

## Technical Article

## RS-485 基礎: 終端が必要な場合と終端を適切に処理する方法



John Griffith

RS-485 ネットワークに伴うシグナル インテグリティと通信の問題の多くは、終端の欠如または不適切な終端のいずれかが原因で発生します。RS-485 基礎シリーズの今回の投稿では、RS-485 ネットワークを終端なしで動作させられる場合と、終端が必要な場合の標準 (並列) 終端と交流 (AC) 終端ネットワークの使用方法について説明します。

このシリーズの前の投稿で説明したように、RS-485 トランシーバのドライバは、32 個のユニット負荷と 2 つの 120Ω 終端で 1.5V を駆動できる必要があります。この投稿では触れていませんでしたが、終端抵抗の 120Ω の値は、ツイストペアバスワイヤの差動特性インピーダンスと呼ばれるものに起因しています。簡単に言えば、ワイヤ ゲージ、絶縁タイプ、厚さ、単位長さあたりのツイスト数はすべて、高速データ信号に及ぼすインピーダンスに影響します。このインピーダンスは Ω で表され、ツイストペア ケーブルの場合、通常は 100Ω ~ 150Ω の範囲です。RS-485 規格の作成者は、公称特性インピーダンスとして 120Ω を選択しています。したがって、このインピーダンスに合わせて、終端抵抗のデフォルト値も 120Ω になっています。

## 終端ネットワークが存在する理由

ケーブルの特性インピーダンスを終端ネットワークに一致させると、バスの終端のレシーバには最大信号電力が到達します。伝送ラインを未終端のままにするか、またはケーブルのインピーダンスと異なる値で終端すると、ネットワークの端に反射が発生させるミスマッチが発生します。反射とは、信号の一部のエネルギーが文字通りラインを逆方向に戻ることの意味し、バスを伝搬する次のビットに建設的または破壊的に干渉することがあります。破壊的な例としては、反射された信号と受信信号の位相がずれ、受信信号が小さくなる場合があります。ミスマッチが十分に大きい場合、反射されたエネルギーにより後続のビットが誤って解釈され、レシーバによって誤ってデコードされる可能性があります。

式 1 は、反射係数が 0 に近づくには、入力インピーダンス  $Z_L$  がソース インピーダンス  $Z_S$  と一致している必要があることを示しています。負荷とソース インピーダンスに相違が大きい場合、信号のほぼ全体が反射しています。

$$T = \frac{Z_L - Z_S}{Z_L + Z_S} \quad (1)$$

したがって、シグナル インテグリティを最適化するには、同じ値の終端と AC ラインインピーダンスを一致させるのが常道です。しかし、どの設計者もこの方法を採用するわけではありません。終端ネットワークを追加するとシステム全体のコストが増加します。これらの終端ネットワークでも、ドライバに並列負荷が追加されるため、定常状態の負荷電流が大きくなります。消費電力の削減が重要なアプリケーション (バッテリー駆動アプリケーションなど) の場合、消費電力を抑える方法の一つとして、バスを未終端のままにする方法があります。では、未終端が可能な選択肢である場合について見てみましょう。

## 終端を必要としないネットワーク

終端ネットワークが不要な状況の一つは、ネットワークの双方向ループ時間が 1 ビット時間 ( $\sim 0.1 \times t_{\text{Bit}}$ ) よりもはるかに短い場合です。このようなシナリオでは、反射はネットワークの終わりに到達するときにすでにエネルギーを失っています。

