



浙江工业大学

# 模拟电子技术基础 项目设计作业

题目：声音和音乐混合电路

作者姓名 凌智城

指导教师 李如春

专业班级 通信工程 1803

学 院 信息工程学院

2019 年 12 月 15 日

摘要：

利用集成运算放大器，设计一声音和伴奏音乐的混合电路。假设话筒输出的声音信号比较微弱，只有 10mV，且话筒输出阻抗达到  $20\text{K}\Omega$ ；伴奏音乐比较强劲，约为 200mV。要求首先对声音信号进行放大，达到跟伴奏音乐强度相当时再进行混合。放大器的带宽要求在音频范围之内，即 20Hz—20KHz。利用 multisim 软件对所设计的电路进行仿真验证。

注意点：

- 1.电阻和电容要用标称值；
- 2.电阻阻值不要取太小，已防电路中电流过大。

# 目录

<b>一 系统方案设计.....</b>	<b>4</b>
1.1 设计要求.....	4
1.2 设计指标（包括原始数据、技术参数、条件、设计要求等） .....	4
<b>二 方法设计与论证.....</b>	<b>错误！未定义书签。</b>
2.1 设计过程.....	4
2.2 频率响应.....	5
2.3 输入阻抗.....	6
2.4 噪声电压.....	6
<b>三 单元电路设计与参数计算.....</b>	<b>6</b>
3.1 话音放大器.....	6
3.2 混合前置放大器.....	7
3.3 音调控制器.....	7
<b>四 仿真过程与仿真结果.....</b>	<b>10</b>
4.1 话音放大器波形上下限频率测试.....	10
4.2 音调控制器上下限频率测试.....	11
4.3 混合放大级输出波形对比.....	11
<b>五 总电路图.....</b>	<b>12</b>
<b>六 结论与设计体会.....</b>	<b>12</b>

## 一 系统方案设计

### 1.1 设计要求

- 1) 了解集成运算放大器内部电路工作原理，掌握外围电路设计与主要参数的测试方法。
- 2) 掌握音响放大器的设计方法
- 3) 能够使用电路仿真软件 Multisim 进行部分电路测试

### 1.2 设计指标（包括原始数据、技术参数、条件、设计要求等）

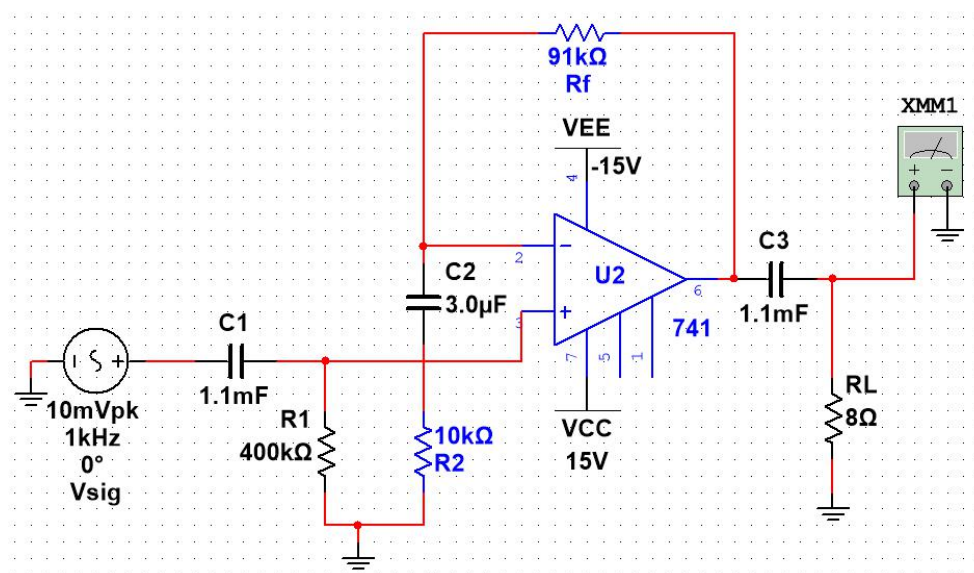
- 1) 设计以声音和音乐混合器，对声音信号进行放大，达到跟伴奏音乐强度相当时再进行混合。
- 2) 以集成运算放大器为核心进行设计
- 3) 指标：

