

混合磁悬浮系统的数字控制研究

张士勇

(长安大学 基础部, 陕西 西安 710064)

摘要:研制一种磁悬浮数字控制系统。采用 TMS320VC33 数字信号处理器(DSP)进行设计,对采样信号通过硬件、软件滤波相结合的方法有效地抑制了干扰,采用位置式和增量式相结合的 PID 控制算法,实现了磁悬浮装置稳定、精确的控制功能。

关键词:数据采集;磁悬浮;数字控制

中图分类号:TP273 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-274 X (2003)05-0613-03

磁悬浮由于无接触而避免了物体之间的摩擦和磨损,设备的使用寿命大大延长,省去了复杂的润滑系统,改善设备的运行条件,因而在交通、机械、冶金、材料等各个方面有着广阔的应用前景,特别是由于无摩擦、无需润滑的优点,故在高速旋转机械中得到迅速发展和应用^[1,2]。高速磁悬浮轴承被认为是未来的主导轴承,高速磁悬浮列车以其在技术、高效、经济和环保方面的独特优势也被认为是 21 世纪交通的发展方向。近年来,我国的磁悬浮技术研究发展迅速,为磁悬浮技术的推广应用奠定了坚实的基础。磁悬浮轴承是集电磁学、机械学、自动控制等学科为一体的高科技产品,有许多理论和技术问题需要解决,磁悬浮控制系统是典型的非线性、本质不稳定和参数不确定系统。本文对永磁、电磁混合磁悬浮系统的数字控制进行了研究,给出了 DSP 为核心的 A/D 转换、软、硬件滤波数据采集、控制系统,最后在磁悬浮装置上进行了实验。

1 系统结构

系统包括硬件和软件两大部分,硬件部分采用 TI 公司生产的 TMS320VC33PS 为核心进行设计调试,包括传感器、A/D 转换电路、硬件滤波电路、DSP 控制器、D/A 转换电路等^[3,4],其结构框图如图 1 所示。软件包括数据采集、处理子程序和控制子程序。

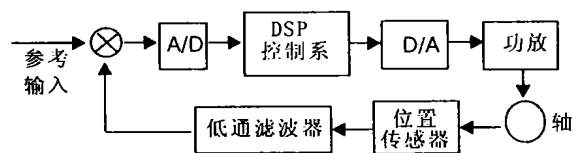


图 1 系统结构框图

Fig. 1 Framework of system

2 系统各部分功能

2.1 VC33PS 简介

VC33PS 是 TI 公司的 TMS320VC33 芯片的实时开发仿真板,包含有 DSP 芯片 TMS320VC33, 1M×32 位 RAM, 256K×32 位 FLASH, 32 通道、14 位分辨率的 A/D 输入, 32 通道、12 位分辨率的 D/A 输出, PCI 接口、JTAG 接口等部分。VC33PS 有 1M×32 位的片外扩展 SRAM4 块,每一块由两片 CY7C1041(256K×16 位静态 RAM 芯片)组成。

2.2 A/D 转换电路

磁悬浮轴承需要对 5 路信号同时采样,我们选择的 A/D 部分采用的是两片 MAX125 芯片。该芯片为 14 位、8 通道 A/D,其输入分为两组,每一组的 4 个输入同时采样。通过向各芯片的 A/D 寄存器写入一个控制码,可以设置其通路数。向 A/D 中断寄存器写入一个控制码,可以使各片 MAX125 中断。系统提供软件触发和定时器触发两个触发源。一个

收稿日期:2003-05-14

基金项目:教育部科学技术研究重点项目(重点 02165)

作者简介:张士勇(1958-),男,山东东阿人,长安大学副教授,从事近代物理理论与应用研究。

触发信号可同时启动两片 MAX125 采样,两次读取的时间间隔应足够大,否则,MAX125 来不及反应。定时器计数值与 A/D 采样率 f 的关系式为:定时器计数值 = $75\text{MHz} \div 4 \div f$ 。模拟输入的幅值为 $-5\text{V} \sim +5\text{V}$,当输入电压为 0V 时,A/D 采样值为 0;若为负电压,将采样值与 $0\text{x}\text{FFFFC000}$ 相与,即将符号为扩展到 32 位并转换为浮点数,即可得到输入的电压值。

2.3 硬件、软件滤波

采样系统中的噪声是由传输线路引起的,其幅度约为 200mV 。在多次实验中,改变传输线路,噪声的幅度也随之改变,但是却无法消除。我们首先在传感器输出端加入 RC 低通滤波器,对高频噪声进行滤除。经过滤波器后发现采样得到的信号仍然有毛刺,我们又采用程序滤波“防脉冲干扰平均值法”。这种方法兼容了算术平均值法和中值滤波法的优点,在快、慢速系统中能削弱干扰,提高控制质量。经过硬件、软件滤波后的波形的比较,如图 2 所示。图中上面的曲线为只经过低通滤波器采样,下面的曲线为再经过软件滤波后得到的。从图 2 可以看出,经过硬件低通滤波和软件滤波后,传输噪声的影响已经很小了,只有 $2 \sim 5\text{mV}$,从而保证了 A/D 采样部分的准确性、稳定性。

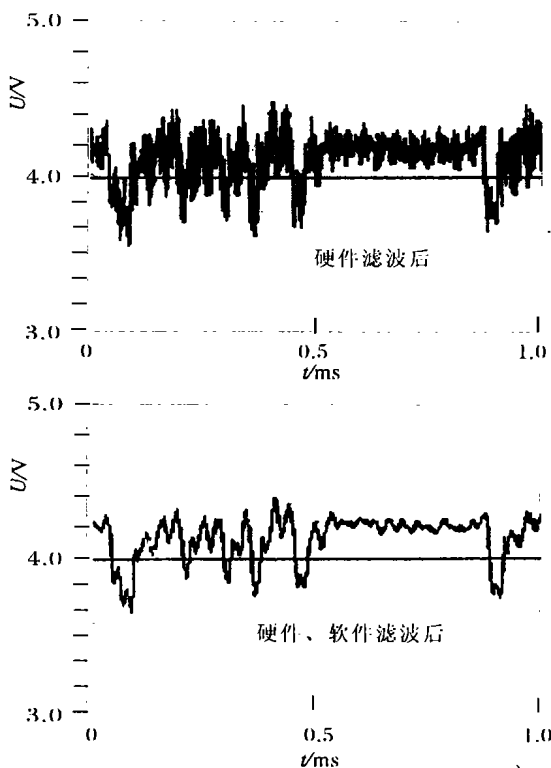


图 2 硬件、软件滤波后的信号波形图

Fig. 2 The signal waves after integrating hard-and-soft-ware filter

2.4 D/A 转换电路

磁悬浮轴承需要同时控制 10 路电压信号,所以需要 10 路 D/A 输出。我们采用 3 片 DAC7724。该芯片为 12 位、4 通道 D/A。输出电压的建立时间为 $10\mu\text{s}$,因此将 A/D 的采样率设置为 $1/12\mu\text{s}$ 。D/A 数据锁存:通过向一个 D/A 通道的 D/A 寄存器写一个 D/A 数据,则该数据就被锁存到该 D/A 通道。D/A 电压输出:D/A 数据被锁存后,必须能使 D/A 输出寄存器,DAC7724 才能开始 D/A 转换。D/A 数据输出电压的幅值为 $5 \sim 10\text{V}$ 。

2.5 控制软件

采用数字 PID 控制算法,对采样值和输出电压值进行判断,使位置式和增量式两种方式相结合,避免了导致大幅度超调的积分累积效应,还保证了控制精度。程序流程如图 3 所示。

