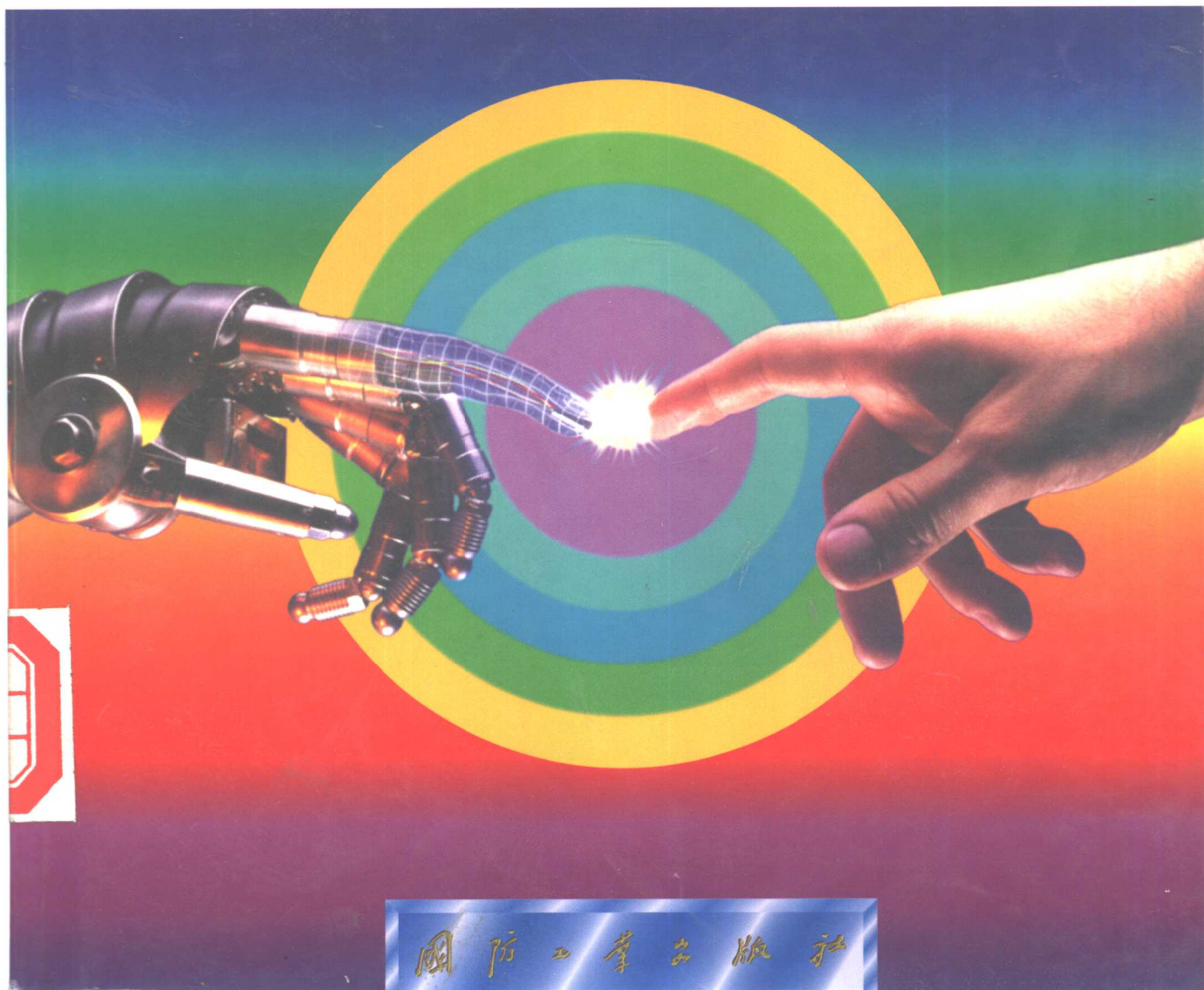


传感器的理论与设计基础 及其应用

CHUANGANQI DE LILUN YU SHEJI JICHU
JIQI YINGYONG

单成祥 编著



国防工业出版社

73.862
674

传感器的理论 与设计基础及其应用

单成祥 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

传感器的理论与设计基础及其应用/单成祥编著. —北京:国防工业出版社,1999.8

ISBN 7-118-01998-4

I. 传… II. 单… III. ①传感器-理论②传感器-设计③传感器-应用 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 25634 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 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 33½ 772 千字

1999 年 8 月第 1 版 1999 年 8 月北京第 1 次印刷

印数:1—4500 册 *定价:45.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

传感器是一门新兴的学科,它是现代各类系统工程赖以进行处理和决策所必需的各种原始信息的提取、转换和处理的主要途径和手段。它已渗透到工业、农业、宇宙开发、地矿、海洋、环保、资源调查、生物医学工程、文物保护、军事、保安等相当广泛的领域中。几乎每一个现代化的研究开发项目都离不开各种各样的传感器,现代化科学技术发展的一个重要特征是各门科学技术日益精确化、数量化。随着传感器专业性的发展和对传感器开发及应用的需要,更希望能从定量化和精确化等方面去了解和掌握运用传感器。

