

应用电路
百例丛书

传感器及其 应用电路

何希才 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

URL: <http://www.phei.com.cn>

应用电路百例丛书

传感器及其应用电路

何希才 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 提 要

本书主要介绍传感器应用技术及其实用电路,内容包括温敏、湿敏、磁敏、光敏、力敏等常用传感器的选用、基本应用电路与实例以及传感器新技术等。本书提供了传感器应用电路 200 多例,这些电路设计新颖、结构合理、性能优良、实用性强。

本书适合传感器应用开发人员、电路设计工程师、电子爱好者和大专院校师生使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

传感器及其应用电路/何希才编著. - 北京:电子工业出版社,2001.3

(应用电路百例丛书)

ISBN 7-5053-6382-4

I. 传… II. 何… III. ①传感器-技术②传感器-电路 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 79288 号

丛 书 名:应用电路百例丛书

书 名:传感器及其应用电路

编 著 者:何希才

责任编辑:王 颖

特约编辑:刘 杰

排版制作:电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者:北京牛山世兴印刷厂

装 订 者:三河市路通装订厂

出版发行:电子工业出版社 URL:<http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:14 字数:360 千字

版 次:2001 年 3 月第 1 版 2001 年 3 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-5053-6382-4
TN·1425

印 数:5000 册 定价:19.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换;
若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

前 言

当前,计算机应用技术、通信技术和传感技术可以说是电子信息技术的三大主要组成部分,其中,计算机和通信技术发展相当迅速,而传感技术发展有些滞后,因此,我国和世界各国都视传感技术为现代电子信息技术的关键技术之一。对计算机和通信技术运用自如的工程技术人员已非常多,但精通并能灵活运用传感技术的工作者却很少,这是因为传感技术需要使用模拟技术,而模拟技术有很多问题都亟待解决,这就需要进行进一步学习传感技术。

众所周知,传感器应用极其广泛,目前已经研制出多种新型传感器。但是,作为应用系统设计人员需要根据系统要求选用适宜的传感器,并与自己设计的系统连接起来,从而构成性能优良的监控系统,这就需要解决传感器的选用和接口两大问题。本书从实践和应用角度出发,并参考了国内外的最新资料,主要介绍了常用传感器的外特性及选用原则,并提供了较多的传感器基本应用电路及接口电路。读者可从本书中直接选用适用的传感器应用电路,还可对本书提供的电路稍加修改应用到自己设计的系统中。

全书共分 11 章。第 1 章概论,介绍了传感器的作用、分类、特性及其选用原则。第 2 章温度传感器,介绍了热电阻、热敏电阻、热电偶、PN 结温度传感器、集成温度传感器的基本原理和特性参数,着重介绍这些传感器的基本应用电路与接口电路。第 3 章湿度传感器,介绍湿度传感器的工作原理、基本应用电路以及应用实例。第 4 章光敏传感器,介绍光敏二极管、光敏晶体管、光敏电阻 CdS、集成光敏传感器与光电断路器等的特性参数、基本应用电路以及应用实例。第 5 章磁敏传感器,介绍了霍尔元件、霍尔集成传感器、磁敏电阻、差动变压器等的应用实例。第 6 章气敏传感器,介绍了半导体气敏传感器的工作原理、特性与应用实例。第 7 章力敏传感器,介绍了力敏传感器的基本应用电路与应用实例。第 8 章超声波传感器,介绍了超声波传感器的原理、类型与基本应用电路及其应用实例。第 9 章红外传感器,介绍了红外传感器基本应用电路以及应用实例。第 10 章传感器应用技术,介绍了传感器接口技术、供电电源、非线性校正、噪声及其抑制以及系统设计等。第 11 章传感器新技术,介绍了气敏集成传感器、湿敏集成传感器、振动式粘度传感器、压电加速度传感器、光纤传感器、声表面波传感器、混浊度传感器、紫外线传感器等新型传感器。

本书提供的电路设计合理、结构新颖、性能优良、实用性强,它为系统设计人员提供了有益的参考。本书编写过程中参考了刘洪梅、张微等提供的资料,并得到王桂琴、何川、王英剑和王力等同志的支持与帮助,在此表示感谢。由于编者水平有限,书中难免有错误和不足之处,希望广大读者批评指正。

