

21 世纪电子电气工程师系列

电力系统

双色

〔日〕 正田英介 主编
丹羽信昭 编

ART 21
电子电气工程师

科学出版社

OHM 社

21 世纪电子电气工程师系列

电力系统

〔日〕 正田英介 主编 丹羽信昭 编
金晶立 译
金世军 校



科学出版社 OHM 社

2001 北京

图字:01-2001-0069 号

Original Japanese edition

Arute 21 Denryoku System

Edited by Nobuaki Niwa

Copyright © 1997 by Nobuaki Niwa

Published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese language edition is co-published by Ohmsha, Ltd. and Science Press.

Copyright © 2001

All rights reserved.

本书中文版权为科学出版社和 OHM 社所共有

アルテ21

電力システム

丹羽信昭 オーム社 2000年1版4刷

图书在版编目(CIP)数据

电力系统/[日]丹羽信昭编;金晶立译.-北京:科学出版社,2001

(21世纪电子电气工程师系列/[日]正田英介主编)

ISBN 7-03-009367-4

I. 电… II. ①丹… ②金… III. 电力系统 IV. TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 25727 号

北京东方科龙电脑图文制作有限公司 制作

科学出版社 OHM 社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2001 年 7 月第 一 版 开本: A5(890×1240)

2001 年 7 月第一次印刷 印张: 5 3/4

印数: 1—5 000 字数: 171 000

定 价: 16.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

主编的话

当今,电子设备已广泛应用于国民经济的各个领域。为了用好这些电子设备,科技人员必须掌握电子技术方面的有关知识。目前,电子技术的应用领域也在迅速扩展,人材需求量很大的状况一直没有改变。因此对电子工程专业的毕业生有必要从应用的角度进行二次培训,也有必要为非电专业的技术工作者学习电气电子技术的基础知识创造更多的机会。

为了适应这一形势的需要,组织编写了“21世纪电子电气工程师系列”丛书,目的是要编写一套全面系统介绍电子电气专业基础知识的,既适用于企业技术人员培训,也适于非电专业技术人员阅读的新型教科书。丛书编委都是在日本有名的电子电气企业中长期从事职工教育培训的专家,丛书结构及各册内容均由编委会讨论决定。

本套丛书的特点首先表现在教材内容紧密联系实际。通过产品和技术模型说明基础知识与产品、系统的关系,通过具体产品的结构和系统中所发生的现象说明其工作原理或理论。另外,本丛书的所有执笔者均为在相应企业中长期从事实际技术工作或从事职工教育工作的专家,所以,具有丰富的实际经验,书中的举例和例题都是他们多年工作经验的结晶。

此外,在电子技术的专业教学中,由于所涉及内容非常广泛,所以以往在对教学内容细化的同时常常忽略了对基础内容的充分消化。本丛书充分注意到了这一问题,从现象入手说明原理,从而保证了基础知识易学易懂,教材内容紧密联系实际。本丛书还可用于大专院校的专业课教学。

由于受产业全球化和社会环境的影响,21世纪的工程学科必将会发生巨大的变化。读者通过对本套丛书的学习,可以对新时代的电子技术知识有较系统的了解,并在各种领域的产品和系统的革新中充分发挥自己的聪明才智。

东京理科大学教授,工学博士

正田英介

21 世纪电子电气工程师系列

编辑委员会

主 编 正田英介(东京大学)

编 委 楠本一幸(株式会社东芝)
岛田 弥(三菱电机株式会社)
高木正藏(东芝综合人材开发株式会社)
常深信彦(株式会社日立制作所 日立京滨工业专科学院)
丹羽信昭(东京电力株式会社 东电学园)
春木 弘(株式会社富士电机能力开发中心)
吉冈芳夫(株式会社日立制作所)
吉永 淳(福井工业大学 前三菱电机株式会社)

执 笔 (东京电力株式会社 东电学园)

安西 隆	石塚胜美
川口 尊	奥石正明
小矢胜义	坂本正喜
佐佐木昭	新保寿郎
永井利幸	山本 勳

前 言

随着电力技术向高新化、复杂化的迅速发展,电力系统在从发电到供电的所有领域中,通过新技术的使用,不断提高供电的安全性和稳定性,以保障社会活动和经济活动的顺利开展。当今,世界正处在重大变革时期,这对于必须适应现代化的技术人员来说,就要逐步提高适应时代发展的新的专业技术水平,才能成为适应企业发展需要的人才。

