维普资讯 http://www.cqvip.com

文章编号:1008-0570(2007)08-1-0011-02

基于 DSP2812 磁力轴承控制系统的研究

A study on Control System of Magnetic Force Bearing Based on DSP2812

(武汉理工大学)商丽娟 胡业发
SHANG LIJUAN HU YEFA

摘要:本文讨论了以 TMS320F2812 为核心的磁悬浮控制系统,并利用 Simulink 进行动态仿真,给出仿真结果,其结果对研究磁力轴承稳定性有一定的意义。同时对输入信号进行抗混叠滤波设计以提高输入信号的精确性,从而提高了整个系统的精度。

关键词:磁力轴承;TMS320F2812;Simulink;抗混叠滤波
中图分类号:TP273+.1 **文献标识码:**A

Abstract: The control system of magnetic bearing based on digital signal processor TMS320F2812 is discussed. The simulation result was given by making use of simulink, it is important for us to study the stability of magnetic bearing. The design of anti-aliasing filter for the input signal can improve the accuracy of the signal to improve the precision of the whole system.

Key words:magnetic force bearing, TMS320F2812, simulink, anti-aliasing filter

技术创新

引言

磁力轴承是一种利用电磁场力将转子悬浮于空间,不需要任何介质而实现承载的非接触式支承装置,与传统的滚动轴承和滑动轴承相比,磁力轴承明显的特点在于没有机械接触,不需要传力介质,而且其支承力可控。具有传统轴承无法比拟的优越性能,并且具有良好的转子动力学特性,在各种高科技领域有着广阔的前景。

目前,磁力轴承一般采用数控系统,数字控制的磁力轴承可以采用单片机、PC 机和数字信号处理器(DSP)来实现,采用 DSP 来实现时无疑可以使系统的性能得到很好的改善,本文介绍的是 TI 公司的 TMS320F2812 在磁悬浮系统中的典型应用。

1 磁悬浮控制系统组成

磁悬浮系统一般由位移传感器、控制器、功率放大器、电磁铁、转子等组成。数字控制部分由 DSP 及接口电路组成,完成信号采集、控制运算、PWM 转换、动态调试等任务,实现对磁力轴承的控制。

2 TMS320F2812 芯片介绍

TI 公司的 TMS320F2812 数字信号处理器与前代 DSP (LF2407A 和 F240)相比功能更强,满足磁力轴承控制器实现复杂控制所需高性能控制芯片的要求。该处理器是 TI 公司最新推出的 DSP 芯片,是目前国际市场上最先进、功能最强大的 32 位定点 DSP 芯片之一。它既有数字信号处理能力,又具有强大的事件管理能力和嵌入式控制功能。应用该芯片将大大提高了磁悬浮轴承控制器的处理能力,同时该芯片对 C 语言的高编译效率,使得软件的开发周期大大缩短。

本系统中,功率放大器采用 PWM 信号控制的 K1120 的大功率开关功放,位移传感器采用的是湖南天瑞仪表公司的电涡流位移传感器。

3 硬件设计

3.1 系统的硬件电路图

磁力轴承的控制系统是一个 5 自由度的控制系统,采用的是分散控制方法主要由控制系统和功率放大器两大部分组成。同时有两个控制环,控制外环是由控制系统构成的位置环,控制内环是由功率放大器构成的电流环,这是因为在磁力轴承系统中一般采用的是电流控制方案。

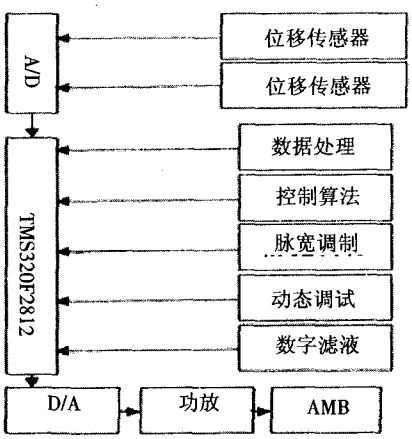

图 1 控制系统原理图

Fig1 Schematic block diagram of the control system

本系统设计所采用的硬件电路如图 1 所示,DSP 完成了诸如数据处理、控制算法、脉宽调制、动态调试以及数字滤波等功能,是整个控制系统的核心。

3.2 A/D 转换

A/D 采样通道在设计过程中首先要考虑的是采样频率问题。在 60000r/min 的磁力轴承系统中,转子的相应基频达 1KHz。按照一般经验要求数字控制系统的采样频率大于 10KHz 才有满意的效果,9 个通道复用 A/D,要求其采样频率大于

