

21 SHIJI DIANGONGXUE XILIE JIAOCAI

21世纪电工学系列教材

DIANGONG

电工电子技术

(第二版)

Diangong Dianzi Jishu

主 编 李守成
副主编 李国国
主 审 王鸿明 范 瑜



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

21世纪电工学系列教材

电 工 电 子 技 术

(第二版)

主 编	李 守 成
副主编	李 国 国
主 审	王 鸿 明 范 瑜

西南交通大学出版社

• 成 都 •

内 容 简 介

参照原国家教委 1995 年颁布的“电工技术(电工学 I)、电子技术(电工学 II)课程教学基本要求”,鉴于计算机和通信技术的广泛应用,很多专业希望多学些先进而实用的电子技术的要求,作者结合教学改革的实践和成果编写了这本《电工电子技术》。

全书分三篇。第 1 篇电工技术,精编了电路的基本概念、定律和分析方法,正弦交流稳态电路,电路暂态分析,变压器、低压配电系统接地形式和安全用电,异步电动机及控制(含 PLC);第 2 篇模拟电子技术,精编了二极管和整流电路,基本放大电路,集成运放及其应用,场效应管放大电路;第 3 篇数字电子技术,精编了数字逻辑基础和逻辑门电路,组合逻辑电路,时序逻辑电路,数/模和模/数转换器等。

本书适用于计算机应用、机械、轻工、化工、建筑、管理、运输工程等专业本、专科学生。读者可根据专业要求选学有关内容。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术 / 李守成主编. —2 版. —成都:西南交通大学出版社, 2009.8
(21 世纪电工学系列教材)
ISBN 978-7-5643-0368-6

I. 电… II. 李… III. ①电工技术—高等学校—教材
②电子技术—高等学校—教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 144790 号

21 世纪电工学系列教材

电工电子技术

(第二版)

主编 李守成

*

责任编辑 黄淑文

封面设计 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 27

字数: 674 千字 印数: 16 001—19 000 册

2002 年 9 月第 1 版

2009 年 8 月第 2 版 2009 年 8 月第 6 次印刷

ISBN 978-7-5643-0368-6

定价: 45.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

第一版前言

随着教育的不断深化,有些专业在修订专业教学计划时,对原有电工学课程的教学时数有所压缩;而由于计算机和通信技术的广泛应用,很多专业又希望能多学些电子技术方面的知识。针对这种情况我们结合教学改革的实践,从 21 世纪人才培养的要求出发,参照原国家教育委员会 1995 年颁布的“电工技术(电工学 I)”、“电子技术(电工学 II)”的教学基本要求和 1998 年由教育部颁布的全国成人高等教育“电工技术(电工学 I)”和“电子技术(电工学 II)”课程教学基本要求编写了这本《电工电子技术》。本教材适用于本科计算机应用、经济管理、运输工程、机械、轻工、化工、物资、建筑等专业。适用于 70 学时左右的教学。

本教材由 3 篇组成,第 1 篇电工技术(第 1~5 章),内容包括:电路的基本概念、定律和分析方法,正弦交流稳态电路,一阶电路暂态分析,变压器和安全用电,异步电动机及其控制;第 2 篇模拟电子技术(第 6~9 章),内容包括:半导体二极管和整流电路,基本放大电路,集成运算放大器及其应用,场效应晶体管放大电路;第 3 篇数字电子技术(第 10~13 章),内容包括:数字逻辑基础和逻辑门电路,组合逻辑电路,时序逻辑电路,数/模和模/数转换器。各校可根据专业设置和要求选学所需内容。

本教材的内容体系有如下特点:

(1) 在编写体系上仍以原国家教委 1995 年颁布的“电工技术(电工学 I)”和“电子技术(电工学 II)”课程教学基本要求为依据,对电工技术、模拟电子技术、数字电子技术(组合逻辑电路、时序逻辑电路)等内容未采取全面交叉的作法,以便于初学者建立清晰的体系和概念。

(2) 这本少学时的教材不是多学时教材的浓缩和压缩,而是在教材内容基本满足教学基本要求的前提下进行精选,明确学生必须掌握的一些主要问题。为了减少教材篇幅,对某些未详细编写的内容,运用概括、总结等方式,或通过例题、习题、类比等方法进行完善,以达到举一反三的目的。例如在一阶暂态电路中重点讲清 RC 电路,而对 LC 电路通过小结引出;整流电路中主要讲清单相桥式整流电路,至于其他类型的整流电路通过列表对比说明;场效应管重点讲清绝缘栅(MOS)场效应管,而结型场效应管则通过与耗尽型 MOS 管进行对比,并通过小结、复习思考题、习题等予以介绍……这种做法,减少了教材篇幅且完善和系统了理论,扩大了知识面和信息量。

(3) 在“电路的基本概念、定律和分析方法”中明确指出,就电路的功能而言,可概括分为电力系统和信息系统两大类。教材中适当加强了电子技术的比重,注意了电工技术与电子技术在应用技术上的结合,此书书名的选用,篇、章题目的设置等都是以此为初衷。

(4) 考虑到 21 世纪新技术的飞速发展,在教材中加强了新技术内容,如在电工技术中介绍可程序控制器、三相五线制供电系统。由于 MOS 集成电路特性和功能的优越及其应用的日趋广泛,将场效应管放大电路在模拟电子技术中单独设立一章;广泛地以中规模集成电路为主介绍集成电路。

