

Application Note

高電圧アプリケーションの安全性要件と絶縁の要求について理解する パート II: ISO デバイスを選択し、空間距離と沿面距離を明確化するための主検討な事項



Yang Wu, Severi Zhou

概要

{絶縁型部品は、危険な電圧からユーザーを保護するため、高電圧 (HV) アプリケーションで広く使用されています。ただし、通常は、絶縁電圧、動作電圧、空間距離、沿面距離、認証などの主な検討事項を理解し、最適な絶縁型デバイスを選定するという点について理解しておくことが重要です。このアプリケーションノートシリーズは、エンジニアが高電圧アプリケーションにおける安全要件と絶縁ニーズを理解し、対応する安全規格を満たすシステム全体の絶縁を設計する方法、そして最終的に適切な絶縁デバイスを選択するのに役立ちます。このシリーズは 3 つの部分で構成されています。パート II では、最適な ISO デバイスを選択するための主な検討事項と、ISO デバイスに必要な空間距離と沿面距離に関する深い理解に焦点を当てています。その他の内容については、パート I: [さまざまな安全規格を区別し、安全要求事項の基本原則を理解する](#)とパート III [ソーラーおよび ESS システムの安全規制設計例](#)を参照してください。}

目次

1 はじめに.....	2
2 ISO デバイスを選択するための主な考慮事項.....	2
3 絶縁影響係数.....	7
4 空間距離と沿面距離を決定する.....	13
5 沿面距離要件を変更する方法.....	19
6 まとめ.....	20
7 参考資料.....	21

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 はじめに

絶縁デバイスの主な仕様とアプリケーションの安全性に関するレギュレーション要件を理解することは、エンジニアが最適な絶縁デバイスを選定しなくなる際に非常に重要です。このアプリケーションノートでは、ISO デバイスの主な仕様と、ISO デバイスを選択するための主なシステムレベル情報を解釈し、IEC 62477-1:2022 に基づいて空間距離と沿面距離を明確化します。

Isolation と Insulation は多くの場合、同じ意味 (絶縁) で使用され、Isolation は 2 つのシステム間の分離または電圧レベルを意味し、Insulation は分離に使用されている実際の媒体を意味します。このアプリケーションノートシリーズでは、同じ意味を持っていると考えています。

2 ISO デバイスを選択するための主な考慮事項

1. いくつかの例と紛らわしい質問から始めます

図 2-1 に、強化絶縁、基本絶縁、機能絶縁、さまざまなパッケージの沿面距離と空間距離の値に関する TI の例を示します。

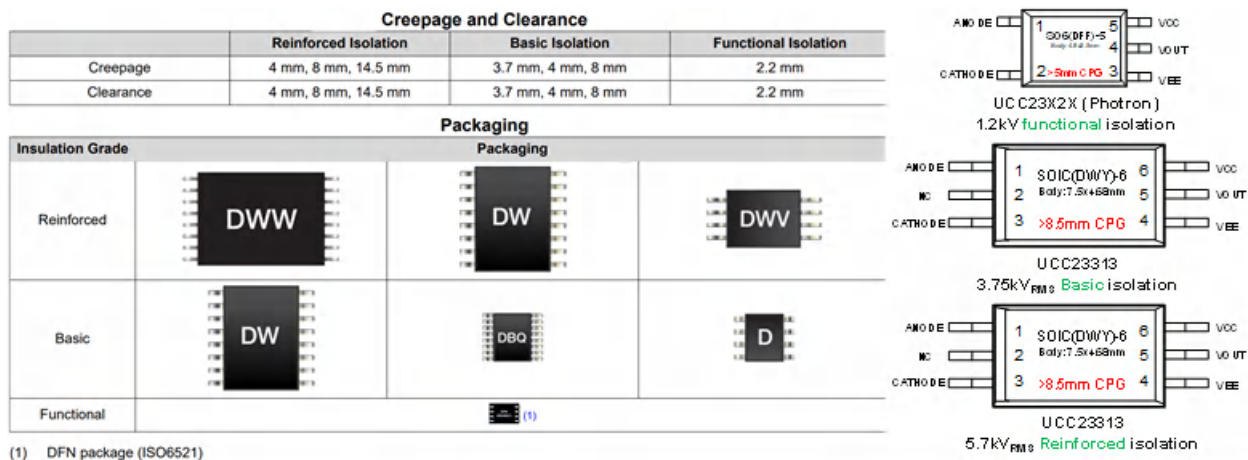


図 2-1. 沿面距離、空間距離、パッケージに関する TI の例

エンジニアは混乱することが多々あり、次のような典型的な疑問が生じます。

- デバイスが機能絶縁、基本絶縁、強化絶縁のどれを採用しているかは、どのような要因によって決まりますか？
- 同じ絶縁グレードのデバイスで、空間距離や沿面距離の仕様が異なるために、パッケージが異なるのはなぜですか？
- お客様の安全保護アプリケーションに適したアイソレータを選定するにはどうすればよいでしょうか？絶縁電圧、動作電圧、認証、関連規格について参照するべきでしょうか？最も重要な考慮事項は何ですか？

1. 主な絶縁仕様

図 2-2 に ISO デバイスの主な絶縁仕様の例を、表 2-1 にその解釈を示します。

UCC23513

SLUSD31E – OCTOBER 2018 – REVISED AUGUST 2020

6.6 Insulation Specifications Coordination/support safety standard

PARAMETER		TEST CONDITIONS	SPECIFICATION	UNIT
CLR	External clearance ⁽¹⁾	Shortest terminal-to-terminal distance through air	>8.5	mm
CPG	External Creepage ⁽¹⁾	Shortest terminal-to-terminal distance across the package surface	>8.5	mm
DTI	Distance through the insulation	Minimum internal gap (internal clearance)	>17	μm
CTI	Comparative tracking index	DIN EN 60112 (VDE 0303-11); IEC 60112	>600	V
	Material Group	According to IEC 60664-1	I	
	Overvoltage category per IEC 60664-1	Rated mains voltage ≤ 600 V _{RMS}	I-IV	
		Rated mains voltage ≤ 1000 V _{RMS}	I-III	

DIN V VDE 0884-11 (VDE V 0884-11)⁽²⁾

V _{IORM}	Maximum repetitive peak isolation voltage	AC voltage (bipolar)	1500	V _{PK}
V _{IOWM}	Maximum isolation working voltage	AC voltage (sine wave); time-dependent dielectric breakdown (TDDb) test; see Figure 1	1060	V _{RMS}
		DC voltage	1500	V _{DC}
V _{IOTM}	Maximum transient isolation voltage	V _{TEST} = V _{IOTM} , t = 60 sec (qualification) V _{TEST} = 1.2 × V _{IOTM} , t = 1 s (100% production)	8000	V _{PK}
V _{IOSM}	Maximum surge isolation voltage ⁽³⁾	Test method per IEC 62368, 1.2/50 ms waveform, V _{TEST} = 1.6 × V _{IOSM} = 12800 V _{PK} (qualification)	8000	V _{PK}
Q _{pd}	Component safety standard Apparent charge ⁽⁴⁾	Method a: After I/O safety test subgroup 2/3, V _{ini} = V _{IOTM} , t _{ini} = 60 s; V _{pd(m)} = 1.2 × V _{IORM} = 1800 V _{PK} , t _m = 10 s	≤5	pC
		Method a: After environmental tests subgroup 1, V _{ini} = V _{IOTM} , t _{ini} = 60 s; V _{pd(m)} = 1.6 × V _{IORM} = 2400 V _{PK} , t _m = 10 s	≤5	
		Method b1: At routine test (100% production) and preconditioning (type test), V _{ini} = V _{IOTM} , t _{ini} = 1 s; V _{pd(m)} = 1.875 × V _{IORM} = 2813 V _{PK} , t _m = 1 s	≤5	
C _{IO}	Barrier capacitance, input to output ⁽⁵⁾	V _{IO} = 0.4 × sin(2πft), f = 1 MHz	0.5	pF
R _{IO}	Insulation resistance, input to output ⁽⁵⁾	V _{IO} = 500 V, T _A = 25°C	>10 ¹²	Ω
		V _{IO} = 500 V, 100°C ≤ T _A ≤ 125°C	>10 ¹¹	
		V _{IO} = 500 V at T _S = 150°C	>10 ⁹	
	Pollution degree		2	
	Climatic category		40/125/21	

