

实验 37 电表的改装与校准

引言

电表在电学测量中有着广泛的应用,因此如何了解电表和使用电表就显得十分重要。电流计(表头)由于构造的原因,一般只能测量较小的电流和电压,如果要用它来测量较大的电流或电压,就必须进行改装,以扩大其量程。万用表的原理就是对微安表头进行多量程改装而来,在电路的测量和故障检测中得到了广泛的应用。

实验目的

1. 测量表头模块的内阻 R_g 及满度电流 I_g 。
2. 将 $100\mu\text{A}$ 表头模块改装成多量程的电流表并用标准电流表进行校正。
3. 将 $100\mu\text{A}$ 表头模块改装成多量程的电压表并用标准电压表进行校正。
4. 设计一个 $R_{\text{中}} = 25\Omega, 250\Omega, 2500\Omega$ 的欧姆表,要求 E 在 $1.35 \sim 1.6\text{V}$ 范围内使用时能调零。
5. 用电阻箱校准欧姆表,画出校准曲线,并根据校准曲线用组装好的欧姆表测未知电阻。

实验原理

常见的磁电式电流计主要由放在永久磁场中的由细漆包线绕制的可以转动的线圈、用来产生机械反力矩的游丝、指示用的指针和永久磁铁所组成。当电流通过线圈时,载流线圈在磁场中就产生一磁力矩 $M_{\text{磁}}$,使线圈转动并带动指针偏转。线圈偏转角度的大小与线圈通过的电流大小成正比,所以可由指针的偏转角度直接指示出电流值。

一. 测量量程 I_g 、内阻 R_g :

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,电流计的线圈有一定内阻,用 R_g 表示, I_g 与 R_g 是两个表示电流计特性的重要参数。

测量内阻 R_g 常用方法有:

1. 半值电流法也称中值法:

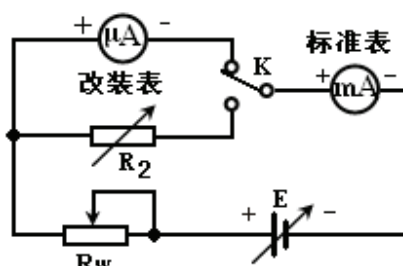
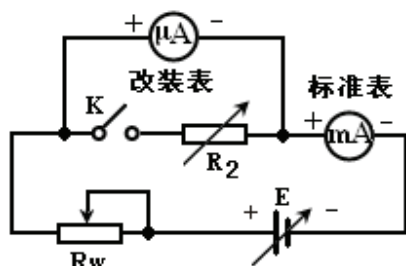


图1 半值法测量表头灵敏度和内阻 图2 替代法测量表头灵敏度和内阻

测量原理图见图 1。当被测电流计接在电路中时,使电流计满偏,再用十进制电阻箱与电流计

并联作为分流电阻改变电阻值即改变分流程度，当电流计指针指示到中间值，且总电流强度仍保持不变，显然这时分流电阻值就等于电流计的内阻。

2. 替代法:

测量原理图见图 2。当被测电流计接在电路中时，用十进制电阻箱替代它，且改变电阻值，当电路中的电压不变时，且电路中的电流亦保持不变，则电阻箱的电阻值即为被测电流计内阻。替代法是一种运用很广的测量方法，具有较高的测量准确度。

二. 改装为大量程电流表:

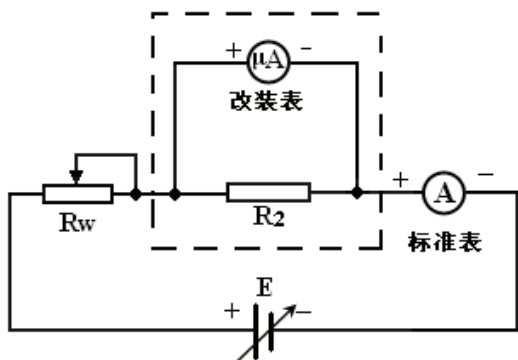


图3 改装电流表实验线路图

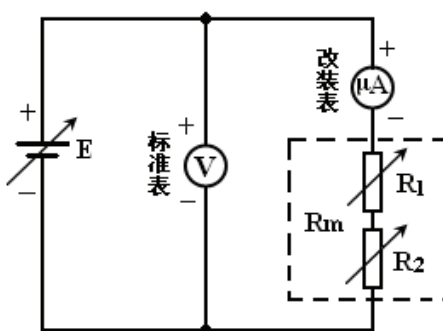


图4 改装电压表实验线路图

根据电阻并联规律可知，如果在表头两端并联上一个阻值适当的电阻 R_2 ，如图 3 所示，可使表头不能承受的那部分电流从 R_2 上分流通。这种由表头和并联电阻 R_2 组成的整体（图中虚线框住的部分）就是改装后的电流表。如需将量程扩大 n 倍，则不难得出

$$R_2 = R_g / (n - 1) \quad (1)$$

图 3 为扩流后的电流表原理图。用电流表测量电流时，电流表应串联在被测电路中，所以要求电流表应有较小的内阻。另外，在表头上并联阻值不同的分流电阻，便可制成多量程的电流表。

三. 改装为电压表:

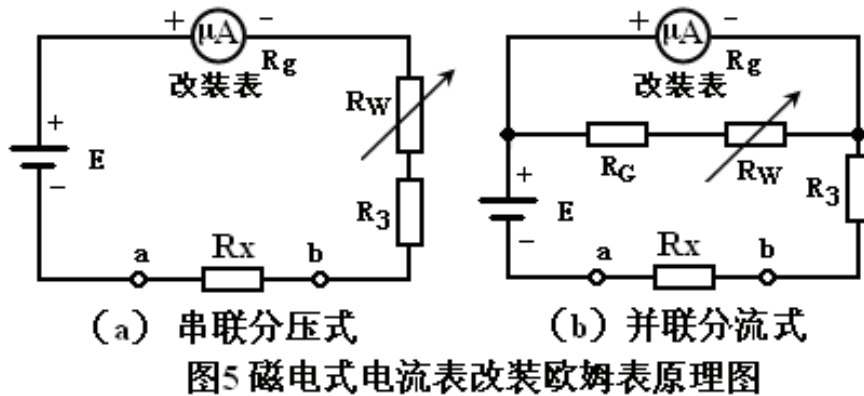
一般指针式表头能承受的电压很小，不能用来测量较大的电压。为了测量较大的电压，可以给表头串联一个阻值适当的电阻 R_M ，如图 4 所示，使表头上不能承受的那部分电压降落在电阻 R_M 上。这种由表头和串联电阻 R_M 组成的整体就是电压表，串联的电阻 R_M 叫做扩程电阻。选取不同大小的 R_M ，就可以得到不同量程的电压表。由图 4 可求得扩程电阻值为：

$$R_M = \frac{U}{I_g} - R_g \quad (2)$$

实际的扩展量程后的电压表原理见图 4，用电压表测电压时，电压表总是并联在被测电路上。为了不致因为并联了电压表而改变电路中的工作状态，要求电压表应有较高的内阻。

4. 改装微安表为欧姆表:

用来测量电阻大小的电表称为欧姆表。根据调零方式的不同，可分为串联分压式和并联分流式



两种。其原理电路如图 5 所示。

图中 E 为电源， R_3 为限流电阻， R_w 为调“零”电位器， R_x 为被测电阻， R_g 为等效表头内阻。图 (b) 中， R_G 与 R_w 一起组成分流电阻。

欧姆表使用前先要调“零”点，即 a、b 两点短路，（相当于 $R_x = 0$ ），调节 R_w 的阻值，使表头指针正好偏转到满度。可见，欧姆表的零点是就在表头标度尺的满刻度(即量限)处，与电流表和电压表的零点正好相反。

在图 (a) 中，当 a、b 端接入被测电阻 R_x 后，电路中的电流为：

$$I = \frac{E}{R_g + R_w + R_3 + R_x} \quad (3)$$

对于给定的表头和线路来说， R_g 、 R_w 、 R_3 都是常量。由此可见，当电源端电压 E 保持不变时，被测电阻和电流值有一一对应的关系。即接入不同的电阻，表头就会有不同的偏转读数， R_x 越大，电流 I 越小。短路 a、b 两端，即 $R_x = 0$ 时：这时指针满偏。

$$I = \frac{E}{R_g + R_w + R_3} = I_g \quad (4)$$

$$\text{当 } R_x = R_g + R_w + R_3 \text{ 时：} I = \frac{E}{R_g + R_w + R_3 + R_x} = \frac{1}{2} \cdot I_g \quad (5)$$

