

21世纪高等学校电子信息工程规划教材

电子技术基础

李洁 等 编著

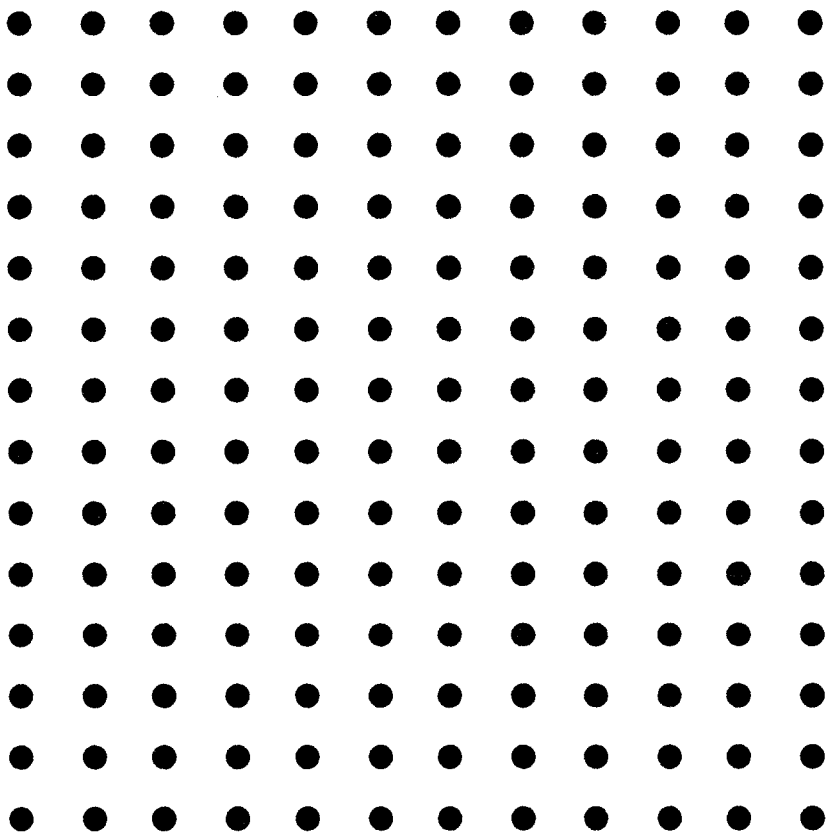


清华大学出版社

21 世纪高等学校电子信息工程规划教材

电子技术基础

李洁 等 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

为适应计算机的普及和通信技术的广泛应用,满足对高等工科院校学生的知识结构要求,作者结合多年的教学改革实践编写了这本《电子技术基础》。全书包括三部分:第一部分电路分析基础,介绍电路的基本概念、定律和分析方法,正弦交流电路;第二部分模拟电子技术,介绍二极管、三极管和场效应管的结构以及工作特性和应用,基本放大电路以及反馈和运算放大器;第三部分数字电子技术,介绍数字逻辑基本概念、组合逻辑电路的分析与设计和时序逻辑电路的分析与设计,数模转换和模数转换等。

本书所选内容与现代科技的发展相结合,突出新技术、新器件。概念的阐述准确、语言简明扼要,避免繁复的公式推导,适合作为应用类理工科大学教材,也可以供相关科技工作者和自学者参考。

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 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础/李洁等编著. —北京:清华大学出版社,2007.12

(21世纪高等学校电子信息工程规划教材)

ISBN 978-7-302-15677-2

I. 电… II. 李… III. 电子技术—高等学校—教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 105467 号

责任编辑:丁 岭 徐跃进

责任校对:梁 毅

责任印制:孟凡玉

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

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印 刷 者:北京国马印刷厂

装 订 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:15.5 字 数:375 千字

版 次:2008 年 1 月第 1 版 印 次:2008 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:25.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:026044-01

出版说明

随着我国高等教育规模的扩大和产业结构调整的进一步完善,社会对高层次应用型人才的需求将更加迫切。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,合理调整和配置教育资源,在改革和改造传统学科专业的基础上,加强工程型和应用型学科专业建设,积极设置主要面向地方支柱产业、高新技术产业、服务业的工程型和应用型学科专业,积极为地方经济建设输送各类应用型人才。各高校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力度,从而实现传统学科专业向工程型和应用型学科专业的发展与转变。在发挥传统学科专业师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势的同时,不断更新其教学内容、改革课程体系,使工程型和应用型学科专业教育与经济建设相适应。

