



CHUANGANQISHIJIYINGYONGDIANLUSHEJI

黄贤武 郑筱霞 曲波 刘文杰 编著

CHUANGANQI

传感器实际应用电路设计

SHIJIYINGYONG



SHEJI
SHEJI

电子科技大学出版社



DIANZIKEJIDAXUECHUBANSHE

传感器实际应用电路设计

黄贤武 郑筱霞 编著
曲 波 刘文杰

电子科技大学出版社

内 容 提 要

本书按使用的物理量分类的方法,详细地介绍了温度、湿度、力、压力、流量、位移、位置、速度、加速度、气体浓度、厚度、硬度、物体缺陷、物体探伤、物体有无、图像等物理量和物体属性的测量电路或系统的设计,同时介绍了各种传感器的基本测量电路以及图像传感器 CCD 的原理与应用。这些物理量的测量电路几乎包括了各种机理的传感器。

本书所介绍的传感器的实际测量电路内容全面、丰富,实用性很强,参考或使用价值很高,能直接满足工业生产、科学研究、教学等方面的应用传感器电路的需要。本书可作为工程技术人员、科学研究人员、大、中专学校的教学参考书。

传感器实际应用电路设计

黄贤武 郑筱霞 编著
曲 波 刘文杰

*

电子科技大学出版社出版发行
(成都建设北路二段四号) 邮编 610054
电子科技大学出版社印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 14.875 字数 362 千字
版次 1997 年 6 月第一版 印次 1997 年 6 月第一次印刷
印数 1—4000 册
ISBN 7—81043—821—2/TN·76
定价:16.00 元

前 言

信息科学是众多科学领域中发展最快的一门科学,也是最具有发展活力的学科之一。信息科学中的四大环节(信息捕获、提取、传输、处理)是人们最关心,对社会发展和进步起着十分重要的作用的重要内容。信息捕获技术是信息科学最前端的一个“阵地”和手段,而信息捕获的主要“工具”就是传感器(技术),因此,全世界各国都赋予极大的重视,投以大量人力和财力进行传感器技术的研究和开发应用。传感器技术特别是在自动检测、自动控制、遥感遥测等领域中起着决定性作用。在现代信息社会中,从宇宙探索,到海洋开发;从生产过程的控制,到现代文明生活,几乎每一项现代科学技术,每一个生活项目都离不开传感器技术。在工业、农业、国防、科学等各个领域,传感器得到了广泛的应用,并呈现着极好的广阔前景。

传感器技术在我国已经有了 20 多年的研究和应用的历史,取得了巨大的成绩,对实现我国四个现代化无疑起着十分重要的作用。随着我国“科教兴国”战略方针的深入贯彻执行,对信息科学的要求越来越高,应用越来越普遍,当然,深入而又普遍地研究和应用传感器技术势在必行。为此,我们在电子科技大学出版社的大力支持和鼓励下,继《传感器原理与应用》(1995 年 5 月出版的规划教材)之后,编写了《传感器实际应用电路设计》一书。编写该书的重点放在各种传感器的实际应用电路设计上。因此,可以说该书是《传感器原理与应用》教材的姐妹篇。由于传感器实际应用面很广,一本书是无法囊括所有传感器的各种应用电路,所以,本书只选编了使用率高、典型性好的一些传感器的应用实例。为了方便广大读者使用传感器和选择相应的测量电路,本书采用了不同于《传感器原理与应用》一书的编写方法。《传感器原理与应用》是规划教材,采用了按传感器的机理分类方法编写,适当介绍其应用电路;而本书是以实际应用为目的的书,则按使用的物理量分类方法编写,适度归纳、叙述传感器的结构与原理,这样对读者使用传感器的测量电路的选择提供了方便性。

全书共十一章,概括了使用率高、典型性好的若干类传感器的实际应用电路的设计。第一、三章由郑筱霞编写,第五、八、九章由曲波编写,第四、六章由刘文杰编写,第二、七、十、十一章由黄贤武编写,并负责全书内容规划、统编等工作。本书得到了电子科技大学出版社的热情关心,周元勋编辑付出了辛勤劳动,在此表示衷心感谢。