商丽娟:研究生
基金项目:国家自然科学基金资助项目"磁悬浮硬盘转子精度控制理论与技术的研究"(50375113)

维普资讯 http://www.cqvip.com

90KHz。

TMS320F2812 的 ADC 模块是一个 16 通道、12 位分辨率，具有流水线结构的模—数转换器。快速转换时间运行在 25MHz，并内置双采样保持器，在速度上可以满足磁力轴承控制系统中 9 路采集的需要。

但 2812 内部的 ADC 最多只能有两路同时进行采样，不能满足磁悬浮系统中多个传感器无相位差采集的需求。故选取 TI 公司的模数转换器 ADS7800,12 位,3us。在本系统中可根据需要扩展到 9 片，控制系统所要求的传感器信号之间没有相位差，所有模数转换器必须同时转换，控制转换开始信号必须是同一个信号，然后再分别读取转换得到的数据，可以用 GAL16V8 来实现。ADS7800 的片选端接地，表示该芯片一直处于选中状态，只要 DSP 向 GAL 的 IN 端口进行写操作，那么所有扩展的 ADS7800 都进行了一次模数转换操作。图 2 是其电路图。

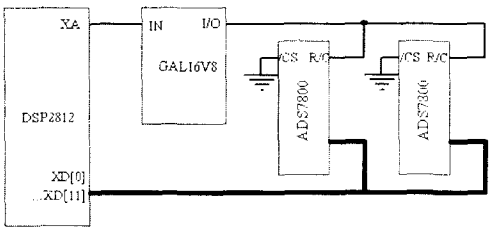

图 2 A/D 转换电路

Fig2 Circuit of A/D conversion

3.3 D/A 转换

传感器将磁力轴承的五自由度位移信号转换成电信号，由 A/D 采样到 DSP，经过算法运算后，经 D/A 输出到功率放大器。D/A 转换将 DSP 控制器的数字控制量转换成连续的功率放大器电流给定信号。由于直接作用在被控对象上的是电流模拟信号，因此经处理器处理后的数字信号必须经过数字信号到模拟信号的转换才能作用到被控对象上，以实现数字控制器的控制功能。因此，F2812 与 D/A 转换器的连接也是硬件系统设计中重要的部分。在本系统中，采用的是 MAXIM 公司的 12 位高精度 D/A 转换芯片 MX7545A 构成数模转换电路，位置采样数据在 DSP 内部经过算法处理后，直接送入 D/A 板，变成模拟电压输出给功放电路。

3.4 抗混叠滤波的设计

从传感器输出的信号经一系列调整后最终需要被转换为数字信号。在信号采集之前，外界电路中产生的干扰有可能对需要采集的电信号产生影响。例如开关管在开关状态产生的高频信号可能会叠加在传感器低频信号之上，从而产生信号混叠。为了保证采样后的信号能真实地保留原始模拟信号的信息，采样信号的频率必须至少为原信号中最高频率成分的 2 倍。因此在对传感器信号采样之前，需要对输入信号进行抗混叠滤波。

设采样频率为 $2f_c$，根据采样定理，不会引起混叠的被采样信号截止频率为 f_c，以满足采样定理。要保证 f_c 以内的信号不受干扰，应保证 $1.5f_c$ 以上的信号幅度必须在 30%以下。9 路传感器信号，每路的采样频率确定为 10KHz。

MAX291 是 MAXIM 公司推出的使用方便的 8 阶(8 个极点)巴特沃斯型开关电容型有源低通滤波器，其转折频率 f_c 既可由外部时钟信号控制，也可以利用片内时钟源外接一电容产生时钟信号进行控制。为保证信号通过时失真小，并过滤由钟频噪声引起的干扰，MAX291 采用了较高的采样比：$f_{CLK}:f_c=100:1$。在本系统中，采用的是+5V 单电源供电，此时的输入信号在+1V~+4V 范围内可取得较好的效果，这是由于此时器件非线性产生的谐波畸变较小的缘故。图 3 为其工作电路图。

