

利用图像法分析电路中的动态变化问题

罗绪凯

(重庆两江新区西南大学附属中学校 重庆 401123)

(收稿日期:2023-01-19)

摘要:电路中的动态变化问题是高中物理电学部分一类典型问题,也是学生的学习难点.以一道电学例题为载体,利用图像法对此问题进行了详细的分析,让学生对电路中电压与电流的比值变化情况、电压变化量绝对值与电流变化量绝对值的比值变化情况有了深刻的理解,为解决此类问题提供了明确的思路.

关键词:电路动态变化问题;图像法;比值变化

电路中的动态变化问题是高中物理电学部分常见的一类问题,即通过改变电阻的阻值来分析电路中电压、电流、功率等物理量的变化情况.改变电阻的阻值主要有以下几种形式:

(1) 改变导体接入电路的有效长度,比如移动滑动变阻器的滑片.

(2) 改变外界环境的温度、光照、湿度、磁场以及压力等因素,使得阻值发生变化.

(3) 电路发生故障,若电路中出现短路,可以将故障位置的电阻值视为零;若电路中出现断路,可以将故障位置的电阻值视为无穷大.

由于此类问题中变化的物理量较多,分析时需要用到电流、电压和功率的相互关系、部分电路欧姆定律和闭合电路欧姆定律等知识,学生在分析的过程中容易出现思维漏洞,难以形成清晰的分析过程,所以电路动态变化问题对于学生而言是一个难点.为了帮助学生突破此难点,本文利用两类 $U-I$ 图像,即部分电路电压与电流的关系图像和闭合电路路端电压与电流的关系图像,来寻找解决问题的思路和方法.

1 问题模型

【题目】如图1所示的电路,电源电动势为 E ,内阻为 r . 开关 S 闭合后,将滑动变阻器的滑片向下滑动,理想电压表 V_1 、 V_2 示数分别为 U_1 、 U_2 , 示数变化量的绝对值分别为 ΔU_1 、 ΔU_2 , 理想电流表 A_1 、 A_2 示数分别为 I_1 、 I_2 , 示数变化量的绝对值为 ΔI_1 、

ΔI_2 , 则()

- A. A_2 的示数 I_2 增大
 B. V_2 的示数 U_2 增大
 C. ΔU_1 小于 ΔU_2
 D. $\frac{U_2}{I_1}$ 和 $\frac{\Delta U_2}{\Delta I_1}$ 都变小

答案:A、C.

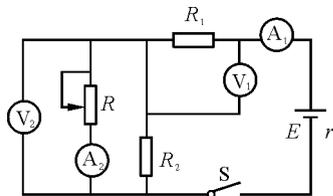


图1 电路图

分析:首先从引起变化的源头分析,明确可变电阻的变化情况,滑动变阻器滑片向下滑动,电阻 R 减小;然后判断该变化对干路电路的影响,即总电阻 $R_{\text{总}}$ 减小,总电流 $I_{\text{总}}$ 增大,路端电压 U 减小;最后找出电路中的电流关系和电压关系,即

$$I_{\text{总}} = I_{R_1} = I_{R_2} + I_R \quad (1)$$

$$I_{R_1} = I_1 \quad (2)$$

$$I_R = I_2 \quad (3)$$

$$U = U_{R_1} + U_{R_2} \quad (4)$$

$$U_{R_2} = U_R = U_2 \quad (5)$$

$$U_{R_1} = U_1 \quad (6)$$

总电流 $I_{\text{总}}$ 增大,由式(1)、(2)可知 I_{R_1} 增大,电流表 A_1 示数 I_1 增大, R_1 两端的电压 U_{R_1} 增大. 路端电压 U 减小,由式(4)~(6)可知电压表 V_1 示数 U_1 增大,电压表 V_2 示数 U_2 减小. 再结合式(1)、(3)可

得电流表 A_2 的示数 I_2 增大,选项 A 正确,选项 B 错误. 学生运用程序法很容易判断出电流表和电压表示数的变化. 然而学生对电压与电流之比 $\frac{U}{I}$ 、电压变化量与电流变化量之比 $\frac{\Delta U}{\Delta I}$ 的物理意义模糊不清,很容易陷入误区. 此外,题目中涉及变化的物理量较多,学生不知道如何比较电压变化量的绝对值大小. 基于此,接下来利用两类 $U-I$ 图像对电路动态变化问题进行详细分析.

