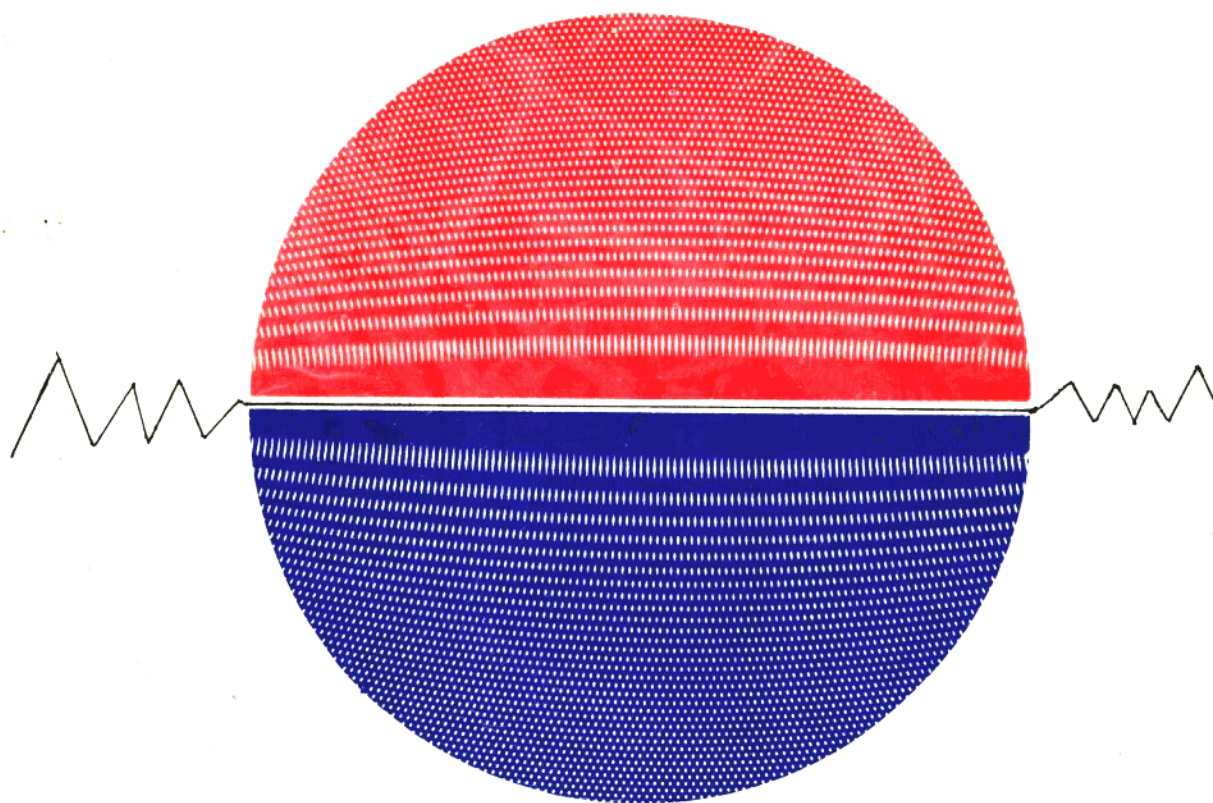


测试技术基础

余席桂 主 编 赵 燕 副主编



湖北科学技术出版社

测试技术基础

余席桂 主 编

赵 燕 副主编

湖北科学技术出版社

测试技术基础

© 余席柱 主编

策 划:黄新明 赵守富
责任编辑:刘 琼 王连弟

封面设计:雷汉林

出版发行:湖北科学技术出版社
地 址:武汉市武昌东亭路2号

电话:6812508
邮编:430077

印 刷:武汉汽车工业大学印刷厂

邮编:430070

787×1092mm 16开 14印张
1996年11月第1版

336千字
1996年11月第1次印刷

印数:1-3000
ISBN 7-5352-1887-3/TH·30

定价:16.60元

本书如有印装质量问题可找承印厂更换

前 言

本书在参考 1992 年 8 月全国高校测试技术研究会烟台年会上提供的参考性教学大纲的基础上, 根据高校机械类专业改造的基本要求, 并结合编者多年来的教学实践和科研体会编写而成。

