

机电一体化系列

985127

工程测试与 信息处理实验

GONGCHENG CESHI YU XINXI CHULI SHIYAN

杜润生 卢文祥

华中理工大学出版社

机电一体化系列

工程测试与信息处理实验

杜润生 卢文祥

华中理工大学出版社

(鄂)新登字第 10 号

图书在版编目(CIP)数据

工程测试与信息处理实验:机电一体化系列/杜润生,卢文祥 编
武汉:华中理工大学出版社,1995 年 11 月

ISBN 7-5609-1189-7

I. 工...

II. ①杜... ②卢...

III. 工程测量-自动检测-信息处理-实验

IV. ①TB22 ②TP274

机电一体化系列

工程测试与信息处理实验

杜润生 卢文祥

责任编辑 钟小珉

*

华中理工大学出版社出版发行

(武汉·武昌·喻家山 邮编:430074)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社照排室排版

武汉测绘院地图印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:8.75 字数:200 000

1995 年 11 月第 1 版 1995 年 11 月第 1 次印刷

印数:1-3 000

ISBN7-5609-1189-7/TN·37

定价:7.50 元

内 容 简 介

全书以实验设计为纲,共分8章,23个实验。内容包括:实验设计、信号的转换、信号的观测、信号的记录、数字信号处理、滤波、测试系统特性的测试、机械参量的测试等。书中所编写的实验,既是实验设计的范例,又可作为实验指导书。

本书是机电一体化专业本科生的教材,也可作为机械制造专业本科生和这两个专业的电大、函大、夜大、职大生等的教材,还可供机械制造学科的研究生和从事机电一体化工作的工程技术人员参考。

代 序

机械工业是重要的基础工业,是国民经济发展的先导部门。历史的实践已一再证明:先进的技术装备与先进的制造技术在国民经济发展中,起着何等重要的作用;而先进的装备与先进的制造技术则正是由先进的机械工业来提供的。马克思讲得何等的深刻:“大工业必须掌握它特有的生产资料,即机器的本身,必须用机器生产机器,这样,大工业才建立起与自己适应的技术基础,才得以自立。”过去是这样,现在是这样,将来也还是这样。

当然,由于现代科学技术的迅猛发展,特别是由于微电子技术、电子计算机技术的迅猛发展,机械工业已发生了而且还在继续发生极为深刻的变化:机械技术与微电子技术的紧密结合,特别是与微计算机技术的紧密结合,现代机械技术所拥有的技术较以往远为高,远为新,远为广,远为复杂而先进;机电一体化技术与产品是十分突出的表现之一。这一深刻的变化是一股强大的潮流与一个严重的挑战,而且这一股潮流与这一个挑战是不应抗拒的,也是不可抗拒的。“顺之者昌,逆之者亡”,这是无法改变的现实。

这一深刻的变化反映在:机械工程、机械工业的面貌与内容发生了根本性的变化。过去,理论上主要以力学作为基础,实践上主要以经验作为基础,现在,作为基础的理论远不限于力学,还有系统论、控制论、信息论、传感理论、信号处理理论、电子学、计算机学等等,作为实践的基础远不限于经验,而且还涉及各有关的学科,同时,本身也在形成自己的学科体系——制造理论、工艺理论。机械产品的性质也在发生重大的变化,新的机械产品在不同程度上都同微电子技术、微计算机技术相结合,取代、延伸、加强与扩大人脑的部分作用。机械产品的种类与品种日新月异,老的正在脱胎换骨,新的不断问世,几乎“无所不包”、“无孔不入”,大有令人瞠目结舌之势。与此相适应,机械制造技术正在彻底改造,广泛采用各种高新技术,特别是微电子技术与电子计算机技术,从数控化走向柔性化、集成化、智能化,成为现代科技前沿热点之一。与此相适应,企业的管理也在发生根本性的变化,从以产品为主的管理发展到以面向市场的信息为主的管理。

在这一深刻变化与严重挑战面前,谁胜谁负,谁兴谁衰,人才是关键。中共中央负责同志今年4月24日同部分学部委员座谈时就强调指出:要振兴经济,首先要振兴科技;要振兴科技,首先是人才。要发展机电一体化技术与产品,要实现机械工业的根本改造,没有高层次的科技人才是不行的。为了培养机械技术与电子技术紧密结合的高层次科技人才,有关各国都在探索其最优道路。我国采取果断措施,在大量减少专业种类的情况下,设立了“机电控制与自动化专业”,为进一步高质量地快速地培养这方面的人才创造更好的条件。事实上,我国不少高等院校已在这一工作上作了多年的探索,试办了诸如机电一体化试点班,试点专业之类,