为了配合高校工程型和应用型学科专业的建设和发展,急需出版一批内容新、体系新、方法新、手段新的高水平电子信息类专业课程教材。目前,工程型和应用型学科专业电子信息类专业课程教材的建设工作仍滞后于教学改革的实践,如现有的电子信息类专业教材中有不少内容陈旧(依然用传统专业电子信息教材代替工程型和应用型学科专业教材),重理论、轻实践,不能满足新的教学计划、课程设置的需要;一些课程的教材可供选择的品种太少;一些基础课的教材虽然品种较多,但低水平重复严重;有些教材内容庞杂,书越编越厚;专业课教材、教学辅助教材及教学参考书短缺,等等,都不利于学生能力的提高和素质的培养。为此,在教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议下,清华大学出版社组织出版本系列教材,以满足工程型和应用型电子信息类专业课程教学的需要。本系列教材在规划过程中体现了如下一些基本原则和特点:

(1) 系列教材主要是电子信息学科基础课程教材,面向工程技术应用培养。本系列教材在内容上坚持基本理论适度,反映基本理论和原理的综合应用,强调工程实践和应用环节。电子信息学科历经了一个多世纪的发展,已经形成了一个完整、科学的理论体系,这些理论是这一领域技术发展的强大源泉,基于理论的技术创新、开发与应用显得更为重要。

(2) 系列教材体现了电子信息学科使用新的分析方法和手段解决工程实际问题。利用计算机强大功能和仿真设计软件,使得电子信息领域中大量复杂的理论计算、变换分析等变得快速简单。教材充分体现了利用计算机解决理论分析与解算实际工程电路的途径与方法。

(3) 系列教材体现了新技术、新器件的开发应用实践。电子信息产业中仪器、设备、产品都已使用高集成化的模块,且不仅仅由硬件来实现,而是大量使用软件和硬件相结合方法,使得产品性价比很高,如何使学生掌握这些先进的技术、创造性地开发应用新技术是本系列教材的一个重要特点。

(4) 以学生知识、能力、素质协调发展为宗旨,系列教材编写内容充分注意了学生创新

能力和实践能力的培养,加强了实验实践环节,各门课程均配有独立的实验课程和课程设计。

(5) 21 世纪是信息时代,学生获取知识可以是多种媒体形式和多种渠道的,而不再局限于课堂上,因而传授知识不再以教师为中心,以教材为惟一依托,而应该多为学生提供各类学习资料(如网络教材,CAI 课件,学习指导书等)。应创造一种新的学习环境(如讨论,自学,设计制作竞赛等),让学生成为学习主体。该系列教材以计算机、网络和实验室为载体,配有多种辅助学习资料,提高学生学习兴趣。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平的以老带新的教材编写队伍才能保证教材的编写质量和建设力度,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

21 世纪高等学校电子信息工程规划教材编委会

联系人: 魏江江 weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前 言

随着电子科学技术的迅速发展和计算机技术的广泛应用,“电子技术基础”已经成为一门重要的技术基础课。

本书在选材和内容安排上注意基础知识和实际应用技术相结合,并按照“器件-模拟-数字-数/模转换和模/数转换”的体系编排。本教材由三部分组成,第1、2章为电路分析基础部分,讨论了直流和交流电路的基础概念、基本定律和基本分析计算方法。第3、4、5章为模拟电路部分,分别讨论了半导体基础知识、放大电路基础、反馈和集成运算放大器,直流电源可以被看作是前几章内容的综合应用,因此将它编排在反馈和集成运算放大器这一章内。对半导体器件内部工作原理的讨论,力求概念清楚,避免繁复的数学推导,对各类模拟集成电路,重点是介绍集成元件的外部特性以及它们的实际应用。

第6、7、8、9章为数字电路部分,第6章数字电路讨论了数制与编码、逻辑代数基础、逻辑代数的化简以及逻辑门电路。第7、8章分别讨论了组合逻辑电路和时序逻辑电路的分析与设计,并特别介绍了利用中、大规模集成电路进行逻辑设计的技术和方法。此外,还介绍了利用555定时器构成的脉冲信号的产生与整形电路以及数/模转换和模/数转换方面的有关内容。

