

传感器实用电路 150 例

张福学 编著



中国科学技术出版社

371141

传感器实用电路 150 例

张福学 编著



中国科学技术出版社

内 容 提 要

本书介绍了 150 例传感器实用电路,包括光敏、色敏、遥控、热敏、湿敏、声敏、电量、位置、形状、物体有无、旋转和角度、加速度和振动、压力和力、流量和流速、液位和料位……等传感器的实用电路。

本书可供应用、生产和研究传感器的工程技术人员使用,亦可供中专和高等院校有关专业师生参考。

(京)新登字 175 号

传感器实用电路 150 例

张福学 编著

责任编辑:赵兰慧

封面设计:范惠民

中国科学技术出版社出版(北京海淀区魏公村白石桥路 32 号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京地质印刷厂印刷

*

开本:850×1168 毫米 1/32 印张:17 插页:10 字数:451 千字

1993 年 5 月第一版 1993 年 5 月第一次印刷

印数:1-2000 册 定价:18.80 元

ISBN 7-5046-1043-7/TP·44

前 言

当今传感器倍受重视,有关传感器的著作成了畅销书,《实用传感器手册》连印四次,《传感器敏感元器件大全》连印三次,《传感器电子学》连印二次,特别是实用传感器电路虽然还未成书,但《国际电子报》1992年1月13日至12月21日已连载了83例,《电子世界》、《电声技术》和《仪表技术与传感器》等刊物也相继连载。为方便读者,中国科学技术出版社决定出版该书。

书中第一、二、五和六章包括了编著者及其合作者新近的科研成果。北京信息工程学院李擎工程师撰写第一章及第二章中压电射流速率传感器实用电路,华中理工大学博士研究生陈占先撰写了第五章气体摆式倾角传感器实用电路、气体线性加速度传感器实用电路。中国电子工业总公司第四十九研究所李兴腾高级工程师提供了国内外主要传感器厂商的通信地址。

本书是大力协同的结果。中国电子工业总公司第二十六研究所刘一声和航空航天工业部一院李耀宗两位高级工程师分别提供了部分传感器实用电路日文译稿。中国船舶工业总公司第七〇五研究所徐娟娟,北京理工大学苏中、管卫群,西安交通大学阙文修、陈建强,华中理工大学李代勇、孙进喜,北京信息工程学院王丽坤、肖航、范茂彦、徐巍、罗亚华、沈丽英、朱蔚彤等同志参与撰写或审校了稿件。中国电子工业总公司第三研究所宝靖华和北京微量化学研究所管卫文同志审校了全书。在此,对诸位付出的辛勤劳动表示衷心的感谢!

由于编著者水平有限,书中谬误难免,敬请读者批评指正。

编著者

1992年12月19日

目 录

前言

第一章 传感器的信号处理..... (1)

§ 1.1 前言 (1)

§ 1.2 传感器静态误差补偿 (1)

1.2.1 修正非线性误差 (1)

1.2.2 零位补偿 (3)

1.2.3 零位温度漂移补偿 (4)

§ 1.3 滤波 (4)

§ 1.4 噪声抑制 (5)

1.4.1 差动法 (5)

1.4.2 平均响应法 (5)

1.4.3 调制和同步检波法 (6)

第二章 新型惯性角参数传感器实用电路..... (9)

§ 2.1 压电射流速率传感器的实用电路 (9)

2.1.1 压电射流速率传感器的工作原理 (9)

2.1.2 压电射流速率传感器实用电路 (10)

§ 2.2 气体速率传感器应用电路 (14)

§ 2.3 检测位移角的积分电路 (18)

2.3.1 角速度传感器 (18)

2.3.2 检测电路 (19)

2.3.3 主要用途 (20)

国内外传感器厂商名录 (22)

第三章 角位移和角度传感器实用电路 (23)

§ 3.1 磁阻元件的位移传感器电路 (23)

§ 3.2 磁方位传感器电路 (28)

