

文章编号: 0258-7025(2009)Supplement 1-0100-05

# 基于数字信号处理器的光开关温度控制技术研究

魏利民 胡姝玲 胡汉伟 张晓青 孟照魁

(北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院, 北京 100191)

**摘要** 光开关是光纤延迟线中的重要功能部件,其性能对光纤延迟线的稳定性有重要的影响。该文从微电子机械系统(MEMS)光开关工作温度的稳定性要求出发,设计一个基于 TMS320F2812 数字信号处理器(DSP)的温度控制系统。该温控系统由数字式温度传感器 DS18B20 采集光开关温度后直接送给 DSP,在 DSP 内部利用被测温度与设定温度之差作为比例积分微分(PID)算法的输入量,经计算产生相应的控制量控制电源驱动集成块 DRV592 产生电流以驱动半导体制冷器(TEC),对被控环境进行加热或致冷。该温控系统硬件电路简单,集成度高,控制精度高,响应速度快。实验结果表明,该系统的控制精度可达到 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,温控范围为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,可以保证光开关稳定地工作在设定的温度条件下。

**关键词** 光纤延迟线;光开关;温控系统;数字信号处理器(DSP);半导体制冷器

**中图分类号** TN253 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/CJL200936s1.0100

## Research of Optical Switch Temperature Control Technology Based on Digital Signal Processor

Wei Limin Hu Shuling Hu Hanwei Zhang Xiaoqing Meng Zhaokui

(School of Instrument Science and Optoelectronics Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

**Abstract** Optical switch is the key function unit of fiber delay line, which will be influenced by optical switch. A whole digital temperature control system based on TMS320F2812 digital signal processor (DSP) of Texas Instruments (TI) Co. is designed to control the operating temperature of micro-electronic mechanical systems (MEMS) optical switch, which utilizing DS18B20 to collect temperature and then sending it to DSP. In the DSP difference between the temperature to be measured and the temperature set as the input of proportional integration differential (PID) algorithm, so control quantity produced through calculation is used to control DRV592 as to drive thermal electric cooler (TEC). This system has the characteristics of simple hardware circuit, high integration, high precision. The error of this system is  $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperature control domain is  $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , so the optical switch can operate regularly.

**Key words** fiber delay line; optical switch; temperature control system; digital signal processor (DSP); thermal electric cooler (TEC)

### 1 引 言

光纤延迟线是一种新型、性能优良的信号处理器件,由 Wilner 和 Vanden Hewel 于 1976 年首次提出。光开关是光纤延迟线的重要功能部件,按要求将光信号从一个光通道转换到另一个光通道,其性能对光纤延迟线的稳定性有重要影响。本文则针

对光开关进行了温度控制系统的设计,以保证光开关工作状态的温度稳定性。

当前大多温控系统采用单片机进行控制,由于单片机运算速度比较慢,在处理一些实时性较强的算法时往往显得力不从心,因此对温度控制要求很高的场合(如半导体器件的温度控制)是不被接受的。随着

**基金项目:** 航空科学基金资助课题。

**作者简介:** 魏利民(1984—),男,硕士研究生,主要从事光纤延迟线温控方面的研究。E-mail: weilimin2007@163.com

**导师简介:** 胡姝玲(1971—),女,教授,硕士生导师,主要从事光纤激光器和放大器等方面的研究。

E-mail: hulxi@buaa.edu.cn

微处理器的迅猛发展,DSP 以其超强的运算能力而逐渐成为控制领域的主流选择。本文主要介绍了一种基于 TI (Texas Instruments)公司 TMS320F2812 DSP 的温度控制系统。该温度控制系统硬件电路简单,集成度高,控制精度高,应用前景广阔。

## 2 温度控制原理

针对光开关的特性,温控系统主控制器选用 TI 公司的 F2812DSP 控制器,利用半导体制冷器 TEC 为制冷器,数字式温度传感器 DS18B20 进行温度采样,以实现全数字化设计。

