

受信側イコライズ機能によるRS-485データ通信拡張

Clark Kinnaird

High Performance Analog/Interface Products

概要

受信側イコライズ機能を使用してRS-485データ伝送のアプリケーションを拡張すると、ケーブル長を延長したり、信号速度を上げたりすることが可能になります。このアプリケーション・レポートでは、信号速度、ケーブル型、ノード間距離の具体的な組み合わせごとに決まった受信側イコライズ機能を利用することで得られるメリットについて説明します。様々な実装例と、それらに共通の解決法を、実験の結果を交えて紹介します。

目次

1 はじめに	3
2 問題の紹介	3
2.1 用語の定義	3
2.2 伝送媒体損失の原因	4
2.2.1 ケーブル	4
2.3 RS-485で推奨される標準的なケーブル	4
2.4 信号品質の測定	5
3 可能な解決法	7
3.1 ケーブル(媒体)の品質を向上させる	7
3.2 信号回復の理論的方法	8
3.3 送信側プリエンファシス機能	8
3.4 レシーバのゲインを増加させる	9
3.5 データのコーディング	10
3.6 受信側イコライズ機能	10
4 受信側イコライズ機能の実装	11
4.1 受動アナログ・フィルタ	11
4.2 能動アナログ・フィルタ(様々な次数)	11
4.3 組み込み受信側イコライズ機能	13
5 テスト結果	14
5.1 差動アンプTHS4140を使用した受信側イコライズ機能	14
5.2 HVD23を使用した組み込み受信側イコライズ機能	17
5.3 HVD24を使用した組み込み受信側イコライズ機能	18
5.4 ビット誤り率(BER)のテスト結果	21
5.5 受信側イコライズ機能の限界	22
6 応用例	24
7 結論	26
8 参考文献	26

図目次

図 1 RS-485データ伝送システム	3
図 2 ケーブル300メートルの周波数レスポンス	4
図 3 信号送信品質の測定にアイ・パターンを使用する	5
図 4 ケーブル1メートルを通る10Mbpsデータ	6
図 5 ケーブル300メートルを通る10Mbpsデータ	7
図 6 信号事前補償のある伝送チェーン	8
図 7 信号復元のある伝送チェーン	8
図 8 送信側プリエンファシス機能	9
図 9 受信側イコライズ機能を使用した信号復元	10
図 10 ケーブル減衰に対する有限次数近似	12
図 11 ケーブル損失とイコライザ設計例	12
図 12 差動オペアンプTHS4140を使用した受信側イコライズ機能の回路図	13
図 13 受信側イコライズ機能付きのSN65HVD2Xトランシーバ・ファミリ	14
図 14 THS4140 受信側イコライズ段の周波数レスポンス	15
図 15 ケーブル300メートルを介した10Mbpsデータ (THS4140のイコライズ機能付き)	16
図 16 ケーブル1メートルを介した10Mbpsデータ (THS4140のイコライズ機能付き)	17
図 17 LTC1485、160m、25Mbps	17
図 18 MAX485、160m、25Mbps	18
図 19 SN65HVD23、160m、25Mbps	18
図 20 SN65HVD21、500m、5Mbps	19
図 21 SN65HVD24、500m、5Mbps	19
図 22 SN65HVD21、1000m、2Mbps	20
図 23 SN65HVD24、1000m、2Mbps	20
図 24 SN65HVD21、1500m、1Mbps	21
図 25 SN65HVD24、1500m、1Mbps	21
図 26 感度 vs. 周波数のテスト回路	23
図 27 感度の比較 (受信側イコライズ機能がある場合とない場合)	23
図 28 工場オートメーションの例	24
図 29 SN65HVD21、500mケーブル、2Mbps	25
図 30 SN65HVD24、500mケーブル、7.5Mbps	25

表目次

表 1 各メーカーのRS-485ケーブルのパラメータ	5
表 2 BERテストの結果	22

1 はじめに

ANSI規格TIA/EIA-485-Aに準拠したRS-485データ伝送は、シリアル・デジタル・データの通信を比較的長距離間で、かつ比較的高いデータ転送速度で行うための一般的な方法です。信号速度を低くすれば、ケーブルによる伝送距離を最大1200メートルまで延長できます。逆にケーブルを短くすれば、信号速度を最大約30メガビット/秒(Mbps)まで上げられます。信号速度を上げることと、伝送距離を長くすることが両立しないのは、有線ネットワーク媒体(通常はツイストペア・ケーブル)の特性が理想的ではないためです。しかし、主流となっているいくつかの技術動向に対応するには、このような物理的制約を克服する必要があります。

多くのアプリケーションに及んでいる技術動向のひとつが、電子デバイスのネットワーク化の広がりです。この動向は、POS(販売時点管理)ネットワーク、工業プロセス制御、医療システム、ビルディング自動化システムといったさまざまな応用分野で見られます。

安価なセンサやディスプレイをシステムのいたる所に配置するケースが増えていることと連動して、上記のような技術動向により、電子機器ノードで構成されたネットワークの機能性を高めることが可能になっており、またそのネットワーク全体で通信のデータ量と頻度を増やす必要も生じています。

コネクティビティの増大という技術動向に対応するために、このアプリケーション・レポートでは、RS-485ネットワークでのデータ伝送を最適化する方法を調べます。有線ネットワーク媒体の実際の特性が説明され、データ通信への影響が数値で表されます。最後に、有線データ・ネットワークを最適化する方法のひとつとして受信側イコライズ機能を紹介し、また提案された実装を使用した結果データの信頼性とスループットが向上したことを示します。

2 問題の紹介

2.1 用語の定義

RS-485データ伝送システム(図1参照)では、差動方式で信号が伝送されます。つまり、データの搬送は2本のバス・ライン間の電圧差を利用して行われます。ドライバ・デバイスでは、バス・ライン上の信号電圧を生成します。信号は媒体(通常はツイストペア・ケーブル)を通して伝播します。レシーバ・デバイスでは、2本のバス・ライン上の信号を比較し、受信データを表すシングル・エンド方式の(つまり差動方式でない)信号を出力します。

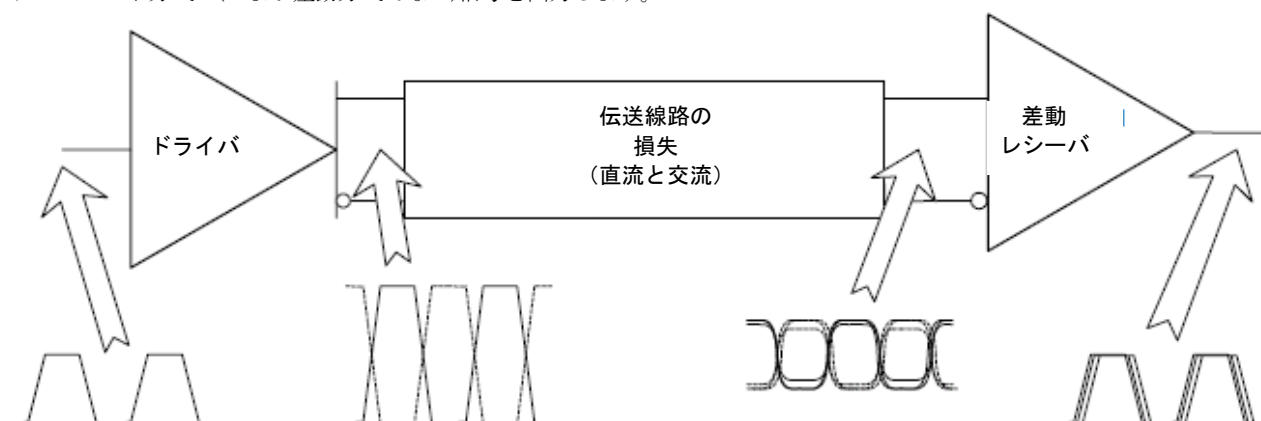


図1 RS-485データ伝送システム

RS-485を使用するアプリケーションの多くではケーブル長を比較的長くする必要があるので、バス・ラインが「集中定数回路」接続ではなく伝送線路としてモデル化されることが多くなります。つまり、信号がケーブルを通して伝播するのにかかる時間が無視できないほどの長さになります。たいていの場合、RS-485システムでは減衰(信号振幅の縮小)を考慮することも必要になります。

2.2 伝送媒体損失の原因

2.2.1 ケーブル

実際に使用されるケーブルでは、必ず損失が発生します。損失の原因は、導線の抵抗とインダクタンス、線路間の静電容量、絶縁リークなどです。損失についての振幅と周波数の仕様は、導線のサイズ、絶縁のタイプ、シールドイングなどのケーブル特性に依存します。一般的に、ケーブルは単位長さごとのDC抵抗、特性インピーダンス、および減衰対周波数の比率で記述できます。

適切な受信側イコライズ段を設計するには、伝送媒体の特性を理解する必要があります。図2の実線は、標準的な300メートルのケーブルの減衰を(負のゲインとして)測定した値です。1MHzより高い周波数では減衰がかなり大きくなっています。減衰が大きくなると信号のエッジが鈍化しますが、これが原因となって図5に示すようなシンボル間干渉が発生することがあります。

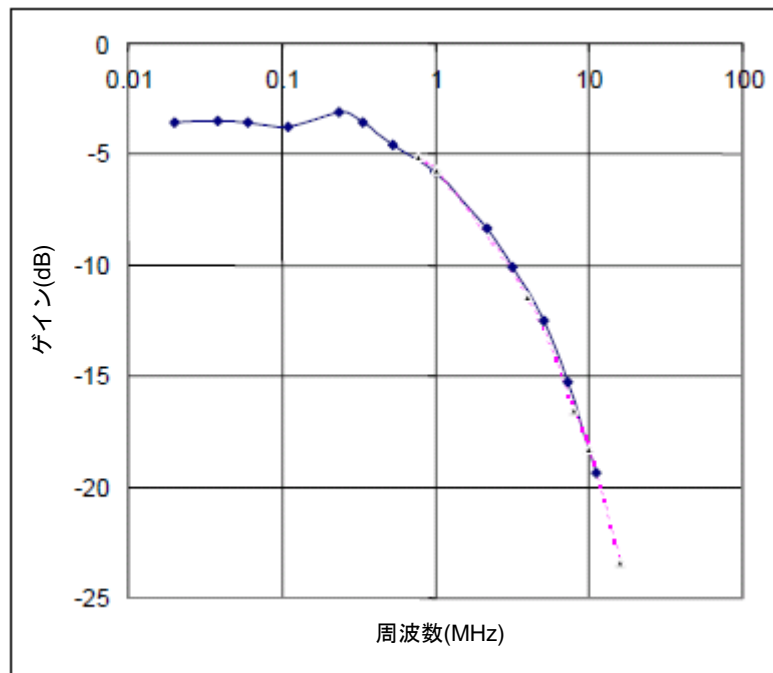


図 2 ケーブル300メートルの周波数レスポンス

ケーブル同様、あるシステムのプリント回路基板の配線とコネクタも信号に影響します。短いケーブルやバックプレーンで高い信号速度(>100Mbps)を扱うことに重点を置くアプリケーションの場合は、コネクタとボード配線が重要になります。Texas Instrumentsのアプリケーション・レポートには、SLLA104(LVDSの接続用の推奨事項)やSLLA014(低電圧差動シグナリング(LVDS)デザイン・ノート)(それぞれ参考文献1、参考文献2を参照)のように、これらを扱ったものもあります。主要なテーマはLVDSのアプリケーションですが、上記のドキュメントで述べられている回路基板の配線とコネクタ選択に関する設計ガイドラインは、高速信号速度を扱うRS-485のアプリケーションにも当てはまります。

ただし、通常のRS-485のアプリケーションでは、ケーブルが原因の損失が配線(相互接続)チェーン全体の特性を支配します。中程度の信号速度(30Mbps以下)で比較的長いケーブルが使用されるアプリケーションでは特にその傾向が強くなります。そこで、このアプリケーション・レポートではケーブル損失による影響を中心に説明することにします。

2.3 RS-485 で推奨される標準的なケーブル

RS-485データ通信用に特化したパラメータを持つケーブルを製造しているケーブル・メーカーもあります。この種のケーブルに関する説明はどれも以下のようなものになります。RS-485データ通信ケーブルの主要な属性は、特性インピーダンス $120\ \Omega$ の平衡ツイストペア導線です(表1参照)。この種のケーブルのシールドイング機能は、電氣的に厳しい環境でのアプリケーションでRS-485を常用することを考慮したものです。電氣的ノイズの典型的な発生源としては、モーター、大電流リレーの接点、パワー・スイッチング・デバイスなどがあります。

