

## 低消費電力オペアンプ：低消費電力フィルタ、ヘッドホン・ドライバの再検討

デザインノート 1041

Aaron Schultz

### はじめに

新しいオペアンプ・ファミリの特長は、速度対電源電流の比が業界屈指であることです。LTC6261/LTC6262/LTC6263 ファミリ(シングル、デュアル、クワッド)は、240 $\mu$ A の低電源電流で 30MHz を実現し、オフセット電圧は最大 400 $\mu$ V で、レール・トゥ・レールの入力および出力を備えています。1.8V ~ 5.25V の電源電圧範囲との組み合わせにより、これらのオペアンプは、低消費電力かつ低電圧時に妥協のない性能を必要とするアプリケーションが可能になります。

### アクティブ・フィルタ

MHz/mA 比の高いこの新しいオペアンプ・セットにより、フィルタ回路を新しい観点から見る機会が得られます。ここで説明する 2 つのフィルタ例は、このような低消費電力では以前は実現できなかった性能を示しています。

### 2 次ベッセル・フィルタ

広い帯域幅と低い電源電流により、携帯型アプリケーションやその他の低消費電力アプリケーションでアク

IV、LT、LTC、LTM、Linear Technology、および会社ロゴは、Analog Devices, Inc. の登録商標です。その他全ての商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。

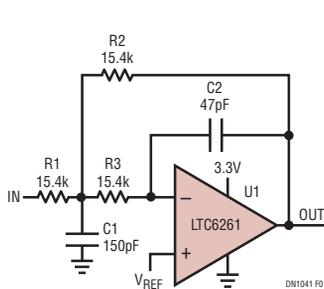


図 1. 2 次ベッセル・フィルタ

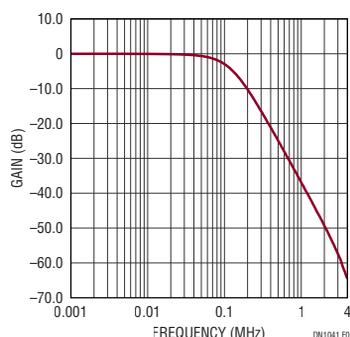


図 2. 2 次ベッセル・フィルタの周波数応答

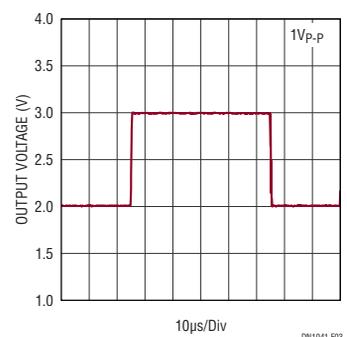


図 3. ベッセル・フィルタの応答

ティブ・フィルタを配置することができます。例えば、図 1 に示す 2 次ベッセル・フィルタにより、きれいなトランジェント応答が得られますが、代償として周波数領域でのロールオフの勾配が緩やかになります。

電源消費電流の測定値は約 230 $\mu$ A ですが、データシートの電源電流最大値は、量産時のばらつきや全温度範囲を考慮すると消費電流がわずかに高くなる場合があることを示しています。選択した抵抗の値によって消費電流は最小限に抑えられますが、代償として帯域内ノイズが多くなります。

高インピーダンスの抵抗分割器から  $V_{REF}$  を得ている場合は、非常に低い周波数までリファレンス電圧を安定状態に保つため、大容量のコンデンサが必要です。この反転アンプ構成を使用する場合には、オペアンプの非反転入力に接続するリファレンスが、全周波数で良好な「AC グランド」になるようにする必要があります。

周波数応答は、予想された 2 ポールのロールオフを示すと同時に、3dB 点付近で緩やかな低下を示します。また、トランジェント応答は非常にきれいです。

### 3次パターワース・フィルタ

通過帯域での最平坦振幅特性は、パターワース・フィルタを使用することによって得られます。フィルタの前段にRC段を追加して、シングル・アンプ回路のロールオフを最大限に高めます。追加段を使用すると数値計算は複雑になりますが、それほど難解ではありません。

