

折射率温度系数测定仪中 数据自动采集处理系统的研究

王嘉禄 段文琴 张兆兰

摘要: 本文介绍了折射率温度系数测定仪的数据自动采集系统。研究了用微计算机对能量及周期均有变化状态下, 干涉条纹随温度变化量的采集及处理的硬件及软件。实验中干涉条纹测量精度达 ± 0.06 。温度测量精度达 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。满足了折射率温度系数达 $\pm 5 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ 的精度要求。

一、前 言

在折射率温度系数测定仪中, 数据的采集和处理系统是仪器实现自动测量的关键部分。本仪器是用微计算机对温度变化量及干涉条纹变化量进行自动采集及处理。

折射率温度系数是基于测量样品在均匀温度场匀速变温过程中, 干涉条纹发生的变化。按如下公式求得折射率温度系数 $\beta_{a,b,s}$ 。

$$\beta_{a,b,s} = \frac{\lambda}{2l} \cdot \frac{\Delta K}{\Delta T} - n\alpha$$

式中 ΔT 为测量中温度范围, ΔK 为该温度区间条纹变化量。

由于测量需要采用不同的光谱灯 (Hg、He、Na、Cd) 中不同谱线 (e、g、d、D、C'、F')。其能量不同, 而且一条谱线在测量过程中能量受其它因素影响, 也在不断地变化, 干涉条纹的能量在变化。因此按能量采集是不可能的。另外, 由于测量是在变温过程中进行的。干涉条纹的变化周期受其温度影响。温度线性变化的误差, 使得干涉条纹并非标准的正弦曲线。这样条纹的变化量按其周期采集是不准确的。因此必须研究一种适于本仪器的采集和处理方法。

二、设计思想

本仪器最终测试目的是如下几种参数, 且由公式求得有关数值

$$\alpha = \frac{1}{n_0} \left(\frac{\lambda'}{2L} \cdot \frac{\Delta M}{\Delta T} - \beta_0 \right) \quad (1)$$

$$\beta_{a,b,s} = \frac{\lambda}{2l} \cdot \frac{\Delta K}{\Delta T} - n \cdot \alpha \quad (2)$$

$$\beta_{r,c,1} = \beta_{a,b,s} + n\beta_0 \quad (3)$$

$$V = \frac{\beta_{r,c,1}}{n-1} - \alpha \quad (4)$$

$$W = \beta_{a,b,s} + (n-1)\alpha \quad (5)$$

式中 α ——线膨胀系数

$\beta_{a,b}$ ——绝对折射率温度系数

$\beta_{r,1}$ ——相对折射率温度系数

V, W ——热光系数

n_0 ——空气在20℃时所测波长的折射率;

β_0 ——空气所测波长的折射率温度系数;

L ——膨胀样品长度;

l ——干涉样品长度;

λ' ——He—Ne激光6328Å波长;

λ ——测量谱线波长;

n ——样品20℃时所测波长的折射率

ΔT ——温度变化范围;

$\Delta K, \Delta M$ ——在 ΔT 范围内干涉条纹的变化量。

由式(1)、(2)不难看出,测试工作的关键是测准设定的温度变化区间 ΔT 及与其对应的干涉条纹变化量 $\Delta K(\Delta M)$ 。

n_0, β_0 可由文献查出。 λ', λ 为已知波长。 L, l 用千分尺测量。 n 由 V 棱镜折光仪测量。

根据所测数据 $\frac{\Delta K}{\Delta T}$ ($\frac{\Delta M}{\Delta T}$)及已知数据,可由公式(1)、(2)计算得 $\alpha, \beta_{a,b}$ 。再由公式(3)、(4)、(5)计算得 $\beta_{r,1}, V, W$ 。

因此本仪器的关键是测准 ΔT 及 $\Delta K(\Delta M)$ 两个测量量。由双笔函数记录仪所记录的曲线如图1所示:

