

可变增益放大器的实现方法

周胜海 王栋臣 马建中

河南信阳师范学院应用电子技术研究所 河南省信阳市 464000

【摘要】从应用的角度出发,给出了典型的可变增益放大器的实现方法,总结了实现方法的特点,探讨了实现方法在具体应用中的一些重要的技术问题。

关键词:集成运算放大器 可变增益放大器 微处理器(μP) 程控增益放大器

中图分类号:TN721.1;TN722

Implementation of Variable Gain Amplifier

Zhou Shenghai, Wang Dongchen, Ma Jianzhong

Institute of Applied Electronic Technology, Xinyang Teachers' College, Xinyang Henan 464000

Abstract: On the purpose of practical use, the implementation of typical variable gain amplifier is presented in this paper. Their characteristics are summarized, and some important technical problems in using them are studied. This is of great value to user in choosing and using variable gain amplifier correctly.

Key Words: Operational Amplifier, Variable Gain Amplifier, Microprocessor(μP), Programmable Gain Amplifier

1 引言

随着可变增益放大技术的不断发展,它在自动测控、智能测控、智能仪器仪表等重要领域的应用也越来越广泛。可变增益放大器的增益改变方式主要有人工(或机械)和程控两大类(后者一般借助 μP),具体方法有多种,每种方法各有其优点和局限性。从理论上讲,改变集成运算放大器(运放)的反馈电阻或输入电阻,即可改变放大器的增益。但简单地改变反馈电阻或输入电阻所得到的可变增益放大器,往往并不具备理想的性能,有的根本不能正常使用。从应用的角度出发,给出典型的可变增益放大器的实现方法,对可变增益放大器的正确选择和使用有指导意义。

2 人工(或机械)改变运放的反馈电阻

图1所示电路为可变增益差动放大器。图中 R_6 、 R_7 、 R_8 用于调零。可以证明^[1]:当

$$R_1 = R_2, R_3 = R_4, R_5 = R_6$$

时,电路的差模增益

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = (1 + 2 \frac{R_1}{R_G}) \frac{R_f}{R_3} \quad (1)$$

可见,改变 R_G 之值,即可改变放大器的增益。

该电路的特点是输入阻抗高(约30~5000 M Ω), CMRR高(74~110 dB),输入失调电压小(约0.2 mV),失调电压漂移小(0.25~10 $\mu V/^\circ C$),适合作为传感放大器或测量仪器的前端放大器,对弱信号进行放大,在没有 μP 的情况下,也能人工(或机械)调节,实现可变增益放大,且 A_v 连续可调。

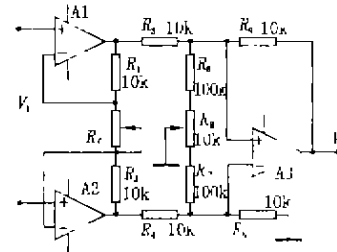


图1 可变增益差动放大器

分析表明, A_1 、 A_2 及外围电阻的参数越对称,由 A_1 、 A_2 构成的第一级的差模增益越大, A_3 的CMRR越高,整个电路的CMRR就越高。因此,图中的电阻一般选用0.1%的精密电阻, A_1 、 A_2 、 A_3 一般选用低漂移高精度的专用运放,如OP-07、RC725、AD509、AD707等,其中OP-07应用普遍。测试证明, A_1 、 A_2 和 A_3 采用通用运放 $\mu A747$ 和 $\mu A741$,也能对1 mV左右的弱信号放大至数千倍,使用性能良好,能满足许多场所的应用需要。

3 程控改变运放的反馈电阻或输入电阻

利用 μP 的编程功能,程控改变运放的反馈电阻或输入电阻,实现放大器增益的编程控制,从而得到所谓的程控增益放大器。

3.1 用非易失性数控电位器改变电阻

非易失性数控电位器克服了模拟电位器的主要缺点,无噪声,寿命长,阻值可编程改变,设定阻值掉电记忆。

图2所示电路为单片集成测量放大器AD625和

非易失性数控电位器 X9241^[2]构成的程控增益放大器,其增益在 1~10000 之间由 μP 编程控制。

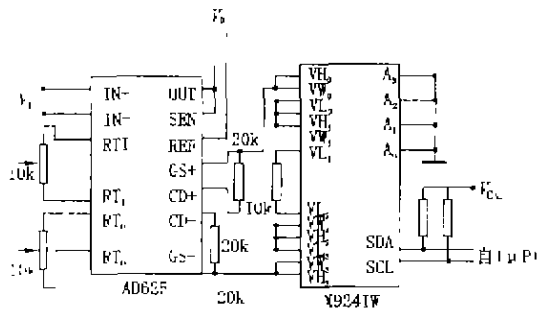


图 2 用数控电位器构成的程控增益放大器

该电路的特点是增益范围宽、占用 μP 口线少,成本低,适用于单片机数据采集系统中作为传感器与 ADC 之间的信号放大器。

3.2 用 DAC 改变电阻

电流输出型 DAC 内含 $R-2R$ 电阻网络,可以作为运放的反馈电阻或输入电阻,在 DAC 输入数据的控制下,实现放大器增益的程控改变。

图 3 所示电路为单片集成 DAC AD7528 实现的程控增益放大器。AD7528 为 8 位 CMOS 双 DAC,在图 3 中分别用作可变输入电阻和可变反馈电阻,该电路的增益^[3]

