自动检测和仪表中的共性技术

徐科军摇陈荣保摇张崇巍摇著

清 华 大 学 出 版 社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

（京）新登字 员员员号

内 容 简 介

摇摇本书深入、系统地阐述了自动检测和仪表中的共性技术。全书共分 源篇 :第一篇论述传感器的建模和设计技术,包括建立传感器静态数学模型的方法、传感器的计算机辅助设计方法、建立传感器动态数学模型的方法和校正传感器动态特性的补偿方法 ;第二篇介绍自动化仪表的设计技术,包括仪表中模拟电路的设计方法、单片机在智能仪表中的应用、仪表的抗干扰技术和仪表的数字通信技术 ;第三篇叙述仪表中的数字处理技术,包括静态系统误差的数字修正方法、随机误差的数字滤波方法、动态误差的修正方法、信号分析的周期图法、最大熵谱法、自适应陷波滤波方法和小波变换方法 ;第四篇介绍自动测量技术的新进展,包括软测量技术、模型化测量方法、虚拟仪器和模糊传感器。

本书的内容广泛,涉及面宽,既阐述了学科前沿的研究工作,又介绍了非常实用的开发技术。书中包含了本学科国内外较新的研究成果和作者多年来的科研成果。

本书可供从事工业自动化仪表、自动控制工程、仪器仪表、计量测试和计算机应用等专业的科研和工程技术人员参考,也可以作为相应专业研究生的教材和本科生的参考书。

摇图书在版编目 (悦阅) 数据

摇自动检测和仪表中的共性技术 辕徐科军,陈荣保,张崇巍 著援–北京 :清华大学出版社,圆猿猿圆

摇陨杂叶 猿-缘源猿圆-猿

摇Ⅰ援自… 摇Ⅱ援① 徐… 摇② 陈… 摇③ 张… 摇Ⅲ援自动化仪表 :检测仪表 :技术 摇Ⅳ援栽猿缘员

摇中国版本图书馆 悦阅 数据核字 (圆园园猿) 第 猿园圆员号

出版者 :清华大学出版社 (北京清华大学学研大厦,邮编 员园园园源源)

印刷者 :摇摇摇摇印刷厂

发行者 :新华书店总店北京发行所

开摇本 :猿圆 印张 :员猿援缘 字数 :猿缘园千字

版摇次 :圆园园猿年 员月第 员版 摇圆园园猿年 员月第 员次印刷

书摇号 :陨杂叶 猿-缘源猿圆-猿/栽· 猿园员

印摇数 :员–圆缘园园

定摇价 :摇元

前摇摇言

自动检测和仪表是人们用来自动地获取工农业生产、科学研究、日常生活和国防事业所需要的各种信息的技术和装置。所以,自动检测和仪表的应用领域非常广泛,可以说,各行各业均离不开自动检测和仪表。随着计算机的普及、自动化程度的提高,人们迫切需要更多、更好的自动检测方法和仪器仪表。因此,自动检测和仪表是当前发展最为迅速的学科之一,愈来愈受到人们的重视。同时,自动检测和仪表也是一门综合性很强的学科,涉及到物理学、化学、生物学、仪器科学、电工学、电子学、机械学、材料学、计算机和自动控制等。自动检测的方法和仪器仪表的种类很多,但是,其中存在一些共性的技术问题。例如,传感器建模和设计技术、自动化仪表的设计技术、仪表中的数字信号处理技术,以及一些新的测量技术。深入研究和系统介绍这些共性技术,无疑将对设计、研制和使用自动检测系统起到重要的指导作用,对自动检测和仪表的发展起到推动作用。

目前,国内自动检测与仪表方面的教科书不少,但是,大多数是一般性原理、方法和装置的介绍,较为系统、深入地论述自动检测和仪表中共性技术的专著很少见。为此,作者以自己的科研工作为基础,并吸取国内外新的研究成果,撰写本书以介绍自动检测和仪表中的共性技术。

本书共分 源篇 :第一篇为传感器建模与设计技术。传感器是检测系统和仪表的首要环节和关键部件,其性能的优劣起着决定性的作用。传感器的性能指标分为静态和动态两大类。传感器静态模型是评价其静态性能指标的依据,是其设计的基础。其中,第 员章介绍传感器静态模型的建立方法,以及使传感器静态性能指标优化的设计方法。具体介绍用解析计算方法建立电感式传感器和差动变压器式传感器的数学模型。用有限元素法建立力和压力传感器的数学模型。用计算机模拟方法建立容栅传感器静、动态联合数学模型。选线性度和灵敏度为目标函数,采用模式搜索法、单纯形法等优化算法,对电涡流传感器和梳状电容传感器进行优化设计。采用人机对话的方式,对电感式传感器进行计算机辅助设计。

传感器的动态特性至关重要。动态测试和在线检测的发展,对传感器的动态特性提出更高的要求。动态数学模型是研究传感器动态特性的工具,动态补偿是改善其动态性能的有效手段。第 圆章介绍传感器动态模型的建立方法,以及校正传感器动态特性的补偿方法。具体介绍机理建模方法、系统辨识建模方法、沃尔什变换和神经元网络方法,以及它们在机器人六维腕力传感器中的应用。介绍采用零极点配置法、系统辨识法和神经元网络方法设计动态补偿器,以及补偿器的组成和补偿结果。

