



面向
21世纪
高级应用型人才

中国高等职业技术教育研究会推荐
高职高专系列教材

电路分析——基础理论与实用技术

张永瑞 周永金 张双琦 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

□ 中国高等职业技术教育研究会推荐

高职高专系列教材

电路分析

——基础理论与实用技术

张永瑞 周永金 张双琦 编著

西安电子科技大学出版社

2004

内 容 简 介

本书是为培养高等职业技术人才而编写的工科电类专业通用教材,由电路的基本概念和基本定律、电路的基本分析方法、电路分析中的常用定理、正弦交流电路分析、三相交流电路分析、非正弦周期性电路分析、互感电路分析、动态电路的时域分析等8章内容组成。

全书取材恰当,基本概念准确、浅显易懂;分析方法步骤明确,易于掌握;举例联系工程实际;阅读材料内容丰富、实用,对增长学生的实践技能非常有益。

本书可作为高职高专电类专业电路分析课程的教材,对相关专业的工程技术人员也有一定的参考价值。

★本书配有电子教案,需要者可与出版社联系,免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析:基础理论与实用技术/张永瑞等编著.

西安:西安电子科技大学出版社,2004.6

(高职高专系列教材)

ISBN 7-5606-1357-8

I. 电… II. 张… III. 电路分析-高等学校:技术学校-教材 IV. TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 001622 号

策 划 马乐惠

责任编辑 王素娟 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http: //www. xduph. com E-mail: xdupfxb@pub. xaonline. com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2004年6月第1版 2004年6月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 18.125

字 数 423千字

印 数 1~4000册

定 价 20.00元

ISBN 7-5606-1357-8/TN·0258(课)

XDUP 1628001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。



序

1999 年以来,随着高等教育大众化步伐的加快,高等职业教育呈现出快速发展的形势。党和国家高度重视高等职业教育的改革和发展,出台了一系列相关的法律、法规、文件等,规范、推动了高等职业教育健康有序的发展。同时,社会对高等职业技术教育的认识在不断加强,高等技术应用型人才及其培养的重要性也正在被越来越多的人所认同。目前,高等职业技术教育在学校数、招生数和毕业生数等方面均占据了高等教育的半壁江山,成为高等教育的重要组成部分,在我国社会主义现代化建设事业中发挥着极其重要的作用。

在高等职业教育大发展的同时,也有着许多亟待解决的问题。其中最主要的是按照高等职业教育培养目标的要求,培养一批具有“双师素质”的中青年骨干教师;编写出一批有特色的基础课和专业主干课教材;创建一批教学工作优秀学校、特色专业和实训基地。

为解决当前信息及机电类精品高职教材不足的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会分两轮联合策划、组织编写了“计算机、通信电子及机电类专业”系列高职高专教材共 100 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中,对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取公开招标的形式,以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上,召开系列教材专家编委会,评审教材编写大纲,并对中标大纲提出修改、完善意见,确定主编、主审人选。该系列教材着力把握高职高专“重在技术能力培养”的原则,结合目标定位,注重在新颖性、实用性、可读性三个方面能有所突破,体现高职教材的特点。第一轮教材共 36 种,已于 2001 年全部出齐,从使用情况看,比较适合高等职业院校的需要,普遍受到各学校的欢迎,一再重印,其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次,并获教育部 2002 年普通高校优秀教材二等奖。第二轮教材预计在 2004 年全部出齐。

教材建设是高等职业院校基本建设的主要工作之一,是教学内容改革的重要基础。为此,有关高职院校都十分重视教材建设,组织教师积极参加教材编写,为高职教材从无到有,从有到优、到特而辛勤工作。但高职教材的建设起步时间不长,还需要做艰苦的工作,我们殷切地希望广大从事高等职业教育的教师,在教书育人的同时,组织起来,共同努力,编写出一批高职教材的精品,为推出一批有特色的、高质量的高职教材作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

李宗尧

机电类专业系列高职高专教材

编审专家委员会名单

主任: 刘跃南 (深圳职业技术学院教务长, 教授)

副主任: 方 新 (北京联合大学机电学院副院长, 教授)

李荣才 (西安电子科技大学出版社总编辑, 教授)

成 员: (按姓氏笔画排列)

刘守义 (深圳职业技术学院工业中心主任, 副教授)

李七一 (南京工业职业技术学院机械工程系主任, 副教授)

李望云 (武汉职业技术学院机械系主任, 副教授)

宋文学 (西安航空技术高等专科学校机械系副主任, 副教授)

邱士安 (成都电子机械高等专科学校机电工程系副主任, 副教授)

胡德淦 (郑州工业高等专科学校机械工程系副教授)

高鸿庭 (上海电机技术高等专科学校机械系副教授)

郭再泉 (无锡职业技术学院自控与电子工程系副主任, 副教授)

蒋敦斌 (天津职业大学机电工程系主任, 教授)

董建国 (湖南工业职业技术学院机械工程系主任, 副教授)

