

Keysight Technologies

CAN FDアイダイアグラム・マスク・テスト

Keysight InfiniiVision 3000T/4000 Xシリーズ

オシロスコープの活用

Application Note

はじめに

アイダイアグラム・マスク・テストは、今日のシリアル・バス・アプリケーションで広く使用されています。アイダイアグラムは、ビットが有効になっているタイミングを表示するために、オシロスコープで捕捉したすべてのビットを無限に重ね書きします。これにより、システムの物理層特性の品質に関する複合的な全体像が得られ、振幅の変動、タイミングの不確かさ、発生頻度の低い信号異常などがわかります。アイダイアグラムテストは、新しいCAN FDシリアルバスなどの高速なバスで特に重要になります。

Keysight InfiniiVision 3000Tまたは4000 Xシリーズ オシロスコープにトリガ/デコードオプション(DSOXT3AUTOまたはDSOX4AUTO)とマスク・テスト・オプション(DSOX3MASKまたはDSOX4MASK)のライセンスを追加すれば、CAN FD差動バス上でアイダイアグラムテストが行えます。データ・フェーズ・ポーレートや差動プローブ極性(ドミナントビットHIまたはドミナントビットLO)に基づいたさまざまなCAN FDマスクファイルをキーサイトのウェブサイトから無料でダウンロードできます。現在、以下のCAN FDマスク・テスト・ファイルがあります。

- CAN-FD (L-H) 500k-4M.msk
- CAN-FD (L-H) 500k-5M.msk
- CAN-FD (L-H) 500k-6M.msk
- CAN-FD (L-H) 500k-8M.msk
- CAN-FD (L-H) 500k-10M.msk
- CAN-FD (H-L) 500k-4M.msk
- CAN-FD (H-L) 500k-5M.msk
- CAN-FD (H-L) 500k-6M.msk
- CAN-FD (H-L) 500k-8M.msk
- CAN-FD (H-L) 500k-10M.msk

ドミナントビットLOを表示するために差動CAN FDバスをプロービングしている場合は、ファイル名に“L-H”が付くマスクファイルを使用します。ドミナントビットHIを表示するためにバスをプロービングしている場合は、ファイル名に“H-L”が付くマスクファイルを使用します。プロービング極性については、このアプリケーションノートの次のセクションで説明します。

CAN FDアイダイアグラム・マスク・テストは、バスレート(アービトレーションフェーズ)が500 kbps、FDレート(データフェーズ)の範囲が4 Mbps ~ 10 MbpsのCAN FDバスのみをサポートしています。このため、例えば、CAN FDのデータレートが10 Mbpsの場合は、ファイル名に“500k-10M”が付くマスクファイルを使用してください。

CAN FDアイダイアグラム・マスク・テストはすべてのビットをテストするわけではありません。すべてのCAN FDフレームのFDデータフェーズの最初の10ビットのみをテストします。すなわち、BRS(ビットレートスイッチ)ビットが付加されているフレームのみです。10ビットによりワーストケースの再同期を確認できます。再同期は、2つのスタッフビットが連続して生じた場合に行われます。これにより、10ビットの周期全体でワーストケースのクロック安定度とジッタをテストできます。FDデータフェーズの全ビットをテストしなくても、すべてのフレームのFDデータフェーズの最初の10ビットだけを重ね書きすれば、システムの全ノードから受信したビットの波形特性を表示することができます。すなわち、システムのFDノードの1つに、振幅の低下、エッジ速度の遅れ、ノイズなどの物理層に関する問題がある場合は、FDデータフェーズの最初の10ビットのみをテストすれば、これらの特性をアイダイアグラム上で確認できます。

アイダイアグラム・マスク・テストは、従来のCAN 2.0信号に対しても実行できます。CAN 2.0信号(FD非対応)テストの詳細については、このアプリケーションノートの最後に掲載されているキーサイトのアプリケーションノート『CAN Eye-Diagram Mask Testing』を参照してください。

