

音响放大器设计

张强
10电子信息科学与技术
中国海洋大学
1433725128@qq.com

张进
10电子信息科学与技术
中国海洋大学
309615448@qq.com

摘要

音响放大器是一种常见的音量放大电路。通过该电路，可以实现话筒扩音、音调控制、音量控制等功能。本次仿真主要围绕着这几个方面展开，同时也对信号的几种工作状态进行了进一步分析。

关键词： 声音放大；音调控制；声音混合

Future Distribution Permission

The author(s) of this report give permission for this document to be distributed to OUC-affiliated students taking future courses.

1. 引言

音响放大器是生活中常见的电子放大器器件。如今的高档音响制品为了保证信号的保真度，一般都采取模拟电路来进行制作。如今世界上做音响比较好的企业有法国的VISIONACOUSTIQUE、英国HARBETH、美国的INFINITY等。一个高档的音响制作，不仅包含了电路的知识，同时也包含着声学、材料学、力学等原理。本文仅就音响的电路设计仿真进行讨论，对声音信号进行放大、混合以及分频。

2. 方法

整个电路基本有以下部分组成：语音放大器、混合前置放大器、音调控制器、功率放大器。

各部分功能以及电路实现如下所述：

2.1 语音放大器：电路图如图 1 所示

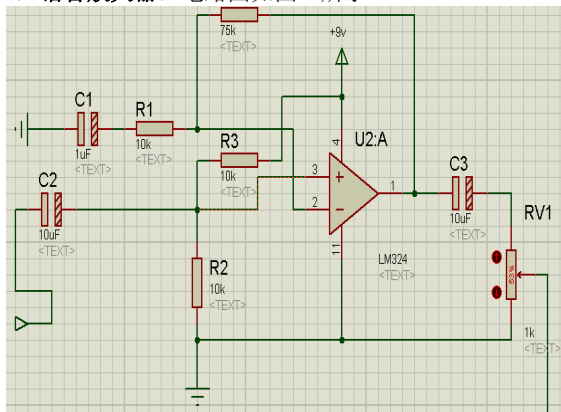


图 1 语音前置放大电路

话筒的输出信号一般只有5mv左右，而输出阻抗达到了20kΩ，所以语音放大器的作用是不失真的放大声音信号。其输入阻抗应远大于话筒的输出阻抗。通过调节滑动变阻器可以调节信号的放大倍数，当输入信号过大时，输出信号会出现顶部失真。假设输入以一个正弦波信号代替。

2.2 混合前置放大器：电路图如图 2 所示

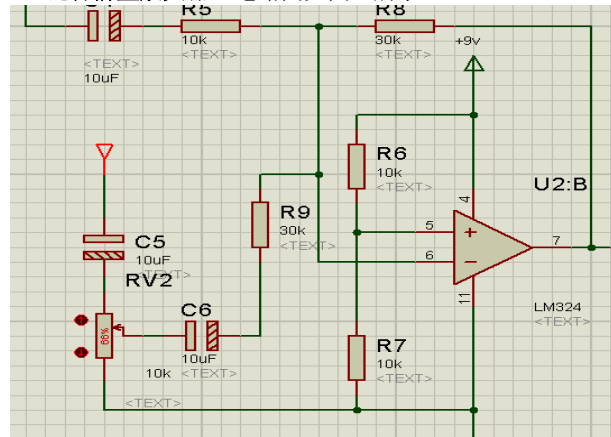


图 2 混合前置放大电路

混合前置放大器的作用是将音乐信号与声音信号混合放大。电路图是一个反相加法器。

反相加法器的放大简图以及放大倍数的计算按图 3 所计算：

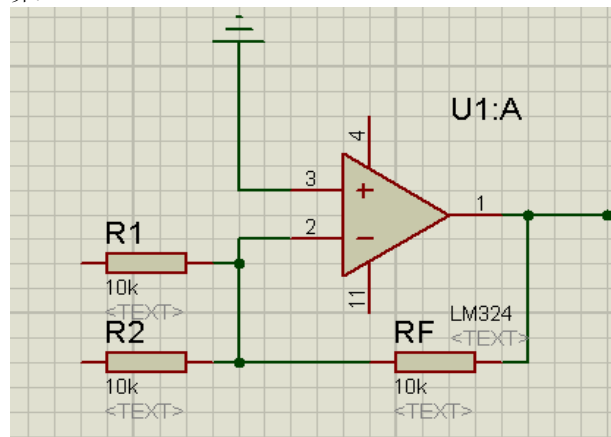


图 3 反相加法器原理图

输出电压与输入电压之间的关系是：

$$V_0 = - \left(\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 \right) \quad \text{公式 1}$$

