

## 最適ノイズ性能を得るためのオペアンプ選択の手引き

### デザインノート355

Glen Brisebois

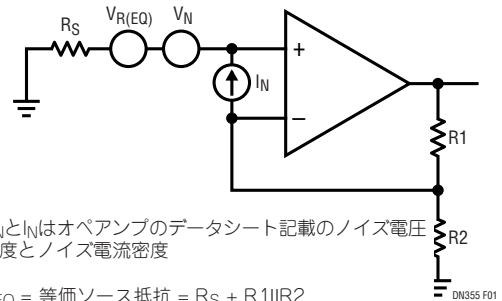
#### はじめに

リニアテクノロジー社は低ノイズのオペアンプの品揃えを引き続き増やしています。これはノイズの物理が変化したからではなく、低ノイズの仕様が、レール・トゥ・レール動作、シャットダウン、低電圧動作、低消費電力動作などの新機能と組み合わせられるからです。オペアンプのノイズは、入力段の動作電流、デバイスの種類（バイポーラやFET）、および入力回路に依存します。この選択の手引きは、読者が基本的なノイズのトレードオフを認識し、個々のアプリケーションに最適な（新しい、または従来の）オペアンプを選択するのを手助けします。

#### 抵抗の熱雑音とオペアンプのノイズの量的把握

ノイズに関するトレードオフを理解する鍵は、抵抗にはノイズが生じるという事実です。室温では、抵抗Rには  $nV/\sqrt{Hz}$  表示で  $V_R = 0.13\sqrt{R}$  のRMS電圧ノイズ密度（つまり「スポットノイズ」）があります。したがって、10k抵抗には  $13nV/\sqrt{Hz}$ 、1M抵抗には  $130nV/\sqrt{Hz}$  のノイズがあります。厳密に言うと、ノイズ密度は  $V_R = \sqrt{4kTR}$  の式で与えられます。ここで、kはボルツマン定数、Tはケルビンで表した温度です。温度に対するこの依存性により、低ノイズ回路によっては抵抗を極低温に冷却する必要のあることが分ります。同じ抵抗が  $I_R = \sqrt{4kT/R}$  のノイズ電流、またはRに無関係に  $P_R = 4kT = 16.6 \cdot 10^{-21} W/Hz = 16.6$  ゼプトワット/Hzのノイズ電力密度を示すと考えることもできます。最適アンプの選択は、単に抵抗ノイズに追加されるノイズ量が最小のアンプを見つけることです。

見慣れない単位「 $\sqrt{Hz}$ 」が出てきますが心配りません。これは単に、ノイズ電力が帯域幅に従って（ヘルツ当たり）増加するので、ノイズ電圧は帯域幅の平方根に従って（ルートヘルツ当たり）増加するため出現します。この規格値を利用するには、単にこれにアプリケーションの帯域幅の平方根を掛けて、その帯域幅内のRMSノイズを計算します。たとえばオシロスコープに現れるピーク・トゥ・ピーク・ノイズは（ガウス分布の「釣鐘状曲線」のノイズを仮定すると）99%の時間は全RMSノイズの約6倍になります。



$V_N$ と $I_N$ はオペアンプのデータシート記載のノイズ電圧密度とノイズ電流密度

$$R_{EQ} = \text{等価ソース抵抗} = R_S + R_1 \parallel R_2$$

$$V_{R(EQ)} = 0.13\sqrt{R_{EQ}} \text{ は抵抗の } nV/\sqrt{Hz} \text{ 表示の熱雑音}$$

$$V_N, V_{R(EQ)}, \text{ および } I_N \cdot R_{EQ} \text{ は } nV/\sqrt{Hz} \text{ で表わす}$$

$$V_{N(TOTAL)} = \sqrt{V_N^2 + V_{R(EQ)}^2 + (I_N \cdot R_{EQ})^2}$$

= 入力を基準にした  $nV/\sqrt{Hz}$  表示の全ノイズ

図1. オペアンプのノイズ・モデル。  $V_N$ と $I_N$ はオペアンプのノイズ源（相関電流ノイズは示されていない）。  $V_{R(EQ)}$ は抵抗による電圧ノイズ

帯域幅を制限するのにオペアンプには依存しないでください。最良のノイズ性能を得るには、受動フィルタまたは低ノイズのアクティブ・フィルタを使って帯域幅を制限します。

オペアンプの入力ノイズの規格値は一般にノイズ電圧は  $nV/\sqrt{Hz}$  で表され、ノイズ電流は  $pA/\sqrt{Hz}$  または  $fA/\sqrt{Hz}$  で表されるので、抵抗の熱雑音と直接比較することができます。ノイズ密度は低い周波数で変化するため、ほとんどのオペアンプは0.1Hz~10Hzまたは0.01Hz~1Hzの帯域幅での標準的ピーク・トゥ・ピーク・ノイズも規定しています。超低周波数で最良の性能を得るには、LTC®2050やLTC2054のようなゼロドリフトのアンプを検討するとよいでしょう。

#### ノイズ源の和

図1に示されているのは、ノイズ源を外部に示した理想化されたオペアンプと抵抗です。入力を基準にしたすべてのノイズ源のRMS和である  $V_{N(TOTAL)}$  の式も示されています。出力に現れるのは、この電圧ノイズ密度に回路のノイズ利得 ( $NG = 1 + R_1/R_2$ ) を掛けたものです。

