

## Design Guide: TIDA-01509

## 光学スイッチを使用する破損ワイヤ検出のリファレンス デザイン

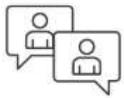


## 説明

このリファレンス デザインでは、TI の ISO121x デバイスを使用した 16 の絶縁デジタル入力チャンネルのコンパクトな実装を紹介します。このデザインは絶縁電源なしに動作し、チャンネルごとに最 100kHz の入力信号 (200kbit) をサポートします。このデザインは、それぞれ 8 チャンネルずつの 2 つのグループに分割されます。破損ワイヤの検出は、チャンネルごとに 1 つの追加 フォトカプラ エミュレータ スイッチ ISOM86xx、またはグループごとに 2 つのフォトカプラ エミュレータスイッチと 1 つの追加コンデンサを使用するだけで実行できます。この機能には追加の補助電源が必要ありません。通常のデジタル入力モジュールでは破損ワイヤを診断するために、現場入力側に追加の絶縁電源が必要なことと比べると、これは ISO121x ファミリーを使用するデジタル入力モジュールに固有の利点となります。

## リソース

<a href="#">TIDA-01509</a>	デザイン フォルダ
<a href="#">ISO1211</a>	プロダクト フォルダ
<a href="#">ISO1212</a>	プロダクト フォルダ
<a href="#">ISOM8600</a>	プロダクト フォルダ
<a href="#">SN74LV165A</a>	プロダクト フォルダ
<a href="#">SN74LVC1GU04</a>	プロダクト フォルダ
<a href="#">TVS3300</a>	プロダクト フォルダ



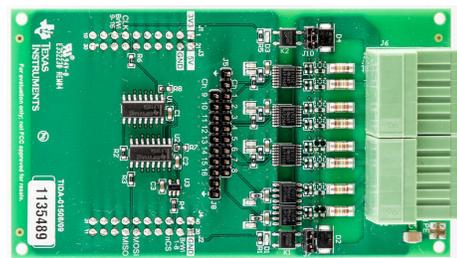
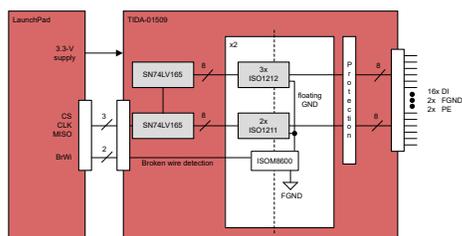
テキサス・インスツルメンツの TI E2E™ サポート エキスパートにお問い合わせください。

## 特長

- 16 チャンネルのデジタル入力、最大  $\pm 60V$  の入力電圧許容範囲
- 追加部品 1 つのみでシングルチャンネルの破損ワイヤを検出
- スケーラブルなグループ チャンネル構成について、追加部品 3 つだけで破損ワイヤを検出
- 1 次側電源のみで動作し、絶縁型電源は不要
- 迅速かつ容易な評価に適した LaunchPad™ ヘッド

## アプリケーション

- デジタル入力モジュール
- 産業用ロボットの I/O モジュール



## 1 システムの説明

このリファレンス デザインでは、TI の新しい ISO121x デバイス、シングル (ISO1211) およびデュアルチャンネル (ISO1212)、絶縁型 24V デジタル入力レシーバを使用した 16 チャンネルの絶縁デジタル入力をコンパクトに実装します。このデザインは、それぞれ 8 チャンネルの 2 つのグループに分割されます。各グループは、3 つのデュアルチャンネル ISO1212 と 2 つのシングルチャンネル ISO1211 デバイスで構成されています。

チャンネルごとに追加の フォトカプラ エミュレータスイッチを 1 個使用するだけで破損ワイヤを検出できます。このデザインでは、回路に対して他の調整を行う必要はありません。

フォトカプラ エミュレータスイッチは、ISO121x デバイスのフィールドグランドを短時間切断し、その後再度接続します。その結果、その配線のステータス (破損または接続) に応じて、ISO121x の出力ピンにパルスが印加されます。入力信号がプルアップ抵抗を介してハイサイドスイッチから送信されている場合、このパルスはロジック「0」入力信号に対しても機能します。

この機能には 2 次側電源が不要です。通常のデジタル入力と比較して、破損ワイヤを診断するために、現場入力側に追加の絶縁電源が必要なことと、ISO121x を使用して構築されたデジタル入力に独自の利点があります。

評価を簡単かつ迅速に実行できるように、このリファレンス デザインを MSP430FR5969 LaunchPad や、同じ SPI ピン配置を採用している他の TI LaunchPad に接続できます。LaunchPad はシステムに電源も供給します。

また、このリファレンス デザインを通常の 16 チャンネルデジタル入力モジュールとして使用することもできます。ISO121x デバイスはデジタル入力の正確な電流制限を提供できるため、24V の入力信号について 16 入力チャンネルで 1W 未満の消費電力を実現できます。詳細については、「サブ 1W、16 チャンネル絶縁型デジタル入力モジュールのリファレンス デザイン」を参照してください。

### 1.1 主なシステム仕様

表 1-1. 主なシステム仕様

パラメータ	仕様	詳細
チャンネル数	16 (8 のグループ)	<a href="#">セクション 2.3.1</a>
電源電圧	3.3V (LaunchPad により提供)	<a href="#">セクション 3.1</a>
最大サンプリング速度、シリアル	100kHz (200kbps)/チャンネル	<a href="#">セクション 2.3.1</a>
最大サンプリング速度、並列	2 MHz (4Mbps)/チャンネル	<a href="#">セクション 2.2.1</a>
断線検出に必要な時間、シングルチャンネル構成	3ms (100-kΩ を 24V 電源にプルアップ)	<a href="#">セクション 3.2.2.2</a>
破損ワイヤを検出するための最小電源電圧	14.9V (100kΩ プルアップ、シングルチャンネル構成)	<a href="#">セクション 3.2.2.2</a>
破損ワイヤの検出に必要な時間、グループ構成 (8 チャンネル)	24ms (チャンネルごとに 24V 電源に 800kΩ プルアップ)	<a href="#">セクション 3.2.2.1</a>
ワイヤ破損の検出、シングルチャンネル構成にも必要な部品	光スイッチ × 1	<a href="#">セクション 2.3.2</a>

## 2 システム概要

### 2.1 ブロック図

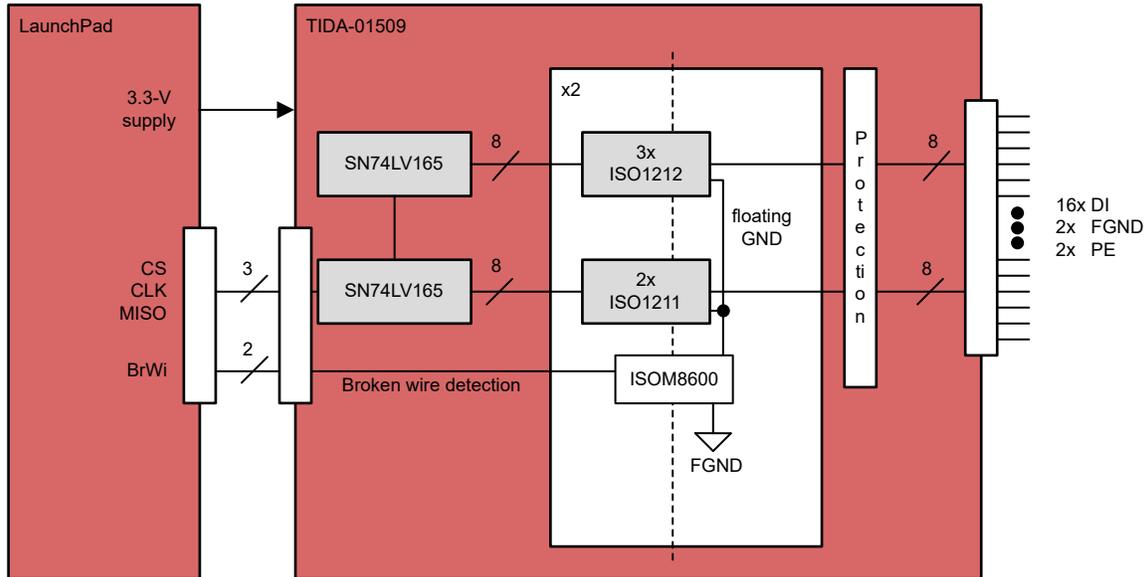


図 2-1. TIDA-01509 のブロック図

## 2.2 主な使用製品

### 2.2.1 ISO121x

ISO1211 および ISO1212 デバイスは、絶縁型の 24V デジタル入力レシーバで、IEC 61131-2 タイプ 1、2、3 の特性に準拠しており、プログラマブル ロジック コントローラ (PLC) およびモータ制御デジタル入力モジュールに適しています。従来のオプトカプラソリューションは電力制限回路がディスクリートで精度が低いのに対して、ISO121x デバイスは単純かつ低消費電力のソリューションで、正確な電流制限により、コンパクトで高密度の I/O モジュールを設計できます。これらのデバイスはフィールド側の電源を必要とせず、ハイサイドまたはローサイドスイッチと互換性があります。ISO121x は、2.25V~5.5V の電源電圧範囲で動作し、2.5V、3.3V、5V のコントローラをサポートします。±60V 入力の許容値と逆極性保護により、フォルトが発生した場合でも入力ピンが保護され、無視できる程度の逆電流しか発生しません。これらのデバイスは、最大 4Mbps のデータレートをサポートし、最小 150ns のパルス幅を渡すことで高速動作が可能です。ISO1211 デバイスはチャンネル間絶縁が必要な設計に理想的で、ISO1212 デバイスはマルチチャンネルで容積の制限される設計に理想的です。

