



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

Automation of Electric Power Systems

电力系统自动化

孙秋野 王占山 马大中 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

21st century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation

Automation of Electric Power Systems

电力系统自动化

孙秋野 王占山 马大中 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

电力系统自动化 / 孙秋野, 王占山, 马大中编著

— 北京: 人民邮电出版社, 2014.4

21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

ISBN 978-7-115-33293-6

I. ①电… II. ①孙… ②王… ③马… III. ①电力系
统一自动化—高等学校—教材 IV. ①TM76

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第281186号

内 容 提 要

本书系统地阐述了电力系统自动化的基本概念、发展趋势以及相关应用技术和设备等。

全书共分为9章, 主要内容包括: 电力系统自动化基础; 数据采集及通信原理; 供配电自动化; 发电机的自动并列; 同步发电机励磁自动控制系统; 电力系统有功功率与频率; 电力系统无功功率和电压; 分布式发电技术; 智能电网概述。通过对本书的学习可使读者对电力系统自动化技术及其未来的发展方向有一个完整的、深入的认识。

本书可作为电气工程及其自动化和其他相近专业的本科教材, 也可作为有关工程技术人员的参考用书, 还可作为电力系统自动化系统技术人员的培训教材。

◆ 编 著 孙秋野 王占山 马大中

责任编辑 李海涛

责任印制 彭志环 焦志炜

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京鑫正大印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 16.75

2014年4月第1版

字数: 414千字

2014年4月北京第1次印刷

定价: 39.80元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

电力系统是一个地域分布辽阔,并由发电厂、变电站、输配电网络 and 用户组成的统一调度和运行的复杂大系统。电力系统自动化是指对电能生产、传输和管理实现自动控制、自动调度和自动化管理。电力系统自动化的领域包括生产过程的自动检测、调节和控制,自动安全保护,数据的自动传送及系统生产的自动调度等。电力系统自动化的主要目标是保证供电的电能质量,保证系统运行的安全可靠,提高经济效益和管理效能。

作为电气工程及其自动化专业的主干课程以及相关专业的辅助课程,本书在取材方面,除力求讲清基本概念、基本理论之外,也注意介绍国内外先进科学技术和本学科的发展方向,除尽量保证学科的系统性、完整性之外,也适当涉及我国智能电网与分布式能源的现状和相关技术。为了方便读者更好地理解书中所包含的内容,我们在每一章最后,根据课程特点,补充了教学计划参考,并为大家补充了在实际的生产过程中经常使用的技巧、常见的问题及解决方案。这些电气自动化常识和职业常识可以使读者更好地理解本书的知识。

本书紧跟电力系统自动化的发展,系统地阐述了电力系统自动化的功能、原理、理论基础及相关的应用技术。本书是本着重视理论基础、拓展专业知识和加强理论应用的教学改革需要编写的,覆盖了电力系统自动化技术相关的各个方面。本书内容的特点是以工程应用作为出发点,力求做到深入浅出、通俗易懂,使读者能够对电力系统自动化有完整的、系统的了解与认识。

本书由孙秋野、王占山、马大中编著。在本书的编写过程中,得到了郭靖、杨珺、刘鑫蕊、刘振伟、黄博南、梁少敏、王雅光、郭华栋、滕菲、李昕同等的大力支持,特别是郭靖做出了突出的贡献,在此表示真诚的感谢。全书由孙秋野统稿。另外,作者在编写本书的过程中参考了大量专家和学者的著作、学术论文、经验总结等,在此对他们表示最诚挚的谢意!

由于新技术的不断发展,加之作者的理论水平和实际开发经验有限,书中难免存在一些不足之处或者错误,恳请读者批评指正。

作者

2013年4月于东北大学

目 录

第 1 章 电力系统自动化基础.....1	2.3.1 通信基本原理..... 39
1.1 电力系统自动化概述.....2	2.3.2 通信信道的基本类型..... 42
1.1.1 电力系统运行的特点.....2	2.4 差错控制..... 47
1.1.2 电力系统运行状态及其控制.....3	2.5 电力通信网..... 50
1.2 电力系统自动化的基本内容.....5	2.6 教学计划参考..... 52
1.2.1 电网调度自动化.....5	2.7 思考题与习题..... 54
1.2.2 发电厂自动化.....6	2.8 电气知识拓展..... 55
1.2.3 变电站综合自动化.....7	第 3 章 供配电自动化..... 56
1.2.4 配电自动化.....10	3.1 供配电自动化基础..... 57
1.3 电力系统自动化发展趋势.....14	3.1.1 供配电自动化的构成..... 57
1.3.1 电力系统自动化总的发展 趋势.....14	3.1.2 供配电自动化的功能..... 57
1.3.2 具有变革性重要影响的 3 项新 技术.....15	3.2 电网调度控制中心调度自动化 系统..... 58
1.3.3 电子技术、计算机技术的 发展不断推动电力系统自 动化进步.....16	3.2.1 电网监控与调度自动化系统的 基本结构..... 58
1.3.4 当前电力系统自动化依赖 IT 技 术向前发展的重要热点技术.....17	3.2.2 调度自动化系统的硬件结构和 软件系统..... 60
1.3.5 配电自动化发展方向.....18	3.2.3 调度自动化系统的人机界面..... 61
1.3.6 电力系统电子商务的应用 领域.....19	3.2.4 地区调度自动化工程技术 方案..... 62
1.3.7 电力系统在推进电子商务时应 当注意以下几个问题.....20	3.3 变电站综合自动化..... 65
1.4 教学计划参考.....21	3.3.1 变电站综合自动化的基本概念 和功能..... 65
1.5 思考题与习题.....22	3.3.2 变电站综合自动化系统的 结构..... 71
1.6 电气知识拓展——组合达林顿 对管.....23	3.4 供配电系统自动化..... 73
第 2 章 数据采集及通信原理.....24	3.4.1 配电自动化的功能分析..... 74
2.1 电力系统运行控制数据信息.....25	3.4.2 配电管理系统..... 76
2.2 电力系统自动化数据采集系统.....26	3.4.3 配电自动化..... 79
2.2.1 数字量采集子系统的结构.....26	3.4.4 需方用电管理..... 80
2.2.2 数字量输出子系统的结构.....29	3.5 电力负荷控制技术..... 81
2.2.3 模拟量采集子系统.....30	3.5.1 电力负荷控制中心的配置..... 82
2.2.4 模拟量输出子系统.....37	3.5.2 电力负荷控制系统的基本 功能..... 83
2.3 电力系统数据通信.....38	3.6 教学计划参考..... 85
	3.7 思考题与习题..... 86