LT、LTC、LTはリニアテクノロジー社の登録商標です。他のすべての商標はそれぞれの所有者に所有権があります。

$V_{N(TOTAL)}$ の式から、いくつかの結論を引き出すことができます。ノイズを最小に抑えるには抵抗の値をできるだけ小さくしますが、 $R_1$ はオペアンプ出力の負荷なので小さくし過ぎてはいけません。トランスインピーダンスなどのアプリケーションでは、 $R_1$ は回路内の唯一の抵抗で、通常は大きな値になります。低い $R_{EQ}$ では( $V_N$ が残った項となるため)オペアンプの電圧ノイズが支配的となり、非常に高い $R_{EQ}$ では( $I_n$ が最高次数の $R_{EQ}$ 項の係数なので)オペアンプの電流ノイズが支配的となります。中程度の $R_{EQ}$ の値では、抵抗のノイズが支配的となり、オペアンプのノイズはほとんど影響ありません。これがアンプの $R_{OPTIMUM}$ で、オペアンプのノイズの2つの規格値の比( $V_N/I_n = R_{OPT}$ )を計算して求めることができます。

### 最適オペアンプの選択

3つの異なる温度でのソース抵抗と多種オペアンプの電圧ノイズ密度のプロットを図2に示します。オペアンプのデバイス番号を付した各点は、各デバイスの $R_{OPT}$ でプロットしたそのデバイスの電圧ノイズ密度です。

用途に最適の周波数のグラフを使用してください。横軸上で実際のソース抵抗を探し、その抵抗が抵抗ノイズの線と交差する点に印しを付けます。これが「ソース抵抗ポイント」です。ノイズ性能が最良のオペアンプはそのポイントの下にあり、下方に離れているほど優れています。

候補となるすべてのオペアンプを探すには、求めたソース抵抗ポイントから図の右端まで横線を引きます。その線より下に位置するオペアンプは良いノイズ性能を与えますが、下に位置するものほど優れています。ソース抵抗ポイントから左下方に向け、一桁下がるごとに一桁左に進むように別の線を引きます。この線より下にくるオペアンプも候補になります。

それでも候補がひとつも見つからない場合、ソース・インピーダンスが非常に低いので、できるだけ低い位置のオペアンプを使用します。このような場合、低ノイズのオペアンプを並列に接続することもできます。

### まとめ

ノイズの分析は最初は大変困難な課題となることがあり、多くの設計者にとって馴染みのない分野です。全体のノイズ性能に最も大きく影響するのは信号に付随するソース・インピーダンスです。この選択の手引きは、新人であろうがベテランであろうが、設計者が与えられた任意のソース・インピーダンスに対して最適のオペアンプを選択するのに役立ちます。

### データシートのダウンロード

<http://www.linear-tech.co.jp/datasheet/index.html>

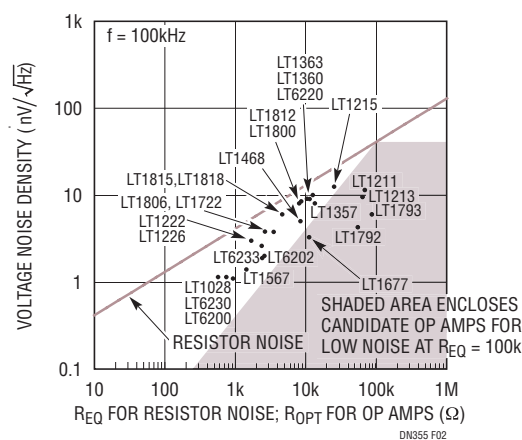
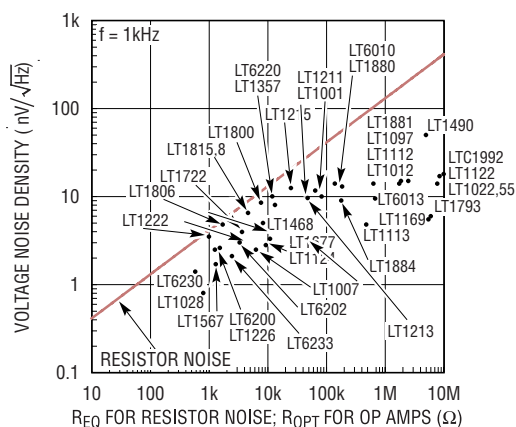
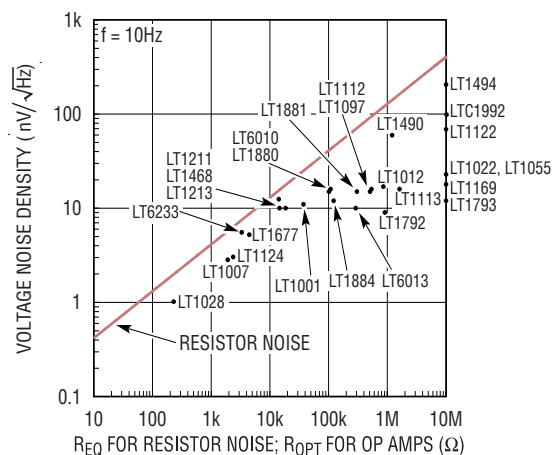


図2. 個々のアプリケーションに最適な低ノイズ・オペアンプを見つけるために使う3つのプロット

## リニアテクノロジー株式会社

102-0094 東京都千代田区紀尾井町 3-6 秀和紀尾井町パークビル 8F  
TEL (03)5226-7291 FAX (03)5226-0268

<http://www.linear-tech.co.jp>

dn349f 1004 43.7K • PRINTED IN JAPAN



© LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION 2004