

## Technical White Paper

信号改善機能によって **CAN-FD** トランシーバの真の可能性を引き出す方法

Vikas Kumar Thawani

## 概要

現代の自動車は、車両の安全性、性能、快適性を高めるために、多数の機能を搭載しています。パワートレイン、先進運転支援システム、ボディ・エレクトロニクス、ライティング、インフォテインメント、安全など、自動車に採用されている多数の電子制御ユニット (ECU) はこれらの電気機械機能を実現します。

ECU は、車内ネットワーク・バスを介して制御およびデータログの情報を交換します。CAN (Controller Area Network)、LIN (Local Interconnect Network)、FlexRay、イーサネットの中で、CAN バスは以前からの最も一般的な選択肢です。その理由は、使いやすさ、優れた同相モード・ノイズの除去、優先度ベースのメッセージング、バスの競合を処理するビット単位のアービトレーション、エラー検出および回復などです。

既存の CAN バスにノードを追加する方法で車両ネットワークをスケール・アップできる容易さも大きな利点になります。ただし、CAN ノードのスター・トポロジ接続のようにネットワークが複雑になると、この利点を生かすことができなくなります。これらのネットワークには、本質的に存在する未終端のスタブによって生じる反射により、高速での信号通信の障害を引き起こす可能性があります。このため、CAN フレキシブル・データ・レート (FD) トランシーバは、5Mbps 定格ですが、実際の車両ネットワークでは 2Mbps 未満で使用する必要があります。信号改善機能 (SIC) により、CAN-FD トランシーバを 5Mbps 以上の複雑なスター・ネットワークで大幅な再設計を必要とせずに使用できます。

## 目次

1 SIC とは.....	2
2 Classical CAN と標準 CAN-FD の制限.....	3
3 CAN SIC によりバス・リングングが低減される理由.....	4
4 テキサス・インスツルメンツの TCAN1462 デバイスの実験結果.....	6
5 テキサス・インスツルメンツの CAN SIC デバイス.....	7
6 CAN SIC の利点.....	7

## 図の一覧

図 1-1. SIC を使用しない CAN バスと RXD の波形.....	2
図 1-2. SIC を使用した CAN バスと RXD の波形.....	2
図 2-1. スター・ネットワーク接続の CAN ノード.....	3
図 2-2. Classical CAN 速度の CAN バス・リングングと RXD グリッチ.....	3
図 3-1. CAN バス電圧レベル.....	4
図 3-2. CAN SIC テクノロジー: イベントのシーケンス.....	5
図 4-1. 2 個のノードとリングング回路を使用したネットワーク.....	6
図 4-2. CAN-FD がネットワークを駆動するときの波形.....	6
図 4-3. CAN SIC がネットワークを駆動するときの波形.....	6

## 表の一覧

表 1-1. CiA 601-4 と ISO 11898-2 のタイミング仕様の比較.....	2
表 5-1. TCAN1462 と類似の競合デバイスとの比較.....	7

## 商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 1 SIC とは

信号の改善は、CAN-FD トランシーバに追加される付加的な機能であり、複雑なスター・トポロジで信号のリングングを最小化し、実現可能な最大データ・レートを改善します。CAN SIC トランシーバは、ISO (国際標準化機構) 11898-2:2016 の高速 CAN 物理層規格と、CiA (CAN-in-Automation) 601-4 の信号改善仕様の仕様以上である必要があります。

通常の CAN-FD トランシーバを [図 1-1](#) に示します。ここでは、CAN バス信号には 900mV (CAN レシーバのドミナント・スレッショルド) を超えて 500mV (CAN レシーバのリセッシブ・スレッショルド) 未満にもなるリングングがあり、受信データ (RXD) のグリッチを引き起こしています。CiA 601-4 に関連して、CAN SIC 機能のトランシーバによりバス信号のリングングが低減し、正しい RXD 信号になることを [図 1-2](#) に示します。

