

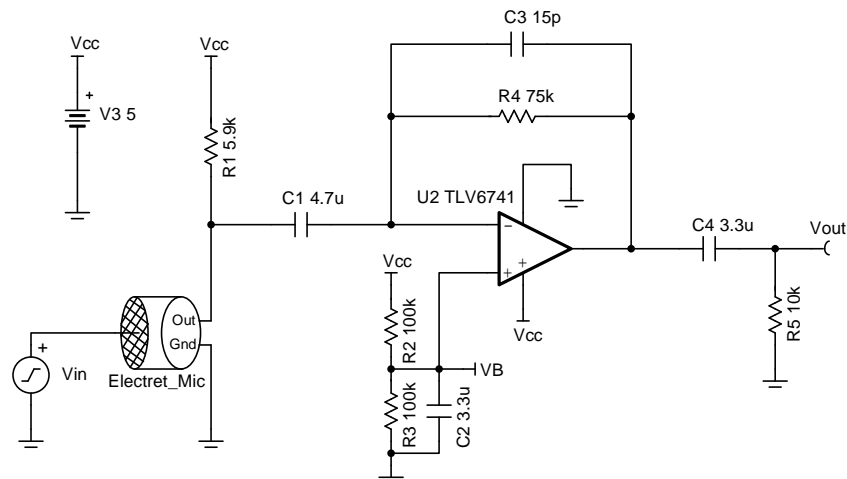
TIA マイクロフォン・アンプ回路

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	@ 20kHz
100dB SPL (2Pa)	1.228V _{rms}	5V	0V	-0.5dB	-0.1dB

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

1. 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。
2. 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。
3. 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。
4. 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。
5. マイクロフォンをバイアスするために R_1 に接続する電圧は、オペアンプの電源電圧と一致させる必要はありません。大きなマイクロフォン・バイアス電圧を使用すると、大きな値の R_1 を使用でき、マイクロフォンの正常な動作を維持しながら、オペアンプ回路のノイズ・ゲインを低減できます。
6. 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。

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}

- 感度をボルト / パスカルに変換します。

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

- ボルト / パスカルを電流 / パスカルに変換します。

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

- 最大出力電流は、最大音圧レベル 2Pa のとき発生します。

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

- ゲインを設定するため、抵抗 R₄ の値を計算します。

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

The final signal gain is:

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

- バイアス抵抗 R₁ 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。

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

- 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。

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

- 手順 6 で計算した極の周波数に基づき、C₃ を計算します。

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

- 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。

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

- 手順 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 C₁ を計算します。

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

- 出力負荷 R₅ は 10kΩ と仮定して、手順 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 C₄ を計算します。

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

- アンプの入力同相電圧を、電源電圧の 1/2 に設定します。R₃ と R₂ に 100kΩ 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。

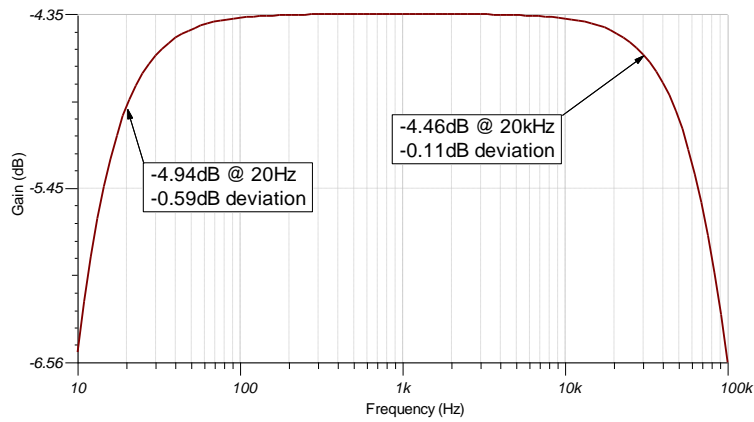
$$R_{\text{eq}} = R_2 \parallel R_3 = 100 \text{ k}\Omega \parallel 100 \text{ k}\Omega = 50 \text{ k}\Omega$$

- 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 C₂ を計算します。カットオフ周波数を 1Hz に設定します。

