

21 世纪高职高专通信教材

电路与信号基础

谭向红 杜豫平 江 丽 编

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

电路与信号基础/谭向红,杜豫平,江丽编. —北京:人民邮电出版社,2005.6
(21世纪高职高专通信教材)
ISBN 7-115-13351-4

I. 电... II. ①谭...②杜...③江... III. ①电路分析—高等学校:技术学校—教材②信号系统—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TM133②TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 028219 号

内 容 提 要

本书主要介绍线性时不变电路的基本定理、定律和基本分析方法,通信系统与信号的基本理论,双口网络及传输电平的基本概念。全书按照下列思路进行讨论:由简单的直流电阻电路开始,到正弦交流电路,以及含有互感和变压器的复杂电路;从稳态电路到暂态电路的过渡过程;从时域分析法到变换域分析法。为配合理论教学,还编写了相应的实训(实验)内容,分别是电工基础实训和关于电路与信号的基本概念的实验。另外,每章配有习题,有的章节还配有思考题。

本书可作为高等职业技术学院通信技术专业的教材,也可作为电子技术、自动化技术、计算机应用等专业的教材。

21 世纪高职高专通信教材

电路与信号基础

-
- ◆ 编 谭向红 杜豫平 江 丽
责任编辑 滑 玉
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
读者热线:010-67170985
北京 印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本:787×1092 1/16
印张:17.25
字数:409 千字 2005 年 6 月第 1 版
印数:1-000 册 2005 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115- -1 / TN ·

定价:23.00 元

本书如有印装质量问题,请与本社联系 电话:(010)67129223

丛书前言

随着通信技术的飞速发展,通信业务的不断拓展和通信市场的日益开放,如何提高从业人员的素质,增强产业竞争力,已成为通信运营商高层决策者们所考虑的重要问题之一。通信类的高等职业教育以适应通信技术发展,培养通信生产和服务一线的技能型人才为目的。

国务委员陈至立同志在全国职业教育工作会议上指出:“职业教育的目标是培养数以千万计的技能型人才和数以亿计的高素质劳动者,必须坚持以服务为宗旨,以就业为导向,面向社会、面向市场办学。”为了适应高等职业教育的需要,结合通信行业的特点和通信类高等职业教育的培养目标,我们组织了全国通信类高职院校部分老师和部分通信企业的资深专家组织编写了这套《21世纪高职高专通信教材》。该丛书技术新,实用性强,案例典型,既可满足通信类高职高专的教学使用,又可作为从事通信行业一线的专业技术人员培训和自学读物。

由于作者编写高职高专教材经验不足,征求意见的范围还不够广泛,书中难免存在疏漏之处,望广大读者多提宝贵意见,以便进一步提高完善。

21世纪高职高专通信教材编辑委员会

21 世纪高职高专通信教材

编 委 会

主 任 肖传统

副 主 任 张新瑛 向 伟

委 员 王新义 孙青华 朱 立 江 丽 李元忠

李转年 李树岭 李 婵 刘翠霞 陈兴东

苏开荣 吴瑞萍 张干生 张孝强 张献居

周训斌 杨 荣 杨 源 胡 鹏 赵兰畔

黄柏江 曹晓川 滑 玉 傅德月 惠亚爱

秘 书 李立高

执行编委 滑 玉

编者的话

本书在编写过程中参考了信息产业部通信技术工种（2004年）技能鉴定大纲和国家劳动部电工技能鉴定大纲，根据高职教学目标的要求，既考虑电路与信号课程理论的系统性，也兼顾到高职学生对实践性环节的要求，在内容编排上有如下特色。

(1) 强调实践。本书编写了包含电工基础实训的四部分实训（实验）内容，总体上安排理论知识为60学时左右，实践学时为30~40学时。

(2) 定位准确。理论知识以够用为度，尽量减少繁杂的数学推导。

(3) 适用面宽。对通信各工种有较广的覆盖，可以根据专业选择不同的内容。

“电路与信号”是通信技术专业的基础课。本课程的任务是研究电路的基本定理、基本定律和基本分析方法，研究信号的作用、分类和信号的运算，使学生初步认识线性系统的特性，掌握不同域的分析方法，为学习通信专业技术课程打下基础。为学习本课程，读者应有一定的数学基础，书中所涉及的数学知识包括代数方程、复数、函数、微分、积分、傅里叶级数、微分方程、积分变换等，除积分变换外，书中例题直接引用其结论，重在数学表达式的物理意义的理解。修完本课程后，学生可以继续学习电子技术、电信传输、网络理论、数字通信原理、数字信号处理以及各门专业课程。

