

オペアンプのノイズ・フィギュアを計算する

By James Karki

Member, Group Technical Staff, High-Performance Linear

目次

はじめに.....	1
ノイズ・フィギュアの評価.....	2
オペアンプのNF.....	3
非反転アンプ.....	3
反転アンプ.....	3
完全差動アンプ.....	6
結論.....	7
関連サイト.....	7
付録 -- オペアンプを使ったアンプのノイズ項のまとめ.....	8
信号の入力ノイズ (N_i) 項.....	8
付録 -- オペアンプを使ったアンプのノイズ項のまとめ (続き).....	9
素子の入力ノイズ (N_A) 項.....	9
付録 -- オペアンプを使ったアンプのノイズ項のまとめ (続き).....	10
素子の入力ノイズ (N_A) 項 (続き).....	10

図

図 1. 非反転ノイズの解析図.....	2
図 2. 反転ノイズの解析図例.....	3
図 3. 完全差動ノイズの解析図.....	3

表

表 1. 計算で求めたノイズ・フィギュアと測定されたノイズ・フィギュアの比較.....	7
---	---

この資料は日本テキサス・インスツルメンツ(日本TI)が、お客様がTIおよび日本TI製品を理解するための一助としてお役に立てるよう、作成してあります。製品に関する情報は随時更新されますので最新版の情報を取得するようお勧めします。TIおよび日本TIは、更新以前の情報に基づいて発生した問題や障害等につきましては如何なる責任も負いません。また、TI及び日本TIは本ドキュメントに記載された情報により発生した問題や障害等につきましては如何なる責任も負いません。

はじめに

ノイズ・フィギュア(ノイズ指数)は、感度に対するシステム・ノイズの影響を簡単な方法で判断する材料となるため、通信システムでよく利用されています。

最近の通信設計では、広帯域オペアンプがその性能のために、従来のMMICやディスクリート・トランジスタ等の開ループ増幅器に替わる実行可能な手段になりつつあります。RFエンジニアリングの言葉で広帯域オペアンプを定義する必要性を認識し、ノイズ・フィギュアを提供しているメーカーも確かにありますが、そのような企業は例外的です。

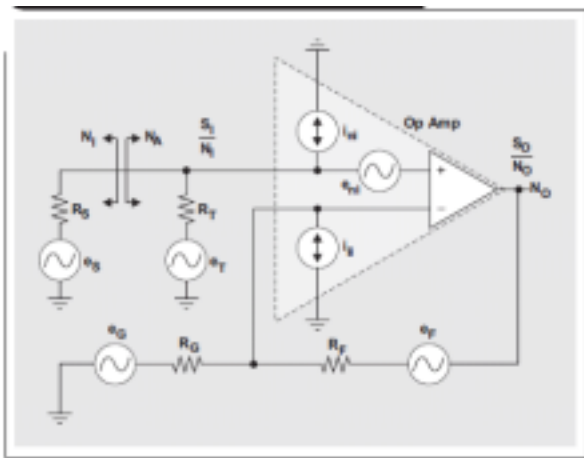


図 1 非反転ノイズの解析図

オペアンプのメーカーは通常、入力基準電圧ノイズと入力基準電流ノイズを使ってノイズ・パフォーマンスを定義します。ノイズ・フィギュアはこれらのパラメータと、回路のトポロジーと、外部部品値によって決まります。これらの情報がすべてそろっていれば、ノイズ・フィギュアを計算することができます。

ノイズ・フィギュアの評価

ノイズ・フィギュア(NF)はノイズ・ファクタ(ノイズ係数)(F)をデシベルで表したものであり、 $NF (dB) = 10\log(F)$ となります。

ある素子(device)のノイズ・ファクタは、次に示すように、入力での信号対ノイズ比(SNR)である SNR_I を、出力でのSNRである SNR_O で割った結果の電力比です。

$$F = \frac{SNR_I}{SNR_O} \tag{1}$$

出力信号(S_O)は入力信号(S_I)にゲインを掛けたもの、つまり $S_O = S_I \times G$ に等しくなります。出力ノイズは、電源から入力 (N_I)へ送られたノイズに素子(N_A)の入力ノイズを足したものにゲインを掛けた値、つまり $N_O = (N_I + N_A) \times G$ に等しくなります。式 1に代入して整理すると、次のようになります。

$$F = \frac{SNR_I}{SNR_O} = \frac{\frac{S_I}{N_I}}{\frac{G \times S_I}{G(N_I + N_A)}} = 1 + \frac{N_A}{N_I} \tag{2}$$