翟 轰 (陕西工业职业技术学院院长, 教授)

项目总策划: 梁家新

项目策划: 马乐惠 云立实 马武装 马晓娟

电子教案: 马武装

前 言

本书是为进入 21 世纪,培养高等职业技术人才而编写的工科电类专业通用教材。

作者在编写本教材时,充分研究了五年制(初中毕业生)和三年制(高中毕业生)高职学生的特点、知识结构以及教学规律、培养目标等内容。本着理论知识够用为度、加强实践环节、注重职业技能培养的精神,认真组织教材内容,注重教学方法,努力使该教材符合理论教学的实际需要。

本教材具有以下特点:

(1) 理论分析难易适中,注重结果的应用,而对分析方法仅作定性阐述,不作理论证明。

(2) 每节后有节后小结和思考与练习,以利于学生的复习。

(3) 选编了较多的例题和习题,以利于教学过程中的灵活选用。

(4) 注意了该课程与相关基础课的衔接。如因高等数学中微分方程的讲授一般比较靠后,本书便把动态电路的时域分析放在了最后一章,并且没有完全使用解微分方程的公式解方程。

(5) 注意了电类专业趋向于强弱不分的特点,使该教材既适用于强电专业,又适用于弱电专业。

(6) 选编了四篇阅读材料,以使理论与工程实际结合更为紧密。

本书的第 1~3 章和第 6、7 章由陕西国防工业职业技术学院周永金副教授编写,第 4、5 章由陕西国防工业职业技术学院张双琦同志编写,第 8 章由陕西省化学工业学校王增学同志编写,四篇阅读材料由陕西国防工业职业技术学院白忠良同志编写,陕西国防工业职业技术学院王向宇同志对全书的节后思考与练习及习题作了参考答案,西安电子科技大学的张永瑞教授对全书进行了认真审阅、修改和统稿。

本书在使用过程中可以根据各个专业的不同需要,适当删减有关章节。

作者诚切欢迎各界同仁使用该教材。由于作者水平有限,书中定有不妥和错误之处,恳切希望使用该书的师生批评指正。

编 者

2004 年 2 月

目 录

第1章 电路的基本概念和基本定律

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 电路中的基本物理量	2
1.2.1 电流	3
1.2.2 电压、电位和电动势	4
1.2.3 电功率与电能	6
1.2.4 参考方向	7
小结	10
思考与练习	10
1.3 欧姆定律、电阻与电导	11
1.3.1 欧姆定律	11
1.3.2 电阻元件	12
小结	14
思考与练习	14
1.4 电气设备的额定值	14
1.4.1 额定电压	15
1.4.2 额定电流	15
1.4.3 额定功率	15
小结	16
思考与练习	16
1.5 基尔霍夫定律	17
1.5.1 电路中几个常用名词	17
1.5.2 基尔霍夫电流定律	17
1.5.3 基尔霍夫电压定律	19
小结	21
思考与练习	21
1.6 电路的等效	22
1.6.1 电路等效的一般概念	22
1.6.2 电阻的串联和并联等效变换	23
1.6.3 π 形与T形电路的等效互换	27
小结	29
思考与练习	30

录

1.7 电压源与电流源及其等效变换	31
1.7.1 电压源(voltage source)	31
1.7.2 电流源(current source)	32
1.7.3 电压源与电流源的等效变换	33
小结	35
思考与练习	35
1.8 受控源	36
小结	38
思考与练习	38
阅读材料(一) 电工识图知识	38
阅读材料(二) 电阻及应用	41
阅读材料(三) 小截面导线的连接方法	45
习题一	47

第2章 电路的基本分析方法

2.1 支路电流法	53
2.1.1 支路电流法	53
2.1.2 方程的独立性	55
小结	58
思考与练习	58
2.2 回路电流法	59
2.2.1 网孔电流法	59
2.2.2 回路电流法	62
小结	64
思考与练习	64
2.3 节点电位法	65
2.3.1 节点电位法	65
2.3.2 节点电位法的注意事项	69
小结	71
思考与练习	72
习题二	72

第3章 电路分析中的常用定理

3.1 叠加定理和齐次性定理	75
3.1.1 叠加定理	75

3.1.2 齐次性定理	79
小结	81
思考与练习	81
3.2 置换定理	82
小结	86
思考与练习	86
3.3 戴维南定理与诺顿定理	87
3.3.1 戴维南定理	88
3.3.2 诺顿定理	92
小结	94
思考与练习	94
3.4 最大功率传输定理	95
3.4.1 电压、功率与电流之间的 变化规律	95
3.4.2 工程实际中常常需要分析的 三个问题	96
小结	100
思考与练习	100
习题三	101

