

滑动变阻器调节的有效性分析

唐建勋

(无锡市辅仁高级中学 江苏 无锡 214123)

(收稿日期:2016-10-24)

摘 要:滑动变阻器在电路中的调节作用,在限流和分压两种接法中得以体现,所谓调节方便有效,就是指电路中的电流或电压等参量随滑动变阻器的滑片线性变化,但其阻值的大小会在其中起到至关重要的影响。

关键词:滑动变阻器 调节方便 有效性

在恒定电流电路分析与设计中,滑动变阻器作为一个重要的实验器材是必不可少的,而且它也是高考实验题的一个重要考查部分,其中包括了滑动变阻器的选择、连接等问题.学生最早接触滑动变阻器时,它是这样被介绍的:滑动变阻器通过改变滑片的位置来改变接入电路中的电阻丝长度,从而改变阻值.因此,滑动变阻器最初的应用是通过改变自身的阻值,来调节电路中的电流和其他部分电路的电压.在这种情况下,滑动变阻器接入的是一个上脚和一个下脚,通过调节滑片的不同位置来调节接入电路中的阻值,这种接法被称为限流法.随着高中阶段恒定电流部分学习的深入,在一些对电压和电流调节有特殊要求的实验中,比如“描绘小灯泡伏安特性曲线”,滑动变阻器的限流法就不再能适应新的情况,于是学生需要掌握一种新的接法——分压法.这个接法需要用到两个下脚和一个上脚,其中两个下脚作为控制电路直接接入到电源两端,而取一个上脚和一个下脚作为测量电路的输出端为待测元件提供电压.当引入了滑动变阻器的两种接法后,电路实验部分考查的重点就凸显出来了:滑动变阻器在实验中应采用哪种接法呢?与之密切相关的另一个问题也常常会被提出:在所给的若干个滑动变阻器中,我们应选择哪个呢?

对于滑动变阻器接法的选择,不外乎考虑以下3个因素:

(1) 滑动变阻器能否有效保护电路其他部分,并使自身安全;

(2) 滑动变阻器能否在某些有特殊要求的实验

中使电压或电流从零开始连续变化;

(3) 滑动变阻器调节是否方便.

而对于滑动变阻器器材的选择,也是从上述的第一点和第三点进行考虑的.其中第一点可由电源电动势与各元件的额定电流大小来判断,第二点则会在问题直接给出明示,而第三点往往是最难把握的,也是在教学中最容易忽视的.

什么叫滑动变阻器调节是否方便?对于这个问题的认识,学生往往是含糊不清的,其中会有这样一些看法,比如认为如果滑动变阻器的阻值较小,滑动变阻器的大小和尺寸就比较小,那么实际操作的时候滑片就比较好调节,所以,如果滑动变阻器在能够满足第一和第二个要求的前提下,尽量选择阻值较小的.那么“方便”二字真能这样简单地理解吗?这种说法是有失偏颇的,在实际进行实验操作的时候,的确会遇到滑动变阻器阻值太大,滑动变阻器较大较长,调节起来不太方便的情况,但这并不是影响实验操作的最主要因素,“方便”的真正意义是从调节滑动变阻器对改变电学量的有效性角度来理解的.电学实验中滑动变阻器一般有两方面的作用,一是保护电路,二是改变电路中的电学参量,通过控制这些变量实现多组数据的测量,从而来研究规律.在高中阶段电路实验的考查中,第二方面的要求尤为突出,因此“方便”更重要的意义在于:电学参量能随滑动变阻器滑片的移动呈线性变化,且变化范围较大.接下来详细分析滑动变阻器在两种不同接法下的调节有效性问题.

1 滑动变阻器的限流接法

如图1所示,将待测电阻 R_0 和滑动变阻器 R 串联,当改变滑片位置时,电流表的示数会随之如何变化呢?

