浙江大学实验报告

专业：
姓名：
学号：
日期：March 4, 2026
地点：东 3-208

课程名称：电工电子学实验　指导老师：　成　绩：
实验名称：基本电量测量与测量方法误差 实验类型：基础实验　学　期：2025-2026 春夏

一、实验目的和要求　二、实验内容和原理
三、主要仪器设备　四、实验数据记录和处理
五、实验结果与分析　六、讨论、心得

一、 实验目的和要求

(1) 理解掌握基尔霍夫定律。

(2) 了解电工电子综合实验台上仪器仪表的布局，掌握电压源和电流源的使用。

(3) 掌握实验台上直流电压表、直流电流表以及数字式万用表的使用方法。

(4) 掌握电压表、电流表内阻的测量方法。

(5) 了解电压表内阻和电流表内阻对测量准确度的影响。

二、 实验内容和原理

1.实验原理

(1)基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是电路分析的基本定律，分为电流定律和电压定律。其中电压定律是指沿任意一个回路循行一周，各段电压的代数和等于零，即 $\sum u = 0$；电流定律是指任意节点上所有支路电流的代数和等于零，即 $\sum i = 0$。

在本实验的简单串联电路中，电源电压 $U = U_1 + U_2$，可通过实测数据加以验证。

(2)分压法测量电压表内阻

将一个阻值与电压表内阻 R_V 相近的已知电阻 R 与电压表串联后接到电压源上（如图 1 所示）。测量时，先闭合开关 S，调节电压源输出到接近电压表满量程，记为 U_S；然后断开 S，此时电压表读数为 U_V。由分压关系，有：

$$U_V = \frac{R_V}{R + R_V} U_S \tag{1}$$

故电压表内阻为：

$$R_V = \frac{U_V}{U_S - U_V} R \tag{2}$$

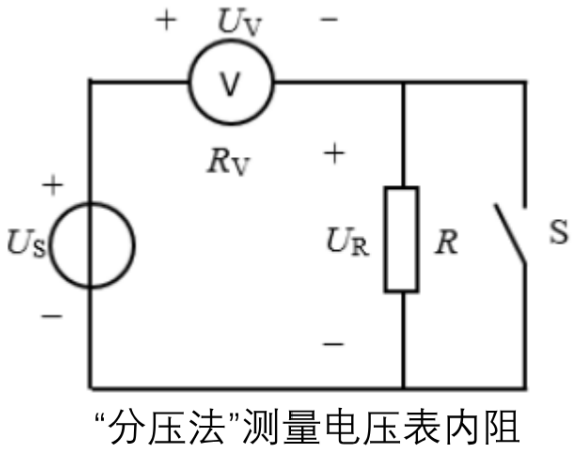


Figure 1: 分压法测电压表内阻电路图

(3)分流法测量电流表内阻

将一个阻值与电流表内阻 R_A 相近的已知电阻 R 及串联开关 S 与电流表并联后接到电流源上（如图 2 所示）。测量时，先断开开关 S，调节电流源输出到接近电流表满量程，记为 I_S。然后闭合 S，此时电流表读数为 I_A。由分流关系有：

$$I_A = \frac{R}{R + R_A} I_S \tag{3}$$

故电流表内阻为：

$$R_A = \frac{I_S - I_A}{I_A} R \tag{4}$$

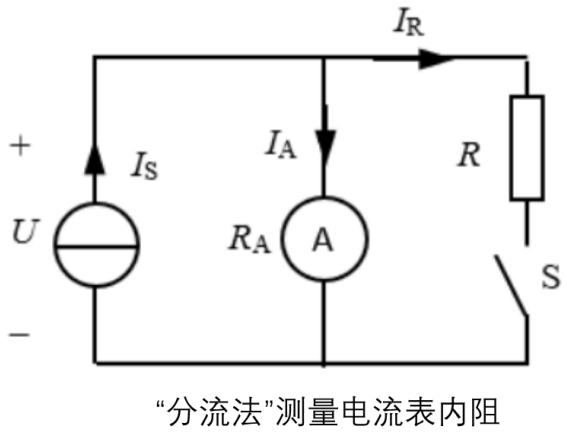


Figure 2: 分流法测量电流表内阻电路图

(4)仪器误差说明

即便是合格的测量仪表本身也存在着一定的误差（仪器误差）。为减小不同仪表之间系统偏差对比较结果的影响，通常用同一只电压表来测量电路中的多处电压；用同一只电流表来测量电路中的多处电流。但这并不等于减小了仪表本身的仪器误差。

