

新编传感器电路设计手册

赵家贵 付小美 董平 主编

中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

新编传感器电路设计手册/赵家贵等主编. —北京: 中国计量出版社, 2002.9
ISBN 7-5026-1650-0

I. 新… II. 赵… III. 传感器-电路设计-手册 IV. TP212-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 042607 号

内 容 提 要

本书介绍了传感器电路的设计方法、元器件选用、抗电磁干扰和环境温度干扰等。其中, 除常用的通用和专用放大器外, 还对光检测, 声检测, 电量检测, 温度检测, 湿度检测, 气体检测, 位移和位置检测, 物体参数检测, 速度、转速检测, 加速度检测, 压力、力和重量检测, 流量检测, 液位检测, 生物参数检测, 医用和家电等十五类共 260 多种新型传感器电路作了介绍。

本书可供从事检测技术、仪器仪表研制工程技术人员和相关专业的大专院校师生工作用书和学习参考。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010)64275360

E-mail jlfxb@263.net.cn

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787 mm×1092 mm 16 开本 印张 26 字数 624 千字

2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月第 1 次印刷

*

印数 1-4 000 定价: 47.00 元

前 言

传感器作为获取信息的重要手段应用于各行各业。传感器电路则是对传感器输出微弱信号进行变换和预处理的必不可少的重要环节。随着传感技术和微电子技术的高速发展,用于各行各业的检测仪器、仪表或检测系统,不断涌现出新的技术或新产品:大量新出现的集成运算放大器得到了广泛地应用;很多性能优越的传感器电路被开发出来。同时,还需要自行设计特殊用途传感器电路和有更多的传感器电路供选用。我们试图从传感器电路设计和实际应用电路两个方面将本书奉献给从事检测技术、仪器仪表研究的工程技术人员和相关的大专院校师生。

本书突出了实用性和先进性。第一篇传感器电路设计,介绍了传感器电路的设计方法,重点介绍元器件选用、抗电磁干扰和抗环境温度干扰等设计实用技术;同时还介绍了一些常用的通用和专用的放大器。第二篇从使用的角度编入15类260多个性能优良的新型传感器电路,供读者选用。

本书第一篇的第一、二、三、七、八、九和第六章的部分由赵家贵教授编写;第四、五、六和第八章的部分内容由董平副教授编写。第二篇第一、七、八、九、十章部分由张硕生博士编写;第二、五、六、十一章部分由付小美副教授编写;第三、十四、十五、十六章部分由纪文刚副教授编写;第四、十二、十三章部分由魏文渊老师编写。本书在编写过程中参阅了一些书刊和杂志的电路资料,并且得到了中国计量出版社和北京科技大学、北京石油化工学院的专家和教授们的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平所限,书中有不当或错误之处,望读者批评指正。

编者
2002.2

目 录

第一篇 传感器电路设计

第一章 概述	(1)
1.1 传感器电路的作用及对它的要求	(1)
1.1.1 传感器电路的作用	(1)
1.1.2 对传感器电路的主要要求	(1)
1.2 传感器输出信号的类型与传感器电路的作用	(3)
1.2.1 传感器输出参数分类	(3)
1.2.2 传感器输出阻抗分类	(4)
1.3 传感器电路设计应考虑的问题	(4)
第二章 传感器电路的设计方法	(7)
第三章 元器件的选用	(8)
3.1 元器件的选用原则	(8)
3.2 半导体器件的选用	(9)
3.2.1 分立半导体器件的选用	(9)
3.2.2 集成电路的选用	(10)
3.3 电阻与电位器的选用	(10)
3.3.1 电阻的选用	(10)
3.3.2 电位器的选用	(12)
3.3.3 各类电阻、电位器性能	(12)
3.4 电容器的选用	(13)
3.5 电感器的选用	(16)
3.6 继电器的选用	(17)
3.7 电线、电缆的选用	(19)
第四章 基本放大器的设计	(20)
4.1 概述	(20)
4.1.1 运算放大器模型	(20)
4.1.2 运算放大器的技术指标	(21)
4.1.3 反馈的概念	(24)
4.2 反相放大器设计	(26)
4.3 同相放大器设计	(27)
4.4 差动放大器设计	(28)

