

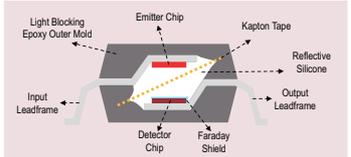
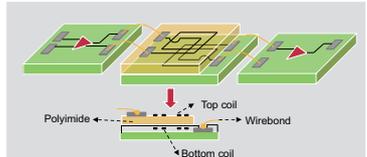
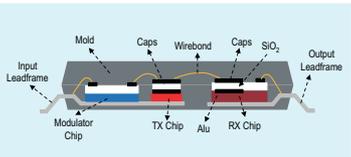
内部ファラデー・シールドと小容量の Ci-o による Broadcom フォトカプラのガルバニック絶縁性能の拡張

今日の高電圧絶縁の使用状況では、大きな電圧差のあるサブシステムとグラウンド電位のシステムの統合が必要になります。これにより、電源、サーボ・オートメーション・システムや産業ロボットのモータ制御回路、バッテリー管理システム、太陽光発電 (PV) インバータ、電気自動車 (eV) インバータ、超高速充電およびワイヤレス充電ステーションから、データ通信およびデジタル・ロジック・インターフェース回路まで、広範な絶縁用途への適用が可能となります。基本的に、最も重要な部品であるアイソレータ (カプラ) が、直接電動経路を遮断することで異なるサブシステムの統合を可能にする電氣的絶縁を提供します。ドライビング・パワーの電子デバイス、高精度電流および電圧測定、アナログとデジタルの通信およびロジック・インターフェース、絶縁型電源変換など、さまざまな電氣的機能のために、集積回路 (IC) をアイソレータに組み込むことができます。

絶縁テクノロジー

フォトカプラ、磁気カプラ、および容量カプラの 3 タイプのアイソレータ・テクノロジーを利用できます。表 1 は、異なる絶縁手法の主な違い、部品の安全性認定、寿命信頼性故障メカニズムを示しています。

表 1: 異なる絶縁手法の主な違い、部品の安全性認定、および寿命信頼性故障メカニズム

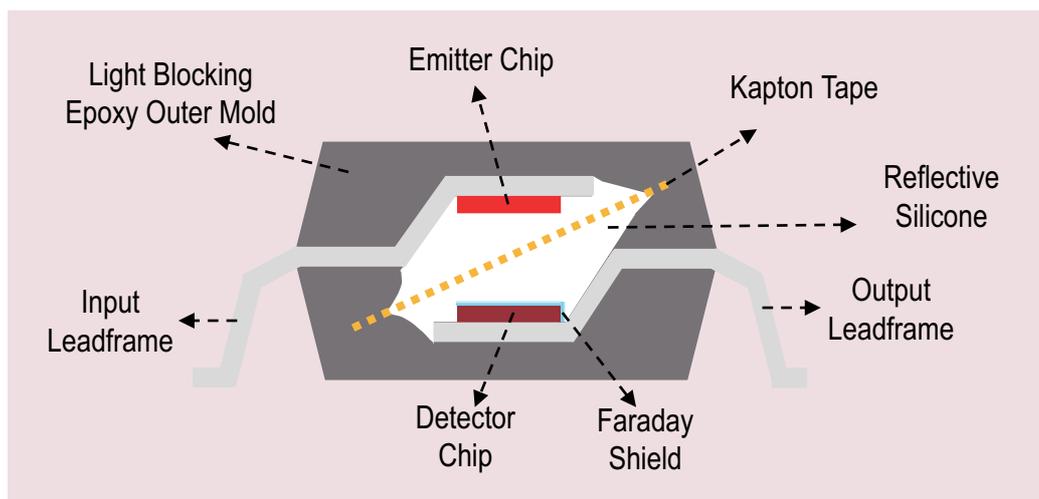
Isolator/Coupler Types	Broadcom Optocoupler	Magnetic Coupler	Capacitive Coupler
Isolation Construction			
Insulation Material	3 layers Silicone/Kapton Tape/Silicone	1 layer Polyimide	1 layer Silicon Dioxide
Insulation Thickness	0.08 mm to 2.0 mm	<ul style="list-style-type: none"> Up to ~0.02 mm for single coil Double coil (~ 0.04 mm) 	<ul style="list-style-type: none"> Up to ~0.014 mm for single cap Double cap (~0.028 mm)
Component Certification/ Lifetime Test Method	IEC 60747-5-5 For Optocoupler Only Partial Discharge (PD) Reinforced Isolation	VDE 0884-10 Alternative Isolator Partial Discharge (PD)	VDE 0884-11 Alternative Isolator Partial Discharge (PD)
Lifetime and Reliability Failure Mechanism	Partial Discharge	Space-Charge Degradation	TDDB-Time Dependent Dielectric Breakdown (oxide film degrade over time)

