

高速差動インターフェース用 64GT/s Mux/De-Mux バススイッチ TDS5B212MX、TDS5C212MX アプリケーションノート

概要

本資料は、高速差動インターフェース用 Mux(マルチプレクサー)/De-Mux(デマルチプレクサー) バススイッチ TDS5B212MX、TDS5C212MX をご使用いただく際のガイドラインと注意事項を解説します。推奨トランスファーレートは 1~64GT/s、PCIe® 6.0、PCIe® 5.0、CXL 3.0、USB4® Version2、Thunderbolt™5、DisplayPort™ 2.0 などのインターフェースに使用できます。

目次

内容

1. はじめに	5
2. TDS5B212MX、TDS5C212MX の概要	6
2.1. 基本仕様	6
2.2. 端子配置	7
2.3. 機能	8
2.4. Mux/De-Mux 機能を有するアクティブスイッチ（リドライバー、リタイマー）との違い	9
3. 高周波特性・アイパターン	10
3.1. 評価に使用した評価基板	10
3.2. 高周波特性評価結果	11
3.3. アイパターンとは	12
3.4. PCIe6 アイパターン評価結果	13
3.5. PCIe5 アイパターン評価結果	14
3.6. USB4 Version2 アイパターン評価結果	15
3.7. USB4 アイパターン評価結果	16
4. 設計上の注意事項	17
4.1. スイッチ I/O の使用可能電圧	17
4.2. データ信号の接続	18
4.3. 信号ピンの内部構造	19
4.4. 参考パッド寸法	20
4.5. AC カップリング	21
5. アプリケーション	25
5.1. 使用可能インターフェース	25
5.2. PCIe 使用例	26
5.3. USB Type-C 使用例	27
5.4. USB ハブおよびドッキングステーションでの使用例	28
5.5. カスケード接続(多段接続)による 1:4 Mux/De-Mux としての使用例	29

5.6. 半導体テスターにおけるループバック回路と ATE 間の切り替えでの使用例	31
6. まとめ.....	32
製品取り扱い上のお願い.....	33

図目次

図 1 ブロックダイアグラム	6
図 2 パッケージ寸法図 (unit : mm).....	6
図 3 ピン配置図(Top View) 左 : TDS5B212MX 右 : TDS5C212MX.....	7
図 4 TDS5B212MX、TDS5C212MX の配線例	7
図 5 2 種のインターフェース間でのパッシブスイッチを用いた切り替え例	9
図 6 高周波特性・アイパターン評価に用いた評価基板.....	10
図 7 カスケード接続評価で用いた評価基板	10
図 8 TDS5B212MX、TDS5C212MX 差動挿入損失-周波数.....	11
図 9 左 : 理想的なアイパターン 右 : 一般的な差動信号のアイパターン.....	12
図 10 アイパターン上の代表的な測定値	12
図 11 PCIe6 スルー基板評価結果.....	13
図 12 PCIe6 TDS5B212MX 評価結果	13
図 13 PCIe6 TDS5C212MX 評価結果	13
図 14 PCIe5 スルー基板 評価結果.....	14
図 15 PCIe5 TDS5B212MX 評価結果	14
図 16 PCIe5 TDS5C212MX 評価結果	14
図 17 USB4 Version2 スルー基板 評価結果	15
図 18 USB4 Version2 TDS5B212MX 評価結果	15
図 19 USB4 Version2 TDS5C212MX 評価結果.....	15
図 20 USB4 スルー基板 評価結果.....	16
図 21 USB4 TDS5B212MX 評価結果.....	16
図 22 USB4 TDS5C212MX 評価結果.....	16
図 23 スイッチ I/O における絶対最大定格と動作範囲の関係	17
図 24 Mux としての使用例	18
図 25 De-Mux としての使用例	18
図 26 端子名と逆の極性の信号を伝送させる際の使用例.....	18

図 27 TDS4 series の内部回路	19
図 28 TDS5 series の内部回路	19
図 29 XQFN16 パッケージの参考パッド寸法	20
図 30 AC カップリングコンデンサー配置例	21
図 31 コンデンサーが Mux/De-Mux とデバイスの間に配置されている配置例	22
図 32 コンデンサーが TX と Mux/De-Mux の間に配置されている配置例	23
図 33 コンデンサーが Mux/De-Mux の両側に配置されている配置例	24
図 34 Mux/De-Mux PCIe 使用例	26
図 35 Mux/De-Mux USB Type-C 使用例	27
図 36 USB ハブ、ドッキングステーションの接続先を Mux/De-Mux を使用して 2 台の PC 間で切り替える使用例	28
図 37 USB ハブ、ドッキングステーション内の HDMI、DisplayPort 間の信号を Mux/De-Mux で切り替える例	28
図 38 TDS5B212MX、TDS5C212MX x3 デバイスでカスケード接続した際の 2ch 1:4 Mux/De-Mux	29
図 39 TDS5B212MX、TDS5C212MX カスケード接続時の差動挿入損失-周波数	30
図 40 半導体テスターにおけるループバック回路と ATE 間の切り替えでの使用例	31

表目次

表 1 ポート接続とコントロール入力論理 (n = 0、1)	8
表 2 TDS5B212MX、TDS5C212MX の高周波特性 (Typ.)	11
表 3 PCIe6 アイパターン評価結果詳細	13
表 4 PCIe5 アイパターン評価結果詳細	14
表 5 USB4 Version2 アイパターン評価結果詳細	15
表 6 USB4 アイパターン評価結果詳細	16
表 7 スイッチ I/O 電圧条件抜粋 (詳細はデータシートをご参照ください。)	17
表 8 カスケード接続による 2ch 1:4 Mux/De-Mux の真理値表	29
表 9 カスケード接続時 TDS5B212MX、TDS5C212MX 高周波特性実測値	30

1. はじめに

近年、PCやサーバーなどをはじめとする電子機器にPCIe、USB、Thunderboltなどの高速通信インターフェースが幅広く採用されCPU、周辺チップ、グラフィックボード、周辺機器、サーバー、テスターなどの接続や拡張に使用されています。

しかし、通信速度の向上に伴い周波数が高くなると、伝送経路上での信号の損失が生じやすくなります。この損失は基板配線を信号が通過するだけでも生じ、回路設計においても損失を低減させる設計を行う必要があります。

そのため、差動インターフェースの拡張時に使用されるMux/De-Muxも、高周波で低損失な製品が求められています。今回、当社ではPCIe 6、PCIe 5、USB4、Thunderbolt 5などに使用できる高周波で低損失の2:1 Mux/1:2 De-Mux バススイッチTDS5B212MX、TDS5C212MXを開発致しました。

本資料ではTDS5B212MX、TDS5C212MXを使用したアプリケーション例、基板設計上の注意点などを説明します。

2. 概要

この章では、TDS5B212MX および TDS5C212MX の基本仕様、端子構成、機能について説明します。

両製品の共通点および端子配置の違いを整理し、システム構成や基板レイアウト検討時にどちらのデバイスを選択すべきかを判断するための基礎知識を提供します。

また、パッシブスイッチである本製品とアクティブスイッチであるリドライバー、リタイマーの違いについても説明します。

2.1. 基本仕様

TDS5B212MX、TDS5C212MX は高速差動タイプの 2:1 Mux(マルチプレクサー)/1:2 De-Mux(デマルチプレクサー) バススイッチです。1 製品で差動 2ch に対応しており、送受信を合わせ 1 レーン分 (TX±, RX±) の差動信号を切り替えることができます。TDS5B212MX と TDS5C212MX は機能仕様および電気的特性が共通で、端子配置と高周波特性のみが異なります。

本製品は、当社独自の SOI プロセス「TarSOI™」を採用することで、優れた高周波特性を実現しています。-3 dB バンド幅は TDS5B212MX で 29 GHz、TDS5C212MX で 34 GHz に達し、低損失かつ広帯域な差動挿入損失特性を備えています。

こうした優れた高周波特性と広い電気的動作範囲を合わせ、下記のような多くの高速データプロトコルで使用することができます。推奨トランスファースピードは 1~64GT/s であり、PCIe 6.0 を含む高速インターフェースをサポートします。

- PCIe® 系列 : PCIe 6.0 / 5.0 / 4.0 / 3.0
- CXL™ 系列 : CXL 3.0 / 2.0 / 1.0
- USB 系列 : USB4® Ver.2 / USB4® / USB3.2 Gen2×1 / Gen1×1
- Thunderbolt™ 系列 : Thunderbolt 5 / 4 / 3 / 2
- DisplayPort™ 系列 : DisplayPort 2.0 / 1.4 / 1.3 / 1.2

さらに、パッケージには小型の XQFN16(1.6 × 2.4 mm)を用いており、実装基板の小型化に貢献します。

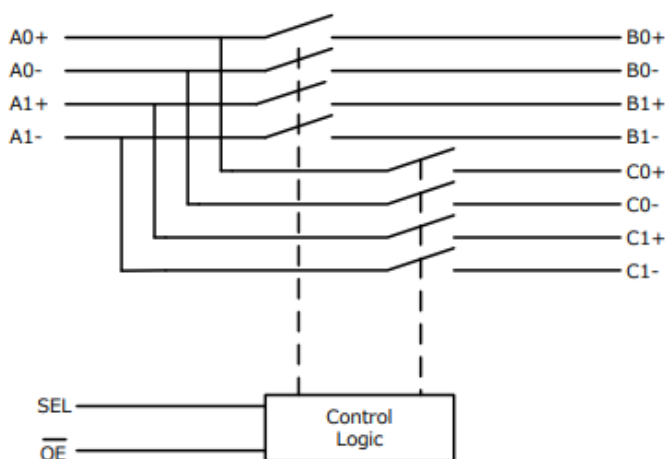


図 1 ブロックダイアグラム

(TDS5B212MX、TDS5C212MX で共通)

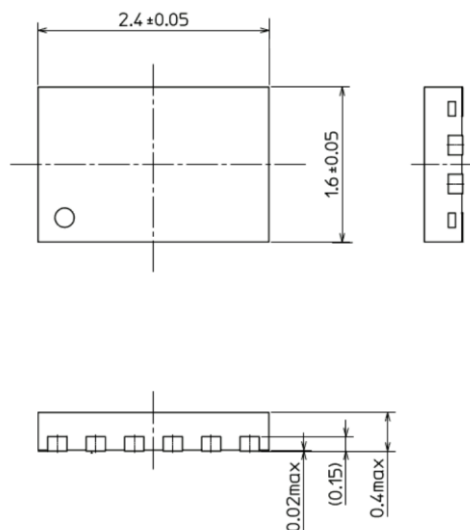


図 2 パッケージ寸法図 (unit : mm)

(TDS5B212MX、TDS5C212MX で共通)

2.2. 端子配置

TDS5B212MXとTDS5C212MXは、機能は同じですが、端子配置が異なります。

TDS5B212MXは、既存TDS4B212MX（32Gbps 2:1 Mux/De-Mux）と同じ端子配置を採用しており、

TDS5C212MXは、高周波特性を最適化した端子配置でTDS5B212MXより広いバンド幅を実現しました。

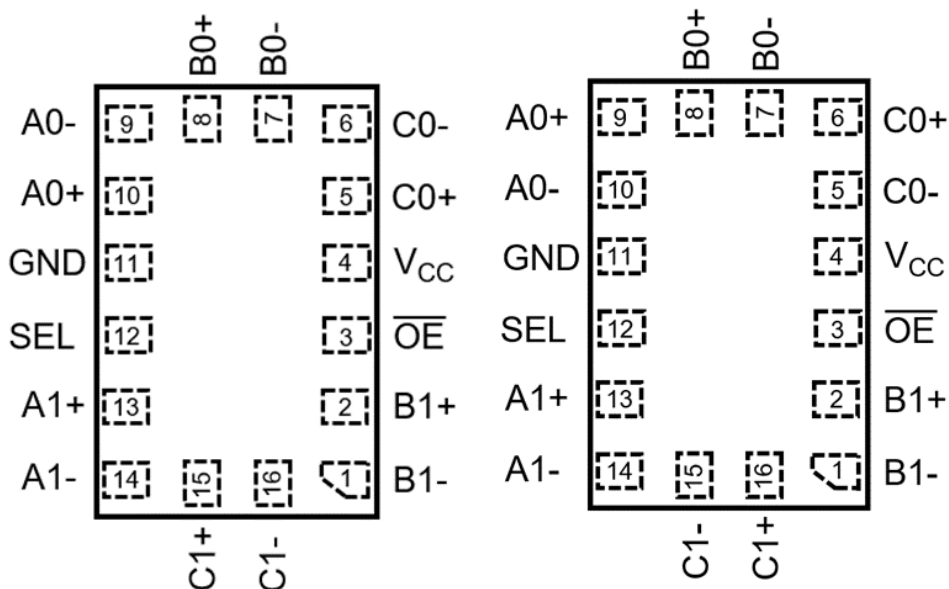


図 3 ピン配置図(Top View) 左 : TDS5B212MX 右 : TDS5C212MX

図 4 は System A を System B と System C 間に切り替えて接続するために TDS5B212MX、TDS5C212MX を使用している例です。

