



高等学校教材

电子信息系列

水轮 发电机组PCC控制

南海鹏 编 著

*Electronic
Information*

西北工业大学出版社



水轮发电机组 PCC 控制

南海鹏 编著

西北工业大学出版社

【内容简介】近年来,数字式调速器和励磁调节器已经成为控制水轮发电机组的主流产品。本书主要讨论了基于可编程计算机控制器(PCC)的数字式调速器和励磁调节器的原理和实现,并对 PCC 的软硬件进行了介绍。

全书共分 6 章。第一章阐述水轮发电机组控制的任务、发展及特点;第二章介绍 PCC 的工作原理及典型模块;第三章为 PCC 程序编写的基础知识及其时间处理单元功能模块的应用;第四章详细介绍步进式 PCC 调速器的工作原理;第五章主要分析水轮机调节系统的稳定性及最优参数整定方法;第六章简明介绍 PCC 励磁调节器的工作原理、运行方式及试验方法。

本书可作为水利水电工程学科研究生教材及动力工程和电力自动化专业的本科生选修教材,也可供从事相关工作的工程技术人员学习使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

水轮发电机组 PCC 控制/南海鹏编著. —西安:西北工业大学出版社,2002.8
ISBN 7-5612-1529-0

I. 水… II. 南… III. 可编程序控制器—应用—水轮发电机—控制系统
IV. TM312.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 039507 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号,邮编:710072,电话:029-8493844

网 址:<http://www.nwpup.com>

印刷者:陕西天元印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm

印 张:9.5

字 数:226 千字

版 次:2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~2 000

定 价:20.00 元

前 言

随着微电子技术、液压控制技术和电力电子技术的迅速发展,水轮发电机组的控制技术也取得了长足的进步,特别是作为水轮发电机组的控制核心的水轮机调速器和发电机励磁装置的调节器,无论从调节器硬件,还是控制规律都得到了较大的发展。

西安理工大学从 1987 年就开始水轮发电机组控制设备的开发和研制,先后在全国率先研制成功步进式集成电路电液调速器、步进式 PCC 调速器和 PCC 励磁调节器,并获得多项国家专利。目前,水电站已普遍采用微机调速器及微机励磁装置,特别是西安理工大学步进式 PCC 调速器和 PCC 励磁调节器的推出,更成为近年水轮发电机组控制领域的热门,为适应水轮发电机组控制的教学、生产和应用的需要,特编写本书。

全书共分 6 章。第一章阐述水轮发电机组控制的任务、发展及特点;第二章介绍 PCC 的工作原理及典型模块;第三章为 PCC 程序编写的基础知识及其时间处理单元功能模块的应用;第四章详细介绍步进式 PCC 调速器的工作原理;第五章主要分析水轮机调节系统的稳定性及最优参数整定方法;第六章简明介绍 PCC 励磁调节器的工作原理、运行方式及试验方法。

本书的撰写得到西安理工大学水电学院罗兴铨教授的鼓励和支持。在撰写过程中,得到了西安理工大学王德意、王涛、余向阳、贾嵘以及贝加莱工业自动化公司西安办事处余克祥、张文东、金晓阳等同志的积极帮助,在此表示衷心感谢。同时,也感谢所有支持本书出版的单位和个人。

在编著本书过程中,作者参阅并引用了大量文献与研究成果,在此谨向有关作者和专家学者表示衷心的感谢。限于作者水平,书中错误和不当之处在所难免,诚请批评指正。

编著者

2002 年 3 月

目 录

第一章 绪论.....	1
第一节 水轮发电机组控制的任务.....	1
第二节 水轮发电机组控制的现状及发展趋势.....	5
第二章 可编程计算机控制器(PCC)硬件概论	11
第一节 可编程计算机控制器的组成及其各部分的功能	11
第二节 可编程计算机控制器的工作过程	15
第三节 B&R 2000 PCC 的硬件	19
第四节 常用 I/O 模块	21
第五节 时间处理器单元	29
第六节 系统配置	31
第三章 编程系统与程序开发	34
第一节 概述	34
第二节 操作系统与 I/O(输入/输出)处理	35
第三节 编程语言	43
第四节 功能块 FBK(Funtion Block)	53
第五节 程序结构(Program Structure)	58
第六节 时间处理器单元(TPU)	59
第四章 步进式 PCC 调速器	69
第一节 微机调速器的基本原理	69
第二节 微机 PID 调节器中“饱和”作用的抑制	75
第三节 步进式电液随动系统	79
第四节 PCC 测频测相原理	87
第五节 基于 PCC 的微机调速器的硬件和软件	89