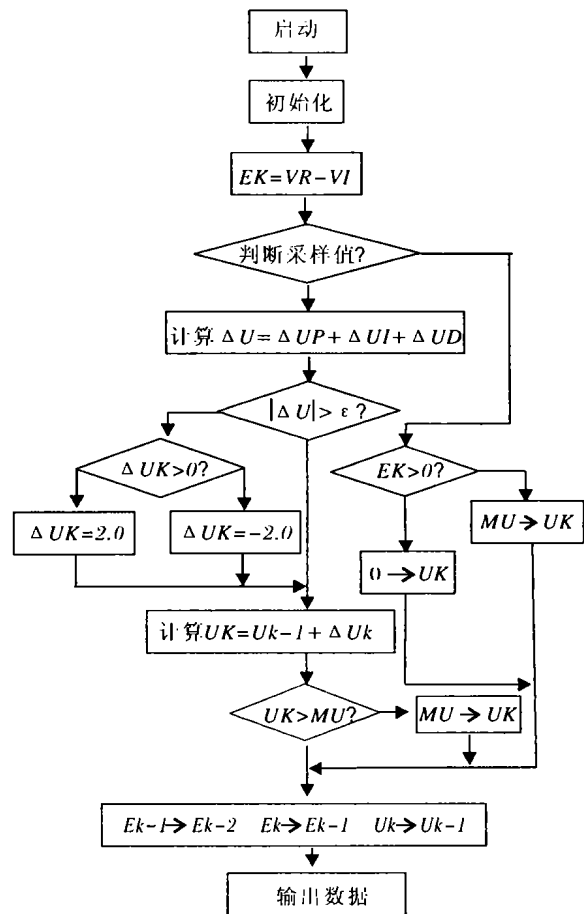


图 3 控制算法流程图

Fig. 3 Control algorithm process

3 实验结果

我们在永磁、电磁混合磁悬浮装置中进行了实

验,该系统克服重力所需的磁力主要由永磁铁承担,这样既节省了能量消耗,又减小了磁悬浮轴承的空间。将传感器输出信号和 PID 输出控制信号同时采样,结果如图 4 所示。其中上面的波形图为传感器输出信号,下面的波形图为 PID 输出的控制信号。比较二者可以看出:在磁悬浮的控制过程中,当转子轴上升时,传感器输出值减小,这时应增加向下的拉力,即 PID 输出值应当增大;当转子轴上升到最高点,传感器输出值为最小,这时,向下的拉力也达到

最大,应逐步减小 PID 输出值;当转子轴基本稳定在平衡点时(传感器输出约为 4.135 V),下边的拉力也应稳定在一个稳定值上(0.635 V),图 4 的结果验证了理论计算值的正确性。对于不同的控制参数 K_P , K_I 和 K_D 值,其系统的性能有所不同,经过多次实验,稳定状态下的 K_P , K_D 值 $K_P = (69 \sim 74)$, $K_D = (6 \sim 30)$ 。

4 结 论

本文研究是基于 DSP 的数据采集、处理与控制系统在磁悬浮装置中得到了成功的应用。实验结果表明:经过硬件、软件滤波相结合的方法,能有效地抑制干扰,特别是软件滤波对于去除毛刺效果很好,从而保证了数字信号的精度,满足了控制系统的要求。控制算法采用位置式和增量式 PID 相结合的方法比单独采用增量式 PID 算法的控制精度高。

参考文献:

- [1] 刘淑琴,徐 华,虞 烈.基于 H_∞ 频域整形的微积分控制参数在电磁轴承中的应用[J].西安交通大学学报,2001,(6):625-628.
- [2] TAKESHI M, KATSUMI S, MASAYUKI H, *et al.* A Miniaturized Levitation System With Motion Control Using a Piezoelectric Actuator[J]. IEEE transactions on control systems technology, 2002, 10(5): 666-669.
- [3] 温阳东,杨兴明.基于 TMS320C2F206 和 USB 的数据采集处理系统[J].合肥工业大学学报,2002,25(4): 521-523.
- [4] 张雄伟,曹铁勇. DSP 芯片的原理与开发应用.第 2 版[M].北京:电子工业出版社,2000.

(编辑 姚 远)

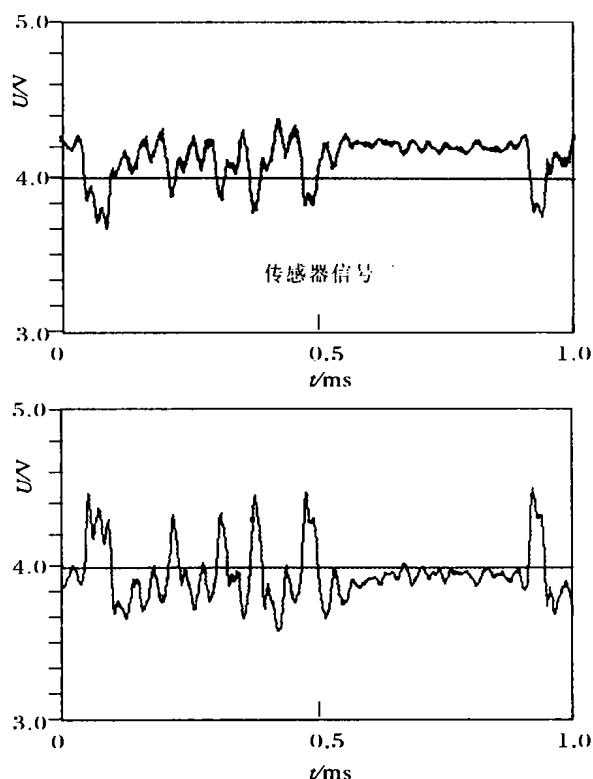


图 4 传感器输出信号和 PID 输出控制信号

Fig. 4 Sensor sendout signal and PID send out control signal

The digital-control research for magnetic suspension system

ZHANG Shi-yong

(Department of Basic Courses, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: A digital-control system for magnetic suspension is introduced. The system uses the digital signal processing (DSP) named TMS 320 VC 33 to design program. It has used the method of integrating hard-and-software filtering for sampling to restrain interference efficiently. It has used the PID algorithm by integrating the position model and increment model and realigned the magnetic suspension equipment control function stably and accurately.

Key words: numeral collection; magnetic suspension; digital; control