


康晓东 主编

新编电学 基础

 科学出版社

新编电学基础

康晓东 主编

科学出版社

2002

内 容 简 介

本书依据国家教育部有关教学大纲,并参考国内、外优秀教材编写而成。主要内容包括电路理论基础、模拟电路与数字电路、典型电路和电路分析方法。

本书的特点:一是围绕数字电路这个核心和重点建立结构体系;二是只对必备关键知识给出数学推导过程;三是反映最新的科学技术发展动态;四是力求在知识上与计算机科学接轨;五是考虑到读者的不同行业的应用特点,以附录形式给出了部分电器方面的内容;六是全书 2/3 章节内容都可自成体系,以方便不同专业教学的选用。书中打“*”的属本专业可选用的内容。

本书可作为高等医科院校、其他工科院校非电专业和各级各类培训班的教材和参考书,也可供工程技术人员参考。同时,本书还是在校学生和社会读者用于考前复习的不可多得的复习资料。

图书在版编目(CIP)数据

新编电学基础/康晓东主编.-北京:科学出版社,2002

ISBN 7-03-009208-2

I.新… II.康… III.电学-教材 IV.O441.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 05966 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002年2月第一版 开本:787×1092 1/16

2002年2月第一次印刷 印张:28 1/2

印数:1—5 000 字数:680 000

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

《新编电学基础》编委会名单

主 审：康巨珍 李正明 秦世才
主 编：康晓东
副主编：赵海山 张 彤
编 者：张 彤 路会生 李迎新 赵海山
 王雪飏 刘子媛 吴 奇 康晓东

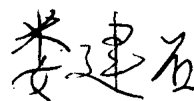
序

面向 21 世纪的教学内容与课程体系改革计划需要有一批新的教材面世,这是教学计划、课程体系和教学内容确定后的一项紧迫的任务。特别是关于学科的核心概念、典型方法、学科基本工作流程、方式等涉及学科基础的内容更应当首选其中。

康晓东教授等作者的新著《新编电学基础》就是这样的一本书。

首先,作者们有过多本基于电学应用的专著,使该教材能够恰到好处地提炼出电学的基础和精华;其次,作者们长期从事电路基础和电子学课程的教学工作,这本教材又是他们教学实践的体会;第三,为使《新编电学基础》所涉及的内容更符合高等医科院校的教学特点,作者们曾专门撰文讨论过高等医学院校电学课程的教学内容,所以这本教材也是集体智慧的结晶。

故而,我向医科院校的师生们推荐此教材,并衷心希望高等医学院校的大学生们能从这本近 70 万字的新作中“各取所需”。



2001 年 6 月于天津

前 言

今天,世界正从工业化、机械化时代进入信息化时代。现代科学与工程技术正大量地渗入到各个应用领域,并越来越显示出其巨大的推动作用,而这个推动作用的具体方式就是现代仪器和计算机的广泛使用。

一方面,仪器的功能在于利用物理、化学或生物的方法,获取被检测对象运动或变化的信息(这种信息往往是物质的量化表现),并以计算机为核心延伸人的大脑功能,起着扩展人脑力劳动的作用,使人类正在走出机械化过程,进入以物质手段扩展人的感官神经系统及脑力、智力的时代。现代仪器发展的一个主要趋势是组合化,仪器中的信息处理、转换、存储、显示等都与信息技术直接相通;另一方面,实现技术的工具是机器^①,机器替代和延伸人的体力劳动,甚至部分脑力劳动。

现代仪器、机器多采用多种先进技术形式综合集成,如平常所说的机、电、材、算……等,从根本上说,则是电学的集成。可以说,在今天,无论从事何种职业都离不开电学知识和技能的掌握。

就高等院校而言,由于其专业培养目标的特殊性,对电学知识和技能要求也太相径庭。也正是考虑到现代人需必备知识的未来趋势并结合高等院校非电专业对电学知识和技能的不同要求,作者编写了这本《新编电学基础》。

