

# フィールドバス使用時の通信速度と距離の向上

Neil Quinn、プロダクト・アプリケーション・エンジニア  
 Richard Anslow、システム・アプリケーション・エンジニア

## はじめに

PROCENETECなどの業界のエキスパート企業ではRS-485ベースのフィールドバス技術（PROFIBUS®）の採用が着実に増加しており、産業用イーサネット（PROFINET）は急速な成長を示しています。2018年には世界中で6,100万件のPROFIBUSフィールドバス・ノードが設置され、PROFIBUSプロセス・オートメーション（PA）は前年比7%の増加を示しました。PROFINETの設置ベースは2,600万ノードで、2018年だけで510万デバイスが設置されています<sup>1</sup>。

このRS-485フィールドバス採用の安定した伸びと、スマート・コネクテッド・ファクトリの展開を加速するインダストリ4.0と共に、フィールドバス技術を確実に最適化することがスマート・システムを実現するため助けとなります。最適化されたフィールドバス技術では、EMC耐性と信頼できるデータ伝送のバランスを慎重にとる必要があります。

データ伝送に信頼が置けなければ、システム全体の性能は低下します。モーション・コントロール・アプリケーションでは、通常、フィールドバスは1軸モータや多軸モータのクローズドループ位置制御に使われます。図1に示すように、一般的には高いデータ・レートと長いケーブルが使われます。位置制御の信頼性が確保できなければ実用面での性能が低下し、結果として設備のスループット品質が低下して工場の生産性も低下します。ワイヤレス・インフラストラクチャ・アプリケーションでは、通常、フィールドバスはアンテナの傾斜/位置制御に使われますが、これには正確なデータ伝送が不可欠です。モーション・コントロール・アプリケーションでもワイヤレス・インフラストラクチャ・アプリケーションでも、図1に示すように様々なレベルのEMC保護が必要とされます。モーション・コントロール・アプリケーションは電磁的ノイズの多い環境で使われることが多く、データ・エラーが発生しやすくなります。これに対し、ワイヤレス・インフラストラクチャでは、露出環境での誘導雷による損傷からの保護が必要です。

このような厳しい要求が求められるアプリケーションでは、RS-485トランシーバーのケーブル上におけるタイミング性能を慎重に見極めると共に、EMCの特性評価を行う必要があります。この記事では、システム・タイミングと通信ケーブルに関するいくつかの重要な概念を紹介し、クロックとデータの分配やケーブル駆動能力を含む重要性能指標を示すと共に、次世代RS-485トランシーバーであるADM3065E/ADM3066Eを使用した産業用アプリケーションの利点を明確にします。

## タイミング性能

長いケーブルを通じ高データ・レートで信頼できるデータ伝送を行おうとする場合、RS-485ではジッタやスキューといったタイミング性能上の概念が重要になります。これらの概念の多くは、LVDS（低電圧差動伝送）に関連するものです。そのため、RS-485トランシーバーとシステム・ケーブルの両方から加わるジッタとスキューを分析する必要があります。

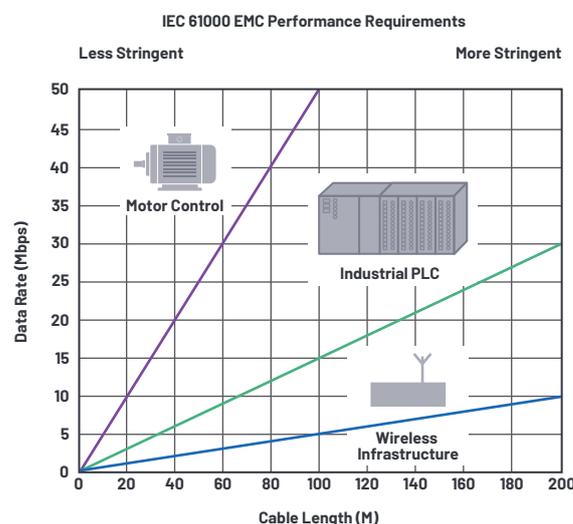


図1 RS-485におけるEMC、データ・レート、およびケーブル長

## ジッタとスキュー

ジッタは時間間隔誤差として定量化することができます。つまり、信号遷移の予定到着時間と、遷移が実際に届いた時間の差です。通信リンク内には、ジッタに影響する様々な要素が存在します。各要素は、おおまかに、ランダムな特性を持つものか確定的な特性を持つものとして記述することができます。ランダム・ジッタはそのガウス分布から確認することができ、半導体内の熱ノイズと広帯域ショット・ノイズから生じます。確定的ジッタは通信システム内のソース、例えばデューティ・サイクル歪み、クロストーク、周期的な外部ノイズ源、あるいは符号間干渉などに起因するものです。RS-485規格を使用する通信システムのデータ・レートは100MHz未満であり、この場合は、これらの確定的ジッタの影響がランダム・ジッタの影響を上回って支配的なものとなります。

