

数学辅导材料

(80—31号上)

中央广播电视大学教务处编印

1981年10月

电路分析基础辅导材料

李 瀚 荪

(北京工业学院 自动控制系)

第一章 欧姆定律和基尔霍夫定律

一、要点和基本要求

这一章的内容虽然大部分都在物理课中学过,但很重要,许多概念在以后的学习中经常起作用。要注意在物理课基础上的补充与发展。学习本章时,切勿认为这些内容都已学过而有所忽视。

(一) 要点

1. 参考方向(正方向) 即一般所谓的“假定方向”。

参考方向是电路理论的一个最基本的概念。分析电路首先要假定电路中各电流、电压的参考方向。参考方向是任意选定的,但一经选定,在列 KCL , KVL 方程时,即以此为准。另外,所有元件的 VIC 都是在一定的参考方向下得出的。

对《电路分析基础》(下简称《教材》)图 1-5 中给定的电流参考方向,如果通过计算或测量得到的电流为正值,则表明电流的实际方向与参考方向一致,亦即表明有正电荷流入 a 点并流出 b 点。

对《教材》图 1-5 中给定的电压参考极性(参考方向),如果电压为正值,则表明电压的真实、负极性与参考极性一致,亦即表明 a 点电位高于 b 点电位。

对某元件或某段电路来说,如果两端的电压与流过的电流参考方向一致,则电流与电压的乘积等于该元件或电路所吸收的功率,亦即,若功率为正值,表明确系消耗或吸收功率;反之,若功率为负值,表明产生或放出功率。

2. 电路元件 今后研究的电路都是实际电路的模型。模型由(理想)电路元件组成,各种电路元件都用规定的符号表示,绘成电路图,供我们分析、计算。

电路元件本身就是模型。实际部件可以用这种电路元件来近似模拟,有些部件只需用一种电路元件来模拟,有些则要用多个电路元件来模拟。

用来构成模型的电路元件只有少数的几种,即电阻、电容、电感、电压源、电流源、受控源以及耦合电感、理想变压器等。

本章学习两种元件——电阻元件与电压源元件

(1) 电阻元件

(a) 电阻元件的 VIC 为 $U = RI$ (1-4)

本式只能在电压、电流参考方向一致的前提下才能使用。电阻是耗能元件,消耗的功率为

$$P = UI = I^2 R = U^2 / R \quad (1-9) \quad (1-10)$$

(b) 在物理课中电阻的概念是由金属材料的性质引入的,由电阻丝制成的线绕电阻、电烙铁、白炽灯泡以及炭质电阻、金属膜电阻等都是典型的实际电阻元件。

在电路理论中电阻元件是一种抽象的模型,由数学来定义。其一般定义是:如果一个二端元件的电压与电流之间的关系是由 ui 平面(或 iu 平面)上的一条曲线,即伏安特性曲线来表明,则该元件称为电阻元件。这就是说,电阻元件电压与通过其中的电流的关系是代数的关系。

如果电阻元件的特性曲线是经过原点的直线(《教材》图 1-11), 亦即符合《教材》中公式(1-4)所示的欧姆定律表示式, 则称为线性电阻元件, 否则称为非线性电阻元件(《教材》图 1-12)。

炭质电阻、金属膜电阻、线绕电阻以及电烙铁等都可以用线性电阻元件作为它们的模型。白炽灯泡、二极管以及其它许多电子器件可以用非线性电阻元件作为它们的模型。所有的电阻元件都是无记忆的。

(2) 电压源元件

电压源也是一种理想元件。它的定义是: 如果一个二端元件接入任一电路后, 其两端总能保持规定的电压(譬如说, 总保持 6 V), 而不论流过它的电流是多少, 则此二端元件称为电压源。

电压源实际上不存在。但蓄电池、发电机等实际电源近似地可用电压源作为模型。实际电源也可以用电压源和电阻(常称为电源的内阻)相串联的模型来表征。

实际元件的模型是表明该元件端钮上电压、电流关系的, 并不涉及元件内部的情况。在实际元件中并不一定具有与其模型中各个元件相对应的部分。

在电路理论中常把电源的电动势与电源(电压源)的电压混用。一个在其两端能保持 6 V 电压的电源, 我们也可以说在其两端能保持 6 V 的电动势。

(3) 基尔霍夫定律—— KVL 和 KCL

这两定律与元件的性质无关, 不论是线性电路还是非线性电路, 它们都是适用的。

任何一个电路, 其中各个支路*电流都必须受 KCL 的约束; 其中各个支路电压都必须受 KVL 的约束。

把两个电压(即 U_s)不同的电压源并联是违背 KVL 的, 因而不能求出解答。所以, 在分析两个实际电源并联的问题时, 如果这两个电源的开路电压值(即 U_s)相等, 那末, 在它们的模型中必须含有与电压源 U_s 相串联的电阻元件, 即使这一阻值非常之小, 也不能忽略。

4. 两种约束

各种元件相互连接组成电路后, 其各个支路电流、支路电压将为两种形式的约束所支配, 其一是来自连接方式的约束, 即来自 KCL 及 KVL 的约束(与元件的性质无关); 另一是来自元件性质的约束, 即来自元件电压、电流关系的约束(与各元件间的连接方式无关)。这两种约束关系是我们分析各种电路的基本依据, 也是本课程的基本线索。

因此, KVL 、 KCL 以及电阻元件、电源的电压、电流关系是分析电阻性电路的基本依据。

[在电视第二讲(教师辅导课)中介绍本章的要点。]

(二) 基本要求

1. 掌握线性电阻元件的电压、电流关系式及消耗功率的计算公式。特别要注意前一关系式是在一定的电压、电流参考方向下得出的; 后一关系式算得的结果总是正值。

2. 掌握电压源元件的电压、电流关系, 并能计算电压源的功率。(什么情况下产生功率? 什么情况下消耗功率?)

