



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



iCourse·教材

ELECTRICAL
ENGINEERING

电气工程学概论

(第2版)

■ 主 编 林孔元 王 萍

■ 副主编 李 鹏

高等教育出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



iCourse·教材

ELECTRICAL
ENGINEERING

电气工程学概论

(第 2 版)

■ 主 编 林孔元 王 萍

■ 副主编 李 鹏

高等教育出版社·北京

内容提要

《电气工程概论》(第2版)是在第1版提出的电工学教材新体系的基础上,结合10年的教学体验和当今电气信息工程应用需求的背景下形成的。它由4部分组成,电路及电路分析依然作为开篇部分,其余3个部分体现本版教材的三条教学主线,即电能、信号和控制,电路基本理论和分析方法是学习的基础。全书通过现代电力能源及其利用、基于集成电路的信号与信息处理技术及系统控制技术,帮助读者建立电气信息工程系统的明晰概念、基本构成,了解其工作特点和主要技术要点,帮助读者就自身的应用领域技术问题获得与电气信息工程师顺利沟通、协同解决复杂工程问题的能力。

本书内容丰富,体系新颖,论述详尽,可作为工科院校非电专业本科生电工学课程的教材,也可作为现场非电工程师继续教育的参考书。鉴于本书的概论性质,它对于电气类、自动化类专业的在校学生也有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电气工程概论/林孔元,王萍主编.--2版.--
北京:高等教育出版社,2019.5
ISBN 978-7-04-051838-2

I. ①电… II. ①林…②王… III. ①电气工程-高等学校-教材 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第076743号



策划编辑 金春英
插图绘制 邓超

责任编辑 孙琳
责任校对 马鑫蕊

封面设计 于田
责任印制 田田
版式设计 王艳红

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 人卫印务(北京)有限公司
开本 850mm×1168mm 1/16
印张 32.5
字数 880千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 2009年1月第1版
2019年5月第2版
印 次 2019年5月第1次印刷
定 价 60.00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 51838-00

第2版前言

2009年1月,《电气工程概论》第1版正式出版,该教材推出的全新课程体系和内容,是站在工程需求角度变革传统电工学课程体系和内容的产物。十度春秋,我们越发体会到:

1. 在将基本电路理论及典型分析方法做必要准备的基础上,以主要电气信息工程系统的概念、构成、工作特点及技术要点为教学内容主线,配以关键系统部件学习的体系使得电路理论及分析方法的学习有了落脚点,使得集成电路、电动机等系统部件的学习有了归属,使得课程内容与实际工程应用切实紧密相连,使得通过本课程建立起主要电气信息工程系统的总体知识框架成为可能。

2. 不追求具体电路难题的求解技巧、不涉及电气信息系统复杂设计问题、不探讨电气信息系统部件细节问题的编写原则,一方面能够彰显本教材的定位,即为电气信息系统的使用者而非设计者编写,希望读者通过本教材的学习,建立起基于自身工作需求的发现问题、提出问题、与电气信息类工程师无障碍技术沟通和协同解决复杂问题的能力;同时使从电路到电气信息系统及其主要部件所涉及的庞大内容缩减到合理的学时范围成为可能。

(一) 此次《电气工程概论》修订,依然保留第1版编写的重要思想方法。

1. 需求的角度

许多的电气信息工程应用领域是“非电”的,因此,各非电领域的工程师在他们的实际工作中都必须与电气信息系统及装置打交道。机械工程师需要电动机来驱动机械设备,并且要面对各种电力传动、测量、信号处理及控制问题;化工工程师需要各种电热、驱动、检测及控制设备的支持才能顺利执行连续的生产工艺流程;土木工程师在施工现场使用各种电力机械,如卷扬机、搅拌机、起重机等,在研究与设计工作中要使用各种测量及信息处理手段,如应力、应变测量、CAD及计算机绘图等。而与电力部门打交道、处理电力供应以保障生产及企业发展的需求,则是所有工程师共同面临的问题。电气信息工程与非电专业的关系如此紧密,甚至可以说,电气信息工程在很大程度上已经成为各非电工程的重要组成部分。

因此,一个优秀的非电工程师乃至非电工程管理者必须学习必要的电气工程知识,掌握有关的理论、方法和技术要点,熟悉电气信息系统,包括检测、信号处理、信息存储和提取、控制、驱动系统等的构成、技术性能、技术经济指标以及运行和管理方面的基本问题,了解系统部件以及元器件的功能及其在系统中的作用和地位等。如此才会有能力与电气信息工程师协作并在自己的工作中正确处理与电气信息工程相关的技术问题。例如在必要时,与电气工程师合作,选择合适的部件来构建所需要的系统;就电气信息系统、设备及仪器仪表的性能及运行中的有关问题与电气信息专家进行协商或咨询,就选型、购置、安装、调试和使用的有关问题与厂家技术人员或供应商谈判和协商。

