

# 开关电容滤波器的特点与应用

陶照园\*

(长沙矿山研究院,长沙,410012)

**摘要** 本文以 MAX291/292 低通开关电容滤波器为例介绍了开关电容滤波器的工作原理及特点,并对其使用方法进行了详细分析和探讨。

**关键词** 有源滤波器 开关电容 频率

## THE CHARACTERISTICS OF SWITCHED CAPACITOR FILTER AND ITS APPLICATION

Toa Zhaoyuan

(Changsha Institute of Mining Research, Changsha, 410012)

**ABSTRACT** With MAX291/292 low pass switched capacitor filter as an example, this paper introduced the operating principle and characteristics of switched capacitor filter and made detailed analysis and an approach to its use.

**KEY WORDS** Active filter, Switched capacitor, Frequency

### 1 前言

在诸多控制系统和工业仪表的电路中,广泛使用各种滤波器电路来抑制和消除干扰信号,以获得所需频率范围的信号。以集成运算放大器为基础的有源 RC 滤波电路得到了广泛应用,取消了无源 RCL 滤波电路中笨重而又昂贵的电感元件。尽管有源 RC 滤波器中滤波特性较无源的 RCL 滤波器有所改正,但其滤波精度及稳定性仍由外接 R、C 元件的性能决定,必须选择高精度的 R、C 元件,精心调节才能获得所需的滤波特性。

以 MOS 半导体工艺为基础的开关电容滤波器,如 MAX291/292 具有无需外接 R、C 元件,具有性能稳定,频率控制精度高,使用方便等特点,且控制时钟一般与 TTL/CMOS 逻辑电平兼容,因而适合在电子测量

系统中作精密滤波器。

### 2 开关电容滤波器工作原理

开关电容滤波器利用 MOS 开关电容来模拟有源滤波器中的阳性元件,其等效模拟电阻值受外部时钟频率控制,改变外部时钟频率就可改变 R、C 时间常数,从而达到改变滤波器截止频率的目的。图1为一阶 RC 有源低通滤波器。

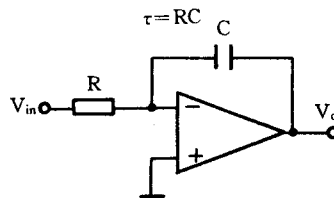


图1 一阶有源低通滤波器

\* 作者:工程师;收稿日期:1997-08-24

传递函数为：

$$H(S) = \frac{Y(S)}{X(S)} = -\frac{1}{SRC}$$

式中： $X$ ——激励；

$Y$ ——响应；

$C$ ——积分电容。

时间常数为：

$$\tau = RC$$

一阶低通开关电容滤波器原理如图2所示。

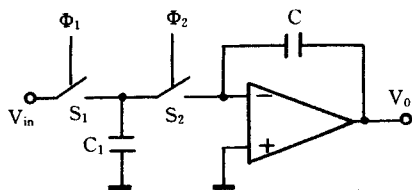


图2 开关电容滤波器

图中  $S_1, S_2$  为  $MOS$  模拟开关，它们分别受两相不重叠时钟  $\phi_1$  和  $\phi_2$  的控制， $C_1$  为开关电容，在外部时钟  $\phi_1$  和  $\phi_2$  的作用下可等效为图1中的电阻  $R$ ，等效阻抗与时钟频率相关。 $C$  为积分电容。

在第一个时钟半周期， $\phi_1$  为高电平， $\phi_2$  为低电平，则  $S_1$  闭合， $S_2$  断开，输入电容  $C_1$  被充电至  $V_{in}$ 。

第二个时钟半周期， $\phi_1$  为低电平， $\phi_2$  为高电平，则  $S_1$  断开， $S_2$  闭合，则  $C_1$  上的电荷转移给积分电容  $C$ ，在一个周期内总转移电荷为  $Q = C_1 \cdot V_{in}$ 。平均输入电流为：

$$I_{in} = \frac{Q}{T} = C_1 \cdot V_{in} \cdot f_{CLK}$$

则  $C_1$  的等效模拟电阻为：

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = 1 / (C_1 \cdot f_{CLK})$$

开关电容滤波器的传递函数为：

$$H(S) = \frac{Y(S)}{X(S)} = -C_1 \cdot f_{CLK} / SC$$

时间常数为：

$$\tau = R_{in} \cdot C = C / (C_1 \cdot f_{CLK})$$

即开关电容滤波器的时间常数与两个电容之比和外部时钟频率有关。在集成电路中，两个电容之比可视为两个电容的面积之比，在现代半导体工艺中，其误差可控制在1%以内，且同一芯片上的两个电容受环境温度影响也大致相同。由于时钟频率可以借助石英晶体振荡器来实现高精度和高稳定性，因而开关电容滤波器具有较高的精度和稳定性。

### 3 开关电容滤波器的特点及其应用

#### 3.1 MAX291/292简介

MAX291/292(美国 MAXIM 公司产品)是一种使用开关电容滤波器技术(SCF)构成的8次低通滤波器(LPF)，其截止频率取决于时钟频率，允许从0.1 Hz 到25 kHz 可控。

作为滤波器的传输特性，对 MAX291来说具有振幅平坦特性，在设计时使通频带尽可能平坦，因此它可以作为普遍的滤波器来使用。而 MAX292具有延迟平坦特性，它的肩特性虽较为平缓，但通频带的相位特性非常平坦，最适合要求失真非常小传递波形的场合。

MAX291/292最简单的使用方法是无需外接电容器等元件，仅仅只要提供时钟就可以构成滤波器，同时 MAX291/292内部含有一个运算放大器，可以将它应用于其它各种场合，外壳封装为8脚 DIP 形式(见图3)。

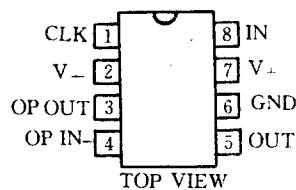


图3 MAX291/292 引脚排列

#### 3.2 MAX291/292应用实例

下面介绍一个用于D/A 变换器的滤波器电路。由于D/A 变换器输出的模拟信号并

不是一个完全的模拟量信号,必须使用低通滤波器滤掉高频分量后才可能获得必要的模拟信号,使用普通的运算放大器来构成这样的8次滤波器,电路比较复杂,而使用MAX291/292却可以简单地构成8次滤波器。

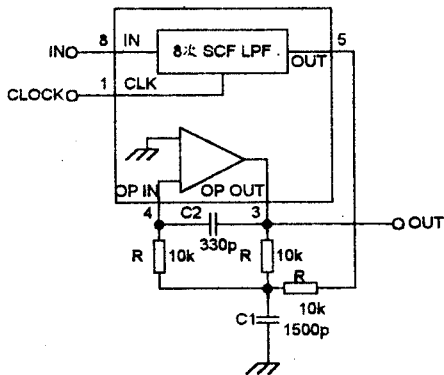


图4 开关电容滤波器的补偿联接

诚然,由于MAX291/292为开关电容滤

波器,因而要获得高的信/噪比是较困难的,为了改善这种情况,在开关电容滤波器之后往往联接一个由运算放大器构成的模拟多重反馈型2次有源低通滤波器,如图4所示。

## 4 结 语

(1) 本文所述 MOS 开关电容滤波器不需要外接 R、C 元件就可达到高精度、高稳定性的滤波目的。

(2) 若工作需要调节滤波器截频率,只需改变外部时钟频率即可。

(3) MOS 开关电容滤波器的控制时钟可与逻辑电平兼容,适合在电子测量系统中作精密滤波元件使用。

## 参 考 文 献

- 1 陆明述. 开关电容滤波器原理与设计. 科学出版社, 1986
- 2 刘新民. 一种精密可编程有源低通滤波电路. 自动仪器与装置, 1996(3)

《矿业研究与开发》, 研究、开发矿业, 致力科技进步, 推动生产发展, 促进学术繁荣, 追求时代特色, 竭诚为从事采矿科研、生产、管理和教学的广大读者服务!