

测试技术

——理论与应用

黄惟一 童钧芳 王其生 蒋洪明 贾伯年 编著

国防工业出版社

测 试 技 术

——理论与应用

黄惟一 童钧芳 王其生 蒋洪明 贾伯年 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了有关解决动态测试和实时控制问题的两个方面的内容：1. 对动态信息的采集、变换和量值的基本理论与方法；2. 有关物理系统工程实验的基本理论与方法。在选材上着重于基本理论和有代表性的应用，内容力求新颖。全书共十章：第一章为测试系统的总体结构与功用；第二章为测试误差的基本理论；第三章为测试系统的动态特性分析；第四章为常用测试仪器；第五章为机械量测量；第六章为结构动力学方法；第七章为信号的复原与处理；第八章为机械振动测量与分析；第九章为噪声测量及其应用；第十章为微计算机在测试技术中的应用。

本书可供工程检测技术人员阅读，也可作为高校有关专业师生教学参考书。

测 试 技 术

——理 论 与 应 用

黄惟一 董灼芳 王其生 蒋洪明 贾伯年 编著

责任编辑 高润琴

国防工业出版社出版

(北京市车公庄西路老虎庙七号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

787×1098 $1/16$ 印张26 $1/2$ 618千字

1988年10月第一版 1988年10月第一次印刷 印数：0,001—2,580册

ISBN7-118-00003-5/U1 定价：7.75元

前 言

本书是我们在检测技术及仪器专业方面教学和科研的基础上编写的。过去,有关测试技术的教学内容都只作为某一门课程的附属部分讲授。随着科学技术的发展与应用领域的扩大,测试技术所需处理的量值要求精度高、动态与瞬变、多信息与远距离测量等特点,因而要求测试仪器具有可进行实时与在线测量的能力,并向智能化、数字化、多功能方向发展。测试技术已逐步发展成为一门涉及数学、力学、物理学、电子学、控制理论、精密机械和计算机科学等学科的新型实验科学;测试仪器制造业也已逐步形成多学科互相渗透、知识高度密集、技术高度综合的新产业。因此,在某些高等工科院校中,把有关测试技术及仪器的内容集中作为一门独立的课程来讲授,某些科研部门也按此方式实施,这已是客观需要,势在必行。

本书的内容着重两个方面:一是动态信息的采集、变换和量级评价的基本理论与方法;二是有关物理系统工程实验的基本理论与方法,后者是前者的继续和发展。

传感技术是信息采集与变换的重要手段,是检测技术和计算机赖以工作的基础。传感器已广泛应用于生产与生活的各个领域。工程实验技术是系统动力学研究的基本方法,近年来已获得迅速发展。在许多情况下,实验方法具有特殊的重要性。无论是振动设计问题,系统辨识或是环境预测等,都需要借助于实验方法进行研究。有些问题,即使可用理论方法来研究,但也常常需用实验方法来验证。

本书在理论或工程应用的选材上,着重于基本理论和具有代表性与广泛性的应用;所编内容力求新颖和反映现代科学技术的新水平。

全书共分十章,由黄惟一主编。其中绪论、第一、十章由黄惟一编写;第三、六、八章由童钧芳编写;第四、五章由王其生编写;第七、九章由蒋洪明编写;第二章由贾伯年编写。此外还有其他同志参加了图稿的设计和绘制工作。

本书稿由童林凤进行了审阅,并提出了很多宝贵意见。另外,本书在编写过程中参阅了兄弟院校、厂、所的有关教材及文献资料,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之编写时间仓促,书中定有不少错误和欠妥之处,恳请广大读者不吝指正。

编 著 者

目 录

绪 论

§ 0-1 测试技术的发展	1
§ 0-2 现代测试技术的特点	2
§ 0-3 现代测试技术的任务与功用	2
§ 0-4 测试技术的应用概况	3

第一章 测试系统的总体

结构与功用

§ 1-1 测试系统的构成与功能单元	4
§ 1-2 有源换能器和无源换能器	7
§ 1-3 模拟工作状态与数字 工作状态	8
§ 1-4 偏差法与零位法	9
§ 1-5 测试仪器的输入-输出结构图	9
§ 1-6 干扰作用和调制作用的 补偿方法	11
§ 1-7 负反馈在测试仪器和系统中 的应用	19

第二章 测量误差的基本理论

§ 2-1 测量误差概述	26
§ 2-2 随机误差的分析与处理	30
§ 2-3 系统误差的分析与处理	42
§ 2-4 疏失误差的消除	46
§ 2-5 函数误差的处理	49
§ 2-6 综合误差及测量结果的表示	53
§ 2-7 测量的精度评定——精密 度、准确度、 精确度	58