第 猿章至第 远章为第二篇,针对现代自动化仪表的体系结构,阐述其设计中的共性问题。第 猿章阐述仪表中以运算放大器为中心的模拟电路设计的基本理论和方法。具体介绍信号放大电路、基本运算电路、有源滤波器、模拟量输出通道、模拟信号的隔离传输和跨导运算放大器及其应用。以具体电路,如仪表放大器、滤波器、电压 辕电流变换器、阅览阅悦

和线性光电耦合器等为实例，并采用计算机辅助设计软件，如 [illegible] 进行分析。

第 [illegible] 章主要介绍基于微控制器的智能仪表的软硬件设计。具体介绍以单片机为核心的最小系统设计、模拟量与数字量之间的转换、人机接口设计和智能仪表设计中的若干问题。

干扰是现场测量中不可避免的一个问题，必须加以解决。第 [illegible] 章介绍仪表的抗干扰技术。分析干扰产生的原因和干扰传播的途径，介绍仪表中的抗干扰措施：屏蔽技术、隔离技术、接地技术和滤波技术，以及在电路设计制作和单片机应用中应该注意的问题。

自动检测和仪表必须适应现代数据采集及控制系统数字化和网络化发展的需要，数字传输通道已经或将要成为自动化仪表中不可缺少的组成部分。第 [illegible] 章介绍 [illegible] 总线、[illegible] 总线、串行数据通信 ([illegible]) 和 [illegible] 和现场总线，以 [illegible] 总线为例，阐述现场总线的原理及其在自动化仪表中的应用。

第 [illegible] 章和第 [illegible] 章为第三篇，介绍仪表中的数字处理技术。将数字信号处理方法和数字信号处理器应用于仪表是当前国外发展的趋势。目前的检测系统和仪表均带有微处理器，采用数字方法对信号进行处理，可以修正误差，改善测量精度；可以消除噪声，识别有用信号，提高仪表在现场测量的抗干扰能力，并实现多参数测量。

检测的目的是要得到被测量的准确信息，由于仪表工作原理、加工工艺、材料特性和环境影响，造成测量误差。第 [illegible] 章主要介绍静、动态误差的修正方法。具体介绍系统误差的数字修正方法、随机误差的数字滤波方法和动态误差的数字修正方法，并列举了容栅传感器、电涡流传感器和六维腕力传感器误差修正的实例。

第 [illegible] 章介绍信号处理的数字方法。具体介绍基于快速傅里叶变换的周期图法和相应的频谱校正方法、最大熵谱分析法、自适应陷波滤波方法和小波变换方法。详细介绍了数字信号处理方法在涡街流量计中的应用，包括处理思路、仿真情况、系统组成和实验结果。

第 [illegible] 章为第四篇，介绍最新发展起来的测量技术、方法和装置：过程软测量技术、模型化测量方法、虚拟仪器和模糊传感器。在过程控制中，一些需要控制的过程变量，在现有的技术条件下难以直接测量或不易快速在线测量。过程软测量技术就是依据生产过程的试验数据，建立被测量参数与影响该参数的其他操作参数之间的数学模型，进行间接测量。本章介绍过程软测量技术的原理方法和实施步骤。模型化测量方法是根据测量过程的所有信息，建立测量系统的数学模型，依据此模型，快速、准确地得到被测量。具体介绍动态称重和畸变电功率测量的实例。虚拟仪器是计算机硬件资源、仪器测 [illegible] 硬件和计算机软件之间的有效结合。本章介绍虚拟仪器的硬件结构、软件结构、图形软件开发平台和应用。模糊传感器是在经典传感器数值测量的基础上，经过模糊推理与知识集成，以自然语言符号描述的形式输出测量结果。本章介绍模糊传感器的基本概念和初步应用。

本书的特点是：

(1) 以自动检测及仪表中信号的获取、调理、处理、通信和显示等为线索来展开各章内容，在章的基础上，归纳为 [illegible] 篇，使得结构体系更为分明。

(2) 内容广泛，涉及面宽，包括传感器、自动化仪表、单片机、信号处理、通信、人机接口，以及新的测量技术。本书既阐述较前沿的应用基础研究，如传感器建模、设计和校正、新测量技术等，又介绍很实用的开发技术，如模拟电路设计、单片机技术、新器件和新软件

应用等。

(猿) 大部分内容是作者科研工作的总结。本书的内容分别以讲座形式或作为有关课程的若干章节,给研究生讲授过。

本书可供从事工业自动化仪表、自动控制工程、仪器仪表、计量测试和计算机应用等专业的科研和工程技术人员参考,也可以作为相应和相关专业研究生专业课的教材和本科生选修课的参考书。

徐科军撰写第一篇、第三篇和第四篇;陈荣保撰写第二篇中的第源章和第缘章;张崇巍撰写第二篇中的第猿章和第远章,并对第二篇进行了修改和补充。本书的出版得到清华大学出版社的支持以及刘明华编审的帮助。书中部分研究成果是在国家自然科学基金、"愿苑"计划和机械工业技术发展基金资助下所做工作的总结。作者所指导的研究生和本科生也参加了部分研究工作。作者还引用了国内外有关专家的文献。在此,一并表示衷心的感谢。由于作者水平有限,书中难免会有不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