入力が電源と同じインピーダンスで終端処理されているものと仮定すると、 $N_I = kT = -174 \text{ dBm/Hz}$ となります。ここでkはボルツマン定数、 $T = 300 \text{ Kelvin}$ です。素子の入力ノイズのスペクトル密度が分かれば、あとは式 2にそれを当てはめてFを計算するだけです。

オペアンプの NF

オペアンプでは、入力基準電圧ノイズと入力基準電流ノイズを定義します。この2つのパラメータを使い、外部抵抗のノイズを加算し、回路のトポロジーに基づく総入力基準ノイズを計算すれば、入力スペクトル密度を計算して式2で利用できるようになります。本論では、「オペアンプ(opamp)」と「アンプ(amplifier)」は異なる意味で使われています。「オペアンプ」という言葉は能動素子(active device) そのものを指しますが、「アンプ」という言葉はオペアンプに加えて、使用可能な増幅段としてオペアンプを機能させる、オペアンプに接続した受動抵抗も含みます。言い換えれば「アンプ」とは図1~3に示されているもののうち R_S 以外のすべてを指しますが、「オペアンプ」が指すのは破線の三角形内の部品だけです。その外側の、 N_A および N_I という名前の付いた平面は、アンプ(amplifier)への入力となります。これは、式2を使用できるようにするためにノイズ源が基準にする必要のあるポイントです。

電源からのノイズとアンプの入力ノイズは、同じポイントを基準にします。インピーダンスが同じであるため、 N_A と N_I の比を電圧比の二乗として表したものは、電力比と等価になります。オペアンプは電圧駆動素子なので、電圧二乗項を使用すると計算が簡単になります。これからの説明では、電圧二乗項を使用して N_A と N_I を表します。

オペアンプでは、負帰還を利用してアンプのゲインを制御します。その結果、入力終端間の電圧がゼロになります。これは通常は「仮想短絡」と呼ばれ、後で述べる解析[†]に利用されますが、アンプとして作業を行うオペアンプの副産物であることから、本論では「アンプ・アクション」と呼ぶことにします。

解析の間は、重畳の理(superposition)が使用されます。重畳の理の間は、検討対象の電源以外のすべての電源が無効になります。電圧源は短絡(ショート)、電流源は開放(オープン)になります。

