

애플리케이션 노트

AN1405

Revision:	KOR-01
발행일:	2022-11-11
작성자:	Rainer Weiss, Grady
결재자:	Ulrich Nicolai, Kendrick

키워드: 공간거리, 조정, 연면거리, 드라이브, 절연, 분리, 모듈, 태양광, 태양열, 솔리드, 표준

절연 조정

1. 일반	2
2. 절연의 종류	2
2.1 기능 절연	2
2.2 기본 절연	2
2.3 보호 격리	2
3. 절연 구현	3
3.1 공간거리	3
3.2 연면거리	4
3.3 솔리드 절연	5
4. 표준	5
4.1 유럽 및 국제 표준	5
4.2 UL 표준	6
5. SEMİKRON 모듈	8
6. AC 드라이브 예	8
6.1 규격	8
6.2 공간거리	9
6.3 연면거리	11
6.4 솔리드 절연	13
6.5 AC-드라이브 요약	14
7. 태양광 인버터 예	15
7.1 규격	15
7.2 공간거리	16
7.3 연면거리	18
7.4 솔리드 절연	22
7.5 태양광 인버터 요약	23

1. 일반

전기 절연체는 전압의 영향으로 전류를 전달하기 매우 어렵게 만드는 물질입니다. 완벽한 절연체란 존재하지 않습니다. 인가된 전압이 임계 수준을 초과하면 절연체의 일부가 전기 전도성으로 될 수 있습니다. 절연체는 모든 전기 장치에서 전기 전도체 간에 전류가 흐르지 않도록 전기 전도체를 서로 차단하는 역할을 합니다. 절연체는 적용 환경에서 장기간의 전기적 스트레스를 견딜 수 있도록 절연 성능이 좋아야 합니다. 수년간 절연체에 관한 많은 경험이 수집되었으며 이는 여러 표준에 문서화되어 있습니다. 절연 조정에 대한 규칙은 표준의 경험에 기초하여 필요한 절연 내성 능력에 따라 애플리케이션에서 주어진 전기 절연에 대한 전압 스트레스 요구 사항을 적용합니다.

이 애플리케이션 노트는 전력전자 분야 및 절연 조정 관련 표준을 어느 정도 경험이 있는 기술자 및 엔지니어를 위해 작성되었습니다. 모터 드라이브와 3 레벨 기술이 적용된 태양광 인버터를 예시로 제시하고 있습니다. 이 애플리케이션 노트는 일반적인 절연 표준을 이해하기 위한 가이드의 역할을 함과 동시에 모터 드라이브와 태양광 인버터 표준에도 중점을 두었습니다. 또한 SEMİKRON-DANFOSS 가 어떻게 각 제품의 절연 조정을 진행하는지를 설명합니다. 이 애플리케이션 노트는 관련 애플리케이션 표준자체를 대체하지 않습니다.

Insulation 은 전기 요소를 환경으로부터 보호하기 위해 감싸거나 덮고 있는 재료를 말합니다. Isolation 은 전기 소자를 다른 전기 부품으로부터 분리하여 격리시키는 것을 말합니다. 이 애플리케이션 노트에서는 전기 소자를 덮고 있는 공기를 포함한 물질을 가리키므로 '절연'이라는 단어가 사용되었습니다.

2. 절연의 종류

절연 조정은 목적별 세가지 절연 유형에 따라 차이가 있습니다. 절연 유형은 계층적 등급별 요구 사항을 충족해야 합니다.

2.1. 기능 절연

기능 절연은 회로 내의 전위를 분리하고 순전히 기능적 측면만을 고려하지만 안전 관련 측면은 고려하지 않습니다. 컨버터와 같은 전력 전자 장치의 경우, 기능 절연은 입출력 단자 사이 또는 AC, DC 또는 제동 초퍼와 같은 전원 단자와 게이트 또는 이미터와 같은 IGBT 제어 단자 사이의 모듈 레벨입니다.

2.2. 기본 절연

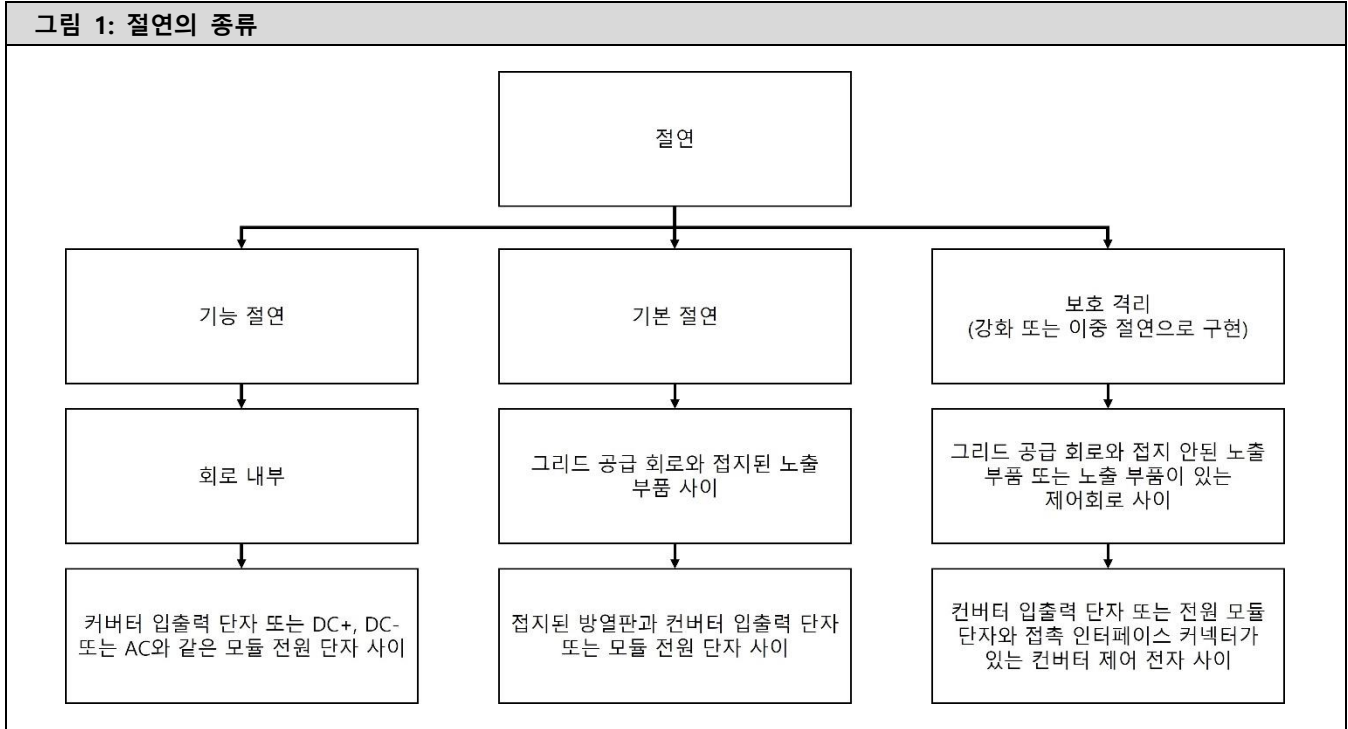
기본 절연은 계통 공급 회로를 접지된 노출 부품과 분리하므로 안전 측면에서 매우 중요한 항목입니다. 절연 파손은 노출된 부품의 접지로 인해 생명의 위험을 초래하지 않는다.

이 유형의 절연은 접지된 방열판, 하우징 또는 모듈 베이스 플레이트 및 컨버터 입력 및 출력 단자 또는 모듈 전원 단자 사이에 있습니다.

2.3. 보호 격리

강화 또는 이중(2 . -기본) 절연으로 구현된 보호 격리는 그리드 공급 회로를 접지되지 않은 노출 부품과 분리하고, 노출된 구성 요소가 있는 다른 제어 회로에 직접 연결된 경우 제어 회로와 분리합니다. 장비 사용자에게 대한 추가적인 보호는 제공되지 않습니다. 접지되지 않은 노출 부품이 그리드 전압으로 이동할 수 있기 때문에 절연이 파괴될 경우 치명적일 수 있습니다. 보다 더 엄격한 요구 사항을 충족해야 하는 이유가 바로 여기에 있습니다.

보호 격리는 한편으로는 컨버터 입력 및 출력 단자 사이 또는 모듈 전원 단자 사이, 그리고 다른 한편으로는 절연된 내부 제어 회로 또는 센서 사이에 있습니다. 이 센서들은 전류, 전압 또는 온도 센서로, 그 출력부가 커넥터 또는 터치 패널의 핀과 같이 부품이 노출된 제어 회로에 연결될 수 있습니다. 노출된 부품이 있는 전원 모듈 드라이버 보드의 전원 회로와 제어 회로 사이에 추가적인 보호 격리가 필요합니다.



3. 절연 구현

절연은 공간거리, 연면거리, 솔리드 절연 또는 이 세 가지의 조합으로 구현할 수 있습니다.

3.1. 공간거리

전도성 부품 사이의 공기 공간을 간극이라고 합니다. 공간거리는 가압시 항상 플래시오버현상(flashover: 순간적으로 전기 불꽃을 내며 전류가 흐르는 현상)을 방지할 정도의 충분한 거리를 갖어야 합니다. 이를 결정하는 요인은 최고 피크 전압과 주변 공기의 절연 강도입니다. 피크 전압은 계통에서 공급되는 장비의 과전압 범주에 의해 고려됩니다. 과전압 범주 레벨은 예상되는 과전압 정도를 말합니다. 특수 보호 회로에서 예상 전압은 낙뢰가 발생할 수 있는 회로(= 높은 범주 수준)에 비해 낮습니다(= 낮은 범주 수준). 기존의 네 가지 범주는 모든 절연 표준에 기술되어 있는데 설명은 약간 다르지만 의미는 같다.

표 1: EN61800-5-1, 4.3.6.1.3 에 따른 과전압 범주	
과전압 범주(OVCAT)	설명
1	과도 과전압을 낮은 수준으로 낮추는 조치가 취해진 회로에 연결된 장비
2	고정 설비에 영구적으로 연결되지 않은 장비
3	고정 설비에 영구적으로 연결된 장비(주 배전반의 다운스트림 및 주 배전반을 포함)
4	설치 원점에 영구적으로 연결된 장비(주 배전반의 업스트림)

설치 고도는 기압 강하로 인해 공기의 절연 강도에 큰 영향을 미칩니다. 설치 고도가 해발 2000m 이상인 경우, 요구되는 공간거리는 EN60664-1, 표 A2 에 명시된 고도 보정 계수만큼 늘려야 합니다. 이 표준은 표의 각 선 사이의 고도에 대해 보간을 금지하거나 허용하지도 않습니다.

일반적으로는 보간법을 사용하는 것이 물리적으로 합리적입니다.

표 2: EN60664-1, 표 A2 에 따른 고도 보정 계수		
고도[m]	정상 대기압[hPa]	공간거리에 대한 곱셈 계수
2000	800	1.00
3000	700	1.14
4000	620	1.29
5000	540	1.48
6000	470	1.70
7000	410	1.95

3.2. 연면거리

절연 재료 표면의 오염은 절연 재료를 가로질러 전도성 경로를 생성할 수 있습니다. 이 전도성 부품의 길이를 연면 길이, 연면 트랙 또는 간단히 연면거리라고 합니다. 먼지, 염분, 물 및 적용 전압은 전도성 경로의 길이에 영향을 미칩니다.

연면거리의 치수는 표면 전류와 사용된 재료의 오염수준과 저항 등에 의해 결정됩니다. 환경 조건은 4 단계 오염과 관련이 있습니다.

표 3: EN61800-5-1, 4.3.6.1.2 에 따른 오염 정도	
오염 정도(PD)	설명
1	오염이 발생하지 않거나 건조한 비전도성 오염만 발생한다. 오염은 영향을 주지 않는다.
2	보통, 비전도성 오염만 발생한다. 그러나 때때로 장치가 작동하지 않을 때 응결에 의한 일시적 전도성이 발생할 수 있다. EN50124-1 과 같은 어떤 표준에서는 작동 중 응결에 의한 일시적 전도성도 예상한다.
3	전도성 오염 또는 응결로 인해 전도성이 될 것으로 예상되는 조한 비전도성 오염이 발생한다.
4	오염은 가령 전도성 먼지나 강우 또는 눈에 의해 전도성을 지속시킨다.