フォトカブラは、LED を使用して電気信号を光信号に変換することで、絶縁バリア越しに電気信号を伝送します。厚み 0.08 mm ~ 2 mm の絶縁バリアの向こう側で、フォトカブラがフォトダイオードを通じて光信号を電気信号に変換し直します。寿命信頼性に関しては、部分放電測定によって、フォトカブラ絶縁材料の完全性を予測できます。

フォトカブラ・メーカーが一貫して純粋な絶縁バリアを生成できる場合は、常に、絶縁材料の理論的な絶縁耐力値が適用されます。ただし、多くの場合、高電圧誘電体には、ボイド、空気や他の不純物の含有などの欠陥が含まれます。これらのボイドは、周囲の誘電体より破壊強度を下げるため、それらの破壊強度に達すると放電やアークが生じます。ただし、放電はボイドの長さに限られます。放電後、良好な誘電体を通じて利用可能な限られた電流でゆっくりと再充電されます。ボイドは最終的に絶縁破壊電圧まで再充電され、再び、放電します。印加された電界が十分高いままである限り、プロセスは継続します。これらの放電は、誘電体バリアの長さの限定された部分にあるボイドで発生するため、「部分的」と見なされています。部分放電は、漏れ電流の測定によって検出できないため、時間の経過とともに絶縁体内部に広がり、最終的に完全な絶縁破壊につながる可能性があります。現場でデバイスの質が低下する現象を防ぐために、製造テスト中に部分放電の存在を検出することが課題となります。

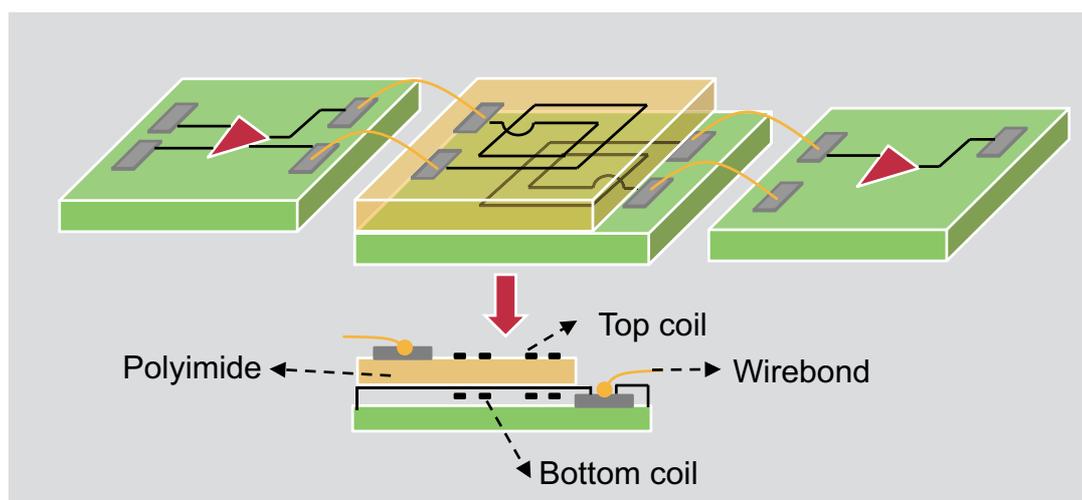
Broadcom フォトカブラの高電圧絶縁の強度は 3 つの主要な設計方式によって強度を高めています。1 番目は、カプトン・テープと呼ばれる純粋なポリイミドを LED とフォトダイオードの間に挿入することです。2 番目の方式は、フォトカブラの入力側を出力側から分断する独自の低コストなファラデー・シールドを使用することです。図 1 は、Broadcom® フォトカブラの絶縁構造を示しています。3 番目の方式は、入出力間容量 (Ci-o) を最小化するために最適化された独自のパッケージ設計を用いることです。3 つの設計方式の重要性については、このアプリケーション・ノートで説明されており、高電圧サージ・テストの結果も論拠として添付されています。