UL 1577

V _{ISO}	Withstand isolation voltage	V _{TEST} = V _{ISO} = 5700 V _{RMS} , t = 60 s (qualification), V _{TEST} = 1.2 × V _{ISO} = 6840 V _{RMS} , t = 1 s (100% production)	5700	V _{RMS}
------------------	-----------------------------	--	------	------------------

図 2-2. ISO デバイスの主な絶縁仕様の例

表 2-1. ISO デバイスの主な絶縁仕様の解釈

パラメータ	定義	解釈	お客様の主な懸念事項
調整 / サポート安全基準			
CLR	空間距離	空気を通して測定された 2 つの導電性物質 (ピン) 間の最短距離	デバイスの CLR が、お客様のシステムの安全要件を満たしているかどうか
CPG	沿面距離	絶縁表面に沿って測定した 2 つの導電性物質 (ピン) 間の最短距離	デバイスの CPG が、お客様のシステムの安全要件を満たしているかどうか
CTI	比較トラッキング指数	材料自体にのみ関連する、絶縁表面上の電荷移動の難易度を説明するパラメータ。値が大きいほど、材料表面が漏れにくいことを示します。	CTI 定格が高い (電圧が高い) ほど、沿面距離要件は低くなります
OVC	過電圧カテゴリ	主電源の電気機器の動作環境は、サージ保護レベルに応じて 4 つの過電圧カテゴリに分類されます	デバイスの OVC が、お客様のシステムの安全要件を満たしているかどうか
部品の安全性に関する規格			
V_{IORM}	最大反復ピーク絶縁電圧 (V_{PK})	絶縁デバイスがその寿命中に耐える必要がある最大反復電圧 (ピーク)	通常動作時に、絶縁デバイスが満たす必要のあるパラメータ
V_{IOWM}	最大絶縁動作電圧 (V_{RMS} または V_{DC})	絶縁デバイスがその寿命中に耐える必要がある最大連続動作電圧 (rms または DC)	
V_{IOTM}	最大過渡絶縁電圧 (V_{PK})	絶縁デバイスがその寿命中に耐える必要がある最大過渡電圧 (通常は非反復)	一般的に、実際に必要な過渡絶縁電圧、動作パス電圧、および対応する OVC の要件に関連しています
V_{IOSM}	最大サージ絶縁電圧 (V_{PK})	絶縁デバイスが耐えることのできる最大ピーク電圧は、1.2us/50us の標準サージ波形に基づくものです	雷サージ電圧耐性の特性を示します

2. 空間距離と沿面距離を区別する

図 2-3 に空間距離と沿面距離の違いを示します。空間距離については、2 つの導電性物質 (ピン) 間の最短距離が空気中で測定されていることが理解しやすいです。ただし、沿面距離の場合、絶縁表面に沿って 2 つの導電性物質 (ピン) 間の最短距離を測定することに注意してください。絶縁表面は、チップの上面、側面、または下部表面です。

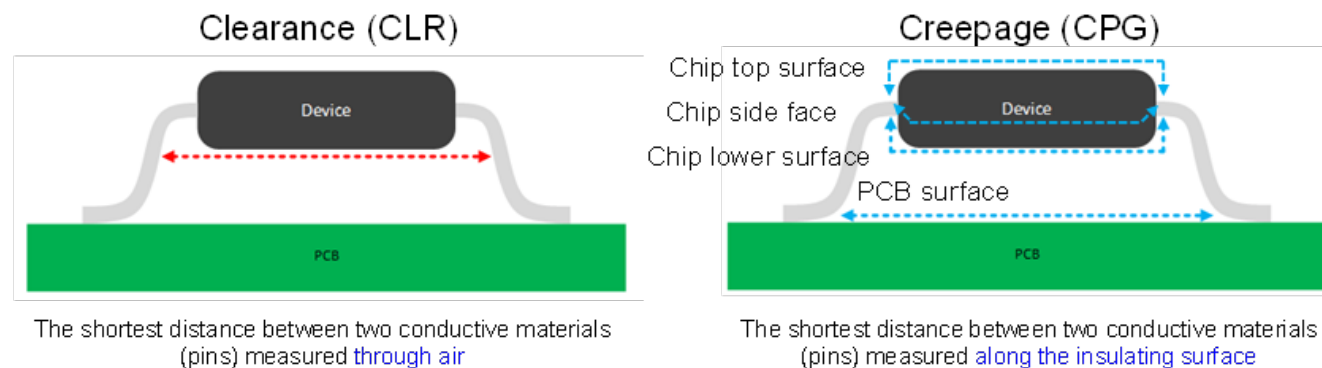


図 2-3. 空間距離と沿面距離の違い

3. 部品レベルとシステムレベルの絶縁要件を区別

セクション 2.1 で説明した質問に戻ります。強化絶縁デバイスは顧客製品を強化することもできますか？答えは必ずしも「いいえ」ではありません。エンジニアは、常に部品レベルとシステムレベルの絶縁要件を区別する必要があります。

- デバイスが機能絶縁、基本絶縁、強化絶縁のどれを採用しているかは、どのような要因によって決まりますか？
 - 絶縁グレードは、絶縁材料、絶縁層、およびチップのその他の特性に関連しています。設計によって、デバイスが機能絶縁、基本絶縁、強化絶縁のいずれかに分類されています。これらの分類によれば、デバイスが耐えることのできる最大絶縁電圧はさらに定義されています。
 - 基本絶縁規格または強化絶縁規格に適合するためには、デバイスがそれぞれの絶縁要件を満たす電圧範囲を示す特定の電圧制限が設けられています。
- 同じ絶縁グレードのデバイスで、空間距離や沿面距離の仕様が異なるために、パッケージが異なるのはなぜですか？
 - 前述のように、絶縁グレードはチップの絶縁材および層によって決定され、実際に実現可能な電氣的空間距離および沿面距離とは無関係です。
- お客様の安全保護アプリケーションで優先度の高いアイソレータを選定する方法は？絶縁電圧、動作電圧、認証、関連規格について参照するべきでしょうか？最も重要な考慮事項は何ですか？
 - 最も重要なことは、システムレベルの安全性仕様と、絶縁型デバイス (部品) の固有の絶縁グレードの定義を混同しないでください。強化絶縁があるデバイスでも、最終アプリケーションシステムが強化絶縁要件を直接満たすことができるとは限りません。
 - 空間距離や沿面距離など、アイソレータの主なパラメータが、開発中アプリケーションシステムの安全性要件を満たすかどうか注目しています。この適合規格は、動作電圧、過電圧カテゴリ、比較トラッキング指数、汚染度、高度、その他の実用的な要因によって異なります。
 - 基本絶縁や機能絶縁をシステムレベルで実現するために、お客様が強化絶縁デバイスを採用することは、特に高電圧アプリケーションでは非常に一般的です。

図 2-4 に、ISO-CAN 設計用の 1500V ソーラーまたは ESS の例を示します。ISO1050 と ISO1042 はどちらも強化絶縁 ISO-CAN トランシーバです。ただし、ISO1050 の最大絶縁動作電圧は 1200V であり、1500V システムの絶縁要件を満たすことはできません。

