

CHUANGANQI
YINGYONG JI
DIANLU SHEJI

传感器应用 及电路设计

陈书旺 张秀清 董建彬 等编



化学工业出版社

CHUANGANGQI
YINGYONG JI
DIANLU SHEJI

传感器应用 及电路设计

陈书旺 张秀清 董建彬 等编



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

传感器应用及电路设计/陈书旺等编. —北京: 化学工业出版社, 2008. 3

ISBN 978-7-122-02237-0

I. 传… II. 陈… III. 传感器-电路设计 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 024036 号

传感器应用及
电路设计

陈书旺 编著 李书旺 设计

责任编辑: 卢小林

责任校对: 宋 夏

文字编辑: 李玉峰

装帧设计: 张 辉

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京市兴顺印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 16 1/4 字数 403 千字 2008 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

欢迎订阅机电一体化图书

光机电一体化丛书

关节型机器人	28.00 元
光电传感器及其应用	38.00 元
光机电一体化技术产品实例	35.00 元
光机电一体化理论基础	46.00 元
光机电一体化实用技术	32.00 元
光机电一体化系统的软件技术	33.00 元
光机电一体化系统设计	32.00 元
机器人传感器及其应用	35.00 元
楼宇设备自动化技术	28.00 元
微机电系统设计与制造	30.00 元
微型传感器及其应用	28.00 元
先进传感器及其应用	32.00 元
现代控制与驱动技术	27.00 元
现代数控机床	32.00 元
智能传感器及其应用	30.00 元
智能机器人	35.00 元
智能控制工程及其应用实例	26.00 元

传感器应用丛书——汽车传感器	55.00 元
光机电一体化丛书——智能传感器及其应用	30.00 元
光机电一体化设计使用手册（上册）	86.00 元
光机电一体化设计使用手册（下册）	86.00 元
汽车电子技术	39.00 元
机电控制系统	36.00 元
智能传感器信号采集与数据处理（外版）	35.00 元
光机电一体化丛书——机械人传感器及其应用	35.00 元
光机电一体化丛书——微型传感器及其应用	28.00 元
光机电一体化丛书——先进传感器及其应用	32.00 元

以上图书由化学工业出版社 机械·电气分社出版。如要以上图书的内容简介和详细目录，或者更多的专业图书信息，请登录 www.cip.com.cn。如果出版新著，请与编辑联系。

地址：北京市东城区青年湖南街 13 号（100011）

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686）

编辑：010-64519260

前 言

传感器是信息采集的重要工具，它作为信息获取和信息转换的重要手段，是实现信息化的基础之一。传感器技术与通信技术（信息传输）和计算机技术（信息处理），构成了现代信息技术的三大支柱，它们在信息系统中分别起到“感官”、“神经”和“大脑”的作用。以传感器为核心的检测系统，已被广泛应用于工业、农业、国防和科研等领域。

本书以传感器新技术、新器件的发展为基础，重点介绍其在检测技术上的应用，涉及领域广泛，实用性强。本书以传感器的应用及其电路设计为主要内容，介绍了传感器的基础知识，温度检测、位移检测、压力检测、流量检测、转速测量的应用设计方法，以及传感器在应用领域的综合使用方法，并给出了在不同领域使用的应用系统设计实例。全书除介绍传感器原理外，均附有实际应用电路图或应用设计原理图。

本书具有以下特点：

- ① 根据当前工业生产及科研应用的实际情况，从基本概念入手，按测量对象分章节讲述，重点突出，应用性强。
- ② 基础知识和实际应用相结合，检测种类较多，应用领域广阔。
- ③ 信息量大，知识面宽，便于读者触类旁通、灵活运用。对于不同类型的传感器，均以实际应用电路为例，针对性强。
- ④ 针对不同的测量对象，介绍了相应的传感器选择、定标、参数等以及应用电路设计中常见的问题及解决方法，实用性强。

