

# LMH6624

*Application Note 1604 Decompensated Operational Amplifiers*



Literature Number: JAJA321

# 非補償型オペアンプ

National Semiconductor  
Application Note 1604  
Shuqing Jing  
2007年9月



## 概要

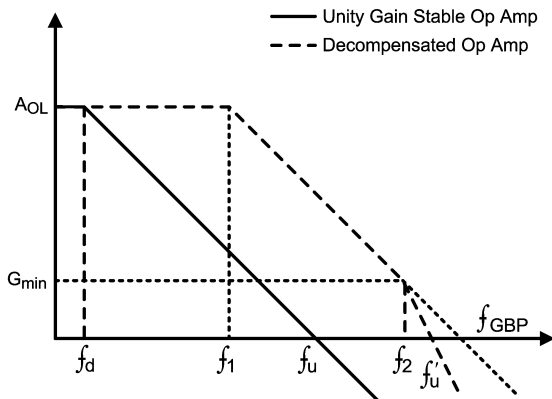
本アプリケーション・ノートでは、まずセクション 1 で、非補償型アンプの概要、非補償アンプを使用するメリット、および非補償アンプがふさわしいアプリケーションについて説明します。次にセクション 2 で、データシート記載の最小安定ゲインよりも小さなゲインでオペアンプを安定的に動作させる、例えばループ・ゲインの低減といった外付け補償テクニックについて説明します。セクション 3 では入力リード・ラグ補償について例を示しながら詳しく取り上げます。

## セクション 1 . 非補償型アンプの紹介

### 非補償型アンプの概要

非補償型オペアンプは、ゲインをある値以上で使うことを前提に周波数補償を内蔵しています。非補償型オペアンプのデータシートでは、「 $\times$  倍以上のゲインで安定である」と記載しています。補償型オペアンプ、つまり普通のオペアンプは、ユニティ・ゲインを含む低いゲインで安定するように伝統的に設計されています。一方の非補償型オペアンプ、つまり補償量の少ないオペアンプは、ユニティ・ゲインに対応した補償型オペアンプに比べて帯域が広くスルーレートが大きいという特長があります。

Figure 1 に示すように、ユニティ・ゲイン安定オペアンプでは  $f_d$  にあったドミナント・ポールは、内部補償を控えた非補償型オペアンプでは  $f_1$  に移動します。内部補償を控えることで、消費電力は同じでありながら、オペアンプの広帯域化が実現されています。つまり、ユニティ・ゲイン安定オペアンプと回路が同等な場合に、非補償型オペアンプでは大きな帯域対電力比が得られます。



**FIGURE 1. Gain vs. Frequency Characteristics for a Unity Gain Stable Op Amp and a Decompensated Op Amp**

ユニティ・ゲイン安定アンプと比べた非補償型アンプの特長は次のとおりです。

1. 開ループ・ゲインが高い周波数にまで及ぶ
2. 閉ループ帯域が広い
3. スルーレートが大きくなる

### 非補償型オペアンプのメリット

非補償型オペアンプは帯域性能を最大限に引き出すよう設計されています。このアンプは、同等のユニティ・ゲイン安定オペアンプに比べて、小信号帯域、スルーレート、フルパワー帯域ともに優れた特性を示します。フルパワー帯域とは歪みのない正弦波がオペアンプの出力に再現される最高周波数です。

フルパワー帯域は次式で求めます。

$$FPBW = \frac{SR}{2\pi V_p} \quad (1)$$

ここで、SR はスルーレート、 $V_p$  は出力のピーク振幅です。フルパワー帯域の拡大はスルーレートの向上によってもたらされています。スルーレートによって、ある規定出力振幅のとき、信号歪みのほとんどない出力が得られる最高周波数が決まります。非補償型オペアンプは同等のユニティ・ゲイン安定オペアンプに比べて優れた帯域対消費電力比を示します。

### 非補償型オペアンプの使用領域

非補償型オペアンプは消費電力と帯域の比が重要となる高ゲイン・アプリケーションで使用するとよいでしょう。オペアンプを低いゲインで使用するときは、回路の安定性を保つうえで補償テクニックが有効です。

## セクション 2. 規定最小ゲイン以下で非補償ゲインを安定させる外付け補償回路

### はじめに

このセクションでは、オペアンプを低いゲインで動作させたときに生じる不安定性の問題と、帰還関数の決定手順、およびループ・ゲインを下げる補償方法について説明します。

### 帰還関数の決定

Figure 2 に示すような一意の特性を有する電子回路の帰還関数 (F) は、出力から入力に帰還される信号と出力信号との比で表されます。

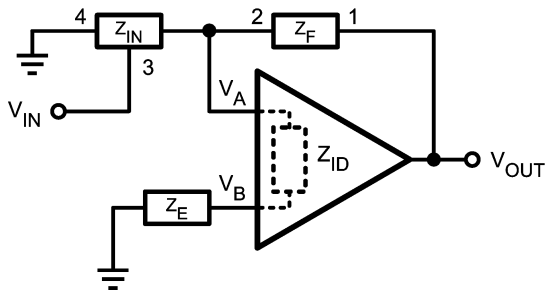


FIGURE 2. A Three-Terminal Network Circuit

上図の三端子ネットワークの場合、帰還関数 (F) はオペアンプ入力端子両側の帰還電圧  $V_A - V_B$  とオペアンプ出力電圧  $V_{OUT}$  との比になります。すなわち、