ISO1050DW Reinforced

TEXAS INSTRUMENTS

www.ti.com

ISO1042DW Reinforced

TEXAS INSTRUMENTS

www.ti.com

ISO1050
SLLS993L – JUNE 2009 – REVISED OCTOBER 2023

ISO1042
SLLS993L – JUNE 2009 – REVISED OCTOBER 2023

6.6 Insulation Specifications

PARAMETER	TEST CONDITIONS	SPECIFICATIONS		UNIT
		DUB-S	DW-16	
IEC 60664-1				
CLR	Side 1 to side 2 distance through air	>6.1	>8	mm
CPG	Side 1 to side 2 distance across package surface	>6.8	>8	mm
DTI	Distance through the insulation	>13.5	>13.5	µm
CTI	Comparative tracking index	>600	>600	V
Material Group	According to IEC 60664-1	I	I	
Overvoltage category	Rated mains voltage ≤ 150 VRMS	I-IV	I-IV	
	Rated mains voltage ≤ 300 VRMS	I-III	I-III	
	Rated mains voltage ≤ 600 VRMS	n/a	I-II	
	Rated mains voltage ≤ 848 VRMS	n/a	I	
DIN V VDE V 0884-11:2017-01				
VORM	Maximum repetitive peak isolation voltage	560	1200	VPK
VOWM	Maximum isolation working voltage	395	848	VRMS
VOTM	Maximum transient isolation voltage	560	1200	VOC
VOSM	Maximum surge isolation voltage	4000	4000	VPK

6.7 Insulation Specifications

PARAMETER	TEST CONDITIONS	SPECIFICATIONS		UNIT
		DW-16	DWV-8	
IEC 60664-1				
CLR	Side 1 to side 2 distance through air	>8	>8.5	mm
CPG	Side 1 to side 2 distance across package surface	>8	>8.5	mm
DTI	Distance through the insulation	>17	>17	µm
CTI	Comparative tracking index	>600	>600	V
Material Group	According to IEC 60664-1	I	I	
Overvoltage category	Rated mains voltage ≤ 150 VRMS	I-IV	I-IV	
	Rated mains voltage ≤ 300 VRMS	I-III	I-III	
	Rated mains voltage ≤ 1000 VRMS	I-III	I-III	
DIN VDE V 0884-11:2017-01				
VORM	Maximum repetitive peak isolation voltage	1500	1500	VPK
VOWM	Maximum isolation working voltage	1060	1060	VRMS
VOTM	Maximum transient isolation voltage	1500	1500	VOC
VOSM	Maximum surge isolation voltage	6250	6250	VPK
VOSM	Maximum surge isolation voltage	4615	4615	VPK

MCU

→

ISO1050

✗

MCU

→

ISO78xx + Non-iso CAN

✓

MCU

→

ISO1042

✓

図 2-4. ISO-CAN 用の 1500V ソーラーまたは ESS の例

4. 適切な ISO デバイスを選択するための必須の質問

表 2-2 に、ISO デバイスを選択するための必須の質問を記載します。空間距離と沿面距離を決定するために、セクション 3 で詳細に説明します。

表 2-2. 推奨される ISO デバイスを選択するための必須の質問

質問	コメント
1. システム電圧 (AC または DC) とは何ですか？	CLR を決定するために使用します。
2. OVC とは何ですか？	
3. 何らかの方法 (SPD など) でインパルス耐性電圧を下げることはできますか？	
4. 汚染度とは何ですか？	
5. EE がサポートできる最大動作高度はどれくらいですか？	
6. 動作電圧 (AC または DC) とは何ですか？	CPG を決定するために使用します。
7. 汚染度とは何ですか、また汚染度を減らすためにポッティングは有効ですか？	
8. CTI とは何ですか？	

3 絶縁影響係数

このセクションでは、IEC 62477-1:2022 に基づく絶縁の影響を及ぼす要因について説明します。

IEC 62477-1:2022 は、パワーエレクトロニックコンバータシステム (PECS)、特定のアクセサリ、および電力変換および電子電源スイッチング用のそれらの部品に適用されます。これには、電力を変換する主な目的で、1000VAC または 1500VDC を超えない定格システム電圧で電力を変換するための制御、保護、監視、測定の手段が含まれます。

新エネルギーの分野では、IEC 62477 は、パワーエレクトロニックコンバータシステムにおいて、ソーラー、風力、潮汐などの発電用途に適しています。太陽光発電、蓄電システム、充電パイルなどの製品の特定の規格は、この規格を大幅に参照しています。

2022 年に、IEC 62477-1: 2022 を以前のバージョンの IEC 62477-1: 2012 (およびその改訂版 IEC 62477-1: 2016) を置き換える目的で公開しました。絶縁と TI の ISO 製品に関する最も重要な更新は、インパルス耐性電圧および一時的過電圧とシステム電圧との関係です。1500VDC のシステム電圧の場合、IEC 62477-1 ではインパルス耐性電圧は次のようになります。2022 年は、IEC 62477-1:2012 のそれよりも 1 段階上のレベルです。IEC 62477-1 のインパルス耐性電圧:2022 と IEC 60664-1:2020 は一致しています。

IEC 62477-1: 2022 を参照すると、影響を及ぼす要因が多数存在しており、空間距離と沿面距離の決定に関する複雑なガイドラインも提示しています。すべての要因について説明するわけではありません。以下のような、一般的な高電圧アプリケーションに最も関連のあるもののみに注目してください。

- ・ システム電圧と動作電圧
- ・ 過電圧カテゴリ (OVC)
- ・ インパルス耐性電圧と一時的な過電圧
- ・ 絶縁材料グループ
- ・ 汚染度
- ・ 高度

1. システム電圧と動作電圧

システム電圧は、絶縁レベルと空間距離を決定するために使用される、システム全体の定格電圧で、動作条件に関係なく固定と変化しないものです。たとえば、690VAC と 1500VDC のシステム電圧を持つ ESS です。

動作電圧は、通常およびワーストケースの動作条件においてローカル回路の 2 つの点の間で発生する最大実際の電圧 (DC 平均電圧、AC RMS、および繰り返しピーク電圧) で、沿面距離を決定し、動作ステータスに応じて変化します。たとえば、DC リンクコンデンサの両端の電圧、IGBT 両端の電圧です。

代表的なシステム電圧と動作電圧は同じですが、例外もあります。たとえば、ソーラーインバータのシステム電圧は 1500V (MPPT の最大入力電圧) ですが、図 3-1 に示すように、動作電圧は最大 1600V (昇圧回路の後、DC リンクコンデンサの両端の電圧) にすることができます。

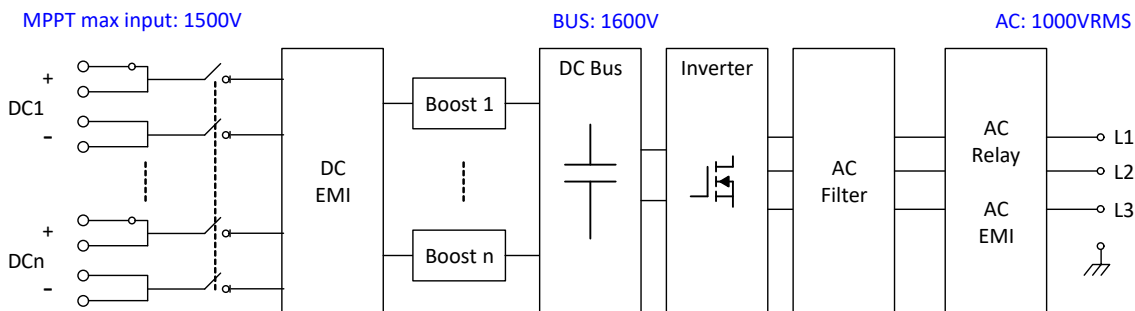


図 3-1. システム電圧と動作電圧についてのソーラーインバータの例

2. 過電圧カテゴリ (OVC)

