



普通高等教育“十二五”创新型规划教材

电气工程及其自动化系列

控制电机及其应用

KONGZHI DIANJI JIQI YINGYONG

姚建红 刘小斌 主编

- ◆ 新技术为主，注重基础
- ◆ 以实例相辅，强调应用
- ◆ 重点面结合，深入浅出

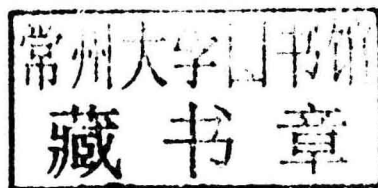


哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

普通高等教育“十二五”创新型规划教材·电气工程及其自动化系列

控制电机及其应用

姚建红 刘小斌 主 编
李梦达 刘继承 周 全 副主编



哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书主要内容包括测速发电机、伺服电动机、步进电动机、旋转变压器、自整角机、无刷直流电动机、开关磁阻电动机以及相关实验,分别介绍了各种电机的结构和工作原理、性能指标等。在各章的后面附有一定数量的思考题,供练习使用。本书重点突出,难易结合,注重实践。

本书既可作为大学本科自动化和电气工程类相关专业的教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

控制电机及其应用/姚建红,刘小斌主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2012.8

ISBN 978-7-5603-3612-1

普通高等教育“十二五”创新型规划教材·电气工程及其自动化系列

I. ①控… II. ①姚…②刘… III. ①-微型控制电机
IV. ①TM383

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 140589 号

策划编辑 王桂芝 赵文斌
责任编辑 李长波
封面设计 周 齐
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 13.25 字数 323 千字
版 次 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-3612-1
定 价 32.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

普通高等教育“十二五”创新型规划教材
电气工程及其自动化系列
编委会

主任 戈宝军

副主任 王淑娟 叶树江 程德福

编委 (按姓氏笔画排序)

王月志 王燕飞 付光杰 付家才 白雪冰

刘宏达 宋义林 张丽英 周美兰 房俊龙

郭媛 贾文超 秦进平 黄操军 嵇艳菊

序

随着产业国际竞争的加剧和电子信息科学技术的飞速发展,电气工程及其自动化领域的国际交流日益广泛,而对能够参与国际化工程项目的工程师的需求越来越迫切,这自然对高等学校电气工程及其自动化专业人才的培养提出了更高的要求。

根据《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020)》及教育部“卓越工程师教育培养计划”文件精神,为适应当前课程教学改革与创新人才培养的需要,使“理论教学”与“实践能力培养”相结合,哈尔滨工业大学出版社邀请东北三省十几所高校电气工程及其自动化专业的优秀教师编写了《普通高等教育“十二五”创新型规划教材·电气工程及其自动化系列》。该系列教材具有以下特色:

1. 强调平台化完整的知识体系。系列教材涵盖电气工程及其自动化专业的主要技术理论基础课程与实践课程,以专业基础课程为平台,与专业应用课、实践课有机结合,构成了一个通识教育和专业教育的完整教学课程体系。

2. 突出实践思想。系列教材以“项目为牵引”,把科研、科技创新、工程实践成果纳入教材,以“问题、任务”为驱动,让学生带着问题主动学习,“在做中学”,进而将所学理论知识与实践统一起来,适应企业需要,适应社会需求。

3. 培养工程意识。系列教材结合企业需要,注重学生在校工程实践基础知识的学习和新工艺流程、标准规范方面的培训,以缩短学生由毕业生到工程技术人员转换的时间,尽快达到企业岗位目标需求。如从学校出发,为学生设置“专业课导论”之类的铺垫性课程;又如从企业工程实践出发,为学生设置“电气工程师导论”之类的引导性课程,帮助学生尽快熟悉工程知识,并与所学理论有机结合起来。同时注重仿真方法在教学中的作用,以解决教学实验设备因昂贵而不足、不全的问题,使学生容易理解实际工作过程。

本系列教材是哈尔滨工业大学等东北三省十几所高校多年从事电气工程及其自动化专业教学科研工作的多位教授、专家们集体智慧的结晶,也是他们长期教学经验、工作成果的总结与展示。

