



21st CENTURY

规划教材

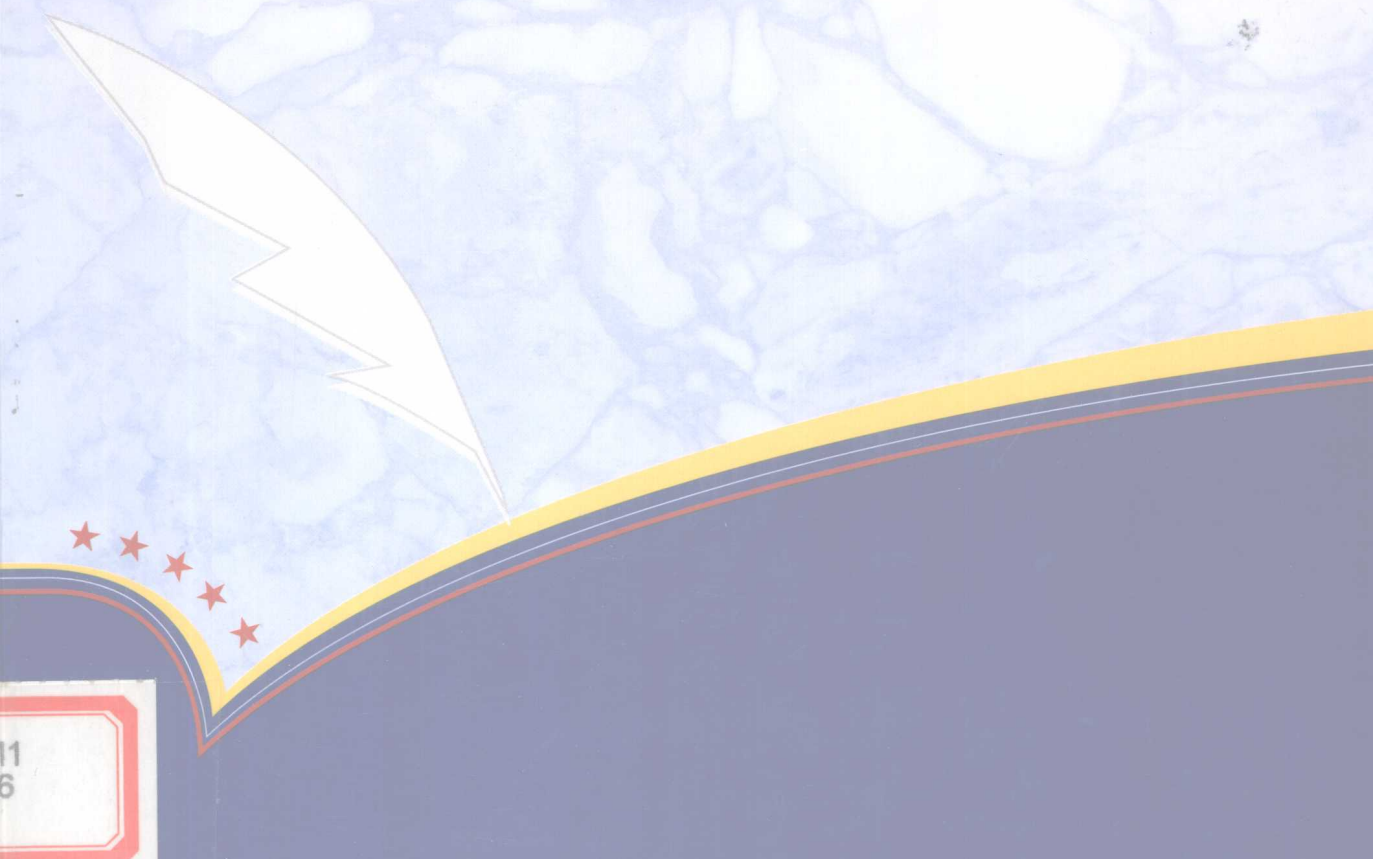
面向21世纪高职高专电子通信系列规划教材

COURSES FOR VOCATIONAL HIGHER EDUCATION; ELECTRONICS AND COMMUNICATION

电工基础

ELECTROTECHNICS FUNDAMENTALS

李文森 主编



11
6



科学出版社
www.sciencep.com



面向21世纪高职高专电子通信系列规划教材
COURSES FOR VOCATIONAL HIGHER EDUCATION, ELECTRONICS AND COMMUNICATION

