

# 等效电源法测电源电动势和内阻实验系统误差分析

王松涛

(中山市华侨中学 广东 中山 528400)

(收稿日期:2014-05-05)

摘 要:对用等效电源法测电源电动势和内电阻实验的系统误差进行了分析,并讨论其局限性.

关键词:戴维南定理 等效电源法 误差分析

测电源电动势和内电阻实验是普通高中物理实验的重要内容,该实验的误差分析主要有计算法、图像法、等效电源法等.针对该实验的系统误差分析有很多有趣而细致的探讨,但笔者发现,用等效电源法分析实验系统误差却鲜少论及.等效电源法分析实验系统误差方便快捷,但思维要求较高,同时存在局限性,笔者就此展开相关讨论.

## 1 理论基础

等效电源法的理论基础是戴维南定理,其内容为:任一线性有源二端网络可用一个恒压源与一个电阻的串联来等效替换,恒压源的电动势等于被换网络的开路电压,串联电阻的阻值等于被换网络的除源网络的等效电阻<sup>[1]</sup>.

有源二端网络的开路电压是指其两个引出端不与外界相接时的电压.有源二端网络的除源网络是指网络内部所有电动势看作零(短路)而其他不变所得到的无源二端网络.如果网络中包含有内阻,则除源时只除掉其电动势而保留其内阻.

测电源电动势和内电阻实验原理为闭合电路欧姆定律

$$E = U + Ir$$

其中  $U$  为路端电压,  $I$  为干路电流.

## 2 等效电源法误差分析

### 2.1 伏安法

#### 2.1.1 伏安法测电源电动势和内电阻的基本电路

由实验原理  $E = U + Ir$ , 在图 1(a) 中电压表测量值确为路端电压,但由于电压表的分流,电流表所测并非干路电流,由此必然产生系统误差.

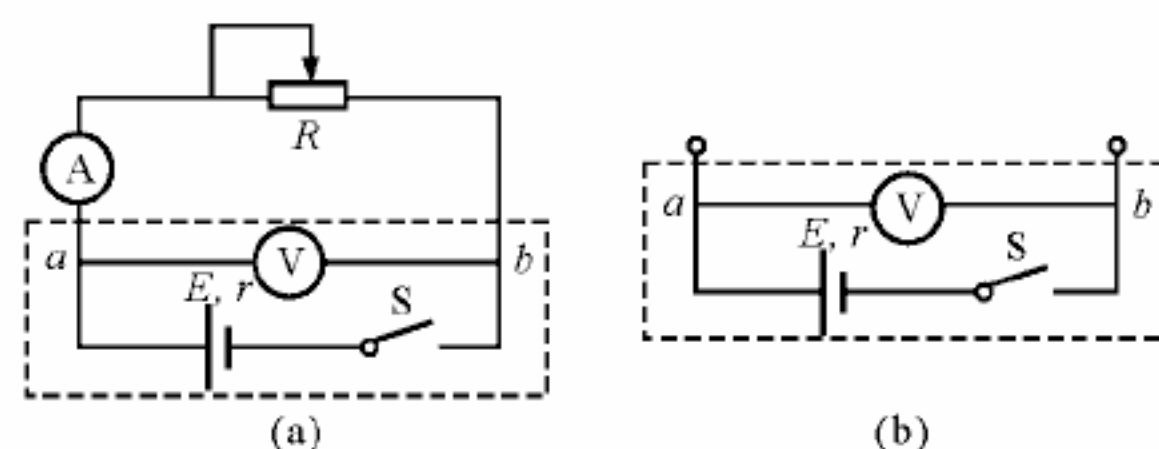


图 1

如果把电压表和电源所组成的那部分电路看作一个等效电源[如图 1(b)], 则电流表所测即为等效电源的干路电流了, 而电压表所测仍为等效电源的路端电压. 所以, 由  $E = U + Ir$  所得出的电源电动势和内电阻的测量值即为等效电源的电动势和内电阻.

由戴维南定理, 等效电源的电动势为图 1(b) 中等效电源的两个引出端不与外界相接时的电压, 故  $E_{\text{测}} = \frac{R_V}{R_V + r_{\text{真}}} E_{\text{真}} < E_{\text{真}}$ . 而等效电源的内电阻为图 1(b) 中除源网络的等效电阻, 即把电源的电动势看作零而保留其内阻时的等效电阻, 故

