

iCoupler[®]絶縁のCANバスでの応用

著者：Ronn Kliger、Sean Clark

はじめに

産業/工業用アプリケーションの堅牢なプロトコルであるCAN（コントローラ・エリア・ネットワーク）バスは、元々は自動車用途向けに開発されました。このCANバスでは、40mの最大ケーブル長と最大30個のノードが仕様規定されています。この柔軟性と長所によって、CANバスはさまざまなアプリケーションで使用されるようになっていきます。

CANバス・システムは通常複数のシステムを接続するために使用され、配線距離がかなり長くなるが多いため、バスと各システム・コネクションとの間の絶縁が非常に重要になります。絶縁することによって、CANバス・ケーブル・ネットワークとこれに接続されたシステムとの間の過電圧トランジェントを防止できるようになります。また、ネットワークにおけるグラウンド・ループを除去し、信号の歪みや誤差を低減し、電圧とグラウンドのミスマッチも防止します。

このアプリケーション・ノートでは、CANバス・プロトコルがどのようなものかを特にシステムの物理層を中心に簡単に紹介するとともに、アイソレーション（絶縁）がなぜシステムにとって重要なかを解説します。また、アナログ・デバイセズのiCoupler製品を使ってCANバス・システム内で絶縁を実現する方法についても詳しく説明します。

CANバスの概要

CANバス・プロトコル

CANバス・プロトコル標準とは、ISO（国際標準化機構）の定義によると、最大データレート1Mbpsの2線式シリアル通信バスです。このバスは2つの層を使用します。1つはISO 11898に規定された差動信号物理層で、優れた耐ノイズ性を提供します。もう1つはデータ・リンク層で、信号の送受信/通信方法が定義されています。

データ・フレーム

CANバス・プロトコルは、非同期データ伝送を使用します。伝送データはデータ・フレームで送信され、各伝送の最初のスタート・ビットと最後のストップ・ビットによって制御されます。

データ・フレームは、アービトレーション、コントロール、データ、CRC、アクノレッジ（ACK）などのフィールドで構成されます。データ・フレームは、図1に示すようにフレーム開始（SOF）を示すドミナント・ビットから始まり、フレーム終了（EOF）を示すフィールド・ビットで終わります。

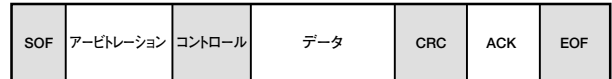


図1. CANバス・データ伝送フレーム

CANバスのアービトレーション

CANバス・プロトコルでは非破壊的なビット単位のアービトレーションを行い、データが消失しないようにします。これは、このプロトコルの最も重要な機能の1つです。

CANバス・プロトコルでは、バスのロジック状態に関して、ロジック・ハイをリセッティブ状態、ロジック・ローをドミナント状態と定義します。これによって、すべてのノードのリッスンと送信を同時に行うことができます。

ノードは、各メッセージの最初にメッセージ開始（SOM）を表す1個のドミナント・ビットを送信します。他のノードはバスの動作を監視し、メッセージ・パケットが完了するまで送信を開始しません。

SOMビットの後にアービトレーション・フィールドが送信されます。アービトレーション・フィールドは、どのCANバス・プロトコルを使用するかによって11ビット長か29ビット長になります。

最優先メッセージは、一番大きなドミナント・ビットをもつアービトレーション・フィールドをもつこととなります。最優先メッセージは、他のノードがリセッティブ・ビットを送信しているときにドミナント・ビットを最初に送信します。

アービトレーション・フィールドはアイデンティファイヤとも言われ、バス上のメッセージに優先順位を付けます。アービトレーション・フィールドの送信が完了するまで、最優先ノード以外のノードはすべて送信を停止しています。

複数のノードが同時に送信を開始するときは、最大値のドミナント・ビットを送信するノードが必ずバスを制御します。すべてのノードはバスを監視しており、優先順位が高い送信を確認すると送信を停止します。

