

# OPA128を使用したフォトダイオード・アンプ回路の設計

超低バイアス電流オペアンプ製品OPA128では、トレードオフなしにバイアス電流を最大75fAまでに抑えています。標準的な設計技法を使用した場合、これまでは必ず性能に重大なトレードオフが発生していました。フェムトアンプ(fA = 10<sup>-15</sup>A)に匹敵するバイアス電流を実現するために、アンプ全体の性能が犠牲になっていたのです。

## 独自設計により性能のトレードオフが最小限に

FETを小形状にすれば、バイアス電流も当然のように低くなります。ただしサイズを縮小することにより、FETの相互コンダクタンスが減少し、ノイズが劇的に増加することになります。その結果、単に入力FETを極端に小さくすることで低バイアス電流を実現した場合には、性能に深刻な制限がかかってきます。残念なことに形状を大きくすれば、BIFETの主要な入力バイアス電流の要因となる、ゲート-サブストレート間絶縁用ダイオードへの大きな漏れ電流に悩むこととなります。逆バイアスのゲート-サブストレート間絶縁用ダイオードをベースとしたBIFETから誘電体絶縁に置き換えることで大きなリーク電流を除去できます。同時に、ノイズフリー・カスコード回路、FETの特殊な配置、および先進のプロセスは、BIFETと比べDifet®の性能をより高めます。

## フォトダイオード・アンプの性能を向上させる方法

FETオペアンプの重要な電気光学アプリケーションのひとつに、フォトダイオード・アンプがあります。OPA128の比類のない性能は、非常に高感度の検出器の設計に適しています。フォトダイオード・アンプの設計に関して役立つと思われるヒントをいくつか以下に示します。

・**フォトダイオードは、静電容量が可能な限り小さいものを使用します。** 図1を見てみましょう。C<sub>J</sub>は帯域幅だけでなく、ノイズにも影響を与えます。これは、C<sub>J</sub>とオペアンプの帰還抵抗により、ノイズゲイン・ゼロ（帰還極）が形成されるためです。

・**C<sub>J</sub>を小さく、R<sub>J</sub>を高くするために、フォトダイオードのアクティブ・エリアが可能な限り小さいものを使用します。** これにより、信号対ノイズ比を高くできます。大きなエリアが必要な場合は、大きなエリアを持つダイオードではなく、光学的な“ゲイン”（レンズ、鏡など）の使用を考慮してください。光学的な“ゲイン”ならば本質的にノイズフリーです。

・**ノイズを最小限に抑えるために、(必要な帯域幅を下げない範囲で)可能な限り大きな値の帰還抵抗を使用します。** このことは逆説的に思えるかもしれませんが、抵抗の熱雑音は次のように増加します。

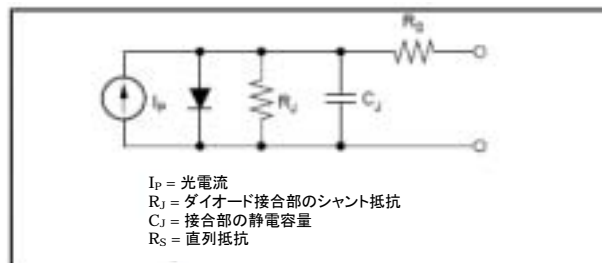


図1. フォトダイオードの等価回路

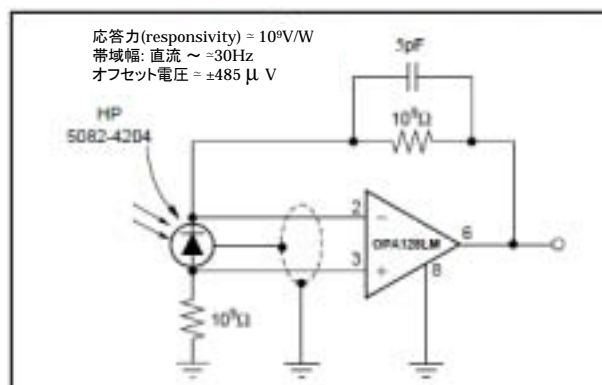


図2. 高感度フォトダイオード・アンプ

$$e_{OUT} = \sqrt{4k TBR}$$

k: ボルツマン定数 =  $1.38 \times 10^{-23}$  J/K

T: 温度 (°K)

B: ノイズ帯域幅(Hz)

R: 帰還抵抗 (Ω)

$e_{OUT}$ : ノイズ電圧(Vrms)

