



国际电气工程先进技术译丛

CRC Press
Taylor & Francis Group

电力系统 (原书第3版)

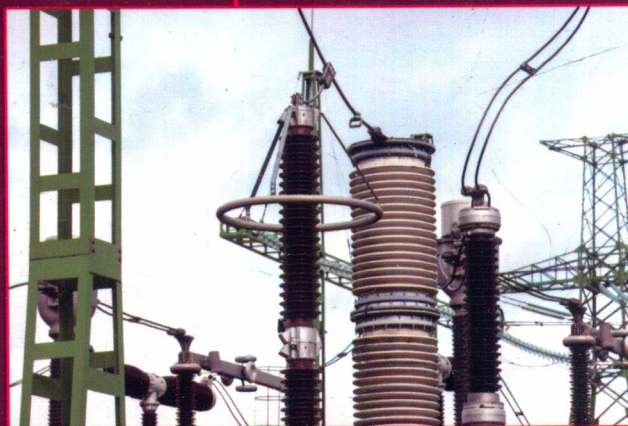
Power Systems(Third Edition)

[美] 雷欧纳德 L. 格雷斯比 (Leonard L. Grigsby) 主编

李宏仲 周波 赵晓莉 张志芹 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际电气工程先进技术译丛

电力系统

(原书第3版)

[美] 雷欧纳德 L. 格雷斯比 (Leonard L. Grigsby) 主编
李宏仲 周 波 赵晓莉 张志芹 译

机械工业出版社

Power Systems 3rd edition/by Leonard L. Grigsby/ISBN: 9781439856338

Copyright © 2012 by CRC Press.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved; 本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下, CRC 出版公司出版, 并经其授权翻译出版。版权所有, 侵权必究。

China Machine Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the 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. 本书中文简体翻译版授权由机械工业出版社独家出版并限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2013-1809 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统: 原书第 3 版/ (美) 格雷斯比 (Grigsby, L. L.) 主编. 李宏仲等译.

—北京: 机械工业出版社, 2015. 11

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文: Power Systems: Third Edition

ISBN 978-7-111-51788-7

I. ①电… II. ①格…②李… III. ①电力系统 IV. ①TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 241755 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: 赵玲丽 责任编辑: 赵玲丽

版式设计: 霍永明 责任校对: 陈立辉

封面设计: 马精明 责任印制: 乔 宇

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

2016 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 32.25 印张 · 721 千字

0001—2500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-51788-7

定价: 128.00 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: 010-88361066 机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294 机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203 金书网: www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

本书的英文版作为《电力工程手册》五卷集的一部分，涵盖了电力系统潮流计算、高电压与电磁暂态、电网规划、电力市场和电力电子技术等方面的内容，并在欧美电力工程领域中享有盛誉的 L. L. Grigsby、Andrew Hanson、Pritindra Chowdhuri、Gerry Sheblé 和 Mark Nelms 等人指导下精心完成。书中还包括了大量国外电力系统分析方面的新近研究成果，这些内容可以为国内研究人员在相关专题的研究中提供参考。

本书详细讲解了相关领域的理论知识，并附加了众多照片、图形，可以帮助读者更好地理解相关内容。每一章节的更新部分都包括了相关领域在理论和技术发展的前沿内容，以及相应的国际标准和实际应用情况。主要内容包

- 电力系统分析与仿真
- 电力系统暂态过程及高电压
- 电力系统规划与可靠性
- 电力电子理论及其在可再生能源发电中的应用

本书可作为从事电力系统自动化专业研究等相关工作的专业技术人员，以及高校电气工程自动化专业或其他相关专业的本科生、研究生的参考读物。

译者序

现代电力技术的不断发展对传统电力行业产生了巨大的影响，包括电力电子技术、光电耦合技术、绿色能源应用技术、互联网信息技术等现代科技的研究成果与电力系统传统理论的不断融合，极大推动了智能电网的建设与发展，进而又催生了分布式冷热电多种能源联供、主动配电网乃至能源互联网等众多新兴的前沿课题与研究方向。

