

Power Supply Design Seminar

고전압 최종 장비의 간극 및 연면 거리의 이해



Reproduced from
2024 Texas Instruments Power Supply Design Seminar
SEM2600
Topic 2
Wei Zhang and Thomas LaBella
Literature Number: KOKP021

Power Supply Design Seminar resources
are available at:
www.ti.com/psds

안전 및 설계 지침을 유지하면서 가능한 최고의 전력 밀도를 달성하려면 고전압 인쇄 회로 기판(PCB) 간격과 집적 회로(IC) 패키지 선택에 더욱 신중을 기해야 합니다. 이 주제에서는 통신, 서버 및 무선 인프라, 모터 드라이브, 태양광 인버터 및 충전 파일, 소비자 AC/DC 애플리케이션, 전기 자동차 및 하이브리드 전기 자동차를 비롯한 널리 사용되는 완제품에 대한 고려 사항을 요약하고 치트 시트를 제공합니다.

머리말

안전 및 설계 지침을 준수하면서 가능한 가장 높은 전력 밀도를 달성하기 위해 고전압 PCB 간격 및 IC 패키지 선택이 점점 더 중요해지고 있습니다. 하지만 문제는 여러 각도에서 발생합니다. 설계자는 다음을 이해해야 합니다.

- 많은 기술 용어와 연면 및 간극에 미치는 영향.
- 정상 작동 과도 전압과 비반복 과도 전압의 차이.
- 1차측 에너지원에 상대적인 장비 위치의 영향.
- 일부 표준이 보완적이고 일부는 중복되며 충돌하는 연면, 간극 및 PCB 간격을 해결하는 여러 산업 표준.
- 다양한 완제품 유형에 대한 다양한 업계 표준.
- 적절한 작동을 유지하기 위해 인체 안전과 기능적 격리를 보호하기 위한 IEC(International Electrotechnical Commission), UL(Underwriters Laboratories) 또는 DIN(Deutsche Institut für Normung) Verband der Elektrotechnik(VDE)의 안전 격리 시나리오.
- 사용 사례 고도, 오염도, IC 재료 그룹, PCB 컨포멀 코팅, PCB 컷아웃 및 일상적인 과도 테스트와 같은 기타 고려 사항.

이 백서에서는 물리적 의미를 갖는 기술적 용어를 소개하고, 연면 및 간극과의 관계와 영향에 대해 설명합니다. 그런 다음 구조적인 방법을 통해 적절한 연면 및 간극을 결정하는 단계별 지침이 포함된 지침과 순서도를 제공합니다.

정의

연면 및 간극

연면은 **그림 1**에 표시된 것처럼 두 전도성 부품 사이의 고체 절연 재료 표면을 따라 최단 거리를 의미합니다. 이 거리는 오염 정도, 재료 그룹 및 절연 재료가 받을 수 있는 가장 높은 평균제곱근(RMS) 전압인 작동 전압에 따라 측정됩니다. 이는 절연의 플래시오버나 고장이 발생하지 않도록 하기 위해 정의됩니다. 작동 전압 외에도 연면에 가장 영향을 미치는 요인은 오염, 습도 및 응결입니다.

간극은 **그림 2**에 나와 있는 것처럼 두 전도성 부품 사이의 공기 중 최단 거리입니다. 이 거리의 치수는 필요한 과도 과도 전압 동안 공기 이온화 또는 아크를 방지하기 위한 것입니다. 간극에서 가장 중요한 요소는 기압(고도)과 오염입니다. 2,000m보다 큰 고도에는 곱하기 계수가 있습니다. **연면, 간극 및 고전압 PCB 간격 요구 사항을 결정하는 방법**에서 이에 대해 살펴보겠습니다.

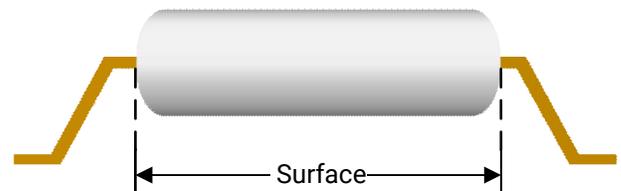


그림 1. 연면.

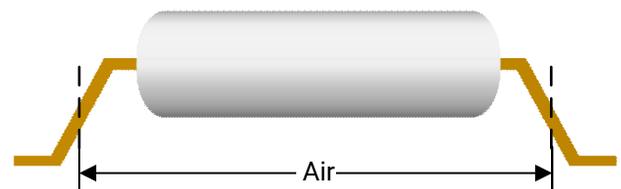


그림 2. 간극.

연면은 장기적인 정상 상태 작동 전압을 처리하는 반면, 간극은 수 밀리초 미만의 단기 과도 상태를 처리합니다. 둘 사이에는 물리적 관계는 없지만, 연면 거리는 간극 거리보다 작을 수 없습니다. 크기와 비용의 절충을 고려하면서 가능한 한 연면과 간극을 모두 극대화하는 것이 중요합니다.

또한 코너 핀이 패키지의 가장자리에 가까운 경우 **그림 3**에서 보듯이 가장 짧은 연면 거리는 윗면이나 아랫면이 아닌 측면을 가로질러 갈 수 있다는 점도 중요한 점입니다.

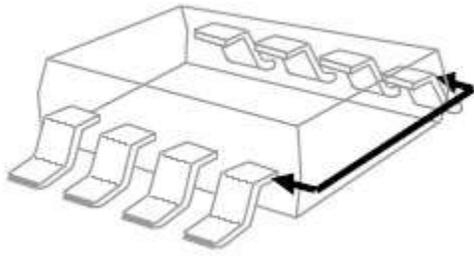


그림 3. 최단 연면 거리가 상단이 아닌 측면을 가로지르는 예제.

또한 연면과 간극이 동일할 수 있습니다. 예를 들어 그림 4에서 UCC21551-Q1 듀얼 채널 절연 게이트 드라이버의 중간 핀이 제거되면 연면과 간극이 증가합니다.

