



21st century 面向21世纪课程教材

DIANGONG YU DIANZHI JISHU SHIYAN JIAOCHENG

电工与电子技术 实验教程

● 刘传菊 肖明明 编著

中山大学出版社

TM-33/53

2008

面向 21 世纪课程教材

电工与电子技术实验教程

刘传菊 肖明明 编著

中山大学出版社

· 广州 ·

版权所有 翻印必究

图书在版编目 (CIP) 数据

电工与电子技术实验教程/刘传菊, 肖明明编著. —广州: 中山大学出版社, 2008. 3
ISBN 978 - 7 - 306 - 03039 - 9

I. 电… II. ①刘… ②肖… III. ①电工技术—实验—高等学校—教材 ②电子技术—实验—高等学校—教材 IV. TM - 33 TN - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 011094 号

出 版 人: 叶侨健

责任编辑: 张礼凤

封面设计: 冒 君

责任校对: 宗 华

责任技编: 黄少伟

出版发行: 中山大学出版社

电 话: 编辑部 020 - 84111996, 84113349

发行部 020 - 84111998, 84111981, 84111160

地 址: 广州市新港西路 135 号

邮 编: 510275 传 真: 020 - 84036565

网 址: <http://www.zsup.com.cn> E-mail: zdebs@mail.sysu.edu.cn

印 刷 者: 广州市新明光印刷有限公司

规 格: 787mm × 1092mm 1/16 17 印张 403 千字

版次印次: 2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 1 - 3000 册 定 价: 29.00 元

本书如发现因印装质量问题影响阅读, 请与出版社发行部联系调换

内 容 简 介

本书是参照高等学校工科基础课电工、电子技术基础教材编写大纲的意见编写的。内容包括三大部分：电工与电子技术实验基础、基础实验、综合性与设计性实验，涵盖电工技术、模拟电子技术和数字电子技术的基本实验项目以及综合性与设计性的实验项目。本书内容新颖、全面，突出综合性、实用性和先进性。

本书内容由浅入深、通俗易懂，可作为高等院校电子通信类、计算机类、电气自动化类以及非电工科类专业电工电子技术实验与综合设计的指导教材，也可供成人高等教育从事电工电子技术工作的教师和工程技术人员参考。

前 言

为了加强高等学校电工电子技术基础课的实验与实践教学,全面提高教学质量,培养学生的实验动手能力、综合分析能力及数据处理能力,适应社会对应用型人才的需求,我们编写了《电工与电子技术实验教程》一书。本书是根据高等院校理工科电工、电子技术课程的教学大纲,结合编者多年来的教学与实践经验,以及该课程最新的发展与应用状况而编写的。本书分为上、中、下三编:即电工与电子技术实验基础、基础实验、综合性与设计性实验。内容涵盖电工技术基础、模拟电子技术基础和数字电子技术基础三大部分的基础实验指导以及综合性、设计性实验的说明和指导。书中对电工、电子技术课程中涉及到的一些常用的、典型的、具有一定价值的电工、电子电路和系统的实验、设计提供了详尽的指导。并且力求以应用为主,反映新器件、新技术和科研成果。本书涉及的内容范围广、深度适宜。

本书由刘传菊教授和肖明明老师任主编。刘传菊教授负责电工和数字电子实验的编写工作,肖明明负责模拟电子技术实验的编写工作。参加编写工作的还有刘毅、刘云、张琦、陈红斌、黄礼彬、姚华桢、王改田、周丽萍等。刘传菊教授负责全书内容的组织和定稿。

在编写本书过程中,得到其他同志的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者予以批评指正。

编 者
2007 年 12 月

目 录

上编 电工与电子技术实验基础

第1章	基本电工仪表的使用与测量误差的计算	(2)
第2章	测量仪表的误差及其分析方法	(6)
第3章	电路元件伏安特性的测绘	(11)
第4章	常用电仪器的使用	(14)