メーカー	Belden	CommScope	Madison (Tyco)
部品番号	3105A	5090	02KFK0003
導体数	1対 + ドレイン線	1対 + ドレイン線	1対
導体サイズ	22 AWG (7 x 30)	22 AWG	24 AWG (7 x 32)
絶縁体	発泡ポリエチレン	発泡ポリエチレン	発泡ポリエチレン
シールド 1	アルミ/ポリエステルテープ	アルミ/ポリエステルテープ	アルミ/ポリエステルテープ
シールド 2	錫メッキ銅線編組	36 AWG 錫メッキ銅線編組	錫メッキ銅線編組
外被	PVC	PVC	PVC
差動インピーダンス	120 Ω	120 Ω	120 Ω
伝播速度	78% c	78% c	78% c
導体DCR	17.5 Ω /kft	14.7 Ω /kft	
シールドのDCR	2.8 Ω /kft	2.9 Ω /kft	
差動静電容量	11 pF/ft	11 pF/ft	11 pF/ft
減衰 (@1 MHz)	0.5 dB/100 ft		
撚り長	2.5インチ		

表 1 各メーカーのRS-485ケーブルのパラメータ

2.4 信号品質の測定

データ伝送システムでの信号品質はいくつかの方法で記述できます。高レベルでは、発見された送信エラーの数をビット誤り率 (BER) で記述し、送信されたビット100万個(以上)のうち何ビットがエラーになるかを示します。これはシステム全体の基準です。テスト方法としては、ドライバから既知のデータ・パターンを送信し、チャネルのレシーバ端のデータ・ストリームを観察する方法などがあります。後述のセクションでは、BERテストの結果を見ながら受信側イコライズ機能のメリットをいくつか示し、比較します。

もうひとつよく用いられる方法が、アイ・パターンです。アイ・パターンを使用すると、トランシーバやケーブルに誘起された信号がデータ・ビットのストリームに与える影響を視覚的に表示できます。Texas Instrumentsのデザイン・ノートSLLA036「Interface Circuits for TIA/EIA-485 (RS-485)」(参考文献3)では、アイ・パターンとそれに関連のある測定を実行する方法について説明しています。図3はそのデザイン・ノートからの引用であり、信号品質の指標として利用するためにジッタを測定する方法を示しています。このアプリケーション・レポートでは、アイ・パターンを使用してデータ伝送システムを説明し、比較します。またそのためにジッタを測定し、受信側イコライズ機能を使用するレシーバと使用しないレシーバの対比も行います。

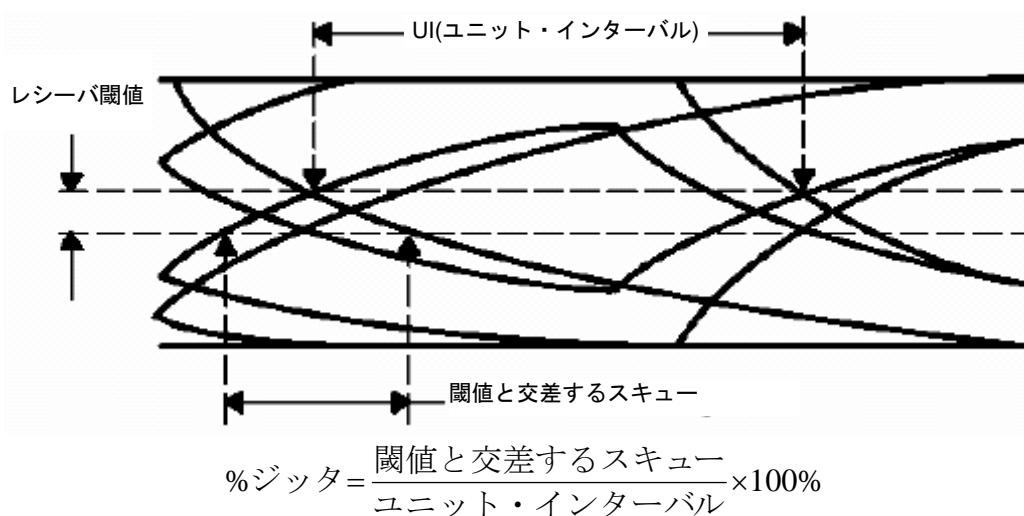


図 3 信号送信品質の測定にアイ・パターンを使用する

図4はSN65LBC176Aのドライバのチャンネル1からの出力であり、疑似ランダム・シーケンスに従ってHighとLowどちらかのロジック・ステートに切り替えられています。データ・ビット間の時間は100 nsであり、信号速度10Mbpsに対応しています。ビット間の遷移は明確に行われています。

チャンネル2の信号は、LBC176Aのレシーバへの入力です。この場合は、整合抵抗100Ωで終端処理された、長さわずか1メートルのシングルツイストペア・ケーブルが差動信号の搬送に使用されています。

チャンネル3は、LBC176Aのレシーバの出力です。ビット時間の大部分で、データの信号ステートが信頼できる状態でサンプリングできています。ケーブルが短い場合は、信号の劣化がほとんど発生しません。

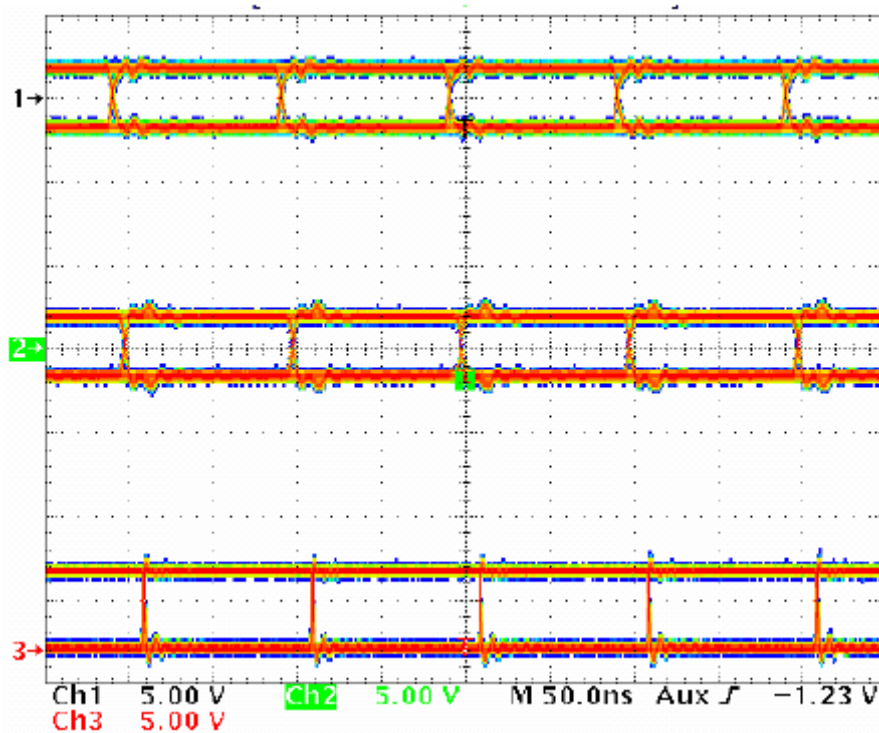


図4 ケーブル1メートルを通る10Mbpsデータ

図5では、ケーブル長を延長したことによる影響が示されています。チャンネル1の信号はここでも、ドライバとして構成されたSN65LBC176Aで送信される疑似ランダム・データです。信号速度は10 Mbpsです。

前の場合同様に、チャンネル2の信号は、レシーバとして構成された二番目のSN65LBC176Aへの入力です。ここでは、長い伝送ケーブルにより信号の明確度(アイ・パターン)が劣化しています。この場合は、シールドなしのツイストペア(UTP)数本からなる、長さ300メートルのCommScope社のケーブル(部品番号5524)が使用されています。整合抵抗100Ωで終端処理されたシングル・ツイストペア・ケーブルが差動信号を搬送しています。その他のツイスト・ペアはすべてオープンの状態です。

チャンネル3が示すのはSN65LBC176Aのレシーバの出力であり、ケーブルのシンボル間干渉によって発生した信号ジッタを強調しています。信頼性のある状態でビット・ステートを判定できる期間は、ビット時間の約20%に過ぎません。残り80%のビット時間中は、データがHighとLowの間で過渡状態になっている可能性があります。

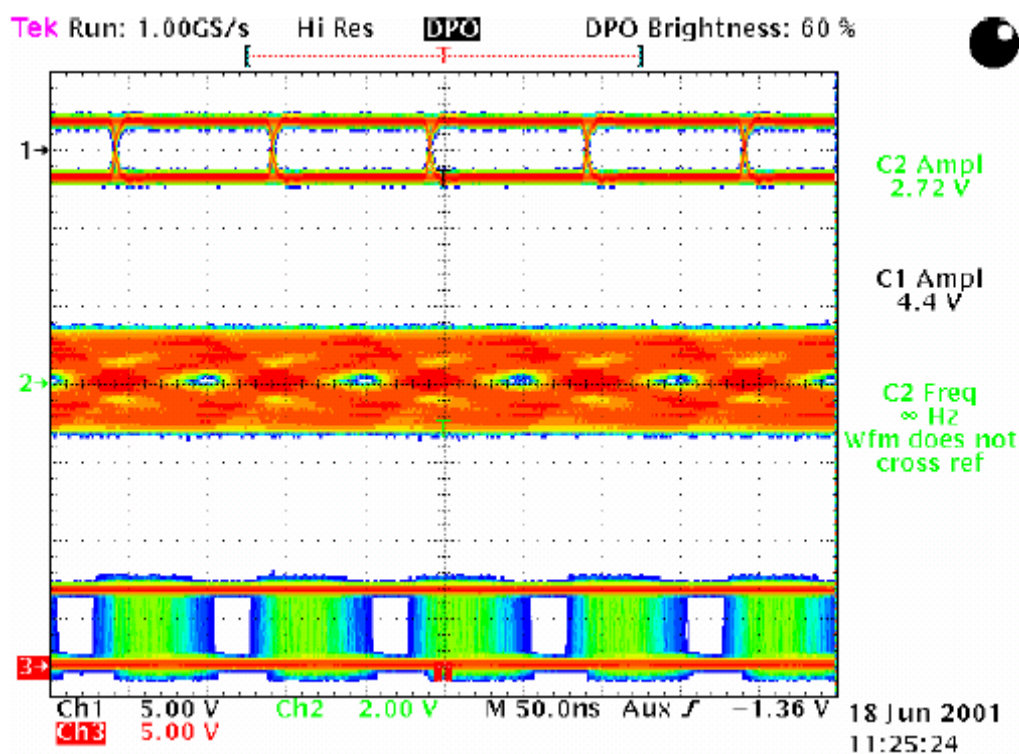


図 5 ケーブル300メートルを通る10Mbpsデータ

3 可能な解決法

3.1 ケーブル(媒体)の品質を向上させる

伝送媒体損失の問題を解決する最も単純な方法のひとつは、入手可能な範囲で最高の性能を持つ低損失ケーブルに投資することです。参考として挙げたいいくつかの技術文書(参考文献4、5)とケーブル・メーカー(参考文献6、7、8、9)には、各種ケーブルについての「減衰 vs 周波数」曲線などの詳細な技術データが記載されています。あるアプリケーションで、関心対象となる周波数すべてをカバーする最も減衰の低いケーブルを選択すると、信頼性のあるデータ伝送を確実にを行うのに役立ちます。ただし、ケーブルを選択するには下記のような要因で信号の忠実度が確保しにくくなるがよくあります。

- ・ インピーダンス
- ・ 規格への準拠
- ・ 絶縁材料の耐摩耗性と耐化学性
- ・ 柔軟性(折り曲げ強さと曲げ半径)
- ・ シールドイング
- ・ 絶縁定格
- ・ 温度定格
- ・ はんだぬれ性
- ・ 耐燃性
- ・ サイズ
- ・ 重量
- ・ コスト

上記の要因に加えて、多くのアプリケーションでは既存のケーブル媒体を利用せざるを得ないのが普通です。ネットワークが元から存在しており、かつノードの電子機器を交換する予定であれば、ケーブルのインフラまでアップグレードするだけの余裕がないこともあります。同様に、既存のネットワークを拡張する予定ならば、新しいケーブルは既存の設備と互換性のあるものにする必要があります。以上のような状況では、データ伝送性能の上限まで伝送を行うのに最適なケーブルを選択できなくなる可

