

有源单臂电桥在激光调阻中的测量原理及实现

黄永平¹, 项 阳², 汤建华¹, 张 培¹, 于前洋¹, 邢忠宝¹

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021;

2. 长春邮电学院通信工程系, 吉林 长春 130012)

摘要: 论述了在激光调阻中有源单臂电桥的测量原理, 提出了高速刻蚀电阻的实现方法, 利用两个高精度 16 位 D/A 转换器与检流计输出的电压进行比较, 实现了数字化高速电阻测量。对影响测量精度的因素进行了分析, 该方法对电阻高速测量及其控制方面有一定的参考价值。

关键词: 激光; 电桥; 电阻; 测量

中图分类号: TM 93 文献标识码: A

1 引 言

经典的电阻测量方法, 虽有优点, 但很难进行高速测量, 标准电阻过多, 不经济, 不方便。保留经典电桥的差值测量方法的优点, 用少量标准电阻作为比较的标准, 利用伏安法测电阻的灵活性, 配以高精度的运算放大器, 就构成了各种有源电桥测量电阻的方案, 它可以保留经典电桥的“比较测量”的基本优点的前提下, 达到高速高精度电阻测量的目的。

2 单臂电桥电阻测量原理

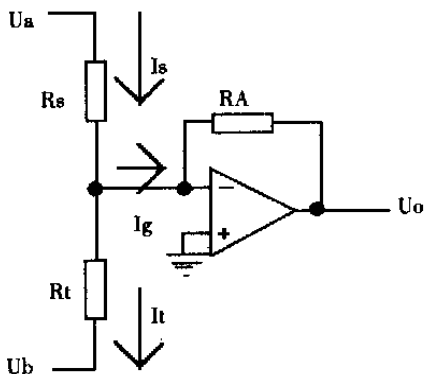


Fig. 1 The basic measurement theory of Wheatstone bridge

图 1 是单臂有源电桥的基本测量原理^[1], 图中 R_s 为标准电阻, R_t 为待测电阻, U_a, U_b 为两个独

立电压源, U_a, U_b 符号相反(假设 $U_a > 0, U_b < 0$), U_a, U_b 由 D/A 器件产生, 用运放构成检流计。

由图 1, 有:

$$I_s = \frac{U_a}{R_s} \quad (1)$$

$$I_t = -\frac{U_b}{R_t} \quad (2)$$

$$U_o = -I_g R_A \quad (3)$$

$$I_g = I_s - I_t = \frac{U_a}{R_s} + \frac{U_b}{R_t} \quad (4)$$

电桥平衡时: $I_g = 0, U_o = 0$, 由(2)式得到:

$$R_t = -\frac{U_b}{U_a} R_s \quad (5)$$

(5)式表明, 电桥平衡时, 仅靠一个标准电阻 R_s 和 U_a, U_b 的调整, 即可以得到待测电阻 R_t 的精确值。

不平衡时: $I_g \neq 0, U_o \neq 0$, 由(3)(4)式得到:

