

采用伺服电机的电子凸轮控制系统设计

柏淑红

(成都电子机械高等专科学校 电气与电子工程系, 四川 成都 610027)

摘要:针对传统机械凸轮存在的难加工、易磨损、难维护的问题,采用伺服电机设计了电子凸轮先进控制系统。该系统硬件采用德国倍福伺服运动控制实验平台,由嵌入式PC、数字伺服驱动器、永磁同步伺服电机、滚珠丝杠直线平台等组成,控制系统采用位置环、速度环、电流环三环控制模式,根据内部虚拟主轴的位移和电子凸轮表插值计算出了从轴伺服电机的位置指令、速度指令,模拟实际凸轮轨迹实现滚珠丝杠直线往复运动,并在上升和下降阶段采用五次多项式作为插值函数,保证了速度曲线、加速度曲线存在且连续,提高了机构运动性能。实验结果表明,采用电子凸轮方案后,丝杠在位移精度和反应速度方面均能获得良好效果,可以把跟随误差控制在0.005 mm内,证明采用电子凸轮代替原有机件直动推杆凸轮是可行的。

关键词: 伺服运动;电子凸轮;轨迹插补;虚拟主轴

中图分类号: TH112;TH39 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2012)06-0689-04

Design of electronic cam control system based on servo-motor

BAI Shu-hong

(Department of Electrical Engineering, Chengdu Electromechanical College, Chengdu 610027, China)

Abstract: Aiming at the disadvantages of conventional mechanical cam; difficult to machine and maintenance, easy to wear, an advanced electronic-cam control system was designed. The electronic cam used BECKHOFF servo motion control experimental platform which consisted of embedded PC, digital servo drives, permanent magnet synchronous servo motor, ball screw linear platform and so on. A three-loop control mode (position loop, speed loop and current loop) was employed. The servo-motor's position and speed instructions were calculated to simulate the real cam's track by inner virtual shaft's displace and electronic-cam's table, which drive the ball screw move straightly back and forth. To ensure the existence and continuation of speed curve and acceleration curve, a five polynomial was adopted as interpolation function in the rising and falling phases, which improved kinematical performance. The experiment results indicate that when using the electronic cam plan, screw can get the position precisely, and react rapidly. Tracking error was controlled within 0.005 mm. It proves that using the electronic cam to replace the traditional mechanical cam is feasible.

Key words: servo motion; electronic cam; path interpolation; virtual principal axis

0 引言

对于传统的凸轮机构,只要设计者设计出合适的凸轮轮廓,就能使从动杆按照工作要求完成各种复杂的运动,包括直线运动、摆动、等速运动和不等速运动。它已广泛应用在各种机械装置中^[1]。但是由于凸轮机构是高副点、线接触,存在着易磨损、难维护的不足,且凸轮加工麻烦,缺乏柔性^[2]。目前,伺服运动控制系统的电子凸轮功能可以实现从动杆直线往复运动,替代原有通过凸轮产生从动杆直线运动的机械机

构,来达到高速精确控制、柔性化设计、降低维护成本的目的,并获得广泛的应用^[3-4]。

本研究设计电子凸轮推杆机构的控制系统,该系统由嵌入式PC、数字伺服驱动器、永磁同步伺服电机、滚珠丝杠直线平台等组成。上位机为嵌入式PLC,借助其强大运算处理能力可以进行运动轨迹规划、运动程序编译运算和插补运算等。下位控制器为基于DSP的数字伺服驱动器。数字伺服驱动器可以与伺服电机、旋转变压器一起构成位置环、速度环、电流环的三环控制。同时,本研究通过EtherCAT总线在上位

收稿日期:2011-12-09

作者简介:柏淑红(1980-),女,四川成都人,主要从事电力电子与电机系统方面的研究。E-mail:kyh2000@tom.com

PC机和下位驱动器之间实时地传递控制信号和反馈信号。整个系统响应速度快,定位精度高,运动稳定。

1 系统的构架与配置

该系统硬件采用德国倍福电气公司的整体解决方案,选用CX1020嵌入式PC及相应的电源模块、I/O端口模块、AX5203数字伺服驱动器、AM3041-0C00永磁同步伺服电机,联轴器与滚珠丝杠等^[5]。