中编 基础实验

第5章	电路与控制基础实验	(20)
5.1	直流电路的基本分析方法	(20)
5.1.1	基尔霍夫定律的验证	(20)
5.1.2	叠加原理的验证	(21)
5.1.3	电源的等效变换	(23)
5.1.4	等效电源定理及有源二端网络等效参数的测定	(27)
5.2	动态电路的分析	(30)
5.2.1	RC 一阶电路的响应	(30)
5.2.2	二阶动态电路的响应	(33)
5.3	正弦交流电路的分析与测量	(35)
5.3.1	日光灯电路的分析与测量	(35)
5.3.2	RLC 串联谐振电路的分析与测量	(37)
5.3.3	三相交流电路电压、电流的分析与测量	(39)
5.3.4	三相电路功率的测量	(42)
5.4	二端口网络	(46)
5.4.1	二端口网络测试	(46)
5.4.2	负阻抗变换器及其应用	(49)
5.5	电机与控制	(56)
5.5.1	单相铁芯变压器特性的测试	(56)
5.5.2	三相鼠笼式异步电动机的点动和自锁控制	(58)
5.5.3	三相鼠笼式异步电动机正反转控制	(61)
第6章	模拟电子技术基础实验	(64)
6.1	基本放大电路	(64)
6.1.1	晶体管共射极单管放大器	(64)
6.1.2	负反馈放大器	(71)
6.1.3	射极跟随器	(74)

6.1.4	差动放大器	(77)
6.2	集成运算放大器的基本应用	(81)
6.2.1	集成运算放大器指标测试	(81)
6.2.2	模拟运算电路	(87)
6.2.3	有源滤波器	(91)
6.2.4	电压比较器	(96)
6.3	波形发生器	(100)
6.3.1	函数发生器	(100)
6.3.2	RC 正弦波振荡器	(105)
6.3.3	LC 正弦波振荡器	(108)
6.4	低频功率放大器	(111)
6.4.1	OTL 功率放大器	(111)
6.4.2	集成功率放大器	(114)
6.5	直流电源	(118)
6.5.1	串联型晶体管稳压电源	(118)
6.5.2	集成稳压器	(122)
第7章	数字电子技术基础实验	(128)
7.1	集成逻辑门	(128)
7.1.1	晶体管开关特性及应用	(128)
7.1.2	门电路的逻辑功能及测试	(132)
7.1.3	集成逻辑电路的连接和驱动	(135)
7.2	组合逻辑电路	(139)
7.2.1	组合逻辑电路的分析与测试	(139)
7.2.2	译码器及其应用	(143)
7.2.3	数据选择器及其应用	(149)
7.2.4	MSI 加法器及其应用	(152)
7.3	时序逻辑电路	(155)
7.3.1	触发器及其应用	(155)
7.3.2	计数器及其应用	(161)
7.3.3	移位寄存器及其应用	(166)
7.4	脉冲单元电路	(172)
7.4.1	单稳态触发器及其应用	(172)
7.4.2	555 时基电路及其应用	(177)
7.5	数模转换器和模数转换器	(182)

下编 综合性与设计性实验

第8章	电路与控制综合设计性实验	(189)
8.1	受控源 VCVS, VCCS, C CVS, CCCS 的实验研究	(189)
8.2	互感电路的测定及研究	(197)

8.3 回转器及其应用	(200)
第9章 模拟电路综合设计	(206)
9.1 温度监测及控制电路	(206)
9.2 万用电表的设计与测试	(211)
9.3 晶闸管可控整流电路	(215)
第10章 数字电路综合设计	(220)
10.1 智力竞赛抢答器	(220)
10.2 数字定时器	(222)
10.3 $3\frac{1}{2}$ 位直流数字电压表	(223)
10.4 数字频率计	(229)
10.5 拔河游戏机	(235)

附 录

附录1 示波器原理及使用	(241)
附录2 用万用电表对常用电子元器件检测	(250)
附录3 电阻器的标称值及精度色环标志法	(254)
附录4 常用集成电路引脚图	(256)
主要参考文献	(261)

上 编

电工与电子技术实验基础

第 1 章 基本电工仪表的使用与测量误差的计算

本章的主要目的是熟悉电工与电子技术实验中常用的各类测量仪表的原理及使用方法，掌握电压表及电流表内电阻的测量方法，熟悉电工仪表测量误差的计算方法。

一、原理说明

(1) 为了准确地测量电路中实际的电压和电流，必须保证仪表接入电路后不会改变被测电路的工作状态，这就要求电压表的内阻为无穷大，电流表的内阻为零。而实际使用的电工仪表都不能满足这一要求。因此，当测量仪表一旦接入电路，就会改变电路原有的工作状态，从而导致仪表的读数值与电路原有的实际值之间出现误差，这种测量误差值的大小与仪表本身内电阻值的大小密切相关。

