



研究生教材

非电量电测技术

吴道悌 编

西安交通大学出版社

研究生教材

非电量电测技术

吴道悌 编

西安交通大学出版社

内 容 提 要

本书针对非电类专业硕士生论文阶段对测量技术的要求,系统地阐述了非电量的电测技术。主要内容包括测量的基本知识和误差;常用传感器的工作原理、特性、测量电路及应用实例;传感器与微型计算机组成的测量系统。本书在书写和内容选择上力求深入浅出,侧重于应用,且注意反映近年来该领域中的新内容和发展趋势。

本书也可作为高等院校师生及从事检测技术和自动化工作的工程技术人员教材或参考书。

非 电 量 电 测 技 术

吴 道 悌 编

责任编辑 甘梦云

*

西安交通大学出版社出版

(安 市 咸 宁 路 28 号)

西安电子科技大学印刷厂印装

陕西省新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 14.125 字数: 356 千字

1990 年 6 月第 1 版 1990 年 6 月第 1 次印刷

印数: 1—4 000

ISBN 7-5605-0346-2/TM·14 定价: 3.60 元

《研究生教材》总序

研究生教育是我国高等教育的最高层次，是为国家培养高层次人才的人才。他们必须在本门学科中掌握坚实的基础理论和系统的专门知识，以及从事科学研究工作或担负专门技术工作的能力。这些要求具体体现在研究生的学位课程和学位论文中。

认真建设好研究生学位课程是研究生培养中的重要环节。为此，我们组织出版这套《研究生教材》，以满足当前研究生教学，主要是公共课和一批新型的学位课程的教学需要。教材作者都是多年从事研究生教学工作，有着丰富教学和科学研究经验的教师。

这套教材首先着眼于研究生未来工作和高技术发展的需要，充分反映国内外的最新学术动态，使研究生学习之后，能迅速接近当代科技发展的前沿，以适应“四化”建设的要求；其次，也注意到研究生公共课程和学位课程应有它最稳定、最基本的内容，是研究生掌握坚实的基础理论和系统的专业知识所必要的。因此在研究生教材中仍应强调突出重点，突出基本原理和基本内容，以保持学位课程的相对稳定性和系统性，内容有足够的深度，而且对本门课程有较大的覆盖面。

这套《研究生教材》虽然从选题、大纲、组织编写到编辑出版，都经过了认真的调查论证和细致的定稿工作，但毕竟是第一次编辑这样高层次的教材系列，水平和经验都感不足，缺点与错误在所难免，希望通过反复的教学实践，广泛听取校内外专家学者和使用者的意见，使其不断改进和完善。

西安交通大学研究生院

西安交通大学出版社

1986年12月

前 言

由于非电量的电测技术在科研和生产各个领域中的地位日益重要,西安交通大学于1983年起对非电类专业硕士研究生开设《非电量电测技术》课程,本书是在多年开设此课程经验的基础上编写的。

本书针对非电类专业硕士生的特点,及其在论文阶段对测量技术提出的要求,同时也兼顾到其他人员的需要,比较系统地阐述了非电量的电测技术,其内容力求深入浅出,既侧重于应用方面,又反映近年来技术发展趋势。

本书涉及的领域比较广泛,为使读者获得比较系统和完整的概念,全书共分三篇(含十五章)。第一篇测量的基本知识和测量误差(第一、二章),介绍测量仪表的静、动态特性,测量误差的基本理论。第二篇常用传感器(第三至十章),介绍各种传感器的工作原理、特性、测量电路及应用举例。第三篇(第十一至十五章)传感器和微型计算机组成的测量系统,介绍该测量系统中常用的预处理电路(包括放大电路,绝对值和有效值转换电路,峰值保持电路等),A/D和D/A转换,传感器特性的线性化和温度补偿,并简单介绍了微型计算机的基础知识,接口电路,最后以转速测量为例,介绍了微机在该测量系统中的应用。本书在内容的选取上,注意到反映检测技术领域中的新内容,测量电路中尽量介绍集成电路元器件。限于篇幅和学时(本门课总学时65,其中含实验学时35),所以某些内容,如:量子型、核辐射、化学等传感器;仪表的抗干扰问题;测量结果的显示和记录等不予介绍。