$$F = \frac{V_A - V_B}{V_{OUT}} \quad (2)$$

ループ・ゲインの低減

解析

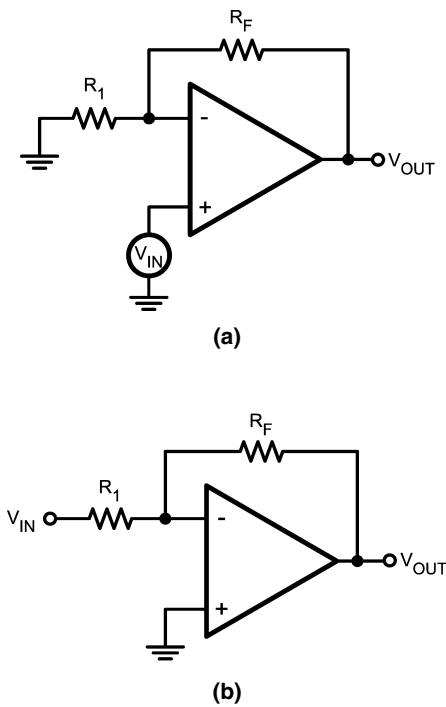


FIGURE 3. Op Amp with Resistive Feedback (a) Non-Inverting, (b) Inverting

Figure 3 のオペアンプの場合、

$$\frac{1}{F} = 1 + \frac{R_F}{R_1} \quad (3)$$

非反転構成の閉ループ・ゲインは、

$$A_{CL} = 1 + \frac{R_F}{R_1} = \frac{1}{F} \quad (4)$$

反転構成の閉ループ・ゲインは、

$$A_{CL} = -\frac{R_F}{R_1} = 1 - \frac{1}{F} \quad (5)$$

具体的なオペアンプのデータシートで規定されている最小閉ループ・ゲインを Figure 1 では  $G_{min}$  として示しています。十分に安定した動作を得るには、 $1/F$  の最小値は  $G_{min}$  と等しいか大きくなければなりません。

オペアンプの安定性を確保できる最小閉ループ・ゲインは、非反転アンプの場合に、

$$A_{CL}(min) = G_{min} \quad (6)$$

また、反転アンプの場合は、

$$|A_{CL}(min)| = G_{min} - 1 \quad (7)$$

となります。

安定動作に必要な最小ゲインよりも閉ループ・ゲインが小さくなるように  $R_1$  と  $R_F$  を選択すると、 $1/F$  は  $G_{min}$  よりも小さな値で開ループ・ゲインのカーブと交差します。例えば、 $G_{min}$  が 10V/V (20dB) の条件を Figure 4 に破線で示します。抵抗を  $R_F = R_1 = 2k$  として選択すると、 $1/F$  は Figure 4 の実線に示すように 2V/V (6dB) に等しくなります。ここで取り上げたシステムの場合、位相マージンは  $45^\circ$  を下回り、不安定動作に至る可能性があります。A と  $1/F$  の交点は、ループ・ゲインの大きさが正確に "1" (0dB) になる周波数を表している意味で重要です。この交点周波数においてループで生じる総位相シフトが、最終的な位相マージンとシステム全体の安定度を決定します。

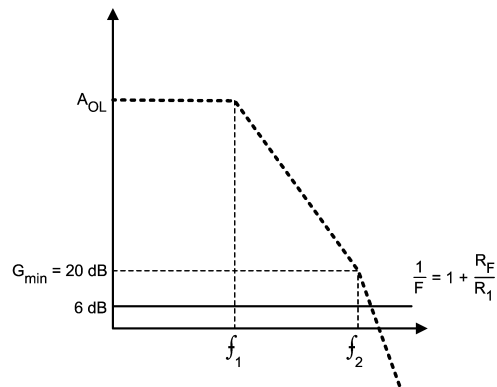


FIGURE 4.  $1/F$  for  $R_F = R_1$  and Open Loop Gain Plot

システムを安定させる 1 つの方法は、dB を単位とする  $G_{min}$  以上で  $1/F$  カーブが開ループ・ゲインと交差するように、 $1/F$  の値を設定することです。このようにすると  $45^\circ$  以上の位相マージンが得られます。回路を単純に実装するには、反転入力と非反転入力の間、Figure 5 のように抵抗  $R_C$  を挿入します。

