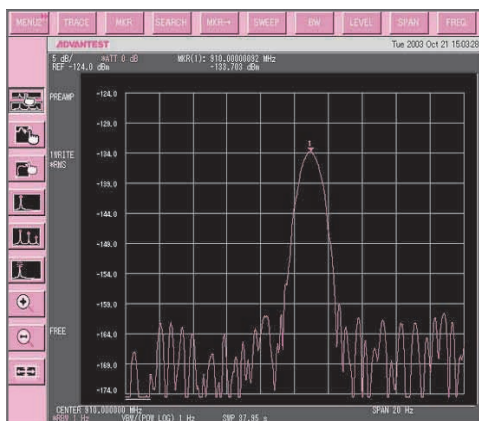




雑音発生のしくみを理解して
性能を100%引き出す！

低雑音 OP アンプの使い方 と最新デバイスの評価

川田 章弘
Akihiro Kawata

● 進化する低雑音 OP アンプ

世の中にある数多の OP アンプは、基本的には理想 OP アンプに近づくように進化してきました。しかし、すべての性能を理想 OP アンプに近づけるのは難しいので、市場の要求に沿った形で性能改善が行なわれてきました。

アナログ信号を増幅するときの基本は、「余分なモノをつけ加えないように信号だけを増幅する」ことです。余分なモノの代表は、「ひずみ」と「雑音」です。そこで、この二つの余分な成分が小さな OP アンプが生まれました。

その中で、低雑音 OP アンプと言われるものは、内部で発生する雑音がとても小さく抑えられています。主な用途は、微小信号増幅回路やオーディオ・アンプ、PLL 回路のループ・フィルタなどです。

最近では、携帯電話や無線 LAN などのベースバンド信号も扱えるユニティ・ゲイン周波数の高い低雑音 OP アンプも出てきました。携帯電話や無線 LAN などには、ディジタル変調された広帯域な信号が使われています。この信号にとってひずみと雑音は大敵です。これからも、ますますディジタル変調技術の需要は増えていくと思います。そのため、今後、低ひずみで低雑音な OP アンプの新製品が多く誕生すると思われます。

本稿では、雑音の基礎を復習したのち、実際に低雑

音 OP アンプの雑音密度を中心に評価していきます。

● 評価した低雑音 OP アンプ

評価した低雑音 OP アンプの外観と仕様をそれぞれ写真1と表1(次頁)に示します。

OPA627BPは OPA27 の FET 入力版です。最新とは言えませんが、定番品として評価してみます。入力換算雑音電圧密度は $4.5 \text{ nV}_{\text{RMS}}/\sqrt{\text{Hz}}@10 \text{ kHz}$ であり、バイポーラ入力の OP アンプより大きくなっています。しかし、入力換算雑音電流密度は、 $1.6 \text{ fA}_{\text{RMS}}/\sqrt{\text{Hz}}@100 \text{ Hz}$ と非常に小さくなっています。

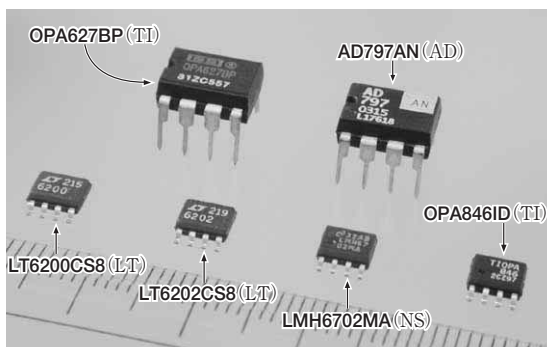
AD797ANは、高級オーディオ機器でおなじみの低雑音 OP アンプです。入力換算雑音電圧密度は、 $1 \text{ k} \sim 10 \text{ MHz}$ に渡って $0.9 \text{ nV}_{\text{RMS}}/\sqrt{\text{Hz}}$ と 1 nV 以下です。ゲイン帯域幅積(以下、GB 積)も 110 MHz と大きくなっています。

LT6200CS8は、入力換算雑音電圧密度 $0.95 \text{ nV}_{\text{RMS}}/\sqrt{\text{Hz}}@100 \text{ kHz}$ で GB 積が 165 MHz のレール・ツー・レール低雑音 OP アンプです。ゲイン 5 倍以上で安定に使える LT6200CS8-5 (GB 積 800 MHz) や、10 倍以上で安定に使える LT6200CS8-10 (GB 積 1.6 GHz) もあります。今回は、GB 積 165 MHz のものについて評価してみました。

LT6202CS8は、入力換算雑音電圧密度 $1.9 \text{ nV}_{\text{RMS}}/\sqrt{\text{Hz}}@100 \text{ kHz}$ のレール・ツー・レール低雑音 OP アンプです。GB 積は 100 MHz であり、低雑音 OP アンプとしては中庸な性能ですが、消費電流が最大 3.0 mA と非常に小さくなっています。入力換算雑音電流密度も、LT6200CS8 の半分以下と小さくなっています。