差動CAN FDバスのプロービング

CAN FDアイダイアグラム・マスク・テストは、差動バス上のリセッシブビットおよびドミナントビットを捕捉して重ね書きしたものです。差動バスは差動アクティブプローブでプロービングする必要があります。キークサイトは、図1のN2818A 200 MHz差動アクティブプローブの使用を推奨しています。このプローブはKeysight AutoProbeインタフェースに対応しており、自動的にオシロスコープの入力インピーダンス(50 Ω)と減衰比(10:1)が設定され、アクティブプローブへの電源も供給されます。

システムのSubD-DB9コネクタに接続する場合には、CAN/FlexRay SubD-DB9プローブヘッド(パーツ番号: 0960-2926)を使用してください(図1の右上の写真を参照)。オプションのプローブ・ヘッド・アダプターを使用すれば、CAN、CAN FD、FlexRayの差動バスに容易に接続できます。

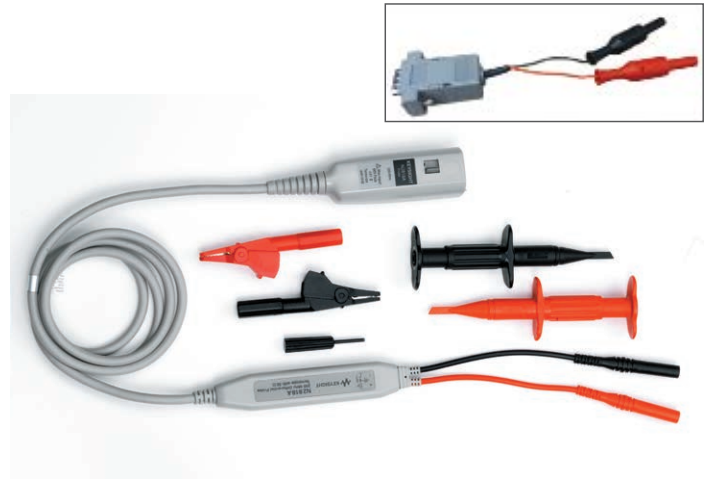


図1: N2818A 200 MHz差動アクティブプローブおよびSubD-DB9プローブヘッド。

差動アクティブプローブを使用して、ドミナントビットHIまたはLOフォーマットの差動CAN FDバスの信号を表示できます。プロービングの極性のうち一方を使用してCAN FDアイダイアグラム・マスク・テストを実行できます。ドミナントビットHI信号を確認するには、差動プローブの「+」入力(赤いリード)をCAN_HIに、プローブの「-」入力(黒いリード)をCAN_Lに接続します。図2は、ドミナントビットHIフォーマットの差動CAN FD波形です。

ドミナントビットLOフォーマットの信号を確認するには、差動プローブの「+」入力(赤いリード)をCAN_Lに、プローブの「-」入力(黒いリード)をCAN_HIに接続します。バスに対してこのように差動プローブを接続するのは直感とは異なり逆向きに思えるかもしれませんが、CAN FD信号のタイミングダイアグラムは一般的にドミナントビットLOフォーマットで表示されます。このフォーマットでは、バスのアイドルレベルは常にHI(リセッシブ)です。また、CAN FDフレームの送信中は、HIレベル信号(リセッシブビット)は常に“1s”として解釈され、LOレベル信号(ドミナントビット)は常に“0s”として解釈されます。図3は、ドミナントビットLOフォーマットの差動CAN FD波形です。これは、現在、多くのエンジニアが一般的に使用している方法です。

