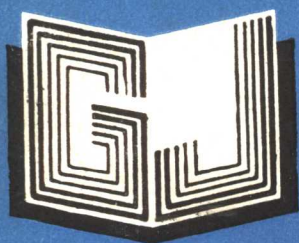


977936

TV736

7479



高等学校教材

水电站计算机控制

武汉水利电力大学 陈邕怀 主编

36
9



- 977936

T736
7479

TV736
7479

高等学校教材

水电站计算机控制

武汉水利电力大学 陈邕怀 主编

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书主要介绍水电站计算机监控系统的基本构成、工作原理和 design 方法,尤其着重对基本原理和基本方法的阐述,内容包括:国内外水电站计算机控制概况,水电站非电量及电量的检测,模拟量输入与输出,开关量的输入与输出,水电站计算机控制方式,水电站计算机控制系统,计算机总线,计算机监控系统的抗干扰等。本书虽着重介绍水电站的计算机控制,但这些原理和方法,同样适用于泵站的计算机控制。

本书为“水利水电动力工程”专业及“机电排灌”专业学生的选修课教材,也可作为“电力系统及其自动化”专业或相近专业的本科、专科学生的选修教材,同时可供从事水电站计算机设计人员及运行人员参考。

高等学校教材
水电站计算机控制
武汉水利电力大学 陈逸怀 主编

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京市朝阳区小红门印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 8.25印张 182千字

1994年10月第一版 1994年10月北京第一次印刷

印数0001—2570册

ISBN 7-120-01910-4/TV·775

定价4.85元

前 言

本书是根据高等学校水利水电专业教学委员会电类课程编审组1988年5月南京会议审订的《水电站计算机控制》教学大纲编写的,作为“水利水电动力工程”专业及“机电排灌工程”专业的选修教材,也可作为“电力系统及其自动化”等相近专业的选修教材。本书还可供从事水电站设计、运行等技术人员参考。

本书主要介绍水电站计算机监控系统的基本构成、工作原理和设计方法,介绍国内外水电站计算机控制的研究成果、实践经验和发展趋势。本教材涉及的知识面较广,内容较多,各校可根据选修课的学时(一般为30~40学时),适当地增删某些章节。本课程应该在计算机原理、水电站自动化等先修课之后开设。

本书的第一、二、三、四、六章由武汉水利电力大学陈邕怀教授编写,第五章由武汉水利电力大学李植鑫教授编写,第七、八章由华北水利水电学院刘方副教授编写,全书由陈邕怀担任主编。全部书稿由华中理工大学胡伟轩教授审阅,并提出了许多宝贵意见和建议,对提高书稿的质量有很大的帮助,在此表示深深的感谢。

由于我们的学识水平有限,加上编写时间仓促,书中错误和不妥之处在所难免,希望读者批评指正。

编 者

1993年10月

目 录

前 言

第一章 水电站计算机控制概论	1
第一节 计算机控制发展概况	1
第二节 计算机控制系统的基本组成	4
第三节 水电站计算机控制的主要任务	6
第四节 计算机控制的发展趋势	8
第二章 水电站非电量及电量的检测	9
第一节 概述	9
第二节 传感器	9
第三节 转换器	11
第四节 水电站电量检测	19
第五节 D/A转换器	23
第六节 A/D转换器	27
第七节 极性转换器	30
第八节 遥测发送器及接收器	31
第三章 模拟量的输入与输出	33
第一节 模拟量输入通道	33
第二节 采样原理	34
第三节 多路采样切换器	37
第四节 采样保持电路	39
第五节 数据放大器	41
第六节 用A/D芯片组成的输入通道	42
第七节 用D/A芯片组成的输出通道	50
第四章 开关量的输入与输出	56
第一节 开关量信号的转换及其编组	56
第二节 开关量的输入	57
第三节 开关量的输出	60
第四节 运行操作台	64
第五章 水电厂计算机控制系统	67
第一节 水电厂微机自动巡回检测	67
第二节 微机交流电量检测	72
第三节 微机自动准同期	75
第四节 微机水轮机调速器	82
第五节 微机发电机励磁调节器	93
第六章 水电站计算机控制方式	100
第一节 水电站计算机控制的类型	100
第二节 水电厂的分层控制	101

第三节	水电厂计算机控制方式·····	102
第四节	水轮发电机组工作状态控制·····	104
第五节	梯级水电站的控制·····	107
第六节	水电厂群的控制·····	109
第七章	计算机总线·····	111
第一节	总线的用途和分类·····	111
第二节	S-100总线·····	113
第三节	RS-232C总线·····	115
第八章	计算机控制系统的抗干扰·····	118
第一节	干扰源和干扰传播途径·····	118
第二节	电网干扰及其抑制方法·····	120
第三节	输入输出干扰及其抑制原则·····	122
参考文献	·····	125