LMH6702MAは電流帰還型の低雑音 OP アンプです。1 MHz 以上の周波数で入力換算雑音電圧密度 $1.83 \text{ nV}_{\text{RMS}}/\sqrt{\text{Hz}}$ です。-3 dB 周波数帯域は 720 MHz であり、0.1 dB ゲイン・フラットネスは 120 MHz です。

OPA846IDは、1 MHz 以上の周波数で入力換算雑音電圧密度 $1.2 \text{ nV}_{\text{RMS}}/\sqrt{\text{Hz}}$ 、GB 積 1.75 GHz の電圧帰還型の低雑音 OP アンプです。ゲイン 10 倍以上で使用



〈写真1〉評価した6種類の低雑音 OP アンプの外観

〈表1〉 評価した6種類の低雑音 OP アンプの仕様

型名	メーカー名	入力換算雑音電圧密度 [nV _{RMS} /√Hz]		入力換算雑音電流密度 [pA _{RMS} /√Hz]	
		標準	最大	標準	最大
OPA627BP	テキサス・インスツルメンツ	5.2@1 kHz	8@1 kHz	0.0016@100 Hz	0.0025@100 Hz
AD797AN	アナログ・デバイセズ	0.9@1 kHz	1.2@1 kHz	2.0@1 kHz	—
LT6200CS8	リニアテクノロジー	1.5@10 kHz	2.4@10 kHz	2.2@10 kHz	0.6
LT6202CS8	リニアテクノロジー	2.9@10 kHz	4.5@10 kHz	0.75@10 kHz	—
LMH6702MA	ナショナル セミコンダクター	1.83@ > 1 MHz	—	3.0@ > 1 MHz (IN+)	—
OPA846ID	テキサス・インスツルメンツ	1.2@ > 1 MHz	1.5@ > 1 MHz	2.8@ > 1 MHz	3.6@ > 1 MHz

すれば、外部位相補償なく安定に使えます。

雑音の基礎知識

2 種類の雑音

低雑音 OP アンプを評価する前に、ここで少し雑音について復習しておきたいと思います。皆さんは、雑音と聞くと何を思い浮かべるでしょうか？邪魔な音、周囲の騒音をイメージする人もいれば、測定精度を悪化させる邪魔な信号といったイメージをもっている人もいると思います。

電気の世界の雑音にもいろいろあるのですが、大きく外来雑音と内部雑音に分けられます。

● 外来雑音

共通インピーダンスや静電結合による誘導雑音などが一般的です。

無線通信関係の仕事をしている人にとっては、大気雑音(空電)が気になるところですが、これも外来雑音の一種です。大気雑音とは、雷が鳴ったときにラジオに「バリバリッ!」という音が入りますが、この原因になる雑音のことです。

そのほか、変わり種としては宇宙雑音があります。これは、宇宙物理学者が電波望遠鏡などによって観測している雑音(信号?)です。遠い宇宙のかなたから飛

んでくる電磁波が原因です。電波望遠鏡で観測するくらいの代物なので、一般家庭や工場で、この雑音が製品に飛び込んで悪さをする…といったことはありません。この外来雑音は、本稿では取り上げません。

● 内部雑音

電子回路の内部で生じる雑音のことです。エネルギーの損失によって生じる**熱雑音**が代表的です。また、半導体内部で発生するショット雑音、接触状態の不完全さに起因する接触雑音、電流が異なった経路に分流することによって生じる分配雑音などもあります。これらの雑音は、稿末の文献(4)と(5)に簡単にまとめられています。

そのほか、半導体から発生する雑音としては、ポップ・コーン雑音(バースト雑音)と呼ばれるものがあります。これは発生周期の長い、低周波の雑音です。半導体材料中への重金属イオンの混入や結晶欠陥によってキャリアの再結合が起こることが原因だといわれています。ツェナ・ダイオードからはアバランシェ雑音が発生することもよく知られています。ツェナ・ダイオードと並列にコンデンサが挿入されているのをよく見かけますが、これは、この雑音を軽減するための部品です。コンデンサを入れても雑音気が気になる低雑音回路には、ツェナ・ダイオードを使わないように設計する必要があります。

OP アンプ回路に発生する雑音

● 三つの雑音とその周波数分布

図1に、増幅回路で生じる一般的な雑音とその周波数分布を示しました。**1/f雑音領域**、**白色雑音領域**、**分配雑音領域**の三つに大きく分けることができます。

1/f雑音領域には、接触雑音やポップコーン雑音が入ります。白色雑音領域には、熱雑音、ショット雑音、アバランシェ雑音が入ります。分配雑音領域は、その名のとおり分配雑音が入ります。1/f雑音はピンク・ノイズとも呼ばれます。

● 熱雑音がまず重要

100 Hz 以下の信号を扱う回路では、温度ドリフト

〈図1〉 一般的な増幅器の雑音の周波数分布…3種類の雑音に分類できる

