

目 录

教学模块 1	电路的基本概念和基本定律	(1)
课题 1	电路和电路的基本模型	(1)
课题 2	电路的主要物理量	(4)
课题 3	电路中的基本元件	(9)
课题 4	电路的基本工作状态	(14)
课题 5	基尔霍夫定律	(16)
课题 6	电压源、电流源及其等效变换	(21)
教学模块 2	电阻电路	(33)
课题 1	电阻的串联、并联	(33)
课题 2	电阻的三角形与星形连接的等效变换	(40)
课题 3	支路电流分析法	(44)
课题 4	节点电压法	(47)
课题 5	网孔电流法	(52)
课题 6	戴维南定理及其等效变换	(56)
课题 7	叠加定理	(60)
教学模块 3	单相正弦交流电路	(66)
课题 1	正弦交流电的基本知识	(66)
课题 2	正弦量的相量表示	(71)
课题 3	单一参数正弦交流电路	(74)
课题 4	RLC 串并联电路	(80)
课题 5	功率因数及其提高	(84)
课题 6	谐振	(88)
教学模块 4	三相正弦交流电路	(105)
课题 1	三相电源、三相负载的连接	(105)
课题 2	三相电路功率的计算	(114)
教学模块 5	磁路和铁芯线圈电路	(120)
课题 1	磁场的物理量及磁路欧姆定律	(120)



课题 2	电磁感应现象	(124)
课题 3	自感与互感	(125)
课题 4	电磁铁	(130)
课题 5	变压器的结构和工作原理	(134)
教学模块 6	电动机	(139)
课题 1	三相异步电动机结构与工作原理	(139)
课题 2	三相异步电动机的特性	(145)
课题 3	三相异步电动机的运行	(148)
课题 4	三相异步电动机参数与选择	(151)
教学模块 7	电气控制基础	(158)
课题 1	常用低压电器	(158)
课题 2	三相异步电动机的基本控制电路	(164)
教学模块 8	一阶动态电路分析	(171)
课题 1	换路定理与初始值的确定	(171)
课题 2	一阶电路的零输入响应	(176)
课题 3	一阶电路的零状态响应	(181)
课题 4	一阶电路的全响应	(186)
课题 5	一阶电路全响应的三要素法	(189)
课题 6	微分电路与积分电路	(193)
参考文献	(201)



教学模块 1 电路的基本概念和基本定律



模块教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
电路和电路的基本模型	了解	电路的组成、作用以及电路的基本模型
电路的主要物理量	掌握	电压、电流、电位、电功率等基本物理量
电路中的基本元件	了解	电阻、电容和电感元件的特点
电路的基本工作状态	掌握	电路的开路、通路、短路状态及其特点
基尔霍夫定律	掌握	基尔霍夫电压定律、基尔霍夫电流定律
电压源电流源及其等效变换	掌握	电压源、电流源及其等效变换



课题 1 电路和电路的基本模型



学习目标

1. 了解电路的组成和作用；
2. 熟悉实际电路用电路模型表示。



重点与难点

课题的重点：电路的组成和作用。

课题的难点：实际电路用电路模型表示。



一、实际电路及其作用

在日常的生产生活中广泛应用着各种各样的电路,它们都是实际器件按一定方式连接起来,以形成电流的通路。实际电路的种类很多,不同电路的形式和结构也各不相同,但简单电路一般都是由电源、负载、连接导线、控制和保护装置四个部分按照一定方式连接起来的闭合回路。实际应用中电路是多种多样的,但就其功能来说可概括为两个方面:一是进行能量的传输、分配与转换,如电力系统中的输电电路。二是实现信息的传递与处理,如收音机、电视机电路。图 1-1 所示为日常生活中用的手电筒电路,它也由四部分组成。

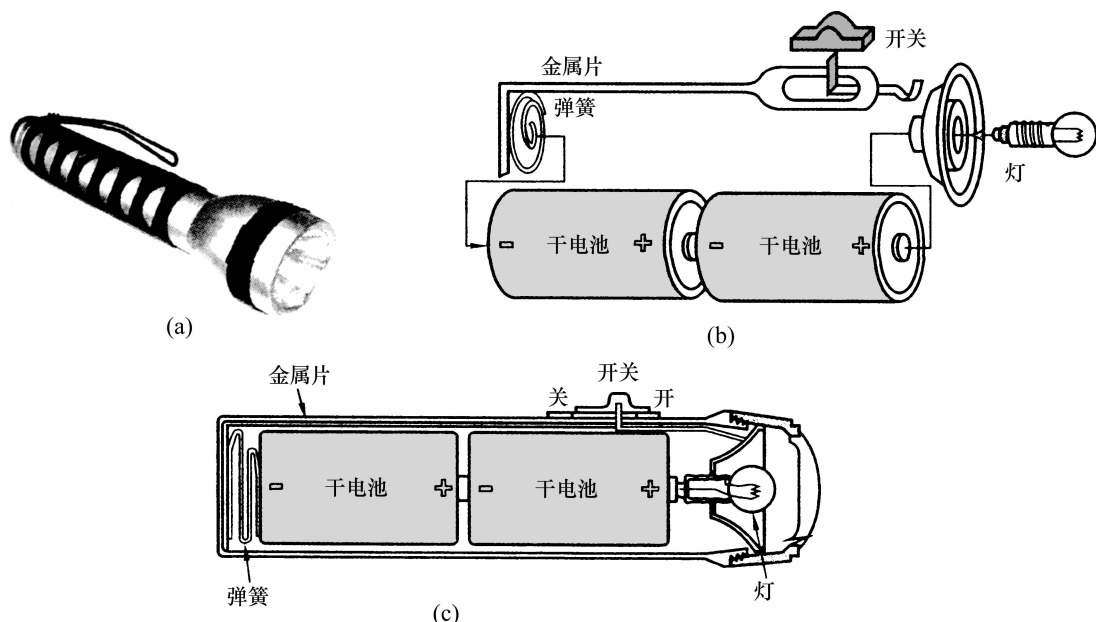


图 1-1 手电筒外形与实际电路

(a)手电筒实物图;(b)手电筒内部电路;(c)手电筒结构

(一)电源:干电池

电源是电路中电能的提供者,是将其他形式的能量转化为电能的装置。图 1-1 中干电池是将化学能转化为电能。含有交流电源的电路称为交流电路,含有直流电源的电路称为直流电路。常见的直流电源有干电池、蓄电池、直流发电机等。

(二)负载:灯泡

负载即用电装置,它将电源供给的电能转换为其他形式的能量。图 1-1 中灯泡将电能转换为光能和热能。

(三)控制和保护装置:开关

控制和保护装置是用来控制电路的通断,保证电路正常工作。



(四)连接导体或导线:金属外壳

连接导体是连接电路、输送和分配电能的。

二、电路模型

图 1-1 所示电路在分析器件的接法和原理时是很有用的,但要用它对电路进行定量分析和计算,则很不方便,所以通常用一些简单但却能够表征电路主要电磁性能的理想元件来代替实际部件。这样一个实际电路就可以由多个理想元件的组合来模拟,这样的电路称为电路模型。

建立电路模型的意义十分重要。实际电气设备和器件的种类繁多,但理想电路元件只有有限的几种,因此建立电路模型可以使电路的分析大大简化,同时值得注意的是电路模型反映了电路的主要性能,而忽略了它的次要性能,因而电路模型只是实际电路的近似,二者不能等同。

关于实际部件的模型概念还需要强调说明几点:

(1)理想电路元件是具有某种确定的电磁性能的元件,是一种理想的模型,实际中并不存在,但其在电路理论分析与研究中充当着重要角色。

(2)不同的实际电路部件,只要具有相同的主要电磁性能,在一定条件下可用同一模型表示。如只表示消耗电能的理想电阻元件 R (电灯、电阻炉、电烙铁等);只表示存储磁场能量的理想电感元件 L (各种电感线圈);只表示存储电场能量的理想电容元件 C (各种类型的电容器)。这三种最基本的理想元件可以代表种类繁多的各种负载。

(3)同一个实际电路部件在不同的应用条件下,它的模型也可以有不同的形式。如实际电感器应用在低频电路里,可以用理想电感元件 L 代替;应用在较高频率电路中,可以用理想电感元件 L 与理想电阻元件 R 串联代替;应用在更高频率电路中,则可以用理想电感元件 L 与理想电阻元件 R 串联后,再与理想电容元件 C 并联代替。

将实际电路中各个部件用其模型符号来表示,这样画出的图称为实际电路的电路模型图,也称为电路原理图。图 1-2 就是图 1-1 所示实际电路的电路原理图。各种电气元件都可以用图形符号或文字符号来表示。根据国标规定部分常用的电气元件符号见表 1-1。如何建立一个实际电路的模型是较复杂的问题,本书主要分析研究已经建立起来的电路模型。

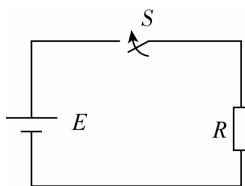


图 1-2 手电筒电路原理



表 1-1 常用电气原件符号

元件名称	符 号	元件名称	符 号
固定电阻		电容	
可调电阻		可调电容	
电池		无铁芯电感	
开关		有铁芯电感	
电流表		相连接的交叉导线	
电压表		不连接的交叉导线	
电压源		接地	
电流源		保险丝	

