

高速ライン・ドライバ

高速な信号伝送を伴う多くのアプリケーションでは、信号を忠実に伝送するために、公称インピーダンスが50Ωまたは75Ωの同軸ケーブルが使用されていますが、これらの同軸ケーブルまたはツイスト・ペア線を駆動する高速ライン・ドライバは、信号の忠実度を保証するために高度な特性が要求されます。

従来、同軸ケーブルの最も一般的な駆動方法は、低出力インピーダンスの電圧出力型ドライバ・アンプを使用して駆動する方法でした。ドライバ・アンプには電圧帰還方式または電流帰還方式のどちらかが選択されます。しかし現在では、高出力インピーダンスの電流出力型高帯域オペレーショナル・トランスコンダクタンス・アンプ(以下OTAと記す)であるOPA660、およびOPA2662を使用することにより、電圧出力と電流出力2通りの選択肢を手にすることができます。電圧出力型と電流出力型には、それぞれに利点、欠点があるためアプリケーションに応じた適切な方法を選択することが重要です。

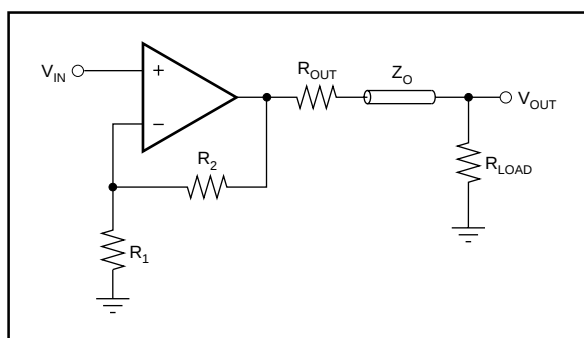


図1. 標準なライン・ドライバ回路

広帯域オペアンプOPA660およびOPA2662

OPA660は、様々な電圧ドライブ方法を実現するため、開ループ、直接帰還、そして電流帰還モードで使用されています。OPA660の後段にある開ループバッファ・アンプBUF601は、高インピーダンスのOTAコレクタ出力を低インピーダンスの電圧源出力に変換し、伝送線またはバスシステムをドライブします。OPA660は8ピン・プラスチック・パッケージ内に、ダイヤモンド・トランジスタ(DT)とダイヤモンド・バッファ(DB)を備えています(ダイヤモンド・ト

ランジスタとダイヤモンド・バッファについてはアプリケーションノートANJ-1035を参照して下さい)。以下に説明する3種類の回路例において、バッファ・アンプ入力GNDに接続されており、OTAの入力オフセット電圧を補正します。BUF601のドライブ能力は、データシートに示されているように、連続電流では±20mAですが、パルス・アプリケーションでは容易に±50mAまで増加させることができます。

OPA2662は16ピン・プラスチック・パッケージ内に2つのOTAを備えており、それぞれが±75mAの出力電流を駆動できます。2つのコレクタ出力を接続することによって、電流ドライブ能力を±150mAにまで上げることが可能になります。電流ドライブを行うOPA2662は開ループ・モードで動作し、直接帰還を構成しています。OPA2662の特有な機能の1つは、OTAのEN入力を独立してスイッチできる能力であり、OTAは最大出力電力時に30ns内にオンし、また250ns内でオフすることができます。

低インピーダンス伝送線についての基本的な考え方

伝送線の最も重要な公式および基礎技術は、ここで説明する数種類のドライブ回路の動作と一致します。0Ωインピーダンスを持つ、理想的な伝送媒体は伝送ケーブルに全体に分布するインダクタンスや容量を持ちます。インダクタンスと容量は、どちらも線路の伝送性能を劣化させます。伝送線の特性インピーダンス(Z_0)がその伝送線の種類を定義します。式(1)に示すようにインピーダンスはライン・インダクタンス(L_T)をライン容量(C_T)で割った値の平方根で求めます。:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_T}{C_T}} \quad (1)$$

同様に、式(2)は、ライン・インダクタンスおよび容量が伝送線の遅延時間を決定することを示しています。:

$$T = \sqrt{L_T \cdot C_T} \quad (2)$$

Z_0 の標準値は、平行線では240Ω、同軸ケーブルでは75Ωまたは50Ωになっています。

また、 Z_0 は、プリント基板上の高速データ転送用バスシステムのバスラインでは30Ωから40Ωまで減少することがあります。一般的に、バスシステムが複雑になればなるほ

