

全国高职高专机电专业系列规划教材

电工电子技术与应用

DIANGONG DIANZI JISHU YU YINGYONG

王 屹 刘海霞 主编



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

全国高职高专机电专业系列规划教材

电工电子技术与应用

王屹 刘海霞 主编

中国科学技术出版社

CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

· 北 京 ·

BEIJING

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术与应用/王屹,刘海霞主编. —北京:中国科学技术出版社,2010.8

(全国高职高专机电专业系列规划教材)

ISBN 978 - 7 - 5046 - 5675 - 9

I. ①电… II. ①王… ②刘… III. ①电工技术 - 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. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 137651 号

本社图书贴有防伪标志,未贴为盗版。

内 容 摘 要

本书是高等职业教育机电类专业系列规划教材之一。全书共分 11 章,主要内容有直流电路、正弦交流电路、电磁学与变压器、电动机、低压电器与控制电路、二极管与三极管、直流稳压电源、放大电路、数字电路基础、常见组合逻辑电路、时序逻辑电路。

为体现职业教育的特点,本书以应用为目的,用工程观点删繁就简,提高实用性;同时根据职业教育的目标和特点,在相关章节后面配有实训项目,将理论知识与实践技能有机融为一体;为拓展读者的视野,每一章后面配有阅读与应用。

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

策划编辑	林 培 孙卫华	责任校对	林 华
责任编辑	孙卫华	责任印制	安利平

发行部:010 - 62173865 编辑室:010 - 84123361 - 6029

<http://www.kjpbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京蓝空印刷厂印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:20.625 字数:502 千字

2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷 定价:38.00 元

ISBN 978 - 7 - 5046 - 5675 - 9/TM · 30

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

前 言

本书是高等职业教育机电类专业系列规划教材，是一本既有较深的理论知识，又有较强的实践技能的综合性教材。主要适用于高等职业教育机电一体化、机械制造、数控技术、模具制造等专业，也可作为职业培训教材或供相关技术人员参考。

随着我国经济的发展，国家对技术应用型人才的需求越来越大，因此推动了高等职业教育的迅速发展。由于各个院校的办学特色不同，因此对教材的需求也就不同。本书是根据《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》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位，提高学生技能的培养为宗旨，在多年教学改革与实践的基础上编写而成的。

为体现职业教育的特点和高职高专人才培养目标的要求，本书在内容安排上以应用为目的，用工程观点删繁就简，提高实用性；同时根据职业教育的目标和特点，在相关章节后面配有实训项目，将理论知识与实践技能有机的融为一体；为拓展读者的视野，每一章后面配有阅读与应用。

具体特点如下：

(1) 本课程是一门综合性的专业基础课，包括了电工基础、电机、电气控制、模拟电子、数字电子等内容，在内容的选取上，以人才培养目标为宗旨，以能力培养为目的，强调知识的“适量”和“够用”。

(2) 突出职业教育，接近工程实际，将理论与实践有机结合，注重能力培养。

(3) 考虑到学生的接受能力，教材处理上，注重定性分析，减少定量分析。相关章的后面加一个综合应用实例，将这一章的知识综合梳理，既让理论知识得到升华，也使实践技能得到提高。

(4) 为拓展读者的视野，每一章的后面加了阅读与应用，供有余力的读者阅读。

本书由王屹、刘海霞担任主编，高芳、贾芳云、蒋威、张建才担任副主编，杨华、王瑞峰、高锐、晁阳、谢春生参编。全书共分为十一章，具体分工如下：刘海霞编写第一章，高芳编写第十一章，贾芳云编写第二章，王瑞峰编写第三、第五章，张建才编写第四章，杨华编写第六章，蒋威编写第八章，高锐编写第九章，王屹编写第七、第十章，并负责全书统稿。

在编写过程中，参考了一些有关电工、电子方面的科技图书，在参考文献中一并列出，借本书出版之机，对本书参考文献的作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中定会有疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者
2010 年 2 月

