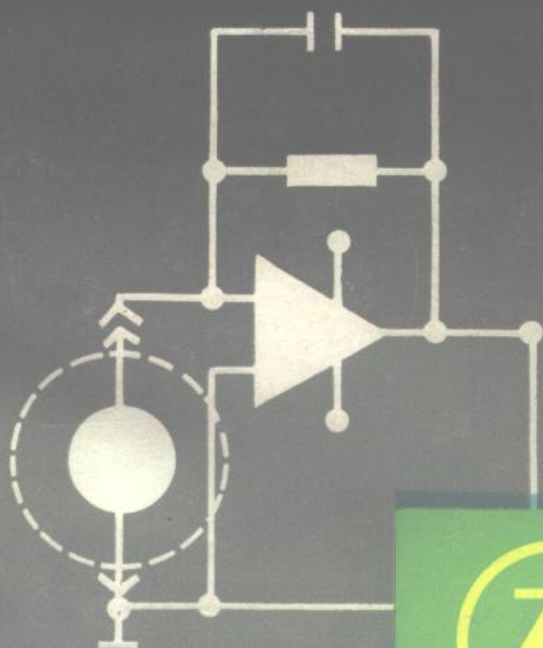




传感器实用电路

郭亨礼 林友德 编著



上海科学技术出版社

75072
546

传感器实用电路

郭亨礼 林友德 编著

上海科学技术出版社

(沪)新登字 108 号

传感器实用电路

郭亨礼 林友德 编著

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 13 字数 286,000

1992 年 4 月第 1 版 1992 年 4 月第 1 次印刷

印数 1—6,000

ISBN 7-5323-2670-5/TP·25

定价: 4.30 元

0029/50

内 容 提 要

本书简要地阐明传感器电路的设计和选用要点,详细讲述了传感器各种变换电路和线性化方法,列举了各类传感器的接口电路实例,对当前利用率最高,将来也有用的一些实用的传感器电路的原理和特点也作了介绍,可作为从事传感器设计、应用的工程技术人员在选用和设计传感器电路时的指南,也可作为高等院校教师和学生的参考书籍。

0029/50

前 言

随着现代工业生产自动化程度的提高,传感器技术已大量地应用于机械电子学、工厂自动化和过程检测控制系统,它能对工业生产过程中的温度、压力、力、液位、流量、湿度、成分等各种物理量进行测量,已成为这些领域技术进步的重要因素之一。

传感器是靠敏感元件和专用电路组合而发挥其功能的,因此,传感器技术确切地讲是敏感技术与其相当的电路技术两部分组成的。在应用传感器过程中,当前最需要解决的问题之一是如何选用和设计传感器电路,好的传感器电路不仅能使其正常工作,还能克服传感器本身的不足,并扩展其功能,使传感器特性得到充分发挥。此外,为使传感器的输出满足后接的标准模拟电路的要求,必须在二者之间加入接口电路。为抑制噪声,提高测量精度,还需对传感器及其接口电路的输出进行信号处理。本书稿在编写中注意了科学性和实用性,对传感器电路基础及信号处理作了简明扼要的介绍,并从国内外多种多样实用的传感器电路中精心挑选了100多种当前利用率最高,而将来也有用的电路,对其原理、特点及其使用作了详细的介绍,以作为各技术领域人员在应用传感器时设计和选用电路的指南。

本书部分章节曾于1987年末起连续刊于《仪表技术与传感器》,得到了广大读者的好评,希望本书的出版能给读者带来更大的收益。

本书第一章的第一、二、三节和第三章由郭亨礼教授编写、第二章和第一章四、五、六节由林友德教授编写、另外朱超英、密国光同志也参加了第三章的编写工作，全书由林友德教授审阅。

编者：1991年5月

目 录

第一章 传感器电路基础	1
第一节 运算放大器	1
一、运算放大器的工作原理与基本性质	1
二、运算放大器的主要参数	7
三、运算放大器的频率特性	10
四、运算放大器稳定工作的条件及相位补偿技术	14
五、运算放大器在模拟运算中的应用	21
第二节 滤波器	50
一、一阶 RC 有源滤波器	51
二、二阶 RC 有源滤波器	62
三、数字滤波器(软件滤波器)	80
第三节 变换电路	84
一、电流-电压变换电路.....	84
二、电荷-电压变换电路.....	87
三、脉冲率-电压变换电路.....	91
四、电压(电流)-脉冲率变换电路.....	100
五、容量-脉冲率变换电路.....	106
六、电阻-脉冲率变换电路.....	109
第四节 传感器的驱动电源	114
一、定电压电路	114
二、定电流电路	121
三、定电阻值控制的电源电路	125
四、脉冲率变换电路的远距离驱动用电源	131
五、电池	132