3/15/84/11

华中理工大学也是其中的一员。创办这一方面的专业,也是一项改革,也是一项艰难的事业。鲁迅先生讲得好:“愈艰难,就愈要做。改革,是向来没有一帆风顺的。”正因为如此,我们必须继续迎着艰难去探索。

众所周知,教材,是人才培养中的重要一环,教材建设是一个学校最基本的建设之一。为此,华中理工大学有关教师在以往试点工作的基础上,总结了自己的经验,学习了兄弟学校的经验,有组织有计划地编写了这一方面的成套教材。这样,可以一方面适应目前形势发展的急需,一方面也是进一步的继续探索。

《诗经》讲得好:“嘤其鸣矣,求其友声。”由于编者业务水平的有限,探索经验的不足,编写时间的紧迫,这套教材中的错误、不妥与缺陷在所难免,敬希专家与读者拨冗指教,我们将不胜感谢。

教授、中国科学院学部委员

杨叔子

1992. 4. 30

前 言

“工程测试与信息处理实验”是华中理工大学为机电一体化专业开设的一门以实验教学为主的课程。通过大量的实验和部分课堂讲授,使学生能熟练地掌握机械工程中动态物理量测试与信息处理实验的设计方法;培养学生对各种机电产品动态性能测试、信息处理的能力。该课程自1987年设置以来,经过多次的教学实践,证明它是适应时代要求的,对培养机电复合型人才,起到了重要作用。

传感技术和信息处理技术是机电一体化的基础技术。近年来,在工程的过程监测、质量控制、故障诊断、实验模态分析等领域内,需要大量应用传感技术和信息处理技术。“工程测试与信息处理实验”课程正是在这一背景下设置的。其作用不仅在于验证工程测试和信息处理的理论,更重要的还在于通过多次多种类型的实验,掌握实验设计方法,熟悉各类仪器设备的使用,从而为今后在生产实践和科学研究工作中,应用传感和信息处理技术打下良好的基础。

本书正是为配合上述课程的教学而编写的教材,是机电一体化系列教材之一。它着重从实验的角度阐述传感和信息处理技术在工程中的应用。而机电一体化系列教材中的《工程测试与信息处理》一书,则是传感和信息处理技术在工程中应用的理论基础。两者相辅相成,优势互补,形成了有机的结合体。

本书在内容安排上以实验设计为纲,共分8章,23个实验。课堂讲授以实验设计为主。书中所编写的实验,即可作为实验设计的范例,又可作为实验的指导书。书中,第一章介绍了工程测试与信息处理的实验设计方法。根据信息论的观点,实验应包括信息获取、转换、传输、处理与显示等环节,故从第二章开始至第七章分别介绍了这些环节的设计知识。即:测试系统的组成,传感器的选用,信号的调理*;信号的时域、频域观测;信号的记录方式与仪器;数字信号处理系统,信号的采集,数字信号处理软件的设计,窗函数;模拟滤波器,数字滤波;测试系统的静、动态特性的测试,系统参数的选择。第八章介绍了工程测试中较复杂的测试系统,既是对第一章实验设计的呼应,又是全书的总结。书中的23个实验是从近年来开出的教学实验中精选出来的,每个实验都有一定的特点,对实验设计都具有一定的参考价值。为了加强学生实验能力的培养,对每个实验都着重介绍了实验原理、方法及注意事项。对实验数据的处理提出了要求,并提供了一些思考题,以开拓学生的思路。

本书是机电一体化专业本科生的教材,也可作为机械制造专业本科生和这两个专业的电大、函大、夜大、职大生的教材,同时可供机械制造学科的研究生和从事机电一体化工作的工程技术人员参考。

在本课程的设置、教材编写工作中,朱启述教授、师汉民教授、林奕鸿教授、左武炘副教授、张福润副教授、胡乾斌副教授等给予了支持、指导与帮助;陈小鸥、赵振平、李震、潘立民等同志,为开设本课程的实验作了大量工作。在此,对他们深表谢意。

限于作者水平,书中定有不少缺点和错误,恳请各位读者批评指正。

作 者

1994年10月

* 调理 conditioning 泛指对传感器的电信号或电参数变化进行各种处理,以便于提取所需信息,并和后续的处理环节相适应。

绪 言

(一)

“科学是实验的科学,科学就在于用理性方法去整理感性材料。归纳、分析、比较、观察和实验是理性方法的主要条件。”(《马克思恩格斯全集》第二卷,人民出版社1957年版,第163页)随着科学技术的发展,实验的作用越来越突出,它不仅用于验证科技领域中已知的现象和规律,而且已成为探索某些科技问题的新现象、新变化规律和推动科学发展的重要手段。实验成为重大科技发明的基础和前提,在科技发展史上已是屡见不鲜了。实验技术也逐渐成为一门技术科学。

