



21 世纪精品教材系列

电力系统自动装置

DIANLI XI TONG ZI DONG ZHUANG ZHI

主编◎赵付章

 吉林大学出版社

21 世纪精品规划教材系列

电力系统自动装置

主 编 赵付章

副主编 孔 祥 吴桂峰 张中丹 杨昌海

主 审 殷胜明 吴保华

 吉林大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电力系统自动装置 / 赵付章主编. — 长春 : 吉林大学出版社, 2016. 1

ISBN 978-7-5677-5623-6

I. ①电… II. ①赵… III. ①电力系统—自动装置—教材 IV. ①TM76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 016257 号

书 名: 电力系统自动装置
作 者: 赵付章 主编

责任编辑: 李伟华 责任校对: 唐万新

吉林大学出版社出版、发行

开本: 787×1092 毫米 1/1

印张: 20 字数: 480 千字

ISBN 978-7-5677-5623-6

封面设计: 可可工作室

北京楠海印刷厂印刷

2016 年 3 月 第 1 版

2016 年 3 月 第 1 次印刷

定价: 42.00 元

版权所有 翻印必究

社址: 长春市明德路 501 号 邮编: 130021

发行部电话: 0431-89580028/29

网址: <http://www.jlup.com.cn>

E-mail: jlup@mail.jlu.edu.cn

前言

随着科学技术的飞速发展,电力系统自动化技术进入了一个崭新的时期。电力系统自动装置在经历了电磁型、整流型、集成电路型以后,现在已被微机型自动装置替代。电力系统微机型自动装置作为电力系统现代自动控制技术的重要组成部分,在提高和保证电力系统的安全可靠性、供电质量以及运行的经济性方面,发挥着重要作用。因此,学习和熟悉电力系统微机型自动装置的原理、结构、功能和特性具有重要的意义。

本书是为了适应电力系统自动装置技术发展的需要,为了使发电、供电企业从事电力系统自动装置工作及高校电力类专业广大师生能够比较全面地了解和掌握电力自动装置技术,作者在总结多年电力系统自动装置运行维护、教学及科研经验的基础上,较系统地介绍了电力系统典型的微机型自动装置。

本课程的设置目的和要求在于:使学生了解电力系统中采用自动装置的必要性,熟悉广泛应用的各种自动装置的作用、结构、原理和性能,提高对原理图、展开图的阅读能力,为将来参加发电厂和变电站的运行、检修或试验工作打好基础。

本书的内容和特点主要体现在:

(1)总体上贯彻“校企合作、工学结合”的教学改革理念,充分遵循教育部教高[2006]16号文件的精神。

(2)全书以微机型自动装置为线索,突出大机组、大电力系统自动装置运行的要求。

(3)突出数字式自动装置总体结构、工作原理、性能及其运行特点等方面的介绍,充分结合当代先进电力技术在自动装置中的应用,引入电力设备在线监测、故障诊断等内容,使教学内容更加贴近前沿科学,体现教学内容先进性。

(4)为了理论与实践紧密结合,书中始终贯穿实用化和简单通俗的原则,一切从实际装置的简图、框图原理出发,阐述自动装置的工作原理、总体构成、性能、特点以及使用操作方法,对具体的自动装置不再做细致的动作过程分析。

(5)原理上以讲清楚概念、强化应用为重点,技能上加强内容的针对性和实用性。

(6)注重自动装置的基本工作原理,由浅入深,力求从基本概念上阐明问题,尽量避免复杂公式的推导,同时在每章后均附有复习思考题,可读性强。

全书共分十章,主要讲述的是数据采集与处理、同步发电机的自动并列、同步发电机自动励磁装置、电力系统频率及有功功率的自动调节、电压稳定和电压控制、输电线路的自动重合闸、备用电源和备用电源投入装置、微机故障录波装置、在线监测装置、电力系统自动低频减载及其他安全自动装置等。

参加本书编写的有国家注册电气工程师赵付章(绪论、第六、八章),国网甘肃省电力公

司经济技术研究院吴桂峰(第四章)、张中丹(第五章)、杨昌海(第七章),甘肃畜牧工程职业技术学院孔祥(第一、二、三、九、十章),全书由赵付章担任主编,负责组织和统稿。在编写的具体工作中,得到了各方面的大力支持与帮助,特别是担任本书主审的国网甘南供电公司副总经理殷胜明、副总工程师吴保华,对本书内容提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。在编写本书的过程中,还得到国网甘肃省电力公司经济技术研究院、国网甘南供电公司、甘肃畜牧工程职业技术学院等单位热情的支持和帮助,许多同志提供了相关资料。在此一并深表感谢。

尽管编写时参考了本领域许多著作,整理和引用了国内外部分文献和技术资料,但由于本书所涉及内容大多数为新原理、新技术,限于作者的理论水平有限、实践经验不够等原因,书中错误和缺点在所难免,敬请批评指正。

