

HZ BOOKS
华夏教育

高等院校电工电子技术规划教材

教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会规划教材

普通高等院校“十三五”规划教材

SENSOR PRACTICAL OPERATING
WITH VIRTUAL INSTRUMENT

基于虚拟仪器的 传感器实践

孙晓华 刘晓晖 乌江 编著 刘晔 主审



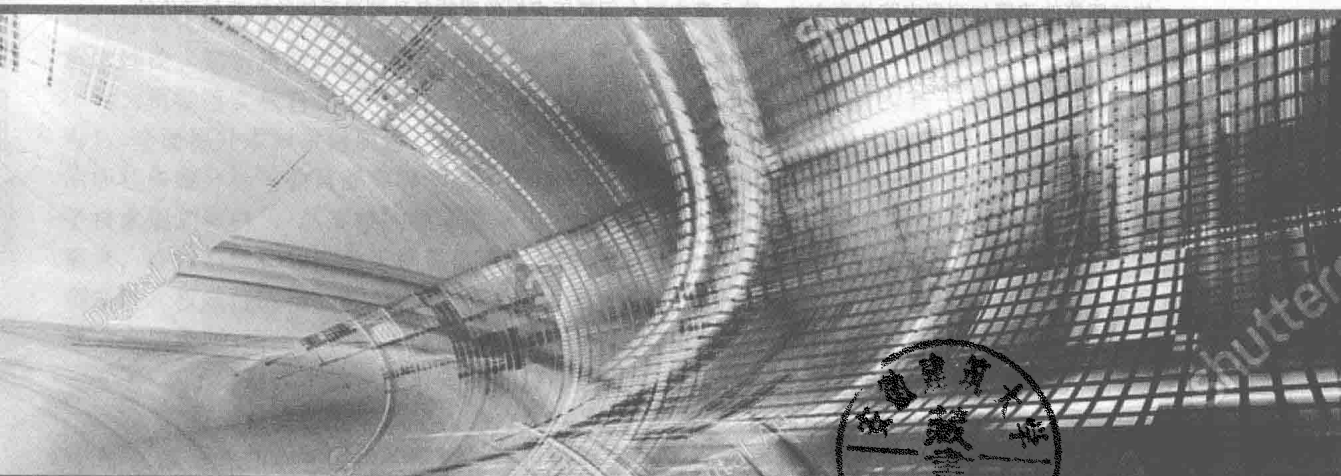
机械工业出版社
China Machine Press

高等院校电工电子技术规划教材 (CIP) 数据查询系统

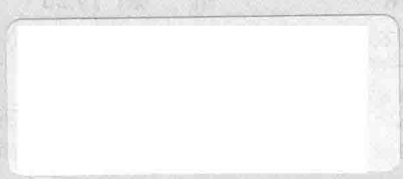
教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会规划教材

普通高等院校“十三五”规划教材

基于虚拟仪器的 传感器实践



孙晓华 刘晓晖 乌江编 著
刘晔 主审



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

基于虚拟仪器的传感器实践 / 孙晓华, 刘晓晖, 乌江编著. —北京: 机械工业出版社, 2017.10

(高等院校电工电子技术规划教材)

ISBN 978-7-111-58383-7

I. 基… II. ①孙… ②刘… ③乌… III. 传感器—高等学校—教材 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 260751 号

本书整合了传感器测试技术、LabVIEW 编程设计、基于 Multisim 的电路设计与仿真、测试系统集成和拓展等相关内容, 依据“基础实践”“设计应用”和“综合拓展”三大模块呈现全部实践、设计和系统案例。第 1 章主要涉及常用基本物理量的测量方法及相应传感器介绍; 第 2 章主要介绍虚拟仪器 LabVIEW 2015 与 Multisim 13 两款仿真软件的使用方法, 以及数据采集系统与 NI 数据采集设备; 第 3 章主要介绍基于 LabVIEW 仿真软件的测量系统设计方法; 第 4 章主要介绍如电阻应变片、霍尔传感器等的建模与测量电路仿真方法; 第 5 章主要介绍基于虚拟仪器的各种测量系统的构建与评价的案例。

本书可作为高等院校学生实践环节的教材, 也可供工程技术人员参考。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 余洁

责任校对: 殷虹

印刷: 北京文昌阁彩色印刷有限责任公司

版次: 2017 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 185mm × 260mm 1/16

印张: 19.25

书号: ISBN 978-7-111-58383-7

定价: 49.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光/邹晓东

出版说明

随着科学技术迅猛发展,电子计算机和大规模集成电路广泛应用影响着相关行业的发展,信息化正在改造传统行业。工科院校的学生除了要熟练掌握本专业的知识外,还应具有跨学科合作及综合解决实际问题的能力,具有集成最新技术和全面驾驭现代企业的能力。电子信息技术的发展对国民经济、国防等各个领域产生着日益深入的影响,当前高等教育所呈现出的基础化和综合化的发展趋势,工程教育认证对电类和非电类专业学生提出了要求:学生掌握电学的基本理论、知识技能,为后续各门专业基础课和专业课打下基础。

