

电气传动控制系统 及其工程设计

段文泽 童明俦 编著

CSAED



重庆大学出版社



电气传动控制系统及其工程设计

段文泽 童明傲 编著

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书从工程实践的角度,论述了电气传动控制系统设计中的众多问题,包括:生产工艺特点,控制方案选择,传动参数计算,静态与动态设计,性能指标改善及验算,可靠性设计及系统调试,故障诊断等。以工程系统的设计作为示范贯穿全书,可供工程设计参考。书中还深入地讨论了非线性校正,交结构控制,改善低速运行平稳性,提高可靠性措施及生产过程与大系统最优控制等一系列专门问题,取材新颖,对新系统的研制具有参考价值。

对于工业自动化,自动控制等专业的高年级大学生,研究生及有关教师,在进行课程教学或毕业设计,毕业论文,学位论文工作时,本书是较好的教学参考书。本书同时可供电气自动化领域中从事科研,设计、生产及运行科技人员学习、参考。

电气传动控制系统及其工程设计

段文泽 童明俦 编著

责任编辑 贾肇武

重庆大学出版社出版

新华书店重庆发行所发行

重庆大学出版社印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 25.75 字数: 643千

1989年10月第1版 1989年10月第1次印刷

印数: 1—4000

标准书号 ISBN 7-5624-0191-8 定价: 5.06元
TM·11(课)

前 言

工业自动化专业的大学生在学完相应专业课程之后,往往仍然缺乏应有的实际知识,很难完成电气传动控制系统的工程设计,不会进行系统调试和故障分析处理,缺乏深入研究问题的能力。对此,作者曾编写讲义供学生毕业设计时参考,历届采用。近年来,随着科学技术的迅速发展,电气传动自动化学科范围不断扩大,面目一新,无论是现有教材,还是我们编写的讲义,都必须充实新的内容。为此,我们编写此书,企图以此填补学生知识结构上的鸿沟。

本书的特点,首先是强调实践性,但又不失系统性。在取材时,对一般文献中反映较多的内容,仅作简要叙述以保持内容的连贯性,而将重点放在工程中的实际问题上,安排了完整的工程设计实例贯穿于全书。本书还注重内容的新颖性,按中国自动化学会电气自动化委员会最近在“战略发展建议”中提出的学科范围,力求在某种程度上反映近年来国内外的最新发展,其中包括作者本人的工程实践和研究结果。本书内容具有一定的广泛性:除了单机自动化之外,涉及了生产过程及大系统自动控制问题;除静态与动态设计之外,讨论了可靠性设计有关问题;除了电气传动自动化之外,考虑了与仪表自动化领域的交叉。限于篇幅,本书并未涉及交流传动领域的最新发展,对这些内容已有文献论述。

第一章是概述,介绍了电气传动自动化学科的发展概况、传动系统构成原理以及工程设计的步骤和内容。在第二章里,按不同负载特性,讨论了典型生产机械的工艺特点、传动方案选择及传动参数计算问题。这些生产实践知识在现有国内文献中,还很少看见系统的论述。第三章的顺序控制系统是电气传动中不可缺少的部份,书中除讨论继电控制系统的一般设计方法之外,还扼要介绍了可编程序控制器的硬件和软件设计。第四章在叙述直流调速中的可逆与不可逆系统、线性系统工程设计方法的基础上,进一步讨论了非线性校正,变结构系统等设计问题。除了简单手算方法之外,还有数字仿真与计算机辅助设计,提出的一些方法对解决非线性系统、多变量系统等手算难于解决的问题是有效的。作者认为,突破线性系统设计的框框,对改进系统性能往往能收到更显著的效果。在第五章里,对位置随动系统的不同构成方案进行了归纳分类,讨论了实现这些方案的特殊部件选择问题。除位置输入、速度输入、加速度输入外,对于一般输入,对于扰动作用下的稳态设计讨论较细。比较了不同系统结构和动态设计方法,并在此基础上提出一种带速差校正的复合控制随动系统设计方法。对低速性能的讨论包括了力矩扰动、干摩擦影响和减速器弹性影响,综合了现有文献和作者的研究结果。本章结束了贯穿全书的工程实例设计,给出了相应的设计图,具有较强的实践性和解决问题的独创性,可供参考。第六章论述生产过程与大系统最优控制,这是电气自动化的较新领域。时间最优控制与最优节能控制,特别是风机水泵类的节能控制等,都是具有现实意义的课题。本章通过一些实例,给出了硬件和软件设计。对于大系统控制,国内还很少成熟的工程实例。本书选择了作者仿真研究的一个典型实例,用以论述建模、预报和控制中若干复杂问题的处理方法,希望能够起到启发作用。本章的讨论说明,电气传动自动化与仪表自动化两个领域的交叉,已是不可避免的趋势。第七章讨论的可靠性设计,对现代控制设备已逐渐成为不可缺少的内容。在扼要介绍可靠性理论的基础上,给出了设计的工程实例。以作者的工程实践为主线,本章对提高可靠性的一些具体措施进行了讨论,包括:干扰抑制、生产过程检查与质量控制、系统调试、故障诊断与系统保护等。对新一代产品中的故障自诊断与自