编者

2016年2月



目 录

绪 论	(1)
第一章 自动装置及其数据的采集与处理	(3)
第一节 自动装置的硬件和软件	(3)
第二节 数据的采集与处理	(7)
第二章 同步发电机自动并列	(14)
第一节 概述	(14)
第二节 准同期条件分析	(20)
第三节 频差及频差方向测量	(23)
第四节 压差及压差方向测量	(28)
第五节 导前时间脉冲	(31)
第六节 数字式自动准同期装置	(40)
第七节 多对象同期接线	(48)
第八节 同期检定继电器	(51)
第九节 同期回路接线检查	(55)
第三章 同步发电机自动调节励磁装置	(58)
第一节 同步发电机励磁调节系统	(58)
第二节 同步发电机励磁调节系统的类型	(63)
第三节 励磁系统中的可控整流电路	(67)
第四节 同步发电机的强行励磁与灭磁	(86)
第五节 并联运行发电机间无功负荷分配	(90)
第六节 同步发电机的微机型励磁调节器	(94)
第四章 电力系统频率及有功功率的自动调节	(106)
第一节 电力系统的频率特性	(106)
第二节 调速器原理	(115)
第三节 电力系统的频率调节系统及其特性	(124)
第四节 电力系统自动调频	(137)
第五节 电力系统的经济调度与自动调频	(147)
第五章 电压稳定和电压控制	(154)
第一节 概述	(154)
第二节 电压稳定性	(158)
第三节 系统电压控制	(166)
第四节 供电电压控制	(169)



第五节 按电压降低自动减负荷装置	(173)
第六章 输电线路自动重合闸	(177)
第一节 概述	(177)
第二节 输电线路三相自动重合闸	(179)
第三节 输电线路 ARC 实现	(184)
第四节 输电线路 ARC 运行	(191)
第五节 选相元件	(207)
第六节 非全相运行对继电保护的影响	(223)
第七节 单相重合闸过程中故障点的消弧	(228)
第八节 关于重合闸方式的选定	(232)
第七章 备用电源和备用设备自动投入装置	(236)
第一节 备用电源的备用方式	(236)
第二节 对备用电源和备用设备自动投入装置的基本要求	(237)
第三节 备用电源自动投入装置的工作原理	(239)
第四节 厂用电快速切换	(244)
第八章 微机故障录波装置	(250)
第一节 故障录波概述	(250)
第二节 微机故障录波装置的工作原理	(253)
第三节 微机故障录波装置举例	(259)
第四节 微机故障录波装置的实际应用	(264)
第九章 在线监测系统	(269)
第一节 在线监测系统基本概念和发展概况	(269)
第二节 变压器在线监测系统	(274)
第三节 变压器在线监测系统的解决方案	(282)
第十章 电力系统自动低频减载及其他安全自动装置	(297)
第一节 概述	(297)
第二节 自动低频减载	(298)
第三节 其他安全自动控制装置	(310)
参考文献	(314)



绪 论

一、电力系统自动装置的内涵及外延

(一) 电力系统自动装置的内涵及外延

电力系统自动装置是研究通过自动化元件控制电力系统内电气设备的一门应用技术,是电力系统自动控制实用领域之一。

根据上述定义,电力系统自动装置主要应用于电力系统内电气设备运行的控制与操作,是直接为电力系统安全、经济运行和保证电能质量的基础自动化设备。特别需要指出的是,上述定义中自动化元件是一个宽泛的概念,不仅包括单纯的电气元件(如继电器、按钮、转换开关等),而且包括单片机、可编程序控制器和工控机等微机,在此我们主要将各种微机作为一种控制手段,而且微机往往作为整个自动化系统的核心元件。

(二) 电力系统自动装置的外延

电力系统自动控制是实现电力系统自动化的技术基础,而电力系统自动装置是电力系统自动控制实用领域之一。电力系统自动控制根据控制任务和内容,大致可划分为4个不同任务的控制系统,包括电力系统自动监控、电力系统自动装置、发电厂动力机械自动控制和电力安全装置,对于不同控制系统的外延要根据控制任务进行明确的界定。

(1) 电力系统自动监控。电力系统自动监控,其主要任务是通过计算机及网络系统提高整个电力系统安全、经济运行水平。实际运行中电力系统中发电厂、变电站把反映电力系统运行状态的实时信息,通过各种远动终端装置送至调度控制中心的计算机系统,由计算机系统及时地对运行信息进行分析诊断,供运行人员监控决策参考,因此电力系统自动监控对整个电力系统,进行系统内各种状态信息流的监测。

(2) 电力系统自动装置。根据电力系统自动装置的定义,电力系统自动装置主要应用于电力系统内电气设备的控制,包括发电厂和变电站内的发电机、变压器、直流系统等电气部件。实用中电力系统自动装置主要突出电气设备的自动操作和故障对策,是直接面向电力系统安全、经济和保证电能质量服务的控制系统。总之,电力系统自动装置的控制对象是电力系统中所有电气设备。

(3) 发电厂动力机械自动控制。无论是水电厂、火电厂还是核电厂,厂内都有大量的动力机械设备,如火电厂中锅炉和汽轮机、水电厂中的水轮机及调速器等,它们在发电厂中都承担了关键的功能,因此发电厂动力机械的自动控制是发电厂自动控制的主要组成部分。同时,发电厂的动力机械随发电厂类型不同而有很大差别,各种动力设备的控制要求和控制规律相差很大,如火电厂中锅炉和汽轮机的自动控制系统与水电厂中水力机械的自动控制系统相差很大,因此需要用不同专业知识对发电厂动力机械自动控制进行专门研究。总之,发电厂动力机械自动控制面对的是电力系统中各种机械设备。