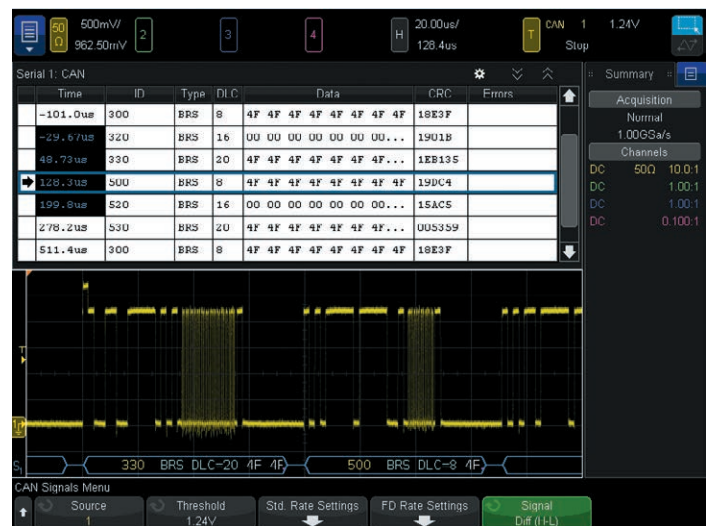


図2: 差動CAN FDバスのプロービングによるドミナントビットHIの表示。

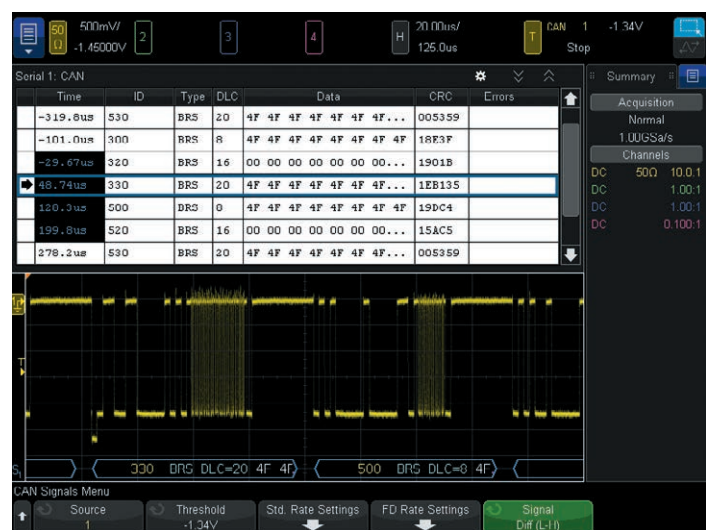


図3: 差動CAN FDバスのプロービングによるドミナントビットLOの表示。

CAN FDアイダイアグラム・マスク・テスト を実行する詳細な手順

CAN FDアイダイアグラム・マスク・テストを実行するには、最初に、オシロスコープでCAN FD差動バスに接続されている入力チャンネル以外のすべてのチャンネルをオフにします。**Default Setup**を使用して開始する場合は、チャンネル1のみをオンにします。または、すでにセットアップ済みのオシロスコープで差動CAN FDバスにトリガがかかっている状態でも開始できます。CAN FDアイダイアグラム・マスク・テストは、以下の手順で実行できます。

1. USBメモリデバイス(適切なマスクファイルが保存されているもの)をオシロスコープのフロントパネルのUSBポートに挿入します。
2. **[Save/Recall]**フロント・パネル・キーを押してから、**[Recall]**ソフトキーを押します。
3. **[Recall:XXXX]**ソフトキーを押してから、リコールするファイルタイプとして**Mask (*.msk)**を選択します。
4. **[Location]**(または**[Press to go]**または**[load from]**)ソフトキーを押してから、FDボーレートおよびプロービング極性(L-H=ドミナントビットLO、H-L=ドミナントビットHI)に対応する適切なマスクファイルに移動します。
5. **[Press to Recall]**ソフトキーを押してCAN FDアイダイアグラム・マスク・テストを実行します。

マスクファイルをリコールすると、オシロスコープのタイムベース、垂直軸、トリガ設定が自動的にセットアップされ、ディスプレイの中央の5 divに渡ってCAN FDビットが重ね書きされます。この特殊なシーケンステスト中は、タイムベース設定とタイミングカーソルの使用はできません。CAN FDアイダイアグラム・マスク・テストを終了するには、マスクテストをオフにするか、オシロスコープの**[Analyze-Mask]**メニューの**[Clear Mask]**を押します。テストを終了すると、オシロスコープのほとんどの設定がテスト開始前の状態に復元されます。しかし、トリガは復元されず、BRS(ビットレートスイッチ)の立ち上がりエッジでのトリガ設定になっています。このエッジはFDデータレートフェーズの開始で、オシロスコープのパルス幅トリガモードが使用されます。