复原，作了简要介绍。本书的附录给出了贯穿全书的工程实例中有关的控制单元图，描述了工作原理。

本书第一、二、五、六、七章由段文泽编著，第三、四章及附录由童明倬编著，由段文泽任主编统编全书。许德沛教授负责审稿，提出了很多宝贵意见。在拟定编写大纲过程中，重庆大学出版社组织了有关人员征求意见。刘竞成教授、罗先知教授及重庆大学、昆明工学院、齐齐哈尔重型车床研究所、重庆钢铁设计院的其他教授、专家都提出过有益建议，有的提供了相应资料，在此一并致谢。编写中参考了一些作者的研究成果，对参考文献目录中列写的有关作者也表示感谢。由于我们学术水平有限，经验也不丰富，书中难免有不少缺点和错误，敬请读者指正。

编著者

1988年6月

目 录

第一章 电气传动自动控制系统设计概述

§1-1 电气传动自动化学科发展概况	(1)
§1-2 电气传动自动控制系统的构成原理	(3)
§1-3 设计任务书	(7)
§1-4 设计工作的内容	(9)
§1-5 电气传动控制系统的论证试验	(10)
§1-6 工作图设计的有关规定	(10)

第二章 电气传动方案选择与参数计算

§2-1 电气传动方案选择概述	(16)
§2-2 反抗性恒转矩负载的工作特点	(22)
§2-3 机床的进给传动	(24)
§2-4 恒功率负载特性	(31)
§2-5 机床的主传动	(32)
§2-6 轧制生产过程的电气传动	(35)
§2-7 位能性恒转矩负载的工作特点	(46)
§2-8 起重机械的电气传动	(47)
§2-9 透平机械特性	(52)
§2-10 透平机械的电气传动	(55)

第三章 顺序控制技术

§3-1 顺序控制电路的设计与分析	(59)
§3-2 可编程序控制器的工作原理	(68)
§3-3 微型可编程序控制器的系统结构	(76)
§3-4 微型可编程序控制器的编程方法	(83)
§3-5 微型可编程序控制器的接口电路	(96)

第四章 直流调速系统的工程设计

§4-1 调速系统的性能指标	(100)
§4-2 主回路选择	(104)
§4-3 不可逆调速系统	(114)
§4-4 可逆调速系统	(116)
§4-5 线性系统的最优控制模型	(125)
§4-6 调速系统的工程设计方法	(132)
§4-7 非线性校正及其应用	(146)
§4-8 变结构系统	(152)
§4-9 直流PWM调速系统	(157)
§4-10 调速系统性能指标的分析计算	(166)

§4-11 电气传动控制系统的数字仿真	(179)
§4-12 电气传动控制系统的计算机辅助设计	(192)

第五章 位置随动系统及其工程设计

§5-1 位置随动系统的基本构成及控制方案	(202)
§5-2 位置随动系统的检测部件	(205)
§5-3 减速器速比选择和分配	(214)
§5-4 随动系统的性能指标	(215)
§5-5 随动系统的稳态设计	(217)
§5-6 随动系统的动态设计	(233)
§5-7 运行平稳性和调速范围	(246)
§5-8 减速器对随动系统动态性能的影响	(256)
§5-9 重型机床调速与电轴两用系统	(258)

第六章 生产过程与大系统最优控制

§6-1 时间最优控制	(272)
§6-2 随动系统的双模控制与微机实现	(277)
§6-3 最小能耗控制	(282)
§6-4 给水泵站最优节能控制	(289)
§6-5 复杂大系统的特点及控制方法	(298)
§6-6 大规模供水系统的最优控制	(301)
§6-7 大系统控制的计算机实现	(315)

第七章 可靠性设计与系统的调试维修

§7-1 系统可靠性理论的基本概念	(320)
§7-2 不可维修系统的可靠性计算	(325)
§7-3 可修复系统的可靠性评价	(332)
§7-4 系统可靠性的最优化	(335)
§7-5 可靠性设计中的一些具体问题	(338)
§7-6 电磁干扰及其抑制方法	(340)
§7-7 电气传动控制系统中的抗干扰问题	(346)
§7-8 生产过程检查与系统调试	(351)
§7-9 产品的出厂试验与型式试验	(361)
§7-10 故障检测与系统保护	(362)
§7-11 故障人工诊断	(365)
§7-12 故障自诊断与自复原	(367)

附录 电气传动系统中的控制单元

一 稳压电源(WY)	(369)
二 触发装置(CF)	(372)
三 调节器	(374)
四 选触单元(XC)	(376)

五	直流变换器(ZB).....	(377)
六	电流反馈及过流保护单元(LFG).....	(378)
七	电流符号选择器(LX).....	(380)
八	绝对值放大器(JF).....	(382)
九	零速封锁单元(LST)	(382)
十	相敏放大器(XMF)	(384)
十一	振荡器(ZT).....	(386)
十二	门槛单元(MJ).....	(386)
十三	限幅电源(XF).....	(387)
十四	反馈整定单元(ZD)	(388)
十五	相序鉴别器(XJ).....	(389)

