

25
TU85-43
Y19
全国成人高等教育规划教材

建筑电工技术

教育部高等教育司 组编

颜伟中 主编

高等教育出版社

前 言

1998年7月,在北京召开了由教育部成人教育司与高等教育出版社共同组织的“面向21世纪全国成人高等教育百门课程电工学教材编写会”。会上确定了电工学系列教材有电工技术、电子技术和建筑电工技术三本书。

《建筑电工技术》一书是根据1998年4月教育部颁布的“全国成人高等教育建筑电工技术课程教学基本要求”编写而成。本书是为高等教育工科成人教育院校的土建类工程(建筑学、规划工程、建筑工程、房地产、营销、建筑管理等)非电专业学生编写的教材,可兼作高等教育工科院校的土建类工程非电专业本、专科学生的自学参考用书。

为了面向21世纪信息化时代的到来,本书力争做到精简繁杂的传统内容,突出应用,并增加新技术、新内容,使该书做到“体系创新、内容更新、突出成人特色”。教材中介绍了电工技术的基本理论,还根据土建类工程等专业的需求,结合建筑工程实例,增加了建筑电气方面的知识。如:建筑电气设备、建筑低压配电系统、变电所的布置、导线的选择与敷设、低压保护装置的选择、建筑工地的配电系统、建筑电气照明系统、建筑信息系统、建筑防雷接地系统和安全用电等。书中还介绍了高层建筑电气的系统与特点。

《建筑电工技术》教材是属于技术基础课与专业课之间的交叉课程,将使土建类专业的学生不仅具有电工技术的基础知识,而且能了解建筑电气的设计、识图、施工管理等方面的知识,以便为今后工作打下基础。

全书共分10章,为方便学生自学,每章前有本章基本要求、本章重点和难点内容提要;每节后有复习思考题;每章后有本章小

结、习题(部分答案在书后)等。建议全日制教学时数为(55~70);函授教学时数为(24~30),自学时数为(80~100),作业时数为(26~40),复习时数为(20~30),实验时数为(10~12),总教学时数为(160~200)。

本教材由颜伟中主编,负责全书的组织、统稿和定稿工作。参加编写工作的有中国纺织大学方玲丽(第1、2、3、4章)、同济大学陈金铁(5、6、9章)、哈尔滨建筑大学颜伟中(第7、8、10章及附录)。本书由华东交通大学钱碧云教授任主审,钱教授认真细致地审阅了全书,指出了缺点、不足,并提出了修改意见。

本书在编写过程中,得到教育部成人教育司张大也处长、高等教育出版社楼史进、胡淑华、金春英和林宇等同志的大力支持和帮助。本书也得到中国高等工科院校成人教育委员会电工学研究组专家们的审查,并提出了许多宝贵的意见。我们在此对以上为本书付出了辛勤劳动的老师,表示衷心地感谢!

由于我们水平有限,首次编写成人教育《建筑电工技术》教材,经验不足,时间短促,对书中体系的安排、内容的取舍等方面难免会有缺点和不妥之处,恳请读者和朋友们批评指正,以便今后修改提高。

编者

1999年7月

第 1 篇 电工技术

第 1 章 直流电路

本章介绍电路的基本概念,其中包括电路模型、电路的主要物理量、电流和电压的参考方向(正方向)、电路的工作状态以及电路的基本定律和基本分析方法。通过本章的学习,掌握必要的电工基本理论和基本分析方法,做到概念清楚,熟悉内容,并能正确使用。

1. 本章基本要求

- (1) 了解电路模型。理解电压和电流参考方向的意义。
- (2) 理解基尔霍夫定律。掌握支路电流法。了解叠加原理。
- (3) 了解电功率和额定值的意义。

2. 本章重点内容

- (1) 基尔霍夫定律及其应用。

1.1 电路的组成与作用

电路就是电流的通路。电路通常由电源、负载和中间环节三部分组成。如图 1.1.1 所示,电路是由一节干电池、一只灯泡、一个开关与连接导线组成的最简单的照明电路。当开关闭合时,电路中就有电流通过,灯泡发光。