电 工 基 础

李文森 主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书根据高职高专培养目标要求,本着理论够用、应用为主、注重实践的教学思想编写,充分考虑到学制缩短和学时数减少的教学现状,简化了理论性较强的分析方法和繁琐的公式推导,加强物理概念的阐述,力求简明扼要、深入浅出、通俗易懂,以便读者阅读。

本书主要内容有:电路的基本概念和基本定律;直流电路的分析方法;电容元件与电感元件;正弦交流电路;三相正弦交流电路;互感电路;周期性非正弦交流电路;线性电路过渡过程;磁路与铁心线圈等。

本书可作为高等职业院校电工、电子类专业或相近专业的教材,也可供有关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/李文森主编. —北京:科学出版社, 2005

(面向 21 世纪高职高专电子通信系列规划教材)

ISBN 7-03-014791-X

I. 电… II. 李… III. 电工学-高等学校:技术学校-教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 136591 号

责任编辑:王 彦 许 进/责任校对:柏连海

责任印制:吕春珉/封面设计:飞天创意

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 2 月 第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2006 年 6 月第三次印刷 印张: 11 1/2

印数: 5 001 — 8 000 字数: 252 000

定价: 16.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

面向 21 世纪高职高专规划教材专家委员会

主 任 李宗尧

副主任 (按姓氏笔画排序)

丁桂芝 叶小明 张和平 林 鹏

黄 藤 谢培苏

委 员 (略)

信息技术系列教材编委会

主 任 丁桂芝

副主任 (按姓氏笔画排序)

万金保 方风波 徐 红 鲍 泓

委 员 (按姓氏笔画排序)

于晓平	马国光	仁英才	王东红	王正洪
王 玉	王兴宝	王金库	王海春	王爱梅
邓 凯	付百文	史宝会	本柏忠	田 原
申 勇	任益夫	刘成章	刘克敏	刘甫迎
刘经玮	刘海军	刘敏涵	安志远	许殿生
何瑞麟	余少华	吴春英	吴家碚	吴瑞萍
宋士银	宋锦河	张红斌	张环中	张海鹏
张蒲生	张德实	李云程	李文森	李 洛
李德家	杨永生	杨 闯	杨得新	肖石明
肖洪生	陈 愚	周子亮	周云静	胡秀琴
赵从军	赵长旭	赵动庆	郝 梅	唐铸文
徐洪祥	徐晓明	袁德明	郭庚麒	高延武
高爱国	康桂花	戚长政	曹文济	黄小鸥
彭丽英	董振珂	蒋金丹	韩银峰	魏雪英

出版前言

随着世界经济的发展,人们越来越深刻地认识到经济发展需要的人才多元化、多层次的,既需要大批优秀的理论型、研究型的人才,也需要大批应用型人才。然而,我国传统的教育模式主要是培养理论型、研究型的人才。教育界在社会对应用型人才需求的推动下,专门研究了国外应用型人才教育的成功经验,结合国情大力度地改革我国的“高等职业教育”,制定了一系列的方针政策。联合国教科文组织1997年公布的教育分类中将这种教育称之为“高等技术与职业教育”,也就是我们通常所说的“高职高专”教育。

我国经济建设需要大批应用型人才,呼唤高职高专教育的崛起和成熟,寄希望于高职高专教育尽快向国家输送高质量的紧缺人才。近几年,高职高专教育发展迅速。目前,各类高职高专学校已占全国高等院校的近1/2,约有600所之多。教育部针对高职高专教育出台的一系列政策和改革方案主要体现在以下几个方面:

