



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

计算机系统结构系列教材

电路与电子 技术基础

刘芸 张英全 樊爱华 王进 编



高等教育出版社



中国高等院校计算机基础教育课程体系

电路与电子技术基础

第2版



清华大学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

计算机系统结构系列教材

电路与电子技术基础

刘芸 张英全 樊爱华 王进 编

高等教育出版社

内容提要

本书是“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”。全书分为上、中、下三篇。上篇为电路基础,系统地介绍线性电路的基本理论和基本分析方法,包括电路模型和电路定律、电阻电路的基本分析方法、动态电路的时域分析和正弦稳态分析等。中篇为模拟电子技术基础,介绍由半导体器件组成的模拟电路的基本原理和分析运用方法,包括半导体器件的基本概念和特性、基本放大电路、集成运算放大器、放大电路中的反馈、信号处理与信号产生电路和直流稳压电源。下篇为数字电子技术基础,主要介绍由半导体器件组成的数字电路或模拟数字电路的基本原理和分析运用方法,包括门电路、触发器、脉冲的产生和整形、数字模拟转换器、模拟数字转换器等。

本书适合作为高等学校计算机等电气信息类专业“电路与电子技术”相关课程的教材和参考书,该书还可供自学考试、成人教育和从事电子技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子技术基础/刘芸等编. —北京:高等教育出版社,2006.11

ISBN 7-04-019914-9

I. 电… II. 刘… III. ①电路理论—高等学校—教材 ②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM13②TN01.

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 083689 号

策划编辑 武林晓 责任编辑 欧阳舟 封面设计 李卫青 责任绘图 朱 静
版式设计 张 岚 责任校对 金 辉 责任印制 毛斯璐

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京宏伟双华印刷有限公司		http://www.widedu.com
开 本	787×1092 1/16	版 次	2006年11月第1版
印 张	34	印 次	2006年11月第1次印刷
字 数	770 000	定 价	39.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 19914-00

20世纪中期开始的以知识和信息的产生、处理和应用为基础的信息化革命极大地推动了世界经济的发展,人类社会的进步和国家的繁荣现阶段比任何时候都依赖于信息技术的进步和应用。科教兴国、知识创新已经成为我国融入全球经济、跻身世界经济强国的基本方针。

计算机技术是信息社会的主要技术之一。面对信息社会和知识经济对高素质计算机人才培养的需求,面对信息技术对高素质计算机人才培养所带来的深刻变革,我们一直都在探索和思考:计算机科学与技术专业的人才应具备怎样的知识结构?如何培养适应学科发展的创新人才?如何逐步缩小与国外高素质计算机人才培养之间的差距?

国防科学技术大学计算机学院的“计算机系统结构”学科1988年首批列入国家级重点学科之一,1985年首批设立博士后科研流动站。经过30多年的建设和发展,形成了以高性能计算机系统、分布式计算机系统、计算机仿真系统、计算机网络与通信、移动计算、嵌入式系统和计算机性能评测等为主的学科发展方向,形成了本科、硕士和博士等层次的完整科学系统的人才培养体系,获得了“银河”系列计算机、核心路由器、高性能微处理器等多项高水平科研成果,为国家和国防现代化建设做出了突出的贡献,培养了大批优秀的计算机人才,积累了丰富的理论和实践经验,学科建设整体水平保持全国领先地位。

近年来,结合我院多年的人才培养和科学研究工作实践和经验,我们逐步确立了“加强核心基础知识教育,分阶段、分层次突出创新能力和工程实践综合能力”高素质计算机人才培养的总体思路,并制定了2002年计算机科学与技术专业人才培养计划。

人才培养计划的落实和实施离不开优秀的教材体系作为支撑。在计算机系统结构专业教材体系建设上,我们曾经撰写出版了多部在国内有影响的专著和教材,受到了国内计算机教育工作者的高度评价,并被许多高等院校采用。为进一步适应计算机科学技术的飞速发展和对计算机创新人才培养的需要,发挥我院计算机系统结构专业的学科优势,在高等教育出版社的大力支持下,我们决定面向国内大专院校计算机系统结构专业方向的人才培养要求,结合我院多年来在计算机系统结构专业方向学科建设的成果,重新撰写出版一套计算机系统结构专业方向的系列教材。