第三章 测试系统的动

态特性分析

§ 3-1 测试系统的数学模型	60
§ 3-2 测试技术中的数学方法	68
§ 3-3 线性时不变系统的基本性质	86
§ 3-4 测试系统的冲激响应	87

§ 3-5 测试系统的频率响应 $H(j\omega)$	94
§ 3-6 冲激响应函数 $h(t)$ 与频率响 应函数 $H(j\omega)$ 之间的关系	101
§ 3-7 系统对周期输入信号的响应	103
§ 3-8 系统对瞬态输入信号的响应-傅里 叶变换	107
§ 3-9 随机信号的特征参数	111
§ 3-10 系统对随机输入的响应	127

第四章 常用测试仪器

§ 4-1 测试仪器的主要性能指标	130
§ 4-2 传感器	132
§ 4-3 滤波器	136
§ 4-4 显示与记录装置	169
§ 4-5 激振器	182

第五章 机械量测量

§ 5-1 运动的测量	188
§ 5-2 力和力矩的测量	201
§ 5-3 压力和真空的测量	208
§ 5-4 温度的测量	215
§ 5-5 时间、频率和相角的测量	218

第六章 结构动力学实验方法

§ 6-1 频率响应法 (正弦响应法)	222
§ 6-2 脉冲试验法及其设备	231
§ 6-3 随机信号试验	238
§ 6-4 数字信号处理设备	245
§ 6-5 各种实验方法的比较	253

第七章 信号的复原与处理

§ 7-1 信号的复原与提炼	254
§ 7-2 数据处理的一般步骤	262
§ 7-3 周期性数据的分析方法	276
§ 7-4 随机数据的模拟分析方法	280
§ 7-5 随机数据的数字分析方法	292

第八章 机械振动测量与分析

- § 8-1 振动系统的模型与自由振动318
- § 8-2 振动系统的强迫振动及其控制323
- § 8-3 机械阻抗及其测试方法337
- § 8-4 频响函数的表示方法339
- § 8-5 结构动力学实验与模态分析343

第九章 噪声测量及其应用

- § 9-1 噪声的物理度量与主观评价356
- § 9-2 噪声计算中的分贝运算364

- § 9-3 噪声测量367

- § 9-4 声学测量的工程应用376

第十章 微计算机在测试技

术中的应用

- § 10-1 微处理器与微计算机379
- § 10-2 微机在测试技术中的应用概况380
- § 10-3 微处理器系统的结构382
- § 10-4 微计算机在测试应用中举例386
- § 10-5 数据采集和处理系统403
- § 10-6 GP-IB通用接口简介412

- 主要参考文献417

绪 论

§ 0-1 测试技术的发展

测试技术是研究信号检测和处理的技术,也是研究物理系统工程试验的理论与应用科学,是人类认识自然、改造自然的重要手段。

自古以来,测试技术就渗透在人们的生产活动、科学实验和日常生活的各个方面。如古代的土地丈量、物体称重、容积计量、杆影计时、天文观测、日月星辰轨道的测量、地震的测量等等。今天,测试技术在各个工业部门、科学研究领域起着极其重要的作用。

随着测试理论的发展和测试手段的不断完善,使人们在探求未知世界的征途上和研究物质(物体)运动的规律上,获得了一种非常有效与灵敏的工具。特别是近十几年来,测试技术的发展更为迅速,其主要原因有:

一、科学技术迅速发展的需要

过去物理系统的测试所获得的信号只能采用简单的慢速时域来表示,这对于当今的科学技术要求知道物理系统的微观动态过程,特别是对高速运动的物理系统的微观动态过程来说,已远远不能满足科学研究的需要。这就要求采用快速时域或多种非时域特征函数来描述分析,深入刻画物理系统的运动性质、运动形态、运动过程等等;并要求高速地、实时地、精确地、直接地显示某些物理系统的动态外观、动态特征等动态变化过程。由于这些要求,大大推动了测试技术的迅速发展。

二、快速傅里叶变换(FFT)的出现

许多测试技术中的问题,需要通过傅里叶变换来处理。在没有FFT之前,要观察分析 N 个测量数据点,通过计算机用离散傅里叶变换求得 N 个独立的正弦波的幅值,计算机需要做 N^2 次单元运算,运算的时间正比于 N^2 。要计算 N 数很大的离散傅里叶变换,即使是高速计算机,也需要很长的运算时间。所以,测试就不可能做到实时处理与分析。1965年库列(J. W. Cooley)和图基(J. W. Tukey)发表了他们的算法,人们称之为“快速傅里叶变换”简称FFT。它以 $N/2 \cdot \log_2 N$ 次运算代替了 N^2 次运算,因而大大缩短了运算时间,使测试技术中的信号数据处理迎合了实时测试的需要。

三、电子计算技术的飞跃发展

近年来,测试领域中信号数字处理技术迅速发展的关键是电子技术和计算机技术的飞跃发展。尤其是大规模集成电路(LSI)的出现,以及由它构成的微处理机的产生,诞生了大规模集成电路与快速傅里叶变换组合的信号数字处理机工业。在信号数字处理中还增加了矢量运算、矩阵运算、复数运算、数组运算等功能,不仅使信号数字处理的运算功能不断改善,也使测试系统向更高速的实时信号数字处理系统发展。

