



重庆大学“十一五”规划教材

建筑环境与设备工程系列教材

建筑电工学

JIANZHU DIANGONG XUE

■ 总策划 付祥钊

■ 编 著 龙莉莉 肖铁岩

■ 主 审 徐晓宁



重庆大学出版社

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



建筑环境与设备工程系列教材

建筑电工学

JIANZHU DIANGONG XUE

- 总策划 付祥钊
■ 编 著 龙莉莉 肖铁岩
■ 主 审 徐晓宁

重慶大學出版社

内 容 提 要

本书是参考原国家教育委员会 1995 年颁布的“电工学教学基本要求”和高等学校土建学科教学委员会建筑环境与设备工程专业指导委员会“主干课程教学基本要求”进行编写的。

本书强化了三相交流电路、电力变压器、异步电动机及控制的内容,更加贴近非电类专业的教学需求,致力于加强培养学生建筑电气方面的基本技能,夯实学生学习相关专业课和从事专业技术工作的基础。此外,本书覆盖了《公用设备注册师》考试大纲的规定内容。

本书可作为高等学校建筑工程类各非电专业的教材,也可供大专院校选用和社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

建筑电工学/龙莉莉,肖铁岩编著. —重庆:重庆大学出版社,2008.11

(建筑环境与设备工程系列教材)

ISBN 978-7-5624-4536-4

I. 建… II. ①龙…②肖… III. 建筑工程—电工—高等学校—教材 IV. TU85

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 080701 号

建筑环境与设备工程系列教材

建筑电工学

总策划 付祥钊

编 著 龙莉莉 肖铁岩

主 审 徐晓宁

责任编辑:陈红梅 版式设计:陈红梅

责任校对:谢 芳 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400030

电话:(023)65102378 65105781

传真:(023)65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆科情印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:19 字数:474千

2008 年 11 月第 1 版 2008 年 11 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-4536-4 定价:34.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

编审委员会

顾问	田胜元(重庆大学)
	彦启森(清华大学)
	刘安田(中国人民解放军后勤工程学院)
主任委员	付祥钊(重庆大学)
委员	(排名按姓氏笔画)
	卢 军(重庆大学)
	付祥钊(重庆大学)
	安大伟(天津大学)
	李长惠(重庆大学出版社)
	李永安(山东建筑大学)
	刘光远(扬州大学)
	李 帆(华中科技大学)
	李安桂(西安建筑科技大学)
	连之伟(上海交通大学)
	张 旭(同济大学)
	张国强(湖南大学)
	吴祥生(中国人民解放军后勤工程学院)
	段常贵(哈尔滨工业大学)
	徐 明(中国建筑西南设计研究院)
	龚延风(南京工业大学)
	黄 晨(上海理工大学)
	裴清清(广州大学)
秘书	肖益民(重庆大学)
	陈红梅(重庆大学出版社)

序

重庆大学教学改革成果——《建筑环境与设备工程系列教材》，在编著者和重庆大学出版社的共同努力下，从2002年至2004年陆续出版，满足了该专业教学的迫切需要，2005年获得重庆市优秀成果奖。

2003年11月13日，《全国高等学校土建类专业本科教育培养目标和培养方案及主干课程教学基本要求——建筑环境与设备工程专业》正式颁布。重庆大学城市建设与环境工程学院、重庆大学出版社联合组织来自清华大学、重庆大学、华中科技大学、东南大学、南京航空航天大学、中国人民解放军后勤工程学院、重庆科技学院、西南石油学院、福建工程学院等高校的专家、学者同编著者一起，进行了学习和研讨，并决定立即启动《建筑环境与设备工程系列教材》（第二版）及扩展新教材的编写和出版工作。各位编著者都作出了积极的响应，更多学术造诣高，富有教学和工程实践经验的老师们加入了编写、主审和编委队伍。

