

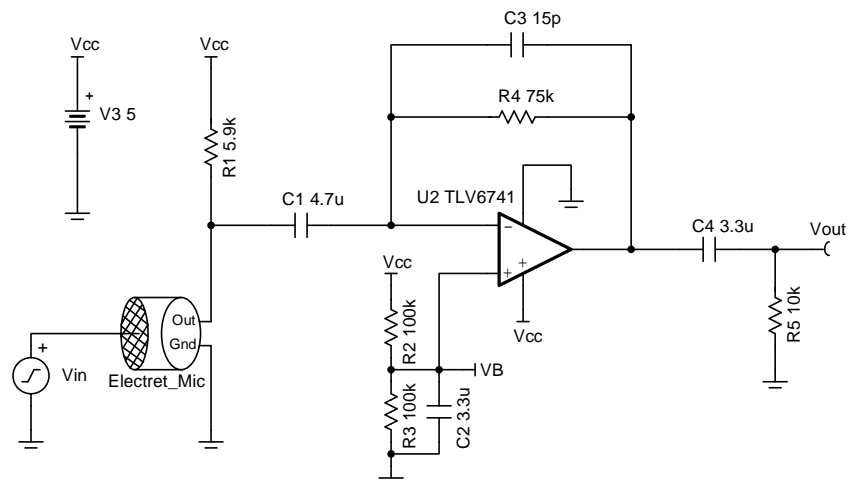
## TIA 麦克风放大器电路

### 设计目标

输入电压最大值	输出电压最大值	电源		频率响应偏差	
		$V_{cc}$	$V_{ee}$	@20Hz	@20kHz
100dB SPL(2Pa)	1.228V <sub>rms</sub>	5V	0V	-0.5dB	-0.1dB

### 设计说明

此电路使用跨阻抗放大器配置中的运算放大器将驻极体炭精盒麦克风的输出电流转换为输出电压。此电路的共模电压是固定的，设置为中位电压，可消除任何输入级交叉失真。



### 设计说明

1. 在线性输出运行范围内使用运算放大器，通常在  $A_{OL}$  测试条件下指定该范围。
2. 使用膝点电压低的电容器（钽、C0G，等等）和薄膜电阻器来帮助降低失真度。
3. 使用电池为此电路供电，以消除因切换电源而导致的失真。
4. 使用低电阻值电阻器和低噪声运算放大器实现高性能低噪声的设计。
5. 为了偏置麦克风而连接到  $R_1$  的电压不必与运算放大器的电源电压一致。使用高麦克风偏置电压将允许  $R_1$  使用较高的值，这会降低运算放大器电路的噪声增益，同时仍使麦克风保持正常运行。
6. 电容器  $C_1$  应该足够大，以它的阻抗远远小于音频频率下的电阻器  $R_1$ 。使用钽电容器时请注意信号极性。

## 设计步骤

以下面的麦克风为例来设计此电路。

麦克风参数	值
灵敏度 - 94dB SPL (1 Pa)	-35 ± 4 dBV
电流消耗最大值	0.5mA
阻抗	2.2kΩ
标准工作电压	2V <sub>dc</sub>

1. 将灵敏度转换为每帕斯卡的电压。

$$10^{\frac{-35\text{dB}}{20}} = 17.78 \text{ mV} / \text{Pa}$$

2. 将每帕斯卡的电压转换为每帕斯卡的电流。

$$\frac{17.78\text{mV}/\text{Pa}}{2.2\text{k}\Omega} = 8.083 \mu\text{A} / \text{Pa}$$

3. 声压达到 2Pa 这一最高级别时会出现最大输出电流。

$$I_{\text{Max}} = 2\text{Pa} \times 8.083 \mu\text{A} / \text{Pa} = 16.166 \mu\text{A}$$

4. 计算电阻器 R<sub>4</sub> 的值以设置增益

$$R_4 = \frac{V_{\text{max}}}{I_{\text{max}}} = \frac{1.228\text{V}}{16.166\mu\text{A}} = 75.961 \text{ k}\Omega \approx 75\text{k}\Omega \text{ (Standard value)}$$

The final signal gain is:

$$\text{Gain} = 20 \times \log \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} = 20 \times \log \frac{16.166\mu\text{A} \times 75\text{k}\Omega}{2\text{V}} = -4.347 \text{ dB}$$

5. 计算偏置电阻器 R<sub>1</sub> 的值。在以下公式中，V<sub>mic</sub> 是麦克风的标准工作电压

$$R_1 = \frac{V_{\text{cc}} - V_{\text{mic}}}{I_s} = \frac{5\text{V} - 2\text{V}}{0.5\text{mA}} = 6\text{k}\Omega \approx 5.9 \text{ k}\Omega \text{ (Standard value)}$$