参考文献

第一章 电气传动自动控制系统设计概述

生产过程自动化可大致分为两类：一类是以电动机为执行机构的控制生产机械运动的系统，属于电气传动自动化范畴；另一类以自动化仪表为执行机构，控制具有连续物质流的生产过程，属于仪表自动化范畴。前者一般控制机械运动参量，如位置、速度、加速度、力、力矩等，后者往往涉及温度、压力、流量、液位、成份等物理量。在实际生产中，两种控制往往互相渗透，互相交叉。在供水系统与给水泵站的最优控制中。既有流量、压力、水位的预报与控制，又有水泵机组的切换与调速问题，是交叉的典型实例。

§1-1 电气传动自动化学科发展概况

电气传动自动化这一学科，经历了漫长的发展历程，它代表着生产与科学技术发展的水平。在很长一个时间里，它主要研究单台电动机拖动生产机械的自动化问题，包括电动机的起动、制动、换向、速度和加速度控制以及位置跟踪。发展的第二个阶段是解决生产过程自动化问题，这里运行着众多的生产机械或是一个生产机械中包含多台电动机，每个生产机械或每台电动机都有自己的控制系统。为了使整个生产过程达到最优的技术经济指标，这些子系统的动作必须协调。造纸机中多台电动机运转的同步精确度，将影响产品质量好坏，是一个生产机械中多机协调动作的例子。在给水泵站最优控制中，为了满足一定的出口流量和压力并获得最高综合运行效率，应选取适合的水泵组合并确定其最优转速，这是生产过程中多机协调的实例。发展的第三个阶段是整个车间、整个工厂企业的综合自动化问题，出现了无人管理车间、无人管理工厂，这里提出的问题已是大系统控制问题了。电气传动自动化的最新发展以自动控制理论、信息传输理论及系统科学理论的最新成就为理论基础，以各种开关设备、顺序控制器、晶闸管或大功率晶体管变流器，新型传感器、电子计算机以及通讯设备为物质基础，以数字仿真与计算机辅助设计、辅助制造为研究、设计与生产手段。这些情况使它成为一门多学科交叉的新兴学科。电气传动自动化的概念已经和过去大不一样了。

一 直流传动技术概况

由于直流传动系统具有良好的起制动、正反转及调速等性能，目前在传动领域中仍占主要地位。按供电方式，它可分为变流机组供电，水银整流器供电和晶闸管供电三类，相应的技术经济指标列于表1-1。

表 1-1

供电方式	传动效率	响应时间(S)	功率放大倍数
变流机组	0.79	1	10
水银整流器	0.84	10^{-3}	10^3
晶闸管整流器	0.89	10^{-3}	10^5

由表1-1可见，晶闸管供电的直流传动系统具有良好的技术经济指标，因此在国外迅速地取代了其它两种供电方式。我国正在加紧推广，已经取得明显效果，但技术改造任务仍然十分艰巨。主要需要解决的问题是：

1 提高传动的单机容量。我国现有容量为7000kW, 国外则早已制成14500kW的传动装置。

2 提高电力电子器件的生产水平, 增加品种。普通晶闸管、快速晶闸管、可关断晶闸管(GTO)和功率晶体管的电压、电流、关断时间的水平都有待提高。场效应功率管(MOSFET)与静电感应晶闸管还有待填补空白。

3 控制单元水平尚需提高。目前主要使用小规模集成运算放大器和组件, 触发装置甚至仍用分立元件, 相当于国外第二代产品。目前国外的第四代产品以微处理机为基础构成, 具有控制、监视、保护、诊断及自复原等多种功能。

4 目前国内的直流传动系统, 机组供电仍占主要地位。为提高劳动生产率, 降低电耗, 应大力推广晶闸管直流传动。

二 交流传动技术概况

由于直流电机存在机械换向问题, 其最高供电电压受到限制, 机械强度也限制了转速进一步提高, 结构的影响使其不适于腐蚀性、易爆性和含尘气体的特殊场合。交流电机一直受到人们的重视。它体积小、重量轻、转动惯量小、制造简单、结构牢固、工作可靠、易于维修。只是长期以来由于调速性能差、装置价格高、效率低, 使交流调速未能推广。自从微处理机出现后, 国外在绕线型异步机串级调速、无换向器电机调速、笼型异步机的矢量控制以及PWM技术方面, 都已获得重大突破与发展, 进入工业应用阶段。可以说, 交流传动逐步取代直流传动已成为明显的发展趋势。特别是“节能型”交流传动技术, 已得到很快发展。我国在这一方面, 除异步串级调速装置在风机、水泵类传动装置中得到初步应用外, 其它尚未达到实用化阶段。矢量变换技术与微机控制系统尚在研究之中。

三 计算机应用技术概况

为实现综合自动化, 国外在集散型计算机控制系统方面已有定型成套装置。对大型、复杂的电气自动化系统进行在线实时控制, 技术已经过关, 目前已发展了具有区域管理级、车间管理级、监控级及过程控制级的四级计算机控制系统。在过程控制级发展了分散-微型化系统。在数据通讯方面, 已采用光导纤维的环形数据通讯设备。而在国内, 目前仅在生产过程控制级开展了一些工作, 在可编程序控制器方面、在工业控制机方面, 有了一些应用, 使大部份硬件软件化, 提高了控制可靠性, 使一些新的控制策略得以实现, 提高了控制的适应性。但是, 一方面这种应用还极为有限; 另一方面, 还没有从更高更广的角度来解决全局最优控制问题。