本书由谭向红主编。第1章、第2章、第3章及第一部分实训（实验）由杜豫平执笔，第4章、第5章、第6章、第7章及第二部分实训（实验）由谭向红执笔，第8章、第9章、第10章、第11章及第三、第四部分实训（实验）由江丽执笔。安徽邮电职业技术学院、南京邮电学院和吴江职业技术学院的有关领导对本书编写给予了支持和帮助，提出许多宝贵意见，作者在此表示衷心感谢。

限于水平，书中错误与不妥之处在所难免，恳请读者提出批评指正。

编者

2005年3月

目 录

第 1 章 电路基本概念	1
1.1 电路	1
1.1.1 电路和电路模型	1
1.1.2 电路的功能和种类	2
1.2 电路的基本物理量	3
1.2.1 电流	3
1.2.2 电压和电位	4
1.2.3 电功率和电能	5
1.3 电路基本元件	6
1.3.1 电阻	6
1.3.2 电容	7
1.3.3 电感	9
1.4 电源模型	11
1.4.1 独立源	11
1.4.2 受控源	12
1.5 电路的基本定律	13
1.5.1 欧姆定律	13
1.5.2 基尔霍夫定律	14
小结	16
思考题	16
练习题	17
第 2 章 简单电阻电路	19
2.1 电阻串联电路	19
2.1.1 电路等效的概念	19
2.1.2 电阻串联电路	20
2.2 电阻并联电路	22
2.3 电阻混联电路	24
2.4 电压源与电流源的等效变换	26
小结	28
思考题	28

练习题	29
第 3 章 复杂电阻电路	31
3.1 支路电流法	31
3.2 网孔电流法	33
3.3 节点电位法	36
3.4 叠加定理	39
3.5 戴维南定理	40
小结	43
思考题	43
练习题	44
第 4 章 正弦稳态交流电路的基本概念	47
4.1 正弦交流信号	47
4.1.1 正弦交流电流的瞬时值表达式	48
4.1.2 同频率正弦交流电流的相位差	50
4.1.3 正弦交流电流的有效值	52
4.2 相量法	53
4.3 基本元件的伏安关系	57
4.3.1 电阻元件的伏安关系	57
4.3.2 电感元件的伏安关系	58
4.3.3 电容元件的伏安关系	60
小结	62
思考题	62
练习题	63
第 5 章 正弦交流电路分析	64
5.1 RLC 串联电路	64
5.1.1 RLC 串联电路分析	65
5.1.2 RLC 串联谐振电路分析	70
5.1.3 串联谐振电路的频率特性	73
5.2 RLC 并联电路	75
5.2.1 RLC 并联电路分析	75
5.2.2 复阻抗和复导纳的等效互换	78
5.2.3 RLC 并联谐振电路分析	78
5.2.4 并联谐振电路的特性	80
5.3 正弦交流电路的功率	81
5.4 正弦交流电路的分析计算	85
小结	88

思考题	89
练习题	90
第 6 章 耦合电感与理想变压器	93
6.1 互感与互感现象	93
6.1.1 互感系数 M	94
6.1.2 同名端	94
6.1.3 互感电压	95
6.2 互感电路的计算	96
6.2.1 互感线圈串、并联	97
6.2.2 去耦等效分析法	99
6.3 理想变压器	102
6.3.1 理想变压器的电压变换	103
6.3.2 理想变压器的电流变换	103
6.3.3 理想变压器的阻抗变换	104
6.3.4 变压器电路分析	105
小结	108
思考题	108
练习题	109
第 7 章 三相对称交流电	111
7.1 三相交流电的基本概念	111
7.2 对称三相电源	112
7.2.1 电源作星形连接	113
7.2.2 电源作三角形连接	114
7.3 对称三相供电电路	114
7.3.1 对称星形负载电路	116
7.3.2 对称三角形负载电路	118
7.3.3 对称三相电路的功率	119
小结	120
思考题	120
练习题	120
第 8 章 非正弦交流电路分析	121
8.1 非正弦交流信号	122
8.1.1 信号分类	122
8.1.2 常见信号	124
8.1.3 信号的基本运算	127
8.1.4 信号的综合运算	131