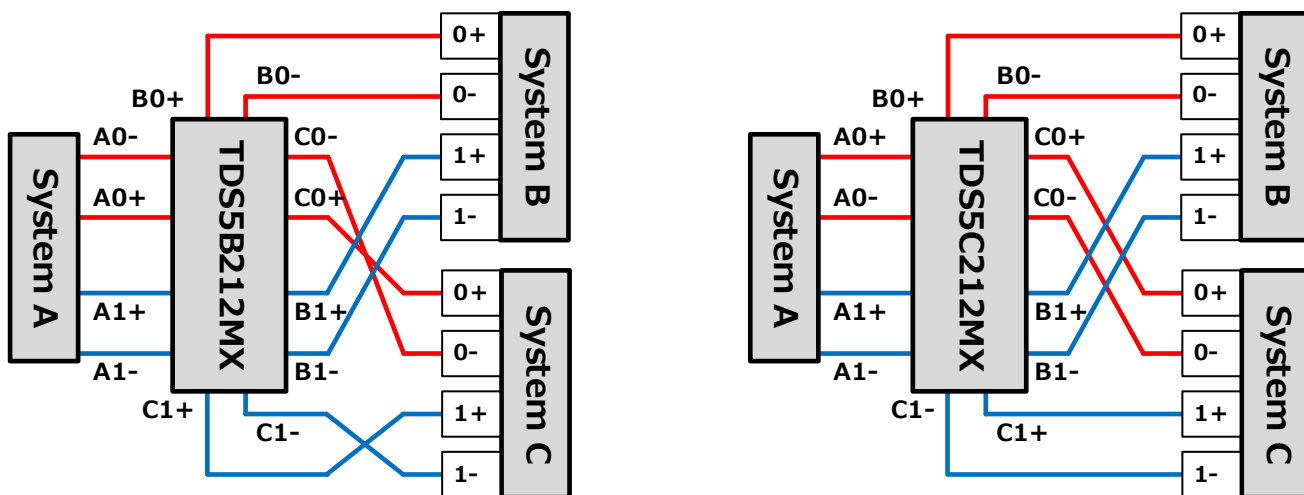


図 4 TDS5B212MX、TDS5C212MX の配線例

2.3. 機能

TDS5B212MX、TDS5C212MX は SEL と $\overline{OE}$ の組み合わせによって、A ポートの接続先を B ポートか C ポートのどちらかに選択して、接続したポート間で差動信号を双方向に伝達できます。

$\overline{OE}$ をローレベル(L)にするとアクティブモードになり、SEL をローレベル(L)にすることで A ポートと B ポートが接続され、SEL をハイレベル(H)にすることで A ポートと C ポートが接続されます。

$\overline{OE}$ をハイレベル(H)にするとスタンバイモードになり、SEL とは無関係に全ポートが非接続になります。

表 1 ポート接続とコントロール入力論理 (n = 0, 1)

Input $\overline{OE}$	Input SEL	Function (n = 0, 1)
L	L	An+ Port = Bn+ Port, An- Port = Bn- Port
L	H	An+ Port = Cn+ Port, An- Port = Cn- Port
H	Don't care	An, Bn and Cn Port Disconnect

2.4. Mux/De-Mux 機能を有するアクティブスイッチ（リドライバ、リタイマー）との違い

い

高速差動インターフェース向けのスイッチには、大きくアクティブスイッチとパッシブスイッチの 2 種類があります。

リドライバやリタイマーはアクティブスイッチに分類され、内部で信号を一度受信したうえで、挿入損失やジッターを補正・再整形し、再出力する構造となっています。このため、信号品質の改善が可能である一方、内部処理に伴う応答の遅れ（レイテンシー）や消費電力が発生します。Mux/De-Mux 機能を備えたリドライバやリタイマーも、同様にアクティブスイッチに含まれます。

一方、TDS5B212MX および TDS5C212MX はパッシブスイッチに分類され、信号の補正や再生成を行わず、差動信号を電氣的にそのまま接続・切り替えます。信号は再整形処理を伴わずにデバイス内部を通過するため、レイテンシーを最小限に抑えた経路切り替えが可能です。また、プロトコルや物理層に依存しないトランスパレント（信号の規格や条件に依存せず、そのまま透過させる）な構造であるため、PCIe や USB など異なる高速差動インターフェースの切り替えにも対応可能であり、多様なシステムにおいて柔軟な Mux/De-Mux の実装を実現します。

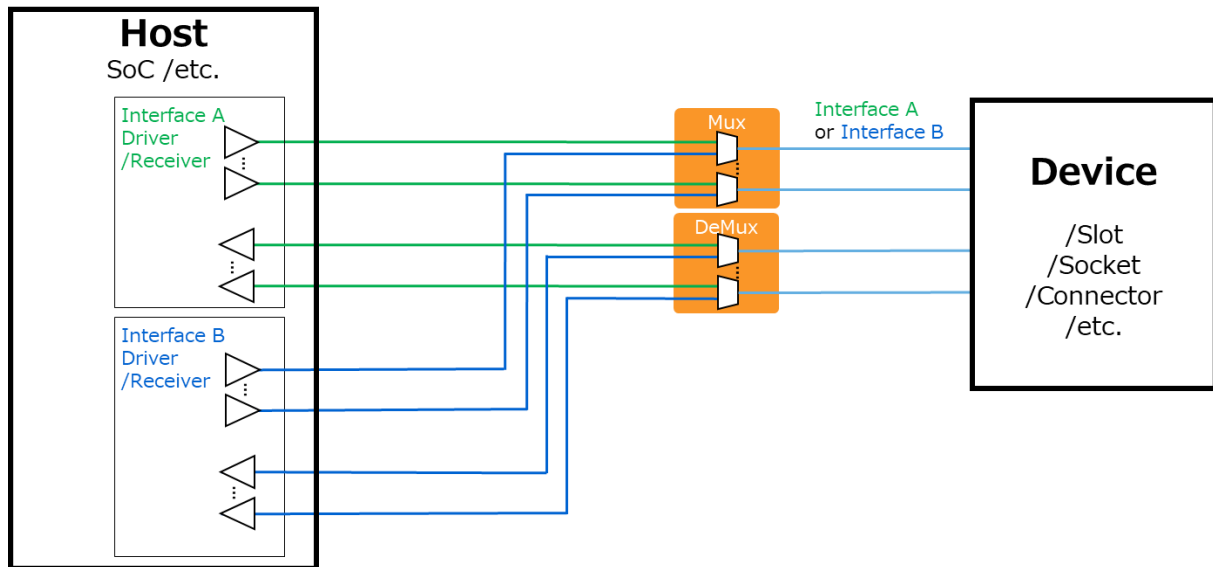


図 5 2 種のインターフェース間でのパッシブスイッチを用いた切り替え例

さらに、本製品は消費電流が非常に低く、リドライバやリタイマーを必要としない短距離（近接）での Mux/De-Mux 用途において有効です。

このように、アクティブスイッチが信号品質の補正を目的とするのに対し、パッシブスイッチは既に信号品質が確保されている系において、経路選択をシンプルに実現する用途に適しています。

3. 高周波特性・アイパターン

高周波特性とアイパターンは高速差動信号向けバススイッチにとって重要な特性です。

この章では TDS5B212MX, TDS5C212MX の高周波特性とアイパターンの評価結果を記載しています。

3.1. 評価に使用した評価基板

高周波特性およびアイパターン評価は、TDS5B212MX および TDS5C212MX をそれぞれ実装した評価基板を用いて実施しました。高速伝送信号の損失は、基板上の伝送線路および TDS5B212MX または TDS5C212MX を通過する際に発生します。そのため、製品を実装した評価基板（製品実装基板）の評価データから伝送線路由来の損失成分を差し引くディエンベッド処理を行い、製品単体の特性を抽出しました。

また、アイパターンについては、製品単体の特性が差動信号に与える影響を確認するため、スルー基板の評価データに対しても同様にディエンベッド処理を行い、「スルー基板」としてのアイパターンデータを併せて示しました。

なお、評価基板の材料は MEGTRON6 を使用しています。評価基板とケーブルの接続には、1.95 mm コネクター（V コネクター）を使用しました。本評価基板は、製品を含む配線長が最短となるよう設計されているため、A0±ポートと C0±ポート間の測定に限定されます。

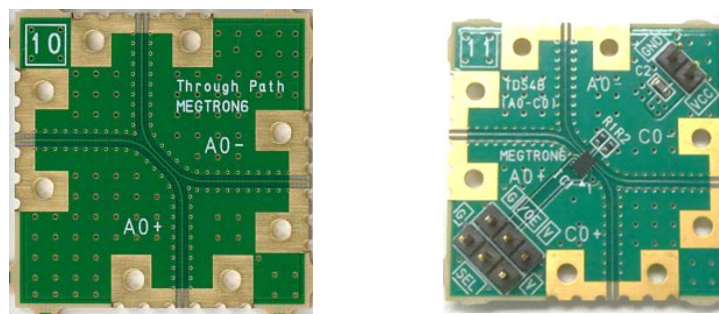


図 6 高周波特性・アイパターン評価に用いた評価基板

（左：スルー基板 右：TDS5B212MX, TDS5C212MX 評価基板）

また、後述の[カスケード接続での評価結果](#)には、下図のように 1 枚に 2 デバイスを搭載可能な評価基板を使用しました。

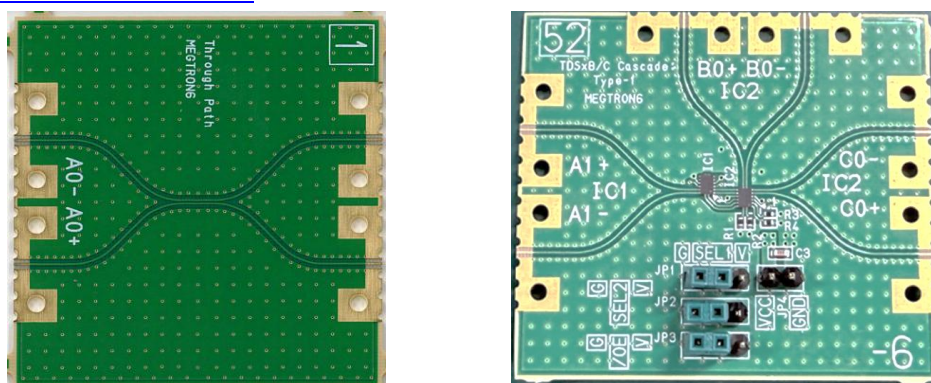


図 7 カスケード接続評価で用いた評価基板

（左：スルー基板 右：カスケード接続評価基板）

3.2. 高周波特性評価結果

TDS5B212MX, TDS5C212MX の高周波特性は、-3dB バンド幅 (Typ.) が 29GHz, 34GHz と高く、高い周波数でもロスが小さいことが特長です。

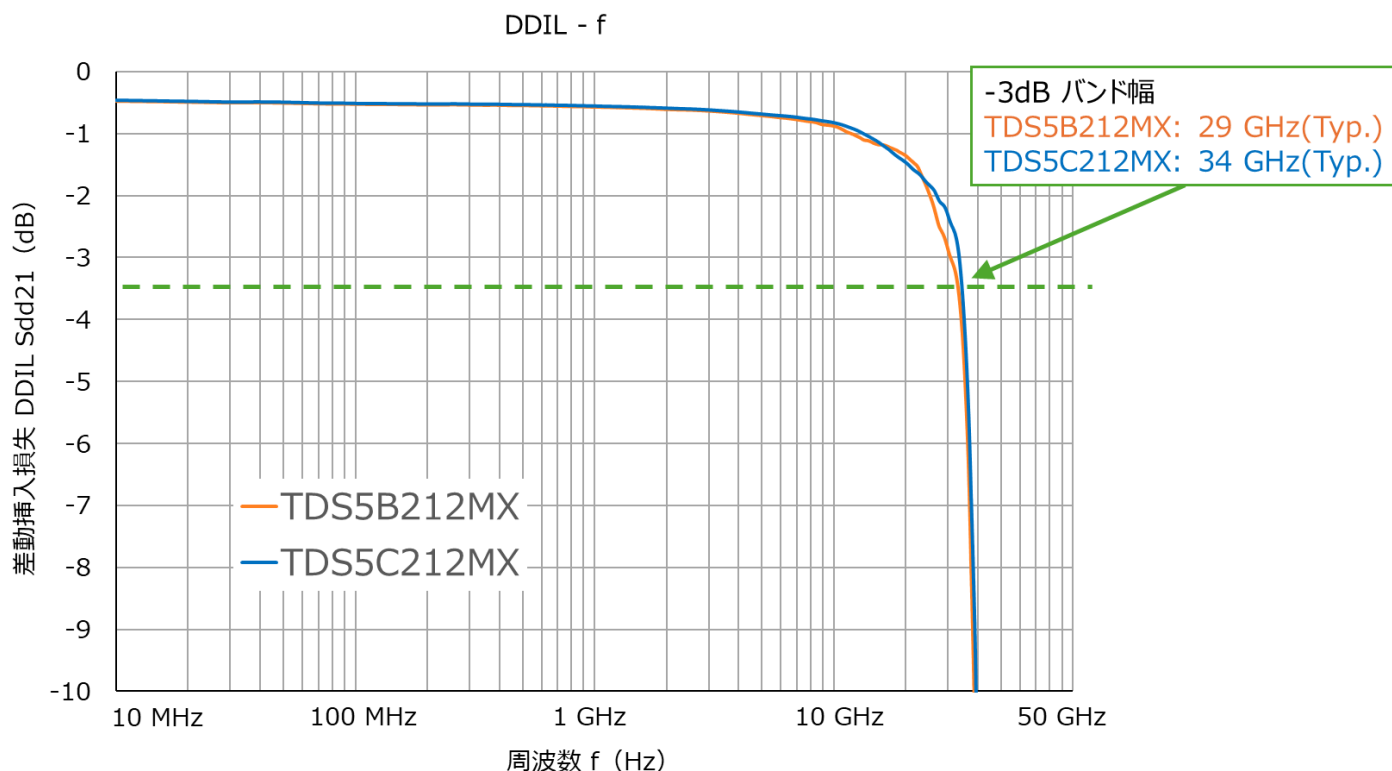


図 8 TDS5B212MX, TDS5C212MX 差動挿入損失-周波数

表 2 TDS5B212MX, TDS5C212MX の高周波特性 (Typ.)