为贯彻落实教育部关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见(教高[2011]5号),全面提升本科教材质量,充分发挥教材在提高人才培养质量中的基础性作用,机械工业出版社华章分社与教育部高等学校电工电子基础课教学指导委员会一起建设“高等院校电工电子技术规划教材”,从高校的教学改革出发,满足电类和非电类学生对电类理论知识和应用的需求,在对电类和非电类工程基础课程体系和教学内容深入研讨的基础上,建设具有先进性、创新性、权威性的精品教材和教学资源体系,使这套教材成为“立足专业规范,面向新需求,成就高质量”的精品。该系列规划教材的指导思想和编写特色如下:

- 电子信息技术的发展对国民经济、国防等各个领域产生着日益深入的影响,当前高等教育所呈现出的基础化和综合化的发展趋势。从高校的教学改革出发,满足学生对电类理论知识和应用的需求,注重培养学生工程素质,注重知识的实用性和先进性的编写原则;反映国内最先进的教学成果;要求基础理论与工程实例、实践教学紧密结合。
- 本着体现现代电子科学技术的发展,依据不同专业的教学与就业需求、学时需求及实践环节的需求,既体现电类技术基础课程的特点,注重概念原理的物理实现,又与学科的最新发展动向和先进应用技术结合,力求适于教师教学、便于学生学习,体现现代化教学手段。

为做好该系列规划教材的编写出版工作,在教育部高等学校电工电子基础课教指委指导下,成立了“高等院校电工电子技术规划教材编审委员会”,力图从根本上保证教材的质量。我们将在今后的出版工作中广泛征询和听取一线教师的反馈意见和建议,逐步改进和完善该系列规划教材,积极推动高等院校教学改革和教材建设。

机械工业出版社华章分社

高等院校电工电子技术规划教材

编审委员会

主任委员：王志功(东南大学)

副主任委员：

吴建强(哈尔滨工业大学)

陈后金(北京交通大学)

王 萍(天津大学)

张晓林(北京航空航天大学)

田作华(上海交通大学)

史国栋(常州大学)

邓建国(西安交通大学)

曾孝平(重庆大学)

孟 桥(东南大学)

戴先中(东南大学)

委 员(按姓氏笔画排序)

王成华(南京航空航天大学) 王黎明(中北大学)

冯文全(北京航空航天大学) 田慕琴(太原理工大学)

史仪凯(西北工业大学) 刘 晔(西安交通大学)

朱如鹏(南京航空航天大学) 李 辉(西北工业大学)

姚纓英(浙江大学) 姚福安(山东大学)

贾民平(东南大学) 殷瑞祥(华南理工大学)

谢明元(成都信息工程学院) 潘 岚(中国计量学院)

颜秋蓉(华中科技大学) 黎福海(湖南大学)

梅雪松(西安交通大学) 王 颖(机械工业出版社华章分社)

前 言

实践能力是研究生培养质量的重要指标，是研究生自主创新能力培养的基础。西安交通大学“非电量测量技术”课程是面向工科硕士研究生开设的校级公共基础课程和学位课程，开设于1983年。30多年来，“非电量测量技术”课程形成了内容丰富、实践性强、受益面广和深受学生欢迎的特色，为培养学生传感器技术和测量系统的研究、设计和应用能力提供了重要的理论和实践支撑。

当今传感器技术的发展突飞猛进，为配合学校“双一流”建设，我们不断加强和深入课程教育教学改革，不断加强课程建设和教学手段改革，将电气信息和电子信息的最新理论和技术融入课程，充分反映学科发展趋势。为了不断提高实践教学质量，在重塑原有实验内容的基础上，将虚拟仪器技术与实验教学体系有机地结合起来，进行了卓有成效的实验教学改革，开设了基于虚拟仪器技术的设计、应用和综合拓展等大量实验项目。

本书根据工科硕士研究生的特点和专业需求，特别是非电类工科学生的特点，在编写过程中注重以学生为主体，以学生自主学习为基调，以研究生创新能力培养为主线，研究、设计和完成实验教学；将传感器测试技术、LabVIEW 编程设计、基于 Multisim 的电路设计与仿真^①、测试系统集成和拓展等实验项目有机融合，通过创建“基础实践”“设计应用”和“综合拓展”的模块式、阶段式、渐进式、互动式的实践过程设计，强力支撑学生创新能力的实践和培养。同时，以基本实验能力的养成为基础，将多种方法和手段融入实验教学中，激发了学生自主学习、自主实践、自主设计和自主拓展的积极性和主观能动性，提高了学生分析和解决工程实际问题的能力，培养了学生测试系统的构建和研发能力。

本书内容丰富而全面，所有例子和程序均通过实验验证，兼顾了代表性、实用性和先进性。编排按照先易后难、由浅入深、先基础后设计再综合的顺序进行，结构清晰，便于各个院校选用。

本书由孙晓华、刘晓晖和乌江编写。刘晔教授作为主审，对全书进行了细致严谨的审阅，提出了宝贵的意见和建议。研究生焦朝勇和原晓楠等参与了电路仿真和实验验证工作。书稿的撰写得到了美国国家仪器(中国)有限公司大学计划部的徐征工程师和刘晋东工程师的大力支持。作者向所有关心和支持本书工作的单位和个人致以诚挚的谢意！

本书基于虚拟仪器技术，力图解决传感器理论、技术、应用及系统教学和实践中的问题。但是，传感器技术的发展日新月异，加之作者水平和实践经验有限，书中定有不少疏漏和不足之处，敬请批评指正。

