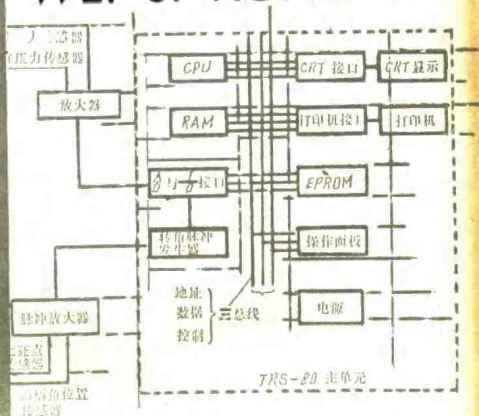


# 动力装置微机控制

DONG LI ZHUANG ZHI  
WEI JI KONG ZHI



杜德基 编

上海交通大学出版社

## 内 容 提 要

本书主要论述动力装置微机化控制的硬、软件设计原理和研究方法。以船舶为主,兼顾陆用和航空。全书共分八章,主要包括各种动力装置(柴油机、透平机、联合动力装置和制冷空调等)的微机化监控系统,诸如工况监测、故障诊断(含振动与消声)、动向分析、直接数字控制、最优控制和自适应控制,还有实用的建模与仿真方法、过程通道和系统设计。有些系统并涉及到近代先进的数据库、知识库、专家系统、机电一体化、16 位机、单片机和多微机等。

本书可作为高校动力装置有关自控和自动化专业的教材,也可供有关工程技术人员阅读。

### 动力装置微机控制

出 版: 上海交通大学出版社  
(淮海中路 1984 弄 19 号)

发 行: 新华书店上海发行所

印 刷: 常熟市文化印刷厂

开 本: 787×1092(毫米) 1/16

印 张: 15.5

字 数: 379000

版 次: 1991 年 4 月 第 一 版

印 次: 1991 年 5 月 第 一 次

印 数: 1—2050

科 目: 240—327

ISBN 7-313-00815-5/TK

定 价: 4.06 元

# 前 言

本书是根据1986年在上海交通大学召开的船舶动力教材委员会年会上制订的“动力装置微机控制”教材的基本要求(大纲)编写的。其内容是作者在对高年级大学生和部分研究生讲授“轮机计算机监控”和“微机原理与应用”两门课程的基础上,把原来编写的教材反复修订、补充并使用过多次而形成的。从1978年到现在,除在上海交通大学教学中使用外,还在造船学会、科研院所、船厂和职大等的讲课中采用过。有些实验和习题也是近年来作者从事“微电脑化控制器的研制”和单板机、单片机、IBM-PC机应用等科研和教学成果的总结,有些硬、软件并在历次教学实验中发挥了作用。

“动力装置微机控制”是一门综合诸学科知识的专业课,其特点是知识广、基础厚、实用性强。它是一门把动力装置和微机控制有机地结合在一起的课程。本课程特别注意理论知识实用性,加强对学生实践能力的培养。为此,增补了某些章节、习题和实验的有关内容。其中大部分是在教学过程中的总结。鉴于实际系统目前发展的水平和现状,本书所论及的“控制”内容,实际上包含了许多监测和监视的成分。

全书共分八章。第一章是动力装置微机控制的概述。第二章介绍应用实践的主要内容,侧重于监控,其中先进的系统还涉及到数据库、知识库和专家系统。第三章介绍微机化控制所需的输入输出接口技术、过程通道以及微控机系统设计知识。第四章讨论了数字控制系统有关采样、 $z$ 变换、脉冲传递函数、差分方程等的基本概念。第五章是本书的重点,因为直接数字控制是我国现阶段微机化控制切实可行的方案,况且它又是其他高级复杂控制系统的基础(基本级),所研制的微电脑化控制器具有普及推广的应用价值。由于采用了微机控制,致使传统的PID控制也可寻优。第六章主要突出用伪随机码识别系统的建模方法。通过实验使学生掌握用最小二乘参数估计的程序来确定对象数学模型的方法。第七章论述了离散时间线性随机系统最优控制(以船舶柴油机推进装置的定速系统为例)的基本概念。同时也介绍了先进性和实用性很强的自适应和自校正控制。为了加深对最佳线性估计和卡尔曼滤波的认识和理解,还增加了在PC机上编制和调试有关程序的实验和习题。第八章的内容反映了当前动力装置微机控制实践的水平和动向。