高周波特性 (Typ.)		TDS5B212MX	TDS5C212MX
-3dB バンド幅		29 GHz	34 GHz
差動挿入損失 DDIL S _{dd21}	f = 2.5 GHz	-0.6 dB	-0.6 dB
	f = 4.0 GHz	-0.7 dB	-0.7 dB
	f = 5.0 GHz	-0.7 dB	-0.7 dB
	f = 8.0 GHz	-0.8 dB	-0.8 dB
	f = 10.0 GHz	-0.9 dB	-0.9 dB
	f = 12.8 GHz	-1.1 dB	-1.1 dB
	f = 16.0 GHz	-1.2 dB	-1.2 dB

3.3. アイパターンとは

アイパターンを使用することで、信号の伝送波形を視覚的に判断することができます。アイパターンは、信号波形を 1 ビットごとに切り取って重ねて表示した波形図であり、目のような形になることからこのように呼ばれています。アイパターンは信号の解析において有用な手段です。半導体デバイスや通信システム、基板の設計、テストでの信号の健全性を判断できます。

一般的に差動信号で用いられる NRZ(Non Return to Zero)では振幅が一定で、立ち上がり時間と立ち下がり時間が短いアイパターンが理想的な波形となります。しかし、現実には信号の減衰やノイズなどの影響を受けるため、アイの開きが狭くなるとともに、立ち上がり時間、立ち下がり時間が大きくなるなどの劣化があります。このような劣化は減衰やノイズが大きいほど顕著に現れるので、アイの波形から差動信号の波形の品質を評価することができます。

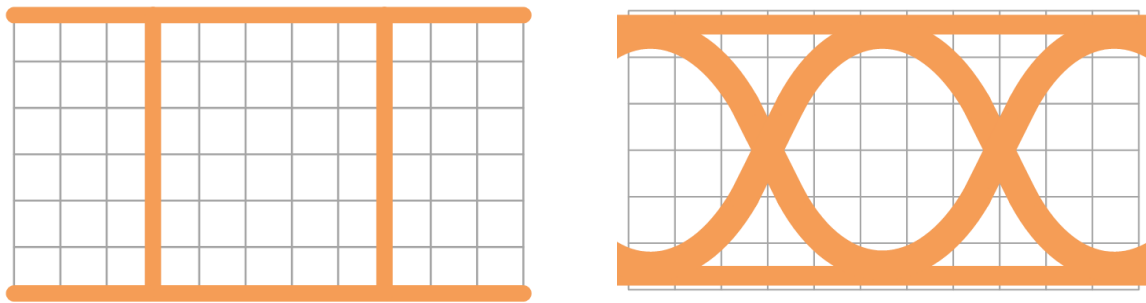


図 9 左：理想的なアイパターン 右：一般的な差動信号のアイパターン

アイパターン 1 つは 1 ビットに相当し、この範囲のことを UI と言います。以下では、アイパターンにおける評価項目を解説します。

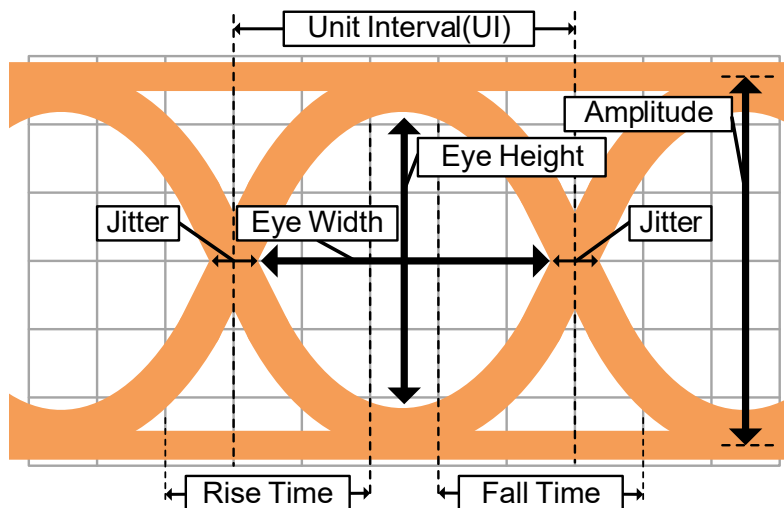


図 10 アイパターン上の代表的な測定値

Eye Height : Eye Height は垂直方向のアイの開き度合いです。Eye Height が大きいほうが良好なアイパターンです。

Eye Width : Eye Width は水平方向のアイの開き度合いです。Eye Width が大きいほうが良好なアイパターンです。

Jitter(ジッター) : ジッターは立ち上がりと立ち下りの交差点における立ち上りのエッジと立ち下りのエッジの時間差、視覚的には交差点での水平方向の線の太さを示します。Jitter および TJ(Total Jitter)が小さいほうが良好なアイパターンです。

次ページ以降で各インターフェースにおけるアイパターンの評価結果を示します。

3.4. PCIe6 アイパターン評価結果

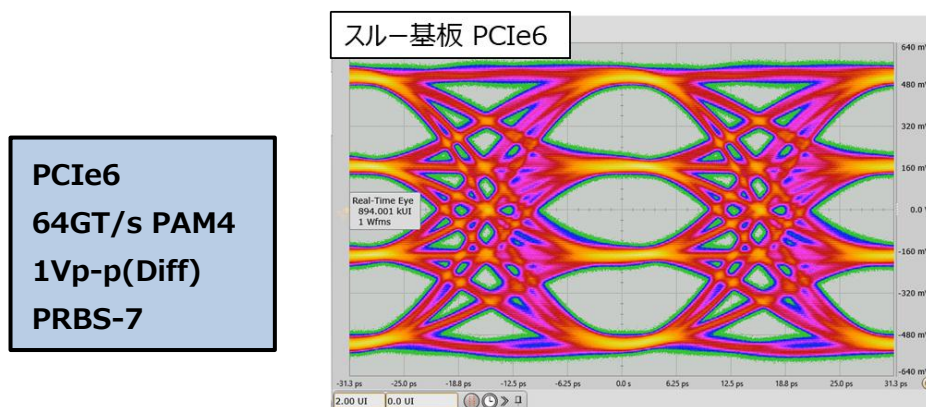


図 11 PCIe6 スルー基板評価結果

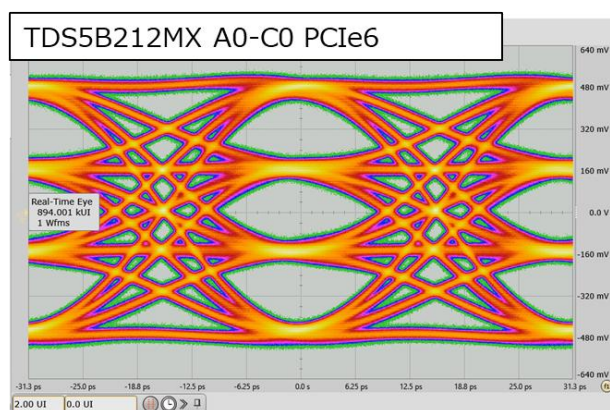


図 12 PCIe6 TDS5B212MX 評価結果

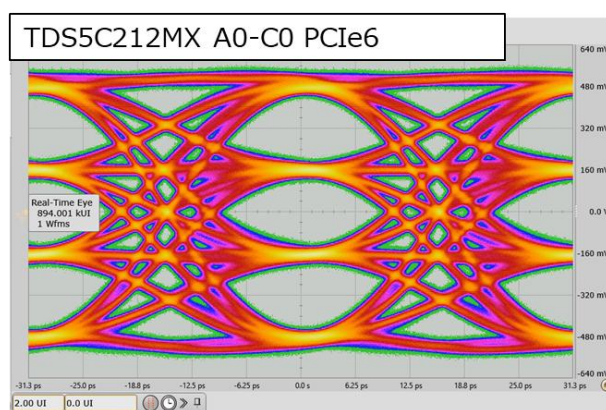


図 13 PCIe6 TDS5C212MX 評価結果

表 3 PCIe6 アイパターン評価結果詳細

評価内容	Eye	Eye Height (mV)	Δ Eye Height (mV)	Eye Width (ps)	Δ Eye Width (ps)	TJ (ps)	Δ TJ (ps)
スルー基板	Low	231	-	14.36	-	18.94	-
	Middle	243	-	16.99	-	14.83	-
	High	241	-	14.65	-	18.51	-
TDS5B212MX	Low	191	-40	12.74	-1.61	20.56	1.62
	Middle	205	-38	15.82	-1.17	15.96	1.13
	High	180	-61	12.26	-2.39	20.57	2.06
TDS5C212MX	Low	214	-17	12.70	-1.66	19.87	0.93
	Middle	219	-24	16.41	-0.59	15.72	0.89
	High	214	-27	13.53	-1.12	19.47	0.95

3.5. PCIe5 アイパターン評価結果

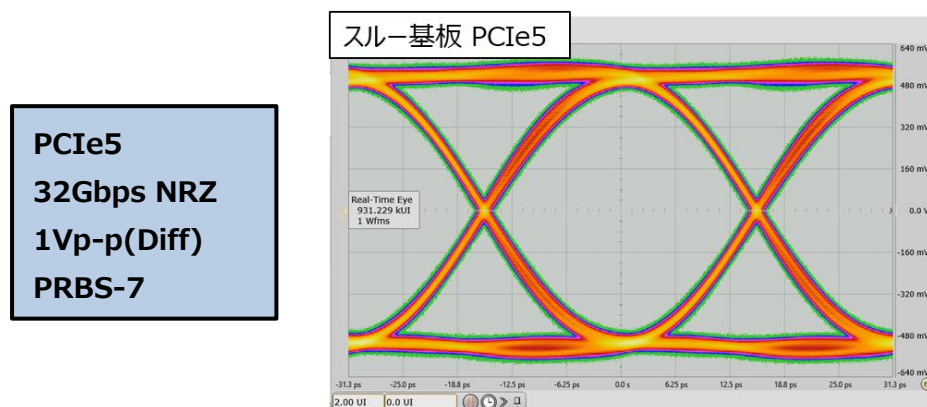


図 14 PCIe5 スルー基板 評価結果

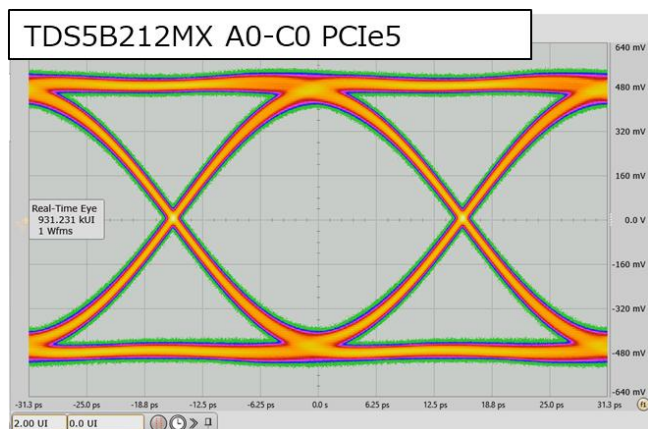


図 15 PCIe5 TDS5B212MX 評価結果

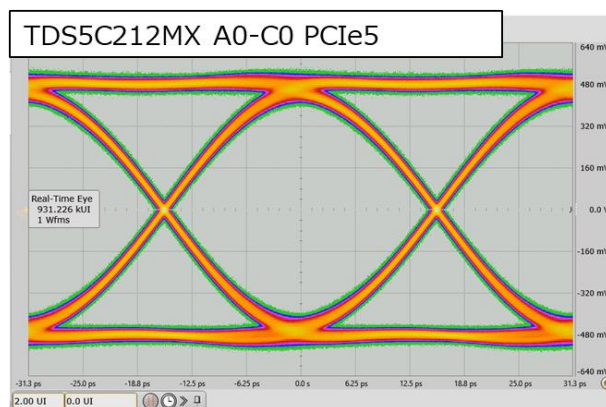


図 16 PCIe5 TDS5C212MX 評価結果

表 4 PCIe5 アイパターン評価結果詳細

評価内容	Eye Height (mV)	Δ Eye Height (mV)	Eye Width (ps)	Δ Eye Width (ps)	TJ (ps)	Δ TJ (ps)
スルー基板	844	-	28.42	-	4.08	-
TDS5B212MX	725	-119	29.00	-0.59	3.87	0.21
TDS5C212MX	714	-130	28.76	-0.34	3.93	0.16

