

F2812 在磁悬浮轴承控制器中的应用研究*

霞,徐龙祥

(南京航空航天大学机电工程学院, 江苏南京 210016)

摘要:本文采用 TI 公司新推出的 TMS320F2812 DSP 芯片来设计主动磁轴承控制器,详细分析了该 DSP 的结构、原理和外设模 块,并结合实际应用、给出了相应软件程序设计和硬件接口电路。实验结果表明、该CPU性能强大、解决了控制器硬件的不足 而制约复杂控制算法在磁轴承系统中开发应用的问题,为磁轴承性能的提高奠定了基础。

关键词: 主动磁轴承; DSP 控制器; TMS320F2812

中图分类号: TP274 文献标识码: A 文章编号: 1009-9492 (2005) 04-0024-03

1 引言

控制器是磁悬浮轴承系统的核心关键部分, 磁轴承系 统动态性能刚度、阻尼及稳定性等的好坏取决于所采用控 制器的控制规律 四。采用性能优良的控制器可以使磁轴承 动态刚度、阻尼与其工作环境甚至是运行状态相适应, 使 用高级算法控制可以提高转子的回转精度,解决转子不平 衡引起的同频振动 四 等问题。然而控制算法的日趋复杂 对控制器硬件要求也越高。为了提高磁轴承性能、可靠 性、增加控制器柔性等角度出发,应考虑使用高性能的 CPU来提高控制器硬件的性能。

本文选用了TI公司新推出的一款高性能专为电机控制 设计的运动控制 DSP 芯片 TMS320F2812 作为磁轴承控制 器的CPU芯片。

2 TMS320F2812 的特点

TI 公司 2000 系列最新推出的 TMS320F2812 DSP 芯 片,结合了传统单片机的控制和 DSP 的计算能力,可用于 各种数字伺服控制和嵌入式控制系统, 是到目前为止用于 数字控制领域性能最好的 32 位定点 DSP 系统芯片。

比之上一代磁轴承控制器采用的 TMS320F240DSP 芯片 的 50ns 指令周期, F28 缩短为 6.67ns。除主频外, 其 CPU 和外设性能也有很大的改善: F2812DSP 芯片最高频率为 150MHz, 18K 的 RAM, 128K 的 Flash, 事件管理 EVA 和 EVB 包括通用时钟、PWM 信号发生器、CAP 和 QEP, 看门 狗定时器, 16 路 12 位的 A/D 转换, 3 个 32 位的 CPU 时 钟, 14个 CPU 内核中断, 3个外部中断, 96个外设中断。 静态 COMS 特性,内核电压为 1.8V, I/O 为 3.3V,串口外 设包括 eCAN、McBSP、SPI、SCIA、SCIB^[4]。TMS320F2812 的片内资源如图 1 所示。

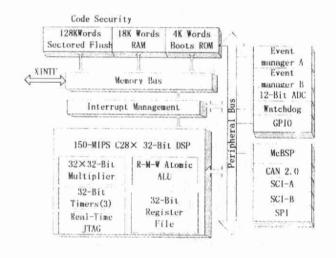


图 1 TMS320F2812 DSP 片内资源框图

F2812 芯片与 24x/240x 代码兼容, 允许直接在芯片上 运行被 C28×代码产生工具重新编译过的 C2×LP 代码。同 时 CPU 对 C/C++的编译效率高达 80%~90%, 易于实现复 杂高级算法的应用,缩短了开发周期。

利用 TI 公司 TMS320F2812 DSP 作为磁轴承控制器核 心器件的控制器结构图见图 2。从图中可以看出,传感器 获取的位移信号经过五路抗混迭滤波器滤波后, 由集成在 DSP 内部的 A/D 转换器采样变成数字信号进入 DSP 计算 模块进行算法处理,处理完后的数据送到 D/A 转换器,转 换为输出电压信号给功放。结合在磁轴承控制器中的应 用,下面分别分析 DSP 各模块。

3 CPU 和中断

磁轴承的 5 路位移信号经过 A/D 转换成数字信号后送

收稿日期: 2004-10-26

^{*} 航空十五预研基金资助项目(418010402)