为了便于国内电力从业者更为清晰地了解国外电力研究人员在电力系统分析方面的最新进展与研究成果，机械工业出版社将《Power System》（第3版）引入国内。本书的英文版作为《电力工程手册》五卷集的一部分，涵盖了电力系统潮流计算、高电压与电磁暂态、电网规划、电力市场和电力电子技术等方面的内容，并在欧美电力工程领域中享有盛誉的 L. L. Grigsby、Andrew Hanson、Pritindra Chowdhuri、Gerry Sheblé 和 Mark Nelms 等人指导下精心完成。书中还包括了大量国外电力系统分析方面的新近研究成果，这些内容可以为国内研究人员在相关专题的研究中提供参考。

本书详细讲解了相关领域的理论知识，并附加了众多照片、图形，可以帮助读者更好地理解相关内容。每一章节的更新部分都包括了相关领域在理论和技术发展的前沿内容，以及相应的国际标准和实际应用情况。主要内容包括：

- 电力系统分析与仿真
- 电力系统暂态过程及高电压
- 电力系统规划与可靠性
- 电力电子理论技术及其在可再生能源发电中的应用

与国内外同类著作相比，本书在写作方式上力求采用较为简明的文字，并配合小规模的算例分析和大量的曲线、图形和照片，深入浅出地阐述电力系统专业的核心理论。目前我国正在开展新一轮的电力体制改革，逐步放开增量配售电市场，本书中对电力经济、电力市场和电力定价等方面的介绍可以为国内有意于此方向的工程研究人员和商务投资人士提供有益的参考。另外随着电力体制的改革和国家对可再生能源的政策扶持，未来包括光伏、风力发电等新能源发电的理论研究和装备研发势必成为电力行业研究领域和设备制造行业的关注热点，其中电力电子理论和相关设备将起到决定性的作用。在这一方面，本书也较为详实地介绍了国外该领域最新的研究进展和发展方向。

本书由李宏仲翻译第1~第5章、第23~第28章并统稿；周波翻译第15~第22章；赵晓莉翻译第6~第14章；张志芹负责全书专业术语的校核与修订。

限于译者能力所限，书中难免存在错漏之处，欢迎广大读者批评指正。

原 书 前 言

发电、输电与用电始终是电气工程中最具挑战性和趣味性的领域之一。当下惊人的科技进步高度依赖于一个安全、可靠以及供给经济的电力系统。编写这套《电力工程手册》的目的是为这个影响深远的领域提供一些现状概述、实用指南以及可供学习的教育资源。本书整合了电力工程这个研究领域所包含的众多研究方向的核心理论。本书主要面向电力工程专业从业人员，也可以为需要了解本领域或其中某一方面专业知识的其他工科专业人员提供参考。

本书的第1版与第2版受到了全球读者的好评。基于大家的反馈和近来在电气工程技术及应用上的进步，我们决定出版本书的第3版。在众多有识之士的共同努力下，我们对本书内容做了重大的修订。此书修订后涵盖了如柔性交流输电系统、智能电网、能量收集、配电系统保护、电价制定与线性设备等全新的章节。此外，大部分已有章节也做了相应的修订与更新。

本手册包括5部分。每一部分都分为专题部分和章节，其目的是对功率和电能的发生、变、输、配和用，以及对电力系统的建模、分析、规划、设计、监视及控制技术提供一种全面的覆盖。本书的每个章节不同于大多数的科技出版物。它们既非期刊样式的文章，也非传统意义上的教科书。而是可以为所需信息提供现成方法，同时为更加深入的覆盖主题提供足够参考资料的教程或概述。

本书主要致力于电力系统分析与仿真、电力系统暂态过程及高电压、电力系统规划与可靠性、电力电子理论及其在可再生能源发电中的应用。如果您所感兴趣的主题并未包含在本书目录中的话，请在开始时参阅相关图书的目录。

在阅读本手册的某些章节时，作者如何出色地完成之前设置的目标给我留下了深刻的印象。当然，本书的成功离不开他们的贡献。我非常感谢他们出色的努力。同样，编辑委员会和部分编辑的专业知识和奉献精神也是成书的决定性因素。对他们所做的一切，我表示由衷的感谢！

他们是：

- | | |
|----------------|---------------------|
| • 非常规发电 | Saifur Rahman |
| • 常规发电 | Rama Ramakumar |
| • 输电系统 | George G. Karady |
| • 配电系统 | William H. Kersting |
| • 电力应用 | Andrew P. Hanson |
| • 电能质量 | S. Mark Halpin |
| • 变压器工程师手册（成书） | James H. Harlow |
| • 变电站工程师手册（成书） | John D. McDonald |

