

# LM4562,LME49710,LME49740

*Application Note 1671 Gain and Linearity Testing for Precision Operational Amplifiers*



Literature Number: JAJA341

# プレジジョン・オペアンプに適した ゲインとリニアリティの試験方法

National Semiconductor  
Application Note 1671  
Robert A. Pease  
2008年5月



## はじめに

ほとんどのオペアンプは極めてリニアです。ユニティゲイン・インバータ構成にした場合、多くのオペアンプは、5ppm から 1ppm、さらには 0.5ppm の範囲のリニアリティを示します。しかし、ゲイン・リニアリティのテスト方法は規格として定められていないばかりか、あまり知られてもいません。そこで、非リニアリティに起因する誤差をユーザーが解決する一助としてテスト手順を以下に示します。

## リニアリティの測定

オペアンプはリニアリティが 5ppm よりも悪くてもプレジジョン・アンプとして使えます。ほとんどの人は、たとえ 10 段のカスケードで回路を構成したとしても、1ppm 以下のアンプの歪みは聴き取れません。しかし、プレジジョン計装機器やハイファイ・オーディオ装置には、優れたリニアリティのオペアンプを選択したほうが賢明です。アプリケーション・ノート AN-1485 に、リニアリティが良い場合、中程度の場合、劣る場合のそれぞれの例を示してあります。AN-1485 ではバイポーラと CMOS アンプを取り上げています。多くの意見とは違って、ドレイン負荷型出力の CMOS アンプは、旧来のバイポーラ・トランジスタ・アンプに比べて、必ずしもリニアリティで劣ることはありません。

リニアリティは一般に信号レベルからどれくらい低いかわ、dB を単位として (例えば -110dB)、またはパーセント (例えば 0.0003%) で規定します。しかしほとんどのエンジニアは -120dB を下回る非リニアリティにはあまり慣れていません。そこで本アプリケーション・ノートでは、出力信号を基準とした ppm 値 (100 万分の 1) でリニアリティを表記することにします (3ppm や 0.3ppm など)。

リニアリティは一般に測定が容易な低い周波数で測定します。リニアリティはインバータ構成またはフォロウ構成で測定します。理屈の上では、出力から入力を引き算してその差を  $V_{OUT}$  の関数としてグラフ化するのが 1 つの方法です。ただしこの方法では細かい分解能を得るのはかなり困難です。そこでリアルタイムに減算する手法を用います。テスト結果は数秒で得られます。

もちろんオーディオ・プレジジョン社のカスケード・デュアル・ドメイン SYS-2522 のような歪みアナライザを使えば歪みを直接読み取ることができます。ただし、この方法でも歪みが 3ppm を下回る場合はうまくいきません。

## テスト・セットアップとテスト手順

Figure 1 の回路は 40 年以上にわたって使われている伝統的なテスト・セットアップの 1 つです。オシロスコープで観測される出力電圧は、 $R_{IN}$  と  $R_F$  によって、入力電圧 (一般に 20Vp-p) と同じ 20Vp-p が得られます。出力がオフセット・ゼロでちょうど  $\pm 10V$  の振幅になるように、信号源はオフセットを調整できなければなりません。ゆえにオペアンプの  $V_{OS}$  は実効的にゼロになります。一方で  $R_3$  と  $R_4$  は誤差電圧 ( $V_\epsilon$ ) の増幅を決定し、ゲインは両者の比で求められる係数であるおよそ 1,000 になります。つまりアンプのゲインが 100 万で誤差電圧が  $20\mu V_{p-p}$  とすると、オシロスコープの垂直入力に与えられる電圧は  $20mV_{p-p}$  になるはずですが、ゲイン 100 万の高性能オペアンプならば両者のゲイン要件を容易に満たします。この構成は余分なノイズを追加してしまう低ノイズ・プリアンプを必要としません。回路は Figure 1 を参照してください。

