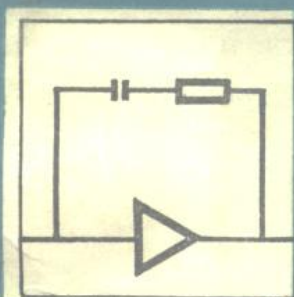
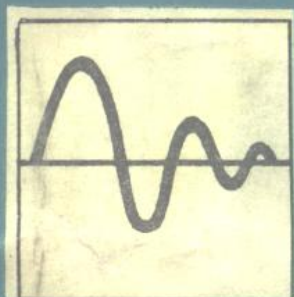
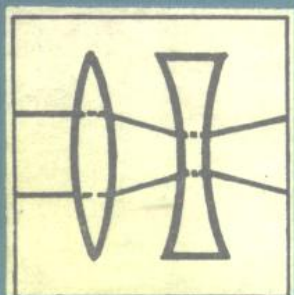


高等学校试用教材



检测与转换技术

吉林工业大学常健生 编



机 械

高等学校试用教材

检测与转换技术

吉林工业大学常健生 编



机械工业出版社

242414

TP216
4

检测与转换技术

吉林工业大学常健生 编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 $1/16$ ·印张23 $1/4$ ·字数 568 千字

1981年7月重庆第一版·1983年6月重庆第三次印刷

印数 34,001—43,000·定价2.40元

*

统一书号: 15033·5078

前 言

本书系根据 1978 年四月在天津召开的高等学校一机部对口专业座谈会确定的教学计划和同年五月在黄山召开的工业自动化专业教材会议上制定的教材编写大纲编写的。

本书为工业自动化专业学生选修课试用教材，也可供有关专业师生、从事自动化工作的工程技术人员参考。

本书涉及领域比较广泛，包括特殊半导体器件和新技术在检测与转换技术领域里的应用。全书共分廿一章：第一章检测与转换技术的一般性问题；第二至十二章各种传感器的工作原理、技术性能、特点、测量电路以及应用范围；第十三至十七章用不同原理构成的自动检测和探伤方法；第十八至十九章常用数-模、模-数转换器的组成原理及应用；第廿章微处理机在检测系统中的应用；第廿一章抗干扰技术。每章均附有思考题与习题。

本书由吉林工业大学工业自动化教研室副教授常健生编写。由北京工业大学自动化仪表教研室张俊漠同志主审，参加审阅的还有张国忠、李忠诚同志。

本书的部分内容参考了浙江大学及其他兄弟院校自动检测仪表专业所编讲义，在编写过程中得到吉林工业大学戴逸松同志的帮助，编者在此致以谢意。

由于编写时间仓促，水平有限，书中难免有不妥和错误之处，殷切希望各院校师生及广大读者提出宝贵意见。

一九八〇年八月

目 录

前言	
绪论	1
第一章 检测与转换技术的基本概念	4
§ 1-1 基本概念和定义	4
§ 1-2 误差的基本概念	8
§ 1-3 线性度误差与量程扩展	15
§ 1-4 可靠性问题	18
第二章 触点及干簧管传感器	21
§ 2-1 触点传感器	21
§ 2-2 干簧管传感器	26
第三章 电阻传感器	29
§ 3-1 电位器传感器	29
§ 3-2 电阻应变传感器	33
§ 3-3 热电阻传感器	53
§ 3-4 气敏电阻传感器	61
第四章 电感传感器	68
§ 4-1 自感传感器	68
§ 4-2 差动变压器	79
§ 4-3 涡流传感器	86
§ 4-4 压磁传感器	93
第五章 电容传感器	101
§ 5-1 电容传感器的工作原理	101
§ 5-2 电容传感器的一些特殊问题	105
§ 5-3 电容传感器的测量电路	107
§ 5-4 电容传感器的应用	110
第六章 光电传感器	114
§ 6-1 光电元件	114
§ 6-2 光电传感器的类型及应用实例	120
第七章 热电偶	126
§ 7-1 热电偶测温的基本原理	126
§ 7-2 常用热电偶	129
§ 7-3 热电偶冷端的温度补偿	130
§ 7-4 热电偶实用测温电路	133
§ 7-5 特殊热电偶及其应用	135
第八章 磁电传感器及电磁检测	137
§ 8-1 磁电传感器	137

§ 8-2 电磁检测	142
第九章 压电传感器	148
§ 9-1 压电效应	148
§ 9-2 压电材料	149
§ 9-3 压电传感器	151
§ 9-4 等效电路	153
§ 9-5 测量电路	154
第十章 霍尔传感器	158
§ 10-1 霍尔元件的基本工作原理	158
§ 10-2 霍尔元件的温度性能及补偿方法	161
§ 10-3 元件的电磁特性	165
§ 10-4 元件的零位误差	168
§ 10-5 霍尔传感器及其应用	170
第十一章 振弦和振筒传感器	177
§ 11-1 振弦传感器的基本工作原理	177
§ 11-2 振弦传感器的结构及其应用	181
§ 11-3 振弦传感器测量电路	183
§ 11-4 振筒传感器工作原理与结构	184
§ 11-5 振筒传感器特性	187
第十二章 气动传感器	189
§ 12-1 节流式气动传感器	189
§ 12-2 射流式气动传感器	199
§ 12-3 气电转换器	205
附录一 几种常用传感器比较表(一)	211
第十三章 红外辐射检测	212
§ 13-1 红外辐射检测的基本定律	212
§ 13-2 红外探测器	214
§ 13-3 红外温度检测	219
§ 13-4 红外检测在其他方面的应用	223
第十四章 激光检测	226
§ 14-1 激光	226
§ 14-2 激光器	228
§ 14-3 激光检测	231
第十五章 超声波检测	235
§ 15-1 超声波	235
§ 15-2 超声波探伤法	242
§ 15-3 超声波厚度检测	250
第十六章 核辐射检测	255
§ 16-1 同位素	255
§ 16-2 核辐射探测器	259
§ 16-3 核辐射检测应用举例	263
§ 16-4 放射性辐射的防护	273