第一章 水电站计算机控制概论

第一节 计算机控制发展概况

水电站计算机控制是利用数字电子计算机对水电站的电能生产过程进行的一种控制。采用计算机控制的目的是,为了提高水电站的自动化水平,提高水电站的供电质量,提高水电站的安全运行水平,提高水电站的劳动生产率和经济效益。

在水电站计算机控制中,人们用电子计算机代替传统自动控制中的控制器,使控制过程更合理、更灵活、更及时。计算机控制比传统的自动控制有更多的优越性和更大的经济效益。但是,计算机控制的实现仍然与传统的自动控制有着密切的联系,可以说,计算机控制系统是传统的自动控制技术与计算机技术相结合的产物。

水电站的控制,大体上经历了手动控制、自动控制和计算机控制等三个阶段。

一、手动控制

水电站的早期控制,着重于发电机组的控制。发电机发电的早期控制是手动的,在每一台机组旁边设有手动操作设备,由值班人员在机旁用手进行操作,实现机组的启停及负荷的调整。图1-1是发电机电压手动控制过程示意图。

以发电机输出电压为例,说明手动控制过程。设发电机输出的电压 u_H 为某一定值。发电机在实际运行过程中,它的输出电压会因负载大小的变化、原动机转速 ω 的变化、励磁电压 u_f 的变化而发生变化。人们如何保持输出电压接近于给定值呢?在发电机

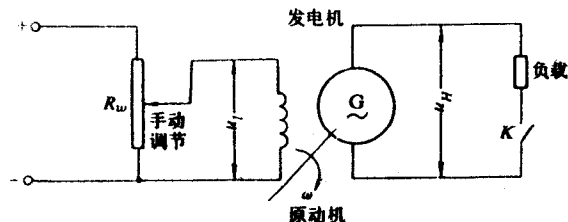


图 1-1 手动控制示意图

转速不变的条件下,人们首先用眼睛观察电压表,把发电机实际的输出电压 u 与给定电压值 u_H 相比较,看看它们是否相等。如果 u 等于 u_H ,则满足要求,运行人员不进行任何操作;如果 $u > u_H$,即 $e = (u_H - u) > 0$,则运行人员要操作励磁调节器(在本例中是调节可变电阻 R_w),降低励磁电压,即减少励磁电流,使 $u = u_H$;如果 $u < u_H$,则要增加励磁电压,即增加励磁电流,使 $u = u_H$ 。很明显,这种调节方式有很大的局限性,它只适用于负荷变化比较缓慢的情况。如果负荷变化比较快,人的手动操作就很难跟踪快速变化的情况,控制的目的也就很难实现。

二、自动控制

由于手动控制满足不了生产实际的需要,因此在本世纪的30年代,人们做了大量的关于自动控制的基础理论研究工作。到了40年代,根据自动控制理论,人们用一些设备,按一定的要求组合起来,对发电生产过程进行自动控制,收到了良好的效果。自动控制是在手动控制的基础上发展起来的,其基本原理存在于手动控制的过程中。因此,分析手动控

制过程,便可归纳出自动控制的基本原理。在手动控制过程中,运行人员通过眼睛观察被控对象的输出,这实际上直观的测量;运行人员把观测结果与给定值进行比较,然后决定执行必要的调整操作,即执行控制。可以看出,手动控制包含了三个基本环节:测量、比较和执行控制操作。因此,所谓自动控制,就是设法使生产过程的测量、比较和执行控制操作这三个环节能自动地进行。我们仍然以发电机输出电压的控制为例,说明如何使用一些设备来代替人所进行的测量、比较和执行控制操作这三个环节,从而完成发电机输出电压的自动控制任务的。发电机电压自动控制原理,如图1-2所示。图中被控制对象是发电机的输出电压 u ,电压的给定值 u_H 是按生产要求确定的,且仍然假定原动机的转速 ω 保持不变。