已知：话筒输出信号 10mV，话筒输出阻抗达 20kΩ，伴奏音乐 200mV  
带宽要求 20Hz--20kHz

## 二 方法设计与论证

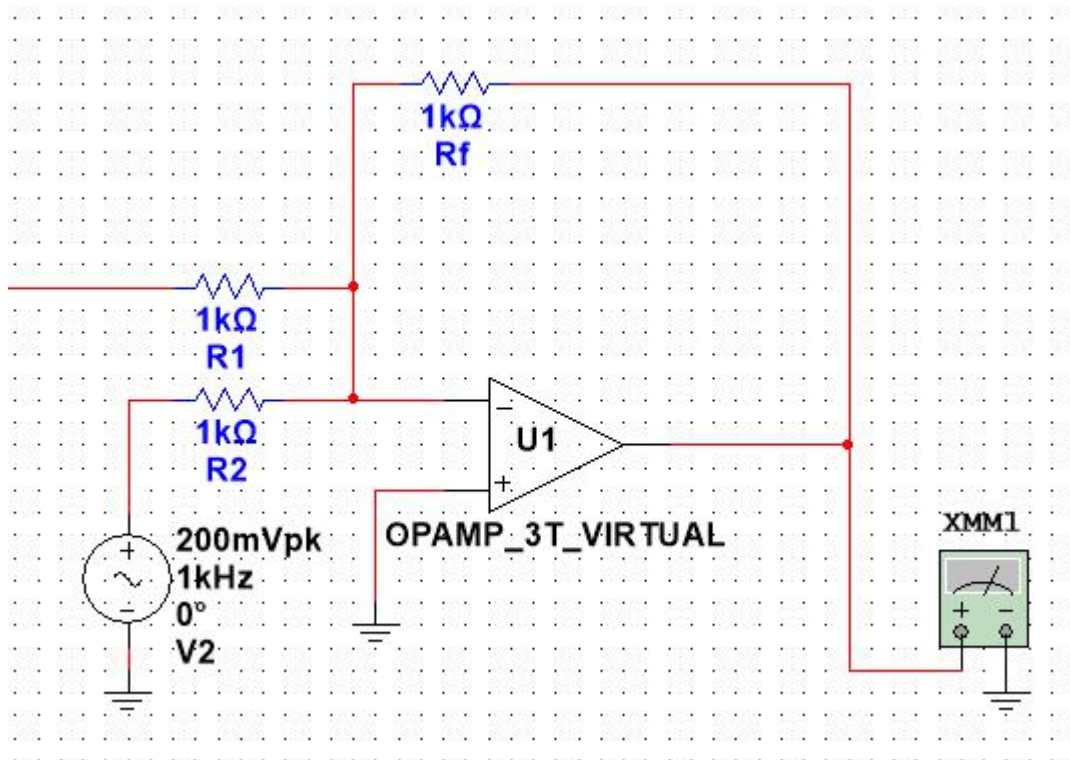
### 2.1 设计过程

#### 2.1.1 话音放大级

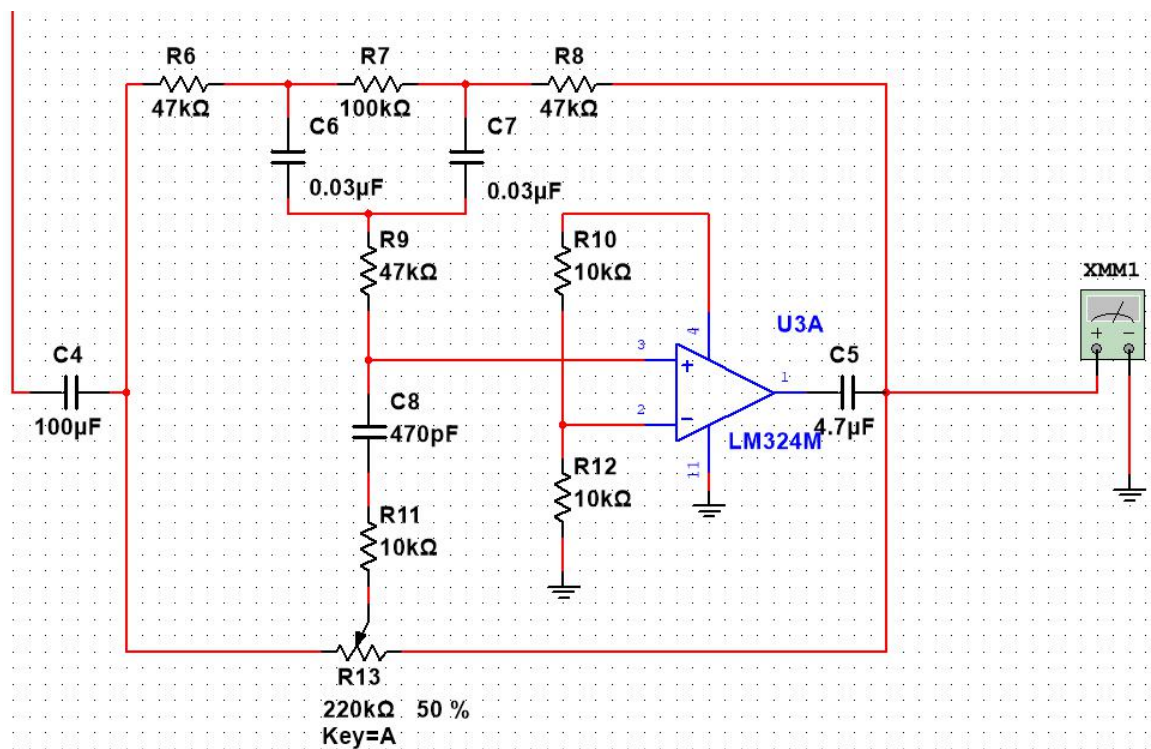


$$\text{放大倍数 } A_{v1} = 1 + \frac{R_f}{R_2} = 10.1 \quad (20.1\text{dB})$$

### 2.1.2 混合放大级



### 2.1.3 音调控制级



## 2.2 频率响应

放大器的电压增益相对于中音频  $f_0$  (1kHz) 的电压增益下降 3dB 时对应低音频截止频率  $f_L$  和高音频截止频率  $f_H$ ，称  $f_L \sim f_H$  为放大器的频率响应。

## 2.3 输入阻抗

将从音响放大器输入端(话音放大器输入端)看进去的阻抗称为输入阻抗  $R_i$ 。如果接高阻话筒，则  $R_i$  应远大于 20k。

