



業界最高※の低ノイズCMOSオペアンプ技術で センサアプリケーションの高精度化に貢献

※2018年7月5日 ローム調べ

業界最高の低ノイズCMOSオペアンプ技術でセンサアプリケーションの高精度化に貢献

1.はじめに

近年、広がる IoT 化によってトリリオンセンサ(1 兆個のセンサ)で社会が繋がる時代を迎えようとしており、モバイル機器をはじめ、自動車や産業機器、医療機器など、さまざまなアプリケーションで、機能拡張や、より高度な制御を行うためにセンサの搭載が進んでいる。センサは、環境や物理的变化を電気信号に変換するデバイスであり、センサを利用したアプリケーションがオペアンプに求める要求性能は年々高精度化している。オペアンプはセンサの後段に配置されセンサ出力信号を増幅する。例えばソナーなどの測距アプリケーションにおいて、反射波の増幅は低ノイズオペアンプで行う。従来のオペアンプと低ノイズオペアンプを比較すると反射波を受信できる距離は低ノイズアンプの方が伸びる。これは従来のオペアンプでは増幅時に信号がノイズに埋もれてしまうが、低ノイズオペアンプではノイズレベルが低いため、より小さい信号を増幅できることに起因する(図 1)。このようにソナーの反射波やセンサなどの出力信号は微小なアナログ信号であることが多く、信号を高精度に増幅するためにはオペアンプの持つノイズの削減は必須となる。そのため、センサの需要増大とともに低ノイズ CMOS オペアンプの需要は今後さらに増えて行くことが予想される。

今回は業界最高の低ノイズ性能を実現した高精度 CMOS オペアンプ LMR1802G-LB とオペアンプの低ノイズ化技術について紹介する。

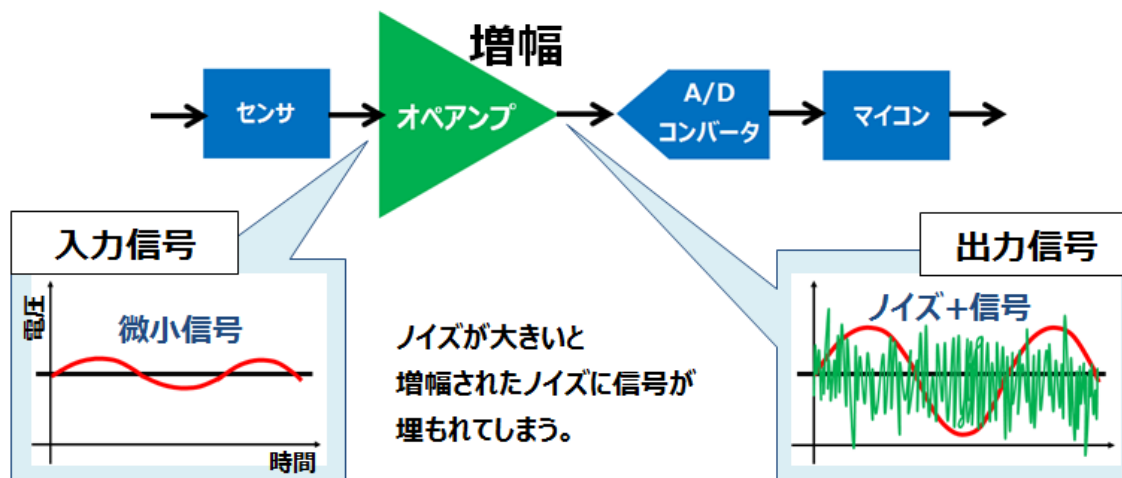
LMR1802G-LB は下記のような特長を持つ。

- ・従来品を遥かに凌ぐ低ノイズ性能(入力換算雑音電圧密度)を実現

低周波数帯から高域まで低ノイズ化を実現 10Hz 7.8nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 、1kHz 2.9nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$

- ・低入力バイアス電流 0.5pA、低オフセット電圧 $\pm 450\mu\text{V}$ (最大値)を実現
- ・位相余裕 68° 高い容量性負荷駆動を実現し発振が起きにくい
- ・産業機器に適した長期信頼性、長期安定供給

ローム独自のアナログ設計技術により、従来品よりもオペアンプとしての基本性能を大幅アップさせ、ノイズ性能を業界最高まで高めた。本製品はセンサアプリケーション設計において誤差低減や回路の発振対策などのセッ設計の負荷軽減に大きく貢献する。

