

第 1 章

传感器的概述

任务 1 初步认识传感器

任务描述：了解传感器的定义、特点和发展；

掌握传感器的分类；

了解传感器的发展趋势。

任务分析：传感器技术是构成现代信息技术的三大支柱之一，它相当于人体的感觉器官，能将各种非电量转换成电量，从而实现对各个物理量的测量。本任务主要介绍传感器的基础知识和发展趋势。

阶段 1 传感器的定义和组成

1. 传感器的定义

传感器是指能感受规定的被测量，并按照一定的规律将其转换成可用输出信号的器件或装置。在有些学科领域，传感器又称为敏感元件、检测器、转换器等。这些不同提法，反映了在不同的技术领域，只是根据器件用途对同一类型的器件使用不同的技术术语而已。例如，在电子技术领域，常把能感受信号电子元件称为敏感元件，如热敏元件、磁敏元件、光敏元件及气敏元件等；在超声波技术中，则强调的是能量的转换，如压电式换能器。这些提法在含义上有些狭窄，而传感器一词是使用最为广泛的用语。

传感器技术的特点：

①涉及多学科与技术，包括材料科学、精密机械、微电子、机械加工工艺、材料力学、弹性力学、计算机科学、物理学、生物化学和测试技术等。

②品种繁多，被测参数包括热工量、电工量、化学量、物理量、机械量、生物量和状态量等。

③应具有高稳定性、高可靠性、高重复性、低迟滞、快响应和良好的环境适应性。

④应用领域广泛。无论是高新技术，还是传统产业，都需要大量的传感器。

⑤应用要求千差万别。有的量大面广,有的专业性很强,有的要求高精度,有的要求高稳定性,有的要求高可靠性,有的要求耐振动,有的要求可防爆等。

⑥发展相对缓慢。研制一旦成熟,其生命力会非常强,例如,应变式传感技术已有 70 年的历史,目前仍然占有重要的地位。

2. 传感器的组成

传感器的输出信号通常是电量,它便于传输、转换、处理、显示等。电量有很多形式,如电压、电流、电容、电阻等,输出信号的形式由传感器的原理确定。

通常传感器由敏感元件和转换元件组成。其中,敏感元件是指传感器中能直接感受或响应被测量的部分;转换元件是指传感器中将敏感元件感受或响应的被测量转换成适于传输或测量的电信号部分。由于传感器的输出信号一般都很微弱,因此需要有信号调理转换电路对其进行放大、运算调制等。随着半导体器件与集成技术在传感器中的应用,传感器的信号调理与转换电路可能安装在传感器的壳体里或与敏感元件一起集成在同一芯片上。此外,信号调理转换电路以及传感器工作都必须有辅助的电源,因此,信号调理转换电路以及所需的电源都应作为传感器组成的一部分。传感器的组成框图如图 1-1 所示。

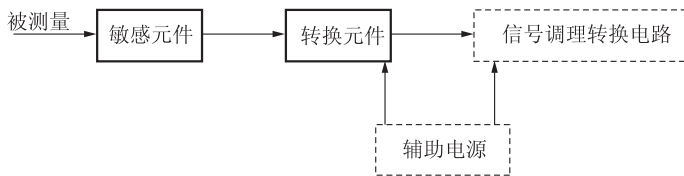


图 1-1 传感器的组成框图

3. 传感器的性能要求

各种传感器的变换原理、结构、使用目的、环境条件虽各不相同,但对它们的主要性能要求都是一致的。这些主要性能要求如下:

- ①足够的容量。传感器的工作范围或量程足够大,具有一定的过载能力。
- ②灵敏度高,精度适当。要求输出信号与被测信号成确定的关系(通常为线性),且比值要大;传感器的静态响应和动态响应的准确度能满足要求。
- ③响应速度快,工作稳定,可靠性好。
- ④实用性和适应性强。体积小,质量轻,动作能量小,对被测对象的状态影响小;内部噪声小而又不受外界干扰的影响;其输出信号力求为通用或标准形式,以便于系统对接。
- ⑤使用经济。成本低,寿命长,便于使用、维修和校准。