第五章 常用函数运算电路	(29)
5.1 积分运算电路和微分运算电路.....	(29)
5.1.1 积分运算电路.....	(29)
5.1.2 微分运算电路.....	(31)
5.2 对数运算电路.....	(32)
5.3 指数运算电路.....	(34)
5.4 模拟乘法器.....	(35)
第六章 专用集成放大器的选择与应用	(38)
6.1 仪器放大器.....	(38)
6.1.1 仪器放大器概述.....	(38)
6.1.2 通用型放大器.....	(40)
6.1.3 高精度型放大器.....	(46)
6.1.4 低漂移(稳零)放大器.....	(57)
6.1.5 低噪声放大器.....	(64)
6.1.6 高输入阻抗放大器.....	(72)
6.1.7 高共模抑制比放大器.....	(77)
6.2 低功耗型放大器.....	(80)
6.3 高速度型放大器.....	(84)
6.4 宽带型放大器.....	(87)
6.5 可编程增益放大器.....	(90)
6.5.1 组成方案.....	(90)
6.5.2 可编程型放大器.....	(91)
6.6 隔离放大器.....	(98)
6.6.1 变压器耦合型放大器.....	(98)
6.6.2 电容耦合型放大器	(103)
6.6.3 光电耦合型放大器	(109)
6.7 电桥放大器	(114)
6.8 电荷放大器	(116)
第七章 传感器电路抗干扰设计.....	(119)
7.1 概述	(119)
7.1.1 干扰与噪声的区别	(119)
7.1.2 噪声形成干扰的三要素	(119)
7.2 干扰分析	(119)
7.2.1 干扰源	(119)
7.2.2 噪声的耦合方式	(123)
7.3 抑制电磁干扰的基本方法	(126)
7.3.1 消除或抑制噪声源	(126)
7.3.2 破坏干扰的耦合通道	(126)
7.3.3 消除接收电路对干扰的敏感性	(126)

7.3.4 采用软件抑制干扰	(126)
7.4 抑制电磁干扰的基本措施	(126)
7.4.1 屏蔽技术	(126)
7.4.2 接地技术	(129)
7.4.3 浮置技术	(131)
7.4.4 对称电路	(132)
7.4.5 隔离技术	(133)
7.4.6 滤波	(134)
7.4.7 脉冲干扰抑制	(136)
7.5 抗干扰设计举例	(137)
7.5.1 传输线抗干扰设计	(137)
7.5.2 印制电路板的抗干扰设计	(138)
7.5.3 A/D 转换中的抗干扰设计	(139)
7.5.4 传感器电路的屏蔽与接地设计	(141)
7.5.5 电源所致干扰的抑制	(142)
第八章 传感器电路的抗温度干扰设计	(144)
8.1 环境温度变化是不可避免的	(144)
8.2 环境温度变化对电路的影响	(144)
8.3 抗温度漂移的方法与设计	(145)
8.3.1 恒温法	(146)
8.3.2 选用温度系数小的元件或低漂移的运算放大器	(146)
8.3.3 电路补偿法	(146)
8.3.4 选用抑制温漂的放大电路	(148)
第九章 传感器电路供电电源	(150)
9.1 开关电源、串联稳压电源与集成稳压器	(150)
9.2 恒压源与恒流源	(151)
9.2.1 恒压源	(151)
9.2.2 恒流源	(154)

第二篇 传感器电路应用

第一章 光检测传感器电路	(155)
1.1 光敏电阻传感器应用电路	(155)
1.1.1 光敏电阻开关电路	(155)
1.1.2 光敏电阻报警电路	(156)
1.1.3 光检测器检测运动方向电路	(157)
1.1.4 光源方向探测电路	(158)
1.2 光电池应用电路	(159)
1.3 红外光传感器应用电路	(163)
1.4 激光传感器应用电路	(168)

1.5	光纤传感器应用电路	(169)
1.6	光敏二极管应用电路	(170)
1.7	光敏晶体管应用电路	(171)
第二章	声检测传感器电路	(174)
2.1	用脚步声控制的声光控照明节能开关电路	(174)
2.2	声光双控节能自动开关电路 (1)	(174)
2.3	声光双控节能自动开关电路 (2)	(175)
2.4	声光双控节能自动开关电路 (3)	(176)
2.5	声控音乐彩灯控制电路	(177)
2.6	声振动传感电子狗	(178)
2.7	超声波检漏电路	(179)
2.8	汽车倒车探测器	(180)
2.9	超声波数字测距电路	(181)
2.10	脉冲反射式测距电路	(183)
2.11	超声波接近传感器电路	(184)
2.12	超声波自控淋浴开关电路	(186)
2.13	声发射 (AE) 传感器探伤检测电路	(186)
第三章	电量检测传感器电路	(189)
3.1	电流检测传感器电路	(189)
3.2	电阻值判别电路	(191)
3.3	静电电容式传感器电路	(194)
第四章	温度检测传感器电路	(196)
4.1	热电阻及其应用电路	(196)
4.2	热电偶及其应用电路	(203)
4.3	热敏电阻及其应用电路	(210)
4.4	PN 结温度传感器及其应用电路	(212)
4.5	集成温度传感器及其应用电路	(214)
4.6	温敏可控硅及其应用电路	(218)
4.7	红外热辐射温度仪	(219)
第五章	湿度检测传感器电路	(222)
5.1	ZHG 型湿敏电阻及其应用	(222)
5.2	H104R 型湿度传感器及其应用	(223)
5.3	HPR 传感器检测电路	(224)
5.4	CGS—2 型湿度传感器及其应用	(225)
5.5	CGS—H 型传感器的低湿度检测电路	(225)
5.6	MC—2 型电容式湿度传感器及其测量电路	(226)
5.7	HOS—104 结露传感器及其应用	(227)
5.8	HOS—201 湿敏传感器及其应用	(228)
5.9	MS01—B 型传感器制作湿度检测控制电路	(228)

5.10	MOS1—1 型湿敏传感器及其应用	(229)
5.11	湿敏传感器交流市电测湿电路	(230)
5.12	粮食水分测量仪	(231)
5.13	湿敏传感器制作房间湿度控制器	(232)
5.14	采用湿敏电容的实用电子湿度开关	(234)
5.15	土壤湿度测量电路	(234)
5.16	HS15 湿敏传感器测湿电路	(235)
5.17	一种简单的湿度控制器	(236)
5.18	SMC-2 型湿度电压转换电路	(237)
5.19	电容式结露传感器测量电路	(238)
5.20	绝对湿度测量电路	(239)
5.21	便携式测湿电路	(239)
第六章	气体检测传感器电路	(242)
6.1	热线式热传导率氢气浓度计	(242)
6.2	热敏电阻式热传导率气体传感器电路	(243)
6.3	QM—N5 气敏传感器及其应用电路	(244)
6.4	可燃性气体检测电路	(245)
6.5	排气浓度检测电路	(245)
6.6	家用气体报警器	(247)
6.7	具有温度补偿的气体报警器	(247)
6.8	气体烟雾报警器 (1)	(248)
6.9	气体烟雾报警器 (2)	(248)
6.10	可燃气体报警器	(248)
6.11	CO 探测报警器	(250)
6.12	家用有毒气体探测报警器	(252)
6.13	烟雾报警器	(252)
6.14	CO ₂ 气体传感器检测电路	(253)
6.15	可燃性气体、毒性气体两用检测器电路	(254)
6.16	氧气浓度检测传感器及其实用电路	(255)
6.17	医用氧气计电路	(256)
6.18	易燃气体报警器	(257)
6.19	接触燃烧式传感器应用电路	(259)
6.20	恒电位电解式气敏传感器应用电路	(260)
第七章	位移和位置检测传感器电路	(261)
7.1	差动变压器式线性位移传感器应用电路	(261)
7.2	自感式位移传感器应用电路	(262)
7.3	电涡流式位移传感器应用电路	(264)
7.4	电容式位移和物位传感器应用电路	(264)
7.5	电阻式位移传感器应用电路	(266)