ピークtoピーク・ジッタの値は、確定的ジッタ源に起因する合計システム・ジッタを測る有効な尺度です。ピークtoピーク・ジッタは、多数の信号遷移を同じディスプレイ上で重ね合わせることで（一般にアイ・ダイアグラムと呼ばれる）時間領域で分析可能です。図2に示すように、これは無限残光表示を使用するか内蔵のジッタ分離ソフトウェアを使って、オシロスコープのディスプレイ上で行うことができます<sup>2</sup>。

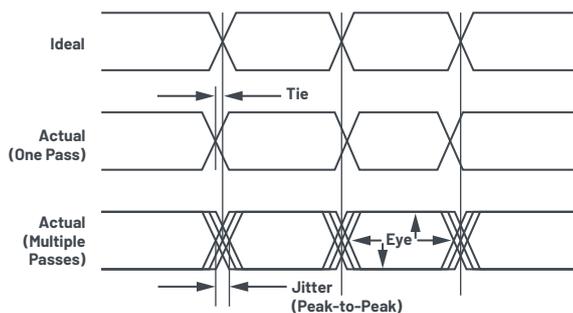


図2 時間間隔誤差、ジッタ、アイ

重ね合わせた遷移の幅がピークtoピーク・ジッタであり、その間の線で囲まれた部分が「アイ (Eye)」と呼ばれます。このアイが、長いRS-485ケーブル先端の受信ノードによるサンプリングに使用できる領域です。アイの幅が広いほど受信ノードがサンプリングに使用できるウィンドウも広くなり、ビットの受信が不正確になるリスクは小さくなります。使用できるアイは、主にRS-485ドライバとレシーバー、および接続ケーブルから生じる確定的ジッタに影響されます。

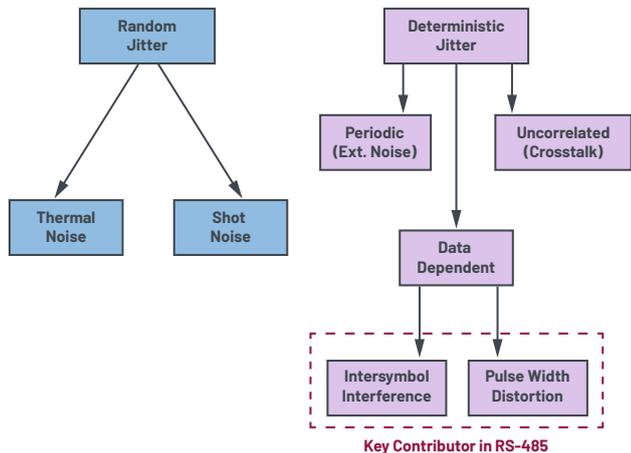


図3 RS-485通信ネットワークのジッタに影響する主な要素

通信ネットワークにおけるジッタの様々な発生源を図3に示します。RS-485ベースの通信システムのタイミング性能に影響する主な要素には、トランシーバーのパルス・スキューと符号間干渉の2つがあります。パルス幅歪み、あるいはデューティ・サイクル歪みとも呼ばれるパルス・スキューは、送信ノードと受信ノードにあるトランシーバーによって生じる確定的ジッタの一形態です。パルス・スキューは、信号の立上がりエッジと立下がりエッジの間の伝搬遅延の差として定義されます。差動通信では、このスキューによって非対称のクロスオーバー・ポイントが生じる他、伝送された0の長さ1の長さに差が生じます。クロック分配システムにおける過度のパルス・スキューは、伝送されたクロックのデューティ・サイクルに生じる歪みとして現れます。データ分配システムの場合、この非対称はアイ・ダイアグラムに現れるピークtoピーク・ジッタを増大させます。どちらの場合も、過度のパルス・スキューはRS-485上で伝送される信号に影響を与え、使用可能なサンプリング・ウィンドウが狭くなって全体的なシステム性能が低下します。