第五节 线性化电路	137
一、电阻补偿法	137
二、折线近似法	139
三、幂级数近似法	141
四、对数变换	143
五、正反馈法	144
六、表格补插法	147
七、函数近似法	148
第六节 微型计算机与传感器技术	158
一、传感器与微计算机的结合	158
二、单片微计算机的使用	169
第二章 传感器信号处理	180
第一节 A/D 变换的电路基础	180
一、A/D 变换电路的主要参数	180
二、A/D 变换电路的构成	181
三、A/D 变换的方式	184
四、A/D 变换的精度	192
五、A/D 变换电路与计算机的接口	195
六、A/D 变换器的选择	197
七、计算机用 A/D 变换电路的实例	199
第二节 传感器信号处理	204
一、传感器信号处理的目的和方式	205
二、传感器信号处理技术	206
三、测量中的信号处理技术	212
四、数据的获得	218
五、传感器信号处理的动向	225
第三节 传感器电路的噪声与抑制	227
一、传感器电路的构成	227
二、传感器的噪声	228

三、噪声的抑止	233
第三章 传感器实用电路设计	243
第一节 光传感器实用电路	243
一、光传感器的电路设计	243
二、照度计电路	245
三、硅光敏二极管测光电路	245
四、热电检测装置的电路	249
五、发光二极管点亮电路	252
六、UV 传感器电路	254
七、傅里叶转换型红外分光光度计使用的光检测电路	256
八、光纤传感器的输出光/脉冲变换电路	258
第二节 色、图象传感器实用电路	263
一、图象传感器与接口	263
二、线阵 CCD 图象传感器电路	277
三、色彩识别传感器电路	277
四、非晶形色彩传感器电路	283
五、采用图象传感器的张力检测电路	285
第三节 温度传感器实用电路	289
一、温度传感器的检测电路与接口	289
二、热敏电阻构成的温度-电压变换电路	307
三、使用白金测温电阻的电路	309
四、LED 发光输出的温度校正电路	311
五、红外温度计控制电路	313
六、采用 IC 温度传感器的温控电路	319
第四节 压力传感器实用电路	319
一、压力传感器与接口电路	319
二、半导体压力变换器中的传感器电路	329
三、采用半导体压力传感器的电路	331
四、应变式压力变换器中的传感器电路	333

五、振动式压力传感器的振荡电路	335
六 晶体传感器及应用电路	338
第五节 距离、位置传感器电路	343
一、距离、位置传感器与接口	343
二、采用静电电容式传感器的电路	354
三、涡电流法距离测量电路	355
四、连续流动带的偏移检测电路	356
五、测距装置的信号处理电路	359
六、用 CCD 和激光位移仪的电路	363
七、PSD 电路	365
第六节 其他传感器实用电路	367
一、光学编码器电路	367
二、煤气检测器的电路设计	373
三、温度传感器的电路设计	378
四、气体传感器的信号放大电路	386
五、超声波探伤和传感器电路	392
六、采用结露传感器的电路	392
七、AE 传感器电路	398
八、超声波流量测定电路	400
九、伺服加速度计的应用电路	404
十 医用氧气计电路	406

第一章 传感器电路基础

第一节 运算放大器

一、运算放大器的工作原理与基本性质

运算放大器是用反馈控制其特性的直接耦合的高增益放大器。运算放大器的增益高、共模抑制比高、输入阻抗高、输出阻抗低，它能适应的电源电压变化范围宽，工作频率范围宽，它的工作稳定性好，可靠性高，配以外围电路，可以制成放大器，阻抗变换器，振荡器，滤波器和各种运算电路。因此运算放大器不仅可作为模拟计算机的核心部件，还广泛地应用于信号调整，有源滤波器，程序控制，测量系统，数模变换和函数发生器等方面，即可用于线性和非线性电子学的领域。