$$R_t = -\frac{U_b}{U_a + \frac{R_s}{R_A} U_o} R_s \quad (6)$$

(6)式表明, 电桥不平衡时, 由 R_s, R_A, U_a, U_b, U_o 可以得到待测电阻 R_t 的精确值。

一般通过选择合适的 U_a, U_b 使电桥平衡($U_o = 0$), 则利用(5)式得到 R_t 的值。

图 2 是 $I_s = \frac{U_a}{R_s}$ 的曲线, $I_t = -\frac{U_b}{R_t}$ 的曲线与图 2 相同。

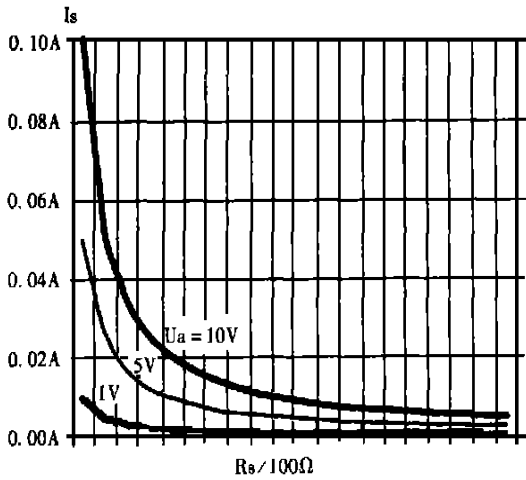


Fig. 2 Curve of $I_s = \frac{U_a}{R_s}$

由(1), (2)式得到

$$\frac{dI_s}{dR_s} = - \frac{U_a}{R_s^2} \quad (7)$$

$$\frac{dI_t}{dR_t} = \frac{U_b}{R_t^2} \quad (8)$$

由公式(7)(8)可以知道在 U_a (或 U_b) 值大; R_s (或 R_t) 值小的时候, I_s (或 I_t) 的值随 R_s (或 R_t) 的变化率比较大, 在 I_t (或 I_t) 的值的大的点, I_t (或 I_t) 的变化率比较大, 测量点尽量选择这些点, 从图 2 也可以看出这种规律。

2 精度分析^[1-3]

由(4)式知道 $R_t = f(U_a, U_b, R_s, I_g)$ 得到:

$$\frac{dR_t}{R_t} = - \frac{U_a}{U_a - I_g R_s} \frac{dU_a}{U_a} + \frac{dU_b}{U_b} +$$

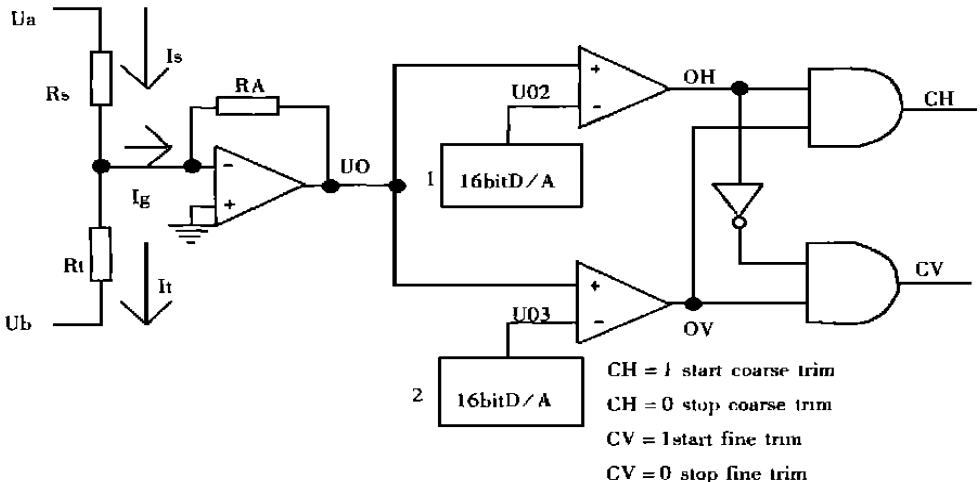


Fig. 3 Measurement theory

$$\frac{U_a}{U_a - I_g R_s} \frac{dR_s}{R_s} + \frac{I_g R_s}{U_a - I_g R_s} \frac{dI_g}{I_g} \quad (9)$$

化简(9)得到:

$$\frac{dR_t}{R_t} = \frac{U_a R_t}{U_b R_s} \frac{dU_a}{U_a} + \frac{dU_b}{U_b} - \frac{U_a R_t}{U_b R_s} \frac{dR_s}{R_s} - \frac{I_g R_t}{U_b} \frac{dI_g}{I_g} \quad (10)$$

令 R_t, U_a, U_b, I_g 的相对误差分别是 R_t, U_a, U_b, I_g 得到:

$$\Delta R_t = \frac{U_a R_t}{U_b R_s} \Delta U_a + \Delta U_b - \frac{U_a R_t}{U_b R_s} \Delta R_s - \frac{I_g R_t}{U_b} \Delta I_g \quad (11)$$

