

回路电流法和节点电压法解题技巧分析

汪小娜

(海军工程大学电气工程学院 湖北 武汉 430033;
清华大学电机工程与应用电子技术系 北京 100084)

单潮龙 王向军

(海军工程大学电气工程学院 湖北 武汉 430033)

(收稿日期:2017-12-13)

摘要:回路电流法和节点电压法是电路分析中很常用的方法,对于含有无伴电流源支路的电路,当用回路法分析电路时,除了回路电流外,通常还需要将无伴电流源的电压增加为未知变量;对于含有两个无伴电压源支路的电路,当用节点法分析电路时,通常选择其中一个无伴电压源的负极作为参考点,除了节点电压外,通常需要将另外一个无伴电压源的电流增加为电路未知量.这样的处理都增加了电路方程中未知量的个数,增加了求解方程的难度.系统分析了这类电路方程的特点,分析了求解这类方程的技巧,剖析了这类电路的回路电流方程和节点电压方程本质,为更好理解这类电路的求解提供参考.

关键词:回路电流法 节点电压法 无伴电流源 无伴电压源 复合回路 复合节点

回路法和节点法是电路分析中的两种基本而重要的方法^[1~3],回路分析法是以回路电流作为电路的独立变量,节点法是以节点电压作为电路的独立变量,而且两者具有相关性^[4].一般电路的回路分析法和节点分析法不难掌握,对于含有纯电流源支路的特殊电路,回路法采取的是把纯电流源支路的电压作为一个电路变量,另外再补充一个回路电流与纯电流源支路电流之间关系的方程;对于含有纯电压源支路的特殊电路,节点法采取的是把纯电压源支路的电流作为一个电路变量,再补充一个节点电压与纯电压源支路电压关系的方程.本文主要分析这类电路的解题技巧.

1 含纯电流源支路电路的回路法

对于含有纯电流源支路的电路,例如图1所示电路,在选择回路电流的时候可以只让一个回路电流流过纯电流源支路.选择如图1所示的3个回路,可以列写回路电流方程为

$$\begin{cases} i_1 = 1 \text{ A} \\ (R_2 + R_3 + R_4)i_2 + (R_3 + R_4)i_1 - \\ (R_3 + R_2)i_3 = 10 \text{ V} \\ (R_1 + R_3 + R_2)i_3 - R_3i_1 - (R_2 + R_3)i_2 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

这样选择回路的优点是方程个数少,但在列回路方程时,要注意不要漏掉互阻及正确判断互阻前面的正负符号.

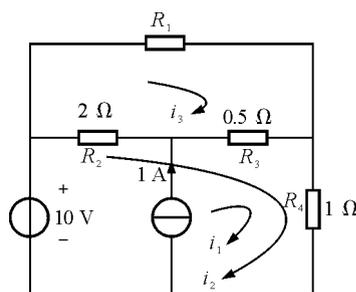


图1 含纯电流源支路的电路

另外可以选择网孔电流作为一组独立的回路电流,这样选择的优点是互阻不容易漏写和错写,但是需要另外引入变量,方程的个数多,选择网孔电流作为回路电流,解题是有技巧的.

如图2所示,选择网孔电流作为回路电流,设电流源的端电压为 u ,可以列回路电流方程为

$$\begin{cases} R_2i_1 - R_2i_3 + u = 10 \text{ V} \\ (R_3 + R_4)i_2 - R_3i_3 - u = 0 \\ (R_1 + R_3 + R_2)i_3 - R_2i_1 - R_3i_2 = 0 \\ -i_1 + i_2 = 1 \text{ A} \end{cases} \quad (2)$$

分析上面的方程组,可以发现,只有前面两式中

含有变量 u , 也就是只有电流 i_1 和 i_2 所在的回路涉及无伴电流源支路的电压, 而且很容易通过两式的合并将 u 约去, 将前两式合并可以得到

$$R_2 i_1 + (R_3 + R_4) i_2 - (R_2 + R_3) i_3 = 10 \text{ V} \quad (3)$$

合并后的式子, 即为将电流 i_1 和 i_2 所在的回路合并, 为回路 l_{12} 的电压方程, 如图 3 所示.

