

# 小型电动机转矩转速动态测试系统的研制

李小兵\* 李辉 胡天友

(电子科技大学电子机械系 成都 610054)

【摘要】介绍了相位式转矩转速传感器工作原理，论述了采用相位式转矩转速传感器进行转矩转速动态测试的原理及方法，讨论了基于工控PC机的测试系统方案、硬件电路及软件设计思想。在模拟不同负载的情况下，运用该测试系统对小型电机的转矩转速进行了测试，并将测试数据与测功法测试数据进行对比，实验结果表明，该测试系统设计合理，性能可靠。

关键词 电动机；转矩；转速；动态测试

中图分类号 TM34

转矩转速是电机的重要特性参数之一，转矩转速的精确测量对电机的产品质量分析、质量检查以及生产过程的自动控制等极为重要。常用的传统测量方法受许多客观条件的限制，无法满足电机测试精度、速度和进行动态测试的要求<sup>[1-3]</sup>。本文利用工控PC机设计了电机转矩转速测试系统，该系统自动模拟实际负载，采用相位式转矩转速传感器，运用测相位差法和测频法对转矩转速进行快速、精确的测量。

## 1 电机转矩转速测量原理

### 1.1 相位式转矩转速传感器的基本原理

相位式转矩转速传感器基于电磁感应原理将被测转矩转换成具有相位差的两路电信号，其工作原理如图1所示<sup>[4]</sup>。在弹性轴两端安装有两只齿数相等的齿轮，在齿轮上方分别有1个绕有信号线圈的磁钢。当齿轮随弹性轴转动时，由于气隙大小变化，引起磁通的变化，在信号线圈中感应出两个正弦变化的电压信号，其频率为

$$f = Z \frac{n}{60} \quad (1)$$

当齿数 $Z$ 一定时，频率 $f$ 正比于转速 $n$ 。当外加转矩为零时，两齿轮无相对角位移，两电压信号间有一个恒定的初始相位差，初始相位差只与两齿轮在轴上安装的相对位置和两磁钢的相对位置有关。当外加转矩时，弹性轴产生扭转变形，轴两端齿轮间产生相对角位移，信号线圈中产生的两正弦电压信号的相位差也随之发生变化。在弹性变形范围内，弹性轴的扭角与外加转矩成正比，即相位差与外加转矩成正比。