能性もあります。このような場合は、ケーブルで生じる望ましくない損失を補償するための有効な方法が必要になると思われます。

3.2 信号回復の理論的方法

ケーブルの品質を向上させて信号損失を除去することが不可能だったり現実的でなかったりする場合に、失われた信号成分の補償や復元に使用できる方法もいくつかあります。これらの方法は、伝送チェーン末端の信号で、意図された信号の重要な特徴が確実に再現されるようにするものです。

ある信号 $s(\cdot)$ が、損失特性 $l(\cdot)$ の伝送媒体で伝送されるとすると、結果の信号 $s'(\cdot)$ は元の信号の歪んだ形になります。伝送媒体の影響を反転する機能(関数)か取り消す機能(関数)があれば、元の信号は復元できます。したがってこの方法は、必要な機能(関数) $m(\cdot) = 1/l(\cdot)$ を探して、可能な限り効率的に実装するというものになります。そのような設計では、チェーンのドライバ側の末端で(送信側プリエンファシス機能を使用するなどして(図6参照))事前補償を行うか、チェーンのレシーバ側の末端で、受信側イコライズ機能を使用して復元する方法(図7参照)を適用するかを選択することも必要になります。これらの方法のバリエーションについて、次に説明します。

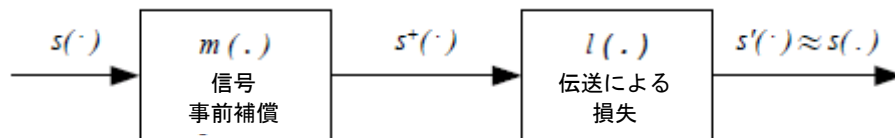


図6 信号事前補償のある伝送チェーン

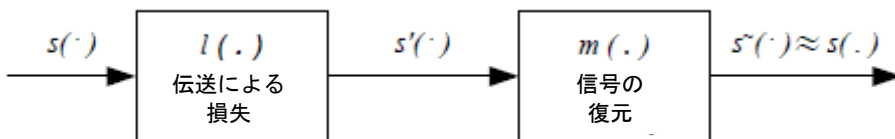


図7 信号復元のある伝送チェーン

3.3 送信側プリエンファシス機能

送信側プリエンファシス機能では、信号源(ドライバ)から送出されるオリジナルの信号を変更して、高周波成分を増幅します。その後、変更された信号がケーブルを通して伝送されると、高周波成分が減衰され、宛先(レシーバ)に着信した信号の特性がオリジナルの信号と同じになります。ケーブルの減衰特性が分かっているならば、理論的にはプリエンファシス機能によってケーブル損失を正確に補償することが可能です。

実際には、ドライバ側での信号の高周波成分を増加させる方法もいくつかあります。そのひとつが、信号が遷移するたびに一定時間、駆動信号の振幅を増幅するという「時間領域技法」です(参考文献10を参照)。

図8に示されているように、この方法では、正しいシェーピングを行えば、オリジナルの信号特性の大部分をレシーバに送信できます。プリエンファシス機能のもうひとつの方法は、微調整したハイパス・フィルタをドライバに追加するという「周波数領域技法」です。

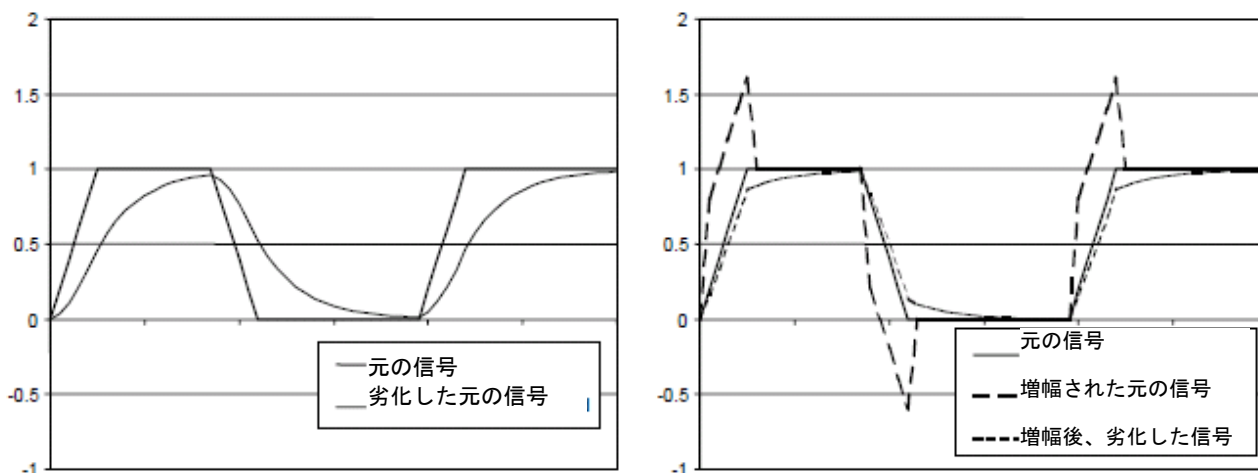


図8 送信側プリエンファシス機能

送信側プリエンファシス機能には制約があります。まず、ケーブルの減衰特性が分かっている必要があります。一般的なアプリケーションではケーブルの部品番号、任意の具体的なアプリケーションではドライバとレシーバ間の長さが設計者には分からない場合もあります。したがって、必要とされる正確なエンファシス量は普通は分かりません。設備の互換性を必要とするアプリケーションの二番目の制約は、送信側プリエンファシスのかけた信号は、大体において信号遷移中のオーバーシュートが10%より低とするTIA/EIA-485-A規格に準拠していないということです。

三番目の懸念事項は、プリエンファシスのかけた信号からの高周波電気ノイズ放射が増加することです。RS-485の信号処理選バ遷移は差動式であるため、平衡方式、つまりノイズを自動的に打ち消しながらの信号遷移が前提となってはいますが、負荷やドライバ遷移に少しでも不平衡があると、打ち消されないノイズが発生します。これは、電磁環境適合性(EMC)の要件により高周波放射の発生が制限される場合に特に注意する必要があるかもしれません。

最後に、送信側プリエンファシス機能では、各ビットごとに必要な電力が増加します。信号電圧と信号電力間には二乗則の関係があるために、増加の程度もかなり大きくなります。例えば、負荷 50Ω 上で駆動電圧を1.5Vから2Vに増幅すると、瞬間消費電力が2倍近くになります。

3.4 レシーバのゲインを増加させる

ケーブル損失の影響を克服する最も簡単な方法は、レシーバの感度を上げることです。関心対象の周波数の最大減衰が20dBの場合は、レシーバのゲインをケーブルの補償値より10倍多くすることにあたります。ただし、「補償値より多く」という言葉はこの場合、信号とノイズの両方を合わせたすべての周波数が同じ割合で増幅されるという意味になります。したがって、レシーバのゲインが高くなるということは、帯域幅全体のノイズに対する感度も高くなるということになります。

3.5 データのコーディング

ここまでは、ネットワーク内で送信中のデータが、各ビットの差動電圧のレベルで情報を表す符号化信号ではない（すなわちベースバンド信号である）ことを前提としてきました。信号速度が R ビット/秒の一般的なデータの場合には、符号化されていない信号はゼロ(DC)～ R の数倍にわたる周波数すべてを通過する必要があります。このアプリケーション用のイコライズ機能付きレシーバは、したがって、DC～最大約 $5R$ のかなりフラットなレスポンスを必要とします。データを符号化すると、DC成分を除去できます。これは、マンチェスター(バイフェーズ)符号化を使用して行われることもあります。マンチェスター符号化では、データを符号化することでDC成分をゼロにします。マンチェスター符号化データでは、データのビット・レートの2倍での信号処理が必要になります。したがってマンチェスター符号化データの周波数帯域幅は、 R ～約 $10R$ になります。周波数スペクトラムのこの部分のチャンネル特性がベースバンド部分よりも安定していれば、符号化がケーブル損失の問題の克服に役立っていることになります。他の符号化技法(8B10など)でもデータの周波数成分をシフトできるので、関心の対象になるかもしれません。

RS-485を使用するアプリケーションの多くでは、データ符号化の制約そのものがチャンネル損失の対応策となっています。アプリケーションによっては、ハードウェア的な制限が原因で、符号化データを通過させるのに必要な程度まで信号速度を上げることができない場合があります。また、(Profibusのように)プロトコルのレベルが高すぎてデータ符号化ができない場合もあります。

3.6 受信側イコライズ機能

受信側イコライズ機能とは、媒体が選択的に減衰させる信号高周波成分を復元するための方法です。この方法はバス・ラインの受信端で実行され、関心対象のすべての周波数の相対的な信号量をイコライズするために役立ちます。

図9は、受信側イコライズ機能の概念図です。標準的なRS-485差動トランシーバであればどれもドライバとして使用できます。伝送線路は、ケーブルとコネクタの周波数依存特性に基づいて信号を減衰させます。受信側イコライズ機能が伝送線路の損失に対して十分調整されていれば、差動レシーバの入力で元の差動信号を復元できます。

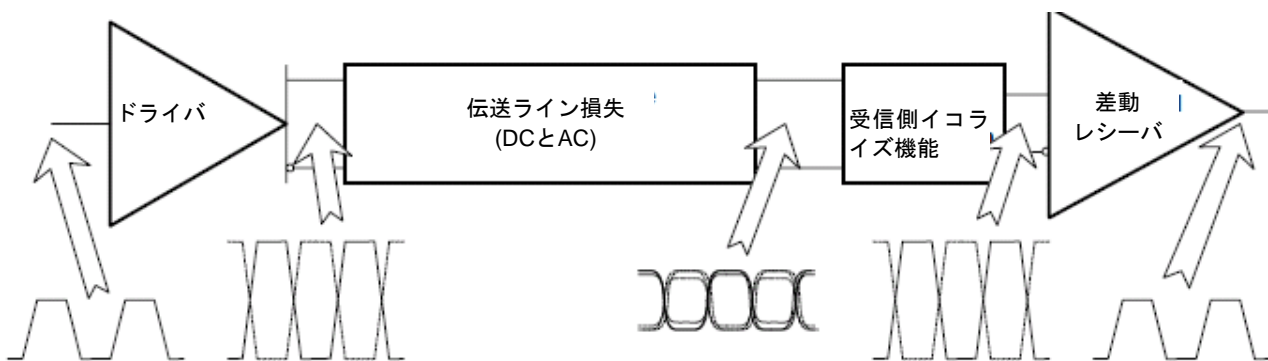


図9 受信側イコライズ機能を使用した信号復元

受信側イコライズ機能の利点は、影響がデータ伝送バスの受信端に限定されることです。受信側イコライズ機能を実装したトランシーバは既存のシステムで使用でき、バス信号レベルに影響を与えません。この方法のもうひとつの利点は、実際に受信された信号のパフォーマンスの最適化に採用できることです。次のセクションでは、受信側イコライズ機能の実装例をいくつか取り上げて説明します。

4 受信側イコライズ機能の実装

4.1 受動アナログ・フィルタ

抵抗、コンデンサ、および/またはインダクタの各要素から構成される受動フィルタを使用して、周波数選択フィルタを生成できます。通常、このフィルタは低周波成分を減衰させますが、ケーブルが減衰させる高周波成分には何も行いません。これにより、全体的にフラットなレスポンスが生成されます。もちろん、受動フィルタには「すべての周波数を減衰させる」という短所があるために、信号のエネルギーは少なくなり、ノイズ・マージンも減少します。

4.2 能動アナログ・フィルタ (様々な次数)

能動フィルタでは個別トランジスタまたはオペアンプを使用することにより、受動フィルタの信号損失を克服することができます。実績のあるフィルタ設計技術を使用すれば、適切なハイパス・フィルタを設計して、ケーブルの高周波損失を補償できます。どのような設計になるとしても、設計パラメータはフィルタの次数、フィルタの形状、そして最も重要である周波数です。

伝送線路理論では、連結された抵抗・インダクタ・コンデンサ (RLC) 要素の無限の連続としてケーブルをモデル化しています。ここから、無限の数の極を持つローパス・フィルタとしてケーブルを見た場合の周波数ドメインのモデルが導き出せます。実際には、ケーブルの減衰、またそれに対応する受信側イコライズ機能は、有限の極数に近似できます。例えば図10では、1次ローパス関数と3次ローパス関数でケーブル500メートルの減衰がどれだけ正確に近似できるかを示しています。周波数が約1MHz以下の場合、1次近似が比較的正確になります。周波数が10MHz以上の場合、3次近似が比較的正確になります。それより高次での近似も、必要に応じて使用できます。

