

电力系统分析与设计

Power System Analysis and Design

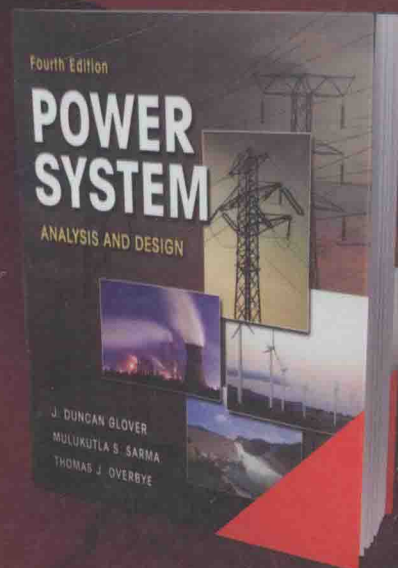
(中文版·原书第4版)

J. 邓肯·格洛佛 (J. Duncan Glover)

(美) 穆卢库特拉 S. 萨尔马 (Mulukutla S. Sarma) 著

托马斯·詹姆斯·奥弗比 (Thomas J. Overbye)

王庆红 黄伟 颜永红 马玉林 等译



时代教育·国外高校优秀教材精选

电力系统分析与设计

(中文版·原书第4版)

Power System Analysis and Design

J. 邓肯·格洛佛 (J. Duncan Glover)

[美] 穆卢库特拉 S. 萨尔马 (Mulukutla S. Sarma) 著
托马斯·詹姆斯·奥弗比 (Thomas J. Overbye)
王庆红 黄 伟 颜永红 马玉林 等译



机械工业出版社

Power System Analysis and Design

J. Duncan Glover, Mulukutla S. Sarma, Thomas J. Overbye

王庆红 黄伟 颜永红 马五林等译

ISBN-13: 978-0-495-29596-9

ISBN-10: 0-495-29596-5

Copyright © 2008 by Cengage Learning

Original edition published by Cengage Learning. All Rights reserved. 本书原版由圣智学习出版公司出版。版权所有，盗印必究。

China Machine Press is authorized by Cengage Learning to publish and distribute exclusively this simplified Chinese edition.

This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only (excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan).

Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体字翻译版由圣智学习出版公司授权机械工业出版社独家出版发行。此版本仅限在中华人民共和国境内（不包括中国香港、澳门特别行政区及中国台湾）销售。未经授权的本书出口将被视为违反版权法的行为。未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Cengage Learning Asia Pte. Ltd.

5 Shenton Way, # 01-01 UIC Building, Singapore 068808

本书封面贴有 Cengage Learning 防伪标签，无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号：图字 01-2008-0692 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统分析与设计 / (美) 格洛佛 (Glover, J.D.) 等著; 王庆红等译. —北京: 机械工业出版社, 2015.8

(时代教育·国外高校优秀教材精选)

书名原文: Power System Analysis and Design

ISBN 978-7-111-51600-2

I. ①电… II. ①格…②王… III. ①电力系统—系统分析—高等学校—教材②电力系统—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 224243 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 闫晓宇 责任编辑: 王雅新 闫晓宇

版式设计: 霍永明 责任校对: 杜雨霏 封面设计: 陈 沛 责任印制: 乔 宇

北京京丰印刷厂印刷

2016 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 31 印张 · 769 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-51600-2

定价: 148.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833 机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379649 机工微博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

国外高校优秀教材审定委员会

主任委员：

杨叔子

委员(按姓氏笔画为序)：

丁丽娟	王先逵	王大康	白峰衫	石德珂
史荣昌	孙洪祥	朱孝禄	陆启韶	张润琦
张 策	张三慧	张福润	张延华	吴宗泽
吴 麒	宋心琦	李俊峰	余远斌	陈文楷
陈立周	单辉祖	周双喜	范 瑜	俞正光
赵汝嘉	郭可谦	翁贻方	翁海珊	龚光鲁
章栋恩	黄永畅	谭泽光	郭鸿志	

