

沈世锐 刘蕴陶 李立群 李西平 编



电工学问题分析与 解题指导

中央广播电视大学出版社

电工学问题分析与解题指导

沈世锐 刘蕴陶 编
李立群 李西平

中央广播电视大学出版社出版
新华书店北京发行所发行
人民教育出版社印刷厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 16.5 千字 412
1987 年7月第1版 1987 年 10 月第1次印刷
印数 1-31000

定价 2.75 元

ISBN 7-304-00133-X/TM·12

前 言

根据我国一般大专院校电工学的教学要求及中央电大电工学课程的教学大纲,我们编写了这本指导学习用的参考书,以帮助学生更好地理解电工学的教学内容,掌握好基本概念和基本分析方法,培养分析问题和解决问题的能力。

本书共分十三章。每章的内容分两部分:一部分是思考问题,计编入200余题,每道题均作了详尽的分析和解答。其中少量问题难度较大,属于对电工学教材的补充,是加深加宽的内容。另一部分是计算性问题,它包括例题、练习题和练习题选解。每道例题有题意分析、解题步骤和计算结果。多数练习题还附有答案或提示,以帮助大家系统地掌握电工学的计算方法。这些对培养学生的计算能力和分析问题的能力将有所裨益。

同学们在借助本书学习时,应按照课程的教学进度,先认真地领会题意,进行必要的分析、思考,进而独立地作出判断和进行解答,然后再参看答案,对照检查。以培养自己的独立解题能。

书中第二、三、七、八章由沈世锐同志编写,第四、五、六章由李立群同志编写,第一、九、十二、十三章由刘蕴陶同志编写,第十、十一章由李西平同志编写。

由于水平所限,加之时间仓促,书中一定会有不少缺点和不当之处,欢迎读者批评指正。

编 者

1987.3.

目 录

第一章 电路的基本分析方法

§ 1-1 思考题	(1)
§ 1-2 例题讲解	(12)
§ 1-3 练习题	(26)
§ 1-4 练习题选解	(29)

第二章 正弦交流电路

§ 2-1 思考题	(35)
§ 2-2 例题讲解	(46)
§ 2-3 练习题	(61)
§ 2-4 练习题选解	(64)

第三章 三相正弦交流电路

§ 3-1 思考题	(68)
§ 3-2 例题讲解	(71)
§ 3-3 练习题	(78)
§ 3-4 练习题选解	(79)

第四章 非正弦交流电路

§ 4-1 思考题	(84)
§ 4-2 例题讲解	(90)
§ 4-3 练习题	(95)
§ 4-4 练习题选解	(97)

第五章 电路中的过渡过程

§ 5-1 思考题	(101)
§ 5-2 例题讲解	(110)
§ 5-3 练习题	(118)
§ 5-4 练习题选解	(121)

第六章 变压器

§ 6-1 思考题	(125)
§ 6-2 例题讲解	(132)
§ 6-3 练习题	(136)
§ 6-4 练习题选解	(138)

第七章 异步电动机

§ 7-1 思考题	(141)
§ 7-2 例题讲解	(150)
§ 7-3 练习题	(153)
§ 7-4 练习题选解	(154)

第八章 异步电动机继电接触控制线路

§ 8-1 思考题·····	(157)
§ 8-2 例题讲解·····	(158)
§ 8-3 练习题·····	(165)
§ 8-4 练习题选解·····	(167)

第九章 直流电动机

§ 9-1 思考题·····	(169)
§ 9-2 例题讲解·····	(172)
§ 9-3 练习题·····	(177)
§ 9-4 练习题选解·····	(178)

第十章 半导体二极管和整流电路

§ 10-1 思考题·····	(182)
§ 10-2 例题讲解·····	(189)
§ 10-3 练习题·····	(195)
§ 10-4 练习题选解·····	(197)

第十一章 半导体三极管及交流放大电路

§ 11-1 思考题·····	(202)
§ 11-2 例题讲解·····	(214)
§ 11-3 练习题·····	(220)
§ 11-4 练习题选解·····	(224)

第十二章 正弦波振荡器

§ 12-1 思考题·····	(234)
-----------------	-------

第十三章 直流放大器

§ 13-1 思考题·····	(238)
§ 13-2 例题讲解·····	(245)
§ 13-3 练习题·····	(253)
§ 13-4 练习题选解·····	(255)

第一章 电路的基本分析方法

§ 1-1 思考题

〔题 1-1〕 什么叫电路模型?为什么要用电路模型的方法来表示实际电路?

答: 实际电路由多种元、器件及电气设备组成,如电源、电灯、电动机、变压器、半导体器件等。这些实际电气设备的电磁性质往往是十分复杂的。例如最简单的白炽灯泡和电阻炉的主要特征是在电流通过时,对电流表现出一定的阻力,并消耗电能,将其转换为热能,这种性质叫电阻性。除此之外,在电流流过时,其周围又要产生磁场,表现出一定的电感性。因此,如果不分主次,把实际电气设备的各种性质全部考虑在内,就会使电路的分析与计算变得十分复杂,甚至无法进行。为此,有必要采用模型化的方法表示实际电气设备的电磁性质和特征。

模型化就是在一定的条件下对实际的电气设备加以理想化,忽略它的某些次要性质,用一个足以表示其主要性质的模型近似地表示实际电气设备。例如,对于白炽灯泡或电阻炉可以略去其电感性而用一个电阻元件模型来表示。再如一个新的干电池,在略去了它的极小的内电阻之后,可以用一个电压恒定的理想电压源模型来表示。模型又叫理想元件,如电阻,电感、电容、恒压源、恒流源等。这种用理想元件组成的电路就是电路模型。

从实际电路中抽象出来的理想化的电路模型更明确、更本质地表示了实际电路的电磁性质和电路中所发生的物理现象,大大简化了电路的分析与计算,特别是便于使用数学方法分析与计算电路。

〔题 1-2〕 有一段电路,已知它的端电压等于 V ,通过它的电流等于 I (图 1-1)。能否认为 V 、 I 之间符合欧姆定律?即 $\frac{V}{I} = R$ (假定 R 是这一段电路的电阻)。