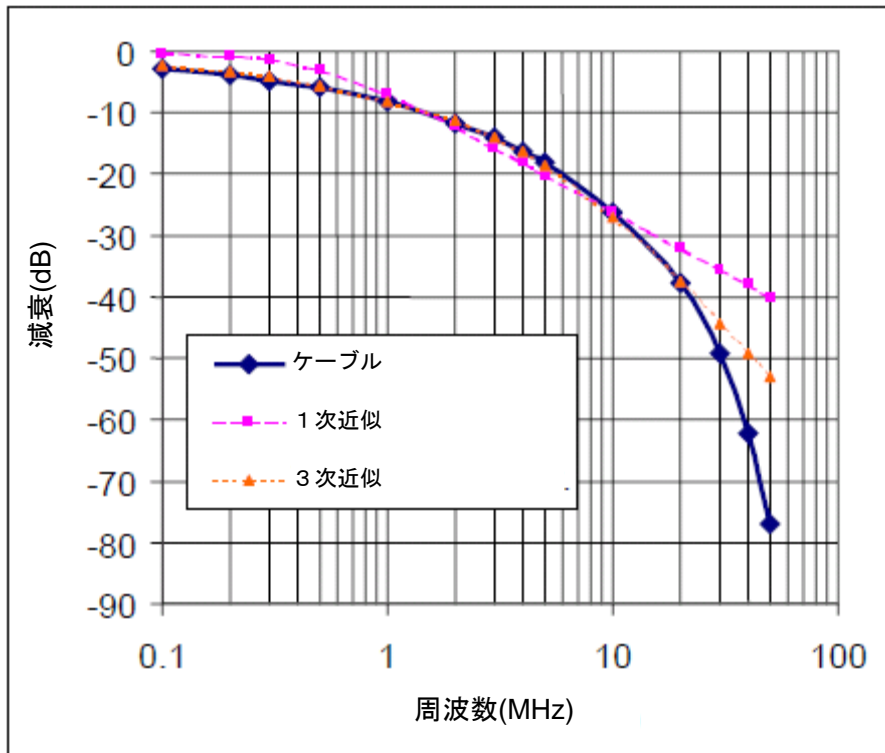


図 10 ケーブル減衰に対する有限次数近似

データ伝送路(ケーブル、コネクタなど)の特性が分かっているか、概算することができれば、適切なイコライズ機能(関数)を設計して、関心対象となる周波数成分に対する損失を補償できます。図11にその設計例を示します。

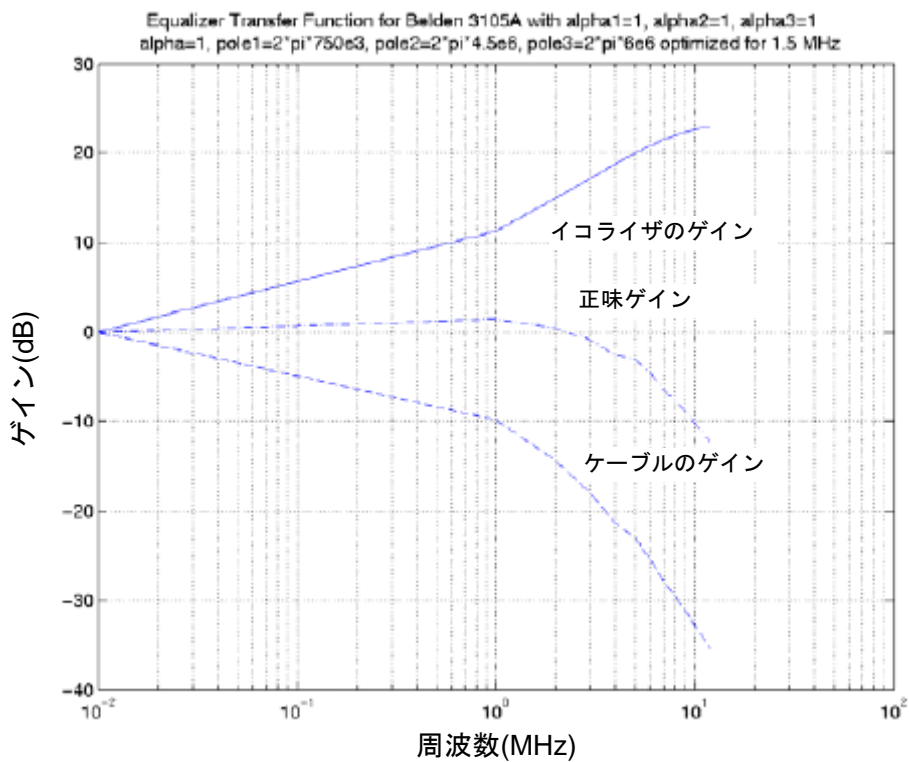


図 11 ケーブル損失とイコライザ設計例

RS-485方式では、受信側イコライズ段の設計にさらに困難が加わります。その原因は、信号速度、平衡差動方式のシグナリング、TIA/EIA規格で指定された同相電圧範囲が広いことです。解決法のひとつは、高速完全差動アンプ製品THS4140を使うことです。このデバイスにより、最大160MHzのユニティ・ゲイン周波数レスポンスで真の差動入力と差動出力が可能になります。THS4140の同相電圧入力範囲は ± 15 Vであり、RS-485方式の範囲である -7 V \sim 12 Vを十分にカバーしています。

図12のように差動ハイパス・フィルタを設計すると、単極受信側イコライズ段が生成されます。抵抗とコンデンサの値は、アプリケーションによって決まります。ケーブルの減衰にマッチする高域通過特性は、設計者がRとCの値を選択することで決まります。

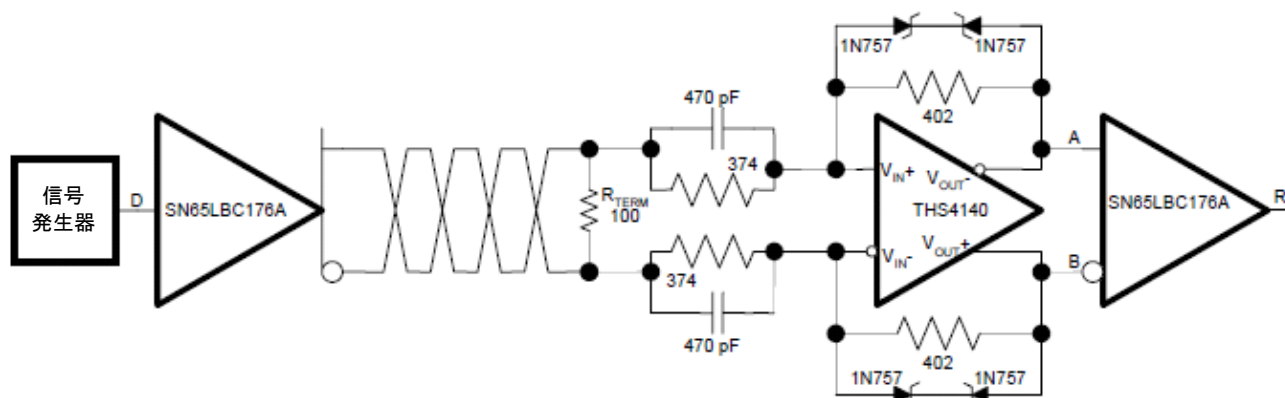


図 12 差動オペアンプTHS4140を使用した受信側イコライズ機能の回路図

4.3 組み込み受信側イコライズ機能

現在、Texas Instrumentsでは、組み込み受信側イコライズ機能のあるRS-485方式トランシーバSN65HVD23とSN65HVD24を提供しています。どちらのデバイスにも、三次アクティブ・フィルタをベースにした受信側イコライズ段があります。各フィルタの最重要周波数は、特定のアプリケーションの範囲に合わせて選択されています。

SN65HVD23の信号速度は、ケーブル長が200メートル以内では約25Mbpsに最適化されています。これは、比較的高い信号速度を使用し、ケーブルをより長く延長できるアプリケーションに特に向いています。例として、12Mbpsで動作するProfibusネットワーク、または必要なケーブル長が200メートル以下のモーション・コントロール関連アプリケーションなどがあります。この場合は信号速度が上がるほど、許容可能な位置分解能が高くなります。

SN65HVD24の信号速度は、ケーブル長が500メートル以内では約5Mbpsに最適化されています。図13に示すのはSN65HVD23とSN65HVD24、また同ファミリの他のトランシーバの推奨アプリケーション機能です。SN65HVD20、SN65HVD21、SN65HVD22の作る傾きの境界線は、TSB-89に示すガイドライン”Application Guidelines for TIA/EIA-485-A”に一致しています。

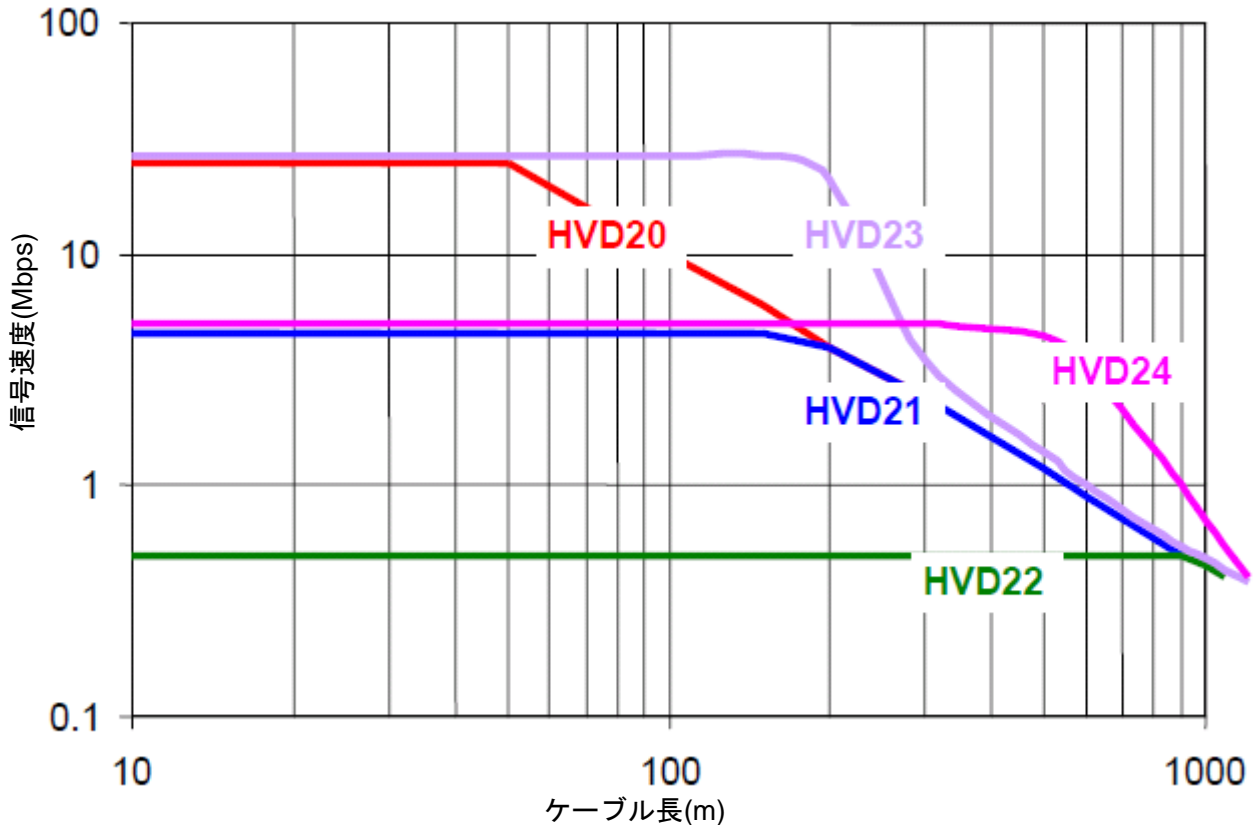


図 13 受信側イコライズ機能付きのSN65HVD2Xトランシーバ・ファミリ

受信側イコライズ機能に加えて、HVD2Xファミリのトランシーバには、個別のアプリケーション分野に製品を十分適合させるための機能もあります。これらのトランシーバのパフォーマンスは、標準的なRS-485デバイスを大幅に上回ります。SN65HVD2xファミリでは動作する同相電圧範囲が拡張されており、高いESD保護機能、幅広い受信ヒステリシス、フェイルセーフ動作などの機能を備えています。このデバイス・ファミリーは、長いケーブルを使用するネットワークや、通常のトランシーバには厳しすぎる環境でのその他アプリケーションに理想的に適合しています。