本书由武汉海军工程学院陈兆良教授任主审。武汉水运工程学院陈明昭副教授和上海交通大学金庆骥教授也审阅了本书。他们都提出了宝贵的意见,在此一并致谢。

鉴于内容的广度和深度,更限于作者的水平,书中各种问题在所难免,欢迎广大读者批评指正。

杜德基

1989年8月于上海交通大学

# 目 录

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第一章 绪 论                  | 1  |
| 1-1 动力装置微机控制概述           | 1  |
| 1-2 微机化控制系统的特点、组成及类型     | 2  |
| 1-3 微机控制系统的信息转换及有关术语     | 5  |
| 1-4 机电一体化在动力装置微机控制中的实现   | 8  |
| 习题                       | 8  |
| 第二章 动力装置微机监控系统           | 9  |
| 2-1 主柴油机遥控系统             | 9  |
| 2-2 集中监测装置               | 18 |
| 2-3 检测柴油机燃烧和喷油过程         | 22 |
| 2-4 主柴油机电缸工况检测装置         | 30 |
| 2-5 数据动向系统               | 30 |
| 2-6 多微机监控系统              | 32 |
| 2-7 先进的故障诊断系统            | 35 |
| 2-8 振动诊断系统               | 39 |
| 2-9 微机控制的闭环消声系统          | 40 |
| 习题                       | 41 |
| 第三章 输入输出过程通道和微机系统设计      | 42 |
| 3-1 输入输出接口和存储器的扩充        | 42 |
| 3-2 常用接口元件和通用接口          | 43 |
| 3-3 中断和中断电路              | 50 |
| 3-4 可编程程序接口              | 55 |
| 3-5 数/模(D/A)和模/数(A/D)转换器 | 59 |
| 3-6 微机控制系统的设计            | 73 |
| 3-7 单片机和16位机的应用问题        | 77 |
| 习题                       | 79 |
| 第四章 采样数据控制系统             | 80 |
| 4-1 采样过程与采样定理            | 80 |
| 4-2 信号的复现                | 83 |
| 4-3 $z$ 变换               | 86 |
| 4-4 脉冲传递函数               | 89 |
| 4-5 用 $z$ 变换法解差分方程       | 93 |
| 4-6 $n$ 阶线性有限差分方程的模拟     | 94 |
| 习题                       | 97 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>第五章 直接数字控制(DDC)</b>       | 98  |
| 5-1 DDO 的基本算法                | 99  |
| 5-2 DDO 系统的基本程序              | 103 |
| 5-3 PID 参数的寻优算法              | 112 |
| 5-4 具有较大纯滞后对象的控制算法           | 122 |
| 5-5 数字调节器的程序实现               | 124 |
| 5-6 船舶推进装置及单片机组成的 DDO 实例     | 128 |
| 习题                           | 132 |
| <b>第六章 计算机辅助建模</b>           | 133 |
| 6-1 数学模型的分类和建立数学模型的方法与步骤     | 133 |
| 6-2 用相关分析法确定系统的数学模型          | 135 |
| 6-3 离散定常线性动态模型的最小二乘识别        | 145 |
| 6-4 广义最小二乘参数估计               | 157 |
| 习题                           | 159 |
| <b>第七章 最优控制和自适应控制</b>        | 160 |
| 7-1 船舶柴油机推进装置的定速系统最优控制       | 160 |
| 7-2 最佳线性估计和卡尔曼滤波             | 162 |
| 7-3 微机自适应控制                  | 164 |
| 7-4 最小方差自校正控制                | 168 |
| 7-5 自校正 PID 控制               | 177 |
| 习题                           | 185 |
| <b>第八章 动力装置微机控制系统</b>        | 186 |
| 8-1 电站综合数字控制系统               | 186 |
| 8-2 舰船燃气轮机推进装置的变工况最优控制       | 193 |
| 8-3 航空动力装置综合控制系统             | 199 |
| 8-4 联合动力装置双机并车控制系统           | 202 |
| 8-5 燃气轮机动力装置微机控制             | 205 |
| 8-6 制冷空调装置的微机控制              | 210 |
| 习题                           | 214 |
| <b>课程实验指导</b>                | 215 |
| 实验一 船舶柴油机-调距桨动力装置微机监控模拟板使用操作 | 215 |
| 实验二 柴油机推进装置的计算机辅助建模          | 217 |
| 实验三 DDC 算法实践                 | 218 |
| 实验四 卡尔曼滤波器增益程序调试             | 218 |
| <b>附录</b>                    | 220 |
| 附录一 柴油机推进装置建模程序              | 220 |
| 附录二 单板机型微控器 DDO 汇编程序片段       | 223 |
| 附录三 单片机型微控器 DDO 汇编程序片段       | 226 |
| 附录四 卡尔曼滤波器程序                 | 228 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 附录五 MCS 48 指令机器码速查表..... | 231 |
| 附录六 MCS 51 指令机器码速查表..... | 236 |
| 参考文献 .....               | 237 |

# 第一章

## 绪 论

### 1-1 动力装置微机控制概述

本书主要论述柴油机、燃气轮机和汽轮机动力装置的微机控制。前两者主要用于舰船和航空,后者主要用于陆用电站。并且也论及了联合动力装置的微机控制。由于计算机科学和自控理论不断发展,推动了动力装置过程自动化的进程。