《建筑环境与设备工程系列教材》的及时更版和扩展，为解决长期以来学生和社会反映强烈的教学内容陈旧问题创造了条件。各位编著者认真总结了第一版使用中的经验教训，仔细领会专业指导委员会的意见和公用设备工程师注册的专业教育要求，密切关注相关科学技术的发展，使第二版从体系到内容都有明显改进。第二版更注意在保持各门课程的完整性的同时，加强各门课程之间的呼应与协调，理论与工程实践相结合的特色更加鲜明。扩展新教材是该系列教材的进一步补充和完善，有助于拓宽专业口径。燃气方向的选题，丰富了我国该方面急需的技术专业书籍。

教材建设是一个精益求精、永无止境的奉献过程，祝愿编著者和出版社积极进取，努力奉献，保持本系列教材及时改版、更臻完美的好做法。编著者亲自在教学第一线讲授自己编写的教材，对于教材质量的提高是必须的；同时，通过广泛交流和调查研究，听取意见和建议，吸取各校师生使用教材的经验教训，对于教材的完善更是非常重要的。

如何解决专业教学内容日益丰富，而讲授学时显著减少的矛盾，是当前专业教学面临的困难之一。全国各高校的专业老师们都在努力寻找或创造解决这一矛盾的方法。总结和提炼这方面的教学实践经验，可使本系列教材内容新颖而丰富，所需的讲授学时相对减少。

近几年，现代教学手段正在各高校迅速普及。基于现代教学手段，我们这套系列教材的教学方法也应努力创新。

本系列教材第二版的完成及扩展教材的出版，既要祝贺编审和出版社，更要感谢使用每本系列教材的教师和同学们，他们献出了很多极有价值的意见。

付祥利

2005年10月

前 言

随着现代建筑技术的迅速发展,建筑电气渗透到建筑设备的设计、运行、制造和管理等各个部门。建筑的电气化水平已成为现代化建筑的一个重要标志。因此,建筑工程类各非电专业学生必须加强建筑电气方面课程的学习。

目前,通用电工学教材普遍以电路、电子技术基础为主要内容,对电机与拖动、电器控制等相关知识涉及较少,不能满足建筑工程类非电专业的教学需要。同时,建筑工程类非电专业普遍存在电类课程专业课时少、内容多,以及基础课学习与专业课学习脱节的矛盾,有必要在非电专业的基础课“电工学”中适当引入专业课内容,通过内容整合,解决专业课学时不足和学生对基础课学习兴趣不高的问题。建筑工程类各非电专业重要的技术基础课之一——“建筑电工学”正是这样一门课程。该课程的任务就是讲授与建筑电工技术有关的基本知识、基本理论和基本技能,为学生拓宽知识面、加强建筑电气方面的知识及从事专业技术工作打下良好基础。

目前,“建筑电工学”内容已列入注册结构工程师、注册公用设备工程师(水、暖、燃气方向)基础课考试大纲,但国内尚无适合本科学生使用的“建筑电工学”教材。因此,本书编著者在连续多年给本科生授课讲义的基础上,结合注册工程师考试大纲要求,发挥编著者授课门数多、教学经验丰富的特点,全面总结非电专业“建筑电工学”课程的教学规律,对“电工电子学”、“电机及拖动基础”、“电器控制”等数门课程的教学内容进行有机整合,并通过例题、习题,将工程实际与基础理论有机地融于一体,力求使本教材在讲授建筑电工技术的有关基本知识、基本理论的基础上,培养学生建筑电气方面基本技能,奠定学生学习相关专业课及从事专业技术工作的基础。

考虑到建筑工程类非电专业“建筑电工学”的后续课程为“建筑供配电”,限于篇幅,也为了避免系列教材内容重复,本教材未涉及传统电工学教材中有关“安全供电”方面的内容。

本教材特点:

1. 突出“三基” 突出基本知识、基本理论和基本技能,实现基础理论与工程应用之间的有机连接。
2. 内容精炼 在保证知识的系统性、内容的连续性及教材的可读性的前提下,概括性强,篇幅较小。
3. 实用性强 在内容编排上,注意加强了变压器、异步电动机及控制的内容,注重培养学生建筑电气方面基本技能,奠定学生学习相关专业课和从事专业技术工作的基础。
4. 激发兴趣 章后小结及思考题紧扣教学内容且结合实际,激发学生学习兴趣,引导学生

自觉学习。

5. 便于教学安排 各板块内容相对独立,便于教师根据学时安排进行选择。
6. 针对性强 为给水排水、建筑环境与设备等建筑工程类非电专业学生“量身订做”。
7. 精编例题、习题 通过例题、习题,将工程实际与基础理论有机地融于一体,便于学习。
8. 应用面广 覆盖《公用设备注册师》、《一、二结构注册师》考试大纲规定内容。

本书是重庆大学“十一五”规划教材,得到“重庆大学教材建设基金”资助,特此感谢!