절연 재료의 저항은 비교 추적 지수(CTI)로 설명됩니다. 지정된 누설 전류가 정의된 테스트 설정에서 흐를 때까지 테스트 전압을 증가시켜 CTI 를 결정합니다. 재료의 저항성이 높을수록 CTI 값이 증가하고 연면 거리는 더 짧아질 수 있습니다. 절연 재료는 5 가지 유형으로 분류됩니다.

표 4: 비교 추적 지수(CTI) 분류		
CTI 분류	CTI 레벨	예시
0		추적하지 않는 유리나 세라믹 같은 무기 재료
1	≥600	PE-HD(폴리에틸렌)이나 PTFE(폴리테트라플루오로에틸렌) 같은 플라스틱 소재
2	400...599	인쇄회로기판(PCB) 기본 재질 FR4 타입 KF
3a	175...399	유리 강화 PCB 재료 FR4
3b	100...174	호일 소재 폴리이미드(예: Kapton) 또는 수지(예: 페놀)

연면 전류의 손상 효과는 오랫동안 문제가 되어 왔습니다. 여기서 결정적인 것은 피크값이 아니라 적용된 전압의 유효 값입니다. 따라서 애플리케이션 사이클 시간 이상에 걸쳐 유효 전압을 계산합니다.

전압의 1 차 고조파 간의 위상 변이는 RMS 전압을 추가하여 고려해야 합니다. 종종 위상 변이는 알려지지 않거나 많은 노력을 기울여야만 식별이 가능합니다. 이러한 이유로 최악의 경우를 고려하는 것이며 전압의 2 차 합이 사용됩니다($V_{1,3} = \sqrt{V_{1,2}^2 + V_{2,3}^2}$). 한편, 이는 결과적으로 얻은 전압의 합이 때때로 전혀 결정적이지 않음을 의미합니다. 표준에서 요구하는 최소 연면 길이는 실험 설정에서 최대 1000V 의 전압과 오염도 1,2 에 대해서만 결정된 PCB 의 트래킹 저항과 함께 대부분 경험적으로 결정된 것으로, 그 결과가 요구 사항으로 채택되었습니다. 이러한 이유로 여기에서 요구된 거리는 PCB 재료의 CTI 가 실제로 요구하는 것보다 훨씬 작은 이유입니다. 최소 연면거리는 최소한의 공간거리 이상입니다. 이것이 연면 길이가 적어도 공기 중 공간거리 정도는 되어야 하는 이유입니다. 유리 또는 세라믹과 같은 무기 절연 재료의 경우에는 연면 거리가 관련 공간거리와 같을 수 있습니다.

3.3. 솔리드 절연

솔리드 절연은 공기나 가스만으로 생성되지 않는 절연이다. 일부 표준은 최소 재료 두께를 요구하거나, 절연 재료로 코팅을 인정하지 않거나, 특별한 PCB 관련 요구사항을 명시하고 있습니다. 요구사항을 일반화하는 것은 불가능하며 관련 제품 규격을 확인해야 합니다. 솔리드 절연이 전압 부하를 견딜 수 있는지 검증하기 위해 다음 세가지 테스트를 실시하여 확인할 수 있습니다.

- 임펄스 내전압 시험
- AC 또는 DC 전압 시험
- 부분방전 시험

이상적으로는 부분방전 개시 전압이 예상되는 최대 피크 전압보다 높으면 부분방전이 발생하지 않기 때문입니다. 부분방전 소멸 전압은 부분방전이 시작되면 다시 안전하게 차단되어야 하기 때문에 지속적으로 존재하는 전압보다 높아야 합니다. 일부 표준은 보호 격리 절연에 대해서만 부분방전 시험을 요구합니다. 장비가 아닌 구성 요소에 대해 이러한 시험을 실시하는 것이 허용됩니다.

절연 조정은 컨버터 내 각 전위별 절연 유형과 구현을 상호 연관시켜 관련 표준이 요구하는 거리나 시험 전압과 같은 최소 요구 사항을 찾는 것입니다.

4. 표준

4.1. 유럽 및 국제 표준

고전압 장비(>1000V_{ac} 또는 1500V_{dc})와 저전압 장비(≤1000V_{ac} 또는 1500V_{dc})는 별도로 고려해야 합니다. 둘 다 기본 요구사항과 더불어 자체적인 기본 표준이 있습니다. 계통에 연결된 고전압장비의 경우에는 EN60071-1, 저전압 장비의 경우에는 En60664-1 이 이러한 표준에 해당합니다. 제품 표준 및 제품 그룹 표준은 일반적으로 이러한 기본 표준을 재차 참조하므로 모든 장비에 대한 요구 사항은 사용된 표준과 광범위하게 독립적입니다. 컨버터의 절연 조정에 대해 일반적으로 적용되는 몇 가지 표준이 있습니다.

계통에 연결되지 않는 장비에 대한 표준은 일반적으로 명시된 기본 표준을 기반으로 하지 않습니다. 때로는 절연에 대해 엄격한 요구사항을 명시합니다(일례로, 철도 애플리케이션 적용을 위한 EN50124-1).

표 5: 절연 조정 관련 유럽 표준 선택		
EN60071-1	절연 조정 - 정의, 원리 및 규칙	기본 표준
EN60664-1 [3]	저압 시스템 내부 장비 관련 절연 조정 - 원리, 요구사항 및 규칙	기본 표준
EN50178	전력 설비에 사용되는 전자 장비	제품 그룹 표준
EN62477-1 [4]	전력 전자 컨버터 시스템 및 장비 관련 안전 요구사항 - 일반	제품 그룹 표준
EN60950-1	IT 장비 - 안전 - 일반 요구사항	제품 표준
EN61204-7	저압 전원공급장치, d.c. 출력 - 안전 요구사항	제품 표준
EN61800-5-1 [5]	가변 속도 전력 구동 시스템 - 안전 요구 사항 - 전기, 열 및 에너지	제품 표준
EN62040-1	무정전 전원 공급 장치(UPS) - UPS 관련 일반 및 안전 요구 사항	제품 표준
EN62109-1 [6]	태양광 발전 시스템용 전력 컨버터의 안전 - 일반 요구 사항	제품 표준
EN50124-1	철도 애플리케이션 - 절연 조정 - 기본 요구 사항 - 모든 전기 및 전자 장비에 대한 공간거리와 연면거리	제품 표준

4.2. UL 표준

일반적으로 UL 에 대한 절연 조정은 IEC 또는 EN 표준을 기반으로 하지 않습니다. 따라서 요구 사항이 상당히 차이가 있습니다. 장비에 대한 UL 승인을 받고자 하는 경우에는 절연 조정은 2 회 실시해야 합니다. 즉, 유럽/국제 표준에 대해 한번, UL 에 표준에 대해 한번 실시해야 합니다.

절연에 대한 UL 기본 요구 사항은 UL 표준 UL840 에서 최대 1500V 의 위상 대 접지(phase-to-ground) 정격 시스템 전압에 대해 설명하고 있습니다. 다양한 UL 제품 표준의 요구 사항은 이 기본 표준에 설정되거나 이 기본 표준의 절연 요구 사항을 대안으로 사용할 수 있도록 하고 있습니다.

대부분의 UL 표준은 IEC 및 EN 표준과 비교하여 대부분 회로 내에서 더 높은 여유 기능적 절연과 기본 절연 간의 차이를 허용하지 않습니다. 보통 IEC 및 EN 표준 만을 근거로 설계된 장비는 UL 절연 요구 사항을 충족하지 않습니다.

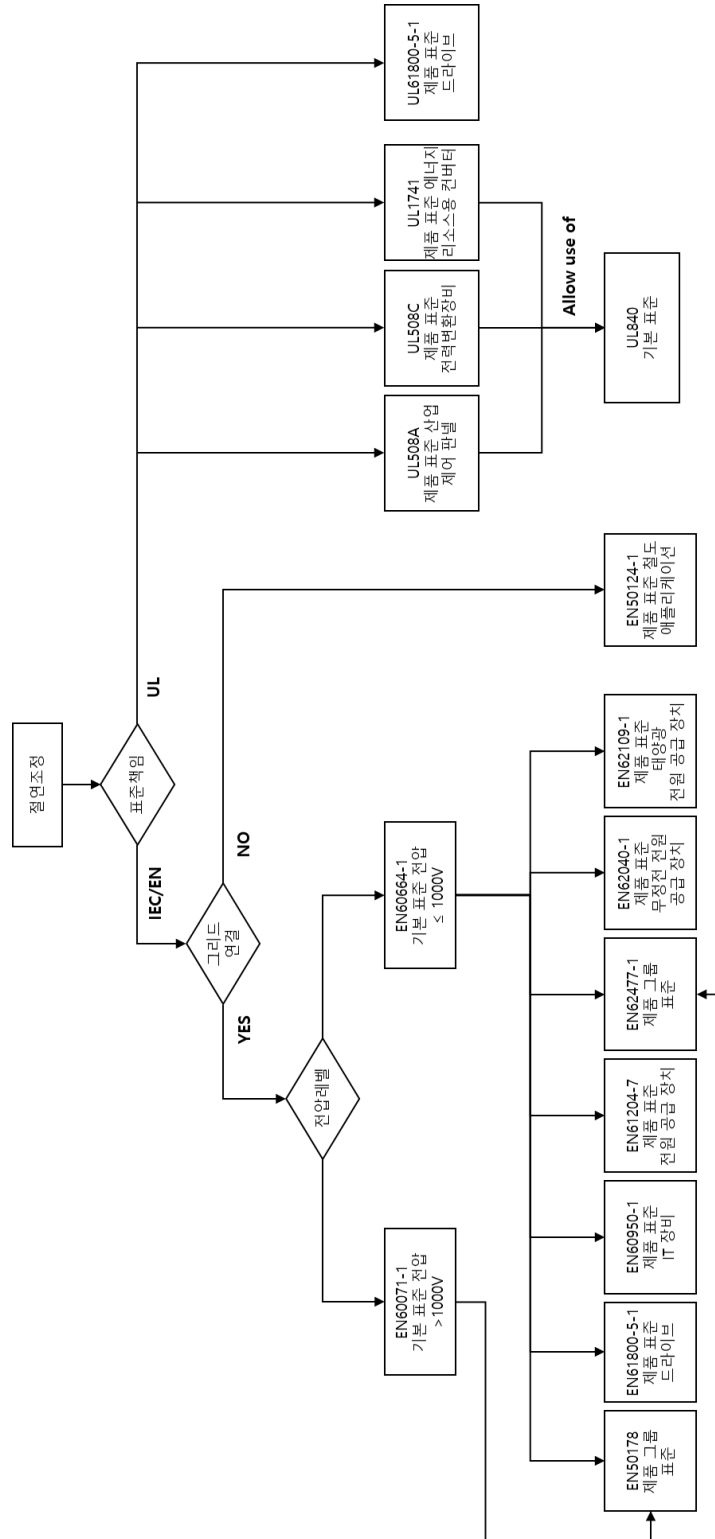
표 6: 절연 조정 관련 UL 표준 선택			
UL840	공간거리와 연면 길이를 포함한 전기 장비에 대한 절연 조정	기본 표준	
UL508A	산업 제어 판넬	제품 표준	UI840 를 대신 사용 가능
UL508C	전력변환장비	제품 표준	UI840 를 대신 사용 가능
UL1741	분산 에너지 리소스용 인버터, 컨버터, 컨트롤러 및 상호연결 시스템 장비	제품 표준	UI840 를 대신 사용 가능
UL61800-5-1 [7]	가변속도 전력 구동 시스템 - Part 5-1: 안전 요구사항 - 전기, 열 및 에너지	제품 표준	UI840 대신 사용 불가

결론적으로 UI61800-5-1 은 UL508C 를 대체하기 위해 공개되었습니다. 2016 년부터 UL61800-5-1 이 새로운 제품의 절연 조정을 결정하는데 사용되고 있습니다. 2020 년에 UL508C 은 IEC/UL 61810-1 로 통합되었습니다.

UL61800-5-1 은 EN61800-5-1 과 동일하지 않습니다. 예를 들어 드라이브의 필드 배선 단자의 간격은 상당히 다릅니다. UL61800-5-1 은 더 높은 거리를 요구하고 있습니다. 차이점을 정리한 목록을 UL61800-5-1 의 머릿말에 있습니다.

산업용 애플리케이션의 절연 조정과 관련하여 일반적으로 사용되는 표준의 구조는 아래와 같습니다.