序

非常高兴能为《电力系统分析与设计》(原书第4版)作序。同时,也十分感谢广西电力工业勘察设计研究院(GXED)的王庆红主任为此书的翻译所做的一切努力,我相信它将是一本受广大读者欢迎的电力系统分析与设计教材。本书早期的各版本及第4版,目的在于持续介绍电力系统分析与设计的各种方法,因此其所包含的信息已经做了尽可能及时的更新。21世纪头10年,能源危机是一个世界性的问题。这就提出一个要求,即向我们的社会提供本世纪及以后持续发展和繁荣所需的能源。显然,在这个发展过程中,电力将继续扮演一个非主导但很重要的角色。因此,培养在社会持续发展和繁荣中充当重要角色的电气工程师,成为一种前所未有的社会需求。

在组织本书的内容时,我们采取的方法是将采用PWS(Power World Simulator)软件分析的实际例子与完整的电力系统分析与设计基础理论相结合。我们认为基本的物理概念是创造性工程的基础,并形成电力工程教学最有价值和永恒的部分。因此,在关注数学技巧的同时,我们强调物理概念。为了使学生做好将所学知识扩展到新的或复杂情形的准备,本书中理论和建模都是从分析简单例子开始的。

不仅如此,通过使用PWS,本书将引导电气工程及相关学科的学生进入一个非常有趣的电力系统分析软件的世界。这是非常重要的,因为大部分工程系统都是很复杂的,对于如何给正在学习电力系统的学生直观感受是电气工程教学面临的最大挑战。笔头训练能够很有效地加强学生的基础,但学生经常觉得这种方式缺乏他们想要的一种直观视觉效果。为帮助学生提供这种视觉效果,本书附有包含PWS及与本书相配套案例的CD[⊖]。

PWS是由美国伊利诺伊大学厄巴纳香槟分校的托马斯·詹姆斯·奥弗比教授(Professor Thomas Jeffrey Overbye)原创开发的,最早的版本是1994年6月发布的1.0版,其初衷是开发一个对从事电力工业的非技术人员进行电力系统运行基本知识的培训软件。作为一个教学培训工具,软件的交互式界面和图形设计迅速掀起一阵热潮。同时,发生了一件有趣的事,它的交互式界面和图形设计对于做实际电力系统分析和设计的工程师们也相当具有吸引力。1996年,为了满足不断扩大的用户群的需求,PWS随着PowerWorld公司的成立正式商业化。十多年来,PWS在保持对教育界的吸引力的同时,已经成为解决电力系统分析问题的顶尖级分析和设计软件。

最近,PWS最受瞩目的一件事就是其中文版的发布。自2006年以来,在王庆红博士和他的同事们的开创性带领下,PowerWorld公司和GXED合作开发软件的新版本。经过GXED的努力,PWS作为实际电力系统的分析和可视化工具,正以非常快的速度被中国用户采用。这使得本书使用该软件作为分析工具更有实用价值。实际上,这是双方合作取得的成果,同时也是此书中译本的意义所在。

将PWS与本书集成时,我们的设计理念是使用PWS扩展而不是替代书中的所有案例。

⊖ 原书所配光盘的数据文件,请访问机械工业出版社教育服务网 www.cmpedu.com,在本书相关介绍页面上获取。

因此,除非案例规模太大而使手工难以计算,书中每个 PWS 例子都包含了手工求解问题的全过程。这种方式不仅可以让学生立即看清楚如何用手工解决一个问题的各个细节,同时也可以观察如何用仿真软件解决问题。使用 PWS 的另外一个优点是:可以让学生很方便地扩展案例。通过这种交互式的设计方法,学生能够很快改变例子参数,并立即观察参数修改对求解结果的影响;同时,通过重新计算采用新参数的例子,学生可迅速判断自己是否已经理解该问题的求解过程。PWS 交互式 and 可视化的界面,使得它成为教师用作课堂案例演示的极好工具,教师可使用本书附带光盘中大量的例子和习题,方便地对书中章节进行演示和讲解。PWS 的其他特点将在本书的例子、习题和课程设计中介绍。

本书可作为一个学期或两个学期的课程。两个学期课时可对本书内容进行全面、深入的学习,而一个学期课时也可以深入学习大部分章节。这也是我在伊利诺伊大学采取的教学方法。本书章节的组织非常灵活,给教师对授课主题的选择留有足够的空间。本书大量的例子覆盖了绝大多数知识点,且许多习题可在计算机的帮助下或使用 PWS 完成。

