

关于惠斯通电桥中电流的处理

何崇荣

(武汉市黄陂区第一中学 湖北 武汉 430300)

张黎

(武汉市黄陂区第三中学 湖北 武汉 430317)

(收稿日期:2016-01-11)

摘要:利用高中阶段所学的闭合电路规律,定量推导了惠斯通电桥中电流,同时介绍了利用假设法判断电桥中电流有无及方向.定量和定性处理避免了用超纲知识,有利于学生理解性接受,而不是靠机械性记忆电桥中电流规律.

关键词:惠斯通电桥 假设法 电流 电势

文献[1]分别利用基尔霍夫方程组、戴维南定理计算出惠斯通电桥中电流计的电流,并给出判断电桥上电流方向的结论.文献中所用方法都超出了高中物理能力要求,高中阶段通常不要求定量计算电桥中的电流,多考查电桥平衡的规律,若电桥不平衡,多考查判断电桥中电流方向,而对于电桥中电流方向的判断,大多数学生只能靠机械的记忆,很容易记混淆.笔者利用闭合电路规律:在外电路中,沿电流方向电势降低,也可定量计算电桥中电流,此方法虽然计算也比较复杂,需要解一个三元一次方程组,但物理原理易于学生理解.另外鉴于判断电桥中电流方向的结论容易记混淆,笔者给出一种高中阶段常用的物理方法:假设法判断电桥中电流有无及方向.

1 电桥上电流的定量计算

在如图1所示的惠斯通电桥电路中,各支路电流按图示假设.设电源内阻不计,根据闭合电路规律:在外电路中,沿电流方向电势降低.

$A \rightarrow D$ 和 $A \rightarrow B \rightarrow D$ 电势降落相同,有

$$I_1 R_1 + I_G R_G = I_2 R_2 \quad (1)$$

$B \rightarrow C$ 和 $B \rightarrow D \rightarrow C$ 电势降落相同,有

$$I_G R_G + (I_G + I_2) R_4 = (I_1 - I_G) R_3 \quad (2)$$

电源电动势等于内外电路电势降落之和(电源不计内阻),有

$$E = I_1 R_1 + (I_1 - I_G) R_3 \quad (3)$$

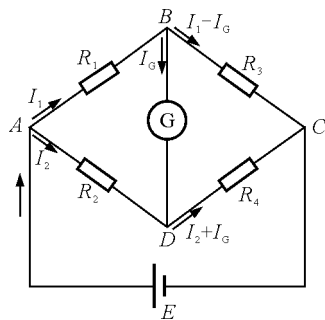


图1 惠斯通电桥

联立式(1)~(3)解得

$$I_G = \frac{(R_2 R_3 - R_1 R_4) E}{R_1 R_3 (R_2 + R_4) + R_2 R_4 (R_1 + R_3) + R_G (R_1 + R_3) (R_2 + R_4)}$$

当 $I_G = 0$, 即电桥平衡, 则 $R_2 R_3 = R_1 R_4$, 写成两臂电阻比例形式: $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$, 于是 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \Leftrightarrow$ 电桥中无电流;

当 $I_G > 0$, 则 $R_2 R_3 > R_1 R_4$, 写成两臂电阻比例形式: $\frac{R_1}{R_2} < \frac{R_3}{R_4}$, 于是 $\frac{R_1}{R_2} < \frac{R_3}{R_4} \Leftrightarrow$ 电桥中电流由 B 流向 D ;

当 $I_G < 0$, 则 $R_2 R_3 < R_1 R_4$, 写成两臂电阻比例形式: $\frac{R_1}{R_2} > \frac{R_3}{R_4}$, 于是 $\frac{R_1}{R_2} > \frac{R_3}{R_4} \Leftrightarrow$ 电桥中电流由 D 流向 B .

2 用假设法判断电桥 BD 中电流方向

方法:假设电桥 BD 中无电流,然后在假设条件下判断 B, D 两点电势高低,若 $\varphi_B = \varphi_D$,则电桥 BD 中无电流,若 $\varphi_B > \varphi_D$,则电桥 BD 中有电流且电流由 B 流向 D ;若 $\varphi_B < \varphi_D$,则电桥 BD 中有电流且电流由 D 流向 B .

具体判断:如图1所示,令电源负极接地,即 $\varphi_C = 0$,设电源路端电压为 U ,则

$$\varphi_B = U_{BC} = \frac{U}{R_1 + R_3} R_3$$

$$\varphi_D = U_{DC} = \frac{U}{R_2 + R_4} R_4$$

若 $\varphi_B = \varphi_D$,即

$$\frac{R_3}{R_1 + R_3} = \frac{R_4}{R_2 + R_4}$$

于是有 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \Leftrightarrow$ 电桥中无电流;

若 $\varphi_B > \varphi_D$,即

$$\frac{R_3}{R_1 + R_3} > \frac{R_4}{R_2 + R_4}$$

于是有 $\frac{R_1}{R_2} < \frac{R_3}{R_4} \Leftrightarrow$ 电桥中电流由 B 流向 D ;

若 $\varphi_B < \varphi_D$,即

$$\frac{R_3}{R_1 + R_3} < \frac{R_4}{R_2 + R_4}$$

于是有 $\frac{R_1}{R_2} > \frac{R_3}{R_4} \Leftrightarrow$ 电桥中电流由 D 流向 B .

若电桥 BD 间接的是理想电流表或导线,则 $\varphi_B = \varphi_D$,那么此时 BD 中还有没有电流呢? 两点电压为零,并不代表两点间没有电流,像理想导线中任意两点电压为零,但可以有电流. 遇到这样的电桥,仍然可以用上述方法判断,当然也可以将电桥电路画成如图2所示的等效电路,然后比较 R_1 和 R_3 中电流大小(或者比较 R_2 和 R_4 中电流大小).

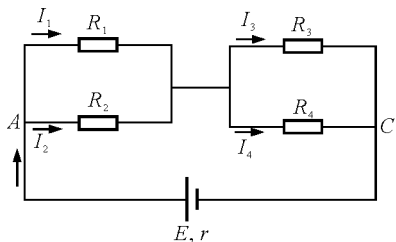


图2 当电桥 BD 间接理想电流表或导线时的等效电路

设干路电流为 I ,各支路电流按图2假设,则

$$\frac{I_1}{I} = \frac{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

同理

$$\frac{I_3}{I} = \frac{\frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}}{R_3} = \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

其中

$$I = \frac{E}{r + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}}$$

若 $I_1 = I_3$,即

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

于是有 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \Leftrightarrow$ 电桥中无电流.

若 $I_1 > I_3$,即

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} > \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

于是有 $\frac{R_1}{R_2} < \frac{R_3}{R_4} \Leftrightarrow$ 电桥中电流由 B 流向 D .

若 $I_1 < I_3$,即

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} < \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

于是有 $\frac{R_1}{R_2} > \frac{R_3}{R_4} \Leftrightarrow$ 电桥中电流由 D 流向 B .

3 小结

对于基础较好的学生,完全可以利用闭合电路规律定量计算电桥中电流. 用假设法判断电桥中电流方向,易于学生理解,可以避免因机械的记忆造成混淆. 对于电桥中接的是理想电流表或导线,可以按等效电路进行判断和定量计算.

参考文献

- 1 梁灿彬. 普通物理学教程电磁学. 北京. 高等教育出版社, 2004. 143 ~ 151
- 2 熊德永. 用不同方法求解惠斯通电桥检流计的电流. 贵州教育学院学报(自然科学), 2007(4): 41 ~ 43