

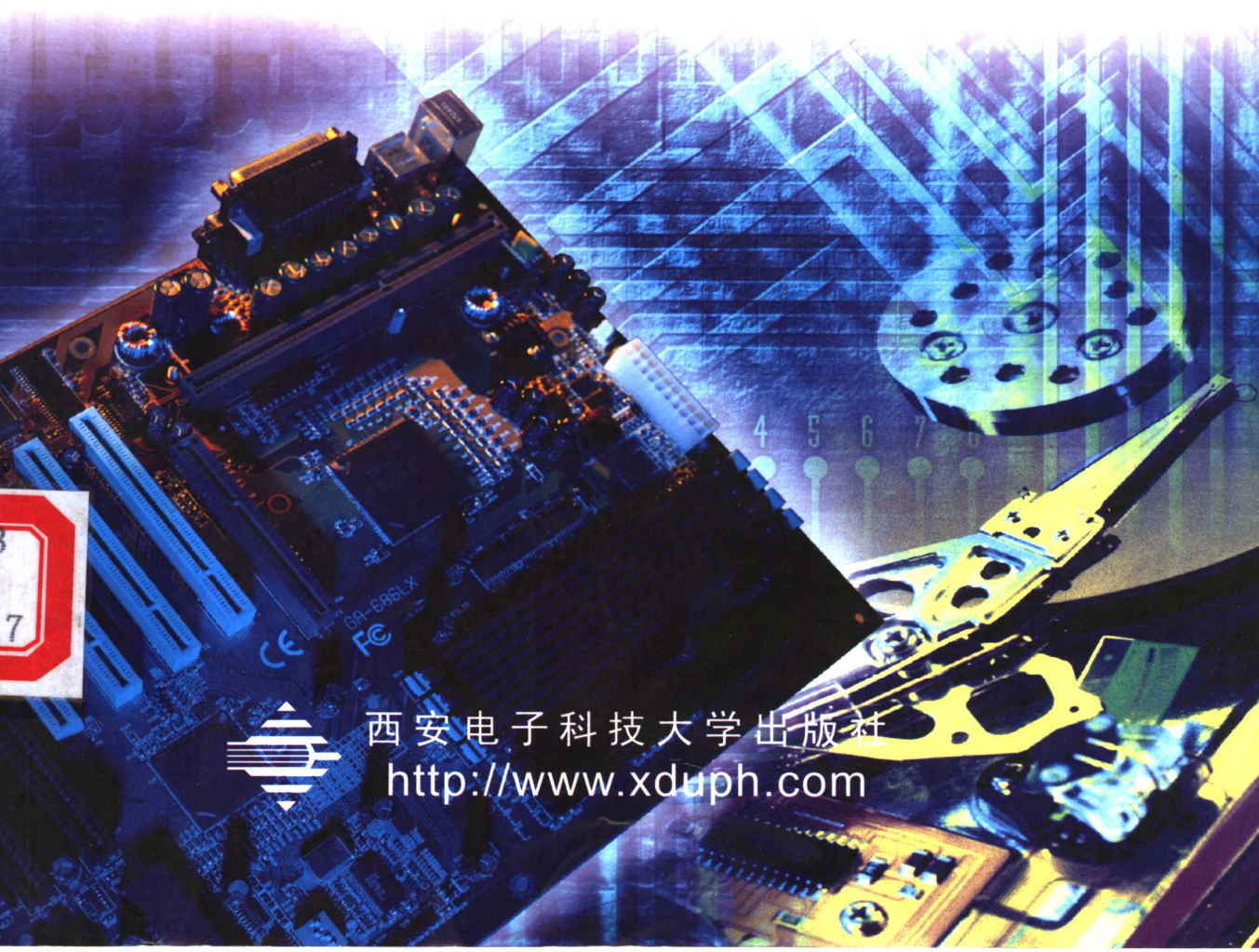


教育部职业教育与成人教育司推荐教材
五年制高等职业教育电子电工类专业教学用书

电路分析

(第二版)

主编 刘志民



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

教育部职业教育与成人教育司推荐教材
五年制高等职业教育电子电工类专业教学用书

电 路 分 析

(第二版)