メッセージの送信が完了すると、他のノードは送信を再開しようとします。今度は2番目に優先順位が高いアービトレーション・フィールドがバスを制御し、同じようにアービトレーション処理が繰り返されます。

この非破壊的なバス・アービトレーションによって、最高優先度のメッセージを必ず送信することができます。

REV. 0

アナログ・デバイセズ株式会社

本 社 / 〒105-6891 東京都港区海岸1-16-1 ニューピア竹芝サウスタワービル
電話03(5402)8200
大阪営業所 / 〒532-0003 大阪府大阪市淀川区宮原3-5-36 新大阪MTビル2号
電話06(6350)6868

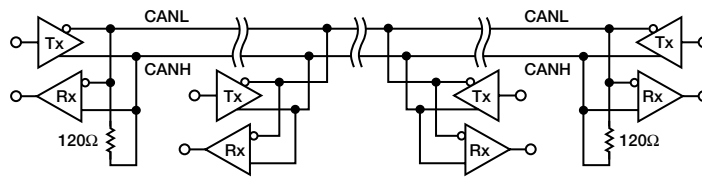


図2. CANバス・ネットワーク

CANバスの種類

最初に発表されたCANバス標準はISO 11519を使用しており、最大125kbpsのデータレートに対応しています。低速CANと呼ばれるのはこのタイプです。次に発表されたCANバス標準はISO 11898を使用しており、125kbps～1Mbpsの信号速度に対応します。このバージョンはCAN 2.0Aと呼ばれています。いずれのタイプも11ビットのアービトレーション・フィールドを定義しています。

最新のCANバス標準はバージョン2.0Bです。この標準は、29ビットのアービトレーション・フィールドの仕様となっていますが、他は2.0Aと同じです。

CANバスの物理層

物理層は、平衡（差動）2線式シリアル・インタフェースです（図2）。ほとんどのCANシステムは5Vの電源電圧で設計されていますが、3Vシステムの設計もあります。

差動2線式バスでのデータ通信では、NRZ（非ゼロ復帰）符号化を使用します。NRZ符号化を使用すると、メッセージがコンパクトになり、遷移数が最小で、優れた耐ノイズ性が得られます。

CANバス仕様には、10kbpsから1Mbpsまでの複数のデータレートがあります。ただし、システム・モジュールはすべて20kbpsに対応していなければなりません。

ISO 11898標準仕様では、最大バス長40メートル、最大スタブ長0.3メートル、最大ノード数30と定義しています。CANバス物理層の設計は堅牢であるため、ISOの値よりはるかに長いケーブルも使用できます。設計を入念に行えば、1,000メートルのケーブル長も可能です。バスが長くなると、それに伴って最大データレートが低下することになります。

システムの最大速度は、バス・ケーブルの長さによって異なります。1Mbpsの最大ケーブル長は40メートルになります。11ビットのアイデンティファイヤで8バイトのフレームという最悪時の送信時間は、最大ボーレート1Mbpsで134マイクロ秒（134ビット分の時間）になります。

