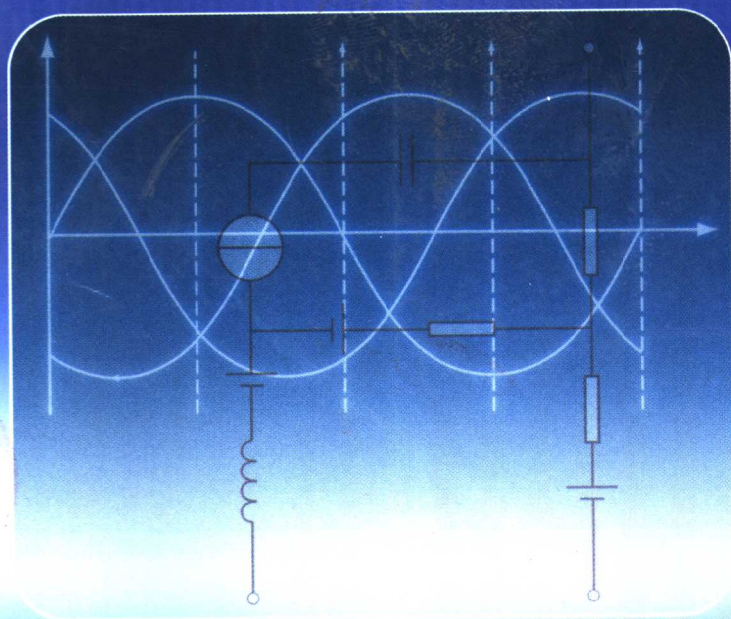


● 高等学校教材

简明电路分析基础

李瀚荪



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

● 高等学校教材

简明电路分析基础

宣祥懿题 

李瀚荪



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS

内容提要

《简明电路分析基础》是教育部规划教材。

本书分为三篇:电阻电路的分析、动态电路的时域分析、动态电路的相量分析和 s 域分析法。具体内容为:集总电路中电压、电流的约束关系、运用独立电流、电压变量的分析方法、叠加方法与网络函数、分解方法及单口网络、双口网络、电容元件与电感元件、一阶电路、二阶电路、阻抗和导纳、正弦稳态功率和能量、频率响应和多频正弦稳态电路、耦合电感和理想变压器、拉普拉斯变换在电路分析中的应用,此外还有均匀传输线和磁路这两个附录,书后附有部分习题答案。全书配有丰富的例题、思考题、练习题、习题,每篇后有回顾与前瞻,起到复习巩固、承上启下的作用。本书的特点是概念严密、说理细致、例题丰富,语言流畅易懂。与同类其他教材相比,本书最大的特点是着眼于培养学生的综合素质和能力,全书洋溢着浓厚的人文氛围。

《简明电路分析基础》可供高等学校电气信息类专业师生作为“电路分析基础”、“电路”课程教材使用,也可供有兴趣的读者自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

简明电路分析基础 / 李瀚荪. —北京: 高等教育出版社, 2002. 7

ISBN 7-04-010699-X

I. 简... II. 李... III. 电路分析 - 高等学校 - 教材 IV. TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 098686 号

简明电路分析基础

李瀚荪

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

传 真 010-64014048

购书热线 010-64054588

免费咨询 800-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 中国科学院印刷厂

开 本 787×960 1/16

印 张 45

字 数 840 000

版 次 2002 年 7 月第 1 版

印 次 2002 年 7 月第 1 次印刷

定 价 50.60 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

述而求作 理枝循干

—序 言—

21世纪已经来临！早在上一世纪90年代，审时度势，去旧迎新，就有编写本书的想法。以《简明电路分析基础》为书名，以“述而求作、理枝循干”为编写主旨，赶在新世纪初问世。

(一)

《简明电路分析基础》(以后简称《简明》)是一本力求使电路分析所需基础简单明显的教材。说到简明，也许有人会想到：大概是由于课时大幅削减，不得不减少内容、简化叙述、去掉些例题习题等，以便制作出一本篇幅压缩的简明教程，“适应”当前教学“需要”。不然！课时减少乃是大势所趋，如果用削减内容、三言两语甚至降低要求的方法来应对形势，编制出一本在少学时内便能照本宣科，完成“任务”的教材，那不是面对挑战的积极做法。教学改革是为了提高教学质量，适应时代的需要。消极对待，只会适得其反。难道我们的教材不能再作些改进？难道我们教和学也没有改进的余地？人家厚厚一本教材，能适用于我们不能想像的少学时，而培养质量并不低于我们。为什么？我想，就一门课程来说，这固然与教和学的方法有关，也与所用教材的质量有关。两者相得益彰，便可形成良性循环。因此，我是想在教材的改进而不是压缩上下点功夫，如果教和学也能作些改进，也许能较好地促进教改。

因此，《简明》决非一本旨在压缩篇幅的教材。与《电路分析基础》(以后简称为《基础》)相比，确有删去之处，但也有增添之处，例如，为适应强、弱电类专业通用，在三相电路就增添了内容。另外，“择焉而不精，语焉而不详”一直是我竭力想要避免的，因而在叙述上仍然力求说清楚，不吝笔墨。众多的例题、习题等是《基础》的一大特色，本书要保持并发扬这一特色，在这方面只有加强并无削弱之意，本书增加了阶段自我检查题，形成“例、思、练、习、检”等五类题，构成本书的一个重要组成部分。总之，我想要竭力做到的是使电路分析基础内容的简单明显，以利教学，并不考虑篇幅如何。

(二)

要做到简明,就需贯彻“述而求作,理枝循干”的编写主旨。先说“述而求作”。

约二千五百年前的孔子曾说过“述而不作,信而好古”(《论语·述而第七》),其后即有述而不作之说,其意指“只阐述前人成说,自己无所创作”(《辞海》)。近人冯友兰大师认为“孔子只是一个‘老教书匠’,但在中国历史中,孔子仍占一极高地位。”(《中国哲学史》,上册, P. 45, 华东师范大学出版社 2000 年重版。1931 年神州国光社初版。)

基础课程涉及的是些成熟内容,编写教材,驾轻就熟,往往是述而不作。把规定的内容一一阐述正确无误即可。创作不易,也并无意于此。于是同一课程的教材也就往往大同小异。因袭陈规,不能与时俱进,就不能适应教改的形势,满足时代的要求。其实,教材的改进工作大有可为,许多老师也在为此作出努力。《简明》一书只是一种见解而已。创作不易,至少也该述而求作吧!

举一个小小的例子。在《基础》的第一、二版中都有名为“线性网络的几个定理”的一章,这是一个大口袋,凡定理都可往里装,国内、外的某些教材也都是这样做的,从科学性来说无可厚非。但是,许多定理挤在一堆,难以显示某些定理的用途,像置换(替代)定理、互易定理等,置身其中,很难处理,最后勉强地举一个例子就算了事,在大肆斫伐中,往往蒙上“不白之冤”,惨遭淘汰。何不撕破口袋,令其各得其所,发挥作用?在写第三版时,我就这样做了,感到教材好写了,有施展余地。我想,对学生来说,给他一个“网络定理”的笼统概念,无助于系统地掌握本课程的内容。这谈不上什么创作,只是“述而求作”的一个体现。然而,牵一发而动全身,我的这一“求作”,却导致了确定编写教材的另一主旨——“理枝循干”!

(三)

约一千五百年前南朝梁的刘勰写过一本著名的文学理论专著《文心雕龙》,在其中的《附会》一篇中写道:“凡大体文章,类多枝派,整流者依源,理枝者循干,是以附辞会义,务总纲领,驱万涂于同归,贞百虑于一致,……。”文中所说枝派,是指树枝和支流。接着,刘勰又指出这就是文章的“树骨”,文不树骨,就会“义脉不流,偏枯文体”。我想教材也是大体文章,“枝派”虽多,而逻辑性强,更易“树骨”。刘勰所说,是我想要做到的,因择其中的“理枝循干”作为编写的另一主旨。

然则,本教材的“干”又是什么?