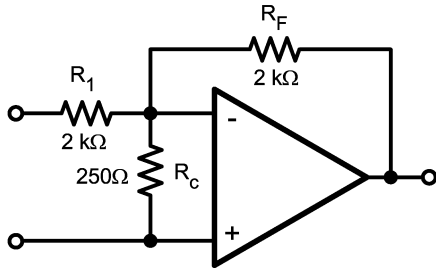


FIGURE 5. Amp with Compensation Resistor between Inputs

この回路の 1/F 関数は、

$$\frac{1}{F} = 1 + \frac{R_F}{R_1 \parallel R_C} = 1 + \frac{R_F}{R_1} + \frac{R_F}{R_C} \quad (8)$$

抵抗  $R_C$  を適切に選択すると 1/F 関数は  $G_{min}$  以上にシフトするため、メーカーが安定動作に必要なとデータシートで規定している要件を満たせます。前述の例で与えられた値、つまり  $G_{min} = 20\text{dB}$  および  $R_1 = 2\text{k}$  の回路を、ループ・ゲインを下げる補償テクニックを使って安定動作を図ってみます。アンプ入力間に 250 の抵抗  $R_C$  を接続すると、Figure 6 の破線に示すように、1/F カーブは  $G_{min}$  (20dB) の値までシフトします。結果として安定した回路動作が得られます。

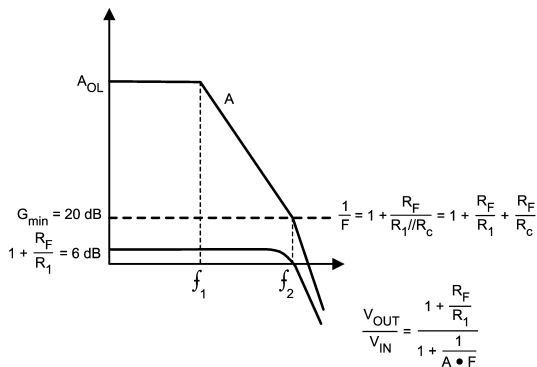


FIGURE 6. Compensation with Reduced Loop Gain

閉ループ・ゲインに与える  $R_C$  の効果

Figure 4 と Figure 5 で説明した前期の例は、 $G_{min}$  を反転回路と非反転回路とで区別せずに規定しているので、汎用的といえます。また、Figure 4 には閉ループ・ゲインのカーブは記載されていません。

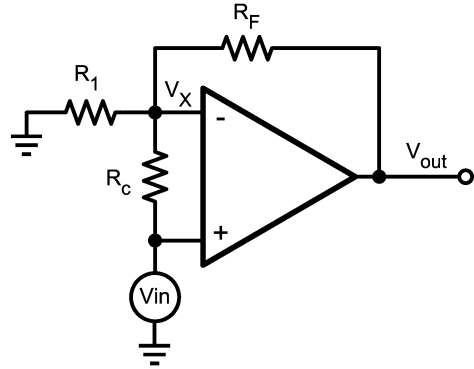


FIGURE 7. Closed Loop Gain Analysis of the Circuit with  $R_C$

閉ループ・ゲインを下げて非補償型オペアンプ回路を安定させるテクニックを、非反転構成を例として Figure 7 に示します。この例で  $R_C$  の選択が回路にどのような効果をもたらすかを説明します。

まず、オペアンプ反転入力電圧を  $V_X$  と仮定します。つまり、

$$(V_{IN} - V_X) \cdot A = V_{OUT} \quad (9)$$

$$\frac{V_X}{R_1} + \frac{V_X - V_{in}}{R_C} = \frac{V_{out} - V_X}{R_F} \quad (10)$$

式 (9)、(10)、(8) をまとめると、閉ループ・ゲインを表す次の式が得られます。

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1 + \frac{R_F}{R_1}}{1 + \frac{1}{A \cdot F}} \quad (11)$$

式 (11) を見ると、 $R_C$  は理想閉ループ・ゲインに影響を与えていません。 $R_F = R_1$  のとき  $AF \gg 1$  であれば、閉ループ・ゲインは 6dB を保ちます。閉ループ・ゲインのカーブを Figure 6 に実線で示します。

$R_C$  の追加によって回路の挙動は次のように変わります。

1. 1/F が高ゲインに移動するためシステム全体の安定化が図れます。ただし  $R_C$  を追加することでループ・ゲインは下がりノイズ・ゲインは上がります。ノイズ・ゲインは帰還係数  $F$  の逆関数として定義されていました。要するにループ・ゲインは安定性とのトレードオフです。
2. 理想閉ループ・ゲインは補償抵抗  $R_C$  が無い場合と同一に保たれます。

### セクション 3. 入力リード・ラグ補償

はじめに

最小規定よりも低くゲインを設定する場合に、非ユニティ・ゲイン安定アンプを補償するテクニックの1つが、入力リード・ラグ（進み・遅れ）補償です。オペアンプに補償部品を追加して、ループ・ゲインが 0dB のときに十分な位相マージンが確保されるように、帰還関数を形成します。このセクションでは、オペアンプの入力リード・ラグ補償の解析、補償部品定数の算出手順、この手順を使用した反転回路および非反転回路について説明します。