整个系统还包括电源驱动集成块 DRV592、键盘、复位电路、液晶(LCD)显示屏和 RS-232 串口通信电路,其原理框图如图 1 所示。

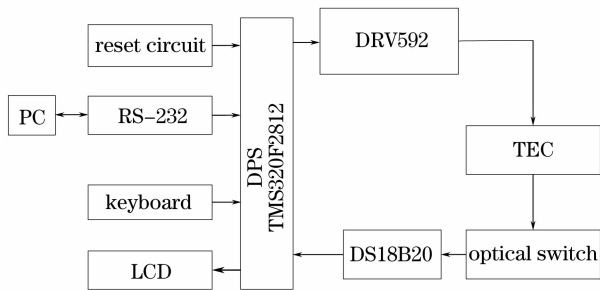


图 1 温控系统硬件原理框图

Fig. 1 Schematic diagram of temperature control system

此外采用 PID 算法来提高系统的控制精度和响应速度,DSP 与外部器件的通信通过编写接口程序来实现。通过键盘设置光开关的工作温度,DS18B20 将测得的温度转换为数字信号直接送给 DSP,与设定温度比较后得到的差值作为 PID 算法的输入,经过计算产生控制量以控制 DRV592 产生相应的电流驱动 TEC,从而改变 TEC 的制冷量来调节光开关的温度以达到设定值。LCD 显示器可以实时显示设定温度和实际测量的温度值。当系统运行出现问题时,通过复位电路及时复位系统,可以保证光纤延迟线系统的稳定性。

## 3 系统硬件设计

温控系统的硬件电路以 F2812 DSP 为核心,对其外围电路进行扩展,增加外部器件,并结合软件设计实现检测和控制功能。

### 3.1 TMS320F2812DSP 外围电路设计

系统硬件电路电源采用 TPS70151,可将外部 +5 V 直流电压转换为 DSP 所需的 +3.3 V 直流电压。电路在 X1/XCLKIN 和 X2 引脚之间外接一个

30 MHz 晶体振荡器作为 DSP 的时钟。板上设有 JTAG 仿真接口,用于连接仿真器,对 DSP 进行硬件仿真调试。2812 DSP 所有引脚引至对应的焊盘,并将引脚标在相应的焊盘处,便于初期做简单的实验。地址线 and 数据线,控制总线也引至双排插针,方便外扩测试。

### 3.2 数字温度传感器 DS18B20

传统的温度检测需要对输出的模拟信号进行放大、滤波和模数转换,可靠性相对较差,准确度和精度都不高,电路也比较复杂。本文设计的温控系统为了克服上述缺点,利用数字温度传感器 DS18B20 采集温度信号。

DS18B20 是美国 Dallas 半导体公司生产的新一代数字式温度传感器,采用 TO-92 封装。它具有独特的单总线接口方式,将地址线、数据线、控制线复用为一根信号线,输入输出均为数字信号,这使得其与 DSP 接口变得十分简单(图 2),克服了模拟传感器与微机接口时需要的 AD 转换器及其它复杂外围电路的缺点,由它组成的温度测量控制系统非常方便,而且成本低、体积小、可靠性高。

DS18B20 的温度测量范围从  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  ~  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,不需要备份电源,可通过信号线供电,电源电压范围从 3.3~5 V。DS18B20 可直接读出被测温度,并根据实际要求通过简单编程实现 9~12 位的数字值读数方式,可以分别在 93.75 ms 和 750 ms 内将温度值转化为 9 位和 12 位的数字量(9 位数据温度分辨率为  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,12 位数据温度分辨率为  $0.0625\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,这是本系统实现控制精度要求的关键),再通过串行输出方式与 DSP 进行通信,并且用户可以设定报警温度,存储于电可擦写可编程只读存储器(EEPROM)中。

