

Revision:	KOR-01
발행일:	2023-07-18
작성자:	Paul Drexhage, Gardy
결재자:	Ingo Rabl, Dr. Ulrich Nicolai, Kendric

키워드: 시험, 멀티미터, DMM

전력 반도체 모듈의 필드테스트

- 1. 시험 목적.....1
 - 1.1 SEMİKRON 내 생산 시험.....1
 - 1.2 OEM 내 입고 검사.....2
 - 1.3 문제해결 및 현장 내 “합격/불합격” 시험.....2
- 2. 장비.....2
 - 2.1 다이오드 점검 기능이 있는 디지털 멀티미터.....2
 - 2.1.1 순(전도) 방향.....2
 - 2.1.2 역(차단) 방향.....2
 - 2.2 옴미터(저항계).....3
- 3. 다이오드/사이리스터 모듈 시험.....3
 - 3.1 다이오드.....3
 - 3.2 사이리스터.....4
 - 3.3 사이리스터 게이트 특성.....4
- 4. IGBT/MOSFET 모듈 시험.....5
 - 4.1 순방향 및 역방향 특성.....6
 - 4.2 게이트 특성.....6
- 5. IPM 및 게이트 드라이버 시험.....7
 - 5.1 전력 베이스.....7
 - 5.2 게이트 드라이버.....7
 - 5.2.1 바이어스 전류.....8
 - 5.2.2 스위칭 전류.....8
 - 5.2.3 오류.....9
- 6. 결론.....9

1. 시험 목적

전력 반도체 모듈은 수명 기간 동안 여러 번의 시험을 받게 될 수 있습니다. 높은 시험 비용과 복잡성으로 인해 왜 장치를 시험하는지 그 이유를 살펴보는 것이 중요합니다. 부적절한 시험으로 양호한 상태의 부품이 파손되거나 상태가 악화될 수 있고, 문제없는 장치에 손상이 가해질 수도 있습니다.

1.1 SEMİKRON 내 생산 시험

모든 전력 반도체 구성 요소는 기능이 제대로 작동하는지 확인하고자 시험을 실시합니다. 순방향(전도) 및 역방향(차단) 특성은 모듈에 정격 전류 및 전압(예: 수백 암페어 및 수천 볼트)을 공급할 수 있는 맞춤형 시험 장비를 사용하여

시험합니다. 또한 모듈의 "전원공급(live)" 부분과 "접지" 부품(예: 터미널 및 베이스 플레이트) 간 절연 시스템의 무결성을 확인하기 위한 고전압 시험을 수행합니다.

1.2 OEM 내 입고 검사

몇몇 사용자는 장비에 설치하기 전 공장 출하 시 실시하는 전기 시험을 측정하기도 합니다. 이는 공급사의 과거 품질 불량 문제 혹은 이러한 선별 검사를 통해 완제품의 고장률이 낮아질 거라는 인식이 있기 때문일 것입니다. 하지만 이 시험은 데이터시트에 명시된 유효한 고전압과 전류를 공급할 수 없는 기본 저전압 장비에 대해 실시됩니다. 그 결과 부품이 불필요하게 거부되고 최악의 경우에는 구성 요소가 파손됩니다. 더 나은 방법은 공급사와 품질 문제를 해결하고 하위 조립품에서 해당 구성요소의 기능 시험을 포함한 생산 시험 프로세스를 구현하는 것입니다.

1.3 문제해결 및 현장 내 "합격/불합격" 시험

가장 일반적인 상황은 어떤 장비가 현장에서 고장이 발생하여 서비스가 필요한 경우입니다. 전력 반도체 부품을 점검하여 교체가 필요한지 아니면 장비를 재가동해도 안전한지 여부를 파악해야 합니다. 구성 요소가 양호한지("합격") 불량("불합격")인지를 확인하려면 간단한 장비를 사용한 빠른 시험이 필요합니다. 이 애플리케이션 노트에서는 이 주제에 초점을 맞춥니다.

2. 장비

2.1 다이오드 점검 기능이 있는 디지털 멀티미터

반도체에 대한 올바른 현장 시험을 위해서는 다이오드 기능이 있는 디지털 멀티미터(DMM)가 필요합니다. 이 기능은 셀렉터 휠이나 보조 푸시버튼을 통해 다이오드 심벌로 표시됩니다. 이 시험의 목적은 다이오드가 어느 한 방향은 차단되고 다른 방향으로 전도하는지(약간의 전압 강하 발생) 점검하는 것입니다.

2.1.1 순(전도) 방향

낮은 순방향 전압을 인가하여 다이오드를 턴온 하면 다이오드 점검 기능이 작동하며, 다이오드를 통해 흐르는 작은 전류로 전압 강하를 측정합니다. 이렇게 측정된 전압 강하 값은 장치 데이터시트에 제공된 "문턱 전압"(예: V_{F0})과 동일하지 않으며, 손실 계산에 사용되는 다이오드 순방향 특성의 직선 근사치의 일부입니다. 또한 전력 다이오드로 측정된 전압 강하 값은 보통 소형 신호 실리콘 다이오드에 대해 일반적으로 예상되는 0.7V(예: 1N4148)보다 작습니다. 600V-1700V 모듈의 전력 다이오드는 보통 0.2 ~ 0.5V의 범위의 값을 나타냅니다.

