



高等院校机电类精品教材

电力系统分析

DIANLI XITONG FENXI

吴俊勇 夏明超 徐丽杰
郎 兵 吴振升 刘平竹 编著
陈 力



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

◇高等院校机电类精品教材

电力系统分析

吴俊勇 夏明超 徐丽杰
郎 兵 吴振升 刘平竹 编著
陈 力

清华大学出版社
北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书包括电力系统稳态分析(第1章至第5章)、电力系统暂态分析(第6章至第8章)和电力系统稳定与控制(第9章至第12章)三部分内容。主要讲述:电力系统各元件的等值电路和参数计算,潮流计算,有功功率平衡与频率调整,无功功率平衡与电压调整;短路的基本概念,对称分量法,各序网络的制定,简单不对称短路计算的复合序网法和正序等效定则;电力系统静态稳定的基本概念及其小干扰分析法,暂态稳定的基本概念及其等面积定则,电压稳定的基本概念及其静态分析等。

本书可选作高等学校电气工程有关专业的教学用书,亦可供电力系统相关专业的技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

电力系统分析/吴俊勇等编著. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社, 2012.3

(高等院校机电类精品教材)

ISBN 978-7-5121-0947-6

I. ①电… II. ①吴… III. ①电力系统-系统分析-高等学校-教材 IV. ①TM711

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第045753号

责任编辑:赵彩云

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京瑞达方舟印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:16 字数:421千字

版 次:2012年3月第1版 2012年3月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-0947-6/TM·39

印 数:1~3 000册 定价:29.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

本书是在我校《电力系统基础》本科教材（清华大学出版社，北京交通大学出版社，2008）的基础上修订而成的。全书共分十二章，包括电力系统稳态分析（第1章至第5章）、电力系统暂态分析（第6章至第8章）和电力系统稳定与控制（第9章至第12章）等三大部分内容。

电力系统稳态分析的主要内容是：电力系统的组成、运行特点和基本要求，元件模型和参数计算，标么制，开式电力网的潮流计算和简单闭式电力网的潮流计算，有功功率平衡与频率调整，无功功率平衡与电压调整等。

电力系统暂态分析的主要内容是：短路的基本概念，电力系统三相短路的实用计算方法，对称分量法，元件的各序参数和等值电路，各序网络的制定，计算简单不对称短路的复合序网法和正序等效定则。

电力系统稳定与控制的主要内容是：电力系统稳定性的定义及分类，同步发电机转子运动方程和功率特性，静态稳定性分析的小扰动法，自动励磁调节对静态稳定的作用，暂态稳定性分析的等面积定则，电压稳定的基本概念，电压稳定的静态分析。

本书是为电气工程学科的本科生量身打造的电力系统分析教材，其主要特点是突出了电力系统的基本概念和基本计算方法等基础知识，在每一章的开始都给出本章所涉及的基本概念、重点和难点，使学生做到目标明确，心中有数。再配合精心设计的例题和习题，使学生能够在有限的课时内抓住重点，打好基础。书后给出了所有习题的答案，供学生课后练习和复习参考。

本书三大部分内容相对独立，任课教师可以根据教学大纲和课时，灵活取舍，自由组合，以满足不同类别学生的教学要求。

参加本书编写的有：吴俊勇（第1、3章），吴振升和陈力（第2、4章），郎兵（第5、6章），夏明超和刘平竹（第7、8章），徐丽杰（第9、10、11、12章）。刘平竹给出了全书的参考答案。吴俊勇担任主编，并对全书进行了审订。

在本书的编写过程中，承蒙华北电力大学、华中科技大学等高等院校的老师对教材的初稿提出了宝贵的意见和建议，对此我们表示衷心的感谢。限于作者的水平和条件，书中的缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

2012年3月

目 录

第 1 章 电力系统的基础概念	1
1.1 电力系统的组成和特点	1
1.1.1 电力系统的组成	1
1.1.2 电力系统的运行特点及基本要求	2
1.2 电气设备的额定参数	4
1.3 电力系统的接线图与接线方式	6
1.4 电力系统分析课程的主要内容	7
◇ 本章小结	9
◇ 习题	9
第 2 章 电力系统各元件的参数和等值电路	11
2.1 同步发电机的等值电路和参数	11
2.1.1 同步发电机的基本概念	11
2.1.2 同步发电机稳态运行时的参数和等值电路	15
2.1.3 无阻尼绕组同步发电机的暂态参数和等值电路	16
2.1.4 有阻尼绕组同步发电机的暂态参数和等值电路	18
2.2 变压器的参数和等值电路	20
2.2.1 双绕组变压器的参数和等值电路	20
2.2.2 三绕组变压器的参数和等值电路	22
2.2.3 自耦变压器的参数和等值电路	25
2.3 电力线路的参数和等值电路	26
2.3.1 电力线路的参数	26
2.3.2 架空电力线路的等值电路	33
2.4 负荷的参数和等值电路	37
2.5 标么制	38
2.5.1 标么制	38
2.5.2 基准值的选择	39
2.5.3 多电压等级电力系统中基准电压的选择	40
◇ 本章小结	43
◇ 习题	43
第 3 章 电力系统的潮流计算	45
3.1 开式电力网的潮流计算	46

