

【引用格式】王伟, 邓秀华, 张恒. 基于 MAX274 的低通滤波器设计方法[J]. 数字海洋与水下攻防, 2022, 5(3): 273-277.

# 基于 MAX274 的低通滤波器设计方法

王 伟<sup>1,2</sup>, 邓秀华<sup>1,2</sup>, 张 恒<sup>1,2</sup>

(1. 中国船舶集团有限公司第七一〇研究所, 湖北 宜昌 443003;

2. 清江创新中心, 湖北 武汉 430076)

**摘 要** 介绍了一种基于 MAX274 芯片设计制作多通道有源低通滤波器的方法, 并通过 MATLAB 仿真得到滤波器频率响应曲线, 验证其在相应频带内有较好的滤波与增益性能。该设计体积小、单片集成、方便调试, 应用于某大深度潜标项目水声测量装置中, 能够实现对深海环境背景下目标信号的监测以及海洋环境噪声的长期定点采集。

**关键词** MAX274; 水声测量; 低通滤波

**中图分类号** TN713+4      **文献标识码** A      **文章编号** 2096-5753(2022)03-0273-05

**DOI** 10.19838/j.issn.2096-5753.2022.03.014

## Design Method of Low-pass Filter Based on MAX274

WANG Wei<sup>1,2</sup>, DENG Xiuhua<sup>1,2</sup>, ZHANG Heng<sup>1,2</sup>

(1. No.710 R&D Institute, CSSC, Yichang 443003, China; 2. Qingjiang Innovation Center, Wuhan 430076, China)

**Abstract** This paper introduces a design method of multi-channel active low-pass filter based on MAX274 chip, and low-pass filter frequency response curve is obtained and verified by Matlab simulation. It's observed that the low-pass filter's filtering and gain performance in the corresponding frequency band is fine. This design is small in size, monolithic and easy to debug. When used in underwater acoustic measurement device of a large depth submersible project, this device can realize the monitoring of target signal under the deep sea background and long-term fixed-point acquisition of marine environmental noise.

**Key words** MAX 274; underwater acoustic measurement; low-pass filter

## 0 引言

多种海洋环境要素构成的海战场环境是提高海上战斗力并使武器装备保持优势的关键所在, 为了利用深海声道 (DSC) 和可靠声道取得良好的探测效果, 一般需要将声呐或探测器布放在很大的深度上。大深度水声测量潜标将声换能器阵列与水文采集设备结合, 布放在深海声道之下更深处, 不但能够长期定点采集深海水文信息, 而且可实现远距

离不同方位对目标信号的连续测量与处理, 具有很高的海域适用性。大深度水声测量潜标, 要求其既能适应水下装备研制过程中对海洋背景噪声的急迫测量需求, 又要能远距离探测低噪声舰艇并实时给出报警信号。水声测量处理系统的主要目的是通过对水平阵列和垂直阵列以及立体阵列的声信号处理, 预报声呐性能, 实现特定区域和水深的声场空间结构和时间变异的测量与分析, 并且远距离探测诸如潜艇等微弱水声信号, 研究舰船辐射噪声平

面与立体空间特性,其研究成果能直接为水雷、预置式武器等水中兵器服务。该测量系统主要技术指标:工作频率小于10 kHz,垂直阵水听器阵列阵元数16元,圆环阵阵元数16元,通道间幅度一致性小于2 dB,相位一致性小于 $2^\circ$ ,采集存储时间大于100 h,值班时间大于6个月。

基于DSP的水声参数测量装置已经成为现在研究的热点,如何去除带外干扰噪声、提高信号采集的质量、准确获取目标特征是设计的一个难题<sup>[1]</sup>。目前,多数测量装置的前置模拟低通滤波器仍然由运算放大器和电阻、电容来实现。一般来说,具有较大R值的R、C滤波器是比较理想的,它不会产生明显的谐振<sup>[2]</sup>,但在信号频率为几千赫兹以上或传输率为kb/s以上的电路中,高R值是不适合的<sup>[3]</sup>;而且当工作频率较高时,元件周围的杂散电容将会严重影响滤波器的特性<sup>[4]</sup>;由于阶数高,使用的元器件也比较多,还会造成滤波器参数调整困难;最终设计的低通滤波器效果不是很好。MAXIM公司