$$r_{\text{测}} = \frac{r_{\text{真}} R_V}{r_{\text{真}} + R_V} < r_{\text{真}}$$

#### 2.1.2 伏安法测电源电动势和内电阻变化的电路

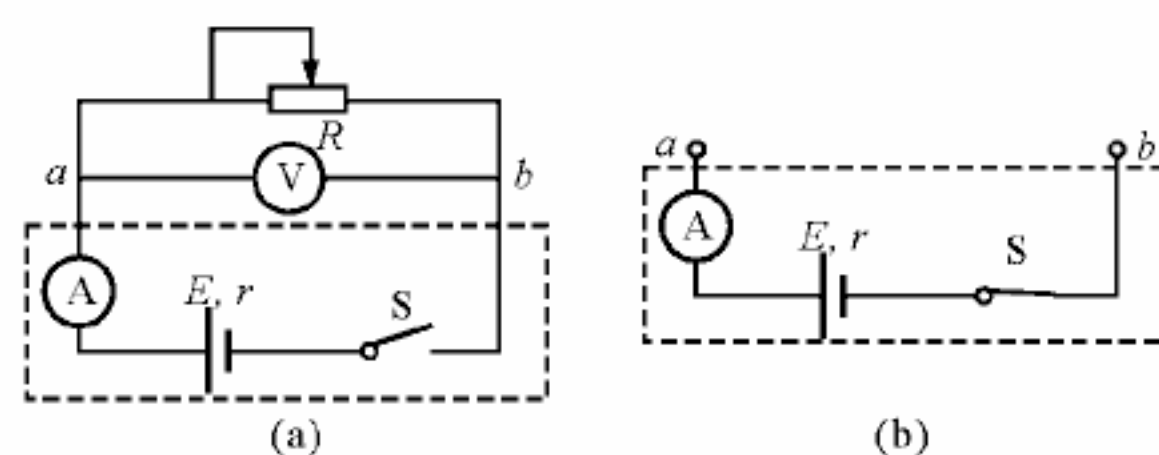


图 2

由实验原理  $E = U + Ir$ , 在图 2(a) 中电流表测量值确为干路电流, 但由于电流表的分压, 电压表所

测并非路端电压,由此必然产生系统误差.

如果把电流表和电源所组成的那部分电路看做一个等效电源[如图 2(b)],则电压表所测即为等效电源的路端电压了,而电流表所测仍为等效电源的干路电流.所以,由  $E = U + Ir$  所得出的电源电动势和内电阻的测量值即为等效电源的电动势和内电阻.

由戴维南定理,等效电源的电动势为图 2(b) 中等效电源的两个引出端不与外界相接时的电压,故  $E_{\text{测}} = E_{\text{真}}$ . 而等效电源的内电阻为图 1(b) 中除源网络的等效电阻,故

$$r_{\text{测}} = r_{\text{真}} + R_A > r_{\text{真}}$$

由于采用图 2(a) 的方式测出的内电阻误差很大,所以《物理·选修 3-1》教科书中伏安法采用的是图 1(a) 的方式.

## 2.2 伏阻法

伏阻法测电源电动势和内电阻的电路如图 3(a).

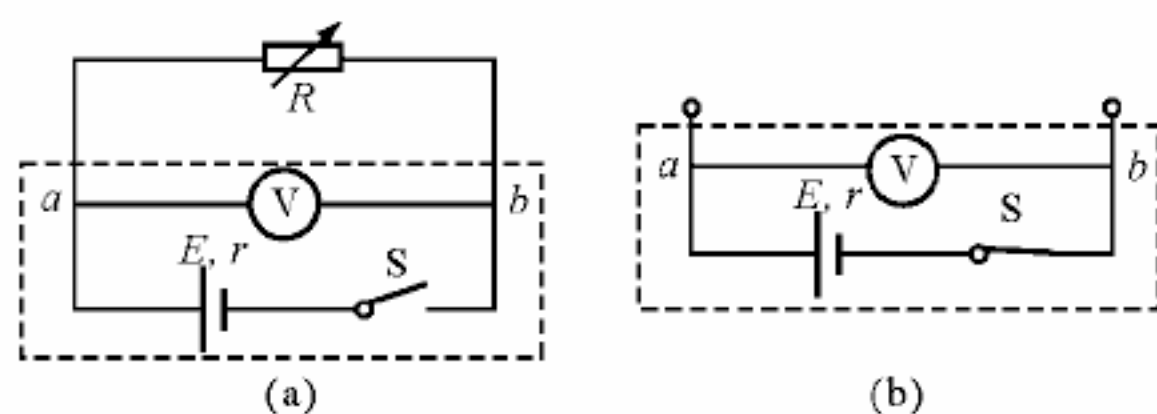


图 3

由实验原理  $E = U + Ir$ , 在图 3(a) 中电压表测量值确为路端电压,但由于电压表的分流,  $I = \frac{U}{R}$  并非干路电流,由此必然产生系统误差.

如果把电压表和电源所组成的那部分电路看做一个等效电源[如图 3(b)],则  $I = \frac{U}{R}$  即为等效电源的干路电流了,而电压表所测仍为等效电源的路端电压.与图 1(b) 相同

$$E_{\text{测}} = \frac{R_V}{R_V + r_{\text{真}}} E_{\text{真}} < E_{\text{真}} \quad r_{\text{测}} = \frac{r_{\text{真}} R_V}{r_{\text{真}} + R_V} < r_{\text{真}}.$$

## 2.3 安阻法

安阻法测电源电动势和内电阻的电路如图 4(a).

由实验原理  $E = U + Ir$ , 在图 4(a) 中电流表测量值确为干路电流,但由于电流表的分压,  $U = IR$  并非路端电压,由此必然产生系统误差.

