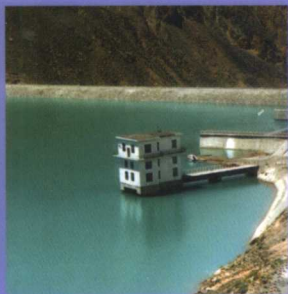


SHUIDIANZHAN ZIDONGHUA JISHU

◎ 许建安 编

水电站 自动化技术



736
70



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水电站自动化技术

◎ 许建安 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书阐述了水电站自动化技术的基本原理,介绍了水电站自动控制的新技术。全书共7章,主要内容有:电力系统自动化概述、备用电源自动投入、同步发电机自动并列、同步发电机励磁调节技术、电力系统频率调节技术、水电站辅助设备自动控制技术、计算机通信网等。本书可读性较强,重点突出,理论联系实际。

本书可供电力系统及自动化专业技术人员及管理人员阅读,也可供高等院校、高职学院相关的专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

水电站自动化技术 / 许建安编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2005

ISBN 7-5084-3272-X

I. 水... II. 许... III. 水力发电站—自动化技术
IV. TV736

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 106537 号

书 名	水电站自动化技术
作 者	许建安 编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 9.25 印张 219 千字
版 次	2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	19.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

计算机技术的不断进步,使得电力工业新技术不断出现。由于微机在水电站自动控制中的应用,使水电站自动控制技术发生了根本性的变化,采用了许多新原理和新技术。鉴于此,本书较全面地介绍了水电站自动控制的新技术。

书中内容以微机原理实现的自动装置为基本主线,系统地介绍了电力系统调度自动化的基本内容,分析了水电站自动装置工作原理,水电站辅助设备自动控制技术以及计算机通信网络的基本知识。

本书分为7章:电力系统自动化概述,备用电源自动投入,同步发电机并列,同步发电机励磁调节技术,电力系统频率调节技术,水电站辅助设备自动控制技术和计算机通信网。在编写过程中,重点阐述基本原理和基本知识,理论联系实际,反映了水电站自动控制新技术,力求概念清晰、问题阐述深入,便于阅读和理解。

由于作者水平有限,书中难免存在错误和不足,请读者批评指正。

作者

2006年1月

目 录

前言

第 1 章 电力系统自动化概述	1
1.1 概述.....	1
1.2 电力系统调度自动化简介.....	2
1.3 电力系统的分级控制和各级调度职责.....	3
1.4 电网调度自动化系统功能简介.....	4
1.5 电力系统信息监测基本技术.....	5
1.6 远动终端的构成及其功能.....	13
1.7 电力系统远动信息传输技术.....	15
1.8 差错控制措施.....	18
1.9 自动化技术算法.....	22
第 2 章 备用电源自动投入	31
2.1 备用电源自动投入装置的作用和要求.....	31
2.2 备用电源自动投入的一次接线方案.....	33
2.3 备用电源自投装置的硬件结构.....	34
2.4 LFP-965A 的软件原理.....	35
第 3 章 同步发电机并列	39
3.1 同步系统综述.....	39
3.2 自动准同步装置的特点及对其要求.....	45
3.3 线路同步的特点.....	46
3.4 同步电压及同步点.....	47
3.5 自动准同步原理.....	49
第 4 章 同步发电机励磁调节技术	59
4.1 同步发电机励磁系统任务.....	59
4.2 同步发电机励磁系统.....	63
4.3 三相可控整流电路.....	67
4.4 励磁调节器静态特性及并联运行机组间无功功率分配.....	70
4.5 微机励磁调节器.....	74
第 5 章 电力系统频率调节技术	83
5.1 电力系统的频率特性.....	83
5.2 电力系统自动调频方法.....	87

5.3	联合电力系统调频	91
5.4	电力系统频率异常的控制	93
5.5	数字电力系统简介	96
5.6	按频率自动减负荷 (Automatic Load Shedding) 装置工作原理	98
第 6 章	水电站辅助设备自动控制技术	101
6.1	概述	101
6.2	辅助设备的液位控制系统	105
6.3	辅助设备的压力控制系统	110
6.4	电动蝶阀的自动控制系统	115
6.5	微机单元自动控制装置	117
第 7 章	计算机通信网	122
7.1	计算机网络概述	122
7.2	网络通信协议	124
7.3	存取控制技术	126
7.4	网络互连	131
	参考文献	139

第 1 章 电力系统自动化概述

1.1 概述

电力系统自动化就是根据电力系统自身的规律,应用自动控制原理,采用自动装置来自动实现电力生产的安全可靠运行。电力系统自动化是应用各种具有自动检测、决策和控制功能的装置,通过信号系统和数据传输系统对电力系统各元件、局部系统或全系统进行就地或远方的自动监视、调节和控制,保证电力系统安全经济运行和电能质量。

