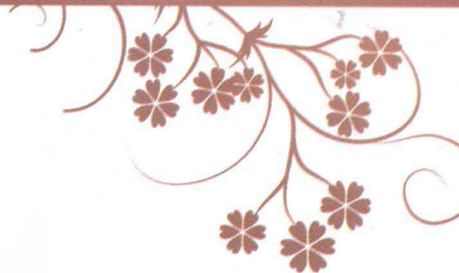


21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



电工电子学

朱定华 方奕乐 编著



清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



电工电子学

朱定华 方奕乐 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要阐述电工电子技术必要的基本理论、基本知识和基本技能。本书共有 11 章, 主要内容包括电路基本概念和基本定律、电路的暂态分析、单相正弦交流电路、三相电路、半导体二极管及直流电源电路、半导体三极管及交流放大电路、集成运算放大器及其应用、数字逻辑基础、组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路等。

本书内容精练、实例丰富, 应用性强, 可作为大专院校和高职高专成人高等教育非电类专业“电工电子学”、“电路电子学”等课程的教学用书, 也可供科技人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。

版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电工电子学/朱定华等编著. —北京: 清华大学出版社, 2012. 1

(21 世纪高等学校规划教材·电子信息)

ISBN 978-7-302-26479-8

I. ①电… II. ①朱… III. ①电工学 ②电子学 IV. ①TM1 ②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 166426 号

责任编辑: 魏江江

责任校对: 梁 毅

责任印制: 何 芊

出版发行: 清华大学出版社

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175

邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62795954, jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者: 三河市君旺印装厂

装 订 者: 三河市新茂装订有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×260 印 张: 20.25 字 数: 503 千字

版 次: 2012 年 1 月第 1 版 印 次: 2012 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000

定 价: 29.50 元

编审委员会成员

东南大学
南京大学
南京航空航天大学
解放军理工大学

上海大学
上海交通大学

华中科技大学

华中师范大学
武汉理工大学

宁波大学
天津大学

中国科学技术大学

苏州大学
山东大学
山东科技大学
东北师范大学
沈阳工业学院
长春大学
吉林大学
湖南大学
长沙理工大学
华南理工大学

王志功 教授
王新龙 教授
王成华 教授
邓元庆 教授
刘景夏 副教授
方 勇 教授
朱 杰 教授
何 晨 教授
严国萍 教授
朱定华 教授
吴彦文 教授
刘复华 教授
李中年 教授
蒋刚毅 教授
王成山 教授
郭维廉 教授
王煦法 教授
郭从良 教授
徐佩霞 教授
赵鹤鸣 教授
刘志军 教授
郑永果 教授
朱守正 教授
张秉权 教授
张丽英 教授
林 君 教授
何怡刚 教授
曾喆昭 教授
冯久超 教授

西南交通大学

冯全源 教授

金炜东 教授

重庆工学院

余成波 教授

重庆通信学院

曾凡鑫 教授

重庆大学

曾孝平 教授

重庆邮电学院

谢显中 教授

张德民 教授

西安电子科技大学

彭启琮 教授

樊昌信 教授

西北工业大学

何明一 教授

集美大学

迟 岩 教授

云南大学

刘惟一 教授

东华大学

方建安 教授

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和教学方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

(1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。

(6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。

(7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

(8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail:weijj@tup.tsinghua.edu.cn



前言

电工电子学是高等学校非电类专业的一门重要的学科基础课程,本书是在多年教学改革与实践的基础上,为非电类专业而编写的电工电子学课程的教材。

本书包括电工学和电子技术两部分内容。全书共 11 章。第 1 章讲述电路基本概念和基本定律,第 2 章讲述电路的暂态分析,第 3 章讲述单相正弦交流电路,第 4 章讲述三相电路,第 5 章讲述半导体二极管及直流电源电路,第 6 章讲述半导体三极管及交流放大电路,第 7 章讲述集成运算放大器及其应用,第 8 章讲述数字逻辑基础,第 9 章讲述组合逻辑电路,第 10 章介绍触发器,第 11 章讲述时序逻辑电路。

本书编写时,注意了理论和实践相结合,力求做到既有一定的理论基础,又能运用理论解决实际问题;既掌握一定的先进技术,又着眼于当前的应用服务。本书力求做到内容全面、概念清楚、深入浅出、通俗易懂,并注意到实用性和先进性。为了适应新世纪信息化时代的需求,本书力争做到精简繁杂的传统内容,突出应用,并增加新技术和新内容,使该书做到体系创新和内容更新。本书内容可供 56~80 学时教学计划的讲授之用。本书在体系上有所创新,为板块式结构,教师可根据各专业的需求,进行取舍。

本书实例丰富,实用性强。每章后均配有一定数量的、能达到检验和加深理解理论知识、培养解题和应用能力及训练思维方式的习题。避免了烦琐的文字叙述、数学推导及浩浩荡荡的题海,将学生从“学海无涯苦作舟”中解放出来,使他们做到一看就懂、一学就会、欲罢不能、兴趣盎然。

本书由朱定华和方奕乐编著。参加本书编写工作的人员还有蔡苗、蔡红娟、翟晟、吕建才、陈艳、周斌、黄松、林卫、程萍、张德芳、李志文、林威等。

电工及电子技术的发展日新月异,教学改革任重道远。限于我们的水平和能力,不妥之处在所难免,恳请读者和各位同仁批评指正。

编 者

2011 年 6 月于武昌

第 1 章 电路的基本概念、基本定律	1
1.1 基本电路	1
1.1.1 电路的组成	1
1.1.2 电路的基本物理量	2
1.1.3 电路的工作状态	7
1.2 基尔霍夫定律	8
1.2.1 相关电路术语	8
1.2.2 基尔霍夫电流定律——KCL	8
1.2.3 基尔霍夫电压定律——KVL	9
1.3 电阻元件、电感元件和电容元件	9
1.3.1 电阻元件	9
1.3.2 电感元件	13
1.3.3 电容元件	14
1.4 电压源与电流源及其等效变换	15
1.4.1 电压源	15
1.4.2 电流源	16
1.4.3 电压源和电流源的等效变换	17
1.4.4 受控电源	22
1.5 叠加原理和戴维宁定理	22
1.5.1 叠加原理	22
1.5.2 戴维宁定理	23
1.6 支路电流法和节点电压法	25
1.6.1 支路电流法	25
1.6.2 节点电压法	26
本章小结	27
习题	27
第 2 章 电路的暂态分析	32
2.1 换路定则及暂态过程初始值的确定	32
2.2 一阶电路的暂态响应	35
2.2.1 零输入响应	35
2.2.2 零状态响应	37

2.2.3 全响应	39
2.3 一阶电路暂态分析的三要素	40
2.4 微分电路和积分电路	43
2.4.1 微分电路	43
2.4.2 积分电路	43
本章小结	44
习题	45
第3章 单相正弦交流电路	48
3.1 正弦交流电的基本概念	48
3.1.1 正弦交流电三要素	48
3.1.2 周期和频率	48
3.1.3 初相角和相位差	49
3.1.4 振幅和有效值	50
3.1.5 正弦交流电的参考方向	51
3.2 正弦量的相量表示法	52
3.2.1 复数及其基本运算	53
3.2.2 正弦量的相量表示	54
3.2.3 基尔霍夫定律的相量形式	57
3.3 单一参数的正弦交流电路	58
3.3.1 电阻元件	58
3.3.2 电感元件	60
3.3.3 电容元件	62
3.4 正弦交流电路的相量模型	64
3.4.1 复阻抗 Z	65
3.4.2 复阻抗的串联、并联、复导纳	67
3.5 正弦交流电路的功率	71
3.5.1 功率	71
3.5.2 功率因数的提高	76
3.6 电路的谐振	77
3.6.1 串联谐振	77
3.6.2 并联谐振	79
本章小结	81
习题	83
第4章 三相电路	87
4.1 三相电源的基本概念	87
4.1.1 三相电源的产生	87
4.1.2 三相电源的星形连接	89

4.2	三相负载的星形连接	90
4.3	三相负载的三角形连接	94
4.4	三相电路的功率与测量	98
4.4.1	三相电路功率的计算	98
4.4.2	三相电路功率的测量	100
	本章小结	100
	习题	101
第5章	半导体二极管及直流电源电路	103
5.1	半导体基础知识	103
5.1.1	半导体的物理特性	103
5.1.2	本征半导体	103
5.1.3	杂质半导体	105
5.1.4	PN 结	106
5.2	半导体二极管	110
5.2.1	半导体二极管的结构和类型	110
5.2.2	半导体二极管的伏安特性	111
5.2.3	半导体二极管的主要电参数	111
5.2.4	半导体二极管的应用	112
5.2.5	特殊二极管	114
5.3	直流电源	116
5.3.1	直流电源的组成	116
5.3.2	整流电路	117
5.3.3	滤波电路	123
5.3.4	稳压电路	125
	本章小结	128
	习题	128
第6章	半导体三极管及交流放大电路	131
6.1	半导体三极管	131
6.1.1	半导体三极管的结构和类型	131
6.1.2	半导体三极管的工作原理	132
6.1.3	三极管的基本组态与特性曲线	134
6.1.4	半导体三极管的主要参数	136
6.2	基本放大器	137
6.2.1	放大器的基本概念	137
6.2.2	共射极基本放大电路	139
6.2.3	放大器的静态分析	140
6.2.4	放大器的动态分析	143