ナショナル セミコンダクターのLMH6624は最小安定ゲイン仕様が規定されているオペアンプの一例です。LMH6624 は、入力リード・ラグ・テクニックを使って、低ゲイン・アプリケーション回路でも安定性を確保することが可能です。

LMH6624 はデュアル回路の 1.5GHz オペアンプで、入力参照電圧ノイズ仕様はわずか 0.92 nV/√Hz です。Figure 8 に LMH6624 の近似開ループ・ボード線図を示します。このアンプの場合は、およそ 100kHz にドミナント・ポールが、100MHz に第2ポールが存在します。LMH6624 のデータシートはゲインが 10V/V 以上のときに安定であると規定しています。20dB ゲイン点 (10V/V) で、外部回路による位相シフトが存在しない場合に、デバイスの位相マージンは 45° です。20dB 未満のゲインでは抵抗性の部品を帰還回路に使ったとしても回路が不安定になる可能性があります。

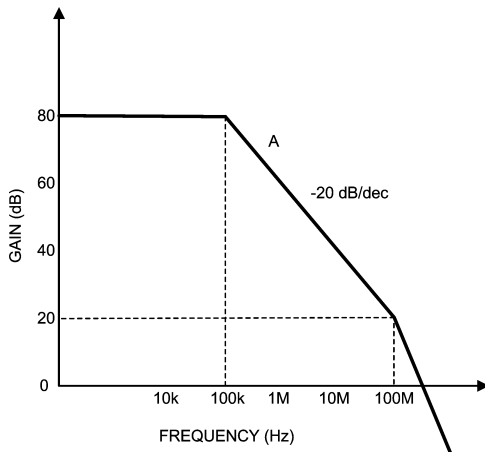


FIGURE 8. Bode Plot Approximation for National's LMH6624 Op Amp

解析

1/F が 20dB 未満に設定されているときに 45° 以上の位相マージンを確保するには、LMH6624 を補償して安定動作を図らなければなりません。式 (4) と (5) で定義されているとおり、1/F は開ループ・ゲインに関係していた点に着目します。

Figure 9 に LMH6624 を補償するリード・ラグ回路を示します。

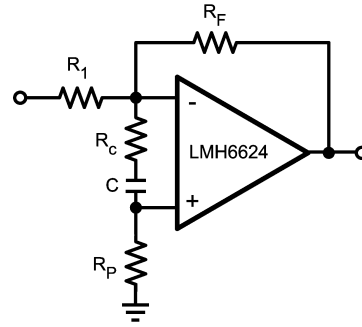


FIGURE 9. LMH6624 with Lead-Lag Compensation for Inverting Input

この回路の帰還係数の逆関数は、

$$\frac{1}{F} = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) \left(\frac{1 + s(R_C + R_1 \parallel R_F + R_P)C}{1 + sR_C C}\right) \quad (12)$$

$$\text{Where } \frac{1}{F} \text{'s pole is located at } f_p = \frac{1}{2\pi R_C C} \quad (13)$$

$$\text{and } \frac{1}{F} \text{'s zero is located at } f_z = \frac{1}{2\pi(R_C + R_1 \parallel R_F + R_P)C} \quad (14)$$

$$\left.\frac{1}{F}\right|_{f=0} = 1 + \frac{R_F}{R_1} \quad (15)$$

$$\left.\frac{1}{F}\right|_{f=\infty} = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) \left(1 + \frac{R_P + R_1 \parallel R_F}{R_C}\right) \quad (16)$$

式 (12) から式 (16) を見ると以下のことがわかります。

- 1/F ゼロの周波数は 1/F ポールの周波数よりも低い。
- 周波数が低い範囲で 1/F の値は  $1 + R_F/R_1$  である。
- 補償回路の設計時点で  $R_1$  と  $R_F$  がすでに決まっているのであれば、1/F と開ループ・ゲイン A の交点 (IP) は、抵抗値  $R_P$  と  $R_C$  の選択によって決まる。
- 以上の手順によって周波数位置が互いに相関するポールとゼロのペアが作られる。
- ポールとゼロのペアは以下を達成するために使われる。
  - $G_{\min}$  要件を満たすために、A 関数との交点のすぐ左の領域内で 1/F のゲインを高める。
  - ループに位相遅延を与えることなく上記を達成する。
- 次の条件が満たされると 1/F の位置が確定する。
  - 低周波数における 1/F 値が設定される。
  - 交点の 1/F が選択される。
  - 1/F のポールの位置が決まる。

