

# 电力系统计算机调度自动化

提兆旭 陈赤培 编著

上海交通大学出版社

(沪)新登字205号

### 内 容 简 介

本书系统地介绍了电力系统计算机调度自动化方面的知识,内容包括电网数据监测的基本技术、信息通信基础,电网调度控制中心的计算机系统、调度中心的计算机软件技术、电网数据库概论、电力系统状态估计、自动发电控制、电力系统经济调度,以及计算机网络在电力系统中的应用等。书中以电力系统为对象,以计算机信息处理为主线,阐明了电网计算机调度中所应掌握的理论及有关知识。因此,本书可以作为大专院校有关专业的教材或参考书,也可以作为从事电力系统自动化专业有关的技术人员及研究者的参考书。

### 电力系统计算机调度自动化

出版:上海交通大学出版社

(上海市华山路 1954 号 邮政编码: 200030)

发行:新华书店上海发行所

印刷:立信常熟印刷联营厂

开本: 787×1092 (毫米) 1/16

印张: 12.25 字数: 299,000

版次: 1995年7月 第1版

印次: 1995年7月 第1次

印数: 1—1,150

科目: 353—269

ISBN 7-313-01454-6/TP·269

定 价: 7.30 元

## 前 言

随着我国电力事业的发展,电力系统自动化的程度越来越高。同时对电力技术工作者的要求也越来越高。为了使学校的教育跟上经济技术的发展和时代的要求,密切联系实际,我们于1988年对大学电力专业的课程设置进行了调查。通过调查,我们了解到全国各个地区电力部门都反应急需大量的既懂电力知识又懂计算机、通信技术等方面的人材。由于技术的发展,老的专业技术人员急需知识更新,新的技术工作者急需新知识武装。因此,希望大学中能开设一门融计算机、通信技术和电力系统运行知识于一身的自动化课程。

经过一年多的准备,我们于1990年编出了一本“电力系统调度自动化”讲义,通过两年的教学实践并征求有关电力系统运行部门的意见,对原讲义作了较大幅度的修改,于1992年印出第二稿讲义,改名为“电网计算机调度自动化”,又经过两年的讲授,并吸收电力运行部门的意见,现改成本书稿。

书中共分十章,第一、二、三、五、七、八、九、十章由提兆旭编写,第四、六章由陈赤培编写,本书由提兆旭任主编,并对全书作了校阅和修订、编辑工作。

在完成书稿的过程中,本校杨冠城教授也曾对第一稿讲义提出过许多宝贵意见,华东电网总局施韵和高级工程师为书稿征求意见给予了许多帮助,华东网总调副总工程师汪德星高级工程师对第二次讲义作了审阅,并提出了许多宝贵的意见,南京自动化研究所运动室室主任张甲社高级工程师为本书提供了许多参考资料及其帮助,上海市电力局市中供电局陈旭霞工程师为讲稿提供了许多有益的资料。在此一并表示衷心感谢!

另外,上海交通大学、南京南瑞总公司运动分公司为该书的出版提供了资助,在此也深深地表示谢意!

在出版过程中,也得到了上海交通大学出版社的同志们鼎力协作,为此也深表谢意。

在编写过程中,由于我们的水平所限,书中难免有缺点和不当之处,希望广大读者给予批评指正。

1996年正是作者母校——上海交通大学的百年生日,在这大喜之日之前,能出版此书,实在是与母校及各位师长的谆谆教诲分不开的,在此,应深切地感谢母校的教育之恩,愿母校为祖国培养出更多更好的人材,祝母校日益昌盛发达。

提兆旭

1994.10.1

# 目 录

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <b>第一章 绪论</b> .....             | 1   |
| § 1—1 电力系统运行与调度控制.....          | 1   |
| § 1—2 电网的分级调度和管理.....           | 2   |
| § 1—3 电网调度自动化系统的功能分类.....       | 4   |
| § 1—4 国内外电网调度自动化的发展与趋势.....     | 5   |
| <b>第二章 电力系统数据监测的基本技术</b> .....  | 8   |
| § 2—1 电力系统运行控制所需信息.....         | 8   |
| § 2—2 模拟量输入通道.....              | 10  |
| § 2—3 数字量输入输出系统.....            | 16  |
| § 2—4 电力系统交流参数的计算及处理.....       | 20  |
| § 2—5 电网远方终端处理装置·RTU.....       | 23  |
| <b>第三章 信息通信基础</b> .....         | 26  |
| § 3—1 数字信号传输系统的构成.....          | 26  |
| § 3—2 数字通信系统概述.....             | 27  |
| § 3—3 差错控制技术.....               | 31  |
| § 3—4 串行接口标准——RS232C.....       | 36  |
| § 3—5 通信协议.....                 | 38  |
| § 3—6 电力系统通信通道.....             | 50  |
| <b>第四章 电网调度控制中心的计算机系统</b> ..... | 59  |
| § 4—1 对中央控制系统考虑的几个原则.....       | 59  |
| § 4—2 集中式中央控制系统配置.....          | 60  |
| § 4—3 分布式结构的系统配置.....           | 63  |
| § 4—4 电网调度自动化系统实例简介.....        | 71  |
| <b>第五章 调度中心的计算机软件技术</b> .....   | 77  |
| § 5—1 系统软件.....                 | 77  |
| § 5—2 电网应用软件基础.....             | 81  |
| § 5—3 电网一次软件功能.....             | 91  |
| <b>第六章 电网数据库概论</b> .....        | 96  |
| § 6—1 数据库系统概述.....              | 96  |
| § 6—2 数据模型与数据库结构.....           | 99  |
| § 6—3 数据库应用设计及生成.....           | 104 |
| § 6—4 WLM—BASE 数据库.....         | 110 |
| <b>第七章 电力系统状态估计</b> .....       | 114 |
| § 7—1 最小二乘估计法.....              | 114 |

