

高等院校计算机专业教育改革推荐教材

计算机电路与电子技术基础

贺建民 闵 锐 编著



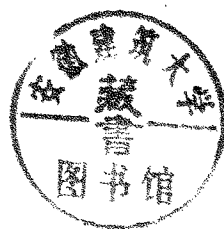
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等院校计算机专业教育改革推荐教材

计算机电路与电子技术基础

贺建民 闵 锐 编著



机械工业出版社

本书是为了适应计算机类专业课程的教学改革和现代高等教育的发展需要而编写的。主要内容包括电路的基本概念和定律、电路的基本分析方法和定理、动态电路的时域分析、正弦电路的稳态分析、半导体器件及基本放大电路、集成运算放大电路及其应用、直流稳压电源、逻辑代数基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、可编程逻辑器件、模/数和数/模转换、矩形脉冲波形的产生。本书涉及的知识面较广，作者注重对基本概念、基本原理、基本分析方法的论述，前后知识连贯、衔接恰当。在内容的选择上力求做到难易适中，以方便学生自学和教师讲课。

本书可作为普通高等院校计算机应用、电子工程、通信工程等相关专业的本科生、专科生教材，也适用于各种类型的成人教育，对有关的工程技术人员也是一本实用的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

计算机电路与电子技术基础/贺建民，闵锐编著.

—北京：机械工业出版社，2004.3

（高等院校计算机专业教育改革推荐教材）

ISBN 7-111-13802-3

I. 计... II. ①贺...②闵... III. ①电子计算机—电子电路—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TP331②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 127239 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策 划：胡毓坚

责任编辑：王 颖

责任印制：施 红

三河市宏达印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·26.75 印张·665 千字

0001—5000 册

定价：37.00 元

凡购本图书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话（010）68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

高等院校计算机专业教育改革推荐教材

编委会成员名单

主 编 刘大有

副主编 王元元

编 委 （按姓氏笔画排序）

刘晓明 李师贤 张桂芸 徐汀荣

耿亦兵 顾军华 黄国兴 薛永生

编者的话

计算机科学技术日新月异的飞速发展和计算机科学技术专业教育的相对滞后,已是不争的事实。

有两个发人深省的现象:一是,由于非计算机专业的学生既具有一门非计算机专业的专业知识,又具有越来越高的计算机应用技术水平,从而使计算机专业的学生感受到一种强烈的冲击和压力;二是,创建软件学院的工作已有近两年的历史,但软件学院的计算机专业教育的定位仍在探讨之中。

我们认为计算机科学与技术专业(以下简称计算机专业)教育的改革势在必行,正确认识和划分计算机专业教育的层次,对该专业的教育改革无疑是一个非常重要的问题。我国的计算机专业教育主要分三个层次。一般说来,这三个层次通常分布在以下三类高等院校:

第一层次主要以具有计算机一级学科博士学位授予权的教育部属重点高等院校为代表(包括具有两个博士点的大学)。这一类大学本科着重培养理论基础比较坚实、技术掌握熟练、有一定研究和开发能力的计算机专业学科型人才,其中部分学生(约本科生的10%)可攻读博士学位。

第二层次主要以具有一个计算机二级学科专业博士点的教育部属高等院校为代表。这一类高等院校本科着重培养有一定的理论基础、技术掌握比较熟练、有一定的研究或开发能力的计算机专业人才,其中一部分培养成学科型人才,另一部分培养成应用型人才,一小部分学生(约本科生的5%)可攻读博士学位。

第三层次主要以具有计算机二级学科专业硕士点的省属高等院校为代表。这一类高等院校本科面向企业应用,侧重培养对计算机技术或部分计算机技术掌握比较熟练,有一定的开发、应用能力的计算机专业应用型人才,其中很小一部分学生(约本科生的2.5%)可攻读博士学位。

国家教育部、计委批准的或省教育厅批准的示范性软件学院,就其培养目标和办学特色而言,分别与第二层次中应用型人才培养部分以及第三层次比较相近,但在如下方面有所不同:将软件工程课程作为专业教学重点;更加强调英语教学,更加重视实践能力培养,并对两者有更高的要求。

