

测试技术

CESHI JISHU

吴 祥◎主编 周 海◎主审



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

测 试 技 术

主 编 吴 祥
主 审 周 海
副主编 陈杰来 田晓峰

东南大学出版社
• 南京 •

内容简介

全书共分7章,前6章为测试技术的基础部分,介绍了信号的分类与描述、测试系统的特性、常用传感器的变换原理、信号的调理与记录、信号的分析与处理、现代测试系统等;第7章为测试技术的应用部分,介绍了常用机械参数的测试,包括位移的测量、力和扭矩的测量、振动的测试等。本书注意强化基础,适当拓宽知识面,提高综合应用能力,加强工程背景,培养学生的创新能力和工程实践能力。反映测试技术领域的新知识、新发展。叙述力求深入浅出,便于自学。

本书为高等学校机械类和机电类专业本科生的教材,特别适合应用型本科专业的教学需要,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

测试技术 / 吴祥主编. —南京:东南大学出版社,
2014.7

ISBN 978-7-5641-5010-5

I. ①测… II. ①吴… III. ①测试技术—高等学
校—教材 IV. ①TB4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 115559 号

测试技术

出版发行:东南大学出版社

社 址:南京市四牌楼2号 邮编:210096

出 版 人:江建中

责任编辑:史建农

网 址: <http://www.seupress.com>

电子邮箱: press@seupress.com

经 销:全国各地新华书店

印 刷:兴化印刷有限责任公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:15.5

字 数:39.6千字

版 次:2014年7月第1版

印 次:2014年7月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5641-5010-5

印 数:1~3000册

定 价:35.00元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830

前 言

测试技术是现代工程技术发展的基础,是一门蓬勃发展、富有生命力的综合性技术学科。作为一门重要的技术基础课程,测试技术对高等学校机械类专业人才的培养和机电一体化技术的发展具有重要的作用。为了适应应用型工程技术人才培养的需要,充分反映我国测试技术的发展现状,我们以“强化基础、适当拓宽、提高综合应用能力”为原则而编写了本书。

本书在编写过程中根据应用型本科的教学特点,着重基本知识的介绍、基本原理的阐述和基本技能的训练,教材的编写切实体现少而精、由浅入深、立足应用的原则,以达到培养应用型技术人才的目的。在体系结构上,本着学用一致的原则,以组成测试系统的环节为线索,以测试技术的基础知识和有关共性问题为主,既有理论,又有工程实例;既有广度,又有深度;既注重目前情况,又反映近年来的科学技术成果和发展趋势。在内容安排上,重点突出,内容连贯。每章内容相对独立,附有习题,以供练习。本书用到的数学公式和有关定理,只引用其结论,主要说明其物理意义和应用方法,不做推导。考虑到机械类学生的知识结构和思维特点,本书在行文叙述上力求深入浅出,便于自学。

全书共分7章,前6章为测试技术的基础部分,介绍了信号的分类与描述、测试系统的特性、常用传感器的变换原理、信号的调理与记录、信号的分析与处理、现代测试系统等;第7章为测试技术的应用部分,介绍了常用机械参数的测试,包括位移的测量、力和扭矩的测量、振动的测试等。

本书为高等学校机械类和机电类专业本科生的教材,特别适合应用型本科专业的教学需要,也可供相关工程技术人员参考。

本书由吴祥任主编,陈杰来、田晓峰任副主编。吴祥编写了绪论、第1章、第2章、第4章和第5章,田晓峰编写了第3章和第6章,陈杰来编写了第7章。全书由吴祥负责统稿和定稿。

本书由周海主审。

本书编写过程中参考了许多同类的教材和著作,在此对诸位编者和作者表示深深的谢意。本书编写过程中还得到了学校有关部门的关心和教材出版基金的支持,在此一并致谢。

由于书中涉及的知识面较广,编者水平有限,欠妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
2014年5月