第五章 水轮机调节系统动态特性及参数整定 95

 第一节 调节系统的数学模型 95

 第二节 水轮机调节系统稳定性分析..... 102

 第三节 水轮机调节系统最佳参数的整定..... 110

第六章 PCC 励磁调节器 121

 第一节 PCC 励磁调节器的总体结构 121

 第二节 励磁调节器控制算法..... 124

 第三节 移相触发单元..... 128

 第四节 PCC 励磁调节器运行方式及相互切换 132

 第五节 调整试验..... 136

 参考文献..... 145

第一章 绪 论

第一节 水轮发电机组控制的任务

水轮发电机组能够把水能转换成电能,并将其送入电网供用户使用。用户除要求供电安全可靠外,还要求电能的频率和电压保持在额定值附近的某一范围内,如频率和电压偏离额定值过大,就会影响用户的产品质量甚至用户设备的安全。我国电力系统规定:频率应保持在 (50 ± 0.2) Hz 的范围内;电压应保持在额定电压的 $\pm 7\%$ 的范围内。

电力系统的电压和频率的稳定分别取决于系统内无功与有功功率的平衡。然而电力系统的负荷是不断变化的,存在着变化周期为几秒至几十分钟的负荷波动,其幅值可达系统容量的 $2\% \sim 3\%$,而且是不可预见的。电力系统负荷的不断变化必然导致系统频率与电压的变化,我国曾经发生过电网因为频率不稳或电压不稳造成电网崩溃,造成了巨大损失。因此,水轮发电机组控制的基本任务就是根据负荷的变化不断调节水轮发电机组的有功和无功功率输出,并维持机组转速(频率)与机端电压在规定的范围内。在水轮发电机组控制中,机组转速与机端电压的调节相对独立,且相互影响较小,因此可以分别对频率和电压进行控制,在水电厂,它们分别由水轮机调速器和发电机励磁调节器来完成。所以,水轮发电机组控制就是在水轮机调速器和发电机励磁调节器的共同作用下,维持水轮发电机组稳定运行,保证电力系统电能的质量和供电的连续性。

与其他的发电机组相比,水轮发电机组调节速度快,有功功率调整范围大,能够承担急剧变动的负荷,而且水轮发电机组退出运行,再度投入运行,发电改调相或调相转发电运行都很方便,操作简单迅速,易于自动化,耗费能量少,因此适于担当调频任务。

一、水轮机调速系统的主要任务

电力系统的频率稳定主要取决于系统内有功功率的平衡。水轮机调速系统的主要任务就是通过不断调整水轮发电机组的有功功率的输出,并维持机组转速(频率)在规定的范围内,来满足发电机正常发电及电力系统安全运行的需要。水轮发电机组运行状态与水轮机调速系统有着非常紧密的关系。一个良好的水轮机调速系统可以保证发电机组和电力系统的安全可靠,并且可以提高发电机组和电力系统的技术经济指标。水轮发电机组在正常运行时,主要分为单机带负荷运行和并网运行,根据其运行工况,调速系统的作用主要为:单机带负荷运行时,是调节系统的频率;在并网运行时,是调节有功功率,通过频率和有功功率的函数关系,达到控制频率的目的。

1. 控制频率

由于电力系统的负荷是时刻都在变化的,各种用电设备的启动与关闭都是随机事件,因此必然导致系统的频率发生变化。水轮发电机一般是三相交流同步电机,其频率 f 与转速 n 有着严格的关系式如下:

$$f = \frac{Pn}{60}$$

式中 P ——发电机磁极对数；

n ——转速, r/min；

f ——频率, Hz。

水轮发电机组转动部分是一个围绕固定轴线作旋转运动的刚性系统, 它的运动可由下述方程式描述。

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_t - M_g \quad (1-1)$$

式中 J ——机组转动部分惯性力矩；

ω ——角速度, $\omega = n\pi/30$ (n 为机组转速)；

M_t ——水轮机动力矩；

M_g ——发电机阻力矩。

当 $d\omega/dt=0$ 时, 机组转速与电能频率不变。但 M_g 是随时在变化的, 只有 $M_t - M_g = 0$ 时, 即 M_t 随时保持和 M_g 相等时才能维持转速不变。

由水轮机原理可知, 水轮机水力矩的表达式为

$$M_t = \frac{\rho Q H \eta_t}{\omega} \quad (1-2)$$

式中 ρ ——水的密度；

Q ——通过水轮机的流量；

H ——水轮机净水头；

η_t ——水轮机效率。

由式(1-2)可见, 通过调速器改变进入水轮机的流量 Q , 是改变水轮机动力矩 M_t 的最简单有效的途径。

根据负荷的变化, 不断地调节水轮发电机组的有功功率输出, 以维持机组频率(转速)在规定的范围内, 这就是水轮机调节的基本任务。具体的要求是, 当动力矩和阻力矩不相等, 转速(频率)出现偏差后, 通过调节作用使偏差快、稳、准地消除, 使机组在新的平衡状态下稳定运行。