我们本着对高等院校的计算机专业状况的认识,主要面向与上述第二、第三两个层次对应的院校及与之相近的软件学院,总结多年的计算机专业的教改经验,在一定程度上溶入了ACM& IEEE CC2001和CCC2002(中国计算机科学与技术学科教程)的教改思路,组织我国一直投身于计算机教学和科研的教师,编写了这套“高等院校计算机专业教育改革推荐教材”(以下简称“推荐教材”)。自然,“推荐教材”中所贯穿的改革思路和做法,也是针对上述第二、第三两个层次对应院校的计算机专业学生。这些思路和做法可概括成以下三句话:

- 适度调整电子技术基础、计算机理论基础和系统软件的教学内容。
- 全面强化计算机工具软件、应用软件的教学要求。
- 以应用为目标大力展开软件工程的教学与实践。

电子技术基础、计算机理论基础、系统软件教学关系到学生的基本素质、发展潜力和日后的应变能力。“推荐教材”在调整它们的教学内容时的做法是:适度压缩电子线路、数字

电路和信号系统的教学内容,变三门课程为两门,并插入数字信号处理的基础内容;合并“计算机组成原理”、“微型计算机接口技术”和“汇编语言”为“计算机硬件技术基础”一门课程;注意适当放宽“离散数学”课程的知识面,使之与 CCC2002 的要求基本接轨,但适度降低其深度要求;更新系统软件课程的教学内容,以开放代码的 Linux 作为操作系统原理的讲授载体,更加关注系统软件的实践性和实用性。

为了提高计算机专业人才的计算机应用能力,全面强化计算机工具软件、实用软件的教学要求是十分重要的,这也是上述改革思路的核心。为此,“系列教材”的做法是:强化程序设计技术,强化人机接口技术,强化网络应用技术。

为强化程序设计技术,“推荐教材”支持在单片机环境、微机平台、网络平台的编程训练;支持运用程序设计语言、程序设计工具以及分布式对象技术的编程训练。大大加强面向对象程序设计课程的组合(设计了三门课程:面向对象的程序设计语言 C++,面向对象的程序设计语言 Java 和分布式对象技术),方便教师和读者的选择。

为强化人机接口技术,“推荐教材”设计了“人机交互教程”,“计算机图形学”和“多媒体应用技术”等可供选择的、有层次特色的课程组合。

为强化网络应用技术,“推荐教材”设计了“计算机网络技术”,“计算机网络程序设计”,“计算机网络实验教程”和“因特网技术及其应用”等可供选择的、新颖丰富的课程组合。

将软件工程课程作为专业教学重点,以应用为目标大力展开软件工程的教学与实践,是“推荐教材”改革思路的又一亮点。为改变以往软件工程课程纸上谈兵的老毛病,“推荐教材”从工程应用出发,理论联系实际,突出建模语言及其实现工具的运用,设计了“软件工程的方法与实践”,“统一建模语言 UML 导论”和“ROSE 对象建模方法与技术”等可供选择的、创新独特的软件工程课程组合。对于各类软件学院,“推荐教材”的这一特色无疑是很具有吸引力的。

强调实践也是计算机学科永恒的主题,对计算机应用专业的学生来说更是如此。重应用和重实践是“推荐教材”的一个整体特点。这一特点,一方面有利于解决本文开始所指出的计算机专业学生较之非计算机专业学生,在应用开发工作中上手慢的问题;另一方面,使计算机专业的学生能在更大范围内、更高层面上掌握计算机应用技术。这一特点正是许多高等院校计算机专业教育改革追求的一个目标,也是国家教育部倡导软件学院的初衷之一。

