


图 5 缓冲驱动电路

3.3 FPGA 校正逻辑设计

该系统内的数据交互由 FPGA 完成,FPGA 的逻辑设计是该设计的关键部分,其校正流程如图 6 所示。

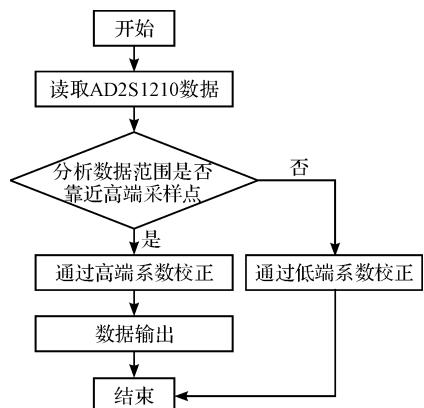


图 6 FPGA 校正流程图

通过误差分析平台的多次实验,可得到旋转变压器的误差数据表,在 FPGA 内的逻辑设计中,先读取 AD2S1210 解码后的数据,再通过查表法查询当前读取的 AD2S1210 数据的位置(共 205 个采样点,不同的采样点其校正系数也不同),如果当前的数据位置距上一级更近,则通过高端系数校正,否则通过低端系数校正。

校正之后,FPGA 通过 SPI 协议与 STM32 进行通信,并将相关信息传输至 STM32 中以供后续模块使用,通信时序图如图 7 所示。

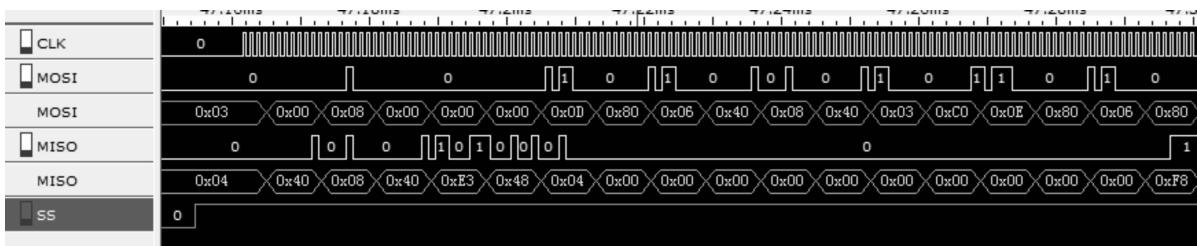


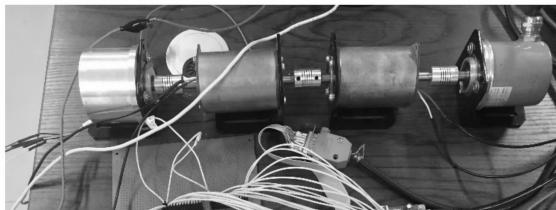
图 7 通信时序图

4 实验结果及分析

误差分析平台的数据通过 STM32 的串口上传至 PC 的 modbus 中显示, 可查看当前 FPGA 补偿系数、数据差、心跳计数(STM32 与上位机通信时定时器的计数, 用于计算通讯频率)等数据。同时, 也可以通过上位机发送控制指令对电机的速度模式、运行速度等参数进行设定。其系统实物图如图 8 所示。



(a) 测试电路



(b) 测试平台

图 8 系统实物图

其显示界面如图 9 所示。

	Alias	00000	Alias	00010
0	心跳计数	675	FPGA高端补偿系数	1
1	工作模式 (0:速度 1:位置 2:上位控 3:调试)	0	FPGA低端数据差	2
2	速度模式: 启动/停止	0	FPGA高端数据差	18
3	设定速度 (速度模式: 0.1RPM)	0	PWM占空比 (C)	0
4	运行速度 (0.1RPM)	14	PWM占空比 (D)	0
5	车轮时间 (100us)	0	清零T1~3计数器	0
6	F-S1编码器+偏移量	1163	角度偏移量	290
7	F-S2编码器	1162	自动1 手动0	1
8	FPGA非线性补偿后编码器的值	1165	正转1 反转0	1
9	FPGA低端补偿系数	3	开始1 停止0	1

图 9 上位机监控界面

本研究使用误差分析平台同时记录光电编码器和旋转变压器的数据, 再通过校正平台进行输出, 其部分结果如表 1 所示。

表 1 旋转变压器误差数据(基准值 1 590)

光电位置	光旋差值	校正前差值	校正后差值
49	1 589	-1	0
103	1 590	0	0
147	1 590	0	0
202	1 590	0	0
253	1 589	-1	0
301	1 589	-1	0
349	1 587	-3	0
403	1 587	-3	0
452	1 588	-2	0
500	1 588	-2	0
552	1 587	-3	0
600	1 586	-4	1
650	1 587	-3	0
701	1 587	-3	0
753	1 587	-3	0
802	1 587	-3	0
851	1 587	-3	0
903	1 587	-3	1
950	1 587	-3	0
1001	1 588	-2	0
1050	1 588	-2	0
1101	1 588	-2	0
1149	1 589	-1	0
1204	1 590	0	0

由于 AD2S1210 为 12 位分辨率工作模式, 根据实验数据可以看出, 校正之前, 旋转编码器与光电编码器的误差值最大为 21.2 弧分, 最小为 0 弧分。通过校正之后, 误差最大为 5.3 弧分, 最小为 0 弧分。

5 结束语

旋转变压器误差的标定及补偿在控制系统中至关重要, 本研究根据旋转变压器的系统结构、测角原理,

(下转第 1153 页)

本文引用格式:

何 敏,刚 烟,陈 浩,等. 旋转变压器的角度误差校正系统设计[J]. 机电工程,2016,33(9):1140~1144,1153.

HE Ming, GANG Yu, CHEN Hao, et al. Design of angle error correction system for resolver[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(9):1140~1144,1153.

《机电工程》杂志: http://www. meem. com. cn