主编 刘志民
参编 李浩然 张咏军 钱际光
主审 杨建康

西安电子科技大学出版社

2005

内 容 简 介

本书第一版是依据教育部制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》编写的,问世以来深受广大读者的厚爱,并入选教育部推荐教材行列。在此基础上,第二版调整了部分内容,删去或更换了个别例题和习题,使内容更加贴近五年制高等职业教育的特点。

本书主要内容有:电路的基本概念和定律,电路的等效变换,线性电路的一般分析方法和基本定理,正弦交流电路,互感电路及理想变压器,非正弦周期信号电路,动态电路的时域分析。每节后有少量练习与思考题,并在这些题后指明了本节内容所对应的习题。每章后留有一定量的习题和自测题。另外在书末新增了两套模拟试题。

本书可作为电子、通信、计算机类高职专业的教材,也可供中专的同类专业和其它专业选用,并可供从事电子技术工作方面的工程技术人员和参加自学考试的同学参考。

★本书配有免费电子教案,需要者可来函向我社索取。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析/刘志民主编. —2版.

—西安:西安电子科技大学出版社,2005.6

教育部职业教育与成人教育司推荐教材. 五年制高等职业教育电子电工类专业教学用书

ISBN 7-5606-1519-8

I. 电… II. 刘… 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(2005)第 033891 号

策 划 云立实 马乐惠

责任编辑 杨宗周 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 西安翔云印刷厂

版 次 2002年1月第1版 2005年6月第2版 2005年9月第8次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 17.25

字 数 392千字

印 数 40 001~48 000册

定 价 18.00元

ISBN 7-5606-1519-8/TN·0302

XDUP 1810002-8

*** 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。

第二版前言

本书第一版于2002年1月由西安电子科技大学出版社正式出版,三年来发行量接近4万册,选用学校遍及全国各地,深受广大师生的普遍认可。他们普遍认为教材编写思想紧扣高职层次的教学要求,教材内容对高职学生够用且实用,基本概念阐述清楚,举例恰当且典型,易于教和学。

2004年6月,根据教育部教职成司函[2004]13号,关于制定《2004—2007年职业教育教材开发编写计划》的通知中“已出版的五年制高等职业教育教材,经使用教学效果良好的,可以择优推荐”的文件精神,本教材也参加了此次选题申报活动,并于2004年10月获得批准,有幸入选成为“国规”教材。第二版在第一版的基础上,特别注意吸收了企业的意见及建议,本着“以就业为导向,面向市场办学和劳动力市场需要”的宗旨,进行了认真的修订。此次修订除保留原版教材的体系、章节顺序与风格外,着重在以下几个方面做了修编:

1. 听取了企业技术专家们的建议,对一些有一定难度而又相对次要的内容,如“受控源”、“空心变压器”、“二阶电路”等加注了“*”号,供教师根据不同专业或不同程度的学生适度掌握施教标准。

2. 根据部分老师反映一些习题难度较大的意见,删除了难度较大的个别习题。另外还给一些习题加注了提示,有些提示还是较详细的,基本上就是解题思路。

3. 为方便老师布置课后作业,在每节的“练习与思考”后增加了“本节内容对应习题”一栏。同时调整了一些章的习题顺序,使其层次感更强。

4. 对原来个别例题,尽管它们其中一些也能够体现新知识,但由于其步骤较多,求解过程较长,有繁琐之嫌,故予以删除。

5. 为便于读者自检本人学习效果和解题能力,每章均新增了“自测题”,题目紧扣各章中心内容及重点,侧重于计算,难度适中。同时在书末新增了两套“模拟试题”,题目覆盖面较广,题型新颖,有些题目是参编老师在长期教学实践中经过反复锤炼的结晶,相信对使用本教材的老师期末考试命题有一定的参考或借鉴作用。

6. 根据师生建议,准备出版配套习题解一书,因此更换了“练习与思考”一栏的题目序号,为下一步工作做一点准备。

本书第1、2、3章由陕西邮电职业技术学院刘志民老师完成，第4章由陕西省机电工程学校李浩然老师完成，第5、7章由西安航空职业技术学院张咏军老师完成，第6章由陕西能源职业技术学院钱际光老师完成。全书由刘志民老师统稿并修改。陕西能源职业技术学院杨建康老师担任主审。中国电信陕西咸阳分公司副总工程师李新科、中国电信陕西商洛分公司副总工程师马国祖、中国网通陕西咸阳分公司副总经理张斌，以及许多未曾谋面的专家们的独到见解对此次修订起到了举足轻重的作用，在此表示衷心的感谢。