3.8 电气知识拓展万用表的使用方法	87	影响	120
第4章 发电机的自动并列	88	5.3.3 励磁控制对发电机静态稳定性影响	121
4.1 概述	88	5.4 励磁控制理论	124
4.1.1 并列准同期操作的发展历史	88	5.4.1 基于古典控制理论的单变量控制方法	124
4.1.2 并列操作的意义	89	5.4.2 基于现代控制理论的线性多变量控制方法	128
4.1.3 准同期并列	90	5.5 教学计划参考	130
4.1.4 自同期并列	93	5.6 思考题与习题	131
4.1.5 准同期并列和自同期并列的区别	94	5.7 电气知识拓展仿真器	131
4.2 准同期并列的基本原理	94	第6章 电力系统有功功率与频率	133
4.2.1 压差	94	6.1 电力系统有功功率的平衡	133
4.2.2 自动准同期装置	96	6.1.1 频率及有功功率调节的意义	134
4.2.3 准同期并列合闸信号的控制	97	6.1.2 电力系统频率及有功功率的分层控制	134
4.3 整步电压	99	6.2 电力系统的频率特性	135
4.3.1 线性整步电压	99	6.2.1 电力系统负荷的频率特性	136
4.3.2 利用线性整步电压检查同期条件	100	6.2.2 发电机组的频率特性	137
4.4 频差和压差控制	103	6.2.3 电力系统的频率特性及其控制	141
4.4.1 频差控制	103	6.2.4 联合电力系统的频率控制	142
4.4.2 压差控制	105	6.3 电力系统的自动调频方法	143
4.5 自动准同期装置举例	105	6.3.1 主导发电机法	144
4.5.1 概述	105	6.3.2 积差调节法(同步时间法)	145
4.5.2 硬件电路	105	6.3.3 联合自动调频	147
4.6 教学计划参考	108	6.3.4 联合电力系统的调频	148
4.7 思考题与习题	109	6.4 电力系统频率调节系统的动态特性	150
4.8 电气知识拓展——示波器的使用	109	6.4.1 调节系统的传递函数	150
第5章 同步发电机励磁自动控制系统	111	6.4.2 频率调节系统的动态特性	156
5.1 同步发电机励磁系统的发展历史	111	6.5 电力系统有功功率经济分配控制	160
5.1.1 励磁调速系统的由来	111	6.5.1 发电设备的经济特性	160
5.1.2 励磁调节器的发展	112	6.5.2 等微增率准则	161
5.2 同步发电机的励磁系统	112	6.5.3 考虑网络损耗的负荷经济分配	163
5.2.1 同步发电机励磁原理分析	113	6.6 教学计划参考	166
5.2.2 同步发电机励磁方式	114	6.7 思考题与习题	167
5.3 励磁调节对电力系统稳定的影响	118		
5.3.1 励磁调节对静态(微动态)稳定的影响	118		
5.3.2 励磁调节对暂态稳定的影响	120		