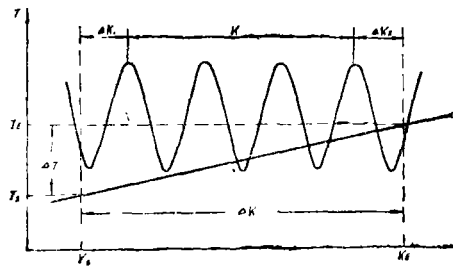


图1 ΔT 及 $\Delta K(\Delta M)$ 记录曲线

图中直线为温度变化线。 T_0 为初温度(+20℃)。 T_1 为末温度(+80℃或-40℃)。 $\Delta T = T_1 - T_0$ 。波浪线为干涉条纹变化曲线, K_0 为条纹初始位置, K_1 为条纹终止位置。 K 为条纹变化的整数部分, ΔK_1 为初温度至第一整条纹的小数部分, ΔK_2 为末整条纹至末温度的条纹小数部分,总条纹变化量 $\Delta K = \Delta K_1 + K + \Delta K_2$ 。若选择适当的升(降)温速率及记录仪的走纸速度, $\Delta T, \Delta K$ 的测量精度可满足测试要求。但人工处理数据是费时的。模拟此方式,我们研制成了微计算机数据采集、处理系统,用软件完成了测量及计算工作,测量结束时可立即打印出 $\alpha, \beta_{a,b}, \beta_{r,1}, V, W$ 的计算结果。完成自动测量。

三、系统结构及硬件

数据采集处理系统的方框图如图2所示:

主机采用TP801单板微计算机。输入接口采用TPQ82A/D接口板, TP801P-1微型打印机作为输出设备。被测信号是铜-康铜热电偶的热电势及干涉条纹信号。它们的能量是很弱的, 故经DC·Amp·8410放大器放大为0~5V的模拟电压信号, 送至A/D转换板。