信号エッジの到着時間が、そのエッジの前に到着したデータのパートナーに影響される場合は、符号間干渉 (ISI) が発生します。長い接続ケーブルを使うアプリケーションでは符号間干渉の影響が顕著になり、ISIがRS-485ネットワークに影響を与える主要な要素となります。接続ケーブルが長くなるとそのRC時定数の値が変化して、1つのビット長の終了までにケーブル容量の充電を完了できなくなります。伝送されたデータがクロックだけで構成されるアプリケーションでは、このような形態の符号間干渉は生じません。符号間干渉は、ライン・スタブや終端抵抗の不適切な使用に起因するケーブル伝送ライン上のインピーダンス不整合によって生じることもあります。出力ドライブ強度が大きいRS-485トランシーバーは、RS-485ケーブルの負荷容量を充電するために必要な時間が短いので、一般にISIを最小限に抑える助けとなります。

許容できるピークtoピーク・ジッタのパーセンテージはアプリケーションによって大きく異なりますが、一般的に、RS-485トランシーバーとケーブル性能の組み合わせのベンチマークには10%ジッタが使われます。過度のジッタとスキューの組み合わせは受信側RS-485トランシーバーのサンプリング能力に影響し、通信エラーの確率が大きくなります。正しく終端された伝送ネットワークでは、トランシーバーのパルス・スキューと符号間干渉の影響を最小限に抑えるように最適化されたトランシーバーを選択すれば、より信頼性の高い、エラーのない通信リンクを実現することができます。

## RS-485 トランシーバーの設計とケーブルの影響

TIA-485-A/EIA-485-A RS-485規格<sup>3</sup>は、電圧出力差 (VOD)、短絡特性、コモンモード負荷、入力電圧の閾値と範囲などの、RS-485トランスミッタとレシーバーの設計および動作範囲に関する仕様を定めています。スキューとジッタを含むRS-485のタイミング性能はTIA-485-A/EIA-485-A規格の仕様には定められておらず、ICベンダーにより製品データシートの仕様で最適化されています。

ツイスト・ペア・ケーブル用の通信規格であるTIA-568-B.2/EIA-568-B.2など、その他の規格は4、ケーブルのACとDCがRS-485の信号品質に与える影響に関する背景条件を提供します。この規格には、ジッタ、スキュー、その他のタイミング測定値に関する検討事項とテスト手順、および一連の性能限界が定められています。例えば、カテゴリ5eケーブルの最大許容スキューは100mあたり45nsです。アナログ・デバイス社のアプリケーション・ノートAN-1399では、TIA-568-B.2/EIA-568-B.2規格の内容と、非理想ケーブルの使用がシステム性能に与える影響について、より詳細に検討しています。

利用可能な規格と製品データシートには有効な情報が数多く含まれていますが、システムのタイミング性能に関して意味のある特性評価を行うには、長いケーブルを使ってRS-485トランシーバーの測定を行う必要があります。

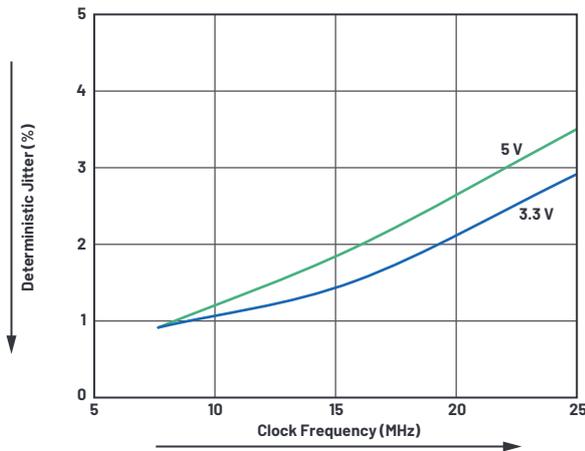


図4 ADM3065Eの代表的クロック・ジッタ性能

### RS-485使用時の通信速度と距離の向上

ADM3065E RS-485トランシーバーはトランスミッターとレシーバーのスキューが極めて小さいことを特長とするため、EnDat 2.2<sup>5</sup>などのモータ・エンコーディング規格に規定されることが多い高精度クロックの送信に最適なデバイスとなっています。ADM3065Eは、モータ制御アプリケーションに使われる代表的なケーブル長において確定的ジッタが5%未満であることが実証されています(図4、図5)。ADM3065Eは電源範囲が広いので、3.3Vまたは5Vのトランシーバー電源を必要とするアプリケーションに関して、このレベルのタイミング性能を実現することができます。