- 电力系统分析及仿真 Andrew P. Hanson
- 电力系统暂态 Pritindra Chowdhuri
- 电力系统规划 (可靠性) Gerald B. Sheblé
- 电力电子 R. Mark Nelms
- 电力系统保护 Miroslav M. Begovic[⊖]
- 电力系统动力及稳定性 Prabha S. Kundur[⊖]
- 电力系统运行及控制 Bruce Wollenberg

我要特别感谢的是 CRC 出版社/泰勒 & 弗朗西斯的工程类出版商诺拉·科诺普卡 (Nora Konopka), 他的奉献精神和勤勉给予了这部作品生命。同时感激在泰勒 & 弗朗西斯投身于本书出版的其他朋友, 尤其感谢杰西卡·瓦基利。他们的耐心与坚持不懈使这个任务变得非常有趣。

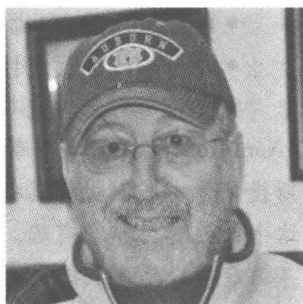
最后, 感谢我的老朋友和同事, 《动力与能源》杂志的编辑梅尔·奥肯, 他为本书封面提供了图片。

⊖ ArunPhadke 为第 1 版及第 2 版编辑。

⊖ Richard Farmer 为第 1 版及第 2 版编辑。

主 编 简 介

雷欧纳德 L. (“Leo”) 格雷斯比 (Leonard L. Grigsby) 在德克萨斯州的拉伯克市德克萨斯理工大学获得了电气工程专业理学学士及理科硕士, 并在俄克拉荷马州立大学获得博士学位。先后在德克萨斯理工大学、俄克拉荷马州立大学和弗吉尼亚理工大学电气工程专业任教。1984 年以来, 他一直在奥本大学任教, 一开始担任佐治亚州的电力教授, 后来担任了阿拉巴马州的电力教授, 目前任电气工程专业的名誉教授。1990 年作为东京电力公司的电气工程首席教授在东京大学工作了 9 个月。其研究方向是网络分析、控制系统以及电力工程。



在其教育生涯中, 格雷斯比教授获得了 13 次杰出教师奖。这包括 1980 年弗吉尼亚理工大学校级 William E. Wine 优秀教师奖, 1986 年美国工程教育协会、美国电话电报公司优秀教师奖, 1988 年爱迪生电力学院动力工程教育工作者奖, 1990 到 1991 年度奥本大学杰出研究生讲师, 1995 年 IEEE 3 区 Joseph M. Beidenbach 优秀工程学教育奖, 1996 年奥本大学 Birdsong 优秀教师奖, 以及 2003 年由 IEEE 电力工程学会颁发的杰出电力工程教育者奖。

格雷斯比教授, IEEE 终生会员, 1998 到 1999 年担任动力与能源第七处的主任。在该机构 30 个不同的岗位工作过, 从分会、部门、大区域到国际层次都有参与。有鉴于此, 他获得了 7 次杰出服务奖, 包括 1984 年的 IEEE 纪念奖章, 1994 年的电气工程协会卓越功勋奖和 2000 年的 IEEE 千禧年奖章等。

在其学术生涯中, 格雷斯比教授在网络应用和模型控制理论、仿真、优化及电力系统控制等相关项目中进行了大量研究; 先后指导了 35 位硕士生和 21 位博士生; 并与其学生、同事共同发表了超过 120 篇的技术论文, 编写了一本关于工业网络技术的教材; 目前担任 CRC 出版社系列出版的《电气工程师手册》的总主编。在 1993 年, 因其对电气工程领域的卓越贡献而被正式纳入德克萨斯理工大学电气工程学院。

撰 稿 人

赤木泰文 (Hirofumi Akagi)

电力电子工程系

东京工业大学

东京日本

理查德 E. 布朗 (Richard E. Brown)

量子技术

卡利亚, 北卡罗来纳州

威廉姆 A. 奇泽姆 (William A. Chisholm)

电力/希库蒂米魁北克大学

多伦多, 安大略, 加拿大

朴庭德拉察德胡 (Pritindra Chowdhuri)

田纳西技术大学

库克维尔, 田纳西州

马瑞萨 L. 克罗 (Mariesa L. Crow)

电力及计算机工程系

密苏里科技大学

罗拉, 密苏里州

弗朗西斯科德拉洛萨 (Francisco De La Rosa)