这本《新编电学基础》由19章组成。康晓东、赵海山和张彤共同讨论了编写大纲。张彤撰写了第1、10章和附四;路会生参与撰写了第2、4章和附一;李迎新撰写了第3章;赵海山撰写了第5、8、11章;王雪飏参与撰写了第9章;刘子媛撰写了第12、15章;吴奇参与撰写了第16章;其余部分由康晓东撰写。全书由康晓东统稿。

较同类读物,这本《新编电学基础》在内容上:

- (1)压缩了部分呈淘汰趋势电器元件的内容;
- (2)考虑到IC器件的普及化、商品化特点,精简了传统模拟电子部分的知识内容;
- (3)加大了脉冲和数字电路的内容,以使将来可更好地理解计算机方面的知识;
- (4)适当增加信号处理的内容,以使将来可以更好地应用、维护和设计医学仪器和装置。

本书的特点体现在以下几个方面:

- (1)围绕数字电路的选用这个核心和重点建立结构体系;
- (2)在叙述上避免繁复的数学推导,而在那些必须的关键之处,又能做到不省略中间步骤,给出全部的推导过程;
- (3)在内容上尽量囊括最新的科学技术发展动态;
- (4)力求在知识上与计算机科学接轨;
- (5)考虑到不同专业的应用特点,以附录形式给出了部分电器设备、现代信号分析方

^① 在医学领域,仪器和机器往往被约定俗成的合称为仪器。

法、稳压整流电路及计算机微处理器(CPU)体系结构等方面的内容;

(6)全书2/3的章节内容都可自成体系,以方便不同专业教学的选用和取舍(书中打“*”的内容属可选用的内容)。

也正是基于本书内容编排和叙述方法上的特点,这本《新编电学基础》除可作为高等医科院校、其他工科院校非电专业和各级各类培训班的教材和参考书外,也是在校学生和社会读者用于考前复习的不可多得的复习资料,同时,本书还可供工程技术人员参考。

出版一本书是集体努力的结果。许多人为此书的内容、评阅和出版贡献了他们的宝贵时间和精力。作者要感谢为此书贡献力量,给作者鼓励的人们。

作者要感谢相关领域前辈们的工作,是他们的知识和研究成果充实了此书的内容,见参考(引用)文献。

作者感谢天津医科大学教务处毕广忠、张金钟、李必成和张秀敏四位处长,感谢贺能树、白人驹、张云亭和姚智教授,感谢他(她)们在本书立项之初所给予的鼓励和支持。作者要感谢天津医科大学的同事们对本书的关怀,是他们的真知灼见减少了本书的纰漏。

作者要感谢华北地区高等学校电子技术教学研究会以及南开大学、北京大学、清华大学、天津大学的学术泰斗们在百忙之中审阅了本书的初稿。

作者还要特别感谢娄建石和张文清教授,感谢他在百忙中为本书赐序典跋。

最后,特别感激作者们的家人,是她们一直给予了作者灵感和理解,并在作者忙于此书时显示出极大的耐心。

当然,书中一定还有不完善之处,作者殷切地期望读者给予批评和指正。

作 者

2001年初改定于天津

目 录

电路理论基础

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	(3)
1.1 电路的基本概念	(3)
1.1.1 电流、电压与电功率	(3)
1.1.2 电阻元件、电容元件与电感元件	(5)
1.1.3 独立源	(10)
1.2 基尔霍夫定律	(11)
1.2.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	(11)
1.2.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	(12)
1.3 受控源	(13)
第 2 章 电阻电路的等效变换	(16)
2.1 电阻的等效	(17)
2.2 二端网络的等效	(17)
2.2.1 含源网络的等效	(17)
2.2.2 混联网络分析	(21)
2.2.3 含受控源电路的化简	(25)
2.2.4 Y形电阻网络与 Δ 形电阻网络的等效变换	(27)
2.3 网络分析法与网络定理	(29)
2.3.1 网络分析方法	(30)
2.3.2 网络定理	(37)
第 3 章 正弦交流电路	(45)
3.1 正弦交流电及其表示法	(45)
3.1.1 正弦交流电路基本概念	(45)
3.1.2 正弦量的相量表示法	(46)
3.1.3 电阻、电感、电容元件伏安关系的相量形式	(47)
3.2 复阻抗和复导纳	(52)
3.2.1 RLC 串联电路的复数阻抗	(52)
3.2.2 RLC 并联电路的复数导纳	(54)
3.2.3 等效复数阻抗和等效复数导纳	(54)
3.3 二端网络的正弦稳态功率	(58)
第 4 章 三相交流电路	(61)
4.1 对称三相电源的连接与特征	(61)
4.2 三相电路的计算	(63)
4.2.1 对称三相电路的计算	(63)

