

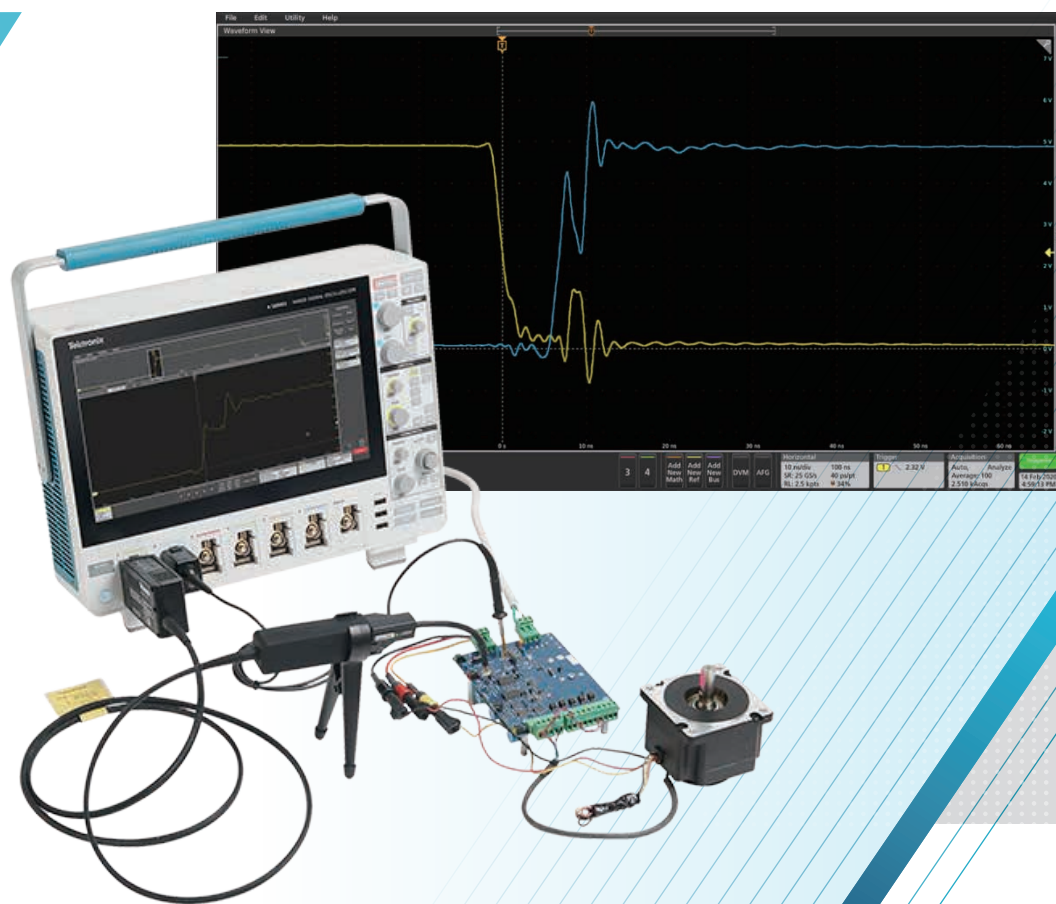
Tektronix®

NEW

IsoVu™ Gen 2 —

確度、感度、接続性、使いやすさの向上

ホワイト・ペーパ



はじめに

IsoVuは優れた電氣的絶縁、ガルバニック絶縁を実現し、大きな共通モード電圧がある場合でも、高い周波数で低電圧の差動信号を正確に分離することを可能にする、業界初の測定ソリューションです。第二世代IsoVu (IsoVu Gen 2) は、第一世代 (初代) のIsoVuに比べて以下のような技術的特性が向上しています。

- 第一世代のIsoVuの20%のサイズに小型化され、取扱いが容易
- ゲイン確度が向上し、より優れた確度を実現
- 低ノイズで高感度
- 必要なチップの種類が減り、テクトロニクス社の4/5/6シリーズMSOでの使用に最適化

このホワイト・ペーパーでは、IsoVu Gen 2光絶縁型測定システムの動作原理と性能について説明します。

動作原理

IsoVu Gen 2は、電気 — 光センサで入力信号を光変調信号に変換します。これにより、DUT (被測定回路) とオシロスコープは電氣的に絶縁されます。IsoVu Gen 2は4つの独立したレーザ、光センサ、4本の光ファイバ、優れたフィードバック/制御技術からなります。テスト・ポイントに接続されるセンサ・ヘッドは電氣的に完全に絶縁されており、電源は光ファイバの一本を介して供給されます。ブロック図を図1に示します。