1.1.1 电力系统自动监视和控制系统

电力系统自动监视和控制系统主要是为科学调度服务的。电力系统发电厂、变电所的实际运行状况,线路的有功、无功潮流,以及母线电压等信息,可通过装设在各厂站的运动装置送至调度所。信息送至调度所后,由调度中心的运行人员和计算机系统,对当前系统运行状态进行分析计算,将计算结果和决策命令通过远动的下行通道送至各个厂所,从而实现电力系统的安全经济运行。电力调度的主要任务是控制整个电力系统的运行方式,使整个电力系统在正常运行状态下能满足安全生产和经济地向用户供电的要求,在事故状态下能迅速消除故障的影响和恢复正常供电。

1.1.2 电厂动力机械自动控制系统

电厂动力机械自动控制系统主要是为电厂的机械自动控制服务的。电厂动力机械随电厂的类型的不同而有所区别,火电厂的机组自动控制主要有计算机监视和数据系统,机炉协调主控系统,锅炉自动控制系统,汽机自动控制系统,电气控制系统以及辅助设备自动控制系统等。水电厂则需要控制水轮机、调速器以及发电机励磁自动控制系统以及辅助设备自动控制系统等。

1.1.3 变电站自动控制系统

随着微机监控技术在电力系统和电厂自动化系统中的不断发展,微机监控监测技术已引入变电站,目前变电站已实现了远方监视控制,远动和继电保护也实现了微机化。无人值守变电站综合自动化其功能包括变电站的远动、继电保护、远方操作、测量以及故障、事故顺序记录和运行参数打印等功能。

1.1.4 电力系统自动装置系统

电力系统自动装置系统主要是为保证电力系统安全可靠经济运行,主要包括发电机的自动并列装置、自动调节励磁装置、自动解列装置、低周减载装置、自动重合闸装置、继电保护装置等。

1.1.5 计算机在水电站自动化中的应用

水电站自动化是一门涉及多种学科和新技术的综合科学技术,随着计算机性能的不断提高,价格不断降低,使得计算机在水电站生产过程控制、自动化中的应用越来越广泛。20 世纪 80 年代我国水电站自动化应用计算机技术从科研试验走上实用推广的战略目标。

计算机的应用之所以被引起如此的关注,并得以如此高速的发展,其本质在于它具有

完成自动化功能的性能条件,即具有大的存储容量、快的运算速度和高的精度等。实践证明,水电站应用计算机对提高自动化水平,保证安全运行,提高经济效益,改善劳动条件,促进技术进步都具有十分重要的意义。用计算机自动化系统与常规自动化设备相比,计算机可以模拟各种复杂的控制规律,实现系统高质量的控制效果;可以不改变控制设备而方便地修改控制器的模型结构和参数。计算机所具有的记忆和判断能力,综合生产过程中的多种情况,作出最佳的选择,实现最优控制。计算机所具有的分时操作能力,可满足多个回路的控制任务,用以代替多台常规控制设备的功能。能及时的发现生产过程中潜在的各种故障,不失时机的给以预报和处理。能实时进行生产过程计划调度、经济核算等。

1.2 电力系统调度自动化简介

电力系统调度自动化系统已经历了几个不同的发展阶段。在早期,电力系统调度中心无法及时了解和监视各个电厂或线路的运行情况。远动技术的采用使电力系统的信息能直接进入调度中心,调度员可以及时掌握系统的运行状态,及时发现电力系统的事故,为调度计划和运行控制提供了科学依据,但仍不能满足现代工业和人民生活对电能质量及供电可靠性的越来越高的要求,以及人们对系统运行经济性也越来越重视。要全面解决这些问题,就需要对大量数据进行复杂的计算。到了20世纪60年代,数字计算机首先用于电力系统的经济调度,并取得了显著的效益。但是,在20世纪60年代中期,西方一些国家的电力系统曾相继发生了大面积的停电事故,引起世界的震动。人们开始认识到,安全问题比经济调度更加重要。因此,人们将目光转向计算机系统应首先参与电力系统的安全监视和控制。这样,就出现了能量管理系统EMS(Energy Management System)。

能量管理系统是以计算为基础的现代电力系统的综合自动化系统,主要针对发电和输电系统,用于大区级电网和省级电网的调度中心,根据能量管理系统的技术发展的配电管理系统DMS(Distribution Management System)主要针对配电和用电系统,用于10kV以下的电网。用户侧管理DSM(Demand Side Management)属于负荷自我管理,其原理是用户按电价躲避峰荷用电,但分时电价TOU(Time Of Use)应由配电管理系统提供。EMS的发展主要基于计算机技术和电力系统应用软件技术两方面。

20世纪40年代出现的数据采集与监控系统SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)将电网上各厂站的数据集中显示到电力系统模拟盘上,使整个电力系统运行状态一目了然地展现在调度员面前,同时还能将开关变化和数值超限及时地报告给调度员,大大减轻了调度员监视电力系统运行状态的负担,增强了调度员对电力系统的感知能力。

20世纪50年代出现的自动发电控制AGC(Automatic Generation Control),包括了负频率控制LFC(Load Frequency Control)和经济调度EDC(Economic load Dispatching Control)两大部分,将调度员从频繁的操作中解放出来。