主電源電気機器の動作環境は、サージ保護のレベルに応じて 4 つの過電圧カテゴリ (OVC) 領域に分けられます。

図 3-2 に、OVC IV から OVC I の環境の図を示します。

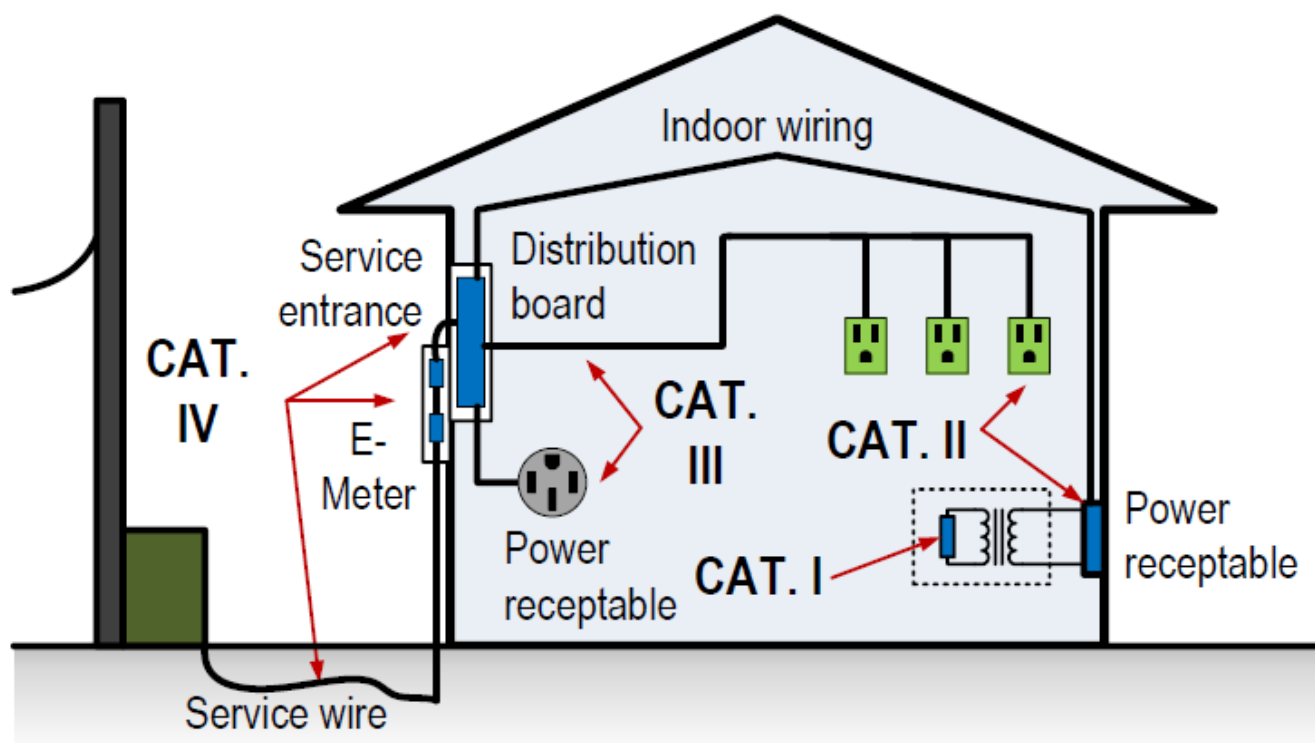


図 3-2. OVC IV から OVC I の環境の図

住宅、商業、工場の各環境で、デバイスがコンセントから電力を引き出す場合、商用電源は一般に比較的安定しており、端末機器に損傷を与える可能性のある過剰な電圧過渡は発生しません。ただし、配電配線に沿って上流を配電基板に移動したり、メイン AC インレットを構築したりすると、過電圧サージのリスクが大幅に増加します。そのような危険は主に、落雷や公共の電力網での突然の負荷の減少などの外部の障害から生じます。

ソーラーインバータや ESS など特定のアプリケーションは、集中型配電ボードに直接ハードワイヤ接続されています。これらのコンバータは、従来のプラグイン式電源アダプタに比べて、振幅が大きくエネルギー強度も高い過渡現象にさらされるため、より高度な過電圧保護機能が必要となります。

表 3-1 に、IEC 60664-1:2020 に基づく OVC を示します。通常、ほとんどの顧客アプリケーションでは、AC は OVC III を必要とし、DC は OVC II を必要とします。

場合によっては、絶縁設計は対応する OVC レベルの下で必要なインパルス耐性電圧を満たすことが困難であり、顧客がセクション 4.4 で説明するサージ保護装置 (SPD) による OVC 低減など、いくつかの方法でインパルス耐性電圧を低下させることができることに注意してください。

表 3-1. IEC 60664-1:2020 による OVC

過電圧カテゴリ	関連機器
OVC I	過渡過電圧を適切な低レベルに制限するための対策が講じられた回路に接続するための機器。
OVC II	固定設備から供給されるエネルギー消費の大きい機器そのような機器の例としては、家電製品、携帯工具、その他の同様の家庭用負荷があります。
OVC III	固定設備における機器、および機器の信頼性と可用性が特別な要件の対象となる場合。そのような機器の例としては、固定設備のスイッチと固定設備に恒久的に接続された産業用機器があります。
OVC IV	設備元に接続された機器。このような機器の例として、電気メーターや主要な過電流保護機器があります。

3. インパルス耐性電圧および一時的過電圧の判定

図 3-3 に、使用する回路のシステム電圧および過電圧カテゴリを使用してインパルス耐性電圧を決定する手順を示します。システム電圧は、主電源の一時的な過電圧を判定するためにも使用されます。

赤い線で強調表示されているように、主電源のインパルス耐性電圧を決定する際、システム電圧を補間することは許可されません。主電源の一時的な過電圧を決定する場合は、システム電圧の補間が可能です。たとえば、住宅用インバータの実際のシステム電圧は通常 1100VDC です。インパルス耐性電圧を判定するには、表に記載されている 1250VDC のシステム電圧を参照する必要があります。900VDC と 1250VDC の間で補間して、補間インパルス耐性電圧を得ることはできません。

Table 7 – Impulse withstand voltage and temporary overvoltage versus system voltage

Column 1		2	3	4	5	6
System voltage ^a Step 1 V (see 4.4.7.1.7) Up to and including		Impulse withstand voltage Step 2 V Overtoltage category (OVC)				Temporary overvoltage ^b V Step 3
AC	DC	I	II	III	IV	RMS/peak
50	75	330	500	800	1 500	1 250/1 770
100	150	500	800	1 500	2 500	1 300/1 840
150	225	800	1 500	2 500	4 000	1 350/1 910
300	450	1 500	2 500	4 000	6 000	1 500/2 120
600	900	2 500	4 000	6 000	8 000	1 800/2 550
1 000	1 250	4 000	6 000	8 000	12 000	2 200/3 110
--	1 500 ^c	6 000	8 000	10 000	15 000	2 200/3 110

^a Interpolation of system voltage is not permitted when determining the impulse withstand voltage for mains supply. Interpolation of system voltage is permitted when determining the temporary overvoltage for mains supply.

^b The RMS values are derived using the formula $1\,200\text{ V} + U_0$ (where U_0 is the system voltage, see 4.4.7.1.7) from IEC 60664-1:2020.

^c For DC values only.

