

普通高等教育“十一五”规划教材  
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANGONG DIANZI JISHU

# 电工电子技术

(上册)

郑宗亚 主编

许晓彦 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材  
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



TM/129  
:1  
2008

DIANGONG DIANZI JISHU  
**电工电子技术**  
(上册)

主 编 郑宗亚  
副主编 许晓彦  
编 写 赵冰洁 尚鸿雁 郑姿清  
主 审 王鲁杨



中国电力出版社  
<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

全书分为上下两册。上册共分为八章，主要内容包括电路模型和电路基本定律、直流电路分析、交流电路分析、电路中的过渡过程、非正弦周期交流电路分析、磁路与变压器、电动机和电气测量。下册主要介绍模拟电子技术和数字电子技术。本书根据当今大学生的实际情况和电工技术在实际生产中的发展和应用，有重点地编写而成。全书涵盖了有关电工技术的主要知识点，在进行理论论证的同时也顾及实际应用。

本书可作为普通高等教育电气信息类、自动化类、机械类等相关专业的本科教材，也可作为高职高专和函授教材，还可供相关工程技术人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术. 上册/郑宗亚主编. —北京: 中国电力出版社, 2008

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-6100-0

I. 电… II. 郑… III. ①电工技术—高等学校—教材  
②电子技术—高等学校—教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 155527 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

三河德利印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2008 年 1 月第一版 2008 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.5 印张 374 千字

定价 24.00 元

## 敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失

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

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

电工技术是工科各机电类专业的专业基础课。这些年来,电工技术尤其是电子技术在各个领域的发展可以说是日新月异,同时高等教育的理念和对象也发生了很大的变化,信息量的增加和课时数的减少已经成为制约电工技术教育的瓶颈,为此我们根据这些年来教学的经验 and 当今的实际编写了这套教材。

本教材参考了大量的经典电工技术教材和近年出版的各类电路、电工和电子技术教材,本着基础求实、专业应用求广的精神精选而成。

本教材在理论分析的同时更着重实际应用,力求使学生在懂得分析原理的同时更能知道电路的用途。本书在编写过程中遵循下列规律:

- (1) 提出问题。通过对已知的常识和结论分析,找出存在的问题。
- (2) 解决问题。通过该章节的方法来解决问题。解决问题的办法既要有理论推导分析,也要有具体方法介绍,并加以适当的记忆口诀,以适应不同读者的需要。
- (3) 总结归纳解决问题的方法,指出其适用范围。

全书除注重对电路传统的推理、分析和计算外,还注重突出实际应用的主线,注意教学思想的前后联系,培养学生能看电路、学会电路变换、掌握电路分析和思考中所要注意的事项及实际应用能力。对于电动机、电测仪表设备,在介绍其组成特点和工作原理的基础上,重点讲解各类设备的机电外特性和应用场合,力图结合生产实际,让学生能够学以致用。对可编程控制器、仿真模拟等内容因授课时数的限制,拟另辟专门的课程,故书中未予编写。

通过本课程的学习,学生应该掌握电路分析的主要内容,包括能看懂各种电路图,从多种计算方法中选用适当的方法对电路进行计算,能正确地求取各种电气参数和选用产品,对电路故障能逐步进行分析和判断。同时通过对电工知识的深入学习,进一步了解人们认识自然世界的科学规律,为今后的学习打下良好的基础。

本书可作为电力、电子、自动控制、机电一体化等专业的本科学习教材,参考教学时数为72学时。对过渡过程的二阶电路、非正弦电路等章节进行适当删节后亦可作为高职高专教材。