作为本书的预备知识,要求学生已经学过电路理论和微分方程课程,包括线性系统、复数和矩阵运算。此外,不严格要求学过电机学课程,但电机学的知识对本书的学习非常有帮助。

本书章节安排如下:

第 1 章绪论,重点以北美电力系统为例,介绍了电力系统概况;第 2 章基本概念,介绍了电力系统的基本概念和术语,包括相量、功率、单相电路和三相电路等。

第 3~6 章分别介绍了电力变压器、输电线路参数、稳态运行的输电线路和潮流计算。这些章节建立了三相对称和稳态运行情况下电力系统的基本概念。

第 7~10 章介绍了不对称故障情况下电力系统运行的概念,包括对称故障、对称分量、不对称故障和继电保护。

第 11 章是一个独立章节,介绍了电力系统控制,包括发电机-电压控制、原动机-调速器控制、负荷-频率控制、经济调度和最优潮流。

第 12、13 章介绍了输电线路的暂态运行,包括浪涌过电压保护和暂态稳定的内容。

在从事电力行业的近 30 年当中,我看到电力行业发生了翻天覆地的变化。但是,许多基本的东西还是原来的。本书致力于达到一个合理的平衡点,既让学生具备扎实的基础,同时也让他们充分感受行业中的设计理念。为迎接本世纪的挑战,社会需要新一代的电力工程师。我们希望本书和 PWS 能够帮助大家共同实现这个目标。

托马斯·詹姆斯·奥弗比

前 言

《电力系统分析与设计》(第4版)是美国电力系统专业的教材,不仅在国外电力界非常畅销,而且也深受中国电力界读者的青睐。原书之所以广受欢迎,最为突出的一点是实用性。该书将基本理论与实用案例有机结合,实用案例贯穿于全文,通过电力系统可视化分析程序(PowerWorld Simulator)直观生动、全面透彻地解析电力系统的基本概念、电气模型和分析计算,大大激发了读者学习的兴趣。

基于此,我们慎重地推荐《电力系统分析与设计》(第4版)一书,原书已经成为海外电力界畅销的经典教材,中译版无疑也将成为我国电力系统专业技术人员及在校师生的重要参考资料。在保证原书完整性的同时,我们结合中国电气工程学科专业教学的特点,在中译版中做了如下调整:

1)“案例分析”部分删除。原书这部分共包含17篇论文,这些论文主要关注的是美国电力系统的发展历史,多属于概述性的论文,在做了认真比较后,本书保留了其中3篇关于当前电力系统最新发展方向的论文,置于新增章节,详见第二点说明。

2)新增一个章节“第14章 引申篇”。此章节旨在介绍当前国内外(大电网)电力系统主要关注或研究的方向,让读者有机会了解当前电力系统的最前沿的研究动态。其中包括4篇国内论文,分别为《关于广域测量系统及广域控制保护系统的评述》《我国发展大规模非水可再生能源发电的前景》《电力系统振荡的可视化研究》和《现代电力与FACTS&DFACS技术》,以及3篇英文论文(源自原书“案例分析”),分别为《Visualizing the Electric Grid》《WACS—Wide-Area Stability and Voltage Control System: R&D and Online Demonstration》和《Real-Time Dynamic Security Assessment》。

最后,感谢机械工业出版社和原书作者格洛弗、萨尔马和奥弗比同意该书在中国出版发行。特别感谢奥弗比博士,他多次来广西电力工业勘察设计院交流讲学,还特意为该书的中文版题写序言。感谢本翻译组成员黄伟、颜永红、马玉林,广西电力工业勘察设计院数字电网研究中心的覃晖、王志军、张婧、黄丽娟、江兴月、牛文娟、覃惠玲、乔可、郭振威、骆玲、刘然、聂独、蒋春芳的努力。本翻译组历时两年,为翻译此书投入了大量的时间和精力,全部译稿由周双喜老师审校。在此一并表示感谢。

王庆红

原 书 序

本书的目的是提供电力系统分析和设计的方法，特别是借助于计算机，向大学生深入地讲解基本理论。在激发学生对电力工业方面兴趣的同时，致力于改善学生的思考方法，使他们对电力系统设计有一个深入的理解。因为我们相信基本物理概念是创造性设计的基础，并组成了工程教育中最有价值 and 永恒的部分，所以我们在适当关注数学技巧的同时注重突出物理概念。由简单的情况开始建立的理论和模型就比较容易向新型、复杂的情况拓展。

