



高等学校仪器仪表及自动化类专业规划教材

传感器与信号调理技术

■ 李希文 赵 建 编著
李智奇 白小平



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校仪器仪表及自动化类专业规划教材

传感器与信号调理技术

李希文 赵 建
李智奇 白小平 编著

西安电子科技大学出版社

2008

内 容 简 介

本书包括传感器技术和信号调理技术两部分内容。全书共 10 章:第 1 章绪论,介绍传感器技术的基本概念以及传感器与信号调理技术的发展趋势;第 2~6 章介绍电阻、电容、电感、热电、光电、压电等各类电传感器的工作原理、基本结构和相应的测量电路,并列举了大量的应用实例;第 7~10 章介绍传感器信号的放大技术、滤波技术、转换技术及传感器测量系统的抗干扰技术,并列举了大量的实用电路。

本书编写力求结构合理、思路清楚、概念清晰、推导严密、深入浅出、通俗易懂;加强各章节之间、本教材和相关教材之间知识体系的衔接和联系;充分反映了传感器的最新技术成果,注重突出传感器的原理和实用性;便于学生对相关课程知识的进一步理解和掌握。

本书不仅可作为高等院校理工科本科、专科的电子测量与仪器、应用电子技术、通信工程、电子工程、自动控制等专业的教学用书,也可作为从事电类专业的广大科研和工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与信号调理技术/李希文等编著. —西安:西安电子科技大学出版社, 2008.12

高等学校仪器仪表及自动化类专业规划教材

ISBN 978-7-5606-2126-5

I. 传… II. 李… III. 传感器—信息处理—电路—高等学校—教材 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 141039 号

策 划 云立实

责任编辑 徐德源

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

http://www.xduph.com E-mail: xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 20.25

字 数 478 千字

印 数 1~4000 册

定 价 29.00 元

ISBN 978-7-5606-2126-5/TN·0461

XDUP 2418001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

传感器技术、信息技术和计算机技术已成为支撑整个现代信息产业的三大支柱,传感器是信息采集系统的首要部件,是实现现代化测量和自动控制(包括遥感、遥测、遥控)的主要环节,是现代信息产业的源头,也是信息社会赖以生存和发展的物质与技术基础。信息科学、材料科学和生命科学又是 21 世纪人类探索、改造自然的三大支柱科学,它们无不与传感器发展息息相关,可以说传感器是三大科学发展的助推器,材料科学是通过传感器将信息科学、生命科学等推向应用领域前沿的。

为了满足教学需要,我们编写了本书。其主要内容是介绍传统的电阻、电容、电感、热电、光电、压电等电传感器的结构、信号转换原理及应用,同时也较为详细地介绍了气敏、湿敏、磁敏、超声波、红外、光纤等新型传感器的机理、结构和应用。为了让学生更好地掌握传感器技术及相关知识,书中充实了与传感器应用有关的信号放大技术、转换技术、有源滤波技术及传感器电路的抗干扰技术,并列举了大量的应用实例及应用电路,以利于学生对传感器技术的理解和掌握。在内容结构上,注重加强各章节之间、本教材和相关教材之间知识体系的衔接和联系,充分反映了现代传感器及测量技术的最新成果。笔者长期从事传感器及测量技术的教学与研究,对本教材的内容倾注了多年的教学经验和成果。在编写的过程中,认真学习和参考了国内外同行专家、学者的有关教材、专著和论文,充分吸取了他们的学术观点和成功经验,引用并充实于本书之中,在此对相关专家、学者表示诚挚的谢意。

本书的宗旨是:通过本课程的学习,使学生充分了解各类传感器的结构、掌握有关传感器的工作原理,结合相关课程的知识,学会利用传感器设计有关测量系统及相关的测量电路,为以后的学习和工作打下良好的基础。

本书不仅可作为高等院校理工科本科、专科的电子测量与仪器、应用电子技术、通信工程、电子工程、自动控制等专业的教学用书,也可作为从事电类专业的广大科研和工程技术人员参考书。本书的教学参考时数为 60~80 学时,具体讲授内容可根据各专业实际情况及要求加以取舍。本课程具有很强的实践性、应用性,教学过程中应开设相应的实验课程,以达到理论联系实际,提高学生综合运用知识的能力。本书每章后面皆附有思考与练习题,在学习过程中,学生应完成相当数量的习题,特别是设计性的题目,训练学生运用所学知识去解决实际问题的能力。