课题 2 电路的主要物理量



学习目标

1. 了解电路的基本物理量的意义、单位和符号；
2. 掌握电流与电压正方向的确定方法和电路中电位的计算方法。



重点与难点

课题的重点:电位的计算方法。

课题的难点:电流与电压正方向的确定和电位的计算。

电路中物理量有电流、电压、电位、电功率、电能量等,它们的符号及单位列于表 1-2 中。

表 1-2 电路中主要物理量的符号及单位

量的名称	符号	单位名称	单位符号
电流	I	安【培】	A



电压	U	伏【特】	V
电位	φ	伏【特】	V
电功率	P	瓦【特】	W
电能量	W	焦【耳】或度	J 或 kWh

一、电流

在电源中电场力的作用下,带电粒子有规则地定向运动就形成了电流,习惯上规定正电荷运动的方向为电流的方向。表示电流强弱的量称为电流,大小等于单位时间内通过导体横截面的电荷量,设在 dt 时间内通过导体横截面的电荷为 dq ,则通过该截面的电流为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

在一般情况下电流是随时间而变的,称为交流电流。如果电流不随时间而变,即 $dq/dt =$ 常量,则这种电流就称为直流电流,用大写字母 I 表示,它所通过的路径就是直流电路。在直流电路中,式(1-1)可写成

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

式中, Q 是在时间 t 内通过导体截面的电荷量。

电流的单位是 A(安培)。 $1\text{A} = \frac{1\text{C}}{1\text{S}} = \frac{1\text{库}}{1\text{伏}}$ 。除安培外,常用的电流单位还有 kA(千安)、mA(毫安)和 μA (微安)。 $1\text{KA} = 10^3\text{A}$, $1\text{A} = 10^3\text{mA}$, $1\text{A} = 10^6\mu\text{A}$ 。

对于简单电路,电流实际方向根据电源极性很容易判断,可以直接标出,但在电路分析中,实际电路往往比较复杂,某一段电路中电流实际流动方向在分析计算前很难判断出来,因此很难在电路中标明电流的实际方向。由于这些原因,引入了电流“参考方向”的概念。

在计算前先任意选定某一个方向作为电流的参考方向,根据参考方向进行电路的相关计算,如计算结果电流为正值($I > 0$),则电流的参考方向与它的实际方向一致;如电流为负值($I < 0$),则电流的参考方向与它的实际方向相反,如图 1-3 所示。

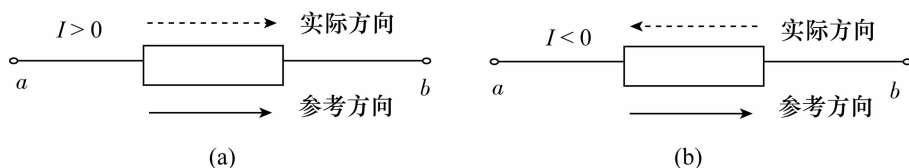


图 1-3 电流参考方向与它的实际方向间的关系

(a)方向相同 $I > 0$; (b)方向相反 $I < 0$

因此,在指定的电流参考方向下,电流值的正和负,就可以反映出电流的实际方向。

电流的参考方向是任意指定的,在电路中一般用箭头表示。也有用双下标表示的,如 I_{ab} ,



其参考方向是由 a 指向 b 。

二、电压

在图 1-4 所示电源的两个极板 a 和 b 上分别带有正、负电荷,这两个极板间就存在一个电场,其方向是由 a 指向 b 。当用导线和负载将电源的正负极连接成为一个闭合电路时,正电荷在电场力的作用下由正极 a 经导线和负载流向负极 b (实际上是自由电子由负极经负载流向正极),从而形成电流。电压是衡量电场力做功能力的物理量。我们定义: a 点至 b 点间的电压 U_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷由 a 点经外电路移到 b 点所做的功。

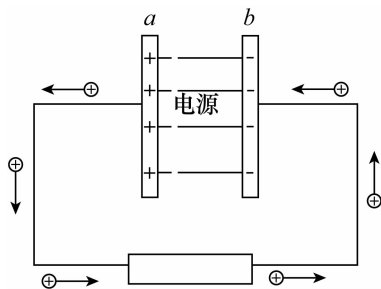


图 1-4 电场力对电荷做功

当电荷的单位为 C(库仑),功的单位为 J(焦耳)时,电压的单位为伏特,简称 V(伏),即 $1V = \frac{1J}{1C}$ 。在工程中还可用 kV(千伏)、mV(毫伏)和 μV (微伏)为计量单位。他们之间的换算关系是

$$1\text{kV} = 10^3\text{V} \quad 1\text{V} = 10^3\text{mV} = 10^6\mu\text{V} \quad 1\text{mV} = 10^3\mu\text{V}$$

电压的实际方向定义为正电荷在电场中受电场力作用(电场力作正功时)移动的方向。与电流一样,电压也有自己的参考方向,如图 1-5 用实线箭头或双下标表示。电压的参考方向也是任意指定的。在电路中,电压的参考方向可以用一个箭头来表示,也可以用正(+)、负(-)极性来表示,正极指向负极的方向就是电压的参考方向;还可以用双下标表示,如 U_{AB} 表示 A 和 B 之间的电压的参考方向由 A 指向 B (见图 1-5)。同样,在指定的电压参考方向下计算出的电压值的正和负,就可以反映出电压的实际方向。

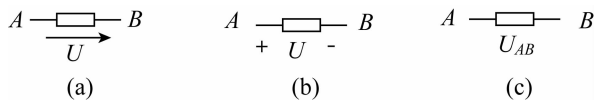


图 1-5 电压的参考方向表示法

“参考方向”在电路分析中起着十分重要的作用。

对一段电路或一个元件上电压的参考方向和电流的参考方向可以独立地加以任意指定。



如果指定电流从电压“+”极性的一端流入,并从标以“-”极性的另一端流出,即电流的参考方向与电压的参考方向一致,则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向。

三、电位

在电路中任选一点为参考点,则某点到参考点的电压就称为这一点(相对于参考点)的电位。参考点在电路中电位设为零又称为零电位点,在电路图中用符号“ \perp ”表示,如图 1-6 所示。电位用符号 φ 表示, A 点电位记做 φ_A 。

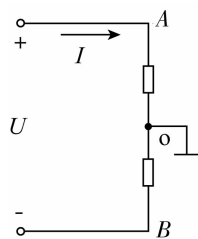


图 1-6 电位示意图

如当选择 O 点为参考点时,则 $\varphi_A = U_{AO}$ (1-3)

如果 A 点、B 点的电位分别为 φ_A 与 φ_B , 则

$$U_{AB} = U_{AO} + U_{OB} = U_{AO} - U_{BO} = \varphi_A - \varphi_B \quad (1-4)$$

所以,两点间的电压就是该两点电位之差,电压的实际方向是由高电位点指向低电位点,有时也将电压称为电压降。

注意:

电路中各点的电位值与参考点的选择有关,当所选的参考点变动时,各点的电位值将随之变动,因此,参考点一经选定,在电路分析和计算过程中,不能随意更改;在电路中不指定参考点而谈论各点的电位值是没有意义的。习惯上认为参考点自身的电位为零,即 $\varphi_0 = 0$, 所以参考点也称零电位点。

四、电能、电功率

正电荷从电路元件的电压“+”极,经元件移到电压的“-”极,是电场力对电荷做功的结果,这时元件吸取能量。相反地,正电荷从电路元件的电压的“-”极经元件移到电压“+”极,元件向外释放能量。

对于直流电能量

$$W = UI t \quad (1-5)$$

式中 W —— 电路所消耗的电能, J;

U —— 电路两端的电压, V;

I —— 通过电路的电流, A;



t ——所用的时间, s。

在实际应用中,电能的另一个常用单位是千瓦时(1kWh),1千瓦时就是常说的1度电。

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J} \quad (1-6)$$

电功率表征电路元件或一段电路中能量变换的速度,其值等于单位时间(秒)内元件所发出或接受的电能。

$$\text{功率} \quad P = \frac{W}{t} = \frac{UI t}{t} = UI \quad (1-7)$$

式中 P ——电路吸收的功率, W。

P, U, I, t 的单位分别为瓦特(W)、伏特(V)、安培(A)、秒(S),常用的电功率单位还有千瓦(KW)、毫瓦(mW),它们之间的换算关系为

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W} = 10^6 \text{ mW}$$

在电压和电流为关联参考方向下,电功率(用 P 表示)可用式(1-7)求得;在电压和电流为非关联参考方向下电功率 P 可由下式求得

$$P = -UI \quad (1-8)$$

若计算得出 $P > 0$,表示该部分电路吸收或消耗功率;若计算得出 $P < 0$,表示该部分电路发出或提供功率。

以上有关功率的讨论同样适用于任何一段电路,而不局限于一个元件。

例 1-1 一空调器正常工作时的功率为 1214W,设其每天工作 4h,若每月按 30 天计算,试问一个月该空调器耗电多少度?若每度电费 0.80 元,那么使用该空调器一个月应缴电费多少元?

解:空调器正常工作时的功率为

$$1214 \text{ W} = 1.214 \text{ kW}$$

一个月该空调器耗电

$$W = Pt = 1.214 \text{ kW} \times 4 \text{ h} \times 30 = 145.68 \text{ kWh}$$

使用该空调器一个月应缴电费

$$145.68 \times 0.80 \approx 116.54 \text{ 元}$$

例 1-2 试求图 1-7 中元件的功率,并说明是吸收功率还是发出功率。

解:图 1-7(a)中,电压与电流为关联参考方向, $P = UI = 3 \times 6 = 18 \text{ W}$, $P > 0$,该元件吸收功率;

图 1-7(b)中,电压与电流为非关联参考方向, $P = -UI = -3 \times 6 = -18 \text{ W}$, $P < 0$,该元件发出功率;

图 1-7(c)中,电压与电流为非关联参考方向, $P = -UI = -3 \times 6 = -18 \text{ W}$, $P < 0$,该元件发出功率;

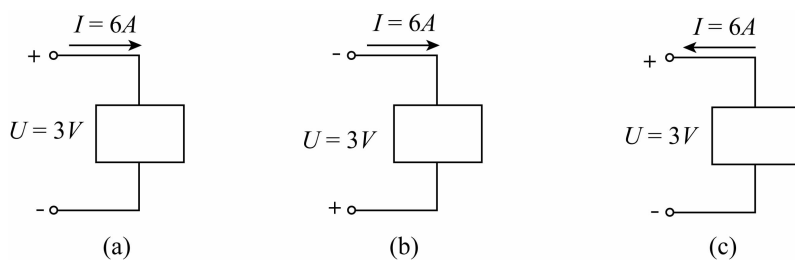


图 1-7 例 1-2 图

例 1-3 求图示中各元件的功率。

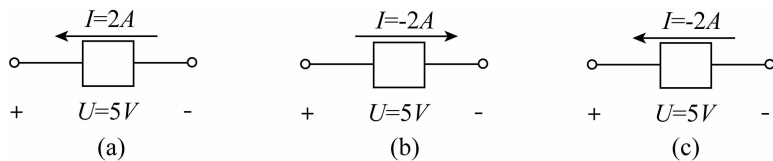


图 1-8 例 1-3 图

解:图 1-8(a)中关联方向, $P = UI = 5 \times 2 = 10\text{W}$, $P > 0$, 吸收功率。

图 1-8(b)中关联方向, $P = UI = 5 \times (-2) = -10\text{W}$, $P < 0$, 发出功率。

图 1-8(c)中非关联方向, $P = -UI = -5 \times (-2) = 10\text{W}$, $P > 0$, 吸收功率。

课题 3 电路中的基本元件



学习目标

了解电路中常见的三类元件



重点与难点

课题的重点:电路中基本元件的特点。

课题的难点:电路中基本元件的特点。

一、电阻元件

电阻元件是反映消耗电能这一物理现象的一个二端电路元件,分为线性电阻元件和非线性电阻元件。在任何时刻,对于线性电阻元件,它两端的电压与其电流的关系服从欧姆定律,图形



符号见图 1-9。

当电压与电流为关联参考方向时,见图 1-9(a), $U = IR$ (1-9)

当电压与电流为非关联参考方向时,见图 1-9(b), $U = -IR$ (1-10)

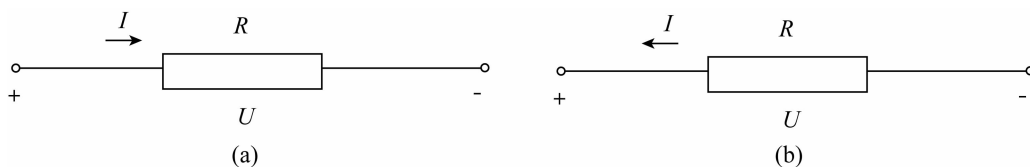


图 1-9 电压电流参考方向的关系

(a)关联参考方向;(b)非关联参考方向

如果把电阻元件的电压取为纵坐标(或横坐标),电流取为横坐标(或纵坐标),画出电压和电流的关系曲线,这条曲线称为该电阻元件的伏安特性。线性电阻元件的伏安特性是通过坐标原点的直线,元件上电压与元件中电流成正比,见图 1-10。

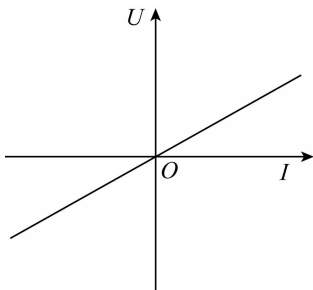


图 1-10 电阻元件伏安特性

令 $G = \frac{1}{R}$, 定义为电阻元件的电导,则式(1-9)变成 $I = GU$ 。

电阻的单位为欧姆(Ω),简称欧;电导的单位为西门子(S)。

如果电阻元件电压的参考方向与电流的参考方向相反,见图 1-9(b),则欧姆定律应写为 $U = -IR$ 或 $I = -GU$,所以公式必须与参考方向配套使用。

在电压和电流的关联方向下,任何时刻线性电阻元件吸取的电功率为

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (1-11)$$

电阻 R 是一个与电压 U 、电流 I 无关的正实常数,故功率 P 恒为非负值。这说明任何时刻电阻元件绝不可能发出电能,也就是它吸取的电能全部转换成其他非电能量而被消耗掉或作为其他用途。所以,线性电阻元件($R > 0$)不仅是无源元件,并且还是耗能元件,它总是消耗功率的。

与线性电阻元件不同,非线性电阻元件的伏安特性不是一条通过原点的直线,所以元件上电压和元件电流之间不服从欧姆定律,且元件的电阻将随电压或电流改变而改变。下面为了叙



述方便,把线性电阻元件简称为电阻。这样,“电阻”这个术语以及它相应的符号 R ,一方面表示一个电阻元件,另一方面亦表示这个元件的参数。

二、电容元件

工程中,电容器应用极为广泛。电容器虽然品种和规格很多,但就其构成原理来说,都是由两块金属极板间隔以不同的介质(如云母、绝缘纸、电解质等)所组成。加上电源后,极板上分别聚集起等量异号的电荷,在介质中建立起电场,并储存有电场能量。电源移去后,电荷可以继续聚集在极板上,电场继续存在。所以电容器是一种能够储存电场能量的实际电路元件,这样就可以用一个仅储存电场能量的理想元件——电容元件作为它的模型。

线性电容元件是一个理想无源二端元件,它在电路中的图形符号如图 1-16 所示, C 称为电容元件的电容,单位是法拉(F); u 为两端变化的电压, i 为两端变化的电流,即交流电压电流的瞬时值。

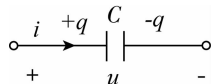


图 1-11 线性电容元件的图形符号

电容极板上的电荷量 q 与其两端的电压 u 有以下关系

$$q = Cu \quad (1-12)$$

当 $q = 1$ 库仑、 $u = 1$ 伏特时, $C = 1$ 法拉。法拉简称法,用 F 表示。实际电容器的电容往往比 1 法拉小得多,因此通常采用微法(μF)和皮法(pF)作为电容的单位,它们之间的关系是

$$1F = 10^6 \mu F = 10^{12} pF$$

当电容极板间电压 u 变化时,极板上电荷 q 也随着改变,于是电容器电路中出现电流 i 。如指定电流参考方向为流进正极板,也即与电压 u 的参考方向一致,如图 1-11 所示,则电流

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-13)$$

式(1-13)指出,任何时刻,线性电容元件中的电流与该时刻电压的变化率成正比。当元件上电压发生剧变(即 $\frac{du}{dt}$ 很大)时,电流很大;当电压不随时间变化时,则电流为零,这时电容元件相当于开路。在直流电路中,电容上即使有电压,但 $i = 0$,相当于开路,故电容元件有隔断直流(简称隔直)的作用。

在电压和电流的关联参考方向下,线性电容元件吸收的功率为

$$p = ui = Cu \frac{du}{dt} \quad (1-14)$$

从 t_0 到 t 时间内,电容元件吸收的电能为:



$$W_C = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t ui dt = \int_{t_0}^t C \frac{du}{dt} u dt = \int_{u(t_0)}^{u(t)} Cu du = \frac{1}{2}Cu(t)^2 - \frac{1}{2}Cu(t_0)^2 \quad (1-15)$$

如果选取 t_0 为电压等于零的时刻, 即有 $u(t_0) = 0$, 电容处于未充电状态, 电场能量为零, 则从 t_0 到 t 时间内, 电容元件储存的电场能量为

$$W_C = \frac{1}{2}Cu^2 \quad (1-16)$$

它等于元件在任意时刻 t_2 和起始时刻 t_1 的电场能量之差。

电容元件充电时, $|u(t_2)| > |u(t_1)|$, $W_C(t_2) > W_C(t_1)$, $W_C > 0$, 元件吸收能量, 并全部转换成电场能量; 元件放电时, $|u(t_2)| < |u(t_1)|$, $W_C(t_2) < W_C(t_1)$, $W_C < 0$, 电容元件释放电场能量。由上可知, 若电容元件原先没有充电, 那么它在充电时吸取并储存起来的能量一定又在放电完毕时全部释放, 它并不消耗能量。所以, 电容元件是一种储能元件。同时, 电容元件也不会释放出多于它所吸收或储存的能量, 因此它又是一种无源元件。

下面为了叙述方便, 把线性电容元件简称为电容。所以, “电容”这个术语以及它的相应符号 C , 一方面表示一个电容元件, 另一方面亦表示这个元件的参数。

电容器是为了获得一定大小的电容特意制成了元件。但是, 电容的效应在许多别的场合也存在。如一对架空输电线之间就有电容, 因为一对输电线可视做电容的两个极板, 输电线之间的空气则为电容极板间的介质, 这就相当于电容器的作用。又如晶体三极管的发射极、基极和集电极之间也都存在着电容。就是一只电感线圈, 各线匝之间也都有电容, 不过像这种所谓的匝间电容是很小的, 若线圈中电流和电压随时间变化不快, 其电容效应可忽略不计。

三、电感元件

由导线绕制而成的线圈或把导线绕在铁芯或磁芯上就构成一个常用的电感器。线圈中通以电流 i_L 后, 就会在线圈内部产生磁场, 产生磁通 φ_L , 若磁通 φ_L 与线圈 N 匝都交链 $\Phi_L = N\varphi_L$, 见图 1-12(该图中同时画出了线性电感元件在电路中的图形符号)。

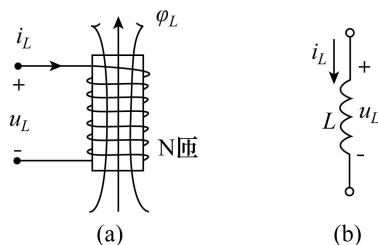


图 1-12 线性电感元件的图形符号

(a)电感器;(b)图形符号

φ_L 和 Φ_L 都是由线圈本身的电流产生的, 称为自感磁通和自感磁通链。我们规定磁通 φ_L 和磁通链 Φ_L 的参考方向与电流 i_L 参考方向之间满足右螺旋关系。在这种关联的参考方向下,



在任何时刻线性电感元件的自感磁通链 Φ_L 与元件中电流 i_L 有以下关系

$$\Phi_L = Li_L \quad (1-17)$$

式中 L 称为该元件的自感或电感。

在 SI 单位制中,磁通和磁通链的单位是韦伯(Wb),自感的单位是亨利(H),简称亨。有时还采用毫亨(mH)和微亨(μ H)作为自感的单位。

换算关系为: $1\text{H} = 10^3\text{mH} = 10^6\mu\text{H}$

在电感元件中电流 i 随时间变化时,磁通链 Φ_L 也随之改变,元件两端感应有电压,此感应电压等于磁通链的变化率;在电压和电流的关联参考方向下,电压的参考方向与磁通链的参考方向间为右螺旋关系(见图 1-12a),根据楞次定律,感应电压

$$u_L = \frac{d\Phi_L}{dt} = L \frac{di_L}{dt} \quad (1-18)$$

由式(1-18)可知,任何时刻,线性电感元件上的电压与该时刻电流的变化率成正比。电流变化快,感应电压高;电流变化慢,感应电压低。当电流不随时间变化时,则感应电压为零,这时电感元件相当于短接线,所以对于直流电,电感相当于导线。

在电压和电流的关联参考方向下,线性电感元件吸收的功率为

$$p = u_L i_L = Li_L \frac{di_L}{dt} \quad (1-19)$$

从 t_0 到 t 时间内,电感元件吸收的磁场能量为

$$W_L = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t u_L i_L dt = L \int_{i_L(t_0)}^{i_L(t)} i_L d(i_L) = \frac{1}{2} Li_L^2(t) - \frac{1}{2} Li_L^2(t_0) \quad (1-20)$$

它等于元件在任意时刻 t_2 和起始时刻 t_1 的磁场能量之差。

如果选取 t_0 为电流等于零的时刻,即有 $i_L(t_0) = 0$,此时电感元件没有磁通链,其磁场能量为零,因此在上述条件下,电感元件在任何时刻 t 所储存的磁场能量 $W_L(t)$ 将等于它所吸收的能量可写为

$$W_L(t) = \frac{1}{2} Li_L^2(t) \quad (1-21)$$

当电流 $|i|$ 增加时, $W_L(t_2) > W_L(t_1)$, $W_L > 0$,电感元件吸收能量,并全部转换成磁场能量;电流 $|i|$ 减少时, $W_L(t_2) < W_L(t_1)$, $W_L < 0$,电感元件释放磁场能量。可见,电感元件并不把吸取的能量消耗掉,而是以磁场能量的形式储存在磁场中。所以,电感元件也是一种储能元件。同时,电感元件也不会释放出多于它所吸收或储存的能量,因此它又是一种无源元件。



课题 4 电路的基本工作状态



学习目标

掌握电路的三种工作状态及其特征。



重点与难点

课题的重点:电路的三种工作状态及其特征。

课题的难点:电路的三种工作状态及其特征。

一、电路的工作状态

灯泡是否发光显示了所处电路的工作状态,电炉是否发热也显示了电路的状态,还有一些电路没有明显的标志显示其状态,但是可以通过对电路有关电学量的测量分析判断电路的状态。我们还经常可以在很多用电器上看到诸如“警告”、“WARNING”等标志,禁止电路处于某些状态,这又是什么原因呢?

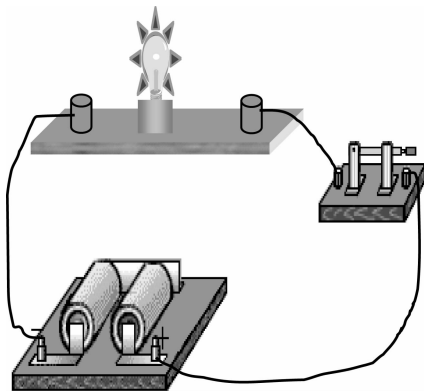


图 1-13 灯泡为什么会发光?

如图 1-13 所示,当开关接通时,灯泡发光,表明电路处于导通状态;当开关断开或电线断裂、接头松脱时,灯泡不发光,表明电路处于断开状态。

电路的工作状态一般有三种:有载状态、短路状态和开路状态,分别如图 1-14 所示。

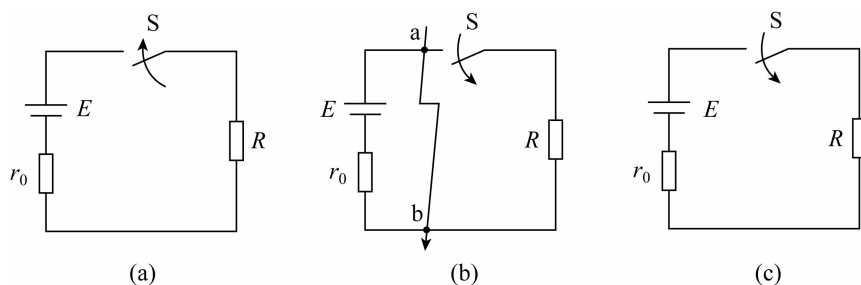


图 1-14 电路的工作状态

(a)有载状态;(b)短路状态;(c)开路状态

(一)有载状态

在图 1-14(a)所示电路中,当开关 S 闭合后电源与负载接成闭合回路,电源处于有载工作状态,电路中有电流流过。

(二)短路状态

在图 1-14(b)所示电路中,当 a 、 b 两点接通,电源被短路,此时电源的两个极性端直接相连。电源被短路往往会造成严重后果,如导致电源因发热过甚而损坏,或因电流过大而引起电气设备的机械损伤,因而要绝对避免电源被短路。所以在实际工作中,应经常检查电气设备和线路的绝缘情况,以防止发生电压源短路事故。此外,还应在电路中接入熔断器等保护装置,以便在发生短路事故时能及时切断电路,达到保护电源及电路元器件的目的。

(三)开路(断路)状态

在图 1-14(c)所示电路中,开关 S 断开或电路中某处断开,被切断的电路中没有电流流过,开路又叫断路。

二、电气设备的额定值

(一)额定工作状态

任何电气设备在使用时,若电流过大,温升过高就会导致绝缘的损坏,甚至烧坏设备或元器件。为了保证正常工作,制造厂对产品的电压、电流和功率都规定其使用限额,称为额定值,通常标在产品的名牌或说明书上,以此作为使用依据。

电源设备的额定值一般包括额定电压 U_N 、额定电流 I_N 和额定容量 S_N 。其中 U_N 和 I_N 是指电源设备安全运行所规定的电压和电流限额;额定容量 $S_N = U_N I_N$,表征了电源最大允许的输出功率,但电源设备工作时不一定总是输出规定的最大允许电流和功率,究竟输出多大还取决于所连接的负载。

负载的额定值一般包括额定电压 U_N 、额定电流 I_N 和额定功率 P_N 。对于电阻性负载,由



于这三者与电阻 R 之间具有一定的关系式,所以它的额定值不一定全部标出。

(二) 超载、满载、轻载

电气设备工作在额定值情况下的状态称为额定工作状态(又称满载)。这时电气设备的使用是最经济合理和安全可靠的,不仅能充分发挥设备的作用,而且能够保证电气设备的设计寿命。若电气设备超过额定值工作,则称为过载。由于温度升高需要一定时间,因此电气设备短时过载不会立即损坏。但过载时间较长,就会大大缩短电气设备的使用寿命,甚至会使电气设备损坏。若电气设备低于额定值工作,则称为欠载。在严重的欠载下,电气设备就不能正常合理地工作或者不能充分发挥其工作能力。过载和严重欠载在实际工作中都是应避免的。

课题 5 基尔霍夫定律



学习目标

1. 理解并掌握基尔霍夫定律的基本内容和应用方法;
2. 理解并熟练掌握基尔霍夫电流定律定律和基尔霍夫电压定律。



重点与难点

课题的重点:基尔霍夫定律的基本内容。

课题的难点:霍夫霍夫定律的应用。

一、基尔霍夫定律

对于电路中的某一个元件来说,元件上的端电压和电流关系服从欧姆定律,而对于整个电路来说,电路中的各个电流和电压要服从基尔霍夫定律。基尔霍夫定律包括电流定律(KCL)和电压定律(KVL),是电路理论中最基本的定律之一,不仅适用于求解复杂电路,也适用于求解简单电路。

现在,在学习基尔霍夫定律定理之前,为了便于理解,就图 1-15 所示的电路,介绍几个名词:

(1)支路:电路中流过同一电流的一个分支称为一条支路。在图 1-15 所示电路中, dab 、

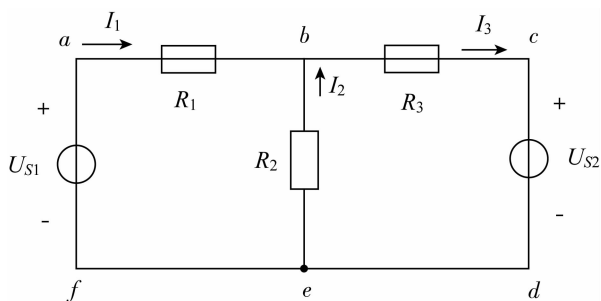


图 1-15 电路名词说明图

be 和 bcd 都是支路,其中支路 dab 、 bcd 各有两个电路元件。支路 dab 、 bcd 中有电源,称为含源支路;支路 be 中没有电源,则称为无源支路。

(2)节点:一般地说,支路的连接点称为节点。但是,如果以电路的每个分支作为支路,则三条和三条以上支路的连接点才称为节点。这样,图 1-15 的电路只有两个节点,即节点 b 和节点 e 。

(3)回路:由若干支路组成的闭合路径,其中每个节点只经过一次,这条闭合路径称为回路。如图 1-15 中 $abef$ 、 $bcde$ 和 $abcdef$ 都是回路,这个电路共有三个回路。

(4)网孔:网孔是回路的一种。将电路画在平面上,在回路内部不另含有支路的回路称为网孔。如图 1-26 中 $abef$ 、 $bcde$ 是网孔, $abcdef$ 回路内部含有支路 eb 不是网孔,所以这个电路共有两个网孔。

二、基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律简称 KCL,是用来确定电路中连接在同一个节点上的各条支路电流间的关系的。基本内容是:任何时刻,对于电路中的任一节点,流进流出节点所有支路电流的代数和恒等于零。

其数学表达式如下: $\sum I = 0$ (1-22)

式(1-22)中,流出节点的电流前面取“+”号,流入节点的电流前面取“-”号。

例如,对图 1-15 中节点 b ,应用 KCL,在这些支路电流的参考方向下,有

$$-I_1 - I_2 + I_3 = 0$$

即

$$\sum I = 0$$

上式可以改写成

$$I_1 + I_2 = I_3$$

即

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-23)$$

上式表明:任何时刻,流入任一节点的支路电流之和必定等于流出该节点的支路电流之和。



这里,首先应当指出,KCL 中电流的流向本来是指它们的实际方向,但由于采用了参考方向,所以式(1-23)中是按电流的参考方向来判断电流是流出节点还是流入节点的。其次,式中的正、负号仅由电流是流出节点还是流入节点来决定的,与电流本身的正、负无关。

KCL 通常用于节点,但对包围几个节点的闭合面也是适用的,如图 1-16 所示的电路中,闭合面 S 内有三个节点 A、B、C。在这些节点处,分别有(电流的方向都是参考方向):

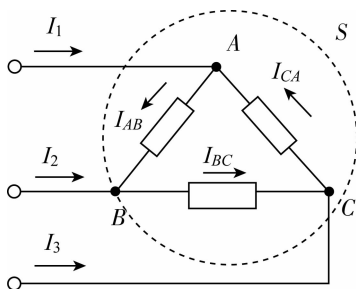


图 1-16 基尔霍夫电流定律的推广

$$I_1 = I_{AB} - I_{CA}$$

$$I_2 = I_{BC} - I_{AB}$$

$$I_3 = I_{CA} - I_{BC}$$

将上面三个式子相加,便得

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

或

$$\sum I = 0$$

可见,在任一瞬间,通过任一闭合面的电流的代数和也总是等于零,或者说,流出闭合面的电流等于流入该闭合面的电流,这称为电流连续性。所以,基尔霍夫电流定律是电流连续性的体现。

三、基尔霍夫电压定律(KVL)

基尔霍夫电流定律是对电路中任意节点而言的,而基尔霍夫电压定律是对电路中任意回路而言的。

基尔霍夫电压定律简称 KVL,是用来确定回路中各部分电压之间的关系的。基本内容是:任何时刻,沿任一回路内所有支路或元件电压的代数和恒等于零,即

$$\sum U = 0 \tag{1-24}$$

在写上式时,首先需要指定一个绕行回路的方向。凡电压的参考方向与回路绕行方向一致者,在式中该电压前面取“+”号;电压参考方向与回路绕行方向相反者,则前面取“-”号。

同理,KVL 中电压的方向本应指它的实际方向,但由于采用了参考方向,所以式(1-24)中



的代数和是按电压的参考方向来判断的。

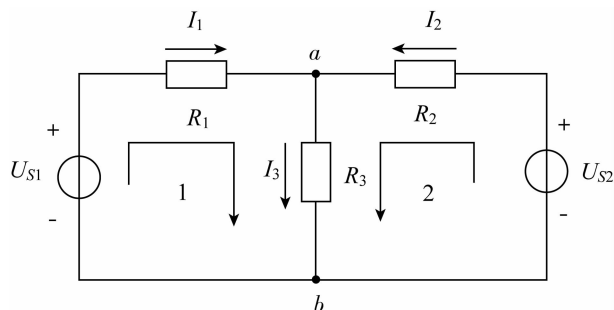


图 1-17 基尔霍夫电压定律示意图

以图 1-17 的电路为例,沿回路 1 和回路 2 绕行一周,有

$$\text{回路 1} \quad I_1 R_1 + I_3 R_3 - U_{S1} = 0 \text{ 或 } I_1 R_1 + I_3 R_3 = U_{S1}$$

$$\text{回路 2} \quad I_2 R_2 + I_3 R_3 - U_{S2} = 0 \text{ 或 } I_2 R_2 + I_3 R_3 = U_{S2}$$

$$\text{即 KVL 也可以写为} \quad \sum R_K I_K = \sum U_{SK} \quad (1-25)$$

式(1-25)指出,沿任一回路绕行一圈,电阻上电压的代数和等于电压源电压的代数和。其中,在关联参考方向下,电流参考方向与回路绕行方向一致者, $R_K I_K$ 前取“+”号,相反者, $R_K I_K$ 前取“-”号;电压源电压 U_{SK} 的参考极性与回路绕行方向一致者, U_{SK} 前取“-”号,相反者, U_{SK} 前取“+”号。

KVL 通常用于闭合回路,但也可推广应用到任一不闭合的电路上。如图 1-18 所示虽然不是闭合回路,但当假设开口处的电压为 U_{ab} 时,可以将电路想象成一个虚拟的回路,用 KVL 列写方程为

$$U_{ab} + U_{S3} + I_3 R_3 - I_2 R_2 - U_{S2} - I_1 R_1 - U_{S1} = 0$$

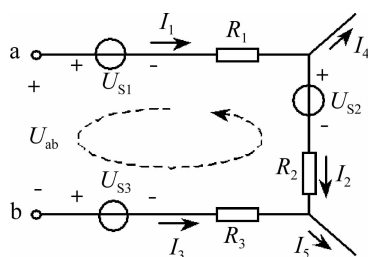


图 1-18 基尔霍夫电压定律的推广

KCL 规定了电路中任一节点处电流必须服从的约束关系,而 KVL 则规定了电路中任一回路内电压必须服从的约束关系。这两个定律仅与元件的连接有关,而与元件本身无关。不论元件是线性的还是非线性的,时变的还是非时变的,KCL 和 KVL 总是成立的。

例 1-4 图 1-19 所示电路,已知 $U_1 = 5V$, $U_3 = 3V$, $I = 2A$, 求 U_2 , I_2 , R_1 , R_2 和 U_S 。

解:

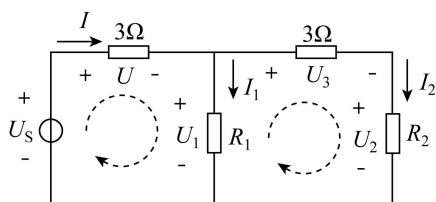


图 1-19 例 1-4 电路图

(1) 已知 $2\ \Omega$ 电阻两端电压 $U_3 = 3\text{V}$

$$\text{故 } I_2 = \frac{U_3}{2} = \frac{3}{2} = 1.5\text{A}$$

(2) 在由 R_2 、 R_3 和 $2\ \Omega$ 电阻组成的闭合回路中根据 KVL 得

$$U_3 + U_2 - U_1 = 0 \text{ 即 } U_2 = U_1 - U_3 = 5 - 3 = 2\text{V}$$

$$(3) \text{ 由欧姆定律得 } R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{2}{1.5} = 1.33\ \Omega$$

由 KCL 得 $I_1 = I - I_2 = 2 - 1.5 = 0.5\ \text{A}$

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{5}{0.5} = 10\ \Omega$$

(4) 在由 U_s 、 R_1 和 $3\ \Omega$ 电阻组成的闭合回路中根据 KVL 得

$$U_s = U + U_1 = 2 \times 3 + 5 = 11\text{V}$$

例 1-5 图 1-20 所示电路, 已知 $U_{S1} = 12\text{V}$, $U_{S2} = 3\text{V}$, $R_1 = 3\ \Omega$, $R_2 = 9\ \Omega$, $R_3 = 10\ \Omega$ 求

U_{ab} 。

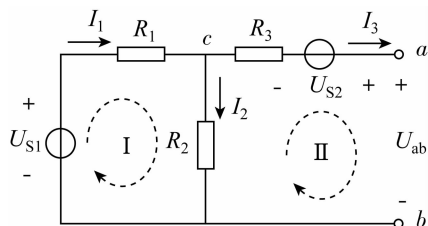


图 1-20 例 1-5 电路图

解:

$$(1) \text{ 由 KCL 得 } I_3 = 0, \quad I_1 = I_2 + I_3 = I_2 + 0 = I_2$$

由 KVL 在回路 I 中有 $I_1 R_1 + I_2 R_2 = U_{S1}$ 解得

$$I_1 = I_2 = \frac{U_{S1}}{R_1 + R_2} = \frac{12}{3 + 9} = 1\text{A}$$

(2) 在回路 II 中根据 KVL 得

$$U_{ab} - I_2 R_2 + I_3 R_3 - U_{S2} = 0 \text{ 解得}$$

$$U_{ab} = I_2 R_2 - I_3 R_3 + U_{S2} = 1 \times 9 - 0 \times 10 + 3 = 12\text{V}$$



课题 6 电压源、电流源及其等效变换



学习目标

1. 了解电压源与电流源模型及其外特性；
2. 掌握电压源与电流源之间的等效转换。



重点与难点

课题的重点:电压源与电流源模型的外特性。

课题的难点:电压源与电流源之间的等效转换。

一、电压源

(一)理想电压源

输出电压不受外电路影响,只依照自己固有的随时间变化的规律变化的电源,称为理想电压源。图 1-21(a)所示为理想电压源的一般表示符号,符号“+”“-”号是其参考极性。如电压源的电压为常数,就称为直流电压源,其电压一般用 U_S 来表示,图 1-21(b)表示理想直流电压源。有时涉及的直流电压源是电池,在这种情况下还可以用图 1-21(c)符号,其中长线段表示电压源的高电位端,短线段表示电压源的低电位端。理想直流电压源伏安特性曲线如图 1-22 所示,它是一条平行于横轴的直线,表明其端电压与电流的大小及方向无关。

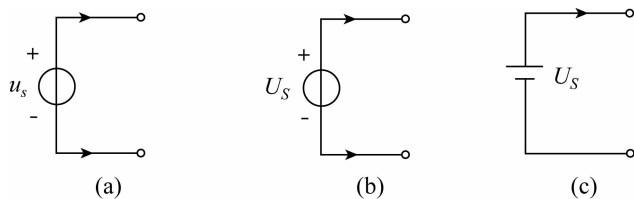


图 1-21 理想电压源的图形符号

(a)一般表示;(b)理想直流电压源;(c)电池

理想电压源具有如下几个性质:

- (1)理想电压源的端电压是常数 U_S ,或是时间的函数 $U_S(t)$,与输出电流无关。

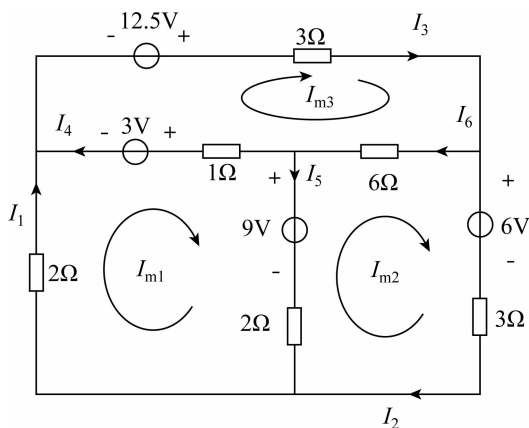


图 1-22 理想电压源的伏安特性

(2)理想电压源的输出电流和输出功率取决于与它连接的外电路。

图 1-23 示出电压源的两个特点,图 1-23(a)表示电压源没有接外电路,电流 $i = 0$, 这种情况称为开路,而图 1-23(b)的两个外电路 1、2 是不同的,因此这两种情况下的电流 i_1 和 i_2 也将是不同的。

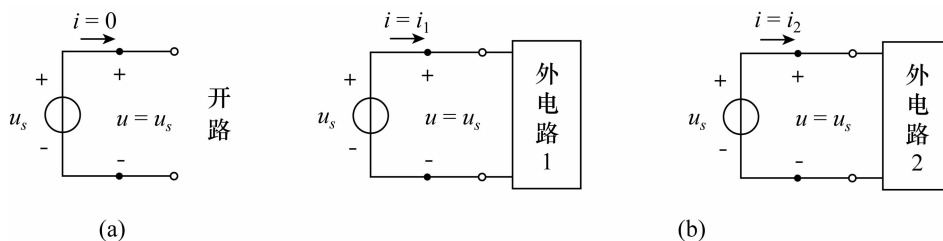


图 1-23 同一个电压源接于不同外电路

(a)不接外电路(开路);(b)接外电路

根据所连接的外电路,电压源中电流的实际方向既可以从电压的高电位处流向低电位处,也可以从低电位处流至高电位处。如果电流从电压源的低电位处流向高电位处,那么电压源释放能量,这是因为正电荷逆着电场方向由低电位处移至高电位处,外来力必须对它做功的缘故。这时,电压源起电源的作用,发出功率。反之,电流从电压源的高电位处流向低电位处,电压源吸收功率,这时电压源将作为负载出现。

(二)实际电压源

理想电压源是从实际电源中抽象出来的理想化元件,在实际中是不存在的。像发电机、干电池等实际电源,由于电源内部存在损耗,其端电压都随着电流变化而变化,例如当电池接上负载后,其电压就会降低,这是由于电池内部有电阻的缘故。所以,可以采用图 1-24 所示的方法来表示这种实际的直流电源,即可以用一个理想电压源和一个电阻串联来模拟,此模型称为实际电压源模型,如图 1-24(a)所示。图 1-24(b)是实际直流电压源模型。

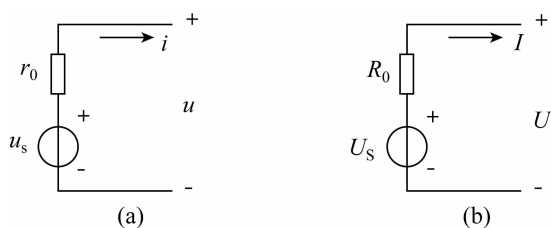


图 1-24 实际的电源模型

(a)实际交流电压源;(b)实际直流电压源

电阻 r_0 和 R_0 称为电源的内阻,有时又称为输出电阻。

实际电压源的端电压为: $u = u_s - ir_0$; $U = U_s - IR_0$ (1-26)

图 1-25 是实际直流电压源伏安特性曲线

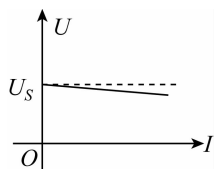


图 1-25 实际直流电压源的伏安特性曲线

二、电流源

(一)理想电流源

理想电流源也是一个二端理想元件。与电压源相反,通过理想电流源的电流与电压无关,不受外电路影响,只依照自己固有的随时间变化的规律而变化,这样的电源称为理想电流源。图 1-26(a)是理想电流源的一般表示符号,其中 i_s 表示电流源的电流,箭头表示理想电流源的参考方向。图 1-26(b)表示理想直流电流源,其伏安特性曲线如图 1-26(c)所示,是一条平行于纵轴的直线,表明其输出电流与端电压的大小无关。

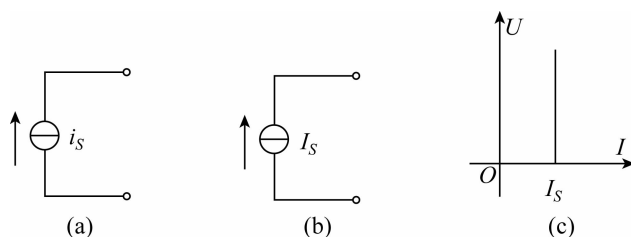


图 1-26 理想电流源的图形符号和伏安特性

(a)理想电流源;(b)理想直流电流源;(c)伏安特性

理想电流源具有如下几个性质:

(1)理想电流源的输出电流是常数 I_s 或是时间的函数 $i(t)$,不会因为所连接的外电路的不



同而改变,与理想电流源的端电压无关。

(2)理想电流源的端电压和输出功率取决于它所连接的外电路。

(二)实际电流源模型

理想电流源是从实际电源中抽象出来的理想化元件,在实际中也是不存在的。像光电池这类实际电源,由于其内部存在损耗,接通负载后输出电流降低。这样的实际电源,可以用一个理想电流源和一个电阻并联来模拟,此模型称为实际电流源模型,如图 1-27(a)所示。图 1-27(b)是实际直流电流源模型。电阻 r_i (或 R_i)称为电源的内阻,有时也称为输出电阻。实际直流电流源输出电流为:

$$I = I_s - \frac{U}{R_i} \quad (1-27)$$

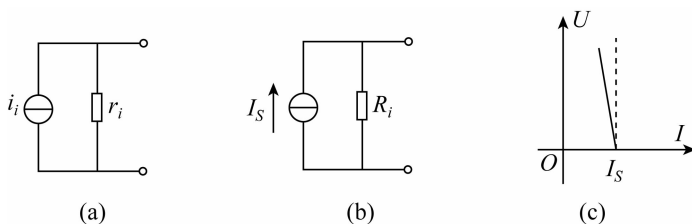


图 1-27 实际电流源的图形符号和伏安特性

(a)实际电流源;(b)实际直流电流源;(c)伏安特性

例 1-6 试求图 1-28(a)中电压源的电流与图 1-28(b)中电流源的电压。

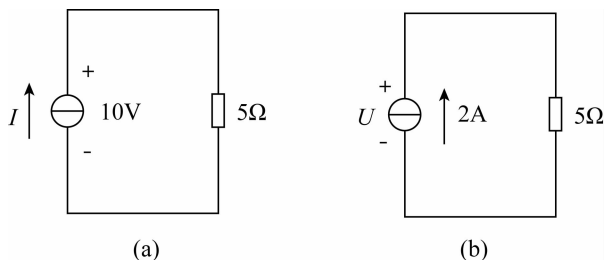


图 1-28 例 1-12 图

解:图 1-28(a)中流过电压源的电流也是流过 5Ω 电阻的电流,所以流过电压源的电流为

$$I = \frac{U_s}{R} = \frac{10}{5} = 2 \text{ A}$$

图 1-28(b)中电流源两端的电压也是加在 5Ω 电阻两端的电压,所以电流源的电压为

$$U = I_s R = 2 \times 5 = 10 \text{ V}$$

电流源中,电流是给定的,但电压的实际极性和大小与外电路有关。如果电压的实际方向与电流实际方向相反,正电荷从电流源的低电位处流至高电位处,这时,电流源发出功率,起电源的作用。如果电压的实际方向与电流的实际方向一致,电流源吸收功率,这时电流源便将作



为负载。

三、电压源、电流源的串联和并联

当 n 个电压源串联时,可以用一个电压源等效替代。这个等效的电压源的电压(见图 1-29(a))为

$$U_S = U_{S1} + U_{S2} + \cdots + U_{Sn} = \sum_{k=1}^n U_{Sk} \quad (1-28)$$

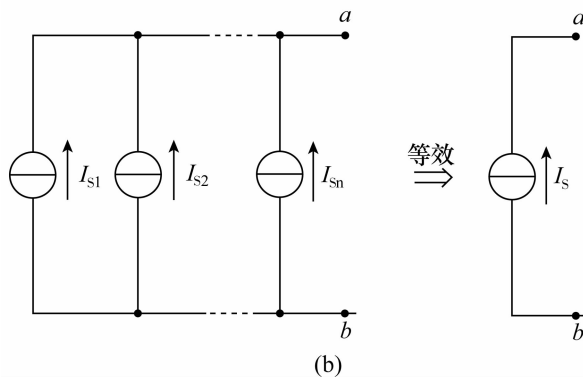
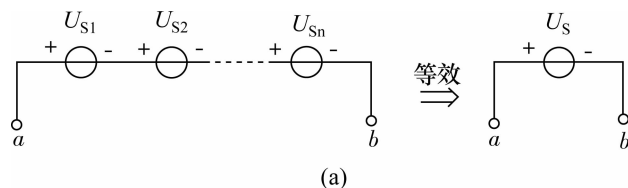


图 1-29 电压源的串联和电流源并联

当 n 个电流源并联时,则可以用一个电流源等效替代。这个等效的电流源的电流(见图 1-29(b))为:

$$I_S = I_{S1} + I_{S2} + \cdots + I_{Sn} = \sum_{k=1}^n I_{Sk} \quad (1-29)$$

只有电压相等的电压源才允许并联,只有电流相等的电流源才允许串联。

从外部性能等效的角度来看,任何一条支路与电压源 U_S 并联后,总可以用一个等效电压源替代,等效电压源的电压为 U_S ,等效电压源中的电流不等于替代前的电压源的电流而等于外部电流 I (见图 1-30(a))。同理,任何一条支路与电流源 I_S 串联后,总可以用一个等效电流源替代,等效电流源的电流为 I_S ,等效电流源的电压不等于替代前的电流源的电压而等于外部电压 U (见图 1-30(b))。

因此,这种替代对外电路是等效的,但对于被替代的看成是内部的支路来说由于结构的改变是不等效的。

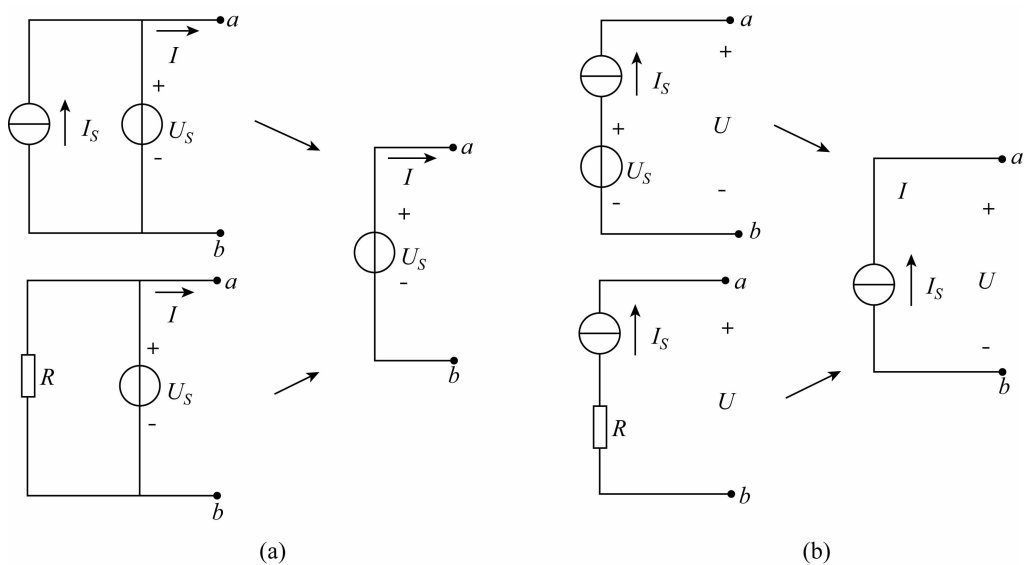


图 1-30 电源与支路的串联和并联

四、电压源与电流源的等效变换

电路计算中,有时要求用电流源、电阻的并联组合来等效替代电压源、电阻的串联组合或者用电压源、电阻的串联组合来等效替代电流源、电阻的并联组合。

图 1-31 所示为这两种组合。如果它们等效,就要求当与外部相连的端钮 1、2 之间具有相

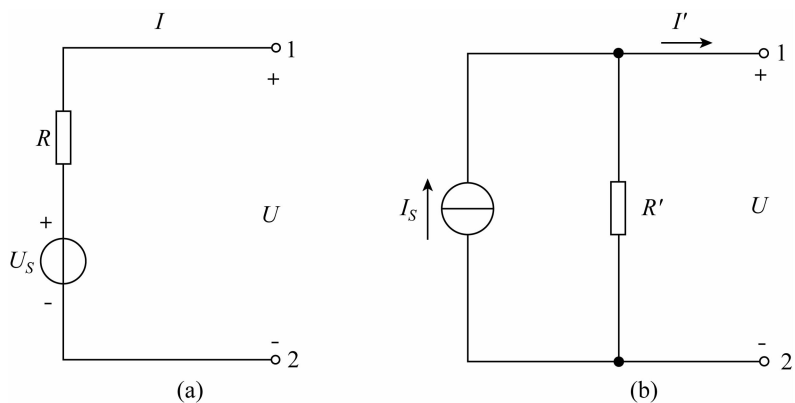


图 1-31 电压源与电流源的等效变换

同的电压 U 时,端钮上的电流必须相等,即 $I = I'$ 。在电压源、电阻串联组合中, $I = \frac{U_s - U}{R} =$

$$\frac{U_s}{R} - \frac{U}{R}。$$

而在电流源、电阻并联组合中, $I' = I_s - \frac{U}{R'}$



根据等效变换的要求, $I = I'$, 上面两个式子中对应项该相等, 于是得

$$I_s = \frac{U_s}{R} \quad R = R' \quad (1-30)$$

这就是这两种电源等效变换时所必须满足的条件。

利用本节中的等效变换知识, 就可以求解由电压源、电流源和电阻所组成的串并联电路。

在进行电源等效变换时应注意以下几个问题:

(1) 应用上式时 U_s 和 I_s 的参考方向应当如图 1-31 所示那样, 即 I_s 的参考方向由 U_s 的负极指向正极。

(2) 这两种等效的组合, 其内部功率情况并不相同, 只是对外部来说, 它们吸收或放出的功率总是一样的, 所以, 等效变换只适用于外电路, 对内电路不等效。

(3) 恒压源和恒流源不能等效互换。

例 1-7 求图 1-32(a) 所示的电路中 R 支路的电流。已知 $U_{S1} = 10\text{V}$, $U_{S2} = 6\text{V}$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 3\Omega$, $R = 6\Omega$ 。

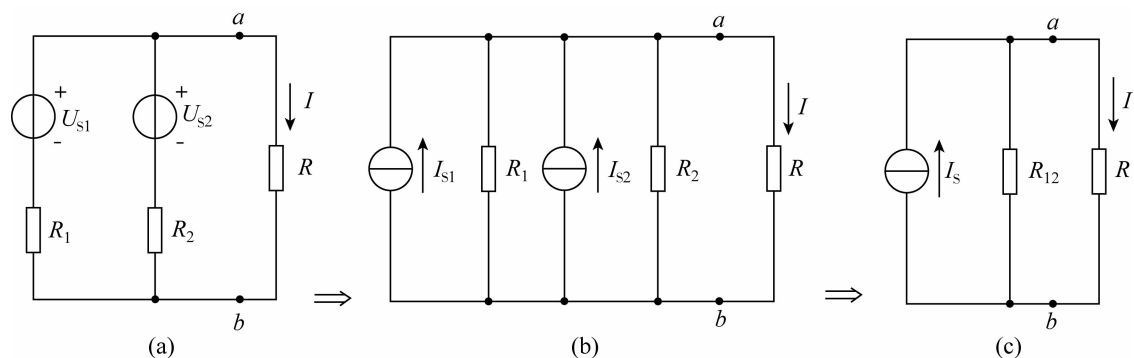


图 1-32 例 1-13 图

解: 先把每个电压源电阻串联支路变换为电流源电阻并联支路。电路变换从图 1-32(a) 到图 1-33(b) 所示, 其中

$$I_{S1} = \frac{U_{S1}}{R_1} = \frac{10}{1} = 10\text{ A}$$

$$I_{S2} = \frac{U_{S2}}{R_2} = \frac{6}{3} = 2\text{ A}$$

图 1-32(b) 中两个并联电流源可以用一个电流源代替, 其中

$$I_S = I_{S1} + I_{S2} = 10 + 2 = 12\text{ A}$$

并联 R_1 、 R_2 的等效电阻为

$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1 \times 3}{1 + 3} = \frac{3}{4}\ \Omega$$

电路简化如图 1-32(c) 所示。



对图 1-32(c) 电路, 根据分流关系求得 R 的电流 I 为

$$I = \frac{R_{12}}{R_{12} + R} \times I_s = \frac{\frac{3}{4}}{\frac{3}{4} + 6} \times 12 = \frac{4}{3} = 1.333\text{A}$$

注意: 用电源变换法分析电路时, 待求支路保持不变。

小 结

1. 电路是由电源、负载、中间环节三部分按一定方式组成的。其中, 电源是将其他形式的能量转变成电能的装置; 负载是用电能并将其转换为其他形式能量的装置; 中间环节是传输、控制电能或信号的部分。

2. 电压、电流是电路的两个基本物理量。电压、电流的参考方向是任意假定的。在电路分析中引入参考方向后, 电压、电流是代数量, 由此计算结果, 当电压、电流的值大于零, 表示电压、电流的实际方向与参考方向一致; 电压、电流小于零, 表示电压电流的实际方向与参考方向相反。

3. 电阻、电感、电容和电压源、电流源、受控源都是理想电路元件。在关联参考方向的情况下, 各种电路元件的电压、电流关系分别为

$$\text{电阻元件: } i = \frac{u}{R}; I = \frac{U}{R}$$

$$\text{电感元件: } u_L = \frac{d\varphi_L}{dt} = L \frac{di_L}{dt}$$

$$\text{电容元件: } i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt}$$

直流电压源: 两端的电压不变, 流过的电流由外电路决定。

直流电流元: 发出的电流不变, 两端的电压由外电路决定。

4. 基尔霍夫定律是分析电路问题最基本的定律。基尔霍夫电流定律描述了电路中任意节点处各支路电流之间的相互关系, 在任意瞬时, 流进流出一个节点电流的代数和恒等于零, 即 $\sum I = 0$ 。

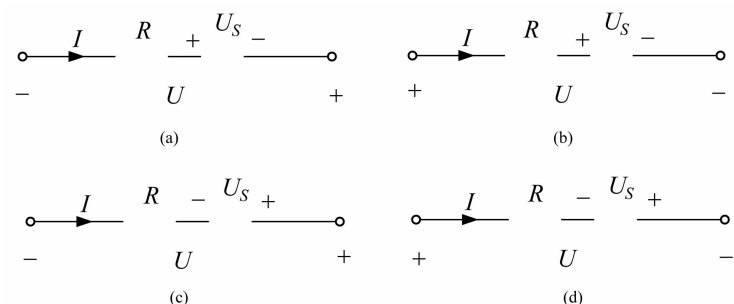
基尔霍夫电压定律描述了电路中任意回路上各段电压之间的相互关系, 在任一瞬间, 沿任意回路绕行方向绕行一周, 回路中各段电压的代数和恒等于零, 即 $\sum U = 0$ 。

习 题

1-1 在图题 1-1 中, 已知各支路的电流、电阻和电压源电压, 试写出各支路电压 U 的表

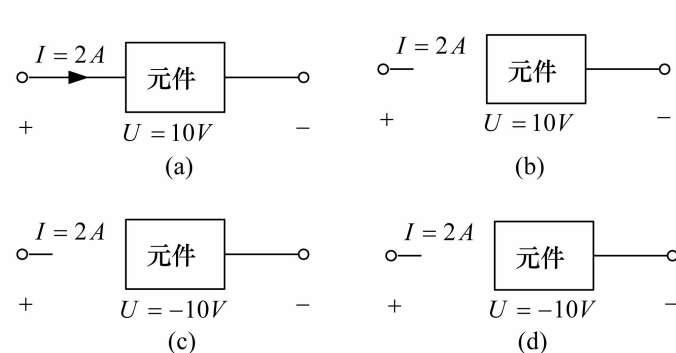


达式。



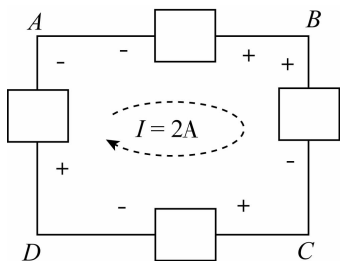
图题 1-1

1-2 分别求图题 1-2 中各电路元件的功率,并指出它们是吸收功率还是发出功率。

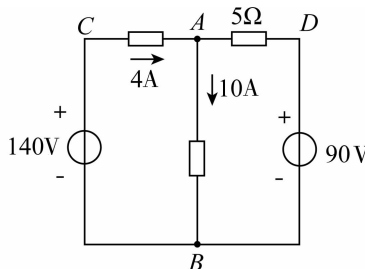


图题 1-2

1-3 在图题 1-3 中,已知 AB 段电路产生功率为 500W , BC 、 CD 、 DA 三段电路消耗的功率分别为 50W 、 400W 和 50W ,试根据图中所示电流方向和大小,标出各段电压的真实极性,并计算电压 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CD} 、 U_{DA} 。



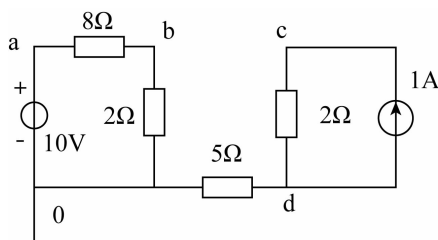
图题 1-3



图题 1-4

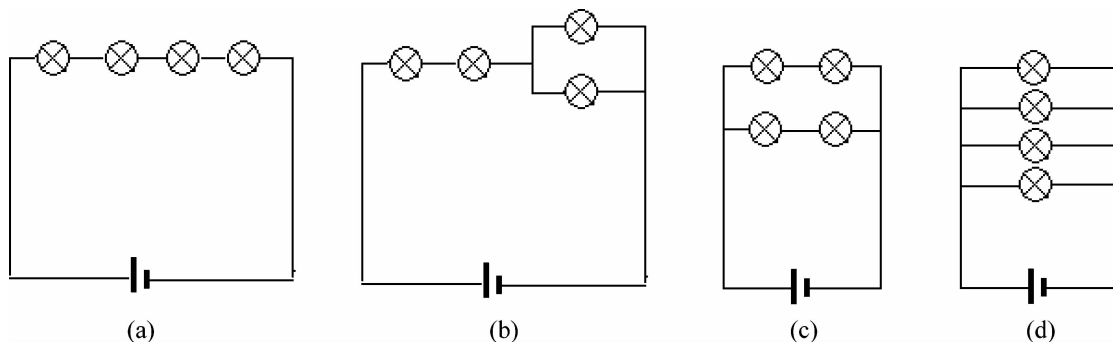
1-4 图题 1-4 所示电路,若以 B 点为参考点。求 A 、 C 、 D 三点的电位及 U_{AC} 、 U_{AD} 、 U_{CD} 。若改 C 点为参考点,再求 A 、 C 、 D 点的电位及 U_{AC} 、 U_{AD} 、 U_{CD} 。

1-5 如图题 1-5 所示电路,计算各点电位。



图题 1-5

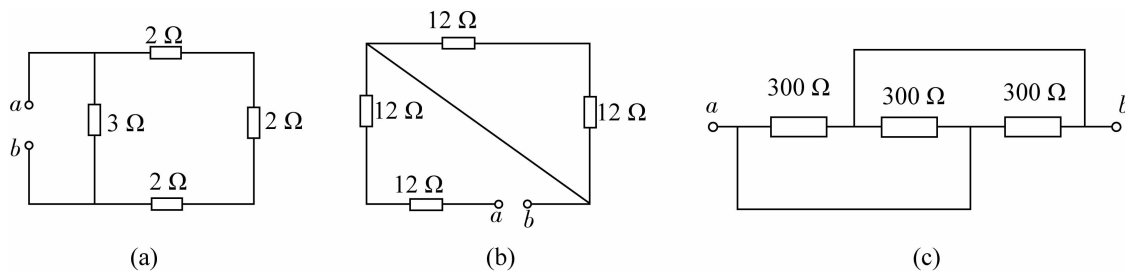
1-6 在图题 1-6 所示电路中,电源电压是 12V,四只瓦数相同的白炽灯工作电压都是 6V,要使白炽灯正常工作,接法正确的是()。



图题 1-6

1-7 今有 220V、40W 和 220V、100W 的灯泡一只,将它们并联在 220V 的电源上哪个亮?为什么?若串联后在接到 220V 电源上,哪个亮?为什么?

1-8 在图题 1-8 中,求 R_{ab} 。



图题 1-8

1-9 如图题 1-9 所示,求电路中 a 、 b 两点间的等效电阻 R_{ab} 。