動作

CANバス・トランシーバは、独自のオープン・ドレイン設計を使用します（図3）。

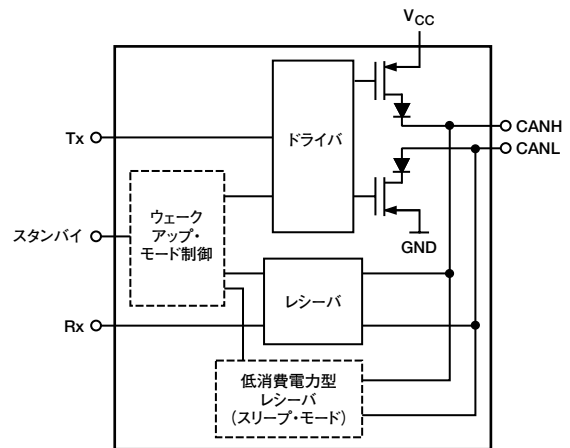


図3. 低消費電力型スタンバイ・モード回路を含む標準的なCANトランシーバ

ドライバは、1対のオープン・ドレイン・デバイスを使ってバス上でCANH（ハイ）とCANL（ロー）からなる差動信号を生成します。バス上で、これらの信号の組み合わせからドミナント信号レベルが得られます。ドミナント信号レベルはローレベルです。トランスミッタが駆動していなければ、プルアップ抵抗によりバスの電圧レベルが $V_{CC}/2$ に設定されます。 $V_{CC}/2$ はリセッパ信号バスのレベルで、ロジック・ハイです（図4）。

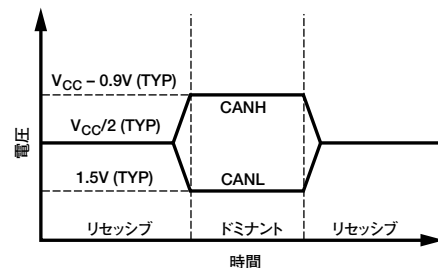


図4. CANバス信号

ドミナント状態のときは、アクティブ・ドライバがCANHラインを高電圧レベルに設定し、CANLラインを低電圧レベルに設定します。これらの差動信号レベルは、一般にCANHで $V_{CC} - 0.9V$ 、CANLでグラウンドより1.5V高くなります。

外部プルアップ抵抗を使用して、バスをリセッパ状態に設定できます。多くのCANバス・トランシーバには、受動的に内部でハイレベルにプルアップされるドライバ入力ピンとレシーバ出力ピンがあります。

CANバス・トランシーバ上でバスのない側は、CANコントローラかプロセッサに接続します。トランシーバのこの部分の信号は、標準的なロジック・レベルの0~5Vまたは0~3Vになります。

多くのトランシーバにはプロセッサ側にスタンバイ制御入力もあり、コントローラによってトランシーバを低消費電力スタンバイ・モードに切り替えてシステムの使用電力を低減できます。低消費電力レシーバはスタンバイ・モード中もアクティブのままであり、バスの状態の変化を監視します。バスの動作が検出されると、レシーバはローカルCANノードをアクティブにするようコントローラに指示します。

終端

ケーブルの両端には終端抵抗が必要です。ケーブルの両端に終端抵抗を付けた場合、差動ケーブル間の標準的な終端抵抗は120Ωです。このレイアウトによって、公称のバス負荷がISO 11898の規定どおりの60Ωになります。

フォールト・トレランス

CANバス標準では必須ではありませんが、ある種の障害が発生してもトランシーバがダウンしないようにすることを推奨しています。対応すべきフォールト・タイプには、バス・ワイヤが相互に短絡したり、電源やグラウンドに対して短絡する場合があります。こうした障害に備え、トランシーバを保護するために通常-4~+16Vの電圧を使用します。ただし、あらゆるトランシーバのフォールト・トレランスを想定することは不可能です。データシートに記載されている仕様をよく調べておくことをお勧めします。

システム絶縁の概要

2つのシステムを接続しているケーブル・バス上に不要な電流や電圧がかかると、重大な障害が発生する可能性があります。高電圧や高電流によって、バスに接続している部品が破壊される恐れがあります。こうした不要な電圧や電流は、主にグラウンド・ループと電力線のサージという2つの原因から生じます。このような電圧は、CANバスの推奨フォールト保護レベルをはるかに超えることもあります。

グラウンド・ループは、バスまたはシステムが複数のグラウンド・バスを使用している場合に発生します。バスに接続されている2つのシステムのグラウンドが数メートル以上離れている場合、同じ電位になることはまずありません。2つのグラウンドの電位が等しくないとすれば、両者の間に電流が流れることとなります。このような予期しない電流によって、部品を損傷したり破壊したりする可能性があります。

