

低消費電力オペアンプ：低ノイズ・リファレンス、実用的な正弦波 デザインノート 1042

Catherine Chang, Philip Karantzalis, および Aaron Schultz

はじめに

リアテクノロジーのオペアンプ・ファミリは、電源電流に対して常に業界をリードできるように拡張を続けてきました。LTC®6258/LTC6259/LTC6260ファミリ(シングル、デュアル、クワッド)は、きわめて低い20 μ Aの電源電流、400 μ Vの最大オフセット電圧、およびレール・トゥ・レール入力/出力で1.3MHzを供給します。このオペアンプは、1.8V~5.25Vの電源と組み合わせて、低消費電力および低電圧でも損なわれない性能を必要とする無数のアプリケーションを妥当なコストで実現します。

低ノイズ・リファレンス

LT6656は、電源電流が1 μ Aしかない高精度直列電圧リファレンスです。LTC6258は、シンプルなフィルタと組み合わせてLT6656の有効ノイズを抑え、その出力電流駆動能力を向上しながら、低い総消費電力を維持することができます。

LT、LT、LTC、LTM、Linear Technology、TimerBlox、およびLinearのロゴは、アナログ・デバイセズ社の登録商標です。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に、その構成を示します。まず、きわめて低いカットオフ周波数が、LT6656の出力(R_{IN1} および C_{IN1} 、5Hz未滿のカットオフ)に従います。値の大きい R_{IN1} を使用すると、LTC6258の入力バイアス電流に起因して、大きいオフセット電圧が発生することがあります。 R_{IN1} を2.7k Ω に設定すると、オペアンプの公称入力オフセット電圧よりも低いオフセットが発生します。 C_{IN1} は大きく、または小さくすることができ、それに応じてフィルタが大きく、または小さくなります。 C_{IN1} の耐電圧要件は低いいため、小さい体積で比較的大きい容量が得られます。

この回路は、容量性負荷を駆動するために、LTC6258の機能を利用します。大きい出力コンデンサ・バンクをLTC6258に接続して使用すると、リファレンス電圧を使用する後続の回路を大きくバイパスすることができます。この構成では、LT6656とLTC6258を組み合わせた全体で、かなり大きいバイパス容量を使用して低ノイズ、低消費電力のリファレンス電圧を生成します。

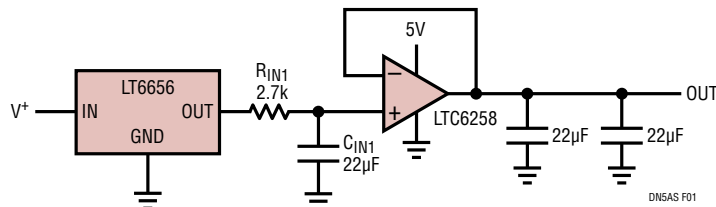


図1. 低ノイズリファレンス

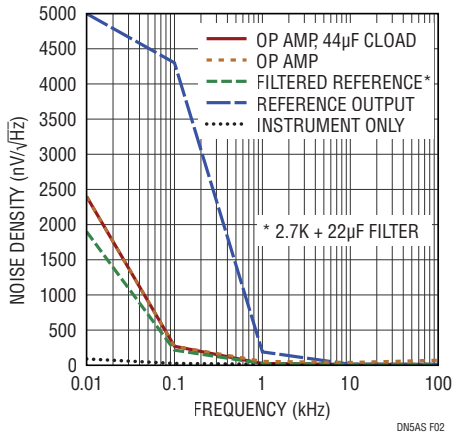


図 2. バッファのノイズ密度

電圧ノイズ・スペクトル密度を図 2 に示します。フィルタ (R_{IN1} および C_{IN1}) がリファレンスに追従すると、10kHz 未満のリファレンスからのノイズが著しく低下します。ユニティゲインで構成されたオペアンプは、大きい 44 μ F の負荷があってもなくても安定を維持し、少量の低周波ノイズしか寄与しません。図 3 に、44 μ F の出力コンデンサがある場合とない場合で、 R_{IN1} - C_{IN1} フィルタとオペアンプ回路の組み合わせのトランジェント応答を示します。

重要なのは、LTC6258 をリファレンス回路に導入したことで、出力電圧精度の大幅な低下がなくなっていることです。LT6656 の A グレードの精度は、0.05% です。1.25V では、誤差は $\pm 625\mu$ V になります。0.1% 精度の B グレードでは、誤差は ± 1.25 mV になります。400 μ V の最大オフセットを持つ LTC6258 を使用することで、公称出力電圧の不確実性が増しますが、LT6656 の初期誤差の大きさの範囲内に十分収まります。