早期在线分析主要是解决网损修正问题,但20世纪60年代中期的几次大的系统瓦解事故将安全分析提上了日程。负荷预测、发电计划和预想故障分析为调度员提供了辅助决策工具,增强了调度员对电力系统分析和判断的能力。

自动化技术在 20 世纪 60 年代到 70 年代经历了由模拟技术转向数字技术, 整个数据收集过程, 包括远程终端 RTU (Remote Terminal Unit)、通道和发电厂控制器逐步由模拟型发展成数字型, 在调度中心的数据收集、自动发电控制和网络分析等功能均由数字计算机完成。

随着计算机硬件的简化和多机的应用, 就必须采用公用软件。公用软件的发展集中表现在数据库、人机界面 MMI (Men Machine Interface) 和通信技术几个方面。数据库技术的发展使数据能为更多的应用软件服务, 人机交互技术由初期以打印为主改为显示器 CRT (Cathode Ray Type) 为主, 由字符型走向全图形, 响应速度越来越快, 画面编辑越来越方便, 表现能力越来越强。20 世纪 90 年代发展的视窗、平滑移动、变焦以及三维图形等技术大大方便了调度员使用能量管理系统, 使他们在调度室的屏幕上形象而直观地观察和控制电力系统, 从而缩短了与电力系统之间的距离。随着计算机微机技术的飞速发展, 调度自动化正日新月异, 许多新领域、新方向都在研究之中。

根据我国电网“十五”规划, 基本要实现“五化”目标: 主干通道光纤化、信息传输网络化、电网调度智能化、运行指标国际化和管理手段现代化。

1.3 电力系统的分级控制和各级调度职责

1.3.1 电力系统的分级调度

电力系统是一个分布广、设备量大、信息参数多的系统。电能的生产、输送、分配和消费均在一个电力系统中进行的。我国已建立了 5 个大电网以及一些省网, 并且在大电网之间通过联络线进行能量交换。电力部门的运行管理是分层次进行管理, 各省电业局、各市、县供电局均有其管辖的范围, 它的运行方式和出力、负荷的分配受到上级电力部门的管理, 同时又要管理下一级电力部门, 以保证整个电力系统能够安全、经济、高质量地供发电。

随着电力体制改革进程的不断深入, 实施厂网分开, 组成发电企业和电网企业, 组建国家电力监管委员会, 设立五大发电集团, 即中国国电集团公司、中国华能集团公司、中国大唐集团公司、中国华电集团公司和中国电力投资公司, 以及两大电网公司, 即国家电网公司、南方电网公司。其目的是改革现行的不合理电力体制, 打破垄断, 引入竞争, 提高效益, 降低成本, 促进电力工业的持续、快速、健康发展。

电网调度实行分级管理, 因而调度自动化系统配置也必须与之相适应, 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, 并提高了系统运行的可靠性。为了保证电力系统的安全、经济、高质量地运行, 对各级调度都规定了一定的职责。

1.3.2 各级调度的职责

1. 国家调度中心的职责

国家调度中心的职责是: 负责跨大区电网联络线的调度管理; 掌握、监督和分析全国各电网运行状况; 审查、协调各电网的月发电、用电计划, 并检查、监督其执行情况; 监督各电网的计划用电和水电站水库水位计划和执行情况; 配合有关部门制定年度发用电计划及煤耗、厂用电、线损等技术经济指标; 参加全国电网发展规划、系统设计和工程设计

的审查。

2. 大区电网调度中心的职责

大区电网调度中心的职责是：负责所辖电网的安全稳定运行；制定大区主电网运行方式或核准省网与大区主网相关部分的运行方式；编制全网月发电计划或省网间联络线送电月计划和直调发电厂的月发电计划，编制下达日调度计划；核准省网计划外送电，做好全网经济调度工作；指挥管辖设备的运行操作和系统性事故处理；领导全网的频率调整和主电网的电压调整，并负责考核；监督省网间联络线的送受电力、电量计划或省网发用电计划执行情况，并指挥省网调整计划；参加制定年度发用电计划和各项有关技术经济指标，批准管辖范围内主要发供电设备的检修；负责全网计划用电和负荷管理工作；按要求向国调、省调或地调传送实时信息。

3. 省级电网调度中心的职责

省级电网调度中心的职责是：在保证全网安全经济的前提下，负责本网的安全运行；参加全网运行方式计算分析，负责编制本网运行方式，与网调管辖有关部分应报网调核准；编制本网发、供电设备检修计划；根据上级调度下达的联络线出力、电量计划和直调厂发电计划或本网发电调度计划，编制本网和调度管辖的独立核算发电厂的发电计划；负责管辖设备的运行、操作、事故处理以及无功、电压调整；监督本网计划用电执行情况；按规定向网调、地调传送实时信息。