式中 V_1 为话筒放大器输出电压， V_2 为收音机输出电压伴奏信号由电容 C_5 处接入，通过调节滑动变阻器可以调节信号的放大倍数。

2.3 音调控制器

音调控制器主要是控制、调节音响放大器的幅频特性，理想的控制应当输入信号为中音频的时候增益为零，对高频和低音频的增益进行提升与衰减。因此，音调控制器的电路可以由低通滤波器和高通滤波器构成，

电路图如图 5 所示：

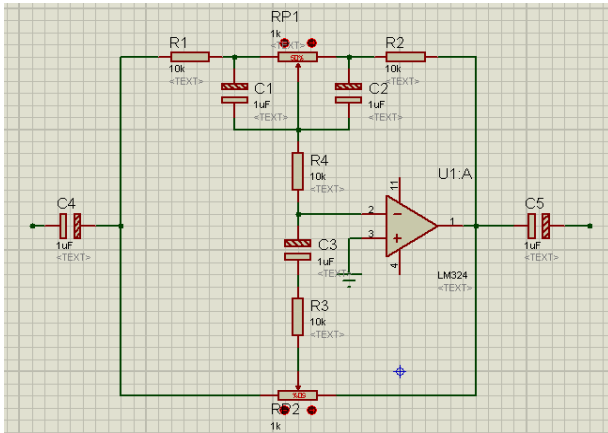


图 5 音调控制器

下面对电路进行分析，设电容 $C_1 = C_2 \gg C_3$ ，在中低音区， C_3 可视为开路，在高频区 C_1 、 C_2 可视为短路。设 f_0 表示中音频率， f_{L1} 表示低音频转折频率， f_{L2} (约为 $10 f_{L1}$) 表示低音频的中音频转折频率， f_{H1} 表示高频区的中音频转折频率， f_{H2} 表示高频转折频率。则：

(一)：当 $f < f_0$ 时，低频等效电路图如图 6 所示：

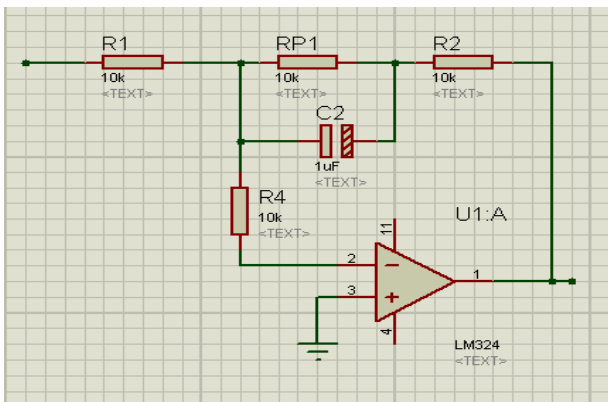


图 6 低音等效图

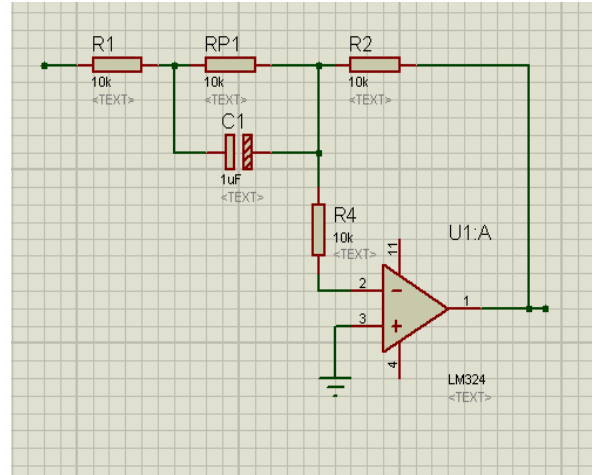


图 7 高音等效图

图 6 为 RP_1 划臂在最左端，对应低频提升最大情况，图 7 是划臂在最右端，对应低频衰减最大情况。

其中，图 6 的增益函数表达式为

$$A(j\omega) = - \frac{RP_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{1 + (j\omega)/\omega_2}{1 + (j\omega)/\omega_1} \quad \text{公式 2}$$