《电工电子技术与应用》编委会

主 编 王 屹 刘海霞

副主编 高 芳 贾芳云 蒋 威 张建才

编 委 杨 华 王瑞峰 高 锐 晁 阳
谢春生

目 录

第一章 直流电路及其分析方法	1
第一节 电路及电路模型	1
第二节 电路的基本元件	6
第三节 基尔霍夫定律	10
第四节 简单电路分析及等效变换	14
第五节 复杂电路的分析	20
实训 万用表的使用	26
本章小结	29
习 题	30
阅读与应用	32
第二章 正弦交流电路	34
第一节 交流电的基本概念	34
第二节 单一参数的正弦交流电路	41
第三节 正弦交流电路的串联和并联	48
第四节 功率因数的提高	62
第五节 三相交流电路	65
实训 日光灯电路的安装及功率因数提高	72
本章小结	75
习 题	77
阅读与应用	79
第三章 磁路与变压器	82
第一节 磁场的基本物理量	82
第二节 铁磁物质的磁化	83
第三节 磁路概述	86
第四节 变压器的构造及分类	88
第五节 变压器的工作原理	90
第六节 变压器铭牌及外特性	92
第七节 三相变压器	95
第八节 变压器绕组的极性	95
本章小结	97
习 题	98
阅读与应用	98
第四章 电动机	101
第一节 三相异步电动机的构造与工作原理	101

第二节	异步电动机的铭牌和技术数据	105
第三节	三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	106
第三节	三相异步电动机的运行与控制	113
本章小结	.....	117
习 题	.....	118
阅读与应用	.....	119
第五章	低压电器及基本控制电路	122
第一节	常用低压电器	122
第二节	三相异步电动机的基本控制电路	130
实训	三相异步电动机正反转控制电路	136
本章小结	.....	137
习 题	.....	138
阅读与应用	.....	139
第六章	二极管与晶体三极管	141
第一节	二极管	141
第二节	晶体三极管	146
实训	二极管与三极管的检测	151
本章小结	.....	155
习 题	.....	156
阅读与应用	.....	157
第七章	直流稳压电源	160
第一节	单相半波整流电路	160
第二节	单相桥式整流电路	161
第三节	滤波电路	163
第四节	硅稳压管稳压电路	167
实训	直流稳压电源的电路连接与测试	171
本章小结	.....	174
习 题	.....	175
阅读与应用	.....	176
第八章	放大电路	179
第一节	放大电路的基本概念	179
第二节	共发射极单管放大器	181
第三节	放大电路的小信号等效电路分析	184
第四节	射极输出器及静态工作点稳定电路	186
第五节	多级放大电路	189
第六节	功率放大电路	192
第七节	集成运算放大器介绍	194
第八节	放大器中的负反馈	202
第九节	运算放大器的应用	208

本章小结	212
实训 功率放大电路的制作	214
习 题	216
阅读与应用	219
第九章 数字电路基础	222
第一节 概述	222
第二节 数制和码制	223
第三节 逻辑代数的基本知识	227
第四节 数字电路的开关元件	237
第五节 逻辑门	242
第六节 集成逻辑门电路	246
实训 逻辑测试笔的制作	252
本章小结	254
习 题	255
阅读与应用	257
第十章 常见组合逻辑电路	260
第一节 编码器	260
第二节 译码器	263
第三节 数码显示译码器	265
第四节 加法器	267
第五节 比较器	269
实训 编码、译码、显示电路的连接和测量	272
本章小结	276
习 题	277
阅读与应用	278
第十一章 时序逻辑电路	280
第一节 RS 触发器	280
第二节 集成触发器	286
第三节 寄存器	295
第四节 计数器	301
实训 竞赛抢答器的制作	311
本章小结	315
习 题	316
阅读与应用	318
参考文献	322

第一章 直流电路及其分析方法

直流电路及其分析方法在电路及电路分析中有着非常重要作用，它所涉及的相关定理、定律是交流电路、电子电路等其他电路分析的基础和依据。本章主要介绍电路的组成、作用及其工作状态；电路的主要物理量、有源元件和无源元件，电路中各种等效变换；电路的基本定理、定律及其在电路中的应用。