本书题材新颖，内容丰富，深入浅出，具有科学性、先进性和很高的实用性，从设计及应用电路出发，介绍了许多实际应用电路实例，可为电子信息工程、电气工程与自动化、机械电子技术、测试计量技术及仪器等专业工程技术人员提供参考，也可作为高等院校相关专业的教材。

本书主要由陈书旺、张秀清、董建彬编写，沙占友、王书海、贾克、张英、高峻岭、安胜彪、张云佐参与了部分内容的编写。

由于作者水平有限，书中难免存在不足之处，欢迎广大读者批评指正。

编 者

2008 年 2 月

目 录

第1章 传感器的基础知识	1
1.1 传感器的基本概念	1
1.1.1 传感器的定义	1
1.1.2 传感器的组成	1
1.2 传感器的基本特性	1
1.2.1 传感器的静态特性	2
1.2.2 传感器的动态特性	4
1.3 传感器的分类	7
1.3.1 按被测物理量划分	7
1.3.2 按工作原理划分	7
第2章 温度检测传感器及电路设计	9
2.1 温度测量的分类	9
2.1.1 按照被测对象的温度不同分类	9
2.1.2 按照传感器的使用方式分类	9
2.2 低温测量	10
2.2.1 金属热电阻	10
2.2.2 热敏电阻	16
2.3 中低温测量	18
2.3.1 集成温度传感器的分类	18
2.3.2 集成温度传感器的应用领域	19
2.3.3 AD590 型电流输出式精密集成温度传感器	19
2.3.4 TMP35/36/37 型电压输出式集成温度传感器	25
2.3.5 基于 1-Wire 总线的 DS18B20 型智能温度传感器	30
2.3.6 基于 I ² C 总线的 MAX6626 型智能温度传感器	34
2.3.7 基于 SMBus 的 MAX6654 型智能温度传感器	36
2.3.8 基于 SPI 总线的 LM74 型智能温度传感器	38
2.3.9 AD7417 型 5 通道精密智能温度传感器	39
2.3.10 MAX1668 型 5 通道精密智能温度传感器	41
2.4 中高温测量	43
2.4.1 热电偶工作原理	43
2.4.2 热电偶测温特性	45
2.4.3 热电偶的结构形式	46
2.4.4 常用热电偶	47
2.4.5 线径大小与使用温度	50

2.4.6	冷端温度补偿	50
2.4.7	测温电路实例	52
第3章 位移检测传感器及电路设计		56
3.1	位移测量分类	56
3.2	小位移测量 ($x < 1\text{cm}$)	56
3.2.1	光电式位移传感器	56
3.2.2	光栅位移传感器	57
3.2.3	霍尔式微量位移传感器	59
3.2.4	振弦式位移传感器	59
3.2.5	磁阻式位移传感器	60
3.3	近距离测量 ($x < 10\text{cm}$)	63
3.3.1	电感式位移传感器	63
3.3.2	电容式传感器	69
3.3.3	光纤位移传感器	71
3.4	长距离测量 ($x < 1\text{m}$)	72
3.4.1	电位器式传感器	72
3.4.2	数字电位计	75
3.4.3	涡流传感器	82
3.5	远距离测量 ($x > 1\text{m}$)	85
3.5.1	超声波传感器	85
3.5.2	磁栅式位移传感器	97
3.5.3	感应同步器	98
第4章 压力检测传感器及电路设计		105
4.1	压力检测分类	105
4.2	弱压力信号	105
4.2.1	石英晶体	105
4.2.2	压电陶瓷	106
4.3	小压力信号	107
4.3.1	应变片的灵敏度	108
4.3.2	金属应变片	109
4.3.3	半导体应变片	110
4.3.4	横向效应	110
4.3.5	应变片的温度误差及补偿	111
4.3.6	应变片实用电路	113
4.3.7	应变式压力传感器的基本应用电路	114
4.4	强压力信号	118
4.4.1	称重传感器	118
4.4.2	单片电子称重系统的电路设计	127
4.4.3	集成硅压力传感器	131

第 5 章 流量检测传感器及电路设计	150
5.1 流量检测分类	150
5.2 小流量检测	150
5.2.1 差压流量计	150
5.2.2 超声波流量计	157
5.3 大流量检测	160
5.3.1 涡流流量计	160
5.3.2 涡轮流量计	162
第 6 章 成像检测应用技术	167
6.1 CCD 成像	167
6.1.1 电荷耦合器的工作原理	167
6.1.2 CCD 图像传感器	168
6.1.3 CCD 图像传感器的应用	170
6.2 CMOS 成像技术	171
6.3 指纹识别技术	175
6.3.1 指纹识别的基本原理	175
6.3.2 指纹图像的提取	176
6.3.3 指纹识别技术的基本原理	177
6.3.4 指纹传感器	179
6.4 医学成像技术	183
6.5 红外热成像	183
6.5.1 S-160 型红外热像仪	184
6.5.2 ZRU3190 红外热像仪	185
第 7 章 转速测量传感器及电路设计	187
7.1 常用转速测量方法	187
7.2 转速测量设计	187
7.2.1 光敏电阻	187
7.2.2 光敏二极管	190
7.2.3 光敏三极管	192
7.2.4 太阳能电池	194
7.2.5 霍尔传感器	197
7.2.6 磁敏二极管	198
第 8 章 特种传感器	202
8.1 MEMS 传感器	202
8.1.1 MEMS 的发展现状	203
8.1.2 MEMS 实例——微结构硅谐振式传感器	203
8.2 集成传感器	205

8.2.1	集成传感器性能特点	205
8.2.2	集成传感器产品分类及典型产品的技术指标	206
8.3	生物传感器	208
8.3.1	分子识别——生物传感器的应用基础	209
8.3.2	原理与分类	210
8.3.3	酶传感器	213
第9章 传感器系统的抗干扰技术		216
9.1	电磁干扰源及防护	216
9.1.1	干扰与噪声的区别	216
9.1.2	干扰的分类	216
9.1.3	噪声电压的叠加	220
9.1.4	噪声形成干扰的三要素	220
9.2	传感器的电磁屏蔽	221
9.2.1	消除或抑制噪声源	221
9.2.2	破坏干扰的耦合通道	221
9.2.3	消除接收电路对干扰的敏感性	221
9.2.4	采用软件抑制干扰	221
9.2.5	抑制电磁干扰的基本措施	221
9.2.6	抗干扰技术的应用	233
第10章 传感器技术的综合应用		243
10.1	传感器在电冰箱中的作用	244
10.2	传感器在家用吸尘器中的应用	247
10.3	报警系统	248
10.3.1	家用有害气体报警器	248
10.3.2	可燃气体泄漏报警器	248
10.3.3	防盗报警器	249
10.3.4	报警结果显示设计	250
参考文献		251

第 1 章 传感器的基础知识

1.1 传感器的基本概念

目前，传感器正处于蓬勃发展的时期，新技术和新产品不断涌现。在国防、航空、航天、交通运输、能源、机械、石油、化工、轻工纺织等工业部门和环境保护、生物医学工程等方面都大量地采用各种各样的传感器。

1.1.1 传感器的定义

传感器是将非电量转换为与之有确定对应关系的电量输出的器件或装置，它本质上是非电系统与电系统之间的接口。在非电量的电测量中，传感器是必不可少的转换元件。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中，只是根据器件用途对同一类型的器件使用着不同的技术术语而已。如在电子技术领域，常把能感受信号的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，而传感器是使用最为广泛而概括的用语。

1.1.2 传感器的组成

传感器的输出信号通常是电压或电流，便于传输、转换、处理、显示等。电信号有很多形式，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与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。

传感器组成框图如图 1-1 所示。

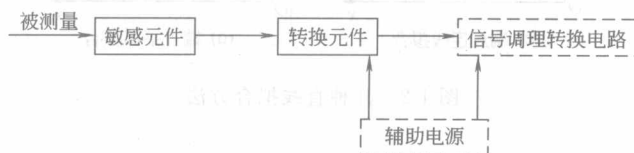


图 1-1 传感器组成框图

1.2 传感器的基本特性

传感器的基本特性可用静态特性和动态特性来描述。

1.2.1 传感器的静态特性

传感器的静态特性是指在被测量各个值处于稳定状态时的输出-输入关系。当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。