7.6	红外线传感器测长应用电路	(266)
7.7	光纤传感器位移应用电路	(268)
7.8	超声传感器位移应用电路	(269)
7.9	微波测厚应用电路	(272)
7.10	光电编码器应用电路	(273)
7.11	CCD 图像传感器应用电路	(275)
第八章	物体参数检测传感器电路	(279)
8.1	物体形状检测电路	(279)
8.2	物体探测电路	(280)
8.3	物体颜色检测电路	(283)
8.4	物体探伤应用电路	(284)
第九章	速度、转速检测传感器电路	(285)
9.1	磁电式转速传感器应用电路	(285)
9.2	涡流式转速传感器应用电路	(286)
9.3	霍尔式转速传感器应用电路	(287)
9.4	差动变压器测速应用电路	(289)
9.5	光电转换测速应用电路	(289)
9.6	热敏电阻式风速传感器应用电路	(289)
9.7	热线式风速传感器应用电路	(292)
9.8	液体流速传感器应用电路	(293)
第十章	加速度检测传感器应用电路	(294)
10.1	压电式加速度传感器应用电路	(294)
10.2	压阻式加速度传感器应用电路	(295)
10.3	伺服加速度传感器应用电路	(296)
10.4	单片 IC 加速度传感器应用电路	(299)
第十一章	压力、力和重量检测传感器电路	(301)
11.1	电阻应变式传感器放大电路	(301)
11.2	高精度压力传感器放大电路	(302)
11.3	半导体应变片压力传感器测量电路	(302)
11.4	压阻式压力传感器应用电路	(304)
11.5	数字压力测量仪	(305)
11.6	4~20 mA 压力变送器	(306)
11.7	压力传感器频率输出接口电路	(307)
11.8	压力变送器 4~20 mA 输出接口电路	(309)
11.9	MP×2000 系列压力传感器的频率输出接口电路	(310)
11.10	高压数字式压力表	(312)
11.11	谐振膜压力传感器测量电路	(313)
11.12	音叉振子压力传感器测量电路	(315)
11.13	采用力敏传感器的气压计	(317)

11.14	压力计放大处理电路	(317)
11.15	称重及声光报警电路	(318)
11.16	电阻应变式电子秤电路	(319)
11.17	数字式电子秤电路	(320)
11.18	手提式电子秤电路	(321)
11.19	吊钩电子秤电路	(323)
11.20	数字载荷仪	(325)
11.21	利用差动变压器测量压差电路	(326)
11.22	电子气压表检测电路	(327)
第十二章	流量检测传感器电路	(330)
12.1	光纤涡轮流量计及其电路	(330)
12.2	电磁流量计及其电路	(332)
12.3	温差液体流量计及其电路	(334)
12.4	伺服型容积流量计及其应用电路	(336)
12.5	霍尔传感流速测量仪及其电路	(337)
12.6	涡轮流量计及其电路	(340)
12.7	孔板流量传感器及其电路	(342)
12.8	热线风速计及其电路	(343)
第十三章	液位检测传感器电路	(346)
13.1	电容式传感器自动抽水系统及其电路	(346)
13.2	使用 A/D 转换器的液位测量/控制器及其电路	(347)
13.3	液面传感器及液面报警控制电路	(351)
13.4	水箱水位无线遥测自控装置及其电路	(352)
第十四章	医用传感器电路	(355)
14.1	由 INA115 构成的心电检测电路	(355)
14.2	隔离心电检测前置放大电路	(355)
14.3	心电图监测电路	(356)
14.4	采用 INA118 的人体心电图检测电路	(356)
14.5	理想的病人监护电路	(357)
14.6	红外线心率检测电路	(357)
14.7	手表式脉搏声光显示器	(360)
14.8	人体平衡感觉检测仪	(362)
第十五章	生物参数检测传感器电路	(364)
15.1	人体身高检测电路	(364)
15.2	多功能视力保护器电路	(364)
15.3	茶叶光电检梗机	(366)
15.4	鸡舍自动补光器	(370)
15.5	婴幼儿睡眠状况告知器	(371)
15.6	农作物防霜报警器	(373)

15.7	鱼缸水温自动调节器·····	(374)
15.8	粮食害虫检测报警器·····	(375)
15.9	蚊蝇克星电子纱门电路·····	(377)
15.10	植物生长测试仪·····	(379)
第十六章 家电传感器电路·····		(384)
16.1	具有自动控制排风扇和声光报警功能的报警电路·····	(384)
16.2	酒精检测报警控制器电路·····	(384)
16.3	烟雾报警器电路·····	(385)
16.4	多功能厨房专用报警控制器电路·····	(385)
16.5	电饭锅饭熟告知器·····	(386)
16.6	车后障碍物检测电路·····	(387)
16.7	自控沐浴开关电路·····	(388)
16.8	水开报知器·····	(389)
16.9	倒车防撞报警器电路·····	(390)
16.10	自动照明装置·····	(391)
16.11	简易红外线报警电路·····	(392)
16.12	人体移动检测电路·····	(393)
16.13	防盗报警电路·····	(393)
16.14	应急灯电路·····	(393)
16.15	带密码钥匙的光电锁电路·····	(394)
16.16	热电红外探测自控灯电路·····	(395)
16.17	摩托车速度表电路·····	(396)
16.18	室内照明灯远红外自控开关电路·····	(397)
16.19	红外线灯控开关电路·····	(397)
16.20	家用自动干手器的红外线控制电路·····	(398)
16.21	电冰箱关门自动语音提醒器电路·····	(399)
参考文献·····		(400)