阶段 2 传感器的分类

从量值变换这个观点出发,对每一种物理效应都可在理论上或原理上构成一类传感器,因此,传感器的种类繁多。在对非电量的测试中,有的传感器可以同时测量多种参量,而有时对一种物理量又可用多种不同类型的传感器进行测量。目前采用较多的传感器分类方法

主要有以下几种。

1.按被测物理量分类

传感器按被测物理量可分为温度、压力、位移、加速度、位置、湿度、气体、流量和转速等传感器。这种方法明确表明了传感器的用途,便于使用者选择,如位移传感器用于位移测量等。

2.按传感器工作原理分类

传感器按工作原理可分为应变式、电容式、电感式、压电式、热电式和磁电式传感器。这种方法表明了传感器的工作原理,有利于对传感器的学习和设计,如电感式传感器、电容式传感器等。

3.按传感器转换能量的情况分类

(1)能量转换型

又称发电型,不需外加电源而将被测能量转换成电能输出,这类传感器有压电式、热电偶、光电池等。

(2)能量控制型

又称参量型,需外加电源才能输出电能量。这类传感器有电阻、电感、霍尔式等传感器,以及热敏电阻、光敏电阻、湿敏电阻等。

4.按传感器的工作机理分类

(1)结构型

被测参数变化引起传感器的结构变化,从而使输出电量变化,利用物理学中场的定律和运动定律等构成,如电感式、电容式。

(2)物性型

利用某些物质的某种性质随被测参数变化的原理构成。传感器的性能和材料密切相关,如压电传感器、各种半导体传感器等。

5.按传感器输出信号的形式分类

(1)模拟式

传感器输出为模拟量。

(2)数字式

传感器输出为数字量,如编码器式传感器。

阶段 3 传感器的发展

近年来传感器技术发展的主要趋势表现在以下 5 个方面。

1.新材料、新功能的开发应用

近年来,在传感器技术领域,所应用的新型材料主要有以下几类。

(1) 半导体硅材料

包括单晶硅、多晶硅、非晶硅、硅蓝宝石等。由于硅材料具有相互兼容、优良的电学特性和机械特性,因此而采用硅材料研制出各种类型的硅微结构传感器。

(2) 石英晶体材料

包括压电石英晶体和熔凝石英晶体(又称石英玻璃),它具有极高的机械品质因数和非常好的温度稳定性。同时,天然的石英晶体还具有良好的压电特性。因此,可采用石英晶体材料来研制各种微型化的高精密传感器。

(3) 功能陶瓷材料

近年来,一些新型传感器是利用某些精密陶瓷材料的特殊功能来达到测量目的的,因此,探索一种材料的新功能或研究具有新功能的新材料,都对研制这类新型配方,制造出更多符合要求的功能材料意义重大。例如,气体传感器的研制,就可以用不同配方混合的原料,在精密调制化学成分的基础上,经高精度成型烧结而成为能对某一种气体进行识别的功能识别陶瓷,用以制成新型气体传感器。这种功能陶瓷材料的进步意义非常大,因为尽管半导体硅材料已广泛用于制作各种传感器,但它存在工作上限温度低的缺点,限制了其应用范围。按上述方法自由配方烧结而成的功能陶瓷材料不仅具有半导体材料的特点,而且其工作温度上限很高,大大拓宽了其应用领域。所以开发新型功能材料是发展传感器技术的关键之一。

此外,一些化合物半导体材料、复合材料、薄膜材料、形状记忆合金材料等在传感器技术中也得到了成功的应用。

2. 微机械加工工艺的发展

传感器有逐渐小型化、微型化的趋势,这些为传感器的应用带来了许多方便。因 IC 制造技术发展起来的微机械加工工艺可使被加工的敏感材料的尺寸达到微米、亚微米级,并可以批量生产,从而制造出微型化且价格便宜的传感器。微机械加工工艺主要包括以下几类:

①平面电子加工工艺技术,如光刻、扩散、沉积、氧化、溅射等。

②选择性的三维刻蚀工艺技术,如各种异性腐蚀技术、外延技术、牺牲层技术、LIGA 技术(X 射线深层光刻、电铸成型、注塑工艺的组)等。

③固相键合工艺技术,如 Si-Si 键合,它是通过对两个需要对接基片的表面进行活化处理,在室温下把两个热氧化硅片面对面地接触,再经一定温度退火即可使两硅片键合为一体。键合可以实现一体化结构,且强度、气密性好。

④机械切割技术,制造硅微机械传感器时,是把多个芯片制作在一个基片上,因此,需要将每个芯片用分离切断技术分割开来,以避免损伤和产生残余应力。

⑤整体封装工艺技术,将传感器芯片封装于一个合适的腔体内,隔离外加干扰对传感器芯片的影响,使传感器工作在较理想的状态。

3. 传感器的多功能化发展

一般的传感器多为单个参数测量的传感器,近年来,出现了利用一个传感器实现多参数测量的多功能传感器。例如,一种同时检测 Na^+ , K^+ , H^+ 离子的传感器,可检测血液中的

钠、钾和氢离子的浓度,对诊断心血管疾病非常有意义。该传感器的尺寸为 $2.5\text{mm}\times 0.5\text{mm}\times 0.5\text{mm}$,可直接用导管送到心脏内进行检测。

4.传感器的智能化发展

随着微处理器技术的进步,传感器技术正在向智能化方向发展,这也是信息技术发展的必然趋势。所谓智能化传感器,就是将传感器获取信息的功能与微处理器的信息分析、处理等功能紧密结合在一起的传感器。由于微处理器具有计算与逻辑判断功能,故可以方便的对数据进行滤波、变换、校正补偿、存储记忆、输出标准化等;同时实现必要的自我诊断、自检测,以及通信与控制等功能。

此外,近年来,一些专家、学者提出了模糊传感器、符号传感器等新概念。

5.传感器模型及其仿真技术

针对传感器技术的发展特点,传感器技术充分体现了综合性。涉及敏感元件输入输出特性规律的参数越来越多,影响传感器输入输出特性的环节越来越多。因此,分析、研究传感器的特性,设计、研制传感器的过程,甚至在选用、对比传感器时,都要对传感器的工作机理建立有针对性的模型和进行深入细致的模拟计算。

总之,近年来传感器技术得到了较快的发展,同时推动着各个领域的发展与进步。有理由相信:传感器技术的发展,必将为信息技术领域及其他技术领域的新发展、新进步带来新的动力和活力。

任务2 了解传感器的特性

任务描述: 了解传感器的静态特性;

了解传感器的动态特性。

任务分析: 传感器存在静态特性和动态特性,本任务主要介绍传感器的相关特性。

阶段1 传感器的静态特性

在生产过程和科学实验中,要对各种各样的参数进行检测和控制,就要求传感器能感受被测非电量的变化,并将其不失真地变换成相应的电量,这取决于传感器的基本特性,即输出一输入特性。如果把传感器看作二端口网络,即有两个输入端和两个输出端,那么传感器的输出一输入特性是与其内部结构参数有关的外部特性。传感器的基本特性可用静态特性和动态特性来描述。

传感器的静态特性是指被测量的值处于稳定状态时的输出输入关系。只考虑传感器的静态特性时,输入量与输出量之间的关系式中不含有时间变量。衡量静态特性的重要指标是线性度、灵敏度、迟滞和重复性等。

(1) 线性度

传感器的线性度是指传感器的输出与输入之间数量关系的线性程度。输出与输入关系可分为线性特性和非线性特性。从传感器的性能看,希望具有线性关系,但实际遇到的传感器大多为非线性,如果不考虑迟滞和蠕变等因素,传感器的输出输入关系可用一个多项式表示:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \quad (1-1)$$

