

# 直线电机检测系统的设计\*

高军礼<sup>1</sup> 肖曙红<sup>2</sup> 张希<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 广东工业大学自动化学院, 广东, 广州, 510006

<sup>2</sup> 广东工业大学机电工程学院, 广东, 广州, 510006

<sup>3</sup> 上海交通大学电气工程系, 上海, 200240)

**摘要:** 本文利用增量式直线光栅尺位移传感器、方波四倍频及鉴向电路、热电偶传感器、压力传感器、研华ADAM4000系列工控I/O模块、PCI-1780多通道计数卡以及力控组态软件构建了直线电机的检测系统。该检测系统能够准确检测出直线电机的位移、拉力和推力及其绕组的多点温度值。文中对该检测系统的方案及其实现过程进行了详细的论述。

**关键词:** 直线电机; 增量式直线光栅尺; 热电偶; 力传感器

**中图分类号:** TP274+.1 **文献标识码:** A **文章编号:**

## Design of Linear Motor Supervisory System

Gao Junli<sup>1</sup>, Xiao Shuhong<sup>2</sup>, Zhang Xi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Automation, Guangdong Univ. of Technology, Guangzhou 510006

<sup>2</sup> Faculty of Electromechanical Engineering, Guangdong Univ. of Technology, Guangzhou 510006

<sup>3</sup> Department of Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, 200240)

**Abstract:** This paper presents a linear motor supervisory system. The supervisory system consists of the incremental linear encoder, square-wave forth-times frequency and identification direction circuit, thermocouple, ADAM4000 series industry control I/O modules, PCI-1780 multiple channel counter card and PCAuto configuration software. It can supervise the displacement, pull or push force, winding multi-point temperature of the linear motor. The whole blue print and implementation process of the linear motor supervisory system are discussed in details in this paper.

**Key words:** Linear motor, incremental linear encoder, thermocouple, force transducer

### 1 引言

直线电动机是利用电磁作用原理, 将电能直接转换成直线运动的设备。它取消了源动力和工作台部件之间的一切中间传动环节, 使得机械传动链的长度为零, 即“直接驱动”或“零传动”。近年来由于永磁体材料成本的显著降低, 永磁同步直线电机每年以10%~15%的速度逐步下降。全球知名运动控制公司Incremotion Associates总裁Dan Jones指出: “能够从中国获得相对便宜的稀土磁铁是使直线电机的价格变得更加易于承受的重要因素。”这也为直线电机的广泛应用注入了新的活力。与旋转电机相比, 直线电动机具有高速度、高加速度、大推/拉力、高定位精度和高重复定位精度等特征<sup>[1, 6]</sup>。正是直线电机的这些显著特征决定了它在数控机床、机器人和其它需要直线伺服传动的领域中有着广阔的应用前景。目前在欧美发达国家直线电机已在高速加工中心得到了广泛应用<sup>[2]</sup>。作为直线电机应用的前提条件, 能够准确地检测出直线电机的相关参数也显得更加重要。本文即是立足于直线电机的应用, 构建能够准确检测直线电机绕组温度、推/拉力、位移等参数的检测系统。

\*基金项目: 广东省自然科学基金博士科研启动基金(04300208), 广州市科技攻关(2006z2-D9071)

## 2 直线电机检测系统总体方案

直线电机检测系统的总体方案如图1所示。预埋在直线电机定子绕组中的热电偶将绕组温度转换成毫伏级的电压信号，经由工控I/O模块ADAM4018+进行信号适配、A/D转换而变为数字信号。直线电机推/拉力经由压力传感器U9B、压力信号放大器AE301转换成量程为 $\pm 10V$ 的标准电压信号，再由ADAM4017+转换成数字信号。ADAM4018+、ADAM4017+采用RS485串行通讯总线与工控模块ADAM4052互连。由ADAM4052实现RS485到RS232总线的转换，并直接与上位工控机相连，从而构成工业现场的底层控制网络，实现直线电机温度、推/拉力参数的实时检测。ADAM4520最多可以挂接255个具有RS485总线的I/O模块，传输速率可达115.2kbps，传输距离达1219m。根据需要，通过增加挂接在ADAM4520上的工控I/O模块可以十分方便地实现直线电机更多测量点温度值的实时检测。