- “就业导向”成为高职高专教育的共识。高职高专院校在办学过程中充分考虑市场需求,用“就业导向”的思想制定招生和培养计划。
- 加快“双师型”教师队伍建设。已建立12个国家高职高专学生和教师的实训基地。
- 对学生实行“双认证”教育。学历文凭和职业资格“双认证”教育是高职高专教育特色之一。
- 高职高专教育以两年学制为主。从学制入手,加快高职高专教学方向的改革,充分办出高职高专教育特色,尽快完成紧缺人才的培养。
- 开展精品专业和精品教材建设。已建立科学的高职高专教育评估体系和评估专家队伍,指导、敦促不同层次、不同类型的学校办出一流的教育。

在教育部关于“高职高专”教育思想和方针指导下,科学出版社积极参与到高职高专教材的建设中去,在组织教材过程中采取了“请进来,走出去”的工作方法,即由教育界的专家、领导和一线的教师,以及企事业从事人力资源工作的人员组成顾问班子,充分分析我国各地区的经济发展、产业结构以及人才需求现状,研究培养国家紧缺人才的关键要素,寻求切实可行的教学方法、手段和途径。

通过研讨认识到,我国幅员辽阔,各地区的产业结构有明显的差异,经济发展也不平衡,各地区对人才的实际需求也有所不同。相应地,对相同专业和相近专业,不同地区的教学单位在培养目标和培养内容上也各有自己的定位。鉴于此,适应教育现状的教材建设应该具有多层次的设计。

为了使教材的编写能针对受教育者的培养目标,出版社的编辑分不同地区逐所学校拜访校长、系主任和老师,深入到高职高专学校及相关企事业,广泛、深入地教学和教学第

一线的老师、用人单位交流,掌握了不同地区、不同类型的高职高专院校的教师、学生和教学设施情况,清楚了各学校所设专业的培养目标和办学特点,明确了用人单位的需求条件。各区域编辑对采集的数据进行统计分析,在相互交流的基础上找出各地区、各学校之间的共性和个性,有的放矢地制定选题项目,并进一步向老师、教育管理者征询意见,在获得明确指导性意见后完成“高职高专规划教材”策划及教材的组织工作:

- 第一批“高职高专规划教材”包括三个学科大系:经济管理、信息技术、建筑。
- 第一批“高职高专规划教材”在注意学科建设完整性的同时,十分关注具有区域人才培养特色的教材。
- 第一批“高职高专规划教材”组织过程正值高职高专学制从3年制向2年制转轨,教材编写将其作为考虑因素,要求提示不同学制的讲授内容。
- 第一批“高职高专规划教材”编写强调
 - ◆ 以就业岗位对知识和技能需求下的教材体系的系统性、科学性和实用性。
 - ◆ 教材以实例为先,应用为目的,围绕应用讲理论,取舍适度,不追求理论的完整性。
 - ◆ 提出问题→解决问题→归纳问题的教、学法,培养学生触类旁通的实际工作能力。
 - ◆ 课后作业和练习(或实训)真正具有培养学生实践能力的作用。

在“高职高专规划教材”编委的总体指导下,第一批各科教材基本是由系主任或从教学一线中遴选的骨干教师执笔撰写。在每本书主编的严格审读及监控下,在各位老师的辛勤编撰下,这套凝聚了所有作者及参与研讨的老师们的经验、智慧和资源,涉及三个大的学科近200种的高职高专教材即将面世。我们希望经过近一年的努力,奉献给读者的这套书是他们渴望已久的适用教材。同时,我们也清醒地认识到,“高职高专”是正在探索中的教育,加之我们的水平和经验有限,教材的选题和编辑出版会存在一些不尽人意的地方,真诚地希望得到老师和学生的批评、建议,以利今后改进,为繁荣我国的高职高专教育不懈努力。

科学出版社

2004年6月1日

前 言

电工基础（又称之为电路或者电路基础）是计算机、电子、信息技术和电气自动化等电类专业的一门专业基础课。本书根据高职高专教学内容的基本要求，本着理论够用、应用为主、注重实践的教学思想编写。