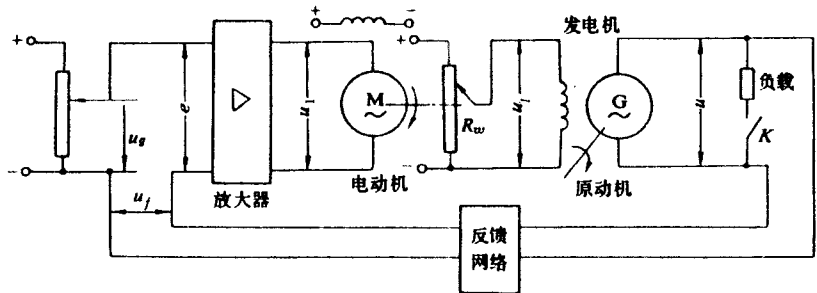


图 1-2 电压自动控制原理图

图1-2中,通过测量环节,取出与发电机输出电压 u 成比例的电压 u_f ,即 $u_f = f(u)$ 。发电机输出电压 u 由励磁电压 u_l 决定,而 u_l 受电动机转速的控制,电动机的转速又受 u_l 的控制, u_l 直接受 e 的控制。由图1-2可知,当 u_g 为给定值时,发电机的输出电压受 u_f 的控制。因此,在自动控制中的比较环节 $e = u_g - u_f$ 就与手动控制中的 $e = u_H - u$ 相当。通常, u_g 与 u_f 的差值 e 比较小,要经过放大器后才能推动直流电动机,因此电路中增设了电子放大器环节。本例中执行机构是直流电动机。放大后的电压 e 作为直流电动机的电源驱动直流电动机,与电动机轴相联的电位器滑臂跟着移动,改变可变电阻 R_w 的值,从而调节励磁电压 u_l 的大小,使发电机输出电压 u 趋近于 u_H 值。实质上是使与发电机电压 u 成正比的 u_f 趋近于给定值 u_g ,即使 $e = (u_g - u_f) \approx 0$,以实现发电机的输出电压 u 等于 u_H 。自动控制的工作过程是这样的:当 $u = u_H$,即 $e = (u_g - u_f) = 0$ 时,直流电动机不转动,励磁电压固定在某一定值上;当 $u > u_H$,即 $e < 0$ 时,经放大后的 e 使电动机转动,减少发电机的励磁电压 u_l ,即减少发电机的励磁电流,使发电机的输出电压 u 下降;当 $u < u_H$,即 $e > 0$ 时,经放大后的 e 使电动机朝另一个方向转动,增加发电机的励磁电压,即增加发电机的励磁电流,使发电机的输出电压 u 升高并趋近额定值 u_H 。整个控制过程自动完成,如图1-3所示。

比较图1-2和图1-3可以清楚地看出,这里所说的自动控制,实质上是模拟式自动控制,即从输出连续量 u 中取出相应的连续量 u_f ,不断地和给定值 u_g 作比较,根据比较的结果进行控制。

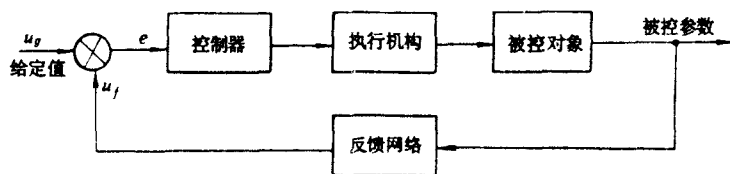


图 1-3 闭环自动控制系统框图

三、计算机控制

模拟式自动控制，实际上是发电机输出电压的定值控制。定值控制的值是预先设定的，在整个运行过程中，这个定值是固定不变的。这种控制的缺点是，发电机组的运行不能随外部负荷的变化而变化，而实际上发电机组的负荷不可能不变化。为了适应实际情况，机组的控制必需是可变的，应能在最短的时间内改变控制定值。显然，只有计算机控制才能完成这个任务。

具有计算机的自动控制系统，称为计算机控制系统，如图1-4所示。

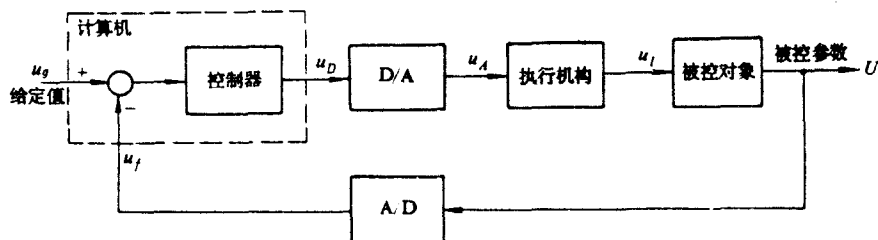


图 1-4 计算机控制系统框图

比较图1-3和图1-4可以看出，计算机控制有如下两个特点：

- (1) 自动控制中的控制器被计算机代替；
- (2) 信号输入由模拟量改为数字量。

由于数字计算机只能识别数字信号，因此，给定值 u_g 必须是二进制数码，与发电机电压 u 成比例的 u_g 是模拟量，也必须经过 A/D 变换成为二进制数，也就是说，在计算机的输入端的输入信号 u_g 及 u_f 必须是相应的二进制数。在计算机的输出端，又要设置将数字信号转换成模拟信号的 D/A 转换器，因为计算机输出是数字信号，而控制设备的动作需要用模拟量去推动。我们仍然以发电机输出电压的自动控制为例，说明计算机的控制过程。

