

教育部推荐教材

21世纪高职高专系列规划教材

电工技术

主 编	刘陆平	卞祖武	胡 蓉
副主编	赖肖冰	肖祖铭	陆梅林
主 审	易 群		



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

教育部推荐教材

21世纪高职高专系列规划教材

电工技术

主 编	刘陆平	卞祖武	胡 蓉
副主编	赖肖冰	肖祖铭	陆梅林
主 审	易 群		
参 编	付 麟	杨伟兵	方爱红
	易 群	闵祥娜	姜余发
	魏海燕	李彩丽	邓利专
	徐林林		



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工技术 / 刘陆平, 卞祖武, 胡蓉主编. — 北京: 北京师范大学出版社, 2010.8

ISBN 978-7-303-11059-9

I. 电… II. ①刘… ②卞… ③胡… III. 电工技术
IV. ① TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 099663 号

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印 刷: 北京嘉实印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 184 mm × 260mm

印 张: 12

字 数: 241 千字

版 次: 2010 年 8 月第 1 版

印 次: 2010 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 20.00 元

策划编辑: 周光明

责任编辑: 周光明

美术编辑: 高 霞

装帧设计: 华鲁印联

责任校对: 李 茵

责任印制: 李 啸

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

北京读者服务部电话: 010-58808104

外埠邮购电话: 010-58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-58800825

前 言

本书是根据高职高专培养技术应用型人才的特点,并考虑到目前多数高职高专院校的非电专业的教学计划而编写的。突出了高等职业教育注重实际技术和能力培养,以及培养既能动脑又能动手的应用型人才的特点。

本书首先介绍了电工技术基础理论,重点强调基本理论、基本知识和基本技能;然后介绍了交流电、工企供电、电气照明及安全用电常识;再介绍变压器、电动机及其控制系统;最后介绍了可编程控制器和实用的综合实训等工业生产和日常生活中的实用技术,为学生学习后续电子技术和专业课程打下基础,也为从事有关工作和继续深造作好准备。

为突出高职高专教育的要求,本书具有以下几个方面特点。

(1) 适应性强:本书内容密切结合教育部颁布的电工技术课程的教学基本要求,力求做到,注重基础性和应用性,理论联系实际,侧重培养应用能力。培养学生分析、解决问题的能力;同时突出应用性,培养学生将电工技术应用于本专业和发展本专业的能力。

(2) 工学结合,培养能力:本书在教学内容安排中,先介绍电路中普遍适用的规律,再介绍不同类型电路的特殊规律;先一般后特殊,先简单后复杂;循序渐进,利于教学。还含有实用的综合实训内容,可使学生边学边练,实现工学结合。

(3) 精选内容,打好基础:本书内容简练,重点突出,层次分明,每章章首有“本章要点”、章末有“本章小结”。“本章要点”提纲挈领地提出学习重、难点。“本章小结”稍详细地介绍本章主要内容,重、难点知识和公式等。有利于发挥学生的主动性,培养学生自己探取知识的能力,从而提高教学效果。每章安排了一定数量的例题和习题,并附有部分参考答案,便于自学。

参加本书编写的有景德镇高等专科学校肖祖铭(第1章),南昌师范高等专科学校卞祖武(第2章的第1、2节),江西工业职业技术学院胡蓉(第2章的第3、4节),江西陶瓷工艺美术职业技术学院陆梅林(第3章),江西教育学院赖肖冰(第4、5章和第6章的第4节),江西交通职业技术学院付麟(第6章的第1、2、3节),江西交通职业技术学院刘陆平(第7、8章),漯河职业技术学院杨伟兵(第9章),江西交通职业技术学院方爱红(第10章),江西交通职业技术学院易群、闵祥娜(第11章)。全书图表由卞祖武和胡蓉负责统稿,其余部分由刘陆平负责统稿,最后全书由刘陆平负责定稿。

本书由江西交通职业技术学院易群担任主审,参编单位的各位领导对本书的编写和出版给予了大力支持,江西交通职业技术学院姜余发、魏海燕、李彩丽、邓利专、徐林林等参加了本书的部分编写工作,在此表示衷心的感谢。

由于电工技术学科发展迅速,课程改革日益深入,虽然我们精心组织,谨慎编写,但作者水平有限,加之时间比较仓促,误漏之处在所难免,请广大师生和读者批评指正。

编 者

2010年4月

目 录

第 1 章 电路的基本概念与基本定律

.....	(1)
1.1 电路与电路模型	(1)
1.1.1 电路	(1)
1.1.2 电路模型	(2)
1.2 电路中的基本物理量	(3)
1.2.1 电流	(3)
1.2.2 电压	(4)
1.2.3 功率和电能	(5)
1.3 理想的电路元件及电路的 三种工作状态	(6)
1.3.1 电阻元件	(6)
1.3.2 电感元件	(8)
1.3.3 电容元件	(8)
1.3.4 电压源、电流源及等效变换	(9)
1.3.5 电路的三种工作状态 ..	(12)
1.4 基尔霍夫定律	(13)
1.4.1 名称介绍	(13)
1.4.2 基尔霍夫电流定律	(13)
1.4.3 基尔霍夫电压定律	(14)
1.5 电路中电位的概念及计算	(15)