|             |                                 |            |
|-------------|---------------------------------|------------|
| § 7—2       | 最小二乘法状态估计在电力系统中的应用              | 118        |
| § 7—3       | 快速状态估计算法                        | 119        |
| § 7—4       | 卡尔曼滤波估计法                        | 123        |
| § 7—5       | 电力系统状态估计的步骤                     | 124        |
| <b>第八章</b>  | <b>自动发电控制</b>                   | <b>126</b> |
| § 8—1       | AGC 的控制方式                       | 126        |
| § 8—2       | 电力系统有功频率控制的数学模型                 | 128        |
| § 8—3       | 分散控制在AGC中的应用                    | 132        |
| § 8—4       | 我国 AGC 软件的特点                    | 138        |
| <b>第九章</b>  | <b>电力系统经济调度</b>                 | <b>141</b> |
| § 9—1       | 电力系统负荷预测                        | 141        |
| § 9—2       | 火电厂内各机组间的经济负荷分配原则               | 143        |
| § 9—3       | 计及网损时发电机经济负荷分配原则                | 145        |
| § 9—4       | 协调方程式的解法                        | 146        |
| § 9—5       | 并列运行机组的决定                       | 147        |
| § 9—6       | 计算机经济调度                         | 152        |
| <b>第十章</b>  | <b>计算机网络及其在电网中的应用</b>           | <b>154</b> |
| § 10—1      | 计算机网络的定义与功能                     | 154        |
| § 10—2      | 计算机网络的组成                        | 154        |
| § 10—3      | 计算机网络体系结构和协议                    | 158        |
| § 10—4      | 低层协议                            | 161        |
| § 10—5      | 路由选择                            | 165        |
| § 10—6      | 流量控制                            | 167        |
| § 10—7      | 高层协议                            | 168        |
| § 10—8      | 计算机局部网络(LAN—Local Area Network) | 169        |
| § 10—9      | 局部网之间的连接                        | 171        |
| § 10—10     | 电力通信网中的 LAN                     | 173        |
| § 10—11     | 电网中 LAN 的设计例                    | 179        |
| <b>参考文献</b> |                                 | <b>188</b> |

# 第一章 绪 论

## § 1-1 电力系统运行与调度控制

随着国民经济的发展,人民生活水平的提高,电能的需要也在不断地增加,发电设备也相应增多,电网结构和运行方式也越来越复杂,人们对电能质量的要求也越来越高。为了保证用户的用电,必须对电网进行管理和控制。

大家知道,一个电力系统是由许多发电机、变压器、线路、开关等供配电设备组成的庞大网络,在广阔的大地上每时每刻地向用户提供电能,在任何时刻中,用户所用电能,即负荷的有功、无功(包括线路损耗)一定与发电机发出的电能相等。这是电能所决定的正常运行状态。在正常的运行状态下,设备必须处于安全的运行范围之内,例如母线的电压必须处于额定值附近,有功、无功功率必须在上下限之内,系统的频率必须处在正常的范围之内,等等。在这种状态下,发电机和变压器等送变电设备,均有足够的备用余量,能承受系统正常的干扰,例如发电机偶然跳闸等,不应因此使系统或设备产生有害的结果,系统能迅速地达到新的正常运行状态。电力系统运行管理的目的就是要尽量维持它的正常运行,为用户提供高质量的电能,并使发电成本最经济。

电力系统除上述正常的运行状态外,就是非正常状态。在非正常的状态下,又可分成几种情况:

(1) 警戒状态。所谓警戒状态,是指系统所发出的功率与用户相等,安全储备系数大为减少,对外界的抗干扰能力下降了。如果再有一个新的干扰,有可能使某些条件越限,如设备过载等,从而使系统的安全运行受到威胁或遭到破坏。电力系统调度的目的就要发现这一状态,并及时采取措施使系统尽快恢复到正常状态。

(2) 紧急状态。当系统发生一个相当严重的干扰,例如短路故障,大容量机组突然跳闸等,使得电力系统的某些参数越限,如变压器过负荷、频率低于允许值等,本来一些不等的约束条件遭到破坏,如果不采取紧急措施,系统将无法保证电能质量。

(3) 崩溃状态。在紧急状态下,如果不及时采取措施,或采取措施不当或不够有力,或者采取了错误的措施,那么整个系统就会失去稳定运行,造成系统瓦解,形成几个子系统,使得发电机的出力与负荷之间产生严重的不平衡,导致大量地切机和切负荷,从而进一步加重了系统的瓦解。导致整个电力系统的崩溃。系统的平衡条件及参数的约束条件,均遭到破坏。电力系统调度的目的之一就是尽可能避免这种状态的出现。万一出现了紧急状态,应尽可能采取正确的有力措施,不使系统瓦解。一旦系统瓦解时,控制系统应尽量维持各子系统的功率,供求平衡,维持部分供电。避免整个系统崩溃。

(4) 恢复状态。在紧急状态之后,或者在系统瓦解之后,待电力系统大体上稳定下来之后,系统转入恢复状态。这时处于原系统中的运行设备,功率是处于平衡状态,但部分用户停电,部分发电机停运,部分线路处于断开状态。这时运行人员应采取各种措施,迅速而平稳地恢复对用户的供电,使停运的机组投入运行,使分开的系统,重新并列运行,达到正常的状态。