2.1.2 역(차단) 방향

다이오드가 역바이어스 되면 다이오드 점검 기능이 블로킹(OFF) 상태임을 보고하게 됩니다. 이는 일반적으로 "OL", "범위를 벗어남", "개방" 혹은 이와 유사한 방식으로 표시됩니다. DMM 이 작은 전압(예: 배터리 전압: 9V)만을 공급할 수 있으므로 이 시험만으로 다이오드가 정격 전압(전력 반도체의 경우 보통 600V 초과)을 차단할 수 있다는 보장이 되지 않습니다.

앞서 설명한 측정값의 불확실성 때문에 다이오드 점검의 목적은 다이오드가 완전히 단락 되거나 혹은 완전히 개방되었는지 확인하는 데 있습니다. 단락 된 다이오드는 양방향으로 "0V"(또는 매우 낮은 전압 강하)로 표시되는 반면, 개방된 다이오드는 양방향으로 "OL"로 표시됩니다.

2.2 옴미터(저항계)

사용자는 종종 반도체의 상태를 확인하기 위해 옴미터 저항계로 반도체의 저항을 측정합니다. 개방되지 않은 반도체는 메가옴 범위에서 값이 표시되고 단락 된 반도체는 밀리옴 범위에서 값이 표시될 수 있지만, 그 사이의 값은 아래의 이유로 장치 간에 일치하지 않습니다.

첫째, 반도체 기기는 PN 정선을 형성하며 상이하게 도핑된 실리콘 영역("P형" 및 "N형")으로 구성되어 있습니다. P- 및 N-도핑 영역은 균일하지 않고 구배가 있습니다("도핑 프로파일"). 이러한 도핑 프로파일은 기기 설계에서 중요한 부분이며 원하는 전기적 특성을 얻는 데 중요한 요소입니다. 전력 반도체에서 주요 PN 정선은 수백(또는 수천) 볼트의 전압으로 작동하도록 설계되어 있습니다. DMM 이 공급하는 전압(예: 9V)이 너무 낮아 정선 및 종단 구조(칩 가장자리에서 전기장을 낮추는 영역)에 완전히 확장된 전기장을 생성할 수 없습니다. 이는 저항계가 도핑 프로파일 중 제한된 부분만을 측정하며 판독값이 작동 조건에서 장치 속성을 반영하지 않는다는 의미입니다. 또한 PN 정선은 저항(예: 선형 I-V) 동작을 보이지 않기 때문에 공급 전압 변동이 다른 결과를 초래할 수 있습니다. 전력 모듈에서 터미널의 직렬 저항으로 인해 추가적인 변동이 초래됩니다.

둘째, 회로 내 저항을 측정하기 위해 일부 디지털 옴미터는 측정 대상 저항과 병렬 상태일 수 있는 다른 다이오드나 트랜지스터의 순방향 바이어스를 막기 위해 매우 낮은 전압(예: <math><0.6\text{VDC}</math>)을 사용합니다. 이는 다이오드를 직접 측정하고자 저항계 기능을 사용하는 경우, 저항계가 다이오드를 온 상태로 바이어스할 만큼 충분한 전압을 공급하지 않아 사용자에게 허위 개방 판독치가 표시될 수 있다는 의미입니다.

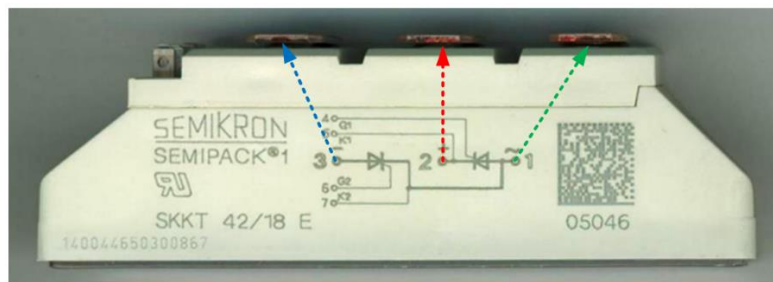
저항계가 기본 동작을 평가하는데 유용한 몇 가지 경우도 있지만(예: IGBT/MOSFET 게이트 충전, 4.2), 정확한 저항값은 사용되지 않습니다.

고전압 저항계(예: "절연저항계", 메가옴미터)는 절연의 상태를 검사하기 위한 것으로 반도체에 손상을 줄 수 있습니다.

3. 다이오드/사이리스터 모듈 시험

다이오드와 사이리스터(양극 장치)는 쌍으로 또는 단일 모듈의 완전한 회로(예: 3 상 브리지 정류기)로 패키징이 가능합니다. 데이터시트를 토대로 한 번에 하나의 장치를 측정할 수 있도록 터미널 연결을 결정해야 합니다. SEMIPACK, SEMITRAN5S 와 같은 모듈의 경우, 회로와 터미널 번호가 모듈의 측면에 직접 인쇄되어 있습니다.

