

网孔分析和节点分析的教学方法探讨

金 波

摘要: 本文讲解网孔分析和节点分析时,传统的方法是采用自电阻、互电阻和自电导、互电导的公式化方法。这种列方程的方法学生入门难、容易忘、解决特殊问题时技巧性强。新的教学方法采用最原始的方法即基尔霍夫定律,对特殊问题的处理采用“超网孔”和“超节点”方法,通过教学实践收到了很好的教学效果。

关键词: 电路分析;网孔分析;节点分析;教学方法

作者简介: 金波(1955-),男,湖北荆州人,长江大学电子信息学院,副教授,主要研究方向:电路理论、信息与信号处理。(湖北荆州 434023)

基金项目: 本文系湖北省教学研究项目(编号:20060251)的成果。

一、目前教学方法存在的问题

电路分析中的“网孔分析法”和“节点分析法”是电路分析的主要基本分析方法之一。因此,“网孔分析法”和“节点分析法”是电路课程教学的重点和难点。

目前国内的主要教材中,在叙述“网孔分析法”和“节点分析法”列写电路方程时都采用公式化的直观方法列写电路方程,即用自电阻、互电阻的方法列写网孔方程;用自电导、互电导的方法列写节点方程。因此,在历年的教学中,都是采用这种教学方法讲解网孔方程和节点方程的形成。它的优点是能快速、准确地列写电路方程。

在经历了多年的电路教学之后,现在越来越发现这种教学方法有一些问题。其一,由于这种列写电路方程的方法强调技巧性,所以初学者入门较难。其二,由于是一种公式化的直观列写方法,而忽略了列写方程的基本定律 KCL 和 KVL,所以学后容易忘记。对大三学生所做调查显示,很多学生忘记了这种方法。其三,若电路中含有理想电流源支路列写网孔方程(如图 2 所示电路)和含有理想电压源支路列写节点方程(如图 4 所示电路),用此方法来对这类特殊问题的处理比较困难。其四,对有些特殊问题的解释比较麻烦,如图 3 所示电路中与电流源串联的 1Ω 电阻为什么不能计算在自电导中?

但目前几本国外教材在叙述“网孔分析法”和“节点分析法”列写电路方程时基本不采用这种公式化的直观方法列写方程的方法,而采用原始的基尔霍夫定律。对含有理想电流源支路的网孔方程和含有理想电压源支路的节点方程的特殊问题,采用“超网孔”和“超节点”的方法。这种教学方法还原了“网孔分析法”和“节点分析法”的本来面目。

二、网孔分析的新教学法

对于一般电阻性电路,列写网孔方程时直接应用 KVL,不必在电路中找到自电阻、互电阻等参数,减少列方法的技巧性。这样入门容易,并且不容易忘记。

例 1: 电路如图 1 所示,求电路中的电流。

解: 对网孔 1 应用 KVL,有 $-24+10(I_1-I_2)+12(I_1-I_3)=0$

对网孔 2,有 $24I_2+4(I_2-I_3)+10(I_2-I_1)=0$

对网孔 3,有 $4I_0+12$

$(I_3-I_1)+4(I_3-I_2)=0$

用网孔电流表示控制

量: $I_0=I_1-I_2$, 上式变为:

$4(I_1-I_2)+12(I_3-I_1)$

$+4(I_3-I_2)=0$

化简以上等式,有:

$\begin{cases} 11I_1-5I_2-6I_3=12 \\ -5I_1+19I_2-2I_3=0 \\ -I_1-I_2+2I_3=0 \end{cases}$

联立求解上式可解得 $I_1=2.25\text{A}$, $I_2=0.75\text{A}$, $I_3=1.5\text{A}$

于是, $I_0=I_1-I_2=1.5\text{A}$

对于特殊问题,即电路中含有理想电流源支路,应用 KVL 列写网孔方程就会有问题。因为电流源两端的电压是不定的,即它的端电压要由外电路决定。因此,用 KVL 列写沿网孔的电压方程就行不通了。

解决的方法是“超网孔”分析法。用含有公共电流源的两个网孔来构造一个“超网孔”,该电流源位于超网孔的内部,这样存在电流源的地方就减少了一个网孔。如果电流源位于电路的边界,那么它所在的网孔就不必列方程,因为网孔电流就是电流源的电流。于是这样处理后,可以对电路中的网孔或超网孔应用 KVL 列方程。

例 2: 求图 2

所示电路中各独立

电源的功率。

解: 用网孔分

析法,有一个超网孔如虚线所示。对超网孔,应用 KVL:

$20(I_a-10)-10+10I_b+10-5U_5=0$

又有 $I_b-I_a=5I_2$

受控源控制量有 $I_2=10-I_a$, $U_5=10I_b+10$

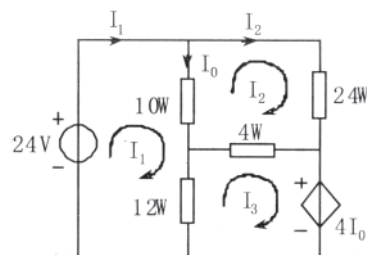


图 1 例 1 的电路

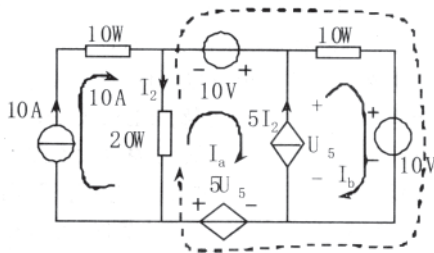


图 2 例 2 的电路

解得 $I_2 = -2.5\text{A}$, $I_a = 12.5\text{A}$, $I_b = 0\text{A}$, $U_5 = 10\text{V}$,