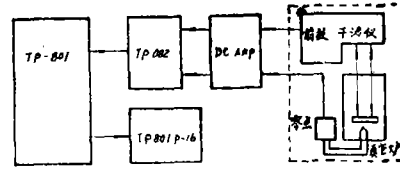


图2 系统结构框图

(一) DC·Amp·8410放大器

DC·Amp·840放大器, 由两路独立的直放大电路及稳压电源板组成。其电路原理图见图3, 图4, 图5。

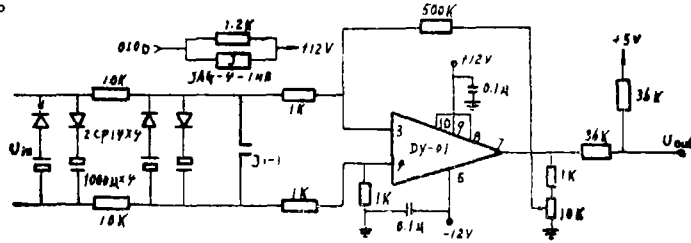


图3 条纹能量放大电路

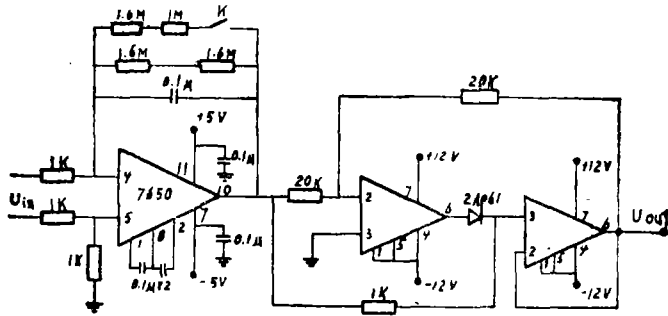


图4 温度讯号放大电路

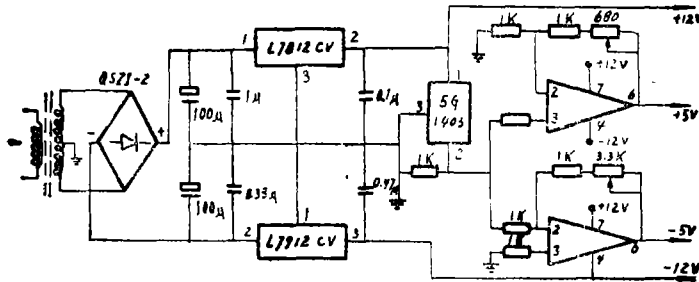


图5 ±5V、±12V稳压电源电路

放大干涉条纹能量信号K支路的方框图如图6。

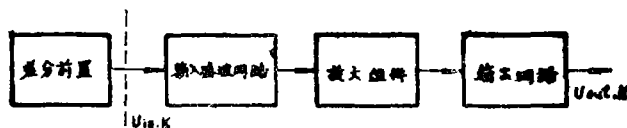


图6 放大器K支路框图

差分前置放大器，设在干涉仪内的光电倍增管附近。差分式放大器对光源能量的跳动及电源的波动有良好的抑制作用。但是，二只光电倍增管的性能不能完全对称，各种波长谱线的干涉条纹经光学系统分光到二只光电倍增管的能量亦不相等，难以完全消除影响。故由前置放大器送至主放大器的信号 $U_{in,T}$ ，其高低频噪声的影响还是不可忽略的。玻璃样品的导热系数小，测试时需要慢速升降温，干涉条纹信号的周期较长，主要需抑制低频影响。因此，设计了时间常数较大的低通滤波网络。

放大部分采用了DY-01运放组件，其零漂、时漂都很低。而测试过程对本路放大器要求还不高，故能很好的满足设计要求。

A/D板只能转换单极性模拟信号，故在输出端设计一电阻网络来完成双极性转换为单极性信号的工作。

放大热电偶热电势 T 支路的方框图如图7。



图7 放大器T支路框图

主放大器由自稳零式运放7650组成。其零漂及时漂都非常小，在微伏级。采用了抑制交流分量的措施。

仪器在 $+20 \sim -40^\circ\text{C}$ 段工作时，电偶信号由正变负。为满足A/D板对输入信号必须是正信号的要求，采用了绝对值放大电路作输出级。

仪器要求总的测温精度为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。故要求放大器稳定性好，放大倍率线性好。放大器性能实测数据如表1。

表1 放大器线性标定数据

U_i (mV)	U_o (V)	A/D(H)	K (放大倍率)	$ \bar{K} - K $
0.5	0.987	34	1316	0
1.00	1.318	44	1318	2
1.50	1.970	66	1313	3
2.00	2.632	88	1316	0
2.50	2.285	AA	1314	2
3.00	3.955	CC	1318	2
3.36	4.429	E ₆	1318	2

\bar{K} 为1316倍，放大倍率偏差小于0.3%。稳定度：四小时漂移小于 $10\mu\text{V}$ 。

(二) 用CTC作采样计数时钟

本系统采用中断方式2进行数据采样。利用TP801单板机内部时钟，由CTC设定时间间隔并申请中断。原机的CTC只有0通道供用户使用，时间间隔只能在33ms内选择。范围太窄。故在布线区加装一块CTC，称CTC II。两支CTC接成如图8形式。

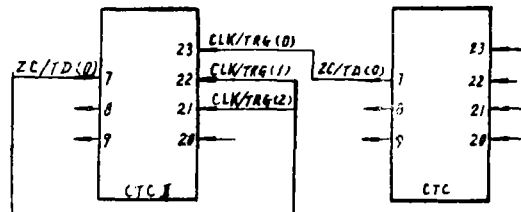


图8 两支CTC连接图

CTC的0通道作为定时器用。将其“回

零时间到”信号作触发脉冲，送至CTC II的CLK/TRC(0)端。启动CTC II 0通道。如此方式串接，可使时间间隔选择范围加宽至数十分钟。时间间隔可根据测试要求进行设定。

四、软 件

本系统主要用软件来完成测试数据的采集、处理、计算和打印输出，实现自动测量。采用模块式设计方法，整个软件由若干个程序段和程序块组成，便于开发和调试。调试好的软件约4K字节，固化在二片EPROM内。

为方便用户，建立高、低温测试不同入口键供选用。采用人机对话形式输入必要的参数。参数是否有误，测试人员一目了然。交替显示瞬时温度，条纹能量和条纹整数计数值，便于操作人员观察测试进展情况。采样结束，计算输出程序段将 α 、 β 、 β' 、 V 和 W 数据打印出报告单。