ど Z_0 は低くなります。伝送媒体の容量を増大させるため、複雑なシステムになるほど標準ライン・インピーダンスは下がり、そこで使用するライン・ドライバには、高いドライブ能力が要求されます。

伝送線は、一般的に送信端、または受信端で終端されます。終端されていない線路では信号の反射が発生し、パルスの忠実度が劣化します。ドライバ回路は出力電圧(V_{OUT})を伝送線に送信します。この信号は線路の末端に表れ、適切に終端されないと反射します。 V_{OUT} の反射部分は V_{REFL} と呼ばれドライバに返されます。伝送される信号は最初の信号 V_{OUT} と反射信号 V_{REFL} の合計になります。：

$$V_T = V_{OUT} + V_{REFL} \quad (3)$$

反射信号の大きさは、ラインの特性インピーダンス(Z_0)と、終端抵抗 Z_1 の値で決まります。

$$V_{REFL} = V_{OUT} \cdot \varphi \quad (4)$$

φ は反射係数を示し、式(5)で表されます。

$$\varphi = \left(\frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0} \right) \quad (5)$$

φ の値は-1から+1まで変化します。

式(5)のコーナーポイントでの条件は下記の通りです。

$Z_0 = Z_1$	→	$\varphi = 0$	$V_{REFL} = 0$
$Z_0 = \infty$	→	$\varphi = -1$	$V_{REFL} = -V_{OUT}$
$Z_0 = 0$	→	$\varphi = +1$	$V_{REFL} = +V_{OUT}$

終端されていないドライバ回路は状況をより複雑なものにします。 V_{REFL} はドライバ側で再び反射されピンポンのように線路上を行ったり来たりすることを繰り返します。この現象が起これと、通常では受信端で出力信号 V_{OUT} を受信することは不可能になります。

ライン・ドライバとしてのオペアンプ

一般的な伝送システムは、電圧または電流帰還オペアンプをライン・ドライバとして使用します。帰還システムの出力は、ラインと帰還ネットワークの両方をドライブします。このラインと帰還ネットワークは広帯域の周波数応答を得るため低インピーダンスでなければなりません。特に電流帰還オペアンプではこのことが重要です。このようなダブル・ドライブは出力電流を上げ、達

成可能な帯域幅を減少させることになります。

最近では、 $\pm 5V$ の電源のコンプリメンタリ・バイポーラ・プロセスが高速のオペアンプ設計に使用されています。 $\pm 5V$ の電源はオペアンプの出力のリニア出力電圧範囲を約 $\pm 3V$ に制限します。両端が終端されたシステムでは、負荷抵抗での最大電圧降下は $\pm 1.5V$ に減少します。これは、このシステムがドライブ出力に対して終端抵抗が直列になるとき、1対1の分圧器を形成するために起こります。電流出力による方法は、後に説明するように、負荷全体とバック・ターミネーション抵抗での電圧降下を $\pm 3V$ に増加させます。帰還システムの出力インピーダンスは低周波数では $m\Omega$ の範囲内になります。オペアンプの開ループ・ゲインがロールオフし始めると、出力インピーダンスは100MHzでは $20\Omega \sim 30\Omega$ に増大し、この不完全な終端は高周波数信号の反射を引き起こします。開ループ・バッファアンプの出力インピーダンスはもっと大きいものですが、より広い周波数範囲で一定に保たれます。加えて、この大きな出力インピーダンスは、終端抵抗をわずかに減少させることにより容易に保証することができます。したがって終端抵抗の値は下式に示す値になります。

$$Z_0 = Z_{OUT} + Z_T \quad (6)$$

他のいくつかのアプリケーションノートで既に説明した通り、オペアンプ帰還ループの遅延時間が、処理される入力信号の最小立ち上がりおよび立ち下がり時間を決定します。立ち上がり時間が遅延時間の約3倍のとき、出力は通常、より小さいエッジ・スロープ、およびより小さいオーバーシュート、そして短いセトリングタイムを実現することができます。本アプリケーションノートに示す全ての電流ドライバ、およびほとんどの電圧ドライバはこの条件を満たしており、その結果として1ns以下の優れたパルス応答で実現しています。