由于我们的业务水平所限，错误和欠妥之处在所难免，恳请使用本书的师生不吝赐教，多提批评意见和二进建议。

编 者

2005年4月

第一版前言

本书是依据 1999 年 8 月教育部高教司制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》的精神,参照陕西省职业技术教育学会电子电工教学委员会组织讨论并确定的高等职业院校电子电工类专业“电路分析”教学大纲编写的,供高等职业院校电子电工类专业使用。

我们在编写本教材时按照精选传统内容、严格把握深度和广度、尽量体现新度的总体思路,尽力让它成为一本教师好教、学生好学的基础教材。为此,着重考虑了以下方面:

(1) 为突出理论与实践相结合,培养学生解决实际问题的能力 & 创新精神,在例题和习题的选择上,尽量列举日常生活、生产实际中能接触到的一些现实电路问题,力求生动、具体、鲜活,以激励学生的兴趣,调动起学习的积极性;同时注意到对新知识、新工艺的体现。

(2) 配合理论教学列举了较多的例题,目的在于加深学生对所学理论的进一步理解 & 其应用于对具体电路的分析,进而掌握一般电路的分析计算方法。根据教学实践中学生普遍反映理论易懂、习题难做的情况,适当增加了部分例题的难度,并力求做到解题思路简捷,步骤清晰明了,取值计算精简,文字表述严谨,附图完整,以期对学生掌握具体分析方法起到应有的指导作用。有些题目给出多解,以启发和培养学生的发散型思维能力。

(3) 每章开始有引入,在做到过渡自然的同时兼起“本章学习指导之作用”,以求教学层次明确,利于教师和学生共同把握各章最基本的知识点,获得重点突出、顾及一般之效。每章后附有小结,旨在对本章内容做出比较系统、完整的归纳,梳理出头绪,以帮助 & 学生更深入地理解 & 全面掌握本章内容。

(4) 每节后有少量练习 & 思考题,每章都配置了数量较大的习题,覆盖了本书中要求理解 & 掌握的全部内容,便于学生选择和练习,以巩固基本概念 & 加强对实践能力的培养,其中许多题目是经多年教学实践而精选的。

本书在编写过程中借鉴了不少同行们编写的优秀教材,从中受到了不少教益 & 启发,在此,对各位作者表示衷心的感谢。

本书第 1 章由刘志民和王向阳编写,第 2、3 章由刘志民编写,第 4 章由李浩然编写,第 5、7 章由张咏军编写,第 6 章由钱际光编写。全书由刘志民统稿

并修改，杨建康主审。张浩同志参加了部分电路图的前期电脑制作及后期电脑统盘工作。郭宗智、张平、王拴存及陕西邮电职业技术学院电路组全体同志参加了本书的审稿会，并提出了不少宝贵建议，对本书的修改工作帮助很大，在此谨表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限，书中错误及欠妥之处在所难免，恳请读者和使用本书的同行批评指正。

编者

2001年12月

本书常用符号说明

1. 基本符号

i, I	电流
u, U	电压
φ (带单下标)	电位
p, P	功率
w, W	能量
R	电阻
G	电导
μ	VCVS 中的电压放大系数
γ	CCVS 中的转移电阻
g	VCCS 中的转移电导
β	CCCS 中的电流放大系数
θ	初相
T	周期
ω	角频率
f	频率
φ (或 φ 带双下标)	相位差
L	电感
C	电容
Z	阻抗
X	电抗
Y	导纳
B	电纳
φ_z	阻抗角
φ_y	导纳角
λ (或 $\cos\varphi$)	功率因数
ω_0	谐振角频率
f_0	谐振频率
Q	LC 回路的品质因数
B_w	通频带
α	单位相量算子
η	效率