测试技术是一门知识面广、综合性强的应用学科, 要求掌握系统、扎实的基础知识。本书就是以此为出发点, 着重介绍有关测试技术的基础知识 (有关专题测试的内容, 则在另一门课程“专业综合实验”中介绍)。其编写体系是按照分析或配置一个测试系统所要考虑的基本问题和主要环节来形成的。全书共分八章, 主要内容有: 信号基础知识; 测试系统特性的评价、分析及测定方法; 信号的拾取、调理、转换、记录及分析; 机械振动测试; 微机在测试技术中的应用等。遵循“更新内容、充实理论、语言简洁、保证质量”的原则, 在编写过程中, 力求既满足参考大纲的基本要求, 又具有鲜明的反映新技术、新观念的时代特征。在介绍传统的模拟技术的同时, 也兼顾了新型传感器、数字技术及微机应用技术的介绍。在文字叙述上力求由浅入深, 基础知识具有系统性, 局部章节又具有独立性, 便于自学, 适当取舍内容后可适应不同层次及不同专业的教学要求。本书除可用作高校机械制造、机械设计及机电工程等机类专业的测试技术课教材外, 也可作为专科及成人高等教育相应专业的测试技术课教材或作为从事机械工程测试的工程技术人员参考书。

本书由武汉汽车工业大学余席桂主编并统稿, 赵燕为副主编。其中绪论、第一章、第二章由余席桂编写, 第三章、第四章、第八章由赵燕编写。参加编写的还有江征风 (第五、七章) 以及张萍 (第六章)。

华中理工大学卢文祥教授对本书的编写提出了宝贵意见, 并详细审阅了全书。编者在此对他致以衷心的感谢。

本书在编写时参考了不少兄弟院校的相关教材和国内外有关参考文献。尤其是严普强、黄长艺教授主编的《机械工程测试技术基础》和卢文祥、杜润生教授主编的《机械工程测试·信息·信号分析》给编者的启发最大。在此一并表示谢意。

由于编者的水平有限, 书中不足、欠妥及错误之处在所难免。恳请同行及广大读者批评指正。

编 者

1996 年 3 月 6 日

目 录

绪论	(1)
一、测试的含义	(1)
二、测试技术在机械工程中的作用	(1)
三、测试方法分类与基本测试系统	(2)
四、课程的性质和任务	(3)
五、测试技术的发展趋向	(4)
第一章 测试信号基础知识	(5)
第一节 信号的分类与描述	(5)
一、信号的分类	(5)
二、信号的描述方法	(8)
第二节 周期信号与离散频谱	(9)
一、简单周期信号的时域表达及频谱	(9)
二、复杂周期信号的展开	(9)
三、周期信号的强度表述	(17)
第三节 准周期信号	(17)
第四节 瞬态信号与连续频谱	(18)
一、傅立叶变换	(18)
二、傅立叶变换的主要性质	(21)
三、常见信号及其频谱	(26)
第五节 随机信号	(32)
一、概述	(32)
二、随机信号的主要特征参数	(33)
第二章 测试系统的基本特性	(36)
第一节 概述	(36)
一、组成测试系统应考虑的因素	(36)
二、理想测试系统——线性时不变系统的主要性质	(38)
三、常见的实际测试系统	(39)
第二节 测试系统的静态特性	(40)
一、非线性度	(40)
二、灵敏度	(40)
三、回程误差	(41)
第三节 系统动态特性的数学描述及其物理意义	(41)
一、传递函数	(42)

二、频率响应函数与频响曲线	(43)
三、测试系统中环节的串联与并联	(45)
四、权函数	(45)
第四节 系统实现动态测试不失真的频率响应特性	(47)
第五节 常见测试系统的频率响应特性	(48)
一、一阶系统	(48)
二、二阶系统	(50)
第六节 常见测试系统对瞬态激励的响应	(51)
一、单位脉冲输入时测试系统的响应	(52)
二、单位阶跃输入时测试系统的响应	(52)
三、测试系统对任意输入的响应	(53)
第七节 测试系统动态特性的测试	(54)
一、用稳态响应法求系统的动态特性	(54)
二、用脉冲或阶跃响应法求系统的动态特性	(55)
第八节 环节互联的负载效应与适配条件	(58)
一、环节互联的负载效应	(58)
二、一阶系统互联时的适配条件	(58)
三、二阶系统的互联与适配	(60)
 第三章 常用传感器	(61)
第一节 概述	(61)
一、传感器的定义	(61)
二、传感器的分类及要求	(62)
第二节 电阻式传感器	(64)
一、电阻应变式传感器	(64)
二、其它电阻式传感器	(68)
第三节 电容式传感器	(70)
一、电容传感器的变换原理	(70)
二、电容传感器的应用实例	(74)
第四节 电感式传感器	(75)
一、可变磁阻式电感传感器	(75)
二、涡流式电感传感器	(77)
三、变压器式电感传感器	(80)
四、电感传感器的应用实例	(81)
第五节 磁电式传感器	(82)
一、动圈式(或动磁式)磁电传感器	(82)
二、磁阻式磁电传感器	(84)
第六节 压电式传感器	(85)
一、压电效应	(85)