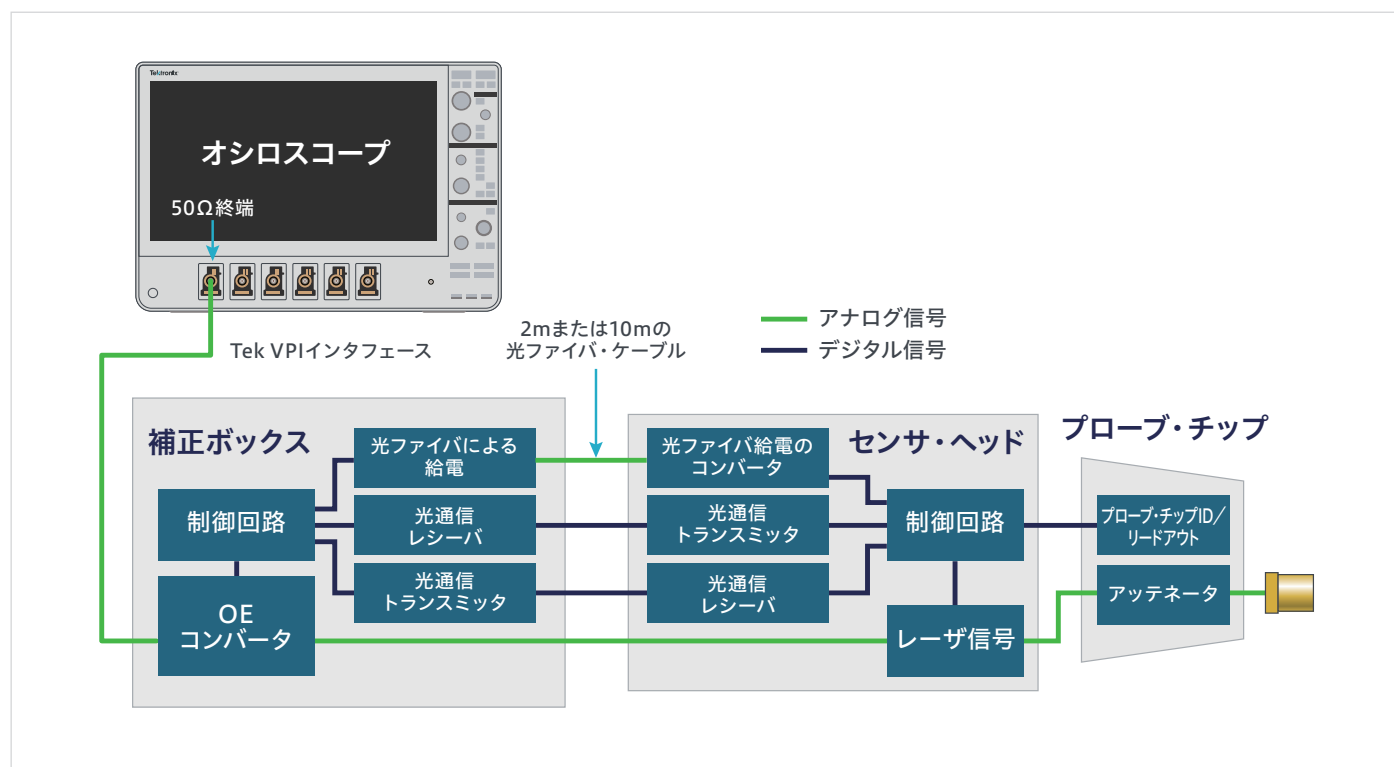


図1. IsoVuのブロック図

差動信号とコモンモード信号の基礎

一般に、差動測定は差動プローブを使用します。差動プローブは、2つのテスト・ポイント間の差分電位を測定する差動アンプをベースにしています。一つの入力が2V、もう一つの入力が1Vの場合、出力は2つの入力の差になり、図2に示すように2-1となって1Vとなります。しかし、ここにはコモンモード成分というものがあります。

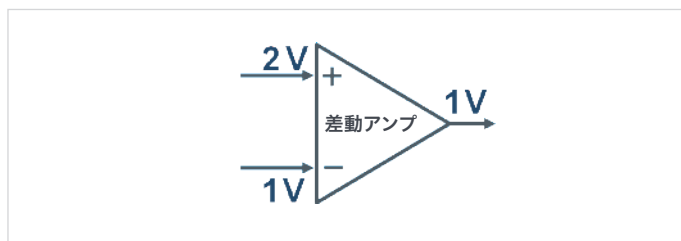


図2. 差動測定

アンプの2つの入力が同じ信号に接続されている場合、どのような出力が期待できるでしょうか。これが理想的なアンプであれば、両方の入力信号の差をとると完全にフラットな線、または0Vになります。非反転入力と反転入力の両方に共通（コモン）の信号を、コモンモード信号と呼びます。理想的な差動アンプは、コモンモード信号の100%を除去します。例えば、図3のように、反転しない入力が100V、反転する入力が100Vの場合、理想的な差動プローブでは出力は $100 - 100 = 0V$ になります。

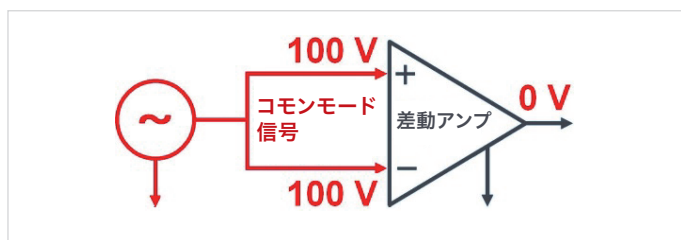


図3. コモンモード除去

差動測定を行う場合、観測したいのは測定する2つの信号の差のみです。アンプの出力におけるコモンモード電圧の影響ではないはずです。コモンモード信号を除去する能力が、アンプのコモンモード除去比（CMRR）です。理想的なアンプでは、無限大のCMRRがあります。アンプのCMRRが大きいくほど、差動測定におけるコモンモード入力電圧の影響が少なく済みます。差動プローブの2つの入力を完全にマッチングすることは不可能なため、どの差動プローブにもある程度のコモンモード誤差があります。それがどの程度かということです。ここで重要となるのは、アンプのコモンモード除去比は周波数に依存するということです。一般に、差動プローブはDCおよび低い周波数で大きなCMRRがありますが、周波数が高くなるにしたがってCMRRは低下します。

図4に示す、単純化したハーフブリッジ回路を考えてみます。ハイサイド・トランジスタのゲート、ソース間の差動電圧は5Vです。コモンモード電圧が100Vの場合、測定システムは105Vと100Vの差を表示しなければなりません。5Vの差動信号を正確に分離する能力は、アンプのコモンモード除去能力に依存します。