6.8 电气知识拓展——电烙铁	169
第7章 电力系统无功功率和电压	170
7.1 电力系统总无功功率的平衡	170
7.1.1 无功功率负荷和无功功率 损耗	171
7.1.2 电网中的无功电源	172
7.1.3 无功功率平衡	175
7.2 电力系统的电压调整	176
7.2.1 调整电压的必要性	176
7.2.2 电压波动和电压管理	177
7.2.3 电力系统最优潮流	180
7.3 电压调整的措施	180
7.3.1 通过改变发电机端电压调压	181
7.3.2 通过改变变压器变比调压	182
7.3.3 通过补偿设备调压和组合 调压	185
7.3.4 线路串联补偿电容改善电压 质量	186
7.4 教学计划参考	188
7.5 思考题与习题	189
7.6 电气知识拓展——故障排除的经典 方法	190
第8章 分布式发电技术	191
8.1 概述	191
8.1.1 分布式发电及其发电装置	191
8.1.2 发展分布式发电系统的重要 意义	192
8.1.3 目前国内外分布式发电的研究 现状	192
8.1.4 影响我国分布式发电的关键 技术	194
8.2 分布式发电系统的建模	195
8.2.1 光伏发电系统数学模型的 建立	195
8.2.2 风力发电数学模型的建立	197
8.2.3 微型燃气轮机数学模型的 建立	199
8.2.4 燃料电池数学模型的建立	199
8.3 分布式发电系统并网接口模型	201
8.3.1 分布式发电并网方式	201
8.3.2 风力发电机接口模型	202
8.4 分布式发电系统的稳定性	205
8.4.1 分布式发电系统的暂态稳定性 分析和描述	205
8.4.2 分布式电力系统暂态稳定性干 扰的分类	206
8.4.3 暂态稳定性的评估	206
8.5 分布式发电系统的孤岛检测	208
8.5.1 孤岛的定義	208
8.5.2 孤岛的标准	209
8.5.3 孤岛的研究现状	209
8.5.4 产生孤岛的现象和危害	210
8.5.5 孤岛的检测方法	210
8.6 教学计划参考	217
8.7 思考题与习题	219
8.8 电气知识拓展排除故障的心得分 享(一)	220
第9章 智能电网概述	221
9.1 国内外智能电网的发展现状	221
9.1.1 智能电网在我国的发展	222
9.1.2 智能电网在其他国家的 发展	222
9.1.3 智能电网的关键技术	224
9.2 坚强智能电网发展战略与 规划	226
9.2.1 建设坚强智能电网的意义	226
9.2.2 建设坚强智能电网的战略 目标	227
9.2.3 坚强智能电网的架构	228
9.2.4 电网智能化规划	229
9.3 智能发电	230
9.3.1 新能源发电	230
9.3.2 新能源储能技术	231
9.3.3 国内智能发电的开展情况	232
9.4 智能输、变电	233
9.4.1 智能输电涉及领域	234
9.4.2 智能变电涉及领域	237
9.4.3 智能变电站的控制	240

9.5 智能配电	241
9.6 智能用电	243
9.6.1 用电信息采集系统	243
9.6.2 智能用电的管理方式	245
9.6.3 智能有序用电	246
9.6.4 智能电动汽车充电	247
9.6.5 智能家居及智能小区	248

9.7 智能调度	250
9.8 教学计划参考	254
9.9 思考题与习题	256
9.10 电气知识拓展——排除故障的 心得分享（二）	257
参考文献	258

通常把发电企业的动力设施、设备,和发电、输电、变电、配电、用电设备及相应的辅助系统组成的电能热能生产、输送、分配、使用的统一整体称为动力系统;把由发电、输电、变电、配电、用电设备及相应的辅助系统组成的电能生产、输送、分配、使用的统一整体称为电力系统;把由输电、变电、配电设备及相应的辅助系统组成的联系发电与用电的统一整体称为电力网。

动力系统是经济发展和人民生活的保障,电力网是为动力系统提供持续的能源供应的至关重要的环节。目前的电力网由较强的超高压系统构成主网架。各电网之间联系较强,电压等级相对简化,并且具有很强的自我调节能力,有着足够的调峰、调频、调压容量,能够实现自动发电控制,有较高的供电可靠性;具有相应的安全稳定控制系统,高度自动化的监控系统和高度现代化的通信系统;具有适应电力市场运营的技术支持系统,有利于合理利用能源。

电力网作为电力系统最重要的组成部分,其飞速的发展直接影响到电力系统技术的发展。目前电力系统自动化已经成为国内外发展的重要方向。电力系统自动化(Automation of Power Systems)是电力系统一直以来追求的发展方向,它包括:发电控制的自动化(AGC,已经实现,尚需发展),电力调度的自动化(具有在线潮流监视,故障模拟的综合程序,以及数据采集和监控系统(SCADA)实现的配电网的自动化,现今最热门的变电站综合自动化即建设综合站,实现更好的无人值班。DTS即调度员培训仿真系统为调度员学习提供了方便,配电自动化(DAS)已经实现,尚待发展)。

电力系统是一个地域分布辽阔,由发电厂、变电站、输配电网络 and 用户组成的统一调度和运行的复杂大系统,对电能生产、传输和管理实现自动控制、自动调度和自动化管理。电力系统自动化的领域包括生产过程的自动检测、调节和控制,系统和元件的自动安全保护,网络信息的自动传输,系统生产的自动调度,以及企业的自动化经济管理等。电力系统自动化的主要目标是保证供电的电能质量(频率和电压),保证系统运行的安全可靠,提高经济效益和管理效能。

本章的主要内容如下:

- (1) 电力系统的基本现状;
- (2) 电力系统控制的基本方法;
- (3) 电力系统自动化的基本内容以及各部分的特点及其结构;
- (4) 电力系统自动化的未来发展方向。