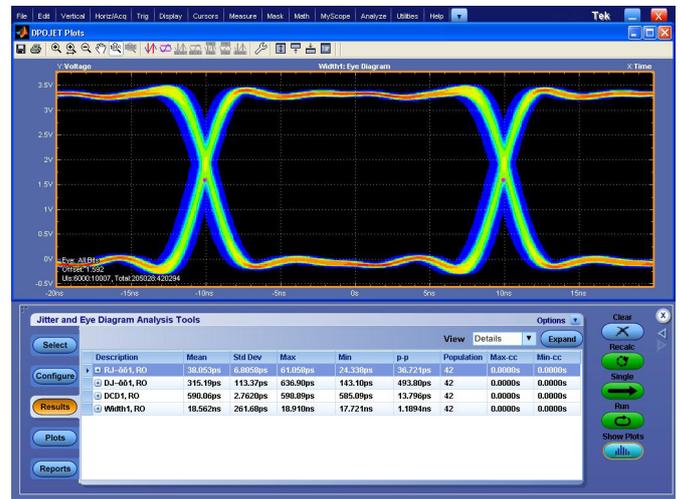


図5 ADM3065Eの受信アイ・ダイアグラム：100mケーブルを介して25MHzクロックを分配

優れたクロック分配機能に加えて、ADM3065Eのタイミング性能は、高速の出力と最小限のジッタ増加で信頼性の高いデータ分配を行うことを可能にします。図6は、ADM3065Eを使用することにより、RS-485データ通信において通常引き合いに出されるタイミング上の制約が大幅に緩和されることを示しています。標準的なRS-485トランシーバーでは、通常、動作時のジッタを10%以下と見積もります。ADM3065Eは最長100mのケーブルを使い20Mbps以上の動作が可能で、その場合でも、受信ノードにおけるジッタを10%に維持することができます。この低レベルのジッタは、受信データ・ノードにおけるサンプリングが不正確になるリスクを軽減し、代表的なRS-485を使用して、これまでは成し得なかった信頼性での伝送を実現します。受信ノードが最大20%のジッタ・レベルを許容できるアプリケーションでは、100mのケーブル長で最大35Mbpsのデータ・レートを実現できます。