第十七章	工业电视检测	274
§ 17-1	工业电视在尺寸检测中的应用	274
§ 17-2	工业电视在探伤中之应用	278
第十八章	模拟和数字转换器	284
§ 18-1	并行数字-模拟转换器	284
§ 18-2	串行数字-模拟转换器	289
§ 18-3	反馈比较型电压-数字转换器	294
§ 18-4	V-T型电压-数字转换器	296
第十九章	位移-数字转换器	300
§ 19-1	盘式角度-数字转换器	300
§ 19-2	电机式角度-数字转换器	304
§ 19-3	光栅传感器	311
§ 19-4	磁栅传感器	318
§ 19-5	感应同步器	324
附录二	几种常用传感器比较表(二)	338
第廿章	微型计算机在检测系统中的应用	339
§ 20-1	概述	339
§ 20-2	微处理器在检测与仪器中的应用	340
§ 20-3	应用实例	343
第廿一章	抗干扰技术	348
§ 21-1	干扰的种类与防护	348
§ 21-2	噪声源与噪声耦合方式	349
§ 21-3	抗干扰技术	354
§ 21-4	电子测量装置的防护	359

参 考 文 献

绪 论

检测与转换技术是以物理学、电子学、自动控制、电子计算机、测量技术等原理为基础的一门综合性技术学科。它的研究对象为：对各种材料和构件进行无损探伤、测量和计量；对自动化系统中各种工艺参数自动检查和测量；对上述被检测各模拟量与其相对应之数字量间的转换等。它的研究内容为检测技术和装置的基本工作原理、结构、类型、性能、特点和适用范围。

科学技术的发展和检测与转换技术的发展是密切相关的。现代化的检测手段所具有的可能性（精确度、灵敏度以及测量范围等）在很大程度上决定了科学技术的发展水平。检测与转换技术达到的水平愈高，则科学技术成就愈为深广。而在另一方面，科学技术的发展又为检测与转换技术的发展提供了新的前提和新的途径。同时也提出了新的课题。

在现代化生产，特别是在专业化生产中，由于采用了新的工艺、高效设备和自动化手段等措施，而使生产过程自动化水平不断提高、自动化范围逐步扩大，从而提高了劳动生产率和产品质量，改善了生产劳动条件。

在实现自动化过程中，检测与转换技术和装置的采用是首当其冲的，因为没有这些，建立任何一个自动化系统是难以想象的。检测与转换技术和装置是自动化系统中的“感觉器官”，只有对材料、构件、工艺参数等状态明、数量清的情况下才能进行自动控制。

为了进一步说明检测与转换技术在自动化系统中的应用和地位，现将自动化系统分组叙述如下：

1. 自动检测系统 为了对生产设备和工艺过程进行自动保护、自动监视；为了对产品按某项指标进行分类；为了实行生产管理而对材料、构件和产品的计量所构成的自动系统叫做自动检测系统。例如，对巨型机组轴承温度的监视；对热处理完毕的加工零件按硬度检查分组；对自动仓库内每种存放物品的存入、取出的计量等。

2. 模拟反馈控制系统 对生产过程工艺参数采用模拟量测量，并进行负反馈自动调节的系统叫做模拟反馈控制系统，一般称为PID调节。此类系统又可按被调参数的数目、直线性、闭合回环的数目等继续分类。

3. 数字反馈控制系统 在控制回路内包含有数字设备的负反馈控制系统，叫做数字反馈控制系统。在此种系统中数字设备的数量不一，从使用一个数字元件到整个系统全由数字式元件组成。前者是混合式，兼有模拟和数字式系统的优点。在此系统中，有模拟量和数字量的测量问题，同时又有两者之间的转换问题，视系统的具体情况而异。例如，带有自动检测系统的数控加工机床。

4. 数字计算机控制系统 无论是采用中、小型专用数字计算机或是用微型数字计算机组成的控制系统，大多数是按多对象或多参量反馈控制考虑的。例如，复杂生产设备的最优化控制；智能机器人的控制系统等。在这些控制系统中，存在着大量工艺参数的检测和数字量的转换问题。

一个典型的数字计算机控制系统的方框示意图如图0-1所示。它是由一组模拟传感器，

一组 A/D (模拟-数字) 转换器, 数字计算机, 一组 D/A (数字-模拟) 转换器以及一组模拟控制器构成。如果只有传感器, A/D 转换器和数字计算机, 则此种系统一般称为数据测量(处理)系统。如果一个系统只包含数字计算机, D/A 转换器和模拟控制器, 则这种系统一般称为程序控制系统。