本书由李希文、赵建主编,参加编写的还有李智奇、白小平等。在本书的编写过程中,得到了西安电子科技大学测控工程与仪器系有关专家的关心与支持,以及出版社曹立实编辑的热情帮助,在此一并致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏与不足,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

2008 年 8 月于西安电子科技大学

目 录

第1章 绪论	1
1.1 传感器概述及分类	1
1.1.1 传感器概述	1
1.1.2 传感器分类	2
1.2 传感器常用名词及术语	4
1.3 信号调理电路在检测技术中的作用及要求	5
1.3.1 信号调理电路的作用	5
1.3.2 信号调理电路设计的要求	6
1.4 传感器与信号调理技术的发展趋势	9
思考与练习题	12
第2章 电阻式传感器	13
2.1 电位器式电阻传感器	13
2.1.1 基本工作原理	13
2.1.2 输出—输入特性	14
2.1.3 结构形式	14
2.2 应变式电阻传感器	16
2.2.1 应变式电阻传感器的工作原理	16
2.2.2 电阻应变片的基本结构	17
2.2.3 电阻应变片的种类	18
2.2.4 应变片的选择与安装	20
2.2.5 温度误差及其补偿	20
2.2.6 电阻应变片测量电路	22
2.3 电阻式传感器的应用	23
2.3.1 电位器式压力传感器	23
2.3.2 应变式测力与荷重传感器	23
2.3.3 应变式压力传感器	24
2.3.4 电阻应变片在轧制力检测中的应用	25
2.3.5 应变传感器对加速度的测量	25
思考与练习题	26
第3章 电容、电感式传感器	28
3.1 电容式传感器的工作原理及结构	28
3.1.1 电容式传感器的工作原理	28
3.1.2 电容式传感器的类型及特性	29
3.1.3 电容式传感器的输出特性	31
3.1.4 电容式传感器的等效电路	33
3.2 电容式传感器测量电路	33

3.2.1	普通交流电桥测量电路	33
3.2.2	变压器电桥测量电路	34
3.2.3	二极管双 T 型交流电桥	35
3.2.4	运算放大器式测量电路	36
3.2.5	脉冲调制电路	36
3.2.6	谐振式测量电路	38
3.2.7	调频电路	38
3.3	电容式传感器的应用	39
3.3.1	电容式压力传感器	39
3.3.2	电容式加速度传感器	40
3.3.3	电容式液位传感器	40
3.3.4	电容式荷重传感器	41
3.3.5	电容式测厚仪	41
3.4	电感式传感器的结构与工作原理	42
3.4.1	自感式电感传感器的结构与工作原理	42
3.4.2	互感式电感传感器	47
3.4.3	电涡流式传感器	53
3.5	电感式传感器的应用	58
3.5.1	位移测量	58
3.5.2	力和压力的测量	58
3.5.3	振动和加速度的测量	59
3.5.4	液位测量	59
3.5.5	电涡流传感器的应用	60
	思考与练习题	61
第 4 章	热电式传感器	63
4.1	热电偶传感器	63
4.1.1	热电偶工作原理	64
4.1.2	热电偶的基本定律	65
4.1.3	热电偶的材料、结构及种类	68
4.1.4	热电偶补偿导线的选用	78
4.1.5	热电偶的冷端温度补偿	79
4.1.6	多个热电偶的连接使用	81
4.1.7	热电偶测量电路	82
4.2	热电阻式温度传感器	85
4.2.1	金属热电阻传感器	86
4.2.2	半导体热敏电阻	94
4.3	PN 结型测温传感器	98
4.3.1	温敏二极管传感器	99
4.3.2	温敏三极管传感器	101
4.3.3	集成电路温度传感器	103
	思考与练习题	109
第 5 章	光电式传感器	110
5.1	光电效应	110