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = - \frac{N_A}{N_B} \quad (2)$$

式中: N_A 、 N_B 分别为 AD7528 中的 (DAC)A、(DAC)B 的数字输入量,其值为十进制 1~255。

可见, A_v 的范围为 1/255~255 (-48~+48 dB)。

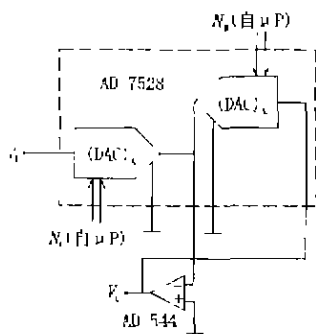


图 3 用双 DAC 构成的程控增益放大器

该电路的优点是无需外接精密电阻,增益完全由输入的数字量决定,可以对信号进行放大或衰减,使用方便;缺点是信噪比较低,频响范围较窄。测试证明,受 DAC 内部分布电容和运放频响特性的影响,该电路的最大增益不宜超过 150 倍。另外, N_B 为 0 时放大器处于开环状态。

用单片集成单 DAC,如 AD7523、AD7520 等,作为运放的可变反馈电阻,也可达到类似图 3 的目的。具

体电路如图 4 所示,图中的运放为通用运放 LM324, A_1 起缓冲作用。该放大器的增益

$$A_v = A_v = \frac{V_o}{V_i} = - \frac{1}{N} \quad (3)$$

式中 N 为 DAC 的数字输入量。

AD7523(8 位)的 A_v 的范围为 256/255~256; AD7520(10 位)的 A_v 的范围为 1024/1023~1024。这种用法已成功用于 8051 智能测控接口板^[4]。因 AD7523、AD7520 的基准输入端(15 脚)和反馈端(16 脚)可输入正、负两种极性的电压,故可用交流信号输入作为交流放大器,此时宜选用频带较宽的运放,如 LM733、 $\mu A771$ 、AD507、OPA606 等,但必须注意失调调零,避免在大增益时出现直流饱和。

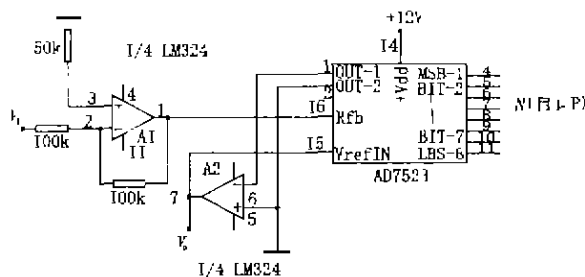


图 4 用单 DAC 构成的程控增益放大器

3.3 用集成多路模拟开关改变电阻

用不同阻值的固定电阻,通过集成多路模拟开关(如 CD4051 等),将其分别接入运放的输入回路,以此来达到改变输入电阻的目的,从而实现对信号的放大或衰减,即改变放大器的增益,其原理如图 5 所示。

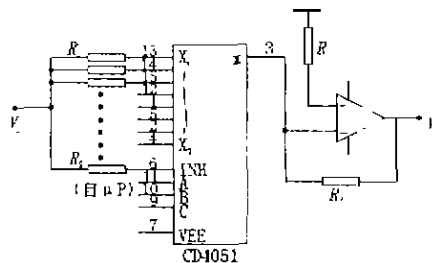


图 5 用集成多路模拟开关构成的程控增益放大器

用集成多路模拟开关构成程控增益放大器,还有一种常用的方式,即用数个运放分别接成同相输入深度负反馈放大器后串联成多级同相放大器,再用模拟开关控制各运放单元反相输入端外接电阻与公共地端的通、断状态,进而控制放大器的增益。

上述方式的主要缺点是模拟开关的导通电阻影响放大器的增益,影响信号的传输精度。

以 CD4051 为例,测试发现,CD4051 的导通电阻 R_{ON} 随电源电压和输入模拟电压的变化而变化。当 $V_{DD} = 5V$ 、 $V_{EE} = 0V$ 时, $R_{ON} \approx 280\Omega$,且随 V_i 的变化突变;当 $V_{DD} > 10V$ 、 $V_{EE} = 0V$ 时, $R_{ON} \approx 100\Omega$,且随 V_i