(一) 运算放大器的电路模型

一般运算放大器的电路模型如图 1-1-1(a) 所示。其中三角形符号表示运算放大器， R_i 为它的输入电阻，表示正负输入端间的等效内阻； R_o 为输出电阻； $A_r V_d$ 表示电压控制的电压源。运算放大器有两个输入端，一个输出端。输入端 V_- 称为反相输入端，以“-”表示，因在此端输入信号，经放大器得到的输出信号相位正好与输入信号相反。同理从 V_+ 输入的信号经放大器得到同相的输出信号，故 V_+ 称为同相输入端，用“+”表示。输出电压，

$$V_o = A_r \cdot (V_+ - V_-) = A_r V_d \quad (1-1-1)$$

式中 $V_d = (V_+ - V_-)$ 表示两输入端信号电压的差值； A_r 为运

算放大器的开环电压增益。通常,运算放大器用图 1-1-1(b) 所示符号表示。

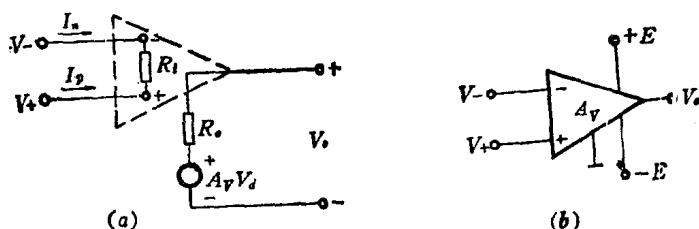


图 1-1-1 运算放大器的电路模型

(二) 理想运算放大器的工作原理和基本性质

由于运算放大器具有开环增益高、输入阻抗高、输出阻抗低等特点,因此其应用很广,而在实际应用中,又经常把它理想化,这样既能简化分析计算,又不会造成太大的误差。理想的运算放大器满足下列几点:

电压增益 $A_V = \infty$

共模抑制比 $CMRR = \infty$

输入阻抗 $Z_i = \infty$

输出阻抗 $Z_o = 0$

频带宽度 $B = \infty$

失调电压 $V_{os} = 0$

失调电流 $I_{os} = 0$

噪声和干扰也均为零

上升速率 $S_R = \infty$

理想运算放大器的等效电路如图 1-1-2 所示,它具有两个重要性质。

1. 当电源电压为一定值时,输出电压必为有限值,这样运算放大器才能工作在线性范围内,此时 $V_+ = V_-$, 由式

(1-1-1)可得到

$$V_+ - V_- = V_o / A_v$$

由于理想运算放大器 $A_v = \infty$, 则

$$V_+ - V_- = 0 \quad \text{即 } V_+ = V_-$$

即理想运算放大器二个输入端之间的电位差为零。若同相输入端接地, 则反相输入端近似为地电位, 此时的反相输入端称为“虚地”。

2. 由于 $V_+ - V_- = 0$, 理想运算放大器的输入端电阻 $R_i = \infty$, 因此流入放大器的输入电流必等于零, 即 $I_i = 0$ 。

$V_+ = V_-$ 和 $I_i = 0$ 是理想运算放大器的两个重要性质, 运用这两个性质可简化应用电路的分析, 得到与实际运算放大器相差甚小的结果。

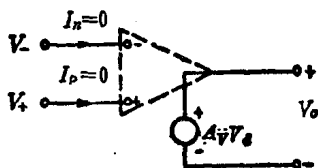


图 1-1-2 理想运算放大器的等效电路

(三) 反相运算放大器

反相运算放大器, 简称反相放大器, 如图 1-1-3 所示。输入信号加在反相输入端, R_f 和 R_i 组成负反馈网络, 通常为了保持差分放大电路的对称性, 在同相端接 R_b , 使输入电路两端的电阻尽量相等。 R_b 的值由下式给出

$$R_b = \frac{R_i R_f}{R_i + R_f}$$

由图 1-1-3 可以得到:

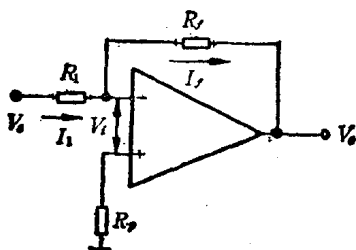


图 1-1-3 反相放大器

$$\begin{cases} I_1 = -\frac{V_i + V_i}{R_1}, & I_f = \frac{V_i - V_o}{R_f} \\ I_1 - I_i - I_f = 0 \end{cases}$$

因为 $V_i \approx 0, I_i = 0$, 则 $I_1 = I_f$

即

$$\frac{V_o}{R_1} = -\frac{V_i}{R_f}$$

则闭环增益

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R_1} \quad (1-1-2)$$

式中, A_{vf} 为负值, 表示放大器的输出电压与输入电压反相。上式还表明输出电压与输入电压间的关系仅与 R_f 和 R_1 组成的负反馈网络的参数有关, 而与运算放大器本身无关。