1. 实践教学目的

本书结合非电量电测技术中各种传感器实验教学平台，将虚拟仪器技术作为实践辅助工具，开展内容丰富、形式多样、由浅入深、具有实用性的传感器技术实践，其教学应该达到以

^① 因本书采用电路仿真软件、电路图上的器件符号与国家标准有不同之处，特此说明。——编辑注

下目的:

(1) 培养自主实践的能力

在不断提升对实验探究兴趣的同时,用严谨的科学态度和讲求实事求是的作风,要求学生自己动手主动实践。在学习的过程中,强化学生对实验仪器原理的理解和测量方法的掌握,夯实学生非电量电测技术的基础知识。

(2) 培养自主学习的能力

突破书本教学的传统方式,结合虚拟仪器技术,把实验内容图形化,并设置仿真、实测等互动式学习环节,学生在协同互动教学条件下自主高效地学习,培养学生自主学习的能力。

(3) 培养自主设计的能力

通过在提供的教学实验平台和虚拟仪器仿真平台上的训练,学生编写 LabVIEW 程序和设置 Multisim 中不同的参数,比较输出结果与理论值的差异,找出最合理参数与最优结果的关系,提高学生对不同规律的敏感性,培养学生敏锐发现问题的能力。

(4) 培养自主应用的能力

通过提供的应用实例,结合学生在训练中学习的局部实验环节和局部软件功能模块,实验教学给学生提出特定的实验问题,或带有综合性知识的实验任务,学生集成自己所学的知识,自主完成实验任务,达到培养学生解决问题、灵活应用的能力。

(5) 培养自主拓展的能力

给学生提供多个可选择的实验任务,或学生自主命题,根据测量对象和选题,自主提出组建测量系统的方案,选择合适的传感器,对所搭建的调理电路参数具有分析和选择能力,通过测试数据完成对系统性能的评价,最终达到培养学生解决问题、举一反三和学以致用能力。

2. 实践教学要求

(1) 实践预习要求

传感器技术实践要求单人单组独立完成,因此实验预习的充分程度是实验能否顺利进行的前提。实验预习的内容包括:

1) 通过阅读实验教材、课程教材和有关参考书,明确实验目的、步骤和要求,深入理解实验原理和测量方法。

2) 熟悉传感器结构和调理电路,了解电路使用之器件、集成电路型号和参数。

3) 列出测量数据表格和要观察的现象,初步估算或分析实验结果,了解实验中的注意事项。

4) 熟悉实验中通用和专用实验设备的性能及其使用方法。

(2) 实践操作要求

实践过程是培养学生实践能力的重要环节,也是决定实验成败的关键。实验中应注意以下几个环节:

1) 良好的安全操作习惯。

- 对于实验者来说,首先观察各种传感器的结构和接线方式,再根据实验电路的特点,按先传感器后调理电路的步骤进行连线。较为简单的调理电路可以按照先接串联主回路,后并接入其他支路的方法进行。若有集成元件电路,以集成元件为中心,先按引脚节点连线,再连接其他元件。最后,连接输入输出仪器仪表时,应注意仪器仪表的极性、同名端和公共参考点的正确连接。

- 接线时应尽量避免导线之间的相互缠绕和交叉,尽量减少各个接线端子或插孔的松动或脱落现象,保证电路各部分接触良好。

- 在实验接线、改线或拆线时,无论是强电或弱电回路,应确保传感器和电路均为断电。

- 接线完毕,需认真检查以确保实验线路以及电路参数调整无误后,方可接通电源。操作

时,若发现实验仪器仪表或实验电路出现过热、异味、异响、火花等,应立即切断电源,请指导教师进行检查。

- 注意仪器仪表使用允许的安全量程,在未知被测量大小时,应从仪表的最大量程开始,逐步减小量程进行测试。指针仪表读取数据时,应保证仪表的指针、刻度线和指针镜中影像三线重一,尽量准确地估算读数。
- 严禁将两种或两种以上输出设备的输出线进行连接。例如,直流稳压电源与函数发生器、直流稳压电源与交流功率源之间。若贸然操作烧毁仪器仪表,则需根据实际情况酌情赔偿。

2) 实验数据记录。

根据实验步骤和要求,通过调节非电类物理量或输入设备,先定性地观察实验现象和数据分布趋势是否与预期结果一致,再定量地对数据进行逐一测量,依据实际情况随时调整。实验数据可记录在已绘制好的表格中,同时记录使用仪器仪表的相关量程或倍率,酌情记录数据个数,以确保后续数据处理的连续性和便利性。

3) 实验结果检查。

测试完毕后,应仔细检查实验数据的完整性,及时找出不合理或遗漏的数据,尽早补救。最后交指导教师审阅签字后,方可拆除线路,将实验仪器、实验装置、传感器、导线等整齐,复原归位。

4) 实验报告要求。

通过编写实验报告和整理实验数据,以及对本次实验工作的总结,可以进一步加深对所学理论知识的理解,凝练出自主实践的实验方法。实验报告要求文字简洁通顺,数据表格、图表图形清晰齐全,书写规范整洁,结论要有科学依据和分析过程。实验报告的具体内容包括:

- 实验日期和地点。
- 实验名称和实验目的。
- 实验原理与说明简述。
- 实验电路图与实验仪器仪表型号、规格。
- 实验步骤及任务。
- 实验数据、数据处理过程和步骤。
- 误差分析。
- 实验结论与心得体会。
- 附录:经指导教师签字后的实验原始数据记录。