针对电力系统运行的各种状况,电力系统调度控制的基本任务,就是要根据电力系统实时运行状态和相应的目标,正确而且实时地提出调度控制的策略,以满足用户供电需要,提供高质量的电能,保证系统安全运行,同时使发电成本最省。具体而论,电力系统调度的任务包括以下几个方面:

### 一、保证电力系统运行的安全

安全对电力系统来说是头等大事,系统一旦发生事故,其危害是难以估量的,轻者使用户停电,重者使设备损坏或造成人员伤亡,使国民经济受到巨大的损失。因此,努力保证电力系统安全运行,一直处于正常的运行状态,是调度的首要任务。

要做到这一点,一方面要增加系统的发电能力,使发电设备有足够的裕量。还要使安全保护装置灵敏可靠,增强系统自身的抗干扰能力。另一方面要提高电力系统调度自动化的水平,使运行人员具有扎实的技术水平,丰富的实践经验。

### 二、保证电能质量

反应电能质量的三个参数就是电压、频率及波形。各国对三个参数都有自己的规定,运行人员必须使电力系统提供合格的电能。稳定电压的关键是调节系统中无功功率的平衡。频率的变化,是整个系统有功功率的平衡问题。这不仅与频率调节的自动装置有关,而且与备用机组多少、开停机计划、运行方式以及负荷预测等均有关。我国的电压波形为正弦波,主要由发电设备所决定。另外,近来负荷中的高次谐波对电气设备也会造成不良影响。因此,系统运行时,也要对波形给以足够的重视。

### 三、保证电力系统运行的经济性

电力系统调度除上述任务外,还要尽可能降低成本,减少损失,使整个电力系统的运行经济性最优。因为电力系统中有火力发电、水力发电、原子能发电,各个机组的效率也千差万别,同时其分布又是极其广大的,线路网络错综复杂。在这些复杂的情况下,如何调度发电方案,合理安排火水机组的配合,使线路损失达最少,这也是调度好坏的一个重要指标。

## § 1-2 电网的分级调度和管理

电力系统是一个分布面广、设备量大、信息参数多的系统,发电厂发出电能供给用户,必须经过几级变压器变压才能成完。各级电压通过输电线路向用户供电,电压从低到高,再从高到低,以利于能量的传送。电压的变换,形成了不同的电压级别,形成了一个不同电压级别的变电站,变电站之间是输电线,因而形成了复杂的电力网拓扑结构。电网调度正是按照电网的这种拓扑结构进行管理和调度的。

一般情况下,电网按电压级别设置调度中心,电压等级高的电网,例如 220kV~500kV 以上的电网,又称超高压电网。这种电网供电范围大,影响面大,因此特别重要。其次是 110kV~220kV 的供电网,包括部分电厂,又称传输电网,也比较重要,因此也设有调度中心加以管理。再其次就是 35kV~110kV 电压等级的电网,这种电网多数在用户附近,供电面相对比较小,但数量较大,也需要设调度中心进行管理。最低级电压为配电网,电压等级多为 380V 级,直

接与用户联系。供电面虽小,但数量最大。整个系统是一个宝塔型的网络图。如图 1-1 所示。

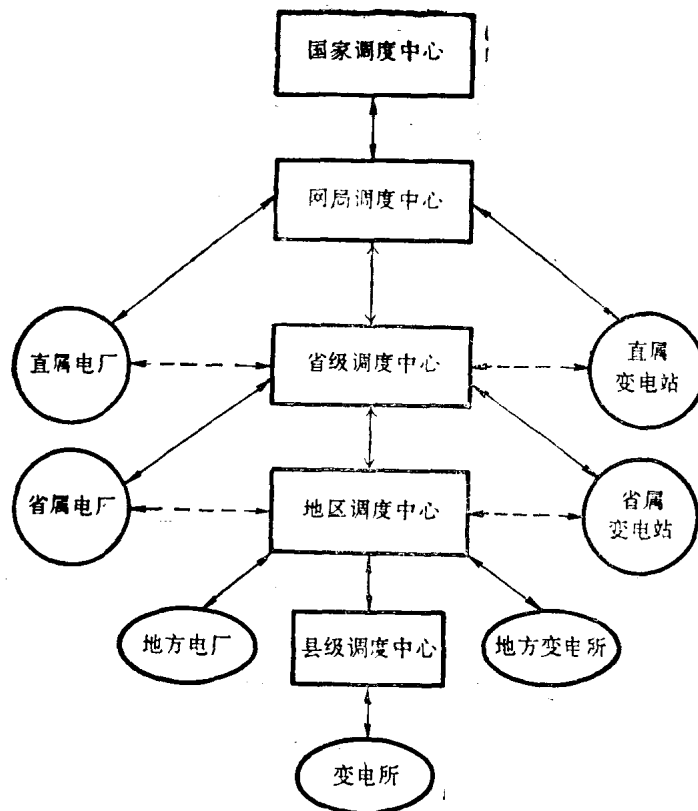


图 1-1 电网分级调度示意图

由上可见,电网的分级拓扑结构,形成了电网调度的分级化,它虽然与行政的隶属关系结构相似,但都是电能生产过程的内部特点所决定的。一般来说,高压网传送的功率大,影响面广。高压网发生故障,肯定会影响到低压网,甚至会引起供电中断。反过来就不一样,故障发生在低压网,就不一定会影响到高压电网。这就是分级调度的技术原因。从网络结构上看,低压网往往线路多而复杂,直接面向用户,故障发生后影响小。所以电网调度中心总是对高压网的运行状态倍加注意。