1.2.1.1 线性度

通常,为了方便标定和数据处理,要求传感器的输出-输入关系是线性关系并能准确无误地反映被测量的真值,但实际上,传感器的输出-输入不呈线性。

线性度是用实测的检测系统输入-输出特性曲线与拟合直线之间的最大偏差与满量程输出的百分比来表示的。

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

式中 $\Delta L_{\max}$ ——最大非线性绝对误差;

Y_{FS} ——满量程输出。

由于线性度(非线性误差)是以所参考的拟合直线为基准算得的,所以基准线不同,所得线性度就不同。拟合直线的选取方法很多,采用理论直线作为拟合直线确定的检测系统线性度,称作理论线性度。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。

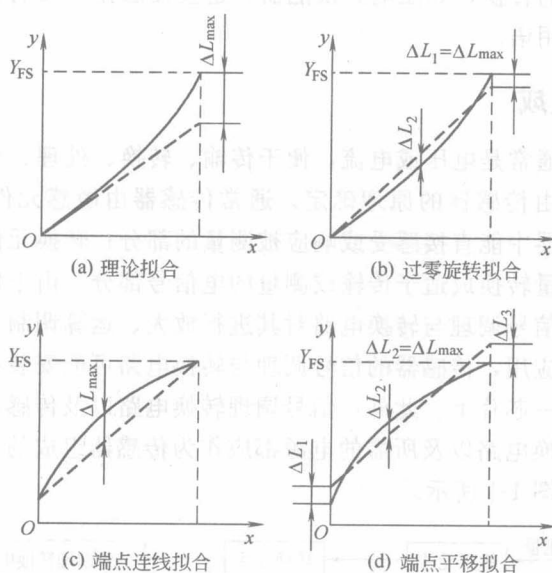


图 1-2 几种直线拟合方法

1.2.1.2 灵敏度

灵敏度 S 是指传感器的输出量增量 Δy 与引起输出量增量 Δy 的输入量增量 Δx 的比值,即

$$S = \Delta y / \Delta x \quad (1-2)$$

对于线性传感器的校准线的斜率就是其静态灵敏度,即 $S = \Delta y / \Delta x$ 为常数;而非线性

传感器的灵敏度为一个变量,用 $S=dy/dx$ 表示。传感器的灵敏度如图 1-3 所示。

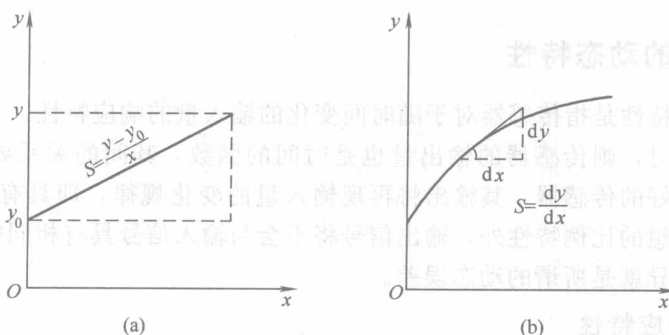


图 1-3 传感器的灵敏度

1.2.1.3 迟滞

迟滞特性表明传感器在正(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程度,如图 1-4 所示。

由图可见,对于同一大小的输入信号,传感器的正反行程输出信号大小不相等。迟滞特性是由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、运动部件摩擦、传动机构的间隙、紧固件松动、元件腐蚀或碎裂、材料的内摩擦、积塞灰尘等。

迟滞大小一般由实验确定。迟滞误差 r_H 可由式 (1-3) 计算

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

式中 $\Delta H_{\max}$ ——正反行程输出值间的最大差值。

1.2.1.4 重复性

重复性是指传感器在输入量按同一方向作全量程连续多次变化时所得特性曲线不一致的程度,如图 1-5 所示。

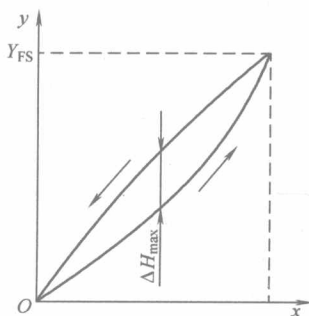


图 1-4 传感器的迟滞特性

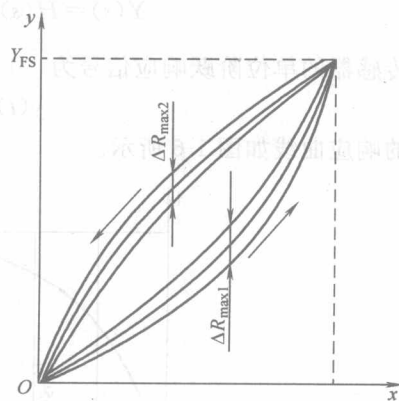


图 1-5 传感器的重复性

特性曲线一致,重复性就好,误差也小。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偏差表示,即

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

1.2.2 传感器的动态特性

传感器的动态特性是指传感器对于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。

1.2.2.1 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,有时需要从时域中对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响应称瞬态响应。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

在工程上,一般将式(1-5)视为一阶传感器单位阶跃响应的通式。

$$\tau \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t) \quad (1-5)$$

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

$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{\tau s + 1} \quad (1-6)$$

对初始状态为零的传感器,当输入一个单位阶跃信号 $x(t) = \begin{cases} 0, & t \leq 0 \\ 1, & t > 0 \end{cases}$ 时,由于 $x(t) = 1(t)$, $x(s) = \frac{1}{s}$, 传感器输出的拉氏变换为

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

一阶传感器的单位阶跃响应信号为

$$y(t) = 1 - e^{-t/\tau} \quad (1-8)$$

相应的响应曲线如图 1-6 所示。

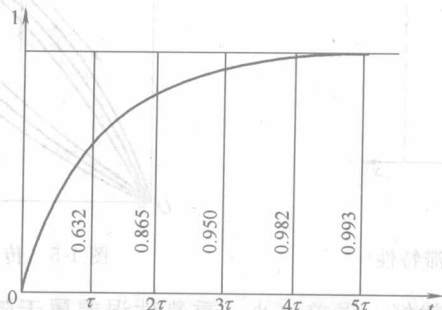


图 1-6 一阶传感器单位阶跃响应

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 趋于无穷大时才达到稳态值,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。 t 越小,响应曲线越接近于输入阶跃曲线。因此, t 值是一阶传感器重要的性能参数。

(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

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 2\xi\omega_n \frac{dy(t)}{dt} + \omega_n^2 y(t) = \omega_n^2 x(t) \quad (1-9)$$

式中 ω_n ——传感器的固有频率;

ξ ——传感器的阻尼比。

二阶传感器的传递函数为

$$H(s) = \frac{\omega_n^2}{s(s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2)} \quad (1-10)$$

传感器输出的拉氏变换为

$$Y(s) = H(s)X(s) = \frac{\omega_n^2}{s(s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2)} \quad (1-11)$$

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 ξ 和固有频率 ω_n 。固有频率 ω_n 由传感器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阻尼比 ξ 。图1-7为二阶传感器的单位阶跃响应曲线。

阻尼比 ξ 直接影响超调量和振荡次数。 $\xi=0$ 为临界阻尼,超调量为100%,产生等幅振荡,达不到稳态。 $\xi>1$ 为过阻尼,无超调也无振荡,但达到稳态所需时间较长。 $\xi<1$ 为欠阻尼,衰减振荡,达到稳态值所需时间随 ξ 的减小而加长。 $\xi=1$ 时响应时间最短,但实际使用中常按稍欠阻尼调整, ξ 取0.7~0.8为最好。