第4章 正弦交流电路分析

4.1 正弦交流电的基本概念	105
4.1.1 正弦交流电量的三要素	106
4.1.2 相位差	107
4.1.3 有效值	108
小结	110
思考与练习	110
4.2 正弦交流电的相量表示	110
4.2.1 正弦量的旋转矢量表示法	110
4.2.2 复数及复数运算	111
4.2.3 正弦量的相量表示法	112
小结	115
思考与练习	115
4.3 正弦交流电路中的电阻、电容和电感	115
4.3.1 电阻元件	116
4.3.2 电感元件	118
4.3.3 电容元件	121
4.3.4 基尔霍夫定律的相量形式	123
小结	124
思考与练习	125
4.4 阻抗的串联	125
4.4.1 RLC 串联电路	125
4.4.2 阻抗串联的交流电路	128

小结	130
思考与练习	130
4.5 导纳的并联	131
4.5.1 RLC 并联电路	131
4.5.2 导纳并联的交流电路	133
4.5.3 阻抗和导纳的等效变换	134
小结	135
思考与练习	136
4.6 正弦交流电路的功率	136
4.6.1 有功功率和无功功率	137
4.6.2 视在功率	138
4.6.3 复功率	138
小结	139
思考与练习	140
4.7 功率因数的提高	140
4.7.1 提高功率因数的意义	140
4.7.2 提高功率因数的方法	141
4.7.3 工程上常见的提高功率因数的 其他方法简介	143
小结	143
思考与练习	143
4.8 交流电路中的谐振	144
4.8.1 串联谐振	144
4.8.2 并联谐振	147
小结	149
思考与练习	150
4.9 复杂交流电路分析	150
4.9.1 应用网孔电流法分析 正弦交流电路	150
4.9.2 应用节点电位法分析交流电路	151
4.9.3 应用戴维南定理分析交流电路	152
小结	152
思考与练习	152
习题四	153

第5章 三相交流电路分析

5.1 三相电源	158
5.1.1 对称三相电动势的产生	158
5.1.2 三相电源的连接方式	159
小结	161
思考与练习	161
5.2 三相负载的星形(Y形)连接	162
小结	166

思考与练习	166
5.3 三相负载的三角形(D形)连接	167
小结	169
思考与练习	169
5.4 三相电路的功率	169
5.4.1 三相电路的有功功率	169
5.4.2 三相电路的无功功率	170
5.4.3 三相电路的视在功率	170
小结	171
思考与练习	171
习题五	172

第6章 非正弦周期性电路分析

6.1 非正弦周期量的产生与分解	174
6.1.1 非正弦周期量的产生	174
6.1.2 非正弦周期量的傅里叶分解	175
6.1.3 常见非正弦周期量的傅里叶级数	177
小结	178
思考与练习	178
6.2 非正弦周期量的有效值、平均值 和平均功率	179
6.2.1 有效值	179
6.2.2 平均值	180
6.2.3 功率	181
小结	183
思考与练习	183
6.3 非正弦周期性电路的分析	184
小结	188
思考与练习	188
习题六	188

第7章 互感电路分析

7.1 互感元件	189
7.1.1 互感的基本概念	189
7.1.2 耦合电感线圈上的电压、 电流关系	192
7.1.3 耦合电感线圈的同名端	193
小结	197
思考与练习	198
7.2 耦合电感线圈的去耦等效	199
7.2.1 互感线圈的串并联等效	199
7.2.2 互感线圈的T形等效	201

小结	204
思考与练习	205
7.3 含互感电路的分析	206
7.3.1 含互感电路的方程分析法	206
7.3.2 含互感电路的等效分析法	207
小结	210
思考与练习	210
7.4 理想变压器	211
7.4.1 变压器的理想化模型	211
7.4.2 理想变压器的主要性能	211
7.4.3 含理想变压器的电路分析	214
小结	216
思考与练习	216
7.5 实际变压器	217
7.5.1 空心变压器	217
7.5.2 铁心变压器	219
小结	222
阅读材料(四) 小型单相变压器的设计	222
习题七	225

第8章 动态电路的时域分析

8.1 动态元件及其串并联等效	230
8.1.1 电容元件	230
8.1.2 电容元件的串并联等效	231
8.1.3 电感元件	232
8.1.4 电感元件的串并联等效	233
小结	235
思考与练习	235
8.2 动态电路的方程与换路定律	236
8.2.1 动态电路的方程	236
8.2.2 换路定律	238
8.2.3 直流激励下动态电路稳定时的 两个重要特征	238
8.2.4 动态电路初始值的计算	239
小结	240
思考与练习	240
8.3 一阶电路的零输入响应	241
8.3.1 RC电路的零输入响应	241
8.3.2 RL电路的零输入响应	243
小结	246
思考与练习	246
8.4 一阶电路的零状态响应	247

8.4.1	RC 电路的零状态响应	247
8.4.2	RL 电路的零状态响应	248
	小结	250
	思考与练习	250
8.5	一阶电路的完全响应	251
8.5.1	RC 电路的完全响应	251
8.5.2	RL 电路的完全响应	252
8.5.3	一阶动态电路的三要素法	253
	小结	254
	思考与练习	255
8.6	复杂一阶动态电路的分析	255
8.6.1	一阶线性微分方程解的结构形式	255

