

Analog Engineer's Circuit

TIA マイクロフォン アンプ回路



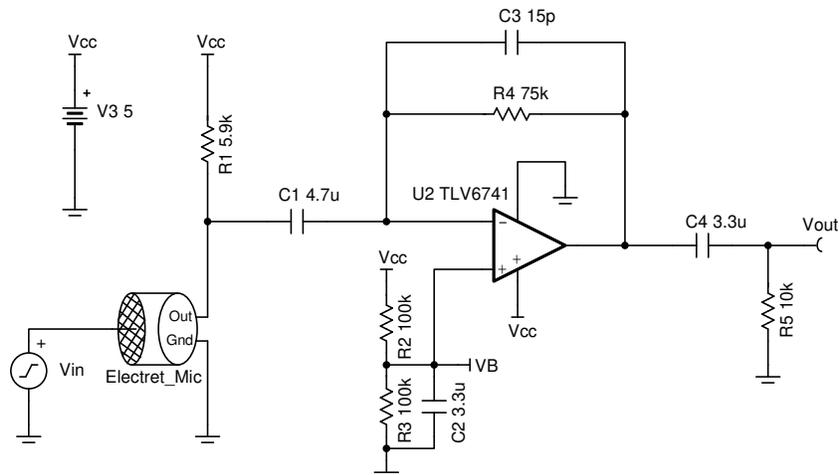
Pete Semig

設計目標

入力音圧レベル (最大値)	出力電圧 (最大値)	電源		周波数応答偏差	
		V _{cc}	V _{ee}	20Hz 動作で	20kHz 動作で
100dB SPL (2Pa)	1.228V _{rms}	5 V	0V	-0.5 dB	-0.1 dB

設計の説明

この回路は、オペアンプをトランスインピーダンス アンプ構成で使用し、エレクトレット カプセル マイクロフォンからの出力電流を出力電圧に変換します。この回路の同相電圧を一定とし、電源電圧の 1/2 に設定することで、入力段のクロスオーバーひずみが除去されます。



デザイン ノート

- オペアンプの線形出力動作範囲内で使用してください。この範囲は通常、 A_{OL} のテスト条件に規定されています。
- Low-K コンデンサ (タンタル、C0G など) と薄膜抵抗を使用すると、ひずみを減らすのに役立ちます。
- この回路をバッテリーで駆動すると、スイッチング電源により発生するひずみを除去できます。
- 高性能低ノイズ設計の場合、値の小さい抵抗と、低ノイズのオペアンプを使用します。
- マイクロフォンをバイアスするために接続する電圧 R_1 は、オペアンプの電源電圧と一致する必要はありません。マイクロフォンのバイアス電圧を増やすと、より大きな値の R_1 を使用して、マイクロフォンの通常の動作を維持しながら、オペアンプ回路のノイズ ゲインを減らすことができます。
- コンデンサ C_1 は、音声周波数においてインピーダンスが抵抗 R_1 よりも大幅に小さくなるよう、十分に大きくする必要があります。タンタル コンデンサを使用するときは、信号の極性に注意してください。

設計手順

この回路の設計例では、次のマイクロフォンが選択されています。

1.	マイクロフォンのパラメータ	値
	94dB SPL (1Pa) での感度	-35 + 4dBV
	消費電流 (最大値)	0.5mA
	インピーダンス	2.2kΩ
	動作電圧 (標準値)	2V _{dc}

2. 感度をボルト / パスカルに変換します。

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

3. ボルト / パスカルを電流 / パスカルに変換します。

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

4. 最大出力電流は、最大音圧レベル 2Pa のとき発生します。

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

5. ゲインを設定するため、抵抗 R_4 の値を計算します

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

最終的な信号ゲインは次のようになります。

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

6. バイアス抵抗 R_1 の値を計算します。次の式で、 V_{mic} はマイクロフォンの動作電圧 (標準値) です。

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

7. 20Hz での許容される偏差に従い、高周波数の極を計算します。次の式で、 G_{pole1} は周波数 f でのゲインです。

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

8. 6 で計算した極の周波数に基づき、 C_3 を計算します。

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

9. 20Hz での許容される偏差に従い、低周波数のコーナー周波数を計算します。次の式で、 G_{pole2} は周波数 f で各極が寄与するゲインです。2 つの極があるため、2 で割ります。

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

10. 8 で計算したカットオフ周波数に基づき、入力コンデンサ C_1 を計算します。

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

11. 出力負荷 R_5 は $10k\Omega$ と仮定して、8 で計算したカットオフ周波数に基づき、出力コンデンサ C_4 を計算します。

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

12. アンプの入力同相電圧を、電源電圧の $1/2$ に設定します。 R_2 と R_3 には $100k\Omega$ を選択します。等価抵抗は、2 つの抵抗の並列接続と等しくなります。