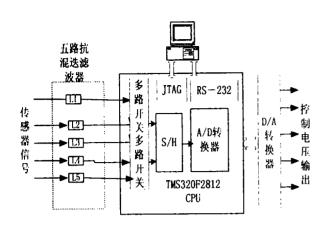


图 2 DSP 控制器结构框图

人 DSP 的 CPU 中进行算法运算。这里采用的是在过程控制中有着广泛应用的 PID 控制算法。TMS320F2812 芯片的 CPU 主要功能之一是产生数据和程序存储空间地址;解释、执行指令;进行代数、逻辑、移位操作;控制数据在 CPU 寄存器、数据和程序存储空间之间传送。该芯片 CPU 包含 8 级流水线,防止从相同地址同时读写时发生冲突;独立的寄存器空间(而不是映射于数据空间),这些寄存器功能包括系统控制、数据指针等,通过特定的指针来访问;32 位累加器(ALU)可以对操作数进行代数和布尔运算;桶形移位器,可以将数据左右移位达 16 位;32 位×32 位定点乘法器,操作数可以为两个有符号数,两个无符号数或一个有符号数,一个无符号数,得到一个 64 位结果,并可以进行 64 位操作运算 ^[5]。

F2812 芯片内只有一个 A/D 转换器,因此磁轴承 5 个自由度各通道的数据采集是通过 DSP 内部的 5 个定时中断进行控制选择的。当 DSP 发生中断时,程序读取中断向量进行判断,然后跳至相应的通道进行数据采集、A/D 转换、PID 运算。

TMS320F2812 有 32 个 CPU 中断源,包括 RESET、MNI、EMUINT、ILLEGAL、12 个用户定义的软件中断 USER1~USER12 和 16 个可屏蔽中断(INT1~INT14、RTOSINT和 DLOGINT)。该 DSP 片上有非常丰富的外设,每个片上外设均可产生 1 个或多个中断请求,以响应众多的片上外设事件。F28 芯片 DSP 中设置了一个外设中断扩展控制器(PIE)来管理众多的片上外设和外部引脚引起的中断请求。F2812 系列 DSP 的片上外设中断共有 96 个(仅用 54 个),被分为 12 个组,因此 96 个片上外设中断请求信号可记为 INTx.y(x=1~12,y=1~8)。每个组输出一个中断请求信号给 CPU,也既是 PIE 的输出 INTx,对应于 CPU 中断输入的 INT1~12。每个中断源对应一个中断问量(对应的中断服务程序 ISR 的人口地址),无论此中断源是否与别的中断源复用一个 CPU 中断输入。F2812 专门开辟一块储存空间,专门用作 PIE 的中断向量表,用于存放每

个中断源所对应的中断服务程序的人口地址。

F2812 的 CPU 在响应中断时,由硬件自动将多达 12 个 16 位 CPU 寄存器保存到堆栈中,紧接着保存返回地址 (先低后高)。同样,在中断返回时,由硬件自动退栈,并恢复上述这些 CPU 寄存器 [6]。

以下为一段用 C 语言编写的 AD 转换和中断服务的程序,从中可以看出 F2812 处理中断的服务流程。

int al [16]; interrupt void ad (void) ;//声明中断服务函数 void main (void) 1 ……//系统初始化,设置 PIE 中断矢量表等 asm ("setc INTM") ;//关总中断 1ER=0x0000; IFR=0x0000: asm ("EALLOW"); PieVectTable.ADCINT=&ad:/* 将中断服务函数的 地址装入 PIE 中断矢量表中 */ asm ("EDIS"); initAdc ()://调用初始化 ADC 模块函数 IER=M_INT1;//使能 INT1 级中断 asm ("clrc INTM");//开总中断 while (AdcRegs.ADC_ST_FLAG.bit.SEQ1_BSY==0) {AdcRegs.ADCTRL2.bit.SOC_SEQ1=1;} /* 判断当 ADC 的排序器 SEQ1 为空闲状态时, 软件 触发 SEQ1, 启动 AD 转换 */ for (;;) {KickDog (); } //等待 AD 转换完毕,产生中断 interrupt void ad (void) //ADC 中断服务函数 1FR=0x0000; PieCtrl.PIEACK.all=0xffff;//关中断应答 a1 [0] =AdcRegs.RESULTO; /* 将 AD 转换后所得数值赋给数组 a1*/ AdcRegs.ADC_ST_FLAG.bit.INT_SEQ1_CLR=1; AdcRegs.ADCTRL2.bit.SOC_SEQ1=1;

4 模数转换 A/D 和数模转换 D/A

/* 再次启动 AD 转换 */

asm ("CLRC INTM");

}

A/D 采样通道是将传感器信号数字化的关键, A/D 转换电路的设计目的就是将模拟信号尽可能准确的转换为数字量。A/D 采样通道的设计首先要选择采样频率,对于数字控制而言,采样频率越高越好,这样更接近真实情况,但是采样频率太高会带来更大的干扰。在磁轴承控制中,