为此,我们成立了由多名院士、专家和教授组成的计算机系统结构系列教材编委会,一批长期工作在一线、从事过多年教学和科研实践的中青年教师作为该系列教材的作者。编委会委员和该系列教材作者在广泛调研国内外的相关最新教材的基础上,结合计算机系统结构专业方向人才培养的特点和规律,统筹规划,力求完整,经过反复讨论,确定了该系列教材的内容体系和知识点的衔接。

该套系列教材主要包括:《电路与电子技术基础》、《数字逻辑原理与工程设计》、《计算机原理与设计》、《汇编语言程序设计及应用》、《计算机体系结构》、《嵌入式系统原理与设计》和《数字系统设计工程》等。其内容全面涵盖了计算机系统结构专业方向的基础理论、基本原理和工程实践等专业知识,既保持了该专业方向基础知识的稳定性,又紧随计算机技术的发展前沿,反映了该专业方向的最新研究内容和研究成果。

该系列教材内容既相互关联,又相对独立,教师可方便地根据具体情况选取相关的部分作为教学内容。该系列教材既可以作为计算机专业本科生的必修课或选修课教材,也可以作为有关研究人员的参考书。我们十分希望该系列教材的出版能够为培养我国高素质计算机人才贡献一份力量。该系列教材的出版也难免有许多不足之处,希望能够得到国内同行的批评指正,让我们相互交流、共同研究、共同完善。

计算机系统结构系列教材编委会

2003年9月

前 言

电路与电子技术基础是计算机等电气信息类专业学生必备的重要基础,不同的专业对这部分知识要求的深度和广度不同。本书参照全国高校计算机专业教学指导委员会和中国计算机学会教育委员会制定的《计算机学科教学计划 2001》以及《中国计算机科学与技术学科教程 2002》要求,在计算机系统结构系列教材编委会的指导下,结合多年的教学实践经验和体会,为课程教学的需要而编写。

本书由上、中、下三篇组成,共 15 章。其中上篇为电路基础,系统地介绍了线性电路的基本理论和基本分析方法,包括电路模型和电路定律、电阻电路的基本分析方法、动态电路的时域分析和正弦稳态分析等。中篇为模拟电子技术基础,介绍了由半导体器件组成的模拟电路的基本原理和分析运用方法,包括半导体器件的基本概念和特性、基本放大电路、集成运算放大器、放大电路中的反馈、信号处理与信号产生电路和直流稳压电源。下篇为数字电子技术基础,主要介绍由半导体器件组成的数字电路或模拟数字电路的基本原理和分析运用方法,包括门电路、触发器、脉冲的产生与整形、数字模拟转换器、模拟数字转换器等。

本书在编写过程中,尽力体现如下编写思路:

1. 在内容选取上,注重基础,注重理论的系统性和完整性。虽然电路、电子技术发展很快,但其核心的基本理论和方法还是不变的,具有相对经典性。在注重基础的同时,为适应电子技术发展,削减一些陈旧的分立元件电路,加强集成电路的内容,适当引入一些实用电路分析。

2. 在内容叙述上,注意由浅入深,讲清概念;注重定性分析和理解,尽量简化定量计算;特别强调分析各类电路的正确思路和方法的引导,增强分析问题和解决问题的能力。

3. 在内容编排上,采用每章开头引言,每章结尾总结的方式,以利于学生学习和教师教学。

本书第一至第四章、第九至第十章由刘芸编写,第五至第八章由樊爱华编写,第十一至第十五章及附录由张英全、王进编写。全书由刘芸负责统稿。在成书过程中,国防科技大学计算机学院张俊科教授仔细阅读了全书,并提出了许多具体的修改意见,特在此表示感谢。上海交通大学孙德文教授审阅了本书,提出了许多建设性意见,编者尽力进行了修改,并表示诚挚的谢意。对所有在本书的编写和出版过程中给予热情帮助和支持的同志们,我们在此一并表示衷心的感谢。