図 3-3. インパルス耐性電圧と一時的過電圧を決定する手順

図 3-4 に、ISO64xx 過電圧カテゴリの例を示します。すべてのテスト条件がデータシートに記載されているわけではありません。設計者は、定格商用電源電圧 $\leq 600\text{VRMS}$ および $\leq 1000\text{VRMS}$ のテスト条件での 8000V インパルス耐性電圧など、最大値にしか注意できません。データシートには、 $\leq 1500\text{VDC}$ の商用電源電圧のテスト条件が記載

されていませんが、最大絶縁動作電圧は 1500VDC で、OVC II の 8000V インパルス耐性電圧に整合できます。最後に、インパルス耐性電圧によって、絶縁レベルと空間距離が決まります。

Column 1		2	3	4	5	6
System voltage ^a V (see 4.4.7.1.7) Up to and including		Impulse withstand voltage V				Temporary overvoltage ^b V
		Overvoltage category (OVC)				
		I	II	III	IV	
AC	DC					RMS/peak
50	75	330	500	800	1 500	1 250/1 770
100	150	500	800	1 500	2 500	1 300/1 840
150	225	800	1 500	2 500	4 000	1 350/1 910
300	450	1 500	2 500	4 000	6 000	1 500/2 120
600	900	2 500	4 000	6 000	8 000	1 800/2 550
1 000	1 250	4 000	6 000	8 000	12 000	2 200/3 110
--	1 500 ^c	6 000	8 000	10 000	15 000	2 200/3 110

PARAMETER		TEST CONDITIONS		PACKAGE	UNIT
				16-DW	
IEC 60664-1					
CLR	External clearance ⁽¹⁾	Side 1 to side 2 distance through air		>8.15	mm
CPG	External creepage ⁽¹⁾	Side 1 to side 2 distance across package surface		>8.15	mm
DTI	Distance through the insulation	Minimum internal gap (internal clearance)		>17	µm
CTI	Comparative tracking index	IEC 60112		>600	V
	Material Group	According to IEC 60664-1		I	
	ISO64xx Overvoltage category	Rated mains voltage ≤ 150V _{RMS}		I-IV	
		Rated mains voltage ≤ 300V _{RMS}		I-IV	
		Rated mains voltage ≤ 600V _{RMS}		I-IV	
		Rated mains voltage ≤ 1000V _{RMS}		I-III	
DIN EN IEC 60747-17 (VDE 0884-17) ⁽²⁾					
V _{IORM}	Maximum repetitive peak isolation voltage	AC voltage (bipolar)		1500	V _{PK}
V _{IOWM}	Maximum isolation working voltage	AC voltage (sine wave); time-dependent dielectric breakdown (TDDb) test.		1061	V _{RMS}
		DC voltage		1500	V _{DC}

図 3-4. ISO64xx 過電圧カテゴリの例

4. 絶縁材料グループ

絶縁物質は、IEC 60112:2020 (第 11 項) に従ってテストされた場合、その比較トラッキング指数 (CTI) に対応する 4 つのグループに分類されます。

- 絶縁材料グループ I: CTI ≥ 600
- 材料グループ II: 600 ≤ CTI ≤ 400
- 材料グループ IIIa: 400 ≤ CTI ≤ 175
- 材料グループ IIIb: 175 ≤ CTI ≤ 100

CTI は、絶縁材料の電氣的トラッキングブレイクダウン性能を測定するために使用される指標です。絶縁材料の表面で電気トラッキングを行います。誘電損失により、誘電体は熱と温度が上昇し、誘電体は分解して炭化します。最終的に、炭化したトラックは電極まで伸び、短絡につながります。

材料の CTI 値は絶縁性能と正の相関があります。CTI 値が大きいほど、必要な沿面距離が小さくなり、2 つの導体間の間隔を短くできます。

通常、ほとんどの HV アプリケーションでは、絶縁デバイスまたは部品として、CTI-I が必要です。ただし、FR4 PCB (CTI IIIa) が最も使用されます。したがって、絶縁型デバイスと PCB の沿面距離要件は異なる場合があります。

5. 汚染度

主電源電気機器の動作環境は、サージ保護のレベルに応じて 4 つの過電圧カテゴリ (OVC) 領域に分けられます。図 3-2 に、OVC IV to OVC I 環境の図を示します。

絶縁は、パワーエレクトロニクスコンバータシステムの予想されるライフサイクル中に発生する汚染の影響を受けます。絶縁のマイクロ環境条件は、図 3-5 に従って適用する必要があります。

汚染度は、製品が指定されている環境条件に応じて決定します。

通常、ほとんどの顧客アプリケーションでは、汚染度 2 が必要です。汚染度が低いほど (たとえば、絶縁性能を低下させる可能性のある不純物が少ない環境をきれいにする)、絶縁要件は低くなります。

Table 6 – Definitions of pollution degrees

Pollution degree	Description
1	No pollution or only dry, non-conductive pollution occurs. The pollution has no influence.
2	Normally, only non-conductive pollution occurs. Occasionally, however, a temporary conductivity caused by condensation is to be expected.
3	Conductive pollution or dry non-conductive pollution occurs which becomes conductive due to condensation which is to be expected.
4	The pollution generates persistent conductivity caused, for example by conductive dust or rain or snow.
NOTE These definitions are from IEC 60664-1:2020.	

図 3-5. 汚染度の定義

6. 高度

空間距離は高度に関連しています。高度 2000m ~ 20000m で使用する機能絶縁、基本絶縁、または付加絶縁、強化絶縁の空間距離は、図 3-5 に示すように、IEC 60664-1:2020 による補正係数を使用して計算するものとします。

以前は、ソーラーインバータや ESS 電源ステーションは一般的に最大 4000m の高度に対応していました。ただし、今後は、標高 5000m の高原 (高原) 地域に導入するソーラーインバータと ESS の発電所が、ますます導入される見込みです。従来の製品は、絶縁設計の制限により、高度 5000m でのフルパワー動作をサポートできませんでした。5000m 高度でのフルパワー動作をサポートする場合、クリアランス要件はより高くなります (補正係数は 1.29 から 1.48 に変更されます)。

Table E.1 – Correction factor for *clearances* at altitudes between 2 000 m and 20 000 m

Altitude m	Normal barometric pressure kPa	Multiplication factor for <i>clearances</i>
2 000	80,0	1,00
3 000	70,0	1,14
4 000	62,0	1,29
5 000	54,0	1,48
6 000	47,0	1,70
7 000	41,0	1,95
8 000	35,5	2,25
9 000	30,5	2,62
10 000	26,5	3,02
15 000	12,0	6,67
20 000	5,5	14,50
Source: IEC 60664-1:2020, Table A.2.		
Linear interpolation is permitted. See IEC 60664-1:2020, 5.2.3.4.		

図 3-6. クリアランスの高度補正

4 空間距離と沿面距離を決定する

このセクションでは、IEC 62477-1:2022 に基づく空間距離と沿面距離を明確にします。

1. 空間距離

空間距離は、図 4-1 から直接、機能絶縁、基本絶縁、補助絶縁について決定されます。

強化絶縁のインパルス耐性電圧は、基本絶縁のインパルス耐性より 1 段階高い値です。たとえば、基本絶縁のインパルス耐電圧が 6000V である場合、強化絶縁のために 8000V であるべきです。

海拔 2000m までの大気中の最小空間距離を示していることに注意します。海拔 2000m を超えるアプリケーションでは、セクション 3.6 で説明する高度補正係数を考慮する必要があります。

Table 8 – Clearances for functional insulation, basic insulation or supplementary insulation for inhomogeneous fields

Column 1	2	3	4	5	6	7
<i>Impulse withstand voltage^d</i> (from Table 7)	<i>Temporary overvoltage^{f,g}</i> (peak) (from Table 7)	<i>Working voltage^f</i> (recurring peak) ^a	Minimum clearances in air up to 2 000 m above sea level			
V	V	V	mm			
			<i>Pollution degree</i>			
			1	2	3	4
330	330	260	0,01	0,2 ^{b, c}	0,8 ^c	1,6 ^c
500	500	400	0,04			
800	710	560	0,10			
1 500	1 270	1 010	0,5	0,5		
2 500	2 220	2 000	1,5	1,5	1,5	
4 000	3 430 ^e	3 090 ^e	3,0	3,0	3,0	3,0
6 000	4 890 ^e	4 410 ^e	5,5	5,5	5,5	5,5
8 000	6 060 ^e	5 460 ^e	8,0	8,0	8,0	8,0
12 000	9 500 ^e	8 550 ^e	14	14	14	14
15 000	11 780 ^e	10 600 ^e	18	18	18	18

