

高等学校房屋建筑专业系列教材

建筑电工技术

谢文乔 秦光培 编



重庆大学出版社

建筑电工技术

谢文乔 秦光培 编

重庆大学出版社

内容简介

本书是按照国家教委颁布的“高等学校工程专科房屋建筑专业电工技术课程教学基本要求”编写的。

全书共分六章。主要包括直流电路,正弦交流电路,民用建筑常用电气设备,继电接触器控制系统,电工测量,民用建筑供电系统,建筑电气照明技术与设计,建筑防雷与安全用电等。

本书可作为高等工科院校专科房屋建筑专业和其它相近专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。

2/27/15

建筑电工技术

谢文乔 秦光培 编

责任编辑 谭 敏

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆通信学院印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:13.75 字数:343 千

1998年4月第1版 1998年4月第1次印刷

印数:1—6000

ISBN 7-5624-1619-2/TU·51 定价:14.00 元

前 言

本书根据工科院校专科教材建设会议的精神,按照全国高等学校工程专科房屋建筑专业电工技术课程教学基本要求制定的编写大纲编写的。

本书在编写过程中,既考虑了建筑工程用电技术的基本概念、基本理论和基本计算,力求做到内容由浅入深,文字通顺易读,章节前后连贯,对重点内容的叙述力求详尽。也充分考虑到专科特点,理论推导删繁就简,以够用为度,加强了工程实际方面的内容。各章后附有习题,在习题中增加了实用的内容。

本课程的总学时为 50 学时。

本书由谢文乔和秦光培编写,第一章、第二章、第三章的第一节至十四节由谢文乔编写,第四章、第五章、第六章、第三章的第十五节由秦光培编写。全书由谢文乔统稿。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在不少缺点和错误,恳请读者批评指正。

编者

1997 年 3 月

目 录

第一章 直流电路	1
1-1 电路	1
1-2 电路的工作状态和电气设备的额定值	4
1-3 电路中电位的计算	7
1-4 克希荷夫定律	8
1-5 电压源与电流源及其等效变换	10
1-6 支路电流法	14
1-7 节点电位法	15
1-8 叠加原理	16
1-9 戴维南定理	18
习题	20
第二章 正弦交流电路	23
2-1 正弦交流电的三要素	23
2-2 正弦量的相量表示法	26
2-3 单一参数的交流电路	28
2-4 电阻、电感、电容串联交流电路	34
2-5 并联交流电路	37
2-6 功率因数的提高	39
2-7 三相交流电压	41
2-8 对称三相负载的星形联接	43
2-9 对称三相负载的三角形联接	45
2-10 负载不对称的三相电路	47
2-11 三相电功率的计算	49
习题	50
第三章 民用建筑常用电气设备	54
3-1 变压器的构造及工作原理	54
3-2 三相变压器和变压器的铭牌	58
3-3 变压器的运行特性	60
3-4 特殊变压器	62
3-5 三相异步电动机的构造与工作原理	65
3-6 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	71
3-7 三相异步电动机的使用	74
3-8 三相异步电动机的铭牌数据与选择	79
3-9 单相异步电动机	85
3-10 常用低压电器	87
3-11 鼠笼式电动机直接起动的控制电路	92
3-12 行程开关与限位控制电路	94

3-13	时间继电器与时间控制电路	97
3-14	干簧继电器与液面控制电路	99
3-15	常用电工测量仪表	102
	习题	110
第四章	民用建筑供电系统	113
4-1	电力系统概述	113
4-2	变电所和配电所	118
4-3	电力负荷的计算	127
4-4	低压配电线路	135
	习题	145
第五章	建筑电气照明技术与设计	147
5-1	照明技术的基本概念	147
5-2	电光源和灯具的选择与布置	154
5-3	照度计算	168
5-4	照明供电与照明设计	177
	习题	187
第六章	建筑防雷与安全用电	189
6-1	雷电的危害及防雷措施	189
6-2	建筑物的防雷装置	193
6-3	接地和接零	198
6-4	安全用电	201
	习题	204
附录		205
习题答案		211

