

传感器及其应用技术

林友德 郭亨礼 编 王谓源 审

上海科学技术文献出版社

TP212
31

传感器及其应用技术

林友德 郭亨礼 编著

王谓源 审

上海科学技术文献出版社

(沪)新登字 301 号

ZR30/34
06

传感器及其应用技术
林友德 郭亨礼 编著
王渭源 审

*

上海科学技术文献出版社出版发行
(上海市武康路2号)

全国新华书店经销

上海科技文献出版社昆山联营厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 14 字数 349,000

1992年1月第1版 1992年1月第1次印刷

印数: 1—4,000

ISBN 7-80513-849-4/T·204

定价: 7.50 元

《科技新书目》250-301

前 言

传感技术是信息采集的支柱,在测量和控制方面,它不仅决定了从对象获取信息的质和量,而且也是测量和控制的关键所在。因此传感技术已成为测量和控制技术应用在工业中的纽带,也即测量和控制技术的出发点。

传感技术是以材料的物理、化学和生物效应为基础,由物理、化学、材料科学、器件物理和工艺、电子工程等多种学科交织发展形成。在迅速发展的传感技术领域,基于新的原理发展起来的传感器、新的信号处理技术和应用领域不断地开拓,传感技术已越来越引起各国科技界的重视,并逐步形成一门专门的技术学科。

本书讨论的是涉及有关传感技术应用领域的广泛的实用性问题,书中介绍了100多种当前实用的而将来也有用的传感器及其实用电路,其中还包括几个特定的完整的测量和控制系统。这些系统都可由常用的传感器和基本电路组成,由此,为实际的科学工作者、工程师和技术工作者提供了非常必要而实用的技术资料,以便于设计工作中选用。因此,它对现在的或将来的传感器使用者均具有很大的经济效果。

考虑到本书的读者是多方面的,因此本书涉及到感受光、色、图像、位置、位移、速度、加速度、力、力矩、压力、温度、湿度、流量、液位、生物等多种参量的常用传感器及其某些实用电路。无论对电方面的工程师、机械方面的工程师、物理学和化学工作者、生物学和医学工作者以及任何对于学习解决测试方面的实际方法感兴趣的人员都是十分有益的,他们均可根据不同的要求在书中选取自己所感兴趣的章节,以解决工作中遇到的被测量变换或处理的问题。

当然要使一本传感技术的书包含所有的主题,则其篇幅之大是可想而知的。在编写本书时,我们放弃了不切合实际的完整性而选择了“应用”的专题,以此解决当前广大工程技术人员和在校师生所迫切需要解决的选用传感器及其实用电路的问题。

本书部分章节曾在“仪器制造”杂志上自1985年6月开始连载过六期,得到广大读者热情的鼓励和支持,在此我们深表感谢。希望本书能给读者带来收益,并在技术界产生一点影响。

本书由林友德、郭亨礼副教授主编,董建平、朱超英和李培华同志参加了部分章节的编写工作。

在此谨向尽管业务十分繁忙但仍然承担本书主审工作的中国科学院王渭源研究员、在编写中给予支持的上海交通大学林明邦教授、中国仪器仪表学会光学仪器学会秘书长黄柏兴高级工程师深表感谢。

本书出版过程中承蒙江苏昆山经济技术开发区管理委员会宣炳龙主任给予支持,专此致谢。

编者于上海工业大学

1989年9月

目 录

第一篇 传感器应用技术基础	1
第一章 传感器技术概述	1
一、信号变换和能量变换	1
二、示强变量和示容变量	1
三、信号变量和误差变量	1
四、能量变换型和能量控制型	2
五、结构型和物性型	3
六、模拟输出和数字输出	4
七、传感技术今后发展动向	5
第二章 传感器与信号处理	6
一、传感器技术与信号处理技术	6
二、计算机与传感器的结合	6
三、传感器信号处理系统	6
四、传感器的信号处理技术	8
第三章 微机与传感器的接口	12
一、概 要	12
二、模拟/数字变换	13
三、信号加工	16
四、传感器信号的种类和接收方法	20
第二篇 传感器及其选用	22
第一章 光色传感器	22
一、光敏二极管	22
二、光敏三极管	24
三、光电池	26
四、非晶质硫属玻璃半导体光敏元件	29
五、光电耦合器件	31
六、色判别传感器	35
七、光纤传感器	36
第二章 图像传感器	40
一、CCD 图像传感器	40
二、红外线图像传感器	43
三、BSO 图像变换元件	46
第三章 位置、位移传感器	50
一、精密电位器式传感器	50
二、差动变压器	52
三、半导体位置传感器	54
四、感应同步器	56