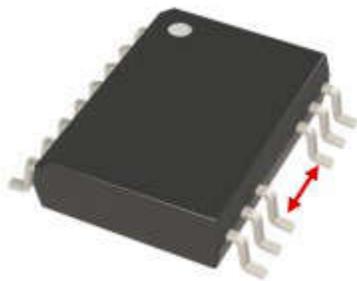


그림 4. 연면과 간극이 동일한 기능 절연 예.

자재 그룹 및 비교 추적 지수

비교 추적 지수(CTI)는 전기 고장이 발생하는 전압을 기준으로 절연 물질을 분류합니다. CTI 등급은 0.1% 염화암모늄으로 오염된 50방울의 물이 있는 물질에 전압을 가하는 테스트에 의해 결정됩니다. CTI 등급은 0.5A 미만의 추적 전류가 흐르는 이 테스트에서 재료가 견딜 수 있는 최대 전압입니다[1]. 표 1에서는 CTI를 기반으로 하는 절연 물질의 카테고리들을 보여줍니다. 이러한 재료 그룹은 연면, 간극 및 고전압 PCB 간격 요구 사항을 결정하는 방법에서 설명한 대로 주어진 절연 요구 사항에 필요한 연면 거리를 결정하는 데 도움이 됩니다.

재료 그룹	CTI 범위(V _{RMS})
I	600 ≤ CTI
II	400 ≤ CTI < 600
IIIa	175 ≤ CTI < 400
IIIb	100 ≤ CTI < 175 또는 지정되지 않은 경우

표 1. CTI를 기반으로 하는 재료 그룹.

PCB 제작에 사용되는 대부분의 FR4 재료는 재료 그룹 IIIA로 평가됩니다. 모든 텍사스 인스트루먼트 절연 제품은 필요한 패키지 크기와 PCB 풋프린트를 줄이기 위해 재료 그룹 I입니다.

오염 수준

필요한 연면 및 간극 거리를 결정하기 위한 다음 중요한 매개 변수는 오염도입니다. 오염도 환경은 네 가지 범주로 분류됩니다[2]:

- 오염 수준 1: 오염이 없거나 건조하고 비전도성 오염만 있습니다. 이러한 시스템은 먼지와 습기를 배제하기 위해 밀봉되거나 PCB는 컨포멀 코팅을 사용하여 부품이 습도 또는 온도 관련 응결을 받지 않도록 합니다.
- 오염 수준 2: 간헐적인 응결로 인해 환경이 일시적으로 전도성이 될 수 있습니다. 오염도 2로 분류된 환경의 일반적인 예로는 서버, 통신 장비 및 무선 인프라용 실험실, 사무실 및 인클로저가 있습니다.
- 오염 수준 3: 환경에는 전도성 오염 또는 예상되는 응결로 인해 전도성이 될 수 있는 비전도성 오염이 발생합니다. 일반적인 예로 산업용 응용 분야, 농장비 및 난방이 되지 않는 공장 가동부가 있습니다.
- 오염 수준 4: 전도성 먼지, 비 또는 기타 습한 환경으로 인해 지속적인 전도성이 발생합니다. 이는 실외 애플리케이션에 일반적으로 사용됩니다.

과도 과전압 범주

필요한 간극을 결정하는 데 사용되는 또 다른 요인은 과도 과전압 범주로, 주 전압과 관련하여 연결된 위치를 기준으로 장비를 분류합니다. 이 전압 레벨은 수학으로 분류되지 않고 장비의 위치에 따라 확률적인 영향에 따라 분류됩니다.

그림 5은 다양한 과도 과전압 범주에 대해 레이블이 지정된 위치의 예가 있는 주거용 건물의 다이어그램입니다. 네 가지 범주는 다음과 같습니다[3].

- 범주 I: 이 가장 낮은 범주는 과전압 과도를 제한하기 위한 조치를 취하는 방식으로 연결된 회로에 사용됩니다. 예를 들어 스텝다운 변압기를 통해 주전원에 연결된 24V_{AC} 온도 조절기 및 스프링클러 시스템과 같은 장비가 포함됩니다.

- 범주 II: 이 범주는 고정 설치에서 공급되는 장비에 적용됩니다. 예를 들어 범주 III에서 10m 떨어진 콘센트에 연결된 장비가 있습니다
- 범주 III: 이 설정은 특별한 요구 사항에 따라 고정된 설치를 사용하는 장비에 적용됩니다. 예를 들어 퓨즈 패널 내의 스위치, 에어컨 또는 AC 주전원에 유선 연결된 산업용 기계와 같이 영구적으로 연결된 장비가 있습니다.
- 범주 IV: 이것은 설치 원점에서 사용되는 장비에 사용되며, 이는 주 전압에 직접 연결됨을 의미합니다. 예를 들어 전기 계량기, 분배 패널 및 유틸리티 변압기가 있습니다.

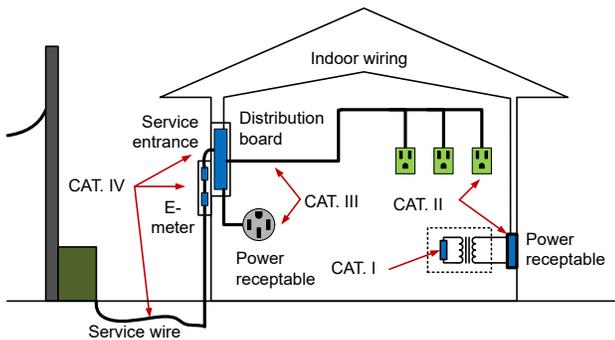


그림5. 과도 과전압 범주의 예.

연면, 간극 및 PCB 간격 관련 표준

연면 및 간극과 관련된 수많은 표준이 있습니다. 이들 중 일부는 상호 보완적이며 일부는 모순적이며 많은 부분이 중복됩니다. 방정식이나 조회 테이블만 사용하여 필요한 연면 및 간극을 계산할 수 있는 표준은 없습니다.