2 两类 $U-I$ 图像

2.1 部分电路的 $U-I$ 图像

如图 2 所示,一定值电阻 R 接入电路中,通过电阻的电流为 I ,其两端的电压为 U ,根据部分电路欧姆定律

$$I = \frac{U}{R}$$

可得 $U = IR$

其 $U-I$ 图像如图 3 所示,有

$$R = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_1 - 0}{I_1 - 0}$$

即 $U-I$ 图像中图线上任意一点与坐标原点连线的斜率(等于 $U-I$ 图像图线的斜率)数值上等于定值电阻的阻值.

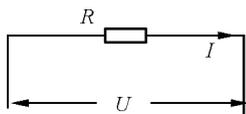


图 2 定值电阻 R 的电路示意图

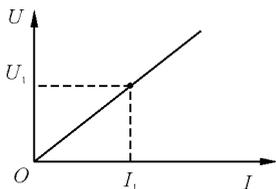


图 3 定值电阻 R 的 $U-I$ 图线

如图 4 所示,一小灯泡接入电路中,由于小灯泡金属丝的电阻会随着温度的变化而变化,在不同的电压和电流下其阻值不同. 设通过小灯泡的电流为 I ,其两端的电压为 U ,其 $U-I$ 图像如图 5 所示,是一条弯曲的图线. 根据部分电路欧姆定律

$$I = \frac{U}{R}$$

可得图像中某一点小灯泡的电阻

$$R = \frac{U_2}{I_2} = \frac{U_2 - 0}{I_2 - 0}$$

即数值上等于该点与原点连线的斜率,而不是该点的切线斜率,其切线的斜率不具有物理意义.

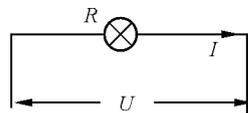


图 4 小灯泡的电路示意图

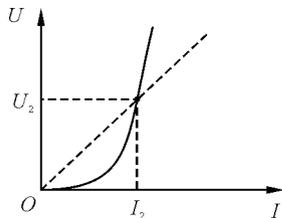


图 5 小灯泡的 $U-I$ 图线

2.2 闭合电路的 $U-I$ 图像

如图 6 所示,闭合电路中路端电压和电流之间的关系

$$U = E - Ir$$

设外电路两端的电压为 U ,总电流为 I ,其 $U-I$ 图像如图 7 所示,图像的纵截距等于电源的电动势 E ,图线斜率的绝对值等于电源的内阻 r .

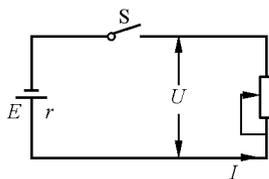


图 6 全电路示意图

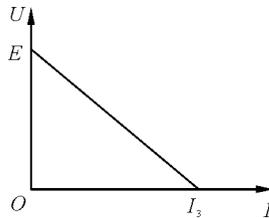


图 7 闭合电路的 $U-I$ 图线

3 分析过程

3.1 电压与电流的比值变化情况

结合电路图确定出各负载的连接方式,分别标出每个负载的电压和电流. 电压与电流之比 $\frac{U}{I}$ 的物理意义为负载两端的电压与流过它的电流的比值,即为负载的电阻. 由部分电路的 $U-I$ 图像可知,图

线上任意点的纵坐标为负载两端的电压值,横坐标为该电压对应的电流值. $\frac{U}{I}$ 数值上等于在该电压 U 和电流 I 下工作的负载阻值,判断出该负载阻值的变化情况也就可以获得 $\frac{U}{I}$ 的变化情况.由图1可知, R_1 和 R_2 为阻值不变的负载,电阻 R 的阻值变小.结合上述方法可以得到如下结论:

(1) $\frac{U_2}{I_1}$ 的物理意义为 R_2 和 R 的总电阻,由于该

总电阻值变小,所以 $\frac{U_2}{I_1}$ 的比值变小;

(2) $\frac{U_1}{I_1}$ 代表 R_1 的阻值,得出 $\frac{U_1}{I_1}$ 的比值不变;

(3) $\frac{U_2}{I_2}$ 代表 R 的阻值,得出 $\frac{U_2}{I_2}$ 的比值变小.