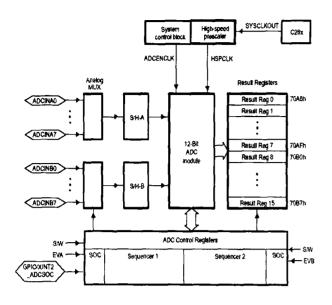


图 3 模数转换模块功能框图

采样频率的取值通常为磁轴承转子转速基频的 10 倍,如 60000r/min (1kHz) 的转速,取 10kHz 的采样频率就足够了,五个通道共用一个 A/D 转换器,因此控制器中 A/D 转换器的采样频率取 50kHz。

TMS320F2812 片上自带一个采样/保持 (S/H) 的 12 位模数转换 (ADC) 内核,其前端为 2 个 8 选 1 多路切换器和 2 路同时采样/保持器,构成 16 个模拟输入通道,模拟通道的切换由硬件自动控制,并将各模拟通道的转换结果顺序存入 16 个结果寄存器中 ^[7]。TMS320F2812ADC 模块图见图 3。

F2812ADC 模块有多达 16 个模拟输入通道 (ADCINAO-7,ADCINBO-7), 具有自动排序的能力, 在一次转换操作中可处理多达 16 个的 "自动转换", 每个转换操作可通过编程来选择 16 个输入通道中的任一个, 它有两个独立的 8 状态排序器 (SEQ1 和 SEQ2), 可以独立工作在双排序器模式,或者级连成 16 状态排序器模式 (SEQ)。A/D 转换的启动可通过软件、事件管理器或外部引脚来进行同步启动。在 25MHz 的 ADC 时钟下转换率为 80ns。模拟量输入范围: 0.0V~3.0V, 转换结果=4095× (输入的模拟量电压-ADCLO) /3。

有关 F28 AD 转换的流程如上节所述。

DA 转换器用来将 DSP 计算后输出的数字控制信号转换为模拟信号输入到功率放大器。本篇采用的 DAC 是 BB公司的 DAC7724,该芯片为 4 通道 12 位双缓冲 DAC 芯片,输出的模拟信号范围为±10V。DAC7724 片选及 DAC转换的控制由一片 CPLD (复杂可编程逻辑器件)来进行控制。转换的数值必须写到对应的输入数据寄存器中,将任意值写人 DAC 转换启动寄存器中,启动该片中所有 4路 D/A 转换。

5 实验结果

我们在磁悬浮磨头实验系统上进行了高速运转试验。 本试验采用的是全并式不完全微分 PID,带有串联超前校 正环节。试验波形采集采用的是数字示波器,无负载,转 速为 30000r/min,即 500Hz (考虑到现场的安全,采集的 波形时未转到工作频率 45000r/min)。图 4 是转子以 30000r/min 转速运转时,某个自由度传感器检测到的转子 轴心位移信号。

从图 5 中可以看出,转子在高速运转时,和转速同频的振动一直占主导地位 (本文没有采用陷波器来抑制同频振动),通过调试控制参数,其幅值不是很大,不会导致转子失稳;而且低频振动的幅值非常小,这说明控制系统在同频振动很大的情况下对低频振动有很好的阻尼。在同频振动尖峰右边的幅值都很低,这说明由于控制器设计合理,因此抑制了转子的一阶临界振动,使转子能稳定运行。

实验结果表明:在建立的磁轴承系统模型准确、选用的控制算法正确的基础上,我们采用 F2812 作为 CPU 设计的数字控制器大范围稳定性好、重复性好,静态悬浮时,

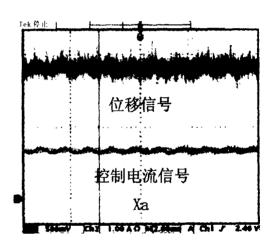


图 4 30000r/min (500Hz) 下轴向振动曲线

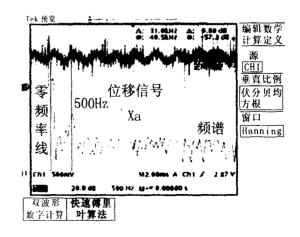


图 5 30000r/min (500Hz) 时轴向位移频谱图

(下转第39页)



法 (算法)。然后通过故障状态信息评估, "忽略"系统 认为正常的数据,保留"出问题"的数据和最近期间的数 据到数据库。这样建立的数据库数据量少,数据结构简 单。若将来算法改变,所需数据量发生变化,也可以很快 地更新数据库。

(5) 特征信号的处理由临时挂上网的机床状态信息系统来完成

与状态监测系统不同的是,此故障诊断系统不需要实时地经过 internet 传递监测数据,机床并不是一直挂在网上。只是在出现故障时,机床才上网将数据上传。但本系统需要即时对机床状态作出判断,因此对检测到的机床状态数据的处理及特征信号的处理和分析要由机床状态信息系统来完成。如果数控机床生产厂家对信号的处理方法升级,也要将升级后的软件发给用户。

