

規格認定されたアイソレータでシステムの安全動作を保証する



White Paper

Harold Tisbe, アバゴ・テクノロジー

はじめに

ユーザの安全性がきわめて重要な用途で使用されるフォトカプラなどの絶縁部品は、高い連続動作電圧バイアス条件でも故障ではありません。絶縁破壊され、高電圧がユーザにかかった場合は、安全上の問題が生じ、人命が危険にさらされます。そのような事故を防ぐために、連続動作電圧定格と試験方法が、国際部品規格と機器安全規格によって規定されています。

信頼性を保証するためには、使用する各種アイソレータが、安全定格に必要な絶縁レベルを満たしていることが証明されていなければなりません。機器メーカーは、システムの安全規格を満たすために、公称規格で認定されたアイソレータを使用して安全性と規制遵守を保証します。分離要件は、機械的な構造ガイドラインと部品安全規格によって満たされます。フォトカプラは主に部品レベルの安全規格によって規定されています。

フォトカプラの規格のひとつはDIN/EN 60747-5-2/DIN/EN 60747-5-5に置き換えられたVDE0884です。この規格は、フォトカプラ技術のあらゆる安全面に対処するように開発されました。この規格の主な実績のひとつは、全数試験方法の実現です。この方法は、量産されたフォトカプラの長期高電圧耐性を確実に実証することができます。

近年、磁気式アイソレータや容量式アイソレータなどの様々な結合技術を用いた代替アイソレータが市場に投入されています。これらの代替アイソレータは、一般に、極めて薄い($10\mu m$ ~ $20\mu m$)絶縁層を用いて構成されています。その一方でフォトカプラの絶縁厚は $80\mu m$ ~ $1000\mu m$ です。代替アイソレータの薄い絶縁障壁は、同じ動作電圧でも高い電界ストレスを受けるため、フォトカプラより壊れやすい傾向があります。

機械的な違いの他に、フォトカプラと代替アイソレータは、異なる絶縁材料を使用しています。フォトカプラは、一般に、均質ポリイミド/シリコンを使用しており、一方代替アイソレータは、スピンドルコート・ポリイミドまたは二酸化ケイ素(SiO₂)を使用しています。また、これらの代替アイソレータには既存の規格がないため、妥協案として、いくつかの試験ハウスは、フォトカプラ規格DIN/EN 60747-5-2への準拠を提案しています。試験機関は、基礎絶縁の認可のみを行ってきており、これは、完全認可ではなく部分的準拠であることを意味しています。その理由は、安全絶縁用途での薄膜ポリイミドとCMOS絶縁体の品質と特性が十分に解明されていないためです。さらに、フォトカプラと代替アイソレータの高電圧エージング・メカニズムが類似しているかどうかという問題もあります。

VDE0884-10は、フォトカプラ規格VDE0884の元となったドラフト規格です。この規格は、部分放電原理によって安全な連続高電圧寿命を予測しています。VDE0884-10が立案されてから、部分放電は代替アイソレータの基本エージング・メカニズムでないことが実証されました。これらの代替アイソレータには、もっと低いストレス電圧レベルで作用する他のエージング・メカニズムがあります。

フォトカプラの試験方法を代替アイソレータに適用することにより問題が生じています。本稿では、これらの問題に取り組むために実験試験データと分析を提供します。

絶縁構造

フォトカプラ、磁気式アイソレータおよび容量式アイソレータには、(1)絶縁材料(2)機械的構造(3)絶縁厚さおよび(4)絶縁破壊強度の違いがあります。

例えばアバゴ・テクノロジーのHCPL-316Jなどのフォトカプラは、光経路の両側にポリイミドテープとシリコンからなる厚い絶縁材料を使用しています(図1を参照)。絶縁物厚(DTI)は、最小で400 μmです。

磁気式アイソレータは、モノリシックCMOS IC上に絶縁体としてスピノン・ポリイミド薄層と共に構成されます(図2を参照)。そのDTIは、わずか17 μmです。同様に、CMOS IC上の容量式アイソレータは、絶縁体として最小DTIが8 μmのSiO₂薄層を使用します。最近では、いくつかのメーカーが、より高い絶縁電圧に対応するためにDTIを16 μmまで高めています。しかしながら、以下のような理由でDTIを大きくするには限度があります。

1. 信号結合効率に対するDTIの影響。
2. CMOS IC上に厚い絶縁膜を付着させる工程が高価で、信頼性の問題を引き起こす可能性がある。

この結果、代替アイソレータの電界ストレスは、同じ動作電圧のフォトカプラの少なくとも20倍になります。この違いは大きく、新しいエージング・メカニズムと欠陥スクリーニング方法を規定し開発することが提案されています。