第一章 直流电路

本章主要讨论直流电路的基本概念、基本定律和基本分析与计算方法。直流电路理论的基本内容,也是其他电路的基础。

1-1 电 路

一、电路的组成与作用

电路是电流流经之路,也称为网络。电路由某些电气元件或设备组合而成。

实际电路其结构无论有多复杂,它均可以看成是由电源、负载和中间环节三部分组成。

1. 电源

电源是将机械能、化学能等其他能量转换成电能的设备。常见的电源有发电机、电池等。

2. 负载

负载是消耗电能的设备,如电灯、电加热器、电动机等,它们分别把电能转换为光能、热能、机械能。

3. 中间环节

联接电源和负载的部分称为中间环节,它包括电源与负载接成闭合回路的导线、开关、熔断器等,它起到输送、分配和控制电能的作用。

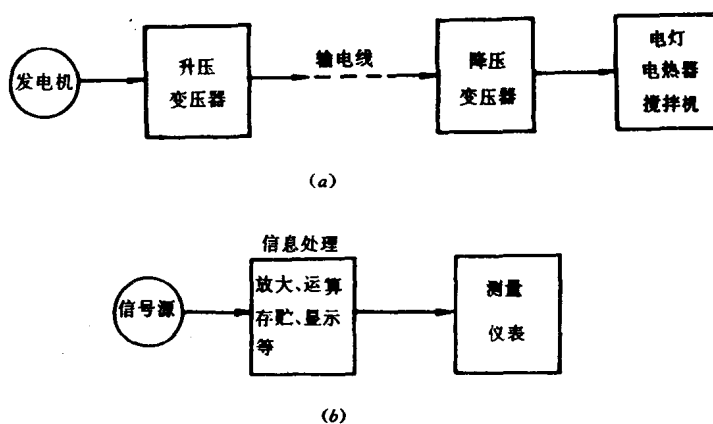


图 1-1 电路示意图

(a)电力系统 (b)信息处理

手电筒电路就是一个最简单的实际电路,其中的干电池就是电源,电珠就是负载,外壳则

起联接导线的作用,按钮便是启、闭电路的开关,当开关合上,电流便在电路中流通,灯泡发光。

一般把电源内部的通路称为内电路,由负载和中间环节构成的电路称为外电路。

无论是简单的或复杂的电路,其作用有两个,其一是通过电路实现电能的输送和转换。在电力系统中,发电机把热能、水力能、原子能等转换为电能,通过变压器、输电线路供给用户,根据用户需要,再把电能转换为光能(如建筑工地照明)、热能(如烘干机、电热器等)、机械能(如搅拌机、打夯机等)。如图 1-1(a)所示。

电路的第二个作用是进行信息的传递和处理。例如,钢筋混凝土构件受压时要发生变形,可以把一种叫做电阻应变片的敏感元件粘贴在构件的有关部位,当构件发生变形时,敏感元件可以把感受到的变形,转换成相应的电信号,它是一种信号源,而后通过电路传递和处理(滤波、放大、运算、存贮、分离、显示等),送给测量仪表,由仪表测出的电量间接地反映出构件有关部位的受力情况。如图 1-1(b)所示。

二、电路模型

在电路理论中,实际电路都是由实际的电路元件组成,它们的电磁性质往往很复杂。例如

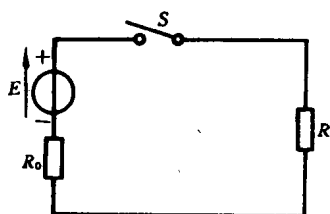


图 1-2 手电筒的电路模型

一个很简单的白炽灯泡,除有电阻特性外,当电流通过它时还会产生磁场,所以它还有电感性质。随着新的电器元件的不断涌现,它们的实际现象和电磁特性比白炽灯更加复杂,并且不便于用数学方法描述。为了分析和计算电路方便起见,在一定条件下将实际电路元件模型化。模型化就是突出实际电路元件的主要电磁性质,忽略其次要因素,把它近似地看成理想电路元件。理想电路元件具有单一的电磁性质,可以用数学式子描述。由理想元件所组成的电路,称为实际电路的电路模型。例如白炽灯在电感很小电流变化不大的

条件下,略去它的电感性,只保留它的主要特性,即电阻特性,把它看作是一个理想的电阻模型。在理想电路元件中主要有电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等,这些元件由相应的参数来表示。前述的手电筒,干电池是电源元件,其参数用电动势 E 和内阻 R_0 表示,灯泡是电阻元件,其参数用电阻 R 表示,而筒体(包括开关)的电阻与负载电阻相比很小,一般忽略不计,视为理想导体。其电路模型如图 1-2 所示。