3.1.1	网络元件的电压降落和功率损耗	46
3.1.2	已知末端电压和末端功率的开式网潮流计算	49
3.1.3	已知首端电压和首端功率的开式网潮流计算	50
3.1.4	已知首端电压和末端功率的开式网潮流计算	51
3.2	简单闭式电力网的潮流计算	55
3.2.1	两端供电网络的潮流计算	55
3.2.2	简单环形网络的潮流计算	57
3.3	复杂电力系统潮流计算的基本概念	59
3.3.1	节点导纳矩阵	59
3.3.2	统一潮流方程	63
3.3.3	潮流计算的计算机算法简介及其应用	64
◇	本章小结	66
◇	习题	66
第4章	电力系统有功功率平衡和频率调整	70
4.1	频率调整的必要性	70
4.2	电力系统的有功功率平衡	71
4.2.1	有功功率平衡及其与频率的关系	71
4.2.2	有功负荷的变化规律和频率调整的方法	71
4.2.3	有功功率平衡和备用容量	72
4.2.4	负荷在各类发电厂间的合理分配	73
4.3	电力系统的频率调整	75
4.3.1	负荷的有功功率-频率静态特性	75
4.3.2	发电机组的有功功率-频率静态特性	76
4.3.3	电力系统的有功功率-频率静态特性及频率的调整	78
4.3.4	调频厂的选择	80
◇	本章小结	81
◇	习题	81
第5章	电力系统无功功率的平衡及电压调整	82
5.1	概述	82
5.1.1	电压偏移对用电设备及电力系统的影响	82
5.1.2	允许的电压偏移	83
5.2	电力系统的无功功率平衡	83
5.2.1	负荷的电压静态特性	83
5.2.2	电力网络的无功损耗	84
5.2.3	无功功率电源	85
5.2.4	无功功率平衡	87
5.3	电力系统的电压管理	88
5.3.1	中枢点的电压管理	88
5.3.2	电压调整的基本原理	89
5.4	电力系统的电压措施	90

5.4.1	改变发电机端电压调压	90
5.4.2	选择变压器变比调压	91
5.4.3	改变网络中无功功率分布调压	94
5.4.4	改变输电线路参数进行调压	98
5.5	各种调压措施的合理应用	100
◇	本章小结	102
◇	习题	102
第6章	电力系统短路的基本概念及三相短路的实用计算方法	104
6.1	短路的一般概念	104
6.1.1	短路的原因、类型及后果	104
6.1.2	短路计算的目的	105
6.1.3	短路计算的简化假设条件	106
6.2	网络的变换与化简	106
6.2.1	网络的等值变换	106
6.2.2	利用网络的对称性化简	108
6.2.3	转移电抗	109
6.3	无限大容量电源的三相短路	111
6.3.1	无限大容量电源的概念	111
6.3.2	无限大容量电源供电的三相短路暂态过程分析	111
6.3.3	短路冲击电流、短路电流的最大有效值和短路功率	113
6.4	电力系统三相短路实用计算	117
6.4.1	起始次暂态电流 I'' 的计算	117
6.4.2	应用计算曲线求任意时刻短路点的短路电流	122
◇	本章小结	128
◇	习题	129
第7章	对称分量法及电力系统元件各序参数和等值电路	132
7.1	对称分量法	133
7.1.1	对称分量法	133
7.1.2	电力系统序阻抗	135
7.1.3	对称分量法在不对称短路计算中的应用	135
7.2	电力系统元件各序参数和等值电路	138
7.2.1	同步发电机各序参数和等值电路	138
7.2.2	变压器各序参数和等值电路	139
7.2.3	架空输电线路各序参数和等值电路	143
7.2.4	综合负荷各序参数和等值电路	143
7.3	电力系统各序网络的制定	145
7.3.1	正序网络	145
7.3.2	负序网络	146
7.3.3	零序网络	146
◇	本章小结	149

