

浙 江 大 学

物 理 实 验 报 告

实验名称：____ 万用表的设计 ____

指导教师：____ 刘 才 明 ____

信 箱 号：____



【实验目的】

1. 了解指针式万用表测量电流、电压以及电阻的基本原理
2. 掌握多量程电流表、电压表和万用表的设计方法

【实验原理】（电学、光学画出原理图）

指针式万用表主要由磁电式电流计以及一系列电阻构成。由磁电式电流计和不同阻值的分流电阻可构成不同量程的电流表，同样，磁电式电流计和不同阻值分压电阻可构成不同量程的电压表，同样，磁电式电流计中电流计允许通过的最大电流称为电流计的量程，用 I_g 表示，电流计线圈有一定的电阻称为电流计内阻，用 R_g 表示。

1. 改装多量程电流表

要将磁电式电流计改装成量程为 I 的电流表，只需在电表表头两端并联一个分流电阻，如图1所示。电流计量程 $I_g = 1\text{mA}$ ，改装后的电流表有 5mA 和 10mA 两个量程。先计算 R_1 和 R_2 值。由各支路上电相等可得

$$\begin{cases} (R_1 + R_g)(5 - I_g) = R_g I_g \\ (R_2 + R_g) I_g = R_1 (10 - I_g) \end{cases}$$

由此计算得到的 R_1 和 R_2 值设计新的多量程电流表。

最后用标准安培表对改装的电流表进行校正，并分析误差，校正电路用图2。其中 A_0 为标准安培表， A 为改装电流表， R 为可调电阻， R' 为限流保护电阻， \mathcal{E} 为直流电源， S 为开关。

2. 改装多量程电压表

如果要用电流计改装成量程为 U 的电压表，则电流计需串联一个分压电阻，串联不同的分压电阻，得到不同量程的电压表，如图3所示。改装后的电压表有 5V 和 10V 两个不同量程。先计算 R_3 和 R_4 值。由分压可得

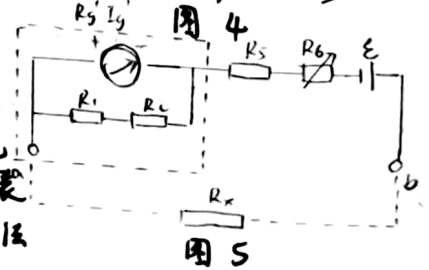
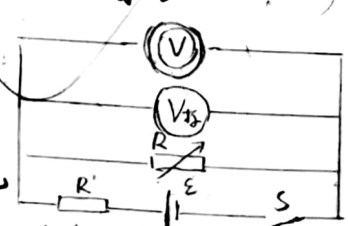
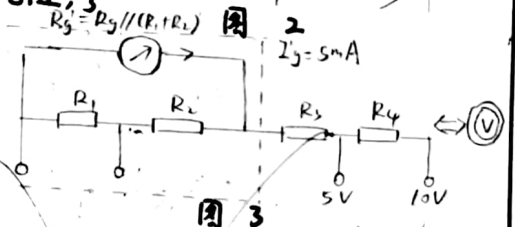
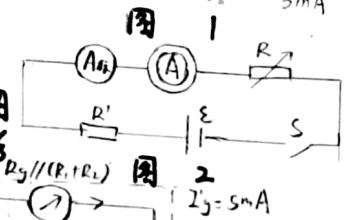
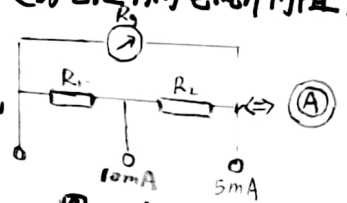
$$\begin{cases} R_3 = \frac{5V - R_g I_g'}{I_g'} \\ R_4 = \frac{(10 - 5)V}{I_g'} \end{cases}$$

其中， $R_g' = \frac{R_g(R_1 + R_2)}{R_g + R_1 + R_2}$ ， $I_g' = 5\text{mA}$ ，利用计算得到的 R_3 和 R_4 值设计新的电压表。

最后用标准伏特表对改装的电压表进行校正，并分析误差，校正电路用图4。其中 V_0 为标准伏特表， V 为改装电压表， R 为可调电阻， R' 为限流保护电阻， \mathcal{E} 为直流电源， S 为开关。