電圧ドライバ方式開ループ・アンプ

後段にライン・ドライバとしてBUF601を接続した、OPA660による開ループ・アンプの回路例を図2に示します。

この開ループ構成の性能は遅延時間によって影響されません。このアンプは+6V/Vのゲインで動作し、1Vp-pの入力電圧を6Vp-pの出力電圧に増幅します。図3で示されているように、伝送線が両側で終端されているライン・ドライバでは1.4Vp-pで460MHzの帯域幅を、2.8Vp-pで375MHzの帯域幅を得ることが出来ます。本

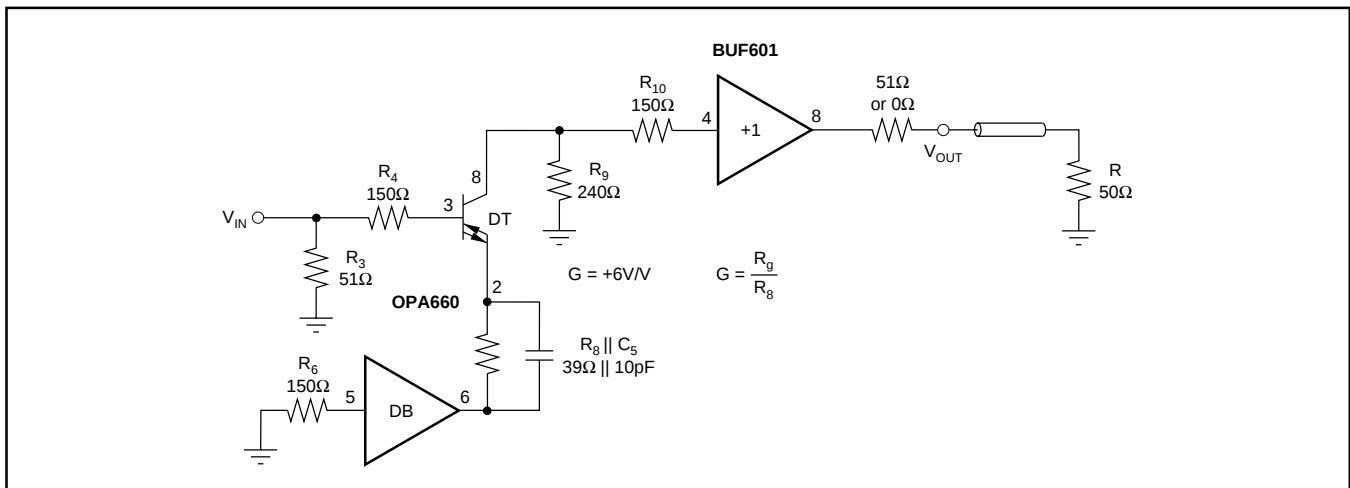


図2. 開ループ・アンプの回路図

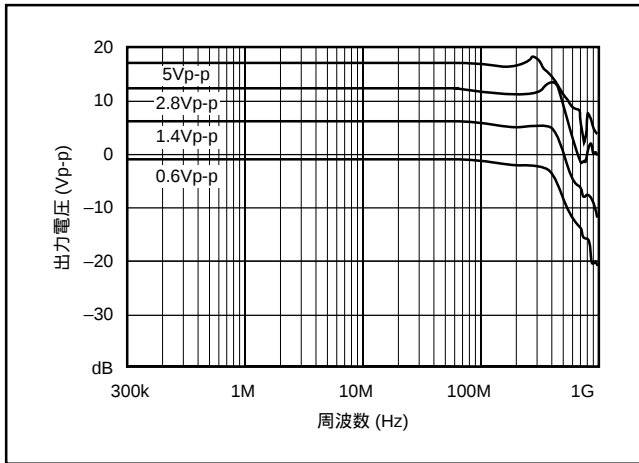


図3. 開ループ・アンプの周波数応答

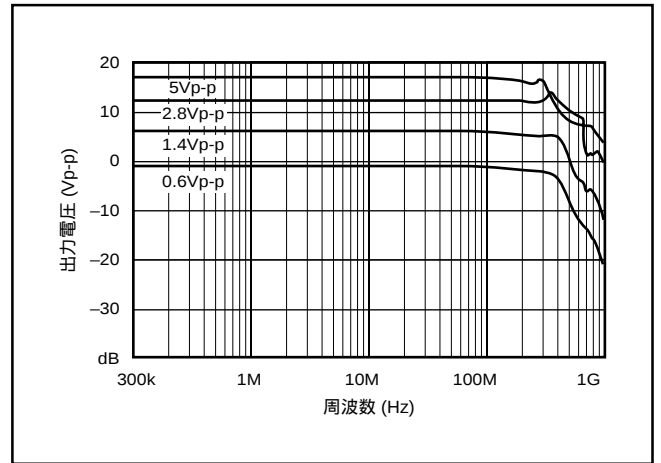


図5. 直接帰還アンプの周波数応答

	電圧モード			電流モード		単位
	OLA	DFA	CFA	OLA	DFA ⁽¹⁾	
帯域幅						
0.6Vp-p	375	416	366	307	262	MHz
2.8Vp-p	460	580	510	287	184	MHz
5Vp-p	375	370	317	156	140	MHz
t_{RISE}	1.4	1.5	1.6	3.1	2.5	ns
t_{FALL}	2.6	1.5	1.9	4.7	7.4	ns
高調波歪						