式中, a_0 为输入量 $x=0$ 时的输出量; a_1, a_2, \dots, a_n 为非线性项系数。各项系数不同,决定了特性曲线的具体形式各不相同。

静态特性曲线可通过实际测试获得。在实际使用中,为了标定和数据处理的方便,希望得到线性关系,因此引入各种非线性补偿环节。例如,采用非线性补偿电路或计算机软件进行线性化处理,从而使传感器的输出输入关系为线性或接近线性。但如果传感器非线性的方次不高,输入量变化范围较小时,可用一条直线(切线或割线)近似地代表实际曲线的一段,所采用的直线称为拟合直线,如图 1-2 所示。实际曲线与拟合直线之间的偏差称为传感器的非线性误差(或线性度),通常用相对误差 r_L 表示,即

$$r_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中, ΔL_{\max} 为最大非线性绝对误差; Y_{FS} 为满量程输出。

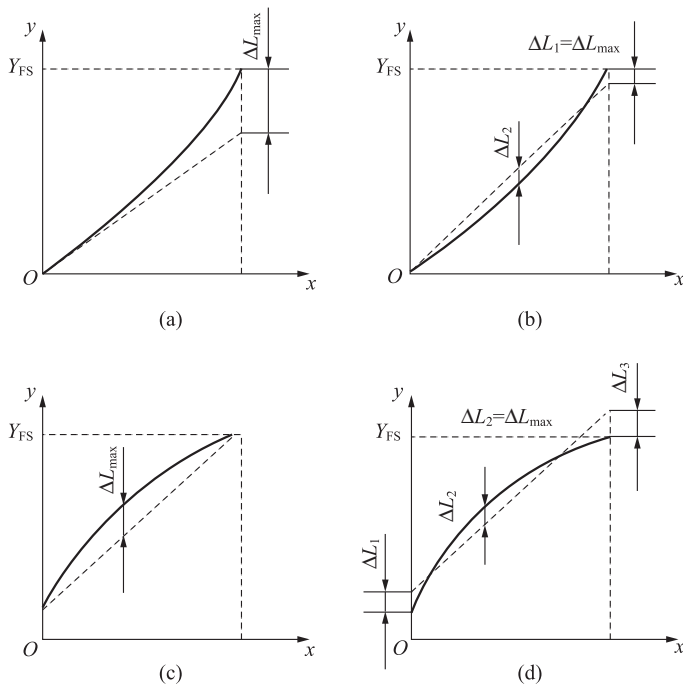


图 1-2 几种直线拟合方法

从图 1-2 中可见,即使是同类传感器,拟合直线不同,其线性度也是不同的。选取拟合

直线的方法很多,用最小二乘法求取的拟合直线的拟合精度最高。

(2) 灵敏度(S)

灵敏度是指传感器的输出量增量 Δy 与引起 Δy 的输入量增量 Δx 的比值,即 $S = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ 。

对于线性传感器,其灵敏度就是它的静态特性的斜率,即 $S = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \text{常数}$,而非线性传感器的灵敏度为一变量,用 $S = \frac{dy}{dx}$ 表示。

(3) 迟滞

迟滞是指传感器在正(输入量增大)、反(输入量减小)行程期间,其输出—输入特性曲线不重合的现象,如图 1-3 所示。产生这种现象的主要原因是由于传感器敏感元件材料的物理性质和机械零部件的缺陷所造成的,例如,弹性敏感元件的弹性滞后、运动部件的摩擦、传动机构的间隙、紧固件松动等。

迟滞的大小通常由实验确定。迟滞误差 r_H 可由下式计算:

$$r_H = \pm \frac{1}{2} \frac{\Delta H_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中, ΔH_{\max} 为正、反行程输出值间的最大差值。