2. 控制有功功率分配

控制有功功率分配就是根据需要将机组的有功功率保持在所需要的水平。并网后, 多数机组带基荷运行, 此时频率控制的作用相对降低, 主要为控制有功功率的输出。

由于机组的有功功率与电能频率关系密切, 因此需要研究有功功率和频率之间的关系。发电机组的频率随着有功功率变化的关系曲线称为静态调节特性, 如图 1-1 所示。在稳态运行时, 近似为一条稍许向下倾的直线。调节特性曲线的斜率为调差系数, 记为 e_p , 即

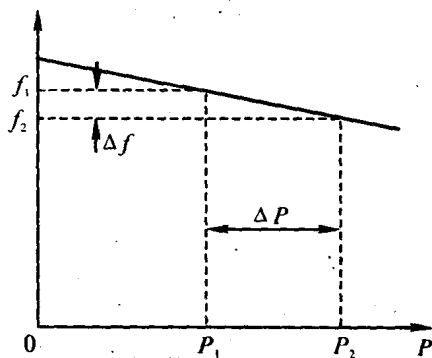


图 1-1 频率-有功功率特性

$$e_P = - \frac{d \frac{\Delta f}{f_r}}{d \frac{\Delta P}{P_r}} \quad (1-3)$$

式中 f_r ——系统的额定频率；

P_r ——发电机组的额定功率；

负号 ——发电机组输出功率的变化与频率的变化方向是相反的。

从发电机组的静特性可知,当一台或几台机组调节频率时还会引起机组间的变化。假设并网后系统中有 m 台机组,各台机组的调差系数分别为 $e_{P1}, e_{P2}, \dots, e_{Pm}$,系统负荷有功功率突然变化 ΔP ,相应系统频率变化 Δf ,则各发电机组的有功功率变化分别为

$$\begin{aligned} \Delta P_1 &= - \frac{1}{e_{P1}} \Delta f \frac{P_{r1}}{f_r} \\ \Delta P_2 &= - \frac{1}{e_{P2}} \Delta f \frac{P_{r2}}{f_r} \\ &\vdots \\ \Delta P_m &= - \frac{1}{e_{Pm}} \Delta f \frac{P_{rm}}{f_r} \end{aligned}$$

式中 $P_{r1}, P_{r2}, \dots, P_{rm}$ ——各机组额定功率；

f_r ——调整前系统的额定频率。

经过一次调整后,全系统的频率相同,但与原先的额定频率不同,即 $\Delta f \neq 0$,而各机组功率变化量的总和应等于负荷变化量 ΔP ,从上式可知,各机组的功率变化与系统的负荷变化量 ΔP 成正比,与机组自身的调差系数成反比,机组的调差系数可以人为设定。

如果上述调节完成后系统频率变化超出允许值时,需要进行频率的二次调节,即通过调整调频电厂的频率给定,使机组输出功率增量完全抵偿系统的负荷变化量 ΔP ,则系统频率就会恢复到额定值。

除了上述两个主要的作用外,它还有抑制电力系统低频振荡及对机组进行各种控制(如机组启动、停机、工况转换、增减负荷等)的作用。

二、励磁控制系统的主要任务

励磁调节器的主要任务就是向发电机的励磁绕组提供一个可调的直流电流(电压),以满足发电机正常发电和电力系统安全运行的需要。

无论在稳态运行还是在暂态运行过程中,同步发电机运行状态在很大程度上与励磁系统有关。对发电机的励磁系统进行调节和控制,不仅可以保证发电机及电力系统运行的可靠性、安全性和稳定性,而且可以提高发电机及电力系统的技术经济指标。励磁系统主要有以下几个作用。

1. 控制机端电压

在发电机正常运行的工况下,励磁系统应维持发电机机端电压(或主变压器高压侧)在给定水平。当发电机单独运行时,保持机端电压恒定是励磁控制中最基本的动作。当发电机负荷变化时,端电压随之变化,可由下面的向量方程表示

$$U_t = E_q - jIX_d \quad (1-4)$$

式中 E_q ——发电机空载电动势(励磁电动势);

U_t ——发电机端电压;

I ——发电机定子电流;

X_d ——发电机直轴电抗。

当发电机空载电动势恒定时,机端电压 U_t 随负荷电流 I 增大而降低;甩负荷时,负荷电流减少而使机端电压升高。要保证发电机机端电压 U_t 恒定,必须随发电机负荷电流 I 的增加(或减少)而增加(或减少)发电机的空载电动势 E_q 。而 E_q 是发电机励磁电流 I_L 的函数,若不考虑饱和,则 E_q 和 I_L 成正比。所以,当发电机负荷改变引起端电压改变时,需要通过励磁调节作用,自动增加或减少励磁电流,使发电机机端电压维持在给定水平。

2. 控制无功功率分配

当发电机并网运行时,它输出的无功功率和励磁电流有关。在实际运行中,改变励磁电流会使机端电压和无功功率都发生变化,但端电压变化较小,而输出的无功功率变化较大。控制并网运行的发电机的无功功率分配是励磁系统的一个重要功能。