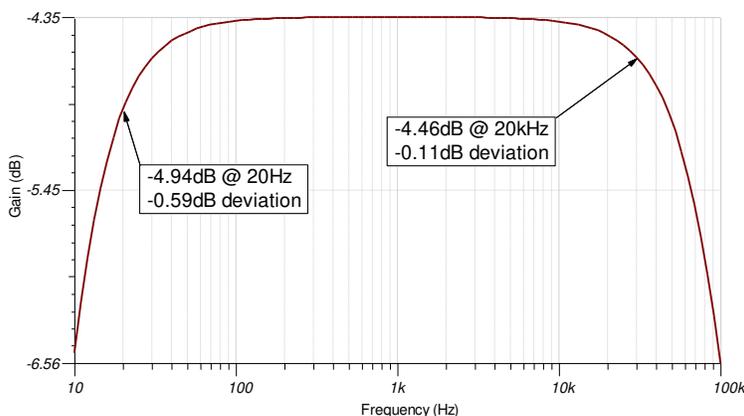
$$R_{eq} = R_2 || R_3 = 100k\Omega || 100k\Omega = 50k\Omega$$

13. 電源および抵抗のノイズをフィルタ処理するため、コンデンサ C_2 を計算します。カットオフ周波数を $1Hz$ に設定します。

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

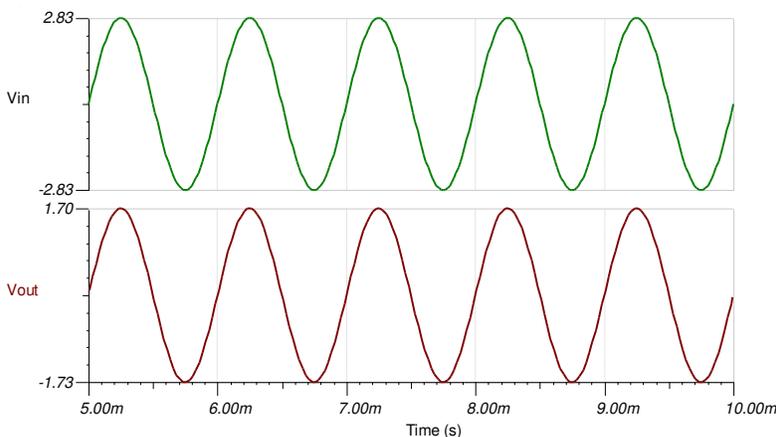
設計シミュレーション

AC シミュレーション結果



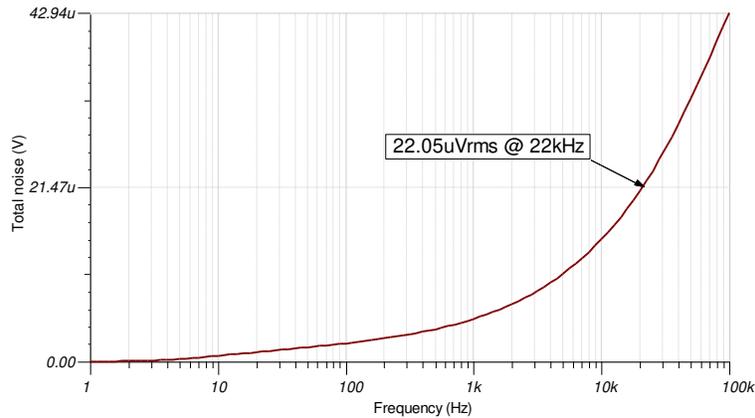
過渡シミュレーション結果

入力電圧は、マイクロフォンへの入力信号の SPL を表します。 $2V_{rms}$ の入力信号は、2 パスカルを表します。



ノイズのシミュレーション結果

次のシミュレーション結果では、22kHz で $22.39\mu\text{V}_{\text{rms}}$ のノイズが現れています。帯域幅を 22kHz に設定したオーディオアナライザで測定したノイズを表すため、22kHz の帯域幅でノイズを測定します。



参考資料

テキサス・インスツルメンツ、『[TIA マイクロフォン アンプ回路](#)』、SBOC526 シミュレーション

テキサス・インスツルメンツ、『[TIPD181 単一電源、エレクトレット マイクロフォン用プリアンプ](#)』、リファレンス デザイン

設計に使用されているオペアンプ

TLV6741	
V_{ss}	1.8V~5.5V
V_{inCM}	$V_{\text{ee}} \sim V_{\text{cc}} - 1.2\text{V}$
V_{out}	レール ツー レール
V_{os}	150 μV
I_{q}	890 $\mu\text{A}/\text{Ch}$
I_{b}	10pA
UGBW	10 MHz
SR	4.75V/ μs
チャンネル数	1
TLV6741	

設計の代替オペアンプ

	OPA172	OPA192
V_{ss}	4.5V~36V	4.5V~36V
V_{inCM}	$V_{\text{ee}} - 0.1\text{V} \sim V_{\text{cc}} - 2\text{V}$	$V_{\text{ee}} - 0.1\text{V} \sim V_{\text{cc}} + 0.1\text{V}$
V_{out}	レール ツー レール	レール ツー レール
V_{os}	$\pm 200\mu\text{V}$	$\pm 5\mu\text{V}$
I_{q}	1.6mA/Ch	1mA/Ch
I_{b}	8pA	5pA
UGBW	10 MHz	10MHz
SR	10V/ μs	20V/ μs
チャンネル数	1、2、4	1、2、4
	OPA172	OPA192

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、または [ti.com](#) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated