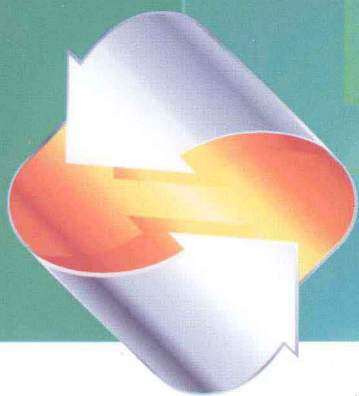


普通高等教育“十一五”规划教材

01001011011100110110011

100100011010001101010010101

100100011010001101010010101



控制电机 (第四版)

陈隆昌 阎治安 刘新正

编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

普通高等教育“十一五”规划教材

控 制 电 机

(第 四 版)

陈隆昌 阎治安 刘新正 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是在原第三版教材的基础上修订而成的,书中主要阐述自动控制系统中常用的各种控制电机的基本结构、工作原理、工作特性和使用方法,其中包括交、直流伺服电动机,交、直流测速发电机,自整角机,旋转变压器,无刷直流电动机,步进电动机,开关磁阻电动机,交轴磁场放大机等,并简单介绍了直流力矩电动机、低惯量直流电动机、感应同步器、多极旋转变压器和直线电机等类型的电机。

本书可用作电气工程、自动控制和相关专业的本科及研究生教材或教学参考书,也可供从事自动控制方面工作的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

控制电机/陈隆昌,阎治安,刘新正编著. —4 版. —西安:西安电子科技大学出版社,2013.4

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-3035-9

I. ①控… II. ①陈… ②阎… ③刘… III. ①微型控制电机—高等学校—教材 IV. ①TM383

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 045841 号

责任编辑 李惠萍 曹锦 夏太平

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印 刷 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2013年4月第4版 2013年4月第24次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 19.5

字 数 459千字

印 数 110 001~114 000册

定 价 34.00元

ISBN 978-7-5606-3035-9/TM

XDUP 3327004-24

* * * 如有印装问题可调换 * * *

前 言

《控制电机》一书作为国内最早出版的两本同类教材(另一本为杨渝钦主编的《控制电机》)之一,深受广大读者好评,在国内具有广泛影响,并于1996年获原电子工业部优秀教材一等奖。自1984年6月出版发行以来,《控制电机》累计印刷23次,发行超过11万册,国内许多高等院校都选用本书作为教材。本书上一版入选国家级“十一五”规划教材。

在本书前三版的编写中,作者始终着重于阐明各种常用控制电机的工作原理、内部电磁关系、工作特性和使用方法,力求通俗易懂地讲清物理本质。同时,根据控制电机技术的发展、进步和控制电机应用的变化,以及各兄弟院校在教学实践中反映的意见和建议,对本书不断进行修订完善,形成了自己独有的体系和特色。为保持教材的系统性和连贯性,本次修订时仍维持原教材的总体结构不变。

在本书第三次修订出版以后的这13年间,控制电机的概念和应用领域已经发生了很大变化,控制用电机不再局限于传统的微特电机,而一些类型控制电机的特征和归类也更加清晰,本次修订就体现了这些变化。本次主要修订内容包括:以方波无刷直流电机为对象,分析了无刷直流电动机的原理、特性和模型,介绍了转矩脉动产生的原因和无位置传感器的位置检测方法;在步进电动机一章中,充实了对混合式步进电机的分析以及对步进电机细分控制的介绍;删除了原小功率同步电动机一章中的绝大部分内容,转而详细分析了日益成熟并逐渐广泛使用的、由永磁同步电动机及其控制器所构成的永磁交流伺服电动机;增加了开关磁阻电动机一章;由于交轴磁场放大机原理的特殊性,根据读者和教师的建议,将其作为一章重新编入到本书中。考虑到篇幅的限制以及产品手册资料的丰富,删除了原书中一些技术指标表格。经本次修订,书中内容更加充实,更富有先进性。除直流电机部分外,各章内容相对独立,根据课时安排,教师可以选择性地讲授其中内容,例如步进电机中仍侧重于反应式电机,但不会影响教学效果。

本书由西安交通大学陈隆昌教授、阎治安教授、刘新正副教授编写,其中第1、7、8和13章由陈隆昌修编,第2、3章及第9~12章由刘新正修编,第4~6章及第14章由阎治安(现在西京学院任教)修编。全书由刘新正负责统筹和组织编写。在本书的修订过程中,兄弟院校“控制电机”课程的任课教师提出了许多宝贵意见和建议,在此谨致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者指正,并欢迎反馈意见到 liuxz@mail.xjtu.edu.cn。

编 者
2013年2月

第三版前言

《控制电机》一书作为自动控制专业教材于1984年6月出版以来,深受广大读者好评,前后共印刷9次,并于1996年获原电子工业部优秀教材一等奖。国内很多设有自动控制专业的院校都选用了本教材。为适应教材建设的需要,及时地对教材内容进行修改和充实,编者在原《控制电机》教材内容的基础上,根据各兄弟院校多年来在教学实践中反映的意见和建议,对《控制电机》一书再次作了重新修订。

与原教材相比,各章内容都有较大程度的修改和调整,删去了原第三章“交轴磁场电机放大机”及附录,增加了一章“无刷直流电动机”。其次,原教材中一些不符合法定计量单位和国家标准规定的有关量、单位和符号,都按要求作了修改。此外,为了精简篇幅,对一些在手册上能方便查取的产品型号和技术数据,都从各章中删除。修订后,教材质量有明显提高,其内容更加充实,富有先进性;论述和分析更为正确;条理更为清楚,便于教学。

本书第2、3章由刘新正修编,第4章至第6章由阎治安修编,第1章及第7章至第12章由陈隆昌修编。全书由陈隆昌统稿,西北工业大学李钟明担任主审。修订过程中,兄弟院校的“控制电机”课程任课教师对本书提出了许多宝贵意见和建议,谨在此致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

1999年6月

第二版前言

《控制电机》一书作为自动控制专业教材于1984年6月出版以来，深受广大读者好评，前后共印刷6次，国内很多设有自动控制专业的院校都选用了该教材。根据教材建设的需要，应及时对教材内容进行修改和充实。本教材就是在原《控制电机》教材内容的基础上，根据各兄弟院校多年来在教学实践中反映的意见和建议重新修订的。

与原教材相比，各章内容都作了较大程度的修改和调整，删去了原第三章“交轴磁场电机放大机”，增加了一章“无刷直流电动机”。原教材中一些不符合法定计量单位和国家标准规定的有关量、单位和符号，按要求都作了修改。修订后教材质量有明显提高，其内容更加充实，富有先进性；论述和分析更为正确；条理更为清楚，便于教学。

本书第一章至第五章及附录部分由陈筱艳修编，第六章至第十一章及绪论部分由陈隆昌修编。全书由陈隆昌全面审校和统改。修订过程中，兄弟院校的“控制电机”课程任课教师对本书提出了许多宝贵的意见和建议，谨在此致以衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

1994年3月

第一版前言

本教材系由计算机与自动控制专业教材编审委员会自动控制专业教材编审小组评选审定，并推荐出版。

该教材由西安交通大学陈隆昌、陈筱艳编著，上海交通大学林润汤副教授担任主审。编审者均依据自动控制专业教材编审小组审定的编写大纲进行编写和审阅。

“控制电机”课程的课内参考学时数为 60 学时，为了使各校有选择的余地，本教材按 70 学时编写。全书共分 11 章，前三章是分析比较易懂的直流电机，包括直流测速发电机、直流伺服电动机、交磁放大机；四至六章是分析具有脉振磁场的小型变压器、自整角机、旋转变压器；七到九章是分析具有旋转磁场的交流伺服电动机、交流异步测速发电机和小功率同步电动机；最后两章是分析比较特殊的步进电动机和直线电机。在使用本教材时应注意以下几个方面：

1. 由于从事自动控制方面的科技人员的主要工作是合理地选择和正确使用各种控制电机，因此本教材着重阐明各种常用的控制电机的工作原理、内部电磁关系、工作特性和使用方法。对于工作原理和电磁关系力求通俗易懂，讲清物理本质，不作深入、全面、严格的分析。