约四十年前,美国心理学家杰罗姆·S·布鲁纳(Jerome S. Bruner)所著《教育过程》(The Process of Education)问世。1959年美国全国科学院召开过一次讨论如何改进中小学数理科教育的会议,背景是1957年前苏联发射了人类第一颗人造卫星,美国感到科技落后了,试图培养大批科技人才。布鲁纳教授为会议作的总结报告是这本书的前身,被称为20世纪最重要的和最有影响的教育著作之一,其意义并不只限于中、小学教育。“布鲁纳强调人的学习特点,这是有可取之处的”。(潘菽:教育心理学(第二版).第二章.人民教育出版社,1983)。

根据布鲁纳“学科结构论”的观点:在课程内容确定后,首要的任务是全力找出课程的基本结构,使之成为教学的中心和知识迁移(transfer)的基础。学习任何课程,主要是使学生掌握该课程的基本结构。所谓基本结构是指课程的基本原理,即各种定理、方法、概念、定义之间相互关系的理论框架。学生一旦掌握了它,就能处理许多看来似乎生疏但密切关联的知识,有些新知识在他看来只不过“是一个熟悉题目的变形罢了”。这样就通过迁移作用不断地扩大和加深知识,完成学习任务,且对所学知识有一个整体认识。把学习内容在“基本结构中的脉络弄清楚”不仅有利于学习,且利于记忆。“强调学科结构的良好教学,对能力较差的学生比起有天才的学生来,可能更为宝贵。”

课程的基本结构,就是本教材的“干”。它不同于一般所称的课程体系,其本身就是具体的教学中心、学习重点,具有“广泛而强有力的适用性”。

然则,“干”的具体内容又是什么?

(四)

电路分析基础课程研究集总电路的分析,其基本结构可归结为:一个假设(集总假设),两类约束(KCL、KVL和元件VCR)和三大基本方法(叠加、分解和变换域分法)。各自连同有关的定义、概念、定理、方法、公式等内容形成课程的整体。结构的观点强调整体的认识,认为整体对它的部分具有优先的重要性。树木组成了森林,不能只见树木不见森林。

集总假设确定了电路分析的对象是电压、电流以及功率、能量。两类约束是分析电路的基本依据,不论分析哪类集总电路都是离不开的,包括运用独立变量、两类约束相结合的网孔法、节点法等。叠加方法使复杂激励电路问题化为简单激励电路问题。分解方法使复杂结构电路问题化为简单结构电路问题。变换域方法则使电路的分析方法得到统一,举一反三。

这便是“干”的具体内容。简单明确。学生“对他所研究的现象的普遍本质,必须心中有数。他学到的观念越是基本,几乎归结为定义,则它对新问题的适用性就越宽广。”循干而理枝,就可以把课程的基本内容以简单明显的方式呈现出

来。(以上各段中加引号者均摘录自《教育过程》,1973年上海人民出版社的译本)

我曾把教材的这一编写指导思想归结为“三基加一基”。三基是指基本概念、基本理论和基本方法,涉及教材的内容问题;一基是指基本结构,涉及如何组成教材的问题。(见《电气电子教学学报》1999年第三期“三基加一基”一文。)

(五)

如何理枝循干,此处不能细说,读者阅读目录和正文自能了解。但有几点仍可一提。

《基础》一书发行已22年,蒙各界厚爱,发行量约为一百四十万套,两次受到国家级奖励。遽然中断,颇感依依。上世纪末,我曾对该书的编写进行小结。本书循该小结之处甚多,加之一人手笔,《基础》身影当随时可见。

小结内含编写五要:定位要明确,结构要突出,顺序要合理,练习要规划,写作要经心。结合五要,《简明》采用的一些措施简述如下。

定位要明确 本教材为大二电专业教学用书,在编写时当随时明确这一定位。据此,《简明》删去了网络矩阵分析,大幅减少了网络拓扑、非线性电路等内容。网络拓扑、矩阵分析无疑是网络理论中的奇葩,但似不宜在大二讲授。学习电路分析,在计算电路问题时,如用手算,可能不愿去求逆矩阵;如用机算,似毋需知晓程序内情。大二电路课程以掌握基本概念,包括与当代电技术、如机辅分析有关的概念为主,可以另行结合学校条件(例如,所用程序)安排上机。模型、解答的存在性与惟一性等概念就是与机辅分析密切相关的。

结构要突出 结构的重要性已如前述。突出要体现在:(1)章、节的名称。(2)不断线,在编写的进程中应注意反复回到有关的基本观念(两类约束、三大基本方法)上去,前后呼应。在每篇后增添“回顾与前瞻”以便承前启后。重点是“点”的概念而基本结构是“线”的概念。(3)在知识迁移过程中,注意促进正迁移,防止负迁移,例如,在相量法一章中,强调复数在迁移中的作用,把相量图法安置在最后。其他一些措施,不能尽叙。

顺序要合理 内容平滑过渡,“使众理虽繁,而无倒置之乖,群言虽多,而无桀纣之乱。”例如,零输入响应、零状态响应与过渡过程分开叙述,而前者借助于电容、电感等效电路,结合叠加方法自然引出。动态电路分析并不等于过渡过程的分析。

练习要规划 “例、思、练、习、检”等五类题的编制与正文的编写同时进行,统一安排。安排时运用了在主编电路试题库时制定的难易标准(参看“电路试题库研制报告”,《电气电子教学学报》1999年第四期)。例题分载两处——正

文中和每篇的“回顾与前瞻”中,后者着重于所学原理的应用。每章后的习题按节安排,减少计算量,增加思考性。自我检查题按篇设置,每篇十题,带有复习性和综合性。

写作要经心 教材的写作好比“裁衣之待缝缉”,不能漫不经心。教材至少要做到使人看得下去,才能达到目的。如能使人爱不释手,就更好了。为唤起热情,人文情怀是很重要的,《简明》为此也作了些尝试。

(六)

写教材并不是写讲稿,教材不能直接使用于课堂授课,照本宣科。我认为教材在教学中的作用似可引用“有之以为利,无之以为用”这一说法(《道德经·第十一章》),教师对待教材似又可引用“不取亦取,虽师勿师”这一观点(袁枚《续诗品·尚识》)。教师应根据教学环境,写出自己的讲稿,一本教材可以“深教”,也可以“浅教”,端在教师所为。教材只能大致地规定教学范围,使学生在课后有书可看,有题可作。学生应把规定的教材,看作为主要参考书,不要抱怨何以有些内容不讲,讲授为何与教材有些不同,要积极改进自己的学习方法,否则,至少将在日后直接使用外文教材时感到不能适应。

(七)

与本教材可以配套使用的有下列两种资料:

(1) 全国普通高等学校电路题库 李瀚荪主编

由北京理工大学、西安交通大学、上海大学、天津大学、华中科技大学及北方交通大学、北京邮电大学、哈尔滨工业大学、重庆大学、西安电子科技大学等多所大学联合研制。含4815题。可自动组卷。

高等教育出版社已出版发行

(2) 《简明电路分析基础》教学指导书 李瀚荪 吴锡龙

高等教育出版社2002年12月出版

(八)

本书承蒙吴锡龙教授在百忙中仔细审阅,提出不少宝贵意见,并校核了全部习题,谨致以衷心感谢。自《基础》第一版起吴教授即参与审稿,使我获益良多,甚为难得。

感谢高等教育出版社出版本书衷心感谢有关人员付出的辛勤劳动。我与高

教出版社愉快合作二十多年。历任责任编辑王忠民、楼史进、刘激扬都已成为好友,他们在工作中总是把方便让给我,把困难留给自己,认真负责“为人作嫁”。

李京川工程师参与了本书的策划、收集资料并编写了部分章节。

(九)

奋战二年,终于脱稿,此时此刻,浮想联翩,感到还有话要说。

我要感谢已故上海市政治协商会议第七、八届委员会常务委员、北京市人民政府教育顾问、叔蘋奖学金创办人、香港知名人士顾麒麟博士(1909—1998)在20世纪40年代,长达十年对我上学和医疗的资助,使我免于失学和病痛之苦。80年代以来,恩师还一直关心《基础》一书,勉我继续努力,终生难忘。叔蘋奖学金老学长宣祥鏊兄在公务百忙之中应我请求欣然为本书题写书名三幅,供我选用。患难之交,情义长存。

我要感谢40年代母校上海中学和交通大学为我奠定的良好基础。特别是已故张锺俊院士和林海明教授在电路理论方面对我的启蒙和教诲,两位恩师还分别在1982年和1962年给我以指导。使我终生受益。

我要感谢北京工业学院(北京理工大学前身)向1977年清河全国教材会议推荐我的书稿《电路磁路基础》,从此开始了我的统编教材撰写工作。在《电路分析基础》书稿的编写过程中又给予了帮助和关心。教研室同事和历届学生也曾对教材提出过有益的意见和建议,一并致谢。