由于本书涉及到传感器应用的电路较多,加之时间仓促和编者水平的限制,可能存在一些不足和错误之处,编者真诚地希望广大读者批评和指正。

编 者

1996 年 10 月于苏州

目 录

第一章 传感器基本应用电路

§ 1-1 电桥电路	1
§ 1-1-1 直流电桥	1
§ 1-1-2 交流电桥	3
§ 1-2 放大器	4
§ 1-2-1 反相比例放大器	4
§ 1-2-2 同相比例放大器	4
§ 1-2-3 电压跟随器	5
§ 1-2-4 差动放大器	5
§ 1-2-5 交流放大器	5
§ 1-2-6 反相加法器	6
§ 1-2-7 积分器	6
§ 1-2-8 微分器	6
§ 1-2-9 比较器	6
§ 1-2-10 对数放大器	7
§ 1-2-11 一阶有源低通滤波器	7
§ 1-2-12 仪用放大器	8
§ 1-2-13 高输入阻抗的仪用放大器	8
§ 1-2-14 带自动失调补偿的三运放测量放大器	9
§ 1-2-15 交流电桥的对称激励电源电路	10

第二章 温度传感器及其实用电路设计

§ 2-1 温度传感器类型与测温范围	11
§ 2-2 热电阻温度传感器及其实用电路设计	12
§ 2-2-1 常用热电阻及主要性能	12
§ 2-2-2 热电阻测量温度的几种接线法	14
§ 2-2-3 测温电阻的基本电路	16
§ 2-2-4 测温电阻的实用电路设计	19
§ 2-3 热电偶及其实用电路设计	23
§ 2-3-1 常用热电偶	23
§ 2-3-2 热电偶的基本电路	24
§ 2-3-3 热电偶温度测量系统设计举例	29

§ 2-4 半导体温度传感器及其应用电路	32
§ 2-4-1 二极管温度测量电路举例	32
§ 2-4-2 三极管温度传感器测温电路	33
§ 2-5 集成电路温度传感器及其应用电路	35
§ 2-5-1 几种常用的集成温度传感器性能	35
§ 2-5-2 集成温度传感器的典型应用电路	35
§ 2-6 热敏电阻温度传感器的应用电路	39
§ 2-6-1 热敏电阻温度传感器的类型	39
§ 2-6-2 热敏电阻的线性化	40
§ 2-6-3 热敏电阻应用电路	42
§ 2-7 石英温度传感器和应用电路	45
§ 2-7-1 石英晶体温度传感器的温度与频率关系	45
§ 2-7-2 石英晶体温度传感器的振荡电路	45
§ 2-7-3 石英晶体温度计电路举例	46
§ 2-8 热辐射温度计	48

第三章 湿度传感器的实用测量电路设计

§ 3-1 湿度传感器的类型	51
§ 3-2 低湿度检测电路	52
§ 3-3 阻抗式湿度传感器(UD-08、CGS-2 和 H104)的应用电路	53
§ 3-3-1 适用于 UD-08 和 CGS-2 型传感器的应用电路	53
§ 3-3-2 适合 H104R 型传感器的湿度-温度的测量电路	54
§ 3-4 电容式湿敏传感器的应用电路	55
§ 3-5 SMC-2 型湿度传感器转换电路设计	56
§ 3-6 一种简单的湿度控制器的设计	58
§ 3-7 露点传感器及其测量电路	59
§ 3-7-1 露点传感器	59
§ 3-7-2 结露传感器应用电路	60

第四章 力、压力测量传感器及其实用电路

§ 4-1 应变式电阻传感器	63
§ 4-1-1 电阻型应变片传感器的变换电路	63
§ 4-1-2 典型的桥路变换器	66
§ 4-1-3 应变片压力传感器的测量电路	67
§ 4-1-4 半导体应变片压力传感器测量电路的设计	70
§ 4-2 压阻式压力传感器的基本应用电路	71
§ 4-2-1 目前常用的压阻式传感器的特性	71
§ 4-2-2 压阻式压力传感器的典型应用电路	72