电源是提供电能的装置,它将非电能转换成电能。例如干电池和蓄电池将化学能转换成电能;发电机将热能、水能、核能等转

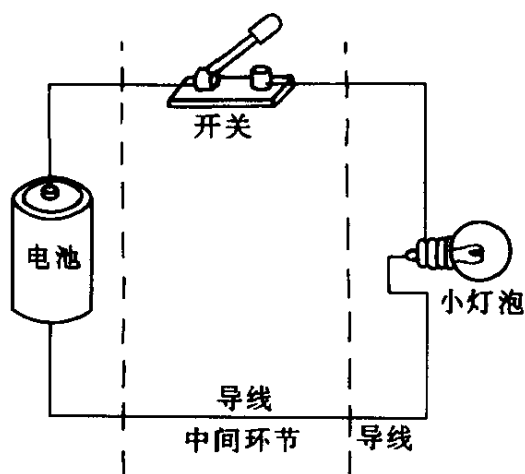


图 1.1.1 电路的组成

换成电能。常用的电源有电池、发电机、整流电源、变频电源等。

负载是取用电能的设备和器件。它将电能转换为其他形式的能量。比如电灯将电能转换成光能,电炉可将电能转换成热能,电动机将电能转换成机械能等。常见的负载有电灯、电炉、扬声器、水泵电机等。

中间环节是连接电源和负载的部分。它起传送、分配和控制能量的作用。例如导线、开关、熔断器等。

电源、负载、中间环节是构成一个完整电路的三个最基本部分。对电路而言,把电源内部的电流通路称为内电路,把负载和中间环节构成的电流通路称为外电路。

电路有两个主要功能:其一是电力电路,用于实现电能的传送和转换。

在电力系统中,发电厂的发电机把热能、水能或核能等转化为电能,经过升压变压器升压后由输电线进行远距离输送到用电区域,由降压变压器降到用电装置的额定电压值,再通过输电线路输送到各用电设备或用电装置。电能就是通过卷扬机、搅拌机、电灯等用电设备转换成机械能、光能等。

其二是信号电路,用于实现信息的传送和处理。

在无线电技术中,电视机、收音机接收的无线电信号,将此信号经放大电路放大,由调谐电路从接收到的各个不同信号中间选择出所需要的信号。放大电路、调谐电路就是处理输入信号使之成为所需要的输出信号。

复习思考题

1.1.1 电路由哪几个部分组成? 每个部分起什么作用?

1.1.2 作为电力电路,具有什么功能? 作为信号电路,具有什么功能?

1.2 电路的模型

在电工技术中,实际的电路都是由一些具体的电气元件和电气设备组成,把这些具体的电气元件和电气设备统称为实际的电路元件。由于这些电路元件种类繁多,其电磁性质也比较复杂,为了简化问题的分析,把电路中各个实际的电路元件进行科学的抽象和概括,在一定的条件下,用代表其主要物理性质而忽略其次要性质的理想电路元件来代替。理想的电路元件具有单一的电或磁的性质。在理想电路元件中,主要有理想电阻元件、理想电感元件、理想电容元件和理想电源元件等,这些元件分别由相应的参数来表征。由理想的电路元件所组成的电路称为电路模型。

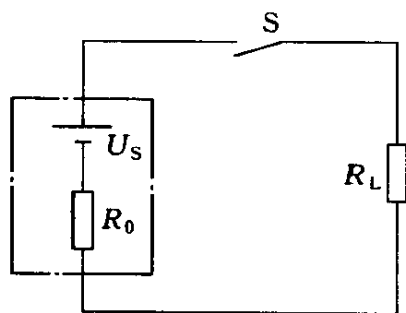


图 1.2.1 电路模型

用国家统一规定的一些图形符号和参数来表示各种理想的电路元件,可画出相应的电路模型。最简单的照明电路的电路模型如图 1.2.1 所示,其中 U_s (曾用 E 表示) 为理想电压源又称电压源,点划线框内为一个实际电源的含内阻电压源模型。

