



普通高等院校“十二五”规划教材

自动控制元件

AUTOMATIC
CONTROL ELEMENT

史震 张鹏 巩冰 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

013033013

TP273
683

普通高等院校“十二五”规划教材

自动控制元件

史震 张鹏 巩冰 编著
徐殿国 审



国防工业出版社

· 北京 ·



北航

C1640689

TP273

683

210880810 .

内 容 简 介

本书共分10章,涉及多个系列控制电机的工作原理、电磁关系、工作特性、性能指标及型号参数等内容,包括直流伺服电动机、直流测速发电机、步进电机、旋转变压器、自整角机、交流伺服电动机、无刷直流电动机、开关磁阻电机、超声波电机和直线电机等。

本书可作为普通高等院校自动化专业、测控技术与仪器专业、电气工程及其自动化专业、探测制导与控制技术专业本科生教材,也可以作为相关专业高职高专教材,还可作为有关技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制元件/史震,张鹏,巩冰编著. —北京:国防工业出版社,2013.2

普通高等院校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-118-08563-1

I. ①自... II. ①史... ②张... ③巩... III. ①自动控制—控制元件—高等学校—教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第023384号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20 字数 459 千字

2013年2月第1版第1次印刷 印数 1—4000 册 定价 36.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

前 言

1986年,哈尔滨船舶工程学院赵文常、侯荣恩两位老师在多年教学经验的基础上,主持编写了《自动控制元件》一书,并于1993年进行了修订;在此基础上,哈尔滨工程大学叶瑰昀等几位教师于2002年重新编写了《自动控制元件》教材;2009年,哈尔滨工程大学池海红等几位教师对2002版教材进行了修订。该教材在哈尔滨工程大学和黑龙江大学等院校使用多年,反映良好。

电力电子技术、控制技术、数字信号处理技术、微电子技术、材料技术和计算机技术的飞速发展,推动了现代电机技术的发展和新型电机的产生,拓宽了电机的应用领域。电机技术所依托的理论和技術已远不限于电磁理论,还包括控制理论、系统理论、计算机技术、信号处理技术和电力电子技术等。为了适应控制电机的发展趋势,反映现代控制电机技术的发展状况,了解新型控制电机的特性及应用,本教材在哈尔滨工程大学《自动控制元件》教材前面几版基础上重新进行了修订。本次修订对原有较陈旧内容做了删减,增加了开关磁阻电机、超声波电机和直线电机等新型电机内容。

在编写本教材时,假设读者已经掌握电机学的一般基础知识。本教材共分10章,涉及多个系列控制电机的工作原理、电磁关系、工作特性、性能指标及型号参数等内容,包括绪论、直流伺服电动机、直流测速发电机、步进电动机、旋转变压器、自整角机、交流伺服电动机、无刷直流电动机、开关磁阻电动机、超声波电动机和直线电动机。为便于教学,本书在保持全书系统性和完整性的同时,各章又自成体系,可以根据不同需要有选择地讲授相关内容。

本书依据本科教学大纲编写而成。参加本书编写工作的有黑龙江大学张鹏(第1~3章),哈尔滨工程大学史震(第4~7、10章)、巩冰(第8、9章)。全书由史震统稿,哈尔滨工业大学徐殿国教授主审。

教材中引用了相关参考文献的内容,特向相关文献的作者表示感谢。

在本教材编写过程中,得到了哈尔滨工程大学自动化学院和黑龙江大学电子工程学院有关领导和同事的热情支持和鼓励,哈尔滨工程大学自动化学院的研究生王德爽、王秀芝、杨轩、孙宁博、叶昌、韩菲等协助绘制部分插图,在此一并表示衷心感谢。

由于水平有限,本教材难免存在错误、疏漏或不妥之处,欢迎读者提出批评和加以指正,并将修改意见尽快反馈给我们。E-mail: shizhen@hrbeu. edu. cn