5 テスト結果

5.1 差動アンプTHS4140を使用した受信側イコライズ機能

ケーブルでの高周波損失を補償するために、受信側イコライズ段では、これらの関心対象周波数用にゲインを増加させる必要があります。図14はゲイン対周波数であり、オペアンプTHS4140の帯域幅がどのようにロールオフするかを示しています。ここでは、高周波ノイズに対する受信側イコライズ段の感度が低くなっています。

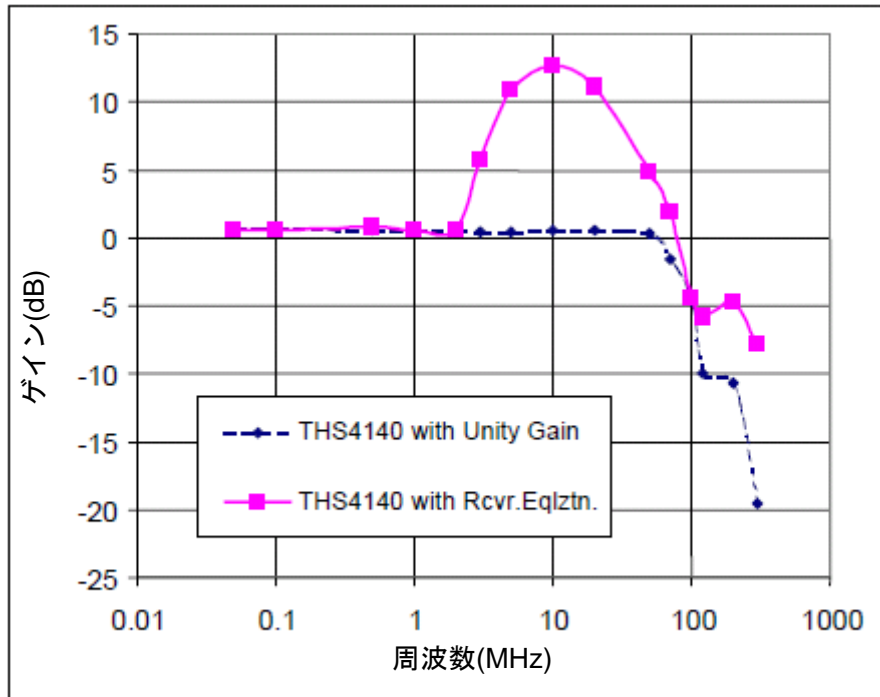


図 14 THS4140 受信側イコライズ段の周波数レスポンス

図15は、図5で最初に述べたデータ伝送システムに受信側イコライズ段を追加するとどのようなメリットがあるかを示しています。チャンネル1の信号はここでも、ドライバとして構成されたSN65LBC176Aで送信される疑似ランダム・データです。信号速度はここでも10Mbpsです。

前回同様、チャンネル2の信号はレシーバとして構成された二番目のSN65LBC176Aへの入力です。送信チャンネルは、図5と同じケーブル300mです。ただし、受信側イコライズ段では信号の高周波成分を復元します。

チャンネル3ではレシーバLBC176Aの出力が示され、信号ジッタに向上が見られることが強調されています。ビット時間の約80%で、信頼性のある状態で信号のステートを判定できます。

これを図5のチャンネル3と比較してください。図5では、信号のステートが信頼性のある状態で判定できたのはビット時間の20%のみでした。

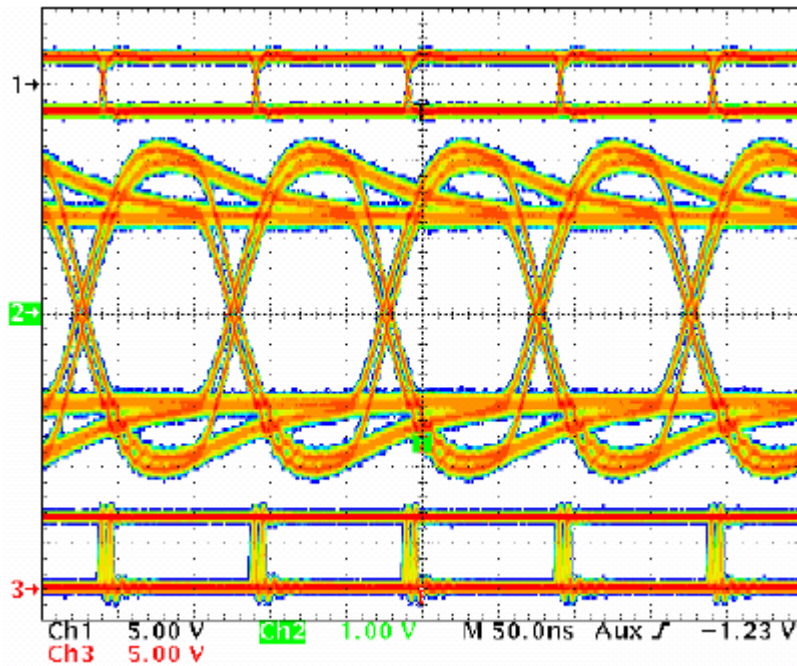


図 15 ケーブル300メートルを介した10Mbpsデータ(THS4140のイコライズ機能付き)

「受信側イコライズ段を追加しても、ケーブル長が短い場合の伝送システムのパフォーマンスが劣化することはない」ということを説明するために、ケーブル1メートルとともに受信側イコライズ段を使用して測定を繰り返します。図16にこの場合を示します。

チャンネル1は、SN65LBC176Aのドライバの出力です。前回同様、信号速度10Mbpsでデータの疑似ランダム・シーケンスを送信しています。

チャンネル2は、レシーバとして構成された二番目のSN65LBC176Aへの入力を示しています。このポイントでの信号は、ケーブル1メートルと受信側イコライズ段を通ってきた後になります。受信側イコライズ段のハイパス・フィルタの影響で、差動信号の振幅が増加しています。

SN65LBC176Aのレシーバの出力でのデータをチャンネル3に示します。この信号を図4のチャンネル3のレシーバ出力信号と比較して、受信側イコライズ段を通過した後も信号が劣化していないことを確認してください。

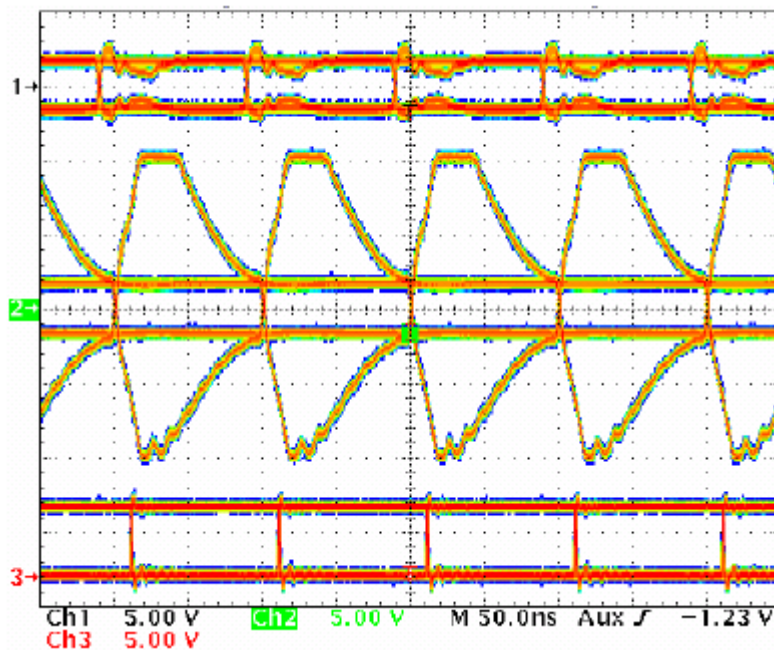


図 16 ケーブル1メートルを介した10Mbpsデータ(THS4140のイコライズ機能付き)

5.2 HVD23 を使用した組み込み受信側イコライズ機能

図17、図18、図19は、SN65HVD23トランシーバに組み込み受信側イコライズ機能を実装した場合のメリットを示しています。どの場合も、SN65HVD23 (受信側イコライズ機能付き)のパフォーマンスを、競合他社のトランシーバ(受信側イコライズ機能なし)と比較しています。テストの設備は、どの図でも同じです。差動信号生成回路を使用して、Belden社のツイストペア・ケーブル1872Aの160mの片方の端に信号電圧を印加します。テスト信号は、NRZデータの疑似ランダムビット・ストリーム(PRBS)25Mbpsです。チャンネル2(上側)は、レシーバ入力側(ケーブル減衰後)での差動電圧のアイ・パターンです。チャンネル3(下側)はレシーバの出力です。