本书的编写人员均是来自于高职高专院校从事电工、电路教学的第一线教师，具有丰富的教学经验。本书在编写过程中，根据高职高专培养目标和学生的实际情况，简化了理论性较强的分析方法和繁琐的公式推导，加强物理概念的阐述，力求简明扼要、深入浅出、通俗易懂，以便读者阅读。

鉴于学制的缩短和学时数的减少，本书提供了必要的典型例题和习题，以便读者掌握基本内容，提高分析和解决问题的能力。

本书共分九章，第1章为电路的基本概念和基本定律；第2章为直流电路的分析方法；第3章为电容元件与电感元件；第4章为正弦交流电路；第5章为三相正弦交流电路；第6章为互感电路；第7章为周期性非正弦交流电路；第8章为线性电路过渡过程；第9章为磁路与铁心线圈。本教材建议理论教学64~90学时，各专业可根据各自需求安排学时和内容。

本书由李文森担任主编，陈琳、何明瑞任副主编。具体编写分工如下：陈琳、廉振芳编写第1、2章，何明瑞编写第3章，李文森、曲延昌编写第4章，李文森编写第5章，孙晓燕编写第6、7章，李磊编写第8章，赵伟中、麻锦娅编写第9章。全书由李文森统稿，刘万强任主审。

在本书的编写过程中，编者参考了很多国内外相关资料和书籍，在此向有关资料、书籍的作者表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏之处，敬请读者批评指正。若有意见和要求可通过电子信箱 liwsen@163.com 与作者联系。

编 者

2004年11月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 电路	1
1.1.2 电路模型	2
1.2 电路的基本物理量	2
1.2.1 电流及其参考方向	2
1.2.2 电压及其参考方向	3
1.2.3 电位	4
1.2.4 电动势	4
1.2.5 电功率与电能	5
1.3 电阻元件和欧姆定律	6
1.4 电压源和电流源	7
1.4.1 电压源	7
1.4.2 电流源	8
1.5 工程中的电阻、电源与电路状态	9
1.5.1 电阻	9
1.5.2 电源	10
1.5.3 电路的状态	11
1.6 基尔霍夫定律	11
1.6.1 基尔霍夫电流定律	11
1.6.2 基尔霍夫电压定律	12
习题	13
第 2 章 直流电路的分析方法	16
2.1 电阻的串联和并联	16
2.1.1 等效网络	16
2.1.2 电阻的串联	17
2.1.3 电阻的并联	17
2.1.4 电阻的混联	18
2.2 三端电阻网络的等效变换	19
2.3 电源的连接与等效变换	21
2.3.1 电压源的串联和并联	21
2.3.2 电流源的串联和并联	23
2.3.3 两种实际电源模型的等效变换	24
2.4 支路电流法	26
2.5 回路电流法	27
2.6 节点电压法	29

2.7	叠加定理	31
2.8	戴维南定理	33
2.9	含受控源电路的分析	35
2.9.1	受控源	35
2.9.2	含受控源电路的分析	35
2.10	运算放大器简介	36
	习题	38
第3章	电容元件与电感元件	42
3.1	电容元件	42
3.1.1	电容	42
3.1.2	电容元件的电压与电流的关系	43
3.1.3	电容元件的储能	43
3.2	电容的串、并联	44
3.2.1	电容器的并联	44
3.2.2	电容器的串联	45
3.3	电感元件	47
3.3.1	电感	47
3.3.2	电感元件的电压与电流的关系	48
3.3.3	电感元件的储能	48
	习题	49
第4章	正弦交流电路	51
4.1	正弦交流电的基本概念	51
4.1.1	正弦量	51
4.1.2	正弦交流电的三要素	52
4.1.3	相位差	54
4.2	正弦量的有效值	55
4.2.1	有效值的定义	55
4.2.2	正弦量的有效值	56
4.3	正弦量的相量表示方法	57
4.3.1	复数及四则运算	57
4.3.2	正弦量的相量表示法	59
4.4	正弦电路中的电阻元件	60
4.4.1	电阻元件上电压与电流的关系	60
4.4.2	电阻元件上电压与电流的相量关系	61
4.4.3	电阻元件的功率	62
4.5	正弦电路中的电感元件	63
4.5.1	电感元件上电压和电流的关系	63
4.5.2	电感元件上电压和电流的相量关系	64
4.5.3	电感元件的功率	65
4.6	正弦电路中的电容元件	66
4.6.1	电容元件上电压与电流的关系	66

