



湖北高职“十一五”规划教材

HUBEI GAOZHI "SHIYIWU" GUIHUA JIAOCAI

湖北省高等教育学会高职专委会研制

总策划 李友玉
策划 屈莲芳

电工技术与实践

DIANGONG JISHU YU SHIJIAN

徐国洪 李晶骅 彭先进 主编



湖北长江出版集团
湖北科学技术出版社

湖北省教育科学“十一五”规划

专项资助重点课题成果

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术与实践/ 徐国洪, 李晶骅, 彭先进主编. —武汉: 湖北科学技术出版社, 2008. 8
湖北高职“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5352-4177-1

I. 电… II. ①徐…②李…③彭… III. 电工技术—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 118438 号

电工技术与实践

徐国洪 李晶骅 彭先进主编

责任编辑: 宋志阳

封面设计: 喻 杨

出版发行: 湖北科学技术出版社

电话: 027—87679468

地 址: 武汉市雄楚大街 268 号
湖北出版文化城 B 座 12—13 层

邮编: 430070

网 址: <http://www.hbstp.com.cn>

印 刷: 湖北万隆印务有限公司

邮编: 430223

787 毫米×1092 毫米 1/16

17 印张 408 千字

2008 年 8 月第 1 版

2008 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5352-4177-1

定价: 29.50 元

本书如有印装质量问题 可找本社市场部更换

湖北高职规划教材编审委员会

顾 问:

姜大源 教育部职业技术教育中心研究所研究员 《中国职业技术教育》主编

委 员:

马必学 湖北省高教学会副理事长

黄木生 湖北省高教学会高职专委会主任

刘青春 湖北省高教学会秘书长

李友玉 湖北省高教学会副秘书长

刘民钢 湖北省高教学会高职专委会副主任

蔡泽寰 湖北省高教学会高职专委会副主任

李前程 湖北省高教学会高职专委会副主任

彭汉庆 湖北省高教学会高职专委会副主任

陈秋中 湖北省高教学会高职专委会副主任

廖世平 湖北省高教学会高职专委会常务理事

张 玲 湖北省高教学会高职专委会常务理事

魏文芳 湖北省高教学会高职专委会常务理事

杨福林 湖北省高教学会高职专委会常务理事

顿祖义 湖北省高教学会高职专委会常务理事

陈年友 湖北省高教学会高职专委会常务理事

陈杰峰 湖北省高教学会高职专委会常务理事

赵儒铭 湖北省高教学会高职专委会常务理事

李家瑞 湖北省高教学会高职专委会常务理事

屠莲芳 湖北省高教学会高职专委会常务理事

张建军 湖北省高教学会高职专委会理事

饶水林 湖北省高教学会高职专委会理事

杨世金 湖北省高教学会高职专委会理事

杨文堂 湖北省高教学会高职专委会理事

王展宏 湖北省高教学会高职专委会理事

刘友江 湖北省高教学会高职专委会理事

韩洪建 湖北省高教学会高职专委会理事

盛建龙 湖北省高教学会高职专委会理事

黎家龙 湖北省高教学会高职专委会理事

王进思 湖北省高教学会高职专委会理事

郑 港 湖北省高教学会高职专委会理事

高 勇 湖北省高教学会高职专委会理事

武汉职业技术学院院长

长江职业学院党委书记

湖北省教科规划办主任

湖北省教育科学研究所所长

湖北省教科所高教中心主任

武汉船舶职业技术学院院长

襄樊职业技术学院院长

仙桃职业学院院长党委书记

湖北职业技术学院院长

荆州职业技术学院院长

武汉软件工程职业学院院长

武汉铁路职业技术学院院长

十堰职业技术学院院长

咸宁职业技术学院院长

恩施职业技术学院院长

黄冈职业技术学院院长

随州职业技术学院院长党委书记

湖北三峡职业技术学院院长

教学组组长

秘书长

湖北财税职业学院院长党委书记

鄂东职业技术学院院长党委书记

武汉工业职业技术学院院长

江汉艺术职业学院院长

武汉工程职业技术学院院长

武汉警官职业学院院长

湖北水利水电职业技术学院院长

武汉交通职业学院院长

湖北国土资源职业学院院长

湖北交通职业技术学院院长

武汉电力职业技术学院院长

湖北中医药高等专科学校校长



湖北高职“十一五”规划教材

HUBEI GAOZHI “SHIYIWU” GUIHUA JIAOCAI

湖北省高等教育学会高职专委会研制

总策划 李友玉
策 划 屠莲芳

电工技术与实践

主 编 徐国洪 李晶骅 彭先进
副主编 印成清 陈祖新 胡耀军
编 者 (按姓氏笔画排序)
卢厚元 印成清 光 明
刘竹林 李晶骅 张汉飞
陈祖新 陈 敏 胡耀军
费子俊 倪 红 徐国洪
彭先进 雷红华