编著者

2001 年 2 月

目 录

第1章 概论	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 传感器的作用和分类	(1)
1.2.1 传感器的作用	(1)
1.2.2 传感器的分类	(2)
1.3 传感器的特性与选用	(3)
1.3.1 传感器的特性	(3)
1.3.2 传感器的选用	(4)
1.4 传感器的发展	(4)
第2章 温敏传感器	(7)
2.1 概述	(7)
2.2 热电阻及其应用	(8)
2.2.1 热电阻的工作原理	(8)
2.2.2 热电阻的基本应用电路	(9)
2.2.3 热电阻应用实例	(11)
2.3 热敏电阻及其应用	(14)
2.3.1 热敏电阻的工作原理	(14)
2.3.2 热敏电阻的基本应用电路	(17)
2.3.3 热敏电阻应用实例	(20)
2.4 热电偶及其应用	(25)
2.4.1 热电偶的工作原理	(25)
2.4.2 热电偶的基本应用电路	(28)
2.4.3 热电偶的应用实例	(33)
2.5 PN结温敏传感器及其应用	(38)
2.5.1 PN结温敏传感器的原理	(38)
2.5.2 晶体管温敏传感器应用实例	(38)
2.6 集成温敏传感器及其应用	(43)
2.6.1 概述	(43)
2.6.2 集成温敏传感器应用实例	(46)
第3章 湿敏传感器	(52)
3.1 概述	(52)
3.2 湿敏传感器的工作原理	(53)
3.2.1 湿敏传感器的工作原理	(53)
3.2.2 湿敏传感器参数	(54)
3.2.3 湿敏传感器使用的有关技术	(55)

3.3 湿敏传感器的基本应用电路	(56)
3.4 湿敏传感器的应用实例	(58)
第4章 光敏传感器	(65)
4.1 概述	(65)
4.2 光敏二极管及其应用	(66)
4.2.1 光敏二极管的原理	(66)
4.2.2 光敏二极管的参数与特性	(67)
4.2.3 光敏二极管的基本应用电路	(69)
4.2.4 光敏二极管应用实例	(71)
4.3 光敏晶体管及其应用	(73)
4.3.1 光敏晶体管原理	(73)
4.3.2 光敏晶体管的基本应用电路	(74)
4.3.3 光敏晶体管的应用实例	(77)
4.4 光敏电阻 CdS 及其应用	(79)
4.4.1 光敏电阻 CdS 的特性与参数	(79)
4.4.2 CdS 的基本应用电路	(82)
4.4.3 CdS 应用电路实例	(82)
4.5 集成光敏传感器与光电断路器及其应用	(87)
4.5.1 概述	(87)
4.5.2 集成光敏传感器的应用电路	(89)
4.5.3 光电断路器的应用电路	(90)
第5章 磁敏传感器	(92)
5.1 概述	(92)
5.2 霍尔元件及其应用	(93)
5.2.1 霍尔元件的原理	(93)
5.2.2 霍尔元件的特性	(94)
5.2.3 霍尔元件的基本应用电路	(95)
5.2.4 霍尔元件应用实例	(97)
5.3 霍尔集成传感器及其应用	(100)
5.3.1 霍尔集成传感器的构成	(100)
5.3.2 霍尔集成传感器应用实例	(102)
5.4 磁敏电阻及其应用	(108)
5.4.1 磁敏电阻的特点与构造	(108)
5.4.2 磁敏电阻的基本应用电路	(111)
5.4.3 磁敏电阻的应用实例	(111)
5.5 差动变压器及其应用	(114)
5.5.1 差动变压器的结构和工作原理	(114)
5.5.2 差动变压器的应用电路	(115)
第6章 气敏传感器	(119)
6.1 概述	(119)