四 自动控制理论应用概况

自动控制理论是编制计算机应用软件的基础。目前国内对新理论应用的研究相当活跃, 大都有实际应用背景, 但却多停留在仿真研究阶段。也有在生产实践中得到应用的例子, 但为数甚少。目前, 把变结构控制、鲁棒控制、自适应控制、自学习控制以及大系统控制论中较为成熟的分散控制、递阶控制理论很好地用到生产实践中, 尚需进行大量的工作。开展新理论、新设计方法和算法的研究也不容忽视。随着生产规模的扩大, 生产过程的复杂化, 理论问题的研究和应用必将越来越显示其重要作用。

§1-2 电气传动自动控制系统的构成原理

一 电阻切换型电气传动系统的构成原理

在一个较长时期里,电阻切换型电气传动以其简单的特点在各个领域获得广泛应用。它靠切换电阻来控制电机速度和转矩,使之符合工艺要求。目前,在传动要求不高的场合,仍有较大使用价值。原理结构如图 1-1。

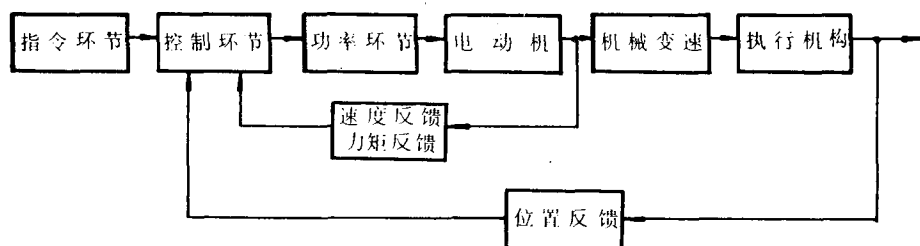


图 1-1 电阻切换型电气传动结构原理图

图中,指令环节提供起动、制动与换向指令并确定电机稳态转速。由于电阻大量耗能,稳态时往往全部切除电阻,因而稳态转速是不可调的。指令环节一般由按钮、主令控制器、控制开关等组成。控制环节根据指令信号与反馈信号控制功率环节,它由继电器或无触点逻辑元件构成。功率环节直接拖动电动机,由接触器或晶闸管无触点开关构成。

对动态过程的控制分为两种情况:一种是对电流和转矩不加限制(如对笼型异步电动机和小功率直流电动机),另一种情况是对电流和转矩分段控制,以便把它们限制在容许范围里(如对绕线型异步电动机和大中型直流电动机)。转矩的控制采用分段切除(起动时)或接入(制动时)电阻的办法,按图 1-2 的转矩图进行。级数的多少由需要的控制精确度确定。控制原则有三种:按时间间隔控制、按监测速度控制与按监测电流控制。

按时间间隔控制转矩时使用时间继电器并按运动方程事先计算好的时间间隔整定。由于转矩与速度间往往近似呈线性关系,使计算得以大大简化。起动时,第 i 级的速度改变时间为

$$t_{Q_i} = J \frac{\omega_{fi} - \omega_{si}}{M_s - M_f} \ln \frac{M_s - M_c}{M_f - M_c} \quad (1-1)$$

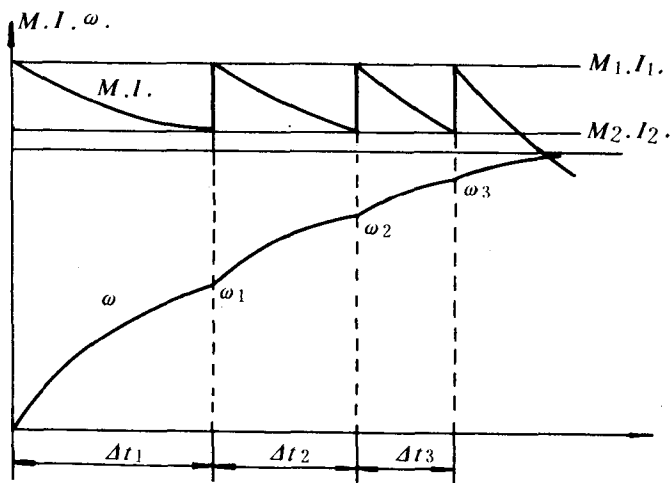


图 1-2 三级电阻起动过渡过程

其中, J ——转动惯量, M_s 、 M_f ——电动转矩在某一级的初值和终值, ω_{si} 、 ω_{fi} ——相应的初速度和末速度, M_c ——电机轴上静态负载转矩。确定第 j 个继电器的保持时间 Δt_{Qj} 时, 要考虑加速接触器的接通动作时间 t_B , 于是

$$\Delta t_{Qj} = \sum_{i=1}^j t_{Q_i} - t_B \quad (1-2)$$

制动时, 第 i 级速度改变时间为

$$t_{zi} = J \frac{\omega_{fi} - \omega_{si}}{M_s - M_f} \ln \frac{M_s + M_c}{M_f + M_c} \quad (1-3)$$