“推荐教材”由基础知识、程序设计、应用技术、软件工程和实践环节等五个模块组成。各模块有其对应的培养目标与功能,从而构架出一个创新的、完整的计算机应用专业的课程体系。模块化的设计,使各学校可根据学生及学校的特点做自由的选择和组合,既能达到本专业的总体要求,又能体现具有特色的个性发展。整套教材的改革脉络清晰,结构特色鲜明,值得各高等院校在改革教学内容、编制教学计划、挑选教材书目时借鉴和参考。当然,很多书目也适合很多相关学科的计算机课程用作教材。

“推荐教材”的组成模块和书目详见封底。显然它不能说是完备的(实践环节模块更是如此),其改革的思路、改革的举措也可能有值得探讨的地方。我们衷心希望得到计算机教育界同仁和广大读者的批评指正。

高等院校计算机专业教育改革推荐教材

编委会

前 言

在长期的教学实践中我们感觉到,以往与计算机电路有关的多门专业基础课程存在着内容较为庞杂、陈旧的现象,与当前的专业结构的调整和课程体系的改革不配套。本教材就是为了适应计算机专业学科建设及教学改革的需要,将计算机专业的三门基础课“电路分析基础”、“模拟电子线路”和“数字电路”合为一门课程,统称为“计算机电路与电子技术基础”,对原有的教学内容进行了适当的调整、压缩与优化,大大地缩短了教学时数,既保证了学生能掌握必需的基础知识,又能使学生有更多的时间与精力学习其他课程,提高了教学效率。

本书在结构上分为3大部分,共13章,第1部分:第1章至第4章是电路分析基础。通过这4章的学习,学生可以掌握电路的基本概念、基本定律、定理及其分析方法,同时还可以掌握动态元件的特点及其时域分析方法,正弦相量的基本概念及正弦电路的稳态分析。第2部分:第5章至第7章是模拟电子线路基础。这部分主要介绍了半导体器件的外特性及由半导体器件组成的基本放大电路、集成电路及其应用和直流稳压电源。这部分的学习需要用到电路基础的一些基本概念、定理和分析方法,并为数字电路的学习作好知识储备。第3部分:第8章至第13章是数字电路。主要内容包括逻辑代数基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、可编程逻辑器件、A/D和D/A转换以及脉冲波形的产生。本书内容涵盖了计算机专业所必需的电路和电子技术基础知识,作者注重基本概念、基本原理、基本分析方法的介绍,文字叙述力求概念清晰、条理清楚、层次分明、深入浅出,使学生既能掌握计算机电路的基本理论知识,又能培养分析问题、解决问题的能力,为后续课程的学习打下良好的基础,以适应现代教学发展的需要。

本书第1章至第7章由闵锐编写,第8章至第13章由贺建民编写。本书是在解放军理工大学王元元教授的积极倡导和大力支持下酝酿并完成的,解放军理工大学指挥自动化学院计算机教研室的徐勇副教授等审定了本书的大纲和主要内容。本书的编写得到了解放军理工大学指挥自动化学院计算机教研室、理学院基础部电子线路教研室的领导和同事们的大力支持和帮助,在此作者谨表深深的谢意。

由于作者水平有限,书中一定存在不少错误和缺点,在内容的取舍上也难免存在考虑不周之处,敬请使用本书的读者给予批评指正,以便日后不断改进。

编 者

目 录

编者的话

前言

第 1 章	电路的基本概念和定律	1
1.1	实际电路和电路模型	1
1.2	电路分析的变量	2
1.2.1	电流	2
1.2.2	电压	3
1.2.3	电功率	3
1.3	电路元件	5
1.3.1	电阻、电感、电容元件	5
1.3.2	独立电源和受控源	9
1.4	基尔霍夫定律	11
1.4.1	基尔霍夫电流定律 (KCL)	12
1.4.2	基尔霍夫电压定律 (KVL)	14
1.5	电路的等效变换	15
1.5.1	电路等效的一般概念	15
1.5.2	电阻的串联与并联	16
1.5.3	电阻 Y 形连接与 Δ 形连接的等效互换	19
1.5.4	理想电源的串联和并联	22
1.5.5	实际电源的模型及等效变换	24
1.6	习题	26
第 2 章	电路的基本分析方法和定理	30
2.1	电路的基本分析方法	30
2.1.1	支路电流法	30
2.1.2	网孔电流法	33
2.1.3	节点电位法	37
2.2	叠加定理、齐次定理和替代定理	41
2.2.1	叠加定理和齐次定理	41
2.2.2	替代定理	43
2.3	戴维南定理和诺顿定理	44
2.3.1	戴维南定理	44
2.3.2	诺顿定理	47
2.3.3	最大功率传输条件	49
2.4	特勒根定理	51
2.5	互易定理	54