## 2.4 噪声电压

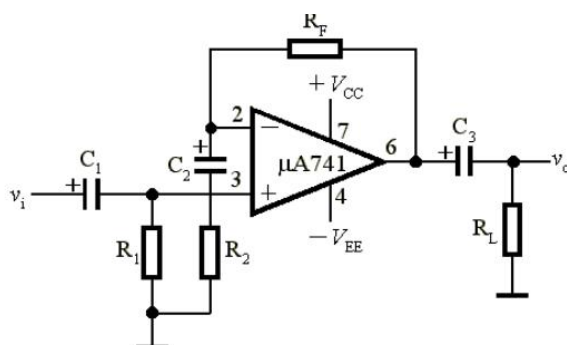
音响放大器的输入为零时，输出负载  $R_L$  上的电压称为噪声电压  $V_N$ 。测量方法是，使输入端对地短路，用示波器观测输出负载  $R_L$  两端的电压波形，用交流毫伏表测量其有效值。

# 三 单元电路设计与参数计算

话筒输出信号只有 10mVpk 左右，二输出阻抗达到 20k $\Omega$ 。

话音放大器的作用是不失真地放大声音信号，输入阻抗应当远大于话筒的输出阻抗。

## 3.1 话音放大器

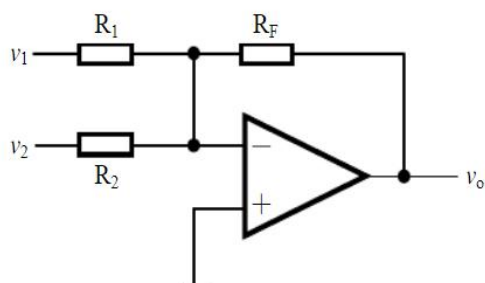


放大倍数 
$$A_{v1} = 1 + \frac{R_f}{R_2}$$

$R_1=R_2=400\text{k}\Omega$  耦合电容  $C_1, C_3$  取  $1.1\text{mF}$ (由下限频率确定)

