

面向新世纪机电类重点系列教材

陆明达 主编

新编 电工电子技术

(上册)

同济大学出版社

· 面向新世纪机电类重点系列教材 ·

新编电工电子技术

(上册)

陆明达 主编

同济大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

新编电工电子技术(上册)/陆明达主编. —上海:同济大学出版社, 2003. 9

ISBN 7-5608-2680-6

I. 新… II. 陆… III. ①电工技术—高等学校—教材 ②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 056141 号

新编电工电子技术(上册)

陆明达 主编

责任编辑 张平官 责任校对 徐 栩 封面设计 陈益平

出 版	同济大学出版社
发 行	(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)
经 销	全国各地新华书店
印 刷	同济大学印刷厂印刷
开 本	787mm×960mm 1/16
印 张	39.5
字 数	790000
印 数	1—3000
版 次	2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 7-5608-2680-6/TM·32
定 价	42.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换

前 言

为适应教学改革需要,编写具有自己特色的系列教材是学校的规划之一。因此,早在1997年就开始筹措本书的撰写。虽然准备工作开始很早,终因种种原因,今日才脱胎问世。不敢说“十年磨一剑”,却也颇用点功夫。

本人长期从事“电路与系统”基础学科的教学与研究,也长期从事“电磁场与电磁波”的教学,任电工电子教研室主任后接手编写非电专业使用的“电工电子技术”教材,颇有诚惶诚恐之感。平生笃信,勤能补拙,唯有大量收阅国内外有关教材及教育部有关要求(因为收集量较大,恕不一一列出,仅列几本主要参考书);又兼在近两年内,我进行了类似“电工学”的课程教学,才有所感悟。因此,本书的形成是“博览群书”的结果,或“取其一说”,或“自立其说”。

一、本书的立意

按原国家教育委员会1995年颁布的“电工技术(电工学Ⅰ)”和“电子技术(电工学Ⅱ)”两门课程的教学大纲基本要求,结合电工、电子技术日新月异的飞速变化,如何使学生能用基础知识理解电工、电子技术的发展,从而开启思维的天地,成为本书立意的基本出发点;尽可能把本书写成一本讲道理、读得通的书;进而通过教师的引导及学生自身的努力达到看得懂、能理解、最好能举一反三的效果。电工、电子新技术一旦进入各非电专业领域必将发生大的变化,甚至可能形成新兴的边缘学科,机电一体化、非电量电测、生物电磁信息等就是明证。其具体做法是:

1. 居高临下,深入浅出

无论本科、专科、高技、高职,都在高等教育范畴之内,为培养高级建设人才而设,仅有层次之别。因此,本书是为培养高级人才而写,此为一高。

高等工科教育,必修高等数学、大学物理。因此,本书必须在以上两门基础课的高起点上去写。在数学方面,立即进入函数的变化域——微分与积分,而且不必避开微分方程并尽快进入;在物理方面,当然要置身于电磁场及固体物理的大背景之下,此为二高。

科学技术的快速发展,人们惊叹“这世界变得越来越小了!”在经济、科技方面的全球一体化进程越来越快,世界是一个人类共处的大系统。因此,本书有意把问题提

高到系统观点上去认识。当然,不可能在全球大系统上,但毕竟想进入系统的高度。此为三高——人为的拔高。

登高望远——“一览众山小”;攀高艰难——“高处不胜寒”。本书是为非电专业学生写的电知识读本,求高不必一定是深,立意可高,着手却要浅,所谓深入浅出。物理上的艰深,可以由数学方程而浅出,例如,金属电子论,可以用简洁的欧姆定律描述。而数学的难点,却也可以用物理的规则破解,例如,微分方程 0^+ 定解条件的确定较困难,但对于低阶电路,可以借助物理换路定则从 0^+ 等效电路中获取。尽可能从数理两方面描述使问题得到既全面又简洁的认识,是写作本书及应用本书所追求的效果。

2. 抓住基础,落到实处

电工、电子技术内容基本上是在集总电路理论上展开,而集总电路分析理论,可以概括为三句话:KCL、KVL 及 VAR。前二者是支路电流、电压的代数约束关系,后者是支路元件上电压、电流之间的约束关系。它们不仅是数学方程也是物理内涵,完整地构筑了电路运动的全部基础。当然,支路元件是模型——实际器件的理想抽象,分别描述不同的电磁现象且给以集总。尽管按模型的分析在一定条件下非常符合实际,但是必须明白“条件”的重要性,即模型必定存在未被包括的实际问题。此为一实。

超大规模集成电路(VLSI)的进步,使单片系统(SOC)成为现实。分立元件电路及中、小规模集成电路是其基本结构,而且还在较普遍的使用之中,因此,介绍这类电路仍是高等教育的任务。但是,由 VLSI 构筑的 SOC 必将逐步成为主流,应及早使现在的学生接受这个现实。此为二实。

理论必然是指导实践的,理论学习当然应尽可能有实际应用的背景,本书力图做到这一条。更希望应用本书的教师在这方面努力。此为三实。

二、本书的构架

本书按模块式构架。除了第一篇作为理论基础外,其他各篇均可独立成篇。而且每篇中的章节除了基础性内容外,也可随意剪裁,并不影响基本教学要求。即使必选的章节也可按不同要求、不同教学时数而取材。也就是说,本书的写作尽可能为教师留有足够的可以发挥的空间,也为学生保留足够的可以自己选择的内容。

每篇的第一章均为科技发展史,形似游离于外,实则寓意于内。历史的回顾,且给人以创业维艰的启示,领会时代发展的真谛,从而激发我们更努力地奉献于现在。

本书大部分章节后均附着总结或讨论,这不仅仅是所学内容的回顾,且常常是内容的前瞻或发散性思考,用以展示未来的前景,试图打开“幻想”的大门。

本书写作之时正值高教总课时大幅度减少之日,审时度势似乎应减少内容、简化

叙述。我以为这并非好方法。反之,越是基础性的内容,要求给以理解的内容越应该占有更多的篇幅,使之不仅能看得通,而且可以在理解后易操作。因此,本书第一篇有所加强,编排及内容均有所更新。其余各篇也尽可能地加强理解性的阐述,并不惜篇幅。这样,书或许厚了点,随之而来可读的东西增加了,反过来有助于减少讲课的时间——全凭任课教师的把握。

本书阐述的是电工电子科学的基础。科学是万能的吗?越来越多的人开始怀疑。科学能迅速地改造世界,却不能给人生中的大问题提供答案,这个大问题就是我们应该做什么,应该怎样生活。准确地说,人文和科学在大学知识里面是两座高峰,科学知识必然占据大部分,人文知识也应有一定的地位。科学提供的是“真”,人文则提供“善”与“美”。“真善美”是造就全面人才的标准。本书在编写过程中也有意识地向哲理与人文作一点靠拢,更多的靠拢却需要教师在授课时穿插。联合国教科文组织在一个讨论 21 世纪的报告中说,教育有四个主要的领域,简称为四个“Learn”(转摘自《文汇报》2002 年 9 月 29 日第三版):

- | | |
|-----------------------|--------|
| (1) learn to know | 学会如何求知 |
| (2) learn to do | 学会如何处事 |
| (3) learn to together | 学会如何协同 |
| (4) learn to be | 学会如何做人 |

由此可见,当代大学的完整教育或完人教育应包括三大部分:

- (1) 自然科学——破译自然界的规律并设法驾驭它;
- (2) 社会科学——探求人类世界的哲理,力图建立公正的社会;
- (3) 人文科学——伦理学规定人性之善,美学描绘人性之美。

三者缺一不可,比例却并非一样,大部分大学以自然科学为主体,兼及社科与人文。因此,更要求教师在传授自然科学的同时,有意识地向哲理与人文靠拢,不仅仅要提高大学生的智商(IQ),而且还要提高大学生的情商(EQ)。

三、致任课教师

课程教学往往取定一本教材而展开,事实上,这本教材仅仅是教学的主要参考书。本书概莫能外。本书从立意到构架都是从如何提供有力的参考而写。这就是说,教材决非讲稿,任课教师应根据不同的教学对象、教学时数来安排教学,首要的是写出自己的讲稿,对教材中的内容既可“深讲”,也可“浅讲”,甚至可以“不讲”,由教师按需剪裁取舍。

更进一步讲,任课教师对教材的态度应持“不取亦取,虽师勿师”之观点。即使名家著作亦不必拘泥其中,更何况本书并非名家之作。在整个教学过程中,教材是已经定型了的材料,教师的讲授却是鲜活的,每个教师都具有自己独特的风格与认知,其

充分发挥必导致出现优良教学效果。

我十分反对照本宣科的教学,青年教师更应注意避免这一点。教学备课必须有多本参考或资料作为借鉴、对比,然后,用教师自己的语言写出讲稿进行讲授。

我还非常提倡发散性思维,也就是能提出问题并研究问题,这可起到举一反三、触类旁通之功效。所有认真上课的教师都或多或少有知识的积累,发散性思维是可以做到的。

应重视基础理论的阐述。理论总是为指导实际而生。电气领域的基本理论由 Maxwell 定律及媒质作用原理所规定,进入到集总电路中,它们就化成基尔霍夫定律(KCL 与 KVL)及元件上的伏安关系(VAR)。前面所说,电工电子三句话教学就是指理论的重要性。

我国历来是尊师重教的礼义之邦。韩愈《师说》云:“师者,所以传道、授业、解惑者也”。现代教师还应加上“研究”、“育人”两条,确确实实地任重而道远啊!“严师”当然出“高徒”,一个“严”字表面看是对学生严格要求,但实际上却是教师对自己的“严酷”——更加“严”。就具体教学过程而言,陶行知先生的“人师之责,不在教学生,而在教学生学”,是十分贴切的语言。

作为教师,天天与朝气蓬勃的青年学子打交道,使自己的心态也被陶冶得年轻起来,这是一个延年益寿的阳光事业。众多学子的思维、提问,甚至于钻牛角尖式的诘难,是给教师的最好最直接的启示与增智,这是一个师生互进的协同事业。我们有什么理由不热爱这么美妙的事业呢?

四、致学生

本书是电磁学工程化的入门教程,电气、电器、电子、控制、通信、信息、网络……社会生活的所有方面都已是一刻也不能离开的,更何况新的领域也在不断增长开拓之中。所以,本教程理所当然地成为所有非电专业学生的必修课之一,不仅仅是知识面的展开,更主要的是“非电”与“电”之间已经密不可分的现实。这一点显然是学习本课程的动力所在。

已经学过的“电磁学”是处理“场”的问题。本课程是处理“场被集总后的路”的问题。“场”是“路”的本源,“路”是“场”的特例。“场”的研究明显抽象、艰深,而“路”的研究却相对具体、简洁。因此,学好本课程应该是并不十分困难的。

本课程的基本理论可归纳为三句话:KCL、KVL 与 VAR,十分简明。但其展开却颇庞大,随着集成新器件的不断涌现,电路与系统日益趋向“紧密型”,则我们的分析经常只从外部端口特性上进行而不再深入内部,这是一个必然的趋势。也就是说,电路问题正日益向系统问题转化。但是,内部机理仍然是学习的重要内容,一则它是理解外部特性的依据;二则当代社会各业还是处于分立元件或中小规模集成电路应

用范围。因此,学习还是从大处着眼,小处着手。

内容的多面性是本课程规定的要求。对不同的非电专业各有不同的侧重,因此会有不同的内容取舍。但作为学生不必囿于教学计划框架之约束,仍然可以通读全书,本书提供足够的可读材料。当然允许“不求甚解”,但必然会达到“开卷有益”。

学习的过程与成效,特借用四句话供参考:

用自己的眼光去观察;

用自己的脑子去思考;

用自己的心灵去感悟;

用自己的方法去解决。

五、致谢

历时数载,终于脱稿。凝聚的是众人的心血。

本书第一、二、五篇由我本人撰写,其中个别章节(上册第七、八、十八章)由李强同志撰写。朱煦英同志为之配备了习题,并且对原稿进行了认真、仔细的校阅,修正了原稿中的错误,提出了一些修改的意见。本书第三篇由石人珠同志撰写。本书第四篇由秦杏荣同志撰写。第三、四篇均由我本人进行校阅、修改、统稿。电工电子教研室使用本教材的全体教师认真地讨论了书稿并提出了不少修改意见。

本书的出版自始至终得到吴开泰主任的支持和帮助;同济大学出版社张平官先生为此付出了大量的心血;我的学生俞南等为本书绘制了大部分电路图。在此,对以上各位谨致深深的感谢,没有他们的帮助,我无法完成本书的写作。

六、结语

洋洋洒洒写下了那么长的一篇“前言”,是我向读者捧出的一颗心,期望得到心的交流。对本书的所有意见可由同济大学出版社转交,也可直接发至同济大学电子信息学院给我。

特录杜甫诗句作结:“文章天下事,得失寸心知”。

陆明达

于兰花教师公寓

2003年2月

目 录

前 言

第一篇 电路理论基础

第一章 绪论	(3)
1.1 历史的回顾	(3)
1.2 电磁学发展简史	(4)
1.3 经典电路理论的发展	(9)
第二章 集总电路中电压电流的约束关系	(12)
2.1 电路和电路的基本物理量	(12)
2.2 电路的元件模型及其伏安关系(VAR)	(19)
2.3 电路的结构约束方程 KCL 与 KVL	(24)
2.4 电路运动的能量源——电压源与电流源	(29)
2.5 电路中的电位概念	(34)
本章总结	(39)
习题	(40)
第三章 电阻电路的分析	(43)
3.1 引子	(43)
3.2 支路电流法——1b 法	(44)
3.3 节点电位法	(48)
3.4 线性电路的特性——叠加原理	(51)
3.5 电路的等效变换方法	(56)
3.6 等效电源定理——戴维南与诺顿等效	(67)
* 3.7 简单非线性电阻电路的分析	(75)
* 3.8 双口电阻元件——受控源	(78)
本章总结	(82)
习题	(83)
第四章 动态电路分析	(89)

4.1 电容元件与电感元件	(90)
4.2 一阶常微分方程经典解的规律	(97)
4.3 一阶线性动态电路的分析	(102)
* 4.4 电路运动的因果律	(114)
* 4.5 一阶电路的应用实例	(122)
本章总结	(128)
习题	(130)
第五章 正弦稳态交流电路分析	(134)
5.1 正弦电压和电流	(135)
5.2 正弦量的复数(相量)表示法	(142)
5.3 基尔霍夫定律的相量形式	(150)
5.4 基本元件上 VAR 的相量形式	(152)
5.5 简单正弦稳态电路的相量模型分析	(159)
* 5.6 复杂正弦稳态电路的相量模型分析	(170)
* 5.7 正弦稳态电路的功率和能量	(173)
* 5.8 功率因数的提高	(180)
* 5.9 正弦稳态电路的频率特性	(184)
* 5.10 最大功率传输定理	(187)
本章总结	(189)
习题	(191)
第六章 非正弦周期信号电路	(198)
6.1 引言	(198)
6.2 周期信号的傅里叶级数	(199)
6.3 非正弦周期信号的平均值,有效值	(204)
6.4 非正弦周期信号电路的平均功率	(206)
* 6.5 非正弦周期信号电路的谐波分析法	(207)
本章总结	(210)
习题	(211)
第七章 三相交流电路	(212)
7.1 三相交流电源	(212)
7.2 三相负载	(218)
7.3 三相电路的功率	(227)
本章总结	(231)
习题	(233)

* 第八章 安全用电	(236)
8.1 供电系统概述	(236)
8.2 触电和防护	(239)
8.3 触电急救与防护措施	(248)
8.4 静电的危害及防护	(249)
8.5 雷电防护	(250)
本章总结	(251)
习题	(251)
第九章 磁路与变压器	(252)
9.1 电路与磁路——对称性思考	(252)
9.2 磁的特殊性	(255)
9.3 交流磁路与交流铁芯线圈	(259)
9.4 铁芯变压器原理	(265)
* 9.5 实际铁芯变压器	(272)
* 9.6 电磁铁	(276)
本章总结	(278)
习题	(279)
第十章 电工测量	(281)
10.1 概述	(281)
10.2 模拟式直读仪表	(284)
10.3 电流、电压和功率的测量	(288)
10.4 电阻的测量	(293)
10.5 万用表	(296)
* 10.6 比较法测量	(298)
* 10.7 谐振法测量	(302)
* 10.8 非电量的电测法	(303)
* 10.9 示波测量	(308)
本章总结	(309)