(4) 电力安全装置。电力系统提供的电能具有高电压和大电流的基本特点,由于电力操



作是一项具有高危险性的工作,因此安全是电力系统的永恒主题,而安全装置是保障电力系统运行人员人身安全的监护装置。因此,电力安全装置主要面向操作人员的安全保障。

二、电力系统自动装置的发展历程及趋势

(一)电力系统的发展历程及其运行特征

我国电力系统经过 60 多年的建设,无论在生产运行、设计、安装和制造方面都取得举世瞩目的成就,电力工业作为先行工业为国民经济的大发展提供了坚实的能源保障。解放前,全国范围内发电设备容量只有 185 万 kW;到 2000 年,我国装机容量已达到 2.5 亿 kW;至 2010 年底,我国装机容量达到了 9.62 亿 kW;2014 年底,全国发电装机容量 13.6 亿 kW。发电厂将其形成的能量转换成电能按次能源的不同又分为火电厂、水电厂、核电厂、风电厂和太阳能发电厂等不同类型的发电厂。尽管各类发电厂的生产流程各不相同,控制规律各有特点,但安全可靠地提供高质量的电能是各类发电厂共同的核心任务。

电力系统的产品——电能具有非常显著的特点,它无法进行大规模的储存。因此由发电厂、变电所、输电网、配电和用电等设备所组成的电力系统,必须始终遵循电能在生产、传输和分配过程中功率平衡的原则,在实际运行中始终要做到电能的发、变、配、用同时进行,整个电力系统要做到控制一体化和实时化。

(二)电力系统自动装置的发展历程及趋势

为了确保电力系统的安全经济运行,及时处理电力系统运行中所发生的各种故障,同时现代社会对电能供应的“安全、可靠、经济、优质”等各项指标的要求越来越高,客观上对电力系统自动控制提出了更高的要求,同时推动电力系统自动化技术不断地由低到高、由局部到整体发展。在电力系统大发展和自动化技术不断提升的背景下,电力系统自动装置不断更新换代,发电厂和变电所中应用的自动装置自动化水平不断提高,采用的自动化元件经历了继电器、数字电路和微机等阶段,目前已将以微机为控制核心的数字式自动装置作为主流产品,而且不断引入先进的控制理论,同时电力系统自动装置与通信技术和网络技术充分结合,满足了对电力系统的远程监控和调度,显著提升了电力系统的安全运行水平。今后,电力系统自动装置将向最优化、协调化、互动化、智能化方向发展,在打造“坚强智能”电网中发挥关键功能,在今后的“物联网”、“全球能源互联网”、“互联网+”中也将起重要作用。



第一章 自动装置及其数据的采集与处理

第一节 自动装置的硬件和软件

随着计算机技术的飞速发展,利用微机构成电力系统自动装置的技术已非常成熟并广为应用。电力系统运行的主要参数是连续的模拟量,而计算机内部参与运算的信号是离散的二进制数字信号,所以,自动装置的主要任务是将连续的模拟信号采集并转换成离散的数字信号后进入计算机,即数据采集和模拟信号的数字化。

本章重点介绍电力系统自动装置硬件的基本结构形式及数据采集和处理的工作原理。

一、硬件组成形式

从硬件方面看,目前电力系统自动装置的结构形式主要有三种,即微型计算机系统、工业控制计算机系统和集散控制系统(DCS)。在电力系统中,对于控制功能单一的自动装置所需采集的电气量不是很多,微型计算机系统就可满足运行要求,例如同步发电机自动并列装置;对于控制功能要求较高、软件开发任务较为繁重的系统,大多采用工业控制计算机系统,例如发电机励磁自动调节系统;而对于分散的多对象的成套监测控制装置则采用 DCS,例如发电厂、变电站一些远动装置以及热电厂机炉集控系统等。

(一)微型计算机系统

微型自动装置基本上按模块化设计,即一套装置的硬件都是由若干模块组成的。不同的自动装置,其硬件结构基本上大同小异,所不同的是软件及硬件模块化的组合与数量。不同的功能用不同的软件来实现,不同的使用场合按不同的模块化组合方式构成。一套微型自动装置的典型硬件结构,主要包括模拟量输入/输出回路、微型机系统、开关量输入/输出回路、人机对话接口回路、通信回路和电源等,如图 1-1 所示。

1. 模拟量输入/输出回路

来自自动装置测控对象的电压、电流等信号是模拟量信号,是随时间连续变化的物理量。由于微机系统是一种数字电路设备,只能接受数字脉冲信号、识别数字量,所以就需要将这一类模拟信号转换为相应的微机系统能接受的数字脉冲信号。同时,为了实现对电力生产过程或电力输配过程的监控,有时还需要输出模拟信号,去驱动模拟调节执行机构工作,这就需要模拟量输出回路。