1/F  $G_{\min}$  の制約は A と 1/F の交点近くでのみ満たさなければなりません。1/F は必要に応じて別の位置に移動させることもできます。

適切な位相マージンを維持するには 2 つのルールを満たさなければなりません。

**ルール 1** 1/F のカーブと開ループ・ゲイン A のカーブの交点が  $G_{min}$  であること。このポイントで、A の開ループ・ゲインの位相マージンは  $135^\circ$  です。つまり  $45^\circ$  の位相マージンが確保されます。LMH6624 で位相マージンが  $45^\circ$  となる交点は 100MHz です。Figure 10 で周波数  $f_2$  は、LMH6624 を Figure 9 の回路で構成したときの適切な交点を示しています。オペアンプの第 2 ポール位置での A と 1/F との交点が、 $45^\circ$  位相マージンの基準点になります。アンプ回路を過度に補償する場合には、交点をオペアンプの第 2 ポール周波数よりも低く設定しなければなりません。そうすることで、開ループ・ゲイン A との交点が  $G_{min}$  よりも大きい 1/F 値が得られます。なお、 $G_{min}$  はデータシートに記載されている安定動作に必要な最小ゲインです。

**ルール 2** 1/F ポール (Figure 10 参照) を 1/F と A の交点よりも 1 デケード (一桁) 低い周波数に設定する。このような周波数に設定すると、1/F ポールで生じる  $90^\circ$  の位相進みの効果が十分に得られます。

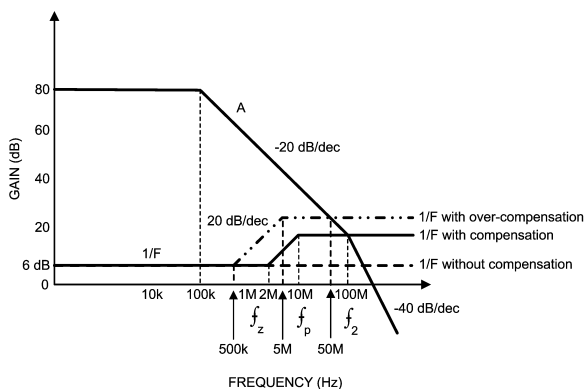


FIGURE 10. Bode Plots of LMH6624 Open Loop Gain A and 1/F with and without Compensation

## 反転回路での入力リード・ラグ補償

### 解析

入力リード・ラグ補償方法は、LMH6624 を反転回路構成で使用したユニティ・ゲイン・アプリケーションにも使えます。ゲイン 1 は、データシートで規定されている LMH6624 の最小安定ゲイン 10V/V (20dB) に比べてかなり低い値です。外付けリード・ラグ補償がない場合、帰還係数の逆関数は、反転構成と非反転構成の両方に適用される式 (3) を使って求めます。反転回路構成でユニティ・ゲインを実装するということは、 $R_F = R_1$  を意味します。ゆえに、Figure 10 に破線で示すとおり、 $1/F = 2V/V(6dB)$  です。

安定性の計算で有効な方法の 1 つがレート・オブ・クロージャ (ROC) の算出です。ROC は、A と 1/F の傾きを両者の交点で観測し、それぞれの大きさの違いから求めます。ROC は位相マージンの見積もりに使われることから、ゆえに安定性がわかります。

この例で、開ループ・ゲイン A カーブと  $1/F = 6dB$  カーブの ROC は 40dB/dec です。システムの位相マージンは  $45^\circ$  未満となり、回路は不安定です。

### 設計例：手順

Figure 9 に示す補償回路を実装し、1/F 関数を Figure 10 の実線に示すように設定しました。1/F カーブは低周波数において 6dB を示しています。高周波領域で 1/F カーブは、周波数  $f_2$  にて、ゲイン 20dB で開ループ・ゲイン A と交差しています。この条件は前述のルール 1 に従ったものです。ここで 20dB は、メーカーのデータシートに記載されている安定動作に必要な最小ゲインです。1/F ポール  $f_p$  は、ルール 2 で述べたように、交点の 1 デケード下に設定しました。

Figure 9 の補償回路を適用すると ROC は 30dB/dec となります。Figure 10 のボード線図は近似グラフです。開ループ・ゲイン A の実際の応答は、 $f_2$  で傾き  $-30dB/dec$  に滑らかに切り替わります。以上によって完成した回路系は、開ループ・ゲインのドミナント・ポールと第 2 ポールとが 1 デケード以上離れていることと、開ループ・ゲインの 1/F という交点の 1 デケード以内に他のポールが存在しないという事実から、およそ  $45^\circ$  の位相マージンを有します。開ループ・ゲイン A に、周波数  $f_2$  より高い周波数で、かつ  $f_2$  から 1 デケード未満の周波数範囲に第 3 のポールが仮に存在すると、位相マージンは影響を受けるでしょう。

補償部品の定数を求めるステップは次のとおりです。

- 式 (16) を使用し、1/F を最小安定ゲインに設定します。LMH6624 の場合、最小ゲインは 10V/V (20dB) です。 $R_p$  と  $R_c$  との間に必要な関係を設定するため、 $R_p$  と  $R_c$  の両方の値を先に選択し、次に他の部品の値を求めます。
- 1/F ポールを交点から 1 デケード低い周波数に設定します。LMH6624 を使用した場合、交点の 1 デケード下は 10MHz です。式 (13) を使用して  $R_c$  との関係から C について解きます。

