

# 双开关电荷采样放大器\*

文玉梅\*\* 李平

(重庆大学光电信息工程系, 重庆 400044)

**摘要** 电荷放大器是高阻抗电荷源器件普遍采用的前置电路, 电荷采样放大器保持了电荷放大器功能, 同时可以消除电荷放大器直流漂移导致的输出饱和, 但是单开关的电荷采样放大器是不稳定电路。文中分析了电荷采样放大器的工作原理, 提出了双开关电荷采样放大器, 该电路不自激振荡, 无输出饱和, 其输出可以直接作为 A/D 转换电路的输入。

**关键词** 前置电路; 电荷放大器; 电荷元件

**分类号** TPT22

## 1 引言

压电元件、CCD 器件等敏感元件的敏感输出是电荷, 而电荷元件一定是电容性元件, 它们的电等效模型是一个有源电容, 如图 1 所示,  $C_s, R_s$  分别是元件的等效电容和电阻。所以电荷源器件在低频时是高输出阻抗源器件, 需要一定的前置电路才能有效获取信号。电荷源元件通常选用电荷放大器作为前置电路, 其目的是要消除连接电缆的分布电容对信号幅度测量精度的影响。

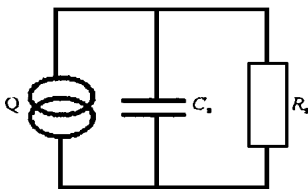
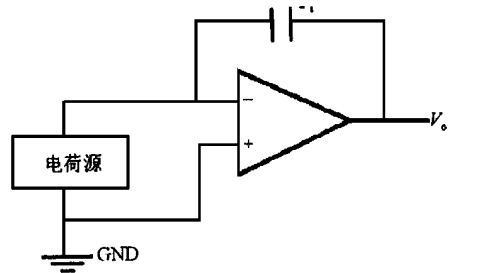


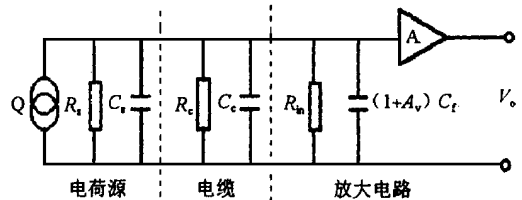
图 1 电荷源元件的等效模型

## 2 电荷放大器

电荷放大器原理和等效电路见图 2。电路的输入端口参数是: 总电阻  $R_o = R_s + R_c + R_i$ ,  $R_i$  是运放的差模输入电阻; 总电容  $C_o =$



(a) 电荷放大器原理电路



(b) 等效电路

图 2 电荷放大器

$C_s + C_c + (1 + A_v)C_f$ ,  $C_f$  为反馈电容。电荷放大器输出电压

$$V_o(j\omega) = - \frac{A_v R_o j\omega}{1 + R_o C_o j\omega} Q_o(j\omega) \quad (1)$$

式中  $A_v$  是运放的开环差模增益, 由于其值很大, 所以

$$V_o(j\omega) = - \frac{A_v R_o j\omega}{1 + R_o C_o j\omega} Q_o(j\omega)$$

收稿日期: 1998-08-03

\* 国家教育部光电技术及系统开发实验室开放基金资助项目

\*\* 女 1964 年生 博士 教授

$$- \frac{1}{C_f} Q_o(j\omega) \quad (2)$$

于是电荷放大器的输出电压和电荷源产生的电荷成线性比例关系,比例系数基本上由反馈电容值决定。

电荷放大器本质上是一个积分电路,输出电压和输入失调电压  $V_{os}$  和直流偏置电流  $I_B$  的关系是对时间的线性积分<sup>[1]</sup>,即

$$V_o(t) = c_1 \int_0^t V_{os} dt + c_2 \int_0^t I_B dt \quad (3)$$

积分常数  $c_1, c_2$  由电路参数确定。因此即使在输入为零的条件下,输出电压值将沿正向或反向随着开机时间的增加而增加,一定时间后输入失调电压和直流偏置电流造成的漂移会导致输出饱和。为了能够实际应用,电荷放大器需要消除直流漂移饱和,一般采用饱和取消补偿电路<sup>[3]</sup>,这样将增加电路设计、调试复杂程度。

### 3 电荷采样放大器

在文献[4]中提出的电荷采样放大器的原理如图3(a)所示。 $R_o = R_s \parallel R_c \parallel R_i$

$\frac{r}{1+A_v}, C_o = C_s + C_c + (1+A_v)C_f$ 。  $r$  是模拟开关电阻,当开关闭合,  $r = r_{on}$  为  $0 \sim 1 \text{ k}\Omega$ ; 当开关断开,  $r = r_{off}$  为  $10^8 \Omega$  以上。显然开关闭合时,源器件的电荷将会以时间参数  $\frac{r_{on}C_f}{1+A_v}$  放电,所以敏感元件对低频动态激励和准静态激励的输出基本为零。同时电荷采样放大器此时等效为一个电压跟随器,  $I_o \approx 0$ ; 当开关断开时,其输出电压就是电荷放大器的输出电压,如式(2)。由于开关断开的时间可以控制为微秒到毫秒量级的脉冲时间,因此  $V_{os}$  和  $I_B$  引起的输出漂移可以控制在非常小的范围,并且在开关闭合时,由于漂移累积在  $C_f$  上的电荷会放电,所以不可能达到输出饱和。但是这样的单开关电荷采样放大器是一个不稳定电路,即使在输入电压为零时,其输出电压由于电容电路的开关特性,将会输出振荡波形。分析如下:当开关断开时,这时电路是