伊利诺伊大学厄巴纳香槟分校的 Thomas J. Overbye，被邀请为本书该版本的合著者。他是 PowerWorld Simulator (PWS) 的创始人之一，该软件包用户界面友好，尤其在电力系统分析仿真可视化方面有很大优势。本书内容将与该软件包有机地结合在一起。Overbye 教授在电力系统运行、控制、稳定性、计算和教育方面的经验有利于确保本书能够与时俱进，并适合于学生。

该版本还有以下特点：①除了沿用以前版本的 3 个案例研究外，修订了 10 个章节的案例研究，描述了当今的实际应用，内容涵盖正在进行的电力企业的重组；②升级的 PWS 软件包；③更新了 2~9 章的习题。

工程教育最有挑战性的方面之一是让学生对他们研究的系统有一个直观的感觉。工程系统大部分是非常复杂的。笔头练习对于掌握基础知识非常有用，但这种方法不能培养学生的直观洞察力。本书附赠的 CD 中含有的 PWS 软件包[⊖]，就能让学生建立起这种直观的感觉。本书中用这个软件来演示所有基于计算机的例子、习题和课程设计。

PWS 诞生于伊利诺伊大学厄巴纳香槟分校，最初用于将电力系统的基础知识传授给电力工业中的非专业人员，1.0 版本问世于 1994 年 6 月。这个程序的交互式 and 图形化的设计，革命性地改进了传统的教育工具，而且出现了一种有趣的现象——它的交互性和图形化的设计同样吸引了从事实际电力系统分析的工程师。为了满足日益增多的用户需求，1996 年成立了 PowerWorld 公司，该公司的成立实现了 PWS 的商业化。在保留它对教育方面的吸引力外，几年间 PWS 已经发展成为了一个能够求解任何大小电力系统问题的顶尖分析软件包。PWS 现在在整个电力工业得到了广泛应用，用户覆盖高校、各级电力公司、政府管理者、电力交易人员和咨询公司。

我们把 PWS 与正文有机地结合在一起，用 PWS 扩展了以前版本中提供的全部例子，而不是简单地代替它们。因此，除了求解规模过大导致无法计算的情况之外，每个 PWS 例子在用 PWS 案例求解的同时都给出了详细的手工求解。这种格式使得学生既能看到一个问题如何求解的细节，又能同时看到求解方法的计算机执行过程。PWS 的另外一个优势是它易于扩展案例。通过它的交互性设计，学生可以快速改变案例参数并且立刻看到这些改变对求解结果的影响；同样，运用新参数重新运算案例，学生就能得知他们是否真正理解了求解的过程。教师也可以方便地利用 PWS 交互性和可视化的设计在课堂内展示案例。通过 CD 中

⊖ 原书所配光盘的数据文件，请访问机械工业出版社教育服务网 www.cmpedu.com，在本书相关介绍页面上获取。

包括的很多例题和习题案例,教师很容易证明书中的很多理论主题。PWS 的其他功能将在本书的例题、习题和课程设计中介绍。

本书全面涵盖了大学四年级和研究生一年级的两学期或四分之三的课程。而对于只有一学期的课程,灵活的章节结构使教师们能充分地选择要讲解的主题。丰富的求解案例覆盖了本书的大部分理论点,而且该版本中还扩充了通过计算器求解的大量习题,以及用计算机求解的习题。

作为本书的预备知识,要求学生已经学习过一些基本课程,例如电网络理论(包括暂态分析)和基本的微分方程,并且已经接触过线性系统、矩阵代数和计算机编程。另外,阅读本书前虽然不是必须要求学习过电机学课程,但如果上过这门课程将是很有帮助的。