§ 0-2 现代测试技术的特点

一、现代测试已不再理解为过去那种静态的、慢速的测量，而发展成为动态、实时、在线、遥测、多信息地对高速运动（变化）系统的微观动态过程的测量。

动态测量 指被测量是多变的，测量过程要求时刻跟踪被测量的变化。

实时处理 指在测量过程中要求立刻得到测量结果。意思是不舍弃观测信号，其处理时间能跟上信号变化的需要，或者说信号处理的速度能跟上信号变化的速度。

在线测量 不停机，在系统运行过程中监视或测量某些动态参数。

遥测 指接收端通过信息传递介质接收测量端所测信息的间接测量。

多信息测量 从信号中同时提取多个信息的测量。例如对 $x(t) = X \sin(\omega t + \varphi)$ 的测量，不仅获得幅值信息 X ，而且能获得频率信息 ω 和相位信息 φ 。

二、现代测试技术已不是简单的比较测量，而是包括信号采集、信号变换和传输、信号处理分析与识别、记录与显示的综合技术。

§ 0-3 现代测试技术的任务与功用

根据测试技术研究的内容，对物理系统来说，主要研究系统的输入（激励）、系统的输出（响应）、系统本身的特性（模型）以及它们三者之间的关系。一个物理系统，我们可以把它简化成如图0-1。

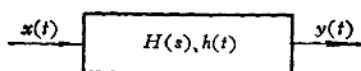


图0-1 物理系统方块图

图0-1中， $x(t)$ 为系统的输入（激励）， $y(t)$ 为系统的输出（响应）， $H(s)$ 为系统的传递函数， $h(t)$ 为系统冲激响应函数。按照对物理系统测试的目的、用途和要求，测试技术需要解决以下几个课题。

一、通过标准信号对物理系统进行激励，并分别测得系统的激励与响应，进而求得系统的模型和特征参数。为了该目的所组成的测试系统称为激励-响应系统。其功用是求系统的数学模型，或验证系统的数学模型以及求系统的动态特性（传递函数）。用于工程模型试验，则可进行产品的动态设计、结构参数设计和模型特征参数的研究。

二、根据已知系统的特性和实际运行过程中测得的响应来确定激励（输入）的性质，研究载荷或载荷谱。有些系统（如飞行中的火箭、导弹、行驶的车辆、航行中的舰艇等）的载荷（如阻力、风浪等）是很难测得的，设计这些系统时往往凭经验假设，因此误差较大。采用参数识别的方法，就能较准确地求得载荷。为此目的组成的测试系统为载荷识别系统，它为产品的优化设计提供了依据。

三、通过已知的测量系统对被测系统的响应进行测量与分析。为此目的组成的测试系统称为数据采集系统，被测量可以是电量，也可以是非电量（当然，它要通过传感器转换成电量）。其功用是测量响应的大小、频率成分和能量分布，也可用于计量、系统监视测量以及故障诊断等。

四、现代测试往往和自动控制联系在一起,如果激励-响应系统附加一套反馈控制装置,能自动调整给定激励下的合适响应,或者说,能自动调整到预先规定的响应参数,这就涉及到对被测系统特征参数的调整。这样的系统称为激励-响应-控制系统,常用于物理系统的特性校正。

五、在数据采集系统的基础上附加一控制装置,当系统响应超过其特定输出时,控制装置的功能将调整被测系统的参数,使响应(输出)改变,从而使系统工作在最佳响应状态或按规定的指令工作。该系统称响应-控制系统,常用于参数的自动测量与控制

§ 0-4 测试技术的应用概况

测试技术在各种工程技术和科学研究领域的应用是极其广泛的,简述如下。

一、机械工程 用于机械振动以及由振动所引起的机器整机和部件的强度、刚度的研究;传动齿轮、轴承、轴系的振动与磨损的研究等。例如用于发动机、机床的振动分析、阻抗测量、模态分析、优化设计、故障诊断等。

二、铁路、交通工程、火车、汽车、轮船运输随机过程的研究;发动机的隔振、减振的研究;铁道、道路随机特性的研究等。

三、宇航工程 飞行器结构振动分析、空间生存条件和运行参数的监测等。

四、土木建筑工程 建筑结构的固有频率、刚度、强度、抗震能力的研究;桥梁结构的振动研究;水坝、地下工程的强度分析等。

五、电讯工程 电视、广播、数字通讯、卫星通讯、雷达技术的研究等。

六、声学工程 音响和噪声控制技术的研究;水声、声发射、声纳技术的研究;语言分析、生物语言训练的研究等。

七、生物医学工程 脑电、心电、肌电信号的测量;心血管系统动力过程的研究;病情诊断等。

八、地球物理和地质工程 地震信号的研究;地层结构的研究;地质勘探等。

九、核过程和军事科学的研究 核反应堆、原子反应堆的振动和强度的研究;各种武器装备的动力特性的研究等。

第一章 测试系统的总体结构与功用

§ 1-1 测试系统的构成与功能单元

测量的目的是将某一物理参量转换成等效的数值（信号），以便人们了解该物理参量的大小和变化情况。测量更进一步的目的是利用测量所获得的信号，来控制某一过程。通常这种控制作用是和测试系统紧密相关的。测试系统是由若干种仪器与被测对象以一定关系组合成的整体，它按测量程序的指令，进行数据采集、分析和处理，并给出被测对象的特征量，完成测量或控制任务。

测试系统常用的分类方法有以下三种：

- 一、按实现系统的技术分：模拟系统、数字系统、模拟-数字系统（混合系统）。
- 二、按测试系统的用途分：数据采集系统、载荷识别系统、激励-响应系统、激励-响应-控制系统、响应-控制系统等。
- 三、按测试系统实现功能范围分：通用系统和专用系统。

尽管有各种不同的测试系统，但在介绍各种测试系统的工作原理和性能时，我们是用功能单元来说明其工作原理，用系统的静态和动态参量来描述其性能的。这一节将着重阐明系统的功能单元。

分析测试仪器或测试系统的目的在于找出普遍规律。按照功能单元的作用，把仪器或系统分解成若干个小方块图，并通过这些功能单元方块图之间的联系，分析任何新仪器或新系统的工作原理和拟订新仪器或系统的设计方案。

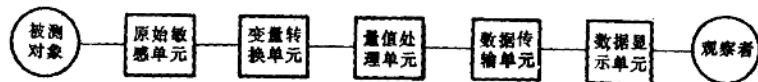


图1-1 仪器或系统的功能单元

用图1-1表示仪器或系统内部的功能单元。它们由五个基本功能单元组成。第一个功能单元从被测介质中吸取能量，并产生按某种规律随被测量变化而变化的输出量。实现这种功能的单元称为原始敏感单元。由于仪器始终从介质中吸取一些能量，所以从原理上就不可能做到理想测量。测量值总是受测量方法的影响。一个好的仪器应能把此影响降到最小限度，但这种影响不可能完全消除。

原始敏感单元的输出信号一般是某种物理变量，如位移或转角等。对于一台已定功能的仪器，在保存原始信号内容的同时，有时还需要把一种形式的变量转换成其它更适合形式的变量，如电压或电流等。完成这种功能的单元称为变量转换单元。当然，并非每台仪器都包含变量转换单元。

在实现预定功能的过程中，有时还要求用某种方法改变物理变量的量值，但仍保持其原有物理性质。如电子放大器的输入是一个小的电压信号，而其输出是一个放大了若

千倍的电压信号,完成这种功能的单元叫做量值处理单元。量值处理单元也并不一定按图1-1接在变量转换单元之后,也可以放在变量转换单元之前,或放在仪器功能方块图的其他地方。

另外,对有些仪器或系统来说,需要把数据从一个位置传输到另一个位置,完成这项功能的单元称数据传输单元。这种单元可以是简单的连杆、轴和轴系、一根管子、一扎导线;也可以是火箭与地面设备之间传输信息的复杂的无线电遥测系统。

如果被测量的信息是作为监视、控制或分析目的,还需要有一个能被人的感觉器官所接受的单元,即数据显示单元。它可以是简单的活动游标指针、笔式记录仪;也可以是记录数据的电传打字机,以便实现不连续的显示和记录。虽然大多数仪器是通过人的视觉器官与人相联系的,但利用其它象听觉和触觉器官也是可以的。另外,某些记录方式所提供的信息,不一定能被人的感觉直接接受,磁带记录仪就是一个明显的例子。因此,需要有一种能在任何时刻将所储存的数据提取出来,并把它转换成易懂的信息形式的仪器,这样的仪器称为信号处理机。

在此还需说明,图1-1是用来分析功能单元概念的工具,并不是一般仪器的实际结构原理图。把它明确地用若干个方块图表示,目的是启发读者把具体仪器确切地分解成具有图中所示的功能单元,不要理解成仪器应按该图的功能单元的顺序组成。各种不同用途的仪器应该有自己所需的功能单元和排列顺序。

为了进一步加深对功能单元概念的理解,下面举例说明。

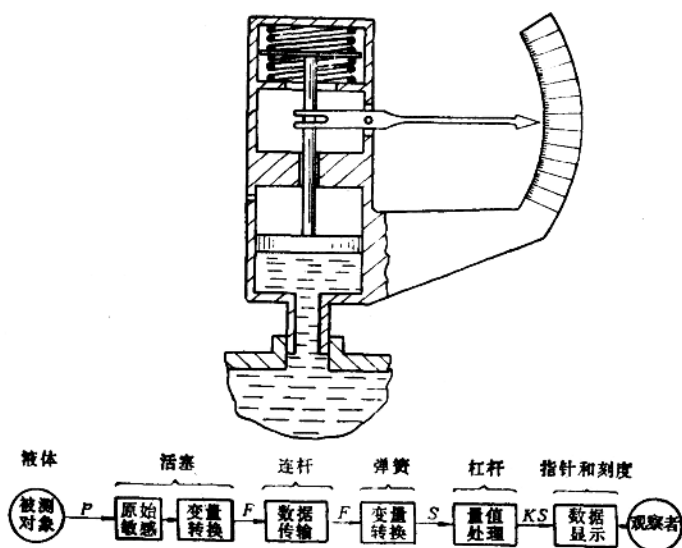


图1-2 压力计及其功能方块图

图1-2表示一只压力计及其功能方块图。压力计的原始敏感单元是活塞,但由于它把液体的压强(单位面积的压力)转换成与活塞面积成比例的压力,活塞又起了变量转换单元的功能,所以活塞同时完成原始敏感和变量转换两种功能。活塞上的压力通过活塞连