我深信:这套教材的出版,对于推动电气工程及其自动化专业的教学改革、提高人才培养质量,必将起到重要推动作用。

教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会委员
电气工程及其自动化专业教学指导分委员会副主任委员



2011年7月



前 言

控制电机种类繁多,其结构和原理有别于传统普通电机,在工作原理、励磁方式、技术性能或功能等方面都有其各自的特点。本书参照电气信息类专业的教学要求,结合编者的教学实践经验编写而成,编写过程中,加强基础知识的覆盖面,注重应用性和实践性原则,强调贯彻理论联系实际,力求文字简练,尽量避免繁琐的论证和公式推导。本书共分上篇和下篇两部分,上篇共8章,第1章绪论,介绍控制电机的种类及其发展历史,第2章测速发电机,第3章伺服电动机,第4章步进电动机,第5章旋转变压器,第6章自整角机,第7章无刷直流电动机,第8章开关磁阻电动机。下篇精选6个相关实验。

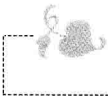
本书由东北石油大学姚建红、刘小斌、李梦达、刘继承、周全共同编写,其中,姚建红编写第1、7章和实验1;刘小斌编写第2、3章和实验5、6;周全编写第4章和实验4;李梦达编写第5、6章;刘继承编写第8章、实验2、3。全书由姚建红统稿。

本书编写过程中,黑龙江八一农垦大学朱学东教授提出了宝贵的意见和建议,在此致以衷心的感谢。同时,东北石油大学电气信息工程学院李宏玉老师也对本书的编写提供了很大的帮助,研究生林娜、张玲玉、高原、赵哲巍等协助绘制部分插图和查阅相关资料,在此表示感谢。本书在编写过程中参考了国内外有关的研究成果、著作和文献,对这些资料的作者也一并表示感谢。

由作者水平有限,书中难免存在疏漏和不当之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2012年7月



目 录

上篇 理论篇

第1章 绪论	1
1.1 什么是控制电机	1
1.2 控制电机的种类及特点	1
1.2.1 控制电机的种类	1
1.2.2 控制电机的主要特点	2
1.3 控制电机的应用及发展	3
1.3.1 控制电机的应用	3
1.3.2 控制电机的发展	5
1.4 本书特色及教材简介	5
第2章 测速发电机	6
2.1 概 述	6
2.2 直流测速发电机	6
2.2.1 直流测速发电机结构及其工作原理	6
2.2.2 直流测速发电机输出特性	9
2.2.3 直流测速发电机输出误差及其减小方法	9
2.2.4 直流测速发电机的性能指标	13
2.3 交流测速发电机	14
2.3.1 异步测速发电机结构及工作原理	15
2.3.2 异步测速发电机的输出特性	17
2.3.3 交流异步测速发电机主要技术指标	18
2.3.4 交流测速发电机误差产生的原因及其减小方法	19
2.3.5 交流伺服测速机组	22
2.4 特种测速发电机	23
2.4.1 永磁直流直线测速发电机	23
2.4.2 直流高灵敏度测速发电机	24
2.4.3 无刷直流测速发电机	24
2.4.4 脉冲测速发电机	27



2.5 测速发电机的选择与接线	28
2.5.1 测速发电机的使用原则	28
2.5.2 测速发电机的应用举例	29
本章小结	31
思考与练习	31
第3章 伺服电动机	32
3.1 概 述	32
3.2 直流伺服电动机	32
3.2.1 直流伺服电动机的结构和分类	32
3.2.2 直流伺服电动机的工作原理及控制方式	34
3.2.3 直流伺服电动机的运行特性和动态特性	36
3.2.4 直流力矩电动机	40
3.3 交流异步伺服电动机	44
3.3.1 交流伺服电动机的结构和工作原理	44
3.3.2 交流伺服电动机的控制方式	47
3.3.3 交流伺服电动机的静态特性和动态特性	49
3.4 交流同步伺服电动机	52
3.4.1 永磁同步电动机	53
3.4.2 磁阻式同步电动机	55
3.4.3 磁滞同步电动机	56
3.5 伺服电动机的选用	59
3.5.1 伺服电动机的主要技术数据	59
3.5.2 伺服电动机的使用原则	61
3.5.3 交直流伺服电动机的比较	62
3.6 伺服电动机的应用	63
3.6.1 直流伺服电动机的应用	63
3.6.2 交流伺服电动机的应用	64
本章小结	65
思考与练习	65
第4章 步进电动机	66
4.1 概 述	66
4.2 步进电动机的分类及结构	67
4.3 步进电动机工作原理	68
4.3.1 混合式步进电动机	68
4.3.2 反应式步进电动机	70
4.3.3 永磁式步进电动机	73
4.4 反应式步进电动机运行特性	74