本书由郑宗亚主编并担任统稿工作,参加编写的还有许晓彦、赵冰洁、尚鸿雁和郑姿清。其中,郑宗亚编写了第一、二、三、七、八章,尚鸿雁编写了第四章,许晓彦编写了第

五章，赵冰洁编写了第六章，郑姿清参与编写了习题。另外上海海事大学教务处和电气工程系电力电子教研室的全体同仁也给予了积极鼓励和支持。

上海电力学院的王鲁杨副教授作为本书的主审，提出了积极宝贵的意见，在此表示衷心的感谢。

由于本人水平有限，书中难免有疏漏之处，恳请读者批评指正。

**编者**

2007年6月



# 目 录

## 前言

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <b>第一章 电路模型和电路基本定律</b> .....    | 1   |
| 1-1 电路和电路模型 .....               | 1   |
| 1-2 电路的基本物理量 .....              | 2   |
| 1-3 电路中的基本元件 .....              | 4   |
| 1-4 电路中的电源 .....                | 9   |
| 1-5 电路的基本定律 .....               | 13  |
| 1-6 电路元件的基本连接 .....             | 15  |
| 1-7 电路中的电位概念及计算 .....           | 27  |
| 习题 .....                        | 28  |
| <b>第二章 直流电路分析</b> .....         | 33  |
| 2-1 支路电流法 .....                 | 33  |
| 2-2 网孔电流法 .....                 | 35  |
| 2-3 结点电压法 .....                 | 39  |
| 2-4 叠加原理 .....                  | 42  |
| 2-5 对偶原理 .....                  | 46  |
| 2-6 替代定理 .....                  | 47  |
| 2-7 戴维南定理和诺顿定理 .....            | 48  |
| 习题 .....                        | 54  |
| <b>第三章 正弦交流电路分析</b> .....       | 60  |
| 3-1 正弦交流电 .....                 | 60  |
| 3-2 正弦交流电的计算 .....              | 65  |
| 3-3 正弦交流电作用下电阻、电感和电容的伏安关系 ..... | 68  |
| 3-4 正弦交流电路的阻抗与导纳 .....          | 71  |
| 3-5 正弦交流电路的功率 .....             | 79  |
| 3-6 电路中的谐振 .....                | 84  |
| 3-7 三相正弦交流电路分析 .....            | 88  |
| 习题 .....                        | 99  |
| <b>第四章 电路中的过渡过程</b> .....       | 105 |
| 4-1 产生过渡过程的原因及换路定律 .....        | 105 |
| 4-2 一阶电路的过渡过程分析 .....           | 109 |
| 4-3 阶跃函数和冲激函数 .....             | 122 |
| 4-4 二阶电路的过渡过程 .....             | 126 |
| 习题 .....                        | 136 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| <b>第五章 非正弦周期交流电路分析</b> .....  | 140 |
| 5-1 非正弦周期交流电的概念 .....         | 140 |
| 5-2 非正弦交流电的有效值、平均值和平均功率 ..... | 145 |
| 5-3 非正弦交流电路的计算 .....          | 148 |
| 5-4 对称三相交流电路的高次谐波 .....       | 154 |
| 习题 .....                      | 158 |
| <b>第六章 磁路与变压器</b> .....       | 161 |
| 6-1 磁路的基本概念 .....             | 161 |
| 6-2 交流铁芯线圈和互感线圈电路 .....       | 166 |
| 6-3 变压器.....                  | 172 |
| 习题 .....                      | 176 |
| <b>第七章 电动机</b> .....          | 179 |
| 7-1 三相异步交流电动机的基本结构与工作原理 ..... | 179 |
| 7-2 三相异步交流电动机的外特性 .....       | 183 |
| 7-3 三相异步交流电动机的启动、调速与制动 .....  | 187 |
| 7-4 三相异步交流电动机的选用 .....        | 191 |
| 7-5 直流电动机 .....               | 194 |
| 7-6 单相异步电动机 .....             | 198 |
| 7-7 同步电动机 .....               | 199 |
| 7-8 控制电动机 .....               | 201 |
| 习题 .....                      | 209 |
| <b>第八章 电气测量</b> .....         | 213 |
| 8-1 常用电工测量及仪表 .....           | 213 |
| 8-2 电压和电流的测量 .....            | 218 |
| 8-3 万用电表 .....                | 220 |
| 8-4 电功率和电能的测量 .....           | 224 |
| 8-5 电感、电容参数测量 .....           | 234 |
| 习题 .....                      | 236 |
| <b>参考文献</b> .....             | 239 |

## 第一章 电路模型和电路基本定律

本章介绍电路的基本组成、基本元件及其模型、电路的基本物理量和基本运算定律。

通过本章学习应达到的要求:能看懂电路的基本要素,分析电路图的组成关系;明确电压、电流的实际方向、参考方向,学会分析各种电路元件的电压电流关系;掌握电路分析的基本定律,学习用基本定律分析电路图。

### 1-1 电路和电路模型

#### 一、电路组成

由电源、导线连接到各种用电元器件或电气设备组成的网络称为电路。电路可以用来传递能量和各种信息信号。随着人们对电的应用不断深入,电路也愈加复杂。组成电路的要素有以下几个:

(1) 电源,发出电能的元件,常见的有各种电站的发电设备、各种电池等,自然的电源以电压源居多。

(2) 用电设备,常见的有各类电器,如电力机车、电梯等电机拖动系统,又如各种灯泡、电视等照明娱乐电器,小到有各种各样的计算器、通信器材等。所有的用电设备都是消耗电能的,故也称其为负载。

(3) 控制装置,最常见有各种自动或手动的开关。

(4) 导线,充当电流的载体,常见的导体由金属铜或铝这样一些电阻率小的物质组成的。

随着电子技术的发展,人们将电子元件做在一起,构成了各种电子线路。为实现一定的功能,由导线连接大量的电子元件,使这一批电子元件负载能够完成一个特定的功能,这就使电路有了更为复杂的变化,比如现在集成电路里面就集成了成千上万的电子元件。在本课程中,我们主要研究电路中各种元件上电压和电流的关系。

