



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03111307.9

[43] 公开日 2004 年 9 月 29 日

[11] 公开号 CN 1532530A

[22] 申请日 2003.3.26 [21] 申请号 03111307.9  
 [71] 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所  
 地址 130022 吉林省长春市人民大街 140 号  
 [72] 发明人 禹秉熙 姚海顺 方伟

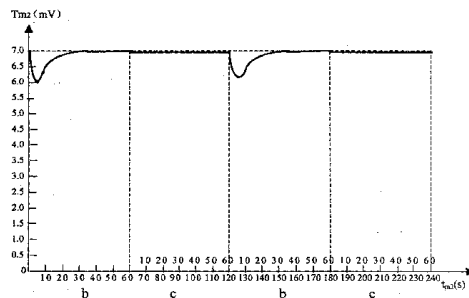
[74] 专利代理机构 长春科宇专利代理有限责任公  
 司  
 代理人 梁爱荣

权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 2 页

[54] 发明名称 用绝对辐射计快速测量光功率的方法

### [57] 摘要

本发明涉及用绝对辐射计快速测量光功率的方法：在接收器件上加低、高电功率  $P_L$ 、 $P_H$ ，温度传感器的电压输出值为  $T_L$  和  $T_H$ ；求出响应度  $S$  和时间常数  $\tau$ ；一直维持加高电功率  $P_H$ ，使输出维持在  $T_H$ ；光辐射功率  $P_s$  进入，停止加高电功率  $P_H$ ，由输出下降阶段前几秒的任意时刻  $t_j$  和  $t_{j+1}$  的输出值  $T(t_j)$ 、 $T(t_{j+1})$ ，计算维持输出值为  $T_H$  时所需加电功率  $P_{e1}$ ， $t_{j+1}$  时刻加电功率  $P_{e2}$ ；利用响应度  $S$  计算维持输出值为  $T_H$  时所需加电功率  $P_{e2}$ ，热平衡时输出值为  $T_{e2}$ ，计算入射的光功率  $P_s$ 。本发明使接收器件的温度维持在同一温度上下小幅波动，能够很快达到平衡，缩短测量周期，提高测量精度。可用于光辐射测量，尤其适用于对动态变化的太阳辐照度进行测量。



1、用绝对辐射计快速测量光功率的方法，其特征在于：测量的步骤如下：

a、绝对辐射计未打开快门、未加入入射光辐射功率（测量前）：在绝对辐射计接收器件上加一个较低电功率  $P_L$ ，接收器件和热沉达到热平衡后，接收器件的温度传感器输出的反应接收器件温度的热平衡电压输出值为  $T_L$ ；在绝对辐射计接收器件上加一个较高电功率  $P_H$ ，达到热平衡后，接收器件的温度传感器输出的反应接收器件温度的热平衡电压输出值为  $T_H$ ；根据上述电功率  $P_L$ 、 $P_H$  和热平衡电压输出值  $T_L$ 、 $T_H$ ，求出接收器件响应度  $S$ ；根据上述接收器件加较高电功率  $P_H$  时，接收器件温度在上升阶段任意时刻  $t_i$  采集的电压输出值为  $T(t_i)$ ，由在上升阶段任意时刻  $t_i$  和  $t_{i+n}$  接收器件温度传感器电压输出值  $T(t_i)$ 、 $T(t_{i+n})$ ，求出时间常数  $\tau$ ；绝对辐射计接收器件上一直维持加高电功率  $P_H$ ，使接收器件的温度传感器输出反应接收器件温度的热平衡电压输出值一直维持在  $T_H$ ；

b、打开绝对辐射计快门（观测阶段）：设入射的光辐射功率为  $P_s$ ，入射的光辐射功率  $P_s$  开始进入绝对辐射计的时刻  $t_j=0$ ，在接收器件上停止加高电功率  $P_H$ ，接收器件温度传感器的电压输出值在从  $T_H$  逐步下降阶段的任意时刻  $t_j$  采集的电压输出值为  $T(t_j)$ ，由温度传感器输出反应接收器件温度在从  $T_H$  逐步下降阶段前几秒的任意时刻  $t_j$  和  $t_{j+1}$  的电压输出值为  $T(t_j)$ 、 $T(t_{j+1})$ ，求出  $\alpha$  和  $T_s$ ，然后预测出观测