答: 这个问题实际上是欧姆定律的应用范围问题。

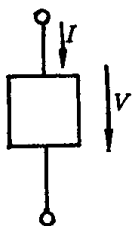


图 1-1 〔题 1-2〕附图

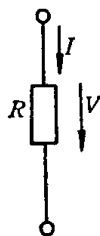


图 1-2 欧姆定律

欧姆定律只适用于一段线性电阻电路,即这一段电路内只包含电阻元件。如果电阻元件的阻值是 R ,且 R 的数值不随电压、电流的大小改变,这样的电阻元件叫做线性电阻。只有线性电阻两端的电压 V 和其中通过的电流 I 之间才符合欧姆定律,即 $\frac{V}{I} = R$ (图 1-2)。

如果在一段电路中包含有非线性元件(如半导体二极管),或同时包含电阻和电源,则欧姆定律是不适用的。

在图 1-1 所表示的一段电路中,方框符号的意义是表示任意一个电路元件(不一定是线性电阻元件)或任意一条支路。因此,在没有确定这段电路是线性电阻电路之前,不能说它的端电压与通过它的电流之间符合欧姆定律。

[题 1-3] 克希荷夫电流定律的内容是什么?它的适用范围如何?

答: 克希荷夫定律与欧姆定律不同。欧姆定律仅仅揭示了电路的某一个局部——一段线性电阻电路中电流与端电压之间的关系。而克希荷夫定律则是从电路的整体上阐明了各部分电流,以及各部分电压之间的关系。克希荷夫定律包括两个定律:电流定律和电压定律。

克希荷夫电流定律(KCL)是电流连续性原理的具体体现,有两种表示形式。

第一种表示形式 $\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$

即任一时刻流入某一节点的电流总和等于流出该节点的电流总和。

第二种表示形式 $\sum I = 0$

即任一时刻流经任何一个节点的电流代数和等于零(一般规定流出节点的电流为正,流入节点的电流为负)。

以上两种形式实质上是完全相同的,分析和计算电路时,可以任选一种。

关于克希荷夫定律的应用范围应注意以下两点:

第一、克希荷夫电流定律说明了任一节点上各支路电流之间的关系,而与每条支路上所连接的元件性质无关。因此,无论是线性电路还是非线性电路都普遍适用。

第二、克希荷夫电流定律不仅仅适用于电路中的节点,还可以扩展运用于任何一个假想的封闭表面。

例如图 1-3 所表示的是一个半导体三极管放大电路。半导体三极管是一个非线性元件,它的三个电极的电流仍然符合克希荷夫电流定律。这时可以把这个三极管看作是一个大节点,并假想用一個封闭面将它包围,则根据克希荷夫电流定律

$$I_C + I_B = I_E$$

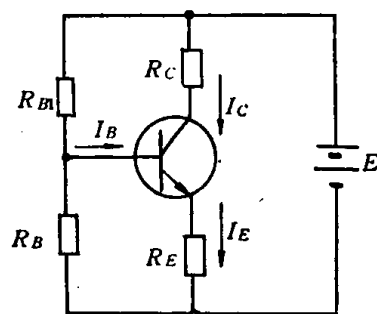


图 1-3 KCL 应用举例

[题 1-4] 克希荷夫电压定律的适用范围如何? 克希荷夫电压定律有什么不同的表示形式,它们各应用于什么场合?

答: 克希荷夫电压定律(KVL)的内容是任一时刻,沿闭合回路绕行一周,各部份电压降的代数和等于零,表示为

$$\sum V = 0$$

关于这个定律的适用范围,应注意以下两点: 第一、克希荷夫电压定律只表明一个闭合回路内各部分电压之间的关系,而与回路中所包含的元件性质无关,即不论是线性电路还是非线性电路都适用。第二、克希荷夫电压定律也可以扩展应用: 只要求绕行的路径是首尾相接的。即绕行的终点必须是绕行的起点,表现在电路上不一定是具体支路构成的闭合通路(参见思考题 1-5)。

可以认为, $\sum V = 0$ 是克希荷夫电压定律的基本形式。以这个基本形式为依据,根据电路所包含元件性质的不同,克希荷夫电压定律有不同的表示形式。应该注意的是,这些不同的形式只适用于各自不同的场合。