2.6 习题	56
第3章 动态电路的时域分析	60
3.1 动态电路方程和初始值计算	60
3.1.1 动态电路方程	60
3.1.2 初始值计算	61
3.2 一阶电路的零输入响应	63
3.2.1 RC 电路的零输入响应	63
3.2.2 RL 电路的零输入响应	66
3.3 一阶电路的零状态响应	69
3.3.1 RC 电路的零状态响应	69
3.3.2 RL 电路的零状态响应	70
3.4 一阶电路的完全响应	73
3.5 一阶电路的单位阶跃响应	76
3.5.1 单位阶跃函数	76
3.5.2 一阶电路的单位阶跃响应	78
3.6 习题	79
第4章 正弦电路的稳态分析	82
4.1 正弦量	82
4.1.1 正弦量的三要素	82
4.1.2 同频率正弦量的相位差	83
4.1.3 正弦量的有效值	83
4.2 正弦稳态电路的相量模型	85
4.2.1 正弦量的相量表示	85
4.2.2 R 、 L 、 C 元件 VAR 的相量形式	87
4.2.3 基尔霍夫定律的相量形式	90
4.3 阻抗与导纳	91
4.3.1 阻抗与导纳的含义	91
4.3.2 RLC 串联电路和 GCL 并联电路	91
4.3.3 阻抗和导纳的串、并联	93
4.4 正弦稳态电路的相量分析法	95
4.5 正弦稳态电路的功率	98
4.5.1 二端电路的功率	98
4.5.2 复功率	100
4.5.3 最大功率传输	102
4.6 三相电路	105
4.7 习题	110
第5章 半导体器件及其放大电路	114
5.1 半导体器件	114
5.1.1 半导体的基本知识	114

5.1.2	半导体二极管	119
5.1.3	半导体三极管	122
5.1.4	场效应管	126
5.2	基本放大电路	132
5.2.1	基本放大电路的组成和性能指标	132
5.2.2	放大电路的图解分析法	135
5.2.3	放大电路的等效模型分析法	141
5.2.4	共集电极放大电路和共基极放大电路	145
5.2.5	场效应管放大电路	149
5.3	多级放大电路	152
5.3.1	多级放大电路的耦合方式	153
5.3.2	多级放大电路的主要性能指标	153
5.4	差分放大电路	156
5.4.1	差分放大电路的组成	156
5.4.2	差分放大电路的分析	156
5.5	电流源电路	160
5.6	功率放大电路	162
5.7	习题	167
第 6 章	集成运算放大电路及其应用	172
6.1	集成运算放大电路	172
6.1.1	集成运放的结构特点	172
6.1.2	典型集成运放电路介绍	173
6.1.3	理想运算放大器	175
6.2	放大电路中的负反馈	176
6.2.1	反馈的基本概念	176
6.2.2	反馈放大电路的类型和特点	178
6.2.3	负反馈的 4 种组态	180
6.2.4	负反馈对放大电路性能的改善	184
6.2.5	深度负反馈放大电路的分析	189
6.3	基本运算电路	191
6.3.1	比例运算电路	191
6.3.2	求和电路	193
6.3.3	积分电路和微分电路	196
6.3.4	对数和指数运算电路	198
6.3.5	模拟乘法器	199
6.4	波形发生电路	201
6.4.1	正弦波振荡电路	201
6.4.2	电压比较器	204
6.4.3	非正弦波发生电路	207