掌握实验技术,培养实验能力,在高等工科院校学生的整个学习过程中占有重要地位。它和理论知识的学习一样重要,并且与理论知识的学习相辅相成。实验教学是培养学生掌握实验技能的重要教学环节。它不仅帮助学生更形象、更深刻地理解理论知识,更重要的还在于通过多次多种类型的实验,使学生熟悉各类仪器设备的应用,掌握实验手段、方法和技能,学会设计实验,为今后生产实践和科学研究打下基础。设计实验是生产实践和科学研究中经常性的课题。进行实验设计,必须要有坚实的理论知识,熟练掌握各类仪器的使用方法以及掌握对结果的归纳、分析方法。要想做到这些,就必须让理论知识的学习和实验能力的培养有机地结合起来,才能取得理想的成果。

(二)

本课程用实验的方法研究机械工程中动态物理量的测试与信息处理的问题。通过理论知识的教学和大量的实验教学环节,使学生能熟练地掌握机械工程中动态物理量的测试与信息处理实验的设计,并能进行机电产品动态性能测试及信息处理。因此,在内容安排上以实验设计为纲,要求学生在实验环节中,了解实验设计的方法,掌握仪器的使用,并能对结果进行归纳与分析,从而达到能自己设计的目的,改变过去被动实验的状态。

根据本课程的目的和要求,在课程教学中着重强调以下五个方面。

1. 实验设计方法的研究

首先说明本课程的目的,就是要学会设计实验。从设计实验的要求出发,组织课堂教学和实验教学,研究实验的目的、原理和方法。

2. 基本仪器的使用及基本实验方法的训练

设计实验必须要熟悉各类仪器。电子示波器、信号发生器、频率计、相位计、磁带记录器等是工程测试中常用的基本仪器。用这些仪器观察、测量和记录信号的幅值、频率及相位,是实验技能的基本训练。本课程的主要要求是,能正确、熟练地使用基本仪器,进行对基本实验对象的测试。为此,采用多次实验,反复应用基本仪器进行训练。

3. 实验仪器的特性分析

进行工程中动态物理量的测试,所用的实验仪器应满足测试的要求。对实验仪器的特性参数的测定及选用的方法,必须熟练掌握。

4. 数字信号处理

随着微型计算机在工程测试中的广泛应用,数字信号处理技术已成为测试工作者必须掌握的技术。对数字信号处理,不仅要掌握原理,而且更重要的是要掌握实践方法,也就是要在实验中注意应用的问题。这就需要从软件、硬件两方面下功夫。

5. 工程中典型对象测试

针对工程中动态位移、振动、噪声、力等典型对象,组成测试系统,进行实际测试,掌握实验设计方法,这对解决工程实际问题有举一反三的作用。

本课程虽是一门独立开设的课程,但与《工程测试与信息处理》课并行进行,二者之间相辅相成,优势互补。

目 录

绪言	(i)	实验 3-2 周期信号强度的测量	(29)
第一章 实验设计	(1)	实验 3-3 周期信号波形的叠加与分解 ...	(35)
§ 1-1 实验设计方法	(1)	实验 3-4 典型信号的频谱分析	(39)
一、实验目的分析	(1)	第四章 信号的记录	(42)
二、实验原理研究	(2)	§ 4-1 记录方式与仪器	(42)
三、实验方案拟定	(2)	一、记录方式	(42)
四、实验步骤确定	(5)	二、光线示波器	(42)
五、实验设计题选	(5)	三、磁带记录器	(46)
§ 1-2 实验报告的要求及书写	(5)	§ 4-2 信号记录实验	(48)
一、对实验报告的要求	(5)	实验 4-1 光线示波器的使用	(48)
二、实验报告的基本内容	(5)	实验 4-2 磁带记录器的使用	(51)
三、实验报告示例	(7)	第五章 数字信号处理	(53)
第二章 信号的转换	(9)	§ 5-1 数字信号处理系统	(53)
§ 2-1 测试系统的组成	(9)	一、数字信号处理系统的功能	(53)
一、测试系统	(9)	二、数字信号处理系统的构成	(53)
二、智能仪器	(10)	三、数字信号处理系统中的主要部件 ...	(54)
三、对测试系统的要求	(10)	§ 5-2 信号的采集	(55)
四、测试系统实例	(10)	一、模数转换及其控制	(55)
§ 2-2 传感器的选用	(12)	二、信号采集接口电路	(56)
一、对传感器的技术性能要求	(12)	三、控制软件	(57)
二、传感器的选用原则	(12)	四、信号采集的参数选择	(57)
三、传感器的应用实例	(12)	§ 5-3 数字信号处理软件的设计	(58)
§ 2-3 信号的调理	(13)	一、数字信号处理软件各组成部分 ...	(58)
一、声信号的调理	(14)	二、信号处理子程序的设计实例	(59)
二、应变信号的调理	(15)	三、信号处理程序的设计技巧	(67)
§ 2-4 信号转换实验	(16)	§ 5-4 窗函数	(69)
实验 2-1 转速测量	(16)	一、截断与泄漏	(69)
实验 2-2 噪声测量	(18)	二、窗函数的评价	(69)
实验 2-3 应变测量	(20)	三、窗函数的选择	(70)
第三章 信号的观测	(22)	§ 5-5 数字信号处理实验	(70)
§ 3-1 信号的观测方法	(22)	实验 5-1 信号的采集	(70)
一、信号的描述	(22)	实验 5-2 信号的互相关与互谱分析 ...	(72)
二、信号的时域观测	(22)	实验 5-3 窗函数及其对频谱的影响 ...	(74)
三、信号的频域观测	(24)	第六章 滤波	(77)
§ 3-2 信号观测实验	(26)	§ 6-1 概述	(77)
实验 3-1 信号波形的观察及测试	(26)	一、滤波器的分类	(77)

