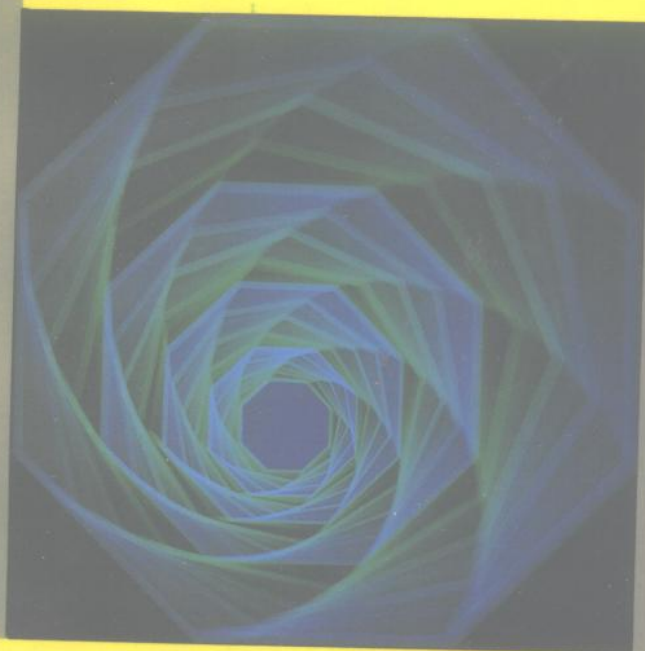


传感器技术 及其应用

赵守忠 夏勇 主编



中国科学技术大学出版社

传感器技术及其应用

赵守忠 夏 勇 丁 宏 编
周颂十 刘 红

中国科学技术大学出版社

1997·合肥

图书在版编目(CIP)数据

传感器技术及其应用/赵守忠 夏 勇 等

—中国科学技术大学出版社,1997年5月

ISBN 7-312-00829-1

I 传感器……

II 赵守忠 夏 勇

III ①传感器 ②非电量测量 ③测量系统

IV TN

中国科学技术大学出版社出版发行

(安徽省合肥市金寨路96号 邮编:230026)

中国科学技术大学印刷厂印刷

全国新华书店经销

开本:850×1168/32 印张:10.5 字数:260千

1997年5月第1版 1997年5月第1次印刷

印数:1—2500册

ISBN 7-312-00829-1/TN·28 定价:16.00元

DV22/13

内 容 提 要

本书介绍了工程测量技术中的传感器原理及应用,全书包括三大部分,即测量技术的基本概念、测量的辅助工具及电路、传感器原理及设计要点、传感器在各种工程技术上的应用。

本书对各种传感器原理、公式的阐述和推导力求详尽,并配以大量图片以便读者理解和应用。本书内容新颖实用、深入浅出,便于读者自学,可作非电量电测技术专业的教学参考书,也可供从事传感器设计的工程技术人员使用。

前 言

传感器技术早在电子技术应用于工农业生产和科学研究的初期就已经被用来进行各种电量、非电量的测量。随着电子技术、测量技术、自动控制、计算机技术的发展,它越来越引起人们的关注,应用范围也愈加广泛。当今社会已进入了信息时代,这门学科更是屡添新枝。

传感器技术包含两方面的内容:其一,如何利用敏感元件的特性把被测量的动态的或静态的物理量、化学量转化为电信号;其二,如何利用电子线路对前述的电信号进行加工、处理、传输、显示乃至进行控制。早期的传感器是模拟型,后来发展为数字型,近年来,由于计算机技术的飞速发展,出现了智能型传感器,这为传感器技术的发展开辟了新的前景。

传感器技术是实用性很强、涉及面较广的应用型学科,本书较全面地介绍了各种传感器的原理、构造、应用及发展趋势。全书共十四章,分三大部分,前三章简略介绍了传感器技术与计量和测量技术的关系、计量学和测量技术的基本概念、智能化仪表及各种辅助电路等,这是本书第一部分;中间六章介绍了工程上常用各种传感器的基本原理及设计方法,这是本书的第二部分;最后五章是本书的第三部分,介绍了传感器在工程技术上的应用。