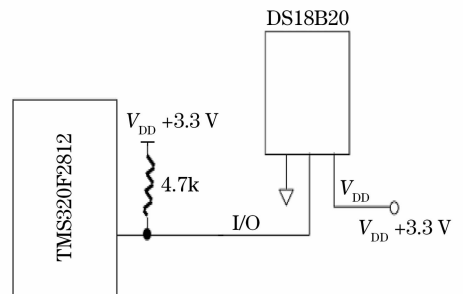


图 2 DS18B20 与 TMS320F2812 的连接图

Fig. 2 Connection graph of DS18B20 and TMS320F2812

### 3.3 电源驱动模块 DRV592

电源驱动模块采用 TI 公司出品的高效、大功率 H 电桥电源驱动集成块 DRV592。DRV592 是

TI公司出品的一种高效、大功率 H 桥电源驱动集成块,它集成了 4 个大功率金属氧化层半导体场效应晶体管(MOSFET)和过载保护电路。DRV592 需要外部脉宽调制(PWM)触发(兼容 TTL 逻辑电

平),内置过流、欠压、过热(130 °C)保护和电平指示。只需添加几个外部元件就能容易地构成精确的温控电路(图 3),使热电致冷器的电源驱动电路大大简化。

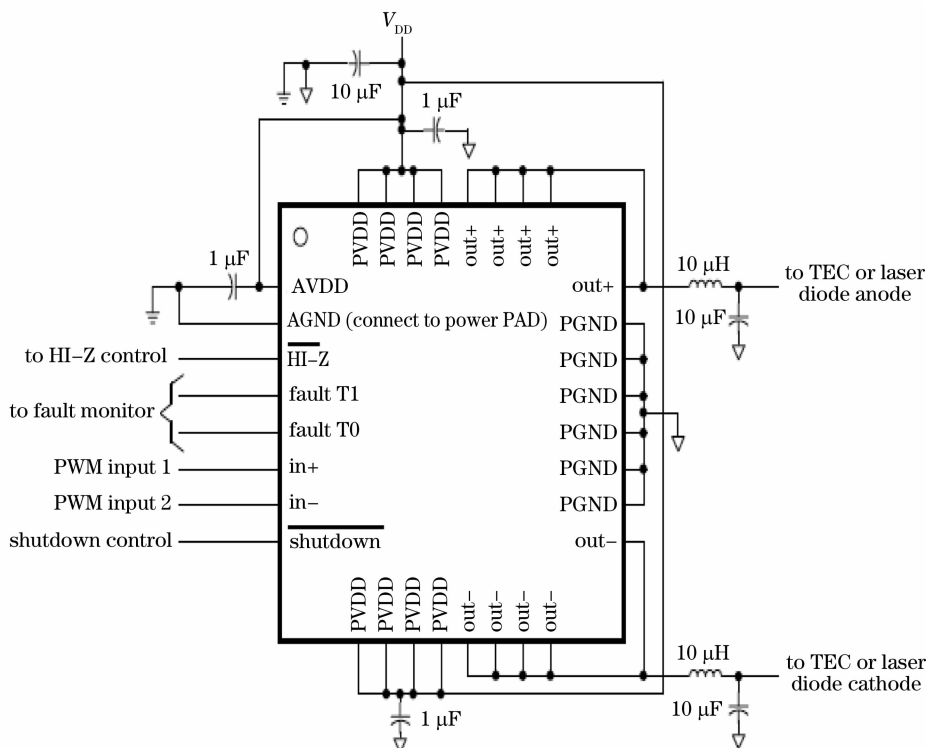


图 3 DRV592 的外围电路

Fig. 3 Peripheral circuit of DRV592

### 3.4 半导体制冷器 TEC

半导体热电致冷器件特别适合于小热量和受空间限制的温控领域。改变加在器件上电流的极性即可变致冷为加热,而吸热或放热率则正比于所加直流电压或电流的大小。Peltier 半导体制冷器的设定温度可在较宽的范围内选择,可选择低于或高于环境温度。

选用半导体致冷器件 TES1-12739,其最大温差电压 14.7 V,最大温差电流 3.9 A,最大致冷功率 33.7 W。

### 3.5 其他部分

系统的键盘和串行通信接口 RS-232 用来设定控制温度和调整 PID 参数,LCD 显示器用来显示设定温度和当前温度。当系统出现故障时,复位电路可以及时复位整个系统,避免对系统造成损害。

