

OPA128を用いた フォトダイオード・アンプの設計

OPA128は最大バイアス電流75fAを達成した、超低バイアス電流オペアンプです。今までは、フェムトアンペア ($fA = 10^{-15}A$) 級のバイアス電流を達成するために、アンプの全体的な特性を犠牲にしていました。OPA128は世界で初のサブ・ピコアンペア級のおペアンプです。本アプリケーション・ノートではOPA128を用いたフォトダイオード・アンプの設計について記述するものです。

独特のデザインによる総合特性の向上

形状の小さなFETはバイアス電流も小さいですが、しかしFETのサイズを小さくするとトランス・コンダクタンスも小さくなり、ノイズが急激に増加するので、単に入力FETを極端に小さくして低バイアス電流を達成しようとする場合、これらのトレード・オフ関係が重要な制約となります。残念ながら大きなサイズのものは、BIFET®アンプのような構造において、入力バイアス電流を決定する主要な原因であるゲートとサブストレート間の分離用ダイオードのリーケージ電流が増加します。BIFET®などで行っているゲート、サブストレート間分離ダイオードに逆バイアスを印加する手法の代わりに、OPA128における誘導体分離手法では、大きなリーケージ電流の原因となる分離用ダイオードを、ノイズフリー・カスケード回路及び特別なサイズのFET、先進プロセスであるDifet®を用いることにより取り除いています。このことは、Difet®プロセスがBIFETプロセスに比べて格段に高性能であることを証明しています。

フォトダイオード・アンプの性能向上法

FETオペアンプを用いた重要なエレクトロ・オプティカル・アプリケーションは、フォトダイオード・アンプです。OPA128の比類のない性能は非常に高感度な検出器の設計に適しています。こうしたフォトダイオード・アンプを設計する際の重要なキーポイントは次のとおりです。

1. フォトダイオードの出力容量はできるだけ小さいものを選択する

図1を見てください。出力容量 C_j はバンド幅に影響するだけでなく、ノイズにも同様に影響します。これは、 C_j とオペアンプの帰還抵抗がノイズ・ゲインがゼロ（フィードバック・ポール）の状態を作るためです。

2. フォトダイオードの能動領域はできるだけ小さいものを選択する（ C_j が小さく R_j （接合抵抗）は大きくなる）

このことにより、主信号対ノイズ（S/N）比を高くすることができます。もし広い能動領域が必要ならば、広い能動領域のダイオードを選ぶよりも、むしろ光の強度を増すこと（レンズ、ミラー、その他）を考慮した方が良いでしょう。集光効率の改善はS/N比を向上させる要素になります。

3. ノイズを最小にするため、帰還抵抗は可能な限り大きくする（要求されるバンド幅と一致して）。

これは逆説のように思えますが、抵抗の熱雑音の大きさは次式になることを思い起こしてください。

$$e_{OUT} = \sqrt{4 k T B R}$$

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

T : 絶対温度 (°K)

B : ノイズ帯域幅 (Hz)

