



普通高等教育“十三五”规划教材

电力系统自动化

DIANLIXITONGZIDONGHUA

 赠教学课件 黄明涛 李书舟 熊中刚 主编



延边大学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

普通高等教育“十三五”规划教材

普通高等教育“十三五”规划教材

普通高等教育“十三五”规划教材

普通高等教育“十三五”规划教材

电力系统自动化

主编 黄明涛 李书舟 熊中刚

常州大学图书馆
藏书章

延边大学出版社

定价：30.80元

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统自动化 / 黄明涛, 李书舟, 熊中刚主编. -- 延吉 :
延边大学出版社, 2017. 7
ISBN 978-7-5688-3352-3

I. ①电… II. ①黄… ②李… ③熊… III. ①电力系统自动
化-高等学校-教材 IV. ①TM76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 188260 号

电力系统自动化

主编: 黄明涛 李书舟 熊中刚

责任编辑: 田莲花

封面设计: 曾宪春

出版发行: 延边大学出版社

社址: 吉林省延吉市公园路 977 号 邮编: 133002

网址: <http://www.ydcbs.com>

E-mail: ydcbs@ydcbs.com

电话: 0433-2732435

传真: 0433-2732434

发行部电话: 0433-2732442

传真: 0433-2733266

印刷: 北京荣玉印刷有限责任公司

开本: 787×1092 毫米 1/16

印张: 14

字数: 360 千字

版次: 2018 年 1 月第 1 版

印次: 2018 年 1 月第 1 次

ISBN 978-7-5688-3352-3

定价: 39.80 元

前言

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。

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。

本书可作为电力系统及其自动化和电气工程及其自动化等相关专业的教材,也可供广大工程技术人员参考。

由于编写条件及学术水平所限,书中的缺点和错误在所难免,希望读者谅解和指正。另外,本书引用了许多参考文献,在此向其作者表示衷心的感谢。

编写过程中,得到各位编者的大力支持,书中参考并引用了国内外教材的内容及部分学者的研究成果,在此谨致谢忱。

编者

第一节 电力系统自动化的任务及其基本要求	1
第二节 电力系统自动化的组成	2
第三节 电力系统自动化的发展	3
第四节 电力系统自动化的应用	4
第五节 电力系统自动化的研究	5
第六章 电力系统无功功率和电压	126
第一节 电力系统无功功率的平衡	126
第二节 电力系统的电压调整	133

目 录

第一章 概论	1
第一节 电力系统的特点及基本要求	1
第二节 电力系统自动化及其发展历程	4
第三节 电力系统的运行与控制	9
第四节 电力系统自动化的新技术和发展趋势	13
第二章 电力系统的数据采集及通信原理	16
第一节 电力系统运行控制数据信息	17
第二节 电力系统自动化数据采集系统	18
第三节 电力系统数据通信	31
第四节 差错控制	41
第五节 电力通信网	43
第三章 电力系统并列控制	47
第一节 概述	47
第二节 准同期并列的基本原理	50
第三节 准同期并列装置的构成及分类	54
第四节 频率差和电压差的测量及调整	58
第五节 自动准同期并列装置的合闸控制	64
第六节 微机型自动并列装置	68
第四章 同步发电机励磁自动控制	74
第一节 同步发电机励磁系统的任务及其基本要求	74
第二节 同步发电机励磁系统	82
第三节 同步发电机自动励磁调节器工作原理	88
第四节 励磁控制系统的传递函数	108
第五节 同步发电机的强行励磁和灭磁	111
第六节 微机型励磁调节器	117
第五章 电力系统无功功率和电压	126
第一节 电力系统总无功功率的平衡	126
第二节 电力系统的电压调整	133

第三节 电压调整的措施	137
第六章 电力系统有功功率与频率	146
第一节 电力系统有功功率的平衡	146
第二节 电力系统的频率特性	148
第三节 电力系统的自动调频方法	157
第四节 电力系统频率调节系统的动态特性	165
第五节 电力系统有功功率经济分配控制	174
第七章 电力系统低频自动减负荷	181
第一节 概述	181
第二节 低频自动减负荷的工作原理与各轮最佳断开功率的计算	186
第三节 UFLS 原理框图及有关问题	193
第四节 减负荷装置	195
第八章 电力系统调度自动化	199
第一节 电力系统调度自动化的实现	199
第二节 电力系统调度自动化的基本知识	203
第三节 电力系统调度自动化系统调度端	211
第四节 电力系统调度自动化运动终端装置	215
参考文献	218