電氣的サージの発生には、さまざまな原因があります。誘導によって電流がケーブルに混入すると、こうしたサージが生じます。工場などで使用されるシステムや長いケーブルは、特に電氣的サージの影響を強く受けます。

電気モータなど大電流をスイッチングするような装置を作動させると、グラウンドの電位が急速に変動します。この変動によって、グラウンドの電位を均一にしようと近くのラインに電流が流れることがあります。

誘導サージの発生原因としては、静電放電 (ESD) や落雷などもあります。これらの誘導サージはラインに数百ボルトもしくは数千ボルトもの電位を発生させ、過渡電流または電圧サージになります。

このように、ケーブル端のノードは、ローカル・グラウンドを基準とする高電圧レベルにスイッチング信号も重ねて受信することがあります。このような偶発的な電圧と電流は信号を破壊し、ローカルなトランシーバ・デバイスやシステムに致命的な打撃を与え、バスに接続されている部品の損傷や破壊をもたらし、最終的にシステム障害を引き起こす可能性があります。CANバス・システムは40メートルあるいはそれ以上のケーブルで運用し、通常、複数のシステムを相互に接続しているため、上述のような現象の影響を受けやすくなっています。

このような破壊的なエネルギーから保護するために、バス上のデバイスやバスに接続されたシステム上のデバイスはそれぞれ1つのグラウンドのみを基準にする必要があります。すなわち、CANバスに接続されているシステム、それに各CANバス・トランシーバには個別の絶縁されたグラウンドを使用します。CANバス・システムが1つのグラウンドのみを基準にしていれば、グラウンド・ループがなくなり、グラウンド・ループや電氣的サージによる回路の破壊を防ぐことができます。

絶縁によって、ケーブル・ラインに発生するサージに応じてCANバス回路のリファレンス電圧レベルを上下させることもできます。回路の電圧リファレンスを一定のグラウンドに固定せずにサージに応じて変更できれば、デバイスの損傷や破壊を防止できます。

システムの絶縁を完全に行うには、CANバス信号線と電源の両方を絶縁する必要があります。絶縁型DC-DC電源を使用すれば、電源の絶縁ができます。信号の絶縁は、フォトカップラまたはアナログ・デバイセズの革新的な*iCoupler*を使って実現できます。

絶縁の導入

絶縁を導入する方法はそれほど複雑ではありませんが、絶縁回路を設計するときはいくつかの重要なポイントに配慮する必要があります。

CANバスでは、リセッパ状態 (通常は $V_{CC}/2$) を実現するために抵抗を接続する必要があり、ドミナント状態を実現するためにCANHとCANLの組み合わせが必要です。デジタル・アイソレータはこの信号標準に対応していません。したがって、CANバス・トランシーバとケーブルの間にデジタル・アイソレータを挿入することはできません。

トランシーバとローカルCANバス・コントローラ間のデジタル信号バスにアイソレータを設けることで、CANバス信号バスの絶縁を実現できます。CANバス・トランシーバのシステム側は、0~5Vまたは0~3Vのデジタル・ロジック・レベルの信号を使用し、通常はCANコントローラかプロセッサに接続します。*iCoupler*アイソレータでは、入力回路と出力回路は互いに絶縁されています。この位置に*iCoupler*を配置すれば、CANバス・ケーブル信号をCANバスに接続された各システムから電氣的に絶縁できます。

ローカル・システムとCANバス回路を絶縁するには、*iCoupler*とフォトカプラのいずれを使用した場合も、絶縁型DC-DC電源が必要になります。この絶縁型電源が、アイソレータのCANバス側とローカルCANバス・トランシーバの電源となります。この電源は通常ローカル・システムが供給します。

デジタル・アイソレータと絶縁型DC-DC電源を組み合わせることで、サージによる損傷を効果的に防ぐことができ、グラウンド・ループを解消できます。図5は、*iCoupler*を搭載した典型的なCANバス・システム構成のシステム絶縁を示しています。