2. 概论性体系结构

电气信息工程,就其内涵之丰富、外延之广阔,理论之深邃、技术之复杂而言,要对它做一个全面、系统的概括,这显然不是本书编者力所能及的。好在本书的编写目标是为满足有限人群的有限需求,即为非电专业的在校大学生和工作在第一线的非电工程技术人员介绍电气信息工程中与他们的培养目标或现场工作有关的基本概念、基本理论、基本方法和技术要点。这赋予编写工作以“避重就轻,舍难从易”的灵活性,从而给了编者以信心和动力。

非电工程师需求的核心是电气信息系统与装置的整体知识,它覆盖了电气信息工程的广阔领域,这决定了本书的概论性质。显然,它是对非电工程师的概论,不是对电气工程师的概论,所以在理论深度、内容广度和技术细节上都做了严格限制。“重要点,不重细节”的组织原则具体体现这一概论性体系结构的特点,它符合概论的普遍性原则,也体现本书的特殊性品质。

3. 读者的角度

书为读者而写,这是一条普遍的原则。

就本书而言,它是为非电专业的在校大学生和现场工程师而写,实现相关的培养目标和解决现场工作中的相关问题是他们的需求。由于在校学生就是将来的现场工程师,所以这两方面的需求基本上是一致的,但是对于大学生的培养而言,作为教材本书还应当有普遍的科学方法训练和基本的工程能力培养。

非电工程师在工作中遇到的“电气信息”问题大体上可以分成下述几个层次来体现它的轻重缓急。

(1) 什么样的电气系统或装置可以用来满足我的工作要求? 它们的功能及经济技术指标如何? 这是他们在产品及工艺设计中,在车间改扩建、工业流程改进中,在技术革新中,在实施现代化的生产与技术管理中,所面临的第一层次的知识需求。从总体上熟悉电气信息系统与装置的类型、基本原理、技术性能对非电工程师是至关重要的,这不仅会极大地增强他们的综合问题处理能力与工作自信心,而且在与电气信息专业人员的协作中会取得更大的主动权和发言权,体现出技术人员的高素质和高水平。

(2) 一个具体的电气信息系统或装置由哪些环节或部件构成? 它们在系统中的作用是什么? 部件的性能对系统性能和技术指标又有什么影响? 这是非电工程师在调整、使用、操作电气信息系统和装置过程中,或遇到系统故障及运行问题时自然萌发的第二层次的知识需求。从部件的层次上更多地了解电气信息系统和装置,有助于增强他们现场的操作水平及故障判断与处理能力,从而提高这些系统的运行质量和管理水平。

(3) 从工作性质上讲,并不要求非电技术人员具备独立构建电气系统和装置的能力,但是了解电气系统的元器件的功能以及它们的基本功能电路,无疑可以使他们对系统和部件的理解落到实处,在电气系统的使用和管理中会更加主动和自信。

总之,非电工程师要使用电气信息系统和装置,所以必须通过学习去了解它、熟悉它,并进而掌握它、驾驭它。这种需求是现实的、具体的。

4. 从模型到对象

通过模型来认识对象的本质,是现代科学的一种普遍方法。先建立对象的模型,再通过模型分析揭示对象的本质是本书编写的一个重要思想方法。例如,在电路部分通过机理分析建立系统的物理模型,并通过模型分析研究电路的状态和过程;在系统控制部分,先建立以传递函数为核心、以信号流图为表达形式的系统模型,通过模型分析讨论控制系统的特性和品质;对电子器件、集成电路等器件的认识和应用技术的讨论,也都是以它们的外特性为依据,获取电路模型之后进行的。

(二) 在社会发展的进程中,电气信息技术的进步突飞猛进,人工智能、先进制造、新能源、新材料、生物技术等,必将推动新一轮的社会进步。作为大学本科各非电工科专业的技术基础课程教材,在新一轮的技术进步中如何继续“符合工程需求”,是我们启动教材《电气工程概论》(第2版)的主要原因,此次修订,我们在保留以上编写思想的基础上,在内容体系上做了如下改动。

1. 内容主线

将上一版内容主线模拟信号与模拟系统、数字信号与数字系统、电力能源系统调整为电能及电能转换、基于集成电路的信号分析与处理、系统控制技术。

(1) 在电能及电能转换部分,从“现代电力系统结构及组成”“电能生产—传输—分配和储存”“电力负荷与电能质量”“电力系统运行的控制与保护”“以电力为核心的未来能源系统”等角度对现代电力能源系统给出概述性介绍;进而讨论变压器变送和三相电的形成和使用;讨论基于电动机的机电能量转换技术和基于电子器件的电能变换技术。了解这些内容有助于非电工程师正确、安全地使用电气设备,不干扰电力系统的正常运行,不恶化供电品质,有效地消费电能,提高生产和工作效率;有助于非电工程师根据具体情况正确使用工频电源、直流电源以及变频电源。