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,从而大大地节省了通信设备,并提高了系统运行的可靠性。

由于各级电网电压等级不同,各级的调度中心的任务也有所不同。按我国的情况,分成国家级调度中心;大区网局级调度控制中心;省级调度控制中心;地区调度控制中心;县级调度中心。各级的任务如下:

#### 1. 国家级调度中心

这是我国电网调度的最高级。在该中心中,通过计算机数据通信与各大区调度控制中心相连接,协调确定各大区网间的联络潮流和运行方式,监视、统计和分析全国的电网运行情况。

(1) 在线收集各大区网和有关省网的重点测点工况及全国电网运行概况,并作统计分析、生产报表,提供电能情况。



(2) 进行大区互联系统的潮流、稳定、短路电流及经济运行计算,通过计算机通信,校核计算的正确性,并向下一级传送。

(3) 处理有关信息,作中、长期安全、经济运行分析,并提出对策。

#### 2. 大区网局调度控制中心的任务

按统一调度分级管理原则,负责超高压网的安全运行并按规定的发供电计划及监控原则进行管理,提高电能质量和经济运行水平。

(1) 实现电网的数据收集和监控、经济调度以及安全分析。

(2) 进行负荷预测,制定开停机计划和水火电经济调度的日分配计划,闭环或开环性地指导自动发电控制,又称 AGC(Automatic Generation Control)。

(3) 省(市)间和有关大区网的供受电量的计划编制和分析。

(4) 进行潮流、稳定、短路电流及离线或在线的经济运行分析计算,通过计算机数据通信校核各种分析计算的正确性,并上报下传。

#### 3. 省级调度中心

按统一调度,分级管理的原则,负责省网的安全运行,并按规定的发电计划及监控原则进行管理,提高电能质量和经济运行水平。

(1) 实现电网的数据收集和监视,目前省网有两种情况,一是独立网,二是与大网或相邻省网相连,必须对电网中的开关状态等信息,电压水平,功率进行采集计算,进行控制、进行经济调度。

(2) 进行负荷预测,制订开停机计划和水电经济调度的日分配计划,编制地区间和省有关网的供受电量计划,并进行分析闭环或开环指导自动发电控制。

(3) 进行潮流、稳定、短路电流及离线或在线的经济运行分析计算,并分析其正确性,进行上报下传。

(4) 进行记录如功率的总加,开关状态变化的记录、存档工作,还要进行制表打印。

#### 4. 地区调度中心的任务

(1) 采集当地网的各种信息,进行安全监控。

(2) 进行有关站点(直接站点和集控站点)的开关的远方操作,变压器分接头的调节,电力电容器的投切等。

(3) 用电负荷的管理。

#### 5. 县级调度中心

按县网容量和厂站数综合考虑,分为超大、大、中、小四级。

(1) 根据不同类型,实现不同程度的数据采集和安全监视功能。

(2) 有条件的县调可实现机组启停,断路器的远方操作和电力电容器的投切。

(3) 有条件的地方可实现负荷控制。

(4) 向上级网调发送必要的实时信息。

## § 1-3 电网调度自动化系统的功能分类

电网调度自动化是一个总称,由于各级调度中心的任务有所不同,调度自动化系统的规格也不同,但无论哪一级调度自动化系统,都具有一种最基本的功能,这就是监视控制和数据收

集系统,又称 SCADA 系统功能(Supervisory Control And Data Aquisition)。

### 一、SCADA 主要包括以下的一些功能:

- |              |                  |
|--------------|------------------|
| (1) 数据收集;    | (2) 信息显示;        |
| (3) 监视控制;    | (4) 报警处理;        |
| (5) 信息存贮及报告; | (6) 事件顺序记录;      |
| (7) 数据计算;    | (8) 具有 RTU 处理功能; |
| (9) 事件追忆功能。  |                  |

### 二、自动发电控制功能 AGC

AGC 系统主要要求达到下述功能:

- (1) 对各自母线和电流的频率要保持接近于额定值。
- (2) 互联的各区域之间的联络的输送功率维持规定的水平上。
- (3) 整个电力系统的功率总需求,由各机组以最经济的最优方式分担。

目前许多电网调度自动化系统实现了 SCADA + AGC 功能

### 三、经济调度控制功能 EDC(Economic Dispatch Control)

EDC 的目的是控制电力系统中各发电机的出力分配,使电网运行成本最小。现在已有些调度系统实现了 SCADA + AGC/EDC 功能。

### 四、安全分析功能 SA (Security Analyze)

SA 功能是电网调度为了做到“防患于未然”的功能。它通过计算机对当前电网运行状态的分析,估计出可能出现的故障,预先采取措施,避免事故发生。如果电网调度自动化系统具有了 SCADA + AGC/EDC + SA 功能,就称为能量管理系统 EMS(Energy Management System)。

## § 1-4 国内外电网调度自动化的发展与趋势

电力系统运行的初期阶段,由于通信设备的限制,调度人员要花很长的时间才能掌握有限的信息,主要靠一些自动装置,电话以及运行人员的经验来调度和操作,因此不能很有效地管理电网。

随着电网迅速地扩大,对电力系统安全经济运行的要求也愈来愈高,电力系统运行愈来愈要求电网调度自动化。由于计算机技术的发展,使这种要求能得以实现。

最早实现的是 SCADA 功能,开始时是把发电厂、变电站的信息从现场一对一地采集到调度中心中,数据能自动打印,运行人员能快速地获得现场设备的状态和运行参数,大大地减轻了运行人员的劳动。可以说是对调度人员的一次解放。

不久又出现了一对  $N$  的信息收集系统。随着信息的增加,主计算机承受不了太重的负荷,又发展了前置机,对收集的信息在前置机中进行预处理。将功能向下分布,在体系上采用分层控制的原则。在多级调度系统中,把一部分数据处理转移给子主站(Substation),包括一

