

# Analog Engineer's Circuit

## TIA 麦克风放大器电路



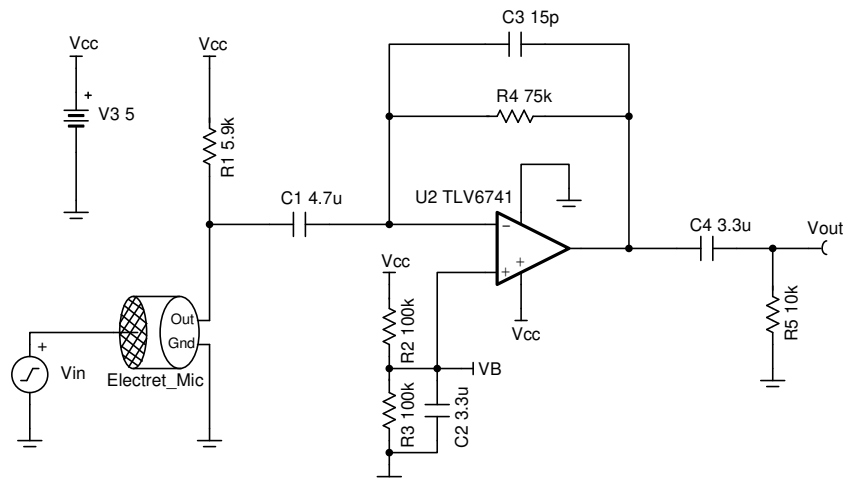
Pete Semig

### 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	
		$V_{cc}$	$V_{ee}$	在 20Hz 时	在 20kHz 时
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

- 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。
- 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。
- 使用电池为此电路供电，以消除因切换电源而导致的失真。
- 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。
- 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。
- 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。

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

2. 将灵敏度转换为每帕斯卡的电压。

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

3. 将每帕斯卡的电压转换为每帕斯卡的电流。

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

4. 声压达到 **2Pa** 这一最高级别时会出现最大输出电流。

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

5. 计算电阻器  $R_4$  的值以设置增益

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

最终信号增益为：

$$\text{Gain} = 20 \times \log\left(\frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}}\right) = 20 \times \log\left(\frac{16.166\mu\text{A} \times 75\text{k}\Omega}{2\text{V}}\right) = -4.347\text{dB} \quad (1)$$

6. 计算偏置电阻器  $R_1$  的值。在以下公式中， $V_{\text{mic}}$  是麦克风的标准工作电压

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

7. 根据 **20kHz** 时的允许偏差计算高频极点。在以下公式中， $G_{\text{pole1}}$  是频率为  $f$  时的增益。

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

8. 根据 **6** 中计算的极点频率计算  $C_3$ 。

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

9. 根据 **20Hz** 时的允许偏差计算低频转角频率。在以下公式中， $G_{\text{pole2}}$  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。

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

10. 根据 **8** 中计算的截止频率计算输入电容器  $C_1$ 。

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

11. 假设输出负载  $R_5$  为  $10k\Omega$ ，请根据 8 中计算的截止频率计算输出电容器  $C_4$ 。

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

12. 将放大器的输入共模电压设置为中位电压。选择  $100k\Omega$  作为  $R_2$  和  $R_3$  的值。等效电阻等于两个电阻器的并联组合：

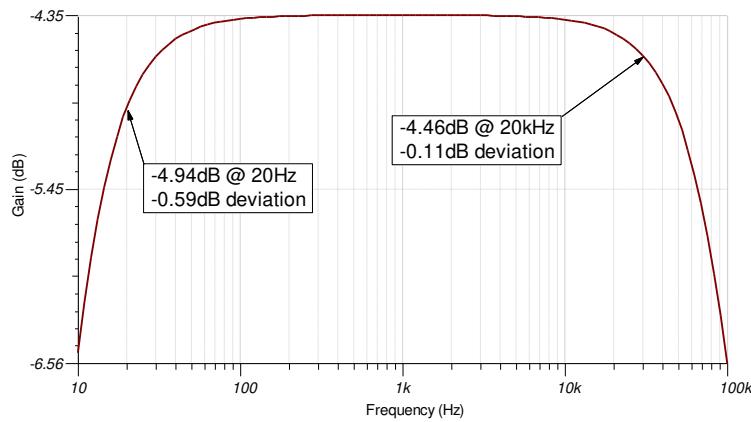
$$R_{eq} = R_2 || R_3 = 100k\Omega || 100k\Omega = 50k\Omega$$