二、压电式传感器及其等效电路	(86)
三、前置放大器	(89)
四、压电传感器的应用	(90)
第七节 几种新型传感器	(92)
一、光纤传感器	(92)
二、薄膜传感器	(93)
三、智能传感器	(95)
第四章 信号变换及调理	(97)
第一节 电桥电路	(97)
一、直流电桥	(97)
二、交流电桥	(101)
三、变压器电桥	(102)
第二节 调制与解调	(103)
一、信号调制的概念	(103)
二、调幅及解调测量电路	(104)
三、调频及解调测量电路	(109)
第三节 滤波器	(112)
一、滤波器分类	(113)
二、滤波器的性能参数	(113)
三、RC 调谐式滤波器的基本特性	(115)
四、恒百分比带宽与恒带宽滤波器	(119)
第四节 信号调理中的抗干扰方法	(121)
一、机械干扰	(121)
二、热干扰	(121)
三、光干扰	(122)
四、电磁干扰	(122)
第五章 记录及显示仪	(125)
第一节 概述	(125)
第二节 光线示波器	(125)
一、光线示波器的工作原理	(125)
二、振动物特性	(126)
三、光学系统	(130)
四、光线示波器的特点	(130)
第三节 笔式记录仪	(131)
一、检流计式笔记录仪	(131)
二、伺服记录仪	(131)
第四节 磁带记录仪	(132)

一、磁带记录仪的特点	(132)
二、磁带记录仪的构成与工作原理	(133)
三、磁带记录仪的类型	(134)
第五节 磁盘记录器	(138)
第六节 数字显示系统	(139)
一、计数器	(139)
二、译码器	(139)
三、显示器	(140)
第六章 信号分析与处理	(142)
第一节 数字信号处理	(142)
一、数字信号处理的基本步骤	(142)
二、采样、混叠和采样定理	(143)
三、量化和量化误差	(145)
四、截断、泄漏和窗函数	(146)
第二节 相关分析及其应用	(148)
一、相关的概念	(148)
二、自相关分析及其应用	(149)
三、互相关分析及其应用	(151)
第三节 功率谱分析及其应用	(154)
一、自谱	(154)
二、互谱	(157)
第七章 机械振动测试与分析	(160)
第一节 概述	(160)
第二节 振动的基本知识	(161)
一、振动的分类	(161)
二、单自由度系统的受迫振动	(162)
三、多自由度系统振动	(165)
四、机械阻抗的概念	(165)
第三节 振动的激励	(167)
一、激振的方式	(167)
二、激振设备	(169)
第四节 测振传感器(拾振器)	(172)
一、常用拾振器的类型	(172)
二、接触式相对拾振器的跟随条件	(172)
三、惯性式拾振器的工作原理	(173)
四、压电式加速度拾振器在使用中的注意事项	(175)
五、选择拾振器的原则	(177)

第五节 振动信号分析仪器	(177)
一、振动计	(177)
二、频率分析仪	(177)
三、频率特性与传递函数分析仪	(181)
四、数字信号处理系统(综合分析仪)	(183)
第六节 机械结构的固有频率和阻尼率的估计	(183)
一、总幅值法	(184)
二、分量法	(185)
三、矢量法	(186)
第七节 振型的测定	(187)
第八章 微机在测试技术中的应用	(189)
第一节 微机测试系统的几种主要应用	(189)
一、自动化测控系统	(189)
二、智能仪器——微机与测量仪器的有机结合	(190)
三、电子仪器功能的微机模拟	(190)
第二节 微机测试系统的组成	(190)
一、微机测试系统的工作过程	(190)
二、微机测试系统的基本构成	(190)
三、模拟输入通道的基本结构	(192)
四、模拟输出通道的基本结构	(193)
五、微机测试系统的软件组成	(194)
第三节 微机测试系统中的接口技术	(195)
一、微机系统的结构层次及总线形式	(195)
二、主机类型	(197)
三、输入输出的控制方式	(198)
四、A/D 转换器与微处理器的接口方法	(200)
五、D/A 转换器与微处理器的接口方法	(202)
六、数字信号与微处理器的接口方法	(203)
七、串行接口方法	(203)
第四节 微机测试系统实例	(205)
一、微机在示波器检定中的应用	(205)
二、单片机在交流双速电梯中的应用	(209)
三、多参数微机数据采集处理系统	(211)
参考文献	(214)

绪 论

一、测试的含义

测试技术泛指测量和试验两个方面的技术。测试是人们认识客观事物的方法。测试过程则是借助专门设备,通过合适的实验和必要的数据处理,从研究对象中获得有关信息的认识过程。所以,测试科学属于信息科学范畴,又被称为信息探测工程学。

对于信息,一般可理解为消息、情报或知识。例如,语言文字是社会信息,商品报道是经济信息;古代烽火是外敌入侵的信息等。但信息又不等同于消息。例如,小道消息有真有假;迟到的消息则毫无用处。应当说,信息是消息的内核,消息只是信息的外壳。从物理学观点出发来考虑,信息不是物质,也不具备能量,但它却是物质所固有的,是其客观存在或运动状态的特征。可以理解为:信息是事物运动的状态和方式。信息和物质、能量一样,是人类不可缺少的一种资源。