第 2 章 电路的分析方法

.....	(19)
2.1 支路电流法	(19)
2.2 叠加原理	(20)
2.3 节点电压法	(21)
2.4 戴维南定理	(22)

第 3 章 正弦交流电路

3.1 正弦交流电的基本概念

.....	(27)
3.1.1 交流电的周期、频率和角频率	(27)
3.1.2 交流电的瞬时值、最大值 和有效值	(28)
3.1.3 交流电的相位、初相位和 相位差	(28)

3.2 正弦交流电的相量表示法

.....	(29)
-------	------

3.3 单一参数正弦交流电路

.....	(31)
3.3.1 纯电阻电路	(31)
3.3.2 纯电感电路	(32)
3.3.3 纯电容电路	(34)

3.4 RLC 串联电路

.....	(35)
3.4.1 RLC 串联电路的电压、电流 和阻抗	(36)
3.4.2 RLC 串联电路的功率 ..	(37)

3.5 RL 串联与 C 并联电路

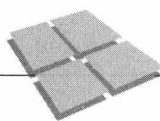
.....	(38)
3.5.1 电压与电流的关系	(38)
3.5.2 电路的功率	(38)
3.5.3 提高功率因数	(39)

3.6 电路中的谐振

.....	(39)
3.6.1 串联谐振	(40)
3.6.2 并联谐振	(41)

第 4 章 三相正弦交流电路

.....	(46)
4.1 三相电源	(46)
4.1.1 三相对称电动势	(46)



4.1.2 三相电源的星形连接 ... (47)	6.2.1 磁性材料的磁性能 (76)
4.2 负载星形连接的三相交流 电路 (48)	6.2.2 磁路的欧姆定律 (78)
4.2.1 三相负载对称的三相交流 电路 (49)	6.3 交流铁芯线圈电路 (78)
4.2.2 三相负载不对称的三相交 流电路 (50)	6.3.1 电磁关系 (79)
4.3 负载三角形连接的三相交流 电路 (51)	6.3.2 功率损耗 (79)
4.3.1 三相负载对称的三相交流 电路 (51)	6.4 变压器 (80)
4.3.2 三相负载不对称的三相 交流电路 (52)	6.4.1 变压器的基本结构和工作 原理 (80)
4.4 三相功率 (53)	6.4.2 变压器的额定值 (84)
第5章 工企供电、电气照明及安全 用电 (58)	6.4.3 变压器的外特性及效率 (85)
5.1 工企输电和配电 (58)	6.4.4 特殊变压器 (85)
5.1.1 发电和输电 (58)	6.4.5 变压器绕组的极性 (89)
5.1.2 配电系统 (59)	第7章 交流电动机 (94)
5.2 电气照明 (60)	7.1 三相异步电动机的结构和 工作原理 (94)
5.2.1 照明电路的基本概念 ... (60)	7.1.1 三相异步电动机的结构 (94)
5.2.2 常用电光源及灯具的安装 (63)	7.1.2 三相异步电动机的工作原理 (96)
5.2.3 照明电气附件与安装 ... (64)	7.1.3 转差率及其与转子各量的 关系 (98)
5.3 照明电路的设计与安装 (65)	7.2 三相异步电动机的特性 (101)
5.3.1 照明电路常用导线的选择 及敷设 (65)	7.2.1 转矩特性 (101)
5.3.2 断路器和漏电保护开关的 选择 (69)	7.2.2 机械特性 (101)
5.4 安全用电和节约用电 ... (70)	7.2.3 运行特性 (104)
5.4.1 触电及其保护措施 (70)	7.3 三相异步电动机的使用 (105)
5.4.2 电气防火、防爆和防雷 保护 (72)	7.3.1 三相异步电动机的铭牌数据 (105)
5.4.3 节约用电 (73)	7.3.2 三相异步电动机的选择 (107)
第6章 磁路和变压器 (75)	7.3.3 启动、调速、反转和制动 (109)
6.1 磁场的基本物理量 (75)	7.4 单相异步电动机 (114)
6.2 磁性材料和磁路的欧姆定律 (76)	7.4.1 电容分相式单相异步电动机 (115)