三十年代出现了模拟式仪表,并逐步应用到动力装置控制中,它经历了基地式,单元组合式(I、II、III型)和组件组装式等几个发展阶段,但在控制规模、监视、操作、协调和管理诸方面都暴露出它的局限性。

五十年代以来,为克服模拟式仪表的局限性,产生了计算机集中控制系统,它可以把几十个甚至上百个控制回路,以及上千个过程变量的显示和操作集中在一起,这样使中央控制部分成为可靠性最薄弱的环节。另外,集中式还具有研制周期长,系统扩充困难及研制成本高等弱点。

从七十年代开始,出现了由多台微处理机组成的控制系统——集散型控制系统。它以分散的控制适应分散的过程现象,以集中的监视操作和管理达到掌握全局的目的。它的出现开创了动力装置控制的新纪元,成为八十年代控制工程的核心。

陆用电站动力装置应用微机控制的主要目的和内容是,改善机组的控制特性,向高参数和大容量方向发展;从主机设备和控制设备要适应大幅度负荷变动及频繁的启停操作。提高机组启动特性,缩短启动时间,减少启动损失实现过程控制自动化;通过故障诊断技术提高系统的可靠性与可维护性;减少运行操作人员,减轻操作负担,加强运行管理;实现以微机为基础的“智能”分散控制;实现复杂和高级控制,提高控制系统的机能;采用 CRT 人机对话形式,取代常规繁多的指示仪表的集中管理。

使用微机参与燃气轮机自动控制已成为当前发展的方向。其主要目的是进一步提高控制系统的功能,提高机组的自动化水平。从启动、点火、加速、同步并网、增负减载、脱网、停机等全部运行功能均可自动完成。同时可进行温度、转速、负载的闭环控制,主辅机启停程控。此外还对机组的运行状态进行监测。机组发生故障时,可根据情况进行报警或停机,以及故障状态打印等功能。为得到转速回路的高速控制,保留原来燃气轮机控制盘采用的模拟式转速控制回路。复杂的理论计算、非线性计算等则使用数字机。燃气轮机转速-负载控制的实质就是燃气轮机的燃料流量控制。它一方面受模拟式转速回路闭环控制;另一方面,转速的给定值及燃料量控制信号的限制值又受计算机的控制。燃气轮机保护及报警的主要功能是超速保护、超温保护、超振保护、熄火保护、计算机故障保护。计算机数据处理功能包括运行数据的处理,有关故障数据的打印、显示、运行时间累计,以及考虑维修计划。

燃气轮机控制盘上还可以加装微机组成燃烧状态监视系统,进行故障预报及燃烧状态

的监视。其中主要是监测排气温度热电偶的好坏,监测透平排气温度与压气机排气温度,并将两者信号相比较,一旦有不正常立即报警。今后还可以逐步扩大功能,如根据燃烧状态整定系统的某些参数,或者发展为燃机运行状态的诊断系统,可以估计判断机组的各种运行故障。计算机参数与运行状态控制比单纯代替现有的程控、保护及监控的意义更大。

船用燃气轮机数字式推进控制系统,包括对燃机输出轴转速的控制及调距桨控制两大部分。控制系统可在舰桥、中央控制室及机房三级进行操纵。控制信号均为数字量,经保持器进行数字运算,形成数字控制信号,再经过保持器送出。控制信号形成后,经 D/A 转换器转换成模拟信号,经功率拖动机构对桨距和转速调节机构进行控制。

柴油机动力装置微机控制主要是主机遥控,机舱集中监测,检测燃烧和喷油过程,工况监测和故障诊断技术,以及推进装置建模、最优控制、估计和滤波等内容。

联合动力装置及多机并车采用微机监控的潜力很大,相应的难度和水平也较高,有关内容还需充实和深化。

微机应用技术的迅速发展,为实现动力装置微机控制创造了良好的条件。从七十年代以来,国内外工业过程控制中先后都采用了微机进行数据处理、巡回检测、直接数字控制,或开环闭环控制。1976 年以来,在美、日等发达国家中,先后在许多工业生产过程中采用了多微机系统的监督控制和过程最优控制。与此同时出现了微机集散型综合控制系统,它具有功能分散、显示、操作功能集中等优点。把计算机控制、模拟仪表控制、顺序控制三者结合起来,并向复杂的分级控制和网络控制方向发展,便于实现最佳化控制及科学管理。微机的价格低廉;集散系统具有可扩展性、多样性、多功能性,适用于各种动力装置节能控制,可以减少初始投资,有利于向高度自动化过渡。近来更有将数据库、知识库、专家系统、智能化等计算机先进技术,引入到动力装置微机化控制中来,使控制与管理更紧密地结合起来,促进动力装置自动化向更高的水平发展。