이 섹션에서는 다양한 표준을 소개하고 **연면, 간극 및 고전압 PCB 간격 요구 사항을 결정하는 방법**에서 이러한 표준을 사용하는 시기와 방법에 대해 설명합니다. 그러나 먼저, 표준을 절연 시스템의 사용자 안전과 관련된 것과 PCB와 관련된 두 가지 범주로 분리해 보겠습니다.

절연 시스템의 사용자 안전을 위한 기본 표준은 IEC 60664-1이며, 최대 1.5kV_{DC} 또는 1kV_{AC}의 시스템에 적용됩니다. IEC 60664-1은 연면, 간극 및 전기 강도 테스트를 다룹니다. IEC 60664-1에 기반을 둔 특정 완제품에만 다른 몇 가지 표준이 있지만 좀 더 구체적인 지침이 추가됩니다. 여기에는 텔레콤, 서버, 오디오 및 비디오 및 클라우드 컴퓨팅[4], [5]을 위한 IEC 62368-1 및 IEC 60950-1, 모터 드라이브를 위한 IEC 61800-5[6], 태양광을 위한 IEC 62109-1[7]이 포함됩니다.

PCB 간격에 대한 표준은 적절한 또는 기능적인 작동만 다루며 사용자 안전을 다루지 않습니다. 기본 표준은 IPC(Institute for Printed Circuits)-2221B로 일반 요구 사항을 다루는 일반 표준입니다[8]. PCB 간격을 다루는 또 다른 일반적인 표준은 IPC-2221B에 구축되지만 컴퓨터 및 통신 산업에 대한 특정 지침을 추가하는 IPC-9592B입니다[9]. IPC-9592B는 IPC-2221B보다 약간 더 엄격합니다. 또한 IEC 62368-1은 통신, 서버, 오디오 및 비디오, 클라우드 컴퓨팅을 위한 코팅 및 비코팅 PCB 모두에 대한 지침을 제공합니다.

절연 표준

전기, 기계 및 열 응력을 견딜 수 있는 절연 장벽의 능력과 환경적 영향을 확인하는 아이솔레이터에 대한 다양한 절연 표준이 있습니다. 여기에는 유럽 연합의 경우 DIN VDE V 0884-11, 미국의 경우 UL 1577, 중국의 경우 China Quality Certification (CQC) GB4943.1 [10-12] 이 포함됩니다. 이러한 인증 표준에서 다루는 매개 변수는 절연 장벽을 설명하며, 연면 및 간극과 직접적인 관련이 없습니다. 연면 및 간극의 중요성은 기본, 강화 및 기능과 같은 절연 등급입니다.

절연 등급 및 지침

다섯 가지 유형의 절연 등급[13] 이 있습니다.

- 기능 절연은 1차 주전원이 아닌 2차 회로 사이에 접지 바운스, 높은 작동 전압 및 과도 상태와 같은 문제가 있는 곳에서 적절한 회로 작동을 위한 것뿐입니다. 기능 절연은 사용자 안전과 관련이 없습니다.
- 기본 절연은 정상 및 비정상 작동 조건 모두에서 감전으로부터 사용자를 보호하는 단일 수준의 절연입니다.
- 보조 절연은 단일 고장 상태를 해결하기 위한 추가 절연 보호 계층입니다. 첫 번째 절연 층이 실패하면 보조 절연부가 사용자를 감전으로부터 보호합니다.
- 이중 절연은 기본 절연과 보조 절연의 조합입니다.
- 강화 절연은 이중 절연과 동일한 정격 및 보호를 제공하지만, 단일 절연 재료 계층에서 구현됩니다.

절연 표준에 도입된 절연 표준에서 실제로 가장 보편적으로 사용되고 있는 두 가지 유형의 절연은 기본 및 강화입니다. 필요한 연면 및 간극 거리는 설계에 기본 절연이나 강화 절연이 필요한지 여부에 따라 달라집니다.

IEC 60664-1, IEC 62368-1 및 IEC 60950-1은 모두 애플리케이션에 기본 절연이나 강화 절연이 필요한지 확인하는데 도움이 되는 지침을 제공합니다. 이 가이드라인에서 "일반 사람"과 "사용자"라는 용어는 서로 교환하여 사용됩니다. 이 표준에서는 또한 서로 다른 전압 수준을 분류하기 위해 서로 다른 용어를 사용하지만, 전압에 따라 세 가지 에너지 소스 클래스로 단순화할 수 있습니다.

- 에너지 소스 클래스 1(ES1)은 최대 60V의 전압을 가진 회로로 구성됩니다. 이러한 회로는 만져도 안전하며 사용자로부터 격리할 필요가 없습니다. IEC 60950-1은 이 전압 클래스를 안전 초저전압(SELV)로 정의합니다. 이 클래스에는 IEC 60950-1에 정의된 통신 네트워크 전압 등급 1(TNV-1)의 회로가 포함됩니다.
- ES2에는 60V~120V 사이의 전압이 있는 회로가 포함되어 있습니다. 이러한 회로에는 회로와 사용자 간 기본 절연이 필요합니다. 여기에는 IEC 60950-1에 정의된 TNV-2 및 TNV-3 클래스의 회로가 포함됩니다.
- ES3에는 120V를 초과하는 전압이 있는 회로가 포함되어 있습니다. 이러한 전압은 위험한 것으로 간주되며 회로와 사용자 사이에 강화 절연이 필요합니다.

IEC 60950-1의 그림 2H는 여러 회로 간에 필요한 절연 수준을 결정할 수 있는 매우 포괄적인 가이드를 제공합니다. 이 그림은 1차 회로, 접지형/비접지형 SELV, 접지형/비접지형 TNV-1, 2 또는 3, 접지형/비접지형 위험 전압 사이에 기능, 기본 또는 강화 절연이 필요한 시기를 보여줍니다.

회로를 접지에 연결하면 필요한 절연 수준이 감소하는 경우가 많습니다. 표 2에서는 일반적인 예와 함께 IEC 60950-1의 그림 2H를 간략하게 요약했습니다.

절연 등급	분리되는 부품		예
기능	SELV 강화 회로	SELV	<60V 브릭 모듈
기본	1차, ES2, TNV-2, TNV-3, 위험 전압	접지형 SELV	<ul style="list-style-type: none"> >60-V DC/DC. 12V 또는 48V 출력을 지원하는 AC/DC 정류기. 400V 온보드 충전기.
	기본	비접지형 위험 전압	
강화	1차, 위험 전압	비접지형 SELV	12V 또는 48V 출력을 지원하는 AC/DC 정류기
	ES2, TNV-2, TNV-3		>60V DC/DC

표 2. 일반적인 애플리케이션에 필요한 절연 등급의 예.

연면, 간극 및 고전압 PCB 간격 요구 사항을 결정하는 방법

순서도

몇 가지 정의, 분류, 등급, 표준 및 복잡한 지침을 도입했습니다. 이제 개발 프로세스를 간소화하고 신속하게 처리하기 위해 이 모든 것을 단일 순서도(그림 6 참조)에 결합하여 애플리케이션에 대한 적절한 연면과 간극을 결정합니다.

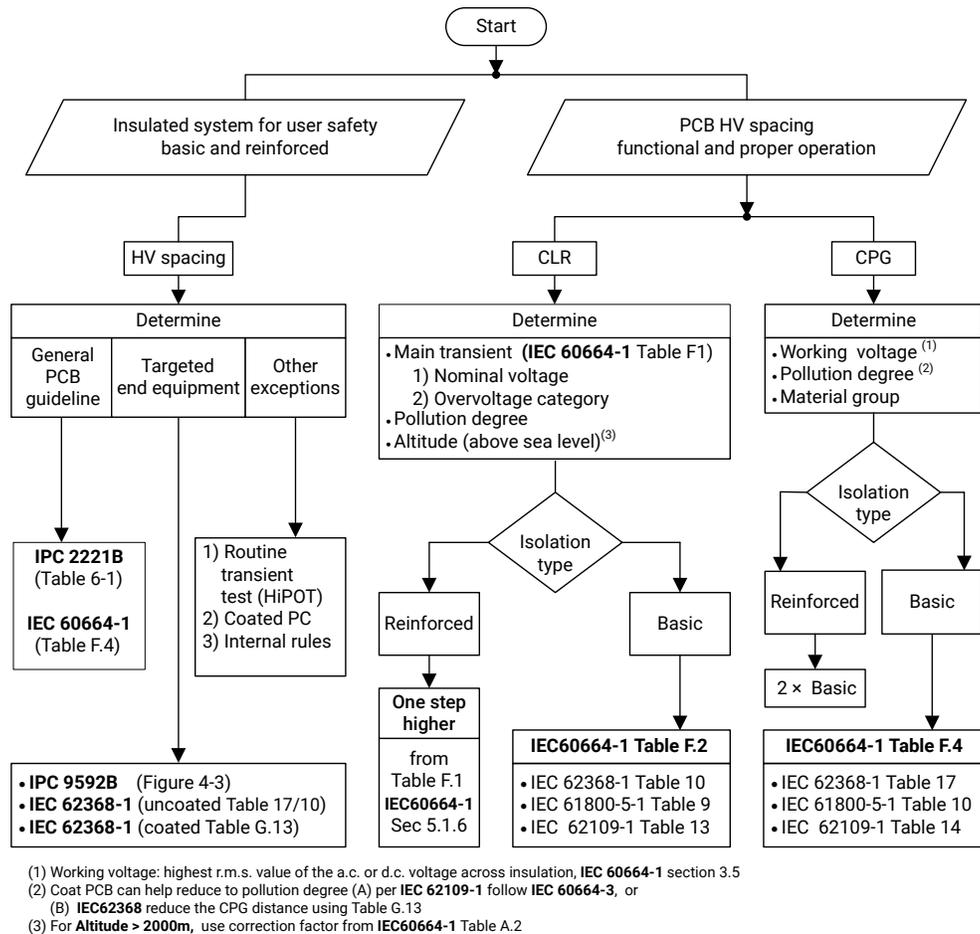


그림6. 애플리케이션에 필요한 연면 및 간극을 결정하기 위한 흐름도.

순서도에는 사용자 안전을 위한 절연 시스템과 PCB 간격에 대한 두 가지 주요 경로가 있습니다. 사용자 안전을 위한 경로에는 연면을 결정하기 위한 경로와 간극을 위한 두 가지 하위 경로가 있습니다.

이 순서도를 사용하여 사용자 안전을 위한 연면, 사용자 안전을 위한 간극, PCB의 고전압 간격을 결정하는 방법을 설명하겠습니다.

사용자 안전을 위해 절연된 시스템의 연면 결정

연면의 경우 애플리케이션의 작동 전압, 절연 물질의 재료 그룹 및 환경 오염도를 알아야 합니다. 다음 단계는 IEC 60950-1에서 그림 2H를 사용하여 기본 절연과 강화 절연이 필요한지 결정하는 것입니다. 기본 절연이 필요한 경우 다음 단계에 따라 결정된 연면 거리 값을 사용합니다. 강화 절연이 필요한 경우 다음 단계에서 두 배의 거리를 결정합니다.

최종 장비에 따라 필요한 연면 거리를 조회하고, 범용 완제품의 경우 IEC 60664-1의 표 F.4를 사용합니다. 오디오, 비디오 및 정보 통신 장비의 경우 IEC 62368-1의 표 17을 사용합니다. 모터 드라이브의 경우 IEC 61800-5-1의 표 10을 사용합니다. 태양광 애플리케이션의 경우 IEC 62109-1의 표 14를 사용합니다.

최종 장비에 따라 필요한 연면 거리를 조회합니다.

- 범용 최종 장비의 경우 IEC 60664-1에 표 F.4를 사용합니다.
- 오디오, 비디오 및 정보 통신 장비의 경우 IEC 62368-1의 표 17을 사용합니다.
- 모터 드라이브의 경우 IEC 61800-5-1의 표 10을 사용합니다.
- 태양광 애플리케이션의 경우 IEC 62109-1의 표 14를 사용합니다.

표 3는 IEC 60664-1의 표 F.4의 작은 하위 집합으로, 일반적인 작동 전압 및 오염도를 표시하도록 간소화되었습니다. 오염 수준 1에는 오염이 없으므로 재료 그룹은 중요하지 않습니다. 오염도 2 및 재료 그룹 I의 경우 400V의 작동 전압을 가진 애플리케이션의 경우 기본 절연에는 2mm의 연면, 강화 절연을 위해 (두 배인) 4mm의 연면이 필요합니다. 오염도 2 및 재료 그룹 III의 경우 400V의 작동 전압을 가진 애플리케이션의 경우 기본 절연에는 4mm의 연면, 강화 절연을 위해 (두 배인) 8mm의 연면이 필요합니다.

V _{RMS}	트래킹으로 인한 장애를 방지하는 연면 거리(mm)			
	오염 수준 1	오염 수준 2		
	모든 재료 그룹	재료 그룹		
		I	II	III
63	0.2	0.63	0.9	1.25
400	1.0	2.0	2.8	4.0
800	2.4	4.0	5.6	8.0
1,000	3.2	5.0	7.1	10.0

표 3. 일반적인 작동 전압, 오염도 및 재료 그룹을 보여주는 IEC 60664-1 표 F.4의 하위 세트.

사용자 안전을 위한 절연 시스템의 간극 결정

간극의 경우 주전원 공칭 전압과 과도 과전압 범주의 기능인 애플리케이션에 필요한 과도 전압을 알아야 합니다. 또한 환경의 오염 수준과 의도된 작동 고도(해발 미터)를 알아야 합니다.

주전원 공칭 전압 및 과도 과전압 범주를 사용하여 필요한 임펄스 전압 정격을 결정하려면 IEC 60664-1의 표 F.1을 참조하십시오. 기본 절연이 필요할 경우 간극을 결정하는데 사용해야 하는 전압입니다. 애플리케이션이 오디오, 비디오 또는 정보 및 통신 장비를 위한 것이라면 이러한 유형의 완제품의 기본 절연과 강화 절연에 대한 간극을 제공하는 IEC 62368-1을 사용해야 합니다. 다른 완제품 유형의 경우 기본 절연에 대한 값만 제공하는 표를 사용합니다. 따라서 강화 절연의 경우 IEC 60664-1의 표 F.1에서 한 단계 상승하는 임펄스 전압을 사용해야 합니다. IEC 60664-1의 섹션 5.1.6에서는 이 프로세스에 대해 자세 히 설명합니다.

표 4는 IEC 60664-1의 표 F.1의 작은 하위 세트로, 일반적인 작동 전압을 표시하도록 간소화되었습니다. 이 표를 사용하여 필요한 임펄스 전압 정격을 확인하십시오. 예를 들어 과도범주 과전압 II에 설치된 230V 라인 대 중성 애플리케이션은 기본 절연을 위해 2,500V의 임펄스 전압이 필요

하며, IEC 62368-1 이외의 표준을 사용하는 경우 강화 절연을 위해 4,000V가 필요합니다.

전압 라인-중성 라인 (V _{RMS})	주전원 과도/정격 임펄스 전압(V _{PEAK})			
	과전압 범주			
	I	II	III	IV
≤50	330	500	800	1,500
≤ 150(예: 미국의 경우 120V)	800	1,500	2,500	4,000
≤ 300(예: 유럽 연합, 중국의 경우 230V)	1,500	2,500	4,000	6,000
≤600(예: 산업용 모터 또는 선박 동력)	2,500	4,000	6,000	8,000

표 4. 일반적인 작동 전압을 보여주는.

일부 시스템의 경우 AC 주전원 과도가 발생하지 않을 수 있습니다. 이러한 경우 IEC 60664-1의 섹션 5.3.2.3에 설명된 대로 공칭 라인-중성 전압에 1,200V를 추가하여 필요한 임펄스 전압 정격을 계산할 수 있습니다.

이제 필요한 임펄스 전압을 알아보았으므로 완제품 유형에 따라 적절한 표에서 최대 해발 2,000m 위에 있는 애플리케이션에 필요한 간극을 살펴볼 수 있습니다. 범용 최종 장비의 경우 IEC 60664-1에 표 F.2를 사용합니다. 오디오, 비디오 및 정보 통신 장비의 경우 IEC 62368-1의 표 10을 사용합니다. 모터 드라이브의 경우 IEC 61800-5의 표 9를 사용합니다. 태양광 애플리케이션의 경우 IEC 62109-1의 표 13을 사용합니다.

표 5는 IEC 60664-1의 표 F.2의 소형 하위 집합으로, 일반적인 임펄스 전압 정격을 표시하도록 간소화되었습니다. 비교를 위해 괄호 안에 IEC 62368-1 표 10의 값을 포함했습니다. 오디오, 비디오, 정보 및 통신 애플리케이션에 대한 요구 사항이 조금 더 엄격하다는 것을 알 수 있습니다.

필요한 임펄스 내전압(kV)	최소 간극(mm)		
	오염 수준		
	1	2	3
0.5	0.04	0.2	0.8
1.5	0.5(0.76)		0.8
2.5	1.5(1.8)		
4.0	3.0(3.8)		

필요한 임펄스 내전압(kV)	최소 간극(mm)		
	오염 수준		
	1	2	3
6.0	5.5(7.9)		

표 5. 일반적인 임펄스 전압 및 오염 정도를 보여주는 IEC 60664-1 표 F.2의 하위 세트. 괄호 안의 숫자는 IEC 62368-1의 표 10에 있는 여유값 값입니다.