如果把电流表和电源所组成的那部分电路看作

一个等效电源(如图 4(b)),则  $U = IR$  即为等效电源的路端电压了,而电流表所测仍为等效电源的干路电流.与图 2(b) 相同,故

$$E_{\text{测}} = E_{\text{真}} \quad r_{\text{测}} = r_{\text{真}} + R_A > r_{\text{真}}$$

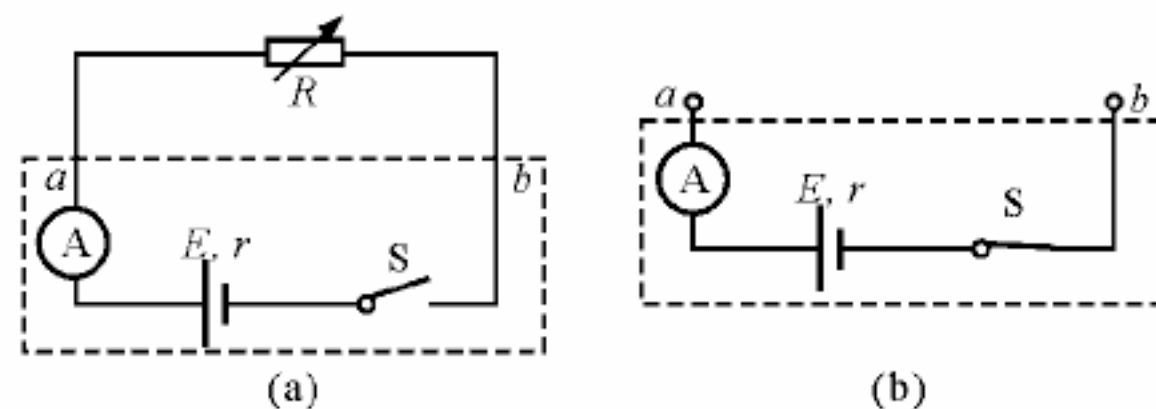


图 4

## 3 等效电源法误差分析的局限

等效电源法误差分析方便快捷,但也有局限性.由以上分析,等效电源法误差分析的关键是等效电源的确定,即把引入误差的电表和电源所组成的那部分电路看作是等效电源.在这里等效电源一定是一个有源二端网络,方可利用戴维南定理确定等效电源的电动势和内电阻.如果引入误差的电表和电源所组成的那部分电路不是一个有源二端网络,则不能利用戴维南定理确定等效电源的电动势和内电阻,也就无法确定实验中电动势和内电阻的测量值,由此当然就不能用等效电源法进行误差分析了.例如安安法测电源电动势和内电阻的电路如图 5(a).

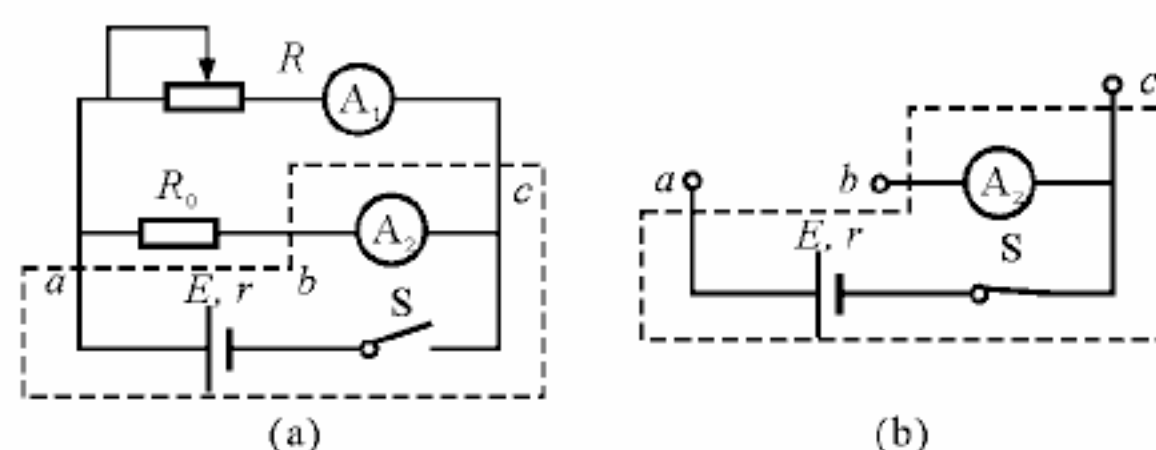


图 5

由实验原理  $E = U + Ir$ , 在图 5(a) 中两个电流表测量值之和确为干路电流,但由于电流表  $A_2$  的分压,  $U = I_2 R_0$  并非路端电压,由此必然产生系统误差.如果把电流表  $A_2$  和电源所组成的那部分电路看作一个等效电源,这时我们发现这里所谓的等效电源有 3 个引出端.由于这部分电路不再是一个有源二端网络,戴维南定理就不能够适用了.

## 参考文献

- 1 梁灿彬,等.电磁学.北京:高等教育出版社,1980.12