编写本书的目的之一,是重在专业性,加强了理论基础分析,采用了定性和定量相结合并以定量分析为主导的方法讲述各类传感器的理论和设计基础、数学模型的建立方法,并填补了多种传感器数学模型及其应用技术在国内有关资料中的空白。阅读本书内容将使读者收到举一反三、触类旁通的效果,这对于应用或欲改进传感器性能,以及开发新型传感器的读者是非常需要的。

编写本书目的之二,是既突出教科书那种严密的理论性与系统性,又兼有工具书那种解决实际问题的实用性。

本书是在原燕山大学电气工程学院“检测技术及仪器”本科专业课“传感器原理与设计”自编教材,并经多年教学实践、多次修改充实的基础上,参考了我校“测试计量技术及仪器”专业硕士研究生学位课“新型传感器”的部分内容及我校测试计量技术及仪器专业博士研究生“现代传感技术与数学建模”教材的部分内容,并广取兄弟院校教材之所长,博采国内外文献之精髓,集作者多年教学、科研实践及理论研究成果编著而成。

本书由燕山大学电气工程学院单成祥教授主编,牛彦文、王珏教授为副主编。第六章和第十四章由牛彦文编写;第十一章和第十三章由王珏教授编写;其它各章均由单成祥教授编写并负责全书的统稿工作。全书由燕山大学姚传胤教授、刘成斌高工、慈春令教授主审。

本书在编写过程中得到燕山大学校方及有关领导的支持和鼓励,也得到许多院、校、厂、所文献资料之启迪,在此一并致谢。

传感器技术涉及众多学科理论,但由于作者学识有限,书中错误和缺点在所难免,敬请广大读者批评指正。

编著者

AAAG 27/02

内 容 简 介

全书共分十九章。第一章传感器的理论和技术基础；第二章传感器弹性敏感元件的理论基础；第三章至第十一章分别叙述了电阻应变式、电容式、变磁阻式、电涡流式、磁电式、压电式、霍尔式、压磁式及光栅传感器；第十二章为感应同步器；第十三章至第十五章为磁栅式、热电式、闭环式传感器；第十六章叙述了红外检测的理论基础；第十七章至第十九章为气敏、湿敏、水分传感器及智能式和机器人传感器等。

全书采用定性和定量相结合以定量分析为主导的方法全面而系统地阐述了传感器的基础理论、数学建模、设计基础及传感器在非电量检测中的应用。重在专业性，突出了量化和精确化的分析，理论联系实际，实用性强，便于自学。可供从事测控技术及仪器、仪器仪表、自动化、计算机应用及各类机电专业等工程技术人员阅读，也可作为高等院校有关专业的教材和参考书。

目 录

绪论	1	三、差动技术	30
§ 0-1 自动检测技术及自动检测系统	1	四、平均技术	31
一、自动检测技术	1	五、零位法、微差法与闭环技术	31
二、自动检测系统	1	六、采用补偿与校正技术	32
§ 0-2 传感器的定义、组成、分类及要求	2	七、集成化与智能化	32
一、传感器的概念	2	八、采用屏蔽、隔离与抑制干扰措施	32
二、传感器的定义	2	九、稳定性处理	32
三、传感器的组成及作用	3	§ 1-6 系统类似与机电模拟	33
四、传感器的分类	4	一、系统类似	33
五、对传感器的要求	4	二、机电模拟	33
§ 0-3 传感器的作用及其在国民经济发展中的地位和应用	5	三、机械阻抗	34
§ 0-4 传感器发展的新趋向	6	§ 1-7 双向传感器的统一理论	38
一、社会发展对传感器需求的新动向	6	一、理想传感器的传递矩阵	38
二、传感器的发展趋势	6	二、实际传感器的传递矩阵	39
第一章 传感器的理论和技术基础	8	三、双向机电传感器的统一传递函数	42
§ 1-1 传感器的物理基础	8	§ 1-8 传感器非线性特性的线性化	43
§ 1-2 传感器数学模型的一般式	9	一、线性化的必要性	43
一、传感器的静态数学模型	10	二、非线性静态特性的补偿方法	44
二、传感器的动态数学模型	11	三、利用对数放大器线性化	50
§ 1-3 传感器的特性分析与技术指标	14	四、利用非线性函数关系的折线近似逼近法线性化	50
一、传感器的静态特性	14	§ 1-9 传感器的温度补偿技术	54
二、传感器的动态特性	22	一、温度补偿技术	54
§ 1-4 传感器无失真检测条件	29	二、温度补偿原理	54
§ 1-5 提高传感器性能的方法	29	§ 1-10 传感器的标定与校准	57
一、合理选择结构、材料与参数	29	一、传感器的静态标定	57
二、采用线性化技术	30	二、传感器的动态标定	58
		第二章 传感器弹性敏感元件的理论基础	61
		§ 2-1 弹性敏感元件的基本特性	61
		一、弹性特性	61
		二、弹性滞后	62