R : 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）は次式で増加しますが、

$$e_{OUT} = i(\text{signal}) R$$

ノイズ電圧は $\sqrt{R}$ で増加します。

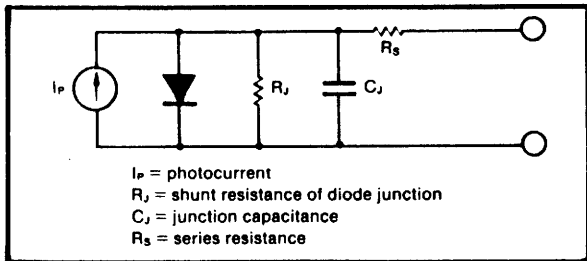


図1. フォトダイオード等価回路

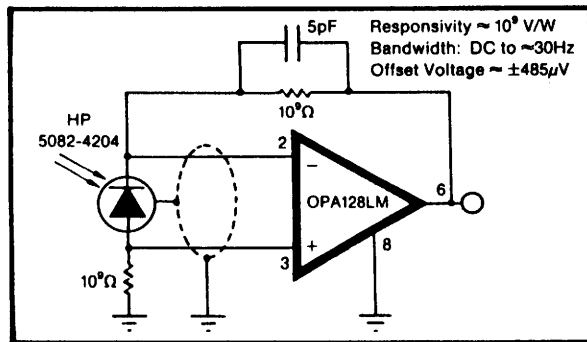


図2. 高感度フォトダイオード・アンプ

4. 高感度を達成するためには低バイアス電流のオペアンプを選択する

バイアス電流は大きな帰還抵抗による電圧オフセット誤差の原因となります。小さな帰還抵抗による広帯域回路ではバイアス電流による誤差は軽減されますが、たとえこのような回路であっても、広い温度範囲で動作させる時にはバイアス電流を考慮しなければなりません。

OPA128LMのバイアス電流のスペックは、 $+70^\circ\text{C}$ で最大 $\pm 2\text{pA}$ です。バイアス電流はまた、ショット・ノイズの原因となります。

$$i_s = \sqrt{2q i}$$

q : 1.602×10^{-19} クーロン

i : バイアス (信号) 電流 (A)

i_s : ノイズ電流 (Arms)

多くの回路で、大体のノイズ源は帰還抵抗の熱 (ジョンソン) 雑音でしょう。

5. フォトダイオードの接合抵抗は可能な限り大きいものを選択する

R_J 、 R_F の関係ならば、回路の直流ゲイン (ノイズゲイン) は 1V/V です。 R_J の小さいダイオードにおいては、 $1 + R_F/R_J$ で増幅されるノイズやオフセット電圧、及びドリフトの原因になります。温度上昇による R_J の低下に伴い予期せぬ誤差も発生します。図3におけるGaAsPフォトダイオードの拡散接合部は、 60°C において $R_J = 3000\text{M}\Omega$ を保ちます。この高いバンドギャップにより、GaAsP

はシリコンよりも R_J の温度勾配に対し平坦な特性を保ちます。

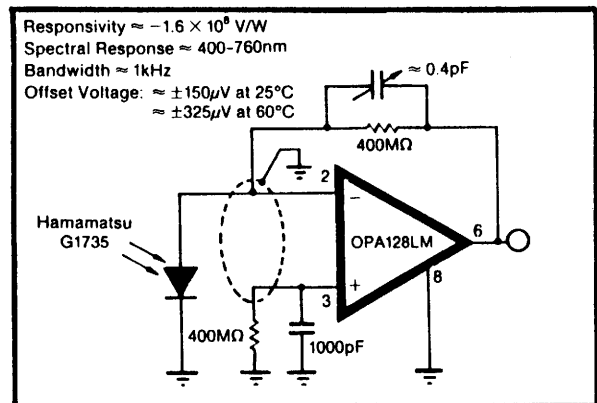


図3. 高温度範囲フォトダイオード・アンプ

6. 高感度を得るには“光起電”モードでフォトダイオードを動作させる

ゼロバイアス動作では、暗電流オフセット誤差はフォトダイオードのリーク電流により発生することはありません。ゼロバイアスは動作速度の点では遅くなりますが、非常に高感度な動作モードであり、多くのフォトダイオードは、逆バイアス用にデザインされたものであってもゼロバイアスで問題なく動作するはずです。

7. フォトコンダクティブモードで高速応答、高帯域化が可能

逆バイアス動作モードは、 C_J を実質的に小さくすることにより、いつまでも安定しない信号の応答速度を改善します。バイアスを加えた時の不利な点は、暗電流、 $1/f$ ノイズ成分の発生や、余分なバイアス供給用電源が必要になることです。