그림 2. 변환기의 절연 조정을 위한 선택된 표준의 구조



5. SEMIKRON 모듈

일반적으로 SEMIKRON 부품의 구성은 EN61800-5-1 표준에 따라 설계됩니다. 부품 데이터시트에 달리 명시되지 않은 경우 절연 치수는 모듈의 차단 전압 등급에 따라 다릅니다. 동일한 하우징 크기를 가진 동일한 제품 라인의 모듈은 이 모듈 유형에 사용 가능한 가장 높은 차단 전압으로 설계되었습니다. 예를 들어 MiniSKiiP 38ACxxx 는 600V, 1200V, 1700V 칩과 함께 사용할 수 있습니다. 칩 전압을 제외하고 항상 동일한 하우징이 사용됩니다. 절연 치수는 최고 전압(예: 1700V) 모듈에 대해 실시합니다.

표 7: EN61800-5-1 에 따른 절연 조정을 위한 일반 규격 SEMIKRON 용도						
차단 전압 등급	DC 링크 전압	그리드 전압	그리드 구성	과전압 범주	고도	오염 정도
600V/650V	400V	230V	스타(wye)	3	2000m	2
1200V	900V	480V	접지 TN-			
1700V	1200V	690V	C- 시스템			

2 의 정의에 따라 모듈 단자 사이에는 기능 절연이 되어 있습니다. 모듈 단자와 베이스플레이트(baseplate) 사이에 기본 절연이 사용됩니다. "무전위" 온도 센서(데이터 시트 회로도 참조)가 부착된 모듈의 경우에는 이 센서와 전원 회로 사이에 기능 절연이 사용됩니다.

SEMIKRON 데이터 시트에 제공된 모듈 절연 시험 전압 V_{isol} 은 EN61800-5-1 요구사항보다 더 높은 전압을 보여줍니다. 이는 모듈이 철도 애플리케이션과 같은 다른 표준에 따라 사용될 수 있기 때문입니다. 따라서 제공된 시험 전압을 통해 어떤 규격이 절연 조정에 사용되었는지 결론짓는 것은 불가능합니다.

6. AC 드라이브 예

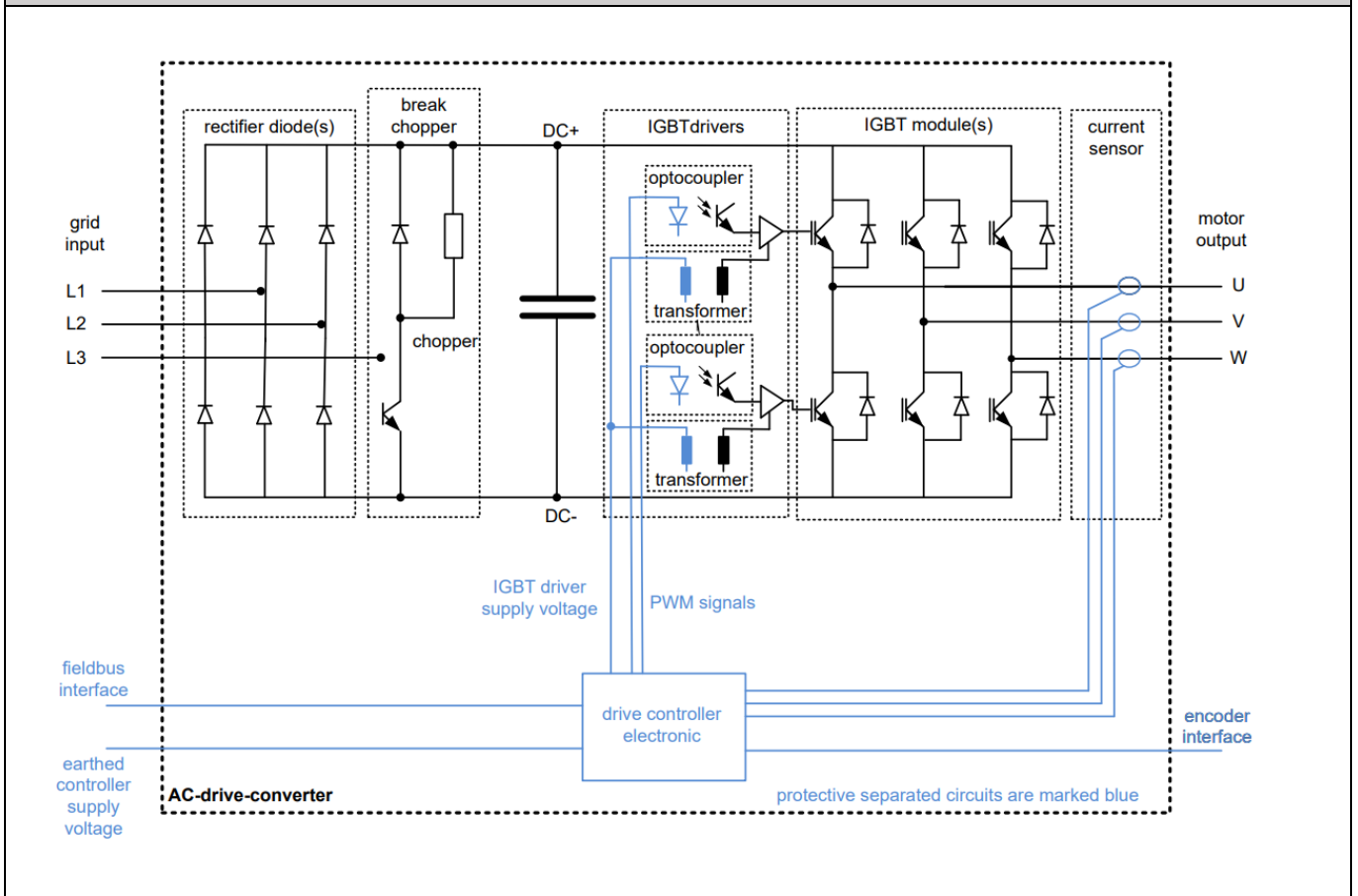
6.1. 규격

산업용 AC 드라이브는 절연 조정 프로세스와 관련된 아래 규격을 갖습니다.

- 입력: 3 x 400V, 50Hz, TN-C 시스템만 해당
- 출력: 3 x 370V, 0 ~ 300Hz
- 브레이크 초퍼: DC 턴온 레벨 830V, DC 턴오프 레벨 800V
- DC 링크: $\leq 845V$
- 고도: $\leq 4000m$
- 오염: 전도성 먼지 없음, 응결 없음
- 필드버스 인터페이스: CAN
- 인코더 인터페이스: 리졸버
- 컨트롤러 공급: 24V PELV

다른 파라미터는 절연 치수 생성과 무관합니다.

그림 3: AC 드라이브의 주요 회로도



드라이버의 경우, 관련 제품 표준은 EN61800-5-1 입니다. 이 애플리케이션 노트에 설명된 절연 조정 절차는 이 표준을 기반으로 합니다. 적용된 절차는 제품 그룹 표준 EN62477-1 의 요구사항과 유사합니다.

드라이브에 유선 필드버스 인터페이스(여기서는 CAN), 인코더 인터페이스(여기서는 리졸버), 접지된 컨트롤러 공급 전압이 있다는 정보를 통해 드라이브 컨트롤러 전자 장치가 접지되어 있고 어떤식으로든 만질 수 있다고 추정할 수 있습니다(가령, 커넥터 핀에서). 이는 AC 드라이브 컨트롤 인터페이스를 포함하여 전원 회로와 컨트롤러 전자 장치 사이에 강화 또는 이중 절연으로 구현된 보호 분리가 필요함을 의미합니다.

이 표준은 절연 요구사항을 결정하는데 사용되는 시스템 전압의 개념을 소개합니다. 선간 전압(드라이브의 지정된 입력 전압)이 400V 인 TN-C 시스템에서 접지 전압은 $\frac{400V}{\sqrt{3}} = 230V$ 입니다. EN61800-5-1, 표 7 은 보간을 허용하지 않습니다. 따라서 이 표에서 그 다음으로 높은 값 300V 을 취해야 합니다. 따라서 여기서 시스템 전압은 300V 입니다. 절연은 오염의 영향을 받습니다. 전도성 먼지와 응결이 허용되지 않는다는 정보는 오염도 2 와 상관이 있습니다(EN61800-5-1, 표 6).

6.2. 공간거리(Clearance)

드라이브는 최고 4000m 까지 지정되므로 모든 공간거리에 대해 고도 보정 계수를 고려해야 합니다. EN60664-1, 표 A2 에 따라 4000m 에 대한 계수는 1.29 입니다.

6.2.1. 기능 절연으로 사용되는 공간거리

기능 절연의 경우 작동 전압의 반복적인 피크와 연관이 있습니다. 최악의 경우 전원 회로 내 모든 지점 사이에 사용된 반도체 모듈의 차단 전압이 됩니다. EN61800-5-1, 표 9, 열 2 와 4 에 따르면 1200V 피크 작동 전압에 대해 0.9mm 의 공간거리가 필요합니다(지정된 AC 드라이브 입력 전압에 일반적인 드라이브 용으로 1200V 모듈이 사용된다고 가정). 0.9mm 는 이 표준에서 명시적으로 허용하는 960V 와 1600V 를 사용한 표의 선들 사이의 선형 보간 결과값입니다. 여기서 요구되는 거리값은 항상 안전한 방향으로 한 자리 반올림됩니다.

$$d = 0.5mm + \frac{1.5mm - 0.5mm}{1600V - 960V} \cdot (1200V - 960V) = 0.875mm \approx 0.9mm$$

과전압 범주 1 에 요구되는 공간거리는 0.5mm 에 불과해 요구사항이 덜 엄격하므로(300V 시스템 전압 및 과전압 범주 1 에 대한 임펄스 전압은 EN61800-5-1, 표 7, 열 2 에 따라 1500V 이고 이는 결과적으로 EN61800-5-1, 표 9, 열 5 에 따라 공간거리는 0.5mm 가 됨) 고려하지 않아도 무방합니다. 고도 보정 계수 1.29 를 고려하면 기능 절연에 필요한 공간거리는 1.2mm($\approx 0.875mm \cdot 1.29$)가 됩니다. 이 값은 선간, 상에서 DC 까지 혹은 상부(TOP)와 하부(BOT) IGBT 의 게이트 사이 등 전원 회로 내 모든 공간거리에 대해 취해야 하는 값입니다.

전원 회로 내 실제 전압은 차단 전압보다 작을 수 있으며 이 때문에 공간거리가 더 작아질 수 있습니다. 반면에 특히 고도 보정 계수를 고려하지 않아야 하는 경우 대부분의 연면 길이는 기능 절연에 대해 더 강력하게 요구하고 있습니다. 따라서 공간거리 결정을 위해 차단 전압을 취하는 것이 실질적 제약 사항은 아닙니다.

6.2.2. 기본절연으로 사용되는 공간거리

AC 드라이브는 계통에서 공급되는 고정 산업 설비에 사용됩니다. 이러한 장비에 대해 예상되는 과전압은 범주 3 입니다(EN61800-5-1, 4.3.6.1.3).

시스템 전압(여기서는 300V, 위 참조)과 과전압 범주가 공간거리 결정에 필요한 임펄스 전압(EN61800-5-1, 표 7, 열 4)을 결정합니다. 300V 의 경우, 임펄스 전압은 4000V 이며 공간거리 3mm 간격입니다(EN61800-5-1, 표 9, 열 5). 최대 1600V 의 작동 전압은 공간거리 3mm 에 대해 허용 가능하며(EN61800-5-1, 표 9, 열 3), 이는 드라이브에서 예상되는 수준을 훨씬 상회합니다. 그러므로 여기서는 과전압 범주로부터 가장 강력한 요건입니다. 고도 보정 계수를 고려하면 기본 절연에 필요한 공간거리는 3.9mm($\approx 3mm \cdot 1.29$)입니다.

이 값은 방열판이나 하우징과 같은 접지된 전도성 부품과 입출력 단자, DC 링크 또는 PCB 의 그리드 전압 회로 노출 부품 등과 같은 전원 회로 사이의 모든 공간거리에 대해 취해야 합니다.