作 者

于合肥工业大学自动化研究所

圆园园园年元月

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目录

第一篇

第1章 传感器静态建模和设计 …… 1
1.1 解析建模方法 …… 1
1.1.1 电感式传感器建模 …… 1
1.1.2 差动变压器式传感器建模 …… 8
1.2 数值建模方法 …… 15
1.2.1 扩散硅压阻式压力传感器 …… 15
1.2.2 硅膜片电容压力传感器 …… 20
1.2.3 桥式测力传感器 …… 25
1.2.4 轮辐式传感器 …… 29
1.3 计算机模拟方法 …… 29
1.3.1 容栅传感器简介 …… 29
1.3.2 容栅传感器建模 …… 30
1.4 计算机辅助设计 …… 36
1.4.1 优化设计方法 …… 36
1.4.2 人机对话方式 …… 41
参考文献 …… 43
第2章 传感器动态建模和校正 …… 44
2.1 机理建模方法 …… 44
2.1.1 瞬态响应 …… 44
2.1.2 频率响应 …… 48
2.2 系统辨识建模方法 …… 51
2.2.1 最小二乘模型类和标准格式 …… 51
2.2.2 最小二乘估计原理和正规方程组 …… 53
2.2.3 参数解的表达式及唯一性 …… 53
2.2.4 递推的最小二乘法 …… 54
2.2.5 渐消记忆辨识算法 …… 55
2.2.6 方法小结 …… 55
2.2.7 系统辨识法建模实例 …… 55
2.3 沃尔什变换方法 …… 56
2.3.1 沃尔什函数及变换 …… 56
2.3.2 建模原理 …… 58

5.3.2 响应时间归一化 …… 98
5.3.3 建模步骤 …… 98
5.4 神经元网络方法 …… 102
5.4.1 人工神经网络概述 …… 102
5.4.2 人工神经网络应用要点 …… 103
5.4.3 云模型概述 …… 104
5.4.4 云模型算法 …… 104
5.4.5 云模型动态建模 …… 106
5.5 动态补偿方法 …… 107
5.5.1 零极点配置法 …… 107
5.5.2 系统辨识设计方法 …… 109
5.5.3 云模型方法 …… 109
参考文献 …… 110

第二篇

仪表中的模拟电路设计 …… 112
6.1 运算放大器概述 …… 112
6.1.1 运算放大器符号和封装 …… 112
6.1.2 理想运算放大器与基本放大电路 …… 112
6.1.3 实际运算放大器分析 …… 113
6.2 信号放大电路 …… 117
6.2.1 传感器的测量电路 …… 117
6.2.2 仪表放大器 …… 117
6.2.3 电桥放大器 …… 118
6.2.4 电荷放大器 …… 118
6.3 基本运算电路 …… 119
6.3.1 比例反馈网络比例电路 …… 119
6.3.2 四则运算电路 …… 120
6.3.3 积分和微分电路 …… 120
6.4 有源滤波器 …… 121
6.4.1 基于运算放大器的有源滤波器设计 …… 121
6.4.2 二阶无限增益多路反馈滤波器 …… 121
6.4.3 压控电压源型滤波器 …… 122
6.4.4 双二次型滤波器 …… 122
6.4.5 采用开关电容的集成滤波器 …… 123
6.5 模拟量输出通道 …… 123
6.5.1 电压转电流转换电路 …… 123
6.5.2 集成电压转电流变换器 …… 124

猿援缘 模拟信号的隔离传输 …… 愿远
猿援缘援员 变压器隔离放大器 …… 愿远
猿援缘援圆 线性光电耦合器 …… 愿苑
猿援远 跨导运算放大器及其应用 …… 愿愿
参考文献 …… 愿怨
源 单片机技术在智能仪表中的应用 …… 怨园
源援员 单片机简介 …… 怨园
源援员援员 MCS-51 系列单片机 …… 怨员
源援员援圆 MCS-96(98) 系列单片机 …… 怨圆
源援员援猿 MCS-251 系列单片机 …… 怨远
源援员援源 凌阳 SPCE061A 系列单片机 …… 怨苑
源援员援缘 单片数字信号处理器 …… 怨苑
源援圆 以单片机为核心的最小系统设计 …… 员园园
源援圆援员 存储器和 I/O 接口的扩展 …… 员园园
源援猿 模拟量与数字量之间的转换 …… 员园远
源援猿援员 数模转换 …… 员园远
源援猿援圆 模数转换 …… 员员愿
源援源 人机接口设计 …… 员员员
源援源援员 键盘接口设计 …… 员员圆
源援源援圆 显示接口设计 …… 员员猿
源援源援猿 硬拷贝设备的接口设计 …… 员员缘
源援缘 智能仪表设计的若干问题 …… 员员远
源援缘援员 智能仪表总体设计的考虑 …… 员员远
源援缘援圆 智能仪表的硬件设计 …… 员圆苑
源援缘援猿 智能仪表的软件设计 …… 员圆苑
参考文献 …… 员猿怨
缘 仪表的抗干扰技术 …… 员猿园
缘援员 仪表的干扰现象 …… 员猿园
缘援员援员 干扰现象 …… 员猿园
缘援员援圆 干扰产生的原因 …… 员猿园
缘援员援猿 干扰传播的途径 …… 员猿远
缘援圆 仪表的抗干扰技术 …… 员猿苑
缘援圆援员 电磁兼容性 …… 员猿苑
缘援圆援圆 屏蔽技术 …… 员猿苑
缘援圆援猿 隔离技术 …… 员猿愿
缘援圆援源 接地技术 …… 员猿怨
缘援圆援缘 滤波技术 …… 员源园
缘援圆援远 电路的设计和制作 …… 员源园