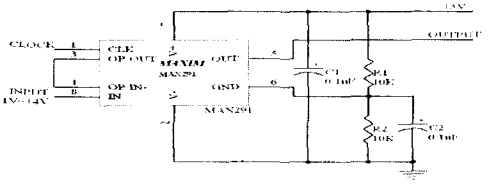

图 3 抗混叠滤波电路

Fig3 Circuit of anti-aliasing filter

4 系统仿真

以下是用 Matlab 对系统单自由度作的仿真，采用的是传统的 PID 算法，由调试经验可以得出轴向 PID 控制器参数为 Kp=95, Ki=10000,Kd=0.213，径向水平方向 PID 控制器参数 Kp=95,Ki=10000,Kd=0.213，径向垂直方向的 PID 控制器参数为 Kp=45,Ki=20000,Kd=0.12 以及系统其它参数，由仿真曲线可知，使用了抗混叠滤波和对信号的无相位差采样之后，系统的动态性能得到较大提高。图 4 为径向模型仿真界面，图 5 为轴向模型仿真界面。

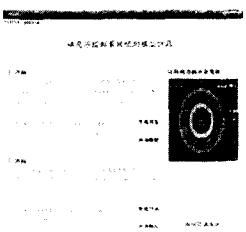

图 4 磁力轴承控制系统仿真(径向)

Fig4 Simulation of the control system

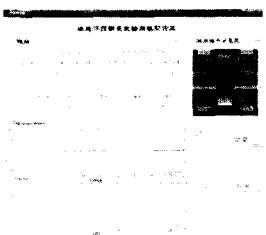

图 5 磁力轴承控制系统仿真(轴向)

Fig5 Simulation of the control system of the magnetic force bearing(axial)

5 系统实验

图 6 为整个系统在电路得到改进前后的实验波形图，左边为未改进电路时得到的实验波形，右边为在整个电路中加入抗混叠滤波和模数同时转换电路后的实验波形，可以明显的看出，控制电路得到改进后，控制系统的控制精度有了明显的提高，转子的振幅变小 (由 40um 减小到 30um)，有利于转子的稳定运行，同时具有比较好的跟随效果，响应速度快，超调小，噪声低，转子在线圈加电受控后很快进入到稳定悬浮状态。

6 结论

(1)采用 TMS320F2812 设计的磁力轴承控制器，由于芯片集成，使得硬件设计简化，提高了系统的可靠性。

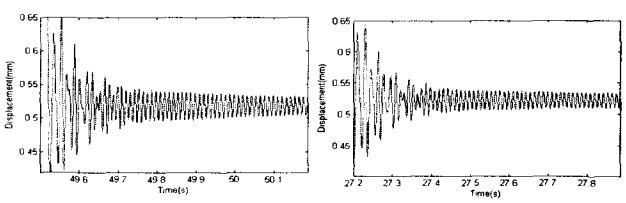

图 6 控制电路改进前后的仿真结果对比

Fig6 Comparison of the result of simulation of the improved control circuit

(下转第 51 页)

维普资讯 http://www.cqvip.com

程序解释如下:语句(1)(2)(3)是定义了变量及其值,e、ec、k 分别表示具体控制中要输入的偏差量值、偏差变化率值、比例因子值。语句(4)~(8)查询出 ec 的域,由于查出的结果可能重叠,查询时使用 ORDER BY DESC 子句可以使结果从大向小排,ec_belong 提取默认的第一列值,查询结果存储到临时变量 ec_belong。语句(9)~(12)查询出控制表的控制值并将查询结果存储到 Temp2,语句(13)是将查询结果乘以比例因子,语句(14)输出最后结果。

使用完 DataReader 后应该显式的关闭 DataReader 对象,程序关闭时还需关闭 sqlConn 对象,代码如下:sqlConn.Close()。

如果输入控制量 e、ec、k 是(5, 3, 1),则其输出的查询结果为 0。

4 在自学习模糊控制系统使用以及控制规则的修改

实际控制中,为了满足现场控制的要求,经常需要进行控制规则修改以及能够自动学习,以实现一种有效的全局控制方法。实现上述过程需要进行控制参数的调整。

可以看出,使用 SQL 查询语句设计的模糊控制器以数据表为基础,控制表中内容是直接的输入量和输出量,具有直观、方便的特点,操作时不需要生成新的隶属表。如果要进行控制规则修改或参数自调整,只需要修改相对应表的内容即可。

SQL 有直接、简便的数据表操作语句,使用 SQL 中的 UPDATE 命令能够轻松实现对现场数据表中资料的修改,UPDATE 命令既可以一次修改一行资料,也可以一次修改多行资料。要使用 SQL 的 UPDATE 命令,需要使用 Command 对象的 ExecuteNonQuery()方法执行 UPDATE 语句。