2.实验内容

1. **直流电压、电流和电阻的测量**：选用标称电阻分别为 330 Ω、620 Ω 的 R_1 和 R_2，用万用表电阻档测量电阻值；按图 3 接线，用数字式万用表的直流电压档测量电源电压 U 和电阻电压 U_1、U_2；用直流电流表测量电流 I。

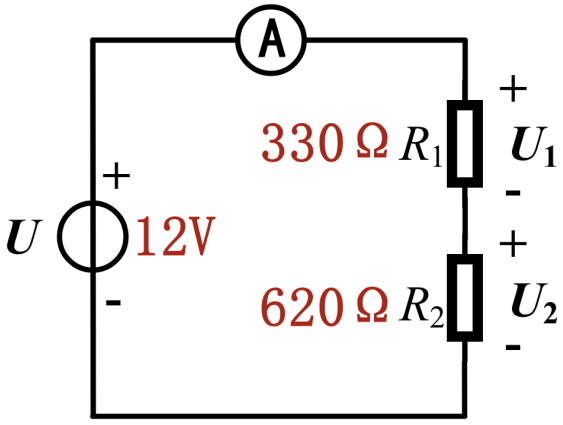


Figure 3: 直流电压、电流和电阻的测量电路图

2. **电压表内阻的测量**：

- 万用表内阻测量：按图 4 接线，$R = 5.1\,\mathrm{M\Omega}$，$U_S$ 约 12 V，测量万用表直流 60 V 档内阻。
- 直流电压表内阻测量：按图 4 接线，$R = 500\,\mathrm{k\Omega}$，$U_S$ 约 12 V，测量直流电压表 20 V 档内阻。

两次测量的电路原理相同，仅更换被测电表和串联电阻 R 的值。

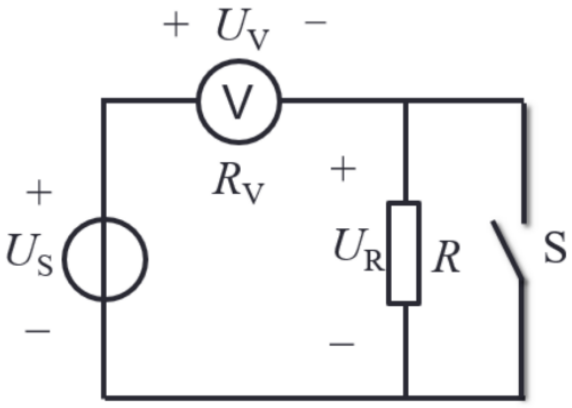


Figure 4: 分压法测量电压表内阻实验电路图

3. **电流表内阻的测量**：按图 5 接线，分别测量直流电流表 2 mA 档和 20 mA 档内阻，并联电阻采用电阻箱，电流源分别设置为约 1.8 mA 和 19 mA。切换开关，使电流大致变为切换之前的 1/2。

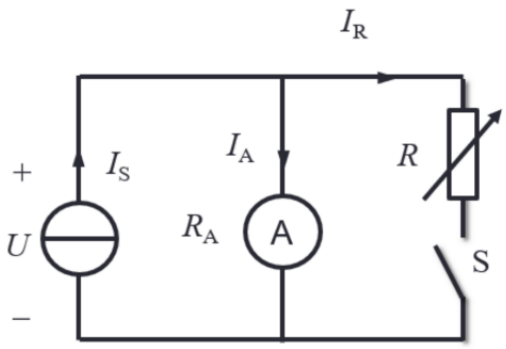


Figure 5: 直流电流表内阻测量电路图

三、 主要仪器设备

编号	仪器用具名称	主要参数（型号，测量范围，测量精度等）
1	电工电子综合实验台	内置直流电压源、直流电流源、直流电压表、直流电流表；本实验分别使用 20 V、2 mA、20 mA 档
2	HY63 数字式万用表	用于电压/电阻测量；本实验主要使用 DC 60 V 档及电阻档
3	十进制电阻箱	可调电阻，最小分度 1 Ω（用于分流法内阻测量）
4	已知电阻元件	标称值 330 Ω、620 Ω、500 kΩ、5.1 MΩ
5	开关、导线	实验接线用

Table 1: 实验设备列表

四、 实验数据记录和处理

1.直流电压、电流和电阻的测量

电压通过万用表直流电压档直接测得，电流由直流电流表直接测得，电阻由万用表电阻档测得。

U/V	U_1/V	U_2/V	I/mA	R_1/Ω	R_2/Ω
11.960	4.137	7.770	12.56	329.6	620

Table 2: 直流电压、电流和电阻的测量

2.电压表内阻测量

分别测量两种情况的 U_S（S 闭合）、U_V（S 断开）和已知电阻 R，代入公式 (2) 计算。

被测电压表	U_S/V（S 闭合）	U_V/V（S 断开）	R/Ω（已知）	R_V/Ω（计算值）
万用表 60V DC 档	11.97	7.98	5.1×10^6	1.02×10^7
直流电压表 20V 档	12.00	6.03	5.00×10^5	5.05×10^5

Table 3: 电压表内阻测量

计算过程：

万用表 60V DC 档内阻：

$$R_{V1} = \frac{U_V}{U_S - U_V} R = \frac{7.98}{11.97 - 7.98} \times 5.1\,\mathrm{M\Omega} = \frac{7.98}{3.99} \times 5.1\,\mathrm{M\Omega} = 2.0 \times 5.1\,\mathrm{M\Omega} = 10.2\,\mathrm{M\Omega} \tag{5}$$

直流电压表 20V 档内阻：

$$R_{V2} = \frac{U_V}{U_S - U_V} R = \frac{6.03}{12.00 - 6.03} \times 500\,\mathrm{k\Omega} = \frac{6.03}{5.97} \times 500\,\mathrm{k\Omega} = 1.010 \times 500\,\mathrm{k\Omega} = 505.0\,\mathrm{k\Omega} \tag{6}$$

3.电流表内阻测量

先断开开关 S，记录电流表读数 I_S；再闭合 S，调整电阻箱阻值 R 使电流大致变为 $I_S/2$，读取此时电流 I_A。代入公式 (4) 计算。

被测表量程/mA	I_S/mA（S 断开）	I_A/mA（S 闭合）	R/Ω	R_A/Ω（计算值）
2	1.862	0.928	50	50.3
20	19.13	9.62	5	4.94

Table 4: 电流表内阻测量

计算过程：

直流电流表 2mA 档内阻：

$$R_{A1} = \frac{I_S - I_A}{I_A} R = \frac{1.862 - 0.928}{0.928} \times 50\,\Omega = \frac{0.934}{0.928} \times 50\,\Omega = 1.006 \times 50\,\Omega = 50.3\,\Omega \tag{7}$$

直流电流表 20mA 档内阻：

$$R_{A2} = \frac{I_S - I_A}{I_A} R = \frac{19.13 - 9.62}{9.62} \times 5\,\Omega = \frac{9.51}{9.62} \times 5\,\Omega = 0.989 \times 5\,\Omega = 4.94\,\Omega \tag{8}$$

五、 实验结果与分析

1.直流电压、电流和电阻的测量

实验结果：

由表 2得 $U_1 + U_2 = 4.137 + 7.770 = 11.907\,\mathrm{V}$。考虑图 3中电流表串联接入，回路应满足：

$$U \approx U_A + U_1 + U_2 \tag{9}$$

由表 4可取 20 mA 档电流表内阻 $R_{A2} = 4.94\,\Omega$，结合测得电流 $I = 12.56\,\mathrm{mA}$，得

$$U_A \approx I R_{A2} = 12.56 \times 10^{-3} \times 4.94 = 0.062\,\mathrm{V} \tag{10}$$

故

$$U_A + U_1 + U_2 = 0.062 + 4.137 + 7.770 = 11.969\,\mathrm{V} \tag{11}$$

与 $U = 11.960\,\mathrm{V}$ 的绝对误差为 $0.009\,\mathrm{V}$，相对误差约为 0.08%，说明在考虑电流表压降后实验结果符合基尔霍夫电压定律。

该回路为串联回路，各元件支路电流相等（均为 $I = 12.56\,\mathrm{mA}$），满足节点电流代数和为零的要求，符合基尔

霍夫电流定律。

由欧姆定律，理想电路（不计电流表内阻）理论电流为：

$$I_{\text{理论, 理想}} = \frac{U}{R_1 + R_2} = \frac{11.960}{329.6 + 620} = 12.59\,\text{mA} \tag{12}$$