測定された電源電流消費量は 21 μ A です。

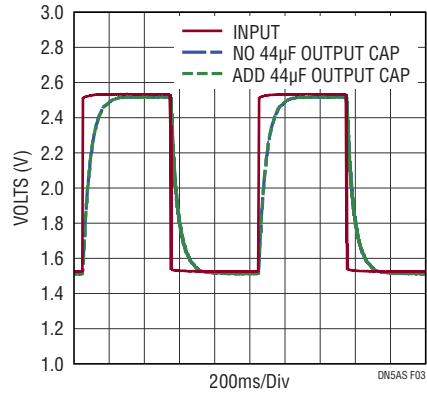


図 3. リファレンス・バッファのトランジェント応答

実用的な正弦波

5V の低消費電力のオペアンプを使用して -100dBc の歪みを持つ正弦波を生成することは期待されていません。同様に、LTC6258 を使用したバンドパス・フィルタを、使いやすい低消費電力の発振器と組み合わせ、低コスト、低電圧、かつきわめて低い消費電力で正弦波を生成することができます。

アクティブ・フィルタ

図 4 のバンドパス・フィルタは、入力を AC 結合しています。その結果、LTC6258 の入力、特定の絶対同相電圧を生成するために、前の段に負担をかけません。RA1 および RA2 を使用したシンプルな抵抗分割器は、LTC6258 のバンドパス・フィルタをバイアスします。オペアンプの入力を固定電圧にすることで、同相電圧の移動に伴って発生する可能性のある歪みを抑えることができます。

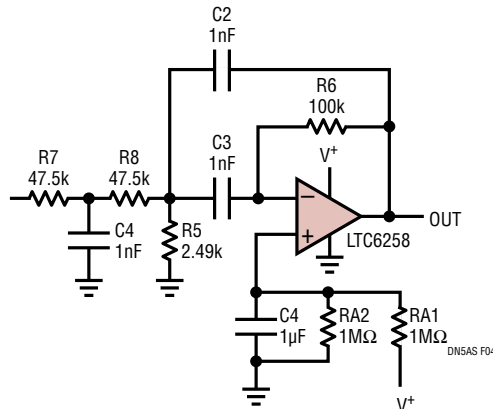


図 4. 10kHz バンドパス・フィルタ

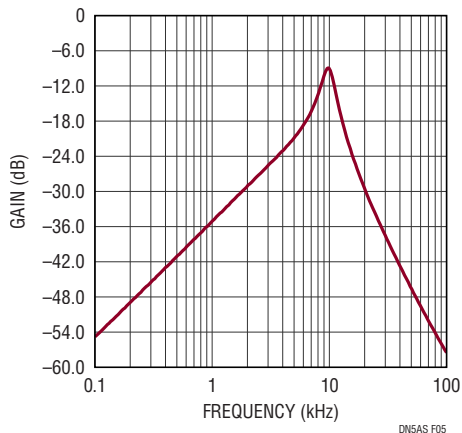


図 5. バンドパス・フィルタの利得 / 位相と周波数

このフィルタは 10kHz を中心にします。正確な抵抗値および容量値は、最低の抵抗ノイズまたは最低の全電源電流のどちらが重要かに応じて、上方または下方に微調整することができます。この実装は、帰還ループ内の電流を減らすことによって、消費電力を抑えるように最適化されました。最初は、4.7nF 以上のコンデンサ C2 および C3 と、低い抵抗値が使用されました。最終的に、消費電力を抑えるように最適化されたより高い抵抗と共に、1nF が使用されました。

消費電力に加えて 2 番目の (ただし、重要性は劣らない) 帰還インピーダンスの側面が、オペアンプのレール・トゥ・レール出力段の負荷になります。1K~10K のインピーダンスなどの重い負荷は、開ループ利得を大幅に低下させ、その後、バンドパス・フィルタの精度に影響を与えます。データシートでは、 A_{VOL} を 100k Ω から 10k Ω に 1/5 に減らすことが推奨されています。より低い C2 および C3 が実現すると、R6 がさらに大きくなり、出力に多くのノイズが発生します。

このバンドパス・フィルタの目標 Q は中程度 (約 3) です。この高い Q ではない中程度の Q は、5% 精度のコンデンサの使用を可能にします。Q が高くなると、さらに高精度のコンデンサが必要になり、帰還インピーダンスの負荷で使用可能な利得よりも高い、10kHz での開ループ利得が必要になる可能性が非常に高くなります。当然、中程度の Q は、高い Q よりも高調波の減衰が小さくなります。

発振器の追加

バンドパス・フィルタに方形波を流すことで、低消費電力の正弦波発生器が得られます。全体回路図を図 6 に示します。LTC6906 マイクロパワー抵抗設定発振器は、10kHz の方形波を簡単に構成し、バンドパス・フィルタ入力抵抗にある比較的安全な負荷を駆動できます。LTC6906 の電源電流は、10kHz で 32.4 μ A です。