4.2.2	* 不对称三相电路的计算	(66)
4.2.3	三相电路的功率	(68)
第 5 章	耦合电路与磁路	(69)
5.1	耦合电感	(69)
5.2	耦合电路	(71)
5.2.1	含有耦合电感的电路	(71)
5.2.2	含有理想变压器的电路	(74)
5.3	磁场与磁路	(76)
5.3.1	磁场的基本物理量及其相互关系	(76)
5.3.2	交流铁心线圈电路	(77)
5.4	变压器	(79)
第 6 章	谐振电路和非正弦周期电流电路	(82)
6.1	串联谐振电路	(82)
6.1.1	串联谐振电路的基本概念	(82)
6.1.2	R 、 L 、 C 串联电路谐振特性	(83)
6.2	并联谐振电路	(85)
6.3	* 非正弦周期电流电路	(87)
6.3.1	非正弦周期电流电路的概念	(87)
6.3.2	周期性非正弦函数的有效值、平均值和平均功率	(89)
6.3.3	周期性非正弦电流电路的计算	(91)
6.4	滤波器初步	(93)
第 7 章	* 二端口网络	(95)
7.1	二端口网络的基本方程和基本参数	(95)
7.2	二端口网络的联接与等效	(98)
7.3	二端口网络的网络参数	(99)
第 8 章	动态电路	(104)
8.1	动态电路的基本概念	(104)
8.1.1	换路定则	(104)
8.1.2	初始值的计算	(105)
8.2	一阶响应	(107)
8.2.1	一阶零输入响应	(107)
8.2.2	一阶零状态响应	(110)
8.2.3	一阶全响应	(113)
8.3	阶跃响应和冲激响应	(117)
8.3.1	阶跃响应	(117)
8.3.2	冲激响应	(121)
8.4	* 二阶电路	(124)
8.4.1	二阶电路的零输入响应	(124)
8.4.2	二阶电路的零状态响应和阶跃响应	(127)
8.4.3	二阶电路的冲激响应	(129)
第 9 章	* 拉普拉斯变换与网络函数	(131)

9.1	拉普拉斯变换	(131)
9.1.1	拉普拉斯变换的定义与性质	(131)
9.1.2	拉氏反变换的分部展开	(132)
9.2	拉普拉斯变换的应用	(134)
9.2.1	运算电路	(134)
9.2.2	应用拉氏变换分析线性电路	(136)
9.2.3	假设表达式	(139)
9.3	网络函数及其应用	(140)
9.3.1	网络函数	(140)
9.3.2	零点、极点和冲激响应	(142)
9.3.3	零点、极点和频率响应	(144)
9.4	卷积	(147)

模拟电子电路与数字电子电路

第 10 章	半导体器件	(151)
10.1	半导体的基础知识	(151)
10.1.1	本征半导体和杂质半导体	(151)
10.1.2	PN 结	(153)
10.2	半导体二极管	(155)
10.2.1	二极管	(155)
10.2.2	稳压管	(156)
10.3	半导体三极管	(158)
10.4	* 场效应管	(163)
10.4.1	结型场效应管(JFET)	(163)
10.4.2	绝缘栅场效应管	(166)
第 11 章	基本放大电路	(170)
11.1	共射集放大电路	(170)
11.1.1	放大概念和放大电路的主要指标	(170)
11.1.2	单管共射放大电路	(171)
11.2	放大电路的图解法和微变法	(173)
11.2.1	放大电路的图解法	(173)
11.2.2	微变等效电路分析法	(178)
11.2.3	放大电路工作点稳定	(182)
11.3	共集电极放大电路和共基极放大电路	(184)
11.3.1	共集电极放大电路	(184)
11.3.2	共基极放大电路	(186)
11.4	* 场效应管放大电路	(188)
11.4.1	场效应管的微变等效电路分析法	(188)
11.4.2	共源极、共漏极放大电路的分析	(190)
11.5	多级放大电路	(192)
11.6	放大电路的频率响应	(195)