8.2 非正弦周期信号	133
8.2.1 非周期信号的分解——傅立叶级数	133
8.2.2 非正弦周期信号的频谱分析	136
8.2.3 非正弦周期信号电路的响应	138
小结	141
思考题	143
练习题	144
第 9 章 一阶电路的时域分析	147
9.1 一阶电路的三要素公式分析法	149
9.1.1 动态元件与换路定则	149
9.1.2 一阶电路的数学模型	151
9.1.3 三要素公式	154
9.1.4 阶跃响应	157
9.2 一阶电路的零状态响应	158
9.2.1 卷积求解任意信号零状态响应的基本思路	158
9.2.2 卷积的基本运算	160
9.2.3 常用的卷积性质	162
9.2.4 任意信号的零状态响应	164
小结	165
思考题	166
练习题	166
第 10 章 变换域分析法	169
10.1 非周期信号的频谱分析	170
10.1.1 傅立叶变换的引出	170
10.1.2 付氏变换的基本性质	174
10.2 瞬态电路的复频域分析法	180
10.2.1 拉氏变换的引出	180
10.2.2 常见信号的拉氏变换	181
10.2.3 拉氏变换的基本性质	182
10.2.4 拉氏反变换	187
10.3 S 域分析法	190
小结	192
思考题	195
练习题	195
第 11 章 双口网络	199
11.1 双口网络方程	200

11.2 双口网络的影像参数·····	204
11.3 传输电平的概念·····	210
小结·····	211
思考题·····	213
练习题·····	213
实训·····	215
部分练习题参考答案·····	256
参考文献·····	261

本章内容

- 电路的基本概念：包括电路和电路模型概念，电路中基本物理量的概念。
- 电路的基本定律：包括欧姆定律、基尔霍夫电压电流定律。
- 电路元件及电源模型。

本章重点

- 电路基本物理量：电流、电压及功率。
- 电路基本元件和电路基本定律。

本章难点

- 电流、电压的实际方向及参考方向。
- 电功率的计算。

本章学时数

- 4 学时。

学习本章目的和要求

- 掌握电压、电流、电功率及其参考方向的概念，理解电位的概念。
- 掌握基尔霍夫电压电流定律。
- 掌握电路基本元件、电源的特性及外端电压电流的关系。

1.1 电 路

1.1.1 电路和电路模型

1. 电路

电路是电流的流通路径，它是由一些电器设备和元器件按一定的方式连接而成的。实际电路包括电源、负载和中间环节。其中电源的作用是为电路提供能量；负载则将电能转换为其他形式的能量；中间环节用作电源和负载的连接，包括导线、开关及控制电路等。在图 1-1 所示的照明电路中，电池作为电源，灯作为负载，导线和开关作为中间环节连接灯和电池。

2. 电路模型

实际电路由各种作用不同的电路元件或器件组成，而电路元件种类繁多，且电磁性质较为复杂。为便于对实际电路进行分析和数学描述，需要将实际电路元件用能够代表其主要电磁特性的理想元件或它们的组合来表示，称为实际电路元件的模型。反映具有单一电磁性质的实际器件的模型称为理想元件，包括电阻、电感、电容及电源等。图 1-2 所示是电工技术中经常用到的几种理想元件的电路符号。

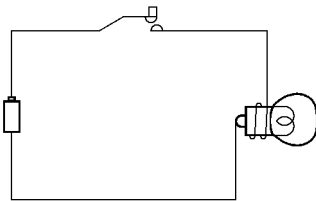


图 1-1 电路的组成

由理想元件所组成的电路称为实际电路的电路模型，将实际电路模型化是研究电路问题的常用方法。在图 1-1 中，电池对外提供电压的同时，内部也有电阻消耗能量，所以电池用 U_s 和内阻 R_0 的串联表示；灯除了具有消耗电能的性质（电阻性）外，通电时还会产生磁场，具有电感性，但电感微弱，可忽略不计，于是可认为灯是一电阻元件，用 R 表示。这样，可将图 1-1 实际电路等效为图 1-3 所示的电路模型。