第二篇 模拟电子技术

第十一章 绪论——电子学的崛起	(313)
11.1 量子的进跳	(313)
11.2 固体物质中的量子力学——固体物理学	(318)
11.3 电子器件的演变	(320)

11.4 进入光的时代	(325)
11.5 关于电子学教学	(327)
第十二章 半导体分立器件	(330)
12.1 半导体物理基础	(330)
12.2 半导体二极管	(335)
12.3 双极型晶体管	(344)
* 12.4 场效应管	(356)
* 12.5 集成电路中的元件	(364)
本章总结	(369)
习题	(370)
第十三章 基本放大电路	(372)
13.1 放大的概念及放大电路分析方法	(372)
13.2 基本共射(共源)放大电路	(378)
13.3 利用负反馈稳定静态工作点	(394)
13.4 射(源)极输出电路——共集(漏)放大电路	(406)
13.5 全对称结构差分(动)放大电路	(415)
13.6 互补结构输出级放大电路	(427)
* 13.7 电流模电路简介	(435)
本章总结	(437)
习题	(439)
第十四章 集成运算放大器的负反馈闭环工作(线性应用)	(443)
14.1 集成运算放大器概述	(443)
* 14.2 负反馈的一般性论述	(447)
14.3 理想运算放大器	(458)
14.4 信号运算电路	(460)
14.5 信号处理电路	(477)
* 14.6 集成模拟乘法器及其运算电路	(486)
* 14.7 其他专用电路	(489)
本章总结	(498)
习题	(499)
第十五章 运放的非线性应用	(503)
15.1 电压比较器	(503)
15.2 矩形波发生器	(512)
* 15.3 三角波发生器	(516)

* 15.4 锯齿波发生器	(522)
* 15.5 波形变换概述	(523)
本章总结	(527)
习题	(528)
第十六章 正弦波振荡器	(531)
16.1 正反馈闭环的框图分析	(531)
16.2 低频(RC)正弦波振荡器	(534)
* 16.3 高频(LC)正弦波振荡器	(537)
* 16.4 石英晶体正弦波振荡器	(543)
本章总结	(546)
习题	(547)
第十七章 直流稳压电源	(550)
17.1 概述	(550)
17.2 整流电路	(555)
17.3 滤波电路	(562)
17.4 稳压二极管稳压电路	(567)
17.5 集成三端稳压器	(570)
本章总结	(579)
习题	(579)
* 第十八章 功率电子器件及其应用	(581)
18.1 功率电子器件概述	(581)
18.2 不控型功率电子器件及应用	(582)
18.3 半控型功率电子器件及应用	(587)
18.4 全控型功率电子器件及应用	(601)
本章总结	(617)
参考文献	(618)

第一篇

电路理论基础

第一章 绪 论

1.1 历史的回顾

人类自诞生以来,已经发生了三次大规模的技术革命。

在取火技术推动下,解决了人类的照明、取暖、著食,进而发展为烧制陶器、冶炼金属,使人类从石器时代进入铜、铁器时代。出现了有阶级社会——奴隶社会。

在有了金属工具以后,人类取得引种驯化的成功,从而进入生产粮食的新阶段,形成安居乐业的农业生活,生产效率大为提高。人类进入封建社会。

以机械技术为起点,以动力技术为内容的第三次革命,从纺织机革新开始,以蒸汽机和发电机的发明、应用和推广为动力,使人类社会由一家一户的小生产变为集体的大工业生产体制。人类进入资本主义社会。