図 1： Broadcom フォトカブラの絶縁構造：カプトン・テープとファラデー・シールドを組み込むことによる絶縁強度の向上



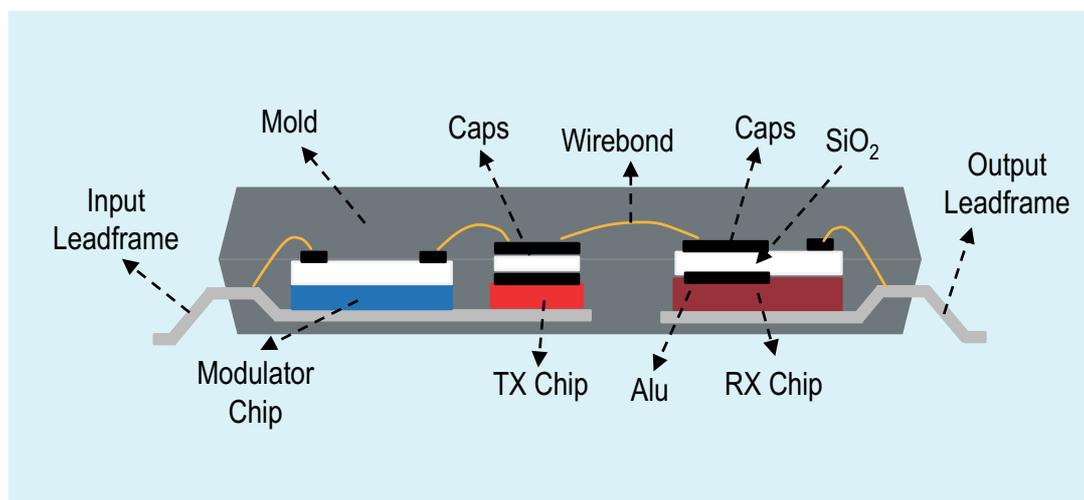
磁気カブラは、間に約 0.02 mm のポリイミド材料を用いた、重なり合った 2 個のコイルを使用します。AC 信号の利用で磁界が作成され、それによって、2 次コイルで電界が誘発されます。伝送は磁界の結合によるため、磁気カブラも近くの磁気干渉の影響を受けやすくなります。図 2 は、コイルの間にポリイミド絶縁材料を用いた、上下 1 ペアのコイルを備えた、磁気カブラの絶縁構造の例を示しています。磁気強度を 2 倍にするために、1 つの絶縁経路で 2 セットの磁気コイルが使用され、絶縁の厚みは約 0.04 mm に達します。磁気カブラの絶縁材料で故障が生じる原因は、空間電荷の劣化です。

