

# 程控放大器及其典型应用的实例

王 炜

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

**摘要** 分析了程控放大器的基本原理和用它对模拟信号进行稳幅和稳零的方法,并定量分析了程控信号的可调节范围及精度,讨论了程控放大器的应用范围。

**关键词** 程控放大器 稳幅 稳零 细分

## 1 引 言

在计算机数控系统中,模拟信号在送入计算机进行处理前,必须进行量化,即进行A/D转换。进行A/D转换之前,必须考虑A/D转换器的分辨率和模拟输入电压量程这两个问题。

在一些特殊的应用中,我们常希望输入信号的幅值接近A/D的输入电压量程的上限。工程上常采取改变放大器增益的方法对幅值大小不一的信号进行放大。在计算机数控系统中,为实现不同幅度信号的放大,往往不希望,甚至也不可能利用手动方法来实现增益变换。

利用程控放大器可以很好地解决上述问题。

程控放大器是根据使用要求由程序控制改变增益的放大器,具有控制方便,线性度高,稳定可靠等优点<sup>[1]</sup>。

使用程控放大器改变模拟输入信号的增益,并配合A/D的使用,可允许输入的模拟信号在较大范围内动态变化,达到了提高A/D的输入电压量程的目的,也相当于提高了A/D的分辨率。

## 2 原 理

### 2.1 可变增益放大器

图1是一个可变增益运算放大器电路。

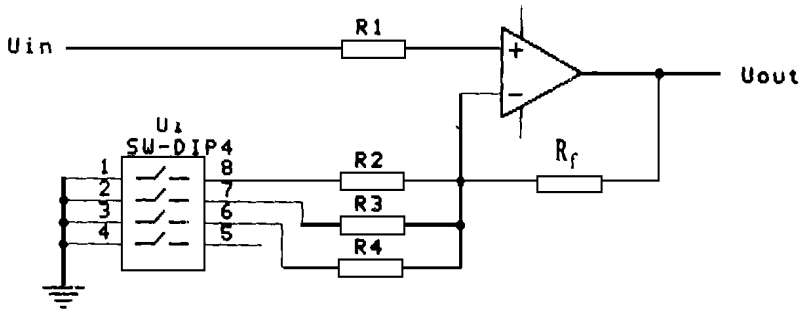


Fig 1 The principle of gain-variable amplifier

该放大器的增益为  $K_v = 1 + R_f / R_x$ ，其中  $R_x$  是反相输入端的对地电阻，即  $R_2, R_3, R_4$  的阻值或它们的并联组合。

可以使  $R_2, R_3$  和  $R_4$  以八种不同的组合方式接地，以改变反馈量的大小。若将接通的电阻值代入上式的  $R_x$  中，可以求得放大器的八种放大倍率值。

## 2.2 程控放大器

一个典型的 D/A 转换器包含有逐级衰减的梯式电阻网络，受数字输入控制的开关和一个相当于梯式电阻网络等效输出阻抗的反馈电阻，以及一个相加放大器。采用 D/A 转换器和运算放大器可以组成增益连续可调程控放大器。D/A 转换器内部寄存器中的数字量决定了放大器的增益值。由程序改变 D/A 内部的数字量，就可以改变放大器的增益。

整个程控放大器主要是由两片 DAC0832，一片 ADC0804 和一片 CPU—8031 组成，其原理图如图 2 所示。

从图中我们可以看到，A/D 转换前没有采样保持器。这是因为刻划时滑座的移动速度很慢，光栅干涉仪的条纹信号频率只有  $0.5\text{Hz} \sim 2\text{Hz}$ ，而 A/D 转换器的最高采样频率可以达到  $10\,000\text{Hz}$ ，因此不加采样保持器也不会影响精度。这样既降低了硬件成本，又使电路简化。

此程控放大器的工作原理如下：

首先由 8031 起动 A/D 转换器 ADC0804 对放大器的输出信号  $u_o$  进行量化。根据量化结果，8031 计算出  $u_o$  的变化趋势并给出调节量，然后将调节量送入 DAC0832 的内部寄存器中。DAC0832 的内部寄存器所存数字量决定放大器的放大倍率值。

运算放大器 U5:A 的输出为

$$u_o = - B_1 u_i / F \quad (1)$$

其中  $B_1$  为送入 DAC0832 中的调节量， $F$  为 D/A 满量程输出所对应的数字量，对于 8 位的 D/A， $F = 255$ 。以下各式中的  $F$  与此意义相同。