① 如果闭合回路内包含有恒压源,当用电动势 E 表示其正、负极之间的电位差时,克希荷

夫电压定律可以表示为

$$\sum V = \sum E$$

即在任意时刻,沿闭合回路绕行一周,电位升(电动势)的代数和 $\sum E$ 等于电位降的代数和 $\sum V$ 。

使用这一形式列写回路方程时,应注意将电动势的代数和与电位降的代数和分别列在等式两端,不可相互混淆。

例如图 1-4 所示电路,半导体三极管是非线性元件,其端电压为 V_{CE} 。如果用 V 表示恒压源的端电压,则回路电压方程为

$$V_{RC} + V_{CE} + V_{RE} - V = 0 \quad (\sum V = 0)$$

如果用电动势 E 表示恒压源正、负极之间的端电压,则据图示正方向回路方程为

$$E = V_{RC} + V_{CE} + V_{RE} \quad (\sum E = \sum V)$$

② 如果回路中包含有线性电阻元件,则该段电压降可以用欧姆定律来表示。例如在图 1-4 所示回路中,电压方程可表示为

$$E = I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E$$

如果整个闭合回路中所包含的电路元件只有恒压源及线性电阻,则克希荷夫电压定律可以表示为

$$\sum E = \sum IR$$

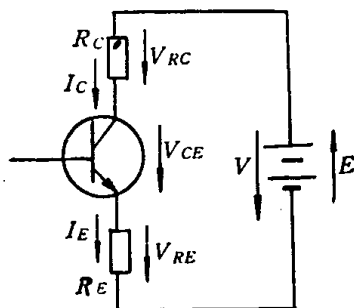


图 1-4 克希荷夫电压定律的应用

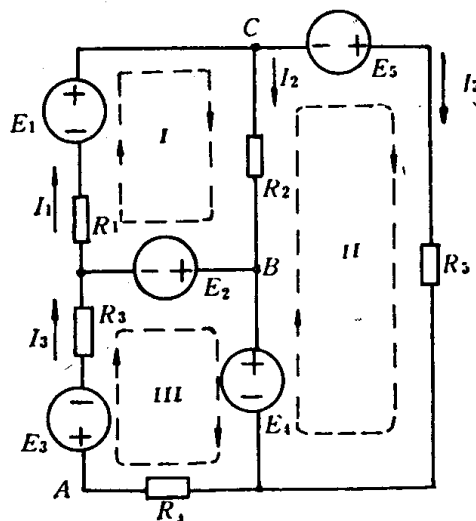


图 1-5 [题 1-5]附图

[题 1-5] 列写图 1-5 所示电路的所有网孔的克希荷夫电压定律方程式。列写 V_{AB} 和 V_{AC} 的电压表示式。

答: 该电路有三个网孔,且电路全部由线性电阻元件及恒压源组成,可以采用 $\sum E = \sum IR$ 形式列写回路电压方程,并取顺时针方向作为回路绕行方向。

$$\text{网孔 I} \quad E_1 - E_2 = I_1 R_1 + I_2 R_2$$

$$\text{网孔 II} \quad E_4 + E_5 = -I_2 R_2 + I_5 R_5$$

$$\text{网孔 III} \quad E_2 - E_4 - E_3 = I_3 R_3 + I_3 R_4$$

为列写 V_{AB} 的电压表示式,根据克希荷夫电压定律扩展应用的原理,自 A 出发,经 E_3 、 R_3 、 E_2 到 B,并从 B 直接返回 A,绕行一周,且 A、B 之间的电压为 V_{AB} ,可得

$$E_2 - E_3 = I_3 R_3 - V_{AB}$$

即

$$V_{AB} = -E_2 + E_3 + I_3 R_3$$

讨论: 也可自 A 出发,经另外支路到 B,再直接返回 A,绕行一周,得 V_{AB} 的另一表示形

式,即

$$V_{AB} = -E_4 - I_3 R_4$$

与上同理,可得

$$V_{AC} = -E_1 + E_3 + I_1 R_1 + I_3 R_3$$

〔题 1-6〕 图 1-6 表示的是某电路中的一条支路,支路电流 $I = -0.5$ 安。电流负值表示什么意义?并计算 V_{ab} 和 V_{dc} 的数值。(通过本思考题应进一步明确有关物理量的正方向和关联正方向的意义)

答: 电流的正、负值与电流的正方向是密切相互联系的。关于这个问题应明确两点: ① 习惯上都以正电荷运动的方向作为电流的方向。② 电路图中用箭头所表示的电流方向除特别指明者外,都是电流的参考方向,简称正方向。支路电流的正方向是人为规定的,作为确定支路电流真实方向的参考和标准。当电流的真实方向与规定正方向一致时,电流数值为正;反之,电流数值为负。于是根据支路电流的正方向及电流数值的正、负,就能够确定支路电流的真实方向了。

图 1-6 中电流 I 的数值为负,表明该段电路中电流的真实方向与箭头所表示的正方向相反,即从 e 端流向 a 端。

电压 V_{ab} 的下标的涵义是该段电压的正方向是自 a 指向 b ,即假定 a 点的电位比 b 点的电位高。 V_{ab} 的正方向与电流 I 的正方向一致,即二者是关联一致的。根据欧姆定律, $V_{ab} = I \cdot R_1$ 。代入数值后 $V_{ab} = (-0.5) \times 10 = -5$ 伏。这段电压的数值为负,表明电压真实方向与规定正方向相反,即 b 点电位高、 a 点电位低。

同理可以计算 V_{dc} ,该段电压正方向自 d 指向 c ,与电流 I 的正方向相反,即二者不为关联一致的正方向,所以有 $V_{dc} = -IR_2$ 。代入数值后 $V_{dc} = -(-0.5) \times 10 = +5$ 伏。说明该段电压的真实方向与规定正方向相同, d 点电位高, c 点电位低。

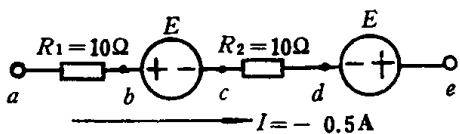


图 1-6 〔题 1-6〕附图

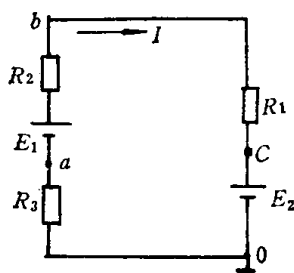


图 1-7 电位、电压的计算

〔题 1-7〕 在图 1-7 所示电路中,电阻 $R_1 = R_2 = R_3 = 10$ 欧。当选定 0 为参考点时, b 、 c 点的电位分别是 $V_b = 4.5$ 伏及 $V_c = 2.5$ 伏。① 问 a 点电位 $V_a = ?$ ② 若不取 0 为参考点,而重新取 c 为参考点,那么 a 、 b 的电位变不变?电压 V_{ba} 的数值变不变?为什么?本题目的是进一步明确电位和电压的概念。

答:

① 为计算 a 点电位首先要计算电流 I 的数值。

$$I = \frac{V_{bc}}{R_1} = \frac{V_b - V_c}{R_1} = \frac{4.5 - 2.5}{10} = 0.2 \text{ 安}$$

a 点电位 V_a 就是 a 点到参考点的电压,根据电流 I 的正方向有

$$V_a = V_{a0} = -IR_3$$

代入数值 $V_a = -(0.2) \times 10 = -2$ 伏

② 电位是一个相对的概念,选定的参考点不同,同一点电位的数值就不同。

两点之间的电压就等于这两点的电位之差,所以电压又叫电位差。电压与参考点无关。

在图 1-7 所示电路中, a 、 c 两点之间的电压 $V_{ac} = V_a - V_c = -2 - 2.5 = -4.5$ 伏(0 为电位参考点)。

重新选择 c 为参考点后, a 、 c 两点间的电压 V_{ac} 不变。但这时 a 点的电位 V'_a 就是 a 点到参考点 c 之间的电位差,故

$$V'_a = V_{ac} = -4.5 \text{ 伏}$$

表明该电路的电位参考点从 0 变为 c 以后, a 点电位从 -2 伏变成 -4.5 伏。

同理可以计算出 0 为参考点时的电压 V_{bc} 。

$$V_{bc} = V_b - V_c = 4.5 - 2.5 = 2 \text{ 伏}$$

重新选定 c 为参考点以后, b 点电位变为 V'_b 。

$$V'_b = V_{bc} = 2 \text{ 伏}$$

参考点改变之后,电压 V_{ba} 不变,并可根据 0 是参考点时的电位数值计算 V_{ba} 。

$$V_{ba} = V_b - V_a = 4.5 - (-2) = 6.5 \text{ 伏}$$

【题1-8】 在实际电路中,有的电源确实是起电源作用的,有的则相当于负载。这种说法对吗?

答: 这种说法是正确的。判别电源是在电源状态下工作(起电源作用),还是在负载状态下工作的方法是:首先应该确定电路中电流的真实方向和电源电动势的极性。当两者一致时,该电源就是在电源状态下工作。这时正电荷从电源负极(低电位端)经过电源内部到达正极(高电位端),是电源的电动势在做功,电源输出电功率。当电流的真实方向与电源电动势方向相反时,该电源是在负载状态下工作。这时正电荷从电源正极经过电源内部到达负极,电能量减少。表明这个电源吸收了电功率,相当于负载。例如蓄电池充电、直流电机在电动机状态下运行等,都属于这种情况。

例如在图 1-8 所示电路中,可计算出电流 $I = 2$ 安。电源 E_1 电动势的正方向与电流 I 的真实方向一致,是在电源状态下工作,输出功率 $P_{E1} = 22 \times 2 = 44$ 瓦。但电源 E_2 电动势的正方向与电流 I 的真实方向相反,是在负载状态下工作,消耗功率 $P_{E2} = 2 \times 6 = 12$ 瓦。对于电源来说,有时规定输出功率是正值、消耗功率是负值,故 $P_{E1} = +44$ 瓦、 $P_{E2} = -12$ 瓦。

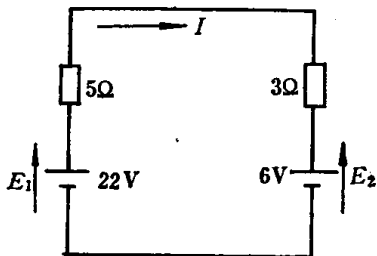


图 1-8 电源的两种工作状态

【题1-9】 怎样判断一个恒流源是在电源状态下工作,还是在负载状态下工作?

答: 原理和方法与恒压源基本相同。首先要确定恒流源端电压的真实方向(实际极性)和恒流源电流的方向,当二者相反时,即正电荷自低电位端运动到高电位端,恒流源输出电功率,

是在电源状态下工作。反之，若恒流源电流方向与其端电压的真实方向相同，则恒流源是在负载状态下工作。

从图 1-9 所示电路为例，根据图中给定的参数，可计算出 $I=1$ 安、 $V=5$ 伏。即两个恒流源的端电压都是上正、下负，可判定恒流源 I_{S1} 输出电功率 10 瓦，恒流源 I_{S2} 消耗电功率 5 瓦。

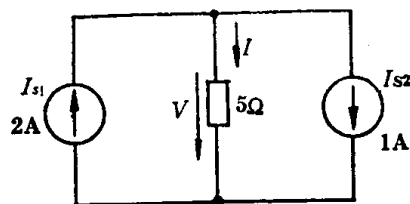


图 1-9 恒流源的两端工作状态

[题 1-10] 试求图 1-10(a)、(b)、(c)所示电路的功率，分析它们是消耗电功率还是产生电功率？

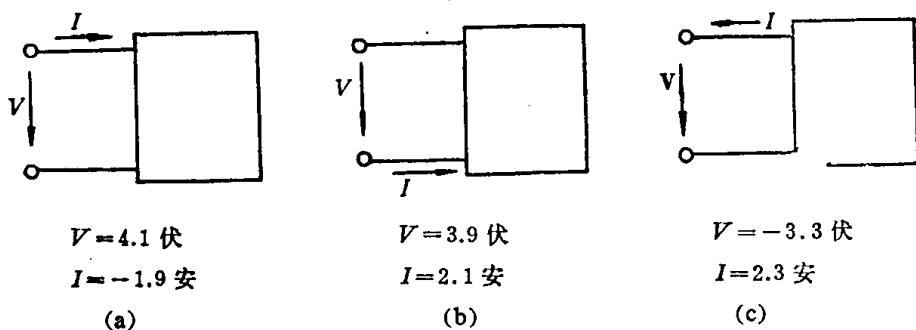


图 1-10 功率的计算

答：图中方框所表示的是任意一个电路，只能用该电路的端电压 V 和电流 I 计算电路的功率： $P=VI$ 。

(a) 电路： V 、 I 正方向是关联一致的，所以

$$P=VI=4.1 \times (-1.9) = -7.79 \text{ 瓦}$$

电流 I 是负值，表明电流的真实方向与图示方向相反，是从低电位端经过这个电路流向高电位端。由此可判断这段电路是产生电功率的。

(b) 电路： V 、 I 的正方向相反，不是关联一致的，所以

$$P=-VI=-(3.9) \times (2.1) = -8.19 \text{ 瓦}$$

根据图示 V 、 I 的正方向可以判定，电流是从低电位端经过电路流向高电位端，所以也是产生电功率的。

(c) 电路： V 、 I 不是关联一致的正方向，其功率

$$P=-VI=-(-3.3) \times (2.3) = 7.59 \text{ 瓦}$$

V 是负值，它的真实方向与图中的正方向相反，即下端是高电位点、上端是低电位点，电流从高电位点经过电路流向低电位点，所以该电路消耗电功率。

[题 1-11] 在并联电阻电路中，电流和功率是怎样分配的？

答：并联电阻电路的特点是① 所有支路的电阻都承受相同的电压 V ；② 并联电路的总电流 I 等于各个支路电流之和。

以图 1-11 所示电路为例

$$I=I_1+I_2+I_3$$

每个支路分配的电流与该支路的电阻值成反比

$$I_1=\frac{V}{R_1} \quad I_2=\frac{V}{R_2} \quad I_3=\frac{V}{R_3}$$

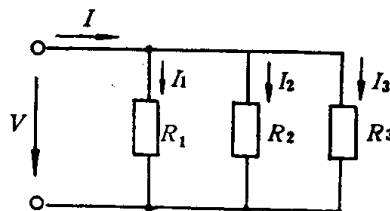


图 1-11 并联电阻电路

支路电阻数值越大，分配的电流越小；电阻的数值越小，分配的电流越大。

每个支路所消耗的功率也与该支路的电阻阻值成反比

$$P_1 = \frac{V^2}{R_1} \quad P_2 = \frac{V^2}{R_2} \quad P_3 = \frac{V^2}{R_3}$$

支路电阻数值越大,消耗的功率越小;电阻的数值越小,消耗的功率越大。

〔题 1-12〕 电路如图 1-12 所示,当开关 K 闭合后,流过电阻 R_1 的电流 I_1 和恒流源的端电压 V 变不变? 如何改变? 本题目的是① 加深对恒流源特性的理解;② 加深对并联电阻分流作用的理解。

答: 恒流源的主要特点是: 第一,它输出的电流是恒定的,与外电路所接负载电阻的大小无关;第二,恒流源的端电压由外部电路确定,就是由它所外接的负载电阻的大小来决定。

图 1-12 中恒流源的电流 I_s 在开关 K 断开时全部流过 R_1 , 即 $I_1 = I_s$ 。恒流源的端电压就是 R_1 的端电压。即 $V = I_1 R_1$ 。

开关 K 闭合后, R_2 支路接通, 而恒流源提供的电流 I_s 不变。这时 I_s 不再是全部流过 R_1 , 而是有一部分流过 R_2 , 这就是并联电阻 R_2 的分流作用。因此, I_1 较原来减小, $I_1 < I_s$ 。

K 闭合后, 恒流源的负载电阻是 R_1 、 R_2 的并联等效电阻 R_{12} , 故此时恒流源的端电压是 V' , $V' = I_s \cdot R_{12}$ 。 $R_{12} < R_1$, 故 $V' < V$, 即恒流源的端电压也减小了。

上述结论还可以用公式证明如下:

$$R_1, R_2 \text{ 的并联等效电阻 } R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\text{恒流源的端电压 } V' = I_s \cdot R_{12}。$$

$$K \text{ 断开时 } V = I_s \cdot R_1。$$

$$\text{因为 } R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} < R_1, \text{ 所以 } V' < V。$$

$$K \text{ 闭合后, 流过 } R_1 \text{ 的电流为 } I_1'$$

$$I_1' = \frac{V'}{R_1} = \frac{R_{12}}{R_1} \cdot I_s = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I_s = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I_1$$

所以 $I_1' < I_1$, I_1 是 K 断开时流过 R_1 的电流, 且 $I_1 = I_s$ 。

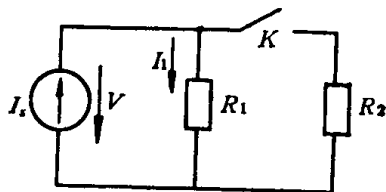


图 1-12 并联电阻的分流作用

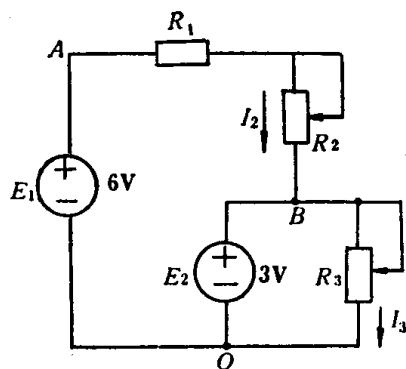


图 1-13 〔题 1-13〕附图

〔题 1-13〕 电路如图 1-13 所示。① 调节电阻 R_2 , 例如加大 R_2 , 流过 R_2 的电流 I_2 、流过 R_3 的电流 I_3 和流过电源 E_2 的电流变不变? 如何变? ② 调节电阻 R_3 , 例如加大 R_3 , 电流 I_2 、 I_3 和流过电源 E_2 的电流变不变? 如何变? (本思考题的目的是进一步熟悉和掌握恒压源的特点)

答: ① 若选定两个恒压源 E_1 和 E_2 的负极连接点 O 作为计算电位的参考点, 可以确定 A 点电位 $V_A = E_1 = 6$ 伏, B 点电位 $V_B = E_2 = 3$ 伏。据此可以确定 I_2 的真实方向和图示正方向相同, 且

$$I_2 = \frac{V_A - V_B}{R_1 + R_2}$$

$V_A - V_B = 3$ 伏不变, 若 R_2 加大, 则 I_2 减小。

电阻 R_3 接在恒压源 E_2 的两端, 只要电阻 R_3 阻值确定, I_3 就是不变的。所以 R_2 变化, I_3 不变。

R_2 阻值加大时, 流过 E_2 的电流 I_{E2} 是改变的。这个结论可以通过对 B 节点列写克希荷夫电流定律方程得出。但是这个电流如何改变, 则应该分为两种情况来讨论。

因为电路中的 R_1 、 R_2 、 R_3 的具体阻值并未给出, 而根据它们阻值的不同, 恒压源 E_2 可能是电源状态下工作, 也可能是在负载状态下工作。在这两种可能出现的情况下, 流过 E_2 的电流 I_{E2} 的变化规律是不同的。

第一种情况: E_2 在电源状态下工作, I_{E2} 的方向与电动势 E_2 的方向相同, 则

$$I_{E2} = I_3 - I_2$$

R_2 加大时, I_3 不变、 I_2 减小, 所以 I_{E2} 加大[图 1-14(a)]。

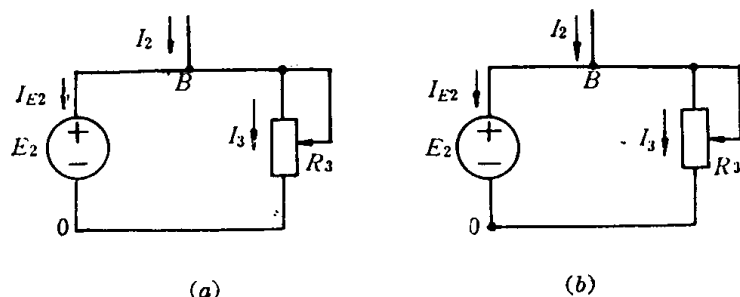


图 1-14 [题 1-13]附图

第二种情况: E_2 在负载状态下工作, I_{E2} 的方向与电动势 E_2 的方向相反, 则

$$I_{E2} = I_2 - I_3$$

R_2 加大, I_3 不变, I_2 减小, 所以 I_{E2} 减小[图 1-14(b)]。

② R_3 加大时, 电流 I_2 不变, I_3 减小。流过电源 E_2 的电流如何改变也应分为两种情况讨论:

当 E_2 在电源状态下工作时, I_{E2} 减小。

当 E_2 在负载状态下工作时, I_{E2} 加大。

[题1-14] 在电路的分析与计算中常常遇到负载大和负载小, 以及负载增加或减小的提法。请问负载大、小的涵义是什么?

答: 负载就是用电设备, 如电炉、电灯、电动机等。负载是电路的组成部分之一, 其作用是将电能转换成为其他形式的能量(如热能、光能、机械能)为人们所利用。

负载的大小是以负载所消耗电功率的多少来衡量的。一般情况下负载都是并联连接于电源端, 且可认为电源电压都是恒定的。当负载的电阻较小时, 所取用的电流越大, 所消耗的电功率越大, 我们就说负载大或负载增加。反之, 当负载的电阻较大时, 所取用的电流越小, 所消耗的电功率越小, 我们就说负载小或负载减小。

[题 1-15] 检修某电子仪器需要一个阻值 $2\text{ k}\Omega$ 、额定功率 1 W 的电阻器, 问① 能不能用两个 $1\text{ k}\Omega$ 、 0.25 W 的电阻器来代替? ② 能不能用两个 $4\text{ k}\Omega$ 、 0.5 W 的电阻器来代替? (通过这个思考题应进一步加深对元器件额定值的理解)

答: ① 如果单纯从满足阻值的要求考虑, 用两个 $1\text{ k}\Omega$ 的电阻器串联可以等效代替一个阻值为 $2\text{ k}\Omega$ 的电阻器。但是题目中还提出了功率方面的要求——即电阻器的额定电流应满足

要求。

一个电阻器的阻值是 R 、额定功率是 P_n ，可计算它的额定电流 I_n 值

$$I_n = \sqrt{\frac{P_n}{R}}$$

2 k Ω 、1 W 电阻器的额定电流是

$$I_n = \sqrt{\frac{1}{2 \times 10^3}} = 0.022 \text{ 安} = 22 \text{ 毫安}$$

1 k Ω 、0.25 W 电阻器的额定电流是

$$I_n = \sqrt{\frac{0.25}{10^3}} = 0.016 \text{ 安} = 16 \text{ 毫安}$$

因为后者的额定电流小于原来电阻器的额定电流，所以不能用两个 1 k Ω 、0.25 W 的电阻器串联代替一个 2 k Ω 、1 W 的电阻器。否则可能会因电流超过额定值而过热烧坏。

② 从满足阻值的要求，两个 4 k Ω 的电阻器并联可等效代替一个 2 k Ω 的电阻器。

4 k Ω 、0.5 W 电阻器的额定电流是

$$I_n = \sqrt{\frac{0.5}{4 \times 10^3}} = 11 \text{ 毫安}$$

因为是两个 4 k Ω 电阻器并联与原电阻器等效，并联电阻允许通过的最大电流是 $11 \times 2 = 22$ 毫安，满足了额定功率的要求。所以可以用两个 4 k Ω 、0.5 W 的电阻器代替原电阻器。

[题 1-16] 图 1-15 所表示的是两个线性有源二端网络 N_1 和 N_2 ，它们的出线端 A_1 、 B_1 和 A_2 、 B_2 各自接上负载电阻 R_1 和 R_2 。如果 R_1 和 R_2 相等，并等于某一确定的阻值，这时端电压 $V_1 = V_2$ 、电流 $I_1 = I_2$ 。我们能够说 N_1 和 N_2 是等效的吗？

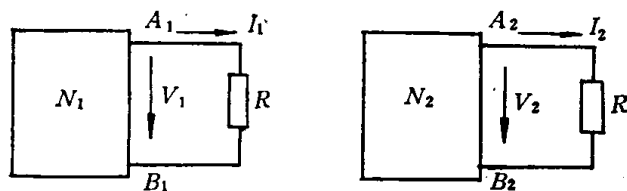


图 1-15 有源二端网络等效的概念

答：根据题目给出的条件，不能判定 N_1 与 N_2 等效。可以通过如下的具体电路来说明这个问题。

图 1-16(a) 和 (b) 虚线框内是两个线性有源二端网络，于 A_1 、 B_1 和 A_2 、 B_2 端外接电阻 $R_1 =$

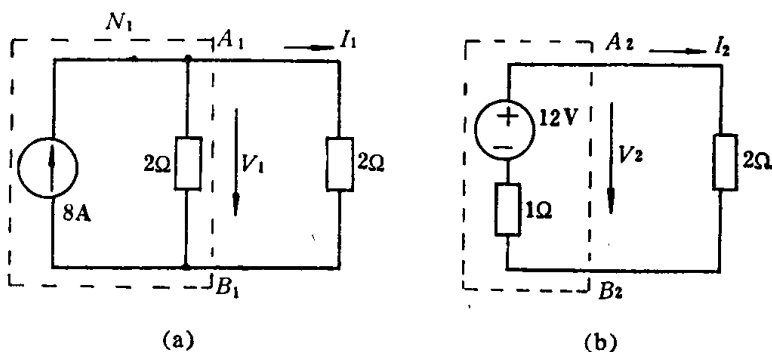


图 1-16 [题 1-16] 附图

$R_2=2$ 欧。可以计算出 $V_1=V_2=8$ 伏, $I_1=I_2=4$ 安。但是如果取 R_1 等于 R_2 、等于其它任何阻值, 都可以计算出 $V_1 \neq V_2, I_1 \neq I_2$ 。这就表明 N_1 与 N_2 并不等效。因为 N_1 是一个电流源, N_2 是一个电压源, 根据电流源—电压源的等效变换原理可以很容易地得出这个结论。

因此, 关于线性有源二端网络等效的问题应进一步明确概念: 二端网络等效的定义是两个端口的伏安关系应该完全相同。即外接任何同样的负载或电路时, 端口处的电压及电流都是相等的。注意: 这里是指端口外接“任何同样的负载和电路”, 而不是指某个特定的负载和电路。

同时还应注意, 等效是指对网络端口以外的负载和电路而言的, 对网络端口内部并不等效。

[题 1-17] 电路如图 1-17(a), 元件参数是: $E_1=9$ V、 $E_2=14$ V、 $E_3=16$ V、 $r_1=3$ Ω 、 $r_2=6$ Ω 、 $r_3=3$ Ω 、 $r_4=10$ Ω 。要求计算① K 断开时的电压 $V_{aa'}$; ② K 闭合后的电流 I_4 。并问使用哪种方法计算较为简便?(提示: 在分析、计算一个电路之前, 首先要看清题意, 认真分析电路, 特别是要抓住该题、该电路的特点, 然后再确定采用一种较为简便的方法进行分析计算)

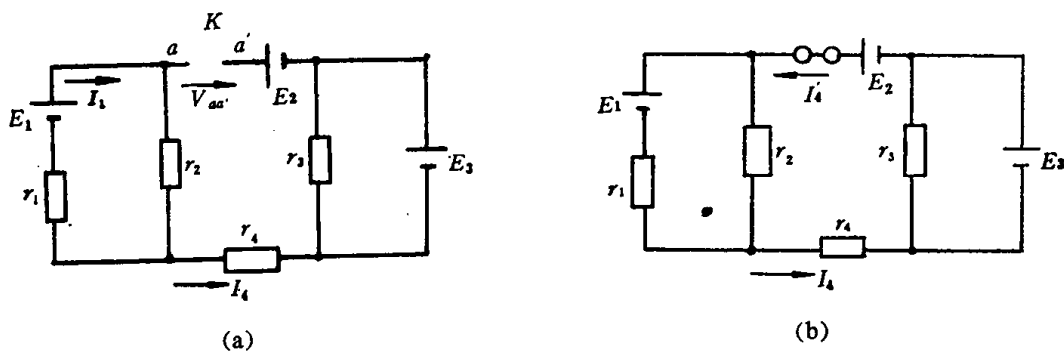


图 1-17 [题 1-17]附图

答: 对于图示电路来说, 简化计算的关键是将题目中的两部分计算任务结合起来考虑, 也就是在第一问计算的基础上完成第二问的计算任务。

① K 断开时, 计算电压 $V_{aa'}$

E_1, r_1, r_2 回路是简单电路, 可计算出

$$I_1=1 \text{ 安}$$

E_3 支路是恒压源支路。

列写 $a', E_2, E_3, r_4, r_1, E_1, a, a'$ 回路的 KVL 方程, 可求解 $V_{aa'}$ (此时因 K 断开, $I_4=0$)

$$V_{aa'}=E_1-E_2-E_3-I_1r_1=-24 \text{ 伏}$$

② 计算 K 闭合后的 I_4' [图 1-17(b)]

根据 KCL (扩展) 知 $I_4=I_4'$ 。

可利用戴文宁定理计算 I_4' 。为此, 断开 aa' , 计算开路电压 $V_{aa'}$, 且 $V_{aa'}$ 已如①所求, 所以只需计算出等效电阻 r_0 即可。

$$r_0=(r_1 \parallel r_2)+r_4=12 \text{ 欧}$$

至此可用等效电路算出 $I_4'=2$ 安。

且 $I_4=I_4'=2$ 安。

[题 1-18] 电路如图 1-18, 参数是 $I_{S1}=2.5$ A、 $I_{S2}=6$ A、 $R_1=4$ Ω 、 $R_2=5$ Ω 、 $R_3=5$ Ω 、 $R_4=1$ Ω , 若要在以下两种条件下分别计算支路电流 I 。① $E=2$ 伏, $R=1.4$ 欧; 或② $E=4$ 伏,

$R=2.4$ 欧。问: 使用哪一种方法计算较为简便?

答: 采用支路电流法计算本题, 不仅要解多元联立方程, 十分繁琐。而且应该注意, 在本计算题中, E 、 R 的参数有两组不同的数值, 这就使解方程和计算工作量增加了一倍。

简化计算的关键是如何在第一次计算的基础上, 能够比较容易地得到第二组 E 、 R 参数所对应的支路电流 I 。用叠加原理, 特别是使用戴文宁定理计算本题就有这样的特点, 不仅简化了计算, 而且不易出差错。

用戴文宁定理计算: ① 将 E 、 R 支路以外的部分电路——一个有源二端网络用一个等效的电压源来代替。电源的电动势 $E_0=22$ 伏、内阻 $r_0=3.6$ 欧。

② 等效电压源与 E 、 R 支路构成了一个简单电路, 分别代入 E 、 R 的两组参数, 可以很容易地得到两种情况下的支路电流 I 分别等于 4 安和 3 安。

【题 1-19】 一个恒压源 V_1 与电阻 R 串联, 为 R 提供电功率 20 瓦; 另一个恒压源与同一电阻 R 串联, 为 R 提供电功率 80 瓦。如果将这两个恒压源以及电阻 R 串联, 则两个电源共同作用时, 为 R 提供的电功率是多少? 有人说是 100 瓦, 有人说是 180 瓦, 有人说是 20 瓦, 你认为哪种说法是正确的? (通过本题应进一步理解和掌握叠加原理、特别是叠加原理的适用范围)

答: 本题给出了两个电源各自单独作用时所产生的效果, 求在两个电源共同作用下所产生的效果, 因此应采用叠加原理来分析。

两个恒压源串联向 R 提供电流, 其作用效果相当于它们各自单独向 R 提供电流的代数和。但是应该注意, 叠加原理只适用于线性电路中电流和电压的叠加, 对功率的计算则不能使用叠加原理。因为功率是电压或电流的二次函数。因此可以判定一种说法是错误的。因为它是把恒压源 V_1 及 V_2 各自单独作用时, 向 R 提供的功率直接相加得到的, 即 20 瓦 + 80 瓦 = 100 瓦。

对于第二种说法及第三种说法要经过具体的分析计算才能判断它们正确与否。

恒压源 V_1 和 V_2 串联, 且电压极性相同, 如图 1-19(a) 所示。

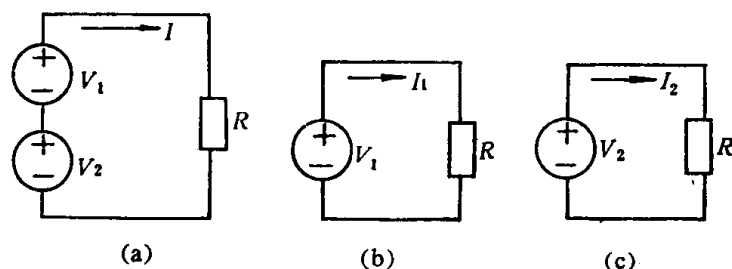


图 1-13 叠加原理

应用叠加原理分析计算:

V_1 恒压源单独作用时, R 的功率为 20 瓦, 则根据功率的计算公式 $P=I^2R$, 可得电路中电流 I_1 的表示式

$$I_1 = \sqrt{\frac{P_1}{R}} = \sqrt{\frac{20}{R}} \quad [\text{图 1-19(b)}]$$

同理可得 V_2 恒压源单独作用时, 电流 I_2 的表示式

$$I_2 = \sqrt{\frac{P_2}{R}} = \sqrt{\frac{80}{R}} \quad [\text{图 1-19(c)}]$$

V_1 、 V_2 两个恒压源共同作用时, 电路中的电流 I 可以应用叠加原理计算, 即

$$I = I_1 + I_2 = \sqrt{\frac{20}{R}} + \sqrt{\frac{80}{R}}$$

这时 R 得到的总功率

$$\begin{aligned} P &= I^2 R = (I_1 + I_2)^2 R \\ &= \left(\sqrt{\frac{20}{R}} + \sqrt{\frac{80}{R}} \right)^2 \cdot R = 180 \text{ 瓦} \end{aligned}$$

恒压源 V_1 与 V_2 串联, 但极性相反, 如图 1-20 所示。

用迭加原理计算恒压源 V_1 及 V_2 单独作用时之电流 I_1 与 I_2 同前。

恒压源 V_1 和 V_2 共同作用时电路中的电流

$$I = I_2 - I_1 = \sqrt{\frac{80}{R}} - \sqrt{\frac{20}{R}}$$

这时电阻 R 得到的总功率

$$\begin{aligned} P &= I^2 R = (I_2 - I_1)^2 R \\ &= \left(\sqrt{\frac{80}{R}} - \sqrt{\frac{20}{R}} \right)^2 \cdot R = 20 \text{ 瓦} \end{aligned}$$

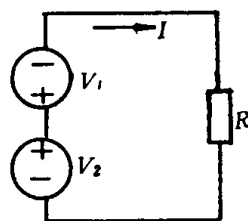


图 1-20 叠加原理(电源极性相反)

结论: 恒压源 V_1 和 V_2 串联时, 极性相同, 电阻 R 得到的功率是 180 瓦; 极性相反, 电阻 R 得到的功率是 20 瓦。

§ 1-2 例题讲解

[例 1-1] 在图 1-21 所表示的电路中, 已知 $I_1=0.7$ 安、 $I_2=0.4$ 安、 $I_3=0.9$ 安、 $I_5=1$ 安, 计算 I_4 (各支路电流的正方向已给定, 并示于图中)。

题意分析: 本题目的是灵活运用克希荷夫电流定律, 并深入理解电流正方向的物理意义。

克希荷夫电流定律不仅适用于节点, 也适用于电路的某一部分。方法是用一个假想的封闭表面将这一部分电路包围, 并将它看成是一个大节点, 然后列写 KCL 方程。

解题步骤: ① 将图中所示的部分电路看作是一个大节点, 据 KCL: $\sum I = 0$, 所以

$$\begin{aligned} -I_1 - I_2 - I_3 - I_4 + I_5 &= 0 \\ I_4 &= -I_1 - I_2 - I_3 + I_5 \end{aligned}$$

代入数据

$$I_4 = -0.7 - 0.4 - 0.9 + 1 = -1 \text{ 安}$$

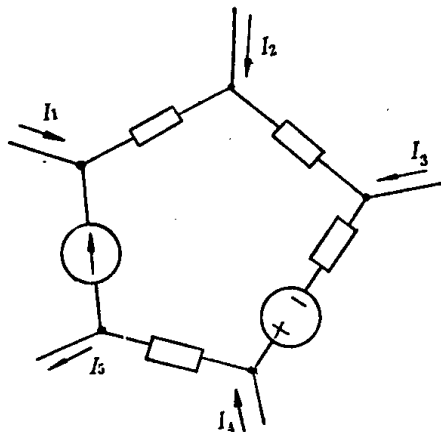


图 1-21 KCL 的应用

② 讨论: 电路中用箭头所表示的支路电流方向除非特别指明的以外, 均为参考方向, 又叫正方向。当电流的真实方向与参考方向一致时, 电流是正值; 反之电流是负值。本题中 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_5 都是正值, 说明它们的真实方向与图示参考方向一致。 I_4 是负值, 它的真实方向与图示参考方向相反, 是流出节点的。

[例 1-2] 在图 1-22(a) 所表示的电路中, ① 如果 $V_1=14$ 伏、 $V_2=2$ 伏、 $V_4=9$ 伏, 计算