第一章 概 论

第一节 电力系统的特点及基本要求

一、电力系统的特点

现代电力系统是一个大型复杂的系统,电力系统同其他的工业系统相比有着明显的特点,主要表现在以下几个方面。

(1) 电能不能大量储存

电能的生产、传输、分配、消费的各个环节都是在同一时间内进行的,是一个复杂的连续生产消费过程。在地域上分布辽阔,而在电气上自成一体,在任何时刻电力系统中发电厂生产的电能都取决于同一时刻用电设备消费的能量与输送、分配中损耗的电能之和,不能大量储存,这是电能生产的最大特点。这个特点要求在运行时保持电源和负荷之间的功率平衡,每一时刻发出的总电能等于系统消费的总电能,而且要求所有的中间传输环节都畅通无阻,以便发出的电能有秩序地输送出去。电力系统中任何一个元件的参数和运行状态的变化都会迅速地影响到系统中其他元件的正常工作,所以在电力系统中任何一处发生故障,都会影响电力系统正常工作,应及时而正确地处理,否则将使事故影响扩大,并波及电力系统其他运行部分,以致造成大面积停电。因此,电力系统的各个设备环节之间具有十分紧密的相互依赖关系。

(2) 电能供应的重要性

由于电能易于进行大量生产、集中管理、远距离输送、自动控制,且与其他能量之间转换方便,使用电能较使用其他能量有显著优点。因此,电能是国民经济各部门和人们物质文化生活中不可缺少的主要能源,电能质量不合格会引起产品质量和生产率的下降,还会造成人身伤亡和设备损坏事故,其供应的中断或不足将会直接影响国民经济各部门的正常运转和人们的生活质量。

(3) 暂态过程迅速

电的传播速度是光速,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极其迅速的。电力系统的正常操作,如发电机、变压器、电力线路等元件的投入和退出都是在极短时间内完成的;电力系统出现的故障,如雷击引起线路闪络、短路、断线等故障以及运行人员误操作造成断路器误跳闸等,也都是在一瞬间完成的。因此,在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运行。

(4) 电力系统复杂性

由于现代电力系统装机容量越来越大,供电距离越来越远,其中所包含的厂、站及线路的数量及电压等级也越来越多,而且地域分布辽阔,纵横交错,受天气等自然因素干扰严重,因此,在控制系统的分类中,它属于大型复杂系统。

二、电力系统的基本要求

电力系统一次能源调度、发电机起停、负荷分配、电网结构、潮流分布和负荷管理的合理性,都会影响电力系统运行的经济效益。由于电力系统规模和容量的不断扩大,系统结构、运行方式日益复杂,单纯依靠人力来监视电力系统的运行状态,正确而及时地进行各项操作,迅速地处理事故,已经是不可能了。必须运用现代控制理论、电子技术、计算机技术、通信技术、图像显示技术等高新科学技术来实现电力系统的自动化,这是现代电力系统安全可靠和经济运行的重要保证,可以说,现代电力系统如果没有电力系统自动化是根本无法运行的。

根据电力系统的特点,对电力系统提出的基本要求及电力系统自动化的控制目标:在安全可靠的基础上,力求优质、高效与环保。

(1) 保证优质电能

电能是一种商品,衡量电能商品质量的指标主要是频率、电压和波形三项。

频率是电能质量标准中最严格的一项,在我国频率允许的波动范围是 $50 \pm 0.2 \text{ Hz}$ 。保证电力系统频率稳定的关键是保证电力系统有功功率的平衡。负荷是随时变动的,因此,只有让发电厂的有功出力时刻跟着负荷的有功功率,并随其变动而变动。调频过程是由自动装置自动进行的,必须依赖一整套自动化的调节控制系统,保持电力系统的有功功率的平衡,使系统频率指标达到要求。

电压允许偏移范围一般是额定电压的 $\pm 5\%$ 左右。能使电压稳定的关键条件是让系统中的无功功率供需平衡,并且要求在系统各个局部就地平衡,以减少大量无功功率在线路上的传输。其具体的调压措施有发电机的励磁调节、调相机和静止补偿器的调节、有载调压变压器的分接头调节以及并联补偿电容器组的投切等。现代电力系统一般都配有无功/电压自动控制系统,保持系统无功功率的平衡,可使系统满足对电压幅值的要求。