三、弹性后效	62	一、应变丝的金属电阻本身随温度变 化引起的电阻值变化量	97
四、固有振动频率	63	二、试件材料与应变丝材料的线膨胀 系数不同使应变丝产生附加变形 而造成的电阻变化	97
§ 2-2 弹性敏感元件的数学模型 及参数计算的理论基础	63	三、温度引起的电阻变化的总 误差	98
一、等截面轴（空心 and 实心）	63	四、温度误差补偿方法	99
二、悬臂梁	65	§ 3-7 静态应变测量中误差分析 及计算和修正	101
三、扭转棒	69	一、静态应变测量中的误差因素及 种类	101
四、薄壁圆筒	70	二、测量误差的分析计算	102
五、薄壁半球	71	§ 3-8 电阻应变片的信号转换电 路的数学模型、非线性误 差及补偿	104
六、等截面薄板	72	一、直流电桥输出电压的数学模型 及平衡条件	104
§ 2-3 弹性敏感元件的特性参数 设计计算	74	二、直流电桥的电压灵敏度及对称 电桥	105
§ 2-4 弹性敏感元件材料的选 择	76	三、各类电桥的分析	107
§ 2-5 弹性敏感元件的误差	76	四、非线性误差及其补偿	109
§ 2-6 弹性敏感元件的应用	77	五、交流电桥电压输出的数学模型 及平衡条件	111
第三章 电阻应变式传感器	78	§ 3-9 电阻应变式传感器及参数 设计	116
§ 3-1 电阻应变式传感器的理论 基础及数学模型	78	一、电阻应变式力传感器	116
一、理论基础	78	二、电阻应变式压力传感器	120
二、电阻应变式传感器的数学模型	79	三、电阻应变式加速度传感器	124
§ 3-2 电阻应变片的结构与分 类	81	四、电阻应变仪	126
一、电阻应变片的结构	81	§ 3-10 固态压阻式传感器	130
二、电阻应变片的类型	83	一、压阻式传感器的理论基础	130
§ 3-3 电阻应变片的主要特性	83	二、体型半导体应变片	131
一、静态特性	83	三、固态压阻器件	133
二、动态特性	88	第四章 电容式传感器	140
三、评定应变片主要特性的精度 指标	90	§ 4-1 电容式传感器的理论 基础	140
§ 3-4 应变片的设计、参数及材 料的选择	91	§ 4-2 电容式传感器数学模型 的建立	140
一、应变片的基长和最高工作频率 的确定	91	一、平行板电容器式传感器的数 学模型	140
二、应变片材料的选择	91		
三、应变片的主要参数	93		
§ 3-5 电阻应变片的应用	93		
一、应变片的选择	93		
二、应变片的使用	95		
§ 3-6 电阻应变片的温度误差及 补偿	97		

二、平行板电容器式传感器的工作方式及其分析	141	工作方式及特性分析	178
三、圆柱形电容式传感器的数学模型及分析	147	一、闭磁路自感式传感器的 工作方式	178
§ 4-3 电容式传感器的其它特性	149	二、闭磁路自感式传感器的 特性分析	179
一、电容式传感器的等效电路	149	§ 5-4 闭磁路电感式传感器的 等效电路及数学分析	180
二、电容式传感器的高阻抗和小功率特性	150	一、等效电路	180
三、静电吸力	150	二、等效电路的数学分析	181
§ 4-4 电容式传感器的信号变换电路的数学模型及其分析	152	§ 5-5 闭磁路电感传感器的 参数设计	183
一、交流不平衡电桥	152	一、设计原则	183
二、二极管环形检波电路	154	二、参数计算	183
三、差动脉冲宽度调制电路	156	§ 5-6 开磁路自感传感器的 理论基础	185
四、运算放大器测量电路	158	§ 5-7 开磁路螺线管式电感 传感器	187
§ 4-5 电容式传感器的设计	159	一、开磁路螺线管式电感传感器的 工作原理	187
一、电容式传感器的参数计算	160	二、开磁路螺线管式电感传感器的 数学模型	188
二、电容式传感器结构稳定性的 设计	165	§ 5-8 开磁路差动式电感传感器 的数学模型	189
三、寄生电容的干扰及消除	168	§ 5-9 电感式传感器的信号变换 电路的理论分析	189
§ 4-6 电容式传感器的应用	169	一、伏安法	190
一、电容式差压变送器	170	二、交流电桥电路	191
二、电容式测微仪	172	§ 5-10 电感式传感器的误差	193
三、电容式液位计	173	一、电源电压及频率不稳定造成 的误差	193
第五章 变磁阻式传感器	176	二、温度误差	194
§ 5-1 变磁阻式传感器的理论 基础	176	三、非线性误差	194
一、磁场中的毕奥-萨伐尔定律	176	四、电磁力的影响	194
二、电磁感应与电磁场中的 自感与互感定义	176	五、配用电桥电路时系统存在的 零位误差	195
三、磁场中的安培环路定 律	177	§ 5-11 互感式电感传感器	195
四、磁场中的高斯定理	177	一、闭磁路差动变压器式传感器	195
§ 5-2 闭磁路自感式传感器的 工作原理及数学模型	177	二、开磁路螺线管差动变压器式 传感器	198
一、闭磁路自感式传感器的 工作原理	177	§ 5-12 开磁路互感传感器的 设计基础	202
二、闭磁路自感式传感器的 数学模型	178		
§ 5-3 闭磁路自感式传感器的			

