

电气与控制实验科学技术

王科俊 主编

微型控制电机实验技术

WEI XING KONG ZHI DIANG JI SHI YAN JI SHU

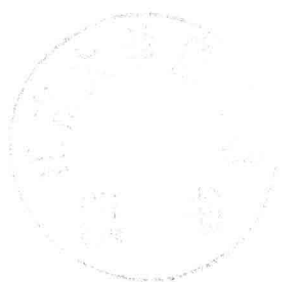
马忠丽 杨雪晶 编著

黑龙江人民出版社

· 电气与控制实验科学技术 · 王科俊 主编

微型控制电机实验技术

马忠丽 杨雪晶 编著



黑龙江人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

电气与控制实验科学技术/王科俊 主编. —哈尔滨:黑龙江人民出版社,2008.7
ISBN 978-7-207-07885-8

I. 电… II. 王… III. 电气控制—实验—研究 IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据字(2008)第 110906 号

责任编辑:李荣焕

装帧设计:李若聃

微型控制电机实验技术

马忠丽 杨雪晶 编著

出版发行 黑龙江人民出版社
通讯地址 哈尔滨市南岗区宣庆小区 1 号楼
邮 编 150008
网 址 www.longpress.com
电子邮箱 hljrmcbs@yeah.net
印 刷 哈尔滨太平洋彩印有限公司
开 本 16 开
印 张 135 印张
字 数 355 万字
印 数 2000 套
版 次 2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-207-07885-8/TP·14
定 价 350.00 元(全套 14 本)

(如发现本书有印制质量问题,印刷厂负责调换)

本社常年法律顾问:北京市大成律师事务所哈尔滨分所律师赵学利、赵景波

前 言

微型控制电机在自动控制系统中应用广泛,人们对这方面的知识需求愈加迫切。在借鉴国内同行专家的教学成果基础上,作者根据多年从事自动控制元件实践教学所累积的经验、收获和成果,编写了这本《微型控制电机实验技术》。

全书分为上、下两篇。上篇为基础篇,包括3章,主要介绍自动控制系统中常用的各种微型控制电机的工作原理、工作特性、典型应用以及选择和使用方法,还有微型电机参数、特性常用的测试方法;下篇实验篇,包括7章,主要分层介绍了各种微型控制电机的参数和特性实验测试方法,特别结合控制系统的概念给出了应用型和设计性实验内容,同时为突出计算机在电机测试技术中的应用,给出了电机 Matlab 仿真实验。附录给出了常用控制微电机产品名称代号、微型控制电机型号命名法、实验中微型控制电机技术指标等。

本书可作为本科自动化专业、测控技术专业、电力系统及自动化专业及有关专业控制电机及应用课程的实验教材或实验教学参考书,也可供从事自动化控制等方面工作的科技人员参考。

本书编写得到了哈尔滨工程大学和哈尔滨工程大学自动化学院的大力资助,王科俊教授、彭秀艳教授、吕淑萍教授给予了大力支持和帮助,在此表示感谢!

本书由马忠丽、杨雪晶主编,参加编写的有:马忠丽(绪论、第一、二、六、七、八、九及附录)、杨雪晶(第四、五章)、王显峰(第三章),最后由马忠丽负责全书的统稿。本书由哈尔滨工程大学田凯副教授主审,他对本书提出了很多建议,在此表示感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中错误及不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2008年8月

内容简介

本书主要介绍自动控制系统中常用的各种微型控制电机的工作原理、工作特性、典型应用以及选择和使用方法。重点是:在提出了微型电机参数、特性常用的测试方法的基础上,利用相关的测试仪表和设备,对电机参数和特性进行实验测试。上篇介绍微型控制电机实验技术基础,包括各种微型控制电机的工作原理、结构、选用等。下篇介绍微型控制电机实验,包括基础型和应用设计、创新型实验内容。