図 2： コイル間にポリイミド絶縁材料を用いた、上下 1 ペアのコイルを備えた、磁気カプラの絶縁構造



容量カプラの構造は、名前が示すとおり、セラミック・コンデンサに似ています。厚み約 0.015 mm の二酸化ケイ素 (SiO₂) 誘電体が極めて近い 2 枚の金属プレート (通常は、アルミニウム (Al)) に挟まれています。SiO₂ 結晶は Al プレートの上部で大きくなります。容量性絶縁バリアを通じた信号の伝送は、通常、AC 電気信号を介して行われます。容量カプラの絶縁強度に影響することのある要因の 1 つは、どのくらい良好に SiO₂ 結晶ができるかです。結晶に欠陥があると、絶縁材料の強度が弱まります。容量カプラの寿命信頼性における故障モードは、経時的絶縁破壊 (TDDB、Time-Dependent Dielectric Breakdown) です。磁気カプラと同様に、絶縁強度を 2 倍にするため、1 つの絶縁経路で 2 セットのコンデンサが使用され、絶縁の厚みも約 0.03 mm と倍増します。図 3 は、標準的な二重コンデンサ絶縁構造を示しています。

図 3： SiO₂ 誘電体が 2 枚のアルミニウム金属レイヤに挟まれた 2 つのコンデンサを用いた容量カプラの絶縁構造

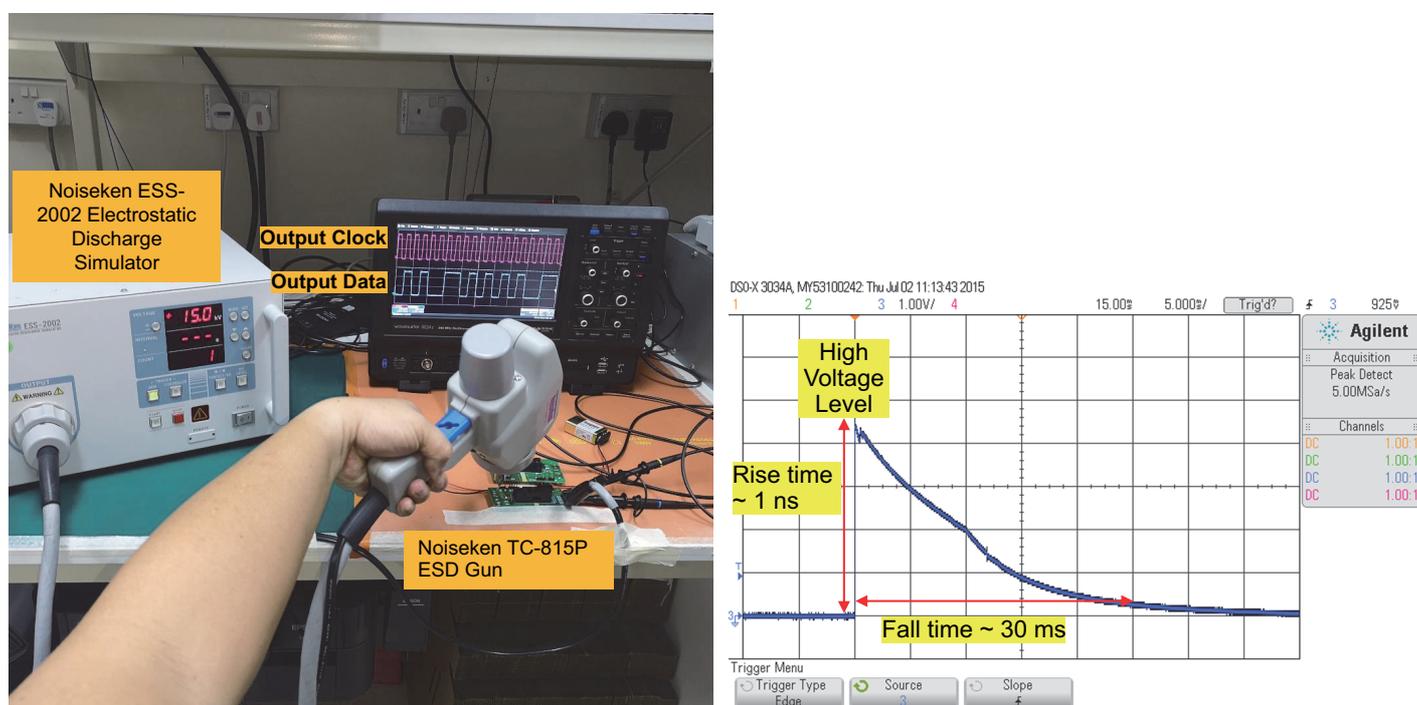


フォトカブラは、部品の安全性について、強化絶縁に関する IEC 60747-5-5 の認定を受けています。この国際認定は、部分放電を、絶縁材料破壊の故障メカニズムとして認めています。そのため、認定はフォトカブラのみに適用されます。磁気や容量などの代替の絶縁テクノロジーは、ドイツの規格 VDE 0884-10/11 によって認定されています。絶縁材料の強度は部分放電テストによって判別されますが、これは、磁気カブラ（空間電荷の劣化）と容量カブラ（TDDB）の寿命信頼性の予測には適していない場合があります。

高電圧サージ・テスト

ベンチ・テスト設定は、さまざまなアイソレータの絶縁強度を比較するために、容易に組み立てることができます。図 4 は、ESD ガンを使用して高電圧サージが印加されるテスト設定を示しています。ESD ガンの電圧プロファイルでは、立ち上がり時間は約 1 ns と非常に高速で、立ち下がり時間は 30 ms と低速です。このサージ・プロファイルは、IEC 60060-1 規格のサージ・プロファイルである 1.2 μs/50 μs とは異なりますが、異なる絶縁テクノロジーの高電圧強度を比較するという目的には十分です。