为了克服零点漂移，另外一片 DAC0832 用以产生可编程偏压  $u_b$

$$u_b = - B_2 u_b / F \quad (2)$$

其中  $B_2$  为送入第二片 DAC032 中的调节量， $u_b$  为它的参考电压，它可通过调节电阻  $P1$  来得到。

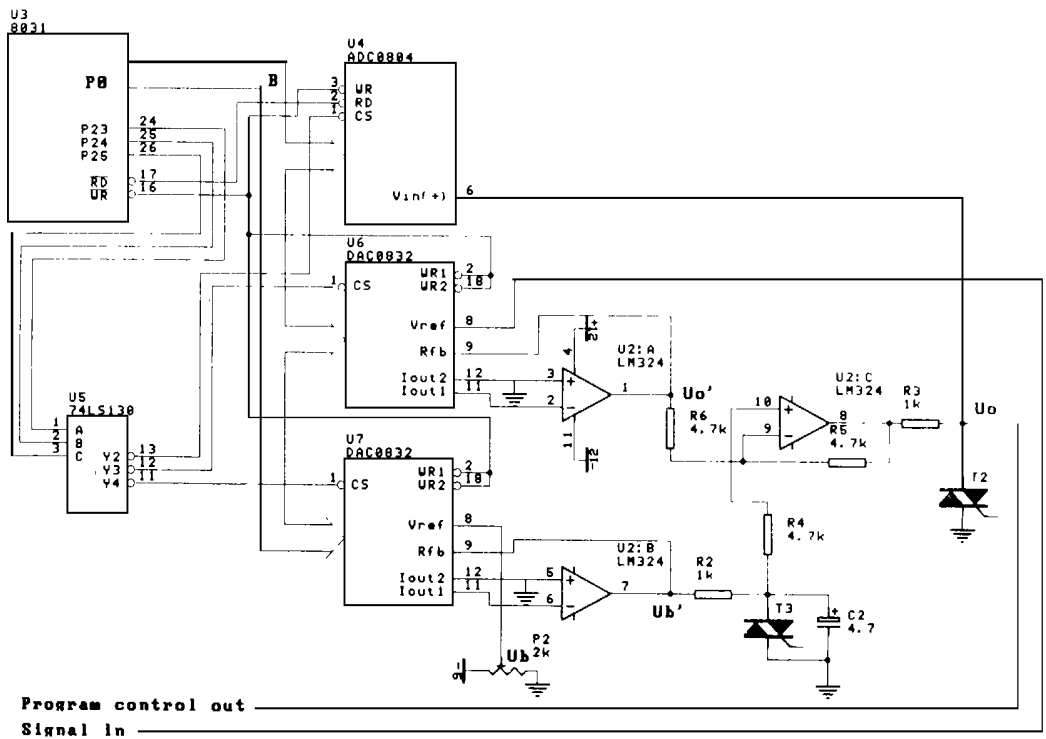


Fig 2 Schematic diagram of program controlled amplifier

这两路信号经运算放大器 U 5: C 合成。

由于 DAC0832 和 ADC0804 均是 8 位的, 因此, DAC0832 每变化一个数字单位, 在 ADC0804 的量化值上就可显示出来, 所以运算放大器  $U_5: C$  设计成增益为 1 的跟随器。运算放大器 U 5: C 的输出为

$$u_o = - [ - B_1 u_i / F - ( - B_2 u_b / F ) ]$$

$$= - [ - B_1 u_i / F + B_2 u_b / F ] \quad (3)$$

### 3 利用程控放大器对信号进行稳幅和稳零

在光栅刻划机中, 分度信号是由光栅干涉仪产生的干涉条纹经光电接收器转换后得到的。为了提高分度基准的分辨率, 需要对分度信号进行细分; 同时, 需要利用细分脉冲控制马达分级调速, 以提高光栅刻划机的定位精度<sup>[2]</sup>。

光栅干涉仪输出的信号是很小的, 不能直接利用。用前置放大器将它放大成为  $4 \sim 7V$  的大信号, 波形接近正弦波形。由于受光栅干涉仪本身因素的影响<sup>[3]</sup>, 在整个刻划过程中, 前置放大后的信号的幅度将变化  $4V$  左右, 直流分量 (零点) 将变化  $2V$  左右。