反馈之路隔直电容  $C_2$  取  $3.0\mu\text{F}$

### 3.2 混合前置放大器



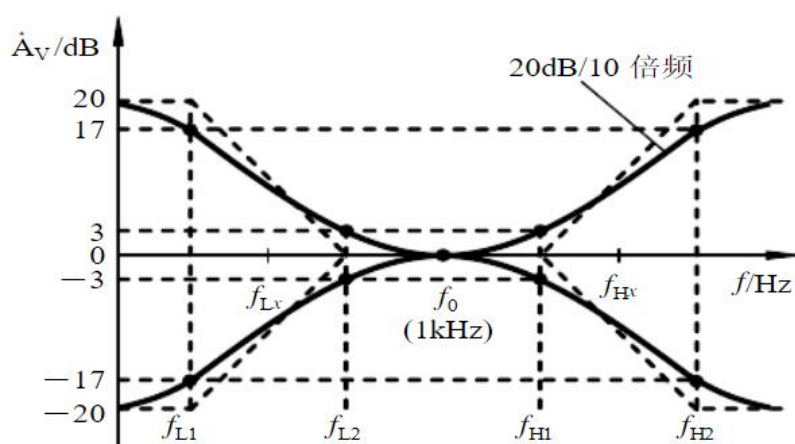
图中:  $V_1$  为话筒放大器的输出电压;

$V_2$  为收音机的音乐输入电压。  $V_0 = -(\frac{R_F}{R_1} V_1 + \frac{R_F}{R_2} V_2)$

此处设计时  $R_1, R_2, R_f$  均取  $1\text{k}\Omega$  相当于反相加法器

### 3.3 音调控制器

主要目的是控制、调节音响放大器的幅频特性



$f_0$  (1kHz) 表示中音频率, 增益  $A_{v0}=0\text{dB}$

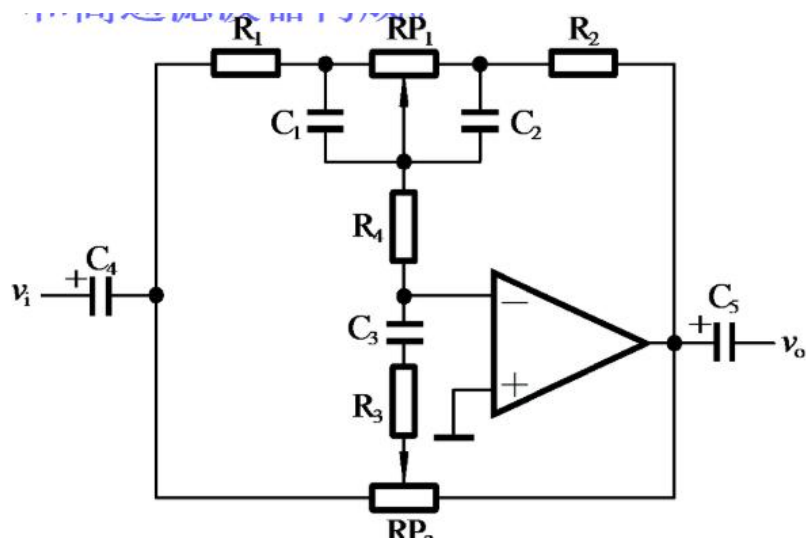
$f_{L1}$  表示低音转折频率, 一般为几十赫兹

$f_{L2}$  ( $10f_{L1}$ ) 表示低音频区的中音转折频率

$f_{H1}$  表示高频区的中音频转折频率

$f_{H2}$  ( $10f_{H1}$ ) 表示高频转折频率，一般为几十千赫兹

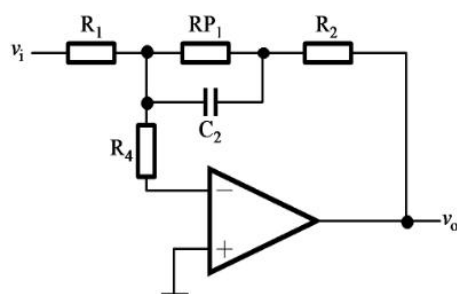
音调控制器只对低音频和高音频的增益进行提升和衰减，中音频的增益保持不变。因此，音调控制器的电路可由低通滤波器和高通滤波器构成。