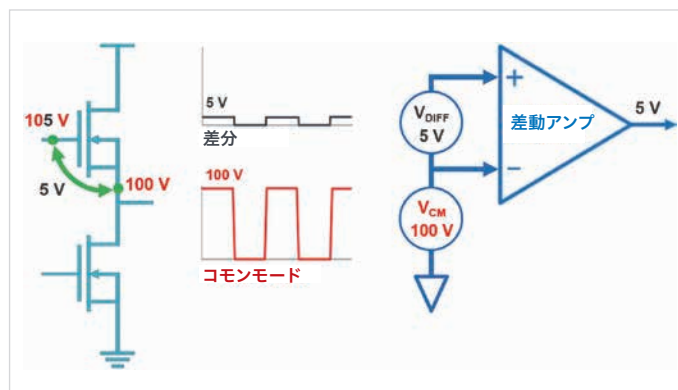


図4. 単純化したハーフブリッジ回路

コモンモード除去能力の規定方法

CMRRは周波数に依存するため、ほとんどの差動プローブではCMRRをDCおよび低い周波数のみでデータ・シートに記載しています。高電圧差動プローブのデータ・シートを見てみましょう（図5を参照）。100MHzのプローブなのですが、データ・シートをよく見ると、DC、60Hz、1kHz、1MHzでしかCMRRを規定していません。プローブの周波数帯域は100MHzなのに、100MHzにおけるCMRRが記載されていないのは不思議に思えます。図6に示す、マニュアルに記載されているCMRRのプロットを見ると、なぜ高い周波数でCMRRの値が省かれているのかがわかります。このプローブの100MHzにおけるCMRRは約27dBしかありません。つまり、 $\text{dB}=20\log(V_{\text{IN}}/V_{\text{OUT}})$ の式から約22：1となります。

製品	
周波数帯域(−3dB)	→ プローブの周波数帯域:100MHz以上
DC CMRR	−70 dB at 500 VDC
AC CMRR	−80 dB at 50/60 Hz
	−50 dB at 1 kHz
	−50 dB at 1 MHz ←

図5. 高電圧差動プローブのデータ・シートの例

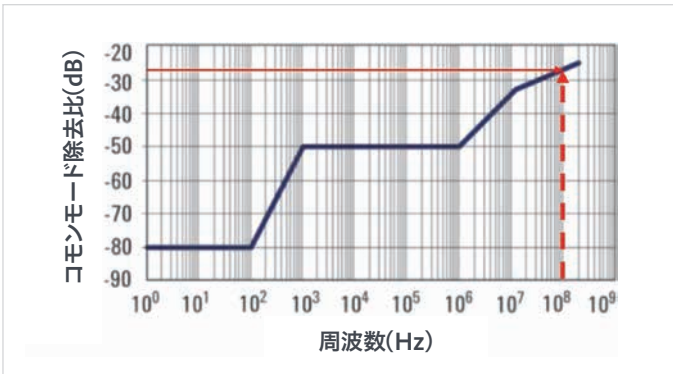


図6. 高電圧差動プローブのCMRR曲線の例

図4の100Vのコモンモード電圧の例に戻ると、コモンモード誤差は $100 \div 22$ で約4.5Vのコモンモード誤差になります。この場合、4.5Vのコモンモード誤差では5Vの差動信号を正しく読み取ることができません。IsoVu Gen 2では、より高い周波数帯域で10,000：1の除去比があり、コモンモード誤差は $100V \div 10,000$ と計算できます。これは、約10mVの誤差になります。この結果を表1にまとめます。

	高電圧差動プローブ	IsoVu Gen 2プローブ
最高周波数帯域	100MHz	1GHz
プローブの最高周波数帯域におけるCMRR	−27dB (22：1)	−90dB (10,000：1)
推定誤差	4.5V (非常に大きい)	3.2mV

表1. 差動電圧5Vの測定例

実際に、−80dB（10,000：1）のCMRRがあれば良い測定が行えます。ほとんどの差動プローブは、DCおよび低周波数でCMRRは80dBあるいはそれ以上の値が容易に得られ、部品も正確にチューニングできます。測定する周波数が高くなると2つの入力 mismatches が顕著になって制御が難しくなるため、差動プローブのCMRRは低下します。100MHzでは、ほとんどの測定システムのCMRRは20dB未満です。光絶縁型測定システムのIsoVu Gen 2と、従来の高電圧差動プローブのCMRRの仕様を、表2で比べます。

	周波数帯域	CMRR (DC)	CMRR (1MHz)	CMRR (100MHz)	CMRR (1GHz)
テクトロニクス IsoVu Gen 2	1GHz	160dB (1億 : 1)	145dB (1000万 : 1)	100dB (100,000 : 1)	90dB (10,000 : 1)
従来の高電圧差動プローブ	200MHz	>80dB (10,000 : 1)	50dB (316 : 1)	マニュアルのCMRRプロットからの 読み取りでは約27dB	-

表2. コモンモード除去比の比較例

ユーザは、自分のアプリケーションでは1MHzという仕様は十分に高速であると考えがちです。しかし、繰り返しレートが高速なのではなく、測定する信号の立上り時間が、数ns〜数十nsと非常に高速なのです。

500Vのコモンモード電圧のなかに測定する差動信号がある場合、どのくらいの誤差だったらよいでしょうか。繰り返しになりますが、それは信号の立上り時間によって異なります。周波数帯域における、コモンモード電圧が500Vである場合のコモンモード誤差がどのくらいあるのか、表3に示しています。

	周波数帯域における500Vのコモンモード電圧でのコモンモード誤差			
	DC	1MHz (立上り時間 : 35ns)	100MHz (立上り時間 : 3.5ns)	1GHz (立上り時間 : 1ns 以下)
テクトロニクス IsoVu Gen 2	5 μ V	28 μ V	5mV	15.8mV
従来の高電圧差動プローブ	50mV	1.6V	22.3V	-

