



再议图解法求解伏安特性曲线中的实际功率问题

杨晓宇

(成都市龙泉中学 四川 成都 610100)

(收稿日期:2020-04-01)

摘要:就求解非线性元件伏安特性曲线中的实际功率问题提出了一种简洁的方法——图解法,对两个相同的灯泡串并联的实际功率这一难点问题给出了两种图解法,并给出了3种解释.

关键词:图解法 伏安特性曲线 实际功率

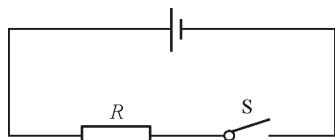
在文献[1]中,就求解非线性元件伏安特性曲线中的实际功率问题给出了两种方法,其中试探法较为繁琐,学生较难在有限的时间内通过试探的方式找到并读出正确的 I 和 U 数值,而图像法需要在 R_1 和 R_2 的伏安特性曲线基础上作出 R_1 和 R_2 的等效非线性电阻的伏安特性曲线,这种做法对线性元件是可行的,但对非线性元件手工作图将极为困难,即使作出图像也存在读数误差较大的问题,该方法锻炼学生思维能力尚可,但对学生解题帮助不大,能否直接利用原图准确又快速地解决该问题呢?下面我们做一番讨论.

1 问题的提出

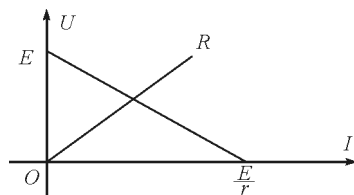
利用图解法求解伏安特性曲线中的实际功率问题的解析.

(1) 一个定值电阻 R

对图1(a)所示电路,图1(b)中的交点坐标即为实际电压和实际电流.



(a)定值电阻电路图

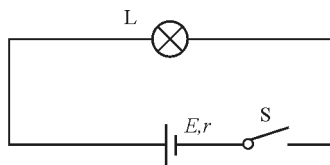


(b)电源与定值电阻 U - I 图像

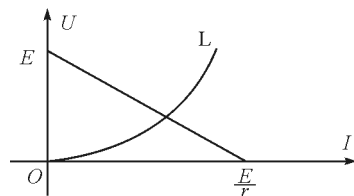
图1 电路中有一个定值电阻的伏安特性曲线

(2) 一个小灯泡 L

对图2(a)所示电路,图2(b)中的交点坐标即为小灯泡的实际电压和实际电流.



(a)小灯泡电路图



(b)电源与小灯泡 U - I 图像

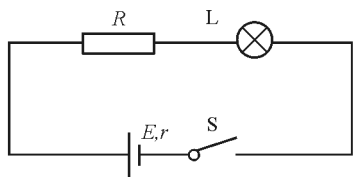
图2 电路中有一个小灯泡的伏安特性曲线

(3) 一个定值电阻 R 与一个小灯泡 L 串联

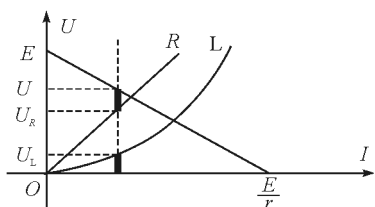
图解法:对图3(a)所示的电路图,作出如图3(b)所示的图像.由于 R 与 L 串联,电流相等,故可

借助平移刻度尺做竖直线,寻找到 $U - U_R = U_R - (U_R - U_L)$ 成立的竖直线(即图中黑粗线所示两段几何长度相等),易知此竖线对应 $U = U_R + U_L$,满足闭合回路欧姆定律,故图中 U_L 即为灯泡的实际电压.

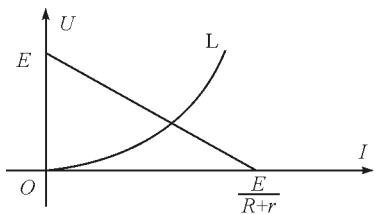
等效电源法+图解法:由于 R 为定值电阻,故可等效为电动势为 E ,内阻为 $R+r$ 的电源与灯泡组成回路,则解法与(2)中情况相同,如图 3(c) 所示,两图线的交点即为灯泡的工作点.



(a)电阻与灯泡串联电路图



(b)电源、灯泡、电阻U-I图



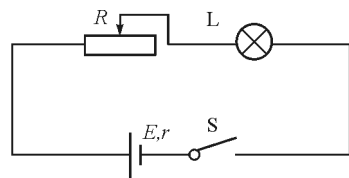
(c)等效电源与电阻U-I图

图3 定值电阻与小灯泡串联电路伏安特性曲线

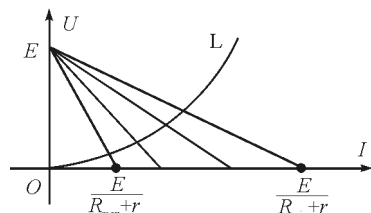
(4) 一个滑动变阻器 R 与一个小灯泡 L 串联

如图 4(a) 所示,当一个滑动变阻器与灯泡串联时,可以利用“等效电源法+图解法”求出灯泡的最大功率和最小功率.将 R 与电源处理成电动势为 E ,内阻为 $R+r$ 的等效电源,则当 R 从最大值减小过程中,可以作出一系列等效电源的伏安特性曲线,与 L 的伏安特性曲线的一系列交点均为灯泡的工作点,由图 4(b) 不难发现,当 R 取最大值时交点对应灯泡最小实际功率,当 R 取最小值时交点对应灯泡最大

实际功率.



(a)滑动变阻器电路图

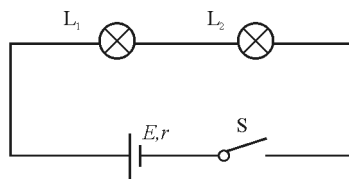


(b)电源与滑动变阻器U-I图

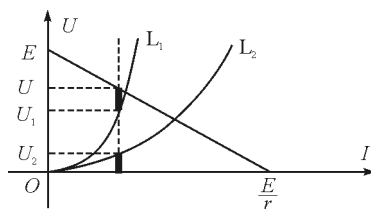
图4 滑动变阻器与小灯泡串联电路伏安特性曲线

(5) 两个小灯泡 L_1 和 L_2 串联

电路图如图 5(a) 所示,此种情况与(4)中的图解法思维一致,图 5(b) 中的 U_1 和 U_2 即为灯泡 L_1 和 L_2 的实际工作电压.



(a)两灯泡串联电路图



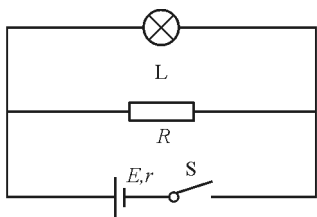
(b)电源与两串联灯泡U-I图

图5 两个小灯泡串联电路伏安特性曲线

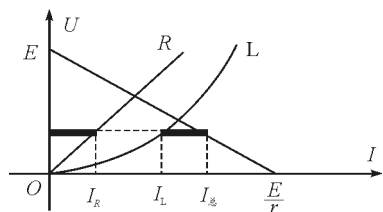
(6) 一个定值电阻 R 与一个小灯泡 L 并联

图解法:对图 6(a) 所示的电路图,作出如图 6(b) 所示的图像.由于 R 与 L 并联,电压相等,故可借助平移刻度尺作水平线,寻找到 $I_{总} - I_L = I_L - (I_L - I_R)$ 成立的水平线(即图中黑粗线所示两段几何长度相等),易知此水平线对应 $I_{总} = I_R + I_L$,满足闭合回路欧姆定律,故图中 I_L 即为灯泡的实际电流.

等效电源法 + 图解法:由戴维宁定理可知,等效电源的电动势就是有源二端网络的开路电压,等效内阻等于有源二端网络中所有电源均除去后所得到的无源网络两端之间的等效电阻.图6(a)所示电路中可将电阻 R 与电源等效为一个电源,等效电动势 $E' = \frac{R}{R+r}E$,等效内阻为 $r' = \frac{Rr}{R+r}$,等效电源与灯泡伏安特性曲线的交点即为灯泡的实际工作点,方法类似(2)中所述.



(a)灯泡与电阻并联电路图

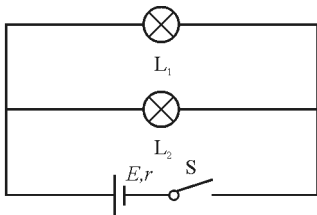


(b)电源与灯泡、电阻并联U-I图

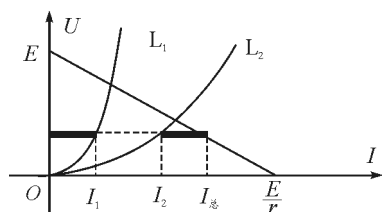
图6 定值电阻与小灯泡并联电路伏安特性曲线

(7) 两个小灯泡 L_1 和 L_2 并联

电路图如图7(a)所示,此种情况与(6)中的图解法思维一致,图7(b)中的 I_1 和 I_2 即为灯泡 L_1 和 L_2 的实际工作电流.



(a)两灯泡并联电路图



(b)电源与两并联灯泡U-I图

图7 两个小灯泡并联电路伏安特性曲线

2 两个相同的小灯泡串并联问题中的图解法

(1) 两相同灯泡 L 串联的两种图解法
两相同小灯泡串联电路图如图8所示.

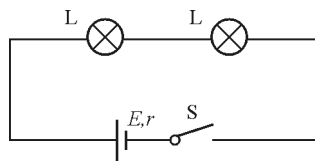
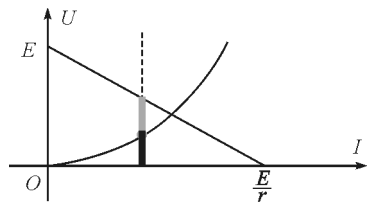


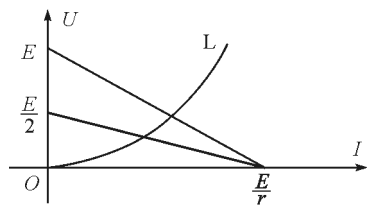
图8 两相同小灯泡串联电路图

第一种图解法:类似图3(a)中解法,如图9(a)所示,由于两灯泡完全相同且电流相等,可以借助刻度尺平移作竖线,找到 $U = 2U_L$ 成立的竖直线(即图中黑粗线所示两段几何长度相等),易知图中 I_L 即为灯泡的实际电流.

第二种图解法:如图9(b)所示,由于两灯泡完全相同,故可以作一条纵截距为 $\frac{E}{2}$,横截距为 $\frac{E}{r}$ 的直线,与 L 的图线交点即为灯泡的实际工作点.下面给出该方法的3种解释.



(a)电源与灯泡U-I图像



(b)三角形中线找工作点

图9 两灯泡串联电路伏安特性曲线两种解法

解释一:由电路叠加原理可知,对于线性电路,任何一条支路中的电流,都可以看成是由电路中各个电源分别作用时在此支路所产生的电流的代数和.将图8中电源拆分成电动势均为 $\frac{E}{2}$,内阻均为 $\frac{r}{2}$ 的两个电源串联,根据电路叠加原理,可将电路等效为一个灯泡与一个电动势为 $\frac{E}{2}$,内阻为 $\frac{r}{2}$ 的电源组成工作电路,如图10所示.

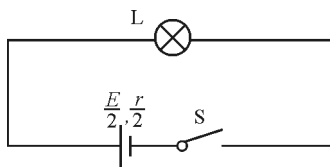


图10 两种相同小灯泡串联等效电路

解释二:在图8电路中,设某一灯泡的电压为 U , 电流为 I , 由闭合回路欧姆定律可知

$$E = 2U + Ir$$

等式左右同除以2可得

$$\frac{E}{2} = U + I \frac{r}{2}$$

令 $E' = \frac{E}{2} \quad r' = \frac{r}{2}$

得 $E' = U + Ir'$

此式即为图10的闭合回路欧姆定律。

解释三:由几何知识可知,作三角形 OAB 的一条中线 BC , 该中线一定平分任意一条 OA 边的平行线, 如图11所示。结合图9(a)可知, BC 与 L 的交点即为灯泡的实际工作点。

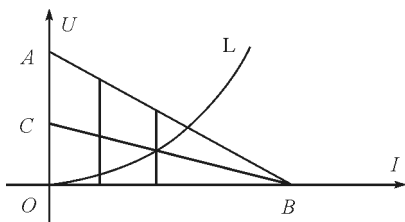


图11 等效法的几何图像

(2) 两相同灯泡 L 并联的两种图解法
两相同灯泡并联电路图如图12所示。

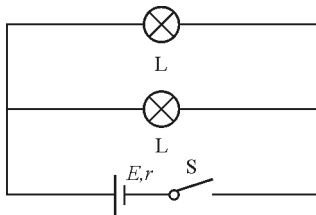
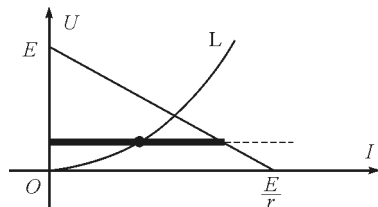


图12 两相同灯泡并联电路

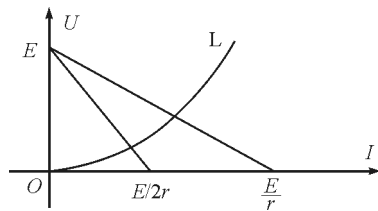
解法一:类似图6(a)中解法,如图13(a)所示,由于两灯泡完全相同且电压相等,可以借助刻度尺平移作水平线,找到 $I = 2I_L$ 成立的水平线即图中黑粗线所示两段几何长度相等,易知图中 U_L 即为灯泡的实际电压。

解法二:如图13(b)所示,由于两灯泡完全相

同,故可以作一条纵截距为 E , 横截距为 $\frac{E}{2r}$ 的直线,与 L 的图线交点即为灯泡的实际工作点。下面给出该方法的3种解释。



(a) 电源与两并联灯泡 $U-I$ 图



(b) 三角形中线找工作点

图13 两灯泡并联电路伏安特性曲线两种解法

解释一:将图12中电源拆分成电动势均为 E , 内阻均为 $2r$ 的两个电源并联, 根据电路叠加原理, 可将电路等效为一个灯泡与一个电动势为 E , 内阻为 $2r$ 的电源组成工作电路, 如图14所示。

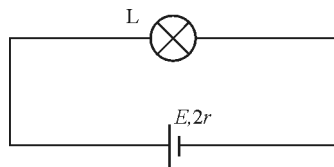


图14 两相同灯泡并联等效电路图

解释二:在图12中,设某一灯泡的电压为 U , 电流为 I , 由闭合回路欧姆定律可知

$$E = U + 2Ir$$

令 $E' = \frac{E}{2} \quad r' = 2r$

得 $E' = U + Ir'$

此式即为图14的闭合回路欧姆定律。

解释三:几何方法与上述图11一致,不做赘述。

参考文献

- 1 成金德. 求解非线性电阻实际功率的常见题型和方法[J]. 物理教学, 2018, 40(10)
- 2 张志刚. 利用“等效法电源法”求小灯泡实际功率[J]. 中学物理教学参考, 2017, 46(4)