最后,我必须感谢老伴汪援医师。半个世纪,风雨同舟。家庭事务,不分内外,不分巨细,悉数愉快承担,使我得以专心工作,完成书稿。

(十)

欣逢盛世,人生苦短。假我以年,我心依旧。声、光、化、电,乐此不倦。“敬业奉献”,“勤而行之”。“宁静致远”,“为而不争”。

欢迎提出宝贵意见,请由高等教育出版社电工电子编辑室转交或发至电子邮箱 dianlu819@sohu.com。

李瀚荪

于北京理工大学寓所

2001年元旦初稿

2002年元旦定稿

责任编辑	刘激扬
封面设计	王凌波
责任绘图	朱 静
版式设计	马静如
责任校对	殷 然
责任印制	宋克学

题书名者：宣祥鋈

高级城市规划师。首都规划建设委员会原副主任兼秘书长，现任该委员会委员，北京市人民政府专家、顾问。中国历史文化名城委员会副理事长、北京市书法家协会主席，北京市文学、艺术界联合会副主席。

“不积跬步 无以致千里
不积小流 无以成江海”
《荀子·劝学》

目 录

第一篇 总论和电阻电路的分析

第一章 集总参数电路中电压、电流的约束关系	3
§ 1-1 电路及集总电路模型	3
§ 1-2 电路变量 电流、电压及功率	6
§ 1-3 基尔霍夫定律	12
§ 1-4 特勒根定理	21
§ 1-5 电阻元件	25
§ 1-6 电压源	30
§ 1-7 电流源	35
§ 1-8 受控源	39
§ 1-9 分压公式和分流公式	44
§ 1-10 两类约束 KCL、KVL 方程的独立性	49
§ 1-11 支路电流法和支路电压法	53
注记 特勒根定理的证明	56
参考书目	57
习题	58
第二章 运用独立电流、电压变量的分析方法	71
§ 2-1 网孔分析法	72
§ 2-2 节点分析法	78
§ 2-3 电路的对偶性	84
§ 2-4 含运算放大器的电阻电路	84
§ 2-5 回路分析法	90

§ 2-6 线性电阻电路解答的存在性与惟一性定理	95
参考书目	98
习题	99
第三章 叠加方法与网络函数	107
§ 3-1 线性电路的比例性 网络函数	107
§ 3-2 叠加原理	112
§ 3-3 功率与叠加原理	118
§ 3-4 电阻电路的无增益性质	123
参考书目	125
习题	126
第四章 分解方法及单口网络	133
§ 4-1 分解的基本步骤	134
§ 4-2 单口网络的电压电流关系	135
§ 4-3 单口网络的置换——置换定理	138
§ 4-4 单口网络的等效电路	143
§ 4-5 一些简单的等效规律和公式	147
§ 4-6 戴维南定理	155
§ 4-7 诺顿定理	165
§ 4-8 最大功率传递定理	167
§ 4-9 T形网络和 Π 形网络的等效变换	170
参考书目	173
习题	173
第五章 双口网络	185
§ 5-1 双口网络的流控型和压控型 VCR	186
§ 5-2 双口网络的混合型 VCR	193
§ 5-3 双口网络的传输型 VCR	195
§ 5-4 互易双口和互易定理	198
§ 5-5 各组参数间的关系	202
§ 5-6 具有端接的双口网络	205
§ 5-7 双口网络的互连	211
参考书目	214
习题	215
回顾与前瞻 (I)	223
§ I-1 纲要	223
§ I-2 应用举例——DAC	229

§ I-3 供自我检查用的习题	233
-----------------------	-----

第二篇 动态电路的时域分析

第六章 电容元件与电感元件	239
§ 6-1 电容元件	240
§ 6-2 电容的 VCR	241
§ 6-3 电容电压的连续性质和记忆性质	247
§ 6-4 电容的储能	251
§ 6-5 电感元件	253
§ 6-6 电感的 VCR	254
§ 6-7 电容与电感的对偶性 状态变量	256
§ 6-8 电容、电感的串、并联	258
参考书目	261
习题	261
第七章 一阶电路	267
§ 7-1 分解方法在动态电路分析中的运用	268
§ 7-2 一阶微分方程的求解	270
§ 7-3 零输入响应	273
§ 7-4 零状态响应	281
§ 7-5 线性动态电路的叠加原理	288
§ 7-6 分解方法和叠加方法的综合运用——三要素法	292
§ 7-7 阶跃响应及分段常量信号响应	300
§ 7-8 冲激响应	304
§ 7-9 卷积积分	310
§ 7-10 瞬态和稳态 正弦稳态的概念	315
§ 7-11 子区间分析 方波激励的过渡过程和稳态	322
参考书目	328
习题	328
第八章 二阶电路	340
§ 8-1 LC 电路中的正弦振荡	340
§ 8-2 RLC 串联电路的零输入响应	343
§ 8-3 RLC 串联电路的全响应	351
§ 8-4 GCL 并联电路的分析	355
§ 8-5 一般二阶电路	360
参考书目	366

习题	367
回顾与前瞻(Ⅱ)	371
§ II-1 纲要	371
§ II-2 应用举例——补偿分压器	377
§ II-3 供自我检查用的习题	381

第三篇 动态电路的相量分析法和 s 域分析法

第九章 阻抗和导纳	387
§ 9-1 变换方法的概念	387
§ 9-2 复数	389
§ 9-3 相量	393
§ 9-4 相量的线性性质和微分性质	396
§ 9-5 基尔霍夫定律的相量形式	401
§ 9-6 三种基本电路元件 VCR 的相量形式	404
§ 9-7 VCR 相量形式的统一——阻抗和导纳的引入	410
§ 9-8 正弦稳态电路与电阻电路分析方法的类比 ——相量模型的引入	413
§ 9-9 正弦稳态混联电路的分析	419
§ 9-10 相量模型的网孔分析法和节点分析法	422
§ 9-11 相量模型的等效	426
§ 9-12 有效值 有效值相量	432
§ 9-13 两类特殊问题 相量图法	436
参考书目	442
习题	442
第十章 正弦稳态功率和能量 三相电路	453
§ 10-1 基本概念	453
§ 10-2 电阻的平均功率	455
§ 10-3 电感、电容的平均储能	457
§ 10-4 单口网络的平均功率 功率因数	462
§ 10-5 单口网络的无功功率	469
§ 10-6 复功率 复功率守恒	474
§ 10-7 正弦稳态最大功率传递定理	476
§ 10-8 对称三相电路	480
§ 10-9 不对称三相电路	490
§ 10-10 三相功率及其测量	493

参考书目	496
习题	497
第十一章 频率响应 多频正弦稳态电路	504
§ 11-1 基本概念	504
§ 11-2 再论阻抗和导纳	506
§ 11-3 正弦稳态网络函数	512
§ 11-4 正弦稳态的叠加	519
§ 11-5 平均功率的叠加	526
§ 11-6 RLC 电路的谐振	531
参考书目	540
习题	540
第十二章 耦合电感和理想变压器	547
§ 12-1 基本概念	547
§ 12-2 耦合电感的 VCR 耦合系数	551
§ 12-3 空心变压器电路的分析 反映阻抗	559
§ 12-4 耦合电感的去耦等效电路	566
§ 12-5 理想变压器的 VCR	569
§ 12-6 理想变压器的阻抗变换性质	572
§ 12-7 理想变压器的实现	576
§ 12-8 铁心变压器的模型	578
参考书目	584
习题	585
第十三章 拉普拉斯变换在电路分析中的应用	593
§ 13-1 拉普拉斯变换及其几个基本性质	593
§ 13-2 反拉普拉斯变换——赫维赛德展开定理	601
§ 13-3 零状态分析	606
§ 13-4 网络函数和冲激响应	610
§ 13-5 电容电压和电感电流的跃变	615
§ 13-6 线性时不变电路的叠加公式	619
参考书目	624
习题	625
回顾与前瞻(Ⅱ)	631
§ Ⅲ-1 纲要	631
§ Ⅲ-2 应用举例——音响低音音量控制	640
§ Ⅲ-3 供自我检查用的习题	645

附录 A 均匀传输线	648
附录 B 磁路	665
部分习题答案	681
索引	697
结束语	703