由图1-4可以看出，发电机的输出电压 u 经反馈网络取得相应的电压 u_f ，经过 A/D 转换器转换后，变成相应的数字信号，与给定值的数字信号 u_g 一起送入计算机。在计算机内，由预先编好的程序实行 $e = u_g - u_f$ 的运算。然后，计算机的程序对误差 e 值进行分析、判断和处理，输出控制数字信号 u_D ，D/A 转换器将数字信号 u_D 转换成为相应的模拟信号 u_A ， u_A 经放大器放大后去控制直流电动机，由电动机的转轴带动电位器的滑臂去改变发电机的励磁电压 u_l 。控制系统总力图使差值 e 趋于零，从而实现输出电压 u 趋近于给定额定电压 u_H 。十分明显，对反馈电压 u_f 的处理，对差值 $e = u_g - u_f$ 的处理，都是由计算机完成的。人们充分地利用计算机强大的计算能力、逻辑判断能力和记忆能力，因此大大地提高了控

制系统的控制质量。在自动控制系统中，如果要更改控制规律，就需要购置和改装一批设备，费用高，周期长，有时甚至不可能进行更改；而在计算机控制系统中，要更改控制规律，往往只需要更改有关程序就可以了，即便要改变某些硬件电路也是比较容易做到的。

四、计算机控制的发展概况

第一台数字电子计算机于1946年正式投入运行。开始，计算机只用于军事领域。第二次世界大战后不久，人们就着手将计算机应用于非军事领域。从应用的情况来看，计算机应用于生产控制过程，大体上经历了试验阶段、实用和普及阶段以及分级控制阶段。1952年首先在化工生产中实现自动测量和数据处理。1954年开始用计算机进行开环控制，操作人员可以根据计算机的分析结果进行参数的调节控制。1958年工业上第一台闭环计算机在化工生产中投入运行，水电站的计算机闭环定值控制也在这一年实现。1966年开始进行计算机对生产过程最优控制的研究试验。1974年美国在哥伦比亚河梯级电站的大古力水电站实现闭环控制。大古力水电站现在装机容量为600万kW，是世界上第一个实现闭环控制的最大的水电站，尽管它的控制系统存在许多不足，直到现在还在不断地进行改进，但它是水电站计算机控制发展史上的一个重要里程碑。水电站早期的计算机控制都是集中控制，即用一台计算机对水电站进行全面的监测和控制，但由于当时计算机的价格昂贵，可靠性也差一些，因此，计算机控制的发展还是比较缓慢的。70年代以后，由于小型计算机及微型计算机的功能大大扩展，价格也比较便宜，同时可靠性有了进一步的提高，使计算机控制技术在化工、机械、纺织、航天、交通、冶金、水电站等各行各业中，得到了广泛的应用。

我国的水电站计算机控制起步于70年代初期。70年代中期，首先在新安江水电站用计算机对水轮发电机组进行开机监测。最早实现计算机闭环控制的是广东省流溪河水电站。目前，国内一大批小型水电站正在蓬勃地开展计算机控制的试验工作。一些大中型水电站，如葛洲坝水电站、富春江水电站已经实现计算机监测，部分地实行监控。一些梯级水电站也正在进行梯级联合控制，如东北的浑江梯级电站、永定河水电站梯级以及猫跳河水电站梯级等。同时，在控制方式上也有了很大的发展，除了在电站级采用计算机控制以外，机组级的计算机控制研制工作也积极开展起来。1984年微机同步并网装置研制成功，并投入现场运行。微机调速器和微机励磁调节器也相继研制成功，并且分别在湖南省欧阳海水电站和福建省池潭水电站投入试运行。

从世界的范围来看，水电站的计算机控制技术正在蓬勃发展，但还处于不断更新、变化的阶段，水电站计算机控制还没有形成典型的控制系统。各国的水电站控制系统很少是完全相同的。有些国家正在进行水电站控制系统的标准化工作，但目前还没有取得突破性进展；这项工作只是在较小的水电站及机组一级进行。在我国，水电站计算机控制技术已有了相当的发展，但可以说还只是刚刚开始，还要做大量的研究和实践工作。

第二节 计算机控制系统的基本组成

水电站的发电过程是连续进行的，因此，水电站的计算机控制系统必定是实时的控制

系统。水电站计算机控制系统基本上由硬件系统和软件系统两部分组成。

一、硬件系统

水电站的计算机控制，不论是用大中型计算机还是用微型计算机，它的硬件系统一般由主机、模拟量输入输出通道、开关量输入输出通道、接口电路、系统总线、外部设备、自动化仪表、运行操作台及通讯设备等部分组成，系统的框图，如图1-5所示。