4.4.1	静态运行特性	74
4.4.2	动态运行特性	77
4.5	步进电动机驱动	83
4.5.1	步进电动机驱动特点	83
4.5.2	步进电动机功率驱动电路	84
4.6	步进电动机的选用	88
4.6.1	步进电动机主要性能指标	88
4.6.2	步进电动机的选用原则	89
4.6.3	步进电动机应用举例	91
	本章小结	92
	思考与练习	92
第5章	旋转变压器	94
5.1	概 述	94
5.2	旋转变压器的分类	94
5.3	旋转变压器的结构和工作原理	95
5.3.1	正余弦旋转变压器	95
5.3.2	线性旋转变压器	99
5.3.3	比例式旋转变压器	100
5.3.4	数据传输用旋转变压器	101
5.4	旋转变压器的选用	101
5.4.1	旋转变压器的主要技术指标	101
5.4.2	旋转变压器的误差及其改进方法	102
5.5	感应移相器	103
5.6	多极旋转变压器和双通道旋转变压器	104
5.6.1	多极旋转变压器的工作原理	105
5.6.2	双通道旋转变压器	105
5.7	感应同步器	107
5.7.1	直线式感应同步器	107
5.7.2	圆盘式感应同步器	108
5.7.3	感应同步器输出信号处理方式	109
5.8	数字式旋转变压器	110
5.9	旋转变压器的应用	111
5.9.1	矢量分解	111
5.9.2	电气运算	111
5.9.3	数据传输	111
	本章小结	112
	思考与练习	112

第6章 自整角机	114
6.1 概 述	114
6.2 自整角机的类型和用途	114
6.2.1 力矩式自整角机	114
6.2.2 控制式自整角机	115
6.3 力矩式自整角机	115
6.3.1 结 构	115
6.3.2 工作原理	116
6.3.3 主要技术指标	118
6.4 控制式自整角机	118
6.4.1 结 构	118
6.4.2 工作原理	118
6.4.3 主要技术指标	120
6.5 差动式自整角机	120
6.5.1 结 构	120
6.5.2 工作原理	121
6.6 无接触式自整角机	123
6.7 双通道自整角机	124
6.7.1 双通道指示系统	124
6.7.2 双通道伺服系统	125
6.8 自整角机的选用	126
6.8.1 主要技术数据	126
6.8.2 使用原则	126
6.8.3 应用举例	126
本章小结.....	128
思考与练习.....	128
第7章 无刷直流电动机	129
7.1 概 述	129
7.2 无刷直流电动机结构及工作原理	129
7.2.1 无刷直流电动机结构	129
7.2.2 无刷直流电动机的工作方式	132
7.3 无刷直流电动机电枢反应	135
7.4 无刷直流电动机运行特性	137
7.4.1 无刷直流电动机等效电路	137
7.4.2 基本方程	138
7.4.3 运行特性	139
7.5 无刷直流电动机控制	141