式中 $\omega_1 = 1/(RP_1 C_2)$ ；

$$\omega_2 = (RP_1 + R_2)/(RP_1 R_2 C_2)。$$

当 $f < f_{L1}$ 时， C_2 可视为开路，运算放大器反相输入端可以视为虚地， R_4 的影响可以忽略，而此时电压增益为：

$$A_{VL} = (RP_1 + R_2)/R_1 \quad \text{公式 3}$$

当 $f = f_{L1}$ 时，因为 $f_{L2} = 10 f_{L1}$ ，故由公式 (2) 可得

$$A_{V1} = \frac{RP_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{1 + 0.1j}{1 + j} \quad \text{公式 4}$$

$$\text{模 } A_{V1} = (RP_1 + R_2) / \sqrt{2} R_1 \quad \text{公式 5}$$

此时电压增益相当于 AVL 下降了 3 dB。

当 $f = f_{L2}$ 时，

$$A_{V2} = - \frac{RP_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{1 + j}{1 + 10j} \quad \text{公式 6}$$

$$\text{模 } A_{V2} = - \frac{RP_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{\sqrt{2}}{10} = 0.14 A_{VL} \quad \text{公式 7}$$

此时电压增益相当于 A_{VL} 下降 17dB。同理可以得出图 7 所示电路的表达式，其增益相对于中频增益为衰减量。

(二)：当 $f > f_0$ 时，音调控制器高频等效电路如图 8 所示：

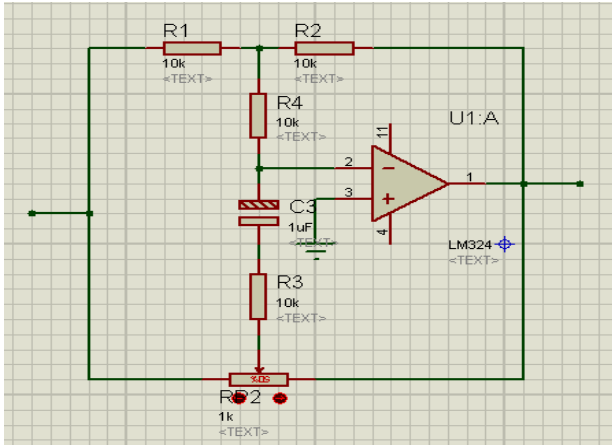


图 8 高频等效

此时可以将 C_1 、 C_2 视为短路, 因此, 可以等效成为图 9:

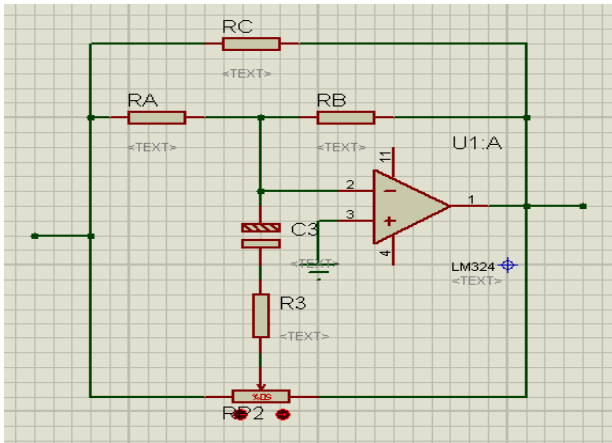


图 9 短路后等效图

电阻的关系式如下:

$$R_A = R_1 + R_4 = (R_1 * R_4 / R_2) \quad \text{公式 8}$$

$$R_B = R_4 + R_2 + (R_4 * R_2 / R) \quad \text{公式 9}$$

$$R_C = R_1 + R_2 + (R_2 * R_1 / R_4) \quad \text{公式 10}$$

取 $R_1 = R_2 = R_4$, 则

$$R_A = R_B = R_C = 3R_1 = 3R_2 = 3R_4$$

图 9 的高频等效图如图 10 所示:

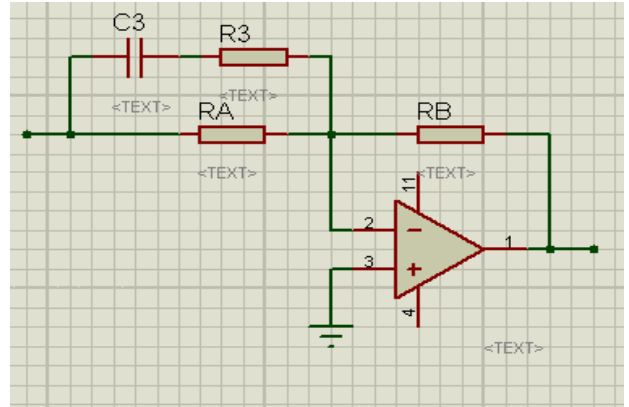


图 10 划臂在左端等效图

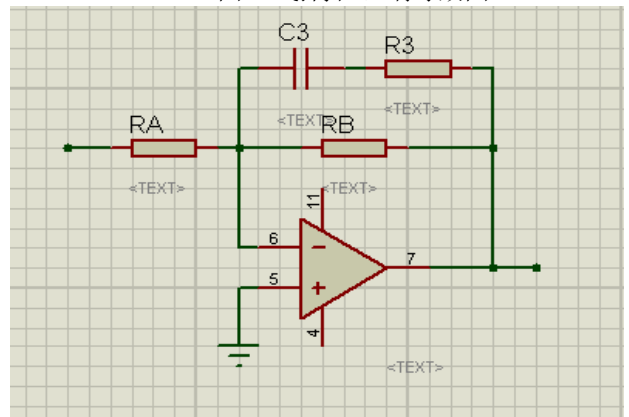


图 11 划臂在右段等效图

其中, 图 10 为 RP_2 划臂在最左端时对应高频提升最大的情况, 图 11 为划臂在最右端对应高频衰减最大的情况。

可以求得, 图 10 的增益表达式为:

$$\dot{A}(j\omega) = \frac{\dot{V}}{\dot{V}_i} = \frac{R_b}{R_A} \cdot \frac{1 + j\omega/w_3}{1 + j\omega/w_4} \quad \text{公式 11}$$

$$\text{式中, } w_3 = 1/[(R_a + R_3)C_3]$$

$$w_4 = 1/(R_3C_3)$$

同低频分析可得:

当 $f < f_{H1}$ 时, C_3 视为开路, 此时电压增益:

$A_{V0} = 10\text{dB}$. 在 $f = f_{H1}$ 时有 $A_{V3} = \sqrt{2}A_{V0}$ 此时电压增益 A_{V3} 相当于 A_{V0} 提升了 3dB , 在 $f = f_{H2}$ 时, 有

$A_{V4} = \frac{10}{\sqrt{2}}A_{V0}$ 此时电压增益相对于 A_{V0} 提升了 17dB 。

当 $f > f_{H2}$ 时, C_3 视为短路, 此时电压增益为

$$A_{VH} = (R_a + R_3)/R_3 \quad \text{公式 12}$$

同理可以得出图 11 所示电路的表达式, 其增益相对于中频增益为衰减量。

2.4 集成功率放大器

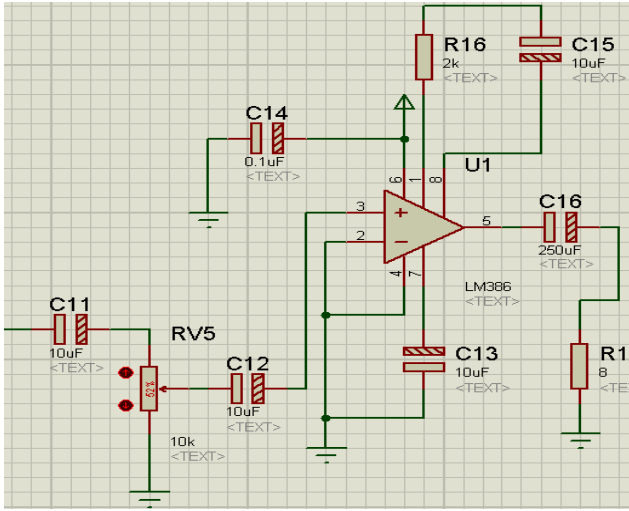


图 12 集成功率放大器

集成功放LM386是一个单电源供电的音频功放，它是由复合管差分输入级、共射放大电路和甲乙类互补输出级构成的。通过引入深度电压串联负反馈，使整个电路具有稳定的电压增益。其内部结构详见附录。