电力系统

费尔蒙特, 加利福尼亚州

胡安迪克森 (Juan Dixon)

电力工程系

智利天主教大学

圣地亚哥, 智利

M. 约瑟埃斯皮诺萨 (M. José Espinoza)

电力工程系

康塞普西翁大学

康塞普西翁, 智利

詹姆斯 W. 费尔特斯 (James W. Feltes)

西门子电力技术国际部

斯克内克塔迪, 纽约州

迈克尔 G. 吉萨尔曼 (Michael G. Giesselmann)

电力及计算机工程系

脉冲电源及电力电子技术中心

德克萨斯理工大学

拉伯克, 德克萨斯州

雷欧纳德 L. 格雷斯基 (Leonard L. Grigsby)

电力及计算机工程系

奥本大学

奥本, 亚拉巴马州

查尔斯 A. 古斯 (Charles A. Gross)

电力及计算机工程系

奥本大学

奥本, 亚拉巴马州

安德鲁 P. 汉森 (Andrew P. Hanson)

建筑集团

罗利, 北卡罗来纳州

杰拉德 T. 海德 (Gerald T. Heydt)

电力、计算机及能源工程学院
亚利桑那州立大学
坦佩, 亚利桑那州

亚利瑞萨浩坦萨德 (Alireza Khotanzad)
电力工程系
南卫理公会大学
达拉斯, 德克萨斯州

史提芬 R. 兰伯特 (Stephen R. Lambert)
肖尼电力咨询有限责任公司
威廉姆斯伯格, 弗吉尼亚州

胡安 A. 马丁内斯-弗拉斯格 (Juan A. Martinez-Velasco)
电力工程系
加泰罗尼亚理工大学
巴塞罗那, 西班牙

托马斯 E. 麦克德尔莫特 (Thomas E. McDermott)
Meltran 公司
匹兹堡, 宾夕法尼亚州

海德 M. 马里奥 (Hyde M. Merrill)
马里奥能源有限责任公司
盐湖城, 犹他州

路易斯莫伦 (Luis Morán)
电力工程系
康塞普西翁大学
康塞普西翁, 智利

R. 马克尼姆斯 (R. Mark Nelms)
电力及计算机工程系
奥本大学

奥本, 亚拉巴马州

魏乔 (Wei Qiao)
电力工程系
内布拉斯加-林肯大学
林肯, 内布拉斯加州

柯西克拉加什卡拉 (Kaushik Rajashekara)
劳斯莱斯公司
印第安纳波利斯, 印第安纳州

N. 戴格瑞彭 (N. Dag Reppen)
尼什卡纳电力咨询有限责任公司
尼什卡纳, 纽约州

约瑟朗德古斯 (José Rodríguez)
电力工程系
联邦圣玛利亚技术大学
瓦尔帕莱索, 智利

皮特 W. 苏尔 (Peter W. Sauer)
电力及计算机工程系
伊利诺伊大学厄巴纳尚佩恩分校
尚佩恩, 伊利诺伊州

杰拉德 B. 瑟贝尔 (Gerald B. Sheblé)
量子技术有限责任公司
罗利, 内卡罗来纳州

Z. 沈约翰 Z. John Shen
电力工程及计算机科学系
佛罗里达中央大学
奥兰多, 佛罗里达州

安东尼 F. 萨夫 (Anthony F. Sleva)
安川解决方案
克兰伯里, 新泽西州

麦什 M. 斯瓦米 (Mahesh M. Swamy)

亚斯克瓦美国股份有限公司

沃基根, 伊利诺伊州

劳伦斯 J. 沃加斯 (Lawrence J. Vogt)