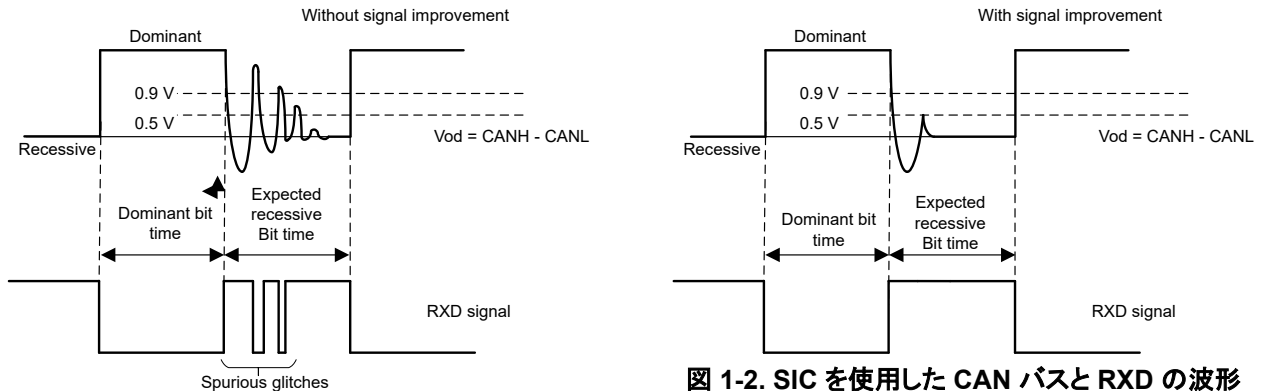


図 1-1. SIC を使用しない CAN バスと RXD の波形

図 1-2. SIC を使用した CAN バスと RXD の波形

電气的パラメータの点で、CiA 601-4 準拠の CAN SIC トランシーバは、[表 1-1](#) に示すように、通常の CAN-FD トランシーバと比較して、はるかに厳密なビット・タイミングの対称性とループ遅延の仕様を実現しています。送信パスと受信パスの遅延を分離することで、システム設計者は他の信号チェーン・コンポーネントが存在する場合にネットワーク伝播遅延を明確に計算できます。ただし、CiA 601-4 で指定されているタイミングがデータ・レートに依存せず、2Mbps と 5Mbps の両方の動作に当てはまることに注意が必要です。

表 1-1. CiA 601-4 と ISO 11898-2 のタイミング仕様の比較

パラメータ	表記	CiA 601-4 仕様		ISO 11898-2:2016 仕様	
		最小 [ns]	最大 [ns]	最小 [ns]	最大 [ns]
信号改善時間 TX ベース	$t_{SIC\_TX\_base}$	N/A	530	N/A	
送信されるビット幅変化	$\Delta t_{Bit(Bus)}$	-10	10	-65 (2Mbps の場合)	30 (2Mbps の場合)
				-45 (5Mbps の場合)	10 (5Mbps の場合)
受信ビット幅	$\Delta t_{Bit(RxD)}$	-30	20	-100 (2Mbps の場合)	50 (2Mbps の場合)
				-80 (5Mbps の場合)	20 (5Mbps の場合)
レシーバのタイミングの対称性	$\Delta t_{REC}$	-20	15	-65 (2Mbps の場合)	40 (2Mbps の場合)
				-45 (5Mbps の場合)	15 (5Mbps の場合)
トランスミッタ・データ (TXD) からバス・ドミナントまでの伝搬遅延	$t_{prop}(TXD-busdom)$		80	ループ遅延 (TXD からバス、RXD まで) のみを最大 255ns で規定	
TXD からバス・リセッシブまでの伝搬遅延	$t_{prop}(TXD-busrec)$		80		
バスから RXD ドミナントまでの伝搬遅延	$t_{prop}(busdom-RxD)$		110		
バスから RXD リセッシブまでの伝搬遅延	$t_{prop}(busrec-RxD)$		110		

## 2 Classical CAN と標準 CAN-FD の制限

第 1 世代の CAN プロトコルの ISO 11898-2 (Classical CAN とも呼ばれる) は 1993 年頃にリリースされました。このプロトコルで許可されるペイロード・データ転送は 8 バイトのみで、最大指定データ・レートは 1Mbps です。CAN バスを使用して相互に通信する多数の電子ノードが車両に搭載される車載用アプリケーションでこの仕様の限界はすぐに現れました。

CAN-FD プロトコルの仕様は 2015 年ごろにリリースされ、ペイロードの長さは 64 バイトに増し、データ・フェーズの最大信号速度も 5Mbps に増加しました。ただし、Classical CAN との下位互換性を確保するため、アービトレーション・フェーズの信号レートは引き続き 1Mbps に制限されていました。

CAN-FD はより高速なデータ・レートとペイロードの増加という利点をもたらしましたが、車両の CAN バス・ネットワークに追加される ECU の数は増加の一途をたどり、十分には対応できませんでした。設計者は、複雑なスター・ネットワークによって生じるバス・リングングが正しい信号通信に影響し、CAN FD トランシーバの潜在能力を活用できないことに気がきました。図 2-1 は、スター・トポロジの例です。