#### 二、电路模型

针对形形色色的电路负载,我们不可能也不必要将真实的负载画在纸上,而是将各种电气装置的电参数抽象出来,用理想化的小型符号取代,这样可以简化图纸,也使分析显得简捷,那么这些取代真实物品的符号就称为电路模型。电路模型主要集中了器件的电压电流特性(又称伏安特性),也就是反映了元件的主要外特性参数。实际符号和元件的大小差别很大,可以把一个发电厂简化成一个电源,也可以把一个三极管转化为由几个电阻、电容和受控电源组成的集合。如果电路元件外形尺寸不大,与其工作的信号波长相比可以忽略不计,这样的模型被称为电路集总参数模型。如果电路工作在低频情况下,绝大部分的电气装置都可视为集总参数模型。但如果电路工作在高频状态,其工作信号的波长和体积尺寸相比已不可忽视时,就要考虑电路的分布参数,这时将用多个集总参数的模型去取代单个的模型,以

更好地反映电路的实际工作状态。

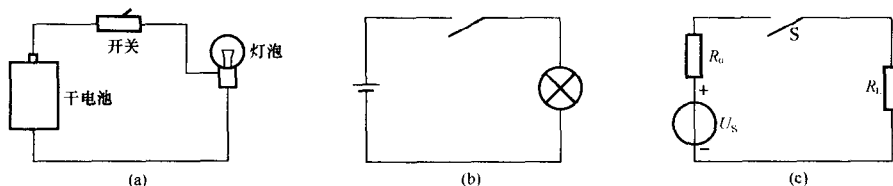


图 1-1 实际电灯电路

(a) 电灯接线图; (b) 电灯的原理图; (c) 电路模型图

实际元件由于原理复杂,工作时往往由许多因素叠加而成,而我们的电路模型只考虑其主要电气参数,比如图 1-1 中 (a) 是一个实际电灯接线图、(b) 为电灯的电原理图、(c) 为电路模型图,这时电池用电源符号来取代,电灯为电阻负载,开关为控制元件。模型一般都是理想的,比如开关,其导通时电阻为零,关断时电阻为无穷大,导线模型也被认为其电阻为零。如要考虑实际情况,只要将所考虑的元件因素加进去就可以了,如导线中分散的电阻可以集中成一个电阻来分析,开关接通时会有一定的小电阻、断开时会有相当大的漏电阻等。在以后的分析中,可以根据需要由简入烦地考虑许多非理想的参数,使计算结果更为精确。

## 1-2 电路的基本物理量

衡量电的主要物理量是电流和电压,这和人们对电的认识发展有密切联系。

### 一、电流

科学研究证明,世界是由物质组成的,而一切物质又是由原子组成的,原子是由原子核和核外电子组成的,一般情况下,原子核带正电,核外电子带负电,且原子核的电量和核外电子的电量相等,所以物体对外表现为不带电。同时原子核对其核外电子有一定的束缚,当原子最外层的电子获得能量脱离原子核的束缚就变成了一个自由电子,但即使导体中含有大量的自由电子,如果没有外力的驱动,这些自由电子仅在物体内部形成杂乱无章的运动,对外呈现的电量依旧为零。但在某些外力的作用下,可以将原子中的正负电荷在一定的条件下相互分离并发生转移,则物体显示出“带电”,如原子失去电子,对外表现其带有“正电”,而电子本身则带“负电”,一个电子所带的电量为一个负电荷,失去一个电子后的原子所带的电量为一个正电荷。正负电荷具有同性相斥、异性相吸的特性,将正负电荷分开需要施加能量,而正负电荷的吸引中和则释放出能量。电荷 ( $Q$ ) 的单位是 C (库仑),1C 相当于  $6.25 \times 10^{18}$  个电子所带的电量。电荷产生了有规律的运动,这就形成了电流  $I$ 。单位时间内搬动的电荷越多,电流就越大。

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (1-1)$$

如果每秒有 1C (库仑) 的电荷通过某一截面,那么该截面就通有 1A (安培) 的电流,由于物质不灭的特性,只要在一根导线中没有分流,那么这根导线的所有地方都是 1A 的电流。A 是电流基本单位,还有 kA、mA 和  $\mu$ A 等。其换算式为

$$1\text{A} = 10^{-3}\text{kA} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A} = 10^9\text{nA}$$

电流除了有大小之外还有方向,规定正电荷移动的方向为电流的方向。

## 二、电压

正负电荷都是一个客观存在的物质,因此搬动电荷需要外力,这个外力就是电势力,它起到搬动电荷的作用。由于电荷看不见,以流水来比喻,电荷相当于水分子,电流相当于水流,要想使水流动起来就一定要有外力,自然界中水从高处往低处流是因为高低两处存在水位差,这水位差就是位能或势能。同理,电荷从一端移向另一端也需要这两端存在着电势差,这时的电势差就相当于重力,电流相当于水流,在同样的阻力之下,电势差大才有可能使电流大,这电势差就是电压。搬动电荷也需要外力,电荷本身又有质量,那么搬动有质量的物体就要做功,而这个功只能是由外力来做了,电压  $U$ 、电荷  $Q$  和搬动电荷所需外力做功  $W$  之间的关系式为

$$U = \frac{dW}{dQ} \quad (1-2)$$

当  $W$  的单位为 J (焦耳),  $Q$  的单位为 C (库仑), 则电压的单位为 V (伏特)。V 是电压的基本单位,其它还有 kV、mV 和  $\mu V$  等。其换算关系为