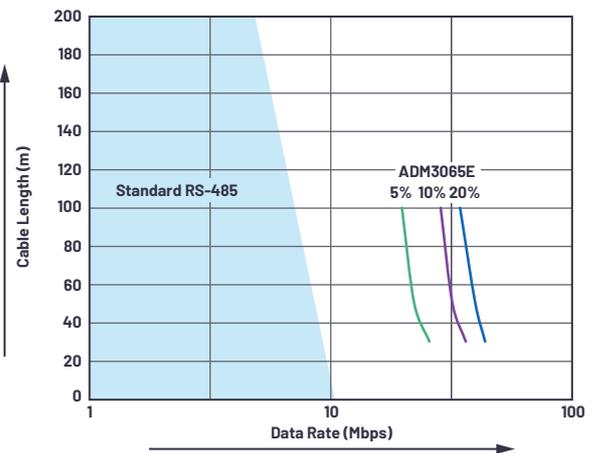


図6 ADM3065E受信データ・ノードの優れたジッタ性能

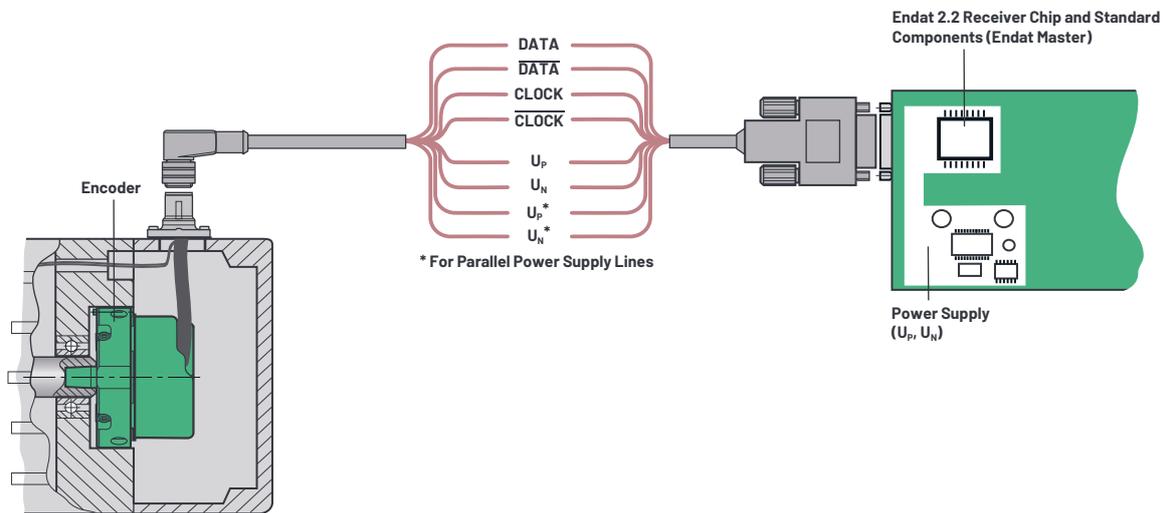


図7 EnDat 2.2の物理層とクロック/データ同期によるプロトコル (EnDat 2.2の図を引用)

このタイミング性能により、ADM3065Eは、モータ制御エンコーダへの通信インターフェース用として理想的な選択肢となっています。EnDat 2.2エンコーダ・プロトコルを使って伝送されるすべてのパケットについて、データはクロックの立下がりエッジに同期して伝送されます。絶対位置の最初の計算後 ( $T_{CAL}$ ) に、開始ビットがエンコーダからマスタ・コントローラへのデータ伝送を開始する様子を図7に示します。その後続くエラー・ビット (F1、F2) は、エンコーダの不具合によってどの時点で位置の値が不正確なものとなり得るかを示します。エンコーダは次に絶対位置の値を送信しますが、これはLSで始まって、その後データが続きます。長いケーブルを介した位置信号とエラー信号の送信においてはクロック信号とデータ信号の完全性が極めて重要であり、EnDat 2.2の仕様はジッタの最大値を10%と規定しています。EnDat 2.2は、20mのケーブル使用時に最大クロック・レート16MHzでの動作を仕様で規定しています。図4はADM3065Eがわずか5%のクロック・ジッタでこの条件を満たしていることを示しており、図6は、ADM3065Eがデータ伝送のためのジッタ条件を満たしている一方で、標準的なRS-485トランシーバはこの条件を満たしていないことを示しています。

アナログ・デバイセズは、ADM3065Eトランシーバがケーブルに対するタイミング性能が優れているという特性評価を実施済みであるため、システム設計者は、EnDat 2.2の仕様を満たす設計を可能にするために必要な情報を得ることができます。

### 長いケーブル上で信頼性が向上

TIA-485-A/EIA-485-A RS-485規格<sup>3</sup>では、全負荷状態のネットワーク内に少なくとも1.5Vの差動電圧振幅 (VOD) を生成するために、この規格に準拠したRS-485ドライバが必要になります。VODが1.5Vの場合、長いケーブル上で1.3Vの電圧DC減衰が許容され、RS-485レシーバは少なくとも200mVの入力差動電圧で動作するように仕様規定されます。ADM3065Eは、5V電源使用時に少なくとも2.1VのVODを出力するように設計されており、これはRS-485仕様による条件を上回っています。

全負荷状態のRS-485ネットワークは54Ωの差動負荷に相当し、これは1つのユニット負荷 (12kΩ) が32個接続されてなる750Ωを加えた2つの120Ω抵抗でダブル終端されたバスをシミュレーションします。ADM3065Eは、コモンモード電圧範囲に関する条件を満たしながらVODを最大限まで高める独自の出力アーキテクチャを持ち、TIA-485-A/EIA-485-Aの条件を上回る性能を備えています。図8は、3.3V電源レール使用時にはADM3065EがRS-485規格の駆動条件を210%を超える性能を発揮すること、また5V電源レール使用時には300%を超える性能を発揮することを示しています。これによりADM3065Eファミリは、通常のRS-485トランシーバより広いノイズ・マージンで、より多くのリモート・ノードとより遠距離で通信を行うことができます。

