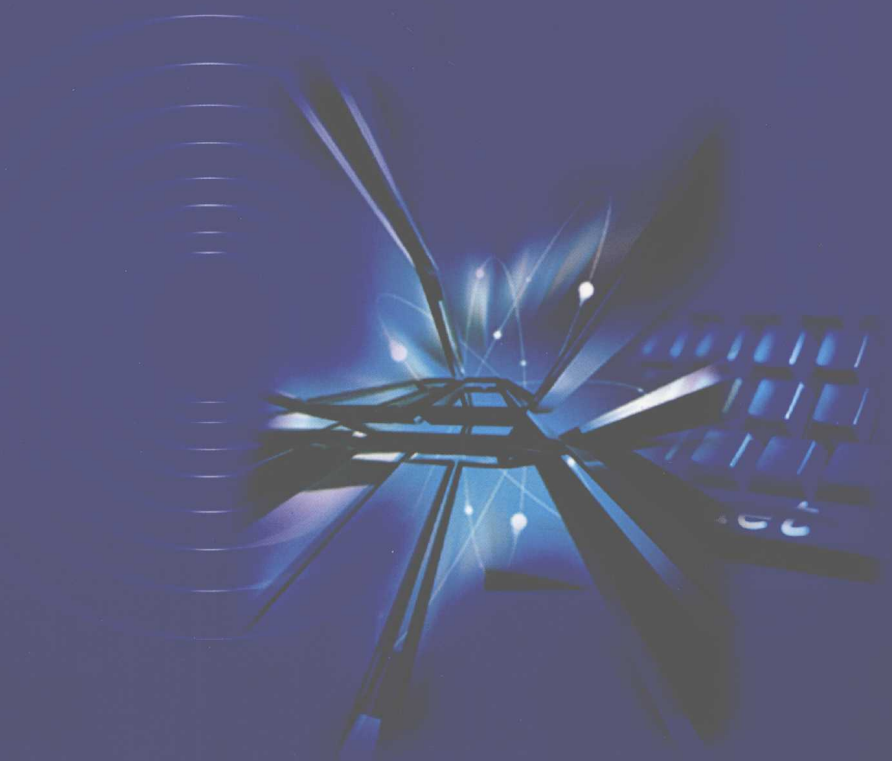


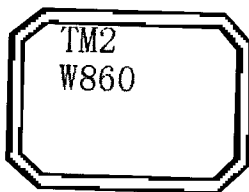
电工与电子技术 实验指导

主 编 吴舒辞
副主编 朱俊杰 万芳瑛 张发生
编 委 徐卓农 杨菊秋 张凌涛



中南大学出版社

TM2
W860



电工与电子技术 实验指导

主 编 吴舒辞
副主编 朱俊杰 万芳瑛 张发生
编 委 徐卓农 杨菊秋 张凌涛

中南大学出版社

电工与电子技术实验指导

主 编 吴舒辞

☐责任编辑 李 梓

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路 邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐经 销 湖南省新华书店

☐印 装 中南大学金湘印刷厂

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 14 ☐字数 343 千字 ☐插页:

☐版 次 2004 年 8 月第 1 版 ☐2004 年 8 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 7-81061-737-0/TM · 016

☐定 价 24.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

前 言

为了适应高等教育新形势的需要,改革实验教学方法和内容,我们重新编写了《电工与电子技术实验指导》,其内容包括“电路基础实验”(实验 1 至实验 34)、“模拟电子技术实验”(实验 35 至实验 51)、“数字电子技术实验”(实验 52 至实验 62)以及综合实验(实验 63 至实验 67)。

电工与电子技术课程已成为工科类专业甚至一些其他类专业的一门基础课程。为了适应不同专业的不同要求,在实验内容上,主要增加了设计性和综合性的实验项目,在验证性实验项目中也增加了设计性环节。必须进行一定的计算和思考才能画出实验电路图,这样促使学生将理论与实践相结合,更进一步巩固其理论知识,更进一步明确理论指导实践的重要性。

在实验方法上,摒弃了传统的完全按实验指导书一步一步地机械操作的方式,而是通过本书的指导,实验者本人设计其实验过程。这样可充分发挥个人的创造性。另外也兼顾电类和非电类专业学生的不同实验要求,可以采取不同的灵活多样的实验方法。