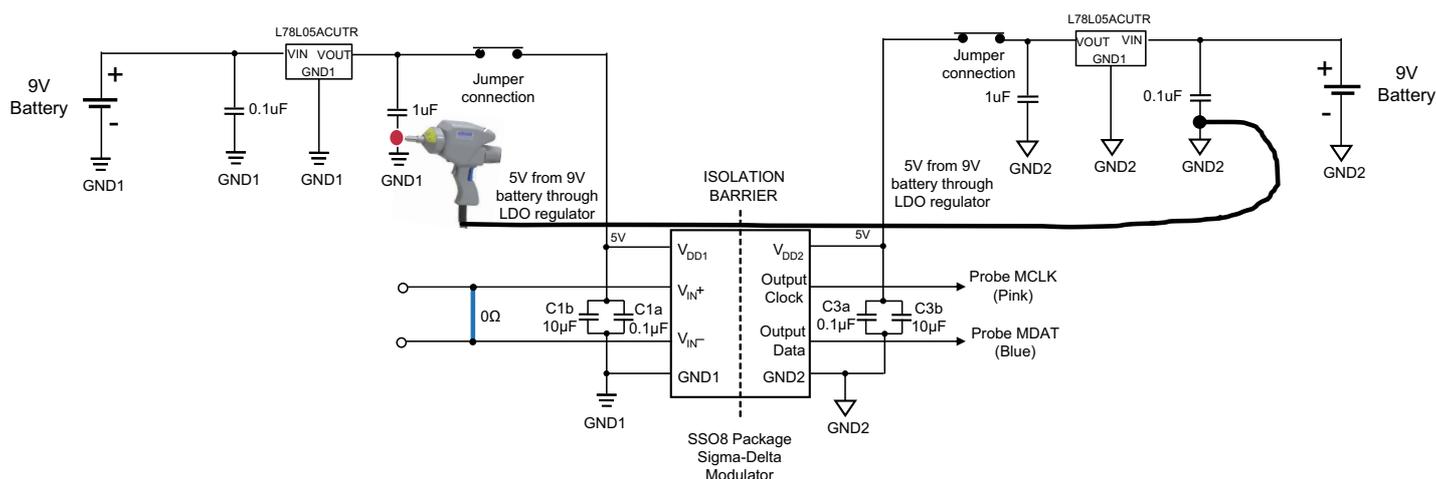
図 4：高電圧サージ・テスト設定（左）および高電圧サージ・プロファイル（右）



この高電圧サージ・テスト用に、2 社のフォトカブラ・メーカーからそれぞれ 3 つのランダム・サンプルが選択されました。Broadcom とアイソレータ A、1 台の磁気カブラ（アイソレータ B）、1 台の容量カブラ（アイソレータ C）です。これらのアイソレータは、8 ピン・ストレッチ表面実装パッケージ寸法（SS08）にクロック発振器が内蔵された高精度電流検出シグマ-デルタ変調器です。このタイプの SS08 パッケージの絶縁耐圧（Viso）は、1 分あたり 5 kVrms が定格で、沿面距離と最小空間距離は 8 mm です。