7.4.2 罩极式单相异步电动机	116
第8章 直流电动机和控制电机	120
8.1 直流电动机	120
8.1.1 直流电动机的结构	120
8.1.2 直流电动机的工作原理	120
8.1.3 直流电动机的机械特性	121
8.1.4 直流电动机的使用	124
8.2 控制电机	125
8.2.1 伺服电动机	126
8.2.2 步进电动机	128
第9章 继电接触控制电路	135
9.1 常用低压电器	135
9.1.1 组合开关	135
9.1.2 按钮	136
9.1.3 熔断器	137
9.1.4 交流接触器	137
9.1.5 中间继电器	139
9.1.6 热继电器	139
9.1.7 自动空气断路器	140
9.2 三相鼠笼式异步电动机的直接启动控制	140
9.2.1 点动控制	140
9.2.2 起停控制	141
9.3 三相鼠笼式异步电动机的正反转控制	142
9.4 三相鼠笼式异步电动机的行程控制	145
9.5 三相鼠笼式异步电动机的时间控制	146
第10章 可编程控制器	152
10.1 PLC的产生、发展、结构与组成	152
10.1.1 PLC的产生与发展	152
10.1.2 PLC的应用与特点	153
10.1.3 PLC的硬、软件结构与组成	154
10.1.4 PLC的工作过程	155
10.2 S7-200 PLC简介	156
10.2.1 S7-200的硬件结构	157
10.2.2 S7-200的软件结构	158
10.2.3 S7-200的编程元素	159
10.2.4 S7-200的编程指令	159
10.3 可编程控制器的应用举例	165
10.3.1 S7-200在三相异步电动机Y-△降压启动的应用	165
10.3.2 S7-200在交通信号灯控制方面的应用	166
第11章 综合实训	171
实训1 电工工具和仪器仪表的使用	171
实训2 照明电路的安装	172
实训3 三相交流电路的测量	173
实训4 变压器的维护及其应用	175
实训5 电动机的维护及其应用	177
实训6 三相异步电动机的继电器接触控制电路	178
实训7 可编程控制器的认知及其应用	179
主要参考文献	181

第1章 电路的基本概念与基本定律

本章要点

电路是电工技术和电子技术的理论基础。电路理论研究的对象是由理想元件构成的电路模型。本章说明了电路的组成、作用及工作状态,重点介绍电路模型的基本概念、基本物理量、基本定律和理想的电路元件,主要讨论电流和电压的参考方向、基尔霍夫定律,以及电路中电位的计算等。通过本章的学习,为后续分析复杂电路打下坚实的基础。

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路

在人们的日常生活和生产实践中,电路无处不在。从手电筒、电饭煲、电视机、电冰箱、计算机到自动化生产线等都是由实际电路构成的。电路就是为了满足某种实际需要,由一些实际元器件(例如电阻器、蓄电池、电容器、晶体管、集成电路等)按一定方式相互连接构成的电流通路。

1. 电路的组成

实际电路的组成方式很多,结构形式多种多样。例如,电能的产生、输送和分配是通过发电机、变压器、输电线等完成,它们形成了一个庞大而复杂的电路系统。但是,任何一个完整的实际电路,无论结构是十分简单,还是非常复杂,通常都是由电源、负载和连接电路三个部分组成。

(1)电源:它是提供电能或信号的装置,将各种非电能转化成电能。常见的电源有干电池、蓄电池、发电机和各种信号源等。

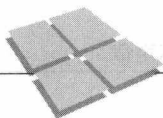
(2)负载:是各种用电设备的总称。与电源相反,负载是将电能转化成其他形式的能。家用电器、电动机等都是负载。

(3)连接电路:连接电源和负载的部分,它用来传输电能和传递信号。

2. 电路的作用

电路在日常生活、生产和科学研究工作中得到了广泛应用。在收录机、电视机、录像机、音响设备、计算机、通信系统和电力网络中都可以看到各种各样的电路。这些电路的形式多种多样,但就其作用而言,可以归为两类:

(1)电能的传输和转换。例如电力网络将电能从发电厂输送到各用电单位,供各种电气设备使用。



(2) 电信号的传输和处理。例如电视接收天线将所接收到的含有声音和图像信息的高频电视信号, 通过高频传输线送到电视机中, 这些信号经过选择、变频、放大和检波等处理, 恢复原来的声音和图像信息, 通过扬声器发出声音并在显像管屏幕上呈现图像。

1.1.2 电路模型

构成电路的常用元器件有电阻器、二极管、晶体管、电容、电感、变压器、电动机、电池等等。这些实际元器件的电磁特性往往十分复杂, 但就其电磁现象按性质可分为四类: 消耗电能、供给电能、储存电场能量和储存磁场能量。为了便于对实际电路进行分析和数学描述, 我们将实际的元件理想化。即在一定的条件下突出主要电磁性质, 忽略次要方面, 将它近似成理想电路元件。例如, 一个白炽灯的主要电磁特性为电阻特性(即消耗电能), 但当电流流过时还会产生磁场, 又表现出电感特性。