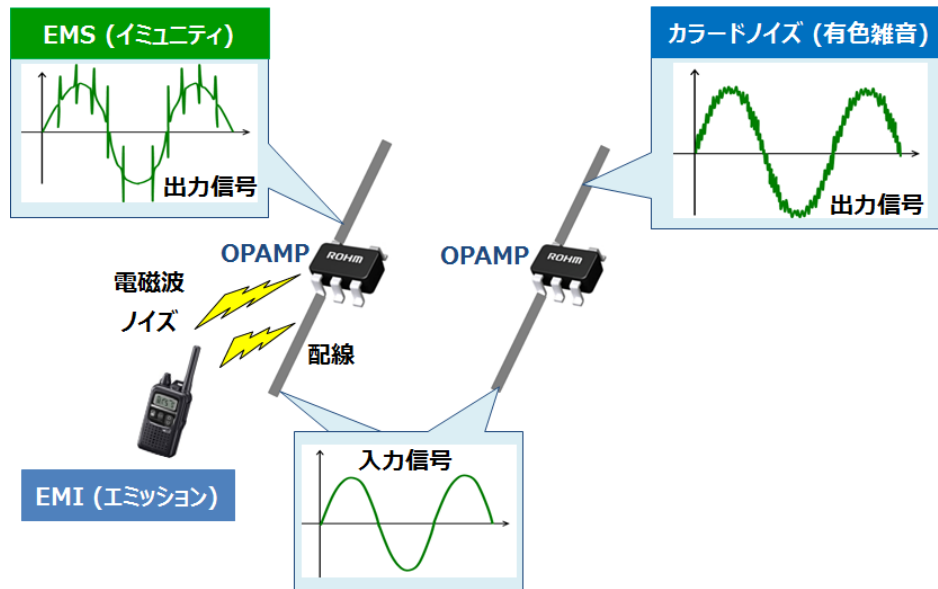


[図 1]オペアンプのノイズと微小信号のイメージ

2. オペアンプのノイズ分類

ノイズには様々な種類が存在する。その一つが外乱ノイズである。外乱ノイズとは IC 外部から照射される電磁波や携帯電話、無線などの電子機器から発せられる電波(RF ノイズ)のことだ。これらの電磁波ノイズは信号線や電源ラインに侵入することで出力の変動やシステムの誤動作を引き起こすことがある。電子機器から電磁波ノイズが発生しないように防ぐことを EMI(エミッション)対策といい、電子機器が電磁波ノイズを受け誤動作をしないように対策することを EMS(イミュニティ)対策という。昨年ロームからリリースした BA8290xYxx-C シリーズは電磁波ノイズに対し大きな耐性をもつオペアンプである。

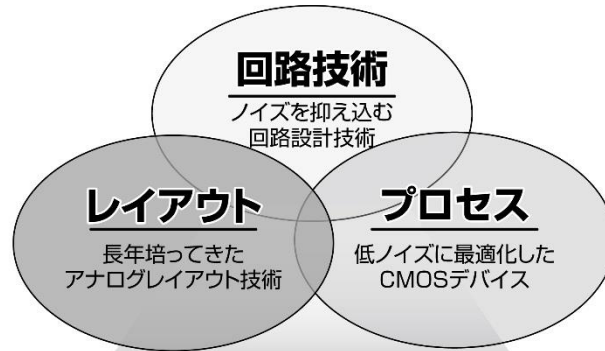
一方、オペアンプを構成するトランジスタや抵抗などのデバイスから発生するノイズはカレードノイズ(有色雑音)と呼ばれる(図 2)。オペアンプ内部から発生するカレードノイズにはピンクノイズ(別名 $1/f$ ノイズ、フリッカノイズ)と呼ばれる周波数に依存するノイズと、全周波数帯に一樣に分布するホワイトノイズ(別名サーマルノイズ)がある。この二つのカレードノイズは入力換算雑音電圧密度としてスペックにあらわされる。高精度なアプリケーションでは外乱ノイズの影響を受けないことに加え、オペアンプ自体から発生するノイズ(入力換算雑音電圧密度)を極限まで下げることが要求される。