§ 4-3 振动式压力传感器的测量电路设计	73
§ 4-3-1 振弦式压力传感器及其测量电路	73
§ 4-3-2 谐振膜压力传感器及其测量电路	75
§ 4-3-3 石英谐振式压力测量系统	77
§ 4-3-4 音叉振子压力传感器及其测量电路	78
§ 4-4 利用差动变压器测量压差	79
§ 4-4-1 差动变压器的工作原理及测量电路	79
§ 4-4-2 利用差动变压器测量压差的实例	80
§ 4-5 利用电容传感器测量压差	80
§ 4-5-1 电容传感器的工作原理及测量电路	80
§ 4-5-2 电容传感器在测量压力中的具体应用	81

第五章 流量传感器及其实用电路

§ 5-1 电磁流量计及其实用电路	82
§ 5-1-1 工作原理	82
§ 5-1-2 应用电路	83
§ 5-2 容积式流量计	85
§ 5-2-1 工作原理	85
§ 5-2-2 伺服型流量计及其应用电路	85
§ 5-3 涡轮流量计	87
§ 5-4 涡流流量计	89
§ 5-4-1 工作原理	89
§ 5-4-2 应用电路	91
§ 5-5 超声波流量计	91
§ 5-6 多普勒超声流量计	94
§ 5-7 孔板流量传感器	95
§ 5-7-1 工作原理	95
§ 5-7-2 应用电路	96
§ 5-8 热线流量计	98
§ 5-9 热气流控制器电路	99

第六章 位移和位置传感器及其实用电路设计

§ 6-1 电感式位移传感器及其测量电路	103
§ 6-1-1 差动变压器式线性位移传感器及其测量电路	103
§ 6-1-2 自感传感器及其测量电路	107
§ 6-1-3 电涡流式传感器及其测量电路	112
§ 6-2 电容式传感器的位移和物位测量电路	114

§ 6-2-1 工作原理	114
§ 6-2-2 位移测量电路	114
§ 6-2-3 电容传感器的物位或液位测量电路	119
§ 6-3 光学固态图像传感器 CCD 的位移测量系统的设计思想	121
§ 6-4 编码式位移传感器及其应用电路	122
§ 6-4-1 接触式编码器	122
§ 6-4-2 脉冲盘式位移传感器	122
§ 6-4-3 光电式编码器	124

第七章 速度、加速度测量传感器的应用电路

§ 7-1 速度传感器的类型	126
§ 7-2 风速检测法及其应用电路	126
§ 7-2-1 热敏电阻式风速传感器的测量电路	127
§ 7-2-2 热线式风速传感器的应用电路	128
§ 7-2-3 离子式风速传感器及其测量电路	129
§ 7-3 液体流速传感器及其实用电路	131
§ 7-3-1 萨沃纽斯流速传感器及其测量电路	131
§ 7-3-2 电阻式旋桨流速传感器及其测量电路	132
§ 7-3-3 光电式流速传感器及其测量电路	134
§ 7-3-4 超声波流速传感器测量流速的方法	134
§ 7-4 加速度传感器的应用电路	138
§ 7-4-1 压电式加速度传感器及其应用电路	138
§ 7-4-2 压阻式加速度传感器的应用电路	141
§ 7-4-3 伺服加速度传感器的应用电路	144
§ 7-5 高灵敏度光纤加速度传感器的测量方法	146

第八章 气敏传感器及其实用电路设计

§ 8-1 概述	148
§ 8-2 家用风扇气体自动排放控制电路	151
§ 8-2-1 换气扇的自动控制电路	151
§ 8-2-2 吸排油烟机自动控制电路	151
§ 8-3 气体、烟雾报警器实用电路	153
§ 8-3-1 家用气体报警器	153
§ 8-3-2 具有温湿度补偿的气体报警器	153
§ 8-3-3 气体/烟雾报警器	154
§ 8-4 毒性气体传感器及其检测电路	155
§ 8-4-1 接触燃烧式传感器及其应用电路	155
§ 8-4-2 恒电位电解式传感器及其应用电路	157

§ 8-4-3 可燃性气体、毒性气体两用检测器电路	158
§ 8-5 氧气浓度检测传感器及其实用电路	159
§ 8-5-1 伽伐尼电池的工作原理	159
§ 8-5-2 便携式缺氧监视器电路	159
§ 8-5-3 医用氧气计电路	161
§ 8-6 热传导率气体传感器及其实用电路	162
§ 8-6-1 氢气浓度计检测电路	162
§ 8-6-2 热敏电阻式热传导率气体传感器电路	163
§ 8-6-3 CO ₂ 气体传感器检测电路	164
§ 8-7 热线型半导体燃气传感器及其实用电路	165
§ 8-8 简易气体色谱仪及其实用电路	167
§ 8-9 气敏传感器在汽车上的应用	169
§ 8-9-1 二氧化锆型氧气传感器	169
§ 8-9-2 二氧化钛型氧气传感器	171
§ 8-9-3 光电型散射光式烟雾浓度传感器	172
§ 8-10 氢焰离子化传感器及其实用电路	173
附录 部分常用气敏元件与传感器	175