从以下的分析可以知道, 这样的信号根本不能用于细分。

### 3.1 直流电平漂移和幅值不稳定对细分精度的影响

对光栅信号的细分可以有多种方法<sup>[4]</sup>。幅值切割细分法的原理是将信号的一个周期按电平高低进行分割,当采样值达到某一切割电平值时,发出一个细分脉冲。幅值切割细分可以在一定程度上消除波形非正弦性的影响,因此,采用这种方法对分度信号进行细分是合适的。

在影响细分精度的诸多因素中,信号幅值不稳定和直流电平漂移的影响最大,特别是直流电平漂移,可直接引起细分时的计数误差。为了使读者对此有一个清晰的认识,下面定量分析直流电平漂移对细分计数误差的影响:

假设使用前置放大后的信号,细分数为8,即在一个周期中每隔45°计算一个细分点,各细分点值分别为:

$$A_1 = A_{mid} = 5.5$$

$$A_2 = A_{mid} + 0.707(A_{max} - A_{mid}) = 6.55$$

$$A_3 = A_{max} = 7$$

$$A_4 = A_2 = 6.55$$

$$A_5 = A_{mid} = 5.5$$

$$A_6 = A_{mid} - 0.707(A_{mid} - A_{min}) = 4.45$$

$$A_7 = A_{min} = 4$$

$$A_8 = A_6 = 4.45$$

其中, $A_{max}$  为最大值, $A_{min}$  为最小值, $A_{mid}$  为直流电平, $A_{mid} = \frac{A_{max} + A_{min}}{2} = 5.5$ 。

如图3所示,曲线1为预定信号波形,曲线2为实际信号波形。曲线2的直流电平比曲线1低, $\Delta D = 0.5V$ 。

细分时,计算机将对实际信号(曲线2)进行采样。如采样值大于细分点1的预定值,发出一个计数脉冲。由于直流漂移 $\Delta D$ 的影响,本应在1点发出的细分脉冲不能在此点发出,造成细分误差 $\Delta\theta$ 。由于正弦曲线在90°点斜率最小,因此0°到90°之间,细分误差逐渐加大,2点的细分误差将大于1点的误差。当 $\Delta D = 0.3V$ 时,可计算得 $\Delta\theta_1 = 11.5^\circ$ ;  $\Delta\theta_2 = 19.2^\circ$ 。

图3中,曲线2在这个周期内的最大值(6.5V)也小于点2的预定值(6.55V),因此,只有到下一周期,采样值才有可能大于点2的预定值。这样,一个周期本应发出8个细分脉冲,实际上只发出了1个,造成细分结果错误。

从上面的分析可以看出,直流电平漂移对细分精度影响很大。实际上,在整个刻划过程中,前置放大信号的直流分量将变化2V左右,这必将严重影响细分的精度,甚至使细分产生错误。

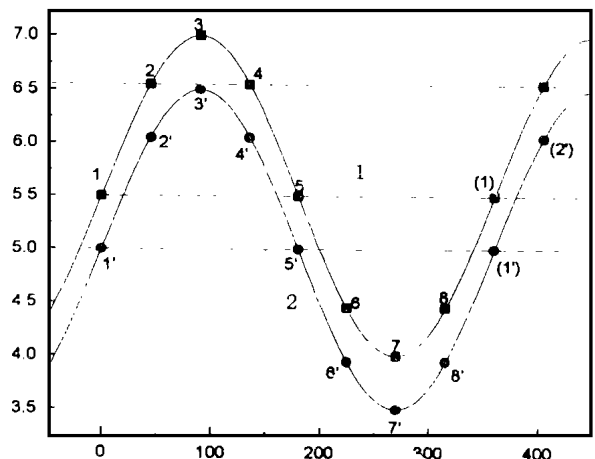


Fig. 3 The effect of DC offset drift on interpolation accuracy

结果。

为保证细分的精度, 实践中, 利用程控放大器对前置放大后的信号进行稳幅和稳零, 以获得等幅的放大信号。

### 3.2 稳幅、稳零的范围

分度信号为一近似的正弦变化信号, 因此可令

$$u_i = A \sin \theta + D \quad (4)$$

将(4)代入(3)可得,

$$u_o = B_1 A \sin \theta / F + B_1 D / F - B_2 u_b / F \quad (5)$$

程控放大后的信号幅值应接近5V, 即  $u_o = 2.5 \sin \theta + 2.5$ 。将此式与式(5)比较可得

$$B_1 A / F = 2.5 \quad (6)$$

$$B_1 D / F - B_2 u_b / F = 2.5 \quad (7)$$

$u_b$  在 -5V ~ 0V 间连续可调, 若使  $u_b = -2.5V$ , 则

$$B_1 = 2.5F / A \quad (8)$$

$$B_2 = -DB_1 / 2.5 + F \quad (9)$$

由式(8)可知, 输入信号的幅值A 至少应大于2.5V。由式(9)可知, 当A = 2.5V 时, 零点D 的可调范围为0~ 2.5V; A = 5V 时, D 的可调范围为0~ 5V。