図 4-1. 空間距離決定表

2. 沿面距離

機能絶縁、基本絶縁、付加絶縁の沿面距離は、図 4-2 に従って寸法する必要があります。

強化絶縁の沿面距離は、基本絶縁に必要な距離の 2 倍とします。たとえば、基本絶縁の沿面距離が 8mm であれば、強化絶縁の場合は 16mm にする必要があります。

いずれの場合も、関連する沿面距離を、必要な空間距離 (つまり、常に CPG は、 $\geq$ CLR) より小さくすることはできないことに注意してください。

動作電圧の補間が許容されることに注意してください。たとえば、ここには 1500V は示されていませんが、1250V と 1600V の間の補間を使用して沿面距離を決定できます (6.3mm と 8mm の間の補間、汚染度 2、CTI II)。

Table 9 – Creepage distances											
Column 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Working voltage (AC RMS or DC mean) *	PWBS ^a		Other insulators								
	Pollution degree		Pollution degree								
	1	2	1	2				3			
	All material groups	All material groups except IIb	All material groups	Insulating material group				Insulating material group			
				I	II	IIIa	IIIb	I	II	IIIa	IIIb
V	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
≤ 2	0,025	0,04	0,056	0,35	0,35	0,35	0,87	0,87	0,87		
5	0,025	0,04	0,065	0,37	0,37	0,37	0,92	0,92	0,92		
10	0,025	0,04	0,08	0,40	0,40	0,40	1,0	1,0	1,0		
25	0,025	0,04	0,125	0,50	0,50	0,50	1,25	1,25	1,25		
32	0,025	0,04	0,14	0,53	0,53	0,53	1,3	1,3	1,3		
40	0,025	0,04	0,16	0,56	0,80	1,1	1,4	1,6	1,8		
50	0,025	0,04	0,18	0,60	0,85	1,20	1,5	1,7	1,9		
63	0,04	0,063	0,20	0,63	0,90	1,25	1,6	1,8	2,0		
80	0,063	0,10	0,22	0,67	0,95	1,3	1,7	1,9	2,1		
100	0,10	0,16	0,25	0,71	1,0	1,4	1,8	2,0	2,2		
125	0,16	0,25	0,28	0,75	1,05	1,5	1,9	2,1	2,4		
160	0,25	0,40	0,32	0,80	1,1	1,6	2,0	2,2	2,5		
200	0,40	0,63	0,42	1,0	1,4	2,0	2,5	2,8	3,2		
250	0,56	1,0	0,56	1,25	1,8	2,5	3,2	3,6	4,0		
320	0,75	1,6	0,75	1,6	2,2	3,2	4,0	4,5	5,0		
400	1,0	2,0	1,0	2,0	2,8	4,0	5,0	5,6	6,3		
500	1,3	2,5	1,3	2,5	3,6	5,0	6,3	7,1	8,0		
630	1,8	3,2	1,8	3,2	4,5	6,3	8,0	9,0	10,0		
800	2,4	4,0	2,4	4,0	5,6	8,0	10,0	11	12,5	b	
1 000	3,2	5,0	3,2	5,0	7,1	10,0	12,5	14	16		
1 250	4,2	6,3	4,2	6,3	9	12,5	16	18	20		
1 600	c	c	5,6	8,0	11	16	20	22	25		
2 000			7,5	10,0	14	20	25	28	32		
2 500			10,0	12,5	18	25	32	36	40		
3 200			12,5	16	22	32	40	45	50		
4 000			16	20	28	40	50	56	63		
5 000			20	25	36	50	63	71	80		
6 300			25	32	45	63	80	90	100		
8 000			32	40	56	81	100	110	125		
10 000 ^d			40	50	71	100	125	140	160		

Interpolation is permitted.

図 4-2. 沿面距離決定表

3. CLR と CPG を決定する概略フローチャート

IEC 62477-1: 2022 を参照すると、空間距離と沿面距離を決定するためのガイドラインは、すべてのシナリオを考慮する必要があるため、非常に複雑です。図 4-3 および図 4-4 に示すように、ソーラーインバータや ESS のような大半の高電圧アプリケーションでは、これらを簡素化できます。

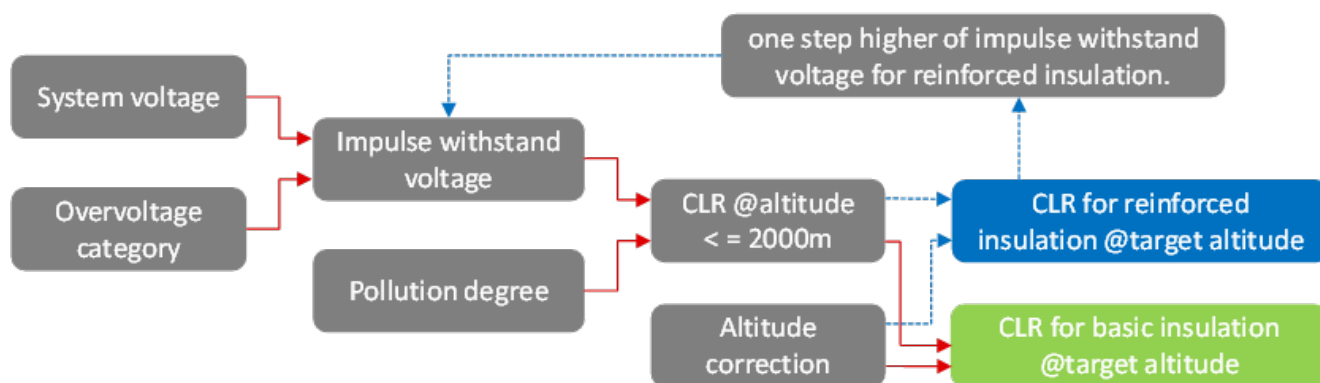


図 4-3. CLR を決定する概略フローチャート

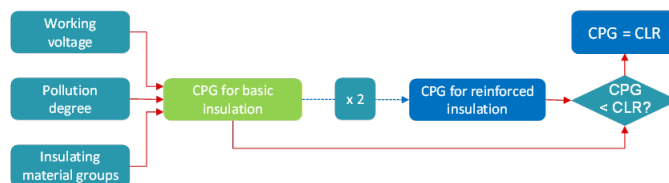


図 4-4. CPG を決定する概略フローチャート

4. CLR と CPG の決定例

図 4-5 に、1500VDC ソーラーインバータまたは ESS の段階的な空間距離決定例を示します。

図 4-6 に、沿面距離の決定例を段階的に示します。手順 4 では、補間は $(8 - 6.3)/(1600 - 1250) \times (1500 - 1250) + 6.3 = 7.514\text{mm}$ と計算されます。

表 4-1 に、1500VDC、OVC II、CTI-I、汚染度 2 の条件の結果を示します。

Table 7 – Impulse withstand voltage and temporary overvoltage versus system voltage

Column 1		2	3	4	5	6
System voltage ^a		Impulse withstand voltage				Temporary overvoltage ^b
V		V				
(see 4.4.7.1.7)		Overvoltage category (OVC)				
Up to and including		I	II	III	IV	
AC	DC		Step 2			RMS/peak
50	75	330	500	800	1 500	1 250/1 770
100	150	500	800	1 500	2 500	1 300/1 840
150	225	800	1 500	2 500	4 000	1 350/1 910
300	450	1 500	2 500	4 000	6 000	1 500/2 120
600	900	2 500	4 000	6 000	8 000	1 800/2 550
1 000	1 250	4 000	6 000	8 000	12 000	2 200/3 110
--	1 500 ^c	6 000	8 000	10 000	15 000	2 200/3 110