3. 实践教学模式

实验室实验平台采用灵活开放式预约的方式,根据实验内容要求,先通过必做的基础实践实验掌握实验设备的使用、传感器特性测试方法、虚拟仪器编程设计方法,以及传感器调理电路设计仿真的方法;再依据科研方向,选做感兴趣的传感器实验;最后通过选做,构建一个综合拓展实验系统,将虚拟仪器、传感器技术、调理电路有机结合,构成完整的测试系统,并实现系统标定和性能评价等功能。

实践操作总学时为 36 学时,每个选做的基础实验和设计应用实验均为 4 学时,每个选做的综合拓展实验为 8 学时。推荐常用实践学时分配模式见表 1。学生也可以根据自身掌握知识的情况,以及后续科研发展的需要,与指导教师商议对学时稍作调整。实验室根据实验设备的数量实行大循环式的实验安排,推荐的教学和实验流程为:课堂授课→学生在实验网站选择实验和预约时间→授课完毕后进入实验室→提交实验预习报告→先必做实验→再选做实验→最后综合拓展实验→提交实验报告→根据考核方式给出实验成绩(强化实验操作环节)。

表1 推荐常用实践操作学时分配模式

序号	必做实验	选做实验	综合拓展实验	备注
1	1.1、1.2、3.1、3.2、3.3节(20学时)	1.3~1.12节、3.4~3.6节和4.1~4.8节任选两节(8学时)	5.1~5.17节任选一节(8学时)	未掌握虚拟仪器设计的同学
2	1.1节或1.2节任选一节(4学时)	1.3~1.12节、3.4~3.6节和4.1~4.8节任选六节(24学时)	5.1~5.17节任选一节(8学时)	熟练掌握虚拟仪器设计的同学
3	1.1节或1.2节任选一节(4学时)	1.3~1.12节、3.4~3.6节和4.1~4.8节任选四节(16学时)	5.1~5.17节任选两节(16学时)	熟练掌握虚拟仪器设计和系统设计的同学

4. 实践考核方法

实践成绩满分为60分,占总成绩的60%。实践预习报告和实际操作是评定实践成绩的重要部分,学生进入实验室需要提交实践预习报告;课程注重过程考核,通过操作过程中传感器和调理电路连接、实验设备使用、测量步骤和方法、实验测量结果等方面,来综合评价学生实践预习程度和实际操作过程成绩。以表1中的推荐常用实践操作学时分配模式1为例,实践成绩考核分配见表2,其中3.1~3.3节实验仅有实践操作分数。对于其他模式可以按照模式1进行重新分配,总分不变。

总实践成绩由所有的实践操作成绩和报告成绩综合确定。

表2 实践操作学时分配模式1的实践成绩考核分配

实践成绩: 60分	实践操作: 36分	必做和选做实验: $4 \times 7 = 28$ 分
		综合拓展实验: 8分
	实践报告: 24分	必做和选做实验: $4 \times 4 = 16$ 分
		综合拓展实验: 8分

如发现实践预习报告或者实践报告有抄袭现象,无论是否为报告原创者,所有雷同的报告都要重写。对于态度不端正者,实践成绩以不及格处理。

编者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 基础实践 1

- 1.1 转速的测量 1
- 1.2 电信号的测量 4
- 1.3 光强调制式光纤位移传感器特性测试 12
- 1.4 电阻应变片传感器特性和应变测试 13
- 1.5 电感和电容传感器特性测试 17
- 1.6 显示记录仪器特性和温度传感器时间常数测试 21
- 1.7 电涡流传感器的静态标定及振幅测量 26
- 1.8 热敏电阻温度与频率转换电路的应用 28
- 1.9 爱泼斯坦方圈铁损耗的测量 31
- 1.10 数字显示多温度传感器测温 35
- 1.11 小型压缩机系统动静态压力、温度和转速的测试 40
- 1.12 压电传感器测量加速度、速度和位移 46

第 2 章 虚拟仪器工具设计编程简介 48

- 2.1 LabVIEW 开发环境简介 48
 - 2.1.1 LabVIEW 简介 48
 - 2.1.2 LabVIEW 软件的安装与启动 49
 - 2.1.3 前面板 51
 - 2.1.4 程序框图 51
 - 2.1.5 LabVIEW 程序运行与调试技术 54
 - 2.1.6 LabVIEW 数据流的

- 理解 56
- 2.1.7 程序框图中的条件结构和循环结构 56
- 2.1.8 数组与簇 57
- 2.1.9 波形显示控件 61
- 2.1.10 子 VI 64
- 2.1.11 MathScript 节点 66
- 2.2 Multisim 13 开发环境简介 67
 - 2.2.1 Multisim 13 发展历程与特点 67
 - 2.2.2 Multisim 13 安装方法 69
 - 2.2.3 Multisim 13 用户界面 70
 - 2.2.4 Multisim 13 电路仿真方法 73
 - 2.2.5 Multisim 13 电路仿真实例 78
- 2.3 数据采集系统与 NI 数据采集设备 80
 - 2.3.1 数据采集原理与采集测量系统组成 80
 - 2.3.2 NI myDAQ 便携式学生实验平台简介 83
 - 2.3.3 NI myDAQ 虚拟仪器软件前面板 86
- 2.4 模拟信号不同输出模式和测量系统接线方式 91