本书“电路基础实验”部分(实验 1 至实验 34)主要由吴舒辞教授和朱俊杰讲师整理编写。“模拟电子技术实验”部分中(实验 35 至实验 51),实验 35、实验 37、实验 38、实验 45、实验 39 至实验 43 由万芳瑛讲师编写,实验 46 至实验 48 由张发生讲师编写,实验 36、实验 44 以及实验 49、50、51 由徐卓农副教授编写。“数字电子技术实验”部分中(实验 52 至实验 62),实验 52 至 57 由朱俊杰讲师编写,实验 58 至实验 62 由杨菊秋副教授编写。“综合实验”(实验 63 至实验 67)由张凌涛老师编写。全书最后由吴舒辞教授统稿。

由于编者水平有限,错误在所难免,请老师和同学们提出宝贵意见,以利下次修改。

谢谢!

编 者

中南林业科技大学电子与信息工程学院

目 录

第一部分 电路基础实验

实验 1	直流仪表的使用与误差计算	(3)
实验 2	测量误差分析	(10)
实验 3	线性与非线性电阻元件伏安特性的测定	(14)
实验 4	直流电路中电压与电位的实验研究	(17)
实验 5	基尔霍夫定律	(19)
实验 6	电压源与电流源的等效转换	(22)
实验 7	迭加原理	(25)
实验 8	戴维南定理与诺顿定理	(27)
实验 9	网络等效变换	(30)
实验 10	最大功率传输条件的实验研究	(34)
实验 11	CCVS 及 VCCS 受控电源的实验研究	(38)
实验 12	VCVS 及 CCCS 受控电源的实验研究	(41)
实验 13	线性无源二端口网络的研究	(44)
实验 14	RL 及 RC 串联电路中相量轨迹图的研究	(48)
实验 15	正弦交流电路中 RLC 元件的阻抗频率特性	(51)
实验 16	用二表法及一表法测量交流电路的等效参数	(55)
实验 17	用三表法测量交流电路的等效参数	(57)
实验 18	提高日光灯功率因数方法的研究	(59)
实验 19	串联谐振	(62)
实验 20	互感电路	(66)
实验 21	变压器参数的测量	(70)
实验 22	感应式仪表——电度表的检定	(73)
实验 23	RC 选频网络特性的测试	(77)
实验 24	三相对称与不对称交流电路电压、电流的测量	(79)
实验 25	三相交流电路电功率的测量	(83)
实验 26	非正弦周期电压的分解与合成	(86)
实验 27	一阶 RC 电路的暂态响应	(89)
实验 28	二阶 RLC 串联电路的暂态响应	(93)
实验 29	电路有源器件——运算放大器的特性与应用	(96)
实验 30	负阻抗变换器的应用	(100)

实验 31	回转器的应用	(102)
实验 32	三相鼠笼式异步电动机的使用与启动	(104)
实验 33	三相鼠笼式异步电动机用接触器、继电器控制的直接启动及正反转运行	(108)
实验 34	三相鼠笼式异步电动机的 Y - Δ 延时启动控制电路	(112)

第二部分 模拟电子技术实验

实验 35	共射极单管放大器	(117)
实验 36	场效应管放大器	(120)
实验 37	差动放大器	(122)
实验 38	负反馈放大器	(124)
实验 39	集成运算放大器参数的测试	(127)
实验 40	集成运算放大器的基本应用——模拟运算电路	(130)
实验 41	集成运算放大器的基本应用——波形发生器	(134)
实验 42	集成运算放大器的基本应用——有源滤波器	(137)
实验 43	集成运算放大器应用于基本信息处理——电压比较器	(139)
实验 44	锁相环的应用	(141)
实验 45	集成音频功率放大器	(143)
实验 46	直流稳压电源(1)串联型晶体管稳压电源	(146)
实验 47	直流稳压电源(2)集成稳压器	(150)
实验 48	晶闸管可控整流电路	(154)
实验 49	温度控制电路	(157)
实验 50	使用运算放大器组成多用表的设计和调试	(159)
实验 51	音频功率放大器电路的焊接与调试	(163)

第三部分 数字电子技术实验

实验 52	TTL 与非门参数和特性的测试	(167)
实验 53	基本逻辑门逻辑实验	(170)
实验 54	三态门、OC 门实验	(172)
实验 55	数据选择器和译码器	(174)
实验 56	数码管的译码显示电路	(176)
实验 57	全加器的构成及其测试	(179)
实验 58	触发器与简单时序电路	(181)
实验 59	任意进制计数器实验	(184)
实验 60	555 定时器应用电路	(187)
实验 61	数 - 模转换电路实验	(189)
实验 62	模 - 数转换电路实验	(191)