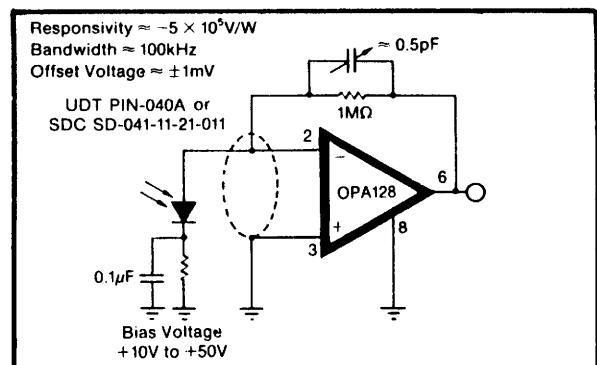


図4. 高帯域フォトダイオード・アンプ

8. 帰還抵抗は小抵抗でネットワークを構成するよりも1本の大抵抗を選択する

図5において、 E_{out}/I_{signal} の伝達関数が同じであっても、Tネットワークは性能を劣化させます。低い帰還抵抗はより高い電流ノイズ (i_n) を発生させ、 R_1/R_2 による分圧器はオフセット電圧、ドリフト、及び電圧ノイズを $1 + R_1/R_2$ の比率で増加させます。この特性ではほとんどの電位計用アンプ仕様を満足させることはできません。OPA128のような性能の良いオペアンプを用いると、Tネットワークにおいてもネットワーク比を調整でき、結果として生じる増加された誤差はかなり小さくなります。

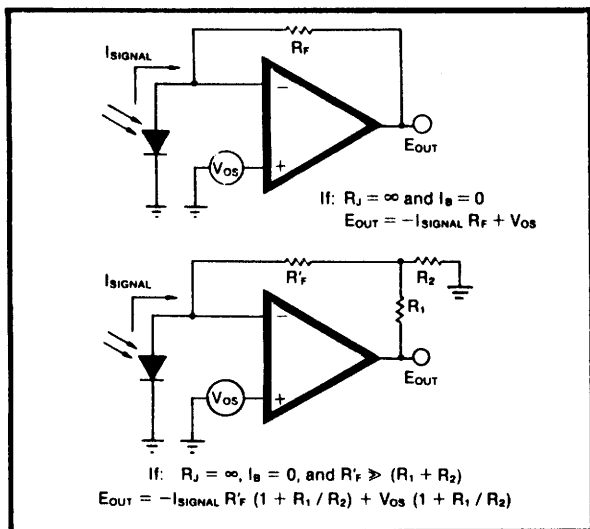


図5. トランスインピーダンス・アンプにおける帰環抵抗

Tネットワークは、抵抗ゲイン調整や大きな抵抗を探す手間を省くことはできます。

9. メタルケースにより光検出回路をシールド

光検出器は非常に高いインピーダンスで、高感度の回路です。それはシールドと効果的な電源バイパスを必要とします。これらは必ず行ってください。

10. ゲイン・ピーキング、発振防止には帰還抵抗に並列に小容量コンデンサを接続する

これはゲインバンド幅に影響しますが、小容量コンデンサによって閉ループの動作を安定化できます。

OPA128の主な仕様

バイアス電流	75fA MAX
オフセット電圧	500 μ V MAX
ドリフト	5 μ V/ $^{\circ}$ C MAX
雑音	15nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 10KHz

BIFET® National Semiconductor Corp

Difet® (誘電体分離FET) Burr-Brown Corp

日本バー・ブラウン株式会社

本社 〒107 東京都港区赤坂7-10-20 アカサカセブンスアヴェニュービル ☎03-3586-8141
大阪営業所 〒532 大阪市淀川区西中島4-5-1 新栄ビル ☎06-305-3287
名古屋営業所 〒465 名古屋市名東区本郷2-175 サニーホワイト藤 ☎052-775-6761

(LI-342)

フリーダイヤル

東京

FAX.01 20-068801

フリーダイヤル

大阪

FAX.01 20-068805

回路設計およびデータ収集・コントロールシステムの構築のあらゆるご相談をいつでも承ります。

©BBJ92121KK