第一、二、三、四章由夏勇撰写,第五、六章由周颂十

撰写,第七、八章由丁宏撰写,其余章节由赵守忠撰写。全书由赵守忠、夏勇主编。

由于水平有限,错误及不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

在本书的编撰和出版过程中得到了中国科学技术大学副校长、物理学教授尹鸿钧先生的关心、支持和帮助,在此表示感谢。

编 者

1996年11月于合肥

目 录

前言	(1)
第一章 计量学和测量技术的基本概念	(1)
第一节 物理量、单位和国际单位制	(1)
第二节 测量和量测系统的基本概念	(4)
1.2.1 有信号源的测量方法	(4)
1.2.2 测量系统的结构特点	(7)
1.2.3 测量与测量系统的基本概念	(9)
第三节 测量结果的估价	(14)
1.3.1 数值估价	(15)
1.3.2 频率估价法(频谱估价)	(22)
第四节 噪声与干扰	(22)
第二章 计算机辅助仪表的基本概念	(26)
第一节 概述	(26)
第二节 微处理机和微计算机	(27)
2.2.1 基本知识	(27)
2.2.2 典型组件	(30)
2.2.3 微计算机的结构与应用	(34)
第三节 计算装置与方法、测量技术“智能仪表” 的基本概念	(38)
2.3.1 概述	(38)
2.3.2 自动测量系统与装置	(39)
第三章 工程测量使用的辅助工具	(43)
第一节 电路元件的基本概念与符号	(43)

3.1.1	欧姆定律与复数欧姆定律	(43)
3.1.2	电路与电路元件	(43)
3.1.3	四端网络	(45)
3.1.4	反馈	(46)
第二节	对数单位制的应用	(51)
第四章	工程测量使用的辅助方法	(54)
第一节	基本测量电路	(54)
4.1.1	分压器	(54)
4.1.2	测量电桥	(55)
第二节	电气与电子测量仪表	(57)
4.2.1	电气仪表	(58)
4.2.2	电子仪表	(59)
第五章	非电量电测技术	(63)
第一节	技术现状	(63)
第二节	测量传感器基本知识	(64)
第三节	传感器的分类及其基本原理	(66)
第四节	非电量测量传感器的电路	(67)
第六章	无源传感器——电阻传感器及其电路原理	(74)
第一节	电位计传感器	(75)
第二节	应力传感器	(79)
6.2.1	应力传感器的平衡原理	(79)
6.2.2	基于过渡电阻的传感器	(85)
6.2.3	应变计传感传感器的原理	(85)
6.2.4	应变计种类	(87)
6.2.5	应变计传感器的典型电路	(92)
第三节	热电阻传感器——温度传感器	(96)
6.3.1	金属性导体阻值与温度之间的关系	(96)
6.3.2	半导体电阻与温度之间的关系(热控管)	(97)

第四节	热电阻传感器——热流速计	(98)
6.4.1	热流速测量的基本概念	(99)
6.4.2	热流速计传感器的特点和静态关系	(101)
6.4.3	传感器的动态特性	(103)
6.4.4	热流速计的测量电路	(107)
第五节	电阻传感器的常用测量电路	(109)
第七章	无源传感器及其电路基本原理	(114)
第一节	概述	(114)
第二节	电容传感器	(122)
7.2.1	变电极面积传感器——电介质传感器	(123)
7.2.2	双曲线电容传感器	(125)
第三节	电感传感器	(132)
7.3.1	电感传感器的实现	(132)
7.3.2	选择和设计电感传感器尺寸的原理	(138)
7.3.3	电感传感器的精度和匹配	(144)
第四节	电容、电感传感器的电路	(145)
第八章	有源传感器的基本原理及其电路	(152)
第一节	感应式传感器	(152)
第二节	热电传感器(热电偶)	(156)
第三节	压电传感器及其电路的基本原理	(160)
8.3.1	压电效应	(161)
8.3.2	压力传感器	(164)
8.3.3	压电传感器电荷信号的处理	(165)
8.3.4	压电测量系统的精度,随机因素及校准	(169)
8.3.5	压电测量系统的频率相关特性	(171)
第九章	特殊传感器及其电路	(178)
第一节	霍耳传感器及其在测量中的应用	(178)
第二节	离散信号传感器的基本原理	(182)