本书第1章首先介绍了电力系统发展的历史、现状和前景。第2章则作为基础帮助学生对术语进行了一个简短的回顾,主要复习了相量、功率、单相和三相电路的概念。

第3~6章介绍了变压器、输电线路参数、输电线路稳态运行和运用牛顿-拉夫逊方法的潮流求解。这些章提供了对在对称三相、稳态和正常运行条件下的电力系统的一个基本理解。

第7~10章覆盖了对称故障、对称分量、不对称故障和系统保护,这些都属于电力系统短路保护的内容。

第11章是关于电力系统控制的独立一章,包括涡轮-发电机控制、负荷-频率控制、经济调度和最优潮流。

第12、13章介绍了输电线路的暂态运行,包括涌流保护和暂态稳定性,其中暂态稳定性包括了摇摆方程、等面积法则和多电机稳定性。这些章节都属于电力系统暂态方面的内容。

致谢

本书中的材料是为了满足过去30多年的美国和国外的大学班级教学的需求而逐渐发展起来的。这13个章节的第一作者J. 邓肯·格洛弗(Failure Electrical LLC公司总裁)对那些在计划和撰写本书时提供过帮助的人表示感谢。早期的电力系统方面的教科书,尤其是W. D. Stevenson Jr. 所撰写的,有着意义深远的影响。很多优秀的工程师共同推动了电力系统的发展,这里衷心地感谢这些人所做出的贡献。还有很多详细的参考文献列在每章的结尾处,对这些文献的作者也表示感谢。

合著者Thomas Overbye更新了本书该版本的第6章(潮流)、第11章(电力系统控制)和第13章(暂态稳定性)。他还提供了用PWS分析的例题、习题和3个课程设计。合著者Mulukutla Sarma(美国东北大学)参与编写了每章的习题。

在出版该版本时,Christopher Carson和Hilda Gowans(Thomson Engineering and Rose Kernan of RPK Editorial Services inc.) 广阔的知识、技巧令我们称道。第4版的评审者如下:Robert C. Degeneff, 莱塞拉尔理工学院; Venkata Dinavahi, 阿尔伯塔大学; Richard G. Farmer, 亚利桑那州立大学; Steven M. Hietpas, 南达科他州立大学; M. Hashem Nehrir, 蒙大拿州立大学; Anil Pahwa, 堪萨斯州立大学; Ghadir Radman, 田纳西科技大学。

下列评审者为第3版做出了突出的贡献: Sohrab Asgarpoor, 内布拉斯加大学林肯分校; Mariesa L. Crow, 密苏里大学罗拉分校; Ilya Y. Grinberg, 纽约州立大学水牛城分校; Iqbal Husain, 阿科隆大学; W. H. Kersting, 新墨西哥州立大学; John A. Palmer, 科罗拉多矿业

大学; Satish J. Ranada, 新墨西哥州立大学; Shyama C. Tandon, 加利福尼亚州立工业大学。

下列评审者对第2版做出了突出的贡献: Max D. Anderson, 密苏里大学罗拉分校; Sohrab Asgarpoor, 内布拉斯加大学林肯分校; Kaveh Ashenayi, 塔尔萨大学; Richard D. Christie Jr., 华盛顿大学; Mariesa L. Crow, 密苏里大学罗拉分校; Richard G. Farmer, 亚利桑那州立大学; Saul Goldberg, 加利福尼亚州立工业大学; Clifford H. Grigg, 罗斯-豪曼理工学院; Howard B. Hamilton, 匹兹堡大学; Leo Holzenthal Jr., 新奥尔良大学; Walid Hubbi, 新泽西理工学院; Charles W. Isherwood, 马萨诸塞大学达特茅斯分校; W. H. Kersting, 新墨西哥州立大学; Wayne E. Knabach, 南达科他州立大学; Pierre-Jean Lagace, 魁北克水电研究院; James T. Lancaster, 阿尔弗雷德大学; Kwang Y. Lee, 宾夕法尼亚州立大学; Mohsen Lotfalian, 伊凡斯维尔大学; Rene B. Marxheimer, 旧金山州立大学; Lamine Mili, 弗吉尼亚理工大学; Osama A. Mohammed, 佛罗里达国际大学; Clifford C. Mosher, 华盛顿州立大学; Anil Pahwa, 堪萨斯州立大学; M. A. Pai, 伊利诺伊大学厄巴纳香槟分校; R. Ramakumar, 俄克拉荷马州立大学; Teodoro C. Robles, 密尔瓦基工学院; Ronald G. Schultz, 克里夫兰州立大学; Stephen A. Sebo, 俄亥俄州立大学; Raymond Shoults, 得克萨斯大学阿灵顿分校; Richard D. Shultz, 威斯康星大学普莱维尔分校; Charles Slivinsky, 密苏里大学哥伦比亚分校; John P. Stahl, 俄亥俄北方大学; E. K. Etanek, 密苏里大学罗拉分校; Robert D. Stratton, 塔尔萨大学; Tian-Shen Tang, 得克萨斯 A&M 大学金斯维尔分校; S. S. Venkata, 华盛顿大学; Francis M. Wells, 范德毕特大学; Bill Wieserman, 宾夕法尼亚大学约翰斯敦分校; Stephen Williams, 美国海军研究生院; Salah M. Yousif, 加利福尼亚大学萨克拉曼多分校。