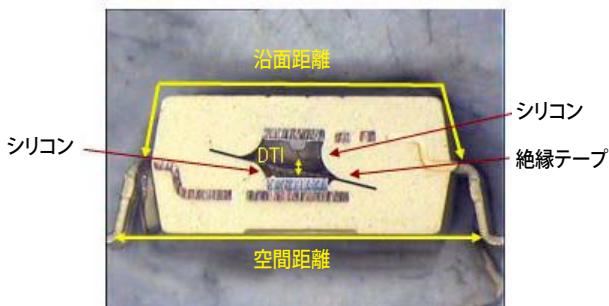


図1. フォトカプラの構造

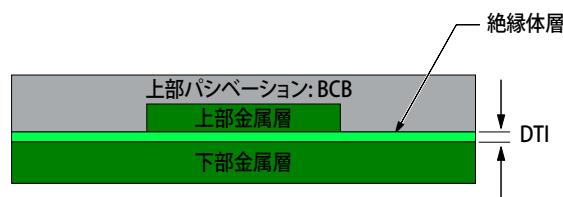


図2. 磁気式および容量式アイソレータの構造

フォトカプラの安全規格と連続動作電圧試験方法

国際安全規格IEC 60747-5-5は、磁気式および容量式デジタル・アイソレータだけでなくフォトカプラの電気特性と試験方法を対象としています。この規格は、2007年に公表されました。フォトカプラを含むオプトエレクトロニクス素子を対象とする前バージョンの規格IEC 60747-5-1/2/3は、2012年に廃止されます。欧州規格DIN/EN 60747-5-2は、IEC 60747-5-2を取り入れ、2014年に段階的に廃止される予定です。この規格は、IEC 60747-5-5をベースにした新規格DIN/EN 60747-5-5に置き換えられます。

IEC 60747-5-5とDIN/EN 60747-5-2は両方とも、固体絶縁体の均一品質を試験するために部分放電試験を行います。この試験では、素子の入力と出力の間に定格動作電圧の最大1.875倍の電圧が1秒間印加されます。この試験に合格するためには5pC(ピコクーロン)未満の放電に耐えなければなりません。この試験は、高品質の絶縁を保証するだけでなく、短寿命と安全性問題をもたらす製造欠陥のある素子も効果的に排除します。これは、以下の機器安全規格によって幅広く認定された規格を評価する重要な試験の1つです。

IEC 61800 – 産業モータ・ドライブの規格

IEC 60950 – ITおよび通信機器の規格

IEC 60601 – 医療機器の規格

IEC 61010 – 試験および測定機器

代替アイソレータのエージング・メカニズムは、絶縁材料によって異なります。磁気式アイソレータは、絶縁層としてスピノン・ポリイミドを使用します。メーカーは、熱力学モデルを使用して装置寿命を予測します。容量式アイソレータは、絶縁材料としてSiO₂を使用し、したがって寿命予測にはTDDB(経時破壊)モデルが使用されます。

表1は、様々な分離技術の連続動作電圧の決定に使用されるエージング・モデル/寿命予測方法と認定の一覧です。代替アイソレータが試験方法と異なる予測モデルを使用する点にご注意ください。

表1. 分離技術の構造、エージング・メカニズムおよび安全規格認定

分離技術	絶縁材料	最小DTI	エージング・メカニズム/ 寿命予測モデル	規格認定	試験方法
フォトカプラ	ポリイミドテープ +シリコン	0.08 mm ~ 1 mm	部分放電	IEC60747-5-5	部分放電
磁気式	スピノン・ポリイミド	0.017 mm	空間電荷劣化/熱力学	VDE0884-10 (ドラフト・バージョンのみ)	部分放電
容量式	SiO ₂	0.008 mm	TDDDB / Eモデル	EN60747-5-2 (フォトカプラ規格)	部分放電

部分放電、連続動作電圧および寿命予測

簡単な実験で部分放電性能と連続動作電圧の相関関係を確認することができます。沿面距離と空間距離が8mmのSOIC/パッケージ内にフォトカプラ、磁気式および容量式アイソレータを含む様々な技術によるサンプルを選択しました。許容固体絶縁が200Vrms/1mmなので、試験時間を加速するためにすべての装置に1.6 kVrmsの試験電圧試験を選択します。

寿命ストレス試験を始める前に、すべてのアイソレータに部分放電試験を行いました。(3kVrmsにおいてIEC/EN60747-5-5、VDE0884-10およびEN60747-5-2による1.6kVrmsの1.875倍)試験結果から、すべての素子が5pC未満の放電に合格したことが分かります。これは、絶縁性能が規格による1.6kVrmsに適合していることを示しています。

図3に寿命ストレス試験の構成を示します。フォトカプラ、磁気式アイソレータおよび容量式アイソレータを5個ずつ125°Cの空気循環炉に一緒に入れました。交流60Hzの1.6 kVrmsの試験電圧を連続的に印加し、漏れ電流を継続的に測定します。電流計が100 μAを超える漏れ電流を検出するとアラームが鳴ります。降伏シナリオが生じたとき試験を終了し、故障を確認するためにすべての被測定装置(DUT)の漏れ電流を測定します。

最終試験結果から、磁気式アイソレータと容量式アイソレータがそれぞれ12時間と21時間後に絶縁破壊することが分かりました。フォトカプラの試験を続け、最大4000時間故障せず、試験を終了しました。フォトカプラは、試験中と試験後の漏れ電流試験に合格しました。