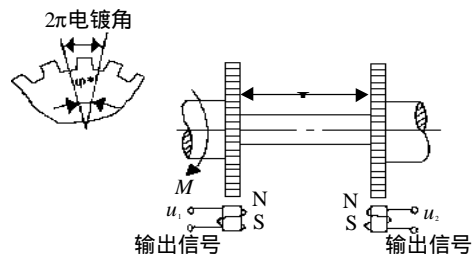


图1 转矩转速传感器工作原理

### 1.2 转矩转速测量原理

#### 1.2.1 转矩测量

在弹性变化范围内，外加转矩作用时，其弹性轴的扭转角为

$$j = \frac{32ML}{\pi(D^4 - d^4)G} \quad (2)$$

式中  $G$ 为弹性轴的剪切弹性模数； $D$ 和 $d$ 分别为弹性轴的外径和内径； $L$ 为弹性轴的工作长度。

当弹性轴的扭角发生变化时，传感器输出的两路信号的相位差也发生变化，其关系为

2000年10月23日收稿

\* 男 33岁 硕士 讲师

$$\Delta q = Z\Delta j \quad (3)$$

式中  $Z$  为齿轮齿数。因此相位差与转矩  $M$  的关系为

$$M = \frac{\pi(D^4 - d^4)G(q - q_0)}{32ZL} = K_m(q - q_0) \quad (4)$$

式中  $K_m$  为转矩系数； $q_0$  为传感器的初始相位差。由此可见，通过测量传感器输出信号的相位差  $q$  可测量转矩  $M$ 。

### 1.2.2 转速测量

由式(1)可知，弹性轴的转速  $n$  与输出信号的频率  $f$  成正比

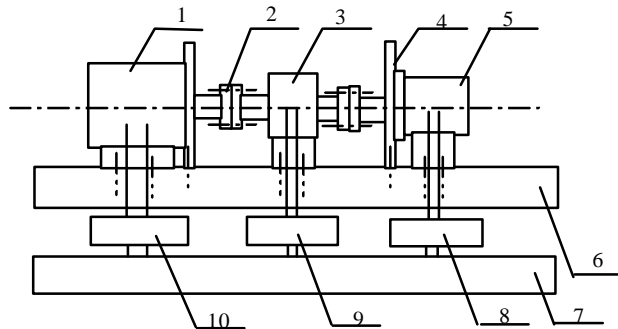
$$n = \frac{60}{Z} f \quad (5)$$

通过测量任一输出信号的频率  $f$  即可测量转速。

## 2 测试系统

### 2.1 测试台的组成

转矩转速测试工作台组成如图2所示。其中，自动负载调节是在发电机输出端接电阻负载，通过调整发电机的励磁电流来调节模拟负载大小。



1 发电机 2 联轴器 3 转矩转速传感器 4 安装板 5 被测电动机 6 工作台底座  
7 工控PC机 8 电机驱动电路 9 转矩转速测量电路 10 自动负载

图2 转矩转速测试台系统组成图

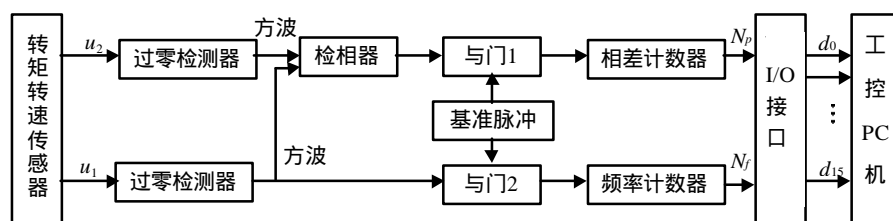


图3 转矩转速测量系统硬件组成框图

### 2.2 硬件系统

转矩转速测量电路主要由过零检测器、检相器和计数器组成，如图3所示。由传感器输出的正弦信号经由LM339组成的过零检测器整形为标准方波信号后，送入检相器，通过与门逻辑控制，计数器在输入方波信号的上升沿(高电平)开始计算基准脉冲的个数，在下降沿停止计数，基准脉冲频率为10 MHz。相差计数器对检相器输出方波计数，即对信号的相位差计数；频率计数器只对半个方波信号计数即1/2周期，如图4所示， $u_q$  为检相器输出方波信号。因此，令  $N_f$  为频率计数值， $N_p$  为相差计数值，则相位差为

$$\mathbf{q} = \pi \frac{N_p}{N_f} \quad (6)$$

若电机空载时，频率计数值为 $N_{f0}$ ，相差计数值为 $N_{p0}$ ，空载时相位差为

$$\mathbf{q}_0 = \pi \frac{N_{p0}}{N_{f0}} \quad (7)$$

故

$$M = k \mathbf{q} = k\pi \left( \frac{N_p}{N_f} - \frac{N_{p0}}{N_{f0}} \right) = k \left( \frac{N_p}{N_f} - \frac{N_{p0}}{N_{f0}} \right) \quad (8)$$

式中  $k$  为常数系数，可通过实验校定。

由式(5)可知，通过测量任一正弦信号的频率可得转速，而其频率大小为

$$f = \frac{10^7}{2N_f} \quad (9)$$

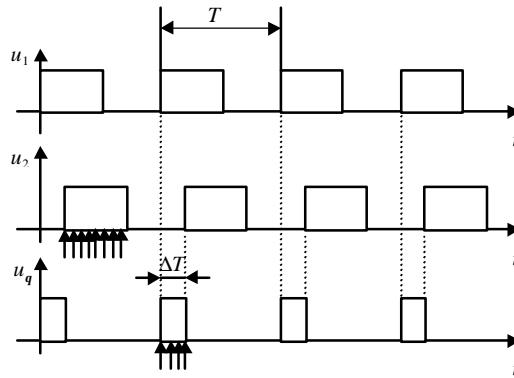


图4 相位差波形示意图

### 2.3 测试软件设计

测试软件在Windows95环境下采用Delphi3.0开发，主要包括：电气参数检测模块、硬件电路逻辑与设备的动作控制以及结果计算显示等模块。其中电气参数检测模块通过多个软件时钟的中断程序完成A/D数据采集，每次采集后将采集数据添加到单链表内保存以便对采集数据分析和计算。为提高测试精度，结果计算模块采用了均值滤波和限幅滤波等数字滤波方法处理采样数据，并将计算结果显示在测试表格中。