表3. 不十分なコモンモード除去比が原因の誤差

スイッチング回路全体の特性評価

スイッチ・ノード電圧がグラウンドから入力電源電圧まで、急激に変化する、ハイサイド側のトランジスタのVDSまたはVGSなどの信号を検証する場合は、以下のような特性を持ったソリューションが必要になります。

- 広帯域 : 500MHz 以上
- 大きなコモンモード電圧 : 入力電源電圧 以上
- 高いコモンモード除去比 : 100MHz で60dB 以上
- 大きな入力インピーダンス : 10M Ω 以上、2pF 未満

ハイサイドVGSなどの測定では、大きな最大動作コモンモード電圧、全周波数帯域における高いコモンモード除去比といった高性能が測定システムに求められますが、テクトロニクスのTIVMシリーズはまさにこのような測定に最適です。TIVMシリーズに続いて発表したTIVHシリーズは、差動電圧レンジと入力インピータンスを大幅に向上しており、ハイサイドVDSなどの測定が可能です。新製品のIsoVu Gen 2 (TIVPシリーズ) は、第一世代のIsoVu (TIVM/TIVHシリーズ) に比べ、高いゲイン確度、フラットな周波数応答、低ノイズを実現した差動プローブです。

主な仕様の比較			
	テクトロニクス TIVP (TIVPMX50X型チップを含む [†]) IsoVu Gen 2	テクトロニクス TIVH (MMCX250X型チップを含む [†]) IsoVu Gen 1	テクトロニクス THDP0200型 差動プローブ
アプリケーション	ハイスайдV _{GS} 、 ワイド・バンドギャップ (GaN、SiC) 特性評価、スイッチング電源の最適化、 温度試験 (SMA ケーブルを含む)	ハイスайдV _{GS} 、 ワイド・バンドギャップ (GaN、SiC) 特性評価、スイッチング電源の最適化	汎用、Siおよび IGBTベースのパワー回路
周波数帯域	200MHz、500MHz、1GHz	200MHz、500MHz、800MHz	160MHz、200MHz
立上り時間	2ns、850ps、450ps	2ns、850ps、450ps	1.75ns
CMRR @DC	160dB	160dB	80dB
CMRR @100MHz	85dB	85dB	26dB
差動電圧レンジ	250V [†]	250V [†]	150V、1500V
コモンモード電圧レンジ	±60kV	±60kV	±1500V
オフセット電圧レンジ	±250V	±250V	オシロスコープの 入力オフセット・レンジの50倍 ±50V (代表値)
ノイズ (200mV～3Vの測定)	41.8mVpp	79.8 mVpp	110mVpp
DCゲイン確度	0.6% (代表値)	3%	2%
入力インピータンス	10MΩ、3pF	10MΩ、2pF	10MΩ、2pF
動作温度範囲	0～50℃ (プローブ・ヘッド) 0～85℃ (プローブ・チップ・ケーブル)	0～70℃ (プローブ・ヘッド) 0～85℃ (プローブ・チップ・ケーブル)	0～40℃
対応オシロスコープ	4/5/6シリーズMSOのみ	すべてのTekVPIオシロスコープ (4/5/6シリーズMSOを含む)	すべてのTekVPIオシロスコープ (4/5/6シリーズMSOを含む)

[†] 比較目的のため、THDP0200型に最も近い値。

表4. 従来の差動プローブと、TIVPおよびTIVHシリーズの仕様の比較 (プローブ・チップ・ケーブルからは独立)

IsoVu Gen 2で隠れていた信号を可視化

ハーフブリッジ回路などの恩恵は、ハーフブリッジ回路、ゲート・ドライブ回路、レイアウトなどが正しく設計され、最適化された場合にのみ得られます。これが正しく測定されない限り、この回路をチューニングし、最適化することはできません。この設計では、図7の理想形状が示すような波形の特性を評価する必要があります。

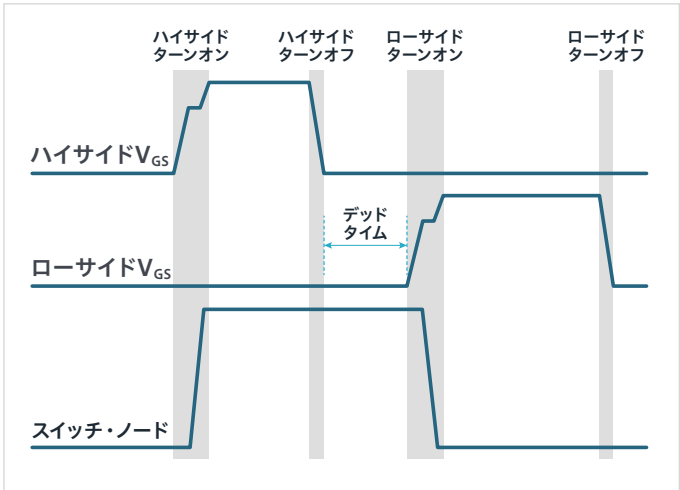


図7. 理想的なハーフブリッジのスイッチング波形例

一般に、ターンオン波形には3つの特性を持った領域があります。最初の領域は、 C_{GS} チャージ時間です。次に続くのがミラー・プラトーで、ゲート・ドレイン間のミラー容量 (C_{GD}) を充電する時間であり、これは V_{DS} に依存します。 V_{DS} が増えると充電時間が伸びます。チャンネルが導通になると、ゲートは最終値まで充電されます。これらの領域の理想的な状態を図8に示します。

