



21 世纪高职高专系列教材

ERSHIYI SHIJI GAOZHI GAOZHUAN XILIE JIAOCAI

机电一体化控制技术

JIDIAN YITI HUA

KONGZHI JISHU

张邦成 / 主 编 ●



NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS
WWW.NENUP.COM

东北师范大学出版社





21 世纪高职高专系列教材

ERSHIYI SHIJI GAOZHI GAOZHUAN XILIE JIAOCAI

机电一体化控制技术

JIDIAN YITIHUA

KONGZHI JISHU

张邦成 / 主 编

版 次：1999年10月 第1版

编 者：张邦成、王 明、王 明

责任编辑：王 明

封面设计：王 明

版 次：1999年10月 第1版

印 次：1999年10月 第1次印刷

印 数：1000册

定 价：15.00元

ISBN 7-5600-4001-0

0431-2282132 0431-2282133

0431-2282134 0431-2282135

0431-2282136 0431-2282137

0431-2282138 0431-2282139

0431-2282140 0431-2282141

0431-2282142 0431-2282143

0431-2282144 0431-2282145

0431-2282146 0431-2282147

0431-2282148 0431-2282149

0431-2282150 0431-2282151

0431-2282152 0431-2282153

0431-2282154 0431-2282155



NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS

WWW.NENUP.COM

东北师范大学出版社 长 春

内 容 提 要

本书紧密结合典型的机电一体化控制系统,详细地介绍了机电一体化控制系统的组成及设计方法,既有典型的电气控制方法,又有先进的控制技术,具有一定的系统性、实用性和先进性。

全书共分8章,第1章为绪论,第2章为机电一体化控制基础,第3章为机电一体化电机技术,第4章为机电一体化断续控制技术,第5章为可编程控制器控制技术,第6章为步进电机控制技术,第7章为机电一体化速度连续控制技术,第8章为伺服系统控制技术。每章末均有思考题。

本书适用于高职高专、成人高等教育的机电一体化类专业教学使用,也可供从事机电控制工程的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化控制技术/张邦成主编. —长春:东北师范大学出版社, 2006.7

ISBN 7 - 5602 - 4582 - X

I. 机... II. 张... III. 机电一体化—控制系统
—高等学校—教材 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 071813 号

□责任编辑:王宏志 □封面设计:宋 超

□责任校对:曲 颖 □责任印制:张允豪

东北师范大学出版社出版发行
长春市人民大街 5268 号 (130024)

电话:0431—5687213 5691263

传真:0431—5691969

网址: <http://www.nenup.com>

电子函件: sdcbs@mail.jl.cn

广告许可证:吉工商广字 2200004001001 号

东北师范大学出版社激光照排中心制版

制版热线:0431-5680137 0431-5693036 转 2098

吉林省吉新月历制版印刷有限公司印装

长吉公路南线 1 公里处(130031)

2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm 印张:13.5 字数:315 千

印数:0 001 — 3 000 册

定价:16.50 元

如发现印装质量问题,影响阅读,可直接与承印厂联系调换

前 言

机电一体化控制技术已在我国日益受到重视并已被认为是提高产品技术性能和市场竞争力的重要手段与措施,另一方面,各行业对机电一体化领域的人才需求越来越大,人才市场对机电一体化控制技术的应用型及技能型人才的需求与日俱增。为适应这一形势发展的需要,同时针对高职、高专专业课程的特点,我们特编写了本教材。本书从应用角度出发,选材广泛,内容新颖,深浅适中,具有实践性、综合性强等特点。本书以机电一体化控制技术应用为主线,以通俗易懂的文字介绍了机电一体化设备的基本组成、工作原理、结构特点和发展趋势,使学生通过学习本教材及开设相应的课程,掌握和提高机电一体化技术的专业应用技能。

全书共8章。第1章为绪论,对机电一体化控制技术作了概述。第2章介绍了机电一体化控制技术的相关基础技术,包括传感器技术、驱动执行机构、接口技术和常见的控制技术。第3章介绍了电机技术。第4章介绍了控制线路中主电路常用的继电器接触器控制技术,包括常用低压电器元器件、基本控制电路、电气控制电路的读图方法和应用以及典型机电设备的电气控制电路。第5章介绍了可编程控制器控制技术,并以在我国市场占有率较高的欧姆龙小型可编程控制器CPM1A系列为例,详细介绍了基本指令系统和PLC控制系统的设计方法及应用等。第6章介绍了步进电机控制技术。第7章介绍了机电一体化速度连续控制技术,包括电力、电子等晶闸管、直流调速系统与交流调速系统控制技术。第8章介绍了伺服系统控制技术,包括伺服系统的主要元器件和伺服控制系统的设计方法。