6.5 习题	211
第7章 直流稳压电源	216
7.1 整流电路和滤波电路	216
7.1.1 整流电路	216
7.1.2 滤波电路	220
7.2 稳压电路	221
7.2.1 稳压电路的性能指标	221
7.2.2 稳压管稳压电路	222
7.2.3 串联型稳压电路	224
7.3 集成稳压器	226
7.3.1 三端集成稳压器	227
7.3.2 三端集成稳压器的应用	227
7.4 开关型稳压电路	229
7.5 习题	230
第8章 逻辑代数基础	233
8.1 数制与码制	233
8.1.1 数制及数制间的转换	233
8.1.2 码制	237
8.2 逻辑代数的公式和定理	240
8.2.1 逻辑代数中的基本运算	240
8.2.2 逻辑代数中的基本公式和常用公式	243
8.2.3 逻辑代数的基本定理	245
8.3 逻辑函数的表示方法及相互转换	246
8.3.1 逻辑函数的表示方法	246
8.3.2 逻辑函数各种表示方法之间的转换	246
8.4 逻辑函数的化简	247
8.4.1 逻辑函数的公式化简法	247
8.4.2 逻辑函数的卡诺图化简法	248
8.5 具有无关项的逻辑函数及其化简	254
8.5.1 约束项、任意项和无关项	255
8.5.2 利用无关项化简逻辑函数	255
8.6 习题	256
第9章 逻辑门电路	259
9.1 分立元件门电路	259
9.1.1 基本逻辑门电路	259
9.1.2 与非门、或非门电路	261
9.2 TTL 集成逻辑门电路	263
9.2.1 集成 TTL 与非门	264
9.2.2 其他类型的 TTL 门电路	270

9.3	MOS 逻辑门电路	274
9.3.1	NMOS 门电路	274
9.3.2	CMOS 门电路	276
9.4	门电路的使用与连接	279
9.4.1	TTL 门电路的正确使用	279
9.4.2	CMOS 电路的正确使用	280
9.4.3	TTL 电路与 CMOS 电路的连接	281
9.5	习题	283
第 10 章	组合逻辑电路	288
10.1	组合逻辑电路的分析与设计	288
10.1.1	组合逻辑电路的特点	288
10.1.2	组合逻辑电路的分析和设计方法	289
10.2	若干常用的组合逻辑电路	293
10.2.1	编码器	293
10.2.2	译码器	298
10.2.3	数据选择器	301
10.2.4	加法器	303
10.2.5	数值比较器	306
10.3	组合逻辑电路中的竞争-冒险现象	309
10.3.1	竞争-冒险现象	309
10.3.2	竞争-冒险的判断	310
10.3.3	竞争-冒险的消除	311
10.4	习题	312
第 11 章	触发器和时序逻辑电路	317
11.1	基本触发器	317
11.1.1	基本 RS 触发器	317
11.1.2	同步 RS 触发器	319
11.1.3	主从触发器	321
11.1.4	维持阻塞触发器	324
11.2	触发器的逻辑功能分类及其相互转换	326
11.2.1	触发器按逻辑功能分类	326
11.2.2	触发器逻辑功能的转换	328
11.3	时序逻辑电路的分析方法	330
11.3.1	时序电路的表示方法	331
11.3.2	时序电路的分析方法	332
11.4	常用的时序逻辑电路	337
11.4.1	寄存器	337
11.4.2	计数器	339
11.4.3	顺序脉冲发生器	349