书中的图形符号和文字符号均采用新的国家标准。

(5) 主编与各参编教师反复切磋,使教材的各章节在体例、风格、难易度、文字符号和图形符号等方面达到一致,形成了一个比较完美的结合。吸收在教学和科研方面卓有成效、拼搏在教学第一线的中青年教师参编,能发挥中、青年教师在新技术应用方面的敏锐思维,使教材蕴含了强劲的生命力,促进新教材的使用。本书在变压器编写上将磁路分析转化为电路分析的方法就是其中一例。

(6) 采取了一些便于教与学的措施:

本书叙述力求深入浅出,争取以较少的篇幅达到相当的深度和广度;尽量用物理概念阐明问题的实质;力求突出基本概念和基本原理。

每章正文之后编有形式不同的小结,用以帮助读者进行系统归纳、概括总结,并作了引申和完善以开阔视野。多种类型的例题是用来巩固基本知识、引导学生对理论的理解和联系实际。若教学时数少,小结和例题可少讲或不讲,而进行自学。

每节后的复习思考题除了供学生自我检查用之外,也是教师督促和检查学生的重要资料 and 依据。各章之后的习题大致可分为三种类型:一是用于加强概念、理解、掌握“基本要求”的内容;二是较难题,用于加深理解,起到举一反三的作用;三是应用题,培养学生综合应用所学知识进行分析计算,解决近于实际的问题。

一些重要名词第一次在正文出现时注有英文对照,以利于读者对该名词文字符号和脚注的理解和记忆,并可积累英文词汇量。书后编入附录、部分习题参考答案和参考文献,以便于学生自学。

(7) 鉴于一些学校将“电工电子技术实验”单独设课,所以“电工测量”的内容未编入本书。但为了照顾未开过实验课的学生,教材中当用到某种仪表时,有意识地进行了扼要提示。

本书由北方交通大学李守成教授主编,负责全书的组织、统稿和定稿。北方交通大学、西南交通大学和华东交通大学的有关教师参加了编写:李守成(1章,4章的4.6,5章的5.4、5.5、5.7,8章的8.6~8.8及13章)、李华伟(2章的2.1~2.7,4章的4.1~4.4及附录1和2)、宁涛(2章的2.8,11章及附录7)、张晓冬(3章及附录3和4)、傅钦翠(4章的4.5、4.7及5章的5.1~5.3、5.6)、李春茂(6章,7章,8章的8.1~8.5,9章及附录5和6)、李国国(10章,12章及附录8)。另有韩同祥、佟来生、李秀夫在修改书稿、图表的绘制等方面做了很多工作。

本书由清华大学王鸿明教授、北方交通大学冯民昌教授主审,他们以严谨的科学态度、高度负责的精神逐字逐句地审阅了书稿,提出了许多宝贵的意见和建议。西南交通大学出版社张雪总编辑等对本书的出版给予了大力支持和帮助,并提出很多宝贵意见和建议。上述老师的辛勤劳动和贡献对保证和提高本书的水平和质量起到很好的作用。在此,谨表示衷心的感谢!

由于编者的水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳切希望使用本书的师生、读者和同行专家予以批评指正。

编 者

2002年1月于北京

第二版前言

本书自2002年出版以来,已经历了7年时间,在第一版发行期间得到了全国很多兄弟院校和广大读者的关注和支持,作者在此表示衷心的感谢!

第一版发行以来,电工技术和电子技术的发展日新月异,新理论、新技术不断出现,其应用广泛渗透到各个行业和领域。为适应新的经济形势对人才的需求,电工电子技术课程的教学内容、体系和方法也在不断地改革。这些都促使本教材必须不断修订提高,日臻完善,以适应时代对教学的要求。

本教材这一次修订的原则是:保证基础、扩大应用、适当引入新技术,促进电工电子技术的教学改革不断深入。为此本版教材进行了如下修改:

1. 电工电子的自动化设计是其发展的重要趋势,是工程技术人员必备技能,考虑到教学的灵活性,以附录的形式概述了电路的计算机辅助分析,对应用软件 EWB 的使用方法进行了说明,在正文中加入正弦交流电路、一阶暂态分析、交流放大电路的计算机仿真例题,引导读者进行实践。

2. 当前,大部分高校都开设了双语教学,为促进非电类各专业电类基础课程的双语教学,提高非电类专业学生在电工电子技术领域阅读英文资料的能力、掌握电子电路自动化设计的能力,本版对三级目录和正文中的专业名词加注了英文对照。

3. 对各章节的内容、例题作了调整、补充及修改,统一了个别不一致的符号。力求结构更合理、语言更简洁,更加便于教学。

4. 为加强基础知识的应用性,分别在功率放大电路、组合电路、时序电路的章节中增加了集成电路的介绍及应用的实例。

5. 增补和修改了各章的习题及参考答案,使其与正文配合更紧密,起到扩大知识面、深化知识点的作用。

本版的修订工作基本上由原编者完成(见第一版前言),部分章节的修订负责人经主编李守成与出版社黄淑文编辑协商后作了调整:4.5~4.7, 5.7 节由李守成改写,5.1~5.6 节由宁涛修改,7.7.4 集成功率放大器由李国国编写,计算机辅助分析、EWB 简介和各章的仿真实例由李华伟编写,全书由主编李守成和副主编李国国统稿。

本书由清华大学王鸿明教授和北京交通大学范瑜教授主审。北京交通大学电工电子教学基地的教师也对此书的修改提出了许多宝贵修改意见。修订工作得到出版社责任编辑和工作人员的大力支持,在此对各位同仁的热心支持与帮助一并表示衷心的感谢!

