

Application Note

帯域幅が重要なパッシブ マルチプレクサの選択



概要

アナログ マルチプレクサは、多様なアプリケーションで使用されます。オーディオから高速インターフェイスやビデオ システムまで、これらの多様なアプリケーションで必要とされるマルチプレクサの性能パラメータは異なります。このアプリケーション ノートでは、どのパラメータが最も重要か、またその理由について説明しています。説明するアプリケーション固有のマルチプレクサは、以下のとおりです。

- 動画
- 高速インターフェイス USB
- HDMI
- PCIe
- ディスプレイ ポート™

目次

1 はじめに.....	2
2 主な性能パラメータ.....	2
2.1 オン抵抗 (RON) と RON の平坦性.....	2
2.2 帯域幅 (BW).....	2
2.3 信号高調波と歪み.....	3
3 高速インターフェイスおよびビデオ システムにおいてより重要なポイント.....	5
3.1 USB システム向けマルチプレクサ.....	5
3.2 高速ビデオ システム (HDMI、DisplayPort) 向けマルチプレクサ.....	6
3.3 PCIe システム向けマルチプレクサ.....	6
4 まとめ.....	6
5 参考資料.....	7
6 改訂履歴.....	8

図の一覧

図 2-1. ローパス フィルタの帯域幅.....	3
図 2-2. 異なる高調波を持つ方形波.....	4

表の一覧

表 3-1. TI の USB システム向けマルチプレクサ.....	5
表 3-2. TI のビデオ システム向けマルチプレクサ.....	6
表 3-3. TI の PCIe システム向けマルチプレクサ.....	6

商標

ディスプレイ ポート™ is a trademark of VESA.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 はじめに

アナログ マルチプレクサは、アナログ信号の特定の伝送パスを制御するために、電子システムで使用されます。これらのデバイスは、オーディオ システム、高速インターフェイス システム、ビデオ システムなどの多様なアプリケーションで使用されています。ただし、特定のアプリケーションでは、異なるパラメータに合わせてマルチプレクサを最適化する必要があります。このアプリケーション ノートでは、オン抵抗 (RON)、RON の平坦性、帯域幅など、アナログ マルチプレクサのいくつかの重要なパラメータについて説明します。以下の分野に特化したマルチプレクサについて説明します。

- 動画
- 高速インターフェイス USB
- HDMI
- ディスプレイ ポート

2 主な性能パラメータ

アプリケーションによって、重要なアナログ マルチプレクサの性能パラメータが異なります。以下に、アナログ マルチプレクサのいくつかの重要なパラメータを示します。

2.1 オン抵抗 (RON) と RON の平坦性

オン抵抗 (RON) は、ドレイン端子とソース端子の間のマルチプレクサ パスの抵抗です。これは、マルチプレクサが閉位置にあるときに、マルチプレクサによって回路に生じる抵抗です。次のように、RON に影響を及ぼす要因は多数あります。

- 温度
- 入力電圧
- 電源電圧
- ゲート幅 W

RON に関連するもう 1 つの重要な仕様は、RON の平坦性です。RON の平坦性は、マルチプレクサの動作電圧範囲全体にわたって RON がどのように変化するかを示す尺度です。RON の平坦性は、マルチプレクサの種類や設計特性によって大きく変化する可能性があります。特にオーディオ用途では、平坦性によって生じる高調波歪みを抑えるため、平坦性を低く抑える必要があります。

信号損失と伝搬遅延を小さくするために、RON をできるだけ小さくすることが理想的です。アナログ マルチプレクサで非常に低い抵抗と平坦性を実現するには、2 つのパラメータが重要です。PMOS と NMOS の両方について、サイズをできるだけ大きくし、電圧スレッショルドをできるだけ低くする必要があります。MOSFET のシリコンの幅と長さの比率 (W/L) を大きくすると、マルチプレクサのコストが増加するだけでなく、寄生容量が大きくなり、シリコン面積も大きくなります。このように寄生容量が大きくなると、歪みなくアナログ マルチプレクサを通過する帯域幅が減少します。

2.2 帯域幅 (BW)

帯域幅は、多くの電氣的システムの性能を特性評価するための重要なパラメータです。マルチプレクサの帯域幅は、最小限の減衰でマルチプレクサを通過する信号の周波数の上限を示します。この導出は、ローパス フィルタ回路に基づいており、ローパス フィルタ動作が存在するシステムの一般的なモデルとして機能します。