◇ 习题	150
第 8 章 电力系统不对称故障的分析和计算	152
8.1 简单不对称短路的分析和计算	152
8.1.1 单相 (a 相) 接地短路	153
8.1.2 两相 (b 相和 c 相) 短路	154
8.1.3 两相 (b 相和 c 相) 短路接地	156
8.1.4 正序等效定则	159
8.2 简单不对称短路时非故障处的电压和电流计算	160
8.2.1 计算各序网中任意处的各序电流和各序电压	160
8.2.2 对称分量经变压器后的相位变换	161
8.2.3 不对称短路时非故障处的电压和电流计算	163
8.3 非全相运行的分析和计算	165
◇ 本章小结	168
◇ 习题	168
第 9 章 电力系统运行稳定性的基本概念	170
9.1 电力系统稳定性的定义及分类	170
9.1.1 功角稳定性及其分类	170
9.1.2 电压稳定性及其分类	172
9.1.3 频率稳定性	173
9.2 同步发电机转子运动方程	174
9.2.1 发电机转子运动方程	174
9.2.2 用标幺值表示的转子运动方程	175
9.2.3 惯性时间常数的物理意义	177
9.3 简单电力系统的功率特性	178
9.3.1 隐极式发电机的功率特性	178
9.3.2 凸极式发电机的功率特性	180
9.4 复杂电力系统的功率特性	182
◇ 本章小结	184
◇ 习题	185
第 10 章 电力系统的静态稳定性	186
10.1 简单电力系统的静态稳定	186
10.1.1 静态稳定性分析	186
10.1.2 电力系统静态稳定的实用判据	187
10.2 小干扰法分析电力系统的静态稳定性	188
10.2.1 小干扰法	188
10.2.2 用小干扰法分析简单电力系统的静态稳定	189
10.3 自动调节励磁对静态稳定的影响	191
10.3.1 按电压偏差调节的比例式调节器	191
10.3.2 比例式调节器对静态稳定的影响	198
10.4 提高电力系统静态稳定性的措施	199

10.4.1 采用自动调节励磁装置	199
10.4.2 减小元件的电抗	199
10.4.3 采用串联电容器	199
10.4.4 改善系统结构和采用中间补偿设备	200
◇ 本章小结	200
◇ 习题	201
第 11 章 电力系统的暂态稳定性	204
11.1 简单电力系统暂态稳定分析	204
11.1.1 简单电力系统在各种运行情况下的功角特性	204
11.1.2 简单电力系统大干扰后发电机转子的相对运动	206
11.1.3 等面积定则	207
11.1.4 极限切除角	208
11.2 发电机转子运动方程的求解方法	210
11.2.1 分段计算法	210
11.2.2 改进欧拉法	212
11.3 自动调节系统对暂态稳定的影响	217
11.4 复杂电力系统暂态稳定分析	218
11.4.1 大干扰后各发电机转子运动的特点	218
11.4.2 复杂电力系统暂态稳定的近似计算	219
11.4.3 复杂电力系统暂态稳定的判断	220
11.5 提高电力系统暂态稳定性的措施	221
11.5.1 快速切除故障和自动重合闸	221
11.5.2 提高发电机输出的电磁功率	223
11.5.3 减小原动机输出的机械功率	224
11.5.4 防止系统失去稳定的措施	225
◇ 本章小结	225
◇ 习题	226
第 12 章 电力系统的电压稳定性	229
12.1 电压稳定性的基本概念	229
12.1.1 电压失稳的机理	229
12.1.2 电压稳定性和转子角度稳定性的关系	231
12.2 电压稳定的静态分析	231
12.2.1 电源的静态电压特性	231
12.2.2 负荷的静态电压特性	233
12.2.3 电力系统的静态电压特性	235
◇ 本章小结	238
◇ 习题	238
附录 A 短路电流周期分量计算曲线数字表	239
参考文献	243

第 1 章

电力系统的基础概念

内容提要：本章介绍电力系统的组成、运行特点和基本要求，输电网和配电网的基本概念及其区别，额定电压、额定电流、额定容量和额定频率等电气设备额定参数和变压器分接头的基本概念，特别是发电机、输电线路、升压变压器、降压变压器和用电设备的额定电压的确定，以及电力系统常见的几种接线方式及其特点。

基本概念：电力系统，输电网，配电网，额定电压，额定电流，额定容量，额定频率及变压器分接头。

重点：电力系统的特点和基本要求，额定参数，接线方式。

难点：发电机、变压器、输电线路和受电设备额定电压的确定。

电力工业是国民经济的一个重要组成部分。由于电能具有便于传输、分配、转换、使用和控制等特点，被广泛用于现代工业、农业、交通运输、科学技术、国防建设，以及人民的日常生活中，涉及社会生产和生活的各个方面，因此可以说没有电力工业，就没有国民经济的现代化。