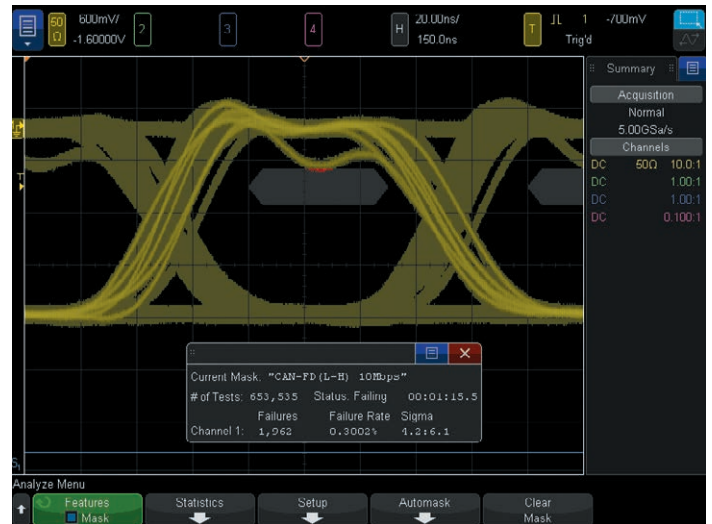


図4：ドミナントビットLOの接続を使用した10 MbpsデータフェーズビットのCAN FDアイダイアグラム・マスク・テスト。

アイの解析

図4に示されているCAN FDアイダイアグラム・マスク・テストは、アービトレーションフェーズのボーレートが500 kbps、FDデータフェーズのボーレートが10 Mbpsのもので、差動プロービングはドミナントビットLOフォーマット(L-H)の波形を確認できるように接続されています。このテストは基本的にドミナントビットおよびレセッシブビットがレシーバーのサンプリングより前に有効/規定レベルで安定したかどうかを示すものです。これらは、通常、FDデータフェーズ中の約60%のサンプルポイントで安定します。すなわち、CAN FDアイダイアグラムは、オシロスコープの収集と表示タイミングをCAN FDレシーバーのタイミングに同期させて、CANレシーバーで信号を表示しています。結果として、1回の測定でCAN FD物理層ネットワークのシグナルインテグリティ全体に関する詳細な知見が得られ、ワーストケースのタイミング、ワーストケースの垂直方向の振幅変動がわかります。

アイダイアグラムは、垂直軸にさまざまなピークツーピーク振幅を表示します。差動CAN FDバス上の信号振幅の変動は、主に、以下の要因によるものです。

- システムノイズ/干渉/結合
- 独自の出力特性を示す差動トランスミッター(システムのノード)
- ネットワーク長と反射による振幅の減衰

ピークツーピーク振幅の変化は、図3のようなビットとフレームの連続表示(アイダイアグラムではない表示)でも確認できますが、アイダイアグラムでは、1つの重ね書きされた画像でこのような変動(終端での問題を明らかにする詳細なパルス形状)を表示できます。

アイダイアグラムの水平軸上に表示されるタイミングの不確かさは、主に、以下に起因します。

- ワーストケースのクロックジッタ
- システム内の異なるノード間のワーストケースのクロック耐力
- ビット時間の量子化(通常、1ビット時間の1/8 ~ 1/25)

このようなワーストケースのタイミングエラーを連続的な波形(アイダイアグラム以外)で確認するのは極めて困難です。

合否判定マスク

アイダイアグラムの無限に重ね書きされたビットは、六角形の合否判定マスク(グレーのゾーン)と比較されます。このマスクは多くのシリアルバス規格で一般的に使用されています。マスクは、信号が侵入してはいけないと定められている範囲を不合格領域として定義しています。オシロスコープディスプレイ上のこのゾーンは、「立入禁止」区域とみなすことができます。捕捉波形がオシロスコープディスプレイ上のこのゾーンに表示された場合、オシロスコープは波形の該当部分を赤色で表示します(図5参照)。さらに、オシロスコープはテストに不合格したビット数とテストした総ビット数をカウントし、不合格率の統計値も表示します。