2. “控制电机”是“电工基础”的后继课程，学生尚未学过电机学。为了加强针对性，本教材对一般电机不单独列章，而把一般交、直流电机的工作原理、电磁关系与有关控制电机结合起来。

3. 为了便于掌握各种控制电机的共性和个性，本教材不按控制电机的功能进行分类，而是把工作原理、电磁关系比较接近的几种电机放在一起，由浅入深、由易到难地来安排章次。

4. 为了使学生了解目前新型控制电机的情况，本教材对一些定型的而且用途日趋广泛的新型控制电机，例如多极旋变、感应同步器、电感移相器、直流力矩电机、低速同步电动机和直线电机等作了一些介绍，并略述了各种控制电机的发展方向。

本教材第一章至第六章及附录部分由陈筱艳编写，第七章至第十一章及绪论部分由陈隆昌编写。参加审阅工作的还有上海交通大学陈育才、王庆文和西安微电机研究所的部分同志，他们为本书提出了许多宝贵意见，这里表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编者

1983 年 12 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 控制电机在自动控制系统中的作用	1
1.2 控制电机的种类和特点	4
1.3 如何学习“控制电机”这门课程	6
第 2 章 直流测速发电机	7
2.1 直流发电机工作原理和结构	7
2.2 直流电势的关系式	12
2.3 直流测速发电机及其输出特性	14
2.4 直流测速发电机误差及其减小的方法	16
2.5 直流测速发电机的应用	21
2.6 直流测速发电机的性能指标	22
2.7 直流测速发电机的发展趋势	23
小结	25
思考题与习题	25
第 3 章 直流伺服电动机	27
3.1 直流电动机的工作原理	27
3.2 电磁转矩和转矩平衡方程式	28
3.3 直流电动机的反电势和电压平衡方程式	30
3.4 直流电动机的使用	31
3.5 直流发电机与直流电动机的异同性	38
3.6 直流伺服电动机及其控制方法	39
3.7 直流伺服电动机的稳态特性	41
3.8 直流伺服电动机在过渡过程中的工作状态	46
3.9 直流伺服电动机的过渡过程	48
3.10 直流力矩电动机	52
3.11 低惯量直流伺服电动机	56
思考题与习题	58
第 4 章 变压器	60
4.1 变压器的应用、结构和原理	60
4.2 变压器的额定值	62
4.3 变压器空载运行分析	63

4.4 变压器负载时的情况	66
4.5 变压器的等效电路及相量图	67
4.6 脉冲变压器	71
4.7 单相自耦调压变压器	74
小结	75
思考题与习题	75
第5章 自整角机	77
5.1 自整角机的类型和用途	77
5.2 自整角机的基本结构	79
5.3 控制式自整角机的工作原理	81
5.4 带有控制式差动发送机的控制式自整角机	90
5.5 力矩式自整角机的运行	92
5.6 自整角机的选用和技术数据	96
小结	98
思考题与习题	99
第6章 旋转变压器	101
6.1 旋转变压器的类型和用途	101
6.2 旋转变压器的结构特点	101
6.3 正余弦旋转变压器的工作原理	103
6.4 线性旋转变压器	107
6.5 旋转变压器的典型应用	108
6.6 多极和双通道旋转变压器	110
6.7 感应移相器	114
6.8 感应同步器	117
小结	122
思考题与习题	123
第7章 异步型交流伺服电动机	124
7.1 概述	124
7.2 异步型交流伺服电动机的结构特点和工作原理	125
7.3 两相绕组的圆形旋转磁场	128
7.4 圆形旋转磁场作用下的运行分析	134
7.5 三相异步电动机的磁场及转矩	146
7.6 移相方法和控制方式	147
7.7 椭圆形旋转磁场及其分析方法	153
7.8 幅值控制下的运行分析	157
7.9 电容伺服电动机的特性	164
7.10 主要性能指标	166
小结	168
思考题与习题	169