第九章 厚度和硬度传感器及其实用电路

§ 9-1 差动式电感测厚仪及其实用电路	178
§ 9-1-1 结构和工作原理	178
§ 9-1-2 测厚仪电路图	178
§ 9-2 电容测厚仪及其实用电路	179
§ 9-2-1 电容式传感器基本工作原理	179
§ 9-2-2 应用电路	179
§ 9-3 采用涡流法的膜厚检测电路	181
§ 9-4 微波非金属厚度测量仪电路	182
§ 9-4-1 微波测厚原理	182
§ 9-4-2 应用电路	183
§ 9-5 红外薄膜厚度计	185
§ 9-6 红外纸张监控器	186
§ 9-7 超声厚度传感器	187
§ 9-8 超声数字测距仪	188
§ 9-8-1 工作原理	188
§ 9-8-2 应用电路	189
§ 9-9 超声硬度计的线性电路	191

第十章 物体探伤、缺陷和有无检测传感器及其应用电路

§ 10-1 红外无损探伤(仪)的工作原理	193
§ 10-2 超声波探伤传感器与检测电路	194
§ 10-3 声发射(AE)传感器探伤检测电路	196
§ 10-4 超声波诊断仪的工作原理	197
§ 10-4-1 A 型超声波诊断仪	197
§ 10-4-2 M 型超声波诊断仪	198
§ 10-4-3 B 型超声波诊断仪	199
§ 10-5 红外传感器的人体检测电路	199
§ 10-6 超声波传感器物体探测电路	200
§ 10-6-1 直接方式的探测电路	201
§ 10-6-2 反射方式的探测电路	203

第十一章 CCD 图像传感器及其应用电路设计

§ 11-1 CCD 的电荷存储和耦合(转移)	204
§ 11-2 电荷的输入和输出	206
§ 11-2-1 电荷的输入	206
§ 11-2-2 电荷输出	206
§ 11-3 三相线阵列 CCD DL40 型摄像传感器电路	207
§ 11-3-1 三相线阵列 DL40 摄像传感器的基本结构	207
§ 11-3-2 工作过程	208
§ 11-3-3 DL40 型线阵列 CCD 的驱动电路的设计	209
§ 11-4 RL2048 型线阵列 CCD 及其驱动电路的具体设计	211
§ 11-4-1 RL2048 的基本结构	211
§ 11-4-2 RL2048 的工作原理	213
§ 11-4-3 RL2048 的驱动电路的具体设计	213
§ 11-4-4 RL2048 型线阵列的输出电路	218
§ 11-4-5 几种典型线阵列 CCD 的特性参数	219
§ 11-5 面阵 CCD 图像传感器 DL32 的结构与工作原理	221
§ 11-5-1 结构	221
§ 11-5-2 工作原理	222
§ 11-5-3 DL32 的管脚及其特性参数	223
§ 11-5-4 DL32 型面阵 CCD 摄像机	224
§ 11-5-5 几种典型面阵 CCD 参数和几种 CCD 图像处理器	225

参考文献	228
------------	-----

第一章 传感器基本应用电路

传感器的应用是极广泛的,其应用电路也是多种多样的,尽管如此,但它们总有一些基本的共用电路。本章将介绍传感器应用中常用的电桥电路,各种各样的运算放大器以及有关电路,这也是读者应掌握的传感器最基础的应用电路。