本书注重精选内容,突出重点,加强学生对基本概念和基本原理的理解,并注重实际应用能力方面的训练。每章后的习题有助于学生自我检查,附录中的实验内容为有条件的学校提供实验参考内容,随本教材同时出版的电子课件丰富了教师的课堂教学。

本书适合作为大学本科非电类有关专业“电子技术基础”课程的教材,也可以作为高等教育自学考试、大专、职业专科学校的相应教材。建议前5章学时数为50学时,后4章学时数为40学时,实验课20学时。

本书由清华大学刘宝琴教授审阅,编者对刘教授给予的宝贵意见表示衷心感谢。由于水平有限,书中一定存在不少缺点和错误,恳请读者和使用本书的教师批评、指正。

编 者

2007年10月于北京大学信息科学技术学院

目 录

第 1 章 电路的基本概念、定律和分析方法	1
1.1 电路中的电流、电压、电动势及功率	1
1.1.1 电路和电路模型	1
1.1.2 电 流	2
1.1.3 电压与电动势、电位与参考点	2
1.1.4 电流、电压的参考方向	4
1.1.5 电功率、电能及焦耳-楞次定律	4
1.1.6 电气设备的额定值	5
1.2 欧姆定律、电阻与电导	5
1.3 基尔霍夫定律	6
1.3.1 基尔霍夫电流定律(Kirchhoff's current law, KCL)	6
1.3.2 基尔霍夫电压定律(Kirchhoff's voltage law, KVL)	7
1.4 电阻的串联、并联和混联	7
1.4.1 电阻的串联	7
1.4.2 电阻的并联	8
1.4.3 电阻的混联	9
1.5 等效电源定理	9
1.5.1 电压源与电流源	9
1.5.2 戴维南定理	11
1.5.3 诺顿定理	12
1.5.4 负载获得最大功率传输的条件	13
1.6 节点电压法	13
1.7 叠加原理	14
1.8 受控源与二端口网络	15
习题一	17
第 2 章 正弦交流电路	23
2.1 正弦交流电的基本概念	23
2.1.1 正弦量的三要素	23
2.1.2 正弦交流电的有效值	24
2.2 正弦交流电的相量表示法	25

2.3	单一参数的正弦交流电路	27
2.3.1	电阻电路	27
2.3.2	电容电路	28
2.3.3	电感电路	30
2.4	非单一参数的正弦交流电路	32
2.4.1	RLC 串联电路	33
2.4.2	RLC 并联电路	36
2.5	复阻抗的串联和并联	37
	习题二	38
第3章	半导体二极管、三极管和场效应管	41
3.1	PN 结与半导体二极管、稳压二极管	41
3.1.1	半导体	41
3.1.2	PN 结及其单向导电特性	42
3.1.3	半导体二极管	44
3.1.4	稳压二极管	46
3.2	半导体三极管	48
3.2.1	晶体管的基本结构及符号	48
3.2.2	晶体管的电流放大过程	49
3.2.3	晶体管的伏安特性	50
3.2.4	晶体管的主要参数	51
3.3	场效应管	53
3.3.1	结型场效应管	53
3.3.2	绝缘栅场效应管	55
3.3.3	场效应管的主要参数	56
	习题三	58
第4章	放大电路基础	61
4.1	共射极放大电路	61
4.1.1	直流分析	62
4.1.2	图解法分析	62
4.1.3	微变等效电路分析法	63
4.1.4	分压式稳定静态工作点电路	66
4.2	共集电极放大电路	69
4.3	功率放大电路	70
4.3.1	双电源互补对称功率放大电路	71
4.3.2	单电源互补对称功率放大电路	74
4.4	多级放大电路	75
4.4.1	多级放大电路的耦合方式	75