(4) 重复性

重复性是指传感器在输入量按同一方向作全程连续多次变化时,所得特性曲线不一致的程度,如图 1-4 所示。重复性误差属于随机误差,常用标准偏差表示,也可用正反行程中的最大重复偏差表示,即

$$r_R = \pm \frac{(2 \sim 3)\sigma}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-4)$$

$$r_R = \pm \frac{\Delta R_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中, σ 为标准偏差; $(2 \sim 3)$ 表示置信度; ΔR_{\max} 为正反行程中的最大重复偏差。

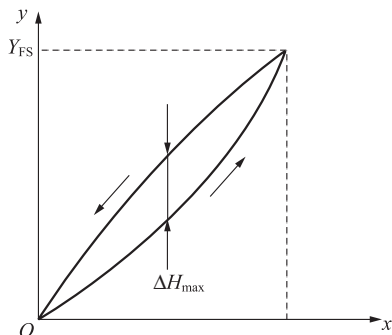


图 1-3 传感器的迟滞

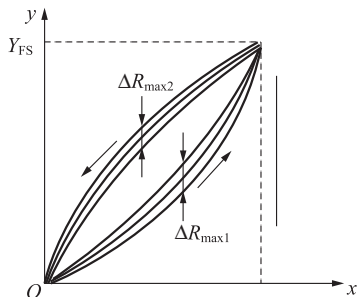


图 1-4 传感器的重复性

阶段 2 传感器的动态特性

传感器的动态特性是指其输出量对随时间变化的输入量的响应特性。当被测量随时间变化,是时间的函数时,则传感器的输出量也是时间的函数,其间的关系要用动态特性来表示。一个动态特性好的传感器,其输出量将再现输入量的变化规律,即具有相同的时间函数。实际上除了具有理想的比例特性外,输出信号将不会与输入信号具有相同的时间函数,这种输出与输入间的差异就是所谓的动态误差。

为了说明传感器的动态特性,下面简要介绍动态测温的问题。在被测温度随时间变化或传感器突然插入被测介质中,以及传感器以扫描方式测量某温度场的温度分布等情况下,都存在动态测温问题。例如,把一支热电偶从温度为 t_0 °C 环境中迅速插入一个温度为 t °C 的恒温水槽中(插入时间忽略不计),这时热电偶测量的介质温度从 t_0 突然上升到 t ,而热电偶反映出来的温度从 t_0 °C 变化到 t °C 有一个过渡过程,其间反映出来的温度与介质温度的差值就称为动态误差。如图 1-5 所示。

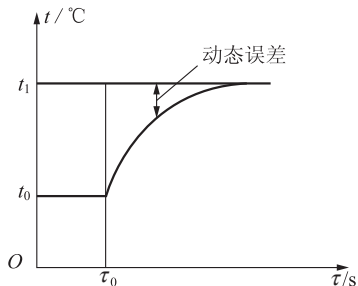


图 1-5 动态测温

造成热电偶的输出波形失真和产生动态误差的原因,是因为温度传感器有热惯性(由传感器的比热容和质量大小决定)和传热热阻,使得在动态测温时传感器输出总是滞后于被测介质的温度变化。如带有套管的热电偶的热惯性要比裸热电偶大得多。这种热惯性是热电偶固有的,它决定了热电偶测量快速温度变化时会产生动态误差。动态特性除了与传感器的固有因素有关之外,还与传感器输入量的变化形式有关。也就是说,在研究传感器的动态特性时,通常是根据不同输入变化规律来考察传感器的响应的。

虽然传感器的种类和形式很多,但它们一般可以简化为一阶或二阶系统(高阶可以分解成若干个低阶环节),因此一阶和二阶传感器是最基本的。传感器的输入量随时间变化的规律是各种各样的,下面在对传感器动态特性进行分析时,采用最典型、最简单、易实现的正弦信号和阶跃信号作为标准输入信号。对于正弦输入信号,传感器的响应称为频率响应或稳态响应;对于阶跃输入信号,则称为传感器的阶跃响应或瞬态响应。