絶縁デバイスの選択

絶縁デバイスの選択にあたって第1に問題になるのはシステムの性能要件です。そのほかに、スペース上の制約やコストも考慮する必要があります。

データレート要件

デバイスの選択においては、システムのデータレートがおそらく最も重要な条件になるでしょう。

CANバス仕様には、125kbps、1Mbpsの2種類の最大データレートがあります。*iCoupler*製品はすべて1Mbpsまでのデータレートで動作します。*iCoupler*製品のポートフォリオには、最大データレート10Mbps、25Mbps、100Mbpsで動作するデバイスもあります。

デバイスのコストは、一般にデータレートの性能に比例して高くなります。このため、設計者は必要以上に高い性能のデバイスを選択しないように注意する必要があります。ただし、低性能デバイスを選択すると、将来のシステム性能のアップグレードの場合にかえって面倒なことになったり、割高になったりする場合があります。アップグレードしたシステムのデータ速度に適合しないデバイスは、すべて置き換える必要があるからです。

アナログ・デバイスサイズの*iCoupler*は、フォトカプラと比べると伝播遅延が大幅に短縮されています。伝播遅延が小さければ、プロセッサとバス間の信号応答時間が速くなります。これは特にアービトラージ中に重要です。アービトラージの際には、各ノードでどのメッセージが優先度が高く、バスを制御するのかを判定する必要があります。このため、必要なデータレートにおけるバス・ラインの最大許容長は伝播遅延時間によって決まります。

スペース要件

最大寸法は、ほぼすべてのアプリケーションにおいて重要な条件ですが、実装の方法によってスペースがかなり制限されることもあります。しかし、今ではこうした問題においてもソリューションが用意されています。

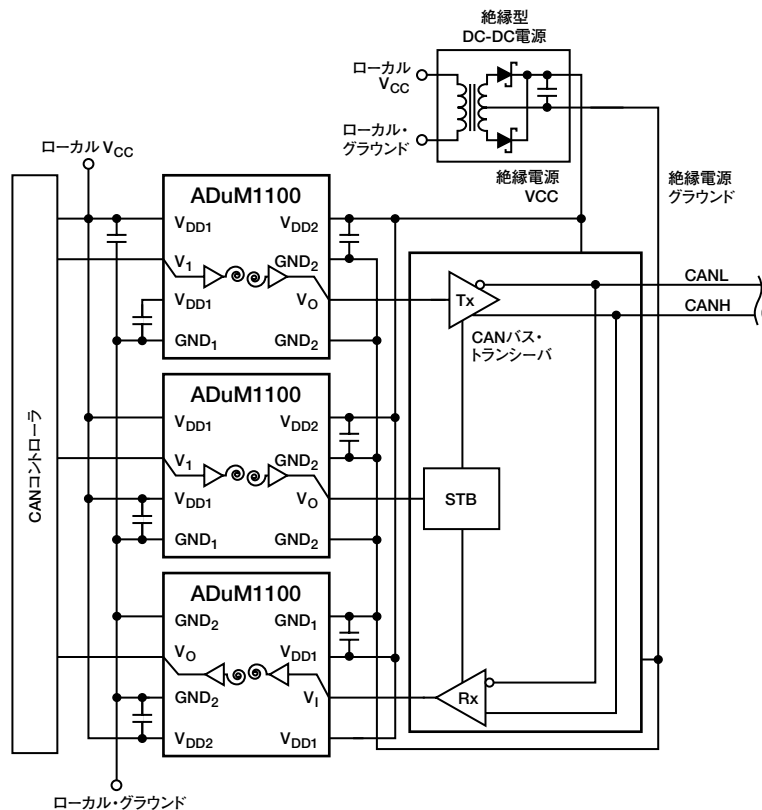


図5. 3個のADuM1100を使用したCANバス絶縁

スペースが重要なシステムのためには、ADuM1301というソリューションがあります。ADuM1301は、16ピンSOICパッケージの3チャンネル絶縁デバイスで、3個のフォトカプラで構成される回路の代わりに使用できます（図6）。