设电容  $C1=C2 \gg C3$ ，在中、低音频区， $C3$  可视为开路，作为低通滤波器；在中、高频区， $C1$ 、 $C2$  可视为短路，作为高通滤波器。

① 当  $f < f_0$  时

1) 当  $RP_1$  的滑臂在最左端时，对应于低频提升最大的情况



有源一阶低通滤波器



式中

$$\dot{A}(j\omega) = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = -\frac{RP_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{1 + (j\omega)/\omega_2}{1 + (j\omega)/\omega_1}$$

$$\omega_1 = 1/(RPC_2) \text{ 或 } f_{L1} = 1/(2\pi RPC_2)$$

$$\omega_2 = (RP_1 + R_2)/(RPR_2C_2) \text{ 或 } f_{L2} = (RP_1 + R_2)/(2\pi RPR_2C_2)$$

当  $f < f_{L1}$  时,  $C_2$  可视为开路, 运算放大器的反向输入端视为虚地,  $R_4$  的影响可

以忽略, 此时电压增益  $A_{VL} = \frac{RP_1 + R_2}{R_1}$

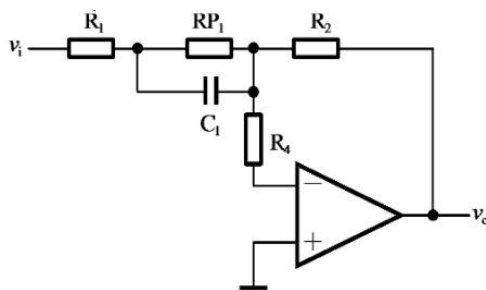
$$\dot{A}_{V1} = -\frac{RP_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{1 + 0.1j}{1 + j}$$

在  $f = f_{L1}$  时,  $f_{L2} = 10 f_{L1}$   $A_{V1} = (RP_1 + R_2)/\sqrt{2}R_1$ , 此时电压增益相对下降 3dB

$$\dot{A}_{V2} = -\frac{RP_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{1 + j}{1 + 10j}$$

在  $f = f_{L2}$  时,  $A_{V2} = -\frac{RP_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{\sqrt{2}}{10} = 0.14A_{VL}$ , 此时电压增益相对下降 17dB

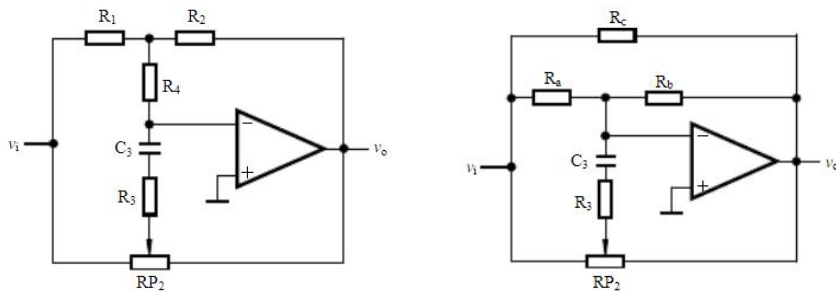
2) 当  $RP_1$  的滑臂在最右端时, 对应低频衰减最大的情况



同理可得此时增益相对于中频增益为衰减量

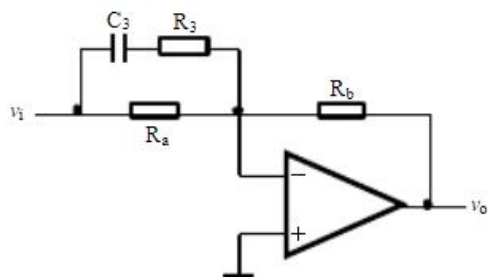
①当  $f > f_0$  时

$C_1$ 、 $C_2$  可视为短路, 作为高通滤波器,  $R_4, R_1, R_2$  组成星形连接, 转化为三角形连接后



$$\left. \begin{aligned} R_a &= R_1 + R_4 + (R_1 R_4 / R_2) \\ R_b &= R_4 + R_2 + (R_4 R_2 / R) \\ R_c &= R_1 + R_2 + (R_2 R_1 / R_4) \end{aligned} \right\} \text{若取 } R_1 = R_2 = R_4, \text{ 则 } R_a = R_b = R_c = 3 R_1 = 3 R_2 = 3 R_4$$