1. 瞬态响应特性

传感器的瞬态响应是时间响应。在研究传感器的动态特性时,有时需要在时域中对传

传感器的响应和过渡过程进行分析。这种分析方法是时域分析法,传感器对所加激励信号的响应称为瞬态响应。常用激励信号有阶跃函数、斜坡函数、脉冲函数等。下面以传感器的单位阶跃响应来评价传感器的动态性能指标。

(1) 一阶传感器的单位阶跃响应

一阶传感器的单位阶跃响应的通式为

$$\tau \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t) \quad (1-6)$$

式中, $x(t)$ 、 $y(t)$ 分别为传感器的输入量和输出量,均是时间的函数。表征传感器的时间常数,具有时间“秒”的量纲。

一阶传感器的传递函数:

$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{\tau s + 1} \quad (1-7)$$

对初始状态为零的传感器,当输入一个单位阶跃信号时,由于

$$x(t) = \begin{cases} 0 & t \leq 0 \\ 1 & t > 0 \end{cases} \quad (1-8)$$

则 $X(s) = \frac{1}{s}$, 传感器输出的拉氏变换为

$$Y(s) = H(s)X(s) = \frac{1}{\tau s + 1} \cdot \frac{1}{s} \quad (1-9)$$

一阶传感器的单位阶跃响应为

$$y(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1-10)$$

相应的响应曲线如图 1-6 所示。由图可见,传感器存在惯性,它的输出不能立即复现输入信号,而是从零开始,按指数规律上升,最终达到稳态值。理论上传感器的响应只在 $t \rightarrow \infty$ 时才达到稳态值,但实际上当 $t = 4\tau$ 时其输出达到稳态值的 98.2%, 可以认为已达到稳态。 τ 越小,响应曲线越接近输入阶跃曲线,因此, τ 值是一阶传感器的重要性能参数。

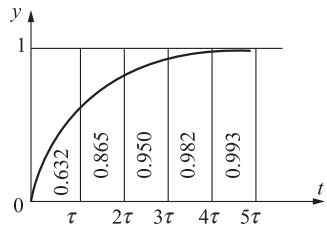


图 1-6 一阶传感器单位阶跃响应

(2) 二阶传感器的单位阶跃响应

二阶传感器的单位阶跃响应的通式为

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 2\epsilon\omega_n \frac{dy(t)}{dt} + \omega_n^2 y(t) = \omega_n^2 x(t) \quad (1-11)$$

式中, ω_n 为传感器的固有频率; ϵ 为传感器的阻尼比。

二阶传感器的传递函数:

$$H(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\epsilon\omega_n s + \omega_n^2} \quad (1-12)$$

传感器输出的拉氏变换：

$$Y(s) = H(s)X(s) = \frac{\omega_n^2}{s(s^2 + 2\epsilon\omega_n s + \omega_n^2)} \quad (1-13)$$

二阶传感器对阶跃信号的响应在很大程度上取决于阻尼比 ϵ 和固有频率 ω_n 。固有频率 ω_n 由传感器的主要结构参数所决定， ω_n 越高，传感器的响应越快。当 ω_n 为常数时，传感器的响应取决于 ϵ 。图 1-7 所示为二阶传感器的单位阶跃响应曲线。阻尼比 ϵ 直接影响超调量和振荡次数。当 $\epsilon=0$ 时，为临界阻尼，超调量为 100%，产生等幅振荡，达不到稳态；当 $\epsilon>1$ 时，为过阻尼，无超调也无振荡，但达到稳态所需时间较长；当 $\epsilon<1$ 时，为欠阻尼，衰减振荡，达到稳态值所需时间随 ϵ 的减小而增长；当 $\epsilon=1$ 时，响应时间最短。但实际使用中常按欠阻尼调整， $\epsilon=0.7\sim 0.8$ 为最好。