【図 2】オペアンプの外乱ノイズとカレードノイズ

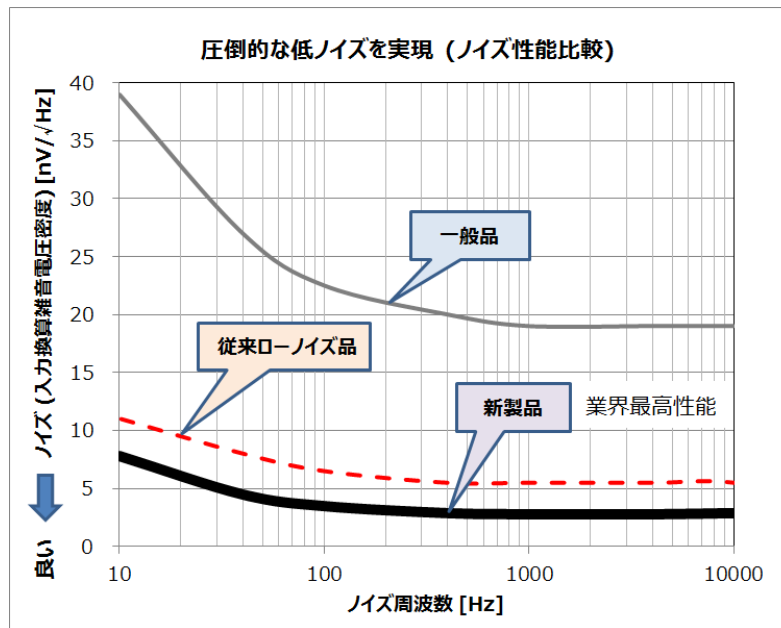
3. 回路、プロセス、レイアウトを最適化、圧倒的なノイズ性能を実現

ロームは 2018 年 7 月、アナログ設計技術や独自のプロセスなど垂直統合型の生産体制を活かすことで、産業機器やセンサ搭載システム向けに、業界最高の低ノイズ特性を備えた CMOS オペアンプ LMR1802G-LB をリリースした。ノイズ(入力換算雑音電圧密度)を改善するため、オペアンプの回路上でノイズが発生する部分を特定。プロセスから見直しを行いノイズ性能に特化したトランジスタを準備した。さらに回路構成もノイズ抑制効果を最大限引き出す設計に変更することで圧倒的な低ノイズ性能を実現している(図 3)。一般的なノイズ(入力換算雑音電圧密度)指標である 10Hz と 1kHz において、従来の低ノイズ品は 10Hz 時 11~20nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 、1kHz 時 4.0~7.5nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ であるのに対し、新製品では 10Hz で約 2/3 の 7.8nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 、1kHz で約 1/2 の 2.9nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ を実現することに成功した(図 4)。



上記3つの技術の融合で業界最高の低ノイズ化実現

【図 3】低ノイズ化を実現するロームのアナログ技術



【図 4】ローム新製品と従来品のノイズ比較

4. 誤差となる入力オフセット電圧と入力バイアス電流も極小化

昔ながらのバイポーラタイプの低ノイズオペアンプのように、オペアンプの入力端子に流れ込む入力バイアス電流が大きい場合、電流が流れることにより発生する電流ノイズが問題となることがある。この電流ノイズは信号源抵抗によりノイズ電圧に変換される。信号源抵抗が大きい程、この電流ノイズの影響は大きくなる。信号源抵抗が大きい領域において、アンプの持つノイズ(入力換算雑音電圧)より大きくなり、システム上で支配的になることがある。その点、CMOS オペアンプの入力バイアス電流は 0.5pA と非常に小さく、発生する電流ノイズも $\text{fA}/\sqrt{\text{Hz}}$ オーダーとなるため、信号源抵抗の影響は無視できるほど小さくなる。さらに入力オフセット電圧はオペアンプの持つ DC 電圧誤差の一種であるが、オペアンプで増幅回路を構成した際に信号と共に増幅され出力電圧誤差となる。LMR1802G-LB はオフセット電圧についても改善されており、従来品が $\pm 2\text{mV}$ (最大値) であるのに対し $\pm 450\mu\text{V}$ (最大値) を達成。低ノイズ化と同時に高精度化も実現している。

5. 低ノイズなのに使いやすい、業界最高の低ノイズ CMOS オペアンプ

CMOS オペアンプは低ノイズ化のトレードオフとして入力トランジスタのゲート容量が増加する傾向がある。この容量の増加により位相遅れは大きくなり、オペアンプの位相余裕(発振余裕度)は低下する。さらに容量性