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

电压也有方向,规定搬动正电荷所做功的方向为电压的正方向。由于电荷流动是连续的,在电源内部电势力做功,正电荷从低电势端拉到高电势端,在电源外部,正电荷从高电势端流向低电势端。

**【例 1-1】** 将 500J 的能量用于移动 100C 的电荷通过一个电阻  $R$ , 求电阻两端的电压  $U_R$  为多少?

解 
$$U_R = \frac{dW}{dQ} = \frac{500}{100} = 5 (V)$$

**【例 1-2】** 电池电压为 12V, 移动 2.5C 电荷通过一个电阻需要多少能量?

解 
$$W = UQ = 12 \times 2.5 = 30 (J)$$

## 三、电功率

和物理学中的定义一样,电功率就是单位时间电能所做的功。依照前面的论述,有

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{VdQ}{dt} = \dot{U}I \quad (1-3)$$

电压的单位为 V, 电流的单位为 A, 则功率的单位为 W (瓦), 其他还有 kW、mW 等。其换算关系为

$$1W = 10^{-3}kW = 10^3mW = 10^6\mu W$$

## 四、电压、电流的关联方向

电压、电流除了有大小还有方向。在电路分析之初,我们无法确切知道电压、电流的实际方向,于是可以设定电压和电流的方向,这设定方向称为参考方向,并在图纸上加以箭头或士符号来表示。

电压和电流方向一致称为关联方向,反之称为非关联方向。关联方向的功率表示电路吸收功率,如各类负载。非关联方向的功率表示电路发出功率,如电源。根据关联方向的定义,可以很方便地区分是负载还是电源。

**【例 1-3】** 图 1-2 中各方块上电压为 100V、电流为 1A, 方向均如图所示, 求各方块上的电功率, 各方块是电源还是负载?

解 图 1-2 (a) 中电压和电流的方向一致, 方块内为负载, 吸收功率  $P=UI=100$  (W)。  
 图 1-2 (b) 中电压和电流的方向相反, 方块内为电源, 发出功率  $P=UI=100$  (W)。  
 图 1-2 (c) 中电压和电流的方向相反, 方块内为电源, 发出功率  $P=UI=100$  (W)。  
 图 1-2 (d) 中电压和电流的方向一致, 方块内为负载, 吸收功率  $P=UI=100$  (W)。

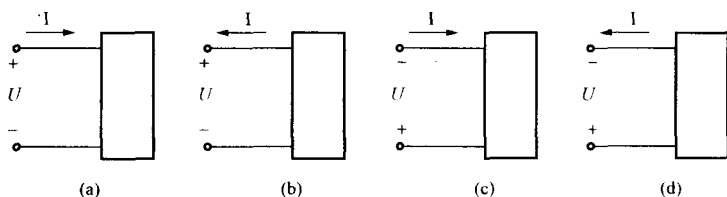


图 1-2 [例 1-3] 图

### 1-3 电路中的基本元件

电路中的一般线性负载元件都可以被等效为电阻、电感和电容的组合。所谓线性元件指的是元件上的电压和电流在伏安特性图上成线性关系的元件。本书主要研究线性元件, 对一些非线性元件一般只分析其线性工作区的特性。

#### 一、电阻元件

导体对电流的阻碍作用被称为电阻, 常用的电阻主要用来限制电流和对电源起分压、分流作用, 很多消耗功率的用电设备都可以被等效为一个电阻。

导体的电阻大小与其材料的性质、长短和截面积有关, 即

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-4)$$

式中  $\rho$ ——导体的电阻率,  $\Omega \cdot \text{m}/\text{mm}^2$ ;

$l$ ——导体的长度, m;

$S$ ——导体的截面积,  $\text{mm}^2$ 。

电阻两端的伏安特性满足欧姆定律, 即

$$U = IR \quad (1-5)$$

当电压的单位为 V、电流的单位为 A 时, 电阻的基本单位为  $\Omega$  (欧姆), 扩展单位有  $\text{k}\Omega$ 、 $\text{M}\Omega$ , 且  $1\text{k}\Omega=10^3\Omega$ ,  $1\text{M}\Omega=10^6\Omega$ 。