フィルタが顕著な減衰を引き起こさない周波数範囲をパス バンドと呼び、フィルタが大幅な減衰を引き起こす周波数範囲をストップ バンドと呼びます。RC ローパス フィルタは、パス バンドからストップ バンドに常に緩やかに遷移します。これは、フィルタが信号の通過を停止して信号のブロックを開始する 1 つの周波数の特定が不可能であることを意味します。エンジニアは、フィルタの周波数応答を簡単に要約できる方法を必要としています。ここで、カットオフ周波数の概念が重要となります。

RC ローパス フィルタのカットオフ周波数は、入力信号の振幅が 3dB 減少した周波数です (振幅の 3dB 減少は、信号振幅の 50% 減少に相当)。したがって、カットオフ周波数は -3 dB 周波数とも呼ばれます。帯域幅という用語は、フィルタのパス バンド幅を意味し、ローパス フィルタの場合、帯域幅は -3dB 周波数と等しくなります (図 2-1 に示すように)。

信号マルチプレクサの帯域幅能力を理解すると、マルチプレクサが対象アプリケーションの性能要件を満たすかどうかを判断しやすくなります。

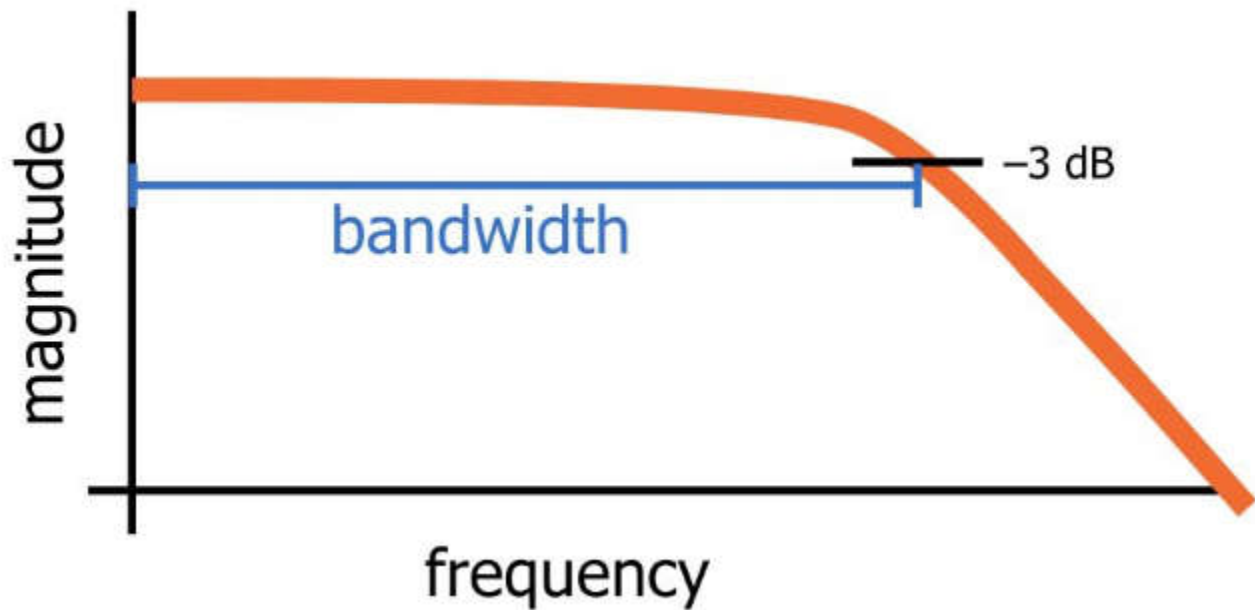


図 2-1. ローパス フィルタの帯域幅

2.3 信号高調波と歪み

システム設計者は、マルチプレクサを使用して信号配線をシンプルにし、物理的マルチプレクサが信号自体に及ぼす影響をできるだけ小さくしたいと考えています。入力信号と出力信号の形状の時間に依存する差は一般に「歪み」と呼ばれます。入力信号の周波数成分の一部がシステム帯域幅を超えると、信号のこの成分に対するシステム応答は遅れます。その結果、出力信号は、入力信号の最も速い遷移を正確には再現しません。また、出力信号は入力信号の対応する特徴よりも振幅が小さく、エッジが広がって丸くなる可能性があります。

このセクションでは、方形波に注目し、方形波の形状がどのように形成されるかについて説明します。複雑な波形は、さまざまな振幅と位相関係の正弦波 (および余弦波) から形成されます。これはフーリエ解析の基礎です。

たとえば、異なる周波数の複数の正弦波から方形波を構成できます。基本周波数に加えて追加された正弦波は、高調波と呼ばれます。方形波には、基本周波数の奇数倍の高調波があります。より高い高調波が追加されると、結果は理想的な方形波に近くなります。