需要注意的是: 具有相同的主要电磁性能的实际电路部件, 在一定条件下可用同一模型表示。同一实际电路部件在不同的工作条件下, 其模型可以有不同的形式。如在直流情况下, 一个线圈的模型可以是一个电阻元件; 在较低频率下, 就要用电阻元件和电感元件的串联组合来表示; 在较高频率下, 还应考虑到导体表面的电荷作用, 即电容效应, 所以其模型还需要包含电容元件。

由理想的电路元件所组成的电路, 就是实际电路的电路模型, 简称电路。实际电路的电路模型取得恰当, 对电路的分析和计算结果就与实际情况接近; 模型取得不恰当, 则会造成很大误差, 有时甚至导致自相矛盾的结果。如果模型取得太复杂就会造成分析的困难; 如果取得太简单, 又不足以反映所需求解的真实情况。

例如, 根据手电筒的电路图如图 1-1 电路所示, 其电路模型如图 1-2 电路所示。图中用一个理想电压源 U_s 和一个电阻 R_0 串联组合模拟干电池的电磁特性, 建立它的电路模型。实际小灯泡在电流通过时, 除发光外还会产生磁场, 兼有电感的性质, 但它主要的电磁性质是耗电, 所以, 在忽略其次要因素后, 可用一个电阻来取代, 建立模型。建模时应依据不同的条件和精度要求, 用理想电路元件将实际电路部件的主要电磁性质及功能充分反映出来。一般情况下, 本课程分析的电路均指电路模型, 元件均指理想电路元件。

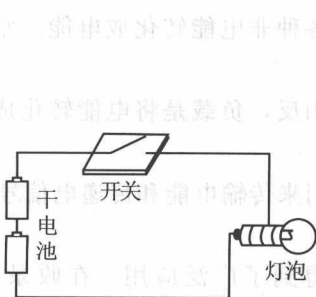


图 1-1 手电筒电路图

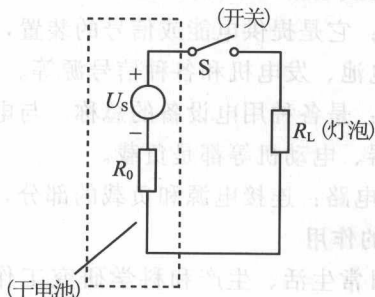


图 1-2 手电筒电路模型

1.2 电路中的基本物理量

1.2.1 电流

带电粒子(电子、离子等)的定向运动,形成电流。

1. 电流的大小

电流的大小由电流强度来衡量,电流强度是指单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流强度简称为电流,当电流的量值和方向随着时间按周期性变化时,称为交流电流,简称交流。常用英文小写字母 i 表示,即

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

当电流的量值和方向都不随时间变化时,称为直流电流,简称直流。直流电流常用英文大写字母 I 表示,即

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

在国际单位制中,电流的单位是安培(A)。此外,电流单位还常用的单位有千安(kA),毫安(mA),微安(μ A)等。它们的关系是

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

2. 电流的方向

规定正电荷的运动方向为电流的实际方向。在简单直流电路中,我们可以很容易地确定出电流的实际方向,但在复杂的电路中,电流的实际方向很难判断;而且在交流电路中,电流的实际方向是随时间变化的。因此,在分析与计算电路时,可任意规定某一方向作为电流的假定方向,称为参考方向。电流参考方向的表示有两种:

(1)用箭头表示:箭头的指向为电流的参考方向,如图 1-3(a)。

(2)用双下标表示:如 i_{ab} , 电流的参考方向由 a 指向 b, 如图 1-3(b)。

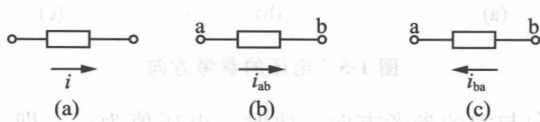


图 1-3 电流参考方向的表示方法

如图 1-3(c)用 i_{ba} 表示其参考方向由 b 指向 a, 显然 $i_{ab} = -i_{ba}$ 。

参考方向是任意选定的,而电流的实际方向是客观存在的。因此,所选定的电流参考方向并不一定就是电流的实际方向。当选定电流的参考方向与实际方向一致时, $i > 0$, 如图 1-4(a)所示;当选定电流的参考方向与实际方向相反时, $i < 0$, 如图 1-4(b)所示。

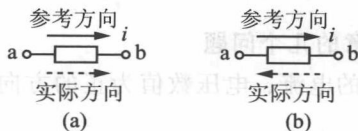
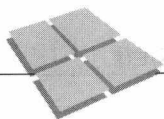