信息本身不是物质,不具有能量,但信息的传输却依靠物质和能量。一般来说,传输信息的载体称为信号,信息蕴涵于信号之中。例如古代烽火,人们观察到的是光信号,而它所蕴涵的信息则是“外敌入侵”。又如,防空警笛,人们感受到的是声信号,其携带的信息则是“敌机空袭”或“敌机溃逃”。

信号具有能量,是某种具体的物理量。信号的变化则反映了所携带的信息的变化。

测试工作的目的是获取研究对象中有用的信息,而信息又蕴涵于信号之中。可见,测试工作始终都需要与信号打交道,包括信号的获取、信号的调理和信号的分析等。

二、测试技术在机械工程中的作用

我们已经知道,测试工作是为了获取研究对象中有用的信息。信息是事物运动的状态和方式。可见,凡需要考察事物的状态、运动、特征及其变化,对它们进行定量的描述,并希望利用这些信息对过程进行有效的控制,都离不开测试工作。

人类对客观世界的认识和改造,总是以测试工作作为基础的。例如,人类早期从事生产活动时,就已经对长度、面积、重量和时间等进行了测量。随着人类的进步,科学技术的不断发展,测试的方法和手段也在不断更新和提高。可以这样认为:测试技术能达到的水平,在很大程度上决定了科学技术发展的水平。

我国的机械工业已经具有相当的规模和基础,门类齐全,体系完整。不仅能解决原子能、空间技术和电子工业生产中的复杂问题,而且能为各种消费品的生产提供全套技术装备。一些产品还走向了国际市场。但是,我们必须清醒地看到我国机械工业中还存在着一一些问题。我国机械工业必须在吸收国外先进技术的同时,加强研究、设计和技术开发,尤其是以机械工程技术与微电子技术等高新技术相结合,发展机电一体化,这是我国社会主义建设高速发展的必然趋势。在机电一体化产品中,常常需要用各种测试手段来获取各种信息以监视生产过程和机器的工作状态并达到优化控制的目的。

在机械工程中,测试工作不仅能为产品的质量和性能提供客观的评价,为产品的设计和改进提供基础数据,而且是进行一切探索性的、开发性的、创造性的和原始的科学发现及技术发明的手段,也是监护设备、诊断设备故障、使设备高效率安全运行不可缺少的手段。另

外,测试技术还是实现生产过程自动化和产品智能化的技术基础。因此,测试技术是机械工业发展的一个重要基础技术。

三、测试方法分类与基本测试系统

测试是为了获取研究对象中的有用信息。也就是说,被研究对象的信息量总是非常丰富的,而测试工作是根据一定的目的和要求,限于获取有限的、观测者感兴趣的某些特定信息,而不是企图获取该研究对象的全部信息。

信息是以信号的形式表现出来的。信号是携带着信息的物理量。但是,这种物理量本身并非就等同于信息。只有懂得了信号的内涵,才能了解这种信号中所携带的具体信息。以语言为例,它是以声波的形式来表达人们思想的一种载体。各民族都有自己不同的语言,只有真正懂得该种语言,才能了解这种声波信号中所含的信息——讲话者所要表达的内容。又例如古代烽火台约定用光或浓烟来传递“外敌入侵”的信息,而今天人们看到山顶的火光或浓烟时,就不会想到是“外敌入侵”,而可能是“山林失火”的信息了。

如果所测试的信号不随时间变化,或相对观察时间变化非常缓慢而可以忽略者,则称这种测试是静态的。如果所测试的信号变化较快,这种测试则属于动态测试。在动态测试中,由于测试工具(传感器、放大器等)本身也具有特定的动态特性,而所研究的信号又是测试工具的动态特性和研究对象动态特性的综合反映,所以问题比较复杂。

在机械工程测试中,要测试的信号往往是机械量。机械量从狭义的范围讲,包括与运动、力和温度有关的物理量,如位移、速度、加速度、外力、重量、力矩、功率、压力、流量、温度等。为了测试工作的方便,往往需要把被测试的机械量信号转换成其它形式的信号来处理。根据被测信号的转换方式,又可以把测试分为机械测量法、光测法、气、液测量法和电测法等。例如,用百分表测位移,用双金属片测温度等都属于机械测量法。目前大量用到的光栅技术、激光测量技术和红外测量技术等都属于光测法。光测法的特点是精度高、稳定,但对环境条件要求高。一般来说,光测法适用于实验室的条件或对其它仪器作标定用。气、液测量法对环境条件要求不高,但由于其可压缩性和响应较迟缓,也只适宜作静态测试。目前,机械工程中普遍使用的是非电量电测法。此种测试方法精度高、灵敏度高,特别适合于作动态测试,且可以把不同的被测机械量信号转换成相同的电信号,便于用统一的后继仪器进行处理和用计算机进行分析,还具有便于对信号进行远距离测量和控制乃至实现无线遥控等优点。可以说,电测法是现代测试技术发展的特点之一。本书重点放在动态测试中的非电量电测法上。