(2) 本实验测量电流表的内阻采用“分流法”，如图 1-1 所示。

A 为被测内阻 (R_A) 直流电流表，测量时先断开开关 S，调节恒流源的输出电流 I 使电流表 A 指针满偏转，然后合上开关 S，并保持 I 值不变，调节电阻箱 R_B 的阻值，使电流表的指针指在 1/2 满偏转的位置，此时有 $I_A = I_S = \frac{I}{2}$ ，所以 $R_A = R_B // R_1$ 。

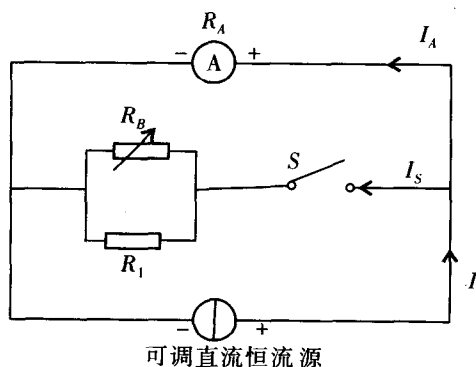


图 1-1 采用分流法测量电流表的内阻

R_1 为固定电阻值， R_B 由可调电阻箱的刻度盘上读得。 R_B 与 R_1 并联，且 R_1 选用小电阻， R_B 选用较大的电阻，则阻值调节可比单只电阻箱更为细微、平滑。

(3) 测量电压表的内阻采用“分压法”，如图 1-2 所示。

V 为被测内阻 (R_V) 电压表，测量时先将开关 S 闭合，调节直流稳压电源的输出电压，使电压表 V 的指针为满偏转。然后，断开开关 S，调节 R_B 阻值使电压表 V 的指示值减半。此时有： $R_V = R_B + R_1$ 。

电压表的灵敏度为：

$$S = R_V / U (\Omega/V)$$

(4) 仪表内阻引入的测量误差（通常称为方法误差，而仪表本身构造上引起的误差称为仪表基本误差）的计算。

以图 1-3 所示为例， R_1 上的电压为 $U_{R_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}U$ ，若 $R_1 = R_2$ ，则 $U_{R_1} = \frac{1}{2}U$ 。

现用一内阻为 R_V 的电压表来测量 U_{R_1} 值。当 R_V 与 R_1 并联后， $R_{AB} = \frac{R_V R_1}{R_V + R_1}$ ，以此来替代上式中的 R_1 ，则得：

$$U'_{R_1} = \frac{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1}}{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1} + R_2} U$$

$$\text{绝对误差: } \Delta U = U'_{R_1} - U_{R_1} = U \left(\frac{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1}}{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1} + R_2} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

$$\text{化简后得: } \Delta U = \frac{-R_1^2 R_2 U}{R_V (R_1^2 + 2R_1 R_2 + R_2^2) + R_1 R_2 (R_1 + R_2)}$$

$$\text{若 } R_1 = R_2 = R_V, \text{ 则得: } \Delta U = -\frac{U}{6}$$

$$\text{相对误差: } \Delta U\% = \frac{U'_{R_1} - U_{R_1}}{U_{R_1}} \times 100\% = \frac{-\frac{U}{6}}{\frac{U}{2}} \times 100\% = -33.3\%$$

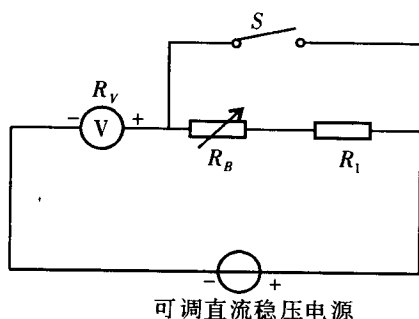


图 1-2 采用分压法测量电压表内阻

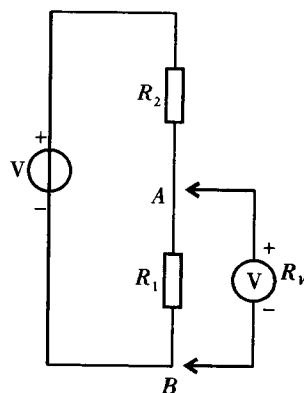


图 1-3 仪表内阻引入的测量误差

二、实验设备及器件

- (1) 可调直流稳压电源 0 ~ 30V。
- (2) 可调直流恒流源 0 ~ 200mA。
- (3) 万用电表。
- (4) 可调电阻箱 0 ~ 99999.9Ω。
- (5) 电阻器若干。

