

基于 MAX274 的音频滤波器设计

·产品设计·

黄凌, 陈翀, 杨伟迎, 黄晓

(中山大学信息科学与技术学院 电子与通信工程系, 广东 广州 510275)

【摘要】介绍了 MAX274 有源滤波器的特性及计算电路参数的原理和数学推导过程。说明了 MAXIM 公司专用滤波器设计芯片配套开发软件的使用方法。给出了简洁、有效的滤波器设计方法, 设计了通带范围为 300~3 400 Hz 的音频有源切比雪夫型带通滤波器。实际滤波效果良好。

【关键词】带通滤波器; 切比雪夫型滤波器; 品质因数

【中图分类号】TN713

【文献标识码】B

Active Bandpass Audio Filter Design with MAX274

HUNAG Ling, CHEN Chong, YANG Wei-ying, HUANG Xiao

(Department of Electronics and Communication Engineering, School of Information Science and Technology, Sun Yat-sen University, Guangzhou 51027, China)

【Abstract】The architecture and the calculations of the feature of active filter IC MAX274 are introduced. And the methods of using the supporting software to assist the design are given. A simple and effective design method of 300~3 400 Hz active Chebyshev band pass audio filter with MAX274 is given.

【Key words】bandpass filter; Chebyshev filter; quality factor

在语音数字系统的设计中, 为了防止在数据采集后发生混叠失真, 同时因为前端一般会混入 50 Hz 的交流电源噪声, 为了阻止语音频带外的噪声, 在 A/D 转换之前要设置一个滤波器。并且, 为了在接收端的 A/D 转换后还原出高质量的语音信号, 也需要有尖锐截止特性的通带范围为 300~3 400 Hz 的带通滤波器。经调查研究, 笔者采用了 8 阶连续时间有源滤波器芯片 MAX274, 设计出了比较满意的带通滤波器。现将设计方法及经验体会总结如下。

1 基于语音带通滤波器类型的选择

一般有源连续滤波器有以下类型:

(1) 巴特沃斯(Butterworth)型滤波器在通带和止带内没有复杂的纹波。相位响应的线性特性比较好。但是接近通带的止带衰减不够快, 即滚降特性不太好。

(2) 切比雪夫(Chebyshev)型滤波器的设计是为了在接近通带的止带产生最佳的衰减, 即具有最快的滚降。但是它在相位上不是线性的, 也就是说, 不同的频率分量要受到不同时间延迟的支配。而且会在通带或者止带内产生纹波。

(3) 椭圆函数(Elliptic)型滤波器可以产生比切比

雪夫型或巴特沃斯型滤波器更陡峭的滚降, 不过却在通带和止带内同时引入了内容复杂的纹波, 并造成较强的非线性相位响应^[1]。

笔者在系统设计中所需要的带通滤波器, 要在接近通带的止带产生比较好的衰减, 并且滤波器阶数在满足要求的前提下应尽可能小。切比雪夫型滤波器具有比较快的滚降, 相位响应基本满足要求, 且相对其他滤波方式完成相同的指标所需阶数较小。经过权衡取舍, 选择了切比雪夫型滤波器来设计带通滤波器。

2 MAX274 连续时间有源滤波器简介

MAX274 是一种连续时间有源滤波器, 内部有 4 个 2 阶状态可变滤波器单元, 可实现巴特沃斯型、切比雪夫型、椭圆函数型以及贝赛尔(Bessel)全通型滤波器。

2.1 采用 MAX274/275 设计滤波器的优点

(1) 电路简单, 不需外接电容, 根据设计要求, 每个滤波单元只需外接 4 个编程电阻, 即可实现从 100 Hz~150 kHz 的低通、带通滤波;

(2) MAXIM 公司网站提供了免费的专用设计软件, 免去了人工复杂计算;

