

电力系统 现代控制技术

ELECTRICAL POWER SYSTEM
MODERN CONTROL TECHNOLOGY



向可根 鲍世军 编译

成都科技大学出版社

(川) 新登字 015 号

电力系统现代控制技术

向可根 鲍世军 编译

成都科技大学出版社出版、发行

成都科技大学印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张：12

1992 年 3 月第 1 版 1992 年 3 月第 1 次印刷

字数：260 千字 印数 1—3000 册

ISBN 7—5616—2002—0/TM · 17 定价：7.50 元

内 容 简 介

本书全面系统地介绍对电力系统监视和控制涉及的现代化技术,主要包括调度自动化系统的数据采集与监控(SCADA)功能,自动发电控制(AGC)功能和能源管理系统(EMS)功能。书中讲解了人一机通信的多种手段、控制系统的配置类型及特点、性能指标及可靠性分析。书中详细介绍了设计控制系统(包括中心系统、当地系统及通信系统)的实施技术和控制系统在实时操作环境下的应用功能。在最后两章还介绍了世界上已投入运行的五类控制系统以及控制技术领域的发展趋势。

本书可供从事电力系统自动化、系统控制工程等专业的研究生及高年级大学生作教材或教学参考书,也可供从事该领域的科研人员及工程技术人员作自学参考书。

前 言

电力生产过程是现代社会中最先进的工业生产过程。它贯穿着电能的生产、传输、分配及用电紧密结合的过程。电力生产部门与用电部门地理分布广,对实时性和可靠性要求很强,而且发电、输电、配电及用电设备复杂繁多。因此,电力公司在电气化的早期就开始采用监控手段对某些重要设备及生产过程进行远距离监视与控制。从技术上讲,电力工业中的监控系统优先于其它工业的监控系统。

随着电力系统规模的扩大和自动化程度的提高,逐渐改变了对系统监视和控制的方式。劳务费用的增长及训练有素人员的短缺,促使对单个电厂或变电站远程控制的简单系统向针对整个电网监控的以计算机为基础的现代能源管理系统发展。

本书全面系统地介绍了对电力系统监视控制领域中涉及的现代化技术。第一章介绍控制技术的现状。第二章介绍控制的目标以及电力系统运行情况,系统组织及操作员工作内容,控制系统投资费用及控制中心的运行经验。第三章介绍控制系统应具备的监视与控制功能,包括数据采集功能,监视与事件处理功能,控制功能,时标数据的收集、处理与存储功能,对事故数据的收集与分析功能,报表打印与计算功能。第四章介绍控制系统的人—机通信,包括操作员控制台的有关技术、视屏显示及应用技术、操作员与控制系统交互技术、模拟屏显示技术及打印输出技术。第五章介绍控制系统的配置结构,包括调度控制系统必备的子系统,目前控制系统配置的类型及

系统设计中应统筹考虑的问题。第六章对控制系统的性能及可靠性进行深入分析,涉及控制系统的性能指标、硬软件问题、数据库技术及仿真技术,其关键问题是实时性问题。第七章介绍控制系统实施技术。本章详细介绍控制系统设计的现代技术水平和实施的可行性,涉及当地系统、通信系统及中心系统(主站)的实施技术。第八章重点讲解面向电力系统的应用功能,包括实时网络模拟功能、安全管理功能、发电控制功能及对操作员的培训模拟功能。这些应用功能的集成,需要一个实时系统环境。第九章简明介绍世界上投入运行的五个实际控制系统。这些系统具有不同的规模和用途,可帮助读者熟悉控制系统在现场应用的简况。第十章概括指出电力系统控制技术领域的发展趋势,为研制开发新的控制系统指明方向。

本书前五章介绍的是控制技术的基本技能。若读者对SCADA 系统和控制系统的整体结构具备基础知识,可直接阅读本书的后面章节。本书的大多数内容译自瑞典卡尔梅斯技术大学电子系统工程教授 T·舍格雷尔编著的《电力系统控制技术》一书。根据我们多年的教学及科研工程的实践经验,并根据我国电力工业现代控制系统的实际情况对原著内容加以适当增补后编译成此书。原著中的大多数内容取自卡尔梅斯技术大学电子工程系开设的有关电力系统控制的两门大学课程。为了给该系研究生讲解电力系统控制技术,对某些章节充实了技术强度。T·舍格雷尔教授还将他在瑞典开办的国际高级管理培训班“电力系统控制与运行”上讲授的内容细加整理,编入到原著之中。本书可作为从事电力系统自动化、系统控制工程专业的研究生或高年级大学生的教材或教学参考书,也可供目前从事系统控制工作的科研人员及工