阶段可能入射的光辐射功率  $P'_s$ ，也就是测量入射的光辐射功率  $P_s$  的前几秒就能够预测待测入射的光辐射功率  $P'_s$ ，计算出观测阶段维持接收器件的温度传感器的电压输出值为  $T_H$  时其所需加的电功率  $P_{e1}$ ，然后  $t_{b2}$  时刻开始在接收器件的电阻丝上加电功率  $P_{e1}$ ，接收器与热沉达到热平衡时，接收器件的温度传感器的电压输出值为  $T'_H$ ；

c、关闭绝对辐射计快门（电定标阶段）：利用绝对辐射计响应度  $S$  计算出温度传感器的电压输出值为  $T'_H$  时所需加的电功率  $P_{e2}$ ，在接收器件的电阻丝上加电功率  $P_{e2}$ ，接收器与热沉达到热平衡时，接收器件的温度传感器的电压输出值为  $T_{e2}$ ，再用  $\Delta T$  进行功率修正，计算出入射的光功率  $P_s$ ；

每个测量周期完成后，根据在接收器件上加的电功率  $P_{e2}$  和接收器件的温度传感器的电压输出值  $T_{e2}$  求出响应度  $S'$ ，把响应度  $S'$  作为下一个周期测量的灵敏度；下一个周期测量的观测阶段重复步骤 b、c 的过程，完成用绝对辐射计快速对光功率的测量。

## 用绝对辐射计快速测量光功率的方法

**技术领域：**本发明涉及光学辐射能量计量技术领域，涉及采用电功率加热进行光功率测量方法的改进。

**背景技术：**对光功率进行测量时，一般是采用绝对辐射计对光功率进行测量。绝对辐射计的基本物理原理：是在它的接收器件上设置电阻丝，当对绝对辐射计加入射光时，使接收器件接收入射的光辐射  $P_o$ （观测阶段），经一段时间（ $t > 10\tau$ ）接收器件升温到最大值，接收器件与热沉达到热平衡，温度传感器电压输出  $T_o$  并由数据采集系统记录；然后关闭快门（电定标阶段），调整在接收器件的电阻丝上所加电压  $V$ ，再经与观测阶段相同的时间（ $t > 10\tau$ ），使接收器件与热沉达到热平衡，接收器件的温度平衡在同观测阶段的最大升温值相同的温度，即接收器件的温度传感器电压输出  $T_e = T_o$ ，使（观测阶段）入射的光辐射功率  $P_o$  和（电定标阶段）电阻丝上所加电功率  $P_e$  等效。

$$P_o = P_e = \frac{V^2}{R} \quad \dots\dots (1)$$

设接收器件入射的光辐射功率  $P_o$  或电功率为  $P_e$  时，接收器件的温度传感器的输出电压值  $T(t)$  随时间变化的热力学微分方程为

$$\begin{cases} C \cdot \frac{dT(t)}{dt} + K \cdot T(t) = P_o \\ t=0 \text{ 时, } T(t) = 0 \end{cases} \quad \dots\dots (2)$$

解方程（2）求得

$$T(t) = T_o(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad \dots\dots (3)$$

式中  $T_o = P_o/K$

$C$ -接收器件的热容量，

$K$ -接收器件与绝对辐射计热沉之间的热传导系数，

$\tau = C/K$  定义为绝对辐射计的时间常数。

从绝对辐射计接收入射的光辐射或进行电加热的时刻  $t=0$  开始，接收器件的温度逐步升高，理论上讲只有当  $t \rightarrow \infty$  时，接收器件才升温到最大恒定值，接收器与热沉达到热平衡，接收器件的温度传感器的电压输出值稳定在  $T_o$ 。当时间经过  $t = \tau = C/K$  时，接收器件温度传感器电压输出值  $T(\tau) = 0.63T_o$ ，即达到最大电压输出值  $T_o$  的 63%。当时间经过  $t = 10\tau$  时， $T(10\tau) = 0.99995T_o$ ，这时可以认为接收器件温度传感器电压输出值达到热平衡的最大电压输出值  $T_o$ 。一般精度高的绝对辐射计的时间常数 ( $\tau$ ) 都比较长，达到数秒至数十秒，测量入射的光辐射功率时，使接收器件升温，经一定时间 ( $>10\tau$ )，接收器与热沉达到热平衡 (观测阶段)；然后绝对辐射计的快门关闭，挡住入射的光辐射，电加热使接收器件升温，经一定时间 ( $>10\tau$ )，接收器与热沉达到热平衡 (电定标阶段)，上述两个阶段为一个测量周期，大约需要  $20\tau$  左右，这样测量一次需要数分钟，甚至十几分钟。