電源消費電流の測定値は約235 $\mu$ Aです。選択した抵抗の値によって消費電流は最小限に抑えられますが、代償として帯域内ノイズが多くなります。

周波数応答は、予想された3ポールのロールオフ、広い平坦域、および急峻なロールオフを示します。また、トランジェント応答では、少量のリングングが生じます。

### ブリッジ接続の差動出力オペアンプ

帯域幅での低電源電流と低ノイズ性能により、携帯型オーディオ機器では通常の数分の1の消費電力で優れた忠実度を実現することができます。LTC6261の独自機能を考慮すると、アクティブ・フィルタの場合と同様に、事業としては携帯型オーディオ機器のヘッドホン・ドライバを再検討するのが合理的です。

ヘッドホン・スピーカのインピーダンス範囲は32 $\Omega$ ~300 $\Omega$ であり、応答度は80dB~100dB SPL/mW以上です。一例として、90dB SPL/mWのヘッドホン・スピーカを考えると、110dB SPLに到達するための出力は100mWになります。32 $\Omega$ の場合、RMS電流は56mAで、電圧は1.8Vです。120 $\Omega$ の場合、29mAおよび3.5Vです。

3.3V電源とLTC6261アンプ1個の出力を想定した場合、100mWを出力する十分な駆動能力にならない可能性があります。しかし、180°位相のずれた2個のアンプを組み合わせれば、100mWを超える出力に到達するのに必要な駆動能力を得るには十分です。このブリッジ駆動回路を二重化すると、左右両側に電力を供給することができます。

LTC6263は、1つの小型パッケージに4個のアンプを収容しています。左右いずれの負荷でも駆動できるアンプ2個入りのLTC6262のデータを図8および図9に示します。2個のアンプの基本的な消費電流は、入力が1V<sub>P-P</sub>で無負荷の場合、500 $\mu$ Aです。