11.5	时序逻辑电路的设计方法	350
11.6	习题	357
第 12 章	可编程逻辑器件	364
12.1	PLD 概述	364
12.1.1	PLD 电路的表示方法	365
12.1.2	PLD 电路的基本结构	365
12.2	可编程阵列逻辑 PAL	367
12.2.1	PAL 电路的结构与特点	367
12.2.2	PAL 电路的输出形式	369
12.2.3	PAL 应用举例	370
12.3	通用阵列逻辑 GAL	372
12.3.1	GAL 电路的结构	373
12.3.2	输出逻辑宏单元 OLMC	374
12.3.3	GAL 的编程	378
12.3.4	GAL 的应用举例	379
12.4	在系统可编程逻辑器件 ISP-PLD	380
12.4.1	ispLSI1032 的电路结构和工作原理	380
12.4.2	ispLSI 的编程	384
12.5	习题	387
第 13 章	数/模和模/数转换、脉冲波形的产生	388
13.1	概述	388
13.2	数/模转换器 (DAC)	389
13.2.1	二进制权电阻网络 D/A 转换器	390
13.2.2	倒 T 型电阻网络 D/A 转换器	391
13.2.3	DAC 的主要技术指标	394
13.2.4	典型集成 DAC 芯片举例	394
13.3	模/数转换器 (ADC)	397
13.3.1	A/D 转换的一般过程	398
13.3.2	常用的 A/D 转换器	399
13.3.3	ADC 的主要技术指标	404
13.3.4	典型集成 ADC 芯片举例	404
13.4	矩形脉冲波形的产生	406
13.4.1	集成 555 定时器	406
13.4.2	单稳态触发器	408
13.4.3	多谐振荡器	409
13.4.4	施密特触发器	411
13.5	习题	413
参考文献		416

第1章 电路的基本概念和定律

本章重点

- 为什么要建立电路模型？什么是集总参数元件？
- 电路中有哪些基本变量？各种电路元件的 VAR 如何？
- 什么是基尔霍夫电压定律和电流定律？如何应用基尔霍夫定律进行电路分析？
- 电路等效互换的基本概念是什么？如何应用等效互换进行电路分析？

1.1 实际电路和电路模型

从高科技到人们的日常生活，电子和电气设备无处不在，从某种意义上说，它们都是为了实现某种目的或功能，由电路器件（如晶体管）和电路部件（如电阻、电容）连接而成的实际电路。

图 1-1 是一种最简单的照明实际电路，它由三部分组成：（1）提供电能的能源，简称电源，图中是一节干电池；（2）消耗电能的用电设备，称为负载，图中是灯泡；（3）连接电源与负载的导线。可见，电源、负载和导线是实际电路最基本的组成部分。

通常，电路的主要功能是实现电能或电信号的传输、转换与处理。例如电力系统中的输电电路，其作用是将发电厂的发电机所发出的电能传送到用电负载，在那里再转换为人们所需要的光能、热能；又如电视机、收音机中的电路可将天线接收到的电磁波加工处理成可视图像和声音，等等。总之，实际电路的形式多种多样，它们既具有各自的特点，又具有一定的共性，正是在这种共性的基础上，形成了电路理论这一学科。

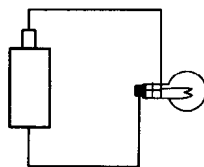


图 1-1 实际电路

电路理论研究的是电路中发生的电磁现象，并用电压、电流、电荷、磁通等物理量来描述。和其他学科一样，为了定量地分析实际电路，通常忽略电路元件的次要因素，突出其主要性质，用理想模型来代替实际研究对象。因此，电路分析的对象不是实际电路，而是在一定的条件下，将实际电路进行科学抽象及精确数学定义的电路模型。这种电路模型是由各种理想电路元件按一定的方式连接组成的。

实际电路的模型化首先是实际器件的模型化。虽然实际电路中所用的电路器件种类繁多，但是根据元件在电路中的电磁性能，可将它们分为三类理想元件，即消耗电能、储存电能和储存磁能的元件。消耗电能的电路元件，可用一理想的电阻模型表示；储存电能的电路元件可用一理想的电容元件表示；储存磁能的电路元件可用一理想的电感元件表示。三种理想电路元件的模型符号如图 1-2 所示。由于三种理想电路元件均具有两个端子，故称为二端元件。

有了上述定义的理想电阻、电容、电感模型，任何一个实际的电路器件，都可用理想的

电路元件或它们的组合来反映其电磁性能。对于不同的实际电路器件，只要其主要电磁性能相同，在一定条件下可以用同一个模型来表示。例如电灯泡、电取暖器等，主要是消耗电能的元件，都可用电阻来表示。同一个实际电路器件，在不同的应用条件下，可用不同的模型来表示。