6. 根据 20kHz 时的允许偏差计算高频极点。在以下公式中，G<sub>pole1</sub> 是频率为“f”时的增益。

$$f_p = \frac{f}{\sqrt{\left(\frac{1}{G_{\text{pole1}}}\right)^2 - 1}} = \frac{20\text{kHz}}{\sqrt{\left(\frac{1}{10^{-0.1}}\right)^2 - 1}} = 131.044 \text{ kHz}$$

7. 根据步骤 6 中计算的极点频率计算 C<sub>3</sub>。

$$C_3 = \frac{1}{2\pi \times f_p \times R_4} = \frac{1}{2\pi \times 131.044\text{kHz} \times 75\text{k}\Omega} = 16.194 \text{ pF} \approx 15\text{pF} \text{ (Standard value)}$$

8. 根据 20Hz 时的允许偏差计算低频转角频率。在以下公式中，G<sub>pole2</sub> 是由所有频率为“f”的极点分别生成的增益。一共有两个极点，所以应除以 2。

$$f_c = f \times \sqrt{\left(\frac{1}{G_{\text{pole2}}}\right)^2 - 1} = 20\text{Hz} \times \sqrt{\left(\frac{1}{10^{-0.5/2}}\right)^2 - 1} = 4.868 \text{ Hz}$$

9. 根据步骤 8 中计算的截止频率计算输入电容器 C<sub>1</sub>。

$$C_1 = \frac{1}{2\pi \times R_1 \times f_c} = \frac{1}{2\pi \times 5.9\text{k}\Omega \times 4.868\text{Hz}} = 5.541 \mu\text{F} \approx 4.7 \mu\text{F} \text{ (Standard value)}$$

10. 假设输出负载 R<sub>5</sub> 为 10kΩ，请根据步骤 8 中计算的截止频率计算输出电容器 C<sub>4</sub>。

$$C_4 = \frac{1}{2\pi \times R_5 \times f_c} = \frac{1}{2\pi \times 10\text{k}\Omega \times 4.868\text{Hz}} = 3.269 \mu\text{F} \approx 3.3 \mu\text{F} \text{ (Standard value)}$$

11. 将放大器的输入共模电压设置为中位电压。选择 100kΩ 作为 R<sub>2</sub> 和 R<sub>3</sub> 的值。等效电阻等于两个电阻器的并联组合：

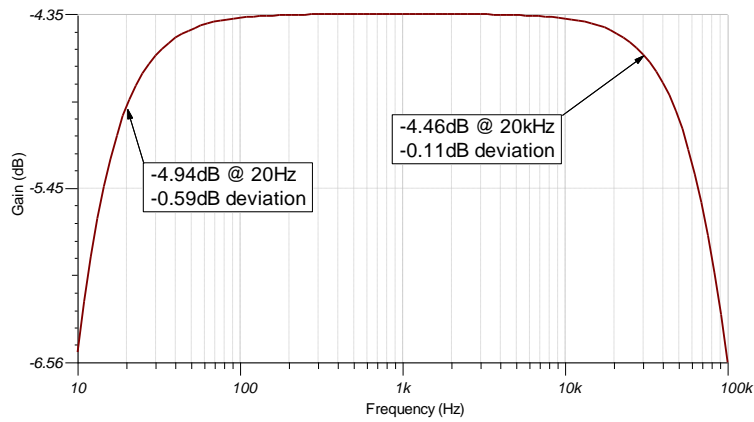
$$R_{\text{eq}} = R_2 \parallel R_3 = 100\text{k}\Omega \parallel 100\text{k}\Omega = 50\text{k}\Omega$$

12. 计算电容器 C<sub>2</sub> 以过滤电源和电阻器噪声。将截止频率设置为 1Hz。

$$C_2 = \frac{1}{2\pi \times (R_2 \parallel R_3) \times 1\text{Hz}} = \frac{1}{2\pi \times (100\text{k}\Omega \parallel 100\text{k}\Omega) \times 1\text{Hz}} = 3.183 \mu\text{F} \approx 3.3 \mu\text{F} \text{ (Standard value)}$$