湖北长江出版集团
湖北科学技术出版社



湖北高职“十一五”规划教材(电子信息类)

HUBEI GAOZHI “SHIYIWU” GUIHUA JIAOCAI

编委会

主 任 徐国洪 仙桃职业学院
李建新 武汉软件工程职业学院

副主任 (按姓氏笔画排序)

王 臻 武汉职业技术学院
牟应华 恩施职业技术学院
沈鸿星 襄樊职业技术学院
黄国祥 黄冈职业技术学院

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁如春 鄂东职业技术学院
王 川 武汉职业技术学院
王中林 武汉软件工程职业学院
王 彦 武汉铁路职业技术学院
王 臻 武汉职业技术学院
邓宽林 十堰职业技术学院
朱 立 武汉商业服务学院
刘 芬 荆州职业技术学院
牟应华 恩施职业技术学院
杨 凡 武汉交通职业学院
李建新 武汉软件工程职业学院
吴 涛 咸宁职业技术学院
沈鸿星 襄樊职业技术学院
郑德龙 武汉电力职业技术学院
钟 立 湖北国土资源职业学院
徐国洪 仙桃职业学院
黄国祥 黄冈职业技术学院
鲁杰爽 湖北职业技术学院

编委会秘书

吕 刚 吴晓红

凝聚集体智慧 研制优质教材

教材是教师教学的脚本,是学生学习的课本,是学校实现人才培养目标的载体。优秀教师研制优质教材,优质教材造就优秀教师,培育优秀学生。教材建设是学校教学最基本的建设,是提高教育教学质量最基础性的工作。

高职教育是中国特色的创举。我国创办高职教育时间不长,高职教材存在严重的“先天不足”,如中专延伸版、专科移植版、本科压缩版等。这在很大程度上制约着高职教育教学质量的提高。因此,根据高职教育培养“高素质技能型专门人才”的目标和教育教学实际需求,研制优质教材,势在必行。

2005年以来,湖北省高教学会高职高专教育管理专业委员会(简称“高职专委会”)高瞻远瞩,审时度势,深刻领会国家关于“大力发展职业教育”和“提高高等教育质量”之精神,准确把握高职教育发展之趋势,积极呼应全省高职院校发展之共同追求;大倡研究之风,大鼓合作之气;组织全省高职院校开展“教师队伍建设、专业建设、课程建设、教材建设”(简称“四个建设”)的合作研究与交流。旨在推进全省高职院校进一步全面贯彻党的教育方针,创新教育思想,以服务为宗旨,以就业为导向,工学结合、校企合作,走产学研结合发展道路;推进高职院校培育特色专业、打造精品课程、研制优质教材、培养高素质的教师队伍,提升学校整体办学实力与核心竞争力;促进全省高职院校走内涵发展道路,全面提高教育教学质量。

湖北省教育厅将高职专委会“四个建设”系列课题列为“湖北省教育科学‘十一五’规划专项资助重点课题”。全省高职院校纷起响应,几千名骨干教师和一批生产、建设、服务、管理一线的专家,一起参加课题协同攻关。在科学研究过程中,坚持平等合作,相互交流;坚持研训结合,相互促进;坚持课题合作研究与教材合作研制有机结合,用新思想新理念指导教材研制,塑造教材“新、特、活、实、精”的优良品质;坚持以学生为本,精心酿造学生成长的精神食粮。全省高职院校重学习研究,重合作创新蔚然成风。

这种以学会为平台,以学术研究为基础开展的“四个建设”,符合教育部关于提高教育教学质量的精神,符合高职院校发展的需求,符合高职教师发展的需求。

前 言

本书是湖北高职“十一五”规划教材,是湖北省教育科学“十一五”规划专项资助重点课题成果。

为认真贯彻教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》的文件精神,不断提高电类专业高技能型人才的培养质量,在湖北省高等教育学会高职专委会的指导下,通过对电路、电路分析、电工基础、电工技术等课程的整合,研制出这本高等职业技术教育电类专业核心课程的通用教材《电工技术与实践》。