第一节 电路及电路模型

一、电路的组成及作用

电路是电流的通路。一个完整的电路是由电源、负载、中间环节（包括开关和导线等）三部分按一定方式组成的。其中，电源是将其他形式的能量转变成电能的装置，即电路中提供电能的设备。如发电机、蓄电池、光电池等都是电源。负载是取用电能并将其转换为其他形式能量的装置，如电灯、电动机、扬声器等。中间环节是传输、控制电能或信号的部分，它连接电源和负载，如连接导线、控制电器、保护电器、放大器等。

现代工程技术领域中存在着许多种类繁多、形式和结构各不相同的电路，但就其功能而言，不外两个方面电路：一是进行能量的转换和电能传输及分配，即电力电路；二是进行信号的处理、传递，即信号电路。如图 1-1 所示的简单照明电路示意图就是一个最简单的电力电路，当合上开关，电路中就有电流通过，灯泡就亮起来，这时电能转化为热能和光能，它完成了能量的传输、转换；如图 1-2 所示扩音机就是一个最简单的信号电路，当话筒（信号源，相当于另一类电源）将语言或音乐（通常称为信息）转换成电信号，放大器（中间环节）放大电信号，扬声器（负载）将放大后的电信号还原成声音，完成了信号的处理、传递。

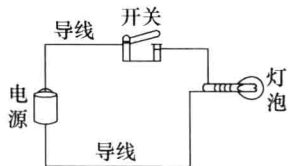


图 1-1 简单照明电路

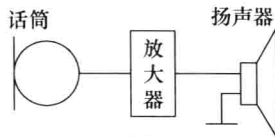


图 1-2 扩音机电路

二、电路模型

实际的电路器件在工作时的电磁性质是比较复杂的，绝大多数器件具备多种电磁效应，给分析问题带来困难。为了使问题得以简化，以便于探讨电路的普遍规律，在分析和研究具体电路时，常用一些理想电路元件及其组合来表征电气设备、电工器件的主要电性能。所谓理想电路元件，就是把实际电器件忽略次要性质，只表征它的主要电性能的“理

想化了”的“元件”。这样的元件主要有电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源和理想电流源等，具体符号见表 1-1。

表 1-1 部分理想电路元件名称及模型符号

元件名称	模型符号	元件名称	模型符号
开关		理想电压源	
电阻		理想电流源	
电感		* 电池	
电容		电流表	
灯		电压表	

用理想元件及其组合代替实际电路中的电气设备、电器件，便形成该实际电路所对应电路模型。所谓电路模型，就是把实际电路的本质特征抽象出来所形成的理想化了的电路。如图 1-3 的照明电路和它的电路模型

今后本书中未加特殊说明时，我们所说的电路均指这种抽象的电路模型，所说的元件均指理想元件。

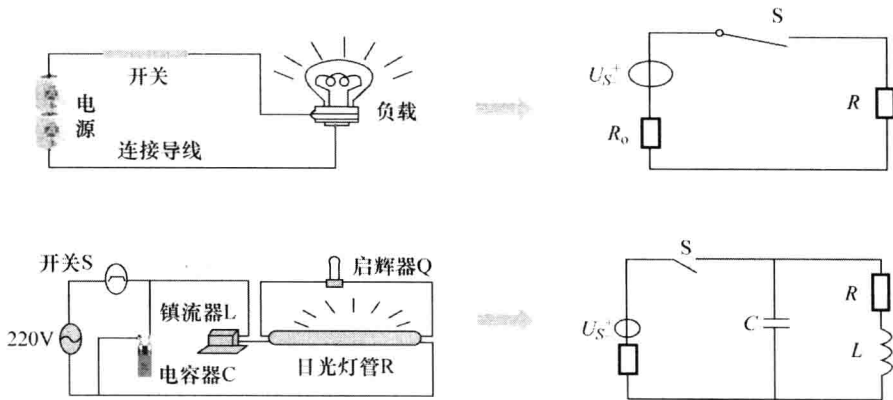


图 1-3 照明实际电路和电路模型

三、电路的基本物理量

(一) 电流

在电场的作用下，带电粒子有规则的定向运动就形成了电流，习惯上规定正电荷运动的方向为电流的方向。表征电流强弱的物理量叫电流强度，在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量，设在 dt 时间内通过导体横截面的电荷为 dq ，则通过该截面的电流为：