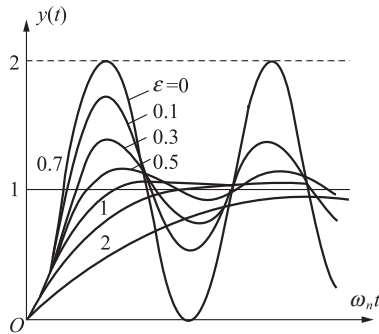


图 1-7 二阶传感器单位阶跃响应

(3)瞬态响应特性指标

- ①时间常数 τ 。一阶传感器的时间常数 τ 越小，响应速度越快。
- ②延时时间。传感器输出达到稳态值的 50% 所需时间。
- ③上升时间。传感器输出达到稳态值的 90% 所需时间。
- ④超调量。传感器输出超过稳态值的最大值。

2. 频率响应特性

传感器对正弦输入信号的响应特性，称为频率响应特性。频率响应法是从传感器的频率特性出发研究传感器的动态特性。

(1)一阶传感器的频率响应

将一阶传感器的传递函数中的 s 用 $j\omega$ 代替，可得频率响应特性的表达式，即

$$H(j\omega) = \frac{1}{\tau(j\omega) + 1} \quad (1-14)$$

幅频特性：

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} \quad (1-15)$$

相频特性：

$$\Phi(\omega) = -\arctan(\omega\tau) \quad (1-16)$$

从式(1-15)、(1-16)和图 1-8 看出, 时间常数 τ 越小, 频率响应特性越好。当 $\omega\tau \ll 1$ 时, $A(\omega) \approx 1$, $\Phi(\omega) \approx 0$, 表明传感器的输出与输入为线性关系, 且相位差也很小, 输出 $y(t)$ 比较真实地反映输入 $x(t)$ 的变化规律。因此, 减小 τ 可改善传感器的频率特性。

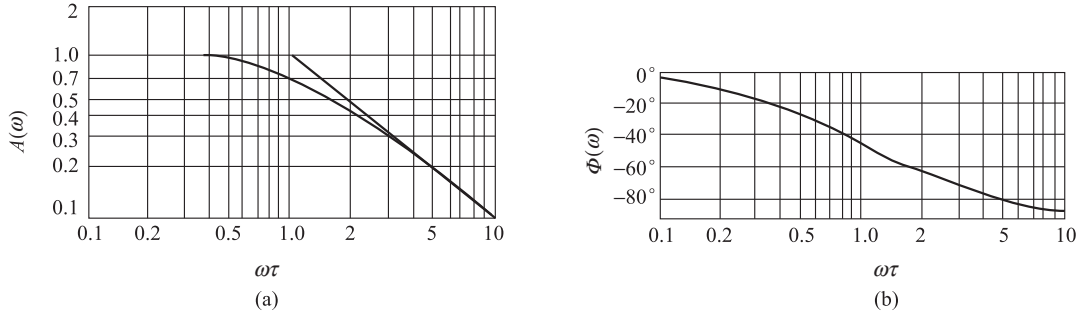


图 1-8 一阶传感器的频率响应特性

(2) 二阶传感器的频率响应

二阶传感器的频率响应特性表达式、幅频特性、相频特性分别为

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 + 2j\epsilon \frac{\omega}{\omega_n}} \quad (1-17)$$

$$A(\omega) = |H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left(2\epsilon \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \quad (1-18)$$

$$\varphi(\omega) = -\arctan \frac{2\epsilon \frac{\omega}{\omega_n}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \quad (1-19)$$

图 1-9 所示为二阶传感器的频率响应特性曲线。从式(1-18)、(1-19)和图 1-9 可见, 二阶传感器的频率响应特性的好坏主要取决于传感器的固有频率 ω_n 和阻尼比 ϵ 。当 $\epsilon < 1$, $\omega_n \gg \omega$ 时, $A(\omega) \approx 1$, $\Phi(\omega)$ 很小, 此时, 传感器的输出 $y(t)$ 再现了输入 $x(t)$ 的波形。通常固有频率 ω_n 至少应大于被测信号频率 ω 的 3~5 倍, 即 $\omega_n \geq (3 \sim 5)\omega$ 。