本书适合作为高等学校计算机等电气信息类专业“电路与电子技术”相关课程的教材和参考书,参考学时为 100 学时。该书还可供自学考试、成人教育和从事电子技术工作的工程技术人员参考。教材可依学时多少和学生水平的不同选择使用。

由于编者水平有限,书中难免存在错误与不当之处,诚恳希望专家和读者批评指正。

编者

上篇 电路基础

第一章 电路模型和电路定律	3	2.3 电路的基本定理及应用	36
引言	3	2.3.1 叠加定理	36
1.1 电路与电路模型	3	2.3.2 置换定理	39
1.2 电路的基本变量	4	2.3.3 戴维宁定理和诺顿定理	40
1.2.1 电流、电压及其参考方向	4	本章小结	45
1.2.2 功率和能量	7	习题 2	46
1.3 基本电路元件	7	第三章 动态电路的时域分析	51
1.3.1 电阻元件	7	引言	51
1.3.2 电容元件	9	3.1 电路的动态过程	51
1.3.3 电感元件	10	3.2 一阶电路的零输入响应	53
1.3.4 电压源和电流源	12	3.2.1 RC 电路的零输入响应	53
1.3.5 受控源	13	3.2.2 RL 电路的零输入响应	55
1.4 基尔霍夫定律	14	3.3 一阶电路的零状态响应	57
1.4.1 基尔霍夫电流定律	15	3.3.1 RC 电路的零状态响应	57
1.4.2 基尔霍夫电压定律	16	3.3.2 RL 电路的零状态响应	59
本章小结	17	3.4 一阶电路的全响应及三要素法	59
习题 1	18	3.5 矩形脉冲信号激励下 RC 电路的响应	64
第二章 电阻电路的基本分析方法	21	本章小结	66
引言	21	习题 3	67
2.1 电路的等效化简分析方法	21	第四章 正弦稳态分析	69
2.1.1 电路等效的概念	21	引言	69
2.1.2 电阻的串、并联等效及混联电路计算	22	4.1 正弦量及其相量表示	69
2.1.3 含源支路的等效变换	25	4.1.1 正弦量的基本概念	69
2.2 电路的一般分析方法	30	4.1.2 正弦量的相量表示	71
2.2.1 支路电流法	30	4.2 基尔霍夫定律和元件 VAR 的相量形式	73
2.2.2 回路电流法	31		
2.2.3 节点电压法	34		

4.2.1 基尔霍夫定律的相量形式	73	4.5.4 最大功率传输定理	88
4.2.2 电阻、电容、电感元件 VAR 的 相量形式	74	4.6 正弦稳态电路中的谐振	90
4.3 阻抗和导纳	77	4.6.1 串联谐振及其特点	90
4.3.1 RLC 串联电路、阻抗	77	4.6.2 并联谐振及其特点	92
4.3.2 阻抗的串、并联	78	4.7 三相交流电路	93
4.3.3 导纳	80	4.7.1 三相电源	93
4.4 正弦稳态电路分析	81	4.7.2 对称三相电路的特点及分析计算	96
4.5 正弦稳态电路中的功率	84	4.7.3 对称三相电路的功率	100
4.5.1 瞬时功率	84	本章小结	102
4.5.2 平均功率	85	习题 4	102
4.5.3 无功功率和视在功率	87		

中篇 模拟电子技术基础

第五章 半导体二极管、晶体管和 场效应管	109	习题 5	149
引言	109	第六章 基本放大电路	152
5.1 半导体	109	引言	152
5.1.1 半导体的导电原理	109	6.1 概述	152
5.1.2 PN 结	113	6.1.1 放大电路的组成和主要性能指标	152
5.2 半导体二极管	116	6.1.2 共发射极放大电路的组成和 工作原理	156
5.2.1 二极管的结构	116	6.2 放大电路的基本分析方法	159
5.2.2 二极管的伏安特性和电路模型	117	6.2.1 电路静态的计算分析法	159
5.2.3 二极管的主要参数	119	6.2.2 电路静态和动态的图解分析法	159
5.2.4 稳压二极管	120	6.2.3 电路动态性能指标的微变等效 电路算法	167
5.2.5 二极管应用实例	122	6.3 工作点稳定的放大电路的 三种组态	170
5.3 晶体管	125	6.3.1 温度对工作点的影响	171
5.3.1 晶体管的结构	125	6.3.2 工作点稳定的共射极放大电路	171
5.3.2 晶体管的工作原理	126	6.3.3 共集电极放大电路	176
5.3.3 晶体管的特性曲线	130	6.3.4 共基极放大电路	179
5.3.4 晶体管的主要参数	133	6.4 场效应管放大电路	181
5.4 场效应管	135	6.4.1 场效应管放大电路的偏置方式和 计算方法	181
5.4.1 结型场效应管	135	6.4.2 共源极放大电路的动态分析计算	183
5.4.2 绝缘栅型场效应管	140	6.5 功率放大电路	185
5.4.3 场效应管的主要参数	145		
5.4.4 小结	147		
本章小结	148		