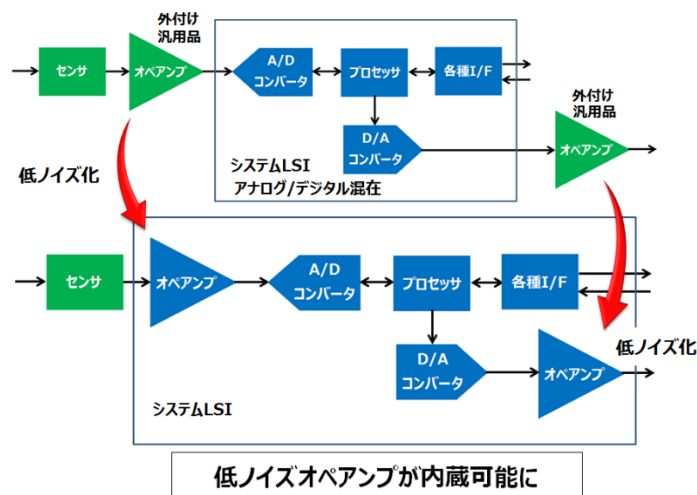
負荷駆動に対する耐性も低くなる傾向があり、低ノイズオペアンプは通常のオペアンプと比較してアプリケーションの状況によっては発振しやすい状態となる。オペアンプの出力に直接容量性負荷(コンデンサ等)が接続された場合、先にも述べたように位相遅れによりオペアンプが発振する可能性が出る。オペアンプの発振対策として、出力分離抵抗の挿入や位相補償容量を追加する手法があるが、これらの対策は部品点数の増加につながる。LMR1802G-LBは無負荷時の位相余裕は 68° を確保。従来品の低ノイズオペアンプと比較し2倍～5倍となる500pFの容量性負荷駆動が可能である。これらの特長により通常のオペアンプと同様に扱うことができるため、非常に扱いやすく発振対策による部品点数の増加も抑制できる。

6. 今後の展開

ロームでは低消費電流、低電圧動作の観点から2008年より民生、産業用途向けの汎用CMOSオペアンプを開発しリリースを進めてきた。さらに、汎用オペアンプとして10年を超える車載向け製品の開発実績から培った設計技術を駆使し、温度条件をはじめとした厳しい環境下においても高い信頼性を実現している。これらを活かし、今後はより低ノイズ、低オフセット電圧、高速・広帯域、低消費電流などの性能に特化したオペアンプの開発に舵を切る。

また、システムLSI内蔵用オペアンプの低ノイズ化にも注力していく。冒頭で述べたように、近年のアプリケーションの高精度化要求により、センサ用途のオペアンプへのノイズ性能要求は厳しくなる一方である。その反面、トランジスタの微細化に起因するノイズの増加は顕在化する傾向があり、システムLSIへの組み込み用途のオペアンプにおけるノイズ事情は悪化の一途を辿っている。

この課題に対する取り組みを進めるなか、今回の低ノイズ技術が生まれた。そして、システムLSIにおけるノイズの発生原因を徹底的に追及し、原因を特定。新技術を用いて回路とデバイスの最適化を行った。その結果、従来技術をはるかに超える低ノイズ特性を実現。単品の超汎用オペアンプだけでなく、システムLSIに内蔵される組み込み向けオペアンプの低ノイズ化も実現可能となった。ロームではこの技術を用いて、低ノイズ化が必須となるセンサアプリケーション向けのシステムLSIも低ノイズ化を進めていく。



【図 5】 システム LSI におけるオペアンプの低ノイズ化

(2018 年 7 月 19 日 電波新聞 第 2 部 電波ハイテクノロジー 掲載)

本資料に記載されている内容はロームの製品（以下「ローム製品」といいます）のご紹介を目的としています。ローム製品のご使用にあたりましては、別途最新の仕様書およびデータシートを必ずご確認ください。本資料に記載されております情報は、何ら保証なく提供されるものです。万が一、当該情報の誤りまたは使用に起因する損害がお客様または第三者に生じた場合においても、ロームは一切の責任を負うものではありません。本資料に記載されておりますローム製品に関する代表的動作および応用回路例は、一例を示したものであり、これらに関する第三者の知的財産権およびその他の権利について権利侵害がないことを保証するものではありません。上記技術情報の使用に起因して紛争が発生した場合、ロームはその責任を負うものではありません。ロームは、ロームまたは他社の知的財産権その他のあらゆる権利について明示的にも黙示的にも、その実施または利用を許諾するものではありません。本資料に記載されております製品および技術のうち、「外国為替及び外国貿易法」その他の輸出規制に該当する製品または技術を輸出する場合、または国外に提供する場合には、同法に基づく許可が必要です。本資料の記載内容は 2018年 7月 現在のものであり、予告なく変更することがあります。

