

基于可编程逻辑控制器的超声电机 测试系统设计*

郑伟^{1,2}, 黄伟彬¹, 周景亮¹, 阮玉镇¹

(1. 福建工程学院 机械与汽车工程学院, 福建 福州 350118;

2. 南京航空航天大学 精密驱动研究所, 江苏 南京 210016)

摘要: 为了给工程技术人员提供易于操控的超声电机特性测试设备, 设计了基于可编程逻辑控制器 (PLC) 的测试系统。根据超声电机常用的特性要求, 利用力矩传感器输出的脉冲信号, 通过 PLC 的高速输入口, 用梯形图实现力矩和转速的采集和显示。通过可编程逻辑控制器配套的人机界面, 实现了触摸屏对超声电机的测试进行操作。测试系统能够完成超声电机机械特性测试、超声电机自动加载减载测试、超声电机带负载启动特性测试和超声电机手动测试等 4 种模式。通过试验对该系统进行验证, 达到易于操作的要求。

关键词: 超声电机; 可编程逻辑控制器; 测试系统; 机械特性; 人机界面

中图分类号: TM 306 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2018)01-0123-04

Design of Ultrasonic Motor Testing System Based on Programmable Logic Controller*

ZHENG Wei^{1,2}, HUANG Weibin¹, ZHOU Jingliang¹, RUAN Yuzhen¹

(1. School of Mechanical & Automotive Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2. Precision drive technology laboratory, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,
Nanjing 210016, China)

Abstract: A test system based on programmable logic controller (PLC) was designed to provide engineering and technical personnel with easy to handle characteristics testing equipment of ultrasonic motor. The pulse signal of the torque sensor was output to the high-speed input port of the PLC. According to the testing requirements of ultrasonic motor, the torque and rotation speed were tested and displayed by using the ladder diagram, through the pulse input of torque sensor. Through the man-machine interface of programmable logic controller, the touch screen controls the testing of the ultrasonic motor. The testing system could complete four kinds of modes, such as the mechanical characteristic test of ultrasonic motor, automatic loading and unloading test, ultrasonic motor starting characteristic test with load and ultrasonic motor manual test. The system was verified by experiments. The system was easy to operate.

Key words: ultrasonic motor; programmable logic controller (PLC); test system; mechanical properties; human machine interface

0 引言

超声电机作为一种新型的特种电机, 研究成

果已经应用于许多领域^[1-5]。由于超声电机具有的特性与传统的电磁电机有所不同, 对电磁电机的测试方法和设备无法直接使用, 因此, 超声电机

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(51275228); 福建工程学院科研基金项目(GY-Z09059)

作者简介: 郑伟(1970—), 男, 副教授, 研究方向为压电驱动及其控制。

黄伟彬(1992—), 男, 硕士研究生, 研究方向为压电驱动及其控制。

周景亮(1969—), 男, 副教授, 研究方向为压电驱动及其控制。

的测试研究伴随着超声电机的研究一起发展^[6-9]。在超声电机发展的不同时期,对超声电机测试方法的要求也不断地改变。在超声电机处于研究阶段时,要求精确地测试以揭示其内部的运行规律,对测试者及测试仪器的要求非常高,并且测试的项目以超声电机研究、设计和优化为目的^[7-10]。随着超声电机的推广,在产业化阶段,超声电机的测试目标是得到超声电机的各种输出或输入特性,要求操作简单易行,以适应普通工人的操作要求。目前对超声电机性能测试的设计,主要有基于虚拟仪器的超声电机性能测试方法和基于 C 语言的超声电机测试方法^[11-17],既简化了对测试者的要求,也降低了测试仪器的成本。但是对于大部分的电气或机械工程师而言,最熟悉的是可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller, PLC),而本设计就是基于 PLC 设计一套既可以满足超声电机的特性测试要求,又有友好操作界面的测试系统,以便工程技术人员操作。