§ 1-1 电桥电路

电桥电路有直流电桥和交流电桥两种。电桥电路的主要指标是桥路灵敏度、非线性和负载特性。下面具体讨论有关电路和这几项指标。

§ 1-1-1 直流电桥

一、平衡条件

直流电桥的基本形式如图 1-1 所示。 R_1, R_2, R_3, R_4 为电桥的桥臂电阻, R_L 为其负载(可以是测量仪表内阻或其它负载)。

当 $R_L \rightarrow \infty$ 时,电桥的输出电压 V_o 应为

$$V_o = E \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right)$$

当电桥平衡时, $V_o = 0$,由上式可得到

$$R_1 R_4 = R_2 R_3$$

或
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (1-1)$$

式(1-1)称为电桥平衡条件。平衡电桥就是桥路中相邻两桥臂阻值之比应相等,桥路相邻两臂阻值之比相等方可使流过负载电阻的电流为零。

二、不平衡状态

1. 单臂直流电桥^①

所谓单臂就是电桥中一桥臂为电阻式传感器,且其电阻变化为 ΔR_1 ,其它桥臂阻值固定不变,这时电桥输出电压 $V_o \neq 0$ (此时仍可视电桥为开路状态),则不平衡电桥输出电压 V_o 为

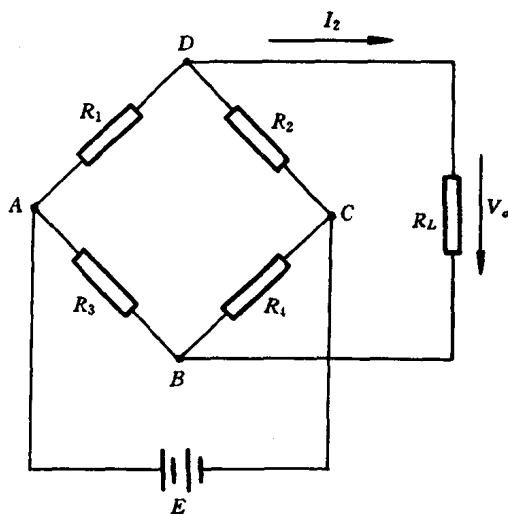


图 1-1

^① 详细计算见《传感器原理及应用》

$$V_o = \frac{\left(\frac{R_4}{R_3}\right)\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)}{\left(1 + \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{R_2}{R_4}\right)\left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)} E \quad (1-2)$$

设桥臂比 $n = \frac{R_2}{R_1}$ ，由于 $\Delta R_1 \ll R_1$ ，分母中 $\frac{\Delta R_1}{R_1}$ 可忽略，输出电压便为

$$V_o' = \frac{\left(\frac{R_4}{R_3}\right)\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)}{\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)} E$$

这是理想情况，式(1-2)为实际输出电压，由此可求出电桥非线性误差。实际的非线性特性曲线与理想线性曲线的偏差称为绝对非线性误差。则其相对非线性误差 r 为

$$r = \frac{V_o - V_o'}{V_o} = \frac{-\frac{\Delta R_1}{R_1}}{1 + \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{R_2}{R_1}} = \frac{-\frac{\Delta R_1}{R_1}}{1 + \frac{\Delta R_1}{R_1} + n} \quad (1-3)$$

由此可见，非线性误差与电阻相对变化 $\frac{\Delta R_1}{R_1}$ 有关，当 $\frac{\Delta R_1}{R_1}$ 较大时，就不可忽略该误差了。减小或消除非线性误差的方法有多种。有提高桥臂比 n ，采用高内阻的恒流源电桥，采用差动电桥等方法，具体请参阅《传感器原理及应用》一书。

下面来看电桥电压灵敏度 S_V 。在式(1-2)中，忽略分母中 $\frac{\Delta R_1}{R_1}$ 项，并且考虑到起始平衡条件 $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$ ，从式(1-2)可得到

$$V_o' \approx E \frac{n}{(1+n)^2} \frac{\Delta R_1}{R_1} \quad (1-4)$$

电桥的灵敏度定义为

$$S_V = \frac{V_o'}{\frac{\Delta R_1}{R_1}} \approx \frac{V_o'}{\frac{\Delta R_1}{R_1}} = \frac{n}{(1+n)^2} E \quad (1-5)$$