第 j 个继电器保持时间为

$$\Delta t_{Zj} = \sum_{i=j+1}^n t_{zi} - t_0 \quad (1-4)$$

其中, t_0 为制动接触器切断动作时间, n 为切换级数。

按监测速度控制转矩时利用速度传感器。当达到切换速度时, 加速接触器接入或制动接触器切除。转速原则又有直接测速和间接测速两种, 前者不便广泛采用, 后者往往通过检测转子电压或转子频率来实现。按频率原则的方案目前在国外得到较多的应用(见 §2-8), 国内检频元件尚未过关, 有待研制。

按监测电流控制转矩时使用电流继电器, 当电流下降至 I_2 时(图 1-2), 加速接触器接入。由于电流继电器整定困难, 并且难于克服负载扰动和电网电压扰动的影响, 这种方案用得较少。

二 可控变流器电气传动系统的构成原理

可控变流器泛指对直流电动机供电的可控整流器和对交流电动机供电的可控调压器及可控变频器。这类系统常常是带有电压反馈、电流反馈与速度反馈的闭环系统, 它们可以获得很宽的调速范围和很高的稳态动态指标。电气传动中的调速系统属于恒值调节范畴, 而位置控制系统则往往属于随动系统范畴。对于它们, 常常用到按偏差调节和按扰动调节这样两个原则。但是, 这类系统在动态过程中往往会发生某些中间变量超出容许值的情况(对调速系统, 电压、电流是中间变量, 对位置控制系统, 速度也是中间变量), 这就必须根据工艺要求和传动机构、电动机的承受能力对它们加以限制, 以保证其可靠工作。从这一要求出发, 控制系统可按结构分为三类:

(一) 带有截止负反馈的单闭环系统

在单闭环系统中附加一些中间变量的负反馈, 一旦这些中间变量达到极限允许值, 这些附加反馈立即投入工作, 如图 1-3a 所示。如果某一附加反馈的传递系数大到使外环的反馈可以忽略的程度, 就可约束中间变量。这种方法的缺点在于按单环系统选择唯一的一个调节器 A 时, 难以使它在多个反馈下具备良好的动态特性。通常必须减小附加反馈的传递系数, 这就恶化了中间变量的约束品质。这类系统的典型应用是单闭环调速系统中加入附加的电流截止负反馈。这种系统的静特性和动特性都不理想。静特性运行段不硬(转速随负载变化大), 下垂段又不陡(到一定负载时不能使转速陡然下降)。动特性不能保证在动态过程中(起

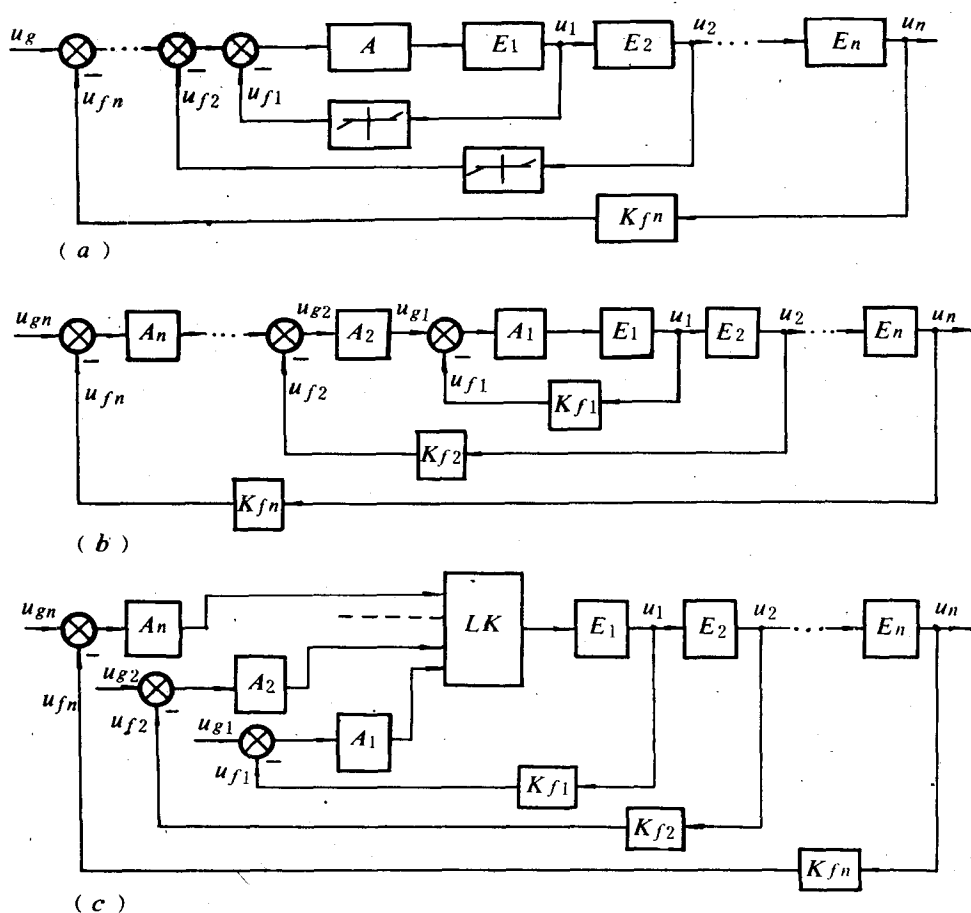


图 1-3 电气传动系统结构图

动和制动等) 电流一直保持最大允许值以提供最大加速度, 稳态时电流又立即降下来。因此, 这种系统稳速精度不高, 起制动过程较慢, 影响劳动生产率, 只适于要求不高的场合。