第 8 章 交流异步测速发电机	171
8.1 概述	171
8.2 交流异步测速发电机结构和工作原理	172
8.3 异步测速发电机的特性和主要技术指标	174
8.4 异步测速发电机的使用	182
8.5 交流伺服测速机组	186
小结	187
思考题与习题	188
第 9 章 永磁交流伺服电动机	189
9.1 概述	189
9.2 永磁交流伺服电动机结构及工作原理	190
9.3 永磁交流伺服电动机的稳态分析	194
9.4 永磁交流伺服电动机的数学模型	198
9.5 永磁交流伺服电动机的矢量控制	202
9.6 永磁交流伺服电动机系统的性能指标	205
小结	205
思考题与习题	205
第 10 章 无刷直流电动机	207
10.1 概述	207
10.2 无刷直流电动机系统组成	207
10.3 三相无刷直流电动机运行分析	213
10.4 无刷直流电动机的模型	219
10.5 无刷直流电动机的转矩脉动	221
10.6 无位置传感器的转子位置检测	223
10.7 无刷直流电动机的电枢反应	226
10.8 改变无刷直流电动机转向的方法	227
小结	228
思考题与习题	228
第 11 章 步进电动机	230
11.1 概述	230
11.2 反应式步进电动机典型结构及工作原理	231
11.3 混合式步进电动机典型结构及工作原理	235
11.4 步进电动机运行的基本特点	238
11.5 步进电动机的静态转矩和矩角特性	240
11.6 步进电动机的单步运行	247
11.7 步进电动机的连续脉冲运行及矩频特性	252
11.8 步进电动机的驱动方式	258
11.9 步进电动机的细分控制	263
11.10 步进电动机的主要性能指标和技术数据	265

小结 267

思考题与习题 267

第 12 章 开关磁阻电动机 269

12.1 概述 269

12.2 开关磁阻电机系统的组成 270

12.3 开关磁阻电机的运行原理 273

12.4 开关磁阻电机的基本方程 274

12.5 基于线性模型的开关磁阻电机分析 275

小结 280

思考题 280

第 13 章 直线电机 281

13.1 概述 281

13.2 直线感应电动机 282

13.3 直线直流电动机 285

13.4 直线自整角机 287

13.5 直线型和平面型步进电动机 288

第 14 章 交轴磁场放大机 293

14.1 从直流发电机到功率放大器的演变 293

14.2 交磁放大机的工作原理 294

14.3 交磁放大机的空载特性和外特性 297

14.4 交磁放大机的技术数据和使用 299

小结 301

思考题与习题 301

参考文献 302

第1章 绪 论

1.1 控制电机在自动控制系统中的作用

在各类自动控制系统、遥控和解算装置中，需要用到大量的各种各样的元件，控制电机就是其中的重要元件之一。它属于机电元件，在系统中具有执行、检测和解算的功能。虽然从基本原理来说，控制电机与普通旋转电机没有本质上的差别，但后者着重于对电机的力能指标方面的要求，而前者则着重于对特性、高精度和快速响应方面的要求，以及满足系统对它提出的要求。

控制电机已经成为现代工业自动化系统、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，例如，火炮和雷达的自动定位，舰船方向舵的自动操纵，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，以及机器人、电子计算机、自动记录仪表、医疗设备、录音录像设备等中的自动控制系统。下面以雷达扫描及自动跟踪飞机的过程为例，具体说明控制电机在自动控制系统中所起的作用和所处的地位。

雷达天线控制系统的原理线路如图 1-1 所示。这个系统有两种工作状态。第一种是当雷达还没有捕捉到飞机时，要由雷达操纵手操作，使天线旋转去搜索飞机，这就是雷达的搜索过程。这时图 1-1 上的闸刀 S 合在位置 I。第二种是当天线捕捉到目标时，把闸刀立即合向位置 II。这时雷达天线作自动跟踪飞机的运动，系统处于自动跟踪状态。下面分别讨论系统的这两种状态。

1.1.1 雷达天线控制系统的搜索状态

在搜索飞机时，我们希望雷达天线按照要求在空间不断旋转，使雷达发射机发出的强大的电磁波束跟着天线的转动在空中进行扫描。雷达天线又大又重，人是摇不动的。这时雷达操纵手只需要摇动手轮 7，使自整角发送机 1 的转子旋转，通过自动控制系统的作用，就可使雷达天线 3 跟着自整角发送机的转角 α 自动地旋转。发送机转几度，天线也转几度；发送机正转，天线也正转；发送机反转，天线也反转。