龙莉莉 肖铁岩
2008.06

目 录

1 直流电路	1
1.1 电路的组成及电路模型	1
1.2 电路中的基本物理量	4
1.3 电压源和电流源	7
1.4 基尔霍夫定律	11
1.5 电阻串并联及等效变换	13
1.6 直流电路的求解方法	16
1.7 戴维南定理	25
小结 1	27
习题 1	28
2 正弦交流电路	34
2.1 正弦交流电的基本概念	34
2.2 正弦量的相量表示法	36
2.3 单一参数的交流电路	40
2.4 RLC 串联电路	49
2.5 阻抗的串并联电路、并联谐振	55
2.6 功率因数及功率补偿	58
小结 2	60
习题 2	61
3 三相交流电路	65
3.1 对称三相电势的产生、三相交流电路	65
3.2 三相负载	70
3.3 三相电路的计算	72
小结 3	79
习题 3	80
4 变压器	85
4.1 磁路及交流铁芯线圈	85
4.2 变压器概述	89

4.3	变压器的工作原理	91
4.4	变压器的运行特性	96
4.5	三相变压器	98
4.6	自耦变压器和仪用互感器	104
小结 4	.....	106
习题 4	.....	108
5	异步电动机	111
5.1	异步电动机的结构及额定数据	111
5.2	异步电动机的工作原理	114
5.3	异步电动机的电磁转矩与机械特性	117
5.4	异步电动机的启动、调速、反转和制动	121
5.5	异步电动机的选择	127
5.6	单相异步电动机	128
小结 5	.....	131
习题 5	.....	132
6	常用低压电器	135
6.1	常用电磁式低压电器	135
6.2	其他常用低压电器	147
小结 6	.....	170
习题 6	.....	171
7	继电-接触器控制系统	173
7.1	电气控制的基本规律	173
7.2	常用的典型控制环节	183
7.3	常用建筑电气控制线路分析	202
小结 7	.....	216
习题 7	.....	218
8	电子技术基础	221
8.1	半导体二极管	221
8.2	二极管的应用	227
8.3	半导体三极管	233
8.4	基本放大电路	237
小结 8	.....	245
习题 8	.....	247
9	集成运算放大器和放大电路中的反馈	252
9.1	集成运算放大器概述	252
9.2	模拟运算电路	254

9.3 放大电路中的反馈	260
小结 9	265
习题 9	266
10 数字电路	268
10.1 概述	268
10.2 逻辑门电路	269
10.3 触发器	274
10.4 计数器	280
小结 10	284
习题 10	285
参考答案	289
参考文献	291

1 直流电路

本章主要介绍电路的基本物理量、电路基本定律、电路的组成及工作状态以及电压、电流、电动势的正方向。同时,以直流稳态电路为例,介绍电路的几种分析方法:支路电流法、回路电流法、电路等效变换、节点电压法、叠加原理和戴维南定理。

1.1 电路的组成及电路模型

1.1.1 电路的基本组成

电路即是电流的通路,是由各种电路元件按一定顺序用连接导线依次连接而成的。实际电路的作用可分为两大类:一种是以电力系统为典型代表的电力电路,用于实现电能的传输和转换;另一种是以收音机电路为典型代表的信号电路,用于传递和处理信号。本课程主要讨论用于实现电能的传输和转换的电力电路,简称电路。

电路的基本组成部分为电源、负载和连接导线。

1) 电源

建筑电气工程中使用的电源有城市电力网供给的、自备发电机供给的,也有蓄电池供给的。电源分为交流电源和直流电源两大类。在电路图中分别用符号“~”和“-”表示,或分别用字母 AC 或 DC 表示。