(3) 瞬态响应特性指标

1) 时间常数 τ 。一阶传感器时间常数 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。

1.2.2.2 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 $j\omega$ 代替后,即可得频率特性表达式,即

$$H(j\omega) = \frac{1}{\tau(j\omega) + 1} \quad (1-12)$$

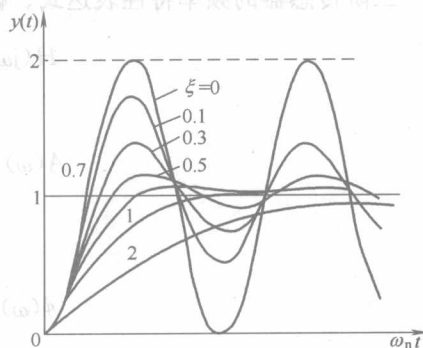


图1-7 二阶传感器的单位阶跃响应曲线

幅频特性为

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega\tau)^2}} \quad (1-13)$$

相频特性为

$$\phi(\omega) = -\arctan(\omega\tau) \quad (1-14)$$

图 1-8 为一阶传感器的频率响应特性曲线。

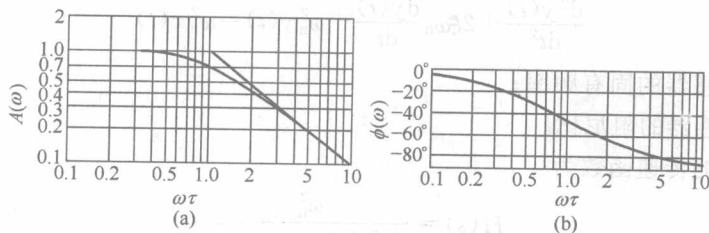


图 1-8 一阶传感器的频率响应特性曲线

从图 1-8 看出, 时间常数 t 越小, 频率响应特性越好。当 $\omega t \ll 1$ 时, $A(\omega) \rightarrow 1$, $\phi(\omega) \rightarrow 0$, 表明传感器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 t 可改善传感器的频率特性。

(2) 二阶传感器的频率响应

二阶传感器的频率特性表达式、幅频特性、相频特性分别为

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + 2j\xi\frac{\omega}{\omega_0}} \quad (1-15)$$

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + 2\xi\frac{\omega}{\omega_0}}} \quad (1-16)$$

$$\phi(\omega) = -\arctan \frac{2\xi\frac{\omega}{\omega_0}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \quad (1-17)$$

图 1-9 为二阶传感器的频率响应特性曲线。

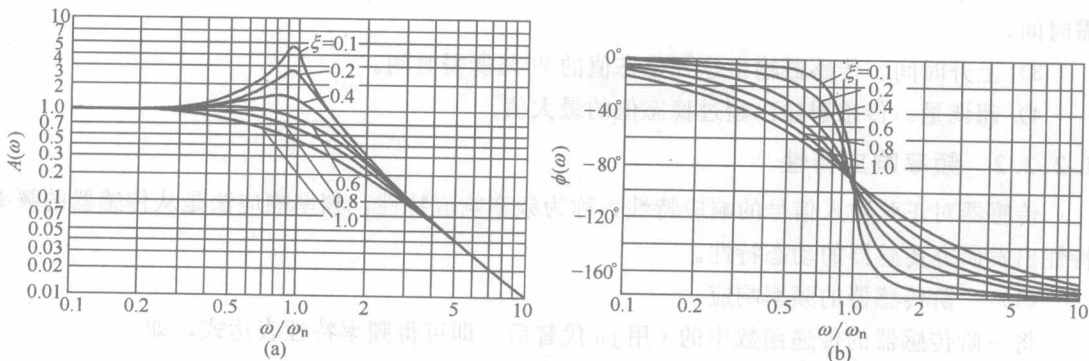


图 1-9 二阶传感器的频率响应特性曲线

从式(1-15)、式(1-16)和图1-9可见,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 ξ 。