第 3 章 虚拟仪器设计应用实践 94

- 3.1 LabVIEW 基础设计 94
 - 3.1.1 模拟温度测量 94
 - 3.1.2 温度的实时采集与显示 96
 - 3.1.3 温度测量与分析 97
 - 3.1.4 具有报警功能的温度测量 101
 - 3.1.5 具有数据保存功能的温度测量 104

3.2 LabVIEW 的信号采集	105	4.3 热电偶冷端补偿测温电路 设计与仿真	192
3.2.1 采样定理验证和采样频率 选择	105	4.3.1 设计任务	192
3.2.2 量程范围和分辨率的 选择	106	4.3.2 模型建立与电路设计	192
3.2.3 仿真所需数据采集设备	109	4.3.3 测温电路综合仿真	194
3.2.4 基于 NI MAX 的设备自检 和采集任务创建	111	4.4 铂电阻测温电路设计与仿真	198
3.2.5 基于 DAQ 助手的数据 采集	113	4.4.1 设计任务	198
3.2.6 基于 NI-DAQmx API 的 数据采集	116	4.4.2 模型建立	198
3.2.7 基于 DAQ 助手的模拟 输出	121	4.4.3 恒压式铂电阻测温电路 的设计与仿真	199
3.2.8 基于 NI-DAQmx API 的 模拟输出	123	4.4.4 电桥式铂电阻测温电路 的设计与仿真	207
3.2.9 基于 MAX 和 NI-DAQmx API 的数字输入输出	126	4.4.5 双恒流源式铂电阻测温 电路的设计与仿真	210
3.3 LabVIEW 信号分析与处理	130	4.5 电感传感器测距电路设计与 仿真	213
3.3.1 仿真信号产生与时域 分析	130	4.5.1 设计任务	213
3.3.2 信号的频谱分析	132	4.5.2 模型建立	214
3.3.3 数字滤波器设计	137	4.5.3 测距电路设计与仿真	214
3.3.4 曲线拟合和非线性拟合	142	4.6 电容传感器测距电路设计与 仿真	220
3.4 基于 GPIB 接口的仪器控制 测量系统	147	4.6.1 设计任务	220
3.5 基于 LabVIEW 软磁材料交流 磁特性自动测试	159	4.6.2 模型建立	221
3.6 模拟滤波器设计和特性测试 及数字滤波器类型比较	166	4.6.3 测距电路的设计与仿真	221
第 4 章 传感器建模和调理电路设计 与仿真	176	4.7 压力传感器压力测量电路 设计与仿真	226
4.1 电阻应变片称重电路设计与 仿真	176	4.7.1 设计任务	226
4.1.1 设计任务	176	4.7.2 模型建立与电路设计	226
4.1.2 模型建立与电路设计	176	4.7.3 压力测量电路综合仿真	228
4.1.3 称重电路综合仿真	178	4.8 AD590 集成温度传感器测温 电路设计与仿真	230
4.2 霍尔传感器测量位移电路 设计与仿真	186	4.8.1 设计任务	230
4.2.1 设计任务	186	4.8.2 模型建立	231
4.2.2 模型建立与电路设计	186	4.8.3 测温电路设计与仿真	231
4.2.3 电路仿真分析	188	第 5 章 基于虚拟仪器的综合拓展 实践	234
		5.1 基于开关式光电传感器转速 测量系统的设计与实现	234
		5.2 基于 FFT 的波形分解与合成的 设计与实现	235
		5.3 基于频谱分析法和相关法测量 相位差的设计与实现	240

5.4 基于光纤位移传感器测距系统的设计与实现	246	5.13 小型压缩机动静态压力和转速测试系统的设计与实现	267
5.5 基于电阻应变片称重系统的实现	248	5.14 基于压电传感器的加速度、速度和位移测量系统的设计	269
5.6 基于差动变压器测距系统的设计与实现	250	5.15 硅钢片铁损耗特性曲线的自动测试系统的设计与实现	271
5.7 基于差动电容传感器测距系统的设计与实现	252	5.16 光电编码器测速和 PID 调速系统的设计与实现	274
5.8 晶体管电流特性自动测定的设计与实现	254	5.17 硅钢片交流磁特性自动测试系统的设计与实现	278
5.9 基于 AD590 测温及其一阶动态惯性特性测定与改善的实现	256	附录 A 相关仪器介绍	281
5.10 基于铂电阻 Pt100 高精度测温系统的设计与实现	260	附录 B 相关传感器介绍	290
5.11 基于冷端自动补偿热电偶测温系统的设计与实现	263	参考文献	293
5.12 基于电涡流传感器测量振幅系统的设计与实现	265		

基础实践

1.1 转速的测量

1. 实验目的

- 1) 了解磁电式转速传感器、开关式光电转速传感器和反射式光电转速传感器的工作原理、结构及使用方法。
- 2) 掌握开关式光电转速传感器输出整形放大电路的基本工作原理。
- 3) 使用相应的转速传感器进行转速测量。

2. 实验原理

(1) 磁电式转速传感器

根据电磁感应定律,当 N 匝线圈在均匀恒定磁场中沿垂直磁场方向运动时,线圈内产生的感应电动势为

$$e = NBl \frac{dx}{dt} = NBlv = NBS\omega$$

式中, B 为磁感应强度(T); l 为线圈导体的总长度(m); $\frac{dx}{dt}$ 或 v 为线圈与永久磁铁之间的相对直线运动的线速度(m/s); N 为线圈匝数; S 为线圈截面积(m^2); ω 为线圈的角速度(rad/s)。