4.6.2 电容元件上电压与电流的相量关系	67
4.6.3 电容元件的功率	68
4.7 基尔霍夫定律的相量形式	69
4.7.1 相量形式的基尔霍夫电流定律	69
4.7.2 相量形式的基尔霍夫电压定律	69
4.8 复阻抗、复导纳及其等效变换	71
4.8.1 复阻抗与复导纳	71
4.8.2 复阻抗与复导纳的等效变换	73
4.9 RLC 串联电路	74
4.9.1 电压与电流的关系	74
4.9.2 电路的性质	75
4.9.3 阻抗串联电路	76
4.10 RLC 并联电路	77
4.10.1 阻抗法分析并联电路	77
4.10.2 导纳法分析并联电路	79
4.10.3 多阻抗并联	80
4.11 交流电路的相量分析法	81
4.11.1 网孔电流法	82
4.11.2 节点法	82
4.12 正弦交流电路的功率	83
4.12.1 瞬时功率 p	83
4.12.2 有功功率	84
4.12.3 无功功率 Q	85
4.12.4 视在功率 S	85
4.12.5 功率三角形	85
4.13 功率因数的提高	86
4.13.1 功率因数提高的意义	86
4.13.2 提高功率因数的方法	87
4.14 谐振	89
4.14.1 串联谐振	89
4.14.2 并联谐振	92
习题	94
第5章 三相正弦交流电路	100
5.1 三相电源与三相负载	100
5.1.1 三相电源	101
5.1.2 三相电源的连接	102
5.1.3 三相负载及其连接	103
5.2 三相电路的功率	106
5.3 对称三相电路的计算	109
5.4 不对称三相电路的特点及分析	113
习题	115

第 6 章 互感电路	118
6.1 互感	118
6.1.1 互感的基本概念	118
6.1.2 互感电压	120
6.2 同名端	121
6.2.1 同名端的概念	121
6.2.2 同名端的判定	122
6.3 互感电路的分析	123
6.3.1 互感线圈的串联	123
6.3.2 互感线圈的并联	125
习题	127
第 7 章 周期性非正弦交流电路	129
7.1 周期性非正弦量及其分解	129
7.1.1 周期性非正弦量的产生	129
7.1.2 周期性非正弦量的分解	130
7.2 周期性非正弦电流电路中的有效值、平均值、平均功率	135
7.2.1 有效值	135
7.2.2 平均值	136
7.2.3 平均功率	136
7.3 周期性非正弦电流电路的计算	138
习题	140
第 8 章 线性电路过渡过程	142
8.1 换路定律与初始值的计算	142
8.1.1 电路中的过渡过程	142
8.1.2 换路定律	143
8.1.3 初始值的计算	143
8.2 一阶电路的零输入响应	145
8.2.1 RC 电路的零输入响应	145
8.2.2 RL 串联电路的零输入响应	147
8.3 一阶电路的零状态响应	148
8.3.1 RC 串联电路的零状态响应	148
8.3.2 RL 串联电路的零状态响应	150
8.4 一阶电路的全响应	151
8.5 一阶电路的三要素法	153
习题	154
第 9 章 磁路与铁心线圈	156
9.1 铁磁性物质	156
9.1.1 铁磁性物质的磁化	156
9.1.2 磁化曲线	157
9.1.3 软磁材料和硬磁材料	158

9.2 磁路及磁路定律	159
9.2.1 磁路	159
9.2.2 磁路的基本物理量	160
9.2.3 磁路中的基本规律	160
9.3 简单直流磁路的计算	162
9.4 电磁铁	164
9.4.1 直流电磁铁	165
9.4.2 交流电磁铁	166
习题	167
主要参考文献	169

