

# 采用自动补偿零漂的高精度调宽温控仪

金洪厚 李建成 吕亚娟

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 本文介绍适合光学元件恒温的高精度恒温器的构造和原理。采用自动补偿调宽法恒温控制的零漂, 获得高精度的恒温效果。

## A high accuracy thermostat with auto-drift-compensation

*Jin Honghou, Li Jiancheng, Lu Yajuan*

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

**Abstract:** The principle and structure of an accurate thermostat for temperature control of optical elements are reported. By means of auto-compensation the zero drift in the width-modulator, high accuracy thermostatical effect is obtained.

调宽温度控制法, 效率高、工作稳定, 受到人们的普遍重视。在某些非绝热式(即与外界不密封)的特殊装置中尤为适用。比如激光和光学实验时, 光路中的晶体、标准具等一些光学元件, 通常在  $40\sim 50^{\circ}\text{C}$  的环境中工作, 其温度稳定性一般为  $0.01^{\circ}\text{C}$ 。在光路中不希望插入(除空气之外)其它任何介质。这类温度控制采用调宽法很合适。调宽法恒温控制稳定性比直流放大型等恒温控制高, 但对高精度的温控仪器来说还存在以下三个主要缺点:

(1) 高精度恒温需要直流差分放大器具有较大的放大量, 同时差分放大器的零漂不能忽视, 因会直接影响加热时间  $T$ 。

(2) 温度参考锯齿波信号一般含有起始电压  $V_0$ ,  $V_0$  往往是与晶体管饱和特性有关的参数, 随着外因(温度、电压等)改变而有差

异。

(3) 比较器的电压、电流的失调和零漂也直接影响加热时间  $T$ 。

针对上述情况, 我们研制了方波调制热敏电桥和三角波作和差比较, 并通过逻辑判断实现加温, 能较理想地克服上述三个影响恒温精度的因素, 从而获得高精度的恒温控制。其框图如图 1。主要部件的功能如下:

测温电桥用 50 赫对称方波调制下输出的交流信号经差分放大后, 由隔直电容器  $C_1$  与下级耦合, 防止放大器的直流零漂输出。同样用对称三角波  $S_0$  代替锯齿波比较电压, 也可以用隔直电容器  $C_2$  与下级耦合, 消除  $V_0$  输出。从而根本上改善了二个信号电压的漂移。

调制方波和三角波都需要近似地对称,

收稿日期: 1982年7月8日。

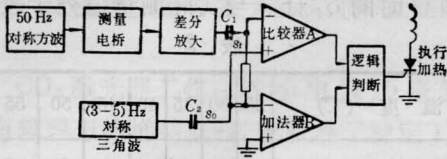


图1 能自动补偿零漂及失调的高精度调宽恒温控制框图

以便使温度信号  $S_t$  和三角波  $S_0$  经隔直电容  $C_1$ 、 $C_2$  后形成正负对称的电压信号,如图2。 $S_t$  和  $S_0$  经比较器  $A$  和加法器  $B$  后,其输出分四种情况。

<I>  $S_t > 0, S_0 > 0$ ;

(a)  $S_t > S_0$ ; 比较器  $A$  输出负值,加法器  $B$  输出负值; (b)  $S_t < S_0$ ; 比较器  $A$  输出正值,加法器  $B$  输出负值。

<II>  $S_t < 0, S_0 > 0$ ;

(a)  $|S_t| > S_0$ ; 比较器  $A$  输出正值,加法器  $B$  输出正值; (b)  $|S_t| < S_0$ ; 比较器  $A$  输出正值,加法器  $B$  输出负值。

<III>  $S_t > 0, S_0 < 0$ ;

(a)  $S_t > |S_0|$ ; 比较器  $A$  输出负值,加法器  $B$  输出负值; (b)  $S_t < |S_0|$ ; 比较器  $A$  输出负值,加法器  $B$  输出正值。