1 测试系统总体设计

基于 PLC 的超声电机测试系统由力矩传感器、编码器、负载、数据采集处理单元和 PLC 控制单元组成,其原理图如图 1 所示。图 1 中,扭矩传感器、编码器和制动器通过轴和联轴器机械连接后,再通过联轴器与待测试的超声电机相连,扭矩传感器和编码器的输出信号同时输出给数据采集单元和 PLC 控制单元,负载的控制端则与 PLC 的控制口信号相连。PLC 与触摸屏连接,操作者通过触摸屏进行 PLC 的控制,待测试的超声电机与配套的驱动电路相连接,该驱动电路的数据也传输给数据处理单元用于测试超声电机的电流、功率等指标。同时数据处理单元处理后的结果通过显示器和存储器进行存储和输出。

该测试系统的工作原理为:电机的起动或者停止可以由 PLC 控制器控制,负载的施加及其大小也是通过 PLC 控制;随着负载的增加,电机的输出力矩和转速也同时变化,通过力矩传感器和编码器同时采集超声电机这两个量的变化,将其输出给数据处理器和 PLC 控制器,在数据处理显示器和 PLC 的触摸屏显示,并在数据处理单元中存储该数据。数据处理单元采集电机输入功率,同

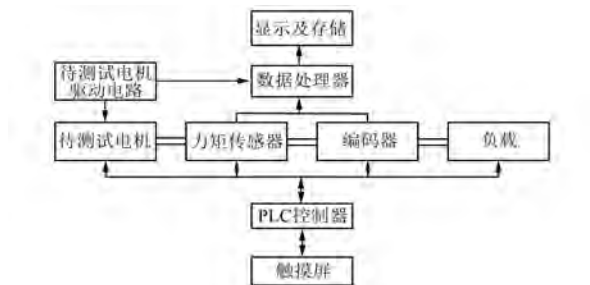


图 1 测试系统原理图

时计算超声电机的效率。该超声电机测试可以实现 4 种功能:超声电机机械特性测试;超声电机自动加减载测试;超声电机带负载起动特性测试;超声电机手动测试。上述所有的操作只需要在 PLC 的触摸屏中按提示即可完成,操作简单易行,其操作界面在下节描述。以下分别说明各个部分的设计。

2 硬件设计

本测试系统的控制目标是通过 PLC 控制完成所有的测试,测试数据可以通过 PLC 的触摸屏显示,也可以通过数据处理单元存储。力矩传感器采用型号 GB-DST5 动态力矩传感器(北京工标传感技术有限公司),传感器输出 5~15 kHz(扭矩范围)的方波信号,而实际在采集信号时,采集的也是方波的脉冲信号。负载采用 CZ0.5 磁粉制动器,控制信号为 DC 0~5 V、10 mA。测速用编码器是 GB-DST5 动态力矩传感器中自带的功能。数据处理单元型号 GB-ZN。

根据这些测试参数,PLC 选取西门子 1200 系列的 1215C 型。将 PLC 的接口分配如下:测试力矩传感器的接口用 1 个高速计数器接口(计数最高频率 20 kHz);用于测速的增量型旋转编码器接高速计数器接口,用于负载的制动器则通过 PLC 的模拟输出口输出,其只能输出 0~20 mA 电流,因此增加模拟输出模块 AQ2。

通用的开关量 PLC 的 I/O 分配为:输出超声电机 cw 和 ccw 两个开关量,可选择正反转;超声电机的驱动方式选择量,选择驱动器或者放大器。具体的输出分配如表 1 所示。为了系统具有通用性,提高计数稳定性和抗干扰,在输入部分加光耦电路。输出通过中间继电器控制。硬件的总体连接图如图 2 所示。

表 1 I/O 地址分配表

输入/输出	地址	注释
输入点	I0.6	转速信号输入
	I1.0	转矩信号输入
	Q0.5	总电源接通
输出点	Q0.6	放大器驱动方式
	Q0.7	驱动器驱动方式
	Q1.0	正转
	Q1.1	反转
	AQ0	模拟输出制动器用