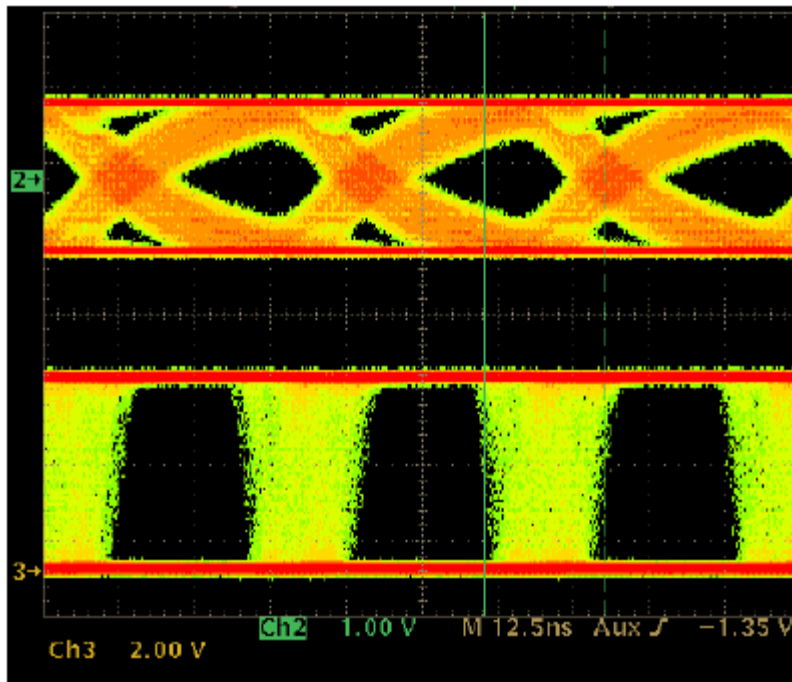


図 17 LTC1485、160m、25Mbps

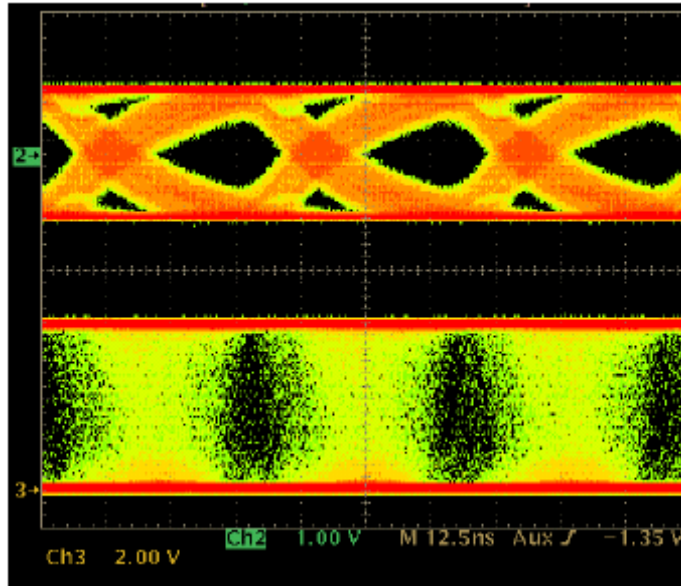


図 18 MAX485、160m、25Mbps

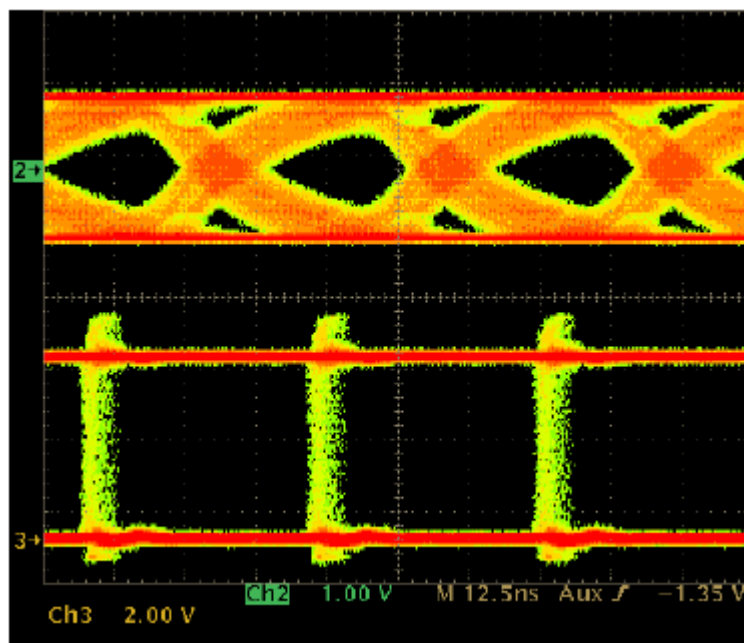


図 19 SN65HVD23、160m、25Mbps

5.3 HVD24 を使用した組み込み受信側イコライズ機能

図20と図21は、SN65HVD24トランシーバに実装された組み込み受信側イコライズ機能のメリットを示しています。それぞれの図では、SN65HVD24(受信側イコライズ機能付き)のパフォーマンスをSN65HVD21(受信側イコライズ機能なし)のパフォーマンスと比較しています。受信側イコライズ機能の有無の他は、2つのトランシーバ製品の機能は同じです。テストの設備はどちらの図でもまったく同じであり、差動信号生成回路を使用して、Belden社のシールド付きツイストペア・ケーブル3105Aの片方の端に信号電圧を印加します。チャンネル1(上段)は、NRZデータのPRBSのアイ・パターンです。チャンネル2(中段)はレシーバ入力(ケーブル減衰後)での差動電圧のアイ・パターンです。チャンネル3(下段)はレシーバの出力です。

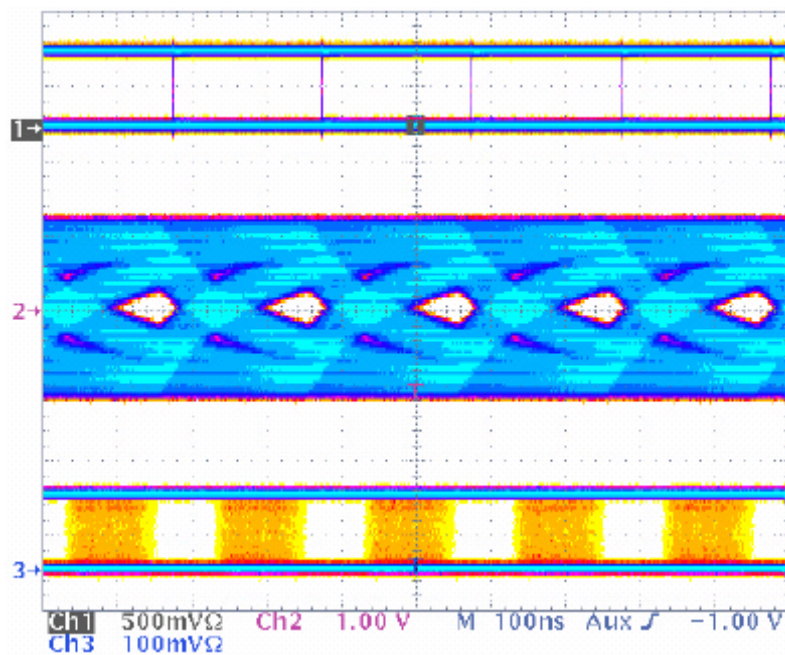


図 20 SN65HVD21、500m、5Mbps

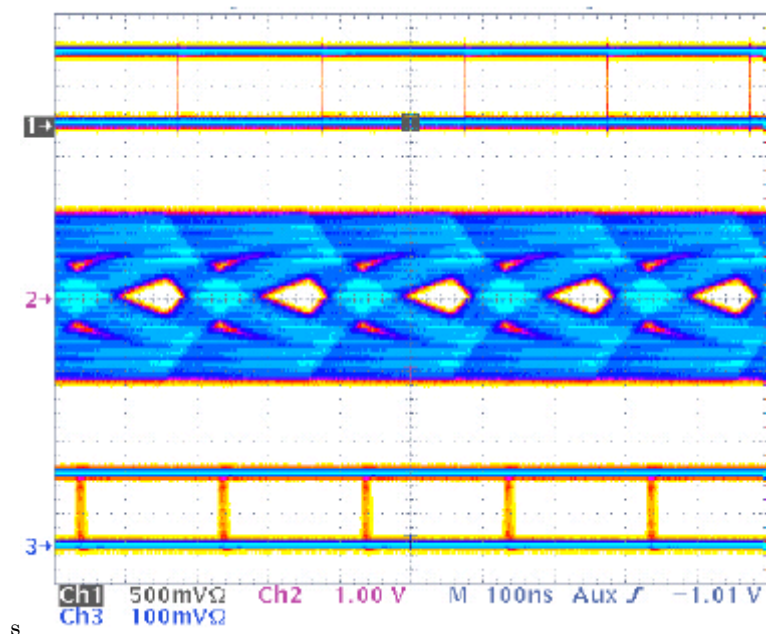


図 21 SN65HVD24、500m、5Mbps

図20と図21のデータは、受信側イコライズ機能付きのSN65HVD24が、5Mbpsの速度でケーブル500メートルを通るデータを信頼性のある状態で受信する様子を示しています。SN65HVD21(受信側イコライズ機能なし)を使用した場合には、レシーバの出力に約50%のジッタが現れます。

同じ条件であれば、SN65HVD24のレシーバ出力のジッタは10%より少なくなります。

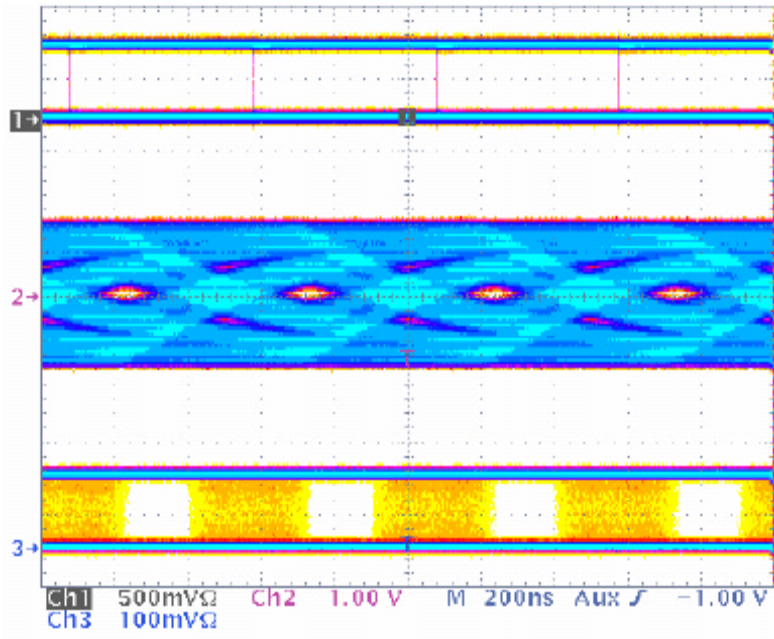


図 22 SN65HVD21、1000m、2Mbps

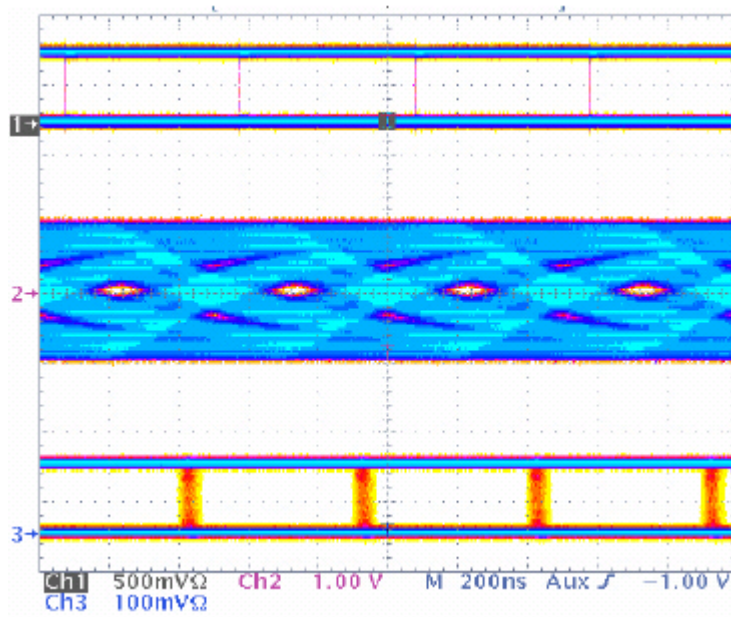


図 23 SN65HVD24、1000m、2Mbps

図22と図23のデータは、受信側イコライズ機能付きのSN65HVD24が、2Mbpsの速度で1kmメートルのケーブルを通るデータを信頼性のある状態で受信する様子を示しています。SN65HVD21(受信側イコライズ機能なし)を使用した場合には、レシーバの出力に約50%のジッタが現れます。

同じ条件であれば、SN65HVD24のレシーバ出力のジッタは約10%になります。

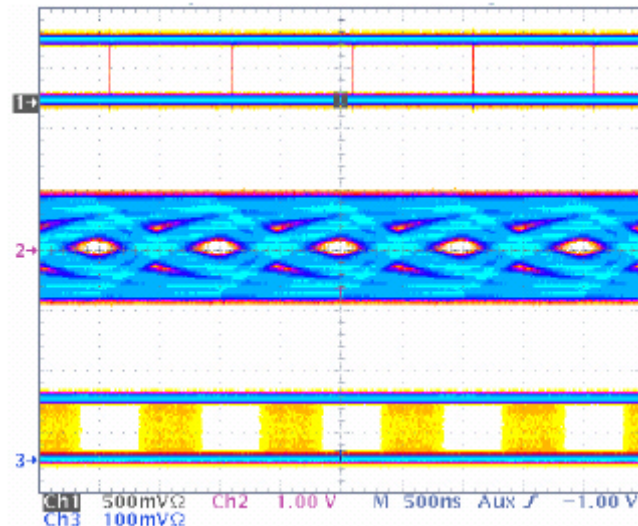


図 24 SN65HVD21、1500m、1Mbps

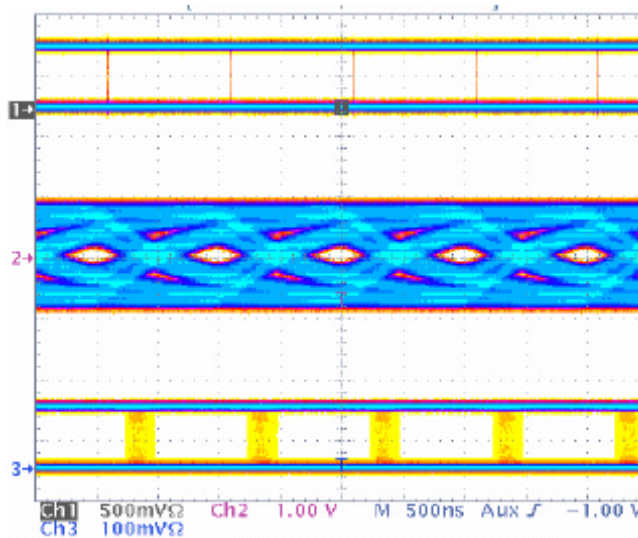


図 25 SN65HVD24、1500m、1Mbps

前の比較結果と同様、図24と図25では、非常に長いケーブル(この場合はBelden社製3105Aケーブル1.5km)を介して行う受信でのSN65HVD24の受信結果が、標準的なレシーバの受信結果に比べて優れていることを示しています。

5.4 ビット誤り率(BER) のテスト結果

セクション2.4で説明したBERテストは、データ伝送システムの総合的な品質を測定する方法です。受信側イコライズ機能の影響を示すために、受信側イコライズ機能を持つトランシーバと持たないトランシーバを使用した2つの場合についてテストします。BERテストは、Agilent社の81250 Parallel Bit Error Rate Testerで、 $2^{15}-1$ PRBS 差動信号を使用して行います。このテストは、公称条件での温度とVccで行います。表2にテストの要約を示します。受信側イコライズ機能付きのシステムでは、イコライズ機能のないトランシーバよりもかなり高い信号速度で、しかも目立ったエラーもなく、1時間にわたってデータの通信を行うことができました。