**【例 1-4】** 已知通过  $2\text{k}\Omega$  电阻的电流是  $6\text{mA}$ , 求电阻两端的电压。

解

$$U_R = 2000 \times 0.006 = 12(\text{V})$$

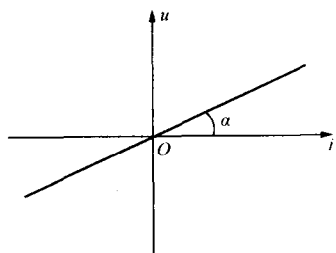


图 1-3 电阻元件及其伏安特性

取纵坐标为电压、横坐标为电流就可以得到伏安特性图, 如图 1-3 所示, 线性电阻是一条直线, 其斜率大小可以用角度  $\alpha$  表示,  $\alpha$  越大斜率越大, 其表示的电阻值就越大。自然的电阻数值总是正的, 出现在伏安特性的第一、三象限, 若伏安特性出现在第二、四象限, 则说明电阻是负的, 这种情况只有在非线性或有受控源的情况下才会发生。

由于电阻上的电压方向和电流方向是关联方向, 因此电阻是吸收功率的, 电阻吸收的功率和流经电阻的电流有关。

$$P_R = U_R I_R = I_R R I_R = I_R^2 R = U_R^2 / R$$

常用的电阻器上均标有阻值,有的直接打上电阻数值,例如  $4.7\text{k}\Omega$ 、 $680\Omega$  等,还有数字标记法和字母数字标记法。

(1) 数字标记法。这种标记方法是用三个有效数字来表示电阻的阻值,前两个数字表示电阻的前两位有效数字,第三个数字表示有效数字后面 0 的个数。如电阻 123 表示电阻值为  $12000\Omega = 12\text{k}\Omega$ ,电阻 221 表示电阻值  $220\Omega$ 。

(2) 字母标记法。这种标记方法是用三到四个字母或数字来表示电阻的阻值数,其中数字表示电阻的数值、字母代表阻值单位,  $\Omega$  表示欧姆、 $\text{k}\Omega$  表示千欧、 $\text{M}\Omega$  表示兆欧,在字母左方的数字为数值的整数,字母右方的为小数。如标记为  $22\Omega$  的电阻为  $22\Omega$ 、 $2\text{M}2$  的电阻为  $2.2\text{M}\Omega$ 、 $220\text{k}\Omega$  的电阻为  $220\text{k}\Omega$ 。

电阻的大小直接印在电阻上的,但安装时不一定能确保数字向上,这对维修检查带来不便,所以现在大量的电阻用色环来表示。

色环电阻分四色环和五色环两大类,从靠近电阻引线的一侧算起,四色环电阻的前两环和五色环的前三环颜色代表具体数字,第三环或第四环颜色数字是乘数,代表了有效数字后面 0 的个数,最后一环代表偏差。

颜色和数字的对应关系为:

黑——0;

棕——1;

红——2;

橙——3;

黄——4;

绿——5;

蓝——6;

紫——7;

灰——8;

白——9。

其中,金和银色在代表乘数时的数字为:

金——0.1;

银——0.01。

最后一环代表允许偏差的颜色为:

金—— $\pm 5\%$ ;

银—— $\pm 10\%$ ;

红—— $\pm 2\%$ ;

棕—— $\pm 1\%$ ;

绿—— $\pm 0.5\%$ ;

蓝—— $\pm 0.25\%$ ;

紫—— $\pm 0.1\%$ 。

**【例 1-5】** 二个色环电阻,其色环顺序分别为红、紫、橙色和银色,棕、黑、棕色和金色,求该两电阻的规格。

**解** 四色环电阻, 前两位表示数字, 第三环代表指数, 第四环代表偏差。

电阻 1: 红 2、紫 7; 第三环指数, 橙表示 3, 即为  $10^3$ ; 第四环银色表示 10% 的偏差。

综合:  $27 \times 10^3 = 27000 (\Omega) = 27 (\text{k}\Omega)$ , 偏差  $\pm 10\%$ 。

电阻 2: 棕 1、黑 0; 第三环指数, 棕表示 1, 即 10; 偏差环金色表示  $\pm 5\%$ 。

综合:  $10 \times 10 = 100 (\Omega)$ , 偏差  $\pm 5\%$ 。

选择电阻器要注意, 除阻值满足要求以外还应满足功率的要求, 电阻的功率和通过电阻的电流或电阻两端的电压有关, 电阻上承受的功率为

$$P_R = I^2 R = \frac{U_R^2}{R} \quad (1-6)$$

否则电阻会因为功率不合要求而损坏甚至发生事故。

电阻有固定电阻和可变电阻, 图 1-4 是国内外电阻的常用符号。可变电阻有旋转型、滑动型和多圈旋转型, 阻值随位移发生变化, 其变化规律有线 (X) 型、指数 (Z) 型和对数 (D) 型, 后两种主要在一些非线性场合使用。