电桥平衡时: $\frac{U_a R_t}{U_b R_s} = -1$ 化简(11)得到:

$$\Delta R_t = - \Delta U_a + \Delta U_b + \Delta R_s - \frac{I_g R_t}{U_b} \Delta I_g \quad (12)$$

(12)式说明, 用这种有源电桥进行电阻测量, 待测电阻的相对误差由四个分量构成, 它们分别是:

- ① 电压源 a 的相对误差 U_a , 使用高位的 D/A 器件, 使 U_a 减小。
- ② 电压源 b 的相对误差 U_b , 使用高位的 D/A 器件, 使 U_b 减小。
- ③ 标准电阻的相对误差 R_s , 使用高精度的精密电阻。
- ④ 运放失衡电流的相对误差 I_g , 使用失衡电流小的运放, 同时, 在满足 R_t 的功率要求的情况下, 使 $I_t = \left| \frac{U_b}{R_t} \right|$ 尽量大, 从而使 $\left| \frac{I_g R_t}{U_b} \right|$ 尽量小, 减小(12)式中第四项的误差。

3 高速刻蚀电阻原理

如图 3, 由两个比较器组成电压比较电路^[4], 由与门电路输出控制激光刻蚀的开始及其结束, 第一个 16 位的 D/A 用于设置粗刻结束时的电压值 U_{o2} , 第二个 16 位的 D/A 用于设置精刻结束时的电压值 U_{o3} , 在刻蚀过程中, 检流计输出电压 U_o 值与两个 16 位的 D/A 输出电压进行比较, 从而决定粗刻开始; 粗刻结束; 精刻开始; 精刻结束。因为 U_a, U_b, U_{o2}, U_{o3} 是在刻蚀 R_t 电阻前设置好的, 在刻蚀过程中保持不变, 由 R_t 的变化控制了激光刻蚀的过程, 整个过程全是由硬件实现的, 所以可以进行高速的电阻刻蚀。

4 测量步骤

假设: R_{t01} 为待刻电阻的刻前电阻值;

R_{t02} 为待刻电阻粗刻过程的电阻终值;

R_{t03} 为待刻电阻精刻过程的电阻终值 (最终要求的电阻值);

有 $R_{t01} < R_{t02} < R_{t03}$ 关系, 即越刻电阻值越大。

由图 3 得到:

$$U_o = - I_g R A \quad (13)$$

把(2)式代入(5)式得到:

$$U_o = \left(\frac{-U_b}{R_t} - \frac{U_a}{R_s} \right) R A \quad (14)$$

设 $R_t = R_{t03}$ 时, 使电桥平衡, 即 $\frac{-U_b}{R_{t03}} = \frac{U_a}{R_s}$, 采用平衡时的 U_a, U_b, R_s 值不变, 由(6)式分别得到对应 $R_{t01}, R_{t02}, R_{t03}$ 的检流计输出电压为: $U_{o1}; U_{o2}; U_{o3}$ ($U_{o3} = 0V$ 时, 电桥平衡), 因 R_{t01}

$< R_{t02} < R_{t03}$, 所以 $U_{o1} > U_{o2} > U_{o3}$ 。

步骤:

a) 由最终要求的电阻值 R_{t03} 及其 R_s 选择使电桥平衡的 U_a, U_b 。

b) 根据 R_{t02} 由(6)式得到 U_{o2} , 设置第一个 16 位 D/A 的输出为 U_{o2} ;

c) 设置第二个 16 位 D/A 的输出为 $U_{o3} = 0$;

d) 开始刻蚀时, $R_t = R_{t01}$, 则 $U_o = U_{o1} > U_{o2} > U_{o3}$, 经过比较器及其门电路得到 $OH = 1, OV = 1, CH = 1, CV = 0$, 控制粗刻开始。

e) 随着粗刻的进行, R_t 值增大 (U_o 减小), 当 $R_t = R_{t02}$ 时, $U_o = U_{o2}$, 经过比较器及门电路得到 $OH = 0, OV = 1, CH = 0, CV = 1$, 控制粗刻结束、精刻开始。

f) 随着精刻的进行, R_t 继续增大 (U_o 继续减小), 当 $R_t = R_{t03}$ 时, $U_o = U_{o3}$, 经过比较器及门电路得到 $OH = 0, OV = 0, CH = 0, CV = 0$, 控制精刻结束 (此时电桥平衡)。