## 1-2 微机化控制系统的特点、组成及类型

### 一、系统的特点

1. 要有高可靠性和稳定性,国际指标运转率为 99.95%,并要求一次故障时间不超过几分钟。
2. 要有比较完善的中断系统和控制的实时性。
3. 要有丰富的指令系统和较完备的过程输入输出通道。
4. 对环境的适应性要强,如温度、湿度和各种干扰等。
5. 要有正确的模型和相应的软件包。
6. 字长、速度和内存选择要适当。一般字长都在 16 位之内,速度在每秒几百万次之内,内存几 K 到几十 K。

### 二、系统的组成

动力装置的数学模型、控制算法、传感器、控制元件、计算机系统和动力装置组合在一起,就构成了动力装置微机控制系统(参见图 1-1)。计算机控制系统的过程输入输出通道,一般称作计算机外围设备。通常将外存(包括磁盘、磁带、磁鼓等)、输入输出部分(包括光电

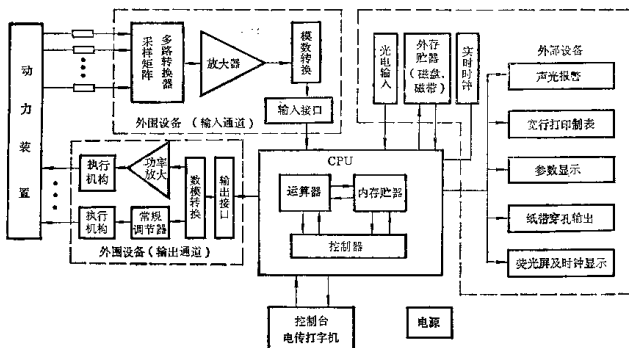


图 1-1 计算机控制系统的组成框图

输入机、电传打字机等)称为外部设备,而将计算机和生产现场设备联系的设备称为外围设备,其中包括模数和数模转换、采样开关(包括非电量和电量的转换)显示装置等。但外围通道是不能直接由计算机控制的。计算机总线上只能出现标准的输入输出信号,将标准信号变换成符合外围通道的实际过程的控制信号,则是由“接口”来完成的。过程输入输出一般可分成六种。

1. 模拟输入 把许多检测仪表输出的模拟量变换成相应的数字量后送入计算机。其中又可分高电平( $0 \sim \pm 5V$ )和低电平( $0 \sim \pm 0.5V$ )两种。采样速度,低速的一般为 50 点/sec,高速的可达  $10^4$  点/sec。精度一般为  $0.5 \sim 0.1\%$ 。

2. 模拟输出 把数字量变成模拟量后向模拟装置(例如执行机构、记录仪和显示器等)输出,每个输出点每次接收模拟量输出以后,必须保持所达到的数值,直到下次再接受新的模拟量输出为止。

3. 数字输入 数字量输入的每一个二进制位,都可以代表一个开关量,在控制系统中就可以代表一个开关状态。数入分不带中断的和带中断的两种。

4. 数字输出 数字量输出的每一位就是一个开关量输出。它可控制机器设备的启动和停车、指示灯的亮灭、控制动作的切换等。

5. 脉冲输入 通常在 CPU 外设置脉冲计数器,专门接收指定来源的脉冲信息,进行计数。计数器每溢过一次就申请一次中断,以便往内存中的一个累计单元里添加一定的增量。如 CPU 直接接受脉冲,就会给计算机增加负担。

6. 脉冲输出 如控制元件是由步进电机驱动的,就要求具有脉冲输出、脉冲数由程序决定。另一种是由程序决定输出脉冲的持续时间。

### 三、微机化控制系统的类型

(一) 数据采集系统(DAS) 它是微机在数据采集和处理方面的应用,主要是对大量的过程参数进行巡回检测、数据记录、计算统计、整理累积和分析进行越限报警等,但微机不直接参与过程控制。

(二) 操作指导控制(Operator guide) 早期的计算机控制系统中,由于可靠性不够,采集到的数据经加工处理后,求出各控制量的最佳数值,但不直接作用于执行机构,而是显示或打印出结果,提供操作人员参考。

(三) 直接数字控制(DDC) 它是微机控制中最普及的一种方式,它参与闭环控制过程,可以用分时方式控制多回路。包括巡回检测、各种控制算法,然后发出控制信号,操纵执行机构。兼有控制、给定、显示、记录和报警等。

(四) 监督计算机控制(SCC) 在该级的控制机根据初始工况参数,按照控制数学模型或规律,自动地改变控制器(包括模拟式或DDC式)的设定值,所以又称设定值控制(SPC)。

(五) 分级控制(Hierarchical control) 这种控制中,第一级即最低级通常采用直接数字控制;第二级为监视级通常采用监督计算机控制;第三级为优化级,它使被控对象运行在最佳工况;第四级为协调级,它协调相互关联的过程,以达到整体上的最优;第五级为管理级,也是最高级,它对整个系统进行人力物力的统一管理和调度。