그림 1: 주요 터미널에 연결된 SEMIPACK 측면의 전기 도면



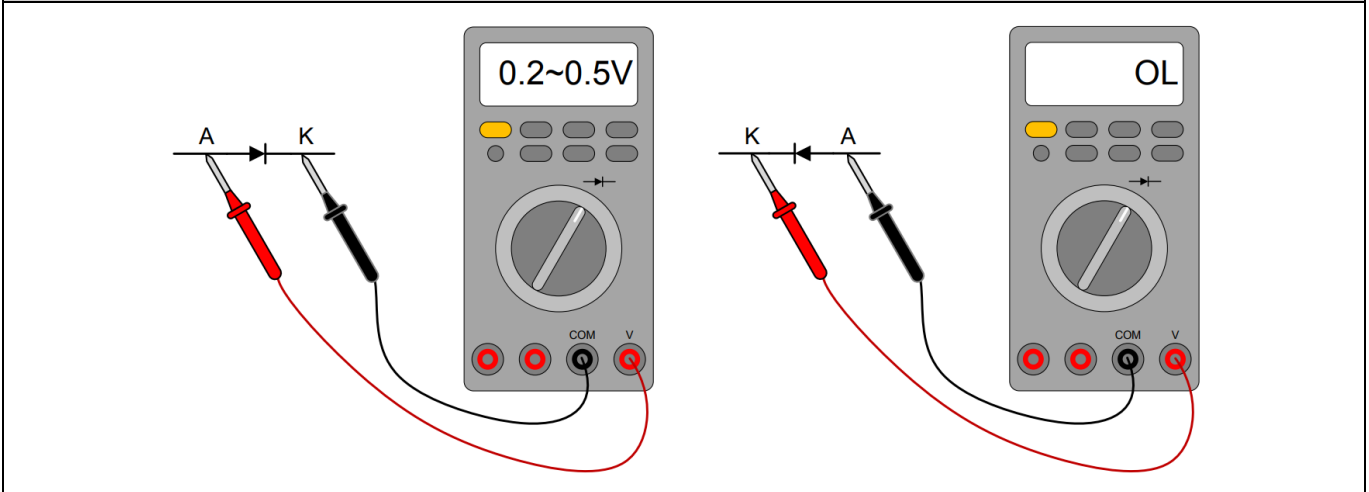
모든 측정을 모듈 연결부가 제거된 상태에서 수행해야 합니다. DMM 을 다이오드 점검 모드로 설정하고 리드의 극성을 관찰해야 합니다.

3.1 다이오드

양의(빨간색) 리드는 양극에, 음의(검은색) 리드는 음극에 있는 경우, 다이오드가 전도하고 DMM 이 순방향 전압 강하를 표시해야 합니다.

양극에 음의(검은색) 리드가 있고 음극에 양극(빨간색) 리드가 있는 경우, 다이오드가 차단하고 DMM 이 개방 표시가 되어야 합니다.

그림 2: “양호한” 다이오드에 대한 일반적인 순방향(I) 및 역방향(R) 측정



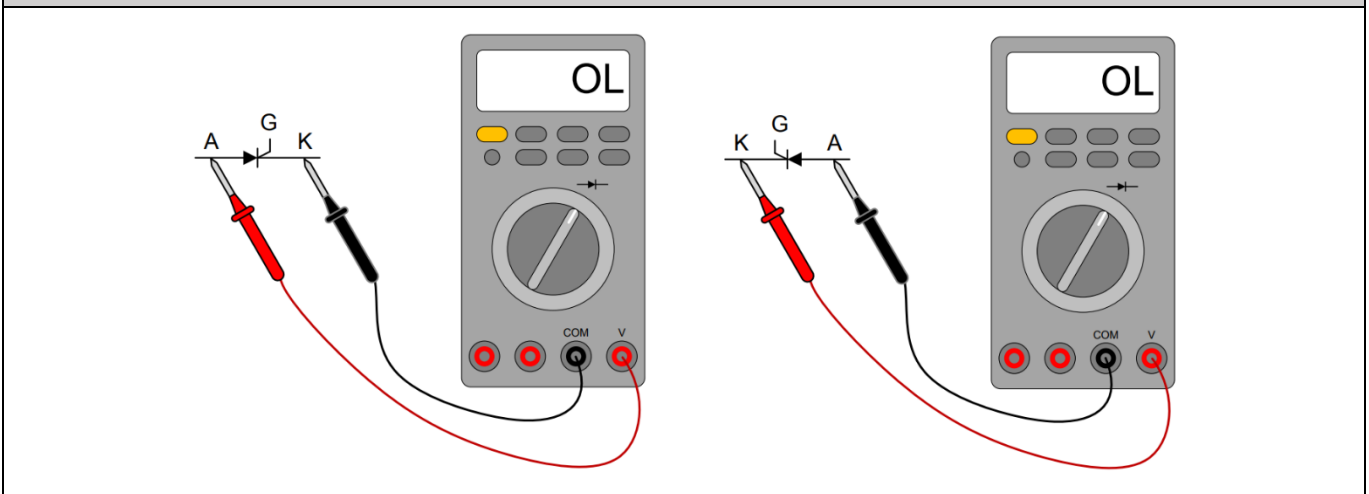
3.2 사이리스터

시험 중 사이리스터의 게이트는 연결되지 않은 상태로 두어야 합니다.