图 2 测试系统硬件总体连接图

3 软件设计及试验

为了使超声电机测试操作简单易行,操作全部通过触摸屏完成测试,需首先对可视化中组态 HMI 画面进行设计。针对超声电机的性能,测试系统共包括了 4 种功能:超声电机机械特性测试;超声电机自动加减速测试;超声电机带负载启动特性测试;超声电机手动测试这 4 种功能。通过一个总的画面进行调用,如图 3(a)所示。根据需要,通过调用“激活屏幕”指令,实现相应测试的运行。在主程序中,用 JMP_LIST 指令,赋值给 MW82 执行程序跳转后,执行相应程序,主程序流程图如图 3(b)所示。

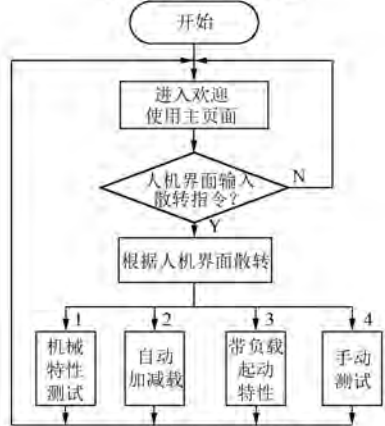
3.1 超声电机机械特性

超声电机机械特性测试的主要任务就是完成超声电机的负载从零开始,不断加载直到转速为零的情况下,记录超声电机的负载和转速对应的关系。操作的过程可以选择功率放大器或者超声电机自带的驱动器驱动超声电机,并可以选择负载每次增加的量以及两次负载间增加的负载值,如图 4 所示。

通过高速计数器 CTRL_SHC_0(对应 0~5 共 6 个高速计数器)指令,定义频率计数。通过 CALCULATE 指令,根据力矩传感器的输出脉冲



(a) 人机界面调用界面



(b) 控制程序主流程图

图 3 主程序功能及流程图



图 4 机械特性测试界面

和力矩的计算公式,计算出相应的力矩和转速,GB-DTS5 系列的态力矩传感器、编码盘转速计算公式:

$$n = 60f/z \tag{1}$$

式中: n ——转速;

f ——PLC 采集到编码盘的脉冲频率值;

z ——动态力矩传感器的齿数, $z=60$ 。

转矩转换公式为

正向转矩

$$M_p = N(f - f_0)/(f_p - f_0) \tag{2}$$

反向转矩

$$M_r = N(f_0 - f)/(f_0 - f_r) \tag{3}$$

式中: M_p ——正向转矩;

N ——转矩满量程, 在本试验系统中, 取 $5 \text{ N}\cdot\text{m}$;

f ——PLC 测得的转矩传感器输出脉冲的频率值;

f_0 ——转矩零点频率值;

f_p ——正转频率最大值;

M_r ——反向转矩;

f_r ——反转频率最大值。

PLC 对转矩传感器输出的脉冲采集采用 HSC4 作为转速输入口 (对应 I/O 口为 I0.6), HSC5 作为转矩的输入口 (对应 I/O 口为 I1.0), PERIOD (频率测量周期) 设为 TURE, 起动频率测量工作, 周期为 100 MS (NEW_PERIOD 显示 100)。

对采集到的频率, 根据式 (1)、式 (2) 和式 (3), 利用 PLC 中的计算模块 SUB、DIV 和 MUL 实现。

对加载模块的实现, 则通过 PLC 中模拟电流输出方式控制加载, 程序先使辅助继电器 M1.1 得电, 接着接通延时 (TON 指令实现, 时间可由人机界面中自行设置), 定时到辅助继电器 M1.2 接通并触发下一段程序的上升沿指令进行一次加载; 由于 M1.2 接通的同时常闭触点 M1.2 也断开, M1.2 马上断电; M1.2 断电的同时其常闭触点又接通, 以此实现循环加载。在程序中, 通过比较指令保证加载数值不超过安全值。通过 QW64 实现模拟电流输出, 在 PLC 上为模拟了输出点对应 AQ0.0, 模拟电流 $0\sim 20 \text{ mA}$ 。