2nd, 10MHz, 4Vp-p	-44.5	-45.5	-49.7	-31.3	31.6	dBc
R_{LOAD} 合計	100	100	100	25	25	Ω

注: (1) OLAは開ループ・アンプ、DFAは直接帰還アンプ、CFAは電流帰還アンプを示しています。

表 . 両端が終端された伝送路におけるライン・ドライバの性能

アプリケーションノートに示す全てのドライバ回路の帯域幅、立ち上がり時間、立ち下がり時間、そして高調波歪のパラメータを表に要約し示します。

直接帰還アンプ

図4は、同様にBUF601をライン・ドライバとして使用した、直接帰還構成のアンプを示しています。図5で示されるように R_{LOAD} が100 Ω の場合、帯域幅は2.8Vp-pでは580MHzまで、5Vp-pでは370MHzまで広げることができます。しかし、バッファアンプが最大出力電圧を6Vp-pに制限しています。3つの全ての電圧ドライブ回路では、OPA660は ± 20 mAの無信号時電流に調整されており、BUF601は ± 6 mAしか消費しません。

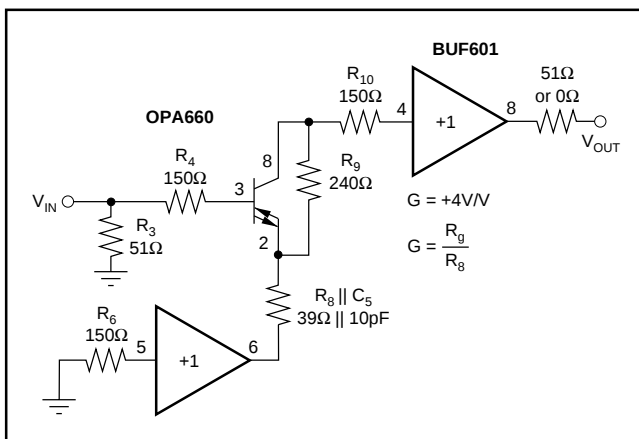


図4. 直接帰還アンプの回路図

電流帰還アンプ

図6は入力特性の等しい2つの高インピーダンス入力を持つオフセット補正された電流帰還アンプを示しています。BUF601は帰還ループの一部です。非反転型は1.4Vp-pでは514MHzを、2.8Vp-pでは317MHzを達成します。帯域幅の測定結果を図7に示します。