<IV>  $S_t < 0, S_0 < 0$ ;

(a)  $|S_t| > |S_0|$ , 比较器  $A$  输出正值,加法器  $B$  输出正值; (b)  $|S_t| < |S_0|$ , 比较器  $A$  输出负值,加法器  $B$  输出正值。

根据调宽法恒温原理,当  $|S_t| < |S_0|$  时加热器应进行加热。综合上述四种情况中的

(b) 状况(即比较器  $A$  和加法器  $B$  输出异极性)进行加热。因此在  $A$ 、 $B$  输出端接上一个简单的异或门逻辑电路,就能准确地控制加热。这种和差比较电路对调制放大信号不仅无需解调装置,而且能自动地补偿比较器  $A$  和加法器  $B$  引起的各种失调误差(包括电压、电流失调和零漂)。

从图2中看到,在理想无漂移的情况下,若  $S_0$  的周期远大于  $S_t$  的周期,比较器  $A$  和加法器  $B$  的输出无论是正值还是负值都具有相同的加热时间。若  $A$ (或  $B$ ) 输出存在负漂移(其中包括放大器的电压、电流失调,三角波方波不对称性等因素),即输出正值时加热时间增加,而输出负值时的加热时间必然会减少相同的倍数。反之也成立。只要  $S_t$  信号幅值不变,加热时间保持不变,就能实现自动补偿,确保恒温精度。

图3是光学标准具恒温控制器的原理图。运算放大器(简称运放)  $OP_1$  和电阻  $R_1$ 、 $R_2$  等组成 50 赫调制方波与电源(50 赫)同步,并用温度补偿稳压管限幅。 $R_T$  是热敏电阻,它与电阻  $R_3$ 、 $R_5$  和电位器  $W_1$  组成测温电桥。高精度恒温器的测温电桥应采用有效的温度补偿,这种补偿电路往往电路复杂。