(一) 中断采样服务程序设计思想

判读 T_s 、 T_e ，判计条纹数和计算条纹小数是软件的核心工作，它由中断服务程序完成。

按相同的速率升降温，对不同样品、不同谱线其干涉条纹变化周期是不同的。干涉条纹能量的幅值，亦是大小不一的。所以，按定周期或按定幅值计数条纹，是难以计数准确的。本程序采用了定时中断采样、记忆、延时判读的方法，判计条纹整数，计算条纹小数，满足了测量精度的要求。

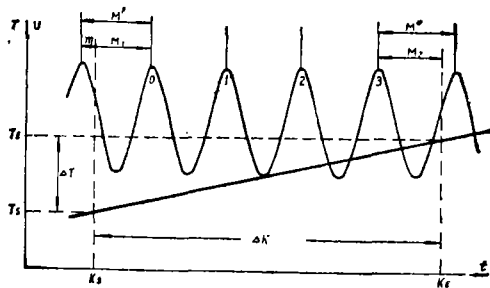


图9 数据采集模拟图

图9绘出了干涉条纹能量变化曲线和样品温度变化曲线。若以峰值为判读基准，则有一个峰值，即计数一根条纹。可是， ΔT 的起始温度 T_s 点对应的条纹曲线位置，不一定是峰值位置。这样就出现了不足整根条纹的小数部分。终结温度 T_e 对应点的位置亦存在同样情况。若是温度变化为线性，则条纹变化为正弦曲线。采样时间间隔一定，整个周期的采样次数作为分母 $M' = m + M_1$ ， T_s 对应点到 ΔT 区间内第一个峰值处的采样次数作为分子 M_2 ，则可求出起始段的条纹小数 M_1/M' 。同样亦可计算出终结点的条纹小数 M_2/M'' 。

在测试中，控温不能达到理想的线性。周期时间不能完全相同。故计数条纹小数部分时，采用起始段和终结段的本周期采样次数作为分母，以减少误差。适当设定采样时间间隔，使每个周期采样次数为100次左右，可使小数判读精度达0.05根条纹。

低温测试中，条纹曲线有时出现“毛刺”(即干扰)。为防止虚假计数，以条纹上升沿中值为判读基准，判计条纹数。即在条纹能量中值处设定一个带宽，当条纹上升沿超过带顶时，

计数一根条纹。只若“毛刺”不超过带宽，就不能引起虚假计数。带宽可由用户设定，亦可由程序自选。

(二) 程序简介

程序框图如图10。

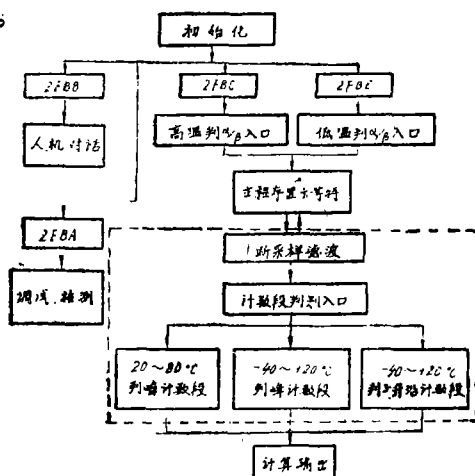


图10 程序框图

1. 初始化：用户程序入口0800H。

(1) 建立用户键。2FB8键为人机对话功能键；2FBC与2FBE键分别为高温测试与低温测试入口键（即执行键）。

(2) 自建立打印字库、显示字型表格，打印表格I区、II区及表格指针等程序块。

(3) 定点无符号四则运算及代码转换等九个子程序。

2. 人机对话程序段：按下2FB8键，计算机立即打印提出问题。测试人员可向2FOAH~2FODH~2FOFH单元写入所需参数，进行回答。数据用十进制码写入。字符用ASCII码写入。

3. 主程序：清数据暂存区。交替显示瞬时温度 T_i 和条纹能量 U_i ，累计显示条纹整数 K 。等待中断。

4. 中断服务程序

(1) 采样滤波段：为弥补硬件滤波的不足，消除干扰造成的数据的跳动，对采样数据进行多重数字滤波。每次中断，对 T_i 与 U_i 多次采样，排序取中作为本次的 T_i 与 U_i 值。