刻完的电阻值 $R_t = R_{t03}$ 即是最终要求的电阻值, 在这里第二个 16 位 D/A 的设置应根据实际的调试用它设置精刻过程中止的提前量。

5 结 束 语

以上提出了有源单臂电桥在电阻刻蚀中的电阻测量原理, 对影响测量精度的因素进行了分析, 给出了提高测量精度的方法, 提出了在激光调阻中高速刻蚀电阻的实现方法, 为激光调阻机设备中的电阻测控提供了一点理论依据。

参考文献:

- [1] 李继凡, 罗远瑜. 精密电气测量[M]. 北京: 计量出版社, 1984.
- [2] 林德杰, 林均淳. 电气测试技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [3] 花国梁. 精密测量技术[M]. 北京: 中国计量出版社, 1990.
- [4] 韦特 J V, 沈承杭, 等. 运算放大器原理和应用导论[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1983.

Measurement theory and implementation method of source Wheatstone bridge in laser high speed resistance trim

HUANG Yong-ping¹, XIANG Yang², TANG Jian-hua¹, ZHANG Pei¹, YU Qian-yang¹, XING Zhong-bao¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China;

2. Dept. of Commun. Eng., Changchun Post and Telecommun. Inst., Changchun 130012, China)

Abstract: The measurement theory of source Wheatstone bridge in laser resistor trim system are described, the implementation method of high speed resistor trimming is proposed, by means of comparing the voltage output from the two high precision 16 bit D/A convertor and the voltage output from galvanometer. The digital high speed resistor measurement is implemented. The factors of affecting the measurement precision are analyzed. The method is valuable to the high speed resistor measurement and control.

Key words: Wheatstone bridge; resistors; measurements.

作者简介: 黄永平(1964-),男(朝鲜族),辽宁沈阳市人,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所博士研究生,主要从事单片机、EDA 技术、计算机测控系统、计算机网络方面的研究工作。Email: huang@ccipt.edu.cn。

消 息

《光学 精密工程》从 1996 年始被中国科学引文数据库收录为来源期刊。凡列入中国科学引文数据库的来源期刊从总体上来说核心期刊中的核心部分。

本刊被中国科学期刊全文数据库第一批收录为自然科学核心期刊。

为了实现科技期刊编辑、出版发行工作的电子化,推进科技信息交流的网络化进程,本刊现已入网“万方数据(ChinaInfo)系统科技期刊群”,所以,向本刊投稿并录用的稿件文章,将一律由编辑部统一纳入万方数据系统全文上网(网址: <http://www.chinainfo.gov.cn/periodical>)。凡有不同意见,请另投它刊。本刊所付稿酬包含刊物内容上因特网提供信息服务报酬,不再另付。

读者可上因特网进入万方数据系统查询检索本刊内容,也欢迎各界朋友通过万方数据系统向我刊提出宝贵意见、建议、或征订本刊。

中国科学引文数据库利用该库的数据资源已开发出两种产品,即《中国科学引文索引》(光盘版)和(印刷版)。欲购者请与中科院文献情报中心中国科学院引文数据库联系。

电话: (010) 62564354 传真: (010) 62566846

《光学 精密工程》编辑部公告

为适应我国信息化建设需要,扩大作者学术交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”。作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意将文章编入该数据库,请在来稿时声明,本刊将做适当处理。

特此公告!

《光学 精密工程》编辑部
2000 年 8 月