二、数字滤波与模拟滤波的对比	(78)	实验 7-3 光线示波器振动子动态特性的测试	(99)
三、滤波器的参数	(79)	第八章 机械参量的测试	(103)
§ 6-2 模拟滤波器的特性	(79)	§ 8-1 常见机械参量的测试方法	(103)
一、滤波器的频率响应函数	(79)	一、力的测量	(103)
二、理想的滤波器	(80)	二、位移的测量	(103)
§ 6-3 数字滤波	(81)	三、振动的测量	(104)
一、数字滤波的原理	(81)	四、噪声的测量	(105)
二、数字滤波器的分类	(82)	五、温度的测量	(105)
三、数字滤波器的设计方法	(83)	§ 8-2 轴位移的测量	(105)
§ 6-4 滤波器实验	(83)	一、传感器的安装	(105)
实验 6-1 滤波器特性的测试	(83)	二、轴位移的测量方法及信号处理	(107)
实验 6-2 滤波器对阶跃输入的响应时间测试	(84)	§ 8-3 旋转机械振动的测量	(109)
实验 6-3 数字滤波的应用	(85)	一、传感器的选用	(109)
第七章 测试系统特性的测试	(89)	二、测试系统的组成	(110)
§ 7-1 系统的静态特性测试	(89)	三、旋转机械振动的分析	(111)
一、灵敏度的测试	(89)	§ 8-4 机械阻抗的测量	(113)
二、线性度的测试	(89)	一、机械阻抗的概念	(113)
三、回程误差的测试	(91)	二、机械阻抗测量中的激励设备	(114)
§ 7-2 系统的动态特性测试	(91)	三、固有频率和阻尼比的求取	(115)
一、用频率响应法求测试系统的动态特性	(91)	四、机械阻抗测量的应用	(116)
二、用阶跃响应法求测试系统的动态特性	(91)	§ 8-5 机械参量测试实验	(116)
§ 7-3 测试系统特性参数的选择	(93)	实验 8-1 转轴运动轨迹的测量	(116)
一、满足不失真测试条件的选择	(93)	实验 8-2 旋转机械振动的阶次比分析	(118)
二、灵敏度及线性范围的选择	(94)	实验 8-3 悬臂梁特性参数的测试(一)	(120)
三、各特性参数之间的配合	(94)	——稳态正弦激振法	(120)
§ 7-4 系统的特性测试实验	(94)	实验 8-4 悬臂梁特性参数的测试(二)	(121)
实验 7-1 位移测量仪静态特性参数的测试	(94)	——随机激振法	(121)
实验 7-2 压电式加速度传感器灵敏度的校准	(96)	实验 8-5 悬臂梁特性参数的测试(三)	(123)
		——瞬态激振法	(123)
		参考文献	(126)

第一章 实验设计

实验设计是在实验开始之前,根据一定的目的和要求制定实验方法和进程计划。任何科学研究,只要进行实验,就必须要有个周密的设计,否则,不但不能以较少的人力、物力和时间,收集到足够的资料,而且还会得不到预期的结果,甚至导致错误的结论。因此,实验设计在整个实验研究中是一个关键的环节和首要的问题。实验设计主要包括实验对象的选择、实验因素的控制和实验程序的编排等内容。本章结合工程测试与信息处理实验的要求,来说明实验设计的方法及实验结果的处理。