编著者

2012年8月

目 录

绪论	1
0.1 自动控制元件的定义和分类	1
0.2 自动控制元件在控制系统中的作用	2
0.3 对控制电机的基本要求	6
0.4 控制电机的发展概况和发展趋势	7
第1章 直流伺服电动机	9
1.1 直流电机的基本原理	10
1.1.1 直流电机工作原理	10
1.1.2 直流电机的结构	12
1.1.3 直流电机的励磁方式	14
1.1.4 电机的铭牌数据	15
1.1.5 直流电机的电枢绕组	15
1.1.6 直流电机的磁场	18
1.1.7 直流电机的电枢电动势与电磁转矩	21
1.1.8 直流电机的基本关系	22
1.2 直流伺服电动机的静态特性	24
1.2.1 电枢控制时的机械特性	24
1.2.2 直流伺服电动机的控制特性	26
1.2.3 直流伺服电动机的工作状态	29
1.3 直流伺服电动机的动态特性	32
1.3.1 阶跃控制电压作用下直流伺服电动机的过渡过程	32
1.3.2 过渡过程的讨论	34
1.4 直流伺服电动机的选择	38
1.4.1 直流电动机的型号与额定值	38
1.4.2 电机参数的选择	40
1.5 直流力矩电动机	42
1.5.1 概述	42
1.5.2 力矩电动机的额定指标及其选择	45
1.6 直流伺服电动机的控制电路	47
1.6.1 直流电动机的模拟驱动	47
1.6.2 直流电动机的脉宽调制	49

1.6.3	PWM 控制电路	51
1.7	直流伺服电动机在控制系统中的应用案例——电动舵机直流伺服电机 选用方法	53
1.7.1	空空导弹电动舵机的特点	53
1.7.2	直流伺服电机额定转速和最大输出力矩的确定方法	54
1.7.3	直流伺服电机机电时间常数	55
1.7.4	电机的选用方法	55
1.7.5	结论	58
第2章	直流测速发电机	60
2.1	直流测速发电机的输出特性	61
2.1.1	静态特性	61
2.1.2	动态特性	62
2.2	输出特性的误差分析	63
2.3	直流测速发电机在控制系统中的应用	68
2.4	直流测速发电机的选择	69
第3章	步进电动机	73
3.1	反应式步进电动机的工作原理	75
3.1.1	反应式步进电动机的结构特点	75
3.1.2	径向分相反应式步进电动机的工作原理	76
3.2	步进电动机的静态特性	79
3.2.1	静态转矩	80
3.2.2	矩角特性	81
3.3	步进电动机的动态特性	85
3.3.1	单脉冲作用下的运行	85
3.3.2	连续运行时步进电动机的动态特性	91
3.4	步进电动机驱动电路	96
3.4.1	单一电压型驱动电源	97
3.4.2	高低压切换型驱动电源	98
3.4.3	其他形式的驱动电源	99
3.5	步进电动机的选择	101
3.6	步进电动机的集成控制电路	102
3.6.1	控制四相步进电动机	103
3.6.2	微步步进	104
3.6.3	高步进速率情况下改进转矩	105
3.6.4	步进电动机的应用:磁盘驱动头的定位	107
第4章	旋转变压器	111
4.1	变压器工作原理	111

4.1.1	变压器结构及种类	111
4.1.2	变压器的运行	113
4.2	旋转变压器结构和分类	116
4.2.1	旋转变压器的分类	116
4.2.2	旋转变压器的结构	117
4.3	正、余弦旋转变压器	118
4.3.1	正、余弦旋转变压器的空载运行	118
4.3.2	正、余弦旋转变压器的负载运行	120
4.4	线性旋转变压器	125
4.4.1	空载时线性旋转变压器的输出电压表达式	126
4.4.2	负载时线性旋转变压器的输出电压表达式	126
4.5	旋转变压器的应用	127
4.6	旋转变压器的选用	128
4.6.1	旋转变压器的误差特性	129
4.6.2	使用条件对误差特性的影响	130
4.7	多极旋转变压器及其在随动系统中的应用	131
4.7.1	双通道测角线路	131
4.7.2	多极旋转变压器的结构	135
4.8	感应移相器	135
4.8.1	感应移相器的工作原理	136
4.8.2	感应移相器的应用举例	137
4.9	轴角编码器	140
第5章	自整角机	147
5.1	力矩式自整角机	148
5.1.1	力矩式自整角机的结构	148
5.1.2	力矩式自整角机的工作原理	149
5.1.3	力矩式自整角机的主要技术指标	156
5.2	控制式自整角机	157
5.2.1	控制式自整角机的结构及分类	157
5.2.2	控制式自整角机的工作原理	158
5.2.3	控制式自整角机的主要技术指标	162
5.3	无接触式自整角机	162
5.4	双通道自整角机	164
5.5	自整角机的选择	168
第6章	交流伺服电动机	173
6.1	交流伺服电动机的结构与原理	173
6.1.1	交流伺服电动机的结构	173