的变化缓变。可见,适当提高 CD4051 的 V_{DD} 有利于减小 R_{ON} 的影响,但应同时相应提高选通控制端 A、B、C 的输入逻辑电平。如 $V_{DD} = 12\text{V}$ ($V_{EE} = 0\text{V}$),可采用电源电压上拉箝位的办法,上拉电阻的阻值取 $1.5\text{k}\Omega$ 以上,使选通控制信号的有效高电平不低于 6V 。这样既保证 CD4051 理想导通 (R_{ON} 小),又实现了 CMOS 电平与 TTL 电平之间的转换 (μP 一般为 TTL 电平),也可以选用性能更优的模拟开关。也可以用微继电器作为切换开关,再用 CD4051 去控制微继电器动作。因微继电器的接通电阻很小(一般在 $\text{m}\Omega$ 量级),故可从根本上克服上述缺点。还可以直接由 μP 去控制微继电器,但这样占用 μP 口线较多,还要在 μP 与微继电器之间加驱动电路。

4 程控衰减

运放的输入或输出信号幅度的电路如图 6 所示,由电阻 $R_1 \sim R_6$ 和模拟开关 CD4051 组成无源衰减网络,在网络之前或之后接上固定增益的放大器,利用 μP 程控衰减放大器的输入或输出信号幅度,同样实现了程控放大的目的。图中使用了由通用运放 LM747 构成的两个电压跟随器,以隔离网络对前、后级的影响。若输入信号弱,应先放大后衰减;反之,应先衰减后放大。

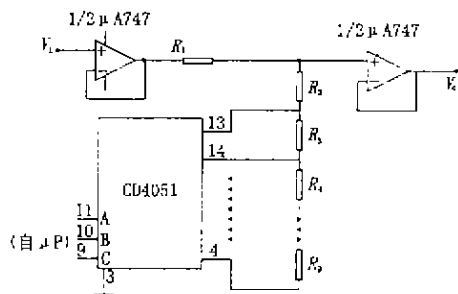


图 6 程控无源衰减网络

该电路的优点是无论 CD4051 的选通控制端如何设置,放大器都不会处于开环状态,缺点仍是 CD4051 的导通电阻影响放大器的增益。

5 单片集成程控增益放大器

单片集成程控增益放大器,如 PGA100/102、PGA202/203/204、AD526 等,其原理和用法可参考文献[5-7]。这些器件的优点是外电路简单,使用方便;缺点是增益范围小,增益无法自行定义。需要的增益较高时,必须多级串联,成本很高,因此,目前单片集成程控增益放大器的应用不够普及。

除此之外,也可用集成开关电容滤波器(SCF),如 LTC1043 等,来构成可变增益放大器,即将两片 LTC1043 分别接入运放的输入回路和反馈回路,当

LTC1043 的时钟频率改变时,其等效电阻随之改变,这样就可以通过改变时钟频率来改变放大器的增益。该电路的特点是增益 A_v 变化范围宽;输入方式灵活,即可选择单端,又可选择差动。该电路需要两路时钟信号, A_v 由两路时钟信号的频率之比与两个外接电容的容量之比的乘积决定[5],两个比值的稳定度都将影响 A_v 的稳定度。因此,在电路实现时应注意保持这两个比值稳定,两个外接电容必须选用精度高、温度特性好的电容器。

注意,各种程控增益放大器的控制信号一般是来自 μP 的数字信号,此数字信号可能干扰被放大的模拟信号。因此,在电路实现中,除应采用常规的抗干扰措施之外,还可以将控制模拟开关的数字信号通过锁存器后再接到模拟开关的数据线上,当必须将数字地与模拟地分开时,可在锁存器与模拟开关之间加光电耦合器。增益改变宜从小到大。

6 结束语

以上的各种实现方法,有些已在实践中得到成功应用,这些不同种类的可变增益放大器在性能特点、增益的改变方式、电路实现的难易程度等方面各有不同,在具体选用时应综合考虑其中的主要因素。还可以通过增加附属电路的办法,进一步提高放大器的某一项或少数几项性能指标,以满足某些应用场所的特殊需要。

参 考 文 献

- [1] Robert G Irvine. Operational amplifier characteristics and applications. Prentice-Hall, Inc., 1981: 140.
- [2] 武汉力源单片机技术研究所. XICOR 非易失性器件使用手册. 1996.
- [3] Analog Devices Inc. Data-acquisition databook, 1984, 1(9-183-9-190): 20-56.
- [4] 孙涵芳. MCS51/96 系列单片机原理与应用(修订版). 北京:北京航空航天大学出版社, 1996: 212-215.
- [5] 方佩敏. 最新集成电路应用指南. 北京:电子工业出版社, 1996: 300-307, 18-20.
- [6] 杨艳. 数字式可编程增益仪用放大器 PGA204 的应用. 电子技术应用, 1996, 22(11): 51-52.
- [7] 何立民. 单片机应用技术选编(6). 北京:北京航空航天大学出版社, 1998: 558.

欢迎访问!

WWW.globalsensors.com

全球传感器专业网站

六十类传感器 数千家传感器企业

超亿种传感器产品