

不含独立源的入端电阻求解方法探讨

王伟刚¹ 涂真珍²

(1. 南京邮电大学 电子与光学工程学院, 江苏 南京 210023;

2. 南京邮电大学 材料科学与工程学院, 江苏 南京 210023)

摘要: 只含有电阻或受控源, 不含独立源的一端网络, 要求解其内部的等效电阻, 分为纯电阻电路和含受控源电路两类情况. 对于纯电阻电路, 本文提出了“打点找路”法求解; 对于含受控源电路, 可分别用外接激励法和内接激励法求解. 外接激励法有经典的“加压求流”法和“加流求压”法; 对于内接激励法, 提出了“开路短路”法这一新方法.

关键词: 打点找路法; 外接激励法; 内接激励法

中图分类号: O 441.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0712(2018) 04-0011-05

【DOI】10.16854/j.cnki.1000-0712.170415

单端口网络具有两个方面的含义, 一方面是指该网络只具有一个端口, 另一方面是指该网络虽然存在多于一个端口, 但只关注其中一个端口性能的情况. 对于不含独立源的入端电阻求解, 一般分为纯电阻电路和含受控源的电路两大类进行.

纯电阻电路的情况比较简单, 一种简单的纯电阻电路如图 1 所示.

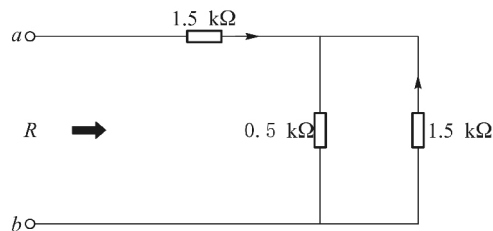


图 1 简单的纯电阻电路图

图 1 中只包含了一个 $0.5\text{ k}\Omega$ 的电阻串联上两个并联的 $1.5\text{ k}\Omega$ 电阻电路, 该电路的等效电阻就是 a 、 b 端的入端电阻.

另一类是含有受控源的情况, 含受控源电路如图 2 所示.

根据以往的教学经验, 设计了两种新的方案, 一种是受到网络中任意节点间等效电阻求解的启发^[1-2], 提出了基于纯电阻电路的“打点找路”法; 另外一种是对经典的“短路法”^[3]和“断路法”^[4]进行了改进, 提出了含有受控源网络情况下内加激励法的“开路短路”法. 张克东在文献[5]中对含受控源

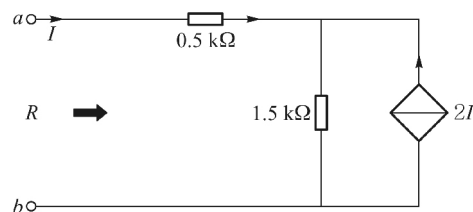


图 2 含受控源电路图

电路作等效变换时, 发现既可以将受控源当作电源, 也可将受控源当作负载. 于春晓等人在文献[6]中结合实例, 比较完整地讨论了含受控源电路的分析方法, 包括基本分析方法、受控源的等效变换法及受控源控制量的等效变换法在教学中的应用等. 何迪在文献[7]中用特勒根似功率定理有效简化了两个含有相同纯电阻电路网络, 并进行了分析. 张建林在文献[8]中系统讨论了求非含源电阻电路等效电阻值的电流法、等电位法、 Δ -Y 代换法、代数法等 4 种基本求解方法. 文献[9]中用结点电压法分析了含受控源电路的问题. 贺小光等人在文献[10]中提出将受控源受控支路用等效电阻替代的分析方法, 从而说明了其普遍适用性和简便性. 文献[11]中作者高朝等人结合实例系统分析了根据受控源的不同处理方法, 包括将受控源作为电源元件处理、将受控源作为电阻元件处理, 以及受控源控制量转移的等效变换方法. 这些论文中, 有些方法过于繁杂, 理解起来比较困难, 有些在实际解题中, 学生不能很好地运用,

收稿日期: 2017-07-12; 修回日期: 2017-10-12.

基金项目: 南京邮电大学科研项目(NY215164)、南京邮电大学教改项目(JG03316JX68)、江苏高校品牌专业建设工程项目(TAPP) 资助

作者简介: 王伟刚(1975—), 男, 汉族, 江西安福人, 南京邮电大学, 博士, 副教授, 研究方向为电子与无线通信技术.