缘遥遥遥智能单元的抗干扰技术 …… 员缘员
参考文献 …… 员缘圆
远遥仪表的数字通信技术 …… 员缘缘
远员遥数字通信概述 …… 员缘缘
远圆遥并行数据通信 …… 员缘源
远圆员遥员猿(猿猿)总线 …… 员缘缘
远圆圆遥实时总线 …… 员缘圆
远猿遥串行数据通信 …… 员缘远
远猿员遥串行通信 …… 员缘苑
远猿圆遥与串行通信 …… 员缘愿
远源遥现场总线 …… 员缘怨
远源员遥计算机网络与现场总线控制系统 …… 员缘怨
远源圆遥总线概述 …… 员缘圆
远源猿遥基于的总线网络接口设计 …… 员缘远
参考文献遥 …… 员远缘

第遥三遥篇

苑遥误差修正技术 …… 员远远
苑员遥系统误差的数字修正方法 …… 员远远
苑员员遥利用校正曲线修正系统误差 …… 员远远
苑员圆遥用神经网络修正系统误差 …… 员远怨
苑员猿遥非线性特性的校正方法 …… 员员员
苑圆遥随机误差的数字滤波方法 …… 员员缘
苑圆员遥限幅滤波 …… 员员远
苑圆圆遥中位值滤波 …… 员员远
苑圆猿遥平滑滤波 …… 员员远
苑圆源遥一阶惯性滤波 …… 员员愿
苑圆缘遥复合滤波 …… 员员怨
苑猿遥动态误差的数字修正方法 …… 员员怨
苑猿员遥频域修正法 …… 员员怨
苑猿圆遥数值微分修正法 …… 员圆员猿
参考文献 …… 员圆缘
愿遥信号处理技术 …… 员圆苑
愿员遥周期图法 …… 员圆苑
愿员员遥功率谱估计 …… 员圆苑
愿员圆遥频谱校正方法 …… 员圆愿
愿员猿遥应用举例 …… 员圆圆
愿圆遥最大熵谱分析法 …… 员圆苑

第四篇

第摇一摇篇

第一篇包括第 员章和第 圆章,介绍传感器建模与设计技术。传感器技术是自动检测中的关键技术。传感器是各种仪器仪表和工业自动化装置的核心或关键部件,其性能优劣直接影响整个系统的准确性和快速性。根据被测量是否随时间变化,可以将测量分为静态和动态测量。与之相对应,传感器的特性和性能指标也分为静态和动态特性和性能指标。为了分析传感器的静态和动态特性,为了计算传感器的性能指标,必须建立传感器的数学模型 ;为了提高传感器的性能指标,就必须研究传感器的设计方法。当传感器的性能指标不能满足测量要求,又不能改变传感器的设计或无法找到更合适的传感器时,可采用校正方法。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

员遥传感器静态建模和设计

本章介绍传感器静态模型的建立方法:解析建模方法、数值建模方法、计算机模拟方法,具体结合电感式传感器、差动变压器式传感器、扩散硅压阻式压力传感器、硅膜片电容压力传感器、桥式测力传感器、轮辐式测力传感器和容栅传感器的建模过程来说明上述方法的应用;还介绍传感器计算机辅助设计方法、优化设计方法和人机对话式的设计方法,具体给出电涡流传感器、梳状电容传感器和电感式传感器的设计实例。

员援员 遥解析建模方法

解析建模方法就是根据传感器的工作原理,用一个或多个函数关系式来描述传感器输入量、输出量与结构和参数之间的关系。下面以电感式传感器和差动变压器式传感器为例,来说明解析建模方法。

员援员援员 电感式传感器建模[员]

电感式传感器广泛应用于位移、压力、张力和振动等的测量,其特点是灵敏度高、输出功率较大和测量精度高。差动螺管型电感式传感器的结构如图 员援员援员所示。

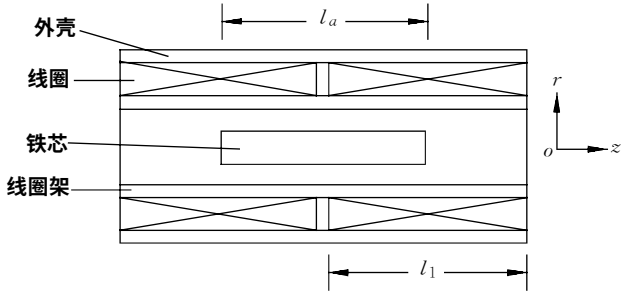


图 员援员援员 差动螺管型电感式传感器结构示意图

传感器轴心线(定为 扎方向)上的磁场为

$$月越月_{员}垣月_{葬}$$

$$越\frac{陨_{员}\mu_{圆}}{圆_{员}}\left[\frac{造_{员}垣扎}{\sqrt{则垣(造_{员}垣扎)^{圆}}}垣\frac{造_{员}原扎}{\sqrt{则垣(造_{员}原扎)^{圆}}}\right]$$

$$摇伊\left\{员垣\frac{\mu_{则}}{圆}\left[\frac{造_{葬辐圈}垣扎}{\sqrt{则垣(造_{葬辐圈}垣扎)^{圆}}}垣\frac{造_{葬辐圈}原扎}{\sqrt{则垣(造_{葬辐圈}原扎)^{圆}}}\right]\right\} \qquad (员援员援员)$$

式中,$月_{员}$为线圈在轴心线上产生的磁场,$月_{葬}$为铁芯磁化所产生的附加磁场,$\mu_{圆}$为真空磁

导率，$\mu_{则}$为相对磁导率，则为线圈的平均半径，则$_{弄}$为铁芯的半径，造$_{员}$为其中一个线圈的轴向长度，宰$_{员}$为其中一个线圈的匝数，造$_{弄}$为铁芯长度。