非反転アンプ

まず、基本的なオペアンプ回路3つのうちで入力基準ノイズがもっとも見つけやすい、非反転オペアンプを使ったアンプについて説明します。

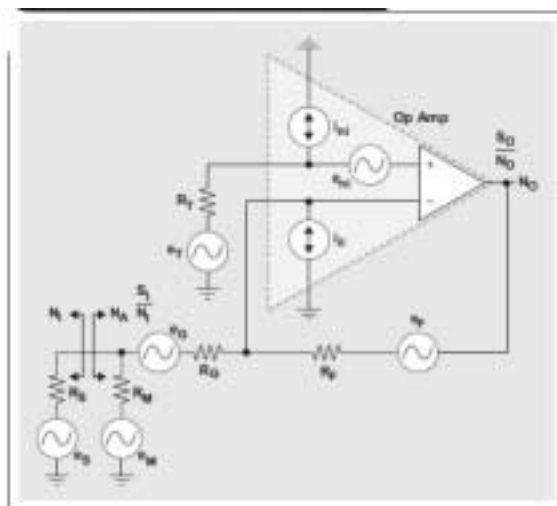


図2 反転ノイズの解析図

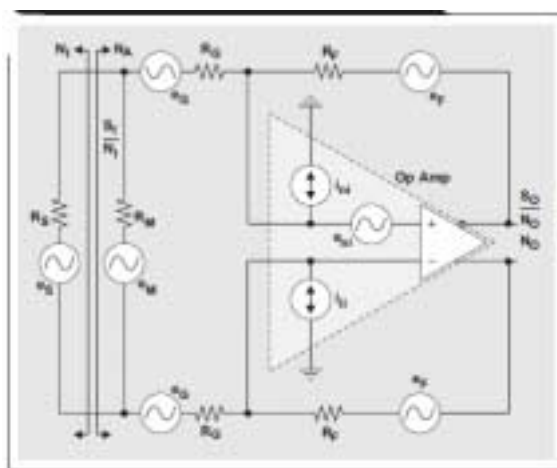


図3 完全差動ノイズの解析図

[†] 仮想短絡という概念は、解析を簡単にしてくれます。節点解析といった他の手段で同様の結果を得ようとすれば、ずっと多くの作業が必要になります。

図1は非反転オペアンプを使ったアンプのノイズ解析図で、ノイズ源は特定されています。ソース抵抗 R_S により、ノイズ電圧 $\sqrt{4kTR_S}$ が生成されます。電源からアンプの入力へ送られたノイズ電圧を、抵抗 R_S と R_T で割ります。したがって、つぎのようになります。

$$N_I = 4kTR_S \left(\frac{R_T}{R_S + R_T} \right)^2$$

R_T は通常、入力を終端処理して $R_T = R_S$ 、つまり $N_I = kTR_S$ となるようにするために使用されます。アンプの電圧ノイズは、 e_{ni} 、 i_{ni} 、 i_{ii} と接続インピーダンスによる e_T 、 e_G 、 e_F を結合したものです。これらは、各々のスケーリング・ファクタ（倍率）によって入力を基準とするようになっており、計算すると次のように N_A が求められます。

$$N_A = c_1 e_{ni}^2 + c_2 i_{ni}^2 + c_3 i_{ii}^2 + c_4 e_T^2 + c_5 e_G^2 + c_6 e_F^2 \quad (3)$$

ここで、 $c_1 \sim c_6$ はスケーリング・ファクタです。オペアンプの入力電圧ノイズは e_{ni} です。これはアンプの入力にそのまま現れ、そのスケーリング・ファクタは1つまりユニティであるため、 $c_1 e_{ni}^2 = e_{ni}^2$ となります。

オペアンプの非反転入力電流ノイズは i_{ni} で表され、 R_S と R_T の並列結合を通して電圧を形成します。この電圧はアンプの入力にそのまま現れます。

$$c_2 i_{ni}^2 = i_{ni}^2 \left(\frac{R_S R_T}{R_S + R_T} \right)^2$$

オペアンプの反転入力電流ノイズは i_{ii} で表され、オペアンプの反転入力 R_F と R_G の並列結合を通して電圧を形成します。アンプ・アクションにより、この電圧はアンプの入力に現れます。

$$c_3 i_{ii}^2 = i_{ii}^2 \left(\frac{R_F R_G}{R_F + R_G} \right)^2$$

R_T に接続するノイズ電圧項 e_T は $\sqrt{4kTR_T}$ に等しくなります。これを抵抗 R_S と R_T で割ると、次のようになります。

$$c_4 e_T^2 = 4kTR_T \left(\frac{R_S}{R_S + R_T} \right)^2$$

$R_T = R_S$ であれば、 $c_4 e_T^2 = kTR_T$ となります。

R_G に接続するノイズ電圧項 e_G は $\sqrt{4kTR_G}$ に等しくなります。このノイズを抵抗 R_F と R_G で割り、オペアンプの反転入力に当てはめます。ここでもアンプ・アクションにより、 R_G からのノイズがアンプの入力に現れます。

$$c_5 e_G^2 = 4kTR_G \left(\frac{R_F}{R_F + R_G} \right)^2$$

R_F に接続するノイズ電圧項 e_F は $\sqrt{4kTR_G}$ に等しくなり、アンプの出力に現れます。信号ゲインで割ると、次のようになります。

$$c_6 e_F^2 = 4kTR_F \left(\frac{R_G}{R_F + R_G} \right)^2$$

非反転アンプ

反転オペアンプを使ったアンプの入力基準ノイズの求め方は、非反転オペアンプを使ったアンプの入力基準ノイズの求め方よりも面倒です。主な問題は、アンプの信号ゲインとノイズ・ゲインが異なるということです。

図2は、ノイズ源が特定されている、反転オペアンプを使ったアンプのノイズ解析図です。入力基準ノイズを求めるには、出力ノイズを求めてからアンプの信号ゲインで割るのが最も容易な場合もあります。