当 $n=1$ 时，可求得 S_V 为最大。也就是说，在电桥电压 E 确定后，当 $R_1=R_2, R_3=R_4$ 时，电桥电压灵敏度最高。此时可分别将式(1-2)、(1-3)、(1-4)、(1-5)简化为

$$V_o = \frac{1}{4} E \frac{\Delta R_1}{R_1} \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \frac{\Delta R_1}{R_1}} \quad (1-6)$$

$$r = \frac{-\frac{\Delta R_1}{R_1}}{2 + \frac{\Delta R_1}{R_1}} \quad (1-7)$$

$$V_o' \approx \frac{1}{4} E \frac{\Delta R_1}{R_1} \quad (1-8)$$

$$S_V = \frac{1}{4} E \quad (1-9)$$

由上面四式可知，当电源电压 E 和电阻相对变化 $\frac{\Delta R_1}{R_1}$ 一定时，电桥的输出电压，非线性误差，

电压灵敏度也是定值,与各桥臂阻值无关。

2. 差动直流电桥(半桥式)

若图 1-1 中直流电桥的相邻两臂为传感器,即 R_1 和 R_2 为传感器,并且其相应变化为 ΔR_1 和 ΔR_2 ,则该电桥输出电压 $V_o \neq 0$,当 $\Delta R_1 = \Delta R_2, R_1 = R_2, R_3 = R_4$ 时,则得

$$V_o = \frac{1}{2} E \frac{\Delta R_1}{R_1}$$

上式表明, V_o 与 $\frac{\Delta R_1}{R_1}$ 成线性关系,比单臂电桥输出电压提高一倍,差动电桥无非线性误差,而且电压灵敏度 S_V 为

$$S_V = \frac{1}{2} E$$

比使用一只传感器提高了一倍,同时可以起到温度补偿的作用。

3. 双差动直流电桥(全桥式)

若图 1-1 中直流电桥的四臂均为传感器,则构成全桥差动电路。若满足 $\Delta R_1 = \Delta R_2 = \Delta R_3 = \Delta R_4$,则输出电压和灵敏度为

$$V_o = E \frac{\Delta R_1}{R_1}$$

$$S_V = E$$

由此可知,全桥式直流电桥是单臂直流电桥的输出电压和灵敏度的 4 倍,是半桥式直流电桥的输出电压和灵敏度的 2 倍。

§ 1-1-2 交流电桥

交流电桥的供桥电源为交流电源 V_{AC} ,并把它加到电桥 A, C 两端,即把图 1-1 中直流电源 E 换成交流电源 V_{AC} ,输出电压 V_o 由 B, D 引出,它的四桥臂为电阻、电感、电容任意组合的复阻抗 Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 。

一、交流电桥平衡条件

交流电桥平衡条件分析与直流电桥相同,由此可得输出电压为

$$V_o = V_{AC} \frac{Z_1 Z_4 - Z_2 Z_3}{(Z_1 + Z_2)(Z_3 + Z_4)}$$

那么桥路平衡条件为

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3 \quad \text{或} \quad \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_3}{Z_4}$$

设各桥臂阻抗为

$$Z_1 = r_1 + jx_1 = |Z_1| \exp(j\varphi_1)$$

$$Z_2 = r_2 + jx_2 = |Z_2| \exp(j\varphi_2)$$

$$Z_3 = r_3 + jx_3 = |Z_3| \exp(j\varphi_3)$$

$$Z_4 = r_4 + jx_4 = |Z_4| \exp(j\varphi_4)$$

式中 $r_1 \sim r_4$ 和 $x_1 \sim x_4$ 分别为各桥臂的电阻和电抗; $|Z_1| \sim |Z_4|$ 和 $\varphi_1 \sim \varphi_4$ 为各复阻抗的模值和幅角,因此可得到交流电桥的平衡条件的另一形式为

$$\begin{cases} |Z_1| \cdot |Z_4| = |Z_2| \cdot |Z_3| & \text{或} & \frac{|Z_1|}{|Z_2|} = \frac{|Z_3|}{|Z_4|} \\ \varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3 \end{cases}$$

或

$$\begin{cases} r_1 r_4 - r_2 r_3 = x_1 x_4 - x_2 x_3 \\ r_1 x_4 + r_4 x_1 = r_2 x_3 + r_3 x_2 \end{cases}$$

二、交流电桥不平衡状态

1. 单臂交流电桥

其输出电压

$$\dot{V}_o = \frac{1}{4} \dot{V}_{AC} \frac{\Delta Z_1}{Z_1}$$

电压灵敏度

$$S_V = \frac{1}{4} \dot{V}_{AC}$$

2. 差动交流电桥(半桥式)