3.6. USB4 Version2 アイパターン評価結果

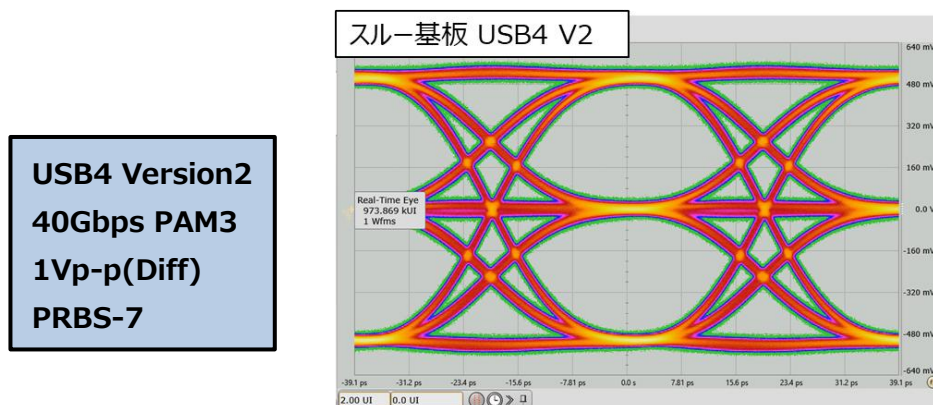


図 17 USB4 Version2 スルー基板 評価結果

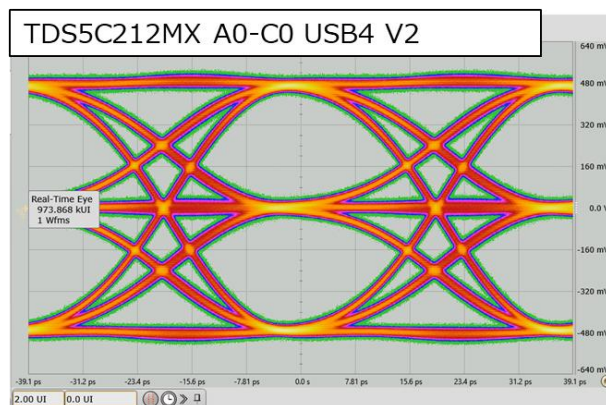
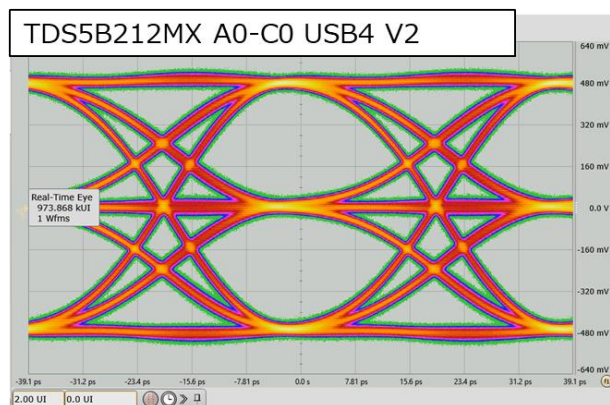


図 18 USB4 Version2 TDS5B212MX 評価結果

図 19 USB4 Version2 TDS5C212MX 評価結果

表 5 USB4 Version2 アイパターン評価結果詳細

評価内容	アイ	Eye Height (mV)	Δ Eye Height (mV)	Eye Width (ps)	Δ Eye Width (ps)	TJ (ps)	Δ TJ(ps)
スルー基板	High	418	-	25.39	-	14.07	-
	Low	418	-	24.96	-	14.15	-
TDS5B212MX	High	384	-34	23.19	-2.20	16.33	2.27
	Low	389	-29	23.74	-1.22	15.73	1.57
TDS5C212MX	High	386	-32	23.74	-1.65	15.76	1.69
	Low	376	-42	23.19	-1.77	16.01	1.86

3.7. USB4 アイパターン評価結果

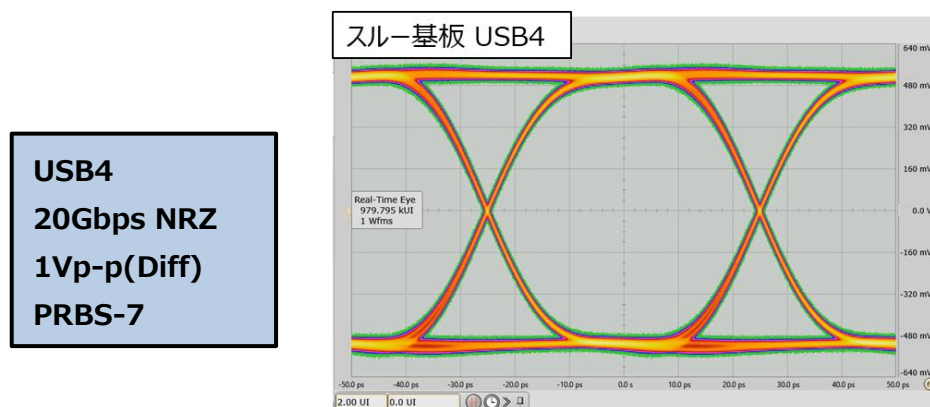


図 20 USB4 スルー基板 評価結果

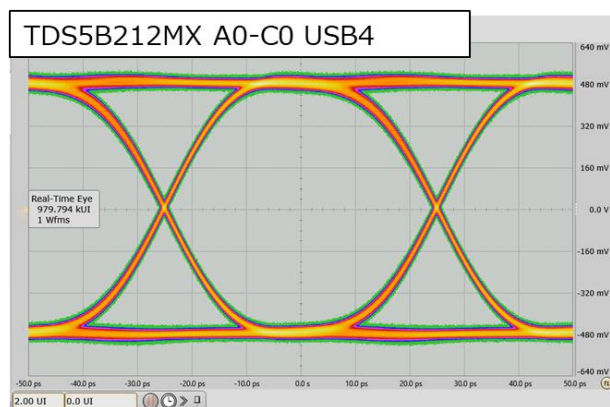


図 21 USB4 TDS5B212MX 評価結果

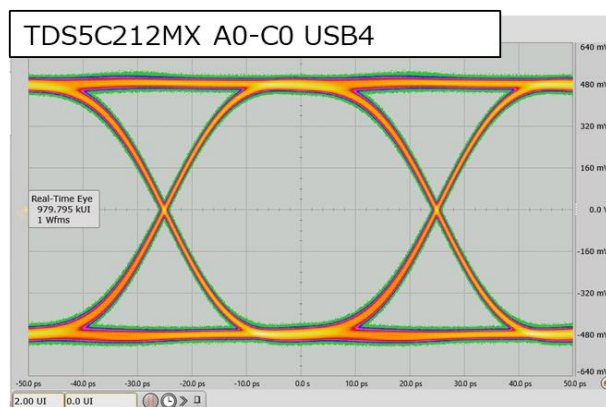


図 22 USB4 TDS5C212MX 評価結果

表 6 USB4 アイパターン評価結果詳細

評価内容	Eye Height (mV)	Δ Eye Height (mV)	Eye Width (ps)	Δ Eye Width (ps)	TJ (ps)	Δ TJ (ps)
スルー基板	930	-	48.28	-	3.17	-
TDS5B212MX	854	-76	48.05	-0.23	3.49	0.32
TDS5C212MX	859	-71	47.89	-0.39	3.47	0.30

4. 設計上の注意事項

この章では、TDS5B212MX、TDS5C212MX を実際の回路・基板設計に適用する際の注意点を解説します。

スイッチ I/O 電圧条件、パッシブスイッチとしての取り扱い、内部構造、AC カップリングコンデンサの配置例などを通じて、安定した信号伝送を実現するための設計指針を示します。

4.1. スイッチ入出力端子の使用可能電圧

TDS5B212MX および TDS5C212MX のデータシートでは、スイッチ入出力端子 ($A_n\pm$, $B_n\pm$, $C_n\pm$) に印加可能な電圧条件として、絶対最大定格および動作範囲が定義されています。絶対最大定格は、スイッチの入出力電圧 V_S に対して許容される上限と下限を示すものであり、この範囲を逸脱するとデバイスの破損につながる可能性があります。一方、動作範囲は、差動信号として推奨される動作条件を示しており、差動信号電圧 $V_{I/O(Diff)}$ およびコモン信号電圧 $V_{I/O(Com)}$ によって規定されています。差動信号電圧は信号の振幅を、コモン信号電圧はその中心電位を表しています。

表 7 スイッチ I/O 電圧条件抜粋（詳細はデータシートをご参照ください。）

区分	項目	記号	定格
絶対最大定格	スイッチ入出力電圧	V_S	-0.5 ~ 2.5 V
動作範囲	差動信号電圧 (peak to peak)	$V_{I/O(Diff)}$	0 ~ 1.8 V
	コモン信号電圧	$V_{I/O(Com)}$	0 ~ 2.0 V

差動信号電圧 $V_{I/O(Diff)}$ 0~1.8V をシングルエンド振幅で表すと 0~0.9V となります。このため、コモン信号電圧の変動に応じて、各信号ラインの電位はコモン信号電圧を中心に 最大 ± 0.45 V の範囲で変動することを動作範囲として許容しています。

具体的には、図 23 に示すようにコモン電圧が 0 V~2.0 V の範囲で、差動電圧を含めた I/O 電圧の動作範囲は-0.45 V~2.45 V で規定されています。これは、差動信号以外で使用する場合の I/O 電圧の動作範囲が-0.45 V~2.45 V であることを示します。

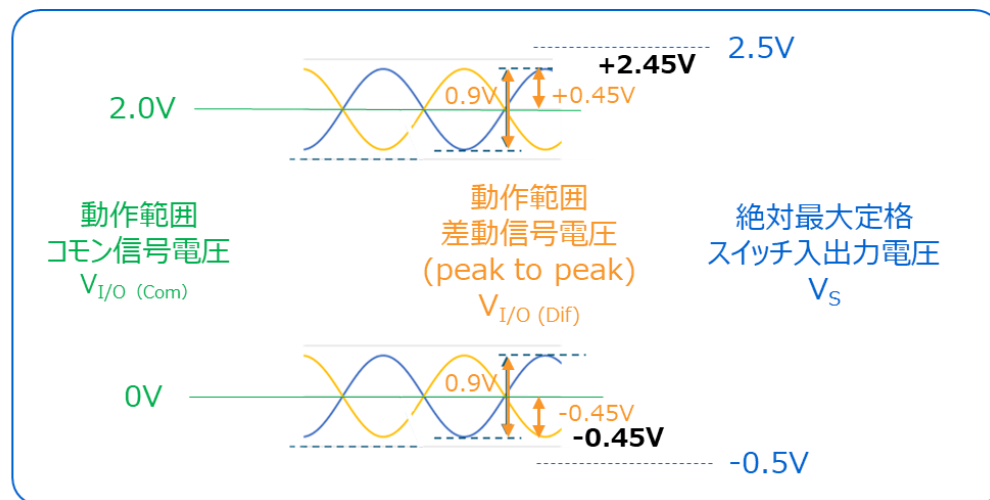


図 23 スイッチ I/O における絶対最大定格と動作範囲の関係

ご使用にあたっては、スイッチ入出力電圧が絶対最大定格を超えないこと、かつ差動信号電圧およびコモン信号電圧が動作範囲内に収まることをご確認ください。これらの条件を守ることで、安定した動作が確保されます。

4.2. データ信号の接続

バススイッチは、I/O 端子間を内部スイッチで電氣的に接続するパッシブスイッチです。そのため、A,B,C 各ポートは信号方向に依存しない接続が可能であり、図 24、図 25 のように Mux/De-Mux として柔軟に使用できます。