一个电荷放大器,电路输出将根据式(2)由输入确定,即使在输入电压为零时,由于运放的零点不可能精确调定,所以电路输出有一微小的不为零的电压值。在开关闭合前的瞬间  $V_o = V_o(0^-) = 0$ , 开关闭合后输出端将通过闭合的开关对电荷元件的等效电容充电,充电电路如图3(b)所示,其中  $r_A$  是运放的输出电阻,由运放的输出电压和输出电流的关系特性确定,当运放工作在线性区时  $r_A$  为  $0 \sim 100 \Omega$ , 工作在非线性区时  $r_A$  。

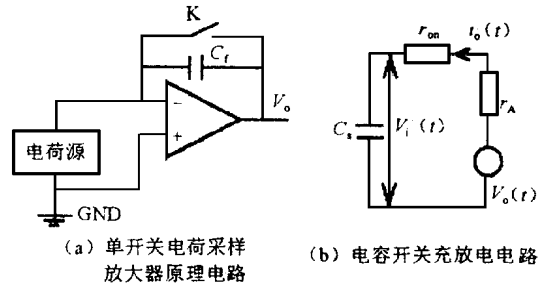
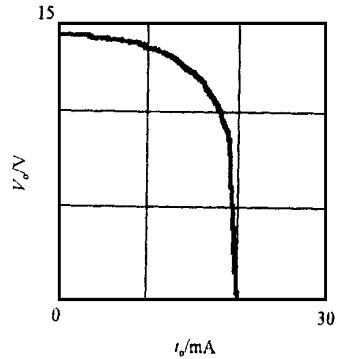


图3 电压单开关电荷采样放大器



4 运放输出电压和输出电流特性  
成运放输出电压和输出电流关系的典型曲线<sup>[5]</sup>。充电时间常数  $\tau = (r_{on} + r_A) \cdot C_o$ 。闭合开关时放大器工作在线性放大区,  $V_o(t) = -A_v V_i(t) = -A_v V_o(0^-) (1 - e^{-t/\tau})$ ,  $\tau$  很小,很快将进入放大器的非线性区,和  $V_o(0^-)$  的极性相反,输出为正向或负向饱和电压  $V_{po}$ 。在输出电压的作用下,源电容被继续充电或放电,有

$$\tau \cdot \frac{dV_i(t)}{dt} + V_i(t) = V_o(t) \quad (4)$$

在非线性区,  $V_o(t)$  变化非常缓慢,所以

$$V_i(t) \approx V_o(t) (1 - e^{-t/\tau}) + V_o(0^-) e^{-t/\tau} \quad (5)$$

由于  $V_o(t)$  和  $V_o(0^-)$  极性相反, 所以  $V_i(t)$  将逐渐趋于零, 使得运放重新回到线性区。由于跟随器的  $V_i(t) = V_o(t) - V_p e^{-(1+A_v)t/\tau} \rightarrow 0$ , 并且和  $V_o(0^-)$  极性相反。开关断开,  $V_o(t)$  保持不变, 而  $V_i(t)$  上的电压却会有所降低。再次闭合开关时, 在相反极性方向重复上述充放电过程。所以单开关电荷采样放大器是一个不稳定电路, 其振荡输出的脉冲形状和运放的输出特性曲线非常相似, 如图 5 所示。

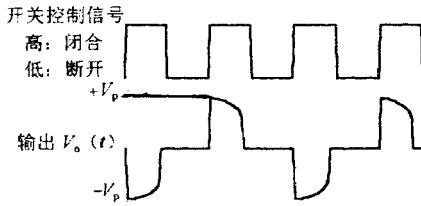


图 5 单开关电荷采样放大器的振荡输出

### 4 双开关电荷采样放大器

针对单开关电荷采样放大器自激振荡的原因, 我们设计了如图 6 所示的双开关电荷采样放大器电路。开关  $K_1$  和开关  $K_2$  互补操作: 在非采样周期,  $K_1$  闭合,  $K_2$  断开; 在采样周期,  $K_1$  断开,  $K_2$  闭合。所以在非采样周期, 该电路是一个输入为零的射随器,  $V_o(t) = 0$ ; 在采样周期, 该电路就是前述电荷放大器, 输出如式 (1), 其中  $C_o = C_s + C_c + (1 + A_v)C_f$ ,  $R_o = R_s + R_c + R_b$ 。同样, 由于可以控制采样周期在一个很短的时间内, 所以由直流偏置等造成的输出漂移可以限制在一个很低的水平, 其引起的测量误差可以忽略。在非采样周期, 反馈电容以时间常数  $r_{on}C_f$  放电, 因而漂移输出不可能累积而造成输出饱和。可以看出在采样周期内, 源器件的瞬态时间参数, 大于非采样周期的时间常数, 且采样时间较短, 所以在采样周期输出电压