トランスインピーダンス・ゲイン(信号)も同時に次のように増加します。

$$e_{OUT} = i(\text{信号}) R$$

抵抗の熱雑音に対する回路ゲインが1であることから、信号対ノイズ比は $\sqrt{R}$ の分だけ向上します。

・**最高の感度を実現するには、低バイアス電流オペアンプが必須です。**バイアス電流は、高抵抗の帰還抵抗によって電圧オフセット誤差となります。広帯域幅回路では、使用している帰還抵抗の値が小さいほどバイアス電流誤差の影響を受けにくくなりますが、そのような回路においても、広範囲にわたる温度での動作が想定される場合は、バイアス電流について考慮する必要があります。OPA128LMの仕様で規定されているのは、+70°Cにおいてわずかに $\pm 2\text{pA}$ (最大値)です。バイアス電流は、ショット・ノイズの原因にもなります。

$$i_s = \sqrt{2qi}$$

q:  $1.602 \times 10^{-19}$  クーロン

i: バイアス電流(または信号電流) (A)

$i_s$ : ノイズ電流(A rms)

多くの回路で主要なノイズ源となるのが、帰還抵抗の熱雑音(ジョンソン・ノイズ)です。

・**ダイオードのシャント抵抗( $R_J$ )が、可能な限り高いものを使用します。** $R_J \gg R_F$ の場合は、回路のDCゲイン(ノイズ・ゲイン)は1V/Vになります。 $R_J$ が小さいとノイズ、電圧オフセット、およびドリフトが $1+R_F/R_J$ 倍に増幅されます。

ダイオードのシャント抵抗は温度が高くなると減少するため、予期しない誤差の原因になる可能性があります。図3では、拡散接合GaAsPフォトダイオードを使用して、+60°Cで $R_J = 3000\text{M}\Omega$ を維持しています。バンドギャップが高いために、GaAsPの「 $R_J$  対 温度」の傾きは、シリコン(半導体)よりも緩やかになっています。

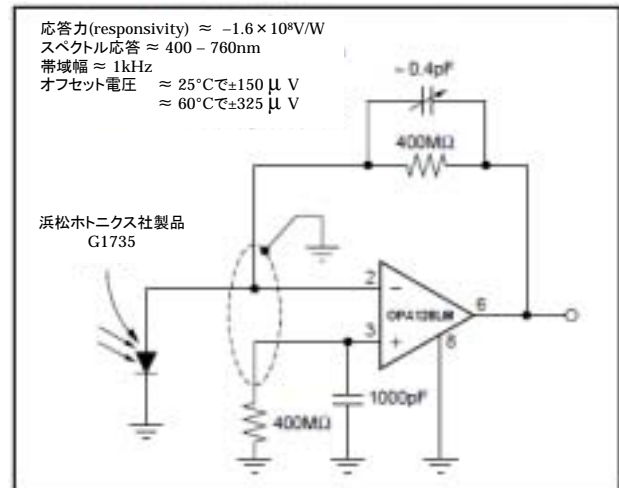


図3. 広い温度範囲を持つフォトダイオード・アンプ

・ **最高の感度を得るには、「光起電モード」のフォトダイオードを使用します。**ゼロバイアス駆動を使用すると、フォトダイオードの漏れ電流による暗電流のオフセット誤差が発生しなくなります。ゼロバイアスは低速動作ですが、感度の高い駆動モードです。ゼロバイアスを使用すると、逆バイアス駆動用に設計されているフォトダイオードも含めて、多くのフォトダイオードを非常に効率良く動作させることが可能になります。

・**最も高速なレスポンスと最大の帯域幅を得るには、「光導電モード」のフォトダイオードを使用します。**逆バイアスにより $C_J$ が大幅に小さくなります。また、波長が長くなると、立ち上がり時間の伝播遅延が大きくなるテール(キャリアの拡散時間が長くなることによる伝播遅延)という厄介な現象が発生しますが、これも減少ないしは消滅します。バイアス電圧による駆動のデメリットとしては、暗電流や1/Fノイズ成分が誘起し、場合によってはバイアス電源を追加する必要が生じることなどです。