从上式中可以看出,当传感器的结构确定后, B 、 S 、 l 、 N 等均为常数,此时感应电动势 e 与线速度 v 或角速度 ω 成正比,因此磁电式转速传感器可以直接测量线速度和角速度。由此可设计出变磁通式和恒磁通式两种磁电式转速传感器,变磁通式又分为开磁路和闭磁路两种。

本实验中采用的就是开磁路变磁通式转速传感器,其原理结构如图 1-1 所示。它的线圈、磁铁静止不动,测量齿轮安装在转轴上,与被测体接触同时转动。每转动一个齿,齿的凹凸部分引起磁路磁阻变化一次,磁通就变化一次,线圈中产生感应电动势,因此其变化频率等于被测转速与测量齿轮上齿数的乘积。

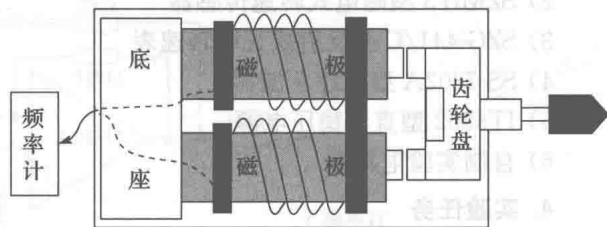


图 1-1 磁电式转速传感器原理结构图

实验用的 SZMB-3 型磁电式转速传感器是通过轴间相连,当转轴转动时,带动传感器齿轮盘,使磁电式转速传感器将转角位移转换为电信号输出,此信号送到频率计显示。该传感器输出脉冲个数为 60 脉冲/转,输出信号有效值 $\geq 300mV$,测速范围为 $50 \sim 5000rad/min$ 。

(2) 开关式光电转速传感器

开关式光电转速传感器是利用光敏发射二极管和光敏接收晶体管产生的光信号,通过变换

电路转换为电信号进行测速的。

开关式光电转速传感器测速原理示意图如图 1-2 所示。图中当被测转速通过轴间连接带动转盘旋转时,把转角位移转换成电脉冲信号,再经整形放大后供频率计计数,获得被测轴的转速。实验中盘上开有 10 个圆孔,因此每转一周将有 10 个脉冲输出。

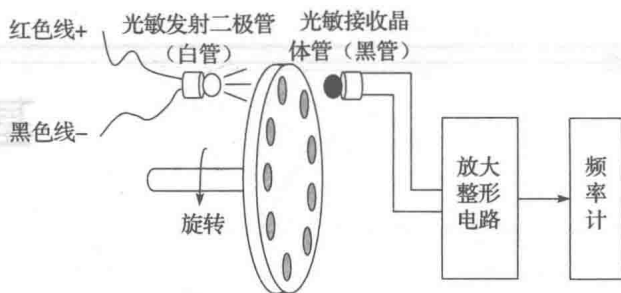


图 1-2 开关式光电转速传感器测速原理示意图

(3) 反射式光电转速传感器

反射式光电转速传感器采用的是非接触方式测速,但需要在被测转速的转盘上固定一块反光面,其他黑色转盘作为非反光面,由于具有不同的反射率,当转轴转动时,反光面与非反光面交替出现,光敏器件间接地接收光的反射信号,转换成电脉冲信号输出。反射式光电转速传感器测速的原理图如图 1-3 所示。

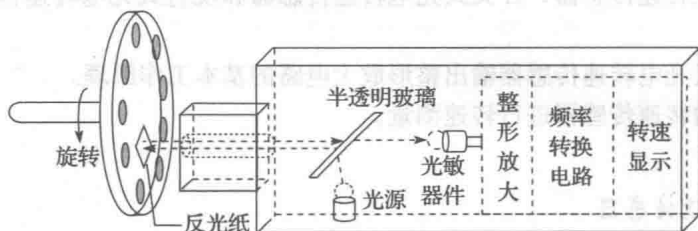


图 1-3 反射式光电转速传感器测速的原理图

本实验使用 SZG-441/C 型非接触手持数字转速表,集检测器、测量部件及显示部件于一体,内置干电池。使用时只要在被测旋转物体上贴上一块反射标记(或反光纸),将检测器发出的可见光对准反射标记,即可进行转速测量。传感器的测量范围为 $59 \sim 30\,000 \text{ rad/min}$,测量距离约为 $50 \sim 150 \text{ mm}$ (在 $50 \sim 100 \text{ rad/min}$ 范围内为 $70 \sim 120 \text{ mm}$),测量显示时间为每隔 1 s 自动重复并更新被测值,测量转速精度为在 $50 \sim 11\,999 \text{ rad/min}$ 时为 $\pm 1 \text{ rad/min}$ 。

3. 实验设备

- | | |
|------------------------|-----|
| 1) 自制标准转速调速校验台 | 1 台 |
| 2) SZMB-3 型磁电式转速传感器 | 1 个 |
| 3) SZG-441/C 型反射式光电转速表 | 1 块 |
| 4) SS-7802A 型双踪示波器 | 1 台 |
| 5) IT6302 型直流稳压电源 | 1 台 |
| 6) 自制实验电路板 | 1 块 |