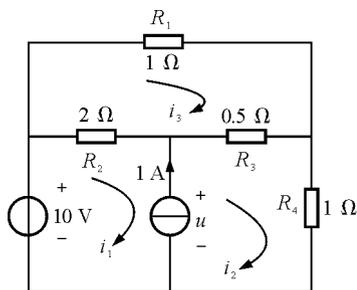


图 2 选网孔电流作为回路电流

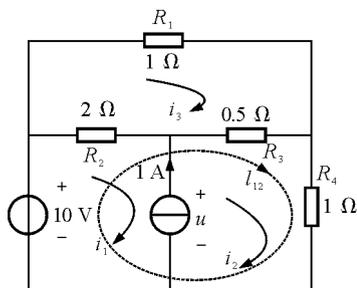


图 3 将电流 i_1 和 i_2 所在回路合并

也可以直接对复合回路 l_{12} 列写 KVL 方程, 有

$$-10 \text{ V} + R_2(i_1 - i_3) + R_3(i_2 - i_3) + R_4 i_2 = 0$$

联合回路 3 及补充方程, 可以得到方程组

$$\begin{cases} -10 \text{ V} + R_2(i_1 - i_3) + R_3(i_2 - i_3) + R_4 i_2 = 0 \\ R_3(i_2 - i_3) + R_4 i_2 = 0 \\ (R_1 + R_3 + R_2) i_3 - R_2 i_1 - R_3 i_2 = 0 \\ -i_1 + i_2 = 1 \text{ A} \end{cases} \quad (4)$$

可以看出, 式(4) 与式(2) 是一样的. 因此对于含有纯电流源支路的电路, 我们可以选择网孔电流作为一组独立的回路电流列写回路电流方程, 在求解方程的时候, 将含有独立电流源支路的两个回路合并, 约掉其端电压, 然后求解方程. 也可以在列写方程的时候选择避开单独的电流源支路, 直接列写复合回路 l_{12} 的方程, 避免了引入无伴电流源的电压量.

2 含纯电压源支路电路的节点法

电路中如果只含有一条无伴电压源支路, 节点

法一般选择无伴电压源的负极作为参考节点, 但是如果电路中含有两条无伴电压源支路, 例如图 4 所示电路, 一般是把无伴电压源支路的电流作为一个电路变量.

按照图中所选的参考节点, 并假设 30 V 电压源所在支路的电流为 I , 可以列写电路的节点电压方程为

$$\begin{cases} u_1 = 50 \text{ V} \\ \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) u_2 - \frac{1}{R_1} u_3 - \frac{1}{R_2} u_4 = 7 \text{ A} \\ \frac{1}{R_1} u_3 - \frac{1}{R_1} u_2 = 1 \text{ A} - I \\ \left(\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_2}\right) u_4 - \frac{1}{R_2} u_2 - \frac{1}{R_4} u_1 = I \\ u_4 - u_3 = 30 \text{ V} \end{cases} \quad (5)$$

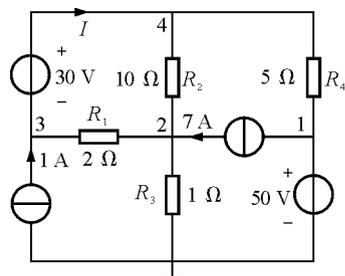


图 4 含两条无伴电压源支路的电路

观察上面的方程组可以发现, 只有第 3 和第 4 式含有变量 I , 将这两个方程合并, 就可以约掉变量 I , 得到

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_1} u_3 - \frac{1}{R_1} u_2 + \left(\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_2}\right) u_4 - \\ \frac{1}{R_2} u_2 - \frac{1}{R_4} u_1 = 1 \text{ A} \end{aligned} \quad (6)$$

即

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_1} u_3 + \left(\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_2}\right) u_4 - \\ \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) u_2 - \frac{1}{R_4} u_1 = 1 \text{ A} \end{aligned} \quad (7)$$

上式即为包含节点 3 和节点 4 的广义节点 A 的节点电压方程, 如图 5 所示.