4. 地区电网调度中心的职责

地区电网调度中心的职责是：负责管辖范围的运行操作和事故处理；负责管辖范围的设备检修计划；监督本地区 and 用户的计划用电执行情况；负责管辖范围的电压和无功功率调整；按规定向省调、县调传送实时信息。

5. 县级电网调度中心的职责

县级电网调度中心的职责是：负责管辖范围的运行操作和计划管理；负责管辖范围的设备检修计划；监督本地区 and 用户的计划用电执行情况；按规定向地调传送实时信息。

1.4 电网调度自动化系统功能简介

由于各级调度中心的职责不同，对其调度自动化系统的功能要求也是不同的，另外，调度自动化系统的功能也有层次之分，其高一级的功能往往是建立在某一级基础功能之上。

1.4.1 数据采集和监控 (SCADA) 系统

SCADA 是调度自动化系统的基础功能，也是地区或县级调度自动化系统的主要功能。它包括以下几个方面：

(1) 数据采集。包括模拟量、状态量、脉冲量和数字量等。

(2) 信息的显示和记录。包括系统或厂站的动态主接线、实时的母线电压、发电机的有功和无功功率、线路的潮流、实时负荷曲线、负荷日报表的打印记录、系统操作和事件顺序记录信息的打印等。

(3) 命令和控制。包括断路器和有载调压变压器分接头的远方操作，发电机有功和无功出力的远方调节。

(4) 越限告警。

(5) 实时数据库和历史数据库的建立。

(6) 数据预处理。包括遥测量合理性的检验、数字滤波、遥信量的可信度检验等。

(7) 事故追忆 PDR (Post Disturbance Review)。对事故发生前后的运行情况记录,以便分析事故的原因。

1.4.2 自动发电控制

自动发电控制 AGC (Automatic Generation Control) 是以 SCADA 功能为基础而实现的功能。自动发电控制是为了实现自动控制网内各发电机组的出力,以保持电网频率为额定值;对跨省的互联电网,承担互联网内部分调频任务,以共同维持电网频率为额定,又要保持其联络线交换功率为规定值。

1.4.3 经济调度控制功能

经济调度控制功能 EDC (Economic Dispatch Control)。与自动发电控制相配套的在线经济调度控制是实现调度自动化系统的一项重要功能。

1.4.4 能量管理系统

能量管理系统 EMS 是现代电网调度自动化系统硬件和软件的总称,它主要包括 SCADA、AGC、EDC 以及状态估计、安全分析、调度员模拟培训等一系列功能。

1. 状态估计 SE (State Estimator)

电力系统状态估计是电力系统高级应用软件中的一个重要模块,许多安全和经济方面的功能都要用可靠数据集作为输入集。而可靠数据集就是状态估计程序的输出结果。因此,状态估计是一切高级软件的实现基础,真正的能量管理系统必须有状态估计功能。状态估计是根据有冗余的测量值对实际网络的状态进行估计,得出电力系统的准确信息,并产生“可靠的数据集”。

2. 安全分析 SA (Security Analysis)

安全分析可分为静态安全分析和动态安全分析。静态安全分析方法就是对正常运行着的电网的一些可能发生的事故进行假想的在线计算机分析,校核这些事故发生后电力系统稳态运行方式的安全性,从而判断当前的运行是否有足够的安全储备。当发现当前的运行方式安全储备不够时,就要修改运行方式,使电力系统在有足够的安全储备的方式下运行。动态安全分析就是校核电力系统是否会因为一个突然发生的事故而导致失去稳定,校核因假想事故发生后电力系统保持稳定运行的稳定计算。由于精确计算工作量大,难以满足实施预防性要求,因此人们一直在探索一种快速而可靠的稳定判别方法。

3. 调度员模拟培训 DTS (Dispatcher Training Simulator)

调度员模拟培训主要是使调度员熟悉本系统的运行特点、熟悉控制设备和电力系统应用软件的使用;培养调度员处理紧急事件能力;试验和评价新的运行方法和控制方法。

调度自动化系统是随着电力系统发展的需要和计算机技术及通信技术提供的可能而变化的,电网调度自动化技术的发展,可以使电网的安全性和经济性达到更高的水平。

1.5 电力系统信息监测基本技术

电力系统每时每刻都在发生变化的复杂多变量的大系统,为了能够掌握电力系统的运

行情况，及时地对电力系统运行状态进行必要的调整和控制，保证电力系统最大可能地安全经济运行，必须实时地将各处的大量数据迅速准确地采集起来，并传送到电力系统调度中心去进行处理。主要信息有电力系统组成的各元件的等值参数及连接方式、厂站母线电压、输电线路有功、无功潮流等。

1.5.1 电网调度自动化系统的基本结构

1. 信息采集和命令执行子系统

信息采集和命令执行子系统是指设置在厂、站中的远动终端向调度控制中心传送信息的子系统。

远动终端（RTU）与主站配合可以实现四遥功能。RTU 在遥测方面的主要功能是采集并传送电力系统运行的实时参数，如发电机出力、母线电压、系统潮流、有功负荷和无功负荷、线路电流、电量等；RTU 在遥信方面的主要功能是采集并传送电力系统中继电保护动作信息、断路器的状态信息等；RTU 在遥控的主要功能是接收并执行调度员从主站发送的命令，并完成对断路器的分闸或合闸操作；RTU 在遥调方面的主要功能是接收并执行调度员或主站计算机发送的遥调命令，调整发电机有功出力或无功出力。

信息采集和命令执行子系统除了完成上述四遥的基本功能外，还有一些其他功能，如事件顺序记录、当地监控等。

2. 信息传输子系统

由于电网调度自动化系统中的主站和远端之间一般都有较远的距离，因而信息传送子系统也是一个重要的子系统。信息传输子系统按其信道的制式不同，可分为模拟传输系统和数字传输系统。

信道采用电力载波、模拟微波传输系统称为模拟传输系统。信道采用数字微波、数字光纤作为传输系统称为数字传输。

3. 信息收集、处理和控制系统

大型电力系统往往跨几个省，具有许多发电厂和变电所。为了实现对整个电网的监视和控制，需要收集分散在各厂、站的实时信息，对信息进行分析和处理，并将分析和处理的结果，显示给调度员或生产输出命令对系统进行控制。

4. 人机联系子系统

高度自动化技术的发展要求调度员在先进的自动化系统的协助下，充分深入和及时地掌握电力系统实时运行状态，作出正确的决策和采取相应的措施，使电力系统能够更加安全、经济地运行。为了有效地达到上述目的，应该使被控制的电力系统及其控制设备与运行人员构成一个整体。由电力系统收集到的信息，经过计算机加工处理后，通过各种显示装置反馈给运行人员。运行人员根据这些信息作出决策后，再通过键盘、鼠标等操作，对电力系统进行控制。系统越复杂、规模越大，对人机联系子系统的要求也就越高。

1.5.2 电力系统信息采集系统

在电网监控系统中，为了实现对电网的监视和控制，必须首先获得表征电网实时运行状态的遥测量值和遥信状态，并对这些信息进行适当加工处理，形成控制电网安全、稳定和经济运行的遥控、遥调命令。数据的收集与测量，在电网中主要由厂站端的 RTU 装置来完成，数据采集系统如图 1-1 所示。

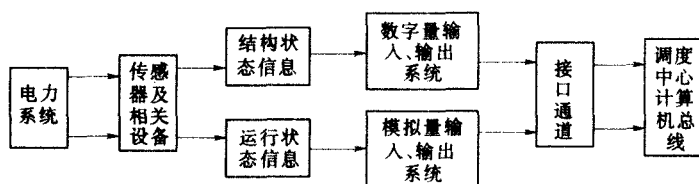


图 1-1 数据采集系统原理框图

由图 1-1 可见，由电力系统 RTU 及传感器输送的系统结构状态信息和运行状态信息通过模拟和数字量输入系统将信息传送到接口电路，然后送至调度控制中心计算机系统，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。

模拟量子系统是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，经放大、滤波、多路开关分时采样后，进行模数转换后经接口通道送至调度中心计算机系统。

模拟量输出子系统主要用来对控制设备进行调节控制，通过数模转换，有的经适当放大后，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，如开关量信号、状态信号、限值的高低后脉冲信号等。

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。当电网一些重要的开关或状态发生变化时，计算机立即处理，一般将这种状态量接入中断处理。

1. 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 S/H、A/D 转换器以及接口和控制逻辑电路构成，如图 1-2 所示。

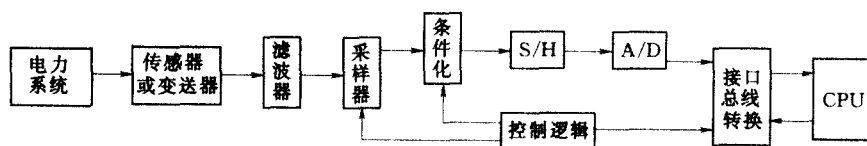


图 1-2 模拟量输入通道

(1) 采样保持电路。时间取量化的过程称之为采样。采样过程是将模拟信号 $f(t)$ 首先通过采样保持器，每隔 T_s 采样一次（定时采样）输入信号的即时幅度，并把它存放在保持电路里，供 A/D 转换器使用。经过采样以后的信号称为离散时间信号，它只表达时间轴上的一些离散点 $(0, T_s, 2T_s, \dots, nT_s, \dots)$ 上的信号值 $f(0), f(T_s), \dots, f(nT_s), \dots$ ，从而得到一组特定时间下表达数值的序列。