对编写的程序进行试验, 如图 5 所示。图 5 下方的左边为力矩曲线, 右边为转速曲线。通过数据处理器显示的数据进行对比, 得出试验中通过 PLC 测得的数值与数据处理器保持一致; 其次循环加载值显示值可按照设定加载时间与加载量有序加载。

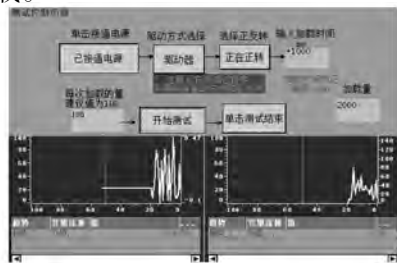


图 5 机械特性测试试验图

其他 3 种测试方法都是在机械特性测试方法的基础上, 根据不同的需求进行修改, 因此在对其他部分的论述中, 只对关键部分进行分析。

3.2 超声电机自动加减载机械特性测试

超声电机自动加减载是在正常测试的基础上, 当超声电机已经达到最大转矩后, 超声电机堵转, 这时再逐步减低负载, 使得超声电机重新开始运行, 得到了在相同的负载而施加负载的过程不同情况下超声电机的特性, 该特性检测超声电机的循环重复精度。通过 TON 指令, 实现自动加减载的时间控制, 自动加减载的负载控制则由 ADD 指令或 SUB 指令, 对输出 AQ0 进行输出控制。

3.3 带负载起动特性测试

带负载起动是测试超声电机在不同惯量负载下起动时其特性的变化。实现过程是通过提前给 AQ0 的输出单元提前赋值, 使得负载制动器在开始阶段能有一个负载。

3.4 手动测试

手动测试的测试目的是检测超声电机在设定的任意负载情况下, 粗略地测试起动时间和关断时间, 通过 AQ0 赋值, 确定是否需要起动或者停止时是否带负载, 并通过 CTRL_SHC_0 和 CTRL_SHC_2 两个高速计数器判断。在起动阶段, 需要判断速度是否稳定, 用 CMP 指令来判断速度稳定。

4 结 语

本文设计了一套超声电机特性测试系统。该测试系统达到了如下设计目的:

(1) 该系统可以实现超声电机的 4 种测试方法, 试验超声电机的多种性能测试。

(2) 测试系统基于 PLC 进行设计, 操作简单, 有利于大多数工程技术人员掌握。

(3) 通过试验, 验证了该测试系统的可行性。在该测试系统的基础上, 可以进一步基于 PLC 进行其他相关的超声电机测试系统, 以有助于超声电机商业化后的进一步推广。

【参考文献】

- [1] 陶征, 刘旭, 胡斌. 响应面法的杆式超声电机有限元模型修正[J]. 声学学报, 2017(3): 305-310.

(下转第 130 页)

3.5 转速变化的时间响应

伺服系统工作在空载零速状态下,输入对应的转速阶跃信号,通过 TDS2004C 示波器记录正阶跃输入的时间响应曲线,读出响应时间、建立时间和瞬态超调并计算出超调量;在稳态转速时,如初信号阶跃到零,记录负阶跃输入的时间响应曲线,读出响应时间、建立时间和瞬态超调并计算出超调量。

3.6 静态刚度(负载转矩模式加载)

位置伺服系统处于空载零速锁定状态,通过传感器检测此时的电动机轴角位置,以此时的位置作为零位,在负载侧施加一个规定的正/反向转矩,测量此时电动机的轴角位置偏移量,计算出电机的静态刚度,释放负载,改变电机轴角位置,重复上述步骤 3 次,正反向共 6 次,取最大值。