高調波の振幅は $1/N$ に等しく、 N は高調波の次数 (1, 3, 5, 7...) です。各高調波は、基本波と同じ位相関係を持っています。最初の 2 つの高調波成分だけから方形波を構築すると、方形波がどのように発生するかの始まりがわかります (図 2-2 の波形 B)。図 2-2 では、赤のトレースが理想的な方形波を示し、緑のトレースが正しい振幅の N 次高調波であることを示しています。干渉周波数は、基本周波数よりもはるかに高い必要があります。システムが 3 次、5 次、またはそれ以上の高調波を通過させる必要がある場合、3dB カットオフ周波数は、これらの高調波よりも高くする必要があります (基本周波数の 3 倍、5 倍、7 倍以上)。0 次、3 次、5 次の高調波成分を使って方形波を構築すると、実際に波形 (図 2-2 の波形 C) が形成されます。方形波を形成するために 10 次高調波成分を使用する場合、理想的な方形波 (図 2-2 の波形 D) に非常に近くなります。

これらのグラフから、直流成分ではなく高周波の高調波成分が方形波の形状に関与していることが容易に理解できます。

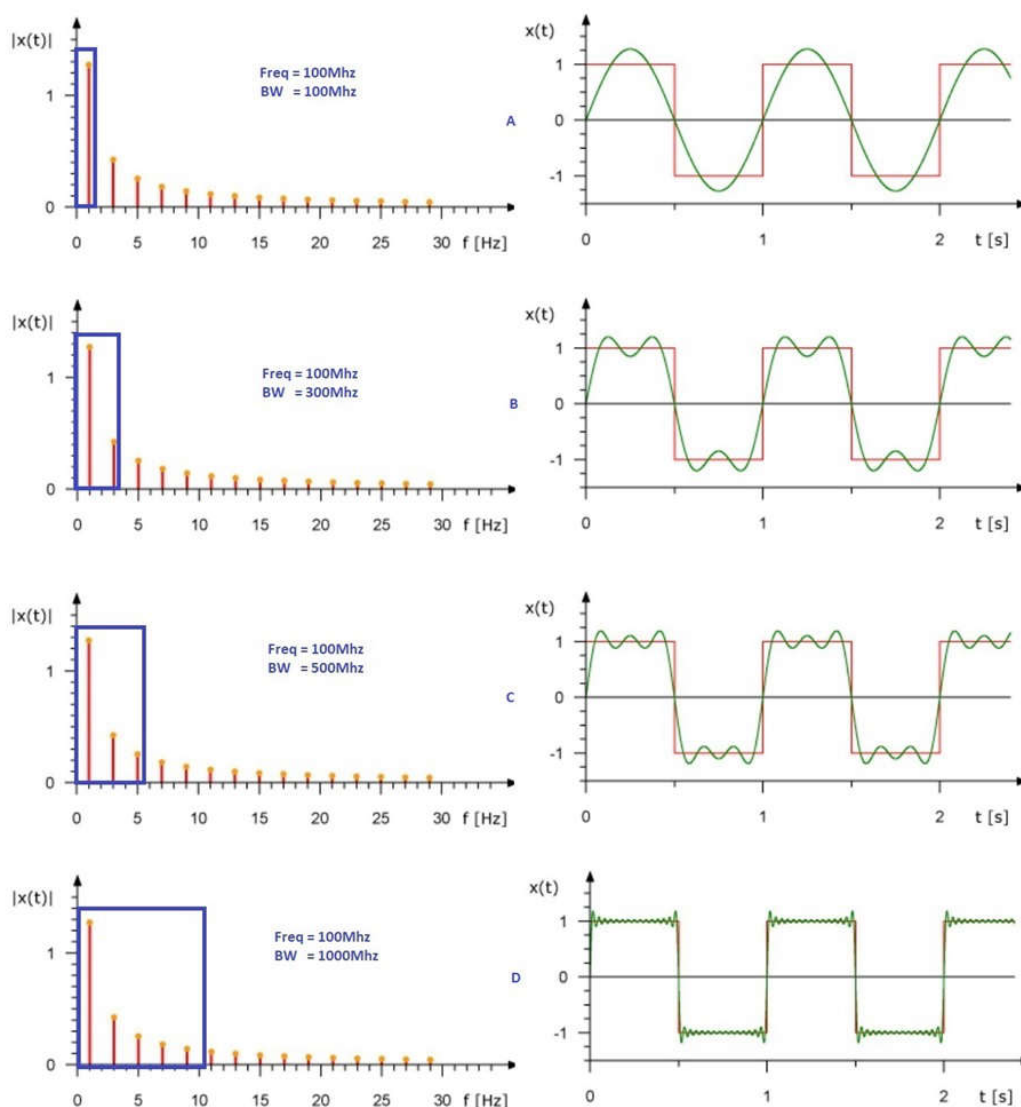


図 2-2. 異なる高調波を持つ方形波

3 高速インターフェイスおよびビデオ システムにおいてより重要なポイント

多くの場合、システム設計者は対象アプリケーションで最適な性能を実現するために、仕様間のトレードオフに直面します。高速インターフェイスおよびビデオ信号にとって、RON と BW の間のトレードオフは重要です。チップ製造プロセスにおいて RON をどれほど低く抑えられたとしても、それらは依然として不要なローパス フィルタを形成し、マルチプレクサの出力信号を減衰させます。一方、RON の小さいマルチプレクサは寄生静電容量が大きいいため、帯域幅を狭くし、信号の歪みを引き起こします。また、低 RON マルチプレクサは大きいチップサイズを必要とするため、マルチプレクサのコストが増加します。

特定のアプリケーションで使用するマルチプレクサを選択する際に、考慮する必要のあるいくつかの重要な機能があります。高速アプリケーションには、(許容される最小 3dB 帯域幅に関して) 独自の要件があります。信号マルチプレクサの帯域幅能力を理解することは、高速インターフェイスとビデオ システムを構築するうえで重要となります。

では、特定のデータレートの最小 BW はどのくらいでしょうか。理想的には、BW をナイキスト周波数の 1.5 倍または 2 倍以上にする必要があります。たとえば、USB2 (240MHz) の 1.5 倍は 360MHz ~ 480MHz です。明らかに、帯域幅が広いとエッジがシャープになりますが、BW は広げすぎると、不要な信号 (ノイズ) が通過するため、望ましくない影響が生じる可能性があります。