電源から入力に送られたノイズ電圧は、 R_G と並列の抵抗 R_S と R_M で割ります。

したがって、次のようになります。

$$N_I = 4kTR_S \left[\frac{R_M R_S}{R_S + (R_M + R_G) + (R_M R_G)} \right]^2$$

R_M は通常、 $R_M \parallel R_G = R_S$ 、つまり $N_I = kTR_S$ となるように選択されます。

アンプの入力基準電圧ノイズは e_{ni} 、 i_{ni} 、 i_{ii} と接続インピーダンスによる e_T 、 e_G 、 e_F 、 e_M を結合したものです。

これらは、各々のスケーリング・ファクタによって入力を基準とするようになっており、計算すると次のように N_A が求められます。

$$N_A = c_1 e_{ni}^2 + c_2 i_{ni}^2 + c_3 i_{ii}^2 + c_4 e_T^2 + c_5 e_G^2 + c_6 e_F^2 + c_7 e_M^2 \quad (4)$$

ここで、 $c_1 \sim c_7$ はスケールリング・ファクタです。

オペアンプの非反転入力での、オペアンプの入力電圧ノイズ e_{ni} は、アンプの出力ではアンプのノイズ・ゲインの関数として現れ、

$$1 + \frac{R_F}{R_G + \frac{R_S R_M}{R_S + R_M}}$$

その後、信号ゲインの関数 R_F/R_G としてアンプの入力を再び基準とします。従って次のようになります。

$$c_1 e_{ni}^2 = e_{ni}^2 \left(\frac{R_G}{R_F} + \frac{R_G}{R_G + \frac{R_S R_M}{R_S + R_M}} \right)^2$$

オペアンプの非反転入力電流ノイズは i_{ni} で表され、 R_T を通して電圧を形成します。この電圧はアンプの入力にそのまま現れます。

$$c_2 i_{ni}^2 = i_{ni}^2 \left(\frac{R_T R_G}{R_F} + \frac{R_T R_G}{R_G + \frac{R_S R_M}{R_S + R_M}} \right)^2$$

オペアンプの反転入力電流ノイズ i_{ii} を計算する方法を見つけるのは難しいことです。基本的には、アンプ・アクションのために反転ノードはグラウンドにあり、入力抵抗 R_G ノイズ電流は R_F を通って流れ、 $i_{ii} R_F$ と等価の出力電圧が生成されます。アンプの入力を基準にすると、 $C_3 i_{ii}^2 = i_{ii}^2 (R_G)^2$ となります。

R_T と接続したノイズ電圧項 e_T は、 $\sqrt{4kTR_T}$ に等しくなります。 e_{ni} 同様、これはアンプのノイズ・ゲインの関数として出力に現れ、信号ゲインの関数としてアンプの入力を再び基準とします。したがって、次のようになります。

$$c_4 e_T^2 = kTR_T \left(\frac{R_G}{R_F} + \frac{R_G}{R_G + \frac{R_S R_M}{R_S + R_M}} \right)^2$$

R_G と接続したノイズ電圧項 e_G は $\sqrt{4kTR_G}$ に等しくなります。これを、アンプの入力への途中で、 R_M と並列の抵抗 R_G と R_S で割ります。

$$c_5 e_G^2 = 4kTR_G \left(\frac{R_G}{R_G + \frac{R_S R_M}{R_S + R_M}} \right)^2$$

R_F と接続したノイズ電圧項 e_F は $\sqrt{4kTR_F}$ に等しくなり、アンプの出力にそのまま現れます。信号ゲインで割ると、次のようになります。

$$c_6 e_F^2 = 4kTR_F \left(\frac{R_G}{R_F} \right)^2$$

入力終端マッチング抵抗 R_M と接続したノイズ源 e_M は、 $\sqrt{4kTR_M}$ に等しくなります。これを R_G と並列な抵抗 R_M と R_S で割ります。

