

# 基于 DSP 的直线直流电机数字控制器设计

杜志强<sup>1</sup>, 黄桂琴<sup>1</sup>, 艾武<sup>2</sup>, 常雪峰<sup>2</sup>

DU Zhi-qiang<sup>1</sup>, HUANG Gui-qin<sup>1</sup>, AI Wu<sup>2</sup>, CHANG Xue-feng<sup>2</sup>

1. 洛阳理工学院 机械工程系, 河南 洛阳 471023

2. 华中科技大学 国家数控系统工程技术研究中心, 武汉 430074

1. Department of Mechanical Engineering, Luoyang Institute of Science and Technology, Luoyang, Henan 471023, China

2. National NC System Engineering Research Center, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China

E-mail: dzqhust@163.com

**DU Zhi-qiang, HUANG Gui-qin, AI Wu, et al. Design of digital controller based on DSP for linear DC motor. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(27): 98-101.**

**Abstract:** The digital controller based on DSPTMS320F2812 for implementing position servo control of a short-stroke linear DC motor is designed. The hardware circuit of the digital controller is developed by using bus-isolated technique. A 16-bit analog-to-digital converter, a 16-bit digital-to-analog converter and testing circuit of linear displacement are presented. The applying results verify the feasibility of the hardware circuit of the digital controller.

**Key words:** digital controller; digital signal processor; bus-isolated; hardware circuit design

**摘要:** 为了实现短行程直线直流电机的位置伺服控制, 设计了一种基于 DSPTMS320F2812 的数字控制器。数字控制器的硬件电路采用总线隔离驱动技术进行了系统扩展, 主要对 16 位双极性 A/D 转换器、16 位双极性 D/A 转换器和直线位移检测电路的原理及实现方法进行了描述。实际应用结果表明, 基于 DSP 的数字控制器的硬件设计是合理的, 并能可靠的运行。

**关键词:** 数字控制器; 数字信号处理器; 总线隔离; 硬件电路设计

**DOI:** 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.27.031 **文章编号:** 1002-8331(2008)27-0098-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP316.2

## 1 引言

随着电机控制技术的快速发展, 电机的控制部分已由模拟控制逐渐让位于以单片机为主的微处理器控制, 形成数字与模拟混合控制系统和全数字控制系统。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, 为设计小体积、低功耗、高可靠性、高性能的电动机控制系统提供了方便, 同时也使系统的整体成本大大降低, 逐渐成为电机控制的主流技术。为了满足高响应短行程直线直流电机快速、高精度实时控制的需要, 用高性能电机控制专用 DSP 处理器芯片实现直线直流电机的精密位移控制是较好的实现方法<sup>[1-3]</sup>。

本文在考虑直线直流电机伺服控制系统的具体应用和实际控制性能要求的基础上, 对基于 DSP TMS320F2812 的直线电机控制系统的数字控制器的硬件扩展电路及实现方法进行了研究, 主要介绍了外部存储器扩展电路、模拟/数字转换电路(ADC)、数字/模拟转换电路(DAC)、直线位移正交编码脉冲(QEP)信号处理电路的设计。

## 2 基于 DSP 的数字控制器的系统结构

### 2.1 TMS320F2812 数字信号处理器

数字信号处理器芯片采用美国 TI 公司推出的 TMS320F2812, 它是 TI 公司专为实现高精度、高性能、功能多样化的单片电动机控制系统或运动控制系统而设计的控制器芯片, 将高性能的 32 位 DSP 核和丰富的功能外设电路集成在单个芯片上, 内部采用多组总线(三条数据总线-程序读数据总线、数据读和数据写数据总线; 三条地址总线-程序地址总线、数据读和数据写地址总线; 内部控制总线)的哈佛结构实现并行处理机制, 允许 CPU 同时进行程序指令和存储数据的访问。独立的累加器和乘法器, 使得复杂的乘法运算能快速进行。最高主频 150MHz。两个事件管理器模块 EVA 和 EVB, 每个包括: 两个 16 位通用定时器; 8 个 16 位的脉宽调制(PWM)通道; 三个捕获单元; 片内正交编码脉冲接口电路, 适合于各类电机的控制<sup>[3-4]</sup>。

### 2.2 基于 DSP 的数字控制器系统组成

基于 DSP 的数字控制器的结构框图如图 1 所示, 它是以 DSP 芯片为中央处理器通过系统扩展构成的一个数字控制器, 用来实现直线直流电机的数字控制功能。系统扩展电路主要由

**基金项目:** 国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60474021)。

**作者简介:** 杜志强(1965-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为直线电机及其控制技术; 黄桂琴(1971-), 女, 讲师, 主要研究方向为数控技术; 艾武(1953-), 男, 博士生导师, 教授, 主要研究方向为直线电机及其控制技术。

**收稿日期:** 2007-11-22 **修回日期:** 2008-02-28

外部存储器扩展电路、模拟/数字转换电路(ADC)、数字/模拟转换电路(DAC)、直线位移正交编码脉冲(QEP)信号处理电路、外部通讯接口电路(CAN、SCI、SPI)、FLASH 程序固化与仿真器 JTAG 接口电路和辅助电路等组成。设计的 DSP 数字控制器板实物照片如图 2 所示。

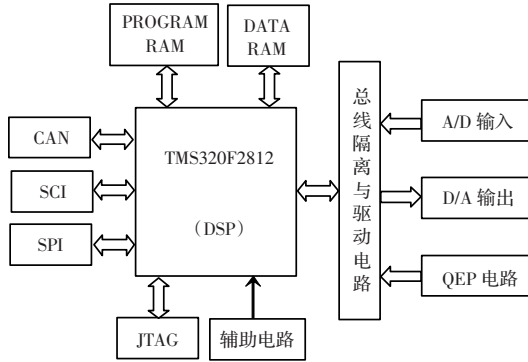


图 1 DSP 数字控制器结构框图

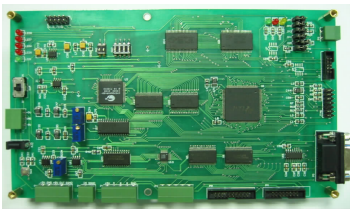


图 2 DSP 数字控制器板

### 3 数字控制器硬件设计与实现<sup>[5-8]</sup>

#### 3.1 存储器扩展

TMS320F2812 可以通过三组并行总线访问多个存储空间。它们分别是:程序地址总线(PAB)、数据读地址总线(DRAB)和数据写地址总线(DWAB)。其中的任意一组可访问不同程序空

间,以实现不同的器件操作。存储器扩展系统的硬件原理图如图 3 所示。用两片 Cypress 公司生产的 16 位 64 K 字节的静态 RAM 存储器芯片 CY7C1021 进行存储器扩展。一片为 64 K 的程序存储器,程序空间选通信号  $\overline{PS}$  和相应的读写控制信号一起对程序存储器空间进行读写操作,主要用于 DSP 的在线仿真,在仿真时程序代码下载到程序存储器;另一片为 64 K 的数据存储器,数据空间选通信号  $\overline{DS}$  和相应的读写控制信号一起对数据存储器空间进行读写操作。

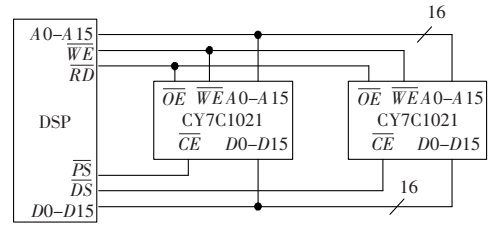


图 3 存储器系统扩展原理图

#### 3.2 模数转换器硬件电路设计

为了实现和上位机位置输出模拟信号( $\pm 10\text{ V}$ )匹配,16 位的模数(A/D)转换器芯片选用 TI 公司的 ADS7805,它是一个具有 100 KHz 采样频率的高分辨率芯片,单一正 5 V 供电,可实现  $\pm 10\text{ V}$  的模拟控制信号输入,通过总线驱动芯片 SN74LVC16245A 与 DSP 相连,SN74LVC16245A 实现数据线信号从 5~3.3 V 的传输。模/数转换器的输出寄存器地址映射到 I/O 地址空间:0x000F,地址 0x000E 用来启动 A/D 转换器。模数转换器与 DSP 的接口原理图如图 4 所示。A/D 转换器在开始转换前,必须加一个启动信号才能开始工作,即向地址 0x000E 单元送一任意数字量。启动转换后,必须经过一段时间,A/D 转换才能结束。当转换结束时,A/D 转换器芯片内部的转换结束触发器置位,同时输出一个转换结束标志信号,通过外部中断 XINT1 通知 DSP 模数转换已经完成,可以进行读数。

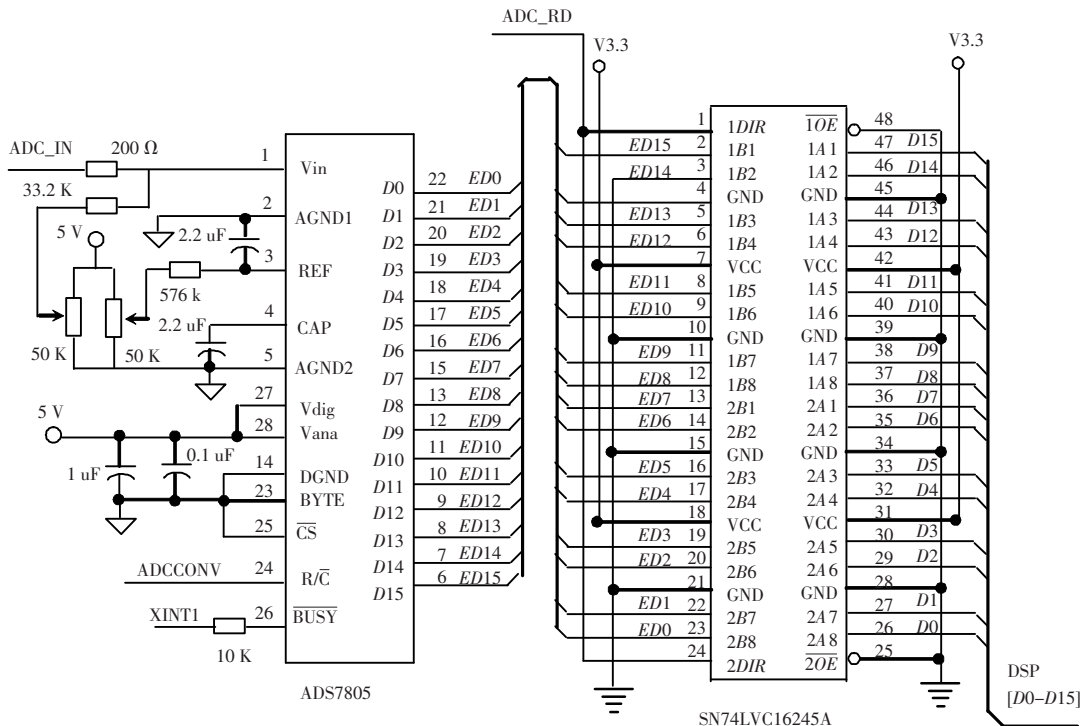


图 4 模/数转换电路原理图

模数转换可按如下方式进行编程:模数转换后将数据存放到输出寄存器,读取转换结束状态信号,如转换结束,则延时两个 A/D 转换时钟周期后再读。例程如下:

```

ioport unsigned int port000F;
ioport unsigned int port000E;
#define ADC1 port000F //定义数据寄存器端口
#define ADC_START port000E //port000E 定义 A/D 转换启动端口
ADC_START=1; //启动 A/D 转换
delay( ); //延时
ad_value=ADC1; //读取 A/D 转换值

```

### 3.3 数模转换硬件电路设计

为了提高直线电机的位置控制精度,外扩了一片高分辨率(16 位)双极性输出的 D/A 转换器,16 位 D/A 转换器选用 TI 公司的 DAC7641,通过总线驱动芯片 74ALVC164245 与 DSP 相连,74ALVC164245 实现数据线信号从 3.3~5 V 的传输。该芯片为 16 位双缓冲 DAC 芯片,即在数据传送到实际转换器前,数据可以写到保持寄存器中,然后由 LDAC 上升沿触发进行 D/A 转换。数/模转换器数据寄存器映射到 I/O 地址空间:0x0000;地址 0x0004 用来启动保持寄存器的值进行转换。数模转换后的输出电压是±2.5 V,经 TLC2272 放大后,实现±5 V 输出。数模转换器的电路原理图如图 5 所示。

数模转换可按如下方式进行编程:首先向 I/O 映射空间的保持寄存器 0x0000 写入数据,然后向传送寄存器 0x0004 写任何一个值,就可以将保持寄存器的数据送到转换器并输出。例程如下:

```

ioport unsigned int port0000;
ioport unsigned int port0004;
#define DAC1 port0000 //定义数据寄存器端口
#define DAC_START //port0004 定义 D/A 转换启动端口
DAC1=out_volt; //送 16 位数到 DAC 寄存器