양극에 양의(빨간색) 리드가 있고 음극에 음의(검은색) 리드가 있는 경우, 사이리스터가 차단하고 DMM 이 개방 표시가 되어야 합니다.

양극에 음의(검은색) 리드가 있고 음극에 양의(빨간색) 리드가 있는 경우, 사이리스터가 차단하고 DMM 이 개방 표시가 되어야 합니다.

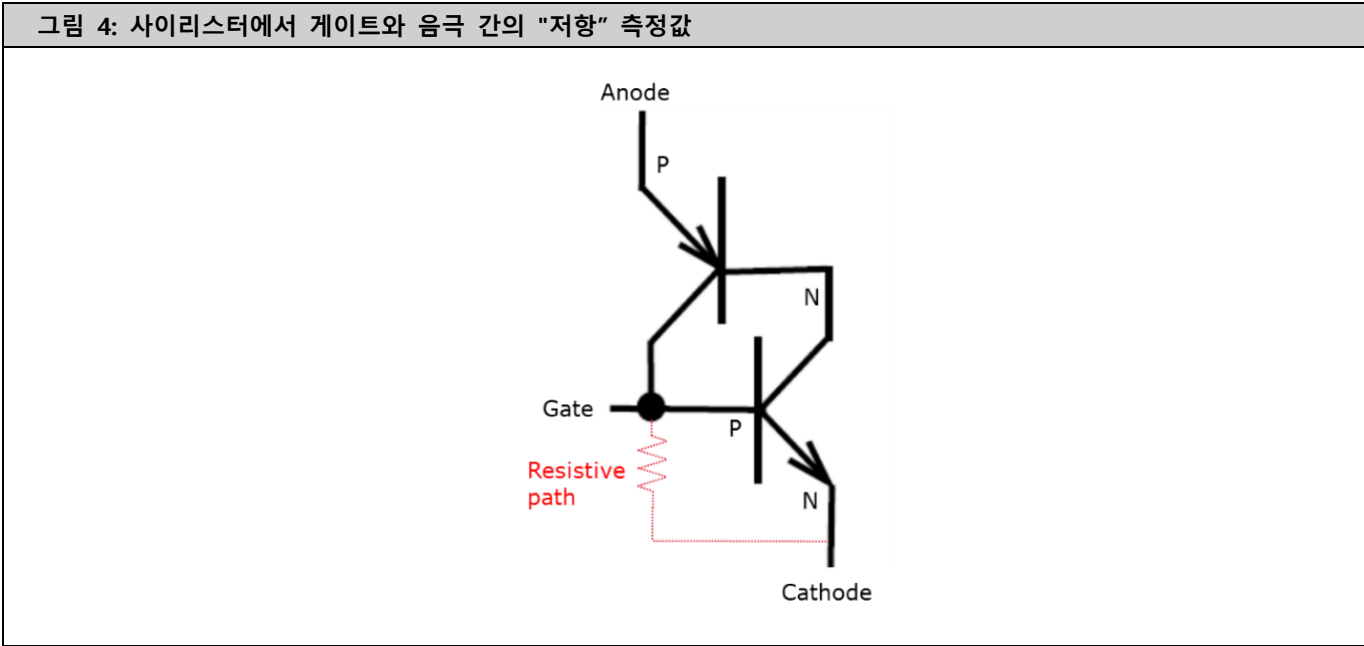
그림 3: “양호한” 다이오드에 대한 일반적인 순방향(I) 및 역방향(R) 측정



3.3 사이리스터 게이트 특성

이상적인 사이리스터의 게이트-음극은 PN 접합입니다. 많은 사이리스터에 게이트와 양극 사이에 병렬 "단락" 경로도 있습니다. 이 경로는 장치의 발열을 돕기 위한 큰 초기 전류를 제공하도록 설계되었습니다. 이 경로는 균일한 p-도핑 실리콘으로 만들어지기 때문에 보통 게이트와 음극 사이에서 측정 가능한 10 ~ 50Ω의 저항이 있습니다. 그러나 이러한 저항값은 제조사가 정하는 것이 아니며 사용자에게 낮은 저항이 장치의 손상을 나타내는 것은 아님을 알리기 위한 용도만 제공됩니다. 다이오드 점검으로 측정된 게이트-음극 연결은 양쪽 방향에서 낮은(0 이 아닌) 전압 강하(예: 0.01 ~ 0.05V)로 나타납니다.