表2は、部分放電の寿命試験結果を各メーカーによる予測寿命と共にまとめたものです。

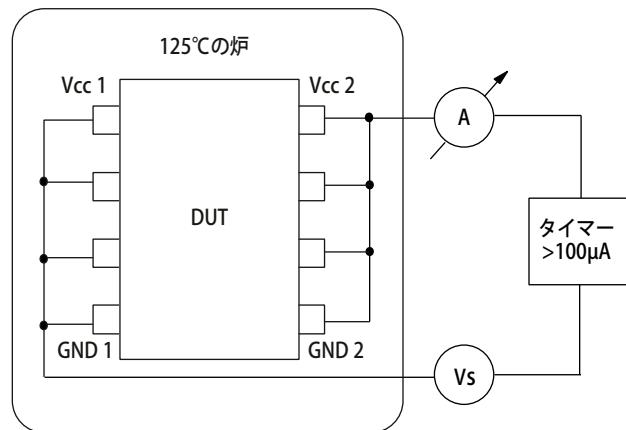


図3. 高電圧寿命試験の構成

表2. 部分放電と寿命ストレス試験の結果

分離技術	絶縁	DTI (mm)	部分放電 試験電圧	部分放電に基づく 動作電圧性能	エージング・ メカニズム/ 寿命予測モデル	寿命予測	Ta=125°C、1.6kVrms バイアスでの故障寿命
フォトカプラ	ポリイミドテープ +シリコン	0.4	3 kV	1.6 kVrms	部分放電	劣化なし	> 4000 hrs
磁気式	ポリイミド	0.017	3 kV	1.6 kVrms	空間電荷劣化 /熱力学	80時間	12時間
容量式	SiO ₂	0.008	3 kV	1.6 kVrms	TDDDB / Eモデル	2500時間	21時間

フォトカプラは、部分放電試験性能と実寿命ストレス性能がばらつきなく一致していることが実証されました。

磁気式アイソレータと容量式アイソレータの絶縁が両方とも、部分放電の予測とメーカーの予測よりはるかに短時間で破壊したことは驚きでした。類似の寿命試験を何度も繰り返し、結果は一貫しています。

安全連続動作電圧定格を実証する際、部分放電試験がフォトカプラの適切な試験方法であることが改めて確認できました。一方、代替アイソレータには部分放電試験は全く不適切な試験方法です。具体的には、この結果から、連続高電圧動作が過大評価され危険であることが分かります。代替アイソレータのメーカーは、異なる高電圧寿命モデリング技術によって部分放電試験を補足しなければなりません。そのようなモデリング技術は、加速条件で生成された形式検査データに基づきます。一方、この寿命予測方法は、以下のような理由である程度のリスクが伴います。

1. 安全用途には故障率を仮定するべきでない。
2. 加速条件と実際の使用条件には大きな違いがある。これがモデリング方法における大きな誤差となる可能性があります。
3. 製造バラツキの連続監視と、ピンホール、粒子、ボイドなどの製造欠陥をスクリーニングする全数試験がない。

まとめ

国際安全規格IEC 60747-5-5と欧州規格DIN/EN 60747-5-2(IEC 60747-5-5の初期バージョンをベース)は、この試験方法が、磁気式および容量式デジタル・アイソレータではなくフォトカプラだけに適用可能であることを規定しています。これらの規格は、分離構造、絶縁材料、エージング・メカニズムおよび欠陥スクリーニング試験を対象としています。数百万個のフォトカプラが数十年間にわたって現場で使用され、有効性は確認され実証されています。高電圧寿命試験の結果は、フォトカプラの部分放電試験予測と十分な相関があります。

モノリシックIC製造工程に基づく代替アイソレータ(たとえば、磁気式および容量式アイソレータ)は、一般に、薄い絶縁層を用いて構成されます。これらのアイソレータは、フォトカプラと比較すると、同じ動作電圧でかなり高い電界ストレスを受けます。その結果、代替アイソレータは、比較的低い連続動作電圧でもエージング・メカニズムを受けます。部分放電原理に基づく規格は、代替アイソレータの高信頼性の連続動作電圧定格を提供するには適していません。

いくつかのメーカーから提供された補足的な高電圧エージング・モデリング・データは、個々の安全規格に置き換わるものではありません。また、強化絶縁用途に適したレベルの評価を提供するものではありません。

試験結果から、代替アイソレータにフォトカプラの規格を使用するリスクは明らかです。市場で広く採用される前にこれらの技術とその限界を徹底的に研究すべきです。

代替アイソレータを安全用途で使用すると、機器ユーザに安全上のリスクを与え、最終機器の規定準拠と長期信頼性に関して慎重な検査と技量認定を必要とします。

製品、販売代理店、その他の情報は当社のウェブサイトをご覧下さい。 www.avagotech.co.jp

注:日本語データシート、アプリケーションノートは、版が古い場合がございます。最新の内容については、英語版をご参照ください。

Avago, Avago Technologies, Aのロゴ、および本紙記載の商標および登録商標は、米国をはじめとする各国におけるAvago Technologiesの所有に属します。
Copyright©2012 Avago Technologies. All rights reserved.
AV02-3446JP - June 27, 2012