电阻的倒数称为电导, 用字母  $G$  表示, 则

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-7)$$

其标准单位是 S (西门子, 简称西)。

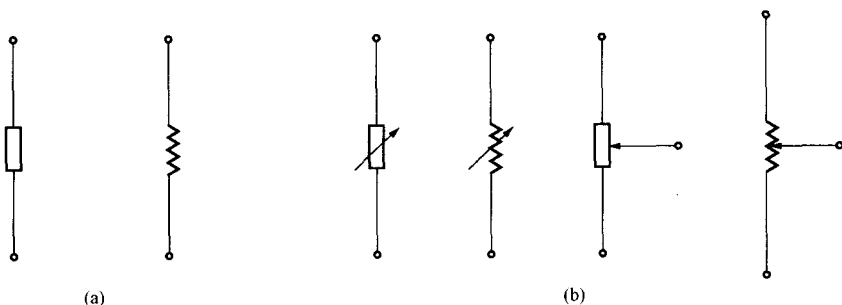


图 1-4 电阻的常用符号

(a) 固定电阻; (b) 可变电阻

## 二、电感元件

用导线绕制成一个线圈就形成了一个电感。物理学告诉我们, 电和磁是一对相互依存物质。当一个线圈通电后产生磁通, 磁通的大小除了和电流的大小有关外, 还和线圈圈数的多少、线圈内的介质有关, 当一个线圈绕制成型后, 其线圈的圈数和介质一般是固定的, 如介质为一个固定的常数, 则该电感可视为一个理想的电感, 电感量的大小关系式为

$$L = \frac{N^2 \mu A}{l} \quad (1-8)$$

式中  $N$ ——线圈圈数;

$\mu$ ——芯体材料磁导率,  $\text{H/m}$ ;

$A$ ——线圈截面积,  $\text{m}^2$ ;

$l$ ——线圈长度,  $\text{m}$ 。

我们可以用实验的方式求取所需要的电感圈数。

常用电感有空芯电感、铁芯电感、可变电感和互感线圈等, 它们的符号如图 1-5 所示。

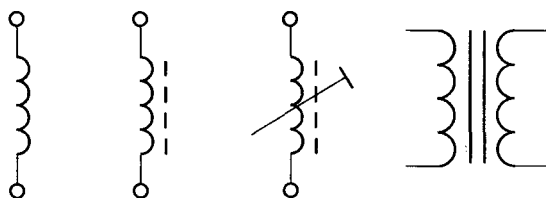


图 1-5 常用电感及符号

线圈通电之后将产生磁通链, 由于线性电感中的线圈圈数和介质等均为固定的常数, 因此所产生的磁通链仅和通过线圈的电流大小有关, 磁通链的大小和电流之比就是电感, 线性电感的电感量是一个常数, 则

$$L = \frac{\Psi}{i} \quad (1-9)$$

电感线圈内磁通、电流、电压的方向关系如图 1-6 所示。

依照楞次定律, 线圈中电流变化时, 变化的磁场产生感应电压, 感应电压的方向正好阻碍电流的变化。根据法拉第定律, 线圈中感应电压的大小和磁通链的变化率成正比, 即

$$u_L = \frac{d\Psi}{dt} \quad (1-10)$$

将式 (1-9) 代入式 (1-10), 得到电感线圈上的电压和电流的关系为

$$u_L = L \frac{di}{dt} \quad (1-11)$$

当电压的单位为 V、电流的单位为 A, 时间的单位为 s, 电感量的单位为 H, 电感的其他单位有 mH、 $\mu$ H 等, 并有

$$1\text{H} = 10^3\text{mH} = 10^6\mu\text{H}$$

**【例 1-6】** 计算电感量为 1H, 电流变化率为 2A/s 时的感应电压。

解 
$$u_L = L \frac{di}{dt} = 1 \times 2 = 2(\text{V})$$

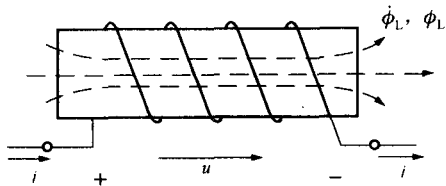
**【例 1-7】** 电流变化率为 10A/s 时产生的感应电压为 50V, 计算电感量。

解 
$$L = u_L / \frac{di}{dt} = 50/10 = 5(\text{H})$$

由于线圈是导线绕成的, 导线不可避免地存在着电阻, 因此实际电感元件是串有电阻的, 再者, 线圈中往往填充有铁磁物质, 该物质可以大大加强电感量, 但铁磁物质中的磁通达到一定数值后会产生磁饱和现象, 此时电流加大到一定程度后磁通量的增幅会相应减小, 这种情况下的电感就是非线性电感了。

理想的电感是不消耗功率的, 电流增加时通过线圈产生的磁通以磁场能量的形式储存在电感里, 磁场储存的能量和电感量及电感中通过电流的平方成正比, 即

$$W_L = \frac{1}{2} LI^2 \quad (1-12)$$

图 1-6 电感线圈内磁通、  
电流、电压的方向关系

电流减小时,电感储存的磁场能量将返还给电源。

选择电感元件除了选择电感量以外,还要选择电感允许电流大小和电感内阻等参数。前者决定了电感所允许通过的电流,后者决定了通电后实际电感消耗的功率。

**【例 1-8】** 已知电感量为  $2\text{H}$ , 电感电阻为  $0.05\Omega$ , 通过该电感的直流电流为  $10\text{A}$ , 计算电感储存的能量和消耗的功率。

**解** 电感储存的能量

$$W_L = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times 100 = 100(\text{J})$$