ISO121x ファミリーの 1 つのチャンネルの機能ブロック図を、[図 2-2](#) に示します。

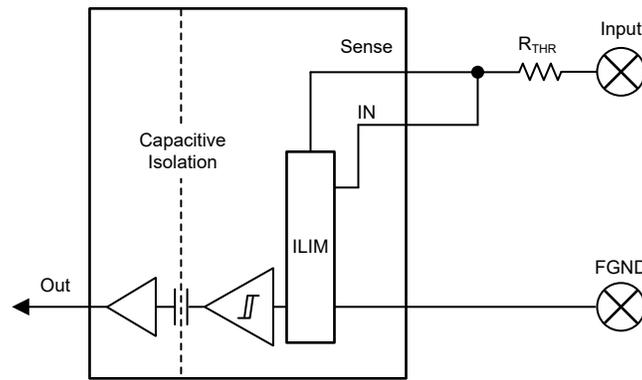


図 2-2. ISO121x の機能ブロック図

### 2.2.2 SN74LV165A

SN74LV165A デバイスは、2V～5.5V の VCC で動作するように設計された、パラレルロード (並列読み込み) 8 ビットシフトレジスタです。

デバイスにクロックが供給されると、データはシリアル出力 QH にシフトされます。各段のパラレル入力へのアクセスは、8 つの個別の直接データ入力によって提供されます。これらのデータ入力は、シフト/ロード (SH/LD) 入力が LOW レベルのときイネーブルになります。SN74LV165A デバイスは、クロック禁止機能と、反転したシリアル出力 QH を備えています。

図 2-3 に、SN74LV165A バリエーションの機能ブロック図を示します。

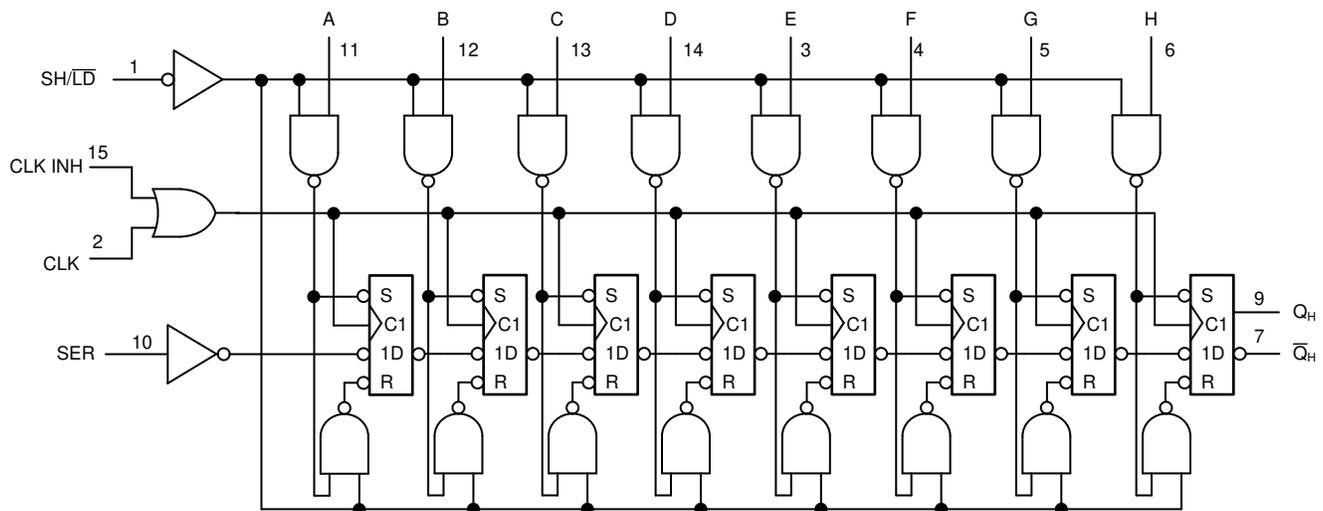


図 2-3. SN74LV165A の機能ブロック図

### 2.2.3 SN74LV165A

このシングルインバータゲートは、1.65V～5.5V の VCC で動作するように設計されています。

SN74LV165A デバイスには、バッファなし出力を持つインバータが 1 つ搭載されており、ブール関数  $Y = \bar{A}$  を実行します。

### 2.2.4 TVS3300

TVS3300 は、高い過渡電圧事象にさらされる電子回路に堅牢な保護を提供する過渡電圧サプレッサです。従来の TVS ダイオードとは異なり、TVS3300 高精度クランプは低いブレイクダウン電圧で起動され、過渡過電圧イベント発生中にフラットなクランピング電圧を維持するようレギュレートを行います。低いクランピング電圧と低い動的抵抗の組み合わせによ

り、サージの発生時にシステムがさらされる電圧を、従来の TVS ダイオードと比較して単方向構成で最大 30%、双方向構成で最大 20% 下げられる、独自の TVS 保護ソリューションを実現できます。

### 2.2.5 ISOM8600

ISOM8600 は、一般的なフォトリレーに代わるピン互換でドロップイン互換の機能絶縁型フォトカプラエミュレータスイッチです。標準的なフォトカプラは LED を入力段として使用しますが、ISOM8600 は入力段として電流制御エミュレーションダイオードを使用します。入力段は、テキサス インスツルメンツ独自の二酸化シリコン ベース (SiO<sub>2</sub>) 絶縁バリアによってドライバ段から絶縁されています。このデバイスは堅牢な絶縁を実現するだけでなく、クラス最高の性能も実現しています。

ISOM8600 は、高電圧信号を絶縁し、時間の経過とともに発生する従来のフォトカプラに比べて性能、信頼性、および柔軟性の利点を提供します。これらのデバイスは、低消費電力および高速動作の CMOS 絶縁テクノロジーをベースにしているため、これらのデバイスは、温度、順方向電流、デバイスの経年変化に伴って性能が低下するフォトカプラに見られる磨耗効果に耐性があります。

## 2.3 システム設計理論

このセクションでは、デジタル入力段と破損ワイヤ検出の実装方法について説明します。

### 2.3.1 デジタル入力段

このリファレンスデザインの 16 個の入力は、8 チャンネルの 2 グループに分かれて構成されています。グループごとに 3 つのデュアルチャンネルの ISO1212 と 2 つのシングルチャンネルの ISO1211 を使用しているため、ユーザーは柔軟性を最大限に高めることができます。1 つの ISO1212 と 1 つの ISO1211 の入力段を、それぞれ図 2-4 と図 2-5 に示します。