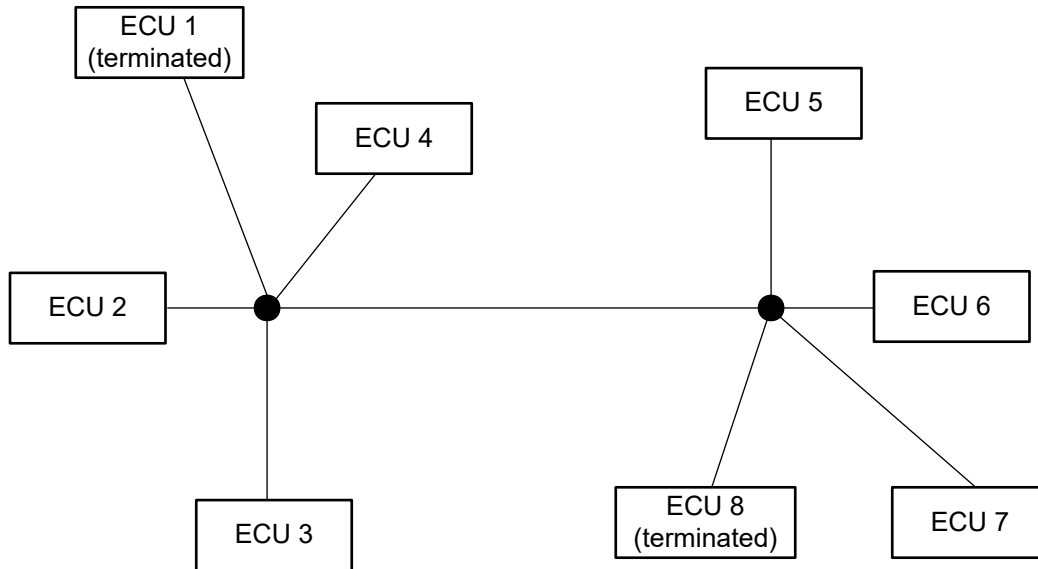


図 2-1. スター・ネットワーク接続の CAN ノード

複数のスタブを使用する複雑なスター・トポロジでは、バス上で伝送される信号のインピーダンス・ミスマッチが発生し、反射を引き起こします。これらの反射により CAN バスが歪み、発振が引き起こされます。このため、サンプリング・ポイントでの CAN バス・レベルと RXD の誤りが発生します。このようなネットワーク効果は CAN-FD ネットワークに固有のものではありませんが、低速動作する Classical CAN はビット持続時間がこれより長いいため、図 2-2 に示すようにバスのリングングが減少し、正しいビットのサンプリングが可能になり、正しい通信が行われていました。

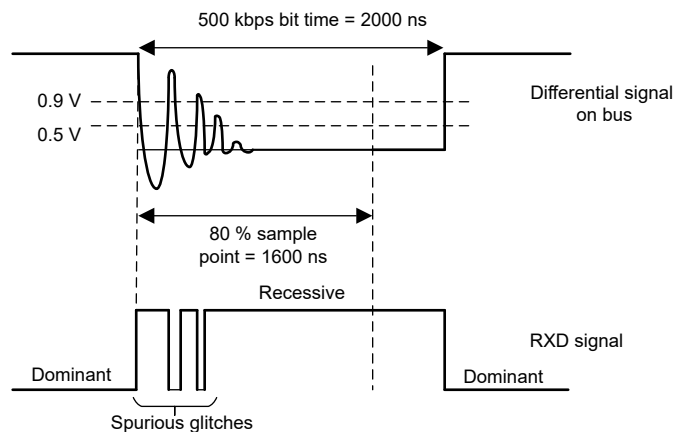


図 2-2. Classical CAN 速度の CAN バス・リングングと RXD グリッチ

5Mbps の CAN-FD 動作では、複雑なスター・トポロジでリングングがなくなるまでの時間に対して 200ns のビット持続時間が短すぎるため、信頼性の高いデータ通信が損なわれます。このことから、システム設計者は 5Mbps で CAN-FD を使用できませんでした。

最新の車両におけるネットワーク・データ交換の増加とスループットの高速化の要求から、より高速でネットワークのフレキシビリティと拡張性を高める次世代の車内通信バス・テクノロジーに向けて CAN SIC が推進されています。