7.5.1 有位置传感器控制	141
7.5.2 无位置传感器控制	145
7.6 无刷直流电动机的选用	145
7.6.1 无刷直流电动机的主要技术数据	145
7.6.2 位置传感器的选择	146
7.6.3 无刷直流电动机与其他电动机的比较	147
本章小结	148
思考与练习	148
第8章 开关磁阻电动机	149
8.1 概 述	149
8.1.1 开关磁阻电动机发展简介	149
8.1.2 开关磁阻电动机的特点	150
8.2 开关磁阻电动机的结构和工作原理	151
8.2.1 开关磁阻电动机传动系统的构成	151
8.2.2 开关磁阻电动机的工作原理	154
8.3 开关磁阻电动机的运行	155
8.3.1 SR 电动机的运行特性	155
8.3.2 SR 电动机运行时的噪声与转矩脉动	156
8.3.3 SR 电动机的启动运行与制动运行	157
8.4 开关磁阻电动机的基本控制原理	159
8.4.1 恒转矩区电流斩波控制	159
8.4.2 恒功率区的角度位置控制	161
8.5 开关磁阻电动机传动系统的反馈信号检测	162
8.5.1 电流信号的检测	162
8.5.2 位置信号的检测	164
8.5.3 速度信号的检测	166
8.6 开关磁阻电动机的应用	167
本章小结	169
思考与练习	169

下篇 实验篇

实验1 交流测速发电机	171
实验2 力矩式自整角机	176
实验3 旋转变压器	180
实验4 步进电动机	185
实验5 交流伺服电动机	189
实验6 直流伺服电动机	193
参考文献	197

上篇 理论篇



第1章 绪 论

1.1 什么是控制电机

一般电机学介绍的直流电动机、异步电机和同步电机统称为普通电机。在生产实际和日常生活中还广泛使用着各种特殊结构和特殊用途的电机,特别是随着新技术的迅猛发展和新材料、新元件的不断涌现,新型特种电机的研究和应用处在快速发展之中。由于特种电机较多用于自动控制系统,功率较小,所以又称为微特电机。微特电机通常指的是性能、用途或原理等与常规电机不同,且体积和输出功率较小的微型电机和特种精密电机。一般其外径不大于130 mm,输出功率从数百毫瓦到数百瓦。但是现在微特电机的体积和输出功率都已突破了 this 范围。有的特种电机的功率达到了10 kW左右。它们广泛应用于军事装备、电子产品、工业自动控制系统、家用电器、办公自动化、通信和交通、电动工具、仪器仪表、电动玩具等方面。控制电机就是微特电机的主要分支,它作为执行元件或测量元件,在自动控制系统中起着举足轻重的作用。

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,满足系统对它提出的要求。

1.2 控制电机的种类及特点

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 1.1 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 1.2 所示。

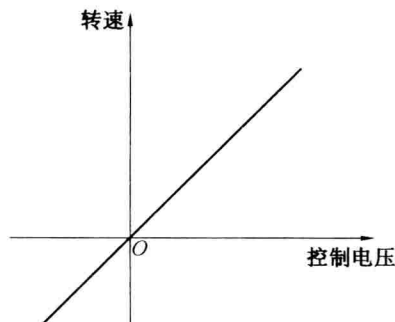


图 1.1 伺服电动机的控制特性图

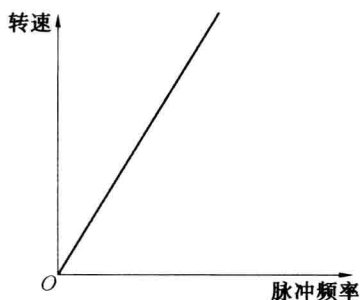


图 1.2 步进电动机的控制特性

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 1.3 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 1.4 所示。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 1.5 所示。

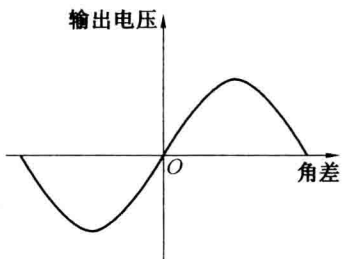


图 1.3 自整角机的控制特性

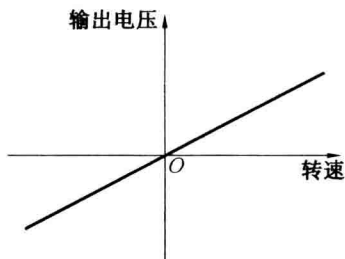


图 1.4 测速发电机的控制特性

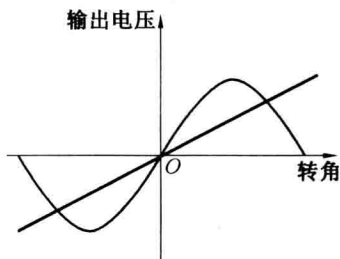


图 1.5 旋转变压器的控制特性

1.2.2 控制电机的主要特点

人们在日常工作和生活中也经常要用到电机,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上千个各种各样的元件组成,每个元件都按照系统对它的特定要求工作。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、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场合都在使用,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、质量轻、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,质量只有十几克。