図 1 からわかるように、信号がケーブルの端で反射するたびに反射の振幅は減衰し続けます。図 1 は、信号の 3 つの往復と合計 6 つの反射を示します。

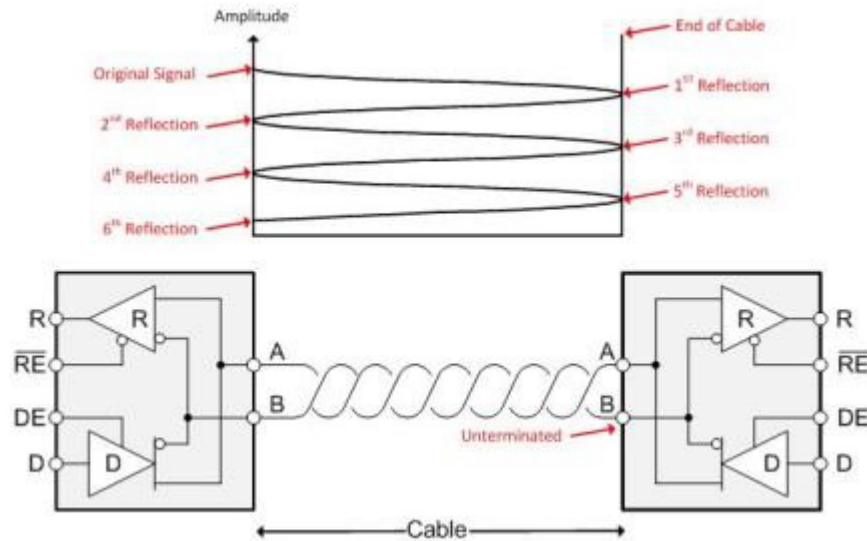


図 1. 反射が発生するたびに反射振幅が減衰

未終端のバスの端に 96kΩ 入力インピーダンス (1/8 ユニット負荷) があり、ドライバのソース インピーダンスが 60Ω であるとする、表 1 に示す計算に従って信号の反射が減衰します。

表 1. 信号減衰の計算の例

Signal	Percentage of signal	Calculation $\left(\frac{Z_1 - Z_f}{Z_1 + Z_f}\right)$
Original signal	100%	
After first reflection	99.75%	$1 * \left(\frac{96,000 - 120}{96,000 + 120}\right) = 0.9975$
After second reflection	-33.24%	$.9975 * \left(\frac{60 - 120}{60 + 120}\right) = -0.3324$
After third reflection	-33.16%	$-0.3324 * \left(\frac{96,000 - 120}{96,000 + 120}\right) = -0.3317$
After fourth reflection	11.05%	$-0.3317 * \left(\frac{60 - 120}{60 + 120}\right) = 0.1106$
After fifth reflection	11.02%	$0.1106 * \left(\frac{96,000 - 120}{96,000 + 120}\right) = 0.1102$
After sixth reflection	-3.68%	$0.1102 * \left(\frac{60 - 120}{60 + 120}\right) = -0.0368$

表 1 に示すように、信号が 6 回反射するまでに、元の振幅の 4% 以下まで減衰しています。これ以降は、反射がシグナル インテグリティの原因にはならないと言っても問題はないでしょう。ビットのサンプリング ポイントは通常、ビットを通る経路の 50 ~ 75% の間で発生するため、サンプリング ポイントより前にこれら 3 つの往復遅延が発生するようにする必要があります。

## 終端を必要とするネットワーク

ビット時間がケーブルのループ時間よりもそれほど長くないアプリケーションの場合、反射を最小限に抑えるために終端が不可欠となります。最も基本的な終端ネットワークは、標準終端ネットワークまたは並列終端ネットワークで、これは 1 つの抵抗 (図 2) で構成されています。