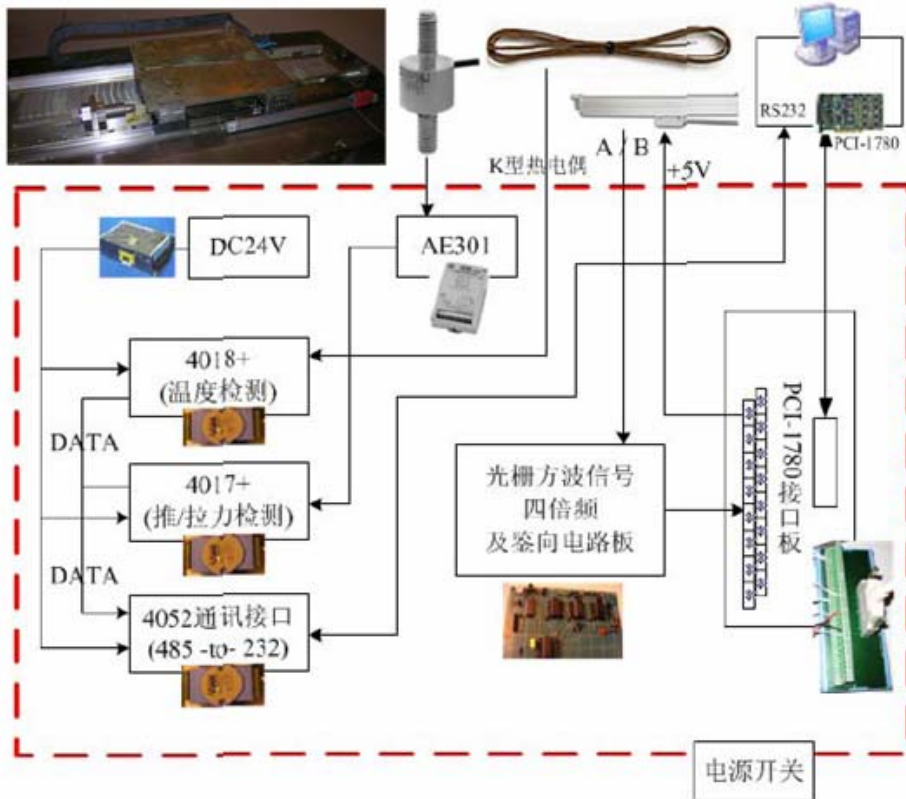


图1 直线电机检测系统构成框图

对于直线电机的位移检测，采用增量式直线光栅 A、B 相方波信号四倍频及鉴向电路将直线电机位移脉冲、位移方向送入 PCI-1780 计数卡间接计算得出。

## 3 直线电机检测系统的构建

直线电机检测系统分为温度检测、推/拉力检测和位移检测三个子系统。每一子系统的设计开发过程如下。

### 3.1 温度检测子系统

温度检测系统主要采用K型热电偶和工控I/O模块ADAM4018+实现。ADAM4018+是一个16位A/D，8路差分热电偶输入模块，可以直接将温度值转换为工程单位摄氏度。采样速率为10个采样点/秒，输入阻抗20兆欧，精确度 $\leq \pm 0.1\%$ ，功耗 $1.2W^{[3]}$ 。一个ADAM4018+模块即可实现直线电机8个点的温度检测。

## 直线电机检测



图2 直线电机检测系统人机界面

直线电机检测人机界面如图2所示，采用力控组态软件进行开发。通过本界面可以准确地检测出直线电机的多点绕组温度（℃）和直线电机推/拉力值（N），实现对直线电机运行情况的动态检测。

### 3.2 力检测子系统

直线电机推/拉力检测主要有力传感器 U9B、力信号放大器 AE301 和工控 I/O 模块 ADAM4017+组成。U9B 采用平衡电桥测量原理，具有 20KN 的测量量程。AE301 的输出量程与 16 位 A/D、8 路差分模拟量输入 I/O 模块 ADAM4017+的输入量程同为 ±10V，可以直接连接。AE301 输出满量程 ±10V 时，对应直线电机的推/拉力值为 ±20KN<sup>[5]</sup>。由公式 3.2.1 可以间接计算出直线电机的实时推/拉力值（N），u 为 AE301 输出的电压值（V）。直线电机推/拉力的测试界面如图 2 所示。