$$c_7 e_M^2 = 4kTR_M \left[\frac{R_S R_G}{R_M (R_S + R_G) + R_S R_G} \right]^2$$

式4項がすべて決めれば、計算によって N_A を求め、式2で N_I とともに N_A を使用して、 F を求めることができます。

完全差動アンプ

完全差動オペアンプを使ったアンプは反転オペアンプを使ったアンプに非常に似ており、解析も非常に近いものになります。図3はノイズ解析図です。

電源抵抗では、 $\sqrt{4kTR_S}$ に等しい熱雑音を生成します。電源から入力に送られたノイズ電圧を $2R_G$ と並列の抵抗 R_S と R_M で割ります。したがって、次のようになります。

$$N_I = 4kTR_S \left(\frac{\frac{2R_M R_G}{R_M + 2R_G}}{R_S + \frac{2R_M R_G}{R_M + 2R_G}} \right)^2$$

R_M は通常、 $R_M \parallel 2R_G = R_S$ つまり $N_I = kTR_S$ となるようにするために選択されます。

アンプの入力基準電圧ノイズは e_{ni} , i_{ni} , i_{ii} と接続インピーダンスによる e_G , e_F , e_M を結合したものです。これらはすべて、各々のスケール・ファクタによって入力を基準とするようになっており、計算すると次のように N_A が求められます。

$$N_A = c_1 e_{ni}^2 + c_2 i_{ni}^2 + c_3 i_{ii}^2 + c_4 e_G^2 + c_5 e_F^2 + c_6 e_M^2 \quad (5)$$

ここで、 $c_1 \sim c_6$ はスケール・ファクタです。

この解析では、2つの入力抵抗 R_G が等しく、また2つの帰還抵抗 R_F が等しいことが前提となっています。

オペアンプの入力での、オペアンプの入力電圧ノイズ e_{ni} は、アンプの出力ではアンプのノイズ・ゲインの関数として現われ、

$$1 + \frac{R_F}{R_G + \frac{R_S R_M}{2(R_S + R_M)}}$$

そして、信号ゲインの関数 R_F/R_G としてアンプの入力を再び基準とします。従って次のようになります。

$$c_1 e_{ni}^2 = e_{ni}^2 \left(\frac{R_G}{R_F} + \frac{R_G}{R_G + \frac{R_S R_M}{2(R_S + R_M)}} \right)^2$$

入力抵抗が等しく、かつ帰還抵抗が等しいため、オペアンプの非反転入力電流ノイズ i_{ni} および反転入力電流ノイズ i_{ii} のスケール・ファクタは同じになります。アンプ・アクションのためにオペアンプの入力ノードはacグラウンドにあり、入力抵抗 R_G を通して電流が引き込まれないようになっています。すべてのノイズ電流は R_F を通して流れ、 $i_{ni}R_F$ または $i_{ii}R_F$ と等価の出力で電圧を生成します。アンプの入力を基準にすると、 $C_2 i_{ni}^2 = i_{ni}^2 (R_G)^2$ および $C_3 i_{ii}^2 = i_{ii}^2 (R_G)^2$ となります。各 R_G と接続したノイズ電圧項 e_G は $\sqrt{4kTR_G}$ に等しくなります。 R_M と並列の抵抗 R_G と、 R_S の半分でこれを割ります。

$$c_4 e_G^2 = 2 \times 4kTR_G \left[\frac{R_G}{R_G + \frac{R_S R_M}{2(R_S + R_M)}} \right]^2$$

各 R_F と接続したノイズ電圧項 e_F は $\sqrt{4kTR_F}$ に等しくなり、アンプの出力にそのまま現われます。信号ゲインで割ると、次のようになります。

$$c_5 e_F^2 = 4kTR_F \left(\frac{R_G}{R_F} \right)^2$$

入力終端マッチング抵抗 R_M と接続したノイズ源 e_M は、 $\sqrt{4kTR_M}$ に等しくなります。 $2R_G$ と並列な抵抗 R_M と R_S でこれを割ります。

$$c_6 e_M^2 = 4kTR_M \left[\frac{\frac{2R_S R_G}{R_S + 2R_G}}{R_M + \frac{2R_S R_G}{R_S + 2R_G}} \right]^2$$