本书第1章、第4章及第5章由张邦成编写,第2章由王占礼编写,第3章由白羽编写,第6章由杨晓红编写,第7章和第8章分别由岳晓峰、姜涛、刘唯达编写。张邦成负责了全书的统稿与修改。

本书在编写过程中参考了已有的机电一体化控制技术方面的教材和资料,在书后的参考文献中已全部列出。这些宝贵的资料对完成本书的编写起到了非常重要的作用,在此特向参考文献的作者表示衷心的感谢。

机电一体化控制技术发展迅速,而且不断有新的理论、方法和技术产生。因此,本书中的错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

本书由长春理工大学曹国华教授主审。

编 者

2006年5月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 机电一体化控制技术概论	1
1.2 机电一体化控制系统的组成	2
1.3 机电一体化控制技术的特点与发展趋势	3
第 2 章 机电一体化控制基础	5
2.1 机电一体化系统中的传感器技术	5
2.2 驱动执行机构	17
2.3 接口技术	20
2.4 控制技术	33
第 3 章 机电一体化电机技术	36
3.1 直流电机的工作原理及特性	36
3.2 交流电机的工作原理及特性	42
3.3 步进电机的工作原理及特性	48
3.4 其他电机的简单介绍	56
第 4 章 机电一体化断续控制技术	61
4.1 低压电器的基本知识	61
4.2 常用的低压电器	62
4.3 电气图及三相异步电动机控制电路	72
4.4 电气控制电路设计	76
4.5 典型机电设备的电器控制系统	87
第 5 章 可编程控制器控制技术	115
5.1 可编程控制器概述	115
5.2 CPM1A 系列 PLC	130

第 6 章 步进电机控制技术	161
6.1 步进电动机的驱动方式	162
6.2 步进电动机的驱动电路	166
6.3 步进电动机的控制系统	168
 第 7 章 机电一体化速度连续控制技术	172
7.1 电力电子器件	172
7.2 直流调速系统控制	175
7.3 交流调速系统控制	179
 第 8 章 伺服系统控制技术	187
8.1 伺服系统设计	187
8.2 伺服系统中的主要元器件	189
8.3 开环控制的伺服系统设计	198
8.4 闭环控制的伺服系统设计	199
 附录一 电气图形符号	202
附录二 常用的基本文字符号	205
参考文献	207

第 1 章

绪 论

【基本要求】 了解机电一体化控制技术的发展史及特点，掌握机电控制技术的基本定义与系统组成。

【重点】 深入掌握机电控制系统的组成。

【难点】 机电控制系统的组成。

1.1 机电一体化控制技术概论

1.1.1 机电一体化控制的起源

随着当今世界电子技术的迅猛发展，微处理器、微型计算机在各技术领域得到了广泛的应用，对各领域技术的发展起到了极大的推动作用。在机械技术领域，微电子技术的广泛应用，不仅使各种机械设备和产品以崭新的面貌出现，而且涌现出了一批单纯靠机械技术或电子技术都难以实现的功能优良的产品。各先进国家中机电一体化产品层出不穷，机床、汽车、仪表、家用电器、轻工机械、纺织机械、包装机械、冶金机械、化工机械等许多门类的产品每年都有新的突破，机电一体化技术已越来越受到各方面的关注。它在节约能源，降低材料消耗及增强企业竞争力等方面都起着极大的作用。

机电一体化技术的思想酝酿于 20 世纪 60 年代，在 70 年代初期开始使用“mechanics”这一新的名词，这一术语最早形成于日本，是根据英文单词 mechanics (机械学) 或 mechanism (机构或机械装置) 的前半部分和 electronics (电子学) 的后半部分构成的。因此，从字面上讲应该是机械电子学，通常称为机电一体化技术。

1.1.2 机电控制技术的基本概念

机电控制技术是机械、电子、计算机和自动控制等技术有机结合的一门复合技术，它是在大规模集成电路和微型计算机为代表的微电子技术高度发展并向传统机械工业领域迅速渗透，与机械电子技术深度结合的现代工业基础上，综合运用机械、微电子、