电感消耗的功率

$$P_L = R_o I^2 = 0.05 \times 100 = 5(\text{W})$$

### 三、电容元件

两绝缘金属极板通电后,在两极板上将聚集起等量的正负电荷,这就构成了电容。电容的容量与极板面积成正比,与极板间的距离成反比,并与极板间的介质有关。

$$C = \frac{A\epsilon_r}{d} \quad (1-13)$$

式中  $A$ ——极板面积,  $\text{m}^2$ ;

$\epsilon_r$ ——介质系数,  $\text{F/m}$ ;

$d$ ——极板间的距离,  $\text{m}$ 。

常见的介质材料有空气、云母、聚乙烯和电解质。为提高电容的容量,除加大电容的极板面积、减小极板间的距离以外,还可以在极板之间填充电解质,形成电解电容。而电解电容容量大且具有极性,使用时正极应该接高电位、负极接低电位,如接反将会损坏电解电容。

常用电容器及符号如图 1-7 所示,注意其中有极性电容和电解电容符号的正负极性标志。

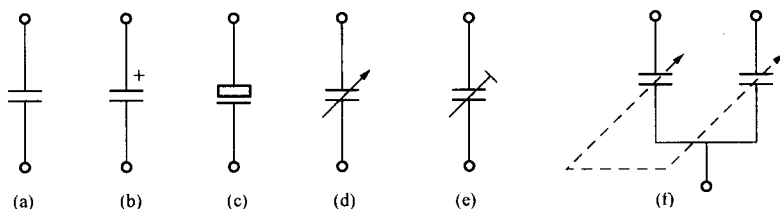


图 1-7 常用电容器及符号

(a) 普通电容; (b) 极性电容; (c) 电解电容; (d) 可变电容;

(e) 半可变电容; (f) 同轴可变电容

电容上积聚电荷后两极板间就有了电压,电容上电压与电容的关系式为

$$U_C = \frac{Q}{C} \quad (1-14)$$

因为电容的电荷是通过电流输送而来的,所以电容上的伏安特性为

$$u_C = \frac{1}{C} \int \frac{dQ}{dt} dt = \frac{1}{C} \int i dt \quad (1-15)$$

电压单位为  $\text{V}$ 、电流单位为  $\text{A}$ 、时间单位为  $\text{s}$  时,电容的单位是  $\text{F}$  (法拉),其他辅助

单位有  $\mu\text{F}$  和  $\text{pF}$  并有

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

**【例 1-9】** 已知  $5000\mu\text{F}$  的电容器上有  $30\text{V}$  的电压, 求该电容储存了多少电荷?

**解**  $Q = CU_c = 5 \times 10^3 \times 10^{-6} \times 30 = 5 \times 30 \times 10^{-3} = 0.15(\text{C})$

理想电容一旦有了电荷之后, 只要无外界通路, 电荷将始终保留在电容里, 而实际上极板间的介质都有一些电阻, 故实际电容的等效电路应该是理想电容并联一个电阻, 这个电阻被称为电容的漏电阻, 数值越大越好。高品质的电容中由于该电阻极大, 电荷可以保留在电容中几天, 所以搬动电容时一定要注意电容有无带电, 因为带电搬动电容很可能造成意外的损害。为了避免这种损害, 可以在电容两端并接电阻, 该电阻又称为泄流电阻。

理想的电容也是不消耗功率的, 流入电容的电荷以电场能量的形式储存在电容里, 电场储存的能量和电容量及电容两端电压的平方成正比, 即

$$W_c = \frac{1}{2} CU_c^2 \quad (1-16)$$

**【例 1-10】** [例 1-9] 中的电容器上储存的能量是多少?

**解**  $W_c = \frac{1}{2} CU_c^2 = \frac{1}{2} \times 5 \times 10^3 \times 10^{-6} \times 900 = 4.5(\text{J})$

选择电容除注意容量的要求外, 还应注意是交流电容还是直流电容, 交流电容可用于交流, 而直流电容不可用于交流, 大容量的交流电容价格和体积远大于直流电容。选择电容还应注意电容的耐压和漏电阻。耐压低于工作电压会造成电容的击穿, 有可能损坏线路甚至酿成火灾等事故, 耐压越高, 其体积越大、价格越高。电容的漏电阻越大越好, 理想的电容漏电阻应该为无穷大。