这时指针在表头的中间位置，对应的阻值为中值电阻，显然 $R_{\text{中}} = R_g + R_w + R_3$ 。

当 $R_x = \infty$ （相当于 a、b 开路）时， $I = 0$ ，即指针在表头的机械零位。

所以欧姆表的标度尺为反向刻度，且刻度是不均匀的，电阻 R 越大，刻度间隔愈密。如果表头的标度尺预先按已知电阻值刻度，就可以用电流表来直接测量电阻了。

并联分流式欧姆表利用对表头分流来进行调零的，具体参数可自行设计

欧姆表在使用过程中电池的端电压会有所改变，而表头的内阻 R_g 及限流电阻 R_s 为常量，故要求 R_w 要跟着 E 的变化而改变，以满足调“零”的要求，设计时用可调电源模拟电池电压的变化，范围取 $1.35 \sim 1.6V$ 即可。

实验仪器

FB21型设计性电表改装与校正实验装置 1 套，附专用连接线等。

实验内容

1. 用半值法或替代法测出表头（表头模块）的内阻：

(1) 半值法测量可参考图 6 接线。先将电源电压 E 调至 $0V$ ，接通 E 、 R_w ($10k\Omega$)，被改装表(表

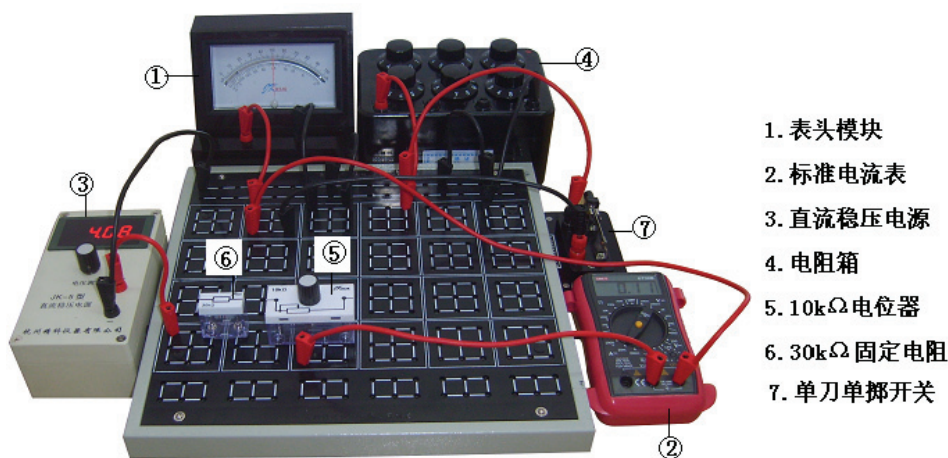


图6 用半值法测量表头模块的内阻的实验接线图

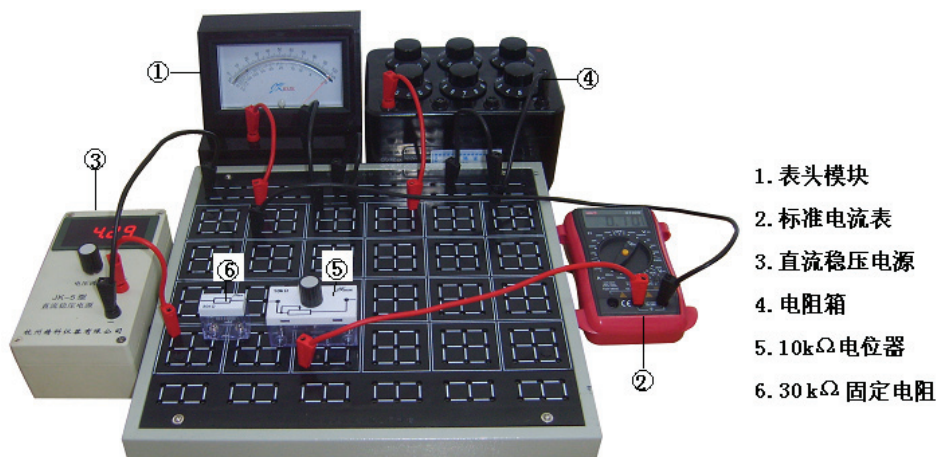


图7 用替代法测量表头（模块）的内阻实验接线图

头模块)和标准电流表后，先不接入电阻箱 R ，调节 R_w 使改装表头满偏 ($100\mu A$)，记住标准表的读数，此电流即为改装表头的满度电流， $I_g = \underline{\hspace{2cm}} \mu A$ ；再接入电阻箱 R ，改变 R 数值，使被测表头指针从满度 $100\mu A$ 降低到 $50\mu A$ 处。注意调节 E 或 R_w ，使标准电流表的