另外, 下列评审者对第1版做出了很多贡献: Fredetick C. Brockhurst, 罗斯-豪曼理工学院; Bell A. Cogbill, 美国东北大学; Saul Goldberg, 加利福尼亚州立工业大学; Mack Grady, 得克萨斯大学奥斯汀分校; Leonard F. Grigsby, 奥本大学; Howard Hamilton, 匹兹堡大学; William F. Horton, 加利福尼亚州立工业大学; W. H. Kersting, 新墨西哥州立大学; John Pavlat, 爱荷华州立大学; R. Ramakumar, 俄克拉荷马州立大学; B. Don Russell, 得克萨斯 A&M; Sheppard Salon, 莱塞拉尔理工学院; Stephen A. Sebo, 俄亥俄州立大学; Dennis O. Wiitanen, 密歇根工科大学。

最后, 如果广大读者认为本书适于教学、内容新颖、全面易懂、符号严谨、解释详尽, 那么本书及附赠软件就达到了预期目的。

符号、单位和标记说明

符号	说明	符号	说明
a	算子 $1 \angle 120^\circ$	P	有功功率
a_t	变压器的电压比	q	电荷
A	输电线路参数	Q	无功功率
A	对称分量变换矩阵	r	半径
B	损耗系数	R	电阻
B	频率偏差常数	R	涡轮机调速器调节常数
B	相磁通密度	R	电阻矩阵
B	输电线路参数	s	拉普拉斯算子
C	电容	S	视在功率
C	输电线路参数	$\tilde{S}$	复功率
D	距离	t	时间
D	输电线路参数	T	时间段
E	电源电压相量	T	温度
E	电场强度相量	T	转矩
f	频率	$v(t)$	瞬时电压
G	电导	V	电压幅值 (除另外说明外为有效值)
G	电导矩阵	$\dot{V}$	电压相量
H	规格化惯性常数	V	电压向量
H	磁场强度相量	X	电抗
$i(t)$	瞬时电流	X	电抗矩阵
I	电流幅值 (无另外说明时为有效值)	Y	导纳相量
$\dot{I}$	电流相量	Y	导纳矩阵
I	电流向量	Z	阻抗相量
j	算子 $1 \angle 90^\circ$	Z	阻抗矩阵
J	转动惯量	α	角加速度
l	长度	α	变压器相移角
		β	电流角度

L	电感	β	区域频率响应特性
$\mathbf{L}$	电感矩阵	δ	电压角度
N	数量 (母线、线路、匝等)	δ	转矩角度
$p.f.$	功率因数	ε	介电常数
$p(f)$	瞬时功率	Γ	反射或折射系数
λ	磁通链	θ	阻抗角
λ	惩罚因子	θ	角坐标
Φ	磁通量	μ	渗透性
p	电阻系数	v	传播速度
ω	角频率		
τ	时间, 单位周波		
τ	输电线路通过时间		

国际单位制

A	安培
C	库仑
F	法拉
H	亨利
Hz	赫兹
J	焦耳
kg	千克
m	米
N	牛顿
rad	弧度
s	秒
S	西门子
V · A	伏安
var	乏
W	瓦特
Wb	韦伯
Ω	欧姆