本书也可作为高等院校非电类专业本科生和有关的电类专业本科生的教材,对从事检测技术和自动化工作的工程技术人员也

具有参考价值。

本书的部分内容参考了其它兄弟院校所编的有关教材，在此致以谢意。上海机械学院秦积荣教授担任审稿，对全书作了仔细的审阅，并提出了许多宝贵意见，在此也表示深切的谢意。

由于编者水平有限，书中不妥和错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

绪 论

第一篇 测量基本知识和测量误差

第一章 测量的基本知识

§ 1.1 测量方法及其分类	5
一、概述	5
二、直接测量、间接测量与组合测量	6
三、偏差式测量法、零位式测量法与 微差式测量法	7
§ 1.2 测量仪表的基本性能	10
一、精确度	10
二、稳定性	11
三、仪表的输出-输入特性	12
§ 1.3 传感器的分类和性能指标	20
一、传感器的分类	20
二、传感器的性能指标	22

第二章 测量误差

§ 2.1 误差定义及分类	25
一、误差定义	25
二、误差的分类与来源	28
三、系差和随差的表达式	30
§ 2.2 随机误差	30
一、正态分布	31
二、均方根误差	33

三、误差概率的计算	35
四、最佳值的选定	36
五、算术平均值 $\bar{x}$ 的均方根误差 $\hat{\sigma}_x$	38
§ 2.3 削弱系统误差的基本方法	38
一、仪器误差的削弱	39
二、装置误差的削弱	39
三、人员误差的削弱	39
四、方法误差或理论误差的削弱	39
五、采用特殊的测量方法消除或削弱误差	40
§ 2.4 粗差	42
一、拉依达准则	42
二、肖维涅准则	43
§ 2.5 测量结果的处理实例	46
§ 2.6 间接测量中误差的传递	48
一、绝对误差和相对误差的传递	48
二、标准差(均方根误差)的传递	50
三、误差传递公式在间接测量中的应用	51

第二篇 常用传感器

第三章 电阻式传感器

§ 3.1 电位器式电阻传感器	55
一、工作原理	55
二、非线性误差和改善的方法	56
三、电位器结构和电压分辨力	58
§ 3.2 应变式电阻传感器	59
一、应变效应和灵敏系数	59
二、电阻应变片的种类	61
三、应变式电阻传感器的主要优缺点	63

四、测量电路·····	64
§ 3.3 应用举例·····	80
一、电位器式压力传感器·····	80
二、荷重传感器在电子皮带秤上的应用·····	80
第四章 电感式传感器	
§ 4.1 改变气隙式电感传感器·····	82
一、工作原理·····	82
二、等效电路·····	84
三、特性·····	84
§ 4.2 差动式电感传感器·····	86
一、结构和工作原理·····	86
二、输出特性·····	88
三、测量电路·····	88
§ 4.3 差动变压器·····	94
一、工作原理·····	95
二、等效电路·····	96
三、测量电路·····	97
§ 4.4 应用举例·····	101
一、JGH 型电感测厚仪·····	101
二、焊条偏心度测量·····	102
三、远传浮子液位测量·····	103
§ 4.5 电涡流式传感器·····	104
一、基本原理·····	105
二、等效电路·····	105
三、测量电路·····	106
四、应用举例·····	107
第五章 电容式传感器	
§ 5.1 概述·····	110

一、基本原理	110
二、结构形式	111
§ 5.2 主要特性	112
一、变间隙式	112
二、变面积式	116
三、变介电常数式	116
§ 5.3 测量电路	117
一、桥式电路	117
二、二极管不平衡环形电路	122
三、差动脉冲宽度调制电路	124
四、运算放大器式电路	126
五、调频电路	128
§ 5.4 应用举例	129
一、电容测厚仪	129
二、电容式液位计	129
三、利用电容量变化效应的温度传感器	130
第六章 电势式传感器	
§ 6.1 磁电式传感器	132
一、工作原理及结构	132
二、传感器的灵敏度	134
三、温度补偿	135
四、应用举例	136
五、测量电路	138
§ 6.2 压电晶体传感器	139
一、压电效应	139
二、压电材料	142
三、压电传感器	143
四、压电传感器的等效电路	145