图 1-4 电流的参考方向与实际方向的关系



1.2.2 电压

1. 电压的大小

单位正电荷从 a 点移至 b 点时电场力所做的功称为 a、b 两点间的电压，用字母 u_{ab} 表示，即

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

式中， dq 为由 a 点移动到 b 点的电荷量， dW_{ab} 为移动过程中电荷电能的变化量。通常直流电压用大写字母 U 表示。

在国际单位制中，电压的单位是伏特(V)，常用的电压单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μV)。它们之间的换算关系为

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

2. 电压的方向

由于复杂的直流电路很难判断电压的实际方向，而交流电路中电压的实际方向是随时间而变化的。因此为了判断电压的实际方向，与电流一样也需要引入参考方向。电压参考方向的表示方法有三种：

(1)用正负极性表示：如图 1-5(a)所示，正极指向负极的方向就是电压的参考方向；

(2)用箭头表示：箭头的指向为电压的参考方向。如图 1-5(b)所示，由 a 至 b 的方向就是电压的参考方向；

(3)用双下标表示：如图 1-5(c)所示， u_{ab} 表示电压的参考方向由 a 至 b。

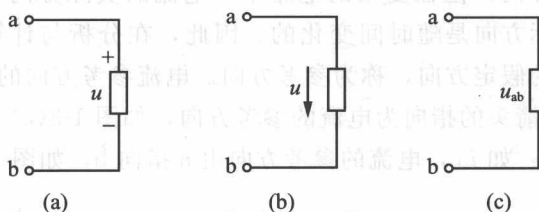


图 1-5 电压的参考方向

当电压的实际方向与它的参考方向一致时，电压值为正，即 $u > 0$ ，如图 1-6(a)所示；反之，当电压的实际方向与它的参考方向相反时，电压值为负，即 $u < 0$ ，如图 1-6(b)所示。

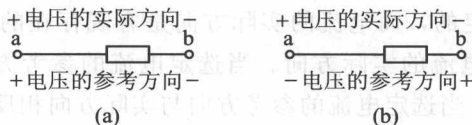


图 1-6 电压的参考方向与实际方向的关系

3. 使用参考方向需要注意的几个问题

(1)参考方向是人为规定的电流、电压数值为正的方向，在分析电路前必须先选定电压和电流的参考方向。

(2)参考方向一经选定,必须在图中相应位置标注(包括方向和符号),在计算过程中不得任意改变。

(3)参考方向可以任意选定而不影响计算结果,因为参考方向不同时,其表达式只是相差一负号,但实际方向不变,最后得到的实际结果仍然相同。

(4)电流的参考方向和电压的参考方向可以分别独立地设定。对于一个电路元件,当它的电压和电流的参考方向选为一致时,通常称为关联参考方向,如图1-7(a)所示。当一个电路元件的电压和电流的参考方向选为相反时,通常称为非关联参考方向,如图1-7(b)所示。但为了分析方便,常使同一个元件的电流参考方向与电压参考方向一致。



图 1-7 电流和电压的参考方向

1.2.3 功率和电能

在电路的分析和计算中,电能和功率的计算是十分重要的。一方面,电路在工作时总伴随有其他形式能量的相互交换;另一方面,电气设备和电路部件本身都有功率的限制,在使用时要注意其电流值或电压值是否超过额定值,过载会使设备或部件损坏,或是不能正常工作。

1. 功率

传送转换电能的速率叫电功率,简称功率,用字母 p 或 P 表示。功率 p 、电能 W 和电路中电压、电流的关系(电压、电流为关联参考方向)为

$$p = \frac{dW}{dt} = u \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-4)$$

直流时为

$$P = UI \quad (1-5)$$

如果电压、电流为非关联参考方向,则两式带负号,即

$$p = -ui, \quad (1-6)$$

直流时为

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

功率的国际单位为瓦[特],符号为 W。常用的功率单位还有 kW(千瓦)、MW(兆瓦)。它们之间的换算关系为

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

功率为正值时,说明这部分电路吸收(消耗)功率;若为负值时,则说明这部分电路提供(产生)功率。根据能量守恒定律可得:在任意时刻、任意闭合电路中所有负载吸收功率的总和等于所有电源提供功率的总和。

[例 1-1]图 1-8 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 P_1 、 P_2 和 P_3 , 并求整个电路的功率 P 。

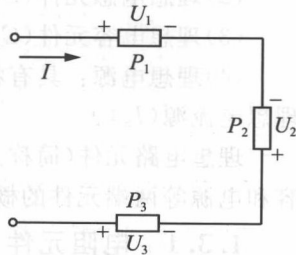
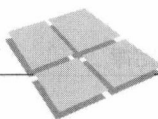


图 1-8 [例 1-1]图



解：元件 1 的电压、电流为关联参考方向， $P_1 = U_1 I = 4 \times 4 = 16 \text{ W}$ (吸收 16 W)