リドライバやリタイマーのようなアクティブスイッチと異なり、信号の指定はありませんのでフレキシブルにご使用いただけます。

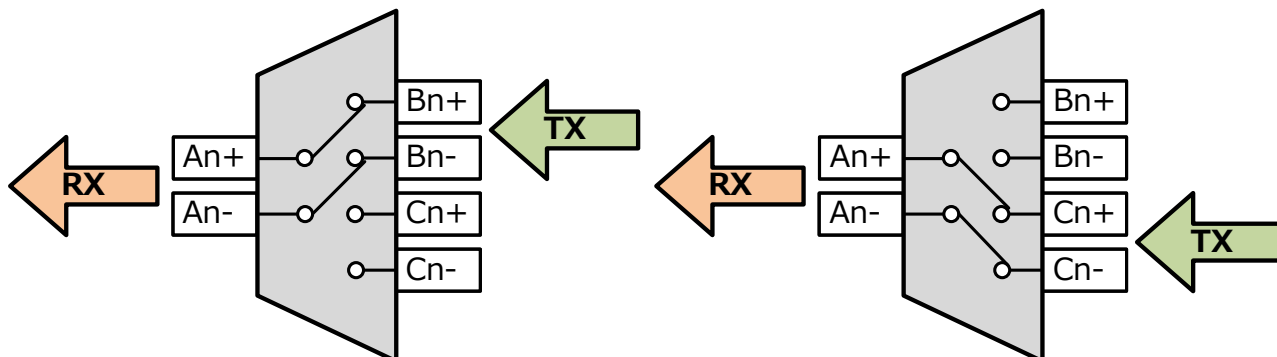


図 24 Mux としての使用例

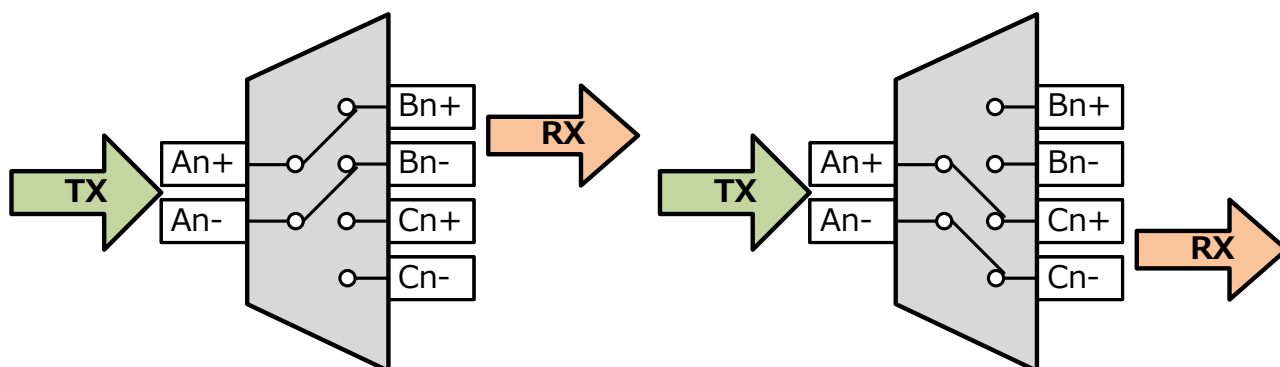


図 25 De-Mux としての使用例

また、通過する信号の極性に指定はなく、差動信号のプラスとマイナスが端子名と逆の場合にも信号を伝送することができます。

例えば、 $\overline{OE}=L$, $SEL=L$ の場合には、 $An+ \leftrightarrow Bn+$ 、 $An- \leftrightarrow Bn-$ がスイッチ内部で接続されるため、 $An+ \leftrightarrow Bn+$ パスでマイナス信号、 $An- \leftrightarrow Bn-$ パスでプラス信号を通過させて通信することも可能です。

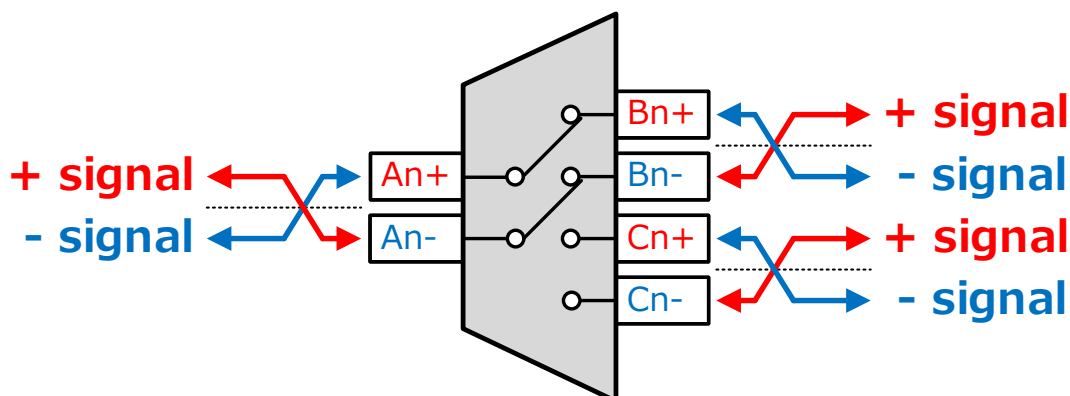


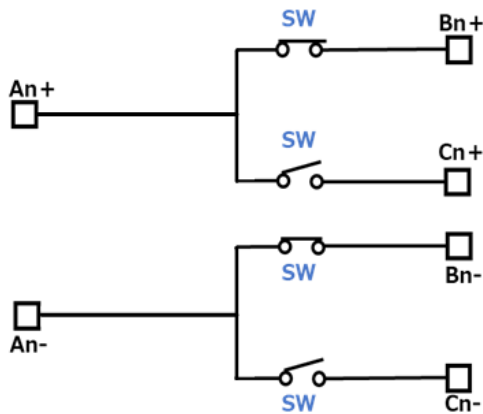
図 26 端子名と逆の極性の信号を伝送させる際の使用例

4.3. スイッチ入出力ラインの内部構造

既存 TDS4 series と TDS5 series のデータラインの内部回路を図 27, 図 28 に示します。

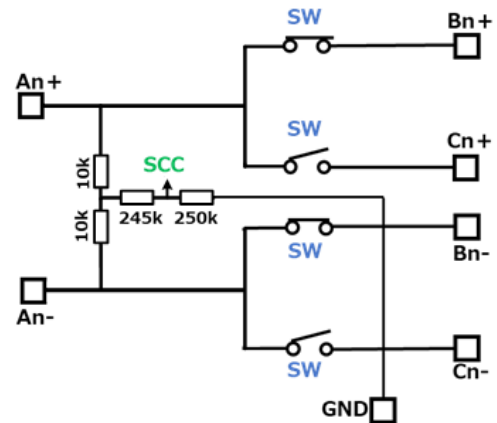
TDS4 series は PCIe5 対応の Mux/De-Mux を構成するために優れた高周波特性を持つパッシブスイッチです。このため、図 27 に示すようにデータラインのコモン抵抗および差動抵抗は無限大になります。

TDS5 series はさらに高速の PCIe6 に対応するため、図 28 に示すように A ポート (An+/−) に差動信号のコモン信号電圧 ($V_{I/O (Com)}$) を監視する回路を内蔵し、スイッチコントロール回路 (SCC) で $V_{I/O (Com)}$ 電圧の変動によるスイッチ抵抗 (R_{ON}) の変動を抑制しています。



TDS4A212MX, TDS4B212MX

図 27 TDS4 series の内部回路



TDS5B212MX, TDS5C212MX

図 28 TDS5 series の内部回路

TDS5 series のコモン抵抗 :

An+および An−には、弱いプルダウン抵抗（差動信号動作時において、An+および An−から GND への等価コモン抵抗はおおのど約 1MΩ）が接続されています。これらの抵抗はコモン信号電圧 ($V_{I/O (Com)}$) をわずかに 0V へバイアスするものの、その影響は非常に小さく、各ポート (An、Bn、Cn) に接続された外部の差動ドライバー／レシーバーのコモン信号電圧には影響を与えません。

TDS5 series の差動抵抗 :

さらに、An+と An−の間には、20kΩの弱い差動抵抗（高インピーダンス）が接続されています。高速差動信号は一般的により低い差動インピーダンス（例えば 100Ω）を持つため、これらの抵抗は差動信号に影響を与えません。

4.4. 参考パッド寸法

XQFN16 パッケージのランドパターンの寸法を下記に示します。プリント基板を設計する際には、これらのデータを参照してください。

破線で囲われているメタルエリアは GND プレーンに接続してください。GND ピンを GND 面に接続して高周波特性を最適化することができます。

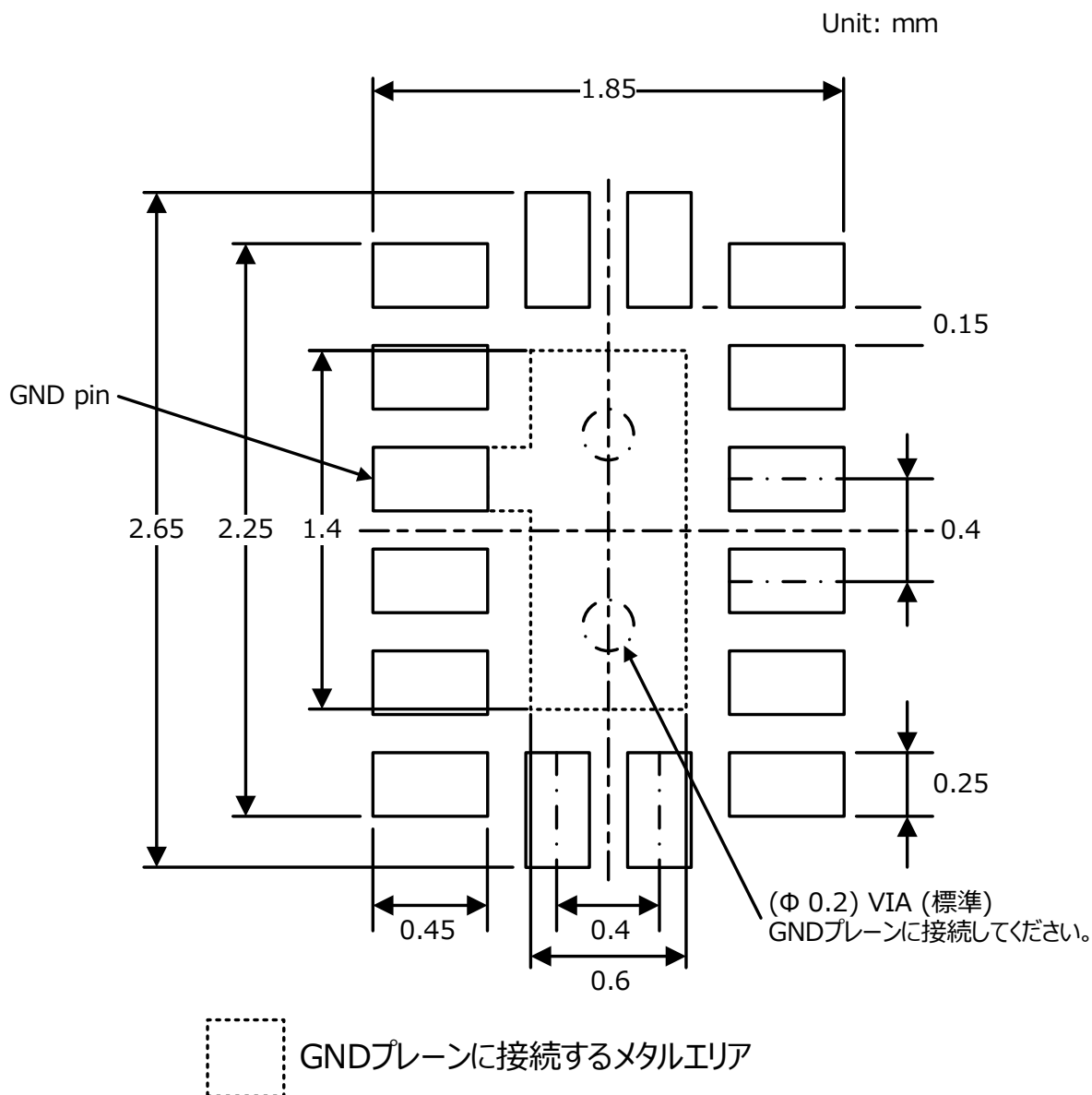


図 29 XQFN16 パッケージの参考パッド寸法

4.5. AC カップリング

多くの高速差動インターフェース信号は TX(トランスミッター)と RX (レシーバー) の間に AC カップリングをするためにコンデンサー (AC カップリングコンデンサー) を必要とします。

高速差動信号が AC カップリングコンデンサーを通過すると、信号の DC 成分が除去されるので TX と RX でコモン信号電圧が異なる場合でも信号の伝送が可能になります。

下図は、ホストボードとデバイスボードをコネクタで接続している例です。多くの高速差動インターフェースにおいて、異なる基板上に配置される TX と RX がコネクタで接続されている場合には、TX とコネクタの間に AC カップリングコンデンサーを配置することが推奨されています。そのため、図 30 に示されている位置に AC カップリングコンデンサーは配置されます。

この場合、高速差動信号は AC カップリングコンデンサーを通過する際に DC 成分が除去されるので、AC カップリングコンデンサー通過前は TX からコモン信号電圧が供給され、AC カップリングコンデンサー通過後は RX からコモン信号電圧が供給されます。

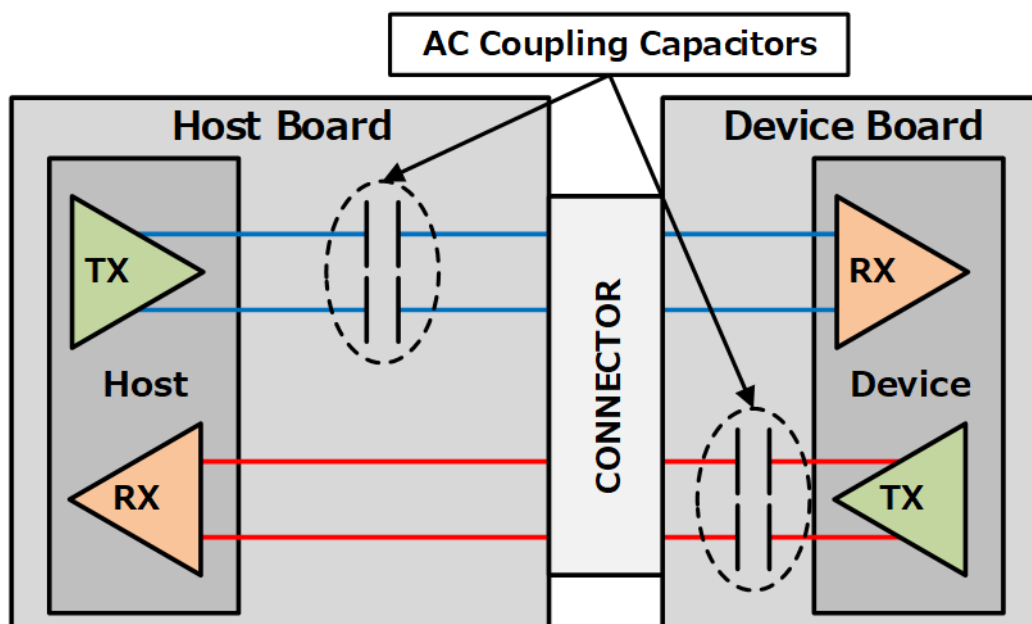


図 30 AC カップリングコンデンサー配置例

また、AC カップリングコンデンサーはインターフェースに応じて適切な容量値を選択する必要があります。同じ差動対に対しては、同じ容量、同じパッケージサイズで対称的に配置してください。