由于我们的水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,殷切希望使用本书的师生以及其他读者给予批评指正,并欢迎提出建议。

作者联系方式:北京交通大学电气工程学院,邮编 100044,电子信箱:ggli@bjtu.edu.cn。

编者

2009 年 3 月于北京

目 录

第 1 篇 电工技术(Electrotechnics)

第 1 章 电路的基本概念、定律和分析方法(Basic Concepts, Laws and Analysis Methods of Circuits)	1
1.1 电路的物理量及其参考方向(Physical quantities of Circuits and Their Reference Directions)	2
1.1.1 电路中物理量的实际方向(Practical Direction of Physical Quantities in Circuits)	2
1.1.2 电流、电压的参考方向(Reference Direction of Current and Voltage)	3
1.1.3 关联的参考定向法则(Associated Reference Direction Law)	4
1.1.4 电功率和电能量(Power and Energy of Electricity)	6
1.1.5 电气设备的额定值(Rated Value of Electrical Equipments)	8
1.2 电路元件的电压-电流关系与模型(V-I Relationship and Models of Circuit Elements)	8
1.2.1 无源电路元件(Passive Circuit Elements)	9
1.2.2 有源电路元件(Active Circuit Elements)	11
1.3 电路的基本定律(Fundamental Laws of Circuits)	17
1.3.1 欧姆定律(Ohm's Law)	17
1.3.2 基尔霍夫定律(Kirchhoff's Law)	18
1.4 线性电路的基本分析方法(Fundamental Analysis Methods of Linear Circuits)	20
1.4.1 支路电流法(Branch-Current Method)	20
1.4.2 节点电压法(Node-Voltage Method)	21
1.5 线性电路的重要定理(Important Theorems of Linear Circuits)	24
1.5.1 叠加定理(Superposition Theorem)	24
1.5.2 等效电源定理(Theorem of Equivalent Power Sources)	25
1.6 含受控源的电路及其分析(Circuit Containing Controlled Sources and Its Analysis)	29
1.6.1 受控源模型(Controlled Source Models)	29
1.6.2 含受控源电路的分析方法(Analysis of Circuits Containing Controlled Sources)	30
第 1 章小结(Brief Summary of Chapter 1)	33
习题 1(Exercise 1)	34
第 2 章 正弦交流电路(Sinusoidal Alternating Current Circuits)	37
2.1 正弦交流电的基本概念(Basic Concepts of Sinusoidal AC Electricity)	37
2.1.1 正弦量的三要素(Three Features of Sinusoidal Quantities)	38
2.1.2 有效值(Effective Value)	39
2.1.3 相位差(Phase Difference)	40
2.2 正弦量的相量表示法(Phasor Representation of Sinusoidal Quantities)	42
2.2.1 复数与相量(Complex Number and Phasor)	42
2.2.2 同频率正弦量的相量运算(Phasor Operations)	46
2.3 单一参数的正弦交流电路(Simple AC Circuits)	47

2.3.1 电阻电路(Resistive AC Circuits)	47
2.3.2 电感电路(Inductive AC Circuits)	49
2.3.3 电容电路(Capacitive AC Circuits)	51
2.4 电阻、电感、电容串联的正弦交流电路(RLC Series AC Circuits)	54
2.4.1 电压-电流关系(V-I Relationship)	54
2.4.2 功率(Power)	57
2.5 阻抗串、并联电路(Series and Parallel of Impedance)	59
2.5.1 阻抗串联电路(Series Impedance Circuits)	59
2.5.2 阻抗并联电路(Parallel Impedance Circuits)	61
2.6 功率因数的提高(Improving Power Factor)	64
2.6.1 提高功率因数的意义(Reason of Improving the Power Factor)	64
2.6.2 提高功率因数的方法(Method of Improving the Power Factor)	64
2.7 RLC 串联电路谐振(RLC Series Resonant Circuits)	66
2.7.1 串联谐振的条件(Conditions of Series Resonance)	66
2.7.2 串联谐振的特征(Features of Series Resonance)	66
2.8 基于 EWB 的正弦交流电路仿真实例(The Example Based on EWB for Sinusoidal AC Circuit Analysis)	68
2.9 三相交流电路(Three-Phase Alternating Current Circuit)	69
2.9.1 三相电源(Three-Phase Source)	70
2.9.2 三相负载的连接(Connection of Three-Phase Load)	74
2.9.3 三相电路的功率(Power of Three-Phase AC Circuit)	79
第 2 章小结(Brief Summary of Chapter 2)	82
习题 2(Exercise 2)	84
第 3 章 一阶电路暂态分析(Transient Response Analysis of the First-Order Circuits)	89
3.1 换路定则和暂态过程初始值(Switching Rule and Initial Conditions of the Transient Process)	89
3.1.1 暂态过程的概念(Conception About the Transient Process)	89
3.1.2 换路定则和初始值(Switching Rule and Initial Conditions of the Circuit)	90
3.2 一阶 RC 电路的零输入响应和零状态响应(Zero Input Response and Zero State Response of the First-Order RC Circuit)	92
3.2.1 一阶 RC 电路的零输入响应(Zero Input Response of the First-Order RC Circuit)	93
3.2.2 一阶 RC 电路的零状态响应(Zero State Response of the First-Order RC Circuit)	94
3.3 一阶线性电路的全响应和三要素分析法(Complete Response of the First-Order Linear Circuit and the Three Essential Factors Method)	97
3.3.1 一阶线性电路的全响应(Complete Response of the First-Order Linear Circuit)	97
3.3.2 三要素分析法(Three Essential Factors Method)	97
3.4 基于 EWB 的一阶线性电路的暂态仿真实例(The Example Based on EWB for First-Order Linear Transient Circuits Analysis)	100
第 3 章小结(Brief Summary of Chapter 3)	100
习题 3(Exercise 3)	101
第 4 章 变压器和安全用电(Transformers and the Safety Utilization of Electricity)	103
4.1 变压器的基本结构(Transformer Structure)	103