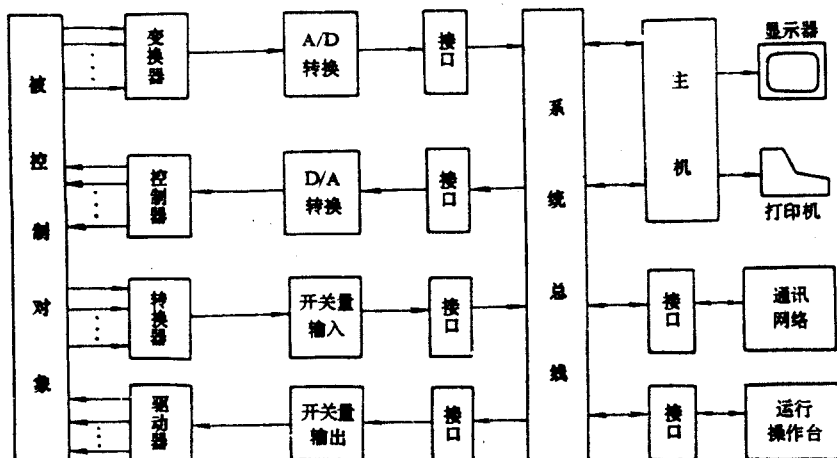


图 1-5 计算机控制系统硬件框图

系统各部分的功能介绍如下。

1. 主机

主机由运算器、控制器和内存贮器三部分组成，是计算机控制系统的核心。主机的任务是完成程序的存贮，并根据人们事先安排好的程序自动地对水电站的运行信息进行计算、分析，作出相应的控制决策，以信息的形式通过输出通道向被控制对象发出控制命令。主机中的控制程序和控制数据，是人们根据水电站的运行规律先行设计好的。

2. 输入输出通道

输入输出通道有时也称为过程通道。过程通道包括模拟量的输入与输出通道，开关量的输入与输出通道，它们是主机与被控对象相互联系的桥梁。水电站运行过程中的各种电量、非电量及开关量都通过输入通道送入计算机，而计算机的各种控制信息，则又通过输出通道传送给被控对象。

在输入输出通道中的检测变送单元和控制器归属于自动控制仪表。作为计算机控制系统的设计人员，对这些单元应该具备选用的知识。

3. 接口电路

在微型计算机原理中已经知道，接口电路主要有并行接口、串行接口及管理接口等三种。接口电路是主机与外部设备、过程通道互相联系的纽带。主机不能对外部设备、输入输出通道进行直接的控制，需要通过接口电路来传送有关信息和命令。

4. 系统总线

计算机的总线有单总线、双总线及多总线等形式。系统总线把计算机硬件的各部分有

机地联系在一起,使整个计算机系统有序、高效率地投入运行。

5. 外部设备

外部设备一般指输入设备、输出设备及外存储器等设备。常用的输入设备有键盘、光电输入机等,输入设备是用来输入程序和数据的。输出设备主要有打印机、记录仪、显示器等,它们的作用是把主机输出的二进制数据变换成为人们熟悉的十进制数据、曲线及字符等,使运行人员能及时地了解生产过程。外存储器有磁带、磁盘等,它们的功用是存储程序及有关数据。外部设备如何配备,应根据所控制系统的大小和要求来决定。

6. 运行操作台

运行操作台是运行人员与计算机控制系统进行联络、“对话”的工具。运行人员对控制参数的修改,控制命令的发出,对事故的处理,以及对整个生产过程的随时了解,都要通过运行操作台来实现。因此,运行操作台必须设置各种功能键、数字键及显示屏幕,以便运行人员能方便地了解生产情况,及时地执行必要的控制操作。

7. 通讯设备

通讯网络由各种通讯设备组成,它的作用是和上一级计算机系统进行通讯。它既可以接受上一级计算机系统下达的各种命令和信息,也可以向上一级计算机系统发送本网站的有关信息。

二、软件系统

软件系统包括系统软件和应用软件两大部分。很明显,如果只有硬件系统,计算机是无法运行的,只有配备合适的软件,计算机才能发挥它的各种功能。

系统软件由计算机制造厂家提供,即一台计算机的型号一旦确定,厂家便把系统软件备好,并使之成为主机的一个组成部分。系统软件一般包括程序设计系统、诊断程序和操作系统等三个部分。程序设计系统是为用户进行程序编制而提供的工具程序,例如编译程序等,它的作用是把用户输入的源程序翻译成为目标程序。诊断程序是为计算机的调试、查错和故障修复而提供的工具程序。操作系统是对计算机的监控系统进行管理调度的程序。系统软件由厂家连同计算机一起提供给用户,用户只需会使用即可。

对用户来说,最重要的是应用软件。应用软件是用户自己设计和编写的,厂家不提供应用软件。应用软件随着被控对象的不同而不同,因此,设计人员必须根据具体的控制对象的运行规律以及控制要求,自行设计应用软件。应用软件主要包括过程监视程序、过程控制程序及公共应用程序。过程监视程序包括数据巡回检测程序、数据处理程序、越限报警程序以及控制台服务程序等;过程控制程序包括描写生产过程及实现控制的各种程序;公共应用程序包括服务子程序和制表打印等程序。