2) 负载

负载是一种将电能转换为其他形式能量的装置。例如,电灯将电能转换成光能,电炉将电能转换为热能,电动机将电能转换为机械能。在电路图中负载一般用符号“Z”表示,而在建筑电气的施工图中,则用国家标准规定的图例符号表示各类不同的负载。如果某些负载国标中未专门规定图例符号,则需自行定义,并在施工图中适当部位标注说明。

3) 导线

导线用来传输和分配电能,一般用铜、铝等金属制成。电路中电源一般可以不画出,仅用文字符号标明电源的性质和数值即可。

电路中,电源和负载统称为电路元件。因此,也可将电路元件分为电源元件(包括干

电池、蓄电池、交直流发电机等)和无源元件(包括耗能元件—电阻器和储能元件—电感器、电容器)。

电路的表示方法如图 1.1 所示。

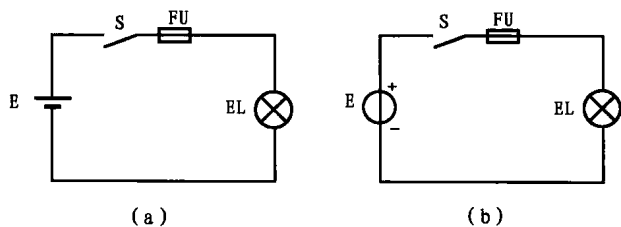


图 1.1 电路的表示方法

E—电压源;S—开关;EL—负载

1.1.2 电路的运行状态

电路有断路、通路和短路 3 种运行状态。

1) 断路(开路)

开关断开,或者电路中有开断的地方(如导线发生开断、线路连接处接触不良等),电路中就无电流通过,电路的这种状态称为断路(停止运行状态)。开关断开属于控制性断路;因保护装置动作而开路属于保护性断路;导线开断、连接处接触不良而造成的电路开断则属于故障性断路。需要指出的是,电路处于分断状态时,断开处有电压存在。

2) 通路

合上开关,电路中有电流通过,电流流过负载,电路的这种工作状态称为通路,又称为电路的工作状态。

3) 短路

如果电源被一个电阻接近于零的导体所接通,电路中就会产生很大的电流,电路的这种状态称为短路。因短路而产生的很大的电流,称为短路电流。

短路是一种故障状态。短路时,电源不经过负载被短接,电路中有大的短路电流流过。由于短路电流很大,会使短路电流所通过的电源、开关、导线等损坏,严重时将会引起火灾,必须及时切断。为此,需在电路中设置保护元件用于保护电路。

线路接线不正确,安装不良,用电设备使用不当,线路或元件老化而未及时维修更换,都可能造成短路事故。

1.1.3 理想元件和电路模型

为了便于对实际电路进行分析计算,在电路分析中,将实际电路元件用一些能够反映其实际电磁性能的理想电路元件的组合来代替。所谓理想元件,就是对实际元件进行理想化的抽象和概括的元件。例如,忽略实际线圈的电阻,可以将其抽象成为一个纯电感,倘若需要考虑此线圈的电阻,则可将其看作一个电感和一个电阻的串联而成的。同样,忽