この方法はボード線図による近似を使っています。より正確には「微調整」を行って最適な結果を探す必要があります。

### 設計例：計算

ステップ 1 で述べたように式 (16) を用います。

$$\frac{1}{F} \Big|_{f=\infty} = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) \left(1 + \frac{R_p + R_1 \parallel R_F}{R_c}\right) = 10 \text{ V/V}$$

ユニティ・ゲイン反転アンプですから、 $R_F/R_1 = 1$  を上式に代入します。

$$R_p + R_1 \parallel R_F = 4R_c \quad (17)$$

ステップ 2 に従って式 (13) を用います。

$$f_p = \frac{1}{2\pi R_c C} = 10 \text{ MHz}$$

これから、

$$C = \frac{10^{-7}}{2\pi R_c} \quad (18)$$

式 (17) と式 (18) で示された両方の条件を満足する組み合わせが得られる  $C$ 、 $R_C$ 、 $R_P$  の選択範囲はきわめて広がります。

高周波動作で悪影響を及ぼす高抵抗間のシャント・コンデンサを抑えるため、 $R_F$  は 2k 未満に選択します。 $R_F = R_1 = 2k$  ならば、 $R_F \parallel R_1 = 1k$  です。

現実的な値の組み合わせを得るには、Table 1 に示すように、算出された組み合わせをスプレッドシートに展開する方法が有効です。 $R_C$  の候補を表の第 1 列に昇順に示します。第 2 列は式 (17) に従って  $R_C$  から計算した  $R_P$  の値です。 $C$  の値は式 (18) を使って計算しています。式 (17) から、 $R_C$  は  $R_1 \parallel R_F$  よりも 1/4 以上大きな値に設定して計算を始める必要があります、そのようにしないと表の「Design 1」行にあるように  $R_P$  はマイナスの値になってしまいます。

TABLE 1. Design Example for Inverting Configuration

Design	$R_C$ ( $\Omega$ )	$R_P$ ( $\Omega$ )	C (pF)	Comments
1	160	negative		$R_P$ is negative because $R_C$ is too low
2	340	160	47	
3	590	1.36k	27	
4	1.6k	5.4k	10	

「Design 2」、「Design 3」、「Design 4」ともにすべて実用になる結果が得られます。コンデンサ容量が受動部品および基板レイアウトに伴う寄生容量よりも十分に大きな値となる回路を選択することが望めます。この例では「Design 4」の  $C$  は 10pF と小さく寄生容量レベルに近いため適切ではありません。「Design 2」と「Design 3」は第一次の選択肢として問題ありません。

$R_1 \parallel R_F$  の値に等しい  $R_P$  から補償部品の定数選択を開始する方法もあります。この方法は標準的なオペアンプ設計を模したもので、入力バイアス電流による DC 誤差を抑える効果があります。欠点は、得られた  $R_P$  が高い値のときに、入力浮遊容量と結合して回路全体の安定性を損なう可能性があることです。

最高性能を得たいときは実験環境で位相マージンの微調整を行ってください。 $C$  の代わりにトリマ・コンデンサを使えば、位相マージンと回路全体の応答を簡単に微調整することができます。式 (13) と式 (14) から、1/F のポールと 1/F のゼロは比例して移動します。つまり  $C$  をトリマ・コンデンサに置き換えると、ポールとゼロを同時に動かして微調整できる一方で、オペアンプの第 2 ポールに対する 1/F のポール位置を変えられます。

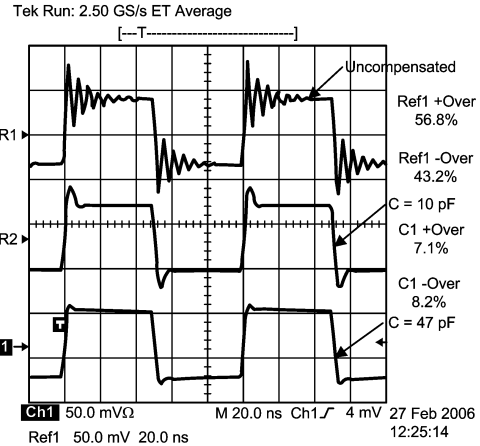


FIGURE 11. Bench Results for the LMH6624 in an Inverting Configuration

Figure 11 に前述の計算で得られた部品定数での実測結果を示します。

上段波形は外部補償がない場合で、ステップ応答時に 50% 近いリングングとオーバーシュートが生じています。

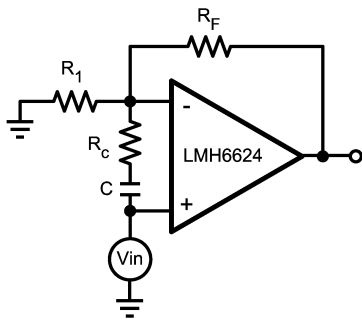
下段の波形は「Design 2」の補償値を使用したときのステップ応答です。応答は特に問題もなく良好で、オーバーシュートも 10% 未満です。なお、抵抗は Table 1 記載の値ではなく、最も近い 5% 標準抵抗を使用しています。すなわち、 $R_C$  は 330、 $R_P$  は 390 です。

