

# 一种高性能低功耗水声引信滤波器的设计

徐远超, 张效民, 赵延安

(西北工业大学航海学院, 西安 710072)

摘要: 水声引信要求滤波器必须有较低的功耗和较快的阻带衰减。基于高性能开关电容滤波器 LMF100 设计一种适用于水声引信的带通滤波器。采用了两种设计带通滤波器的方法, 通过实际测试对两种方法作了比较, 最终设计出了过渡带窄、截止频率精确可调、阻带衰减快、低功耗的带通滤波器, 并给出了实际调试的结果。

关键词: 水声引信; LMF100; 滤波器; 低功耗

中图分类号: TM76

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2008)-02-0227-03

## Design of high performance and low power consumption underwater acoustic fuze filter

XU Yuan-chao, ZHANG Xiao-min, ZHAO Yan-an

(College of Marine Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi an 710072, China)

Abstract: Filter in underwater acoustic fuze must be low power-consuming and fast decreasing in stop-band. A bandpass filter fit for underwater acoustic fuze is designed by using high performance dual switched capacitor filter LMF100. Two methods of designing the band-pass filter are used and compared by testing. Finally a band-pass filter with narrow transition band, accurately controllable cutoff frequency, great attenuation in stop-band and low power consumption is successfully developed, and the debugging result of the developed circuit is given.

Key words: underwater acoustic fuze; LMF100; filter; low power consumption

## 1 引言

水声引信接收到的通常都是有噪声干扰的微弱信号, 为了识别出不同舰船产生的噪声, 需要在前置通道中对信号进行放大滤波处理。所以在水声引信前置通道中, 滤波器是必不可少甚至是至关重要的环节。水声引信接收机要求滤波器通带特性好、阻带衰减快。而作为工作于水声引信的滤波器, 还要求有较低的功耗。基于上述要求, 本文利用低功耗的高性能开关电容滤波器芯片 LMF100, 设计出了适用于水声引信的带通滤波器。

## 2 有源滤波器简介<sup>[1]</sup>

有源滤波器由电阻、电容、有源器件, 以及相应的独立电源等构成。常见的有巴特沃兹(Butterworth)、切比雪夫(Chebyshev)、反切比雪夫(Inverse Chebyshev)、椭圆(Elliptic)滤波器以及恒定延时滤波器等。由于切比雪夫滤波器有较好的通带特性和较大的阻带衰减, 其特性较适合于水声引信, 故重点介绍之。

切比雪夫滤波器是一种最佳的全极点滤波器。它的幅度特性为

$$|H(j\omega)| = \frac{K}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 C_n^2(\omega/\omega_c)}} \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

式中  $\varepsilon$  是小于 1 的表征通带波动大小的常数,  $C_n$  为第一类切比雪夫多项式, 且  $C_n(x) = \cos(n \cdot \arccos x)$ 。