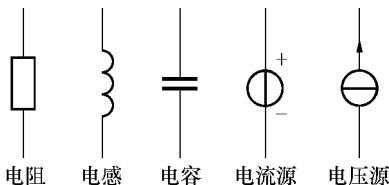


图 1-2 理想元件的电路符号

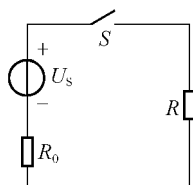


图 1-3 图 1-1 的电路模型

将实际电路元件抽象为一种或几种理想元件的组合，需要丰富的电路知识和专业知识。一个实际电路在不同条件下可化为若干个从简单到复杂的模型。如一个电感线圈，在直流电路中，可看作一个小电阻；在低频交流情况下，可看作一个电感和这个电阻的串联；在高频交流情况下，还需考虑线圈的分布电容。建立的电路模型应能反映电路的真实情况，既采用电路模型计算的结果与实际电路测量结果的误差应在允许范围之内。本课程主要对建立的电路模型进行讨论。

1.1.2 电路的功能和种类

电路的组成方式不同，功能也就不同，它的一种作用是实现电能的传输和转换，各类电力系统就是典型的例子。在图 1-1 中，当开关闭合时，电路中有电流通过，小灯发光，电池向电路提供电能；小灯将电能转化为热能和光能。

电路的另一种作用是实现信号的处理，收音机和电视机就是这类实例。收音机和电视机中的调谐电路是用来选择所需要信号的，由于收到的信号很弱，需要放大电路对信号进行放大，调谐电路和放大电路的作用就是完成对信号的处理。

电路中提供电能的器件称为电源，如图 1-1 中的电池。电路中吸收电能或输出信号的器件称为负载，如图 1-1 中的灯。在电源和负载之间引导和控制电流的导线和开关是传输控制器件。因此，电路是通过传输控制器件将电源和负载连接起来而构成的。电路的基本作用是实现电能的传输或信号处理。

电路的种类可以从不同的角度划分，如果按电源的种类划分，可分为直流电路、交流电路和脉冲数字电路。

1.2 电路的基本物理量

电路中的基本物理量有电流、电压、电功率和电能等。

1.2.1 电流

电流是由带电粒子有规则的定向运动而形成的，数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量。

设在极短时间 dt 内通过某一导体横截面 S 的微小电荷量为 dq ，则电流为

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

如果 $dq/dt = \text{常数}$ ，即电流的大小和方向不随时间变化，则这种电流称为恒定电流，常用大写的字母 I 表示，即

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

式中， Q 是在时间 t 内通过导体横截面 S 的电荷量。

电流的单位是安培，简称安 (A)，实际应用中还有毫安和微安。

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

习惯上规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。但在分析较为复杂的直流电路时，往往难于事先判断某支路中电流的实际方向；对于交流电而言，其方向随时间变化，在电路上无法用一个箭头来表示它的实际方向。因此，在电路分析中，常常任意选定某一方向作为电流的正方向，或称参考方向。所选电流的参考方向并不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与参考方向一致时，则电流为正值；反之，当电流的实际方向与参考方向相反时，电流为负值。

本书中电路图上所标的电流方向都是参考方向。电流的参考方向除用箭头表示外，还可用双下标表示， I_{ab} 表示电流的参考方向由 a 向 b 。如果参考方向选定为由 b 向 a ，则为 I_{ba} ，两者间相差一个负号，即

$$I_{ab} = -I_{ba} \quad (1-3)$$

在图 1-4 所示的电路中，选取电流 I 的参考方向从 a 到 b ，若计算结果 $I > 0$ ，则表示电流的实际方向与参考方向相同，如图 1-4 (a) 所示；若计算结果 $I < 0$ ，则表示电流的实际方向与参考方向相反，如图 1-4 (b) 所示。

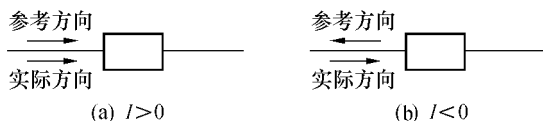


图 1-4 电流的参考方向与实际方向

综上所述，参考方向是电路中一个非常重要的概念，在学习时应注意如下几点。

(1) 电流的实际方向是客观存在的，而参考方向则是根据分析计算的需要任意选取的，参考方向一经选定后，在分析计算过程中必须以此为据，不能随意变动。

(2) 同一电流，若参考方向选取不同，其结果是数值相等、符号相反。因此，电流值的正负只有在选定参考方向下才有意义。

(3) 电路中的基本公式和结论，都是在一定的参考方向下得出来的。

1.2.2 电压和电位

在电场中，如果电场力使电荷移动一段距离，则电场力对电荷做了功。为了衡量电场力对电荷做功的能力，引入电压这一物理量，用字母 U 或 u 表示。电压的定义是，如果电场力把正电荷 Q 从 A 点移到 B 点所做的功为 W ，则电场中 A 点到 B 点的电压为