发电机发出电压的波形是正弦波,由于电力系统中传统的各种电气设备在设计时都充分考虑了波形问题,所以,在一般情况下,用户得到的电压波形也是正弦波。如果波形不是正弦波,其中就会包含许多种高次谐波成分,这对许多电子设备会有很大的不良影响,对通信线路也会造成干扰,还会降低发电机的效率,甚至还可能造成电力系统发生危险的高次谐波谐振,使电力设备遭到严重破坏。现代柔性电力系统中广泛应用的电力电子设备装置是产生谐波的主要根源。因此,要加强对波形的自动监测和采取有效的谐波抑制措施。

电能质量分为稳态电能质量和暂态电能质量。稳态电能质量是指电力系统在稳态运行方式下所具有的电能质量参数,主要包括五个电能质量指标:电压偏差、频率偏差、波形畸变(谐波)、三相不平衡度、电压波动闪变。而暂态电能质量则指电力系统在暂态过程中所表现出来的电能质量参数,其主要指标有电压的上凸下凹、瞬时电压中断等。一般情况的电能质

量指稳态电能质量。

①电压偏差:属基波无功范畴。影响因素包括系统电源阻抗的存在、负荷波动、电能传输的导线线径、供电距离、潮流分布、调压手段、无功补偿容量等。无功功率平衡才能保证电压在运行范围内,无功随负荷变化,手动无法跟踪。

②频率偏差:属基波有功问题,主要与系统有功储备有关。有功平衡才能保证频率在运行范围内,有功随负荷变化,手动无法跟踪。

③谐波(波形):属非线性负荷用电特性问题,与系统供电质量水平关系不大。波形畸变有二:故障导致稳定破坏和谐波污染,二者均需通过自动装置解决。

④三相不平衡度:属于基波负荷配置问题。其不仅与客户负荷的特性有关,也与系统的规划、负荷分配有关。不平衡度即负序分量有效值 U_2 与正序分量有效值 U_1 之比

$$\varepsilon(\%) = \frac{U_2}{U_1} \times 100\%$$

三相不平衡危害有:旋转电机的附加发热和振动;引起以负序分量为启动元件的多种保护误动;引起发电机容量利用率下降和变压器使用寿命的缩短;引起网损的加大和正常的通讯质量降低等。

⑤电压波动和闪变:属无功冲击问题,主要与负荷用电特性有关。指在稳态运行情况下,由持续性波动的负荷引起的一种周期性电压波动。波动负荷主要有电弧炉、感应炉的变频电源、电焊机、频繁启动的电焊机。以白炽灯通光量和闪烁频度作为判断。

在以上的电能质量指标中,1~3项指标是基本指标,属电力系统长期以来一直关心的问题;而3~5项指标与客户的用电特性密切相关,近年来逐步被认识并越来越受到重视。

(2) 保证安全可靠运行

电力生产中的安全可靠,就是不发生事故,就是在保证人身与设备安全的前提下不中断供电,这是电力部门的头等大事。因为电力系统一旦发生事故,其危害是非常严重的,轻者导致电力设备的损坏,部分用户停电,给生活和生产造成一定的损失;重者则波及到电力系统的广大区域,甚至引起整个电力系统的瓦解,使成千上万的用户失去供电,使生产设备受到大规模的严重损坏,甚至造成人员的伤亡,造成极大的经济损失及社会影响。

电力系统的安全运行控制可以用等式约束条件和不等式约束条件来描述。在稳态运行中,电力系统应能持续不间断地完成发电、输配电和供电的生产过程,在数量和质量上满足用户用电要求。为此,必须保证满足两种条件方程,也称为约束方程。

①等式约束条件。系统发出的总的有功功率和无功功率应在任一时间与总的有功和无功负荷(包括网损)相等,即

$$\left. \begin{aligned} \sum P_{Gi} - \sum P_{Lj} - \sum P_{LS} &= 0 \\ \sum Q_{Gi} - \sum Q_{Lj} - \sum Q_{LS} &= 0 \end{aligned} \right\}$$

式中: P_{Gi}, Q_{Gi} ——发电机 i 的有功功率和无功功率;

P_{Lj}, Q_{Lj} ——负荷 j 的有功功率和无功功率;

P_{LS}, Q_{LS} ——电力系统中各种配电和输电线路及设备的总有功功率和无功功率损耗。

②不等式约束条件。为了保证系统安全运行,有关电气设备的运行参数都应处于运行

允许值范围内,即

$$P_{Gi\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi\max}$$

$$Q_{Gi\min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi\max}$$

$$S_{ij\min} \leq S_{ij} \leq S_{ij\max}$$

$$U_{i\min} \leq U_i \leq U_{i\max}$$

$$f_{\min} \leq f \leq f_{\max}$$

式中: P_{Gi} , $P_{Gi\max}$, $P_{Gi\min}$ ——发电机 i 的有功功率及其上、下限值;