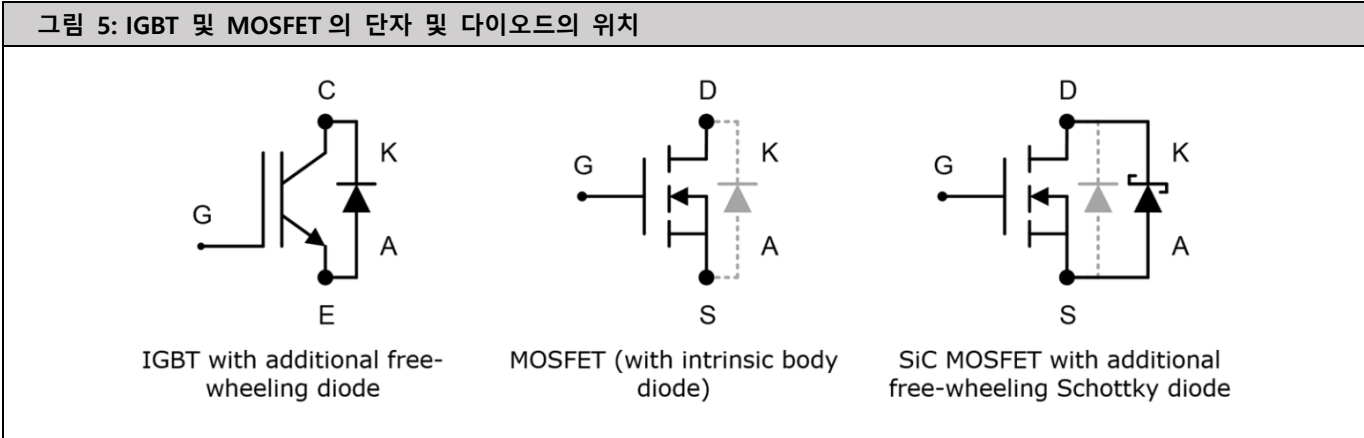
그림 4: 사이리스터에서 게이트와 음극 간의 "저항" 측정값



4. IGBT/MOSFET 모듈 시험

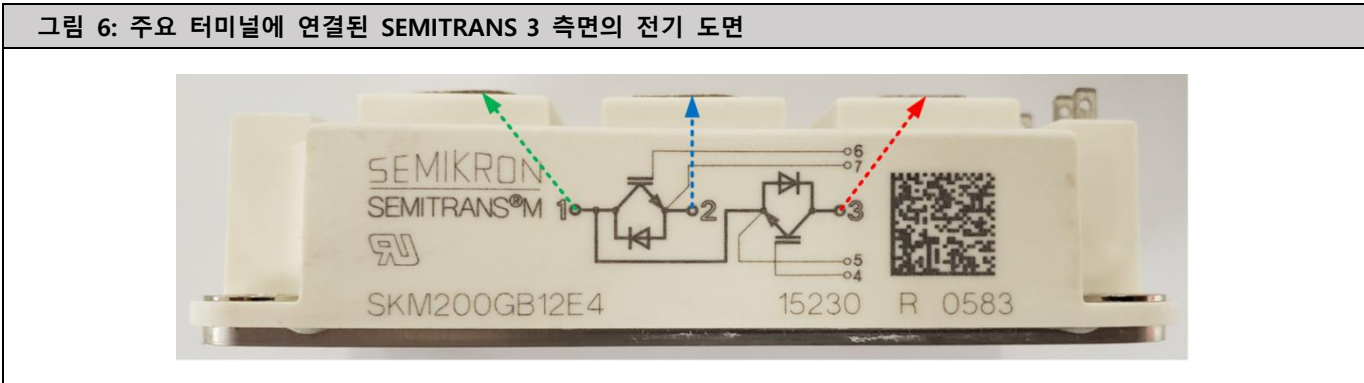
IGBT와 MOSFET는 DMM의 다이오드 기능을 통해 온 상태 전압 강하를 직접 측정할 수 없도록 외부 게이트 전압으로 턴온 해야 하는 활성 장치입니다. 그러나 IGBT 장치는 통상 검사할 수 있는 프리휠링(역) 다이오드와 함께 패키징 됩니다. MOSFET는 측정할 수 있는 기본적인 본체 다이오드를 갖고 있으며, 실리콘 카바이드(SiC) MOSFET에는 병렬 추가 프리휠링 다이오드가 포함될 수 있습니다.