前と同様に、式5の項の値がすべて決めれば、 N_A を計算して式2で N_I とともに使用し、ノイズ・ファクタを求めることができます。

オペアンプ	構成	e_{ni} (nV)	i_{ni} (pA)	i_{ii} (pA)	R_F (Ω)	R_G (Ω)	R_T (Ω)	R_M (Ω)	計算で求めたNF (dB)	測定されたNF (dB)
THS3202	非反転	1.65	13.5	20	255	49.9	49.9	--	11.6	11.5
THS3202	反転	1.65	13.5	20	255	49.9	--	--	13.6	13.0
THS4501	完全差動	7	1.7	1.7	392	392	--	56.2	30.1	30.6

表 1 計算で求めたノイズ・フィギュアと測定されたノイズ・フィギュアの比較

結論

回路構成や部品の値とともに、入力基準電圧ノイズと入力基準電流ノイズを使用すると、ノイズ・フィギュアを計算できます。これはあまり面白い作業とはいえません。各トポロジー用に、部品値とオペアンプ仕様を入力できるスプレッドシートを用意することをお勧めします。このようにすれば、様々なシナリオを短時間で試すことができます。ノイズ・フィギュア・アナライザを使用した回路テストによる検証は常にお勧めします。本論で概要を示した理論がテスト結果といかによく合致するかの例として、今まで詳しく述べてきたような構成の、オペアンプを使った3つのアンプのノイズ・フィギュアを、Agilent 社のノイズ・フィギュア・アナライザ N8973A で計測してみました。表 1 は入力電流ノイズと入力電圧ノイズの仕様を標準値として使用した場合ですが、良好な結果を示しています。

関連サイト

analog.ti.com

www.ti.com/sc/device/THS3202

www.ti.com/sc/device/THS4501

付録 -- オペアンプを使ったアンプのノイズ項のまとめ
信号の入カノイズ (N_I) 項

アンプの構成	ノイズ源	ノイズ寄与
非反転	電源の熱雑音	$4kTR_S \left(\frac{R_T}{R_S + R_T} \right)^2$
反転	電源の熱雑音	$N_I = 4kTR_S \left[\frac{R_M R_S}{R_S (R_M + R_G) + (R_M R_G)} \right]^2$
完全差動	電源の熱雑音	$4kTR_M \left[\frac{\frac{2R_S R_G}{R_M + 2R_G}}{R_S + \frac{2R_M R_G}{R_M + 2R_G}} \right]^2$

付録 -- オペアンプを使ったアンプのノイズ項のまとめ (続き)

素子の入力ノイズ (N_A) 項

アンプ構成	ノイズ源	ノイズ寄与
非反転	オペアンプの入力基準電圧ノイズ	e_{ni}^2
	オペアンプの非反転入力基準電流ノイズ	$i_{ni}^2 \left(\frac{R_S R_T}{R_S + R_T} \right)^2$
	オペアンプの反転入力基準電流ノイズ	$i_{ii}^2 \left(\frac{R_F R_G}{R_F + R_G} \right)^2$
	終端抵抗の熱雑音電圧	$4kTR_T \left(\frac{R_S}{R_S + R_T} \right)^2$
	ゲイン抵抗の熱雑音電圧	$4kTR_G \left(\frac{R_F}{R_F + R_G} \right)^2$
	帰還抵抗の熱雑音電圧	$4kTR_F \left(\frac{R_G}{R_F + R_G} \right)^2$
反転	オペアンプの入力基準電圧ノイズ	$e_{ni}^2 \left(\frac{R_G}{R_F} + \frac{R_G}{R_G + \frac{R_S R_M}{R_S + R_M}} \right)^2$
	オペアンプの非反転入力基準電流ノイズ	$i_{ni}^2 \left(\frac{R_T R_G}{R_F} + \frac{R_T R_G}{R_G + \frac{R_S R_M}{R_S + R_M}} \right)^2$
	オペアンプの反転入力基準電流ノイズ	$i_{ii}^2 (R_G)^2$
	非反転バイアス・マッチング抵抗の熱雑音電圧	$4kTR_T \left(\frac{R_G}{R_F} + \frac{R_G}{R_G + \frac{R_S R_M}{R_S + R_M}} \right)^2$
	ゲイン抵抗の熱雑音電圧	$4kTR_G \left(\frac{R_G}{R_G + \frac{R_S R_M}{R_S + R_M}} \right)^2$
	帰還抵抗の熱雑音電圧	$4kTR_F \left(\frac{R_G}{R_F} \right)^2$
	反転終端マッチング抵抗の熱雑音電圧	$4kTR_M \left[\frac{R_S R_G}{R_M (R_S + R_G) + R_S R_G} \right]^2$