5.1.1 外光电效应	110
5.1.2 内光电效应	111
5.2 外光电效应器件	113
5.2.1 光电管及其特性	113
5.2.2 光电倍增管及其特性	115
5.3 内光电效应器件	116
5.3.1 光敏电阻	117
5.3.2 光电池	120
5.3.3 光电二极管和光电三极管	123
5.4 新型光电传感器件	127
5.4.1 PIN 型硅光电二极管	127
5.4.2 雪崩式光电二极管(APD)	128
5.4.3 半导体色敏传感器	128
5.4.4 光电闸流晶体管	130
5.4.5 达林顿光电三极管	131
5.4.6 光电耦合器件	131
5.4.7 集成光电传感器	132
5.4.8 光导摄像管	133
5.4.9 CCD 图像传感器	133
5.5 光电式传感器应用实例	136
5.5.1 光电二极管应用实例	136
5.5.2 光电三极管应用实例	137
5.5.3 光电池应用实例	138
5.5.4 光敏电阻应用实例	139
5.5.5 光电式输液量监测系统	140
思考与练习题	143
第 6 章 其他传感器	144
6.1 压电式传感器	144
6.1.1 压电式传感器的工作原理	144
6.1.2 压电材料及压电元件的结构	147
6.1.3 压电式传感器的测量电路	150
6.1.4 压电式传感器的应用	151
6.2 磁电式传感器	152
6.2.1 磁电式传感器测量原理	153
6.2.2 磁电式传感器的结构和应用	153
6.3 霍尔传感器	156
6.3.1 霍尔传感器的工作原理	156
6.3.2 霍尔元件的结构	159
6.3.3 霍尔传感器测量电路	160
6.3.4 霍尔传感器的应用	162
6.3.5 霍尔集成传感器及应用	166
6.4 气敏传感器	168
6.4.1 概述	168

6.4.2	电阻型半导体气敏传感器	169
6.4.3	非电阻型半导体气敏传感器	174
6.4.4	气敏传感器的应用	175
6.5	湿敏传感器	177
6.5.1	概述	177
6.5.2	水分子亲和型湿敏传感器	178
6.5.3	非水分子亲和型湿敏传感器	182
6.5.4	湿敏传感器的应用	182
6.6	超声波传感器	183
6.6.1	超声波的产生	184
6.6.2	超声波的接收	186
6.6.3	超声波的传播特性	186
6.6.4	超声波传感器的结构	188
6.6.5	超声波传感器的应用	189
6.7	红外传感器	195
6.7.1	红外辐射的产生及其特性	195
6.7.2	红外辐射的基本定律	196
6.7.3	红外探测器(传感器)	197
6.7.4	红外传感器的应用	198
6.8	光纤传感器	202
6.8.1	光纤结构与传光原理	203
6.8.2	光纤传感器的结构及工作原理	203
6.8.3	光纤传感器的特点与应用	213
	思考与练习题	214
第7章	信号放大技术	216
7.1	基本放大电路	216
7.1.1	运算放大器及其特性	216
7.1.2	T型放大器	218
7.1.3	电桥放大器	219
7.1.4	高输入阻抗放大电路	221
7.2	测量放大器	222
7.2.1	测量放大器的工作原理	223
7.2.2	共模抑制比	224
7.2.3	测量放大器应用举例	225
7.3	可编程增益放大器	226
7.4	低漂移放大器	227
7.4.1	斩波稳零低漂移放大电路	227
7.4.2	自动稳零放大电路	229
7.4.3	低漂移集成放大器	230
7.5	隔离放大器	232
7.5.1	隔离放大器的基本原理	232
7.5.2	通用隔离放大电路	233
7.6	电荷放大器	235

思考与练习题	236
第 8 章 信号滤波技术	238
8.1 滤波器的基本知识	238
8.1.1 滤波器的类型	238
8.1.2 模拟滤波器的传递函数与特性	240
8.1.3 二阶滤波器及其特性	242
8.1.4 滤波器特性的逼近以及阻尼系数对滤波器特性的影响	247
8.2 RC 有源滤波器电路综合	250
8.2.1 有限增益放大器的单端反馈型有源滤波电路	251
8.2.2 无限增益多路反馈型滤波电路	254
8.2.3 双二阶环滤波电路	257
8.2.4 RC 有源滤波器的设计	259
思考与练习题	262
第 9 章 信号转换技术	264
9.1 电桥电路在信号转换技术中的应用	264
9.1.1 直流电阻桥及其 $\Delta R/\Delta U$ 的转换原理	264
9.1.2 交流阻抗电桥	270
9.2 电量转换技术	270
9.2.1 R/U 转换技术	270
9.2.2 C/U 及 C/T 转换技术	271
9.2.3 L/U 及 L/T 转换技术	273
9.2.4 I/U 及 U/I 转换	275
9.2.5 U/F 和 F/U 转换	278
9.3 电压转换技术	287
9.3.1 AC/DC 转换技术	287
9.3.2 DC/AC 转换技术	289
9.4 信号的非线性补偿技术	290
9.4.1 开环补偿法	290
9.4.2 闭环补偿法	291
9.4.3 差动补偿法	292
9.4.4 分段补偿法	292
9.4.5 微机软件的非线性补偿技术	293
思考与练习题	296
第 10 章 抗干扰技术	297
10.1 干扰的来源及干扰的耦合方式	297
10.1.1 干扰的来源	297
10.1.2 干扰的耦合方式及传输途径	298
10.2 差模干扰和共模干扰	302
10.2.1 差模干扰	302
10.2.2 共模干扰	302
10.2.3 共模干扰抑制比	303
10.3 干扰抑制技术	304