事例	エラーなしで達成可能な最高信号速度	
	受信側イコライズ機能なし	受信側イコライズ機能あり
ケーブル (Belden 3105A) 150mの信号速度(高速)	41Mbps (SN65HVD20)	73Mbps (SN65HVD23)
ケーブル (Belden 3105A) 500mの信号速度(中速)	5Mbps (SN65HVD21)	17Mbps (SN65HVD24)

表 2 BERテストの結果

5.5 受信側イコライズ機能の限界

どんな高機能でもそうであるように、受信側イコライズ機能のメリットにも限界はあります。受信側イコライズ機能の効果は、データ伝送システムの一定の要因に依存します。受信側イコライズ機能を使用して、減衰された信号からデータを復元することは、予期される信号(電圧レベル、信号速度)と通信チャンネル(ケーブルの性質、長さ、減衰)に関する要因を利用することに他なりません。これらの要因を効果的に使用した場合にのみ、受信側イコライズ機能は多大なメリットを生み出します。

考慮すべき問題のひとつは、高周波信号に対するレシーバの感度が上がると、電氣的ノイズへのレスポンスが生じる可能性があることです。ノイズ感度を制限するには、受信側イコライズ・フィルタの範囲を可能な限り狭くする必要があります。理想的には、信号速度を完全に把握した上で、フィルタのレスポンスが必要な周波数帯域のみにマッチするようにする必要があります。SN65HVD23とSN65HVD24のそれぞれに組み込まれたフィルタのレスポンスは比較的狭くなっていますが、それでも信号速度にある程度余裕があります。これを図13に示します。図13からは、信号速度が約5Mbpsよりも高い場合は、イコライズ機能のないトランシーバよりもSN65HVD23の方が有利であることが分かります。この信号速度より低くなると、イコライズ機能の効果はほとんどなくなり、レシーバのレスポンスがイコライズ機能のないレシーバと変わらなくなります。同様に、SN65HVD24の受信側イコライズ機能は信号速度が1Mbps～約5Mbpsの場合に最も有効です。信号速度が約1Mbpsよりも低い場合は、どのような受信側イコライズ機能のメリットも長いケーブルにしか適用できなくなります。

イコライズ・フィルタの帯域には制限を設ける必要があるため、個別のアプリケーションがどのようなものであっても、適切なイコライズ機能を選択する必要があります。通常、事前定義された範囲内であればシステムの信号速度を知ることは可能であるため、関心対象となる値に近い周波数を定めることも可能になります。

感度の周波数範囲を狭くしても、イコライズ機能のあるレシーバではイコライズ機能のないレシーバよりも電氣的ノイズに対する感度が高くなります。これに対抗するために、SN65HVD23レシーバとSN65HVD24レシーバでは通常のレシーバよりもヒステリシスのレベルが高くなっています。ヒステリシスがあると、小さな差動ノイズが生じてレシーバの状態が変わらないようにできます。

図26のテスト回路では、関心対象の周波数でのレシーバ感度を直接測定できます。有効なバス・ステート(最も悪い場合の最小限値の差動信号である、-200mV)がレシーバ入力に印加されます。その後、ノイズ入力が増加され、振幅が増加すると、任意の周波数でのレシーバ閾値が判定できます。

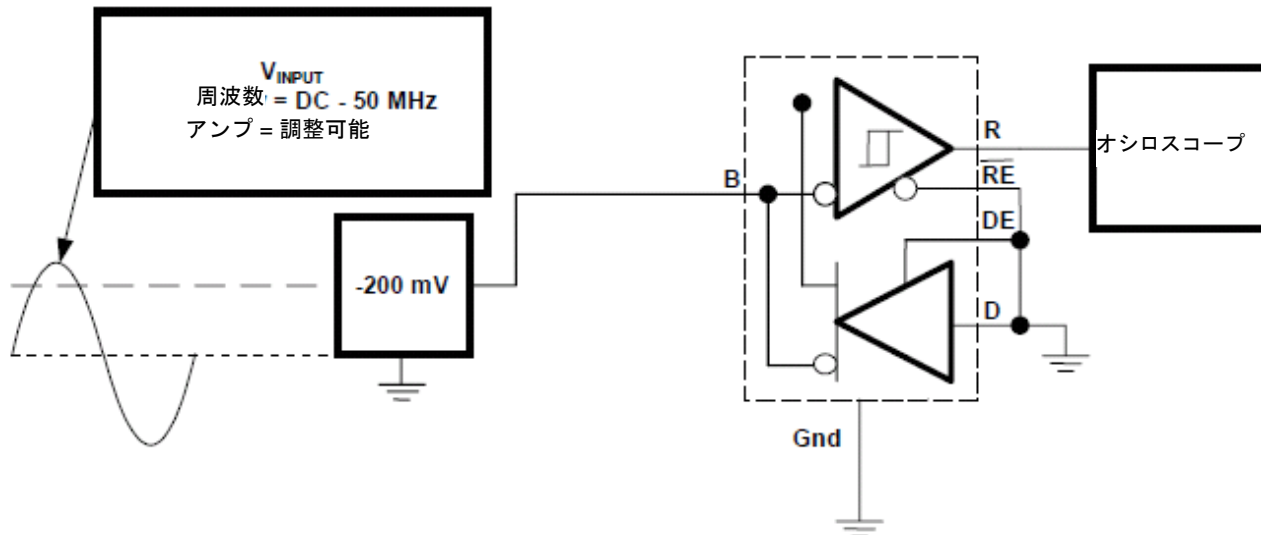


図 26 感度 vs. 周波数のテスト回路

図27では、イコライズ機能付きレシーバSN65HVD23のレスポンスと、イコライズ機能のないレシーバSN65HVD20を比較しています。SN65HVD23の感度は、そのアプリケーションの信号速度に関連した周波数帯域では高くなっていますが、TIA/EIA-485-A規格の要件範囲内の閾値マージンである約175mVを維持しています。この原因の一部は、SN65HVD2Xファミリー製品のトランシーバに設計されたヒステリシスのレベルが高い(> 100mV)ことです。SN65HVD24の場合にも、図27と同様のグラフが当てはまります。

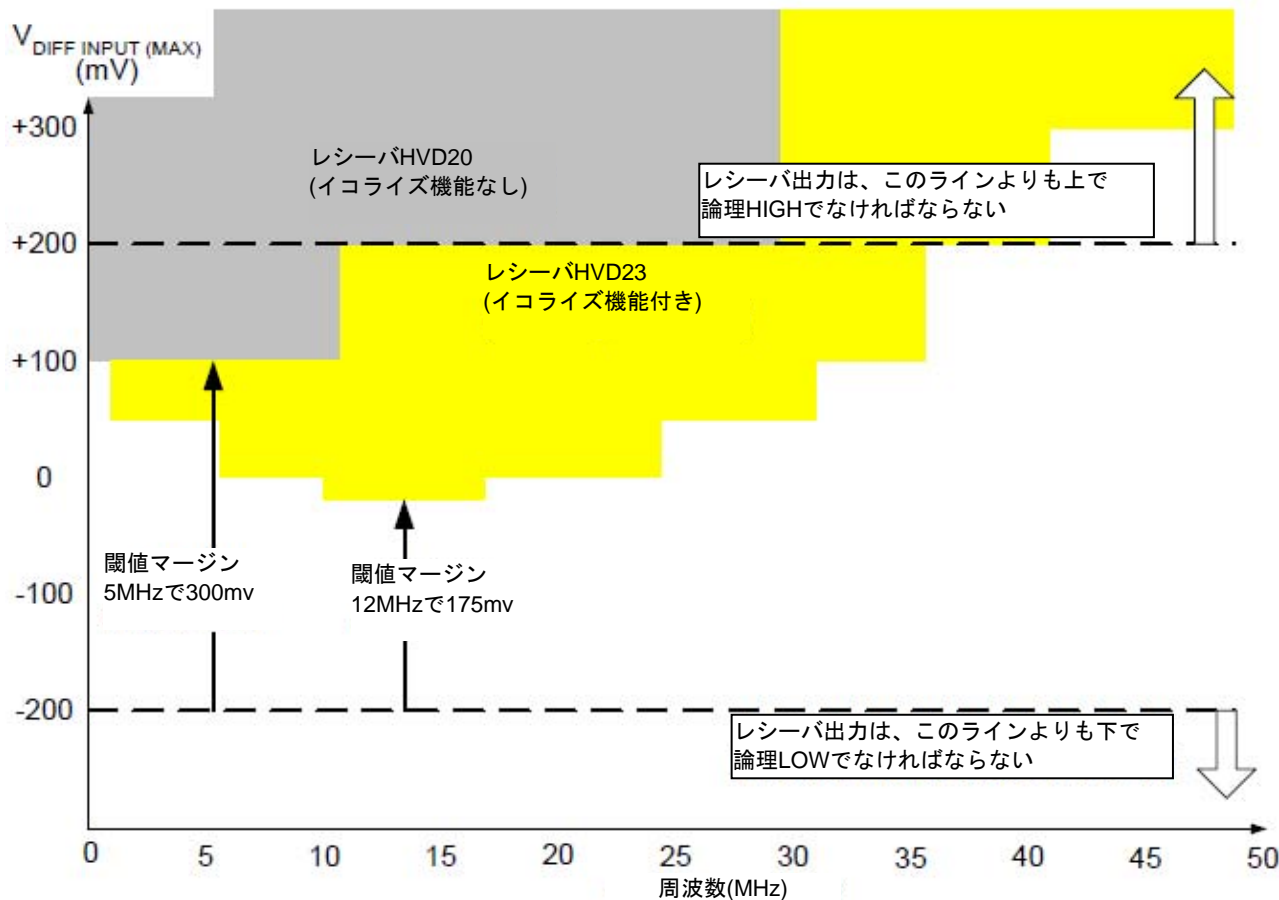


図 27 感度の比較 (受信側イコライズ機能がある場合とない場合)

6 応用例

受信側イコライズ機能の応用が役立つ可能性のある例としては、図28のような工場のオートメーション・ネットワークがあります。工場環境の規模が大きい場合、プログラマブル・ロジック・コントローラ(PLC)、センサ(温度センサ、圧力センサ、流体センサ)、アクチュエータ(モーターや空気圧式アクチュエータ)を、メインのヒューマン/マシン・インターフェイス(HMI)・ステーションから最大で500メートルも離れたところに設置しなければならないこともあり、そのための柔軟性が最終装備のユーザから要求される可能性もあります。

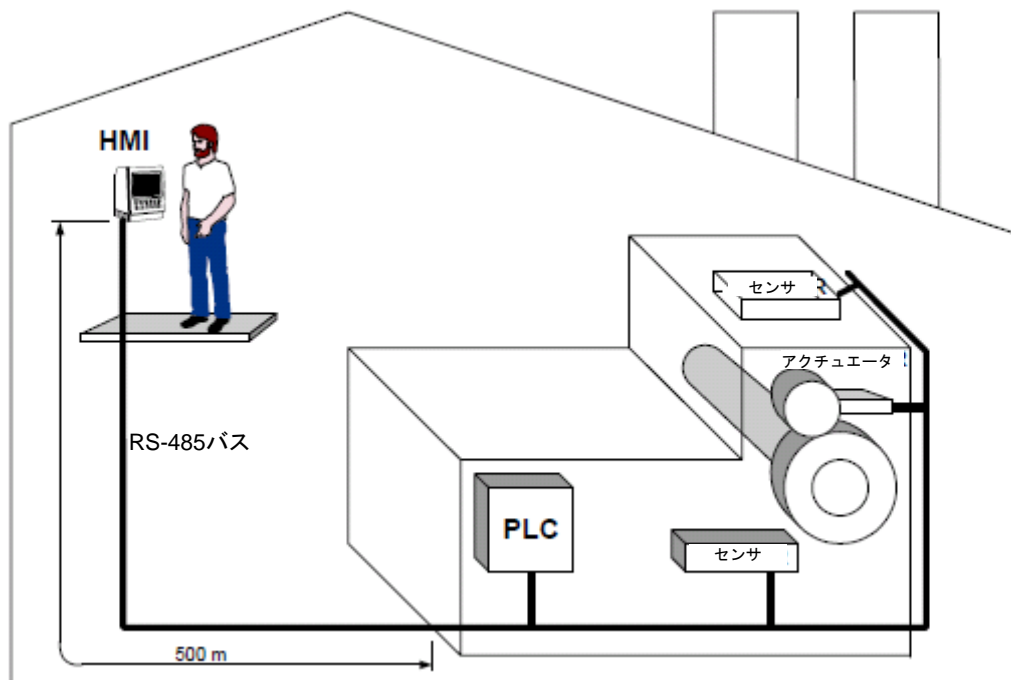


図 28 工場オートメーションの例

受信側イコライズ機能がない場合、システム設計やケーブル品質によっては、信号速度が2Mbps程度に制限されてしまう可能性もあります。このことを図29に示します。差動信号(中央の段)では高周波が減衰していることが明白ですが、レシーバの出力信号(下の段)のジッタは許容可能なレベルです。