$$U_{AB} = \frac{dW}{dq} \quad (1-4)$$

简而言之，电场力把单位正电荷从 A 点移至 B 点所做的功即为 A 、 B 两点间的电压 U_{AB} 。理论和实验均已证明：电场力移动电荷所做的功与路径无关，而只与始末位置有关。所以电场中两点间的电压只与这两点的位置有关。

电压的单位是伏特，简称伏 (V)，工程上常用千伏、毫伏或微伏作单位。

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

电压也有正、负之分。这是因为如果单位正电荷从 A 点移到 B 点是电场力做功，那么单位正电荷从 B 点移到 A 点必定是外力克服电场力做功，或者电场力做了负功。电场力移动单位正电荷做功如图 1-5 所示。电场强度方向从左指向右，电场力的方向由 A 指向 B ，所以 A 、 B 两点间电压的实际极性为 A 正 B 负，用双下标记为 U_{AB} 。由分析可知

$$U_{AB} = -U_{BA} \quad (1-5)$$

在进行电路分析时，电压的实际极性往往事先无法知道。因此，必须选定一个参考极性，并且规定：当电压的实际极性与所选极性一致时，其值为正；反之为负。在选定的电压参考极性下，电压值的正、负可以反映出其实际极性。电压的极性习惯上有 3 种表示方法，如图 1-6 所示。

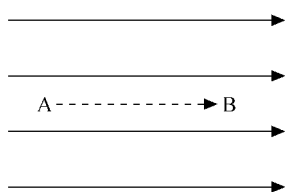


图 1-5 电场强度与电压的实际极性

(1) 用“+”、“-”号表示。“+”极性对应高电位端，“-”极性对应低电位端，如图 1-6 (a) 所示。

(2) 用双下标表示。如图 1-6 (b) 中的 U_{AB} ， A 表示高电位端， B 表示低电位端。

(3) 用箭头表示，如图 1-6 (b) 所示。

任一电路的电流参考方向和电压参考方向可以分别独立规定。但为了分析方便，常使同一元件的电流参考方向和电压参考方向一致，即电流从电压的正极性端流入该元件而从它的负极性端流出。这时，该元件的电流参考方向和电压参考方向是一致的，称为关联参考方向，如图 1-7 所示。

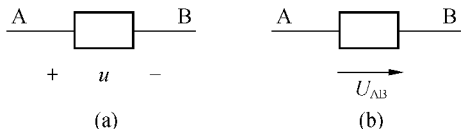


图 1-6 电压的参考方向

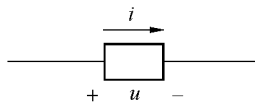


图 1-7 电流和电压的关联参考方向

分析电路时，常用到电位这一物理量。若在电路中任选一点作为参考点，则电路中某点的电位就是该点到参考点之间的电压，数值上就等于电场力把单位正电荷从电路中该点移到参考点所做的功。电位常用符号 V 表示，例如把 A 点电位记作 V_A 。参考点一般为零电位点，所以 A 点的电位为

$$V_A = U_{A0} \quad (1-6)$$

电位的单位与电压相同，也是伏特。

在电路中，电位参考点可以任意选定，但在电力工程中，常取大地作为参考点，并令其电位为零。因此，凡是外壳接地的电气设备，其机壳都是零电位。有些不接地的设备，常选许多元件汇集点作为零电位点，并用符号“⊥”表示；接大地则用符号“≡”表示。