パッケージサイズは差動配線長への影響を考慮して 0201、0402 が好ましいです。

次に、ホストボードと2つのデバイスボードを排他的に接続する場合を示します。Mux/De-Mux はホストボード上に配置され、切り替えはホストによって制御されます。

以下に、代表的な配置パターンを3つ示します。

(a)コンデンサーを Mux/De-Mux とデバイスの間に配置*

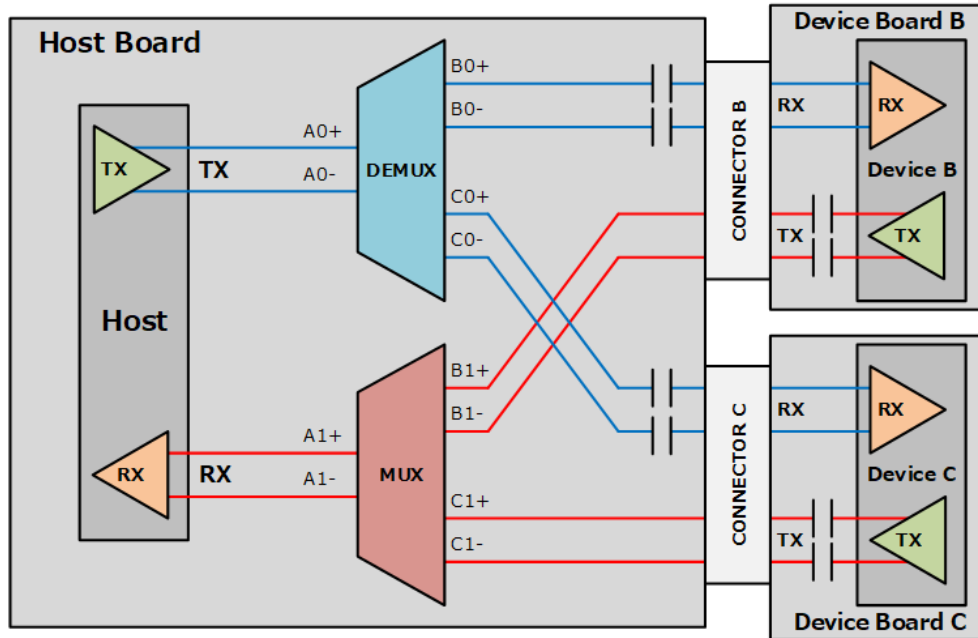


図 31 コンデンサーが Mux/De-Mux とデバイスの間に配置されている配置例

* ホストの TX、RX のコモン信号電圧が Mux/De-Mux の動作範囲内であることを確認ください。

De-Mux を通過する経路(青線)では、De-Mux とコネクタの間に AC カップリングコンデンサーを配置しています。差動信号は AC カップリングコンデンサーを通過する前に De-Mux を通過するので、De-Mux にはホストの TX からコモン信号電圧が供給されます。

Mux を通過する経路(赤線)では、デバイスの TX とコネクタの間に AC カップリングコンデンサーを配置しています。差動信号は AC カップリングコンデンサーを通過した後に Mux を通過するので、Mux にはホストの RX からコモン信号電圧が供給されます。

AC カップリングコンデンサーは TX とコネクタの間に配置することを推奨されていることから、配置される位置はこの位置に限定されます。

(b)コンデンサーを TX と Mux/De-Mux の間に配置*

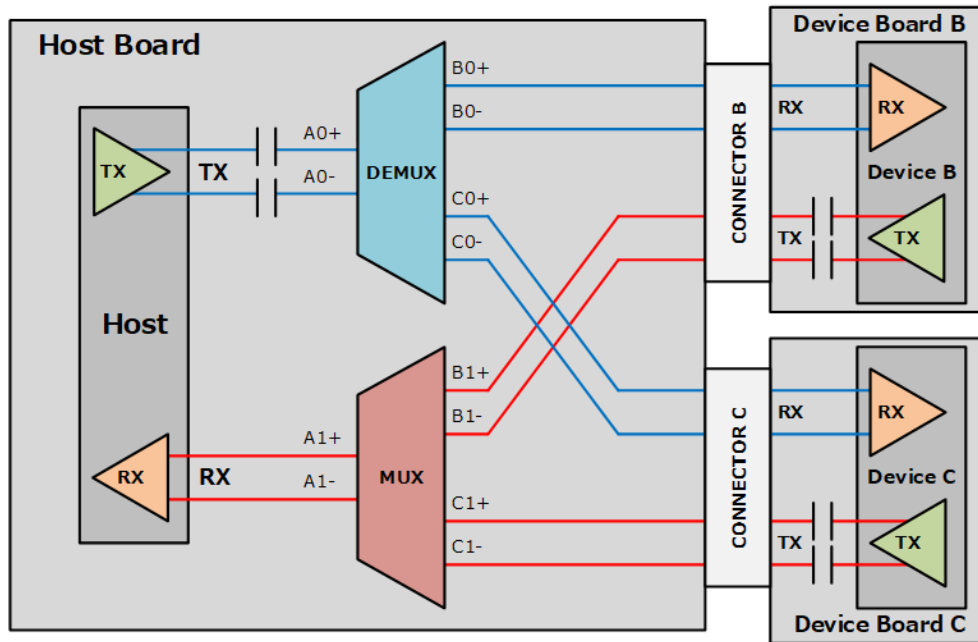


図 32 コンデンサーが TX と Mux/De-Mux の間に配置されている配置例

*デバイスの TX のコモン信号電圧が De-Mux の動作範囲内、デバイスの RX のコモン信号電圧が Mux の動作範囲内であるときに使用できます。

De-Mux を通過する経路(青線)では、TX と De-Mux の間に AC カップリングコンデンサーを配置しています。

差動信号は AC カップリングコンデンサーを通過した後に De-Mux を通過するので、De-Mux にはデバイスの RX からコモン信号電圧が供給されます。

Mux を通過する経路(赤線)では、デバイスの TX とコネクタの間に AC カップリングコンデンサーを配置しています。

差動信号は AC カップリングコンデンサーを通過した後に Mux を通過するので、Mux にはホストの RX からコモン信号電圧が供給されます。

AC カップリングコンデンサーは TX とコネクタの間に配置することを推奨されていることから、配置される位置はこの位置に限定されます。

(c)コンデンサーを Mux/De-Mux の両側に配置*

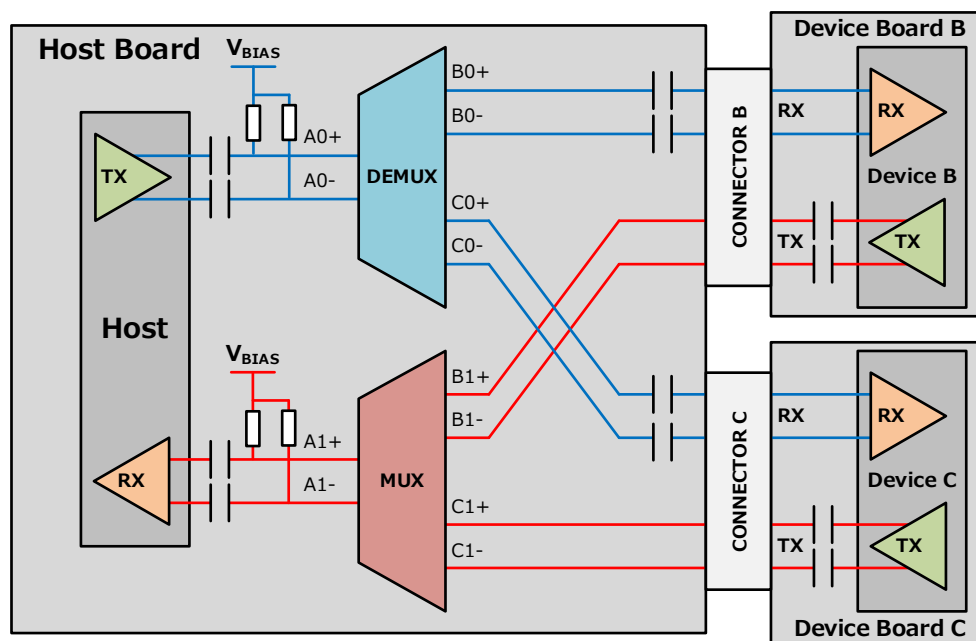


図 33 コンデンサーが Mux/De-Mux の両側に配置されている配置例

*この配置例はホスト、デバイスの TX、RX のコモン信号電圧が Mux/De-Mux の動作範囲外である場合に使用します。

Mux を通過する経路、De-Mux を通過する経路ともに、AC カップリングコンデンサーを Mux/De-Mux の両側に配置しています。

このような配置をすると Mux/De-Mux にはホストとデバイスのどちらからもコモン信号電圧が供給されません。

そのため、図のように 10 kΩ 以上の抵抗で 0~2.0V の範囲でコモン信号電圧を与えてください。

5. アプリケーション

この章では、TDS5B212MX、TDS5C212MX を用いた具体的なアプリケーション例を紹介します。

PCIe、USB Type-C、ドッキングステーション、半導体テスターなどの実例を通じて、本製品がどのような構成・用途で効果的に使用できるかを示し、実システムへの適用イメージを明確にします。

5.1. 使用可能インターフェース

TDS5B212MX、TDS5C212MX は 2 つの異なる経路へ信号を切り替える際に使用できる高速差動 2:1 Mux(マルチプレクサー)/1:2 De-Mux(デマルチプレクサー)です。

当社独自の SOI プロセス「TarfSOI™」と小型パッケージを使用したことで、優れた高周波特性を実現し、64GT/s までのトランスファーレートでの使用が可能となっています。

また、幅広いコモン信号電圧範囲(0 ~ 2.0 V)と差動信号電圧振幅(0 ~ 1.8 Vpp)を実現したため、多くの高速データプロトコルで使用することができます。

代表的なものでは、以下のインターフェースで使用可能です。

- PCIe® 系列 : PCIe 6.0 / 5.0 / 4.0 / 3.0
- CXL™ 系列 : CXL 3.0 / 2.0 / 1.0
- USB 系列 : USB4 Ver.2 / USB4 / USB3.2 Gen2×1 / Gen1×1
- Thunderbolt™ 系列 : Thunderbolt 5 / 4 / 3 / 2
- DisplayPort™ 系列 : DisplayPort 2.0 / 1.4 / 1.3 / 1.2

5.2. PCIe®使用例

Mux/De-Mux により CPU と複数の PCIe スロット間の接続を切り替える例を以下に示します。

PC やサーバーの仕様により PCIe スロット数の拡張が必要な際に、CPU の PCIe レーン数が足りない場合があります。そのような場合、Mux/De-Mux を用いることで CPU と複数の PCIe スロットを接続できます。例えば、TX と RX それぞれが 16 レーン接続可能な CPU の 8 レーンを PCIe スロット 1 に直接接続し、残り 8 レーンを PCIe スロット 1 と PCIe スロット 2 とで排他利用したい場合、2:1 Mux/1:2 De-Mux を下図のように接続します。

TDS5B212MX/TDS5C212MX は 1 デバイスあたり 2 レーンの切り替えが可能なので、CPU と PCIe スロット間に 8 デバイス配置することで接続できます。