3. 改装欧姆表

欧姆表改装原理图4-5-5所示。短接 a, b 两端，调节电阻 R 使得电流计满刻度，此时 $I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R_g' + R'}$ ，则当 R_x 接入回路后，回路电流为： $I_x = \frac{\mathcal{E}}{R_g' + R' + R_x}$ （ \mathcal{E} 为直流电源电动势， R_g' 为表头内阻， R' 为电路的其他所有电阻值之和， R_x 为待测电阻）当 $R_x = R_g' + R'$ 时， $I_x = \frac{I_0}{2}$ ，此时电流表指针指向刻度线中点，这时的电阻 R_x 称为欧姆表的中值电阻。由此方法可在电流计面板上刻上刻度以显示不同的阻值 R_x 。



【实验内容】（重点说明）

1. 实验室提供 1mA 量程电流计，电流计内阻已标注，为 242Ω 。
2. 计算 R_1, R_2 的阻值，并搭建如图1所示电路。
3. 再将改装好的电流表接入图2所示电路，隔一定数据进行测量，校准所改装的电流表，记录整理数据，并绘制校准曲线。
4. 计算 R_3, R_4 的阻值，将改装好的电流表接入图3中，变成改装电压表，选择等间距5组数据进行测量校准，记录并整理数据，并绘制校准曲线。
5. 将图1改装好的电流表接入图3所示电路，变成欧姆表，短接 ab 端，调节 R_6 使电流计满刻度，即欧姆表调零，再选择10组数据，绘制欧姆表刻度曲线。

【实验器材及注意事项】

实验器材：

电流计、可调电阻 R_1, R_2, R_3, R_4 、电池、电阻箱、保护定值电阻、导线若干。

- 注意事项：
1. 改装的电流表左接线柱为 10mA ，右接线柱为 5mA 。改左大右小，改装的电压表左接线柱为 5V ，右接线柱为 10V 。左小右大，校准时接线不要接反。
 2. 改装的欧姆表为非均匀刻度，由于作为电源的电池也非恒定，所以欧姆表还需作零欧姆调整，实际电路中串联一零欧姆调整电位器 R 。
 3. 接线时电流计不能反接，不但会没有读数，还会损坏电流计。



【数据处理与结果】

改装多量程电流表

实验检流计标注阻值为 242Ω , $I_g = 1\text{mA}$. 代入 $\begin{cases} (R_1 + R_2)(5 - I_g) = R_3 I_g \\ (R_2 + R_3) I_g = R_1 (10 - I_g) \end{cases}$, 由此解得

$$\begin{cases} R_1 = 302.25\Omega \\ R_2 = 30.25\Omega \end{cases}$$

由于电阻箱最小可调节单位为 1Ω , 所以 R_1, R_2 均取 30Ω . 所得数据见表一.

改装电表后对其进行校准, 所得数据见表一. 所作校准曲线见图1.

表 一

$I_{\text{标}}/\text{mA}$	1.00	2.00	3.00	4.00	4.80
$I_{\text{检}}/\text{mA}$	0.95	1.85	2.90	3.80	4.65
$\Delta I/\text{mA}$	0.05	0.15	0.10	0.20	0.15
②/刻度	0.20	0.40	0.60	0.80	0.96

由上表可得 $\Delta I_{\text{max}} = 0.20\text{mA}$. 则 $\alpha = \frac{\Delta I_{\text{max}}}{I_{\text{max}}} \times 100\% = 4.2\%$. 此表精度为5级.

2. 改装多量程电压表.

实验检流计标注阻值为 242Ω , $I_g = 1\text{mA}$. 代入 $\begin{cases} R_3 = \frac{5V - R_2 I_g}{I_g} \\ R_4 = \frac{(10 - 5)V}{I_g} \end{cases}$, 由此解得 $\begin{cases} R_3 = 952\Omega \\ R_4 = 1000\Omega \end{cases}$.

改装电表后对其进行校准, 所得数据见表二. 所作校准曲线见图2.

表 二

$U_{\text{标}}/\text{V}$	1.00	2.00	3.00	4.00	4.80
$U_{\text{检}}/\text{V}$	0.97	1.94	2.85	3.85	4.68
$\Delta U/\text{V}$	0.03	0.06	0.15	0.15	0.12
②/刻度	0.20	0.40	0.60	0.80	0.96

由上表可得 $\Delta U_{\text{max}} = 0.15\text{V}$. 则 $\alpha = \frac{\Delta U_{\text{max}}}{U_{\text{max}}} \times 100\% = 3.2\%$. 则此表的精度为5级.