4.1.1 绕组(Windings)	103
4.1.2 铁芯(Cores)	104
4.2 变压器的工作原理(Transformer Operating Principle)	105
4.2.1 电压变换原理(变压器空载运行)(Voltage Transformation, Unload Operation)	105
4.2.2 电流变换原理(变压器负载运行)(Current Transformation, Load Operation)	107
4.2.3 阻抗变换原理(Impedance Transformation)	110
4.3 变压器的运行特性和使用(Transformer Properties and Applications)	112
4.3.1 变压器的外特性和电压调整率(V-I Characteristics and Voltage Regulation Factor)	112
4.3.2 变压器的损耗和效率(Losses and Efficiency of Transformer)	113
4.3.3 变压器的额定值(Rated Value of Transformer)	114
4.3.4 变压器绕组的极性(Polarity of Windings)	116
4.4 其他类型的变压器(Different Types of Transformers)	117
4.4.1 自耦变压器(Autotransformers)	117
4.4.2 仪用互感器(Instrument Transformers)	118
4.5 电流对人体的伤害及触电方式(Current Injuries and Ways of Electric Shock)	119
4.5.1 电流对人体的伤害(Current Injuries)	119
4.5.2 触电方式(Ways of Electric Shock)	120
4.5.3 触电急救(Emergency of Electric Shock)	121
4.6 低压配电系统的接地(Ground of Low Voltage Distribution Systems)	122
4.6.1 低压配电系统接地形式的分类(Ground Classification of Low Voltage Distribution Systems)	122
4.6.2 接地或接零(Ground or Neutral Connection)	124
4.7 静电防护(Electrostatic Discharge Protection)	129
第4章小结(Brief Summary of Chapter 4)	129
习题4(Exercise 4)	130
第5章 感应电动机及其控制(Induction Motor and Its Control)	132
5.1 三相感应电动机的基本结构和工作原理(Basic Constituent and Operating Principle of Three-Phase Induction Motors)	132
5.1.1 基本结构(Basic Constitution)	132
5.1.2 转动原理和转差率(Turn Principle and Slip)	134
5.2 感应电动机的特性(Characteristics of Induction Motor)	137
5.2.1 三相感应电动机的电路分析(Circuit Analysis of Triphase Induction Motor)	137
5.2.2 电磁转矩特性($T-s$ 曲线)(Electromagnetic Torque Characteristic)	139
5.2.3 机械特性($n-T$ 曲线)(Speed-Torque Characteristic)	140
5.3 三相感应电动机的启动和调速(Starting and Speed Adjusting of Three-Phase Induction Motor)	142
5.3.1 感应电动机的启动(Starting of Induction Motor)	142
5.3.2 感应电动机的调速(Speed Adjusting of Induction Motor)	144
5.4 感应电动机的额定值(Rated Value of Induction Motor)	146
5.5 单相感应电动机(Single-Phase Induction Motor)	148
5.5.1 电容分相式感应电动机(Capacitor Split-Phase Start Type Induction Motor)	148
5.5.2 罩极式感应电动机(Shaded-Pole Induction Motor)	150

5.6 继电—接触器控制(Relay-Contactor Control)	151
5.6.1 常用低压电器(Low-Voltage Apparatus in Common Use)	151
5.6.2 三相感应电动机直接启动控制电路(Direct-Starting Control Circuit of Three-Phase Induction Motors)	154
5.6.3 笼形感应电动机正、反转控制电路(Forward and Reverse Control Circuit of Squirrel-Cage Induction Motor)	156
5.7 可编程控制器(Programmable Logic Controller)	158
5.7.1 可编程控制器的产生和特点(Production and Features of PLC)	158
5.7.2 PLC 的基本结构(Basic Constitution of PLC)	158
5.7.3 PLC 的工作原理(Operating Principle of PLC)	162
5.7.4 PLC 的编程语言(Programmable language of PLC)	163
5.7.5 PLC 实验内容编程举例(PLC edit program instance of experimental content)	167
5.7.6 几种 PLC 的常用指令比较(Comparison of Commonly Used Commands of PLC)	168
第 5 章小结(Brief Summary of Chapter 5)	171
习题 5(Exercise 5)	172

第 2 篇 模拟电子技术(Analog Electronic Technique)