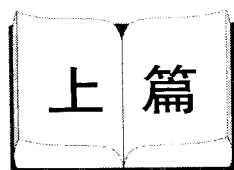
6.5.1 功率放大电路的一般问题	185	8.1.1 反馈的基本概念	238
6.5.2 互补对称功率放大电路	188	8.1.2 反馈的分类	239
6.5.3 集成功率放大电路简介	195	8.2 反馈的一般表达式	246
6.6 多级放大电路	197	8.3 负反馈放大电路的估算	246
6.6.1 多级放大电路的耦合方式	198	8.4 负反馈对放大电路性能的影响	251
6.6.2 多级放大电路的计算	200	8.5 负反馈放大电路中的自激振荡	256
6.7 放大电路的频率特性	202	本章小结	258
6.7.1 单级放大电路的频率响应	202	习题 8	258
6.7.2 多级放大电路的频率响应	204	第九章 信号处理与信号产生电路	262
本章小结	204	引言	262
习题 6	205	9.1 理想运算放大器的实用特性和 基本电路	262
第七章 集成运算放大器	211	9.1.1 理想运算放大器的实用特性	262
引言	211	9.1.2 反相放大器	264
7.1 集成电路的特点	211	9.1.3 同相放大器	265
7.1.1 集成电路简介	211	9.2 典型运算电路	266
7.1.2 集成电路的特点	212	9.2.1 加法电路	266
7.1.3 直接耦合电路	213	9.2.2 减法电路	267
7.2 集成电路中的电流源电路	216	9.2.3 积分和微分电路	268
7.2.1 镜像电流源	126	9.2.4 对数和指数运算电路	269
7.2.2 微电流源	218	9.2.5 绝对值电路	270
7.2.3 威尔逊(Wilson)电流源	218	9.3 信号检测和电路	271
7.2.4 有源负载	219	9.3.1 电压比较器	271
7.3 差分式放大电路	219	9.3.2 I/U 变换器和 U/I 变换器	273
7.3.1 基本差分放大电路	219	9.3.3 有源滤波电路	274
7.3.2 长尾式差分放大电路	222	9.4 正弦波振荡电路	279
7.3.3 恒流源差分放大电路	226	9.4.1 振荡电路的振荡条件	279
7.3.4 差分放大电路的调零	227	9.4.2 RC 正弦波振荡电路	281
7.4 集成运算放大电路	230	9.4.3 LC 正弦波振荡电路	283
7.4.1 集成运放的基本组成	230	9.4.4 石英晶体振荡器	287
7.4.2 F007 通用集成运放电路	231	本章小结	289
7.4.3 集成运算放大器的主要参数	233	习题 9	290
7.4.4 集成运放使用注意事项	235	第十章 直流稳压电源	297
本章小结	236	引言	297
习题 7	236	10.1 直流稳压电源的基本组成	297
第八章 放大电路中的反馈	238	10.2 整流和滤波电路	298
引言	238		
8.1 反馈的基本概念与分类	238		

10.2.1 桥式全波整流电路	298	10.3.3 晶体管开关型稳压电路	307
10.2.2 滤波电路	299	10.3.4 集成稳压器及典型应用	310
10.3 稳压电路	303	本章小结	312
10.3.1 稳压二极管稳压电路	303	习题 10	312
10.3.2 晶体管串联型稳压电路	304		