N	线圈匝数
Φ	磁通
Ψ	磁链
M	互感
k	耦合系数
T	变压器
n	理想变压器匝比
τ	脉冲持续时间
p	微分方程的特征根
τ	动态电路的时间常数
2. 电压、电流	
$i(t)$	正弦电流的瞬时值
$u(t)$	正弦电压的瞬时值
I_m	正弦电流的振幅值
U_m	正弦电压的振幅值
I	正弦电流的有效值
U	正弦电压的有效值
$\dot{I}_m$	正弦电流的振幅值相量
$\dot{U}_m$	正弦电压的振幅值相量
$\dot{I}$	正弦电流的有效值相量
$\dot{U}$	正弦电压的有效值相量
U_s	电压源电压值
I_s	电流源电流值
$\dot{U}_s$	电压源电压相量值
$\dot{I}_s$	电流源电流相量值
i_b	晶体管基极电流
i_c	晶体管集电极电流
U_p	三相电的相电压有效值
I_p	三相电的相电流有效值
U_l	三相电的线电压有效值
I_l	三相电的线电流有效值
u_{ch}, i_{ch}	齐次微分方程的通解
u_{cp}, i_{cp}	非齐次微分方程的特解
3. 功率	
P	有功功率
Q	无功功率
Q_L	电感的无功功率
Q_C	电容的无功功率
S	视在功率

4. 电阻、阻抗及导纳

R_s	电源内阻
R_L	负载电阻
R_P	电位计(可变电阻器)
ρ	串联谐振电路的特性阻抗
Z_s	电源内阻抗
Z_L	负载阻抗
$\dot{Z}_s$	电源内阻抗的共轭复数
X_C	容抗
X_L	感抗
B_C	容纳
B_L	感纳

目 录

第 1 章 电路的基本概念和定律	1
1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 电路及其功能	1
1.1.2 理想电路元件	1
1.1.3 电路模型	2
练习与思考	2
1.2 电流、电压及其参考方向	2
1.2.1 电流及其参考方向	2
1.2.2 电压及其参考方向	4
练习与思考	6
1.3 电功率与电能	6
1.3.1 电功率	6
1.3.2 电能	7
练习与思考	8
1.4 电阻元件	9
1.4.1 电阻元件及伏安特性	9
1.4.2 电阻元件的功率	10
练习与思考	10
1.5 电压源与电流源	10
1.5.1 电压源	10
1.5.2 电流源	12
练习与思考	13
1.6 基尔霍夫定律	14
1.6.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	14
1.6.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	15
练习与思考	17
1.7 用电位的概念分析电路	17
1.7.1 电位及其参考点	17
1.7.2 电位的计算	18
1.7.3 有接地点电路的习惯画法	19
练习与思考	19
小结	20
习题 1	21
自测题 1	23

第 2 章 电路的等效变换	25
2.1 电阻的串、并、混联	25
2.1.1 电阻的串联	25
2.1.2 电阻的并联	27
2.1.3 电阻的混联	29
练习与思考	31
2.2 Δ 形和 Y 形电阻电路的等效变换	31
练习与思考	34
2.3 两种电源模型的等效变换	35
练习与思考	38
* 2.4 受控源及其等效变换	38
练习与思考	42
小结	42
习题 2	44
自测题 2	47
第 3 章 线性电路的一般分析方法和基本定理	49
3.1 支路电流法	49
练习与思考	51
3.2 网孔电流法	52
练习与思考	59
3.3 节点电位(电压)法	60
练习与思考	65
3.4 叠加定理	66
练习与思考	72
3.5 代文宁定理	72
练习与思考	78
3.6 最大功率传输定理	79
练习与思考	83
小结	83
习题 3	84
自测题 3	89
第 4 章 正弦交流电路	90
4.1 正弦量的基本概念	90
4.1.1 正弦量的三要素	90
4.1.2 相位差	93
4.1.3 正弦量的有效值	94
练习与思考	95
4.2 正弦量的相量表示法	96
4.2.1 正弦量的相量表示	96