五、角度数字编码器	58
六、磁 栅	61
第四章 速度与加速度传感器	65
一、分解器	65
二、速度传感器	67
三、伺服加速度传感器	69
四、角速度传感器	71
五、振动传感器	73
第五章 力、力矩、压力传感器	76
一、应变计	76
二、加压导电橡胶	78
三、扭矩传感器	80
四、静电电容型压力传感器	81
五、压电陶瓷压力传感器	84
六、扩散型半导体压力传感器	86
七、压力测定膜片	88
八、非晶体油压传感器	91
第六章 温度传感器	94
一、 LiTaO_3 单晶非接触温度传感器	94
二、高灵敏度集成化温度传感器	99
三、热敏电阻	101
四、晶体温度传感器	103
五、磁性温度传感器	104
六、高分子热电型红外线传感器	106
七、热电偶	111
第七章 湿度传感器	113
一、热敏电阻湿度传感器	113
二、高分子膜湿度传感器	114
三、陶瓷湿度传感器	117
四、结露传感器	119
第八章 流量、液位传感器	123
一、超声波流量传感器	123
二、流量开关	125
三、放射线液位传感器	127
四、电解液液面传感器 (ELS, Electrolyte Level Sensor)	129
五、浮子开关	131
第九章 生物传感器	134
一、生物传感器	134
二、葡萄糖传感器	137
三、氧传感器	141
四、氧化物半导体氧传感器	144
五、半导体离子传感器	145

六、离子传感器	148
第十章 其它	152
一、水分传感器	152
二、气体传感器(煤气传感器)	153
三、模式识别用传感器	155
四、微波传感器	158
五、超声波传感器	160
六、声发射传感器(AE 传感器)	163
七、放射线传感器	167
八、高灵敏度霍尔传感器	168
九、BSO 磁场传感器	171
十、接近开关	173
第三篇 传感器的实用电路	175
第一章 光、色、图像传感器的电路	175
一、色彩识别传感器的电路	175
二、线阵 CCD 图像传感器的电路	176
三、照度计电路	176
四、UV 传感器电路	176
五、硅光敏二极管的测光电路	176
第二章 位移、力、速度、加速度传感器的电路	183
一、静电电容式位移传感器的电路	183
二、电位计型位移传感器电路	183
三、电涡流法膜厚测定电路	183
四、应用接触传感器的尺寸测量电路	184
五、压磁型力传感器的电路	184
六、压电式加速度传感器的电路	187
七、微振动测量用压电加速度传感器电路	189
八、伺服型加速度计电路	189
九、旋转编码器的电路	190
第三章 温度、湿度、压力、流量等传感器的电路	191
一、热敏电阻-电压变换电路	191
二、白金电阻的测温电路	191
三、电子式冷接点补偿器电路	193
四、红外线温度计控制电路	193
五、用绝对湿度传感器和热敏电阻温度传感器的电路	195
六、结露传感器及其电路设计要点	195
七、结露传感器的应用电路	201
八、压力传感器信号的双线式传送电路	202
九、压电橡胶作开关的开关电路	203
十、应变计式压力变换器中的传感器电路	204
十一、振动物压力传感器的振荡电路	204
十二、扩散型半导体压力变换器中的传感器电路	205

十三、电磁流量计电路.....	205
十四、翼片式数字呼吸流量计电路.....	207
十五、热式质量流量控制器电路.....	208
第四章 其它传感器的电路	210
一、简易缺氧监测器的电路.....	210
二、采用气体传感器的自动换气扇电路.....	210
三、采用霍尔元件的物体检测电路.....	210
四、超声波传感器电路.....	210
五、光纤传感器的输出光/脉冲变换电路	212

第一篇 传感器应用技术基础

第一章 传感器技术概述

传感器的研究始于本世纪 30 年代,传感器技术是当前急速发展的一门技术。它以材料的物理、化学和生物理化效应为基础,由物理、化学、材料科学、器件物理和工艺,以及电子工程等多种学科交织发展形成,是研究电量与非电量信息间转换的一门跨学科的边缘技术科学。

当今在世界范围内掀起的新技术革命,以实现工业社会向信息社会过渡为其目标。信息社会的特征是社会活动和生产活动的信息化。信息的采集和处理是信息的两大支柱,后者依赖于计算机技术,前者靠的是传感技术。由此可见,在测量和控制方面,由对象获得的信息的质和量还是由传感器决定的,因此传感技术是测量技术的原点,也可称为出发点。

目前,传感技术已渗透到生产和生活的各个领域,在尖端武器、航空、宇航、工农业过程监控、家用电器、医疗卫生、交通运输、环境保护等领域已得到广泛应用,在机器人、能源与资源开发以及生命科学等方面也正在发挥重要的作用。本篇着重讨论传感技术的一些共性问题,它将涉及整个领域的广泛性知识,因此对使用者尤为重要。