下篇 数字电子技术基础

第十一章 门电路	319	12.1.2 或非门构成的基本 RS 触发器	375
引言	319	12.2 同步触发器	376
11.1 概述	319	12.2.1 同步 RS 触发器	376
11.1.1 模拟信号	319	12.2.2 同步 D 锁存器	377
11.1.2 数字信号	320	12.3 主从触发器	377
11.1.3 基本逻辑关系	321	12.3.1 主从 RS 触发器	377
11.2 分立元件门电路	323	12.3.2 主从 JK 触发器	379
11.2.1 二极管开关特性	323	12.4 边沿触发器	383
11.2.2 二极管与门电路	325	12.4.1 边沿 JK 触发器	383
11.2.3 二极管或门电路	325	12.4.2 边沿 D 触发器	386
11.2.4 晶体管的开关特性	326	12.5 触发器的脉冲工作特性	389
11.2.5 实用晶体管非门电路	328	12.6 触发器的逻辑功能分类	391
11.3 TTL 门电路	331	12.7 MOS 触发器	394
11.3.1 TTL 与非门	331	12.7.1 NMOS 触发器	394
11.3.2 其他逻辑功能的 TTL 门电路	339	12.7.2 CMOS 触发器	395
11.4 ECL 门电路	346	本章小结	397
11.4.1 基本结构及原理	346	习题 12	398
11.4.2 基本特性	350	第十三章 脉冲的产生与整形	401
11.4.3 逻辑扩展	353	引言	401
11.5 MOS 门电路	356	13.1 脉冲产生器	401
11.5.1 NMOS 反相器	356	13.1.1 集成运放方波产生器	401
11.5.2 NMOS 门电路	361	13.1.2 TTL 与非门方波产生器	402
11.5.3 CMOS 反相器及门电路	363	13.2 单稳电路	410
11.6 集成门电路的使用	366	13.2.1 微分型单稳电路	410
本章小结	367	13.2.2 积分型单稳电路	412
习题 11	368	13.2.3 集成单稳电路	413
第十二章 触发器	373	13.2.4 单稳电路的应用	416
引言	373	13.3 施密特电路	418
12.1 基本触发器	373	13.3.1 运算放大器构成的施密特电路	418
12.1.1 与非门构成的基本 RS 触发器	373	13.3.2 集成 TTL 施密特电路	419

13.3.3 与非门构成的施密特电路	421	14.7.1 用数字电压表校准与测试	465
13.3.4 施密特电路的应用	422	14.7.2 位扫描 DAC 校准与测试	465
13.4 定时器	423	本章小结	468
13.4.1 555 定时器电路	424	习题 14	468
13.4.2 定时器的应用	425	第十五章 模拟数字转换器	471
本章小结	428	引言	471
习题 13	429	15.1 概述	471
第十四章 数字模拟转换器	432	15.2 计数式 ADC	473
引言	432	15.2.1 电压-时间间隔-数字转换器	473
14.1 DAC 的基本原理	433	15.2.2 电压-频率-数字转换器	476
14.2 DAC 的典型电路	434	15.3 比较式 ADC	478
14.2.1 权电阻型 DAC	434	15.3.1 工作原理	478
14.2.2 $R-2R$ 型 DAC	439	15.3.2 逐位逼近式 ADC 的工作过程	479
14.2.3 倒置 $R-2R$ 型 DAC	441	15.3.3 比较器	482
14.2.4 双极型开关 DAC	442	15.3.4 双极性转换	483
14.2.5 CMOS 开关 DAC	445	15.4 高速 ADC	484
14.3 双极性 DAC	447	15.5 ADC 的转移特性	487
14.3.1 双极性代码	447	15.6 ADC 的主要参数	489
14.3.2 偏流补偿双极性转换	448	15.6.1 转换时间	489
14.3.3 MDAC 双极性转换	450	15.6.2 分辨率	489
14.4 DAC 的转移特性	453	15.6.3 精度与误差	489
14.5 DAC 的主要参数	453	15.7 器件实例	491
14.5.1 分辨率	453	15.7.1 AD572	491
14.5.2 精度与误差	454	15.7.2 ADC0809	498
14.5.3 建立时间	456	15.8 ADC 的校准与测试	500
14.6 器件实例	458	15.8.1 用数字电压表校准与测试	500
14.6.1 DAC1132	458	15.8.2 用基准 DAC 测试 ADC	500
14.6.2 AD7520	460	本章小结	501
14.6.3 DAC0832	462	习题 15	501
14.7 DAC 的校准与测试	465		
附录 A 半导体集成电路型号命名方法	503		
附录 B 《电气图用图形符号——二进制逻辑单元》(GB4728.12—85)简介	505		
习题参考答案	514		
参考文献	528		