4.2.2 两个同频率正弦量之和	97
练习与思考	98
4.3 电容元件和电感元件	99
4.3.1 电容元件	99
4.3.2 电感元件	102
练习与思考	105
4.4 三种元件伏安特性的相量形式	105
4.4.1 电阻元件	105
4.4.2 电感元件	107
4.4.3 电容元件	109
练习与思考	111
4.5 基尔霍夫定律的相量形式	111
4.5.1 基尔霍夫节点电流定律的相量形式	111
4.5.2 回路电压定律的相量形式	112
练习与思考	112
4.6 RLC 串联电路	113
4.6.1 电压与电流的关系	113
4.6.2 电路的三种性质	114
练习与思考	115
4.7 RLC 并联电路	116
4.7.1 电压与电流的关系	116
4.7.2 电路的三种性质	117
4.7.3 复阻抗和复导纳的等效互换	118
练习与思考	120
4.8 用相量法分析正弦交流电路	121
4.8.1 复阻抗混联电路的分析计算	121
4.8.2 用网孔法和节点法分析正弦电路	124
4.8.3 用代文宁定理分析正弦电路	125
4.8.4 相量图法	126
练习与思考	127
4.9 正弦交流电路中的功率	128
4.9.1 有功分量和无功分量	128
4.9.2 有功功率、无功功率、视在功率	129
4.9.3 功率因数的提高	129
练习与思考	131
4.10 正弦交流电路中的最大功率	132
练习与思考	134
4.11 串联谐振	135
4.11.1 串联谐振的条件	135
4.11.2 串联谐振的特点	136
4.11.3 串联谐振的谐振曲线	137
练习与思考	139
4.12 并联谐振	140

4.12.1 并联谐振的条件	140
4.12.2 并联谐振的特点	140
练习与思考	142
4.13 三相正弦电路	142
4.13.1 对称三相正弦电压	143
4.13.2 三相电源的连接	144
4.13.3 三相负载的连接	145
4.13.4 三相电路的功率	149
练习与思考	150
小结	150
习题 4	152
自测题 4	158
第 5 章 互感电路及理想变压器	160
5.1 互感及互感电压	160
练习与思考	162
5.2 互感线圈的同名端	162
5.2.1 同名端的标记原则及测定	163
5.2.2 同名端的应用	164
练习与思考	166
5.3 互感线圈的连接及等效电路	166
5.3.1 互感线圈的串联	166
5.3.2 互感线圈的并联	167
练习与思考	170
* 5.4 空心变压器	171
练习与思考	173
5.5 理想变压器	174
5.5.1 理想变压器的变压作用	174
5.5.2 理想变压器的变流作用	175
5.5.3 理想变压器的阻抗变换	176
练习与思考	177
小结	177
习题 5	178
自测题 5	181
第 6 章 非正弦周期信号电路	182
6.1 非正弦周期信号及分解	182
6.1.1 非正弦周期信号	182
6.1.2 非正弦周期信号的分解	182
练习与思考	187
6.2 非正弦周期信号的频谱	188
练习与思考	191
6.3 非正弦周期信号的有效值、平均值和平均功率	191

6.3.1 有效值	191
6.3.2 平均值	192
6.3.3 平均功率	193
练习与思考	194
6.4 非正弦周期电路的计算	195
练习与思考	199
小结	199
习题 6	200
自测题 6	202
第 7 章 动态电路的时域分析	203
7.1 换路定律及初始值的计算	203
7.1.1 过渡过程的概念	203
7.1.2 换路定律及初始值的计算	203
练习与思考	206
7.2 一阶电路的零输入响应	206
7.2.1 RC 电路的零输入响应	206
7.2.2 RL 电路的零输入响应	209
练习与思考	211
7.3 一阶电路的零状态响应	211
7.3.1 RC 电路的零状态响应	212
7.3.2 RL 电路的零状态响应	213
练习与思考	215
7.4 一阶电路的全响应	216
练习与思考	218
7.5 一阶电路的三要素法	219
练习与思考	224
* 7.6 二阶电路分析	224
练习与思考	228
小结	229
习题 7	230
自测题 7	233
附录 A 复数知识	236
附录 B 模拟试题	239
模拟试题一	239
模拟试题二	243
习题答案(参考)	248
自测题答案	256
参考文献	258

第 1 章 电路的基本概念和定律

本章主要介绍基尔霍夫定律，它是电路理论中的基本定律，也是学习本课程的基础。为此，先介绍电路的一些基本概念，有些内容在物理课中已经学过，这里再次从电路分析的观点提出这些概念并加以必要的拓展。

学习本章，要求充分理解并牢固掌握电压的参考极性、电流的参考方向及关联方向的基本概念；电功率 $P>0$ 和 $P<0$ 的意义，基尔霍夫定律的内容及应用。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路及其功能