密西西比电力公司

格尔夫波特, 密西西比州

目 录

译者序

原书前言

主编简介

撰稿人

第1部分 电力系统分析及仿真	1
----------------------	---

Andrew P. Hanson

第1章 标幺制	2
---------------	---

Charles A. Gross

第2章 电力系统对称分量法	13
---------------------	----

Anthony F. Sleva

第3章 潮流分析	27
----------------	----

Leonard L. Grigsby 和 Andrew P. Hanson

第4章 电力系统短路分析	37
--------------------	----

Charles A. Gross

第5章 电力系统计算方法	55
--------------------	----

Mariesa L. Crow

第2部分 电力系统暂态	81
-------------------	----

Pritindrn Chowdhuri

第6章 雷电参数	83
----------------	----

Francisco De la Rosa

第7章 直击雷过电压	92
------------------	----

Pritindra Chowdhuri

第8章 感应雷过电压	107
------------------	-----

Pritindra Chowdhuri

第9章 操作过电压	122
-----------------	-----

Stephen R. Lambert

第10章 特快速暂态	128
------------------	-----

Juan A. Martinez-Velasco

第11章 输电系统暂态：接地装置	147
------------------------	-----

William A. Chisholm

第12章 瞬态恢复电压	163
-------------------	-----

Thomas E. McDermott	
第 13 章 避雷器	182
Thomas E. McDermott	
第 14 章 绝缘配合	199
Stephen R. Lambert	
第 3 部分 电力系统规划 (可靠性)	211
Gerald B. Sheblé	
第 15 章 规划环境	213
Gerald B. Sheblé	
第 16 章 基于人工神经网络的短期负荷与价格预测	233
Alireza Khotanzad	
第 17 章 输电规划评估: 系统可靠性评估	245
N. Dag Reppen 和 James W. Feltes	
第 18 章 电力系统规划	259
Hyde M. Merrill	
第 19 章 电力系统可靠性	272
Richard E. Brown	
第 20 章 规划和运行分析的概率性方法	289
Gerald T. Heydt 和 Peter W. Sauer	
第 21 章 电价制定的工程原则	300
Lawrence J. Vogt	
第 22 章 商务基础	331
Richard E. Brown	
第 4 部分 电力电子	349
R. Mark Nelms	
第 23 章 电力半导体器件	351
Kaushik Rajashekara 和 Z. John Shen	
第 24 章 不可控与可控整流器	360
Mahesh M. Swamy	
第 25 章 逆变器	407
Michael G. Giesselmann	
第 26 章 功率调节有源滤波器	419
Hirofumi Akagi	
第 27 章 FACTS (柔性交流输电系统) 控制器	438
Luis Morán, Juan Dixon, M. José Espinoza 和 José Rodríguez	
第 28 章 电力电子技术在可再生能源中的应用	480
Wei Qiao	

第 1 部分 电力系统分析及仿真

Andrew P. Hanson

第 1 章 标么制 2

Charles A. Gross

变压器的影响 · 扩展到三相系统的标么制 · 扩展到常规三相系统的标么制

第 2 章 电力系统对称分量法 13

Anthony F. Sleva

引言 · 标么值的讨论 · 基本原则 · “a”相运行 · 相与序的关系 · 正序网络 · 简单三相故障计算：T2H 母线故障 · 简单三相故障计算：T2L 母线故障 · 负序网络 · 简单相间故障计算：T2L 母线故障 · 零序网络 · 简单相地故障计算：T2L 母线故障

第 3 章 潮流分析 27

Leonard L. Grigsby 和 Andrew P. HanSon

简介 · 潮流问题 · 节点导纳矩阵 · 潮流方程 · $P-V$ 节点 · 节点分类 · 广义潮流拓展 · 解决方法 · 潮流组成部分 · 参考文献 · 补充信息

第 4 章 电力系统短路分析 37

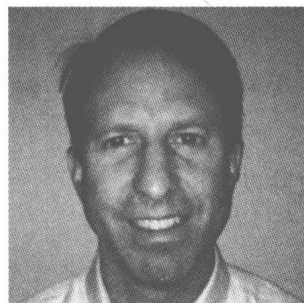
Charles A. Gross

系统模型的简化 · 四种基本短路类型 · 短路实例分析 · 深入分析 · 小结 · 术语定义 · 参考文献 · 补充信息

第 5 章 电力系统计算方法 55

Mariesa L. Crow

潮流 · 最优潮流 · 状态估计



安德鲁 P. 汉森 (Andrew P. HanSon)，北卡罗来纳州罗利建筑集团的高级经理，在电力工程、运行及咨询方面有近 20 年的工作经验，曾就职于坦帕电气、西门子和 ABB 公司，并引领了一家小型私人工程公司工作室的发展。研究方向为配电系统运行与规划，已经带领一些企业实现了开发流程、预测、规划和配电自动化的发展。汉森博士在佐治亚理工学院获得电气工程学士学位，并在奥本大学获得电气工程硕士学位及博士学位。