6.2 半导体气敏传感器的工作原理与特性	(120)
6.3 气敏传感器的应用实例	(122)
第7章 力敏传感器	(131)
7.1 概述	(131)
7.2 力敏传感器的基本应用电路	(135)
7.3 力敏传感器的应用实例	(141)
第8章 超声波传感器	(146)
8.1 超声波传感器的原理	(146)
8.2 超声波传感器的类型	(147)
8.3 超声波传感器的基本应用电路	(150)
8.4 超声波传感器的应用实例	(152)
第9章 红外传感器	(162)
9.1 概述	(162)
9.2 红外传感器基本应用电路	(165)
9.3 红外传感器的应用实例	(168)
第10章 传感器应用技术	(177)
10.1 概述	(177)
10.2 接口技术	(177)
10.3 传感器供电电源	(181)
10.4 非线性校正	(184)
10.5 传感器的噪声及其抑制	(186)
10.5.1 噪声的性质	(186)
10.5.2 噪声的耦合	(187)
10.5.3 噪声的抑制	(188)
10.6 系统设计	(191)
第11章 传感器新技术	(193)
11.1 超微粒子多功能气敏集成传感器	(193)
11.1.1 超微粒子多功能气敏集成传感器的结构	(193)
11.1.2 超微粒子多功能气敏集成传感器的特点	(193)
11.1.3 超微粒子多功能气敏集成传感器的制造过程	(194)
11.1.4 超微粒子多功能气敏膜集成化的特征	(194)
11.1.5 超微粒子气敏膜的结构参数	(195)
11.2 恒电位电解式气敏传感器	(195)
11.2.1 工作原理与结构	(195)
11.2.2 改善气敏传感器性能的方法	(197)
11.3 湿敏集成传感器	(198)
11.3.1 FET型湿敏传感器的结构	(198)
11.3.2 FET型湿敏传感器的工作原理	(199)
11.4 磷酸盐薄膜湿敏传感器	(199)
11.4.1 结构与工作原理	(199)

11.4.2 特性	(200)
11.4.3 应用实例	(200)
11.5 振动式粘度传感器	(202)
11.5.1 工作原理	(202)
11.5.2 结构	(202)
11.5.3 应用	(204)
11.6 压电加速度传感器	(204)
11.6.1 结构与原理	(204)
11.6.2 频率特性	(205)
11.6.3 适用的环境条件	(205)
11.6.4 传感器的应用	(206)
11.7 光纤传感器	(206)
11.7.1 光纤传感器的原理与分类	(206)
11.7.2 光纤传感器的特点	(207)
11.7.3 应用实例	(207)
11.8 声表面波(SAW)传感器	(207)
11.8.1 SAW传感器的特点	(207)
11.8.2 SAW传感器的结构和原理	(207)
11.8.3 SAW传感器实例	(208)
11.9 混浊度传感器	(209)
11.10 紫外线传感器	(210)

第1章 概 论

1.1 概 述

传感器技术是现代信息技术的主要内容之一。信息技术包括计算机技术、通信技术和传感器技术等,计算机相当于人的大脑,通信相当于人的神经,而传感器就相当于人的感官。从广义上讲,传感器就是能感受外界信息并能按一定规律将这些信息转换成可用信号的装置;从狭义上讲,传感器就是能将外界信息转换成电信号的装置。

现代电子技术和计算机为信息转换与处理提供了十分完善的手段,使检测与控制技术发展到一个崭新的阶段,但如果没有各种精确可靠的传感器去检测原始数据并提供真实的信息,那么,计算机也无法发挥其应有的作用。

传感器与人的感官一一对应,它能够把自然界的各种物理量和化学量等精确地变换为电信号,再经电子电路或计算机进行处理,从而对这些量进行监测或控制。举例来说,相当于人眼(视觉)的是光敏传感器,如半导体传感器、CCD传感器、光敏晶体管、光电倍增管等;相当于人耳(听觉)的是力敏传感器,如电容式话筒、陶瓷传感器、电动式话筒等;相当于人皮肤(触觉)的是力敏传感器和温敏传感器,力敏传感器有应变仪、半导体传感器等,温敏传感器有热敏电阻、半导体传感器、热电偶等;相当于人鼻子(嗅觉)的是气敏传感器,如半导体传感器、燃烧式传感器;相当于人舌头(味觉)的是味觉传感器,如离子传感器。此外,还有检测位移量的差动变压器,检测转速的编码器,磁敏传感器等等。

现在计算机和通信技术发展极快,掌握这些技术的工程技术人员也非常多,但精通传感器技术的工作者却很少,这是因为传感器技术都需要使用模拟技术,而模拟技术有很多问题还有待解决。为了适应现代科学技术的发展,世界众多国家都把传感器技术列为现代关键技术之一。本书主要从应用方面介绍常用传感器的实用技术,目的是使本书有助于读者设计各种最佳的监控系统。