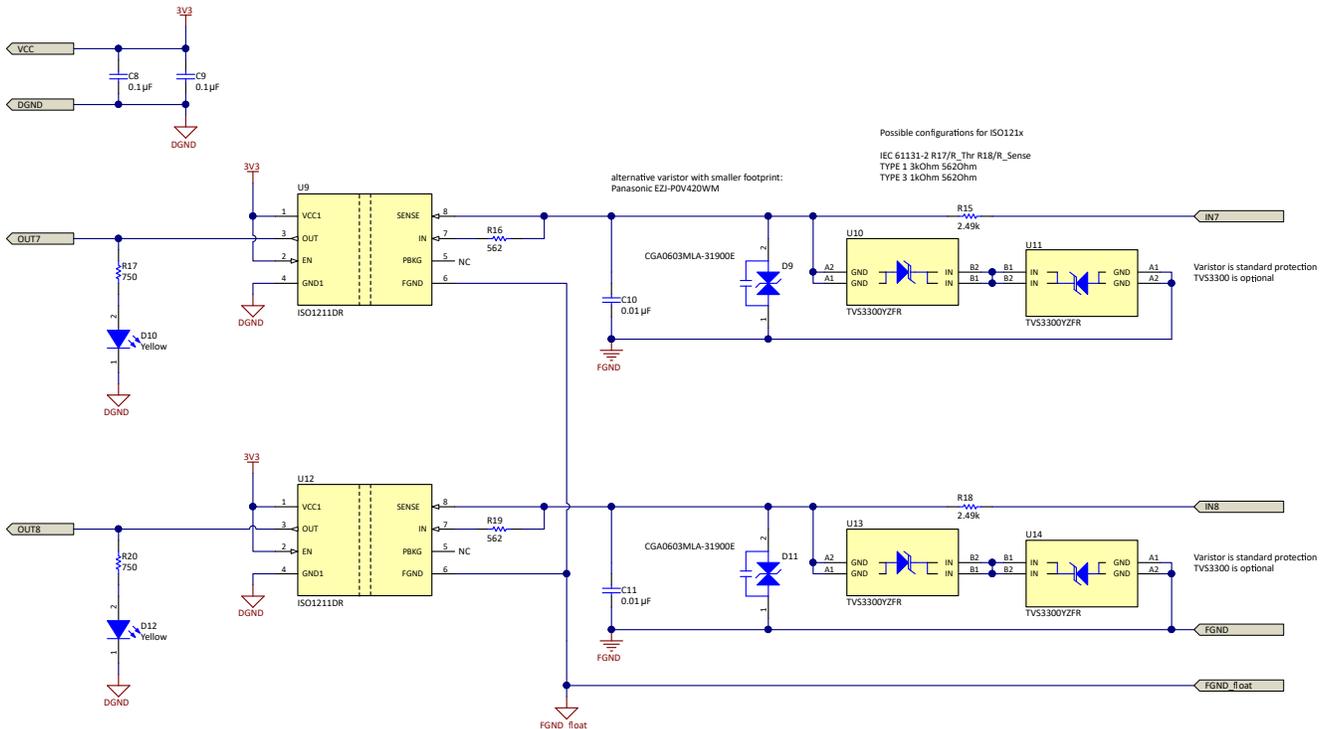


図 2-4. 入力段 ISO1211 の回路図

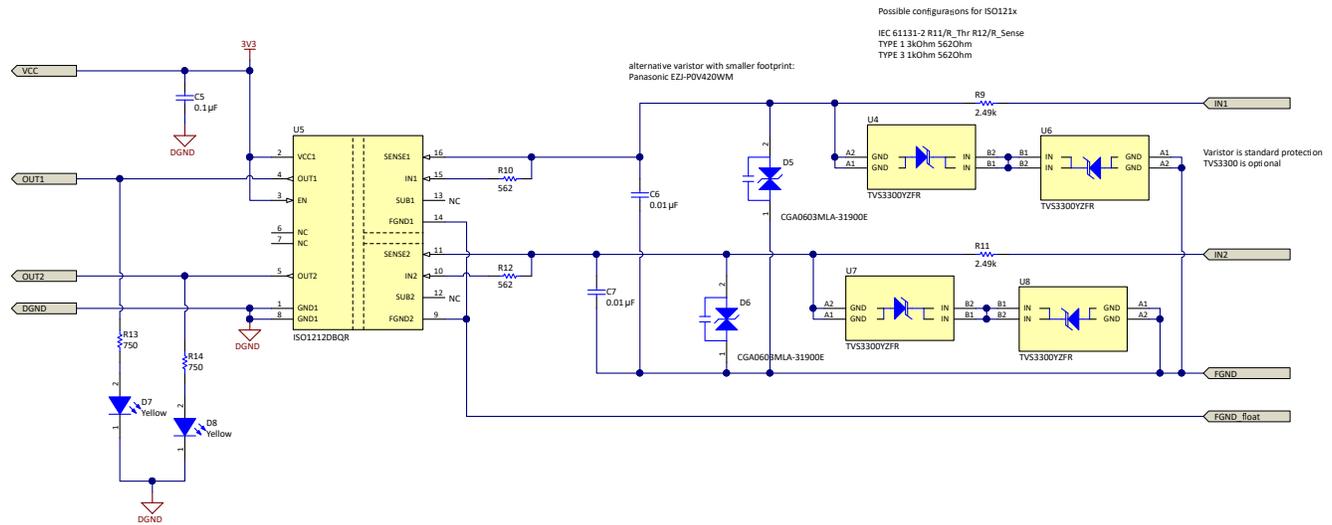


図 2-5. 入力段 ISO1212 の回路図

2 個の ISO1211 のピン FGND、および 3 個の ISO1212 のピン FGND1 および FGND2 は、フォトカプラ エミュレータ スイッチ ISOM8600 を経由してフィールドグランド FGND に接続されており、デフォルト状態はノーマリーオンです。フォトカプラ エミュレータスイッチは、制御ラインを High に切り替えることで 2 つのグランドを切断できます。このリファレンスデザインでは、LaunchPad 上の マイコンを使用して光学スイッチを制御します。図 2-6 に、ISO121x デバイスの FGND ピンをフィールドグランドへ接続する方法を示します。

破損ワイヤ機能が不要で、この設計を標準のデジタル入力としてのみ使用する場合、ジャンパで光スイッチを短絡できます。この使用事例については、『Sub-1W、16 チャンネル絶縁型デジタル入力モジュールのリファレンスデザイン』を参照してください。

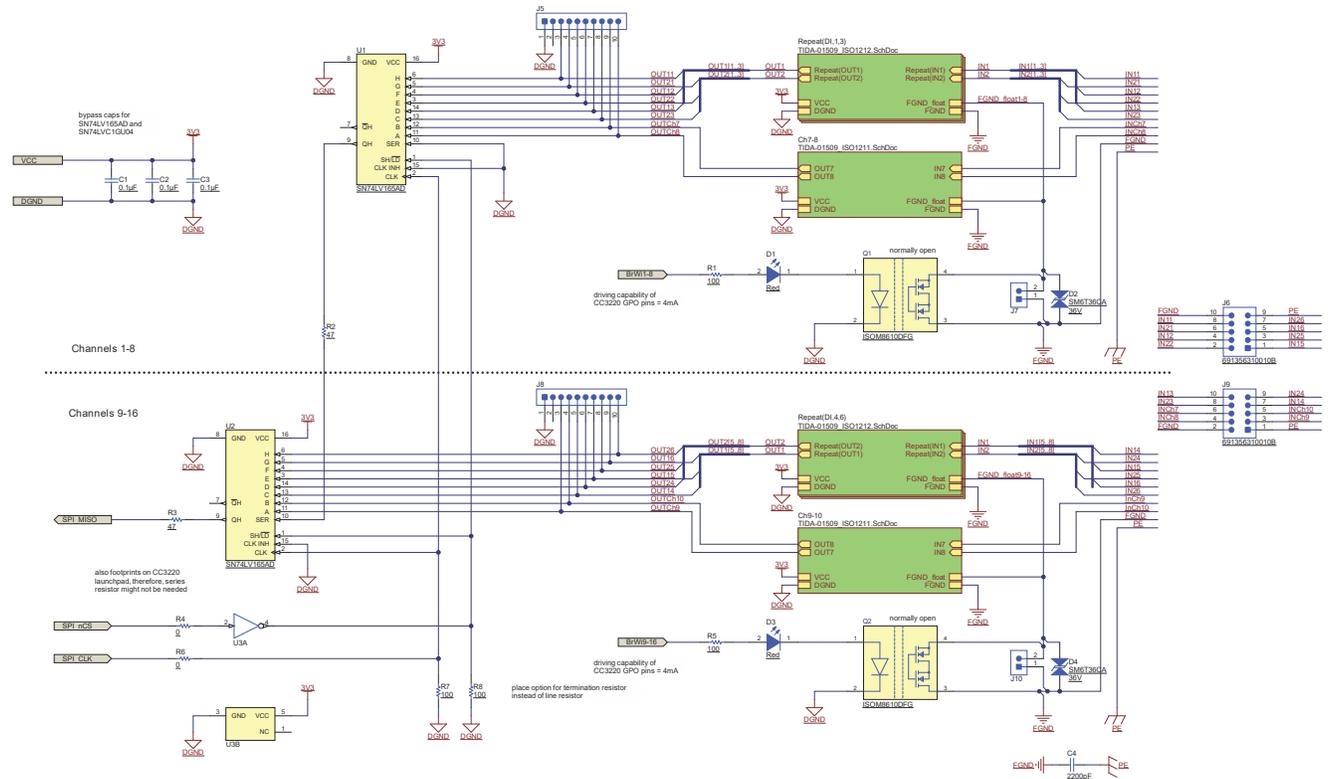


図 2-6. 光スイッチとの FGND (Floating Ground to Field Ground) 接続の回路図

ISO1211 のすべての入力、IEC 61131-2 に従い、抵抗  $R_{THR}$  と  $R_{SENSE}$  によりタイプ 1、2、3 特性に構成できます。さらに、入力コンデンサ  $C_{IN}$  は  $R_{THR}$  後に GND に接続され、 $R_{THR}$  付きの RC フィルタを作成して、ESD、EFT、およびサージイベントに対してさらに保護します。高いパルス電圧に耐えられるように、パルス耐性抵抗として  $R_{THR}$  を選択します。表 2-1 に、タイプ 1 および 3 のデジタル入力の構成と、それぞれ  $R_{THR}$ 、 $R_{SENSE}$ 、 $C_{IN}$  の特定の値について IEC 61002-4-2、IEC 61002-4-4、IEC 61002-4-5 に従った電圧定格を示します。

表 2-1. サージ、ESD、EFT

IEC 61131-2 タイプ	$R_{SENSE}$	$R_{THR}$	$C_{IN}$	サージ			IEC ESD	IEC EFT
				ラインツープ E	ラインツープライン	ラインツープ FGND		
タイプ 1	562	3k $\Omega$	10nF	$\pm 1kV$	$\pm 1kV$	$\pm 1kV$	$\pm 6kV$	$\pm 4kV$
タイプ 3	562	1k $\Omega$	10nF	$\pm 1kV$	$\pm 1kV$	$\pm 500kV$	$\pm 6kV$	$\pm 4kV$
			330 nF	$\pm 1kV$	$\pm 1kV$	$\pm 1kV$	$\pm 6kV$	$\pm 4kV$

さらに高い定格でサージイベントから入力を保護するため、すべての入力をバリスタまたは 2 つの TVS3300 TVS ダイオードで十分に保護します。これらのデバイスは、 $C_{IN}$  と並列に配置されます。

このリファレンスデザインでは、すべてのチャンネルが  $R_{THR} = 2.4k\Omega$ 、 $R_{SENSE} = 562\Omega$  のタイプ 1 入力用に構成されています。ISO121x 入力 ( $R_{THR}$  を含む) の標準 High レベルスレッショルド  $V_{IH}$  と最小 Low レベルスレッショルド  $V_{IL}$  (出力 High および Low) については、式 1 と式 2 で与えられます。

$$V_{IH} (\text{typ}) = 8.25 \text{ V} + R_{THR} \times \frac{2.25 \text{ mA} \times 562 \Omega}{R_{SENSE}} = 13.65 \text{ V} \quad (1)$$

$$V_{IL} (\text{min}) = 7.1 \text{ V} + R_{THR} \times \frac{2.25 \text{ mA} \times 562 \Omega}{R_{SENSE}} = 12.5 \text{ V} \quad (2)$$

### 2.3.2 ワイヤ破損検出

シングルチャンネル構成で破損ワイヤの検出について説明します。これは、ISO121x デバイスの 1 チャンネルのみが使用されることを意味します。追加で必要なのは、フォトカプラ エミュレータスイッチを 1 個のみです。残りの回路は同じままで、図 2-6 に示すように、フォトカプラ エミュレータスイッチは、対応する ISO121x チャンネルの FGND ピンとフィールドグランド入力の間配置する必要があります。