些局部报警处理,由下一级主站完成,并把相应功能下放到 RTU 中去。

从 70 年代初期,由于美国及欧洲几次重大电网事故,特别象纽约大停电,波及几个洲,对经济与政治产生了很大的影响,因而加强了对电网安全分析的工作。当时的美国学者 Dyliaco 针对电力网控制中心,提出了理想的设计方案。他把电力系统分成正常、报警、紧急、恢复四种状态,定义了安全分析与控制的五种类型:①安全监视;②安全评价;③预防控制;④紧急控制;⑤恢复控制。以后逐渐出现了能量管理系统 EMS。尤其使用了状态估计之后,使安全分析工作建立在可靠的数据基础之上,但对上述五种控制的后三种,目前仍处于研究阶段。

我国的电网调度自动化起步较晚。但发展较快。70 年代末,我国首先从瑞典 ASEA 公司和日本日立公司引进了两套调度自动化系统,分别安装在湖北省网和水电部调度通信局,取得了较好的效果。

1985 年国家制定了“全国电网调度自动化规划目标和要求”,加快了全国电网调度自动化的步伐。尤其全国四大电网调度自动化的引进,大大地提高了我国电网调度自动化的水平,使我国的水平达到了新阶段。到 1985 年,全国约有 25 个电网投入了安全监视系统。从而大大地提高了信息处理的速度和准确性,减少了停电损失,也取得了显著的经济效益。像河南省调利用计算机(离线)进行经济调度,八年间降低煤耗约 56 000 吨标准煤,减小损失 1.6 亿度,约合人民币 1400 万元。整个全国各个电网,如果实现 SCADA 或 EMS 系统,其效益是很大的。

电网 EMS 的发展,监控厂站数的增加,使得信息数据量剧增,近年来随着运行信息系统 OIS(Operation Information System)的出现,除电力调度部门以外,其他部门也对电网实时信息产生了兴趣,例如美国的 HL&P 等,将控制中心集采的实时信息引入区域配电办公室,或送到电厂主控室去,使得电网中心不得不处理更多信息。

电网调度中心的运行人员对高解析度画面的要求,随着 CAD/CAM 技术的发展,尤其近年来多媒体技术的发展,全图形显示器的使用及同时使用几十个显示操作台,在一些电力系统中已经实现。

在电网扰动状态下,EMS/SCADA 系统,应能及时向调度员提供电网状态信息和恢复正常运行所需的信息,控制中心不得不处理大量信息,尤其报警信息。据统计,一个 2000 条母线的电网,在较大事故时,开始 30~60 秒会出现几十乃至上百个报警信息,此后报警可能持续出现,调度员为了处理异常现象,要频繁地调阅画面,因此对处理速度提出了要求。例如状态估计,安全分析,以往 15 分钟以上运行一次,现在要求不大于 5 分钟运行一次,画面响应在 1~25 秒之间等等。

为了防止报警信息的大量出现,造成运行人员的手忙脚乱,必须对报警信息进行分级管理与传送。近来采用专家系统来处理报警已达到实用化的程度,如 CDC 公司,部分系统报警处理已采用计算机多媒体技术,声音合成技术,产生语言报警。一种是同 SCADA/EMS 系统兼容。

此外,为了提高调度员对异常状态的应变能力,开始重视培训模拟 DTS(Dispatcher Training Simulator)工作。早期的 DTS 有两种类型,一种完全独立于 SCADA/EMS 的独立系统,显示器,操作条件差不多一样,增加了模拟的真实感。

据统计,电网调度自动化系统中的计算机 CPU 负荷,从 80 年代的 0.72 MIPS,发展到 1985 年的 12.47 MIPS,5 年间增大了 170%,其中数据库的开销从 0.01 MIPS 增加到 0.12 MIPS,大了 12 倍。这是关系型数据库在实时系统中得以推广的缘故。

人机对话装置是调度员最直接接触的设备,调度盘是否需要争论日久,美国尤为突出。随着高密度大屏幕彩色 CRT 的应用,人们完全可以获得比模拟盘更细致的画面。全图形 CRT、Zoom、Pan、Clutter/Decltter、Window 技术等,在电网会话系统上逐渐被应用,硬件成本的下降,PC 图形工作站的发展,多媒体技术的应用,使全图形的 CRT 技术日臻完善。国外有人预计,因此会引起一场人机会话的革命。

对于远方终端 RTU,从 70 年代中期开始被普遍采用以来,其功能随着微处理器技术的发展而迅速发展,问答式 RTU 也广泛地被应用,原先在主站的部分功能,开始向 RTU 转移。RTU 具有自动再配置、再启动、自诊断或远程诊断的功能,事故顺序记录(SOE)及事故追忆功能,数字故障录波也将会被引入 RTU 中,甚至控制功能也可能引入。美国 ALS 公司估计,闭环控制可能会驻留在 RTU 中,RTU 将变成一个可编程控制器了。

随着数字传输技术和光纤通信技术的提高,电网调度自动化也必将进入网络化,目前电网调中的计算机配置正向开放分布式计算机系统发展,其代表例要算澳大利亚的维柯多利亚洲电力局中心调度系统,它将功能分散化,采用了 client/server 模式,具有功能分散、开放式结构。

随着我国国民经济的发展,我国现在也进入大电网、大机组、超高压输电的时代。到 1993 年为止。全国发电总量为 8364 亿千瓦时,发电装机容量达 18291 万千瓦。全国最大的水电站工程长江三峡电站,也将开始建造,它的装机容量达 1768 万千瓦,供电范围达 1000 公里以上。目前全国有一个全国调度中心,5 个网调中心,26 个省调中心,约有 300 个地区调度中心,2000 多个县调。省网中 85% 以上配有电网调度自动化系统。