程技术人员自学的参考书。本书尽可能清楚地告诉系统控制科技人员及设计者应该做些什么和如何成功地设计、开发一个现代化的控制系统。

本书的第一章至第六章及第九、十章由向可根编译,第七、八章由鲍世军编译。英文原著由云南省电力局中调所自动化部黄兵部长提供并审核了原稿。译稿由成都科技大学电力工程系何开杰副教授审校。成都科技大学水电学院院长滕福生教授、电力工程系主任王贵德副教授及李烈忠副教授对编译此书提供了宝贵的指导意见,在此衷心地表示感谢。

限于编译者水平,书中缺点错误在所难免,恳切地欢迎广大读者批评指正。

成都科技大学电力工程系

向可根 鲍世军

一九九一年于成都

目 录

第一章 概 述.....	(1)
第一节 电力系统控制技术现状.....	(1)
第二节 本书简介.....	(2)
第二章 电力系统控制的目标.....	(7)
第一节 电力系统的运行方式.....	(8)
第二节 系统组织及操作员的工作	(13)
第三节 控制系统投资费用	(15)
第四节 控制中心的运行经验	(17)
第三章 监视与控制功能	(20)
第一节 数据采集	(21)
第二节 监视与事件处理	(24)
第三节 控制功能	(30)
第四节 时标数据	(31)
第五节 事故数据的收集与分析	(34)
第六节 报表与计算	(37)
第四章 人机通信	(40)
第一节 操作员控制台	(41)
第二节 视屏显示及应用	(44)
第三节 操作员与控制系统对话功能	(56)
第四节 模拟屏显示功能	(65)
第五节 打印输出功能	(67)
第五章 控制系统结构	(74)
第一节 控制系统的子系统	(76)

第二节	控制系统的类型	(84)
第三节	控制系统设计的统筹安排	(91)
第六章	控制系统的性能与可靠性分析	(97)
第一节	性能指标	(97)
第二节	软件问题	(103)
第三节	硬件问题	(110)
第四节	数据库	(115)
第五节	可靠性分析	(121)
第六节	仿真技术	(133)
第七章	控制系统实施技术	(144)
第一节	当地系统	(144)
第二节	通信系统	(164)
第三节	中心系统(主站系统)	(216)
第八章	控制系统应用功能	(259)
第一节	实时网络模拟功能	(261)
第二节	安全管理功能	(291)
第三节	发电控制功能	(304)
第四节	培训模拟功能	(329)
第九章	世界上运行的五个控制系统	(341)
第一节	控制中心系统的实施方案	(342)
第二节	美国 REMVEC 能源控制系统	(345)
第三节	津巴布韦国家中央控制系统	(349)
第四节	瑞典圣得克拉弗特主控中心	(352)
第五节	挪威罗斯克水电级联控制系统	(356)
第六节	瑞典瓦伯基配电控制系统	(359)
第十章	电力系统控制技术发展趋势	(363)

第一节	综合控制系统概念.....	(363)
第二节	操作员主要关心的问题.....	(365)
第三节	配电自动化.....	(367)
第四节	可用率与维护.....	(369)
第五节	结束语.....	(370)

附录：一、电力潮流方程
二、负荷潮流计算

第一章 概 论

第一节 电力系统控制技术现状

我们常需对不同规模的电力系统进行监视和控制。在多数情况下,只简单安装一些测量表计进行监视处理,并安装一些执行机构实现控制功能。操作人员使用这些仪表及控制设备可对所管辖的生产过程进行监视控制,从而维持系统正常运行。

当系统监控需多个测量表计和执行装置时,一般将这些表计和装置安装在一个控制屏或模拟屏上。使操作人员可了解一个或几个现场过程的状态。若系统规模大,为了保证在中心控制室看到系统理想的画面或生产过程状态,需在对生产过程的全程或重要部份进行监视和控制的地方分别建立控制室或控制中心。对于地理分布广阔的生产过程,应分别建立多个控制中心。

图 1.1 描述的是传统的控制室。它由一个示意生产过程模型的模拟屏和几个控制台组成。模拟屏的大小取决于过程监视的规模和复杂性。模拟屏上有许多测量仪表,用以显示诸如电压、潮流和断路器状态的过程值及状态。模拟屏做工精良,通常选用大理石块和闪光的黄铜制成显示屏幕。

生产过程状态的实时变化需要在模拟屏上反映出来,如图 1.1 所示。虽然今日用马赛克建成模拟屏相当简单,但要在

模拟屏上跟踪生产过程的状态并非易事。电力生产过程在不断变化,加之新的厂站和线路在不断扩建,使模拟屏变得更加复杂,而且操作员难于观察复杂模拟屏上的信息,影响了对系统的监控。有时因无法在旧模拟屏上扩充新的显示仪表,只好重建新的模拟屏。