ワイヤの破損を検出するため、ワイヤが損傷していないときは、入力状態が「0」であってもわずかな電流が  $C_{IN}$  の充電に利用できます。これは、IEC61131-2 ではタイプ 1、2、3 の入力を「0」状態で最大数 mA の電流で許容できるためです (図 2-7 を参照)。

これは、給電型フィールドデバイスでのみ有効で、シンプルなスタンドアロンの機械式スイッチのようなパッシブ入力ではありません。さらに、ソースデバイスの出力には、電源へのプルアップ抵抗が必要です。

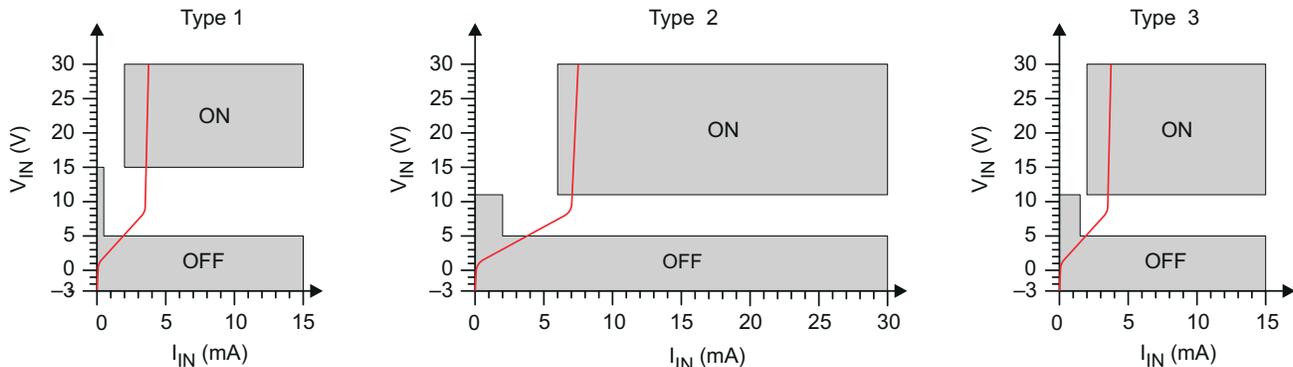


図 2-7. IEC 61131-2 タイプ 1、2、3 近接スイッチのスイッチング特性

破損ワイヤの検出シーケンスは次のように機能します。

1. 通常動作時は、入力チャンネルのフィールドグランドピン **FGND** は、フォトカプラ エミュレータスイッチを経由して実際のフィールドグランドに接続されます。
2. フォトカプラ エミュレータスイッチは、制御ラインを **Low** に切り替えることで開きます。
3. 光スイッチを閉じるには、制御ラインが再び **High** に切り替わります。
4. その後、**ISO121x** チャンネルの出力状態が読み取られます。ワイヤが接続されている場合、チャンネルの出力状態は「1」になります。入力状態が「1」と「0」の場合はこのようになります。ただし、ワイヤが破損している場合、各チャンネルの出力状態は常に「0」になります。

これらのケースの詳細については、[セクション 2.3.2.1](#) から [セクション 2.3.2.3](#) を参照してください。ここで、**Break FGND** は光スイッチの制御状態 (**0V** はスイッチがオフ、**3.3V** はスイッチがオンであることを意味)、**IN** はフィールドデバイスからの入力信号、**C<sub>IN</sub>** は入力コンデンサの電圧、**OUT** は **ISO121x** の出力状態です。それぞれの時刻は括弧 ( $t_x$ ) で示されます。

### 2.3.2.1 ケース 1: ワイヤの損傷がなく、入力状態「1」

ワイヤが無傷で **IN** が「1」の場合、**OUT** の出力は「1」になります。**Break FGND** ( $t_1$ ) が **Low** に切り替わると、光スイッチ ( $t_2$ ) の遅延後に、フォトカプラ エミュレータスイッチがディスエーブルになります。その後、**OUT** は「0」に切り替わります。**Break FGND** が再び **High** に切り替わると、**OUT** は再度「1」に切り替わり、光スイッチの遅延を加えます。

一般的に、このユースケースは最も興味深いものです。**OUT** が「1」の場合、ユーザーはワイヤが接続されていることをすでに知っているからです。

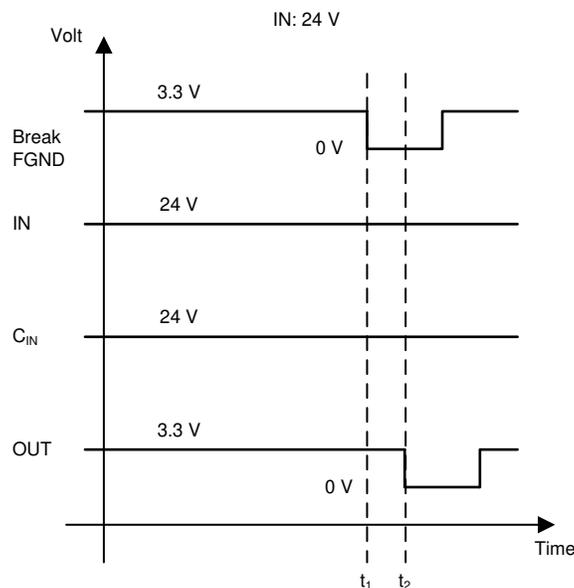


図 2-8. 損傷のないワイヤと **IN = 24V** による破損ワイヤ検出

### 2.3.2.2 ケース 2: ワイヤの損傷がなく、入力状態「0」

ワイヤが無傷で **IN** が「0」の場合、ブレーク **FNGD** が「1」である限り、**OUT** は「0」です。**FNGD** の破断が「0」( $t_3$ ) になるとすぐに、**ISO121x** のフィールドグランドは切断されます。現在、**C<sub>IN</sub>** はフィールドデバイスの電源電圧まで充電されます。この結果は、フィールドデバイスには電源へのプルアップ抵抗があり、依然として **C<sub>IN</sub>** ( $t_4$ ) に接続されているためです。光スイッチの遅延についても考えてみます。

**ISO121x** にはグランド接続がないため、デバイスの両端に電圧降下はありません。その結果、**C<sub>IN</sub>** の電圧が、**ISO121x** のフローティング **FGND** ピンにも存在することを意味します。したがって、光スイッチを通る電圧降下 (ピン **FGND** とフィールドグランドが等しい) は、フィールドデバイスの電源電圧と等しくなります。

$C_{IN}$  がフィールドデバイスの電源電圧 ( $t_5$ ) まで充電されたとき、Break FGND は再度「1」に切り替わる可能性があります。ISO121x が再度フィールドグランドに接続されると、デバイスが動作を開始します。このとき、ISO121x は  $C_{IN}$  に蓄積されたエネルギーによって電力を供給されます。検出抵抗  $R_{SENSE}$  を流れる電流が十分高く (ISO121x データシートから取得した  $I_{min} = 2.2 \text{ mA}$ )、SENSE ピンの電圧が電圧レベルスレッショルドを超えていると、OUT は「1」( $t_6$ ) に切り替わります。 $C_{IN}$  の電圧レベルが、HIGH 状態で電圧レベルスレッショルドを下回るとすぐに、OUT は「0」( $t_7$ ) に戻ります。

IN と  $C_{IN}$  の曲線は互いに接続されているため、同一になります。ただし、フィールドデバイスのデジタル出力状態が連続的に「0」であることを示すため、図でも連続的に「0」になっています。

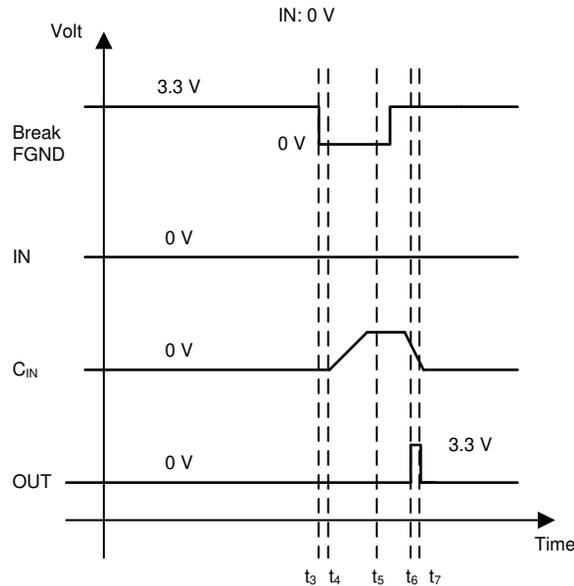


図 2-9. 損傷のないワイヤと IN = 0V による破損ワイヤ検出

### 2.3.2.3 ケース 3: 破損したワイヤ

ワイヤが破損した場合、OUT は常に 0V です。この結果は、Break FGND ( $t_8$ ) のスイッチングとは無関係です。 $C_{IN}$  は電源に接続されていないため、充電できません。