§ 1-1 实验设计方法

工程测试与信息处理实验是对工程中物理量信号进行检测,从而获取有关研究对象的状态、运动和特征等方面的信息的一种实验。从信息论角度来看,工程测试与信息处理实验包括信息的获取、信息的转换、信息的传输和处理以及信息的显示。设计这类实验,必须认真分析实验的目的,仔细研究实验原理,周密安排实验步骤,反复核实实验结果。

一、实验目的分析

工程测试与信息处理实验的目的一般有:理论或定理的验证;物理量的测定及其内部、外部关系的分析;测试仪器、装置的校验、验收与试用等三种。具体目的是由有关部门或实验者根据科学研究或教学的需要拟定的。本书中的实验基本上是按以上三种目的设计的。

以理论或定理的验证为目的的实验,是众多的教学实验和检验理论的重要内容。从理论或学说中推演出的某个假设是否符合实际,需要用实验来检验。教学实验多数是为了引导学生认识、理解理论或定理。本书中的实验 3-3 周期信号波形的叠加与分解,实验 3-4 典型信号的频谱分析,实验 5-3 窗函数及其对频谱的影响,实验 6-2 滤波器对阶跃输入的响应时间测试都是对典型的理论或定理的验证实验。其中,实验 3-3、实验 3-4 和实验 5-3 是为验证信号的时域-频域转换理论而设计的,实验 6-2 是为验证滤波器对阶跃响应的上升时间与通频带宽成反比的结论。众所周知,建立这一概念对理解和处理一些滤波器的问题是很重要的,而用实验方法验证这个结论既方便又直观。

以物理量的测定及其内部、外部关系的分析为目的的实验,在工程实际测试中有很多。这是因为,工程测试与信息处理是为了获取有关研究对象的状态、运动和特征等方面的信息。本书中的实验 2-1 转速测量,实验 2-2 噪声测量,实验 2-3 应变测量以及 § 8-5 中的五个实验都是物理量测定与分析的实例。

工程实际中的另一类实验便是对测试仪器、装置的校验、验收与试用。特别是测试仪器、装置的校验,在工程实际中是不可缺少的实验。这一类也可以包含在以物理量的测定为目的的实验中。本书中的实验 7-1 位移测量仪静态特性参数的测试,实验 7-2 压电式加速度传感器灵敏度的校准都是以测试仪器、装置校验为目的的实验。

教学实验除了要达到以上三种目的以外,往往还含有对学生实验能力培养的目的。这是因为,实验能力的培养,是工科各专业的主要教学任务之一。因此,有些教学实验是专门以培养学

生掌握实验方法或仪器使用为目的而设计的。如本书中的实验 3-1 信号波形的观察及测试,实验 3-2 周期信号强度的测量等就是这样的例子,学生在进行教学实验时,一定要首先明确实验的目的,再具体完成实验步骤。

对于要求达到多个目的的实验,可以将目的分为各个子项,以便于分项设计。

二、实验原理研究

实验原理是实现实验目的的理论依据,是实验因素的控制和实验程序编排的指南。实验原理研究是实验设计的重要环节。工程测试与信息处理实验设计要对信息获取、转换、传输、处理和显示等组成部分的原理进行综合研究,在实验条件允许的情况下,确定实验原理。

信息获取是实验的第一步,要在充分分析被测对象的前提下,根据被测对象的特点和信号转换的原理,选用适当的传感器及调理方式,获取有用信息。并在此基础上,根据信号转换、传输的要求,设计测试系统。在测试系统设计中,要考虑各仪器之间的匹配、抗干扰等问题。这就要求对各台仪器的工作原理有所了解,充分利用各台仪器的功能,以满足实验的需要。本书第二章信号的转换阐述了在这方面对实验原理的研究。

信号处理在实验原理研究中占有重要地位。它既要考虑信号处理的方法,又要考虑信号处理的设备。本书的第五章数字信号处理和第六章滤波对信号处理的有关原理作了简要介绍。

相对于信号获取、转换、传输和处理而言,信号显示、记录就简单一些。这部分原理研究可参考本书的第四章信号的记录。

总之,实验原理的研究是实验设计中涉及面最宽,应用各方面知识最多的环节。对实验原理的研究是实验设计的难点。

三、实验方案拟定

实验方案是根据实验目的、原理和实验条件拟定的。实验条件是指实验场地的环境状况和对实验仪器的拥有。拟定实验方案,要充分考虑实验条件。要对实验环境进行考查,从实验室拥有的实验仪器中选择适用的仪器。

1. 实验环境的考查及防护方法

实验环境的考查内容主要有:现场的供电、供水、湿度、温度,以及环境中的干扰源和仪器的安装地点等。对于情况清楚的实验室,可以局部考查或不考查,但对于现场测试,一定要实地考查。只有适应实验环境的方案才是可行的。