(六) 分布控制(Distributed control) 按功能就地给每个子系统配置一台微机进行分散控制。

(七) 分散型综合控制系统(TDCS) 简称集散系统,它是以微处理机为核心,采用单元组合方式(积木式),根据不同需要灵活组合的一个完整系统。由以微机为核心的基本控制器、数据通道、CRT操作站和监控计算机(亦称上位机)等几个主要部分组成。集散系统是80年代微机过程控制的一个重要发展方向。

衡量计算机系统可靠性的指标是“平均故障间隔时间”,简称MTBF,一般在7千到8千小时。

从使用角度来看,仅要求可靠性高是不够的,因为即使MTBF很长,但一旦发生故障时,如很长时间才能修复,也将给控制系统造成很大危害,所以应尽可能要求有高的利用率。利用率 =  $MTBF / (MTBF + \text{平均机器失效时间})$ ,其中MTBF取决于可靠性,而平均机器失效时间则取决于可维护性。对一般的DDC系统,利用率可达99.95%(即平均每年失效4小时);对SCC系统在99.9%以上,如采用双机系统,可达99.99%以上。

可维护性就是指进行维护工作时,方便到什么程度。提高可维护性的措施是采用插件式硬件结构和设有诊断程序软件。机器失效时间,包括诊断故障和进行修理的时间,以及在不属于生产过程定期检修时间内的必须离线进行维护检查和采取预防性措施的时间。个别检测仪表、执行机构,甚至记录打字机等不能工作不算计算机失效,因为它不影响系统的全面功能。只有CPU故障或1/3~1/4的输入输出点失效才算机器失效,在DDC系统中,一次奇偶校验错也不算计算机失效,因这种控制是快速重复的,一次错误影响不大。

某设备“在线”,是指该设备与CPU连接在一起直接受控,又称“联机”;反之称“离线”或“脱机”。“实时”就是“立刻”、“现在”或“及时”之意。在实时系统中,信息的输入、计算和输

出都是在一定的时间范围内完成的,超过该范围,就会失去控制时机。一个在线系统不一定是实时系统,但一个实时系统则必定同时具有在线的功能和设备。例如数据采集系统是在线但不是实时系统,而一个 DDO 系统则必定是一个在线实时系统。

### 1-3 微机控制系统的信息转换及有关术语

计算机控制系统的信息转换过程如图 1-2 所示。图中离散是相对于连续而言的,指的是时间;数字是相对于模拟而言的,指的是信息物理量的大小。其中采样器、OPU 和保持器决定系统的基本静态特性,因此具有数学上的重要性。而 A/D 和 D/A 转换则只影响精度,所以具有物理上的重要性。模拟信号是时间上连续和幅值上也连续的信号,即通常所说的连续函数。数字信号是时间上离散而幅值上也离散且已经量化的信号,可用一序列来表示。采样是将模拟信号按一定的时间间隔抽样成离散模拟信号的过程。量化则是一组数码(如二进制)来逼近离散模拟信号的幅值,将其转换成数字信号。显然模拟信号可以具有无穷多的数值,而一组有限位二进制数组成的各种数字却是有限的。这种近似过程叫做整量化。

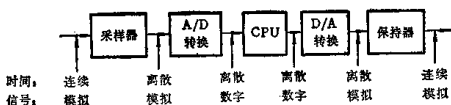


图 1-2 计算机控制系统的信息转换过程

模拟量转换为数字量是需要时间的,在没有采样保持器的系统中,这就是 A/D 转换器的转换时间。如果在系统中采用采样保持器,则由于从采样到保持状态,开关动作不能是瞬时的,在采样保持放大器的输出端就出现时间上的不确定,这段时间称为孔径时间。因为在这段“窗孔”范围内,从模拟量输入系统能看到输入信号。如输入信号相对于时间的关系很重要的话,则在这段时间内如果输入信号明显地变化时,孔径时间的有限宽度就会带来误差。它或表现为给定测量瞬时值信号瞬时值的误差  $\Delta u$ ,或表现为给定信号瞬时值下进行测量的时间误差  $\Delta T$ ,如图 1-3 所示。

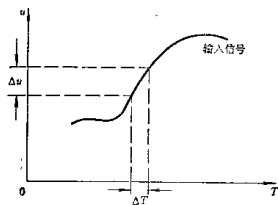


图 1-3 孔径时间误差图

在讨论数字控制系统的分析和综合时,由于 A/D 转换和 D/A 转换都具有足够的精度,在数学上无需特殊考虑,所以常在框图中把它们略去,如图 1-4 那样。图中数字控制器输出端的采样器在原理上是不需要的,在实际上也是没有的,这里多画一个采样器,只是为了强调一下数字控制器的输出在时间上是离散的而已。

下面将信息转换的一些常用术语归纳如下:

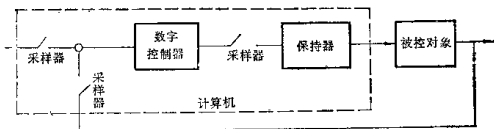


图 1-4 计算机数字控制系统框图

## 一、分辨率(Resolution)

它是相应于最低有效二进制位(LSB)的模拟量值。它规定了 A/D 或 D/A 变换器的最小变化值。如变换器的数据输入或输出是 8 位，而其基准满量程电压为 10V，则它能区分  $10 / (256 - 1) \approx 0.0392\text{V}$ ，所以通常也称它的分辨率为 8 位。

## 二、线性度(Linearity)或线性误差(Linearity Error)

它是变换器的理想传输特性和实际传输特性的最大偏差。如图 1-5 所示，理想传输特性是一条通过终点的直线。

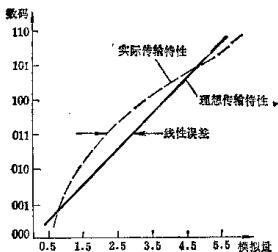


图 1-5 差分线性度

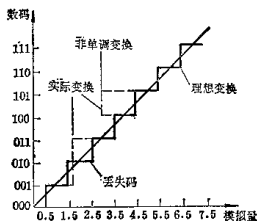


图 1-6 单调性和丢失码

## 三、差分线性度(Differential Linearity, DL)

它表示在每一“步”测量中实际值和理想值的差值，称差分线性度。差分线性度 DL 常用 LSB 的几分之几来表示。如

$$DL = \pm \frac{1}{2} \text{LSB}$$

则说明每一步实际值为

$$1 \text{LSB} \pm \frac{1}{2} \text{LSB},$$

例如,按理想情况每步相应的模拟量为  $1\text{ mV}$ , 而  $DL$  为  $\pm \frac{1}{2} \text{ LSB}$ , 那么每一步的实际值为  $1\text{ mV} \pm 1/2\text{ mV}$ 。如  $DL > 1\text{ LSB}$ , 则 A/D 转换器会引起丢失码, 对 D/A 转换器会引起非单调性。

#### 四、单调性(Monotonicity)

如图 1-6 所示, 对 D/A 转换器来说, 输出随输入单调地增加或减少叫单调性。即输入码增加, 输出模拟量也增加, 反之亦然。如果差分线性度  $DL > 1\text{ LSB}$ , 则会产生非单调性, 这应避免。

#### 五、丢失码(Missed Code)

如图 1-6 所示, 如果 A/D 变换器具有非单调性, 则当由一个模拟量步(例如  $2.5\text{V}$ )增加到下一步(例如  $3.5\text{V}$ )时, 并不会产生下一个数字码(例如由数字码 011 不会得到 100, 而是产生 101), 即有丢失码。

#### 六、量化误差(Quantizing Error)

由量化过程而产生的一种不可避免的误差, 转换器的位数越大, 量化误差越小。例如图 1-6 中只有模拟量为  $3\text{V}$  时才没有误差, 而在  $2.5\text{V}$  和  $3.5\text{V}$  时均有  $\frac{1}{2} \text{ LSB}$  的误差, 即  $011 \pm \frac{1}{2} \text{ LSB}$ 。

#### 七、建立时间(Settling Time)

从对 D/A 变换器施加新的数字输入开始, 到模拟输出达到预定的终值的时间间隔。通常是指数字输入发生满量程的变化 (即由全零变为全 1), 到模拟输出稳定值的  $\pm \frac{1}{2} \text{ LSB}$  范围为止所需的时间(参见图 1-7)。

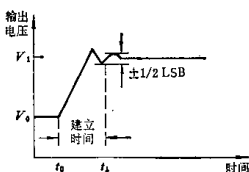


图 1-7 包括转换时间的建立时间

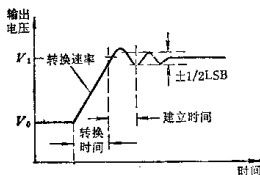


图 1-8 不包括转换时间的建立时间

#### 八、转换速率(Slew Rate)和转换时间(Slew Time)

转换时间一般指 D/A 变换器输出电压从  $V_0$  变化到  $V_1$  即达到规定精度所需的时间。如 D/A 变换器的技术特性中没有涉及转换时间, 则建立时间包括了转换时间, 如图 1-7 所

示。反之,建立时间不包括转换时间,如图 1-8 所示。转换速率是指  $V_1$  与  $V_0$  的差值与转换时间的比率,相当于图 1-8 中斜线的斜率,其单位为  $V/ms$ 。

### 九、增益温度系数(Gain Temperature Coefficient)

它是指环境温度变化  $1^{\circ}\text{C}$  时,满量程模拟量的变化,常用  $\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$  为单位,  $1 \text{ ppm} = \text{百万分之一}$ 。