当铁芯移动 噪扎时，月$_{员}$不变，月$_{弄}$变成 月$_{弄}$′

$$月'_{弄}越\frac{\mu_{则}月_{员}}{圆}\left\{\frac{造_{弄}辊圆垣(扎原噪扎}{\sqrt{则_{弄}垣[造_{弄}辊圆垣(扎原噪扎]^{圆}}}垣\frac{造_{弄}辊圆原(扎原噪扎}{\sqrt{则_{弄}垣[造_{弄}辊圆原(扎原噪扎]^{圆}}}\right\}$$

$$越\frac{\mu_{则}月_{员}}{圆}\left\{\frac{造_{弄}垣圆(扎原噪扎}{\sqrt{渊_{弄}垣[造_{弄}垣圆(扎原噪扎]^{圆}}}垣\frac{造_{弄}原圆(扎原噪扎}{\sqrt{渊_{弄}垣[造_{弄}原圆(扎原噪扎]^{圆}}}\right\} \quad (员)$$

式中，噪为第 噪次位移，Δ扎为每次的位移量。

磁通为

$$\phi 越\phi_{员}垣\phi_{弄}越月_{员}\pi则垣月_{弄}\pi则_{弄} \quad (员)$$

摇摇自感的定义为

$$蕴越\Psi 辕 \quad (员)$$

式中，Ψ为与产生磁场的电流回路交链的磁链，阿为回路的电流。

在磁场中，由铁芯磁化所产生的磁通 $\phi_{弄}$基本上集中在铁芯里，故 $\phi_{弄}$越月$_{弄}\pi则_{弄}$ 同时，求电感时的积分上限为 造$_{弄}$辊圆 由铁芯所增加的这部分电感，因其材料工作在非饱和状态，且与线圈之间有气隙存在，所以，可以认为是线性的：

$$\Psi 越\int_{园}^{造_{员}}\phi_{员}灶噪垣\int_{园}^{造_{弄}辊圆}\phi_{弄}灶噪越\frac{\pi 宰_{员}}{造_{员}}\left(\int_{园}^{造_{员}}月_{员}则_{员}噪垣\int_{园}^{造_{弄}辊圆}月_{弄}则_{弄}噪\right) \quad (员)$$

式中，灶为线圈在轴线方向上单位长度的匝数。

传感器的电感为

$$蕴越\frac{\pi 宰_{员}}{造_{员}}\int_{园}^{造_{员}}\frac{宰_{员}\mu_{园}\pi则_{弄}}{圆造_{员}}\left[\frac{造_{弄}垣扎}{\sqrt{则_{弄}垣(造_{员}垣扎)^{圆}}}垣\frac{造_{弄}原扎}{\sqrt{则_{弄}垣(造_{员}原扎)^{圆}}}\right]噪扎$$

$$摇 垣\frac{\pi 宰_{员}}{造_{员}}\int_{园}^{造_{弄}辊圆}\frac{宰_{员}\mu_{园}\mu_{则}\pi则_{弄}}{圆造_{员}}\left[\frac{造_{弄}垣扎}{\sqrt{则_{弄}垣(造_{员}垣扎)^{圆}}}垣\frac{造_{弄}原扎}{\sqrt{则_{弄}垣(造_{员}原扎)^{圆}}}\right]$$

$$摇 伊\left\{\frac{造_{弄}垣圆(扎原噪扎}{\sqrt{渊_{弄}垣[造_{弄}垣圆(扎原噪扎]^{圆}}}垣\frac{造_{弄}原圆(扎原噪扎}{\sqrt{渊_{弄}垣[造_{弄}原圆(扎原噪扎]^{圆}}}\right\}噪扎 \quad (员)$$

摇摇令 则越(则$_{垒}$垣则$_{煤}$)辊圆又 则$_{垒}$为线圈内半径，则$_{煤}$为线圈外半径，则

$$蕴越\frac{\pi 宰_{员}^{圆}\mu_{园}(则_{垒}垣则_{煤})^{圆}}{源造_{员}}\int_{园}^{造_{员}}\left[\frac{造_{弄}垣扎}{\sqrt{源(造_{员}垣扎)^{圆}垣(则_{垒}垣则_{煤})^{圆}}}垣\frac{造_{弄}原扎}{\sqrt{源(造_{员}原扎)^{圆}垣(则_{垒}垣则_{煤})^{圆}}}\right]噪扎$$

$$垣\frac{\pi 宰_{员}^{圆}\mu_{园}\mu_{则}\pi则_{弄}}{圆造_{员}}\int_{园}^{造_{弄}辊圆}\left[\frac{造_{弄}垣扎}{\sqrt{源(造_{员}垣扎)^{圆}垣(则_{垒}垣则_{煤})^{圆}}}垣\frac{造_{弄}原扎}{\sqrt{源(造_{员}原扎)^{圆}垣(则_{垒}垣则_{煤})^{圆}}}\right]$$

$$伊\left\{\frac{造_{弄}垣圆(扎原噪扎}{\sqrt{渊_{弄}垣[造_{弄}垣圆(扎原噪扎]^{圆}}}垣\frac{造_{弄}原圆(扎原噪扎}{\sqrt{渊_{弄}垣[造_{弄}原圆(扎原噪扎]^{圆}}}\right\}噪扎 \quad (员)$$