6.2.3. 보호 격리로 사용되는 공간거리

시스템 전압, 과전압 범주 및 임펄스 전압 결과값의 결정은 기본 절연과 동일합니다. 고장 발생 시 사용자에게 치명적이기 때문에 기본 절연에 비해 보호 격리에 대해 요구되는 공간 거리 값이 더 높습니다. 표에서 그 다음으로 높은 값에 해당하는 임펄스 전압이 사용되어야 하며, 그 값은 강화 절연에 의해 구현된 보호 격리의 경우 6000V 입니다(EN61800-5-1, 표 9, 열 1). 임펄스 전압이 6000V 의 경우, 공간거리는 5.5mm(EN61800-5-1, 표 9, 열 5)입니다. 작동 전압에서 요구되는 공간거리는 기본 절연과 동일하며 과전압 범주의 요구 사항보다 덜 엄격합니다. 고도 보정 계수를 고려하면 기본 절연에 필요한 공간거리는 7.1mm($\approx 5.5mm \cdot 1.29$)입니다. 이 거리는 입출력 단자, DC-링크 또는 IGBT-게이트 등의 전원회로와 인코더 인터페이스, 전류 센서 피드백, PWM 신호 또는 드라이브 컨트롤러 등 AC 드라이브 컨트롤러 전자 장치 사이의 모든 공간거리에 대해 취해야 합니다.

6.3. 연면거리

오염으로부터 보호하기 위해 포팅 또는 코팅 재료를 PCB 에 사용할 수 있으며, 이를 위해 오염도 1 이 적용되는 보호재(EN61800-5-1, 4.3.6.6)를 사용합니다. 포팅 또는 코팅 재료는 EN60664-3 에 따른 시험을 통과해야 합니다.

여기서 다루는 AC 드라이브의 경우에는 오염으로부터 보호하기 위해 포팅 또는 코팅 재료가 사용되지 않은 것으로 가정합니다.

6.3.1. 기능 절연으로 사용되는 공간거리

고려대상인 AC 드라이브가 PCB 로만 구성되고 여타 절연 관련 부품이 없다고 가정하는 경우, EN61800-5-1 의 3 열, 표 10 은 연면거리와 관련이 있습니다. 가령 DC+와 DC- 사이의 포일과 같은 다른 절연체가 사용되는 경우, 절연의 분리 범주는 5~8 열까지의 연면 거리를 취하여 고려해야 합니다. 모든 연면거리에 대해, 전압 보간이 명시적으로 허용됩니다.

AC 드라이브 내 전위 사이의 RMS 전압은 차례로 계산합니다. AC 드라이브에 부하가 적용되지 않으면, DC 링크는 다음과 같이 계통 전압의 피크 전압에 노출됩니다.

$$V_{dc} = 400V \cdot \sqrt{2} = 566V$$

초퍼가 작동 시간의 1%로 작동한다고 가정하면, DC 링크 전압은 최악의 경우 569V 로 계산될 수 있습니다.

$$V_{dc} = \sqrt{\frac{1}{T} \left(\int_0^{0.99T} (566V)^2 dt + \int_{0.99T}^T (830V)^2 dt \right)} = 569V$$

초퍼 구동이 RMS 전압에 미치는 영향은 너무 낮으므로 초퍼 전압 자체를 제외하고 다음 계산에서는 고려하지 않습니다. 입력 위상 중 하나와 DC+ 또는 DC- 사이의 전압은 365V 로 계산됩니다.

$$V_{L,DC+} = \sqrt{(V_{DC+,earth})^2 + (V_{L,earth})^2} = \sqrt{(0.5 \cdot V_{dc})^2 + \left(\frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} \right)^2} = \sqrt{(0.5 \cdot 566V)^2 + \left(\frac{400V}{\sqrt{3}} \right)^2} = 365V$$

모터 위상에서 DC+ 또는 DC-까지의 전압은 동일하게 계산되지만, $V_{LL} = 400V$ 대신 $V_{UV} = 370V$ 을 사용합니다. 따라서 전압은 $V_{U,DC+} = 355V$ 가 됩니다. 드라이브의 입력 위상에서 출력 위상까지의 전압은 DC+까지 전압의 합입니다.

$$V_{L1,U} = \sqrt{V_{L1,DC+}^2 + V_{DC+,U}^2} = \sqrt{(365V)^2 + (355V)^2} = 509V$$

초퍼는 이 기간 중 99%에 해당하는 시간 동안 턴오프 상태입니다. 이 기간 동안 DC+ 전압을 초퍼 IGBT 의 컬렉터에 인가됩니다. 나머지 1%의 시간동안, 이 IGBT 를 턴온하고 초퍼 턴오프 전압이 DC 링크에 적용됩니다. 계산 결과, 초퍼 IGBT 의 집전기에서 DC- 까지의 RMS 전압은 563V 이고, DC+까지는 83V 입니다.

$$V_{Chopper,DC-} = \sqrt{\frac{1}{T} \left(\int_0^{0.99T} (566V)^2 dt + \int_{0.99T}^T (2V)^2 dt \right)} = 563V$$

$$V_{Chopper,DC+} = \sqrt{\frac{1}{T} \left(\int_0^{0.99T} (2V)^2 dt + \int_{0.99T}^T (830V)^2 dt \right)} = 83V$$

위상에서 초퍼 IGBT 까지의 전압은 이미 계산된 위상과 DC+ 사이, DC+와 초퍼 사이 전압의 합입니다.

$$V_{Chopper,L1} = \sqrt{(365V)^2 + (83V)^2} = 374V$$

$$V_{Chopper,U} = \sqrt{(355V)^2 + (83V)^2} = 365V$$

이렇게 얻은 전압을 토대로 EN61800-5-1, 표 10, 열 3 을 통해 연면거리를 구합니다. 이 표는 모든 전압 레벨이 제시된 것이 아니므로 명시적으로 허용된 보간법을 사용할 수 있습니다. 예를 들면, 전압 $V_{L1,U} = 509V$ 의 경우, 연면거리는 2.6mm 가 됩니다.

$$d_{L1,U} = 2.5mm + \frac{3.2mm - 2.5mm}{630V - 500V} \cdot (9V) = 2.55mm \approx 2.6mm$$

표 8: EN61800-5-1 의 기능 절연에 대해 인가된 RMS 전압 및 관련 연면거리

		L1	L2	L3	DC+	DC-	초퍼	U	V	W
		인가된 RMS 전압[V]								
L1	EN61800-5-1, 표 10 [mm]에 따라 계산한 연면거리		400	400	365	365	374	509	509	509
L2		2.0		400	365	365	374	509	509	509
L3		2.0	2.0		365	365	374	509	509	509
DC+		1.9	1.9	1.9		566	83	355	355	355
DC-		1.9	1.9	1.9	2.9		563	355	355	355
초퍼		1.9	1.9	1.9	0.2	2.9		365	365	365
U		2.6	2.6	2.6	1.8	1.8	1.9		370	370
V		2.6	2.6	2.6	1.8	1.8	1.9	1.9		370
W		2.6	2.6	2.6	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	

연면거리가 최소 1.2mm 의 공간거리를 가져야 한다는 점을 고려하여 표를 새로 제공하였습니다. 공간거리 요구 사항에 따라 늘어난 거리값은 파란색으로 표시하였습니다.

표 9: AC 드라이브의 기능 절연에 대해 인가된 RMS 전압 및 요구된 연면거리

		L1	L2	L3	DC+	DC-	초퍼	U	V	W
		인가된 RMS 전압[V]								
L1	EN61800-5-1, 표 10 [mm]에 따라 계산한 연면거리		400	400	365	365	374	509	509	509
L2		2.0		400	365	365	374	509	509	509
L3		2.0	2.0		365	365	374	509	509	509
DC+		1.9	1.9	1.9		566	83	355	355	355
DC-		1.9	1.9	1.9	2.9		563	355	355	355
초퍼		1.9	1.9	1.9	1.2	2.9		355	355	355
U		2.6	2.6	2.6	1.8	1.8	1.9		370	370
V		2.6	2.6	2.6	1.8	1.8	1.9	1.9		370
W		2.6	2.6	2.6	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	

IGBT 게이트의 전압은 이미터까지 +15V ~ -15V 입니다. 이 값이 너무 작아 해당 연면 거리가 0.04mm 에 불과하므로 더 이상 고려하지 않았습니다. 게이트에서 여타 모든 전위까지의 연면거리는 같은 IGBT 의 이미터에서와 동일합니다. 따라서 모든 상위 IGBT 의 경우에는 연면거리가 위상과 동일하고 하위 IGBT 의 경우에는 DC-와 동일합니다.

6.3.2. 기본 절연으로 사용된 연면거리

스타 접지 TN-C 그리드에서 DC 전압은 접지와 균형을 이룹니다. 따라서 DC+ 또는 DC-에서 접지까지 전압은 DC 링크 전압의 절반에 해당합니다. 입력 및 출력 위상에서 접지까지 전압은 선간 전압을 $\sqrt{3}$ 으로 나눈 값입니다. 초퍼 IGBT 의 컬렉터에 대한 전압은 접지에 대한 DC 접지 전압과 DC 와 초퍼 사이의 전압차입니다.

$$V_{chopper,earth} = \sqrt{(283V)^2 + (53V)^2} = 271V$$

다음으로 필요한 공간거리가 연면거리 표의 값보다 큰지 여부를 확인해야 합니다. 필요한 경우 연면 거리를 공간거리 레벨까지 늘려야 합니다.

표 10: 기본 절연에 대해 인가된 RMS 전압 및 요구된 연면거리									
	L1	L2	L3	DC+	DC-	초퍼	U	V	W
인가된 RMS 전압[V]	230	230	230	283	283	271	214	214	214
EN61800-5-1, 표10에 따른 연면거리 [mm]	0.9	0.9	0.9	1.2	1.2	1.2	0.8	0.8	0.8
공간거리를 고려하여 필요한 연면거리[mm]	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9

6.3.3. 보호 격리로 사용되는 연면거리

강화 절연이나 이중 절연을 통해 구현된 보호 격리용 연면거리 측정을 위한 전압은 기본 절연과 같지만 연면 길이 요건은 더 크다. EN61800-5-1, 표 10, 열 10 에 따르면 거리가 2 배가 되어야 한다. 이어서 공간거리가 열 10 에 따른 값의 2 배보다 큰지 확인해야 한다. 필요시, 연면 거리를 공간거리 수준까지 높여야 한다.

표 11: 보호 격리를 위해 인가된 RMS 전압 및 필요한 연면거리									
	L1	L2	L3	DC+	DC-	초퍼	U	V	W
인가된 RMS 전압[V]	230	230	230	283	283	271	214	214	214
EN61800-5-1, 표10에 따른 연면거리[mm]	1.7	1.7	1.7	2.4	2.4	2.4	1.5	1.5	1.5
공간거리를 고려하여 필요한 연면거리[mm]	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1

6.4. 솔리드 절연

포팅이나 코팅 재료를 PCB 의 솔리드 절연에 사용할 수 있습니다. 이를 위해서는 포팅 또는 코팅 재료가 EN60664-3(EN61800-5-1, 4.3.6.8.4.2)에 따른 시험을 통과해야 합니다.

여기에서는 AC 드라이브에 솔리드 절연재인 포팅 또는 코팅 재료가 없다고 가정합니다.

다층 PCB 의 내부 레이어의 경우, 동일 층의 인접 트랙 간 절연은 오염도 1 에 대한 연면거리나 공간거리(상기 요구 사항 참조) 또는 솔리드 절연(EN61800-5-1, 4.3.6.8.4.1)으로 처리하였습니다.

6.4.1. 기능 절연으로 사용되는 솔리드 절연

일반적 고장으로 인해 치명적인 인명 피해가 발생하지 않는 경우에는 표준 기능 절연에 대한 특별한 요구 사항이 없습니다. 시험이 필요하지 않습니다. 고장이 치명적인 결과로 이어질 수 있는 경우 기능 절연에 대한 요구 사항은 기본 절연에 대한 요구 사항과 같습니다. 고려해야 할 전압은 공간거리 및 연면거리와 동일합니다. AC 드라이브의 경우에는 치명적인 결과가 발생하지 않는다고 가정합니다.

6.4.2. 기본 절연으로 사용되는 솔리드 절연

솔리드 절연이 전압 응력을 견딜 수 있는지 확인하기 위해 하위 어셈블리 및 다층 PCB 레이어에 대해 두 가지 시험을 진행하여야 합니다. 여기에서는 차폐를 위해 AC 드라이브가 PCB 의 접지 내부 레이어를 갖고 있다고 가정하였습니다.