推出的MAX274为4通道单片集成,只需外接电阻,就可以设计出所需的Butterworth、Bessel和Chebyshev滤波器,其受杂散电容影响小,体积小,软件设计界面易操作,是一款难得的实现多路、高阶模拟滤波器的芯片<sup>[5]</sup>。

## 1 MAX274 简介与工作原理

MAX274是一款连续时间有源滤波器设计芯片,内部由4个独立、可级联的二阶滤波单元构成,单个二阶滤波单元电路结构如图1所示。最高中心设计频率可达150 kHz,最后一个运放输入端的5 k电阻将积分电容与外管脚的寄生电阻隔离,大大提高了滤波器极点的精度<sup>[6]</sup>。单个二阶滤波单元其中心频率 $F_0$ 、品质因素 $Q$ 、带通增益 $H_{OBP}$ 、低通增益 $H_{OLP}$ 均可由其外接电阻R1~R4的设计来确定<sup>[7]</sup>。通过配置各单元外接电阻的阻值,可以设计出最高八阶(只能为偶数阶)有源的低通、带通、带阻和高通滤波器。

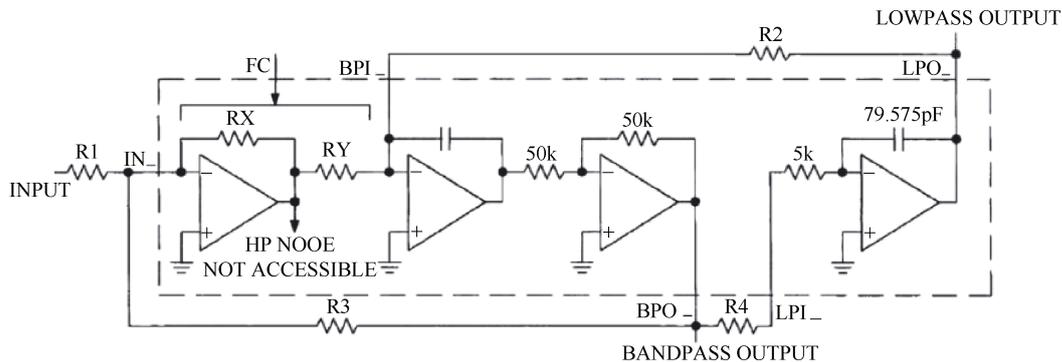


图1 MAX274内部二阶滤波单元

Fig.1 MAX274 internal second-order filter unit

MAX274芯片具有以下优点<sup>[8]</sup>:

- 1) 只需外接电阻,硬件设计简单且受杂散电容影响小;
- 2) Maxim公司提供免费的滤波器设计软件,无需复杂的计算;
- 3) 芯片为连续时间滤波器,无时钟噪声,总谐波失真典型值为-86 dB;
- 4) 放大倍数可调,软件调整参数简便易懂。

根据滤波单元原理图,单个二阶滤波单元通过外接4个电阻设计,其余元件封装在芯片内,并有

准确参数。其中心频率 $F_0$ 、品质因素 $Q$ 、低通增益 $H_{OLP}$ 、低通系统函数 $G(S)_{OLP}$ 与外接电阻之间的关系如式(1)~(4)所示<sup>[9]</sup>。

$$F_0(\text{Hz}) = 2 \times 10^9 / R2 \quad (1)$$

$$Q = \frac{R3 RY}{R2 RX} \quad (2)$$

$$H_{OLP}(\text{GAIN@DC}) = \frac{R2 RX}{R1 RY} \quad (3)$$

$$G(S)_{OLP} = H_{OLP} \frac{\omega_0^2}{S^2 + S(\omega_0/Q) + \omega_0^2} \quad (4)$$

