

基于 DSP 的高频电液激振台控制器

邵汉卿, 阮健*, 李胜, 胡玮, 汪晓文

(浙江工业大学 特种装备制造与先进技术教育部重点实验室, 浙江 杭州 310014)

摘要: 为了实现对 2D 电液伺服阀双自由度的控制, 将 DSP 技术应用到高频电液激振台控制系统的构建中。通过对步进直线电机和同步伺服电机的调控, 实现了对 2D 电液伺服阀阀芯开口的精确定位和对阀芯转速的控制, 同时实现了与上位机的通信。利用数字滤波对采集信号进行处理, 提高了控制精度, 并通过控制算法实现了在非线性失真下的跟踪控制, 消除了电机失步和速度突变。详细阐述了控制系统的硬件结构和软件设计。实验结果表明, 该控制系统稳定可靠, 能随着阀芯轴旋转运动和轴向滑动实现激振频率和幅值的独立控制。

关键词: DSP; 电机控制; 高频电液激振

中图分类号: TH137; TP273; TH39

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)01-0066-04

High-frequency electro-hydraulic vibration system controller based on DSP

SHAO Han-qing, RUAN Jian, LI Sheng, HU Wei, WANG Xiao-wen

(Key Laboratory of Special Purpose Equipment and Advanced Manufacturing Technology,
Ministry of Education, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: In order to solve the problems of the two-dimensional control valve's common control of double degrees of freedom, the high-frequency electro-hydraulic vibration system based on the technology of DSP was investigated. The control of the valve spool's position and speed accurately was realized through the control of the linear stepper motor and the servomotor, and the communication with the host computer was realized. The acquired signal was processed with digital filter to improve the precision of the control. The control algorithm was used to prevent the motor out of step and to eliminate the speed mutations in the case of nonlinear distortion. The hardware and software configuration was illustrated in detail. The experimental results show that the system works stably, the rotary and sliding motions are independently exploited to control the frequency and the magnitude of the agitated vibration respectively.

Key words: digital signal processor (DSP); motor control; high frequency electro-hydraulic vibration

0 引言

振动试验是现代工程技术领域中的一项基本试验, 广泛应用于许多重要的工程领域^[1-2]。目前, 随着科学技术的发展, 促使振动台向大推力、超高频发展。通过改进伺服阀的频响及振动控制技术, 电液激振在保持大推力输出的同时激振频率也有了大幅度的提高^[3]。这就对电液激振的控制器快速响应能力提出了要求。近几年来高性能电机控制专用 DSP 处理器芯片将 DSP 核处理器芯片和丰富的功能外设电路集

成在单个芯片上, TI 公司的 TMS320F2812 是专门针对运动控制而开发的高性能控制芯片, 能快而精确地处理信号, 实时完成复杂控制算法, 具有精确而快速的 PWM 信号输出, 能满足高频激振台高精度高频响的控制要求, 具有丰富的片上资源和多种通信接口, 能满足与上位机以及单片机之间实时数据通讯的需求^[4-5]。

本研究为实现对 2D 电液伺服阀双自由度的控制, 将 DSP 技术应用于高频电液激振台控制系统的构建中。

收稿日期: 2011-08-15

作者简介: 邵汉卿 (1986-), 男, 浙江绍兴人, 主要从事电液控制方面的研究. E-mail: 603954817@qq.com

通信联系人: 阮健, 男, 教授, 博士生导师. E-mail: wxmin@mail.hz.zj.cn

1 高频电液激振台系统结构

电液激振台的系统结构如图 1 所示,其机械部件为新型高频激振阀和液压缸,控制部件主要是对阀芯的旋转控制和阀芯的位移控制。在 2D 阀中阀芯由伺服电机驱动旋转,使得沿阀芯台肩周向开设的沟槽与阀套上的窗口配合的阀口面积大小成周期性变化,因而使得进出液压缸的两个容腔的流量以相位差 180° 周期性变化,驱动液压执行元件做周期性往复运动形成激振。窗口配合的阀口面积大小除了因阀芯旋转周期性变化之外,其变化的幅度通过阀芯的轴向运动从零到最大实现连续控制^[6]。