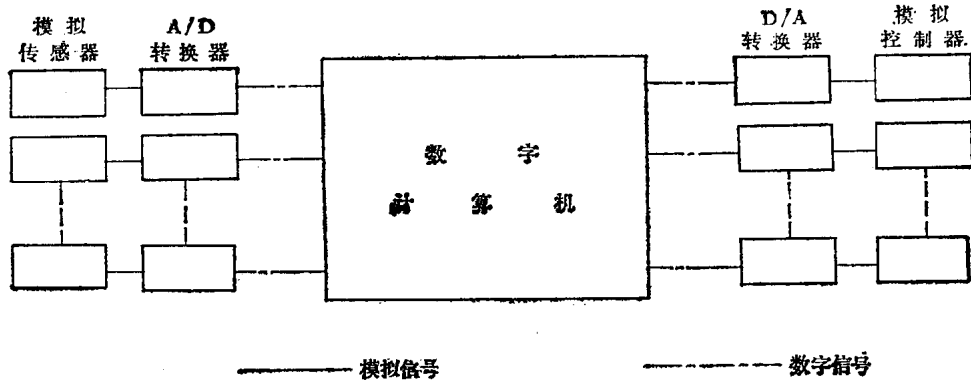


图 0-1 典型的数字计算机控制系统方框图
——模拟信号 - - - - - 数字信号

在数字计算机控制系统中, 不是每一种模拟输入或模拟输出都要用一部转换器, 而往往用一部 A/D 转换器在各输入量之间进行分时工作, 偶尔也有用一部 D/A 转换器在几种输出之间分时工作, 但这是在牺牲工作速度和精度的条件下换来的。

5. 多级数字计算机递阶控制系统 对一个或几个工厂或部门实现综合自动化必将采用数字计算机分级递阶控制的大系统。在最低级的控制和检测系统中, 将有为控制和管理全部生产机构所需要全部数据(材料、构件、工艺参数等的质量与数量)的检测和转换问题。

从以上几类自动控制系统的叙述中可以看出: 自动检测与转换技术和装置是自动化系统中的不可缺少的组成部分; 自动控制系统的控制精度, 在很大程度上取决于检测与转换装置的精度; 随着自动化领域不断扩大和自动化水平不断提高, 对检测与转换技术和装置的要求亦愈来愈高, 而它的应用亦日趋广泛。

由于电子学和电子计算机的飞跃发展, 在检测和转换装置中普遍采用电子测量装置来检测绝大多数物理量, 这是本门学科发展的一个特点。一般地讲, 物理量的电子测量装置具有以下特点:

第一、能连续地进行测量和便于自动记录所测参量, 并能根据测得结果自行判断与运算, 所以可用于自动控制、自动调节或对产品自动进行试验与分类。

第二、由于电子装置惯性小, 反应速度快, 故不仅适用于静态测量, 亦适用于测量动态过程。

第三、测量的精确度和灵敏度高, 还由于电子测量装置能方便地改变量程, 所以测量范围广。

第四、可将被检测的信号进行远距离传递, 从而能实现集中控制和远程控制。

第五、从被检测对象取用功率小, 甚至完全不取功率, 并可进行无机械接触测量, 故可提高测量精确度和传感器的寿命。

第六、能进行多点扫描检测。对于复杂的被测对象，可使用多个传感器，用多点扫描装置（采样系统）进行快速逐点测量。

第七、易于实现检测自动化。它表现在加工过程中进行主动测量，对加工后的工件进行自动分选。

电子测量装置先将被测参数的变化转换成电信号，再经过电子放大或运算等处理，然后，或用显示仪表显示出来；或去控制一定的执行机构；或用电传打印机打印出来。

电子测量装置主要由三部分组成：传感器、电子测量线路、显示装置（指示仪、记录仪、数字显示器等），如图 0-2 所示。

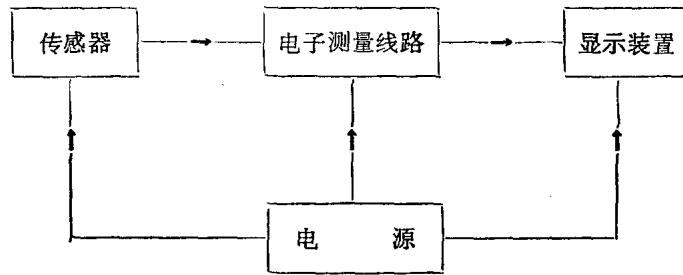


图 0-2 电子测量装置的方框图

传感器直接与被测对象发生联系，将被测参数的变化直接或间接地转换成电信号。一般常用的传感器有：触点传感器、无触点接近开关（涡流传感器）、差动变压器、电容传感器、热电偶、气动传感器、超声波探头、霍尔传感器、红外探测器、光栅、感应同步器等。

由传感器输出的信号送至电子测量线路的输入端，经电子测量线路将送来的信号进行变换（放大、微分、积分等）后送至显示装置中。电子测量线路根据传感器要求之不同而异，最常用的是模拟电路（桥型电路、相敏电路和测量放大器等）和数字逻辑电路（门电路、数字显示电路、D/A 和 A/D 转换器等）。