なお、Mux/De-Mux には後述のように AC カップリングコンデンサーを用いて適切なコモン信号電圧を供給するようにしてください。

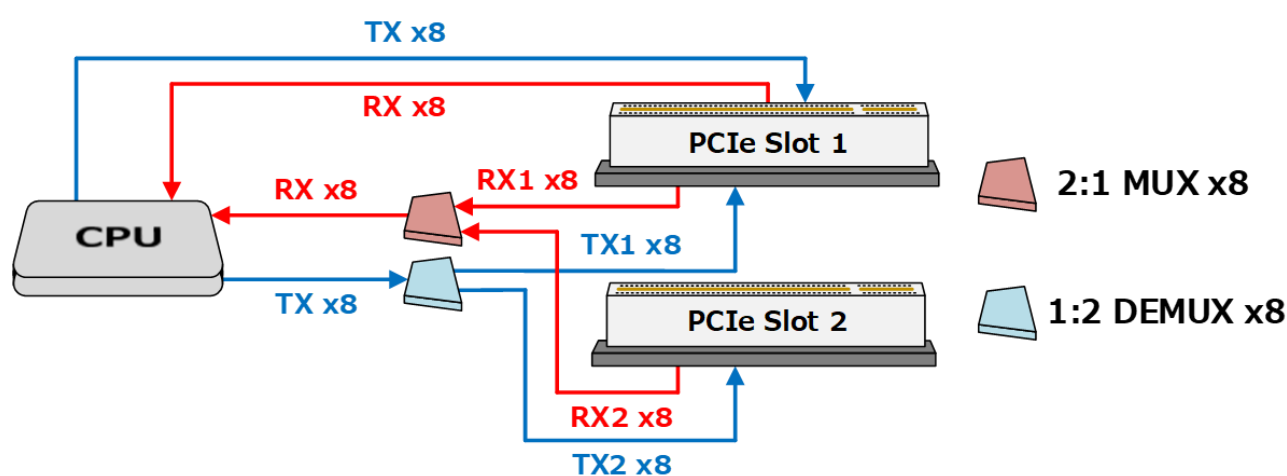


図 34 Mux/De-Mux PCIe 使用例

5.3. USB Type-C 使用例

USB Type-C でプラグの反転が必要な場合の接続例を下記に示します。USB Type-C は端子の挿入方向に表裏がなく、どちらの向きでも信号の送受信をする必要があるので、表裏の切り替えで Mux/De-Mux が使用されます。挿入向きは CC 端子によって判断され、USB コントロール IC によって Mux/De-Mux のポート接続が選択されます。下記では両側が Type-C のケーブルを用いて、ホストボードとデバイスボードを接続している例を示します。

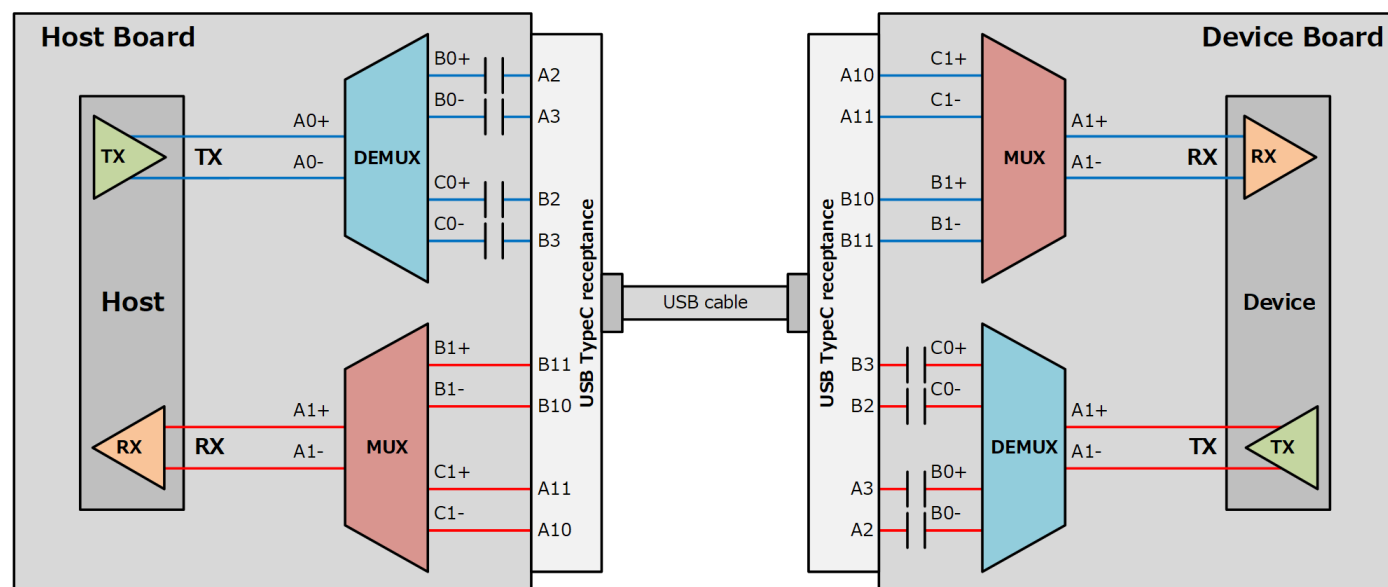


図 35 Mux/De-Mux USB Type-C 使用例

5.4. USB ハブおよびドッキングステーションでの使用例

USB ハブ、ドッキングステーションでの TDS5B212MX / TDS5C212MX による接続先切り替え例を示します。

本構成では、USB ハブ、ドッキングステーションの上流ポートとハブ IC の間に TDS5B212MX / TDS5C212MX を 1:2 Mux/De-Mux として挿入し、制御信号で PC 1 または PC 2 を選択的に接続することで、ケーブルの抜き差しをすることなく USB 周辺機器の接続先を 2 台の PC 間で自由に切り替えることができます。

TDS5 シリーズは広帯域・低挿入損失な特性を備え、USB4®から Thunderbolt™ 4/5 まで対応可能なため、次世代インターフェースにおいても安定した信号伝送を実現します。

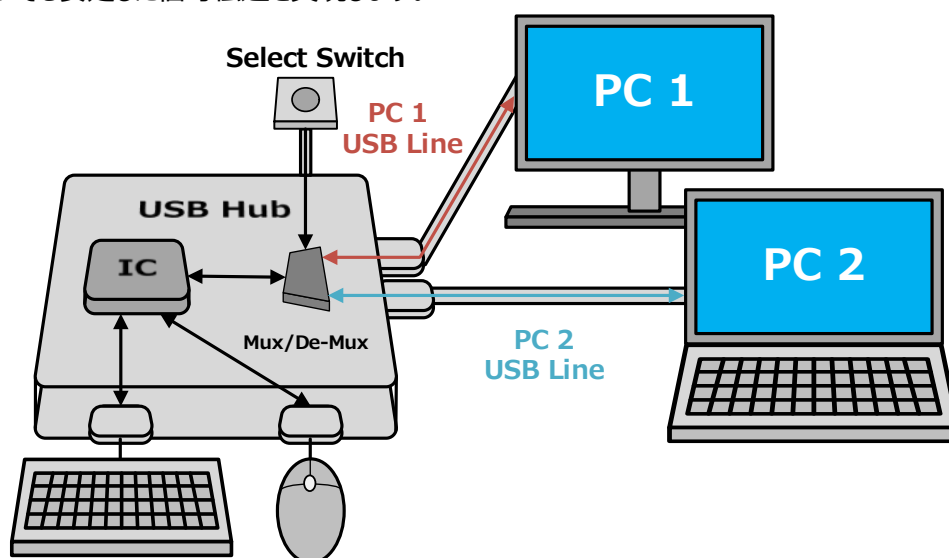


図 36 USB ハブ、ドッキングステーションの接続先を Mux/De-Mux を使用して 2 台の PC 間で切り替える使用例

また、USB ハブ、ドッキングステーションの内部では、USB ポートの分配や映像出力などの中核機能を USB ハブ IC が担っています。近年、この USB ハブ IC では USB Type-C での映像出力が主流となりつつあり、DisplayPort 専用の信号出力は 1 系統に限られる場合があります。

一方、USB ハブ、ドッキングステーションでは DisplayPort™と HDMI の両方のポートを搭載したいケースがあり、1 系統の DisplayPort 信号を DisplayPort 出力と HDMI 出力のいずれかに切り替える必要が生じます。TDS5 シリーズをこの切り替え部分に使用することで、DisplayPort ポートまたは HDMI ポートへの選択的な出力をシンプルな回路構成で実現できます。広帯域・低挿入損失な特性を備えているため、DisplayPort 2.1 などの高速映像インターフェースにも対応し、高品質な信号伝送を確保します。

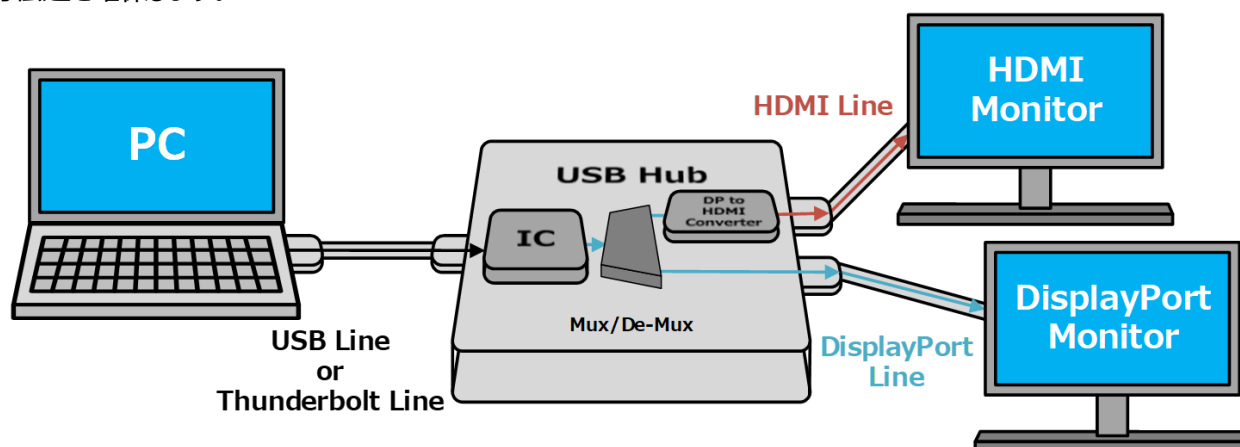


図 37 USB ハブ、ドッキングステーション内の HDMI、DisplayPort 間の信号を Mux/De-Mux で切り替える例

5.5. カスケード接続(多段接続)による 1:4 Mux/De-Mux としての使用例

TDS5B212MX、TDS5C212MX は、複数個をカスケード接続（多段接続）で使用することで 1:4 の Mux/De-Mux としても使用することができます。

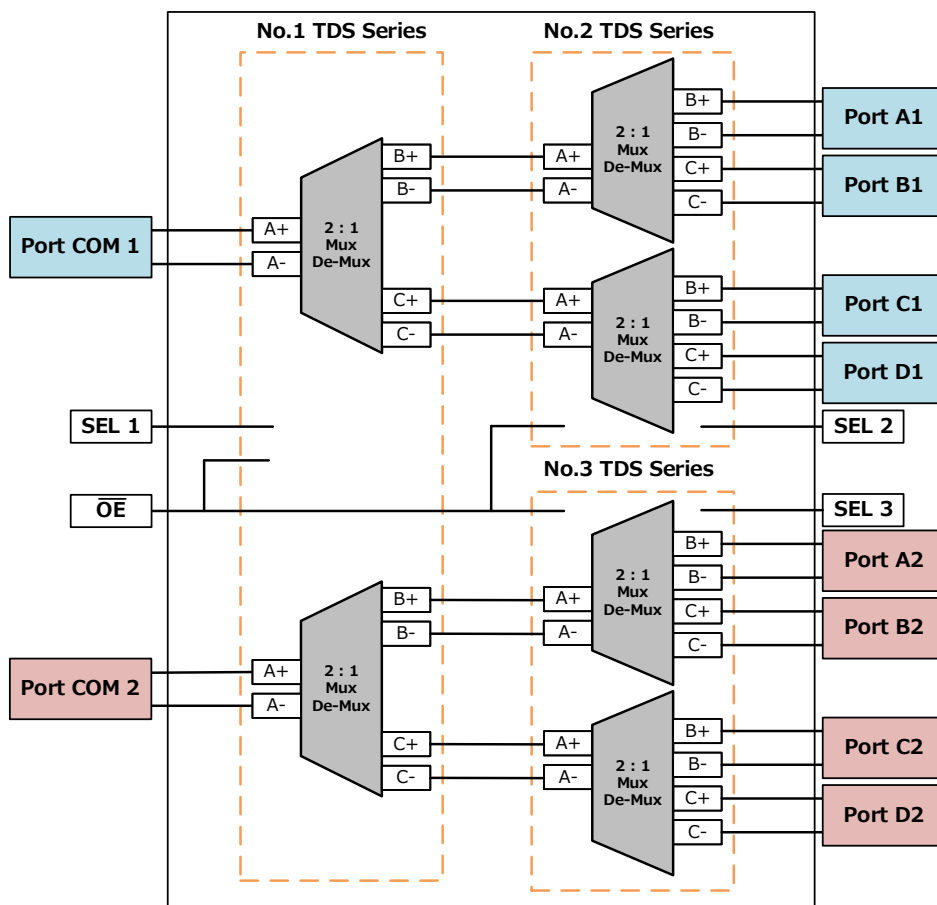


図 38 TDS5B212MX、TDS5C212MX x3 デバイスでカスケード接続した際の 2ch 1:4 Mux/De-Mux

表 8 カスケード接続による 2ch 1:4 Mux/De-Mux の真理値表

Input $\overline{OE}$	Input SEL 1	Input SEL 2, 3	Function (n = 0, 1)
L	L	L	Port COMn $\pm$ = Port An $\pm$
L	L	H	Port COMn $\pm$ = Port Bn $\pm$
L	H	L	Port COMn $\pm$ = Port Cn $\pm$
L	H	H	Port COMn $\pm$ = Port Dn $\pm$
H	Don't care	Don't care	All Port Disconnect