目 录

0 绪论	1
0.1 测试的基本概念	1
0.2 测试技术的地位与作用	1
0.3 测试技术的内容和任务	2
0.3.1 测试技术的内容	2
0.3.2 测试技术的任务	2
0.4 测试过程和测试系统的组成	3
0.5 测试技术的发展	4
0.5.1 传感器技术的发展	4
0.5.2 计算机测试技术的发展	5
0.6 本课程的特点和学习要求	5
1 信号及其描述	7
1.1 信号的分类与描述	7
1.1.1 信号的分类	7
1.1.2 信号的描述方法	10
1.2 周期信号的描述	11
1.2.1 周期信号的频域描述	11
1.2.2 周期信号的特征参数描述	16
1.3 非周期信号的描述	17
1.3.1 傅里叶变换	18
1.3.2 傅里叶变换的主要性质	20
1.3.3 几种典型信号的频谱	26
1.4 随机信号的描述	32
1.4.1 随机信号的概念及分类	32
1.4.2 随机过程的主要统计参数	34
习题	35
2 测试系统的基本特性	37
2.1 概述	37
2.1.1 测试系统与线性系统	37
2.1.2 线性系统及其主要性质	38
2.1.3 测试系统的特性	39
2.2 测试系统的静态特性	40

2.2.1 非线性度	40
2.2.2 灵敏度	41
2.2.3 分辨力	41
2.2.4 回程误差	41
2.2.5 漂移	42
2.3 测试系统的动态特性	42
2.3.1 传递函数	42
2.3.2 频率响应函数	43
2.3.3 脉冲响应函数	45
2.3.4 环节的串联和并联	45
2.3.5 一阶和二阶系统的特性	46
2.4 测试系统在典型输入下的响应	50
2.4.1 测试系统在任意输入下的响应	50
2.4.2 测试系统在单位阶跃输入下的响应	51
2.4.3 测试系统在单位正弦输入下的响应	52
2.5 实现不失真测试的条件	53
2.6 测试系统特性参数的测定	54
2.6.1 测试系统静态特性参数的测定	54
2.6.2 测试系统动态特性参数的测定	56
习题	58
3 常用传感器	60
3.1 传感器概述	60
3.1.1 传感器的概念	60
3.1.2 传感器的分类	60
3.1.3 传感器的性能要求	61
3.2 电阻式传感器	64
3.2.1 电阻应变式传感器	64
3.2.2 压阻式传感器	69
3.2.3 变阻式传感器	69
3.3 电感式传感器	71
3.3.1 自感型传感器	71
3.3.2 互感型(差动变压器式)传感器	75
3.3.3 压磁式传感器	76
3.4 电容式传感器	78
3.4.1 电容式传感器的工作原理及分类	78
3.4.2 电容式传感器的特点	81
3.4.3 电容式传感器的应用举例	82
3.5 压电式传感器	84
3.5.1 压电效应与压电材料	84

3.5.2	压电式传感器及其等效电路	86
3.5.3	压电元件常用的结构形式	87
3.5.4	测量电路	87
3.5.5	压电传感器的应用	88
3.6	磁电式传感器	88
3.6.1	磁电感应式传感器	89
3.6.2	霍尔式传感器	90
3.7	光电式传感器	92
3.7.1	光电效应及光电器件	92
3.7.2	光电式传感器的应用	94
3.8	光纤传感器	95
3.8.1	光纤传感器的工作原理	96
3.8.2	光纤传感器的分类	96
3.8.3	光纤传感器的应用	97
3.9	其他类型传感器	97
3.9.1	气敏传感器	97
3.9.2	湿度传感器	98
3.10	传感器的选用原则	98
3.10.1	灵敏度	98
3.10.2	线性范围	99
3.10.3	响应特性	99
3.10.4	稳定性	99
3.10.5	精确度	100
3.10.6	其他选用原则	100
	习题	100
4	信号的调理与记录	102
4.1	电桥	102
4.1.1	直流电桥	102
4.1.2	交流电桥	105
4.2	信号的放大与隔离	107
4.2.1	基本放大器	107
4.2.2	测量放大器	108
4.2.3	隔离放大器	109
4.3	调制与解调	111
4.3.1	幅值调制与解调	112
4.3.2	频率调制与解调	116
4.4	滤波器	118
4.4.1	滤波器分类	119
4.4.2	滤波器性能分析	119