略实际电阻器的其他电磁性质,可将其抽象看作一个纯电阻,对于实际电容器,则可突出其加上电压要产生电场因而储存电场能量的性质,将其看作一个纯电容(无能量损耗)。

因此,电阻元件、电容元件、电感元件都是组成电路的理想元件。理想元件及其性能如图 1.2 所示。

由理想元件构成的电路称为电路模型。无特殊说明时,本课程研究对象为由理想元件构成的电路。

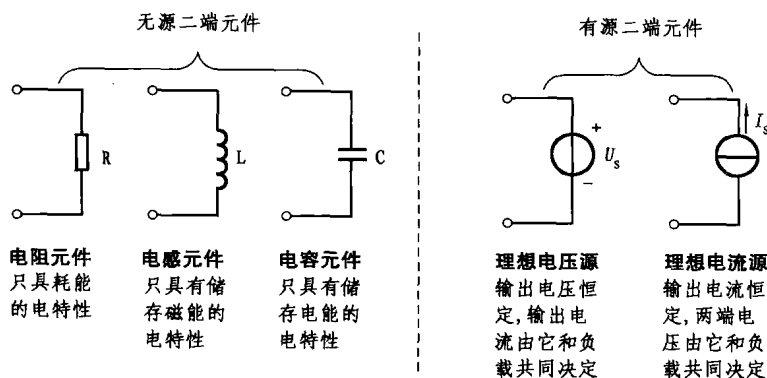


图 1.2 理想元件及其性能

1.1.4 线性电阻、线性电容和电感

1) 线性电阻

(1) 定义 线性电阻是消耗电能的理想电路元件。线性电阻上的电压电流关系满足欧姆定律,单位为 Ω (欧[姆]),电阻的倒数称为电导,单位为 S (西[门子])。

(2) 性质 线性电阻具有无源性、双向性、无记忆性,其伏安关系:

$$u = Ri$$

2) 线性电容(电感)元件

(1) 定义 线性电容(电感)元件为储存电能的理想电路元件。线性电容(电感)上的电压电流相量关系满足复数欧姆定律,单位为 Ω 。

(2) 性质 线性电容(电感)元件具有无源性、双向性(元件储能与电源能量之间互相交换)、有记忆性,其复数伏安关系*:

$$\dot{U}_C = -j \frac{1}{\omega C} \cdot \dot{I}$$

$$\dot{U}_L = j\omega L \cdot \dot{I}$$

* 公式推导详见 2.3 节。

1.2 电路中的基本物理量

1.2.1 电流、电压和电动势

1) 电流

带电质点有规则的运动称为电流,电流亦是用来衡量电流强弱的物理量。这样,“电流”一词不仅代表一种物理现象,也代表一个物理量。电流在数值上等于单位时间内穿过某一导体横截面的电荷量。设在 dt 时间内穿过某一导体横截面的电荷量为 dq ,则电流为:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

随时间发生变化的电流称为变动电流,用小写字母 i 表示,不随时间发生变化的电流称为恒定电流,简称直流,用大写字母 I 表示。

习惯上规定正电荷的运动方向为电流的实际方向。

2) 电压

电压是为衡量电场力对电荷做功的能力而引入的物理量,是电路中产生电流的根本原因。

图 1.3 中, a 和 b 是电池的两个电极, a 带正电, b 带负电。因此,电极 a, b 之间产生电场,其方向由 a 指向 b 。此时若用导线将 a, b 连接起来,则在电场的作用下,正电荷将从 a 流向 b ,即电场力对电荷做了功。

a, b 两点间电压 U_{ab} 在量值上等于电场把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功:

$$u_{ab} = \frac{dw_{ab}}{dq} \quad \text{或} \quad U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q}$$

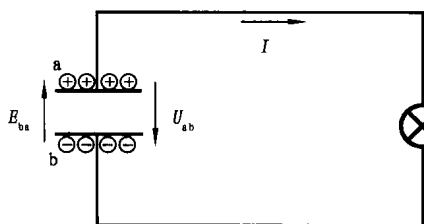


图 1.3 电压与电动势

电场中 a, b 两点间的电压等于其两点间的电位差:

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1.2)$$

式中 V_a, V_b —— a, b 两点的电位。

在国际单位制中,电压和电位的单位均为 V (伏)。计量高电压(如高压输电线路电压)时,常采用 kV (千伏)为单位,计量微电压(如弱电线路电压)时,常采用

mV (毫伏)或 μV (微伏)为单位($1 kV = 10^3 V, 1 V = 10^3 mV = 10^6 \mu V$)。

U 表示直流电压, u 表示电压的一般符号。电压和电流一样,也是一个有方向的物理量。电压的正方向规定为电位降低的方向,即由高电位指向低电位。

电压实际正方向规定为从高电位指向低电位,参考正方向为任意假定的方向。

3) 电位

电位是一种由电路中的位置所确定的势能,其高低、正负均取决于电路参考点。

理论上电路参考点的选取是任意的,但实际应用中经常以大地作为零电位点。当设备和仪器的底盘或机壳与接地装置相连时,也常选取与接地装置相连的机壳作为电路参考点;电子技术中为便于问题的分析和研究,还常常把电子设备的公共连接点作为电路参考点。