国内外传感器厂商名录 (31)

第四章 转速传感器实用电路 (33)

§ 4.1 直流伺服系统中旋转编码器应用电路 (33)

4.1.1 近似正弦波输出型旋转编码器的应用原理 (33)

4.1.2 直流伺服系统应用实例 (34)

§ 4.2 反射型光传感器旋转电路 (37)

§ 4.3 集成光学断续器的传感器电路 (40)

§ 4.4 三相相转动方向检测电路 (43)

§ 4.5 光学编码器电路 (46)

§ 4.6 编码器电路 (48)

§ 4.7 光学轴编码器电路 (49)

4.7.1 升降脉冲发生电路 (51)

4.7.2 复位信号 (51)

4.7.3 倍频计数方式 (52)

4.7.4 微处理器接口 (52)

§ 4.8 旋转编码器检测转动方向的电路 (54)

国内外传感器厂商名录 (56)

第五章 惯性加速度与倾角传感器实用电路 (58)

§ 5.1 气体线性加速度传感器 (58)

5.1.1 前言 (58)

5.1.2 工作原理 (58)

5.1.3 结构 (60)

5.1.4 电路 (64)

5.1.5 性能 (65)

§ 5.2 气体摆式倾角传感器 (65)

5.2.1 前言 (65)

5.2.2 原理结构 (67)

5.2.3 电路 (68)

5.2.4 性能 (70)

§ 5.3 线性加速度电路 (70)

§ 5.4 伺服加速度计应用电路 (73)

国内外传感器厂商名录 (77)

第六章 振动加速度传感器实用电路 (80)

§ 6.1 PVDF 心音脉搏传感器 (80)

6.1.1	前言	(80)
6.1.2	PVDF 心音脉搏传感器的结构原理	(80)
6.1.3	心音脉搏传感器电路	(81)
6.1.4	性能	(82)
§ 6.2	加速度计电路	(84)
§ 6.3	振动传感器电路	(86)
§ 6.4	压电加速度传感器电路	(90)
§ 6.5	检测微振动的压电加速度传感器电路	(92)
§ 6.6	砂流检测电路	(96)
6.6.1	检测装置的原理	(96)
6.6.2	检测装置的结构	(97)
6.6.3	安装振动传感器注意事项	(97)
6.6.4	检测装置实际效果	(98)
§ 6.7	振动试验设备的电路	(98)
	国内外传感器厂商名录	(101)
第七章	线位移传感器实用电路	(102)
§ 7.1	电位计型位移传感器电路	(102)
§ 7.2	CCD 和激光位移计电路	(104)
	国内外传感器厂商名录	(109)
第八章	物位传感器实用电路	(110)
§ 8.1	超声波水平仪的构成及其电路	(110)
§ 8.2	超声波水平仪接收电路	(112)
§ 8.3	浸没式液面仪电路	(115)
	国内外传感器厂商名录	(120)
第九章	接近和距离传感器实用电路	(121)
§ 9.1	红外传感器电路	(121)
§ 9.2	接近传感器信号处理电路	(124)
§ 9.3	测距装置的信号处理电路	(126)
	国内外传感器厂商名录	(130)
第十章	孔径、表面缺陷和形状传感器实用电路	(132)
§ 10.1	检测孔中心位置的运算电路	(132)
§ 10.2	微小斑点光位置检测电路	(134)

