

高速经编机电电子送经控制系统的设计^{*}

田宁波,袁嫣红^{*},张建义,金 犁

(浙江理工大学 教育部现代纺织装备技术工程研发中心,浙江 杭州 310018)

摘要:为了保证经编机在高速运转下送经量的恒定,运用当今经编机电电子送经系统中最常见的送经原理,即利用反馈信号构建闭环控制系统,从而实现了同一送经量下以恒定线速度进行反馈控制,设计了一种基于高级精简机器指令(ARM)和现场可编程门阵列(FPGA)控制的高速经编机电电子送经控制系统,并运用了PID控制理论。研究结果表明,该系统能实现经编机在高速运转下的稳定送经。

关键词:经编机;电子送经;高级精简机器指令;现场可编程门阵列;比例-积分-微分

中图分类号:TH693.9;TH39;TP273⁺.5

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)02-0188-03

Design of electronic let-off control system of high-speed warp knitting machine

TIAN Ning-bo, YUAN Yan-hong, ZHANG Jian-yi, JIN Li

(Modern Textile Equipment and Technology Engineering Research Center of
Ministry of Education, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to ensure warp knitting machine sent stably in the high-speed cases, the most common principle of constructing closed-loop system today was applied to achieve the task of feedback controlling on the condition of same amount of warp run-in and constant linear velocity. A kind of electronic warp let-off system based on advanced RISC machines(ARM) and field-programmable gate array(FPGA)-controlled was established. And the PID control theory was used. The results indicate that the system can achieve the goal of warp knitting machine stably working in the high speed cases.

Key words: warp knitting machine; electronic warp let-off system; advanced RISC machine(ARM); field-programmable gate array(FPGA); proportion-integration-differentiation(PID)

0 引 言

电子送经机构作为现代高速经编机重要部分之一,与电子横移机构、电子牵拉卷取机构等共同组成了全新的现代经编机控制理念,代表了现代高速经编机的发展方向^[1]。

传统经编机的送经系统是通过机械的方式,即采用涡轮蜗杆进行传动的变化组合,这些变化组合对于经编机花型变化的需求来说非常不灵活。对于在每个周期里没有变化的送经量而言,采用变频器即可,而对于变化复杂的花型而言,电子送经系统就非常必要了^[2-3]。特别是在机器启动和停下时,机械送经易造成

停机横条。电子送经控制系统采用计算机控制的数字伺服控制系统,送经精度高,送经量调节范围大,织物成圈均匀,工艺设计方便。

本研究主要从电子送经的工作原理、系统硬件及软件设计等方面探讨了如何运用嵌入式控制方式设计高速经编机电电子送经系统,使经编机送经的稳定性及抗干扰能力大大提高。

1 电子送经 EBC 控制系统简介

1.1 电子送经 EBC 控制系统优点

在经编织造中,送经的连续性、稳定性对成圈机件的工作、成品坯布的线圈结构和质量花色的形成都有

收稿日期:2010-08-27

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2009BAF39B02);浙江省自然科学基金资助项目(Y106592)

作者简介:田宁波(1983-),男,山东平度人,主要从事嵌入式控制系统方面的研究. E-mail: tianningbo300@163.com

通信联系人:袁嫣红,女,副教授,硕士生导师. E-mail: yyh@zstu.edu.cn

着重大的影响。如果送经系统控制不好送经量,可能会引起纱线断头,影响经编机生产效率和坯布质量^[4]。

电子送经与传统的机械式送经相比具有突出的优点:它能够实现更高的转速,提高了生产效率;更改送经量方便、迅速,不需要更换送经变换齿轮,只需简单按键即可;不需要通过主轴电机经齿轮传动经轴,各经轴单独控制,减少了摩擦和能量损耗。

1.2 经编机电电子送经工作原理

经编机对电子送经 EBC 控制系统的基本要求是:在编织过程中控制系统应按照工艺要求的送经量在规定的横列数内准确地输出规定长度的纱线,即经轴电机必须随主轴的角位移量变化和经轴盘头当时的外周长来确定经轴电机的角位移量即送经量^[5]。

经编机电电子送经有单速送经系统、双速送经系统和多速送经系统,控制方式采用经轴表面感测罗拉测速的全闭环和不采用表面感测罗拉测速的半闭环控制方式。德国 Karl Mayer 公司推荐采用表面感测罗拉实时采集实际经纱线速度并反馈给驱动器,构成了全闭环控制系统^[6-7]。带有感测罗拉的全闭环控制系统装置简图如图 1 所示。