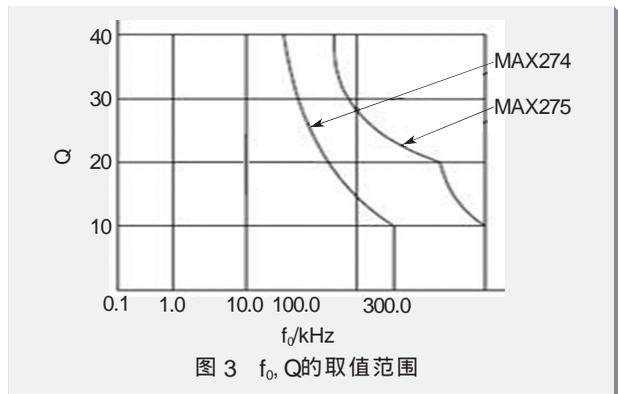
$$G = \sqrt{(E+2)^2 - 4D^2} \quad (9)$$

$$Q = \sqrt{(E+2+G)/2D^2} \quad (10)$$

$$H = \frac{\sigma_v Q}{n} \quad (11)$$

$$f_0 = \begin{cases} f_{01} \times (H + \sqrt{H^2 - 1}), & \omega_v > 0 \\ f_{01} \times (H - \sqrt{H^2 - 1}), & \omega_v < 0 \end{cases} \quad (12)$$

(5) 由于内部运放有限的增益带宽积和驱动能力, MAX274 对中心频率与品质因数之比 f_0/Q 有限制, 见图 3。



所以, 应确保上面几步算出来的 f_0/Q 在图 3 的可实现区内, 超出此范围的滤波器是不可能实现的。

(6) 按以下步骤计算外接电阻值, 注意外接电阻最大应在 5 M 左右, 因为这时寄生电容的影响会明显地表现出来, 造成过大的 f_0 误差。外接电阻最小不应小于 5 k, 这是由运放的驱动能力所决定的, 以下计算所得电阻值单位均为 Ω 。

$$\text{计算 } R_2: R_2 = 2 \times 10^9 / f_0 \quad (13)$$

$$\text{计算 } R_4: R_4 = R_2 - 5k \quad (14)$$

因为 R_4 在芯片内串联一个 5 k 电阻, 所以 R_4 的值可小于 5 k ;

计算 R_3, R_3 主要由 Q 决定

$$R_3 = \frac{Q \times 2 \times 10^9}{f_0} \times \left(\frac{R_x}{R_y} \right) \quad (15)$$

式中: R_x, R_y 为滤波器单元内的两个电阻, 其比值由 FC 的电平决定, 见表 1。

表 1 R_x/R_y 值的确定

FC 接到	R_x/R_y
V+	4/1
GND	1/5
V-	1/25

计算 R_1, R_1 由所需增益决定。

对于低通滤波器

$$R_1 = \frac{2 \times 10^9}{f_0 \times H_{OLP}} \times \left(\frac{R_x}{R_y} \right) \quad (16)$$

式中: H_{OLP} 是输入频率为 0 时管脚 LPO 处的增益。对于高通滤波器: $R_1 = \frac{R_3}{H_{OBP}}$, H_{OBP} 是输入频率为中心频率时管脚 BPO 处的增益。为了提高中心频率 f_0 和品质因数 Q 值的精度, FC 脚应尽可能接地。

(7) 把各个二阶节串接起来, 组成切比雪夫型滤波器。二阶节的排列顺序影响滤波器的动态范围, 为了实现的滤波器能有较大的动态范围, 连接时可把各个二阶节按 Q 值的大小由低到高顺序排列。

至此, 把各项参数如通带频率 $f_1=300$ Hz, $f_2=3400$ Hz, 阻带频率 $f_{s1}=100$ Hz, $f_{s2}=10$ kHz, 通带最大衰减 $A_{max}=3$ dB, 阻带最小衰减 $A_{min}=10$ dB, 实现阶数 $m=4$ 代入以上各步骤的公式中, 就能设计出一个频带范围为 300~3400 Hz 的四阶切比雪夫型滤波器。可见如果纯粹人工计算是非常繁琐的, 但是通过对原理计算的了解可以在实际调试中科学的决策。