1.1 电力系统的组成和特点

1.1.1 电力系统的组成

在输送电能的过程中，为了满足用户对供电经济性和可靠性的要求，也为了满足远距离输电的需要，常需要采用多种电压等级输送电能。由发电厂中的发电机、升压和降压变压器、输电线路及电力用户组成的电气上相互连接的整体，称为电力系统。它包括了发电、输电、配电和用电的全过程。由于电力系统的设备大都是三相的，它们的参数也是对称的，一般将三相电力系统用单线图表示。电力系统中用于电能输送和分配的部分，即不同电压等级的升压和降压变电所、不同电压等级的输电线路，称为电力网。发电厂的动力部分，即火电厂的锅炉和汽轮机、水电厂的水轮机、核电厂的反应堆和汽轮机等，与电力系统组成的一个整体称为动力系统。图 1-1 所示是动力系统、电力系统和电力网的示意图。

变电所分为枢纽变电所、中间变电所、地区变电所和终端变电所。枢纽变电所一般都处于

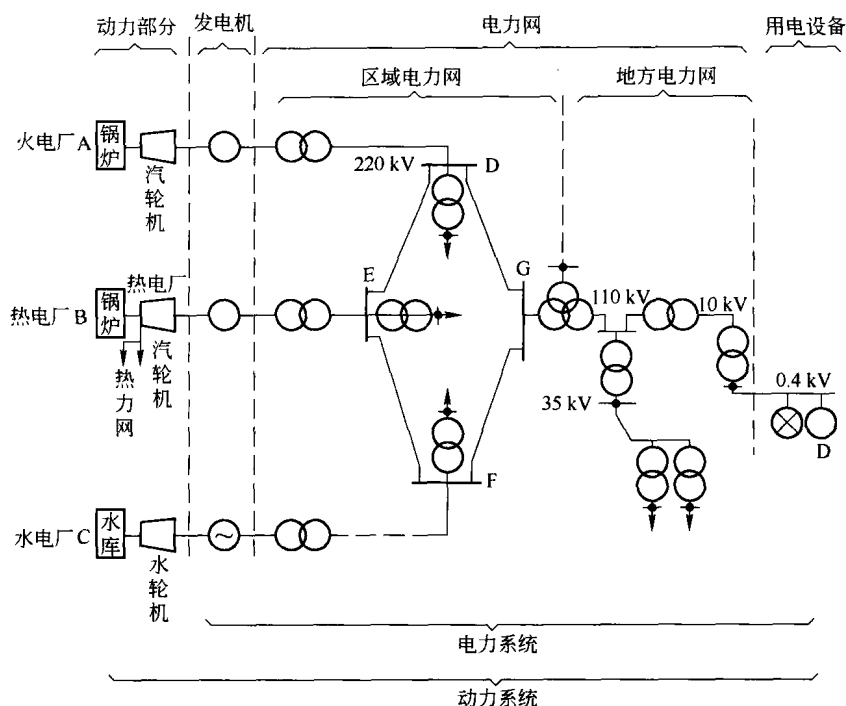


图 1-1 动力系统、电力系统和电力网示意图

电力系统各部分的中枢位置，容量很大，地位重要，连接电力系统高压和中压的几个部分，汇集多个电源，电压等级为 330 kV 及以上；中间变电所处于发电厂和负荷的中间，此处可以转送或抽出部分负荷，高压侧电压 220~330 kV；地区变电所是一个地区和城市的主要变电所，负责给地区用户供电，高压侧电压为 110~220 kV；终端变电所一般都是降压变电所，高压侧电压为 35~110 kV，只供应局部地区的负荷，不承担转送负荷功率的任务。

电力网按电压等级和供电范围可分为地方电力网、区域电力网和高压输电网。35 kV 及以下、输电距离几十公里以内、多给地方负荷供电的，称为地方电力网，又称为配电网，它的主要任务是向终端用户配送满足一定电能质量要求和供电可靠性要求的电能；电压为 110~220 kV，多给区域性变电所负荷供电的，称为区域电力网；330 kV 及以上的远距离输电线路组成的电力网称为高压输电网。区域电力网和高压输电网统称为输电网，它的主要任务是将大量的电能从发电厂远距离传输到负荷中心，并保证系统安全、稳定和经济地运行。