## 4 系统软件设计

系统软件的核心部分是 PID 控制。PID 控制系统原理框图如图 4 所示,系统由模拟 PID 控制器

和被控对象组成。

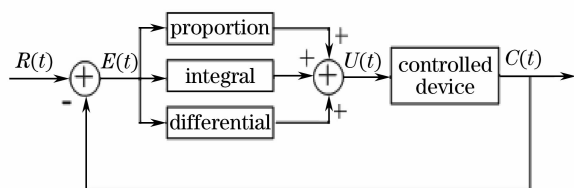


图 4 PID 控制系统原理图

Fig. 4 Schematic diagram of PID control system

给定值  $R(t)$  与实际输出值  $C(t)$  构成控制偏差:

$$E(t) = R(t) - C(t). \quad (1)$$

将偏差的比例(P)、积分(I)和微分(D)通过线性组合构成控制量,对被控对象进行控制,故称 PID 控制器。其控制规律为

$$U(t) = K_P \left[ E(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t E(t) dt + T_D \frac{dE(t)}{dt} \right], \quad (2)$$

写成传递函数的形式:

$$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_P \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_D s \right), \quad (3)$$

式中  $K_P$  为比例系数,  $T_i$  为积分时间常数,  $T_D$  为微分时间常数。PID 控制器各校正环节的作用:

1) 比例环节, 成比例地反映控制系统的偏差信号  $E(t)$ , 产生偏差之后, 控制器立即产生控制作用, 以减少偏差;

2) 积分环节, 主要用于消除静差, 提高系统的无差度, 积分作用的强弱取决于积分时间常数  $T_i$ ,  $T_i$  越大, 积分作用越弱, 反之越强;

3) 微分环节, 反映偏差信号的变化趋势, 并能在偏差信号值变大之前, 在系统中引入一个有效的早期修正信号, 从而加快系统的动作速度, 减小调节时间。通过选择  $K_P$ 、 $T_i$ 、 $T_D$ , 可使控制量中的三部分合理组合, 从而达到控制的目的。

系统开始工作时, 首先 DSP 控制软件发出读取温度指令, 通过 DS18B20 采集被控对象当前的温度值  $T_1$  并送 LCD 实时显示, 然后将所测得的温度值与设定值  $T$  进行比较, 其差值送 PID 控制器, 经过处理后输出一个控制量, 控制量经 DRV592 加载到 TEC 上, 对光开关进行加热或制冷。加热或制冷取决于致冷器上所加电流的正负, 若光开关当前温度测量值与设定值差值为正, 则输出负电流信号, 致冷器上加载负电流, 光开关温度降低; 反之, 致冷器上加载正向电流, 光开关温度升高。上述工作过程不断循环, 最后将光开关的温度控制在设定值附近。随着循环次数的增加, 波动幅度会逐渐趋近于零, 直

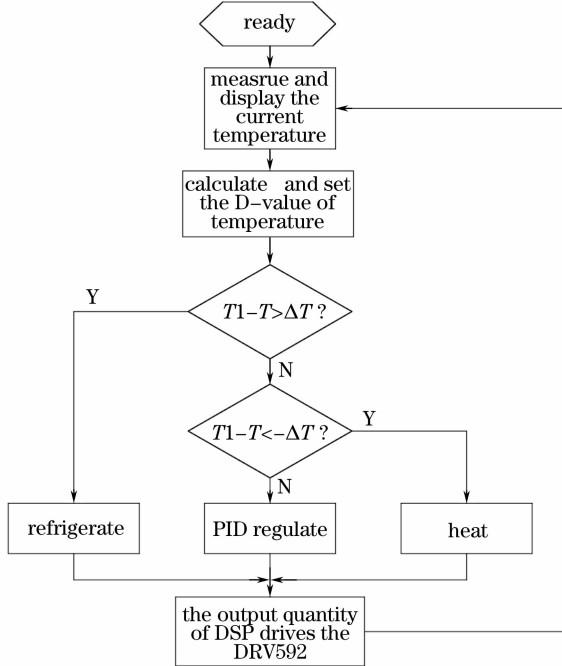


图 5 温度控制系统软件流程图

Fig. 5 Software flow chart of temperature control system

至达到控制要求。

为了提高温度控制系统的响应速度, 在进入 PID 控制前加入一段温差判断程序。当温差大于设定阈值  $\Delta T$  时, 系统进行全功率加热或制冷, 直到温差小于  $\Delta T$  才进入 PID 控制环节。图 5 为温度控制系统软件流程图。