通过改变引脚1和8之间的外部连接电阻R和电容C就可改变放大器的增益，在深度负反馈条件下，整个电路的电压增益为

$$A_{VF} = \frac{2R_7}{R_5 + R_6 // R} \quad \text{公式 13}$$

整体电路如图 13所示：

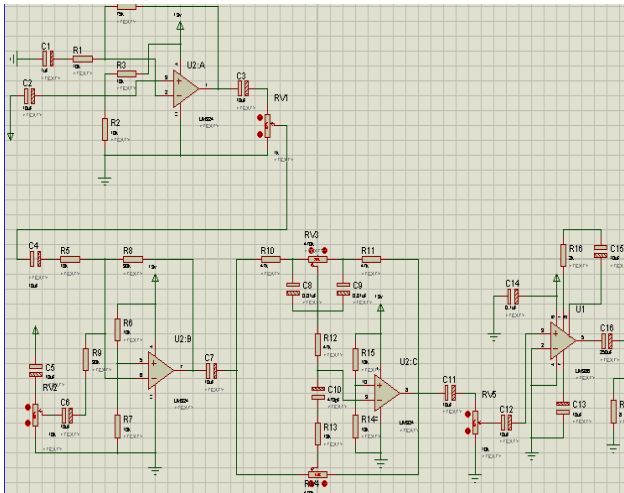


图 13 音响整体电路

4. 结果与讨论

4.1 话音放大器波形：如图 14所示

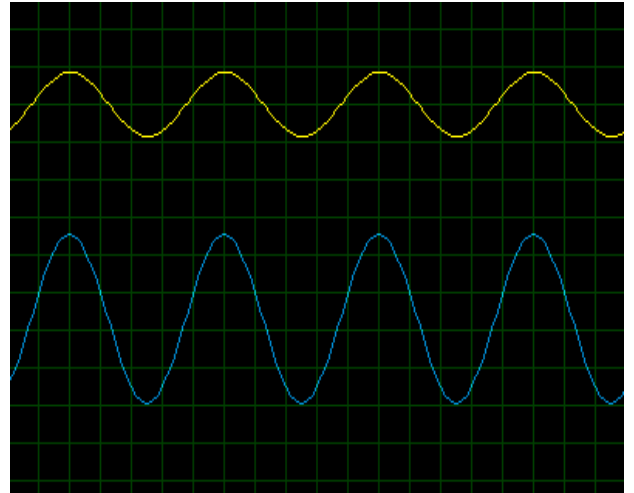


图 14 话音放大器（黄线代表输入，蓝线代表输出）

4.2前置混合放大器输出波形：如图 15 图 16 图 17所示

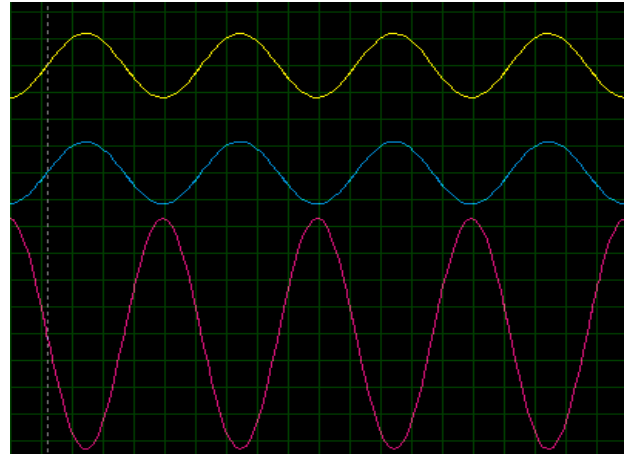


图 15 混合放大器（输入同频等幅信号的输出）

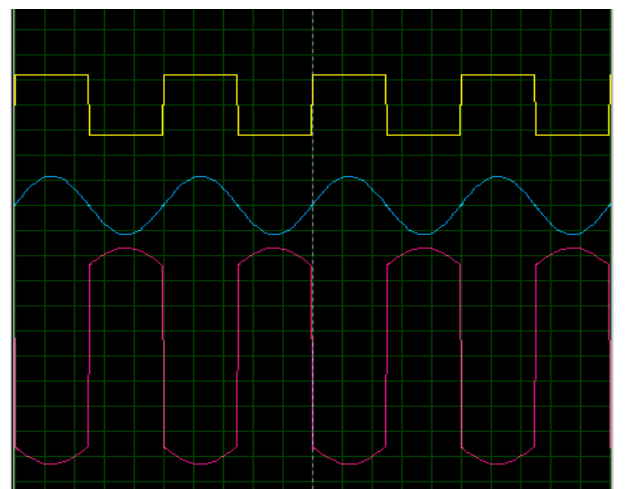


图 16混合放大器（频率相同波形不同的输出）

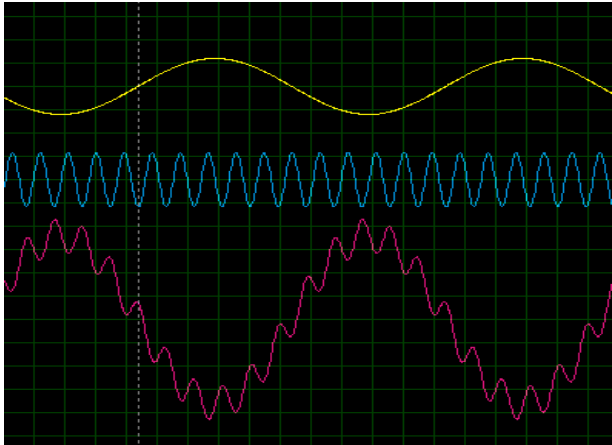