一、衔铁长度 l_c 的确定	202	五、电源频率的确定	223
二、激磁绕组长度 b 的确定	202	六、电涡流电阻的计算	223
三、副边绕圈长度 m 的确定	203	§ 6-5 电涡流式传感器的	
四、经验数据	203	测量误差	224
五、激磁电源频率的选定	203	一、被测体材料对测量结果	
六、灵敏度的确定	204	的影响	224
七、原边和副边绕组匝数的确定	204	二、电源频率不稳定的影响	224
八、差动变压器变压比的确定	206	三、被测体形状和尺寸大小造成的	
九、线圈骨架的确定	206	测量误差	224
十、铁心磁性材料的确定	206	§ 6-6 电涡流式传感器的应用	224
十一、传感器线性工作范围的确定	206	一、涡流液位计	225
十二、屏蔽措施	206	二、电涡流测厚仪	225
§ 5-13 开磁路互感传感器的误		三、电涡流位移计	226
差	206	四、电涡流温度计	226
一、电源幅值及频率稳定度造成		五、硬度计	227
的误差	206	六、涡流探伤仪	227
二、温度误差	207	第七章 磁电式传感器	228
三、不平衡误差	207	§ 7-1 磁电式传感器的理论基	
§ 5-14 变磁阻式传感器的应用	208	础	228
一、差动变压器式应变仪	208	§ 7-2 相对测量原理及数学模	
二、位移与尺寸测量	209	型	228
三、压力测量	209	一、相对测量原理	228
四、力和力矩的测量	210	二、相对测量原理的数学模型	229
五、振动测量	210	§ 7-3 机电变换原理及数学模	
第六章 电涡流式传感器	211	型	231
§ 6-1 电涡流式传感器的理论		一、恒定磁通磁电式传感器	231
基础	211	二、变磁阻式磁电传感器	232
§ 6-2 电涡流式传感器的工作原		§ 7-4 磁电式传感器的传递矩阵	
理及其分析	211	与动态分析	234
一、高频反射式涡流传感器	211	一、磁电式传感器的传递矩阵	234
二、低频透射式电涡流传感器	213	二、机械阻抗	234
§ 6-3 电涡流式传感器的信号		三、基本元件的机械阻抗	235
变换电路	216	四、机械系统的机械阻抗	239
一、电桥法(阻抗变换电路)	216	五、磁电式传感器的机械阻抗	240
二、谐振法(也称电感变换器)	217	六、利用机电模拟理论求机械阻抗	241
§ 6-4 电涡流式传感器的设计		七、磁电式传感器的传递矩阵及	
要点	219	动态特性	242
一、传感器线圈产生的磁感应强度		八、磁电式传感器的传递函数	245
的确定	219	§ 7-5 磁电式传感器的设计	247
二、电涡流的径向形成范围	221	一、磁路设计	247
三、线圈阻抗计算	222	二、线圈参数计算与设计	251
四、线圈结构的确定	222		

三、传感器固有频率的确定及 弹簧刚度的计算	252	二、压电元件的结构与组合形式 的确定	280
四、阻尼器设计及阻尼系数 的计算	253	三、压电传感器结构的确定	282
§ 7-6 磁电式传感器的误差	255	§ 8-8 压电式传感器的误差	282
一、电流和电压灵敏度的误差	255	一、横向灵敏度及其引起的误差	283
二、温度误差	255	二、环境温、湿度变化产生的误差	284
三、永久磁铁不稳定误差	256	三、噪声	284
四、非线性误差	256	§ 8-9 压电式传感器的应用	285
§ 7-7 磁电式传感器的应用	257	一、应用范围	285
一、磁电式振动速度传感器	257	二、压电式加速度传感器	285
二、磁电式转速传感器	258	三、压电式力传感器	291
三、磁电式扭矩仪	258	四、压电式压力传感器	292
四、机载振动监测系统	259	五、逆压电效应的应用	293
第八章 压电式传感器	260	第九章 霍尔传感器	294
§ 8-1 压电式传感器的理论基 础	260	§ 9-1 霍尔传感器的理论基础	294
一、压电效应	260	§ 9-2 霍尔传感器的数学模型	294
二、压电方程及压电常数矩阵	261	§ 9-3 霍尔传感器的设计要点	296
§ 8-2 压电材料	265	一、霍尔元件尺寸的考虑	296
一、压电材料的主要特性参数	265	二、霍尔元件材料的确定	297
二、压电材料的种类	265	三、霍尔片的结构	298
§ 8-3 压电式传感器的工作原 理	269	§ 9-4 霍尔传感器的基本电路	299
一、正压电效应的数学表示	269	一、霍尔片的符号	299
二、压电效应的物理机理	270	二、霍尔片的基本电路	299
三、表面电荷的计算	271	§ 9-5 霍尔元件的主要特性	299
§ 8-4 压电式传感器的等效电 路	272	一、额定激励电流	299
一、压电元件的等效电路	272	二、输入电阻	300
二、压电式传感器的实际等效电路	273	三、输出电阻	300
§ 8-5 压电式传感器的信号变换 电路	273	四、不等位电势及零位电阻	300
一、变换电路的必要性	273	五、寄生直流电势	300
二、电压放大器(阻抗变换器)	274	六、热电阻	301
三、电荷放大器	276	七、电磁特性	301
§ 8-6 压电式传感器的动态特 性	278	§ 9-6 霍尔传感器的误差及其 补偿	302
§ 8-7 压电传感器的设计要点	280	一、零位误差及其补偿	302
一、根据需要的压电常数确定压电 材料及变形方式	280	二、寄生直流电势误差及其补偿	303
		三、感应零位电势及补偿	303
		四、自激磁场零位电势	303
		五、温度误差及其补偿	304
		§ 9-7 霍尔传感器的应用	306
		一、霍尔片的组合应用	306
		二、霍尔传感器在测量与控制技术 中作计算元件的应用	307