一、信号变换和能量变换

通过传感器人们获得必要的信息。所谓“信息”,是相对于“物质”和“能量”而确定的概念。所以把传感器作为信息系统的一个重要因素考虑时,物质和能量就被抽象地除去。可是,信息采用信号形态来变换时,支配信息流的则是物质,是能量,也即如果在传感器和对象之间存在着信息采集,那么必定与能量采集有关。

在高精度测量过程中,要求在不扰乱对象的状态下进行测量。因此,要得到必要的信息,能量的传递越小越好。另一方面,若考虑后处理问题,输出信号的能量就以大为好。因此,在传感器的信号变换方面,能量的变换也是重要的。

二、示强变量和示容变量

关于测定对象状态的物理量,按其性质大致可分为示强变量(Intensive Quantity)和示容变量(Extensive Quantity)。

示强变量,是表示作用于物体某一部位的强弱程度的量。例如压力、温度、电压、磁场等。

示容变量是指与物质的量和空间的大小成比例的量。例如长度、质量、热量、电荷、磁通等。

上述两种类型的量相乘所得的积是能量或者是功率。例如,力与位移的乘积,或者压力与体积的乘积就是力学中的功(功量),电压与电荷的乘积就是电能。还有,电压与电流的乘积表示电功率(功率),温差与热流的乘积表示热功率。

三、信号变量与误差变量

如图 1-1-1 所示,将传感器作为一个“暗盒”来考虑,即没有内部构造,仅看成一个能量

交换的四端网络。由图1-1-1观察传感器、输入端和输出端的物理量组合问题。如果把一对示容变量和示强变量的组合加到传感器的输入端,就会发现,在输出端的示容变量和示强变量变换成了另外一对组合。输入端的一对为被测变量,而输出端的一对为输出信号。

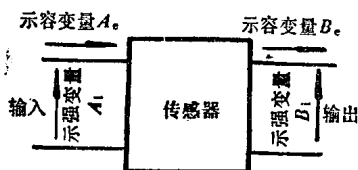


图 1-1-1 传感器输入和输出中的示强变量和示容变量

以温度传感器的热电偶为例,示强变量温差将被转换成另一示强变量电压,即上述示强变量是信号变量。对示容变量而言,输入端是热流,输出端是电流。这一变量可视为与误差有关的量。因为输入的热流是从被测对象移向传感器的热,所以对象的状态与传感器的影响有关系。如果热流大,对象的热容量小,那么对象温度将会变化,从而会出现误差。另外,输出电流也是造成系统误差的原因。如果有电流流过,因为有内阻的存在,则造成输出电压下降。

总之在热电偶例中,热功率转换为电功率,而在示容变量和示强变量对中,如果某一个变量是信号,那么另一个变量就是与误差有关的变量。上述关系如图 1-1-2 所示。

输入、输出中如果共轭变量对的一方是载有信息的信号,那么另一方就是对对象的影响,也就是直接或间接地与误差有关的影响量,可称作误差变量,尽量减小误差变量是保证正确进行测量的重要因素。

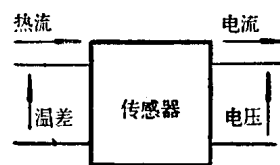


图 1-1-2 热电偶的示强变量和共轭示容变量

四、能量变换型和能量控制型

图 1-1-3 所示是扩散型硅压力传感器,其输入的示强变量是压力 p , 示容变量是根据膜的变形所测得的被测量的体积变化 dV , 因此,由测定对象施加在传感器上的能量是 pdV 。相对于输入端而言,输出端的变量是电压和电流,若把电压视作信号变量,则电流就成为误差变量。电压和电流的乘积是电功率(功率),是能量的时间微分。