4.4.3	RC 调谐式滤波器	123
4.4.4	恒带宽比和恒带宽滤波器	124
4.4.5	无源滤波器与有源滤波器	127
4.4.6	数字滤波器	130
4.5	信号的显示与记录	131
4.5.1	概述	131
4.5.2	信号显示与记录的类型及特点	132
	习题	132
5	信号的分析与处理	135
5.1	概述	135
5.1.1	信号分析和处理的目的	135
5.1.2	信号分析和处理的内容	135
5.1.3	信号分析和处理的方法	136
5.1.4	数字信号处理的基本步骤	136
5.1.5	数字信号处理设备简介	137
5.2	信号的时域分析	138
5.2.1	特征值分析	138
5.2.2	概率密度函数分析	140
5.3	信号的相关分析	143
5.3.1	相关系数	143
5.3.2	自相关分析	144
5.3.3	互相关分析	147
5.3.4	相关技术的工程应用	149
5.4	信号的频域分析	152
5.4.1	巴塞伐尔(Paseval)定理	152
5.4.2	功率谱分析及其应用	153
5.4.3	相干函数	159
5.4.4	倒频谱分析	160
5.5	数字信号处理基础	163
5.5.1	时域采样和采样定理	163
5.5.2	截断、泄漏和窗函数	166
5.5.3	频域采样与栅栏效应	169
5.5.4	离散傅里叶变换(DFT)和快速傅里叶变换(FFT)	171
	习题	172
6	现代测试系统	174
6.1	计算机测试系统的基本组成	174
6.1.1	多路模拟开关	175
6.1.2	A/D 转换与 D/A 转换	176
6.1.3	采样保持(S/H)	179

6.1.4 多通道数据采集系统的组成方式	180
6.2 计算机测试系统的总线技术	181
6.2.1 总线的基本概念及其标准化	182
6.2.2 总线的通信方式	182
6.2.3 测控系统内部总线	183
6.2.4 测控系统外部总线	185
6.3 虚拟仪器	188
6.3.1 概述	188
6.3.2 虚拟仪器的硬件系统	190
6.3.3 虚拟仪器的软件系统	191
6.3.4 虚拟仪器的发展趋势	193
6.4 网络化测试仪器	194
习题	195
7 测试技术的工程应用	196
7.1 位移的测量	196
7.1.1 位移测量方法	196
7.1.2 常用位移传感器	196
7.1.3 位移测量应用实例	198
7.1.4 微纳米测量技术	200
7.2 力、扭矩的测量	203
7.2.1 应力、应变的测量	203
7.2.2 力的测量	208
7.2.3 扭矩的测量	212
7.3 振动的测试	217
7.3.1 振动的基本知识	217
7.3.2 振动传感器	222
7.3.3 振动的激励及激振设备	226
7.3.4 振动测试系统及其标定	230
7.3.5 振动测试信号的分析及实例	232
习题	235
参考文献	237

0 绪 论

0.1 测试的基本概念

测试是具有试验性质的测量,或理解为测量和试验的综合。测量是为了确定被测对象量值而进行的操作过程,而试验则是对未知事物探索性认识的实践过程。测试过程是获取有用信息的过程。

从信息论的观点看,信息就是事物存在方式和运动状态的特征。信息一般可认同于消息或情报。在自然科学中,信息是对物理对象的状态或特性的反映。信息是物理现象、过程或系统所固有的。信息有其确定的含义,但它本身不是物质,不具有能量。因此,必须有一定的能量或物质形式来表现信息的含义。而反映信息含义的一些能量或物质形式就是信号。例如“减速器运转异常”这一信息,它本身具有一个客观的确定含义,这个信息会通过减速器的“振动”(物质运动形式)、“油温”(能量形式)、“铁谱”(物质数量形式)等特征信号反映出来。