自整角接收机 2 的转轴是和天线的转轴联结在一起的。自整角发送机和自整角接收机一般不单独使用而是成对地使用。当发送机的转角 α 和接收机的转角 β 相等，也就是转角差 $\gamma(=\alpha-\beta)$ 为 0 时，接收机的输出电压 U_1 也为 0。当转角 α 和 β 不相等时，接收机就有和

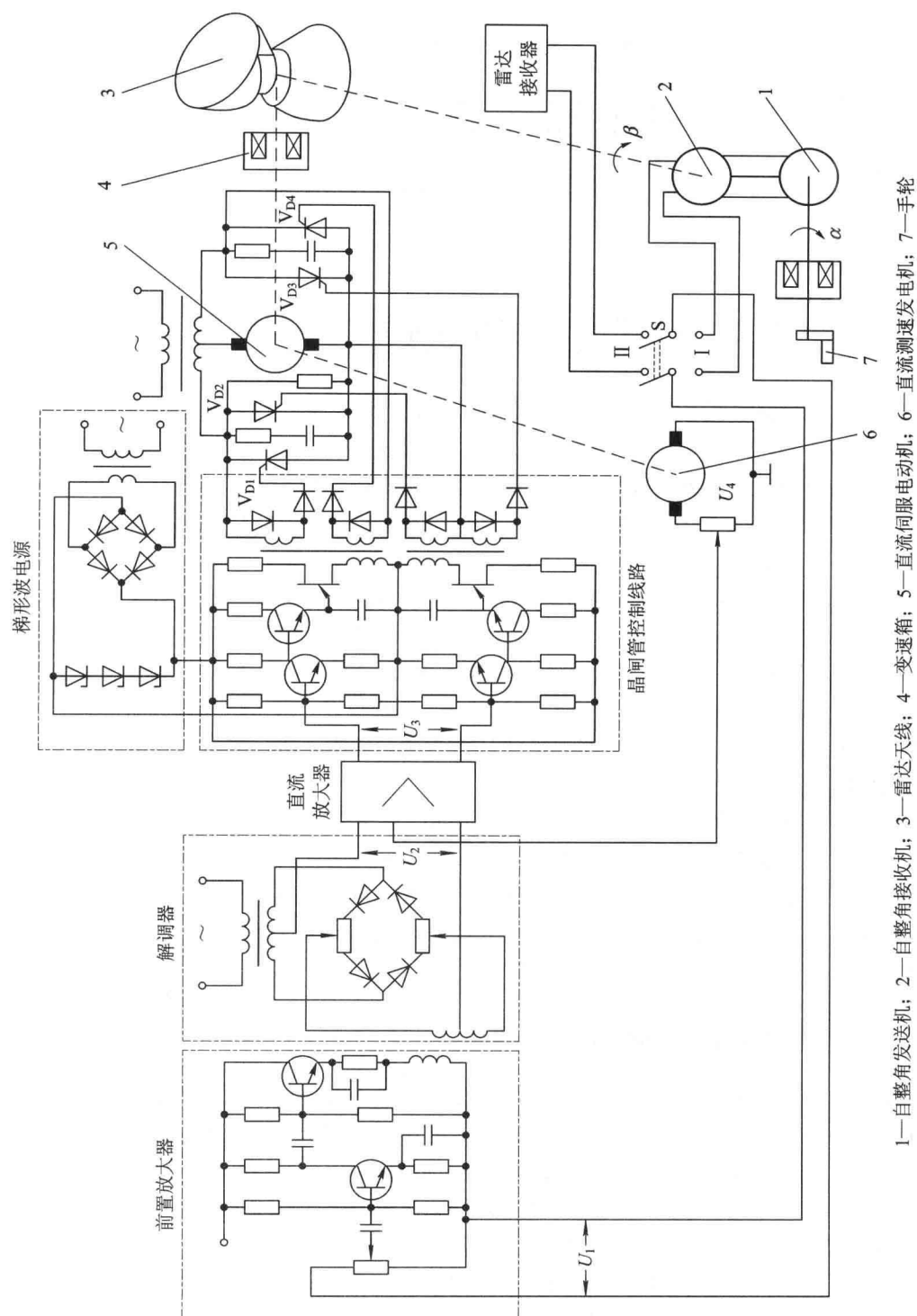


图1-1 雷达天线控制系统原理线路

转角差 γ 成正比的交流电压 U_1 输出。这样, 自整角接收机就好像自动控制系统的眼睛一样, 可以很灵敏地感觉出天线的转角是否跟上自整角发送机的转角: 当跟上时, 转角 α 等于转角 β , 没有电压输出; 当没有跟上, 即转角 α 和转角 β 不相等时, 通过自整角接收机输出电压 U_1 , 就可把转角差 γ 测量出来, 因此自动控制系统中的自整角机被称为敏感元件。

假如雷达操纵手向某一方向摇动手轮 7, 产生一个转角差 γ , 这时自整角接收机就有交流电压 U_1 输出, 这个电压经过交流放大器放大后, 由环形解调器转换成直流电压 U_2 , 并送入直流放大器放大, 放大后的直流电压 U_3 被输入到晶闸管控制线路的差动放大器, 去控制晶闸管的导通和截止。当晶闸管 V_{D1} 和 V_{D4} 导通时, 就有一定极性的信号电压通入直流伺服电动机 5, 直流伺服电动机就立即向一个方向旋转。当手轮 7 向另一方向转动时, 电压 U_1 的相位就相反了, 因而使电压 U_2 、 U_3 的极性相反, 这时晶闸管 V_{D2} 和 V_{D3} 导通, 通入直流伺服电动机的信号电压极性也随之相反, 直流伺服电动机就立即向另一方向旋转。