员.员.员摇差动变压器式传感器建模[圆]

从原理上讲，上节介绍的差动电感式传感器是利用自感原理来实现非电量测量的，本

节介绍的差动变压器式传感器是利用互感原理来工作的。从结构上讲，差动变压器式传感器的线圈分为初级和次级线圈。从用途上讲，差动电感式传感器相对适用于小量程、高精度的位移测量，而差动变压器式传感器相对适用于大位移测量。差动变压器式传感器（[illegible]）有多种结构形式，本节仅研究螺管式的[illegible]一般常用两种解析方法计算螺管型[illegible]的磁场，下面作一比较。

（1）安培环路定律方法

假设条件：不考虑导磁材料的磁阻；忽略铁磁物质中的磁压降；不考虑铁芯两端的散漏磁通；忽略线圈轴向磁场强度分布的不均匀性。

推导步骤：① 设置磁路路径1经过次级线圈1磁性屏蔽外壳、次级线圈2和铁芯。根据安培环路定律，解出次级线圈中磁感应强度的表达式。② 再设置磁路路径2经过次级线圈2铁芯、初级线圈和磁性屏蔽外壳。根据安培环路定律，解出初级线圈中磁感应强度的表达式。③ 依据铁芯表面总的磁动势为零的条件，求出次级线圈的磁感应强度，它们分别是初级线圈安匝数，铁芯在次级线圈中的轴向长度，铁芯长度，初级线圈轴向长度和线圈内、外半径的函数。④ 由次级线圈的磁感应强度，求出其磁链。⑤ 求出次级线圈的感应电势。最后，求出输出电压。它是激励电流、初级线圈匝数、初级线圈轴向长度、次级线圈匝数、次级线圈轴向长度、铁芯在次级线圈中的轴向长度、铁芯长度和线圈内、外半径的函数。

特点：① 计入磁场径向的不均匀性，但忽略了轴向的不均匀性；② 考虑了磁屏蔽外壳的作用；③ 在输出表达式中，无法体现铁芯半径大小的作用和影响。

（2）毕奥-萨伐尔-拉普拉斯定律方法

假设条件：忽略磁场在径向上的不均匀，即仅计算线圈轴心上的磁场。将铁芯磁化后的磁场近似作为线性场处理。

推导步骤：① 根据差动变压器式传感器基于互感变化的原理，画出等效电路图，推导出电压与互感变化及激励电流的函数关系；② 根据毕奥-萨伐尔-拉普拉斯定律，计算出初、次级线圈所产生的磁场的磁感应强度；③ 计算铁芯磁化的磁感应强度，并将此附加磁场和激励磁场相加，形成总磁场；④ 根据互感定义，计算互感；⑤ 计算铁芯移动与互感变化的关系。再代回第①步，得到输出电压表达式。它是初级线圈轴向长度、初级线圈匝数、次级线圈轴向长度、次级线圈匝数、铁芯长度、半径、磁导率、线圈平均半径和激励电流的函数。

特点：① 计入磁场轴向的不均匀性，但忽略了径向的不均匀性；② 反映出铁芯半径大小的影响；③ 计算两段式方便。

下面采用方法（2）具体分析三段式螺管型[illegible]的磁场，给出数学模型。其结构如图1.3.2所示，因为由对称地置于初级线圈两侧的两个同轴次级线圈组成，故称三段式。

初级线圈由正弦电流激励，可沿[illegible]轴线移动的铁芯改变传感器的磁场分布，导致初、次级线圈之间的互感发生变化，即互感是铁芯位移的函数：

[illegible]　　(1.3.1)

摇摇将坐标原点选在初、次级线圈的中点，由初级线圈和处于中间位置的铁芯所产生的磁感应强度为

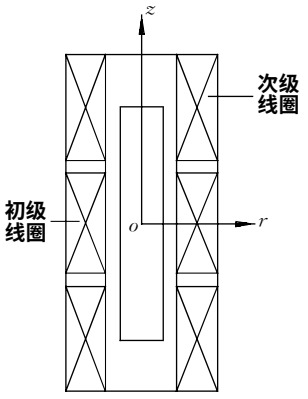
·

月越月员 垣月葬

越隔宰员 圆μ园 圆凿 [凿辖圆垣扎 / 则 垣 (凿辖圆垣扎)圆 垣 凿辖圆原扎 / 则 垣 (凿辖圆原扎)圆]

摇 伊 { 员垣μ则 圆 [凿辖圆垣扎 / 则 垣 (凿辖圆垣扎)圆 垣 凿辖圆原扎 / 则 垣 (凿辖圆原扎)圆] }

(员灾灾)



式中，月员是初级线圈的磁感应强度，月葬是铁芯的磁感应强度，宰员是初级线圈匝数，凿是初级线圈轴向长度。

当铁芯移动了 Δ扎月员不变，月葬变成 月葬′

月′葬 越 μ则 圆 月员 { 凿垣圆(扎原Δ扎 / 源则 垣 [凿垣圆(扎原Δ扎)圆 垣 凿原圆(扎原Δ扎 / 源则 垣 [凿垣圆(扎原Δ扎)圆 }

图 员灾灾 摇 缝次级线结构示意图

(员灾灾)