图 17混合放大器（波形频率都不相同的输出）

4.3 音调控制器的输出波形：如图 18图 19 图 20所示

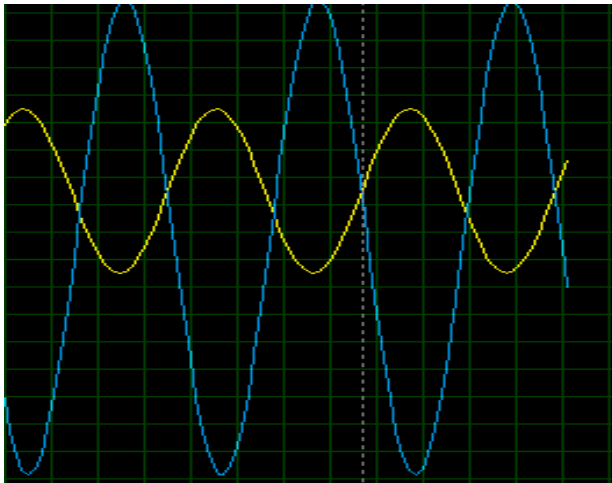


图 18音调控制器（输入频率为12hz的输入输出曲线）

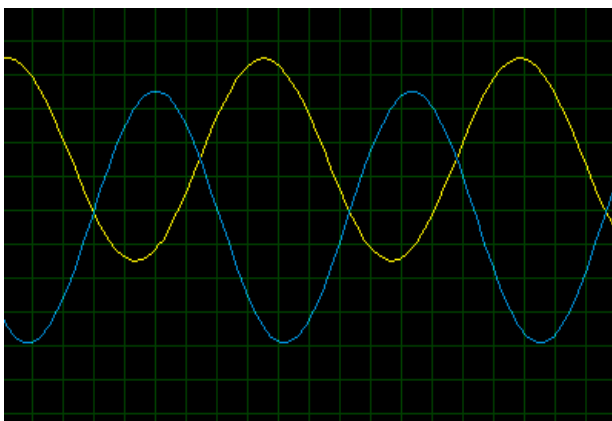


图 19音调控制器（输入频率120hz）

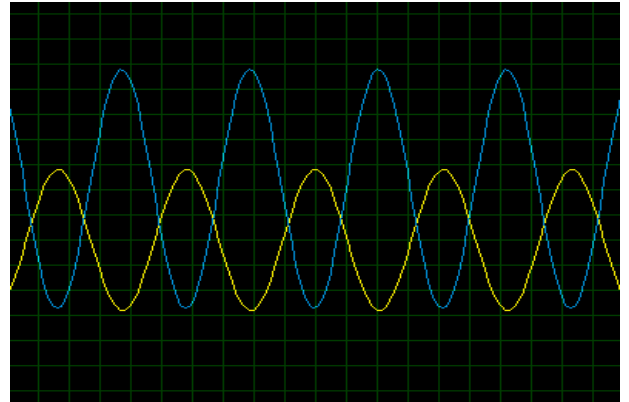


图 20音调控制器（输入频率120kh）

音调控制器的幅频特性如图 21所示：

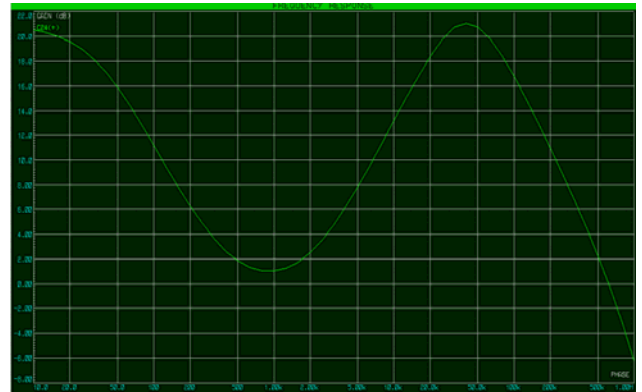


图 21 音调控制器幅频特性

由上文分析可以看出，这个电路可以比较好的完成对信号的分频放大。

4.4 集成功率放大器波形：输出波形如图 22所示

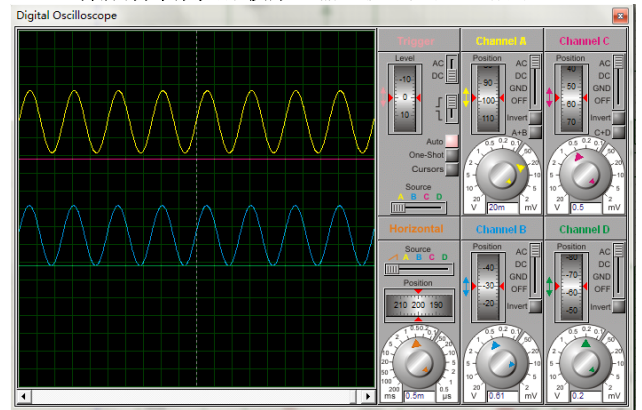


图 22 功率放大器波形

5. 结论