第 1 章 电路的基本概念 和基本定律



知识点

- 电路模型
- 电路的基本物理量
- 基尔霍夫定律



难点

- 电流、电压的参考方向
- 功率的计算
- 电阻的计算



要求

掌握：

- 电路的基本物理量的特点
- 电压源、电流源的特点
- KCL、KVL 的应用，电位的计算，电功率的计算

了解：

- 电路及电路模型的概念
- 工程中的电阻、电源
- 电路的状态

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

电路又称网络，是各种电器设备按一定方式连接起来，构成的电流的通路。一个电路一般应包括电源、负载、导线、控制装置等几部分。

电源是电路中提供电能或产生信号的设备，如干电池、发电机、信号发生器等。负载是电路中吸收电能或接收信号的器件。导线和控制设备则是电路中电能或信号的传输和控制器件。电路通过传输和控制器件把电源和负载连接起来。

实际应用中的电路，种类繁多，结构形式各不相同，但其主要功能不外乎有以下两种：其一是进行电能的转换、传输和分配，电力系统的供电网络就是这样的例子，发电机组将热能、水能、原子能等转换成电能，通过变压器、输电线路等输送到用户，用户

又把电能转变成光能、热能、机械能等其他形式的能量；其二是对信号的处理和传递，收音机、电视机电路是这样的实例，收音机或电视机通过接收电台发射的信号，经调谐、滤波、放大等环节的处理变成人们所需要的声音或图像信号。在现代的自动控制、计算机网络、通信等方面的电路也是信号处理和传递的具体应用。

1.1.2 电路模型

任何实际电路都是由实际的电气设备或器件组成的，实际的电路器件在工作时的电磁性质是比较复杂的，大多数器件都有多种电磁效应。在电路分析中，为了使问题简化，对实际的电路器件，一般取其主要作用的方面，用一些理想的电路元件来代替。例如，干电池、发电机等，主要是将其他形式的能量转变为电能，通常可以用“电压源”来代替。电炉、白炽灯等主要是消耗电能的，可以用“电阻元件”来代替。储存磁场能的器件可以用“电感元件”、储存电场能的器件可以用“电容元件”来表示。

由理想元件及其组合近似地代替实际电路器件而组成的电路，称为实际电路的“电路模型”。所谓电路模型，就是在一定条件下，把实际电路的电磁本质抽象出来所组成的理想化电路。

无论简单的还是复杂的实际电路，都可以通过电路模型来充分地描述。本书中所讨论的电路都是电路模型，通过对它们的基本规律的研究，达到分析、研究实际电路的目的。

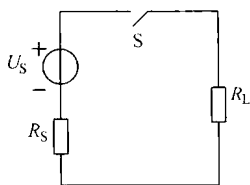


图 1.1 一个简单的电路

用规定的电路符号表示各种理想元件而得到的电路模型图，称为电路图。电路图只反映电路器件在电磁方面的相互联系，而不反映其几何位置等其他信息。图 1.1 是一个简单的电路图。 U_S 表示电压源（如干电池的源电压）， R_S 表示电源内阻（如干电池的内电阻）， R_L 表示一个负载（如小灯泡）， S 表示电路的开关。

理想的电路元件是通过接线端子与外部相连接的，若一个元件只有两个端子，称为二端元件。同样若一个元件有三个、四个接线端子，则分别称为三端、四端元件。

实际电路分为“集总参数电路”和“分布参数电路”两大类，当一个电路的几何尺寸远小于电路中电磁波的波长时，称为集总参数电路；否则，称为分布参数电路。集总参数理论是进行电路分析的基本理论，本书讨论的电路都是集总参数电路。

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流及其参考方向

电荷的定向移动形成电流。单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度。电流强度是描述电流大小的物理量，简称为电流，用 i 表示。