三、作变换元件的应用	308	一、光栅	327
第十章 压磁式传感器	311	二、光栅的种类	327
§ 10-1 压磁式传感器的理论		三、莫尔条纹原理	328
基础	311	§ 11-2 光栅传感器的工作原理 ...	332
一、磁致伸缩效应	311	一、莫尔条纹测量位移原理	332
二、压磁效应	311	二、辨向原理	335
§ 10-2 压磁式传感器理论数学		§ 11-3 莫尔条纹细分技术	336
模型的建立	312	一、细分与细分方法	336
一、理论数学模型的应用	312	二、直接细分	336
二、压磁式传感器的理论分析及数		三、细分电桥基本原理	338
学模型的建立	312	§ 11-4 光栅传感器的设计要点 ...	340
§ 10-3 压磁式传感器工作原理		一、设计目的	340
的物理机理	317	二、设计要求	340
一、组成	317	三、光源的选择	340
二、工作原理的物理机理	317	四、光栅常用光路	341
三、压磁式传感器的结构	318	五、光栅参数的选择	342
四、交流压磁式传感器	318	六、光栅刻线的宽度和长度	
§ 10-4 压磁式传感器的变换		的选择	342
电路	319	七、光栅载体的选择	343
一、组成	319	八、两光栅之间的间隙选择	343
二、各组成部分的作用	319	九、准直透镜参数的确定	344
三、压磁式传感器的变换参考		十、光电接收元件的选择	345
电路	320	十一、机械结构设计	346
§ 10-5 压磁式传感器的设计		§ 11-5 光栅传感器的误差	346
要点	320	§ 11-6 光栅传感器的应用	346
一、压磁元件的设计	320	第十二章 感应同步器	347
二、激励绕组匝数的确定	322	§ 12-1 感应同步器的理论基础 ...	347
三、磁感强度的确定	322	一、单矩形线圈有运动电荷时产生	
四、压磁式传感器的输出特性	323	的磁场	347
§ 10-6 压磁式传感器的误差	324	二、两个矩形线圈产生相对运动时	
一、磁场强度选择不当引起		的感应电势	348
的误差	324	三、几个典型位移的感应电势	348
二、激励频率的影响	324	四、感应同步器两绕组相对运动时	
三、激励电流的影响	324	产生的感应电势	348
四、预加载荷的影响	324	§ 12-2 感应同步器工作原理数	
五、滞后误差	325	学模型的建立	350
六、电源影响	325	一、感应同步器工作原理数学	
七、环境温度的影响	326	模型的分析	350
§ 10-7 压磁式传感器的应用	326	二、感应同步器的等效电路	350
第十一章 光栅传感器	327	三、滑尺绕组所产生的磁感应	
§ 11-1 计量光栅的理论基础	327	强度	350
		四、在定尺中产生的感应	