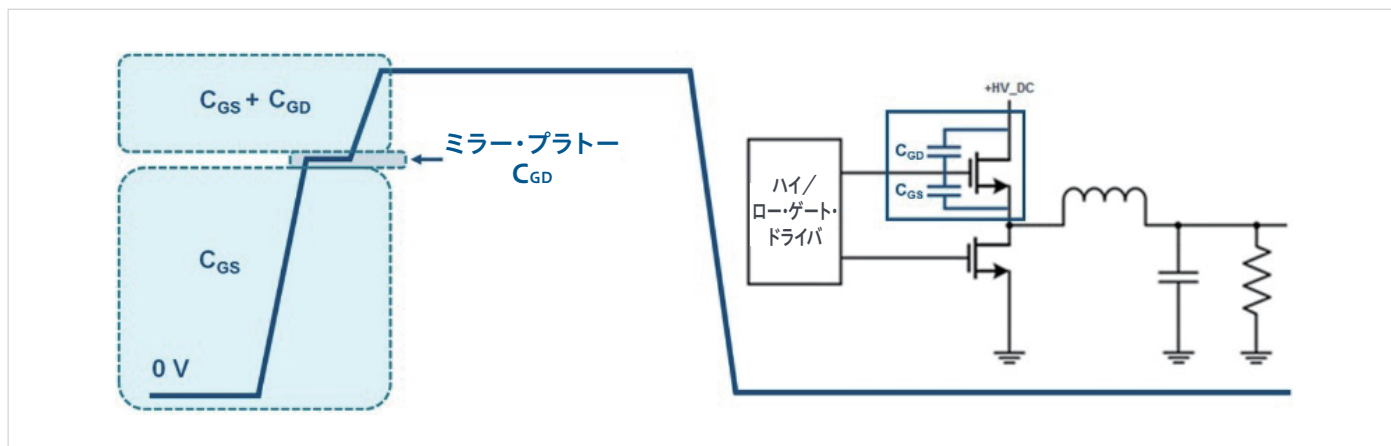


図8. ハイサイドのターンオン特性

ハイサイドの V_{GS} は、グラウンドと電源電圧間でスイッチングされるスイッチ・ノード電圧の上に乗ります。このような急激なコモンモード電圧の変化のため、コモンモードを適切に除去しなければゲート・ソース電圧は測定できません。

従来型プローブによるこの波形（図9のピンクの波形）を理想的なトランジション（黄色）と比較すると、この波形（ピンク）を基に先に説明した領域での様子を詳細に知ることは難しく、この測定をもとにして設計を決定することも困難です。しかも従来型プローブでは、プローブの入力リードの位置によって波形は大きく変化するので、再現性のある測定はできません。

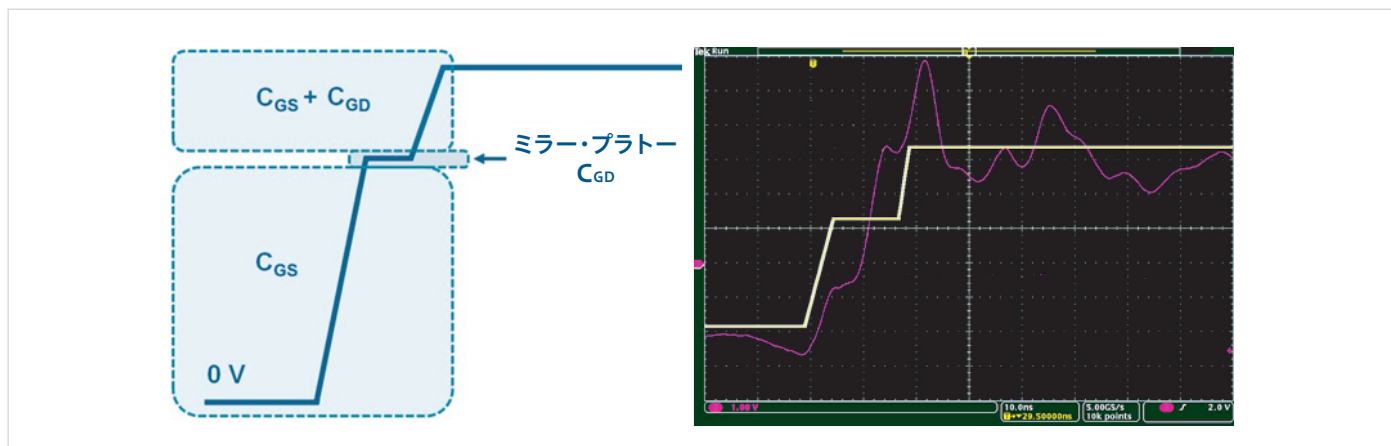


図9. 適切でないCMRRを持ったプローブによる V_{GS} 測定例

今までの高電圧差動プローブは、これらの測定で最も正確に波形を観測できるとされてきました。この測定システムを使用して取込んだ波形情報から、設計を最適化しなくなるかもしれません。それなりに期待した特性が表示されている気がします。しかし、IsoVu Gen 2システムではまったく様子が違います。図10は、2つの測定システムによる測定結果を比較しており、限られたCMRRと帯域しかない計測器からのデータをもとに最適化すると、設計を大きく間違ったものにするかがわかります。左の波形は、初代のIsoVuで測定したものです（黄色の波形）。右の波形はIsoVu Gen 2で測定したものであり、初代（第一世代）のIsoVuに比べて性能がさらに大幅に向上していることがわかります（黄色の波形）。IsoVu Gen 2では、より詳細に、正確に、優れた感度で測定されています。