Q_{Gi} , $Q_{Gi\max}$, $Q_{Gi\min}$ ——发电机 i 的无功功率及其上、下限值;

S_{ij} , $S_{ij\max}$, $S_{ij\min}$ ——输电线路的视在功率及其上、下限值;

U_i , $U_{i\max}$, $U_{i\min}$ ——节点 i 的电压及其上、下限值;

f , $f_{\max}$, $f_{\min}$ ——系统频率及其上、下限值。

输变电设备的正常操作、故障的快速切除和恢复均通过自动装置,才能保证电力系统运行的安全可靠。

(3) 保证经济运行

电力系统运行控制的目标,除了首要关注的安全可靠问题和电能质量问题外,还应当合理安排各类发电厂所承担的负荷,力求降低发电成本,减少网络传输损失,以获得最大的经济效益,全面地提高整个电力系统运行的经济性。没有自动化系统的参与,电力系统的经济优化调度、运行和降低网损等是很难实现的。

(4) 保证符合环境保护要求

能源和环境是人类赖以生存和发展的最基本的条件。电力是现代社会不可或缺的最重要的能源,同时,电力的生产又对环境产生很大的影响。电力系统调度也同样肩负着“保护环境,减少污染”的重要责任,符合环保要求,也是电力系统运行控制的目标之一。

第二节 电力系统自动化及其发展历程

一、电力系统自动化的定义

电力系统(一次系统):电能生产、输送、分配和消费所需要的发电机、变压器、电力线路、断路器、母线和用电设备等互相连接而成的系统,也称电工一次系统,其中所包括的电力设备称为“一次设备”。其特点是,能量系统、主系统、高电压、大电流。

电工二次系统(二次系统):由对电工一次系统进行监视、控制、保护和调度所需要的自动监控设备、继电保护装置、远动和通信设备等组成的辅助系统。其中包括的设备装置称为“二次设备”。其特点是,信息系统、辅助系统、低电压、小电流。

电力系统(综合)自动化:严格意义上说就是指电工二次系统。因历史原因被分成三部分:继保、远动、自动化,目前普遍意义上讲的自动化不包括继保、远动部分(含通信)。

电力系统自动化是指采用各种具有自动检测、决策和控制功能的装置,并通过信号系统

和数据传输系统对电力系统各个元件、局部系统或全系统进行就地或远方的自动监视、协调、调节和控制,以保证电力系统安全经济运行和具有合格的电能质量。

电力系统综合自动化安全特点:装置维护调试方便,易于操作;装置功能多、先进、灵活,逻辑回路动作正确率和可靠性高;装置实现了遥控、遥测、遥信、遥调功能,可取代传统变电所的预告信号、事故影响、仪表监测的作用;实现远方监控,可取代传统的有人值守模式;能够迅速而正确地收集、检测和处理电力系统各元件、局部系统或全系统的运行参数,提高系统运行可靠性,即保证用电可靠性,比如自动重合闸,可使线路开关瞬间故障跳闸后在瞬间自动重合,不影响供电。

电力系统自动化的基本要求:

- ①迅速而正确地采集、检测和处理电力系统各元件、局部系统或全系统的运行参数。
- ②根据电力系统的实际运行状态和系统各元件的技术、经济和安全要求为运行人员提供调节和控制的决策,或者直接对各元件进行调节和控制。
- ③实现全系统各层次、各局部系统和各元件间的综合协调,寻求电力系统电能质量合格和安全经济运行。
- ④提高供电可靠性,减少电力系统事故,延长设备寿命,提高运行水平,节省人力,减轻劳动程度。

二、电力系统自动化的主要内容

按照电能的生产和分配过程,电力系统自动化包括电网调度自动化、火力发电厂自动化、水力发电站综合自动化、电力系统信息自动传输系统、电力系统反事故自动装置、供电系统自动化、电力工业管理系统自动化 7 个方面,并形成一個分层分级的自动化系统。

(1) 电网调度自动化

现代的电网自动化调度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终端,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、最优机组开停计划、安全监视与安全分析、紧急控制和电路恢复等程序组成。

电网调度自动化的结构图如(图 1-1)所示。图中主站(MS)安装在调度中心,远动终端(RTU)安装在发电厂和变电所。在实现了综合自动化的厂(站)里 RTU 就是该厂(站)的自动监控系统的通信控制器。在 MS 和 RTU 之间通过远动通道相互通信,实现数据采集、监视与控制。