Step 1

Step 3

Table 8 – Clearances for functional insulation, basic insulation or supplementary insulation for inhomogeneous fields

Column 1	2	3	4	5	6	7
Impulse withstand voltage ^d	Temporary overvoltage ^e	Working voltage ^f	Minimum clearances in air up to 2 000 m above sea level			
(from Table 7)	(peak)	(recurring peak) ^a	mm			
V	V	V	Pollution degree			
			1	2	3	4
330	330	260	0,01	0,2 ^{b, c}	0,8 ^c	1,6 ^c
500	500	400	0,04			
800	710	560	0,10			
1 500	1 270	1 010	0,5	0,5		
2 500	2 220	2 000	1,5	1,5	1,5	
4 000	3 430 ^g	3 090 ^g	3,0	3,0	3,0	3,0
6 000 Step 4	4 890 ^g	4 410 ^g	5,5	5,5 Basic	5,5	5,5
8 000	6 060 ^g	5 460 ^g	8,0	8,0	8,0	8,0
12 000	9 500 ^g	8 550 ^g	14	14	14	14
15 000 Step 5	11 780 ^g	10 600 ^g	18	18 Reinforced		18

Table E.1 – Correction factor for clearances at altitudes between 2 000 m and 20 000 m

Altitude	Normal barometric pressure	Multiplication factor for clearances
m	kPa	
2 000	80,0	1,00
3 000	70,0	1,14
4 000	62,0	Step 6 1,29
5 000	54,0	1,48
6 000	47,0	1,70
7 000	41,0	1,95
8 000	35,5	2,25
9 000	30,5	2,62
10 000	26,5	3,02
15 000	12,0	6,67
20 000	5,5	14,50

図 4-5. CLR 決定手順

Table 9 – Creepage distances

Column 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Working voltage (AC RMS or DC mean) ^e	PWBs ^a		Other insulators								
	Pollution degree		Pollution degree								
	1	2	1	2				3			
	All material groups	All material groups except IIIb	All material groups	Insulating material group				Insulating material group			
				I	II	IIIa	IIIb	I	II	IIIa	IIIb
V	mm	mm	mm	mm	Step 3	mm		mm	mm	mm	
≤ 2	0,025	0,04	0,056	0,35	0,35	0,35		0,87	0,87	0,87	
5	0,025	0,04	0,065	0,37	0,37	0,37		0,92	0,92	0,92	
10	0,025	0,04	0,08	0,40	0,40	0,40		1,0	1,0	1,0	
25	0,025	0,04	0,125	0,50	0,50	0,50		1,25	1,25	1,25	
32	0,025	0,04	0,14	0,53	0,53	0,53		1,3	1,3	1,3	
40	0,025	0,04	0,16	0,56	0,80	1,1		1,4	1,6	1,8	
50	0,025	0,04	0,18	0,60	0,85	1,20		1,5	1,7	1,9	
63	0,04	0,063	0,20	0,63	0,90	1,25		1,6	1,8	2,0	
80	0,063	0,10	0,22	0,67	0,95	1,3		1,7	1,9	2,1	
100	0,10	0,16	0,25	0,71	1,0	1,4		1,8	2,0	2,2	
125	0,16	0,25	0,28	0,75	1,05	1,5		1,9	2,1	2,4	
160	0,25	0,40	0,32	0,80	1,1	1,6		2,0	2,2	2,5	
200	0,40	0,63	0,42	1,0	1,4	2,0		2,5	2,8	3,2	
250	0,56	1,0	0,56	1,25	1,8	2,5		3,2	3,6	4,0	
320	0,75	1,6	0,75	1,6	2,2	3,2		4,0	4,5	5,0	
400	1,0	2,0	1,0	2,0	2,8	4,0		5,0	5,6	6,3	
500	1,3	2,5	1,3	2,5	3,6	5,0		6,3	7,1	8,0	
630	1,8	3,2	1,8	3,2	4,5	6,3		8,0	9,0	10,0	
800	2,4	4,0	2,4	4,0	5,6	8,0		10,0	11	12,5	b
1 000	3,2	5,0	3,2	5,0	7,1	10,0		12,5	14	16	
1 250	4,2	6,3	4,2	6,3	9	12,5		16	18	20	
1 600	Step 1	c	5,6	8,0	11	16		20	22	25	
2 000			7,5	10,0	14	20		25	28	32	
2 500			10,0	12,5	18	25		32	36	40	
3 200			12,5	16	22	32		40	45	50	
4 000			16	20	28	40		50	56	63	
5 000			20	25	36	50		63	71	80	
6 300			25	32	45	63		80	90	100	
8 000			32	40	56	81		100	110	125	
10 000 ^d			40	50	71	100		125	140	160	

Interpolation is permitted.

図 4-6. CPG 決定手順

表 4-1. 空間距離と沿面距離の概要 1

1500VDC、OVC II、CTI-I、汚染度 2				
	空間距離		沿面距離	
高度	基本	強化	基本	強化
4000m	10.32mm (8 * 1.29)	18.06mm (14 * 1.29)	7.514mm 10.32mm	15.028mm (7.514 * 2) 18.06mm
5000m	11.84mm (8 * 1.48)	20.72mm (14 * 1.48)	7.514mm 11.84mm	15.028mm (7.514 * 2) 20.72mm

場合によっては、対応する OVC レベルの下で、必要なインパルス耐性電圧を満たすこと、絶縁設計が困難な場合があります。実用的な方法は、絶縁設計の問題を減らすために SPD を追加することで、8000V から 6000V (OVC II から OVC I) になどのインパルス耐性電圧を 1 歩低くすることです。他の例については、IEC 62477-1:2022 における過電圧カテゴリ低減の附属書 I (Informative) の例を参照してください。

表 4-2 に、OVC II を OVC I に低下させた結果をまとめます。これで、高度 5000m の基本絶縁では、空間距離と沿面距離が 8.14mm であることがわかります。現在、これは図 4-7 に示す TI の最新デジタルアイソレータ ISO64xx でサポートされています。

表 4-2. 空間距離と沿面距離の概要 2

1500VDC、OVC I、CTI-I、汚染度 2				
	空間距離		沿面距離	
高度	基本	強化	基本	強化
4000m	7.095mm (5.5 * 1.29)	10.32mm (8 * 1.29)	7.514mm	15.028mm (7.514 * 2)
5000m	8.14mm (5.5 * 1.48)	11.84mm (8 * 1.48)	7.514mm 8.14mm	15.028mm (7.514 * 2)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	PACKAGE	UNIT
			16-DW	
IEC 60664-1				
CLR	External clearance ⁽¹⁾	Side 1 to side 2 distance through air	>8.15	mm
CPG	External creepage ⁽¹⁾	Side 1 to side 2 distance across package surface	>8.15	mm

図 4-7. ISO64xx 空間距離と沿面距離

5 沿面距離要件を変更する方法

沿面距離の定義は、絶縁表面に沿って測定された 2 つの導電性物質 (ピン) 間の最短距離です。つまり、状況によっては沿面距離が十分でない場合には、沿面距離が変更される可能性があります。

図 5-1 に、沿面距離を長くするための PCB のカットアウト方法を示しています。たとえば、CTI IIIa または CTI IIIb PCB を使用して、コスト削減のために CTI I または CTI II PCB を置き換える場合、PCB 沿面距離は十分ではなく、沿面距離を長くするために PCB のカットアウトが必要になります。