无功功率在机组间的分配决定于各自的调差特性。发电机的调差特性是指发电机机端电压和无功电流的关系曲线,通常也是个有差特性曲线,与水轮机调速器特性曲线一样近似为一条直线,因此一般使用直线来代替,如图 1-2 所示,特性曲线的斜率为发电机的调差系数,记为 ζ 。用式子表示为

$$\zeta = \frac{d \frac{\Delta U_t}{U_{tr}}}{d \frac{\Delta I_Q}{I_{Qr}}} \quad (1-5)$$

式中 ΔU_t ——发电机端电压变化;

U_{tr} ——电机额定电压;

ΔI_Q ——无功电流变化;

I_{Qr} ——发电机额定无功电流。

电力系统中,多台发电机并列运行时,无功功率的分配决定于母线电压水平和其调差系数。假定两台发电机在母线上并列运行,调差系数分别为 ζ_1 和 ζ_2 。如果母线上的电压变化为 ΔU_t ,两台发电机的无功电流变化分别为

$$\Delta I_{Q1} = -\frac{1}{\rho_1} \Delta U_t \cdot \frac{I_{Qr1}}{U_{tr1}}$$

$$\Delta I_{Q2} = -\frac{1}{\rho_2} \Delta U_t \cdot \frac{I_{Qr2}}{U_{tr2}}$$

由上式可以看出,如果要改变发电机间的无功功率分配,可以设定调差系数,当机端电压发生变化时,无功功率的分布就发生变化。

3. 提高同步发电机并联运行的稳定性

在稳定性方面,分为稳态过程和暂态过程。稳态运行时,可以提高静稳定极限,抑制自动

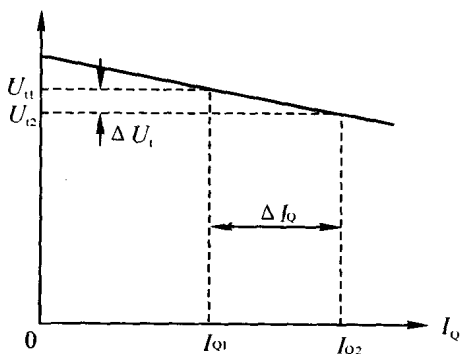


图 1-2 电压-无功电流特性

磁,增加充电线路的长度。暂态过程中,通过励磁调节器的各种限制和保护,可以提高暂态稳定性。

4. 其他方面的作用

除了上述三个主要方面的任务外,励磁系统还具有以下的作用。

(1) 提高继电保护动作的灵敏度:电力系统短路时,由于励磁系统的强励作用,增大了电力系统的短路电流,使继电保护,特别是带时限的继电保护的灵敏度得到了提高。

(2) 快速灭磁:当发电机或升压变压器内部发生故障时,要求快速灭磁,以降低故障所造成的损害。

(3) 提高系统电压稳定性和安全性,改善系统电压分布等。

我们从水轮发电机组控制的任務可以看出,水轮发电机组控制必须具有高度的可靠性和响应的快速性。在负荷波动时,要求调节性能好;在出现小震荡时,要求稳定性能好;在严重故障时,要求迅速消除故障,维持暂态稳定。因此在设计水轮发电机组控制系统时,必须综合各方面的要求,进行综合考虑。

第二节 水轮发电机组控制的现状及发展趋势

随着科技的发展,水轮机调速器和水轮发电机励磁调节器都经过了飞速发展,均经历了从模拟电路到集成电路再到计算机控制的过程。它们的发展相互影响,但又具有一定的独立性。下面分别介绍调速器和励磁系统发展的情况。

一、水轮机调速器的现状及发展趋势

1. 概述

水轮机调节系统是一个典型的高阶、时变、非最小相位、参数随工况点改变而变化的非线性系统。水轮机调速器在水电厂的应用已有很长的历史。早期的水轮机调速器是利用测速元件直接操作水轮机执行机构的直接作用式小型调速器。随着技术的进步,19世纪末出现了用液压元件进行功率放大的液压调速器,至20世纪30年代,已有相当完善的机械液压型调速器。随着电子及液压技术的进步,20世纪40年代出现了电气液压型调速器。电气液压调速器发展初期,仅以电气环节替代一些机械环节,随着电子调节器型调速器的出现,电液调速器才有了独立模式,同以前相比,构成调速器的各个环节均得到了改善和发展。从采用的元器件方面,其发展经历了电子管、晶体管和集成电路等发展阶段。从调节规律方面,从PI调节发展到PID调节。

随着计算机技术的发展,计算机在水电厂的应用越来越广。20世纪80年代以来,世界上先进国家都在研究微机调速器,目前已有大批微机调速器投入使用。在调节规律方面,从常规PID调频、有级变参数PID发展到连续变参数适应式PID、智能控制、自适应控制、最优PID控制以及预测控制和模糊控制等新型控制规律。