从研究对象获取的信号中所携带的信息往往很丰富,既有我们所需要的信息,也含有大量我们不感兴趣的其它信息,后者统称为干扰。相应地,对于信号也有“有用信号”和“干扰信号”的提法,但这是相对的。在一种场合我们认为是“干扰”的信号,在另一种场合则可能是“有用”的信号。例如,齿轮噪声对工作环境是一种“干扰”,但对于评价齿轮副的运行状态和用作故障诊断时,又成为“有用”的了。测试工作的一个重要任务就是从复杂的信号中排除干扰信号,提取出有用的信息。

为把信息从信源点尽可能真实地传输到接收点,整个过程力求既不失真,也不受干扰。或者说,要在有严重外界干扰的情况下提取和辨识出信号中所包含的有用信息,在测试工作中往往还需要对信号作必要的变换、放大等调理。有时还需要选用合适的方式来激励研究对象(信源),使它处于人为控制的运动状态,从而产生表征其特征(信息)的信号。

据此,非电量电测法的测试系统往往是由许多功能不同的器件所组成。其基本测试系统的方框图如图0-1所示,一般由测量装置、标定装置和激励装置组成。测量装置是各种测量仪器和辅助装置的总称。它包括传感器、信号调理与信号分析仪器以及显示、记录仪器三个部分。传感器感受和拾取被测的非电量信号,并把非电量信号转换成电信号,以便送入后面的仪器进行处理。信号调理仪器也称测量电路,它把传感器送来的电信号进行处理(如实现再转换、放大或衰减、调制与解调、阻抗变换、滤波等处理),使信号变成适合于显示、记录或与计算机外部设备适配的信号。信号分析仪器目前多指计算机系统或专用数字信号分析仪器,也可以是模拟信号分析仪器。它主要是对信号进行滤波、运算等,以求得信号中有用的特征值。显示、记录仪器的作用是提供人的知觉能够理解的信息。标定装置用以找到测量装置的输入与输出之间的确切关系。激励装置则是根据测试内容的需要,使被测对象处于人为的工作状态,产生表征其特征(信息)的信号。

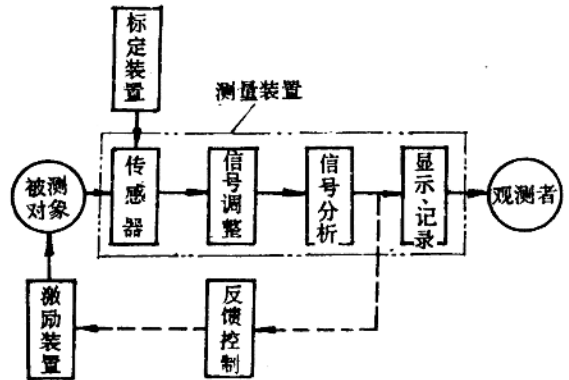


图 0-1 非电量电测法测试系统方框图

四、课程的性质和任务

测试工作是一件非常复杂的工作,需要多种学科知识的综合运用。从广义的角度来讲,测试工作涉及试验设计、模型理论、传感器、信号的加工与处理(传输、调理和分析、处理)、误差理论、控制工程、系统辨识和参数估计等内容。从狭义来讲,测试工作则是指在选定激励的方式下检测信号,进行信号的调理和分析,以便显示、记录或以电量输出信号、数据的工作。本课程在有限的学时之内,只限于从狭义范围来研究机械工程动态测试中常用的传感器、信号调理电路及记录仪器等的工作原理,测试系统基本特性的评价方法,测试信号的分析 and 处理以及常见物理量的测试方法。

对高等学校机械工程各有关专业来说,本课程是一门技术基础课。通过本课程的学习,培养学生能合理地选用测试仪器、配置测试系统并初步掌握进行动态测试所需要的基本知识和技能,为进一步学习、研究和处理机械工程技术问题打下基础。

从进行动态测试工作所必备的基本条件出发,学生在学完本课程后应具有下列几方面的知识:

(1)掌握信号的时域和频域的描述方法,形成明确的信号的频谱结构的概念;掌握谱分析和相关分析的基本原理和方法;掌握数字信号分析中一些最基本的概念和方法。

(2)掌握测试系统基本特性的评价方法和不失真测试条件,并能正确地运用于测试系统的分析和选择。掌握一、二阶系统的动态特性及其测定方法。

(3)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。

(4)对动态测试工作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数的测试。

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,注意物理概念,加强实验,才能真正掌握有关理论和获得应有的实验能力的训练,才能获得关于动态测试工作的完整概念,也只有这样,才能初步具有处理实际测试工作的能力。