3.7 静摩擦力矩(负载转矩模式加载)

断开被试电机电源,通过在负载侧施加一个逐渐增大的力,再通过 TDS2004C 示波器采集转矩转速的变化曲线。通过在 5 个等分点上测量被试电机的转子开始转动所需克服的最小阻力力矩

或电机即将转动而又不会连续转动时的转矩,分析求出被试电机的静摩擦力矩。

4 结 语

该测试系统实现了伺服电机和系统特性的性能测试,提高了测试效率和自动化程度,具有操作简单、维护方便等优点。伺服电机及系统性能测试平台的搭建为质量检测的科学管理提供了有利的保证,为提高伺服电机和系统的产品质量奠定了技术基础。

【参考文献】

- [1] 滕福林,胡育文.伺服系统性能测试和分析平台[J].电气传动,2011,41(1): 45-49.
 - [2] 周鹏,王英.基于西门子 Sinamics S120 的电机负载特性测试系统设计[J].变频器世界,2011(3): 104-106.
 - [3] 杜强,李继方.基于 S120 驱动控制系统的多电机共直流母线实验系统的研究[J].通信电源技术,2011,28(5): 36-39.
 - 收稿日期: 2017-05-11
-
- (上接第 126 页)
- [2] 赵淳生.超声电机技术与应用[M].北京:科学出版社,2007.
 - [3] 陈乾伟,鞠全勇,高素美,等.单模态驱动的非对称定子结构塔形超声电机[J].振动、测试与诊断,2017,37(3): 489-494.
 - [4] 阮玉镇,郑伟.旋转型行波超声波电动机磨损控制研究[J].微特电机,2015,43(1): 43-45.
 - [5] 周景亮,陈超,王均山,等.旋转型行波超声电机瞬态响应能力的试验研究[J].中国机械工程,2014,25(10): 1369-1373.
 - [6] 王剑,白洋,郭吉丰.多自由度球形超声波电动机姿态测控技术综述[J].微特电机,2017,45(6): 94-97.
 - [7] 陈乾伟,黄卫清,赵淳生.超声电机寿命测试的方法研究[J].振动、测试与诊断,2004,24(1): 19-22.
 - [8] 郑伟,林惠玲,赵淳生.基于虚拟仪器的超声电机测试系统[J].振动、测试与诊断,2013,33(S2): 178-181,228.
 - [9] 苏民伟,罗敏峰,郑伟.超声电机位移分辨率特性研究[J].组合机床与自动化加工技术,2016(2): 9-12.
 - [10] 郑伟,黄伟彬,罗敏峰.温度对超声波电动机启动阶段位移分辨率的影响[J].微特电机,2017,45(8): 17-19+23.
 - [11] 张建瓴,可欣荣,王文婷,等.超声电机测试研究综述[J].微电机,2010,43(5): 80-85.
 - [12] 章阳,李华峰,潘松.基于 MSP430 的超声电机测试系统的研究[J].微电机,2012,45(6): 36-39.
 - [13] 宋小刚.超声电机测试分析系统的研究[D].南京:南京航空航天大学,2010.
 - [14] 武威,张铁民.超声电机测试分析系统[J].微电机,2012,45(12): 59-62.
 - [15] 刘哲男,赵首帅,彭继平.超声电机特性测试平台的设计与实现[J].测试技术学报,2016,30(6): 545-550.
 - [16] 程廷海,黄鹂,包钢,等.基于 LabVIEW 的超声电机测试系统[J].传感器与微系统,2011,30(4): 114-116.
 - [17] 张健滔,姚志远,宋小刚,等.基于虚拟仪器的直线超声电机机械特性测试[J].振动、测试与诊断,2012,32(2): 218-222.
 - 收稿日期: 2017-09-27