杆传输给弹簧，弹簧又把力转换成相对位移。这里连杆完成了数据传输功能，而弹簧实现了变量的再一次转换，起了变量转换单元的作用。活塞连杆的位移通过杠杆使指针相对于刻度盘产生一个更大的位移。这里的杠杆完成了量值处理功能，而指针和刻度盘起数据显示单元的作用。

图1-3表示一只压力式温度计和它的功能方块图。由于球内水银的热膨胀受到限制，故温度的上升将引起球内压力的增加，充满水银的球起了原始敏感单元和变量转换单元的作用。通过管子将压力传输给波登式压力计，后者将压力转换成位移，并带动杠杆和齿轮传动装置，使指针相对刻度盘产生一个较大的角位移，刻度盘和指针起了数据显示单元的作用。

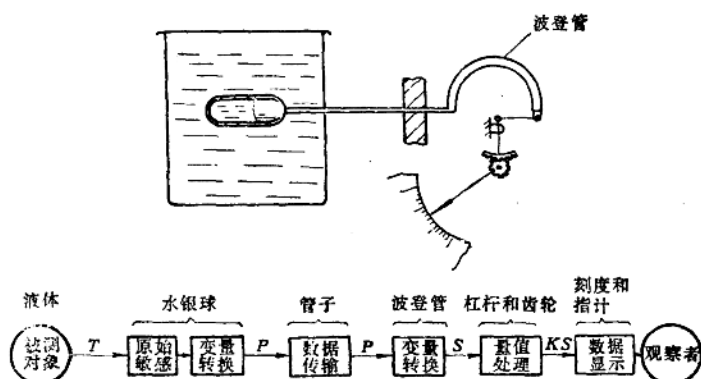


图1-3 压力式温度计及其功能方块图

图1-4表示远距离传输的数字回转计数器。由于微动开关的敏感臂和回转轴的凸块把角位移转换成线位移，因此，它们起了原始敏感和变量转换的作用。微动开关还把机械的旋转角位移转换成电压脉冲序列，这些电脉冲通过电缆传输给螺线管，螺线管把电脉冲转换成活动铁心的机械往复移动，并带动机械计数器。机械计数器本身也具有变量转换（把往复直线位移转换成角位移）、量值处理（把转数转换成十进制数）和数据显示功能。

最后，我们来观察图1-5的例子，它简单地表示一只用于光线示波器上的镜式检流计。要记录的交流电压加到引线的两端，并输给绕在骨架上的线圈。线圈悬挂在永久磁铁内，流过线圈的电流和磁场之间的相互作用，产生作用于线圈上的力矩，从而实现了电流到力矩的变量转换。力矩又借助扭丝转换成偏转角。固联于线圈骨架上的反射镜又把骨架的转动转换成镜子的反射光束的偏转，虽然光束的转动重复了反射镜的转动，但它使转动所产生的位移得到放大。当光束照射到用光敏材料制成的记录纸上，而记录纸按规定的速度运动时，光点水平运动和记录纸垂直运动相结合就形成电压随时间的变化图。由于反射镜每转动一角度所引起光点的位移与光学杠杆（从反射镜到记录纸之间的距离）长度成正比，因此光学杠杆具有位移的放大作用。在检流计中，线圈和电磁铁组件被认为是原始敏感单元。

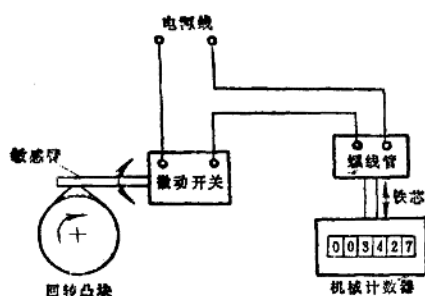


图1-4 数字回转计数器

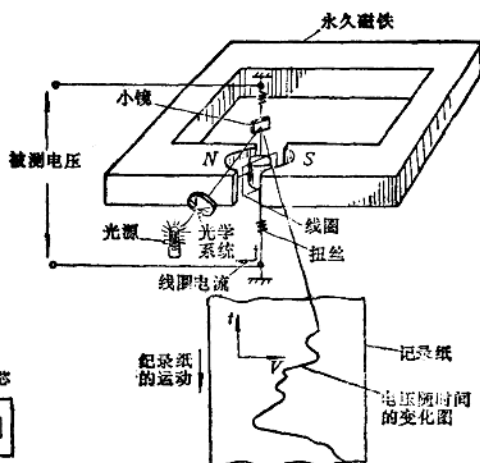


图1-5 镜式检流计

通过研究这些功能单元和了解完成这些功能可能采用的各种具体部件，会提高组合基本功能单元的能力，这是设计新的仪器或系统的基础。

§ 1-2 有源换能器和无源换能器

在上述基本功能概念的基础上，让我们从能量的观点对实现这些功能的具体部件进行一些分析。图1-1上的各种基本功能部件都可以是有源换能器或无源换能器。

无源换能器的输出能量几乎完全由它的输入信号供给的。它的输出和输入信号可以是同种形式（例如都是机械能）信号，或者通过它把输入信号的能量转换成其它形式的能量（例如从机械能到电能）输出。

有源换能器具有一个提供主要输出能量的辅助电源，而输入信号仅提供很少一部分能量。同样，它的输入和输出信号可以是同种形式的能量或不同形式的能量。

上节中的所有实例中，图1-4的微动开关就是一个有源换能器。因为用来控制螺线管的电能不是从回转凸轮来的，而是来自交流辅助电源。图1-6所示的电子放大器也是一个有源换能器，由于栅流很小和栅阻 R_g 很高，在输入回路中几乎没有电流流动，因此提供输入电压 e_i 的器件只需给出很小的能量。但是输出元件（负载电阻 R_L ）需要相当大的电流和电压（即功率），该功率是由辅助电源 E_b 供给的。这样，输入只起控制输出的作用，而不提供输出能量。

另一种具有实用意义的有源换能器是仪器的伺服传动机构，其结构原理如图1-7所示，它实际上是由一些无源换能器和有源换能器组成的系统。但从整体上来看，它确是有源换能器，其输入为电压 e_i ，输出为位移 x_0 。由于马达产生的转矩比例于差值电压 e_e ，因此当 e_e 为零时，系统处于静止状态。这种状态只有当 $e_i = e_{i1}$ 时才出现。由于 e_{i1} 是对应于 x_0 的，则在静止状态时 x_0 也必定对应于 e_{i1} ，当 e_i 发生变化时， x_0 将随 e_i 变化。输入电压 e_i 只具有很小的能量，而产生位移 x_0 所需的能量是由辅助电源供给的。因此，该仪器系

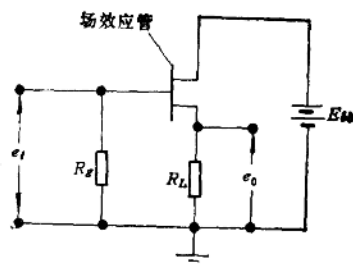


图1-6 电子放大器

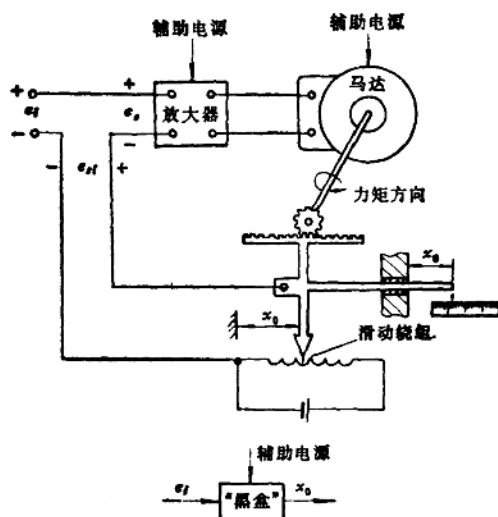


图1-7 仪器伺服机构

统是一个有源换能系统。

§ 1-3 模拟工作状态与数字工作状态

基本功能单元和功能单元组合所需要的信息或提供的信息可以是连续信号，也可以是离散信号，因此从工作状态来看，它们可以分为模拟工作状态和数字工作状态。

连续变化的，并在任意取值范围内能获得无限个值的信号称为模拟信号。产生这种信号的装置称模拟装置。相反，按离散间隔变化，而且在任意取值范围内只能获得有限个不同值的信号称为数字信号。产生该信号的装置称数字装置。在上节例子中，只有图1-4的回转计数器是数字装置。

虽然目前大多数测量仪器还是按模拟状态工作。但数字测试仪器正在不断发展。随着数据处理和自动控制领域中不断采用数字计算机，使数字测试仪器的地位日益提高。数字仪器不但便于实现自动化，而且还有许多独特的优点，如：读数清晰，不因视角不同而产生误差；操作方便，无需熟练技巧；抗干扰能力强，经远距离传输也不损失其精度；可直接打印输出，避免了由人记录所带来的误差等等。

由于数字计算机只能按数字信号工作，所以供给它的任何信号都必须为数字形式，而且它本身的输出也是数字形式。因此，任何与计算机的输入端或输出端的联系，都必须以数字形式进行。