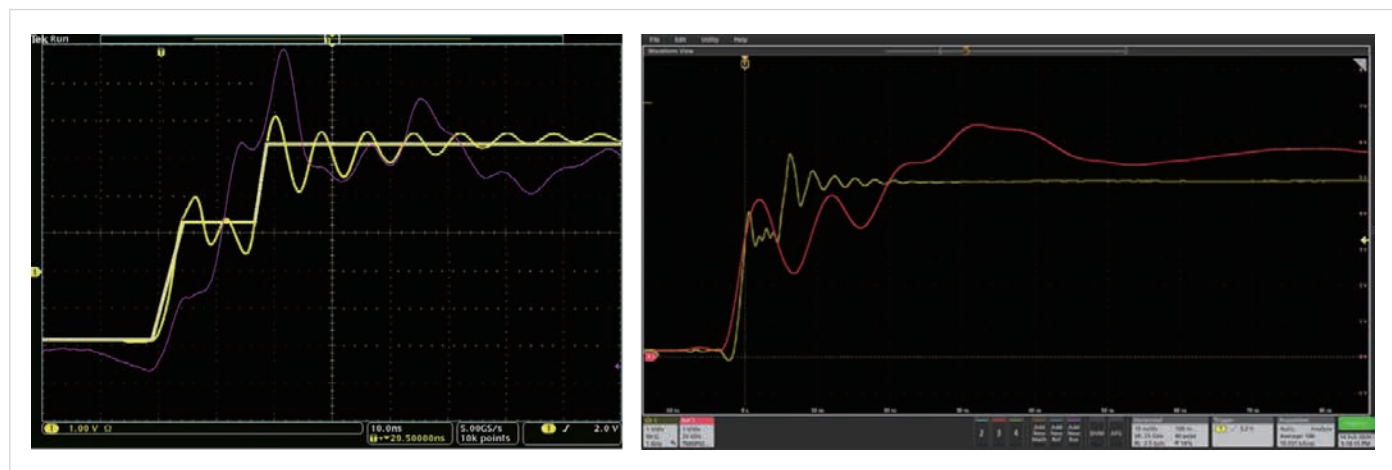


図10. ハイサイドのターンオン特性 - 初代IsoVu (左) と IsoVu Gen 2 (右) の比較

ローサイドのスイッチはグラウンド基準と思われるますが、実際の波形を見ると興味深いものであり、どのようにハイサイドの性能に影響を及ぼすかがわかります。図11は、ハイサイドのゲート、スイッチ・ノードとローサイドのゲート間の寄生結合のために、ローサイドのスイッチにリングングが確認できます。ここで再び、初代IsoVu（左）とIsoVu Gen 2の結果を比べます。右の波形はIsoVu Gen 2で測定したものであり、初代のIsoVuに比べて性能が大幅に向上していることがわかります。IsoVu Gen 2では、より詳細に、正確に、優れた感度で測定されています。

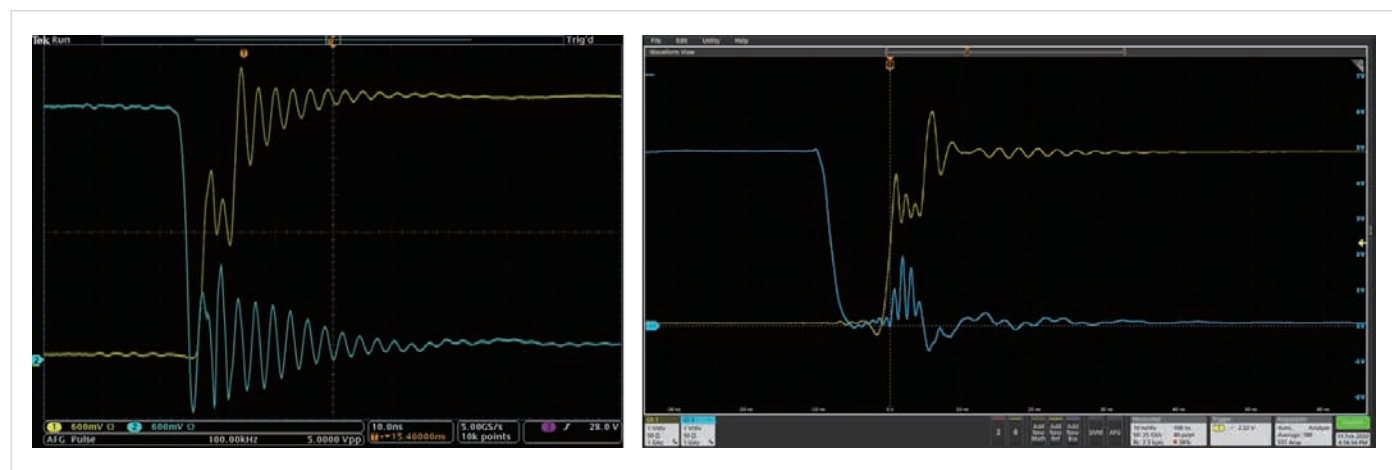


図11. ハイサイドとローサイドのスイッチの相互関係 - 初代IsoVu (左) と IsoVu Gen 2 (右) の比較

トランジェント時のハイサイドのターンオフ／ローサイドのターンオンにおいても、同様の特性が数多くあります。図12に示すように、ローサイドの V_{GS} のミラー・プラトーがはっきりと確認できます。スイッチ・ノードとハイ／ローサイドのFFT間の寄生容量による結合がはっきりと確認できます。IsoVu Gen 2測定システムは、デッドタイムを測定するための十分な周波数帯域を持っています。