그림 5: IGBT 및 MOSFET의 단자 및 다이오드의 위치



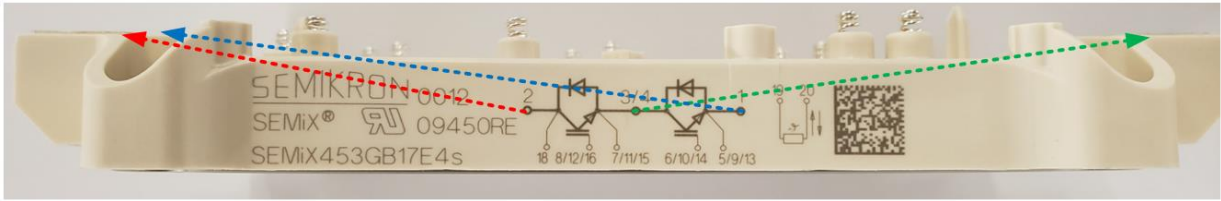
양극 모듈과 마찬가지로 IGBT/MOSFET 모듈 역시 측면에 도식이 인쇄되어 있어 멀티미터 리드를 어떤 단자에 배치할 지 결정하는 데 도움이 됩니다(그림 6).

그림 6: 주요 터미널에 연결된 SEMITRANS 3 측면의 전기 도면



다른 모듈에는 SEMiX 하우징의 AC 단자와 같이 내부적으로 동일한 지점에 연결된 두 개의 단자가 있을 수 있습니다(그림 7). 보조 연결부(이미터 또는 음극)는 드라이버 연결을 위해 소형 단자에도 동일하게 장착할 수 있습니다

그림 7: 주요 터미널에 연결된 SEMiX 3 측면의 전기 도면



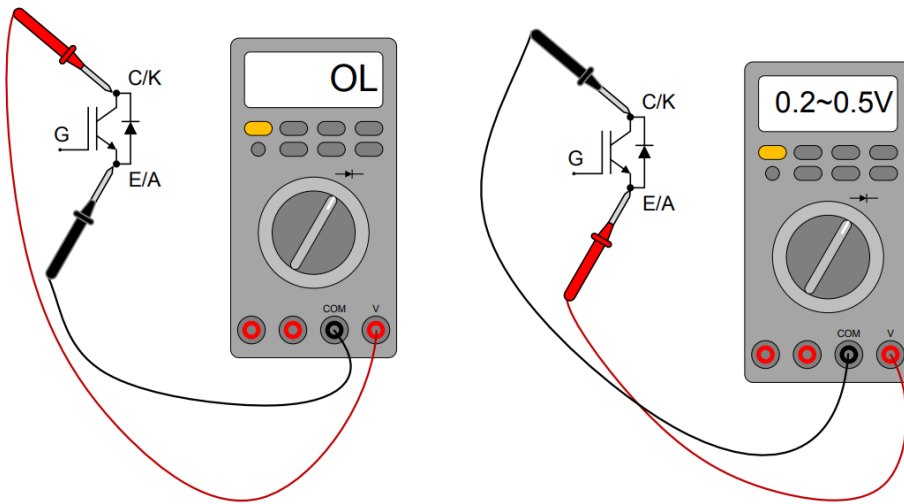
4.1 순방향 및 역방향 특성

모든 측정을 모듈 연결부가 제거된 상태에서 수행해야 합니다. DMM 을 다이오드 점검 모드로 설정하고 리드의 극성을 관찰해야 합니다.

컬렉터(C)에 양의(빨간색) 리드가 있고 이미터에 음의(검은색) 리드가 있으면 DMM 에 개방으로 표시되어야 합니다.

양의(빨간색) 리드는 이미터(E)에, 음의(검은색) 리드는 컬렉터(C)에 있는 경우, 다이오드가 전도하고 DMMD 는 순방향 전압 강하가 표시되어야 합니다.

그림 8: “양호한” IGBT 드에 대한 일반적인 순방향(I) 및 역방향(R) 측정



4.2 게이트 특성

IGBT(MOSFET)의 게이트-이미터(게이트-소스) 정션은 절연된 구조로 인해 커패시터와 같이 작동합니다. 이를 위해 DMM 의 옴미터 저항계 설정을 사용할 수 있지만 게이트를 충전하기 위한 용도로만 사용하고 특정 저항값을 찾기 위한 용도로는 사용할 수 없습니다.

게이트 구조의 절연체를 구성하는 산화층은 매우 얇기 때문에 정전기 방전(ESD)에 취약합니다. 적절한 ESD 예방 조치 없이 게이트를 만지지 않도록 유의해야 합니다.

모든 측정을 모듈 연결부가 제거된 상태에서 수행해야 합니다. DMM 을 옴미터 모드로 설정합니다.

게이트에 양의 또는 음의 리드가 있고 이미터(소스)에 다른 리드가 있는 경우 저항계는 저항이 빠르게 증가하여 메가옴 범위를 벗어나는 것을 표시해야 합니다. 대부분의 저항계는 범위 이탈(OL)을 표시해야 합니다. 이는 저항계가

커패시턴스를 충전하고 있고, 표시된 "저항"은 V/I 특성임을 나타냅니다. 커패시터가 충전되면서 전류가 감소하면 저항이 무한대가 됩니다.

손상된 게이트는 보통 이미터(소스) 또는 컬렉터(드레인)에 대한 데드 단락(예: 0Ω)을 표시합니다.