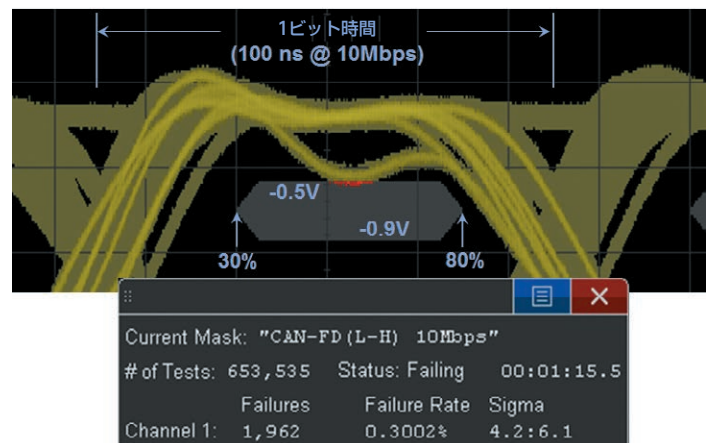


図5：10 Mbpsのデータフェーズで動作するCAN FDシステムの合否判定マスク。ドミナントビットLOを表示するようにプロービング。

図5のマスクは、データ・フェーズ・レートが10 MbpsのCAN FDシステムで、ドミナントビットL0を表示するように差動バスをプロービングしたものです。マスクの上下の境界は、規格で定められているCAN FDレシーバーのしきい値レベルのワーストケースで -0.5 V ～ -0.9 V です。ドミナントビットHIフォーマットで表示するようにプロービングした場合は、マスクの下限レベルが $+0.5\text{ V}$ 、上限レベルが $+0.9\text{ V}$ に設定されたマスクを利用できます。マスクの左側の位置は30 %のビット時間ポイント、マスクの右側の位置は80 %のビット時間ポイントです。

この例のCAN FDアイダイアグラム・マスク・テストでは、システム内のノードの中の1つから歪んだレセッシブビット(ハイレベル)が生じ、マスク上部付近の不合格ゾーンに表示されていることがわかります。 -0.5 V のしきい値レベルに侵入している波形の一部は、赤色で強調表示されています。このテストから、このような差動信号はCAN FDトランシーバーでドミナントビットと判断される可能性があります。さらに、このCAN FDシステムでは、テストを行った10ビット時間中にピークツーピークで約20 nsのタイミングジッタが生じていることもわかります。最後に、マスクテスト統計ウィンドウには不合格の確率が約0.3 %であったことが表示されています。これは75秒間に650,000ビット以上をテストした結果です。

多角形マスクの頂点は、Windows NotePadなどの一般的なASCIIベースのテキストエディターで編集できます。編集後は.msk拡張子で保存します。カスタムのCAN FDマスクファイルについては、キーサイトの計測お客様窓口にお問い合わせください。

まとめ

CAN FDシリアル・バス・プロトコル・アナライザは、CANバスの上位アプリケーションレベルのデータ転送情報を提供できますが、システムのエラーの原因になる個々のビットのシグナルインテグリティに関してはほとんどわかりません。このような理由で、多くの場合、エンジニアは、CAN FDトリガ/デコード機能を備えたオシロスコープを使用して、差動CAN FDネットワークの物理層特性をテストします。CAN FDアイダイアグラム・マスク・テストは、1つの複合測定で物理層全体の品質を評価できるオシロスコープの重要な測定機能です。オシロスコープのディスプレイ上で適切なCAN FDアイダイアグラム測定を実行するには、立ち上がり/立ち下がりエッジでトリガするだけでなく、より多くの機能が必要になります。例えば、再同期(連続した2つのスタッフビット)後のワーストケースの10ビット時間を捕捉して重ね書きするには、CAN FDレシーバーのワーストケースの再同期をエミュレートできる特殊なトリガと表示クロック・リカバリー・アルゴリズムが必要です。