10.3.1 屏蔽技术	304
10.3.2 接地技术	306
10.3.3 浮空技术	310
10.3.4 隔离技术	310
10.3.5 布线技术	311
思考与练习题	313
参考文献	314

第1章 绪 论

1.1 传感器概述及分类

1.1.1 传感器概述

随着现代科学技术的迅猛发展,非电物理量的测试与控制技术已越来越广泛地应用于航天、航空、常规武器、船舶、交通运输、机械制造、冶金、化工、轻工、生物化学工程、自动检测与计量等各个领域,而且也正在逐步引入人们的日常生活中。

传感器是实现测试与自动控制(包括遥测、遥感、遥控)的首要环节,如果没有传感器对原始信息进行准确可靠的捕获和转换,一切准确的测试和控制将无法实现。当前世界范围内的信息革命正在猛烈冲击着各个领域,信息革命的两大重要支柱是信息的采集和处理,信息的采集和转换主要依靠各类传感器,信息的处理则主要依赖于各类计算机。传感器在现代科学技术中的重要作用已为人们充分认识。因此,国内外对传感器的研究和发展越来越重视,传感器已成为各个技术领域不可缺少的重要手段,并已发展成为一种专门的技术学科。

根据中华人民共和国国家标准(GB7665—87),传感器(transducer/sensor)定义为:能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置,通常由敏感元件和转换元件组成。敏感元件(sensing element)指传感器中能直接感受(或响应)被测量的部分;转换元件(transduction element)指传感器中能将直接感受(或响应)的被测量转换成适于传输和(或)测量的电信号部分;使输出为规定的标准信号的装置称为变送器(transmitter)。

传感器也称换能器、变换器。广义而言,传感器是将被测的某一物理量(或信号)按一定的规律转换成与其对应的另一种(或同种)物理量(或信号)输出的装置。目前对传感器的认识仍局限于非电物理量与电量的转换,即传感器是将被测的非电物理量(如力、压力、重量、力矩、应力、应变、位移、速度、加速度、振动、冲击、温度、湿度、流量、声响、角度、转速、物位、物性、体积……)转换成与之对应的、易于精确处理的电量或电参量(如电流、电压、电阻、电感、电容、电荷、频率、阻抗……)输出的一种测量装置。

传感器输出电量 y 与输入非电量 x 的函数关系 $y=f(x)$ 称为变换函数,也称为灵敏度函数,它表示传感器的输出—输入特性。传感器在实际应用时,输入量除被测量 x 外,还有测量对象以及测量环境的干扰,如气压、温度、湿度、噪声、振动、辐射和电磁感应等。因此,理想情况下,变换函数应为一元函数,但实际上传感器的输出量受上述干扰因素的影响,其实际变换函数是多元函数 $y=(x, \theta, A, \dots)$ 。这样,输出量 y 与被测量 x 将不能

单值地对应。所以,设计与选用传感器的重要任务是采用具有选择性能的转换元件,它们应使干扰对输出量 y 的影响限制在最低水平。

1.1.2 传感器分类

传感器种类繁多,通常有 3 种分类方法,即按工作原理分类、按能量的传递方式分类、按被测物理量分类。

1. 按工作原理分类

这种分类方法是以传感器的工作原理作为分类的依据,如表 1-1 所示。在选择传感器时比较容易判断传感器所采用的原理,这有利于传感器专业技术人员从原理和设计上做归纳性的分析研究,使得传感器的使用更具有专业性。