检测与转换技术紧密地伴随着科学技术的发展而发展。目前已有采用新型半导体元件构成的传感器；采用微波、激光、电视等技术的检测手段；无损探伤自动线；新型自动检测系统，应用微型计算机作为检测系统的信号变换元件等等。这些成果使检测物理量的范围更加扩大，精确度、可靠性稳定性有所提高，检测装置更加简化。与此同时，科研与生产又提出了更高的要求：高精度、高速度、非接触、微型化、集成化、自动化等等。此外，还要求用新的原理研制成新型的能够代替人的感觉器官的传感器等。

“检测与转换技术”这门课是工业自动化专业的一门专业课。本课程的任务是研究工业自动化系统中各种工艺参数自动检查、探伤、测量和转换技术的基本原理及其应用。

通过本课的学习，使学生对科学研究或工程中检测与转换技术的问题能提出合理的方案；对传感器能够进行合理的选择；对所用的测量电路和电子测量电路具有一定的分析能力。

第一章 检测与转换技术的基本概念

§ 1-1 基本概念和定义

在检测与转换技术中普遍地采用电子测量装置来对不同物理量进行检测和转换。

如前所述,电子测量装置主要由三部分组成:传感器、测量电路及显示装置,在不需显示的保护、计量和控制系统中,显示装置可被执行机构所代替。

传感器是借助于检测元件接受一种物理量形式的信息,并按一定规律将它转换成同样或别种物理量形式的信息的仪表。传感器的输出一般都是不同形式的电量信息。经常将检测元件所接受的物理量形式的信息叫做被测量或被测信号。

一、信号传递形式

在检测和转换过程中,传递的每一个信号,都具有一定的内容和含义。但是表征同一信号可以有不同的形式。

从电信号角度来看,它可以是与电流、电压、或频率呈一定函数关系的变化量。

从传递信号连续性的观点来看,信号的表示方法可以分为模拟信号、开关信号、数码信号和调制信号。

被检测的信号,在时间上是连续变化的,即在任何瞬时都可以找出被表示的信号的值,通常采用模拟式电子计算装置来对此种信号进行处理或运算,因此这种连续信号称为模拟信号。例如,用热电偶可将变化的温度转换成为与它呈比例的连续变化的毫伏电势值;用热敏电阻也可将温度转换成与它呈比例的连续变化的电阻值。

当被测信号的变化,按其值的大小用两种状态或用两个数值范围表示的叫做开关信号,它是一种不连续的信号。例如,用行程开关检测行程变化是否到位的信号,可用行程开关的触点闭合、断开(电阻大小)来表示;用水银触点温度计来检测温度变化信号是否到达指定的温度(由接点所处位置来决定)的信号,可用水银触点的开、断(电阻大小)来表征等。

另外一种不连续信号是以离散形式表现的,离散信号的幅值是用一定数量的单位个数值编排的数码信号来表征的。因此将连续信号转变为离散信号时,就必须加以整量化,即用某一个较接近的离散值的数码来代替信号的幅度的即时值。

整量化包括量值和时间两部分内容。量值整量化就是用近似的离散值所对应的数码来代替信号的真值*,而最接近的两个离散值之间都相差一个单元量。时间整量化是指在某些固定的瞬间才包含有变化的数码信号,而在这些固定的瞬间之间的时间间隔内没有信号。

如图 1-1a 所示, $f(t)$ 为模拟信号,如果在瞬时 t_0 、 t_1 、 $t_2 \dots$ 用接近的离散值代替相应瞬间模拟信号值,就得到量值整量化信号 f_0 、 f_1 、 $f_2 \dots$ 。若以 $2^0=1$ 、 $2^1=2$ 、 $2^2=4 \dots$ 代替 f_0 、 f_1 、 $f_2 \dots$,即得到如图 1-1b 所示的二进制数码信号。

在采样系统中,离散信号只是在采样开关闭合时才以数码信号的方式进行传递,随采样

* 被测量本身所具有的真实大小称为真值。

周期缩短和量化幅值单位个数增加，数码信号越接近被测信号。

将连续变化的模拟信号转换为相应的离散形式的数码信号称为模拟-数字（模-数、A/D）转换。将数字信号转换为相应的模拟信号叫做数字-模拟（数-模、D/A）转换。随着计算技术的发展，模-数和数-模转换已成为检测与转换技术中不可缺少的的重要组成部分，愈来愈广泛地被应用在各个领域之中。

调制信号是以不连续-连续方式表现的。任何一种正弦振荡过程（电、机械、声等）皆可用 $i = I_m \sin(\varphi + \omega t)$ 式中的三个参量：幅值 I_m 、相角 φ 和角频率 ω 来表征。这三个参量中的任何一个皆可用来做为传递的调制信号，这样就扩大了调制类型。例如经常采用的调幅、调相、调频以及变脉冲数等信号。