完全可以相信,随着我国新建电网自动化系统的发展,我国电网调度自动化水平会进一步地提高。

## 第二章 电力系统数据监测的基本技术

电力系统是一个分散的大系统，系统中的设备和运行状态，参数是大量多变的。为了保证电力系统最大可能地安全而经济地运行，必须实时地将各处的大量数据迅速准确地采集起来，并传送到各级调度中心去进行处理。本章主要介绍电力系统基本数据的收集测量处理技术。

### § 2-1 电力系统运行控制所需信息

我们知道，掌握电力系统状况，主要从两个方面，一个方面是来自遥测量，另一方面，是来自开关之类的状态量即遥信量。

遥测量主要是电网中各元件如线路、母线、变压器、发电机等的运行参数，通过收集传送到调度中心去，它们主要包括以下各级参数：

- 母线电压(尤其电压控制点)；
- 各条线路的有功、无功功率或电流；
- 变压器有功、无功功率；
- 发电机/电厂所发有功、无功出力；
- 电站/厂、线路有功、无功电度值；
- 系统频率；
- 变压器分接头位置；
- 水库水位；
- 气象数据等等。

从上述各量可以看出，遥测量大多均为模拟量，当然也有部分脉冲或数字量，如频率或电度量就是。电力系统要正确地把握它，必须正确地测量它。当这些参数超过正常值时，还必须发出越限的指示信号。

遥信量主要是反应电网开关状态的量和元件保护状态的信息，它主要包括以下内容：

- 断路器的合、分状态；
- 隔离开关的合、分状态；
- 各个元件继电保护状态；
- 自动装置的动作状态；
- 发电机出力上、下限状态等。

遥信量对电网的安全运行至关重要，任何一条线路的开关状态发生变化，就意味着电网拓扑结构的变化，各种参数就可能发生变化。因此，正确地收集电网状态信息，是十分重要的。

为了实现对电力系统的调度控制，还要将调度中心发出的各种命令传送到厂站端，传送的信息如表 2-1 所示。

表 2-1 中心向厂站端传送的信息

| 传送方向 | 类别   | 信息名称                             |
|------|------|----------------------------------|
| 调度中心 | 遥控命令 | 断路器合、分闸<br>发电机开、停机               |
|      | 遥调命令 | 电容器投切令<br>发电机功率调整<br>发电机电压调整     |
| 厂站   | 其他命令 | 变压器分接头调整信号<br>对时信号<br>索取各种信息的命令等 |

调度中心与厂站端之间的信息交换是实时性的,一般由运动装置传送。从广义上讲,运动系统是电力系统专有的通信设备,由于它要求实时性强,可靠性要求高,而通信规约不太灵活;所以,在各级调度中心之间,还要建立计算机数据网传送系统。

上述参数的收集与测量,在电网中主要由厂站端的 RTU 装置来完成的,就整个数据采集系统而言,如图2-1所示

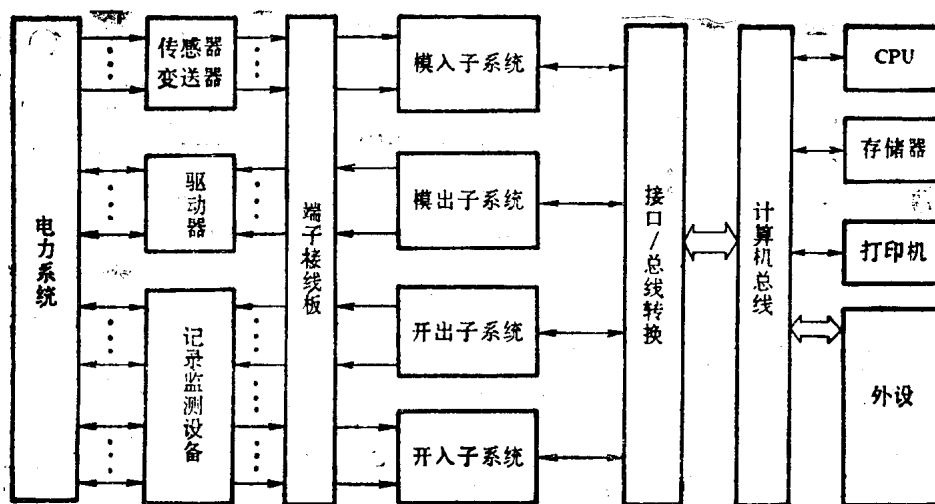


图 2-1 数据采集系统图

图2-1中输入/输出子系统又称输入/输出通道,其主要任务是实现对现场信号的采集处理。按其功能可分为模拟量输入/输出子系统和数字量输入/输出子系统。

模拟量子系统使计算机对电网现场的模拟量进行采集,该子系统将传感器送来的模拟信号经过信号调节、有的要经放大、滤波、多路开关分时采样后,经A/D转换进入计算机。

模拟量输出子系统主要由计算机对控制设备进行调节控制用的,通过D/A转换,有的还要经过适当放大后,再去控制对象。

数字量输入通道用于处理生产过程中的数字信号,如数字式传感器,开关信号、状态开闭、限值的高低或脉冲信号等。这些信号的共同特点是一个信号只有两种状态或多值状态的复合,可以用二进制的“1”或“0”表示。数字式传感器的输出,根据位数可并行(成组)引入子系统,各个分离的开关或状态信号,也都成组引入子系统。通过适当的信号处理电路,将各位状态通过接口输入计算机。脉冲信号是通过特殊的信号处理电路,测量脉冲的频率,周期或宽度。