## 3 测试结果与分析

本文运用以上系统在不同负载情况下，对容量为0.75 kW的电动机的转矩、转速进行了测试。为得到系统测试精度，同时采用了测功法对转矩进行测试，其转矩计算公式为

$$M = \frac{W}{2\pi n/60} \quad (10)$$

式中  $M$  为计算转矩； $W$  为电机输出功率，其值为  $U^2/R$ ， $U$  为模拟负载的电压， $R$  为模拟负载电阻； $n$  为电机转速。由于转速的测试精度会影响转矩的测试，因此应在测试转矩前标定转速。测试结果如表1所示。

对表1数据分析可知：随着负载增加，输出功率和相位差也相应增加；在电机额定工作范围内，测试转矩与计算转矩的误差小于0.07 N·m，达到了系统设计的要求。由于发电机输出线路上的功耗影响，计算转矩小于测试转矩。

表1 转矩转速测试结果

序号	负载电压/V	输出功率/W	测试转速/ $r \cdot \text{min}^{-1}$	相位差/ $(^\circ)$	测试转矩	计算转矩	转矩误差
					/N·m	/N·m	/N·m
1	47.5	45.12	3 209	3.06	0.170	0.135	0.035
2	56.0	62.72	3 064	4.19	0.233	0.196	0.037
3	65.8	86.59	2 870	6.17	0.343	0.288	0.055
4	70.5	99.40	2 753	7.09	0.394	0.345	0.049
5	77.0	118.6	2 613	8.07	0.449	0.434	0.015
6	80.5	129.6	2 539	8.78	0.488	0.483	0.005
7	88.4	156.3	2 215	12.32	0.684	0.674	0.010

## 4 结束语

本文详细讨论了采用相位式转矩转速传感器进行动态测试的原理和方法,给出了测试台系统结构,并对系统硬件、软件设计思想进行了分析。该测试系统已成功运用于铁路信号修配所的辙轨机/电机转矩转速的自动测试中。

## 参 考 文 献

- 1 张凤生, 师忠秀, 徐志良, 等. 动态转矩测量技术研究. 现代计量技术, 1997, 6:10~14
- 2 Zhu Yaping, Yang Chengzhong, Zhu Zhonggan. Application of single-chip microcomputers in detection of diesel engine's operation condition. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 1998, 27(2): 148~150[朱亚萍, 杨成忠, 朱钟淦. 单片机在柴油机工况检测中的应用. 电子科技大学学报, 1998, 27(2):148~150]
- 3 Li Zhi, Zeng Jie, Wang Zhaoming. A control system using a MLS-8098 single-chip for the rotative velocity regulation of the AC motores. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 1995, 24(8):294~298[李 智, 曾 洁, 王兆明. MCS-8098单片机控制的交流电机调速控制系统. 电子科技大学学报, 1995, 24(8): 294~298]
- 4 汪庆年, 远 征, 张以霞. MCS-51单片机在电机转矩转速测量中的应用. 南昌大学学报, 1998, 20(4): 35~39

## Development of Dynamic Measuring System for Small-motor Torque-moment

Li Xiaobing    Li Hui    Hu Tianyou

(Dept. of Electromechanical Eng., UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** This paper expounds the work principle and the torque measuring as well as rotating speed measuring methods used by the sensor which are based on the phase difference. The system scheme of the measurements is proposed, which is based on PC for controlling. The hardware electric circuit and the software designing idea are discussed in detail. The experiment and practical test results show the validity of the design and the reliability of the performance of the system.

**Key words** motor; torque; rotating speed; dynamic measuring