

例谈定值电阻在电路设计中的应用*

廖为权

(清远市第一中学 广东 清远 511500)

(收稿日期:2019-12-24)

摘要:定值电阻是电学基本元件之一,在电路中的作用具有多样性,比如保护电路、扩大量程、充当电表、“匹配”电表等.本文通过具体的实例,就定值电阻在电路设计中的多种应用进行分析、归类和总结.

关键词:定值电阻 电路 设计 应用

近几年的高考考试大纲对学生实验能力的考查提出的要求是能明确实验目的,能理解实验原理和方法,能控制实验条件,会使用仪器,会观察、分析实验现象,会记录、处理实验数据,并得出结论,能对结论进行分析和评价;能发现问题、提出问题,并制定解决方案;能运用已学过的物理理论、实验方法和实验仪器去处理问题,包括简单的设计性实验^[1].

电学实验在高考中是重点考查的内容,在近几年的高考试题中所占实验题的比例大概为60%~70%.而定值电阻作为电学的基本元件也常常出现在考题中,这便加大了题目的难度.对于定值电阻的作用,由于初中知识的迁移,很多学生总是先入为主地认为其在电路中起到保护电路的作用,在电路设计中没有具体问题具体分析导致出错.其实,定值电阻除了保护电路,还有很多其他的作用,下面通过实例详细分析.

1 定值电阻改装电表

如果在设计电路时发现可选电表的量程小于实验要求的电压值或电流值,且又有定值电阻可供选择,可考虑选择合适的定值电阻根据串联分压或并联分流来扩大电表的量程.

【例1】某同学想要描绘标有“3.8 V, 0.3 A”字样小灯泡L的伏安特性曲线,要求测量数据尽量精确、绘制曲线完整.可供该同学选用的器材除开关、导线外,还有:

电压表 V_1 (量程 $0 \sim 3$ V, 内阻等于 3 k Ω)

电压表 V_2 (量程 $0 \sim 15$ V, 内阻等于 15 k Ω)

电流表 A_1 (量程 $0 \sim 200$ mA, 内阻等于 10 Ω)

电流表 A_2 (量程 $0 \sim 3$ A, 内阻等于 0.1 Ω)

滑动变阻器 R_1 ($0 \sim 10$ Ω , 额定电流 2 A)

滑动变阻器 R_2 ($0 \sim 1$ k Ω , 额定电流 0.5 A)

定值电阻 R_3 (阻值等于 1 Ω)

定值电阻 R_4 (阻值等于 10 Ω)

定值电阻 R_5 (阻值等于 1 k Ω)

电源 E ($E = 6$ V, 内阻不计)

(1) 请画出实验电路图,并将各元件字母代码标在该元件的符号旁.

解析:本题要求通过选择合适的器材设计电路,由于小灯泡的规格为“3.8 V, 0.3 A”,显然电压表 V_2 和电流表 A_2 量程太大,不符合实验的精确度要求,故不选.若直接用电压表 V_1 和电流表 A_1 对小灯泡进行测量,则不符合绘制完整曲线的要求.由于该实验提供的电表内阻已知,且有3个定值电阻可供选择,将它们进行适当的组合可扩大电表的量程,即将电压表 V_1 和定值电阻 R_5 串联可改装成量程为 $0 \sim 4$ V、内阻为 4 k Ω 的电压表,将电流表 A_1 与定值电阻 R_4 并联可改装成量程为 $0 \sim 0.4$ A、内阻为 5 Ω 的电流表,这样便满足本实验的所有要求了.具体的电路测量部分如图1所示.

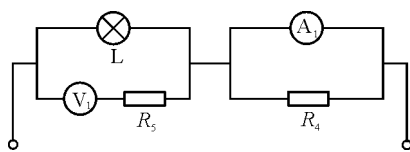


图1 用定值电阻扩大电表的量程

* 广东省教育科学“十三五”规划课题“基于核心素养导向下物理探究情境创设的实践研究”,课题编号:2019YQJK504

2 定值电阻“测”电流

电压表和电流表的本质就是一个定值电阻,只不过这个电阻在通电时能显示其分担的电压 U 和通过的电流 I ,这种显示正好体现其测量功能.若已知某个定值电阻的阻值 R 和其两端的电压 U ,便可通过欧姆定律算出通过它的电流 $I = \frac{U}{R}$,把它与待测元件串联便可当做电流表来使用.