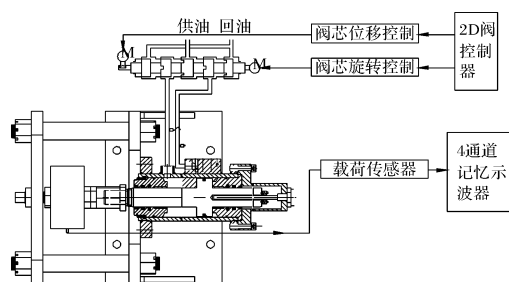


图1 电液激振台系统结构

2D 阀控制器能同时控制阀芯的旋转和阀芯的位移,即幅值控制和频率控制。幅值控制的作用主要是控制步进直线电机,通过连续跟踪控制步进直线电机的直线位移来控制阀芯的开口大小。频率控制则通过控制同步伺服电机的转速从而改变阀芯的转速来实现。

2 基于 DSP 的高频激振台控制器硬件电路

基于 DSP 的数字控制器的结构框图如图 2 所示,它是以 DSP2812 芯片为中央处理器通过系统扩展而构成的一个数字控制器。系统扩展电路主要由:模拟/数字转换电路(ADC)、数字/模拟转换电路(DAC)、外部通讯接口电路(SCI、SPI)和辅助电路等组成。本研究通过 ATC80C51 单片机来对步进直线电机实现实时控制^[7-10]。

本研究将开关电源 +5 V 的直流电压通过 REF3330 芯片,消除约为 40 mV 的公频干扰,得到一个精度为 0.15% 的 +3 V 稳定的直流电压。通过电位器的分压从而得到一个 0 V ~ 3 V 的电压值,作为 A/D 的采样电压值,通过电位器来调节分压,从而控制阀芯转速。本研究通过压力传感器对液压缸的输出压力波

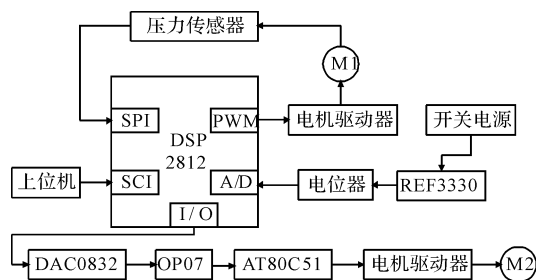


图2 数字控制器的结构框图

形的测量可以得到压力变化的频率,从而得到阀芯的转速。压力传感器的力量程为 0 kN ~ 125 kN,对应电压量程为 0 V ~ 10 V,通过波形幅值的电压值测量可以得到出力的大小,从而实时监测液压平台的工作频率及开口大小并为实现闭环控制提供实时数据。

2.1 电源模块

TMS320F2812 的内核电压为 1.8 V,Flash、ADC 及 I/O 口电压为 3.3 V,采用双电源电压供电方式。为了提高系统的稳定性及延长器件的寿命,需要保证上电过程中,所有模块具有正确的复位状态,这就要求处理器满足一定的上电和掉电次序。本研究采用 TPS767D318 芯片将 +5 V 电压转换为 +3.3 V 和 +1.8 V 的两种输出电压,并且该芯片是待 +3.3 V 输出稳定后再输出 +1.8 V,正好满足 TMS320F2812 外围模块先上电,核心模块后上电的时序要求,同时该芯片的复位信号也可以供 DSP 使用。

2.2 DAC 模块

上位机通过串口向 DSP2812 发送数据,DSP2812 中的 SCI 的接收器和发送器接收、缓冲并传输数据,通过 GPIO 口向 DAC0832 芯片发送 8 位数字量信号,此外 DSP2812 还向 DAC0832 芯片发送 PWM 脉冲信号来控制数据的锁存。芯片采用 R-2RT 型电阻网络,对参考电流进行分流完成 D/A 转换。转换结果以一组差动电流 I_{OUT1} 和 I_{OUT2} 输出。该系统采用了单缓冲方式,使 $\overline{WR_2}$ 和 $\overline{XFER}$ 都为低电平,DAC 寄存器的锁存选通端得不到有效电平而直通;此外,本研究使输入寄存器的控制信号 $\overline{ILE}$ 处于高电平、处于低电平,这样,当 $\overline{WR_1}$ 端来一个负脉冲时,就可以完成 1 次转换。再将电流值转换为电压量,并通过 OP07 放大器放大后输出。