임펄스 내전압 시험은 보간을 허용하는 EN61800-5-1, 표 19, 열 4 에 따라 유형 및 샘플 테스트로 수행되어야 합니다. 접지된 TN-C 그리드에서 400V 의 선간 전압을 사용하는 AC 드라이브의 시스템 전압은 230V 이므로 상호

비교(correlating) 시험의 임펄스 내전압은 3300V 입니다. 동일한 시스템 전압에 대해 AC 또는 DC 전압 시험은 EN61800-5-1, 표 21, 2 열 1430V_{ac} 또는 2020V_{dc}에 따라 진행되어야 합니다.

750µm 보다 얇은 절연 재료는 PCB 내부 레이어와 같이 기계적 스트레스가 가해져서는 안됩니다.

동일한 방식으로 칩이 있는 구리 트랙에서 모듈 베이스 플레이트를 향한 IGBT 모듈의 외부 절연을 확인합니다. 이 경우 솔리드 절연은 부드러운 몰드로 채워진 모듈과 모듈 하우징의 직렬로 연결됩니다.

6.4.3. 보호 격리로 사용되는 솔리드 절연

보호 격리의 경우, 부품, 하위 어셈블리 및 다층 PCB 의 각 레이어에 대해 3 가지 시험을 실시해야 합니다. 여기에서 고려된 AC 드라이브에는 PWM 신호용 광커플러와 IGBT 게이트 드라이버 공급용 변압기가 들어 있습니다. 모두 PCB 에 장착되며, 컨트롤러 전압에서 공급이 됩니다. 임펄스 내전압 시험은 시스템 전압 230V 에 대한 EN61800-5-1, 표 19, 열 5 에 따라 형식 및 샘플 시험의 형태로 실시합니다. 임펄스 내전압은 5067V 입니다. 시스템 전압이 같은 경우, AC 또는 DC 전압 시험은 EN61800-5-1, 표 21, 3 열 2860V_{ac} 또는 4040V_{dc} 에 따라 실시합니다. 1430V_{ac} 또는 2020V_{dc} 관련 2 열에 따라 변압기에 대해 루틴 시험이 추가로 필요합니다.

PCB 레이어의 전압이 750V_{peak} 보다 높고 층간 절연 전기장이 1000V/mm 보다 높으면 형식 시험(type test)으로 부분 방전 테스트를 실시해야 합니다(4.3.6.8.2.2). 보호 격리에 사용되는 PCB 의 절연층이 1 개밖에 없으면 추가 샘플 테스트를 실시해야 합니다. 여기에 사용된 변압기는 절연체에 가해지는 전압 스트레스가 1000V/mm 미만인 되도록 설계되어 변압기에 대한 부분 방전시험은 필요하지 않습니다.

부분방전시험은 EN61800-5-1, 표 24 에 따라 실시해야 합니다. DC 전압이 566V 인 AC 드라이브는 모터 케이블과 모터의 기생 효과로 인해 통상 대략 1000V_{peak} 의 공통 모드 전압(=접지 전압)을 갖습니다. 따라서 부분 방전 소멸 전압의 피크 전압은 최소한 아래 값 이상이어야 합니다.

$$V_{PDextinction} = 1.5 \cdot 1000V_{peak} = 1500V_{peak}.$$

6.5. AC 드라이브 요약

아래 표는 고도 4000m 에서 AC 드라이브에 대한 EN61800-5-1 에 따른 절연 조정 결과를 정리한 결과입니다.

표 12: EN61800-5-1에 따른 AC 드라이브의 절연 요구사항				
EN61800-5-1		절연의 종류		
		기능 절연	기본 절연	보호 격리
절연 구현	공간거리	1.2mm	3.9mm	7.1mm
	연면거리	1.2mm~2.9mm	3.9mm	7.1mm
	솔리드 절연			
	임펄스 내시험 전압(impulse withstand test voltage)	-	3300V	5067V
	AC 또는 DC 시험 전압	-	1430V _{ac} or 2020V _{dc}	2860V _{ac} or 4040V _{dc}
	부분방전 소멸 전압	-	-	1500V _{peak}

유사한 애플리케이션(예: 난방용 컨버터 아닌 드라이브)의 경우 절연 조정은 EN62477-1 에 따릅니다. 히터에 제동 초퍼나 인코더가 없다는 점을 고려하지 않는다면, 규격은 AC 드라이브와 같습니다. 모든 요건은 EN61800-5-1 적용시와 같습니다.

7. 태양광 인버터 예

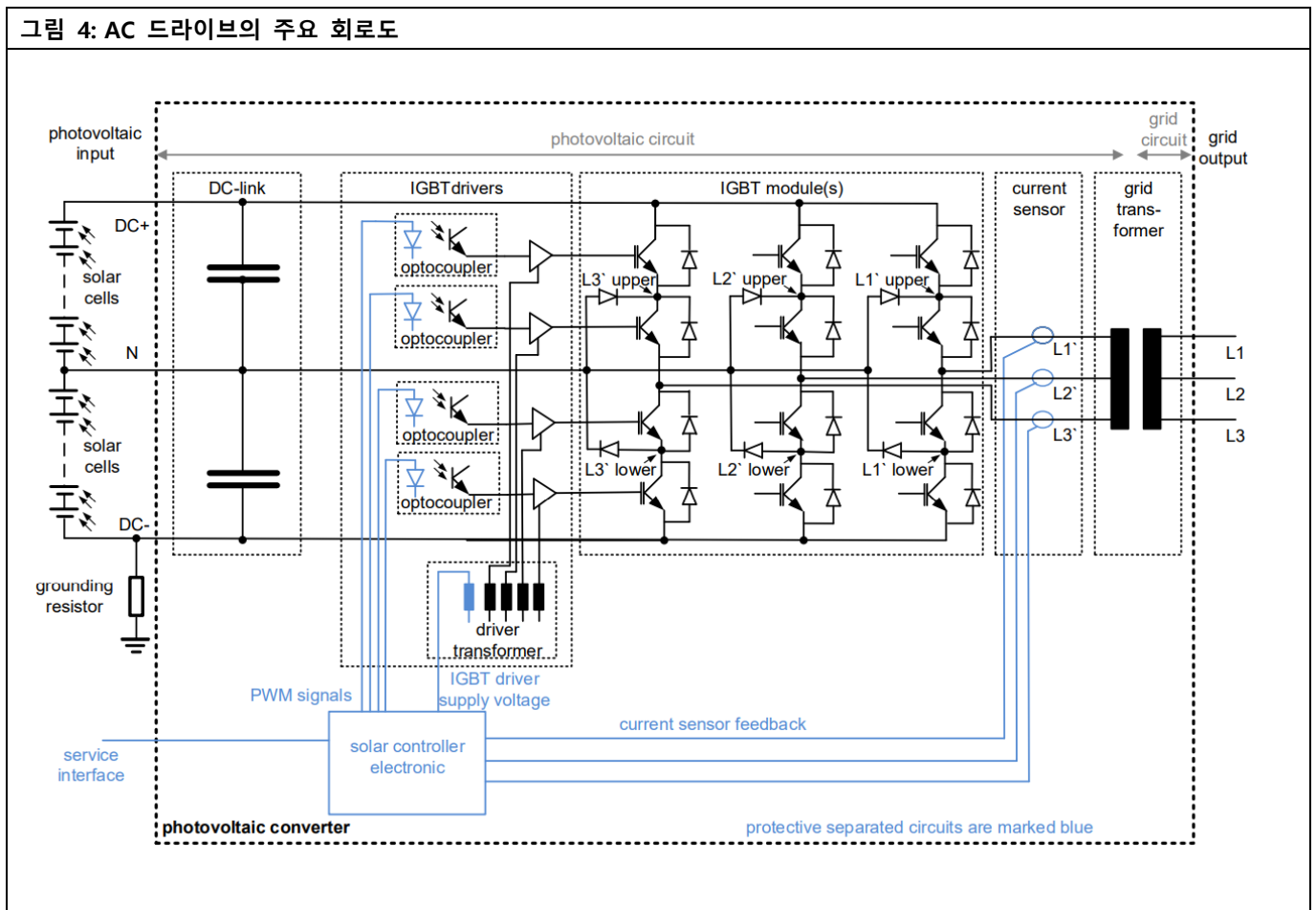
7.1. 규격

태양광 인버터는 절연 조정 프로세스와 관련하여 아래 규격을 갖습니다.

- 입력 태양광 전압: $\leq 1500V_{dc}$
- 출력 주전원 전압: $V_{LL} = 3 \times 400V_{ac}$, 50Hz, TN-C-시스템만 해당
- 그리드 변환 비율(grid transformer ratio) $800V_{ac} / 400V_{ac}$
- DC- 에서 접지 저항기
- 고도: $\leq 3000m$
- 무조정(unconditioned)룸 환경의 옥내 사용
- 컨버터 인클로저 IP54
- 태양열 컨트롤러에 대한 서비스 인터페이스

다른 파라미터는 절연 치수 생성과 무관합니다.

그림 4: AC 드라이브의 주요 회로도



태양광 인버터 관련 제품 표준은 EN62109-1 입니다. 여기에서 설명하고 있는 절연 조정 절차는 이 표준에 기반합니다. 절차가 제품 그룹 표준 EN62477-1 의 요구사항과 매우 유사합니다.

인버터에 솔라 컨트롤러용 서비스 인터페이스가 있다는 점은 강화 또는 이중 절연으로 구현된 보호 격리가 전원 회로와 컨트롤러 전자 장치 사이에 필요하다는 의미입니다. 전원 회로와 접지된 부품 사이에 기본 절연이 필요합니다(EN62109-1, 표 8). 전원 회로는 태양광 회로와 계통 회로로 구성됩니다. 태양광 회로와 계통 회로는 변압기를 사용한 갈바닉 분리를 통해 서로 격리됩니다. 과전압 범주 2 는 태양광 회로(photovoltaic circuit)(EN62109-1, 7.3.7.1.2, b)에 대해, 범주 3 은 계통 회로(EN62109-1, 7.3.7.1.2, a)에 대한 것으로 각각 가정합니다. 회로 내에서 적용되는

과전압 범주는 한 범주씩 낮습니다(EN62109-1, 7.3.7.1.2, f). 여기서 범주 1 은 태양광 회로에 대해, 범주 2 는 계통 회로에 각각 적용합니다.

또한 계통 회로의 과전압 레벨이 태양광 회로에 영향을 미치며, 그 반대도 역시 성립한다는 것을 고려해야 합니다. 계통 변압기의 갈바닉 분리는 두 경우 모두 과전압 범주를 한 레벨씩 낮춥니다(EN62109-1, 7.3.7.1.2, c).

시스템 전압을 사용하여 절연 요구사항을 결정합니다(EN62109-1, 7.3.7.2.1). 400V 의 선간 전압(= 컨버터의 지정 출력 전압)을 갖는 TN-C-시스템이 계통 측에 있습니다. 여기서 계통 측 시스템 전압은 상전압 $400V/\sqrt{3} = 230V$ 입니다. 태양광 시스템 전압은 최대 정격 태양광 개방 회로 전압(EN62109-1, 7.3.7.2.3)으로 여기서는 1500V 입니다. 시스템 전압 결정을 위해, 태양광 회로를 저항기로 접지하는 것은 적절하지 않습니다.

절연은 오염의 영향도 받습니다. 인버터가 에어컨이 없는 실내 환경의 옥내 사용 용도는 오염 정도 3 과 관련이 있습니다(EN62109-1, 표 4). 인버터 인클로저 또는 인버터가 설치되는 캐비닛은 EN60529 에 따라 IP5X 이며, 내부에서는 일체 오염이 발생하지 않습니다. 따라서 오염도를 3 에서 2 까지 줄일 수 있습니다(EN62109-1, 표 5).

7.2. 공간거리

태양광 인버터는 최고 3000m 까지 지정되므로 모든 공간거리에 대해 고도 보정 계수를 고려해야 합니다. 이 계수는 1.14 (EN62109-1, 표 F.1)입니다.

7.2.1. 기능 절연으로 사용되는 공간거리

작동 전압만 기능 절연과 관련이 있습니다. 과전압 범주 1(EN62109-1, 7.3.7.3)만 요구되는 경우, 과전압 범주에 따른 임펄스 내전압은 고려하지 않습니다. 태양광 회로의 최악 상황 작동 전압은 사용된 반도체의 차단 전압입니다. EN62109-1, 표 13, 열 2,4 에 따라, NPC 토폴로지에서는 일반적이듯이 차단 전압이 1200V 인 반도체가 태양광 컨버터에 사용된다고 가정할 때 1200V 의 반복 피크 작동 전압에 대해 0.9mm 의 공간거리가 필요합니다[9]. 0.9mm 라는 값은 표의 960V 와 1600V 라인 사이의 선형 보간을 실시한 결과값으로, 표준이 명시적으로 허용하고 있고 안전한 방향에서 한 자리로 반올림한 것입니다.

$$d = 0.5mm + \frac{1.5mm - 0.5mm}{1600V - 960V} \cdot (1200V - 960V) = 0.875mm \approx 0.96mm$$

고도 보정 계수 1.14 를 고려하면 기능 절연에 필요한 공간거리는 1mm(=0.875mm · 1.14)입니다. 이 거리를 전원 회로 내부의 각 반도체에 대한 공간거리로 취해야 합니다.