このとき、信号が 2 デバイスを通過するため、オン抵抗および挿入損失も 2 デバイス分となる点に注意が必要です。

以下に示す差動挿入損失は、TDS5B212MX および TDS5C212MX を 2 デバイス通過した際の特性です。

評価は、前述の [2 デバイスを実装可能な評価基板](#)を用いて実施しました。

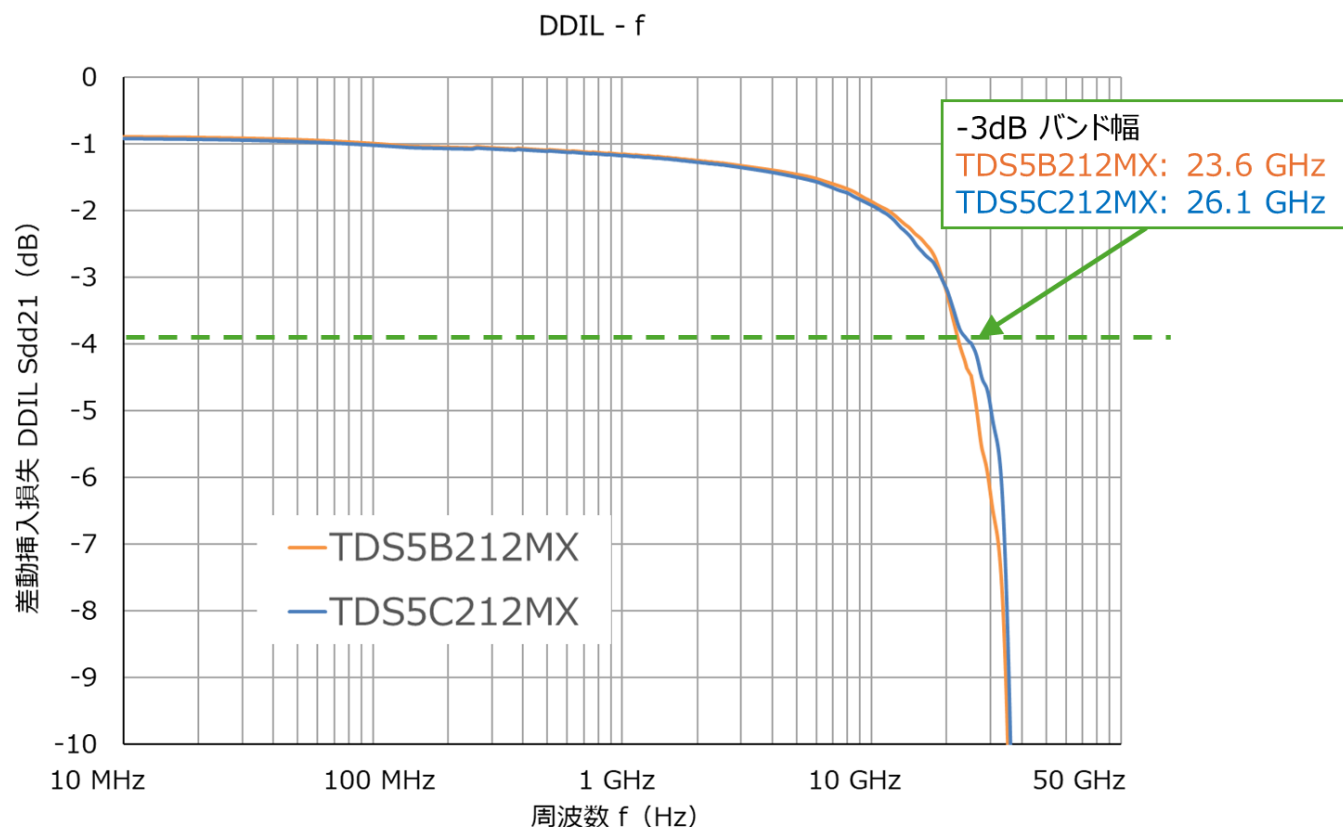


図 39 TDS5B212MX, TDS5C212MX カスケード接続時の差動挿入損失-周波数

表 9 カスケード接続時 TDS5B212MX, TDS5C212MX 高周波特性実測値

高周波特性 (Typ.)		TDS5B212MX	TDS5C212MX
-3dB バンド幅		23.6 GHz	26.1 GHz
差動挿入損失 DDIL S _{dd21}	f = 2.5 GHz	-1.3 dB	-1.3 dB
	f = 4.0 GHz	-1.4 dB	-1.4 dB
	f = 5.0 GHz	-1.5 dB	-1.5 dB
	f = 8.0 GHz	-1.7 dB	-1.7 dB
	f = 10.0 GHz	-1.9 dB	-1.9 dB
	f = 12.8 GHz	-2.1 dB	-2.2 dB
	f = 16.0 GHz	-2.5 dB	-2.5 dB

5.6. 半導体テスターにおけるループバック回路と ATE 間の切り替えでの使用例

従来の ATE 評価では、高速ループバックテストと機能試験で必要とされる信号経路が異なるため、テストボードの切り替えやリレーによる経路選択が必要でした。これによりテスト時間の増加やシステム構成の複雑化に加えて、リレーの帯域制限や寄生成分の影響による高速信号の劣化が課題となっていました。

これに対し、本図に示すように TDS5B212MX および TDS5C212MX を用いることで、高速インターフェースのテストに求められる広帯域かつ低損失な信号経路を確保しながら、以下の 2 つの評価経路を単一ボード上で切り替えることが可能となります。

- ・DUT の TX 信号を De-Mux 経由でループバック回路に接続し、その折り返し信号を Mux 経由で DUT の RX に戻す高速ループバック経路
- ・DUT の I/O ピンを ATE テスターに直接接続し、ATE の TX/RX を用いた機能試験を実施するための経路

特に、PCI Express や USB といった高速シリアル通信規格では、チャンネル損失や反射が通信品質に直接影響するため、スイッチによる信号劣化の抑制が重要となります。TDS5 シリーズは低挿入損失と良好な高周波特性を有しており、これらの要求に適合し、通信品質を維持したまま評価を行うことが可能です。

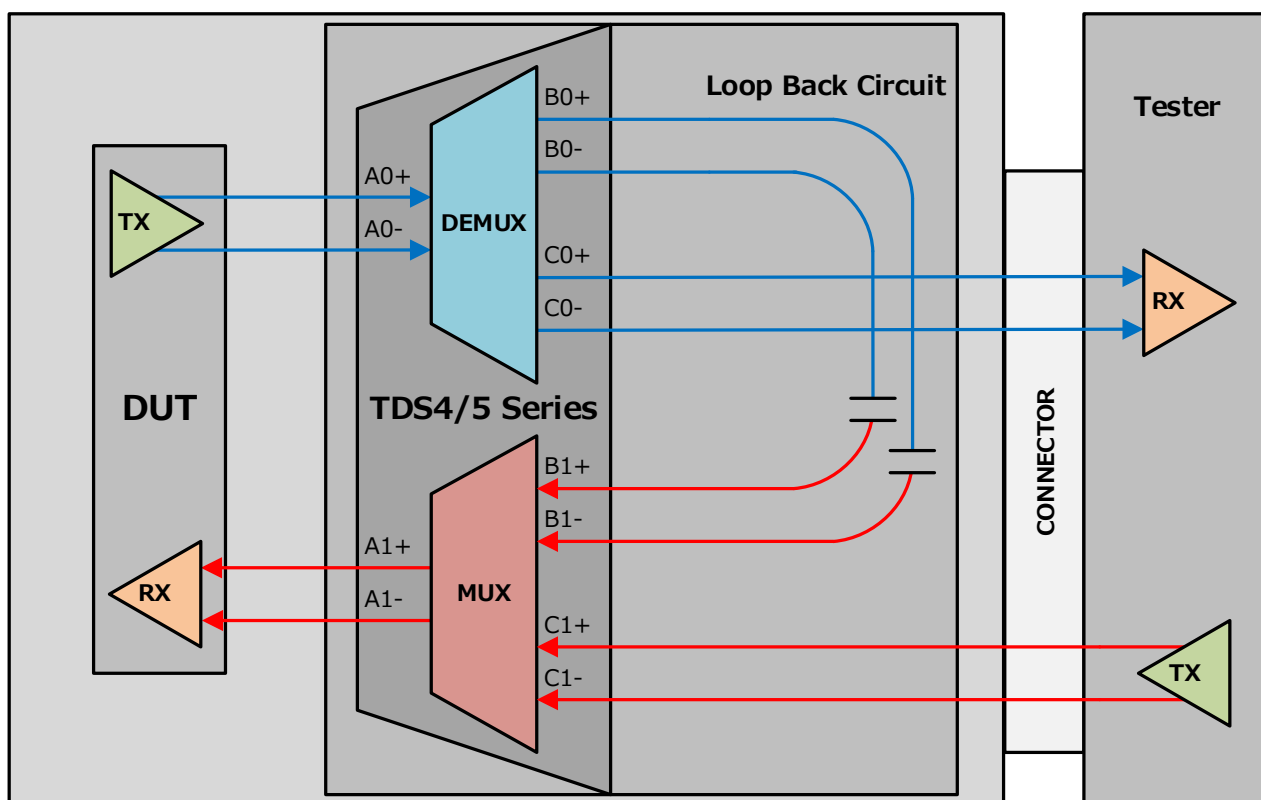


図 40 半導体テスターにおけるループバック回路と ATE 間の切り替えでの使用例

6. まとめ

本資料では、当社の高速差動インターフェース用 Mux/De-Mux バススイッチ TDS5B212MX、TDS5C212MX について解説しました。

PCIe、USB、Thunderbolt などの高速インターフェースを用いた回路に Mux、De-Mux が必要な際は TDS5B212MX、TDS5C212MX をご検討いただけますと幸いです。その他の詳細な特性につきましてはデータシートをご参考ください。

TDS5B212MX の製品ページおよびデータシートはこちら →

[Click Here](#)

TDS5C212MX の製品ページおよびデータシートはこちら →

[Click Here](#)

バススイッチの製品一覧はこちら →

[Click Here](#)

ミニカタログ 東芝バススイッチのご紹介はこちら →

[Click Here](#)

アプリケーションノート バススイッチの基礎はこちら →

[Click Here](#)

アプリケーションノート 32Gbps MUX/DEMUX バススイッチ TDS4A212MX、TDS4B212MX はこちら→

[Click Here](#)

バススイッチの FAQ はこちら →

[Click Here](#)

- ・PCIe®は、PCI-SIG の商標です。
- ・USB4®は、USB Implementers Forum の商標です。
- ・Thunderbolt™は、Intel Corporation あるいはその子会社の商標です。
- ・DisplayPort™は、米国及びその他の国で Video Electronics Standards Association (VESA®)が所有する商標です。
- ・TarfSOI™は、東芝デバイス&ストレージ株式会社の商標です。
- ・その他の社名・商品名・サービス名などは、それぞれ各社が商標として使用している場合があります。

製品取り扱い上のお願い

株式会社東芝およびその子会社ならびに関係会社を以下「当社」といいます。

本資料に掲載されているハードウェア、ソフトウェアおよびシステムを以下「本製品」といいます。

- 本製品に関する情報等、本資料の掲載内容は、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
- 文書による当社の事前の承諾なしに本資料の転載複製を禁じます。また、文書による当社の事前の承諾を得て本資料を転載複製する場合でも、記載内容に一切変更を加えたり、削除したりしないでください。
- 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体・ストレージ製品は一般に誤作動または故障する場合があります。本製品をご使用頂く場合は、本製品の誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。なお、設計および使用に際しては、本製品に関する最新の情報（本資料、仕様書、データシート、アプリケーションノート、半導体信頼性ハンドブックなど）および本製品が使用される機器の取扱説明書、操作説明書などをご確認の上、これに従ってください。また、上記資料などに記載の製品データ、図、表などに示す技術的な内容、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例などの情報を使用する場合は、お客様の製品単独およびシステム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。
- 本製品は、特別に高い品質・信頼性が要求され、またはその故障や誤作動が生命・身体に危害を及ぼす恐れ、膨大な財産損害を引き起こす恐れ、もしくは社会に深刻な影響を及ぼす恐れのある機器（以下“特定用途”という）に使用されることは意図されていませんし、保証もされていません。特定用途には原子力関連機器、航空・宇宙機器、医療機器（生命直結機器）、車載・輸送機器、防衛関連機器などが含まれますが、本資料に個別に記載する用途は除きます。特定用途に使用された場合には、当社は一切の責任を負いません。なお、詳細は当社営業窓口まで、または当社 Web サイトのお問い合わせフォームからお問い合わせください。
- 本製品を分解、解析、リバースエンジニアリング、改造、改変、翻案、複製等しないでください。
- 本製品を、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用することはできません。
- 本資料に掲載してある技術情報は、製品の代表的動作・応用を説明するためのもので、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- 別途、書面による契約またはお客様と当社が合意した仕様書がない限り、当社は、本製品および技術情報に関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をしておりません。
- 本製品、または本資料に掲載されている技術情報を、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍사용途の目的で使用しないでください。また、輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守し、それらの定めるところにより必要な手続を行ってください。
- 本製品の RoHS 適合性など、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問い合わせください。本製品のご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用ある環境関連法令を十分調査の上、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は一切の責任を負いかねます。

東芝デバイス&ストレージ株式会社

<https://toshiba.semicon-storage.com/jp/>