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

在一般情况下电流是随时间而变的，如果电流不随时间而变，即 $dq/dt = \text{常量}$ ，则这种

电流就称为直流电流,用大写字母 I 表示,它所通过的路径就是直流电路。在直流电路中,式 (1-1) 可写成:

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

式中, Q 是在时间 t 内通过导体截面的电荷量。

我国法定计量单位是以国际单位制 (SI) 为基础的。它规定电流的单位是 A (安培)。 $1\text{A} = 1\text{C}/1\text{s}$ 。除安培外,常用的电流单位还有 kA (千安)、mA (毫安) 和 μA (微安)。 $1\text{kA} = 10^3\text{A}$, $1\text{A} = 10^3\text{mA}$, $1\text{A} = 10^6\mu\text{A}$ 。

电流在导线中或一个电路元件中流动的实际方向只有两种可能,见图 1-4。当有正电荷的净流量从 A 端流入并从 B 端流出时,习惯上就认为电流是从 A 端流向 B 端,反之,则认为电流是从 B 端流向 A 端。电路分析中,有时对某一段电路中电流实际流动方向很难立即判断出来,有时电流的实际方向还在不断地改变,因此很难在电路中标明电流的实际方向。由于这些原因,引入了电流“参考方向”的概念。

在图 1-4 中先选定其中一个方向作为电流的方向,这个方向叫做电流的参考方向。当然所选的电流方向并不一定就是电流实际的方向。把电流看成代数量,若电流的参考方向与它的实际方向一致,则电流为正值 ($I > 0$); 反之,若电流的参考方向与它的实际方向相反,则电流为负值 ($I < 0$),如图 1-5 所示。于是,在指定的电流参考方向下,电流值的正和负,就可以反映出电流的实际方向。因此,在参考方向选定之后,电流值才有正负之分,在未选定参考方向之前,电流的正负值是毫无意义的。

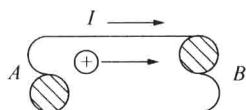


图 1-4 电流方向

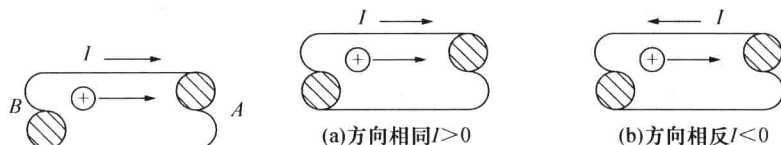


图 1-5 电流参考方向与它的实际方向间的关系

电流的参考方向是任意指定的,在电路中一般用箭头表示。也有用双下标表示的,如 I_{ab} ,其参考方向是由 a 指向 b 。

(二) 电压

在如图 1-6 所示电源的两个极板 a 和 b 上分别带有正、负电荷,这两个极板间就存在一个电场,其方向是由 a 指向 b 。当用导线和负载将电源的正负极连接成为一个闭合电路时,正电荷在电场力的作用下由正极 a 经导线和负载流向负极 b (实际上是自由电子由负极经负载流向正极),从而形成电流。电压是衡量电场力做功能力的物理量。我们定义: a 点至 b 点间的电压 U_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷由 a 点经外电路移到 b 点所做的功。

当电荷的单位为 C (库仑),功的单位为 J (焦耳) 时,电压的单位为伏特,简称 V (伏),即 $1\text{V} = 1\text{J}/1\text{C}$ 。在工程中还可用 kV (千伏)、mV (毫伏) 和 μV (微伏) 为计量单位。他们之间的换算关系是

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

电压的实际方向定义为正电荷在电场中受电场力作用 (电场力作正功时) 移动的方

向。与电流一样，电压也有自己的参考方向，如下图用实线箭头或双下标表示。电压的参考方向也是任意指定的。在电路中，电压的参考方向可以用一个箭头来表示，也可以用正（+）、负（-）极性来表示，正极指向负极的方向就是电压的参考方向；还可以用双下标表示，如 U_{AB} 表示 A 和 B 之间的电压的参考方向由 A 指向 B （图 1-7）。同样，在指定的电压参考方向下计算出的电压值的正和负，就可以反映出电压的实际方向。“参考方向”在电路分析中起着十分重要的作用。