1.1 电力系统自动化概述

电力系统自动化的发展过程：在 20 世纪 50 年代以前，电力系统容量在几百万千瓦左右，单机容量不超过 10 万千瓦，电力系统自动化多限于单项自动装置，且以安全保护和过程自动调节为主。例如，电网和发电机的各种继电保护，汽轮机的危急保安器，锅炉的安全阀，汽轮机转速和发电机电压的自动调节，并网的自动同期装置等。20 世纪 50~60 年代，电力系统规模发展到上千万千瓦，单机容量超过 20 万千瓦，并形成区域联网，在系统稳定、经济调度和综合自动化方面提出了新的要求。厂内自动化方面开始采用机、炉、电单元式集中控制。系统开始装设模拟式调频装置和以离线计算为基础的经济功率分配装置，并广泛采用远动通信技术。各种新型自动装置如晶体管保护装置、可控硅励磁调节器、电气液压式调速器等得到推广使用。20 世纪 70~80 年代，以计算机为主体配有功能齐全的整套软硬件的电网实时监控（SCADA）开始出现。20 万千瓦以上的大型火力发电机组开始采用实时安全监控和闭环自动启停全过程控制。水力发电站的水库调度、大坝监测和电厂综合自动化的计算机监控开始得到推广。各种自动调节装置和继电保护装置中广泛采用微型计算机。

1.1.1 电力系统运行的特点

电力系统同其他的工业系统相比有着明显的特点，主要表现在以下几方面。

1. 持续供应

由于电能与其他的能源之间转换方便，这种先天的优势使其能够大量生产，并且在生产之后能有效地进行远距离传输或者储存。除此之外对其进行控制的技术也随着科技的进步应运而生，诸多特点使电能比其他新能源具有不可替代的优势。正因为如此，电能是国民经济各部门和人们物质文化生活中主要使用的能源，所以在日常的工业生产和人民生活中，电能供应的可靠性至关重要，其供应中断或不足将直接影响到国民经济各部门的正常运作和人们的生活质量。

2. 即产即销

发电、输电、配电及用电都在同一时间运行，所以电能是不能大量储存的。换句话说，在任何时刻电力系统内产生的电能都同用电端消耗的电能相等，其中包括同一时刻用电设备消耗的电能与输送、分配中消耗的电能之和。这是电能生产的最大特点之一。

3. 暂态过渡十分迅速

电力系统中任何一处发生的电磁变化过程，都会以光速传播而影响整个电力系统，所以电力运行中发生突变所引起的电磁方面的变化过程是十分迅速的。电力系统的正常操作都是在极短的时间内完成的，同时电力系统出现故障也是在一瞬间完成的。因此电力系统中要求进行快速控制和快速排除故障，否则将危及整个电力系统的安全稳定性。

4. 结构复杂

现代电力系统的特点是大机组、高电压、大电网、交直流远距离输电、电网互联，因而其结构复杂，覆盖不同环境的辽阔地域。这样，在实际运行中，自然灾害的作用、设备缺陷和人为因素都会造成设备故障和运行条件发生变化，因而电力系统还会出现其他非正常运行状态。现代的电力系统装机容量越来越大——多达几亿千瓦，供电距离几千千米，其中所包含的厂、站和线路的数量很多——达数百个，而且纵横连线，分布辽阔，在控制系统的分

类中属于复杂系统。

1.1.2 电力系统运行状态及其控制

为了调度控制电力系统,需要将电力系统的运行状态进行分类,从而可以方便地对不同的运行状态进行控制。一般将其分为正常状态、警戒状态、紧急状态、崩溃状态和恢复状态。

一、电力系统的运行状态

从宏观上讲,电力系统的运行状态可分为正常状态和非正常状态。为了调度控制电力系统,需要将电力系统的运行状态进行分类,以便说明在不同运行状态时应如何对电力系统实行控制。目前,电力系统运行状态尚没有严格定义,一般将其分为正常状态、警戒状态、紧急状态、崩溃状态和恢复状态。电力系统运行状态及其相应的转换关系,如图 1-1 所示。

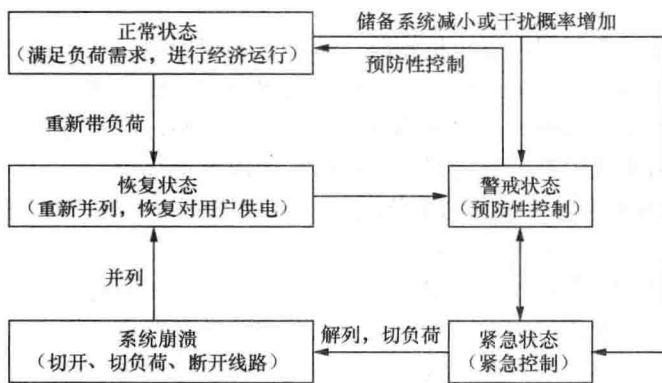


图 1-1 电力系统运行状态示意图

1. 正常状态

电力系统是由发电机、变压器、输配电线路和用电设备按一定方式连接组成的整体,其运行特点是发电、输电、配电和用电同时完成。因此,为了向用户连续提供质量合格的电能,电力系统中各发电机发出的有功功率和无功功率,应随时随刻与随机变化的电力系统负荷消耗的有功功率和无功功率(包括系统损耗)相等,同时,发电机发出的有功功率和无功功率,线路上的功率潮流(视在功率)和系统各级电压,应在安全运行的允许范围之内。要保证电力系统这种正常运行状态,必须满足两点基本要求:电力系统中所有电气设备处于正常状态,能满足各种工况的需要;电力系统中所有发电机以同一频率保持同步运行。在正常运行状态下,电力系统有足够的旋转备用和紧急备用以及必要的调节手段,使系统能承受正常的干扰(如电力系统负荷的随机变化,正常的设备操作等),而不会产生系统中各设备的过载,或电压和频率偏差超出允许范围。电力系统对不大的负荷变化能通过调节手段,从一个正常运行状态连续变化到另一个正常运行状态。正常运行状态下的电力系统是安全的,可以实施经济运行调度。