自动控制、信息、传感测试、电力电子、接口、信号变换以及软件编程等技术的整合技术。

机电控制技术不是机械与电子的简单叠加，而是在信息论、控制论和系统论的基础上把两者有机组合起来的应用技术。由于引进了微电子技术，工业生产从机械自动化跨入了机电一体化阶段，使机械产品的技术结构、产品结构、产品功能、构成、生产方式和管理体制均发生了巨大变化。机电控制技术还赋予机械产品一些新的功能，如自动检测、自动显示、自动记录、自动处理信息、自动调节控制、自动诊断、自动保护等，从而使机械具有智能化的特征。如果说传统机械主要是代替或减轻人的体力，那么机电控制技术则能取代并延伸人的部分智力。

1.1.3 机电控制技术的重要性

一个国家制造产业的机电一体化控制技术水平直接影响产品的性能、生产效率、经济效益和国家的经济发展。

现代军事产品对机电一体化控制技术提出了更高的要求。如卫星制导、激光制导等，都是先将目标的准确位置送给计算机，通过计算机快速准确地计算并发出控制指令，控制导弹准确击中目标。机电一体化控制技术以其本身特有的技术优势迅速改变现代制造产业的产品结构，它使产品的更新、升级换代以及技术性能指标大幅度提高，使原来的低中档产品上升为高档产品，在功能、水平、质量、品种、使用效果和价格等方面能更好地满足国内外市场的需求，增强了产品的竞争性。另一方面，机电一体化的生产装备易于根据市场需求组织和改变产品生产，缩短新产品生产周期，降低能耗和生产成本，使企业增强生产经营的竞争能力。如数控机床和机器人的出现以及 FMS 的发展应用，都体现出机电一体化控制技术在现代机械制造产业构成中的重要地位和作用。

1.2 机电一体化控制系统的组成

一个较完善的机电控制系统，应包括以下几个基本要素：机械本体、动力部分、测试传感部分、执行机构、驱动部分、控制及信息处理单元及接口。各要素和环节之间通过接口相联系，如图 1-1 所示。

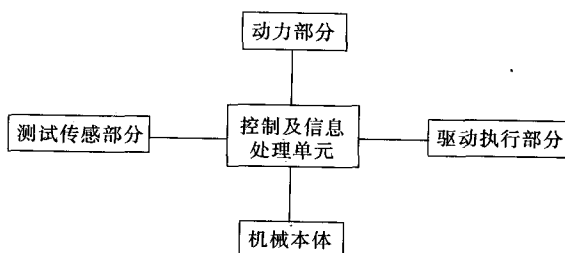


图 1-1 机电一体化控制系统的组成

1. 机械本体

机械本体是系统所有功能元素的机械支持结构,包括机身、框架、机械连接等。由于机电一体化产品技术性能、水平和功能的提高,机械本体要在机械结构、材料、加工工艺性及几何尺寸等方面适应产品高效、多功能、可靠和节能、小型、轻量、美观等要求。

2. 动力部分

动力部分是按照系统控制的要求,为系统提供能量和动力,使系统正常运行。用尽可能小的动力输入,获得尽可能大的功率输出,是机电一体化产品的显著特征之一。

3. 测试传感部分

测试传感部分对系统运行中所需要的系统本身和外界环境的各种参数及状态进行检测,变成可识别信号,传输到信息处理单元,经过分析、处理后产生相应的控制信息,其功能一般由专门的传感器和仪器仪表完成。

4. 执行机构

执行机构是根据控制信息和指令,完成要求的动作。执行机构是运动部件,一般采用机械、电磁、电液等机构。根据机电控制系统的匹配性要求,需要考虑改善性能,如提高刚性,减轻重量,实现组件化、标准化和系统化,提高系统整体的可靠性等。

5. 驱动部分

驱动部分是在控制信息作用下提供动力,驱动各执行机构完成各种动作和功能。机电控制系统一方面要求驱动的高效率和快速响应特性,同时要求有较高的可靠性和对水、油、温度、尘埃等外部环境有较强的适应性。由于几何尺寸上的限制,要求动作范围狭窄,所以还需考虑维修和标准化的要求。随着电力电子技术的高速发展,高性能步进驱动、直流和交流伺服驱动大量应用于机电控制系统。