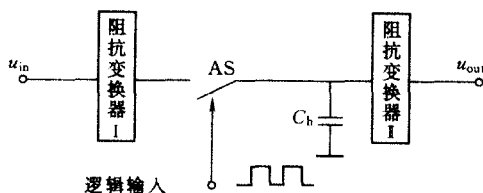


图 1-3 采样保持电路原理图

采样电路的工作原理可由图 1-3 来说

明。它由一个电子模拟开关 AS、电容 C_h 以及两个阻抗变换器组成。开关 AS 受逻辑输入端电平控制。在高电平时 AS 闭合，此时，电路处于采样状态。电容 C_h 迅速充电或放电到 u_{in} 在采样时刻的电压值。电子模拟开关 AS 每隔 T_s 短暂闭合一次，将输入信号接通，实现一次采样。如果开关每次闭合的时间为 T_c ，那么采样器的输出将是一串重复周期为 T_s 、宽度为 T_c 的脉冲，而脉冲的幅度，则是重复着的在这段 T_c 时间内的信号幅度。

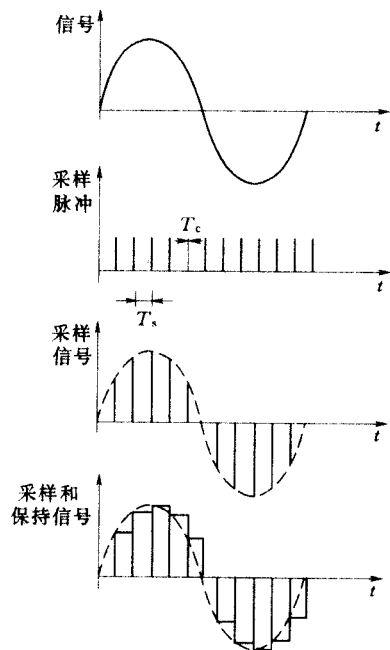


图 1-4 采样保持过程示意图

电子模拟开关 AS 的闭合时间应满足使 C_h 有足够的充电或放电时间即采样时间。显然希望采样时间越短越好，因而应用阻抗变换器 I，它在输入端呈高阻抗，而输出阻抗很低，使 C_h 上的电压能迅速跟踪 u_{in} 值。电子模拟开关 AS 打开时，电容 C_h 上保持着 AS 打开瞬间的电压值，电路处于保持状态。同样，为了提高保持能力，电路中应用了另一个阻抗变换器，它对 C_h 呈现高阻抗。而输出阻抗很低，以增强带负载能力。阻抗变换器可由运算放大器构成。

采样保持过程如图 1-4 所示。 T_c 为采样脉冲宽度， T_s 为采样周期（或称采样间隔）。

(2) 采样方式。下面简略介绍在以相等时间间隔 T_s 为采样周期的采样方式。假设输入信号为带限信号（已通过理想低通滤波器），使用的采样频率满足采样定理的要求。

单一通道的采样方式。根据采样点的位置以及采样间隔时间与输入波形在时间上对应关系，采样方式可以分为异步采样和同步采样。

异步采样也称定时采样。等间隔周期 T_s 永远保持固定不变，即 $T_s = \text{常数}$ 。在自动控制技术中的采样频率 f_s 通常取为电力系统工频 f_0 的整数倍 N ，但电力系统运行中，基频 f_1 可能发生变化而偏离工频，事故状态下偏离甚至很严重。这时采样频率 f_s 相对于基频 f_1 不再是整数倍关系，即采样脉冲和输入信号位置发生异步。这种采样方式会给许多算法带来误差。

同步采样，也称跟踪采样。跟踪采样的采样周期 T_s 不再恒定，而是使采样频率 f_s 跟踪系统基频 f_1 的变化，始终保持 $f_s/f_1 = N$ 为不变整数。 N 的恒定通常是通过硬件或软件测取基频 f_1 的变化，然后动态调整采样周期 T_s 来实现。采用跟踪采样技术后，数字滤波以及一些算法能彻底消除基频波动引起的计算误差，从而能在基频 f_1 偏离工频很大时准确地取出当时系统的基频分量、谐波分量或序分量。跟踪采样，其采样频率 f_s 不再是一个常数。定义当信号基频为工频时的采样频率为中心采样频率 f_{s0} 。当系统频率发生变化时，采样频率 f_s 自动在 f_{s0} 上下波动。因为 $N = f_s/f_1$ 为不变的整数，习惯上用 N 作为采样频率高低的指标，并称之为每基频周期 N 点采样。异步采样的 f_s 为常数，通常取 f_s 为工频 f_0 的整倍数 $N = f_s/f_0$ ，称之为每工频周期 N 点采样，这时总是有 $f_s = f_{s0}$ 成立。

(3) 多通道采样方式。按照对各通道信号采样的相互时间关系，可有同时采样、顺序

采样和分组同时采样三种采样方式。

同时采样。在每一个采样周期对所有需要采样的各个通道的量在同一时刻一起采样叫同时采样。一般情形，保持各个（或某些个）输入离散化的同时性对自动装置才有意义。同时采样的实施技术有两种：一种是每一个通道都设置 A/D 转换器，同时采样后同时进行 A/D 转换，如图 1-5 所示。由于 A/D 转换器价格较贵，功耗较大，这样在经济上不合适。另一种广为流行方案是全部通道合用一个 A/D 转换器，同时采样，依次 A/D 转换，如图 1-6 所示。