数字量输出系统,是为控制对象提供数字信号或控制其动作。

在电网现场,一些重要的开关或状态发生变化时,要计算机立即处理,一般将这种状态量接入中断处理。

上述输入/输出通道都有自己的接口电路,从而实现 CPU 对各通道的控制。下面重点介绍一下输入输出技术。

## § 2-2 模拟量输入通道

模拟量输入通道由变送器或传感器、多路模拟开关、放大器、采样保持器、A/D 转换器以及接口和控制逻辑电路构成,如图 2-2 所示,下面就各部分的作用作一介绍。

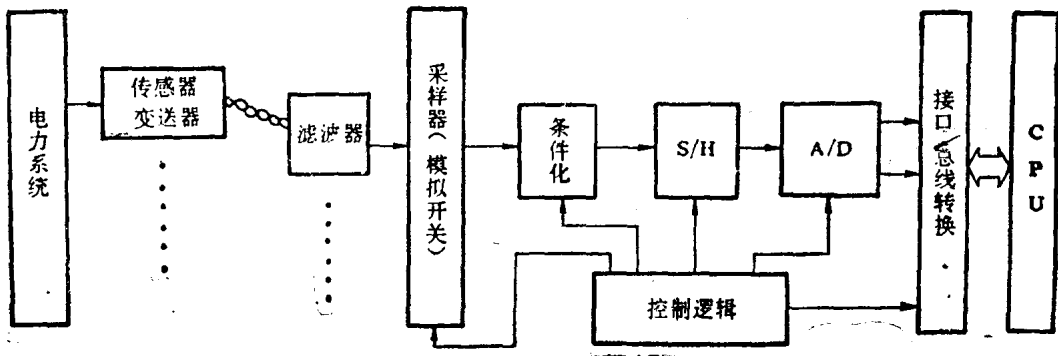


图 2-2 模拟量输入通道图

### 1. 传感器变送器

它的作用就是将电力系统的电压、电流、功率、电度、温度等量转换成计算机可以统一处理的信号。就电流、电压变送器而言,目前相当的系统采用将 CT、PT 二次信号降低,而后整流成直流的形式来测量。这种电路简单可靠,但整流不能立即反映电网变化情况,响应性较差。

新的霍尔测量技术大大改善了传统电力变送器的性能,无论在性能、精度上均优于传统变送器,故下面给以重点介绍。

图 2-3 是一个霍尔测试原理图。当外加一个磁场  $H$  时,当一个金属片上通有电流  $I_c$  时,在它的横向上会产生一个电位差  $V_H$ ,它们之间的关系如下:

$$V_H = K |H \times I_c|$$

式中:  $V_H$ ——霍尔电压;  
 $H$ ——磁场;  
 $I_c$ ——控制电流;  
 $K$ ——霍尔系数。

一般霍尔元件采用半导体材料制作,因为半导体的霍尔效应比金属的明显。用霍尔器件进行非接触式电流测量是众所周知的,当电流通过一根长的直导线时,在导线周围产生磁场,磁场的大小与流过导线的电流成正比。这一磁场可以通过软磁材料来聚集,然后用霍尔器件

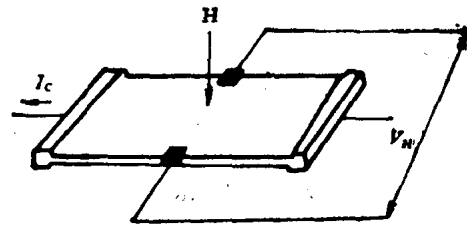


图 2-3 霍尔元件工作原理

进行测量,由于磁场与霍尔器件的输出有良好的线性关系,因此,可以利用霍尔器件测量信号大小,直接反应出电流的大小,即:

$$I \propto B \propto V_H \quad (\text{或 } I = KV_H)$$

式中:  $I$ ——导线通过的电流;  
 $B$ ——导线通电流后产生的磁场;  
 $V_H$ ——霍尔器件在磁场  $B$  中产生的电压;  
 霍尔模块的工作原理。