(二) 按从属调节原理构成的多环系统

针对上一控制方案的缺点, 在系统中设置多个调节环, 各环都有自己的调节器 A_1 、 A_2 、 $\dots$ 、 A_n , 它们分别对不同参数进行调节, 如图 1-3b 所示。图中, 外环的调节器输出电压作为内环的给定值, 并且这一输出电压受到调节器限幅值的限制, 因此, 内环的输出也就不会超出与此限幅值相应的值 (它们相差一个反馈系数 K_{fi}), 这就达到了约束中间变量的目的。由于每个环对相应参数的调节从属于它的外环, 故称从属调节原理。

这种系统的设计从内环开始, 逐渐往外进行。每个环的设计若按“模最优调整”进行 (所谓“二阶最佳”), 则其闭环传递函数为

$$W_{Bi}(s) = \frac{1/K_{fi}}{2T_{\mu i}^2 s^2 + 2T_{\mu i} s + 1} \quad (1-5)$$

式中, $T_{\mu i}$ 为第 i 个环的总小时间常数。忽略高次项, 有

$$W_{Bi}(s) = \frac{1/K_{fi}}{2T_{\mu i} s + 1} \quad (1-6)$$

因此,在设计外环时,可把内环等效看作一个惯性环节,其等效时间常数为 $2T_{\mu 1}$,若这等效时间常数与外环大时间常数相比足够地小,又可将它合并到外环的总小时间常数里去,再次按“模最优调整”设计外环。由此可见,这种系统的设计和调整是极其简单的,并可获得规范特性。

综上所述,约束中间变量非常方便,设计调整简单,能够获得规范化特性,这些都是这种系统的优点,也是它获得广泛应用的原因。但同时也可看出,每个环的等效时间常数都是其小时间常数的二倍。就算外环没有其它小时间常数,第二环的等效时间常数 $T_{e2} = 2T_{\mu 1} = 2 \times 2T_{\mu 1} = 4T_{\mu 1}$,第 n 环的等效时间常数为 $T_{en} = 2^n T_{\mu 1}$ 。随着环数的加多,等效时间常数越来越大,考虑到每个环自身还有小时间常数,这个增大过程还要加剧,剪切频率还将更低,这是从属调节系统的主要缺点。由于这一缺点,很少构成多于三环的系统。

(三) 变结构独立调节单环系统

鉴于从属调节系统剪切频率较低,在快速性要求较高的场合,又出现了变结构独立调节系统,其结构原理如图1-3c所示。逻辑开关 LK 是这种系统的核心,它可根据某种原则接通 n 个单闭环中的一个,从而实现这个单环的独立调节,这时,它们分别具有各自的调节器 $A_1, A_2 \dots A_n$ 。但无论什么原则,必须保证中间变量不超过允许值。

1 按监测的中间变量控制逻辑开关 LK :一旦中间变量 u_i 超出极限允许值,切断其余调节环,接通变量 u_i 的调节环,系统转入保持中间变量恒定的状态,这时的中间变量由输入控制信号 u_{0i} 决定。西门子公司为数控机床进给传动生产的宽调速系统采用了这种控制方案。

2 按输出量偏差值控制逻辑开关 LK :这种方案一般用在只有两个环(非从属)的情况下,将差值 $u_{02} - u_{f2}$ (例如速度差)作为逻辑开关的控制信号。当差值较大时,中间变量 u_1 (例如电流)的调节环接通,使中间变量很快升至极限值。当差值减到一定数值时,断开中间变量调节环,接通主环。这种按输出量偏差信号控制的方案往往能收到更好的效果。对调速系统,能得到更好的快速性和抗扰性能(见第四章§4-8)。

上面这种变结构独立调节单环系统由于引入逻辑控制装置而变得复杂。当同时约束几个中间变量时,这个缺点更为明显。但随着电子技术的发展,这个缺点逐渐失去影响,但是必须设计简单可靠的逻辑控制装置。

对于生产机械或生产过程的控制,只有可控变流器还是不够的。控制过程中还必须完成若干逻辑动作,为此,还需配以相应的逻辑控制系统才能构成完整的电气传动系统。普遍使用的是继电器接触器控制,但近年来随着微处理机的迅速发展,已出现了实用的可编程序控制器,有部份取代前者的趋势。

三 复杂电气传动自动控制系统构成原理

复杂系统往往包含若干子系统,它们互相关联,为一个共同目的结合为一个整体。对某个子系统说来是最优的控制方案,从全局看来不一定是最优的,为此,必须协调它们的动作。目前发展了三种控制结构:

(一) 递阶控制结构

递阶控制结构如图1-4a所示。这里,1、2、 $\dots$ n 个子系统分别对生产过程变量的某个子集进行控制,而上一级的控制计算机根据收集到的生产过程信息,从总体最优的目标出

发,协调每个子系统的控制目标,起到协调作用。被控制的对象越大、越复杂,递阶的级数越多。现代化的钢厂一般分为四级控制:第一级由工厂实现自组织控制,根据改变了的环境(采购、销售、人员、支出等情况)自动选择模型结构进行最优决策,安排计划;第二级由生产管理部门实现自适应控制,根据进料、烧结、冶炼、铸造、轧制、热处理等车间的具体情况,确定模型参数负责协调控制;第三级实现生产过程最优控制,根据具体情况确定各控制器的工作设定点;第四级是现场的直接数字控制(DDC)。

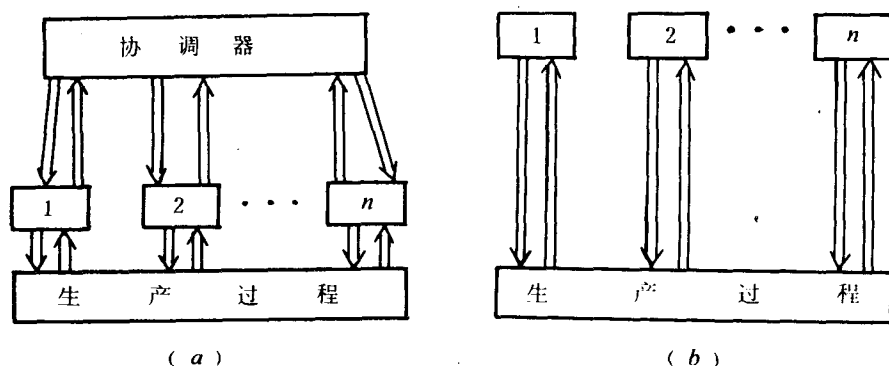


图 1-4 递阶控制与分散控制结构

(二) 分散控制结构

递阶控制的一个极端情况是分散控制,这时,协调器和各子系统控制器之间的联接被切断。在设计控制系统时,必须先将原系统分解为去耦的或弱耦合的若干子系统,并将适当的输入配置到每个子系统。实现这种分散化之后,每个子系统可独立进行控制并共同完成整个生产过程的次优控制。所以是次优,因为这里丧失了协调器和各子系统之间的信息交换。但是由于避免了数据收集、存贮及通讯上的困难,这种控制结构是比较经济可靠的。控制结构如图 1-4b 所示。在冶金、纺织、造纸等企业的带材生产线上,带材将数目众多的工作辊紧密联系在一起,对跳动辊实行适当的位置控制,就可实现去耦并在此基础上对工作辊实行分散控制。

(三) 分布控制结构

在整个控制系统的控制目标事先按一定方式分配给各子系统的控制单元之后,在子系统之间可以进行有限的信息交换,是介于前面两者之间的一种方案,它使系统的可靠性、灵活性都有所改善。重型车床中的电轴系统,就在主传动和进给传动之间传递了必要的信息,用以保证二者同步运行。

§1-3 设计任务书

电气传动自动控制系统的设计工作根据设计任务书进行。设计任务书一般由工艺(或机械)设计人员提出,但在必要时往往需要由工艺和电气设计人员会同使用单位在调查研究的基础上共同编制。

一个电气传动控制系统的设计任务书,一般应包括以下内容:控制系统的用途及使用范围(包括生产机械的工艺过程、生产的批量、对劳动生产率及加工精度的要求等);生产机械的工作环境(海拔高度、温度、湿度、冲击、振动、防腐、防水、防爆、防尘);用户电源

情况（电源种类、电压、频率及容量）；负载情况（机械传动系统图及有关数据，包括静阻力、惯性力及其它附加力情况）及负载图；运动特性（运动方式、调速范围、起制动及反转的频繁程度、对控制系统跟随性能及抗扰性能的要求等）；对逻辑控制动作及控制元件的要求（包括生产机械各种操作、自动或半自动循环、保护装置、传动之间的联锁、自动测量、照明、控制按钮站或控制台的数量及预定的布置方法等）；关于系统安装结构的要求；其它需要说明的问题。

如果设计是属于系列设计，则还应包括以下内容：编制系列设计的依据；系列的主要技术特性；系列对通用化的要求等。

例 1-1 作为实例，下面给出了《重型车床进给与电轴系统设计任务书》。由此例可以清楚看出设计任务书究竟是如何编写的。

《重型车床进给与电轴系统设计任务书》

要求为重型普通车床设计一个进给与电轴两用的电气传动系统，它既可作一般调速系统进行普通进给切削，又可切换为电轴系统切削螺纹。机床工作于室内，无防水、防腐、防爆、防尘的特殊要求，无剧烈的振动与冲击。电源为三相四线供电，50Hz，380 V（+5%，-15%），电源电压波动较频繁。