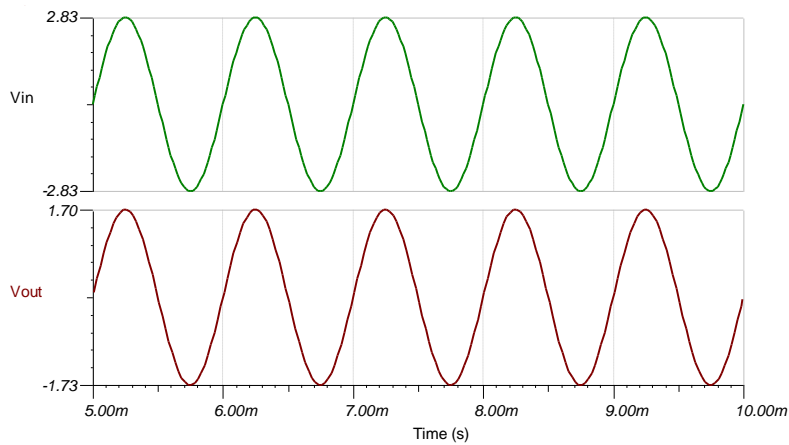
设计仿真

交流仿真结果



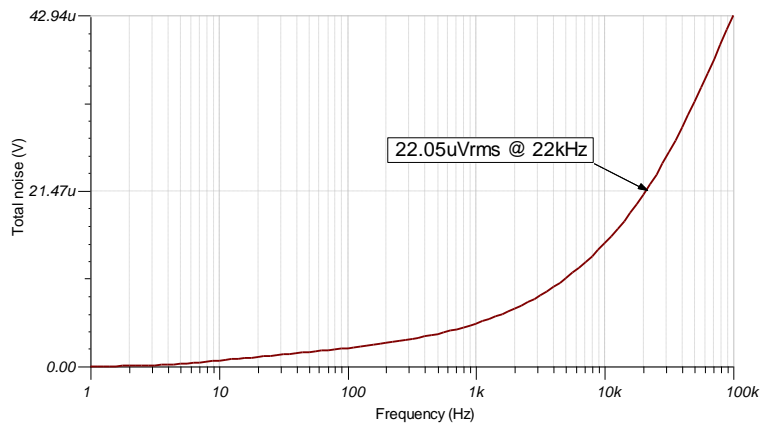
瞬态仿真结果

输入电压表示麦克风的输入信号的 SPL。2 V<sub>rms</sub> 输入信号表示 2 帕斯卡。



噪声仿真结果

以下仿真结果显示 22kHz 时的噪声为 22.39 $\mu$ V<sub>rms</sub>。测量带宽为 22kHz 时的噪声，以表示使用带宽设置为 22kHz 的音频分析仪测量出的噪声。



**参考文献:**

1. 《模拟工程师电路设计指导手册》
2. SPICE 仿真文件 [SBOC526](#)
3. TI 高精度设计 [TIPD181](#)
4. [TI 高精度实验室](#)

**设计采用的运算放大器**

<b>TLV6741</b>	
<b>V<sub>ss</sub></b>	1.8V 至 5.5V
<b>V<sub>inCM</sub></b>	V <sub>ee</sub> 至 V <sub>cc</sub> -1.2V
<b>V<sub>out</sub></b>	轨至轨
<b>V<sub>os</sub></b>	150μV
<b>I<sub>q</sub></b>	890μA/通道
<b>I<sub>b</sub></b>	10pA
<b>UGBW</b>	10MHz
<b>SR</b>	4.75V/μs
通道数	1
<a href="http://www.ti.com.cn/product/cn/tlv6741">www.ti.com.cn/product/cn/tlv6741</a>	

**设计备选运算放大器**

	<b>OPA172</b>	<b>OPA192</b>
<b>V<sub>ss</sub></b>	4.5V 至 36V	4.5V 至 36V
<b>V<sub>inCM</sub></b>	V <sub>ee</sub> -0.1V 至 V <sub>cc</sub> -2V	V <sub>ee</sub> -0.1V 至 V <sub>cc</sub> +0.1V
<b>V<sub>out</sub></b>	轨至轨	轨至轨
<b>V<sub>os</sub></b>	±200μV	±5μV
<b>I<sub>q</sub></b>	1.6mA/通道	1mA/通道
<b>I<sub>b</sub></b>	8pA	5pA
<b>UGBW</b>	10MHz	10MHz
<b>SR</b>	10V/μs	20V/μs
通道数	1、2、4	1、2、4
	<a href="http://www.ti.com.cn/product/cn/opa172">www.ti.com.cn/product/cn/opa172</a>	<a href="http://www.ti.com.cn/product/cn/opa192">www.ti.com.cn/product/cn/opa192</a>

## 重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性 & 可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用 TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品；(2) 设计、验证并测试您的应用；(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及 TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对 TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受 TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及 [ti.com.cn](http://www.ti.com.cn) 上或随附 TI 产品提供的其他可适用条款的约束。TI 提供所述资源并不扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122  
Copyright © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司

## 重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的TI 产品；(2) 设计、验证并测试您的应用；(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及ti.com.cn上或随附TI产品提供的其他可适用条款的约束。TI提供所述资源并不扩展或以其他方式更改TI 针对TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122  
Copyright © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司