收稿日期: 2007-04-25; 修回日期: 2007-07-09

作者简介: 徐远超(1982-), 男, 重庆人, 硕士研究生, 研究方向为通信与信息系统。

通讯作者: 徐远超, E-mail: xuyuanchao1982@yahoo.com.cn

当  $C_n$  为零时,幅度达到最大值  $K$ 。因为切比雪夫滤波器通带内幅度的波动范围是不变的,所以有时也称之为等波动滤波器。

### 3 滤波器设计

#### 3.1 芯片介绍<sup>[2]</sup>

LMF100 是 CMOS 双二阶通用开关电容有源滤波器,由微处理器精确控制滤波函数,可构成各种带通、低通、高通、陷波和全通配置。它有六种工作模式,通过调整外部的电阻来实现各个模式、增益、过渡带宽等。它的截止频率由外部时钟频率控制,截止频率与时钟频率比例可以选择为 1:100 或 1:50。它内部有两个运放电路,每一个与外围电阻可以作为一个二阶滤波器,它们与典型的二阶滤波器很相似。当设计一个四阶滤波器时需要用到双二阶滤波器。LMF100 具有如下特性:不需要外接电容;不易受外部器件干扰;中心频率和  $Q$  值十分稳定;可级联成低通、高通、带通、带阻等类型滤波器;时钟频率与中心频率的比值精确到  $\pm 0.2\%$ ;  $Q$  值精确到  $2\%$ ;  $4V \sim 15V$  电源电压工作;中心频率范围为  $0.1\text{Hz} \sim 100\text{kHz}$ ;  $f_n \times Q$  可达到  $1.8\text{MHz}$ ;单片集成、低功耗。

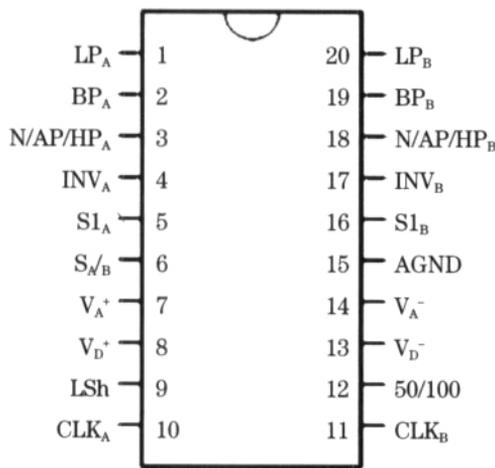


图1 LMF100 管脚图

Fig.1 Connection diagram of LMF100

#### 3.2 设计步骤

采用两种设计方法,设计时先用四阶高通滤波器和四阶低通滤波器实现带通滤波器。再直接设计四阶带通滤波器,对二者的性能综合比较,选择最合适的实现方式。在 LMF100 的各个工作模式中,模式 3 可设计高通、带通和低通滤波器,因此选择模式 3,且时钟与中心频率比值为 100:1 来设计滤波器。

图 2 为模式 3 内部结构图<sup>[3]</sup>。

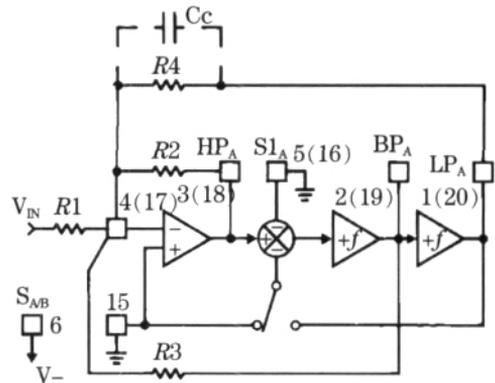


图2 模式 3 内部结构图

Fig.2 Configuration diagram of MODE 3

中心频率  $f_0$  满足:

$$f_0 = (f_{CLK}/100) \cdot \sqrt{R_2/R_4} \quad (1)$$

$$\text{或 } f_0 = (f_{CLK}/50) \cdot \sqrt{R_2/R_4} \quad (2)$$

品质因素  $Q$  满足:

$$Q = (R_3/R_2) \cdot \sqrt{R_2/R_4} \quad (3)$$

在中心频率点获得的增益:

$$H_{OBP} = -R_3/R_1 \quad (4)$$

设计步骤如下:

(1) 确定滤波器指标:中心频率  $f_0$ 、通带范围、通带内最大波动幅度以及过渡带宽。

(2) 根据滤波器指标计算滤波器每个二阶截止频率  $f_0$  和品质因素  $Q$ ;

(3) 根据增益由式(4)预设电阻  $R_1$  和  $R_3$  的值,例如先设  $R_1 = 20\text{k}\Omega$ , 则  $R_3 = H_{OBP} \times R_1$ ;

(4) 计算  $R_2$  和  $R_3$  的值。

由式(1)得  $R_2 = R_4 \cdot f_0^2 / (f_{CLK}/100)^2$ , 或由式(2)得  $R_2 = R_4 \cdot f_0^2 / (f_{CLK}/50)^2$ ;

由式(3)得  $R_3 = Q \sqrt{R_2 \cdot R_4}$ 。

### 4 设计实例

设计了一个切比雪夫型带通滤波器,通带范围为  $2.3\text{kHz} \sim 2.7\text{kHz}$ ,通带最大波动  $1\text{dB}$ ,过渡带为  $50\text{Hz}$ 。

4.1 用高通滤波器和低通滤波器实现带通滤波器(I)

图 3 中上部分为高通滤波器,  $F_c = 2.3\text{kHz}$ ,下部分为低通滤波器,  $F_c = 2.7\text{kHz}$ 。  $\text{CLK}_1 = 230\text{kHz}$ ,  $\text{CLK}_2 = 270\text{kHz}$ 。

输入频率  $2.6\text{kHz}$ 、幅值  $1\text{V}$  的正弦信号,时钟信号分别为频率  $230\text{kHz}$ 、幅值  $\pm 1.5\text{V}$  的时钟信号和频率  $270\text{kHz}$ 、幅值  $\pm 1.5\text{V}$  的时钟信号。改变输入信号频率,测得输出信号的幅值,用 MATLAB 画出的幅频特性曲线如图 4 所示。

4.2 直接设计带通滤波器(II)

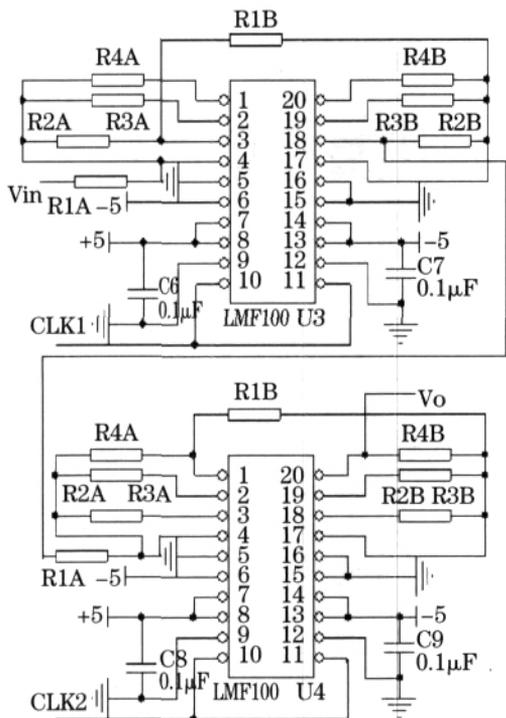


图 3 带通滤波器(I)  
Fig.3 Band-pass filter I

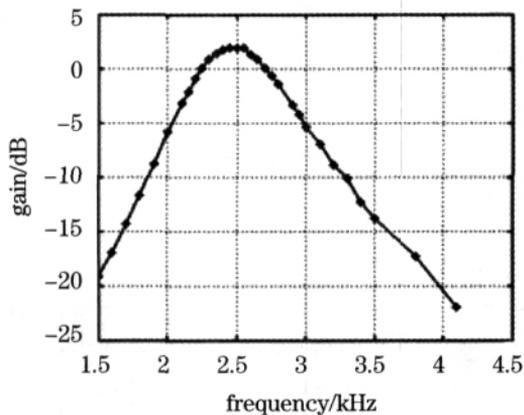


图 4 四阶切比雪夫带通滤波器 I ( $f_0=2.492\text{kHz}$ )  
Fig.4 Four-order Chebyshev band-pass filter I ( $f_0=2.492\text{kHz}$ )

电路结构图如图 5 所示,  $\text{CLK2}=249.2\text{kHz}$ 。

输入频率为  $2.3\text{kHz}$ 、幅值为  $1\text{V}$  的正弦信号, 外部时钟信号为频率  $249.2\text{kHz}$ 、幅值  $\pm 1.5\text{V}$  的时钟信号。改变输入信号频率从  $1.8\text{kHz}$  到  $3.4\text{kHz}$ , 测出输出信号的幅值, 用 MATLAB 画出的带通滤波器幅频响应曲线如图 6 所示。

比较图 4 和图 6 的带通滤波器, 发现图 4 的带通滤波器在通带  $2.3\text{kHz} \sim 2.7\text{kHz}$  内幅频响应波动较大, 在输入信号频率为  $3.4\text{kHz}$  时衰减为  $12\text{dB}$  左右; 而图 6 的带通滤波器通带内的幅频响应比较平坦, 波动较小, 在输入信号频率为  $3.4\text{kHz}$  时衰减达  $22\text{dB}$ , 通带和阻带特性都明显优于前者。在功耗方面, 在  $\pm 5\text{V}$  供电的情况下, 图 6 的带通滤波器

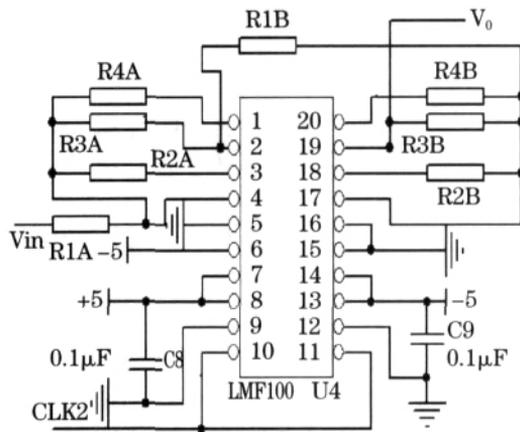


图 5 带通滤波器(II)  
Fig.5 Band-pass filter II

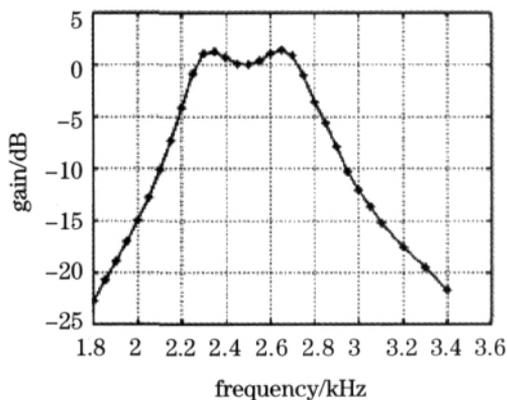


图 6 四阶切比雪夫带通滤波器 II ( $f_0=2.492\text{kHz}$ )  
Fig.6 Four-order Chebyshev band-pass filter II ( $f_0=2.492\text{kHz}$ )

消耗电流为  $13\text{mA}$ , 仅为图 4 的带通滤波器功耗的一半, 功耗低。所以最终直接用 LMF100 设计带通滤波器, 而不采取高通和低通组合的方式。

## 5 总结

本文采用两种方法设计了带通滤波器, 并进行了讨论, 最终根据需要采用 LMF100 芯片直接设计带通滤波器。但是当滤波器通带较宽时采用高通和低通组合的方式设计出的带通滤波器效果更好些。若把  $R_2$  换成精密可调电阻, 则滤波器的截止频率可精确调节(设计步骤(4))。经过水库试验证明, 本文设计的滤波器功耗低, 滤波性能很好, 工作稳定。

### 参考文献

- [1] 丁士圻. 模拟滤波器[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2004. 101-107, 125-126.  
DING Shiqi. Analog filter[M]. Harbin: Harbin Engineering University Press, 2004. 101-107, 125-126.
- [2] National Semiconduction Corporation. LMF100 High Performance Dual Switched Capacitor Filter[J]. 1999. 1-2.
- [3] National Semiconduction Corporation. LMF100 High Performance Dual Switched Capacitor Filter[J]. 1999.15.