### 5 实验结果与结论

在较低的环境温度下对该系统进行加热实验。图 6 和图 7 为在光纤延迟线周围环境温度为 19 °C 左右, 设定温度为 30 °C 时某点的温度曲线图。

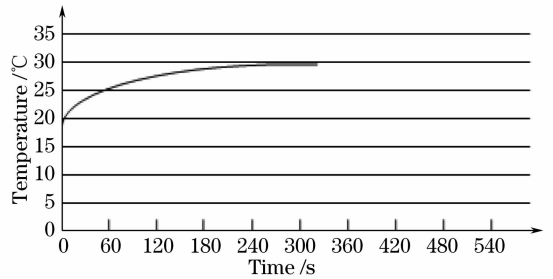


图 6 某点的温度曲线

Fig. 6 Temperature curve of the spot

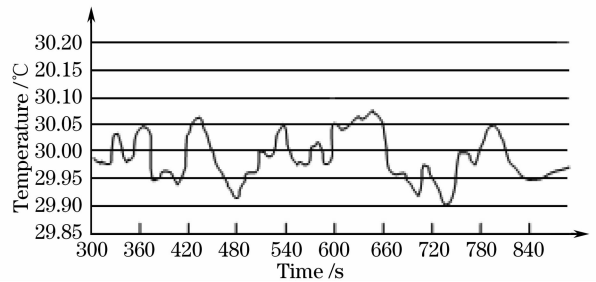


图 7 稳定后的温度曲线

Fig. 7 Temperature curve of steady state

由图可见, 该系统响应速度比较快, 无超调量, 达到设定温度后, 温度稳定在  $\pm 0.1$  °C, 取得了令人满意的效果。其良好的稳定性, 很好的满足了仪器对温度的要求。系统所用元件数目少、电路板面积小, 成本低, 是一种较好的、实用的设计方案, 在箱式或封闭较好的仪器设备里有很好的应用前景。该温控系统的应用为光纤延迟线器件的小型化、智能化提供了有利条件。

### 参 考 文 献

1 Liu Heping, Deng Li. Principle, Structure and Applied Foundations of Digital Signal Processor—TMS320F28X[M]. Beijing: China Machine Press, 2007. 18~25  
 刘和平, 邓力等. 数字信号处理器原理、结构及应用基础——TMS320F28X[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007. 18~25  
 2 Principle and Applications of High Speed Digital Signal Processor

- [M]. Beijing Wenting Technology Development Co., Ltd, 1998. 11~23
- TMS320F28X高速数字信号处理器原理与应用[M]. 北京闻亭科技发展有限公司, 1998. 11~23
- 3 Wang Jiajia. Research of temperature control system based on DSP[J]. *Electronics Quality*, 2007, **3**: 17~20
- 王嘉佳. 基于 DSP 的温控系统的研究[J]. 电子质量, 2007, **3**: 17~20
- 4 Tao Yonghua. New Type PID Control and Its Applications[M]. Beijing: China Machine Press, 2002. 39~68
- 陶永华. 新型 PID 控制及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002. 39~68
- 5 Hu Junfeng, Zhao Yafeng, Zheng Gang. Fuzzy-PID and its application in TEC temperature control [J]. *Techniques of Automation and Applications*, 2007, **26**(10): 102~104
- 胡峻峰, 赵亚凤, 郑 纲. 模糊 PID 及其在 TEC 温控系统中的应用[J]. 自动化技术与应用, 2007, **26**(10): 102~104
- 6 Thermoelectric Cooling Systems Design Guide [M]. Dallas, Texas: Marlow Industries, Inc, 1998
- 7 TMS320C28X Optimizing C/C++ Compiler User's Guide, 2005. 21~37
- 8 George Eppeldauer. Temperature monitored controlled silicon photodiodes for standardization[C]. *SPIE*, 1991, **1479**: 11~17
- 9 Maxim Integrated Products Inc. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer[Z]. 2001