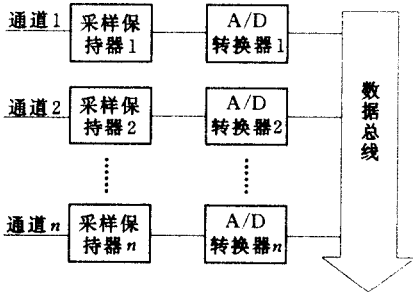


图 1-5 同时采样，同时 A/D 转换

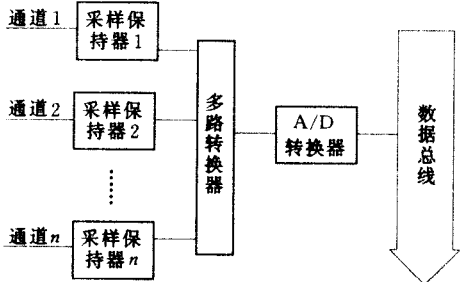


图 1-6 同时采样，依次 A/D 转换

顺序采样。在每一个采样周期内，对上一个通道完成采样及 A/D 转换后，再开始对下一个通道进行采样叫顺序采样，其结构示意图如图 1-7 所示。顺序采样必然会给各通道采样值带来时间差。由于目前采用的采样器与 A/D 转换器的速度远大于系统基波变化速度，所以顺序采样是利用这种快速性来近似地满足同时性。当然，这只适合采样及 A/D 转换速度高，并且对同时性要求不高的场合。顺序采样的优点是只需一个公用的采样保持器，并且对其技术要求较低。目前采样及 A/D 转换板几乎都是工作在顺序采样方式。

分组同时采样。将所有输入通道分成若干组，组内各通道同时采样，组间人为地增加一时延再开始采样叫分组采样。

这种做法虽然会带来额外时延，但能大幅度减少计算量和简化软件结构，不过此法显然只适用于旋转角度很小的情况，否则延时太大，将延误自动装置的动作。

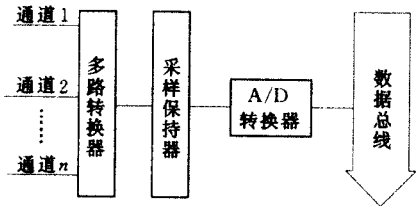


图 1-7 顺序采样，依次 A/D 转换

（4）采样频率的选择。图 1-4 中所示采样间

隔 T_s 的倒数称为采样频率 f_s 。采样频率的选择是硬件设计中的一个关键问题，为此要综合考虑很多因素，并从中作出权衡。采样频率越高，要求 CPU 的速度越高。因为水电站自动化是个实时系统，数据采集系统以采样频率不断地向 CPU 输入数据，CPU 必须要来得及在两个相邻采样间隔 T_s 内处理完对每一组采样值所必须做的各种操作和运算，否则 CPU 将跟不上实时节拍而无法工作。相反采样频率过低将不能真实地反映被采样信号情况。可以证明，如果被采样信号中所含最高频率成分的频率为 $f_{\max}$ ，则要求采样频率 $f_s > 2f_{\max}$ ，否则将造成频率混叠。设被采样信号 $x(t)$ 中含有的最高频率为 $f_{\max}$ ，若将 $x(t)$

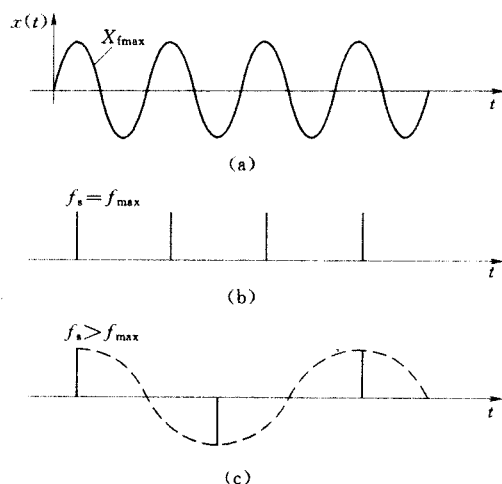


图 1-8 频率混叠示意图

中这一成分 $X_{f_{\max}}(t)$ 单独画在图 1-8 (a) 中, 从图 1-8 (b) 中可以看出, 当 $f_s = f_{\max}$ 时, 采样所看到的为一直流成分, 而从图 1-8 (c) 中看出, 当 f_s 略大于 $f_{\max}$ 时, 采样所看到的是一个差拍低频信号。这就是说, 一个高于 $f_s/2$ 的频率成分在采样后将被错误地认为是一个低频信号, 或称高频信号“混叠”到了低频段, 显然在 $f_s > 2f_{\max}$ 后, 将不会出现这种混叠现象。

因为在故障初瞬间, 电压、电流中含有相当高的频率分量, 为防止混叠, f_s 将不得不用得很高, 从而对硬件速度提出过高的要求。若自动控制的原理是反映工频量时, 在这种情况下可以在采样前用一个低通模拟