第 6 章 半导体二极管及其应用电路(Semiconductor Diode and Applications of Circuits)	173
6.1 PN 结和半导体二极管(PN Junction Semiconductor)	173
6.1.1 PN 结及其单向导电性(PN Junction and Unidirectional Conductivity)	173
6.1.2 半导体二极管(Semiconductor)	176
6.2 二极管整流电路(Diode Rectifier Circuit)	180
6.3 滤波电路(Filter Circuit)	182
6.3.1 电容滤波电路(Capacitance Filter Circuit)	183
6.3.2 电感滤波电路(Inductance Filter Circuit)	184
6.3.3 复式滤波电路(Double Type Filter Circuit)	184
6.4 稳压管及其稳压电路(Zener Diode and Voltage Regulator Circuit)	186
6.4.1 稳压管(Zener Diode)	186
6.4.2 稳压管(并联型)直流稳压电路(Zener Diode and Current Voltage Circuit)	187
6.5 集成稳压器(Integrated Regulator)	188
第 6 章小结(Brief Summary of Chapter 6)	189
习题 6(Exercise 6)	190
第 7 章 基本放大电路(Basic Amplifier Circuit)	192
7.1 双极型晶体管(Bipolar Junction Transistors of BJT)	192
7.1.1 BJT 的基本结构(Basic Construction of BJT)	192
7.1.2 BJT 的电流放大作用(Current Amplifier Effect of BJT)	193
7.1.3 BJT 的特性曲线和工作状态(Characteristic Curve and Operating State of BJT)	195
7.1.4 BJT 的主要参数(Main Parameters of BJT)	196
7.2 共发射极放大电路(Common-Emitter)	198
7.2.1 放大电路的基本组成(Basic Structures of Amplifier)	198

7.2.2	交流放大电路的特点(Features of Alternating Amplifier)	200
7.2.3	静态分析(Static Analysis)	200
7.2.4	动态分析(Dynamic Analysis)	202
7.2.5	放大电路的失真(Distortion of Amplifier)	206
7.3	静态工作点的稳定和分压式偏置放大电路(Quiescent Operating Point Stabilization and Voltage Division Biasing Amplifier Circuit)	207
7.4	共集电极放大电路(射极输出器)(Common-Collector Amplifier)	209
7.4.1	电路的组成(Structures of Circuit)	209
7.4.2	电路的分析(Analysis of Circuit)	209
7.5	多级放大电路(Multistage Amplifier)	212
7.5.1	级间耦合方式(Inter Stage Coupling Modes)	212
7.5.2	阻容耦合多级放大电路(R-C Coupled Multi-Stage Amplifier Circuit)	213
7.5.3	阻容耦合放大电路的频率特性(Frequency characteristic of R-C Coupled Amplifier)	215
7.6	差分放大电路(Differential Amplifier)	216
7.6.1	基本差分放大电路(Basic Differential Amplifier)	216
7.6.2	典型差分放大电路(Classic Differential Amplifier)	218
7.6.3	差分放大电路的静态和动态分析(Static and Dynamic Analysis of Differential Amplifier)	219
7.7	功率放大电路(Power Amplifier)	220
7.7.1	功率放大电路的功能和特点(Function and Features of Power Amplifier)	220
7.7.2	互补对称功率放大电路(Complementary Symmetry Power Amplifier)	221
7.7.3	复合晶体管及准互补功率放大器(Darlington Transistor and Quasi-Complementary Power Amplifier)	225
7.7.4	集成功率放大器简介(About Integrated Power Amplifier)	226
7.8	基于 EWB 的交流放大电路的仿真实例(The Example Based on EWB for Amplifiers Analysis)	227
第 7 章小结(Brief Summary of Chapter 7)		229
习题 7(Exercise 7)		232
第 8 章 集成运算放大器及其应用(Integrated Operational Amplifiers and its Applications)		236
8.1	集成运算放大器(Integrated Operational Amplifier)	236
8.1.1	集成电路概述(Summarization of Integrated Circuit)	236
8.1.2	集成运放的组成及主要参数(Structures and Parameters of Integrated Operational Amplifier Circuit)	237
8.2	放大电路中的负反馈(Negative Feedback of Amplifier)	241
8.2.1	反馈的基本概念(Basic Feedback Concept)	241
8.2.2	负反馈的类型和判别(Type and Criterion of Negative Feedback)	242
8.2.3	负反馈对放大电路性能的影响(Influence on Amplifier Performance of Negative Feedback)	245
8.3	集成运放电路的基本分析方法(Basic Analytic Method of Integrated Operational Amplifier Circuit)	247
8.4	集成运放的线性应用(Linear Applications of Integrated Operational Amplifier Circuit)	248
8.4.1	反相输入运算电路(Inverting Input Operational Circuit)	248
8.4.2	同相输入运算电路(Non-Inverting Input Operational Circuit)	250