第 1 章 标 么 制

Charles A. Gross

Auburn University

1.1 变压器的影响	4
1.2 扩展到三相系统的标么制	8
1.3 扩展到常规三相系统的标么制	11

在许多工程环境下，数据的标准化或正规化处理是非常有意义的。这也经常在电力系统分析中得到应用，并称之为标么制。以往，使用该方法的目的是简化手算过程。虽然这些优势随着计算机的应用而有所减弱，但仍然具有以下优点：

- 1) 将设备参数限定在一个相对较小的变换范围内，便于发现错误数据。
- 2) 消除电路元件中理想变压器的影响。
- 3) 使得电力系统各节点的电压数值基本保持一致。

当然这也存在一些缺点，比如元件的等效电路有时会更加抽象。有时非比例电路中明显存在的相移在标么制电路中会消失。

对于电力系统工程师而言，熟悉系统状况并利用它的简化分析方法是很重要的，这是因为系统有广泛的工业接受度和使用度。但这仅限于电压和电流表示为复数相量值的常规交流系统分析中。而标么值有时则可扩展到暂态分析中，也可能包括除了电压、功率、电流和阻抗外的其他数据。

标么值基本计算公式为：

$$\text{标么值} = \frac{\text{实际值}}{\text{基准值}} \quad (1.1)$$

基准值与实际值要有相同的单位，以保证标么值是无量纲的。同时，基准值要求为实数，而实际值可以为复数。用极坐标形式表示一个复数时，标么值的相角与实际值的相同。

复功率

$$S = VI^* \quad (1.2)$$

或

$$S \angle \theta = V \angle \alpha I \angle -\beta$$

式中 V ——相电压 (V)；

I ——相电流 (A)。

假设任意选定一个值 S_{base} ，它是单位为 VA 的有名值。通过除以 S_{base}

$$\frac{S \angle \theta}{S_{\text{base}}} = \frac{V \angle \alpha I \angle -\beta}{S_{\text{base}}}$$

进一步定义：

$$V_{\text{base}} I_{\text{base}} = S_{\text{base}} \quad (1.3)$$

选择 V_{base} 或 I_{base} 中的任意一个。将式 (1.3) 代入式 (1.2), 得到

$$\frac{S \angle \theta}{S_{\text{base}}} = \frac{V \angle \alpha (I \angle -\beta)}{V_{\text{base}} I_{\text{base}}} \quad (1.4)$$

$$S_{\text{pu}} \angle \theta = \left(\frac{V \angle \alpha}{V_{\text{base}}} \right) \left(\frac{I \angle -\beta}{I_{\text{base}}} \right)$$

$$S_{\text{pu}} = V_{\text{pu}} \angle \alpha (I_{\text{pu}} \angle -\beta)$$

$$S_{\text{pu}} = V_{\text{pu}} I_{\text{pu}}^*$$

下标 pu 表示标么值。注意到式 (1.4) 与式 (1.2) 的形式是相同的。这并不是必然的, 而是因为我们通过式 (1.3) 将 V_{base} 、 I_{base} 及 S_{base} 联系了起来。如果选择 Z_{base} 为

$$Z_{\text{base}} = \frac{V_{\text{base}}}{I_{\text{base}}} = \frac{V_{\text{base}}^2}{S_{\text{base}}} \quad (1.5)$$

根据欧姆定律:

$$Z = \frac{V}{I} \quad (1.6)$$

除以 Z_{base} 写成标么值形式:

$$\frac{Z}{Z_{\text{base}}} = \frac{V/I}{Z_{\text{base}}}$$

$$Z_{\text{pu}} = \frac{V/V_{\text{base}}}{I/I_{\text{base}}} = \frac{V_{\text{pu}}}{I_{\text{pu}}}$$

注意到

$$Z_{\text{pu}} = \frac{Z}{Z_{\text{base}}} = \frac{R + jX}{Z_{\text{base}}} = \left(\frac{R}{Z_{\text{base}}} \right) + j \left(\frac{X}{Z_{\text{base}}} \right) \quad (1.7)$$

$$Z_{\text{pu}} = R_{\text{pu}} + jX_{\text{pu}}$$

此时, 就没有必要将基准值中的 R 与 X 分开了:

$$Z_{\text{base}} = R_{\text{base}} = X_{\text{base}}$$

同理

$$S_{\text{base}} = P_{\text{base}} = Q_{\text{base}}$$

例 1.1

a) 求解图 1.1a 中端口 ab 的 Z 、 I 及 S 。

b) 求解 a) 在基准值 $V_{\text{base}} = 100\text{V}$ 及 $S_{\text{base}} = 1000\text{VA}$ 下的标么值, 并画出相应的标么值电路图。

