

相同电源并联问题的解法讨论

宋孜跃 臧鹏 兰翠翠 易图林

(空军预警学院雷达士官学校 湖北 武汉 430000)

(收稿日期:2021-11-13)

摘要:在解决相同电源串并联的问题时,课堂上类比电阻串并联直接给出求解公式,但学生在深入思考电路时会进入误区,文章提供了其他两种解法:分电路合成法和理想电源模型法,解决了学生的疑惑,并分析了各求解过程中的要点与难点,为物理教学提供了新的思路.

关键词:相同电源并联 分电路合成法 理想电源模型

1 引入

在遇到复杂电路的时候,通常需要对电路进行等效变换来简化电路,而等效变换的关键在于找出等效电源和等效电阻.对于求等效电阻,很容易理解,因为电阻都是区别于电源独立存在的,属于外电路的部分,只需要分清电阻之间的串并联关系,然后根据串联电路的等效电阻等于各电阻之和,并联电路的等效电阻的倒数等于各支路电阻的倒数之和求解.

当电路中有 n 个电动势为 E ,内阻为 r 的相同电源,如何求解外电路负载上的物理量?在学习这部分内容的时候,通常会类比电阻的连接,直接给出下面的结论:

对于 n 个电动势为 E ,内阻为 r 的相同电源串联,可以将这 n 个电源等效为一个电动势为 E' ,内阻

为 r' 的电源.等效电源的电动势为

$$E' = nE$$

内阻为

$$r' = nr$$

对于 n 个电动势为 E ,内阻为 r 的相同电源并联,可以将这 n 个电源等效为一个电动势为 E' ,内阻为 r' 的电源.等效电源的电动势为

$$E' = E$$

内阻为

$$r' = \frac{r}{n}$$

2 出现问题

将 n 个电源替代为一个等效电源后,就可以根据全电路欧姆定律去求解外电路的各个电学量.以两个电源并联为例,如图1(a)所示,电动势为 E ,内

4 结论

使用流程图作为思维支架,有利于学生在识别问题、分解重构问题思路的梳理,并且能让学生的思维“可视”,知道他们在哪个思维环节出现问题.流程图是一种能将人类的自然语言转换成计算机语言的工具,使用流程图分析电路故障的过程还可以培养从学习者自然思维向计算机思维过渡的能力^[2],从而促进学生问题识别、问题分解、抽象、算法和逻辑

等高阶思维的发展^[3].

参考文献

- 母志龙. 基于流程图编程的在线作业系统的设计与实现[D]. 上海: 华中师范大学, 2018. 22 ~ 23
- 孙立会, 王晓倩. 计算思维培养阶段划分与教授策略探讨——基于皮亚杰认知发展阶段论[J]. 中国电化教育, 2020(3): 32 ~ 41
- 木天乐. DELC深度学习模式的“九宫格”模型建构教学——以浙教版“电路的分析和运用”为例[J]. 物理通报, 2021, 40(9): 45 ~ 48

阻为 r 的两个相同电源 E_1 和 E_2 并联接入电路, 负载阻值为 R , 求 R 上的电流.

如果按照相同电源串并联的规律计算, 两个相同电源并联可以等效为一个电动势为 E , 内阻为 $\frac{r}{2}$ 的电源, 根据全电路欧姆定律, 外电路电流

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

但是, 这是为了简化对相同电源串并联的理解, 直接给出的结论, 当有些学生思考其内部原理时, 会产生误区, 对这个结论提出质疑.

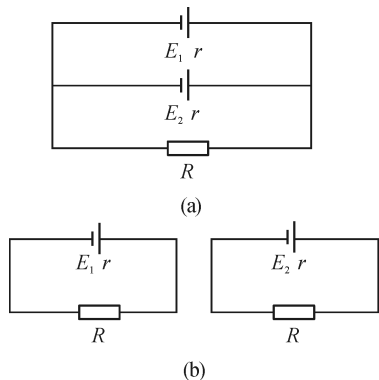


图1 两个相同电源并联的分解电路误区

如果将电路的工作过程进行分解, 先由两个电源单独对负载供电, 再将分过程合成, 由于两个相同的电源不会互相充放电, 原电路可分解成两个相同的简单电路, 如图 1(b) 所示. 当电源 E_1 单独为 R 供电, 流过 R 的电流 $I_1 = \frac{E}{R + r}$, 同理电源 E_2 单独给负载供电, 提供的电流和电源 E_1 单独供电时大小相同, 因此, 两个电源为负载提供的电流

$$I = 2I_1 = \frac{2E}{R + r}$$

这与等效电源求出来的结论不一致, 哪里出现了问题呢?

3 分电路合成解法

上述解法确实存在一个误区. 在高中阶段, 在处理相同实际电源问题的时候, 通常将实际电源简化为一个理想电源和一个电阻串联的形式. 如图 2, 上述解法将原电路分解为两个电源分别对负载供电再进行合成这个思路没有问题, 但是在分解过程中只考虑了一个电源的内阻, 忽略了另一个电源的电阻.

正确的做法是, 当电源 E_1 对负载供电时, 同时要考虑电源 E_2 的内阻在电路中的分流作用, 电路图应由图 1(b) 中的一个变为图 3, 即电源提供的电能由两个内阻和负载共同消耗, 并且电路中 3 个电阻间的关系是 R 和电源 E_2 的内阻 r_2 并联, 再与电源 E_1 的内阻 r_1 串联, 因此流过负载的电流就容易计算了.