在自然界中很多物理量都是以模拟形式出现的，又因为目前大多数的测试和控制设备都是模拟状态，要把模拟信号传输给数字计算机处理，并显示和记录下来，就必须进行模数转换，这种转换装置起译码器的作用，它使数字计算机与外部仪器相联系。随着数字式敏感功能单元的发展，新的直接数字测试仪器和控制装置就不需要这些转换装置了。

§ 1-4 偏差法与零位法

测试方法的分类有多种多样。这里我们主要介绍仪器工作方法的分类。实用的分类法是根据仪器按偏差法工作，还是按零位法工作来划分的。按偏差法工作的测量仪器称偏差式仪器，按零位法工作的测量仪器称零位式仪器。

在偏差式测量仪器中，被测量对仪器产生某种物理效应，此物理效应引起仪器的某一部分产生与它大小相同但方向相反的反作用。这种反作用通常与某种参量（如机械位移和偏移）相对应，并可由人们的感觉器官直接观测出来。在测量过程中，反作用与被测量所产生的物理效应相平衡。位移或偏移所对应的标尺刻度值就表示被测量值。图1-2所表示的压力计属于这类仪器，由于被测介质压力的作用，使弹簧变形并产生一个弹性反作用力，被测介质的压力越高，使弹簧位移越大，弹性反作用力越大，当被测介质的压力与弹簧变形引起的反作用力相等时，活塞处于平衡位置，这时，指针位移所对应的刻度值，就表示被测介质的压力值。

零位式仪器要求适当施加一种象被测量在偏差式仪器中所引起的反作用。但此反作用力图使零位式仪器的偏差保持在零值状态。由此可知，零位式仪器需要一只指零器（不平衡检测器）和一个使测试系统恢复平衡的装置（手动的或自动的）。这样，在测量的过程中，指零器就能指示出测试系统处于平衡状态还是不平衡状态。不平衡时，可通过平衡恢复装置使系统达到平衡；同时，平衡恢复装置能准确地指示出反作用的数值，该数值就是被测量的量值。

图1-8为零位式活塞压力计的简图。测试时，在托盘上放置重量已知的标准砝码来平衡被测介质的压力对活塞下表面产生的作用力。测量系统平衡时，托盘停于上下止挡之间，上下止挡相当于平衡指零器。这时，由于托盘和砝码的重量以及活塞的面积都是已知的，所以被测介质的压力就可求出。

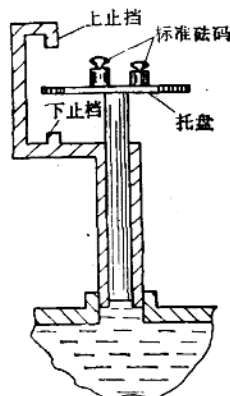


图1-8 自重式压力计

通过上述两种压力计的例子，我们发现：偏差式仪器的精度取决于弹簧力的标定精度；而零位式仪器的精度取决于砝码的精度。由于弹簧力本身不是力的标准量，而必须用标准重量（砝码）来标定，所以偏差式仪器一般精度不高。相反，零位式仪器是把被测力直接同标准重量（砝码）相比较，所以它比偏差式仪器具有更高的精度，而且它的不平衡指示器可以制作得非常灵敏。零位式仪器的不足之处，主要表现在动态测试时，平衡位置不稳定。但是，利用自动平衡装置后（如图1-7所示的伺服机构），可使这种形式的仪器具有更大的实用价值。

§ 1-5 测试仪器的输入-输出结构图

为了便于讨论仪器或系统的性能参数，我们引用输入-输出结构图来阐明仪器或系统的输入-输出之间的函数关系。图1-9是模拟某种仪器或系统的输入-输出结构图。从图

上可以看出, 输入信号有三种: 输入 x_D 表示仪器期望测量的有用输入; 输入 x_I 表示仪器不希望有的干扰输入; 输入 x_M 表示影响仪器测试结果的调制输入。图中所用的符号 F_D 和 F_I 表示输入、输出之间的作用系数, F_{MD} 和 F_{MI} 表示 x_M 对 F_D 、 F_I 的影响系数。有用输入 x_D 将按 F_D 产生有用输出分量; 干扰输入 x_I 将按 F_I 产生干扰输出分量。如果不考虑 F_{MD} 和 F_{MI} 的影响, 两输出的瞬时代数和将为仪器总的输出量。对于作用系数 F_D 和 F_I 来说按一般的输入-输出的特征, 可以有不同的概念。在静态测量中, 线性仪器或系统的 F_D 为一常数 K ; 非线性仪器或系统, 由于输入-输出之间的关系不满足简单的常数关系, F_D 为非线性系数, 它们之间的关系需用代数式来描述。静态时, 我们把 F_D 称为标定系数。在动态测量中, 动态输入-输出之间的关系需要用微分方程来描述, 这时 F_D 称为传递函数。对于多次重复输入而得到离散输出的情况, 输入-输出之间的关系需要用某种统计分布函数来描述。由此可见, F_D 包括所有上述的概念。同样 F_I 、 F_{MD} 、 F_{MI} 也包含上述概念。