6.1.2	交流伺服电动机的工作原理	175
6.2	两相绕组的圆形旋转磁场	176
6.2.1	圆形旋转磁场的产生	176
6.2.2	圆形旋转磁场的特点	181
6.3	圆形旋转磁场作用下的电动机特性	181
6.4	椭圆旋转磁场及其分析方法	192
6.4.1	椭圆旋转磁场的形成	192
6.4.2	椭圆旋转磁场的特点	194
6.4.3	椭圆旋转磁场的分析方法——分解法	195
6.4.4	椭圆旋转磁场作用下电动机的机械特性	198
6.5	交流伺服电动机的控制方法及静态特性	201
6.5.1	交流伺服电动机的控制方法	201
6.5.2	交流伺服电动机的静态特性	204
6.6	交流伺服电动机的动态特性	210
6.7	交流伺服电动机的选择	211
6.8	交流伺服电动机的应用	218
第7章	无刷直流电动机	222
7.1	无刷直流电动机概述	222
7.1.1	无刷直流电动机的发展历史	222
7.1.2	无刷直流电动机特点	223
7.2	无刷直流电动机的结构与工作原理	223
7.2.1	无刷直流电动机的结构组成	223
7.2.2	无刷直流电动机工作原理	227
7.3	无刷直流电动机的运行特性	230
7.4	无刷直流电动机改变转向的方法	234
7.5	无刷直流电动机的控制方法	236
7.6	应用举例	238
第8章	开关磁阻电动机	240
8.1	概述	240
8.2	开关磁阻电动机的结构与工作原理	240
8.2.1	开关磁阻电动机的结构组成和分类	240
8.2.2	开关磁阻电动机的工作原理	241
8.3	开关磁阻电动机的数学模型	243
8.3.1	开关磁阻电动机的基本方程	243
8.3.2	开关磁阻电动机的线性分析	244
8.3.3	考虑磁路饱和时开关磁阻电动机的准线性分析	249
8.4	开关磁阻电动机传动系统	251

8.4.1	开关磁阻电动机传动系统的组成	251
8.4.2	功率变换器	252
8.4.3	信号检测	254
8.4.4	控制器	258
8.4.5	开关磁阻电动机传动系统的特点	259
8.5	开关磁阻电动机的控制方式	260
8.5.1	开关磁阻电动机的运行特性	260
8.5.2	电流斩波控制	261
8.5.3	角位置控制	261
8.6	开关磁阻电动机应用举例	262
8.6.1	电动车驱动	262
8.6.2	在小家电中的应用	263
第9章	超声波电动机	265
9.1	概述	265
9.2	超声波电动机的运行原理	266
9.2.1	压电效应	266
9.2.2	椭圆运动及其作用	267
9.2.3	行波型超声波电动机的运行原理	268
9.3	超声波电动机的结构与分类	272
9.3.1	驻波型超声波电动机	272
9.3.2	行波型超声波电动机	274
9.3.3	混合模态超声波电动机	275
9.4	行波型超声波电动机的驱动控制	277
9.4.1	行波型超声波电动机的调速控制方法	277
9.4.2	行波型超声波电动机的驱动器	279
9.4.3	频率跟踪技术	281
9.5	超声波电动机的应用举例	282
9.5.1	在手表上的应用	282
9.5.2	在汽车上的应用	283
第10章	直线电动机	286
10.1	直线电动机概述	286
10.1.1	直线电动机的特点和应用场合	286
10.1.2	直线电动机的发展	286
10.2	直线感应电动机	287
10.2.1	直线感应电动机的主要类型和基本结构	287
10.2.2	直线感应电动机的基本工作原理	291
10.2.3	直线感应电动机的工作特性	291

10.2.4 直线感应电动机的边缘效应	292
10.3 直线直流电动机	293
10.3.1 永磁式直线直流电动机	293
10.3.2 电磁式直线直流电动机	295
10.4 直线和平面步进电动机	295
10.4.1 直线步进电动机	295
10.4.2 平面步进电动机	298
10.5 直线电动机应用举例	298
附录1 控制电机型号命名方法	303
附录2 控制电机产品名称代号	304
附录3 控制电机性能参数代号	307
参考文献	310

绪 论

0.1 自动控制元件的定义和分类

随着科学技术的迅猛发展,自动控制系统在工业、农业、交通、航海、航空、航天及国防等各领域中的应用日趋广泛。尽管各类自动控制系统的功能和结构不同,但基本组成均包括指令机构、控制器、放大器、执行机构、检测装置和被控对象等部分,如图 0-1 所示。