4.4.2 多级阻容耦合放大电路的分析方法及频率特性	76
4.5 差动放大电路	79
4.5.1 基本差动放大电路	79
4.5.2 典型的长尾式差动放大电路	80
4.6 场效应管放大电路	82
4.6.1 共源极放大电路	82
4.6.2 共漏极放大电路——源极输出器	83
习题四	84
第 5 章 反馈与集成运算放大器	87
5.1 放大电路中的反馈	87
5.1.1 反馈的基本概念	87
5.1.2 负反馈的四种组态分析	88
5.1.3 负反馈对放大电路的影响	91
5.2 集成运算放大器	94
5.2.1 集成运算放大器的结构和传输特性	95
5.2.2 集成运算放大器的主要参数	96
5.2.3 理想运算放大器	97
5.3 集成运算放大器的线性应用	97
5.3.1 比例运算电路	97
5.3.2 和、差运算电路	98
5.3.3 积分、微分运算电路	101
5.4 集成运算放大器的非线性应用	103
5.4.1 运放外接非线性元件的应用电路	103
5.4.2 电压比较器	104
5.4.3 信号发生器	107
5.5 负反馈在直流稳压电源中的应用	109
5.5.1 单相桥式全波整流电路和滤波电路	110
5.5.2 稳压电路	111
5.5.3 开关电源	113
习题五	114
第 6 章 数字电路基础	118
6.1 数制与编码	118
6.1.1 数制与数制转换	118
6.1.2 符号数在机器中的表示——原码、反码和补码	121
6.1.3 十进制数的二进制编码——BCD 码	124
6.1.4 可靠性编码	125
6.1.5 字符编码	126

6.2	逻辑代数的基本概念、基本定律及规则	127
6.2.1	逻辑代数的基本概念	127
6.2.2	逻辑代数的基本定律及规则	129
6.3	逻辑函数化简	131
6.3.1	逻辑函数化简的意义	131
6.3.2	公式法化简	132
6.3.3	卡诺图化简	133
6.4	集成逻辑门电路	138
6.4.1	TTL 门电路	139
6.4.2	CMOS 门电路	142
	习题六	143
第 7 章	组合逻辑电路	147
7.1	组合电路的分析与设计	147
7.1.1	组合电路的分析	147
7.1.2	组合电路的设计	148
7.1.3	组合电路中的险象及其消除方法	150
7.2	中规模集成组合逻辑部件	153
7.2.1	半加器与全加器	153
7.2.2	编码器	155
7.2.3	译码器	156
7.2.4	数据选择器	160
7.2.5	数值比较器	163
7.3	可编程组合逻辑器件	164
7.3.1	只读存储器 ROM	165
7.3.2	可编程组合逻辑阵列 PLA 的应用	169
	习题七	170
第 8 章	触发器与时序逻辑电路	173
8.1	锁存器和触发器	174
8.1.1	锁存器	174
8.1.2	触发器	174
8.2	时序电路的分析	179
8.3	时序电路的设计	182
8.3.1	同步时序电路的设计	182
8.3.2	异步时序电路的设计	187
8.4	常用时序逻辑部件	188
8.4.1	寄存器	189
8.4.2	计数器	191

8.5 555 定时器的原理和应用	193
8.5.1 555 定时器的结构和功能	193
8.5.2 555 定时器的应用	194
习题八	197
第 9 章 数模转换和模数转换	201
9.1 DAC 和 DAC 0832 芯片	201
9.1.1 DAC 的工作原理	201
9.1.2 集成 DAC 0832 芯片	202
9.1.3 DAC 的主要性能指标	203
9.2 ADC 和 ADC 0809 芯片	204
9.2.1 ADC 的基本概念	204
9.2.2 ADC 0809 芯片	205
9.2.3 ADC 的主要性能指标	206
习题九	206
附录 A 实验	207
实验一 戴维南定理的验证	207
实验二 RLC 串联谐振电路	209
实验三 共射极放大电路	211
实验四 集成运算放大器的应用	213
实验五 直流稳压电源	215
实验六 全加器及其应用	216
实验七 译码器和数据选择器及其应用	218
实验八 触发器与移位寄存器	219
实验九 计数器	221
实验十 并行加减	223
实验十一 串行加法器	224
附录 B 常用半导体器件的参数	226
附录 C 部分习题答案	228
参考文献	234