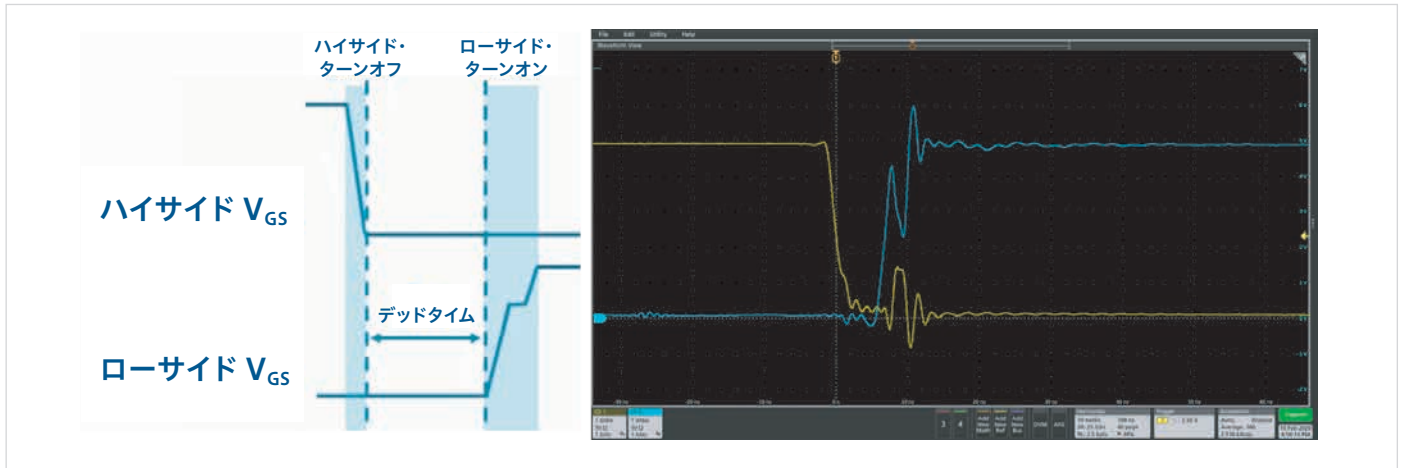


図12. ハイサイドのターンオフ、ローサイドのターンオン、デッドタイム

IsoVu Gen 2 (TIVPシリーズ)、TIVMシリーズ、TIVHシリーズは、すべての回路の特性を詳細に測定できます (図13を参照)。IsoVu Gen 2によって、以下のような評価が可能になります。

- ゲート電圧 V_{GS} 、 V_{DS} と I_s の特性評価
- ハイサイドとローサイドのイベントの時間間隔の特性評価
- スイッチング特性 (エッジ・レート、オーバーシュート、リングング、デッドタイム) の最適化とチューニング

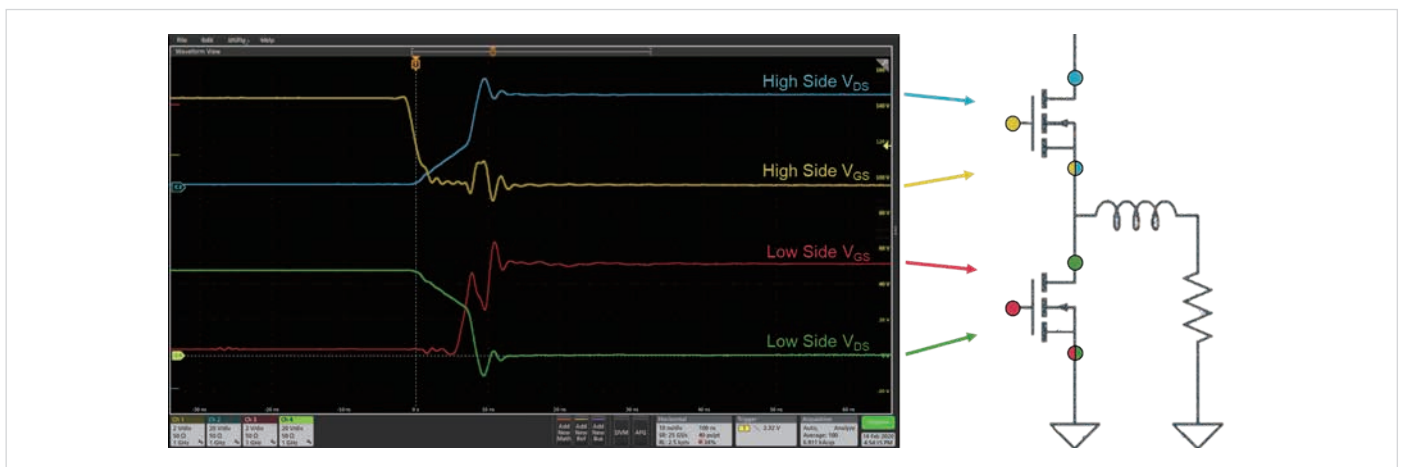


図13. ハイサイドのターンオフ、ローサイドのターンオン、デッドタイム

豊富に用意されたチップ・コネクタ

優れた性能、利便性を考慮した設計

MMCXスタイルのセンサ・チップ・ケーブル (高性能、最大250Vのアプリケーション)

テスト・ポイントの近くにMMCXコネクタを入れることで、IsoVu Gen 2測定システムにおける最高の性能を引き出すことができます。MMCXコネクタは業界標準のコネクタであり、数多くの電子部品メーカーから入手可能です。このコネクタには優れた信号忠実性があります。ソリッド・メタルの本体、金メッキのコネクタにより、十分にシールドされた信号パスが可能になります。勘合するMMCXインターフェースはスナップオン・タイプの接続であり、安定したハンズフリー接続が可能です。しっかりとした力で勘合するため、高電圧のアプリケーションでも安全かつ安定した接続が可能です。下図のようにMMCXコネクタはさまざまな状況で利用でき、またMMCXコネクタの実装用に基板が設計されていないような場合であっても、後付けでMMCXコネクタを半田付けして測定ポイントを設けることができます。はんだ付けに関する情報については、当社Webサイト (jp.tek.com/isolated-measurement-systems) をご参照ください。



図14. MMCXコネクタ

スクエア・ピン - MMCXアダプタ

MMCXコネクタが使用できない場合は、チップ・ケーブルを業界標準のスクエア・ピンに適用させることができます。テクトロニクスはプローブ・チップ・アダプタを用意しており、回路基板上のスクエア・ピンにセンサ・チップを接続することが可能です。ピッチによって2種類のアダプタが用意されており、MMCX - 2.54mm (0.1in) と MMCX - 1.57mm (0.062in) があります。