§ 10.3	图像传感器的丝线缺陷检测电路	(139)
§ 10.4	光纤传感器检测形状的电路	(141)
§ 10.5	通用自动送料装置中检测零件的电路	(143)
§ 10.6	超声波传感器电路	(147)
§ 10.7	空间滤光器和边缘传感器电路	(154)
§ 10.8	接触传感器的尺寸检测	(156)
§ 10.9	工业电视摄像机数字电路	(158)
§ 10.10	超声波探伤和传感器电路	(160)
	国内外传感器厂商名录	(165)
第十一章 力敏传感器实用电路		(167)
§ 11.1	金属电阻应变片电路	(167)
11.1.1	金属电阻应变片	(167)
11.1.2	原理构造	(167)
11.1.3	应变片的安装方法	(169)
11.1.4	检测应变片的电路	(169)
11.1.5	应用应变片的变换电路	(170)
§ 11.2	简易流体压强计电路	(173)
§ 11.3	压力变换器信号的双线传输电路	(175)
§ 11.4	半导体压力传感器电路	(179)
§ 11.5	感压导电橡胶的开关电路	(181)
§ 11.6	应变片式压力变换器的传感器电路	(185)
§ 11.7	应变片的压力检测电路	(188)
§ 11.8	振动式压力传感器的振荡电路	(190)
§ 11.9	6轴力传感器的电路	(193)
11.9.1	内部构成	(193)
11.9.2	规格和性能	(196)
11.9.3	外部电路及应用注意事项	(196)
11.9.4	应用系统的构成	(197)
§ 11.10	电子差压传送电路	(198)
11.10.1	工作原理	(198)
11.10.2	电路构成	(199)
11.10.3	中差压产品性能	(200)
§ 11.11	扩散型半导体压力变换器的传感器电路	(201)

§ 11.12 图像传感器的张力检测电路	(202)
11.12.1 基本动作和系统构成	(203)
11.12.2 检测电路	(203)
11.12.3 设计要点	(205)
国内外传感器厂商名录	(206)
第十二章 声敏传感器实用电路.....	(207)
§ 12.1 前置放大器电路	(207)
12.1.1 加速度传感器	(207)
12.1.2 电压前置放大器	(208)
12.1.3 电荷前置放大器	(209)
12.1.4 压电型微音器	(210)
§ 12.2 录音电平显示电路	(212)
§ 12.3 声发射传感器电路	(214)
国内外传感器厂商名录	(219)
第十三章 光敏传感器实用电路.....	(221)
§ 13.1 MOS 图像传感器电路	(221)
§ 13.2 照度计电路	(224)
13.2.1 关于照度的说明	(224)
13.2.2 照度计原理	(224)
13.2.3 照度计电路	(225)
13.2.4 设计照度计的考虑	(226)
13.2.5 光电流的预测计算	(226)
§ 13.3 采用硅光电二极管的测光电路	(228)
§ 13.4 反射光强度的检测电路	(232)
§ 13.5 CCD 图像传感器电路	(235)
§ 13.6 热电探测器电路	(241)
§ 13.7 发光二极管工作电路	(243)
13.7.1 基本工作电路	(243)
13.7.2 传感器应用例	(243)
§ 13.8 输出变换器内装型红外检测电路	(247)
§ 13.9 傅里叶变换型红外分光光度计中的检测电路	(252)
§ 13.10 紫外探测器电路	(255)
§ 13.11 荧光玻璃剂量计的荧光检测系统电路	(259)

国内外传感器厂商名录	(264)
第十四章 色敏传感器实用电路.....	(265)
§ 14.1 彩色传感器信号处理电路	(265)
14.1.1 半导体彩色传感器	(265)
14.1.2 应用和信号处理电路	(267)
§ 14.2 半导体彩色识别传感器电路	(270)
§ 14.3 彩色传感器电路	(273)
§ 14.4 非晶态彩色传感器电路	(282)
14.4.1 非晶态彩色传感器	(282)
14.4.2 检测系统的构成	(283)
14.4.3 三色识别电路	(283)
国内外传感器厂商名录	(284)
第十五章 光传播实用电路.....	(287)
§ 15.1 遥控电路	(287)
§ 15.2 光纤和光无线两用红外线遥控电路	(287)
§ 15.3 光纤用电路	(292)
国内外传感器厂商名录	(295)
第十六章 热敏传感器实用电路.....	(297)
§ 16.1 热敏电阻温度—电压变换电路	(297)
16.1.1 电路分析	(297)
16.1.2 实用电路	(299)
§ 16.2 热敏电阻器电路	(300)
§ 16.3 铂测温电阻电路	(304)
16.3.1 电路设计	(305)
16.3.2 二线式	(305)
16.3.3 三线式	(306)
16.3.4 四线式	(307)
§ 16.4 温度检测电路	(307)
§ 16.5 IC 温度传感器的温度控制系统电路	(311)
§ 16.6 LED 发光输出的温度补偿电路	(315)
§ 16.7 三种热电偶的电子式冷端补偿器电路	(316)
§ 16.8 红外线传感器的温度检测电路	(319)