2. 开关量输入/输出回路

在数据采集系统中,除模拟信号外,还有大量的以二进制数字变化为特点的信号,如断路器/隔离开关的状态、某些数值的限内或越限、断路器的触点以及人机联系的功能键的状态等。开关量输入电路的基本功能就是将测控对象需要的状态信号引入微机系统,如线路断路器状态等;输出电路主要是将 CPU 送出的数字信号或数据进行显示、控制或调节,如断



路器跳闸命令和报警信号等。

3. CPU 及存储控制部分

CPU 及存储控制部分是自动装置硬件系统的数字核心部分,对系统的工作进行控制和管理,对采集到的数据做必要处理,然后根据要求作出判断和发出指令等。其一般由 CPU、存储器,定时器/计数器、Watchdog 等组成。

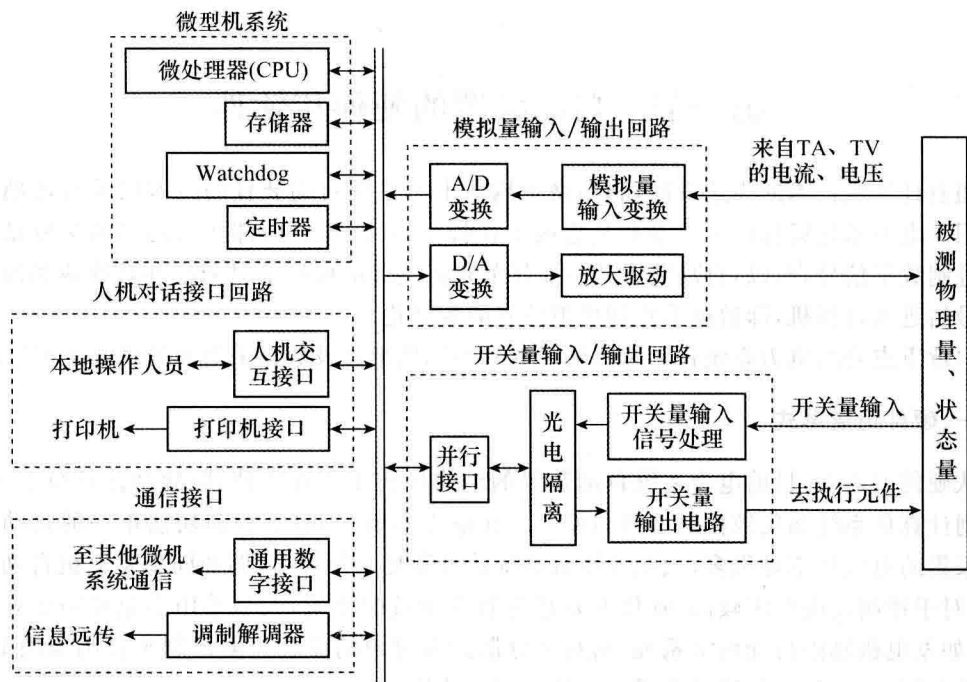


图 1-1 微机型自动装置的典型硬件结构框图

CPU 是微机系统自动工作的指挥中枢,计算机程序的运行依赖于 CPU 来实现。因此,CPU 的性能好坏在很大程度上决定了计算机系统性能的优劣。当前自动装置所采用的 CPU 多种多样,且多为 8 位或 16 位 CPU。随着近几年来微电子技术突飞猛进的发展,新一代 32 位的 CPU 伴随着大规横/超大规模集成电路的广泛应用而在新一代自动装置中普遍使用。另一方面,随着数字信号处理器(DSP)的广泛应用,自动装置采用 DSP 来完成装置功能、实现装置功能算法已成为一种发展趋势,并逐步应用于实际。

计算机利用存储器把程序和数据保存起来,使计算机可以在脱离人的干预的情况下自动地工作。

定时器/计数器在自动化装置中十分重要,除计时作用外,还有两个主要用途:一是用来触发采样信号,引起中断采样;另一是在 U/f 变换式 A/D 中,定时器/计数器是把频率信号转换为数字信号的关键部件。

电力自动装置通常运行在强电磁干扰的环境中。当自动装置受到干扰导致微机系统运行程序出轨后,装置可能陷入瘫痪。Watchdog 的作用就是监视微机系统程序的运行情况,若自动装置受到干扰而失控,则立即动作以使程序重新开始工作,进入正常运行轨道。

4. 人机对话接口回路

人机对话接口回路主要包括打印,显示、键盘及信号灯、音响或语言告警等,其主要功能



用于人机对话,如调试、定值整定、工作方式设定、动作行为记录、与系统通信等。

在微型装置中,人机对话的主要内容有:

(1)显示画面与数据,包括时间日期,报警画面与提示信息,装置工况状态显示,装置整定值,控制系统的配置显示(包括退出运行的装置的显示以及信号流程图表),控制系统的设定显示等内容。

(2)输入数据,包括运行人员的代码和密码,运行人员密码更改,装置定值的更改,控制范围及设定的变化,报警界限,告警设置与退出,手动/自动设置,趋势控制等。

(3)人工控制操作,包括断路器及隔离开关操作,开关操作排序,变压器分接头位置控制,控制闭锁与允许,装置的投入和退出,设备运行/检修的设置,当地/远方控制的选择,信号复归等。

(4)诊断与维护,包括故障数据记录显示,统计误差显示,诊断检测功能的起动墨。

通信回路

通信回路的功能主要是完成自动装置间通信、监控系统与自动装置间通信及自动装置信息远传。

(二)工业控制计算机系统

工业控制计算机系统一般由稳压电源、机箱和不同功能的总线模板以及键盘等外设接口组成。

工业控制计算机系统中内部总线种类繁多,而早期的工业控制计算机较多采用 STD 总线,即工业控制标准总线,广泛应用于冶金、化工和电力等领域。STD 总线工业控制机内对 56 根线做了合理的安排,信号之间的隔离消除了大部分总线上的干扰,单元为小模板结构,每块模板功能具有相当的独立性,实现了板级功能的分散。图 1-2 为 STD 总线工业控制机的结构示意图。其他工业控制计算机都具有相似的结构。

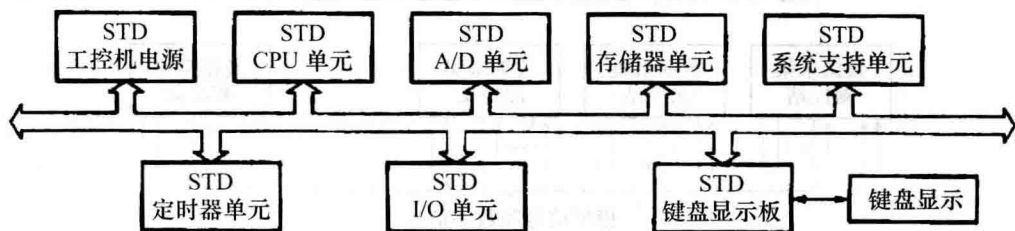


图 1-2 STD 总线工业控制机结构示意图

1. CPU 单元

CPU 单元的主要功能是作为 STD 总线的主处理单元,处理 STD 总线上的数据、地址和各种控制功能,并且控制其他 STD 功能单元的工作,以及进行整个工控系统的计算、数据处理、控制等工作。

2. A/D 单元

A/D 单元主要提供模/数转换的接口。模/数转换和数据读取的时刻可由 CPU 单元控制,也可由外部触发来决定。

3. 存储器单元

存储器单元的主要功能是作为通用存储器的扩展卡,卡上含有 STD 接口,译码、存储器、后备电池等,可防止失电后数据丢失。

4. 系统支持单元

系统支持单元是为 STD-PC 提供系统支持的功能单元。它包括设置开关、后备电池、实时时钟、看门狗 Watchdog 定时器、上电复位电路、总线终端网络及通信口。

5. 定时器单元

定时器是 STD 总线的独立外设,具有可编程逻辑电路。选通电路和输出信号,可完成定时、计数以及实现“看门狗”功能等。

6. I/O 单元

I/O 单元是实现开关量的输入/输出的功能单元,可以提供电平输出,也可以输出,各种信号输出均具有锁存功能。

7. 键盘显示板

该系统主要有键盘输入、显示输出、打印机接口等部分。

工业控制计算机系统的功能较微型计算机系统完善,可靠性和实时性通常也较微型计算机系统大为提高,已实现板级的分散,配有实时操作系统、过程中断系统等,具有丰富的过程输入/输出功能和软件系统,有众多的选配件和组态软件支持。

(三)集散控制系统(DCS)

集散控制系统的结构框图如图 1-3 所示。集散控制系统是计算机网络技术在工业控制系统发展的产物,整个系统由若干个“数据采集测控站”、上位机和通信线路组成。

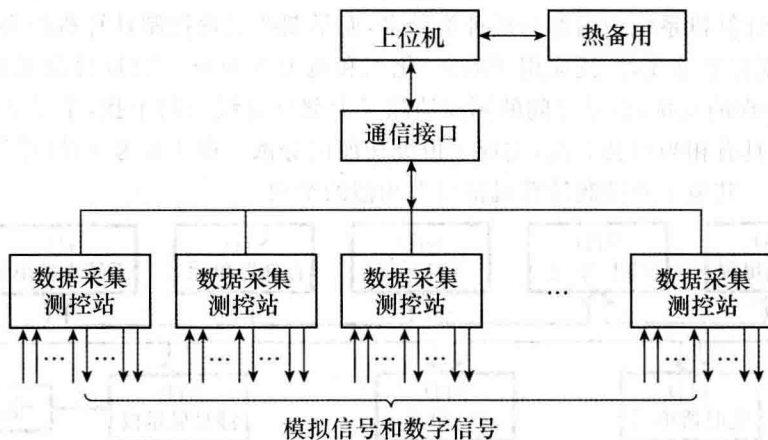


图 1-3 集散控制系统结构框图

1. 数据采集测控站

数据采集测控站一般由单片机数据采集控制装置组成,位于生产设备附近,可独立完成数据采集和预处理任务,可以将信号通过通信线路传至上位机,并能够接收上位机通过通信线路下达的控制指令进行现场控制。

2. 上位机

上位机一般采用工业控制机或工作站,配置打印机和其他外设;一般采用双机热备用方式,以确保系统的可靠性。它的工作是将各个站上传的数据进行分析处理,以及进行数据的存储和整个系统的协调,集中显示或打印各种报表。此外,上位机最重要的功能是根据数据处理的结果,确定控制的参数和方法,并将这些结果通过通信线路下达给相应的站。