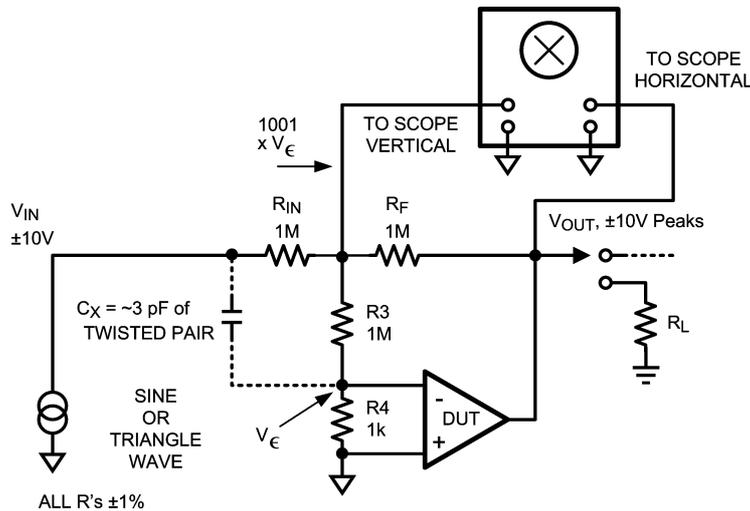
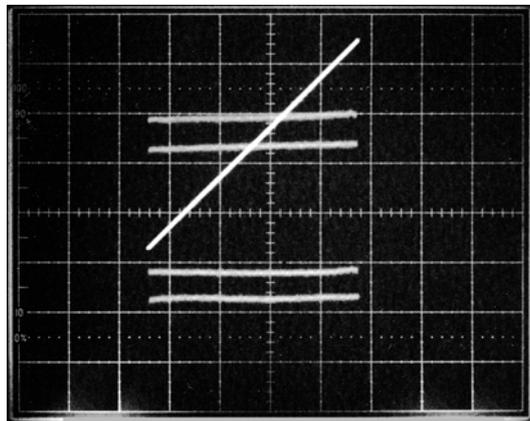


FIGURE 1. Gain Test  
where  $A_V = 1001 (V_{HORIZ. P-P} / V_{VERT. P-P})$

## クロスプロット表示

理論上では、電圧「 $1000 \times V_{\epsilon}$ 」は何らかのメーターまたはオシロスコープで観測できるはずですが、ただし、リニア成分と非リニア成分を見るには、X-Y モード (クロスプロット) のオシロスコープを使ったほうが便利です。すべての段差や曲がりや出力振幅の相対レベルに関連しています。信号よりも大きなノイズが存在する場合でも、傾きや段差や曲がりの分解能を高める方法があります。



**FIGURE 2. Test B10, LM4562 (also known as LME49720), F = 25Hz**  
 $V_S = \pm 15V_{DC}$ ;  $V_{OUT} = \pm 10$  volts peak,  $I_{OUT} = \pm 10$ mA peak  
 Upper Trace: Gain Error, No Load,  $+1.5 \mu V_{p-p}$  at  $10 \mu V/div$   
 Lower Trace: Gain Error, Full Load,  $1.5 \mu V_{p-p}$  at  $10 \mu V/div$

## オーディオ歪み

LM4562 はゲイン帯域幅 54MHz の高性能な高速アンプです。ただし、出力信号が  $20V_{p-p}$  となる 1kHz を与えた場合、加算点誤差 ( $V_{\epsilon}$ ) の大きさは  $\pm 118 \mu V$  になります。そのため、オシロスコープの垂直入力信号の振幅は、 $\pm 118mV$  ピーク、あるいは  $236mV_{p-p}$  になります。このような振幅の信号が表示範囲に収まるようにオシロスコープの感度を下げると、 $1 \mu V$  の違いを読み取ることはほぼ不可能です。かろうじて  $10 \mu V$  がわかる程度です。それでは 1kHz で  $1 \mu V$  の違いをどのように観測すればいいでしょうか。

解決方法は、Figure 1 に示すように、短いツイストペアを容量の調整が可能なキャパシタ  $C_x$  として接続することです。テフロンで絶縁されたワイヤを使用します。ツイストペア線をねじると (あるいはほどくと)、オペアンプのほとんどの動的誤差は打ち消され、信号は数  $mV_{p-p}$  に下がり、ある程度ノイズがある状態でも  $1 \mu V$  相当の非リニアリティの違いを読み取れるようになります。このアンプの非リニアリティの大きさは入力換算で  $0.08ppm$  程度です。この値は  $7V$  rms の入力信号に換算するとおよそ  $-159dB$  です。

$1M\Omega$ 、 $1M\Omega$ 、 $1k\Omega$ 、 $1M\Omega$  を使ったこの回路は、 $1k\Omega$  抵抗で発生するノイズが LM4562 のノイズよりも大きいため、驚くほどではありませんが、若干ノイズが多いのが特長です。歪みの分解能を高めるには  $1M\Omega/1M\Omega$  抵抗を低めの値にします。この方法を採用して  $1M\Omega$  の両端に  $20k\Omega$  を追加し、 $1k\Omega$  の両端に  $20\Omega$  を追加しました。「 $3pF$ 」のキャパシタの両端に  $150pF$  の可変空気コンデンサを簡単に追加できるため、この倍率係数を選択しました。この回路は適切に動作しています。三角波でもある程度の直交誤差が見られました。また正弦波を使った場合に  $0.08ppm$  を下回るわずかな歪み量が得られました。この値は 2kHz に存在する第二次高調波がおおよそ  $-159dB$  であることを意味します。ただし、さらに改善できる可能性を諦めたわけではありません。