本书内容设计合理、知识连贯、实验内容丰富全面考查和培养学生的创新能力。

本书可作为本科自动化专业、测控技术专业、电力系统及自动化专业及有关专业控制电机及应用课程的教材或教学参考书,也可供从事自动化控制等方面工作的科技人员参考。

目 录

绪论	1
0.1 自动控制系统基本概念	1
0.1.1 自动控制和自动控制系统	1
0.1.2 三种控制方式	1
0.1.3 闭环系统基本组成	3
0.2 典型微型控制电机及其在控制系统中的作用	4
0.2.1 微型控制电机定义和作用	4
0.2.2 微型控制电机分类	4
0.2.3 微型控制电机主要性能参数	5
0.2.4 微型控制电机发展趋势	6
0.3 本书目的	7
本章思考题	7
上篇 微型控制电机实验技术基础	
第1章 微型控制电机概述	8
1.1 直流电机	8
1.1.1 直流电机分类	8
1.1.2 直流伺服电动机	9
1.1.3 直流测速发电机	14
1.1.4 直流电机应用	15
1.1.5 直流电机选用	18
1.2 步进电机	19
1.2.1 步进电机基本工作原理	19
1.2.2 步进电机技术参数	23
1.2.3 步进电机应用	25
1.2.4 步进电机选用	26
1.3 旋转变压器	27
1.3.1 旋转变压器基本工作原理	27
1.3.2 旋转变压器基本特性	28
1.3.3 旋转变压器应用	30
1.4 自整角机	32
1.4.1 自整角机基本工作原理	32
1.4.2 自整角机技术参数	34
1.4.3 数字式旋转变压器/自整角机	35
1.4.4 自整角机应用	38
1.4.5 自整角机选用	39
1.5 交流电机	41

1.5.1 交流电机分类	41
1.5.2 交流伺服电动机	41
1.5.3 交流测速发电机	46
1.5.4 交流电机应用	49
1.5.5 交流电机选用	50
本章思考题	53
第2章 微型控制电机实验基础	55
2.1 微型控制电机实验目的和基本内容	55
2.1.1 微型控制电机实验目的	55
2.1.2 微型控制电机实验基本要求	55
2.1.3 实验基本步骤	56
2.2 测量误差及实验数据处理	57
2.2.1 测量误差基本知识	57
2.2.2 测量误差的检验与消除	60
2.2.3 实验数据曲线拟合	64
2.2.4 有效数字与计算法则	65
2.3 微型控制电机实验通用测试仪器和仪表	66
2.3.1 万用表	66
2.3.2 转速表	67
2.3.3 示波器	68
2.3.4 接触调压器	71
2.3.5 力矩测试装置	72
2.3.6 测功机	73
2.4 实验中测试方法的选择	74
2.4.1 电压、电流和电阻的测量	75
2.4.2 频率、相位的测量	75
2.4.3 电机时间常数和转动惯量的测量	75
2.4.4 电机转矩的测量	78
本章思考题	79
下篇 微型控制电机实验	
第3章 微型控制电机及控制系统认知实验	80
3.1 系统基本结构	80
3.2 系统基本工作过程	81
3.3 系统的使用和维护	81
3.4 角随动控制系统实验	81
实验一 微型控制电机与自动控制系统认知实验	81
本章思考题	82
第4章 直流电机实验	83
4.1 直流测速发电机实验	83
实验二 永磁直流测速发电机实验	83
实验三 他励直流测速发电机实验	84
4.2 直流伺服电动机实验	86
实验四 直流力矩电动机实验	86