在线性媒质中，互感系数定义为

$$\phi_{圆圆} = 酝 I_{员} \tag{员灾灾}$$

式中，$\phi_{圆圆}$为回路 员中电流 隙员所产生的穿过回路 圆的磁通量，酝为互感系数。

设磁场在径向是均匀的，两个次级线圈匝数相等，磁路对称，两个次级线圈对初级线圈的互感为

$$酝(扎 越 \frac{\pi 宰_{员} 宰_{圆} \mu_{园}}{圆凿} \int_{凿圆垣}^{凿圆垣} 则 \int_{凿垣圆}^{凿垣圆} [凿辖圆垣扎 / 则 垣 (凿辖圆垣扎)圆 垣 凿辖圆原扎 / 则 垣 (凿辖圆原扎)圆] 凿扎$$

$$垣 \frac{\pi 宰_{员} 宰_{圆} \mu_{园} 则}{源凿} \int_{凿圆垣}^{凿圆垣} 则 \int_{凿垣圆}^{凿垣圆} [凿辖圆垣扎 / 则 垣 (凿辖圆垣扎)圆 垣 凿辖圆原扎 / 则 垣 (凿辖圆原扎)圆]$$

$$伊 [凿辖圆垣扎 / 则 垣 (凿辖圆垣扎)圆 垣 凿辖圆原扎 / 则 垣 (凿辖圆原扎)圆] 凿扎 \tag{员灾灾}$$

式中，宰圆为次级线圈匝数，凿为次级线圈长度，δ 为初、次级线圈在轴向上的间距。当铁芯移动 噪扎后，互感变为

$$酝(扎原噪扎 越 \frac{\pi 宰_{员} 宰_{圆} \mu_{园}}{圆凿} \int_{凿圆垣}^{凿圆垣} 则 \int_{凿垣圆}^{凿垣圆} [凿辖圆垣扎 / 则 垣 (凿辖圆垣扎)圆 垣 凿辖圆原扎 / 则 垣 (凿辖圆原扎)圆] 凿扎$$

$$垣 \frac{\pi 宰_{员} 宰_{圆} \mu_{园} 则}{源凿} \int_{凿圆垣}^{凿圆垣} 则 \int_{凿垣圆}^{凿垣圆} [凿辖圆垣扎 / 则 垣 (凿辖圆垣扎)圆 垣 凿辖圆原扎 / 则 垣 (凿辖圆原扎)圆]$$

$$伊 { 凿辖圆垣(扎原噪扎 / 源则 垣 [凿辖圆垣(扎原噪扎)圆 垣 凿辖原圆(扎原噪扎 / 源则 垣 [凿辖原圆(扎原噪扎)圆 } 凿扎$$

(员灾灾)

式中，噪为第 噪次位移，噪越员，员，…，运

为了设计方便，将线圈平均半径变换成内半径 则和外半径 则，即

$$则越 (则垣则) \quad 辖圆 \tag{员灾灾}$$

摇摇这样，式 (员灾灾) 变为

酝(扎原噪扎越$\frac{宰_{员}宰_{圆}\mu_{园}\pi}{愿_{员}造_{圆}}$(则垣则)$^{圆}\int$云(扎凿扎垣$\frac{宰_{员}宰_{圆}\mu_{园}\mu_{则}\Gamma}{源_{员}造_{圆}}$则$\int$云(扎匀(扎凿扎　(员

式中,积分上、下限与式(员)相同:

$$云(扎越\frac{造_{员}垣_{圆}扎}{\sqrt{(则_{垣}则_{燥})^{圆}垣(造_{员}垣_{圆}扎)^{圆}}}垣\frac{造_{员}原_{圆}扎}{\sqrt{(则_{垣}则_{燥})^{圆}垣(造_{员}原_{圆}扎)^{圆}}}$$

$$匀(扎越\frac{造_{宰}垣_{圆}(扎原噪扎}{\sqrt{源_{则}则_{算}垣[造_{宰}垣_{圆}(扎原噪扎]^{圆}}}垣\frac{造_{宰}原_{圆}(扎原噪扎}{\sqrt{源_{则}则_{算}垣[造_{宰}原_{圆}(扎原噪扎]^{圆}}}$$

摇摇根据 π 型的等效电路,其输出电势与互感成正比,所以,就分析线性度和灵敏度指标而言,仅计算互感就可解决问题了。

以上的互感是用轴线上的磁感应强度求磁通而算出的。实际上,径向上的磁感应强度是不均匀的。此外,以上的互感是单层线圈的情况,当线圈层数多时,磁场必然增强。我们提出用两个平均系数 $\xi_{员}$ 和 $\xi_{圆}$ 来处理这些情况。

$$\begin{cases}\xi_{员}越(员原则_{垣}则_{燥})\\ \xi_{圆}越则_{算}则_{垣}\end{cases}$$　(员

互感变为

酝(扎原噪扎越$\frac{\xi_{员}宰_{员}宰_{圆}\mu_{园}\pi}{愿_{员}造_{圆}}$(则垣则)$_{燥}\int$云(扎凿扎垣$\frac{\xi_{员}\xi_{圆}宰_{员}宰_{圆}\mu_{园}\mu_{则}\Gamma}{源_{员}造_{圆}}$则$\int$云(扎匀(扎凿扎

(员

员 摇数值建模方法

解析建模方法的缺点是要对实际情况作较大的简化,或仅能分析一些特殊的情况。当传感器的结构比较复杂,或要求分析得比较准确和细致时,可以采用数值方法,例如,有限差分法、有限元法和边界元法等。下面介绍用有限元法建立几种力传感器数学模型的例子。