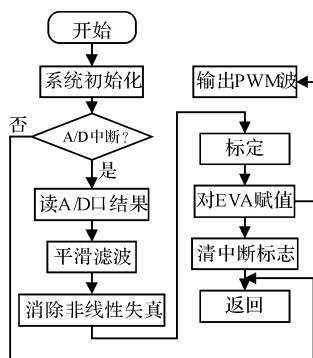
2.3 伺服电机驱动模块

SN75174 是一个三态输出的差分线路驱动器。该驱动器多点总线传输速率高达 4 Mbit/s,具有较大的正负电压适用范围,使得在复杂的环境中的路线也能

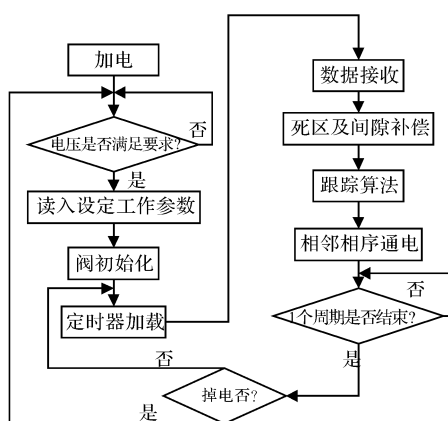
很好地适用。DSP2812 中的 GPIO 口输出的 PWM 波经 SN75174 转化为差分 PWM 波传送给电机控制器。

3 基于 DSP 的高频激振台控制器软件实现

对于伺服电机的控制系统,开环时流程图如图 3(a)所示,对于直线电机的控制系统,程序流程图如图 3(b)所示。



(a) 伺服电机控制系统程序流程图



(b) 直线电机控制系统程序流程图

图 3 控制系统程序流程图

3.1 A/D 模块

本研究使用 ADC 模块进行采样和模数转换时,首先需要对 ADC 时钟进行预标定,该设计采用了级联模式,将自动排序器设置成一个单通道的排序器,一次转换可以采集 16 个数据,每次转换的结果由低地址向高地址依次保存在相应的结果寄存器中。输入模拟电压和采样结果的关系为:数字值 = $4\,095 \times (\text{输入模拟电压} - \text{ADCLO})/3$ 。ADC 输入通道选择排序寄存器允许对同一个通道进行多次采样,以获得更高的采样精度,程序中选择对 ADCINA0 进行采样,一次自动排序对其采样 16 次。由于 ADC 接收到的电压难免存在干扰噪声,需要对其进行数字滤波,本研究采用对采样结果利

用冒泡法进行大小排序后去掉最大、最小值,同时对数值进行了 4 点平滑滤波。

3.2 事件管理器模块

本研究采用事件管理器(EVA)产生 PWM 波形,首先对定时器寄存器的参数进行设置,通过对通用定时器控制器 T1CON 的设置来完成对计数器模式的选择和定时器时钟的预标定,从而可得:定时器输入脉冲时间 = $(1/\text{外部时钟频率}) \times 1/PLL \times HISPCP \times \text{定时器预标定系数}$ 。在开环控制时需对 A/D 的采样值 0 ~ 4 095 进行标定,也可以通过 DSP2812 串行通信接口,利用上位机的串口调试软件通过 SCI 模块对 T1PR 来进行赋值。

3.3 非线性跟踪控制

控制阀芯转速的交流伺服电机有一定的过载能力,但在高速运转时亦会出现由于负载过大、速率变化过快导致的停转。电机的停转将直接造成激振台阀芯的堵转。因此必须通过软件设计对控制信号 a 的速率上限做一限定。跟踪算法流程框图如图 4 所示。