电势	352	三、热电偶测量温度的基本	
§ 12-3 输出电势的检测方法	354	原理	376
一、鉴幅型系统	354	四、冷端温度补偿	376
二、鉴相型系统	355	五、热电偶种类	379
§ 12-4 感应同步器的设计	357	六、热电偶的标定	383
一、设计要求	357	七、热电偶的误差	386
二、结构及接线方式设计	357	§ 14-2 热电阻传感器	389
三、直线型感应同步器的设计		一、金属热电阻	390
步骤	358	二、热电阻传感器的测量	
§ 12-5 感应同步器的误差	360	电路	393
一、零位误差	360	§ 14-3 半导体热敏电阻	394
二、细分误差	360	一、负温度系数 (NTC) 热敏电阻	395
三、综合误差	362	二、负温度系数热敏电阻的	
§ 12-6 感应同步器的应用	362	主要特性	395
一、作高精度测量仪器	362	三、热敏电阻的主要参数	397
二、作自动化技术中的检测		四、热敏电阻的线性化	397
元件	363	§ 14-4 晶体管和集成温度	
第十三章 磁栅式传感器	365	传感器	400
§ 13-1 磁栅式传感器的组成及		一、晶体管 P-N 结温度	
工作原理	365	传感器	400
一、磁栅式传感器的组成	365	二、晶体三极管温度传感器	401
二、动态磁头工作原理	365	三、集成温度传感器	402
三、静态磁头工作原理	366	§ 14-5 热电式传感器的应用	402
§ 13-2 信号处理方式及检测		一、热电式金属材质鉴别仪	403
电路	367	二、热电式继电器	404
一、动态磁头信号处理及检测		三、集成晶体管测温仪	404
电路	367	第十五章 闭环传感器	406
二、静态磁头信号处理及检测		§ 15-1 闭环传感器的工作原理	
电路	368	及特点	406
§ 13-3 磁栅的误差	369	一、工作原理	406
一、零位误差	369	二、闭环传感器的特点	407
二、细分误差	370	§ 15-2 力平衡式传感器	408
§ 13-4 磁栅式传感器的应用范		一、组成	408
围及特点	370	二、工作原理	408
一、磁栅式传感器的特点	370	三、力平衡式加速度传感器的	
二、磁栅式传感器的应用		传递函数	409
范围	370	四、静态特性	410
第十四章 热电式传感器	371	五、动态特性	410
§ 14-1 热电偶传感器	371	§ 15-3 电平衡式闭环传感器	412
一、理论基础	371	一、组成	412
二、热电偶的基本定律	374	二、工作原理	412
		第十六章 红外检测的理论基础	414

§ 16-1 红外辐射的理论基础	414	理论基础	439
一、红外辐射	414	一、测温系统的作用距离	439
二、红外辐射源	414	二、温度方程	441
§ 16-2 黑体辐射的基本定律	419	§ 16-11 辐射计的理论及应用	442
一、绝对黑体	419	一、常温物体的比辐射率的测定	442
二、黑体的有效比辐射率	420	二、比色红外测温法(比色辐射计)	444
§ 16-3 红外辐射的基本定律	420	三、红外辐射测温的优点	445
一、基尔霍夫定律及比辐射率	420	四、红外检测在其它方面的应用	445
二、绝对黑体的光谱辐射发射量	422	§ 16-12 热释电探测器的理论	
三、绝对黑体的积分辐射发射量	424	基础	445
四、绝对黑体的最大光谱辐射发射量	425	一、热释电效应	445
五、用光子数表示的绝对黑体的辐射公式	425	二、热释电效应的微观机理	446
§ 16-4 辐射效率和微分辐射率	426	三、忽略敏感元件平面内横向热扩散厚度方向一维响应率	448
一、辐射效率	426	§ 16-13 MOS场效应管光子红外探测器的理论基础	448
二、微分辐射率(辐射对比度)	427	一、IRFET的结构	449
§ 16-5 各种温度的定义及其相互关系	428	二、IRFET的工作原理	449
一、真实温度与辐射温度之间的关系	428	三、IRFET的特性	451
二、真实温度与亮度温度的关系	429	第十七章 气敏、湿敏与水分传感器	456
三、真实温度与有色温度之间的关系	430	§ 17-1 电导控制型气敏传感器的机理	456
§ 16-6 红外辐射在大气中的传输	430	一、晶界势垒模型	457
一、大气的组成	431	二、表面电导模型	457
二、大气各组成部分对红外辐射的吸收作用	431	三、氧离子陷阱势垒模型	458
三、可凝水	432	§ 17-2 电压控制型气敏传感器	459
四、大气透过率	433	一、电压控制型气敏传感器的工作原理	460
§ 16-7 大气吸收的经验公式	433	二、电压控制型半导体气敏传感器的特性	460
一、计算CO ₂ 吸收的经验公式	433	§ 17-3 催化金属栅场效应气敏传感器	461
二、计算水蒸气吸收的经验公式	434	一、一氧化碳气敏Pd栅MOS晶体管传感器	462
§ 16-8 大气散射的经验公式	434	二、硫化氢气敏Pd栅MOS晶体管	464
§ 16-9 红外探测器的特性参数	435	§ 17-4 湿敏传感器	466
一、噪声等效功率和探测率	435	一、绝对湿度与相对湿度	466
二、响应率	436	二、湿敏元件的特性参数	467
三、光谱响应	437		
四、响应速度	438		
§ 16-10 红外辐射系统设计的			