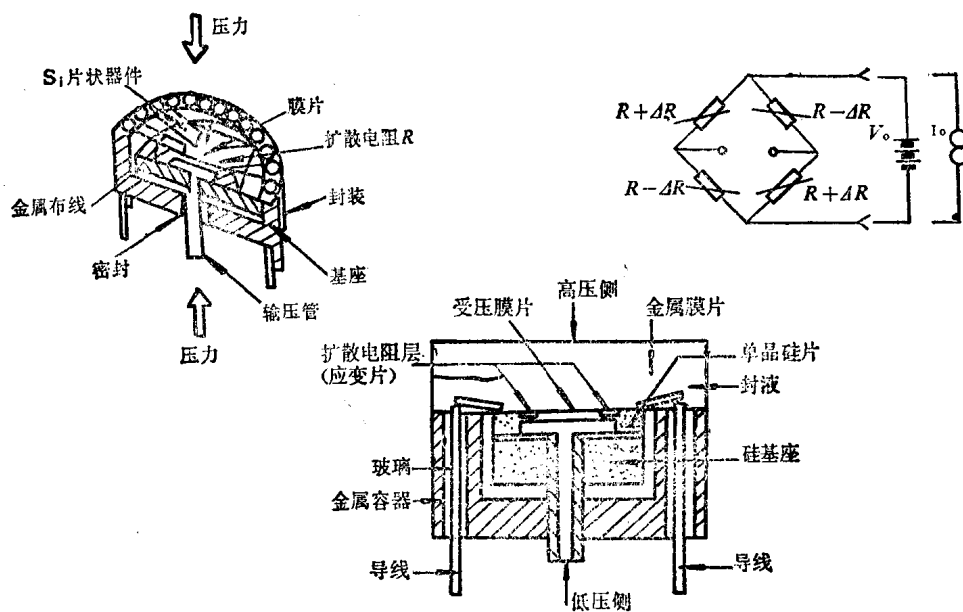


图 1-1-3 扩散型硅压力传感器

在上述例子中输出的电功率是由带应变片的电桥电路的电源供给的，而不是由测定对象施加的能量或功率在输出时变形后表现出来的（也即不是由被测对象供给的）。由被测对象施加的功，用以控制从电源向输出端进行能量传递，这种传感器称为能量控制型传感器，反之，象热电偶那样的传感器被称为能量变换型传感器（或称被动型传感器），如图 1-1-4 所示。

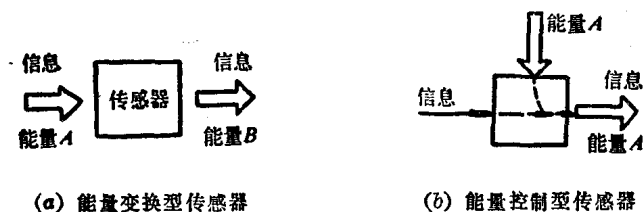


图 1-1-4

能量控制型传感器其优点在于被控制的电功率大于用来控制的能量，所以它具有有一种放大作用。在能量变换型传感器中，可以作为输出信号利用的能量的大小，受对象的状态和必要精度的限制，而能量控制型传感器却不太受这种限制，并且还有可以自由选择信号频率或电平的余地，因此这种传感器使用方便。

五、结构型和物性型

物理学的基本定律大致可以分为下列四类：

(1) 守恒定律：守恒定律是表示物理量随着空间和时间的移动，其总量保持不变的定律。包括能量守恒、动量守恒、电荷守恒等。传感器与被测量之间的能量转换必须遵守守恒定律。

(2) 场的定律：场的定律是有关描述电场、磁场、物质场、重力场等的空间和时间变化的定律，电磁学的基本定律和最小作用定律等属于场的定律。

(3) 统计法则：统计法则是分子、原子、电子等运动的微观世界与能够观察直接现象的宏观世界相结合的定律。热力学的第二定律是其中一例。这些法则往往和传感器工作状态有关。

(4) 物质法则：它是表示物质某种客观性质的法则。例如虎克定律、欧姆定律等是把表示物质固有的性质作为参量的定律。

传感器的工作原理多数是利用上述场的定律和物质法则，而很少利用守恒定律和统计法则。

例如差动电容器，就是利用场的定律的传感器，其特性受形状和尺寸的影响（参照图 1-1-5），而构成传感器是哪种物质，对其特性没有决定性的影响。如差动电容器型压力传感器，其极板的形状和尺寸决定了输出灵敏度，但是，极板材料是金还是铜均无影响。这类传感器称为结构型传感器。

与此相反，利用物质法则的传感器，其材料的特性对它 有直接的影响。例如由硅片和扩散型应变片组合的压力传感器，由于硅的结晶轴方向与应变片的关系，或者由于硅片中掺杂的种类和浓度不同，都会使其特性受到决定性的影响。这类传感器称为物性型传感器。

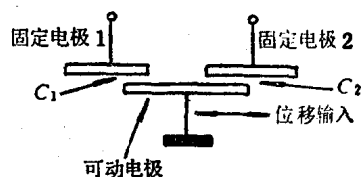


图 1-1-5 差动电容器型
位移传感器

由于结构型传感器性能稳定,不易受环境温度的影响,所以广泛地应用于工业测量等方面。不过要制造这种性能良好的传感器,要求有高度的、熟练的技术,而且成本也高。

另一方面,由于半导体技术和物性物理学的发展,加上应用了高度的材料技术和精密加工技术,物性型传感器迅速地发展起来。再则物性型传感器与IC(集成电路)一样,如果需要量大,其成本就会显著降低。所以,今后这类传感器将会占很大比例。

六、模拟输出和数字输出

柯林斯(COLLINS, 1968 年)把控制系统和仪表系统中处理的信号分为以下几类:

(1) 模拟的: 被测系统参数都被转换成模拟电压或模拟电流。设计中通常还要引入某些求均值措施, 或者所采用的方法本身就有求均值措施。

(2) 编码数字的: 并行数字信号就是以编码方式产生的, 每个比特按照某些预先规定的码基数加权。输出这种信号的传感器通常称为直接数字式传感器。

(3) 数字的: 某个函数(如重复信号的平均速率)就是被测参数的量度。通常这些都称为频率式传感器。

某些模拟式传感器特别适合用特殊方法转换成具有数字输出的, 其中最流行的是同步器以及产生载频调制输出的类似装置。对于普通的模拟用途, 这种输出必须进行解调, 以提供一个其大小和符号能代表传感器运动元件位移的直流信号。

直接数字式传感器实际上很少, 因为似乎没有任何自然现象, 其某些可检测的特性会随压力或温度等的变化而作不连续的间断变化。使用直接数字式传感器有许多优点, 即使在整个设备中没有使用计算机也是这样。这些优点是:

- (1) 产生、处理和存贮数字信号容易, 如使用穿孔纸带、磁带等;
- (2) 有高的测量精度和分辨率;
- (3) 高电平数字信号对外部干扰(噪声)的抗干扰能力强;
- (4) 在人机方面, 有利于简化数据表示;
- (5) 在维护方面, 与模拟机或混合系统相比, 有便于维修的优点。

在直接数字式传感器方面发展最快的是转轴编码器, 它已广泛使用在各种机床、飞机系

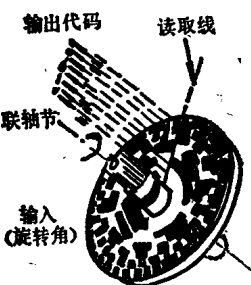


图 1-1-6 编码器

统和机器人中。转轴编码器可以获得高的分辨率和精度, 还可以通过机械连接提供能产生可测机械位移的任何参数的直接数字输出。图 1-1-6 所示就是编码器的一种例子。

由于接收数字信号的接收器一般都带存贮器, 所以能够稳定地保持以前测到的数值。此时, 如果只能把前面的取样时刻与当前的信号变化部分传送出去, 那么, 传送的信息就大大减少, 传送线路的负担也大大减轻, 这种方式称增量式, 其构成如图 1-1-7 所示。

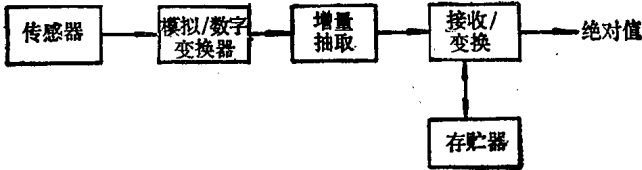


图 1-1-7 增量式信号传送框图

七、传感技术今后发展动向

目前,在传感技术中,有相当多部分是具有高精度测定有关空间一点的测量技术。而一次性采集二维、三维的信息还是很难的。因此,从要求点的测量,已变成要求处理依存于面或形状等空间性的信息检测,“由点到维”已成为传感技术发展的重要方向。

传感技术发展大致可归纳为以下两个方面:

- (1) 传感器器件的改进;
- (2) 传感器系统的改进。

器件的改进以下面三项为特征:

(1) 新材料:据半导体、精细陶瓷等材料科学的新知识制成的器件,或利用了酶等生物的功能制成的器件。

(2) 新的制造方法:利用集成电路或晶体管等的精密加工技术,利用选择扩散或选择腐蚀等方法,而不用机械加工方法,大量生产微小的、高精度的传感器的工艺已引起人们的注意。图 1-1-8 所示是利用这种工艺在直径为 5 cm 的硅基板上制成的气体色谱仪。图中螺旋状物是气体通道,上面集积着采样阀、导热系数检测器、温控器等。这是美国斯坦福大学研制的,它以新的加工法给老式的气体色谱仪以新的概念。

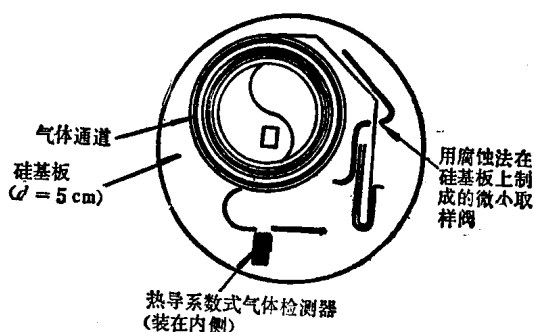


图 1-1-8 气体色谱仪

(3) 新的测量法:例如利用光的各种非接触式测量手法,或利用光导纤维的测量方法。

根据多维化要求研制的非接触式传感器、图象传感器等有效地利用了上述三方面的新技术,正在不断发展中。

对传感器系统的改进,指的是传感器器件本身的原理并未改变,而是将传感器的信号检测能力与计算机的信号处理能力有机地结合起来的手法,是数个只得到点的信息的传感器的组合。例如 X 射线 CT 技术即为一例。