8.6.2	复杂一阶动态电路的分析	256
	小结	259
	思考与练习	259
8.7	RLC 串联电路的零输入响应	260
8.7.1	RLC 串联电路微分方程的建立	260
8.7.2	二阶动态电路的零输入响应	261
	小结	265
	思考与练习	265
	习题八	265
	部分思考与练习及习题参考答案	271
	参考文献	279

第 8 章 动态电路的暂态分析

8.1	电路的暂态分析	1
8.1.1	电路的暂态分析	1
8.1.2	电路的暂态分析	1
8.1.3	电路的暂态分析	1
8.1.4	电路的暂态分析	1
8.1.5	电路的暂态分析	1
8.1.6	电路的暂态分析	1
8.1.7	电路的暂态分析	1
8.1.8	电路的暂态分析	1
8.1.9	电路的暂态分析	1
8.1.10	电路的暂态分析	1
8.1.11	电路的暂态分析	1
8.1.12	电路的暂态分析	1
8.1.13	电路的暂态分析	1
8.1.14	电路的暂态分析	1
8.1.15	电路的暂态分析	1
8.1.16	电路的暂态分析	1
8.1.17	电路的暂态分析	1
8.1.18	电路的暂态分析	1
8.1.19	电路的暂态分析	1
8.1.20	电路的暂态分析	1

第 9 章 正弦稳态电路的分析

9.1	正弦稳态电路的分析	1
9.1.1	正弦稳态电路的分析	1
9.1.2	正弦稳态电路的分析	1
9.1.3	正弦稳态电路的分析	1
9.1.4	正弦稳态电路的分析	1
9.1.5	正弦稳态电路的分析	1
9.1.6	正弦稳态电路的分析	1
9.1.7	正弦稳态电路的分析	1
9.1.8	正弦稳态电路的分析	1
9.1.9	正弦稳态电路的分析	1
9.1.10	正弦稳态电路的分析	1
9.1.11	正弦稳态电路的分析	1
9.1.12	正弦稳态电路的分析	1
9.1.13	正弦稳态电路的分析	1
9.1.14	正弦稳态电路的分析	1
9.1.15	正弦稳态电路的分析	1
9.1.16	正弦稳态电路的分析	1
9.1.17	正弦稳态电路的分析	1
9.1.18	正弦稳态电路的分析	1
9.1.19	正弦稳态电路的分析	1
9.1.20	正弦稳态电路的分析	1

第 10 章 非正弦周期电流电路的分析

10.1	非正弦周期电流电路的分析	1
10.1.1	非正弦周期电流电路的分析	1
10.1.2	非正弦周期电流电路的分析	1
10.1.3	非正弦周期电流电路的分析	1
10.1.4	非正弦周期电流电路的分析	1
10.1.5	非正弦周期电流电路的分析	1
10.1.6	非正弦周期电流电路的分析	1
10.1.7	非正弦周期电流电路的分析	1
10.1.8	非正弦周期电流电路的分析	1
10.1.9	非正弦周期电流电路的分析	1
10.1.10	非正弦周期电流电路的分析	1
10.1.11	非正弦周期电流电路的分析	1
10.1.12	非正弦周期电流电路的分析	1
10.1.13	非正弦周期电流电路的分析	1
10.1.14	非正弦周期电流电路的分析	1
10.1.15	非正弦周期电流电路的分析	1
10.1.16	非正弦周期电流电路的分析	1
10.1.17	非正弦周期电流电路的分析	1
10.1.18	非正弦周期电流电路的分析	1
10.1.19	非正弦周期电流电路的分析	1
10.1.20	非正弦周期电流电路的分析	1

第1章 电路的基本概念和基本定律

电路是电路分析的主要研究对象。本章主要讲述电路的组成,电路模型,电路中的各种物理量及其关系,电路的基本定律——欧姆定律(Ohm's law,简称OL)和基尔霍夫定律(Kirchhoff's law),电源及其特性等。

1.1 电路和电路模型

近代电气工程(electrical engineering)包括电力工程、通信工程和控制工程三大部分。各部分又包含有许多分支,例如通信工程包括计算机通信、无线通信、电视通信等多个分支。电路分析基础是为学生进一步学习后续课程及具体工程技术而奠定理论基础的一门重要课程。

1.1.1 电路

先看一个例子:图1-1-1是一个大家都熟悉的手电筒的实际电路结构示意图,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(electric source);电珠是消耗电能的电路元件,它将电能转变成光能,称为负载(load);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。

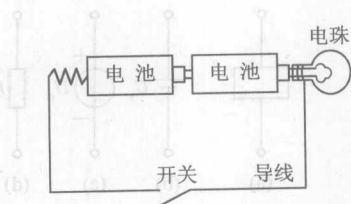


图 1-1-1

这里给电路下一个定义:电路(electric circuit)(又称网络)是各种电路元件和设备按一定方式连接起来为人们生产、生活完成某种功能的整体,或通俗地说,是提供电流流通路径的“路”。任何实际电路必须包含电源、负载和中间环节。