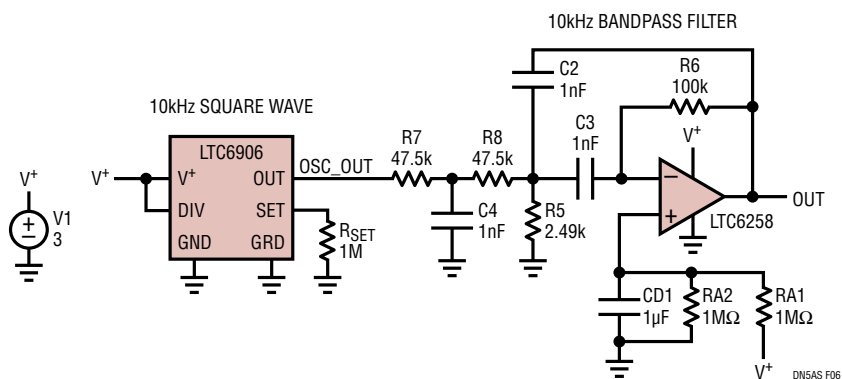


図 6. LTC6906 TimerBlox[®] 入力を使用した 10kHz 発振器回路

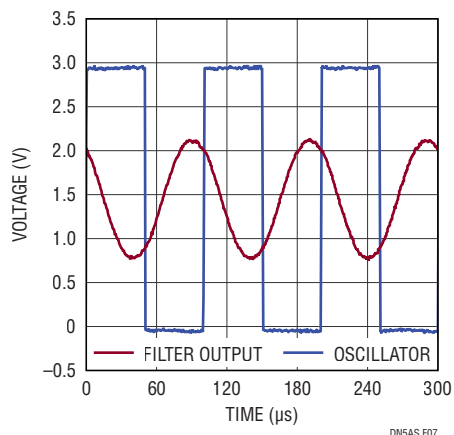


図 7. 電圧波形発振器およびフィルタ出力

LTC6906 の出力およびバンドパス・フィルタの出力を図 7 に示します。正弦波の HD2 は -46.1dBc 、HD3 は -32.6dBc です。出力は、 10kHz でのオペアンプの有限な開ループ利得により、わずかに変化する正確なレベルで、 $1.34\text{V}_{\text{p-p}} \sim 1.44\text{V}_{\text{p-p}}$ になります。合計電流消費量は、 3V レールで $55\mu\text{A}$ 未満になります。

その他の拡張

オプションの拡張を図 8 に示します。低消費電力のリファレンスは、非常に低い電圧で動作する、LTC6906 および LTC6258 の機能を利用しています。このリファレンスは、バッテリー入力から 2.5V を供給します。固定された 2.5V 電源は、変動する入力電圧が存在する状態で、出力電圧振幅を安定化します。加えて、さらに低いフィルタのコンデンサ値と高い抵抗値を使用すると、LTC6258 の負荷を低減し、消費電力を抑えて、フィルタの精度を改善します。

まとめ

LTC6258/LTC6259/LTC6260 ファミリ (シングル、デュアル、クワッド) は、低い $20\mu\text{A}$ の電源電流、 $400\mu\text{V}$ の最大オフセット電圧、およびレール・トゥ・レール入力 / 出力で 1.3MHz の利得帯域幅を提供します。このオペアンプは、 $1.8\text{V} \sim 5.25\text{V}$ の電源と組み合わせて、低消費電力および低電圧で優れた性能を必要とするアプリケーションを低コストで実現します。

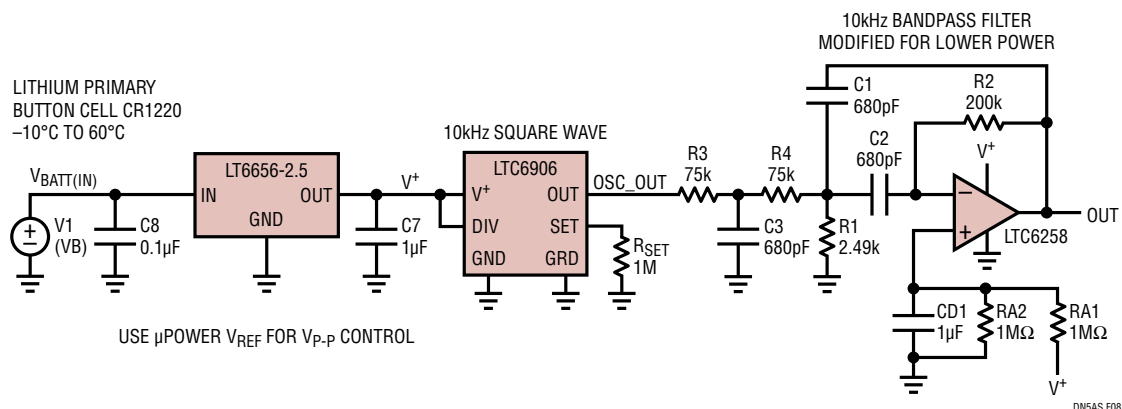


図 8. 安定化された電源を備える発振器およびフィルタ

データシートのダウンロード

www.linear-tech.co.jp/LTC6258