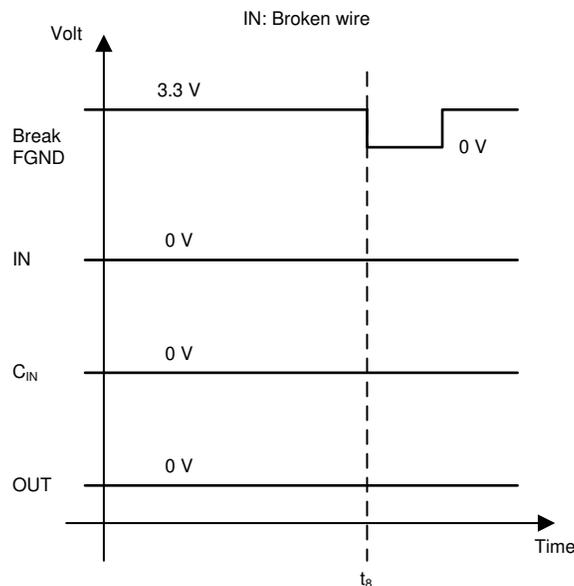


図 2-10. 破損ワイヤによる破損ワイヤの検出

### 2.3.3 デジタル出力の読み出し

16 個のデジタル出力信号を読み取るには、次の 2 つのオプションがあります。

1. コネクタ J5 (チャンネル 1 ~ 8) および J8 (チャンネル 9 ~ 16) の出力信号の平行読み出し
2. 平行入力シリアル出力レジスタ U1 および U2 からの出力信号のシリアル読み出し

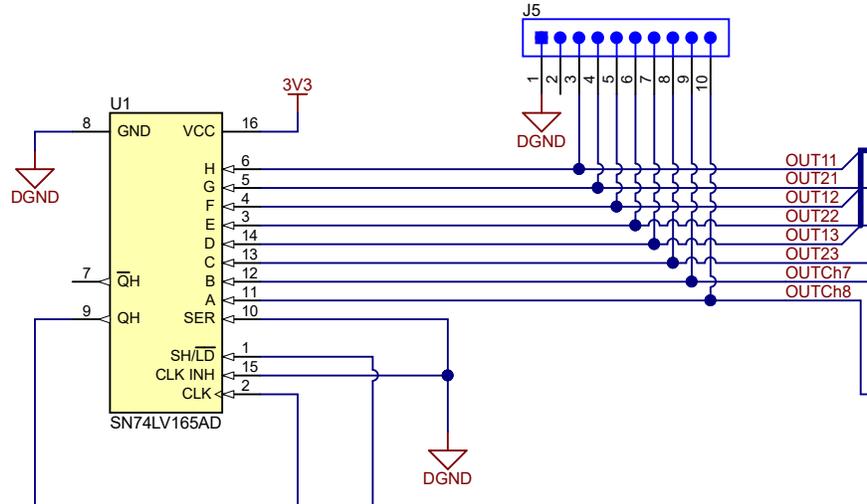


図 2-11. 出力信号の平行/シリアル読み出しオプションの回路図

シリアル読み出しの場合、グループごとに 8 つの出力信号はすべて、平行入力シリアル出力レジスタ SN74LV165A に接続されています。レジスタ U1 の出力 QH は、レジスタ U2 の入力ピン SER に接続されています。レジスタを読み出すには、LaunchPad の SPI が使用されます。そのために、LaunchPad の SPI は次のように SN74LV165A レジスタに接続されます。

注

LaunchPad の SPI\_nCS 信号は、関数  $Y = \bar{A}$  の論理ゲート SN74LVC1GU04 を使用して反転します。

→ SN74LV165A の SH/LD ピンで、SPI\_nCS ロジック「0」/ Low = ロジック「1」/ High

表 2-2. SPI と U1、U2 の間の電氣的接続

LAUNCHPAD	U1 (チャンネル 1 ~ 8)	U2 (チャンネル 9 ~ 16)
SPI_MOSI	未使用	未使用
SPI_MISO	未接続	QH
SPI_nCS	SH/LD	SH/LD
SPI_CLK	CLK	CLK
	QH	SER

16 個の出力状態の読み出しは次のように動作します。

1. SPI\_NCS は High → 両方の SN74LV165A が連続的に負荷入力状態
2. SPI\_NCS が Low にプルされる → 両方の SN74LV165A は、それぞれ 8 つの入力の電流ステータスを格納します
3. SPI\_CLK には 16 回クロックが供給されます → レジスタ U2 の出力 QH は、最初に U2 の入力 H-A (チャンネル 9 ~ 16) の出力状態を出力し、次に U1 の出力状態 H-A (チャンネル 1 ~ 8) を出力します。

### 3 ハードウェア、ソフトウェア、テスト要件、テスト結果

#### 3.1 必要なハードウェアとソフトウェア

この基板に電力を供給し、コネクタ J1 ~ J4 を介して接続することができます。図 3-1 に、インターフェイスのショットを示します。容易に評価を行うには、MSP430FR5969 LaunchPad や、同じピン配置を採用している他の TI LaunchPad を使用して、ボードに電力を供給し、インターフェイスを確立することができます。

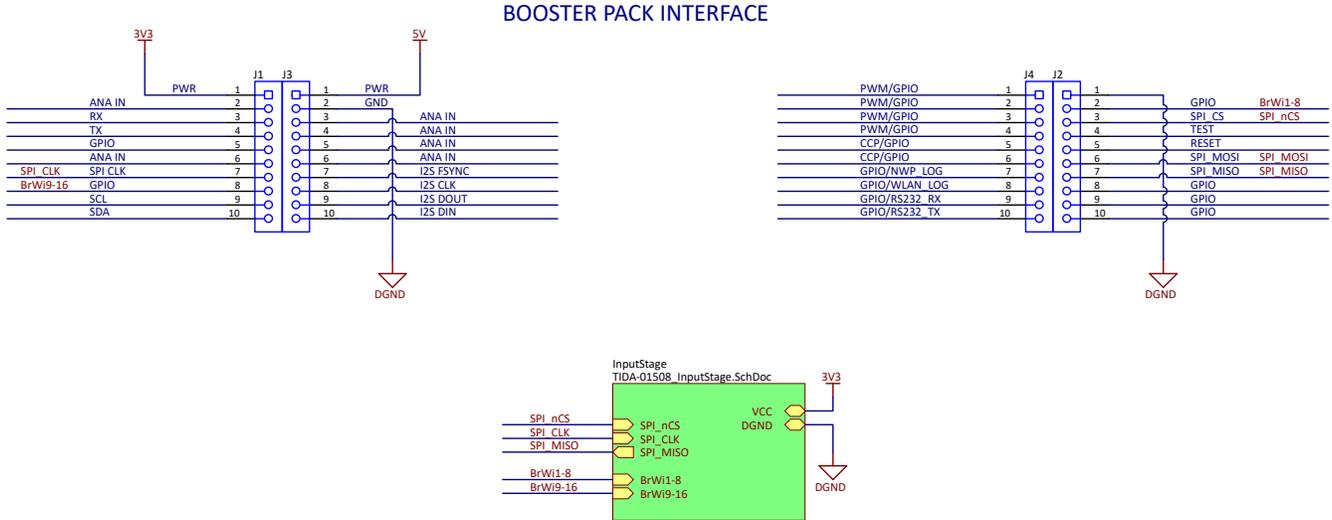


図 3-1. LaunchPad インターフェイスの回路図

##### 3.1.1 ハードウェア

- MSP430FR5969 LaunchPad
- 並列プルアップ抵抗を搭載した機械式スイッチ
- 電源と範囲: National Instruments Virtual Bench の略称です

##### 3.1.2 ソフトウェア

ISO121x デバイスの出力信号を並列に読み取る場合は、特別なソフトウェアは必要ありません。

ユーザーは光スイッチを制御するには、光スイッチの制御ラインを切り替えるルーチンをプログラムする必要があります。このアプリケーションは、LaunchPad のマイコン上で動作します。

## 3.2 テストと結果

このセクションでは、テスト構成について説明し、結果を文書化し、それらの結果が破損ワイヤの検出回路にどのような影響を与えるかを説明します。

### 3.2.1 テスト設定

このボードは、USB 経由でラップトップに接続されている MSP430FR5969 LaunchPad に接続されています。LaunchPad のマイコンのプログラミングにはノート PC を使用します。マイコンは、ボード上の光スイッチの制御ラインを切り替えます。さらに、MCU はさまざまなチャンネルの出力状態を読み取ります。

入力信号は、機械式スイッチから供給されます。100kΩ プルアップ抵抗は並列に配置されています。

スイッチは仮想ベンチの 24V 電源に接続されています。仮想ベンチも USB 経由でノート PC に接続し、2 チャンネルのスコープを制御します。図 3-2 に、テスト設定のブロック図を示します。

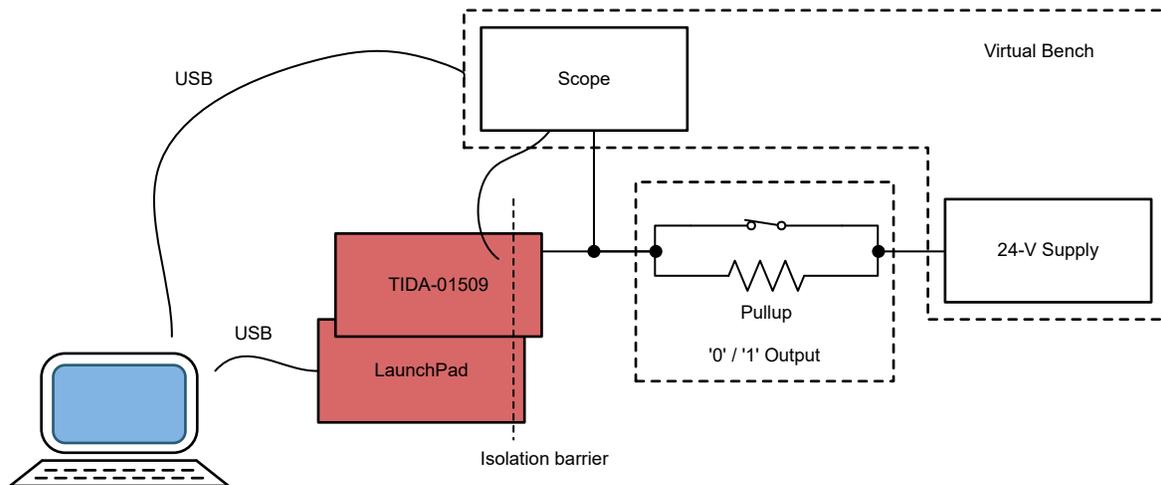


図 3-2. TIDA-01509 のテストの構成

### 3.2.2 テスト結果

破損ワイヤの検出の特性を評価するため、このテストはグループチャンネル構成とシングルチャンネル構成で実行されます。

グループチャンネル構成では、8 つのチャンネルすべてが同じ機械的スイッチに接続されています。したがって、共通の 100kΩ プルアップ抵抗は、各チャンネルで個別の 800kΩ プルアップ抵抗と等しくなります (式 3 を参照)。