PCB のカットアウトは PCB の沿面距離を長くするのみであり、絶縁デバイスや部品の沿面距離を長くできないことに注意してください。

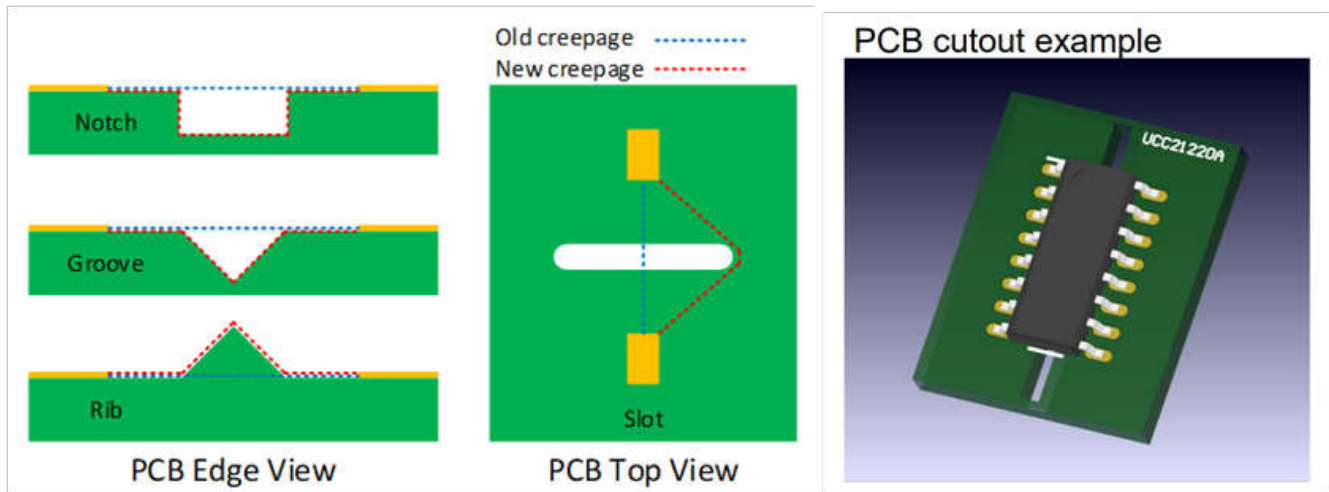


図 5-1. 沿面距離を長くするための PCB のカットアウト方法

図 5-2 に、PCB の汚染度を低減する PCB コンフォーマルコーティングソリューションを示します。これにより沿面距離要件を短くできます。

これによって、導電性物質 (ピン) 間のエアギャップが除去されることはなく、絶縁体が空気ベースのままであることを意味します。このような保護の下では、図 4-1 および図 4-2 に規定されている汚染度 1 の空間距離および沿面距離の基準が適用されます。特に、汚染度のみを下げることはできますが、クリアランス値を減らすことはできません。さらに、汚染度のダウングレード条件を満たすタイプ 1 コーティングのみが、汚染度 1 に従って必要な沿面距離を短縮できます。ピンホール、気泡、または不完全な被覆など、コーティング品質が低いと、安全基準への適合が無効になり、計算には元の汚染度を採用する必要があります。

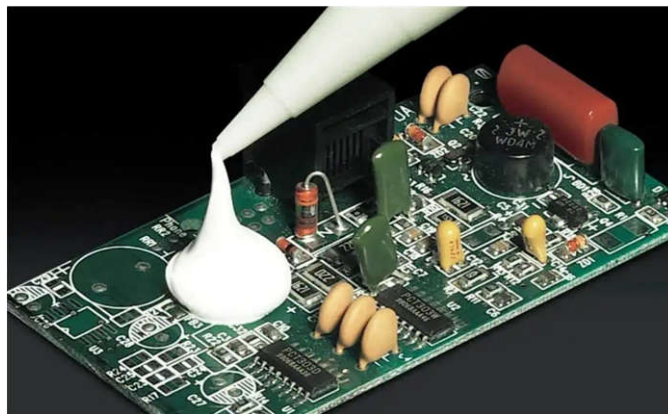


図 5-2. 汚染度を低減するための PCB コンフォーマルコーティング

空気絶縁設計が、規定された空間距離および沿面距離の制限を満たしていない場合、図 5-3 に示すポッティング方式を採用して確実な絶縁を実現できます。

ポッティングは、空気絶縁を完全に固体絶縁材料に置き換えるタイプ 2 保護です (IEC 60664-3:2016 で定義されています)。したがって、図 4-2 と図 4-1 に記載された通常の空間距離および沿面距離の要件は該当しなくなります。

一般に、ポッティングはコンフォーマルコーティングよりも高い絶縁性能を発揮しますが、追加の設計作業、複雑な製造手順、および大幅に高いコストを伴います。さらに、固体絶縁への準拠は、理論的な計算のみに頼るのではなく、VDE や TUV などの権威ある機関による AC/DC 耐電圧試験、インパルス耐電圧試験、部分放電試験、熱サイクル試験などの公式認証試験によって完全に検証される必要があります。

このため、代替の設計方式が利用できない限り、設計者は、ポットソリューションを適用するのではなく、本質的に絶縁仕様を満たすアイソレータと部品を選択する傾向があります。



図 5-3. 固体絶縁体を達成するためのポッティング方法

6 まとめ

多くのエンジニアは、適切な絶縁部品の選択と、必要な空間距離と沿面距離の定義に苦労しています。このアプリケーションノートでは、絶縁デバイスの主要な絶縁特性に関する詳細な解説、絶縁性能に影響を与える要因の分析、および空間距離と沿面距離の計算手順を段階的に説明しています。

7 参考資料

1. テキサス インスツルメンツ、『[ISO デバイスの選択および空間距離の明確化に関する主な検討事項](#)』、アプリケーションノート。
2. テキサス インスツルメンツ、『[ソーラーおよび ESS システムの安全規制設計例](#)』アプリケーションノート。
3. テキサス インスツルメンツ、『[デジタル アイソレータ設計ガイド](#)』アプリケーション ノート
4. テキサス インスツルメンツ、『[絶縁用語集](#)』アプリケーション ノート
5. テキサス インスツルメンツ、『[ISO644x 汎用、基本および強化絶縁クワッドチャネルデジタルアイソレータ](#)』、データシート。
6. テキサス インスツルメンツ、『[UCC23513、4A ソース、5A シンク、5.7kVRMS フォトカプラ互換、シングルチャネル絶縁ゲートドライバ](#)』、データシート。
7. テキサス インスツルメンツ、『[ISO1050 絶縁 CAN トランシーバ](#)』、データシート。
8. テキサス インスツルメンツ、『[ISO1042 70V バス障害保護機能付き、フレキシブルデータレート対応の絶縁 CAN トランシーバ](#)』、データシート。
9. テキサス インスツルメンツ、『[ISO774x 高速、堅牢 EMC 強化、汎用クワッドチャネルデジタルアイソレータ](#)』、データシート。
10. テキサス インスツルメンツ、『[ISO7842x 高性能、8000VPK 強化クワッドチャネルデジタルアイソレータ](#)』、データシート。
11. IEC、[IEC 60747-17:2020](#)。
12. VDE、[VDE 0884-17:2021-10](#)。
13. UL、[UL 1577](#)。
14. IEC、[IEC 62368-1:2023](#)。
15. IEC、[IEC 61010-1:2010](#)。
16. IEC、[IEC 60601-1:2025 SER](#)。
17. 中華人民共和国国家規格、[GB 4943.1-2022](#)。
18. IEC、[IEC 62477-1:2022](#)。
19. IEC、[IEC 62477-2:2018](#)。
20. IEC、[IEC 62109-1:2010](#)。
21. IEC、[IEC 60950-1:2005+AMD1:2009+AMD2:2013](#)。
22. VDE、[VDE 0884-5:2015-11](#)。
23. IEC、[IEC 60747-5-5:2020](#)。
24. IEC、[IEC 60664-1:2020](#)。
25. UL、[UL 60950-1](#)。

重要なお知らせと免責事項

TI 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みいかなる保証も、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、TI 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 TI 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、TI は一切の責任を拒否します。

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 TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI 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。TI 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、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](https://www.ti.com) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI 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。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月