6. 控制及信息处理单元

控制及信息处理单元部分是来自各传感器的检测信息和外部输入命令进行集中、存储、分析、处理,根据信息处理结果,按照一定的程序和节奏发出相应的指令,控制整个系统有目的地运行。控制及信息处理单元一般由计算机、可编程控制器(PLC)、数控装置以及逻辑电路、A/D与D/A转换、I/O(输入/输出)接口和计算机外部设备等组成。机电控制系统对控制和信息处理单元的基本要求是提高信息处理速度和可靠性,增强抗干扰能力以及完善系统自诊断功能,实现信息处理智能化和小型、轻量、标准化等。

7. 接 口

接口是系统中各单元和环节之间进行物质、能量和信息交换的连接界面,具有对信号进行变换、放大及传递的功能。由于接口的作用使各组成要素联结成为一个有机整体,由控制和信息处理单元的预期信息导引,使各功能环节有目的地协调一致运动,从而形成机电控制系统工程。

1.3 机电一体化控制技术的特点与发展趋势

1.3.1 机电一体化控制技术的特点

机电一体化控制技术既不同于机械技术、微电子技术和电子技术,也不同于一般的

计算机技术,而是在这些技术的基础上利用机械技术、微电子技术、电子技术和计算机技术等做相互融合、相互渗透并产生质的升华而形成的一门崭新的技术,它具有如下特点:

- ① 综合性和系统性;
- ② 层次多,覆盖面广;
- ③ 简化了机械结构和操作;
- ④ 提高了设备的加工精度,增加了功能;
- ⑤ 提高了安全性;
- ⑥ 高可靠性、高稳定性和长寿命;
- ⑦ 系统开发时复杂,使用时简便且具有柔性;
- ⑧ 节约能源;
- ⑨ 价格便宜,产品富有竞争力。

1.3.2 机电一体化控制技术的发展趋势

随着社会生产和科学技术的发展与进步,机电控制技术正在不断地深入到各个领域并迅速地向前推进。世界各先进工业国家机电控制技术的发展各有特点,其发展的重点和具体做法也不尽相同,但总的趋势是趋于一致的。

1. 从性能上看,向高精度、高效率、高性能、智能化的方向发展

以数控机床为例,其控制精度能实现 $0.1\ \mu\text{m}$ 的高精度,其进给速度可达 $24\sim 100\ \text{m/min}$,甚至更高。其联动和控制的轴数能实现 $9\sim 15$ 轴,同时增加了对话功能,设置了智能 I/O 通道和智能工艺数据库,给使用、操作和维护带来了极大的方便。今后,随着专用集成电路特别是超大规模集成电路的发展,机电一体化产品将越来越向高性能方向发展。

2. 从功能上看,向小型化、轻型化、多功能方向发展

所谓小型化、轻型化是精细加工技术发展的必然,也是提高效率的需要。通过结构优化设计和精细加工,可使机械的质量减轻到与人的体重相称的程度。所谓多功能,也是自动化发展的要求和必然结果。一般机电一体化产品,为了适应自动化控制规模的不断扩大和高技术的发展,不仅要求它们具有数据采集、检测、记忆、监控、执行、反馈、自适应、自学习等多种功能,甚至还要具有神经系统的功能,以便能实现整个生产系统的最佳化和智能化。

3. 从层次上看,向系统化、复合集成化方向发展

复合集成,既包括各种技术的相互渗透、相互融合和各种产品不同结构的优化与复合,又包含在生产过程中同时处理加工、装配、检测、管理等多种工序。为了实现多品种、小批量生产的自动化与高效率,应使系统具有更广泛的柔性。首先,可将系统先分解为若干个层次,使系统功能分散,并使各部分协调而又安全地运转;然后,再通过硬、软件将各个层次有机地连接起来,使其性能最优,功能最强。柔性制造系统就是这种层次结构的典型。

第2章

机电一体化控制基础

【基本要求】了解机电一体化控制技术涉及的传感器、驱动、接口电路的基本内容。

【重点】传感器原理及应用、驱动及执行机构的原理、接口技术、控制技术的原理及特点。

【难点】接口技术中的人机接口、机电接口原理及相关电路。

2.1 机电一体化系统中的传感器技术

机电一体化系统中的检测系统有各种不同的物理量（如位移、压力、速度等）需要控制和检测，而计算机系统又只能识别一定范围内的电信号。因此，能把各种不同的非电信号转换成可识别电信号的传感器便成为机电一体化系统中非常重要的组成部分。目前，市场上出售的传感器类型很多，在机电一体化系统中常用的主要有位移传感器、位置传感器、压力传感器、速度传感器、红外传感器和超声波传感器等。

