



思考与练习

- 2-1-1 串、并联电路的电压、电流、电阻和功率各有什么特性?
- 2-1-2 电阻Y- Δ 等效变换对电路内部和外部是否都等效?
- 2-1-3 图 2-1-16 是汽车照明电路图,请分析这些照明灯的串、并联关系及其工作特点。

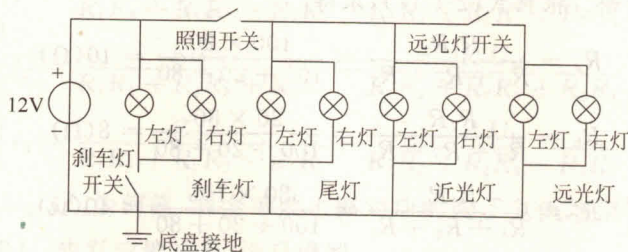


图 2-1-16 汽车外部照明系统图

- 2-1-4 如图 2-1-17 所示是家庭用电系统。试分析家庭用电系统的灯和家用电器的分布特点。
- 2-1-5 电阻值都为 10Ω 的电阻 R_1 与 R_2 串联。若 R_1 电阻消耗的功率为 1000W , 则通过 R_2 的电流为多少?
- 2-1-6 求图 2-1-18 所示电路的等效电阻 R_{ab} 。

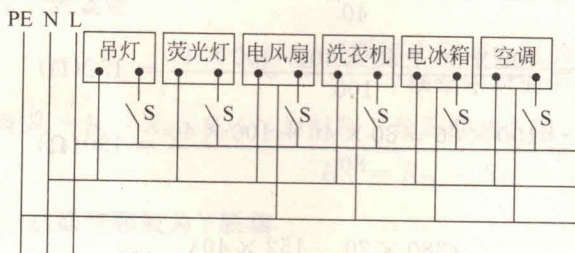


图 2-1-17 住宅电路布线图

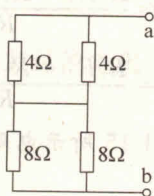


图 2-1-18 题 2-1-6 图

2.2 电源的等效变换与应用

【学习目标】

- 掌握电源等效变换的方法。
- 能用电源等效变换的方法计算电路中的电压、电流、电阻、功率等参数。

【学习指导】

在分析电路时,经常会遇到含有多个不同电源(包括电压源与电流源)的复杂电路,若不经简化,求解电路的过程就会很复杂。在解决此类复杂电路问题时,掌握电压源与电流源的等效变换十分重要,也非常有效。

2.2.1 方法探索

在图 2-2-1 所示电路中,有三个电压源,现在要求 6V 电压源上流过的电流。

对本例来说,根据前面所学知识,如果用 KVL 和 KCL 求解电路,需列出多个电路方程,比较烦琐。仔细分析图 2-2-1 所示电路的特点,12V 和 9V 电压源是并联的,不能直接合并。若把电压源等效成电流源,就能解决问题。下面学习两种电源的等效变换。

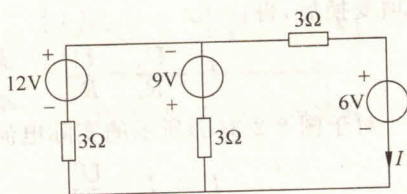


图 2-2-1 多电源电路

2.2.2 电源等效变换及其应用

1. 预备知识

前面章节已学习了电压源和电流源及其特性,除此之外,还应掌握理想电源在电路中的特点。

(1) 理想电压源两端的电压恒定,任何与理想电压源并联的元件不影响理想电压源的对外输出。因此对外电路而言,在分析电路时,可将与理想电压源并联的任何元件看作开路,如图 2-2-2(a)所示。但在计算电压源提供的总电流或总功率时,电阻元件和电流源不能忽略。

(2) 理想电流源输出的电流恒定,任何与理想电流源串联的元件不影响理想电流源的对外输出。因此对外电路而言,在分析电路时,可将与理想电流源串联的任何元件看作短路,如图 2-2-2(b)所示。但在计算支路两端的总电压或总功率时,电阻元件和电压源不能舍去。

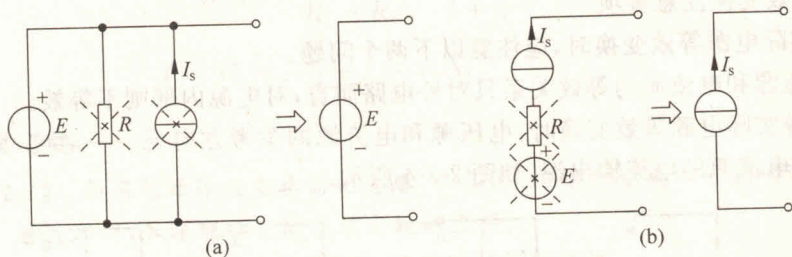


图 2-2-2 几个说明

(3) 理想电压源与理想电流源之间不能等效变换。

2. 电源等效变换

(1) 等效变换规律

实际电源可以用电压源模型表示,也可以用电流源模型表示。使用电压源模型或电流源模型来描述不同的电源,是为了更符合这些电源的外部特性,便于对其进行分析。如果实际电源可以由不同的模型来表示,二者之间就有对应的转换关系。

图 2-2-3 所示是一个两种实际电源向同一个外电路供电的例子。这个外电路上的电

压、电流完全一致。下面分析这两种实际电源的等效变换关系。

对于图 2-2-3(a)所示的实际电压源,有

$$U = U_s - IR_s$$

移项变换后,得

$$I = \frac{U_s}{R_s} - \frac{U}{R_s} \quad (2-2-1)$$

对于图 2-2-3(b)所示的实际电流源,有

$$I' = I_s - \frac{U'}{R_s'} \quad (2-2-2)$$

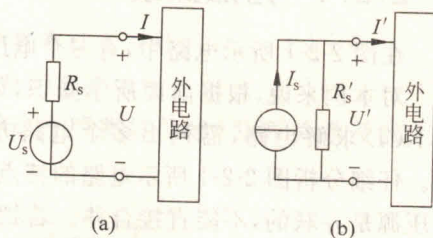


图 2-2-3 两种实际电源的等效变换

根据等效变换的要求,两种电源向外电路提供的电流和电压完全相等,这就要求图 2-2-3(a)中的电压 U 和电流 I 分别与图 2-2-3(b)中的电压 U' 和电流 I' 对应相等,即

$$I = I', \quad U = U'$$

$$\frac{U_s}{R_s} - \frac{U}{R_s} = I_s - \frac{U'}{R_s'}$$

令 $R_s = R_s'$, 则有

$$\frac{U_s}{R_s} = I_s \quad \text{或} \quad U_s = I_s R_s \quad (2-2-3)$$

这就是两种实际电源等效变换的关系式。因此,实际电源的等效变换规律如下所述。

① 当实际电压源等效变换为实际电流源时,电流源的并联内阻等于电压源的串联内阻,电流源的电流为 $I_s = \frac{U_s}{R_s}$ 。

② 当实际电流源等效变换为实际电压源时,电压源的串联内阻等于电流源的并联内阻,电压源的电压为 $U_s = I_s R_s$ 。

(2) 等效变换注意事项

两种实际电源等效变换时,应注意以下两个问题。

① 电压源和电流源的等效关系只对外电路而言,对电源内部则不等效。

② 两种实际电源等效变换时,电压源和电流源的参考方向要一一对应,即电压源的正极对应于电流源的电流输出端,如图 2-2-4 所示。

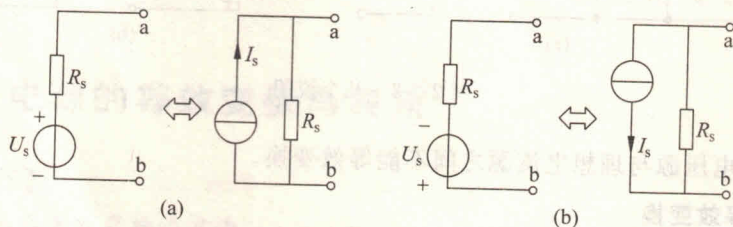


图 2-2-4 电压源和电流源参考方向的对应关系

3. 电源等效变换解题步骤

电源等效变换的解题步骤如例 2-2-1 所示。

【例 2-2-1】如图 2-2-5 所示电路,已知 $R_1 = R_2 = 3\Omega$, $R_3 = 6\Omega$, $U_{s1} = 30\text{V}$, $U_{s2} = 15\text{V}$ 。

试用电源等效变换求解电阻 R_3 中流过的电流 I 。

【解】 通过本例,学习电源等效变换的基本应用。

(1) 观察所求电路,确定需要变换的电源并进行等效变换。

在图 2-2-5 中,实际电压源 U_{s1} 与 U_{s2} 并联,不能直接合并,因此需将 2 个电压源等效变换为电流源。根据公式 $I_s = \frac{U_s}{R_s}$,可得

$$I_{s1} = \frac{U_{s1}}{R_1} = \frac{30}{3} = 10(\text{A})$$

$$I_{s2} = \frac{U_{s2}}{R_2} = \frac{15}{3} = 5(\text{A})$$

等效变换后的电路如图 2-2-6 所示。

(2) 简化电路。

简化图 2-2-6 所示电路,合并电流源和电阻 R_1 、 R_2 ,简化后的电路如图 2-2-7 所示。

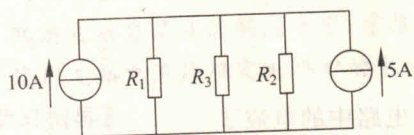


图 2-2-6 等效变换后的电路图

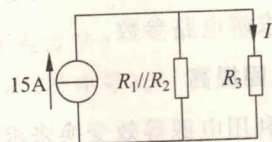


图 2-2-7 图 2-2-6 简化后的电路

(3) 求解电路参数 I 。

$$R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{3 \times 3}{3 + 3} = 1.5(\Omega)$$

$$I = 15 \times \frac{1.5}{1.5 + 6} = 3(\text{A})$$

4. 边学边练

【例 2-2-2】 利用电源等效变换简化电路,计算图 2-2-8 所示电路中的电流 I 。

【解】 通过本例,加深理解电源等效变换的应用。

(1) 观察所求电路,确定需要变换的电源并进行等效变换。

在图 2-2-8 中,5A 实际电流源不能与串联的 2A 实际电流源合并,因此需将这两个电流源等效变换为电压源,根据公式 $U_s = I_s R_s$,可得到如图 2-2-9 所示的电路。

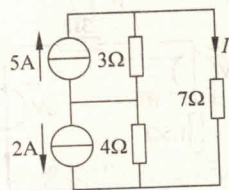


图 2-2-8 例 2-2-2 电路图

(2) 简化电路。

简化图 2-2-9,合并电压源和电阻,简化后的电路如图 2-2-10 所示。

(3) 求解电路参数 I 。

$$I = \frac{7}{7 + 7} = 0.5(\text{A})$$

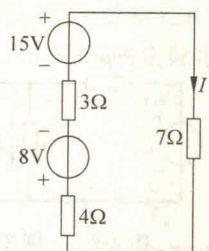


图 2-2-9 变换为电压源的电路图

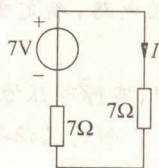


图 2-2-10 图 2-2-9 简化后的电路

5. 方法总结与归纳

通过以上两例,总结与归纳电源等效变换的解题过程如下:

(1) 观察所求电路,确定需要变换的电源,再根据 $I_s = \frac{U_s}{R_s}$ 或 $U_s = I_s R_s$ 进行等效变换。

(2) 对变换后的电压源或电流源进行合并处理,简化等效变换后的电路图。

(3) 求解电路参数。

6. 巩固提高

下面利用电源等效变换来求解图 2-2-1 所示电路中的电流 I 。

【例 2-2-3】 如图 2-2-1 所示电路,试用电源等效变换法求电流 I 。

【解】 通过本例巩固电源等效变换的应用。

(1) 在图 2-2-1 中,12V 实际电压源不能与并联的 9V 实际电压源合并,因此需将这两个电压源等效变换为电流源。根据公式 $I_s = \frac{U_s}{R_s}$,得到如图 2-2-11 所示电路。

(2) 图 2-2-11 简化后如图 2-2-12 所示。

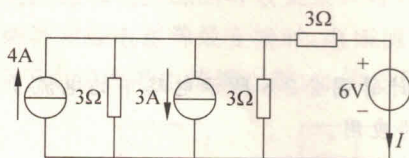


图 2-2-11 例 2-2-3 电路图

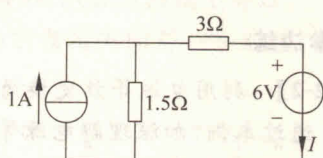


图 2-2-12 图 2-2-11 简化后的电路图

(3) 6V 实际电压源不能与串联的 1A 实际电流源合并,因此需将电流源等效变换为电压源。根据公式 $U_s = I_s R_s$,得到如图 2-2-13 所示电路。

(4) 求解电流 I 。

$$I = \frac{-6 + 1.5}{3 + 1.5} = -1(\text{A})$$

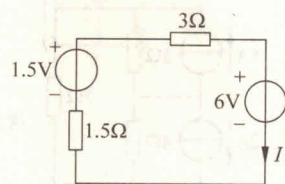


图 2-2-13 变换后的电路图



2-2-

2-2-

(1)

(2)

(3)

(4)

2-2-

任何电流

2-2-

2.3

【学

• 熟

• 能

【学

在电

面学过的

量,以基

题的基本

2.3

通过

多电路含

应用欧姆

求解

的电流都

未知支路

欧姆定律

思考与练习

2-2-1 理想电压源和理想电流源各有什么特点?

2-2-2 判断以下说法是否正确:

- (1) 理想电流源的输出电流是不固定的,随负载变化。
- (2) 理想电流源的输出电流是固定的,不随负载变化。
- (3) 理想电压源的输出电压是不固定的,随负载变化。
- (4) 理想电压源的输出电压是固定的,不随负载变化。

2-2-3 两种实际电源等效变换的条件是什么? 是不是任何电流源都可以转换成电压源?

2-2-4 求图 2-2-14 所示电路的最简等效电路。

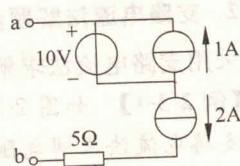


图 2-2-14 题 2-2-4 图

2.3 支路电流法及其应用

【学习目标】

- 熟悉支路电流法的解题步骤,掌握支路电流法的解题方法。
- 能用支路电流法确定电路中的电量参数(电压、电流、功率等)。

【学习指导】

在电路学习中,会碰到含有多个电源和多条支路的复杂电路。对于此类电路,应用前面学过的电阻等效变换和电源等效变换等方法,分析过程非常复杂。以支路电流为未知量,以基尔霍夫定律为基础,通过列写电路方程求解的支路电流法可提供解决一般电路问题的基本方法。

2.3.1 方法探索

通过前面的学习,我们已经能分析含有一个电源的简单电路,如图 2-3-1 所示。但很多电路含有多个电源,如图 2-3-2 所示。若要求解电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 中流过的电流,简单地应用欧姆定律、基尔霍夫定律和各类电阻联结规律,将无法解决问题。

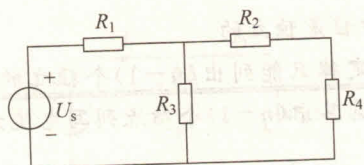


图 2-3-1 单电源电路

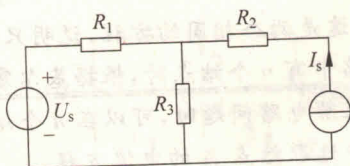


图 2-3-2 双电源电路

求解如图 2-3-2 所示电路前,先观察电路的特点。此电路有多条支路,且每条支路上的电流都是未知数,若能根据未知电流的个数 n 列写 n 个方程,通过联立方程,就能求解未知支路的电流。这种电路分析方法就是下面将要讨论的支路电流法,它是一种建立在欧姆定律和基尔霍夫定律基础之上的电路分析方法。