实验五 他励直流伺服电动机实验	87
实验六 直流无刷电动机实验	90
4.4 恒速控制系统实验	92
实验七 直流电机恒速控制系统实验	92
本章思考题	93
第5章 步进电机实验	94
5.1 步进电机基础实验	94
实验八 步进电机参数及特性测试实验	94
5.2 步进电机设计实验	98
实验九 步进电机控制器设计实验	98
本章思考题	100
第6章 旋转变压器实验	101
6.1 旋转变压器基础实验	101
实验十 正余弦旋转变压器实验	101
实验十一 线性旋转变压器实验	103
6.2 旋转变压器设计实验	105
实验十二 旋转变压器角和角差测量实验	105
本章思考题	105
第7章 自整角机实验	106
7.1 自整角机基础实验	106
实验十三 力矩式自整角机实验	106
实验十四 控制式自整角机实验	110
7.2 自整角机设计实验	111
实验十五 自整角机角和角差测量实验	111
本章思考题	112
第8章 交流电机实验	113
8.1 交流测速发电机实验	113
实验十六 交流测速发电机参数测量实验	113
实验十七 交流测速发电机输出特性测试实验	114
8.2 交流伺服电动机实验	116
实验十八 幅值控制下的交流伺服电动机特性测试实验	116
实验十九 幅-相控制下的交流伺服电动机特性测试实验	119
本章思考题	122
第9章 微型控制电机 MATLAB 仿真实验	123
9.1 MATLAB 仿真软件	123
9.1.1 MATLAB 仿真软件简介	123
9.1.2 MATLAB 语言程序设计	123
9.1.3 Simulink 仿真软件	123
9.1.4 电机特性 MAILAB 仿真实例	124
9.1.5 电机控制系统 MAILAB 仿真实例	125
9.2 微型控制电机特性 MATLAB 仿真实验	127
实验二十 直流伺服电机特性 MATLAB 仿真实验	127
实验二十一 交流伺服电机特性 MATLAB 仿真实验	127

9.3 微型电机控制系统 MATLAB 仿真实验	128
实验二十二 直流开环调速系统 MATLAB 仿真实验	128
实验二十三 直流双闭环调速系统 MATLAB 仿真实验	128
本章思考题	129
附录 1 微型控制电机型号命名法	130
附录 2 常用控制微电机产品名称代号	133
附录 3 常用电气基本图形符号	135
附录 4 实验中微型控制电机技术指标	136
参考文献	138

绪 论

0.1 自动控制系统基本概念

0.1.1 自动控制和自动控制系统

自动控制,就是在没有人直接参与的情况下,利用控制装置使某种设备、工作机械或生产工具过程的某些物理或工作状态能自动地按照预定的规律运行或变化。

自动控制系统就是能够对被控对象的工作状态进行自动控制的系统。一般由控制器(含测量元件)和控制对象组成。

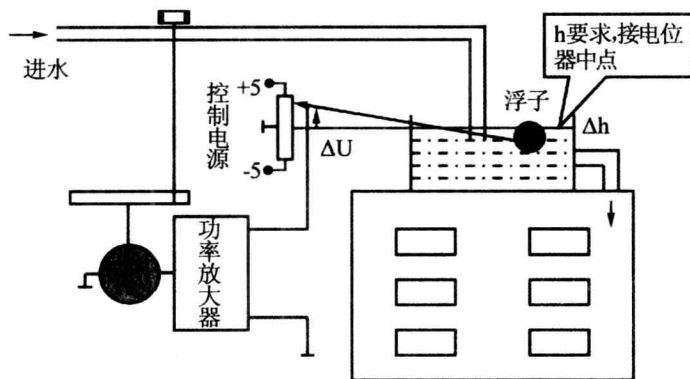


图 0-1 水位控制系统

图 0-1 给出水位控制系统示意图。可以用两种方法实现图中的水位控制：

方法一 人工控制

眼(观察) 脑(判断) 手(操作)

目的:减少或消除 Δh 。

方法二 自动控制

受控对象:水池;输出量:实际水位($h_{\text{实际}}$);输入量:要求水位($h_{\text{要求}}$);浮子:检测装置;控制电源:检测 Δh ,转变为电信号;电动机:执行机构;干扰输入量:对系统输出起反作用的输入量,例如功率放大器信号的漂移。