对于广义节点 A, 流出其节点的电流分别为 i_{41}, i_{42}, i_{32} , 流入广义节点 A 的电流为 1 A, 并且有

$$i_{41} = \frac{u_4 - u_1}{R_4}$$

$$i_{42} = \frac{u_4 - u_2}{R_2}$$

$$i_{32} = \frac{u_3 - u_2}{R_1}$$

根据 KCL, 对于广义节点 A 有

$$i_{41} + i_{42} + i_{32} = 1 \text{ A}$$

即

$$\frac{u_4 - u_1}{R_4} + \frac{u_4 - u_2}{R_2} + \frac{u_3 - u_2}{R_1} = 1$$

经过整理即为式(7).

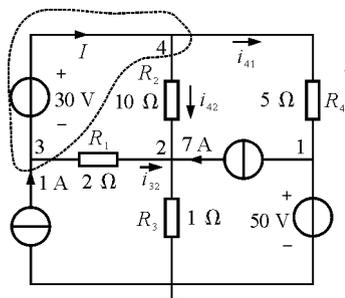


图5 广义节点 A

另外, 对于广义节点 A, 其包含的两个节点的节点电压也可以用 u_3 和 $u_3 + 30 \text{ V}$ 表示, 则流出的电流分别为

$$i_{41} = \frac{u_3 + 30 \text{ V} - u_1}{R_4}$$

$$i_{42} = \frac{u_3 + 30 \text{ V} - u_2}{R_2}$$

$$i_{32} = \frac{u_3 - u_2}{R_1}$$

流入的电流为 1 A. 根据 KCL, 对于广义节点 A 有

$$i_{41} + i_{42} + i_{32} = 1 \text{ A}$$

$$\frac{u_3 + 30 \text{ V} - u_1}{R_4} + \frac{u_3 + 30 \text{ V} - u_2}{R_2} + \frac{u_3 - u_2}{R_1} = 1$$

再联合节点 1 和节点 2. 电路的节点电压方程组为

$$\begin{cases} u_1 = 50 \text{ V} \\ \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)u_2 - \frac{1}{R_1}u_3 - \\ \frac{1}{R_2}(u_3 + 30 \text{ V}) = 7 \text{ A} \\ \frac{u_3 + 30 \text{ V} - u_1}{R_4} + \frac{u_3 + 30 \text{ V} - u_2}{R_2} + \\ \frac{u_3 - u_2}{R_1} = 1 \text{ A} \end{cases} \quad (8)$$

上面的方程组只含有 3 个未知数, 消去或者在列写方程的时候直接避免了引入无伴电压源的电流.

对于含有两条纯电压源支路的电路, 我们可以选择其中一条纯电压源支路电压源的负极作为参考节点列写节点电压方程, 在求解方程的时候, 将连接有独立电压源支路的两个节点合并, 约掉其支路电流, 然后求解方程. 或者在列写方程的时候选择包含独立电压源支路的整个复合节点来列写方程.

3 结论

回路法和节点法都是电路中的重要分析方法, 对于含有无伴电流源支路的电路, 回路法可以假定无伴电流源的电压, 列写网孔方程, 或者合并无伴电流源所在的两个回路列写复合回路方程, 或者在选择独立回路时只选择无伴电流源所在回路中的一个, 避开假设其电压.

对于含有 2 个以上无伴电压源支路的电路, 节点法采取的是假定纯电压源支路的电流并将其作为一个电路变量, 或者将无伴电压源支路两端的节点合并为一个复合节点直接列写节点电压方程.

本文较为系统地分析了含有无伴电流源电路的回路电流法和含有 2 个以上无伴电压源支路的节点电压法, 每种方法都有其优缺点, 可以根据不同的情况灵活选择.

参考文献

- 1 邱关源. 电路(第5版). 北京: 高等教育出版社, 2006. 60 ~ 75
- 2 单朝龙, 王向军, 嵇斗, 等. 电路(第2版). 北京: 高等教育出版社, 2014. 75 ~ 81
- 3 James W, Nilsson Susan A. Riedel. 电路(影印版第6版). 北京: 科学出版社, 2003. 120 ~ 124
- 4 王敏, 周树道, 马宁. 节点电压法与网孔电流法的关系与教学设计. 大学教育, 2015(4): 170 ~ 171