由于控制策略的灵活性和程序的方便性,现代调速器扩展了许多附加功能,有些功能是机调难以实现的。例如,在并网运行时,并不希望每台机组都要在频率变化较小时就参加功率调整,而是把大部分机组固定在基本负荷区运行。调速器中加入人工失灵区功能就是使频率变化较小(在 ± 0.5 Hz内)时,没有调节动作,超过人工失灵区时,才参与功率调节。为了防止

机组在低效区运行,当导叶达到一定开度时,电气装置部分不再输出使导叶开启的信号,但不妨碍输出关机信号,即限开不限关,起到调速机械式开度限制的作用,而且可扩展为按水头限有功功率的功能。在机组启动、并网过程中,将网频作为调速器频率的给定基准值,当待并网机组的频率达到网频值时,调节动作停止,结合启动开度的适当整定,能加速自动准同期的过程。另外,微机调速器还设置为跟踪功率给定,采用功率反馈、成组调节等功能。随着对水力发电机组的深入研究,微机调速器的功能将更强大。

电液随动系统是水轮机调速器的执行机构,一般采用油压操作,以发挥液压控制快响应、高精度和大功率的特点。电液转换器是油质清洁度的敏感元件,通常采用电液伺服阀,但是易出现阀芯卡涩和油路堵塞情况,且漏油量大。近年来先后研制出了双锥式、环喷式电液转换器和步进式电液伺服阀,以及数字阀和插装阀并联式电液随动系统,其特点是抗油污能力强,稳态精度高,且易于同计算机直接相连,构成全数字式调速器。而以步进电机取代电液转换器,其定位精度大大提高。尤其是步进电机式引导阀的控制信号为数字量,简化了液压随动装置与微机调节器的接口,使调速器整机简单可靠。

PLC 步进式微机调速器是我国目前较先进可靠的调速器,其测频单元已可直接用 PLC 测频板测频,但目前使用的 PLC 调速器大多数测频单元仍采用单片机或数字电路来实现,其频率响应较低,接力器不动时间较一般微机调速器稍大。最突出的表现是在空载频率跟踪、甩负荷指标等方面存在不足,这将制约着其在大型、特别是巨型机组中的应用。目前,新出现的 PCC 就是 PLC 的升级产品。以 PCC 为基础的调速器产品已经投入运行,并取得了良好的效果。因此,随着 PCC 的发展以及性能价格比的提高,高可靠性、高性能指标的 PCC 微机调速器将是今后调速器发展的方向。提高电液随动系统的运行可靠性和油压等级,实现液压集成化,将是水轮机调速器电液随动系统的新趋势。

微机调速器与机械液压调速器和模拟式电液调速器相比,具有以下优点:

(1) 便于采用先进的控制技术:如可以实现前馈控制、预测控制、自适应控制、神经元控制和模糊控制等,从而保证水轮机调节系统具有良好的调节特性。

(2) 实现功能灵活方便,不需增加或改动太多硬件,甚至不需要变动硬件,就可以方便地增加新的功能。

(3) 硬件集成度高,体积小,维护方便,可靠性高。

(4) 便于与监控系统相连接,实现全厂的综合控制,提高全厂的自动化水平,满足无人值班、少人值守的要求。

2. 微机调速器国内外发展现状

近 10 多年来,世界各国都先后将微机控制技术引入到水轮机调节领域中,不少公司和研究单位都在研究和开发水轮发电机组的微机调速器,并进行了卓有成效的工作,形成了一系列产品。

我国调速行业从事微机调速器的研制与开发的步伐与国外大体一致。华中理工大学于 1981 年底开始微机调速器的研制,从 1982 年起,与天津水电控制设备厂协作,并于 1984 年 11 月成功研制了我国第一台微机调速器,它采用适应式变参数 PID 调节规律,设有实时监控软件,可实现机旁实时监控和远方控制,设置了诊断、防错和保持措施;而且还能实现频率跟踪,快速并网。已在湖南欧阳海水电站投入运行,并于 1985 年 4 月通过部级鉴定。

1989 年,长江控制设备研究所推出了 WDST-G 型双微机调速器,它采用双微机系统,具

有容错功能;采用频率-相角复合控制技术,可实现快速自动准同期;采用 STD 总线,便于扩展和标准化。

1990 年,电力部南京自动化研究所推出双微机调速器 SJ—721A,该产品获 1992 年部级科技进步应用成果一等奖;同时在 1993 年度被国家科委评定为国家级重点新产品,认为已经达到国际先进水平。

1993 年,能达公司与华中理工大学联合推出 HPC—801 可编程微机调速器。它选用了高可靠的工业可编程控制器,设计了数字式智能频率模块,实现了频率调节、开度调节和功率调节等多调节模式的控制策略。