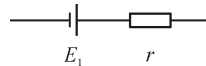


图2 电源的内阻

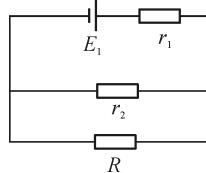


图3 考虑电源内阻的电路分解图

总电阻

$$R_{\text{总}} = r_1 + (R // r_2) = r + \frac{Rr}{R + r} = \frac{2Rr + r^2}{R + r}$$

根据欧姆定律, 干路电流

$$I_{\text{总}} = \frac{E}{R_{\text{总}}} = \frac{E(R + r)}{2Rr + r^2}$$

由并联电路分流公式可知负载 R 的支路分到的电流为

$$I_{1R} = I_{\text{总}} \frac{r}{R + r} = \frac{E}{2R + r}$$

同理, 电源 E_2 单独为电路提供电能时也不能忽略电源 E_1 内阻的分流, 电路结构也与上面相同, 因此流过 R 的电流为

$$I_{2R} = \frac{E}{2R + r}$$

再将结果合并, 总电流

$$I_{\text{总}} = \frac{2E}{2R + r}$$

可以发现, 如果考虑了另一个内阻, 最后的结果和直接利用相同电源串并联结论保持一致. 并且, 两个相同电源并联不会互相充电, 因为电源 E_1 单独做电源与电源 E_2 单独做电源时给对方提供的电流都是 $\frac{ER}{2Rr + r^2}$, 大小相等并且方向相反, 因此可以相互抵消.

4 理想电源模型法

在上述解法中, 我们利用了一个结论, 将实际电

源等效为一个理想电源和电阻的串联,其实这也是一种近似.当电源内阻远小于外电路的电阻,路端电源近似恒等于电源电动势,因此可以用恒压源代替电源;当电源内阻远大于外电路的电阻,电路中的电流由短路电流决定,可以用恒流源代替电源^[1],这就是理想电源模型.在电工学中,通常将一个普通电源等效成一个恒流源与一个电阻或是一个恒压源与一个电阻的组合,这样就有4种方式,恒压源与电阻串联、恒压源与电阻并联,恒流源与电阻串联、恒流源与电阻并联^[2].但是根据基尔霍夫定律,并联在恒压源上的电阻对外电路电阻起不到分流作用,不会影响电压源对其他负载的作用,因此,电压源并联一个电阻和单独接一个电压源是没有区别的;同理,和电流源串联的电阻对外电流起不到分压限流的作用,电流源串联一个电阻与电路单独接一个电流源也没有区别,因此在实际电路中,电源可以等效为一个理想电压源和一个电阻串联或是一个理想电流源和一个电阻并联^[3],如图4.等效成什么形式取决于电源的串并联关系.对于有源二端网络,当几个相同电源串联,可以将每个电源统一为电压源的形式,再将理想电压源和电阻分别合并为一个;当几个相同电源并联,需要将每个电源统一为电流源的形式,再将理想电流源和电阻分别合并为一个.

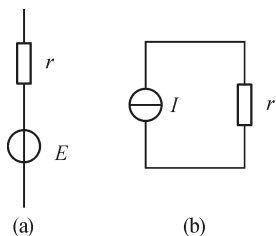


图4 理想电源模型

本文讨论的是相同电源并联,因此要采用第二种方式,第一步,将每一个电源等效为一个电流源和一个电阻的并联,如图5(a);第二步,电流源的合并按照理想电流源的并联处理,电阻的合并按照电阻的并联处理,这个过程如图5(b)、(c),根据电源的等效处理,电流源对外提供的电流 I_s 应为两个电流源的电流的代数和, $I_s = 2 \cdot \frac{E}{r} = \frac{2E}{r}$,等效电阻 $r_s = \frac{r}{2}$,而等效电阻与负载是并联关系,理想电流源为它

们提供恒定的电流,因此流过 R 的电流可以由并联电路分流关系求出

$$I_{\text{总}} = \frac{2E}{r} \cdot \frac{\frac{r}{2}}{\frac{r}{2} + R} = \frac{2E}{2R + r}$$

可以发现,理想电源模型计算简便,但是理解起来有一定难度^[4].

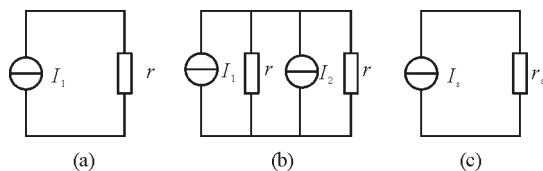


图5 等效为理想电流源的过程

5 总结

相同电源并联对外提供电能,虽然两个电源之间没有互相充放电,但是在考虑其中一个电源单独供电时,却不能忽略另一个电源的内阻,它们也是会分流的.而彼此之间内阻的分流大小相等,方向相反,最终的效果就是电源只对负载提供电流,因此电源彼此之间没有互相充放电,但是负载上的电流却不是单个电源提供电流的整数倍.并且通过证明我们可以知道一个电源单独供电再合成与先将电源合成为一个等效电源是等价的.

分电路合成法比较容易想到,但是容易忽略另一个电源的内阻进而产生错误;另一方面,理想电源模型法也可以比较方便解决相同电源串并联问题,但是使用时需要正确判断等效电源类型.两种方法各有优缺点,因此,在实际解题时我们可以根据题目具体分析选用合适的方法.

参考文献

- 1 梁灿彬. 电磁学(第2版)[M]. 北京:高等教育出版社, 2004. 116 ~ 120
- 2 秦曾煌. 电工学(第5版)[M]. 北京:高等教育出版社, 1999. 41 ~ 45
- 3 周和平, 黄海燕. 电路等效变换的辨析[J]. 张家口农专学报, 2004, 20(2): 66 ~ 69
- 4 陈亚琦, 黄铁铁. 从物理模型看理想电源的串并联[J]. 广西物理, 2014, (35): 33 ~ 34