6.2.5	其他基本放大电路	149
6.2.6	多级放大电路	154
6.3	功率放大电路	158
6.3.1	功率放大电路的特点和分类	158
6.3.2	OTL 互补对称功率放大电路	160
6.4	负反馈放大电路	160
6.4.1	反馈的概念	160
6.4.2	反馈的分类及其判断方法	161
6.4.3	负反馈放大电路的 4 种基本组态	165
6.4.4	负反馈对放大电路性能的影响	168
本章小结		171
习题		172
第 7 章 集成运算放大器及其应用		177
7.1	集成运算放大器基础	177
7.1.1	集成运算放大器的基本单元电路	177
7.1.2	直接耦合和零点漂移	177
7.1.3	差动放大电路	178
7.1.4	差动放大电路的主要技术指标	178
7.1.5	集成运算放大器性能指标	179
7.2	基本运算电路	181
7.2.1	比例运算电路	182
7.2.2	加减运算电路	184
7.2.3	积分和微分运算电路	188
7.3	基本信号处理电路	192
7.3.1	有源滤波电路	192
7.3.2	电压比较器	194
7.4	正弦波产生电路	196
7.4.1	概述	196
7.4.2	RC 正弦波振荡电路	197
本章小结		200
习题		201
第 8 章 数字逻辑基础		204
8.1	数制和代码	204
8.1.1	十进制数和二进制数	204
8.1.2	十六进制数和八进制数	205
8.1.3	不同进制数之间的转换	206
8.1.4	二进制代码	208

8.2	逻辑运算	211
8.2.1	基本逻辑运算	211
8.2.2	复合逻辑运算	212
8.2.3	正负逻辑问题	214
8.2.4	基本逻辑门电路	215
8.2.5	TTL 集成门电路	217
8.3	逻辑函数的代数化简法	218
8.3.1	基本运算规则	219
8.3.2	基本公式和定律	219
8.3.3	逻辑函数代数法化简	222
8.4	逻辑函数的卡诺图化简法	224
8.4.1	最小项的定义及其性质	224
8.4.2	卡诺图	226
8.4.3	逻辑函数的卡诺图表示	227
8.4.4	逻辑函数卡诺图化简	228
8.4.5	具有约束项的逻辑函数化简	229
	本章小结	231
	习题	232
第 9 章	组合逻辑电路	234
9.1	组合逻辑电路的分析与设计	234
9.1.1	组合逻辑电路的分析	234
9.1.2	组合逻辑电路的设计	236
9.2	加法器	237
9.2.1	半加器和全加器	237
9.2.2	集成加法器	239
9.3	译码器与数据分配器	241
9.3.1	译码器的分析及设计	241
9.3.2	显示译码器	245
9.3.3	数据分配器	247
9.4	数据选择器	249
9.4.1	数据选择器的类型及功能	249
9.4.2	集成数据选择器	250
	本章小结	254
	习题	255
第 10 章	触发器	257
10.1	无稳态触发器	257
10.1.1	555 定时器的电路结构与功能	257

10.1.2	555 定时器构成多谐振荡器	258
10.2	单稳态触发器	259
10.2.1	555 定时器构成单稳态触发器	260
10.2.2	集成单稳态触发器	261
10.3	双稳态触发器	263
10.3.1	RS 触发器	263
10.3.2	D 触发器	267
10.3.3	JK 触发器	270
10.3.4	T 触发器和翻转触发器	273
	本章小结	273
	习题	274
第 11 章	时序逻辑电路	279
11.1	寄存器与移位寄存器	279
11.1.1	寄存器	279
11.1.2	移位寄存器	280
11.2	计数器	282
11.2.1	集成计数器 74LS161/160	282
11.2.2	集成计数器 74LS90/92/93	290
11.3	可编程逻辑器件	296
11.3.1	PLD 电路的表示方法	297
11.3.2	可编程阵列逻辑器件	299
11.3.3	可编程通用阵列逻辑器件	301
	本章小结	305
	习题	305