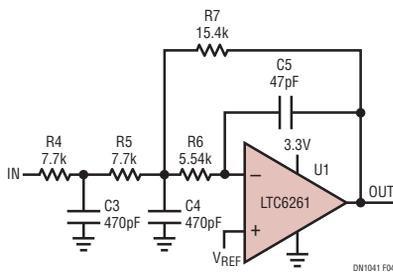


図4. 3次パターワース・フィルタ

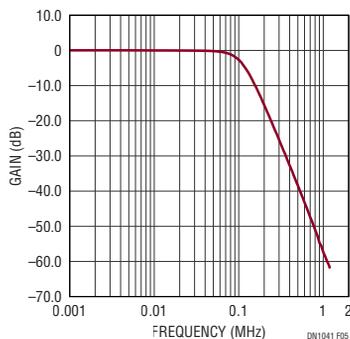


図5. 3次パターワース・フィルタの周波数応答

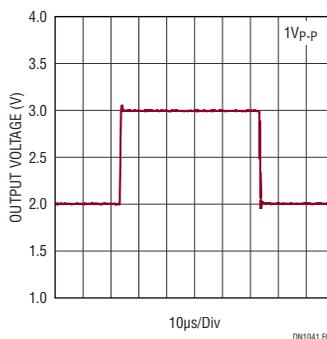


図6. パターワース・フィルタの応答

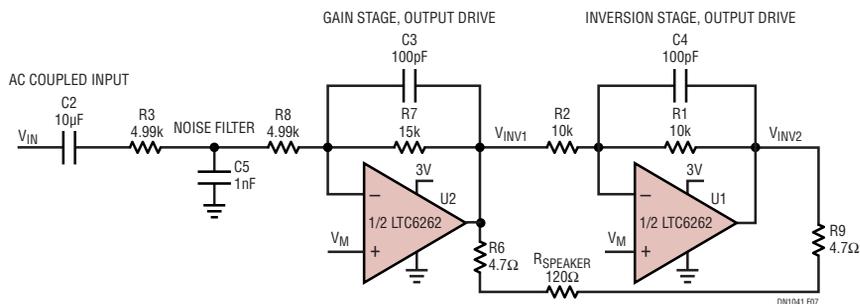


図7. オーディオ・ヘッドホンのブリッジ・ドライバ

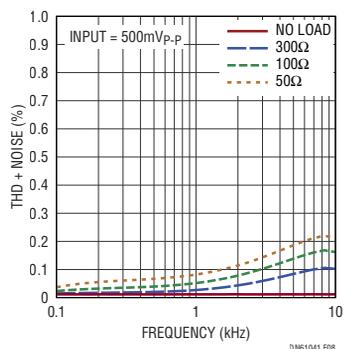


図 8. 異なる負荷を接続した場合の LTC6262 ブリッジ・ドライバの THD およびノイズと周波数

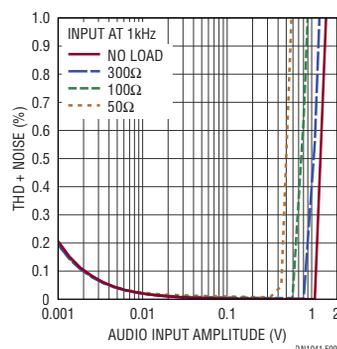


図 9. 異なる負荷を接続した場合の LTC6262 ブリッジ・ドライバの THD およびノイズと振幅 (1kHz 時)

この回路は、最初の反転利得段（閉ループ利得 = 1.5）と、後続の反転段で構成されます。2つの反転段を連結することにより、シングルエンド入力から差動出力までの利得は3になります。入力が500mV<sub>p-p</sub>の場合、出力は1.5V<sub>p-p</sub>、つまり最大0.75Vまたは0.53V<sub>RMS</sub>です。50Ωの場合、500mVの入力で得られる出力電力は約5.6mWです。入力が1V<sub>p-p</sub>のとき、この回路の出力電力は22.5mWです。これはLTC6261の出力振幅が負荷接続時にレール・トゥ・レール近くまで届くのに役立つことに注意してください。

研究室でこの回路を初めて作成したときは、数百Hz時にかなりの音が発生しました。電圧が十分に安定化されなかったため、非反転入力に全周波数範囲で「ACグラウンド」として十分に接地されなかったことがわかります。両電源の代わりに単電源を使用する場合には、電圧を安定させる必要性が生じます。単電源の場合、V<sub>M</sub>はグラウンドではなく、反転回路構成が正常に動作するように発生させた中間レール電圧になります。V<sub>M</sub>を発生する抵抗分割器は、電源電流の増加を最小限に抑えるため抵抗値が大きくなっています（例えば、2本の470kを直列に接続）。大容量にすることで、低周波領域での接地が強力になります。実際に、大容量（1μF、470kの抵抗との並列接続により1つのポールを形成）を付加することにより、不可解な歪み音を取り除くことができました。

低静止電流にもかかわらず、このドライバはヘッドホン負荷に対して低歪みを実現します。振幅が十分に大きい場合は、オペアンプの出力がクリップすると歪みが劇的に増大します。出力トランジスタが電流利得のない領域で動作し始めると、クリッピングは負荷が大きくなるほど短時間に発生するようになります。

携帯機器における大きな懸案事項の1つは、電池の消耗です。音楽を大音量で再生することや、音楽を聴く人が選ぶ楽曲が電池の消耗速度に影響します。機器の最終用途を設計者が制御することはできません。ただし、静止電流は違います。機器は遊休状態で長い時間を費やす可能性があるため、静止電流は重要です。電池は静止電流によって絶えず消耗するからです。LTC6261は静止電流が少ないので、電池の放電時間が長くなります。

#### まとめ

ここに示すアプリケーションは、LTC6261 オペアンプ・ファミリで利用できる独自の複合機能を活用しています。これらのデバイスは低静止電流なので、通常はより多くの電力が必要なデバイスに備えて確保されている電力レベルで動作する能力が低下しません。これらのデバイスの多機能性に加わる機能として、レール・トゥ・レールの入力および出力、シャットダウン、選べるパッケージがあります。

データシートのダウンロード

[www.linear-tech.co.jp/LTC6261](http://www.linear-tech.co.jp/LTC6261)