3.2 电压变化量绝对值与电流变化量绝对值的比值变化情况

电压变化量与电流变化量之比 $\frac{\Delta U}{\Delta I}$ 的物理意义是负载两端的电压变化量与电流变化量的比值,即 $\frac{U' - U}{I' - I}$,其中 U' 、 I' 分别为变化后的电压和电流, U 和 I 分别为变化前的电压和电流.若负载的阻值不发生变化时,在该负载的 $U-I$ 图线上任意取 A 、 B 两点,如图8所示.由图可知

$$\left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right| = \left| \frac{U' - U}{I' - I} \right|$$

数值上等于图线斜率的绝对值,即电压变化量绝对值与电流变化量绝对值的比值 $\left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|$ 等于负载的阻值,不会发生变化.若负载的阻值发生变化时, $\left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|$ 还等于负载的阻值吗?如图9所示,在负载的

$U-I$ 图线上任意取 C 、 D 两点(不包含坐标原点)

$$\left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right| = \left| \frac{U' - U}{I' - I} \right|$$

数值上等于曲线的割线斜率的绝对值,显然不等于负载的阻值.因此,负载阻值变化时,无法直接获得 $\left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|$ 的变化情况,但可以从另一个角度间接获取.根据闭合电路中路端电压和电流之间的关系 $U = E - Ir$ 可得,路端电压 U 与总电流 I 满足线性关系.当干路上有阻值不变的电阻时,可以将其与电源的

内阻等效为一个新的内阻.由图1可知, R_1 和 R_2 为阻值不变的负载,根据欧姆定律可得

$$U_1 = I_1 R_1$$

$$U_2 = E - I_1 (R_1 + r)$$

结合 $U-I$ 图像可得

$$\left| \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1} \right| = R_1 \quad \left| \frac{\Delta U_2}{\Delta I_1} \right| = r + R_1$$

变形可得

$$|\Delta U_1| = R_1 |\Delta I_1|$$

$$|\Delta U_2| = (R_1 + r) |\Delta I_1|$$

即

$$|\Delta U_1| < |\Delta U_2|$$

其实,有一种判断电压变化量绝对值大小的快捷方法:根据电压满足的关系 $U = U_{R_1} + U_{R_2}$,路端电压减小, R_1 两端的电压 U_{R_1} 增大, R_2 两端的电压 U_{R_2} 减小,表明 R_2 两端的电压减小量应大于 R_1 两端的电压增加量,即 $|\Delta U_1| < |\Delta U_2|$.

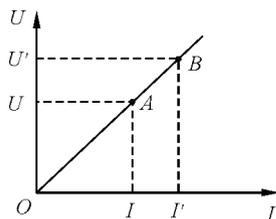


图8 定值电阻的 $U-I$ 图线

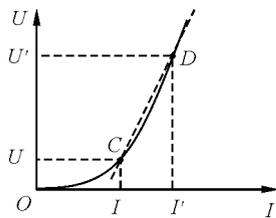


图9 可变电阻的 $U-I$ 图线

4 结束语

在教学过程中,教师要善于利用物理图像来帮助学生理解某些难点知识,让学生“知其然”更要“知其所以然”,而不是强行灌输给学生.本文从一道电学典型题目出发,借助两类 $U-I$ 图像,即部分电路电压与电流的关系图像和闭合电路路端电压与电流的关系图像,让学生对电路中电压与电流的比值变化情况、电压变化量绝对值与电流变化量绝对值的比值变化情况有了深入的理解,给解决此类问题提供了明确的思路,从而有效突破电路动态变化问题这个难点.