1.1.2 电力系统的运行特点及基本要求

1. 电力系统的运行特点

电能的生产、输送、分配及使用过程和其他工业部门相比有以下特点。

1) 电能不能大量储存

虽然钠硫电池、锂电池等蓄电池和电容器等储能元件能够储存少量电能，但对于整个电力系统的能量来说是微不足道的。可以说电能的生产、输送、分配及使用是同时完成的，即发电厂在任何时刻生产的电能恰好等于该时刻用户消耗的电能和输送、分配过程中损耗的能量之和。任何一个环节出现故障，都将影响整个电力系统的正常工作。

2) 过渡过程非常迅速

由于电力系统存在大量电感、电容元件（包括导体和设备的等值电感和电容），当运行状态发生变化或发生故障时会产生过渡过程。电能是以光速传输的，过渡过程将按该速度迅速波及系统的其他部分。因此设备正常运行的调整和切换操作，以及故障的切除，必须采取自动装置迅速而准确地完成。

3) 电能生产与国民经济各部门和人民生活关系密切

电能是国民经济各部门的主要动力。随着科技的进步和人民生活水平的逐步提高，生活电器的种类不断增多，生活用电量日益增加。电能的供应不足或突发故障都将给国民经济各部门造成巨大损失，给人民生活带来极大不便。

2 对电力系统的基本要求

对电力系统的运行有以下基本要求。

1) 保证供电的可靠性

中断供电造成的后果往往非常严重，会使各个行业生产停顿，使社会秩序混乱，给人民生活带来不便，甚至危及人身和设备的安全，给国民经济造成巨大的损失。这就要求电力系统在运行中首先要保证可靠、不间断地向电力用户供电。为此，一方面必须保证设备运行可靠，另一方面要提高运行、管理水平。

2) 保证供电的电能质量

电能是一种商品，它的质量指标主要有电压、频率和波形。随着经济的发展和人们生活水平的提高，对电能质量的要求越来越高。

(1) 电压。

系统电压过高或过低，对用电设备运行的技术和经济指标有很大影响，甚至会损坏设备。一般规定电压的允许变化范围为额定电压的 $\pm 5\%$ 。

(2) 频率。

频率的高低影响电动机的出力，会影响造纸、纺织等行业的产品质量，影响电子钟和一些电子类自动装置的准确性，使某些设备因低频震动而损坏。我国规定频率的允许变化范围为 $50 \pm (0.2 \sim 0.5) \text{Hz}$ 。

(3) 波形。

电力系统供给的电压或电流一般都是较为标准的正弦波，但是在电能的传输过程中会发生畸变。引起谐波产生的原因很多，如带铁心设备的饱和、系统的不对称运行、在系统中接入了电子设备、整流设备、电气化铁路等。例如，我国规定，110kV 电网电压总谐波畸变率^①不大于 4% ，6kV 电网不大于 2% 。

3) 保证电力系统运行的经济性

在电能的生产过程中降低能源消耗，以及在传输过程中降低损耗是电力系统需要解决的重要问题。常采用的措施有：采用节能的大机组；提高超高压和特高压输电的比重；合理发展电力系统，选用经济运行方式；无功补偿降低线路损耗；采用低损耗变压器等。

4) 满足节能与环保的要求

要求电力系统的运行能满足节能与环保的要求，如实行水火电联合经济运行，最大限

^① 总谐波畸变率（Total Harmonic Distortion, THD）是指周期性交流量中的谐波分量的方均根值与其基波分量的方均根值之比，用百分数表示。

度地节省燃煤和天然气等一次能源，将火力发电释放到大气中的二氧化硫、二氧化氮等温室气体控制在最低水平，大力发展风力发电、太阳能发电等可再生能源发电，实现低碳经济和能源的可持续发展战略。

1.2 电气设备的额定参数

电力系统的设备和用户电气设备的种类很多，它们的作用、结构、原理、使用条件及要求各不相同，但都有额定电压、额定电流、额定容量（功率）和额定频率这些主要参数。

1) 额定电压

为了使电器的设计、制造和选用实现标准化和系列化，电气设备都要规定其在正常工作条件下的电压，即额定电压。额定电压是国家强制规定的一组系列值。各种设备在其额定电压下运行时的技术、经济效益是最佳的。对于三相电力系统及设备来说，额定电压指其线电压的有效值；对于低压三相四线制系统的单相电器是指其相电压的有效值。