(2) 在基于集成电路的信号分析与处理部分,将模拟信号处理需求与基于模拟集成电路的实现方案相结合,将数字信号的分析加工处理需求与基于数字集成电路的实现方案相结合,同时讨论集成电路特性和品质对信号分析与处理的受限问题。这种将信号分析需求与基于集成电路的实现方案相结合的讲

述方式是新的探索,目的是使读者对信号信息技术的了解落到实处,同时为进一步学习系统控制技术奠定必要的基础。

(3) 在系统控制技术部分,通过开关逻辑控制、可编程逻辑控制、对连续变化的物理量的自动控制的介绍,将开环的、闭环的,传统的、经典的、现代的控制技术概括性地展现在读者面前,有利于读者在掌握各种系统的构成、基本实现方法和技术要点的基础上,了解各类控制技术的特点、特长和相适宜的应用场所;通过工业现场总线和数字通信基本问题的讨论,使读者进一步学习从基本数字控制到优化控制、大规模复杂问题的集散控制,以及植入智能算法实现智能控制的概念等。对于非电工程师而言,了解数据通信技术概要,有助于深入理解现代信息系统的内部运作方式和大型系统的组织,在现代综合自动化企业的生产和管理中充分发挥他们的业务能力和管理水平。

能源、信息、控制是现代电气信息技术的三大要素,特别是通过数字信号对信息承载能力的认识,通过从处理数字信号的数字系统到有数字计算机参与的数字控制系统的学习,特别有利于自然建立起对智能控制的基本认知。

2. 作为学习本书上述3条教学主线的理论及分析方法的准备,本版依然以“电路及电路分析”开篇,所做的调整是按照电路状态分析和电路特性分析两条内容主线组织这部分内容。

(1) 在电路状态分析部分,在建立起电路状态基本概念的基础上,从一般性方法到技巧性方法,注重具有普遍性科学思想方法的介绍和讨论;从稳定状态分析到惯性电路调节状态现象的出现及其分析,为系统控制对象行为理解奠定基础;从恒定状态分析到正弦交流状态分析,使读者了解变换域的工程分析策略、理解使用变换域的优势、掌握变换域的工程分析方法。

(2) 在电路特性分析部分,把对电路的关注点放到对其全局功能的分析、了解和把握上,通过建立端口特性函数、输入输出端口间传递函数,以及对它们展开的频域分析方法的介绍和讨论,了解电路品质在全信号频域的性质,以便根据信号信息及控制系统的具体要求,选择合适电路。

另外,在形成教材第2版的过程中:

(1) 将晶体管及其放大电路、晶闸管之外的电力电子器件部分归入附录,目的是为继续宣讲这些内容的电工学课程提供更大的自由度。

(2) 三相电路问题与电能传输分配的关系更加密切。将三相电路问题从电路部分移出,编入电能及电能转换部分。移出后也使得电路部分更加凸显状态分析和特性分析这两条思想方法主线。

(3) 针对一些知识点增加了多媒体讲解视频和讲义,扫描二维码即可观看。

(4) 对个别内容进行了删减。例如,仅将原半导体开关器件及其应用部分中与电能变换相关的整流及变流等内容重新整理后编入电能及电能转换部分,删去了步进电动机、直线电动机的内容。鉴于丰富的网络资源触手可及,不再将关于工程数学的附录编入第2版。

(三) 第2版由4个部分组成。第一部分“电路及电路分析”是基础,建议学时28~32;第二部分“电能及电能转换”、第三部分“集成电路及信号分析与处理”和第四部分“系统控制技术”给出的是3条内容主线,依次建议学时为16~32、24~32和20~32。内容的组合建议如下:

1. 电能应用:1~5章(电路)+6~9章(电能)+17~18章(逻辑控制),学时48~64。

2. 信号处理:1~5章(电路)+10~15章(信号),学时64。

3. 模拟控制:1~5章(电路)+6~9章(电能)+10~12章(模拟信号)+16~19章(模拟控制),学时64~96。

4. 数字系统:1~5章(电路)+10,13~15章(数字信号)+19~21章(模拟控制和数字控制),学时64。

5. 全部内容:1~5章(电路)+6~9章(电能)+10~15章(信号)+16~21章(控制),学时96~128。

建议读者在学习过程中,注重关于电气信息系统整体知识框架的建立,注重建立正确的核心概念,通过适量的习题掌握基本原理和基本分析方法,领悟贯穿其间的科学思维方法。

本书是天津大学在爱课程网站上推出的在线开放课程中国大学MOOC“电工学(电气工程学概论)”的主要参考用书。

本书的内容体系是在王萍教授与李鹏副教授的深度研讨中完成的,期间认真听取和采纳了林孔元教授的意见和建议,听取了路志英教授等校内外多位一线教师的修改建议。第一部分、第三部分和第四部分由王萍改编定稿,第二部分由李鹏改编、王萍定稿。为本版配套的多媒体素材由王萍制作,薛俊韬对习题答案进行了校准。