付録 -- オペアンプを使ったアンプのノイズ項のまとめ (続き)

素子の入力ノイズ (N_A) 項 (続き)

アンプ構成	ノイズ源	ノイズ寄与
完全差動	オペアンプの入力基準電圧ノイズ	$e_{ni}^2 \left[\frac{R_G}{R_F} + \frac{R_G}{R_G + \frac{R_S R_M}{2(R_S + R_M)}} \right]^2$
	オペアンプの非反転入力基準電流ノイズ	$i_{ni}^2 (R_G)^2$
	オペアンプの反転入力基準電流ノイズ	$i_{ii}^2 (R_G)^2$
	ゲイン抵抗の熱雑音電圧	$2 \times 4kTR_G \left[\frac{R_G}{R_G + \frac{R_S R_M}{2(R_S + R_M)}} \right]^2$
	帰還抵抗の熱雑音電圧	$2 \times 4kTR_F \left(\frac{R_G}{R_F} \right)^2$
	終端マッチング抵抗の熱雑音電圧	$4kTR_M \left(\frac{\frac{2R_S R_G}{R_S + 2R_G}}{R_M + \frac{2R_S R_G}{R_S + 2R_G}} \right)^2$

ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社(以下TIJといひます)及びTexas Instruments Incorporated(TIJの親会社、以下TIJおよびTexas Instruments Incorporatedを総称してTIといひます)は、その製品及びサービスを任意に修正し、改善、改良、その他の変更をし、もしくは製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。従ひまして、お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIとの間に取引契約が締結されている場合は、当該契約条件に基づき、また当該取引契約が締結されていない場合は、ご注文の受諾の際に提示されるTIの標準契約約款に従って販売されます。

TIは、そのハードウェア製品が、TIの標準保証条件に従ひ販売時の仕様に対応した性能を有していること、またはお客様とTIとの間で合意された保証条件に従ひ合意された仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査およびその他の品質管理技法は、TIが当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、政府がそれ等の実行を義務づけている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TIは、製品のアプリケーションに関する支援もしくはお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションについて想定される危険を最小のものとするため、適切な設計上および操作上の安全対策は、必ずお客様にてお取り下さい。

TIは、TIの製品もしくはサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、もしくは方法に関連しているTIの特許権、著作権、回路配置利用権、その他のTIの知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾することは明示的にも黙示的にも保証も表明もしておりません。TIが第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TIが当該製品もしくはサービスを使用することについてライセンスを与えたり、保証もしくは是認することを意味しません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない場合もあり、またTIの特許その他の知的財産権に基づきTIからライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TIのデータ・ブックもしくはデータ・シートの中にある情報を複製することは、その情報に一切の変更を加えること無く、且つその情報と結び付けられた全ての保証、条件、制限及び通知と共に複製がなされる限りにおいて許されるものとします。当該情報に変更を加えて複製することは不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような変更された情報や複製については何の義務も責任も負いません。

TIの製品もしくはサービスについてTIにより示された数値、特性、条件その他のパラメーターと異なる、あるいは、それを超えてなされた説明で当該TI製品もしくはサービスを再販売することは、当該TI製品もしくはサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、且つ不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような説明については何の義務も責任もありません。

Copyright © 2007, Texas Instruments Incorporated
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位(外装から取り出された内装及び個装)又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で(導電性マットにアースをとったもの等)、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

2. 温・湿度環境

- 温度：0～40℃、相対湿度：40～85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。(但し、結露しないこと。)

- 直射日光があたる状態で保管・輸送しないこと。
3. 防湿梱包
 - 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従ひ基板実装すること。
 4. 機械的衝撃
 - 梱包品(外装、内装、個装)及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。
 5. 熱衝撃
 - はんだ付け時は、最低限260℃以上の高温状態に、10秒以上さらさないこと。(個別推奨条件がある時はそれに従うこと。)
 6. 汚染
 - はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質(硫黄、塩素等ハロゲン)のある環境で保管・輸送しないこと。
 - はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。(不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。)

以上