第一篇 传感器电路设计

第一章 概 述

1.1 传感器电路的作用及对它的要求

1.1.1 传感器电路的作用

在工业生产过程中，产品质量和生产效率是衡量一切生产活动优劣的两项主要指标。为了获得生产的高效率和高质量，需要对生产过程进行检测和控制；为保证产品质量，必须对企业生产的产品进行检验；为提高生产率和实现自动化，还需要对生产设备的运行状况进行监测。现代化的高新技术、尖端技术，如大规模集成电路的生产、航天飞行器的发射与飞行更离不开精密的测量；人们的现代生活、办公器械也越来越多地依赖于测量，如家电、汽车、复印机等等，都装有数量不等的各种传感器，通过测量与控制使其能圆满地完成预定的功能。

测控系统一般由传感器、信号调理电路和执行机械组成；监测和信息采集系统一般由传感器，信号调理电路和显示或输出部分组成。不管是何种功能，传感器所获取的信号均需要经过信号调理电路进行处理。信号调理电路是将信号进行变换放大处理后、变成易于后续处理的较强信号的电路，人们一般称其为传感器电路。它是将传感器获取的信号变成为可直接应用信号的关键环节。

1.1.2 对传感器电路的主要要求

通常，传感器输出的电信号是微弱的，且与电路之间的连接具有一定的距离。例如，在典型的工业环境中，距离可达 3 m 以上，这时需要用电缆传送信号。由于传感器存有内阻，电缆也有电阻，所以这些电阻和放大电路等产生的噪声，以及环境噪声都会对放大电路造成干扰，而影响其正常工作。

应该指出的是，不同的传感器，不同的使用环境、不同的使用条件和使用目的，对传感器电路的要求也是不同的。但是可以这样说，传感器电路是一种综合指标很好的高性能放大电路。

在实际应用中，对传感器电路的要求，概括起来应具有准确度（精度）高、反应速度快、可调性、可靠性和经济性强等特点。

(1) 准确度（精度） 传感器电路具有高精度，是实现准确测量被测对象状态或参数的重要基础。为了实现高精度，电路应具备下列性能：

① 低噪声与高抗干扰能力 通常在实际测量中，在精确测得被测参数的微小变化时，传感器输出信号的变化往往是很微小的。为了保证高的测量精度，必须要求电路具有低噪声与高抗干扰能力，这里包括选用低噪声器件，合理安排电路，合理布线与接地，采取适当的隔离与屏蔽等。由于送到电路第一级的信号最小，因此，第一级电路需特别精心安排。要尽量缩短传感器到第一级电路的连线，前置放大器往往置入传感器内。

另外，采用具有高共模抑制比的电路，对抑制干扰也有重要作用，因为大多数干扰表现为共模干扰，它同时作用于差动电路的两个输入端，因此，采用高共模抑制比差动电路也能有效地抑制干扰。

② 低漂移、高稳定性 因为大多数电子元器件特性的原因，如放大器的失调电压与失调电流、晶体管与二极管的漏电流，都会受温度影响而在一定程度上发生变化，所以电路在工作中总有电流流过，并不可避免地会产生热量，从而使电路发生漂移。另外，外界温度的变化也会引起电路漂移。因此为了减小漂移，首先应选择温漂小，即对温度不敏感的元器件，其次应尽量减小电路的、特别是关键部分的温度变化。这里包括减小电路中的电流，让大功率器件远离前级电路，安排好散热等。

由于电路工作稳定是保证电路精度的首要条件，噪声与干扰会引起电路在短的时段内的工作不稳定，漂移使电路在1天或若干小时的中等时段内输出发生变化。所以电路长期工作的不稳定，元器件的老化、开关与接插件的弹性疲劳和氧化引起接触电阻变化等都是影响电路长期工作稳定性的主要原因。

③ 有合适的通频带 为使波形不失真要求电路在信号所占有的频带内，有良好的频率特性。

④ 线性 线性度是衡量一个仪器或电路精度的又一重要指标。从理论上讲，仪器或电路也可按非线性指标衡量其精度，输入与输出间具有非线性关系并不一定影响精度。但实际上在大多数情况下，为使用方便，要求它的输入与输出间应具有线性关系。