信号是转载信息的物理量函数。信号中蕴含着信息,这是信号的本质所在,信号是物理性的,并且随时间而变化,信号是有能量的物质。信号是信息的载体,信息则是信号所载的内容。信息与信号是互相联系的两个概念,但是信号不等于信息。人们要获取信息,首先要获取信号,然后通过对信号进行分析和处理,才能最终得到所需的信息。一般来说,对于任何一个信息,总可以找到多个与其对应的信号;反之,一个信号中也往往包含着多种信息。例如,“物体受热”这一信息,反映出来的是温度上升、体积膨胀、磁导率、电阻率变化以及红外线辐射加大等。由于信号的多重信息内涵,人们可以通过信号分析和处理来获取多种信息。

测试的目的是把未知的被测信号转化为可观察的信号,并获得所研究对象的有关信息。

0.2 测试技术的地位与作用

测试属于信息科学的范畴,又被称为信息探测工程学。测试技术是信息技术的三大支柱(测控技术、计算机技术和通信技术)之一。

在科学研究领域中,测试是人类认识客观事物最直接的手段,是科学研究的基本方法。科学的基本目的在于客观地描述自然界。科学探索需要测试技术,用准确而简明的定量关

系和数学语言来表述科学规律,检验科学理论和规律的正确性同样也需要测试技术。可以认为精确的测试是科学的根基。通过测试可以揭示事物的内在联系和发展规律,从而去利用它和改造它,推动科学技术的发展。科学技术的发展历史表明,科学上很多新的发现和突破都是以测试为基础的。

在工程技术领域中,工程研究、产品开发、生产监控、质量控制和性能试验等都离不开测试技术。测试技术几乎涉及任何一项工程领域,生物、海洋、气象、地质、通信以及机械、电子等工程,都离不开测试与信息处理。特别是现代工程技术广泛应用着的自动控制技术正在越来越多地运用测试技术。测试装置已成为控制系统的重要组成部分。在日常生活中,也随处可见测试技术应用的例子。例如,空调、电冰箱中的温度测量和压缩机起/停控制装置,洗衣机中的液位测量和洗衣电机起/停控制装置等。

总之,测试技术已广泛应用于国民经济的各个领域,并且起着越来越重要的作用。现代测试技术既是促进科技发展的重要技术,又是科学技术发展的结果。现代科技的发展不断地向测试技术提出新的要求,推动测试技术的发展。与此同时,测试技术迅速吸取和综合各个科技领域(如物理学、微电子学、计算机科学和化学、生物学、材料科学等)的新成就,开拓出新的方法和装置。测试技术的发展水平已成为科技与经济发展现代化的重要标志之一。

0.3 测试技术的内容和任务

0.3.1 测试技术的内容

测试技术研究的主要内容为被测量的测量原理、测量方法、测量系统以及数据处理四个方面。

测量原理是指实现测量所依据的物理、化学、生物等现象及有关定律的总体。例如,压电晶体测振动加速度时所依据的是压电效应;电涡流位移传感器测静态位移和振动位移时所依据的是电磁效应;热电偶测量温度时所依据的是热电效应等。不同性质的被测量用不同的原理去测量,同一性质的被测量亦可用不同的原理去测量。

测量原理确定后,根据对测量任务的具体要求和现场实际情况,需要采用不同的测量方法,如直接测量法或间接测量法、电测法或非电测法、模拟量测量法或数字量测量法、等精度或不等精度测量法等。

在确定了被测量的测量原理和测量方法以后,就要设计或选用装置组成测量系统。

最后,实际测试得到的数据必须加以处理,才能得到正确可靠的结果。

0.3.2 测试技术的任务

测试技术的任务主要有以下五个方面:

(1) 在设备设计中,通过对新旧产品的模型试验或现场实测,为产品质量和性能提供客

观的评价,为技术参数的优化和效率的提高提供基础数据。

(2) 在设备改造中,为了挖掘设备的潜力,以便提高产量和质量,经常需要实测设备或零件的载荷、应力、工艺参数和电机参数,为设备强度校验和承载能力的提高提供依据。

(3) 在工作和生活环境的净化及监测中,经常需要测量振动和噪声的强度及频谱,经过分析找出振源,并采取相应的减振、防噪措施,改善劳动条件与工作环境,保证人的身心健康。

(4) 科学规律的发现和新的定律、公式的诞生都离不开测试技术。从实验中可以发现规律,验证理论研究结果,实验与理论可以相互促进,共同发展。

(5) 在工业自动化生产中,通过对工艺参数的测试和数据采集,实现对设备的状态监测、质量控制和故障诊断。

0.4 测试过程和测试系统的组成

测试的过程就是获得信号并提取所需信息的过程。通常,测试工作的全过程包含着若干不同功能的环节:激励被测对象、信号的传感与变换、传输与调理、分析与处理、显示与记录等。测试过程既可以在人工干预和控制下进行,也可以借助计算机技术自动实现。

测试系统是指由相关的器件、仪器和测试装置有机组合而成的具有获取某种信息之功能的整体,见图 0.1。

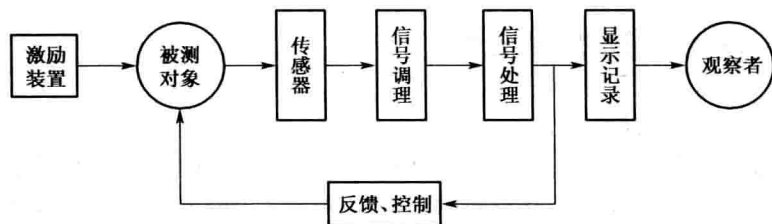


图 0.1 测试系统的组成

一个被测对象的信息总是通过一定的物理量——信号所表现出来。有些信息可以在被测对象处于自然状态时所表现出的物理量中显现出来,而有些信息却无法显现或显现得不明显。在后一种情况下,需要通过激励装置作用于被测对象,使之产生出我们要获取的信息载于其中的一种新的信号。

传感器是将被测信息转换成某种电信号的器件。它包括敏感器和转换器两部分。敏感器一般是将被测量如温度、压力、位移、振动、噪声、流量等转换成某种容易检测的信号,而转换器则是将这种信号变成某种易于传输、记录、处理的电信号。

信号调理环节是把来自传感器的信号转换成更适合于进一步传输和处理的形式。这种信号的转换,多数是电信号之间的转换。如幅值放大,将阻抗的变化转换成电压的变化或频率的变化等。

信号处理环节是对来自信号调理环节的信号进行各种运算、滤波和分析。

显示记录环节是将来自信号处理环节的信号以观察者易于观察的形式来显示或存储

测试的结果。

反馈、控制环节主要用于闭环控制系统中的测试系统。

图中信号调理、信号处理、反馈控制、显示记录等环节,目前的发展趋势是经 A/D 转换后采用计算机等进行分析、处理,并经 D/A 转换控制被测对象。

以上所列测试系统各组成部分是按“功能块”给出的,实际中的这些功能块所对应的具体装置或仪器的伸缩性很大。例如,信号调理部分有时可以是多种仪器组合成的、完成多种功能的复杂群体,有时却可能简单到仅有一个变换电路,甚至可能仅是一根导线。

在这里,需要指出的是为了准确地获得被测对象的信息,要求测试系统中的每一个环节的输出量与输入量之间必须具有一一对应关系。而且,其输出的变化能够准确地反映出其输入的变化,即实现不失真的测试。

0.5 测试技术的发展

现代测试技术的发展和科学技术的发展相辅相成、相互促进。测试技术既是促进科技发展的重要技术,又是科学技术发展的结果。现代测试技术的发展趋势是:在不断提高灵敏度、精度和可靠性的基础上,主要向小型化、非接触化、多功能化、智能化和网络化方向发展。