机床刀架有五层：大拖板、横刀架、回转刀架、上刀架和小刀架，这五层刀架的运动均可用手动方式实现。机动的普通进给只有三个：纵向（大拖板）、横向（横刀架）与上纵向（上刀架）。机床要求溜板箱有二档速度（低速、高速）和一个快速档。三个方向上的传动分配与速度变换都由电磁离合器控制。机械档的变化与电机无级调速相配合，要求得到的速度变化范围如表 1-2

表 1-2

分 挡	纵向(mm/min)	横向(mm/min)	上纵向(mm/min)	电机转速(r/min)
低 (I)	0.4~40	0.2~20	0.1~10	15~1500
高 (II)	5~500	2.5~250	1.25~125	15~1500
快 速	3000	1500	750	1500

螺纹切削应保证工件转一圈时，刀架进给始终等于一个螺距，由上刀架与机床主轴间的同步运动来实现。为保证精度，螺纹切削时单独走一传动链而不经电磁离合器。为得到 1~64mm 间的不同螺距，采用机械换档与换轮方法。要求能同时切削正螺纹与反螺纹。（机械传动系统图略）

机床处于不同切削状态下的负载情况差异较大。负载的静阻力包括平移时的摩擦力与稳定切削时进给方向的阻力。拖板快速移动时，只有前者。螺纹切削时的摩擦力取决于上刀架质量 $M_1 = 250\text{kg}$ ，普通切削则取决于整个刀架质量 $M_2 = 5t$ ，摩擦系数 $\mu = 0.1$ 。切削时的阻力与切削量有关而与进给速度无关，因为负载属于恒转矩特性。重切时最大切削阻力 F_m 为 60kN，螺纹切削时为 10kN。根据机械传动系统图得出，在不同机械档时，负载及传动齿轮系折合到电机轴上的飞轮转矩变化范围是 $GD^2 = 0.98 \sim 1.27\text{N} \cdot \text{m}^2$ 。

系统作普通进给时的具体要求是（指标定义见第四章）：

- 1 静差率 $\leq 5\%$ 。

- 2 起动时间 $= 0.5 \pm 0.2s$, 起动无超调。
- 3 突加10%额定负载时, 最大动态速降 $< 5 r/min$, 恢复时间 $< 200ms$ 。
- 4 换向断流间隙 $t_s \leq 15ms$ 。
- 5 调速范围 $1:100$, 最低速空载转速不匀度 $< 20\%$ 。
- 6 对刀调整时, 起制动最频繁, 这时电机的稳定运行时间为起动时间之10倍, 系统应能承受这种负载。

7 在系统保护方面, 应设置缺相保护, 过流保护, 过载保护与超速保护。

8 在控制动作方面, 应在按钮站上设一转换开关, 用以选择上纵向、横向、纵向与手动四种传动工作制, 控制相应离合器动作。纵向与横向运动应能互锁, 并用制动离合器保证。按钮站上另一转换开关应能控制相应离合器来选择低速、高速与快速三种状态。应有相应按钮控制正、反进给与停止。只有当主轴转动后才允许进给。正反进给应互锁。应有正、反向快速按钮实现大拖板快速移动, 二者应互锁但不用自锁。应使用转换开关及旋钮以实现电机速度的粗调与细调。设转速表来指示进给速度。按钮站上还应能控制润滑泵, 只在它起动后, 才能起动进给系统。除上所述, 刀架上还应有照明插座。刀架在切削中应禁止主轴停车。

机床对电轴系统的要求是:

- 1 车削螺纹精度九级, 其允差按 $GC101-60$;
- 2 切入空程 $\leq 20mm$;
- 3 重复切削时不乱扣;
- 4 切削不同螺距时, 为兼顾劳动生产率和切削精度, 主轴转速变化范围为 $1:10$;
- 5 从粗车到精车, 负载力矩变化虽较大, 但在一次循环切削中, 变化范围在 5% 以内, 这时应保证切削精度要求;
- 6 除普通进给系统应有的保护外, 还应设停电与失步保护, 避免工件报废;
- 7 在控制动作方面, 要求在按钮站的侧壁用转换开关选择正螺纹、反螺纹和普通进给三种状态, 要求用三个按钮来控制, 实现螺纹切削、快速返回与停止。只有当主轴开动之后, 才允许电轴进给, 但快速返回不受限制。

安装的结构特点:

按钮站为悬挂式, 安装于刀架之上, 其全部连接线通过铁管接在溜板箱旁配电箱的接线端子板上, 再与其它部份发生联系。拖动电机、测速机、润滑电机及电磁离合器都在溜板箱上。照明灯插座设于配电箱之一侧。以上部份与外部控制电箱之连线靠四个插座引出至拖线装置来完成。

对以上实例的具体设计, 本书将在第四章、第五章中的相应部份进行讨论, 调试问题则在第七章讨论。

§1-4 设计工作的内容

设计工作分为三个阶段, 它们的内容既有交叉, 又有不同。

方案设计又称初步设计, 一般包括的内容是: 分析国内外同类型产品中, 电气传动和控制方面的特征、性能及发展趋势; 根据国内情况选择电机、基本传动方案及控制方式; 绘制