⑤ 有合适的输入与输出阻抗 即使电路完全没有误差，若将它用于某一测控系统中，仍然有可能给其系统带来误差。例如，若测量电路的输入阻抗太低，在接入电路后，就会使传感器的状态发生变化，所以从不影响前级的工作状态出发，要求电路应具有高输入阻抗。不过输入阻抗越高，输入噪声也越大，因此，合理的要求是使电路的输入阻抗与前级的输出阻抗相匹配。同样若电路的输出阻抗太大，在接入输入阻抗较低的负载后，也会使电路输出下降，所以要求电路的输出阻抗与后级的输入阻抗相匹配。

(2) 响应速度 响应速度是对传感器电路性能的一项重要要求。实时动态检测已成为测量技术发展的主要方向之一。这就要求传感器电路有良好的频率特性、较高的响应速度。

(3) 可调整性 对于传感器电路来说，用同一电路不但能适应不同的同类传感器，即要求电路的量程或增益可调，而且要求调整的范围大、操作方便。同时希望电路有简单的数据处理功能。

(4) 可靠性 作为实用的传感器电路，它的可靠性必须满足使用要求。电路可靠性的基础是元器件的可靠性。在元器件可靠性相同的情况下，电路使用的元器件越多、可靠性就越低，因此，简化电路结构是提高可靠性的有效办法。

(5) 经济性 具有优良的性能、低廉的价格，即高的性价比是大家共同追求的目标。在满足性能要求的前提下，尽可能地简化电路，合理设计电路和选用元器件，以图获得好的经

济效果。

1.2 传感器输出信号的类型与传感器电路的作用

1.2.1 传感器输出参数分类

(1) 电阻型 这类传感器是将被测量通过敏感元件转换为电阻的变化。如铂电阻、铜电阻温度传感器，是将被测温度转换为电阻值的变化；热敏电阻亦是将被测温度转换为半导体电阻值的变化；电阻应变式传感器是将被测的荷重（力、重量）、扭矩、转矩、拉力、张力、速度、加速度等转换为电阻应变片的阻值变化。

传感器电路的作用是将电阻的变化转换为易于测量的电参数，如用电桥将电阻变换成电压或电流输出；用振荡电路将电阻的变化转换成频率等。

(2) 电容型 这类传感器是将被测量通过敏感元件转换为电容的变化。如电容式线位移、角位移传感器使电容器极板位置的相对变化，从而改变电容量；电容式液位计将液位高度变化转换为电容量的变化；电容式荷重传感器通过弹性体的变形改变电容器极板相对位置使电容量变化；电容式振动传感器、加速度传感器、厚度传感器、同心度传感器、温度传感器亦是将被测量的机械振动、加速度、厚度、偏心度、湿度等转换为电容量的相应变化。

传感器电路的作用是将电容量的变化转换为易于处理的电压或电流信号，或通过振荡电路转换成频率信号。

(3) 电感型 这类传感器是将被测量通过敏感元件转换为电感量的变化。如电感式线位移、角位移传感器通过改变具有铁芯的电感的铁芯相对位置，使电感量随被测位移变化；速度、加速度传感器也是铁芯随速度、加速度变化使传感器电感量变化；电感式压力传感器则是弹性元件感受被测压力而产生变形，弹性体的机械变形带动传感器铁芯位移使电感量变化。

传感器电路的作用是将被测量的变化而产生的电感量变化变换为易于处理的信号形式，如采用电感电桥将电感量变化变换成电流或电压的变化；用振荡电路将电感量的变化转换成频率的变化。

(4) 互感型 这类传感器是将被测量通过敏感元件转换为互感的变化。如差动变压器式传感器，被测量通过机械部件的传递将被测量的变化转化为差动变压器铁芯的位移，使激磁绕组与测量绕组间的互感发生变化；电涡流式传感器是通过被测量的变化转化为测量线圈与被测物体之间的距离变化，使互感量产生变化，导致测量线圈的电感量变化等。

传感器电路的作用是将互感量或互感电势的变化，转换为易于处理的电压或电流变化，也可以将互感变化引起的电感量变化转换为电压、电流或频率变化。

(5) 电压（电势）型 这类传感器是将被测量通过敏感元件转换为电压或电势的变化。如热电偶，被测温度的变化通过热电偶感温转化为热电势的变化；光电池感受到温度（红外光）的变化后，将其转换为光电池输出电势的变化；霍尔元件可将被测的磁场强度或电流变化转换为霍尔电势的变化等。