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

式中， q 表示电荷量，电荷量的单位为库仑，简称库（C）； t 表示时间，时间的单位为

秒 (s)；电流强度的单位为安培，简称安 (A)，常用的单位还有千安 (kA)、毫安 (mA)、微安 (μA) 等。它们之间的换算关系为

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

$$1\text{kA} = 10^3\text{A}$$

习惯上规定正电荷的移动方向为电流的方向。

当电流的大小和方向不随时间变化时， dq/dt 为定值，这种电流称为直流电流，简称直流 (DC)。直流电流用大写字母 I 表示。

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.2)$$

上面对电流方向的规定，是电路中客观存在的，称为实际方向。在复杂电路的分析中，电路中的实际方向很难预先判断出来，因此，很难在电路中标明电流的实际方向。

在分析电路时采用标定“参考方向”的方法。参考方向是人们任意选定的一个方向。例如图 1.2 所示某电路中的一个元件，其电流的实际方向只有两种可能，不是从 A 流向 B，就是从 B 流向 A。可任意选定其中一个方向作为参考方向，并用箭头表示在电路图中，这时，电流就是一个代数量了。若电流的实际方向与参考方向一致，如图 1.2 (a) 所示，则电流为正值；若电流的实际方向与参考方向相反，如图 1.2 (b) 所示，则电流为负值。这样，在选定参考方向下，电流值的正、负就反映了其实际方向。应当注意，在未规定参考方向时，电流的正、负号是没有意义的。

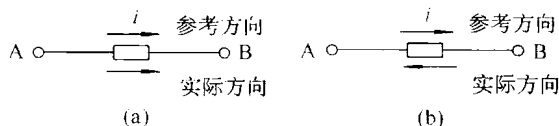


图 1.2 电流的参考方向

1.2.2 电压及其参考方向

电压是衡量电场力对运动电荷做功大小的物理量。当导体中存在电场时，电荷在电场力的作用下运动，电场力对电荷做了功。电场力把单位正电荷从 A 点移动到 B 点所做的功称为 A、B 两点间的电压，用 u_{AB} 表示。

$$u_{AB} = \frac{dW_{AB}}{dq} \quad (1.3)$$

式中， W_{AB} 表示电场力将电荷量为 q 的正电荷从 A 点移动到 B 点所做的功。

电压的单位为伏特，简称伏 (V)，常用的单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV) 等。

电压的实际方向是电场力对正电荷做功的方向。

和电流一样，电路分析中，两点间的电压也要规定参考方向，并由参考方向和电压值的正、负来反映该电压的实际方向。若电压的实际方向与参考方向一致，则电压为正值，若电压的实际方向与参考方向相反，则电压为负值。

电压的参考方向可以用实线箭头来表示，如图 1.3 (a) 所示；也可以用正 (+)、负 (-) 极性表示，称为参考极性，如图 1.3 (b) 所示；还可以用双下标表示，例如

u_{AB} , 表示 A、B 两点间电压的参考方向是从 A 指向 B 的。

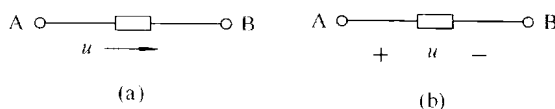


图 1.3 电压的参考方向

在以后的电路分析中, 应首先在电路中标定电流、电压的参考方向, 然后根据参考方向列写有关的电路方程, 计算结果的正、负与标定的参考方向就反映了它们的实际方向, 图中就不要再标出实际方向。参考方向一经选定, 在电路分析中不能再变动。

电路中电流、电压的参考方向, 可以分别独立地规定, 当它们一致时称为关联参考方向, 简称关联方向, 当它们相反时称为非关联参考方向, 简称非关联方向。但为了分析方便, 习惯上常选关联方向。选择关联方向后, 一般情况下, 在电路中只标出电压或电流中的某一个参考方向即可。