详细内容：由于背景技术采用绝对辐射计进行测量，绝对辐射计的接收器对光信息有一定的反应过程，使测量时需要较长的时间，绝对辐射计测量时对入射的光辐射有滞后反应，从而使测量精度低，为了解决上述问题本发明将缩短测量周期，根据在辐射或电加热时接收

器升温的时间变化规律，动态预测入射的光辐射功率、观测阶段和电定标阶段在电阻丝上加不同电功率，使绝对辐射计接收器件的温度在观测和电定标阶段维持恒定，接收器件与热沉快速达到热平衡，为此本发明将要提供一种用绝对辐射计快速测量光功率的方法。

本发明用绝对辐射计快速测量光功率的方法步骤：

a、绝对辐射计未打开快门、未加入入射光辐射功率（测量前）：

在绝对辐射计接收器件上加一个较低电功率  $P_L = \frac{V_L^2}{R}$ ，接收器件和热沉达到热平衡后，接收器件的温度传感器输出的反应接收器件温度的热平衡电压输出值为  $T_L$ ；

在绝对辐射计接收器件上加一个较高电功率  $P_H = \frac{V_H^2}{R}$ ，达到热平衡后，接收器件的温度传感器输出的反应接收器件温度的热平衡电压输出值为  $T_H$ ；

根据上述电功率  $P_L$ 、 $P_H$  和热平衡电压输出值  $T_L$ 、 $T_H$ ，求出绝对辐射计响应度  $S = \frac{P_H - P_L}{T_H - T_L}$ ；

根据上述接收器件加较高电功率  $P_H$  时，接收器件温度在上升阶段任意时刻  $t_i$  采集的电压输出值为  $T(t_i)$ ， $i=0, 1, 2, \dots, m$ ，由在上升阶段任意时刻  $t_i$  和  $t_{i+n}$  接收器件温度传感器电压输出值  $T(t_i)$ 、 $T(t_{i+n})$ ，

$$\left. \begin{aligned} T(t_i) &= T_H \left(1 - e^{-\frac{t_i}{\tau}}\right) \\ T(t_{i+n}) &= T_H \left(1 - e^{-\frac{t_{i+n}}{\tau}}\right) \end{aligned} \right\} \dots\dots (4)$$

整理公式（4）后求出时间常数  $\tau$ ：

$$\tau = \frac{(t_{i+n} - t_i)}{\ln\left(\frac{T_H - T(t_{i+n})}{T_H - T(t_i)}\right)} \quad \dots\dots (5)$$

绝对辐射计接收器件上一直维持加高电功率  $P_H = \frac{V_H^2}{R}$ ，使接收器件的温度传感器输出的反应接收器件温度的热平衡电压输出值一直维持在  $T_H$ ；

b、打开绝对辐射计快门（观测阶段）：设入射的光辐射功率为  $P_s$ ，入射的光辐射功率  $P_s$  开始进入绝对辐射计的时刻  $t_k=0$ ，在接收器件上停止加高电功率  $P_H$ ，使接收器件的温度从高电功率  $P_H$  平衡状态的电压输出值  $T_H$  逐步下降，在接收器件的温度传感器的电压输出值尚未达到入射光辐射功率  $P_s$  平衡状态的电压输出值  $T_s$  前，这时接收器件的温度随时间的变化的热力学微分方程为：

$$\begin{cases} C \cdot \frac{dT(t_j)}{dt_j} + K \cdot T(t_j) = P_s & \dots\dots (6) \\ t_j=0 \text{ 时, } T(t_j) = \frac{P_H}{K} \end{cases}$$