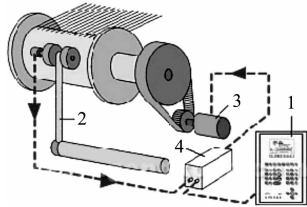


图1 带有感测罗拉的全闭环控制系统装置简图

1—触摸屏可以设置送经量、显示送经速度并存储花型数据;2—感测罗拉测量实际送经速度并以数字信号返回控制器;3—伺服电机;4—控制器根据反馈信号控制伺服电机3的转速,从而控制经轴线速度

本设计采用经轴不带测速罗拉的半闭环控制方式。半闭环式电子送经系统的控制原理如图 2 所示。

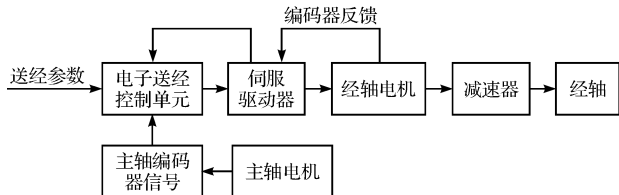


图2 经编机电电子送经半闭环控制系统的控制原理

EBC 电子送经系统由主轴电机驱动,主轴旋转一周,经编机编织一个横列。与主轴相连的是一个主轴编码器,控制系统定时采集该编码器发出的主轴角位移脉冲信号作为系统的同步信号。经轴电机上的编码

器发出脉冲信号送至控制单元作为经轴速度的反馈信号,通过与设定值比较得到差值,并通过控制程序把差值转化为速度调节值,从而确定经轴电机的速度指令值输出给伺服驱动器,进而驱动电机使经轴按照工艺要求的送经量送纱。

2 电子送经系统框图和控制算法分析

该系统采用的是半闭环控制的电子送经系统,本设计中经编机电电子送经控制系统的总体框图如图 3 所示。

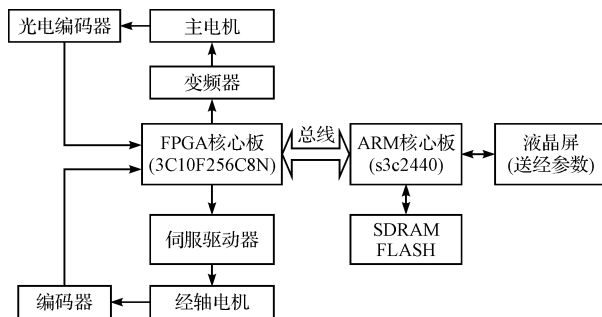


图3 经编机电电子送经控制系统总体框图

根据经编织物工艺的计算结果,在液晶屏控制面板上输入经编工艺主要参数(如经轴满轴外周长、内周长、圈数以及送经量等),FPGA 控制单元根据读取的主轴光电编码器数值、送经量、当前经轴周长等参数计算伺服电机的目标转速,并转换成相应的脉冲频率,使控制经轴的伺服电机按目标转速转动,经轴伺服电机经减速齿轮箱带动经轴转动。控制单元比较经轴的目标转速与实际转速之间的差值,并根据差值调整电机的转速,使目标转速与实际转速之间差值趋于零。

为了确保成圈过程的正常运行,主轴每转一圈,经轴必须送出一定长度的经纱;主轴按一定转速旋转,经轴必须按与主轴转速成一定系数关系的送经线速度送出经纱。随着编织过程不断进行,经轴外周长会逐渐变小,为了保证经轴的送经量恒定,经轴的转速与主轴转速之比必须按一定规律变化^[8]。

经轴电机转速与送经量和主轴电机转速之间的运算公式如下:

(1) 经轴电动机的目标转速:

$$N_z \times \frac{F}{480} = N_j \times L \rightarrow N_j = \frac{F \times N_z}{480 \times L} \quad (\text{单位: r/min}) \quad (1)$$

式中: N_j —经轴电机转速, r/min; N_z —主轴电机转速, r/min; F —送经量设定值, mm/rack, 1 rack = 主电机转 480 圈; L —经轴外周长, mm。

(2) 经轴的当前外周长:

$$L = L_0 - (L_0 - L_1) \times Z_i / Z \quad (\text{单位: mm}) \quad (2)$$

式中: L_0 —经轴的满卷周长, mm; L_1 —经轴的空轴周长, mm; Z —经轴满卷时卷绕的总圈数; Z_i —经轴已经退绕的圈数。

3 系统硬件设计和软件设计

3.1 硬件设计

系统主控制器(即 FPGA 模块)选用 Altera 公司的 CycloneIII 系列 3C10F256C8N, 其运算功能强大, 能实现高速输入和高速率传输数据。ARM 核心板用于运动控制平台的上层管理, 并且与 FPGA 一起形成一个完整的应用平台。ARM 核心板主要完成系统的界面操作设计、LCD 显示管理、键盘管理、内存管理、程序管理等, FPGA 核心板主要完成系统的运动控制的处理工作。其中 ARM 与 FPGA 采用模拟地址数据总线的方式通讯。