8.4.3 差动输入运算电路(Differential Input Operational Circuit)	250
8.4.4 积分和微分运算电路(Integration and Differential Operational Circuit)	251
8.5 集成运放的非线性应用(Nonlinear Applications of Integrated Operational Amplifier Circuit)	252
8.5.1 零电压比较器(Zero Voltage Comparator)	253
8.5.2 任意电压比较器(Random Voltage Comparator)	254
8.5.3 双限电压比较器(Double Limits Voltage Comparator)	254
8.6 正弦波振荡电路(Sinusoidal Oscillator)	255
8.6.1 正弦波振荡电路的基本原理(Basic Theory of Sinusoidal Oscillator)	255
8.6.2 RC桥式振荡电路(RC Bridge Oscillator)	257
8.6.3 起振与波形的改善(Oscillation and Waveform Improvement)	258
8.7 串联型反馈式稳压电源(Serial Type Feedback Regulated Power Supply)	259
8.8 集成运放的使用(Applications of Integrated Operational Amplifier Circuit)	259
第8章小结(Brief Summary of Chapter 8)	261
习题8(Exercise 8)	263
第9章 场效应晶体管放大电路(Field-Effect Transistor Amplifier)	268
9.1 绝缘栅场效应管(Isolated Gate Type Field-Effect Transistor)	268
9.1.1 N沟道增强型绝缘栅场效应管(N Channel Enhancement Type FET)	268
9.1.2 P沟道增强型绝缘栅场效应管(P Channel Enhancement Type FET)	270
9.1.3 N沟道耗尽型绝缘栅场效应管(N Channel Depletion Type FET)	271
9.1.4 P沟道耗尽型绝缘栅场效应管(P Channel Depletion Type FET)	272
9.1.5 场效应管的主要参数和使用注意事项(Parameters of Field-Effect Transistor Amplifier and Notice of Use)	272
9.2 场效应管基本放大电路(Basic Field-Effect Transistor Amplifier)	273
9.2.1 共源极放大电路(Common-Source Amplifier)	273
9.2.2 共漏极放大电路—源极输出器(Common-Drain Amplifier-Source Follower)	276
第9章小结(Brief Summary of Chapter 9)	276
习题9(Exercise 9)	278

第3篇 数字电子技术(Digital Electronic Technique)

第10章 数字逻辑基础和逻辑门电路(Basis of Digital and Logic Gate Circuit)	279
10.1 数制及编码(Number Representation System and Coding)	279
10.1.1 数制(Number Representation System)	279
10.1.2 数制间的转换(General Number System Conversions)	280
10.1.3 二—十进制编码(Binary Coded Decimal)	282
10.2 逻辑代数及其基本运算规则(Logical Algebra and Basic Operation Ordination)	283
10.2.1 基本逻辑运算(Basic Boolean Operation)	284
10.2.2 逻辑代数的基本定律(Theorems in Logic Algebra)	286
10.3 逻辑门电路(Logic gate circuit)	287
10.3.1 基本逻辑门电路(Function Logic Gate Circuit)	287
10.3.2 复合逻辑门电路(Combination Gate)	289

10.3.3 集成逻辑门电路(Integrated Logic Gate Circuit)	290
10.4 逻辑函数的表示和化简(Representation And Simplifications of Logic Functions)	294
10.4.1 逻辑函数的表示方法(Representation of Logic Functions)	294
10.4.2 逻辑函数的化简(Simplification of Logic Functions)	297
第10章小结(Brief Summary of Chapter 10)	299
习题10(Exercise 10)	300
第11章 组合逻辑电路(Combinational Logic Circuit)	303
11.1 组合逻辑电路的分析和设计(Analysis and Design of Combinational Logic Circuit)	303
11.1.1 组合逻辑电路的分析(Analysis of Combinational Logic Circuit)	303
11.1.2 组合逻辑电路的设计(Design of Combinational Logic Circuit)	305
11.2 编码器(Encoder)	306
11.2.1 二进制编码器(Binary Encoder)	306
11.2.2 8421BCD 码编码器(8421BCD Encoder)	307
11.2.3 优先编码器(Priority Encoder)	308
11.3 译码器(Decoder)	310
11.3.1 二进制译码器(Binary Decoder)	310
11.3.2 二—十进制译码器(Binary—Decimal Decoder)	314
11.3.3 译码器驱动数字显示器件(Decoder Driver Digital Display Device)	314
11.4 加法器(Adder)	317
11.4.1 1 位加法器(1 Digit Adder)	317
11.4.2 多位加法器(Multi bit Full Adder)	319
第11章小结(Brief Summary of Chapter 11)	320
习题11(Exercise 11)	321
第12章 时序逻辑电路(Sequential Logic Circuit)	323
12.1 双稳态触发器(Bitable Flip-Flop)	323
12.1.1 基本 RS 触发器(Basic Reset Set Flip-Flop)	323
12.1.2 钟控 RS 触发器(Clock Pulse Control Reset-Set Flip-Flop)	325
12.1.3 主从 JK 触发器(Main-Stave JK Flip-Flop)	327
12.1.4 边沿触发器(Edge Triggered Flip-Flop)	330
12.1.5 触发器的功能转换(Logic Function Conversion of Flip-Flop)	333
12.2 寄存器(Register)	334
12.2.1 数码寄存器(Digit Register)	334
12.2.1 移位寄存器(Shift Register)	335
12.3 计数器(Counter)	338
12.3.1 计数器的概念和分类(Counter and Classify of Counter)	338
12.3.2 二进制加法计数器(Binary Adding Counter)	338
12.3.3 十进制加法计数器(Decimal Adding Counter)	341
12.3.4 N 进制计数器的分析与设计(Analysis and Design of N Carry Counter)	344
12.3.5 集成计数器及其应用(IC Counter and Its Applications)	348
12.4 555 定时器的原理和应用(Principle and Applications of 555 Timer)	353
12.4.1 555 定时器的结构和功能(Structure and Functions of 555 Timer)	353