コスト要件

システム設計では現実的な問題としてコストに制約されるため、何らかの対応を図る必要があります。コストに配慮すると、システム的设计方法が影響を受けます。前述したように、アイソレータ・デバイスのコストはデータレート性能に比例して高くなります。しかし、必要なシステム性能のみを備えたデバイスを選択すれば、コストは安くなります。

コストの問題では、使用するデバイスの数も検討する必要があります。iCouplerデバイスのコストはチャンネル数に応じて高くなりますが、チャンネル当たりのコストはデバイスのチャンネル数が増えるほど安くなります。

1つのデバイスに可能な限りたくさんのチャンネルがあれば、ボード・スペースや組立てコストを低減できるというもう1つのメリットもあります。デバイスの数が少なくなれば、それだけボードも小さくなります。また、ボードのレイアウトもそれほど複雑でなくなります。ボードが小さくなって、レイアウト

も簡素化できれば、ボードのコストも低減できます。さらに、回路ボードの組立てに必要なデバイスの数が少なくなると、一般にそれに比例してボードの組立てコストが安くなります。したがって、デバイスの数が減ると、製造コストも低減できます。

アナログ・デバイゼスのiCoupler製品

アナログ・デバイゼスのiCouplerデバイス技術を使った製品は、他のアイソレーション製品にはない優れたメリットをシステム設計者にもたらします。iCoupler製品は高性能、低消費電力、高信頼性を実現するほか、コンポーネント数を低減し、フォトカプラに匹敵するコスト特性を提供します。

アナログ・デバイゼスのiCoupler技術の概要

アナログ・デバイゼス独自のiCoupler技術は、フォトカプラで使用されているLEDやフォトダイオードではなく、チップ・スケールのトランスを用いて絶縁を提供します。ウェーハ・レベル・プロセスを用いて直接チップ上にトランスが組み立てられることで、複数のiCouplerチャンネルの統合や他の半導体機能との統合を低コストで実現しています（図7）。