第三节 水电站计算机控制的主要任务

一、水库的经济运行

计算机要对库区的雨量和水位资料进行计算,给出短期的水文预报;有条件的时候,还要根据水情测报系统提供的资料,进行长期的水文预报。根据这两项预报,计算出24 h

的流量过程线，在给定的负荷调整范围内，由计算机给出24h的负荷运行建议，供调度人员选用；更长时间的流量过程线，可以进行更长时间内的调度预报。这些工作是水电站经济运行的基础，也是合理利用水能资源所必须进行的工作。

二、最优发电控制

计算机对水电站的控制，最直接的目的就是进行最优的发电控制。控制的主要目的如下：

(1) 根据电力系统对水电站有功功率的需要，调节水轮机导叶的开度，输入所需的水量。

(2) 保证机组的最优配合和负荷的最优分配。当水电站接受上一级调度下达的发电任务之后，水电站运行人员必须根据本电站的机组数、各机组的技术性能，进行合理的组合，使各机组发挥最高的效率，使整个电站以最小的耗水量发出最多的电能。为了达到这个目的，必须制定合理的数学计算模型，由计算机进行计算，将各种可能运行组合的结果进行比较，筛选出最优方案。

(3) 保证水电站的电压质量及无功功率的合理分配。这项工作，由运行人员根据电力系统对本电站的要求，给计算机输入控制电站母线电压的上下限值，将无功功率分配给各发电机组。

三、安全监视

安全监视包括大坝的安全监测、水库防洪监测和对运行设备的监视等内容。

1. 大坝安全监测

大坝安全监测是对水电站大坝、厂房、溢洪道、船闸等水工建筑物的监测，包括对大坝的位移、温度、应力、渗漏等参数的测量和显示。大坝的安全与否，影响十分重大，大坝的监测工作十分重要，过去在这方面做了不少工作，但总的来说，工作做得相当不系统、不全面。现在，微型计算机进入了控制领域，为做好这方面的工作提供了很有利的条件。

2. 水库防洪监测

水库防洪是涉及到水电站建筑物的安全和下游人民生命财产安全的重大问题。一个完整的水电站计算机控制系统，应该具有预报这部分功能，即应该设置水文预报系统。一般情况下，该预报系统可以根据水情测报系统提供的水文资料进行水力资源的计算，为运行人员提供决策资料；而在洪水季节，则应根据各方面送来的水文资料进行洪水预报，进行洪水调度计算，进行溢洪闸门的开启计算，等等。

3. 对运行设备的监视

目前，这方面的工作做得比较多。人们利用计算机对水电站运行中的发电机、水轮机及一些辅助设备的各项参数进行巡回检测，当发现这些设备的有关参数超过规定的上、下限值时，计算机便发出越限警报。对某些重要设备的关键参数，可以设置趋势记录，一旦发现有异常趋势，计算机便发出相应的警告，运行人员可以及时采取措施，防患于未然。

四、自动控制

水电站水轮发电机组的开停、发电、调相状态的转换，发电机的并列运行，机组有功功率及无功功率的调节，进水闸门开闭以及开度的调节等，都可以通过计算机发出有关命

令而自动执行。此外，诸如对梯级电站的经济运行，电力系统的稳定控制，最佳励磁的控制，等等，都可以由计算机来完成。

五、自动处理事故

水电站出现的事故往往是突然的，时间很短促，运行人员很难对事故的性质作出准确的分析判断。在没有计算机控制时，对事故的判断和处理，在很大程度上取决于值班人员的经验。在设置了计算机监控系统后，计算机便对水电站的设备进行在线监视，对运行设备的各种参数进行记录和存贮，一旦发生事故，计算机便对事故进行分析，然后再执行有关的事故处理程序，使事故得到及时的处理，同时还记录了事故的性质、发生的时间和地点。

第四节 计算机控制的发展趋势

本世纪50~70年代，由于计算机价格昂贵，工业企业及水电站的计算机控制多采用集中控制方式，即用一台计算机对整个企业或整个电站进行控制，以便降低控制系统的成本。集中控制的最大缺点在于计算机一旦出故障，对整体的影响十分严重。70年代以后，微型计算机开始问世，由于它的功能齐全，运算速度很快，性能可靠，价格便宜，深受人们的欢迎，很快被应用于各行各业，使计算机控制技术得到了迅速的发展。控制方式也由过去的集中控制改变为分散控制，即把计算机分散到生产中去，实现一个车间、一台机组的局部控制，然后再用中型的计算机来统一控制这些微型计算机。这样，使过程控制更合理、更有效，并且当计算机发生故障时，对生产过程的影响只是局部的。分散控制对水电站也十分有利，对于地理上分散的梯级电站，可以用多台微型计算机对各个水电站进行分散控制，然后用数据通讯线把它们连接起来，实现信息交换和必要的统一控制。

水电站的控制不是孤立的，它受电力系统和水库容量的制约。要使水电站实现以最小的耗水量，发出满足电力系统要求的电压、频率、有功功率和无功功率，其控制过程是十分复杂的。为了实现这一目的，必须对计算机控制的结构和控制方式进行更深入的研究。