对 T_i 再进行上下限滤波。其数学模式：

当 $T_i - T_{i-1} \leq \Delta T_0$ 。则取本次采样值。

当 $T_i - T_{i-1} > \Delta T_0$ 。则仍取上次采样值。

式中： T_{i-1} ——为上次采样值

T_i ——为本次采样值

ΔT_0 ——允许的参数偏差

对 T_i 、 T_{i-1} 、……、 T_{i-7} 再进行“排序法”数字平滑。

对 U_i 进行“二维卷积法”数字平滑。其数学模式为：

$$U_i = \frac{1}{35} (-3U_{i-2} + 12U_{i-1} + 17U_i + 12U_{i+1} - 3U_{i+2}) \quad (6)$$

(2) 计数程序段：完成条纹整数的计数和 T_i 、 T_s 对应点的条纹小数的判读工作。

整数判读方法有二，一是判峰值计数，二是判上升沿超过设定的带顶进行计数。分别设计成两个程序段，供测试人员选用。判峰值数学式为：

$$\sum_{i=0}^{n-1} U_i - \sum_{i=1}^n U_i \geq 0 \quad (7)$$

$$\sum_{i=0}^{-(n-1)} U_i - \sum_{i=1}^{-n} U_i \geq 0 \quad (8)$$

使两式同时成立的 U_i 点，即为峰值。如图11所示。本系统 A/D 片是八位的，且采样点较密，故峰值附近几点的条纹能量值 U_i 拉不开档。这样就会出现多点 U_i 值同时满足(7)、

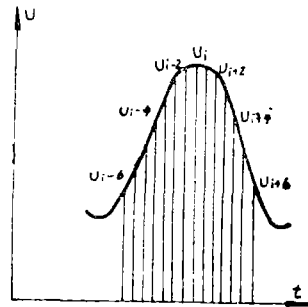


图11 峰值位置采集示意图

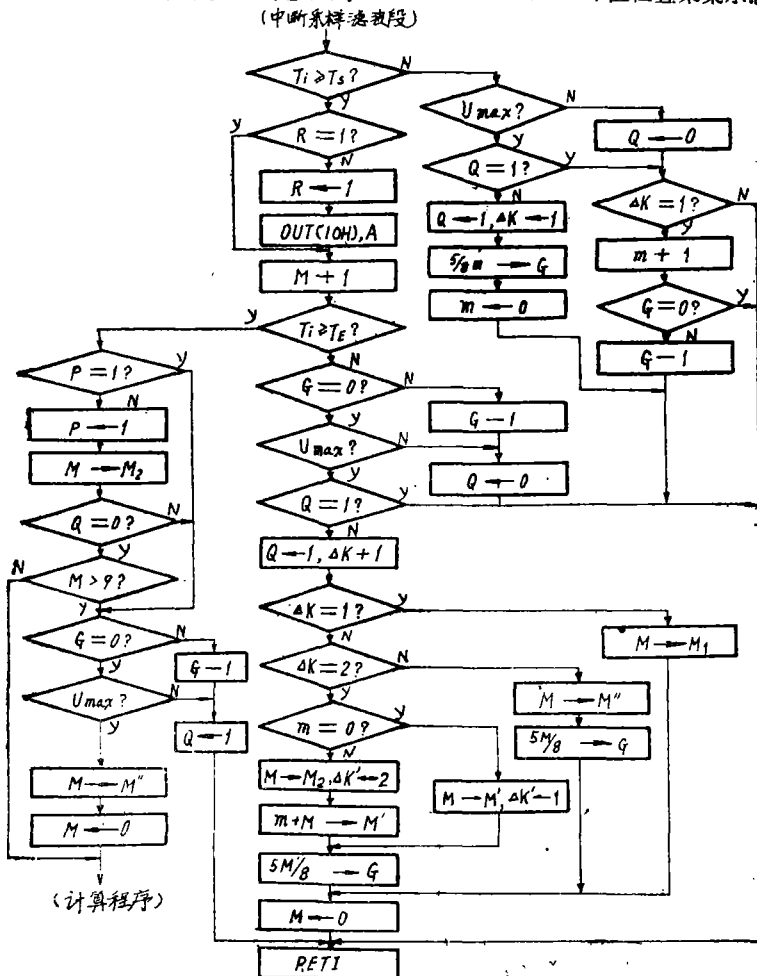


图12 判极计数程序流程图

T_i —温度采集值
 T_s —起始温度值
 T_E —终结温度值
 U_{max} —干涉条纹能量最大值
 R — T_s 到标志
 P — T_E 到标志

Q — U_{max} 是标志
 G —时间封锁标志单元
 m — $T_i < T_s$ 段计数器
 M — $T_i \geq T_s$ 段计数器
 M_1 — T_s 段小数分子
 M_2 — T_s 段小数分母