三、湿敏传感器的分类	468	二、数据处理功能	493
四、氯化锂湿敏电阻	468	三、数据传输功能	499
五、半导体湿敏电阻	469	§ 18-3 智能传感器	499
六、测量电路	472	第十九章 机器人传感器	501
§ 17-5 水分传感器	474	§ 19-1 机器人传感器的功能 与分类	501
一、水分在物质中的存在形式及 水分含量的表示方法	474	§ 19-2 机器人视觉传感器	505
二、水分的测量方法及其种类	475	一、视觉检测	505
三、电导式水分计	475	二、视觉图像的分析	506
四、电容式水分计	479	三、描绘技术	509
五、微波式水分计	481	四、识别技术	509
六、中子式水分计	481	§ 19-3 机器人广义触觉传感 器	510
七、红外式水分计	483	一、机器人接触觉传感器	510
第十八章 智能式传感器	484	二、机器人压觉传感器	510
§ 18-1 传感器信号的采集	485	三、机器人力觉传感器	514
一、传感器输出信号的类型	485	四、机器人接近觉传感器	516
二、传感器输出模拟信号的处理	485	五、机器人滑觉传感器	517
§ 18-2 传感器的智能化	490	参考文献	519
一、控制功能	490		

绪 论

§ 0-1 自动检测技术及自动检测系统

一、自动检测技术

有史以来,为了改造大自然,人类就必须掌握事物的规律。而宇宙间万物都是以其运动状态存在的,它们各自不同的运动状态,在科学上都是用它们各自不同的运动方程式(数学模型)来描述,即 $y = f(x, \dot{x}, \ddot{x}, z, \dots)$, 其中 $(x, \dot{x}, \ddot{x}, z, \dots)$ 为自变量。我们研究它们怎样变化才能满足上述方程,当获得了正确的答案,就可以认为它们的变化是符合客观规律的,这样,我们就认识了事物,从而研究如何使它们为人类服务。在当今信息时代,这些变量的获得,几乎已经完全由自动化检测来完成。那么,什么是自动化检测技术呢?综上所述,自动化检测技术就是人们为了对自然规律能够进行定性的了解和定量掌握所从事的一系列的技术措施。

自动化检测技术的研究内容包括两个方面:一个是研究如何正确的获得所需变量(信息)的方法;另一个是研究在当今信息电子时代怎样用电的方法测量所需变量(信息)的仪器及其自动检测系统。

自动检测技术的应用,从宏观上大体可分为以下三个方面:

(1) 掌握事物的规律 它的研究内容是测得各种所需参数,找出满足各种参数关系的数学模型,通常称为发明创造。

(2) 验证事物的规律 已知事物的运动规律的数学模型,测得所需参数,代入数学模型验证所测参数的正确性,称为反设计。

(3) 控制事物的规律 按照给定的规律(数学模型)和预定的参数,进行自动测控,达到预期的效果,称为过程测控。

二、自动检测系统

自动检测系统是自动完成上述各种检测任务之一的装置,它是检测器与研究对象的总和。通常可分为闭环和开环两种自动检测系统,如图 0-1 和图 0-2 所示。

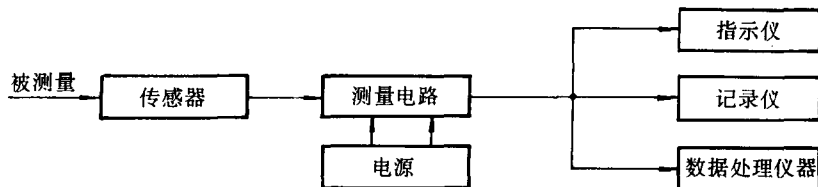


图 0-1 开环自动检测系统框图

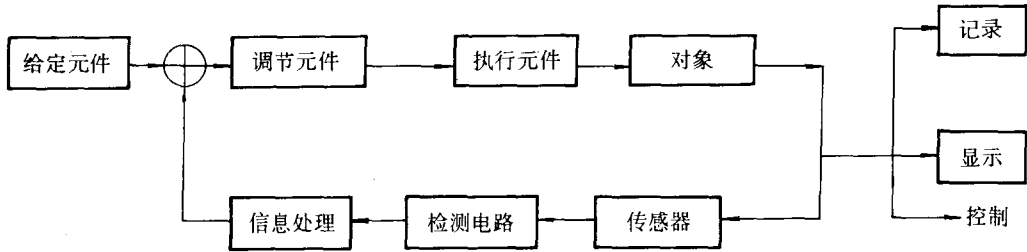


图 0-2 闭环自动检测系统框图

§ 0-2 传感器的定义、组成、分类及要求

一、传感器的概念

所谓传感器，是来自“感觉”一词。人用眼睛看，可以感觉到物体的形状、大小和颜色；用耳朵听，可以感觉到声音；用鼻子嗅，可以感觉到气味。这种视觉、听觉、嗅觉、味觉和触觉，是人感觉外界刺激所必须具备的感官，称为“五官”。这种在视觉方面的眼睛、听觉方面的耳、味觉方面的舌、嗅觉方面的鼻，以及触觉方面的手和足的皮肤等，就是传感器。