这里直流伺服电动机将电信号变为转轴转动, 执行了电信号所给予的控制任务, 所以常称为执行元件。直流伺服电动机转动以后, 经过变速箱 4 带动天线 3 旋转, 同时也带动自整角接收机。直流伺服电动机应该是朝着天线和发送机之间的转角差 γ 减小的方向旋转, 直到转角 β 和转角 α 相等为止。当 U_1 、 U_2 、 U_3 都为 0 时, 伺服电动机才停止转动。这样, 雷达天线的转角就能自动地跟随手轮而转动, 以达到手控天线的目的。

为了改善自动控制系统的品质, 在系统中还采用了校正元件——直流测速发电机。测速发电机的输出电压 U_4 与它的转速 n 成正比, 并把它反馈到直流放大器中。

整个控制系统的工作原理可以用图 1-2 所示的方框图来表示。图上各个元件和实际线路对应如下:

敏感元件——自整角发送机和接收机。

转换元件——放大器和解调器。

放大元件——直流放大器和晶闸管控制线路。

执行元件——直流伺服电动机。

校正元件——直流测速发电机。

控制对象——雷达天线。

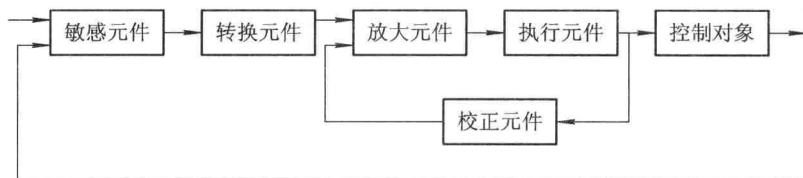


图 1-2 雷达天线控制系统方框图

1.1.2 雷达天线控制系统的自动跟踪状态

当雷达操纵手从显示器的荧光屏上看到雷达已经捕捉到飞机以后, 立即把闸刀 S 合向位置 II, 系统就工作在跟踪状态。这时, 雷达接收机收到从飞机反射回来的回波, 并把它转换成电信号直接输入到放大器中去控制天线的旋转, 此时天线不需要手控而自动作跟踪飞机的运动。

上述控制系统中所用的自整角发送机、自整角接收机、直流伺服电动机、直流测速发电机都属于电机类型，统称为控制电机。可以看出，这些电机在自动控制系统中起到了很重要的作用，是必不可少的元件。