本文在结合当前已有的基础上,针对纯电阻电路提出“打点找路”法,对含受控源的内接激励的情况,提出“开路短路”法。

1 纯电阻电路

在纯电阻电路中,本文提出的方法是“打点找路”法。所谓“打点”,是指在原电路图中,包括两个端子在内,给所有节点标上字母,对于等电位点,都标上同一字母;接下来在准备重画的新图空白处打点,两端子放在分开的位置并留出足够的空白,中间节点按顺序标上对应的字母。“找路”指的是从其中一个端子出发,找出其与下个节点之间的所有电阻,在新图上画出相应的电阻;依此法按顺序进行,直至另一端子终点,并将原图中所有电阻处理完。

根据上面所述的方法,可作出相应的等效电路图,如图 3 为待求的电路原图。

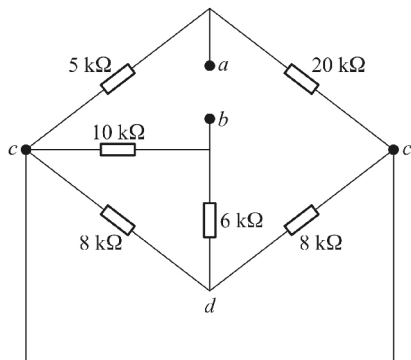


图 3 纯电阻电路原图

在图 3 中把 a 端子作为始端, b 端子作为终端, 两个 c 节点是等电位端, 记作同一字母“ c ”, 可以看出, 从 a 端到 c 节点有两个电阻分别为 $5\text{ k}\Omega$ 和 $20\text{ k}\Omega$, 从 c 节点到 d 节点, 有阻值同样为 $8\text{ k}\Omega$ 的电阻, d 节点到 b 端有一个阻值为 $6\text{ k}\Omega$ 的电阻, 从 c 节点到 b 端, 还有一个 $10\text{ k}\Omega$ 的电阻, 逐个将全部的电阻处理完, 最终可以画出等效电路如图 4 所示。

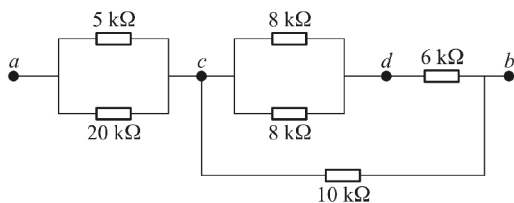


图 4 纯电阻电路新图

由图 4 可知, 其电阻之间的情况是简单明了的串、并联关系, 很容易得到:

$$R_{ab} = (5//20) + [(8//8) + 6] // 10 = 9(\text{k}\Omega) \quad (1)$$

通过“打点找路”法得到的新电路图, 具有节点少、求等效电阻方法简单等特点。接下来用仿真对本例题作进一步的说明, 本文用 multisim 10.0 软件对电路进行仿真, 其仿真电路如图 5 所示。

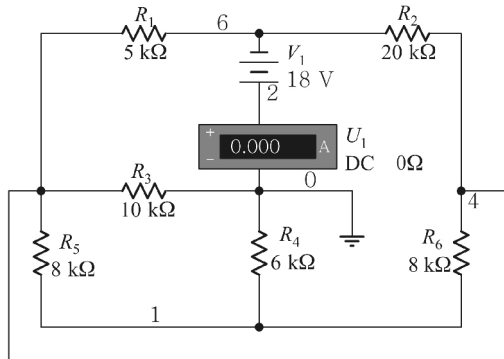


图 5 纯电阻电路仿真图

点击仿真按钮, 显示结果如图 6 所示:

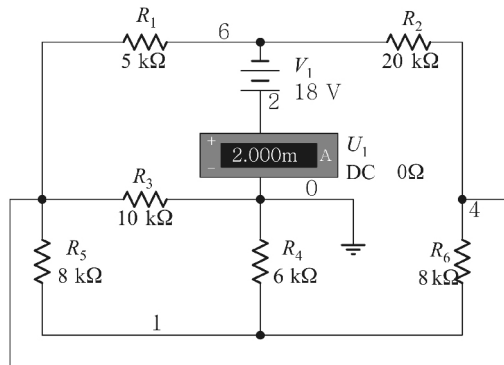


图 6 纯电阻电路仿真结果

由图 6 可见, 当外加电压源为 18 V 时, 端口测得的电流值为 2 mA , 因此电阻的值 $R = 18\text{ V} / 2\text{ mA} = 9\text{ k}\Omega$, 仿真结果验证了“打点找路”法的正确性。