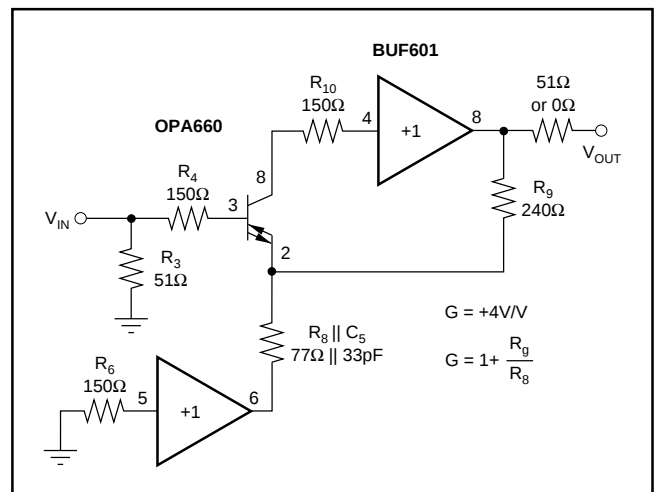


図6. 電流帰還アンプの回路図

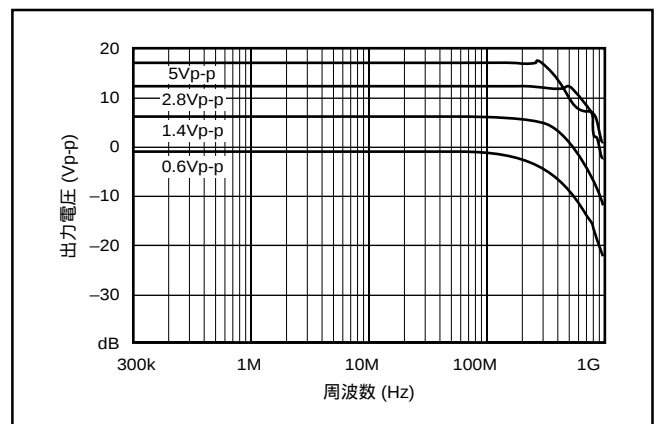


図7. 電流帰還アンプの周波数応答

電流ドライブ方式

開ループ電流ドライブ

負荷抵抗に許容される最大電圧降下の減少は、伝送線に直列に接続された終端抵抗が原因であることは非常に明確です。しかし図8で示されているように、高インピーダンス電流源で構成されているドライブ回路は、OTAが6Vp-pで2つの並列な50Ω抵抗をドライブ可能な場合、両端が終端された伝送路の場合でも電圧降下を増加させることができます。この構成では、電流ドライブは240mA-p-pの出力電流を負荷抵抗へ供給します。 $\pm V_{CCOUT}$ に直列に10Ωの抵抗が挿入されている場合、電流源出力での最大電圧コンプライアンスは約6.8Vp-pになります。2つのOTAが、ドライブ能力の合計を300mA-p-pに増やすため並列に接続されています。 R_E に並列な C_E は、コレクタ出力の有害な容量を補正します。両方のOTAへの無信号電流の合計は±17mAに設定されています。ゲインは下記の公式によって調節することができます。

$$G = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{3R_C}{R_E} \quad (7)$$

図9に示す通り、この項で記述されている回路は、負荷抵抗の両端の出力電圧が5Vp-pの場合は156MHzの帯域幅を、2.8Vp-pの場合は287MHzの帯域幅を達成します。