读数保持不变。 $R_g =$ _____ Ω 。

(2) 替代法测量可参考图 7 接线。先将 E 调至 0V，接通 E、 R_w ，被改装表和标准电流表后，调节 R_w 使改装表头满偏，记录标准表的读数，此值即为被改装表头的满度电流， $I_g =$ _____ μA ；再断开改装表头的接线，转接到电阻箱 R，调节 R 使标准电流表的电流保持刚才记录的数值。这时电阻箱 R 的数值即为被测表头内阻 $R_g =$ _____ Ω 。

2. 将一个量程为 $100\mu\text{A}$ 的表头模块改装成多量程电流表：(改装表根据格数读数)

($100\mu\text{A}$, $500\mu\text{A}$, 5mA , 50mA) 共四个量程，用改变插线位置转换电流表量程。

(1) 根据电路参数，估计 E 值大小，选用合适的分流电阻。

(2) 参考图 8 接线，先将 E 调至 0V，检查接线正确后，调节 E 和 R_w ，选择改装表为 5mA 量程，

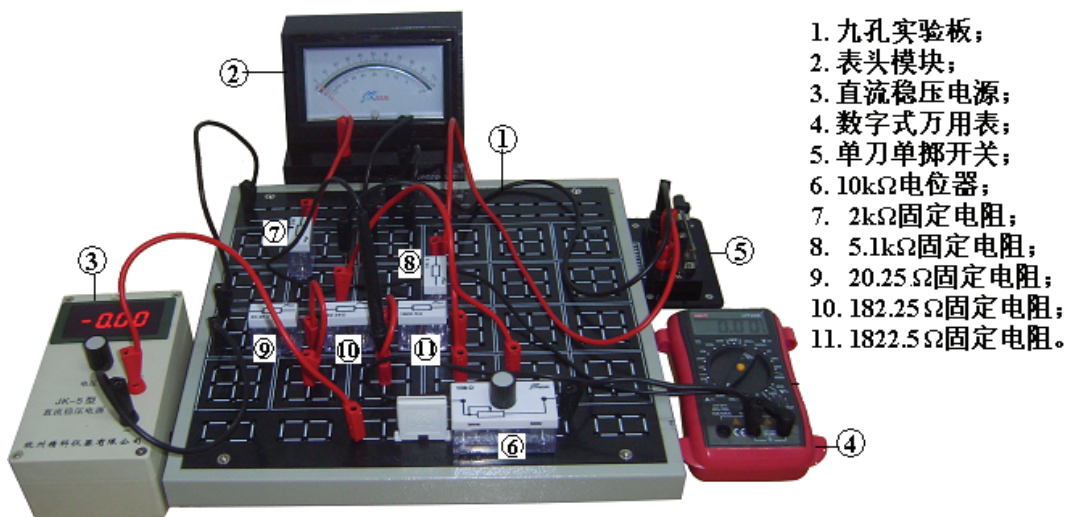


图8 用 $100\mu\text{A}/3\text{k}\Omega$ 的表头模块改装多量程的电流表实验接线图

把标准电流与改装电流表串联起来， $R_w = 0 \sim 10\text{k}\Omega$ 作为限流电阻，调节电流使改装电流表指示满度时，记录标准表读数。注意：阻值不要调至最小值。然后每隔 1mA 逐步减小读数直至零点，再按原间隔逐步增大到满量程，每次记下标准表相应的读数于表 1。

