



高职高专规划教材

计算机电路与电子技术

张玉环 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



中国石化出版社

计算机电路与电子技术

第二版



中国石化出版社

高职高专规划教材

计算机电路与电子技术

主 编	河北机电职业技术学院	张玉环
副主编	辽宁机电职业技术学院	王成安
	安徽铜陵学院	王丽萍
	湖南机电职业技术学院	刘晓林
参 编	河北机电职业技术学院	吴俊芹
	河北机电职业技术学院	白俊平
	河北机电职业技术学院	汪 斌
	广东农工商职业技术学院	董晓倩
	渤海石油职业学院	史通田
	渤海石油职业学院	郭巧占
主 审	河北机电职业技术学院	曹振军



机械工业出版社

本书是根据教育部有关精神,针对高职高专教育特点,编写的高职高专规划教材。

本书由教学经验和实践经验丰富的高职院校教师编写,遵循“以职业教育为基础,以能力培养为宗旨”的原则,具有较强的针对性和实用性。注重基础知识、内容连贯、通俗易懂。

本书以器件及其应用为主,增加了集成电路芯片的介绍,包括芯片型号、逻辑符号、管脚排列图、功能表和常见的应用电路等。理论部分以满足实际应用的需要为原则,对集成电路芯片的内部电路及分析进行了删减。

主要内容包括电路的组成及电路中的主要物理量、常用电路元件及其特性、电路分析基础知识、常用电子器件及其应用、逻辑分析基础知识、逻辑门电路及其应用、组合逻辑电路及其应用、触发器的功能及其应用、时序逻辑电路及其应用、存储器和可编程逻辑器件及其应用、555 定时器及其应用、数模转换器和模数转换器。

本书可作为高职高专计算机类、电子信息类各专业的“计算机电路与电子技术”或“计算机电路基础”课程的教材,也可作为相关专业工程技术人员的参考书和中专层次的教学用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机电路与电子技术/张玉环主编. —北京:机械工业出版社, 2005.8

高职高专规划教材

ISBN 7-111-17285-X

I. 计... II. 张... III. ①电子计算机—电子电路—高等学校:技术学校—教材②电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TP331②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 097661 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:余茂祚 责任编辑:余茂祚 版式设计:冉晓华

责任校对:李秋荣 封面设计:饶薇 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷

2005 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

787mm × 1092mm¹/₁₆ · 10.75 印张 · 264 千字

定价:17.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据教育部有关精神, 针对高职高专教育特点编写的高职高专规划教材之一。它由教学经验和实践经验丰富的高职院校教师编写, 遵循“以职业教育为基础, 以能力培养为宗旨”的原则, 具有较强的针对性和实用性。本书注重基础知识、内容连贯、通俗易懂, 适用于教师教学和学生自学。

本书以器件及其应用为主, 增加了集成电路芯片的介绍, 包括芯片型号、逻辑符号、管脚排列图、功能表和常见的应用电路等。理论部分以满足实际应用的需要为原则, 对集成电路芯片的内部电路及分析进行了删减。

主要包括电路的组成及电路中的主要物理量、常用电路元件及其特性、电路分析基础知识、常用电子器件及其应用、逻辑分析基础知识、逻辑门电路及其应用、组合逻辑电路及其应用、触发器的功能及其应用、时序逻辑电路及其应用、存储器和可编程逻辑器件及其应用、555 定时器及其应用、数模转换器和模数转换器。

本书由河北机电职业技术学院张玉环任主编, 王成安、王丽萍、刘晓林任副主编, 吴俊芹、白俊平、汪斌、董晓倩、史通田、郭巧占参编。河北机电职业技术学院曹振军担任主审。

本书可作为高职高专计算机类、电子信息类各专业的“计算机电路与电子技术”或“计算机电路基础”课程的教材。也可作为相关专业工程技术人员参考书和中专层次的教学用书。

由于编者水平有限, 书中难免存在缺点和错误, 恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 电路的组成及电路中的主要