元件 2 和元件 3 的电压、电流为非关联参考方向，

$P_2 = -U_2 I = -(-8) \times 4 = 32 \text{ W}$ (吸收 32 W)， $P_3 = -U_3 I = 6 \times 4 = -24 \text{ W}$ (提供 24 W)

整个电路的功率为： $P = 16 + 32 - 24 = 24 \text{ W}$

【例 1-2】图 1-9 所示为一闭合电路， $I = 1 \text{ A}$ ， $U_1 = 10 \text{ V}$ ， $U_2 = 6 \text{ V}$ ， $U_3 = 4 \text{ V}$ 。求各元件功率，并分析电路的功率平衡关系。

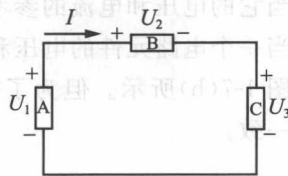


图 1-9 【例 1-2】图

解：元件 A：非关联方向， $P_1 = -U_1 I = -10 \times 1 = -10 \text{ W}$ ， $P_1 < 0$ ，产生 10 W 功率，电源。

元件 B：关联方向， $P_2 = U_2 I = 6 \times 1 = 6 \text{ W}$ ， $P_2 > 0$ ，吸收 6 W 功率，负载。

元件 C：关联方向， $P_3 = U_3 I = 4 \times 1 = 4 \text{ W}$ ， $P_3 > 0$ ，吸收 4 W 功率，负载。

整个电路的功率为： $P_1 + P_2 + P_3 = -10 + 6 + 4 = 0$ ，功率平衡。

2. 电能

从 t_1 到 t_2 时间内，电路吸收(消耗)的电能为：

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P dt \quad (1-8)$$

直流时为：

$$W = P(t_2 - t_1) \quad (1-9)$$

电能的 SI 单位为焦[耳]，符号为 J。在实用上还采用 kWh(千瓦小时)作为电能的单位。它等于功率 1 kW 的用电设备在 1 h(3600 s)内消耗的电能，简称 1 度电， $1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J} = 3.6 \text{ MJ}$ 。电能表俗称电度表。

【例 1-3】有 220 V，100 W 灯泡一个，其灯丝电阻是多少？每天用 5 h，一个月(按 30 天计算)消耗的电能是多少度？

解：灯泡灯丝电阻为： $R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{100} = 484 \Omega$

一个月消耗的电能为： $W = Pt = 100 \times 10^{-3} \times 5 \times 30 = 15 \text{ 度}$

1.3 理想的电路元件及电路的三种工作状态

几种基本的理想电路元件如下。

(1) 理想电阻元件(R)：具有消耗电能的性质，是个耗能元件。

(2) 理想电感元件(L)：具有储存磁场能量的性质，是个储能元件。

(3) 理想电容元件(C)：具有储存电场能量的性质，是个储能元件。

(4) 理想电源：具有将其他形式的能量转变成电能的性质，包含理想电压源(U_s)和理想电流源(I_s)。

理想电路元件(简称元件)是组成电路的基本单元，本节主要讨论电阻、电感、电容和电源等两端元件的概念及其电压、电流间的关系。

1.3.1 电阻元件

电阻器、电灯、电炉、扬声器等器件是消耗电能的，反映其主要特性的电路模型

是理想电阻元件(简称电阻)。

1. 定义

一个两端元件,当任一瞬间,它的电压 u 和流过它的电流 i 两者之间的关系是由 $u-i$ 平面上的特性曲线来决定的,此两端元件就称为电阻。如图 1-10 所示,其中图 1-10(a)为电阻的图形符号。

如果该曲线是过原点的直线,即 $\frac{u}{i} = R = \text{常数}$,则称该电阻为线性电阻,如图 1-10(b)所示。否则称为非线性电阻,如图 1-10(c)所示。