近年来测试技术引人瞩目的是传感器技术和计算机测试技术的发展。

0.5.1 传感器技术的发展

(1) 物性型传感器大量涌现

物性型传感器是依靠敏感材料本身的某种性质随被测量的变化来实现信号的转换的。因此这类传感器的开发实质上是新材料的开发。目前发展最迅速的新材料是半导体、金属氧化物陶瓷、光导纤维、导电聚合物、磁性材料,以及所谓的“智能材料”(如形状记忆合金、具有自增殖功能的生物体材料)等。这些材料的开发,不仅使可测量迅速增多,使力、热、光、磁、湿度、气体、离子等方面的一些参量的测量成为现实,也使集成化、小型化、高性能传感器的出现成为可能。

(2) 微型化、智能化、多功能化传感器的开发

微型传感器是利用集成电路技术、微机械加工与封装技术制成的体积非常微小的传感器,其尺寸可小到微米数量级。微型传感器具有体积小、重量轻、响应快、灵敏度高以及成本低等优点。

智能传感器是由传感器和微处理器相结合而构成的。它充分利用计算机的计算和存储能力,对传感器的数据进行处理,并能对它的内部工作进行调节。随着科学技术的发展,智能传感器的功能将不断增强。它将利用人工神经网络和人工智能技术以及模糊理论等信息处理技术,使传感器具有更高级的智能,例如具有分析、判断、自适应、自学习的功能,可以完成图像识别、特征检测和多维检测等复杂任务。

多功能传感器由两种以上功能不相同的敏感元件组成,可以用来同时测量多种参数。

例如将热敏元件和湿敏元件配置在一起,制成一种新的传感器,能够同时测量温度和湿度。

这类传感器一般都属于集成化传感器,而且同一传感器可以既是多功能化的也是智能化的,或者既是微型化的也是多功能化的。

(3) 新型传感器的开发

随着科学技术的飞速发展,用于信号探测的传感器正面临许多全新的问题和新的需求,在这种情况下,光纤传感器、固体图像传感器、红外传感器、化学传感器和生物传感器等新型传感器不断出现和发展。近年来,在工农业生产、环境检测、医疗卫生和日常生活等领域,气体传感器、湿度传感器和离子传感器等化学传感器的应用日益广泛。目前一些商品化的智能化学传感器已经出现。

0.5.2 计算机测试技术的发展

由于计算机对信号采集和处理具有速度快、信息量大和存储方便等传统测试方法不可比拟的优点,因此随着计算机技术的飞跃发展和微机的大规模普及,以计算机为中心的自动测试系统得到迅速发展与应用。计算机技术和测试技术的深层次结合,使测试技术与仪器突破了原有的概念和结构,形成了虚拟仪器、远程测试、网络化测试的架构,这些都是现代测试技术发展的重要方面。

虚拟仪器技术是当今计算机测试领域的一项重要的高新技术,虚拟仪器是在通用计算机平台上,用户根据自己的需求定义和设计仪器的测试功能,通过图形界面(通常称为虚拟前面板)进行操作的新一代仪器。其实质是将仪器硬件和计算机充分结合起来,以实现并扩展传统仪器的功能。它是一种基于图形开发、调试和运行程序的集成化环境。

虚拟仪器是对传统仪器概念的重大突破。它利用计算机系统的强大功能、结合相应的仪器硬件,采用模块式结构,大大突破了传统仪器在数据处理、显示、传送、存储等方面的限制,使用户可以方便地对其进行维护、扩展和升级。虚拟仪器具有功能软件化、功能软件模块化、仪器控件模块化、硬件接口标准化、系统集成化、程序设计图形化、计算可视化等特点。虚拟仪器系统经过多年的发展,已经显示出极大的灵活性和强大的生命力,成为测控系统发展的方向。

0.6 本课程的特点和学习要求

测试技术课程属于高等院校机械类及其他相关专业的一门技术基础课。通过本课程的学习,要求学生初步掌握动态测试与信号处理的基本知识与技能,培养正确选用和分析测试装置及系统的能力,为进一步学习、研究和解决机械工程动态测试问题打下基础。