$$\frac{1}{100k\ \Omega} = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_p} = \frac{8}{R_p} \quad (3)$$

$$\rightarrow R_p = 8 \times 100k\ \Omega = 800k\ \Omega$$

#### 3.2.2.1 グループチャンネル 構成

機械式スイッチはオフになります。一般的なプルアップ抵抗は 100kΩ です。その後、破損ワイヤ検出が実行されます。図 3-3 に、スコープのチャンネル 2 を光スイッチ (BrWI) の制御信号に接続し、チャンネル 1 を 1 つの ISO121x (ChOut) の OUT ピンに接続するオシロスコープ画像を示します。図 3-4 に、オシロスコープのチャンネル 2 を 1 つの ISO121x チャンネル (V\_CAP) の入力コンデンサ C<sub>IN</sub> に接続し、チャンネル 1 を 1 つの ISO121x (ChOut) の OUT ピンに接続するオシロスコープ画像を示します。

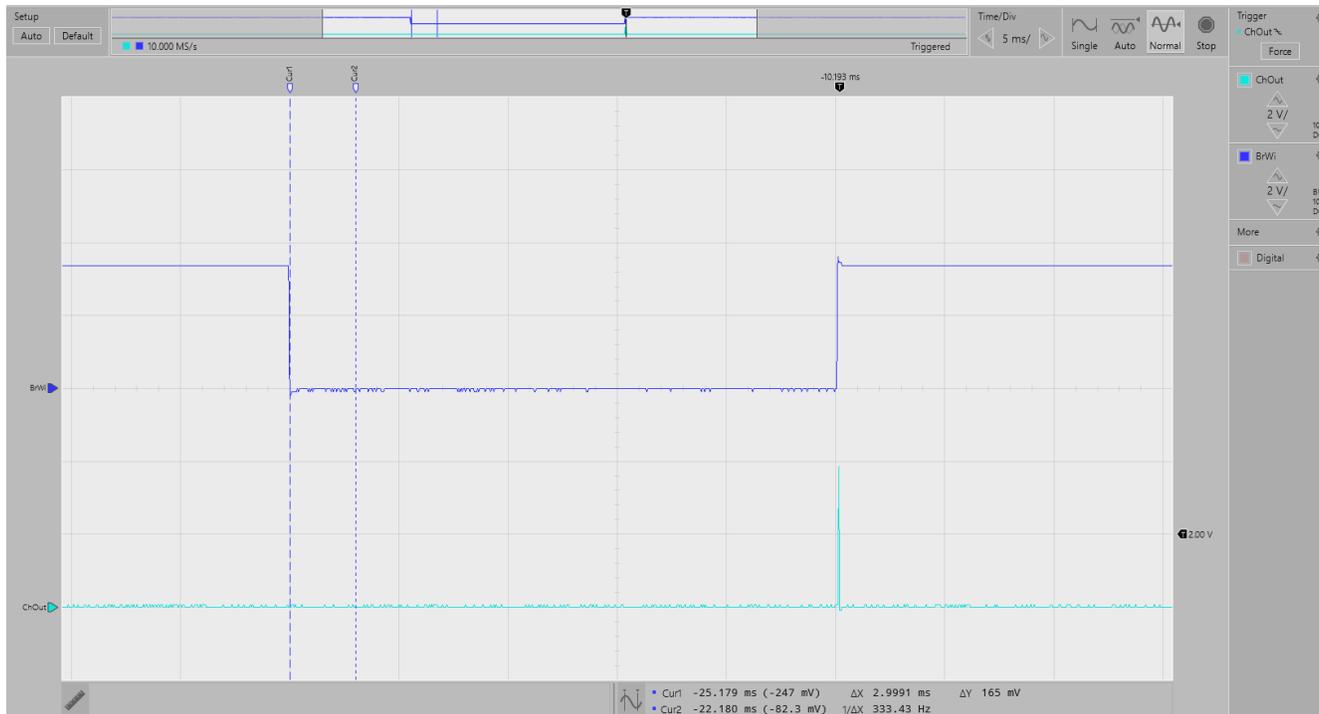


図 3-3. グループ破損ワイヤ検出、 $R_{pullup} = 800k\Omega$ /チャンネル ChOut (2)、BrWI (1)

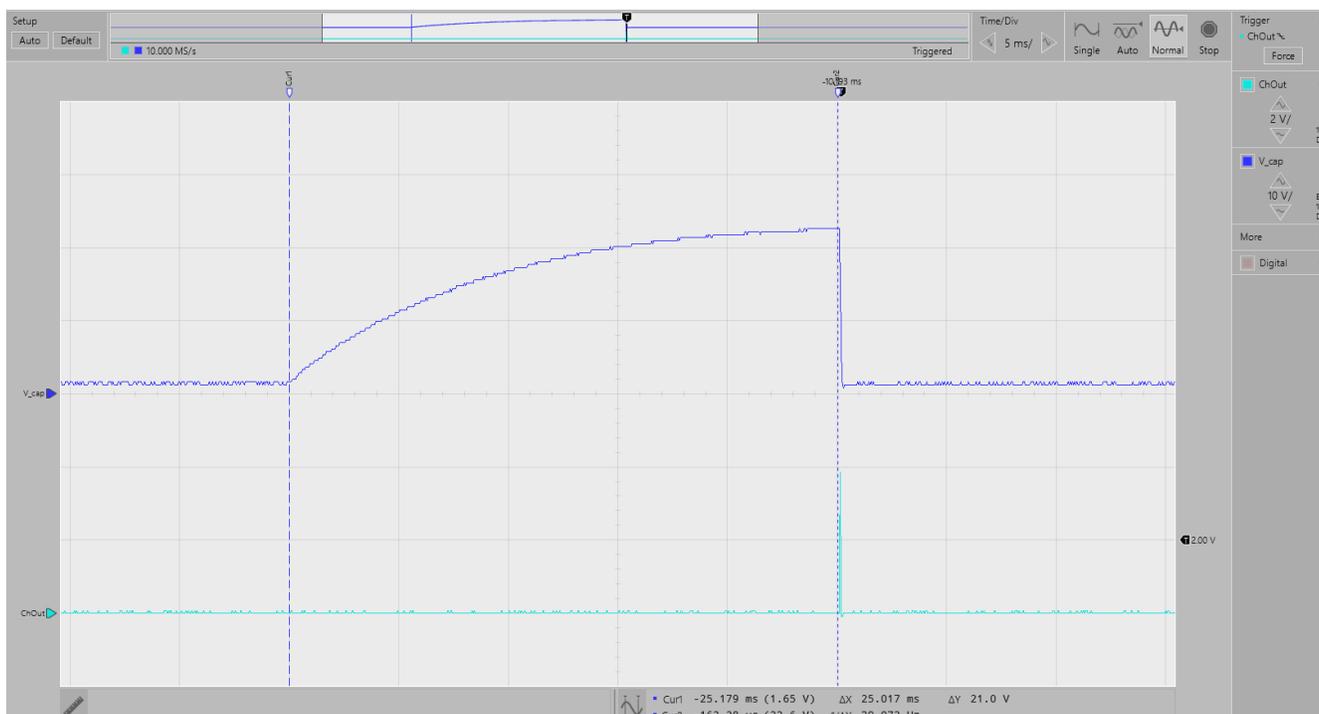


図 3-4. グループ破損ワイヤ検出、 $R_{pullup} = 800k\Omega$ /チャンネル V\_CAP (2)、BrWI (1)

図 3-3 は、グラウンド接続が再度イネーブルになるとすぐに、ISO121x がパルスを出力することを示しています。C<sub>IN</sub> が充電されるまで、デバイスは 24ms かかります。図 3-4 は、C<sub>IN</sub> が最大値 22.6V まで充電されることを示しています。プルアップ抵抗の両端での電圧降下が  $1.4V / 100k\Omega = 14\mu A$  の電流に等しいため、24V に達しません。

この電流は ISO121x では使用されませんが、さまざまな保護デバイスと入力コンデンサを流れるリーク電流が原因で発生することに注意してください。また、プルアップ抵抗自体が小さい場合、プルアップ抵抗の両端での電圧降下は小さくなります。この結果は、シングルチャネル設定の場合にも示されています。