1.2 传感器的作用和分类

1.2.1 传感器的作用

1. 信息的收集

科学研究中的计量测试,产品制造与销售中所需的计量等都要经测量才获得准确的定量数据。对某种特定要求,需要检测目标物的存在状态,并把某状态信息转换为数据。对系统或装置的运行状态进行监测,发现异常情况时,发出告警信号并启动保护电路,这样可以对系统或装置进行安全管理。

判断产品是否合格或人体各部位的异常诊断等都需由传感器的测量来完成。

2. 信息数据的转换

把以文字、符号、代码、图形等多种形式记录在纸或胶片上的信号数据转换成计算机、传

真机等能够处理的信号数据,或者读出记录在各种媒介体上的信息并进行转换。例如,磁盘与光盘的信息读出磁头就是一种传感器。

3. 控制信息的采集

对控制系统的某种状态的信息进行检测,并由此控制系统的状态或者跟踪系统变化的目标值。

1.2.2 传感器的分类

传感器千差万别,种类繁多,有不同的分类方法。这里只介绍一些基本的分类方法。

1. 按构成来分

按构成可分为基本型传感器、组合型传感器、应用型传感器。基本型传感器是一种最基本的单个变换装置。组合型传感器是由不同单个变换装置组合而构成的传感器。应用型传感器是基本型传感器或组合型传感器与其他机构组合而构成的传感器。例如,热电偶是基本型传感器,把它与红外线辐射转为热量的热吸收体,可组合成为红外线辐射传感器,即一种组合传感器。把这种组合传感器应用于红外线扫描设备中,就是一种应用传感器。

2. 按机理来分

按机理可分为结构型传感器、物性型传感器、混合型传感器以及生物型传感器。结构型传感器是基于某种结构的变化的一种传感器。例如,电容压力传感器就属于这种传感器,当外加压力改变时,电容极板发生位移,电容量发生变化,如果谐振装置中采用这种电容,其谐振频率就随电容量发生变化,检测谐振频率的变化就能测量压力的大小。

物性型传感器是一种利用物质具有的物理或化学特性的传感器,它对压力、温度、电场、磁场等有一定依赖关系,并能进行变换。这种传感器一般没有可动结构部分,易小型化,故也被称作固态传感器。

混合型传感器是结构型与物性型传感器组合而成的一种传感器。

生物型传感器是利用微生物或生物组织中生命体的活动作为变换结构的一部分。它是生物和医学上一种很有用的传感器。

3. 按作用形式来分

按作用形式可分为主动型和被动型传感器。主动型传感器有作用型和反作用型,此种传感器对被测对象能发出一定探测信号,能检测探测信号在被测对象中所产生的变化,或者由探测信号在被测对象中产生某种效应而形成信号。检测探测信号变化方式的称为作用型,检测产生响应而形成信号方式的称为反作用型。雷达与无线电频率范围探测器是作用型实例,而光声效应分析装置与激光分析器是反作用型实例。

被动型传感器只是接收被测对象本身产生的信号。例如,红外辐射温度计、红外摄像装置等。

4. 按变换工作能量供给形式来分

按变换工作能量供给形式分为能量变换型与能量控制型传感器。能量变换型传感器在进行信号转换时不需要另外提供能量,把输入信号能量变换为另一种形式能量输出。例如,太阳能电池和压电加速度传感器属于这类传感器。能量控制型传感器在进行信号转换时,需要先供给能量,由输入信号控制供给的能量,并检测能量的变化形成输出信号。例如,电阻应变传感器与光电管等是其实例。

5. 按输出信号形式来分

按输出信号形式分为模拟信号传感器与数字信号传感器。模拟信号传感器的输出为连续的模拟信号,而输出周期性信号的传感器实质上也是模拟信号传感器。

数字信号传感器是输出“1”与“0”两种信号的传感器,应用极广。两种信号可由电路的通断、信号的有无、绝对值的大小、极性的正负等来实现。例如,双金属温度开关等。

6. 按传感器的特殊性来分

上面介绍的五种分类是传感器的基本类型,按特殊性可分以下类型:

按检测功能可分为检测温度、压力、湿度、流量、流速、加速度、磁场、光通量等的传感器,其中最常用的是温度传感器,其次是压力、流量传感器。

按转换现象的范围可分为电化学传感器、电磁传感器、力学传感器和光应用传感器。

按材料可分为陶瓷传感器、有机高分子材料传感器、半导体传感器、气体传感器等。

按用途分为工业、民用、科研、医疗、农用、军用等传感器。

按功能用途分为计测用、监视用、检查用、诊断用、控制用、分析用等传感器。

1.3 传感器的特性与选用

1.3.1 传感器的特性

1. 静态特性

对传感器静态特性的基本要求是输入为0时,输出也应为0,输出相对于输入应保持一定的对应关系。

(1) 灵敏度与 S/N(信噪比)

选用传感器首要考虑的是灵敏度。如果达不到测量时所必需的灵敏度,这种传感器不能采用。但灵敏度高的传感器不一定是最好的传感器,这是因为它易受噪声的影响,除环境噪声外,还有来自传感器本身输出的噪声。因此,必须用信号与噪声的相互关系来全面衡量传感器。

传感器输出信号中的信号分量与噪声分量的平方平均值之比,称为信噪比(S/N)。S/N小,信号与噪声就难以分清,若 $S/N=1$,就完全分辨不出信号与噪声。因此,S/N至少要大于10。

(2) 线性

输入与输出量之间为线性比例关系,称为线性关系。然而理想线性关系的传感器极少,实际上大都为非线性关系,采用电子电路也不能使其完全线性化。此外,还有补偿电路、放大器、运算电路等引起的非线性。

(3) 时滞

当输入量增加到 X_1 ,如果输出量为 Y_1 ,再继续增加输入量然后减少到 X_1 ,这时输出量为 Y_2 。实际上输出量 Y_1 和 Y_2 不相等,有一定的差值,这一差值即为时滞(回差)。这样,输入与输出不是一一对应的关系。因此,要尽量选用时滞小的传感器。

(4) 环境特性

周围环境对传感器影响最大的是温度。目前,很多传感器材料采用灵敏度高,而信号易处理的半导体。然而,半导体对温度最敏感,实际应用时要特别注意。

除温度之外,还有气压、湿度、振动、电源电压及频率等都会影响传感器的特性。

(5) 稳定性

理想特性的传感器是加相同大小输入量时,输出量总是大小相同。然而,实际上传感器特性随着时间的变化而变化,因此,对于相同大小输入量,其输出量是变化的。连续工作时,即使输入量恒定,传感器输出量也会朝着一个方向偏移,这种现象称为温漂。需要注意的是,除传感器本身的温漂外,还有安装传感器元件的机构的温漂以及电子电路的温漂。

(6) 精度

精度是评价系统的优良程度。精度分为准确度和精密度。所谓准确度就是测量值对于真值的偏离程度,为修正这种偏差需要进行校正,完全校正是很麻烦的。因此,使用时需尽可能地减小误差。

所谓精密度就是即使测量相同对象,每次测量也会得到不同测量值,即为离散偏差。精密度高的传感器价格也高,使用时注意不要弄坏。

2. 动态特性

传感器要检测的输入信号是随时间而变化的,传感器的特性应能跟踪输入信号的变化,这样才可以获得准确的输出信号。如果变化太快,就可能跟踪不上。这种跟踪输入信号变化的特性就是响应特性,即为动态特性。动态特性是传感器的重要特性之一。

1.3.2 传感器的选用

传感器千差万别,即便对于相同种类的测定量也可采用不同工作原理的传感器,因此,要根据需要选用最适宜的传感器。

1. 测量条件

如果误选传感器,就会降低系统的可靠性。为此,要从系统总体考虑,明确使用的目的,绝对不要采用不适宜的传感器。测量条件列举如下:测量目的、测量量的选定、测量的范围、输入信号的带宽、要求的精度、测量所需要的时间、输入发生的频繁程度等。

2. 传感器的性能

选用传感器时,要考虑传感器的下述性能:精度、稳定性、响应速度、模拟信号或者数字信号、输出量及其电平、被测对象特性的影响、校准周期、过输入保护等。

3. 传感器的使用条件

传感器的使用条件有设置的场所、环境(湿度、温度、振动等)、测量的时间、与显示器之间的信号传输距离、与外设的连接方式以及供电电源容量等。

传感器的种类繁多,应用的场合也各式各样,用户在使用传感器之前应特别注意阅读说明书。现把传感器一些常见的使用注意事项总结如下:精度较高的传感器都需要定期校准,一般来说,须3~6个月校准一次;传感器通过插头与供桥电源和二次仪表连接时,应注意引线号不能接错;各种传感器都有一定的过载能力,但使用时尽量不要超过量程。在搬运和使用中不应碰传感器的探头处;传感器不使用时,应存放在温度为10~35℃、相对湿度不大于85%RH、无酸、无碱和无腐蚀性气体的室内。