我国编制的电力系统 1 kV 以下的电压等级分别为 220 V、380 V；1 kV 及以上的电压等级分别为 3 kV、6 kV、10 kV、35 kV、60 kV、110 kV、220 kV、330 kV、500 kV、750 kV、1 000 kV，其中 60 kV 只有在东北电网存在，330 kV 和 750 kV 在西北电网存在。表 1-1 列出了我国规定的部分额定电压等级。从表中可以看出以下几点。

表 1-1 部分额定电压等级

单位：V

受电设备			发电机		变压器			
直流	三相交流		直流	三相交流 (线电压)	三相		单相	
	线电压	相电压			一次绕组	二次绕组	一次绕组	二次绕组
100			115					
	(127)			(133)	(127)	(133)	(127)	(133)
220	220	127	230	230	220	330	220	330
400	380	220	400	400	380	400	380	400
			460					
	3 000			3 150	3 000 和 3 150	3 150 和 3 300		
	6 000			6 300	6 000 和 6 300	6 300 和 6 600		
	10 000			10 500	10 000 和 10 500	11 000 和 10 500		
				13 800	13 800			
				15 750	15 750			
				18 000	18 000			
	35 000				35 000	38 500		
	(60 000)				(60 000)	(66 000)		

续表

受电设备			发电机		变压器			
直流	三相交流		直流	三相交流 (线电压)	三相		单相	
	线电压	相电压			一次绕组	二次绕组	一次绕组	二次绕组
	110 000				110 000	121 000		
	(154 000)				(154 000)	(169 000)		
	220 000				220 000	242 000		
	330 000				330 000	363 000		
	500 000				500 000	550 000		

注：括号内数字为不推荐电压等级。

- (1) 受电设备（用电设备和负荷）的额定电压与系统（电网）的额定电压相等。
- (2) 电力线路的额定电压和系统的额定电压相等，有时把它们称为网络的额定电压，如 220 kV 网络等。
- (3) 发电机是电力系统的电源，处于线路首端。受电设备允许的电压偏移为±5%，考虑线路允许 10% 的电压降落，所以规定发电机额定电压比其所接电网额定电压高 5%。如接入 6 kV 系统的发电机，其额定电压为 6.3 kV 等。
- (4) 变压器具有电源和受电设备的双重性，一次绕组看成受电设备，其额定电压等于系统的额定电压，与发电机直接连接时等于发电机的额定电压。二次绕组可看成电源，规定其额定电压为变压器的空载电压值，变压器二次绕组的额定电压比系统的额定电压高 10%。为适应电力系统运行调节的需要，通常在变压器的高压绕组上设计制造有分接头。分接头用百分数表示，即表示分接头电压与主抽头电压的差值为主抽头电压的百分之几。当变压器运行于主抽头时，高压侧额定电压与低压侧额定电压之比为变压器的额定变比。对同一电压等级的升压变压器和降压变压器，即使分接头百分值相同，分接头的额定电压也不同。图 1-2 为用线电压表示的连接 10 kV 和 220 kV 网络的具有抽头 $(1\pm2\times2.5\%)V_N$ 的升压变压器和降压变压器。当变压器运行于同样的+5%抽头时，升压变压器高压侧的额定电压为 $242\times1.05\text{ kV}=254\text{ kV}$ ，变压器的实际变比为 254/10.5；而降压变压器高压侧的额定电压为 $220\times1.05\text{ kV}=231\text{ kV}$ ，变压器的实际变比为 231/11。

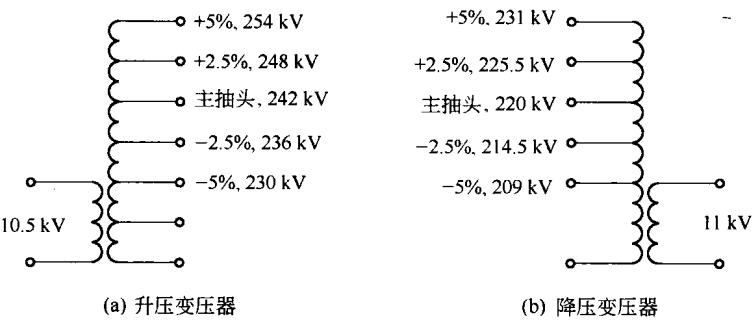


图 1-2 变压器分接头的额定电压

2) 额定电流

额定电流是指在一定的周围介质（环境）计算温度下，电气设备所允许长期通过的最大电流值。此时其绝缘部分和载流部分的长期最大发热温度不应超过其长期工作的允许发热温度。为了使设备的设计、制造、选用实现标准化和系列化，额定电流不是连续任意值，而是一组系列值。