Keysight InfiniiVision Xシリーズ オシロスコープは、差動CAN/CAN FD信号のアイダイアグラム・マスク・テスト測定のトリガ、デコード、実行が可能だけでなく、CXPI、LIN、SENT、FlexRay、I²C、SPI、RS-232C/UART、USBなど、車載アプリケーションのその他のバス規格の解析も可能です。

システム要件

CAN FDマスクテストを実行するには、差動バスをプロービングするN2818A差動アクティブブロープ(あるいは、これに相当するもの)の他に、Keysight InfiniiVision 3000Tまたは4000 Xシリーズ オシロスコープにCAN/CAN FD/LINシリアル・トリガ/デコード・オプション(DSOXT3AUTOまたはDSOX4AUTO)およびマスク・テスト・オプション(DSOX3MASKまたはDSOX4MASK)のライセンスを追加したものがが必要です。さらに、オシロスコープで使用できるすべてのオプション(CAN、CAN FD、CXPI、LIN、SENT、FlexRay、I²C、SPI、Maskなど)を含むDSOXT3APPBNDLおよびDSOX4APPBNDLアプリケーション・バンドル・オプションも安価にご利用いただけます。

上に記載された最小システム要件とは別に、CAN FDアイダイアグラム・マスク・テストをサポートするには、3000Tまたは4000 Xシリーズ オシロスコープのファームウェアバージョンが4.05以上である必要があります。

関連カタログ

カタログタイトル	カタログの種類	カタログ番号
InfiniiVision 3000T X-シリーズ オシロスコープ	Data sheet	5992-0140JAJP
InfiniiVision 4000 Xシリーズ オシロスコープ	Data sheet	5990-1103JAJP
InfiniiVision Xシリーズ オシロスコープ用シリアル・バス・オプション	Data sheet	5990-6677JAJP
InfiniiVisionオシロスコープ用プローブおよびアクセサリ	Data sheet	5968-8153JA
オシロスコープ測定ツールによる車載用シリアルバスの効果的なデバッグ	Application note	5991-0512JAJP
CAN Eye-Diagram Mask Testing	Application note	5991-0484EN
CAN-dbcシンボリック・トリガ/デコードによる自動車デザインのデバッグの高速化	Application note	5991-2847JAJP
Characterizing CAN Bus Arbitration using an InfiniiVision 4000/6000 X-Series Oscilloscope	Application note	5991-4166EN
Using Segmented Memory for Serial Bus Applications	Application note	5990-5817EN

<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/●.pdf>の●の部分に上記カタログ番号を入れると、各資料にリンクします。

myKeysight

myKeysight

www.keysight.co.jp/find/mykeysight

ご使用製品の管理に必要な情報を即座に手に入れることができます。



www.axiestandard.org

AXIe (AdvancedTCA® Extensions for Instrumentation and Test) は、AdvancedTCA® を汎用テストおよび半導体テスト向けに拡張したオープン規格です。Keysight は、AXIe コンソーシアムの設立メンバーです。



www.lxistandard.org

LXI は、ウェブへのアクセスを可能にするイーサネットベースのテストシステム用インタフェースです。Keysight は、LXI コンソーシアムの設立メンバーです。



www.pxisa.org

PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) モジュール測定システムは、PC ベースの堅牢な高性能測定/自動化システムを実現します。



www.keysight.com/go/quality

Keysight Electronic Measurement Group

DEKRA Certified ISO 9001:2008

Quality Management System

契約販売店

www.keysight.co.jp/find/channelpartners

キーサイト契約販売店からもご購入頂けます。

お気軽にお問い合わせください。

キーサイト・テクノロジー合同会社

本社 〒192-8550 東京都八王子市高倉町9-1

計測お客様窓口

受付時間 9:00-18:00 (土・日・祭日を除く)

TEL ☎ 0120-421-345 (042-656-7832)

FAX ☎ 0120-421-678 (042-656-7840)

Email contact_japan@keysight.com

ホームページ www.keysight.co.jp

記載事項は変更になる場合があります。
ご注文の際はご確認ください。