9.2.1	基本概念	(182)
9.2.2	离散信号传感器的实现	(186)
9.2.3	离散信号传感器的设计	(188)
第三节	辐射传感器	(188)
9.3.1	光学传感器	(189)
9.3.2	超声波传感器的应用	(191)
9.3.3	激光和放射性射线在工程测量中的应用	(194)
第十章	线位移、角位移及运动量的测量	(197)
第一节	长度和位移测量的基本概念与单位制	(197)
第二节	运动量的测量	(199)
10.2.1	测量线位移和角位移	(199)
10.2.2	速度、角速度和转速测量	(202)
10.2.3	测量加速度和振动	(206)
第十一章	力、力矩、机械功和功率的测量	(217)
第一节	基本概念、单位	(217)
第二节	力和力矩的测量	(220)
11.2.1	直接转换法测量力和力矩	(221)
11.2.2	力和力矩的间接测量	(224)
11.2.3	用能流方法测量力矩	(241)
第三节	测量机械功和机械能	(244)
第十二章	测量时间、频率和相角	(245)
第一节	时间和频率测量的基本问题	(245)
第二节	频率的模拟测量	(246)
12.2.1	模拟频率的测量	(246)
12.2.2	比较法测量频率	(250)
12.2.3	转换法测量频率	(256)
第三节	频率和时间和数字化测量	(257)
12.3.1	时基计数器	(257)

12.3.2	频率的测量	(259)
12.3.3	时间的测量	(260)
12.3.4	时基计数中的测量误差	(261)
第四节	相位角的测量	(263)
第十三章	液体和气体介质的压强、体积及流速的测量	(268)
第一节	基本概念和测量单位	(268)
13.1.1	压力的测量纲及单位	(268)
13.1.2	运动流体测量中的定义和单位	(270)
13.1.3	工程测量中较重要的液体 和气体介质及参数	(272)
第二节	压强的测量	(277)
13.2.1	压力测量中常用的电子仪器	(277)
13.2.2	压强测量中的一些实际问题	(290)
第三节	流速和液体体积的测量	(292)
13.3.1	流量测量的电信号处理及装置	(293)
13.3.2	涡轮型流量计及其应用	(294)
13.3.3	基于可变压力差的流体仪表	(300)
13.3.4	用具有可变相交部分与可变负载的 限制单元测量流体	(303)
13.3.5	基于流速的流体测量	(306)
13.3.6	液体测量的实际问题	(310)
第十四章	温度的测量	(314)
第一节	温度测量的基本温标和方法	(314)
第二节	测量温度的原理和温度计	(316)
第三节	电学温度的测量	(318)
14.4.1	电阻温度计	(318)
14.4.2	用温差电偶测量温度	(321)
参考书目		(323)

第一章 计量学和测量技术的基本概念

第一节 物理量、单位和国际单位制

各种物理现象、物理过程、物理状态,因其具有可测量的特点和性质,故统称为物理量。

物理量可表示为单位与数字的乘积,这里所说的单位是由国家或国际标准组织规定的。在建立单位制时,那些最重要、最常用的物理量所选定的单位,称为基本单位。根据基本单位可产生所谓导出单位。