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

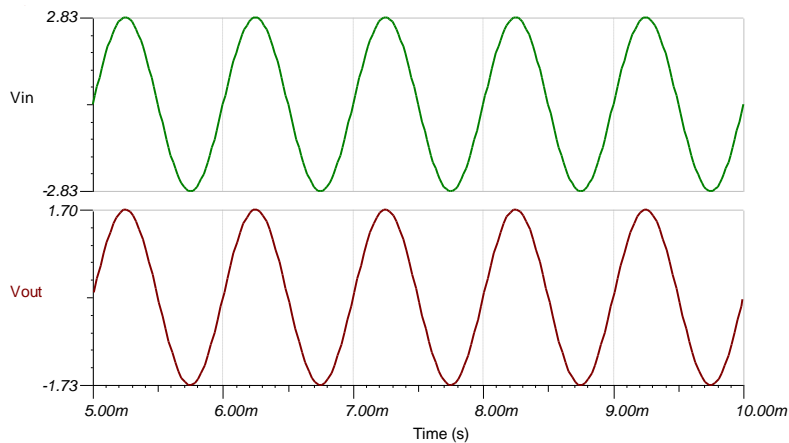
設計シミュレーション

ACシミュレーション結果



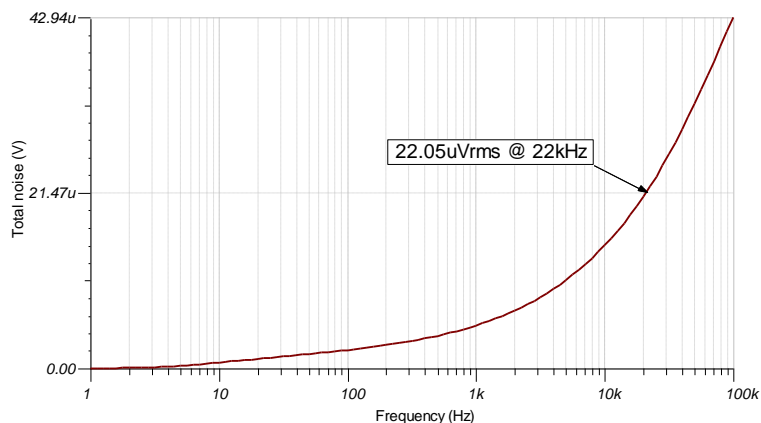
過渡シミュレーション結果

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 22.39μV_{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。



関連資料

1. [アナログ・エンジニア向け回路クックブック](#)
2. SPICE シミュレーション・ファイル: [SBOC526](#)
3. TI Precision Designs [TIPD181](#)
4. [TI プレシジョン・ラボ](#)

設計に使用されるオペアンプ

TLV6741	
V_{ss}	1.8V~5.5V
V_{inCM}	$V_{ee} \sim V_{cc} - 1.2V$
V_{out}	レール・ツー・レール
V_{os}	150 μ V
I_q	890 μ A/Ch
I_b	10pA
UGBW	10MHz
SR	4.75V/ μ s
チャンネル数	1
www.ti.com/product/tlv6741	

設計の代替オペアンプ

	OPA172	OPA192
V_{ss}	4.5V~36V	4.5V~36V
V_{inCM}	$V_{ee} - 0.1V \sim V_{cc} - 2V$	$V_{ee} - 0.1V \sim V_{cc} + 0.1V$
V_{out}	レール・ツー・レール	レール・ツー・レール
V_{os}	$\pm 200\mu$ V	$\pm 5\mu$ V
I_q	1.6mA/Ch	1mA/Ch
I_b	8pA	5pA
UGBW	10MHz	10MHz
SR	10V/ μ s	20V/ μ s
チャンネル数	1、2、4	1、2、4
	www.ti.com/product/opa172	www.ti.com/product/opa192

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が適用される各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、またはその他の要件を満たしていることを確実にする責任を、お客様のみが単独で負うものとします。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 の販売約款 (<https://www.tij.co.jp/ja-jp/legal/terms-of-sale.html>)、または [ti.com](https://www.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。

日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ合同会社
Copyright © 2021, Texas Instruments Incorporated