维普资讯 http://www.cqvip.com

电子测量技术
ELECTRONIC MEASUREMENT TECHNOLOGY
第30卷 第2期
2007年2月

高精度温度控制系统设计

李兆军[1] 纪 平[1] 娄晓光[1,2]
(1. 中国科学院电子学研究所 北京 100080；中国科学院研究生院 北京 100039)

摘 要：信号处理系统中，经常会遇到射频信号和光信号的相互转换，由于光信号波长和温度有关，如果不精确控制系统温度，在光信号和射频信号转换过程中会引入误差。本文讨论了闭环温度控制原理，并以 TMS320F2812 为核心实现该系统，采用电桥采样温度变化，并使用 PID 算法进行闭环控制，输出脉冲调制波，使用 DRV592 进行功率放大，控制热电制冷器工作，达到调节温度的目的。该系统精度可达 0.000 6 ℃，响应时间为 14～16 s。

关键词：温度控制；数字信号处理器；TMS320F2812；DRV592
中图分类号：TP274 **文献标识码**：A

Design of high precision temperature control system

Li Zhaojun[1] Ji Ping[1] Lou Xiaoguang[1,2]
(1. Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080;
2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

Abstract: This paper presents a thermoelectric cooler system which consists of a Texas Instruments TMS320F2812 digital signal processor (DSP). The DSP implements a digital PID feedback controller using an integrated 12-bit AD converter to read the thermistor, and directs output of PWM waveforms to the H-bridge DRV592 power amplifier. The closed-loop TEC system is seen to achieve ±0.000 6 ℃ temperature accuracy, with a step response settling time of 15 to 16 seconds.

Keywords: temperature control; DSP; TMS320F2812; DRV592

0 引 言

合成孔径雷达系统信号处理中，须将射频信号延时。直接将射频信号延时比较困难，通常先将其转换为光信号，再对光信号进行延时，最后再将光信号转换为射频信号。由于温度变化，光波长会发生变化(通常变化率为 0.1 nm/℃)，在上述转化过程中，射频信号将发生变化，引入误差，所以必须精确控制系统的温度。

1 温度控制原理

本文所述系统原理图如图 1 下所示。

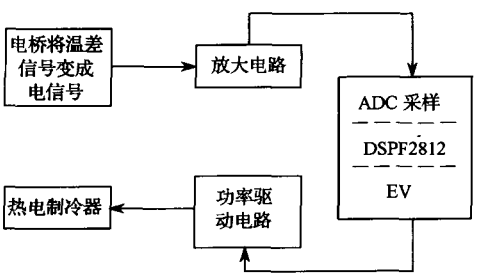

图 1 系统流图

采用热敏电阻检测温度，使用电桥得到差动值，经差动放大器放大后，输入 DSP 芯片，DSP 周期性地对该信号采样，并经比例微分积分算法(PID)控制得到输出，控制事件管理器产生不同占空比的脉冲调制波(PWM)，再经功率放大，输出经 LC 滤波得到不同大小的直流信号，驱动热电制冷器工作。

1.1 电桥与放大电路

电桥与放大电路部分电路如图 2 所示。

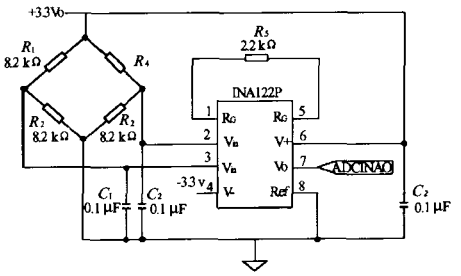

图 2 电桥与放大电路

热敏电阻阻值与温度关系遵循一阶 Steinhart-Hart 公式：

$$R(T)=e^{(A+B/T)} \tag{1}$$

维普资讯 http://www.cqvip.com

由式(1)可得25 ℃时热敏电阻值为10 kΩ,如果系统正常工作温度为25 ℃,则电桥另外3个臂取10 kΩ的电阻,电桥的外接电压为3.3 V,系统温度变化为±5 ℃,则电桥输出电流范围为−0.15～+0.15 A,A/D采样的输入电压为0～3 V,可以将电压放大10倍,再经过加法器将其抬高1.5 V,本文使用的放大芯片为INA122P,其放大系数为:

$$G=5+\frac{200\ 000}{R_6} \tag{2}$$

1.2 功率驱动电路

驱动芯片采用DRV592,DSP输出的PWM信号可以直接输入该芯片,功率放大经LC滤波,输出直流,驱动热电制冷器工作。

该LC滤波电路传递函数为:

$$\frac{V_r(s)}{V_i(s)}=\frac{1}{L(C_1+2C_2)s^2+\frac{2L}{R}s+1} \tag{3}$$

式中:$V_r(s)$为热电制冷器两端的电压的拉普拉斯变换;$V_i(s)$为驱动输出电压的拉普拉斯变换

式(3)可以整理为如图3所示的二阶线性时变系统。

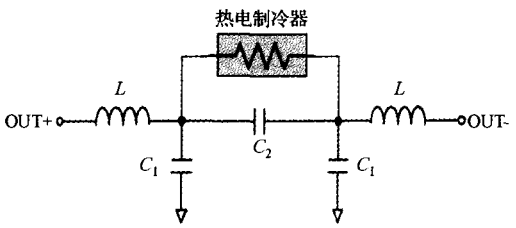

图3 LC滤波电路

$$\frac{V_r(s)}{V_i(s)}=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2} \tag{4}$$

式中:$\omega_n^2=\frac{1}{LC_1+2LC_2}$,$\xi=\frac{1}{R}\sqrt{\frac{1}{C_1+2C_2}}$

如果取$L=10\ \mu H$,C_1、$C_2=10\ \mu F$,可得$\omega_n=57\ 735$ rad/s,$\xi=0.41$,则:

$$f_n=\frac{1}{2\pi}\omega_n=9\ 189\ \text{Hz} \tag{5}$$

本系统使用PWM频率为146 kHz,此时通过滤波器的衰减为−48 dB。

1.3 DSP模块

本系统选用TMS320F2812作为主控芯片,它除了具有强大的信号处理能力外,还能直接输出PWM波,去驱动各种电机。TMS320F2812内部数据、地址总线采用哈佛结构,数据空间和程序空间分开,采用指令流水线形式,因此指令的读取和执行速度高。TMS320F2812芯片具有丰富的片上资源。

本系统软件流程如4所示。

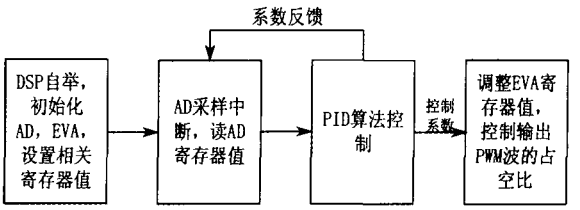

图4 软件控制流程

本系统主要使用的资源为A/D转换模块、事件管理器EVA。系统工作原理为:首先初始化A/D模块、事件管理器模块EVA,设置A/D采样周期、EVA中断触发方式、各个GPTime的比较寄存器的值,使输出的PWM波占空比为50%。每次A/D中断时,读出采样数据,进行PID控制,根据结果调整事件管理器中各个GPTime的比较寄存器的值,改变PWM的占空比。

使用GP Time2来触发ADC采样,GP Time2的周期为195.3 Hz。此时设置GP Time1的T1CON寄存器的10～8位为000,此时输出波频率为HSPCLK/1024(HSPCLK = 150 MHz),即输出PWM波的频率为146 kHz。

据上述分析,程序中各个寄存器的值如下:

```
GpioMuxRegs. GPAMUX. all=0x00ff;
EvaRegs. GPTCONA. all = 0x0600;
EvaRegs. T1CNT. all= 0;
EvaRegs. T1PR. all = 0x0400;
EvaRegs. ACTR. all = 0x0022;
EvaRegs. CMPR1. all = 0x0200;
EvaRegs. CMPR2. all = 0x0200;
EvaRegs. COMCONA. all =0x0260;
EvaRegs. T1CON. all = 0x1042;
EvaRegs. T2CNT. all= 0;
EvaRegs. T2CON. all = 0x1742;
EvaRegs. T2PR. all =0x1770;
EvaRegs. T2CMPR. all=0x6;
AdcRegs. ADCTRL1. all = 0x3f30;
AdcRegs. ADCTRL2. all = 0x3560;
AdcRegs. ADCTRL3. all = 0x370;
AdcRegs. MAX_CONV. bit. MAX_CONV=1;
AdcRegs. CHSELSEQ1. bit. CONV00=0;
AdcRegs. CHSELSEQ1. bit. CONV01=8;
AdcRegs. ADC_ST_FLAG. bit. INT_SEQ1_CLR=1;
AdcRegs. ADC_ST_FLAG. bit. INT_SEQ2_CLR=1;
```

2 程序运行结果分析

F2812中12位ADC的量程为3 V,转换精度为0.73 mV/LSB。

维普资讯 http://www.cqvip.com

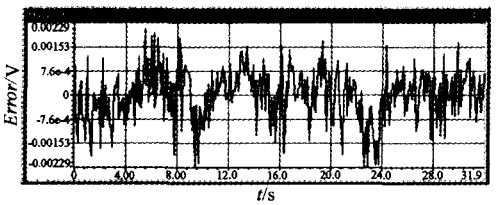

图4 kd=12 500 校正误差

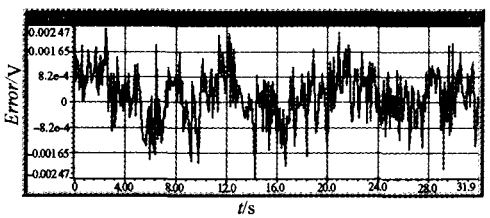

图5 kd=30 000 校正误差

由图4、图5可知，当PID算法中比例系数 kd 不同时，系统达到稳定误差在2 mV之间，可以满足本系统的需要。由图6、图7可知，当 kd 为12 500时，系统达到稳定的时间为14 s，kd 为30 000时，系统达到稳定的时间为16.5 s。

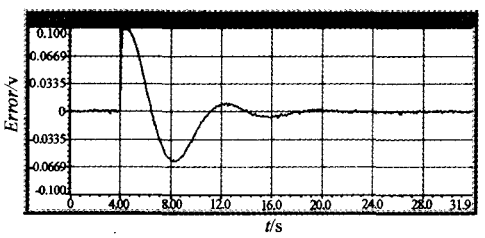

图6 kd=12 500 响应曲线

3 结 论

本文以TMS320F2812为核心实现高精度温度控制系统，采用电桥采样温度变化，并使用PID算法进行闭环控制，输出脉冲调制波，使用DRV592进行功率放大滤波，控制热电制冷器工作，达到调节温度的目的。经实际测试，该系统精度可达0.000 6 ℃，响应时间为14～16 s，可以满足实际工程需要。

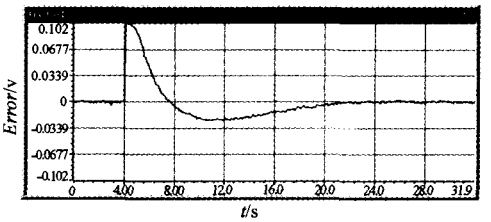

图7 kd=3 000 响应曲线

参 考 文 献

[1] 张卫宁. TMS320C28x系列DSP的CPU与外设(上)[M]. 北京：清华大学出版社，2004.

[2] TEXAS INSTRUMENTS. TMS320C28x DSP CPU and instruction set reference guide[Z]. Printed in China October, 2003.

[3] TEXAS INSTRUMENTS. TMS320F28x DSP peripherals reference guide[Z]. Printed in China October, 2003.

[4] TEXAS INSTRUMENTS. TMS320F28x DSP peripherals reference guide[Z]. Printed in China October, 2003.

[5] TEXAS INSTRUMENTS. Thermoelectric cooler control using a TMS320F2812 DSP and a DRV592 power amplifier [DB/OL]. www.oecomm.com, 2006.

[6] WAVELENGTH. Optimizing thermoelectric temperature control systems[Z]. TN-Tcol ReVC, 2005.

[7] 韩安太，刘峙飞，黄海. DSP控制器原理及其在运动控制系统中的应用[M]. 北京：清华大学出版社，2003：281-287.

[8] 张开生，郭国法. MCS-51单片机温度控制系统的设计[J]. 微计算机信息，2005，21(06Z)：68-69，61.

(上接第134页)

[4] Analog Device Inc. ADSP_BF532 blackfin processor hardware reference. preliminary revision, March 2003 blackfin processor instruction set reference [Z]. Preliminary Edition, 2001.

[5] 张雄伟，陈亮，许光辉. DSP芯片的原理与开发应用[M]. 北京：电子工业出版社，2004.

[6] 张勇. C/C++语言硬件程序设计——基于TMS320 C5000系列DSP [M]. 西安：西安电子科技大学出版社，2003

[7] 陈华炜，邓德祥. 嵌入式实时操作系统软件 [J]. 电子测量技术，2005，28(6)：38-39.

[8] LABROSSE J J. 嵌入式系统构件 [M]. 北京：机械工业出版社，2002.

作 者 简 介

张洁，硕士研究生，主要研究方向为嵌入式系统的开发与应用。

E-mail：echo39@126.com.