复习思考题

1.2.1 什么叫电路模型？

1.2.2 为什么一个实际电路要用电路模型来代替？

1.3 电路中的基本物理量及其参考方向

1.3.1 电流

电路中的电流是电荷有规律地做定向运动形成的。工程上规定正电荷运动的方向为电流的方向,如图 1.3.1(a)所示。自由电子运动时形成的电流,其方向与电子运动的方向相反,如图 1.3.1(b)所示。电流强度(工程上简称电流),在数值上等于单位时间内通过某导体截面的电荷量。当在极短的时间 dt 内通过导体横截面的电荷量为 dq 时,则该瞬时通过该导体的电流为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.3.1)$$

式中 dq :通过导体横截面的电荷量,单位为库(C); dt :时间,单位为秒(s); i :电流值,单位为安(A)。

上式表示电流是随时间变化的,是时间的函数。

如果电流的大小和方向不随时间而变化,即 $dq/dt = \text{常数}$,则称为恒定电流,简称直流。用大写字母 I 表示,式(1.3.1)改写为

$$I = \frac{q}{t}$$

式中 q :在时间 t 内通过某导体横截面 A 的电荷量; t :时间,单位为秒(s)。

在国际单位制(SI)中,电流的单位为安培简称安(A)。当每秒钟内通过导体横截面的电量为 1 库仑简称 1 库(1C) 时,则电流为 1 安。

$$1\text{A} = \frac{1\text{C}}{1\text{s}}$$

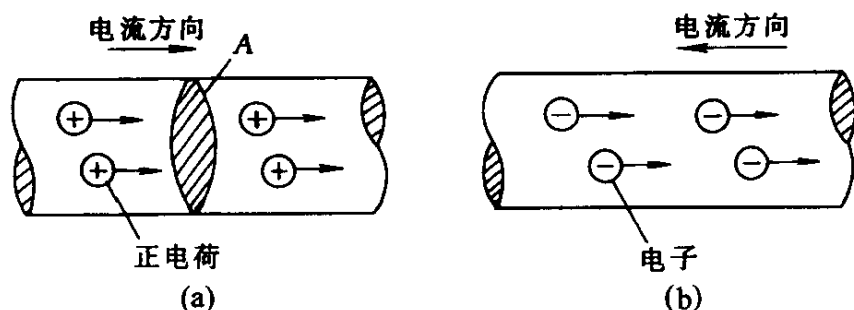


图 1.3.1

计量微小的电流时,以毫安(mA)或微安(μA)为单位。

$$1\text{A} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \mu\text{A}$$

1.3.2 电压

电压是衡量电场力对正电荷做功能力的物理量,电荷的回路如图 1.3.2 所示。a、b 是电源的两个电极,a 极带正电,b 极带负电,在 a、b 两极间就形成了电场,其方向由 a 指向 b。如用导线将 a、b 两极连起来,在此电场的作用下,电荷由 a 经导线移向 b(实际是连接导体中自由电子由 b 移向 a,两者是等效的)。这就是电场力对电荷做了功。a、b 两点间的电压 U_{ab} 在数值上等于电场力将单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功 W ,即

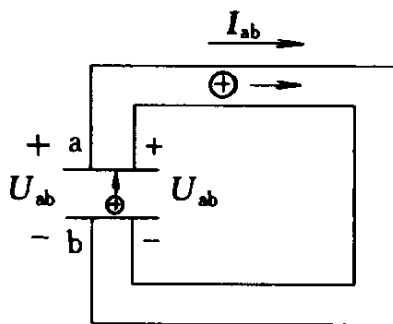


图 1.3.2 电荷的回路

$$U_{ab} = W/q \quad (1.3.2)$$

在国际单位制中,电压的单位是伏特,简称伏(V),电荷的单位是库(C),功的单位是焦耳,简称焦(J)。当电场力把 1 C 的电荷量从一点移到另一点做的功为 1 J 时,则该两点间的电压为 1 V。而计量微小电压时,可以用毫伏(mV)或微伏(μV)为单位