自动控制系统和它所用到的控制电机的关系是整体和局部的关系，是一对矛盾的两个对立面。一方面控制电机的性能和作用要服从于整个系统对它的要求，控制电机性能好坏要看它能不能满足系统的要求；另一方面控制电机的性能又直接影响整个控制系统的性能，控制电机的性能不好或者使用不恰当，整个控制系统的性能就无法提高，控制电机的革新可以带来整个系统的革新。

既然自动控制系统和控制电机是整体和局部的关系，因此，从事自动控制系统工作的技术人员，不但要了解控制系统的整体以及系统中各个元件的相互关系，而且对系统中的各个元件和控制电机也要熟悉，只有这样，才能恰当地选择和使用各种元件，并有可能了解整个自动控制系统。

1.2 控制电机的种类和特点

1.2.1 控制电机的种类

控制电机的种类很多，除了自整角机、直流伺服电动机和直流测速发电机外，还有交流伺服电动机、交流测速发电机、旋转变压器、无刷直流电动机、步进电动机等。根据它们在自动控制系统中的作用，可以作如下的分类。

1. 执行元件(功率元件)

执行元件主要包括直流伺服电动机、交流伺服电动机、步进电动机和无刷直流电动机等。这些电动机的任务是将电信号转换成轴上的角位移或角速度以及直线位移和线速度，并带动控制对象运动。

理想的直流伺服电动机和交流伺服电动机的转速与控制信号的关系如图 1-3 所示，转速和控制电压成正比关系，而转速的方向由控制电压的极性来决定。步进电动机的转速与脉冲电压的频率成正比，如图 1-4 所示。

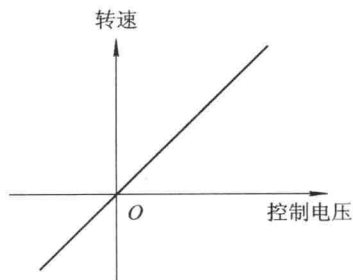


图 1-3 伺服电动机的控制特性

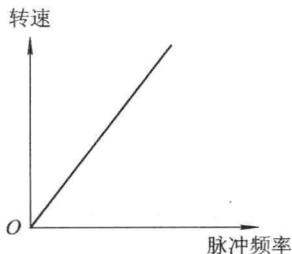


图 1-4 步进电动机的控制特性

2. 测量元件(信号元件)

测量元件包括自整角机、交、直流测速发电机和旋转变压器等。它们能够用来测量机

械转角、转角差和转速，一般在自动控制系统中作为敏感元件和校正元件。

自整角机可以把发送机和接收机之间的转角差转换成与角差成正弦关系的电信号，如图 1-5 所示。

测速发电机可以把转速转换成电信号，它的输出电压与转速成正比，如图 1-6 所示。

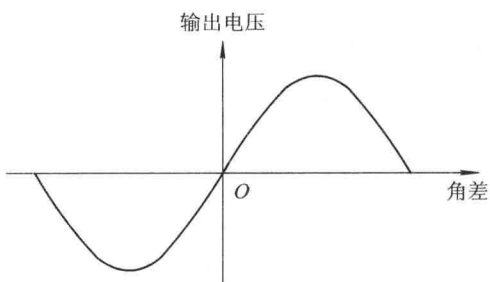


图 1-5 自整角机的输出特性

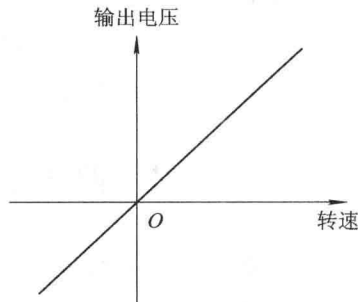


图 1-6 测速发电机的输出特性

旋转变压器的输出电压与转子相对于定子的转角成正、余弦或线性关系，如图 1-7 所示。

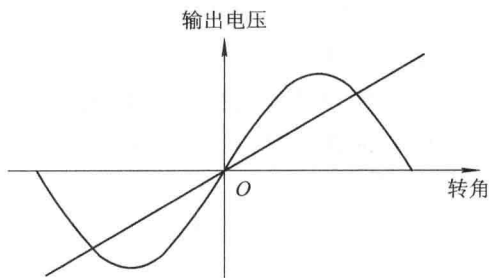


图 1-7 旋转变压器的输出特性

3. 放大元件

放大元件包括交磁放大机、磁放大器，它们能可靠地将功率放大，以便驱动负载。

1.2.2 控制电机的特点

人们在日常的工作和生活中经常要用到电机，例如电灯所用的电是由发电机发出的，抽水机要用电动机来带动，工厂里车床要用电动机才能旋转，手电钻里装的也是电机。这些电机与上面研究的控制电机有些什么不同呢？