图4、图5分别为B<sub>1</sub> 随A 的变化曲线和B<sub>2</sub> 随D 的变化曲线。从图中可以更清楚地看出程控放大器的调节范围。

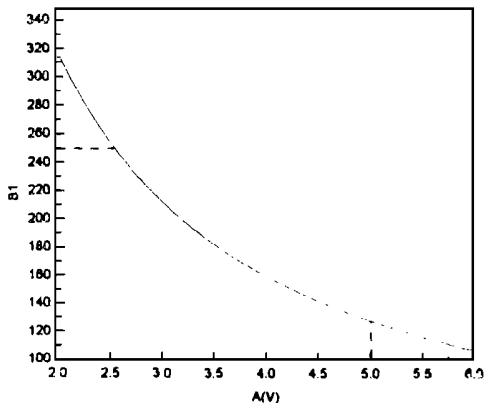


Fig. 4 Variation of  $B_1$  as a function of  $A$

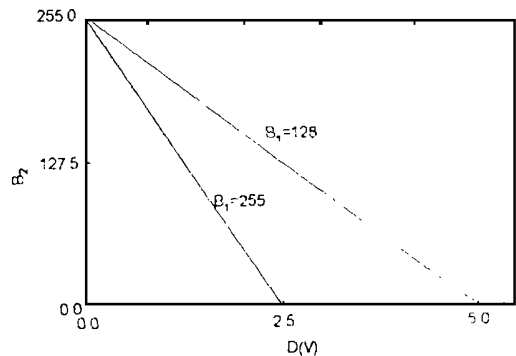


Fig. 5 Variation of  $B_2$  with  $D$

## 4 结 论

上述程控放大器的精度为1LSB, 即对于输入为4~ 7V 的模拟信号, 平均精度为22mV。

分度信号经程控后, 幅值稳定在  $4.81 \pm 0.02V$ , 零点稳定在  $2.39 \pm 0.02V$ , 使细分达到了较高的精度。在刻划实验性光栅的过程中, 已成功地采用了程控放大及细分。

在计算机控制、数据采集系统中,使用程控放大器对模拟量进行调节,可允许模拟量在很大的范围内动态变化;同时,配合相应的软件,还可提高了A/D转换器的电压转换范围和分辨率<sup>[5,6]</sup>。这对于降低系统成本、增强系统适应能力十分重要。

由于程序控制需要一定时间,因此,对于高速数据采集系统,程控放大器的使用受到一定限制。若需使用程控放大器,必须根据实际情况,合理选用速度较高的微处理器和高速A/D转换器。

### 参 考 文 献

- 1 周春光等 程控放大器在数据采集系统中的应用 电子技术应用, 1987, (3): 18~ 20, 37
- 2 王 炜 光电控制间歇运动衍射光栅机控制系统的改造升级 光学精密工程, 1996, 4(5): 105~ 110
- 3 王 炜 光电控制间歇运动衍射光栅机控制系统的改造升级 长春光机所硕士学位论文, 1996
- 4 张国雄等 精密仪器电路 北京: 机械工业出版社, 1988
- 5 陈 庄等 用8位A/D器件实现高速高精度转换的一种方法 电子技术应用, 1995 (11): 41~ 42
- 6 方大寿等, 8098单片机的模拟输入通道 电子技术应用, 1996 (4): 14~ 15, 22

## Program Controlled Amplifier and Its Typical Application

WANG Wei

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

### Abstract

The principle of the program controlled amplifier has been analysed. A method of amplitude control of an analog signal has been discussed. The controllable range and accuracy of the signal has been calculated. In addition, some other applications of the program controlled amplifier have been discussed.

**Key words:** Program controlled amplifier, Amplitude stabilizing, DC offset stabilizing, Interpolation

王 炜 男, 1971年7月出生。1993年毕业于长春光学精密机械学院。1996年于长春光学精密机械研究所获硕士学位, 现正在该所攻读博士学位。主要从事微小位移的光电测量与控制工作。