アイは、誤差となるノイズ、オフセット、リニア誤差に関連するため、非リニア誤差がわかります。

また、正弦波ではなく三角波を使用したほうがテストでは多くのメリットがあります。三角波が優れている理由は AN-1485 を参照してください。高速アンプには通常 3Hz から 30Hz 近辺の周波数が適します。Figure 2 を参照してください。

## 非反転アンプ (ユニティゲイン・フォロワ) としての歪み

初期テストから LM4562 の非リニアリティは  $0.3ppm$  まで小さいことが示されました。この事実は間違いではありません。その理由は、入力振幅電圧が  $3V$  (rms) よりも大きいと、不完全 (非リニア) な CMRR によって非リニアリティは劣化を始めるからです。Figure 3 に示すように、ユニティゲイン・フォロワとして適用したときがこれに当てはまります。アンプをユニティゲイン・フォロワとして使用すると、LM4562 はある程度の非リニアリティを示しますが、改善は可能です。アドバイスが必要な場合はナショナルセミコンダクターまでお問い合わせください。ただし Figure 3 の回路は、信号、ノイズ、歪みがわかるほどの大きなゲインを与えません (100)。なおゲインは  $(R5 + R6 + R7)/R6$  の比です。

## 結果の分析

Figure 2 は、負荷が  $1M\Omega$  の場合に加算点誤差の非リニアリティがおおよそ  $1/2 \mu V_{p-p}$  であることを示しています (上側波形)。 $1k\Omega$  負荷の場合 (下側波形) で、理想直線から  $1 \mu V_{p-p}$  に近い偏移があります (スコープの垂直入力において  $1mV_{p-p}$ )。ゆえに、利得は 1000 万または 4000 万に近い値に上がり、非リニアリティも  $1/20ppm$  近くに下がります。LM4562 は現在テストできる最高レベルのアンプの 1 つです。同じレベルの非リニアリティを有する他のアンプには LME49710 や LME49740 があります。アンプのリニアリティが  $1/20ppm$  よりも優れている場合、非リニアリティはノイズよりも小さくなるでしょう。そして、スペクトラム・アナライザや歪みアナライザを Figure 1 の回路の後段に追加するような特殊なテクニックが必要になる可能性があります。

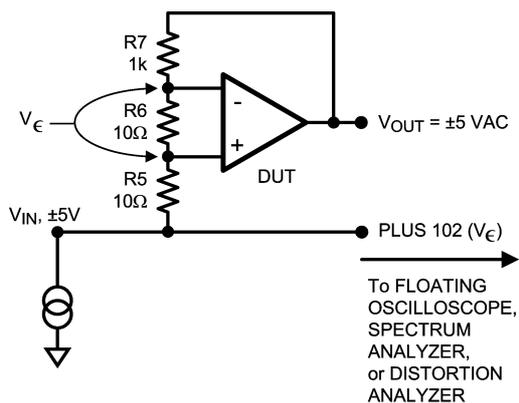


FIGURE 3. Test Circuit for Gain and Distortion of Amplifier at  $G = +1$   
(Including the nonlinearity of the CMRR)

### 結論

LM4562は現在入手できるアンプの中で最高クラスのアンプの1つです。いかなるオペアンプあるいはいかなるリニア・アンプのなかでも、0.01kHzから2kHzで最高レベルとなる0.2ppmよりも小さい歪み特性を示します。この測定手法では1/10ppmよりもはるかに小さな歪みを見極めることができます。しかし、より高い分解能を得るにはスペクトラム・アナライザを併用します。良好な数値と良好なグラフを有する他のアンプとは違って、

LM4562の音質はあまり優れていないかもしれませんが、オーディオの聴覚に優れた人々（「耳のいい」人たち）に言わせれば、LM4562も「いい音」のアンプだそうです。おそらくはその優れたダイナミック安定特性とクリーンなスルーレートに起因するのでしょう。電気的なテストはそのような評価を裏付けるものです。

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を負いかねます。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方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 © 2009 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いません。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いません。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