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的电器设备的作用。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(signal source),又称激励(excitation);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,而不特别强调传输系统中的能量大小,信息的传递与处理电路的输出信号又称响应(response),它的能量只要能够满足负载设备的正常工作即可,这一类电路的中间环节由电子设备组成,是相当复杂的,主要起信号的处理、放大、传输和控制等作用。

1.1.2 电路模型

不同电路和电路元件的几何尺寸有大有小,各种电器设备的结构有繁有简。为了对复杂的实际问题进行研究,在理论分析中常常把工程实际中的各种设备和电路元件用有限的几个理想化的电路元件(circuit element)来表示。例如,电阻只具有消耗电能的特性,我们便将具有这一特性的电灯、电炉等器件都用电阻来代替;这种替代会带来一定的误差,但在一定的条件下可以忽略这一微小的误差,待研究清楚基本规律后,在遇实际工程问题中需要更精密地做研究时,再考虑由于这种替代所带来的误差。

用理想电路元件构成的电路叫做电路模型(circuit model),用特定的符号表示实际电路元件而连接成的图形叫做电路图(circuit diagram)。

一般的理想元件具有两个端钮,称做二端电路元件(two-terminal circuit element)。没有说明具体性质的二端电路元件用方框符号表示,如图 1-1-2(a)所示,它只表示抽象的一般二端电路元件,其具体性质可根据该元件上物理量的关系来确定。

图 1-1-2(b)所示符号表示电池,长线代表正极,短线代表负极(短线也可画粗些)。

图 1-1-2(c)为表示理想电压源的符号,其正、负极标在圆圈的外面。

图 1-1-2(d)为表示理想电阻元件的一般符号,它在满足允许的工程误差的条件下可表示如白炽灯、电炉、电烙铁等有耗能的这类电路元件。

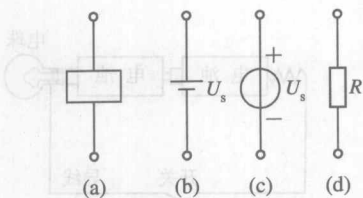


图 1-1-2

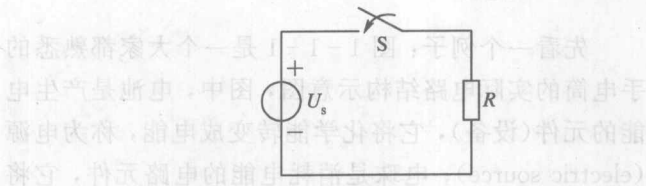


图 1-1-3

图 1-1-3 是一个最简单的电路模型(也是图 1-1-1 的电路模型)。图中 U_s 是一个理想电压源,给电路提供电能; R 是理想电阻元件,只消耗电能; S 是开关元件,控制电路的接通与断开;连接这三个元件的细实线是理想导线,起传输电能的作用。

其它类型电路元件(如电容元件、电感元件、晶体管等)的电路模型符号将在相关章节和课程中介绍。

这里说明一点,我们用图 1-1-3 形式的电路模型来描述的电路称为集总参数电路(contration paramter circuit)。这种电路模型中的各元件被认为没有几何尺寸的大小,就像在运动学中研究物体运动时,在一定条件下将某物体看作质点一样。以后我们还要定义线性电路、非线性电路、时变电路、时不变电路等等。

1.2 电路中的基本物理量

在电路问题中,分析和研究的物理量很多,但主要的是电流、电压和电功率,其中电流、电压是电路中的基本物理量。

关于单位制,我国于1984年2月规定使用统一国际单位制(Le Systeme International d'Unités, 简称SI)。在国际单位制中,电磁学采用四个基本单位,即长度单位米(m),质量单位千克(kg),时间单位秒(s),电流单位安培(A)。

除了SI单位之外,根据实际情况,需要使用较大单位和较小单位时,则在SI单位上加词头,例如大的长度单位用千米(km)表示,小的长度单位用毫米(mm)表示等等。常用的词头见表1-1,以后讨论电路物理量的单位时,均按SI单位制执行,若需要采用较小单位,可在SI单位前加上词头。

下面分别讲述电流、电压、电功率等几个物理量的基本概念。

表 1-1 SI 常用词头

词头	代号		因数	词头	代号		因数
	中文	英文			中文	英文	
兆(mega)	兆	M	10^6	厘(centi)	厘	c	10^{-2}
千(kilo)	千	k	10^3	毫(milli)	毫	m	10^{-3}
百(hecto)	百	h	10^2	微(micro)	微	μ	10^{-6}
十(deca)	十	Da	10^1	皮(pico)	皮	p	10^{-12}