第四部分 综合实验

实验 63 电子秒表	(195)
实验 64 模拟乒乓球游戏机	(199)
实验 65 智力竞赛抢答器	(208)
实验 66 交通信号灯控制器	(209)
实验 67 数字密码锁	(211)
附 1 数字电路实验基础知识	(213)
附 2 关于实验 63 ~ 实验 67(综合实验)的说明	(216)

第一部分

电路基础实验

实验 1 直流仪表的使用与误差计算

一、实验目的

1. 熟悉新型电工测量仪表的结构、特性、使用方法。
2. 熟悉新型实验台电源的操作使用。
3. 学会数字表与指针表的误差分析与计算。

二、实验原理

1. 电工仪表按其结构原理可分为两大系列:

- (1) 以数字技术为基础构成的电子式数字显示仪表。
- (2) 以电磁作用力为基础构成的机械式模拟指针表。

数字仪表是将连续变化的物理量(称模拟量)转变为不连续、离散的数字量加以显示的新型仪表,它是电子技术、计算机技术、自动化技术以及精密电测技术互相结合的成果,是电工仪表发展的方向。

两大系列仪表的基本特点是:

数字表显示清晰、直观、读数方便、准确度高、分辨率高,更接近理想型仪表。

机械式模拟指针表虽在上述特性远不及数字表,但具有直观地指示被测量连续变化的快慢情况以及直观地显示指示值与某设定值相对比例关系的特点。实验台使用数字表与模拟指针表相结合的双显示新型仪表,兼具两种仪表的优良性能。

2. 数字表与指针表的误差特性。

(1) 指针表的基本误差以引用误差的形式来表达,引用误差定义为指针在满偏位置时的相对误差。

$$E_{A_m} = \pm \left(\frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \right)$$

上式中: Δ_m ——指针表在该量限的最大绝对误差。

A_m ——表指针满偏值(量限)。

引用误差(即基本误差)的数值定义为仪表的准确度等级,按规定仪表准确度共分 7 个等级,如表 1.1。

指针在量限的任一位置时的相对误差 E_x 可表示为: $E_x = \frac{\pm E_{A_m} \times A_m}{A_x}$

表 1.1 准确度等级与基本误差的关系

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差%	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	

由上式可知指示值越小,相对误差越大,相对误差与指针位置的特性曲线如图 1.1 所示。

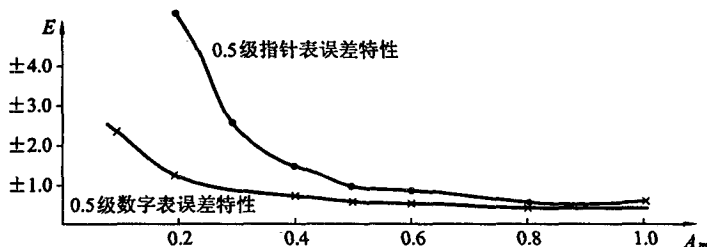


图 1.1 相同准确度级别的数字表与指针表的误差特性

应特别注意仪表的基本误差是在规定的标准条件下测定的,实际应用中偏离规定条件时(如温度、湿度、频率、波形、外磁场等),还要加上各项附加误差值。

(2) 数字表的误差特性与误差表示方法与指针表不同,数字表误差由两部分之和来表示,仪表在任一指示值时的误差有两种表示方式:

a. $\Delta x = \pm (a\% \times A_x + b\% \times A_m)$

b. $\Delta x = \pm (a\% \times A_x + n)$

上式中: Δx ——仪表在任一指示值 A_x 时的绝对误差。

A_m ——仪表量限。

n ——仪表最后几个数位允许变化的示值。

a ——与测量值有关的误差系数。

b ——仪表数字化过程的固有误差系数。

上述二式是等价的,若把几个字的误差折合成满量限的百分数就有完全相同表达式。

数字表的相对误差可根据绝对误差表达式写出:

$$E_x = \pm (a\% + b\% \frac{A_m}{A_x})$$

当 $A_x = \frac{A_m}{KT}$ 时, $\frac{E_x}{KT} = E_{Am} = \pm (a\% + b\%)$

E_{Am} 定义为仪表的基本误差(即准确度级别)。

数字表相对误差与指示值的特性曲线如图 1.1 所示,由图可知同等级的数字表与指针表其误差特性是不一样的,在低位区的相对误差数字表比指针表小得多。

(3) 理想型仪表接入电路测量时不存在分压效应与分流效应,实际电表由于都具有一定内阻,因此测量时必须考虑分压与分流效应产生的测量误差。该项误差是随着电路结构与参数而变,具有不确定性与不可预知性,并且其误差数值往往大幅超过仪表基本误差,会严重影响实验质量,在简单直流电路中还可通过各种多次测量间接运算来减少该项误差,在交流电路中由于存在电感、电容、非正弦波形等多种因素影响使该项误差无法校正。因此,测量中必须掌握仪表的这一特性,仪表结构越完善、性能越高就越接近理想型仪表。