(3) 以改装表读数为横坐标，标准表由大到小及由小到大调节时两次读数的平均值为纵坐标，在坐标纸上作出电流表的校正曲线，并根据两表最大误差的数值定出改装表的准确度等级。其他量程可参照实施。

(4) 重复以上步骤，可对其他量程进行校正。(可选做)。

3. 将一个量程为 $100\mu\text{A}$ 的表头改装成多量程的电压表：(改装表根据格数读数)

(1) 根据电路参数估计 E 的大小，根据式(2)计算扩程电阻 R_M 的阻值，并利用实验装置提供的不

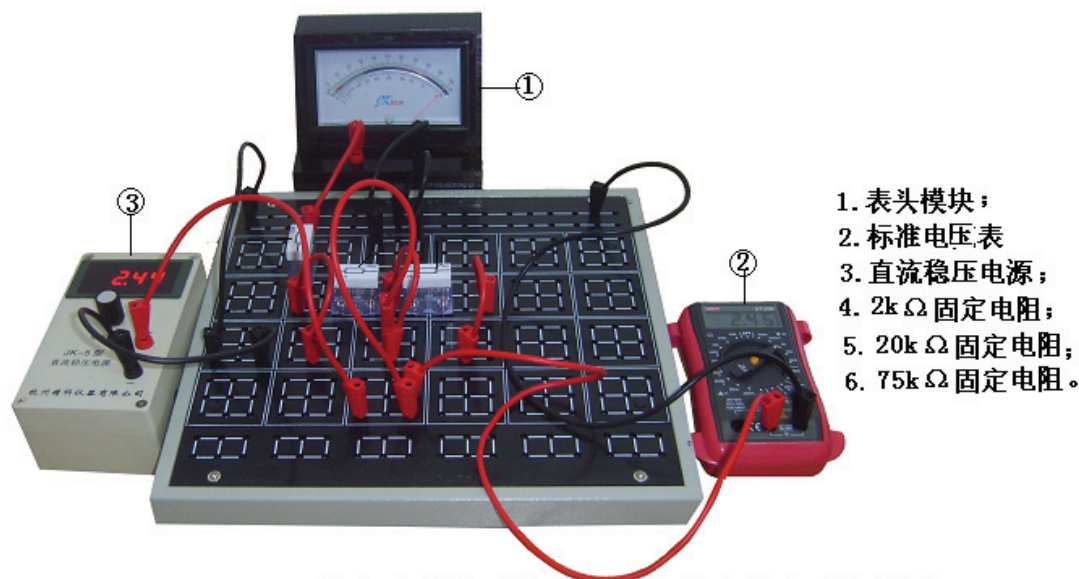


图9 用 $100\mu A/3k\Omega$ 的表头模块改装多量程电压表的实验接线图

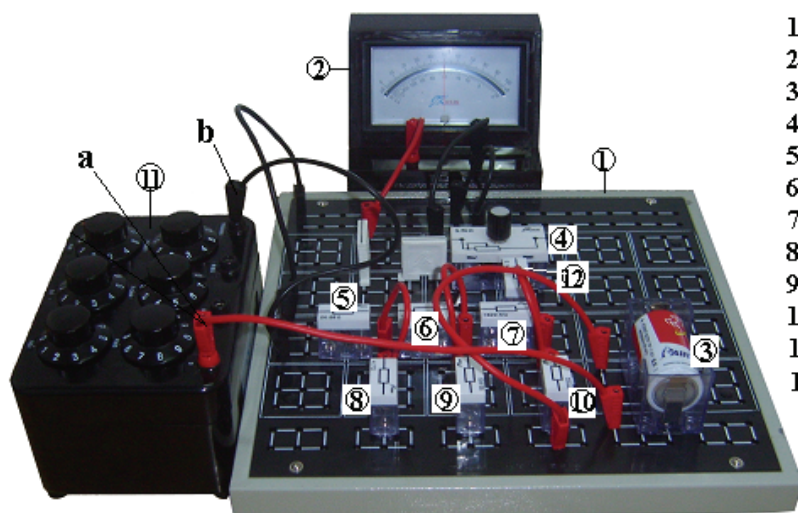
同电阻 R 进行实验。按图 9 进行连线，可以组成一只三个量程的电压表。(0.5V, 2.5V, 10V) 共三个量程，通过改变分压电阻转换改装电压表量程。