霍尔模块是由原边电路、聚磁环、次级线圈、放大电路、霍尔器件组成的,其原理如图2-4所示。

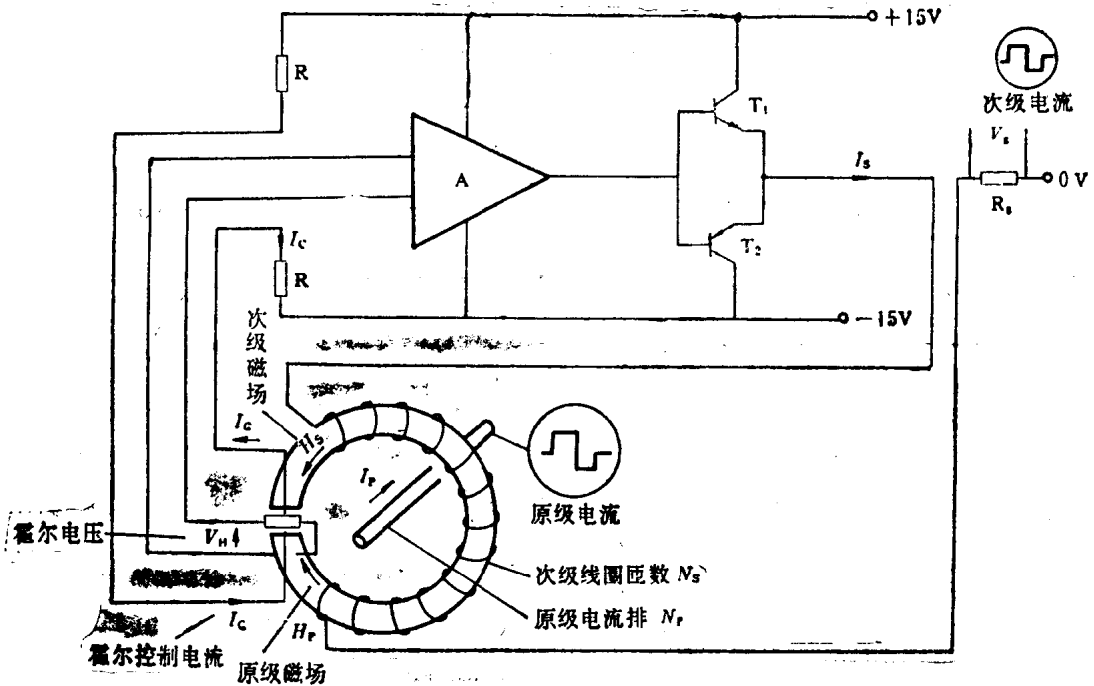


图 2-4 霍尔模块测量原理图

模块的工作原理是磁势平衡原理,即原边回路的磁势与副边所感生磁势相等,霍尔元件始终处于检测零磁通的工作状态。

当一次回路有一电流  $I_p$  流过时,在导线周围产生一个强磁场,这一磁场被磁环聚集,给霍尔元件施加一个磁场,使其有一感应电压信号输出,该信号经放大器放大后,再经功放管后获得一电流  $I_s$ ,此电流在磁环上感生一个磁势  $I_s N_s$ ,这一磁势与原边一次电流  $I_p$  所感生的磁势  $I_p N_p$  方向相反,使霍尔元件达到零磁通检测的作用。

上述过程在极短的时间内产生的,平衡建立的时间为  $1\mu s$  之内。原边任何的变化,副边立即会予以补偿。始终处于  $N_p I_p = N_s I_s$  之中。其中  $N_p, I_p$  为原边线圈匝数和电流,  $N_s, I_s$  为副边线圈匝数和电流。若已知  $N_p, N_s, I_s$ ,即可求得  $I_p$ 。

霍尔模块的特点:

原副边完全绝缘,绝缘电压一般在  $2kV \sim 12kV$ ,特殊情况可达  $20 \sim 50kV$ 。



响应速度非常快,一般小于  $1\mu\text{s}$ ,相位差几乎为零。这一点它比一般互感器  $10\sim 20\mu\text{s}$  要高得多。

由于它是磁势平衡反馈式,故不管原、副边电流、电压任何波形,均可以测量。工作频率范围在  $0\sim 100\text{kHz}$ 。在  $0\sim 50\text{kHz}$  之内,精度达  $0.5\%$ ,在  $50\sim 100\text{kHz}$  时达  $1\%$ 。

过载能力强,过载  $20$  倍,仍不损坏。原副边之间电容很弱,共模影响可以忽略。

它既可以测电流,也可以测电压、功率、比较方便。这主要取决于磁场与电流的关系。

## 2. 滤波器

滤波器的作用是除掉输入信号中的干扰,保存有用信号,相对提高输入信号的信/噪比。滤波器一般多采用简单而有效的一或二级、单或双向  $\pi$  型 RC 低通滤波器。滤波器同时还作浪涌电压保护,防止浪涌电压进入通道内部,破坏通道正常工作。

滤波器可以用硬件和软件两种方法实现。对电网信号常用 RC 低通滤波器,其电路图如图 2-5 所示。

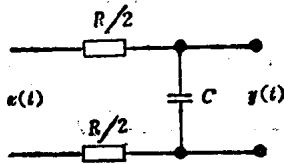


图 2-5 RC 滤波器

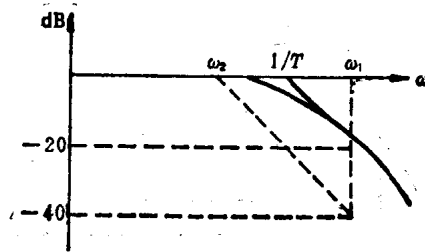


图 2-6 RC 滤波器的对数幅频特性

由图可知,输出  $y(t)$  与输入  $x(t)$  之间的传递函数为:

$$y(s) = \frac{x(s)}{RCs+1} = \frac{x(s)}{Ts+1} \quad (2-1)$$

其中  $T = RC$ , 为滤波器的时间常数。其频率特性为:

$$\frac{y(j\omega)}{x(j\omega)} = \frac{1}{1+Tj\omega} \quad (2-2)$$

它的对数频率特性如图 2-6 所示。在  $\omega > \frac{1}{T}$  处,可以近似地用一条斜率为  $-20\text{dB}/10$  倍频的直线来代表。该滤波器对  $\omega_1$  的信号增益为  $-20\text{dB}$ ,即在  $\omega = \omega_1$  的信号通过滤波后,幅值降为原来的  $1/10$ 。如果需要它降为  $1/100$ ,则增益为  $-40\text{dB}$ ,只要使频率特性左移即可。设所求滤波器的频率特性的渐近线与水平轴交点为  $\omega_2$ ,则滤波器时间常数  $T = \frac{2\pi}{\omega_2}$ ,由  $T$  可确定

电阻  $R$ 、电容  $C$  的大小。由此可知,RC 滤波器的时间常数取决于需要该滤波器对某个频率以上的信号抑制到什么程度而定。

由式(2-1)可得:

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$$