从控制系统的结构来看，可以分为四层：直接控制层，最优化控制层，自适应控制层和自组织层。直接控制层是直接对被控对象进行控制，主要工作是设定控制值，然后去组织控制过程，使被控制对象的被控制量达到设定值；最优化控制层是控制直接控制层的，它根据被控制对象的运行规律写出性能函数，作为寻找直接控制层给定值的依据，计算机则对性能函数进行最优化计算，最后把最优的定值送给直接控制层，作为最优控制的给定值；自适应控制层则是根据被控制对象的内部信息和运行人员的控制信息，确定最优化控制层的性能函数和优化定值；自组织层则是根据控制的整体目标来确定控制系统的结构。目前，在直接控制层和最优化控制层上取得了比较明显的成果，其它层次的研究工作也在积极进行。

第二章 水电站非电量及电量的检测

第一节 概 述

在水电站计算机控制过程中,需要检测的物理参数通常有两大类。一类是与水电站运行有关的非电量,例如水位、油位、流量、压力、位移、应力、转速、导叶开度、湿度、噪声等。另一类是与发电有关的电量,例如电压、电流、有功功率、无功功率、频率、相位、功率因数等。对于非电量的检测,一般都需要先把非电量转换成为相应的电信号,经过模—数变换后再送给计算机进行处理。对于电量,也要将它们变换成标准的电量值,然后再进行模—数转换,再送给计算机进行处理。电量的检测过程比较容易,检测技术比较成熟,有不少成品可以直接采用。非电量的检测,相对来说困难一些,通常都要借助传感器才能把非电量转换成相应的电量。水电站计算机控制要求对电站的有关非电量及电量进行连续的测量,以便把反映水电站运行状况的各种参数及时测量出来,由计算机及时地进行计算、分析,并显示给运行人员,使运行人员能及时地对水电站运行情况进行调节控制;同时,计算机还将检测结果通过计算机通讯网络传送到上一级控制系统。水电站非电量及电量的检测,对水电站的安全经济运行有着十分重要的意义。本章就水电站的非电量及电量检测的有关问题进行介绍。

第二节 传 感 器

一、传感器的作用

要对水电站进行计算机控制,必须将有关的非电量的物理量变成相应的电信号。例如为了监控和控制水轮发电机组的运行,需要借助传感器把与水轮发电机组有关的导叶开度、流量、转速、轴承温度、蜗壳水压力、振动等非电量转换成为相应的电信号,再把这些电信号转换为相应的二进制代码,然后送入计算机,计算机才能对这些信号进行分析处理。可见,传感器在计算机控制中是一种不可缺少的部件。所谓传感器,就是一种把非电量转换成为电量的装置。传感器在工程中有时被称为变送器,例如温度传感器也称为温度变送器,压力传感器也称为压力变送器,等等。

二、传感器的基本组成

一般来说,传感器由三部分组成:预变换器、变换器、电子放大处理电路。

1. 预变换器

预变换器又称为敏感元件。传感器之所以要设置敏感元件,是因为在非电信号向电信号转换过程中,并不是所有的非电信号都可以直接转换为电信号,往往要经过一个中间转换,即首先将被测的非电信号预先变成另一种便于转换为电量的信号,然后再借助其它设备把这个非电信号变换成为电信号。例如压力传感器,它首先把压力转变成为位移,然

再再利用位移转变成电信号,电容压力传感器就是根据这个原理制造的。需要指出的是,并不是所有的传感器都需要设置预变换器,有些被测的非电量也能直接变成电量,例如热电偶,它可以将温度的变化直接变成电压,测量这种非电量的传感器,就不需要设置预变换器了。

2. 变换器

变换器又称变换元件,这是传感器中不可缺少的组成部分,它能将感受到的非电量直接变换成为电信号。例如利用变换元件的位移直接推动电位器的滑动臂而输出相应的电压,构成位移电阻式传感器;又如可以直接把温度的变化转换成为电信号的热电偶元件,等等。

3. 放大处理电路

从传感器的变换元件检测出来的电信号,一般来说是很微弱的,不能直接使用,需要经过电子放大电路的放大和处理之后才能使用。因此,不论是哪一类传感器,它们的输出端都要有放大电路和处理电路。采用什么样的电子放大处理电路,由被测的非电量的类型和传感器的输出要求所决定。

三、传感器的分类

了解传感器的分类,将帮助我们从总体上认识和选用传感器。传感器分类的办法很多,常见的有下面两种。

1. 按输入的物理量分类

按输入的物理量分类是从使用的角度进行划分的。对工程技术人员来说,最重要的是要了解输入的是什么物理量,要求输出的是什么电信号,选择什么传感器才能满足工程上的要求。因此,按输入的物理量命名传感器是容易被接受的。水电站中,常常需要测量液位、流量、温度、压力、速度、转速等物理量,因而把这些非电量的转换装置分别称为位移传感器、液位传感器、流量传感器、温度传感器、压力传感器就是十分自然的了。