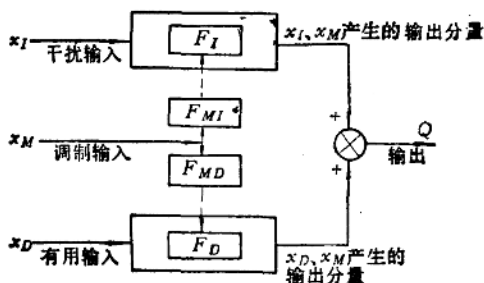


图1-9 常用输入-输出结构图

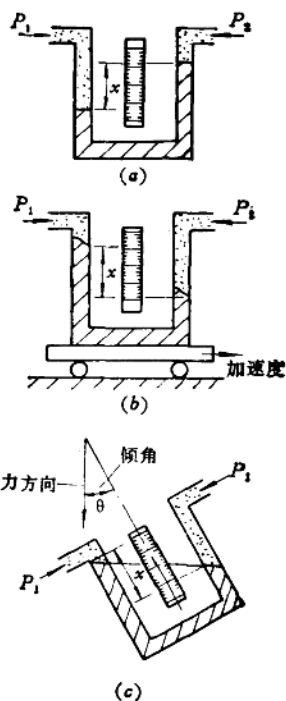


图1-10 压力计的虚假输入

通过图1-9弄清以上符号的概念后, 对于多路输入和多路输出的复杂仪器或系统, 其结构图只不过是这种简单结构图的直接扩展。

下面, 我们举一些例子来进一步说明以上概念。

图1-10(a)表示压差型水银压力计。这里的有用输入是 P_1 和 P_2 。当 $P_1 \neq P_2$ 时, 就会有压差位移 x 。图1-10(b)和(c)表示两种干扰输入。图1-10(b)表示压力计安装在某一正在加速的装置上, 在这种情况下, 测得的压力差将由于干扰加速度的输入而带来误差。原因很简单, 假定 $P_1 = P_2$, 压力差应为零, 但在加速度的作用下, 右管中的水银将流到左管中, 就产生干扰输出 x 。同样, 图1-10(c)由于安装不正确, 压力计没有以重力方向归零, 所以即使 $P_1 = P_2$, 仍有输出 x 。这里的倾角 θ 既是一种干扰输入也是调制输入。调制输入除了 θ 角(或说重力)外, 还包括外界温度。温度对压力计的影响表现在很多方面, 如标定压力的标尺长度随温度变化, 水银的比重随温度变化等。

这些变化都将影响输入-输出的关系, 即 $(P_1 - P_2)$ 与 x 之间的作用系数 F_D 、 F_I 发生变化。

再举一例, 图1-11表示电阻应变仪装置。

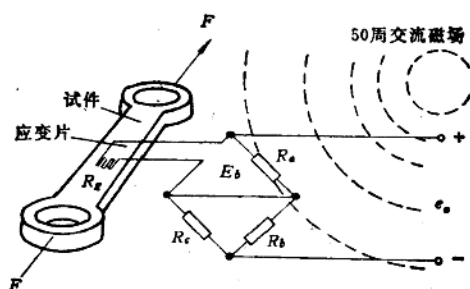


图1-11 应变仪回路的干扰输入

当有变形时, 应变片的电阻按

$$\Delta R_g = K R_g \varepsilon \quad (1.1)$$

变化。

式中 ΔR_g ——应变片的电阻变化(Ω);

K ——应变系数;

R_g ——未发生变形时的原始电阻(Ω);

ε ——单位变形 cm/cm 。

应变片电阻的变化与变形成比例。电阻变化 ΔR_g 可用惠斯顿电桥来测量(电桥本身具有平衡调零器)。其输出电压 e_o 可由

$$e_o = -K R_g \varepsilon \cdot E_s \frac{R_a}{R_g + R_a} \quad (1.2)$$

求得。这里的有用输入是变形 ε , 它引起的输出为 e_o 。当附近有一个50Hz的电磁场干扰时, 即使 $\varepsilon = 0$, 它也会使应变仪回路感应而产生输出电压 e_o 。另外一个干扰是温度, 当温度变化时, 会使应变片的电阻发生变化, 也将产生干扰输出 e_o ; 温度还会使应变片和试件产生膨胀, 由于它们之间的膨胀系数不同, 在没有外力作用时, 内部变形 ε 就产生输出电压 e_o , 这就是说温度变化使应变系数变化。再有电源电压的变化, 也会使输出电压 e_o 变化。由于温度和电压都使 F_D 和 F_I 发生变化, 故它们是调制输入。

§1-6 干扰作用和调制作用的补偿方法

在设计仪器(系统)或使用仪器(系统)时, 采用某些方法使虚假输入的影响降低或消失, 这有利于达到仪器的性能指标和提高仪器或系统的测试精度。现对某些常用的方法作简要地介绍。

一、固有 insensitive 法

固有 insensitive 法的意思就是指仪器敏感元件只对有用输入信号敏感, 而对虚假输入信号不敏感, 这是仪器元件最理想的设计原则。然而实际上不是所有的元件都能完全做到