解方程（6）求得

$$T(t_j) = (T_H - T_s)e^{-\frac{t_j}{\tau}} + T_s \quad \dots\dots (7)$$

接收器件停止加高电功率  $P_H$ 、接收入射的光辐射后  $P_s$ ，接收器件温度传感器的电压输出值在从  $T_H$  逐步下降阶段的任意时刻  $t_j$  采集的电压输出值为  $T(t_j)$ ， $j=0、1、2、\dots\dots k$ ，由温度传感器输出反应接收器件温度在从  $T_H$  逐步下降阶段前几秒的任意时刻  $t_j$  和  $t_{j+1}$  的电压

输出值为  $T(t_j)$ 、 $T(t_{j+1})$ ， $t_j$  和  $t_{j+1}$  时刻采集的接收器件的温度传感器的电压输出值分别可表示为：

$$\left. \begin{aligned} T(t_j) &= (T_H - T_s)e^{-\frac{t_j}{\tau}} + T_s \\ T(t_{j+1}) &= (T_H - T_s)e^{-\frac{t_{j+1}}{\tau}} + T_s \end{aligned} \right\} \dots\dots (8)$$

整理 (8) 式后得

$$\frac{T(t_{j+1}) - T_s}{T(t_j) - T_s} = e^{-\frac{t_{j+1} - t_j}{\tau}} \dots\dots (9)$$

设 
$$e^{-\frac{t_{j+1} - t_j}{\tau}} = \alpha \dots\dots (10)$$

则 
$$\frac{T(t_{j+1}) - T_s}{T(t_j) - T_s} = \alpha \dots\dots (11)$$

由于  $t_{a2}$ 、 $t_{b2}$  和  $\tau$  是已知的，所以可求出  $T_s$

$$T_s = \frac{T(t_{j+1}) - \alpha T(t_j)}{1 - \alpha} \dots\dots (12)$$

预测出观测阶段可能入射的光辐射功率：

$$P'_s = S \cdot T_s \dots\dots (13)$$

也就是测量入射的光辐射功率  $P_s$  的前几秒就能够预测待测入射的光辐射功率  $P'_s$ ，也就是预测出观测阶段维持接收器件的温度传感器的电压输出值为  $T_H$  时其所需加的电功率为：

$$P_{el} = P_H - P'_s = \frac{V_{el}^2}{R} \dots\dots (14)$$

然后  $t_{j+1}$  时刻开始在接收器件的电阻丝上加电压  $V_{el}$ ，即加电功



率  $P_{e1}$ ，由于预测的入射光辐射功率  $P'_s = S \cdot T_s$  与入射光辐射功率  $P_s$  有微小的差别，所以接收器件与热沉达到热平衡后，接收器件的温度传感器的电压输出值并不一定准确地为电压输出值  $T_H$ ，而是可能稍偏离电压输出值  $T_H$ ，接收器件与热沉达到热平衡时温度传感器的电压输出值为  $T'_H$ ；

c、关闭绝对辐射计快门（电定标阶段）：利用绝对辐射计响应度  $S$  计算出温度传感器的电压输出值为  $T'_H$  时所需加的电功率为

$$P_{e2} = S \cdot T'_H = \frac{V_{e2}^2}{R} \quad \dots\dots (15)$$

在接收器件的电阻丝上加电压  $V_{e2}$ ，即加电功率  $P_{e2}$ ，由于加电功率时温度传感器的电压输出值  $T_{e2}$  与观测阶段的的电压输出值  $T'_H$  可能有微小的差别，所以接收器件与热沉达到热平衡后，辐射计接收器件的温度传感器的电压输出值并不一定准确地为电压输出值  $T'_H$ ，而是可能稍偏离电压输出值  $T'_H$ ，在加电功率  $P_{e2}$  接收器件与热沉达到热平衡时，接收器件的温度传感器的电压输出值为  $T_{e2}$ ，再用  $T'_H - T_{e2} = \Delta T$  进行功率修正，计算出入射的光功率：

$$P_s = P_{e2} - P_{e1} + S \cdot \Delta T = \frac{V_{e2}^2}{R} - \frac{V_{e1}^2}{R} + S(T'_H - T_{e2}) \quad \dots\dots (16)$$

