

## シングルエンド・アプリケーションにおける差動I/Oアンプの使い方 デザインノート473

Glen Brisebois

### はじめに

低電圧のシリコンゲルマニウム・プロセスとBiCMOSプロセスの最近の進歩により、非常に速度の速いアンプの設計と製造が可能になりました。これらのプロセスは低電圧なので、これらのアンプ・デザインのほとんどは差動の入力と出力を備えており、両出力信号の合計振幅を回復して信号を最大化します。低電圧アプリケーションの多くはシングルエンドなので、「差動I/Oアンプをシングルエンドのアプリケーションで使うにはどうすればよいのか」、「このような使い方にはどんな問題が含まれているのだろうか」などの疑問が生じます。このデザインノートでは、いくつかの実際的な問題を取り上げ、利得帯域幅が3GHzのLTC6406差動I/Oアンプを使った具体的なシングルエンド・アプリケーションの実例を示します。

### 背景

普通のオペアンプには2つの入力（差動）と1つの出力が備わっています。利得は名目上無限大ですが、出力から「反転」入力への帰還によって、制御された状態に保たれます。出力は無限大にはならず、むしろ差動入力にゼロに保たれます（いわば、無限大によって除算されます）。普通のオペアンプのアプリケーションの有用性、多様性、長所については豊富に文献が揃っていますが、それでもまだ汲み尽くせません。完全差動オペアンプについては、それほどは探求されていません。

4個の帰還抵抗を接続した差動オペアンプを図1に示します。この場合、差動利得は依然として名目上無限大であり、両入力は帰還によって同一レベルに保たれますが、この構成では出力電圧を支配するのに適当ではありません。なぜなら、帰還が対称的なので、同相出力電圧がどんな値であっても、差動入力電圧がゼロになることができるからです。したがって、どんな完全差動I/Oアンプでも、出力同相電圧を支配するための別の制御電圧が常に存在します。これが $V_{OCM}$ ピンの目的であり、なぜ完全差動アンプは4ピン・デバイスではなく、少なくとも（電源ピンを除いて）5ピンのデバイスなのかを説明できます。差動利得の式は $V_{OUT(DM)} = V_{IN(DM)} \cdot R_2/R_1$ です。

同相出力電圧は $V_{OCM}$ に与えられる電圧に内部で強制されます。さらに、反転入力とはもはや1つではないことが分かります。両方の入力とも、どちらの出力を考えているかによって、反転でもあり、非反転でもあります。回路解析の便宜のために、通常は入力を「+」と「-」とに区別し、片方の出力には丸を付加します。この丸は「+」入力に対応する反転出力を表しています。

普通のオペアンプを使い慣れている人は誰でも、非反転アプリケーションでは非反転入力の入力インピーダンスが本質的に高く、 $G\Omega$ または $T\Omega$ にすら近づくことを知っています。ただし、図1の完全差動オペアンプの場合、両方の入力に帰還が与えられているので、高インピーダンスのノードは存在しません。ただし、この問題は克服することができます。

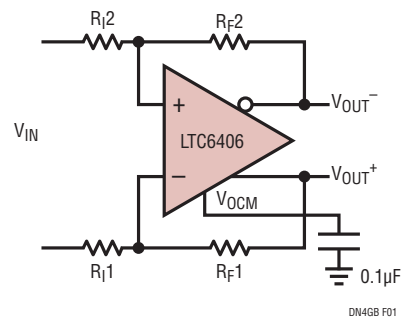


図1. 2つの出力と1つの $V_{OCM}$ ピンを備えた完全差動I/Oアンプ

### 完全差動オペアンプの簡単なシングルエンド接続

シングルエンドのオペアンプとして接続されたLTC6406を図2に示します。出力の片方だけがフィードバックされ、入力の片方だけがフィードバックを受け取ります。他方の入力は高インピーダンスになります。LTC6406はこの回路で問題なく動作し、依然として差動出力を与えます。ただし、簡単な思考実験を行うとこの構成方法の短所の1つが明らかになります。

LT, LTC, LTM, Linear Technology, LinearのロゴおよびµModuleはリアテクノロジー社の登録商標です。他の全ての商標はそれぞれの所有者に所有権があります。

$V_{OCM}$ を含む全ての入力と出力が1.2Vになっていると想定します。次いで、 $V_{OCM}$ ピンがそこから0.1Vほど上にドライブされると想定します。 $V_{OUT}^+$ は $V_{IN}$ に等しく保たなければならないので、変化できる唯一の出力は $V_{OUT}^-$ です。したがって、同相出力を100mV上方に変化させるには、アンプは $V_{OUT}^-$ 出力を合計200mV上方に変化させる必要があります。つまり、 $V_{OCM}$ の100mVのシフトにより差動出力に200mVのシフトが生じることになります。これは、完全差動アンプのシングルエンド帰還により、 $V_{OCM}$ ピンから「オープン」出力へのノイズ利得が2になることを示しています。このノイズを防ぐには、単にその出力を使うことをやめて、完全にシングルエンドのアプリケーションにします。または、わずかなノイズのペナルティを受け入れて、両方の出力を使います。