第 1 章 电路的基本概念、定律和分析方法

1.1 电路中的电流、电压、电动势及功率

1.1.1 电路和电路模型

电路即传导电流的通路,一般由电源、负载、连接导线和控制设备所组成。电路的功能可分为两大类:一类是实现电能的传输与转换,如电力系统,力求传输和转换效率高,电能损失小;另一类是实现信号的传递和处理,如扩音器、有线或无线的电话电视系统,力求信号失真小。若电路处理的信号是随时间连续变化的,则属于模拟电路;若电路处理的信号在时间和数值上是离散的,则属于数字电路。

电源是将非电能转换成电能的装置,非电能有化学能、机械能、原子能、太阳能等。

负载又称为用电器,它吸收并转换电能为其他能。生活中常见的负载有电灯、电热器、电动机、家电等各类设备。

控制设备包括控制开关、或者复杂的接收、发送、检测、放大电路等环节。

实际电路中使用的元件多多少少会同时具有电、磁、热效应,为了简化分析,突出主要特性而忽略次要特性,用理想元件近似地替代实际元件所得到的电路称作实际电路的电路模型,本书后面的讨论都是针对模型电路进行的。典型的理想元件列在表 1-1 中。

表 1-1 典型的理想元件

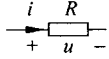
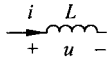
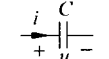
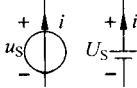
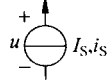
名 称	电 路 图 形	参 数	u, i 关系	性 质
电阻		R	$u = i \cdot R$	吸收电能并转换成热、光、声、机械等形式的能
电感		L	$u = L \frac{di}{dt}$	将电能转换成磁场能量储存起来
电容		C	$u = \frac{1}{C} \int i \cdot dt$	将电能转移到电容上储存起来
恒压源		U_s 或 u_s	U_s 或 u_s 与 i 无关	将化学能、原子能、太阳能、水、风等其他形式的能转换成电能
恒流源		I_s 或 i_s	I_s 或 i_s 与 u 无关	

图 1-1(a)是手电筒电路的模型电路,干电池是电源,用一个恒压源 U_s 和一个低值内阻 R_0 的串联表示,小灯泡是负载,用电阻 R_L 表示。如图 1-1 所示的(a)、(b)、(c)分别表示电

路的三个基本工作状态：通路、开路和短路。通路是指负载上有正常的电流通过；开路表示电路中没有电流；短路是指用导线在电源两端或负载两端直接碰接。若是电源短路，由于电源中的内阻 R_0 很小，电源被短路时的电流 I_d 很大，电源极易被烧毁；若是负载短路，造成负载上没有电流而无法使用，所以要避免短路。

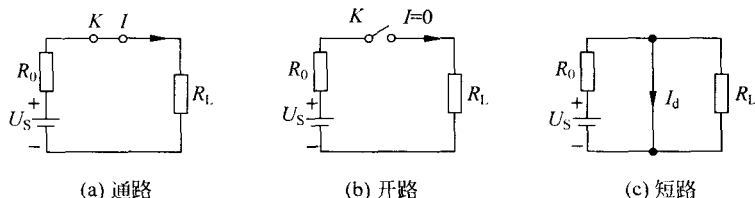


图 1-1 模型电路与电路的三个基本工作状态

1.1.2 电流

电荷在电场的作用下做有规则的定向运动形成了电流。图 1-2 表示一段导体中，带有正电荷的自由电子受电场力的作用从正极 a 移动到负极 b 形成电流 I ，其效果如同等量的负电荷从负极 b 点移动到正极 a 所形成的电流。习惯上把正电荷的运动方向作为电流的实际方向。

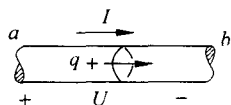


图 1-2 导体中的电流

衡量电流大小的物理量称为电流强度。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。任一瞬间，通过导体截面电荷量的大小和方向不随时间变化，称其为直流，用大写字母 I 表示：

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

如果电荷量的大小和运动方向是随时间变化，则称其为变化的电流，变化的电流用小写字母 i 表示。设在极短时间 dt 内通过导体截面 S 的电流为 dq ，电流 i 为：