2. 警戒状态

当负荷增加过多,或发电机组因出现故障不能继续运行而计划外停运,或者因发电机、变压器、输电线路等电力设备的运行环境变化,使电力系统中的某些电力设备的备用容量减少到使电力系统的安全水平不能承受正常干扰的程度时,电力系统就进入了警戒状态。警戒状态下,电力系统仍能向用户供应合格的电能。从用户的角度来看,电力系统仍处于正常状

态,但从电力系统调度控制来看,警戒状态是一种不安全状态,与正常状态是有区别的。两者的区别在于:警戒状态下的电能质量指标虽仍合格,但与正常状态相比与不合格更接近了;电力设备的运行参数虽然在允许的上、下限值之内,但与正常状态相比更接近上限值或下限值了。在这种情况下,电力系统受正常干扰,特别是在电力系统发生故障时,可能使系统进入到不正常状态。例如,使某些变压器或线路过载,使某些母线电压低于下限值等。警戒状态下的电力系统是不安全的,调度控制需采取预防性控制措施,使系统恢复到正常状态。例如,调整发电机出力和负荷配置、切换线路等。这时经济调度就放到次要地位了。

3. 紧急状态

一个处于正常状态或警戒状态的电力系统,如果受到严重干扰,比如短路或大容量发电机组的非正常退出工作等,系统则有可能进入紧急状态。电力系统的严重故障主要有以下几种。

(1) 线路、母线、变压器和发电机短路。短路有单相接地、两相和三相短路。短路又分瞬间短路和永久性短路。在实际运行中,单相短路出现的可能性比三相短路多,而三相短路对电力系统影响最严重。当然尤其严重的是三相永久性短路,这是极其稀少的。在雷击等情况下,有可能在电力系统中若干点同时发生短路,形成多重故障。

(2) 突然跳开大容量发电机或大的负荷,引起电力系统的有功功率和无功功率严重不平衡。

(3) 发电机失步,即不能保持同步运行。

电力系统出现紧急状态将危及其安全运行,主要事故有以下几方面。

(1) 频率下降。在紧急状态下,发电机和负荷间的功率严重不平衡,会引起电力系统频率突然大幅度下降,如不采取措施使频率迅速恢复,将使整个电厂解列,其恶性循环将会产生频率崩溃,导致全电力系统瓦解。

(2) 电压下降。在紧急状态下,无功电源可能被突然切除,引起电压大幅度下降,甚至发生电压崩溃现象。这时,电力系统中大量电动机停止转动,大量发电机甩掉负荷,导致电力系统解列,甚至使电力系统的一部分或全部瓦解。

(3) 线路和变压器过负荷。在紧急状态下,线路过负荷,如不采取相应的技术措施,会产生连锁反应,出现新的故障,导致电力系统运行进一步恶化。

(4) 出现不稳定问题。在紧急状态下,如不及时采取相应的控制措施或措施不够有效,则电力系统将失去稳定。

所谓电力系统稳定,就是要求保持电力系统中所有同步发电机并列同步运行。电力系统失去稳定就是各发电机不再以同一频率,保持固定功角运行,电压和功率大幅度来回摇动。电力系统的稳定被破坏会对电力系统安全运行产生最严重后果,将可能导致全系统崩溃,造成大面积停电事故。紧急状态下的电力系统是危险的。电力系统进入紧急状态后,应及时依靠继电保护和安全自动装置有选择地快速切除故障,采取提高安全稳定性措施,争取使系统恢复到警戒状态或正常状态,避免发生连锁性的故障,导致事故扩大和系统的瓦解。

4. 崩溃状态

在紧急状态下,如果不能及时消除故障和采用适当的控制措施,或者措施不能奏效,电力系统可能失去稳定。在这种情况下为了不使事故进一步扩大并保证对部分重要负荷供电,自动解列装置可能动作,调度人员也可以进行调度控制,将一个并联运行的电力系统解列成几部分。这时电力系统就进入了崩溃状态。系统崩溃时,在一般情况下,解列成的各个子系统中,等式和不等式的约束条件均不能成立。一些子系统由于电源功率不足,不得不大量切

除负荷,而另一些子系统可能由于电源功率大大超过负荷而不得不让部分发电机组解列。系统崩溃时,电力系统调度控制应尽量挽救解列后的各个子系统,使其能部分供电,避免系统瓦解。电力系统瓦解是由于不可控制的解列而造成的大面积停电状态。

5. 恢复状态

通过继电保护、自动装置和调度人员的调度控制,使故障隔离,事故不扩大。在崩溃系统大体上稳定下来以后,可使系统进入恢复状态。这时调度控制应重新并列已解列的机组,增加并联运行机组的出力,恢复对用户供电,将已解列的系统重新并列。根据实际情况将系统恢复到警戒状态或正常状态。

二、电力系统安全控制

电力系统安全控制的目的是采取各种措施使系统尽可能运行在正常状态。在正常运行状态下,调度人员通过制订运行计划和运用计算机监控系统(SCADA或EMS),实时进行电力系统运行信息的收集和处理,在线安全监视和安全分析等,使系统处于最优的正常运行状态。同时,在正常运行时,确定各项预防性控制,以对可能出现的紧急状态提高处理能力。这些控制内容包括:系统以额定工况运行调整发电机出力,切换网络和负荷,调整潮流,改变保护整定值,切换变压器分接头等,使系统运行在最佳状态,在系统发生事故时有较高的安全水平,当电力系统一旦出现故障进入紧急状态后,则靠紧急控制来处理。这些控制措施包括继电保护装置正确快速动作和各种稳定控制装置等切除故障,防止事故扩大,平衡有功功率和无功功率,将系统恢复到正常运行状态或重新进入正常运行状态。

1.2 电力系统自动化的基本内容

1.2.1 电网调度自动化

现代的电网调度自动化系统是以计算机为核心的控制系统,包括实时信息收集和显示系统,以及供实时计算、分析、控制用的软件系统。信息收集和显示系统具有数据采集、屏幕显示、安全检测、运行工况计算分析和实时控制的功能。在发电厂和变电站的收集信息部分称为远动端,位于调度中心的部分称为调度端。软件系统由静态状态估计、自动发电控制、最优潮流、自动电压与无功控制、负荷预测、最优机组启停计划、安全监视与安全分析、紧急控制和电路恢复等程序组成。

近几年,无人值班变电所在国内取得了成功的经验,对提高供电企业的劳动生产率,按现代企业的要求实现科学管理;对提高电网和变电所的安全运行水平;对降低变电所的建设成本,都有直接的经济效益和社会效益,是现代化电网建设的重要组成部分,也是调度管理的发展方向。根据省局和国家调度中心的有关文件精神,县级调度自动化工作应把变电所无人值班建设放在重要的位置。

电力部(原能源部)对县级调度自动化工作非常重视,曾先后几次发文对县级调度自动化的技术规范做了规定和要求(请参阅部颁有关文件)。在当时,这些技术规范是先进的、科学的,但是随着科学技术的迅猛发展,尤其是计算机及网络技术、软件技术和通信技术近几年取得的突破性进展,供电企业计算机信息管理和生产自动化管理的观念已有革命性的变化,原有的技术规范已暴露出其明显的不合理性和局限性。

建立供电企业计算机管理网络已是大势所趋,硬件条件也已基本形成。用电管理系统、

生产管理系统、人事管理系统、财务系统等已在许多县级供电局投入使用, MIS 系统和 EMS 系统等也已提上议事日程, 并已有成熟的产品出现。那么, 如何看待和处理各计算机子系统尤其是调度自动化系统与企业管理网之间的关系, 作出一个全面、完整、科学的规划和设计, 是摆在我们面前的一个新课题。

从某种意义上说, 调度自动化系统是企业管理网的基础, 起着重要的作用。因为调度自动化系统所采集的数据是供电企业生产和用电管理的基础数据, 建立一个通信网络, 周期长、耗资巨大, 不可能重复建设, 所以为调度自动化系统所建立的通信网必将是企业计算机管理网的通信骨干网。我们必须全面、整体地考虑这些问题, 利用最新科学技术, 制定最佳方案, 在不增加很大投资的前提下, 充分发挥调度自动化系统的功能, 并且为逐步实现一个性能完善、功能强大的企业管理网提供技术上的保证。

在调度自动化系统向实用化迈进的过程中, 新生事物不断出现, MIS 系统和 EMS 系统又成了人们议论的话题, 如何看待和处理 SCADA 系统与 MIS 系统、EMS 系统之间的关系, 成为人们关注的焦点。这不仅对原已通过实用化验收的调度自动化系统提出了一个挑战, 同时对那些正在考虑建设调度自动化系统的单位提供了一个机遇, 也就是说, 他们可以充分考虑 MIS 系统、EMS 系统对调度自动化系统及通道的要求, 在系统规划、通道规划、功能配置上可以更全面, 起点更高, 从而少走弯路, 加速发展。电力系统调度自动化设计原则有以下几点。

(1) 实用性: 从保护用户原用的设备投资和能够完全满足现实需求的角度出发, 充分集成现有的各种计算机和网络设备, 使建设的系统适用、安全、可靠, 且易管理、维护和扩展, 具有最高的性价比。

(2) 开放性: 构造一个开放的网络系统, 是当前世界计算机技术发展的潮流, 因此我们在整个系统的设计中采用的规范、设备与厂商无关, 具有较强的兼容性, 便于与外界异种机平滑互联。

(3) 先进性: 当今的计算机网络技术发展日新月异, 若方向把握不准则可能导致在很短的时间内技术落伍, 从而面临被淘汰的危险。因此在坚持实用性的前提下尽量采用国际先进成熟的网络技术和设备, 以适合未来的发展, 做到一次规划长期受益。

(4) 可扩充性: 所选择的联网方案及设备要能适应网络规划的不断扩大的要求, 以便于将来设备的扩充; 要能适应信息技术不断发展的要求, 平稳地向未来新技术过渡。

(5) 可靠性: 系统设计除采用信誉好、质量高的设备外, 还采用一系列容错、冗余技术, 提高整个系统的可靠性。

(6) 安全性: 安全性包括两方面: ①网络用户级的安全性; ②数据传输级的安全性。网络用户级的安全性应在网络的操作系统中予以考虑, 而数据传输的安全性则必须在网络传输时解决。