考虑电流表内阻后，测量回路理论电流为：

$$I_{\text{理论, 修正}} = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_{A2}} = \frac{11.960}{329.6 + 620 + 4.94} = 12.53\,\text{mA} \tag{13}$$

与测量值 12.56 mA 的相对误差约为 $\dfrac{|12.56 - 12.53|}{12.53} \times 100\% = 0.24\%$。

误差来源分析：

(1) 主要差值来自电流表内阻引入的串联压降；若忽略该项，$U_1 + U_2$ 与 U 会出现约 0.053 V 的系统差。

(2) 稳压电源输出存在小范围波动，导线及端子接触电阻也会引入附加误差。

(3) 电阻元件实测值与标称值存在偏差，且计算中的有效数字取舍会带来舍入误差。

(4) 万用表输入内阻约为 10.2 MΩ，远大于 R_1, R_2（百欧姆量级），该处并联分流效应相对较小。

2.电压表内阻测量

实验结果：

以下标称值取自实验指导书/仪器面板给出的典型参数：万用表 DC 电压输入内阻约 10 MΩ，直流电压表 20 V 档内阻约 500 kΩ。

- 万用表 60V DC 档内阻测量值为 10.2 MΩ，标称值为 10 MΩ，相对误差为 $\dfrac{|10.2 - 10|}{10} \times 100\% = 2\%$。
- 直流电压表 20V 档内阻测量值为 505.0 kΩ，标称值为 500 kΩ，相对误差为 $\dfrac{|505.0 - 500|}{500} \times 100\% = 1\%$。

两种电压表的测量内阻均与测量电阻 R 在同一数量级，说明测量电阻的阻值选取合理，分压法的适用条件（R 与 R_V 在同一数量级）得到满足。

误差来源分析：

(1) 本次按已知电阻 R 的标称值参与计算；若需进一步提高准确度，应先测量 R 的实际值再代入公式。

(2) 电压源的输出电压在测量过程中存在小幅波动。

(3) 计算中有效数字的取舍带来舍入误差。

3.电流表内阻测量

实验结果：

以下标称值取自实验指导书/仪器面板给出的典型参数：2 mA 档约 50 Ω，20 mA 档约 5 Ω。

- 直流电流表 2mA 档内阻测量值为 50.3 Ω，标称值约 50 Ω，相对误差为 $\dfrac{|50.3 - 50|}{50} \times 100\% = 0.6\%$。
- 直流电流表 20mA 档内阻测量值为 4.94 Ω，标称值约 5 Ω，相对误差为 $\dfrac{|4.94 - 5|}{5} \times 100\% = 1.2\%$。

误差来源分析：

(1) 电阻箱最小分度为 1 Ω，在低阻测量（尤其 5 Ω 附近）时会带来较明显的量化误差。

(2) 电流源输出和电流表读数存在波动，难以使 I_A 严格等于 $I_S/2$。

(3) 电阻箱与电流表的标称参数存在偏差，且近似“半流”操作会引入人为调节误差。

4.综合结论

电压表具有高内阻（MΩ ∼ 百 kΩ 级），电流表具有低内阻（Ω 级），这与理想电表的特性一致。在实际测量中，当被测回路电阻与电表内阻在同一数量级时，电表的接入将显著影响测量结果（产生较大的方法误差），需要根据具体情况合理选择测量方案。

六、 讨论、心得

本次实验是本学期电工电子学实验课程的第一个实验项目，核心内容为基本电学量的测量以及测量方法误差的认识。通过实验，我熟悉了电工电子综合实验台的布局和操作，掌握了电压源、电流源的调节方法，以及万用表、直流电压表、直流电流表的正确使用。

在分压法和分流法测量电表内阻的实验中，我深刻体会到实验方法的巧妙之处：通过引入一个已知电阻，利用简单的分压或分流关系即可间接测量电表内阻，而不需要额外的精密仪器。同时也认识到，测量电阻 R 的选择至关重要——其阻值需与待测内阻处于同一数量级，否则实验精度将大打折扣。

通过对实验数据的误差分析，我更加理解了仪器误差与方法误差的区别：仪器误差来源于仪表自身精度限制，而方法误差来源于测量方案对被测电路的干扰。在今后的实验中，我将更加注重合理选择测量方案、控制实验条件，努力提升测量的准确度和可靠性。