上位机和工作站之间通常采用串行通信方式进行通信。介质访问方式一般为令牌形



式,由上位机确定与哪一个工作站进行通信。

DCS 的系统适应性强,系统的规模可以根据实际情况建设;由于系统具有分散性,单一站的故障不会影响到整个系统,可靠性得到了提高;因为系统的各个站为并行结构,可解决大型、高速、动态系统的需要,实时性能较好;因为要进行集中数据处理,对于上位机应具有一定的技术要求。

二、软件

自动装置的正常工作,除了必须要有硬件的不同外,其规模、功能及所采用的技术也不相同。

1. 信号采集与处理程序

采集的信息有数字信号和模拟信号两种,数字信号采集后可直接进入计算机存储,而模拟信号须经处理。模拟信号采集与处理程序的主要功能是对模拟输入信号进行采集、标度变换、滤波处理及二次数据计算,并将数据存入相应地址的存储单元。

2. 运行参数设置程序

运行参数设置程序的主要功能是对系统的运行参数进行设置。运行参数有采样通道号、采样点数、采样周期、信号量程范围和工程单位等。

3. 系统管理(主控制)程序

系统管理程序首先是用来将各个功能模块组织成一个程序系统,并管理和调用各个功能模块程序;其次是用来管理数据文件的存储和输出。

4. 通信程序

通信程序用来完成上位机与各个站之间的数据传递工作,或用来完成主节点与从节点之间的数据传递,主要的功能包括设置数据传输的波特率、数据发送的发起、数据发送发起的响应、数据接收的响应、数据传输的校验和数据传输成功的标志等。

以上介绍了系统软件的功能模块划分。它的划分并非是一成不变的,不同的系统常常有不同的划分。例如,在工业控制计算机、集散控制系统中,还需显示软件、键盘扫描与分析程序、实时监控程序等软件功能模块;在最简单的微型计算机系统(单片机系统)中,可能就不具备用菜单技术编程的系统管理程序。

第二节 数据的采集与处理

电力系统自动装置采集的电力测控对象主要有电流、电压、有功功率、无功功率、温度等,都属于模拟量。模拟量的输入电路是自动装置中很重要的电路,自动装置的动作速度和测量精度等性能都与该电路密切相关。模拟量输入电路的主要作用是隔离、规范输入电压及完成模/数变换,以便与 CPU 接口,完成数据采集任务。

一、采样

1. 采样过程

微机处理的都是数字信号,必须将随时间连续变化的模拟信号变成数字信号,为达到这一目的,首先要对模拟量进行采样。对随时间连续变化的模拟信号 $x(t)$,按一定的时间间隔



T_s , 抽取相应的瞬时值, 这个过程称为采样。采样是将一个连续的时间信号 $x(t)$ 变成离散的时间信号 $x'(t)$, 采样过程如图 1-4 所示。

采样时间间隔采样控制由脉冲 $S(t)$ 来控制, 相邻两个采样时刻的时间间隔称为采样周期, 通常用 T_s 表示。采样仅是每隔 T_s 时间就取一次模拟信号的即时幅值, 显然它在各个采样点上 $(0, T_s, 2T_s, \dots)$ 的幅值与输入的连续信号 $x(t)$ 的幅值是相同的。在自动装置中, 对电压、电流量的采样是以等采样周期间隔来表示的。采样周期 T_s 的倒数就是采样频率

$$f_s = \frac{1}{T_s} \quad (1-1)$$

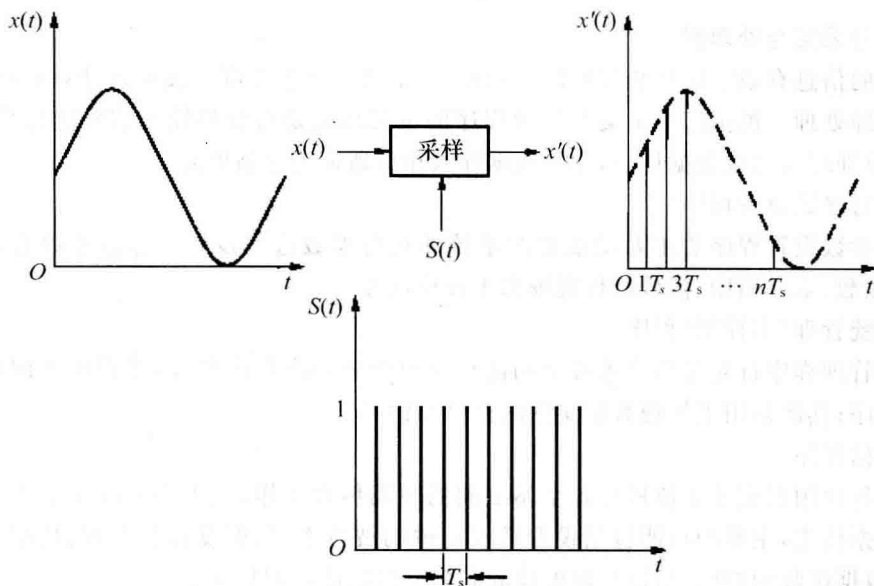


图 1-4 采样过程示意图

输入模拟信号 $x(t)$ 经过理想采样变成 $x'(t)$ 后可以表示为

$$x'(t) = x(t) \big|_{t=nT_s} \quad (1-2)$$

在自动装置中, 被采样的信号 $x(t)$ (主要是工频 50Hz 信号, 通常以工频每个周期的采样点数来间接定义采样周期 T_s 或采样频率 f_s 。例如工频每个周期采样点数为 12 次, 则采样周期 $T_s = \frac{1}{50} \times 1000 \div 12 = 5/3(\text{ms})$, 采样频率 $f_s = \frac{3}{5} \times 1000 = 600(\text{Hz})$ 。

2. 采样定理

采样周期 T_s 决定了采样信号的质量和数量。 T_s 太小, 会使 $x'(t)$ 的数据剧增, 并占用大量的内存单元; T_s 太大, 会使模拟信号的某些信息丢失, 当将采样后的信号恢复成原来的信号时, 就会出现信号失真现象, 而失去应有的精度。因此, 选择采样周期 T_s 必须有一个依据, 以保证 $x'(t)$ 能不失真地恢复原信号 $x(t)$, 这个依据就是采样定理。

采样定理是采样过程中所遵循的基本定律, 指出了重新恢复连续信号所必须的最低采样频率。下面详细解释。

我们先观察图 1-5 所示的波形。设被采样信号 $x(t)$ 的频率为 f_0 , 其波形如图 1-5(a) 所示。对其进行采样, 图 1-5(b) 是对 $x(t)$ 每周采一点, 即 $f_s = f_0$, 采样后所看到的为一直流量



(见虚线);图 1-5(c)中,当 f_s 略大于 f_0 时(这里 $=1.5f_0$),采样后所看到的是一个差拍低频信号;又由图 1-5(d)可见,当 $f_s=2f_0$ 时,采样所看到的是频率为 f_0 的信号。不难想象,当 $f_s>2f_0$,采样后所看到的信号更加真实地代表了输入信号 $x(t)$ 。由此可见,当 $f_s<2f_0$ 时,频率为 f_0 的输入信号被采样之后,将被错误地认为是一低频信号,我们把这种现象称为“频率混叠”现象。显然在 $f_s\geq 2f_0$ 后,将不会出现频率混叠现象。因此,若要不丢掉信息地对输入信号进行采样,就必须满足 $f_s\geq 2f_0$ 这一条件。若输入信号 $x(t)$ 含有各种频率成分,其最高频率为 $f_{\max}$,若要对其不失真地采样,或者采样后不产生频率混叠现象,采样频率必须不小于 $2f_{\max}$,即 $f_s\geq 2f_{\max}$ 。也就是说,为了使信号被采样后不失真地还原,采样频率必须不小于 2 倍的输入信号的最高频率,这就是乃奎斯特采样定理的基本思想。

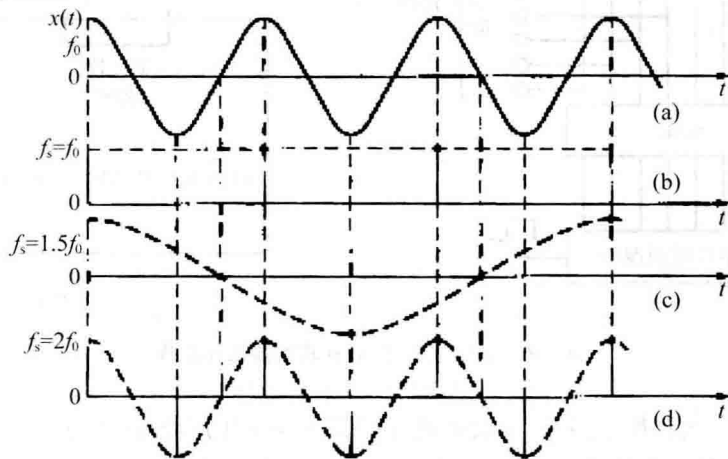


图 1-5 采样频率选择示意图

(a) $x(t)$ 的波形; (b) $f_s=f_0$; (c) $f_s=1.5f_0$; (d) $f_s=2f_0$

举例来说,小电流接地系统检测装置,要采样的信号是 5 倍频的电流信号,即 $f_0=5\times 50=250(\text{Hz})$,采样频率至少应选 $f_s\geq 2\times 250(\text{Hz})$ 才能保证采样的 5 倍频电流信号不失真地还原。

二、模/数变换(A/D)

微机型系统只能对数字量进行运算或逻辑判断,而电力系统中的电流、电压等信号均为模拟量。因此,必须用 A/D 变换器将采样后得到的离散时间信号 $x'(t)$ 转换为数字信号,以便微机系统或数字系统进行处理、存储、控制和显示。

在微机系统中最常用逐次逼近型原理实现 A/D 变换,其原理框图如图 1-6(a)所示。它主要由逐次逼近寄存器 SAR、D/A 转换器、比较器、时序及控制逻辑等部分组成。它的实质是逐次把设定的 SAR 寄存器中的数字量经 D/A 转换后得到的电压 U_c 与待转换的模拟电压进行比较。比较时,先从 SAR 的最高位开始,逐次确定各位的数码是“1”还是“0”。

在进行转换时,先将 SAR 寄存器各位清零。转换开始时,控制逻辑电路先设定 SAR 寄存器的最高位为“1”,其余各位为“0”,此试探值经 D/A 转换成电压 U_c ,然后将 U_c 与模拟输入电压 U_x 比较。如果 $U_x\geq U_c$,说明 SAR 最高位的“1”应予保留;如果 $U_x<U_c$,说明 SAR 该位应予清零。然后再对 SAR 寄存器的次高位置“1”,依上述方法进行 D/A 转换和比较。如此重复上述过程,直至确定 SAR 寄存器的最低位为止。过程结束后,状态线 EOC 改变状

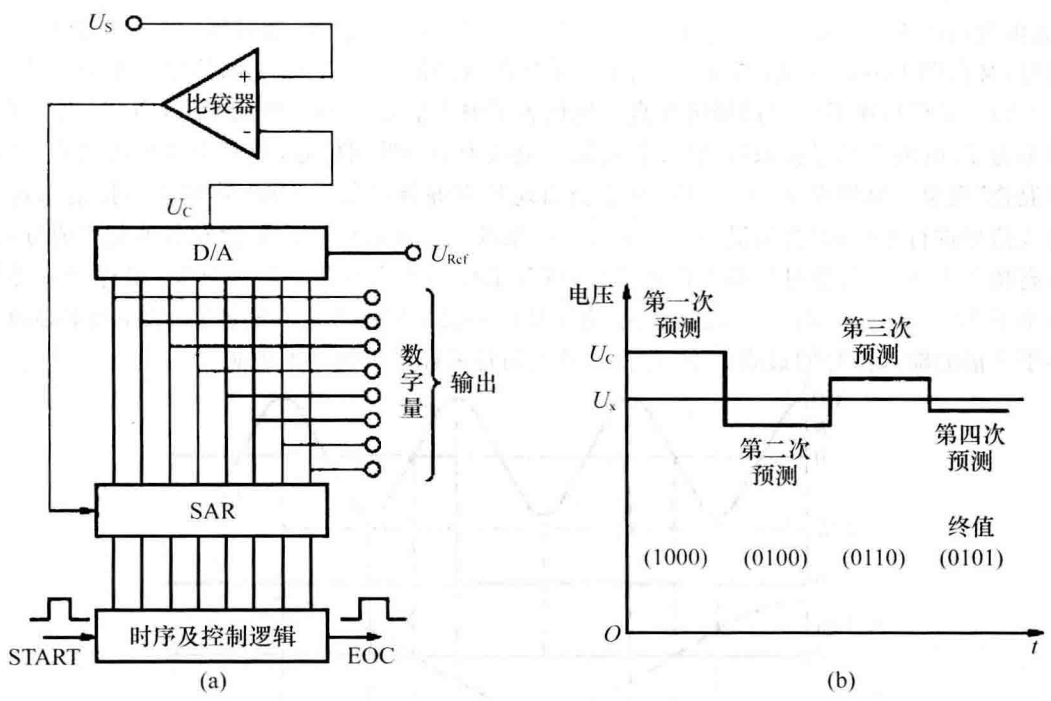


图 1-6 逐次逼近型 A/D 转换器工作原理

(a) 原理框图; (b) 逐次逼近过程

态,表明已完成一次转换。最后,逐次逼近寄存器 SAR 中的内容就是与输入模拟量 U_x 相对应的二进制数字量。显然 A/D 转换器的位数 N 决定于 SAR 的位数和 D/A 的位数。图 1-6 (b) 表示四位 A/D 转换器的逐次逼近过程。转换结果能否准确逼近模拟信号,主要取决于 SAR 和 D/A 的位数。位数越多,越能准确逼近模拟量,但转换所需的时间也越长。

三、输入数据的前置处理

计算机采集的模拟量种类繁多,通过 A/D 转换器转换成数字量后送入计算机。经过 A/D 转换输入的数据,以不同的通道号代表不同的物理量,存入指定的存储单元。上述数据还要进行一系列简单处理(即前置处理),然后存入数据库保存。数据前置处理流程如图 1-7 所示。

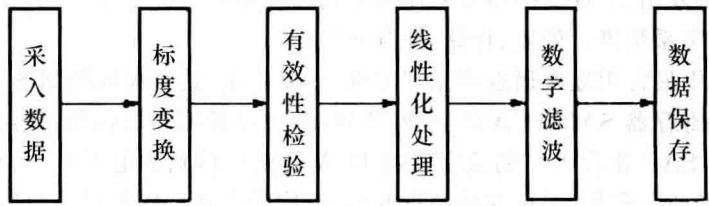


图 1-7 数据前置处理流程

1. 标度变换

进入 A/D 转换器的信号一般是电平信号,但其意义却有所不同。例如同样是 SV 电压,可以代表 540° 蒸汽温度,也可以代表 500A 电流或 110kV 电压等。因此,经 A/D 转换后的同一数字量所代表的物理意义是很不相同的。所以要由计算机乘上不同的系数进行标度变