笔者设计的控制系统中, FPGA 核心板接收 ARM 和外部 RAM 送来的控制指令和数据信息执行运算, 产生控制交流伺服电机运转的脉冲序列, 并通过接口将脉冲序列送到伺服电机驱动器, 另外 FPGA 与主轴编码器相连接, 能识别其输出的信号并计数, 计数结果存放在寄存器中, 供 ARM 读取。

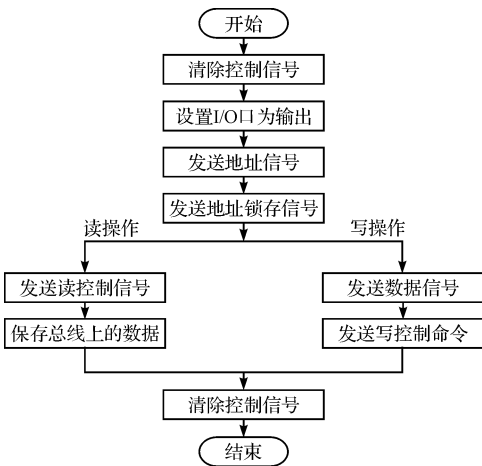


图4 ARM与FPGA的通讯流程

ARM与FPGA模块在通讯时, 根据通讯方向随时修改I/O方向寄存器, 地址总线 and 数据总线为分时复用。为了方便ARM与FPGA通信, 在FPGA上建立一个8 Kbit的RAM数据缓冲区, 将采集的数据缓冲在这8 Kbit的RAM中, 将ARM的数据总线和地址总线与RAM缓冲区构建的双口RAM的数据线、地址线直接相连, 通过总线访问FPGA内部RAM就可以达到高速数据读取的目的。在一次通讯工程中, 先设置I/O口为输出口, 发出地址信号, 再发出锁存信号, 将地址锁

存。当写入FPGA数据时, 发送数据信号, 再发出写控制信号; 当读取FPGA数据时, 先修改I/O口方向, 再发送读控制命令, 保存总线上的数据, 最后撤销控制命令, 释放FPGA控制权。流程图如图4所示。主轴光电编码器控制电路及经轴伺服电机控制电路简图如图5、图6所示。

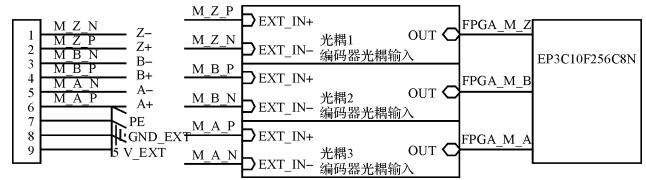


图5 主轴光电编码器控制电路简图

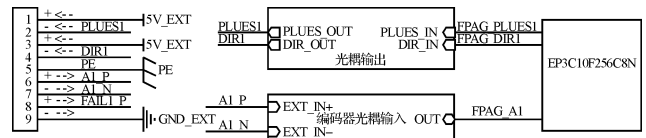


图6 经轴伺服电机控制电路简图

3.2 软件设计

PID控制是一种线性控制器, 根据给定值 $R(t)$ 与实际输出值 $C(t)$ 偏差来构成控制偏差 $e(t)$ 来进行控制的:

$$e(t) = R(t) - C(t)$$

将偏差的比例(P)、积分(I)和微分(D)值通过线性组合构成控制量, 对受控对象进行控制^[9]。PID控制算法的运算式为:

$$C(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$

或:

$$C_K = C_{K-1} + K_p \Delta e_k + K_I \Delta e_k + K_D (\Delta e_k - \Delta e_{k-1})$$

式中: C_K —第 K 次送经输出脉冲频率, 控制伺服电机的速度, C_{K-1} —第 $K-1$ 次脉冲输出频率值, e_k —根据主轴走过的角度计算出经轴电机应该走过的脉冲数和实际经轴走过的脉冲数之差, Δe_k —第 K 次采样所获得的偏差数, $\Delta e_k = e_k - e_{k-1}$, Δe_{k-1} —第 $K-1$ 次采样所获得的偏差数, $\Delta e_{k-1} = e_{k-1} - e_{k-2}$, K_p 、 K_I 、 K_D —比例系数、积分系数、微分系数, $K_I = \frac{K_p}{T_i}$, $K_D = \frac{K_p}{T_d}$ 。

首先根据给定的脉冲比产生伺服所需的脉冲流, 其次需要计算在当前经轴直径下经轴的转动量, 即统计当前直径下输出给伺服电机的脉冲个数^[10]。当前经轴直径的经轴已经转动一圈的情况下, 需要产生一个信号(硬件中断或寄存器标志符)通知ARM计算下