五、压电传感器的测量电路	146
六、应用举例	151
§ 6.3 霍尔传感器	153
一、霍尔元件的基本工作原理	153
二、霍尔元件的测量误差补偿方法	155
三、霍尔元件的使用	159
四、霍尔元件在非电量电测技术中的应用 举例	162
第七章 热电传感器	
§ 7.1 热电偶	167
一、热电偶测温原理	167
二、热电偶结构与种类	172
三、热电偶自由端温度补偿	179
四、热电偶实用测温电路	185
§ 7.2 热电阻	188
一、铂电阻	189
二、铜电阻	190
三、其它热电阻	191
四、热电阻的测量电路与应用举例	191
§ 7.3 热敏电阻	193
一、电阻—温度特性	193
二、主要技术参数	194
三、应用	195
第八章 光电传感器	
§ 8.1 光电管和光电倍增管	207
一、光电管	207
二、光电倍增管	211
§ 8.2 光敏电阻	215

一、原理	215
二、基本特性和参数	216
§ 8.3 光电池、光敏二极管和光敏三极管	219
一、光电池	219
二、光敏二极管及光敏三极管	221
§ 8.4 光电传感器的类型及应用举例	225
一、类型	225
二、应用举例	226
第九章 气敏及湿敏传感器	
§ 9.1 气敏传感器	236
一、半导体气敏传感器的结构	237
二、气敏机理概述	239
三、 SnO_2 气敏器件	240
四、应用举例	246
§ 9.2 湿敏传感器	249
一、湿敏元件的特性参数	249
二、湿敏元件的种类	252
三、典型器件介绍	253
第十章 数字式传感器	
§ 10.1 盘式角度数字传感器	265
一、脉冲盘式角度数字传感器	265
二、码盘式角度数字传感器	267
§ 10.2 感应同步器	272
一、直线式感应同步器的结构	272
二、工作原理	274
三、感应同步器输出信号的检测	275
四、感应同步器位移数字显示装置	276
§ 10.3 计量光栅	280

一、基本原理	281
二、利用莫尔条纹测量位移的原理	283
三、辨向与细分原理	286
§ 10.4 频率输出式数字传感器	287
一、改变力学系统固有频率的数字式传感器	288
二、改变振荡回路固有频率的数字式传感器	291
三、压控振荡器的数字式传感器	293
四、基本测量电路	294

第三篇 传感器和微型计算机组成的测量系统

第十一章 放大电路

§ 11.1 理想运算放大器及其应用	301
§ 11.2 实际运算放大器存在的问题	305
一、 U_o 和 γ 对放大器输出电压的影响	305
二、CMRR 对放大器输出电压的影响	306
三、交流性能	307
§ 11.3 仪器放大器	308
§ 11.4 调制型直流放大器	310
一、概述	310
二、调制器	315
三、解调器	317
四、集成电路调制解调器简介	318

第十二章 信号处理电路

§ 12.1 绝对值转换电路	320
一、线性检波电路	320
二、绝对值电路	321
§ 12.1 有效值转换电路	326
一、应用对数-反对数技术的有效值转换电路	327

二、模式有效值转换电路	330
三、有效值转换的集成芯片	332
§ 12.3 峰值保持电路	336
一、原理	336
二、简单的峰值保持电路	337
三、高速峰值保持电路	339
四、峰-峰值保持电路	340
第十三章 数模(D/A)转换与模数(A/D)转换	
§ 13.1 D/A 转换电路	342
一、权电阻 D/A 转换电路	343
二、T 形电阻 D/A 转换电路	345
三、D/A 转换电路的主要参数	347
四、D/A 集成芯片与其输出的典型电路	348
五、串行 D/A 转换器简介	352
§ 13.2 A/D 转换电路	353
一、转换原理	353
二、A/D 转换电路的主要参数	359
三、A/D 集成芯片	362
§ 13.3 A/D 转换器的外围电路	366
一、采样保持电路	366
二、多路模拟开关	372
三、A/D 转换器和微机的连接	375
第十四章 传感器特性的线性化及温度补偿	
§ 14.1 传感器非线性特性的线性化	377
一、模拟线性化	378
二、数字线性化	390
§ 14.2 温度补偿	394
一、温度补偿原理	394