(4) 实验台 JDV-21 型数模双显示直流电流表与 JDV-21 型数模双显示直流电压表的使用:

JDV-21 型数模双显示直流电流表是一种直流毫安表、直流安培表以及单一指针表三位

一体的多用组合仪表,左下方两输入接线口及对应的按键开关为三量限直流毫安表,右上方两输入插口及对应按键开关为三量限直流安培表,显示部分共用,两表量限开关互机械连锁,所以只能择一使用。另外,仪表左上方有一钮子开关,可以控制模拟指针表外接与内接,如果在外接位置,由仪表上方两插口接出正负端子形成一个高灵敏度(约满偏 $100\ \mu\text{A}$)独立的指针表,可供多种仪表测量或其他设计性实验之用。

仪表设有超量限以及极性接反报警及超限或反接超限次数自动记录装置,所以使用时应正确接线,合理选择量限,避免超限。

另外,变换仪表量限时只需迅速按下所要的量限按钮开关即可,切不要同时按下两个量限开关。

数字表无需调零点,指针表的零位可拨动仪表中部白色塑料刻槽片位置,指针表是特制磁电式带反光镜画框式仪表,读数时应保持眼、针、影在同一直线。另外,数字表的准确度为 0.5 级,直接读数,指针表的满偏值可随时使用面板上“模拟表满度校正”电位器与数字表进行校正,指针表满偏 100 分格,每格具体值视量限而定。

面板上“读数锁存”按键控制数字表数据锁定,但模拟指针表仍可实时测量,此功能便于某些定值比较。

应注意锁定数字表时接通电源,仪表可能会有不正常显示,只要复位即可正常。

表 1.2(a) JDV-21 型直流电流表主要技术参数

参数 量限	满量限显示值	误差计算式	内 电 阻
2 mA	$A_m = 1.999$	$\pm (0.3\% A_x + 0.2\% A_m)$	$< 1\ \Omega$
20 mA	$A_m = 19.99$	$\pm (0.3\% A_x + 0.2\% A_m)$	$< 0.1\ \Omega$
200 mA	$A_m = 199.9$	$\pm (0.3\% A_x + 0.2\% A_m)$	$< 0.01\ \Omega$
1 A	$A_m = 1.000$	$\pm (0.3\% A_x + 0.2\% A_m)$	$< 0.1\ \Omega$
2 A	$A_m = 1.999$	$\pm (0.3\% A_x + 0.2\% A_m)$	$< 0.1\ \Omega$
5 A	$A_m = 5.000$	$\pm (0.3\% A_x + 0.2\% A_m)$	$< 0.1\ \Omega$

表 1.2(b) JDV-21 型直流电压表主要技术参数

参数 量限	满偏显示值	误差计算式	内 电 阻
2 V	$A_m = 1.999$	$\pm (0.3\% A_x + 0.2\% A_m)$	4 M Ω
20 V	$A_m = 19.99$	$\pm (0.3\% A_x + 0.2\% A_m)$	4 M Ω
200 V	$A_m = 199.9$	$\pm (0.3\% A_x + 0.2\% A_m)$	4 M Ω
500 V	$A_m = 500.0$	$\pm (0.3\% A_x + 0.2\% A_m)$	4 M Ω

仪表接通或关断供电电源都需要 15 s 的预热和复位时间。

仪表后面设有计算机接口,如实验台装有学生控制机即可通过控制机上小键盘与教师管理计算机进行数据通信操作。

仪表背后有一个 2 A 熔丝管与毫安表输入端串联,如需更换可打开实验屏后门。

JDV-21 型双显示直流电压表使用注意事项相同。

(5) 实验台直流稳压电源与直流稳流电源的使用。

实验台设有两个独立的直流稳压电源,输出电压均可通过调节“粗调”与“细调”多圈电位器使输出电压在 0~25 V 范围内改变,每个稳压源的额定输出电流为 1 A。输出电压可由面板指示电表作粗略指示。使用时注意正确接线及极性,防止输出短路,多圈电位器可转动 5 圈,应轻转细调,使用完毕断开电源开关。

稳流电源输出电流调节可通过分档粗调开关及细调多圈电位器在 0~10 mA 及 0~200 mA 范围内进行调节。由于电流源理论上是不能开路的(就像电压源不能短路一样),因此在使用时应预先接好外电路,然后合上稳流源电源开关。为防止电流源对外电路的冲击,设置了预调功能,即当电流源的电源开关断开时接通一个内部负载,通过调节可在板上方指示电表上显示电流值,当电源开关接通时就断开内部负载向外部负载输出已调的电流,内转外时无任何开路冲击现象。

使用电流源时应注意当电源开关接通时在任何情况下不要中断外部负载,否则会产生较高输出电压,此时如再度接通外部负载就可能产生冲击电流使仪表过载记录。

如需改接外部线路应先断开电源开关,此时内部负载与外部负载是并联的,再断开外线路就不会使电流源开路。

另外,需注意电源板上小电流表的量限能随着输出电流粗调开关位置同步转换,在 0~10 mA 位置时满偏是 10 mA,在 0~200 mA 位置时满偏是 200 mA。

电流源使用完后应关断开关并将预调电流降低至零。

三、实验设备与元器件

JDV-21 型数模双显示直流电压表;JDV-21 型数模双显示直流电流表;直流稳压电源、直流稳流电源;大功率可变电阻箱。

四、实验内容及实验步骤

1. JDV-21 型直流电流表的内阻测定。

JDV-21 直流电流表采用特殊设计结构使其内阻特低,尤其是小量限内阻较一般数字表低 100~200 倍,因而可大幅提高实际测量精度。

内阻测定方法很多,实验中采用串联电阻法与并联电阻法两种。

(1) 串联电阻法。

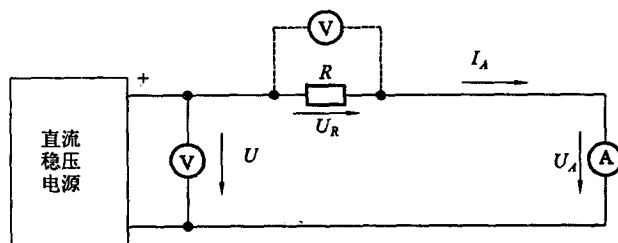


图 1.2 串联电阻法测定内阻

图中, A 为待测内阻电流表(JDV-21 型直流电流表)。

V 为高内阻直流电压表(JDV-21 型直流电压表)。

R 为串联电阻箱电阻(JDV-21 准确度 $\pm 1\%$)。

实验步骤:

- ① 选定电流表量程 2 mA, 电压表量程 2 V, $R = 1 \text{ k}\Omega$;
- ② 接好线路, 直流稳压电源输出由零缓慢增加至电流表显示值为 2.000 mA;
- ③ 分别测量直流稳压电源输出端电压 U 及电阻两端的电压 U_R ;
- ④ 计算电流表 2 mA 档的内阻 R_A 及其测量误差 E_{RA} 。

$$R_A = \frac{U_A}{I_A} = \frac{U - U_R}{I_A}, \quad E_{RA} = \pm (|E_{UA}| + |E_{IA}|)$$

在测量中, 由于测量 U 及 U_R 使用同一仪表的同一量程, 且在接近相同显示值状态下进行, 所以 E_{UA} 可近似为:

$$E_{UA} = \frac{U}{U_A} \times E_U - \frac{U_R}{U_A} \times E_{UR} \approx E_U \times \frac{U - U_R}{U_A} = E_U$$

另外, 在测量 U_R 时由于电压表内阻为 $4 \text{ M}\Omega \gg R$, 可以不考虑分流效应。

(2) 并联电阻法。

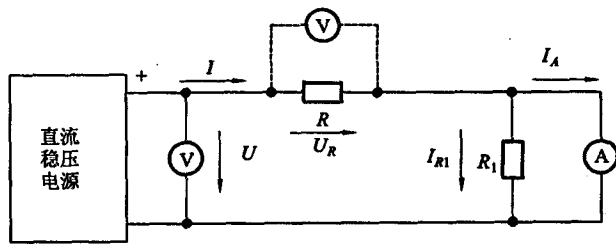


图 1.3 并联电阻法测定内阻

实验步骤:

- ① 选定电流表量程 2 mA, 电压表量程 2 V, $R = 1 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 100 \Omega$;
- ② 接好线路, 先断开 R_1 , 预调电流源电流为 1 mA 左右后接通其电源开关输出电流, 并逐渐增加至 2 mA;
- ③ 读出电压表及电流表显示值 U_R 及 I_{A1} , 然后接上 R_1 , 保持电压表显示值不变情况下读出电流表显示值 I_{A2} ;
- ④ 计算 R_A 值及其测量相对误差 E_{RA} 。

$$R_A = \frac{I_{R1}}{I_{A2}} \times R_1 = \frac{I_{A1} - I_{A2}}{I_{A2}} \times R_1 \quad E_{RA} = \pm (|E_{IR1}| + |E_{IA2}| + E_{R1})$$

与串联电阻法相似, 由于测量 I_{A1} 及 I_{A2} 使用同一仪表的同一量程且在很接近相同显示值状态下进行, 可用同样方法计算 E_{IR1} , R_1 用电阻箱电阻 $E_{R1} = \pm 1\%$ 。

2. JDV-21 型双显示直流电压表中指针表的线性误差特性检定。

双显示仪表中 $4\frac{1}{2}$ 位数字表头精度为 0.05 级, 整机精度定为 0.5 级, 读数以数字表为准,

表 1.4 并联电阻法测量电流表内阻的测量结果

电流表型号	编 号	使用量限	电压表型号	编 号	使用量限		
实验测量数据(传送数据)							
U_R	I_{AR}		I_{A2}				
计算数据及设置数据							
$E_{I_{R_1}}$	$E_{I_{A_2}}$	E_{R_1}	E_{R_A}	R_A	R	R_1	

表 1.5 UDV-21 型双显示直流电压表中指针表的线性误差特性检定实验结果

上行	数字表示值(V)	0.200	0.400	0.600	0.800	1.000
	指针表示值(V)					
	绝对误差 Δ					
	数字表示值(V)	1.200	1.400	1.600	1.800	2.000
	指针表示值(V)					
	绝对误差 Δ					
下行	数字表示值(V)	2.000	1.800	1.600	1.400	1.200
	指针表示值(V)					
	绝对误差 Δ					
下行	数字表示值(V)	1.000	0.800	0.600	0.400	0.200
	指针表示值(V)					
	绝对误差 Δ					

实验2 测量误差分析

一、实验目的

1. 掌握仪表内阻在测量中产生的误差及分析方法。
2. 了解在直流测量中减小方法误差的措施与适用范围。
3. 进一步熟悉直流仪表仪器的使用。

二、实验原理

测量误差可分为系统误差和随机误差两类。系统误差又可分为基本误差、附加误差、方法误差等3类,对一个已确定的仪表及仪表使用环境而言,方法误差是影响测量结果的主要因素,尤其是对于一个结构欠完善的仪表在测量中其方法误差可能远大于仪表本身的精度等级。

方法误差中造成测量结果质量极低的主要原因是仪表内阻产生的分流效应与分压效应。在简单的直流测量场合,这种方法误差可通过理论分析与计算的方法使其减小,但在复杂电路测量中或交流测量中这种方法的实用性极为有限。

本实验中用不同仪表通过简单测量电路来分析计算比较方法误差对测量结果的影响。

三、实验设备与元器件

直流稳压电源;电压表、电流表;电阻元件。

四、实验内容及实验步骤

1. 验证欧姆定律。

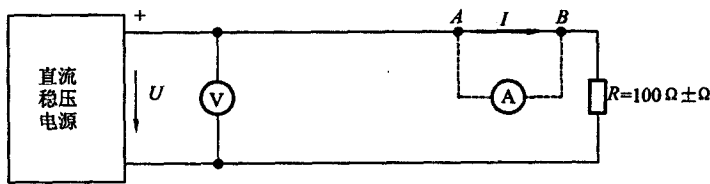


图 2.1 欧姆定律验证图

电压表监测选定量限为 2 V,电压表测量精度按下式计算。

$$E_U = (0.3\% + 0.2\% \frac{A_m}{A_x}) \text{ 由欧姆定律可知流过电阻的电流为:}$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{200 \times 10^{-3}}{100} = 2 \times 10^{-3} = 2(\text{mA})$$

$$\text{最大相对误差 } E_1 = \pm (|E_U| + |E_R|) = (2.3\% + 1\%) = \pm 3.3\%。$$