三、实验内容

(1) 根据“分流法”原理测定 FM - 47 型（或其他型号）万用表直流 0.5mA 和 5mA 档量限的内阻，线路如图 1 - 1 所示。

表 1 - 1 “分流法” 测量数据

被测电流表量限	S 断开时表读数 (mA)	S 闭合时表读数 (mA)	R_B (Ω)	R_1 (Ω)	计算内阻 R_A (Ω)
0.5mA					
5mA					

(2) 根据“分压法”原理按图 1 - 2 接线，测定万用电表直流电压 2.5V 和 10V 档量限的内阻。

表 1 - 2 “分压法” 测量数据

被测电压表量限	S 闭合时表读数 (V)	S 断开时表读数 (V)	R_B (kΩ)	R_1 (kΩ)	计算内阻 R_A (kΩ)	S (Ω/V)
2.5V						
10V						

(3) 用万用电表直流电压 10V 档量限测量图 1 - 3 电路中 R_1 上的电压 U_{R_1} 之值，并计算测量的绝对误差与相对误差。

表 1 - 3 测量的绝对误差与相对误差

U	R_2	R_1	R_V (kΩ)	计算值 U_{R_1} (V)	实测值 U'_{R_1} (V)	绝对误差	相对误差
10V	10kΩ	20kΩ					

四、实验报告

(1) 根据实验内容 (1) 和 (2), 若已求出 0.5mA 档和 2.5V 档的内阻, 可否直接计算出 5mA 和 10V 档的内阻?

(2) 用量限为 10A 的电流表测实际值为 8A 的电流时, 实际读数为 8.1A , 求测量的绝对误差和相对误差。

(3) 图 1-4 (a)、(b) 为伏安法测量电阻的两种电路, 被测电阻的实际阻值为 R_x , 电压表的内阻为 R_V , 电流表的内阻为 R_A , 求两种电路测量电阻 R_x 的相对误差。