12.4.2	555 定时器组成的多谐振荡器(Multivibrator Composed of 555 Timers)	355
12.4.3	555 定时器组成的单稳态触发器(Monostable Flip-Flop Composed of 555 Timer)	356
第 12 章小结(Brief Summary of Chapter 12)		357
习题 12(Exercise 12)		359
第 13 章 数/模和模/数转换器(Digital-Analog and Analog-Digital Converter)		363
13.1	数/模和模/数转换器的一般概念(Basic Concepts of Digital/Analog and Analog/Digital Converter)	363
13.2	数/模转换器(Digital to Analog Converter)	363
13.2.1	权电阻网络 D/A 转换器(Weight Resistance Network DAC)	364
13.2.2	倒 T 形电阻网络 D/A 转换器(Inverse T Form Resistance Network, DAC)	366
13.2.3	集成 D/A 转换器(Integrated DAC)	368
13.2.4	D/A 转换器的主要技术指标(Main Qualifications of DAC)	369
13.3	模/数转换器(Analog to Digital Converter)	370
13.3.1	A/D 转换器的基本原理(Fundamental Principle of ADC)	370
13.3.2	并行比较型 A/D 转换器(Parallel Comparative ADC)	373
13.3.3	逐次逼近型 A/D 转换器(Gradually Approach ADC)	376
13.3.4	双积分型 A/D 转换器(Dual Integral ADC)	377
13.3.5	A/D 转换器的主要技术指标(Main Technical Indexes of ADC)	378
第 13 章小结(Brief Summary of Chapter 13)		378
习题 13(Exercise 13)		378
附录 1 电容器和电阻器的标称值(Nominal Values of Capacitors and Resistors)		380
附录 2 S ₇ 系列电力变压器的技术数据(Technical Data of Series S ₇ Power Transformers)		382
附录 3 部分 Y 系列三相异步电动机的参数(Parameters of Series Three-Phase Induction Motors)		383
附录 4 常用电气图形符号和文字符号(Commonly Used Electrical Graphic Symbols and Letter Symbols)		384
附录 5 半导体分立器件型号命名法(Type Nomenclature of Discrete Semiconductor Devices)		386
附录 6 部分半导体器件型号和参数(Types and Parameters of Semiconductor Devices)		387
附录 7 半导体集成电路型号命名法(Type Nomenclature of Semiconductor Integrated Circuits)		389
附录 8 部分半导体集成电路型号、参数和图形符号(Types, Parameters and Graphical Symbols of Some Semiconductor Integrated Operational Amplifiers)		390
附录 9 电路的计算机辅助分析概述(Overview of Computer-Aided Analysis of Circuits)		393
附录 10 EWB 简介(Brief Introduction to EWB)		396
部分习题参考答案(Exercise Answers)		403
主要参考文献(Main References)		418

第 1 篇 电工技术

第 1 章

电路的基本概念、定律和分析方法

本章着重介绍电路方面的基本知识、定律和计算方法，为学习电工技术和电子技术打下基础。

这里先介绍电路的组成、功能和模型：

电路是为了某种需要，将若干电气设备和元件按一定的方式用导体连接起来而构成的电流通路。就其基本组成而言，任何电路都是由电源(Electric source)或信号源、连接导线(Connecting wire)、负载(Load)这三个要素组成。

就电路的功能而言，可概括分为以能量的传输、分配及转换为目的的电力系统(Electric power system)和以信息的传递、处理及运算为目的的信号系统(Signaling system)两大类。在技术上，电力系统侧重于讨论能量传送和转换的效率；信号系统更关注传递过程中的保真等。

关于实际电路模型的构成：在电工技术中，组成电路的实际元件种类繁多，诸如发电机(Generator)、线圈(Coil)、电容器(Capacitor)、电灯(Lamp)、各种类型的晶体管(Transistor)等。它们的电磁性质比较复杂，难以用一定的数学公式描述。为研究电路的一般规律，可在一定条件下将实际电路元件分别近似地看成理想电路元件(Ideal circuit elements)或理想电路元件的组合。理想电路元件具有单一的电或磁的性质，因而可用简单的数学公式描述。这种由理想元件组成的与实际电气元件相对应的，并用统一规定的符号表示而构成的电路，就是实际电路的电路模型(Circuit model)。

图 1(a)所示的为一简单实际照明电路，对应作出的电路模型如图 1(b)所示。图中，电珠主要消耗电能，用理想电阻元件 R_L 表示；干电池用内阻为零的理想电压源 U_S 和内阻 R_0 的串联组合来表示；由于导线电阻已被汇总起来或忽略，所以电路图上的连接导线不再有电阻，

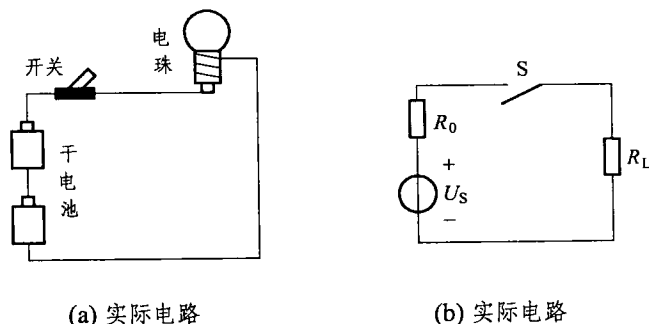


图 1 简单照明电路

故在电路图上的导线可以任意画得长一些或短一些，如图 1(b)所示。由于导线可以画长、画短，因此一个实际电路的电路模型只反映原电路中元件的相互连接关系，并不反映元件的实际空间位置。