学习本课程需要了解和掌握其特点,本课程主要有以下几个方面的特点:

(1) 发展迅速。测试技术学科发展极为迅速,新型的传感技术与电路、新型记录仪器及新的测试方法和手段、新的信号分析与处理的理论与方法不断出现,层出不穷。因此,我们应当将主要精力放在掌握动态测试的基本概念、结论、原理以及基本的分析和综合方法上,从而为能够进一步学习本学科更新、更广泛的内容奠定基础。

(2) 理论性强。由于被测信号是随时间变化的动态量,必须对信号和所用测试装置及系统进行定量的描述、分析和研究。因此,经常需要用到有关的数学知识,这就使得课程中的有关内容理论性较强,较为抽象。此外,本课程还经常需要在频率域中研究问题,可能会由于陌生感而给初学者带来一定的难度。针对本课程的这些特殊性,学习过程中应当特别重视定量内容的物理概念及意义,只有在对基本概念深入理解的基础上,才能对本课程内容深入把握。此外,对于有关数学内容的把握应侧重于物理概念的理解和方法的运用上,防止单纯地研究数学内容本身。

(3) 工具性强。对于动态测试工作者而言,本课程是解决问题的一种工具,我们是使用测试仪器的,而不是研究开发测试仪器的,学过本课程后,应能达到的基本要求是“选得准、用得好”。要能“选得准”就要了解各种测试仪器的功能与应用特点,重点放在它们的外特性及影响测试精度的因素上,至于具体的电路原理和实现的方法等则不在本课程的要求范围内。要能“用得好”就必须十分重视培养自己的实际动手能力。

(4) 边缘性、综合性强。测试技术是一门年轻的边缘性学科,是一门综合性技术。它是综合运用其他多学科的内容与成果而发展起来的。现代测试系统常常是集机电于一体,软硬件相结合的,具有智能化、自动化的系统。它涉及传感技术、微电子技术、控制技术、计算机技术、信号处理技术、精密机械设计技术等众多技术。因此,要求测试工作者具有深厚的多学科知识,如力学、电学、信号处理、自动控制、机械振动、计算机、数学等。因此,本课程所涉及的学科范围较广,与多门课程有关,具体包括数学(高等数学、工程数学)、物理学、电工电子学、力学、控制工程、微机原理、机械设计等。此外,还需要机械工程方面的专业知识。这就要求在学习过程中,主动地对先修课程的有关内容进行关联和回顾。

(5) 实践性强。测试技术本质上是一门实验技术。本课程具有很强的实践性。只有在学习过程中密切联系实际,加强实验,注意物理概念,才能真正掌握有关理论。学生只有通过足够和必要的实验才能受到应有的实验能力的训练,才能获得关于动态测试工作的比较完整的概念,也只有这样,才能初步具有处理实际测试工作的能力。

通过本课程的学习,要求学生能达到以下要求:

(1) 掌握测试技术的基本理论,包括信号的时域和频域的描述方法、频谱分析和相关分析的原理和方法、信号调理和信号处理基本概念和方法。

(2) 了解常用传感器、常用信号调理电路和记录仪器的工作原理和性能,并能较合理地选用。

(3) 具有测试系统的机、电、计算机方面的总体设计的初步能力。

(4) 对动态测试的基本问题有一个比较完整的概念,并能初步运用于机械工程中某些参量的测量和产品的试验。

1 信号及其描述

在生产实践和科学研究中,经常要对许多客观存在的物体或物理过程进行观测,就是为了获取有关研究对象状态与运动等特征方面的信息。从信息论的观点看,信息就是事物存在方式和运动状态的特征。被研究对象的信息量往往是非常丰富的,测试工作是按一定的目的和要求,获取感兴趣的、有限的某些特定信息,而不是全部信息。

工程测试信息总是通过某些物理量的形式表现出来,这些物理量就是信号。信号是信息的载体,信息则是信号所载的内容。信息与信号是互相联系的两个概念,但是信号不等于信息。可以说,工程测试就是信号的获取、加工、处理、显示记录及分析的过程,因此深入地了解信号及其描述是工程测试的基础。