11.6.1	频率响应和频率失真的概念	(195)
11.6.2	基本 RC 电路的频率响应	(195)
11.6.3	放大电路的频率响应	(198)
11.6.4	多级放大电路的频率响应	(200)
11.7	功率放大电路	(202)
11.7.1	功率放大电路的一般问题	(202)
11.7.2	乙类互补对称电路	(203)
11.7.3	甲乙类互补对称电路	(206)
第 12 章	反馈放大电路和集成放大电路	(209)
12.1	反馈的概念和分类	(209)
12.1.1	反馈	(209)
12.1.2	反馈的分类与判别	(209)
12.1.3	负反馈放大电路的框图与表达式	(213)
12.2	负反馈放大电路性能的影响和估算	(214)
12.2.1	负反馈放大电路性能的影响	(214)
12.2.2	深度负反馈条件下的估算	(217)
12.3	负反馈放大电路的自激振荡	(220)
12.4	集成运算放大器	(221)
12.4.1	集成运放的基本单元	(221)
12.4.2	输入级电路(差动放大电路)	(224)
12.4.3	中间级电路和输出级电路	(229)
12.5	通用型集成运算放大器	(229)
12.5.1	通用型集成运算放大器	(229)
12.5.2	MOS 通用型运算放大器	(231)
第 13 章	基本运算器与信号处理器	(234)
13.1	基本运放电路	(234)
13.1.1	理想运算放大器的主要参数	(234)
13.1.2	基本运算电路	(235)
13.2	信号滤波器	(243)
13.2.1	一阶低通滤波器	(243)
13.2.2	二阶低通有源滤波电路	(245)
13.3	电压比较器和信号发生器	(246)
13.3.1	电压比较器	(246)
13.3.2	信号发生器	(247)
第 14 章	正弦振荡器和调制器	(251)
14.1	正弦波振荡电路	(251)
14.1.1	正弦波振荡电路的振荡条件和电路组成	(251)
14.1.2	RC 正弦波振荡电路和 LC 正弦波振荡电路	(252)
14.1.3	LC 正弦波振荡电路	(255)
14.2	* 石英晶体正弦波振荡电路	(257)
14.2.1	石英谐振器	(257)

14.2.2	石英晶体振荡电路	(258)
14.3	幅度调制与角度调制	(259)
14.3.1	幅度调制	(259)
14.3.2	角度调制	(262)
14.3.3	* 脉冲调制	(266)
第 15 章	集成门与组合逻辑电路	(270)
15.1	逻辑代数初步	(270)
15.1.1	逻辑关系与逻辑运算	(270)
15.1.2	逻辑函数及其化简	(272)
15.2	集成门电路	(275)
15.2.1	最简单的与、或、非门电路	(275)
15.2.2	集成门电路	(277)
15.2.3	CMOS 门电路	(284)
15.3	组合逻辑电路	(287)
15.3.1	组合逻辑电路的分析设计方法	(287)
15.3.2	常用的组合逻辑电路	(289)
15.3.3	加法器	(301)
第 16 章	触发器与时序逻辑电路	(306)
16.1	触发器的电路结构与特点	(306)
16.1.1	RS 触发器的电路结构与特点	(306)
16.1.2	主从触发器的电路结构与特点	(310)
16.2	触发器的逻辑功能	(314)
16.3	时序逻辑电路	(317)
16.3.1	时序逻辑电路的分析方法	(318)
16.3.2	常用的时序逻辑电路	(321)
第 17 章	半导体存储器	(334)
17.1	半导体存储器概述	(334)
17.2	存储器容量与结构	(335)
17.2.1	存储器容量	(335)
17.2.2	随机存取存储器	(336)
17.3	存储器扩展	(339)
17.4	只读存储器	(342)
第 18 章	* 可编程逻辑器件	(343)
18.1	可编程阵列逻辑 PAL	(344)
18.1.1	PAL 的基本电路结构	(344)
18.1.2	PAL 输出电路的类型特点	(345)
18.2	通用阵列逻辑(GAL)	(352)
18.2.1	电路的基本组成	(352)
18.2.2	行地址结构	(355)
18.3	PLD 的编程	(359)
18.3.1	低密度 ISP-PLD	(360)