1) 当 RP2 滑臂位于最左端时, 对应高频提升最大的情况



一阶有源高通滤波器, 增益表达式

$$\dot{A}(j\omega) = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = -\frac{R_b}{R_a} \cdot \frac{1 + (j\omega)/\omega_3}{1 + (j\omega)/\omega_4}, \quad \omega_3 = 1/[(R_a + R_3)C_3] \text{ 或 } f_{H1} = 1/[2\pi(R_a + R_3)C_3]$$

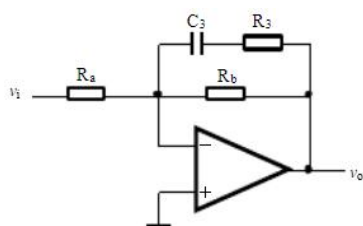
$$\omega_4 = 1/(R_3 C_3) \text{ 或 } f_{H2} = 1/(2\pi R_3 C_3)$$

当  $f < f_{H1}$  时,  $C_3$  视为开路, 此时电压增益  $AV_0 = -1$  (0dB)

当  $f = f_{H1}$  时,  $f_{H2} = 10 f_{H1}$ , 电压增益  $AV_3$  相对于  $AV_0$  提升了 3dB

当  $f = f_{H2}$  时, 电压增益  $AV_4$  相对于  $AV_0$  提升了 17dB

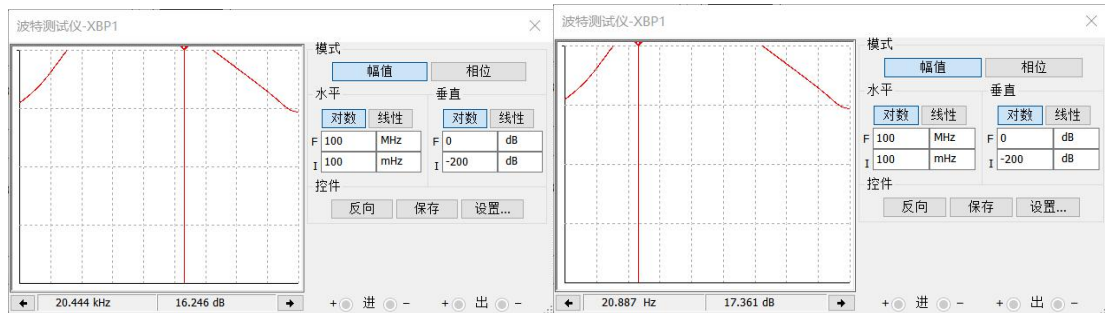
2) 当 RP2 滑臂位于最右端时, 对应高频衰减最大的情况



同理可求出相应的表达式, 其增益相对于中频增益为衰减

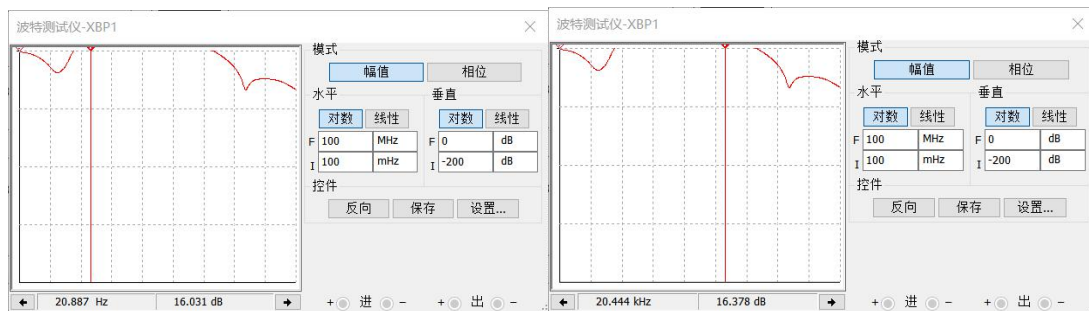
## 四 仿真过程与仿真结果

### 4.1 话音放大器波形上下限频率测试



$$f_H = 20.444 \text{ kHz}, f_L = 20.887 \text{ Hz}$$

### 4.2 音调控制器上下限频率测试



$$f_H = 20.444 \text{ kHz}, f_L = 20.887 \text{ Hz}$$

### 4.3 混合放大级输出波形对比