物理量 1

1.1 电路的组成及其作用 1

1.2 电路模型 2

1.3 电路的主要物理量 2

复习思考题 6

第 2 章 常用电路元件及其特性 7

2.1 电阻元件 7

2.2 电容元件 11

2.3 电感元件 18

2.4 独立电源和受控源 22

复习思考题 29

第 3 章 电路分析基础知识 32

3.1 基尔霍夫定律及其应用 32

3.2 戴维南定理及其应用 35

3.3 叠加定理及其应用 38

复习思考题 40

第 4 章 常用电子器件及其应用 42

4.1 半导体二极管及其应用 42

4.2 半导体三极管及其应用 45

4.3 场效应晶体管及其应用 49

4.4 集成运算放大器及其应用 51

4.5 集成稳压电源及其应用 54

复习思考题 57

第 5 章 逻辑分析基础知识 59

5.1 数制和编码 59

5.2 基本逻辑运算 64

5.3 常用逻辑运算 66

5.4 特殊逻辑运算 67

5.5 逻辑代数基础 68

5.6 逻辑函数化简方法 72

复习思考题 80

第 6 章 逻辑门电路及其应用 83

6.1 集成逻辑门电路的分类及特点 83

6.2 TTL 集成门的电气特性及技术指标 86

6.3 CMOS 集成门的技术指标及使用

常识 88

6.4 TTL 和 CMOS 逻辑门的接口电路 89

6.5 集成逻辑门的应用举例 91

复习思考题 95

第 7 章 组合逻辑电路及其应用 97

7.1 编码器及其应用 97

7.2 译码器及其应用 100

7.3 加法器及其应用 104

7.4 数值比较器及其应用 106

7.5 数据选择器及其应用 109

7.6 数据分配器及其应用 111

7.7 奇偶校验器及其应用 111

复习思考题 112

第 8 章 触发器的功能及其应用 114

8.1 RS 触发器的功能及其应用 114

8.2 D 触发器的功能及其应用 118

8.3 JK 触发器的功能及其应用 120

复习思考题 122

第 9 章 时序逻辑电路及其应用 125

9.1 集成寄存器及其应用 125

9.2 集成计数器及其应用 130

9.3 脉冲信号发生器 136

复习思考题 139

第 10 章 存储器和可程序逻辑器件 及其应用 142

10.1 存储器及其应用 142

10.2 可程序逻辑器件及其应用 144

复习思考题	148		
第 11 章 555 定时器及其应用	149	第 12 章 数模转换器和模数转换器	155
11.1 555 定时器的基本功能	149	12.1 数模转换器	155
11.2 555 定时器构成的多谐振荡器	150	12.2 模数转换器	159
11.3 555 定时器构成的单稳态触发器	151	复习思考题	164
11.4 555 定时器构成的施密特触发器	152	参考文献	166
复习思考题	154		

第 1 章 电路的组成及电路中的主要物理量

本章主要介绍电路模型的概念，电路中的基本物理量及其参考方向和电路的工作状态。这些内容是分析和计算电路的基础。

1.1 电路的组成及其作用

在工作和日常生活中，常常会遇到各式各样的实际电路，这些电路都是为完成某种预期的目的而设计、安装的。所谓电路，就是按所要完成的功能，将一些电气设备或元器件按一定的方式连接而成，以备电流流过的通路。

图 1-1 所示是一个手电筒电路示意图。其中，电池是整个电路的电源，它发出电能（将化学能转换成电能）；电珠是负载，它消耗电能（将电能转换成光能和热能）；电源和负载由导线和开关连接成一个闭合电路。

图 1-2 是一个扩音机的电路示意图，该电路实现了信号的传递和处理。首先，传声器把声音转换成相应的电压和电流（即电信号），然后通过电路传递到扬声器，最后由扬声器将电信号还原成为声音。由于传声器输出的电信号比较微弱，不足以推动扬声器发声，因此中间还需要用放大器来放大。

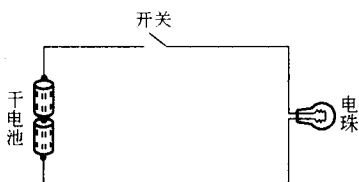


图 1-1 手电筒电路示意图

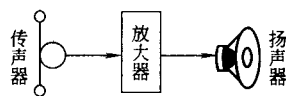


图 1-2 扩音机电路示意图

电路的种类很多，但无论电路的复杂程度如何，它都由如下 3 个部分组成：

- 1) 电源（或信号源）。电源是将其他形式的能量转换成电能的电气设备，如把化学能转换成电能的电池、把机械能换成电能的发电机和将声音转换成电信号的传声器等。
- 2) 负载。负载是将电能转换成其他形式能量的电气设备，如将电能转换成光能的白炽灯、将电能转换成声能的扬声器和将电能转换成机械能的电动机等。
- 3) 中间环节。中间环节是连接电源（或信号源）和负载的元件。如导线、开关和熔断器等。

实际电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的，但按其功能可以分为两大类：一是进行电能的传输和转换（如电力系统和手电筒电路等）；二是进行信号的传递和处理（如扩音机、收音机和电视机电路等）。