図 3-5 はズームイン 図 3-4 を示します

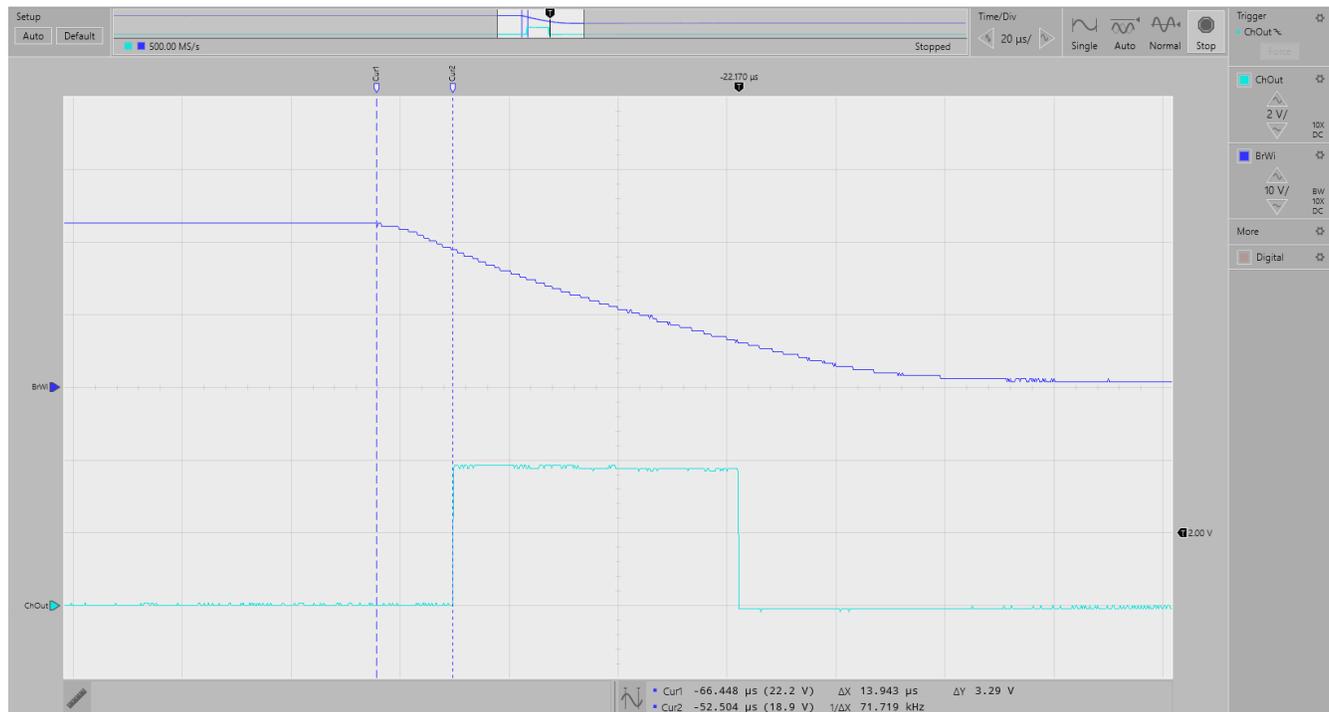


図 3-5. ズームイン (図 3-4: グループ破損ワイヤの検出、 $R_{pullup} = 800k\Omega$ /チャネル V\_CAP (2)、BrWI (1)- V\_CAP (1)、ChOut (2))

ISO1211 が再度イネーブルになると、 $C_{IN}$  が放電され、ISO1211 が動作を開始します。まず ISO1211 の GND 接続が確立されるまで  $14\mu s$  を回避し、2 番目に十分な電流 ( $2.2mA$ 、ISO121x データシートから取得) が  $R_{SENSE}$  を流れると同時に、SENSE ピンの電圧はロジック High レベルよりも高いため、 $13.65V \sim 1.2V$  (ヒステリシス) =  $12.45V$  を超えます。これで、ISO1211 の出力は High に切り替わります。 $C_{IN}$  に蓄積されたエネルギーが  $2.2mA$  に電力を供給するのに十分な高さがなくなり、SENSE ピンの電圧が High レベル範囲に維持されると、ISO1211 の出力は Low に切り替わります。

この構成では、結果として発生するパルスは  $50.5\mu s$  付近まで続きます。

### 3.2.2.2 シングルチャネル構成

$100k\Omega$  プルアップ抵抗の場合、1 つのチャネルのみが接続されたシングルチャネル構成を使用します。機械式スイッチはオフになります。プルアップ抵抗は  $100k\Omega$  です。その後、破損ワイヤ検出が実行されます。図 3-6 に、オシロスコープのチャネル 2 を 1 つの ISO1211 チャネル (V\_CAP) の入力コンデンサ  $C_{IN}$  に接続し、チャネル 1 を同じ ISO1211 (ChOut) の OUT ピンに接続するオシロスコープの画像を示します。図 3-7 はズームイン 図 3-6 を示します。

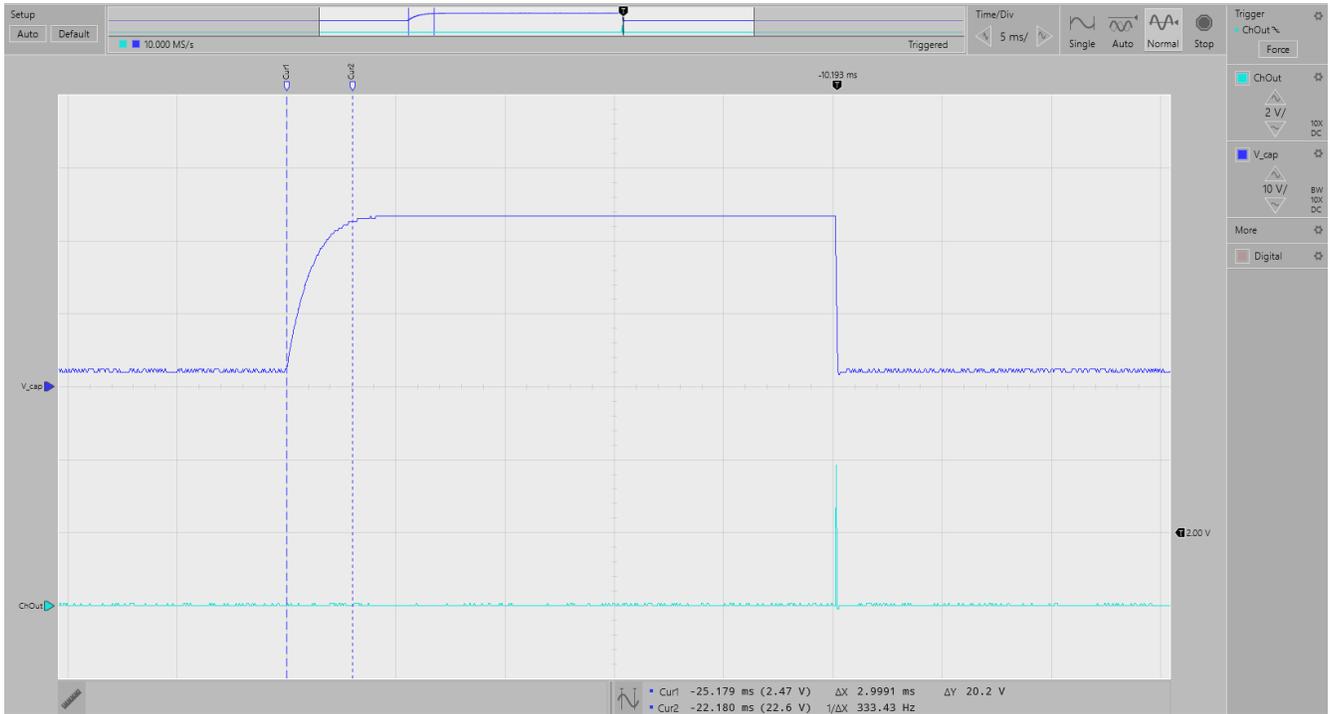


図 3-6. 単一破損ワイヤ検出、 $R_{pullup} = 100k\Omega$  - V\_CAP (2)、CHOut (1)

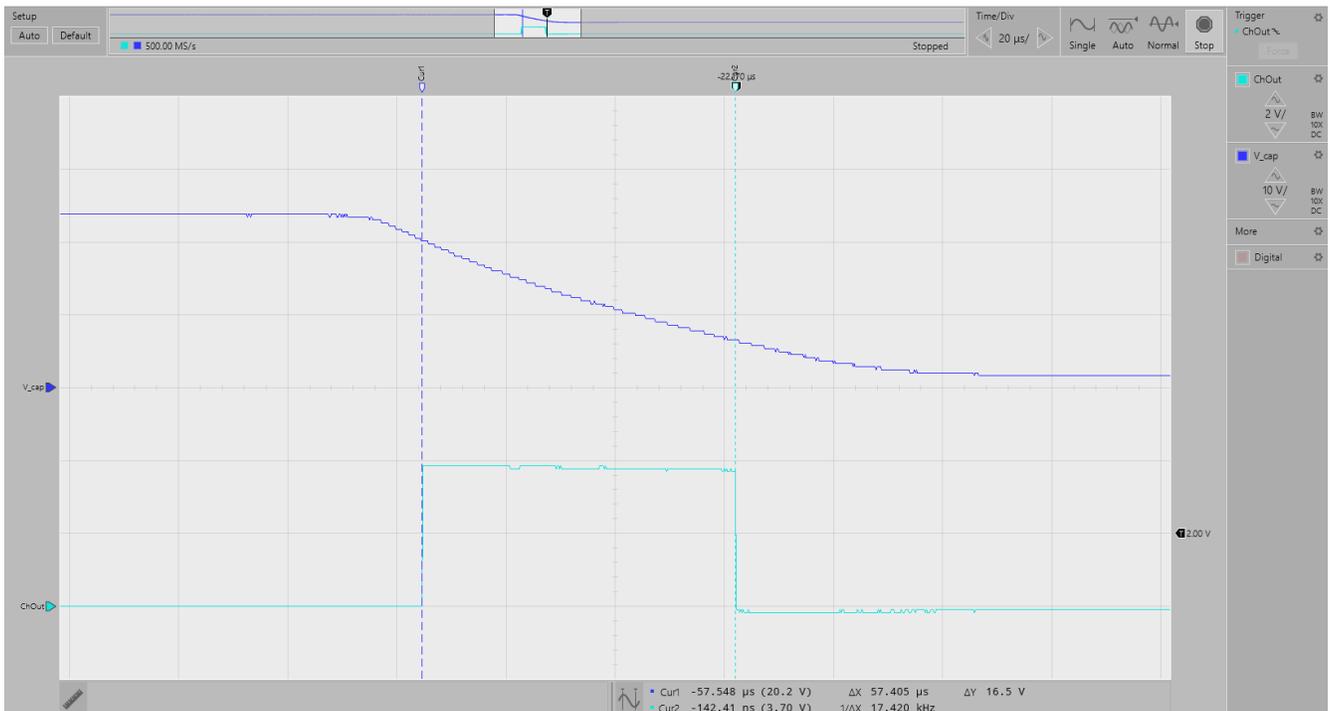


図 3-7. ズームイン 図 3-6 - V\_cap (2)、ChOut (1)