可是，在视觉情况下，决不是由眼睛本身进行感觉。众所周知，是从眼睛进入的外界刺激信号通过神经传送到大脑，由大脑感知大小和黑白。然后由大脑提供命令信号支配行动。其余的听觉和嗅觉等也完全一样。然而，要使大脑受到这些刺激，首先必须有接受外界刺激的“五官”，所以人们的“五官”可称为传感器。它们的基本功能是，首先接收外界的刺激信号，然后产生作用于各种神经传递信号的能量，而后再传送到大脑。

与此相似的过程也发生在使用传感器和微型计算机的系统中，系统中与人的“五官”相似的部分是传感器，也被称为“电五官”，微型计算机即电脑相当于人的大脑。人“五官”的作用是将外界刺激信号转换为驱动各种神经能传送这种外界刺激信号的能量。传感器就是模拟此种作用，工程上称为“电五官”。它是一种能将特定的被测量信息(包括物理量、化学量、生物量等)，按着一定规律转换成某种可用的输出信号的器件。

应该指出：这里所谓的“可用信号”是指便于处理、传输的信号。在当今信息微电子时代，电信号是最易于处理和便于传输的信号。可以预料，随着科学技术的进步，传感器的“可用信号”的内涵也会随之改变，如当人们跨入光子时代，则光信号将成为更便于快速、高效处理与传输的“可用信号”了。

传感器学科是包括传感(检测)理论、传感器件的设计、传感器的开发和应用等综合性的科学。它涉及到光、机、电转换理论；各种能量转换为电能的理论；敏感功能材料科学、微细加工技术等多种学科相互交叉渗透而形成的一门新技术学科——传感器工程学。

二、传感器的定义^[1]

在新韦氏大词典中定义^[1]：传感器是从一个系统接收功率，通常以另一种形式将功率送到第二个系统中的器件。按照这一定义，可以说传感器是一种吸收(提取)、转换和传送

能量的器件。严格地说,应该区别检测和变换这两个概念。前者只是将被测量转移到系统中去,而后者从字面上说是将被测量的种类加以改变。有时,对被测量只进行一次变换还不够,必须进行第二次、第三次变换,一直到所希望的能量形式为止。

传感器转换能量的理论基础都是利用物理学、化学等各种现象和效应来进行能量形式的变换。随着微电子和计算机技术的发展,传感器输出信号的形式应尽可能是电量。图 0-3 给出了传感器各种能量之间的转换关系,由图可知,被测量和它们之间的能量的相互转换是各种各样的,为了测量它们,人们已经研究出了很多的检测手段和方法,而且还在不断地加以改进。所以,检测技术和传感器的发展,从本质上说就是掌握和完善这些方法和手段的过程。了解图 0-3 所示的能量转换关系,将有助于使我们更好的掌握已有的传感器和开发新型传感器。

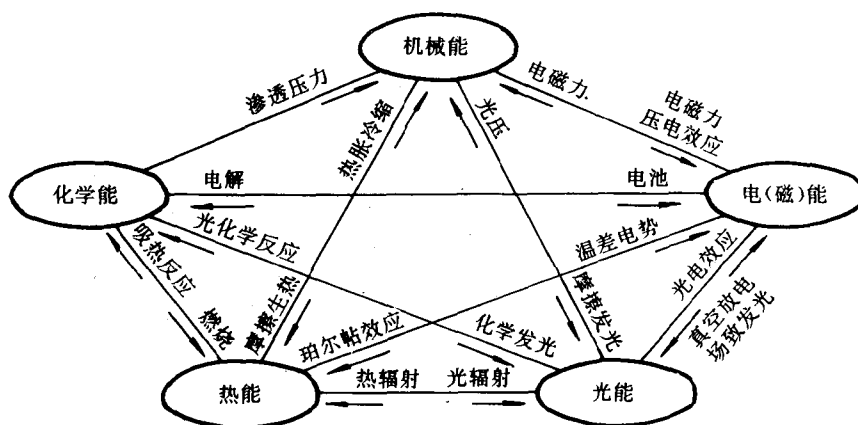


图 0-3 传感器的能量转换关系

三、传感器的组成及作用

传感器的组成按其定义一般是由敏感元件、变换元件和测量电路三部分组成。除自源型传感器外,还需外加辅助电源,用框图表示,如图 0-4 所示。由图可知,传感器由以下几

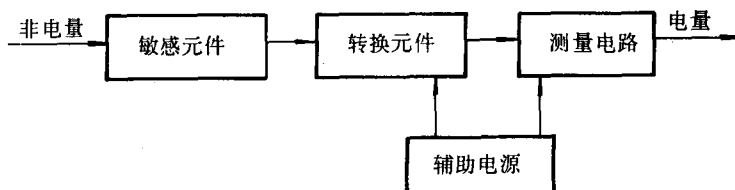


图 0-4 传感器的组成框图

部分组成：

(1) 敏感元件(预变换器) 直接感受被测量(一般为非电量)并将其转换为与被测量有确定关系的易变成电量(包括电量)的其它量的元件。

(2) 转换元件(变换器) 它能将其它物理量直接转换为有确定关系的电量的元件。