## 1-4 电路中的电源

电路中的电源是能量的提供者, 实际电源有发电机、电池、各种稳压电源和信号源, 理想电压源和电流源都是从实际电源中抽象出来的电路模型。

### 一、电压源

我们实际生活中所碰到的绝大部分电源是电压源。理想电压源元件的输出端电压是一个恒定值, 输出电流取决于负载电阻, 图 1-8 (a)、(b) 是理想电压源的符号和它的伏安特性。伏安特性反映的是一个元件中电压和电流的关系, 理想电压源的输出电压是一个恒定值, 它不会随输出电流的变化而变化, 而实际电压源由于其内部有电阻, 因此随着输出电流的加大, 输出的电压将逐渐下降。对于线形元件, 伏安特性的画法是确定两点, 如电流等于零时的电压和电压等于零时的电流。图 1-8 (c) 是实际电压源, (d) 是实际电压源的伏安特性。一般的电池或直流电源都可以看成是一个实际直流电压源, 直流电压源是一种电压不随时间变化的电源, 而交流电源的输出电压随时间变化而产生周期性的变化, 但其变化的幅值范围却是一个固定值, 发电厂发的电绝大多数为交流电。

实际使用的电源和理想电源存在着区别, 当外加负载电阻变小时, 电源输出的电流将加大, 输出电压也会随之下降。实际电压源可以看成是一个理想电压源串联一个电阻组成的,

这电阻称为电源的内阻  $R_s$ ，它的伏安特性如图 1-8 (d) 所示。

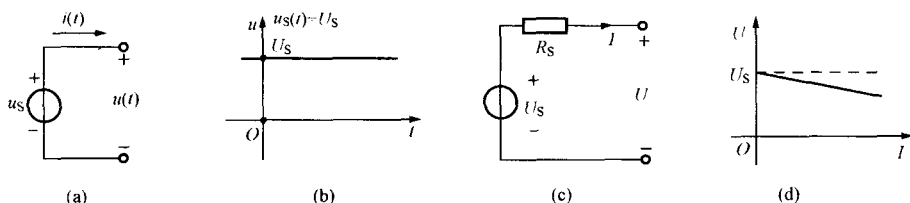


图 1-8 电压源符号和外特性 (伏安特性)

(a) 理想电压源符号; (b) 理想电压源伏安特性; (c) 实际电压源符号; (d) 实际电压源伏安特性

电压源不一定是发出功率的，电压源发出的功率和电流有关。当电压源的电压和电流非关联方向时，电源输出功率，两者关联方向时电压源也吸收功率，如手机电池的充电状态就是电压源吸收功率的状态。

选择电压源的时候，首先考虑的是电压源的性质（是交流电还是直流电）、输出电压值和输出电流的范围。在电路系统中，正常的电压源和负载连接，如电压源输出电流为零时表明整个电路处于开路或断路状态；如电流很大、电压趋于零则表示整个电路处于短路状态，短路时负载上并没有得到功率，电压源发出的功率最大，且全都消耗在电源的内阻上，这会导致电压源急剧发热而损坏电源，因此电压源工作时要绝对避免短路现象。

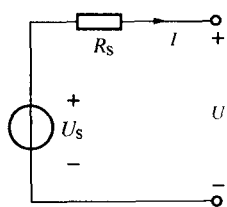


图 1-9 [例 1-11] 图

**【例 1-11】** 实际电压源开路时电压  $U_s$  为 6V，短路时电流  $I$  为 12A，求该实际电压源的内阻  $R_s$  和开路、短路时电压源发出的功率。

**解** 根据题意，画出其电路如图 1-9 所示，则

$$R_s = \frac{U_s}{I} = \frac{6}{12} = 0.5(\Omega)$$

开路时电流为 0，电压源发出的功率为 0。

短路时电压源发出的功率为  $P = 6 \times 12 = 72 \text{ (W)}$ 。

## 二、电流源

电流源在实际工作中是较少的，但在一定的条件下电流源是存在的，例如在超导体内一旦有电流形成，那该电流是不会消失的，可以理解为超导体内有一个电流源存在。理想电流源是指输出电流为恒定值的、输出电压取决于外电路的一种电源。而实际电流源由理想电流源并联电阻组成，它们的符号和外特性如图 1-10 所示，电流源上的箭头表示电流的输出方向。

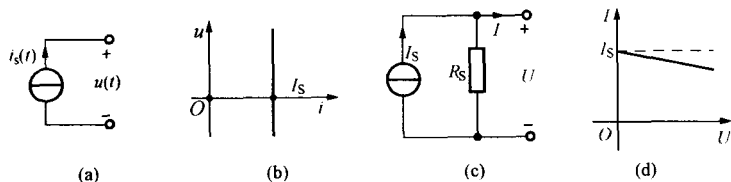


图 1-10 电流源的符号和外特性

(a) 理想电流源符号; (b) 理想电流源伏安特性;

(c) 实际电流源符号; (d) 实际电流源伏安特性

和电压源一样，电流源也有交直流之分。趋于理想的电流源其所并联的电阻也趋于无穷