其输出电压

$$\dot{V}_o = \frac{1}{2} \dot{V}_{AC} \frac{\Delta Z_1}{Z_1}$$

电压灵敏度

$$S_V = \frac{1}{2} \dot{V}_{AC}$$

3. 双差动交流电桥(全桥式)

其输出电压

$$\dot{V}_o = \dot{V}_{AC} \frac{\Delta Z_1}{Z_1}$$

电压灵敏度

$$S_V = \dot{V}_{AC}$$

除了上述电阻式电桥电路外,还有电容式电桥电路,电感式电桥电路。它们的电路形式与电阻式电路一样,它们同样有半桥式和全桥式之分,只是电桥上传感器采用了电容式传感器和电感式传感器。它们的分析方法与电阻式类似,同样有平衡条件,不平衡状态下的输出电压 V_o ,电压灵敏度,负载特性,非线性等特性,这里不一一叙述,读者可自行推导。

§ 1-2 放 大 器

通常从传感器输出的信号是较微弱的,那么就必须对这样的信号作幅度处理和完成阻抗匹配、波形变换、噪声的抑制等要求,而这些都是放大器需要解决的问题。本节将对传感器的最常用的各种集成放大器作一概括的介绍。

§ 1-2-1 反相比例放大器

图 1-2 为反相比例放大器电路,其增益 K 和平衡电阻 R 的公式如下:

$$K = \frac{V_o}{V_i} = - \frac{R_F}{R_1}$$

$$R = \frac{R_F R_1}{R_F + R_1}$$

它反相输入,为电压并联负反馈电路。

§ 1-2-2 同相比例放大器

图 1-3 为同相比例放大器电路,其增益 K 为

$$K = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$$

它同相输入,为电压串联负反馈电路。

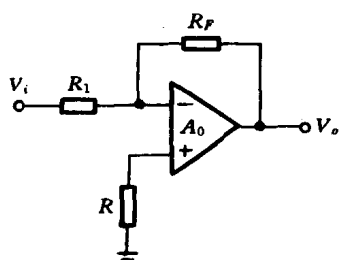


图 1-2 反相比例放大器

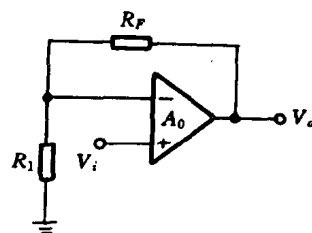


图 1-3 同相比例放大器

§ 1-2-3 电压跟随器

图 1-4 为电压跟随器电路,它是同相放大器的特殊情况, $R_F=0$ 。数增益为

$$K = \frac{V_o}{V_i} = 1$$

输入阻抗很高,输出阻抗较低。

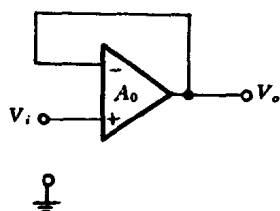


图 1-4 电压跟随器

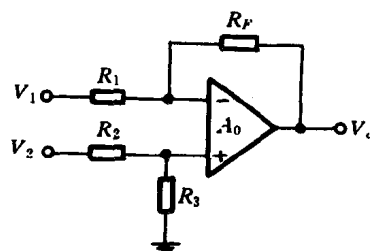


图 1-5 差动放大器

§ 1-2-4 差动放大器

图 1-5 为差动放大器电路。它差动输入,能求两个电压之差,也称减法器,其输出电压 V_o 为

$$V_o = \frac{R_F}{R_1}(V_2 - V_1)$$

当 $\frac{R_F}{R_1} = \frac{R_3}{R_2}$ 时,上式成立。

§ 1-2-5 交流放大器

图 1-6 为交流放大器电路。它反相输入,其电压增益为

$$K = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{Z_F}{Z_1}$$

式中

$$Z_1 = R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}$$

$$\frac{1}{Z_F} = \frac{1}{R_F} + j\omega C_F$$

$$R = \frac{R_F R_1}{R_F + R_1}$$

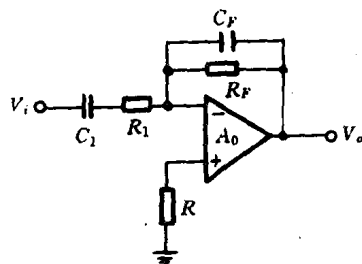


图 1-6 交流放大器

§ 1-2-6 反相加法器

图 1-7 为反相加法器电路。它反相多端输入,能求两个以上电压之和,是电压并联负反馈电路,其输出电压为

$$V_o = -R_F \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right)$$

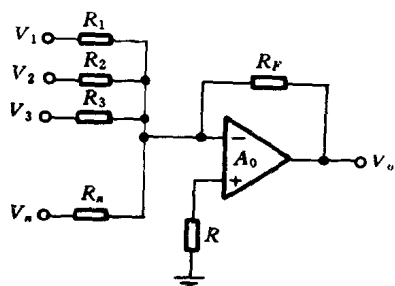


图 1-7 反相加法器

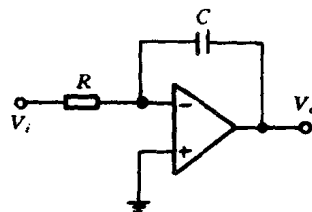


图 1-8 积分器

§ 1-2-7 积分器

图 1-8 为积分器电路。它反相输入,为电压并联负反馈电路,能对时变电压积分,其输出电压为

$$V_o = -\frac{1}{RC} \int V_i dt$$

或

$$\frac{V_o(S)}{V_i(S)} = -\frac{1}{SCR}$$

§ 1-2-8 微分器

图 1-9 为微分器电路。它反相输入,能对时变电压微分,是电压并联负反馈电路,其输出电压为

$$V_o = -RC \frac{dV_i}{dt}$$

或

$$\frac{V_o(S)}{V_i(S)} = -SCR$$

§ 1-2-9 比较器

图 1-10 为比较器电路。用作电平检测。其输出电压为

当 $V_2 \geq V_1$ 时, $V_o =$ 高电平;
 当 $V_2 < V_1$ 时, $V_o =$ 低电平。

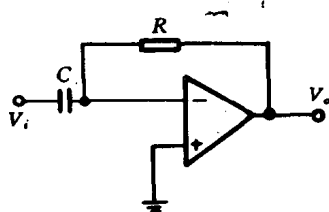


图 1-9 微分器

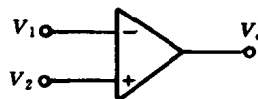


图 1-10 比较器

§ 1-2-10 对数放大器

图 1-11 为对数放大器电路。它反相输入, 为电压并联负反馈电路, 在较宽范围内可对输入正电压作对数运算, 其输出电压为

$$V_o = -V_T \ln \frac{V_i}{I_{ES} R_1}$$

式中: I_{ES} 为 BG 管的发射极反向饱和电流;

V_T 为温度的电压当量 $= \frac{KT}{q} = 26\text{mV}$ (当 $T=300\text{K}$ 时)。

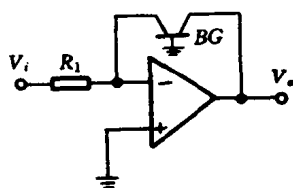


图 1-11 对数电路

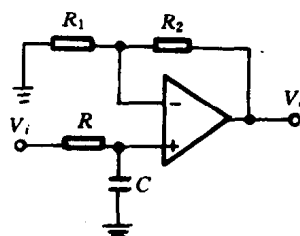


图 1-12 一阶有源低通滤波器

§ 1-2-11 一阶有源低通滤波器

图 1-12 为一阶有源低通滤波器电路, 它是由一节 RC 低通环节与一个同相放大器构成的, 它同相输入, 为电压并联负反馈电路, 该电路传递函数为

$$\frac{V_o(S)}{V_i(S)} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \frac{1}{1 + SCR}$$

图 1-13 为另一种一阶有源低通滤波器电路, 它是把 RC 放到运算放大器的反馈支路中构成的, 其传递函数可表示为

$$\frac{V_o(S)}{V_i(S)} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + SCR}$$

一阶高通滤波器电路可由图 1-12、图 1-13 中的 R 和 C 交换位置来组成。

为了获得更好的滤波效果, 可采用二阶有源滤波器, 三阶……的高阶有源滤波器电路, 这里不一一叙述。