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

国际单位制中，电流强度的基本单位为安(A)，当 1 秒时间内通过导体横截面的电荷量为 1 库仑时，电流强度为 1 安培。计量电流强度的其他单位及它们的换算关系是：

$$1 \text{ 千安(kA)} = 10^3 \text{ 安(A)},$$

$$1 \text{ 安(A)} = 10^3 \text{ 毫安(mA)} = 10^6 \text{ 微安(}\mu\text{A)}$$

1.1.3 电压与电动势、电位与参考点

1. 电压与电动势

电场力驱动电荷移动一段距离表明电场力对电荷做功，功的大小仅与电荷的多少以及移动的起点和终点在电场中的位置有关，与路径无关。衡量电场力对电荷做功的能力用电压来表示。以图 1-3 电路为例，电源极板上的正、负电荷形成一定大小的电

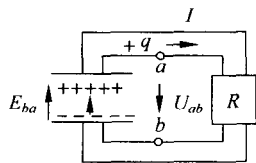


图 1-3 电荷移动

场,只要 ab 两点间接入电阻 R 形成通路,便将导致电荷移动产生电流 I 。大小和方向不变的电压称为直流电压,用大写字母 U 表示。 ab 两点间的电压 U_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功(W):

$$U_{ab} = \frac{W}{Q} \quad (1-3)$$

U_{ab} 的实际方向是由正极 a 指向负极 b 。

随时间变化的电压用小写字母表示,如:

$$u_{ab} = \frac{dw}{dq} \quad (1-4)$$

为了维持电流源源不断地流经负载做功,势必通过电源装置将局外力(包括化学能、机械能、太阳能等形式)转换为电场力。局外力把单位正电荷从负极 b 点经电源内部移到正极 a 点所做的功与此电荷量的比值称为电动势 E_{ba} ,即

$$E_{ba} = \frac{W}{Q} \quad \text{或} \quad e_{ba} = \frac{dw}{dq} \quad (1-5)$$

用大写字母表示直流电动势,用小写字母表示变化的电动势。当电路断开时,局外力和电场力对正电荷做功的能力大小相同、方向相反,故

$$E_{ba} = -U_{ab} \quad \text{或} \quad E_{ab} = U_{ab} \quad (1-6)$$

当电路接通时,由局外力所做的功转换为电场能量,一部分消耗在电源内部,用电源内阻表示;另一部分消耗在外电路中。

在国际单位制中,电压和电动势的单位相同,基本单位是伏(V)。电场把1库仑的正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功是1焦耳时, U_{ab} 为1伏。常用的电压单位及其换算关系如下:

$$1 \text{ 千伏(kV)} = 10^3 \text{ 伏(V)}$$

$$1 \text{ 伏(V)} = 10^3 \text{ 毫伏(mV)} = 10^6 \text{ 微伏(}\mu\text{V)}$$

2. 电位与参考点

为了简化电路图,常常用电位来表示正电荷在电场中某一点的电位能。选择电路的某一点作为参考点并用接地符号 $\perp$ 表示,规定参考点的电压为0伏。任意一点到参考点的电压就是这一点的电位。任意两点之间的电位差就是这两点之间的电压。电位具有单值性,一旦参考点确定下来,电路中各点的电位就被唯一地确定下来;参考点改变,各点电位也随之改变,但任意两点之间的电位差不变。一个电路只能有一个参考点,在科学实验和电气维修中用到示波器、信号源等多种仪器时,应将所有仪器与电路的接地线连在一起,以保证共用同一个参考点。

图1-4是电子线路的常用画法,它将 a 与 b 之间的电源 U_s 去掉,左图中设 b 点作为参考点, a 点的电位 $U_a = 10\text{V}$, c 点的电位 $U_c = 5\text{V}$;右图中设 c 点为参考点,则 $U_a = 5\text{V}$, $U_b = -5\text{V}$,无论参考点选在何处, ab 之间的电压不变: $U_{ab} = U_a - U_b = 10\text{V}$ 。