### 3 CAN SIC によりバス・リングングが低減される理由

CAN バスの通常動作時には、[図 3-1](#) に示すように、リセッシブとドミナントの 2 つの論理状態があります。

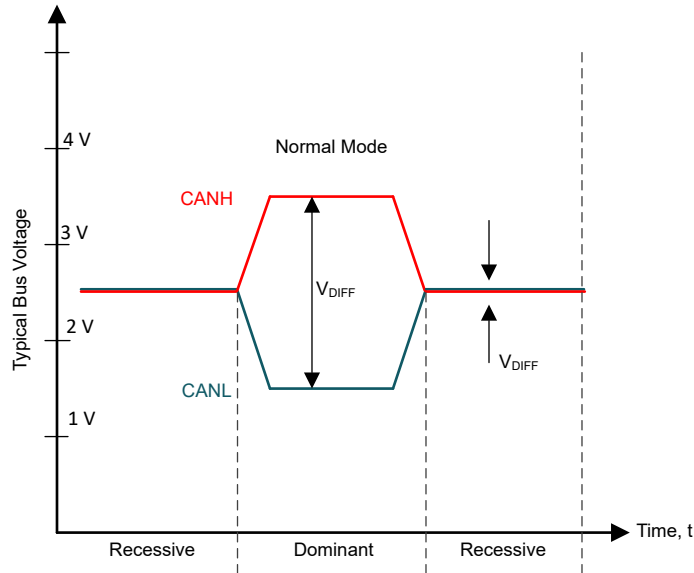


図 3-1. CAN バス電圧レベル

ドミナント・バス状態は、バスを差動で駆動する場合で、TXD ピンと RXD ピンは論理 LOW になります。リセッシブ・バス状態は、バスがレシーバの高抵抗の内部入力抵抗 ( $R_{IN}$ ) を介して  $V_{CC}/2$  にバイアスされる場合で、TXD ピンと RXD ピンは論理 HIGH になります。アービトレーションの期間は、ドミナント状態がリセッシブ状態を上書きします。CAN バス上のリセッシブからドミナントへの信号のエッジは、トランスミッタによって強力に駆動されるため、通常はクリーンです。ドミナント・フェーズの CAN トランシーバの差動トランスミッタ出力インピーダンスは約  $50\Omega$  であり、ネットワーク特性インピーダンスと密接に一致しています。通常の CAN-FD トランシーバの場合、ドミナントからリセッシブへのエッジの時に、ドライバの差動出力インピーダンスが突然約  $60k\Omega$  になることで反射された信号によるインピーダンスのミスマッチを引き起こし、リングングが発生します。

トランスミッタ・ベースの SIC は、TXD のドミナントからリセッシブへのエッジを検出し、ドライバ出力のリングング抑制回路をアクティブにします。CAN ドライバは、 $t_{SIC\_TX\_base}$  までバスのリセッシブを強力に駆動し続けるため、反射が減少し、リセッシブ・ビットがサンプリング・ポイントでクリーンになります。このアクティブなリセッシブ・フェーズでは、トランスミッタの出力インピーダンスが低くなります (約  $100\Omega$ )。反射された信号は大きなインピーダンスのミスマッチを発生させないため、リングングは大幅に低減します。このフェーズが終了し、デバイスがパッシブなリセッシブ・フェーズになると、ドライバの出力インピーダンスが約  $60k\Omega$  に上昇します。この現象を [図 3-2](#) に示します。