本教材在体例结构和内容的选取上,突出了课程本身的通用性、基础性、实践性、应用性和先进性的特点,突出了对电类专业学生应用能力的培养。

教材采用模块化结构,将电工技术基础知识、电工技术基础训练、电工技术技能训练和电工技术岗位训练四个模块有机整合在一起,实现了理论实践的一体化,有利于“教、学、做”相结合。

电工技术基础知识模块以“必须、够用”为度,以掌握概念、突出应用、培养技能为重点。这既为后续课程服务,又为学生工程技术应用能力培养服务。主要内容包括电阻电路分析、正弦稳态电路的分析、三相交流电路、三相异步电机控制、电工测量等。考虑到教材的通用性和不同专业的教学需求,本模块的内容注意到了知识的深度与广度的结合,力求概念准确、内容精练、重点突出;讲解上尽量减少理论推导,力求通俗易懂、便于自学。每部分后面的小结、典型例题和习题,能帮助学习者加深对知识的理解,提高分析问题和解决问题的能力。

实践模块的内容突出理论和实践的结合,把立足点放在操作能力和电工技术应用能力的培养上,同时充分考虑了各院校的实验实训条件,能适应相关院校的实践教学。内容包括7个项目、20个训练任务。每个训练任务包括训练目标、训练器材、相关知识、操作训练、思考与实践报告,通过科学地、规范地训练逐渐形成专业技能。结合电工职业技能考证要求,实践模块中充实了大量的电工职业技能考证训练项目,使考证和训练有机结合。附录中收录了维修电工的工作要求与知识结构,便于师生了解相关领域的知识与技能要求。

教材中标有(*)号的内容,属于加深加宽的内容,供不同学校和专业教学选用。

本教材可作为高等职业技术学院,高等工程专科学校,成人高等学校的机电类、电气类、电子类、通信类、自动化类各专业以及非电类专业的教材,可作为中等职业学校、社会培训和考证机构的教材和参考用书,也可作为工程技术人员、相近专业的本科学生、自学考试者的参考用书。

湖北省高教学会副秘书长、湖北省教科所高教中心主任李友玉研究员,湖北省高教学会高职专委会教学组组长李家瑞教授,湖北省高教学会高职专委会秘书长屠莲芳,负责本教材研制队伍的组建、管理,以及本教材研制标准、研制计划的制定与实施。

本教材的大纲由仙桃职业学院机电学院徐国洪制定;模块一的第一部分由十堰职业技

术学院刘竹林编写,第二、第四部分由徐国洪编写,第三、第六部分由十堰职业技术学院李晶骅编写,第五部分由仙桃职业学院光明编写,第七部分由武汉软件工程职业学院陈敏编写,第八、第十部分由襄樊职业技术学院彭先进编写,第九部分由武汉软件工程职业学院陈祖新编写;模块二由十堰职业技术学院胡耀军、仙桃职业学院张汉飞编写;模块三的项目二、模块四的项目二由仙桃职业学院印成清编写,模块三中的项目一由十堰职业技术学院卢厚元编写;模块四中的项目一由襄樊职业技术学院雷红华、仙桃职业学院印成清编写,模块四中的项目三由恩施职业技术学院倪红、仙桃职业学院费子俊编写。全书由徐国洪修改定稿。印成清、张汉飞、光明对统稿做了大量的工作。

仙桃职业学院机电学院吕刚、胡进德、胡华文、向凡等老师也参与了部分内容的修改和校对工作。郑猛、刘雯、陈露曼参与了全书的绘图和文字编辑工作。本教材的研制中参考了国内外近年来出版的有关教科书,也得到了各参编人员所在院校的大力支持和帮助、在此一并表示感谢。

限于作者水平有限,书中疏漏不妥之处,敬请读者,尤其是使用本书的教师和同学批评指正!