再则,虽然现在的传感器具有信号检测和变换能力,但由于它不具备智能,所以它不能诊断自身的功能,不能据周围状况的变化而创造最佳测定条件。由于把微处理机和存贮功能与传感器相结合,给与传感器简单的智能,使其能进行自动校正、自动诊断,由此可以得到最佳测定条件。或者,还可以构成在传感器的输出经过处理后只把必要的信息传送出去的智能分散系统。这种传感器称为“智能传感器”或“灵巧传感器”。

综上所述,今后传感器发展方向是开发以新器件为中心的硬件和“硬件和软件相结合的新系统”,并且要多品种,还要不断开拓新的应用领域。

第二章 传感器与信号处理

一、传感器技术与信号处理技术

在测量和控制方面,从对象得到的信息的质和量首先是由传感器决定的。而信号处理技术,是从传感器采集的信息中剔除不必要的影响量,只选择出有用的信息,然后将其传送到需要的场所。只有采用了信号处理技术,传感器收集的信息才能得到有效的利用。就是说,是有效地利用传感器采集到的信息,还是把它浪费掉,完全取决于信号处理技术。

追溯传感器和信号处理技术的发展历史,可以看到,新的传感器要求有新的信号处理技术,而合适的信号处理技术又反过来扩大传感器的应用范围。

然而现状并不十分理想。由于微处理机和LSI存储器等的发展,信号处理能力有了显著提高,但由于传感器跟不上信号处理技术的发展,故两者之间的差距就成了问题。面对这一挑战,人们当然很注意开发新型的、先进的传感器,以缩小这一差距。

但另一方面,传感器功能的不足和存在的弱点可以由信号处理技术来弥补,因此,传感器信号处理技术的发展方向是明确的,它将在不增加新的信息的基础上,把传感器采集的信息尽可能完整地有效地加以利用。这可以看作是一种新的综合技术的出现。下面将结合实例介绍这种技术。

二、计算机与传感器的结合

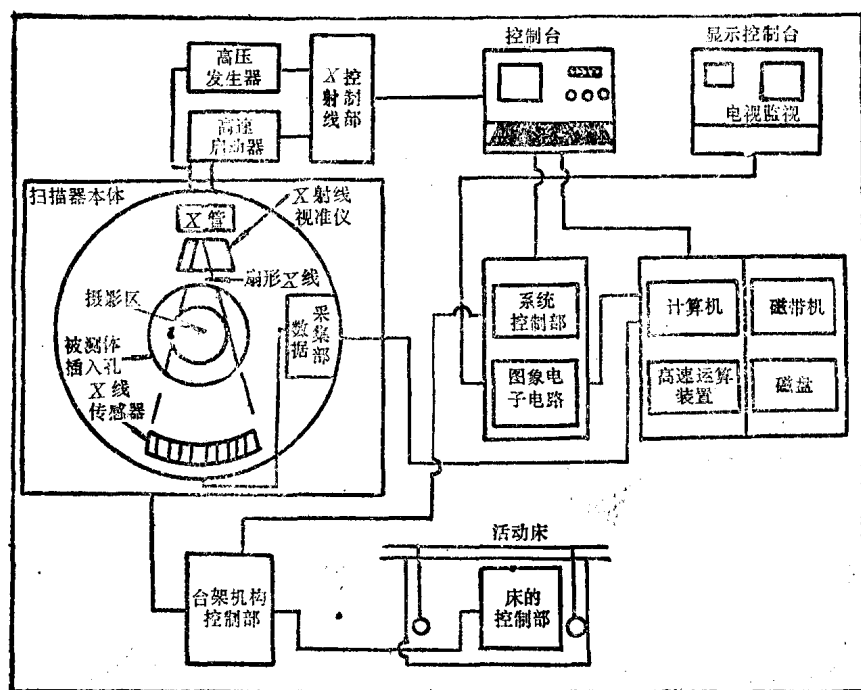
计算机与传感器结合的较成功的例子是图1-2-1所示的X射线OT(计算机控制的层析X射线摄影法)。接收透过人体的X射线的传感器是单个或者是阵列状的内烁晶体和电离箱群。传感器器件与以往的相比没有多大变化。这里直接得到的信息,只不过是传感器扫描方向或阵列布置方向上吸收X射线的投影量,但它包含着有关断层面的信息。X射线和传感器群组成一体,在人体的周围边旋转边将投影像进行A/D变换(模拟/数字变换),然后贮存到计算机的存储器里。如果在 180° 的角度范围内反复进行上述操作,结果,断层面上的全部信息以一维强度分布的形式被采集。计算机利用来自多方面的投影数据,可将X射线吸收强度的二维分布复原。这种问题称为逆变换问题。做法是把图象分割成数个像素后,利用滤波器修正逆投影等手法,利用外围信息再构成数值式二维断层图象。这一设想之所以能实现是基于计算机的信号处理能力与传感器的有机结合。