4 MAXIM 软件辅助设计

从上面的步骤可知, 利用 MAX274 设计一个滤波器需要的计算量很大, 阶数越大, 计算越困难。为此, MAXIM 公司提供了免费的设计软件, 该软件可根据所要求的滤波形式, 计算出滤波器阶数、极点值、 Q 值和电阻大小, 省去了人工计算。而且, 它的算法跟以上介绍的方法是一样的。

步骤如下:

(1) 通过在软件主选单上选择滤波器的类型并进入设置各个参数(通带频率 $f_1=300$ Hz, $f_2=3400$ Hz, 阻带频率 $f_{s1}=100$ Hz, $f_{s2}=10$ kHz, 通带最大衰减 $A_{max}=3$ dB, 阻带最小衰减 $A_{min}=10$ dB, 实现阶数 $m=4$)。

(2) 设置完成后退回主选单选择硬件设置, 可以得到各个二阶节的参数, 包括中心频率 f_0 、品质因数 Q 值、增益和电阻值, 各个参数还可根据实际情况修改, 一般除增益与电阻值外其他参数较少修改。设置完其余参数后, 可对各个二阶节的电阻值进行修改并标准化, 以配合实际调试。如果电阻值超过 5 M, 为防止寄生电容的影响, 可以通过软件直接将电阻转化为等值的 T 型网络。最后应把各个二阶节按 Q 值的大小由低到高顺序排列, 以获得较大的动态响应范围。

(3) 设置完电阻后可观察各个二阶节的幅频特性和相频特性, 方便验证实际设计的每个二阶节的频谱。

(4) 笔者利用 MAXIM 附带的软件设计出的频段范围为 300~3 400 Hz 的四阶切比雪夫型滤波器的各级电阻值为: 第一级二阶节: $R_1=30.841\text{ k}$, $R_2=477.141\text{ k}$, $R_3=89.285\text{ k}$, $R_4=472.14\text{ k}$; 第二级二阶节: $R_1=318.744\text{ k}$, $R_2=4\ 931\text{ k}$, $R_3=922.8\text{ k}$, $R_4=4\ 931\text{ k}$ 。

5 安装调试

由于 MAXIM 提供的软件仿真出来的频谱图并不十分精确, 而且无法观察级联起来后的频谱, 所以应该再在 MATLAB 下完成仿真得到更加精确的频谱。

仿真可根据二阶节的内部结构可以得到输入比带通输出的传递函数

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{R_2 R_3 (R_4 + 5000) C S}{-5 R_1 R_2 R_3 (R_4 + 5000) C^2 S^2 - R_1 R_2 (R_4 + 5000) C S - 5 R_1 R_3} \quad (17)$$

式中: $C=79.5\text{ pF}$ 。

把设计软件中得到的每个二阶节的电阻值代入相应的传递函数中, 再把每个二阶节的传递函数相乘, 可以得到最后输出的幅频响应, 见图 4 实线部分。

设计中, 实际能实现的电阻阻值与计算值之间有一定的误差, 即使使用可调电阻, 也存在误差。因此要对电阻值进行取舍, 一般只要误差不超过 5%, 电阻值对滤波器波形的影响就不大, 基本可以满足要求。

在实际调整电阻值过程中要遵循以下简单的原则: R_1 的阻值与增益成反比; R_3 的阻值与品质因数 Q 成正比; R_2 与 R_4 的阻值分别与带宽成反比。

实际调试后, 得出了比较令人满意的幅频响应, 见图 4 虚线部分。调整之后的实际电路连接原理图见图 5, 其中各级电阻值是: 第一级二阶滤波器: $R_1=25.7\text{ k}$, $R_2=410\text{ k}$, $R_3=69.5\text{ k}$, $R_4=920\text{ k}$; 第二级二阶滤波器: $R_1=400\text{ k}$, $R_2=5\ 040\text{ k}$, $R_3=930\text{ k}$, $R_4=4\ 600\text{ k}$ 。