本次试验主要采用了子系统研究方法，先对每个子系统进行分析，然后再对整个电路进行总体调试以及改良。这种方法可以很明确也很清晰的找出系统的问题出处然后进行解答。

然而，本次试验最大的不足在于没有找到一个真正的声音信号进行仿真，只是对不同频率、不同幅值、不同相位的信号进行了混合与放大。然而一个真正的音响系统需要对真正的声音信号进行处理，因此，这个电路可能在实际中还会存在很多的问题。

通过这次仿真实验设计，提升了我们对电路的理解，尤其是电路参数的理解。失之毫厘，谬以千里，尤其是在电路这种比较精密的系统中，可能一个细小的错误就会导致最终结果与预期大相庭径。同时，通过实践，我们也意识到，力量来自团队，所以才能无穷。一个人的思想毕竟很有局限性，但是两个人在讨论之下反而会得出更好的答案。

致谢

郑海永老师：对电路整体提出要求以及指导

鲁国同学：在仿真过程中帮忙解决了几项技术性问题

参考文献

- [1] 童诗白 华成英 模拟电子电路基础（第四版）[M] 2006: 122-134
- [2] 谢龙汉 Proteus电子电路设计及仿真 [M] 2007: 127-128

6. 附录

本次仿真主要是在proteus完成
LM386内部构造：