4. 实验任务

(1) 标准转速调速校验台介绍

本实验使用的标准转速调速校验台的结构框图如图 1-4 所示。校验台主要由四个部分组成,即三相交流异步电动机、光电数字编码器、变频器和标准转速调速表。调速旋钮可以调节标准转速使其输出直流电压 U ,该电压控制变频器的频率 f ,变频器驱动交流电动机转动,以转速 n 通过光电数字编码器测量后,显示在标准转速调速表上。标准转速调速校验台实物图如图 1-5 所示。其中电动机的前后转轴分别与转盘和光电数字编码器的轴间进行同轴连接,利用安装在转盘旁边的传感器完成转速测量。校验台转速范围为 $100 \sim 3000 \text{ rad/min}$ 。



图 1-4 标准转速调速校验台的结构框图

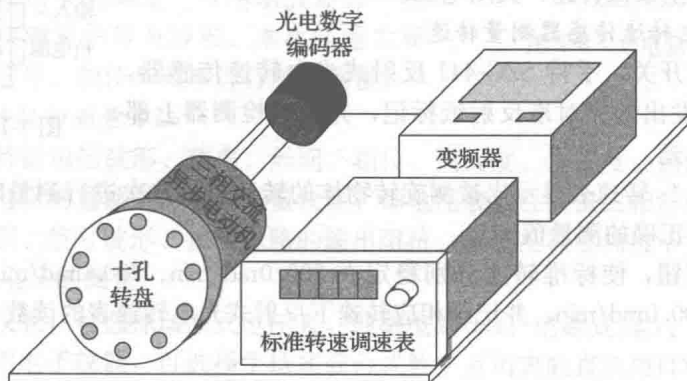


图 1-5 转速调速校验台的实物图

(2) 磁电式转速传感器测量转速

1) 按图 1-1 所示将磁电式转速传感器与数字频率计和示波器相连, 接通变频器输入电源, 用手握住磁电式转速传感器将传感器的橡皮头对准转盘中心的凹陷位置, 使传感器转轴和转盘凹陷位置处于同一个水平面, 将橡皮头稍用力压紧。

2) 启动变频器, 调节标准转速调速表上的调速旋钮, 使标准转速分别稳定在 300.0rad/min、500.0rad/min、700.0rad/min、900.0rad/min、1000.0rad/min 左右, 并分别记录标准转速对应的频率表读数。

3) 调节调速旋钮, 使转速返回到 1000.0rad/min, 用示波器观察该磁电式转速传感器输出信号的波形, 并记录在坐标纸上(标出电压的幅值)。

4) 使转速返回至最低转速, 关闭电源。

(3) 开关式光电转速传感器测量转速

1) 开关式光电转速传感器测速整形放大电路原理图如图 1-6 所示。采用 LM311 比较器常用的整形电路, 由于该芯片输出的集电极端无上拉电阻, 因此必须通过外接 2kΩ 电阻进行补充, 否则电路无信号输出。LM311 的引脚图如图 1-7 所示。

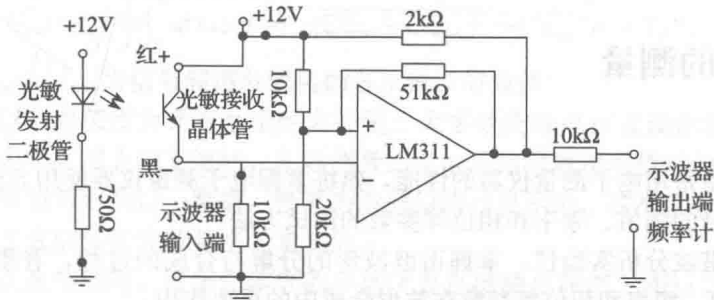


图 1-6 开关式光电转速传感器测速整形放大电路原理图

2) 按照图 1-2、图 1-5 和图 1-6 所示的传感器、整形放大电路与标准转速调速校验台及示波器相连线, 仔细检查连线无误后, 进行下一步实验。

3) 接通电源启动变频器, 通过调速旋钮使标准转速分别稳定在 300.0rad/min、500.0rad/min、1000.0rad/min、1500.0rad/min、2000.0rad/min, 并分别记录对应的频率计读数。

4) 调节标准调速旋钮, 使转速返回到 $1000.0\text{rad}/\text{min}$, 用示波器同时观察整形电路的输入和输出两路波形, 并记录在坐标纸上(标出电压的幅值和相位关系)。

5) 使转速返回至最低转速, 关闭电源。

(4) 反射式光电转速传感器测量转速

1) 启动变频器开关, 手持 SZG-441 反射式光电转速传感器, 按下开关使检测器发出的光对准反射纸标记, 并检查检测器上部的红色 LED 是否发光。

2) 此时, 每隔 1s 转速表显示出被测旋转物体的转速值。首次进行测量时, 在电源开关按下 3s 后, 才可得到正确的测量值。

3) 调节调速旋钮, 使标准转速分别稳定在 $300.0\text{rad}/\text{min}$ 、 $700.0\text{rad}/\text{min}$ 、 $1000.0\text{rad}/\text{min}$ 、 $2000.0\text{rad}/\text{min}$ 、 $3000.0\text{rad}/\text{min}$, 并记录相应转速下反射式光电转速表的读数。

5. 报告要求

1) 列表记录和整理实验数据与波形, 将频率换算成相应的转速(rad/min), 并计算测量各点的绝对误差和相对误差。

2) 简述三种测速方法的信号变换原理。

3) 根据实验中的整形放大电路图, 说明其工作原理。

4) 通过实验结果, 总结讨论三种测速方法的优劣。

6. 注意事项

1) 交流电动机和变频器供电为交流高压 380V, 实验过程中切勿打开它们的电源保护套, 以防触电。

2) 实验中交流电动机高速运转, 实验者注意勿将衣物、辫子、手指等靠近电动机和转盘, 以防被电动机缠绕或划伤。

7. 思考题

1) 在实验过程中, 记录传感器输出波形的示波器的耦合方式、基准线和同步信号选择应如何调整?