本书以想系统学习电力技术的人员为对象,是一部适应于生产第一线的实际工作者的企业内培训教材,也是一部能在较短时间内掌握要领的速成教材;希望为自学电力技术的人们所利用。本书的组成如下:

第1章 电力系统——介绍系统的全貌;

第2章 发电设备——学习各种发电设备;

第3章 输电设备——学习输电、变压、供电等输送设备;

第4章 电力设备的维修技术——学习各电力设备维修技术的要点;

第5章 电力系统的运行技术——学习电力系统运行技术的要点;

第6章 配电设备——了解用户配电设备。

电力设备的状况以及维修、运行,不同的电力公司有不同的规则,不一定要全国统一,但是,基本的部分做统一考虑也不碍大局。

本书的学习方法是,边思考边学习,一定要联系实际情况和问题,即:

1. 正如在野外漫步登山一样,慢慢地阅读和理解。
2. 在抓住全貌的基础上,了解技术上的问题和课题。
3. 努力做到不仅掌握,还能讲解。

无论世界如何变化,学习基本技术的重要性是不会改变的,因此,本书若能对初学电力技术的人员或与电力相关的技术人员有所帮助,编者感到不胜荣幸。

最后,在此书即将出版的时候,向以编委会主任东京大学正田英介教授为首的各位编委所给予的支持表示感谢。

编 者

目 录

第 1 章 电力系统

1.1	电力系统的构成	1
1.1.1	电力资源规划	1
1.1.2	联合经营	5
1.1.3	电力系统构造	7
1.2	供电质量——电力系统的运行目的	14
1.2.1	标准电压及其维持	15
1.2.2	频率及其维持	17
1.2.3	确保供电可靠性	18
1.3	电力高峰的日益增长及其对策	21
1.3.1	电力高峰	21
1.3.2	尖峰调整对策	22

第 2 章 发电设备

2.1	原子能发电	27
2.1.1	发电原理	27
2.1.2	主要设备	28
2.1.3	原子燃料	32
2.1.4	运 行	32
2.1.5	确保安全性和可靠性	32
2.1.6	电源开发程序	33
2.2	火力发电	34
2.2.1	火力发电的组成	34
2.2.2	主要设备	36

2.2.3	火力发电燃料	39
2.2.4	发电厂的运行	40
2.2.5	环境对策	40
2.2.6	火力发电的开发	41
2.3	水力发电	42
2.3.1	水力发电的组成	42
2.3.2	水力发电的种类	43
2.3.3	水力发电的基本思路	44
2.3.4	主要设备	46
2.3.5	水力发电厂的控制方式和技术开发	50
2.4	以新能源为中心的分散性电源	51
2.4.1	热力发电余热利用系统	51
2.4.2	太阳能发电	51
2.4.3	燃料电池	54
2.4.4	风力发电	55

第3章 输电设备

3.1	变电所	57
3.1.1	变电所的种类	57
3.1.2	变电所的选址	57
3.1.3	变压器容量及其单元数	58
3.1.4	开闭装置	59
3.1.5	调相设备	61
3.1.6	避雷装置	61
3.1.7	继电保护装置	61
3.1.8	变电所引出线路数	62
3.1.9	接线方式	62
3.1.10	变电所的形式	65
3.1.11	强烈地震对策	65
3.2	架空输电线	66

3.2.1	输电电压	66
3.2.2	通道的选定	67
3.2.3	线路数的选定和支持物的设计	67
3.2.4	选择电线	69
3.2.5	导线分裂方式的选定	70
3.2.6	转相塔	71
3.2.7	接入方式	72
3.2.8	故障点测定装置	73
3.2.9	OPGW 的适用探讨	73
3.2.10	障 碍	74
3.3	地下输电电线	75
3.3.1	地下电缆的布设方式和使用电压	76
3.3.2	选定地下输电线的通道	77
3.3.3	电力电缆及其附件	77
3.3.4	冷却方式	78
3.3.5	地下电缆异常信息处理	78
3.4	供电线	79
3.4.1	电压和供电方式	79
3.4.2	电压下降幅度	79
3.4.3	系统构成	80
3.4.4	供电线路的种类和适用区分	83
3.4.5	高压供电线的控制方式	84
3.4.6	住宅小区的供电方式	85
3.4.7	盐雾害及其他灾害的思考	86
3.4.8	计量用电表	87