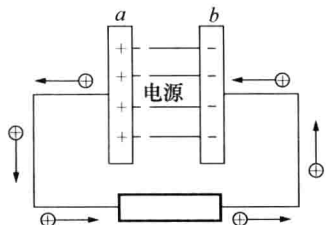


图 1-6 电场力对电荷做功

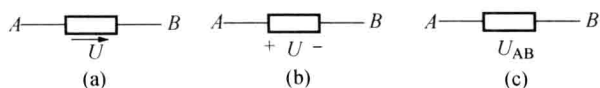


图 1-7 电压的参考方向表示法

对一段电路或一个元件上电压的参考方向和电流的参考方向可以独立地加以任意指定。如果指定电流从电压“+”极性的一端流入，并从标以“-”极性的另一端流出，即电流的参考方向与电压的参考方向一致，则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向。

（三）电位

在电路中任选一点为参考点，则某点到参考点的电压就叫做这一点（相对于参考点）的电位。参考点在电路中电位设为零又称为零电位点，在电路图中用符号“ $\perp$ ”表示，如图 1-8 所示。电位用符号 φ 表示， A 点电位记做 φ_A 。

如当选择 O 点为参考点时，则

$$\varphi_A = U_{AO} \quad (1-3)$$

如果 A 点、 B 点的电位分别为 φ_A 与 φ_B ，则

$$U_{AB} = U_{AO} + U_{OB} = U_{AO} - U_{BO} = \varphi_A - \varphi_B \quad (1-4)$$

所以，两点间的电压就是该两点电位之差，电压的实际方向是由高电位点指向低电位点，有时也将电压称为电压降。

注意：电路中各点的电位值与参考点的选择有关，当所选的参考点变动时，各点的电位值将随之变动，因此，参考点一经选定，在电路分析和计算过程中，不能随意更改。习惯上认为参考点自身的电位为零，即 $\varphi_0 = 0$ 所以参考点也叫零电位点。

（四）电能、电功率

正电荷从电路元件的电压“+”极，经元件移到电压的“-”极，是电场力对电荷做功的结果，这时元件吸取能量。相反地，正电荷从电路元件的电压的“-”极经元件移到电压“+”极，元件向外释放能量。对于直流电能量

$$W = UIt \quad (1-5)$$

在实际应用中，电能的另一个常用单位是千瓦时（1kWh），1kWh 就是常说的 1 度电。

$$1 \text{ 度} = 1\text{kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ (J)} \quad (1-6)$$

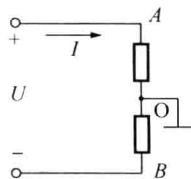


图 1-8 电位示意图

式中, W ——电路所消耗的电能, 单位为焦耳 (J);

U ——电路两端的电压, 单位为伏特 (V);

I ——通过电路的电流, 单位为安培 (A);

t ——所用的时间, 单位为秒 (s)。

电功率表征电路元件或一段电路中能量变换的速度, 其值等于单位时间 (秒) 内元件所发出或接受的电能。功率

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UIt}{t} = UI \quad (1-7)$$

式中, P ——电路吸收的功率, 单位为瓦特 (W)。P, U, I, t 的单位分别为瓦特 (W)、伏特 (V)、安培 (A)、秒 (s), 常用的电功率单位还有千瓦 (kW)、毫瓦 (mW), 它们之间的换算关系为

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

在电压和电流为关联参考方向下, 电功率 (用 P 表示) 可用 (1-7) 式求得; 在电压和电流为非关联参考方向下电功率 P 可由 (1-8) 式求得,

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

若计算得出 $P > 0$ 表示该部分电路吸收或消耗功率, 若计算得出 $P < 0$ 表示该部分电路发出或提供功率。

以上有关功率的讨论同样适用于任何一段电路, 而不局限于一个元件。

例 1-1 一空调器正常工作时的功率为 1214W, 设其每天工作 4 小时, 若每月按 30 天计算, 试问一个月该空调器耗电多少度? 若每度电费 0.80 元, 那么使用该空调器一个月应缴电费多少元?