M_3 — T_E 段小数分子
 M'' — T_E 段小数分母
 ΔK —条纹整数
 $\Delta K'$ —条纹数修正量

(8) 两判别式。引起多计数。为此设置一个峰值标志 Q ，当第一个 U_i 值同时满足 (7)、(8) 两式，即认作峰值，条纹计数加一。将 Q 标志置 1 假如接连的第二、第三或更多个 U_i 值也同时满足两判别式，那么也可认作峰值， $K+1$ ，可是此时 $Q=1$ ，对其不作峰值对待， K 不加 1。等到不能同时满足 (7)、(8) 两式的 U_i 点出现时，再将 Q 标志置 0。这样下一个峰值到来，就不会漏计了。若条纹下降沿时不判峰值，而在上升沿时开始判别，也不会漏计。据此又引入时间封锁措施。将前一个周期的 $5/8$ 作为封锁时间。当判别为峰值， $K+1$ 后，即进行封锁，在此时不判峰值。故任何干扰也不会引起虚假计数。时间封开启后，即进入条纹曲线上上升沿段。此段，每次采样的 U_i 值相差较大，抗干扰能力强，亦不会出现虚假计数。

对 U_i 判峰计数程序段及对 U_i 判上升沿计数程序段的流程图见图 12、13。

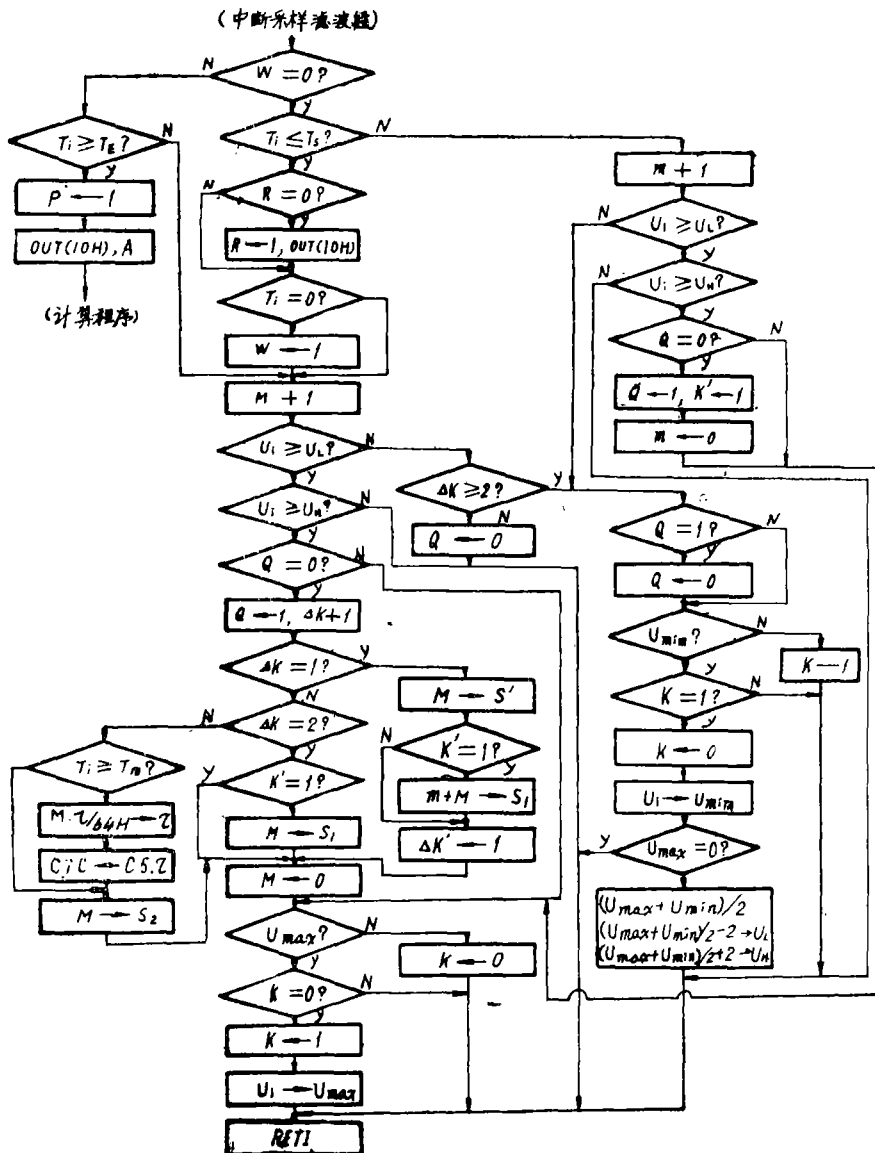


图 13 低温判带计数程序流程图

-40~+20℃ 计数程序段,可自动选择设定 CTC 的时间常数,在判上升沿计数程序段,还可自动选择带宽的高度。

5. 计算输出程序:先计算 $\Delta K/\Delta T$,精确到 10^{-3} 位。下一位四舍五入。按公式(1)~(5)计算 α 、 β 、 $\beta_{r.1}$ 、 V 和 W 值,精确到 10^{-7} 位,下一位四舍五入。打印输出数据报告单。

五、计数精度分析

(一) 干涉条纹的测量精度

前边谈到,干涉条纹的测量分为两部分,一是整数部分计数,二是小数部分判读。由于对 U 进行双重数字滤波,平滑了干涉条纹变化曲线。又采用了峰值标志和时间封锁等措施,整数部分不会产生虚假计数。所以,整数部分计数是可靠无误的。

引起条纹小数判读误差的因素有二。一是判峰方法所致,二是升降温速率不是严格线性,引起干涉条纹变化周期长短不一造成。判峰法是将第一个满足(7)、(8)两式的,可能有若干连续点 U_i 、 U_{i+1} 、 \dots 、 U_{i+j} ,其中间点 $U_{i+\frac{j}{2}}$ 对应位置才是峰值。干涉条纹变化周期是从前峰值的第一点到后面峰值的第一点的采样次数。光源的波动、干涉条纹的抖动、升降温速率的非线性等影响,可能造成各个峰值出现的连续点数 j 不同。这将引起周期的计数误差,其大小 $(\Delta M') = \frac{1}{2} \Delta j$ 。