$$F = \frac{20000u}{10} = 2000u \text{ (N)} \quad (3.2.1)$$

### 3.3 位置检测子系统

针对增量式直线光栅尺所输出 A, B 两相相位差为 90°方波信号的四倍频及鉴向电路如图 3 所示。该电路在实现 A, B 相方波信号四倍频后的正向脉冲 CP+与反向脉冲 CP-的同时，还可鉴别出直线电机的移动方向<sup>[4]</sup>。当有正向脉冲 CP+输出时，CP+ EN 使能信号为低电平，CP- EN 使能信号为高电平；有反向脉冲 CP- 输出时，CP- EN 使能信号为低电平，CP+ EN 使能信号为高电平。这 4 路信号用于 PCI-1780 计数卡检测直线电机的位移量和运动方向。

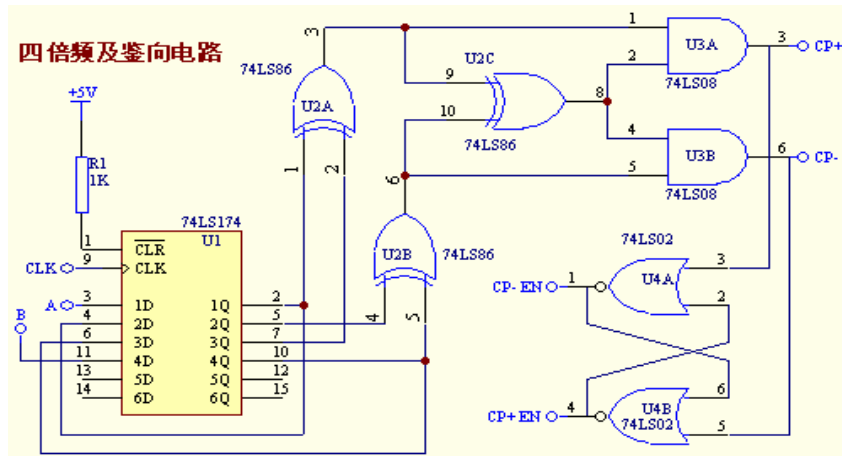


图3 光栅信号四倍频及辨向电路

本系统所采用直线光栅尺分辨率为  $20\mu\text{m}$ ，即光栅尺每移动  $20\mu\text{m}$ ，A、B 两相各输出一个相位相差  $90^\circ$  的方波信号。经四倍频后一个脉冲转换为位移量为  $0.005\text{mm}$ ，因此当前光栅尺的位移量即为 PCI-1780 所计脉冲数乘以  $0.005\text{mm}$ 。PCI-1780 计数卡内部寄存器为 16 位，可计  $2^{16}=65536$  个脉冲。65536 个脉冲折合到四倍频后光栅尺信号的位移量是  $65536 \times 0.005/1000 \approx 0.33\text{m}$ ，而本系统所用直线电机的最大位移量为  $1.0\text{m}$ ，因此单用一个计数器不能满足直线电机位移量的检测要求。需采用两个计数器级联计数的方案。两个计数器级联，其计数范围是  $2^{32}=4294967296$  个脉冲，折合位移量约  $21474.84\text{m}$ ，可满足需要。PCI-1780 计数卡的 E 工作模式是带门控功能的计数模式<sup>[3]</sup>。其特点是只有当门脉冲（Gate）是高电平时才对源脉冲进行计数，并且 E 模式在计满一个计数周期后计数器不会停止，而是自动循环计数。可实现两个或两个以上计数器的级联，进行更大量程的脉冲计数。

E 计数模式下实现正反向检测直线电机位移的工作原理如图 4 所示。使用 PCI-1780 的四个计数器——Counter0，Counter1，Counter2 和 Counter3。其中 Counter0 和 Counter1 级联组成正向计数器组 CounterA，对正向输入脉冲 CP+ 进行计数。Counter2 和 Counter3 级联组成反向计数器组 CounterB，对反向输入脉冲 CP- 进行计数。四个计数器均使用 E 工作模式。