2.1.1 位移传感器

位移传感器是一种重要的传感器，在数控技术中它直接影响数控系统的控制精度。位移分角位移和直线位移两种，因此位移传感器也有与其对应的两种形式——直线位移传感器和角位移传感器。直线位移传感器主要有电感传感器、差动变压器传感器、电容传感器、感应同步器和光栅传感器等。角位移传感器主要有电容传感器、旋转变压器和光电编码盘等。电感传感器和电容传感器主要用于小量程和高精度的测量系统。

1. 电感传感器

电感传感器是一种把微小位移变化量转变成电感变化量的位移传感器。它具有结构简单，精度高，性能稳定和工作可靠等优点，在自动检测系统中有着广泛的应用，下面简要介绍其工作原理。

对于一个 N 匝并带有磁心的线圈（如图 2-1 所示），其电感量 L 可由下式表示：

$$L = \frac{N^2 A}{\delta} \mu_0 \quad (2-1)$$

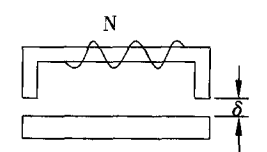


图 2-1 带有磁心的线圈

式中： δ 为两个导磁磁心之间的气隙厚度， A 为磁心截面积， μ_0 为空气导磁率，其值为

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ (H/m)} \quad (2-2)$$

因此，可以用改变 δ 来反映位移的变化，并根据这个原理构成气隙型传感器，也可根据截面积变化引起电感 L 变化的原理构成截面型和磁心型传感器。磁心型电感传感器的原理图如图 2-2 所示。线圈 1 和 2 对称放置，连成差动形式，其目的主要是为了提高灵敏度和线性度，增强抗干扰能力。

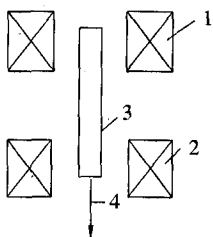


图 2-2 磁心型电感传感器原理图

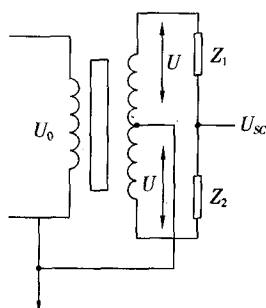


图 2-3 桥式电路

由图 2-2 可以看出，当磁心 3 由测杆 4 带动在由线圈 1 和线圈 2 组成的管中上下移动时，必然使线圈 1 和线圈 2 的电感器发生变化，并且当线圈 1 中的电感量增加时，线圈 2 中的电感量就减少，反之亦然。为了能把这种变化量用电量反映出来，一般都采用如图 2-3 所示的桥式电路。

电桥的四个臂由传感器的两个线圈（阻抗为 Z_1 和 Z_2 ）及变压器的两个线圈（将次级线圈一分为二）构成。电桥的输入信号为 U_0 （其频率一般由几千赫兹到几万赫兹）。假定次级输出电压为 $2U$ ，则在忽略变压器输出阻抗的情况下，桥路电流为

$$I = \frac{2U}{Z_1 + Z_2} \quad (2-3)$$

输出电压为

$$U_{sc} = U - IZ_1 = U - \frac{2UZ_1}{Z_1 + Z_2} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} U \quad (2-4)$$

从上式可以看出：当磁心处于中间位置时，即 $Z_1 = Z_2$ 时， $U_{sc} = 0$ ，这说明桥路平衡，无输出；当磁心向下移动时，下面线圈的阻抗增高，则 $Z_2 = Z + \Delta Z$ ，上面线圈的阻抗减少，即 $Z_1 = Z - \Delta Z$ ，代入式（2-4）可得

$$U_{sc} = \frac{-\Delta Z}{Z} U \quad (2-5)$$

反之，当铁心向上移动同样距离时，则 $Z_1 = Z + \Delta Z$ ， $Z_2 = Z - \Delta Z$ ，代入式（2-4）得

$$U_{sc} = \frac{-\Delta Z}{Z} U \quad (2-6)$$

比较以上两个结果可以看出：输出电压幅值相等，方向相反。由于 U 是一个幅值变化的交流信号，因此须要解调。

如果采用无相位鉴别的整流器进行解调，则输出电压与位移的关系曲线如图 2-4 所示。图中残余电压是由两线圈中损耗电阻 R_s 的不平衡引起的，因为 R_s 与激励信号的频率有关，所以当激励电压中包含有高次谐波时，输出端的残余电压便会增大。