采用英文字母表示基本单位和导出单位的整数倍或小数倍单位,如表 1.3 所列。

国际单位制 SI 起源于法国国际单位制,该单位制是由 ISO 会员国共同制定,并由 ISI(国际标准组织)修改和批准的一套单位制。

应用国际单位制的最主要的特点是必须遵照有关 ISO 标准的基本条款(ISO/R31 款和 ISO/RC12 款)。

表 1.1 为国际单位制中的基本单位;表 1.2 为国际单位制中的补充单位。

假如对物理方程代入数字关系,采用将每个物理量除以其单位的方法,则在做单位转换时可视单位为物理量。例如,按牛顿第二定律:

$$F = ma$$

表 1.1 基本物理量和 SI 基本单位

基 本 量	基 本 单 位
长度	米, m
质量	千克, kg
时间	秒, s
电流	安培, A
动力学温度	开尔文, K
光强度	坎德拉, cd
质量	克分子, mol

表 1.2 补充物理量和 SI 单位

补 充 量	基 本 单 位
平面角, 角度	弧度, rad
立体角	立体弧度, sr

表 1.3 SI 的十倍率单位

倍 数 单 位			小 数 单 位		
十进制倍率	词头	符号	十进制倍率	词头	符号
10^{18}	兆兆兆	E	10^{-1}	分	d
10^{15}	千兆兆	P	10^{-2}	厘	c
10^{12}	兆兆	T	10^{-3}	毫	m
10^9	千兆	G	10^{-6}	微	μ
10^6	兆	M	10^{-9}	毫微	n
10^3	千	k	10^{-12}	微微	p
10^2	百	h	10^{-15}	毫微微	f
10^1	十	da	10^{-18}	微微微	a

设原来的单位为：

$$\frac{F}{\text{kg}} = \frac{m}{\text{kg} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-1}} \frac{a}{\text{m} \cdot \text{s}^{-2}}$$

因为可把力的单位变为牛顿：

$$1\text{kg} = 9.81\text{m} \cdot \text{s}^{-2}\text{kg} = 9.81\text{N}; \quad \frac{1\text{kg}}{1\text{N}} = 9.81$$

于是：

$$\frac{F}{\text{N}} = \frac{F}{\text{kg}} \frac{\text{kg}}{\text{N}} = \frac{F}{\text{kg}} 9.81$$

表 1.4 列出了常用的导出单位，其专用名称请参见表 1.5。

表 1.4 导出单位(按基本单位和补充单位定名)

量	单 位	典型转换(近似值)
面积	平方米, m^2	$1\text{m}^2 = 1549.77 \text{ 英寸}^2$
体积	立方米, m^3	$1\text{m}^3 = 35.3145 \text{ 英尺}^3$ $1 \text{ 升} = 10^{-3} \text{ 米}^3$
速度	米/秒, m/s	$1\text{m/s} = 3.281 \text{ 英尺/秒}$
加速度	米/秒 ² , m/s^2	$1\text{m/s}^2 = 0.102 \text{ 重力加速度}$
角速度	弧度/秒, rad/s	$1\text{rad/s} = 9.5493 \text{ 转/分}$
角加速度	弧度/秒 ² , rad/s^2	
密度	千米/米 ³ , kg/m^3	$1\text{kg/m}^3 = 0.99885 \text{ 盎司/英尺}^3$
运动学粘度	米 ² /秒, m^2/s	$1\text{m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ 沱}$
亮度	烛光/米 ² , cd/m^2	
磁场强度	安培/米, A/m	$10^3/4 \text{ A/m} = 1 \text{ 奥斯特}$

表 1.5 导出单位(专用名称)

量	单 位	相互关系
电容	法拉, F	$A \cdot s/V$
电感	亨利, H	$V \cdot s/A$
电荷	库仑, C	$A \cdot s$
电压	伏特, V	W/A
电场强度	伏/米, V/m	V/m
电阻	欧姆,	V/A
频率	赫兹, Hz	s^{-1}
能量(功、热)	焦耳, J	$N \cdot m$
功率	瓦特, W	J/s
磁通	韦伯, Wb	$V \cdot s$
磁通密度	特斯拉, T	Wb/m^2
光通量	流照, Lm	$cd \cdot sr$
照度	勒克斯, lx	lm/m^2
力	牛顿, N	$kg \cdot m/s^2$
压力	帕斯卡, Pa	N/m^2
压力	牛顿/米 ² , N/m^2	N/m^2
动力学粘度	牛顿·秒/米 ² , $N \cdot s/m^2$	$N \cdot s/m^2$