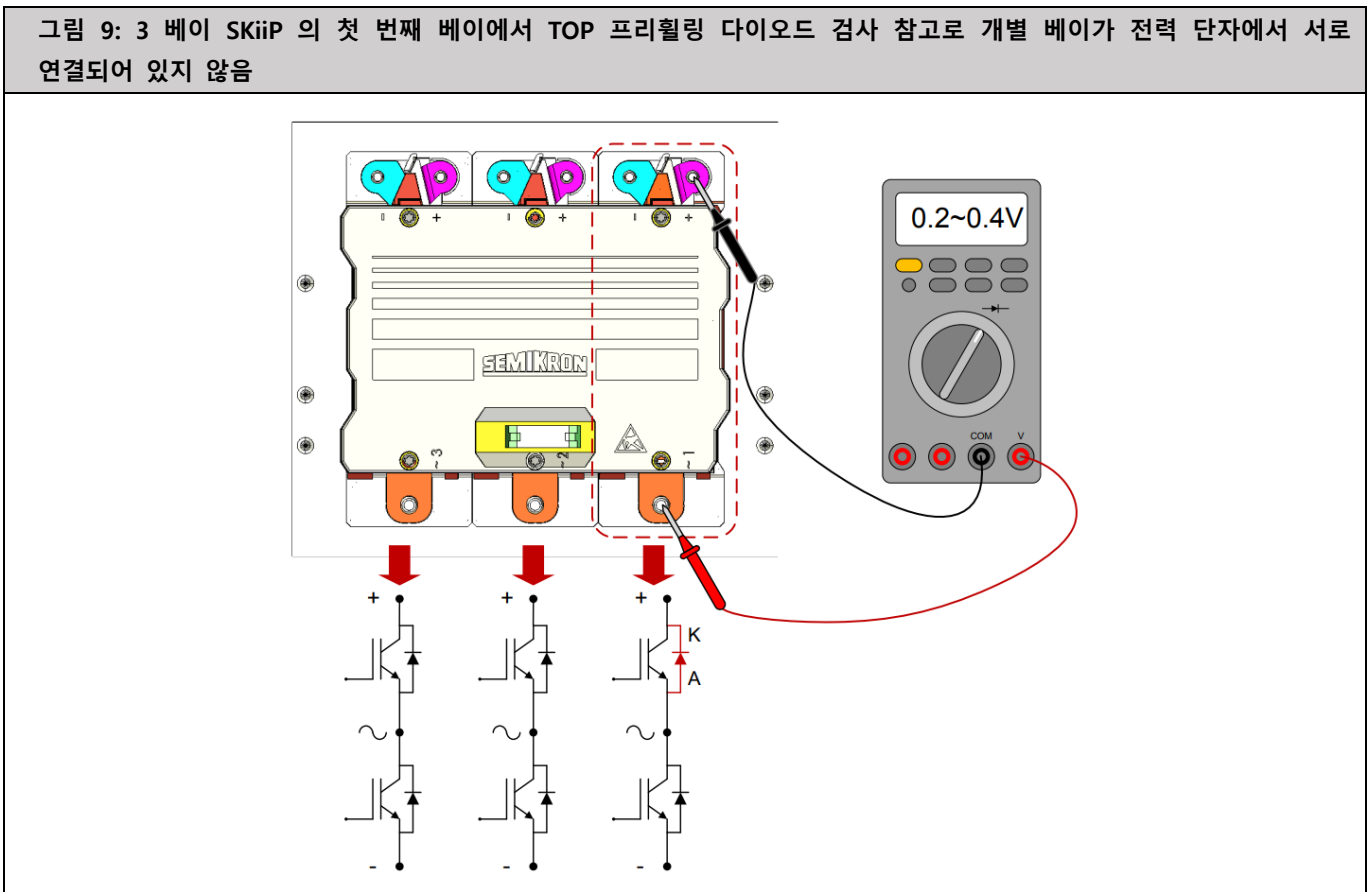
5. IPM 및 게이트 드라이버 시험

지능형 전력 모듈(IPM)에는 드라이버(SKiiP의 경우 방열판 포함)와 함께 "전력 베이스"에 다수의 IGBT가 들어 있습니다. IPM에서 IGBT 검사는 분리된 모듈과 유사하지만 먼저 회로 토폴로지와 드라이버 연결을 결정해야 합니다. IGBT와 병렬 상태인 드라이버 보드의 추가 구성 요소가 잘못된 결과를 초래할 수 있습니다.

5.1 전력 베이스

SKiiP와 같은 IPM의 경우 전력 베이스는 각각 IGBT 하프 브리지를 포함하는 다수의 "베이"로 구성됩니다. SKiiP 유형에 따라 이러한 베이들이 개별적으로(GD 유형) 또는 병렬로(GB 유형) 작동할 수 있습니다. GB 유형에서는 전력 단자의 병렬접속이 외부에서 이뤄지므로(버스바를 이용하여) 각 베이를 별도로 검사해야 합니다.