1.2.1 电流

电荷或带电质点有规则的定向运动,形成电流(electric current)。我们知道,在金属导体中有大量的带负电荷的自由电子,在常态下,这些自由电子在金属内部作无规则的热运动,不能形成电流。若给导体两端加上电源,即施加电场力,如图1-2-1所示,在电场力的作用下自由电子逆电场力方向运动而形成电流,更确切地讲,这种电流称为传导电流(conduction current)。

表示电流强弱的物理量称电流强度(current intensity),用字母*i*或*i(t)*表示,电流仅仅是一种物理现象,在电路分析和工程实际中常把电流强度简称为电流。

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。在图1-2-1中,若在 Δt 时间内通过横截面*S*的电荷量为 Δq ,则

$$i(t) = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1-2-1)$$

在极限情况下有

$$i(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq(t)}{dt} \quad (1-2-2)$$

式中,*q(t)*表示*q*的大小随时间变化;*dq(t)*表示*dt*时间内通过导体横截面的电荷量;*i(t)*表示电流强度的大小随时间变化。

电流的方向规定为正电荷运动的方向,这一方向称为真实方向。简单电路中,电流的真实方向是显而易见的,即从电源的正极流出,再从电源的负极流入。在一些复杂的电路

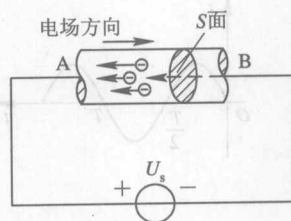


图 1-2-1

中, 真实方向不便看出, 如图 1-2-2 中 R_6 上的电流, 但真实方向无非有三种情况: 其一, 从 A 流向 B; 其二, 从 B 流向 A; 其三, 电流为零。所以说, 电流可以用代数量描述, 即用箭头标定一个正方向, 即假定正电荷的运动方向(称做参考方向)。若真实方向与参考方向相同, 则电流为正值; 若真实方向与参考方向相反, 则电流为负值。今后, 若无特殊说明, 就认为电路图中所标的箭头是电流的参考方向。电流的单位是安培(ampere), 简称安(A), 计算大电流时用

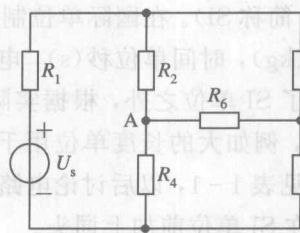


图 1-2-2

千安(kA)作单位, 计算小电流时用毫安(mA)或微安(μ A)作单位。从电流的定义式(1-2-1)和式(1-2-2)来看, 安培与电荷量的单位库仑(C)和时间的单位秒(s)的关系为

$$\text{安培(A)} = \frac{\text{库仑(C)}}{\text{秒(s)}} \quad (1-2-3)$$

即 1 秒钟通过导体横截面的电荷量为 1 库仑, 则电流强度为 1 安培。

电流可能随时间以不同的规律变化或无规律变化, 图 1-2-3 给出了一些例子。图 1-2-3(a)是按正弦规律变化的电流; 图 1-2-3(b)是无规律变化电流; 图 1-2-3(c)是恒定不变的电流。图 1-2-3(a)所示的有正、负变化的电流称为交流电流(alternate current), 简称交流(ac 或 AC), 用小写字母 i 或 $i(t)$ 表示, 恒定不变的电流称为直流电流(direct current), 简称直流(dc 或 DC), 用大写字母 I 表示。

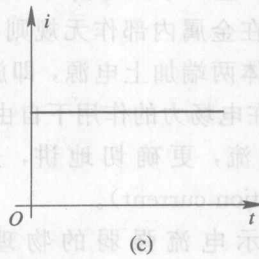
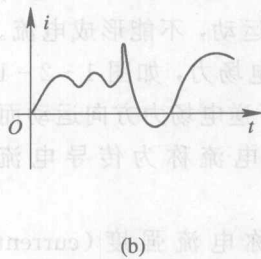
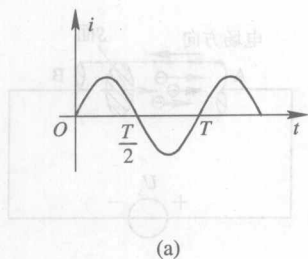


图 1-2-3

1.2.2 电压、电位、电动势

1. 电压

在电源的外部电路中要使电荷运动形成电流, 电荷上必须有电场力的作用。如图 1-2-4 所示, 电源的 A 极板带正电荷, B 极板带负电荷, 因而两极板间形成电场, 其方向由 A 指向 B。当用导线将负载与电源的正、负极板连接成一个闭合电路时, 正电荷将在电场力作用下由正极板 A 经导线和负载向负极板 B(实际上是自由电子由负极板 B 经导线和负载向正极板 A)运动而形成电流, 这时电场力对正电荷做功, 我们把电场力做功的这种本领用