表 1-1 按工作原理分类

序 号	工 作 原 理	序 号	工 作 原 理
1	电阻式	8	光电式(包括红外式、光纤式)
2	电感式	9	谐振式
3	电容式	10	霍尔式(电磁式)
4	阻抗式(电涡流式)	11	超声式
5	磁电式	12	同位素式
6	热电式	13	电化式
7	压电式	14	微波式

2. 按能量的传递方式分类

用能量观点分类,所有的传感器均可分为两大类,即能量变换式传感器和能量控制式传感器。能量变换式传感器将非电能量转换为电能量,这类传感器通常附有力学系统,一般只能用在接触式测量中,以便于能量的传递;但也有一些能量变换式传感器并不附有力学系统,如热电偶式温度传感器,它是利用两种不同金属的温差而产生电势。能量控制式传感器本身并不是一个换能器,被测非电量仅对传感器中的能量起控制或调制作用,所以,它必须具有辅助能源(电源)。由于它不能进行能量转换,因此一般为不可逆的,也不附有力学系统。传感器按能量传递方式分类如表 1-2 所示。

表 1-2 按能量传递方式分类

能 量 变 换	能量控制(或调制)
压电式、电动式、电磁式、热电偶、光电式、磁致伸缩式、电致伸缩式、静电式、电化式	电阻式、电容式、电感式、热敏电阻式、光敏电阻式、磁敏电阻式、湿敏电阻式、放射性吸收式、光游离式

3. 按被测物理量分类

这种分类方法阐明了传感器的用途,对于使用者及生产单位来说,这种分类方法很方便,这种分类方法是将原理互不相同但作用相同的传感器归为一类,使用对象明确,便于用户选择和使用,是常用的分类方法,如表 1-3 所示。

表 1-3 按被测物理量分类

对象	种 类	传 感 器 类 型
光传 感器	接收光元件	光电导效应、光电效应、光电发射效应、热释电效应
	组合元件	光电耦合器、光电断路器
	光纤传感器	光纤压力传感器、光纤温度传感器、光纤电流传感器、光纤血流传感器
温度 传感器	电阻式	半导体陶瓷热敏电阻、铂电阻、铜电阻等
	p-n 结	温敏二极管、温敏三极管、集成温度传感器、温敏闸流管
	热电式	热电偶
	辐射式	全辐射高温计、光学高温计、光电高温计、比色高温计
	其他	电容式、频率式、表面波式、超声波式
磁敏 传感器	霍尔元件	Si 霍尔元件、Ge 霍尔元件、InAs 霍尔元件、GaSb 霍尔元件、GaAs 霍尔元件
	磁阻元件	长方形磁阻元件、栅格结构磁阻元件、科尔宾元件、曲折形元件
	磁敏晶体管	磁敏二极管、磁敏三极管、霍尔 MOS 场效应晶体管
	磁敏集成电路	双极型霍尔开关集成电路、双极型霍尔线性集成电路、霍尔 MOS 集成电路
力学量 传感器	加速度传感器	压阻式加速度传感器、压电式加速度传感器
	荷重传感器	柱式荷重传感器、压电式荷重传感器
	扭矩传感器	应变式扭矩传感器
	位移传感器	应变式位移传感器、光电式位移传感器
流量 传感器	压力传感器	Si 压阻式压力传感器、集成式压力传感器、电容式压力传感器
	流量传感器	节流式流量传感器、热流式流量传感器、位移式流量传感器
气敏 传感器	半导体式	表面控制型、容积控制型、表面电位型、整流特性型、阈值电压型
	固体电解质式	能差电极式气敏传感器、合成电位式气敏传感器
	电化学式	氧电极气敏传感器
	接触燃烧式	燃烧热式气敏传感器
湿度 传感器	陶瓷湿度传感器	MgCr ₂ O ₄ 系湿度传感器、ZnO-Cr ₂ O ₃ 系湿度传感器
	膜状湿度传感器	Fe ₃ O ₄ 胶质涂膜湿度传感器
	氧化铝湿度传感器	Al ₂ O ₃ 涂膜式、多孔 Al ₂ O ₃ 膜式、硅 MOS 型 Al ₂ O ₃ 湿度传感器
	元素半导体湿度传感器	Ge 薄膜湿度传感器、Si 薄膜湿度传感器、Si 烧结型湿度传感器
	化学感湿膜湿度传感器	电解质类湿度传感器、碳膜湿度传感器、高分子电解质薄膜湿度传感器