1.3 控制电机的应用及发展

1.3.1 控制电机的应用

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 and 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、录音录像设备等的自动控制系统中。

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1.6所示。这个系统有两种工作状态: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1.6上的闸刀S合在位置I。第二种状态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. 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。由于雷达天线又大又重,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。发送机转多大角度,天线也转多大角度;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连接在一起的。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 $\gamma = \alpha - \beta$ 等于零时,接收机的输出电压 U_1 也等于零。当转角 α 和 β 不等时,接收机就有和转角差 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,可以很灵敏地感觉到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

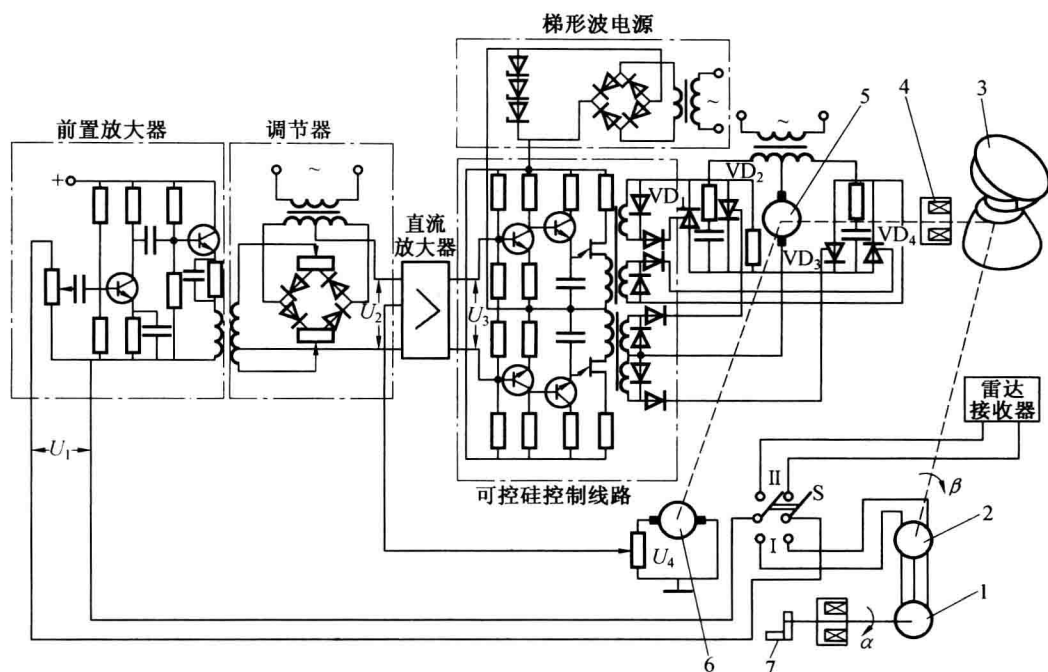


图 1.6 雷达天线控制系统的原理线路

1—自整角发送机;2—自整角接收机;3—雷达天线;4—变速箱;5—直流伺服电动机;6—测速发电机;7—手轮

器放大,放大后的直流电压 U_3 被输入到可控硅控制线路的差动放大器,去控制可控硅的导通和截止。当可控硅 VD_1 和 VD_2 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,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,这时可控硅 VD_3 和 VD_4 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 带动雷达天线 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。这时 U_1, U_2, U_3 都等于零,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。

2. 雷达天线控制系统的自动跟踪状态

当雷达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,系统即工作在跟踪状态。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放大器去控制天线的旋转,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。

1.3.2 控制电机的发展

近年来,随着高新技术的不断涌现和材料性能的不断提高,以及用户要求的不断提升,控制电机在高性能、高可靠性和高精度等方面快速发展,呈现出以下的发展趋势:

1. 微型化

为了满足应用设备小型化和薄型化的要求,控制电机正向体积小、质量轻的微型化方向发展。以计算机软盘驱动器为例,从20世纪80年代初的8 in(1 in=2.54 cm)发展到5.25 in,再到20世纪90年代的3.5 in,充分表明软盘驱动器小型化的态势,其中的伺服电动机也逐步小型化、薄型化,并对整机小型化起着关键作用。

2. 大型化

控制电机的输出功率较小,一般从数百毫瓦到数百瓦,系列产品的外径一般由12.5 mm到130 mm,质量从数十克到数千克。但是在大功率的现代运动控制系统中,有些控制电机的功率也可达数十千瓦,机壳外径也可达数百毫米,如几十千瓦的永磁同步电动机、开关磁阻电动机和直径为1 m以上的旋转变压器等。

3. 新型化

新技术和新材料的结合,正在全面改变传统电机的面貌,人们也开始意识到电磁式电机的一些局限。近年来,电机研发人员借助于微电子技术、精密制造技术、新材料技术以及生物仿生技术等,发明了不少新原理电机,一些非电磁原理的控制电机应运而生,其中最具代表性并已实用化的当属超声波电动机。此外,还有静电电机、光热电机、微波电机、仿生电机和形状记忆合金电机等新型控制电机。

1.4 本书特色及教材简介

本书的编写力求具有实用性和实训性,简化分析,尽量避免繁琐的公式推导和复杂的数学模型;注重实际应用和实践结合,注意控制电机与普通电机之间的对比,以及相关控制电机之间的比较和有机结合;强调控制电机的选用原则和应用范围,增强教材的实用性。

在汲取传统的控制电机教材对原理讲述清楚的基础上增加了控制等内容。将新的控制技术与控制芯片相结合,以适应宽口径复合型人才培养的需要。本教材特色重在电机的实际应用及认知,重在了解控制电机的实际应用,每章最后均配有相关电机的实际举例,具有很强的可操作性及参考性。



第2章 测速发电机

2.1 概 述

测速发电机(Tachogenerator)是一种测量转速的电磁装置。它能把机械转速转换成电压信号,其输出电压与输入的转速成正比关系。测速发电机在自动控制系统和计算装置中通常作为测速元件、校正元件、解算元件和角加速度信号元件等。

测速发电机按输出信号的形式,可分为直流测速发电机和交流测速发电机两大类。近年来,还出现采用新原理、新结构制成的特种测速发电机,如霍尔效应测速发电机等。

直流测速发电机有电磁式和永磁式两种。虽然它们存在机械换向问题,会产生火花和无线电干扰,但直流测速发电机具有输出电压斜率大、没有剩余电压及相对误差等优点,所以在实际应用中较广泛。交流测速发电机又有同步测速发电机和异步测速发电机两种。前者的输出电压虽然也与转速成正比,但输出电压的频率也随转速而变化,所以只作为指示元件使用;后者是目前应用最多的一种,尤其是空心杯形转子异步测速发电机性能较好。

自动控制系统对测速发电机的要求,主要是精确度高、灵敏度高、可靠性好等,具体有:

- ①输出电压与转速保持线性关系并稳定。
- ②剩余电压(转速为零时的输出电压)要小。
- ③正反转两个方向的输出特性要一致。
- ④温度变化对输出电压的影响要小。
- ④输出电压的斜率大,即在一定转速时所产生的电动势及电压应尽可能大。
- ⑥摩擦转矩和惯性要小,以保证反应迅速。

此外,还要求它体积小、质量轻、结构简单、工作可靠,对无线电通信的干扰小、噪声小等。

实际应用中,测速发电机广泛用于各种速度控制系统中。例如,用于速度负反馈系统,以便实现对系统速度的实时检测与自动调节;或用作阻尼元件,利用所产生的反馈信号来提高系统跟踪的稳定性和精度;在解算装置中可用作微分或积分元件等。此外,在有些场合,还可以直接用作速度计,用来测量各种运动机械在转动、摆动或直线运动时的速度。

2.2 直流测速发电机

2.2.1 直流测速发电机结构及其工作原理

直流测速发电机就其物理本质来说是一种测量转速的微型直流发电机。从能量转换的角