当今,人类正在进行第四次技术革命,它是以微电子学和电子计算机为中心的技术革命。这次革命不仅是人手的延伸,而且是人脑的扩展;不仅是体力的放大,而且是智力的放大。正在波及社会生产、生活、交换等各个领域。人类也迈向了一个新的时代。

20 世纪前期,人们憧憬于电气化。20 世纪中期,人们建立了电子学。20 世纪末期,人们专注于信息化。经历了电气工程、电子工程、电信息工程的创新发展过程,取得了辉煌的成绩。但它们对改造人类的环境与社会的无穷能力,可以说仍然大部分未知!正如英国诗人拜伦(1788—1827)诗句所说:

“人生徘徊于两个世界之间,
就像昼夜之交一颗星徘徊于天际。
我们现在是什么,我们知道多么少!
我们将来会变成什么,我们更无从知晓。”

在科学与技术发展史上,既有立志献身的科学家,也有锲而不舍的学者。不仅有思维缜密的数理学家,而且有精于观察的实验大师。不少人受过良好的教育与名师指导,也不乏完全依靠自学的伟大科学家。“时势造英雄,英雄造时势”,历史的大潮,全人类的工作固然是科技进步的必然基础,但决不否认个别“英雄”、“天才”人物的杰出成就与灵感。当我们回首往事时,既可以领悟天才出于勤奋的真谛,又可以打开

“幻想”的大门任人遨游。有志于成为历史大潮弄潮儿的人越多,人类社会的进步必然越快,聚沙成塔,永远如此。

1.2 电磁学发展简史

电磁学的发展经历了 2500 多年漫长而缓慢的过程,只有在近 200 年才出现大突破。

一、静磁学,静电学的建立

磁(Magnetism)

1. 中国春秋时期(公元前 770—前 476)《管子》及《山海经》中均有“慈石”的记载。

公元前 249 年,《吕氏春秋》记载了“慈石召铁”。

公元前 640—前 546 年,古希腊学者泰勒斯(Thales)亦记述了磁石吸铁现象。

评注:磁的发现早于电,磁与电从发现到发展却整整经历了 1800 多年。

2. 公元 1119 年,《萍州可谈》中记载了指南针用于航海(利用了地球磁场南北极)。

3. 1660 年,英国皇室御医吉尔伯特出版《论磁体》一书,标志了“磁学”的诞生。书中不仅是归纳,而且是大量反复的实验。指出磁石两极不可分理论并与地磁相比较。对磁倾角有了正确的认识。在正确指出磁与电是不同物质的同时,断言磁与电是互不关联的,无意中把人们的认识推向荒山孤岛。

评注:地球是磁的母亲,磁现象无处不在,这种天造地设的条件使得磁学先于电学发展起来。不过,吉尔伯特的“电磁分割”说,却使磁学的发展大大地滞后于电学。格雷开创的实验电学,应该归功于“摩擦发电机”的发明,我们把“摩擦电源”称为“第一类电源”。以后,自莱顿瓶诞生后的“化学电源”称为“第二类电源”,它将直接导致统一电磁学的诞生。

4. 1644 年,法国人笛卡尔发表的“哲学原理”中第一次把天体日心说运动概念带进磁学,提出磁流体涡旋运动的假说。这

电(Electrics)

1. 公元前 550 年,泰勒斯发现琥珀(希腊文 Electron),经摩擦后可以吸引轻微的物体——摩擦起电。希腊文“琥珀”就成为“电”的字源。认为琥珀与磁石一样是同类活性材料。

2. 公元 1660 年,德国马格德堡市长盖利克(1602—1686),发明第一台摩擦起电机(大硫磺球旋转),用于表演静电。

3. 1720 年,英国伦敦养老金领取者格雷(1670—1736)发表《关于一些新电学实验的说明》一文,标志了“电学”的诞生。文中叙述了一大类“类琥珀体”如头发、毛皮、丝绸等。发现电可以流动——传导电力,但有许多物质是不能传导电力的,格雷称之为“Isolant”——我们现在称之为绝缘体(介质)。

4. 1746 年,荷兰莱顿大学穆欣布罗克(1692—1761)发明了蓄电池——莱顿瓶。英国人瓦特森对莱顿瓶作了重大的改进。