电路基础

第一章 电路模型和电路定律

引言

电路基础是通信、自动控制、计算机、电力等电技术应用领域的共同理论基础,它主要是探讨电路的基本规律和基本定律,研究电路的分析方法。在分析电路时,电路总是用模型来描述的。此外,电路的种类繁多,功能也各不相同,但它们都遵守着某些共同的规律,这就是电路定律。这些定律既是电路分析的重要内容,也是研究电路分析方法的主要依据。本章首先介绍电路模型和电路基本变量的概念,然后介绍电路元件的基本特性,最后讨论电路的基本定律——基尔霍夫定律。

1.1 电路与电路模型

人们在日常生活和工作中会接触到各种各样的实际电路,如日光灯、收音机、计算机等,可以说任何用电的设备都是由电路组成的。电路(Circuit)是为了实现一定的任务将所需的电元件或设备用导线相互连接的一个总体。例如简单的手电筒电路,就是由于干电池、灯泡、手电筒壳(连接导体)和开关连接而成的,如图1-1(a)所示。干电池是一种电源,对电路提供电能;灯泡则是用电的器件,当电流流过时,它能发热到白炽状态而发光,称为负载;连接导体可使电流构成通路,开关则起控制作用。大多数实际电路十分复杂,如电视机、计算机等集成电路的应用电路;电能产生、输送和分配的电力系统等。不管电路复杂程度如何,构成实际电路的器件或设备,按其在电路中的作用可分为三类:(1)产生电能或电信号的电源(Electric Source)设备;(2)吸收电

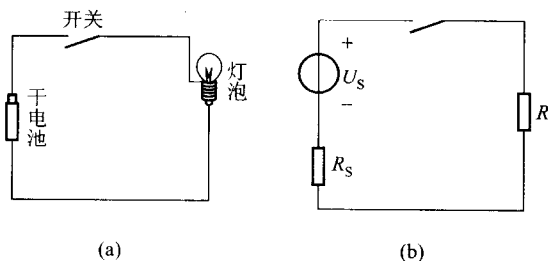


图 1-1 手电筒电路
(a) 实际电路 (b) 电路模型

能或接受电信号,并将其转变成其他形式能量的负载(Load)设备;(3)将电能或电信号从电源输送到负载的传输、控制设备。

电路的作用,由构成该电路的器件的电磁特性所决定。如灯泡的主要电磁特性是对电流呈阻力,而将电能转换成热能,该特性又称为热耗散特性;另外,常见的电磁特性还有:由实际电容器主要表征的静电感应特性和由电感线圈主要表征的电磁感应特性。为了便于对实际电路进行数学描述和分析,需要建立实际电路的模型。电路模型(Circuit Model)是对实际电路器件电磁特性的抽象和概括,即将器件用表示特定电磁特性的理想元件模型或其模型组合来替代。如图1-1(b)所示的就是手电筒的电路模型,干电池用理想电压源 U_S 和理想电阻元件 R_S 的组合作为模型,灯泡用理想电阻元件 R 作为模型,连接导体用设电阻为零的理想导线来表示。可以说电路模型是由理想元件组成的电路。电路分析的对象是电路模型(以下简称为电路),而不是实际电路。实际电路如何构成模型,不是本书讨论的范畴。