例如,要使"kz_table"中 符合条件"e 下界=2"的行中 e 下界项修改成 3,SQL 语句如下: UPDATE kz_table SET ec 负大= 3 WHERE ec 负大=2

具体代码如下:

……' 连接到一个数据库

sqlCmd.CommandText = " UPDATE kz_table SET ec 负大= 3 WHERE ec 负大=225"

sqlCmd.ExecuteNonQuery() '执行 SQL 命令

SQL 语句中,WHERE 子句决定要修改的行,SET 子句指出如何修改。如果更深一步操作,可以使用删除一行(DELETE)语句和增加一行(INSERT)语句。

5 结束语

程序运行的环境为 WINDOWS 2000、.Net FrameWork SDK Beta 2,数据库是 SQL Server 2000,并调试通过。因 VB.NET 中有优化操作 SQL Server 2000 数据库的类和方法,使算法能够充分利用 SQL 语句对数据表进行处理、查询,大大节省了计算时间和计算量。使用 SQL 查询语句设计的模糊控制器直观、方便,具有设计简单、易于维护的特点。

本文创新点:本文在 VB.NET 编程环境中,结合 SQL 查询语句设计模糊控制器,代替了原来设计中的 IF-THEN 语句。算法能够充分利用 SQL 语句对数据表进行高速处理、查询,具有直观、方便、设计简单、易于维护的特点。系统给出了在 VB.Net 编程环境中实现的实例。

参考文献

[1]金天荣.SQL Server 的查询优化方法的设计和实现[J]微计算机信息,2006,6-3, P239-241

[2]刘增良.模糊技术与应用选编(2)[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1997

[3]杨得新. SQL SERVER 2000 开发与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2004

作者简介:邢文生(1969-),男,汉族,控制工程硕士,焦作大学计算机系副教授,研究方向:计算机控制系统。

Biography: Xing Wensheng (1969-),male,han,postgraduate,anassociate professor in computer department of Jaozuo University,research direction:computer control system.

(454003 河南焦作 焦作大学计算机系)邢文生

(454003 河南焦作 焦作大学现代教育技术中心)李希臣

通迅地址:(454003 河南省 焦作市焦作大学现代教育技术中心)李希臣

(收稿日期:2007.6.13)(修稿日期:2007.7.15)

(上接第 12 页)

(2)在整个磁力轴承控制系统中,功放的开关管在开关状态产生的高频信号可能会叠加在传感器低频信号之上,基于这个原因采用了抗混叠滤波的设计,同时为了提高系统精度而设计的无相位差采样电路,使整个控制系统的精度得到提高,性能得到优化。

(3)适当改进控制算法、提高功放频响和选用精度较高的传感器以及 A/D,都可以提高系统的精度,从而达到提高转速的目的。

本文的创新点:电路中加入模数同时转换电路后,提高了系统的控制精度;电路中加入抗混叠滤波电路后,减小了外界电路中产生的干扰有可能对需要采集的电信号产生的影响;独立开发的控制系统的仿真界面,使人机对话更加友好。

参考文献

[1]G,Schweither, H.Bleuler, A.Traxler. Active Magnetic Bearings—Basics, Properties and Application of Active magnetic Bearings[M], ETH, Switzerland, 1994:25~45

[2]郑杰,陶维青. 基于 TMS320F2812 事件管理器的一种测频方法[J]微计算机信息,2006,2-2:168-169

[3]Texas Instruments Incorporated(张卫宁编译). TMS320C28x 系列 DSP 的 CPU 与外设(上,下)[M]. 清华大学出版社. 2005,1

[4]薛定宇. 控制系统仿真与计算机辅助设计[M]. 机械工业出版社,2005.1:145~174

作者简介:商丽娟(1981—),女,湖北武汉人,武汉理工大学自动化学院研究生。

Biography: Shang Li-juan (1981-),Female (Han Nationality), School of Automation,Wuhan University of Technology,Hubei, Wuhan 430070,China,Master graduate student,Research on Control Theory and Control System.

(430070 湖北武汉 武汉理工大学 自动化学院)商丽娟

(430070 湖北武汉 武汉理工大学 机电工程学院)胡业发

(Wuhan University of Technology , School of Automation, Hubei , Wuhan 430070,China)Shang LiJuan

(Wuhan University of Technology , School of Mechanical and Electronic Engineering, Hubei , Wuhan 430070,China) Hu YeFa

通讯地址:(430070 湖北武汉 武汉理工大学马房山校区西院 66 号信箱)商丽娟

(收稿日期:2007.5.13)(修稿日期:2007.6.15)