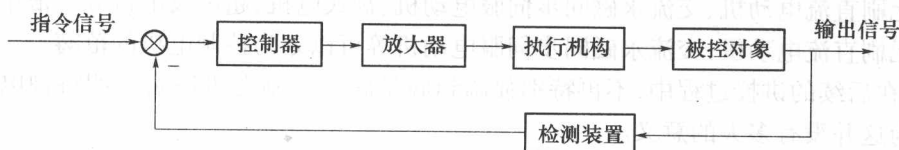


图 0-1 典型控制系统基本组成框图

自动控制系统各部分功能是:指令机构发出的指令信号与检测装置检测的被控量(输出信号)之差,经过控制器的处理(校正)以满足一定的控制品质。放大器将该信号放大后驱动执行机构,使被控对象的被控量跟随指令信号变化。

从以上各部分在系统中的功能和作用可知,任何一个自动控制系统都包括检测、放大、执行和校正几个部分,实现这些部分功能的元件统称为自动控制元件。与上述功能相对应的元件分别称为测量元件、放大元件、执行元件和校正元件。自动控制元件有很多类型,通常可以从能量转换的形式对其进行分类。有一类自动控制元件是在磁场参与下进行机械能与电能之间相互转换,它们是利用电和磁的原理进行工作的元件,这类元件统称为电磁元件,或称为控制电机。严格来讲,本书不介绍所有各类自动控制元件,只介绍上面提到的这一类——控制电机。关于这类电机,不同教材有不同的叫法,如控制电机、微特电机、特种电机等。

孙冠群、于少娟主编的《控制电机与特种电机及其控制系统》一书中,对控制电机、特种电机与传统电机的区别做了以下介绍。一般来说,与传统电机相比,在工作原理、结构、性能或者设计方法上有较大特点的电机都属于特种电机的范畴。①从工作原理看,有些特种电机已经突破了传统电机理论的范畴,如超声波电动机。它不是以磁场为介质进行机电能量转换的电磁装置,而是利用驱动部分(压电陶瓷元件的超声波振动)和移动部分之间的动摩擦力而获得运转力的一种新原理电机。②即使在传统电机理论的范畴内,许多电机的工作原理也具有较大的特殊性,可以称其为特种电机。例如,步进电机是将数字脉冲信号转换为机械角位移和线性位移的电机,采用高性能永磁体后制成永磁混合式步进电动机,并采用先进的控制技术,其技术指标和动态特性有明显的改进和提高。开关磁阻电机是一种机电一体化的新型电机,在电机发明之后的 100 多年来,磁阻电机的效率、功率因数和功率密度都很低,长期以来只能用作微型电机,而磁阻电机与电力电子器件相

结合构成的开关磁阻电机,其功率密度与普通异步电机相近,可以在很宽的范围内保持高效率,系统总成本低于同功率的其他传动系统,目前国内最高已有 400kW 的产品出售。

③从结构来看,除了传统的径向磁场旋转电机之外,还出现了许多特殊结构电机,如直线电机、盘式电机(横向磁场)等。

从以上的介绍可以看出,除了典型的通用直流电机、异步电机、同步电机、静止变压器等之外,其他类型的电机都可以归为特种电机的行列,也就意味着,控制电机也可以列为特种电机的序列。但是,由于控制电机的称谓历史较长,在我国高等教育自动化类专业中,一直以来都是不可或缺的课程,在这里,习惯上称控制电机之外的非传统电机为特种电机,控制电机定义为自动化系统中常用的微型特种电机。

按照上面的定义,控制电机一般包括直流测速发电机、直流伺服电动机、交流异步伺服电动机、旋转变压器、自整角机、步进电动机、直线电机等;特种电机包括开关磁阻电动机、永磁无刷直流电动机、交流永磁同步伺服电动机、盘式电机、超声波电机等。依用途而定,永磁无刷直流电动机、交流永磁同步伺服电动机等可以划为控制电机的范畴。

本书在后续的讲授过程中,不再特别强调到底是属于控制电机还是所谓特种电机的范畴,因为这并没有多大的意义。

控制电机在自动控制系统中应用非常广泛,是自动控制元件中最重要的部分。本书将主要对典型的控制电机进行介绍。

为了学习方便,可以按各种分类原则对控制电机进行分类。

1. 按控制电机在系统中的作用分类

- (1) 功率元件。进行电—机能量转换的元件,如力矩电机、三相异步电动机等。
- (2) 信号元件。进行机—电能量转换的元件,如测速发电机、自整角机、旋转变压器等。

2. 按控制电机使用的电流分类

- (1) 直流元件。如直流伺服电动机、直流测速发电机、无刷直流电机等。
- (2) 交流元件。如旋转变压器、自整角机、交流伺服电动机等。
- (3) 脉冲元件。如步进电机等。

0.2 自动控制元件在控制系统中的作用

自动控制元件(控制电机)已经成为现在工业自动化系统、现代科学技术和现代军事装备中不可缺少的重要元件,它的应用范围非常广泛,如自动化生产线中的类机械手、火炮和雷达的自动定位、船舶方向舵的自动操纵、飞机的自动驾驶、遥远目标位置的显示、机床加工过程的自动控制和自动显示、阀门的遥控,以及电子计算机、自动记录仪表、医疗设备、录音录像设备等的自动控制系统。主要有以下几个方面:

(1) 航空航天。在航天领域,卫星天线的展开和偏转、飞行器的姿态控制、太阳能电池阵翼驱动、宇航员空调系统及卫星照相机等,都需要高精度的控制电机来驱动。比如,天线展开系统要求转矩大、转速低,为了减小质量、缩小体积,采用高速无刷直流电动机与行星减速器组成一体。又如,太空飞船的电源是太阳能电池阵,为了获得最大能源,需要太阳能电池阵翼正对太阳,这就要求电机不断地调整阵翼的方向,常以步进电机为动力。

而在飞机上,发动机起动,起落架收放,水平舵、方向舵、襟翼、副翼的操纵等,均是由控制电机来完成的。

(2) 现代军事装备。在现代军事装备中,控制电机已成为不可缺少的重要元件或子系统。火炮自动瞄准、飞机军舰自动导航、导弹遥测遥控、雷达自动定位等均需采用由伺服电动机、测速发电机、自整角机等构成的随动系统。据有关资料介绍,一艘潜艇仅导航仪表配套设备就有 90 多台控制电机,一个自动火炮系统要用 60 多台电机,一枚导弹也要用 60 多台电机。例如,在导弹发射装置中的瞄准机,需对高低和方向两个方面进行自动瞄准,这就需要两套由伺服电动机为主构成的随动系统。

(3) 现代工业。机器人,机床加工过程自动控制与显示,阀门遥控,自动记录仪表,轧钢机自动控制,纺织、印染、造纸机的匀速控制等,均大量使用不同类型、不同规格的控制电机。据统计,一座 1513m^3 的高炉要用电机 40 多台。

(4) 信息与电子产品。随着信息技术的快速发展,电子信息产品近年来得到了广泛的应用,并已成为控制电机的重要应用领域之一,所用控制电机约占 29%。这些应用包括计算机存储器、打印机、扫描仪、数控绘图机、传真机、激光视盘、复印机、移动通信等。例如,在移动式手机和 BP 传呼机中,广泛采用带有偏振头的空心杯式直流电动机,产生偏心振动,提醒使用者接听来电。由于手机的体积越来越小,质量越来越轻,所以电机也做得越发轻巧,外径只有 4mm 左右,质量仅 1.2g ~ 5.4g。

(5) 现代交通运输。随着经济的高速发展和人民生活水平的不断提高,交通运输车辆、特别是家庭汽车的数量近年来有了飞速增长,从而使汽车用控制电机在数量、品种和结构上都发生了很大变化。据统计,每辆普通汽车至少用 15 台控制电机,高级轿车要用 40 台 ~ 50 台控制电机,豪华型轿车则配有 70 台 ~ 80 台电机。目前世界范围内汽车用控制电机已占到控制电机总量的 13% 左右。我国各种汽车用控制电机产量已达到 1500 万台以上。

(6) 现代农业。水位自动显示、水闸阀门自动开闭、鱼群探测等也都少不了控制电机。

(7) 日常生活。随着人们物质生活和文化生活水平的提高,控制电机在日常生活中的应用范围日益扩大。例如,高层建筑的电梯自动选层、医疗设备、录音录像设备、变频空调、全自动洗衣机等,都是依靠新型高性能控制电机来驱动控制的。

下面结合几个具体实例说明控制电机在自动控制系统中的重要作用。

1. 防空天线—火炮控制(指挥)系统

现代武器正朝着威力大、速度快、准确度高等方向发展,只靠人的脑力和体力是不行的,必须借助于自动控制技术来实现。防空天线——火炮控制系统就是由雷达、指挥仪和火炮随动系统组成的现代武器系统,它可以有效地击中目标,该系统包括图 0-2 所示部分。



图 0-2 防空天线—火炮控制系统框图

警戒雷达——远距离发现目标,将其粗略的方位、高度、距离等参数发送给炮瞄雷达。

炮瞄雷达——近距离精确地测得目标参数,将目标的方位角、高低角和斜距等参数发送给指挥仪。

指挥仪——它接收炮瞄雷达传来的信号,迅速而准确地计算出目标的未来点位置(方位角、高低角和斜距),并把参数发送给火炮随动系统。

火炮随动系统——根据指挥仪传输来的目标位置信号,将炮身转向目标的未来点方向,发射炮弹,击毁目标。

上述四部分组成的防空指挥系统,每一部分都是一个精密的控制系统,下面仅将火炮方位随动系统略述如下,其原理如图 0-3 所示。

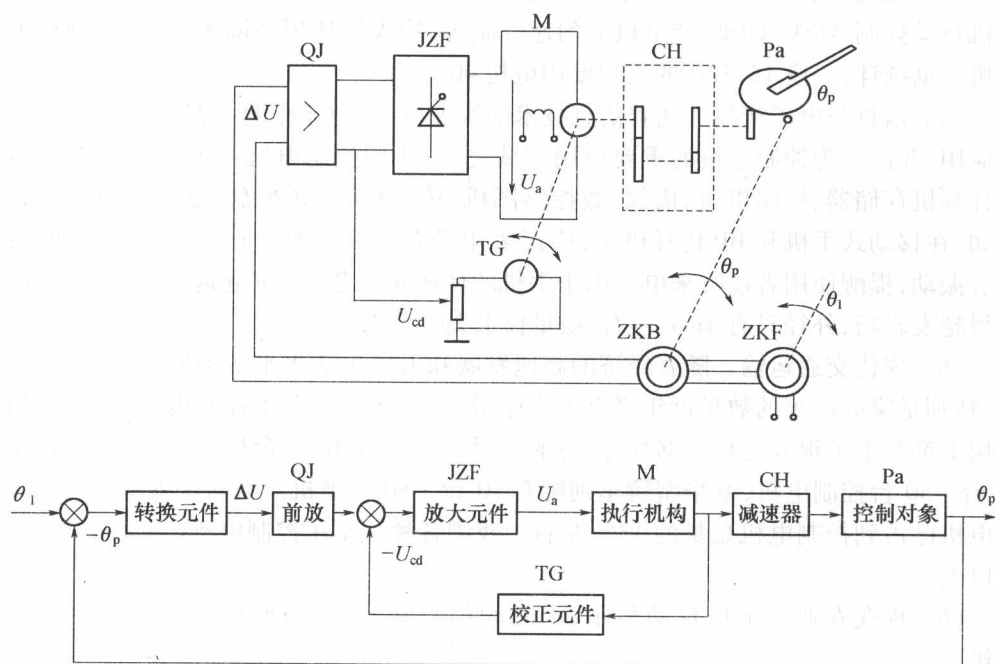


图 0-3 火炮随动系统(方位角)原理及框图

QJ—前放和解调; JZF—晶闸管功放; M—伺服电动机; CH—减速机械; Pa—火炮;

ZKF—自整角发送机; ZKB—自整角变压器; TG—测速发电机。

若系统各元件处于相对稳定的初始状态,即“火炮炮身”方位为 $\theta_p = 0^\circ$,“自整角机对”也处于协调位置, $\theta_i = 0^\circ$ 。显然“误差电压”也为零。若此刻目标在方位 $\theta' = 15^\circ$ 处出现,自整角机发送机接收到由指挥仪发来的控制信号,使其位置处于 $\theta' = 15^\circ$ 处。于是“自整角机对”将产生相应的“偏差电压” ΔU ,经过解调和功率放大,作为控制电压将 U_a 加到直流伺服电动机电枢绕组两端,电动机将向消除误差的方向旋转,经过减速装置拖动炮身,使 $\theta'_p = \theta'_i = 15^\circ$,从而使偏差电压为零,系统进入新的稳定状态。这时,炮身的方位已对准目标。如果结构类似的高低角随动系统也将炮身高低角置于瞄准位置,火炮便可以进入射击状态。