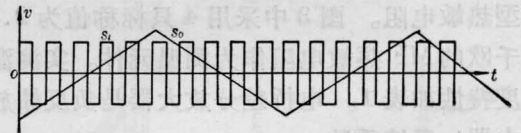


图2 自动补偿调宽温控仪  $S_0$ 、 $S_t$  波形图

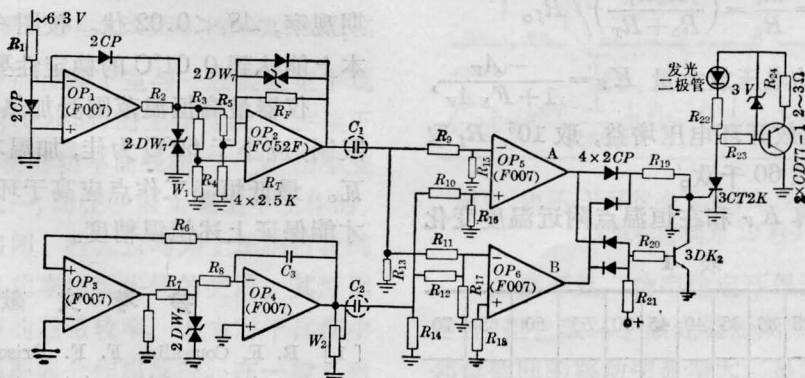


图3 原理图

不过作为光学元件的恒温装置，温度通常是在 40~60°C 之间(其恒温绝对值没有特殊要求，希望长期恒定)。因此只要将电桥各臂封装在恒温器内，元件将在固定的恒温点附近工作，无需作复杂的温度补偿也会收到满意的效果。运放  $OP_2$  和电阻  $R_f$  组成反馈放大器，在结构允许的条件下，也应封装在恒温器内。运放  $OP_{3-4}$  组成三角波发生器，作为比较用的三角波幅度稳定性是高精度恒温控制器的关键问题之一，本装置采用倒相积分和过“零”比较器组成。积分器的输入端插入一个具有温度补偿的精密稳压管，限制了过“零”比较器  $OP_3$  输出幅度变化对积分器的影响，提高了三角波的稳定性。运放  $OP_5$  是比较器， $OP_6$  是反相加法器。逻辑判断的异或门由 4 只 2CP 和晶体管 3DK<sub>2</sub> 及电阻  $R_{19-21}$  组成。执行元件是 3CTK<sub>2</sub>。用 2 只 PNP 大功率硅三极管代替电炉丝加热元件。PNP 晶体管集电极(壳子)能直接接地，结构紧凑，导热良好，有利于热时间常数的减小。

调宽法恒温控制靠加热时热量积分和散热平衡来实现恒温控制的，热时间常数对控制精度仍然是有影响的参数之一。除结构上认真考虑外，宜选用热时间常数较小的 MF 型热敏电阻。图 3 中采用 4 只标称值为 2.5 千欧的 MF 热敏电阻作为测温元件。实测温度特性如表 1。电桥差分放大器是负反馈放大器。反馈系数

$$F_N = \frac{R_i}{R_f} = \left( \frac{R_5 R_T}{R_5 + R_T} \right) / R_f$$

$$\text{放大器的电压放大量 } K_V = \frac{-A_V}{1 + F_N A_V}$$

式中  $A_V$  是运放开环电压增益，取  $10^5$ ， $R_f$  取 2 兆欧， $R_5$  取 60 千欧。

理论计算  $K_V$  和在恒温点附近温度变化

表 1

温度 (°C)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
电阻值(千欧)	9.2	6.5	5.4	4.8	4.3	3.6	3.1	2.7	2.2	1.8

0.5°C 时的  $S_t$  计算与实际测量值列于表 2。

表 2

温度 (°C)	25	30	35	40	45	50	55	60
放大量计算值(伏)	250	336	400	450	500	588	680	775
$\Delta S_t$ 计算值(伏)	5.8	4.7	3.8	3.3	3.0	2.8	2.2	2.7
$\Delta S_0$ 实际测量值(伏)	4	3.5	3.3	3.1	2.6	2.2	2.3	3.4

上述数据的测试方法是在恒温点附近上保持  $W_1$  不变，改变三角波的幅度 ( $W_2$ ) 使温度变化 0.5°C (用每格为 0.1°C 的精密温度计作检测) 时三角波的改变量 (用示波器检测)。表 2 中理论值与实际值的偏差是受运放开环增益和输入阻抗等因素的影响所致。

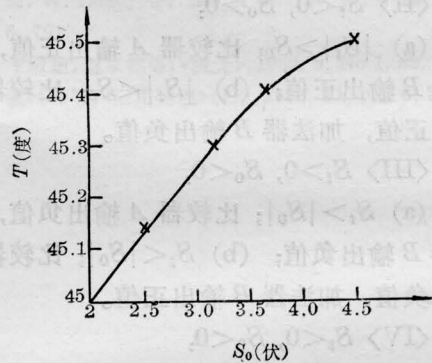


图 4

在恒温点时，三角波作小范围变化，恒温工作点的移动近似线性。实际测试如图 4。固定三角波  $S_0$  为 2 伏，环境温度从 5~35°C 变化，用示波器(灵敏度: 0.01 伏/厘米)作长期观察， $\Delta S_t < 0.02$  伏。按图 4 控制特性，基本上能达到 0.01°C 的稳定性要求。

仪器最高恒温范围受加热元件晶体管的限制，应小于 60°C 为佳，加温功率不大于 40 瓦。最低恒温工作点应高于环境温度 5°C，才能保证上述恒温精度。

### 参 考 文 献

- [1] R. F. Coughlin, F. F. Driscou; "Operational amplifiers and linear integrated circuits", 1977.
- [2] 倪中坚; 《电测与仪表》，1978, No. 3, 13-15.