



高职高专“十二五”规划教材

电工电子技术及应用

DIANGONG DIANZI JISHU JI YINGYONG

王贵兰 孟红秀 孟玉茹 主编
孟令刚 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



高职高专“十二五”规划教材

电工电子技术及应用

DIANGONG DIANZI JISHU JI YINGYONG

主 编 孟玉茹
副主编 王贵兰 孟红秀 孟令刚
编 写 韩会山 冯 磊 陈 丽
主 审 姚永刚



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为高职高专“十二五”规划教材。本书共分10章，主要内容包括汽车大灯电路分析、交流线圈电路的分析、工业低压电源及电路特征、变压器及使用、直流电机及使用、三相交流电动机及使用、晶体管、晶体管放大电路及应用、门电路和组合逻辑电路应用、时序逻辑电路及应用。本书具备实物引领，电路分析；简化原理，注重应用的特点。本书提供电子课件。

本书可作为高职高专机电一体化、机械制造与自动化、模具设计与制造、材料成型与控制技术、汽车检测与维修、汽车制造与装配技术、汽车电子技术等非电类专业的教材，也可供其他专业师生和工程技术人员选用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术及应用/孟玉茹主编. —北京：中国电力出版社，2012.12

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-3828-9

I. ①电… II. ①孟… III. ①电工技术-高等职业教育-教材
②电子技术-高等职业教育-教材 IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 299981 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013年1月第一版 2013年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 10.25印张 241千字

定价 18.50元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

在高职高专教育教学改革不断深入的过程中，各高职高专院校为培养学生的职业能力，迫切需要以实际应用电路或实际设备为基础开发的电工电子技术及应用课程，以及按照“讲练结合”教学方式授课的通俗易懂的教材。基于这一需求，编者根据多年的实践教学经验和学校教改的成果编写了本书。

本书以工作实际应用电路或实际设备为索引，讲授电路的基本概念、电路的分析方法；简单介绍设备原理，尽量用物理概念解释，不做复杂的公式推导；着重讲解设备和器件的应用。

在教学时，通过教师讲解、示范、学生实训等教学环节，提高学生从事电气、电子设备使用和维护、维修的职业能力。成绩评定采用过程考核，每部分课程内容结束，教师可组织约 20min 的课堂测试，每个实训教师根据学生训练的实际情况给出分值，课堂测试分值占 80%，实训的分值占 20%。在教材使用中，可根据学生所学专业 and 就业方向，适当选择部分教学内容。

本书由邢台职业技术学院孟玉茹任主编，王贵兰、孟红秀、孟令刚任副主编。具体编写分工如下：第 1、2 章由王贵兰编写，第 3 章由韩会山编写，第 4 章由冯磊编写，第 5 章由陈丽编写，第 6、7 章由孟玉茹编写，第 8、9 章由孟红秀编写，第 10 章由孟令刚编写。

本书由河南机电高等专科学校姚永刚教授主审，并提出了宝贵的意见和建议，在此表示由衷的感谢。

编 者
2012.10

目 录

前言

第 1 章 汽车大灯电路分析	1
1.1 电路的作用和组成	1
1.2 电流和电压的参考方向	2
1.3 电阻的串联与并联	4
1.4 电源的工作状态	7
1.5 基尔霍夫定律	9
1.6 支路电流法	12
1.7 电压源和电流源及其等效变换	13
1.8 叠加原理	17
1.9 戴维南定理	18
1.10 电路中电位的计算	20
实训一 万用表使用和直流电路电流、电压的测量	21
习题	22
第 2 章 交流线圈电路的分析	27
2.1 正弦电压和电流	27
2.2 正弦量的相量表示与计算	30
2.3 单一参数交流电路	32
2.4 RLC 串联交流电路的分析	38
2.5 功率因数的提高	41
实训二 交流电路测量和线路的故障检修方法	43
习题	44
第 3 章 工业低压电源及电路特征	48
3.1 三相电源的特征	48
3.2 三相对称负载星形连接的电路	50
3.3 三相对称负载三角形连接的电路	53
习题	54
第 4 章 变压器及使用	57
4.1 变压器的结构和原理	57
4.2 变压器的外特性和效率	59

4.3	变压器的极性	60
4.4	变压器的使用及特殊变压器	62
	实训三 单相变压器的极性测量及连接	64
	习题	65
第5章	直流电机及使用	66
5.1	直流电机的结构和工作原理	66
5.2	并励直流发电机的使用与检修	67
5.3	并励直流电动机及使用	68
	习题	72
第6章	三相交流电动机及使用	74
6.1	三相交流电动机的结构和工作原理	74
6.2	三相异步电动机的机械特性	78
6.3	三相异步电动机的起动	81
6.4	三相异步电动机的制动	83
6.5	三相异步电动机的调速	84
6.6	三相异步电动机的铭牌数据和选择	87
	习题	90
第7章	晶体管	92
7.1	二极管	92
7.2	稳压管	98
7.3	三极管	100
	实训四 常用电子元件的检测	105
	习题	106
第8章	晶体管放大电路及应用	108
8.1	基本放大电路	108
8.2	基本放大电路的静态分析	109
8.3	放大电路的动态分析	112
8.4	静态工作点的设置与放大电路的失真	115
8.5	静态工作点的稳定	116
8.6	集成电路简介及应用	119
	实训五 信号发生器和示波器的使用	126
	实训六 基本放大电路的测试	126
	习题	127
第9章	门电路和组合逻辑电路应用	129
9.1	门电路	129

9.2 组合逻辑电路分析	135
9.3 组合逻辑电路的应用举例	137
实训七 组合逻辑电路的测试	141
习题	142
第 10 章 时序逻辑电路及应用	144
10.1 触发器	144
10.2 触发器应用举例	147
实训八 时序逻辑电路的测试	151
习题	152
参考文献	154

第1章 汽车大灯电路分析

在生产、科学研究工作和日常生活中，电路都得到了广泛的应用。在汽车、机械制造设备、航天设备和电力系统网络、手机、电视机、收音机、音响设备、通信系统、计算机中都可以看到各种各样的电路。本章主要介绍电路基本概念和定律，如电路的作用和组成、电压和电流的参考方向、基尔霍夫定律，以及电源的工作状态，以汽车大灯电路为基础讨论常用的电路分析方法，如支路电流法、叠加原理和戴维南等效定理。

1.1 电路的作用和组成

1.1.1 电路

电路是电流通过的闭合路径，是由某些电气设备和元器件按一定方式组合之后的总称。例如发电机、变压器、电动机、电池、晶体管以及各种电阻器和电容器等都是电气元器件。图 1-1 所示为扩音机电路示意，图 1-2 所示为手电筒电路示意。

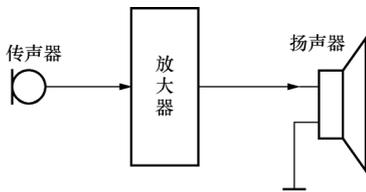


图 1-1 扩音机电路示意

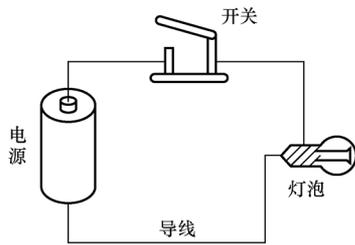


图 1-2 手电筒电路示意

一般电路由电源、负载和中间环节三个基本部分组成。电源是将其他形式能量转化为电能的装置，如发电机、干电池、蓄电池等；负载是消耗电能的用电设备，如白炽灯、电炉、电动机、电视机等；中间环节起传输、控制、分配、保护等作用的装置，如导线、变压器、开关等。

电路的作用有两方面：一方面是实现电能的传输与转换，如图 1-3 所示的电力系统，例如电力网络将电能从发电厂输送到各个工厂、农村、学校和千家万户，以供各种电气设备使用；另一方面是实现电信号的传输、处理和存储，如图 1-1 所示扩音机，通过话筒将声音转化成电信号，送入放大器进行放大处理，再通过扬声器把放大的声音传递出来。



图 1-3 电力系统电路示意

1.1.2 电路模型

将实际元件理想化，即在一定条件下突出其主要电磁性质，忽略次要因素，近似看做理想电路元件。由理想电路元件所组成的电路就是实际电路的电路模型。图 1-4 所示为手电筒的实际电路和电路模型。

汽车大灯电路中有两个电源：一个是蓄电池，在汽车静止时给大灯提供电能；一个是直流发电机，汽车运行时给蓄电池充电并给大灯提供能量。汽车大灯电路和电路模型如图 1-5 所示。发电机和蓄电池理想化后用电动势和电阻串联表示，汽车大灯理想化后用电阻表示。后续章节中的电路均指电路模型。

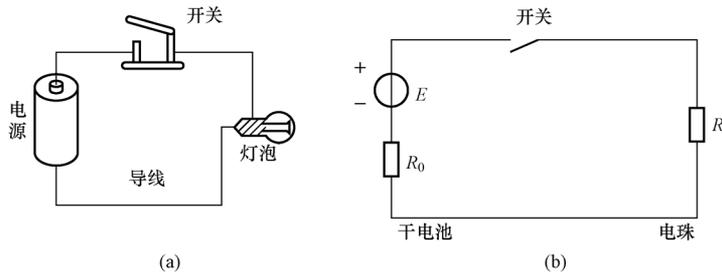


图 1-4 手电筒电路

(a) 手电筒实际电路；(b) 手电筒电路模型

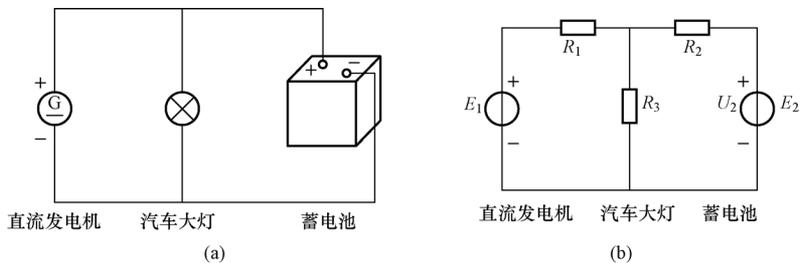


图 1-5 汽车大灯电路的电路和电路模型

(a) 汽车大灯电路；(b) 汽车大灯电路模型

1.2 电流和电压的参考方向

电压和电流的方向有实际方向和参考方向之分。习惯上，规定正电荷的移动方向表示电流的实际方向。在外电路，电流由正极流向负极；在内电路，电流由负极流向正极。但在分析较为复杂的直流通路时，往往难以事先判断某支路中电流的实际方向。在分析与计算电路时，可任意选定某一方向作为电流的参考方向。若电流实际方向与参考方向相同，电流取正值；若电流实际方向与参考方向相反，电流取负值。根据电流的参考方向和电流量的正、负就可以确定电流的实际方向。电流的参考方向一般用箭头表示，也可以用双下标表示，如 i_{ab} 表示参考方向是由 a 到 b ，如图 1-6 所示。

同理，对电路中两点之间的电压也可以指定参考方向或参考极性。两点之间的电压参考方向可以用+、-极性来表示。正极指向负极的方向就是电压的参考方向，如图1-7所示。如果实际电位 a 点高于 b 点，两者的方向一致，则 $u > 0$ ；如果实际电位 b 点高于 a 点，两者相反，则 $u < 0$ 。有时为了图示方便，可用一个箭头表示电压的参考方向。也可用双下标表示电压，如 u_{ab} 表示 a 和 b 之间的电压参考方向由 a 指向 b 。

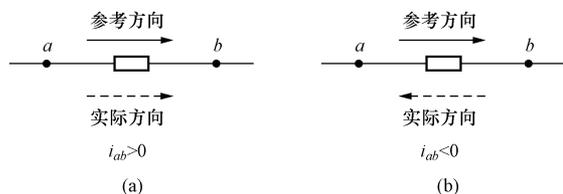


图1-6 电流的参考方向

(a) 参考方向与实际方向相同；(b) 参考方向与实际方向相反

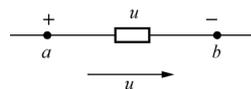


图1-7 电压的参考方向

如果流过元件的电流参考方向和元件电压参考方向一致，把电压和电流的这种参考方向称为关联参考方向；否则，称为非关联参考方向，如图1-8所示。本书后续章节中，除特别说明均采用电压、电流关联参考方向。

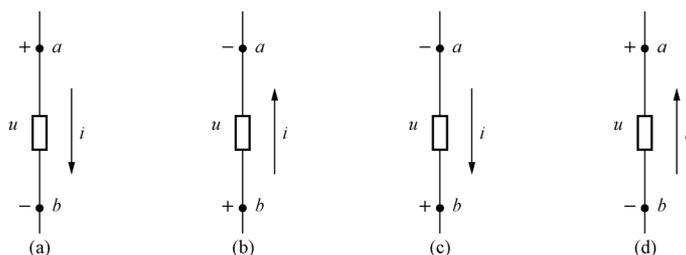


图1-8 电压、电流关联参考方向

(a) 关联参考方向；(b) 关联参考方向；(c) 非关联参考方向；(d) 非关联参考方向

【例1-1】 应用欧姆定律对如图1-9所示电路列出式子，并求电阻 R 。

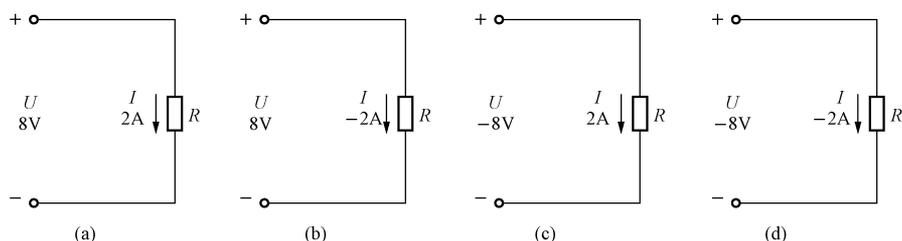


图1-9 [例1-1]图

解 欧姆定律是指流过电阻 R 的电流 I 与电阻两端的电压 U 成正比。应用欧姆定律要根据电压电流的参考方向，当两者是关联参考方向时， $U = RI$ ；当两者是非关联参考方向时， $U = -RI$ 。

因此，对于图1-9(a)

$$R = \frac{U}{I} = \frac{8}{2} = 4(\Omega)$$

对于图 1-9 (b)

$$R = -\frac{U}{I} = -\frac{8}{-2} = 4(\Omega)$$

对于图 1-9 (c)

$$R = -\frac{U}{I} = -\frac{-8}{2} = 4(\Omega)$$

对于图 1-9 (d)

$$R = \frac{U}{I} = \frac{-8}{-2} = 4(\Omega)$$

1.3 电阻的串联与并联

电阻的连接方式是多种多样的，但是最基本的连接方式是串联和并联。

1.3.1 电阻的串联

如果电路中有两个或者两个以上的电阻依次顺序相连，并且这些电阻中通过同一电流，这样的连接方法就称为电阻的串联。图 1-10 (a) 所示为两个电阻的串联电路。

两个串联的电阻可以用一个等效电阻 R 代替，如图 1-10 (b) 所示，等效电阻等于各个串联电阻之和，即

$$R = R_1 + R_2$$

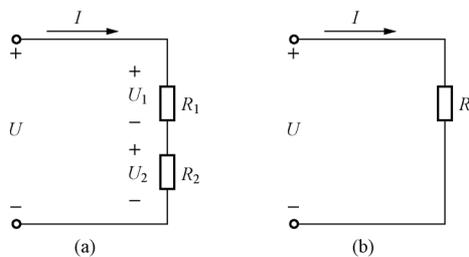


图 1-10 电阻的串联及其等效电阻

(a) 电阻的串联；(b) 等效电阻

假设流过两个电阻的电流为 I ，两个串联电阻上的总电压为 U ，则两个串联电阻上的电压分别为

$$U_1 = IR_1 = \frac{U}{R_1 + R_2} R_1$$

$$U_2 = IR_2 = \frac{U}{R_1 + R_2} R_2$$

可见，串联电阻上的电压分配与电阻成正比。当其中一个电阻的阻值与其他电阻的阻值相比小很多时，该电阻上分配的电压与其他电阻相比也

小得多，因此，这个电阻的分压作用可以忽略。

在实际中，电阻串联的应用很多。如果需要调节电路中的电流大小，可以在电路中串联一个滑动变阻器来实现；如果负载的额定电压小于电源电压，可以串联适当大小的电阻进行分压，保护负载；如果想得到不同的输出电压，也可以通过串联电阻来实现。

【例 1-2】 现有一表头，满刻度电流 $I_Q = 50\mu\text{A}$ ，表头的电阻 $R_G = 3\text{k}\Omega$ ，若要改装成量程为 10V 的电压表，试问应串联一个多大的电阻？

解 当表头满刻度时，它的端电压为

$$U_G = I_Q R_G = 50 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^3 = 0.15 \text{ (V)}$$

设量程扩大到 10V 时所需串联的电阻为 R ，则 R 上分得的电压为

$$U_R = 10 - 0.15 = 9.85 \text{ (V)}$$

故

$$R = \frac{U_R}{I_G} = \frac{9.85}{50 \times 10^{-6}} = 197 \text{ (k}\Omega\text{)}$$

即应串联 197k Ω 的电阻，方能将表头改装成量程为 10V 的电压表。

1.3.2 电阻的并联

如果有两个或两个以上电阻连接在两个共同端点之间，这样的连接方式称为电阻的并联。各个并联的电阻上承受相同的电压。图 1-11 所示为两个电阻并联的电路。

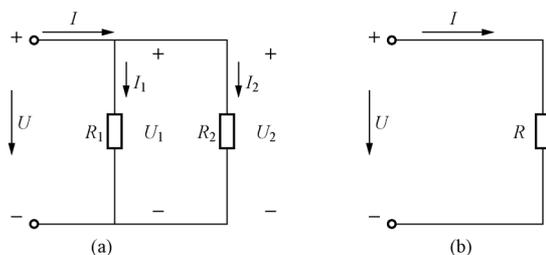


图 1-11 电阻的并联及其等效电阻

(a) 电阻的并联；(b) 等效电阻

同电阻的串联一样，两个并联的电阻也可以用—个等效电阻 R 来代替，如

图 1-11 (b) 所示。并联电阻的倒数等于各个并联电阻的倒数之和，即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

两个并联电阻上的电流分别为

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U}{R_1} = \frac{IR}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U}{R_2} = \frac{IR}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

可见，并联电阻上电流的分配与电阻成反比。当其中某个电阻较其他电阻阻值大得多时，该电阻上的电流较其他电阻上的电流小得多，则该电阻的分流作用可忽略不计。

在实际中，一般负载都是并联运行的。例如家庭中的电器，由于是并联运行，都承受 220V 的交流电，任何一个负载的工作情况基本上不受其他负载的影响。

并联的负载电阻越多，则总电阻越小，电路中总电流和总功率越大。但是每个负载的电流和功率却没有变动。

【例 1-3】 有三盏电灯接在 110V 电源上，其额定值分别为 110V、100W，110V、60W，110V、40W，求总功率 P 、总电流 I ，以及通过各灯泡的电流及等效电阻。

解 (1) 因外接电源电压符合各灯泡额定值，各灯泡正常发光，故总功率为

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 100 + 60 + 40 = 200 \text{ (W)}$$

(2) 总电流与各灯泡电流为

$$I = \frac{P}{U} = \frac{200}{110} \approx 1.82 \text{ (A)}$$

$$I_1 = \frac{P_1}{U} = \frac{100}{110} \approx 0.909 \text{ (A)}$$

$$I_2 = \frac{P_2}{U} = \frac{60}{110} \approx 0.545 \text{ (A)}$$

$$I_3 = \frac{P_3}{U} = \frac{40}{110} \approx 0.364 \text{ (A)}$$

(3) 等效电阻为

$$R = \frac{U}{I} = \frac{110}{1.82} \approx 60.4 \text{ } (\Omega)$$

【例 1-4】 求如图 1-12 所示电路的等效电阻 R_{ab} (已知 $R=2\Omega$, $R_1=4\Omega$)。

解 首先从电路结构, 根据电阻串联与并联的特征, 看清哪些电阻是并联的, 哪些电阻是串联的。

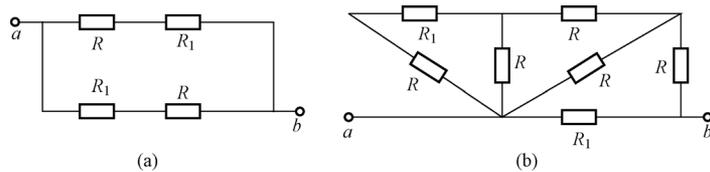


图 1-12 [例 1-4] 图

由图 1-12 (a) 可见, 上、下两条支路均是 R 、 R_1 的串联, 串联的等效电阻均为

$$R + R_1 = 2 + 4 = 6 \text{ } (\Omega)$$

两个串联后的等效电阻是并联, 因此

$$R_{ab} = \frac{1}{2}(R + R_1) = \frac{1}{2} \times 6 = 3 \text{ } (\Omega)$$

如图 1-12 (b) 所示电路的解题步骤见图 1-13。

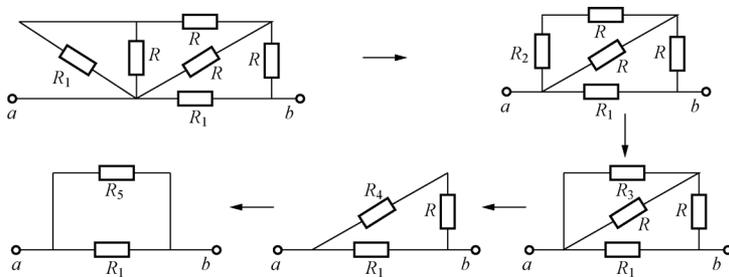


图 1-13 [例 1-4] 解图

$$R^1 = R + R_1 = 2 + 4 = 6 \text{ } (\Omega)$$

$$R^2 = \frac{R^1 R}{R^1 + R} = \frac{6 \times 2}{6 + 2} = 1.5 \text{ } (\Omega)$$

$$R^3 = R^2 + R = 1.5 + 2 = 3.5 \text{ } (\Omega)$$

$$R^4 = \frac{R^3 R}{R^3 + R} = \frac{3.5 \times 2}{3.5 + 2} \approx 1.27 \text{ } (\Omega)$$

$$R^5 = R^4 + R = 1.27 + 2 = 3.27 \text{ } (\Omega)$$

$$R_{ab} = \frac{R^5 R_1}{R^5 + R_1} = \frac{3.27 \times 4}{3.27 + 4} \approx 1.8 \text{ } (\Omega)$$

1.4 电源的工作状态

电源的工作分有载工作、开路与短路三种状态。

1.4.1 电源有载工作

在如图 1-14 所示的手电筒电路中，当开关闭合后，电源和负载之间形成闭合路径，电源向负载提供能量，灯泡发光。这时电路的工作状态称为有载工作状态。

1. 电源有载工作状态的特点

(1) 电压与电流。根据欧姆定律，电路中的电流为

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

(2) 负载两端的电压为

$$U = RI = E - R_0 I \quad (1-1)$$

(3) 由式 (1-1) 可见，电源端电压小于电动势，两者之差为电流通过电源内阻所产生的电压降。电流越大，电源端电压下降得越多。

(4) 电路的功率平衡。负载两端电压为 U ，流入此部分电路的电流为 I ，则这部分电路消耗的功率为

$$P = UI$$

由 $U = E - R_0 I$ ，得

$$UI = EI - R_0 I^2$$

$$P = P_E - \Delta P$$

其中， $P_E = EI$ ，是电源产生的功率； $\Delta P = R_0 I^2$ ，是电源内阻上消耗的功率； $P = UI$ ，是电源的输出给负载的功率。

由此可见，在一个电路中，电源产生的功率和负载取用的功率以及内阻上所消耗的功率是平衡的。

2. 负载与电源的区别

分析电路时，判别电路元件是电源还是负载，可以根据功率的正、负来判别。

当电压和电流是关联参考方向时， $P = UI$ ；当电压和电流是非关联参考方向时， $P = -UI$ 。如果 $P > 0$ ，则表示元件吸收功率，此元件可以认为是负载；如果 $P < 0$ ，则表示元件发出功率，此元件可以认为是电源。

【例 1-5】 电路如图 1-15 所示，用方框代表某一电路元件，其电压、电流如图中所标示，求图中各元件吸收的功率，并说明该元件实际上是吸收还是发出功率，是电源还是负载？

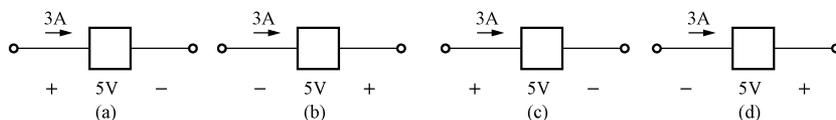


图 1-15 [例 1-5] 图

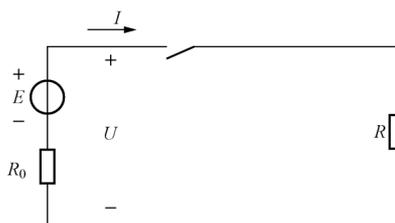


图 1-14 电源有载工作

解 (1) 电压、电流的参考方向关联, 元件吸收的功率为

$$P=UI=5\times 3=15(\text{W})>0$$

元件实际上是吸收功率, 是负载。

(2) 电压、电流的参考方向非关联, 元件吸收的功率为

$$P=-UI=-5\times 3=-15(\text{W})<0$$

元件实际上是发出功率, 是电源。

(3) 电压、电流的参考方向关联, 元件吸收的功率为

$$P=UI=(-5)\times 3=-15(\text{W})<0$$

元件实际上是发出功率, 是电源。

(4) 电压、电流的参考方向非关联, 元件吸收的功率为

$$P=-UI=-(-5)\times 3=15(\text{W})>0$$

元件实际上是吸收功率, 是负载。

【例 1-6】 在如图 1-16 所示电路中, 方框表示电源或电阻, 各元件的电压和电流的参考方向如图所示。通过测量得, $I_1=2\text{A}$, $I_2=1\text{A}$, $I_3=1\text{A}$, $U_1=4\text{V}$, $U_2=-4\text{V}$, $U_3=7\text{V}$, $U_4=-3\text{V}$ 。

(1) 试标出各电流和电压的实际方向。

(2) 试求每个元件的功率, 并判断其是电源还是负载。

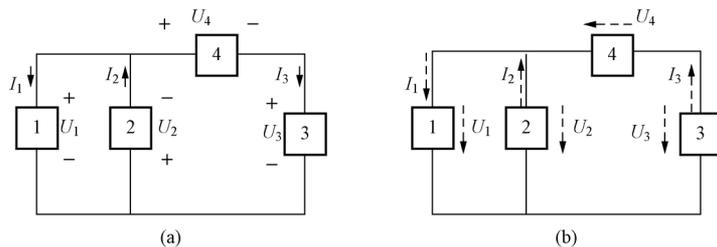


图 1-16 [例 1-6] 图

解 (1) 当电流和电压为正值, 其实际方向与参考方向一致; 而电流和电压为负值, 其实际方向和参考方向相反。按照上述原则, 各电流和电压的实际方向 (用虚线表示) 如图 1-16 所示。

(2) 计算各元件的功率。

元件 1: 电压和电流参考方向一致, 元件吸收的功率为

$$P_1=U_1 I_1=4\times 2=8(\text{W})>0$$

该元件吸收功率, 为负载。

元件 2: 电压和电流参考方向一致, 元件吸收的功率为

$$P_2=U_2 I_2=-4\times 1=-4(\text{W})<0$$

该元件发出功率, 为电源。

元件 3: 电压和电流的参考方向不一致, 元件吸收的功率为

$$P_3=-U_3 I_3=-7\times 1=-7(\text{W})<0$$

该元件发出功率, 为电源。

元件 4: 电压和电流的参考方向不一致, 元件吸收的功率为

$$P_4 = -U_4 I_3 = -(-3) \times 1 = 3 \text{ (W)} > 0$$

该元件吸收功率，为负载。

3. 额定值与实际值

额定值是制造厂商为了使产品能在给定的条件下正常运行而规定的正常允许值。如一个灯泡上标的 220V、100W，这就是它的额定电压和额定功率。电气设备或元件的额定值通常标在铭牌上或写在说明上。额定电压、额定电流和额定功率分别用 U_N 、 I_N 和 P_N 表示。

使用时，电压、电流和功率的实际值不一定等于它们的额定值。

1.4.2 电源开路

在如图 1-14 所示的电路中，开关断开时，电源处于断开状态，灯泡不亮，电路中无电流，此时的电源处于开路（空载）状态。

电源开路时，电路中各个基本物理量的值如下：电路中的电流 $I=0$ ，电源的端电压 $U=E$ ，电源向外提供的功率 $P=0$ 。

1.4.3 电源短路

在如图 1-14 所示的电路中，当电源的两端由于某种原因而直接连接在一起时，电源处于短路状态。

电源短路时，电路中各个基本物理量的值如下：

$$\text{电路中的电流} \quad I = I_s = \frac{E}{R_0} \quad (1-2)$$

$$\text{电源的端电压} \quad U = 0$$

$$\text{电源向外提供的功率} \quad P_E = \Delta P = R_0 I^2$$

$$\text{负载消耗的功率} \quad P = 0$$

短路也可以发生在电路的负载端或电路的任何地方。由式 (1-2) 可见，短路时电路中的电流很大，会缩短电源或其他电器设备的使用寿命，甚至烧毁电源和电气设备，是一种非常严重的事故，应尽量避免。为了防止短路事故引起的严重后果，在电路中要增加适当的保护措施，通常加熔断器（俗称保险）。

1.5 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律包括基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。基尔霍夫电流定律应用于节点，电压定律应用于回路。

为了便于理解基尔霍夫电流定律和电压定律，下面以汽车大灯电路为例，介绍几个电路术语，具体电路如图 1-17 所示。

(1) 支路。支路是指电路中的任一个分支，每一条支路中至少包含一个元件，一个支路中每个元件流过的电流是相同的。如图 1-17 所示电路中有 3 条支路，它们分别为 acb 、 adb 、 ab 。

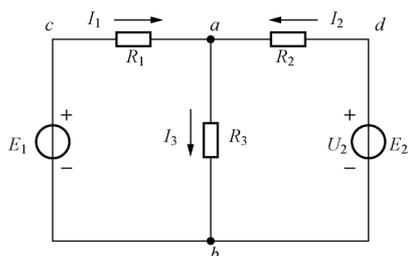


图 1-17 汽车大灯电路

(2) 节点。电路中三条或三条以上支路的交点称为节点。如图 1-17 所示电路中有 2 个节点，分别为 a 、 b 。

(3) 回路。由一条或多条支路所组成的闭合路径称为回路。如图 1-17 所示电路中有 3 个回路，它们分别为 cab 、 $adba$ 和 $cadbc$ 。

1.5.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)

定律的内容：任一瞬时，流入某个节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。其数学表达式为

$$\sum I_i = \sum I_o$$

$\sum I_i$ 为流入节点电流的代数和， $\sum I_o$ 为流出节点电流的代数和。

在如图 1-17 所示的电路中，对节点 a 可以写出

$$I_1 + I_2 = I_3$$

或

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

即

$$\sum I = 0$$

也就是说，在任一瞬时，一个节点上电流的代数和恒等于零。如果规定参考方向流向节点的方向取正号，则流出节点的方向取负号。

基尔霍夫电流定律不仅适用于电路中的节点，也可以推广为电路中任一个假设的闭合面。例如在三相电路中，电路如图 1-18 所示，电路图中虚线框内是一个闭合的面，利用基尔霍夫电流定律，可知通过这个闭合面的电流 $I_A + I_B + I_C = 0$ ，即任一瞬时，通过闭合面的电流的代数和也为零。

【例 1-7】 已知电路如图 1-19 所示， $I_1 = 2\text{A}$ ， $I_2 = -3\text{A}$ ， $I_3 = -2\text{A}$ ，试求 I_4 。

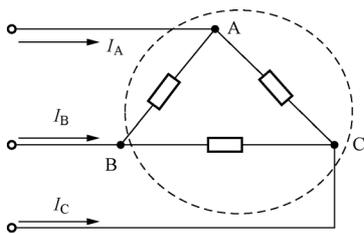


图 1-18 基尔霍夫电流定律的推广应用

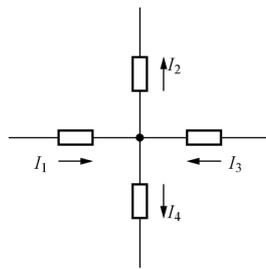


图 1-19 [例 1-7] 图

解 由基尔霍夫电流定律可列出

$$\begin{aligned} I_1 - I_2 + I_3 - I_4 &= 0 \\ 2 - (-3) + (-2) - I_4 &= 0 \end{aligned}$$

得

$$I_4 = 3\text{A}$$

1.5.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)

定律的内容：任一瞬时，从回路中任意一点出发，沿顺时针方向或逆时针方向循行一