另外,还有河海大学的 HC—1 型微机调速器、武汉洪山电工研究所的 HWT 型微机调速器。最近几年,西安理工大学在 20 世纪 90 年代初成功开发出步进式集成电路电液调速器的基础上,成功开发出了基于 PCC 的微机调速器,实现了 PCC 的直接测频,并配以步进式随动系统,使得调速器整机具有更加良好的特性。

国内还有一些单位从事水轮机调速器的研制工作,其中包括武汉大学部分院系(原武汉水利电力大学)、浙江大学、东方电机厂以及哈尔滨电机厂等单位,他们也取得了各自的成绩,有的形成了自己的产品。

在国外,20 世纪 80 年代,世界上发达国家的著名水轮机调速器公司均毫无例外地先后研制成功微机调速器。

日本是率先研制微机调速器的国家之一。日立公司研制的微机调速器样机于 20 世纪 80 年代初期即应用于抽水蓄能机组,目前该公司的产品已在 308 MW 的机组上投入运行。东芝公司也较早地将容错技术应用于发电机组微机调速器中。瑞典 ABB 公司也是在电站微机控制设备方面起步较早、发展较快的企业之一,它的产品已有数十台在不同国家的电站运行。法国奈尔皮克(NEYRPIC)公司在 1984 年推出了以 6809CPU 为基础的数字调速器 DIGIPID。德意志联邦共和国和奥地利的西门子(SIEMENS)、伏依特(VOITH)等公司的微机调速器问世相对较晚,但目前均已有了正式产品。

美国伍德华德(WOODWARD)公司一向以其优质的机械液压式调速器在国际上久负盛名,其微机调速器虽问世较晚,但却是一举推出三机容错式微机调速器产品,并开发了应用于水轮发电机组、汽轮发电机组、柴油发电机组的系列产品。

另外,瑞士埃舍尔维斯(ESCHERWYSS)公司,比利时 ACEC 公司,挪威 KBB 公司等也均推出了各自的微机调速器产品,这里不一一列举。

二、水轮发电机励磁调节器的现状及发展趋势

1. 概述

励磁系统是同步发电机的的重要组成部分,直接影响发电机的运行特性。优良的励磁系统可以保证发电机可靠和稳定运行,而且可以有效地提高发电机及电力系统的技术经济指标,近年来通过与国外知名励磁设备制造厂的广泛技术交流、合作,我国水轮发电机励磁系统的设计、开发和制造等已取得非常明显的进步。

励磁系统的发展历史,是从简单到复杂、从单一功能到多种功能的发展历史。最初的励磁系统,其励磁功率单元是直流发电机,称为直流励磁机励磁方式。随着大功率半导体器件的发展,以半导体整流器为功率单元的励磁方式得到了广泛的应用。因此,励磁调节器也主要从直

流电机调速控制发展到大功率半导体整流器控制和保护。

同步发电机问世以来,励磁调节方式有了很大发展。励磁方式中有他励方式和自励方式,他励方式和自励方式又都可以细分为不同的励磁模式。随着控制理论的发展和新技术、新器件的不断出现,励磁调节方式从手动发展到自动;调节功能从单一电压调节发展到以电压偏差为主,附加了电功率、角速度、发电机电流、励磁电流、励磁电压的偏差或它们的组合;调节规律从简单的比例反馈调节发展到PID调节、电力系统稳定器(PSS)附加控制、线性最优励磁控制(LOEC)、自适应励磁控制、模糊励磁控制等;在实现手段上,从机电式或电磁式发展到晶体管式集成电路式等模拟调节器,直到今天的数字式励磁调节器。

随着发电机单机容量和电网容量的不断增大,电力系统及发电机组对励磁控制在快速性、可靠性、多功能性等方面提出了更高的要求,如更优的励磁调节性能,更多和更灵活的控制、限制、报警等附加功能等等。而目前,在电厂运行的绝大多数还是常规模拟式调节器。显然,常规模拟式的励磁调节器难以满足如此高的性能要求,即使暂时满足了,也需要增加功能组件或重新设计系统,大量的硬件电路不仅使得励磁调节器装置十分复杂,也增加了维护工作量,降低了装置可靠性,而且其潜力也是有限的。在这种情况下,随着数字控制技术、计算机技术及微电子技术的飞速发展和日益成熟,同步发电机组采用数字式励磁调节器已成为发展趋势。

与模拟式励磁调节器相比较,数字式励磁调节器具有以下优点:

(1) 由于计算机具有的计算和逻辑判断功能,使得复杂的控制策略可以在励磁控制中得到实现。它除了可以实现模拟式调节器的PID调节、PSS附加控制和线性最优控制外,还可实现模拟式调节器难以实现的自校正调节、非线性控制、自适应控制及模糊控制等,从而丰富和增强了励磁控制功能,改善了发电机的运行工况。

(2) 调节准确、精度高,在线改变参数方便:在数字式励磁调节器中,信号处理、调节控制规律都由软件来完成,不仅简化了控制装置,而且信号处理和控制精度高。另外,电压给定、放大倍数、时间常数等控制参数都由数字设定,比由模拟元件构成的环节调整参数要准确得多,而且参数稳定性高,基本不存在因热效应、元件老化等带来的参数不稳定问题。