电路是由电路元(器)件按一定要求连接而成，为电流的流通提供闭合路径的集合体，复杂的电路也常称为网络。

实际应用中的电路种类繁多，用途各异，但按其功能可概括为两个方面：一是对能量的传送、转换与分配；电力系统中的输电电路就是典型实例。其二是完成电信号的产生、传输、处理及应用；手机、电视机电路是这方面的典型实例。

1.1.2 理想电路元件

组成实际电路的元(器)件种类甚多，性能也不尽相同，但它们在电路中发生的电磁现象却有着共同之处。有些元(器)件主要是消耗电能的，如各种电阻器、电灯、电炉等。有些元(器)件主要是供给电能的，如发电机和电池。有些元(器)件主要是储存磁场能量的，如各种各样的电感线圈。有些元(器)件主要是储存电场能量的，如各种类型的电容器。某些元(器)件除了主要物理性质之外，还有次要性质。如电阻器，通过电流时还会产生磁场，因而兼有电感的性质；实际电感线圈是用金属导线绕制而成的，总要呈现一定电阻，因而兼有电阻的性质。分析电路时，若对电路元(器)件的全部物理性质都予以考虑，必然会带来很大困难，而且在工程实践中也没有必要这样做。因此，为了分析电路方便起见，必须在一定条件下对实际电路元(器)件加以近似化，忽略其次要性质，用一些足以表示实际电路元(器)件主要物理性质的模型来代替实际电路元(器)件。构成模型的元(器)件称为理想电路元件。电路分析中常用的三种最基本的理想元件是：表示将电能转换成热能的电阻元件；表示电场现象的电容元件；表示磁场现象的电感元件。另外还有电压源和电流源两种理想电源元件。每一种理想元件都有各自严格的数学定义式和符号。

1.1.3 电路模型

各种实际元(器)件在一定条件下都可以求得其模型,有些模型比较简单,仅由一种理想元件组成,有些则比较复杂,要由几种理想元件组成。用抽象的理想元件及其组合近似代替实际元(器)件,从而构成了与实际电路相对应的电路模型。所谓电路模型,就是把实际电路的本质抽象出来所构成的理想化了的电路。将电路模型用规定的理想元件符号画在平面上形成的图形称作电路图。图 1.1 就是一个最简单的电路图。今后我们所研究的电路都是由理想元件构成的电路图——电路模型。电路图只反映各种理想元件在电路中的作用及其相互连接方式,并不反映实际设备的内部结构、几何尺寸及其相互位置。因此有的资料也将电路图称为电路原理图,以区别于装配图。为简便起见,今后我们将省略“理想”二字,元件均指理想元件而言。

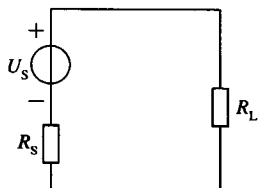


图 1.1 一个最简单的电路图

图 1.1 中, U_s 和 R_s 是实际电压源(如干电池)的符号,电阻 R_L 是一个以消耗电能为主的实际负载(如电灯泡)的符号,导线是可忽略电阻的短路线。

实际电路可分为“集中参数电路”和“分布参数电路”两大类。当一个实际电路的几何尺寸远小于电路中电磁波的波长时,就称为集中参数电路,否则就称其为分布参数电路。集中参数电路又按其元件参数是否为常数,分为线性电路和非线性电路。本课程讨论的都是集中参数线性电路。

练习与思考

1.1-1 结合自己所熟悉的一种家用电器,谈谈对电路功能的理解,并举出建立该电器设备的电路模型所需要的理想电路元件种类。

1.1-2 实验室用的一种滑动式可变电阻器,是将铜线绕在圆形骨架上,要建立它的电路模型只用理想电感元件行吗?严格地讲应该用哪几种理想电路元件?

1.2 电流、电压及其参考方向

1.2.1 电流及其参考方向

从物理学得知,电荷的定向移动形成电流,且规定正电荷移动的方向为电流的方向。其大小用电流强度来度量,单位时间内通过导体横截面的电荷量称为电流强度,电流强度用 i 表示,即

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

式(1-1)中的 dq 为时间 dt 内通过导体横截面的电荷量, i 随时间按一定规律变化,因此它