远动终端(RTU)可实现现场数据的采集和接受主站下达的各类命令。采集所在厂(站)电力设备的运行状态和运行参数,如电压、电流、有功功率和无功功率、频率、断路器保护动作信号等,发送到主站;RTU 接受主站通过通道送来的调度命令,如断路器控制信号、功率调节信号、改变设备整定值的信号及返回给主站的执行调度命令后的操作信息。

图 1-2 是调度中心主站系统的结构简图。主站通信控制器(MTU)接受各厂(站)用 RTU 送来的信息,将其送往主计算机,并将主计算机或调度员发出的调度命令送往各厂

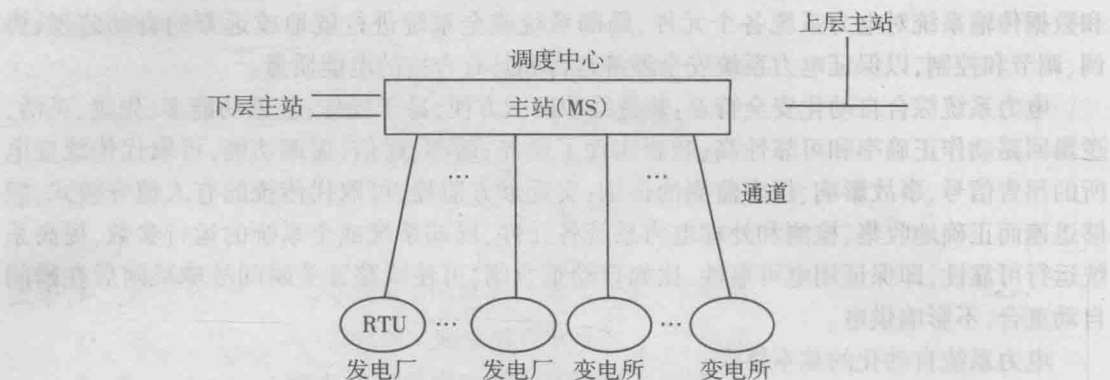


图 1-1 调度自动化系统结构图

(站)的 RTU。主计算机系统是主站的核心,负责信息加工和处理等。人机联系设备有屏幕显示器(CRT)、模拟器、键盘、打印机等。显示器将主计算机信息处理结果进行显示。键盘接受调度员命令,决定是否对电力系统实行控制和调节。主站还要将经过处理的信息向上一层的调度中心转发,通常通过数据通信网进行。

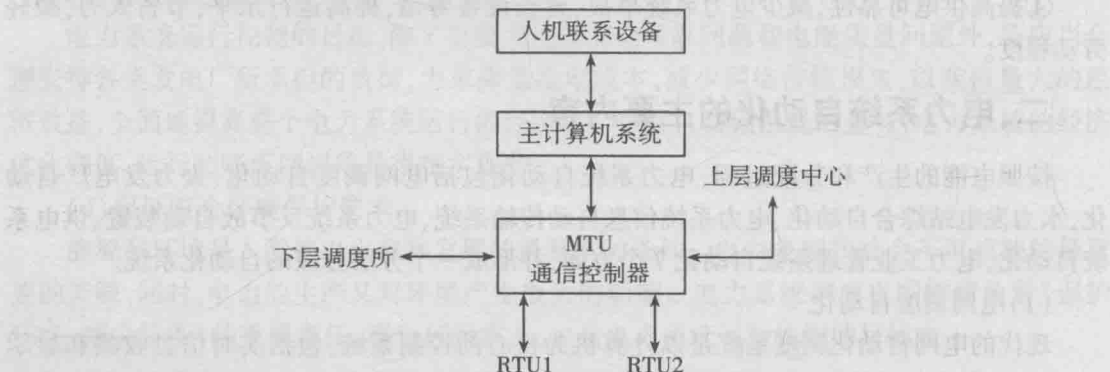


图 1-2 调度中心主站系统的结构简图

在发电厂和变电所装设的远动终端(或当地计算机监控站)直接采集实时信息,只有涉及上层调度网的信息才能向调度传送。调度中心集中信息后作适当处理再向更高层次的调度转发。这种分层采集信息和分层控制简化了系统结构,减少了通道量和信息量,使信息的实时性明显提高。

(2)火力发电厂自动化

火力发电厂的自动化包括:

- 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起动过程。
- ③有功负荷的经济分配和出力的自动增减。
- 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。