NPC 토폴로지에서는 최소 2 개의 반도체가 동시에 전전압(full voltage)을 차단해야 합니다[9]. $2 \cdot 1200V = 2400V$ 반복 피크 작동 전압에 대해 1.8mm 의 공간거리가 필요합니다(EN62109-1, 표 13, 열 2, 4).

$$d = 1.5mm + \frac{3.0mm - 1.5mm}{2600V - 1600V} \cdot (2600V - (2 \cdot 1200V)) = 1.8mm$$

고도 보정 계수 1.14 를 고려하면 기능 절연에 필요한 공간거리는 2.1mm(≈1.8mm · 1.14)입니다.

변압기에 필요한 공간거리는 변압기에 의해 하나의 과전압 범주만큼 감소되는 임펄스 전압에 의해 결정됩니다. (EN62109-1, 7.3.7.1.2 c) 230V_{rms} 의 계통 시스템 전압과 과전압 범주 3 은 4000V 의 임펄스 전압 및 2500V 를 갖는 과전압 범주 2 와 관련이 있습니다(EN62109-1, 표 12). 이것은 3mm 와 1.5mm 의 공간거리를 의미합니다(표 13). 그 차이는 1.5mm 입니다. 과전압 범주 2(임펄스 전압 6000V → 공간거리 5.5mm)와 과전압 범주 1(임펄스 전압 4000V → 공간거리 3mm)에 대해 1500V_{dc} 의 태양광 시스템 전압에 대해 같은 과정을 반복해야 합니다. 여기서 차이는 2.5mm 으로 계통 시스템 전압에 대해 결정된 값보다 큼니다. 고도 보정 계수를 고려할 때 필요한 공간거리는 2.9mm (≈ 2.5mm · 1.14)입니다.

선간 계통 전압의 과전압 범주는 상전압보다 한 범주 낮습니다(EN62109-1, 7.3.7.1.2F). 따라서 과전압 범주 2 에 해당하며 계통 시스템 전압이 최고 300V 인 경우 이는 2500V 의 임펄스 전압을 의미합니다(EN62109-1, 표 12). 표 13 에 따르면, 공간거리는 1.5mm 이며, 이 값을 고도 보정 계수와 곱해야 합니다. 필요한 상간 공간거리는 1.8mm($\approx 1.5\text{mm} \cdot 1.14$)입니다.

표 13: EN62109-1에 따른 인가 작동 또는 임펄스 전압 및 관련 공간거리

		DC+	DC-	N	L1' upp	L2' upp	L3' upp	L1' low	L2' low	L3' low	L1'	L2'	L3'	L1	L2	L3	
		최대 인가 작동 전압 또는 임펄스 전압[V]															
DC+	표 F.1.1의 고도 보정 계수 1.14를 감안하여 EN62109-1, 표 13 [mm]을 토대로 계산한 공간거리		2400	2400	1200	1200	1200	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	
DC-		2.1		2400	2400	2400	2400	1200	1200	1200	2400	2400	2400	2400	2400	2400	
N		2.1	2.1		1200	1200	1200	1200	1200	1200	2400	2400	2400	2400	2400	2400	
L1' upp		1.0	2.1	1.0		1200	1200	1200	2400	2400	2400	2400	2400	1200	2400	2400	
L2' upp		1.0	2.1	1.0	1.0		1200	2400	1200	2400	2400	2400	1200	2400	1200	2400	
L3' upp		1.0	2.1	1.0	1.0	1.0		2400	2400	1200	2400	2400	1200	2400	2400	1200	
L1' low		2.1	1.0	1.0	1.0	2.1	2.1		1200	1200	1200	2400	2400	1200	2400	2400	
L2' low		2.1	1.0	1.0	2.1	1.0	2.1	1.0		1200	2400	1200	2400	2400	1200	2400	
L3' low		2.1	1.0	1.0	2.1	2.1	1.0	1.0	1.0		2400	2400	1200	2400	2400	1200	
L1'		2.1	2.1	2.1	1.0	2.1	2.1	1.0	2.1	2.1	2.1		2400	2400	2000	2000	2000
L2'		2.1	2.1	2.1	2.1	1.0	2.1	2.1	1.0	2.1	2.1	2.1		2400	2000	2000	2000
L3'		2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	1.0	2.1	2.1	1.0	2.1	2.1	2.1		2000	2000	2000
L1		2.1	2.1	2.1	1.0	2.1	2.1	1.0	2.1	2.1	2.1	2.9	2.9	2.9		1500	1500
L2		2.1	2.1	2.1	2.1	1.0	2.1	2.1	1.0	2.1	2.1	2.9	2.9	2.9	1.8		1500
L3	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	1.0	2.1	2.1	1.0	2.1	2.9	2.9	2.9	1.8	1.8		

작동 전압은 검정색으로, 임펄스 전압은 파란색으로 표기

전원 회로 내 실제 전압은 차단 전압보다 작을 수 있으며, 이러한 이유로 공간거리가 더 작아질 수 있습니다. 반면에 기능 절연에 대한 연면 길이 요구사항이 더 강력합니다. 따라서 공간거리 결정을 위해 차단 전압을 취하는 것이 실질적 제약 사항은 아닙니다.

7.2.2. 기본절연으로 사용되는 공간거리

기본 절연에 대한 공간거리는 태양광 회로와 그리드 회로에 대해 2 단계로 결정됩니다.

태양광 회로

태양광 시스템 전압은 $1500V_{dc}$ 이고 과전압 범주 2 인데, 이는 6000V 의 임펄스 전압과 관계가 있습니다(EN62109-1, 표 12). 계통 시스템 전압 $230V_{ac}$ 과 과전압 범주 3 은 변압기에 의해 태양광 회로에 대해서는 과전압 범주 2 로 낮아지며, 이는 2500V 의 임펄스 전압을 의미합니다. 태양광 시스템 전압의 요구사항이 더 높으므로(임펄스 전압 6000V~2500V), 표 13 에 따른 공간 거리 결정을 위해 구해야 하는데 여기서 그 값은 5.5mm 입니다. 고도 보정 계수를 고려하면 태양광 회로에서 기본 절연에 필요한 공간거리는 6.3mm($\approx 5.5\text{mm} \cdot 1.14$)입니다.

계통 회로

계통 시스템 전압은 230V_{ac} 이고 과전압 범주 3 은 4000V 의 임펄스 전압과 관계가 있습니다. 과전압 범주 2 에 대한 태양광 시스템 전압 1500V_{dc} 는 변압기에 의해 계통 회로에 대해 과전압 범주 1 로 낮아지며, 이는 다시 4000V 의 임펄스 전압을 의미합니다. 임펄스 전압 4000V 에 대한 공간 거리는 3mm 입니다. 고도 보정 계수를 고려하면 그리드의 기본 절연에 필요한 공간거리는 3.5mm($\approx 3\text{mm} \cdot 1.14$)입니다.

표 14: EN62109-1에 따른 태양광 및 그리드 회로의 공간거리 결정		
	태양광 회로	계통 회로
시스템 전압	1500Vdc	230Vrms
과전압 범주	2	3
도출된 임펄스 전압 결과값	6000V	4000V
변압기로 인해 낮아진 다른 회로의 과전압 범주	2	1
도출된 다른 회로의 임펄스 전압 결과값	2500V	4000V
관련 임펄스 전압	6000V	4000V
기본 절연을 위한 공간거리(EN62109-1, 표 13)	5.5mm	3.0mm
여기서 1.14의 고도 보정 계수를 고려한 기본 절연을 위한 공간거리	6.3mm	3.5mm
보호 격리를 위한 공간거리	8mm	5.5mm
고도 보정 계수를 고려한 보호 격리를 위한 공간거리	9.2mm	6.3mm

7.2.3. 보호 격리로 사용되는 공간거리

시스템 전압, 과전압 범주 및 도출된 임펄스 전압 결과값 결정은 기본 절연과 동일합니다. 고장 발생 시 사용자에게 치명적이기 때문에 기본 절연에 비해 보호 격리에 대해 요구되는 공간거리 값이 더 높습니다. 표에서 그 다음으로 높은 값에 해당하는 임펄스 전압이 강화 절연에 의해 구현된 보호 격리에 사용되어야 합니다(EN62109- 1, 7.3.7.4.1). 따라서 해당되는 임펄스 전압은 태양광 회로에 대해서는 8000V, 계통 회로에 대해서는 6000V 입니다(기본 절연의 경우에는 각각 6000V, 4000V 임). 태양광 회로의 공간거리는 8mm 이고, 계통 회로에 대해서는 5.5mm 입니다(EN62109-1, 표 13). 고도 보정 계수를 고려할 때, 강화 절연에 대해 필요한 공간거리는 태양광 회로의 경우에는 9.2mm($\approx 8\text{mm} \cdot 1.14$), 계통 회로에 대해서는 6.3mm($\approx 5.5\text{mm} \cdot 1.14$)입니다. 이 같은 거리를 입력 단자, 출력 단자, DC 링크 또는 IGBT 게이트 등과 같은 전원회로와 고객 인터페이스와 전류 센서 피드백 등 솔라 컨트롤러 전자 장치 사이의 모든 공간거리에 대해 취해야 합니다.

7.3. 연면거리

오염으로부터 보호하기 위해 포팅 또는 코팅 재료를 PCB 에 사용할 수 있으며, 이는 보호재(EN62109-1, 7.3.7.6) 하부 부품의 미세 환경을 개선하는 역할도 합니다(EN62109-1, 7.3.7.6). 간격 요구사항을 줄이기 위해 유효 오염 정도를 낮추는 코팅을 사용하는 경우, 이것을 "적합성 코팅"이라고 하고, 코팅된 부위에 오염도 1 이 적용됩니다. 포팅 또는 코팅 재료는 EN60664-3 에 따른 시험을 통과해야 합니다.

여기서 설명한 태양광 인버터의 경우에는 오염으로부터 보호하기 위한 포팅 또는 코팅 재료가 사용되지 않는다고 가정합니다.

여기서 다루는 태양광 인버터는 PCB 만으로 구성되어 다른 관련 절연 부품이 사용되지 않습니다. EN62109-1, 표 14 의 열 3 이 최고 1250V 의 전압에 대한 연면 거리와 관련됩니다. 절연재의 분리 범주는 열(column)로부터의 연면거리를 구하여 고려합니다.

높은 전압 또는 DC+와 DC- 사이의 호일과 같이 PCB 와는 다른 절연재의 경우에는 5~8 모든 연면거리에 대해, 보간이 명시적으로 허용됩니다.

변압기의 1 차 전압과 2 차 전압 사이의 이동은 알려져 있지는 않으나 RMS 전압을 추가하여 고려해야 합니다. 이것이 최악의 경우를 고려하고, 전압의 2 차 합(quadratic sum)을 사용하는 이유입니다.