3) 额定容量

电气设备的额定容量（功率）规定的条件与额定电流相同。对于发电机、变压器和互感器等可以作为电源的设备，额定容量（功率）是指其能够带负载的能力；对于电动机等用电设备，额定容量（功率）是指其消耗的电功率。发电机的容量一般用有功功率（kW）表示，变压器的容量一般用视在功率（kVA）表示，电动机等的容量一般用有功功率（kW 或 W）表示。

4) 额定频率

额定频率没有特殊要求和说明，我国电力系统的标准频率为 50 Hz。

1.3 电力系统的接线图与接线方式

1. 电力系统的接线图

电力系统的接线图通常分为两种：电气接线图和地理接线图。

电气接线图是用标准的元件符号将主要一次设备按照设计要求连接的电路。它能够详细描述电力系统各元件之间的电气联系，但不能反映各个发电厂和变电所的地理位置关系，如图 1-3 所示。

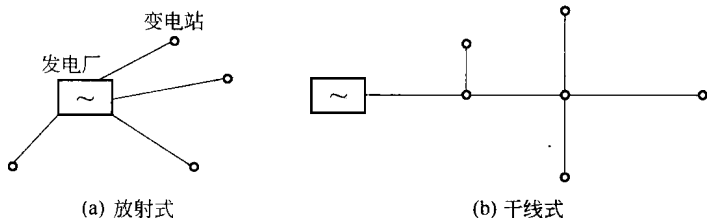


图 1-3 电力系统的电气接线图

地理接线图一般要求按比例把发电厂和变电所的相对位置、线路条数及路径走向表示得很清楚，能够反映元件间的电气联系，但不要求特别清楚。图 1-4 是地理接线图，地理接线往往表示电力网的网络接线形式。

2. 电力系统的接线方式

电力系统的接线方式大体可归纳为两种基本接线方式：放射形接线和环网接线。放射形接线是指用户从一个方向取得电源的接线方式，包括单回线放射式、干线式（树状）、链式网络，图 1-3（a）即为放射形网。它的优点是接线明晰、经济、运行方式简单；缺点是供电可靠性差。在配电网使用较多，一般适合给不太重要、比较分散的负荷供电。

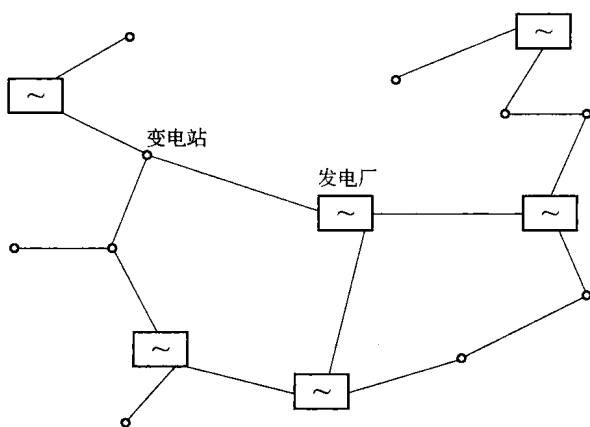


图 1-4 电力系统的地理接线图

环网接线是指用户可以从两个及以上方向取得电源的接线方式，包括双回线的放射式、两端手拉手环网、复杂环网等，如图 1-5 所示。它的优点是供电可靠；缺点是接线相对复杂，经济性差，运行操作和保护复杂。高电压等级的输电网，可采用环式网；城市配电网重要的用户多采用双回线的放射式、干线式、链式网络和两端手拉手环网供电。

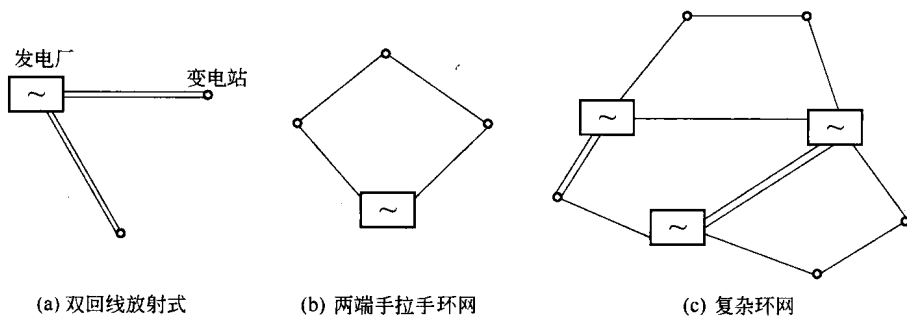


图 1-5 电力系统的环网接线

大电网通常是以上两种接线方式的各种组合，如某一大型发电厂，它以几条回线的高压或超高压出线，将其发电功率传输到几个高压（正确）或超高压变电站，就是采用放射形接线；对于某一重要的变电站，采用两回及以上的输电线进线；电力系统为了保证调度的灵活性和线路故障或检修时的可靠性，又在重要变电站之间架设联络线，这就形成了环网。