```

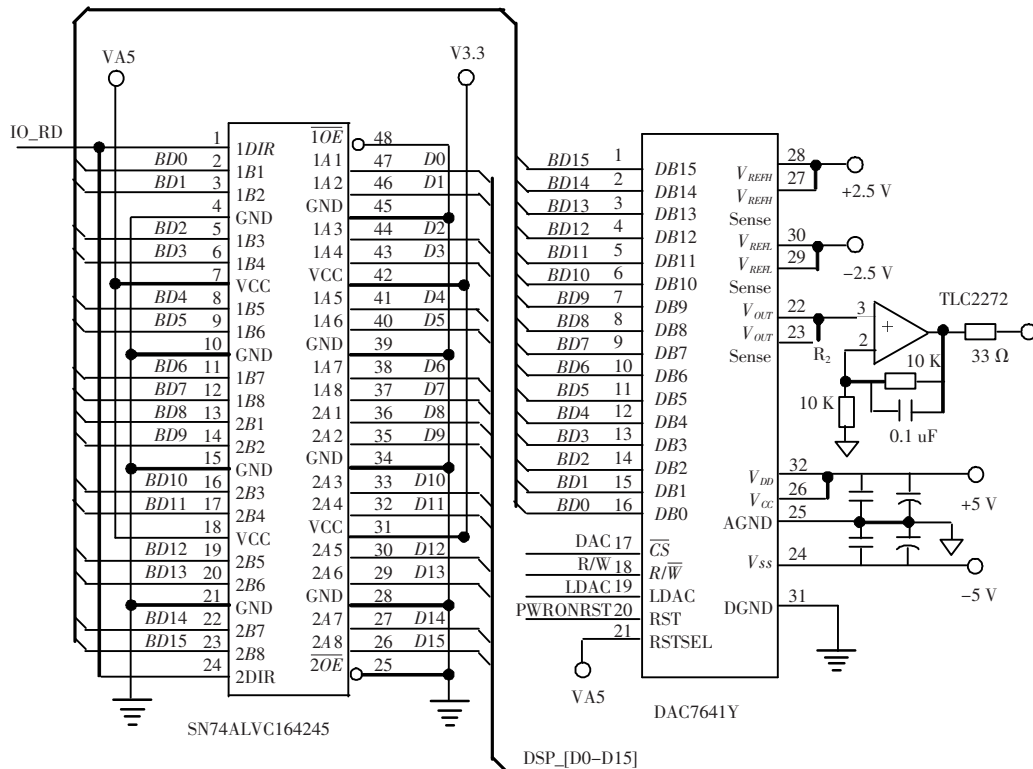


图5 数/模转换电路原理图

```
DAC_START=1; //启动 D/A 转换
```

### 3.4 直线位移检测电路设计

直线位移检测是直线电机实现精密位置控制的关键环节。直线电机沿轴线方向直线运动时,光栅尺直接输出与位置有关的 6 路(三对反相)RS422A 方波信号  $Z, \bar{Z}, Z_1, \bar{Z}_1, Z_2, \bar{Z}_2$ , 经 MC3486 差分接收后,产生两路正交的编码脉冲信号 A、B 和一路参考点(直线电机有效行程的零点或中位点)脉冲信号 R, 直线位移信号检测电路原理图如图 6 所示。在图 6 中,两路正交编码脉冲信号 A、B 用于直线电机的位移检测,分别与 QEP1 和 QEP2 连接;参考点(或零点)脉冲信号 R 用于直线位移有效行程零点的检测,与捕获引脚 CAP3 连接。SN74LVCH245A 可实现 5 V 的输入信号到 DSP 可接收 3.3 V 的电平信号转换。

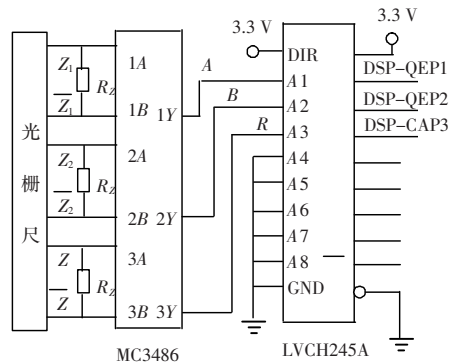


图6 直线位移信号检测电路原理图

### 4 位置跟踪性能实验

设计的基于 DSP TMS320F2812 的数字控制器直线直流电机控制系统主要用来驱动振镜扫描系统的动态聚焦模块(透镜),其位置控制系统原理图如图 7 所示,光栅尺的分辨率为



1  $\mu\text{m}$ 。位置命令输入信号(三角波)由信号发生器产生,经 16 位 A/D 转换成数字量后,以该数字量为位置控制指令,进行跟踪性能实验,同时对数字指令值,实际的位移值以及偏差值进行数据采集并保存,采样周期为 0.2 ms。图 8 是工作频率为 6 Hz、往返位移为 1 022  $\mu\text{m}$  时的位置前馈跟踪实验结果。在图 8 中,上面的波形是位置指令信号曲线;中间的波形是测量的直线电机实际位移的输出响应曲线;下面的波形是测量的位置跟踪偏差曲线,横坐标为时间,单位为 ms,纵坐标为对应的位移值和位置偏差值,单位为  $\mu\text{m}$ 。图 8 中定位线对应位置的位置跟踪偏差为 -9  $\mu\text{m}$ 。

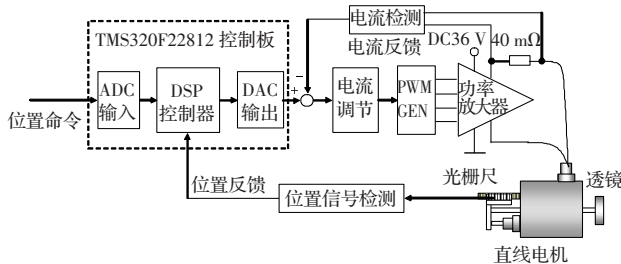


图 7 位置跟踪性能实验原理图

## 5 结束语

本文结合直线直流电机控制系统的具体应用和实际控制要求,对基于 DSP TMS320F2812 的数字控制系统的硬件进行了设计和开发,采用总线隔离驱动技术结合其实际应用进行了系统扩展。主要对 16 位双极性 A/D 转换器、16 位双极性 D/A 转换器和直线位移检测电路的原理及实现方法进行了描述。位置跟踪性能实验结果表明,基于 DSP 的数字控制系统的硬件设计是合理的,并能可靠的运行。

(上接 97 页)