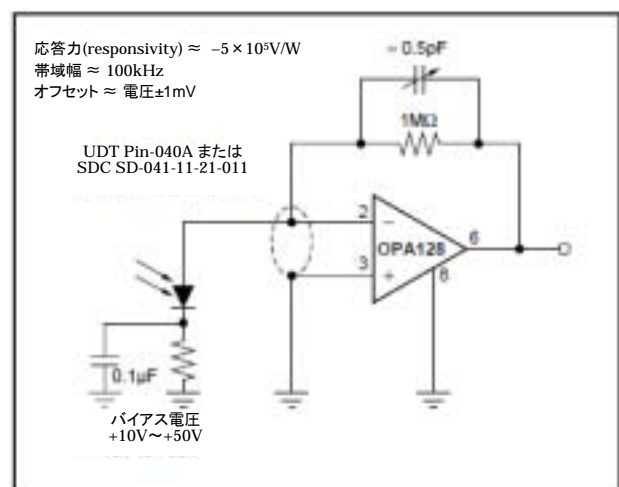


図4. 広帯域幅のフォトダイオード・アンプ.

・非常に高い値の帰還抵抗の方が、低い値のT型ネットワークよりもはるかに好ましいことです。図5を見てください。トランスインピーダンスのゲイン( $e_{OUT}/I_{SIGNAL}$ )が等しい場合でも、T型ネットワークでは性能が犠牲になっています。帰還抵抗の値が低いと、発生する電流ノイズ( $i_N$ )が大きくなります。また、 $R_1/R_2$ によって形成される分圧回路により、入力オフセット電圧、ドリフト、アンプの電圧ノイズが $1+R_1/R_2$ という比率で増加します。ほとんどの電位計アンプでは、このような構成は好ましいことではありません。T型ネットワークを使用することで、すでに高くなっているオフセット電圧とドリフト電圧(3mVや50 $\mu$ V/という大きさになることもあります)を増大させてしまうのでは、実用に耐える方法とは言えなくなります。OPA128等の性能が大幅に高いアンプを使用すれば、T型ネットワークの比率が中程度に抑えられ、その結果生じる誤差の増大も大幅に少なくなります。非常に高い抵抗値を持つ単体の抵抗を使用すれば性能は向上しますが、T型ネットワークならば、ゲイン補正や、大きな値の抵抗を探すことの難しさ等の問題を克服することが可能です。

## OPA128 の主要な仕様

バイアス電流	75fA (最大)
オフセット電圧	500 $\mu$ V (最大)
ドリフト	5 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C (最大)
ノイズ	10kHzで15nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$

BIFET<sup>®</sup>はNational Semiconductor Corp.の商標、Difet<sup>®</sup>はTI社のBurr-Brown製品の商標です。

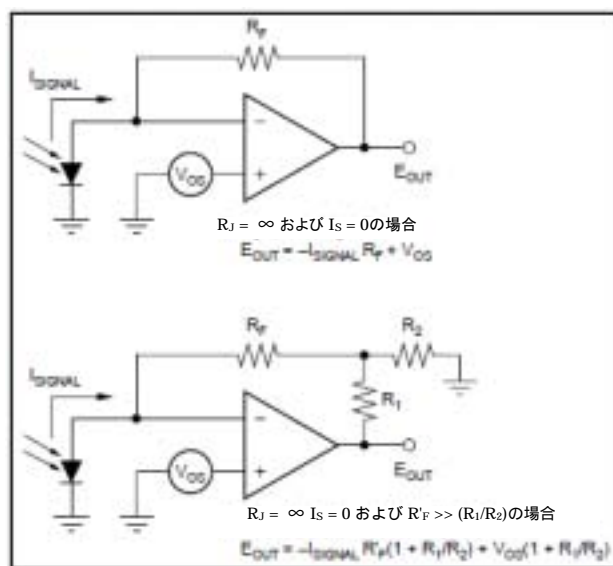


図5. トランスインピーダンス・アンプの帰還抵抗

・光センサ回路は、金属の筐体に入れて遮蔽します。この回路は非常にインピーダンスが高く、高感度であるため、十分な遮蔽と、有効な電源バイパスが必要になります。これは任意でなく、必ず必要となる処置です。

・多くの場合、 $R_F$ と直列に値の小さいコンデンサを配置して、発振やゲイン・ピーキングを抑制することが必要になります。これにより帯域幅に影響が出る可能性があります。これにより帯域幅に影響が出る可能性があります。ループの安定性を確保するためには小さな静電容量が必要になることがよくあります。必要であれば、このコンデンサの値をもっと大きくして、帯域幅の制限を軽減することもできます。

# 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ないし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いません。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、保証もしくは承認を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、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 © 2009, 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