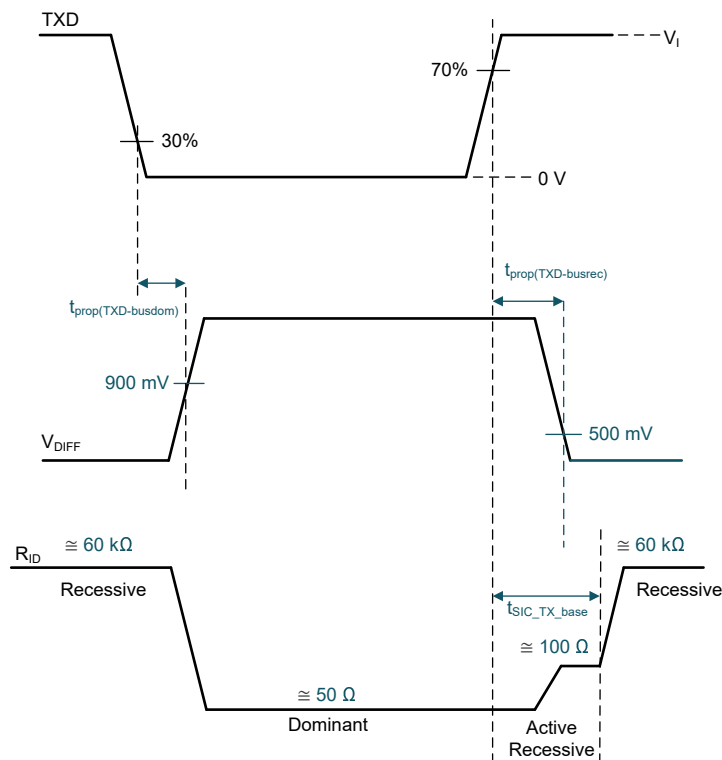


図 3-2. CAN SIC テクノロジー: イベントのシーケンス

アクティブなりセッシブ・フェーズにおける重要な要素は、バスを強力に駆動する時間を 530ns 以下にすることです (表 1-1 で示す  $t_{SIC\_TX\_base}$ )。CAN-FD プロトコルのデータ・フェーズは最大 200ns の間のみ持続する (5Mbps での動作時) ため、このリングング抑制がリセッシブ・ビット持続時間全体にわたってアクティブになり、CAN バスと RXD 信号が訂正されます。ただし、アービトレーション・フェーズでは、1Mbps 動作のときの最も速いビット持続時間が 1μs になり、複数のトランスミッタが同時に送信可能であって、ドミナント・ビットがリセッシブ・ビットを上書きする必要があります。そのため、リングング抑制の期間がネットワーク全体の長さやアービトレーション速度を制限する場合があります。詳細については、CiA 601-4 の仕様を参照してください。

## 4 テキサス・インスツルメンツの TCAN1462 デバイスの実験結果

テキサス・インスツルメンツの 8 ピン TCAN1462 CAN SIC トランシーバのリングング抑制機能を実証するために、テキサス・インスツルメンツは以下の設定による実験を行いました。

- 図 4-1 に示すように、ノード 1 を TCAN1462 とし、ノード 2 を通常の CAN-FD トランシーバの TCAN1044A とした場合の 2 ノードのポイント・ツー・ポイント通信です。複雑なスタートポロジをエミュレートするリングング・ネットワーク (CiA 601-4 で規定) は、CAN バス端子経由で接続されています。図 4-2 と 図 4-3 に示す波形で、TCAN1462 が駆動しているときの CAN バスと RXD 信号の表示はクリーンです。しかし、TCAN10464A が駆動しているときは、無視できないバスのリングングや RXD のグリッチが発生します。