三、传感器信号处理系统

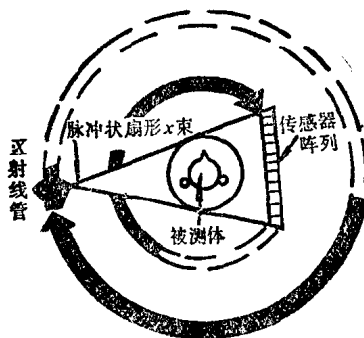
对传感器采集的信息进行处理的过程可以在图1-2-2所示的幅度(能量)、时间、频率三个坐标轴所构成的空间中进行。幅度轴的处理是把能量补充给信号,从而改善信噪比(S/N),多数情况下,传感器最初接受的处理是放大。

为了将噪声从放大后的信号里分离出来,需抽出特征,进行时间轴或频率轴上的处理,换言之,找出频率域或时域模型,利用两者模型的不同点,就能分离出信号和噪声。

假如信号和噪声存在着时域性差异,那么利用其性质将两者分离开。在信号是周期性的、噪声是“白”噪声的情况下,有效的处理方法是求信号的自相关。在信号和噪声存在着频域差异的情况下,用滤波器就能分离信号和噪声,如图1-2-3所示。



(a) 结构图



(b) X射线源与传感器阵列

图 1-2-1 计算机与传感器的新结合：X射线 CT

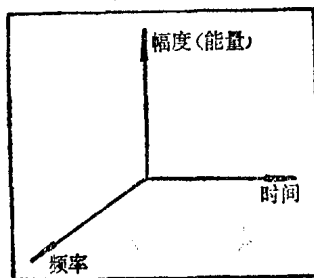


图 1-2-2 传感器信息处理过程的分类

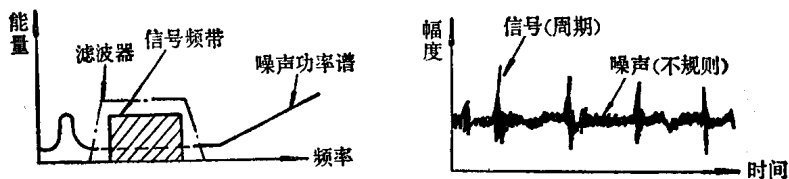


图 1-2-3 频域及时域的信号与噪声的分布

提到滤波器,人们通常会联想到电路上用的滤波器,但是还有机械的滤波器。在安装传感器时,需垫上防振橡胶以防止机械振动噪声干扰传感器信号。

四、传感器的信号处理技术

1. 淹没在噪声中的信号的检测

检测淹没在噪声中的已知周期信号的方法有以下两种:一是相敏检波或同步检波方法。它是将已知周期信号 $s(t)\cos(\omega t)$ 和同一频率的标准信号 $R\cos(\omega t + \psi)$ 相乘,其输出与 $R \cdot s(t) \cdot \{\cos\psi + \cos(2\omega t + \psi)\}$ 成正比。若用低通滤波器剔除第 2 项的 2ω 交流成分,输出决定于相位 ψ 。调整标准信号的相位 $\psi = 0$ 时,输出 $R \cdot s(t) \cdot \cos\psi = Rs(t)$ 为最大。

这种过程不外乎是求测定信号与标准信号间的最大的互相关值。

这时,即使把随机噪声或具有其它频率的噪声加到测定信号上,除与标准信号相同的或者整数倍的频率成分外,由于三角函数的正交性,其它成分对输出无影响。尽管噪声幅度大于信号幅度,同步检波器电路也能检测出淹没在噪声中的真实信号。锁定放大器就是应用这种原理制成的。若将它等效为一个滤波器,则带宽与其中的低通滤波器的时间常数 T 成反比,设 $T = 1s, 10s$, 那么带宽分别可为 $0.5Hz, 0.05Hz$ 。用一般的模拟电路的滤波器稳定地达到这样狭窄的带宽是困难的。

二是同步相加法或平均响应法。其作法是,在信号的周期长度上截取含有噪声的波形,并使之与波形的前端一致,然后按图 1-2-4 进行相加。这样信号部分就会反复相加,而这以外的成分因相位不一致而平均化了,从而使 S/N 增大。

若将波形相加 n 次,那么信号成分的功率就变成 n 倍,但信号以外的成分只是 $\sqrt{n}$ 倍,所以, S/N 与 $\sqrt{n}$ 成正比,从而得到改善。图 1-2-5 表示将相加次数增加 10 次、50 次时,与其对应的信号波形显著增高的一个例子。

这种方法又可称为利用相关性质的信号检测法。

2. 时域和频域的处理

众所周知,时域和频域两区域的信号特性在线性系统中由傅立叶变换联系着。这种关

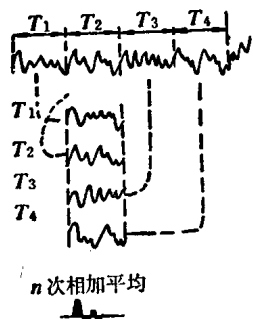


图 1-2-4 同步相加原理

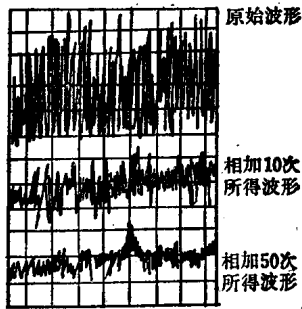
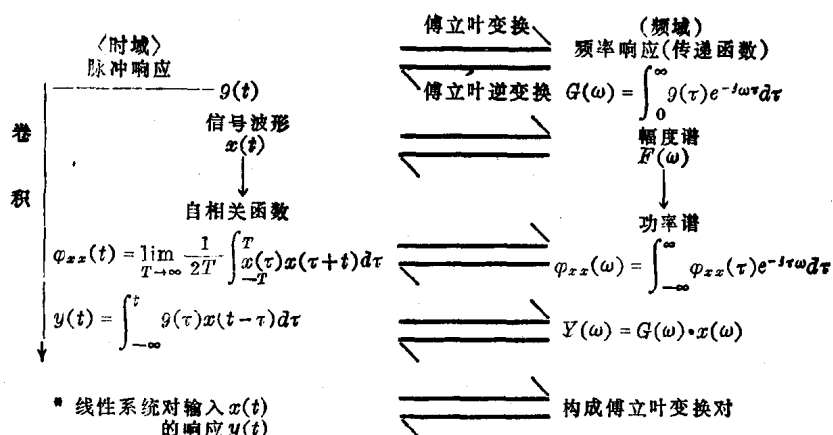


图 1-2-5 同步相加效应



系示于图 1-2-6。

例如将脉冲状的输入信号加到某一线性的测定对象元件(带传感器也可以)上时的输出响应,称为脉冲响应,设为 $g(t)$, 那么可用卷积表示。输出信号 $y(t)$ 见式(1-2-1):

$$y(t) = \int_{-\infty}^t g(\tau)x(t-\tau)d\tau = g(t) * x(t) \quad (1-2-1)$$

如果式(1-2-1)中的 $y(t)$ 和 $x(t)$ 为已知数,那么,系统的特性可用 $g(t)$ 描述。

若将式(1-2-1)等号两边同作傅立叶变换,脉冲响应 $g(t)$ 就变换成传递函数 $G(\omega)$, 如式(1-2-2)所示, ω 为角频率。

$$Y(\omega) = G(\omega) \cdot x(\omega) \quad (1-2-2)$$

上式表明,在频域,由输入信号的幅度谱 $x(\omega)$ 和传递函数 $G(\omega)$ 的乘积可以经出输出的幅度谱 $Y(\omega)$ 。这样,在多数情况下,知道了传感器的输出频谱和输入频谱,可由式(1-2-2)求出对象的特性 $G(\omega)$ 。

通过傅立叶变换和逆变换可以将波形和幅度谱联系起来,信号波形的自相关函数和功率谱之间也同样存在这种关系。这种关系称傅立叶变换对。

交叉功率谱和互相关函数也构成傅立叶变换对。

现在若把“白”噪声用作输入信号时,其功率谱与频率无关,设为 K , 故根据定义,传递函数 $G(\omega)$ 可由式(1-2-3)从输入和输出的交叉功率谱 $\Phi_{xy}(\omega)$ 中求出。

$$G(\omega) = K\Phi_{xy}(\omega) \quad (1-2-3)$$

将式(1-2-3)进行傅立叶反变换可得式(1-2-4):

$$g(t) = K\phi_{xy}(t) \quad (1-2-4)$$

式中, $\phi_{xy}(t)$ 为输入和输出的互相关函数, K 为常数。

式(1-2-4)表明,即使把“白”噪声加到对象上,通过信号处理,也完全可以得到对同一对象加上脉冲输入后的脉冲响应函数 $g(t)$ 。

式(1-2-4)还表明,通过从式(1-2-1)向式(1-2-2)的傅立叶变换,可以从脉冲响应中求出传递函数,即求出频率响应。

如图 1-2-7 的虚线所示,用脉冲输入,脉冲响应,“白”噪声术语,便于直观地理解频率响应这一关系。图中实线所示的关系表明,用这种关系可以求得脉冲响应和频率响应。