编者衷心感谢天津理工大学和天津大学从事电工学课程教学的教师们,他们以多年来运用本书的教学体验,对一版推出的全新体系给予了充分和积极的肯定,同时对书稿提出了诸多中肯的修改意见。编者还要特别感谢大连理工大学的唐介教授,唐介教授对本版书稿做了认真全面的审核,提出的修改意见是本版教材获得高品质的保证。

本书(第2版)是编者为适应新工科教育教学需求所做出努力的一部分,是教学改革的再一次探索和尝试。由于学识所限,书中不足和错误之处在所难免,还望广大教师和读者不吝指教。如有教学交流的需求,请发邮件至 wangps@tju.edu.cn。

王萍

2019年3月

第1版前言

电气工程学(Electrical Engineering)简称电工学。本书采用电气工程学来命名是因为它的体系和内容都不同于传统的电工学。

传统的电工学体系是基础教学体系。这种体系的基本理念是只要打好基础,学生就有能力应对实际工程系统的问题。它通常以电路和器件为核心,采用自下而上的论述体系。但实际的情况是,由于学生缺乏工程系统的基本概念和知识体系,这种“以不变应万变”的基础教学模式在几十年的电工学教学中已经被证明是不成功的。

本书的内容和体系不是根据现有电工学教材与课程教学现状,而是从现代电气工程及其与非电专业工程师现场工作的关系中归纳总结出来的。这是一种全新的概论体系,它以建立电气系统的明晰概念为主要教学目标,直接面对实际的电气系统问题,而不仅仅是为读者将要面对这些问题做基础性的准备。全书以实际的电气系统,如检测系统、控制系统、通信系统以及电能传输系统等为核心内容,将电气元器件以系统部件的形式作为支撑,而传统的电路理论则作为电气工程的基础语言将系统及其部件贯穿成一个整体。

全书围绕电气系统总体知识框架编写并采用自上而下的论述体系,即先以电气系统的概念、理论、方法及技术要点建立电气工程的总体知识框架,然后再论述各个局部来逐步充实和丰富这个知识框架的内容。在这个体系中,读者在学习任何章节时都不脱离总体框架,这有助于他们准确、快捷、完整地建立电气工程的知识体系。

全书共分三篇,即电路篇、信号与系统篇和器件篇,共19章,内容遍及现代电气工程中的弱电(信息)应用和强电(电能)应用的主要领域,可供两学期共128学时的教学使用。由于采用了自上而下的论述体系,为使各章都自成体系以便于教学运用,本书在编写中并不忌讳必要的重复。在完成电路篇的学习后,书中的各章都可以灵活运用于组织各种教学循环。对于一个学期的课程,根据不同专业的需求建议选择下述的内容来组织教学:

1. 电路-模拟系统体系: 电路篇(1~6章)+信号与系统篇(7、8、9章)+器件篇(16、17章)。
2. 电路-电能应用体系: 电路篇(1~6章)+信号与系统篇(14章)+器件篇(16、17、18、19章)。
3. 电路-数字系统体系: 电路篇(1~6章)+信号与系统篇(10、13、14章)+器件篇(15、16、17章)。

不论是一学期还是两学期课程,第14章中的§14.7电气安全问题的学习都是必要的。

如前所述,本书的各章都具有良好的独立性,所以对于习惯于运用自下而上的体系组织教学的教师,也可以在电路篇之后采用相反的顺序,即以“16—17—18—7—8—9—19—14—15—10—11—12—13”的顺序开展教学。

本书是世行贷款“21世纪初高等理工科教育教学改革项目”(编号:B0807)研究的后续成果,是教学活动认知过程研究与实践的产物,初稿形成后,在天津大学电工学教学中从点到面进行了多批次、多层次的试点和实践。数度春秋,几经修改方成此书。

按照现代认知科学的观点,任何的教学过程都是在一定的信息环境中进行的,是多种教学信息源综合运用过程。教材是教学信息环境中的一个重要的但不是唯一的信息源,它不能单独决定一门课程教学的水平和教学质量;建立了一个教材的新体系并不等同于建立了一门课程的教学新体系。尽管新体系的教材已经考虑到了建立课程教学新体系的需要,但这还要靠教师对教材的正确运用以及对教学进程的能动控制才能实现。

教材围绕教学目标为学生编写,供学生阅读,它其实只是对学习“学什么”所做出的规定,而不是教

师“讲什么”的依据。学习是学习者的事,教师作为学习者的帮助者,应根据教学目标并以自己的教授方式运用教材及其他各种信息源,通过课堂交互和对其他教学环节的指导为学习者的知识构建过程提供切实的帮助。

对于那些已经不满足于按照一本既定的教材讲授一门课程的大多数教师而言,本书对于他们改变原有的教学模式和教学方法的愿望可能是一种鼓励,它的新颖体系和丰富内容将为他们进一步的教学改革实践提供具体的帮助;对于那些已经根据自己的教学目标组织教学并据此为学生选择合适教材的教师,编者期待并相信,本书将会为他们开创电工学的教学新天地提供有益的支持和帮助。