若 T_1 点前和 T_2 点后因某种原因没有出现峰值,需用相邻周期计数作为计算小数的分母。上面分析的二种因素都将引起误差。实际测量表明相邻周期相差很小。引起误差约为 $\Delta M' \leq \pm 4$; $\Delta M_2 \leq \pm 2$; $d(M_2/M') \leq \frac{1}{20}$ 。此精度优于原设计要求。

(二) 温度的测量精度

温度测量是将电偶的热电势经硬件放大,又经 A/D 转换,采样处理实现的。因此它与硬件质量及选用的 A/D 板有关。二者引起的误差都综合地表现在最后的温度显示上。温度支路放大器的稳定性是重要的,对线性度的要求则不很严。只要对 T_1 与 T_2 进行精确标定也就可以了。本放大器的稳定性为:四小时漂移,输出端小于 10mV ,折合输入端小于 $10\mu\text{V}$ 。实际测量表明,没超过 A/D 板的误差 $\pm 1\text{bit}$,所以测温误差约为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$,可以满足测量要求。

**Development of an Automatic Data Sampling and Processing
System in on Instrument for Measuring Temperature
Coefficient of Refractive Index**

Wang Jialu Duan Wenqin Zhang Chaolan

Abstrect

In this paper an automatic data sampling system in an instrument for measuring the temperature coefficient of refractive index is introduced.

Using this system the measured precision of interference fringe and temperature are ± 0.06 and $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ respectively. These results meet the meet of accuracy ($\pm 5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$) of temperature coefficient of refractive index.