反相放大器实质上是一个电压并联负反馈放大器, 有较低的输入阻抗和输出阻抗。反相放大器输出电压与输入电压之间的关系可用下式表示:

$$V_o = -A_{vf} \cdot V_i = -\frac{R_f}{R_1} V_i$$

输出信号与输入信号成比例关系, 比例系数为 R_f/R_1 , 故反相放大器也称反比例放大器, 若 $R_f = R_1$

$$V_o = -V_i$$

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_i} = -1$$

此时,反相放大器增益为-1称为反相跟随器。

(四) 同相运算放大器

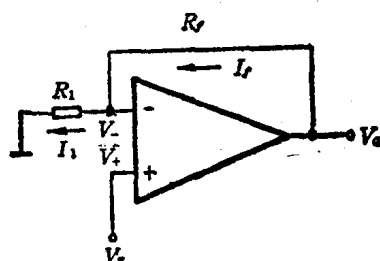


图 1-1-4 同相放大器

同相运算放大器,简称同相放大器,如图 1-1-4 所示。输入信号接在同相输入端,反馈网络接在反相输入端和输出端之间。由 $V_+ \approx V_-$ 可以得到:

$$V_+ \approx V_- = V_i$$

由 $I_i = 0$ 可以得到:

$$I_1 = I_f$$

则

$$\frac{V_-}{R_1} = \frac{V_o - V_-}{R_f}$$

即

$$\frac{V_i}{R_1} = \frac{V_o - V_i}{R_f}$$

因此同相放大器的闭环增益 A_{vf} 为

$$A_{vf} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad (1-1-3)$$

式中, A_{vf} 为正值,故称同相运算放大器。

同相放大器实质上是电压串联负反馈放大器，它较高的输入阻抗和较低的输出阻抗。对于理想运算放大器，其输入阻抗为无限大，输出阻抗为零。

同相放大器输出电压与输入电压之间的关系为

$$V_o = A_{vf} V_i = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) V_i$$

可见其输出信号与输入信号成正比例关系，比例系数为 $(1 + R_f/R_1)$ ，故同相放大器也称同相比例放大器。

若 $R_f = 0$ ，或者 $R_1 = \infty$ ，则

$$V_o = V_i$$

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_i} = 1 \quad (1-1-4)$$

此时同相比例放大器变成增益为 +1 的跟随器。

上面讨论了用运算放大器组成的两种基本负反馈放大器，两者各有以下特点：

1. 对于理想运算放大器，上述两种基本放大器的闭环增益仅取决于反馈网络的元件值，与运算放大器内部电路无关，在前面的讨论中均假定反馈网络为纯电阻性，实际应用中，反馈网络可以是阻抗性的。在这种情况下， R_f 、 R_1 可以由 Z_f 、 Z_1 来代替，同时需将电流、电压、增益和阻抗各用复数量代替，前述结果同样适用。

2. 同相放大器和反相放大器是运算放大器的两种基本放大电路形式。同相放大器的闭环增益永远大于 1 或者等于 1，且输出电压与输入电压同相。而反相放大器的增益可大于 1，也可小于 1，其输出电压与输入电压反相。

3. 反相放大器实质上是并联电压负反馈放大器，同相放大器是串联电压负反馈放大器。因此，可以用负反馈放大器

的理论来分析集成运算放大器的闭环工作。

4. 在同相放大器中, 由于 $V_+ \approx V_-$, 因此两个输入端对地电压都等于信号电压, 相当于两个输入端之间存在着和输入信号相等的共模输入信号。在反相放大器中, 由于同相端接地, 反相端为“虚地”基本接近地电位, 共模电压自行消失。

5. 同相放大器的输入阻抗为无限大, 而反相放大器的输入阻抗近似等于外接元件 R_1 (或 Z_1) 的值。

6. 同相放大器和反相放大器的输出电阻均为零。

二、运算放大器的主要参数

集成运算放大器的技术参数是衡量运算放大器性能的标志, 也是线路设计者选用集成运算放大器的依据。集成运算放大器的参数很多, 这里仅介绍其主要参数。

(一) 开环电压增益 A_V

在标称电源电压和规定的负载电阻条件下, 放大器不加反馈时, 输出电压的增量与输入电压的增量之比定义为开环电压增益, 用 A_V 表示为

$$A_V = \Delta V_o / \Delta V_i \quad (1-1-5)$$

或

$$A_V(\text{dB}) = 20 \lg \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} \quad (1-1-6)$$

开环电压增益是集成运算放大器的一个重要参数, 开环增益越大越好。目前 A_V 可以做到 $60 \sim 140\text{dB}$ 。

(二) 输入失调电压 V_{os}

用理想电压源驱动运算放大器的输入端, 使运算放大器的输出电压为零, 这个外加电压源的电压值即为输入失调电压, 用 V_{os} 表示。

以双极型晶体管为输入级的集成运算放大器, V_{os} 一般