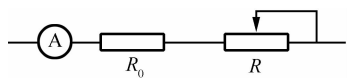


图1 滑动变阻器限流接法

由电流表工作原理可知,电流表指针偏转角度与电流的大小成正比,即 $\theta' = kI'$,当电流达到满偏值 I 时,电流表指针达到最大偏角 θ ,同理, $\theta = kI$,定义

$$p = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{I'}{I}$$

其中

$$I' = \frac{U}{R_0 + R}$$

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

则

$$p = \frac{R_0}{R_0 + R} = \frac{R_0}{R_0 + \frac{\rho l}{S}}$$

设滑动变阻器的最大滑动长度为 l_0 ,调节滑片的长度 l 与最大长度 l_0 的比值为 q ,即 $l = l_0 q$,则

$$p = \frac{R_0}{R_0 + \frac{\rho l_0 q}{S}} = \frac{\frac{R_0}{\rho l_0 / S}}{\frac{R_0}{\rho l_0 / S} + q}$$

其中 R 为滑动变阻器最大阻值,由此可以对电流表指针偏角比率 p 与滑动变阻器长度变化比率 q 之间的相关性进行讨论。

1.1 $R \ll R_0$

设 $\frac{R_0}{R}$ 为 a ,则

$$p = \frac{a}{a + q}$$

建立 pOq 直角坐标系, $p-q$ 图像如图2所示,由于 a 很大,所以图像在 $p = \frac{a}{q}$ 的基础上向左平移较大一段距离 a ,此时不难发现,在 q 从零到1变化的范围内, p 几乎不随 q 的变化而变化,由此可知,电流表示数几乎不随滑片滑动而改变,示数变化与滑片滑动距离之间的相关性较差。

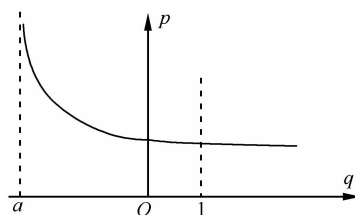


图2 $R \ll R_0$ 时的 $p-q$ 图像

1.2 $R \gg R_0$

由 $p = \frac{a}{a + q}$,作出 $p-q$ 图像如图3所示.若 $R \gg R_0$,则 a 很小,当 $q = 9a$ 时, $p = 0.1$,此时 q 值仍很小, p 便开始减小到几乎为零,直至 $q = 1$, p 一直如此.这意味着滑动变阻器滑片从某一阻值较小的位置开始直到最大值之间变化时,电流表示数几乎一直是零,此后几乎不随滑片滑动而改变,示数变化与滑片滑动距离之间的相关性同样较差。

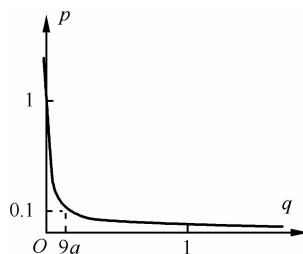


图3 $R \gg R_0$ 时的 $p-q$ 图像

1.3 R 与 R_0 大小接近

在此情况下, a 近似为1,则 $p = \frac{1}{1 + q}$,其图像如图4所示,在 q 从零到1变化的过程中, p 从1变为0.5,也就是说,当滑动变阻器的滑片从一头移动到另一头的过程中,电流表的示数从满偏变为半偏,电流表示数与滑动变阻器滑片位置变化之间的相关性较好。

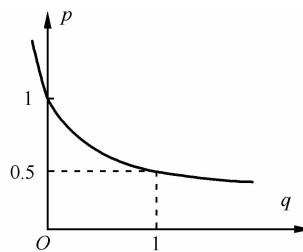


图4 R 与 R_0 接近时的 $p-q$ 图像

通过对上述3种情况的讨论不难发现,在选择滑动变阻器的限流接法时,当变阻器的最大阻值远小于或者远大于待测电阻时,电流大小随滑片位置

变化的相关性较差,也就是说在这两种情况下滑动变阻器调节电路不够方便;当变阻器的最大阻值与待测电阻差不多时,电流大小随滑片位置的变化相关性较高,滑动变阻器调节起来就比较方便,电学参量调节的有效性较高,所以在选择器材时,应选择最大阻值与待测电阻差不多的滑动变阻器.

2 滑动变阻器的分压接法

如图5所示,将待测电阻 R_0 和滑动变阻器 R 采用分压接法连接,当改变滑片位置时,电压表的示数会随之如何变化呢?

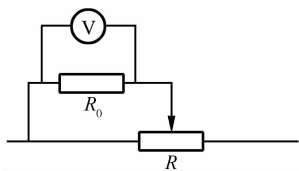


图5 滑动变阻器的分压接法

由电压表工作原理可知,电压表指针偏转角度与电压的大小成正比,即 $\theta' = kU'$,当电压达到满偏值 U 时,电压表指针达到最大偏角 θ ,同理, $\theta = kU$,定义

$$p = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{U'}{U}$$

设滑动变阻器的最大滑动长度为 l_0 ,调节滑片与左下脚之间的接入长度为 l , l 与最大长度 l_0 的比值为 q ,即 $l = l_0 q$,则滑动变阻器左边电阻值为 Rq ,右边电阻值为 $R(1 - q)$. 整个电路的左侧电阻值为 $\frac{R_0 R q}{R_0 + R q}$,右侧电阻值为 $R(1 - q)$,则 $\frac{U'}{U}$ 即为左侧电阻与总电阻之比,即

$$p = \frac{\frac{R_0 R q}{R_0 + R q}}{\frac{R_0 R q}{R_0 + R q} + R(1 - q)} = \frac{R_0 q}{R_0 + R q - R q^2}$$

2.1 $R \gg R_0$

当 $R \gg R_0$ 时, $\frac{R_0}{R}$ 趋向于零,则

$$p = \frac{\frac{R_0}{R} q}{\frac{R_0}{R} + q - q^2}$$

可得

$$p = \frac{\frac{R_0}{R}}{1 - q}$$

设 $\frac{R_0}{R}$ 为 a ,则 $p = \frac{a}{1 - q}$,建立 pOq 直角坐标系,

由于 a 很小,所以图像在 $p = \frac{a}{q}$ 的基础上以 $q = 1$ 为对称轴翻转. 如果设 $a = 0.05$,则当 $q = 0$ 时, $p = 0.05$;当 $q = 0.5$ 时, $p = 0.1$;当 $q = 0.75$ 时, $p = 0.2$, $p - q$ 图像如图6所示. 不难发现,在 q 从零到0.75范围内变化时,随 q 的变化, p 变化不够明显,而当 q 从0.75到1这一段变化范围内, p 急剧变大. 这意味着电压表示数在前 $\frac{3}{4}$ 阶段随滑片滑动几乎无明显变化,直到最后 $\frac{1}{4}$ 阶段突然急剧变大,可见示数变化与滑片滑动距离之间的相关性较差.

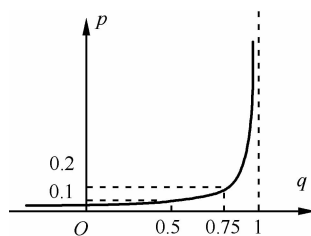


图6 分压接法 $R \gg R_0$ 时的 $p - q$ 图像

2.2 $R \ll R_0$

当 $R \ll R_0$ 时, $\frac{R}{R_0}$ 趋向于零,则

$$p = \frac{q}{1 + \frac{R}{R_0} q - \frac{R}{R_0} q^2}$$

得

$$p = q$$

此时 $p - q$ 图像变成了斜率为1的正比例函数图像,这样两者之间的线性关系是最理想的,也就是说此时电压表示数随滑片滑动而同步变化,示数变化与滑片滑动距离之间的相关性非常好.

通过对上述两种情况的讨论不难发现,在选择滑动变阻器分压时,当变阻器的最大阻值远大于待测电阻时,电压大小随滑片位置变化的相关性较差,在这种情况下滑动变阻器调节电路不够方便;当变阻器的最大阻值远小于待测电阻时,电压大小随滑片位置的变化相关性最好,滑动变阻器调节起来比较方便,电学参量调节的有效性较高,所以在选择器材时,应选择最大阻值与待测电阻差不多的滑动变阻器.

3 结论

为了使得滑动变阻器调节方便,即滑动变阻器调节的有效性较好,在限流接法中,应当选择最大阻值和待测电阻接近的滑动变阻器;在分压接法中,应当选择最大阻值远小于待测电阻的滑动变阻器.