0.1.2 三种控制方式

自动控制的基本控制方式包括:开环控制、闭环控制、复合控制。

1. 开环控制

开环控制是指系统输出端与输入端之间不存在反馈回路,或者说,系统的输出量不对系统的控制产生任何作用的控制过程。

开环控制系统的特点:系统输出量对控制作用无影响;无反馈环节;出现干扰靠人工消除;无法实

现高精度控制。

开环控制系统职能框图:任何开环控制系统,从组成系统元部件的职能角度看,均可用图 0-2 表示。

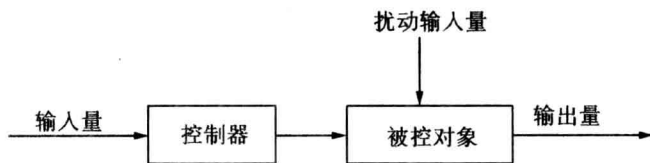


图 0-2 开环控制系统职能框图

开环控制实例见图 0-3。图所示系统为一个开环调速系统(不考虑测速反馈)。

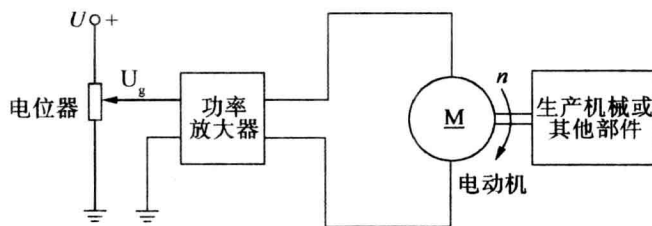


图 0-3 开环调速系统

系统工作原理:

改变电位器滑动端的位置,相应的改变了电压 U_g 值的大小,其值经功率放大器放大后施加在直流电动机的电枢两端,由于直流电动机具有恒定的励磁电流。因此,随着电枢电压值的不同,电动机便以不同的转速带动生产机械运转。于是,改变 U_g 的大小,便控制了电动机转速的高低。系统中, U_g 是给定输入量;电动机的转速 n 是系统的输出量即被控量;功率放大器的电源电压波动、放大系数漂移、拖动负载的变化等,是扰动输入量。

可见,系统的输出量,即电动机的转速并没有参与系统的控制。

2. 闭环控制

把输出量直接或间接地反馈到系统的输入端,形成闭环,参与控制,这种系统叫闭环控制系统。实际的闭环控制系统,都是以负反馈的形式出现。

闭环控制系统的特点:系统输出量直接或间接地参与了对系统的控制作用;有负反馈环节,并应用反馈减小或消除误差;当出现干扰时,可以自动减弱其影响;系统可能工作不稳定。

闭环控制系统职能框图:任何闭环控制系统,从组成系统元部件的职能角度看,均可用图 0-4 表示。

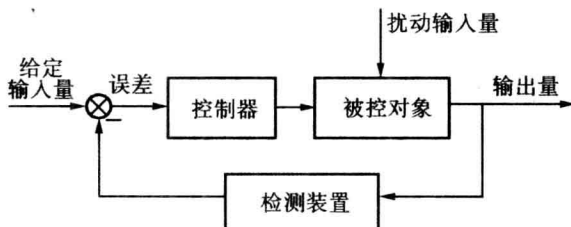


图 0-4 闭环控制系统职能框图

闭环控制实例见图 0-5,为一个闭环调速系统。

3. 复合控制

复合控制是开环控制和闭环控制相结合的一种控制方式。它是在闭环控制回路的基础上,附上一个输入信号或扰动信号(是破坏系统输入量和输出量之间预定规律的信号)的顺馈通路,用来提高系统的控制精度。