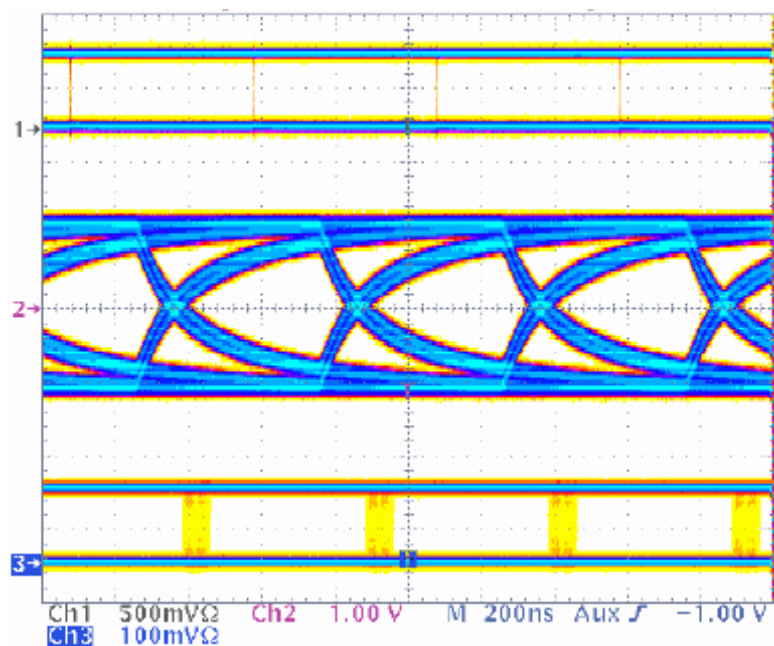


図 29 SN65HVD21、500mケーブル、2Mbps

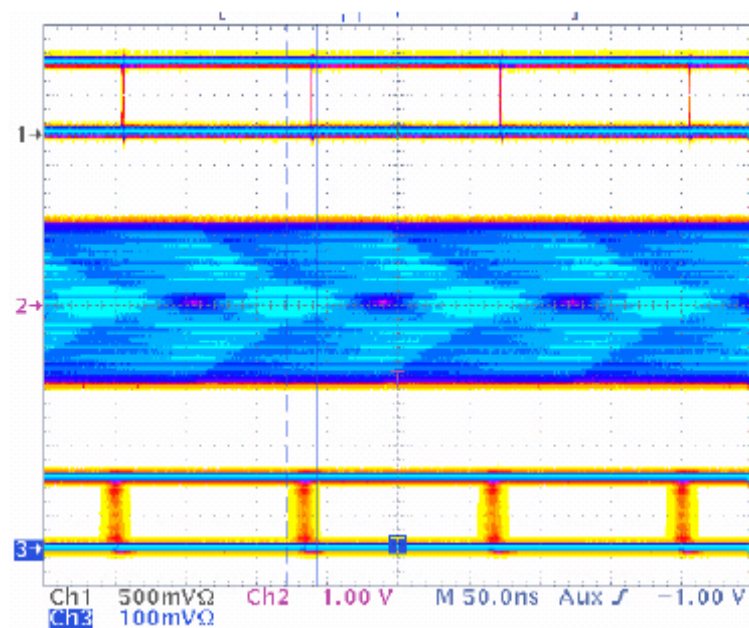


図 30 SN65HVD24、500mケーブル、7.5Mbps

図30では、SN65HVD24トランシーバを使用すると、同じケーブルを使用した場合でも信号速度が7.5Mbpsまで上げられることが示されています。差動信号は劣化していますが、レシーバの出力のジッタは許容可能なレベルであり、受信側イコライズ機能を使用しない2Mbpsの場合と比較可能であることに注意してください。

このネットワーク信号速度の大幅な向上により、インストールされたネットワーク上のスループットを増加させたり、重要な機能のシステム・タイミングを高速化したりすることが可能になります。

効果的と思われるもうひとつの応用例は、HVAC(空調)またはセキュリティ機能のオートメーションを構築することです。この場合は、信号速度は標準のまま、ケーブル長を延ばした場合にメリットが生じます。例えば、信号速度25Mbpsで稼動する高速ネットワークでSN65HVD23を使用すると、最大ネットワーク長を約50メートルから約150メートルにまで拡張することも可能になります。同様に、信号速度5Mbpsで稼動するビルディング・オートメーションのネットワークでSN65HVD24を使用すると、最大ネットワーク長を約150メートルから約500メートルにまで拡張することが可能です。

最後に、ケーブルのコストを削減することがメリットとなるような応用例では、受信側イコライズ機能を利用できるかどうかについて必ず考慮してください。例えば、あるビルディング・オートメーションで、インストール済みの既存のケーブルで適切にサポートできる信号速度が最大500kbpsである場合を考えてみましょう。ビルの空調(HVAC)とセキュリティのエレクトロニクスを、エネルギー効率の向上(サーモスタット、照明制御など)やセキュリティの向上(動体検知器、オーディオ・センサ、バッジ読み取り装置)を目的とした新しい機能でアップグレードする必要があると仮定してみます。前述のような、パフォーマンスを向上させるための機能がサポートされることになれば、ネットワークでは1Mbps以上の速度での信号処理が必要になる可能性があります。ケーブル信号の高速化に関連するコストとしては、再配線作業、影響を受けるすべてのエリアでのコンピュータの休止時間、資材費などがあります。受信側イコライズ機能のあるトランシーバを使用してこれらの費用を軽減することが可能になれば、そのメリットは相当なものになると思われます。

7 結論

受信側イコライズ機能を利用すると、RS-485方式のデータ通信の使用制限範囲を拡張できます。信号速度を上げることも、ケーブル長を延ばすことも、およびまたはケーブルのコストを削減することもすべて可能になります。Texas Instrumentsではこの受信側イコライズ機能を、パフォーマンスに実績のあるSN65HVD23とSN65HVD24に組み込んで提供します。

8 参考文献

1. Suggestions for LVDS Connections (SLLA104)
2. Low-Voltage Differential Signaling (LVDS) Design Notes (SLLA014)
3. Interface Circuits for TIA/EIA-485 (RS-485) (SLLA036)
4. Handbook of Wiring, Cabling, and Interconnecting for Electronics, Charles A. Harper, ed., McGraw-Hill, New York, 1972.
5. Introduction to Copper Cabling, John Crisp, Newnes (Elsevier Science), Oxford, 2002.
6. Belden Wire and Cable Company, www.belden.com
7. CommScope, www.commscope.com
8. General Cable Corporation, www.generalcable.com
9. Madison Cable Corporation, www.madisoncable.com
10. Pre-emphasis improves RS-485 communication, Ted Salazar and Larry Suppan, EDN Magazine, July 10, 1999.

ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社(以下TIJといひます)及びTexas Instruments Incorporated(TIJの親会社、以下TIJないしTexas Instruments Incorporatedを総称してTIといひます)は、その製品及びサービスを任意に修正し、改善、改良、その他の変更をし、もしくは製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。従いまして、お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかをご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIJとの間に取引契約が締結されている場合は、当該契約条件に基づき、また当該取引契約が締結されていない場合は、ご注文の受諾の際に提示されるTIJの標準販売契約約款に従って販売されます。

TIJは、そのハードウェア製品が、TIの標準保証条件に従い販売時の仕様に対応した性能を有していること、またはお客様とTIJとの間で合意された保証条件に従い合意された仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査およびその他の品質管理技法は、TIが当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメータに関する固有の検査は、政府がそれ等の実行を義務づけている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TIJは、製品のアプリケーションに関する支援もしくはお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションについて想定される危険を最小のものとするため、適切な設計上および操作上の安全対策は、必ずお客様にてお取り下さい。

TIJは、TIの製品もしくはサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、もしくは方法に関連しているTIの特許権、著作権、回路配置利用権、その他のTIの知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明もしていません。TIが第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TIが当該製品もしくはサービスを使用することについてライセンスを与えるとか、保証もしくは承認をすることを意味しません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない場合もあり、またTIの特許その他の知的財産権に基づきTIからライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TIのデータ・ブックもしくはデータ・シートの中にある情報を複製することは、その情報に一切の変更を加えること無く、かつその情報と結び付けられた全ての保証、条件、制限及び通知と共に複製がなされる限りにおいて許されるものとします。当該情報に変更を加えて複製することは不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような変更された情報や複製については何の義務も責任も負いません。

TIの製品もしくはサービスについてTIJにより示された数値、特性、条件その他のパラメータと異なる、あるいは、それを超えてなされた説明で当該TI製品もしくはサービスを再販売することは、当該TI製品もしくはサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、かつ不正で誤認を生じさせる行為です。TIJは、そのような説明については何の義務も責任もありません。

TIJは、TIの製品が、安全でないことが致命的となる用途ないしアプリケーション(例えば、生命維持装置のように、TI製品に不良があった場合に、その不良により相当な確率で死傷等の重篤な事故が発生するようなもの)に使用されることを認めておりません。但し、お客様とTIの双方の権限有る役員が書面でそのような使用について明確に合意した場合は除きます。たとえTIJがアプリケーションに関連した情報やサポートを提供したとしても、お客様は、そのようなアプリケーションの安全面及び規制面から見た諸問題を解決するために必要とされる専門的知識及び技術を持ち、かつ、お客様の製品について、またTI製品をそのような安全でないことが致命的となる用途に使用することについて、お客様が全ての法的責任、規制を遵守する責任、及び安全に関する要求事項を満足させる責任を負っていることを認め、かつそのことに同意します。さらに、もし万一、TIの製品がそのような安全でないことが致命的となる用途に使用されたことによって損害が発生し、TIないしその代表者がその損害を賠償した場合は、お客様がTIないしその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI製品は、軍事的用途もしくは宇宙航空アプリケーションないし軍事的環境、航空宇宙環境にて使用されるようには設計もされていませんし、使用されることを意図されていません。但し、当該TI製品が、軍需対応グレード品、若しくは「強化プラスチック」製品としてTIが特別に指定した製品である場合は除きます。TIが軍需対応グレード品として指定した製品のみが軍需品の仕様書に合致いたします。お客様は、TIが軍需対応グレード品として指定していない製品を、軍事的用途もしくは軍事的環境下で使用することは、もっぱらお客様の危険負担においてなされるということ、及び、お客様がもっぱら責任をもって、そのような使用に関して必要とされる全ての法的要求事項及び規制上の要求事項を満足させなければならないことを認め、かつ同意します。

TI製品は、自動車用アプリケーションないし自動車の環境において使用されるようには設計されていませんし、また使用されることを意図されていません。但し、TIがISO/TS 16949の要求事項を満たしていると特別に指定したTI製品は除きます。お客様は、お客様が当該TI指定品以外のTI製品を自動車用アプリケーションに使用しても、TIは当該要求事項を満たしていなかったことについて、いかなる責任も負わないことを認め、かつ同意します。

Copyright © 2009, Texas Instruments Incorporated
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

1. 静電気

素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。

弊社出荷梱包単位(外装から取り出された内装及び個装)又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で(導電性マットにアースをとったもの等)、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使用すること。

マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

2. 温・湿度環境

温度: 0 ~ 40 °C、相対湿度: 40 ~ 85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。(但し、結露しないこと。)

直射日光があたる状態で保管・輸送しないこと。

3. 防湿梱包

防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。

4. 機械的衝撃

梱包品(外装、内装、個装)及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。

5. 熱衝撃

はんだ付け時は、最低限260 °C以上の高温状態に、10秒以上さらさないこと。(個別推奨条件がある時はそれに従うこと。)

6. 汚染

はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質(硫黄、塩素等ハロゲン)のある環境で保管・輸送しないこと。はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。(不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。)

以上