当 $\xi < 1$ 时, $A(\omega) \rightarrow 1$, $\phi(\omega)$ 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 。而固有频率 ω_n 与传感器运动部件质量 m 和弹性敏感元件的刚度 k 有关,即 $\omega_n = \sqrt{k/m}$ 。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。

(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为传感器频带或通频带,对应应有上、下截止频率。

2) 用时间常数 t 来表征一阶传感器的动态特性, t 越小,频带越宽。

3) 二阶传感器的固有频率 ω_n 表征了其动态特性。

1.3 传感器的分类

传感器有许多分类方法,但常用的分类方法有两种,一种是按被测物理量来分;另一种是按传感器的工作原理来分。

1.3.1 按被测物理量划分

按被测物理量划分的传感器,常见的有温度传感器、湿度传感器、压力传感器、位移传感器、流量传感器、液位传感器、力传感器、加速度传感器、转矩传感器等。

1.3.2 按工作原理划分

1.3.2.1 电学式传感器

电学式传感器是非电量电测技术中应用范围较广的一种传感器,常用的有电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器、磁电式传感器及电涡流式传感器等。

电阻式传感器是利用变阻器将被测非电量转换为电阻信号的原理制成。电阻式传感器一般有电位器式、触点变阻式、电阻应变片式及压阻式传感器等。电阻式传感器主要用于位移、压力、力、应变、力矩、气流流速、液位和液体流量等参数的测量。

电容式传感器是利用改变电容的几何尺寸或改变介质的性质和含量,从而使电容量发生变化的原理制成。主要用于压力、位移、液位、厚度、水分含量等参数的测量。

电感式传感器是利用改变磁路几何尺寸、磁体位置来改变电感或互感的电感量或压磁效应原理制成。主要用于位移、压力、力、振动、加速度等参数的测量。

磁电式传感器是利用电磁感应原理,把被测非电量转换成电量制成。主要用于流量、转速和位移等参数的测量。

电涡流式传感器是利用金属在磁场中运动切割磁力线,在金属内形成涡流的原理制成。主要用于位移及厚度等参数的测量。

1.3.2.2 磁学式传感器

磁学式传感器是利用铁磁物质的一些物理效应而制成。主要用于位移、转矩等参数的

测量。

1.3.2.3 光电式传感器

光电式传感器在非电量电测及自动控制技术中占有重要的地位。它是利用光电器件的光电效应和光学原理制成。主要用于光强、光通量、位移、浓度等参数的测量。

1.3.2.4 电势型传感器

电势型传感器是利用热电效应、光电效应、霍尔效应等原理制成。主要用于温度、磁通、电流、速度、光强、热辐射等参数的测量。

1.3.2.5 电荷传感器

电荷传感器是利用压电效应原理制成。主要用于力及加速度的测量。

1.3.2.6 半导体传感器

半导体传感器是利用半导体的压阻效应、内光电效应、磁电效应、半导体与气体接触产生物质变化等原理制成。主要用于温度、湿度、压力、加速度、磁场和有害气体的测量。

1.3.2.7 谐振式传感器

谐振式传感器是利用改变电或机械的固有参数来改变谐振频率的原理制成。主要用来测量压力。

1.3.2.8 电化学式传感器

电化学式传感器是以离子导电为基础制成,根据其电特性的形成不同,电化学式传感器可分为电位式传感器、电导式传感器、电量式传感器和电解式传感器等。电化学式传感器主要用于分析气体、液体或溶于液体的固体成分、液体的酸碱度、电导率及氧化还原电位等参数的测量。

另外,根据传感器对信号的检测转换过程,传感器可划分为直接转换型传感器和间接转换型传感器两大类。前者是把输入给传感器的非电量一次性地变换为电信号输出,如光敏电阻受到光照射时,电阻值会发生变化,直接把光信号转换成电信号输出;后者则要把输入给传感器的非电量先转换成另外一种非电量,然后再转换成电信号输出,如采用弹簧管敏感元件制成的压力传感器就属于这一类,当有压力作用到弹簧管时,弹簧管产生形变,传感器再把变形量转换为电信号输出。