滤波器将高频分量滤去, 这样可以降低 f_s , 从而降低对硬件提出的要求。

实际上, 由于数字滤波器有许多优点, 因而通常并不要求低通模拟滤波器滤掉所有的高频分量, 而仅用它滤掉 $f_s/2$ 以上的分量, 以消除频率混叠, 防止高频分量混到工频附近来。低于 $f_s/2$ 的其他暂态频率分量, 可以通过数字滤波来消除。

采样总是按一定的频率工作的, 为了满足香农 (Shannon) 采样定理, 必须限制输入信号的最高频率, 也就是说必须给予输入信号一定的带限, 前置低通模拟滤波器的主要作用便在于此。

采用低通模拟滤波消除频率混叠问题后, 采样频率的选择很大程度上取决于自动控制原理和算法的要求, 同时还要考虑硬件速度的问题。

2. 数字滤波器

在微机自动控制系统中, 原则上有两种形式的滤波器可供选择, 一种是传统的模拟式滤波器, 另一种是所谓的数字式滤波器。在采用模拟滤波器时, 模拟量输入信号首先经过滤波器进行滤波处理, 然后对滤波后的连续型信号进行采样、量化和计算, 其基本流程如图 1-9 所示。而采用数字式滤波器时, 则是直接对输入信号的离散采样值进行滤波计算, 形成一组新的采样序列, 然后根据新采样值进行参数计算, 其流程如图 1-10 所示。

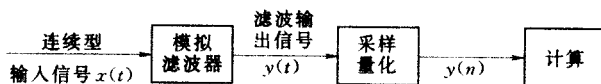


图 1-9 模拟式滤波基本流程图

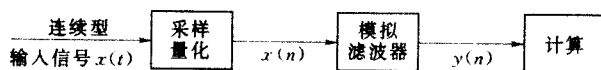


图 1-10 数字式滤波基本流程图

自动控制装置都工作在故障发生后的最初瞬变过程中,这时的电压和电流信号由于混有衰减直流分量和复杂的谐波成分而发生严重的畸变。目前大多数自动装置的原理是建立在反映正弦基波或某些整数倍谐波基础之上,所以滤波器一直是自动控制装置的关键器件。

滤波器就广义而言是一个装置或系统,用于对输入信号进行某种加工处理,以达到取得信号中的有用信息而去掉无用成分的目的。模拟滤波器是应用无源或有源电路元件组成的一个物理装置或系统。数字滤波器它将输入模拟信号 $x(t)$ 经过采样和模数转换变成数字量后,进行某种数学运算去掉信号中的无用成分,然后再经过数模转换得到模拟量输出 $y(t)$ 。如果把数字滤波器框图看成一个双口网络,则就网络的输入、输出端来看,其作用和模拟滤波器完全一样。

数字滤波器通常是指一种程序或算法,常用的数字滤波方法有:

(1) 算术平均滤波算法。算术平均滤波法是把连续采得的 n 次采样值相加,然后取算术平均值作为本次测量值,即

$$y_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1-1)$$

式中 y_n ——第 n 次滤波器输出;

x_i ——第 i 次采样值;

n ——采样次数。

此方法适用于干扰是周期性的情况, n 越大输出也越稳定,但灵敏度也下降了。

(2) 加权平均滤波算法,即

$$y_n = \sum_{i=0}^k a_i X_{n-i} \quad (1-2)$$

其中, $0 \leq a_i \leq 1$, $\sum_{i=0}^k a_i = 1$ 。

此方法突出最近几次采样值在平均值中的比重,以提高系统对当前所受干扰的灵敏度,对不同时刻的采样值,赋以不同加权因子。它适用于纯延迟时间常数 τ 较大,采样周期较短的过程。

(3) 中值滤波法。中值滤波法就是对某一被测参数采集 n 次,然后把 n 次的采样值从小到大或从大到小依次排序,取中间值作为本次采样值。采取中值滤波,对滤去脉冲性质的干扰比较有效,但总的测量时间增长,所以一般根据实际需要取 3~9 次即可。

(4) 一阶滞后滤波法。一阶滞后滤波采用的算法是基于模拟一个 RC 滤波器,如图 1-11 所示。

由图 1-11 可知,RC 滤波器输出 $y(t)$ 与输入 $x(t)$ 之间的传递函数为

$$y(s) = \frac{x(s)}{RCs + 1} = \frac{x(s)}{\tau s + 1} \quad (1-3)$$

其一阶微分方程为

$$\tau \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t) \quad (1-4)$$

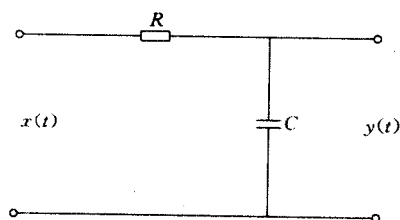


图 1-11 RC 滤波器