アダプタの一方には、IsoVuチップ・ケーブルと接続するためのMMCXソケットが組み込まれています。アダプタのもう一方にはセンサー・ピン・ソケットがあり、アダプタの外周は4つのコモン（シールド）ソケットになっていて、これらにスクエア・ピンが刺さります。アダプタのノッチは、シールド・ソケット固定に使用できます。プローブ・チップ・アダプタが基板に最も近づいている状態で最高の電気性能が得られます。

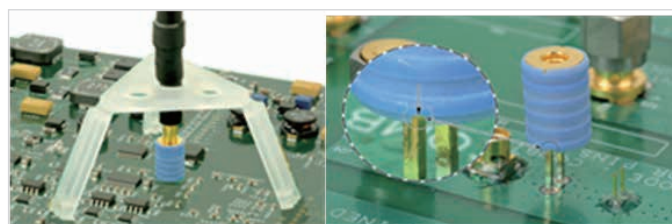


図15. MMCX - スクエア・ピン・アダプタ

スクエア・ピン・スタイルのセンサ・チップ・ケーブル

TIVPシリーズ (IsoVu Gen 2) にはスクエア・ピン・スタイルのセンサ・チップ・ケーブルも用意されており、優れた入力差動電圧性能があります。このチップ・インターフェースは接続の容易さと確実な接続が可能であり、高電圧環境でも安全に、ハンズフリーでの測定が可能になります。スクエア・ピン・スタイルのセンサ・チップ・ケーブルは、2.54mm (0.100in) ピッチで最大600Vに対応可能なものと、5.08mm (0.200in) で最大2500Vに対応可能な2種類があります。

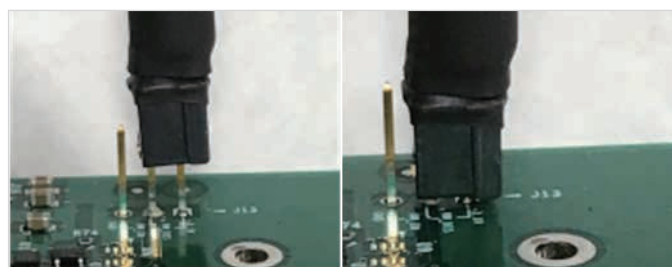


図16. スクエア・ピン・スタイルのセンサ・チップ・ケーブル

まとめ

サイズが小さくなり、性能が向上しているデバイスの特性評価のためには正確な差動測定が大変重要です。その正確な差動測定は、測定システムの周波数帯域、コモンモード電圧レンジ、コモンモード除去性能、小さなテスト・ポイントへの接続性に大きく左右されます。差動電圧プローブは、周波数という点では性能を進化させてきましたが、コモンモード除去、接続性という点では十分な改善がなされてきませんでした。IsoVu Gen 2は技術的な大きな飛躍であり、このような最新の差動測定で求められる広帯域、高いコモンモード電圧、高いコモンモード除去比の組合せに応える唯一のソリューションです。

NEW IsoVu™ Gen 2 —
確度、感度、接続性、使いやすさの向上

ホワイト・ペーパー

お問い合わせ先：

オーストラリア 1 800 709 465
オーストリア 00800 2255 4835
バルカン諸国、イスラエル、南アフリカ、その他ISE諸国 +41 52 675 3777
ベルギー 00800 2255 4835
ブラジル +55 (11) 3759 7627
カナダ 1 800 833 9200
中央／東ヨーロッパ、バルト海諸国 +41 52 675 3777
中央ヨーロッパ／ギリシャ +41 52 675 3777
デンマーク +45 80 88 1401
フィンランド +41 52 675 3777
フランス 00800 2255 4835
ドイツ 00800 2255 4835
香港 400 820 5835
インド 000 800 650 1835
インドネシア 007 803 601 5249
イタリア 00800 2255 4835
日本 81 (3) 6714 3086
ルクセンブルク +41 52 675 3777
マレーシア 1 800 22 55835
メキシコ、中央／南アメリカ、カリブ海諸国 52 (55) 56 04 50 90
中東、アジア、北アフリカ +41 52 675 3777
オランダ 00800 2255 4835
ニュージーランド 0800 800 238
ノルウェー 800 16098
中国 400 820 5835
フィリピン 1 800 1601 0077
ポーランド +41 52 675 3777
ポルトガル 80 08 12370
韓国 +82 2 6917 5000
ロシア +7 (495) 6647564
シンガポール 800 6011 473
南アフリカ +41 52 675 3777
スペイン 00800 2255 4835
スウェーデン 00800 2255 4835
スイス 00800 2255 4835
台湾 886 (2) 2656 6688
タイ 1 800 011 931
イギリス、アイルランド 00800 2255 4835
アメリカ 1 800 833 9200
ベトナム 12060128

2017年4月現在



jp.tek.com

テクトロニクス／ケースレーインストルメンツ

お客様コールセンター：技術的な質問、製品の購入、価格・納期、営業への連絡

TEL: 0120-441-046 ヨッ! 良い オ シ ロ 営業時間／9:00～12:00・13:00～18:00
(土日祝日および当社休日を除く)

サービス・コールセンター：修理・校正の依頼

TEL: 0120-741-046 なんと良い オ シ ロ 営業時間／9:00～12:00・13:00～17:00
(土日祝日および当社休日を除く)

〒108-6106 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟6階

記載内容は予告なく変更することがありますので、あらかじめご了承ください。

Copyright © 2020, Tektronix. All rights reserved. TEKTRONIX およびTEK はTektronix, Inc. の登録商標です。
記載された製品名はすべて各社の商標あるいは登録商標です。

2020年12月 51Z-60485-2