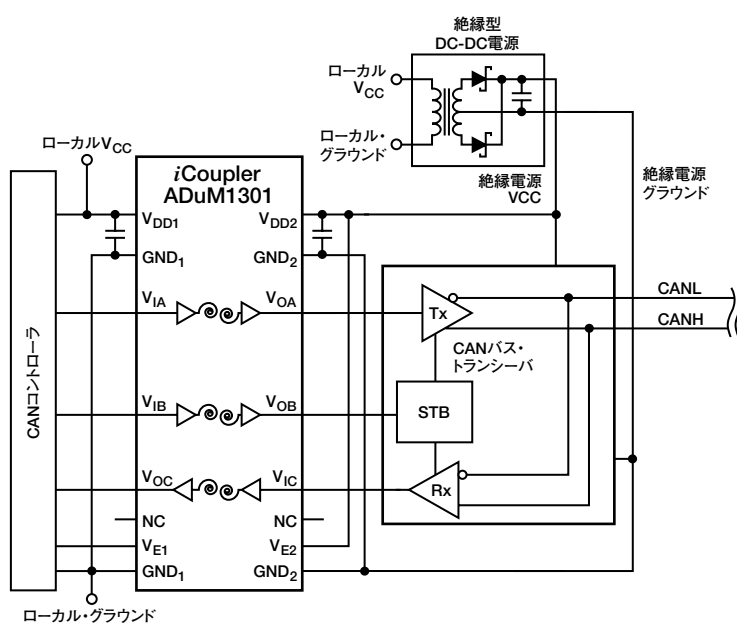


図6. ADuM1301を使用したCANバス・ノード・ネットワークの絶縁

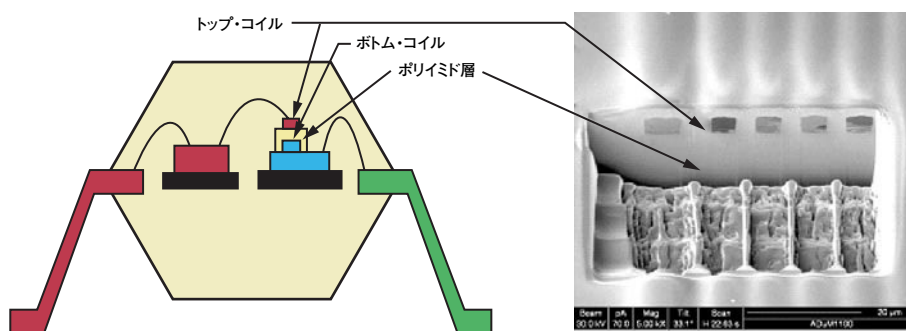


図7. iCoupler構成の断面図

iCoupler設計に使用されている技術を用いれば、フォトカプラで行われる非効率的な電気から光への変換が不要になります。これは、iCouplerの場合フォトカプラのようにLEDを使用しないためです。また、ウェーハ・レベルの処理ですべてのチャンネルを製造するため、複数のiCouplerチャンネルを1つのパッケージ内に簡単に統合できます。iCoupler技術は、性能の増強、消費電力の低減、サイズの縮小、信頼性の向上、コストの低減を実現します。

フォトカプラよりiCouplerのほうが際立って優れている点として、外部部品が不要になるということもあります。フォトカプラの場合、バイパス・コンデンサ以外に、出力トランジスタをバイアスしてLEDを駆動するための外部デバイスも別に必要になります。これとは逆に、iCouplerデバイスではデカップリング・コンデンサ以外に外部部品はまったく不要です。iCouplerソリューションを利用すれば、回路が簡素化し、コストを低減できます。

iCoupler製品は、独自のリフレッシュ回路とウォッチドッグ回路も内蔵しています。

入力時に2 μ s以上ロジック遷移がないと、適正な入力状態を示す一連の周期的なリフレッシュ・パルスを生成して、出力で正しいDCレベルが得られるようにしています。iCouplerの出力側の回路が約5 μ s以上パルスを受信しないと、入力側の回路に電源が供給されていないか機能していないと判断し、ウォッチドッグ・タイマによってアイソレータ出力を強制的にデフォルト状態にします。

アナログ・デバイセズのiCouplerの選択

iCouplerファミリーには広範な製品ラインアップがそろっており、システム設計者はその中から設計に最適な製品を選択することができます。また、機能やオプションが豊富にそろっていることから、少ない数のデバイスでシステムを設計できます。

iCouplerのポートフォリオには、1~4チャンネルのオプションがあります。その中には、通信ラインをサポートできる双方向チャンネルを備えたデバイスもあります。また、さまざまなデータレート性能を提供するiCouplerデバイスもあります。