每个测量周期完成后，再根据上一次测量的电定标阶段在接收器件上加的电功率  $P_{e2}$  和接收器件的温度传感器的电压输出值  $T_{e2}$  求出响应度

$$S' = \frac{P_{e2}}{T_{e2}} \quad \dots\dots (17)$$

$S'$  作为下一个周期测量的灵敏度。下一个周期测量的观测阶段重

复步骤 b、c 的过程，完成用绝对辐射计快速对光功率的测量。所有的测量周期使接收器件的温度传感器一直维持在电压输出值  $T_H$  附近上下小幅波动。

本发明的积极效果：由于本发明在观测阶段光辐射入射时，接收器件的加较高的功率，入射的光辐射功率和在电阻丝上所加电功率之和近似等于  $P_H$ ，接收器件与热沉达到热平衡时，接收器件的温度传感器的电压输出值近似为  $T_H$ 。本发明工作的前几秒接收器件只有较小的温度波动，之后很快又恢复到大致在较高的电压输出值  $T_H$  的热平衡状态，所以接收器件与热沉很快的能够达到热平衡。电定标阶段的接收器件也加较高的电功率，所加电功率近似等于  $P_H$ ，接收器件与热沉达到热平衡时，接收器件的温度传感器的电压输出值近似为  $T_H$ 。所以整个测量周期接收器件与热沉能够很快达到平衡。解决了背景技术采用绝对辐射计进行测量时需要较长的时间、测量精度低的问题。本发明使测量周期缩短一倍，在观测阶段和电定标阶段接收器件的温度一直维持在同一温度上下小幅波动，提高测量精度。因此本发明提供了一种用绝对辐射计快速测量光功率的方法。本发明可应用于光辐射测量，尤其适用于对动态变化的太阳辐照度进行测量。

#### 附图说明：

图 1 是背景技术接收器件的温度传感器的电压输出变化曲线；

图 2 是本发明步骤 a 接收器件的温度传感器电压输出变化曲线；

图 3 是本发明步骤 b、c 接收器件的温度传感器电压输出变化曲线；

具体实施方式如图 2、3 所示：绝对辐射计可采用各种类型的电校准绝对辐射计，本发明采用长春光机所研制的双锥腔补偿型绝对辐射计 SIAR-2；绝对辐射计的快门可采用各种类型的快门，本发明采用由步进电机带动的摆动式快门；绝对辐射计接收器件可采用平面型或腔型热接收器；绝对辐射计的温度传感器可采用各种类型的热电堆或热敏电阻温度传感器，本发明采用由 150 对铜-康铜串联而成的热电堆；热沉可采用铜等热传导效果好的金属材料。

a、绝对辐射计未打开快门、未加入入射光辐射功率（测量前）：接收器件上加低、高电功率  $P_L = 10mW$  和  $P_H = 70mW$ （ $P_H$  要大于绝对辐射计测量辐射功率工作范围的最大值），测出热平衡电压输出值  $T_L = 1mV$ 、 $T_H = 7mV$ ，求出响应度  $S = 10mW/mV$ ，并根据  $t_i = 5s$  和  $t_{i+n} = 10s$  两时刻加电功率，接收器件的温度传感器的电压输出值为  $T(t_i) = 2.3853mV$ 、 $T(t_{i+n}) = 3.9578mV$ ，求出时间常数  $\tau = 12s$ 。一直维持在接收器件上加高电功率  $P_H = 70mW$ 。

b、打开绝对辐射计快门（观测阶段）：入射的光辐射功率  $P_s$  开始进入绝对辐射计的时刻  $t_j = 0$ ，在接收器件上停止加高电功率  $P_H = 70mW$ ，使接收器件的温度从高电功率  $P_H = 70mW$  平衡状态的电压输出值  $T_H = 7mV$  逐步下降，根据在  $t_j = 3s$  和  $t_{j+1} = 5s$  时刻，温度传感器的电压输出值为  $T(t_j) = 6.7788mV$ 、 $T(t_{j+1}) = 6.6592mV$ ，求出  $\alpha = 0.84648$ ，所以求出  $T_s = 5.99975mV$ ，预测出观测阶段可能入射的光辐射功率  $P_s' = S \cdot T_s = 59.9975mW$ ，从而预测出观测阶段维持接收器件的温度电压输出值为  $T_H$  时其所需加的电功率为