英制单位制

Btu	英制热量单位
cmil	圆密耳
ft	英尺
hp	马力
in	英寸
mile	英里

目 录

序	
前言	
原书序	
符号、单位和标记说明	
第1章 绪论	1
1.1 电力系统简史	1
1.2 现状和未来发展趋势	4
1.3 电力工业结构	6
1.4 计算机在电力系统工程中的应用	7
1.5 PowerWorld 仿真器	8
参考文献	13
第2章 基本概念	14
2.1 相量	14
2.2 单相交流电路的瞬时功率	15
2.3 复功率	19
2.4 网络方程	22
2.5 对称三相电路	24
2.6 对称三相电路的功率	30
2.7 对称三相系统较单相系统的优势	33
习题	34
第3章 电力变压器	43
3.1 理想变压器	43
3.2 实际变压器的等效电路	47
3.3 标幺制	51
3.4 三相变压器的接线方式和相移	57
3.5 对称三相双绕组变压器的标幺等效电路	60
3.6 三绕组变压器	64
3.7 自耦变压器	66
3.8 非标准电压比变压器	68
习题	74
第4章 输电线路的参数	85
4.1 输电线路的结构考虑	85
4.2 电阻	87
4.3 电导	90
4.4 实心圆柱导线的电感	90
4.5 单相两导线和等相间距三相三导线的电感	93
4.6 组合导线、不等相间距导线和分裂导线的电感	95

4.7 有中性线和大地回路的三相线路的串联阻抗	101
4.8 实心圆柱导线的电场和电压	105
4.9 单相两导线和等相间距三相三导线的电容	107
4.10 绞线、不等相间距导线和分裂导线的电容	109
4.11 有中性线和大地回路的并联导纳	112
4.12 导线表面和地平面的电场强度	115
4.13 平行三相导线的串联阻抗和并联导纳	117
习题	119
第5章 稳态运行的输电线路	127
5.1 中短距离线路的等效	127
5.2 输电线路的微分方程组	133
5.3 等效 π 型电路	137
5.4 无损线路	139
5.5 最大功率传输	146
5.6 线路负载率	147
5.7 无功功率补偿技术	150
习题	154
第6章 潮流计算	161
6.1 线性代数方程组的直接解法: 高斯消去法	161
6.2 线性代数方程组的迭代解法: 雅可比迭代法和高斯-赛德尔法	164
6.3 非线性代数方程组的迭代解法: 牛顿-拉夫逊法	168
6.4 潮流计算	172
6.5 高斯-赛德尔法潮流计算	176
6.6 牛顿-拉夫逊法潮流计算	178
6.7 潮流控制	185
6.8 稀疏技术	190
6.9 快速解耦法潮流计算	192
6.10 直流潮流法潮流计算	192
习题	194
课程设计1~5	200
第7章 对称故障	209
7.1 R - L 串联电路的暂态	209
7.2 空载同步发电机三相短路	211
7.3 电力系统三相短路	214
7.4 节点阻抗矩阵	217
7.5 断路器和熔断器的选择	224
习题	231
课程设计4 (续第6章)	236
参考文献	236
第8章 对称分量	237
8.1 对称分量的定义	237
8.2 阻抗负荷的序网络	242
8.3 串联阻抗的序网络	248
8.4 三相线路的序网络	249

8.5 旋转电机的序网络	251
8.6 三相双绕组变压器的标幺序网络模型	255
8.7 三相三绕组变压器的标幺序网络模型	259
8.8 序网络中的功率	261
习题	263
参考文献	268
第9章 不对称故障	269
9.1 电力系统的表示	269
9.2 单相接地故障	273
9.3 相间故障	276
9.4 两相接地故障	279
9.5 节点序阻抗矩阵	284
习题	291
课程设计4 (续第7章)	299
课程设计5	300
参考文献	301
第10章 系统保护	302
10.1 系统保护元件	302
10.2 互感器	304
10.3 过电流继电器	307
10.4 放射式系统的保护	310
10.5 重合闸和熔断器	314
10.6 方向继电器	316
10.7 双端电源系统的方向保护	318
10.8 保护区	319
10.9 线路阻抗 (距离) 保护	321
10.10 差动继电器	326
10.11 母线的差动保护	328
10.12 变压器的差动保护	329
10.13 纵联保护	333
10.14 微机保护	333
习题	334
第11章 电力系统控制	343
11.1 发电机-电压控制	344
11.2 汽轮机-调速器控制	345
11.3 负荷-频率控制	349
11.4 经济调度	351
11.5 最优潮流	360
习题	361
第12章 输电线路: 暂态运行	367
12.1 单相无损线路的行波	367
12.2 单相无损线路的边界条件	370
12.3 Bewley 网格图	376
12.4 单相无损线路和集中 RLC 元件的离散时间模型	381