为了减小动态误差和扩大频率响应范围, 一般是提高传感器固有频率 ω_n 。而 ω_n 与传感器运动部件质量 m 、弹性敏感元件的刚度 k 有关, 即 $\omega_n = \left(\frac{k}{m}\right)^{\frac{1}{2}}$ 。增大刚度 k 和减小质量 m 可提高固有频率, 但刚度 k 增加, 会使传感器的灵敏度降低。所以在实际中, 应综合各种因素来确定传感器的各个特征参数。

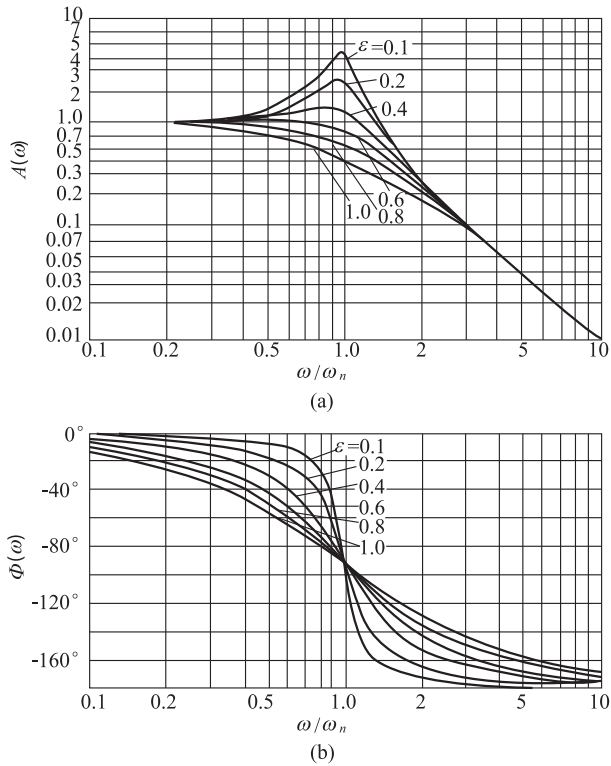


图 1-9 二阶传感器频率响应特征

(3) 频率响应特性指标

①频带。传感器增益保持在一定值内的频率范围称为传感器频带或通频带，对应有上、下截止频率。

②时间常数 τ 。用时间常数 τ 来表征一阶传感器的动态特性。 τ 越小，频带越宽。

③固有频率 ω_n 。二阶传感器的固有频率 ω_n 表征了其动态特性。

本章小结

1. 传感器是能感受规定的被测量，并按照一定的规律将其转换成可用输出信号的器件或装置。在有些学科领域，传感器又称为敏感元件、检测器、转换器等。

2. 通常传感器由敏感元件和转换元件组成。其中，敏感元件是指传感器中能直接感受或响应被测量的部分；转换元件是指传感器中将敏感元件感受或响应的被测量转换成适于传输或测量的电信号部分。由于传感器的输出信号一般都很微弱，因此需要有信号调理与转换电路对其进行放大、运算调制等。

3.传感器的静态特性是指被测量的值处于稳定状态时的输出输入关系。只考虑传感器的静态特性时,输入量与输出量之间的关系式中不含有时间变量。衡量静态特性的重要指标是线性度、灵敏度、迟滞和重复性等。

4.传感器的动态特性是指其输出量对随时间变化的输入量的响应特性。当被测量随时间变化,是时间的函数时,传感器的输出量也是时间的函数,其间的关系要用动态特性来表示。

本章习题

- 1.什么是传感器?它由哪几个部分组成?分别起到什么作用?
- 2.传感器技术的发展动向表现在哪几个方面?
- 3.传感器的性能参数反映了传感器的什么关系?静态参数有哪些?各种参数代表什么意义?动态参数有哪些?应如何选择?