3. 掌握 KCL 及 KVL 。要能正确确定这两个定律式子中各项的正、负号。

特别注意: 本章在例 1-1 中讨论了写出电路中任意两点间电压降表示式的一般方法, 接着在例 1-8 中讨论了写出一段含源电路电压降表示式的方法, 最后在 § 1-6 正文中及例 1-11 中

* 电路理论中认为每一元件即为一支路, 两条或两条以上支路的连接点称为节点。这一定义与物理课中的不同。

讨论了写出一个闭合电路中电压降表示式的方法。三者是一致的,掌握了例 1-1 的内容,即能解决后两类问题。

另外,求一段含源电路的电流(含源电路的欧姆定律,例 1-8)以及求单回路电路中的电流(闭合电路的欧姆定律,例 1-12)问题,我们都归结为写出一段含源电路电压降表示式以及单回路电路 KVL 表示式的问题。因此,只要掌握例 1-1 的内容,也能解决问题,不必再记任何有关符号的规约。

二、逐讲内容提要

第三讲 引论及 § 1-1, § 1-2(电流部分)

电路的作用大致可分为 1. 提供能量,如手电筒电路,电力网;2. 传送信号、处理信号,如电话线路、放大电路;3. 测量(电量、非电量)电路,如万用表电路、电子手表(测量时间);4. 存贮信息,如计算机的存贮电路,存放数据、程序。

电路虽多种多样,功能各不相同,但有其共性。正是在这种共性的基础上,形成“电路理论”这一学科。在这门课里我们将学习电路的一些概念、定律、定理以及计算、分析电路的方法。

做习题很重要。可以帮助巩固和消化所学内容,培养分析问题和解决问题的能力。应在复习的基础上,认真思考,独立做题。

§ 1-1 电路和电路模型

实际部件(元件):电阻器、电容器、电感线圈、电源、半导体管、变压器…等。

(理想)电路元件:电阻、电容、电感、电压源、电流源、受控源、理想变压器等。

模型:反映实际部件的主要性质,由电路元件组成。

实际电路——电路模型(建立方程、进行研究)。

§ 1-2 电路分析的基本变量

1. 电流

$$i = \frac{dq}{dt}$$

基本公式,必需记住。电流可以是恒定的,也可以是随时间而变的。电流的真实方向(正电荷运动的方向)往往难以表明,引用参考方向这一概念可解决这个问题(参看本材料本章要点 1)。

补充练习:每秒 10 库仑的正电荷在导线中由 $a \rightarrow b$ 移动。(a) 设参考方向由 $a \rightarrow b$, 求 i 。(b) 设参考方向由 $b \rightarrow a$, 求 i 。(c) 若电荷为负电荷,结果如何?

解:(a) 若参考方向规定由 $a \rightarrow b$, 而正电荷的运动方向也由 $a \rightarrow b$, 则电流为正。因此, $I = 10 \text{ A}$ 。

(b) $I = -10 \text{ A}$ 。比较(a)(b)可知同一电流现象,参考方向不同,电流有正、负的差别。电流的正负必须结合参考方向才有意义。

(c) 负电荷由 $a \rightarrow b$ 运动,相当于正电荷由 $b \rightarrow a$ 运动。故若参考方向选为 $a \rightarrow b$, 则 $I = -10 \text{ A}$; 参考方向选为 $b \rightarrow a$, 则 $I = 10 \text{ A}$ 。

课外作业

补充题 1-1:《教材》图 1-4, 若由 a 端进入元件的总电荷为

$$q(t) = 10t^2 - 2t \text{ C}$$

电流 i 的参考方向选为 $a \rightarrow b$ 。求 $i(t)$ 在 $t = 0$ 和 $t = 1 \text{ s}$ 时之值。(-2 A , 18 A)

补充题 1-2: 上题若进入 a 端的电流为

$$i(t) = 30t^2 - 4t \text{ A}$$

求在 $t = 1 \text{ s}$ 及 $t = 3 \text{ s}$ 间进入 a 端的电荷。(244 C)

第四讲 § 1-2(电压, 功率)

§ 1-2

2. 电压

参看《教材》图 1-4,

$$u = \frac{dw}{dq}$$

如正电荷由 $a \rightarrow b$, 获得能量, 则 $a \rightarrow b$ 为电压升; 如正电荷由 $a \rightarrow b$, 失去能量, 则 $a \rightarrow b$ 为电压降。

电压的真实极性往往难以表明, 引用参考极性来解决。(参看本材料本章要点 2)

3. 功率 仍看图 1-4

若在 dt 时间内由 $a \rightarrow b$ 的正电荷为 dq , 且由 $a \rightarrow b$ 为电压降, 其值为 u , 则在电荷转移过程中失去的电能为

$$dw = u dq$$

消耗功率

$$P = \frac{dw}{dt} = u \frac{dq}{dt} = ui$$

如 $a \rightarrow b$ 为电压升, 其值为 u , 则仍可由上式计算 P , 但 P 为产生的功率。为了能用正、负号来反映功率是消耗的还是产生的, 在计算时规定 u, i 的参考方向一致, 于是, $P > 0$ 为消耗功率, $P < 0$ 为产生功率。

例 1-1, 例 1-2 是本章的重要例题, 必须很好掌解(参看本材料本章基本要求 3)。

课外作业

练习题 1-1, 1-2

补充题 1-3 1 C 电荷由 $a \rightarrow b$, 能量改变 10 J , 求 U_{ab} , 若 (a) 电荷为正, 且为失去能量; (b) 电荷为正, 且为获得能量; (c) 电荷为负, 且为失去能量; (d) 电荷为负, 且为获得能量。(10V, -10V, -10V, 10V)

补充题 1-4 《教材》图 1-4, 若已知该元件吸收功率为 20 W , $U_{ab} = 5 \text{ V}$, 求流入端极 b 的电流。(-4A)

第五讲 § 1-3, § 1-4.

§ 1-3 欧姆定律 电阻元件

电阻元件最初是由实际电阻器抽象出来的。它的 VIC 是: 在电压, 电流参考方向一致的前提下

$$U = RI$$

电阻元件是无记忆元件。电阻电路的直流分析方法也适用于交流分析, 因为: 即使电流是随时间变化的, 每一时刻的电压也只取决于同一时刻的电流, 与过去毫无关系。对每一时刻来说, 都相当于是一直流电路。

例: 《教材》图 1-10(b), 已知 $I = 1 \text{ A}$, $R = 10 \Omega$, 求 U_{ab} 。

解：设电压参考极性， a 为高电位端， b 为低电位端；电流参考方向则已如图中所示。由于电压与电流的参考方向不一致，故

$$U_{ab} = -RI = -10V$$

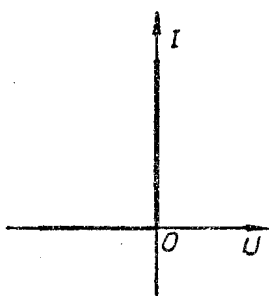
负号表明实际上， a 为低电位端， b 为高电位端。

例 1-5：见《教材》，本例说明：当电流不超过 $1/10A$ 或电压不超过 $10V$ ，可用 100Ω 的电阻作为该电阻器的模型。

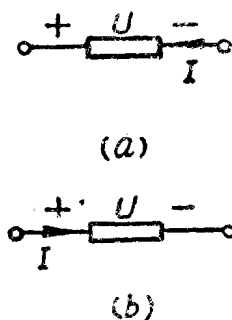
§ 1-4 电阻元件的一般定义

有关电阻元件的概念是发展的。为适应电子器件不断发展的情况，我们需要为电阻元件下一个一般的定义（见本材料本章要点 2(1)(b)）。

二极管的伏安特性曲线如《教材》图 1-12 所示，可近似地用图辅 1-1 所示理想特性曲线来表示，符合这一理想特性曲线的元件称为理想二极管。当 $U < 0, I = 0$ （反向联接）时，可用“开路”作为它的模型，当 $U = 0, I > 0$ （正向联接）时，可用“短路”作为它的模型。



图辅 1-1



图辅 1-2

课外作业：

练习题 1-8, 1-9, 1-10.

补充题 1-5

(i) 图辅 1-2(a)，已知 $U = 2V, I = -1A$ 。求 R

(ii) 图辅 1-2(b)，已知 $U = 2V, I = -1A$ 。求 R

(iii) 图辅 1-3(a)所示器件的伏安特性曲线如图辅 1-3(c)所示，试求该器件的模型。

(iv) 图辅 1-3(b)所示器件的伏安特性曲线如图辅 1-1(c)所示，试求该器件的模型。

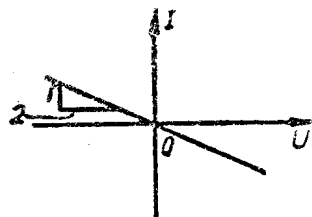
($+2\Omega, -2\Omega, -2\Omega$ 电阻, $+2\Omega$ 电阻)



(a)



(b)



(c)

图辅 1-3

第六讲 § 1-5

§ 1-5 电压源

电压源是一种理想电路元件,其定义见本材料本章要点 2,(2)。特别注意:流过电压源的电流是任意的,要根据外电路来确定。电压源的唯一参数便是它的端电压 U_s (直流电压源) 或 $u_s(t)$ 。

电压源实际上是不存在的,但是:(1)电池内阻小时,可近似地用电压源来作为它的模型;(2)可以用电子电路来实现(晶体管稳压电源)。

实际电源可以用电压源与电阻串联的模型来表征。

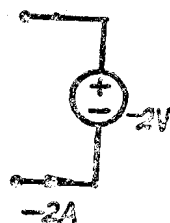
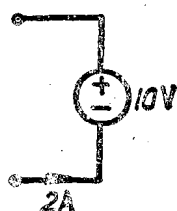
例 1-6, 例 1-8, 例 1-9。其中例 1-8 尤为重要,参看本材料本章基本要求 3。

课外作业

练习题 1-11、1-12、1-13、1-14。

补充题 1-6 计算图辅 1-4 所示两电压源的功率。

(20W 产生; 4W 产生)



图辅 1-4

第七讲 § 1-6

§ 1-6 基尔霍夫定律

KCL: 对电路中的任一节点,在任一时刻,流出该节点的所有支路电流的代数和等于零,

即

$$\sum i = 0$$

KVL: 对电路中的任一回路,在任一时刻,沿着该回路的所有支路电压的代数和等于零,

即

$$\sum u = 0$$

两种约束(参看本材料本章要点 4)。

例 1-11 注意与例 1-1 的关系。

例 1-12 注意与物理课中闭合电路欧姆定律的关系。参看本材料本章基本要求 3。

本章讨论了电路中各变量之间的关系

(1) 由变量本身的性质确定的。如

$$i = \frac{dq}{dt}$$

$$p = \frac{dw}{dt} = ui$$

这些关系是普遍适用的。

(2) 由元件性质确定的,如电阻元件

$$u = Ri$$

只适用于电阻元件。即元件约束。各种元件有其特有的伏安关系(VIC)。

(3) 由元件联接方式确定的,指同类变量之间的关系,如 KCL, KVL, 普遍适用。

课外作业

习题一 1、3、4; (电)*7、8、9。

补充题 1-7 电路如图辅 1-5 所示。已知

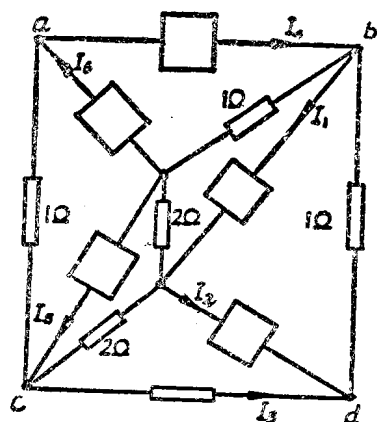
$I_1 = 3 \text{ A}$, $I_2 = -2 \text{ A}$, $I_3 = 4 \text{ A}$, $I_4 = 6 \text{ A}$,
 $I_5 = -7 \text{ A}$, $I_6 = 5 \text{ A}$ 。

求 U_{ba} , U_{dc} . (44 V, 45 V)

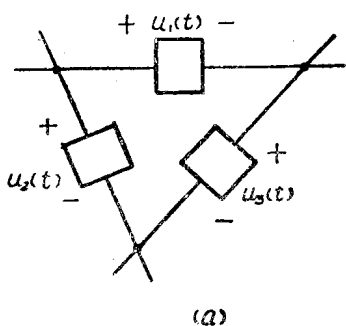
三、参考内容

下列补充习题可供选用。

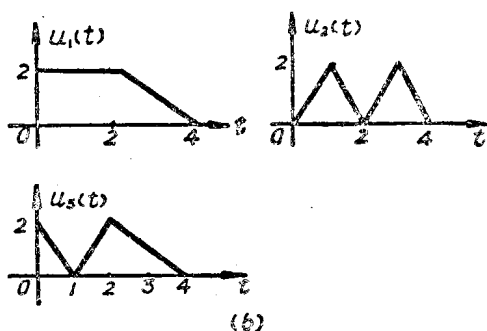
补充题 1-8 图辅 1-6(a)所示电路中, $u_1(t)$ 、
 $u_2(t)$ 、 $u_3(t)$ 是否有可能如图(b)所示, 为什么?



图辅 1-5



(a)



(b)

图辅 1-6

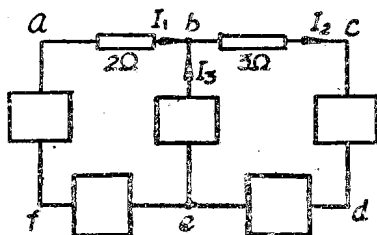
补充题 1-9 接续上题, 若 $u_1(t)$, $u_2(t)$ 的波形如图(b)所示, $u_3(t)$ 的波形应如何?

补充题 1-10 图辅 1-7 电路中已知 $U_{be} = -2 \text{ V}$, $U_{cd} = 4 \text{ V}$, $U_{de} = -9 \text{ V}$, $U_{ef} = 6 \text{ V}$,

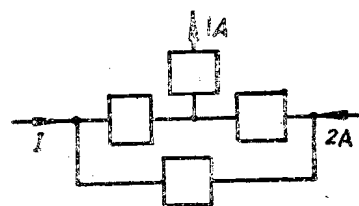
$U_{af} = 10 \text{ V}$

求 U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} , I_1 , I_2 , I_3 . (3A, -1A, -2A)

补充题 1-11 图辅 1-8 电路中, $I = ?$ (-1 A)



图辅 1-7



图辅 1-8

* 课外作业中凡出现(电)字样的题, 均为“电子类”学生必作题; 凡出现(选)字样的题, 均为选作题。

第二章 简单电路的分析

一、要点和基本要求

本章包含三个内容:

1. 引入两种理想电路元件——电流源和受控源。引入电流源后一个实际电源就可以有两种模型: 电压源——串联电阻模型和电流源——并联电阻模型, 两种模型可以等效互换。
2. 电阻串、并、混联电路的分析, 由此引入无源二端网络化简的问题。
3. 含源支路串、并、混联电路的分析, 由此引入含源二端网络化简的问题。这三个内容都贯穿着等效电路的概念, 这是电路理论中的一个很重要的概念。

(一) 要点

1. 网络等效的定义

两个二端网络 N_1 和 N_2 , 如果 N_1 端钮的电流与电压的关系和 N_2 端钮的电流与电压的关系(VIC) 完全相同, 则网络 N_1 和 N_2 就是等效的。至于 N_1 和 N_2 的内部结构则可以完全不同。

例如: 图辅 2-1 所示的两个二端网络 N_1 和 N_2 , 它们的内部结构完全不同, N_1 由 4 个电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 串联组成, N_2 只含一个电阻 R 。对 N_1 来说, 其端钮的电流、电压关系为

$$U = (R_1 + R_2 + R_3 + R_4)I$$

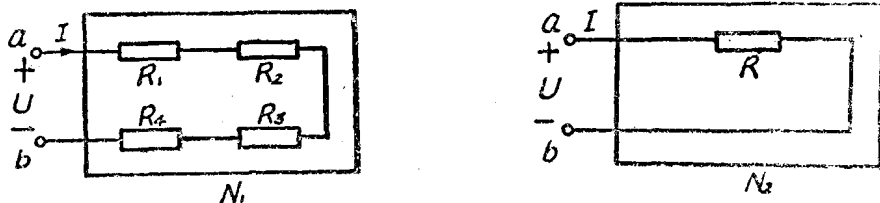
对 N_2 来说, 其端钮的电流、电压关系为

$$U = RI$$

但是, 若

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \quad (1)$$

则这两个网络端钮的电流、电压关系完全相同, 因而 N_1 和 N_2 就是等效的。(1)式称为该两网络的等效条件。只要(1)式得到满足, 在分析、计算网络时, 就端钮 ab 来说, 两网络是可以互换的。也就是说, 若干个电阻相串联, 可以用一个其值为这几个电阻阻值之和的电阻去替换。



图辅 2-1

2. 电阻的串联和并联

(1) 电阻元件串联时, 流过所有元件的电流相等。电阻元件并联时, 所有元件的端电压相等。

(2) 电阻元件串联后的端电压为各元件端电压的总和。各元件电压的大小与它的电阻值成正比, 电阻大的, 分配到的电压也大。

电阻元件并联后的总电流为各元件电流的总和。各元件电流的大小与它的电导值成正比, 电导大的, 分配到的电流也大。

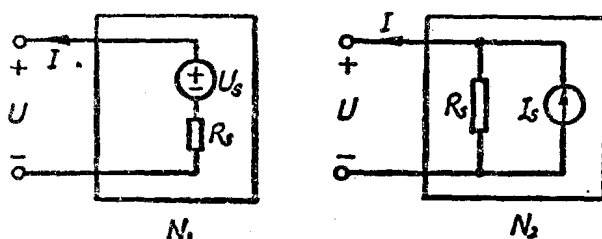
(3) n 个电阻串联, 其等效电阻为这 n 个电阻的总和。 n 个电导并联, 其等效电导为这 n 个电导的总和。

3. 电流源

电流源是一种理想元件。它的定义是: 如果一个二端元件接入任何电路后, 由该元件流入电路的电流总能保持规定值(譬如说, 总保持 1 A), 而不论其两端电压是多少, 则此二端元件称为电流源。

电流源实际上不存在。但光电池等实际电源近似地可用电流源作为模型。

4. 一个实际电源除了可以用电压源和电阻相串联的模型来表征外, 也可以用电流源和电阻相并联的模型来表征。这两种模型也是建立在等效概念上的。模型并不表明实际元件的内部结构情况。



图辅 2-2

N_1 端钮电压、电流关系为

$$U = U_s - R_s I$$

N_2 端钮电压、电流关系为

$$I = I_s - \frac{U}{R_s}$$

即

$$U = R_s I_s - R_s I$$

显然, 若

$$U_s = R_s I_s \quad (2)$$

则这两个网络端钮的电压、电流关系完全相同, 因而 N_1 和 N_2 是等效的。(2) 式为该两网络, 即电源的两种模型的等效条件。

5. 受控源

受控源也是一种理想元件, 用于半导体管等电子器件的模型中。受控源是一个具有两条支路的元件, 其中支路 2 不是电压源就是电流源, 而支路 1 不是开路就是短路。支路 2 中电压源的电压或电流源的电流受支路 1 (称为控制支路) 的电压或电流的控制。因此, 共有四种受控源。

由于表征受控源的方程是以电压、电流为变量的代数方程 (例如: 电压控制电压源, 以 $U_2 = \mu U_1$ 来表征, U_2 为受控电压源的电压, U_1 为控制电压), 因而受控源是一种电阻性元件。

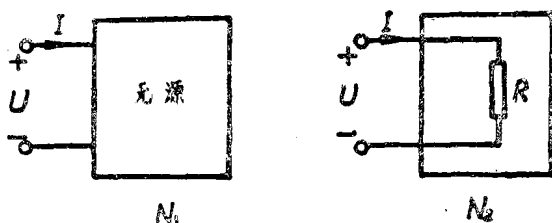
6. 无源二端网络的化简

一个无源二端网络总可以用一个等效电阻来替换。等效电阻的求法为:

(1) 应用串联电阻的等效电阻公式及并联电阻(导)的等效电阻(导)公式。但这只限于解决由电阻作串、并联而组成的二端网络化简问题。有时, 可在经过 T-Π 互换后, 再运用这一

方法。

(2) 一般方法(图辅 2-3)写出无源二端网络 N_1 的电压、电流关系,通常可用(a)外施电压



图辅 2-3

U , 求 I 的方法;或(b)外施电流 I , 求 U 的方法。所得到的电压、电流关系可表为

$$\frac{U}{I} = R$$

如果 N_2 的电阻也为 R , 则它们的电压、电流关系就完全相同。故 N_1 可以用 N_2 代替, 即 N_1 可简化为一个电阻 R 。

这方法也适用于含有受控源电路的情况。

在计算过程中一般需要用到第三章所述的各种方法。

7. 含源二端网络的化简(含独立源)

一个含源二端网络总可以用一个电压源——串联电阻组合或用一个电流源——并联电阻组合来替换。这样的等效电路求法如下:

(1) 如果含源二端网络由含源支路作串、并联构成, 则可运用电压源——串联电阻组合与电流源——并联电阻组合的等效互换关系, 设法加以化简。

(2) 运用代文宁定理或诺顿定理(见第四章)。

(在电视第二讲(教师辅导课)中介绍本章等效电路及受控源等内容)。

(二) 基本要求

1. 能识别电阻的串、并联, 运用串、并联等效电阻公式对混联电路进行化简。能熟练运用串联电路的分压公式, 并联电路的分流公式。

2. 掌握电流源元件的电流、电压关系, 并能计算电流源的功率。

3. 掌握实际电源的两种模型, 并能进行等效互换。

4. 掌握四种受控源元件的约束关系, 初步掌握含受控源简单电路的计算。

5. 对含源支路的串、并、混联电路, 能进行化简。

6. 掌握网络等效的概念, 并以此为基础, 掌握串并联等效电阻公式、电源两种模型的互换公式、T- Π 等效变换公式的来源, 二端网络化简的概念等内容。

二、逐讲内容提要

第八讲 §2-1、§2-2、§2-3

§2-1、2、3 电阻的串、并、混联

由于电阻的串、并、混联都已学过, 第八、九、十讲只着重讲几个重点问题。

1. 分压与分流

以三个电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 串联为例分压公式见《教材》P. 44。可推广至 n 个电阻串联的情况。

例 2-2 (空载分压器, 分压的应用)

以两电阻 R_1, R_2 并联为例, 分流公式为

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

其推导为 $I_1 = \frac{v}{R_1} = \frac{1}{R_1} I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

注意 计算 R_1 支路的电流 I_1 时, 公式的分子是 R_2 , 不是 R_1 。公式只限于两个电阻并联的情况。

例(补充): (电流表分流器的计算)

已知表头内阻 $R_g = 1k\Omega$, 满度电流 $I_g = 100\mu A$, 要求构成测量 $1mA$, $10mA$ 和 $100mA$ 的电流表, 求分流电阻的数值。

解: 有些书上有计算分流电阻的公式, 其实, 掌握一般并联电路的分流规律就可计算。

设

$$R_{sh} = R_1 + R_2 + R_3$$

当 K 与 1 相接时

$$I_g = I_1 \frac{R_{sh}}{R_{sh} + R_g}$$

解得

$$R_{sh} = 111.11\Omega$$

当 K 与 2 相接时

$$I_g = I_2 \frac{R_2 + R_3}{R_{sh} + R_g}$$

解得 $R_2 + R_3 = 11.11\Omega$, $R_1 = R_{sh} - (R_2 + R_3) = 100\Omega$

K 与 3 接时

$$I_g = I_3 \frac{R_3}{R_{sh} + R_g}$$

解得 $R_3 = 1.11\Omega$, $R_2 = 11.11 - 1.11 = 10\Omega$

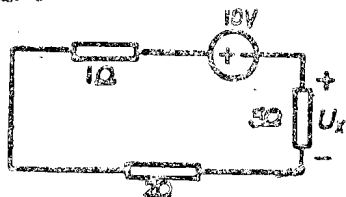
n 个电阻并联时, 分流的规律可以用电导表示。以 3 个电阻为例

$$I_1 = I \frac{G_1}{G_1 + G_2 + G_3}; \quad I_2 = I \frac{G_2}{G_1 + G_2 + G_3}; \quad I_3 = I \frac{G_3}{G_1 + G_2 + G_3}$$

注意: 计算 $R_1(G_1)$ 支路的电流 I_1 时, 公式的分子是 G_1 。公式可推广到 n 个电阻并联的情况, 只需把分母写成 $G_1 + G_2 + \dots + G_n$ 。

课堂练习

1.

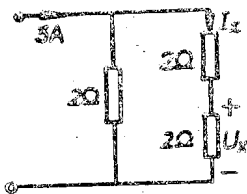


图辅 2-5

$$U_x = -10 \frac{3}{1+2+3} = -6V$$

注意 U_x 的负号, 试比较《教材》图 2-1 与图辅 2-5, 各电压参考极性的差别。

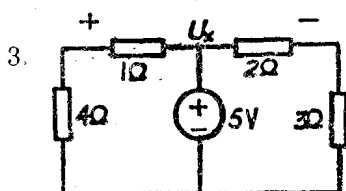
2.



图辅 2-6

$$I_x = 3 \frac{2}{2+2+2} = 1A$$

$$U_x = 2 \times 1 = 2V$$



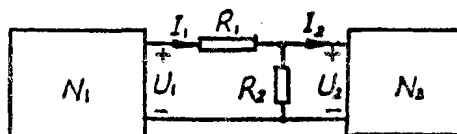
图辅 2-7

$$U_x = -5 \frac{1}{4+1} + 5 \frac{2}{2+3} = -1 + 2 = 1V$$

课外作业

练习题 2-1、2-2、2-3、2-4。

补充题 2-1 图辅 2-8 所示电路



图辅 2-8

(1) 当 N_1, N_2 为任意网络时, 问 U_2 与 U_1 的关系以及 I_2 及 I_1 的关系如何?

(2) 在 $I_2=0$ 的情况下, U_2 与 U_1 关系如何?

(3) 在 $I_1=0$ 的情况下, U_2 与 U_1 关系如何?

(4) 在 $U_2=0$ 的情况下, I_2 与 I_1 关系如何?

(5) 在 $U_1=0$ 的情况下, I_2 与 I_1 关系如何?

$$\left[(1) U_2 = U_1 - R_1 I_1; I_2 = I_1 - \frac{U_2}{R_2}; (2) U_2 = U_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2}; (3) U_2 = U_1; (4) I_2 = I_1; \right. \\ \left. (5) I_2 = I_1 \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \right]$$

第九讲 § 2-1、§ 2-2、§ 2-3

§ 2-1、2、3 电阻的串、并、混联

2. 等效电阻。等效电路的定义, 见本材料本章要点 1。串联电路的等效电阻, 并联电路的等效电阻见本材料本章要点 2(3)。注意: 两个电阻并联时等效电阻是

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

不能由此认为三个电阻并联时的等效电阻是

$$R = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

上式是错误的!

例 2-6. 求 R_{ab} 。

例 2-7. 求 R_{ab} 。

3. 混联电路的解法。通过例 2-5 来说明。对例 2-5 补充另一种解法, 见《教材》图 2-9。可先令 I_5 为任一值, 然后向前推算

设令 $I_5 = 1A$, 则 $U_4 = 12V$

$$I_5 = \frac{12}{4} = 3A, I_3 = I_4 + I_5 = 4A, U_3 = 24V$$

$$\begin{aligned}\therefore U_2 &= U_3 + U_4 = 36\text{V}, \quad I_2 = \frac{36}{18} = 2\text{A} \\ I_1 &= I_2 + I_3 = 4 + 2 = 6\text{A}, \quad U_1 = 6 \times 5 = 30\text{V} \\ \therefore U_s &= U_1 + U_2 = 66\text{V}\end{aligned}$$

显然与已知的 U_s 值不同! 给定的 U_s 值为 165V , 为算得的 U_s 值的 $\frac{165}{66} = 2.5$ 倍。根据线性电路响应与激励成比例的特点, 可以把上列结果乘以 2.5 倍即可得到实际结果。例如

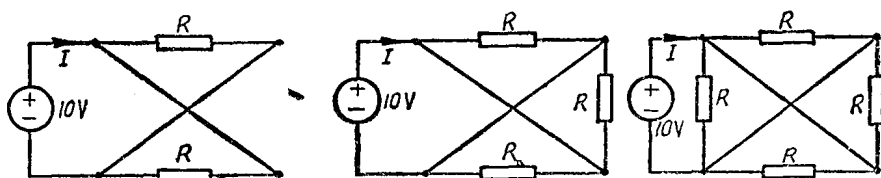
$$I_s = 2.5 \times 1 = 2.5\text{A}$$

等。

课外作业

练习题 2-5、2-6、2-7; 习题二 2

补充题 2-2: $R = 30\Omega$, 求图辅 2-9 各电路的 I 。



图辅 2-9

第十讲 § 2-1、2、3, § 2-4, § 2-5

§ 2-1、2、3。

4. 对偶关系

串联电路	I 相同	$U = \sum U_k$	$R = \sum R_k$	$U_j = U \frac{R_j}{\sum R_k}$
并联电路	U 相同	$I = \sum I_k$	$G = \sum G_k$	$I_j = I \frac{G_j}{\sum G_k}$

这两组关系存在相似性(仅仅是物理量不同), 如果

$$U \longleftrightarrow I, \quad R \longleftrightarrow G$$

则串联电路各关系式 $\longleftrightarrow$ 并联电路关系式。($A \longleftrightarrow B$ 的意思是 A 换成 B , B 换成 A) 因此知道一组关系式就可推知另一组关系式。

因此, 电流与电压、电阻与电导、以及串联与并联之间存在一种对偶关系。亦即电流与电压互为对偶, 电阻与电导互为对偶, 串联与并联互为对偶。以上系电路对偶性的一个例子。

§ 2-4 负载自电源获得最大功率的条件。

可变负载由给定电源获得最大功率的条件为负载电阻等于电源内阻。此时, 负载获得的最大功率为

$$P_{\max} = \frac{U_s^2}{4R}$$

§ 2-5 电路中各点电位的计算

电路某一节点到参考点(接地点)的电压降为该点的电位。

电子电路的习惯画法, 见《教材》图 2-18。

例 2-9。

课外作业

习题二：3、4。

补充题 2-3：若负载电阻固定为 R_L ，电源内阻 R_s 可变。问 R_s 为何值时， R_L 获得最大功率？

补充题 2-4：电路如图辅 2-10，求 R 。

第十一讲 § 2-5, § 2-6

例 2-10。

§ 2-6 电流源

电流源是一种理想电路元件，其定义见本材料本章要点 3。特别注意：电流源两端的电压是任意的，要根据外电路来确定。电流源的唯一参数便是它的电流 I_s (直流电流源) 或 $i_s(t)$ 。

电流源实际上是不存在的，但是：(1) 有些实际元件在一定的工作范围内和电流源的特性接近，可近似地用电流源来作为它的模型，如光电池；(2) 可以用电子电路来实现。

实际电源可以用电流源和电阻并联的模型来表征。

例(补充)：电路如图辅 2-11，求 I_1 、 U 及电流源的功率。

解：根据电流源的定义得

$$I = 3A$$

再由分流关系得

$$I_1 = 3 \times \frac{1}{2} = 1.5A$$

$$\therefore U = I \times 1 + I_1 \times 1 = 1.5 + 3 = 4.5V$$

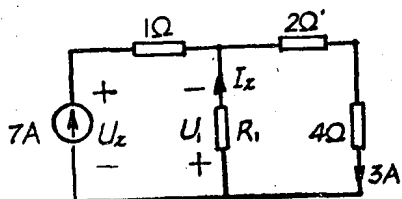
电流源两端的电压只能根据外电路来计算。

$$P = UI = 3 \times 4.5 = 13.5W (\text{产生})$$

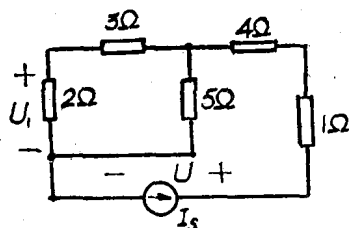
注意：不论外电路是什么样的，甚至含有电压源，与电流源串联支路的电流 I 总是 $3A$ ！(如果电流源换以电压源呢？)

例 2-11。

练习：图辅 2-12，求 I_x 、 U_x 、 R_1 。



图辅 2-12



图辅 2-13

练习：图辅 2-13，已知 $U_1 = 6V$ ，求 I_s 及 U 。

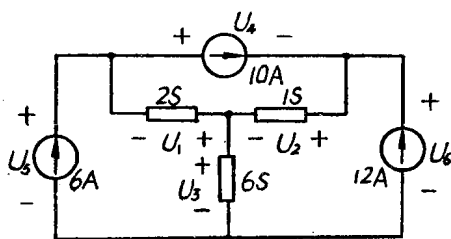
$$I_x = -4A, U_x = 7 \times 1 + 6 \times 3 = 25V, R_1 = \frac{-18}{-4} = 4.5\Omega$$

$$I_s = 6A, U = 45V$$

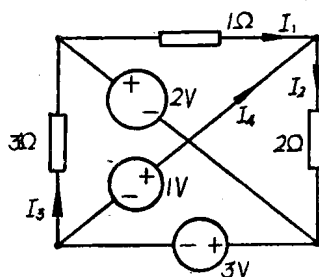
课外作业

练习题: 2-8、2-9、2-10、2-11。(电)习题二: 5、7、11。

补充题 2-5 求图辅 2-14 所示电路中的 6 个电压(未按次序的答案: -24V 、 25V 、 3V 、 2V 、 1V 、 22V)



图辅 2-14



图辅 2-15

第十二讲 § 2-6, § 2-7

补充例两个, 用以对比电流源和电压源。

例: 电路如图辅 2-15, 求各电流、电压

解: $U_2 = 1 - 3 = -2\text{V}$ (U_2 与 I_2 参考方向一致, 见《教材》P. 10)

$$\therefore I_2 = -1\text{A}, U_3 = -3 - 2 = -5\text{V}, I_3 = -\frac{5}{3}\text{A}$$

$$U_1 = 2 + 3 - 1 = 4\text{V}, I_1 = \frac{4}{1} = 4\text{A}$$

各电源电流, 必须根据外电路来确定, 如 1V 电源电流:

$$I_4 = I_2 - I_1 = -1 - 4 = -5\text{A}$$

例: 电路如图辅 2-16, 求各电流、电压。

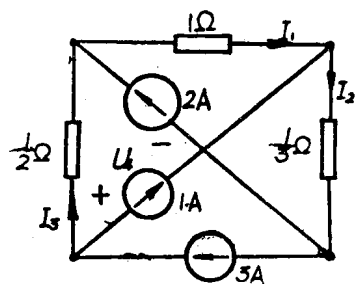
$$\text{解: } I_2 = 2 + 3 = 5\text{A}, U_2 = \frac{5}{3}\text{V}$$

$$I_3 = 3 - 1 = 2\text{A}, U_3 = 1\text{V}$$

$$I_1 = 2 + I_3 = 4\text{A} \text{ 或 } I_1 = 2 + 3 - 1 = 4\text{A}, U_1 = 4\text{V}$$

各电源电压, 必须根据外电路来确定, 如 1A 电源电压

$$U_4 = U_3 + U_1 = 1 + 4 = 5\text{V}$$



图辅 2-16

例 2-12 请注意 2V 电压源的存在对电流的大小虽无影响, 但对电流源的电压、功率均有影响。所以, 不能说电压源在电路中没有作用。

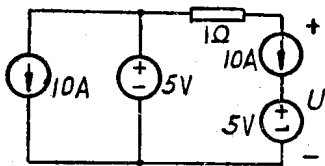
§ 2-7 电源模型的等效互换

见本材料本章要点 4。

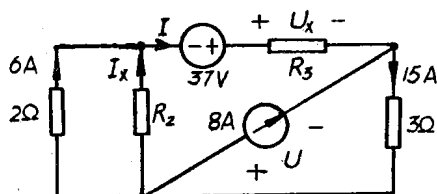
课外作业

练习题 2-12、2-13, (电)习题二 14。

补充题 2-6 求图辅 2-17 所示电路中的 U 。



图辅 2-17



图辅 2-18

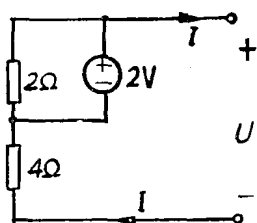
补充题 2-7(选做): 图辅 2-18 电路, 求 U_x, I_x ; 电压源电流, 电流源电压。(1A, -20V, 7A, -45V)

第十三讲 § 2-7

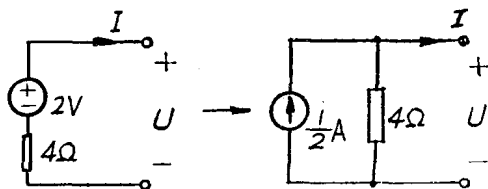
例 2-15(a) 求《教材》图 2-35(a) 所示电路的等效电流源模型。

从等效电路的定义出发来考虑问题。原电路的电压、电流关系是: $U=10V$, I 为任何值。与之等效的电路可为 -10V 的电压源, 因为它也具有同样的电压、电流关系。(注意: 这 -10V 电压源, 并非就是原电路图中的那 -10V 电压源。内部是不等效的)。电流源不能具有上述的电压、电流关系, 因而本题无解。

例(补充) 求图辅 2-19 所示电路的等效电流源电路。



图辅 2-19



图辅 2-20

解: 原电路的电压、电流关系是

$$u = 2 + 4I$$

故得原电路的等效电路如图辅 2-20 所示。

例 2-15(b) 求《教材》图 2-35(b) 所示电路的等效电压源模型。

解: 原电路的电压、电流关系是

$$I = 9A, U \text{ 为任何值}$$

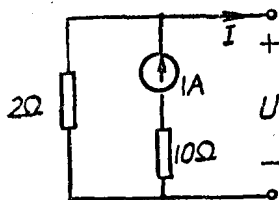
它的等效电路可以是一个 9A 的电流源。电压源不能具有这样的电流、电压关系, 因而本题无解。

例(补充): 求图辅 2-21 所示电路的等效电压源电路。

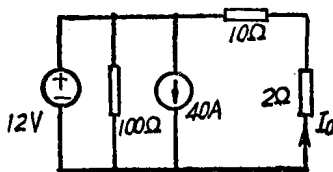
解: 原电路的电压、电流关系是

$$I = 1 - \frac{U}{2}$$

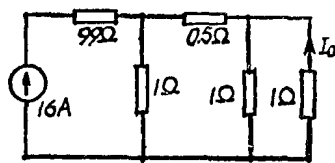
由此可得 1A 电流源与 2Ω 电阻并联的等效电路, 进而得到 2V 电压源与 2Ω 电阻串联的等效电路。



图辅 2-21



(a)



(b)

图辅 2-22

课外作业

练习题 2-14、2-15, 习题二 12。

补充题 2-8 求图辅 2-22 所示电路的 I_0 。