1.2 电路模型

实际电路都是由一些起不同作用的电路元器件组成的, 如电池、白炽灯、发电机、变压器、传声器和扬声器等, 这些实际元器件的电磁性能较为复杂。例如白炽灯, 它除了具有消耗电能的性质(电阻性)外, 当电流通过时也会产生磁场, 即它具有电感性, 但由于它的电感很微小, 可以忽略不计, 因此可将白炽灯看作是一个纯电阻性的元件。

上述实际电路的示意图画出了组成电路的元器件的实物, 这种图形较直观, 便于读者接受, 但按实物关系作电路图太繁杂。为了便于对实际电路进行分析计算, 可将实际电路元器件理想化(或称为模型化), 即在一定条件下只考虑元器件的主要电磁性能, 而忽略其次要因素, 把它近似地看作理想电路元器件。由理想电路元器件所组成的电路, 就是实际电路的电路模型。

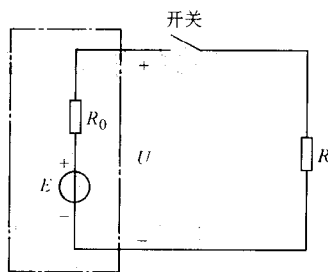


图 1-3 手电筒电路
的电路模型

图 1-3 所示为手电筒电路的电路模型。图中, 电阻元件 R 是电珠的电路模型, 电压源 E 和电阻 R_0 串联作为电池的模型, 连接导线(包括开关)均用理想导线表示, 其电阻忽略不计。在电路图中, 各电路元器件用规定的图形符号表示。

1.3 电路的主要物理量

描述电路工作状态的物理量有电流、电压、电荷、磁通、能量和功率。其中, 最主要的是电流、电压和功率。

1.3.1 电 流

电流是电荷(带电粒子)有规则地定向运动而形成的, 在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量。

设在时间 dt 内通过导体横截面 A 的电荷量为 dq , 则电流 i 为:

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

如果电流不随时间变化, 即 $\frac{dq}{dt}$ 为常数, 则这种电流称为直流电流。直流电流用大写字母 I 表示, 则式 (1-1) 可以写为

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

式中 q ——时间 t 内流过导体横截面 A 的电荷量。

本书以后均用大写字母表示恒定不变的直流量, 用小写字母表示随时间变化的交流量。

习惯上规定正电荷移动的方向为电流的实际方向。当一个电路的元件参数和电路结构确定以后, 流过各元件的电流大小和方向也就确定了。但在电路分析中, 尤其是复杂电路的分析中, 事先往往很难判断某支路中电流的实际方向, 而且电流的方向还可能是随时间变化

的。为了分析与计算方便,可任意选择一个方向作为电流的参考方向,当电流的实际方向与其参考方向相同时,则电流为正值;当电流的实际方向与参考方向相反时,则电流为负值。因此,只有在选定了参考方向以后,电流的值才有正负之分。

图 1-4 所示为一个电路的一部分,流过电阻 R 的电流为 I ,其实际方向是由 A 到 B (如虚线箭头所示)。在图 1-4a 中,指定参考方向为由 A 到 B (如

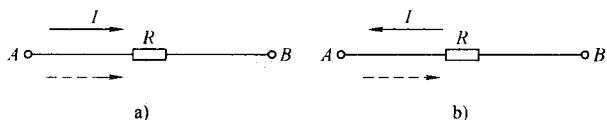


图 1-4 电流的参考方向

a) 参考方向与实际方向相同 b) 参考方向与实际方向相反

实线箭头所示),由于参考方向与实际方向相同,所以 $I > 0$;在图 1-4b 中,

选择电流参考方向为由 B 到 A (如实线箭头所示),由于此时参考方向与实际方向相反,所以 $I < 0$ 。

由此可见,指定参考方向的意义在于把电流看作是代数量,电流只有在既有数值、又有参考方向的情况下才有意义。今后,电路图中所标的电流方向都是电流的参考方向。

电流的参考方向可以任意指定,一般用箭头表示,也可以用双下标表示,例如 I_{AB} 表示参考方向是由 A 指向 B 。

在国际单位制中,电流的单位是 A (安培)。在计算机和通信中,常以 mA (毫安)或 μA (微安)为单位,各单位间的换算关系为

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

1.3.2 电 压

电荷在电路中的流动伴随着能量的交换。单位正电荷由 a 点移到 b 点所产生的能量变化称为两点间的电压,用符号 u 表示,即

$$u_{ab}(t) = \frac{dw_{ab}}{dq} \quad (1-3)$$

式中 dq ——由 a 点到 b 点的电荷;

dw_{ab} ——电荷所产生的能量变化;

u ——两点间的电压。

在国际单位制中,电压 u 的单位是 V (伏特),经常使用的还有 kV (千伏)、 mV (毫伏)和 μV (微伏),它们之间的换算关系为

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

若正电荷由 a 点到 b 点时能量增加,则 b 点电位高于 a 点电位;反之,则 b 点电位低于 a 点电位。习惯上将电位降低的方向规定为电压的方向,即电压的方向由高电位指向低电位。