湖北高职“十一五”规划教材

《电工技术与实践》研制组

2008年6月

湖北高职“十一五”规划教材

机电专业教材书目

1. 模拟电子技术
2. 数字电子技术
3. 工程光学基础
4. 光电探测技术
5. 电气控制与 PLC 应用
6. 激光加工工艺设备
7. 电工技术与实践
8. 电路设计与制板

出版总规划:湖北省教材出版中心

项目领导小组:袁国雄(组长)

刘健飞 冯芳华 张 跃

项目组成员:陈冬新 余 涛 彭 瑛 刘安民 胡功臣

高诚毅 邹桂芬 张 浩

出版主审:陈冬新

项目编辑:宋志阳

封面设计:喻 杨

目 录

模块一 电工技术基础知识	1
1 电路的基本概念和定律	1
1.1 电路模型与基本物理量	1
1.2 电阻、电容、电感元件及特性	7
1.3 电压源与电流源	11
1.4 基尔霍夫定律	14
小结	17
习题一	17
2 电路的等效变换	21
2.1 电阻的串联、并联等效变换	21
* 2.2 电阻星形联结与三角形联结的等效变换	23
2.3 电源等效变换	25
* 2.4 受控源及其等效变换	30
小结	32
习题二	32
3 线性电路的基本定理与基本分析方法	37
3.1 线性电路的叠加定理与替代定理	37
3.2 戴维南定理和诺顿定理	39
3.3 负载获得最大功率条件	44
3.4 线性电路的一般分析方法	46
小结	54
习题三	55
4 正弦交流电路	60
4.1 正弦交流电路的基本概念	60
4.2 正弦量的相量表示	64
4.3 电路定律的相量形式	67
4.4 阻抗与导纳	72
4.5 正弦交流电路的分析计算	80
4.6 正弦交流电路的功率	84
4.7 功率因数的提高	87
小结	90
习题四	93
5 谐振与互感电路	96

5.1 电路的谐振	96
5.2 互感电路	100
5.3 变压器的基础知识	106
5.4 变压器的效率和几种常用变压器	108
小结	111
习题五	111
6 电路的暂态过程分析	114
6.1 电路的暂态过程及换路定理	114
6.2 一阶电路的零输入响应	116
6.3 一阶电路的零状态响应	121
6.4 一阶电路的全响应	124
6.5 一阶电路的三要素法	126
小结	129
习题六	130
7 三相交流电路	134
7.1 三相电源	134
7.2 三相负载的连接	136
7.3 对称三相电路的计算	138
* 7.4 不对称三相电路的特点及分析	142
小结	144
习题七	144
8 三相异步电动机的控制	146
8.1 常用低压电器	146
8.2 三相异步电动机	153
8.3 三相异步电动机的直接启动控制电路	160
8.4 三相异步电动机的可逆控制电路	161
8.5 三相异步电动机 Y/ Δ 启动控制电路	163
小结	164
习题八	165
9 工业用电与安全用电	167
9.1 发电与输电	167
9.2 工业配电	168
9.3 安全用电	170
9.4 节约用电	177
小结	179
习题九	179
10 电工测量	180
10.1 常用电工仪表简介	180
10.2 万用表	184

10.3 钳形电流表	188
10.4 功率表	189
10.5 兆欧表	192
小结	195
习题十	195
模块二 电工技术基础训练	197
11 项目一 直流电路的探究	197
11.1 任务一 基尔霍夫定律	197
11.2 任务二 叠加原理	198
11.3 任务三 戴维南定理	200
12 项目二 交流电路的探究	203
12.1 任务一 日光灯电路及功率因数的提高	203
12.2 任务二 RLC 串联谐振电路	206
12.3 任务三 RC 一阶电路响应测试	207
模块三 电工技术技能训练	210
13 项目一 常用电工仪表的使用	210
13.1 任务一 万用电表的使用	210
13.2 任务二 兆欧表的使用	211
13.3 任务三 钳形电流表的使用	212
14 项目二 安全用电技术	214
14.1 任务一 触电急救技术	214
14.2 任务二 电气灭火技术	215
模块四 电工技术岗位训练	217
15 项目一 一般电气线路及照明电路的安装	217
15.1 任务一 线头的加工工艺	217
15.2 任务二 室内电气照明基本电路	222
15.3 任务三 电度表的安装	226
* 15.4 任务四 低压动力配电装置的安装	228
16 项目二 电动机控制线路的安装	232
16.1 任务一 三相异步电动机直接启动	232
16.2 任务二 三相异步电动机正反转控制	234
16.3 任务三 三相异步电动机“ Y/Δ ”启动控制	236
17 项目三 变压器与电动机的维修	239
17.1 任务一 小型变压器的故障检修	239
17.2 任务二 三相异步电动机的检查	241
参考文献	244
附录 A 电工仪表面板符号	245
附录 B 维修电工的工作要求与知识结构	246
参考答案	251