在计算机尚未普及时期,只好采用昂贵又不灵活的模拟屏技术。六十年代末期,实时计算机的价格日趋合理,开始用实时计算机构新型控制中心的设想。用计算机来完成各种信号的处理,用可视显示装置(显示器)可在不同程度上取代传统模拟屏的作用。

发展到当今水平的高度灵活的控制中心系统,就是在这种构思基础上改进而成的系统。许多依赖屏幕显示器技术的现代控制室仍保留有模拟屏。因模拟屏具有自身的风格,而且

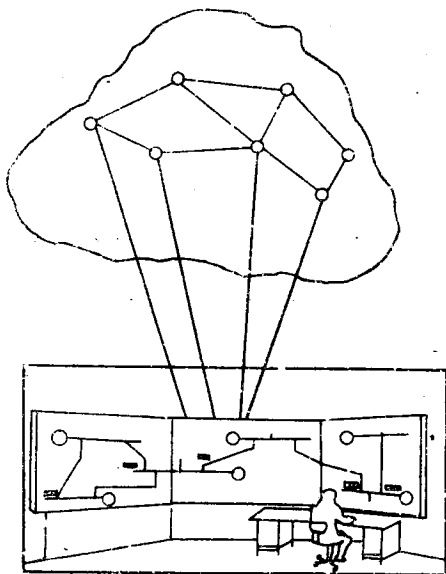


图 1.1 具有模拟屏的传统控制室

是一种高层次的过程模式。操作员可从模拟屏上快速观察到电力系统的主要生产过程状态。模拟屏也是控制室的一种装饰品。

电力生产过程从地理上讲分布很广。相互联接的电力网可能遍及整个国家甚至整个洲。因此,电力公司在电气化的早期就开始采用监控技术对远距离的生产过程进行监视和控制。

监控系统设计的复杂程度,取决于被监控过程的复杂程度。电能生产过程是现代工业最先进的工业生产过程。它包含电能的生产、传输、分配及用电过程。正因如此,在电力生产过程中采用计算机进行控制一直是一个研究的复杂课题。尤其是由于地理分布广,使控制难于实现。不难理解:从技术上讲,电力工业中的控制系统优先于其它工业的控制系统。

当今控制系统是由不同挡次的实时计算机组成的。为了更好地实现不同的功能要求,往往采用分层控制结构。由于电力生产基地分布广,要求采用先进的计算机通信手段。操作人员借助彩色显示器和键盘等人机系统,实现对生产过程的监视和控制。显示器可以迅速准确且易于理解地显示出生产过程信息、电网信息或厂站有关信息。

面对电力系统不断复杂庞大,为了确保以最低的电价提供高质有效的电能,我们需要对电力设备提供有效的监控手段。集中监视可以了解电力生产过程中的瞬时状态。计算机可以监视系统的实时运行。当系统不正常时,例如电路断路器误动或线路潮流超过限值,计算机可给操作员发出报警信号,可将不同的报警信号分类反映出来,使操作员能迅速发现事故的起因。较大的控制中心采用先进的网络监视设备和模拟

工具来帮助操作员预防系统故障。控制中心通常还具有电力系统经济优化运行的生产控制功能。

电力系统集中控制是在中心控制室实现各种远程控制操作。操作员可对断路器进行遥控操作,可投切变电站设备及控制生产设备。计算机控制系统的使用,使得操作人员的工作发生了根本变化。他们早先的职责主要是抄表,而现在更多的工作是对数据进行分析。计算机系统能完成数据记录及处理,并给出处理后的结果。操作员借助计算机系统对电力系统进行判别,作出决策并执行控制任务。操作员必须借助人机接口来显示信息和执行程序。

电力设备对控制系统提出的功能要求是多方面的。其复杂程度取决于应用领域。基本要求则是所谓的 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) 功能,即监控和数据采集功能。更高的要求则是 EMS (Energy Management System) 功能,即所谓能源管理功能。SCADA 加上 EMS,使控制系统兼备监控和计算能力,可进一步帮助操作员完成对电力设备的操作控制。

分层、分布和可靠是功能要求涉及的三个关键词。非集中化功能的分层要求是电力运行设备的配置结构的必然结果。控制系统必须与之相适应。由于电力生产过程本身是分布式的,即地理分布广,这就引出了分布式系统的概念。由于操作员错误操作将产生严重后果,必须要求安全可靠的操作程序。