解:

$$\text{a)} \quad Z_{\text{ab}} = 8 + j12 - j6 = 8 + j6 = 10 \angle 36.9^\circ \Omega$$

$$I = \frac{V_{\text{ab}}}{Z_{\text{ab}}} = \frac{100 \angle 0^\circ}{10 \angle 36.9^\circ} = 10 \angle -36.9^\circ \text{A}$$

$$S = VI^* = (100 \angle 0^\circ) (10 \angle -36.9^\circ)^* \\ = 1000 \angle 36.9^\circ = 800 + j600 \text{VA}$$

$$P = 800 \text{W} \quad Q = 600 \text{var}$$

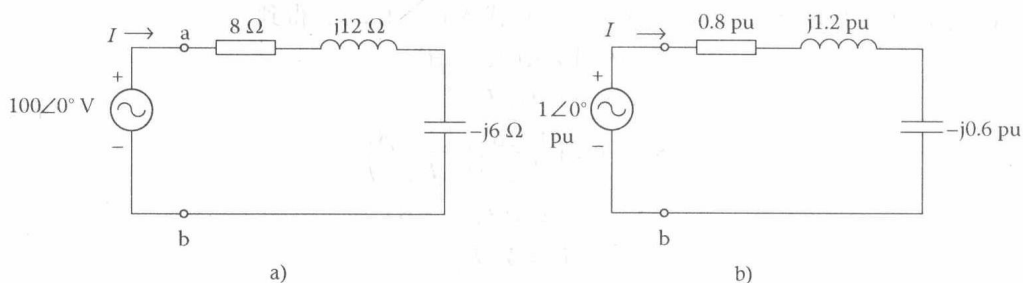


图 1.1 a) 实际值接线图 b) 标么值接线图

b) 在基准值 V_{base} 及 $S_{\text{base}} = 1000 \text{ VA}$ 下:

$$Z_{\text{base}} = \frac{V_{\text{base}}^2}{S_{\text{base}}} = \frac{(100)^2}{1000} = 10 \Omega$$

$$I_{\text{base}} = \frac{S_{\text{base}}}{V_{\text{base}}} = \frac{1000}{100} = 10 \text{ A}$$

$$V_{\text{pu}} = \frac{100 \angle 0^\circ}{100} = 1 \angle 0^\circ \text{ pu}$$

$$Z_{\text{pu}} = \frac{8 + j12 - j6}{10} = 0.8 + j0.6 \text{ pu}$$

$$= 1.0 \angle 36.9^\circ \text{ pu}$$

$$I_{\text{pu}} = \frac{V_{\text{pu}}}{Z_{\text{pu}}} = \frac{1 \angle 0^\circ}{1 \angle 36.9^\circ} = 1 \angle -36.9^\circ \text{ pu}$$

$$S_{\text{pu}} = V_{\text{pu}} I_{\text{pu}}^* = (1 \angle 0^\circ) (1 \angle -36.9^\circ)^* = 1 \angle 36.9^\circ \text{ pu}$$

$$= 0.8 + j0.6 \text{ pu}$$

将 b) 中结果变换为有名值:

$$I = (I_{\text{pu}}) I_{\text{base}} = (1 \angle -36.9^\circ) (10) = 10 \angle -36.9^\circ \text{ A}$$

$$Z = (Z_{\text{pu}}) Z_{\text{base}} = (0.8 + j0.6) (10) = 8 + j6 \Omega$$

$$S = (S_{\text{pu}}) S_{\text{base}} = (0.8 + j0.6) (1000) = 800 + j600 \text{ W, var}$$

a) 与 b) 结果相同。

在实际应用中, 基准电压 V_{base} 与基准容量 S_{base} 是可以任意选择的, 而且利用基准值换算得到的标么值会限定在一定的变化范围内。因此, 对于 V_{base} , 其数值选择应尽量接近系统的正常运行电压。通常使用的功率基准值为 1MVA、10MVA、100MVA 和 1000MVA, 这个要根据实际系统规模大小来决定。

1.1 变压器的影响

如图 1.2 中所示的理想三绕组变压器。

对于正弦稳态下的电气性能有