五、测试技术的发展趋向

测试技术随着现代科技的发展而迅猛发展。现代科学技术的发展对测试不断提出新的要求,推动着测试技术向前发展;同时,各种学科领域的新成就也常常首先反映在测试方法和仪器设备的改进中。测试技术总是从其它相关联的学科中吸取营养而得以发展。

由于科学技术的不断发展,有许多研究对象都要求实现快速、准确、实时、多路测量和进行数据处理与控制。这只有自动测试才能满足要求。随着计算机技术的迅猛发展和普遍应用,自动测试系统(Automatic Testing System 简称 ATS)的应用已不是什么昂贵和复杂的事情。各种自动测试系统的产品及组建自动测试系统的各种仪器,产量逐年上升,与 ATS 有关的理论研究工作也得到很大发展。目前,ATS 已在工业和科研部门得到广泛应用,成为测试领域中电测技术的一个重要发展方向。

传感器是检测信号的第一个环节。传感技术是测试技术的关键内容之一。随着微电子技术和计算机技术的迅猛发展,把某些测量电路和微处理器与传感器做成一体已成为趋势,这样就使传感器具有检测、放大、校正、判断和一定的信号处理功能,使传感技术向着小型化、集成化和智能化的方向发展。国外已出现了商品化的智能传感器,国内一些高等院校和研究单位也正在研究与开发智能传感器。另一方面,新型材料方面的科研成果的涌现,也促使传感技术向着新型传感器的研究方向发展,如固态图象传感器、光学纤维传感器、生物传感器等的研究,已获得很大的成就。

测试工作也是自动化系统中的一个环节。利用测试所得信息,可以自动调整整个过程的运行,使系统始终处在“最优”的运行状态下。所以有“以信息流控制物质和能量流”的说法。

所有这些,都说明测试技术在现代科技的发展中起着越来越重要的作用。

第一章 测试信号基础知识

信号是信息的载体,它具有能量,是某种具体的物理量。因此,要研究被测物理系统的状态或特征的某些有用信息,必须从研究信号入手。可见,信号是我们认识客观事物的内在规律、研究事物之间的相互关系和预测未来发展的依据。

第一节 信号的分类与描述

一、信号的分类

为了深入了解信号的物理实质,将其分类研究是非常必要的。前面已经提到,在机械工程测试中,为了测试工作的方便,往往把被测试的机械量信号转换成电信号来处理。也就是说,信号可以分为非电信号和电信号。另外,根据所测试信号是否随时间变化还可分为静态信号和动态信号。除此之外,下面还讨论几种常用的信号分类方法。

1. 按信号随时间的变化特征分类

依据信号随时间的变化特征,可把信号分为确定性信号与非确定性信号两类。

确定性信号是指可以用数学关系式明确描述其随时间变化的关系的信号,因而它可以准确地预计未来任意时刻的信号值。确定性信号还可进一步分为周期信号和非周期信号两种。

周期信号是指满足下列关系式的信号:

$$X(t) = X(t + nT_0) \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (1-1)$$

式中 T_0 ——周期[s]。

为便于研究信号,通常把周期的倒数称为频率,用 f 表示;而把 $2\pi f$ 称为圆频率或角频率,用 ω 表示。即

$$f = \frac{1}{T_0} [\text{Hz}] \quad (1-2)$$

$$\omega = 2\pi f [\text{rad/s}] \quad (1-3)$$

可见,周期信号是一种经过一定时间可以重复出现的信号。例如,图 1-1 所示的单自由度无阻尼自由振动系统,其位移 $x(t)$ 就是确定性信号,它可以用下列数学关系式描述:

$$x(t) = X_0 \sin(\sqrt{\frac{k}{m}} t + \varphi_0) \quad (1-4)$$

式中, X_0, φ_0 ——取决于初始条件的常数;

m ——质量;

k ——弹簧刚度;

t ——时间。

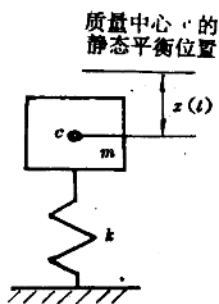


图 1-1 单自由度无阻尼
振动系统

其周期 $T_0 = 2\pi/\sqrt{\frac{k}{m}}$, 角频率 $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} = \sqrt{\frac{k}{m}}$ 。

周期信号又可分为简单周期信号和复杂周期信号两种。简单周期信号是指按正弦或余弦规律变化的信号, 复杂周期信号则是指由两个乃至无穷多个频率比为有理数的正弦信号叠加而成的信号。非周期信号是指凡能用确定的数学关系式描述、但又不具有周期重复性的信号。例如, 在图 1-1 所示的振动系统中若加上阻尼装置, 其位移信号将变为非周期的有阻尼衰减的自由振动信号, 其图形如图 1-2 所示, 表达式如式(1-5), 这种信号称为瞬态信号。