中段の波形は  $C$  を 10pF に減らしたときのステップ応答です。 $C$  の容量を小さくすると、1/F ポールとオープン・ループ応答の第 2 ポールとの相対的なポジションが 1 デイケード未満となります。回路から見た場合に 1/F のポールで生まれる 90° 位相進みの効果が完全には得られません。そのため位相マージンが減少し、波形として観測されるようにオーバーシュートが大きくなります。

### 非反転回路構成での入力リード・ラグ補償

非反転回路の補償値を計算する全体手順は、前述の反転回路の手順とほぼ同様です。このセクションでは違いのみを説明します。

Figure 9 に示す反転構成では、反転入力が仮想グラウンドになるように、 $R_P$  を介して非反転入力をグラウンドに接続していました。 $R_C$  の値が仮想グラウンドの動作に影響を与えない範囲にあれば、このような仮想グラウンドの前提は少なくとも低周波数領域で成立します。Figure 12 に示すように非反転構成の場合、加算点（反転入力）は、適切なループ・ゲインが存在する限り、入力信号に連動して移動します。このような動作の違いがある非反転回路では、反転回路と同じ性能（安定性）を得るために、過度の補償が必要となる場合があります。



**FIGURE 12. LMH6624 with Lead-Lag Compensation for a Non-Inverting Configuration**

過補償を実現するにはアプリケーション回路でより大きな位相マージンを確保するのが適切です。データシートに記載されている安定性に必要と最小規定値  $G_{min}$  (LMH6624 の場合に最低 20dB) を対象として補償するのではなく、 $G_{min}$  よりも大きな値を対象として計算を行います。すなわち、 $G_{min}$  を前述の反転構成の例で規定した 20dB ではなく 26dB に設定します。

また、 $1/F$  と  $A$  の交点を 20dB ではなく 26dB に設定します。特性を Figure 10 に二点鎖線で示します。

$1/F$  関数を大きな dB 値にシフトして、しかも  $1/F$  ポールを交点よりも 1 デイケード下に設定したことで、オペアンプの第 2 ポール (と他の要因) に影響を受けるループ全体の位相シフト量は小さくなります。そのため、前述の反転構成で実現した補償性能に比べて、より大きな位相マージンが得られます。

LMH6624 を過補償にする手順は次のとおりです。

1. 式 (16) を使用して  $1/F$  を 26dB に設定する。Figure 12 の非反転アプリケーションの場合、入力信号等価ソース・インピーダンス  $R_p$  はゼロです。そのため  $R_C$  の計算に必要な式 (16) が簡略化されます。
2. LMH6624 の開ループ・ゲイン  $A$  の第 2 ポールが、開ループ・ゲインが 20dB となる 100MHz に存在していたことに着目します。過補償の場合、 $1/F$  グラフを 6dB 高い 26dB に移動します。そのため、 $A$  と  $1/F$  の交点は 50MHz に下がります。1 デイケード・ルールを適用して  $1/F$  ポールを 5MHz に設定します。式 (13) を使って値  $C$  について解きます。

なお、非反転入力に高抵抗を使用してはなりません。高抵抗によって形成されるローパス・フィルタとオペアンプの浮遊容量が、入力の急峻な遷移をなまらせてしまいます。広帯域システムで特に顕著に現れます。

### 入力リード・ラグ補償のまとめ

オペアンプの入力抵抗と帰還抵抗の値の選択はとても重要です。明確な回路要件がない限り高抵抗を指定してはなりません。帰還抵抗は入力浮遊容量と作用してループ・ゲインにポールを形成します。高抵抗を使用するとポール周波数が低くなります。このポールが対象とする帯域内に発生すると、位相遅延の増加によって動作の不安定を招くことがあります。

非補償オペアンプに対して入力リード・ラグ補償を適用することで、メーカー規定の最低ゲインよりも低いゲインで回路を動作させることが可能になります。非補償型オペアンプの特長であるスピードと消費電力のメリットはそのまま維持されます。入力リード・ラグ補償の欠点は、セクション 2 で説明した開ループ・ゲインを抑える方法に比べて、出力の周波数応答が平坦ではない点です。



このドキュメントの内容はナショナル セミコンダクター社製品の関連情報として提供されます。ナショナル セミコンダクター社は、この発行物の内容の正確性または完全性について、いかなる表明または保証もいたしません。また、仕様と製品説明を予告なく変更する権利を有します。このドキュメントはいかなる知的財産権に対するライセンスも、明示的、黙示的、禁反言による惹起、またはその他を問わず、付与するものではありません。