实际电路种类繁多,作用不同,其电磁特性不是用一类模型所能描述的。本书讨论的是这样一类模型:假设器件的电磁过程都是集中在器件内部进行的。基于该假设的理想元件有这样的特点:在任何时刻,从具有两个端钮元件的某一端钮流入的电流恒等于从另一端钮流出的电流,并且元件两个端钮间的电压值也可以确定;元件的电磁特性可以用参数来表示。这类理想元件又称为集总参数元件(Lumped Parameter Element),简称为集总元件。由集总元件构成的电路称为集总电路。

1.2 电路的基本变量

电路的电磁特性是由一些基本物理量来描述的,如电流、电压、功率、能量、电荷和磁通等。它们又是电路分析的求解变量。

1.2.1 电流、电压及其参考方向

1. 电流及其参考方向

电荷的定向流动形成电流(Current),其流动的速率大小用电流来表示。电流用字母 i 表示,在数值上等于每单位时间内通过导体横截面的电量。

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

在国际单位制中, t 的单位为秒(s), q 的单位是库[伦](C), i 的单位是安[培](A)。常用的电流辅助单位及它们之间的转换关系有

$$1 \text{ mA}(\text{毫安}) = 10^{-3} \text{ A}, 1 \text{ } \mu\text{A}(\text{微安}) = 10^{-6} \text{ A}, 1 \text{ nA}(\text{纳安}) = 10^{-9} \text{ A}$$

习惯上把正电荷流动的方向规定为电流的实际方向。在电路中如果电流的大小和方向不随时间变化,则称这种电流为直流电流(Direct Current, DC),常用大写字母 I 表示。一段电路,有时不容易判断电流的实际方向,有时电流的实际方向还在不断地变化。而电路分析的理论和方法

是基于已知电流方向的。为了解决此矛盾,在电路分析中,引用电流参考方向的概念,即在一段电路中,任意选定一个方向为电流的参考方向,当电流实际方向与参考方向相同时,规定电流为正值($i > 0$),如果两者相反,电流为负值($i < 0$),这样电流 i 成为代数量,如图 1-2 所示。

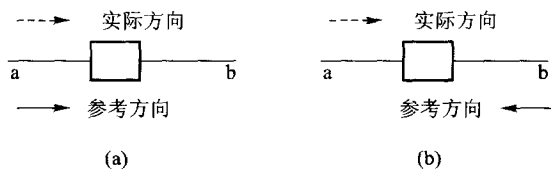


图 1-2 电流参考方向与实际方向的关系
(a) $i > 0$ (b) $i < 0$

在电路图中电流的参考方向一般用箭头表示,也有用双下标表示,如 i_{ab} 表示参考方向是由 a 指向 b,如图 1-3 所示。

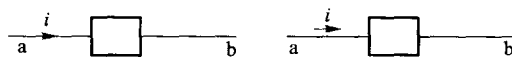


图 1-3 电流参考方向的表示方法

在分析电路时,首先假设电流的参考方向,并以此为基准进行分析计算,最后可根据计算结果的正、负值,结合其参考方向,来确定电流的实际方向。显然,在未标示参考方向的前提下,电流的正负是无意义的。

参考方向并不是一个抽象的概念。在实际中,当用磁电式电流表测量电路中的未知电流时,事实上首先已为未知电流选定了参考方向。如图 1-4 所示,电流表有两个端钮,分别标有“+”“-”号,当把电流表接入电路中测电流时会发现,电流表指针有可能顺时针偏转,此时电流表读数为正值,也有可能逆时针偏转,此时电流为负值。若选定被测电流的参考方向是由电流表的“+”端经过电流表指向“-”端,此时电流表读数的正、负就表示了电流的实际方向。

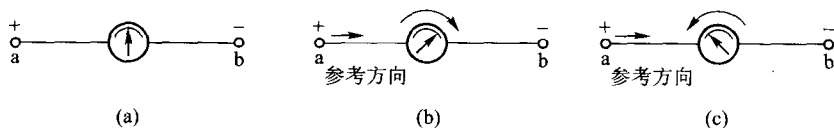


图 1-4 用电流表说明电流的参考方向
(a) 电流表 (b) $i > 0$ (c) $i < 0$

2. 电压及其参考方向

电荷在电路中流动,必然有能量交换发生。电荷在电路的某些部分(例电源处)获得能量,