模块一 电工技术基础知识

1 电路的基本概念和定律

1.1 电路模型与基本物理量

1.1.1 电路及电路模型

1. 电路及其功能

如图 1-1 是一个手电筒的电路示意图,图中,电池是产生电能的元件(设备),它将化学能转变成电能,称为电源;电灯泡是消耗电能的电路元件,它将电能转变成光能和热能,称为负载;开关是控制元件,控制电路的接通与断开,导线起传输电能的作用,开关和导线称为中间环节。

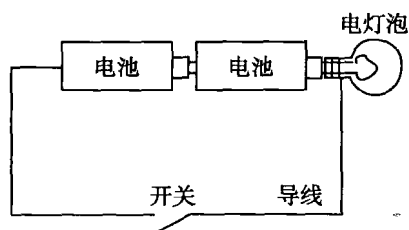


图 1-1 手电筒的实际电路

由电气器件相互连接所构成的电流通路称为电路。

任何实际电路必须包含电源、负载和中间环节三部分。

电路按其功能可分为两大类。

第一类是能量的产生、传输、分配电路,其典型例子是电力系统的输电线路。在电力电路中,发电厂将各种不同形式的能量(热能或水的势能或原子能或光能等)转变成电能;负载将电能转变为机械能或光能或热能等;中间环节(如变压器、高低压输电线路)起控制、传输和分配电能以及保护电路中电器设备的作用。

第二类是信息的传递与处理电路,在这一类电路中,起电源作用的常称信号源,又称激励;起负载作用的是各种终端设备(如计算机的打印机、收音机的扬声器、电话系统的电话机等)。在这类电路中,传递的是各种信息,电路的输出信号又称响应。此类电路的中间环节由电子设备组成,比较复杂,主要起信号的处理、放大、传输和控制等作用。

2. 电路模型

构成电路的设备、元器件和导线的电磁性质都比较复杂,不便于分析与计算。因此,为了分析电路的方便,在一定条件下往往忽略实际器件的次要性质,按其主要性质将其理想化,从而得到一系列理想化元件。这种理想化的元件也称为实际器件的“器件模型”。

几种常见的理想化元件(器件模型),如图 1-2 所示。

(1)理想电阻元件:只消耗电能,如电阻器、灯泡、电炉等,可以用理想电阻来反映其消耗电能的这一主要特征。

(2)理想电容元件:只储存电能,如各种电容器,可以用理想电容来反映其储存电能的特征。

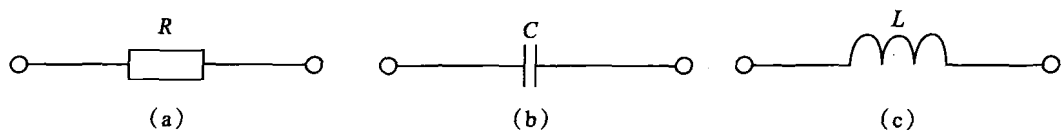


图 1-2 常见的理想化元件

(a)理想电阻模型符号 (b)理想电容模型符号 (c)理想电感模型符号

(3)理想电感元件:只储存磁能,如各种电感线圈,可以用理想电感来反映其储存磁能的特征。

用理想化元件表示实际元件,并按实际电路的连接方式连接起来的电路图称为电路模型。

图 1-1 的电路模型如图 1-3 所示,图中理想电压源 U_s 表示干电池的电动势, R_0 表示干电池的内阻, R_L 表示电灯泡, S 表示开关,连接元件的细实线是理想导线。

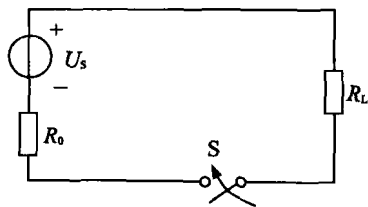


图 1-3 最简单的电路模型

1.1.2 电路的基本物理量

1. 电流

1) 电流的形成

在电场力作用下,电荷有规则的定向移动形成电流。

2) 电流的大小

电流的强弱用电流强度来描述。单位时间内通过导体横截面的电荷量称为电流强度。用 i 表示,即

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

电流可以是恒定的,也可能是随时间变化的。若单位时间内通过导体横截面的电荷量为常数,则这种电流叫做恒定电流,简称直流电流,用大写字母 I 表示。随时间变化的电流,称为交流电流,用小写字母 i 表示。