このとき、 $C_{IN}$  の充電に要する時間は約 3ms です。プルアップ抵抗が以前 ( $100k\Omega \leq 800k\Omega$ ) よりもはるかに小さいため、この時間が予想されます。さらに、入力コンデンサの最大電圧は 23.6V で、その結果得られるパルス長は 57  $\mu s$  となります。

使用する部品点数が少ないので、システム内のリーク電流が少なくなり、流れている電流も少なくなります。したがって、プルアップ抵抗の両端での電圧降下は小さくなります。また、より多くのエネルギーがコンデンサに蓄積されるため ( $E_C = 1 /$

$2 \times C \times U^2$ )、出力パルスは長くなります。また、コンデンサが放電されると、プルアップ抵抗を流れる追加の電流が発生し、同時にコンデンサが再充電されます。**800k $\Omega$** と比較すると、この電流は**100k $\Omega$** のみのプルアップ抵抗の場合も高くなります。

図 3-8 に、同じシングルチャネル構成のオシロスコープ画像を示します。ただし、このときの電源電圧はわずか**14.9V**です。それでも、**ISO1211** の出力でパルスが生成されるように、コンデンサにエネルギーが蓄積されています。ただし、入力電圧が低い場合、出力パルスは**15  $\mu$ s**まで減少します。

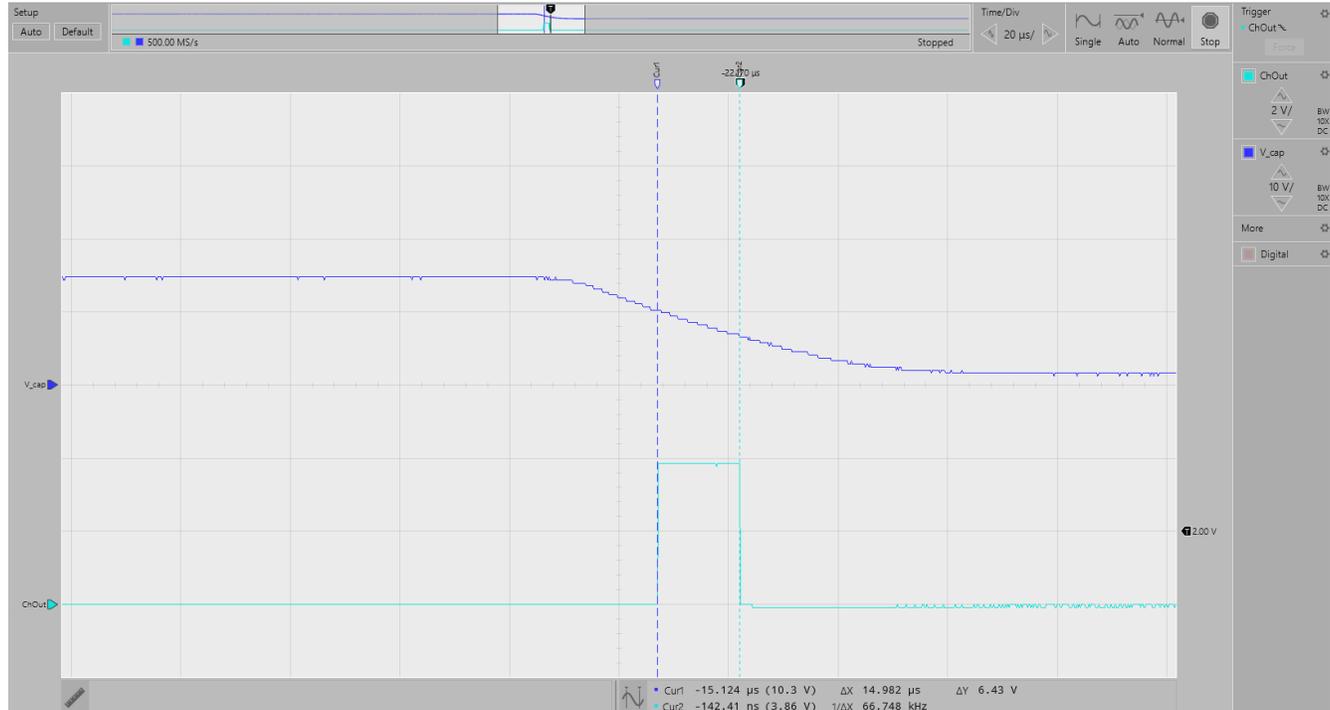


図 3-8. 単一破損ワイヤ検出、 $V = 14.9V$ 、 $R_{pullup} = 100k\Omega$  -  $V_{cap}$  (2)、 $CHOut$  (1)

### 3.2.3 まとめ

破損ワイヤの検出は予想どおりに機能します。ただし、破損ワイヤ検出を実装する際には、いくつかの観測を考慮する必要があります。

24V へのプルアップ抵抗が大きいほど、 $C_{IN}$  の最大電圧は低くなります。また、保護素子とコンデンサを流れるリーク電流も考慮してください。次に例を示します。

- 100k $\Omega$  プルアップ、シングルチャネル構成  $\rightarrow V(C_{IN})_{max} = 23.6V$ 、800k $\Omega$  プルアップ、グループチャネル構成  $\rightarrow V(C_{IN})_{max} = 22.6V$
- プルアップ抵抗が 24V ほど、結果として出力パルスが短くなり  $\rightarrow$  入力コンデンサに蓄積されているエネルギーが減少し、放電中にプルアップ抵抗を経由して **ISO121x** に流れる (再充電) 電流が減少します
- スイッチの電源電圧が低いほど、結果の出力パルスが短くなり、 $\rightarrow$  入力コンデンサに蓄積されるエネルギーが減少し、低レベルのスレッショルドに達します
- 入力コンデンサの容量が大きいほど、結果として生成される出力パルスが長くなり、入力コンデンサに蓄積されるエネルギーが増加します

### 注

一般に、迅速にオン/オフを切り替える フォトカプラ エミュレータスイッチを選択することが重要です。フォトカプラ エミュレータスイッチのオンが遅すぎると、**ISO121x** にソリッドな **GND** 接続が確立される前に  $C_{IN}$  が過度に放電されすぎます。その後、出力パルスは生成されません。

## 4 デザイン ファイル

### 4.1 回路図

回路図をダウンロードするには、[TIDA-01509](#) のデザイン ファイルを参照してください。

### 4.2 部品表 (BOM)

部品表 (BOM) をダウンロードするには、[TIDA-01509](#) のデザイン ファイルを参照してください。

### 4.3 PCB レイアウトに関する推奨事項

デジタル入力段のレイアウトのガイドラインについては、「[デジタル入力モジュールの ISO121x 絶縁型 24V ~ 60V デジタル入力レシーバ](#)」の「レイアウト」セクションを参照してください。

#### 4.3.1 レイアウト プリント

レイアウト プリントをダウンロードするには、[TIDA-01509](#) のデザイン ファイルを参照してください。

### 4.4 Altium プロジェクト

Altium プロジェクト ファイルをダウンロードするには、[TIDA-01509](#) のデザイン ファイルを参照してください。

### 4.5 ガーバー ファイル

ガーバー ファイルをダウンロードするには、[TIDA-01509](#) のデザイン ファイルを参照してください。

### 4.6 アセンブリの図面

アセンブリの図面をダウンロードするには、[TIDA-01509](#) のデザイン ファイルを参照してください。

## 5 ソフトウェア ファイル

ソフトウェア ファイルをダウンロードするには、[TIDA-01509](#) のデザイン ファイルを参照してください。

## 6 関連資料

1. テキサス インストルメンツ、『[ISO121x デジタル入力モジュール向け、24V ~ 60V、絶縁型デジタル入力レシーバ](#)』データシート

### 6.1 商標

TI E2E™ and LaunchPad™ are trademarks of Texas Instruments.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 7 著者について

**Tobias PUETZ** は、テキサス インストルメンツのファクトリオートメーションおよび制御チームのシステムエンジニアであり、PLC とロボットに重点を置いています。Tobias は、さまざまなセンシング技術と電源設計に関する彼の専門知識を、この職務に活かしています。2014 年に、ドイツのカールスルーエ工科大学 (KIT) で電気工学と情報技術の修士号を取得しています。

## 7.1 謝辞

**ANANT KAMATH** には、設計プロセス全体にわたる TI デザインのアイデアへの貢献、フィードバック、サポートに感謝します。

## 8 改訂履歴

<b>Changes from Revision * (January 2018) to Revision A (May 2025)</b>	<b>Page</b>
• ドキュメント全体にわたって表、図、相互参照の採番方法を更新.....	1
• 光スイッチを <i>ISOM8600</i> に置き換えてブロック図を更新.....	3
• 「光学スイッチによるフローティンググランドからフィールドグランド (FGND) への接続の回路図」画像を更新.....	5

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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ます。

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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツ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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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、ます。

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テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかるテキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツ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 © 2025, Texas Instruments Incorporated