6 结束语

实践证明, 采用连续时间集成滤波器 MAX274 设计和制作的音频滤波器, 结构简单, 易于设计, 性能可靠, 避免了传统滤波器电子元件多、不宜调节的缺点, 很好地满足了设计要求, 实际滤波效果良好。

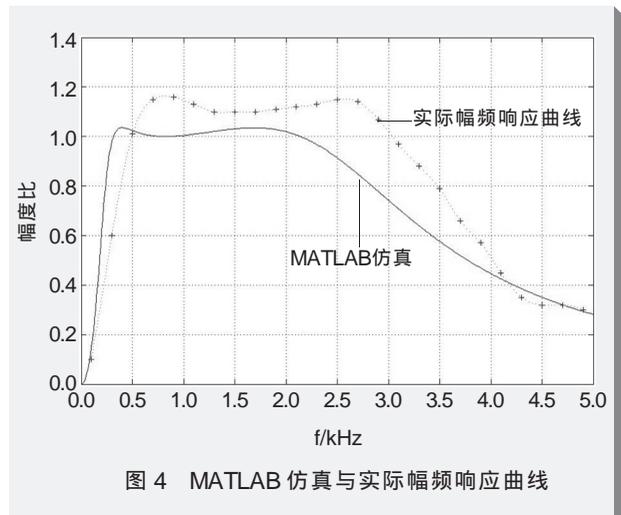


图 4 MATLAB 仿真与实际幅频响应曲线

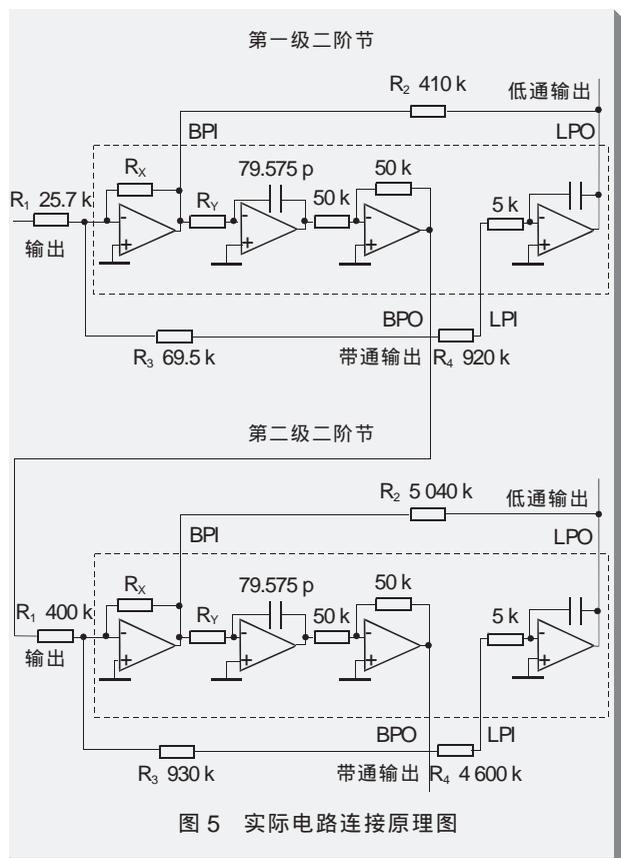


图 5 实际电路连接原理图

参考文献

- [1] 李鸣华. 一种通用 RC 有源滤波器的电路设计[J]. 电脑与电子, 2000, (1): 36-37.
 - [2] 张涛. MAX274/275 有源滤波器的应用研究[J]. 微计算机信息(嵌入式与 soc), 2005, 21, (7): 145-146.
 - [3] 杨行峻. 语音信号数字处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 1995.
 - [4] 李远文, 胡筠. 有源滤波器设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1986.
- [责任编辑] 史丽丽 [收稿日期] 2006-06-23