3) 电流的单位

国际单位制(SI)中,电荷的单位是库仑(C),时间的单位是秒(s),电流的单位是安培,简称安(A),电流的常用单位还有毫安(mA)和微安(μA)等。它们的换算关系为

$$1A=10^3mA=10^6\mu A$$

4) 电流的方向

电流的实际方向:规定正电荷定向移动的方向为电流的实际方向。

电流的参考方向:在较复杂的电路中,某一段电路里电流的实际方向有时是难以确定的,在交流电路中电流的实际方向又是随时间变化的,也难以确定其真实方向,于是引入参考方向的概念来解决这一困难。即人为设定某一段电路电流的正方向,这种人为设定的电流的正方向称为电流的参考方向。

引入电流参考方向后,实际中通常用箭头在电路图上标出电流的参考方向。当电流的实际方向与参考方向一致时, $i > 0$; 当电流的实际方向与参考方向相反时, $i < 0$ 。电流的参考方向与实际方向的关系如图 1-4 所示。

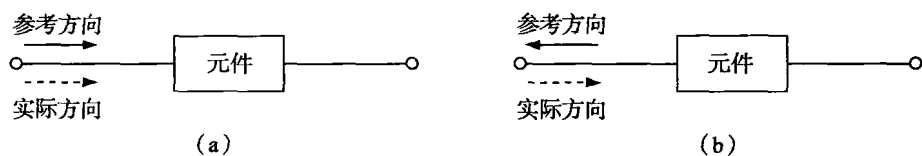


图 1-4 电流的实际方向与参考方向

(a) $i > 0$ (b) $i < 0$

实际中,还可以用双下标表示电流的参考方向,如 i_{ab} 表示电流的参考方向从 a 指向 b ,显然 $i_{ab} = -i_{ba}$ 。

在没有设定参考方向的情况下,讨论电流的正负毫无意义。本书电路图上所标出的电流方向都是指参考方向。

【例 1-1】 在图 1-5 中,各电流的参考方向已设定。已知 $I_1 = 10\text{A}$, $I_2 = -2\text{A}$, $I_3 = 8\text{A}$ 。试确定 I_1, I_2, I_3 的实际方向。

【解】 如图 1-5 所示。

$I_1 > 0$, 故 I_1 的实际方向与参考方向相同,

I_1 由 a 点流向 b 点;

$I_2 < 0$, 故 I_2 的实际方向与参考方向相反, I_2 由 b 点流向 c 点;

$I_3 > 0$, 故 I_3 的实际方向与参考方向相同, I_3 由 b 点流向 d 点。

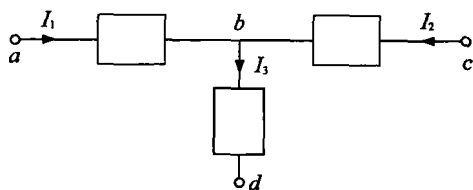


图 1-5 例 1-1 图

2. 电压

1) 电压的定义

两点之间的电位之差即是两点间的电压。从电场力做功的概念定义,电压就是将单位正电荷从电路中一点移至电路中另一点电场力做功的大小,如图 1-6 所示。电压用符号 u 表示,即

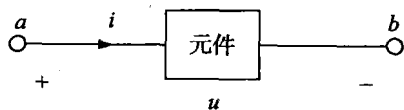


图 1-6 电压定义示意图

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1-2)$$

如果电压的大小和极性都不随时间而变动,这样的电压称为恒定电压或直流电压,用符号 U 表示。

如果电压的大小和方向都随时间变化,则称为交变电压或交流电压,用符号 u 表示。

2) 电压的单位

式(1-2)中 dW 为电路吸收的能量, dq 为通过的电荷,国际单位制(SI)中,能量单位是焦耳(J),电荷的单位是库仑(C),电压的单位是伏特(V),电压常用的单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μV)。它们的换算关系为。

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

3) 电压的方向

实际方向:电路中,规定电位真正降低的方向为电压的实际方向。

参考方向:所谓电压参考方向,就是所假设的电位降低的方向,在电路图中用“+”、“-”号表示,“+”号表示高电位端,即正极;“-”号表示低电位端,即负极,如图 1-7(a),(b)所示。