将实际电路中的各元件用其理想模型表示，就得到实际电路模型，图 1-1 的电路模型如图 1-3 所示。其中，干电池可用理想电压源 U_s 和干电池内部的消耗电阻 R_s 相串联来表示，电灯泡可视为负载电阻 R_L 。

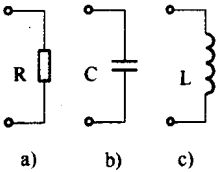


图 1-2 理想电阻、电容、电感元件模型

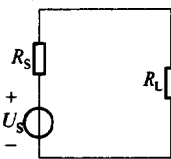


图 1-3 图 1-1 的电路模型

需要说明的是，实际电路中元件的能量消耗以及磁能和电能的储存是交织在一起的。理想条件是假定这些现象可以分别进行研究，并且这些电磁过程都分别集中在各元件内部进行。这样的元件（电阻、电感、电容）称为集总参数元件，简称集总元件。由集总参数元件连成的电路称为集总参数电路。

用集总参数电路来近似描述实际电路是有条件的，它要求电路器件及整个实际电路的尺寸 l 要远小于电路最高工作频率所对应的波长 λ ，即 $l \ll \lambda$ 。

1.2 电路分析的变量

电流、电压、电荷、磁链、功率和能量是描述电路工作状态和元件工作特性的 6 个变量，它们都是时间的函数。其中电流和电压是电路分析中最常用的两个基本变量。

1.2.1 电流

电荷有规则的定向运动形成电流。为了衡量电流的大小，我们定义单位时间内通过导体横截面的电荷量为电流，用 $i(t)$ 表示，即

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

规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。如果电流的大小和方向都不随时间改变，则称为直流电流，用大写字母 I 表示。电流的单位为安[培] (A)。在电力系统中常取 kA 为电流单位；在计算机和通信中，常取 mA 和 μA 作电流单位。它们之间的换算关系为

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

电流不但有大小，而且有方向。然而，在通常情况下，流过电路中各元件电流的实际方向很难预知，因此需要给电流设定一个假定方向，这个假定方向称为电流的参考方向，在电路图中用箭头标出，如图 1-4 所示。图中长方框表示一个二端元件，流过该元件的电流为 i 。电流的参考方向可以任意选定，一旦选定，就不再改变。经过计算，若电流值为正，说明电

流的实际方向与参考方向一致；若电流值为负，说明电流的实际方向与参考方向相反。

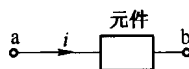


图 1-4 电流的参考方向

由此可见，指定参考方向的意义在于把电流看成是代数量，电流只有在既有数值、又有参考方向的情况下才有意义。只有数值而没有参考方向的电流是没有意义的。今后，电路图中所标的电流方向都是电流的参考方向。

1.2.2 电压

将单位正电荷由 a 点移到 b 点时电场力所作的功称为 a、b 两点间的电位差，即 a、b 两点间的电压，用 $u(t)$ 表示。

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

式中， $dw(t)$ 是移动正电荷 $dq(t)$ 所作的功。功的单位为焦[耳] (J)，电荷的单位为库[仑] (C)，电压的单位为伏[特] (V)。在具体电路中，电压的单位也可视具体情况采用千伏 (kV) 或毫伏 (mV)、微伏 (μV)。

如果电压的大小和方向都不随时间改变，则称这种电压为直流电压，用大写字母 U 表示。

从电压的定义可知，电压也是代数量，因而也需要设定参考方向或参考极性。两点之间的电压参考方向可用正 (+)、负 (-) 极性表示，正极表示电压的高电位端，负极表示电压的低电位端，正极指向负极的方向（即电位降低的方向）为电压的参考方向，如图 1-5 所示。电路中任意两点间电压的参考方向可以任意指定，经过计算，若电压值为正，说明电压的实际极性与参考极性相同；若电压值为负，说明电压的实际极性与参考极性相反。

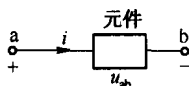


图 1-5 电压的参考方向

电压的参考方向也可用字符 u 的双下标表示，如图 1-5 所示电压 u_{ab} ，下标中第一个字母 a 表示参考方向的正极性端，下标的第二个字母 b 表示参考方向的负极性端。若 u_{ab} 为正值，表明 a 点电位比 b 点电位高；若 u_{ab} 为负值，表明 a 点电位比 b 点电位低。同样，两点间电压的正、负只有在设定参考方向的条件下才有意义。

1.2.3 电功率

单位时间所作的功称为功率。电路中所涉及的电功率是电场力作功的速率，用 $p(t)$ 表示，则

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt} \quad (1-3)$$

式中， $dw(t)$ 为 dt 时间内电场力所作的功。功率的单位为瓦[特] (W)。

电功率与电压、电流密切相关。由前面的分析可知，同一元件或同一段电路的电压、电流的参考方向可以任意指定。如果电流的参考方向是从电压参考极性的正极性端指向负极性端，就把电流、电压的这种参考方向称为关联参考方向，如图 1-6a 所示。反之，称为非关联参考方向，如图 1-6b 所示。

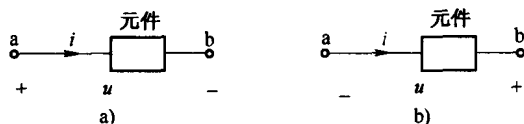


图 1-6 电流与电压的关联和非关联参考方向

a) 关联参考方向 b) 非关联参考方向

在关联参考方向下，当正电荷从元件上电压的“+”极移动到电压的“-”极时，与此电压相应的电场力对电荷作正功。电场力作正功说明电能损耗，损耗的这部分电能被元件所吸收；反之，正电荷从电压的“-”极移动到电压的“+”极时，电场力作负功，元件向外释放电能。

根据功率的定义及式 (1-1) 和式 (1-2)，得

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt} = \frac{dw(t)}{dq(t)} \cdot \frac{dq(t)}{dt} = u(t) \cdot i(t)$$

式中， $p(t)$ 是元件吸收的功率。在电流、电压采用关联参考方向下，计算吸收功率的公式为

$$p(t) = u \cdot i \quad (1-4)$$

经计算，若 p 为正值，则该元件吸收功率；若 p 为负值，则该元件向外提供功率。

若电路的电压、电流采用非关联参考方向，如图 1-6b 所示，则计算吸收功率的公式应为

$$p(t) = -u \cdot i \quad (1-5)$$

应当指出，计算一段电路产生的功率（提供功率），若电压、电流参考方向关联，则采用 $p = -ui$ 公式计算；若电压、电流参考方向非关联，则采用 $p = ui$ 公式计算。这是因为“吸收”与“产生”两者的含义相反。

设元件吸收的功率为 $p(t)$ ，则从 t_0 到 t 时间内元件吸收的总能量为

$$W(t) = \int_{t_0}^t p(\xi) d\xi \quad (1-6)$$

上式表明能量是功率对时间的积分。当 p 的单位为瓦 (W)，时间的单位为秒 (s) 时，能量 W 的单位为焦[耳] (J)。

【例 1-1】 已知某一时刻各二端电路端子上的电压和电流，如图 1-7 所示。求该时刻各电路所吸收的功率和产生的功率。

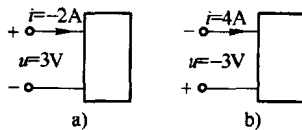


图 1-7 例 1-1 电路图

解：图 a 电路中电压、电流为关联参考方向，故某时刻该电路所吸收的功率为

$$p = u \cdot i = (3 \times (-2)) \text{ W} = -6 \text{ W}$$

产生的功率为

$$p = -u \cdot i = (-3 \times (-2)) \text{ W} = 6 \text{ W}$$

在图 b 电路中，电压、电流为非关联参考方向，故某时刻该电路所吸收的功率为

$$p = -u \cdot i = (-(-3) \times 4) \text{ W} = 12 \text{ W}$$

产生的功率为