7.3.1. 기능 절연으로 사용되는 공간거리

L1, L2, L3 선간 계통 전압 400V 는 변압기를 통해 2:1 의 비율로 강아됩니다. 따라서 L1', L2', L3' 선간전압은 200V 가 됩니다.

$$V_{L1',L2'} = V_{L2',L3'} = V_{L1',L3'} = 200V$$

태양광 인버터에 부하가 가해지지 않으면, DC 링크가 최대 태양광 전압에 노출되는데, 여기서 그 값은 $V_{DC+,DC-} = 1500V$ 입니다. 태양광 컨트롤러는 총 DC 전압이 상부(DC+와 N 사이)와 하부(N 과 DC- 사이) DC 링크 잘 공유되도록 합니다. 따라서 최대 인가 전압은 750V 입니다.

$$V_{DC+N} = V_{DC-N} = 750V$$

개별 IGBT 및 모듈의 다이오드에 인가되는 전압은 인버터의 변조 지수 M 에 따라 달라지는 전압 듀티 사이클로 계산 가능합니다[9]. 전압과 전류 파형 사이의 위상 이동(ϕ)은 전압 듀티 사이클이나 변조 지수에 영향을 미치지 않습니다.

$$M = \frac{\text{peak voltage between the phase}}{0.5 \cdot V_{DC}} = \frac{V_{L',L'} \cdot \sqrt{2}}{0.5 \cdot V_{DC}} = \frac{200V \cdot \sqrt{2}}{0.5 \cdot 1500V} = 0.377$$

Outer(바깥쪽) IGBT 의 전압 듀티 사이클은 $1 - \frac{M}{\pi} = 1 - \frac{0.377}{\pi} = 0.88$ 입니다. Inner(안쪽) IGBT 와 중앙의 다이오드는 $\frac{M}{\pi} = \frac{0.377}{\pi} = 0.12$ 입니다.

$$V_{DC+,L'upper} = V_{DC-,L'lower} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left(\left(1 - \frac{M}{\pi}\right) \cdot 0.5 \cdot V_{dc} \right)^2 dt} = \left(1 - \frac{M}{\pi}\right) \cdot 0.5 \cdot V_{dc} = 0.88 \cdot 0.5 \cdot 1500V = 660V$$

$$V_{L1',L1'upper} = V_{L1',L1'lower} = V_{N,L'upper} = V_{N,L'lower} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{M}{\pi} \cdot 0.5 \cdot V_{dc} \right)^2 dt} = \frac{M}{\pi} \cdot 0.5 \cdot V_{dc} = 0.12 \cdot 0.5 \cdot 1500V = 90V$$

다른 전압은 다음과 같이 계산할 수 있습니다.

$$V_{L',DC+} = V_{DC+,L'upper} = V_{L1',L1'upper} = 660V + 90V = 750V$$

$$V_{DC+,L'lower} = V_{DC+,L'upper} = V_{dc} - V_{DC+,L'upper} = 1500V - 660V = 840V$$

$$V_{L1'upper,L1'lower} = V_{L2'upper,L2'lower} = V_{L3'upper,L3'lower} = V_{L1',L1'upper} + V_{L1',L1'lower} = 90V + 90V = 180V$$

$$V_{L1'upper,L2'upper} = V_{L1'lower,L2'lower} = \frac{V_{DC+,L'upper}}{V_{L',DC+}} \cdot V_{L',L'} = \frac{660V}{750V} \cdot 200V = 176V$$

$$V_{L1',L2'upper} = V_{L1',L2'lower} = \sqrt{V_{L1',L1'}^2 + V_{L1',L1'lower}^2} = \sqrt{200V^2 + 90V^2} = 219V$$

$$V_{L'upper,L2'lower} = \sqrt{V_{L1'upper,L2'upper}^2 + V_{L1'upper,L1'lower}^2} = \sqrt{176V^2 + 180V^2} = 252V$$

$$V_{L1',N} = \sqrt{V_{N,L1'upper}^2 + V_{L1',L1'lower}^2} = \sqrt{90V^2 + 90V^2} = 128V$$

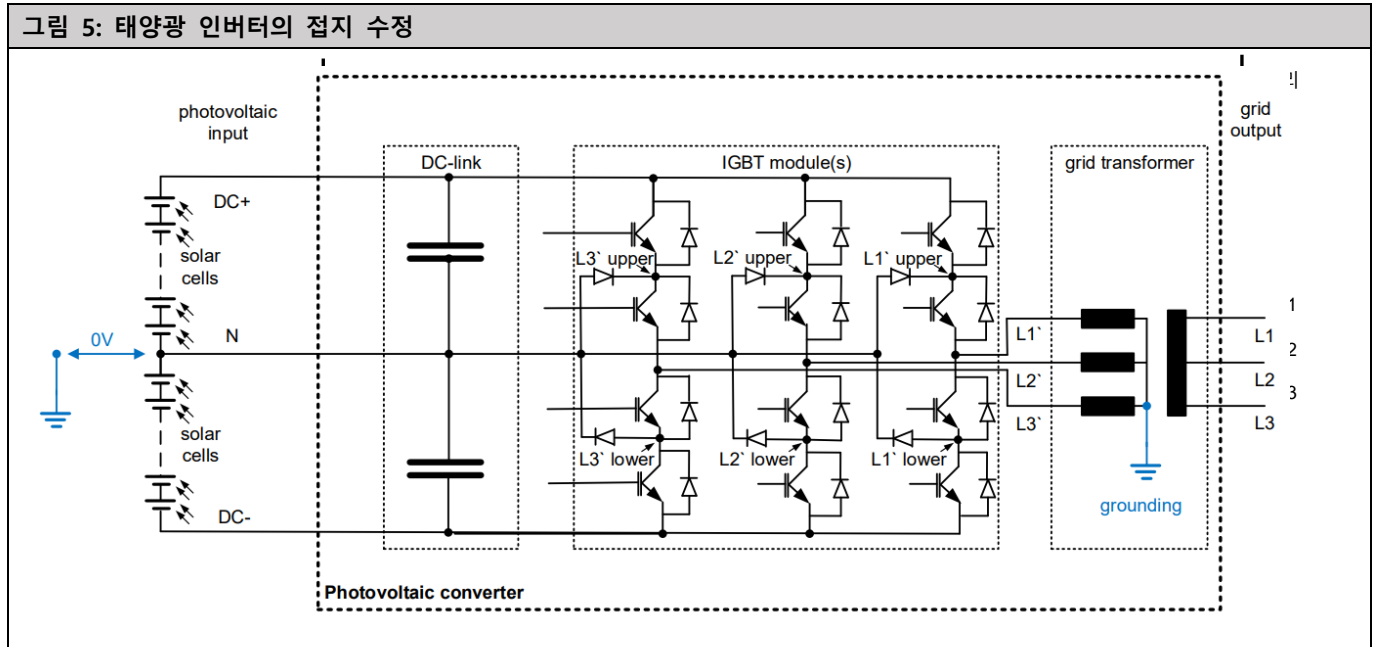
DC 변위는 이 예시에서 접지 저항기를 통해 접지 연결되어 있습니다. 그러므로 접지 전압은 다음과 같습니다.

$$V_{DC-,earth} = 0V$$

$$V_{N,earth} = V_{DC-,earth} + V_{DC-,N} = 0V + 750V = 750V$$

$$V_{DC+,earth} = V_{DC-,earth} + V_{dc} = 0V + 1500V = 1500V$$

2 차 위상 L1', L2', L3'에서 접지된 DC-까지의 전압을 계산하려면 수정 등가 회로도를 사용하는 것이 이해가 더 쉽습니다. 이때 DC-는 저항기를 통해 접지에 연결되지 않습니다. 대신 계통 변압기의 스타 포인트가 접지됩니다. 이러한 수정 회로는 앞에서 AC 드라이브 예시를 통해 설명한 것과 거의 동일합니다. 여기서 DC+ 또는 DC-에서 접지까지 전압은 DC 전압의 절반입니다. 따라서 DC 중점에서 접지까지 전압은 0V 입니다.



이것은 변압기의 스타 포인트나 DC-중점이 접지에 연결되어 있어도 동일하다는 것을 의미합니다. 만약 변압기가 부동 상태이고 DC-가 접지에 연결된 경우, 변압기 스타 포인트에서 접지까지의 전압은 DC 링크 전압의 절반이 됩니다. 이것을 알면 태양광 회로에서 접지까지의 전압을 쉽게 계산할 수 있습니다.

$$V_{L,DC-} = V_{L,earth} = 400V / \sqrt{3} = 230V$$

$$V_{L,DC+} = V_{L,earth} + V_{dc} = 230V + 1500V = 1730V$$

$$V_{L,N} = V_{L,earth} + 0.5 \cdot V_{dc} = 230V + 0.5 \cdot 1500V = 980V$$

변압기 입출력 전압은 임의로 위상이 이동될 수 있음을 고려해야 합니다(변압기 벡터 그룹의 수치 인덱스에 따라 다름).

$$V_{L,L'} = V_{L,DC+} - V_{L',DC+} = 1730V - 750V = 980V$$

$$V_{L,L'upper} = V_{L,DC+} - V_{DC+,L'upper} = 1730V - 660V = 1070V$$

$$V_{L,L'lower} = V_{L,DC-} + V_{DC-,L'lower} = 230V + 660V = 890V$$

이렇게 얻은 전압을 토대로 EN62109-1, 표 14, 열 3 을 통해 연면거리를 구합니다. 표 14 에 모든 전압 레벨이 제시된 것은 아니므로 명시적으로 허용된 보간법을 사용할 수 있습니다. 가령, 전압 $V_{L1,L1'} = 980V$ 의 경우, 연면거리는 다음과 같이 계산됩니다.

$$d_{L1,L1'} = 4mm + \frac{5mm - 4mm}{100V - 800V} \cdot 180V = 4.9mm$$

표 15: EN62109-1, 표 14에 따라 인가된 RMS 전압 및 관련 연면 거리

		DC+	DC-	N	L1' upp	L2' upp	L3' upp	L1' low	L2' low	L3' low	L1'	L2'	L3'	L1	L2	L3	
		인가된 RMS 전압[V]															
DC+	PCB에 대해 EN62109-1, 표 14에 따라 계산한 연면 거리[mm]		1500	750	660	660	660	840	840	840	750	750	750	1730	1730	1730	
DC-		7.6		750	840	840	840	660	660	660	750	750	750	230	230	230	
N		3.8	3.8		90	90	90	90	90	90	128	128	128	980	980	980	
L1'upp		3.4	4.2	1.0		176	176	180	252	252	90	219	219	1070	1070	1070	
L2'upp		3.4	4.2	1.0	1.0		176	252	180	252	219	90	219	1070	1070	1070	
L3'upp		3.4	4.2	1.0	1.0	1.0		252	252	180	219	219	90	1070	1070	1070	
L1'low		4.2	3.4	1.0	1.0	2.1	2.1		176	176	90	219	219	890	890	890	
L2'low		4.2	3.4	1.0	2.1	1.0	2.1	1.0		176	219	90	219	890	890	890	
L3'low		4.2	3.4	1.0	2.1	2.1	1.0	1.0	1.0		219	219	90	890	890	890	
L1'		3.8	3.8	2.1	1.0	2.1	2.1	1.0	2.1	2.1	2.1		200	200	980	980	980
L2'		3.8	3.8	2.1	2.1	1.0	2.1	2.1	1.0	2.1	2.1	2.1		200	980	980	980
L3'		3.8	3.8	2.1	2.1	2.1	1.0	2.1	2.1	1.0	2.1	2.1	2.1		980	980	980
L1		8.7	2.1	4.9	5.4	5.4	5.4	4.5	4.5	4.5	4.9	4.9	4.9		400	400	
L2	8.7	2.1	4.9	5.4	5.4	5.4	4.5	4.5	4.5	4.9	4.9	4.9	2		400		
L3	8.7	2.1	4.9	5.4	5.4	5.4	4.5	4.5	4.5	4.9	4.9	4.9	2	2			

연면 거리는 최소한 결정된 공간거리값 이상이어야 한다. 여기서, 표 13 에 따른 공간거리 요구사항으로 인해 증가된 거리값은 파란색으로 표시하였다.

7.3.2. 기본 절연으로 사용된 연면거리

접지된 DC-로 인한 기능 절연에 대하여 기본 절연에 인가된 전압을 계산하였습니다. 공간거리가 연면거리보다 더 큰 지 여부도 확인해야 합니다. 필요시 연면 거리를 공간거리 수준까지 높여야 합니다.

표 16: 기본 절연에 대해 인가된 RMS 전압 및 요구된 연면거리

	L1 L2 L3	L1' L2' L3'	L1'upp L2'upp L3'upp	L1'low L2'low L3'low	DC+	N	DC-
인가된 RMS 전압[V]	230	750	840	660	1500	750	0
EN62109-1, 표14에 따른 연면거리 [mm]	0.9	3.8	4.2	3.4	7.6	3.8	0
여기서 고도 보정 계수 1.14인 연면 거리를 고려할 때 요구되는 연면 거리[mm]	3.5	6.3	6.3	6.3	7.6	6.3	6.3

7.3.3. 보호 격리로 사용되는 연면거리

강화 절연이나 이중 절연으로 구현된 보호 격리용 연면거리를 결정하기 위한 전압은 기본 절연과 같지만 연면 길이에 대한 요구사항이 더 높습니다. EN62109-1, 표 14 에 따른 거리는 2 배가 되어야 합니다(EN62109-1, 7.3.7.5.1). 다시 말하면 공간거리가 2 배로 증가한 연면거리보다 더 큰지 여부도 확인해야 합니다. 필요시, 연면 거리를 공간거리 수준까지 높여야 합니다.