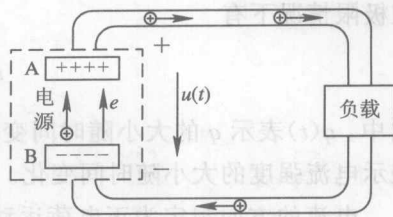


图 1-2-4

电压(voltage)来衡量。

A、B 两点的电压用 $u(t)$ 或 u_{AB} 表示，在数值上等于单位正电荷在电场力的作用下，由 A 点经外电路移动到 B 点电场力所做的功。若电场力移动电荷为 $dq(t)$ ，所做的功为 $d\omega(t)$ ，则 A、B 两点的电压 $u(t)$ 为

$$u(t) = \frac{d\omega(t)}{dq(t)} \quad (1-2-4)$$

在国际单位制(SI)中，电压的单位为伏特(volt)，简称伏(V)，它与功和电荷量单位的关系为

$$\text{伏特(V)} = \frac{\text{焦耳(J)}}{\text{库仑(C)}} \quad (1-2-5)$$

式(1-2-5)的含义是：1 库仑的正电荷在电场力的作用下从 A 运动到 B 做了 1 焦耳的功，则 A、B 间的电压为 1 伏特。

在理论计算和工程实际中，较大的电压用千伏(kV)作单位，较小的电压用毫伏(mV)或微伏(μ V)作单位。

对外电路，电压的真实方向规定为正电荷的运动方向。如图 1-2-4 所示，正电荷经负载由 A 点向 B 点运动，若用箭头表示 A、B 间的电压方向，则箭头由 A 指向 B；若用“+、-”表示，则 A 为“+”，B 为“-”。

如果两点间的电压大小随时间发生变化，则为交流电压，用小写字母 $u(t)$ 表示。如果两点间的电压大小不随时间变化，则为直流电压，用大写字母 U 表示，这种不变的电压也称恒定电压。

2. 电位

在电气设备的调试和检修中，经常要测量各点的电位，看其是否符合设计要求。电位(potential)是衡量电路中各点所具有的电位能大小的物理量。电位在数值上被定义为：电场力将单位正电荷从给定点移动到参考点(又称零电位点或接地点)所做的功。在电路分析中用小写字母 v 或 $v(t)$ 表示变化的电位，用大写字母 V 表示恒定电位。

电位与电压有着内在的联系，如图 1-2-5 所示，若以 B 点为参考点(即 $v_B=0$)，该 A 点电位为 v_A ，由于 A、B 间的电压为 $u(t)$ ，根据电压和电位的定义，则有

$$u(t) = v_A - v_B = v_A - 0 = v_A \quad (1-2-6)$$

若以 A 为参考点(即 $v_A=0$)，如图 1-2-5(c)所示。设 B 点电位为 v_B ，同理有

$$u(t) = v_A - v_B = 0 - v_B = -v_B \quad (1-2-7)$$

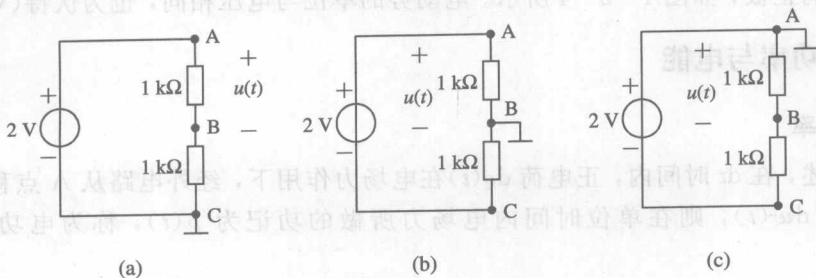


图 1-2-5

在电路中我们以图形符号“ $\perp$ ”表示参考点,如图1-2-5所示。在图(a)中,以C为参考点,A点电位为 $v_A=2\text{ V}$,B点电位为 $v_B=1\text{ V}$,C点电位为 $v_C=0\text{ V}$;在图(b)中,以B为参考点,则 $v_A=1\text{ V}$, $v_B=0\text{ V}$, $v_C=-1\text{ V}$;在图(c)中以A为参考点, $v_A=0\text{ V}$, $v_B=-1\text{ V}$, $v_C=-2\text{ V}$ 。由此可见电位的数值与参考点有关。

但是,任一确定的电路,无论参考点如何变化,任意两点间的电压数值均不变化。如图1-2-5(a)中,A、C间的电压为

$$u(t) = v_A - v_C = 2 - 0 = 2\text{ V} \quad (1-2-8)$$

在图1-2-5(b)中,A、C间的电压为

$$u(t) = v_A - v_C = 1 - (-1) = 2\text{ V} \quad (1-2-9)$$

为了对电压的表示更为清楚,在电路分析中我们也常用 u_{AB} 表示A、B两点之间的电压,用 u_{BC} 表示B、C两点之间的电压等等。下标字母,如A、B,表示A点为电压的正极性,B点为电压的负极性。由式(1-2-9)可知,两点间的电压等于两点间的电位之差(无论参考点如何选择),即电压的数值与参考点无关。因此,电压也称电位差(potential difference),因为电压与电位都是以电场力移动正电荷做功来定义的,所以,电位的单位与电压的单位相同,也为伏特(V)。