根据以上关系式,且有  $R4=R2-5k$ ,则可得  $R1$ 、 $R2$ 、 $R3$  电阻值,芯片引脚 FC 为工作方式及频率选择。当 FC 接高电平时,  $RX/R_Y$  取值为 4/1; 当 FC 接地时,  $RX/R_Y$  取值为 1/5; 当 FC 接低电平时,  $RX/R_Y$  取值为 1/25。

通过调整外接的几个电阻,可以组成各种高阶有源低通滤波器,如 Butterworth、Chebyshev、Bessel 和 Elliptic 等。

巴特沃斯滤波器作为迄今为止用得最多的滤波器,其幅频响应在通带内非常平坦,过渡带的衰减速度比巴塞尔滤波器要快,在阻带范围内响应没有波纹<sup>[10]</sup>,所以非常适合作为数据在采集系统中的使用。

## 2 Butterworth 低通滤波器设计

MAXIM 公司为 MAX274 提供了免费的滤波器设计软件,可以通过软件快速计算出所需滤波器各个二阶滤波单元的 4 个外接电阻的阻值。本文以设计截止频率  $F_0=10\text{ kHz}$  的低通滤波器为例介绍滤波器设计软件的使用和设计经验。

1) 运行滤波器设计软件 FILTER.exe 后按任意键进入软件主界面,如图 2 所示。



图 2 设计软件主界面  
Fig.2 Main interface of design software

2) 选择第一选项,进入滤波器参数设置界面,如图 3 所示。设置类型 (Type) 为低通 (Lowpass),低通滤波器以 Butterworth 滤波器最佳,其通带内最为平坦,MAX274 芯片滤波单元阶数 (order) 为二阶,通带最大衰减 ( $A_{max}$ ) 设置为 3 dB,同时阻带最小衰减 ( $A_{min}$ ) 变为 12.285 dB,中心频率设置为 10 kHz。参数设置完成后,按 ESC 键返

回图 2 的主界面,选择第二项,进行 MAX274 外接电阻的设计。

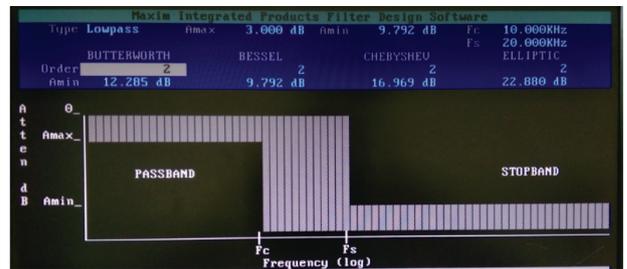


图 3 滤波器参数设置界面  
Fig.3 Parameter setting interface of filter

3) 按 L 键加载刚刚设置的参数,可以看到各个二阶滤波单元设计完毕,如图 4 所示。按 [Ctrl+G] 可以设置带通增益,本设计为 14 dB。



图 4 二阶滤波单元参数设置界面  
Fig.4 Parameter setting interface of second-order filter unit

4) 按 R 键可以查看单个二阶滤波单元的电路图,如图 5 所示,当外接电阻阻值过大时 (一般以 4 MΩ 为上限),需要接成 T 型网络或者更改芯片 FC 引脚的连接方式 (一般连接至 GND)。导出各二阶单元的电阻,可以进行后续的仿真验证和电路制作。

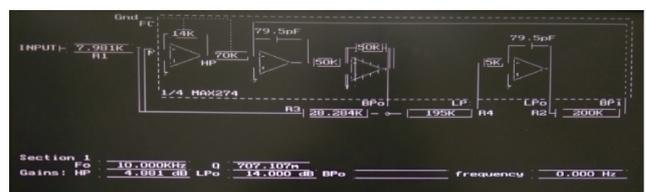


图 5 二阶滤波单元电路图  
Fig.5 Circuit diagram of second-order filter unit

## 3 电路实现

一般来说,滤波器止带处的特性曲线变化陡峭,二阶节的 Q 值较大,求出的电阻值一般也比较大;而中间部分的二阶节则 Q 值较小,曲线平

缓。合理地分配各个中心频率、品质因数非常重要，它将直接影响到滤波器的结构复杂程度，甚至最终的滤波效果。根据本设计要求，低通滤波器截止频率  $F_0$  为 10 kHz，增益 14 dB，在通带内有良好的平坦度，在接近截止带产生快速的衰减。本文将 2 个滤波器单元进行级联来实现，根据设计软件得到的该 4 阶低通滤波器的设计参数如表 1 所示。