표 17: 보호 격리를 위해 인가된 RMS 전압 및 필요한 연면거리							
	L1 L2 L3	L1' L2' L3'	L1'upp L2'upp L3'upp	L1'low L2'low L3'low	DC+	N	DC-
인가된 RMS 전압[V]	230	750	840	660	1500	750	0
EN62109-1, 표 14에 따른 2배 증가된 연면거리[mm]	1.7	7.6	8.4	6.7	15.1	7.6	0
공간거리를 고려하여 필요한 연면거리[mm]	6.3	9.2	9.2	9.2	15.1	9.2	9.2

7.4. 솔리드 절연

포팅이나 코팅 재료를 PCB 의 솔리드 절연에 사용할 수 있습니다. 이를 위해서는 포팅 또는 코팅 재료가 EN60664-3(EN62109-1, 7.3.7.8.4.2)에 따른 시험을 통과해야 합니다.

이 예시에서 태양광 인버터에 솔리드 절연용 포팅 또는 코팅 재료가 없다고 가정합니다.

다층 PCB 의 내부 레이어의 경우, 동일 층의 인접 트랙 간 절연은 오염도 1 에 대한 연면거리나 공간거리(상기 요구 사항 참조) 또는 솔리드 절연(EN62109-1, 7.3.7.8.4.1)으로 처리합니다.

7.4.1. 기능 절연으로 사용되는 솔리드 절연

이 표준에는 기능 절연에 대한 특별한 요구사항은 없고, 관련 전압의 결정에 대해서만 설명되어 있습니다(EN62109-1, 7.3.7.3 및 7.3.7.8.2.2). 따로 테스트는 필요하지 않습니다.

7.4.2. 기본 절연으로 사용되는 솔리드 절연

700 μ m 보다 얇은 절연 재료는 PCB 내부 레이어와 마찬가지로 기계적 스트레스를 받지 않아야 합니다. 솔리드 절연이 전압 스트레스를 견딜 수 있는지 확인하기 위해 부품, 하위 어셈블리에 대해 2 가지 시험을 실시하여 해야 합니다.

임펄스 내전압 시험은 EN62109, 표 15 에 따라 형식 시험으로서 실시해야 합니다. 태양광 인버터의 시험 전압은 계통 회로의 경우 4000V(보간이 허용되지 않으므로 300V 에 대해 EN62109-1, 표 16, 4 열), 태양광 회로의 경우 2034V(EN62109-1, 표 16, 열 2 및 2304V 보간 230V 에 대해 보간)입니다.

절연 내성 시험은 형식 시험과 루틴 시험 형태로 모두 실시해야 합니다(EN62109-1, 7.3.7.8.2.1). 시험 전압은 계통 회로의 경우 1430V_{ac} 또는 2020V_{dc}(230V 에 대해 EN62109-1, 표 17, 열 2)이고 태양광 회로의 경우 1684V_{ac} 또는 2434V_{dc} (1500V 에 대해 EN62109-1, 표 18, 열 2)입니다.

7.4.3. 보호 격리로 사용되는 솔리드 절연

고려된 태양광 인버터는 태양광 회로를 향해서만 보호 격리가 되어 있습니다. PWM 신호용 광커플러와 IGBT 게이트 드라이버 공급용 변압기가 있습니다. 이 모든 부품이 PCB 에 장착됩니다. 층당 절연 두께가 0.2mm 미만인 경우 보호 격리를 위해 최소 3 개의 재료 층이 필요합니다. 두께가 더 두꺼운 재료의 경우, 2 개의 층으로 충분합니다(EN62109-1, 7.3.7.8.3.2). 보호 격리의 경우, 부품, 하위 어셈블리 및 다층 PCB 의 각 레이어에 대해 3 가지 시험을 실시해야 합니다. 임펄스 내전압 시험은 형식 시험으로 실시해야 합니다. 단일 층의 재료를 통한 절연의 경우, 추가로 샘플 시험을 실시해야 합니다(EN62109-1, 7.3.7.8.2.1). 임펄스 시험 전압은 계통 회로의 경우 6000V(300V 에 대해 EN62109-1, 표 16, 열 5)이고 태양광 회로의 경우에는 2300V(230V 에 대해 EN62109-1, 표 16, 열 3)입니다.

계통 및 태양광 회로에 대한 형식 시험(TYPE TEST)으로 절연 내성 시험을 실시해야 합니다. 계통 회로 시험 전압은 2860V_{ac} 또는 4044V_{dc} (230V 에 대해, EN62109-1, 표 17, 3 열)이고 태양광 회로 시험 전압은 2784V_{ac} 또는 3867V_{dc}

(1500V 에 대해, EN62109-1, 표 18, 3 열)입니다. 시험 전압이 1684V_{ac} 또는 2434V_{dc} 인 사용된 IGBT 전원 공급 변압기에 대해 추가적으로 태양광 회로에 대한 루틴 시험이 필요합니다(1500V 에 대해 EN62109-1, 표 18, 열 2). 솔리드 절연 중 전압이 700V_{peak} 보다 높고 전압 응력이 1000V/mm 보다 큰 경우 형식 및 샘플 시험으로서 부분 방전 시험이 필요합니다(EN62109-1, 7.3.7.8.2.1). 정격 방전 전압은 절연(EN62109-1, 표 19)으로 격리된 각 회로에서 반복적인 피크 전압의 합입니다. 최대 태양광 전압(여기서는 1500V)과 IGBT 스위칭에서 발생하는 일부 과도 전압(부하 전류가 과도 과전압이 발생하지 않는 최대 태양광 전압에서 강하게 제한되기 때문에 여기서는 50V)을 더한 값입니다. 최소 부분방전 소멸 전압은 $V_{PDextinction} = 1.5 \cdot V_{recurring peak} = 1.5 \cdot (1500V + 50V) = 2325V$. 이것이 50Hz 또는 60Hz 의 부분 방전 시험 전압의 최저 피크 값입니다.

7.5. AC 드라이브 요약

아래 표는 예시와 관련하여 3000m 고도에서 EN62109-1 에 따른 절연 조정 결과를 정리한 것입니다.

표 18: EN62109-1에 따른 태양광 컨버터의 절연 요구사항				
EN62109-1		절연의 종류		
		기능 절연	기본 절연	보호 격리
절연 구현	공간거리	1.0mm~2.9mm	3.5mm, 6.3mm	6.3mm 9.2mm
	연면거리	1.0mm~8.7mm	3.5mm~7.6mm	6.3mm~15.1mm
	솔리드 절연			
	임펄스 내시험 전압	-	2034V ^a and 4000V ^b	2300V ^a and 6000V ^b
	AC 또는 DC 시험 전압	-	1430V _{ac} ^a and 1684V _{ac} ^b	2860V _{ac} ^a and 2784V _{ac} ^b
	부분방전 소멸 전압	-	-	2325V _{peakb}
		^a 그리드 회로용	^b 태양광 회로용	

참고로, 태양광 인버터에 자주 사용되는 UL 표준 UL1741 은 EN62109-1 과 관련하여 단 한가지 차이만 존재합니다. UL 에 따르면 외함의 보호 등급이 IP54 를 충족하는 경우, 인버터 내부 오염도를 3 에서 2 로 낮추는 것이 허용되지 않습니다. 아래 사례에서만 오염도 경감이 가능합니다.

- PCB 가 전도성 재료의 최소한 어느 한 면에서 나머지 면에 이르는 전체 구간에 걸쳐 중단 없는 무정전 커버(uninterrupted covering) 역할을 하는 코팅으로 덮여 있는 경우
- 오염도 1 은 에폭시 또는 포팅 재료에 기포 발생 없이 포팅을 통해 인쇄 배선 기판에 최소 0.79mm 두께의 실리콘 고무층을 적용함으로써 특정 인쇄 배선 기판 지점에서 달성할 수 있음(UL1741, 25.4).

기호 및 용어

문자 기호	용어
hPa	hecto Pascal; 1hPa = 0.01N / m ² = 0.01kg / m · s ²
NPC	Neutral Point Clamped, explanation see [9]
V _{isol}	모듈 베이스 플레이트 또는 기판 후면과 단락된 모듈 전원 회로 단자 사이에 인가되는 절연 시험 전압(r.m.s.)

용어 및 기호에 대한 자세한 설명은 "애플리케이션 매뉴얼 전력 반도체"[2] 참고.

참고자료

- [1] www.SEMİKRON.com
- [2] A. Wintrich, U. Nicolai, W. Tursky, T. Reimann, "Application Manual Power Semiconductors", ISLE Verlag 2015, ISBN 978-3-938843-83-3
- [3] EN60664-1: 2007, Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests
- [4] EN62477-1: 2012, Safety requirements for power electronic converter systems and equipment – Part 1: 일반
- [5] EN61800-5-1: 2008, Adjustable speed electrical power drive systems – Part 5-1: Safety requirements Electrical, thermal and energy
- [6] EN62109-1: 2010, Safety of power converters for use in photovoltaic power systems – Part 1: General requirements
- [7] UL61800-5-1: 2012, Adjustable speed electrical power drive systems – Part 5-1: Safety requirements Electrical, thermal and energy
- [8] www.ul.com/global/documents/offerings/industries/powerandcontrols/powerdistribution/041013_UL_508C_Continuing_Cert_.pdf, accessed on 28.07.2016
- [9] Ingo Staudt, "3L NPC & TNPC Topology", SEMİKRON application note, AN11001 – rev05, Nuremberg, 2015

변경 이력

SEMİKRON 은 추가 통지 없이 변경할 수 있는 권리를 가집니다.

중요 정보 및 주의 사항

이 문서의 정보는 제품 특성에 대한 보증 또는 보장으로 간주되지 않을 수 있습니다("품질 보증"). 이 문서는 특정 애플리케이션에 따라 달라질 수 있는 일반적인 애플리케이션에서 예상되는 제품의 통상적인 특성만을 설명합니다. 따라서 사전에 각 애플리케이션에 대해 제품을 테스트해야 합니다. 애플리케이션 조정이 필요할 수 있습니다. SEMİKRON DANFOSS 제품의 사용자는 SEMİKRON DANFOSS 제품을 포함하는 애플리케이션의 안전에 대한 책임을 지며 특정 SEMİKRON DANFOSS 제품의 결함으로 인해 애플리케이션이 신체적 상해, 화재 또는 기타 문제를 초래하지 않도록 적절한 안전 조치를 취해야 합니다. 사용자는 애플리케이션 설계가 모든 관련 법률, 규정, 규범 및 표준을 준수하는지 확인할 책임이 있습니다. SEMİKRON DANFOSS 의 공인 대리인이 서명한 서면 문서를 통해 SEMİKRON DANFOSS 이 달리 명시적으로 승인한 경우를 제외하고, SEMİKRON DANFOSS 제품은 당해 제품의 고장 또는 그 제품 사용의 결과로 인해 인명 피해가 초래될 수 있음을 합리적으로 예상할 수 있는 애플리케이션에 사용할 수 없습니다. 제 3 자의 지적 재산권 미침해에 대한 보증을 포함하되 이에 국한되지 않는 이 문서에 제공된 정보의 정확성, 완전성 및/또는 그 이용과 관련하여 어떠한 확약이나 보증도 제공되지 않으며 어떠한 책임도 지지 않습니다. SEMİKRON DANFOSS 은 애플리케이션 또는 제품의 사용으로 인해 발생하는 어떠한 책임도 지지 않으며 특허권, 저작권, 영업 비밀 또는 여타 지적 재산권이나 타인의 권리에 따른 라이선스를 양도하지 않습니다. SEMİKRON DANFOSS 은 애플리케이션으로 인해 발생할 수 있는 제 3 자의 지적 재산권 미침해 또는 주장된 미침해에 대해 어떠한 확약이나 보증도 하지 않습니다. 이 문서는 이전에 제공된 모든 정보를 대체 및 대신하며 업데이트로 대체될 수 있습니다. SEMİKRON DANFOSS 은 변경할 권리가 있습니다.

SEMİKRON-DANFOSS KOR

경기도 광명시 새빛공원로 67 광명역자이타워 A 동 1207~1212 호

• Tel: +82-2-6370-4799 • Fax: +49 911-65 59-262

sales.skkor@semikron-danfoss.com