(3) 利用计算机软件的灵活性,可以很容易地在励磁控制中实现完备的限制及保护功能、通用而灵活的系统功能、简单的操作以及智能化的维修和试验手段。它容易实现各种运行方式的切换及各种限制等功能。

(4) 硬件结构简单,可靠性高,无故障工作时间长:由于调节控制规律由软件实现,减少了硬件电路,因调节器故障维修而带来的停机时间大大减少。调节器由专用的高速可编程控制器或高速微处理器(国内外不少公司已采用32位微处理器)及必要的输入输出电路构成,省掉了大量的逻辑控制继电器,而且易于采用冗余容错硬件结构方式,其可靠性大大提高。

(5) 通信方便,易于实现电站综合自动化:可以通过通信总线、串行接口或常规模拟量方式方便灵活地接入电厂的计算机监控系统,便于远方控制和实现发电机组的计算机综合协调控制。数字式励磁控制是电厂计算机综合控制系统不可缺少的组成部分。数字式励磁调节器可与上位计算机通信,传送数据,接受指令。上位计算机可直接改变机组给定电压值,非常简便地实现全厂机组的无功成组调节及母线电压的实时控制。另外,还便于在远方了解励磁系统的运行情况,以及对励磁系统的参数进行修改和设置,有利于电站实现少人值守、无人值班。

(6) 便于产品更新换代:由于引入了微处理器,使得控制策略的改变和控制功能的增加基本不增加装置的复杂程度,通常只需要在软件上加以改进,硬件不需做很大的改动,因而便于

产品升级换代。

(7) 人机界面友好,运行维护方便:现在励磁系统的现地调节和人机接口,国内外开始采用小键盘和 LED 或 LCD 显示器,正常运行时显示励磁系统的一些常测量,如机组的电压、无功功率、转子电压、电流、温度等参数。此外,还可对励磁系统的各种故障进行监视,包括自诊断、自动检测等。

正是上述这些优点,使数字式励磁调节器从其诞生之日起就显示了广阔的发展前景。

2. 数字式励磁调节器的国内外发展状况

我国数字式励磁调节器的研制开发比较早,20 世纪 80 年代初就有一些电力科研单位和高校开始研制数字式励磁调节器。首先投入运行的是电力部南京自动化研究所(现电力部电力自动化研究院)于 1985 年研制的适用于大中型发电机的 WLT—1 型励磁调节器。WLT—1 型励磁调节器以 8 位单板机为核心,采用 PID 调节。20 世纪 90 年代,南京自动化研究所又推出 WLT—2 型数字式励磁调节器,该调节器采用 INTEL 公司的 16 位 ISBC 系列计算机模板,有两个独立的自动通道,互为热备用,在一个通道发生故障的时候可以自动切换到另一个通道工作,同时增加了线性最优励磁控制和 PSS 附加励磁控制。

华中理工大学和东方电机厂合作研制了双微机数字式励磁调节器。该调节器由两套 CCSDK—86 微型计算机构成,采用 INTEL8086CPU 和线性最优励磁控制策略。

电力部电力科学研究院与南京自动化设备厂合作研制了 WKKL—1 型双微机自动励磁调节器,于 1991 年在湖南莱阳电厂投入运行。它选用 16 位工业控制机 CCSDK—86,控制规律以 PID 调节为主,同时引入了 PSS 附加控制。

武汉洪山电工技术研究所研制开发的 HWJT 型单片机数字式励磁调节器于 1993 年在邯郸热电厂投入运行,它选用 8098 单片机为主机型,具有多种调节、控制和限制功能。

清华大学分别与哈尔滨电机厂和北京重型电机厂合作,研制了全数字式励磁调节器,采用 STD 总线结构或 8098 单片机结构,控制规律采用比例—积分—微分(PID)调节、电力系统稳定器(PSS)附加控制、线性最优励磁控制(LOEC)和非线性励磁控制(NEC),四种调节规律由用户选择,具备完善的保护、限制、报警功能。

另外,还有河北工学院引入南京自动化研究所 8 位微机调节器技术,1991 年在东北清河发电厂研制成功 200MW 汽轮发电机自并励励磁系统用的数字式励磁调节器;福州大学在 1990 年研制成功 8 位单片机型励磁调节器,用于中小型水轮发电机组。

国内还有一些院校、研究所和公司进行了数字式励磁调节器的研制、开发和生产工作。经过 10 多年的努力,在设计、生产和运行方面已积累了丰富的经验,数字式励磁调节器的优良性能在实际生产运行中也日益显示出来。