如图1-2所示， $x(t)$ 为被测信号，而 $i_1(t)$ 和 $i_2(t)$ 分别为调幅和调频信号。

复原被调制的信号叫做解调信号。从这个观点来看，电测仪表（如电流表、电压表、频率表等）可以看做是解调器，而传感器可看做是调制器。在较复杂的电子测量装置里，先将被测量变换成电信号，然后再把它变成指示器的机械位移信号，这里就有调制器和解调器。

二、传感器的分类

利用传感器可以检测多种物理量，而传感器本身又是按着不同工作原理构成的，为便于全面了解传感器的性能与结构，下面将介绍传感器的三种不同分类方法。

（一）按传感器输出量的性质来划分，传感器可分为：

1. 参量传感器 属于参量传感器的有：触点传感器、电阻传感器（电位器、热电阻、光敏电阻、气敏电阻、压敏电阻传感器等）、电感传感器（自感、差动变压器、压磁、涡流传感器等）电容传感器、气动传感器等；
2. 发电传感器 属于发电传感器的有：光电池、热电偶、磁电传感器、压电传感器、霍尔传感器等；
3. 脉冲传感器 属于脉冲传感器的有光栅、磁栅和感应同步器等；

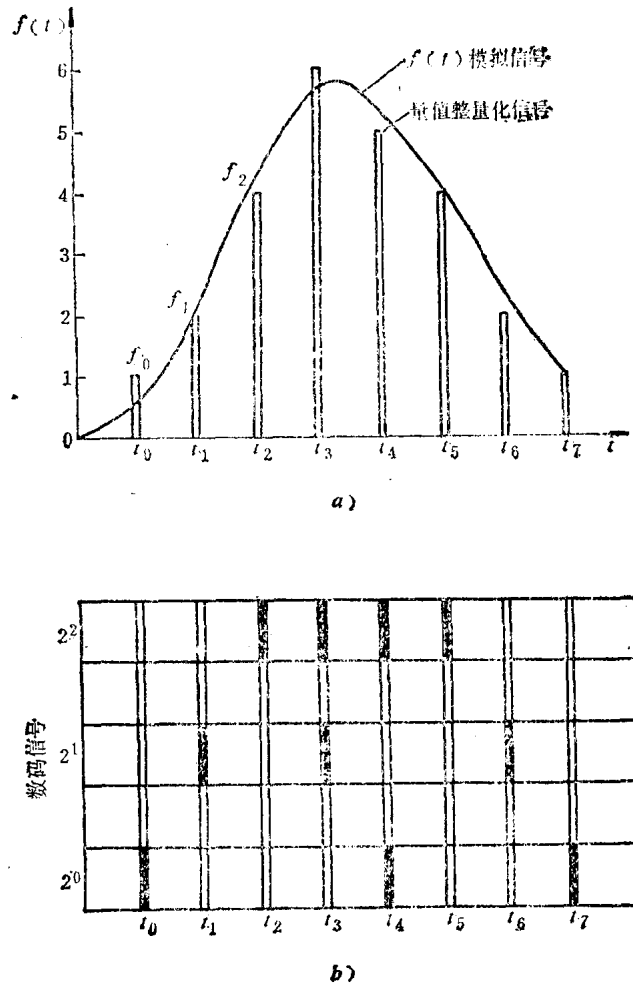


图 1-1 模拟信号离散化
a) 模拟信号和量化信号 b) 数码信号

4. 特殊传感器 不属于以上三种的皆属于特殊传感器、如振弦、振筒传感器, 超声波探头, 核辐射探测器、电磁检测装置、激光检测装置、工业电视检测装置等。

(二) 按被测量的性质可将传感器分为: 机械量传感器(几何尺寸、几何形状、力、速度、加速度、振动、光洁度、产品计数传感器等), 热工量传感器(温度、温差、压力、压差、流量、气体成分传感器等)、探伤传感器(表面探伤、内部探伤传感器等)等。

(三) 按传感器的结构来划分, 可将传感器分为:

1. 直接传感器 它是由一个单独的, 而又直接将测量转换成所需的输出量的传感器。

图 1-3a 所示为一电位器式压力直接传感器, 它是由三个简单的元件(波纹管、杠杆和电位器传感器)串联而成, 其方框图如图 1-3b 所示。它的变换顺序是: 先将压力 P 的变化变成位移 x_1 , 位移 x_1 又变换成位移 x_2 , 再将位移 x_2 转换成电阻 R 的变化。传感器中重要的是检测元件(波纹管), 其它两部分是中间元件。此传感器的总灵敏度为三部分灵敏度的乘积。

直接传感器的结构最为简单, 在一些场合下这种传感器往往是不能满足要求的, 因为它灵敏度低, 又易受外界干扰影响等。

2. 差动传感器 差动传感器组成的基本思想是: 把两个相同类型传感器接在输出回路中, 使两个传感器所经受的相同干扰信号相减, 而有用的被测信号相加。这种要求不仅能用相应电路来实现, 还可用两传感器在结构上组成差动形式来完成。在图 1-4 中给出了自感差动传感器的原理图和方框图。

差动传感器可以获得温度、应力(在电感传感器中)以及其他干扰量的补偿。应当注意到, 输出为某一定值时才能得到全补偿。传感器差动接法可使特性曲线的线性得到改善。差动传感器的灵敏度比直接传感器的灵敏度提高一倍。