図 5 は、被テスト・デバイス（DUT）を保持するために使用された PCB の回路図です。

図 5： 高電圧サージ・テストに使用された PCB 基板の回路図

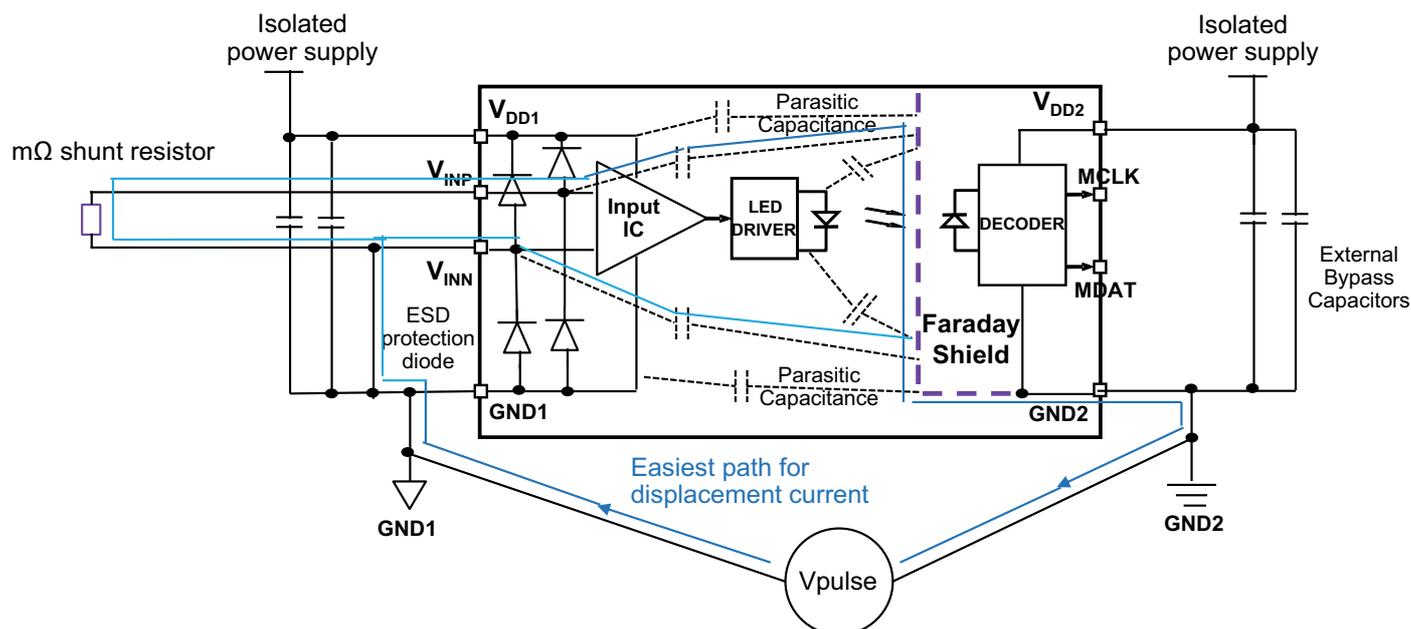


絶縁側の両方の電源には、個別に 9V バッテリから電力が供給され、絶縁の核側で、LDO 電圧レギュレータを通じて 5V まで調整されます。テストは、シグマ-デルタ変調器の Gnd1-Gnd2 の間に、15 kV から始まる高電圧レベルを印加することで実施されました。異常がないか、出力クロックとデータ信号が観察されました。高電圧サージの後、出力が正常な機能を再開した場合は、電圧レベルを 1 kV ずつ増やし、最大 21 kV のテスト制限までテストは継続されました。出力クロック、データ信号、または両方がラッチされた場合は、テストは中止されました。

i. ファラデー・シールド

高電圧サージは、Gnd1 からアイソレータの入力回路への高密度変位電流を誘発し、その後、この電流は容量構造、つまり絶縁バリア全体に形成される寄生容量を使用して、出力回路と Gnd2 へ伝送されます。図 6 は、入力回路/入力リードフレームのワイヤボンドと Broadcom フォトカプラのファラデー・シールドの間に形成された、さまざまな寄生容量経路を示しています。ファラデー・シールドは Gnd2 にグラウンドされ、静電シールドと磁気シールドを提供して、変位電流を取り除きます。容量結合または磁気結合ソリューションでは、ファラデー・シールドは実行可能なソリューションではありません。ファラデー・シールドは、過渡電流に加え、データ伝送に使用される電界と磁界をブロックします。

図 6： 入力回路 / 入力リードフレームのワイヤボンドと Broadcom フォトカプラのファラデー・シールドの間に形成された、さまざまな寄生容量経路ファラデー・シールドは Gnd2 にグラウンドされ、変位電流の除去を促進します。



ii. 入出力間容量 (Ci-o)