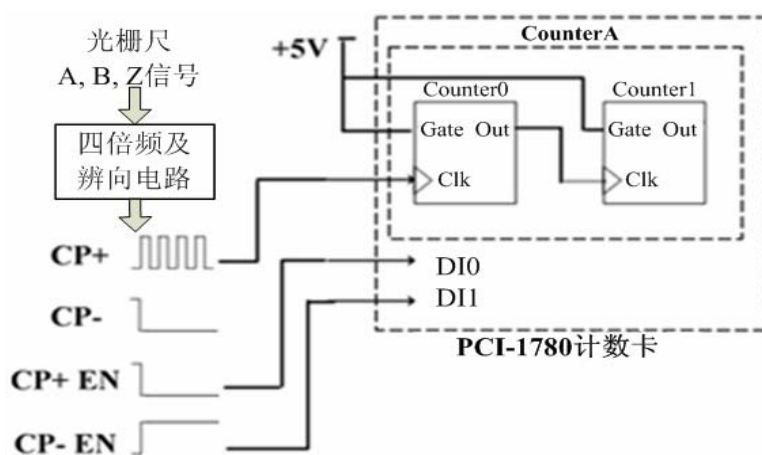


图4 直线电机位移测试原理图

当直线电机带动直线光栅尺作正方向运动时，经四倍频及鉴向电路，CP+ 输出脉冲序列，同时 CP+ EN 为低电平。通过 PCI-1780 的数字量输入通道，检测到 CP+ EN 为低电平，DI0 的值为 0。DI0 的值与 CounterA 的软触发命令链接起来，当 DI0 为 0 时，触发 CounterA，对脉冲进行计数，实现 CounterA 的软启动。因 CounterA 的门引脚已接上高电平，故 CounterA 一旦被软触发启动后就可对进入的脉冲进行计数。若某个时刻 DI1 检测到 CP- EN 为低电平，则 DI1 的值为 0，CounterB 开启并对反向脉冲进行计数，同时关闭 CounterA，CounterA 停止计数并清零。在 CounterA 被关闭清零之前，其当前计数值赋给另外一个变量，以便对正向脉冲进行显示、累计和位移量转换等工作。直线电机反向运动时 CounterB 的设置与工作原理同 CounterA。直线电机正反向运动时其位移量的测试人机界面如图 2 所示，通过该界面可以准确地检测出直线电机的运动方向和运动位移量。

#### 4 结束语

直线电机凭借其零传动、高速高精等优越的性能，并随着性价比的日益提高，在我国的制造业有着广泛的应用前景。本文立足于直线电机的应用构建了有关直线电机位移、拉力推力、绕组温度等重要参数的检测系统。该系统可以准确地对直线电机的相关参数进行检测，并有着良好的可扩展性，为直线电机的进一步应用研究奠定的坚实理论实践基础。

## 参考文献

- [1] 叶云岳. 直线电机原理与应用. 北京: 机械工业出版社. 2000.
- [2] 王伟进等. 直线电机的发展与应用概述. 微电机. 2004, Vol.39 (1). p45-50.
- [3] <http://www.advantech.com.cn>.
- [4] 韩壮志, 李伟等. 光电码盘四倍频分析. 电子技术应用. 2000 (12), p38-40.
- [5] HBM. AE301 Operating Manual. 2006, p16-31.
- [6] 龚书, 郑红. 直线小行程力电机的研究[J]. 微计算机信息. 2004, 8-1, p39-40.

## 作者简介:

高军礼(1973-), 男, 河南人, 广东工业大学自动化学院, 讲师, 研究方向: 计算机控制、运动控制技术等。

Biography: Gao Junli (1973-), Male, Birth place: Henan Province, Guangdong University of Technology, Instructor, Research area: Computer control, motion control technology, etc.

**E-mail:** jomnygao@163.com

**通讯地址:** 广州大学城 广东工业大学自动化学院 **邮编:** 510006

## 本文作者创新点为:

直线电机凭借其零传动、高速高精等优越的性能成为当前的研究热点, 而对直线电机出厂前各项重要参数的精确检测更是重中之重。本文综合运用数据采集与处理等相关的计算机技术, 开发出用于精确检测直线电机高速位移、动/静态拉力和推力、绕组温度等重要参数的检测系统。该系统具有良好的可扩展性, 可以确保直线电机制造商生产直线电机的产品质量, 为直线电机在国内的批量应用起着积极的促进作用。

*对于本项目研究成果的经济效益估算如下: 企业自产直线电机成本为 6 万元左右, 售价 8 万元, 若加上驱动器售价在 10 万左右, 按企业年产 50 台计算可以产生 500 万元的经济效益。(注: 本项目成果主要用于企业在生产直线电机时的质量检测)。*