3.1 USB システム向けマルチプレクサ

USB は、デバイスが標準インターフェイスを介して通信できるようにする高速インターフェイスです。複数の USB デバイスを 1 つのコンピュータに接続でき、アナログ マルチプレクサを使用して USB 信号をさまざまなデバイスまたはポートにルーティングできます。最新の USB アプリケーションのほとんどは、USB インターフェイス経由でポータブル デバイスを充電しています。USB 2.0 および USB 3.1 仕様の高速信号では、広帯域幅で低容量のアナログ マルチプレクサが必要になります。

USB2 HS のナイキスト周波数は 240MHz、USB3 SS Gen1 では 2.5GHz、USB3 Gen2 では 5GHz です。USB 準拠試験に合格するには、適切なマルチプレクサを選択することが非常に重要です。TI が USB アプリケーション向けに提供している一部のアナログ マルチプレクサについては、表 3-1 を参照してください。

表 3-1. TI の USB システム向けマルチプレクサ

部品	機能	Ron (Ω)	帯域幅 (MHz)	電源電圧 (V)	OVP (V)	ESD	システム
TS3USB31E	SPST	6.5	1100	2.25 ~ 4.3	x	HBM 8 kv	USB2 HS
TS3USB30E	SPDT	6	900	3 ~ 4.3	x	HBM 8 kv	USB2 HS
TS3USB221	SPDT	3	1100	2.6 ~ 3.6	x	HBM 2 kv	USB2 HS
TS3USB221A	SPDT	3	900	2.6 ~ 3.6	x	HBM 7 kv	USB2 HS
TMUXHS221	SPDT	3	3300	3-3.6	x	HBM 5 kv	USB2 HS
TMUXHS221F	SPDT	5.6	1500	1.62-5.5	30	HBM 2 kv	USB2 HS
TS5USBC41	SPDT	5.6	1200	2.3 ~ 5.5	20/24	HBM 2 kv	USB2 HS
TS3USB3000	SPDT	5.7	6100	2.3 ~ 4.8	9	HBM 3.5 kv	USB2 HS
TS3USB3031	SP3T	4.5	6500	2.5 ~ 4.3	x	HBM 2 kv	USB2 HS
HD3SS3212	SPDT	5	8000	3 ~ 3.6	x	HBM 2 kv	USB3.1 SS Gen1/2
TMUXHS4212	SPDT	5	13000	3 ~ 3.6	x	HBM 2 kv	USB3.1 SS Gen2/3
HD3SS3411	SPDT	5	7500	3 ~ 3.6	x	HBM 2 kv	USB3.1 SS Gen1/2
TMUXHS4446	SPDT / クロスポイント	5	9500	3-3.6	x	HBM 2kv	USB3.1 SS Gen1/2、USBC DP alt モード

