

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(15KK09)

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。

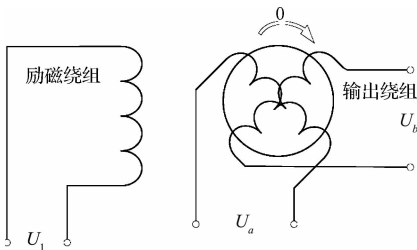


图 1 旋转变压器结构图

设励磁绕组端的励磁电压为：
$$U_1 = E \sin \omega t$$

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：
$$U_a = K E \sin \omega \sin \theta$$

$$U_b = K E \sin \omega \cos \theta$$

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、旋转编码器相连接，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。

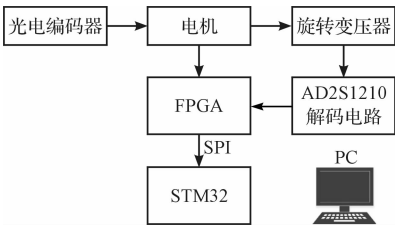


图 2 角度误差测量方案

由于光电编码器与旋转变压器的解码电路的分辨率都是 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。

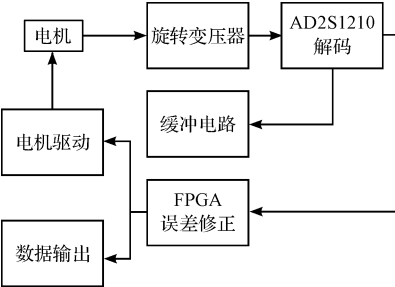


图 3 校正系统结构图

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 Type II 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