对于来自环境中的干扰,在拟定实验方案中要有相应的抗干扰技术措施。减弱或消除各种干扰影响的技术措施的总称叫做防护。通常情况下,受到的干扰及其防护归纳如下。

(1)机械干扰。它是指实验环境中存在振源,产生一定程度的振动或冲击。对于这种干扰应采取减振措施,一般可设置减振弹簧或减振橡胶,使实验仪器不直接受到外界振动的影响。

(2)光干扰。在室外进行现场测试时,被测试件和实验仪器都直接暴露在阳光下,强光的照射对实验仪器中的半导体元器件会产生干扰。对于使用光敏元件的实验仪器则更要注意。因此,在方案设计中,尽量避免让实验仪器安装在强光直射的地方,或采用适当的光屏蔽。

(3)温度干扰。环境温度的变化对测试结果会产生影响。对于高精度的计量测试,可安排在恒温室内进行。一般情况下,可采用温度补偿方法或热屏蔽方法来减少温度的干扰。

(4)湿度干扰。环境湿度增加到一定程度,对实验仪器会造成干扰。防护措施是对环境去湿或对实验仪器采取防潮措施,如对电气元件浸渍防潮漆,用有机硅橡胶和环氧树脂等材料封

灌易受潮的元器件。

(5)电磁干扰。这是对实验仪器最严重的干扰。高压输电线的电晕放电,工业电气设备中的整流装置,汽车、摩托车的点火装置,高频电焊机,各种开关设备等都是强大的电磁干扰源。为了使测试工作正常进行,实验方案中一定要强调对电磁干扰的防护措施。

常见的电磁干扰防护方法有屏蔽、接地和滤波。根据场的性质不同,屏蔽一般可分为电场屏蔽、磁场屏蔽和电磁屏蔽。电场屏蔽的作用是,使电力线终止于屏蔽体的金属表面上,可以用来消除两个回路之间由于分布电容的耦合而产生的干扰。磁场屏蔽是把磁场限制在屏蔽体内。电磁屏蔽主要用于防止高频电磁场的影响,它是利用屏蔽体对电磁场的表面反射及电磁场在屏蔽体内部产生涡流,再利用涡流磁场抵消高频电磁场的干扰而起到屏蔽作用的。在测试系统中,正确且良好的接地可以减小甚至消除某些干扰。根据系统频率的高低,地线接法上有一点接地和多点接地两种。多点接地一般适用于 10MHz 以上的频率范围,而频率低于 1MHz 时应采用一点接地。通常测试系统受干扰频率在 1MHz 以下,因此采用一点接地较为普遍。用低通滤波器抑制由电网侵入的外部高频干扰是一种被广泛应用的抗干扰技术,它可以在测试系统的供电部分采用。

以上这些防护方法可以根据实验场地的状况选用一项或多项。但是,不论在什么场地接地一定要可靠。这样,既可保证安全,又可抗干扰。对于要求一点接地的环境,特别要注意传感器与被测试件之间的绝缘(因为一般的被测试件都是接地的),如图 1-1 所示。其次,接地点最好选择在分析仪器或前置放大器之后。

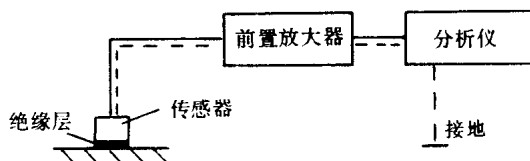


图 1-1 正确接地方法

2. 实验仪器的选用原则

选择实验仪器的根本出发点是实验目的和实验原理,以及对实验仪器的拥有。但是,若要达到技术上合理和经济上节约,则必须考虑一系列因素的影响。下面就合理选用仪器的一些注意事项,作一概略介绍。

(1)灵敏度。它是指实验仪器对被测量变化的反应能力。换句话说,它是仪器输入 x 的增量 dx 与由此引起的输出 y 的增量 dy 的比值,即灵敏度 $S=dy/dx$ 。一般地讲,仪器的灵敏度越高越好。因为灵敏度高,意味着它能检测到被测量的极微小的变化,即被测量稍有变化,仪器就有较大的输出。但是,在注意灵敏度高的同时,还要考虑以下几点:

其一,灵敏度愈高,与测量信号无关的外界噪声愈容易混入,并且噪声也会被放大系统放大。这时,必须考虑既要检测微小量值,又要噪声小。为保证此点,往往要求信噪比愈大愈好。