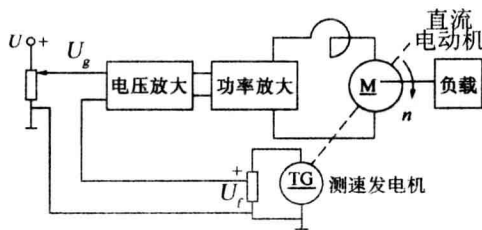


图 0-5 闭环调速系统

复合控制系统有两种结构:按输入信号补偿,见图 0-6 a;按扰动信号补偿,见图 0-6 b。

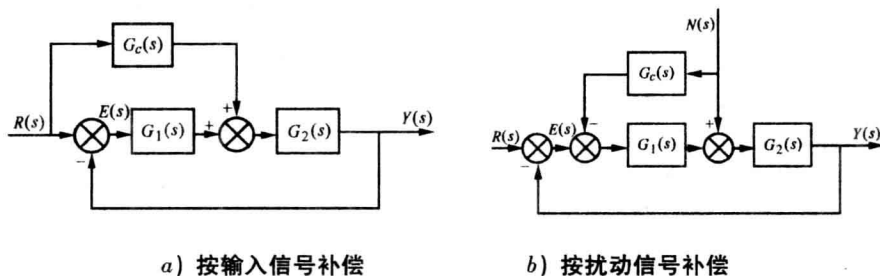


图 0-6 复合控制两种结构

复合控制系统的特点:具有很高的控制精度;可以抑制几乎所有的可量测扰动,其中包括低频强扰动;补偿器的参数要有较高的稳定性。

0.1.3 闭环系统基本组成

1. 基本组成

闭环系统结构方块图如图 0-7 所示。

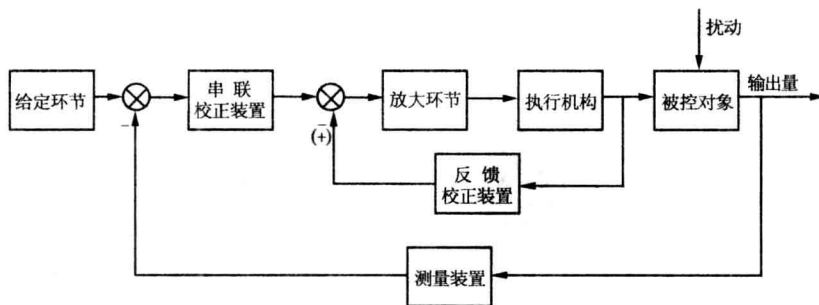


图 0-7 闭环系统基本组成

2. 基本元部件

被控对象:进行控制的设备或过程(如:工作机械)。

执行机构:执行机构直接作用于控制对象(如:电动机)。

检测装置:用来检测被控量,并将其转换成与给定量相同的物理量(如:测速发电机)。

中间环节:一般指放大元件(如:放大器,可控硅整流功放)。

给定环节:设定被控量的给定值(如:电位器)。

比较环节:将所测的被控量与给定量比较,确定两者偏差量(如:自整角机)。

校正环节:用于改善系统性能。校正环节可加于偏差信号与输出信号之间的通道内,也可加于某一局部反馈通道内。前者称为串联校正,后者称为并联校正或反馈校正(如:*PID* 控制器)。

0.2 典型微型控制电机及其在控制系统中的作用

0.2.1 微型控制电机定义和作用

电机是利用电磁感应原理工作的机械。电机常用的分类方式有两种:一是按功能分,有发电机、电动机、变压器和控制电机四大类;二是按电机结构或转速分,有变压器和旋转电机。发电机将机械能转换成电能输出。电动机将机械能转换成电能。变压器将一种电压等级的交流电能变换成同频率的另一种电压等级的交流电能。控制电机的主要任务是完成控制信号的传递和转换,主要用于自动控制系统中(如机床中的伺服电动机)。