本书的电路篇及信号与系统篇由林孔元教授主持编写,器件篇由王萍教授主持编写。参加本书编写工作的还有天津大学的刘正光教授和路志英博士。刘正光教授所提供的“微型计算机”和“计算机网络”两章书稿中的有关内容被编入本书的第 11 章逻辑控制系统和第 13 章数据通信系统中;路志英博士为本书编写了附录,并提供“模拟控制系统”和“数字控制系统”两章书稿,这两章书稿的主要内容被编入本书的第 9 章模拟控制系统和第 12 章数字控制系统中。林孔元教授为全书做了审订,王萍教授为全书的练习与习题做了修订和补充。

编者衷心感谢天津大学电气与自动化工程学院从事电工学课程教学的教师们,他们多年来为本书的教学运用做了许多艰苦而富有创造性的教学试点工作并对书稿提出了诸多中肯的修改意见。编者还要特别感谢高等教育出版社金春英副编审和国内同行们为本书的编写和出版所给予的热情鼓励和支持。

本书是编者为开创电工学课程新体系和教学新模式所做出努力的一部分,是教学改革的一次探索和尝试。由于学识所限,书中不足和错误之处在所难免,还望广大教师和读者不吝指教。

编者 林孔元 王萍

2008 年 5 月

目录

第一篇 电路及电路分析

第 1 章 电路问题	3	2.3 电路状态的等效解法	43
1.1 电路的分类及主要工程应用	3	2.3.1 等效电源定理	43
1.1.1 强电的应用	3	2.3.2 电压源模型与电流源模型之间的 等效变换	46
1.1.2 强电电路的特点	4	2.3.3 叠加定理及其应用	48
1.1.3 弱电的应用	4	本章小结	48
1.1.4 弱电电路的特点	6	习题	49
1.1.5 工程系统中强电电路和弱电电路的 分工与合作	7	第 3 章 线性正弦交流电路的状态分析	53
1.2 电路的结构描述	7	3.1 正弦交流类电量	53
1.2.1 构成电路的三大类部件	7	3.1.1 正弦电压、正弦电流的描述	53
1.2.2 电路中的基本物理效应及其模型化 描述	8	3.1.2 正弦交流电的有效值	54
1.2.3 电路部件模型和电路模型	9	3.2 正弦交流电激励下电路的工作特点	55
1.2.4 电路中的常用术语	11	3.2.1 单参数正弦交流电路的工作特点	55
1.3 电路的状态描述	12	3.2.2 一般交流电路的工作特点	57
1.3.1 电路状态	12	3.3 正弦交流电的相量表示	59
1.3.2 电压和电流的参考方向	13	3.3.1 复数的表示和基本运算	59
1.3.3 电路状态变量间的约束	13	3.3.2 交流电的相量表示和相量运算	61
1.4 关于电路状态的分析	14	3.4 正弦交流电路约束的相量形式及 其复参数	65
1.4.1 线性电路和非线性电路	14	3.4.1 元件约束的相量形式及电抗	65
1.4.2 线性电路状态分析思路	16	3.4.2 基尔霍夫定律的相量形式	65
1.4.3 电路中的功率与能量	21	3.4.3 线性无源二端网络的复阻抗	66
1.5 关于线性电路的特性分析	23	3.5 正弦交流电路的复功率	70
1.5.1 特性函数与电路的特性分析	23	3.6 正弦交流电路状态的相量分析法	71
1.5.2 传递函数与电路频率的特性分析	24	3.6.1 相量形式的支路电流法(完备计算 模型)	71
1.5.3 传递函数与时域的特性分析	25	3.6.2 相量形式的网孔电流法	72
1.6 非线性电路的基本工程处理方法	26	3.6.3 相量形式的结点电压法	73
本章小结	27	3.6.4 等效方法的相量形式	74
习题	28	3.6.5 基于相量图的电路问题求解	76
第 2 章 线性直流电路的状态分析	31	本章小结	79
2.1 线性电路完备计算模型及全状态求解	31	习题	79
2.2 减小全状态计算代价的方法	33	第 4 章 线性电路的瞬态过程分析	82
2.2.1 网孔电流法	34	4.1 换路及电路进入瞬态过程的判断	82
2.2.2 结点电压法	39		

4.2 电路的瞬态计算模型	83	5.1 二端网络的频率特性	96
4.3 一阶电路的瞬态过程分析	84	5.1.1 二端网络端口的特性函数	96
4.3.1 一阶电路瞬态过程中状态变化的特点	84	5.1.2 二端网络谐振的特性分析	97
4.3.2 三要素法	85	5.2 二端口网络的传递特性	101
4.4 高阶电路阶跃激励下的瞬态过程分析	88	5.2.1 二端口网络与传递函数	101
4.4.1 时域分析	88	5.2.2 典型二端口网络的频率特性	102
4.4.2 拉普拉斯变换概要	91	5.2.3 复频域传递函数频率特性曲线的绘制	105
4.4.3 用拉氏变换方法求解阶跃激励下电路的瞬态过程	92	5.2.4 s 域传递函数与输出状态分析	109
本章小结	94	本章小结	110
习题	94	习题	110
第 5 章 线性电路的特性分析	96		
第二篇 电能及电能转换			
第 6 章 现代电力能源系统	115	习题	145
6.1 现代电力系统的结构及组成	115	第 7 章 电能传输基础	146
6.1.1 电力系统的发展	115	7.1 磁路	146
6.1.2 电力系统的组成	116	7.1.1 电磁感应定律	146
6.1.3 电力系统的结构	118	7.1.2 导磁材料及其磁化特性	148
6.1.4 电压等级与频率	121	7.1.3 磁路及磁路定律	151
6.2 电能生产	122	7.1.4 交流磁路及直流磁路	153
6.2.1 传统发电技术	122	7.2 变压器	154
6.2.2 新能源发电	125	7.2.1 变压器的结构及原理	154
6.2.3 集中式发电与分布式发电	127	7.2.2 理想变压器	155
6.3 电能的传输和分配	128	7.2.3 变压器的运行特性	156
6.3.1 交流输电	128	7.2.4 变压器的应用	157
6.3.2 直流输电	129	7.3 三相交流电路	158
6.4 电能的存储	131	7.3.1 三相交流电	159
6.4.1 物理储能	131	7.3.2 三相交流电路中的电源与负载	160
6.4.2 电化学储能	131	7.3.3 三相平衡交流电路的等值分析	166
6.4.3 电磁储能	132	本章小结	168
6.5 电力负荷与电能质量	133	习题	168
6.5.1 电力系统负荷	133	第 8 章 机电能量转换	171
6.5.2 电能质量	135	8.1 机电能量转换与电动机	171
6.6 电力系统运行的控制与保护	135	8.1.1 机电能量转换原理	171
6.6.1 电力系统的控制	135	8.1.2 电动机	173
6.6.2 电力系统的接地	137	8.2 三相异步电动机	178
6.6.3 电力系统的保护	139	8.2.1 三相异步电动机的定子和转子	178
6.6.4 电气的安全问题	141	8.2.2 三相异步电动机的转差率	179
6.7 以电力为核心的未来能源系统概述	142	8.2.3 三相异步电动机的电磁转矩	180
本章小结	144	8.2.4 三相异步电动机的起动	182

8.2.5 三相异步电动机的调速 186

8.2.6 三相异步电动机的运行特性 188

8.2.7 三相异步电动机的铭牌与接线盒 189

8.3 单相异步电动机 191

8.3.1 单相脉动磁场 191

8.3.2 单相异步电动机的转矩特性 192

8.3.3 单相异步电动机的起动 192

8.4 三相同步电动机 193

8.4.1 三相同步电动机的转子结构 194

8.4.2 三相同步电动机的电磁转矩 195

8.4.3 三相同步电动机的起动 195

8.4.4 三相同步电动机的功率因数 195

8.5 直流电动机 196

8.5.1 直流电动机的结构与分类 196

8.5.2 直流电动机的电磁转矩和机械特性 198

8.5.3 直流电动机的起动 199

8.5.4 直流电动机的调速 200

8.5.5 直流电动机的运行特性 201

本章小结 202

习题 203

第 9 章 电能变换 205

9.1 主要电子开关器件 205

9.1.1 二极管 205

9.1.2 晶体管 206

9.1.3 晶闸管 208

9.2 整流 210

9.2.1 半波整流 210

9.2.2 桥式全波整流 212

9.3 直流稳压电源 213

9.3.1 直流电源的滤波环节 213

9.3.2 直流电源的稳压环节 216

9.3.3 直流电源的品质 219

9.3.4 集成稳压电源 219

9.4 变流 219

9.4.1 变流原理电路 220

9.4.2 变流电路的特殊问题 222

9.4.3 基于脉宽调制原理的变流技术 222

9.4.4 变频装置 224

本章小结 225

习题 225

第三篇 集成电路及信号分析与处理

第 10 章 信号问题 229

10.1 信号与信息 229

10.2 电信号的分类 229

本章小结 232

习题 233

第 11 章 模拟信号 234

11.1 连续信号的描述与分析 234

11.1.1 周期信号 234

11.1.2 非周期信号 237

11.2 采样信号的描述与分析 238

11.3 模拟信号检测 241

11.3.1 模拟检测系统的构成 241

11.3.2 模拟信号的获取 242

11.3.3 模拟信号处理环节的主要技术问题 246

11.3.4 噪声类型及噪声度量 253

11.3.5 信号传输对检测系统性能的影响 254

本章小结 257

习题 258

第 12 章 模拟集成电路及模拟信号处理 260

12.1 运算放大器及其电路模型 260

12.1.1 运算放大器的表示符号及主要端点
引线说明 260

12.1.2 运算放大器的电路模型及理想化
参数 262

12.2 模拟信号运算器 262

12.2.1 运算放大器线性应用电路的外接
电路结构 262

12.2.2 用运算放大器线性应用电路实现
对模拟信号的运算 263

12.3 模拟信号滤波器 272

12.3.1 无源滤波电路的缺陷 272

12.3.2 有源滤波方案 1 273

12.3.3 有源滤波方案 2 273

12.4 模拟信号比较器 278

12.4.1 单限比较器 278

12.4.2 滞迟比较器 279

12.5 典型信号波形的产生 281

12.5.1 方波信号发生器	281	习题	317
12.5.2 三角波信号发生器	282	第 14 章 基本数字集成电路和数字	
12.5.3 正弦波信号发生器	283	信号处理	318
12.6 运算放大器的频率特性问题	284	14.1 数字集成电路的通用逻辑单元及其	
12.6.1 运算放大器的幅频特性	284	逻辑功能	318
12.6.2 运算放大器线性应用电路的实际		14.1.1 基本逻辑门器件	318
增益	285	14.1.2 常用触发器器件	320
12.6.3 运放有限宽频带对比例运算范围的		14.2 组合逻辑系统与数字信号的加工和	
制约	286	处理	323
12.6.4 运放低通特性对积分运算关系的		14.2.1 组合逻辑系统的分析与设计	324
影响	287	14.2.2 对数字信号的运算(加法和比较)	325
12.6.5 微分运算电路的频率特性分析及		14.2.3 对数字信号的编码和译码	327
稳定性措施	288	14.2.4 对数字信号的选择和分配	328
12.7 运算放大器的直流偏移问题	291	14.2.5 三态门器件及数字信号的选通逻辑	329
12.7.1 输入偏移电压 U_{io} 对运算放大器线性		14.3 时序逻辑系统与数字信号的加工和	
应用电路的影响	291	处理	331
12.7.2 输入偏移电流 I_{io} 对运算放大器线性		14.3.1 数字信号的寄存和移位	331
应用电路的影响	292	14.3.2 脉冲计数器的构成及功能分析	334
12.8 模拟信号的幅度限制	292	14.3.3 时序逻辑系统的设计问题	339
本章小结	294	14.4 可编程逻辑器件(PLD)	340
习题	294	14.4.1 PLD 中基本门电路的画法	341
第 13 章 数字信号	298	14.4.2 PLD 的基本类型	342
13.1 数字信号与信息表示	298	本章小结	345
13.2 数字信号在存储和传输方面的优势	300	习题	346
13.2.1 数字信号的存储	300	第 15 章 数字集成电路的应用问题	349
13.2.2 数字信号的传输	300	15.1 数字集成电路的规格	349
13.3 数字信号与数制	301	15.1.1 数字集成电路的外形及功能表示	349
13.3.1 二进制数	301	15.1.2 数字集成电路的分类与产品系列	351
13.3.2 二进制数的十六进制记法	302	15.1.3 数字集成电路的主要品质指标	352
13.4 数字信号的显示	302	15.2 数字集成电路的工作速度及频率限度	353
13.5 二进制数的算术运算	304	15.2.1 受过渡时间约束的最大允许频率	353
13.6 数字信号与逻辑演算	306	15.2.2 信号传输延时问题	353
13.6.1 命题逻辑概要	306	15.3 数字集成电路的电平容限	357
13.6.2 数字信号的逻辑演算	308	15.3.1 电平设计值及其电压范围	357
13.6.3 数字逻辑与逻辑代数概要	308	15.3.2 电平容限及噪声裕量	357
13.6.4 逻辑函数化简运算	310	15.4 数字集成电路的负载能力	358
13.7 模数和数模转换	311	15.4.1 直流负载和直流扇出能力	359
13.7.1 采样与采样定理	311	15.4.2 输入电容与交流扇出能力	360
13.7.2 A/D 转换(ADC)	312	15.5 集成电路的功耗	362
13.7.3 D/A 转换(DAC)	314	15.5.1 基于组件门电路数的静态功率损耗	
本章小结	316	及其计算	363

15.5.2 基于组件电参数的静态功率损耗及其计算	364	15.5.4 集成电路的温升计算	366
15.5.3 动态功率损耗及其计算	365	本章小结	367
		习题	367

第四篇 系统控制技术

第 16 章 控制系统问题	371	18.3.2 梯形图程序格式和编程基本原则	407
16.1 控制系统的分类及控制模型	371	18.3.3 PLC 常用基本指令介绍	408
16.2 闭环系统的反馈及对系统品质的影响	374	18.4 PLC 基本控制程序	411
16.3 三类系统问题	375	18.4.1 PLC 基本控制程序举例	412
16.4 控制系统的技术要点	376	18.4.2 PLC 应用编程问题	414
16.4.1 逻辑控制系统的技术要点	376	18.5 PLC 的主要技术性能指标	415
16.4.2 模拟控制系统的主要品质及分析要点	377	本章小结	416
16.4.3 数字控制系统的主要技术问题	378	习题	416
本章小结	378	第 19 章 模拟控制系统	418
第 17 章 逻辑控制系统 1——开关逻辑控制	379	19.1 模拟控制系统的组成及其描述	418
17.1 基本低压控制电器	379	19.1.1 模拟控制系统的组成	418
17.1.1 手动控制电器	379	19.1.2 模拟控制系统的描述	419
17.1.2 位置感应式自动电器	380	19.2 模拟控制系统的稳态特性分析	420
17.1.3 电磁式自动电器	380	19.3 模拟控制系统的动态特性分析	423
17.1.4 需要补充说明的几个问题	386	19.3.1 惯性部件的动态特性	423
17.2 电器的持续运行控制及开关逻辑控制系统的基本特点	389	19.3.2 系统的动态特性分析	424
17.3 基本逻辑控制(互锁与联锁)	390	19.4 模拟控制系统的稳定性分析	426
17.3.1 三相异步电动机的正反转控制	390	19.4.1 系统稳定性概念	426
17.3.2 多台电器的顺序控制	392	19.4.2 稳定性的判别准则	426
17.4 基于物理量的自动逻辑控制	394	19.4.3 稳定性的评估方法	427
17.4.1 基于时间继电器的逻辑控制系统举例	394	19.5 模拟控制系统特性的补偿	432
17.4.2 基于行程开关的逻辑控制系统举例	396	19.6 过程控制系统	437
本章小结	397	19.6.1 过程控制系统的组成	437
习题	397	19.6.2 单回路控制系统	437
第 18 章 逻辑控制系统 2——可编程逻辑控制	399	19.6.3 串级控制系统	439
18.1 从开关逻辑控制到可编程逻辑控制	399	19.6.4 比值控制系统	439
18.2 PLC 系统	401	19.6.5 前馈控制系统	441
18.2.1 PLC 系统构成	401	19.6.6 滞后补偿控制系统	443
18.2.2 PLC 系统的工作流程	403	本章小结	444
18.3 PLC 的编程问题	404	习题	445
18.3.1 PLC 的指令与程序形式	404	第 20 章 数字控制系统	449
		20.1 数字控制系统的基本原理结构	449
		20.2 数字控制基本算法	450
		20.2.1 数字 PID 算法	450
		20.2.2 数字滤波算法	453
		20.3 数字控制系统的简化信号流程图及传递	

函数	455	21.2.6 码元、码字、信息组、数据帧、码效率 及传输速率	480
20.3.1 数字控制系统的离散分析模型	455	21.2.7 异步通信和同步通信	481
20.3.2 采样保持信号激励下的响应分析	456	21.3 数据通信系统的组成	483
20.3.3 数字控制系统传递函数的 z 域 形式	458	21.3.1 站点	483
20.4 数字控制系统的分析概要	460	21.3.2 信道	483
20.4.1 数字控制系统的动静态特性分析	460	21.3.3 数据通信网络	484
20.4.2 数字控制系统的稳定性分析概要	463	21.4 数据通信协议	485
本章小结	467	21.4.1 通信网络模型	485
习题	468	21.4.2 网络通信协议	487
第 21 章 数据通信与数字控制功能		21.5 局域网	491
扩展	470	21.5.1 计算机网络概述	491
21.1 在总线机制下组织起来的基本数字 控制系统	470	21.5.2 局域网的特点	492
21.1.1 工业生产过程基本数字控制系统的 组织架构	470	21.5.3 以太网及其信息传输控制方法	492
21.1.2 数字控制系统实现多功能综合	471	21.5.4 令牌网及其信息传输控制方法	493
21.2 数据通信的基本概念	474	21.5.5 网络互连	494
21.2.1 并行通信与串行通信	474	21.6 工业现场总线	495
21.2.2 基带传输与频带传输	475	21.6.1 现场总线的技术特点	495
21.2.3 多路复用方式	476	21.6.2 现场总线系统的构造特点	495
21.2.4 单工和双工通信方式	477	21.6.3 现场总线的通信模型	496
21.2.5 误码及传输差错控制	478	21.6.4 几种流行的现场总线	496
		本章小结	497
		习题	498
附录 A 晶体管及晶体管放大电路	500		
附录 B 其他电力电子器件	501		
参考文献	502		

第一篇

电路及电路分析

电路是电气工程的基础语言。电路的概念、理论和分析方法将贯穿本书的整个篇章。

本篇内容由以下几章组成：

- 第1章 电路问题
- 第2章 线性直流电路的状态分析
- 第3章 线性正弦交流电路的状态分析
- 第4章 线性电路的瞬态过程分析
- 第5章 线性电路的特性分析