应该指出，在电路的分析与计算中，直接对象不是实际电路，而是实际电路的理想化模型。

在进行电路分析时，有时会遇到“网络”(Network)一词，“网络”是“电路”的泛称，二者可以通用，但“网络”具有“复杂”的含义，故在分析复杂电路或研究一般性的普遍规律时常用“网络”一词。

1.1 电路的物理量及其参考方向

电路中能量转换或信号传递和处理的基本物理量有电流(Current)、电压(Voltage)等。故在分析电路前要搞清它们的概念及其方向问题。

1.1.1 电路中物理量的实际方向

1. 电 流

电荷的定向运动形成电流。例如导体中的自由电子在电场的作用下作定向运动形成电流；电解液中的正、负离子在电场作用下作相反方向运动形成电流等。

电流在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量。设在极短时间 dt 内通过某导体横截面 S 的微小电荷量为 dq ，则该瞬时电流为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1.1)$$

如果 i 为常数，即电流不随时间而变化，则这种电流称为恒定电流，常用大写字母 I 表示，即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.1.2)$$

式中， Q 为在时间 t 内通过导体横截面 S 的电荷量。

我国是以国际单位制(SI, Standard International Unit)为基础的。在国际单位制中，电流的单位是安[培](简称安)，用符号 A 表示。如果每秒钟有 1 库[仑](C)的电荷量通过导体某一横截面，则此时的电流为 1 A。

物理学中规定，正电荷的移动方向为电流的实际方向。

2. 电位、电压

1) 电位(Electric potential)

电位即电场中某点的电势，它在数值上等于电场力把单位正电荷从电场中某点移至无限远处所做的功。认为电场无限远处的点的电位为零，作为衡量电场中各点电位的参考点。工程上常选与大地相连部分的部件(如机壳等)作为参考点；对未与大地相连部分的电路，其参考点常选在许多元件的公共节点处，并称之为“地”，参考点用接地符号“ $\perp$ ”标出。电路中 g 点电位记作 u_g (或 v_g)。

2) 电 压

在图 1.1.1 中, 电池正极板 a 带正电荷, 负极板 b 带负电荷, 于是在正、负极板 a 、 b 间就存在电场。若用导线将电源极板与负载(灯泡)相连, 则正电荷就在电场力的作用下从 a 极经导线、灯泡移动至 b 极, 形成电流并使灯泡发光, 此现象说明电场力在做功。为了衡量电场力对电荷做功能力的大小, 引入了电压物理量。其定义为: a 、 b 两点间的电压 U_{ab} 在数值上等于把单位正电荷从 a 点移至 b 点电场力所做的功。用表达式表示为:

$$U_{ab} = W/Q \quad (1.1.3)$$

式中字母都大写, 说明 a 、 b 两点间的电压是直流电压。

电压也常用电位差来表示, 即

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1.1.4)$$

式中 U_a 、 U_b 分别为 a 、 b 两点的电位。图 1.1.1 中, 正电荷在电场力作用下从 a 点经负载移至 b 点时, 把电源的电能转换为灯丝的热能, 即电源损失了电能, 说明正电荷在 a 点的电能大于在 b 点的电能, 或说 a 点电位高于 b 点电位, 通常用“+”、“-”号表示电位的高低。可见, 电压的正值就是高电位与低电位的电位差。因此, 物理学中规定: 电压的实际方向就是电位降的方向。

随时间变化的电压其表达式为

$$u_{ab} = \frac{dw}{dq} \quad (1.1.5)$$

式中, q 为 a 点移至 b 点随时间而变的电量; w 为电场力移动电荷 q 所做的功; u_{ab} 即为瞬时电压值。

电场力把 1 库[仑](C)的电荷量从 a 点移至 b 点, 如果所做的功为 1 焦[耳](J), 则 a 、 b 两点之间的电压就是 1 伏[特](简称“伏”), 用字母 V 表示。

3. 电动势(Electromotive force)

电动势是衡量电源内局外力克服电场力移动电荷时做功的物理量, 它在数值上等于局外力把单位正电荷在电源内由低电位端移至高电位端所做的功。电动势用字母 e 或 E 表示, 单位与电压相同, 而它的实际方向从低电位指向高电位。

1.1.2 电流、电压的参考方向

1. 电流的参考方向

在简单的直流电路中, 各元件中电流的实际方向很容易判断, 在电路图上标明其实际方向并不困难。但当电路比较复杂时, 电流的实际方向往往难以在电路图上标出。例如, 图 1.1.2 所示的惠斯顿电桥电路, 在电桥不平衡时, 检流计 G 中的电流是从 c 流向 d 还是从 d 流向 c , 必须通过计算才能确定。另外, 对于交流电路, 电流的方向是随时间变化的, 根本无法在电路图上用一个固定的符号来表示电流的实际方向。

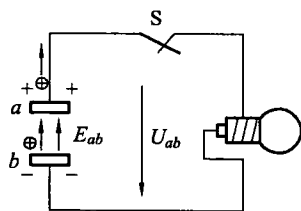


图 1.1.1 电动势 E 的实际方向规定从低电位指向高电位