其二,与灵敏度紧密相关的是量程范围。输入量增大,会使仪器处于非线性或饱和工作状态。因此,过高的灵敏度会影响其适用的测量范围。

其三,若被测的量是一个向量,并且是一个单向向量,那么要求实验所选的传感器单向灵敏度愈高愈好,而横向灵敏度愈小愈好。如,压电式加速度传感器由于制造的原因,其最大灵敏度如图 1-2 所示,可以分解为主灵敏度和横向灵敏度。制造得好的传感器,横向灵敏度小于主灵敏度的 3%。如果被测量是二维或三维向量(如切削力),那么对传感器还应要求交叉灵敏度愈小愈好。

(2)响应特性。由于工程测试中的许多被测量都是时间变量,所以选用的实验仪器的响应特性对测试结果有直接影响。要求实验仪器的响应特性必须在所测频率范围内努力保持不失

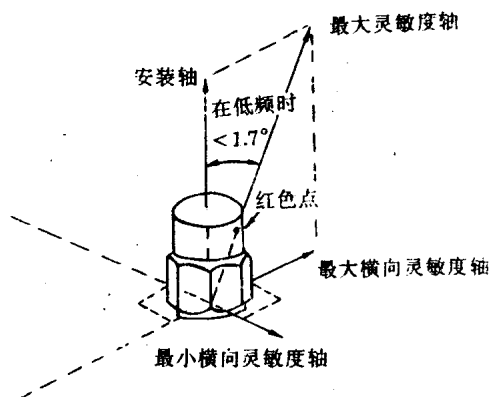


图 1-2 主灵敏度与横向灵敏度

真条件。此外,响应总有一定的延迟,但延迟时间越短越好。

(3)线性范围。任何仪器都有一定的线性范围,在线性范围内输出与输入成比例关系。线性范围愈宽,则表明仪器的工作量程愈大。仪器在线性范围内工作是保证测量精确度的基本条件。

(4)稳定性。实验仪器在规定条件下,其输出特性不应发生明显的改变。在实验环境的温差变化大、干扰强时更要注意稳定性。

(5)精确度。它表示实验仪器所获得的测量结果与真值的一致程度。精确度越高,测量结果中所包含的系统误差和随机误差就越小。实验仪

器的精确度越高,价格就越昂贵。因此,应从被测对象的实际情况出发,选用精确度合适的仪器,以获得最佳的技术经济效益。

(6)其它。除了以上选用实验仪器时应充分考虑的一些因素外,还应尽可能兼顾结构简单、体积小、重量轻、易于维修、易于更换等条件。

3. 方案的审定

在制定实验方案时,可以多提几个方案供选用审定。工程中现场测试实验方案需报请有关部门审定后才能实施。

4. 多方案设计的实例

本书中第八章的实验 8-3、8-4、8-5 悬臂梁特性参数的测试,是同一实验目的三种不同的实验方案。

实验目的:测出悬臂梁的动态特性参数。

实验原理:用机械阻抗试验方法,测出悬臂梁的固有频率、阻尼比等参数。

实验方案:实验 8-3 稳态正弦激振法;

实验 8-4 随机激振法;

实验 8-5 瞬态激振法。

不同的方案选用的仪器不一样,信号处理的方法也不相同。各方案都有各自的特点,三种方案的优缺点列于表 1-1 中。

表 1-1 三种激振法方案的优缺点比较

稳态正弦激振法	随机激振法	瞬态激振法
1. 历史悠久,属于单频激振 2. 激振力幅值和频率可控,频率分辨率高 3. 输入能量集中,信噪比大,试验精度高 4. 不作 FFT 分析,分析设备简单 5. 激振设备复杂、昂贵 6. 容易激起共振而损坏试件 7. 测试时间长	1. 近年发展的测试方法,属于快速宽带激振 2. 激振能量分布在很宽的频率范围内,强度低,不影响系统的过程和控制,可作在线测试 3. 需作 FFT 分析 4. 激振设备和分析设备均复杂 5. 测试时间短,试验精度不高	1. 近年发展的快速测试方法,属于快速宽带激振 2. 激振方式灵活,不需要昂贵的激振设备,便于现场和在线测试 3. 需要作 FFT 分析,分析设备复杂 4. 对大阻尼结构,衰减过快,测试有困难 5. 测试时间短,试验精度中等

四、实验步骤确定

实验步骤主要有:实验前的准备工作,实验中应注意的事项,实验结束后的清理工作。

对于大型复杂的实验,最好先进行预备实验。预备实验的目的是为正式实验设计提供一切需要的资料,其中包括有关被测试件的选择等。预备实验中要细心观察出现的意外效果,这样可及时修改原先的设计,使之完整、合理。如果预备实验一次不够,可试多次。

对于定量检测实验,实验前和实验中都应注意仪器的校准。实验前仪器可用专用设备校准,要求高的还应送计量部门校准。实验中应注意仪器有没有漂移。当仪器输入为零时,若仍有输出,这种现象称为零漂。当输入量不变的情况下,其输出量发生变化,这种现象就是漂移。漂移对测试的精确度将产生影响。