ファラデー・シールドに加え、Broadcom フォトカプラ・リードフレームとパッケージ設計はより小さな結合入出力間容量 (Ci-o) に最適化されています。表 2 は、さまざまなアイソレータの Ci-o の比較を示しています。変位電流は、 $i = c \times (dv / dt)$ の関係に従います。Ci-o が小さいほど、高電圧サージの発生時に誘発される変位電流も小さくなります。

表 2： さまざまなアイソレータの入出力間容量の比較

Sigma-Delta Modulator SS08 Package	Isolation Technology	Internal Faraday Shield	Typical Ci-o
Broadcom	Optical Coupler	Yes	0.5 pF
Isolator A	Optical Coupler	Yes	1.0 pF
Isolator B	Magnetic Coupler	No	2.2 pF
Isolator C	Capacitive Coupler	No	1.0 pF

表 3 は、さまざまなテクノロジーを用いたアイソレータでの高電圧サージ・テストの結果を示しています。テストから明らかとなお、Broadcom フォトカプラは高電圧サージに対して最も堅牢です。最大 21 kV テスト制限のテスト下でも、すべてのユニットで故障は観察されませんでした。アイソレータ A (フォトカプラ) は、16 kV 以降、出力が永続的にラッチされました。アイソレータ B (磁気カプラ) は、(magnetic coupler) outputs also latched from 16 kV 以降、出力がラッチされましたが、Vdd1、Vdd2 のいずれか、または両方でパワーオン・リセット (POR) が実行されると回復しました。アイソレータ C (容量カプラ) の場合、3 台のアイソレータ C の出力は、15 kV、17 kV、および 21 kV レベルで、それぞれ永続的にラッチされました。アイソレータ A、B、C はほぼ同じレベルで故障し始めましたが、アイソレータ C は、テスト・ユニットが故障する際の高電圧サージ・レベルが最も広範でした。