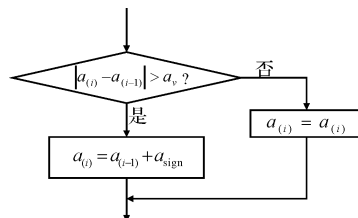


图 4 跟踪算法流程框图

对于控制阀芯位移的步进直线电机,由步进电机失调特性得知,当 $Z_i |\theta_m - \theta_r| \leq \pi$ 时,方能保证步进电机转子的角位移 θ 和旋转磁场之间的角位移之间保证同步,所以本研究对控制信号 θ_{mc} 变化的速率上限需做一限定。

4 系统实验与结论

控制器实物图及激振平台实物图如图 5、图 6 所示。控制器的分辨率为 2 500 P/REV,所以:电机转动一圈的时间 = $T_1 PR \times 0.356 \times 10^{-6} \text{ s} \times 2\,500$ 。

高频液压阀传动机构的传动比为 4,阀芯开口为 16,因此:

$$\text{激振频率} = \frac{60 \text{ s}}{T_1 PR \times 0.356 \times 10^{-6} \text{ s} \times 2\,500} \times 64$$

为了突出高频段和低频段的控制,本研究采用多段函数法进行标定。当采样值为 0 ~ 640 时, $T_1 PR = a/16 + 20$,电机转速为 3 370.8 r/min ~ 1 123.6 r/min;当采样值为 640 ~ 3 200 时, $T_1 PR = 5a$

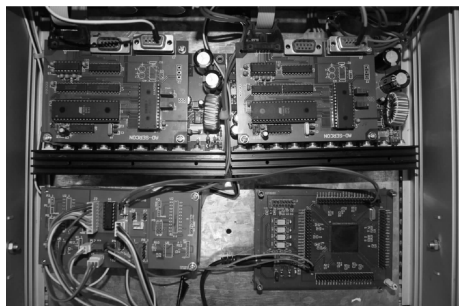


图 5 控制器实物图

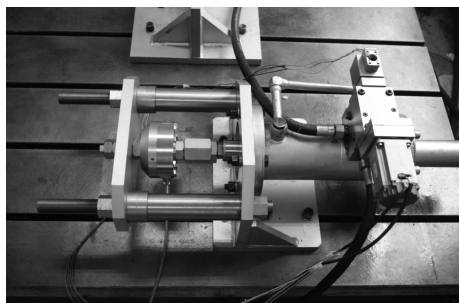


图 6 激振平台实物图

-3 140, 电机转速为 1 123.6 r/min ~ 5.2 r/min; 当采样值为 3 200 ~ 4 095 时, $T_1 PR = 58 a - 172 740$, 电机转速为 5.2 r/min ~ 1.0 r/min。

激振台激振频率与 A/D 采样值理论标定曲线如图 7 所示。实际实验中的输出力波形如图 8 所示, 通过左边的输出力波形中的频率及相对应右边的光电编码器中 A 相电压值的变化频率可以看到, 伺服电机的转速和高压液激振台的激振频率基本一致。