第 4 章 电力设备的维修技术

4.1	电力设备的异常诊断	89
4.1.1	设备异常诊断的基本方法	89
4.1.2	发电机的寿命老化诊断	90
4.1.3	锅炉和汽轮机的寿命老化诊断	91

4.1.4	用分析油中气体的方法进行变压器 的设备诊断	91
4.1.5	气体绝缘设备的诊断	94
4.1.6	绝缘子的绝缘性检测和老化诊断	96
4.1.7	绝缘电线的老化诊断	97
4.1.8	电缆的老化诊断	98
4.2	电力设备的事故和电力系统的异常	100
4.2.1	电力设备的事故	100
4.2.2	电力设备的事故原因	100
4.2.3	自然现象造成的电气事故发生的原因	101
4.2.4	电力系统的异常	102
4.3	保护技术和设备检修	104
4.3.1	设备检修的基本思路	104
4.3.2	原子能发电厂	105
4.3.3	火力发电厂	106
4.3.4	水力发电厂	107
4.3.5	变电所	108
4.3.6	架空输电线	109
4.3.7	地下输电线	110
4.3.8	供电线	111
4.4	事故恢复	112
4.4.1	事故恢复的目的	112
4.4.2	发电厂·变电所	113
4.4.3	架空输电线	114
4.4.4	地下输电线	115
4.4.5	供电线	115

第5章 电力系统的运行技术

5.1	系统运行	119
5.1.1	供电业务	119
5.1.2	系统操作	121

5.1.3	操作指令	123
5.1.4	计划停电	125
5.1.5	作业用地线的操作	126
5.2	确保系统稳定性	127
5.2.1	稳定性	127
5.2.2	相位角的稳定性	127
5.2.3	电压稳定性	131
5.3	系统保护方式	133
5.3.1	基本思路	133
5.3.2	解除事故	134
5.3.3	防止事故扩大	134
5.3.4	确保系统联接与供电恢复快速化	135
5.3.5	继电保护方式	136
5.3.6	安装保护继电器的条件	138
5.4	电力设备的监视控制(水力发电·变电)	138
5.4.1	基本思路	138
5.4.2	监视控制方式	138
5.4.3	设备自动化	139
5.5	电力通信设备	142
5.5.1	电力通信设备的作用	142
5.5.2	电力通信线路的使用范围	143
5.5.3	通信设备的概况	143

第6章 配电设备

6.1	供电的基本思路	147
6.1.1	契约电力和供电电压	147
6.1.2	电气契约种类和容量	148
6.2	高压配电设备	148
6.2.1	高压用户引入口设施	148
6.2.2	配电方式和配电设备容量	152

6.2.3	配电设备	153
6.2.4	保护(检查·试验)	156
6.2.5	保护方式	157
6.2.6	地线工程	158
6.2.7	备用电源	158
6.3	低压配电电气设备	161
6.3.1	供电方式	161
6.3.2	分电盘	162
6.3.3	配线方法和使用电线	163
6.3.4	保护(检修·检查)	163
	译者跋	167

第 1 章 电力系统

电力系统是包括发电、输电、供电的庞大系统,它随着用电量的增加而扩大。面对年年增加的需求,为确保供电可靠性和经济性,要考虑日益增长的需求搞好电源计划,同时必须把握电力系统的全局来考虑全系统的构成和控制。本章我们将电力系统作为系统工程,学习掌握电力系统的总构成。

1.1 电力系统的构成

1.1.1 电力资源规划

1 电力资源规划的思路

为确保电力需求和供电可靠性的目标,要有满足需求的足够的电力资源,即针对增长的需求,要不断开发电力资源。

所谓电力资源开发规划,是电力公司计划何时、何地,要建多大规模、什么类型电厂的决策过程,即决策:

- 电力设备的需要时间;
- 电力设备的容量;
- 电力设备的类型;
- 电力设备的配置等。

首先,要决定电力设备的需要时间及其容量,重要的是要考虑长远需求,即规划要多大的设备容量才能满足日益增加的需求,计算若干年以后需要增加多少万 kW 的设备等。这里有一个到底需要多少备用容量为合适的问题。少了,经常停电,损坏电力公司的信誉;多了,浪费设备投资,增加经费投资。要斟酌这个利弊综合考虑的过程,叫电力需求规划。制定规划的关键是以供电可靠性分析为基础的综合考虑。