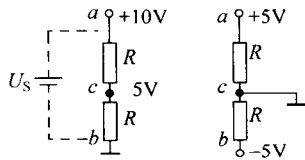


图1-4 电位与参考点

1.1.4 电流、电压的参考方向

分析电路中电能的分配与转换离不开电流、电压的大小和方向。复杂电路中电流、电压的真实方向却不易判断,怎么办呢?解决的办法是:为每条线路上的电压和电流假定一个正方向,该假定正方向又称作参考方向。按照参考方向计算出来的电压或电流是一个大于零的正数,说明参考方向与实际方向相同;若计算出来的是一个小于零的负数,说明参考方向与实际方向相反。参考方向的表示可以是双下标、箭头或极性表示。图 1-5 中双下标表示的 U_{ab} 、 I_{ab} 应和箭头或极性表示一致,都是由 a 指向 b 。

同一元件上的电压参考方向与电流参考方向相同时称作是关联参考方向,如图 1-5(a)所示;否则,是非关联参考方向,如图 1-5(b)所示。

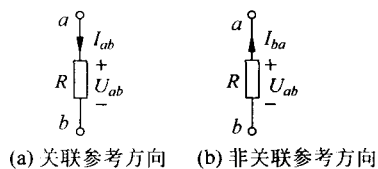


图 1-5 参考方向

1.1.5 电功率、电能及焦耳-楞次定律

1. 电功率

在图 1-3 直流电路中,电流 I 在电压 U_{ab} 驱动下通过电阻,使电阻吸收(或消耗了)电能。单位时间内电阻吸收的电能称为电功率,简称功率。用大写符号 P 表示:

$$P = U_{ab} \times I \quad (1-7)$$

充电电池在充电时吸收电能,其作用是负载;充电电池接上负载时放出电能,其作用是电源。计算一个器件、一个电源或一部分电路吸收的电功率仅仅由该部分的电压、电流确定:

$$\left. \begin{array}{l} \text{当 } U、I \text{ 方向相同时 } P = U \times I \\ U、I \text{ 方向相反时 } P = -U \times I \\ \text{在变化的电压、电流电路中,用小写字母 } p \text{ 表示瞬时功率:} \\ u、i \text{ 方向相同时 } p = u \times i \\ u、i \text{ 方向相反时 } p = -u \times i \end{array} \right\} \quad (1-8)$$

当 $P > 0$,表明器件吸收电功率; $P < 0$,器件发出电功率。

国际单位制中,功率的基本单位是瓦(W),简称瓦。器件两端电压为 1V、通过的电流为 1A,则器件吸收的电功率是 1W。常用的功率单位及它们的换算关系是

$$\begin{aligned} 1 \text{ 千瓦(kW)} &= 10^3 \text{ 瓦(W)} \\ 1 \text{ 瓦(W)} &= 10^3 \text{ 毫瓦(mW)} \end{aligned}$$

2. 电能与热量

负载在 t 时间内消耗的电能 W 是功率和时间之乘积

$$W = P \times t = U \times I \times t \quad (1-9)$$

国际单位制中,电能 W 的单位是焦耳。当功率是 1 瓦,持续 1 秒时间,消耗的电能是

1 焦耳。市场上用 1 度电作为计价收费的单位,1 度电=1 千瓦·时(kWh)。

热量 Q_R 与电能 W 的换算关系由焦耳-楞次定律确定:

$$Q_R = 0.239 UI t \quad \text{单位: 卡} \quad (1-10)$$

1.1.6 电气设备的额定值

电气设备都有一个产品铭牌或者说明书,它告诉用户设备的使用条件和方法,其中额定值是保证电器设备正常使用而规定的允许值。如额定电压 U_N 、额定电流 I_N 、额定功率 P_N 等。虽然额定值有一个富裕量,但是如果电压超过额定值太多会导致电气设备击穿、电流太大会使设备发热损坏绝缘而烧毁设备;电压低于额定值太多,设备不能启动或者不能发挥正常作用。例如,一台变压器的额定值是 220V/50Hz,容量为 2kVA,大约能提供 45 安培的电流。因此,用户接入负载时的总电流不应超过这个限制。为了保证电气设备安全可靠和延长寿命,应视使用场合的重要性而降额使用,常温下电流不应超过额定电流的 90%。

1.2 欧姆定律、电阻与电导

电阻用来表示吸收电能且转换成热、光、声、机械能等不可逆过程的电路元件,常见的白炽灯、电炉、扬声器等都可以表示成一个电阻。此外,用各种材料制作的电阻器是最常用的电子器件之一,电阻器在电路中起到限流、分压、分流、电流-电压变换等作用。用 R 代表电阻的符号和参数,线性电阻的图形符号以及伏安特性曲线如图 1-6(a)所示。