2 含受控源电路

对于含受控源电路, 不能再利用简单的串并联方法求解, 而需要采用加激励的方法求解, 具体可分为外加激励法和内加激励法。

2.1 外加激励法

外加激励法是指含有受控源的网络在端口处添加电压源或电流源, 求得相应的端口电流值或电压值, 从而计算出端口的等效电阻。

外加激励法可以采用“加压求流”法或“加流求压”法来计算, “加压求流”法的示例图由图 7 表示。

假设 a 、 b 端所加电压为 U , 由图 7 可知两端的电压 U 表示为

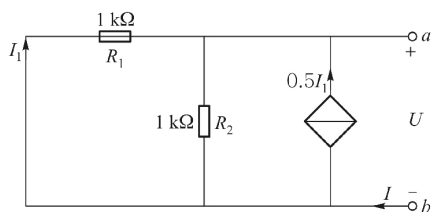


图7 “加压求流”法示例图

$$U = R_1 I_1 \quad (2)$$

电路的总电流 I 为

$$I = I_1 + I_1 + 0.5I_1 \quad (3)$$

两端的等效电阻为

$$R = \frac{U}{I} = \frac{1\,000I_1}{2.5I_1} = 400\,(\Omega) \quad (4)$$

可知加压求流法求得的电阻为 $400\,\Omega$, 它可以通过实际电路验证, 下面用 multisim 对电路进行仿真, 采用如图8所示的电路图.

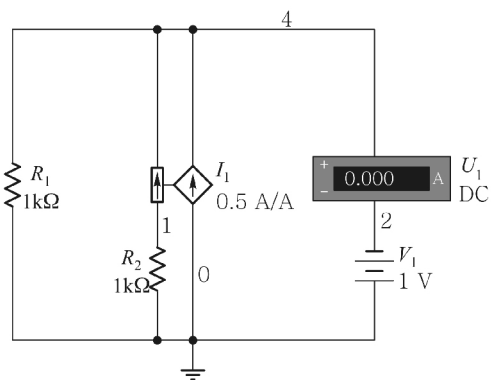


图8 “加压求流”法仿真电路图

点击仿真按钮, 显示出的结果为图9所示.

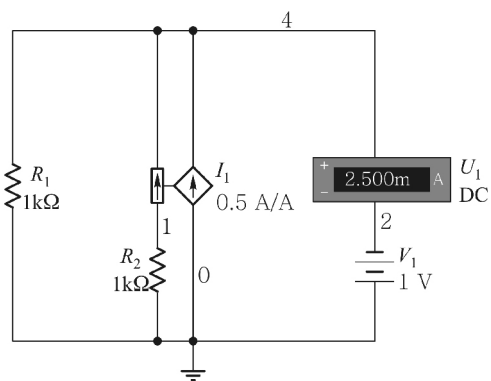


图9 “加压求流”法仿真电路结果

通过仿真可以看出, 当外加电压源为 $1\,\text{V}$ 时, 端口测得的电流值为 $2.5\,\text{mA}$, 因此电阻的值为 $R = 1\,\text{V} / 2.5\,\text{mA} = 0.4\,\text{k}\Omega$, 验证了“加压求流”法的正确性.

另外, “加流求压”法也可以进行求解, 其示例图如图10所示.

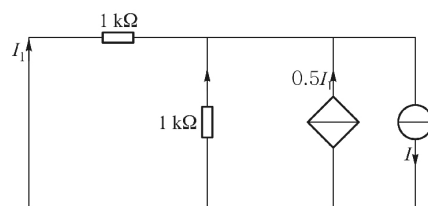


图10 “加流求压”法示例图

电流源两端的电压为

$$U = R_1 I_1 \quad (5)$$

电流为

$$I = I_1 + I_1 + 0.5I_1 = 2.5I_1 \quad (6)$$

等效电阻为

$$R = \frac{U}{I} = \frac{1\,000I_1}{2.5I_1} = 400\,(\Omega) \quad (7)$$

可知, 用“加流求压”法求出来的电阻也是 $400\,\Omega$. 上述的方法同样可以通过实际电路验证, 用 multisim 对电路进行仿真, 本文采用的电路图如图11所示.