伺服控制系统结构如图1所示。

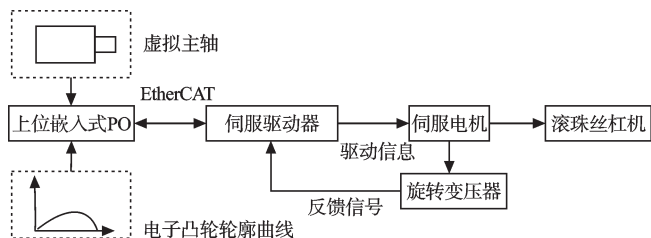


图1 伺服控制系统结构框图

当伺服控制系统在运行状态时,本研究根据内部虚拟主轴的位移和电子凸轮表,由嵌入式PC插值计算出从轴伺服电机的位置指令、速度指令。位置设定值与速度设定值通过总线传输到数字伺服驱动器,并在此与旋转变压器检测到的电机实际位移和实际速度相比较,再经集成在数字伺服驱动器中DSP内部的PID算法进行PID调节,产生的控制信号控制伺服电机的驱动电路,从而达到控制伺服电机运动的目的。如此周期性地重复执行,伺服电机能完成凸轮轮廓所描述的轨迹运动。伺服电机直接连接滚珠丝杠机构,将旋转运动转化为直线运动,完成直线往复运动。

2 伺服控制原理

为了获得精确的位置伺服运动控制,控制系统采用位置环、速度环、电流环三环控制模式,由伺服控制信号设置器SetPoint generator根据所设计电子凸轮主轴与从轴之间的插补关系产生的位置、速度指令,再通过位置、速度、电流控制器分别对位移误差、速度误差、电流误差进行P调节和PI调节,可以得到较好的补偿,达到理想的动态性能。同时还有速度前馈控制,即在PI的基础上,叠加上正比于内部指令速度的信号,用来减小微分增益或电机环路阻尼所带来的跟

随误差^[6]。

控制结构如图2所示。

PID串级控制系统的最终输出量的大小由位置控制器、速度控制器、电流控制器决定。位置控制器采用P控制,速度控制器采用PI控制,电流控制器同样采用PI控制,电流控制器的输出最终转化为电压信号,控制伺服电机。

对于倍福伺服控制系统,当系统完成组态后,数字伺服驱动器的各项控制参数可由计算机自行设定,也可以在控制过程中根据系统运行结果对控制参数进行优化。速度环、电流环控制参数经系统自动整定后,一般能使运动满足动态要求。设计者主要通过调节位置环参数P来对位移跟随误差进行调节^[7]。

3 电子凸轮功能的实现

3.1 电子凸轮表的设计

为了让推烟杆实现来回推烟的动作,本研究需要事先对电子凸轮轮廓曲线进行设计。原有机机械凸轮与推杆之间运动关系如表1所示。

表1 机械凸轮与推杆机构的运动关系

序号	机械凸轮运动角	推杆运动规律
1	0°~30°	推杆近休止
2	30°~160°	前进 122.8 mm
3	160°~200°	远休止
4	200°~330°	后退 122.8 mm
5	330°~360°	推杆近休止

本研究所选的滚珠丝杠的导程为50 mm,即螺杆每旋转一周螺母前进的距离。现在已知行程为122.8 mm,则可知螺杆需要旋转的角度为 $360^{\circ} \times 122.8 \div 50 = 884.16^{\circ}$ 。即通过联轴器与滚珠丝杠螺杆连接的伺服电机(从轴)需旋转884.16°,才能使螺杆前进或者后退122.8 mm。根据以上所得数据,本研究设计的电子凸轮曲线如图3所示。

为了保证速度曲线、加速度曲线存在且连续,防止速度冲击和系统紊乱,提高机构运动性能,本研究在上升和下降阶段采用5次多项式作为插值函数^[8-9]。运动控制软件将根据电子凸轮曲线所对应的插值关系,计算出每个伺服周期伺服电机应该到达的位置。本研