1.2.3 电位

在电路中任选一点作为参考点, 则该电路中某一点到参考点的电压就叫做该点的电位。若选择 o 点为参考点, 那么, 电路中 a 点的电位:

$$V_a = U_{ao} \quad (1.4)$$

电位的单位也是伏特 (V)。

参考点的电位为零, 参考点又称零电位点。

电路中其他各点的电位可能是正值, 也可能是负值, 某点的电位比参考点高, 该点的电位是正值, 反之则为负值。

如果已知 a、b 两点的电位分别为 V_a 、 V_b , 那么 a、b 两点间的电压:

$$U_{ab} = U_{ao} + U_{ob} = U_{ao} - U_{bo} = V_a - V_b \quad (1.5)$$

两点间的电压等于两点的电位差, 所以, 电压又叫电位差。

在电路中参考点是可以任意选定的, 一经选定, 其他各点的电位也就确定了。参考点不同, 电路中同一点的电位也会随之改变, 但两点间的电压是不变的。

在一个电路系统中只能选择一个参考点, 该点的选择可以根据分析问题的方便任意指定。在电子电路中, 常选一条各有关部分的公共线作为参考点, 一般用符号 “⊥” 表示。

1.2.4 电动势

电动势是描述电源力做功大小的一个物理量, 电源力在电源内部把单位正电荷从电源的负极移到正极所做的功称为电源的电动势。电动势用 e 表示。

$$e = \frac{dw}{dq} \quad (1.6)$$

式中, w 表示电源力所做的功; q 表示电荷量。电动势与电压的单位相同, 也是伏特 (V)。

电源力是一种非静电力, 不同种类的电源有着不同的电源力。例如在发电机中, 导体在磁场中运动, 磁场能转换为电源力; 在电池中, 电源力由化学能转换而成。

电动势的方向是电源力克服电场力移动正电荷的方向, 是从低电位到高电位的方向。对于一个电源设备, 若其电动势 e 的方向和电压 u 的参考方向选择得相反, 则

$$u = -e \quad (1.7)$$

1.2.5 电功率与电能

单位时间内电路吸收或释放的电能定义为电功率, 它是描述电能转化速率的物理量, 用 p 表示。

$$p = \frac{d\omega}{dt} \quad (1.8)$$

式中, ω 表示电能, 单位为焦耳, 简称焦 (J); t 表示时间, 时间的单位为秒 (s)。功率的单位为瓦特, 简称瓦 (W), 常用的单位还有千瓦 (kW)、毫瓦 (mW) 等。

在电路分析中, 当某一支路的电压、电流实际方向一致时, 电场力做功, 该支路吸收功率。当支路电压、电流实际方向相反时, 该支路发出功率。当某一支路或元件中的电压、电流已知时,

$$p = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{dq} \times \frac{dq}{dt} = ui \quad (1.9)$$

即任一支路或元件的功率等于其电压和电流的乘积。直流时, (1.9) 式应改写为

$$P = UI \quad (1.10)$$

在功率计算中, 若电压、电流为关联方向, 则所得功率应看作是电路吸收功率, 即计算所得功率为正值时, 表示电路实际吸收功率; 计算所得功率为负值时, 表示电路实际发出功率。

同理, 若电压、电流为非关联方向, 则所得功率应看作是电路发出功率, 即计算所得功率为正值时, 表示电路实际发出功率; 计算所得功率为负值时, 表示电路实际吸收功率。

根据 (1.8) 式, 在 t_0 到 t_1 的一段时间内, 电路消耗的电能

$$\omega = \int_{t_0}^{t_1} p dt \quad (1.11)$$

在直流时, 则为

$$W = P(t_1 - t_0) \quad (1.12)$$

电能的单位焦耳 (J), 表示功率为 1W 的用电设备在 1s 时间内所消耗的电能。在实际生活中还采用千瓦时 (kW·h) 作为电能的单位, 它等于功率为 1kW 的用电设备在 1h 内所消耗的电能, 简称为 1 度电。

$$1 \text{ 度电} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

在一个电路中, 每一瞬间发出电能的各元件的功率总和等于吸收电能的各元件的功率总和。

【例 1.1】 在图 1.4 所示直流电路中, $U_1 = 8\text{V}$, $U_2 = -4\text{V}$, $U_3 = 6\text{V}$, $I = 2\text{A}$, 求以 o 点为参考点时 a、b、c 各点的电位, 并求出各元件发出或吸收的功率及电路的总