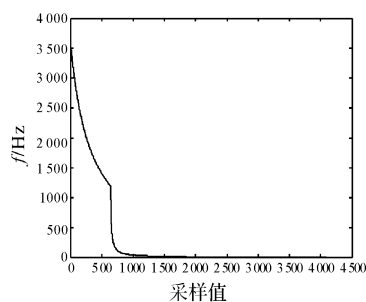


图 7 激振频率标定曲线

在压力为 5 MPa, 频率为 800 Hz 时, 阀芯在不同开度下对应的波形如图 9 所示。

实验表明, 在系统压力相同的情况下, 本研究通过直线电机对阀芯轴向位移的调节来实现阀芯开口大小的调节, 从而实现对输出压力一定范围内大小的控制。

5 结束语

综上所述可以得出结论, 基于 DSP2812 的高频电液激振台控制器能够对阀芯的开口大小实现连续控制从而

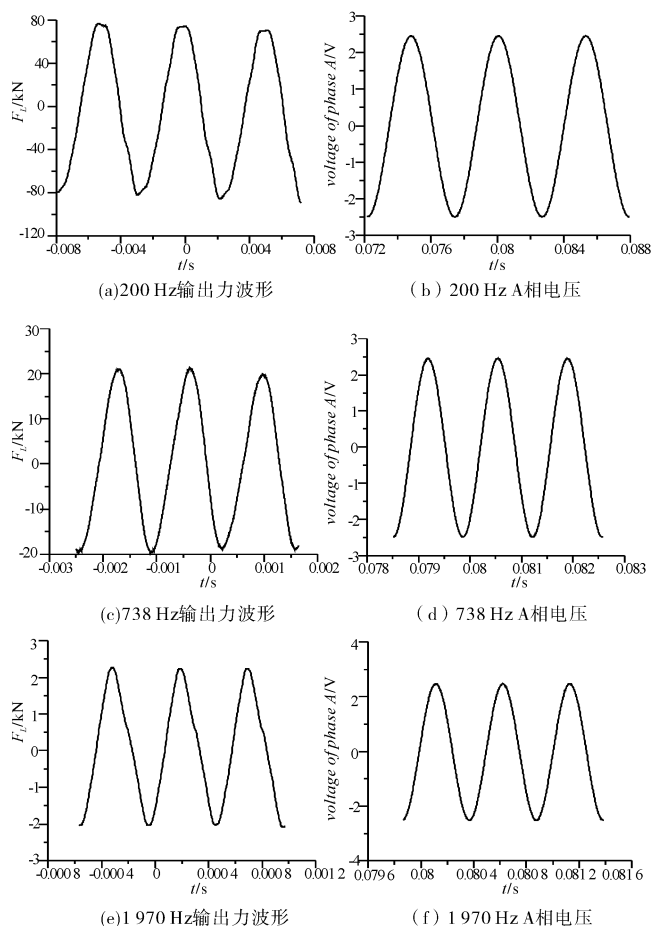
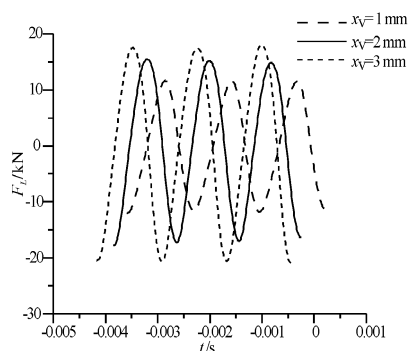


图 8 激振力波形图和光电编码器电压波形

图 9 $f = 800$ Hz 下不同开口大小输出力波形

实时调节激振台的输出力大小, 同时控制同步伺服电机来对阀芯的转速进行控制以精确地控制高频激振频率, 实现了电液激振平台高频响及大推力的设计初衷, 激振频率达到了 3 000 Hz 的设计标准。本研究目前主要在开环状态下进行控制, 接下来的研究中将对高频电液激振控制器进行闭环控制, 从而进一步提高控制的精度。

(下转第 78 页)

制。由于选针电磁铁的电阻只有 $24\ \Omega$, 当采用 $12\ \text{V}$ 电压源时, 电磁铁上的输出电流大约为 $0.5\ \text{A}$ 左右, 该手套机上共需要前后两侧共 92 个选针电磁铁, 而每侧的电磁铁数为 46 个, 故该选针电磁铁驱动板需要输出的电流比较大, 这里每路电磁铁需要一个 NMOS 管进行驱动; 由于主控制器和选针驱动的电压不匹配, 并且为了防止共地干扰, 这里采用了光电隔离模块。

由于选针模块是针织机的关键部件, 对电磁铁的要求较高。作用在铁磁物体上的电磁吸力, 其大小与磁力线穿过磁极的总面积及气隙中磁感应强度的平方成正比, 与空气导磁系数成反比, 当气隙较大时还要加入修正系数。由于磁极表面的面积由选针的间距决定, 当加在电磁铁安匝数越大时, 电磁铁的吸力也越大, 并且衔铁的行程和重量也影响电磁铁的吸力大小。电磁铁的种类有螺管式、盘式、拍合式、 Π 形等, 由于螺管式电磁铁的行程最长, 吸力也最大, 综合考虑以上因素及安装, 本研究选用了直流螺管式电磁铁来达到选针的功能。

4 结束语

基于 ARM 的全自动电脑提花手套机是新一代的手套机, 不仅实现了手套机的全部功能, 简化了手套机控制系统的结构, 而且有效解决了手套机高效性和稳定性的问题。同时由于该手套机采用了电磁选针技

术, 有效解决了滚筒选针带来的弊端, 能够在线更换编织手套的花型样式, 而且实现了提花的功能, 使全自动电脑手套机的自动化水平进一步提高。

参考文献 (References):

- [1] 夏凤林, 陈展云. 针织机械的发展动向[J]. 纺织导报, 2005 (8): 81-82.
- [2] 陈国芬. 针织产品与设计[M]. 上海: 东华大学出版社, 2010.
- [3] LAGA M B, PENCIUC M, DAN D. knitted gloves as accessories[J]. **Knitting International**, 2010, 38(8): 47-50.
- [4] 宋广礼. 中国国际纺织机械展览会暨 ITMA 亚洲展览会 (ITMAASIA + CITME 2008) 针织机械述评[J]. 针织工业, 2005(9): 10-16.
- [5] 詹建潮, 王庆九, 陈宗农, 等. 面向网络的全自动手套机控制系统研制[J]. 纺织学报, 2004, 25(4): 110-112.
- [6] HUNTER B. Glove knitting machine technology [J]. **Knitting International**, 2004, 111(1320): 22-23.
- [7] TAKUYA M. Gloves and Method of Knitting the Same: US6981392B2[P]. 2006-01-03.
- [8] 朱 昊, 汪木兰, 左键民, 等. 电脑全自动手套机控制系统设计[J]. 机电产品开发与创新, 2006(9): 31.
- [9] 张宇, 韩强, 宋玉顺. 基于 ARM 和 DSP 的嵌入式手套机控制系统[J]. 针织工业, 2009, 3(3): 16-19.
- [10] NXP. LPC17XX data sheet[M]. Eindhoven: NXP, 2009.

[编辑: 张 翔]

(上接第 69 页)

参考文献 (References):

- [1] FOX L G. Electrodynamic shaker fundamentals[J]. **Sound and Vibration**, 1997, 31(4): 14-20.
- [2] VAES D, SMOLDERS K, SWEVERS J, et al. Multivariable Control for Reference Tracking on Half Car Test rig [C]//Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and control, Seville, Spain: [s. n.], 2005: 6498-6503.
- [3] 韩意斌, 俞浙青, 阮 健. 新型高频电液激振器[J]. 液压与气动, 2007(6): 67-69.
- [4] 苏奎峰, 吕 强, 常天庆, 等. DSP 原理及 C 程序开发[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.
- [5] 杜志强, 黄桂琴, 艾 武, 等. 基于 DSP 的直线直流电机数字控制器设计[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(27): 98-101.

- [6] 阮 健. 电液(气)直接数字控制技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1999.
- [7] 骆涵秀, 李世伦, 朱 捷, 等. 机电控制[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1994.
- [8] 马国伟, 孙汉旭, 贾庆轩, 等. 无刷直流电动机的 DSP 控制器设计与实现[J]. 北京邮电大学学报, 2005, 28(3): 96-99.
- [9] MASKREY R H, THAYER W J. A brief history of electrohydraulic servomechanism [J]. **ASME Journal of Dynamic Systems Measurement and Control**, 1978, 100(2): 110-116.
- [10] RUAN Jian, BUTON R, UKRAINETS P. An investigation into the characteristic of a two dimensional "2D" flow control valve [J]. **ASME, Journal of Dynamic Systems Measurement and Control**, 2002, 124(1): 214-220.

[编辑: 张 翔]