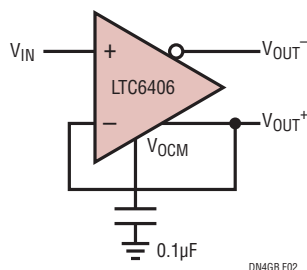


図2. 帰還はシングルエンドのみ。この回路は安定しており、普通のオペアンプと同様入力が高インピーダンス。閉ループ出力（この場合は $V_{OUT}^+$ ）は低ノイズ。出力は閉ループ出力からシングルエンドで取るのが最良で、3dB帯域幅は1.2GHzとなる。開ループ出力（ $V_{OUT}^-$ ）の $V_{OCM}$ からのノイズ利得は2であるが、約300MHzまでは問題なく動作する。それより上では通過帯域のリプルが大きくなる。

#### シングルエンドのトランスインピーダンス・アンプ

トランスインピーダンス利得が20kΩのシングルエンド・トランスインピーダンス・アンプとして接続されたLTC6406を図3に示します。LTC6406の入力にJFET (BF862) がバッファとして使われており、LTC6406のバイポーラ入力トランジスタの電流ノイズの影響を大幅に減らします。JFETの $V_{GS}$ がオフセットとして含まれますが、これは標準0.6Vなので、回路自体は3V単一電源で問題なく機能し、このオフセットは10kのポテンショメータを調節して除去することができます。時間領域の応答を図4に示します。20MHzの帯域幅での測定では合計出力ノイズは $V_{OUT}^+$ で0.8mV<sub>RMS</sub>、 $V_{OUT}^-$ で1.1mV<sub>RMS</sub>です。差動では、トランスインピーダンス利得は40kΩです。

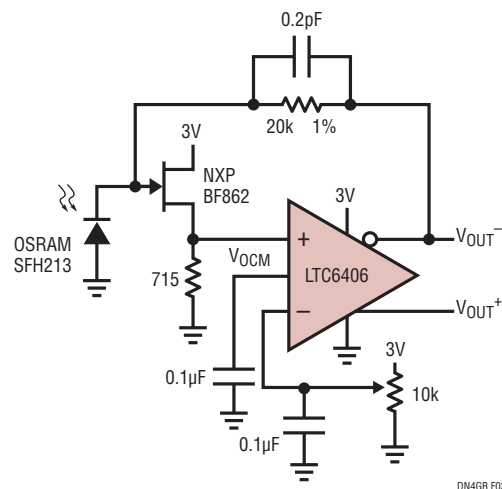


図3. トランスインピーダンス・アンプ。超低ノイズのJFETがLTC6406のバイポーラ入力の電流ノイズに対してバッファとして機能する。光が無い状態で差動出力が0Vになるようにポテンショメータを調節する。

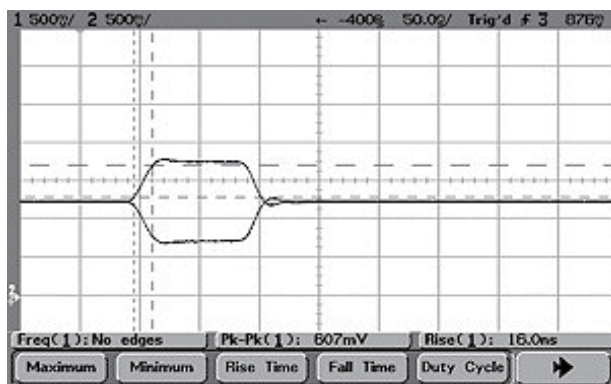


図4. 図3の回路の時間領域の応答。両方の出力をそれぞれ20kΩのTIA利得で示している。立ち上がり時間は16nsなので、20MHzの帯域幅を示す。

#### まとめ

LTC6406のような完全差動オペアンプの新ファミリーは前例のない帯域幅を提供します。幸い、これらのオペアンプはシングルエンドおよび100%帰還のアプリケーションでも問題なく動作します。

データシートのダウンロード: <http://www.linear-tech.co.jp>

オンラインストア リニアエクスプレス

**LINEAR EXPRESS**

0120-7291-22

株式会社 トーメン エレクトロニクス

本社 TEL 03-5462-9615

大阪 06-6447-9644 名古屋 052-582-1591  
福岡 092-713-7779 宇都宮 028-625-8331  
松本 0263-34-6131 北関東 048-521-9011  
仙台 022-221-8061 浜松 053-452-8147  
立川 042-548-9871

東京エレクトロニクス株式会社

本社 TEL 045-474-5114

大阪 06-6399-1511 名古屋 052-562-0825  
東京 03-3251-0083 北関東 048-600-3890  
水戸 029-227-6552 立川 042-548-0255  
横浜 045-474-7023 松本 0263-36-8112  
福岡 092-474-4121 仙台 022-212-2746

株式会社 三共社

本社 TEL 03-5298-6201

株式会社 ジェピコ

本社 TEL 03-6362-0411

東京電子販売株式会社

本社 TEL 03-5350-6711

株式会社 信和電業社

本社 TEL 06-6943-5131

伊藤電機株式会社

本社 TEL 052-935-1746

**リニアテクノロジー株式会社**

102-0094 東京都千代田区紀尾井町 3-6紀尾井町パークビル 8F  
TEL(03)5226-7291 FAX(03)5226-0268  
<http://www.linear-tech.co.jp>

dn473 LT/TP 1209 116K • PRINTED IN JAPAN

**LINEAR**  
TECHNOLOGY

© LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION 2009