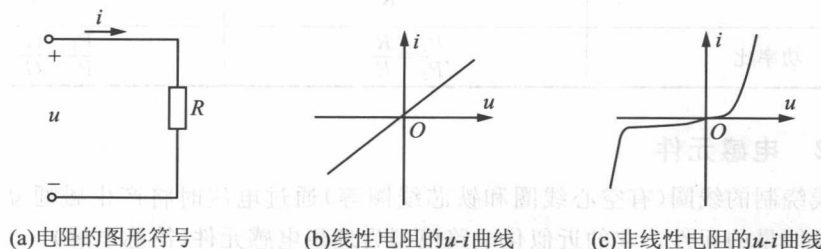


图 1-10 电阻元件

本书除特别说明外,电阻均指线性电阻。

2. 电压与电流关系

对于线性电阻,电压、电流间的关系符合欧姆定律,即

$$u = Ri \text{ 或 } i = u/R = Gu \quad (1-10)$$

式中 $G = \frac{1}{R}$ 称为电导,单位为西门子(S)。

3. 电阻串联与电导并联

(1) 电阻串联

图 1-11 为电阻串联及其等效电阻电路。电阻串联的特点是,各电阻流过同一电流,其关系式如表 1-1 所示。

(2) 电导并联

图 1-12 为两个电导并联及其等效电导电路。电导并联的特点是各电导两端加的是同一电压,其关系式如表 1-1 所示。

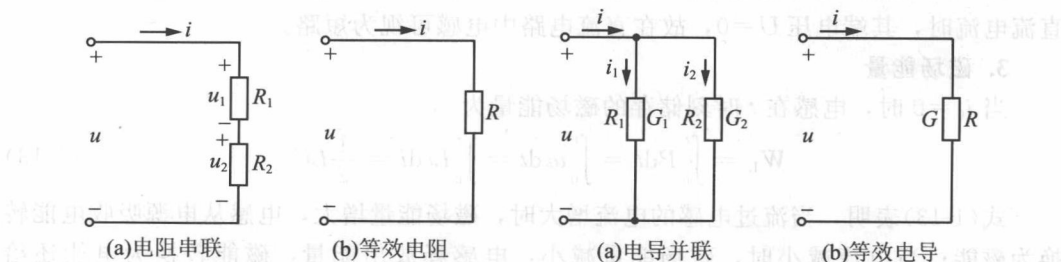


图 1-11 电阻串联及其等效电阻

图 1-12 电导并联及其等效电导

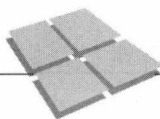


表 1-1 电阻串联与电导并联电路的关系式

项目 \ 连接方式	串联	并联
等效电阻或等效电导	$R=R_1+R_2$	$G=G_1+G_2$
电压与电流关系	$i=\frac{u}{R}$	$u=\frac{i}{G}$
分压或分流公式	$u_1=\frac{R_1}{R}u$ $u_2=\frac{R_2}{R}u$	$i_1=\frac{G_1}{G}i$ $i_2=\frac{G_2}{G}i$
功率比	$\frac{P_1}{P_2}=\frac{R_1}{R_2}$	$\frac{P_1}{P_2}=\frac{G_1}{G_2}$

1.3.2 电感元件

用导线绕制的线圈(有空心线圈和铁芯线圈等)通过电流时将产生磁通 Φ , 因此它是储存磁场能量的元件, 它的近似化电路模型为理想电感元件(简称电感)。

1. 定义

一个二端元件, 当任意瞬间, 它所流经的电流 i 和它的磁通链 ψ 两者之间的关系是由 i - ψ 平面的一条曲线决定的, 此二端元件称为电感。图形符号如图 1-13 所示。

若该曲线为过原点的直线, 即 $\frac{\psi}{i}=L=\text{常数}$, 则该电感称为线性电感, 否则, 称为非线性电感。本书除特别说明, 电感均指线性电感。

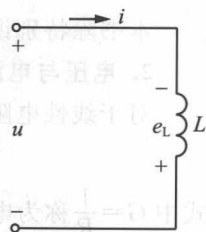


图 1-13 电感元件

2. 电压与电流关系

对于线性电感: $\psi=N\Phi=Li$, 当电感中的磁通 Φ 或电流 i 发生变化时, 则电感中产生感应电动势 e_L 。当电感中的电压与电流和电动势采用如图 1-13 所示的参考方向时,

$$e_L = -N \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\psi}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad (1-11)$$

$$u = -e_L = L \frac{di}{dt} \quad (1-12)$$

由上式可见, 电感的端电压与电流的变化率成正比。当流过电感的电流为恒定的直流电流时, 其端电压 $U=0$, 故在直流电路中电感可视为短路。

3. 磁场能量

当 $i_0=0$ 时, 电感在 t 时刻储存的磁场能量为

$$W_L = \int_0^t P dt = \int_0^t ui dt = \int_0^i Li di = \frac{1}{2} Li^2 \quad (1-13)$$

式(1-13)表明, 当流过电感的电流增大时, 磁场能量增大, 电感从电源吸收电能转换为磁能; 当电流减小时, 磁场能量减小, 电感释放出能量, 磁能转换为电能还给电源。

1.3.3 电容元件

两块金属极板间介以绝缘材料组成的电容器, 加上电压后, 两极板上能储存电荷,

在介质中建立电场。所以电容器是能储存电场能量的元件。其近似化电路模型为理想电容元件(简称电容)。

1. 定义

一个两端元件, 在任一瞬间, 它所储存的电荷 q 和端电压 u 两者之间的关系是由 q - u 平面上的一条曲线来决定的, 此两端元件称为电容。其图形符号如图 1-14 所示。

如果电容的 q - u 曲线为通过原点的直线, 即 $\frac{q}{u} = C = \text{常数}$, 则该电容称为线性电容, 否则称为非线性电容, 本书除特别说明外, 电容均指线性电容。