18.3.2	高密度 ISP-PLD	(361)
18.3.3	可编程通用数字开关 ispGDS	(365)
第 19 章	A/D 和 D/A 转换器	(366)
19.1	D/A 转换器	(366)
19.1.1	D/A 原理结构	(366)
19.1.2	模拟开关	(370)
19.2	D/A 转换器的转换精度与转换速度	(372)
19.2.1	D/A 转换器的转换精度	(372)
19.2.2	D/A 转换器的转换速度	(374)
19.3	A/D 转换器	(374)
19.3.1	A/D 转换的基本原理	(374)
19.3.2	直接型 A/D 转换器	(377)
19.3.3	间接型 A/D 转换器	(380)
19.3.4	A/D 转换器的转换精度与转换速度	(382)
附录	(384)
附录 1	稳压整流电路.....	(384)
附录 2	现代电路分析方法简介	(397)
附录 3	CPU 微处理器	(407)
附录 4	继电器、控制器和电动机	(427)
参考文献	(441)
跋	(442)

电路理论基础

电路是指由各种元件以一定方式连接起来的整体。电路分析是电学课程的基础。

电路具有传输和转换电能、传递和处理信号两种主要作用,电路由电源(或信号源)、负载和中间环节三部分组成。

电路理论中所讨论的电路都是指理想电路模型,而不是指由实际的电路元件和实际的连线所组成的实际电路。因为实际的电路,即使是最简单的电路元件,其中的物理过程也是非常复杂的(如实际的导线就很复杂,它不但有电阻,还有电感和电容效应)。把这些物理过程都表达出来,将使分析工作十分复杂,甚至难以完成。为了简化分析,要抓住矛盾的主要方面,而忽略矛盾的次要方面,使一个元件的主要性能可以用一个简单的数学式子描述出来。

经过简化的电路元件被称为理想电路元件。

如电阻元件就是对实际电阻器件只保留其耗能的性质而抽象出来的;电容元件是对实际电容器件只保留其储存电场能的性质而抽象出来的;电感元件是对实际电感器件只保留其储存磁场能的性质而抽象出来的。同样,前述的导线被看成一根既无电感、电容,又无电阻的导线。

电路理论课程具体分析的两基本依据,一是电路规律和元件特性,二是电路的三大基本分析方法。

利用两种基本依据及功率、能量的概念就能解决所有的电路问题。

1. 电路规律和元件特性。具体为:

- (1)基尔霍夫电流定律 KCL;
- (2)基尔霍夫电压定律 KVL;
- (3)各种元件的伏安(库伏、磁安)特性关系。

2. 电路的三大基本分析方法分别是:分解的分析方法、叠加的分析方法及相量分析的方法。

(1)分解的分析方法就是运用等效的概念,使“大”、“复杂”的电路问题转化为“小”、“简单”电路的问题;

(2)叠加的分析方法就是运用叠加原理使复杂的激励问题转化为简单的激励问题;

(3)相量的分析方法就是以相量计算为工具,使正弦交流电路问题转化为能够运用直流电阻电路的各种分析方法进行解决。

原书空白页

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

理想电路元件(如电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等)可分别由相应的参数来表征,并用规定的图形符号来表示。即将实际电路元件理想化,在一定条件下突出其主要的电磁性质,而忽略其次要性质。

为简单起见,在电路理论中除特殊情况外,称各种理想电路元件时,都省去“理想”二字。

由一些理想电路元件所组成的电路,就是实际电路的电路模型。

电路理论基础中所涉及的电路都是指电路模型(简称电路)。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电流、电压与电功率

1. 电流、电压及其关联方向

要分析电路,首先要讨论电路的两个基本物理量:电流和电压。

• 电流

电流:电流的大小用电流强度来表示。电流强度定义为单位时间内通过导体横截面的电荷量,用符号 i 表示,即:

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

式中 q 为通过某截面的电荷量,单位为库仑(C); t 为时间,单位为秒(s)。电流的方向规定为正电荷运动的方向。不随时间变化的电流一般用大写字母 I 表示。

电路中某一时刻的电流方向在求解前是很难判断的。但描述电路元件性质和连接方式规律的公式都与电流的方向有关。为此,在进行分析之前,必须给电流一个假定的正方向,用箭头表示,称为电流的参考方向。这样,电流的实际方向便由电流的参考方向和电流数值的正、负来表明;电流的大小由电流数值的绝对值来表明。

例 1-1 进入元件的电流为 $i(t) = 30t^2 - 4t$ A,求 $t = 1$ s 到 3 s 之间通过该元件的电荷。

解:

$$q = \int_1^3 i dt = \int_1^3 (30t^2 - 4t) dt = \left(\frac{1}{3} \times 30t^3 - \frac{4}{2}t^2 \right)_1^3 = 244 \text{ C}$$

• 电压

电压:单位正电荷从电路中的一点移至另一点时电路所吸收或释放的能量。若为吸收能量则称为电压降;若为放出能量则称为电压升,电压升就是负的电压降。电压的符号用 u 表示:

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

式中 dw 为电路吸收的能量; dq 为通过的电荷。

同电流类似, 电路中某两点间, 在某一时刻的电压可能是电压降(也可能是电压升)。在求解之前也是不知道的, 但描述电路元件性质和连接方式的公式也是与这个电压的极性有关的, 所以, 在作电路分析之前, 也必须给出一个假定的电压降方向, 用“+”、“-”号表示, “+”号表示高电位端, “-”号表示低电位端, 称为电压的参考极性。

• 关联方向

一个元件的电流参考方向和电压参考极性的假定都是任意的。但是为了方便起见, 常采用关联的参考方向的标示方法。所谓关联的参考方向是指: 一个元件当它的电流参考方向假定以后, 其电压的参考极性就不再任意假定, 而一定是把电压降的方向定为电流的参考方向; 或当它的电压的参考极性被假定以后, 其电流的参考方向就不再任意假定, 而是一定把电流的参考方向假定为电压降的方向。

电压与电流的参考方向是否为关联的, 是对某一个元件而言的。如图 1-1 中所示的两个元件在图中标示的 u 和 i 的参考方向下, 对元件 B 而言, 其电压、电流参考方向是关联的; 而对元件 A 而言, 其电压、电流的参考方向是非关联的。

• 电位

电位也是两点间的电压。在电路中, 特别是在电子电路中, 常常选择一个点作为参考点(在电子仪器中通常选取公共接地点或仪器的外壳作为参考点, 在图形中常用 \perp 表示), 而电路中其他各点对该点的电压就称为相应点的电位。参考点的电位规定为零。如在图 1-2 若选 c 为参考点, 则 a, b, d 各点的电位为:

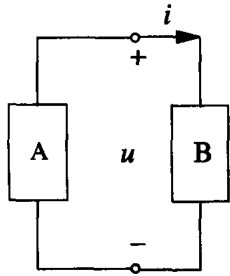


图 1-1 关联方向

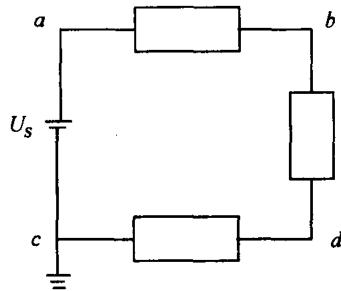


图 1-2 电位

$$u_a = u_{ac}, \quad u_b = u_{bc}, \quad u_d = u_{dc}$$

由电压和电位的概念可知, 电路中某两点的电压一定等于该两点间的电位之差, 如在图 1-2 中, a, b 两点间和 a, c 两点间的电压分别为:

$$u_{ab} = u_a - u_b, \quad u_{ac} = u_a - u_c$$

2. 电功率和电能量

功率: 单位时间内某段电路所吸收或放出的能量称为该段电路的功率。