1964 年制定的《电力事业法》，实行了 31 年后进行了修改(1995 年 12 月 1 日实行)，该法允许自由经营发电等，引入了电力经营的竞争机制。因此，制定规划时必须考虑，IPP(Independent Power Producer:独立系统供电经营者)倡导的“顾客为上帝”的服务思想。

理想地来说，决定发电容量和发电形式后，在众多候选地点中，选择最合理的厂址是再好不过了。但是，像日本国土狭窄的国家，选址的制约性很大，因此选址成为首先考虑的问题。如图 1.1 的电力开发示意图，说明供电规划、电力构成规划、电力配置规划是相互关联的，必须把相互制约条件反复比较，构筑最优方案。

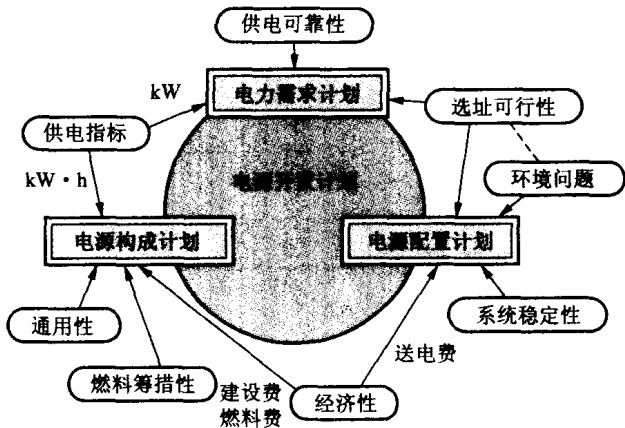


图 1.1 电力开发规划相关图

在这里的关键是发电形式的选择，不同的发电形式其工程费(建厂费)、燃料费也不同，因此，应在全面分析的基础上追求经济效益。表 1.1 列出各发电形式的电价比较表。

表 1.1 按发电形式的电价比较

(1992 年度运行标准:通商产业省)(每 kW·h, kW)

	年度发电原价(输电端)	建设单价
一般水力	13 日元左右	60 万日元左右
石油火力	10 日元左右	19 万日元左右
原子能	9 日元左右	31 万日元左右

这里需要分析燃料的供应情况,在确保供应的同时还要看其价格的动向,因为它将左右经济效益。那么根据以上分析,确定电厂要建在什么地方,已成为又一新课题了。水力发电首当其冲的是受地理条件的限制。火力发电厂的选址自由度大一些,但距离的远近,对输电设备规划影响很大。若远距离输电,则输电中的电压问题将成为系统安全性的关键,因此必须考虑随着输电设备的增加而产生的综合经济效益分析。

2 供电指标

短期和长期的供电指标有很大的区别,电力开发规划中则考虑长期供电(指标为 10 年)。供电指标包括年供电量($\text{kW} \cdot \text{h}$)、最大电力(kW)和负荷曲线等。最大电力指标,是指全系统的总供电能力,有时最大供电能力指一年间的连续供电能力,但常用的是每月的最大供电能力。这是因为发电设备定期保养维修占去很长时间,有必要按月考虑供电平衡的缘故。

发电量指标,是在电力规划中使用的指标,是按发电形式最优组合时计算燃料费的依据。但要计算燃料费只有总发电量是不够的,同时需要负荷曲线。表示一天内负荷变化的叫日负荷曲线(daily load curve),把 365 天的日

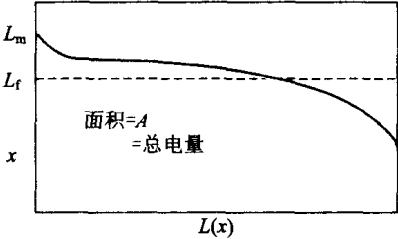


图 1.2 负荷曲线

负荷曲线汇集起来,按峰值大小排列描绘出如图 1.2 所示为年负荷曲线。这里 L_m 为负荷峰值,面积 A 为总电量。平均电力(L_f)是一定时间的电量($\text{kW} \cdot \text{h}$)除以时间的值,把平均电力除以最大电力(L_m)得负荷率,即年负荷率,可用下式计算:

$$\text{年负荷率} = \frac{\text{总电量}(\text{kW} \cdot \text{h})}{\text{最大电力}(\text{kW}) \times \text{总时间}(\text{h})} \times 100\% \quad (1.1)$$