各独立源的功率为:

$$P_{10V} = -10(100 - 20 \times 2.5) = -500\text{W}; P_{10V} = -10 \times 12.5 = -125\text{W}; P_{10V} = 10 \times 0 = 0\text{W}$$

从以上两例可知, 这种教学方法初学者容易接收, 由于是采用原始的 KVL 列写方程, 学生也不会忘记。

三、节点分析的新教学法

对于一般电阻性电路, 列写节点方程时直接应用 KCL, 不必在电路中找到自电导、互电导等参数, 减少列方程的技巧性。

例 3: 电路如图 3 所示,

求节点电压 U_1 、 U_2 和 U_3 。

解: 设参考节点和节点电压如图 3 所示。

对节点 1, 应用 KCL, 有:

$$3 = \frac{U_1 - U_2}{2} + \frac{U_1 - U_3}{4}$$

用 4 乘上式两边, 合并

有 $3U_1 - 2U_2 - U_3 = 12$

对节点 2, 应用 KCL, 有:

$$\frac{U_1 - U_2}{2} + \frac{U_3 - U_2}{4} = \frac{U_2}{4}$$

用 8 乘上式两边, 合并有:

$$-4U_1 + 7U_2 - U_3 = 0$$

对节点 3, 应用 KCL, 有:

$$\frac{U_1 - U_3}{4} + \frac{U_2 - U_3}{8} = 2I_x$$

控制量与节点电压的关系为: $I_x = \frac{U_1 - U_2}{2}$, 用 8 乘上式两边, 合并有:

$$-6U_1 + 9U_2 - 3U_3 = 0$$

联立求解式 (1)、(2)、(3), 可得节点电压为:

$$U_1 = 4.8\text{V}, U_2 = 2.4\text{V}, U_3 = -2.4\text{V}.$$

如果电路中含有理想电压源支路, 应用 KCL 列写节点方程就会有困难。因为流过电压源的电流是不定的, 即它的端电流要由外电路决定。因此, 用 KCL 列写节点的电流方程就行不通了。

解决的方法是“超节点”分析法。用含有公共电压源的两个节点来构造一个“超节点”, 该电压源位于超节点的内部, 这样存在电压源的地方就减少了一个节点。如果电压源与电路的参考点连接, 那么它所在的节点就不必列方程, 因为节点电压就是电压源的电压。于是这样处理后, 可以对电路中的节点或超节点应用 KCL 列方程。

例 4: 求图 4 所示电路中电压 U_1 、 U_2 。其中电阻的单位为 Ω 。

解: 设参考节点如图 4 所示。

图中有一个节点和一个超节点。

对节点 U_2 : 列 KCL 方程

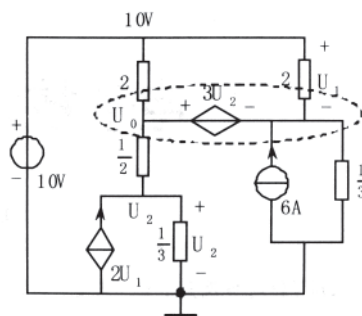


图 4 例 4 的电路

$$2(U_0 - 2U_2) + 2U_1 = 3U_2$$

对超节点, 列 KCL 方程:

$$\frac{10 - U_0}{2} + \frac{U_1}{2} + 6 = 2(U_0 - U_2) + 3(10 - U_1)$$

对超节点的受控电压源: $10 - U_0 = U_1 - 3U_2$

$$\text{解得 } U_1 = -11\text{V}, U_2 = -20\text{V}$$

从以上二例可知, 这种教学方法初学者容易接受, 由于是采用原始的 KCL 列写方程, 时间长了也不会忘记, 并且能解决较复杂的电路分析问题。

四、结束语

以往在讲解网孔法和节点法时, 采用自电阻、互电阻和自电导、互电导的公式化方法。这种列方程的方法学生学习入门难、容易忘、解决特殊问题时技巧性强。新的教学方法采用最原始的方法即基尔霍夫定律即可, 对特殊问题的处理采用国外教材流行的“超网孔”和“超节点”方法。这样还原了“网孔法”和“节点法”的原貌, 把学生的注意力集中到怎样应用 KVL 和 KCL 列写方程, 而不是找电路中的自电阻、互电阻和自电导和互电导。这样有利于对“网孔法”和“节点法”的教学。通过对两届学生的教学实践证明, 学生可以较快掌握“网孔分析法”和“节点分析法”, 并对特殊问题的处理也比原来容易多了, 从而节省了教学时间, 收到了很好的教学效果。笔者已将这种教学方式写进了新编著的教材之中, 而将公式化的直观方法只作为参考资料列入选学内容。

参考文献:

- [1] Robert L. Boylestad, Introductory Circuit Analysis(9th Edition 影印版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [2] Jams W. Nilsson, Susan A. Riedel. 电路(第七版)[M]. 周玉坤, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [3] William H. Hayt, Jr., Jack E. Kemmerly, Steven M. Durbin. 工程电路分析(第六版)[M]. 王大鹏, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [4] 李瀚荪. 电路分析基础(第四版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [5] 邱关源. 电路(第四版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [6] 金波. 电路分析基础[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2008.

(责任编辑: 张中)