(3) 水力发电站综合自动化

水力发电站综合自动化包括大坝监护、水库调度和电站运行三个方面。

①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。

②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。

③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。

(4) 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、声频和光导通信等多种形式;远动装置按功能分为遥测、遥信、遥控、遥调四类。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。

(5) 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。

①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。

②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、机组低频自起动装置等;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。

(6) 供电系统自动化

供电系统自动化包括地区调度实时监控、变电站自动化和负荷控制三个方面。地区调度的实时监控通常由小型或微型计算机组成,功能与中心调度的监控系统相仿,但稍简单;变电站自动化的发展方向是无人值班,其远动装置采用微型机可编程序的方式;供电系统的负荷控制常采用工频或声频控制方式。

(7) 电力工业管理系统自动化

管理系统的自动化通过计算机来实现。主要项目有电力工业计划管理、财务管理、生产管理、人事劳资管理、资料检索以及设计和施工方面等。

三、电力系统自动化的发展历程

电力系统自动化的发展史是自动控制技术与电力工业逐步发展壮大的历史,电力系统自动化是电力系统控制发展的必然。电力系统自动化的发展史可分为以下几个阶段。

(一)手工阶段

手工阶段是电力工业的初期萌芽阶段,其特点是小电厂单独运行、就近供电、手工操作。在发电机、开关设备旁就近监视设备和手工调节操作,这种工作方式的效果与运行工作人员的素质和精神状态有关,往往不能及时而正确地进行调节和操作,特别是在发生事故时,往往来不及对事故的发生和发展做出反应而导致事故扩大。

(二)简单自动装置阶段

随着用电负荷的大幅增长,用电设备增多,发电设备规模扩大,供电范围也不断扩大,对电能质量和安全可靠性的要求。为了保证电力系统安全运行和向用户供应合格的电能,开始出现单一功能的自动装置,这些自动装置包括继电保护装置、断路器自动操作装置、发电机自动调压和调速装置等。其特点是电能质量要求低、单一的电力自动装置。

(三)传统调度中心阶段

20世纪60年代,出现了互联电网,为了保证电网安全稳定运行、可靠供电和各类电力生产工作有序进行,电力调度中心采用有效的管理手段,统一调度电厂和处理电网的异常和事故。由于通信设备等技术的限制,电力调度主要靠电话。在调度中心,每天由各厂站值班员定时打电话向调度员报告本厂、站的机组出力、线路潮流、母线电压等数据,严格地说,调度员了解的厂、站的信息,已属于“历史”信息。调度员根据这些情况进行汇总、分析,通过大量人工计算得到系统运行方式,结合这些有限的“历史”性的信息,加上个人的知识和运行经验,选择一种运行方式,再用电话通知各厂站值班员,由他们在现场进行操作。一旦电力系统发生事故,了解现场的情况,需要花费较长时间,然后凭经验进行事故处理,恢复正常运行。此阶段的特点是电网互联、统一调度、电话通信。

(四)具有“四遥”的单一自动化阶段

通信技术的发展,为解决现代初级阶段调度的实时性问题奠定了基础,出现了远距离信息自动传输装置,遥测、遥信方式的采用,相当于给调度中心安装了“千里眼”,可以有效地对电力系统的运行状态进行实时的监视,但仅能监视还不能满足调度的要求。随着计算机技术和通信技术进一步成熟,远动系统提供了遥控、遥调的手段,一些调度开始实施把调度决策通过远动装置自动地传输到发电厂和变电站,对设备进行调节和控制,即进行遥调和遥控。20世纪70年代末,我国开始四大电网的自动化技术引进,同时国内的自动化研究机构和设备制造企业开始自动化系统的研究开发,到80年代后期,我国的第一代调度自动化系统在各个省和地区得到了应用,其功能主要为实现遥测和遥信的调度数据采集与监视控制(SCADA-Supervisory Control And Data Acquisition)系统。此阶段电力系统自动化有以下特点:

(1)电力系统继电保护、电力系统远动和电力系统自动化三者各自成体系,分别完成各自的功能。

(2)对单个电力设备和单一过程用分立的自动装置来完成自动化的某项单一功能。

(3)电力系统的统一运行主要靠电力系统调度中心的调度员根据遥测、遥信传来的信息,加上自己的知识和经验来指挥,部分系统实现了遥调、遥控。

(五)综合自动化阶段

电力工业成为必不可少的支柱产业,电网规模快速扩大,电力系统的结构和运行方式复杂,在仅实现了“四遥”的调度中心,调度员面对大量不断变动的实时数据,采用单一功能的自动化装置很难满足电能质量、可靠和安全的需要。为此,电力调度普遍采用各类分析软件,出现了电力系统在线潮流、安全分析等许多功能,统称为能量管理系统(EMS-Energy Management System)。近年来,还研制了可以模拟电力系统各种事故状态用以培训高水平调度员的“调度员培训模拟系统”。在配电网自动化领域,我国在20世纪90年代中期开始应用能量管理系统。鉴于主网调度系统的应用经验,配电网自动化的技术起步就较高,建设的配电调度自动化系统已在各地普遍开始应用,系统中的配电管理(DMS-Distribution Management System)开始应用。在变电站中,这一阶段变电站的自动化水平得到了快速发展,由传统的继电保护装置、远动装置、测量装置,以各自自成体系的模式向综合自动化方面发展,使基于微处理系统的综合自动化技术得到了完善,变电站普遍开始采用综合自动化系统。新的通信技术、计算机技术、控制技术、电力电子技术,为电力自动化的新装备和新系统奠定了基础,是自动化技术快速发展的阶段。

其特点主要体现在:综合自动化系统得到广泛的应用,用一套自动化系统或装置来完成以往两套或多套单一功能的自动化系统或装置所完成的工作;调度中心借助各类实时在线分析功能软件实现对电力系统运行分析与控制;各级调度的信息能实现共享,并实现调度系统的“四遥”。电力系统综合自动化系统工作模式如(图1-3)所示。

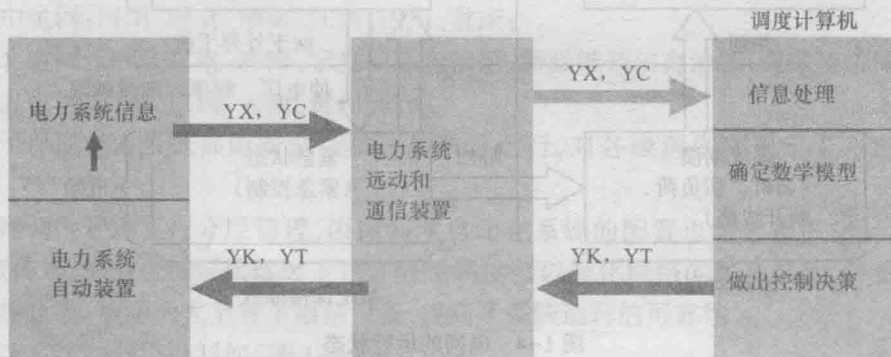


图1-3 电力系统自动控制系统工作模式图

第三节 电力系统的运行与控制

《中华人民共和国电力法》规定,电网运行实行统一调度、分级管理;各级调度机构对各自调度管辖范围内的电网进行调度,依靠法律、经济、技术并辅之以必要的行政手段,指挥和保证电网安全稳定经济运行,维护国家安全和各利益主体的利益。

一、电力系统的运行状态

电力系统的运行状态是指电力系统在不同运行条件(如负荷水平、出力配置、系统接线、故障等)下的系统与设备的工作状况。从广义上讲,电力系统的运行状态有正常状态和非正常状态两种。为了便于对电力系统的运行状态进行管理,就需要说明在不同运行情况之下如何对电力系统进行控制,须对电力系统运行状态进行分类。目前,电力系统运行状态的分类尚没有严格的定义,一般将其划分为正常状态、警戒状态、紧急状态、崩溃状态和恢复状态。

电网调度控制的内容与电网的运行状态是相关的。各种运行状态之间的转移,可通过控制手段来实现,如预防性控制、校正控制和稳定控制、紧急控制、恢复控制等。这些统称为安全控制。

电力系统在保证电能质量、安全可靠供电的前提下,还应实现经济运行,即努力调整负荷曲线,提高设备利用率,合理利用各种动力资源,降低煤耗、厂用电和网络损耗,以取得最佳的经济效益。