3 电源形式

针对年年增加的需求,应考虑长远的能源发展趋势,从稳定性和经济性出发,选择最佳电源形式是必要的。具体来说对于水力、火力、原子能等,其经济性、运转特性等有很大区别的电力,应针对负荷状况进行组合,充分发挥各设备的潜能,规划出更经济更合理的电源形式。

电力工程一旦完成,在确保供电的稳定性的基础上为了长远利用,根据能源的发展动向,应使开发用综合经费做到最小,即根据供电、燃料动向、技术开发预测,在分析电源形式的经济性基础上,选择供电稳定又经济的最佳电源形式(表 1.2)。

4 电力开发量

用式(1.2)计算的**供电备用率**,取合适值决定电力开发及开始运转的最佳时间。

$$\text{供电备用率} = \frac{\text{供电力} - \text{需求}}{\text{需求}} \times 100\% \tag{1.2}$$

表 1.2 全电力公司的电源构成发展

单位:10⁴ kW,()内表示所占比率/%

年度	1990	1991	1992	1993	1994	1995
水力	3632 (21)	3760 (21)	3801 (21)	3847 (21)	4043 (21)	4196 (21)
火力	10300 (60)	10452 (60)	10706 (60)	10908 (59)	11219 (58)	11501 (58)
原子能	3148 (19)	3324 (19)	3442 (19)	3838 (20)	4037 (21)	4119 (21)

(日本中央电力协会资料)

供电备用率是在事故、缺水、负荷增加时,也能确保稳定供电,是具有超过计划的供电能力。供电备用率指标,是由供电可靠性指标所决定的。通常系统的最大发电机组中,即便停机 1~2 台也应具备继续供电的能力。这里所说的需求是在供电计划中常用的词,它是从某月的月内一小时最大用电量往前推 3 天的用电平均值(最大 3 日用电平均值)。

5 IPP

根据近年来机制要放宽的形势,为了进一步提高供电效率,修改了《电力事业法》(1995 年 12 月 1 日施行),在供电行业中出现了用户为“上帝”的叫做 IPP(Independent Power Producer)的供电公司。

从确保电力系统的稳定运行和提供优质电能的考虑,应对从电厂到用户用电地点的电力系统,进行统一的运行管理。对供电公司的新增设备,要

十分关注电气设备技术标准和下列事项：

- ① 做到全系统的协调；
- ② 防止供电企业的设备故障；
- ③ 防止由于用户的故障波及系统安全。

面对新的服务规范，电力公司引入了招标制，但要发挥新制度的有效作用，还需要公开性和公平性。

● 1.1.2 联合经营

1 联合经营的方法

电力企业的联合经营，是九个电力公司和电能开发公司应用新技术并考虑经济性相互协作，进行电源开发、系统联接、设备运用、电力联网（互补）及供电运营等，是以供电的稳定和电价的稳定为目标而成立的（从 1958 年 4 月启动）。

具体的来说，由于供电能力、设备的故障和洪水等随机因素，造成各电力公司的最大负荷不是同时发生，即不同步性。联合各个系统互补可保证稳定供电，可以暂缓能源设备等的建设。如上所述，联合经营是以其主管办事机构中央电力协议会为中心进行工作的（表 1.3）。

表 1.3 联合经营的经营组织

中央电力协议会	： 决定各公司间的电源开发计划 设备运用计划 联合经营的有关重要问题。
理 事 会	： 调整中央电力协会的重要协议事项。
中央供电联席会议	： 遵从中央电力协议会决定的基本方针，协议或决定联合供电运营的有关事项。
中央供电指令所	： 隶属于中央供电联席会，是融通 调整指令等进行供电运营的业务机构

2 电力联网

电力联网的目的是缓和各电力公司之间的供电不平衡，经济合理运用电力设备。

电力联网大致分为“全国联网”和“二公司间联网”，其关系如表 1.4 所示。

3 全国主要联网供电地区

全国的联网供电地区如图 1.3 所示。