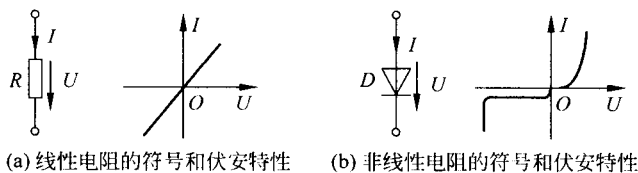


图 1-6 伏安特性

线性电阻的伏安特性是一条通过原点的直线,非线性电阻的伏安特性是一条过原点的曲线,如图 1-6(b)所示。在线性电阻上同方向的电压与电流之比定义了电阻的大小,这一结论就是欧姆定律:

$$R = \frac{U}{I}$$

或

$$U = RI$$

或

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-11)$$

如果 U 、 I 是不同的参考方向,等式前要加负号“-”,如:

$$R = -\frac{U}{I}$$

或

$$U = -RI$$

或

$$I = -\frac{U}{R} \quad (1-12)$$

在国际单位制中,电阻的基本单位是欧(Ω)。当电阻两端电压是 1V,流过的电流是 1A,该电阻为 1Ω 。计算大电阻可以用千欧(k Ω)和兆欧(M Ω),它们的换算关系是

$$1 \text{ 千欧(k}\Omega\text{)} = 10^3 \text{ 欧}(\Omega)$$

$$1 \text{ 兆欧(M}\Omega\text{)} = 10^6 \text{ 欧}(\Omega)$$

电阻的倒数称为电导,用 G 表示。在国际单位制中,电导的单位是西(S)。

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-13)$$

1.3 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律包含两个内容:一个是基尔霍夫电流定律,它总结了连接在同一节点上各支路中电流的分配关系;另一个是基尔霍夫电压定律,它归纳了回路中各部分电压的分配关系。在介绍这两个定律之前,下面结合图 1-7 对定律中提到的名词加以说明。

支路: 由一个或多个二端元件串联组成不分岔并且通过同一电流的一段电路称作支路。图 1-7 中有 3 条支路: ac 、 abc 、 $adec$ 。

节点: 三条或三条以上支路的连接点称作支路,图 1-7 中有两个节点(a 、 c)。

回路: 任一闭合路径称作回路,图 1-7 中有三个回路: $aceda$ 、 $abca$ 、 $abcda$ 。

网孔: 内部不含其他支路的回路称作网孔。图中 $aceda$ 是网孔 I, $abca$ 是网孔 II。

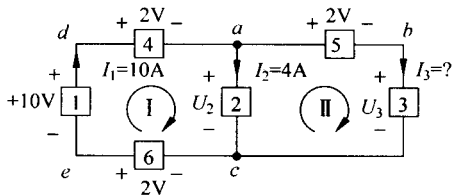


图 1-7 具有两个节点和三条支路的电路

1.3.1 基尔霍夫电流定律(Kirchhoff's current law, KCL)

该定律指出:任一瞬间,流入任一节点的电流总和等于流出该节点的电流总和。对图 1-7 电路中的 a 点列 KCL 方程:

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (1-14)$$

或

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad \text{即} \quad \sum I = 0 \quad (1-15)$$

式(1-15)是 KCL 的另一种描述:任一时刻,流入任一节点电流的代数和等于零。如果规定流入节点的电流取正值,则流出节点的电流就应取负值。

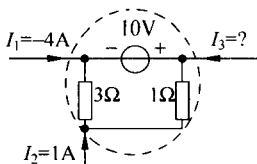


图 1-8 广义节点

KCL 的应用可以推广到电路中任意假想的封闭面。在图 1-8 中,将虚线包围的封闭面看成广义节点,对该广义节点列 KCL 方程,有:

$$I_3 = -I_1 - I_2 = -(-4) - 1 = 3(\text{A})$$

需要说明的是: KCL 不适用于天线,只适用于电路尺寸 $L \ll \lambda$ 的集中参数电路(波长 $\lambda = C/f$, $C = 3 \times 10^8$ 是光速、 f 是信号频