1.2.2 发电厂自动化

1. 火力发电厂自动化

火力发电厂的自动化项目包括: ①厂内机、炉、电运行设备的安全检测, 包括数据采集、状态监视、屏幕显示、越限报警、故障检出等; ②计算机实时控制, 实现由点火至并网的全部自动启动过程; ③有功负荷的经济分配和自动增减; ④母线电压控制和无功功率的自动增减; ⑤稳定监视和控制。采用的控制方式有两种形式: 一种是计算机输出通过外围设备, 去调整常规模拟式调节器的设定值而实现监督控制; 另一种是用计算机输出外围设备, 直接控制生产过程而实现直接数字控制。

2. 水力发电站综合自动化

水力发电站需要实施自动化的项目包括大坝监护、水库调度和电站运行 3 方面。大坝计算机自动监控系统包括数据采集、计算分析、越限报警和提供维护方案等。水库水文信息的自动监控系统包括雨量和水文信息的自动收集, 水库调度计划的制订, 以及拦洪和蓄洪控制方案的选择等。厂内计算机自动监控系统包括全厂机电运行设备的安全监测, 发电机组的自动控制, 优化运行和经济负荷分配, 稳定监视和控制等。

3. 电力系统信息自动传输系统

电力系统信息自动传输系统简称远动系统, 其功能是实现调度中心和发电厂变电站间的实时信息传输。自动传输系统由远动装置和远动通道组成。远动通道有微波、载波、高频、声频和光导等多种形式。远动装置按功能分为遥测、遥信、遥控 3 类, 把厂站的模拟量通过变换输送到位于调度中心的接收端并加以显示的过程称为遥测; 把厂站的开关量输送到接收端并加以显示的过程称为遥信; 把调度端的控制和调节信号输送到位于厂站的接收端, 实现对调节对象的控制的过程称为遥控或遥调。远动装置按组成方式可分为布线逻辑式远动装置和存储程序式逻辑装置。前者由硬件逻辑电路以固定接线方式实现其功能, 后者是一种计算机化的远动装置。

4. 电力系统反事故自动装置

反事故自动装置的功能是防止电力系统的事故危及系统和电气设备的运行。在电力系统中装设的反事故自动装置有两种基本类型。一种是继电保护装置: 其功能是防止系统故障对电气设备的损坏, 常用来保护线路、母线、发电机、变压器、电动机等电气设备。按照产生保护作用的原理, 继电保护装置分为过电流保护、方向保护、差动保护、距离保护和高频保护等类型。另一种是系统安全保护装置: 用以保证电力系统的安全运行, 防止出现系统振荡、失步解列、全网性频率崩溃和电压崩溃等灾害性事故。系统安全保护装置按功能分为 4 种形式: 一是属于备用设备的自动投入, 如备用电源自动投入, 输电线路的自动重合闸等; 二是属于控制受电端功率缺额, 如低周波自动减负荷装置、低电压自动减负荷装置、机组低频自启动装置等; 三是属于控制送电端功率过剩, 如快速自动切机装置、快关汽门装置、电气制动装置等; 四是属于控制系统振荡失步, 如系统振荡自动解列装置、自动并列装置等。

1.2.3 变电站综合自动化

变电站是电力系统中变换电压、接受和分配电能、控制电力的流向和调整电压的电力设施, 它通过其变压器将各级电压的电网联系起来。变电站综合自动化系统是利用计算机系统、网络、数据库现代通信技术等将变电站的二次设备(包括控制、测量、保护、自动装置等), 经过功能组合和优化设计, 对变电站实行自动监控、测量和协调来提高变电站的运行效率和稳定性。它完全取代了常规的监控仪表、中央信息系统、变送器及常规远动装置, 不仅提高了变电站的可控性, 而且由于采用了无人值班的管理模式, 更有效地提升了劳动生产率, 减少了人为误操作的可能, 最大程度上提高了变电站的可靠性和经济性。

变电站综合自动化系统包含多专业的综合性技术, 它以微机为基础来实现对变电站传统的继电保护、控制方式、测量手段、通信和管理模式的全面技术改造, 实现对电网运行管理的变革。变电站通过一次设备、二次设备、继电保护、自动装置、载波通信等, 与现代的计算机硬、软件系统和微波通信以及 GIS 组合电器等相结合, 使变电站走向综合自动化和小型