3. 补偿传感器 补偿传感器实质上是一个显示装置的指示自动跟随被测量变化的位式随动系统。因此, 它的静态特性和动态特性较好, 其特点有: 在输出端可获得足够大的功率; 负载变化很少影响输出量; 在所有量程内能够补偿由于干扰产生的误差; 输入量与输出量间可以是任何形式的函数转换关系等。但是补偿传感器结构复杂、成本高。

三、传感器的特性

无论多么复杂的传感器, 都是由检测元件及一些中间元件所组成。任何一种元件的特性都

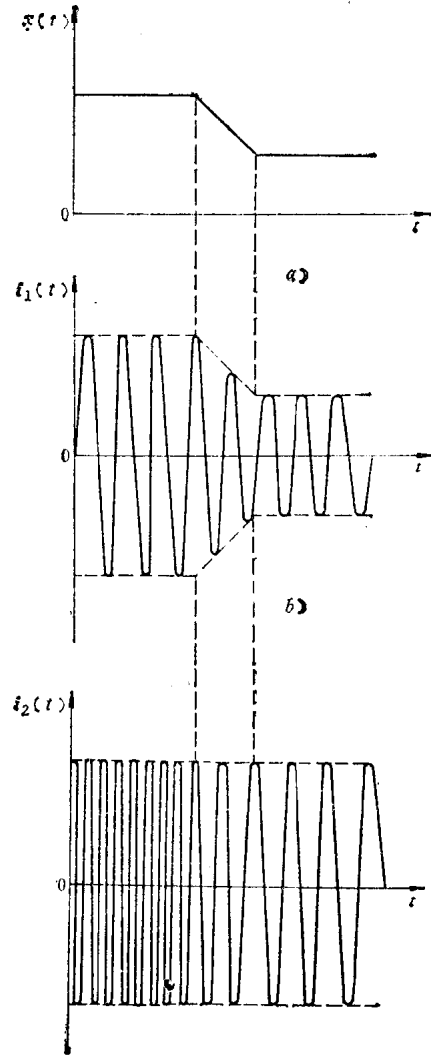


图 1-2 调制信号

a) 被测信号 b) 调幅信号 c) 调频信号

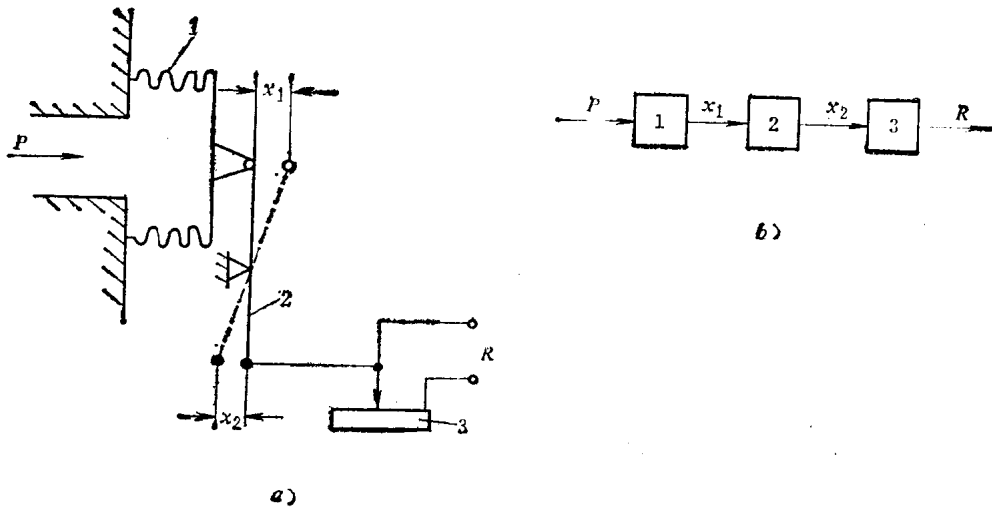


图 1-3 电位器式压力直接传感器

a)原理图 b)方框图

1—波纹管 2—杠杆 3—电位器传感器

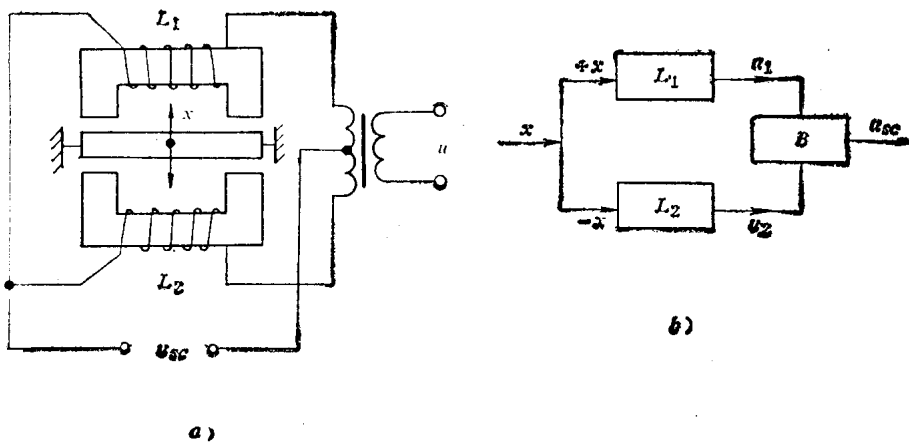


图 1-4 自感差动传感器

a)原理图 b)方框图

x —输入位移 B —比较元件 u —电源电压 u_{sc} —输出电压 L_1, L_2 —传感器电感线圈

可用典型环节特性所描述。

在稳定状态下，输出量 y 变化与引起此变化的输入量（被测信号） x 变化之比称为灵敏度，可用下式表示：

$$K = \frac{dy}{dx} \tag{1-1}$$

式中 K 为灵敏度，也称元件之传递系数。如果输入量为干扰，则此灵敏度称为干扰灵敏度。

整个传感器静态特性的分析方法与控制理论中所讲述的分析方法相同。

近年来，在检测与转换技术中，对传感器动态特性，甚至对整个检测系统的动态特性的

研究颇为重视，其研究方法不外乎在控制理论中介绍的几种，此处不再重复。

四、对传感器的要求

对传感器的具体要求，因使用条件不同而异，下面给出较全面的要求：

- 1 在输入、输出信号间应有一定的函数关系（经常是单值直线性的）；
- 2 一定的灵敏度和精确度；
- 3 特性曲线随时间的稳定性；
- 4 特性曲线的重复性；
- 5 作用的方向性；
- 6 一定的动态特性（一般要求时间常数为最小）；
- 7 少受外界因素（如温度、倾斜、振动、湿度、电磁场等）影响；
- 8 在周围有化学腐蚀性介质情况下工作稳定；
- 9 防火、防爆性能好；
- 10 对机械、热、电过载稳定性；
- 11 简单的结构和加工工艺的经济性；
- 12 维修方便；
13. 不应有害、有损于周围材料寿命以及操作人员的身体健康。

§ 1-2 误差的基本概念

一、误差的分类

电子测量装置、自动测量系统的质量或测量结果的好坏是用测量误差大小来衡量的。用测量仪器进行测量时，所测出的数值与被测量的实际值（真值）之间的差值，称为测量误差。造成测量误差的原因是多方面的，可按其不同特征进行分类。

（一）装置误差和方法误差