1.4 传感器的发展

传感器技术将是21世纪人们在高新技术发展方面争夺的一个制高点,各发达国家都将传

感器技术视为现代高新技术发展的关键。从20世纪80年代起,日本就将传感器技术列为优先发展的高新技术之首,美国等西方国家也将此技术列为国家科技和国防技术发展的重点内容。我国从20世纪80年代以来也已将传感器技术列入国家高新技术发展的重点。21世纪是人类全面进入信息电子化的时代,作为现代信息技术的三大支柱之一的传感器技术必将有较大的发展。有专家认为,我国今后传感器方面的研究和开发方向应是:微电子机械系统、汽车传感器、环保传感器、工业过程控制传感器、医疗卫生和食品业检测传感器、新型敏感材料等。

下面将传感器的发展概括为以下几个方面。

1. 结构型传感器

结构型传感器主要向高稳定性、高可靠性和高精度方向发展。目前,在国防工业和工业控制领域还大量使用结构型传感器,但是结构型传感器在原理、材料和结构形式等方面都不断发生变化,并且向有源化方向发展,即将敏感元件和电路组装在一起,减小装置体积,提高信噪比和精度。结构传感器由于采用新结构、新材料和新工艺,可大幅度提高传感器的性能。

2. 向小型化、集成化方向发展

由于宇航和航空技术的发展以及医疗器件的需要,传感器必须向小型化方向发展,以便减小体积和重量。而小型化的基础是集成化,它分为传感器本身的集成化和传感器与后续电路的集成化。现已有集成磁敏传感器、集成功率敏传感器、集成温敏传感器、集成光敏传感器和集成场效应离子敏传感器等。集成化传感器由低级发展到高级,把各种调节和补偿电路与传感器集成在一起,降低了对环境的要求,提高了信噪比和精度。目前集成化传感器主要使用硅材料,它既可以制作电路,又可制作磁敏、力敏、温敏、光敏和离子敏器件。在制作敏感元件时要采用单晶硅的各向同性和各向异性腐蚀、等离子刻蚀、离子注入等工艺,利用微机械加工技术在单晶硅上加工出各种弹性元件。目前,发达国家正在把传感器与电路集成在一起进行研究。

3. 智能传感器

将传统的传感器和微处理器及相关电路组成一体化的结构就是智能传感器。智能传感器可以分为三种类型,即具有判断能力的传感器,具有学习能力的传感器和具有创造能力的传感器。智能传感器具有以下功能:①具有自校准功能。操作者输入零值或某一标准量值后,自校准软件可以自动地对传感器进行在线校准。②具有自补偿功能。智能传感器在工作中可以通过软件对传感器的非线性、温度漂移、响应时间等,进行自动补偿。③具有自诊断功能。智能传感器在接通电源后,可以对传感器进行自检,检查各部分是否正常。在内部出现操作问题时,能够立即通知系统,通过输出信号表明传感器发生故障,并可诊断发生故障的部件。④具有数据处理功能。智能传感器可以根据内部的程序,自动处理数据,例如进行统计处理,剔除异常数值等。⑤具有双向通信功能。智能传感器的微处理器与传感器之间构成闭环,微处理器不但接收、处理传感器的数据,还可以将信息反馈至传感器,对测量过程中进行调节和控制。⑥具有信息存储和记忆功能。⑦具有数字信号输出功能。智能传感器输出数字信号,可以很方便地和计算机或接口总线相连。

智能传感器按其结构分为模块式智能传感器、混合式智能传感器和集成式智能传感器等三种。模块式智能传感器是初级的智能传感器,它是由许多互相独立的模块组成的。将微计算机、信号处理电路模块、输出电路模块、显示电路模块和传感器装配在同一壳体内,组成模块式智能传感器。这种传感器的集成度不高、体积较大,但它是一种比较实用的智能传感器。混合式智能传感器是将传感器、微处理器和信号处理电路制作在不同的芯片上。目前,它作为智能传感器的主要类型而被广泛应用。集成式智能传感器是将一个或多个敏感元件与微处理器、