마지막으로 작동 고도가 2,000m를 초과하는 경우 IEC 60664-1의 표 A.2를 사용하여 간극에 적합한 곱셈 계수를 결정합니다.

고전압 PCB 간격 결정

PCB 고전압 간격의 경우 완제품에 따라 필요한 간격을 조화해야 합니다. 또한 고려해야 할 다른 예외가 있습니다. 이러한 예외에는 필요한 간극 거리를 충족할 수 없는 시나리오의 PCB 컨포멀 코팅, 생산 중 일상적인 과도 고전위 테스트를 통해 고전압에 대한 유전체 내강 강도를 보장하거나 적용되는 기타 내부 규칙이 포함될 수 있습니다.

IEC 60664-1의 표 F.4(연면을 결정하는 데 사용되는 것과 동일한 표)와 IPC-2221B의 표 6-1은 일반적인 PCB 지침을 제공합니다. IEC 60664-1의 표 F.4의 첫 번째 두 열은 "인쇄된 배선 재료", 즉 PCB 트레이스를 다룹니다. 이러한 값은 컨포멀 코팅을 사용하지 않는 외부 PCB 레이어의 도체에 대한 IPC-2221B의 표 6-1의 값에 매우 근접합니다. IPC-2221B에는 내부 PCB 레이어, 컨포멀 코팅 유무에 따른 외부 PCB 레이어 및 외부 부품 어셈블리에 대한 간극 요구 사항이 포함되어 있습니다. IPC-9592B는 컴퓨터 및 통신 완제품에 대한 특정 지침을 제공합니다. 이러한 간극 지침은 일반적인 IPC-2221B보다 약간 보수적입니다. 도체가 필요한 간극을 충족할 수 없는 경우 컨포멀 코팅을 사용해야 한다고 명시되어 있습니다.

그림 7에는 다양한 표준에 대해 필요한 간극과 피크 전압이 나와 있습니다. IEC 60664-1, 비코팅 외부 레이어의 경우 IPC-2221B, 코팅된 외부 레이어의 경우 IPC-2221B, 내부 레이어의 경우 IPC-2221B, IPC-9592B입니다. 내부 PCB 레이어가 외부 레이어에 비해 훨씬 적은 간격이 필요하고, 컨포멀 코팅을 사용하는 외부 레이어에는 컨포멀 코팅 없이 외부 레이어에 비해 간격이 적게 필요한 것을 알 수 있습니다. 예를 들어, 애플리케이션에 400V 피크 전압이 있는 경우 내부 PCB 레이어는 IPC-2221B에 따라 0.25mm의 간극만 있으면 됩니다. 컨포멀 코팅되지 않은

외부 레이어의 경우, 간극은 표준에 따라 2mm~2.6mm입니다. 일반 표준의 경우 IEC 60664-1에는 2mm가 필요하고 IPC-2221B에는 2.5mm가 필요합니다. 이 경우 보다 보수적인 2.5mm를 사용하는 것이 좋습니다. 컴퓨터 또는 통신 애플리케이션의 경우 IPC-9592B당 2.6mm의 간극이 필요합니다. 이러한 간극을 충족할 수 없는 경우 컨포멀 코팅을 사용해야 합니다. 컨포멀 코팅의 경우 외부 층은 0.8mm의 간극만 필요합니다.

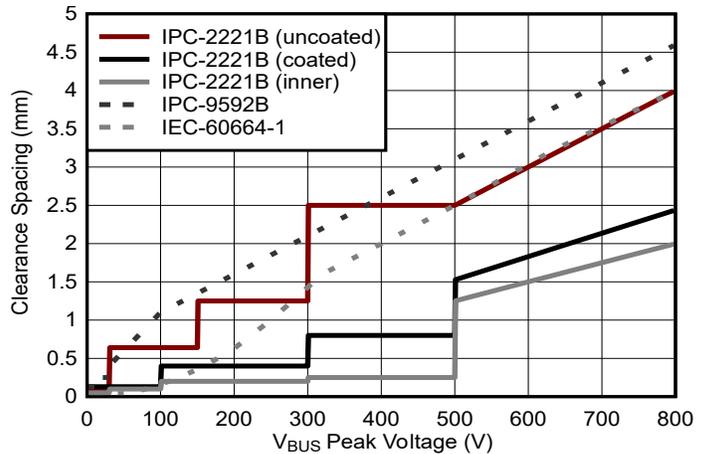


그림 7. 다른 표준에 따른 PCB 고전압 간극 요구 사항.

순서도 사용 예: 통신 AC/DC 프론트 엔드

순서도를 살펴보고 여러 표준의 관련 표를 사용하는 방법에 대해 설명했습니다. 이제 **그림 8**에서 볼 수 있듯이 텔레콤 AC/DC 프론트 엔드의 예를 살펴보겠습니다. 이 애플리케이션은 범용 85~265V_{AC} 입력과 접지를 기준으로 부동하는 40~60V_{DC} 출력을 제공합니다.

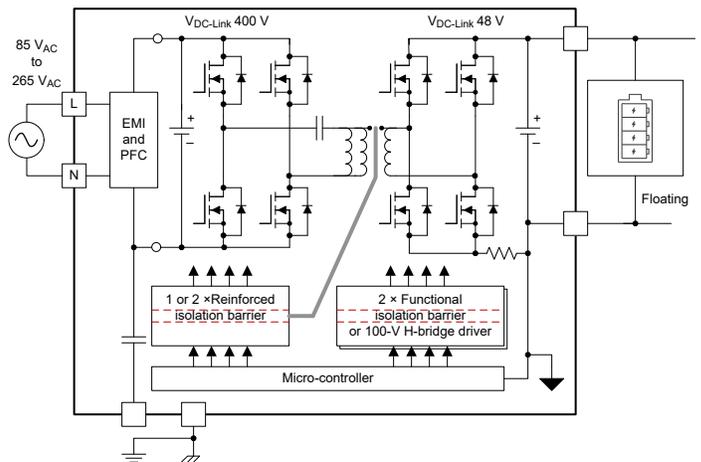


그림 8. 통신 장비용 AC/DC 프론트 엔드의 예.

첫 번째 단계는 작동 전압, 오염 수준 및 재료 그룹에 대한 지식이 필요한 연면을 결정하는 것입니다. 이 컨버터 내부에서 가장 높은 작동 전압은 400V이며, 이것이 DC 링크 전압입니다. 이 전원 공급 장치는 통신 장비의 인클로저 내부에 있기 때문에 오염 정도는 2가 됩니다.

이 연면은 시스템에 사용되는 개별 구성 요소에 따라 다르기 때문에 세 가지 재료 그룹에 필요한 연면을 조회하는 것이 중요합니다. 예를 들어, 텍사스 인스트루먼트의 절연 게이트 드라이버에는 재료 그룹 I 절연이 있을 수 있지만 다른 공급업체의 옴토커플러에는 재료 그룹 II 절연이 있을 수 있으며, PCB FR4 재료에는 재료 그룹 IIIa가 있을 수 있습니다. 해발 5,000m까지 작동할 수 있는 전원 공급장치를 설계하는 것이 목표입니다.

다음 단계는 강화 절연이나 기본 절연이 필요한지 결정하는 것입니다. 입력은 1차 주전원이며 출력은 IEC 60950-1에 따라 비접지형 SELV입니다. 기본 주전원에서 비접지형 SELV에 이르기까지, IEC 60950-1의 그림 2H는 강화 절연이 필요하다고 설명합니다. 출력 접지에서 접지로 연결하려면 기본 절연만 필요하며, 이로 인해 연면과 간극 요구 사항이 더 작아지고 있습니다. 하지만 이 전원 공급 장치의 출력은 접지에 접지되지 않으므로 강화 절연 규칙이 적용됩니다. IEC 62368-1의 표 17은 필요한 연면이 나열되어 있고 이를 2배로 늘립니다. 이 애플리케이션에는 강화 절연이 필요하기 때문입니다. 표 17에서는 재료 그룹 I의 경우 4mm가 필요하고, 재료 그룹 II의 경우 5.6mm가 필요하고, 재료 그룹 III의 경우 8mm의 연면이 필요합니다. 여기에는 강화 절연의 이중 요인이 포함됩니다.

이제 필요한 간극을 결정할 차례입니다. 오염 정도는 2이고 설계해야 하는 고도는 5,000m이므로 다음 단계는 필요한 주전원 과도 임펄스 전압을 결정하는 것입니다. 주전원 공칭 라인-중성 전압은 최대 265V이며, 과도 과전압 범주는 II입니다. 이 전력 컨버터가 콘센트에 연결되기 때문입니다. IEC 60664-1의 표 F.1에서 과전압 범주 II의 경우 정격 임펄스 전압이 2.5kV임을 알 수 있습니다. 일반 IEC 60664-1 표 F.2 간극 규칙을 사용한 경우 이 애플리케이션은 강화 절연용이므로 그 다음으로 최고 값인 4kV를 사용해야 합니다. 하지만 이는 통신 애플리케이션용이므로 IEC 62368-1에는 표 10을 사용하여 기본 절연과 강화 절연의 값을 모두 제공합니다. 표에서 2.5kV 정격 임펄스 전압의

경우 강화 절연을 위한 3.6mm의 간극이 필요합니다. 이는 IEC 60664-1 표 F.2에서 4kV를 사용했을 때 3mm의 간극보다 더 보수적입니다.

이제 IEC 60664-1의 표 A.2의 고도 보정 계수를 적용해야 합니다. 5,000m의 경우 보정 계수는 1.48입니다. 작업에 필요한 간극은 5.33mm(3.6mm × 1.48)입니다.

표 6에는 연면 및 간극 거리, 이를 결정하는 데 필요한 매개변수, 표준의 관련 표에 대한 참조가 요약되어 있습니다.

매개 변수	값			출처
주전원 공칭 전압	235V _{AC}			애플리케이션별
최대 작동 전압	400V _{DC}			
고도	5,000m			
과도 과전압 범주	II			
오염 수준	2			IEC 60950-1 그림 2H
절연 등급	강화			
재료 그룹	I	II	III	부품 데이터 시트
연면	4mm (2mm × 2)	5.6mm(2.8mm × 2)	8mm (4mm × 2)	IEC 62368-1 표 17
정격 임펄스 전압	2.5kV			IEC 60664-1 표 F.1
고도 보정 계수	1.48			IEC 60664-1 표 A.2
간극	5.33 mm(3.6 mm × 1.48)			IEC 62368-1 표 10

표 6. 통신용 AC/DC 프론트 엔드의 연면 및 간극 요구 사항 요약.

필요한 연면 및 간극을 충족할 수 없는 경우 예외

지금까지 간극 요건을 충족할 수 없을 때 PCB가 컴포멀 코팅되는 방법에 대해 논의했습니다. 또한, 연면을 충족할 수 없는 경우 PCB 컷아웃을 사용하고, 연면, 간극 또는 둘 다를 충족할 수 없고, 기능 절연만 필요한 경우 일상적인 과도 테스트를 수행할 수 있습니다.

때로는 PCB에서 필요한 연면 거리를 충족하지 못할 수 있습니다. 이는 IC 절연이 재료 그룹 I이지만 PCB가 재료 그룹 IIIA인 경우에 특히 그렇습니다. 예를 들어, 통신 예의 AC/DC 프론트 엔드에는 재료 그룹 I의 경우 4mm의 연면, 재료 그룹 IIIA의 경우 8mm의 연면이 필요했습니다. 4mm 연면 패키지가 PCB에서 8mm의 간격을 사용하지 않도록 하는 경우가 있을 수 있습니다. 이 경우 PCB의 흠을 잘라서 연면을 늘릴 수 있습니다. 이렇게 하면 간극에 영향을

미치지 않지만, 절연 물질 표면을 따라 최단 거리를 측정하기 때문에 연면을 높일 수 있습니다. IEC 60664-1의 섹션 6.2에서는 연면 증가에 대한 지침을 제공합니다. 슬롯의 너비가 X인 경우 오염도를 기준으로 한 최소 값 = X가 있습니다. **그림 9**은 컷아웃이 있는 PCB의 단면이며 **표 7**은 오염 정도에 따라 슬롯이 필요한 최소 폭을 보여줍니다.