参考点选取不同，各点的电位也不同。电路中任何两点 A、B 间的电压等于 A、B 两点的电位差，即

$$U_{AB} = U_{A0} - U_{B0} = V_A - V_B \quad (1-7)$$

这说明，参考点不同时，电路中各点电位虽然不同，但任意两点间的电压（电位差）却保持不变。也就是说，电路中任意两点间的电压与参考点的选择无关。

1.2.3 电功率和电能

电功率是电路分析中常用的物理量。传递转换电能的速率叫电功率，简称功率，用 p 或 P 表示。即

$$p = \frac{dW}{dt} \quad (1-8)$$

功率的单位是瓦特 (W)，常用的功率单位还有千瓦 (kW)、毫瓦 (mW) 等。

将式 (1-8) 等号右边分子、分母同乘以 dq 后，变为

$$p = \frac{dW}{dq} \frac{dq}{dt} \quad (1-9)$$

将式 (1-1)、式 (1-4) 代入上式得

$$p = ui \quad (1-10)$$

所以，元件吸收或发出的功率等于元件上的电压乘以元件上的电流。对于直流电路，这一公式应写为

$$P = UI \quad (1-11)$$

关联参考方向下，如果 $P > 0$ ，则表明元件吸收或消耗功率；如果 $P < 0$ ，表明元件发出功率。非关联参考方向下的结论与此相反。下面通过图 1-8 所示电路中的 4 种情况来具体讨论。

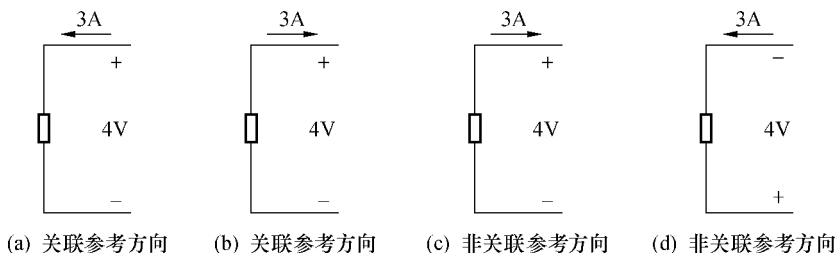


图 1-8 功率的计算

在图 1-8 (a) 和图 1-8 (b) 中关联参考方向下

$$p = 4 \times 3 = 12\text{W} > 0$$

元件吸收或消耗 12W 的功率。

在图 1-8 (c) 和图 1-8 (d) 中非关联参考方向下

$$p = 4 \times 3 = 12\text{W}$$

元件发出 12W 的功率。如取关联参考方向

$$p = 4 \times (-3) = -12\text{W} < 0$$

结论不变。

任何电路都遵守能量守恒定律，因此无论是关联参考方向还是非关联参考方向下，电路中元件的功率之和为 0，即

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

或者说，电路中发出的功率等于吸收的功率。

电路元件在 $t_0 \sim t$ 时间内消耗或提供的能量为

$$W = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t ui dt \quad (1-13)$$

直流时有

$$W = p(t - t_0) \quad (1-14)$$

电能的单位为焦耳，符号为 J。实际生活中还采用千瓦小时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$) 作为电能的单位。1 千瓦时 (俗称 1 度电) 是功率为 1 千瓦的用电设备在 1 小时内所消耗的电能。

$$1\text{kW} \cdot \text{h} = 10^3 \times 3600 = 3.6 \times 10^6 \text{J}$$

如果通过实际元件的电流过大，会由于温度升高使元件损坏；如果电压过大，会使绝缘击穿。电气设备或元件长期正常运行的电流容许值称为额定电流，长期正常运行的电压容许值称为额定电压，额定电压和额定电流的乘积为额定功率。通常电气设备或元件的额定值标在产品的铭牌上。如一普通灯泡标有 $220\text{V}/40\text{W}$ ，表示它的额定电压为 220V ，额定功率为 40W 。

【例 1-1】图 1-9 所示为直流电路， $U_1 = 4\text{V}$ ， $U_2 = -8\text{V}$ ， $U_3 = 6\text{V}$ ， $I = 4\text{A}$ ，求各元件吸收或发出的功率为 p_1 、 p_2 和 p_3 ，并求整个电路的功率 p 。

解 p_1 的电压参考方向与电流参考方向相关联，故

$$p_1 = U_1 I = 4 \times 4 = 16\text{W} (\text{吸收功率})$$

p_2 和 p_2 的电压参考方向与电流参考方向非关联，故

$$p_2 = U_2 I = (-8) \times 4 = -32\text{W} (\text{吸收功率})$$

$$p_3 = U_3 I = 6 \times 4 = 24\text{W} (\text{发出功率})$$

整个电路的功率 p ，设吸收功率为正，发出功率为负，故

$$\sum p = -16 + 32 - 24 = 0$$

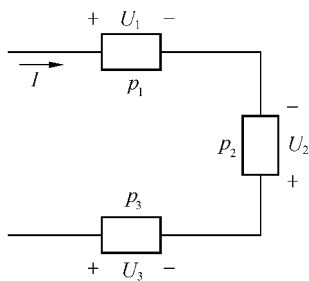


图 1-9 [例 1-1] 图

1.3 电路基本元件

电阻器、电容器和电感在电工及电子电路中应用极为广泛。本节主要介绍它们的基本电磁性能以及电压电流的关系。

1.3.1 电阻

1. 电阻元件

电阻元件是用具有不同导电能力的材料制成的。由于电子在导电材料中运动要与导电材料中的晶格发生碰撞使电子失去能量，导体本身得到能量而发热。因此，电阻在电路中要消耗能量，故也称电阻为耗能元件。消耗的电能为

$$W = I^2 R t \quad (1-15)$$

$$\text{功率} \quad P = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-16)$$

电阻的大小决定于材料的性质和几何尺寸

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-17)$$

式中, ρ 为材料的电阻率, l 为材料的长度, S 为材料的截面积。

2. 电阻的伏安关系

若电阻元件或者任意一个网络, 取其端口的电压为纵坐标, 电流为横坐标, 作出一条函数关系曲线, 则此曲线为具有电阻特性的伏安特性曲线。如果伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线, 如图 1-10 (a) 所示, 则此电阻为线性电阻, 其符号如图 1-10 (b) 所示。在电压、电流符合关联参考方向时, 用欧姆定律表示为

$$U = IR \quad (1-18)$$

在式 (1-18) 中, R 是一个与电压和电流均无关的常数, 称为元件的电阻。电阻的单位为欧姆, 简称欧 (Ω), 常用单位还有千欧 ($k\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$) 等。

电阻的倒数叫做电导, 用 G 表示。电导的单位是西门子, 简称西 (S), 用电导表征电阻时, 欧姆定律可写成

$$I = GU \text{ 或 } U = \frac{I}{G} \quad (1-19)$$

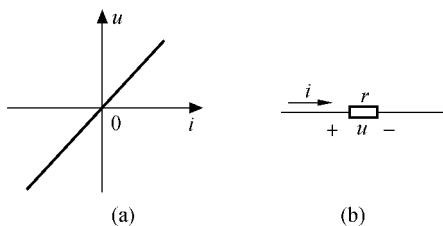


图 1-10 线性电阻及伏安特性

如果电阻的端电压和电流为非关联参考方向时, 则欧姆定律应写为

$$U = -IR \text{ 或 } I = -GU \quad (1-20)$$

严格地说, 线性电阻是不存在的, 但绝大多数电阻在一定的工作范围内都非常接近线性电阻的条件, 因此可用线性电阻作为它们的模型。习惯上把电阻元件称为电阻。因此, 电阻一词, 一方面表示电阻元件, 另一方面也表示具有电阻特性的元件或电路参数。

1.3.2 电容

1. 电容元件

电容元件是各种电容器的理想化模型, 其符号如图 1-11 (a) 所示。

当电容器的两极板间加上电压时, 沿电压的方向将有等量的正、负电荷分别聚集在两个极板上, 于是两极板间建立了电场, 电源能量转换为电场能储存在电容器中。当外加电压去掉后, 电荷可以继续聚集在极板上, 电场依然存在。电荷量与端电压的比值叫做电容元件的电容, 线性电容器的电容为一常数, 电荷量 q 总是与端电压 u 成线性关系, 即

$$q = Cu \quad (1-21)$$

电容 C 是体现电容元件存储电荷能量大小的参数。电容的单位为法拉, 简称法 (F), 常用单位有微法 (μF)、皮法 (pF) 等。

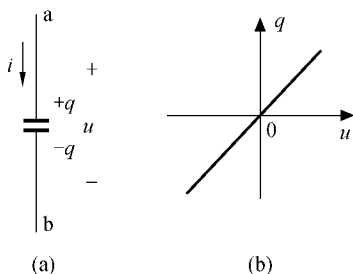


图 1-11 电容的符号和特性

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

式 (1-21) 表示的线性电容元件电荷量与电压之间的约