試験や品質管理は、ナショナル セミコンダクター社が自社の製品保証を維持するために必要と考える範囲に用いられます。政府が課す要件によって指定される場合を除き、各製品のすべてのパラメータの試験を必ずしも実施するわけではありません。ナショナル セミコンダクター社は製品適用の援助や購入者の製品設計に対する義務は負いかねます。ナショナル セミコンダクター社の部品を使用した製品および製品適用の責任は購入者にあります。ナショナル セミコンダクター社の製品を用いたいかなる製品の使用または供給に先立ち、購入者は、適切な設計、試験、および動作上の安全手段を講じなければなりません。

それら製品の販売に関するナショナル セミコンダクター社との取引条件で規定される場合を除き、ナショナル セミコンダクター社は一切の義務を負わないものとし、また、ナショナル セミコンダクター社の製品の販売か使用、またはその両方に関連する特定目的への適合性、商品の機能性、ないしは特許、著作権、または他の知的財産権の侵害に関連した義務または保証を含むいかなる表明または黙示的保証も行いません。

#### 生命維持装置への使用について

ナショナル セミコンダクター社の製品は、ナショナル セミコンダクター社の最高経営責任者 (CEO) および法務部門 (GENERAL COUNSEL) の事前の書面による承諾がない限り、生命維持装置または生命維持システム内のきわめて重要な部品に使用することは認められていません。

ここで、生命維持装置またはシステムとは (a) 体内に外科的に使用されることを意図されたもの、または (b) 生命を維持あるいは支持するものをいい、ラベルにより表示される使用法に従って適切に使用された場合に、これの不具合が使用者に身体的障害を与えると予想されるものをいいます。重要な部品とは、生命維持にかかわる装置またはシステム内のすべての部品をいい、これの不具合が生命維持用の装置またはシステムの不具合の原因となりそれらの安全性や機能に影響を及ぼすことが予想されるものをいいます。

National Semiconductor とナショナル セミコンダクターのロゴはナショナル セミコンダクター コーポレーションの登録商標です。その他のブランドや製品名は各権利所有者の商標または登録商標です。

Copyright © 2007 National Semiconductor Corporation

製品の最新情報については [www.national.com](http://www.national.com) をご覧ください。

## ナショナル セミコンダクター ジャパン株式会社

本社 / 〒 135-0042 東京都江東区木場 2-17-16 TEL.(03)5639-7300

技術資料 (日本語 / 英語) はホームページより入手可能です。

[www.national.com/jpn/](http://www.national.com/jpn/)

# ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社（以下TIJといいます）及びTexas Instruments Incorporated（TIJの親会社、以下TIJないしTexas Instruments Incorporatedを総称してTIといいます）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。従いまして、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をご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIJとの間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TIJの標準販売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い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TIJとの間で合意された保証条件に従い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という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るとか、保証もしくは是認するという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、か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、か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。

TIは、TIの製品が、安全でないことが致命的となる用途ないしアプリケーション（例えば、生命維持装置のように、TI製品に不良があった場合に、その不良により相当な確率で死傷等の重篤な事故が発生するようなもの）に使用されることを認めておりません。但し、お客様とTIの双方の権限有る役員が書面でそのような使用について明確に合意した場合は除きます。たとえTIがアプリケーションに関連した情報やサポートを提供したとしても、お客様は、そのようなアプリケーションの安全面及び規制面から見た諸問題を解決するために必要とされる専門的知識及び技術を持ち、かつ、お客様の製品について、またTI製品をそのような安全でないことが致命的となる用途に使用することについて、お客様が全ての法的責任、規制を遵守する責任、及び安全に関する要求事項を満足させる責任を負っていることを認め、かつそのことに同意します。さらに、もし万一、TIの製品がそのような安全でないことが致命的となる用途に使用されたことによって損害が発生し、TIないしその代表者がその損害を賠償した場合は、お客様がTIないしその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI製品は、軍事的用途もしくは宇宙航空アプリケーションないし軍事的環境、航空宇宙環境にて使用されるようには設計もされていませんし、使用されることを意図されてもありません。但し、当該TI製品が、軍需対応グレード品、若しくは「強化プラスチック」製品としてTIが特別に指定した製品である場合は除きます。TIが軍需対応グレード品として指定した製品のみが軍需品の仕様書に合致いたします。お客様は、TIが軍需対応グレード品として指定していない製品を、軍事的用途もしくは軍事的環境下で使用することは、もっぱらお客様の危険負担においてなされるということ、及び、お客様がもっぱら責任をもって、そのような使用に関して必要とされる全ての法的要求事項及び規制上の要求事項を満足させなければならないことを認め、かつ同意します。

TI製品は、自動車用アプリケーションないし自動車の環境において使用されるようには設計されていませんし、また使用されることを意図されてもありません。但し、TIがISO/TS 16949の要求事項を満たしていると特別に指定したTI製品は除きます。お客様は、お客様が当該TI指定品以外のTI製品を自動車用アプリケーションに使用しても、TIは当該要求事項を満たしていなかったことについて、いかなる責任も負わないことを認め、かつ同意します。

Copyright © 2011, 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、静電気の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。）

- 直射日光が当たる状態で保管・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い基板実装すること。
  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