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。我国曾用过控制微电机、驱动微电机和电源微电机等名称,现统称微特电机,即微型特种电机。也可简称微电机。一般其外径不大于 130mm ,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这个范围。有的特种电机的功率做到了 10 千瓦左右。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、通讯和交通、电动工具、仪器仪表、电动玩具等方面。与普通电机的要求不同:普通电机的主要任务是转换能量,微特电机在自动控制系统中只起一个元件的作用,主要任务是完成信号的传递与转换。

微型控制电机一般是指在自动控制系统中完成控制信号的传递和转换任务的控制微电机。对控制微电机的基本要求是:二高一快,即高可靠性 - 对控制电机的第一位要求;高精度 - 精度指实际特性与理想特性之间的差距;快速响应 - 主要指标是机电时间常数与灵敏度。

微型控制电机应用举例:雷达天线和显示管偏转线圈的随动系统。见图 0-8。

图 0-8a 给出雷达系统两种工作状态示意图:搜索状态和跟踪状态。图 0-8b 给出雷达系统结构示意图。

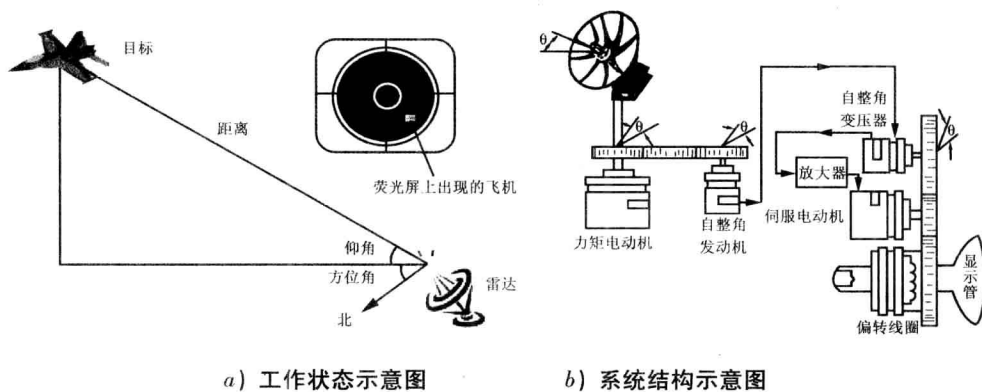


图 0-8 雷达天线和显示管偏转线圈的随动系统

如果再把自整角变压器的输出信号送到具有自动瞄准装置的火炮控制系统中,经过比较和放大后,驱动执行元件动作,带动炮筒转到和雷达天线一致的空间位置并对准目标,这就组成了火炮自动瞄准系统。系统框图见图 0-9。

0.2.2 微型控制电机分类

微型控制电机的主要功能是转换和传递信号。如:伺服电机将电压信号转换为转矩和转速;步进电机将脉冲信号转换为角位移或线位移。微型控制电机的种类很多,尽管它们功能和结构不同,但构

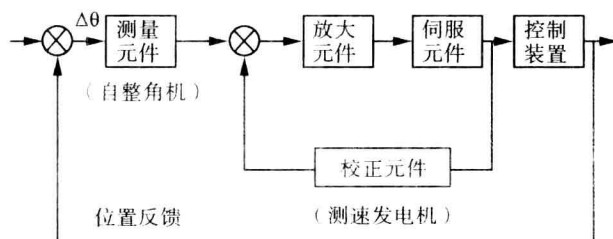


图 0-9 火炮自动瞄准系统框图

成原理是相似的,多数电机的原理都是建立在基本电磁规律基础上。

目前,控制用微电机家族中主要包括的成员见图 0-10。

为了学习方便,这里按上述控制用微电机在自动控制系统中的作用进行分类:

执行元件:交、直流伺服电动机、步进电机等;

检测装置:交、直流测速发电机等;