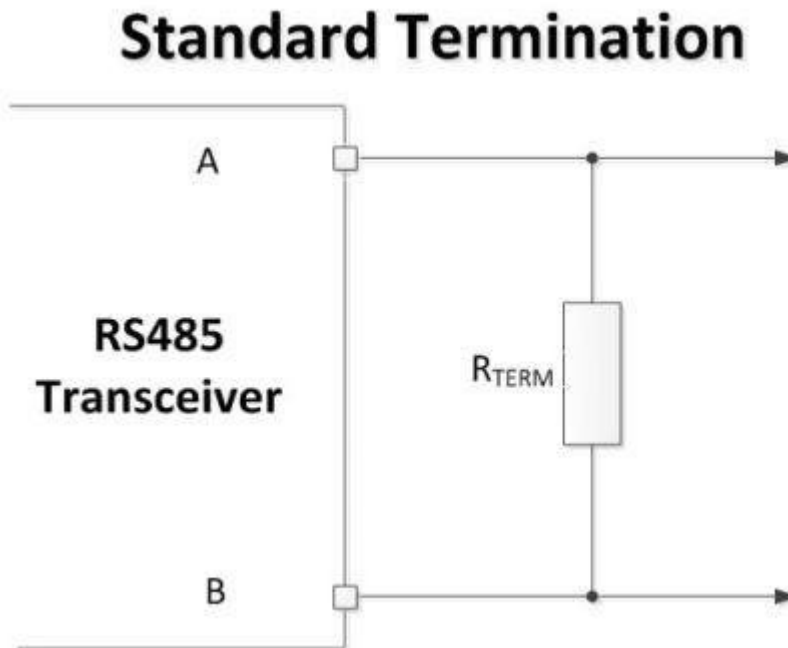


図 2. 標準終端ネットワーク

標準終端の場合、終端抵抗の値をネットワークの両端のケーブルの差動特性インピーダンスと一致させます。これにより、バス上の両方向に伝送される信号が適切に終端されます。すでに説明したように、この終端方式の主な欠点は、ドライバがアクティブなときに、常に抵抗がドライバに直流 (DC) 負荷をかけている点です。

AC 終端を使用すると、バス長に関するビット時間の制約を受けず、この消費電力を低減することができます。図 3 に、AC 終端の方法を示します。

# AC Termination

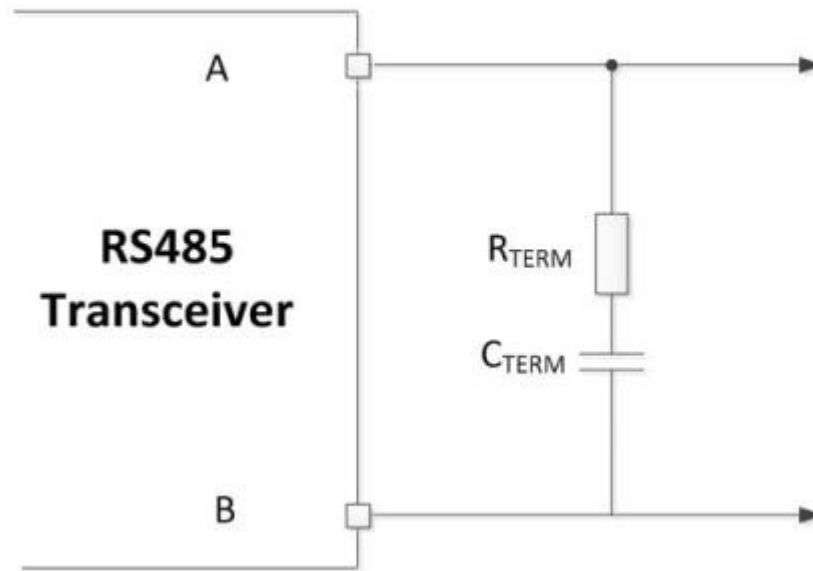


図 3. AC 終端ネットワーク

電流は通常、RS-485ドライバの一方の側から終端ネットワーク経由で流れ、さらにドライバの反対側を経由するため、直列コンデンサを配置することで定常状態の電流はゼロになります。このタイプの終端について注意事項が 2 つあります。まず、終端ネットワークごとに 1 つのコンポーネントを追加する必要があります。もう 1 つは、直列抵抗とコンデンサが RC 遅延をもたらすことです。RC 時定数は、差動信号の立ち上がり立ち下がりが遅くなり、ネットワークの最大データレートが制限されます。

表 2 に、3 つの終端シナリオをまとめます。

表 2. 終端方式のまとめ

終端ネットワーク	消費電力	データレート	シグナル インテグリティ
終端なし	低	高	低データレートでは良い。高データレートでは不十分。
標準終端	高	高	非常に良い
AC 終端	低	中	良好

最適なシグナル インテグリティを実現するには、ケーブルの差動特性インピーダンスを、インピーダンスが等しい終端と一致させるのが常に最適な方法となります。しかし、適切な手順を行うことで、AC 終端を正常に実装したり、終端を完全に回避することも可能です。

RS-485 について、もっと知りたいトピックがある場合には、いつものようにログインしてコメントを残してください。

## その他資料

- ti.com の「RS-485 の基礎」シリーズに掲載されている他の記事をご覧ください。
- TI の包括的な [RS-485 製品ラインアップ](#) を検索してください。
- TI E2E™ コミュニティの [インターフェイス フォーラム](#) では、エンジニア間の質疑応答や知識の共有が可能です。

## 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むいかなる保証も、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、

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](#) 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