二、温度补偿方法	396
第十五章 接口电路与微机测量系统	
§ 15.1 微型计算机的基础知识	400
一、微型计算机的结构、原理简介	401
二、Z-80 微型计算机	403
§ 15.2 微机测量系统的接口电路	411
一、Z-80 并行输入/输出控制器 PIO	412
二、Z-80 计数器/定时器 CTC	418
§ 15.3 微型计算机在转速测量系统中的应用	423
一、转速测量方法概述	423
二、M/T 法测速的硬件线路设计	426
三、微机控制的速度测量系统实例	428
参考文献	436

绪 论

非电量电测技术是科学技术与生产过程发展到自动检测、自动控制阶段的产物。在现代科学研究和新产品的设计中，人们为了掌握事物的规律性，必须要测试许多有关参数，用以检验它们是否符合预期要求，是否符合客观事物的规律性。在工业生产过程中，检测各种有关参数是为了监视和控制生产的进行，使设备能在正常或最佳状态下进行工作。

在大量的科学研究或生产过程中，需要测量各种物理量，其中多数是非电量，例如：位移、速度、加速度、力、力矩、应变、温度、压力、流量、液位等。基于电测技术，尤其是普遍应用的电子测量装置，具有一系列优点，所以许多非电量的测量广泛地应用了电测技术。但并不是说所有的非电量都必须用电测方法来检测，在不少场合下，还可以用其它方法（如：机械、气动等方法）来检测非电量。

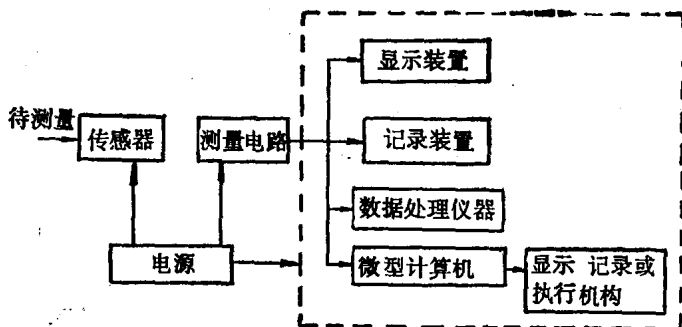
电测技术具有下列主要优点：

- 测量的准确度和灵敏度高，测量范围广。
- 由于电磁仪表和电子装置的惯性小，测量的反应速度快，即具有比较宽的频率范围，不仅适用于静态测量，亦适用于测量动态过程。
- 能自动连续地进行测量，便于自动记录，并能根据测量结果，配合调节装置，进行自动调节和自动控制。
- 采用微处理器做成的智能化仪器，可与微型计算机一起组成测量系统，实现数据处理、误差校正、自监视和仪器校准等功能。
- 可以进行远距离测量，从而能实现集中控制和遥远控制。

从被测对象取用功率小，甚至完全不取用功率，并可以进行无接触测量，减少对被测对象的影响，提高测量精度。

非电量电测技术的任务，就是把待测的非电量，通过一种器件或装置，把非电量变换成与它有关的电信号(电压、电流、频率等)，然后利用电气测量的方法，对该电信号进行测量，来确定被测的非电量。

非电量电测系统一般由三个部分组成，通常可用下面的方框图来表示：



传感器的作用是进行信号变换，把被测的非电量变换为电量，这种变换包括能量形态的变换，所以也称换能器。它在非电量电测系统中占有很重要的位置，它获得信息的准确与否，关系到整个测量系统的精度。

测量电路的作用，是把传感器输出的电信号，进行处理和变换，使之适合于显示、记录及和微型计算机连接。测量电路的选用，视传感器类型而定。最常用的模拟电路是电桥电路、相敏电路、测量放大器等；常用的数字逻辑电路是门电路、各种触发器、D/A 和 A/D 转换器等。在最简单的情况下，测量电路就是连接传感器与显示、记录仪表的导线。

显示装置是用来作信号显示的，也就是把被测量包含的信