续表

对象	种 类	传 感 器 类 型
离子 传感器	离子选择电极	固体膜型电极、液体膜型电极、气敏电极、反应膜电极
	ISFET	无极绝缘栅 ISFET、固态膜 ISFET、有机高分子 PVC、有机高分子 ISFET
生物 传感器	生物关联膜式	酶传感器、葡萄糖传感器、微生物传感器、免疫传感器
	半导体复合膜式	酶 FET、尿素酶 FET、免疫 FET
	热敏电阻复合膜式	热生物传感器
	光导复合膜式	光生物传感器
	压电晶体复合膜式	压电晶体生物传感器

1.2 传感器常用名词及术语

传感器的品种繁多,测量参数不同,其性能参数也不一样。传感器所测得的量经常会发生各种各样的变动,被测信号在一段时间内可能很稳定,而在另一段时间内有可能处于变化的状态,如起伏变化、脉动变化、突跳变化等。传感器主要通过其两个基本特性——静态特性和动态特性来反映被测量的这种变动性。所谓静态特性,是指被测量的各个值处于稳定状态(静态测量下),或随时间变化非常缓慢状态下,传感器输出值与输入值之间的关系,一般可用数学表达式、特性曲线或表格来表示。动态特性是指传感器对输入激励的输出响应特性,动态特性好的传感器,其输出量随时间变化的曲线与被测量随时间变化的曲线相近。一般来说,生产厂家只给出传感器的静态特性和响应时间。为了更好地学习和掌握传感器的基本原理和有关技术性能指标,有必要了解一些与传感器技术有关的常用专业名词术语。

(1) 测量范围:由传感器的测量上限值和测量下限值所确定的被测量的范围。

(2) 量程:传感器测量范围的上限值和下限值的代数差。

(3) 线性度:线性传感器测出的输入—输出曲线与某一规定直线不吻合的程度称为线性度,或称为非线性误差。

(4) 重复性:在同一操作条件下,输入按同一方向做全测量范围连续变动多次时,传感器重复输出读值的能力。

(5) 不重复性:在同一操作条件下,对传感器输入量按同一方向做全量程连续多次重复测量,其输出值的不一致程度。一般把以 3 次加载输出特性曲线在同一输入量时的最大偏移量与最大输出量之比的百分数称为不重复误差。

(6) 滞后(迟滞):在规定的测量范围内和相同的工作条件下,传感器在正、反行程中(即被测量先是逐渐增加,然后又逐渐减小),同一输入所对应输出的不重合程度。滞后误差是输出曲线在同一输出量时最大偏差与最大输出的百分比。

(7) 精确度(精度):非线性误差、不重复误差及滞后误差这 3 项指标决定传感器的精确度,它是反映系统误差和随机误差的综合指标。一般来说,若已知这 3 项误差,可以通

过误差合成(均方根偏差)方法求出精确度。

(8) 准确度:测量结果与真值的偏离程度。准确度反映了系统误差的大小。

(9) 精密度:测量中所测数值重复一致的程度。精密度反映了偶然误差的大小。

(10) 灵敏度:传感器输出量的变化值与相应的被测量的变化值之比。对线性传感器来说,传感器校准直线的斜率就是灵敏度,而非线性传感器的灵敏度则随输入量不同而变化。传感器的灵敏度大,其信号处理较容易,当信噪比(传感器输出信号 S 与噪声 N 之比,称为传感器的信噪比 S/N)较小时,信号处理较为困难。

(11) 分辨力(率):传感器可能检测出的被测量的最小变化值。

(12) 阈值:在传感器最小量程附近的分辨力(率)。阈值也称为灵敏阈或门槛灵敏度。

(13) 稳定性:表示传感器在一个较长的时间内保持其性能参数的能力。

(14) 过载(过负荷):被测量超出传感器的测量范围的现象。

(15) 过载限:在不引起传感器规定的性能指标产生永久变化的条件下,允许超过测量范围的最大能力。

(16) 零点时间漂移:传感器在恒定的温度环境中,零点输出信号与时间的变化特性,称为传感器零点时间漂移,简称零漂。传感器的零漂一般按8小时内输出信号的变化来度量。

(17) 零点温度漂移:传感器的零点输出随温度而变化的特性,称为传感器的零点温度漂移,一般用环境温度变化 10°C 所引起的输出变化相对于最大输出的百分比表示。在实际使用中,时间漂移和温度漂移是同时存在的。

(18) 灵敏度漂移:传感器的灵敏度随温度的改变而变化,它反映温度变化对传感器输出信号影响的大小。一般用温度每变化 10°C 而引起传感器灵敏度的相对变化来表示。

(19) 响应速度:传感器的响应速度反映其动态特性,对于一阶传感器,一般用时间常数的大小来表示,时间常数小,表示动态响应好。

(20) 工作环境条件:能保证传感器的各项性能指标在规定的误差范围内的工作环境条件。一般是指传感器工作环境的温度范围和湿度范围。

(21) 校准(标定):用一定的试验方法,确定传感器输入—输出特性关系(特性方程、特性曲线和校准表)和精度的过程。

(22) 温度误差:传感器工作温度偏离校准温度时引起的误差。在传感器测量范围内,用温度变化引起的输出最大变化值与校准温度下满量程输出的百分比表示。

(23) 安装误差:由于传感器使用和校准时,安装的状态不同所引起的输出信号值的误差。

1.3 信号调理电路在检测技术中的作用及要求

1.3.1 信号调理电路的作用

计算机测控技术是由传感器技术、信号调理技术、信号处理技术和执行器技术四个部分组成的。传感器将被测的各种物理量转换成电信号,信号调理电路将传感器输出的各种形式的电信号(电阻、电压、电流、电感、电容和脉冲)转换成标准的电信号形式(如供 A/D

转换的电压信号或供频率检测用的脉冲序列信号), 信号处理电路将经 A/D 转换或频率检测得到的数据进行必要的处理或计算, 得到能够进行显示、传送和控制输出的结果或信号形式(如 1~5 V 电压或 4~20 mA 电流信号等), 执行器中的伺服电路接收来自信号处理电路的控制信号, 并将其转换成驱动执行器动作的控制信号, 控制执行器完成相应的动作(如阀门的开闭幅度、电机的转速调节等)。在这 4 个组成部分中, 传感器技术和信号调理技术统称为检测技术, 是整个测控系统能否达到满意的测控精度和要求的關鍵。由于有些检测与控制现场的环境非常恶劣, 各种传感器的特性又可能各不相同, 因此, 要求与传感器相匹配的信号调理电路必须满足传感器的特性要求, 能完成所需的信号转换任务。有了统一的信号输出形式和数值范围, 就便于将各种传感器与控制系统或检测仪表相连接而构成测控系统或调节系统。这样, 兼容性和互换性大大提高, 仪表配套或系统组成也极为方便。所以, 在整个测控系统中, 信号调理电路起着重要的作用。在信号调理技术中主要研究以下内容:

模拟信号处理: 放大、滤波、比较、采样/保持、绝对值检测、峰—峰值检测。

模拟信号转换: 直流电桥、交流电桥、 R/U 转换、 L/U 转换、 C/U 转换、 I/U 转换、 F/U 转换、 U/I 转换、 U/F 转换。

电源电压转换: AC/DC 转换、DC/DC 转换、DC/AC 转换。

微弱信号检测: 窄带滤波、双路消噪、锁定接收、取样积分、相关分析。

电路抗干扰处理: 接地、屏蔽、阻抗匹配、消除逻辑窜扰、消除数字电路干扰。

1.3.2 信号调理电路设计的要求

对信号调理电路设计的主要要求可以概括为精、快、灵, 当然也还有一些其他的要求, 如可靠性和经济性等。

1. 精度方面的设计要求

对于信号调理电路首先要求它具有高精度, 能够准确地将传感器的信号进行高精度的转换, 这是进行精确控制的基础。下面讨论为了实现高精度, 信号调理电路在设计时应达到的要求。