某点电位在数值上等于该点与参考点之间的电压。当电路参考点改变时,该电位随参考点发生变化,但它与原来参考点之间的差值不会发生改变。

4) 电动势

电动势是为衡量电源力对电荷做功的能力而引入的物理量。电动势和电位一样属于一种势能,它能够克服电场力而将低电位电极 b 上的正电荷推向高电位电极 a ,如同水系统中的水泵把低处的水抽到高处的作用一样。电动势在电路分析中是一个有方向的物理量,其方向规定由电源负极 b 指向电源正极 a ,即电位升高的方向,如图 1.3 中的 E_{ab} 。电源的电动势 E_{ba} 在量值上等于电场把单位正电荷从电源的低电位 b 点经电源内部移到电源的高电位 a 点所做的功。

电动势的单位与电压相同。

5) 电压、电位和电动势的区别

电压和电位是衡量电场力做功本领的物理量,电动势则是衡量电源力做功本领的物理量;电路中两点间电压的大小只取决于两点间电位的差值,是绝对的量;电位是相对的,其高低正负取决于参考点;电动势只存在于电源内部。

1.2.2 电流、电压的参考方向

实际分析电路时,有时对某段电路电流的实际流动方向很难作出判断。对于交流电路,电流的方向还随时间改变,为了便于分析,引入电流参考方向的概念。

电流的参考方向可以任意选定,并在电路中以有向线段示出,按参考方向列写方程并求解。当求解结果为正值时,说明电流的实际方向与参考方向一致;否则,相反,如图 1.4 所示。

同样,当两点间电压的实际极性不易判断或随时间改变时,可任选一点的极性为正,另一点的极性为负,称为电压的参考极性,将正极指向负极的方向称为电压的参考方向。按参考方向列写方程并求解,当求解结果为正值时,说明电压的实际方向与参考方向一致,否则相反。

为了便于分析问题,常将同一无源元件的电压、电流参考方向选为一致,即指定电流从电压“+”极性的一端流入,并从电压“-”极性的一端流出,这种选择方法称为“无源”惯例或

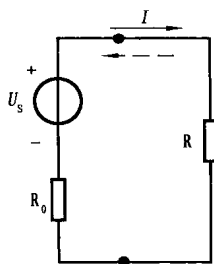


图 1.4 电流的参考方向

“负载”惯例,也称为“电压、电流的关联参考方向”。采用关联参考方向可以简化参考方向的标注,如图 1.5(a)所示。

选择参考方向是正确利用电路定律列方程式的前提和依据。因此,在分析计算电路时,首先应在电路上确定电压、电流的参考方向,如图 1.5(b)所示。

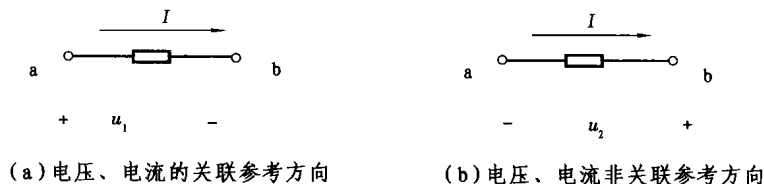


图 1.5 电压、电流的参考方向

1.2.3 电能、电功率和效率

1) 电能

由于电能的转换是在电流做功的过程中进行的,因此电能的多少可以用功来计量,即:

$$W = UIt$$

式中,电压的单位为 V,电流单位为 A,时间的单位为 s,电能的单位为 J。日常生产和生活中,电能也常用“度”计量,但“度”并非法定计量单位。

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = \text{kV} \cdot \text{A} \cdot \text{h}$$

2) 电功率

电工学中,电功率简称为功率。电功率用于衡量单位时间内电能的大小,是衡量用电设备或电源做功本领的物理量。单位时间内电流所做的功称为电功率,用 P 表示:

$$P = \frac{W}{t} \quad (1.3)$$

在直流电路中,负载消耗的功率 P 等于其两端的电压 U 与流过它的电流 I 的乘积:

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1.4)$$

功率的单位为 W(瓦[特])。电力系统中,常用 kW(千瓦)或 MW(兆瓦)为功率单位。弱电工程中,常采用 mW(毫瓦)。它们之间的关系为:

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

进行功率计算时,如果设定的 U, I 参考方向关联:当某部分电路功率 $P > 0$ 时,说明 U, I 实际方向与参考方向一致,即此部分电路元件吸收电功率,为负载;当某部分电路功率 $P < 0$ 时,则说明 U, I 实际方向与参考方向相反,此部分电路元件发出电功率,为电源。

或者说,对于负载而言,若电压、电流参考方向选择一致,则 $P > 0$ 表示负载吸收功率;若二者参考方向选择相反,则 $P < 0$ 表示负载吸收功率。

所以,从 P 值的“+”或“-”可以区分电器元件的性质,或是电源,或是负载。

3) 效率

输出功率与输入功率的比值称为效率,用 η 表示:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} \times 100\% \quad (1.5)$$

1.3 电压源和电流源

1.3.1 电压源和电流源

1) 电压源

(1) 理想电压源(E_s 或 E) 理想电压源是电源内阻为零的电压源($R_0 = 0$, R_0 为与电压源串联电阻)。其输出端电压与通过它的电流无关,为一恒定不变的值(直流电,即 $U = E_s$)或保持为某给定的时间函数(交流电),如图 1.6(a)所示。与理想电压源并联的支路对外可以开路等效。

(2) 实际电压源 实际电压源是电源内阻不为零的电压源,其输出端电压随负载大小而变,即 $U \neq E_s$, $R_0 \neq 0$,如图 1.6(b)所示。

显然,一个实际电压源可视为一个理想电压源和一个电阻的串联。

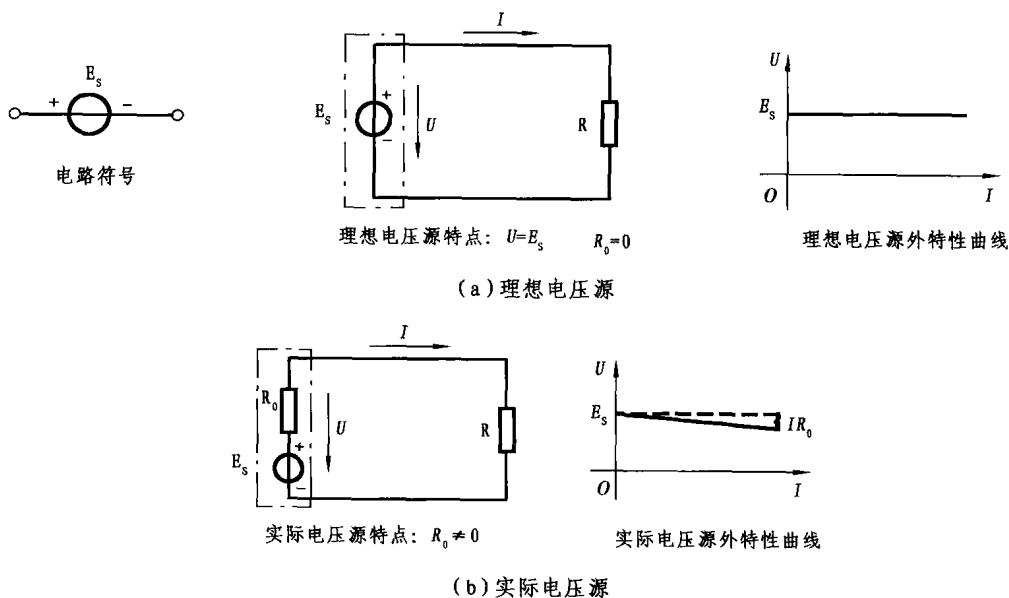


图 1.6 理想、实际电压源

2) 电流源

(1) 理想电流源(I_s) 理想电流源输出的电流为恒定值,称为恒流源。其特点是恒流