表 1 低通滤波器设计参数

Table 1 Design parameters of low-pass filter

参数	$F_0$ /kHz	$Q$	Gain	R1/k $\Omega$	R2/k $\Omega$	R3/k $\Omega$	R4/k $\Omega$
Section1	10	0.707	2	20	200	28.28	195
Section2	10	1.307	2.5	16	200	52.28	195

在求出各个电阻值后，不要急着将它设计成电路，可以先通过 MATHEMATIC 或者是 MATLAB 等仿真软件，对滤波器的频谱进行仿真。观察不同的外接电阻值对整个频带的影响，以求得最佳的滤波特性。由表 1 参数根据 MATLAB 绘图，得到滤波器的频率相应曲线，如图 6 所示。可以看出，设计的四阶 Butterworth 低通滤波器，在 10 kHz 通带内增益为 14~15 dB，带外衰减可达 -80 dB/10 倍频程，仿真结果满足性能设计要求。

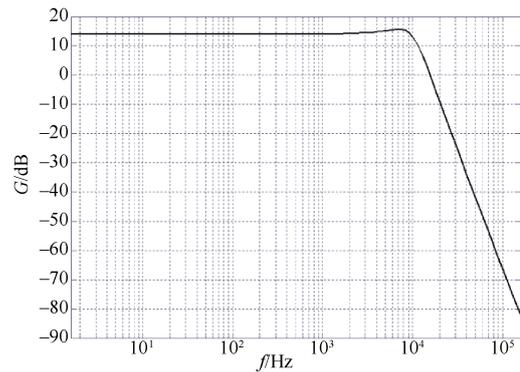


图 6 低通滤波器频率特性仿真曲线

Fig.6 Frequency characteristic simulation curve of low-pass filter

设计出低通滤波器电路图如图 7 所示。利用丹麦 B&K 公司推出的噪声、振动多分析仪系统 PULSE version 12 对搭建出来的多通道、四阶 Butterworth 低通滤波器进行测试，用宽带扫频 (10 Hz ~ 20 kHz) 方式测得各滤波器单元电路的幅频特性。经测试，设计的低通滤波器在通带内增益 15 dB，8 kHz 内幅度波动小于 1 dB，带外衰减 -16 dB/2 倍频程，与仿真特性一致。系统不同通道间的相位差在  $\pm 1^\circ$  以内，满足通带内平坦性好、通道间一致性高的技术要求。