$P_{e1} = P_H - P_s' = 10.0025mW$ ，然后  $t_{b2}$  时刻开始在接收器件的电阻丝上加电功率  $P_{e1} = 10.0025mW$ ，接收器件与热沉达到热平衡时，接收器件的温度传感器的电压输出值  $T_H' = 6.99982mV$ ；

c、关闭绝对辐射计快门（电定标阶段）：加电功率为  $P_{e2} = S \cdot T_H' = 69.9982mV$ ，达到热平衡时，接收器件的温度传感器的电压输出值  $T_{e2} = 6.99975mV$ ， $\Delta T = 0.00007mV$ ，计算出入射的光功率  $P_s = P_{e2} - P_{e1} + S \cdot \Delta T = 60.0007mW$ ；

这个测量周期完成后，根据电定标阶段在接收器件上加的电功率  $P_{e2} = S \cdot T_H' = 69.9982mV$  和接收器件的温度传感器的电压输出值  $T_{e2} = 6.99975mV$  求出响应度  $S' = 10.0033mW/mV$  作为下一个周期测量的灵敏度。下一个周期测量的观测阶段重复步骤 b、c 的过程，完成用绝对辐射计快速对光功率的测量。

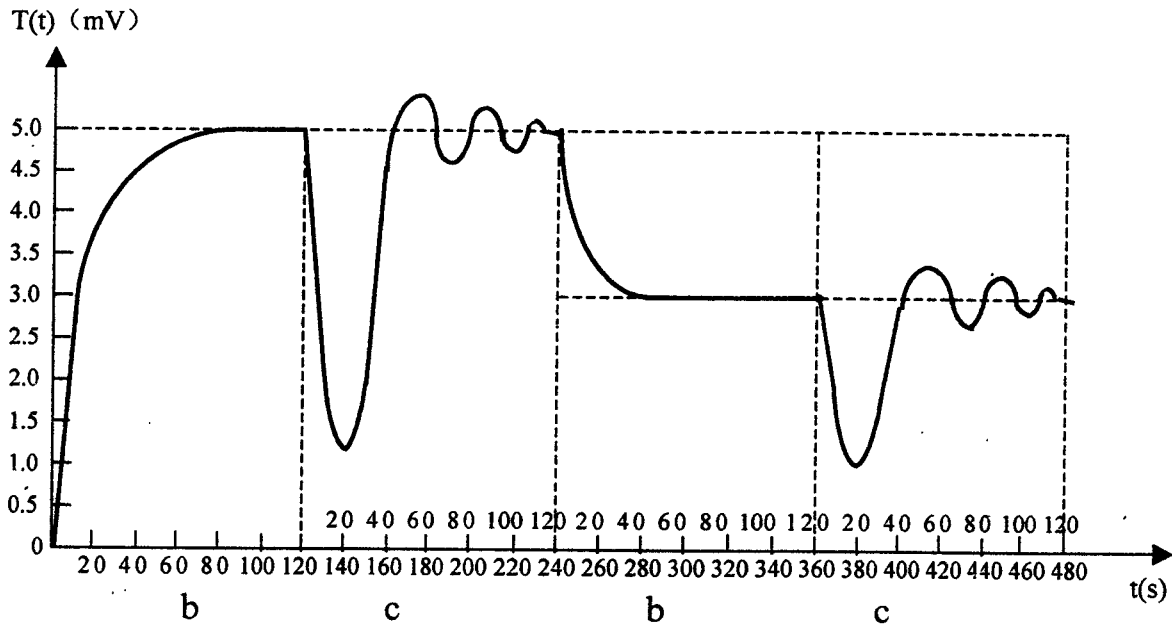


图 1

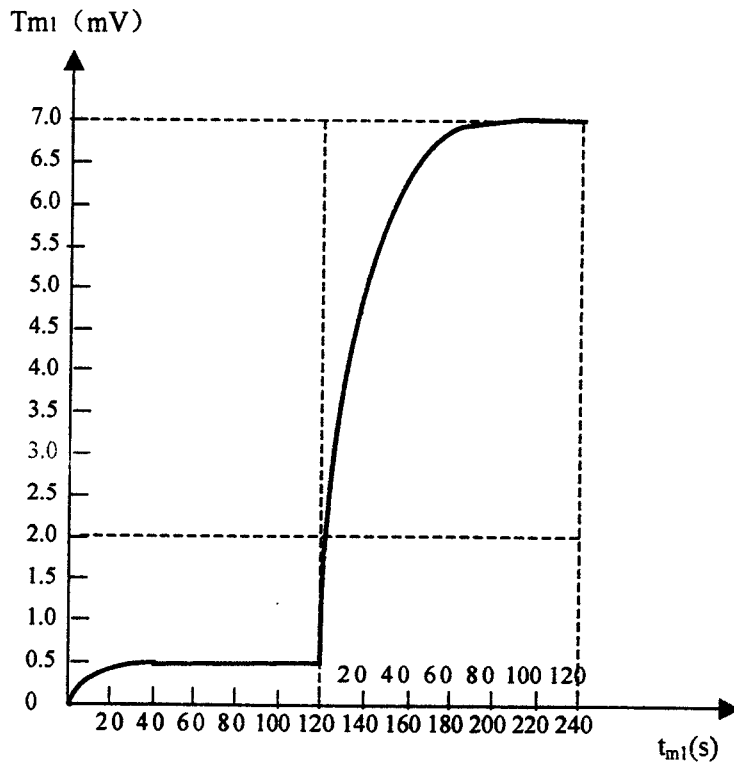


图 2

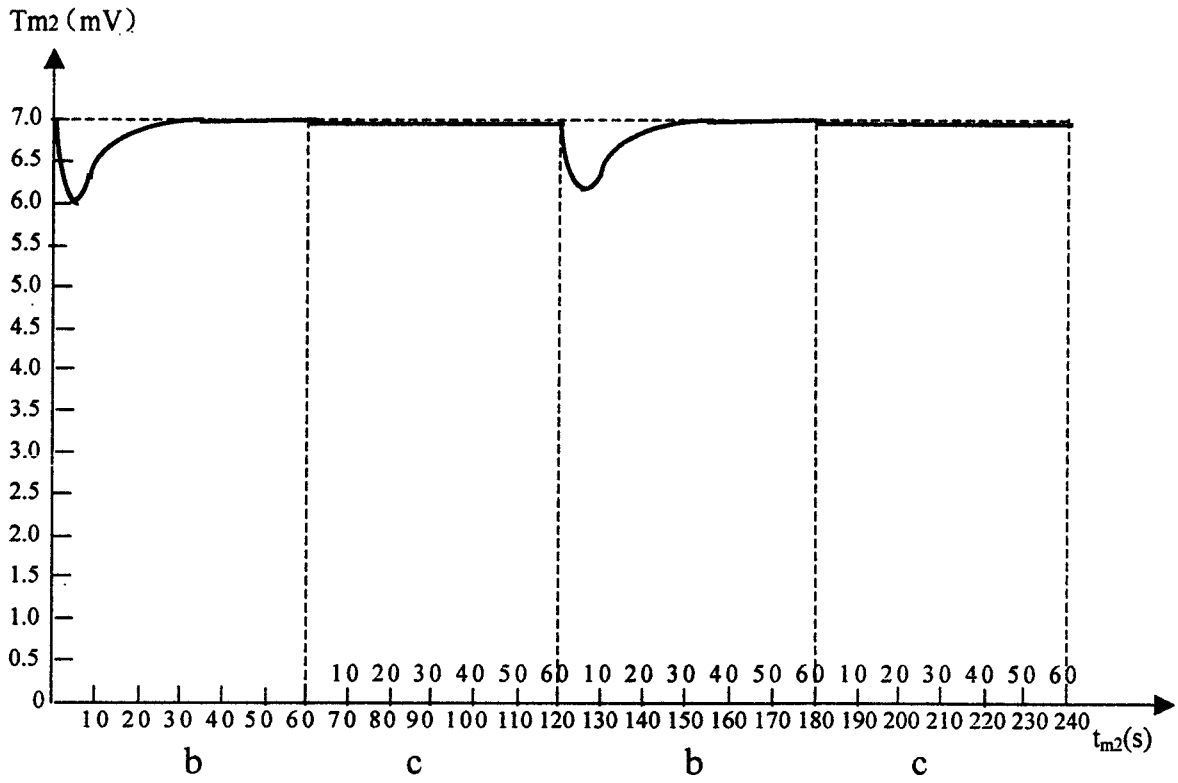


图 3