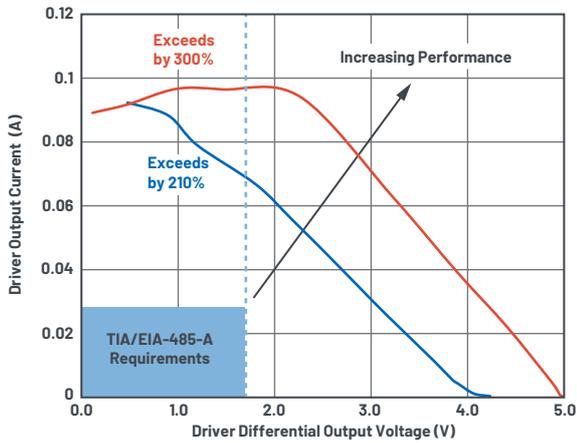


図8 ADM3065Eは広い電源範囲にわたってRS-485の駆動条件を超える性能を発揮

図9は、ケーブル長が1000mに及ぶ代表的アプリケーションを例に、この点を更に詳しく示したものです。標準的なAWG 24ケーブルで通信を行う場合、ADM3065Eは標準的なRS-485トランシーバーより30%良好な性能を示します。つまり、受信ノードにおけるノイズ・マージンが30%広くなります。これは、低データ・レート時の最大ケーブル長を30%長くできることを意味します。この性能は、RS-485ケーブルの長さが数百メートルにおよぶワイヤレス・インフラストラクチャ・アプリケーションに適しています。

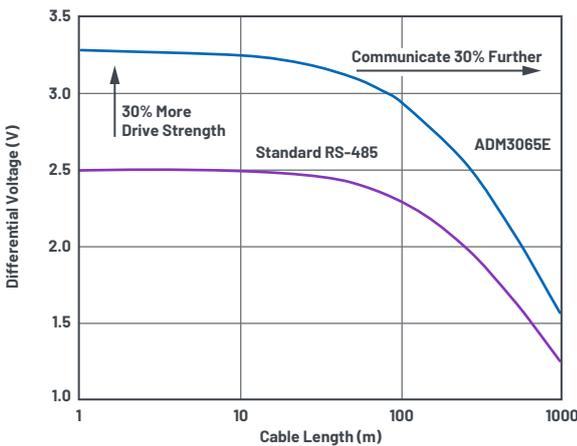


図9 ADM3065Eは非常に長い距離でも高品質の差動信号を伝達

## EMC保護とノイズ耐性

RS-485の信号は平衡接続、差動型で、本質的にノイズ耐性があります。システムのノイズは、一組のRS-485のツイスト・ペア・ケーブルの両方のワイヤに均等に結合します。ツイスト・ペア・ケーブルでは発生したノイズ電流が互いに反対の方向に流れるので、RS-485バスに結合する電磁場は互いに相殺されます。このため、システムに対する電磁場の影響が軽減されます。また、ADM3065Eの駆動強度は2.1Vに増強されているので、通信時のS/N比(SNR)が改善されます。地上と無線基地局のアンテナ間で数百メートルに及ぶ長いケーブルを使用する場合は、SNR値を改善したり優れた信号品質を確保することによって、アンテナの傾斜/位置制御を正確で信頼できるものに行うことができます。