3. 改装欧姆表.

调节 R 使欧姆表进行零点校准后, 测得电流计表上刻度应刻的 R 示数与 I_x 关系见表三和图3.

表 三

I_x/mA	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
R_x/Ω	2700.0	1180.0	680.0	450.0	330.0	208.0	133.0	83.0	37.0	0.0

由此可得欧姆表的中值电阻为 330Ω . 且 R_x 与 I_x 为非线性关系.



【误差分析】

本实验改装所得的多量程电表存在较大的误差,两种电表精度均为5级,均不可在日常实验中
使用去测量电流和电压,因其精度太低。

- 误差分析原因:
1. 仪器精度有限,改装电表时所用的电阻的精度不满足计算出来所需的精度要求,造成改装时的误差,同时电阻的标称值可能与实际值不符
 2. 系统误差,由校正曲线可知,相比标准表而言,改装表均有偏大,则其朝着某个特定方向偏移,很可能由于各元件间存在系统误差
 3. 偶然误差,人为在校准时由于检流计的读数而产生的误差,造成对表头两表差值大小的影响,从而影响校正曲线,影响改装电表精度级别

【实验心得及思考题】

实验心得:

通过本实验让我了解电路的基本知识,以及认识万用表内部的大致结构,学会了通过已有的知识去计算串并联的电阻,将电流计改装为万用表,并掌握了如何对改装后的万用表进行校准,也得出了校准曲线。通过这个实验,更让我认识到了电路学习中的转化思想,这种思想和改装的方法对于我们电气工程及其自动化专业的同学来说是非常重要的,我们要在平常的这些实验中掌握更多的实践能力以及错误排查的能力,提升自己对电学实验的认识和综合素养。

思考题:

1. 当万用表置于欧姆挡时,表内的电池正极从黑表笔流出经过测试元件,从红表笔返回电表的表头正极,从表头负极流回电池负极。如果用电表测试电源内阻,被测电源很低时,如果用黑表笔接电源负极,红表笔接电源正极,实际上与表内电池串联,电压增高,电流增大,表针就会向0欧姆的方向猛打,无法调零,也就无法进行测试。当表笔换个方向连接电池,这时外部电源相当于流过表头的电流方向由电压稍高一方决定,且电流很小,同样无法测试。

当被测电源电压较高时,万用表成了电源一个阻值很低的负载,大电流流过电表,轻则烧毁表内电阻,重则烧毁表头。

2. 用欧姆计测量表头内阻时,欧姆计的测量电流要流过表头,此电流可能大于表头的最大工作电流,从而使表头损坏。

3. 由图5中的基尔霍夫定律可得
$$I_x(R_x + \frac{R_g(R_1+R_2)}{R_1+R_2+R_3}) + R_3 I_x = \mathcal{E}$$

$$\Rightarrow R_x = \frac{\mathcal{E}}{I_x} - R'$$

其中 R' 为改装万用表表内的总电阻, R_x 为待测电阻阻值, I_x 为流过 R' 的电流。

则有

$$R_x = \frac{\mathcal{E}}{I_x} - R'$$

则 R_x 与 I_x 成反比关系,所以 I_x 与 R_x 非线性关系。



【数据记录及草表】

1. 设计多量程电流表(5mA和10mA)并校准.

表 1

$I_{\text{标}}/\text{mA}$	1.00	2.00	3.00	4.00	4.80
$I_{\text{测}}/\text{mA}$	0.95	1.85	2.90	3.80	4.65
$\Delta I/\text{mA}$	0.05	0.15	0.10	0.20	0.15
④/刻度	0.20	0.40	0.60	0.80	0.96

2. 设计多量程电压表(5V和10V)并校准

表 2

$U_{\text{标}}/\text{V}$	1.00	2.00	3.00	4.00	4.80
$U_{\text{测}}/\text{V}$	0.97	1.94	2.85	3.85	4.68
$\Delta U/\text{V}$	0.03	0.06	0.15	0.15	0.12
④/刻度	0.20	0.40	0.60	0.80	0.96

3. 设计欧姆表并制作欧姆档刻度曲线

表 3

I_x/mA	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
R_x/Ω	2700.0	1180.0	680.0	450.0	303.0	208.0	133.0	83.0	37.0	0.0

教师签字:

教师签字: 