在系统中,还有一台直流测速发电机与直流伺服电动机同轴连接,它将电动机的速度信号转换成电压信号,再反馈到放大器的输入端。这个反馈的作用将使控制系统的品质

得到改善。

2. 导弹制导系统

导弹的制导系统是以导弹为被控对象的闭环系统,它主要由导引系统、控制系统和弹体组成,如图 0-4 所示。

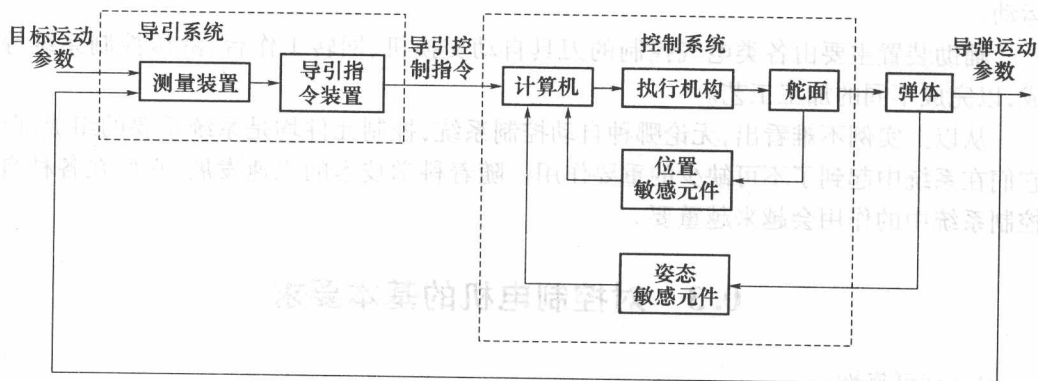


图 0-4 导弹制导系统基本组成

导引系统一般由测量装置、导引指令装置组成,其功能是测量导弹相对理想弹道或目标的运动偏差,进而形成预定的导引控制指令。

导弹控制系统一般由敏感元件(测量元件)、计算机和执行机构等组成。其主要功能是保证导弹按照导引控制指令所要求的弹道飞行,保证导弹的姿态稳定,并不受各种干扰的影响。

3. 数控机床

数控机床一般由数控系统、伺服系统(包含伺服电动机和检测反馈装置)、机床本体(包括主传动系统、强电控制柜)和各类辅助装置组成,如图 0-5 所示。

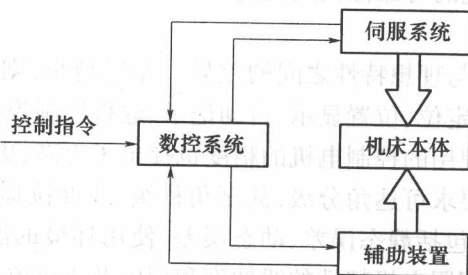


图 0-5 数控机床的组成示意图

数控系统是机床实现自动加工的核心。其控制方式可分为数据运算处理控制和时序逻辑控制两大类,其中主控制器内的插补运算模块就是根据所读入的零件程序,通过译码、编译等信息处理后,进行相应的刀具轨迹插补运算,并通过与各坐标伺服系统的位置、速度反馈信号比较,从而控制机床各个坐标轴的位移。而时序逻辑控制通常由可编程控制器(PLC)来完成,它根据机床加工过程中的各个动作要求进行协调,按各检测信号进行逻辑判别,从而控制机床各个部件有条不紊地按序工作。

伺服系统是数控系统与机床本体之间的电传动联系环节。它主要由伺服电动机、驱动控制系统及位置检测反馈装置组成。伺服电动机是系统的执行元件,驱动控制系统则是伺服电动机的动力源。数控系统发出的指令信号与位置检测反馈信号进行比较,经驱动控制系统功率放大后,驱动电动机转动,从而通过机械传动装置拖动工作台或刀架运动。

辅助装置主要由各类电气控制的刀具自动交换机、回转工作台、液压控制系统等组成,以完成不同的加工工艺。

从以上实例不难看出,无论哪种自动控制系统,控制元件均是系统重要的组成部分,它们在系统中起到了不可缺少的重要作用。随着科学技术的飞速发展,它们在各种自动控制系统中的作用会越来越重要。

0.3 对控制电机的基本要求

1. 高可靠性

控制系统是由控制电机等控制元件与其他器件构成的,由于控制电机有运动部分甚至有滑动接触,其可靠性往往比系统中的其他静止、无触点元件要差,这样,控制电机的可靠性对整个控制系统就显得特别重要。不用说在航空航天、军事装备中,即使在一些现代化的大型工业自动化系统中,控制电机的损坏也将产生极其严重的后果。例如,在自动化炼钢厂中,一旦伺服系统中的控制电机发生故障,就会造成停产事故,甚至损坏炼钢设备。此外,在核反应堆中使用的控制电机,由于工作条件所限,不便于维修,所以要求它们能够长期可靠地工作。

提高控制电机可靠性的首要措施是采用无刷电机方案。尽管无刷电机的成本较高,但它寿命长(可达2000h),不需经常维护,电磁干扰小,不会发生由电火花引起的可燃性气体爆炸等事故,使系统的可靠性大大提高。