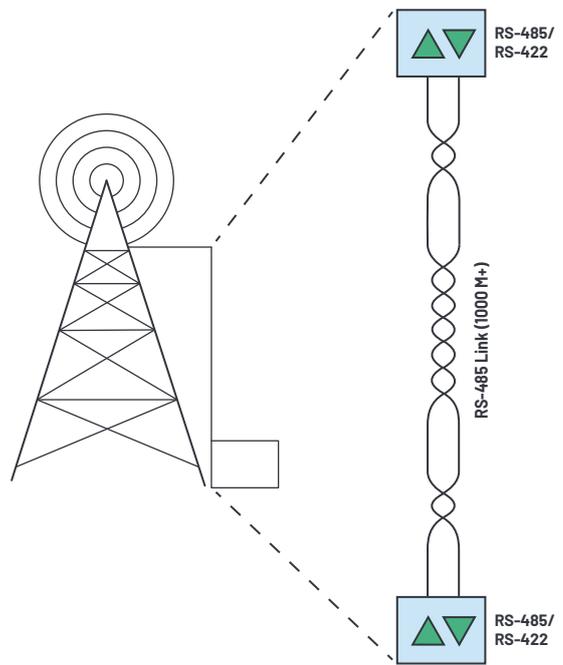


図10 ワイヤレス・インフラストラクチャのケーブル長は数百メートルに達することがあります。

図1に示したように、隣接するコネクタとケーブル配線を介して外界と直接インターフェースを取るRS-485トランシーバーには、ESD保護を施す必要があります。例えば、エンコーダとモータ・ドライブ間の露出したRS-485コネクタやケーブルに対するESDは、一般的なシステムの故障要因となります。可変速駆動システムのEMC耐性に関するシステム・レベルのIEC 61800-3規格は、最小でもIEC 61000-4-2規格に定める $\pm 4\text{kV}$  (接触放電) /  $\pm 8\text{kV}$  (気中放電) のESD保護を求めています。ADM3065Eではこれを上回る、 $\pm 12\text{kV}$  (接触放電) /  $\pm 12\text{kV}$  (気中放電) のIEC 61000-4-2規格のESD保護を実現しています。

ワイヤレス・インフラストラクチャ・アプリケーションでは、機器の損傷を招くおそれのある雷サージに対する保護のために、EMC耐性機能の強化が求められます。ADM3065Eの入力にSM712 TVSと2個の $10\Omega$ の調整抵抗を追加することによって保護を強化し、最大で $\pm 30\text{kV}$ の61000-4-2 ESD保護と $\pm 1\text{kV}$ のIEC 61000-4-5サージ保護を実現することができます。

電氣的に条件の厳しいモータ制御やプロセス・オートメーション、およびワイヤレス・インフラストラクチャ・アプリケーション用にノイズ耐性を強化するには、ガルバニック絶縁を追加する方法があります。アナログ・デバイセズのiCoupler®技術とisoPower®技術を使用すれば、強化された絶縁機能と $5\text{kVrms}$ のトランジェント耐電圧能力を備えたガルバニック絶縁をADM3065Eに追加することができます。ADuM231Dは必要とされる3チャンネルの $5\text{kVrms}$ 信号絶縁機能を備えており、また、高精度のタイミング性能によって最大25Mbpsで高信頼性動作が可能です。ADuM6028絶縁型DC/DCコンバータは、必要とされる耐圧定格 $5\text{kVrms}$ の絶縁電源を備えています。2個のフェライト・ビーズを使用すれば、EN 55022クラスB/CISPR 22などのEMC適合標準の要求を容易に満たすことが可能で、 $6\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ サイズでコンパクトな絶縁型DC/DCソリューションを実装することができます。