3. 电动势

电动势(electromotive force,简称 $e \cdot m \cdot f$)是对电源而言的。在图1-2-4所示的电路中,正电荷在电场力的作用下不断从A极板流向B极板,如果没有外力的作用,A极板因正电荷的减小会使电位逐渐降低,而B极板则因正电荷的增多会使电位逐渐升高,故A、B两点之间的电位差就会减小,最后为零。为了维持导线中的电流,必须使A、B两极板间保持一定的电压,这就要借助外力使移动到B极板的正电荷经过另一路径回到A极板,在这个过程中,外力克服电场力做功,这种外力是非电场力,我们称其为电源力。为了衡量电源力对正电荷做功的能力,我们引入电动势这个物理量。电动势定义为:电源力将单位正电荷从电源负极(B极板)移动到正极(A极板)所做的功。对于变化的电动势用小写字母 e 或 $e(t)$ 表示,恒定电动势用大写字母 E 表示,即

$$e(t) = \frac{dw(t)}{dq(t)} \quad (1-2-10)$$

式(1-2-10)与式(1-2-4)在表示形式上相同,但一定要区分清楚 $e(t)$ 是对电源内部而言的, $u(t)$ 是对电源以外的电路而言的。

电动势的真实方向规定为在电源内部正电荷运动的方向。若用箭头表示其方向,则由电源负极指向正极,如图1-2-4所示。电动势的单位与电压相同,也为伏特(V)。

1.2.3 电功率与电能

1. 电功率

如前所述,在 dt 时间内,正电荷 $dq(t)$ 在电场力作用下,经外电路从A点移动到B点所做的功为 $dw(t)$,则在单位时间内电场力所做的功记为 $p(t)$,称为电功率(electric power),即

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt} \quad (1-2-11)$$

根据电流和电压的定义, 则有

$$p(t) = u(t)i(t) \quad (1-2-12)$$

对直流电流和直流电压而言, 电功率记为 P , 则

$$P = UI \quad (1-2-13)$$

功率的 SI 单位是瓦特(watt), 简称为瓦(W), 即

$$\begin{aligned} \text{瓦特(W)} &= \text{伏特(V)} \cdot \text{安培(A)} \\ &= \frac{\text{焦耳(J)}}{\text{库仑(C)}} \cdot \frac{\text{库仑(C)}}{\text{秒(s)}} \\ &= \frac{\text{焦耳(J)}}{\text{秒(s)}} \end{aligned} \quad (1-2-14)$$

式(1-2-14)表明, 当电路中流过的电流为 1 A, 电路两端的电压为 1 V 时, 该电路的电功率为 1 W。

对大功率, 采用千瓦(kW)或兆瓦(MW)作单位; 对小功率, 采用毫瓦(mW)或微瓦(μ W)作单位。

2. 电能

在一段时间 dt 内, 电场力移动正电荷所做的功 dW 称为电场能, 简称电能(electric capacity), 其与电功率的关系为

$$dW = p(t) dt \quad (1-2-15)$$

电能的 SI 单位为焦耳, 简称焦(J), 即

$$\text{焦耳(J)} = \text{瓦特(W)} \cdot \text{秒(s)} \quad (1-2-16)$$

日常生活中常用“度”衡量所使用电能的多少, 功率为 1 kW 的设备用电 1 小时所消耗的电能 1 度, 即

$$\text{度} = \text{千瓦} \times \text{小时} \quad (1-2-17)$$

1.2.4 参考方向

根据定义, 电流、电压、电动势都有方向问题, 其方向都是正电荷的运动方向。电流、电压、电动势之间的方向必然存在一定的联系: 在外电路中, 正电荷受电场力的作用, 从高电位流向低电位, 即从电压的正极流向负极, 此时, 外电路消耗电能; 在电源中, 正电荷受外力的作用, 从低电位流向高电位, 即从电源负极流向正极, 正是这一过程, 将非电能转换成电能。以上讨论的方向是电压、电动势的真实方向, 类似前面提到的电流参考方向, 电压、电动势也存在参考方向的问题。

电路分析就是通过分析电路的连接关系, 利用各元件上的电流与电压的关系(大小与方向的关系), 计算出元件上的电流或电压, 再去计算其它物理量。但是, 在分析复杂电路(如图 1-2-2)之前, 有些元件上的电流或电压的真实方向很难判定, 只有通过计算才能知道。因此, 我们在分析计算之前, 对电流、电压先假设一个方向, 这个方向称做参考方向。在参考方向下, 通过计算, 若计算的值大于零, 则真实方向与参考方向相同; 若计算的值小于零, 则真实方向与参考方向相反。

一段电路, 如图 1-2-6(a)所示, 若假设电流 i 的参考方向由 a 流向 b, 又假设电压 u 的参考方向 a 为“+”极性端, b 为“-”极性端, 则称这段电路上电流、电压参考方向关联。