由于元件和装置本身质量不高而产生的误差叫做装置误差。例如，由于某传感器转轴上有静摩擦力使被测信号值与转换值不相对应，由此产生的误差；又如在测量装置的电路中，电位器传感器的电阻值不仅受被测量的变化而使电刷位置改变，还由于温度的变化使铜导线电阻发生变化，因而产生误差。

当采用理想元件时，由于对测量方法研究不够所引起的误差叫方法误差，例如用高度法测量油罐中油的重量，由于油罐的形状、温度以及其他因素的影响，而使按高度测量油重的结果产生的误差。

（二）基本误差和附加误差

任何一种传感器或测量装置，皆处于复杂而又变化的条件下使用。如图 1-5 所示， x 是被测量的信号， y 是经过传感器及电子测量装置转换后的信号。同时还有外界的干扰信号，如温度、震动，湿度、电磁场、大气压力、电源电压，电源中之高次谐波等。在装置使用说明书中规定，只允许干扰信号在很窄的一定范围内变化（例如，温度为 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ，大气压力和电源电压不超过额定值的 $\pm 2\%$ 等），这就是通常所说的参比条件。在参比条件下，由于干扰影响而产生的误差叫做基本误差。

在使用过程中，由于现场条件偏离参比条件产生的误差往往是大于基本误差称为附加误

差，并以每种因素的影响系数标定出，例如温度每变化 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 影响误差的百分数以 $\%/10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 表示。

(三) 系统误差和随机误差

凡误差的数值固定或按一定的规律变化者，称为系统误差，按其表现的特点，可分为恒值和变值误差两类。

恒值误差在整个测量过程中，其数值和符号都保持不变。例如，由于刻度盘分度差错或刻度盘移动而使仪表刻度产生误差，皆属此类，对前者可用图表修正之，对后者可在测量前移动指针零位校正之。

大部分附加误差属于变值误差，例如，环境温度波动、电源电压变化等，一般来说它们不是时间的函数，故可用校正器修正之。

变值误差又可分为累进误差、周期误差以及按复杂规律变化的误差。

累进误差在整个测量过程中是逐渐增加或逐渐减少的。它是由于元器件的老化过程（能源释放，晶体管、电容器、电子管特性老化、机械零件的变形等）所致。此种误差可以在每次测量时给以修正。

系统误差决定了测量的准确度。系统误差越小，测量结果越准确。系统误差说明了测量结果偏离被测量的真值程度。系统误差是有规律性的，因此可以通过实验的方法或引入修正值的方法一次修正给以消除。

随机误差亦称偶然误差。由于大量偶然因素的影响而引起的测量误差称为随机误差，其数值大小和性质都不固定难以估计，但其总体服从一定的统计规律。随机误差不能通过实验的方法来加以消除，但从理论上估计其对测量结果的影响。随机误差决定了测量的精密度。随机误差越小，测量结果的精密度越高。