$$V_o(t) = \frac{Q(t_0)}{C_f} \quad (6)$$

是一个不变电平, 其中  $t_0$  是采样周期开始时刻。因此电荷采样放大器的输出具有保持特性, 可以直接用作 A/D 转换的输入。

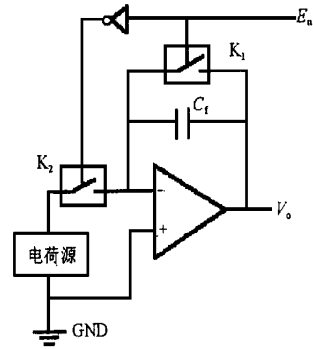


图 6 双开关电荷采样放大器

电荷采样放大器中的开关采用的是电子模拟开关, 由于开关存在延迟特性, 即开关的通、断相对于控制信号有数微秒到数十微秒的延迟, 所以必须从控制信号上严格保证双开关电荷采样放大器的两个开关不会出现同时闭合导通, 否则将会出现单开关电荷采样放大器的电容充放电过程, 使得在两个开关同时闭合的时间内, 输出产生和源信号无关的脉冲。开关的实际控制波形如图 7 所示, 高电平控制开关闭合, 低电平控制开关断开, 两个信号中高电平的时间间隔  $\tau$  应大于选用的模拟开关的延迟时间。

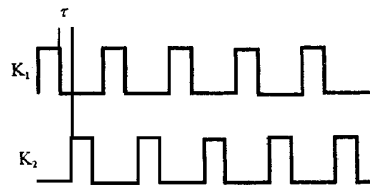


图 7 双开关的控制波形

### 5 实验和结论

选用 LF356 高精度、高输入阻抗运放, CD4066CMOS 电子模拟开关, 反馈电容  $82 \text{ pF} \sim 0.1 \mu\text{F}$ , 建立上述单开关和双开关电荷采样放大器电路, 单开关电路始终振荡, 振荡波形见图 5。而双开关电路则完全实现了电荷采样输出的目的, 无自激振荡。在控制信号的重复频率为  $1 \text{ kHz}$ , 反馈电容  $470 \text{ pF}$  时, 采样周期内的最大漂移输出电压在  $10 \text{ mV}$

以下。整个电路连接正确,即可工作,无需调试。实验结果证实了分析结论的正确性。

### 参 考 文 献

- 1 Ramon P A, John G W. ster, sensors and signal conditioning New York: A Wiley-Interscience Publication, 1991
- 2 侯振得. 消除电荷放大器零点漂移方法. 压电与声光, 1991, 13(4): 30~ 32
- 3 Suharli Tedja A CMOS low-noise and low power charge sampling integrated circuit for capacitive detector/sensor interfaces IEEE Journal of Solid-state Circuits, 1995, 30(2): 110~ 119
- 4 Mahnstadt H V, Enke C G, Grouch S R. Electronics and instrumentation for scientists New York: Benjamin/Cummings Pub Co, 1981
- 5 中国集成电路大全. 集成运算放大器. 北京: 国防工业出版社, 1985

## Charge Sampling Amplifier with Twin Switches

Wen Yumei    Li Ping

(Dept of Opto-electronic Information Engineering, Chongqing University, Chongqing, 400044)

**Abstract** Charge amplifiers are popular pre-conditioning circuits for charge devices. Charge sampling amplifiers have the function of charge amplifiers as the same time they prevent the output saturation resulted from direct current drift in charge amplifiers. A charge sampling amplifier with one switch is not stable, it will generate self-oscillation with switching-on and switching-off of the switch. This paper analyzes a charge sampling amplifier and proposes a new design of a charge sampling amplifier with twin switches. This design prevents both self-oscillation and output saturation. Output of a twin switch charge amplifier can be directly used as the input of a A/D converter.

**Key words** pre-conditioning circuit; charge amplifier; charge device

(上接第 180 页)

- 9 章新华, 王驥程, 林良驥等. 基于小波变换的舰船辐射噪声特征提取. 声学学报, 1997, 22(2): 139~ 144
- 10 杨行峻, 迟惠生. 语音信号数字处理. 北京: 电子工业出版社, 1995
- 11 Yang X W. Auditory representations of acoustic signals IEEE Trans IT, 1992, 38: 824~ 839
- 12 刘增良, 刘有才. 模糊逻辑与神经网络. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996
- 13 高学民. 光纤水听器及阵列的发展概况. 光纤与电缆及其应用技术, 1996(1): 48~ 53

## Technique of Acoustic Target Identification in Background of War

Ni Ming    Chen Zhe    Hu Yongming    Liu Yang    Li Xiujuan

(Dept of Applied Physics, National University of Defense Technology, Changsha, 410073)

**Abstract** The paper overview s applications of the technique of acoustic target identification in military. We discuss some problems on the technology of acoustic target identification and forecast its trend of development

**Key words** acoustic signal; background of war; target identification