信号处理电路集成在同一芯片上。它的结构一般是三维器件,即立体器件。这种结构是在平面集成电路的基础上,一层一层向立体方向制作多层电路。它的制作方法基本是采用集成电路的制作工艺,例如光刻、二氧化硅薄膜的生成、淀积多晶硅、激光退火、多晶硅转为单晶硅、PN结的形成等,最终是在硅衬底上形成具有多层集成电路的立体器件,即敏感器件。同时,制作微电脑电路芯片的同时,还可以把太阳能电池电源制作在上面,这样便形成了集成式智能传感器。这种传感器具有类似于人的五官与大脑相结合的功能。它的智能化程度是随着集成化程度的提高而不断提高的。今后,随着传感器技术的发展,还将研制出更高级的集成式智能传感器,它完全可以做到将检测、逻辑和记忆等功能集成在一块半导体芯片上。同时,冷却部分也可以制作在立体电路中,利用帕耳帖效应来使电路进行冷却。目前,集成式智能传感器技术正在起飞,它势必在未来的传感器技术中发挥重要的作用。

第 2 章 温敏传感器

2.1 概 述

温度是与人类的生活、工作关系最密切的物理量,也是各门学科与工程研究设计中经常遇到和必须精确测定的物理量。从工业炉温、环境气温到人体温度;从空间、海洋到家用电器,各个技术领域都离不开测温 and 控温。因此,测温、控温技术是发展最快、范围最广的技术之一。

温敏传感器有各种类型,基本上分为接触式与非接触式两大类。接触式传感器就是温敏传感器与被测物体直接接触来测量其温度,这是测温的最基本方式。这种测温方式通过接触的被测物体的热量传给温敏传感器来进行测量,这种测温方式将使被测物体的温度降低,特别是被测物体较小时,这种作用尤为显著,从而不能进行精确的温度测量。因此,采用这种方式的前提条件是,被测物体的热容量同温敏传感器元件相比要足够大,也就是说,这种方式不适用于被测物体接触到温敏元件其温度就会降低的情形。

非接触测温方式通过测量来自被测物体的辐射的热量,可以远距离测量物体的温度,应用范围非常广。但这种测温方式常需要能够聚集辐射热能量的光学系统与各种辅助设备,因此一般来说,价格较贵。

实际测量物体的温度时,重要的是要根据使用目的、需要的测量精度、价格等方面选用适宜的温敏传感器。

表 2-1 列出了温敏传感器的类型,表 2-2 列出了各种温敏传感器的测温范围。测温范围会随测量条件不同而稍有差别,表 2-2 中标出的值只是一般的范围。

表 2-1 温敏传感器的类型

温敏传感器	接触式	铂电阻
		热敏电阻(NTC,PTC,CTR)
		热电偶
		集成温敏传感器
		双金属片
		晶体温敏传感器
	非接触式	水银、酒精温度计
		热电温敏传感器
		量子温敏传感器

表 2-2 温敏传感器的测温范围

传感器类型	测温范围
晶体温敏传感器	$-100^{\circ}\text{C} \sim 220^{\circ}\text{C}$
热敏电阻	$-200^{\circ}\text{C} \sim 880^{\circ}\text{C}$
集成温敏传感器	$-55^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$

(续表)

传感器类型	测温范围
铂电阻	$-180^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ $\alpha = +0.003916/^{\circ}\text{C}$
铜电阻	$0^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ $\alpha = +0.004250/^{\circ}\text{C}$
镍电阻	$-20^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$
双金属片	$0^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$
水银温度计	$-30^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$
酒精温度计	$-60^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$
热电偶 R(铂铑—铂热电偶)	$200^{\circ}\text{C} \sim 1400^{\circ}\text{C}$
热电偶 K(镍铬—镍铝热电偶)	$0^{\circ}\text{C} \sim 1000^{\circ}\text{C}$
热电偶 E(镍铬—康铜热电偶)	$-200^{\circ}\text{C} \sim 700^{\circ}\text{C}$
热电偶 J(铁—康铜热电偶)	$0^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$
光高温计	$800^{\circ}\text{C} \sim 2000^{\circ}\text{C}$
辐射温度计	$0^{\circ}\text{C} \sim 2000^{\circ}\text{C}$

选用温敏传感器的有关问题如下:

- (1) 要求输出电压(电流)相对于温度是线性关系时,请选用集成温敏传感器;
- (2) 要求较高的测温精度时请选用晶体温敏传感器;
- (3) 对于接触式温敏传感器,要求被测物体的热容量远远大于传感器的热容量;
- (4) 铂(铜)热电阻具有正温度系数;
- (5) 热敏电阻的阻值相对于温度呈对数变化;
- (6) 热敏电阻(NTC)在使用时要进行线性化,改善其特性;
- (7) 双金属片温度计可直接反映温度引起的机械变化;
- (8) 测量移动物体的温度请使用辐射式温度计;
- (9) 使用铂热电阻时需要消除引线(内阻)的影响;
- (10) 温敏传感器一般要求热时间常数小;
- (11) 非接触式传感器的测量精度难以达到 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以下;
- (12) 高温测量时要采用辐射温度计。

2.2 热电阻及其应用

2.2.1 热电阻的工作原理

热电阻是利用导体的电阻随温度变化的特性而制成的测温元件。因此,要求导体的温度系数尽可能地大和稳定,电阻率大,电阻与温度之间最好呈线性关系,并在较宽的范围内有稳定的物理化学性质。目前用得较多的热电阻材料有铂、镍和铜等。

1. 铂热电阻

铂热电阻的物理化学性能在高温和氧化性介质中很稳定,它能用做工业测温元件和作为

温度标准。铂热电阻与温度的关系是,在 $0\sim 630.74\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内为

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2) \quad (2-1)$$

在 $-190\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内为

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3] \quad (2-2)$$

式中 R_t 是温度为 $t\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的电阻; R_0 是温度为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的电阻; t 为任意温度; A 、 B 、 C 为温度系数。

它们的高次项很小,在 $0\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时最大非线性偏差小于 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。随着 R_0 不同, R_t 和 t 关系也不同,在工业应用上将相应于 $R_0=50\Omega$ 和 100Ω 的 R_t-t 关系制成分度表。表 2-3 列出了市售铂热电阻的特性参数。

表 2-3 铂热电阻特性参数(日本)

型号	标称阻值 (Ω)	允许误差 (%)	温度系数 ($0\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) (ppm/ $^{\circ}\text{C}$)	响应时间 (s)	散热系数 (mW/ $^{\circ}\text{C}$)	温度范围 ($^{\circ}\text{C}$)
TRFA 系列	100, 500, 1000	± 0.12 (A 类)	3850 ± 13 (B 类)	0.5(水中 0.4m/s) 50(空气中 1m/s)	6.2	$-50\sim +600$
TRFB 系列				0.4(水中 0.4m/s) 20(空气中 1m/s)	4.0	
TRRA 系列				5(水中 0.4m/s) 75(空气中 1m/s)	9.1	
TRRB 系列				3(水中 0.4m/s) 40(空气中 1m/s)	5.0	
TO 370A	1000	± 0.2	3500 ± 40	2(水中) 25(空气中)	3	$-50\sim +150$
TO 370B						$-50\sim +300$
TO 370C			3620 ± 40	1.5(水中) 10(空气中)		$-50\sim +300$

表 2-3 中,TR 系列有 A、B、C、D 类,允许误差各为 $\pm 0.06\%$ 、 $\pm 0.12\%$ 、 $\pm 0.24\%$ 、 $\pm 0.60\%$;温度系数各为 $3850\pm 5\text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 13\text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 13\text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 65\text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 。

2. 铜热电阻

当测量精度要求不高,测量范围不大时,可用铜热电阻代替铂热电阻,这样可降低成本。在 $-50\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,铜电阻与温度呈线性关系:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad (2-3)$$

式中 $\alpha=4.25\times 10^{-3}\sim 4.28\times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$,为铜热电阻的温度系数。

铜热电阻的缺点是电阻率低,体积大,热惯性大,在 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时易氧化。其他测温电阻还有钨电阻、锰电阻和碳电阻等。

2.2.2 热电阻的基本应用电路

铂热电阻的端子接线有三种不同的连接方式,如图 2-1 所示,即 2 线式、3 线式和 4 线式。铂热电阻是一种阻值随温度改变的温敏传感器,但实际使用时要把引线电阻计算在内,即与铂热电阻本身阻值相加。因此,2 线式适用于传感器在印制板上,即测量回路与传感器不太远的