实验中对各台仪器的工作状况应随时检查,做好记录。实验后对仪器要按其要求进行保养,以便以后再用。

五、实验设计题选

以下五个实验设计题可以作为读者学习本书的练习。

- (1)设计验证两个非同频的周期信号互不相关的实验。
- (2)设计对电荷放大器校准的实验。
- (3)设计测取某车床床身固有频率的实验。
- (4)设计评价某机床噪声声压级的实验(含对声级计的校准)。
- (5)设计监测大型发电机组转子轴心运动轨迹的实验。

§ 1-2 实验报告的要求及书写

一、对实验报告的要求

实验报告是一种工程技术文件,是实验研究的产物。报告的内容及书写质量的好坏,对实验的价值影响很大。尽管实验是成功的,数据是可靠的,但是由于报告中结果、结论表达得不准确或不完整,甚至由于书写质量不好造成错误,则会有损于实验的价值。

学生完成教学实验写出的报告,虽然不是正式的工程技术文件,但是至少是一次作业,是为学生将来进行工程实验、科学研究书写实验报告打基础而做的练习。因此,在书写教学实验报告时,也应该按工程实际的要求进行训练。对教学实验报告的具体要求是:

- (1)内容如实。报告内容是实验的总结,因此结论要如实,数据要可靠。
- (2)语言要明确、简洁。所谓“明确”就是书写报告时,要选用恰当的词语,组织通顺的句子,明白、准确、简洁地表达实验的内容。报告的表达方式与文学作品不同,应该采取直叙式。
- (3)书写工整。报告书写格式要正确,错别字应尽量少,图表要符合规范。最好采用统一规格的实验报告纸书写。

好的实验报告,来源于认真地实验和精心地总结。只有认真做好实验中的每一个步骤,获取正确的数据,再经过精心整理成文,才能达到要求。

二、实验报告的基本内容

作为工程技术文件的实验报告一般应包括以下一些内容:

- (1)实验题目;
- (2)引言(说明实验意义、题目来源等内容);
- (3)实验方法;
- (4)实验结果;
- (5)对实验方法、结果的讨论;
- (6)结论;
- (7)参考资料;
- (8)附录(实验中的图、表等)。

而作为教学实验报告不需要包括这么多的内容,因有些项目、内容因报告的阅读人已经知道,故可以省略。值得提起注意的是,有些内容报告中虽可省略,但实验者在实验过程中还是要弄清楚的。如实验原理在报告中一般可以省略,但实验者若不清楚的话,实验时就会知其然,而不知其所以然。教学实验报告至少应该包括以下一些基本内容:

- (1)实验名称;
- (2)实验目的;
- (3)实验仪器和设备;
- (4)实验方法;
- (5)实验结果;
- (6)结论及分析。

这些内容应根据实验的具体情况来书写。切忌不顾实际实验情况,抄几段实验指导书的内容,补充几个数据敷衍了事。对以上内容,在书写报告时,应注意下面一些问题:

实验名称不可任意简化。因为有些实验的名称既有内容的含义,又有原理的含义。如“压电式加速度传感器灵敏度的校准”简化为“加速度传感器的校准”,就表达不出实验用的加速度传感器的结构和校准内容了。

实验目的是实验和书写报告的基础。每次实验的目的都是很清楚明了的,实验中应该紧紧地围绕这个目的,书写报告也必须书写明白。

实验仪器和设备要根据实验中所用的,列出清单。必要时画出实验仪器和设备的相互连接图,以进一步说明各台仪器和设备的用途。

实验方法不是罗列实验步骤,而是用简洁的语言表达实验结果是怎样得到的。

实验结果可以用图、表、数字、文字及表达式等多种形式表述。表述实验结果的数据、单位要准确,必要时应该对数据的整理方法、表达式的含义等作简要说明。采用表格表达实验结果的最大优点是能直接反映实验数据及其精度,缺点是函数间的变化倾向不直观。采用图形表达则形式简明直观,便于比较,易于看出数据中的极值点、转折点、周期性和变化率。精确的图形还可以在不知道数学表达式的情况下进行微积分运算。图示一组实验数据时,可用直角坐标,也可用对数或双对数坐标。图示的曲线应当光滑匀整,不应当有不连续点,不必强求通过所有的、尤其是实验范围两端的那些点。采用表达式表达实验结果的优点是对结果模型化有帮助。

实验结论应该紧紧围绕实验的目的来书写。可以对实验中的现象、实验结果及问题,作必要的解释,还可以与有关理论或理论值作对照讨论。另外也可以对实验的测量精度、结果的可靠性等问题进行叙述,并且对改进实验提出意见。