第二节 测量和测量系统的基本概念

1.2.1 有信号源的测量方法

对于物理现象或工艺过程,若能确定其某一物理特征,则可对其进行描述。通过检测能确定其物理量,即测量有关对象是否具有确定的特征。方法主要有主观检测与实物检测之分。

主观检测法是指凭执行检测任务人员的感觉执行测量并进行比较;实物检测是采用间接工具或装置执行测量并进行比较。

对物理量的测量是采集信息的过程。该测量信息是所有可采集的信息的总和,可通过对物理量的测量而加以积累。就测量信息的采集而言,测量又与被测对象密切相关。

被测对象是指某种质或量为未知数的物质实体,其某一状态可以通过试验来确定(例如:容器的容积、机床主轴的转速、房间里的温度等等)。

采取将物理量的大小与其单位进行比较的方法,可产生测量信息。比较可以确定两个同类物理量之间的关系,通常是把实际物理量与某一已知单位进行比较。若是直接与标准值比较,则把这种测量方法称为是直接测量;若采用了某一中间变量,则称为间接测量。

图 1.1 表示直流电源对负载电阻 R 供电的直接测量方法;其中(a)为测量电压;(b)为测量电流。

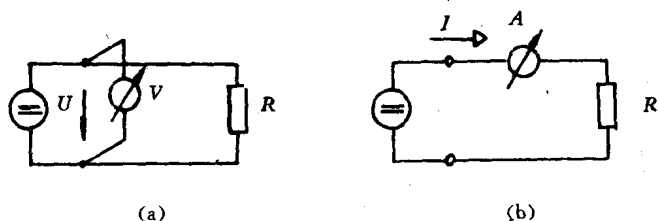


图 1.1 直接测量
(a) 电压 (b) 电流

直测式仪表的优点是简便、快捷,不足之处是测量的精度直接取决于该仪表的精度。因此,直测式仪表只限于快速测量时使用。

间接测量是根据已知物理特性,采用一个新的物理量来测量,并依据理论和经验,从新的物理量推导出结果。在某些情况下,上述情况并不明显,因为把信息传送装置(指示计)连接到被测对象

时,掩盖了中间物理量的理论关系。

测量法指以下几种不同类型的方法:一种是采用转换装置(传感器)进行测量,其基本特点是:将被测量的物理量转换为可直接测量的物理量,在测量后根据理论关系求出要测量的物理量。例如:用示波器测量电流,虽然示波器能够直接测量的是电压,但我们可以把测量电流转换为测量某一已知电阻 R 上的压降(如图 1.2 所示),进而计算出电流值。

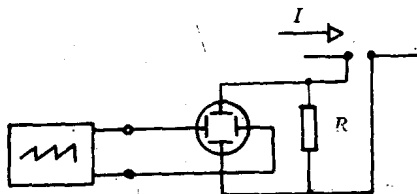


图 1.2 用示波器测量电流

另一种方法是替代测量法,即把被测量的物理量按某一规则等价于某一电量或力学量,在测量装置中测量载有被测物理量信息的电气或力学量,然后再用某一精密的标准量代替它,执行对这两种情况的测量。根据两次测量的不同结果,从理论上得出要测的物理量。图 1.3 说明,测量电阻可以用测量电流来替代。

还有一种是平衡法,该法的最大特点是精度高,它又分为两大类:一类为电桥法;另一类采用抵消原理。

第一类方法是由众所周知的惠斯登(Wheatstone)电桥发展而来的,目前有许多种测量电桥可使用(有直流电桥,也有交流电桥)。各种电桥测量法在以后的章节都作了详尽的介绍。

按抵消原理进行测量时,将被测量的物理量与某一种已知量进行比较,在测量过程中使两者之间的差值减小到 0。在对非电量(如力学量)进行电测量时,既可采用力学量的抵消也可采用测量电路中电学量的抵消。