电路的基本概念、基本定律

1.1

基本电路

1.1.1 电路的组成

电路是由各种电气器件按一定方式用导线连接组成的总体,它提供了电流通过的闭合路径。电路一般由电源、负载和中间环节三部分组成。

(1) 电源:是提供电能和电信号的设备,如发电机、电池、稳压电源和信号发生器等。

(2) 负载:是取用电能并将电能转换成其他形式能量的装置,如电灯、电炉、电机等。

(3) 中间环节:是连接电源和负载的部分,起传输、控制和分配电能的作用,如变压器、连接导线、开关和各种继电器接触器等。

我们日常生活中所用的手电筒电路就是一个最简单的电路,它是由电池、小灯泡、手电筒壳(连接导体)组成的,如图 1-1(a)所示,电池是电源,给电路提供电能;灯泡则是用电器件,称为负载,当电流流过时能发热到白炽状态而发光;连接导体可以使电流构成通路。

任何一个实际的电气器件,在工作时其本身及周围所发生的电磁过程是复杂的,严格来说,都存在电能的消耗、磁场能量的存储和电场能量的存储等基本效应。例如一个实际的电阻器,有电流流过时还会产生磁场,因而还兼有电感的性质;一个实际电源总有内阻,因而在使用时不可能总保持一定的端电压;连接导体总有电阻,甚至还有电感,这些电磁效应相互交织在一起,往往给我们分析电路带来很大困难,甚至使分析无法进行。另一方面,在一个电气器件上,各种效应的表现并不是均衡的,在一定的条件下,某一种效应处于主导地位,决定事物的本质,其他效应则处于次要地位。因此,必须在一定的条件下对实际电气器件加以理想化,忽略它的次要电磁效应,用一个足以表征其主要性能模型来表示。像这样把实际电气器件理想化而得到的只具有某种单一电磁性质的元件,称为理想电路元件,或简称电路元件。电路元件易于用数学语言来表述,便于理论分析。比如说,灯泡的电感是极其微小的,把它看作一个理想的电阻元件是完全可以的;一个新电池,它的内阻和灯泡的电阻相比可以忽略不计,把它看作一个电压恒定的理想电压源也是完全可以的;在连接导体很短的情况下,它的电阻完全可以忽略不计,也可看作为理想导体。于是,这个理想电阻元件就构成了灯泡的模型,这个理想电压源就构成了电池的模型,而理想导体则构成了连接导体的模型。图 1-1(a)手电筒电路就可以用图 1-1(b)所示电路表示。在这个电路中,所有元件都是理想化的,这种由理想电路元件互相连接组成的电路称为电路模型。电路理论分析的对象

是电路模型,而不是实际电路。

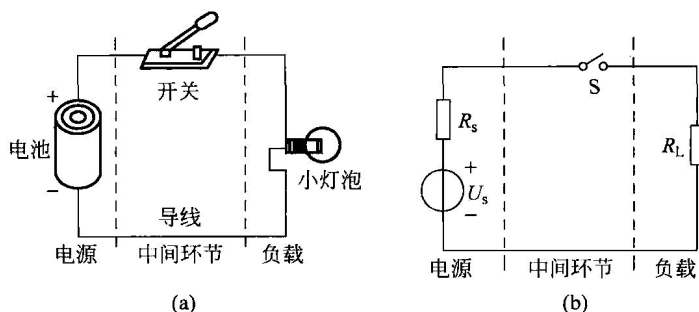


图 1-1 手电筒电路及其电路模型

1.1.2 电路的基本物理量

电路的特性是通过电荷、电流、电压、磁通链、功率和能量等一组物理量来描述的,这些物理量又称为电路变量,其中最常用的是电流、电压和功率。

1. 电流

带电粒子有秩序地移动便形成了电流。电子和质子都是带电的粒子,电子带负电荷,质子带正电荷。所带电荷的多少称为电量,用符号 q 或者 Q 表示;电量单位是库仑。

我们把每单位时间通过导体横截面的电量定义为电流强度,用来衡量电流的大小。电流强度常简称电流,用符号 i 表示,即

$$i = \frac{dq}{dt}$$

如果电流的大小和方向都不随时间变化,则这种电流称为恒定电流,简称直流(direct current, dc 或 DC),可用符号 I 表示。如果电流的大小和方向都随时间变化,则称为交变电流,简称交流(alternating current, ac 或 AC),用符号 i 表示。