13. 计算电容器  $C_2$  以过滤电源和电阻器噪声。将截止频率设置为  $1\text{Hz}$ 。

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

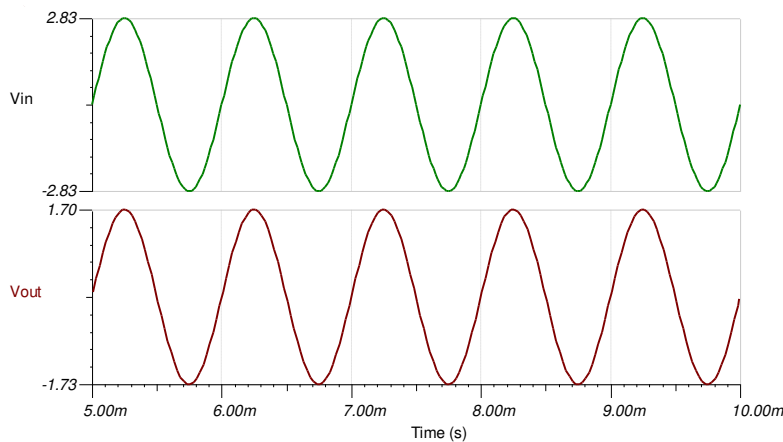
## 设计仿真

### 交流仿真结果



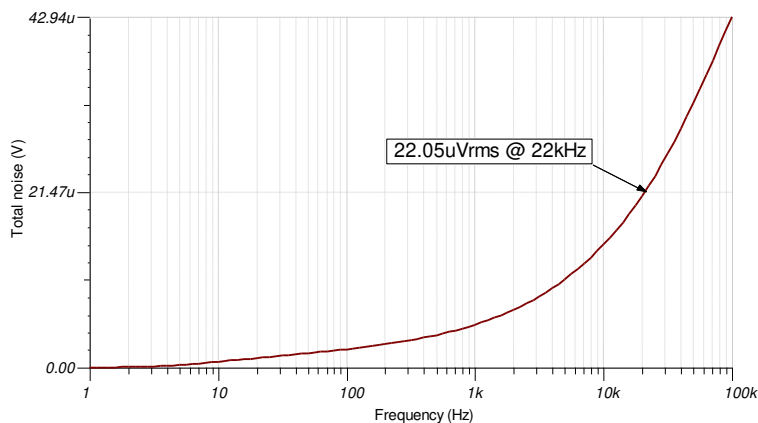
### 瞬态仿真结果

输入电压表示麦克风的输入信号的 SPL。  $2V_{rms}$  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  $22.39\mu\text{V}_{\text{rms}}$ 。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。



## 参考资料

德州仪器 (TI), [TIA 麦克风放大器电路](#), SBOC526 仿真

德州仪器 (TI), [TIPD181 单电源驻极体麦克风前置放大器](#), 参考设计

## 设计特色运算放大器

TLV6741	
$V_{\text{ss}}$	1.8V 至 5.5V
$V_{\text{inCM}}$	$V_{\text{ee}}$ 至 $V_{\text{cc}}-1.2\text{V}$
$V_{\text{out}}$	轨到轨
$V_{\text{os}}$	150 $\mu\text{V}$
$I_{\text{q}}$	890 $\mu\text{A}$ /通道
$I_{\text{b}}$	10pA
UGBW	10MHz
SR	4.75V/ $\mu\text{s}$
通道数	1
<a href="#">TLV6741</a>	

## 设计备选运算放大器

	OPA172	OPA192
$V_{\text{ss}}$	4.5V 至 36V	4.5V 至 36V
$V_{\text{inCM}}$	$V_{\text{ee}}-0.1\text{V}$ 至 $V_{\text{cc}}-2\text{V}$	$V_{\text{ee}}-0.1\text{V}$ 至 $V_{\text{cc}}+0.1\text{V}$
$V_{\text{out}}$	轨到轨	轨到轨
$V_{\text{os}}$	$\pm 200\mu\text{V}$	$\pm 5\mu\text{V}$
$I_{\text{q}}$	1.6mA/通道	1mA/通道
$I_{\text{b}}$	8pA	5pA
UGBW	10MHz	10MHz
SR	10V/ $\mu\text{s}$	20V/ $\mu\text{s}$
通道数	1、2 和 4	1、2 和 4
	<a href="#">OPA172</a>	<a href="#">OPA192</a>

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（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，不保证没有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、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司