§ 16.9 红外线温度计控制电路	(322)
16.9.1 基本原理	(322)
16.9.2 传感器部分	(323)
16.9.3 放大部分	(323)
16.9.4 同步整流部分	(324)
16.9.5 温度补偿部分	(326)
16.9.6 加法部分	(326)
国内外传感器厂商名录	(329)
第十七章 磁敏传感器实用电路.....	(331)
§ 17.1 磁阻元件的磁带末端检测电路	(331)
17.1.1 磁阻元件	(331)
17.1.2 磁带末端检测电路	(331)
17.1.3 波形处理用 IC	(332)
§ 17.2 霍尔器件检测物体的电路	(332)
§ 17.3 半导体磁性传感器的识别传感器电路	(338)
国内外传感器厂商名录	(342)
第十八章 气敏传感器实用电路.....	(344)
§ 18.1 气体传感器自动通风扇电路	(344)
§ 18.2 红外线分析计高炉气体检测电路	(346)
§ 18.3 热线式热传导率气体传感器应用电路	(350)
§ 18.4 热敏电阻应用电路	(353)
§ 18.5 热线型半导体传感器的应用电路	(355)
18.5.1 热线型半导体气体传感器的工作原理	(355)
18.5.2 气体泄漏探测器的结构	(355)
18.5.3 V/F 变换器电路	(356)
18.5.4 主振荡电路	(357)
18.5.5 吸引泵	(358)
18.5.6 防爆性	(359)
§ 18.6 气体传感器应用电路	(360)
§ 18.7 气体泄漏检测电路	(363)
§ 18.8 毒性气体传感器应用电路	(365)
§ 18.9 便携式缺氧监控器电路	(369)
§ 18.10 医用氧气计电路	(372)

国内外传感器厂商名录	(374)
第十九章 湿度和水份传感器实用电路.....	(375)
§ 19.1 HPR 传感器检测电路	(375)
§ 19.2 温度传感器的湿度检测电路	(377)
§ 19.3 低湿度检测电路	(379)
§ 19.4 绝对湿度传感器	(382)
§ 19.5 绝对湿度传感器和热敏电阻温度传感器电路	(387)
§ 19.6 露点传感器电路(Ⅰ)	(390)
§ 19.7 露点传感器电路(Ⅱ)	(394)
19.7.1 特性	(394)
19.7.2 电路例	(394)
国内外传感器厂商名录	(398)
第二十章 电量传感器实用电路.....	(400)
§ 20.1 静电电容式传感器电路	(400)
§ 20.2 停止振荡检测电路	(401)
§ 20.3 检测电流的传感器电路	(405)
20.3.1 工作原理	(406)
20.3.2 基本连接例	(406)
20.3.3 应用例	(408)
§ 20.4 判别电阻值的电路	(408)
§ 20.5 数字限制器电路	(413)
国内外传感器厂商名录	(418)
第二十一章 流速和流量传感器实用电路.....	(419)
§ 21.1 超声波水平仪(流量线性输出)用折线近似电路	(419)
§ 21.2 超声流量检测电路	(420)
21.2.1 工作原理	(420)
21.2.2 电路构成	(421)
21.2.3 技术规格	(422)
§ 21.3 电磁流量计电路	(425)
§ 21.4 热线式呼吸流量计电路	(429)
§ 21.5 热气流控制装置的电路	(431)
21.5.1 电路设计	(431)