在国外,瑞典 ABB 公司、加拿大 GE 公司、奥地利 ELIN 公司以及德意志联邦共和国 SIEMENS 公司等均可提供数字式励磁调节器。这些大公司具有很强的科研开发能力,数字式励磁调节器用的硬件一般自制专用控制板。加拿大 GE 公司生产的 SIL—C05 型数字式励磁调节器安装在我国隔河岩水电站的进口机组上,奥地利 ELIN 公司生产的数字式励磁调节器应用于十三陵抽水蓄能电站。

励磁调节器是励磁系统的一个重要组成部分,整个励磁系统的静态和动态特性在很大程度上取决于励磁调节器的性能,在励磁系统中,励磁调节器的发展尤为迅速,现已广泛采用数字式励磁调节器,这主要得益于计算机技术的发展。

3. 数字励磁调节器结构

为了保证可靠性和安全性,通常数字励磁调节器的结构形式是依据机组容量等级和所在电力系统的重要性进行选择的,主要有单微机、双微机和多微机调节器 3 种形式。

(1) 单微机调节器由单微机及相应的输入输出回路组成,有 1 个自动调节通道(AVR)和 1 个手动调节通道(FCR)。这种形式在中小型水电站中应用较多,国外也有少数公司(如瑞典 ABB)认为自身产品质量可靠,可以应用在大型水轮发电机组上。

(2) 双微机调节器由双套微机 and 各自完全独立的输入输出通道构成两个自动调节通道(AVR)和两个手动通道(FCR)。正常时 1 个工作,另 1 个处于热备用状态,彼此间用通信的方式实现跟踪功能。当主通道故障时,备用通道自动无扰动接替主通道工作,这种结构形式通常用于大中型水轮发电机组,以确保机组的连续稳定运行。

(3) 多微机调节器目前主要有两种:①以多微机构成多自动调节通道。比较典型的是 3 通道,工作输出采用 3 取 2 的表决方式。②由多微机构成两个自动通道,多个微机间依据不同功能有不同分工。相互间以通信方式传递及跟踪各种信息。这种结构形式主要用于可靠性要求高的大型水轮发电机组上。

第二章 可编程计算机控制器(PCC)硬件概论

目前,可编程控制器(Programmable Controller, 缩写为 PC)包括可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller,缩写为 PLC)和可编程计算机控制器(Programmable Computer Controller,缩写为 PCC)。无论是可编程逻辑控制器,还是它的升级产品可编程计算机控制器,其基本的组成和工作原理都是相同的,但是,PCC 具有许多一般 PLC 所不具有的特点。首先目前 PLC 均是采用单任务操作系统,而 PCC 已经采用了多任务操作系统,这是 PCC 与 PLC 的一大区别;其次传统 PLC 的编程语言以使用梯形图和类似于指令表的语言为主,很少支持高级语言编程,就更少有自己的高级语言,而 PCC 不但支持梯形图、C 语言等各种高低级编程语言,而且还具有专门为工业控制开发的高级语言,它比通用的高级语言如 C 语言更适合工业控制的特点,更易于编程;最后,传统的 PLC 只支持一个主 CPU,然后带多个处理器进行工作,而 PCC 可以支持多个主 CPU 同时工作,而且还具有智能处理器,如专门的时间处理单元(TPU)。从上述可以看出,PCC 不是简单对 PLC 的更新换代,它在很多方面突破了传统做法,在可编程控制器中引入新的控制思想和编程思想,更易于实现现在越来越复杂的控制要求。本章首先介绍 PCC 的原理、结构及工作过程,然后结合 PCC 在水电厂水力机组控制中的使用情况,介绍 PCC 的常用硬件和 I/O 模块,最后介绍系统配置。本章主要以贝加莱公司的 PCC 产品为例。

第一节 可编程计算机控制器的组成及其各部分的功能

一、可编程计算机控制器的基本组成

可编程计算机控制器从本质上说也是一种计算机控制系统,只不过它比一般的计算机具有更强的与工业过程相连接的接口和更直接的使用适应于控制要求的编程语言。PCC 与计算机控制系统的组成基本是相同的,也具有中央处理器(CPU)、存储器、输入/输出(I/O)接口、电源等一般计算机必备的部分,如图 2-1 所示。

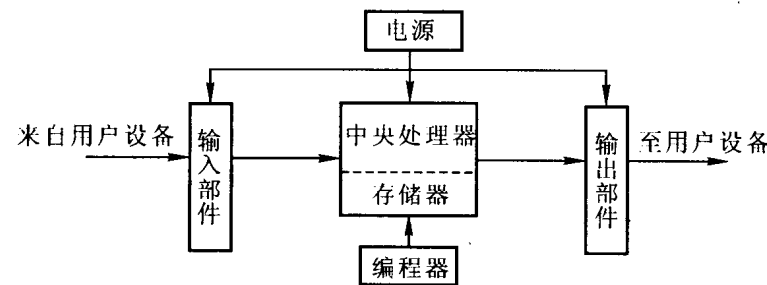


图 2-1 可编程控制器的基本组成