12.5 有损线路	386
12.6 多导体线路	389
12.7 电力系统过电压	391
12.8 绝缘配合	393
习题	398
第 13 章 暂态稳定	401
13.1 转子运动方程	402
13.2 同步电机的简化模型和系统等效	405
13.3 等面积定则	407
13.4 转子运动方程的数值积分	414
13.5 多机稳定性	418
13.6 提高暂态稳定性的方法	423
习题	424
第 14 章 引申篇	427
关于广域测量系统及广域控制保护系统 的评述	427
我国发展大规模非水可再生能源发电的前景	434
电力系统振荡的可视化研究	440
<i>Visualizing the Electric Grid</i>	446
<i>A Brief History of the Power flow</i>	454
<i>WACS—Wide-Area Stability and Voltage Control System; R&D and Online Demonstration</i>	454
<i>Real-Time Dynamic Security Assessment</i>	469
附录	477

第1章 绪 论

电力工程师们关心发电、输电、配电和用电的每一个环节。电力工业大概是世界上最大、最复杂的工业。电力工程师在规划、设计未来电力系统时所遇到的挑战是如何寻求一种安全、洁净、经济的方式传输日益增长的电量。

本章的目的是简要地回顾电力工业的历史，讨论电力系统的现状和未来的发展趋势，描述电力工业的改造，以及介绍 PowerWorld Simulator (PWS) ——一个电力系统分析和仿真软件包。

1.1 电力系统简史

1878年，爱迪生 (Thomas A. Edison) 开始致力于研究电力照明，并明确表述了服务于周边地区照明的中央发电站的概念。1879年10月，他成功研制出电灯，并于1882年9月4日，在纽约启动了历史上著名的珍珠街电站，这标志着电力工业的开始 (见图 1.1)。在珍珠街，由蒸汽引擎驱动的直流发电机最初只能为 1km^2 区域内 59 个用户的 110V 白炽灯供应 30kW 的负荷。从 1882 年开始到 1972 年，电力工业迅速发展起来——这主要归功于由技术实现和创造性设计导致的电力价格不断下降。

美国斯普拉格电力公司 (Sprague Electric) 实用直流电机的引进和白炽灯的推广，扩大了爱迪生直流系统的规模。220V 三线直流系统的发展虽然允许负荷有所增加，但是随着传输距离和负荷的不断增长，电压问题出现了。1885 年威廉姆·史坦利 (William Stanley) 的商业化实用变压器克服了传输距离和负荷最大限值的困难。他在马萨诸塞州大巴灵顿市安装了一个为 150 盏灯供电的交流配电系统。通过使用变压器，传输电力时的高电压低电流和较低的电压降落使得交流比直流更具有吸引力。1889 年，美国的第一条单相交流线路 (21km, 4kV) 在俄勒冈州投入运行，它在俄勒冈市和波特兰市之间传输电力。

1888 年，特斯拉 (Nikola Tesla) 在美国电力工程研究所的一次会议上提交了一篇论文，文中描述了两相制的电动机和发电机，体现了多相相对于单相的明显优势，这大大激励了交流系统的发展。1891 年，第一条三相线路在德国投入运行，以 12kV 输电 179km。1893 年，美国的第一条三相线路在加利福尼亚州投入运行，以 2.3kV 输电 12km。由特斯拉提出的三相感应发电机成为电力工业的主要设备。(早期电力工业的重要事件如图 1.1 所示。)

在爱迪生的蒸汽驱动发电机投入运行的同一年，水轮驱动发电机在威斯康星州阿普尔顿市建成。从此蒸汽或水力涡轮电厂被普遍采用。直至今日，蒸汽涡轮机发电占美国发电总量的 85%，水轮机占 7%。在某些情况下燃气轮机也用来调峰。

蒸汽电厂的主要燃料是煤、天然气、石油和铀。其中，由于煤矿较为丰富，成为美国应用最广泛的燃料。尽管在 20 世纪 70 年代早期，很多燃煤电厂转成燃油电厂，但 1973 年和 1974 年的石油禁运引起了石油短缺并迫切要求美国国内减少对国外石油的依赖，于是采用燃煤电厂又成为主导趋势。2004 年，美国接近 50% 的电力靠燃烧煤炭发出^[2]。