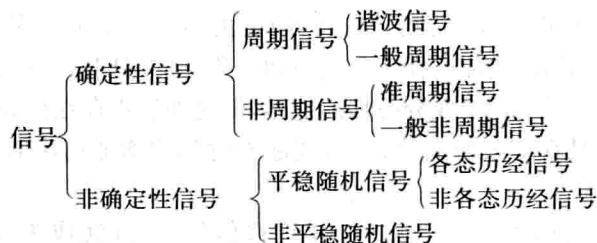
1.1 信号的分类与描述

1.1.1 信号的分类

信号按数学关系、取值特征、能量功率、处理分析等,可以分为确定性信号和非确定性信号、连续信号和离散信号、能量信号和功率信号、时域信号与频域信号等。

1) 确定性信号和非确定性信号

其分类如下:



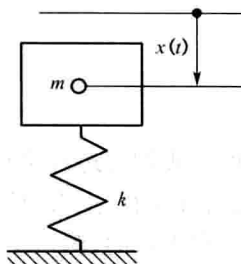
(1) 确定性信号

能用明确的数学关系式或图像表达的信号称为确定性信号。例如单自由度的无阻尼质量-弹簧振动系统,如图 1.1(a)所示。其位移信号 $x(t)$ 可以写为

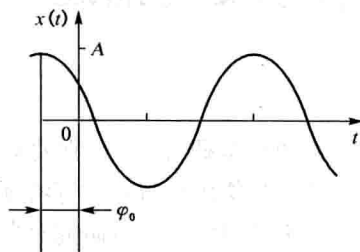
$$x(t) = A \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t + \varphi_0\right) \quad (1.1)$$

式中: A ——振幅(最大值);

k ——弹簧刚度;
 m ——质量;
 φ_0 ——初始相位。



(a) 无阻尼弹簧-质量系统示意图



(b) 振动幅值随时间变化图

图 1.1 弹簧-质量系统

该信号可用图 1.1(b) 的 $x(t)-t$ 曲线表示为位移 $x(t)$ 随时间 t 的变化情况。

确定性信号可以分为周期信号和非周期信号两类。当信号按一定时间间隔周而复始重复出现时称为周期信号，否则称为非周期信号。

周期信号的数学表达式为

$$x(t) = x(t + nT_0) \quad (1.2)$$

式中: $n = \pm 1, \pm 2, \dots$;

T_0 ——周期, $T_0 = 2\pi/\omega_0 = 1/f_0$;

ω_0 ——角频率;

f_0 ——频率。

式(1.1)表达的信号显然是周期信号,其角频率 $\omega_0 = \sqrt{k/m}$, 周期为 $T_0 = 2\pi/\omega_0 = 2\pi/\sqrt{k/m}$, 这种频率单一的正弦或余弦信号称为谐波信号。周期信号的常用特征参量有均值、绝对均值、均方差值、均方根值(有效值)和均方值(平均功率)等。

一般周期信号(如周期方波、周期三角波等)是由多个乃至无穷多个频率成分(频率不同的谐波分量)叠加所组成,叠加后存在公共周期。典型的周期信号见表 1.1。

准周期信号也是由多个频率成分叠加的信号,但叠加后不存在公共周期。

一般非周期信号是在有限时间段存在,或随着时间的增加而幅值衰减至零的信号,又称为瞬变非周期信号。

当图 1.1 所示的振动系统有阻尼时,其位移信号 $x(t)$ 就成为瞬变非周期信号,其 $x(t)-t$ 曲线为衰减的谐波。

(2) 非确定性信号

非确定性信号又称为随机信号,是无法用明确的数学关系式表达的信号。如加工零件的尺寸、机械振动、环境的噪声等,这类信号需要采用数理统计理论来描述,无法准确预见某一瞬时的信号幅值。根据是否满足平稳随机过程的条件又可以分成平稳随机信号和非平稳随机信号。