(2) 用数字万用表作为标准表来校准改装的电压表。

把改装表接到到 2.5V 量程,将数字万用表与改装的电压表并联,把直流电源输出端接到改装表输入端,直流电源输出电压调节 2.5V,仔细调节,使改装表指针指示为满度,记下标准表读数。然后每隔 0.5V 逐步减小改装读数直至零点,再按原间隔逐步增大到满量程,每次记下标准表相应的读数于表 2:

(3) 以改装表读数为横坐标,标准表由大到小及由小到大调节时两次读数的平均值为纵坐标,在坐标纸上作出改装电压表 2.5V 量程的校正曲线,并根据两表最大误差的数值定出改装表的准确度等级。其他量程可参照实施。

4. 改装 $R \times 1$, $R \times 10$, $R \times 100$ 多量程的欧姆表:



1. 九孔实验板;
2. 表头模块;
3. 直流稳压电源;
4. 3.3kΩ电位器;
5. 20.25Ω固定电阻;
6. 182.25Ω固定电阻;
7. 11. 1822.5Ω固定电阻;
8. 772Ω固定电阻;
9. 50.6Ω固定电阻;
10. 4.7Ω固定电阻;
11. ZX21电阻箱;
12. 5.1kΩ固定电阻。

图10 用100μA /3kΩ的表头模块改装多量程的欧姆表实验接线图

(1) 设计中值电阻为 25Ω, 250Ω, 2.5kΩ, 由于欧姆表的刻度是非线性的, 为方便实验, 制造厂已在表头表面制作了符合特定中值电阻要求的欧姆表刻度。

(2) 在已改装的多量程电流表的基础上, 计算出欧姆表各挡应串联的电阻值。

(3) 按图 10 进行连线。选择一节 1# 干电池作为电源, 即 $E = 1.5V$, 并在改装的欧姆表的两表棒输入端 a、b 接入 ZX21 电阻箱, 把电阻箱电阻值调到零, 相当于输入端短路。例如选择 $R \times 10$ 挡, 此时调节 $R_w = 0 \sim 3.3k\Omega$ 电位器, 使表头指示为零。如此, 欧姆表的 $R \times 10$ 挡调零工作即告完成。

(4) 测量改装成的欧姆表的中值电阻是否正确。保持欧姆表在 $R \times 10$ 挡, 电阻箱 R (即 R_x) 仍然接于改装欧姆表的 a、b 测量端, 调节 R, 使表头指示到正中, 这时电阻箱 R 的数值即为中值电阻, $R_{中} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ 。

(5) 取电阻箱的电阻为一组数值 R_{xi} , 改装表用不同量程对同一电阻值进行测量, 将读数逐一填入表 3 中。

(6) 比较并分析选用不同量程对测量结果的影响。

思考题

1. 测量电流计内阻应注意什么? 是否还有别的办法来测定电流表内阻? 能否用欧姆定律来进行测定? 能否用电桥来进行测定?

2. 设计 $R_{中} = 10k\Omega$ 的欧姆表, 现有两块量程 100μA 的电流表, 其内阻分别为 2500Ω 和 1000Ω, 你认为选哪块较好?

3. 若要求制作一个线性量程的欧姆表, 有什么方法可以实现?

注意事项

1. 电源内部有限流保护措施,但工作时尽可能避免工作电源短路(或近似短路),以免造成仪器元器件等不必要的损失。
 2. 实验时应注意电压源的输出电压选择是否正确合理。
 3. 仪器采用开放式设计,在连接插线时要注意:**被改装表头只允许通过 100 μ A 的小电流,过载时会损坏表头!**要仔细检查线路和电路参数无误后才能将改装表头接入使用。
- 仪器采用高可靠性能的专用连接线,正常的使用寿命很长。但使用时注意不要用力过猛,插线时要对准插孔,避免使插头的塑料护套变形。