在国际单位制中,电流的单位是安培(简称安, A), $1\text{A} = 10^3\text{mA}$, $1\text{mA} = 10^3\mu\text{A}$ 。

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。在十分简单的电路中我们可以按照习惯直观地确定电流的真实方向,例如图 1-2(a)所示的电路中电流的真实方向就如虚线箭头所示,但在复杂一些的电路中,例如图 1-2(b)所示的电路中,电阻 R_5 中电流的真实方向在分析计算以前是难以确定的。再如当电路中的电流为交流时,就不可能用一个固定的箭头

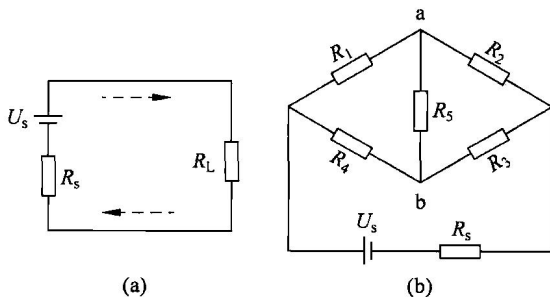


图 1-2 电流参考方向

表示电流的真实方向。

为了解决这样的困难,我们引用参考方向(reference direction)这一概念。参考方向可以任意选定,在电路图中用箭头表示。如果电流的真实方向与参考方向一致,电流为正值;如果两者相反,电流为负值。这样就可以利用电流的正负值结合着参考方向来表示电流的真实方向。以后规定,电路中所标注的电流方向都是参考方向。显然,在未标示参考方向的情况下,电流的正负是毫无意义的。

参考方向的表示方法有两种:①用箭头表示;②用双下标表示。在图 1-2(b)所示电路中,假定电阻 R_s 上通过的电流是从 a 点流向 b 点,电流 I 的箭头就标成从 a 指向 b,也可以用 I_{ab} 表示。电流的参考方向选择是任意的,也可以假定电流从 b 点流向 a 点,那么电流就表示成 I_{ba} ,图 1-2(b)中表示电流方向的箭头就要从 b 点指向 a 点。 $I_{ab} = -I_{ba}$,下标调换后,两者之间相差一个负号,即用 I_{ab} 计算所得的电流若等于 +1,则用 I_{ba} 作为参考方向计算所得的电流就等于 -1。

2. 电压

电场力移动单位正电荷由 a 点到 b 点所做的功定义为 a、b 两点间的电压。如图 1-3 所示,设由 a 到 b 移动的电荷量为 dq ,电场力所做的功为 $d\omega$,则 a、b 两点的电压 u 为:

$$u = \frac{d\omega}{dq}$$

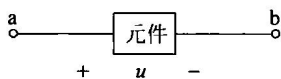


图 1-3 电压的定义及参考方向表示

电压的单位为伏[特],符号为 V。常用的电压单位还有 kV 和 mV 等。

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者直流电压,用符号 U 表示。如果电压的大小和极性都随时间变化,则称为交变电压或者交流电压,用符号 u 表示。

电压的实际方向为电位降低的方向。在进行电路分析时,同电流一样可采用参考方向的方法来分析。图 1-3 中,“+”号表示高电位,“-”号表示低电位。所谓电压的参考方向就是由“+”到“-”的方向;也可以用箭头表示,箭头的方向表示电压降的方向;除了这两种表示方式外,还常用字母 u 附带有两端字母的小角标表示,例如这里可以表示为 u_{ab} 。

电压和电流的参考方向均可任意指定,二者是彼此独立的。倘若在选取二者参考方向时,遵循电流参考方向的箭头由电压参考方向的正极指向负极,符合这一制约关系的电流和电压参考方向称为关联参考方向或一致参考方向;反之,称为非关联参考方向。人们常习惯采用关联参考方向,因为这样选取带来很多方便。在本书中,当一个电路的各部分只标注电压参考方向或者只标注电流参考方向时,就隐含着对这两个变量采取的是相关联的参考方向。

3. 电动势

在电源内部,非电场力将单位正电荷从电源的负极移至正极所做的功,就是单位正电荷从低电位移至高电位所获得的电能,称为电源的电动势,用 E 表示。规定电动势的方向为电源内部由低电位指向高电位,即电位升的方向。