【例2】要测量电压表 V_1 的内阻 R_V ,其量程为2 V,内阻约2 k Ω .实验室提供的器材有:

电流表A,量程0.6 A,内阻约为0.1 Ω ;

电压表 V_2 ,量程5 V,内阻约为5 k Ω ;

定值电阻 R_1 ,阻值为30 Ω ;

定值电阻 R_2 ,阻值为3 k Ω ;

滑动变阻器 R_3 ,最大阻值10 Ω ,额定电流1.5 A;

电源 E ,电动势6 V,内阻约0.5 Ω ;

开关S一个,导线若干.

(1)请从上述器材中选择必要的器材,设计一个测量电压表 V_1 内阻 R_V 的实验电路.要求测量尽量准确,试画出符合要求的实验电路图,并标出所选元件的相应字母代号.

(2)写出待测的电压表 V_1 内阻 R_V 的表达式_____,式中各符号的物理意义是_____.

解析:很多学生在选择器材设计电路时会这样思考问题,即要测量电压表 V_1 的内阻 R_V 就得测出其两端的电压和电流,电压可通过其自身读数读出,而电流用电流表A串联即可测出,然后通过欧姆定律即可算出其内阻,所设计的电路测量端如图2所示.

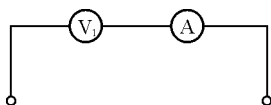


图2 用电流表测量 V_1 的电流

但深入分析,这样设计的电路实际是无法操作的,因为即便待测电压表 V_1 的指针满偏,流过其最大电流 $I_{\max} \approx \frac{2}{2000} \text{ A} = 0.001 \text{ A}$,而电流表的量程为0.6 A,指针几乎不偏转.要解决这个问题,就要

打破学生的惯性思维,不能选电流表,而用定值电阻 R_2 来充当电流表与待测电压表 V_1 串联,再整体与电压表 V_2 并联,如图3所示,则

$$R_V = \frac{U_1}{\frac{U_2 - U_1}{R_2}} = \frac{U_1}{U_2 - U_1} R_2$$

式中 U_1 和 U_2 分别表示电压表 V_1 和 V_2 的读数.

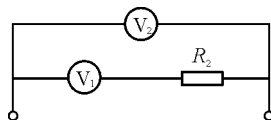


图3 用定值电阻“测量” V_1 的电流

3 定值电阻“测”电压

若已知某个定值电阻的阻值 R 和通过它的电流 I ,可通过欧姆定律算出它两端的电压 $U = IR$,把它与待测元件并联便可当做电压表来使用.

【例3】某物理兴趣小组要精确测量一只电流表G(量程为1 mA、内阻约为100 Ω)的内阻.实验室中可供选择的器材有:

电流表 A_1 :量程为3 mA,内阻约为200 Ω ;

电流表 A_2 :量程为0.6 A,内阻约为0.1 Ω ;

定值电阻 R_1 :阻值为10 Ω ;

定值电阻 R_2 :阻值为60 Ω ;

滑动变阻器 R_3 :最大电阻20 Ω ,额定电流1.5 A;

直流电源:电动势1.5 V,内阻0.5 Ω ;

开关、导线若干.

(1)为了精确测量电流表G的内阻,你认为该小组同学应选择的电流表为_____,定值电阻为_____.(填写器材的符号)

(2)在方框中画出你设计的实验电路图.

(3)按照你设计的电路进行实验,若测得电流表A的示数为 I_1 ,电流表G的示数为 I_2 ,则电流表G的内阻的表达式为 $r_g = \underline{\hspace{2cm}}$.

解析:要测量待测电流表G的内阻,就要测出其两端的电压和流过它的电流,电流可通过其自身读数读出,而可供选择的器材中没有提供电压表,可以考虑用定值电阻来充当电压表.借用例2的思路,将电流表G与定值电阻并联后再与另一电流表串联,如图4所示.根据并联分流,流过定值电阻的电流等

于两电流表读数之差,再根据欧姆定律就可算出其两端的电压,也就是待测电流表G两端的电压.由于待测电流表G的量程为1 mA,内阻约为100 Ω,故电流表选择A₁,定值电阻选择R₂,则

$$r_g = \frac{(I_1 - I_2)R_2}{I_2}$$

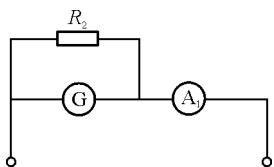


图4 用定值电阻“测量”表G的电压

4 定值电阻“匹配”电表

在一个实验中如果使用了多个电表,为了减小误差,提高测量的精确度,最好这些电表能够相互匹配,即它们同时接近满偏.若匹配不好,即一个表指针满偏,另一个表指针偏转很小,则可考虑用定值电阻将实验方案加以优化^[2].

【例4】实验室购买了一捆标称长度为100 m的铜导线,某同学想通过实验测定其实际长度.该同学首先测得导线横截面积为1.0 mm²,查得铜的电阻率为 $1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$,测出铜导线的电阻 R_x ,从而确定导线的实际长度.

可供使用的器材有:

电流表:量程0.6 A,内阻约0.2 Ω;

电压表:量程3 V,内阻约9 kΩ;

滑动变阻器R₁:最大阻值5 Ω;

滑动变阻器R₂:最大阻值20 Ω;

定值电阻:R₀ = 3 Ω;

电源:电动势6 V,内阻可不计;

开关、导线若干.

回答下列问题:

(1)请从上述器材中选择必要的器材,设计一个测量导线电阻 R_x 的电路,要求测量尽量准确,画出电路图;

(2)写出导线电阻 R_x 的表达式.

解析:根据已知条件通过电阻定律可求得导线电阻 R_x 约为1.7 Ω,要测出其阻值,学生很容易想到用伏安法,由于惯性思维将电路的测量端设计成

图5.

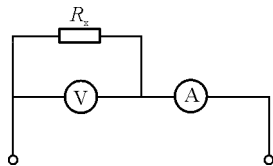


图5 伏安法测电阻 R_x

但仔细分析这样设计的电路会使得电流表和电压表不匹配,当电流表满偏 $I = 0.6 \text{ A}$ 时,可计算导线两端的电压 $U \approx 0.6 \times 1.7 \text{ V} = 1.02 \text{ V}$,即电压表指针最大只能到刻度的 $\frac{1}{3}$ 处,这样会使得测量误差较大而不满足实验要求.为了解决这个问题,可将定值电阻与导线串联作为一个整体,如图6所示.

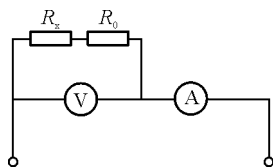


图6 用定值电阻“匹配”电流表和电压表

当电流表满偏 $I = 0.6 \text{ A}$ 时,定值电阻与导线整体两端的电压

$$U \approx 0.6 \times (1.7 + 3) \text{ V} = 2.82 \text{ V}$$

这样电压表指针也接近满偏了,从而提高了测量的精确度.导线电阻

$$R_x = \frac{U}{I} - R_0$$

5 结束语

由以上实例可知定值电阻在电路中的作用具有多样性,而高考在电学实验中对定值电阻的考查也是灵活多变的.在日常教学中,教师要引导学生在进行电路设计时不可从单一的定式思维去思考问题,而应根据具体的实验条件和要求,结合所学的知识,全方位、多角度地去考量,在优化中进阶、在进阶中优化,力求找到最佳的实验方案.

参考文献

- 1 教育部考试中心.普通高等学校招生全国统一考试大纲[M].北京:高等教育出版社,2019.119~120
- 2 唐光善.易被“忽视”的定值电阻——例谈“定值电阻”在高中电学实验中的应用[J].物理教学,2016(2):27~30