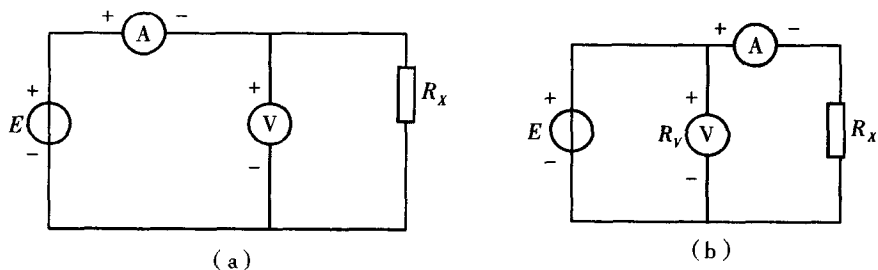


图 1-4 伏安法测量电阻的两种电路

(4) 列表记录实验数据, 并计算各被测仪表的内阻值。

(5) 计算实验内容 (3) 的绝对误差与相对误差。

第2章 测量仪表的误差及其分析方法

本章主要介绍电工测量过程中仪表产生误差的原因及其减小测量误差的方法，从而把握学习和工作过程中测量、分析的准确性。

一、原理说明

减小因仪表内阻而产生测量误差的方法有：

1. 不同量限两次测量计算法

当电压表的灵敏度不够高或电流表的内阻太大时，可利用多量限仪表对同一被测量用不同量限进行两次测量，可得到较为准确的测量结果。

如图2-1所示，欲测量具有较大内阻 R_o 的电动势 E 的开路电压 U_o 时，如果所用电压表的内阻 R_v 与 R_o 相差不多，将会产生很大的测量误差。

设电压表有两档量限， U_1 ， U_2 分别为在这两个不同量限下测得的开路电压，如图2-1所示。

令 R_{v_1} 和 R_{v_2} 分别为这两个相应量限的内阻，则由图2-1可得出：

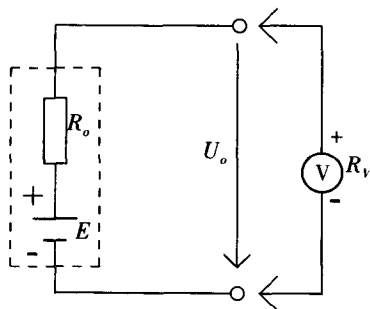


图 2-1 电压的测量电路

$$U_1 = \frac{R_{v_1}}{R_o + R_{v_1}} E \quad (1)$$

$$U_2 = \frac{R_{v_2}}{R_o + R_{v_2}} E \quad (2)$$

由 (1) 式得：

$$R_o = \frac{R_{v_1} E}{U_1} - R_{v_1} = R_{v_1} \left(\frac{E}{U_1} - 1 \right) \quad (3)$$

将 (3) 式代入 (2) 式可得：

$$E = \frac{U_2 (R_o + R_{v_2})}{R_{v_2}} = \frac{U_2 \left(\frac{R_{v_1} E}{U_1} - R_{v_1} + R_{v_2} \right)}{R_{v_2}}$$

从中解得 E ，经化简后得：

$$E = U_o = \frac{U_1 U_2 (R_{v_2} - R_{v_1})}{U_1 R_{v_2} - U_2 R_{v_1}} \quad (4)$$

由式(4)可知,不论电源内阻 R_o 相对电压表的内阻 R_v 有多大,通过上述两次测量结果,经计算后可较准确地测量出开路电压 U_o 的大小。

对于电流表,当其内阻较大时,也可用类似的方法测得准确的结果。如图 2-2 所示电路。

不接入电流表时的电流为:

$$I = \frac{E}{R_o}$$

接入内阻为 R_A 的电流表 A 时,电路中的电流变为: $I' = \frac{E}{R_o + R_A}$, 如果 $R_A' = R_o$, 则 $I' = \frac{I}{2}$, 出现很大的误差。如果用有不同内阻 R_{A1} , R_{A2} 的两档量限的电流表作两次测量并经简单的计算就可得到较准确的电流值。

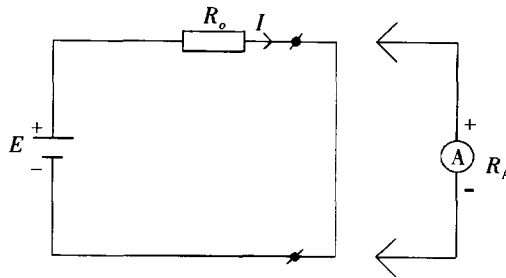


图 2-2 电流的测量电路

按图 2-2 电路,两次测量得: $I_1 = \frac{E}{R_o + R_{A1}}$, $I_2 = \frac{E}{R_o + R_{A2}}$

解得:

$$I = \frac{E}{R_o} = \frac{I_1 I_2 (R_{A1} - R_{A2})}{I_1 R_{A1} - I_2 R_{A2}}$$

2. 同一量限两次测量算法

如果电压表(或电流表)只有一档量限,且电压表内阻较小(或电流表的内阻较大)时,可用同一量限进行两次测量。第一次测量与一般的测量相同,进行第二次测量时必须在电路中串入一个已知阻值的附加电阻。

(1) 电压测量。测量如图 2-3 所示电路的开路电压 U_o 。

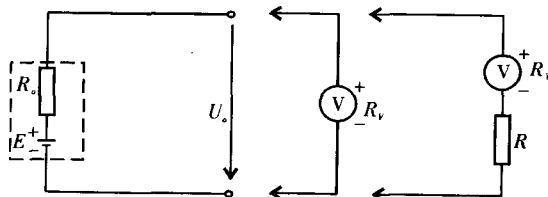


图 2-3 电压的两次测量法

第一次测量，电压表的读数为 U_1 （设电压表的内阻为 R_V ），第二次测量时与电压表串接一个已知阻值的电阻 R ，电压表读数为 U_2 ，由图 2-3 可知：