表 3：異なるアイソレータの高電圧サージ・テストの結果

Sigma-Delta Modulator	DUT Number	High Voltage Transient across Gnd1-Gnd2 before Failure Occurs	Failure Mode
Optocoupler	U1, U2, U3	No failure up to 21-kV test limit	No failure observed
Isolator A	U1	16 kV	Output clock latch permanently high
	U2	18 kV	Output clock switches permanently on low voltage level Output data latch permanently low
	U3	17 kV	Output clock latch permanently high Output data latch permanently low
Isolator B	U1	17 kV	Output clock and data latch high. Recover at Vdd1 POR
	U2, U3	16 kV, 17 kV	Output clock latch low voltage level. Output data switch at low voltage level. Recover at Vdd2 POR.
Isolator C	U1, U2, U3	21 kV, 15 kV, 17 kV	Output clock and data latch permanently low/high

信頼性の高いフォトカプラ・ガルバニック絶縁テクノロジーを推奨する 1 社として、Broadcom のポートフォリオでは、精密な分路ベースの電流および電圧検出ソリューションを実現するため、産業用として採用率の高いクロック内蔵型シグマ-デルタ変調器を複数網羅しています。表 4 は、SS08 パッケージ形式に収納されたクロック内蔵型シグマ-デルタ変調器の Broadcom 製品ラインを示しています。

表 4：Broadcom の SS08 パッケージ形式に収納されたクロック内蔵、光絶縁型、CMOS 出力、高精度シグマ - デルタ変調器

Broadcom Part Number	Input Linear Range	Input Full Scale Range	Clock Frequency	Typical Signal to Noise Ratio (SNR)	Typical Offset Temp. Drift (TCVos)
ACPL-C740	± 200 mV	± 320 mV	20 MHz	86 dB	0.3 μ V/°C
ACPL-C797	± 200 mV	± 320 mV	10 MHz	78 dB	1.0 μ V/°C
ACPL-C797T ^a	± 200 mV	± 320 mV	10 MHz	79 dB	—
ACPL-C799	± 50 mV	± 80 mV	10 MHz	77 dB	0.3 μ V/°C
ACPL-C799T ^a	± 50 mV	± 80 mV	10 MHz	77 dB	0.1 μ V/°C

a. Automotive AEC-Q100 qualified and Ta, max. = 125°C.

参考資料

1. “Optocoupler Designer's Guide”. Broadcom, av02-4387en_dg_opto_2014-01-03.pdf, Jan 3, 2014.
2. “ACPL-C740 Optically Isolated Sigma-Delta Modulator”. Broadcom, ACPL-C740-DS103 Data Sheet, Apr 01, 2019.
3. Chaikin, Stephen (Harris Tuvey). “Ignore Detection of Partial Discharge Failures NOW—Pay Massive Amounts Later!”, Partial Discharge White Paper.
4. Gingerich, Kevin, and Chris Sterzik. “The ISO72x Family of High-Speed Digital Isolators”. Application Report, Aug 2018.

Broadcom、パルス・ロゴ、Connecting everything、Avago Technologies、Avago、および A ロゴは、アメリカ合衆国、他の国々および / または EU における Broadcom および / または関連会社の商標です。

Copyright © 2020 Broadcom. All Rights Reserved.

用語「Broadcom」は、Broadcom Inc. および/またはその子会社を指します。詳細は、www.broadcom.com をご覧ください。

Broadcom は、信頼性、機能または設計を改善するために、本書の製品またはデータを通知なしに変更する権利を留保します。Broadcom によって提供される情報の正確さと信頼性には細心の注意を払っています。しかしながら、Broadcom は、この情報の適用または使用、あるいは本書に記載された製品または回路の適用または使用から生じるいかなる責任も負わず、特許権や他の権利によるいかなるライセンスも譲渡しません。