3.2 高速ビデオ システム (HDMI、DisplayPort) 向けマルチプレクサ

HDMI と DisplayPort は、HDMI または DisplayPort のソース デバイスから、互換性のあるコンピュータ モニタ、ビデオ ゲーム コンソール、HDTV に非圧縮ビデオ データを送信するための高速ビデオ インターフェイスです。HDMI 信号と DisplayPort 信号は、赤、緑、青 (RGB) ビデオ用の 4 つの低電圧差動信号 (LVDS) ペアで構成されます。理想的な HDMI および DisplayPort マルチプレクサには、画質低下を防止するため、高帯域幅の 4 つの 1:2 または 2:1 マルチプレクサ差動ペアが含まれています。

HDMI 2.0 のナイキスト周波数は 3GHz で、DP1.4 では 4GHz です。TI が HDMI および DisplayPort ビデオ アプリケーション向けに提供しているアナログ マルチプレクサについては、表 3-2 を参照してください。

表 3-2. TI のビデオ システム向けマルチプレクサ

部品	機能	Ron (Ω)	帯域幅 (MHz)	電源電圧 (V)	OVP (V)	ESD	システム
HD3SS215	SPDT	8	7000	3 ~ 3.6	x	HBM 1.5 kv	HDMI2.0/DP1.2
HD3SS214	SPDT	8	8000	3 ~ 3.6	x	HBM 2 kv	DP1.4
TS3DV642	SPDT	8.2	6900	2.6 ~ 4.5	x	HBM 2 kv	HDMI2.0/DVI
TMUXHS4512	SPDT	8.8	13000	1.62-1.98	x	HBM 1.5 kv	HDMI2.1/ DP2.1
TMUXHS4612	SPDT	8	10000	3 ~ 3.6	x	HBM 2kV	HDMI2.1/ DP2.1

3.3 PCIe システム向けマルチプレクサ

PCIe (Peripheral Component Interconnect Express) は、システム プロセッサと GPU、SSD、SmartNIC などの他のコンポーネント間のインターフェイスに使用する高速通信プロトコルです。PCIe プロトコルでは、信号レーンを差動ペアに分割して、データを送受信します。1 つの PCIe レーンは 4 本のワイヤで構成され、 $\pm$ TX (送信ペア) と $\pm$ RX (受信ペア) の 2 つのペアに分割されます。PCIe 信号処理に理想的なマルチプレクサは、信号性能を向上させるために高い定格帯域幅を持つ 1:2 または 2:1 構成です。

マルチプレクサ製品ラインアップには、最近の TMUXHS5212 の開発を含め、PCIe Gen 5 までをサポートする設計を採用したデバイスがあります。

表 3-3. TI の PCIe システム向けマルチプレクサ

部品	機能	Ron (Ω)	帯域幅 (MHz)	電源電圧 (V)	OVP (V)	ESD	システム
HD3SS3212	SPDT	5	8000	2.7 ~ 3.6	x	HBM 2 kv	PCIe Gen 2/3
HD3SS3412	SPDT	5	8000	3-3.6	x	HBM 4 kv	PCIe Gen 2/3
TMUXHS4212	SPDT	5	13000	1.71 ~ 3.6	x	HBM 2 kv	PCIe Gen 4
TMUXHS4412	SPDT	5	13000	1.71 ~ 3.6	x	HBM 2 kv	PCIe Gen 4
TMUXHS5212	SPDT	5	18000	1.65 ~ 1.95	x	HBM 1 kv	PCIe Gen 5

4 まとめ

多くの場合、アナログ マルチプレクサの帯域幅仕様が規定されています。これは、マルチプレクサが時変信号のすべての周波数を通過させるわけではないことを示しています。このシステムを通過するアナログ信号は減衰します。システム設計者は対象アプリケーションで最適な性能を実現するために、仕様間のトレードオフに直面します。このアプリケーションノートでは、高速インターフェイスおよびビデオ システムにおける RON と BW の重要性について相対的な説明を行います。

5 参考資料

6 改訂履歴

Changes from Revision A (July 2024) to Revision B (August 2026)	Page
---	------

- | | |
|--------------------------------------|-------------------|
| • 参考資料 セクションを追加..... | 7 |
|--------------------------------------|-------------------|
-

Changes from Revision * (September 2019) to Revision A (July 2024)	Page
--	------

- | | |
|---------------------------------------|-------------------|
| • セクション 3.1 を更新。..... | 5 |
| • セクション 3.2 を更新。..... | 6 |
-

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含みいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、TI は一切の責任を拒否します。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](https://www.ti.com) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月