大小和方向都不随时间变化的电压称为恒定电压或直流电压,用大写字母 U 表示,即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-4)$$

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-5)$$

如同电流参考方向的引入,为求解电路方便,必须在电路中预先设定电压的参考方向。电压的参考方向是人为假定的电压方向,在图中用箭头或“+”、“-”号表示,如图 1-5 所示,其中“+”、“-”分别表示假定的高、低电位端。电压参考方向还可用双下标表示,例

如 U_{AB} 表示 A 、 B 间的电压，其参考方向由 A 点指向 B 点。

在规定的电压参考方向下，电压是代数量，求解的结果若为正值，则电压实际方向与参考方向相同；若为负值，则电压实际方向与参考方向相反。电压的参考方向和其代数值一起给出了电压的完整含义。因此，求解电路前也一定要先选定电压的参考方向。

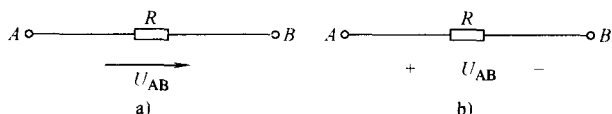


图 1-5 电压的参考方向

a) 用箭头表示电压的参考方向 b) 用“+”、“-”号表示电压的参考方向

电压和电流的参考方向可独立选择，也可关联考虑。图 1-6 中有两种选法：图 1-6a 中电流和电压参考方向相同，称为关联参考方向；图 1-6b 中电流和电压参考方向相反，称为非关联参考方向。采用关联参考方向时，可只标出电流或电压的参考方向而暗示着另一变量的参考方向。

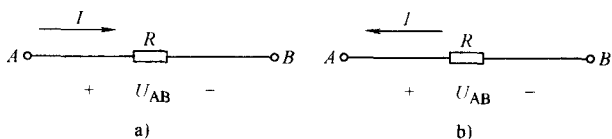


图 1-6 关联参考方向和非关联参考方向

a) 关联参考方向 b) 非关联参考方向

例 1 在图 1-7 中，电流的参考方向已标出，且 $I = -4A$ ，请指出电流的实际方向。

解 因 $I = -4A$ ，其中“-”号表示电流的参考方向与实际方向为相反，所以电流的实际方向为由 A 点指向 B 点。

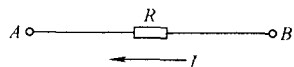


图 1-7 例 1 图

例 2 图 1-8a 中的 5 个元件代表电源或负载电阻，电流和电压的参考方向如图所示。已知 $U_1 = 100V$ ， $U_2 = -70V$ ， $U_3 = 60V$ ， $U_4 = -40V$ ， $U_5 = 10V$ ， $I_1 = -4A$ ， $I_2 = 2A$ ， $I_3 = 6A$ 。试标出各电流的实际方向和电压的实际极性。

解 在图 1-8a 中标出了电流和电压的参考方向， U_1 、 U_3 、 U_5 、 I_2 、 I_3 为正，表示实际方向与参考方向一致， U_2 、 U_4 、 I_1 为负，表示实际方向与参考方向相反。各电流、电压的实际方向和电压的实际极性如图 1-8b 所示。

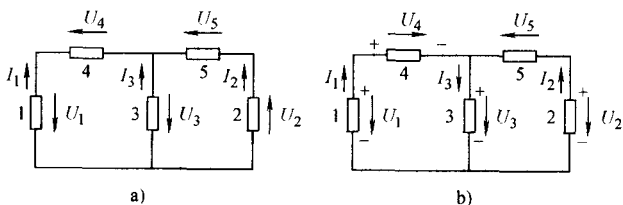


图 1-8 例 2 图

1.3.3 电动势

在电源内部，电源力（如电池中的化学力）对电荷做功，将正电荷从电源的负极移到电源的正极，如图 1-9 所示。电动势是衡量电源力作功能力的电量，在数值上等于电源力把单位正单荷从电源负极移到电源正极所做的功。大小与方向均不随时间变化的电动势称为直流电动势，用大写字母 E 表示，可写为

$$E_{ba} = W/q \quad (1-6)$$

电动势的单位也是 V（伏特），电动势的实际方向规定为正电荷在电源内移动的方向，即从负极指向正极的方向，或者说从低电位指向高电位的方向。在电路的分析计算中，也要

选定电动势的参考方向。在电路图中，电动势的参考方向有3种表示方法，如图1-10所示。

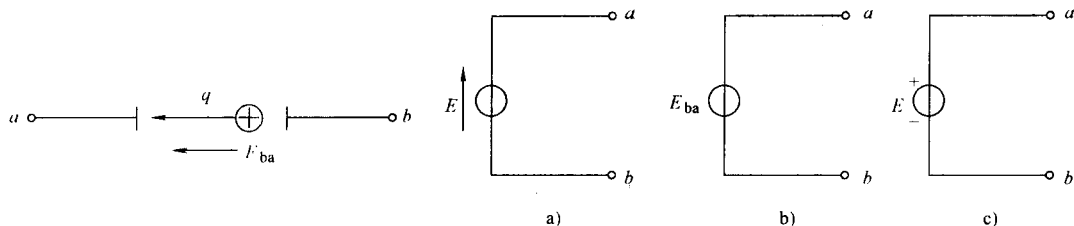


图 1-10 电动势的参考方向表示方法

a) 用箭头表示电动势的参考方向 b) 用字母表示电动势的参考方向 c) 用“+”、“-”号表示电动势的参考方向

图 1-9 电源示意图

由于电压便于测量，故电路理论中大都用电源电压的概念。电源电压用 U_s 表示，如图1-11所示。

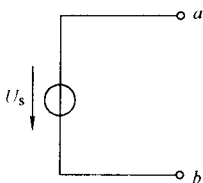


图 1-11 电源电压

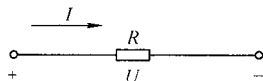


图 1-12 电功率的计算

1.3.4 功 率

电路分析中经常用到一个复合物理量，就是“电功率”。当某元件上电压和电流的参考方向选择关联方向时，如图1-12所示，则电功率 P 表示为

$$P = UI \quad (1-7)$$

当 $P > 0$ 时，表示该元件实际上吸收或消耗电能，是负载；当 $P < 0$ 时，表示该元件实际上提供电能，是电源。

当某元件上电压和电流选择非关联方向时，则电功率 P 表示为

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

判断元件是消耗电能还是提供电能的方法同前，结果不受参考方向选择的影响。

例3 如图1-13所示，已知某元件两端电压为5V，A点电位高于B点电位，流过元件的电流为2A，实际方向为从A到B。判断该元件是耗能还是供能元件。

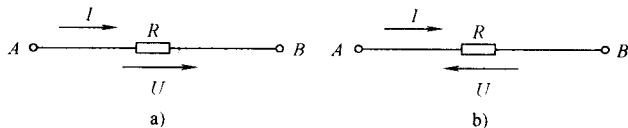


图 1-13 例3图

解 若电压和电流采用关联参考方向（如图1-13a所示），则 $U = 5V$ ， $I = 2A$ ， $P = UI = 10W > 0$ ，此元件吸收的功率为10W；若电压和电流采用非关联参考方向（如图1-13b所示），则 $U = -5V$ ， $I = 2A$ ，仍然有 $P = -UI = 10W > 0$ ，因此，参考方向的选择不会改变电路的实际工作情况。

功率单位是W（瓦），有时还用kW（千瓦）和mW（毫瓦）表示，其换算关系为

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

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

例 4 如图 1-14 所示电路, 求各元件的功率, 并说出哪些是负载, 哪些是电源。

解 A 元件采用非关联参考方向, 则 A 元件的功率 P_A 为

$$P_A = -20\text{V} \times 5\text{A} = -100\text{W} < 0$$

同理

$$P_B = 20\text{V} \times 2\text{A} = 40\text{W} > 0$$

$$P_C = -10\text{V} \times 3\text{A} = -30\text{W} < 0$$

$$P_D = 30\text{V} \times 3\text{A} = 90\text{W} > 0$$

元件 A 和 C 的功率小于 0, 提供能量, 是电源; 元件 B 和 D 的功率大于 0 吸收能量, 是负载。

$P_A + P_C + P_B + P_D = 0$, 电源发出的功率等于负载吸收的功率, 达到功率平衡。

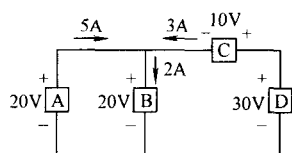


图 1-14 例 4 图

复习思考题

1. 举例说明电路的组成及各元件的作用。
2. 电流、电压和电动势的实际方向是如何规定的? 什么叫参考方向? 为什么要规定参考方向?

3. 图 1-15 中, 已知:

1) $I = 1\text{A}$ 、 $U_{ab} = -10\text{V}$ 。

2) $I = -1\text{A}$ 、 $U_{ab} = -10\text{V}$ 。

试确定电流、电压的实际方向, 并判别元件 A 是电源还是负载。

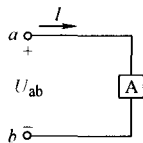


图 1-15 题 3 图

4. 求图 1-16 中所示各元件吸收或发出的功率, 并判断各元件是耗能元件还是供能元件。

5. 图 1-17 中给定电压和电流参考方向, 说明哪个是关联方向、哪个是非关联方向, 计算元件功率, 并说明元件是吸收功率还是发出功率。

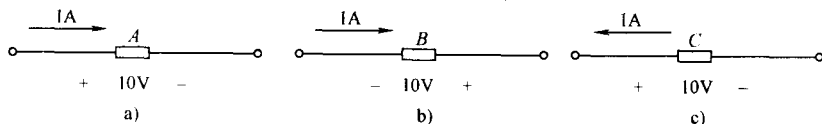


图 1-16 题 4 图

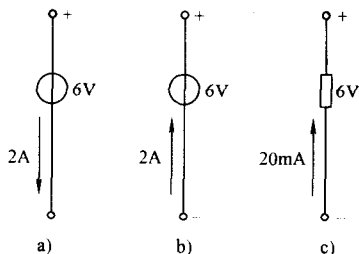


图 1-17 题 5 图

第 2 章 常用电路元件及其特性

常用电路元件有电阻、电容、电感、电压源、电流源和受控源，它们是组成电路的基本单元，对每一种元件，应掌握其定义、图形符号、伏安关系和性质等内容。研究元件的规律性是研究电路理论的基础。

在电路中，元件特性是由其端子上的电压、电流关系来表征的，通常将这种关系称为电路元件的伏安关系。元件按其是否对外提供能量分为无源元件和有源元件两大类，若某一元件接在任意电路中，从最初时刻到任意目前时刻，它不对外提供能量，则称为无源元件，如电阻元件、电容元件和电感元件；反之，则称为有源元件，如电压源和电流源。此外，按元件与外部连接的端子数目可分为二端元件和多端元件。二端元件有电阻、电感、电容、电压源和电流源等；多端元件指具有 3 个或 3 个以上端子的元件，如受控源等。

2.1 电阻元件

电阻是表示导体对电流起阻碍作用的参数，用 R 表示。实验表明，在一定的温度下，金属导体的电阻由它的长度、截面积及材料决定，其计算公式为

$$R = \rho l / A \quad (2-1)$$

式中 R ——电阻 (Ω)；

l ——导体的长度 (m)；

A ——导体的截面积 (m^2)；

ρ ——导体材料的电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)。

大阻值的电阻用千欧 ($\text{k}\Omega$) 和兆欧 ($\text{M}\Omega$) 表示，它们之间的换算关系是

$$1\text{k}\Omega = 10^3\Omega \quad 1\text{M}\Omega = 10^6\Omega$$

只具有电阻特性的二端元件称为电阻元件，也简称为电阻。故“电阻”这一名词有时指电阻元件，有时指元件的参数。实际中有两种用电设备可看作电阻元件：一种本身就是电阻器，如电子电路中用的各种电阻及实验室用的标准电阻和滑线变阻器等；另一种是理论上可抽象为电阻元件的设备，它们借电阻发热而达到应用的目的，如白炽灯、电炉和电烙铁等。

2.1.1 电阻元件的伏安特性

如果电阻的阻值不随加在其上的电压或电流而变化，则称该电阻为线性电阻。阻值不随时间 t 变化的线性电阻称为线性时不变电阻。通常所说的电阻习惯上指的就是线性时不变电阻，它满足欧姆定律，即

$$U = RI \quad (2-2)$$

式 (2-2) 中电压和电流取关联参考方向。当电压单位用 V、电流单位用 A 时，电阻的单位为欧姆，用符号 Ω 表示。电阻元件的电路符号如图 2-1 所示，将式 (2-2) 的电压和电流关系画在 $U-I$ 平面上，得到电阻元件的伏安特性曲线，如图 2-2 所示，它是一条通过原点的直线，直线的斜率为电阻值 R ， R 是一个常数。

由图 2-2 可见,任一时刻电阻元件上的电压只与该时刻的电流有关,而与该时刻以前的电流无关。因此电阻元件是一种无记忆元件。

不遵循欧姆定律的电阻,叫非线性电阻。非线性电阻的伏安特性是一条曲线,即 U 和 I 不是正比关系。图 2-3 为晶体二极管的伏安特性曲线,说明二极管是一个非线性元件。

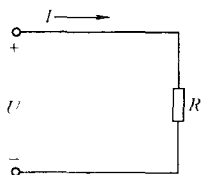


图 2-1 电阻元件符号

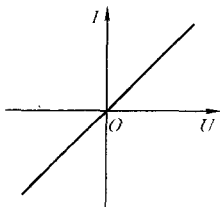


图 2-2 电阻的伏安特性曲线

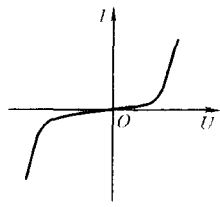


图 2-3 晶体二极管伏安特性

2.1.2 电阻元件的连接

在电工技术中,电阻的连接方式多种多样,最常见的有电阻的串联、并联及混联。

1. 电阻的串联 几个电阻一个接一个无分支地顺序相联,叫电阻的串联。图 2-4a 所示为 3 个电阻的串联电路。

电阻串联电路的特点:

1) 流过各电阻的电流相同。

2) 几个电阻串联可以用一个等效电阻来替代,等效电阻 R 等于各电阻之和(见图 2-4b),即

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (2-3)$$

3) 总电压等于各电阻电压之和,即

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (2-4)$$

4) 每个电阻的端电压与总电压的关系可表示为

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= IR_1 = \frac{R_1}{R}U \\ U_2 &= IR_2 = \frac{R_2}{R}U \\ U_3 &= IR_3 = \frac{R_3}{R}U \end{aligned} \right\} \quad (2-5)$$

式(2-5)称为串联电路的分压公式。显然,电阻值越大,分配到的电压越高。

2. 电阻的并联 若干电阻首尾连接在两个端点之间,使每个电阻承受同一电压,叫电阻的并联,图 2-5 所示电路是由 3 个电阻并联而成的。

电阻并联电路的特点:

1) 各电阻的端电压相同。

2) 几个电阻并联也可用一个等效电阻代替,等效电阻的倒数等于各电阻的倒数之和,

即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (2-6)$$

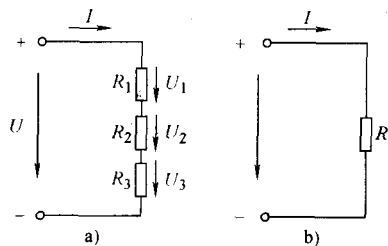


图 2-4 电阻串联

a) 3 个电阻的串联电路 b) 等效电路

令 $G = \frac{1}{R}$, 则有

$$G = G_1 + G_2 + G_3$$

式中 G ——电导, 其单位为西门子, 用 S 表示。

可见, 并联电路的总电导等于各电导之和。

当只有两个电阻并联时, 用下式求等效电阻较简单, 即

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

3) 总电流等于各电阻电流之和, 即

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (2-7)$$

4) 各个电阻中的电流与总电流的关系可表示为

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{R}{R_1} I \\ I_2 &= \frac{R}{R_2} I \\ I_3 &= \frac{R}{R_3} I \end{aligned} \right\} \quad (2-8)$$

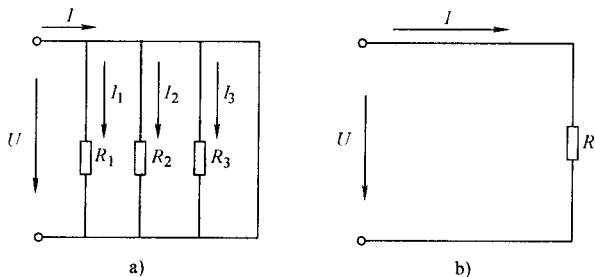


图 2-5 电阻的并联

a) 3 个电路的并联电路 b) 等效电路

式 (2-8) 称为并联电阻的分流公式。显然, 电阻越小, 分配到的电流越大。

当只有两个电阻并联时, 各电阻电流分别为

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{U}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \\ I_2 &= \frac{U}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \end{aligned} \right\} \quad (2-9)$$

3. 电阻的混联 既有电阻串联又有电阻并联的连接方式, 称为电阻的混联。分析电阻混联电路的一般步骤是:

- 1) 计算各串联和并联部分的等效电阻, 再计算总的等效电阻。
- 2) 由总电压除总等效电阻得总电流。
- 3) 根据串联电阻的分压关系和并联电阻的分流关系逐步计算各元件上的电压、电流及功率。

2.1.3 电阻元件的功率

当电阻两端电压和通过的电流为关联方向时, 电阻的功率为

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (2-10)$$

式中 R 为正值常数, 所以功率 P 恒大于零。说明任何时刻电阻元件总是从电路中吸收电能而不可能发出电能, 所以电阻是耗能元件。

在直流电路中, 负载的功率不随时间变化, 因此负载消耗的电能

$$W = Pt \quad (2-11)$$

若功率的单位是 W (瓦特), 时间单位为 s (秒), 则电能单位为 J (焦耳)。但实际应用中, 电能的单位常用 kW·h (千瓦时), 俗称度。

它们的换算关系是

$$1\text{kW}\cdot\text{h} = 1000\text{W} \times 3600\text{s} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$$

2.1.4 电阻元件的应用举例

电阻串联应用较多,如在电工测量中,使用电阻串联的分压作用扩大电压表的量程;在电子电路中,常用串联电阻组成分压器,以分取部分信号电压。

例 1 今有一万用表如图 2-6 所示,表头额定电流(又称表头灵敏度,是指表头指针从标度尺零点偏转到满标度时所通过的电流) $I_a = 50\mu\text{A}$,电阻 $R_a = 3\text{k}\Omega$,问能否直接用来测量 $U = 10\text{V}$ 的电压?若不能,应串联多大阻值的电阻?

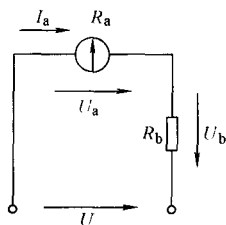


图 2-6 例 1 图

解 步骤 1: 表头能承受的电压 U_a 为

$$U_a = I_a R_a = 50 \times 10^{-6} \text{A} \times 3 \times 10^3 \Omega = 0.15\text{V}$$

若将 10V 电压直接接入,表头会因电流超过允许值而烧坏。

步骤 2: 在表头中串联电阻 R_b ,如图 2-6 所示,则其两端的电压 U_b 为

$$U_b = U - U_a = 10\text{V} - 0.15\text{V} = 9.85\text{V}$$

步骤 3: 因为电表满度偏转时,电流为 $I_a = 50\mu\text{A}$,所以

$$R_b = \frac{U_b}{I_a} = \frac{9.85\text{V}}{50 \times 10^{-6} \text{A}} = 197\text{k}\Omega$$

电阻并联应用也很多,如电炉和电灯等都是并联接入电路的。在电工测量中使用电阻并联的分流作用,能扩大电流表的量程。

例 2 仍用例 1 中那只表头, $I_a = 0.05\text{mA}$, $R_a = 3\text{k}\Omega$ 。现欲测 $I = 10\text{mA}$ 的电流,应并接多大的电阻?

解 设表头并联电阻为 R_b ,由图 2-7 可知

$$I_b = I - I_a = 10\text{mA} - 0.05\text{mA} = 9.95\text{mA}$$

分流电阻 R_b 上承受的电压 U_b 等于表头承受的电压 U_a ,即

$$U_b = U_a = I_a R_a = 50 \times 10^{-6} \text{A} \times 3 \times 10^3 \Omega = 0.15\text{V}$$

故

$$R_b = \frac{U_b}{I_b} = \frac{0.15\text{V}}{9.95 \times 10^{-3} \text{A}} = 15.07\Omega$$

例 3 在图 2-8 电路中,一阻值为 484Ω 的白炽灯 (R_1) 和一个阻值为 96.8Ω 的电阻炉 (R_2),其额定电压均为 220V ,将它们并联接入 220V 的电源上,输电线电阻 R_L 为 2Ω 。求总电流 I 、支路电流 I_1 和 I_2 、负载端电压 U_{ab} 。

解 并联部分的等效电阻 (R_{ab}) 和总等效电阻 (R) 分别为

$$R_{ab} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{484\Omega \times 96.8\Omega}{484\Omega + 96.8\Omega} = 80.667\Omega$$

$$R = R_L + R_{ab} = 2\Omega + 80.667\Omega = 82.667\Omega$$

总电流 I 、白炽灯电流 I_1 和电炉电流 I_2 分别为

$$I = \frac{U_a}{R} = \frac{220\text{V}}{82.667\Omega} = 2.661\text{A}$$