解: 空调器正常工作时的功率为

$$1214\text{ W} = 1.214\text{ kW}$$

一个月该空调器耗电

$$W = Pt = 1.214\text{ kW} \times 4\text{ h} \times 30 = 145.68\text{ kWh}$$

使用该空调器一个月应缴电费

$$145.68 \times 0.80 \approx 116.54 \text{ (元)}$$

例 1-2 试求图 1-9 所示元件的功率, 并说明是吸收功率还是发出功率。

解: 图 1-9 (a) 图中, 电压与电流为关联参考方向, $P = UI = 3 \times 6 = 18\text{ (W)}$, $P > 0$, 该元件吸收功率;

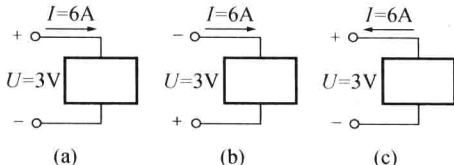


图 1-9

图 1-9 (b) 图中, 电压与电流为非关联参考方向, $P = -UI = -3 \times 6 = -18\text{ (W)}$, $P < 0$, 该元件发出功率;

图 1-9 (c) 图中, 电压与电流为关联参考方向, $P = UI = 3 \times 6 = 18\text{ (W)}$, $P > 0$, 该元件吸收功率;

< 0 , 该元件发出功率。

第二节 电路的基本元件

前已述及, 在电路理论中, 经过科学的抽象后, 把实际电路元件用足以反映其主要电磁性质的一些理想元件替代, 简称为电路元件。下面, 我们讨论的常用的无源的理想电路元件有: 电阻元件、电容元件和电感元件; 有源的理想元件有: 电压源和电流源。

一、无源元件

(一) 电阻元件

电阻元件是反映消耗电能这一物理现象的一个二端电路元件, 分为线性电阻元件和非线性电阻元件。在任何时刻, 对于线性电阻元件, 它两端的电压与其电流的关系服从欧姆定律, 图形符号见图 1-10。

当电压与电流为关联参考方向

$$U = IR \quad (1-9)$$

当电压与电流为非关联参考方向时图

$$U = -IR \quad (1-10)$$

令 $G = \frac{1}{R}$, 定义为电阻元件的电导, 则式 (1-9) 变成 $I = GU$ 。

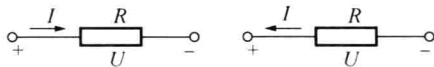
电阻的单位为欧姆 (Ω), 简称欧; 电导的单位为西门子 (S)。

如果电阻元件电压的参考方向与电流的参考方向相反 [见图 1-10 (b)], 则欧姆定律应写为 $U = -IR$ 。或 $I = -GU$ 所以, 公式必须与参考方向配套使用。

在电压和电流的关联方向下, 任何时刻线性电阻元件吸取的电功率。

$$P = UI = R I^2 = \frac{U^2}{R} \quad (1-11)$$

电阻 R 是一个与电压 U 、电流 I 无关的正实常数, 故功率 P 恒为非负值。这说明线性电阻元件 ($R > 0$) 不仅是无源元件, 并且还是耗能元件。



(a) 关联参考方向 (b) 非关联参考方向

图 1-10 电压电流参考方向的关系

(二) 电容元件

线性电容元件是一个理想无源二端元件, 它在电路中的图形符号如图 1-11 所示, C 称为电容元件的电容, 单位是法拉 (F); u 为两端变化的电压, i 为两端变化的电流, 即交流电压电流的瞬时值。

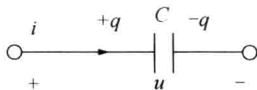


图 1-11 线性电容元件的图形符号

电容极板上的电荷量 q 与其两端的电压 u 有以下关系:

$$q = Cu \quad (1-12)$$

当 $q = 1 \text{ C}$ 、 $u = 1 \text{ V}$ 时, $C = 1$ 法拉。法拉简称法, 用 F 表示。实际电容器的电容往往比 1 法拉小得多, 因此通常采用微法 (μF) 和皮法 (pF) 作为电容的单位, 它们之间的关系是:

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

当电容极板间电压 u 变化时, 极板上电荷 q 也随着改变, 于是电容器电路中出现电流 i 。如指定电流参考方向为流进正极板, 也即与电压 u 的参考方向一致, 如图 1-11 所示, 则电流

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-13)$$

式 (1-13) 指出: 任何时刻, 线性电容元件中的电流与该时刻电压的变化率成正比。在直流电路中, 当电压不随时间变化时, 则电流为零, 这时电容元件相当于开路。故电容元件有隔断直流 (简称隔直) 的作用。

电容元件是一种无源的储能元件, 所储存的电场能量为:

$$W_C = \frac{1}{2} Cu^2 \quad (1-14)$$

(三) 电感元件

由导线绕制而成的线圈或把导线绕在铁芯或磁芯上就构成一个常用的电感器。见图 1-12 (该图中同时画出了线性电感元件在电路中的图形符号)。

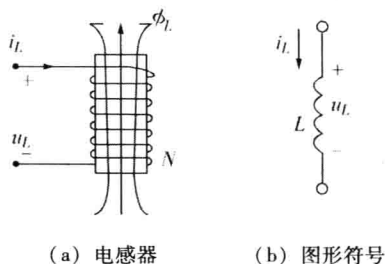


图 1-12 线性电感元件的图形符号

在电感元件中电流 i 随时间变化时, 根据楞次定律, 感应电压

$$u_L = \frac{d\phi_L}{dt} = L \frac{di_L}{dt} \quad (1-15)$$

式中, L 称为该元件的自感或电感。

在 SI 单位制中, 磁通和磁通链的单位是韦伯 (Wb), 自感的单位是亨利 (H), 简称亨。有时还采用毫亨 (mH) 和微亨 (μH) 作为自感的单位。

换算关系为:

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

由式 (1-15) 可知: 任何时刻, 线性电感元件上的电压与该时刻电流的变化率成正比。对于直流电, 电流不随时间变化, 则感应电压为零, 这时电感元件相当于导线。

电感元件是一种无源的储能元件, 电感元件在任何时刻 t 所储存的磁场能量 $W_L(t)$ 将等于它所吸收的能量而可写为:

$$W_L(t) = \frac{1}{2} Li_L^2(t) \quad (1-16)$$

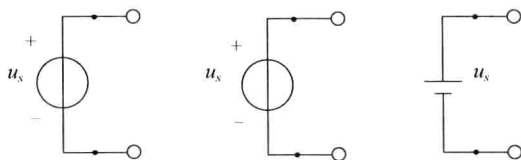
二、有源元件

把其他形式的能转换成电能的装置称为有源元件，有源元件经常可以采用两种模型表示，即电压源模型和电流源模型。

(一) 电压源

1. 理想电压源

输出电压不受外电路影响，只依照自己固有的随时间变化的规律变化的电源，称为理想电压源。图 1-13 (a) 是理想电压源的一般表示符号，符号“+”“-”号是其参考极性。如电压源的电压为常数，就称为直流电压源，其电压一般用 U_s 来表示，图 (b) 表示理想直流电压源。有时涉及的直流电压源是电池，在这种情况下还可以用图 (c) 符号，其中长线段表示电压源的高电位端，短线段表示电压源的底电位端。理想直流电压源伏安特性曲线如图 1-14 所示，它是一条平行与横轴的直线，表明其端电压与电流的大小及方向无关。



(a) 一般表示 (b) 理想直流电源 (c) 电池

图 1-13 理想电压源的图形符号

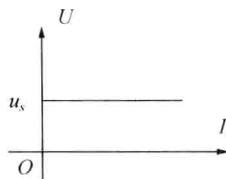
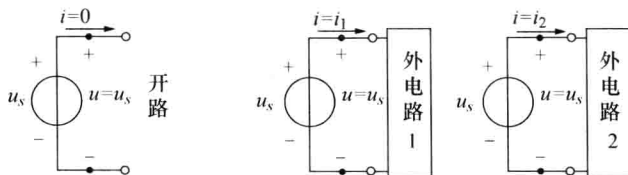


图 1-14 理想电压源的伏安特性

理想电压源具有如下几个性质：

- (1) 理想电压源的端电压是常数 U_s ，或是时间的函数 $u(t)$ ，与输出电流无关。
- (2) 理想电压源的输出电流和输出功率取决于与它连接的外电路。

图 1-15 示出电压源的两个特点，图 (a) 表示电压源没有接外电路，电流 $i = 0$ ，这种情况称为“开路”，而图 (b) 的两个外电路 1、2 是不同的，因此这两种情况下的电流 i_1 和 i_2 也将是不同的。



(a) 不接外电路（开路） (b) 接外电路

图 1-15 同一个电压源接于不同外电路

根据所连接的外电路，电压源中电流的实际方向既可以从电压的高电位处流向低电位处，也可以从低电位处流至高电位处。如果电流从电压源的低电位处流向高电位处，那么电压源释放能量，这是因为正电荷逆着电场方向由低电位处移至高电位处，外力必须对它做功的缘故。这时，电压源起电源的作用，发出功率。反之，电流从电压源的高电位处流向低电位处，电压源吸收功率，这时电压源将作为负载出现。

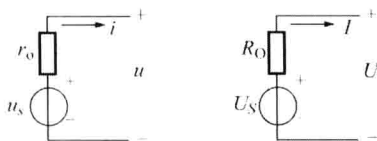
2. 实际电压源

理想电压源是从实际电源中抽象出来的理想化元件，在实际中是不存在的。像发电机、干电池等实际电源，由于电源内部存在损耗，其端电压都随着电流变化而变化，例如当电池接上负载后，其电压就会降低，这是由于电池内部有电阻的缘故。所以，可以采用如图 1-16 所示的方法来表示这种实际的电压源，即可以用一个理想电压源和一个电阻串联来模拟，此模型称为实际电压源模型，如图 1-16 (a) 所示。图 (b) 是实际直流电压源模型。

电阻 r_0 和 R_0 叫做电源的内阻，有时又称为输出电阻。实际电压源的端电压为：

$$\begin{aligned} u &= u_s - ir_0 \\ U &= U_s - IR_0 \end{aligned} \quad (1-17)$$

图 1-17 是实际直流电压源伏安特性曲线。



(a) 实际交流电压源 (b) 实际直流电压源

图 1-16 实际的电源模型

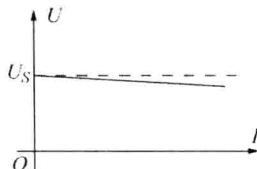
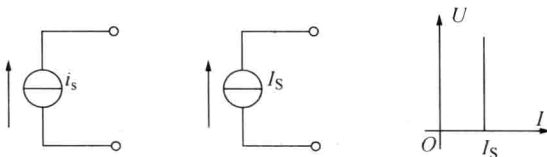


图 1-17 实际直流电压源的伏安特性曲线

(二) 电流源

1. 理想电流源

理想电流源也是一个二端理想元件。与电压源相反，通过理想电流源的电流与电压无关，不受外电路影响，只依照自己固有的随时间变化的规律而变化，这样的电源称为理想电流源。图 1-18 (a) 是理想电流源的一般表示符号，其中 i_s 表示电流源的电流，箭头表示理想电流源的参考方向。图 (b) 表示理想直流电流源，其伏安特性曲线如图 (c) 所示，它是一条平行与纵轴的直线，表明其输出电流与端电压的大小无关。



(a) 理想电流源 (b) 理想直流电流源 (c) 伏安特性

图 1-18 理想电流源的图形符号和伏安特性

理想电流源具有如下几个性质：

(1) 理想电流源的输出电流是常数 I_s ，或是时间的函数 $i(t)$ ，不会因为所连接的外电路的不同而改变，与理想电流源的端电压无关。

(2) 理想电流源的端电压和输出功率取决于它所连接的外电路。

2. 实际电流源模型

理想电流源是从实际电源中抽象出来的理想化元件，在实际中也是不存在的。像光电池这类实际电源，由于其内部存在损耗，接通负载后输出电流降低。这样的实际电源，可