(6) 扩大了数控系统的自诊断功能

数控系统的自诊断功能一般只检测机床动作和状态,不能检测数控机床部件的状态。本系统相当于扩大了自诊断功能,更进一步地监测机床。

4 系统优势

(1) 诊断周期的缩短

本系统采用了网络技术能够快速地传递故障信息和诊断结果,而且由于厂家诊断中心拥有全面数据库,实现资源共享,提高了诊断效率,从而使机床故障诊断时间处于"最短时间"状态。

(2) 诊断的准确性提高

与传统的故障维修不同的是:参与维修的人员不再是 某个人或某几个人,而是厂家诊断中心的专家系统或专家 和维修人员共同参与诊断和维修,而且用户提供给数控机 床制造厂家的信息是全面的、系统的,**这样诊断的准确性** 大大提高了。

(3) 诊断费用的降低

远程故障诊断系统中,移动的是数据而不是人,这样不但缩短了诊断时间,也使维修人员在上门维修时可以"有的放矢"地携带适用的工具上门维修,避免了不必要的人员浪费。与其它系统相比,本系统只是发送诊断信息和接收诊断意见时才需上网,使用网络的费用极低。

5 结束语

基于 DSP 处理器的数控机床远程故障诊断系统是立足于数控机床快速发展和广泛应用的基础上,针对数控机床的特点提出的;它的实用性强,成本低,可快速升级,互联性好;它的研制成功将促进数控机床的发展。可以预见,基于 DSP 的数控机床远程故障诊断系统具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 田兴银, 李斌. 基于 internet 的数控设备远程监测和故障诊断系统研究 [J] .计算机与现代化, 2002, (4): 8.
- [2] 彭涛,谢勇、故障检测诊断技术与先进控制理论 [J].株洲工学院学报,2002,(4).
- [3] 樊麓 .DSP 在旋转机械振动监测中的应用 [J] . 中国测试技术, 2004, (3): 17.
- [4] 王跃科,叶湘滨 . 现代动态测试技术 [M]、北京:国防工业出版社,2003、

第一作者简介: 罗永顺, 女, 1973 年生, 广东始兴人, 在读研究生, 讲师。研究领域: 数控技术和机电一体化。已发表论文 7 篇。 (编辑: 梁 玉)

(上接第26页)

各自由度的位移振动峰峰值小于 7μm, 30000r/min (500Hz) 高速运转时,2 个径向端径向磁轴承的振动峰峰值分别为 15μm 和 20μm,轴向磁轴承的振动峰峰值为12μm。

6 结束语

本文采用指令周期为 6.67ns 的 TMS320F2812 DSP 芯片设计磁悬浮轴承控制器。实际应用过程证明,该芯片外设丰富,简化了磁悬浮系统控制器外围硬件设计。其高性能的 CPU,大大提高了程序运行速度和 C/C++的编译效率,使得可以用高级语言实现复杂的高级算法,为磁轴承系统性能的进一步发展奠定了基础。

参考文献:

- [1] 张爱林、基于 LF2407A DSP 的主动磁轴承数字控制系统的研究 [D]. 南京航空航天大学, 2003.
- [2] C.R.Knosepe, R.W.Hope, S.J.Fedigan. New Results in the Control of Rotor Synchronous Vibration [A]. Proc. of the 4th International Symposium on Magnetic Bearings [C], Zurich

1994:119-124.

- [3] Ronald D.Williams, Paul M.Wayner, Jeffrey A.Ebert, Stephen J.Fedigan, High-speed digital Control for Magnetic Bearings
 [A] . Proc. Of the 4th International Symposium on Magnetic Bearings
 [C] . Zurich 1994:1-6.
- [4] TI.TMS320F2812 Data Sheet (SPRS174) [M] .Texas Instruments,2003.
- [5] TI.TMS320F28 × DSP CPU and Instruction Set Reference Guide (SPRU430) [M] .Texas Instruments, 2003.
- [6] TI.TMS320F28× Control and Interrupts Peipheral Reference Guide (SPRU078) [M] .Texas Instruments, 2003.
- [7] TI.TMS320F28x Analog-to-Digital Converter (ADC) Peripheral Reference Guide (SPRU060) [M] Texas Instruments, 2003.

第一作者简介: 万 霞, 女, 1981年生, 湖北应城人, 在读研究 生。研究领域: 磁悬浮系统。

(编辑: 梁 玉)