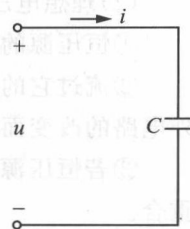


图 1-14 电容元件

2. 电压与电流关系

对于线性电容, C 为常数。 $q = Cu$

当电容的电压和电流采用如图 1-14 所示的关联方向时, 两者的关系为

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-14)$$

上式可见电容的电流与其两端电压的变化率成正比。当电容两端加恒定的直流电压时, 其电流 $i=0$, 故在直流电路中, 电容可视为开路。

3. 电场能量

当 $u_0=0$ 时, 电容在 t 时刻存储的电场能量为

$$W_C = \int_0^t p dt = \int_0^t ui dt = \int_0^u Cu du = \frac{1}{2} Cu^2 \quad (1-15)$$

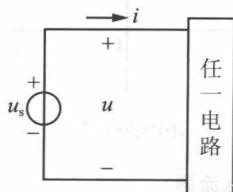
式(1-15)表明, 当电容上的电压增大时(电容充电), 电场能量增大, 电容从电源吸收能量, 将电能转换为电场能; 当电压减小时(电容放电), 电场能量减小, 电容放出能量, 将电场能量转换为电能还给电源。

1.3.4 电压源、电流源及等效变换

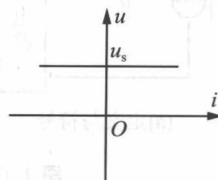
电阻、电感、电容在电路中不能提供能量或信号, 它们被称为无源元件。电源则是在电路中提供能量或信号的元件, 它们被称为有源元件。理想的电源元件包括理想电压源和理想电流源。

1. 电压源

(1)理想电压源: 如果一个二端元件, 接到任一电路后, 该元件两端均能保持其规定的电压值 u_s 时, 则此二端元件称为理想电压源, 又称恒压源, 如图 1-15(a)所示。

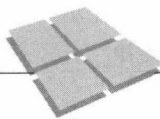


(a)定义与符号



(b)伏安特性

图 1-15 理想电压源



在时间 t 时, 理想电压源在 $u-i$ 平面的特性(称伏安特性)是一条平行于 i 轴的直线, 它与 u 轴的交点即此时的 u_s 值, 如图 1-15(b) 所示。如果 u_s 是与时间 t 无关的常数, 即 $u_s = U_s$ 为定值, 则称该理想电压源为直流恒压源。

(2) 理想电压源的特点:

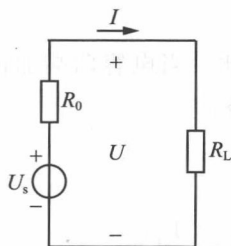
① 恒压源的端电压 u_s 为定值或一定的时间函数, 与流过它的电流 i 无关。
② 流过它的电流 i 不是由恒压源本身决定的, 主要由与之连接的外电路决定, 即随外电路的改变而改变。

③ 若恒压源的电压值等于零, 则该恒压源实际上就是短路, 其伏安特性与 i 轴重合。

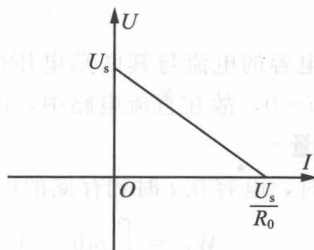
(3) 实际电压源。一个实际电压源可用一个恒压源 U_s 与一个内阻 R_0 串联的电路模型表示, 该电路模型称为电压源模型(简称电压源), 如图 1-16(a) 所示。由图可得:

$$U = U_s - IR_0 \quad (1-16)$$

其伏安特性(又称外特性)曲线, 如图 1-16(b) 所示。



(a) 电压源电路



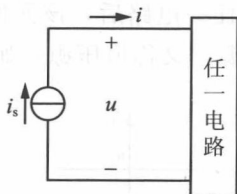
(b) 外特性

图 1-16 电压源

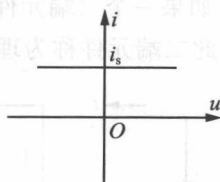
2. 电流源

(1) 理想电流源: 如果一个二端元件, 接到任一电路后, 该元件流入电路的电流均能保持其规定的值 i_s 时, 则此二端元件称为理想电流源(又称恒流源), 如图 1-17(a) 所示。

在 t 时刻理想电流源在 $i-u$ 平面的特性曲线(伏安特性), 是一条平行于 u 轴的直线, 它与 i 轴的交点即此时的 i_s 值, 如图 1-17(b) 所示。



(a) 定义与符号



(b) 伏安特性

图 1-17 理想电流源

如果 i_s 是与时间 t 无关的常数, 即 $i_s = I_s$ 为定值, 则称该理想电流源为直流恒流源。