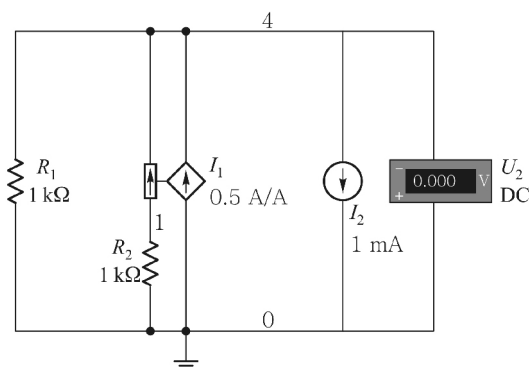


图11 “加流求压”法仿真电路图

点击仿真按钮后, 显示出的结果为图12所示.

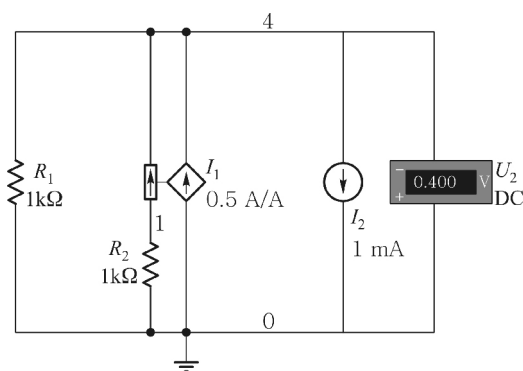


图12 “加流求压”法仿真电路结果

通过仿真可以看出,当外加电流源为 1 mA 时,端口测得的电流值为 0.4 V,因此电阻的值为 $R = 0.4 \text{ V} / 1 \text{ mA} = 0.4 \text{ k}\Omega$,与“加压求流”法所得结果一致,即也验证了“加流求压”法的正确性。

2.2 内加激励法

内加激励法是指含受控源的网络在其内部添加电压源或电流源,端口处分别求解开路电压与短路电流,从而计算出端口的等效电阻。

内加激励法采用的是“开路短路”法。在图 7 上添加电压源激励,如图 13 所示,设电压源 U_s 串联在电阻上,求解开路电压 U_{oc} 。

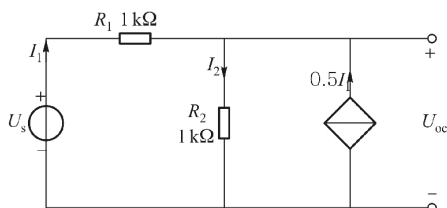


图 13 开路电压图

首先,电压源电压可表示为

$$U_s = R_1 I_1 + R_2 I_2 \quad (8)$$

R_2 支路上流过的电流 I_2 可表示为

$$I_2 = 1.5 I_1 \quad (9)$$

此时开路电压可表示为

$$U_{oc} = 1000 I_2 \quad (10)$$

三式联立可得 $U_{oc} = 0.6 U_s$ 。第二步求短路电流 I_{sc} ,将右边端口用短路线连接,则 R_2 电阻被短路,该支路无电流通过,如图 14 所示。

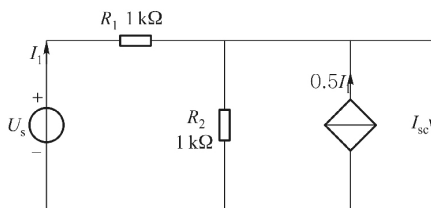


图 14 短路电流图

则短路电流 I_{sc} 为

$$I_{sc} = \frac{U_s}{R_1} + 0.5 \frac{U_s}{R_1} \quad (11)$$

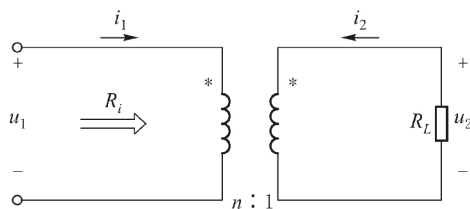
因此,其等效电阻为

$$R = \frac{U_{oc}}{I_{sc}} = \frac{0.6 U_s}{1.5 U_s / R_1} = 0.4 \text{ (k}\Omega) \quad (12)$$

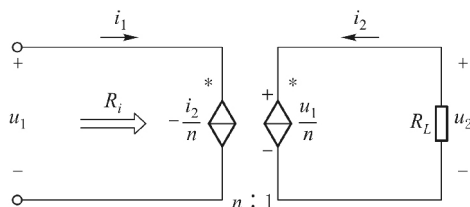
该方法所求结果与前面结果一致,所以“开路短路”法可适用于内加激励法求解等效电阻。

3 理想变压器应用

不含独立源等效电路的入端电阻的求解能应用在很多工程实例方面,铁心变压器的电气特性可抽象出理想变压器的一种理想电路元件。比如变压器作电阻变换时,可用受控源等效并进行求解。其变换广泛运用在理想变压器中。理想变压器中,两端口电压成正比,它是没有功率损耗的一种互易无源二端口网络。理想变压器的电路如图 15(a) 所示,其等效电路如图 15(b) 所示。



(a) 理想变压器电路图



(b) 理想变压器等效电路

图 15 理想变压器电路

经过变换后,变压器的等效电阻为

$$R_i = \frac{u_1}{i_1} = \frac{nu_2}{-\frac{1}{n}i_2} = n^2 \frac{u_2}{-i_2} = n^2 R_L \quad (13)$$

由此可见,含理想变压器的问题可转换为含受控源的等效电路来求解,含受控源的电路关系简洁,等效电阻易于求得,可利用这类方法分析工程实际问题。

4 总结

在不含独立源的电路中,其电路模型可分为纯电阻电路和含有受控源的电路。对于纯电阻电路,本文提出了“打点找路”法,它能有效地解决此类问题;对于含有受控源的电路采用的是外加激励法和内加激励法。其中,外加激励法包括“加压求流”法和“加流求压”法,对于内加激励法,本文提出了“开路短路”法,该方法别出心裁地从内部加载电源,与外加激励法有异曲同工之妙。

参考文献:

- [1] 汤华, 谭志中. n 阶网络任意节点的等效电阻的研究[J]. 大学物理, 2012, 31(11): 18-22.
- [2] 周蓓, 谭志中. n 阶网络任意 2 节点间的等效电阻公式[J]. 大学物理, 2017, 36(03): 20-24.
- [3] P. P. Ong 陈敏华. 用短路法求网络的电阻[J]. 大学物理, 1985, (10): 41-43.
- [4] 刘绍清. 断路法求网络电阻[J]. 大学物理, 1987, (11): 49-50.
- [5] 张克东. 电路分析中对受控源处理方法的探讨[J]. 黑龙江科技信息, 2008, (35): 55.
- [6] 于春晓, 李艳英. 电路教学中含受控源电路的分析方法探讨[J]. 中国科技信息, 2009, (19): 276-277.
- [7] 何迪. 特勒根似功率定理在求解含有纯电阻电路网络中的应用[J]. 教育教学论坛, 2012, (26): 104-105.
- [8] 张建立. 纯电阻电路等效电阻值求解研究[J]. 武汉科技学院学报, 2000, (03): 37-41.
- [9] 霍龙, 荆澜涛, 于佳, 等. 含有受控源的改进结点电压方程[J]. 沈阳师范大学学报(自然科学版), 2016, (04): 459-463.
- [10] 贺小光, 梁立凯. 含受控源电路的等效电阻替代法[J]. 长春师范学院学报, 2005, (02): 34-35.
- [11] 高朝, 崔乃忠. 含受控源电路的处理方法[J]. 唐山师范学院学报, 2014, (05): 37-39.

Study of the input resistance in the circuit without independent source

WANG Wei-gang¹, TU Zhen-zhen²

(1. College of Electronic and Optical Engineer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, Jiangsu 210023, China;

2. College of Material Engineer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, Jiangsu 210023, China)

Abstract: The one port network which only contains resistors or controlled sources, not including independent source, can be divided into pure resistors circuit and controlled sources circuits. As to pure resistors circuit, we propose a method of “searching roads by marking points”. As to the circuit with controlled sources, it can be resolved by the external excitation method and internal excitation method. External excitation method includes the traditional method of “calculating current by inputting voltage” and “calculating voltage by inputting current”. As to internal excitation method, we also propose a new method named “open-short”.

Key words: searching roads by marking points; external excitation method; internal excitation method

(上接 10 页)

Derivation of reflection wave, transmission wave and half wave loss of mechanical waves

DING Gui-jun

(School of Physical Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230026, China)

Abstract: We have derived the expressions of reflection wave and transmission wave when a mechanical wave reaches perpendicularly an interface of two media. It is shown that half wave loss appears when a mechanical wave propagates from sparse medium to dense medium. Our analyses are helpful to understand the key concepts and physical laws of the interfacial behavior of mechanical waves.

Key words: reflection wave; transmission wave; half wave loss; mechanical wave interface behavior