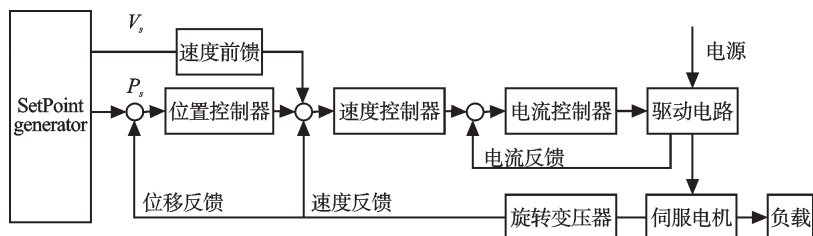


图2 位置环、速度环、电流环三环闭环控制模式

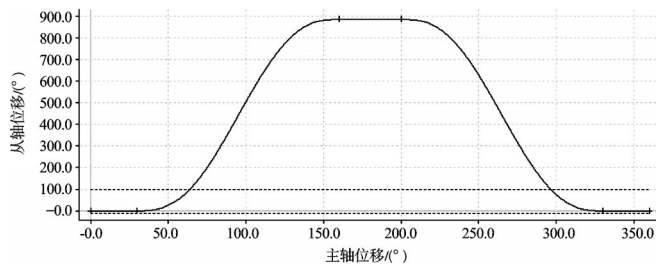


图3 电子凸轮曲线

究将位置指令通过总线传递给下位的数字伺服驱动器,控制伺服电机的运转。

3.2 运动控制程序设计

本研究采用倍福TwinCAT plc control软件作为上层用户运动控制程序的开发环境。设计者可以采用基于IEC61131-3标准的结构化文本(ST)、梯形图(LD)、顺序功能图(SFC)、功能块(FBD)、指令表(IL)等5种语言进行编程,同时结合基于PLCopen库运动控制模块(如MC_power、MCCamIn、MC_MoveVelocity等MC功能块),可以实现各种运动控制。在本研究的电子凸轮的设计中,通过编程实现电机初始化、使能、主从电机实现电子凸轮的耦合、运动等,程序流程图如图4所示。

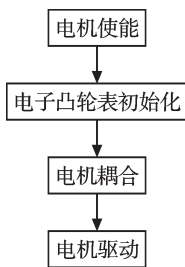


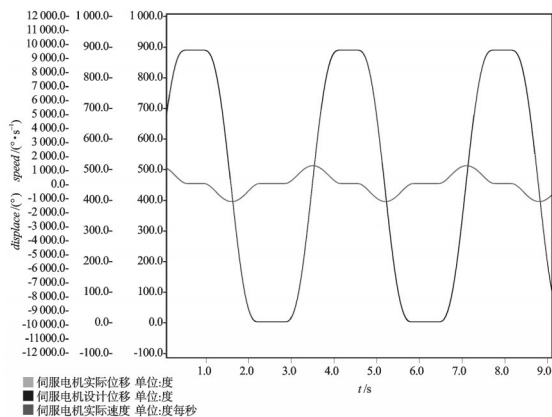
图4 程序流程图

图4中,电机使能:包括虚拟主轴电机,伺服电机使能;电子凸轮表的初始化:定义用以装载主/从轴位置信息的数组,定义电子凸轮的标号;电机耦合:使主从电机按照所设计的电子凸轮表耦合,定义插补方式;电机驱动:驱动虚拟主轴电机,而从轴伺服电机也将运行到对应的目标位置。

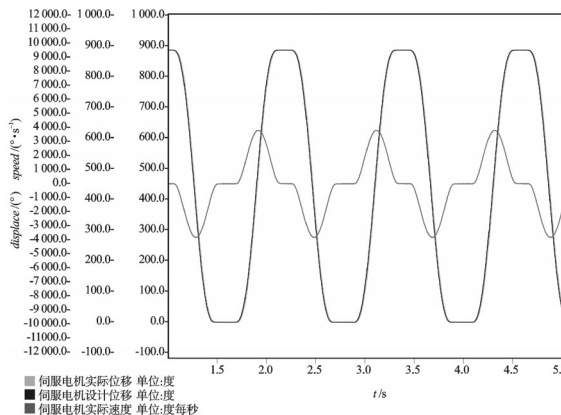
4 实验结果与分析

在机器设备中,直线推杆动作须满足高速度、高精度、高稳定性的要求。高速度可以保障机械设备生产效益,提高企业利润;高精度则是为了使直线动作顺利进行,防止机械故障、产品质量问题的发生;稳定性高是为了保证运动过程的平稳,防止由于冲击过大而对设备和产品造成损伤。

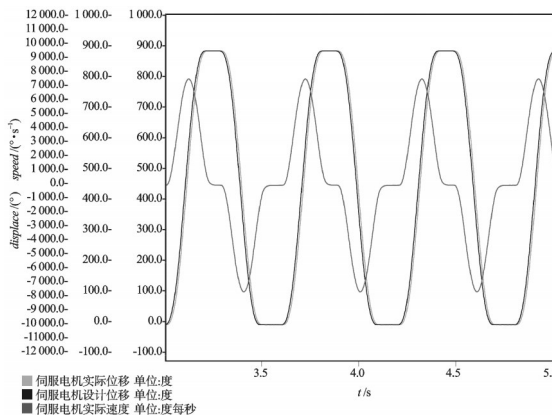
本研究将主轴速度设定为不同的等级,再利用示波软件ScopeView对电子凸轮的从轴设定位移、实际位移、实际速度进行观测,观测结果如图5所示。本研



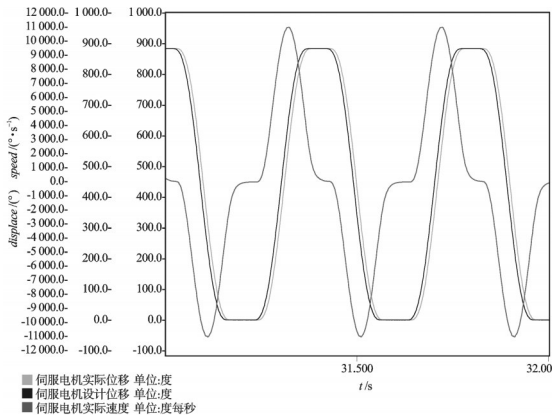
(a) 虚拟主轴速度为100 %s的情形



(b) 虚拟主轴速度为300 %s的情形



(c) 虚拟主轴速度为600 %s的情形



(d) 虚拟主轴速度为900 %s的情形

图5 伺服电机运行结果

表2 实验数据(供电电压380 V)