2) 开关式光电转速传感器测量转速时, 整形放大电路的作用是什么? 能否去掉此电路直接测量转速?



图 1-7 LM311 引脚图

1.2 电信号的测量

1. 实验目的

1) 熟悉实验室常用电子测量仪器的性能, 熟练掌握电子测量仪器使用方法。

2) 掌握电信号的幅值、频率和相位等参数的测试方法。

3) 通过使用谐波分析实验仪, 掌握谐波波形的分解与合成的过程, 着重理解在谐波傅里叶变换过程中幅值、频率和相位等参数在波形合成中的重要作用。

2. 实验原理

非电量电测是将各种温度、压力、流量和位移等非电量, 通过传感器及调理电路转换为电信号, 通过对电信号进行测量, 从而间接地获得被测物理量的大小。非电量电测的原理框图如图 1-8 所示。这些电信号包括了电压、电流和功率信号, 对于电压信号, 常用仪器仪表均可测量; 对于电流信号, 可通过在被测支路串入取样电阻, 将其转换成电压信号进行测量。

另外,电信号可分为周期信号和非周期信号。对于变化缓慢的非周期信号的测量,可用 X-Y 函数记录仪、光线示波器记录显示,变化快的信号可用存储示波器或计算机采集系统进行采集存储显示。对于周期信号的测量,可用示波器等一些常用仪器仪表直接测量信号及波形。本次实验主要针对周期性电压信号、相位和频率进行基本测量。

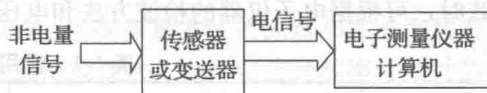


图 1-8 非电量电测的原理框图

(1) 电信号特征的测量方法

电压信号的特征包括波形、频率、周期、相位、失真度、调幅度、调频指数和数字信号的逻辑状态等。对电压测量就是对电压测量仪器,即电压表的性能提出相应的要求,主要包括频率范围、测量范围、信号波形、被测电路的输出阻抗、测量准确度和抗干扰性能。

1) 模拟直流电压的测量。

若采用指针仪表,可选择动圈式电压表,即磁电式(Δ)、电磁式(\neq)、电动式(\ominus)等电压表进行测量;若采用电子仪器,可选择手持式或台式数字万用表的直流档(DC 档)进行测量。

2) 交流电压的测量。

周期性交流电压除了用函数关系式表示其大小随时间的变化规律外,通常可以用峰值、幅值、平均值和有效值等参数来表征其大小。这里以正弦波为例。

- 峰值 U_p : 周期性交变电压在一个周期内偏离零电平的最大值称为峰值或幅值;当正、负峰值不等时,分别用 U_{p+} 和 U_{p-} 表示,有时也常用峰峰值 U_{p-p} 表示。
- 平均值 \bar{U} : 平均值的数学定义为

$$\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \quad (1.1)$$

按照这个定义, \bar{U} 实质上就是周期性电压的直流分量。可见正弦电压的平均值 $\bar{U} = 0$ 。但在电子仪器中,平均值通常指交流全波检波(或全波整流)后的平均值,即交流电压的绝对值在一个周期内的平均值,即

$$\bar{U}' = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt \quad (1.2)$$

- 有效值 U_{ms} : 当交流电压与直流电压分别施加于同一电阻上时,在一个周期内两者产生的热量相等,则该交流电压的有效值等于直流电压的数值。其数学式可表示为有效值定义

$$U_{ms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} = \sqrt{U_{ms1}^2 + U_{ms2}^2 + \dots + U_{msn}^2} \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (1.3)$$

式中, U_{ms1} 、 U_{ms2} 、 U_{msn} 为信号频谱分解后的各次谐波有效值。

国际上一贯以有效值作为交流电压的表征量。大多数交流电压表读出的并不是真有效值,如交流数字毫伏表、万用表的交流档,实际测量的是电压信号取绝对值后的平均值(\bar{U}'),该值与正弦信号的有效值需要乘以一常数,换算为有效值进行显示的。这类仪表只能测量正弦波信号,用它测量非正弦信号的读数是毫无意义的。

当测量交流正弦信号时,可用晶体管数字毫伏表直接测量频率 1MHz 以内的交流有效值;可用手持式万用表交流档测量频率 100Hz 以内的交流有效值;可用示波器读出正弦波的峰值,通过计算得到有效值,但这种方法误差较大。当测量非正弦波形时,在保证足够的频响范围的情况下,真有效值也可以用该波形的各次谐波的有效值进行叠加获得。

- 波形系数 k_F 和波峰系数 k_p : 这两个系数的数学定义为

$$k_F = \frac{U_{ms}}{\bar{U}'} \quad k_p = \frac{U_p}{\bar{U}'} \quad (1.4)$$