测量比较环节:旋转变压器、自整角机等。

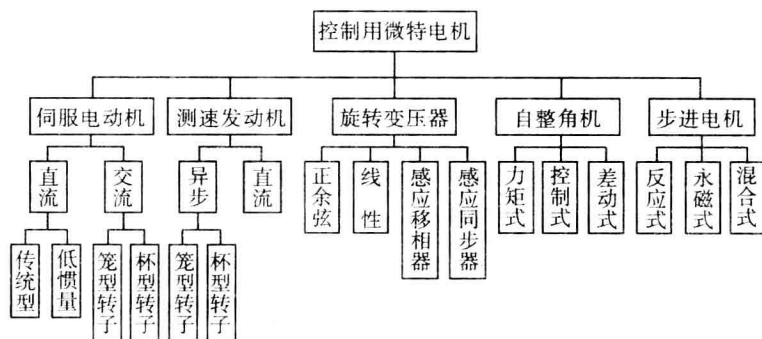


图 0-10 控制用微电机种类

图 0-11 给出一些常用微型控制电机实物图。



图 0-11 常用微型控制电机实物图

0.2.3 微型控制电机主要性能参数

控制用微电机偏重于静态和动态的特性参数。

1. 工作特性

常用输出量与输入量,或一个输出量与另一个输出量之间的关系来表示电机的工作特性。从控制要求来说,其静态特性应呈线性曲线,曲线应连续、光滑,不应突变;动态特性常用频率曲线或响应曲线来表示。要求频率曲线平稳,无突跳振荡点,响应曲线应快速收敛。图 0-12 给出了直流伺服电动机的静态特性曲线和动态特性曲线。

2. 灵敏度

是对应于单位输入信号的输出量大小。各类电机表示方法不一,常用比力矩、比电动势、放大系数等表示,一般要求愈大愈好。而起动电压、时间常数等参数愈小则灵敏度就愈高。

3. 精度

在一定输入条件下,输出信号的实际值与理论值的差值代表微电机的精度,常用误差大小表示。例如,自整角变压器的精度用静态误差和零位误差代表,直流测速发电机的精度用电压幅值误差和剩余电压来表示。

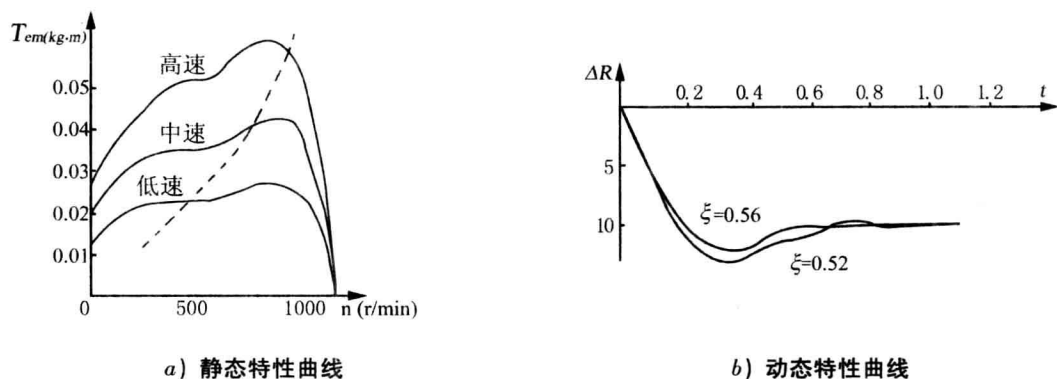


图 0-12 直流伺服电动机工作特性曲线

4. 阻抗或电阻

在系统中,微电机的输入和输出阻抗应分别与相应电路相匹配,保证系统的运行性能和精度。所以,微电机的阻抗应有所规定,对其偏差要有所限制。

5. 可靠性

常用使用寿命、失效率、可靠度和平均无故障时间等参数来反映微电机的运行可靠性。

0.2.4 微型控制电机发展趋势

由于控制系统对电机性能要求越来越高,提高精度和适应性仍是发展方向之一。具体措施除了从电机本身着眼外,要把电机与控制系统线路的改进结合起来,包括:

1. 无刷化

继续研究无刷直流电机、自整角机、旋转变压器等。

2. 小型化

体积、质量、能耗是当前微特电机研究中迫切需要解决的问题,特别是高空飞行中,重量每增加 1kg ,每小时就要多耗燃料 100kg 。小型化除指体积与重量外,还指功率消耗。措施:改进设计,简化结构,新材料,新工艺等。

3. 机电一体化

将电机、传感器、控制器集成为一体。

4. 永磁化

高性能永磁材料可有效提高电机性能,减小体积和重量。

5. 智能化

采用可编程控制器件,确立了微特电机作为一个小系统的设计、生产和使用的新概念。

6. 研制新原理、新结构电机

如研制超声波电机,双凸极电机等。

7. 元件与系统相互协调

伺服电机性能是否能充分发挥,与控制线路和控制方法密切相关,步进电机、超声波电机、双凸极电机等与驱动电路不可分。

0.3 本书目的

本书以常见微型控制电机,包括:直流测速发电机、直流伺服电动机、步进电机、旋转变压器、自整角机、交流测速发电机、交流伺服电机等为研究对象,对它们的简单原理、典型应用、参数和特性实验测试方法等进行深入地研究和探讨。提高对微型控制电机在控制系统中重要作用的认识,便于更好的选择和使用。

本章思考题

1. 什么是自动控制系统? 举例说明。
2. 一般自动控制系统由哪几部分组成?
3. 自动控制系统的控制方式有哪些? 各有什么特点?
4. 什么是微型控制电机? 举例说明它们在自动控制系统中的作用。
5. 常见的微型控制电机有哪些?
6. 微型控制电机主要性能参数有哪些?

上篇 微型控制电机实验技术基础

本篇为微型控制电机实验技术理论基础篇。通过本篇的学习,可以了解典型微型控制电机的工作原理、结构、基本特性、典型应用和一般选用原则。同时,能够掌握典型微型控制电机实验技术基础,包括:实验目的、实验要求、测量误差与数据处理、常用测试仪表的使用、常用测试方法的选择等,为后面正确进行微型控制电机实验打下坚实基础。

第 1 章 微型控制电机概述

1.1 直流电机

在微型控制电机中,直流电机包括直流伺服电动机、直流测速发电机,前者将电能转换为机械能,后者将机械能转换为电能。二者在结构上没有差别。直流电机虽然结构比较复杂,造价比较高,但是因其具有良好的启动和调速特性,被广泛应用于各种自动控制系统中。

1.1.1 直流电机分类

直流电机按结构及工作原理可分为无刷直流电机和有刷直流电机。有刷直流电机可分为永磁直流电机和电磁直流电机。电磁直流电动机又分为串励直流电机、并励直流电机、他励直流电机和复励直流电机。永磁直流电机又分为稀土永磁直流电机、铁氧体永磁直流电机和铝镍钴永磁直流电机。下面分别简单介绍。

一 电磁直流电机

按照励磁方式电磁直流电机可分为他励电机、并励电机、串励电机和复励电机。

1. 他励电机

见图 1-1。励磁绕组和电枢绕组分别由两个直流电源供电。

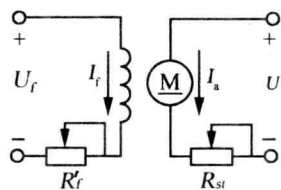


图 1-1 他励电机

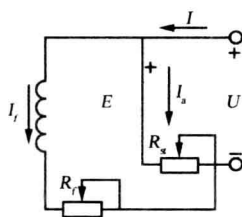


图 1-2 并励电机

2. 并励电机

见图 1-2。励磁绕组和电枢绕组并联,由一个直流电源供电。

3. 串励电动机

见图 1-3。励磁线圈与转子电枢串联接到同一电源上。