(下转第194页)

25% 幅值下对应 -3 dB 频宽达到 305 Hz, 其频响高于其它同类的电-机械转换元件。为提高数字伺服阀的频响奠定了基础。

参考文献 (References):

- [1] 骆涵秀, 李世伦, 朱 捷, 等. 机电控制[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2003.
- [2] 王传礼, 袁桂峰. 阀用电-机械转换器的应用研究[J]. 安徽理工大学学报, 2005, 12(4): 41-44.
- [3] 刘国华, 花 蓉. 新型功能材料驱动的高性能电液伺服阀[J]. 合肥工业大学学报, 2005, 1(1): 45-48.
- [4] YOSHIO Y, HIROSHI E, JUN S. Application of giant magnetostrictive materials to positioning actuators[C]//Proceedings of the 1999 IEEE/ASME, Atlanta, USA, 1999: 215-220.
- [5] RUAN J, BURTON R. A new approach of direct digital control for spool valves[C]//ASME, The Fluid Power and Sys-

tems Technology Division (Publication), 2002: 157-167.

- [6] 阮 健. 电液(气)直接数字控制技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2000.
- [7] RUAN Jian, BURTON R, UKRAINETZ P. Some experimental considerations of stage control in digital valves[J]. **The Fluid Power and Systems Technology Division**, 2002(9): 55-62.
- [8] BURTON R, RUAN J, UKRAINETZ P. Analysis of electromagnetic nonlinearities in stage control of a stepper motor and spool valve[J]. **Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control**, 2003, 125(3): 405-412.
- [9] 阮 健, 李 胜, 裴 翔, 等. 数字阀的分级控制及非线性[J]. 机械工程学报, 2005, 41(11): 91-97.
- [10] 李 胜, 裴 翔, 阮 健. 数字阀控制器的设计方法研究[J]. 工程设计学报, 2002, 9(3): 124-126.

[编辑: 张 翔]

(上接第 190 页)

一个脉冲比, 并把下一个脉冲比作为当前的脉冲比。同时重新计算当前的伺服电机的脉冲个数。

在实际调试过程可对 K_p 、 K_i 、 K_d 进行调试, 以选定合理的值, 保证偏差控制在合理的范围之内^[11-12]。

4 结束语

该电子送经控制系统在 YJHS 型经编机上经过了测试, 结果表明送经响应速度快, 送经量控制精确; 人机界面实现了所有运行参数的设定和显示, 编织操作方式简便, 可视性强。该送经系统具有很好的实时跟随特性, 能最大限度降低停机横条的产生。另外还设计了失电保护系统, 能避免机器在运行中任何时候由于电网突然掉电而引起的经轴崩纱现象。在实际应用中可控制 4 个经轴送经, 能够满足车速最高 2 000 r/min 的条件下送经量的要求, 达到客户对经编织物速度和花型的要求。

参考文献 (References):

- [1] 蒋高明. 现代经编工艺与设备[M]. 上海: 中国纺织出版社, 2004.

- [2] MAYER K. KAMCOS-the name for karl mayer's machine command system[J]. **Kettenwirk Praxis**, 2005(1): 28.
- [3] The India Textile Journal Group. Electronic let-off & take-up[J]. **The Indian Textile Journal**, 2003, 113(4): 90.
- [4] 张 琦, 汤友章. 经编机电子送经反馈控制及误差分析[J]. 针织工业, 2006(8): 34-36.
- [5] 王文进, 蒋高明. EBC 经编电子送经系统[J]. 针织工业, 2007(6): 16-19.
- [6] MAYER K. EBA 2-step dokumentation (Version 3.0) [J]. **Karl Mayer Textilmaschinen fabric GmbH**, 2000(5): 31-32.
- [7] MAYER K. ProFab network system-provide all tasks the most suitable tools[J]. **Kettenwirk Praxis**, 2004(3): 44.
- [8] 李又元. 经编电子送经原理及故障维修[J]. 针织工业, 2006(4): 3-5.
- [9] 陶永华. 新型 PID 控制及应用[M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [10] 孔 震, 蒋高明, 夏凤林. 经编机伺服控制系统的参数调节方法[J]. 纺织学报, 2008(10): 102-104.
- [11] 李 伟, 董继先, 汤 伟. 自整定 PID 控制器在白泥回转窑中的应用[J]. 轻工机械, 2009(3): 33-35.
- [12] 刘哲伟, 颜建军, 潘 刚. 模糊控制在流浆箱控制中的应用[J]. 轻工机械, 2009(3): 29-32. [编辑: 张 翔]