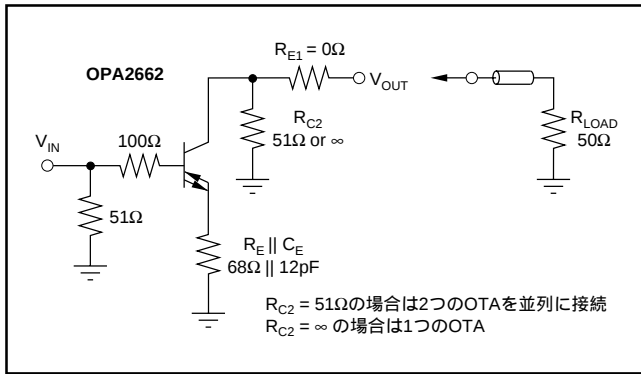


図8. 開ループ電流ドライブの回路図

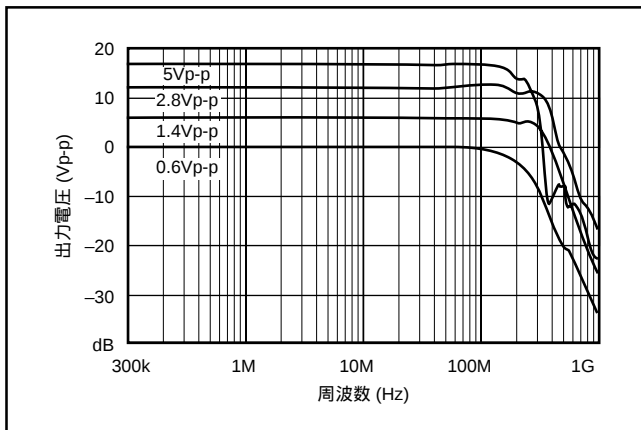


図9. 開ループ電流ドライブの周波数応答

直接帰還モードの電流ドライブ

既に説明した通り、OTAは直接帰還モードで優れたパルス応答を示します。コレクタからエミッタへの短帰還ループは設計を簡略にし、またパラメータの変化による回路の安定性を改善します。図10のドライブ回路で達成された帯域幅、立ち上がり時間、立ち下がり時間、および高調波歪の値は表 には含まれていません。図11には、負荷抵抗の両端電圧が0.6Vp-p、2.8Vp-p、5Vp-pの場合における周波数応答が示されています。

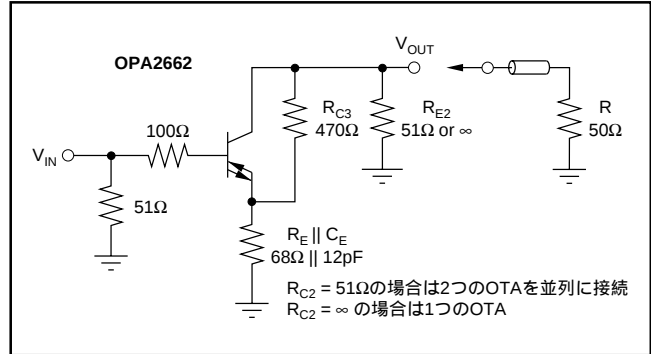


図10. 直接帰還電流ドライブの回路図

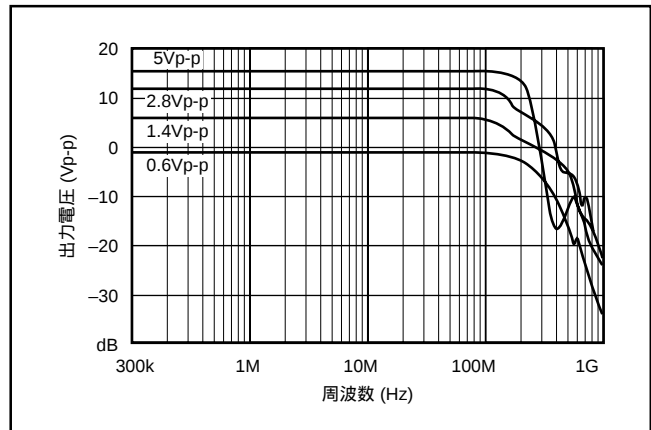


図11. 直接帰還電流ドライブの周波数応答

電流ドライブ方式における帯域幅および立ち上がり時間の2つの欠点は、両側終端に要求される高電流と出力インピーダンスに含まれる比較的大きな実効容量によるものです。高出力インピーダンスと容量はローパスフィルタを形成し、帯域幅を約200MHzに低減させます。並列のOTAの2倍の出力容量を克服するには、他に帰還ネットワークの50Ωの出力インピーダンスをエミッタに接続する方法があります。この方式の詳細を説明するのは複雑なので、別のアプリケーションノートで説明します。

伝送線の負荷抵抗側を適切に終端すると信号の反射を防止することができ、電圧ドライブの場合でも6Vp-pの電圧降下を負荷抵抗の両端に与えることが可能になります。この方法を用いると、数々のパラメータで電圧ドライブが電流ドライブを上回る性能を発揮します。

	電圧モード			電流モード		
	OLA	DFA	CFA	OLA	DFA ⁽¹⁾	単位
帯域幅						
0.6Vp-p	365	419	334	320	320	MHz
2.8Vp-p	490	462	448	312	270	MHz
5Vp-p	332	326	276	201	173	MHz
t _{RISE}	1.7	1.6	1.6	2.6	2.2	ns
t _{FALL}	2.5	2.3	2.2	6.0	5.7	ns
高調波歪						
2nd, 10MHz, 4Vp-p	-48	-49.5	-50.5	-31.4	-31	dBc
R _{LOAD} 合計	50	50	50	50	50	Ω