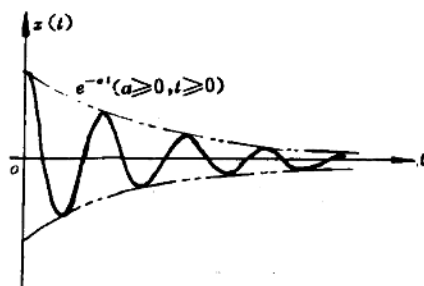


图 1-2 指数衰减振动信号

$$x(t) = X_0 \cdot e^{-at} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (1-5)$$

另一种非周期信号与周期信号相类似, 也是由若干个不同频率的正弦信号叠加而成, 但合成的信号又没有周期性。例如: $x(t) = A_1 \sin(\sqrt{2}t + \theta_1) + A_2 \sin(3t + \theta_2)$ 。这种信号称为准周期信号。它往往出现于通信、振动系统, 例如, 不同独立振源激起的系统响应, 就往往属于准周期信号。

非确定性信号不能用确切的时间函数式描述, 其幅值、相位的变化是不可预知的, 所描述的物理现象是一种随机过程, 所以又称之为随机信号。例如, 汽车奔驰时所产生的振动、环境中的噪声等都属于随机信号。随机信号只能用概率统计方法由过去估计未来或找出某些统计特征量。根据其统计特征参数的特点, 随机信号又可分为平稳随机信号和非平稳随机信号两类, 其中平稳随机信号又可进一步分为各态历经(遍历性)随机信号和非各态历经(非遍历性)随机信号两种。

2. 按信号幅值随时间变化的连续性分类

若信号在任一瞬时都给出确定的函数值, 且对信号进行分析时其时间变量取连续值, 则

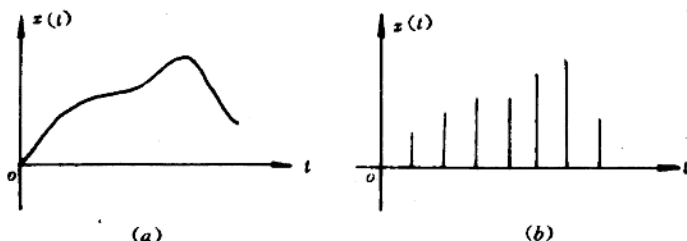


图 1-3 连续信号与离散信号

(a) 连续信号

(b) 离散信号

该信号称为连续(模拟)信号, 图 1-3(a)就是一种连续(模拟)信号。若其时间变量仅取离散值, 只在某些不连续的规定瞬时给出函数值, 而在其它时间没有定义, 这一类信号则称为离散信号。离散信号又分为时间上离散的模拟离散信号和幅值也用离散的数字来表示的数字信号两种。图 1-3(b)是将图 1-3(a)所示连续信号在时间上等距取样而得的离散(模拟)信

号。值得注意的是,工程测试中大多数被测动态信号均为连续(模拟)信号,而用计算机来处理和分析信号时,则计算机的输入、输出信号都只能是离散的数字信号。

3. 按信号的能量特征分类

从信号能量的角度来考虑,可把信号分为能量(有限)信号和功率(有限)信号两类。

在图 1-1 所示振动系统中, $x(t)$ 是质量中心 C 的位移信号, $\dot{x}^2(t)$ 反映积蓄在弹簧上的弹性势能。若信号 $x(t)$ 所表示的是质心 C 的运动速度,则 $\dot{x}^2(t)$ 反映系统运动中的动能。在非电量电测法中,常把机械量信号转换为电信号来处理。如果转换成电压信号,把其加到单位电阻 ($R=1\Omega$) 上,其瞬时功率 $P(t)=\frac{x^2(t)}{R}=x^2(t)$;若转换成电流信号,也将其加到单位电阻 R 上,其瞬时功率 $P(t)=x^2(t) \cdot R=x^2(t)$ 。瞬时功率的积分就是信号的总能量。因此,通常把信号幅值的平方 $x^2(t)$ 和能量的概念联系起来。

当信号 $x(t)$ 满足

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt < \infty \quad (1-6)$$

时,则该信号的总能量是有限的。这种信号称为能量有限信号,简称能量信号。例如,图 1-2 所示指数衰减振荡信号、衰减指数信号等都属于能量有限信号。

如果信号在区间 $(-\infty, \infty)$ 的能量不是有限的,即

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt \rightarrow \infty \quad (1-7)$$

在这种情况下,研究信号的平均功率更为合适。在区间 (t_1, t_2) 内,信号的平均功率为

$$P = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} x^2(t) dt < \infty \quad (1-8)$$