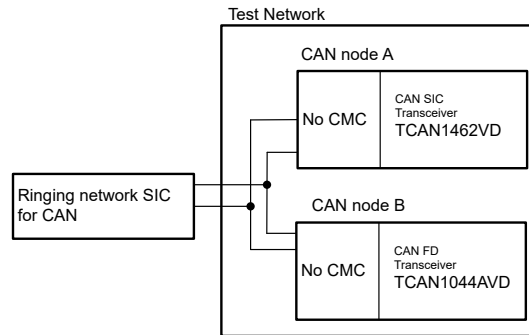


図 4-1. 2 個のノードとリングング回路を使用したネットワーク

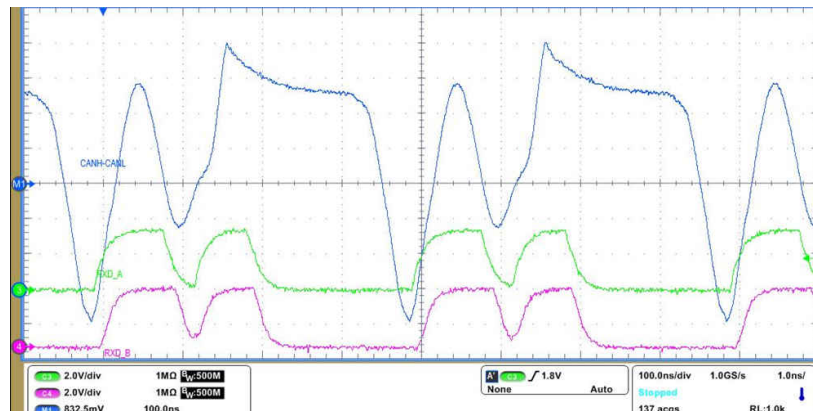


図 4-2. CAN-FD がネットワークを駆動するときの波形

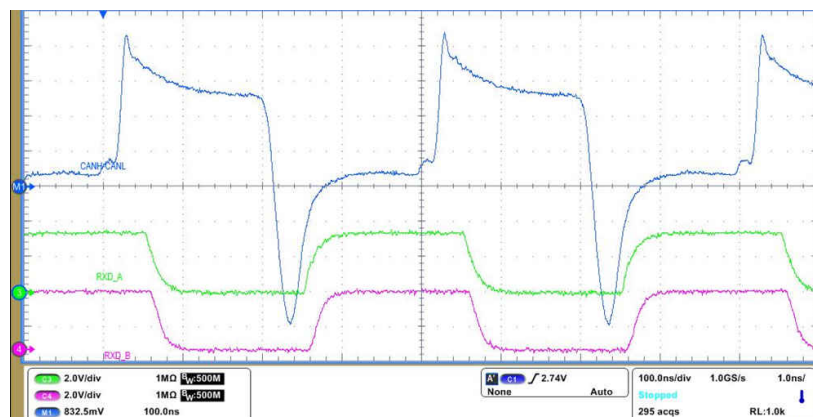


図 4-3. CAN SIC がネットワークを駆動するときの波形

大きく負方向に振れている  $V_{OD}$  に問題はなく、 $V_{OD}$  のオーバーシュートもないことから、RXD はクリーンです。



## 5 テキサス・インスツルメンツの CAN SIC デバイス

テキサス・インスツルメンツは、次の 2 つの CAN SIC デバイスをリリースしました。従来型の 8 ピン CAN トランシーバとピン互換のスタンバイ・モード・サポート付き 8 ピン **TCAN1462** と、従来型の 14 ピン CAN トランシーバとピン互換のスリープ・モードおよび WAKE/INH 機能付き 14 ピン **TCAN1463** です。

TCAN1462 には、5V バス / ロジック・レベル用の TCAN1462 と、1.8~5V ロジック・レベルをサポートする TCAN1462V の 2 つのバリエーションがあります。これらのデバイスには、表 5-1 に示すように、競合製品と比較して大きな利点があります。

**表 5-1. TCAN1462 と類似の競合デバイスとの比較**

パラメータ	競合デバイス	TCAN1462	終端システムへの影響
V <sub>io</sub> (ロジック電源) 範囲	3V~5.5V	1.71V~5.5V	テキサス・インスツルメンツでは、今後の 1.8V ロジック I/O サポートを準備完了
SIC タイミング	±5% V <sub>CC</sub> におのみ適合	±10% V <sub>CC</sub> に適合	テキサス・インスツルメンツは、規格で要求される重要な SIC パラメータを満たすための厳密な安定化電源が不必要
1.5V の最小 V <sub>od</sub>	±5% V <sub>CC</sub> におのみ適合	±10% V <sub>CC</sub> に適合	
バス・フォルト保護	-36V~40V	±58V	バス・フォルトが大きいと、フォルト耐性が高い。また、テキサス・インスツルメンツは 24V システムのバス・フォルトに対応し、複数のプラットフォームで再利用可能
バス・ピンの静電気放電 (ESD)	6kV	±8kV	より強力な ESD 保護
SOT 23 ピン・パッケージ	×	○	テキサス・インスツルメンツは、より小型のパッケージ・オプションを提供

## 6 CAN SIC の利点

CAN SIC トランシーバは、物理層またはアプリケーション層の設計変更を必要とせず、通常の CAN-FD トランシーバよりも多くのシステム上の重要な利点を提供します。これらのトランシーバを採用することで、より高速のビット・レートでの動作が可能になり、ネットワーク・トポロジをより自由に選択できると同時に、車両のコストと重量を低減することができます。

CAN SIC は、ISO 11898-2 との下位互換性があり、CAN-FD と同じバスで動作できます。

表 1-1 に示すように、SIC トランシーバではビット・タイミングの対称性が大幅に改善されます。これにより、CAN 信号を低下させる可能性のあるネットワークの影響に対して、マージンを大きくすることができます。このトランシーバは、送信ビットと受信ビットの劣化はるかに少ないため、ビット持続時間が短縮されて **8Mbps** で確実に動作できます。また最後に、ループ遅延は、CAN-FD トランシーバの最大 **255ns** と比較して CAN SIC トランシーバでは最大 **190ns** であり、最大ネットワーク長を延長できます。

## 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](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022, Texas Instruments Incorporated