员 摇扩散硅压阻式压力传感器

员 摇问题的提出

摇摇人们大多依据弹性薄板力学原理,用解析方法分析扩散硅压阻式压力传感器的工作原理。这存在一定的局限,无法考虑以下问题的影响。

(员) 电阻条宽度

当受压时,硅膜片上各点的应力不同。解析法计算电阻条上应力的平均值为

$$\begin{cases}\sigma_{则}越\int_{则_{燥}}^{则_{凿}}\sigma_{则}(则凿则)/\int_{则_{燥}}^{则_{凿}}凿则\\ \sigma_{贼}越\int_{则_{燥}}^{则_{凿}}\sigma_{贼}(则凿则)/\int_{则_{燥}}^{则_{凿}}凿则\end{cases}$$　(员

式中,$\sigma_{则}$ $\sigma_{贼}$ 为径向和切向电阻条上应力的平均值;$则_{员}$ $则_{圆}$ 为硅杯中心到电阻条两端的半径。式(员)把电阻条视为一条线段,不考虑其宽度。而大多数电阻条均采用条宽为数微米至数百微米的 π 型或三折型结构图案,因此,实际感受的应力是电阻条所在区域

的平均应力，而不是一条线段上的平均应力。

(圆 厚度不均匀

硅杯通常是由从单晶棒上切割下来、厚度稍大于硅杯厚度的硅片制成。凹孔采用金刚钻粗加工，再用化学腐蚀减薄。在实际加工中，不可能保证膜片的厚度绝对均匀一致，厚度最大变化量可达 依圆皂。

(猿 倒角现象

在钻孔加工中，硅杯会出现倒角现象。杯体和膜片连接处的倒角，造成局部应力集中，使膜片的工作特性发生变化。

(源 弹性薄板原理没有考虑到板的横向剪切变形。

员遭遭遭遥研究对象

本节依据弹性厚板原理，采用等参元素法分析扩散硅压阻式压力传感器。以安徽省电子科学研究所研制的 运耘型员型压力传感器为具体研究对象，其硅杯的直径为 愿皂，膜片的直径为 源皂，厚度 则为

$$则 越 葬\sqrt{责/(圆\sigma_{园})} \qquad (员遭圆)$$

式中，葬为膜片半径，责为压力，$\sigma_{园}$为膜片中心处的应力。厚度的选取原则是保证膜片工作在小挠度情况下。

根据阻值 员~ 圆缘Ω 的要求及光刻、制版条件，电阻长度选为 员猿园皂，电阻宽度为 圆园皂，折成三折，电阻条之间间隔为 圆园皂。膜片采用 (员员园) 晶面，电阻条沿 〈员员园〉 晶向排列，如图 员遭圆所示。各电阻的压阻系数为 园援缘猿$\pi_{源}$，$\pi_{源}$为剪切压阻系数，弹性模量 耘取为 员援苑伊员园^{员缘}缘辕糟皂^{圆}，泊松比 γ 取 园援猿

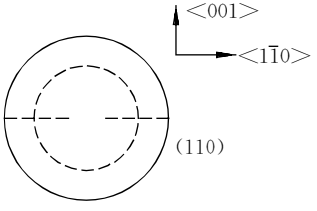


图 员遭猿遥电阻条排列示意图

各电阻阻值的变化由电桥转换成电压输出：

$$载_{燥} 越 \frac{砸_{员}砸_{猿}原砸_{圆}砸_{源}}{(砸_{员}垣砸_{圆})(砸_{猿}垣砸_{源})} 载_{蚤} \qquad (员遭源)$$

遥遥当 源个电阻都承受应变，则

$$砸_{员}\rightarrow 砸_{员}垣\Delta 砸_{员},遥砸_{圆}\rightarrow 砸_{圆}垣\Delta 砸_{圆},遥砸_{猿}\rightarrow 砸_{猿}垣\Delta 砸_{猿},遥砸_{源}\rightarrow 砸_{源}垣\Delta 砸_{源}$$

并取 $砸_{员}越砸_{圆}越砸_{猿}越砸_{源}越砸$，可得

$$载_{燥} 越 \frac{(\Delta 砸_{员}原\Delta 砸_{圆}垣\Delta 砸_{猿}原\Delta 砸_{源})}{源员垣园援缘(\Delta 砸_{员}垣\Delta 砸_{圆}垣\Delta 砸_{猿}垣\Delta 砸_{源})} 载_{蚤} \qquad (员遭愿)$$

因 $(\Delta 砸_{则}越园援缘\pi_{源}\sigma_{则}$，$\sigma_{则}$为径向应力。又设

$$\begin{cases} \Delta 砸_{员}越\Delta 砸_{猿}越园援缘\pi_{源}\bar{\sigma}_{垣} \\ \Delta 砸_{圆}越\Delta 砸_{源}越园援缘\pi_{源}\bar{\sigma}_{原} \end{cases} \qquad (员遭怨)$$

式中，$\bar{\sigma}$ 径向应力，下标“垣”、“原”表示方向，则可推出

$$载_{燥} 越 \frac{载_{蚤}圆(\Delta 砸_{垣}垣\Delta 砸_{原})}{源员垣园援缘\pi_{源}(垣\bar{\sigma}_{垣}原\bar{\sigma}_{原})} 越 \frac{载_{蚤}}{圆园援缘\pi_{源}}\cdot\frac{\bar{\sigma}_{垣}原\bar{\sigma}_{原}}{垣\sigma_{垣}原\sigma_{原}} \qquad (员猿园)$$

在此式中已考虑了电桥的非线性因素。

需要全本请访问 www.ertongbook.com