$$U_1 = \frac{R_V}{R_o + R_V} E \quad U_2 = \frac{R_V}{R_o + R_V + R} E$$

解上两式，可得：

$$E = U_o = \frac{RU_1 U_2}{R_V(U_1 - U_2)}$$

(2) 电流测量。测量如图 2-4 所示电路的电流 I 。

第一次测量电流表的读数为 I_1 （设电流表的内阻为 R_A ），第二次测量时与电流表串接已知阻值的电阻 R ，电流表读数为 I_2 ，由图 2-4 可知：

$$I_1 = \frac{E}{R_o + R_A} \quad I_2 = \frac{E}{R_o + R_A + R}$$

解得：

$$I = \frac{E}{R_o} = \frac{I_1 I_2 R}{I_2(R_A + R) - I_1 R_A}$$

由上述分析可知，采用多量限仪表两次测量法或单量限仪表两次测量法，不论电表内阻如何，总可以通过两次测量和计算得到比单次测量准确得多的结果。

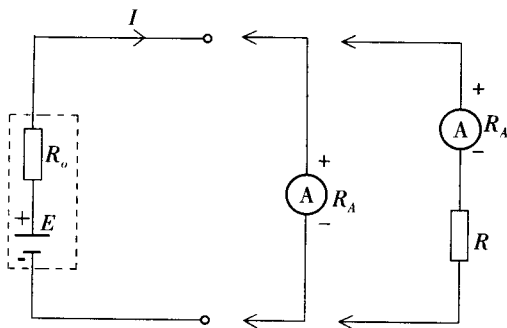


图 2-4 电流的两次测量法

二、实验设备及器件

- (1) 可调直流稳压电源 0 ~ 30V。
- (2) 万用电表 1 只。
- (3) 可调电阻箱 0 ~ 99999.9Ω。
- (4) 电阻器 6.2kΩ, 8.2kΩ, 10kΩ, 20kΩ, 100kΩ 等。

三、实验内容

1. 双量限电压表两次测量法

- (1) 按图 2-3 电路接线，取 $E = 3V$ ， $R_o = 20k\Omega$ 。
- (2) 用万用电表的直流电压 2.5V 和 10V 两档量限进行两次测量，最后计算出开路电压 U_o 之值。

表 2-1 双量限电压表两次测量数据

万用表电压量限	双量限内阻值 ($k\Omega$)	两个量限测量值 (V)	开路电压实际值 (V)	两次测量计算值 (V)	绝对误差 ΔU (V)	相对误差 $\Delta U/U \times 100\%$
2.5V						
10V						

$R_{2.5V}$ 和 R_{10V} 参照实验一的结果。

2. 单量限电压表两次测量法

实验线路如图 2-3 所示, 用上述万用电表直流电压 2.5V 量限档串接 $R = 10k\Omega$ 的附加电阻器进行两次测量, 计算开路电压 U_o 之值。

表 2-2 单量限电压表两次测量数据

开路电压实际值	两次测量值		测量计算值	绝对误差	相对误差
U_o (V)	U_1 (V)	U_2 (V)	U_o' (V)	ΔU (V)	$\Delta U/U \times 100\%$
3					

3. 双量限电流表两次测量法

按图 2-4 电路接线, 取 $E = 3V$, $R_o = 6.2k\Omega$, 用万用表 0.5mA 和 5mA 两档电流量限进行两次测量, 计算出电路中电流值 I 。

$R_{0.5mA}$ 和 R_{5mA} 参照实验一的结果。

4. 单量限电流表两次测量法

实验线路如图 2-4 所示, 用万用表 0.5mA 电流量限, 串联附加电阻 $R = 8.2k\Omega$ 进行两次测量, 求出电路中的实际电流 I 之值。

表 2-3 双量限电流表两次测量数据

万用表电流量限	双量限内阻值 (Ω)	两个量限测量值 (mA)	电流实际值 (mA)	两次测量计算值 (mA)	绝对误差 ΔI	相对误差 $\Delta I/I \times 100\%$
0.5mA						
5mA						

表 2-4 单量限电流表两次测量数据

电流实际值	两次测量值		测量计算值	绝对误差	相对误差
I (mA)	I_1 (mA)	I_2 (mA)	I' (mA)	ΔI	$\Delta I/I \times 100\%$