### 十、电源电压灵敏度(Power Supply Sensitivity)

它是指电源电压变化  $1\%$  时,所引起的模拟量变化的百分数。又称电源电压抑制比。例如  $0.05\%/\%V$ ,就表示电源电压变化  $1\%$  时,模拟量变化  $0.05\%$ 。有时也用  $\text{ppm}/\%V$  来表示。

## 1-4 机电一体化在动力装置微机控制中的实现

“机电一体化”是近年来微电子技术向机械工业渗透过程中逐渐形成的一个概念 (Mechatronics)。它是技术复合的一种形式,是当今世界机械工业技术和产品发展的主要趋向,也是振兴我国机械工业的必由之路。与本书有关的主要有,从普通内燃机改为电子燃油到全电子控制内燃机就经历了这种发展过程。其中以大中型内燃机作为主要目标,如船用大功率、低速柴油机使用面广量大,经济效益显著。内燃机电子控制项目中,首先实现点火正时,然后研制微电子控制排放及在最佳工况下运行的内燃机。其次是电站自动化控制系统,特别是以微机为基础的分层分布数字式自控系统。其中共性关键技术有:检测传感、信息处理、自动控制、伺服传动和系统总体等技术。其中模块化、串行传输总线、分层分布控制、专用编程语言、故障自诊断能力,以微机为核心等都是当今国内外动力装置自控系统发展所具有的共同特点。

微处理机的出现是机电一体化发展的决定因素,其中以 8 位和 4 位机为主体,单位机和 16 位机也有应用,基于可靠性和集成度的要求,近来在单片机和可编程控制器 (简称 PO) 的开发和应用也提到日程上来了。只是限于篇幅未作专门论述,而 PO 却是我国第三代工业控制器产品,亦成为现代“机电一体化”特定崭新产品,其主要的优点是可靠性和性能/价格比高,灵活性、通用性好。中小型 PO 也可带有 A/D 和 D/A 以及高速计数器模块,并配有 IBM-PO 机监控可适合不同层次的需要。

机电一体化尽管是振兴我国机械工业的战略决策,但从学科角度上讲,正处于发展阶段,还不够成熟。“动力装置微机控制”可以说是跨越机械与电子界限的一门课程,其目标就是在动力装置自动控制方面实现机电一体化。

## 习 题

- 1-1 动力装置微机控制的发展状况如何?
- 1-2 微机化控制系统的组成特点是什么?
- 1-3 微机控制系统有关信息转换的术语有哪些?
- 1-4 什么是机电一体化?它与动力装置微机控制的关系如何?

## 动力装置微机监控系统

## 2-1 主柴油机遥控系统

本节介绍瑞典 ASEA 公司研制的主柴油机遥控系统 FAHM-S 和主柴油机变距桨遥控系统 FAMP-S, 其核心部件是 DS-8 微处理机系统。实践表明, 它具有更高的可靠性, 它把陆用丰富成功的经验, 推广到轮机自动化系统, 属于第四代主柴油机的驾驶台控制系统, 并且实现了标准化, 它适用于五种机型: B&W, Sulzer, Pielstick, M. A. N. 和 Fiat。其部件框图如图 2-1 所示。该系统既可从驾驶台发信器直接控制, 也可以从控制室或机舱直接进行人工控制。

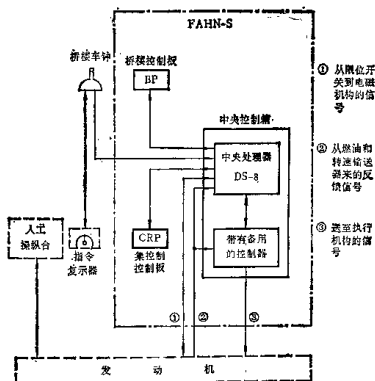


图 2-1

### 一、定距桨主柴油机遥控系统

主柴油机遥控系统 FAHM-S 的功能主要由中央处理机、电子调速器和外部输入输出信号系统实现。

(一) DS-8 中央处理机 DS-8 系统中所编制的程序可执行下列功能: 指令传输; 换向启动及停车程序, 按机型决定三次启动波形见图 2-2; 报警系统; 自动降速、自动停车程

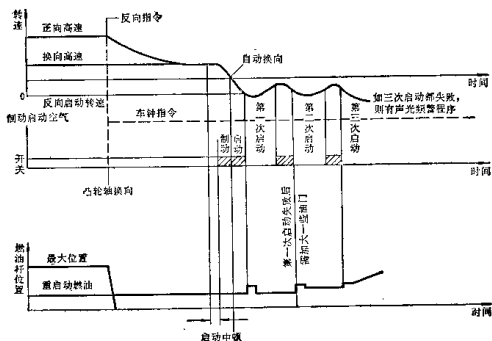


图 2-2 FAHM-S 换向及三次启动波形图

序。自动降速、自动停车程序共有两种方式：一种是先给出自动降速或停车的报警，经延时

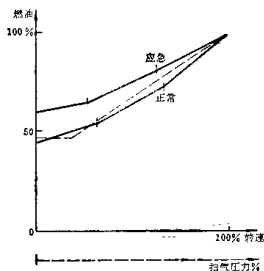


图 2-3 与转速和扫气压力相关的燃油限制功能

发动机热负荷的急剧变化而损坏机器，见图 2-4 所示。

2. 监控发动机暖机，及其所需的极限转速输出的专用程序。其中包括恒定燃油量程序，亦即燃油齿条缓慢作用，而对调速精度无大的影响，达到较佳的经济性。

3. 安全设备系统，其中包括停车函数，即开始停车时的燃油输入量，减速函数，即降低发出的输入量；应急停车函数，同时有内部警报系统显示；在临界转速范围内的闭锁操纵和快速通过（避开）临界转速范围的安全设备程序；测试程序；故障跟踪程序，包括模拟系统、内部故障自检和外部传感器监测等；从“自动”转换到“手控”时保证有一个平滑的过渡过程；在

2 秒后执行，在这段延时时可以按下旁通按钮，强迫运行，超过延时，按旁通按钮无效。另一种是当发生自动降速或停车时立即执行，但可再次启动强迫运行。

另外，为了防止柴油机超负荷还有燃油限制功能，相对于转速或扫气压力（见图 2-3）由转速及燃油连杆位置可算出转矩极限，由图可见燃油极限有两个界线，一个是正常运输工况，另一个是应急工况。在驾驶台仪表盘上，可通过按钮选择工况界线。

该系统有三个时间程序：

1. 暖机程序，即增速、减速时间程序，它取决于柴油机前期运行工况的温度计算值，以防止发

启动时,「按不同船速决定燃料数量,这对于当启动失败时使之能安全启动并节约启动空气时特别重要。本系统可以不通过调速器而直接控制主机。并设有一个防止超速的安全设备,以便在必要时直接起作用。如果不接速度反馈回路,也能保证安全操纵,但这要降低调速精度。

(二) 电子调速器 电子调速器及其保护系统的功能框图见图 2-5 所示。图中点划线以上为程序部分,亦即 DS-8 系统中的各种限制程序,包括柴油机温度限制、转矩限制和扫气压力限制。取这些限制的最小值与燃油限制输出信号本身进行比较,控制增减燃油限制信号。临界转速程序控制温度的解除和自动降速信号的投入或断开。燃油低限防止主机在低速时停车。图中点划线以下为电子调速器部分,包括调速级和输出级,具有下列功能:

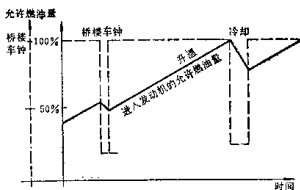


图 2-4 与发动机温度计算值相关的允许燃油量

1. 暖机/冷却或增速/减速时间程序, 转速增加至 80% 以及由 100% 下降; 80% 以上的增速时间程序由微处理器最小值选择器实现; 应急程序 0~100% 的调速器实现。

2. 功能发生器, 给出燃油流量指令至燃油流量控制器。

3. 调速信号, 其一是快速直接作用的超速限制信号; 其二是较慢作用的高精度调速信号, 与限制程序输出的信号一起送至最小值选择器。然后根据启动要求经最大值选择器, 与燃油负反馈信号比较, 输出燃油控制信号。

4. 各种接口电路, 用来与中央处理机连接, 中央处理机具有发生故障时的记忆功能, 在短时间失电恢复供电后仍能保存原来的运行状态。

5. 输出级将燃油控制信号放大, 送至执行机构; 并具有跟踪后备系统, 燃油控制信号与后备系统中的 D/A 转换器的输出信号相比较, 如有偏差则计数器自动加数或减数, 直到 D/A 转换器的输出信号与燃油控制信号相等。因此在任何时刻, 跟踪后备系统的 D/A 转换输出电压始终跟踪调速级输出电压, 两者保持一致, 利用这种跟踪后备系统可以实现故障时自动切换。例如, 在正常电源发生故障时, 由独立电源供电的后备系统就能投入运行, 并使燃油位置信号保持原值不变。

电子调速器对各种机型均适用, 并且不管主机是否装有调速器。当转速信号及燃油齿条位置信号失去时, 调速精度变差, 但仍不会失去操纵性。调速精度: 100% RPM  $\pm 1\%$  大于空转转速  $\pm 2\%$ 。应急停车功能由独立的线路及电源实现。

(三) 外围输入输出信号

1. 输入信号有:

1) 安全保护, 包括凸轮轴滑油、主机滑油、增压器滑油、活塞冷却水等的低压, 以及排气高温。

2) 限位开关, 包括凸轮轴正、倒车、驾驶室控制和车钟停车位置。

3) 调速系统宜采用具有超速保护装置的磁脉冲式。

4) 燃油齿条位置传感器和扫气压力传感器。

5) 驾驶室车钟系统中的发信器(电位器和限位开关)。