21.5.2 电路概况	(432)
§ 21.6 伺服容积型流量计电路	(434)
21.6.1 差压检测信号	(434)
21.6.2 输出信号	(437)
国内外传感器厂商名录	(438)
第二十二章 检测位置的传感器实用电路	(440)
§ 22.1 记录位置的射束检测电路	(440)
§ 22.2 连续传动磁带的偏移检测电路	(443)
22.2.1 结构	(443)
22.2.2 工作	(443)
22.2.3 结果	(444)
§ 22.3 半导体位置检测元件的电路	(444)
§ 22.4 扭转检查修正装置和电路	(447)
§ 22.5 光学编码器电路	(451)
22.5.1 增量型编码器	(451)
22.5.2 绝对型编码器	(454)
国内外传感器厂商名录	(457)
第二十三章 检测有无的传感器实用电路	(458)
§ 23.1 光电二极管的光电传感器电路	(458)
§ 23.2 光纤传感器的光输出/脉冲变换电路	(460)
§ 23.3 人体检测用远红外传感器的构造和电路	(466)
§ 23.4 超声波振子电路	(469)
国内外传感器厂商名录	(475)
第二十四章 检测浓度、粒度和硬度的传感器实用电路	(477)
§ 24.1 浮游物浓度计电路	(477)
§ 24.2 油浓度检测电路	(479)
§ 24.3 导热传感器气体浓度计电路	(483)
§ 24.4 排气气体浓度检测电路	(487)
§ 24.5 光传感器离心沉降式粒度分布检测电路	(488)
§ 24.6 超声波硬度计线性电路	(491)
国内外传感器厂商名录	(495)
第二十五章 其他	(497)

§ 25.1	涡电流法的膜厚检测电路	(497)
25.1.1	铝条带防蚀铝膜厚检测	(498)
25.1.2	印刷电路板的铜箔膜厚检测	(498)
§ 25.2	桥式激励电源电路	(498)
§ 25.3	直流前置放大器的应变规放大电路	(503)
§ 25.4	电离箱检测器及其电路	(506)
§ 25.5	石英传感器和应用电路	(510)
25.5.1	石英温度传感器	(510)
25.5.2	石英压力传感器	(511)
25.5.3	石英湿度传感器	(512)
25.5.4	方框图	(513)
25.5.5	电路例	(514)
参考文献		(516)
编著者新近著作		(519)

第一章 传感器的信号处理

§ 1.1 前 言

传感器获取的信号中常常夹杂噪声及各种干扰信号,若要准确地获取表征被检测对象特征的定量信息,必须对传感器检测到的信号进行处理。为了加速传感器的实用化,国内外在传感器信号处理方面作了大量工作,并发表了许多文章和专著。1984年日本的宫岛良一和吉田裕道共著了《センサと周辺回路》,1985年尾崎・弘和谷口慶治共著了《センサと信号処理》,1985年《センサ技術》出版了实用传感器电路专辑。1991年张福学编著出版了《传感器电子学》,其中第16~21章论述了传感器电路的噪声、模拟和数字信号处理、微机在信号处理中的应用及信号处理的设计例。

传感器信号处理一般是通过补偿、滤波和噪声抑制等方法来提高传感器的信噪比和改善分辨率。本章阐述这三种方法。

§ 1.2 传感器静态误差补偿

传感器的静态误差主要包括非线性误差、零位偏差和零位漂移误差。

1.2.1 修正非线性误差

一般传感器的特性,数学上可作为一个多变量函数来表达,即

$$y=f(x,t_1,t_2,\cdots) \quad (1.1)$$

其中 y 为传感器的输出; x 是被测物理量; $t_1, t_2, \dots$ 是环境参数, 如温度、湿度、振动和冲击等。通常, 这个函数是非线性的。为使传感器输出读数、计算和从应用系统中更换传感器简单化, 传感器特性必须线性化和标准化。