化。变电站综合自动化系统的基本功能主要体现在以下 6 方面。

1. 监控子系统功能

数据采集、事件顺序记录、故障测距和录波、控制功能、安全监视和人机联系功能。

2. 微机保护子系统功能

通信与测控方面的故障应不影响保护子系统正常工作。微机保护还要求保护的 CPU 及电源均保持独立。

3. 自动控制子系统功能

备用电源自动投入装置、故障录波装置等与微机保护子系统应具备各自的独立性。

4. 远动和通信功能

变电站与各间隔之间的通信功能；综合自动化系统与上级调度之间的通信功能，即监控系统与调度之间通信；故障录波与测距的远方传输功能。

5. 变电站系统综合功能

通过信息共享实现变电站 VQC（电压无功控制）功能、小电流接地选线功能、自动减载功能、主变压器经济运行控制功能。

6. 系统在线自诊断功能

系统应具有自诊断到各设备的插件级和通信网络的功能。

从变电站综合自动化系统基本功能的介绍可以看出，变电站综合自动化系统具有：功能综合化、结构微机化、测量显示数字化、操作监视屏幕化、运行管理智能化等特点。

功能综合化，微机监控系统综合了原来的仪表、控制屏、模拟屏、变送屏、运动装置、中央信号系统功能。微机保护子系统综合了全部自动装置、故障录波、故障测距及小电流选线功能。结构微机化，变电站综合自动化系统由各个不同的子系统组成，通过网络将微机监控、微机保护、自动装置等各子系统连接起来。测量显示数字化，用 CRT 显示器表示仪表数字，或由计算机软件代替原来的常规仪表。操作监视屏幕化，监视系统由 CRT 画面显示运行的实时数据的一次主接线图表示，设备异常或事故时用语音报警及文字提示。运行管理智能化，运行管理采用的是计算机软件，对变电运行班组管理系统、继电保护、自动装置、定值管理系统、倒闸操作、模拟仿真系统、故障诊断及事故恢复的专家系统等实现了智能化的管理。

一、变电站综合自动化系统存在的问题

目前，对变电站综合自动化系统还没有统一的规范性要求，例如：自动化系统的模式、设计管理标准等问题，尤其是系统各部分接口的通信规约，不同厂家的产品规格不一，这就给运行及维护带来极大不便。

监控机后台的电源配备。在综合自动化变电站中，监控后台一旦失去电源，整个变电站就失去监控、控制，所以必须为监控机配置不间断电源。但在一些变电站中，后台监控机使用的是交流电源，当系统停电时，后台监控机失去电源，不能工作，存在极大的安全隐患。

变电站综合自动化的抗干扰技术。经常有变电站出现后台监控机误发信号的情况，使得监控值班人员将大量的精力用在判断监控机所发信号的真伪上，影响监控人员正常的判断。因此，变电站综合自动化系统的抗干扰措施，是保证综合自动化系统可靠和稳定运行的基础。合格的自动化产品，除满足一般检验项目外，主要还应通过抗干扰试验。

后台监控机运行管理。监控机无法正常运行将严重影响变电站的安全运行，因此后台监控机的运行管理工作十分重要，要严防人为导致的系统瘫痪事件。比如，可以制定变电站后

台监控机的运行和管理制度并严格执行,对值班人员进行约束,禁止使用后台监控机做任何与工作无关的事情,也不能随意进入操作系统和启动、停运监控软件。

后台监控系统事故和预告音响信号。在一些变电站,所有的事故和预告音响信号都从监控后台发出,当后台监控机不能工作时,如果发生开关跳闸或设备异常,信号则不能发出,值班人员无法及时知道,将会构成严重的安全隐患。因此,如果将事故和预告音响信号独立出来,当发生异常情况时,能及时发出音响信号,以通知监控人员迅速处理。

二、变电站综合自动化的发展趋势

1. 保护监控一体化

这种方式在 35kV 及以下的电压等级中已普遍采用,今后在 110kV 及以上的线路间隔和主变三侧中采用此方式也已是大势所趋。它的好处是功能按一次单元集中化,有利于系统稳定地进行信息采集以及对设备状态进行控制,极大地提高了性能效率比。其目前的缺点也是显而易见的:此种装置的运行可靠性要求极高,否则任何形式的检修维护都将迫使一次设备的停止工作。对系统可靠性、稳定性要求高,这也是目前 110kV 及以上电压等级还采用保护和监控分离设置的原因之一。随着技术的发展,冗余性、在线维护性设计的出现,将使保护监控一体化成为必然。

2. 人机操作界面接口统一化,运行操作无线化

无人无建筑小室的变电站,变电运行人员如果就地查看设备和控制操作,将通过一个手持式可视无线终端,边监视一次设备边进行操作控制,所有相关的量化数据将显示在可视无线终端上。

3. 就地通信网络协议标准化

强大的通信接口能力,主要通信部件双备份冗余设计(双 CPU、双电源等),采用光纤总线等,使现代化的综合自动化变电站的各种智能设备通过网络组成一个统一的、互相协调工作的整体。

4. 数据采集和一次设备一体化

除了常规的电流电压、有功功率无功功率、开关状态等信息采集外,对一些设备的在线状态检测量化值,如主变的油位、开关的气体压力等,都将紧密结合一次设备的传感器,直接采集到监控系统的实时数据库中。高技术的智能化开关、光电式电流电压互感器的应用,必将给数据采集控制系统带来全新的模式。

三、变电站自动化——数字化变电站

现代化的变电站如图 1-2 所示。

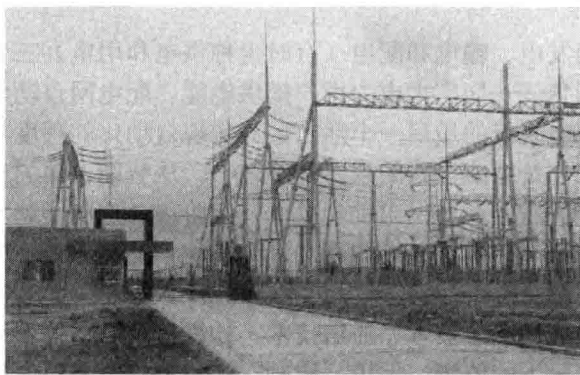


图 1-2 现代化的变电站