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

在计量高电压时,常用千伏(kV)为单位

$$1\text{kV} = 10^3 \text{ V}$$

若电压的大小和方向随时间变化,为时间的函数,此时用小写字母 u 或 $u(t)$ 表示,如果电压的大小和方向与时间无关,此电压称为直流电压,用大写字母 U 表示。电压是标量,具有方向,电压的方向规定为由高电位端(正极)指向低电位端(负极),即电位降低的方向。

1.3.3 电动势

电动势是衡量电源力对正电荷做功能力的物理量。当正电荷在电场力的作用下,不断从 a 极板流向 b 极板,这时运动到 b 极板的正电荷将增多,使其电位升高,而 a 极板上的正电荷将减少,使其电位降低,造成 a 、 b 两点的电位差减小,最后趋向零,连接导线中的电流也因此减小,直到为零。由于电场力的作用,极板 b 上的正电荷不能逆电场而上,为了维持导线中的电流,并使其保持恒定,就必须使 a 、 b 两极板间的电压保持恒定,为此势必借助另一种力去克服电场力,使 b 极板的正电荷流向 a 极板,电源能产生这种力,故称为电源力,如图 1.3.2 所示。电动势在数值上等于电源力将单位正电荷从低电位(b 点)移到高电位(a 点)所做的功 W 。用 U_s 表示电动势,则

$$U_s = \frac{W}{q} \quad (1.3.3)$$

电动势的单位与电压相同,为伏(V)。若电动势的大小和方向随时间变化,为时间的函数,此时,用小写字母 u_s 或 $u_s(t)$,曾用 e 或 $e(t)$ 表示,如果电动势的大小和方向与时间无关,此电动势称为直流电动势,用大写字母 U_s (曾用 E)表示,电动势也是标量,具有方向,电动势的方向规定为从电源的低电位端(负极)指向高电位端(正极),即电位升高的方向。

所选参考方向要尽可能与实际方向一致。在规定了电压、电动势的参考方向以后,电路中电流的方向也相应定了。在内电路,电流总是从低电位流向高电位;在外电路,电流总是从高电位流向低电位。

1.3.4 电位

电位也称电势,电路中某点(a)的电位就是该点与选定的参考点之间的电压,在数值上等于电场力将单位正电荷从该点(a)移到参考点所做的功。参考点的电位通常规定为零,又称做零电位点。电路中两点间的电压也称两点间的电位差,如 $U_{ab} = V_a - V_b$ 。电位的单位也是伏(V)。

在电子电路中,常要计算某点的电位,进行电位计算时,首先要选好参考点,即零电位点。计算电路中某一点的电位,实际就是计算该点与参考点之间的电位之差。而电路中参考点的选择是任意的,一旦参考点选择后,不可更改。当选定的参考点不同,则各点的电位也不同,但任意两点之间的电位差不变。

参考点常用接地符号“ $\perp$ ”表示。电力系统中“ $\equiv$ ”指接大地,电子电路中“ $\perp$ ”指接机壳。

1.3.5 电功率

单位时间内电路元件吸收或输出的电能称为电功率,(简称功率),用 P 表示。即

$$P = \frac{W}{t} \quad (1.3.4)$$

由于电压 U 等于电场力将单位正电荷从高电位端(a极)移到低电位端(b极)所做的功($U_{ab} = W/q$),电流 I 等于单位时间内在电场力作用下,通过导体截面的电荷量($I = q/t$),所以,电功率也是电压与电流的乘积,电功率的单位为瓦特,简称瓦(W),即

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

在电气系统中,电功率以千瓦(kW)为单位

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

在电路中,当电源向电路提供电能,即产生功率时,起电源作用。当电源在电路中消耗电能,即吸收功率时,起负载作用。

在选定参考方向以后,计算出的电流 $I > 0$ 时,则 $P = U_s I > 0$

(发出功率), 计算出的电流 $I < 0$ 时, 则 $P = U_S I < 0$ (吸收功率)。

[例 1.3.1] 已知在图 1.3.3(a) 电路中, $U_{S1} = 8 \text{ V}$, $U_{S2} = 2 \text{ V}$, $U_{S3} = 2 \text{ V}$, $R_1 = 5 \Omega$, $I = -1 \text{ A}$, 求: (1) 若选 d 点为参考点时, 电路中其他各点的电位值; (2) a、b 两点之间的电压及 R_2 的值; (3) 若选 c 点为参考点时, 其他参数不变, a、b 两点之间的电压为多少?

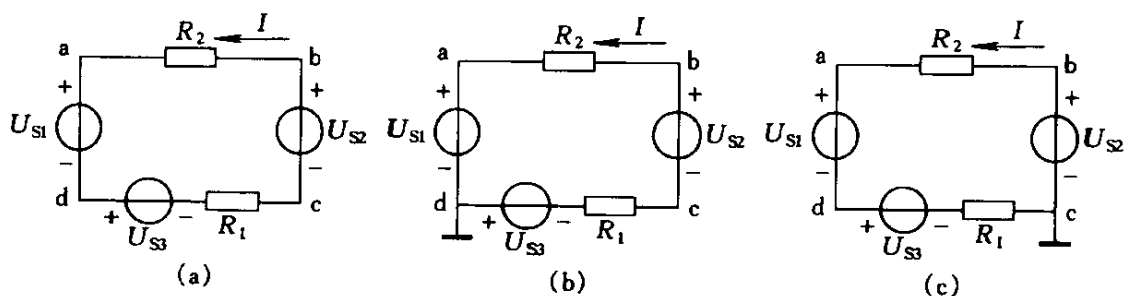


图 1.3.3 例 1.3.1 的图

[解] (1) 若选 d 点为参考点, 见图 1.3.3(b), 则有

$$V_a = U_{ad} = U_{S1} = 8 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} V_b &= U_{bc} + U_{cd} \\ &= U_{S2} + R_1(-I) - U_{S3} \\ &= (2 + 5 - 2) \text{ V} = 5 \text{ V} \end{aligned}$$

$$V_c = U_{cd} = (5 - 2) \text{ V} = 3 \text{ V}$$

(2) a、b 两点之间的电压, 即为两点间的电位差

$$U_{ab} = V_a - V_b = (8 - 5) \text{ V} = 3 \text{ V}$$

$$R_2 = \frac{U_{ab}}{(-I)} = \frac{3}{1} \Omega = 3 \Omega$$

(3) 若选 c 点为参考点时, 见图 1.3.1 (c), 则有

$$V_c = 0$$

$$\begin{aligned} V_a &= U_{ad} + U_{dc} \\ &= U_{S1} + U_{S3} + R_1 I \\ &= [8 + 2 + 5 \times (-1)] \text{ V} \end{aligned}$$

$$=5 \text{ V}$$

$$V_b = U_{S2} = 2 \text{ V}$$

$$U_{ab} = V_a - V_b = (5 - 2) \text{ V} = 3 \text{ V}$$

由上述计算结果可知：

1. 电路中任意两点间电位差(电压)的大小与参考点的选择无关。

2. 参考点选的不同,电路中各点的电位值不同。

[例 1.3.2] 已知在图 1.3.4 中, $U_{S1} = 5 \text{ V}$ 、 $U_{S2} = 10 \text{ V}$ 、 $U_{S3} = 6 \text{ V}$ 、 $R_1 = 2 \Omega$ 、 $R_2 = 5 \Omega$ 、 $R_3 = 4 \Omega$, 试求 a、b、c 各点的电位。

[解] 在计算时,要注意电阻元件上有否电流流过。图中 U_{S2} 、 R_2 以及 U_{S1} 没有构成回路,所以它们中没有电流流过,只有回路中才有电流,设其电流参考方向为逆时针方向。各点电位分别为

$$\begin{aligned} V_a &= -\frac{U_{S3}}{R_1 + R_3} \times R_3 + U_{S2} \\ &= \left(-\frac{6}{2+4} \times 4 + 10\right) \text{ V} = 6 \text{ V} \\ V_b &= U_{S2} = 10 \text{ V} \\ V_c &= U_{cb} + V_b \\ &= -U_{S1} + U_{S2} \\ &= (-5 + 10) \text{ V} \\ &= 5 \text{ V} \end{aligned}$$

1.3.6 电流、电压的参考方向

在分析较为复杂的直流电流时,某条支路中电流(或电压)的实际方向往往事先很难判断,为此,引出了电流(或电压)的参考方向的概念。

电流的参考方向是任意假定的,当假定了参考方向,并用箭头标出后,根据该假定参考方向计算结果所得的电流为正值,表明电流的实际方向与假定的参考方向是一致的;如果计算结果所得的

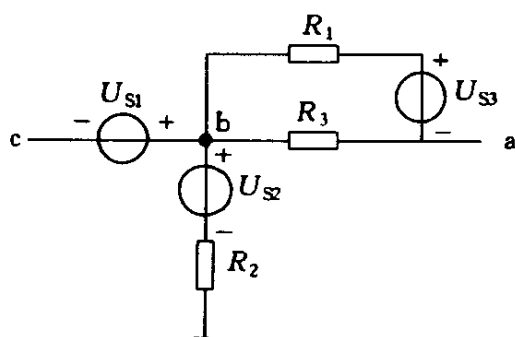


图 1.3.4 例 1.3.2 的图

电流为负值,表明电流的实际方向与假定参考方向是相反的,因此,在参考方向选定以后,电流的值才有正、负之分,电流的参考方向与实际方向,如图 1.3.5 所示。

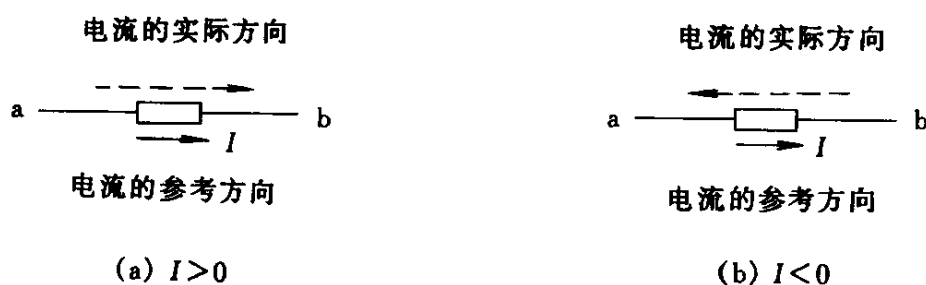


图 1.3.5 电流的参考方向与实际方向

本书电路图上所标的电流方向都是参考方向。对任意一条支路,电流的参考方向除用箭头表示外,也可用双下标表示。如图 1.3.2 中的 I_{ab} ,即表示参考方向是由 a 指向 b 的电流。如果参考方向选定由 b 指向 a,则用 I_{ba} ,即 $I_{ab} = -I_{ba}$,两者之间相差一个负号。

和电流一样,在电路图上所标出的电压和理想电压源的方向也都是参考方向,也是任意选定的。参考方向不一定与实际方向一致,如果电压 U 的参考方向与实际方向一致, U 的计算结果为正值;如果电压 U 的参考方向与实际方向相反, U 的计算结果为负值。

电压的参考方向除了用极性表示外,还用双下标表示,如图

1.3.6 所示。

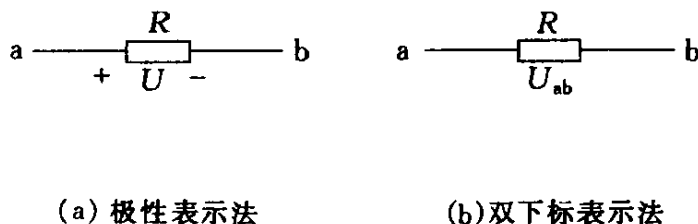


图 1.3.6 电压参考方向的表示

同样,理想电压源的参考方向也可以用箭头或一对“+”、“-”号表示。当用箭头表示时,箭头是由低电位端指向高电位端,即电位升高的方向,与理想电压源的实际方向相同。本书采用“+”、“-”号表示电压参考方向。在直流电路中,理想电压源的实际方向一般是已知的,故所选的参考方向应尽可能与实际方向一致。

在分析电路时,为了方便起见,对一段电路或负载元件,一般选定其电压参考方向和电流参考方向一致,称为关联参考方向,如图 1.3.7(a)所示;反之,电压参考方向和电流参考方向相反,称为非关联参考方向,如图 1.3.7(b)所示。

当采用关联参考方向时,电路图中只要标出电流或电压的一个参考方向就行了。对外电路而言,电流总是从高电位流向低电位,而电压的方向也总是从高电位指向低电位。



图 1.3.7 关联参考方向与非关联参考方向

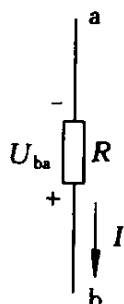
复习思考题

1.3.1 电压、电位和理想电压源(电动势)的单位都是伏,它们在概念上

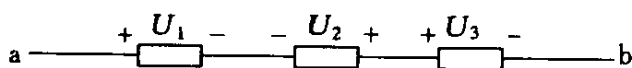
有什么联系和不同？

1.3.2 电流和电压的参考方向是如何规定的？它们的实际方向又是如何规定的？为什么有了实际方向还要参考方向？如果电路图上不标出电流、电压和理想电压源的实际方向或参考方向，能否应用欧姆定律或基尔霍夫定律列出方程？

1.3.3 已知图中 $R=5\ \Omega$, $U_{ab}=-8\text{ V}$ 。试求：(1) a、b 两点哪点电位高？(2) 求电流 I ？



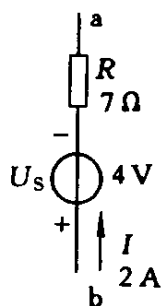
题 1.3.3 图



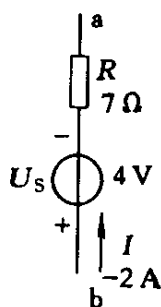
题 1.3.4 图

1.3.4 已知题 1.3.4 图中 $U_1=9\text{ V}$, $U_2=-5\text{ V}$, $U_3=-4\text{ V}$ ，试求 U_{ab} 。

1.3.5 试分别求题 1.3.5 图电路中电压 U_{ab} ；并指出哪个电路从外电路吸收功率，其值为多少？哪个电路向外电路发出功率，其值为多少？



(a)

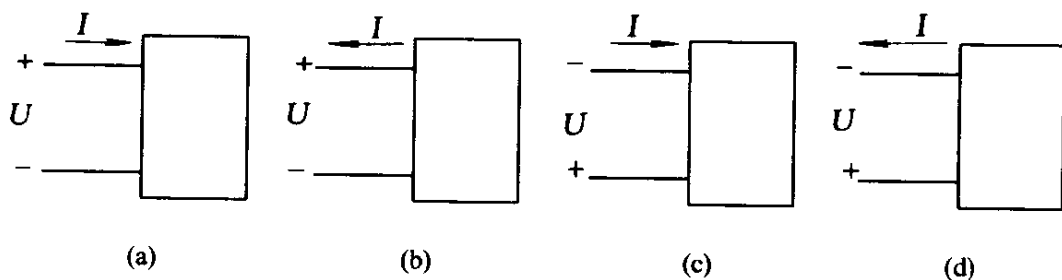


(b)

题 1.3.5 图

1.3.6 题 1.3.6 图方框代表电源或负载，已知 $U=220\text{ V}$, $I=2\text{ A}$ ，试求哪些方框是电源，哪些是负载？

1.3.7 有 4 只 110 V , 100 W 的白炽灯泡，如果电源电压为 220 V ，能用



题 1.3.6 图

什么办法使灯泡正常工作？

1.4 电路的工作状态及电气设备的额定值

电路有三种工作状态,分别为负载、开路和短路。以最简单的直流电路为例,分别讨论三种工作状态下电流、电压和功率方面的问题。

1.4.1 负载状态

当图 1.4.1 电路中开关 S 闭合时,电源与负载接通成闭合的回路,电路中就有电流和能量的输出和交换。

电路负载状态,又称有载工作状态。在此状态下,电路具有以下特征:

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R}$$

$$U = RI = U_s - R_0 I$$

$$P = UI = U_s I - R_0 I^2$$

上式中的端电压 U 总是小于理想电压源的电压 U_s , 因为理想电压源 U_s 减去内阻压降 $R_0 I$ 后才是电源的输出电压, 即负载两端的电压。功率方

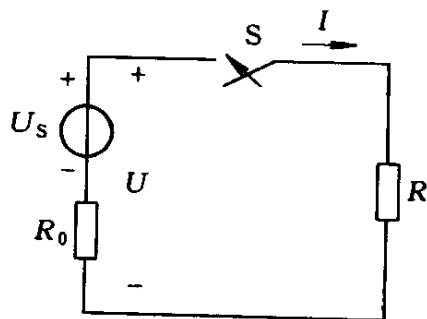


图 1.4.1 负载状态

程表明, 理想电压源产生的功率 $P = U_s I$ 减去电源内阻消耗的功

率 $\Delta P = R_0 I^2$ 等于提供给外电路的功率,即负载消耗的功率 UI 。在负载状态下,能量转换是符合能量守恒定律的,当电路的电流和功率过大,电压过高会引起电源、负载或中间环节中各电气设备的绝缘材料过热从而降低使用寿命甚至被烧毁。为了安全、可靠、经济地使用电气设备,对电路中的电源和用电设备的电压、电流、功率都规定了一个合理的数值,这个数值通常称为额定值,下标用 N 表示。如 U_N 、 I_N 、 P_N 等。使用时,实际负载的电流、电压和功率的值不允许超过额定值。

1.4.2 开路状态

开路状态又称空载状态。在电路空载时,可视外电路电阻无穷大。开关将负载与电源断开,负载电路中没有电流,也没有能量的输送和转

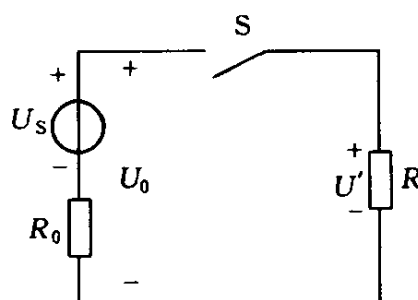


图 1.4.2 空载状态

换,如图 1.4.2 所示。开路状态电路具有以下特征:

$$I = 0$$

$$U = U_0 = U_s$$

$$P_s = U_s I = 0$$

$$U' = 0$$

开路时,电源端电压 U 等于理想电压源的电压 U_s ,此电压称开路电压或空载电压,用 U_0 表示。电源产生的功率 $P_s = 0$,负载吸收的功率也为零。

1.4.3 短路状态

当电源两端 a 和 b 未经负载而直接由导线接通,形成闭合回路的状态称短路状态,如图 1.4.3 所示。电源短路时,外电路电阻可视为零,短路状态时的电路特征:

$$I_s = \frac{U_s}{R_0}$$