为原始数据,图 6(b)是一次分解得到的结果,图 6(c)为三次样条插值的结果,图 6(d)是分解得到的差值。

选择 8 幅超光谱图像,分别使用本文算法和 JPEG2000 中的 CDF5/3 小波分别对这些图像进行分解,并计算出分解后两种方法的熵,结果如表 2 所示。可以看出经验数据分解得到的系数熵值要比 CDF5/3 小波产生的系数的熵平均小 0.217 b/p 左右,这对数据压缩有利。

表 2 系数熵的比较 (b/p)

图像	经验数据分解	CDF5/3
Test1	3.75	3.91
Test2	3.62	3.93
Test3	4.10	4.29
Test4	3.72	3.89
Test5	4.35	4.59
Test6	3.64	3.85
Test7	4.24	4.42
Test8	3.84	4.12

综合上文的讨论可得出以下结论:(1)三次样条函数因具有连续的一阶、二阶导数,且曲线光滑程度较高,是一种好的多项式逼近方法;(2)新的预测滤波器是一种非线性、自适应数据分析工具,适合非平稳数据分析。分解后产生的高频系数(即偶数样点真实值与预测值间的差值)间的相关性较弱,适合进行数据压缩;(3)由预测滤波器得到的数据分解与小波变换一样

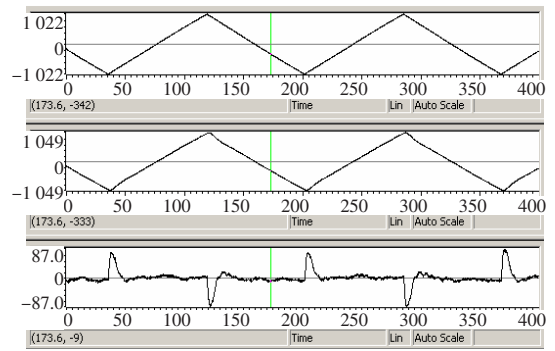


图 8 工作频率为 6 Hz、幅值为 1 022  $\mu\text{m}$  时的前馈跟踪控制实验结果

## 参考文献:

- [1] Du Zhi-qiang, Zhou Zu-de, Ai Wu, et al. A linear drive system for the dynamic focus module of SLS machines[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2007, 32 (11/12): 1211-1217.
- [2] 杜志强. 高响应短行程直线直流电机的建模、控制与实验研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.
- [3] TMS320F280x Controllers Development Boards/EVMs[R/OL]. (2006). <http://www.ti.com/focus.ti.com/dsp>.
- [4] TMS320F2812 Digital Signal Processor Data Manual SPRS1740[R]. 2001.
- [5] TMS320x281x DSP External Interface Reference Guide. SPRU067c[R]. 2002.
- [6] 21 世纪集成电路网[EB/OL]. (2007). <http://www.21ic.com/searchpdf>.
- [7] 朱铭铭, 赵勇, 甘泉. DSP 应用系统设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [8] 江思敏. TMS320LF240x DSP 硬件开发教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.

能够实现数据的多分辨率分析,而且由于具有非固定的调节项,预测滤波器可根据需要进行选择边界条件,从而使滤波器具有自适应性。

在后续的工作中,将进一步研究这种数据分解结构在图像压缩中的应用,并与现有的其他数据分解方法进行比较性研究,探讨更为合理的图像压缩算法。

## 参考文献:

- [1] Mallat S G. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation[J]. IEEE Trans on Pattern Anal Mach Intell, 1989, 11(7): 674-693.
- [2] Mallat S G. Multiresolution approximation and wavelet orthonormal bases of  $L^2(R)$ [J]. Trans on American Math Society, 1989, 315(1): 69-87.
- [3] Huang N E, Shen Z, Long S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[C]//Proc R Soc Lond A, 1998, 454: 903-995.
- [4] 姜键飞, 胡良剑. 数值分析及其 Matlab 实验[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [5] 丁丽娟. 数值计算方法[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002.
- [6] Deng Jia-xian, Wu Xiao-qin. Empirical data decomposition and its applications in image compression[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2007, 18(1): 164-170.
- [7] Haykin S. 自适应滤波器原理[M]. 郑宝玉, 译. 北京: 电子工业出版社, 2003.