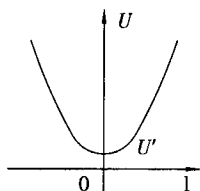


图 2-4 输出电压与位移的关系

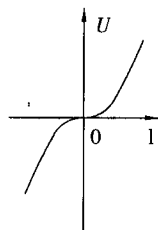


图 2-5 输出特性曲线

由于用这种方法对于正负位移所得的是一个同极性的输出电压，因此不能辨别方向。为了克服上述缺点，一般都要使用能反映极性的相敏整流法，它的输出特性曲线如图 2-5 所示。

综上所述，可以绘出电感传感器的原理及应用框图，如图 2-6 所示。

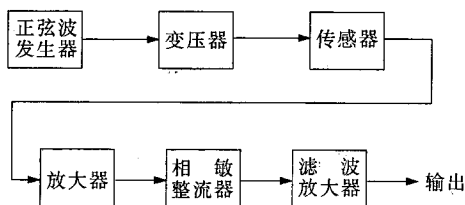


图 2-6 电感传感器原理及应用框图

2. 差动变压器传感器

电感传感器是把位移量的变化变为线圈电感器的变化，而差动变压器传感器则是把位移量的变化变为两个线圈之间的互感变化。

图 2-7 表示一个三段型的差动变压器原理图。线圈分为初级线圈 1 和次级线圈 2 及 3，线圈中心插入圆柱形铁心 4。当初级线圈中加入交流电压 U 时，线圈中有交流电流 i_1 流过，便产生磁通 Φ_{12} 通过线圈 2，在线圈 2 中产生感应电势 E_2 ；另一部分磁通 Φ_{13} 则通过线圈 3，并在其中产生感应电势 E_3 ，可由下式确定：

$$E_2 = -\frac{d\Phi_{12}}{dt}, E_3 = -\frac{d\Phi_{13}}{dt}$$

假定 M_{12} 和 M_{13} 分别为初级线圈 1 对线圈 2 和线圈 3 的互感系数，则根据定义有

$$M_{12} = -\frac{\Phi_{12}}{i_1}, M_{13} = -\frac{\Phi_{13}}{i_1}$$

代入电势 E 的表达式得

$$E_2 = -M_{12} \frac{di_1}{dt}, E_3 = -M_{13} \frac{di_1}{dt}$$

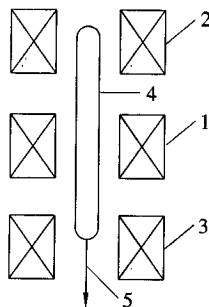
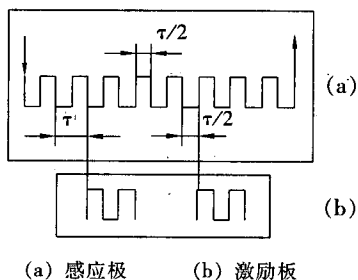


图 2-7 差动变压器原理图

电容；谐振电路的工作点不易选择，变化范围狭窄，对激励信号要求过高，因此使用较少。

4. 感应同步器

感应同步器的工作原理图如图 2-9 和图 2-10 所示。在两个相对放置的板上刻有如图 2-10 所示的绕组，当在滑尺的两个绕组中分别加上激励电压 E_s 和 E_k 时，则在定尺绕组中就产生感应电势 E_i ，其幅值决定于绕组的相对位置。



(a) 感应极 (b) 激励板

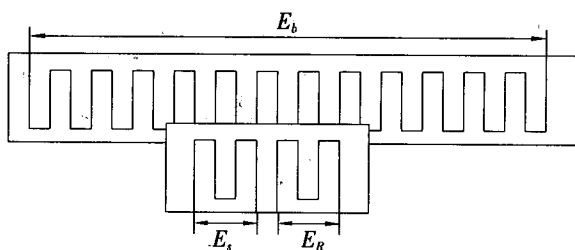


图 2-10 感应同步器原理图

图 2-9 感应同步器原理图

感应同步器有两种使用方式：相位工作方式和幅值工作方式，下面分别加以介绍。

(I) 相位工作方式

当在滑尺的两个绕组上分别加以幅值相等、频率相同的正弦和余弦激励电压时，它们便分别在定尺的绕组上产生如下式所示的感应电压：

$$U_1 = kU \sin \omega t \cos \theta, \quad U_2 = -kU \cos \omega t \sin \theta$$