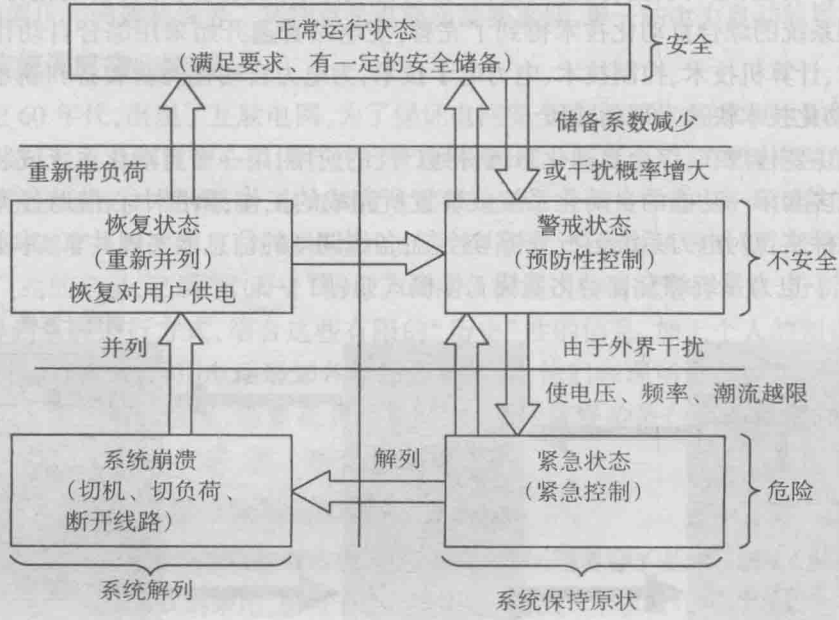


图 1-4 电网的运行状态

安全状态是指电力系统的频率、各点的电压、各元件的负荷均处于规定的允许值范围,并且当系统由于负荷变动或出现故障而引起扰动时,仍不致脱离正常运行状态。由于电能的发、输、用在任何瞬间都必须保证平衡,而用电负荷又是随时变化的,因此,安全状态实际上是一种动态平衡,必须通过正常的调整控制(包括频率和电压,即有功和无功调整)才能得以保持。

如(图 1-4)所示给出了电网的各种运行状态及其相互间的转变关系。

二、我国电力系统的分区分级控制

电能的产、输、配、用是在一个电力系统中进行的,因此电力系统是一个分布面广、设备量大、信息参数多的系统。我国已经进行厂网分开的电力市场化改革,形成了南北两大电网公司和五大发电公司的格局,如(图 1-5)所示。发电厂原则上通过电价竞价上网,电网公司负责对电网的建设、维护和调度。

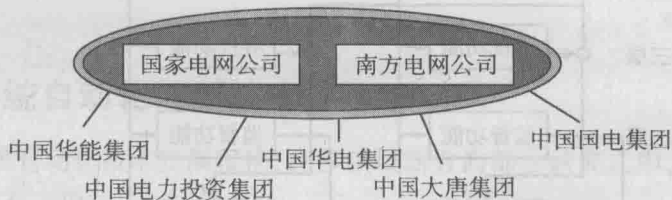


图 1-5 中国电力工业组织机构

《电网调度管理条例》根据电压等级和行政区,把电网调度机构分为五级,即国家调度机构,跨省、自治区、直辖市调度机构,省、自治区、直辖市调度机构,省辖市级调度机构,县级调度机构。目前,我国已建立了较完备的五级调度体系,分别是国家电力调度通信中心和南方电网调度中心;东北、华北、华东、华中、西北调度通信中心(简称网调),各省(直辖市、自治区)电力公司电力调度通信中心(简称省调),此外,还有 310 多个地调和 2000 多个县调。

各个网级调度中心的管辖范围如下。

东北电网:辽宁、吉林、黑龙江、内蒙古东部电网;

华北电网:北京、天津、河北、山西、山东、内蒙古西部电网;

华东电网:上海、江苏、浙江、安徽、福建;

华中电网:河南、湖北、湖南、江西、四川、重庆;

西北电网:陕西、甘肃、青海、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区、西藏自治区电网;

南方电网:广东、广西、云南、贵州、海南。

为了保证电力系统都能安全、经济、高质量运行,对各级调度都规定了一定的职责与功能。

电网调度管理实行分层管理,因而调度自动化系统的配置也与之相适应,信息分层采集、逐级传送,命令也按层次逐级下达。分级调度可以简化网络的拓扑结构,使信息的传送变得更加合理,从而大大节省了通信设备,提高了系统运行的可靠性。

复杂系统的分层控制如(图 1-6)所示。

第一层是直接控制层。直接控制器从被控设备直接获取运行状态信息,按照一定的控制规律,实现生产过程的控制。

第二层是监督功能层。监督功能一般由设在直接控制器中的专门元部件执行,监督直接控制层的控制效果,提供被控设备的越限报警、故障跳闸及应急操作等。

第三层是寻优功能层。一般在多个设备并行工作时,以最优解作为控制器的给定值,实现多台设备的稳态最优运行。

第四层是协调功能层。在全系统范围内实时进行协调控制,其结果作为寻优功能的依据。