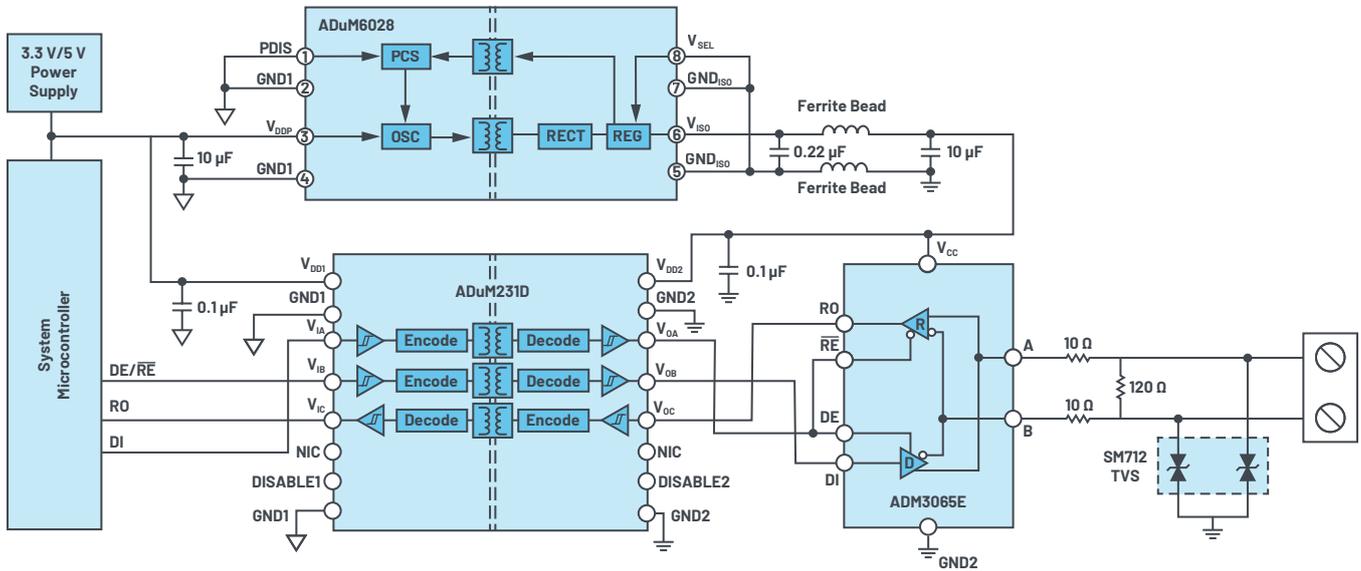


図 11 ESD、EFT、およびサージ保護を施した信号/電源絶縁型 25Mbps RS-485 ソリューションの全体図

## まとめ

アナログ・デバイス製の ADM3065E RS-485 トランシーバーは業界標準を上回る性能を備えており、標準的な RS-485 デバイスよりも高速かつ長距離の通信を実現することができます。ADM3065E は、EnDat 2.2<sup>5</sup> で仕様規定された 10% のジッタ・レベルで、最大 20m のケーブルを通じ 16MHz のクロック・レートで動作させることができますが、標準的な RS-485 でこの条件を満たすのは容易ではありません。ADM3065E は RS-485 のバス駆動条件を最大 300% 上回る性能を発揮し、より長いケーブルで、より高い信頼性とより広いノイズ・マージンを実現します。ノイズ耐性は、ADuM231D シグナル・アイソレータと業界最小の絶縁型電源ソリューション ADuM6028 を含む iCoupler 絶縁を追加することによって改善することができます。

## 参照資料

- 1 “PROFINET and PROFIBUS Node Count Tops 87 Million in 2018.” Profibus Group, May 2019.
- 2 Conal Watterson. 「LVDS/M-LVDS 回路の実装ガイド」 アナログ・デバイス、2013年3月
- 3 “TIA/EIA-485-A, Electrical Characteristics of Generators and Receivers for Use in Balanced Digital Multipoint Systems.” IHS Markit Inc., March 1998.
- 4 “TIA/EIA-568-B.2, Commercial Building Telecommunications Cabling Standard —Part 2: Balanced Twisted Pair Cabling Components.” Telecommunications Industry Association, May 2001.
- 5 “EnDat 2.2—Bidirectional Interface for Position Encoders.” Heidenhain, September 2017.

## 著者について

Neil Quinn

アナログ・デバイセズのプロダクト・アプリケーション・エンジニア。アイルランドのリメリックでインターフェースおよび絶縁技術グループに所属。2013年、アイルランド国立大学メイヌース校で電子工学の学士号を取得。RS-485やLVDSなどの産業用高速通信インターフェースと、アナログ・デバイセズのiCouplerデジタル・アイソレーション製品を担当。

連絡先: [neil.quinn@analog.com](mailto:neil.quinn@analog.com)

Richard Anslow

アナログ・デバイセズのオートメーションおよびエネルギー・ビジネス・ユニットのネットワーク化モーションおよびロボット・チームに所属するシステム・アプリケーション・エンジニア。専門は状態基準保全と産業用通信設計。アイルランドのリメリック大学で工学士号と工学修士号を取得。

連絡先: [richard.anslow@analog.com](mailto:richard.anslow@analog.com)

アナログ・デバイセズのオンライン・サポート・コミュニティに参加すれば、各種の分野を専門とする技術者との連携を図ることができます。難易度の高い設計上の問題について問い合わせを行ったり、FAQを参照したり、ディスカッションに参加したりすることが可能です。



Visit [ez.analog.com](https://ez.analog.com)

\* 英語版技術記事は[こちら](#)よりご覧いただけます。