式中， k 为感应系数， θ 为定尺与滑尺的相对位移。

定尺绕组上的合成电压为

$$U = U_1 + U_2 = kU \sin (\omega t - \theta) \quad (2-8)$$

很显然，这里 θ 决定了 U 的相位，也就是说，可以通过检测 U 的相位来测量定尺和滑尺的相对位移 θ 。目前，多数感应同步器的定尺和滑尺绕组的节距为 2 mm，而定尺和滑尺绕组相互错开 1/4 节距，这样，当 $\theta = 2\pi$ 时，它对应于一个节距，也就是 2 mm 位移。

一般以正弦激励信号的过零信号去启动计数器，用定尺绕组输出电压的过零信号去关闭计数器，计数器此时所计的数值便和位移 θ 成正比。通过读取计数器所累计的数值便可检测出定尺与滑尺的相对位移量 θ 。相位工作原理框图如图 2-11 所示。

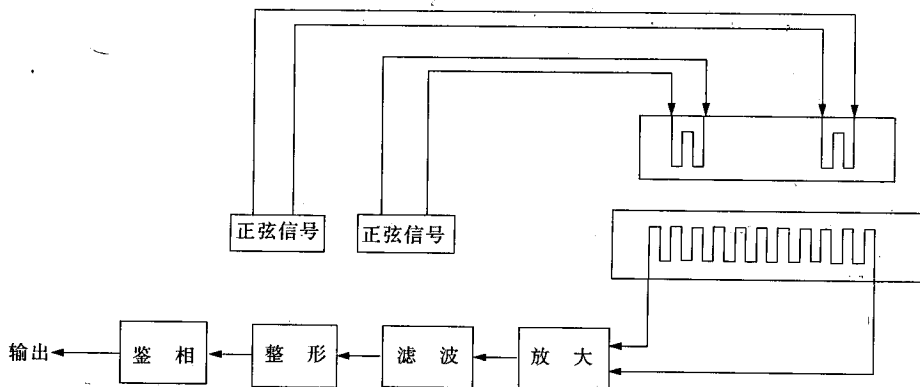


图 2-11 相位工作原理框图

(2) 幅值工作方式

如果对滑尺绕组按以下方式激励：

$$\text{正弦绕组: } U_s = U_m \sin \alpha \sin \omega t$$

$$\text{余弦绕组: } U_c = U_m \cos \alpha \sin \omega t$$

当滑尺、定尺相对移动时，定尺上的感应电压为

$$U = k U_m \sin (\theta - \alpha) \sin \omega t \quad (2-9)$$

式中： θ 和 k 的符号与前面的定义相同。

从上式可以看出， θ 和 α 的差值决定了输出电压的幅值。当改变 α ，使 $\alpha=0$ 时， $U=0$ 。如果在每一个单位直线位移处修改一次 α ，并对 $U=0$ 进行计数，则可以知道位移量以及下一次的 α 值，从而也就可以定出正弦激励信号 U_s 和余弦激励信号 U_c 的幅值，这种工作方式的硬件框图如图2-12所示。

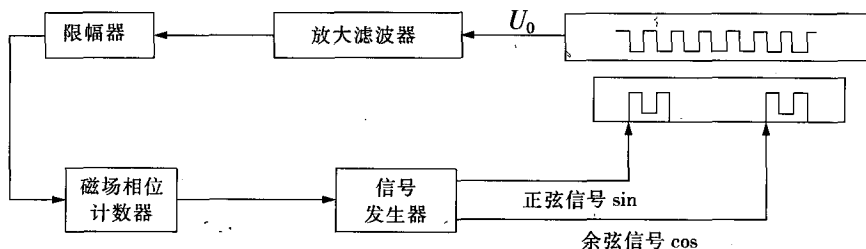


图 2-12 幅值工作硬件框图

图2-12中，磁场相位计数器的容量决定系统的分辨率，如果分辨率为 $1\mu\text{m}$ ，计数器容量为2000，则每一脉冲的电角度 $\Delta\alpha$ 为 0.18° 。

从图2-12中可以看出，定尺输出电压经放大滤波后加到门槛电路上，当它超过设定的门槛电压（对应于一个脉冲当量）时，便产生一个脉冲，该脉冲经磁场相位计数器计数后便可换算成位移量，并可同时得到磁场相位角 α 。经过一系列变换，可以得到所需的滑尺激励信号 U_s 和 U_c 。这样，定尺和滑尺每相对移动一个脉冲当量的位移， U_0 经过滤波电路和门槛电路便产生一个脉冲，如此反复进行，就可测得位移量。

2.1.2 速度检测传感器

速度分直线速度和角速度两种。速度传感器一般用于数控系统伺服单元的速度检测控制中，因此角速度传感器用得较多。

回转编码器，它除了被用作角位移传感器外，同时也被用作速度传感器。另外，测速发电机也是一种常用的速度传感器。

1. 测速发电机

测速发电机是一种能把机械转速转变为电信号的传感器，它和一般的发电机相比有如下两个特点：

- ① 输出电压与转速严格地呈线性关系；
- ② 输出电势斜率大。

测速发电机分交流和直流两大类，而交流测速发电机又有同步、异步之分。在机电一体化控制系统中常用的是交流异步测速发电机和直流测速发电机，下面分别加以介绍。

交流测速发电机(如图2-13所示)定子由两组在空间相互成 90° 角安置的绕组构成,其中一个为励磁绕组,另一个为输出绕组,转子则为杯形结构。当在励磁绕组上施加恒定的单相交流电压时,则从输出绕组中便会输出与转速大小成正比的交流电压信号,其有效值为

$$\{E\} = 4.44 \{N_2\} \{f_1\} n_2 k \frac{\{\Phi_d\}}{\sqrt{2}} \quad (2-10)$$

式中: Φ_d 为发电机中的合成磁通, N_2 为输出绕组的线圈匝数, f_1 为励磁电压的频率。

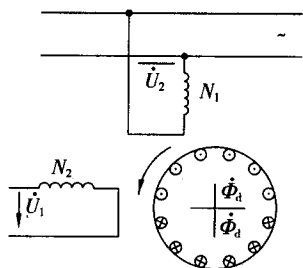


图 2-13 交流测速发电机工作原理

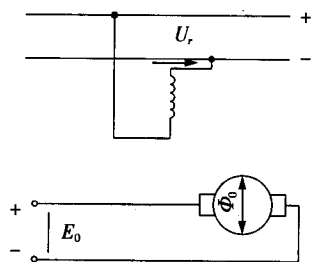


图 2-14 直流测速发电机工作原理

直流测速发电机一般都做成永磁式,它的工作原理如图2-14所示。在恒定磁场 Φ_0 作用下,当电枢以转速 n 旋转时,电枢上的导体切割磁力线,从而就在电刷间产生空载感应电势 E_0 ,它的值由下式确定:

$$E_0 = C_e \Phi_0 n \quad (2-11)$$

式中: C_e 为电势常数, Φ_0 为磁通。

从上式可以看出,空载输出电压 $U=E_0$,它与转速 n 成正比。当存在负载电阻 R_l 和电枢回路总电阻 R_a 时,则有

$$\begin{aligned} U &= E_0 - I R_a = E_0 - \frac{U}{R_l} R_a \\ U &= \frac{E_0}{1 + \frac{R_a}{R_l}} = \frac{C_e \Phi_0 n}{1 + \frac{R_a}{R_l}} \end{aligned} \quad (2-12)$$

由此可以看出,当 Φ_0 , R_a , R_l 不变时,测速发电机的输出电压 U 与转速 n 成正比。当然,这里讲的只是一种理想情况,实际上还有以下一些因素会影响测量结果。

(1) 周围环境温度的变化使各绕组电阻发生变化,从而产生线性误差。

(2) 电枢反应,也就是由于电枢电流所产生的磁场会影响测速发电机的内磁场,从而引起测量误差。

(3) 电枢回路的电阻值随电枢电流的变化而变化,破坏了输出电压与转速的线性关系。

为了减少以上影响,测速发电机的磁路应选得足够饱和,同时还应将负载电流限制在较小的范围内。

2. 回转编码器的使用

回转编码器可以用来测相对位移,而角速度就是单位时间内的相对角位移,因此,回转编码器在检测角位移的同时也可检测出角速度。