传感器电路的作用是将这种微弱的电势或电压变化转变为较强的电压或电流变化。

(6) 电流型 这类传感器是将被测量通过敏感元件转换为电流的变化。如光敏二极管它

接收到被测光后，将光的变化转换为输出电流的变化；电流电离室，它接收到核辐射之后，将核辐射强度的变化转换为电离室输出电离电流的变化等。

传感器电路的作用是将由传感器输出的微弱电流进行放大，变换成较强的电压或电流。

(7) 电荷型 这类传感器是将被测量通过敏感元件转换成输出电荷的变化。如压电式传感器，敏感元件为石英或压电陶瓷等。可用于振动、加速度、涡街式流量计等等。压电片受力之后会转换为束缚电荷输出。

传感器电路的作用是将电荷的变化转换为较强的电压或电流输出，这种电路通常称之为电荷放大器。

(8) 脉冲（数字）型 这类传感器是将被测量通过变换转换成脉冲序列或数字信号。

传感器输出的数字信号分为三类：

① 增量码信号 增量码信号的特点是，被测量值与传感器输出信号的变化周期数成正比，即输出量值的大小由信号变化的周期数的增量决定。采用光栅、磁栅、激光干涉法等测量位移时，传感器输出的信号为增量码信号。

② 绝对码信号 绝对码信号是一种与被测对象的状态相对应的信号。如码盘，它的每一个角度方位对应于一组编码，这种编码称为绝对码。绝对码信号有很强的抗干扰能力，不管测量过程中发生什么情况，干扰过后，一种状态总是对应于一组确定的编码。

③ 开关信号 开关信号只有 0 和 1 两个状态，可视为绝对码只有一位编码时的特例。如行程开关、光电开关等传感器的输出就是开关信号。

传感器电路的作用，对于脉冲序列输出，它进行脉冲计数并转换所需的信号形成；对于编码信号，它是将编码输出转换成相应的数字信号。

1.2.2 传感器输出阻抗分类

传感器作为信号源向后接电路输出代表被测量变化的信号。从输出端看，信号源代表的两个参数，一是信号的强弱，二是信号源的内部阻抗（即输出阻抗）的大小。输出阻抗的大小决定了传感器电路的结构形式。

(1) 高输出阻抗型 这类传感器一般输出信号微弱、输出阻抗高。如压电式传感器，输出信号是微弱的电荷量，而输出阻抗高达 $10^8 \Omega$ 以上；电流电离室代表被测量变化的输出电离电流（nA 级），输出阻抗为电离室两极间的漏电阻。

传感器电路的作用有两方面：一是能吸收信号源的输出信号并进行一定变换和放大，将信号变换成电路易于处理的形式；二是阻抗变换，将传感器的高输出阻抗变换成低输出阻抗。这就要求传感器电路具有很高的输入阻抗和尽可能低的输出阻抗，同时还具有低噪声、低漂移、抗干扰能力强的特点。

(2) 低输出阻抗型 这类传感器的输出阻抗较低，输出信号形式多种多样。这种传感器的后接电路，它的作用一般是将信号不失真地变换成较强的电压或电流信号，在它的性能上对稳定性、抗干扰能力等方面考虑较多。

1.3 传感器电路设计应考虑的问题

传感器电路是检测系统的一部分。在整个检测系统中，传感器和传感器电路是关键部

分。传感器电路的设计受到传感器类型及其输出特性、外界环境等诸方面的制约，因此，在电路设计时要权衡各方面的条件，要考虑的问题有如下一些：

(1) 信号的放大 传感器的输出信号往往是一种微弱的信号，如 mV ， μV 甚至更弱，要把它变换成 V 级信号后才能后续电路进行处理，这就必须对它进行放大。在放大倍数的安排上，为了保证放大器的稳定性，第一级放大器的放大倍数不宜过高，一般设计在几十倍以下。在放大器的结构选择上，差动放大器比单端放大器更有利于抑制外来干扰。