注 : (1)OLAは開ループ・アンプ、DFAは直接帰還アンプ、CFAは電流帰還アンプを示しています。

表 片側終端伝送路におけるライン・ドライバの性能

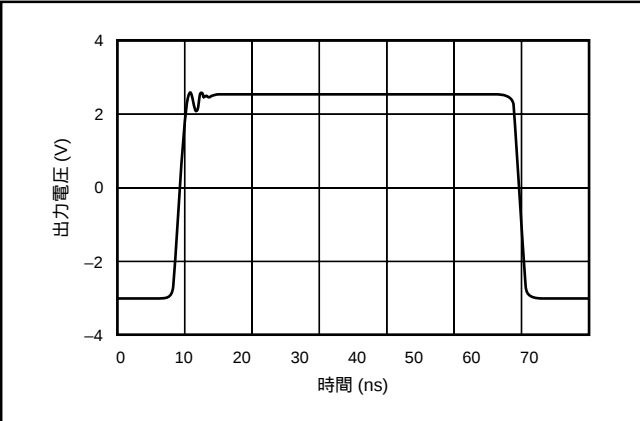


図12. 直接帰還アンプの大信号パルス応答

電圧および電流ドライブ方式において、合計負荷抵抗を50Ωとした場合の試験結果が表 に要約されています。50Ωの負荷抵抗では、単一のOTAで6.8Vp-pの出力電圧における電流を扱うことが可能です。最後に、図12で示されている電圧モードの直接帰還ドライバへの大信号パルス応答が、OPA660およびBUF601のドライブ能力を示しています。

上記の試験は、帯域幅が一番重要となるアプリケーションにおいては、負荷抵抗の最大電圧が±5Vのオペアンプで3Vp-pを越えない限り、電圧ドライブ方式が最適であるということを証明しています。3Vp-pを越える電圧範囲は±15Vの電源供給を持つオペアンプを必要としますが、現在のところ500MHzの周波数を扱うことができる±15Vのオペアンプはありません。200MHzの帯域幅、約5nsの立ち上がり/立ち下がり時間、そして負荷の両端で6Vp-p電圧降下を許容するOPA2662を使用したドライバ回路は、電力消費を著しく改善しつつ、±15Vのオペアンプを上回るドライブ能力を提供します。ここで説明したライン・ドライバ方式の周波数応答の比較は、電圧ドライブ方式にはパスバンドの端でのピーキングの傾向があり、電流ドライブ方式はわずかにロールオフすることを表しています。したがって、電流出力ドライバは過剰なピーキングを防ぎ、高浮遊容量を持つ非常に長い同軸ケーブルをドライブするときの安定性を改善します。

OPA2662およびBUF601の優れたドライブ能力、および出力電流能力が、表 そして表 の結果によって証明されています。帯域幅、立ち上がり/立ち上がり時間、および高調波歪などのパラメータは、2種類の終端方式で多少異なります。

このアプリケーションノートに記載されている情報は、信頼しうるものと考えておりますが、不正確な情報や記載漏れ等に関して弊社は責任を負うものではありません。情報の使用について弊社は責任を負えませんので、各ユーザーの責任において御使用下さい。価格や仕様は予告なしに変更される場合がありますのでご了承下さい。ここに記載されているいかなる回路についても工業所有権その他の権利またはその実施権を付与したり承諾したりするものではありません。弊社は弊社製品を生命維持に関する機器またはシステムに使用することを承認しまたは保証するものではありません。

日本バー・ブラウン株式会社

<http://www.bbj.co.jp/>

本 社 〒222-0033 横浜市港北区新横浜2-3-12 新横浜スクエアビル ☎ 045-476-7870

大阪営業所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島6-1-1 新大阪プライムタワー ☎ 06-6305-3287

(AB-191)



万一つながらない場合は、お手数ですが弊社営業部FAX045-476-7889（有料）までご送信くださるか、あるいはTELにてお問い合わせください。

©BBJ990902K