2. 按工作原理分类

按照传感器敏感元件将非电量转换为电量的原理,传感器可以分为电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器、压电式传感器、热电式传感器、光电式传感器,等等。例如位移与电信号之间的转换,可以利用位移去改变电位器的滑臂,使输出的电压与位移值相对应,这样的传感器,就是电阻式传感器,而将压力变成相应的电信号,可以利用压力去改变电容器两极板的距离,两极板的距离改变,电容器的电容量就改变,输出电压也就跟着改变,即输出电压随压力的变化而变化,这种传感器,就是电容式传感器,等等。

3. 水电站常用的传感器

(1) 电阻式传感器。这种传感器多用于液位测量。它的工作原理是把液位的直线位移转变成与电位器相连的连杆的移动,从而改变电位器的电阻值,使输出的电压与液位的变化成比例,即把液位的变化变换为电压的变化。

(2) 热电阻式传感器。这种传感器可以用来测量温度或流量。它是利用铂、铜这类物质受热后,其电阻值的变化与温度呈线性关系的特点,制成温度敏感元件。利用这种元件可以制成热电阻温度变送器,用来测量温度。还可以利用这种元件制成热电阻式流量传

感器，其基本原理是：将热电阻放在被测流量的管道中的适当位置，利用热电阻上热量的耗散与液体流速的关系，来实现对流量的测量。

(3) 电感式传感器。这种传感器便于远距离的水位测量、油位测量，也可以用于压力测量。这种传感器一般由一个可动衔铁、一个带铁芯的线圈组成。可动衔铁受液位或压力的控制。当液位或压力发生变化时，改变了衔铁与带铁芯线圈的距离，从而引起线圈电感的变化，电感的变化又进一步引起线圈中电压的变化。因而只要找出位移的变化与线圈中电压变化的关系，便可实现非电量向电量的变换。

(4) 电容式传感器。这种传感器可以用于压力、位移、角度、加速度、荷重等非电量的测量。它的工作原理是：利用上述这些非电量去改变电容器两极板的距离 d ，使电容器的电容量 $C \left(C = \frac{\epsilon A}{d} \right)$ 发生变化，进而使电容器上的电压发生变化，这样，便将上述非电量的变化转变成为电量的变化，实现对非电量的测量。

(5) 霍尔式传感器。这种传感器可以用来测量磁感应强度、有功功率、无功功率、电能、相位以及位移、压力等。霍尔传感器是利用霍尔效应制成的。所谓霍尔效应，就是一块通有电流的半导体，在外磁场作用下，半导体中的载流子受洛伦兹力的作用，这块半导体两侧因异性电荷的积累而形成电位差 U_H 。霍尔传感器就利用这一效应制成。霍尔传感器通常有两个线圈，其中一个线圈给半导体块通入电流；另一个线圈形成磁场，这个线圈的电流受被测非电量的控制，非电量的改变，使外磁场也发生改变，半导体中载流子在半导体两侧的积累也发生改变，测量半导体两侧的电位差值，就能反映相应的非电量值。例如利用负载线路的电压去控制半导体块中的电流，利用负载线路的电流去形成外磁场，就可以制成霍尔式有功功率传感器和无功功率传感器；而利用压力去控制外磁场强度，给半导体通入某一定值电流，找出霍尔电位差 U_H 与压力的关系，就可以制成霍尔式压力传感器，等等。霍尔式传感器是一种很有发展前途的传感器。

(6) 热电式传感器。这种传感器多用于温度测量。它是利用传感元件的接触电势与温差电势随温度的变化而变化的特点来测量温度的。热电偶传感器是这种传感器的典型代表。

第三节 转 换 器

这里讲的转换器是指模拟电流与模拟电压之间的相互转换，模拟信号与数字信号之间的转换，以及开关量与数字量之间的转换。

在实际的检测中，有的传感器是输出电流，有的是输出电压。在执行元件中，有的需要加上电压才能工作，有的则需要通入电流才能工作。因此，就存在电流信号与电压信号的相互转换问题。模拟转换器是一种把某种模拟信号线性地变换成为另一种模拟信号的装置，例如电流—电压转换器可以将 $(0 \sim 10) \text{ mA}$ 的直流电流转换为 $(0 \sim 5) \text{ V}$ 的直流电压，或者把 $(4 \sim 20) \text{ mA}$ 的直流电流转换为 $(0 \sim 10) \text{ V}$ 的直流电压；而电压—电流转换器则相反，可以将 $(0 \sim 10) \text{ V}$ 或 $(0 \sim 5) \text{ V}$ 的直流电压转换为 $(4 \sim 20) \text{ mA}$ 或 $(0 \sim 10) \text{ mA}$