(2) 阻抗的匹配 不同的传感器输出阻抗不同。对于低输出阻抗的传感器，传感器电路的输入阻抗没有特殊要求。对于高输出阻抗的传感器，则要求传感器电路的输入阻抗必须与之相适应，如压电式传感器，它的输出阻抗实际上是两电极间的漏电阻，一般在 $10^8 \Omega$ 以上，且输出信号又很弱，这就要求传感器电路的输入电阻必须在 $10^8 \Omega$ 以上才能吸收较多的传感器输出信号。这样高的输入阻抗，一般晶体管的输入电阻是达不到的，只有选用场效应管作为输入级才有可能实现。这时的放大器实际上已变成了阻抗变换器。

(3) 信号的变换 传感器的输出信号通过传感器电路变换成易于后续电路处理的形式。易于处理的信号，一般体现在有一定的电平要求（如 V 级）和信号形式（如电压或电流）两方面。传感器输出信号输出形式有多种多样，传感器电路要根据后续电路的要求进行形式的变换，如进行 $mV-V$ ， $I-V$ ， $f-V$ ， $V-f$ 等变换。

(4) 线性与准确度 传感器电路的功能之一是将传感器的输出信号准确地变换成易于处理的形式。对于模拟信号输出的传感器，传感器电路的线性要好，它的非线性误差必须小于测量误差。在电路设计上一是要选用满足线性要求的电路，二是要保证电路工作在线性范围之内。

(5) 动态响应与频率特性 用于快变信号检测的传感器电路，为了保证测量精度，其动态响应时间与频带宽度必须与之相适应。在电路设计时，一般要使电路的动态响应时间比传感器的动态响应时间短、电路的通频带宽度比传感器的通频带宽度宽，且留有一定的余量。

(6) 环境温度的影响与温度稳定性 环境温度的变化对组成传感器电路的元器件参数都会造成影响，使其特性发生变化，从而引起电路性能的漂移。在设计电路时，应对环境温度变化引起元器件参数的变化进行估算，以便采取相应的措施。通常采用的办法：一是选用低温系数或低温漂移的器件，二是采用温度补偿措施。

(7) 抗电磁干扰能力 外界电磁干扰客观存在。对于弱信号来说，即使外界干扰的量值不大，但它与信号值的相对比例也是很可观的。一旦干扰侵入，对测量造成的影响就是严重的。在电路设计时，首先要对干扰进行定量分析，进而采取有针对性的措施抑制进入电路的干扰。

(8) 稳定性与一致性 电路的稳定性或称漂移，它包括温度稳定性和随时间的漂移，表现在同一输入条件下，多次测量读数的不一致。在电路设计时，要采取措施减小这种不稳定性。常用的办法除采用温度补偿外，还需对元器件或电路进行老化处理。

(9) 可靠性与平均无故障时间、可维修性 检测系统的可靠性取决于传感器、传感器电路等各组成部分的可靠性。对于传感器电路而言，它的可靠性与平均无故障时间、可维修性则取决于各组成元器件的可靠性与平均无故障时间、可维修性。对于可靠性要求高的传感器电路，必须对每个元器件的可靠性参数逐一选定，并进行电路的可靠性参数核算；或根据传感器的可靠性指标，将其分解到每个元器件上，据此选择各种元器件。

(10) 可实现性 根据使用要求设计的传感器电路能否制做成实用的电路,除要考虑上述 9 个方面的问题外,还要考虑元器件的来源,尽量选用通用件或货源广的元器件;在结构设计上要避免内部干扰的形成;在制作工艺上要选择成熟的工艺等。

(11) 信号的传送方式 传感器信号的传送方式,大体上可分为四线式、三线式和两线式三种。这可根据传感器的种类和不同的需要来选择。

传感器的信号传送,分两种情况,即敏感元件与传感器电路间的信号传送和传感器电路之间的信号传送。对前一种情况,主要考虑敏感元件拾取的信号在传送中受导线电阻的影响,比如热敏电阻,如果热敏电阻较大且信号传递的距离较近,此时,导线电阻可以忽略不计,这时,用二线式传送就可以了;如热敏电阻较小,信号传送的距离又较远,就必须考虑导线电阻的影响,因此,需采用三线式或四线式信号传送方式,以消除导线电阻的影响。对后一种情况,传送的信号有电流信号和电压信号之分,如为电压信号,除了传送信号的两根线外,还需要有两根电源线,所以,也可称之为四线式;如为电流信号,只有两根导线就够了,因此,称之为二线式。由于电压信号易受导线电阻和干扰信号的影响,因此,多采用电流信号传送,即二线式传送方式。