2. 高精度

精度是指实际特性与理想特性之间的差异。差异越小,则精度越高。在各种军事装备、无线电导航、无线电定位、位置显示、自动记录、远程控制等系统中,对精度要求越来越高,相应的对系统所使用的控制电机的精度也提出了更高、更新的要求。例如,测量、转换或传递转角时,精度要求可达角分级,甚至角秒级;线性位移要求达到微米级。影响控制电机精度的主要因素包括静态误差、动态误差、使用环境的温度变化、电源频率和电压变化等所引起的漂移、伺服电机特性的线性度和死区及步进电动机的步距精度等。

为了提高控制电机精度,可采取以下措施:更新结构和制造工艺,发展组合电机,研制新原理电机等。

3. 快速响应

由于自动控制系统中指令信号变化很快,所以要求控制电机(特别是作为执行元件的控制电机,如伺服电动机)能对信号作出快速响应。而电机的转动部分有惯量,控制电机又多为电磁元件,有电感,这些都要影响控制电机的响应速度。表征响应速度的主要指标是机电时间常数和灵敏度,这些都直接影响系统的动态性能。为保证控制系统的快速响应,控制电机应尽量减小其电气和机械时间常数。

0.4 控制电机的发展概况和发展趋势

国际上,控制电机是从20世纪30年代开始,应工业自动化、科学技术和军事装备的发展需要而迅速发展起来的一门技术。到20世纪40年代以后,逐步形成了自整角机、旋转变压器、交直流伺服电动机,交直流测速发电机等基本系列。20世纪60年代以后,由于电子技术、宇宙航行等科学技术的飞速发展和自动控制系统的不断完善,对控制电机的精度和可靠性又提出了更高的要求,在原有基础上又系列生产出多极自整角机、多极旋转变压器、无刷直流伺服电动机等新机种。

我国控制电机工业,始于20世纪50年代,至今大致经历了4个发展阶段。

(1) 起步阶段(1950年—1965年)。这主要是仿制苏联的产品,在全国设立了一些研究所和一批控制电机的生产厂。

(2) 自行发展阶段(1966年—1978年)。基本上形成了独立的、相当于国际20世纪60年代水平的控制电机工业体系,这期间自行设计了10多类新系列控制电机,行业内跨部门编制和修订了国家标准和国家军用标准。这一阶段我国控制电机的应用范围主要是军事和工业领域,产品大多数是按照国家指令性计划生产,企业的产品分工比较明确,其经济自主权和计划自主权很少,企业基本上在计划经济体制下运行。

(3) 初步壮大阶段(1979年—1989年)。这一阶段是我国改革开放的初期,经济建设逐步加快,控制电机的需求量越来越大。为适应形式的需要,先后从国外引进各类控制电机生产线60多条及其相应技术,从而使我国控制电机的生产制造水平和规模化生产有了空前的提高。1988年,控制电机生产企业已发展到200多家,产品规格1500余种,年产控制电机达到1亿台。

(4) 快速发展阶段(1990年至今)。这一时期的显著特点是三资企业和民营企业得到迅速发展,打破了国营企业一统天下的局面,控制电机生产企业有上千家。随着大批合资企业和独资企业进入我国,控制电机的生产技术水平也随之有了一定提高。与此同时,还研制开发了开关磁阻电机、超声波电机、双凸极永磁电机等控制电机新品种。

我国控制电机工业经过50多年的发展,在技术水平、产品性能、规格品种、生产规模等方面都取得了长足的进步。但是,与国外先进水平相比还存在着一定的差距,主要表现在品种少、比功率小、质量大、寿命短和精度低等方面。

近年来,随着科学技术的发展和控制系统的不断更新,对控制电机的要求越来越高,同时,新技术、新材料、新工艺的应用,推动了控制电机的发展,出现了一些新的发展趋势,大致有以下几个方面:

(1) 无刷化。为了提高控制电机的可靠性,除了在电机结构上不断改进,使其能长期可靠地运行外,国际上一直致力于发展各种无刷电机,经过近20年的研制开发,取得了显著成果,如无刷直流电机、无刷自整角机、无刷旋转变压器等,许多电机新品种已进入商业化生产。

(2) 微型化。由于电子信息技术的快速发展和广泛应用,一方面要求控制电机向微型化方向发展,以适应电子产品日益微型化的需要,另一方面也为控制电机的微型化创造了条件。控制电机的微型化,不仅指它的质量和体积,还指它的功率消耗。在现代电子信