三、电路的基本物理量

1. 电流

电流是由电荷或带电粒子有规则的定向运动而形成的。电流的方向规定为正电荷移动的方向。电流在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量。

若在极短时间 dt 内通过导体横截面的电荷量为 dq ,则通过该导体的电流为

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

若电流是随时间而变化,称为交流电流,用小写字母 i 表示。

如果电流的大小和方向都不随时间变化,即 $\frac{dq}{dt}$ 为常数,则称为恒定电流,简称直流,用大写字母 I 表示。

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

式中 q 是在时间 t 内通过导体横截面 S 的电荷量。

在国际单位制(IS)中,电流的单位是安(A)。

$$1 \text{ 千安(kA)} = 10^3 \text{ 安(A)}$$

$$1 \text{ 毫安(mA)} = 10^{-3} \text{ 安(A)}$$

$$1 \text{ 微安(}\mu\text{A)} = 10^{-6} \text{ 安(A)}$$

2. 电压

电压是衡量电场力对电荷作功能力的物理量。 a 、 b 两点间的电压 U_{ab} 在数值上等于电场力推动单位正电荷从 a 点移到 b 点所作的功。如图 1-3 所示。则电压 U_{ab} 为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1-3)$$

在电路中任意两点间的电压也常称为两点间的电位差,即

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-4)$$

式中 U_a 为 a 点的电位、 U_b 为 b 点的电位。

3. 电动势

在图 1-3 中,在电场力的作用下,正电荷总是从高电位端通过负载向低电位端移动。正电荷从 a 移到 b 后,马上与 b 极板上的负电荷中和,这样正电荷的不断移动,将使正负极板上的正负电荷逐渐消失,电场也逐步减小,电流就要中断。为了维持电流不断地流通,并且保持恒定,因此在 a 、 b 极板之间必须要有一种力使极板 b 上的正电荷流向极板 a ,使 a 、 b 之间始终维持一定强度的电场。电源能产生这种力,称为电源力。在电池和发电机中,电源力存在于电池内部的化学反应和在发电机内部的电磁力。电源力在电源内部源源不断地把正电荷从低电位端 b 移到高电位端 a ,必须克服电场力作功。为衡量电源力对电荷作功的能力,引入电动势这个物理量。电动势在数值上等于电源力将单位正电荷从电源的负极 b 推到正极 a 所作的功。则电动势 E 为

$$E = \frac{W_{ba}}{q} \quad (1-5)$$

在国际单位制(IS)中,电压和电动势的单位都是伏(V)。

$$1 \text{ 千伏(kV)} = 10^3 \text{ 伏(V)}$$

$$1 \text{ 毫伏(mV)} = 10^{-3} \text{ 伏(V)}$$

四、正方向

电流的实际方向规定为正电荷运动的方向;电压的实际方向规定为由高电位端指向低电位端,即为电位降低的方向;电动势的实际方向规定为在电源内部由低电位端指向高电位端,即为电位升的方向。但在复杂电路中,支路电流的实际方向往往难以事先判定,为分析计算电路的需要,常可任意选定某一方向作为电流的正方向(用箭头表示),或称参考方向。按此正方向对电路进行计算,如果算得的电流为正值($I > 0$),则表示电流的实际方向与正方向一致,若

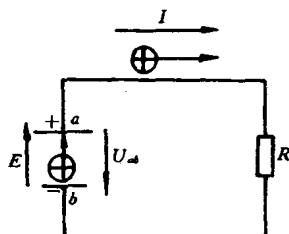


图 1-3 电荷的回路

为负值($I < 0$),则电流的实际方向与正方向相反。如图 1-4 所示。由此可见,只有在正方向选定之后,电流实际值才有正负之分。

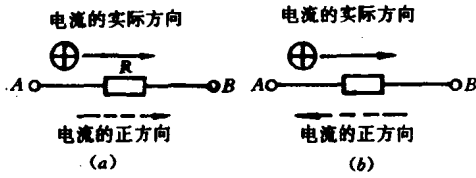


图 1-4 电流的正方向与实际方向
(a)正值($I > 0$) (b)负值($I < 0$)

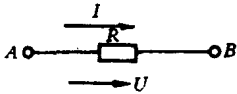


图 1-5 并联正方向

同样,电压的正方向也可以任意假定,当求解后,根据计算结果的正负号,对照正方向,就可以确定出电压的实际方向。为了计算方便,要尽可能减少分析电路时所列方程式中的负号,以便减少计算错误,在同一段电路同一电阻元件中,应当使电流的正方向与电压的正方向选为一致,称为并联正方向,如图 1-5 所示。采用并联正方向,电路图中只要标出电流或电压的一个正方向就够了。

电路中的电功率 $P = UI$,当电压和电流的实际方向一致时,则电功率 P 为正($P > 0$),反之为负($P < 0$)。 P 为正,表示该部分电路吸取电功率; P 为负则表示该部分电路输出电功率。

由于电源电动势的实际方向十分明确,因此通常不必设置正方向。

1-2 电路的工作状态和电气设备的额定值

一、电路的工作状态

电路有三种工作状态:有载状态、开路状态和短路状态。

1. 有载状态

在图 1-6 中,电源与负载接通,电路处于有载状态。电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-6)$$

通常电源的电动势 E 和内阻 R_0 是一定的,由上式可见,电路电流 I 的大小由负载电阻 R 值决定。

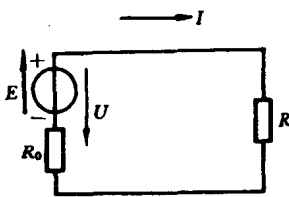


图 1-6 负载状态

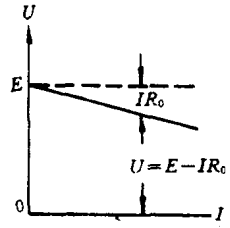


图 1-7 电源的外特性

负载电阻两端的电压为

$$U = IR = E - IR_0 \quad (1-7)$$

电源两端电压为电动势与电源内阻所产生的电压降 IR_0 之差。电流越大,则电源端电压下降得越多,表示电源端电压 U 与输出电流 I 之间关系的曲线称为电源的外特性,如图 1-7 所示,其斜率与电源内阻 R_0 有关。 R_0 一般很小,当 $R_0 \ll R$ 时,则 $U \approx E$,表示当电流变动时,电源的端电压变化不大,说明带负载能力强。

若将式(1-7)各项同乘以电流 I ,则得功率平衡方程式

$$UI = EI - I^2 R_0 \quad (1-8)$$

$$P = P_E - P_0$$

式中 $P_E = EI$ ——电源产生的功率;

$P_0 = I^2 R_0$ ——电源内阻消耗的功率;

$P = UI$ ——电源的输出功率,也是负载消耗的功率。

在国际单位制(SI)中,功率的单位是瓦特(W)或千瓦(kW)。

2. 开路状态

如图 1-8 中的开关 S 断开时的状态叫开路(空载)状态。开路时外电路的电阻对电源而言等于无穷大,因此电路中电流为零。由于无电流,电源的内阻上无压降,这时电源的端电压(称开路电压 U_0)等于电源电动势,电源不向负载输出功率。

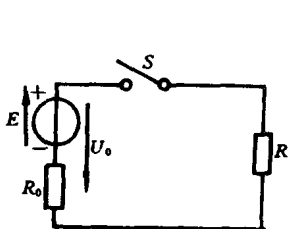
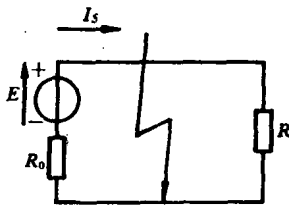
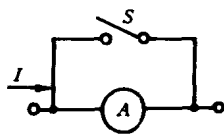


图 1-8 开路状态



(a)



(b)

图 1-9 短路状态

(a) 电源短路

(b) 电路短接

综上所述,电路开路状态的特征为

$$\left. \begin{aligned} I &= 0 \\ U &= U_0 = E \\ P &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

3. 短路状态

当电路的元件或设备直接被导线接通,称为电路的元件或设备处于短路状态。如图 1-9 (a)所示。在实际工作中,电源短路是最值得注意的。电源短路时,外电路电阻接近零,故电源的端电压必为零,电动势 E 几乎全部落在内阻 R_0 上,而 R_0 是很小的,所以短路电流 I_s 将很大。这时电源所产生的电功率全部被内阻 R_0 所消耗,电源将遭受热损伤乃至烧毁。

电源短路时的特征为

$$\left. \begin{aligned} I &= I_s = \frac{E}{R_0} \\ U &= 0 \\ P &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

电源短路往往是由于绝缘损坏或接线错误等造成。电源短路是一种严重事故。为了防止短路,通常在电源侧接入熔断器或自动断路器,以便在发生短路时,能迅速将故障电路切除。但有时为了某种需要,人为地将电路中的某一段或某一个元件两端短接起来,如图 1-9(b)所示。当开关 S 闭合时,电流通过开关而不经电流表,即相当于表计退出。这种有目的的人为短路称为有用短路。为了区别事故短路与有用短路,通常把后者称为短接。

二、电气设备的额定值

各种电气设备的电压、电流及功率等参数都有规定的值,称为额定值。电气设备的额定值包括额定电流、额定电压及额定功率,分别用 I_N 、 U_N 和 P_N 表示。通常都标在设备的铭牌上,或注明在元件上。例如某电度表的额定值为 220V5A,它表明电度表工作在 220V 电压,最大允许流过的电流是 5A。

若电气设备按额定值运行使用时,称为额定工作状态,也称满载运行。电气设备的满载运行是最经济合理和安全可靠的。若低于额定值时,称为欠载运行,欠载时不能充分发挥设备应有的效能。若高于额定值运行,称过载运行,就可能引起设备损坏。因此,在使用任何电气设备时,应注意看清设备的额定值,不允许随意乱用,尤其是超值运行。为使电气设备能安全可靠地工作,电源和负载之间的联通要符合两个原则:(1)两者的额定电压相等;(2)电源额定功率(又称容量)应大于或等于负载所需功率。

应当指出,电气设备在额定状态下工作是理想的情况,实际上并不存在,这是因为电源电压产生波动和用电设备的设计参数与实际值存在差异等造成,但是在工程实际中,应当尽量接近额定工作状态。

例题 1-1 如图 1-6 所示电路,已知 $E=20\text{V}$, $R_0=0.1\Omega$,试求当负载电阻 R 的阻值分别是 ∞ 、0、200 Ω 、1 Ω 时电源的端电压 U 、电流 I 和功率 P ?

解 1. 当 $R=\infty$ 时,即开路状态

$$\begin{aligned} I &= \frac{E}{R_0 + \infty} = 0 \\ U &= U_0 = E - IR_0 = E = 20\text{V} \\ P &= UI = 0 \end{aligned}$$

2. 当 $R=0$ 时,即短路状态

$$\begin{aligned} I &= I_s = \frac{E}{R_0} = \frac{20}{0.1} = 200\text{A} \\ U &= E - I_s R_0 = 20 - 200 \times 0.1 = 0 \\ P &= UI = 0 \end{aligned}$$

3. 当 $R=200\Omega$ 时,即有载状态

$$\begin{aligned} I &= \frac{E}{R_0 + R} = \frac{20}{0.1 + 200} = 0.1\text{A} \\ U &= E - IR_0 = 20 - 0.1 \times 0.1 \approx 20\text{V} \end{aligned}$$

$$P = UI = 20 \times 0.1 = 2 \text{ W}$$

4. 当 $R=1\Omega$ 时

$$I = \frac{20}{0.1 + 1} = 18 \text{ A}$$

$$U = 20 - 18 \times 0.1 = 18.2 \text{ V}$$

$$P = 18.2 \times 18 = 327.6 \text{ W}$$

由计算可知,当 R 由大变小时,电流则由小变大,当短路时,电流很大。同时,当 R 越接近 R_0 时,负载获得的功率越大,电路理论已证明,当 $R=R_0$ 时,负载可获得最大的功率。

1-3 电路中电位的计算

在进行电位计算时,首先必须在电路中选某点作为参考点,参考点的电位规定为零,把电路中任意点与参考点之间的电压,称为该点的电位。

参考点可以任意选定,在电力系统中,习惯上选大地作为参考点,在电子线路中,常选电路的公共线或机壳为参考点,用符号“ $\perp$ ”表示。在电路中不指定参考点谈论电位就失去意义。电位虽然对某一点而言,但实质上还是指两点间的电位之差,只是其中参考点电位预先指定为零而已。

电位的计算,可按照下述步骤进行。

1. 选定电位参考点;
2. 假设出电流正方向;
3. 利用全电路欧姆定律计算出电路中的电流;
4. 凡电压 U 的正方向与电位绕行方向(某点电位到参考点的方向)一致者取正号,反之取负号;
5. 凡电流的正方向与电位绕行方向一致者,电阻压降为正,反之为负;
6. 凡电动势的实际方向与电位绕行方向一致者取负号,相反者取正号。

现结合上述步骤,举例加以说明。

在图 1-10 所示电路中,已知 $R_1=5\Omega, R_2=5\Omega, R_3=2\Omega, R_4=3\Omega, E_1=20\text{ V}, E_2=5\text{ V}$ 。

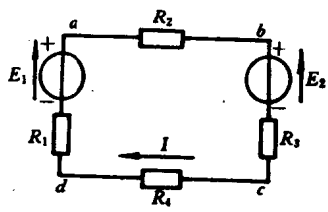


图 1-10 电路举例

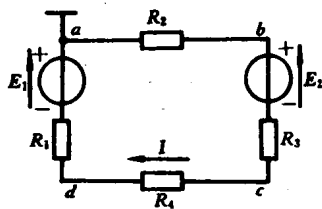


图 1-11 $U_a=0$

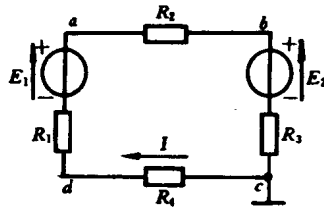


图 1-12 $U_c=0$

设 a 点为电位参考点,即 $U_a=0$ 。

假设出电流的正方向,如图 1-11 所示。

根据全电路欧姆定律求出电路中的电流

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = \frac{20 - 5}{5 + 5 + 2 + 3} = 1 \text{ A}$$

根据求电位步骤,可求出各点的电位值为

$$U_b = -IR_2 = -1 \times 5 = -5 \text{ V}$$

$$U_c = IR_4 + IR_1 - E_1 = 1 \times 3 + 1 \times 5 - 20 = -12 \text{ V}$$

$$U_d = IR_1 - E_1 = 1 \times 5 - 20 = -15 \text{ V}$$

如果设 c 点为电位参考点,即 $U_c=0$,如图 1-12 所示,则可得出

$$U_a = E_1 - IR_1 - IR_4 = 20 - 1 \times 5 - 1 \times 3 = 12 \text{ V}$$

$$U_b = E_2 + IR_3 = 5 + 1 \times 2 = 7 \text{ V}$$

$$U_d = -IR_4 = -1 \times 3 = -3 \text{ V}$$

在图 1-12 电路中, a 点电位也可以写成

$$U_a = IR_2 + E_2 + IR_3 = 1 \times 5 + 5 + 1 \times 2 = 12 \text{ V}$$

从上面计算结果可以看出:

当电路的参考点选定后,电路中各点的电位值总是固定的。

改变电路的参考点,电路中各点的电位值随着改变,但任意两点间的电压值是不变的。

参考点选定后,电路中各点的电位值与选择路径无关。

1-4 克希荷夫定律

克希荷夫定律包括电流定律和电压定律。电流定律应用于节点,电压定律应用于回路。

在阐述克希荷夫定律之前,先介绍与定律有关的几个名词。

支路 电路中的每一分支称为支路。一条支路流过一个电流。在图 1-13 中共有三条支路。 acb 、 ab 和 adb 。

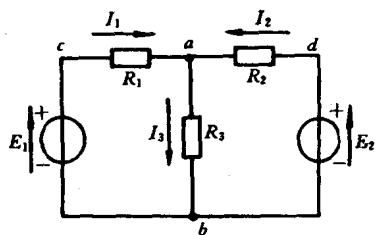


图 1-13 电路举例

节点 电路中三条或三条以上支路的连接点称为节点。图 1-13 中有两个节点 a 和 b 。

回路 电路中任一闭合路径称为回路。图 1-13 中共有三个回路 $adbca$ 、 $abca$ 和 $abda$ 。

网孔 回路中不再包含其它回路称为网孔或单孔。图 1-13 有两个网孔 $abca$ 和 $abda$ 。

一、克希荷夫电流定律

在任一瞬时,流入一个节点的电流之和等于由该节点流出的电流之和,或在任一瞬时任一节点上电流的代数和恒等于零。这就是克希荷夫电流定律,其数学表达式为

$$\sum I = 0 \quad (1-11)$$

克希荷夫电流定律用来确定同一节点上各支路电流之间的相互关系。该定律说明了电荷不可能在电路中的任一点上有堆积和减少,体现了电流连续性原理。

在图 1-13 所示的电路中,对节点 a 可以写出

$$I_1 + I_2 = I_3$$

或

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

式(1-11)中各电流前面正负号的取法,如果规定正方向流进节点的电流取正号,则流出节点的电流就取负号。因此,应用克希荷夫电流定律时,电路中各支路的电流必须事先标明正方向。

根据计算的结果,有些支路的电流可能是负值,这是由于所选电流的正方向与实际方向相反所致。

克希荷夫电流定律也可以推广到包围部分电路的任一假设的闭合面,可把闭合面看成一个广义节点,如图 1-14 所示电路中,对于广义节点则有

$$I_B + I_C - I_E = 0$$

$$\sum I = 0$$

可见,在任一瞬时,通过任一闭合面的电流的代数数和也恒等于零。

二、克希荷夫电压定律

在任一瞬时,从回路中任一点出发以顺时针方向或逆时针方向沿回路绕行一周,则在这个方向上的电位升之和应该等于电位降之和。这就是克希荷夫电压定律,其数学表达式为

$$\sum U = 0 \quad (1-12)$$

克希荷夫电压定律用来确定同一回路中各段电压之间的相互关系。该定律体现了电位单值性原理。

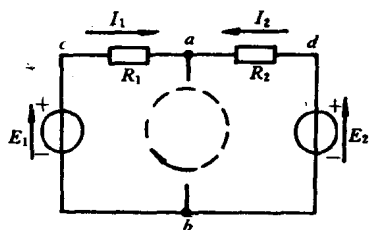


图 1-15 回路

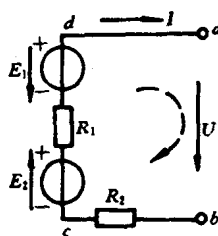


图 1-16 克希荷夫电压定律的推广

在图 1-15 所示电路中,沿着回路 $adbca$ 环行一周,可写出

$$E_1 + I_2 R_2 = E_2 + I_1 R_1$$

或

$$E_1 - E_2 + I_2 R_2 - I_1 R_1 = 0$$

即

$$\sum U = 0$$

在这里,电阻两端的极性由电流正方向决定,流入端为正,流出端为负;电动势两端的极性已明确;电位的升降由回路绕行方向决定,由负极性到正极性为电位升,反之为电位降。

上式也可改写为

$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2$$

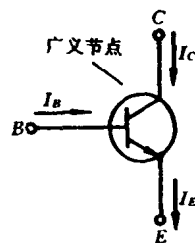


图 1-14 广义节点

$$\sum E = \sum (IR)$$

这是克希荷夫电压定律在电阻电路中的另一种表达式,在任一回路绕行方向上,回路中电动势的代数和恒等于电阻上压降的代数和。电动势和电流的正负号确定原则为:凡是电动势的实际方向与回路绕行方向一致者取正号,反之取负号。凡是电流的正方向与回路绕行方向一致者,该电流在电阻上所产生的电压降取正号,反之取负号。

克希荷夫电压定律还可以推广应用于一个假设的闭合回路。在图 1-16 所示电路中,对假设回路 $abcd$ 有

$$E_2 - E_1 = IR_1 + IR_2 + U$$

$$E_2 - E_1 - IR_1 - IR_2 - U = 0$$

或

$$U = E_2 - E_1 - IR_1 - IR_2$$

若已知电路中各元件的参数以及支路电流,就能计算出 a, b 两点间的电压 U 值。

例 1-2 如图 1-17 所示电路,已知 $E_1 = 24 \text{ V}$, $E_2 = 12 \text{ V}$, $R = 2 \Omega$, $I_2 = 2 \text{ A}$, $I_3 = 8 \text{ A}$,求 I_1 、 I_4 、 U_4 和 U_{ac} 。

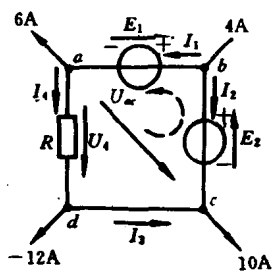


图 1-17 例题 1-2 的图

解 根据克希荷夫电流定律可求出 I_1 和 I_4 。对节点 b 有

$$4 = I_1 + I_2$$

$$I_1 = 4 - I_2 = 4 - 2 = 2 \text{ A}$$

对节点 a 有

$$I_1 = 6 + I_4$$

$$I_4 = I_1 - 6 = 2 - 6 = -4 \text{ A}$$

根据欧姆定律得

$$U_4 = I_4 R = -4 \times 2 = -8 \text{ V}$$

根据克希荷夫电压定律可求出

$$U_{ac} = E_2 - E_1 = 12 - 24 = -12 \text{ V}$$

I_4 、 U_4 、 U_{ac} 均为负值,表示它们的实际方向与图中所标的正方向相反。

1-5 电压源与电流源及其等效变换

一、电压源

任何一个实际电源,都可用两种不同的电路模型来表示。用电动势 E 和内阻 R_0 相串联的电路模型来表示电源时,称为电压源,如图 1-18(a)所示。

当电压源外接负载电阻 R_L 后,可得出电压源端电压 U 和输出电流 I 之间的关系为

$$U = E - IR_0 \quad (1-13)$$

当电动势 E 和内阻 R_0 固定时,则 U 和 I 互为变量,它们随负载电阻 R_L 的大小而变化。

将式(1-13)的 $U=f(I)$ 关系描述在 $U-I$ 座标平面上,称为电压源的外特性曲线,如图 1-18(b)所示。从电压源外特性可见,当电压源开路时,则 $I=0$, $U_0=E$;当负载电流增加时,由于存

在内阻压降 IR_0 , 使电源端电压有所下降, I 越大, U 下降得越多。因此, 电压源端电压的稳定性不但取决于负载 R_L , 还取决于内阻 R_0 的大小, 在相同的负载电流下, R_0 越大, 电压源端电压下降越多, 外特性越差; 当电压源短路时, 则 $U=0, I_s = \frac{E}{R_0}$ 。在 $R_0=0$ 的理想情况下, 电压源端电压恒等于电动势, 即 $U=E$, 这时的电压源称为理想电压源或恒压源, 其电路如图 1-19 所示, 它的外特性是电压为 E 的一条平行横轴的直线, 如图 1-18(b) 所示, 恒压源输出电流是任意的, 由负载电阻 R_L 来确定。

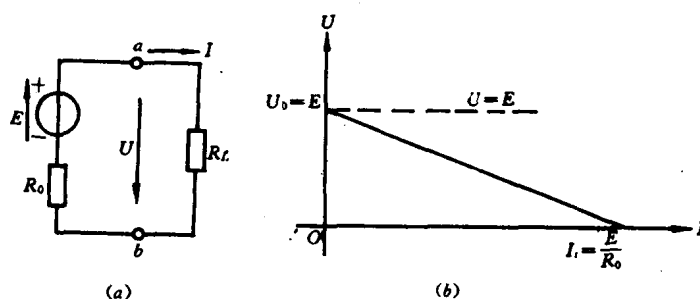


图 1-18 电压源及其外特性

(a) 电压源电路 (b) 电压源和恒压源的外特性

恒压源实际上是不存在的, 因为电压源内阻不可能等于零, 任何电源不可能在输出任意变化的电流时, 端电压会保持恒定不变。但电压源的内阻很小, 并且 $R_0 \ll R_L$, 则内阻压降 $IR_0 \ll U$, 于是 $U \approx E$, 可以把电压源近似地看成为恒压源。通常用的稳压电源可视为恒压源。

二、电流源

如将式(1-13)两端除以 R_0 , 可得电流方程为

$$\frac{U}{R_0} = \frac{E}{R_0} - I = I_s - I$$

或
$$I_s = \frac{U}{R_0} + I \quad (1-14)$$

式中 $I_s = \frac{E}{R_0}$ 为电源的短路电流; I 是负载电流; $\frac{U}{R_0}$ 是流经电源内阻 R_0 的电流。如图 1-20(a) 所示。用电流为 I_s 和内阻 R_0 相并联的电路模型来表示电源时, 称为电流源。

当电流源外接负载电阻 R_L 时, 电流源的输出电流 I 和输出电压 U 之间的关系为

$$I = I_s - \frac{U}{R_0} \quad (1-15)$$

当 I_s 和 R_0 不变时, U 和 I 是变量, 它们随负载电阻 R_L 而变化。

由式(1-15)可作出电流源的外特性曲线, 如图 1-20(b) 所示。从外特性可见, 当电流源开路时, 则 $I=0, U_0=I_s R_0$; 当电流源短路时, 则 $U=0, I=I_s$, 这时 I_s 全部输出给外电路; 当外接负

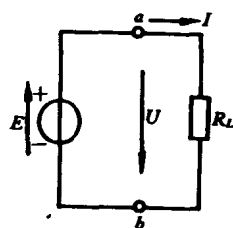


图 1-19 恒压源电路