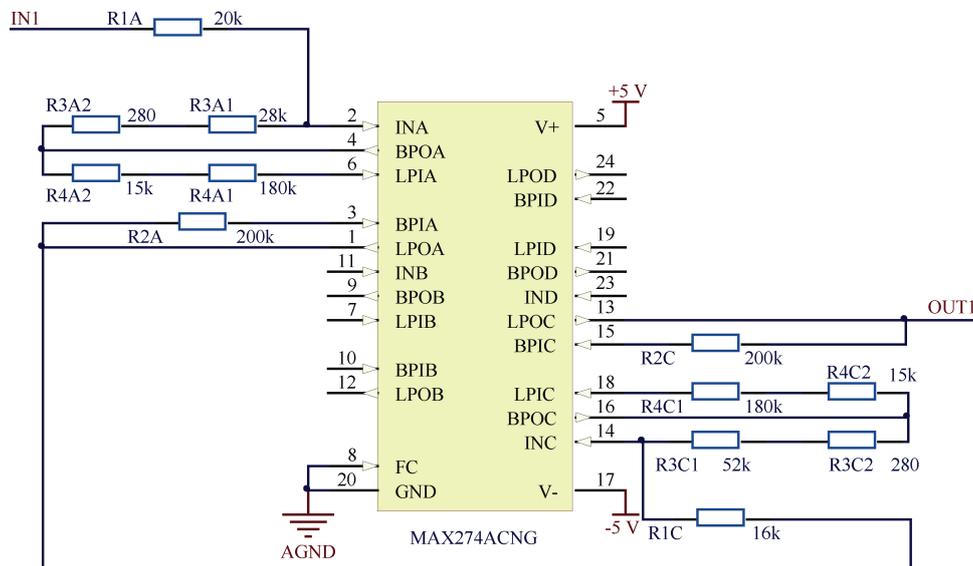


图 7 低通滤波器电路图

Fig.7 Circuit diagram of low-pass filter

该电路应用于水声测量潜标，在南海海域与某型水声发射潜标进行了联合试验，发射潜标信号

为：30 s 单频+2 s 间隔+30 s 调频+2 s 间隔+30 s 白噪声，有效发射时间 90 s，连续重复发射 4 次。测

量潜标数据记录仪获得的结果如图8显示:在发射信号时刻,系统采集到发射潜标发射的完全相同4组信号,单组信号中,依次发射的30 s单频信号频率:450 Hz,30 s调频信号为正调频,频率从350 Hz变化到约700 Hz,频谱最大的频率为500 Hz,与标准的发射潜标的发射信号频率一致,相对误差 $\leq 1\%$ 。结果进一步说明了采用MAX274设计的巴特沃斯低通滤波器达到了预期的滤波效果。

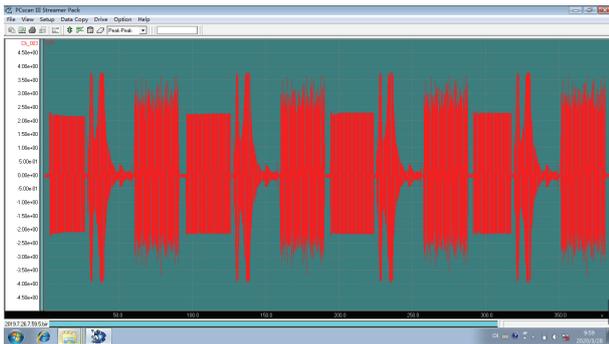


图8 接收的滤波信号  
Fig.8 Received filtered signal

#### 4 结束语

该设计方案已应用于某大深度潜标水声测量系统中,在南海海域与某型声呐进行了联合试验,准确采集并记录了声呐的频谱特征,成功解决了目标因环境噪声等外部干扰原因而不能准确测量的问题。系统在6个月的值班时间内,完成了对试验海域的海洋噪声环境监测。实际应用结果证明:采

用MAX274设计的巴特沃斯低通滤波器达到了预期的滤波效果,其结构简单、性能可靠、应用前景广泛。

#### 参考文献

- [1] 王之程,陈宗岐,于泓,等.舰船噪声测量与分析[M].北京:国防工业出版社,2004.
- [2] 刘小群.基于Multisim的四阶有源低通滤波器的设计与仿真[J].新技术新工艺,2011(6):34-36.
- [3] 陈东升,许肖梅.八阶连续时间滤波器MAX274在浅海水声跳频通信系统中的应用[J].厦门大学学报,2008,47(2):178-181.
- [4] 樊京,王金菊,张磊.基于MAX275的巴特沃兹滤波器设计[J].现代电子技术,2006(8):13-14,18.
- [5] 张淑娥,王丹.基于MAX274的滤波器设计与实现[J].无线电通信技术,2011,37(6):53-54,64.
- [6] 刘国鹏.有源滤波器MAX274在电力参数测量中的应用[J].装备制造技术,2014(12):132-134,154.
- [7] 卢育中,李春风.基于MAX274的多通道有源低通抗混迭滤波器的设计[J].船舶电子工程,2018,38(10):216-219.
- [8] 程光宇,吴浩然,唐劲松.基于MAX274的八阶带通模拟滤波器的设计与仿真[J].船舶电子工程,2016,36(9):62-65.
- [9] MAXIM. MAX274/275 Data sheet[S]. USA: Maxim Integrated Products, 2008.
- [10] 童诗白.模拟电子技术基础[M].4版.北京:高等教育出版社,2007.

(责任编辑:肖楚楚)