从所举的例子中可以看出，日常生活和工作中遇到的电机一般是作为动力来使用的，它们的主要任务是能量转换，发电机是把机械能转换成电能，电动机是把电能转换成机械能，它们的主要问题是提高能量转换的效率。控制电机在自动控制系统中，只起一个元件的作用，其主要任务是完成控制信号的传递和转换，而能量转换是次要的。根据它们使用的场合及所完成任务的特点，决定了对它们的主要要求是运行可靠、动作迅速和准确度高。众所周知，自动控制系统由成百个、成千个各种各样的元件所组成，每个元件都按照系统对它的特定要求而工作。因此，每个元件工作的好坏，直接影响到整个系统的工作。为了使整个自动控制系统能够敏捷地、准确地按照人们的要求而动作，这就要求组成系统

的每一个元件都要动作迅速、准确和可靠。

同时,控制电机的使用范围很广,从地下、水面、海洋到高空、太空以至原子能反应堆等地方都在使用,而且工作环境条件常常十分复杂,如高温、低温、盐雾、潮湿、冲击、振动、辐射等,这就要求电机在各种恶劣的环境条件下仍能准确、可靠地工作。

另外,很多使用场合(尤其在航空航天技术中使用)还要求控制电机体积小、重量轻、耗电少,所以我们常见到的控制电机很多都是体积很小的微电机。像电子手表中用的步进电动机,直径只有 6 mm,长度为 4 mm 左右,耗电仅几微瓦,重量只有十几克。

1.3 如何学习“控制电机”这门课程

控制电机的种类虽然很多,可以列举出十多种来,但是这些电机的基本原理都是建立在以下两个基本规律的基础上的:一是电磁转化规律,就是在一定条件下电和磁可以相互转化;二是电流在磁场中要受到力的作用。因此在“控制电机”这门课程中,我们选择了直流伺服电动机、变压器和交流伺服电动机这三种最基本的电机作为典型,比较深入地研究和分析其中的电磁关系和它们的基本原理及特性。通过这三种电机的解剖和分析,使大家对控制电机中普遍存在的电磁规律及其分析方法有所了解。读者在学习时要抓主要矛盾,以这三种电机作为重点进行学习。首先应将这三种电机中的一些电磁关系搞清楚,并掌握分析问题和解决问题的方法,这样学习其他几种电机就不困难了。即使在学习每一种电机时,也要掌握重点。每一种电机牵涉的问题也很多、很广,要集中精力掌握一些基本规律和一些主要的理论,对一些枝节问题可不必过于深究。

由于各种控制电机的原理都是建立在基本的电磁规律基础上的,因而它们之间不是孤立的,它们既有共性,也有个性。在以后学习中就会发现,一种电机与另一种电机之间在电磁关系上、在基本特性上有很多相同之处,但它们各自又具有与众不同的特点。因此,在学习时也要用辩证法的观点来学,将各种控制电机联系起来,着重分析和掌握一些共同规律,同时也要研究每个电机所具有的特殊性质。

为了便于理解,本教材不是按控制电机的性质进行分类的,而是把电磁关系比较接近的放在一起,按照由浅入深、循序渐进的原则安排章、节次序。

对自动控制系统专业的学生来说,今后的工作中主要是使用控制电机,所以通过本门课程主要是学习控制电机的特性和使用方法。但同时我们还需要学习电机的基本原理,因为对电机来说,其使用时的条件只是外因,电机之所以有各种特性的根本原因在于电机本身的内部矛盾。我们要通过学习电机的基本原理,了解电机内部的基本矛盾,这样才能正确而主动地掌握控制电机的使用方法。