若区间变为无穷大时,信号的平均功率仍然大于零,即满足

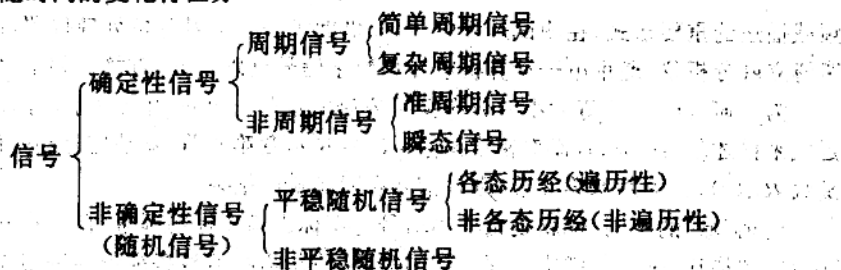
$$0 < \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x^2(t) dt < \infty \quad (1-9)$$

那么,信号具有有限的平均功率,称之为功率(有限)信号。

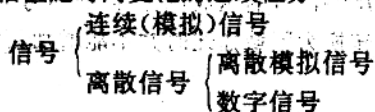
比较式(1-6)和式(1-9),显而易见,一个能量信号具有零平均功率,而一个功率信号具有无限大的能量。

综上所述,从不同的角度来对信号进行分类,常用分类法可归纳如下:

(1) 按信号随时间的变化特征分



(2) 按信号幅值随时间变化的连续性分



(3) 按信号的能量特征分

信号 $\begin{cases} \text{能量(有限)信号} \\ \text{功率(有限)信号} \end{cases}$

二、信号的描述方法

我们直接观测或记录的信号一般都是随时间变化的物理量。若以时间 t 作为自变量、用信号的幅值随时间变化的函数式或图形来描述信号的特征,称为信号的时域描述。例如,前面提到的单自由度无阻尼自由振动系统,其位移信号可以用函数式(1-4)来描述,也可以用图 1-4(a)所示的图形来描述。这种图形又叫信号的“波形”,是时域描述的一种重要形式。在测试过程中,通常可以用阴极射线示波器来观察信号的波形,也可以用光线示波器或者磁带记录仪把信号的波形记录下来,以便于对被测对象进行分析、研究。

信号的时域描述很直观,但它只能反映信号的幅值随时间变化的特征,而不能明确揭示信号的频率组成成分。为了研究信号的频率结构和各频率成分的幅值大小、相位关系,则需要对信号进行频谱分析,即把时域信号通过数学处理变成以频率 f (或圆频率 ω) 为自变量,相应的幅值或相位为因变量的函数表达式或图形来描述,称为信号的频域描述。例如前面所述的单自由度无阻尼振动系统。其位移信号式(1-4)的频域描述如图 1-4(b)所示。频谱图是

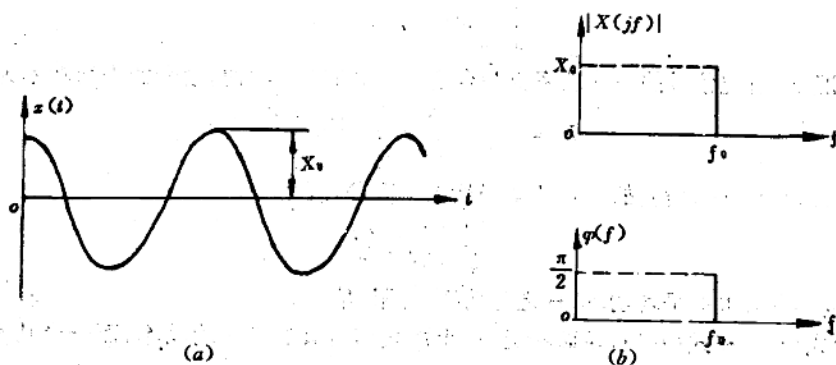


图 1-4 单自由度无阻尼自由振动系统的波形与频谱图

(a) 波形

(b) 频谱图

频域描述的重要形式。在测试过程中,可以借助于一些信号分析处理仪器(如频率分析仪、快速傅立叶分析仪、通用电子计算机或专用数字信号处理仪器)直接得到信号的频谱图。

为了研究信号幅值大小的分布情况或研究信号之间的相互关系,有时也用幅值域或时延域来描述信号。例如,概率密度函数 $p(x)$ (见本章第 5 节)就是信号在幅值域的描述;相关函数 $R_{xy}(\tau)$ (见第六章第 2 节)则是信号在时延域的描述。

所谓“域”的不同,也就是指描述信号的座标图横座标物理量(自变量)的不同。信号在不同域中的描述,是为了解决不同问题的需要,使所需的信号特征更为突出。时域描述直观地反映信号随时间变化的情况,频域描述则反映信号的组成成分。同一信号无论选用哪一种描述方法都含有同样的信息量,即时域描述转换为频域描述时并不能增加新的信息。