针对整个电力系统的特点,现在能提供不同应用范围的以计算机为主体的控制设备及模板。现代监控系统有许多实例,这里简单介绍一下伊拉克电力生产及输电网国家监控系统。其输电线等级为 400KV 和 132KV,于 1982 年投入运行。

该监控系统是一个典型的分层的中心控制系统。伊拉克电网分成三个运行区：北部、中部和南部区。每区设一个控制中心。每区控制中心负责该区电力系统的运行监控。国家控制中心负责全电网的协调与计划，例如负责全国的负荷预测。区控制中心对国家控制中心而言形成了一个分层结构，每区有自己的控制系统，与各远程终端设备相连。

第二节 本书简介

简明地介绍了电力系统控制技术的现状之后，再介绍本书的概要，以帮助读者进一步熟悉本书包括的内容。第二章是从实用观点进行讨论的。就是说不单考虑不同的投资指标会影响现代能源控制系统的引入，还必须广义地考虑到系统运行的各个方面。第三章定义了监视和控制功能。第四章介绍了系统的操作员与人机通信问题。第五章介绍整个系统的基本组织结构。

本书后半部讲述得更深更细。第六章引出了控制复杂动态过程的控制系统性能和可靠性等重要问题，它涉及到实时问题。这与硬件和软件工程都有关。它对不同的运行环境（包括电力系统本身的故障）都是非常重要的问题。第七章在前六章的基本知识上详细描述了目前现代化控制实施技术，概括了不同的实施方案。第八章专门讲述建立能源管理系统所需的面向电力系统的应用功能。第六章到第八章是本书的主要部份。其中详细讨论了实时环境下从通常的 SCADA 功能到 EMS 功能。它包括了现代控制技术的整个应用功能，其内容的难度步步增大。

第九章介绍了一些已投入运行的控制系统,用来综合前面涉及的知识。最后一章探讨发展趋势,以便熟悉那些影响控制系统设计的有关因素。

第二章 电力系统控制的目标

面对电力系统日趋复杂化,必须对电力设备采用有效的控制手段,以确保花最少的钱获得高质量的电能。电力系统短期和长期运行的总目标是找出安全要求与电能需求之间的最佳平衡,运行的三个独特目标是:质量、安全和经济。

质量目标通常采用输出的电能应满足规定的电压波形(包括脉动基准与脉动量)和允许的频率(用狭带设定和时延门限检查频率)加以描述。

安全目标很难定量描述。通常是考虑系统应满足必要的实用规范。为了有效地避免某些可能出现的故障,应考虑联网电力系统的平衡及电网的安全操作等因素。

经济目标由两部份组成。一是电力设备及控制系统等的投资费用,二是整个电力系统的运行费用。

以上三个目标没有绝对理想的组合。但对各种实际系统可实现最佳组合。安全与经济目标显然是对立的。为了使各个目标保持在合适的水平上,目前必须在电力系统中使用先进的控制系统。

本书不是一本电力系统运行的教材。但是为了深入了解发展中的中心控制技术,仍需了解电力设备及调度的主要任务。为此,本章将先介绍短期运行计划及日常操作所需完成的目标及功能。

本章还将讨论一些有关控制中心的机构及事务、计算机为主的控制系统的投资及获得的效益。最后还介绍有关控制

中心的运行实践经验。

第一节 电力系统的运行方式

电力系统不存在固定的运行方式，因为每一个电力系统有其自身的发电、输电、配电及用电特点。电力设备实际的或受法律约束的特性也是大不一致的。尽管如此，控制中心的日常工作应严格按照实用规则来进行工作。

直接影响控制中心功能的电力系统运行情况，可按时间界线分成三类

1. 短期运行计划：指几小时到几个月的计划。该计划包括电力生产资源利用计划的负荷预测计划。此外，还要随时考虑到电力系统内可能出现事故。

2. 暂态运行：涉及对发电、负荷及电压的监视；检查并反映越限情况；维护系统正常工作，防止设备出事故；采用相应控制步骤重新调整发电计划及输电配置。

3. 运行报告及事故跟踪：运行报告用来产生作为计划输入及记帐式的统计数据，事故记录可确定原始故障部位，以便迅速排除故障。

电力系统实际运行状态可能是四种运行状态中的一种。这四种运行状态是：正常状态、告警状态、危急状态、恢复状态。告警状态是指系统发生了某些故障时的状态。系统运行的总目标是尽可能持久地维持在正常状态。应尽快发现系统步入告警状态，并设法尽快返回正常状态。若电力系统瓦解，必须平稳而快速地恢复该系统。四种运行状态之间的关系如图 2.1 所示。