运动周期 /s	虚拟主轴速度 /(°·s ⁻¹)	伺服电机最大速度 /(°·s ⁻¹)	从轴所需加/减速时 /s	远休止处最大位置 跟随误差	位置环比例参数 <i>P</i>
3.6	100	1 281	0.52	0.012°(0.001 6 mm)	10
1.2	300	3 850	0.216	0.011°(0.001 5 mm)	12
0.6	600	7 559	0.108	0.012°(0.001 6 mm)	15
0.4	900	11 085	0.075	0.019°(0.002 6 mm)	20

注:括号内数据为转换到滚珠丝杠一端的直线位移误差。

究同时也对观测结果进行了分析。

本研究从实验得到的数据如表2所示,由此可得:当虚拟主轴速度处于100 %s~900 %s时,通过调节位置环比例参数*P*,可以把伺服电机的跟随误差控制在0.005 mm内,实验结果符合要求。

5 结束语

本研究利用倍福伺服控制系统与滚珠丝杠平台相结合,采用电子凸轮功能实现推杆的直线往复运动。实验结果表明,在电机的额定速度范围内,基于电机伺服系统的电子凸轮获得了理想的速度和精度要求。

该实验结果为机械设备的柔性制造与独立伺服驱动提供了有益的借鉴。

参考文献(References):

- [1] 王 程,贺 炜. 凸轮机构CAD/CAM研究的回顾与展望[J]. 机械传动,2008,32(6):119-123.

- [2] 张巨勇,施浒立,潘玉良. 软件凸轮[J]. 杭州电子工业学院学报,2004,24(1):43-47.
- [3] 杨祥银,韦 勇. 电子凸轮控制器在机械压力机上的应用[J]. 锻压装备与制造技术,2008(1):52-57.
- [4] 宋华振. 贝加莱ACOPOS电子凸轮CAM在裁切方向的应用[J]. 国内外机电一体化技术,2008(1):52-57.
- [5] 陈利君. 倍福TwinCAT NC实用教程(pdf版)[M]. 上海:倍福自动化设备(上海)分公司,2005.
- [6] CHANG G K, CHEN T L, TSAY D M. Globoidal cam indexing servo drive control by IVSMFC with load torque estimator[J]. **Journal of Industry Applications**, 2002, 38(5): 1326-1333.
- [7] 伍宗富,王 立. 基于数字信号处理器的电子凸轮控制系统设计[J]. 电机与控制应用,2008,35(8):47-52.
- [8] 胡建平,陆桂良. 虚拟凸轮连杆组合机构连杆点轨迹规划[J]. 机械设计,2005,22(4):52-55.
- [9] 魏法明,年四甜,何雪明. 基于VC++的经编机共轭凸轮参数化设计[J]. 机电工程技术,2010,39(12):24-27,47.

[编辑:李 辉]

(上接第688页)

参考文献(References):

- [1] 徐泰然. MEMS和微系统—设计与制造[M]. 王晓浩,译. 北京:机械工业出版社,2004
- [2] 刘 路,解晶莹. 微能源[J]. 电源技术,2002,26(6):470-474.
- [3] ROUNDY S, RIGHT K W. A piezoelectric vibration based on generator for wireless electronics [J]. **Smart Material & Structure**, 2004(13):1131-1142.
- [4] SHENCK N S, PARADISO J A. Energy scavenging with shoe-mounted piezoelectrics [J]. **IEEE Micro**, 2000(21):30-42.
- [5] STEINHAUSEN R, KERN S, PIENTSCHKE C, et al. A new measurement method of piezoelectric properties of sin-

gle ceramic fibres [J]. **Journal of the European Ceramic Society**, 2010, 30(2):205-209.

- [6] ARMS S W, TOWNSEND C P, CHURCHILL D C, et al. Power management for energy harvesting wireless sensors [C]//Smart Structures and Materials 2005: Smart Electronics, MEMS, BioMEMS, and Nanotechnology, Proceedings of SPIE, 2005:108-115.
- [7] WANG L X, LIU R, MELNIK R V N. Modeling large reversible electric-field-induced strain in ferroelectric materials using 90° orientation switching [J]. **Science in China Series E-Technology Science**, 2009, 52(1):141-147.
- [8] 殷之文. 电介质物理学[M]. 2版. 北京:科学出版社, 2003.

[编辑:张 翔]