将误差分成系统和随机是为了分析误差而采用的方法。实际上这些误差是同时出现的。例如，任何一台测量用直流放大器，当输入端给以严格的给定值，如零信号时，我们对其输出进行观察得到的结果如图 1-6 所示。从输出曲线上看出：第一，当输入端为零信号，而输出端仍有非零值，表现出一定的恒值系统误差；其次，在恒值系统误差的基础上，输出值有一无规律变化的随机误差；最后，长时间观察，输出的随机误差变化趋势是单调地向这一侧或那一侧缓慢变化，其平均值为累进误差。

(四) 绝对和相对误差

绝对误差定义为：示值与公认的真值或理想值之间的代数差，用公式表示为

$$\pm \Delta = x - A \quad (1-2)$$

式中 Δ ——绝对误差（或误差）；

x ——示值，即测量值；

A ——真值，即理想值。

绝对误差不能做为测量精确度的尺度，例如， $\Delta = 0.5\text{ mm}$ ，当 $x = 100\text{ mm}$ 时是很小的，但当 $x = 1\text{ mm}$ 时，就非常大了。由此引出相对误差的概念。

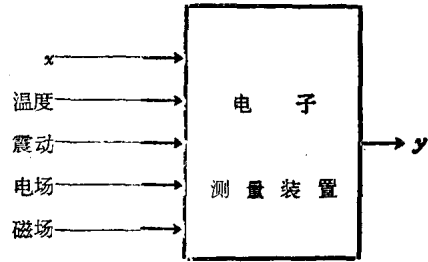


图 1-5 外干扰作用下的电子测量装置

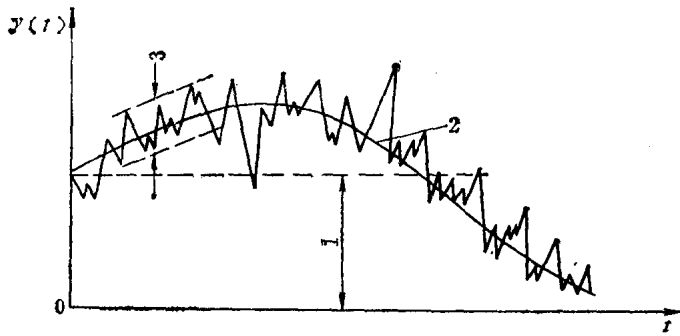


图 1-6 直流放大器输出曲线

1—恒值误差 2—累进误差 3—随机误差

相对误差定义为绝对误差与约定值之比，用 % 表示。约定值可以是被测量的真值、装置示值或装置的满刻度值。相对误差有三种表示方法：

1. 实际相对误差 它定义为绝对误差与被测量的真值之比；

2. 标称相对误差 它定义为绝对误差与装置示值之比；

3. 引用相对误差 实际相对误差随被测值变化而变化，当被测值 x 从 0 变化到 ∞ 时，各有不同，于是又引出了引用相对误差，它定义为绝对误差与装置满刻度值之比。

例如，用一满刻度为 100A 的测量装置，测量后指针读数是 41A，而真值为 40A，于是便得到

绝对误差 $\Delta = 41 - 40 = 1 \text{ A}$

实际相对误差 $\delta_1 = \frac{1}{40} \times 100\% = 2.5\%$

标称相对误差 $\delta_2 = \frac{1}{41} \times 100\% = 2.4\%$

引用相对误差 $\delta_3 = \frac{1}{100} \times 100\% = 1\%$

(五) 相加误差与相乘误差

若使电子测量装置的实际特性曲线 1 与规定特性曲线 2 比较相差一固定值 Δ_0 (图 1-7a)，则这种误差称为相加误差 (由于相加恒值而得到的) 或叫做零误差。如果它属于系统误差，则可用移动刻度或改变指针初始位置的校正办法消除之。为此，在很多装置中都设有电的或机械的调零装置——校正器。

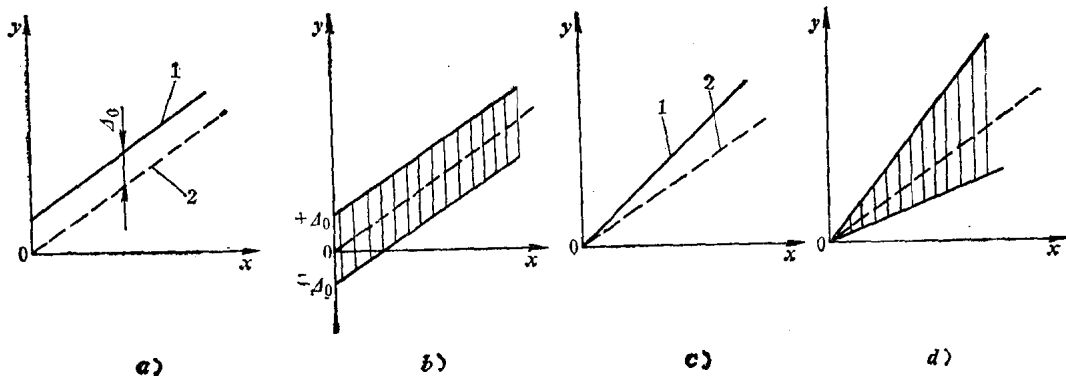


图 1-7 电子测量装置的特性曲线

a) 有系统相加误差时 b) 有随机相加误差时 c) 有系统相乘误差时 d) 有随机相乘误差时