表1は、チャンネル数、データレート性能などを比較した製品一覧です。

表1. iCouplerおよび絶縁型RS-485トランシーバ製品

製品	モデル	チャンネル数	チャンネル構成*	UL絶縁定格 (kV)	最大データレート5V (Mbps)	最大伝播遅延5V (ns)	最大動作温度 (°C)	パッケージ
ADuM1100	ADuM1100AR	1	1/0	2.5	25	18	105	8ピン・ナローボディ SOIC
	ADuM1100BR	1	1/0	2.5	100	18	105	8ピン・ナローボディ SOIC
	ADuM1100UR	1	1/0	2.5	100	18	125	8ピン・ナローボディ SOIC
ADuM120x	ADuM1200AR	2	2/0	2.5	1	150	105	8ピン・ナローボディ SOIC
	ADuM1200BR	2	2/0	2.5	10	50	105	8ピン・ナローボディ SOIC
	ADuM1200CR	2	2/0	2.5	25	45	105	8ピン・ナローボディ SOIC
	ADuM1201AR	2	1/1	2.5	1	150	105	8ピン・ナローボディ SOIC
	ADuM1201BR	2	1/1	2.5	10	50	105	8ピン・ナローボディ SOIC
	ADuM1201CR	2	1/1	2.5	25	45	105	8ピン・ナローボディ SOIC
ADuM130x	ADuM1300ARW	3	3/0	2.5	1	100	105	16ピン・ワイドボディ SOIC
	ADuM1300BRW	3	3/0	2.5	10	50	105	16ピン・ワイドボディ SOIC
	ADuM1300CRW	3	3/0	2.5	90	32	105	16ピン・ワイドボディ SOIC
	ADuM1301ARW	3	2/1	2.5	1	100	105	16ピン・ワイドボディ SOIC
	ADuM1301BRW	3	2/1	2.5	10	50	105	16ピン・ワイドボディ SOIC
	ADuM1301CRW	3	2/1	2.5	90	32	105	16ピン・ワイドボディ SOIC
ADuM140x	ADuM1400ARW	4	4/0	2.5	1	100	105	16ピン・ワイドボディ SOIC
	ADuM1400BRW	4	4/0	2.5	10	50	105	16ピン・ワイドボディ SOIC
	ADuM1400CRW	4	4/0	2.5	90	32	105	16ピン・ワイドボディ SOIC
	ADuM1401ARW	4	3/1	2.5	1	100	105	16ピン・ワイドボディ SOIC
	ADuM1401BRW	4	3/1	2.5	10	50	105	16ピン・ワイドボディ SOIC
	ADuM1401CRW	4	3/1	2.5	90	32	105	16ピン・ワイドボディ SOIC
	ADuM1402ARW	4	2/2	2.5	1	100	105	16ピン・ワイドボディ SOIC
	ADuM1402BRW	4	2/2	2.5	10	50	105	16ピン・ワイドボディ SOIC
	ADuM1402CRW	4	2/2	2.5	90	32	105	16ピン・ワイドボディ SOIC

* チャンネル構成は絶縁チャンネルの方向性を示しています。たとえば、3チャンネル・デバイスで2/1は2つのチャンネルが1つの通信方向になり、3つ目のチャンネルの通信方向が逆方向になることを意味しています。

バイパス・コンデンサ

iCoupler製品では、バイパス・コンデンサ以外に外部部品はいっさい必要ありません。入出力電源ピンにはバイパス・コンデンサを使用することを特に推奨します。バイパス・コンデンサの値は0.01 μ Fから0.1 μ Fまでにしてください。また、電源ピンとコンデンサの両端までのリードの長さは20mmを超えないようにしてください。

出力イネーブル制御

iCoupler製品の多くには出力イネーブル制御ピン (V_{EX}) があり、出力をハイインピーダンス状態に置くことができます。出力イネーブル・ピンがハイまたはフローティングのときは出力がアクティブになり、ローのときはディスエーブルになります。ノイズの多いアプリケーションでは、出力イネーブル・ピンを強制的に既知のロジック・レベル（ハイまたはロー）にしておくことを推奨します。

まとめ

CANバス・プロトコルは、その仕様の柔軟性や優れた耐ノイズ性により、システム間通信に広く使用されています。しかし、システム間通信用のケーブル・システムでは、過電圧トランジェントやグラウンド・ループに起因する干渉や損傷を受ける可能性がかなり高くなります。

CANバスとそのバスに接続されたシステムの間にはデジタル絶縁手法を使用すれば、信号の歪みや誤差を低減できます。また、システム／バスの電圧とグラウンドのミスマッチからシステムや部品を保護することもできます。

アナログ・デバイス製のiCoupler製品は、広範な性能、チャンネル数、構成に対応しています。性能とチャンネル構成の組み合わせによって、システム設計者は複数のオプションを与えられ、システムの設計を最適化できます。iCoupler製品は、重要な絶縁をシステム設計に取り入れるための費用効果の高い方法となります。