1.4 电力系统分析课程的主要内容

电力系统分析是电力系统及其自动化专业的必修课，内容非常丰富。但为了在有限的课时内让学生能抓住重点，本教材的组织重点突出了基本概念和基本计算方法，为学生今后从事本领域的研究和打打下一个坚实的基础。它主要包含电力系统稳态分析（第 1 章至第 5 章）、电力系统暂态分析（第 6 章至第 8 章）、电力系统稳定与控制（第 9 章至第 12 章）三大部分内容。第一部分是第二部分的基础，而第三部分相对独立。教师可以根据教学大纲和

课时数的要求灵活掌握,或者全部讲授,或者只讲授前两部分,或者只讲授第三部分。

在第一部分中,第1章首先介绍电力系统的组成、运行特点和基本要求;然后介绍额定电压、额定电流、额定容量和额定频率等电气设备额定参数和变压器分接头的基本概念,特别是发电机、输电线路、升压变压器、降压变压器和用电设备额定电压的确定;最后,还介绍电力系统常见的几种接线方式及其特点。

第2章介绍电力系统中同步发电机、变压器、电力线路、负荷的等值电路模型及其等值参数的含义和计算公式;引入了标幺制的概念,介绍电力系统中各元件电抗标幺值的计算公式,以及多电压等级电力系统中基准值的选取方法。

第3章在介绍潮流计算、电压降落和功率损耗等基本概念的基础上,详细介绍各种情况下开式电力网的潮流计算;以两端供电网络和简单环形供电网络为例,介绍简单闭式电力网的潮流计算;最后介绍节点导纳矩阵、统一潮流方程等复杂电力系统潮流计算的基本概念,潮流计算的计算机解法,以及它们在实际电力系统运行中的应用。本章是第一部分内容的重点。

第4章首先介绍频率调整的必要性,有功功率平衡及其对系统频率的影响,电力系统负荷的变化规律以及相应的频率调整手段。然后介绍电力系统中负荷、同步发电机的有功功率频率静态特性,分析了电力系统中负荷变化时,发电机的调速原理和发电机输出功率的调整过程,即频率的一次调整和二次调整过程。

第5章介绍电力系统无功功率负荷、无功功率损耗和无功功率电源的基本特性,电力系统无功功率平衡的基本概念,电力系统中枢点电压的调整方式,以及所采取的调压措施。

在第二部分中,第6章介绍短路的基本概念,电力网络化简的基本方法,无限大容量电源供电系统三相短路的暂态过程分析,以及电力系统三相短路的实用计算方法。

第7章在介绍对称分量法的基础上,引出了序阻抗的概念,讲述对称分量法在不对称短路计算中的应用方法。然后系统地讲解电力系统各元件的各序参数和等值电路,最后给出电力系统正序、负序和零序网络的制定原则。

第8章在上一章对称分量法的基础上,给出各序故障点的电压平衡方程式,利用简单不对称短路的边界条件进行联立求解,从而对简单不对称短路进行分析和计算。在总结了几种简单不对称短路分析结果的基础上,归纳出计算简单不对称短路的复合序网法和正序等效定则。最后介绍变压器相位变换问题及非全相断线的分析计算方法。

在第三部分中,第9章首先介绍电力系统稳定性的定义及分类,包括角度稳定性及分类、电压稳定性及类型、频率稳定性等;然后给出同步发电机转子运动方程。最后介绍简单电力系统的功率特性即隐极式发电机的功率特性、凸极式发电机的功率特性及复杂电力系统的功率特性。

第10章首先介绍同步发电机组的机电特性,包括同步发电机组的转子运动方程和电磁转矩及功率方程,静态稳定性分析方法,即实用判据法和小干扰法;然后介绍简单电力系统的静态稳定性分析及自动励磁调节对静态稳定的作用;最后介绍励磁控制的发展及PSS的应用,给出了提高静态稳定性的措施。

第11章首先讲述简单电力系统在各种运行情况下的功角特性,以及简单电力系统受到大干扰后发电机转子的相对运动;然后介绍了暂态稳定性分析的等面积定则和发电机转子运动方程的数值解法和复杂电力系统的暂态稳定性;最后介绍提高电力系统暂态稳定性的