对于大多数传感器, 可通过传感器的封装技术来消除湿度、振动和冲击等环境因素对传感器的影响。例如, § 2.1 中介绍的压电射流速率传感器, 通过整体灌封和采用机械减震, 可防潮、防盐雾、防霉菌、耐振动和冲击, 抗过载能力达 16000g。但是, 温度对传感器性能的影响往往不易消除。在此, 我们只考虑环境温度 T 的影响, 将传感器的输出当作一个二元函数 $y=f(x, T)$ 来处理, 介绍修正传感器非线性误差的方法。

修正传感器输入—输出特性非线性和由温度引起的灵敏度变化的方法分硬件法(通过电路或机械修正)和软件法(利用计算机的运算功能进行修正)。前者实时性强, 但复杂, 不易实现。后者具有普遍意义, 在应用计算机的传感器系统中, 不必附加特殊的硬件, 但实时性稍差(随着高速微处理器的发展, 其实时性可满足应用要求)。

采用计算机修正非线性误差的原理框图如图 1.1 所示。传感器感受物理量 x , 输出 y 。 y 经接口电路变换为计算机可接收的 Y 。接口电路的类型取决于 y 的性质, 可用模拟/数字转换器(ADC)或频率/数字转换器(FDC)等。为了补偿由温度引起的非线性误差, 在传感器敏感元件内(或附近), 安装一个测温元件, 以感受传感器的工作环境温度 T 。测温元件的输出经 ADC 转换为与温度 T 有关的数字量 θ 。补偿后的传感器系统输出为 Y_c 。

为了修正传感器的非线性误差, 需要预先精确标定传感器, 即在一序列校准温度下, 测出 $x \sim y$ 的特性, 从而得到函数 $y=f(x, t)$ 。然后将此函数关系存贮在计算机的数据区或编入程序中。传感器正常工作时, 计算机接收未经修正的传感器输出 Y 和与环境温度一一对应的数字量 θ , 用一定的算法从预先存贮的 y 和 x, T 的函数关系中计算出与现时刻 Y, θ 对应的被测量 X (X 为 x 的数字量表达), 再乘

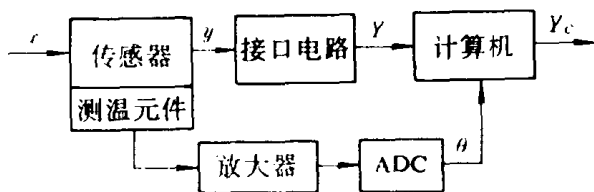


图 1.1 修正非线性误差的原理框图

以规定的比例系数 k , 即得到标准输出 $Y_c = k \cdot X$ 。

通常, 修正非线性误差软件的算法有分段插值修正法和整体拟合修正法, 这些方面在《计算方法》等有关书籍中有详细叙述, 本书不再赘述。

1.2.2 零位补偿

由于元件老化、电路参数不对称和其他不稳定因素, 传感器往往有零位输出(或称零位偏差)。在应用微计算机的传感器系统中, 零位补偿方法很简单。设传感器系统输出

$$y = kx + y_0 + y_c \quad (1.2)$$

式中 x 为被测物理量, k 为比例系数, y_0 为零位输出, y_c 为零位补偿量。传感器正常工作前(即准备时间内)进行零位贮存。其方法是: 使输入 x 和补偿量 y_c 为零, 这时传感器系统输出

$$y = y_0 \quad (1.3)$$

即为零位输出(模拟量或数字量)。将此零位输出(数字化后)暂存于计算机的存贮单元内, 并使补偿量

$$y_c = -y_0 \quad (1.4)$$

由式(1.2)和(1.4)可知, 传感器正常工作后,

$$y = kx \quad (1.5)$$

实现了零位补偿。

对于非电量的输入, 往往难以提供“零”输入信号。对于这类传感