1) 低噪声与高抗干扰能力

在精密测量中, 要精确测得被测参数的微小变化, 这时传感器输出信号的变化往往也是很微小的, 为了保证高的测量精度, 必须要求电路具有低噪声和高抗干扰能力。在电路设计上包括选用低噪声器件、合理安排电路、合理布线与接地, 采取适当的隔离和屏蔽等。由于大多数情况下, 送到信号调理电路第一级的信号很小, 因此第一级的电路需要特别安排和设计, 要尽量缩短传感器到第一级的电路连接距离, 在必要时应考虑将前置放大器电路置入到传感器内部中。

对信号进行调制, 合理安排电路的通频带, 对抑制干扰有重要的作用。对信号进行调制就是给信号赋予一定的特征, 使它与非所需信号(可将这些信号视为干扰信号)相区别, 再通过合理安排电路的通频带等, 只让所需信号通过, 从而抑制干扰。

采用具有高共模抑制比的电路, 对抑制干扰也有重要作用。因为大多数干扰为共模干扰, 它同时作用于差动电路的两个输入端, 采用高共模抑制比差动电路能有效地抑制干扰。

2) 低漂移、高稳定性

电路工作稳定性是保证电路精度的首要条件,稳定性可以分为温漂、短期稳定性和长期稳定性。漂移使电路在1天或若干小时的中等时段内的输出发生变化,大多数电子元件的特性,如放大器的失调电压与失调电流、晶体管与二极管的漏电流,都会受到温度影响而在一定程度上发生变化。由于电路在工作时总会有电流流过,不可避免地会产生热量,从而使电路输出信号发生漂移。外界温度的变化也会引起输出信号的漂移。为了减小温漂,首先应选择温漂小,即对温度变化不敏感的元器件,其次应尽量减小电路特别是关键部分电路的温度变化。这里包括减小电路中的电流,使大功率器件远离前级电路,解决好散热等问题。

短期稳定性表现为示值重复性,它主要由输入信号的信噪比、电路本身的噪声和抗干扰性能决定,噪声与干扰可以引起电路在短的时间内工作不稳定;长期稳定性是由于元器件老化、接插件弹性疲劳、氧化等原因引起的,使电路的性能在长时间的运行中逐渐发生变化。此外,器件本身的性能、寄生参数的稳定性、焊接的质量、接插件和开关的过渡电阻的稳定性和接触可靠性、电源电压的波动、外界电磁场的干扰、环境条件的快速变化等都在不同程度上可以影响电路的稳定性。

为了提高信号调理电路的短期稳定性,除了选用低噪声、工作性能稳定可靠的元器件、适当布线接地及采取适宜的抗干扰措施外,还常采用深度的负反馈、差动或平衡电路等,在静态测量条件下,采用多次采样取平均值、加大滤波器时间常数等也能减小测量结果的离散性。但是这些方法对于动态和快速测量不适用。

为了减小电路温漂带来的误差,除采用温漂小、经过老化处理的元器件外,还要合理安排热源、采取深度负反馈和温度补偿措施,增加自动稳零、自动定标或放大比较等电路;在温度变化频繁或恶劣环境下,甚至需要增加必要的环境温度(局部环境)稳定装置。这些措施可以保证信号调理电路的长期稳定性。

3) 线性与保真度要好

线性度是衡量信号调理电路精度的又一个重要指标。从理论上讲,一个系统也可按非线性定标,这时输入与输出间具有的非线性关系并不一定影响精度。但大多数情况下,要求系统的输入与输出间应具有线性关系。这是因为线性关系使用方便,如线性标尺便于读出,在换挡时不必重新定标,进行模数转换、细分、伺服跟踪时不必考虑非线性因素、波形不失真等等。

保真度是从视、听设备中借用的概念,为使波形不失真除要求电路有良好的线性外,还要求在信号所占用的频带内,有良好的频率特性。

4) 选择合适的输入与输出阻抗

即使信号调理电路本身完全没有误差,但是在将它用于某一测控系统时,仍然有可能给系统带来误差。其原因就在于信号调理电路的输入与输出阻抗与系统中的传感器和信号处理电路不匹配。如果输入阻抗太低,在接入电路后,会使传感器的输出状态发生变化。从不影响传感器输出特性的要求出发,应使信号调理电路有高输入阻抗,但是随着输入阻抗的提高,输入端的噪声也随之增大,不利于后续电路的处理和转换。所以,要合理地确定输入阻抗,在尽可能降低输入噪声的前提下,提高电路的输入阻抗,以利于传感器信号的输出。