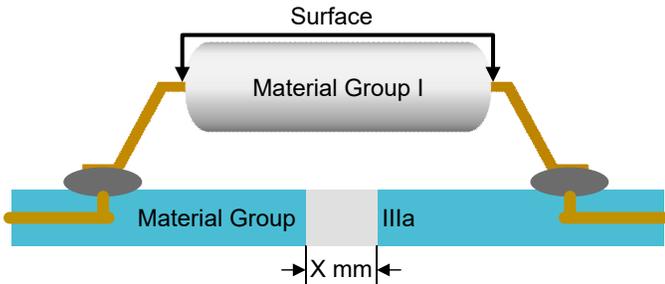


그림 9. PCB의 연면을 늘리기 위한 슬롯 컷아웃이 있는 PCB의 단면 영역.

오염 수준	최소 치수
1	0.25mm
2	1.0mm
3	1.5mm

표 7. 연면을 늘리기 위해 PCB로 잘라낸 슬롯 너비의 최소값.

기능 절연만 필요한 경우 필요한 연면 및 간극 거리를 충족할 수 없는 경우 생산 시 일상적인 과도(높은 전위) 테스트를 사용할 수 있습니다. 이 테스트는 의도적으로 절연된 두 도체 사이에 고전압을 가하며, 그에 따른 누설 전류를 측정합니다. 누설 전류가 특정 임계값을 초과하면 장치가 실패합니다. 고전위 테스트 중에 인가되는 전압은 일반적으로 작동 전압과 1,000V의 두 배입니다

예를 들어 최대 작동 전압이 265V_{AC}인 애플리케이션은 2 × 265 + 1,000 = 1,530V에서 테스트됩니다. 이러한 이유로 1.5kV는 일반적인 테스트 전압입니다. 연면 및 간극을 충족할 수 없는 경우 여러 표준은 고전위 테스트에 대한 지침을 제공합니다. IEC 60664-1의 섹션 5.2.2.1 및 5.1.3.3, IEC 60950-1의 섹션 5.3.4 및 IEC 62368-1의 섹션 B.4.4를 참조하십시오.

결론

연면 및 간극 거리를 다루는 많은 표준이 있으며, 설계자가 이를 사용하기 위해 이해해야 하는 많은 기술 용어가 있습니다. 이 백서에 제시된 순서도와 방법론을 통해 연면, 간극 및 고전압 간격을 더 잘 이해하고 개발 프로세스를 신속하게 진행하는 데 도움이 될 것입니다. 이 지식을 통해 안전 설계 지침을 유지하면서 전력 밀도를 높일 수 있습니다.

참고 자료

1. **고체 절연 물질의 증명 및 비교 추적 지수 결정 방법.** IEC 60112. IEC: 스위스 제네바, 2020년 10월 27일.
2. **IEC 60664-1 저전압 공급 시스템 내의 장비에 대한 절연 조정 - 1부: 원리, 요구 사항 및 테스트** IEC 60664-1. IEC: 스위스 제네바, 2020년 5월 26일.
3. **건물을 위한 전기 설비.** IEC 60364. IEC: 스위스 제네바.
4. **오디오/비디오, 정보 및 통신 기술 장비 - 1부: 안전 요구 사항.** IEC 62368-1. IEC: 스위스 제네바, 2023년 5월 26일.
5. **정보 기술 장비 - 안전 - 1부: 일반 요구 사항.** IEC 60950-1. IEC: 스위스 제네바, 2013년 5월 28일.
6. **속도 조정 가능한 전기 구동 시스템 - 5-1부: 안전 요구 사항 - 전기, 열 및 에너지.** IEC 61800-5. IEC: 스위스 제네바, 2022년 8월 31일.
7. **태양광 발전 시스템에서 사용하기 위한 전력 컨버터의 안전 - 1부: 일반 요구 사항.** IEC 62109-1. IEC: 스위스 제네바, 2010년 4월 28일.
8. **인쇄 기판 설계에 대한 일반 표준.** IPC-2221B. IPC: 배너크번, 일리노이, 2012년 11월.
9. **컴퓨터 및 통신 산업을 위한 전력 변환 장치에 대한 요구 사항** IPC-9592, 개정판 B. IPC: 배너크번, 일리노이, 2013년 1월 14일.
10. **반도체 디바이스 - 11부: 기본 및 강화 절연을 위한 자기 및 정전식 커패시터.** DIN VDE V 0884-11. VDE: 독일, 프랑크푸르트, 2017년 1월.
11. **광학 아이솔레이터,** UL 1577. UL: 노스브룩, 일리노이, 2014년 4월 25일.

12. 오디오/비디오, 정보 및 통신 기술 장비 - 1부: 안전 요구 사항. CQC GB4943.1. 중화인민공화국 인증 및 인증청: 베이징, 중국, 2022년 8월 1일.
13. "**절연 용어 설명**" Texas Instruments literature No. SLLA353A, September 2017.

중요 알림: 이 문서에 기술된 텍사스 인스트루먼트의 제품과 서비스는 TI의 판매 표준 약관에 의거하여 판매됩니다. TI 제품과 서비스에 대한 최신 정보를 완전히 숙지하신 후 제품을 주문해 주시기 바랍니다. TI는 애플리케이션 지원, 고객의 애플리케이션 또는 제품 설계, 소프트웨어 성능 또는 특허권 침해에 대해 책임을 지지 않습니다. 다른 모든 회사의 제품 또는 서비스에 관한 정보 공개는 TI가 승인, 보증 또는 동의한 것으로 간주되지 않습니다.

모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated