



厦门大学

信息与通信工程系

电子线路I

第一讲——电路原理知识回顾

厦门大学朋辈导师辅导计划

2024 年 10 月 14 日

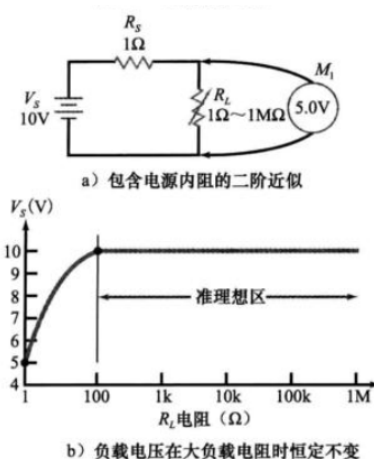
想要学好电路相关课程，需要我们在脑海中有近似、等效和整体三种观念。

1 近似

我们考虑一段导线，它具有一定的电阻、电感和电容（但往往都很小），我们可以在计算电路特性时考虑上述三种特性，以期得到一个十分精确的结果。但这样往往会耗费很多的时间，且难以对复杂电路进行计算。于是人们根据工程需要，在一定的误差范围内对这样很小的特性进行忽略和近似，以简化分析过程。近似可以分为理想化近似、二阶近似和高阶近似三种。

1. 理想化近似。又称一阶近似，即一个器件最简单的等效电路。
2. 二阶近似。在一阶近似的基础上加入一个或多个元件以进行修正。例如一节电池我们可以近似为一个理想电压源和串联上一个电阻。
3. 高阶近似。高阶近似是指器件的等效电路中包含另一个元件。例如二极管、三极管的等效电路。

当然，不同的近似具有不同的适用范围，我们需要根据不同的电路进行具体考虑。考虑右图中的例子，当负载 $R_L < 100\Omega$ 时， R_L 两端不能看作是接在一个理想电压源中，但是如果 $R_L > 100\Omega$ 时， R_L 即可视为接在一个理想电压源两端。



2 等效

等效可以说是在某种特定情况下，对电路的精确近似，简化计算。

2.1 戴维南等效

2.1.1 概念

1. 戴维南电阻。负载电阻开路，且电路中所有电源置零时，在负载两端测得的电阻。注意：这里说的电源是指有源电源，受控电压源、电流源不属于有源元件，不需要置零。求解方法可有外加电流法和外加电压法。
2. 戴维南电压。负载开路时负载两端的电压。

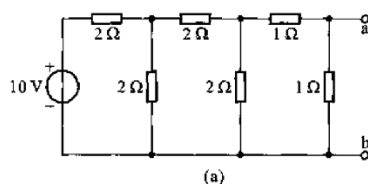
3. 定理内容：对于任意一个有源线性网络，设其戴维南电压为 V_{TH} ，戴维南电阻为 R_{TH} ，则其负载 R_L 上通过的电流为

$$I_L = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + R_L}$$

。

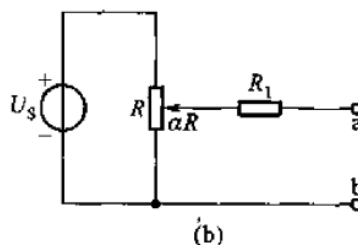
（注：电源置零的方法为电压源短路、电流源开路。）

2.1.2 例题计算



左图中，先计算开路电压， $V_{TH} = 10 * \frac{\frac{5}{6}}{2 + \frac{5}{6}} * \frac{1}{2} * \frac{1}{2} \approx 0.735V$ 。而戴维南电阻为 $R_{TH} = (((1 + 1) // 2) + 2) // (2 + 2) = 0.75\Omega$ 。即可得到戴维南等效电路。

右图中，开路电压 $V_{TH} = \frac{aRU_s}{R}$ ，戴维南电阻为 $R_{TH} = ((1 - a)R // aR) + R_1 = a(1 - a)R + R_1$ 。得戴维南等效电路。



2.2 诺顿等效电路

2.2.1 概念

1. 诺顿电阻。同戴维南电阻一样，负载开路时在负载两端测得的电阻。
2. 诺顿电流。负载短路时流经的电流。
3. 定理内容：对于任意一个有源线性网络，设其诺顿电流为 I_N ，诺顿电阻为 R_N ，则其负载 R_L 上的电压为为

$$V_L = I_N(R_N // R_L)$$

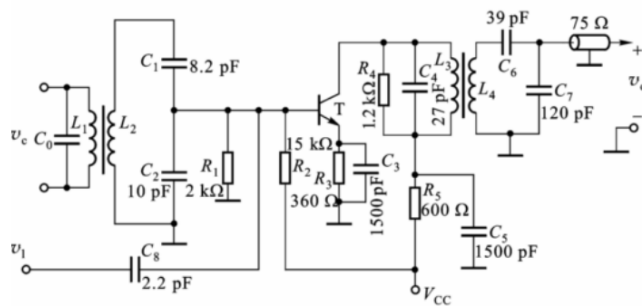
。

2.3 注

1. 戴维南等效的核心在于将有源线性网络看作是理想电压源串联电阻的形式，诺顿等效的核心在于将有源线性网络看成是理想电流源并联电阻的形式。二者对偶，可以相互转换，转换公式为 $I_N = \frac{V_{TH}}{R_{TH}}$ ， $V_{TH} = I_N R_N$ 。
2. 诺顿等效电路的计算和戴维南电路大致类似，掌握一种另一种不难解决，同学们不熟悉的话可以多加以练习。

3 整体

在电路学习过程中，我们有时需要关注某个元件具体的作用和计算，有时也需要我们从宏观上把握电路局部网络乃至整个电路的作用，以求获得更深入的理解。例如下图是一个实际的电视机（收音机）接收端的混频电路（所谓混频可以简单理解为是将信号之间做乘法运算以产生新的频率分量）。如果过分追求局部零件的作用，整个电路看起来会十分晦涩难懂。但如果分区域进行整体理解，整个电路会非常好理解，首先 v_c 端是本地载波（就是一个信号）输入端，电感和电容起到输入耦合和滤波的作用， v_i 端是输入信号口。中间的三极管网络主要起到的就是混频作用，右上部分的电感电容网络起到输出耦合和滤波的作用。这样一来，整个电路可以划分为三个整体，各个整体的作用显而易见，整个电路的功能也因此而确定。这样的整体理解思想在后面的学习中非常有用，希望同学们可以掌握。



4 基尔霍夫定律以及相关电路计算方法

4.1 基尔霍夫定律

基尔霍夫电流定律（Kirchhoff Current Law, KCL）指出，在集总电路中，任何时刻，对任一结点，所有流出结点的支路电流的代数和恒等于零。

基尔霍夫电压定律（Kirchhoff Current Law, KVL）指出，在集总电路中，任何时刻，沿任一回路，所有支路电压的代数和恒等于零。

从直观上理解，可以将电路比作水管，流入水管的水和流出水管的水是一致的（但实际上这个水管可能有多个输入管口和输出管口），不可能说水管会凭空产生多的水，这即是KCL。而KVL则可以比作人去爬山，从山脚出发沿一条路走到山顶（升压），下山时走了另一条路形成闭环（降压），在这个过程中海拔提升和下降的数值是一样的（电压升和电压降是一样的）。

4.2 电路计算方法

常用的电路计算方法包括回路电流法和结点电压法。

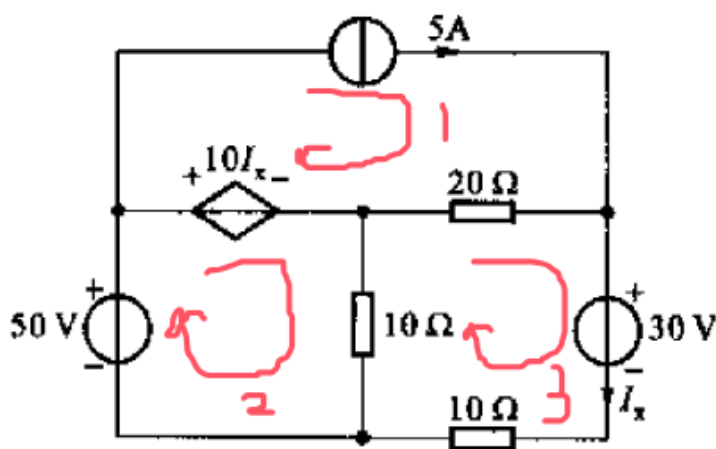
相比于网孔电流法，回路电流法更加灵活和方便，并且适用于立体电路。对于一个含有 b 个支路， n 个结点的电路，需要使用KVL列写的独立方程数为 $(b-n+1)$ 个。

而对于一个具有 n 个结点的电路，需要写出 $(n-1)$ 个独立结点的KCL方程。有一个结点需要用做参考节点，参考节点的选择也有一定的技巧，选择的好可以使计算简便。

4.3 例题

用一个例子来为大家说明这两种计算方法。

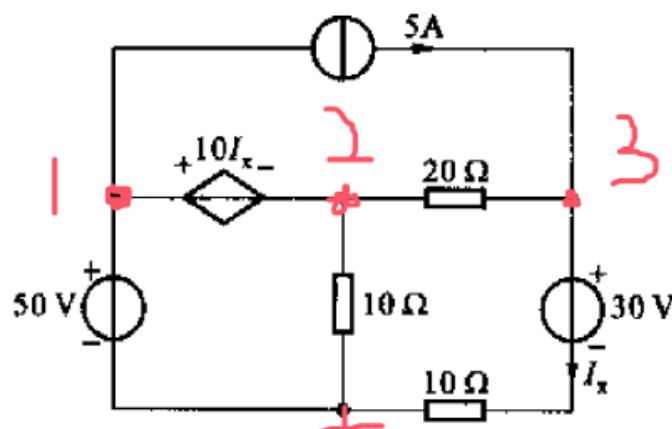
4.3.1 回路电流法



设回路1、2、3的回路电流分别为 i_1, i_2, i_3 ，对于回路一我们可以直接写出方程 $i_1 = 5(A)$ 。这说明了如果一个电流源仅属于一个独立回路，则该回路的电流就等于该电流源的值。对于回路二，列写方程 $-50 + 10I_x + 10i_2 - 10i_3 = 0$ 。与选定回路电流方向一致的电压为正，反之为负。如这里的50V电压源参考方向与回路电流方向相反为负，流控电压源为正，电阻只有压降则为正。同时我们需要考虑别的回路电流是否会对当前回路电流方程列写造成影响，如这里 10Ω 电阻有两个回路的电流流经，相当于有两个压降， i_2 产生的压降为正， i_3 产生的压降为负。对于回路3，列写方程为 $30 + 10i_3 + 10i_3 + 20i_3 - 10i_2 - 20i_1 = 0$ 。由于存在关系量 I_x ，需要补充方程为 $I_x = i_3$ 。故整个电路的回路电路方程组为：

$$\begin{cases} i_1 = 5 \\ -50 + 10I_x + 10i_2 - 10i_3 = 0 \\ 30 + 10i_3 + 10i_3 + 20i_3 - 10i_2 - 20i_1 = 0 \\ I_x = i_3 \end{cases}$$

4.3.2 结点电压法



选择最下方的结点为参考结点，设结点1、2、3的电压分别为 u_1 、 u_2 、 u_3 。由于参考结点和结点1之间存在独立电压源，则可以直接得到结点电压方程 $u_1 = 50(\text{V})$ 。对于结点2，由于结点2和结点1之间存在一个受控电压源，所以结点2的方程可以直接写为 $u_2 - u_1 = -10I_z$ 。对于结点3，设流入结点的电流为正，流出为负，列写KCL方程得 $5 + \frac{u_2 - u_3}{20} - I_z = 0$ 。补充关系量方程 $10I_z + 30 = u_3$ 。综上，整个电路的结点电压方程组为：

$$\begin{cases} u_1 = 50 \\ u_2 - u_1 = -10I_z \\ 5 + \frac{u_2 - u_3}{20} - I_z = 0 \\ 10I_z + 30 = u_3 \end{cases}$$

参考文献

- [1] 电子电路原理（原书第7版）. Albert Malvino, David J.Bates.
- [2] 电路（第五版）. 邱关源.
- [3] 《通信电路原理讲义》. 刘思聪老师