그림 9: 3 베이 SKiiP의 첫 번째 베이에서 TOP 프리휠링 다이오드 검사 참고로 개별 베이이 전력 단자에서 서로 연결되어 있지 않음



5.2 게이트 드라이버

게이트 드라이버는 복잡한 회로 때문에 어떤 개별 구성 요소가 오작동했는지 검사하는 것이 쉽지 않습니다. 다행히 IPMS 및 개별 드라이버 코어의 경우에는 전원 공급 장치에서 인입되는 전류가 게이트 드라이버가 "양호"한지 "불량"인지를 나타내는 좋은 지표인 것이 확인되었습니다. 비스위칭(대기) 전류와 IGBT가 스위칭되는 동안 흐르는 전류라는 두 가지 유형의 전류 인입을 확인할 수 있습니다.

이 과정에서 조절된 전원 공급 장치, 전원 공급 장치에서 나오는 전류를 측정하는 전류계 및 고정 게이팅 주파수에서 상보적 TOP/BOT 게이팅 신호 인가 방법 등이 필요합니다. 시험을 정기적으로 또는 대량으로 수행하는 경우 전용 시험

장비를 마련하는 것을 권장합니다. 어떤 업체는 전원 공급 장치, 게이팅 신호 및 측정 지점을 휴대용 패키지로 통합한 장비를 제조합니다[3].

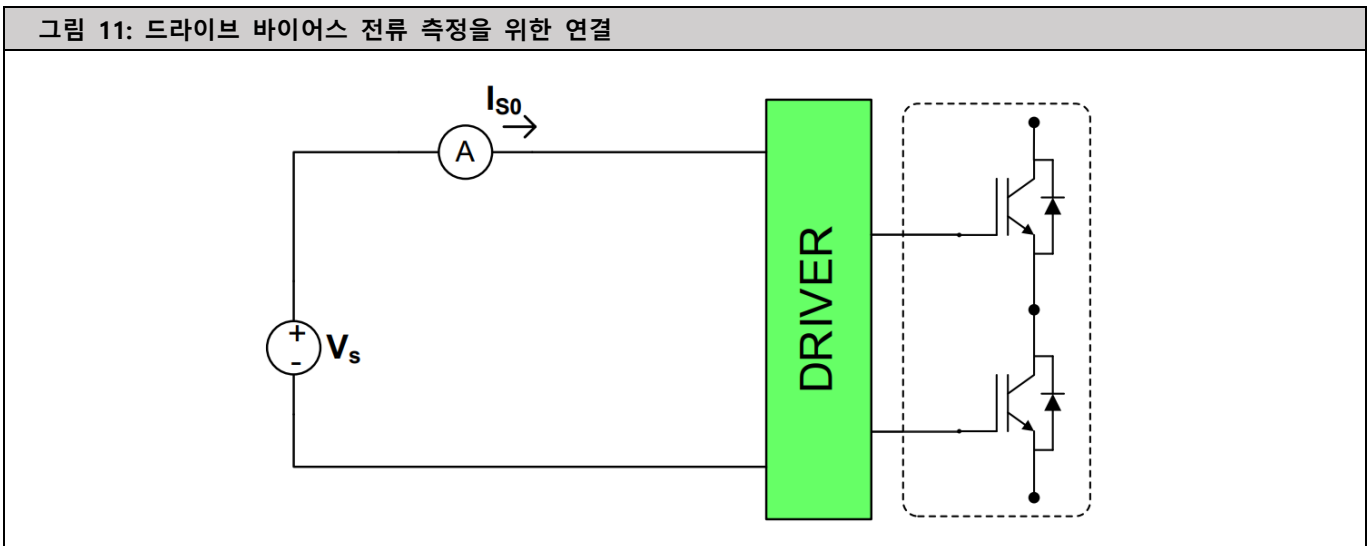
드라이버 회로의 입력 핀 역시 정전기 방전(ESD)에 취약할 수 있습니다. 적절한 ESD 예방 조치 없이 드라이버 회로 보드를 만지지 않도록 유의해야 합니다.

5.2.1 바이어스 전류

지정된 입력(예: I_{SO})의 경우 스위칭 없는 공급 전류는 장치 데이터시트를 참조하십시오 (그림 10).

그림 10: 바이어스 전류의 예시값(SKiiP 데이터시트 참조)			
I_{SO}	bias current @ $V_S=24V, f_{sw} = 0, I_{AC} = 0$	240	mA

이 바이어스 전류는 직렬로 연결된 전류계(그림 11)가 있는 조절된(벤치탑) 전원 공급 장치를 적용하고 드라이버가 대기 상태일 때 끌어오는 전류를 확인하여 확인할 수 있습니다. 고전압(예: DC 링크 전압)을 인가해서는 안 됩니다.



5.2.2 스위칭 전류

또한 게이트 드라이버가 스위칭 중 일 때 유입되는 공급 전류는 드라이버 데이터시트 (그림 12)에 제공되어 있습니다(예: I_S). IPMS의 경우, 이 값에는 전류 센서가 유입하는 전류가 포함될 수 있으므로 예상 전류는 공식을 사용하여 계산해야 합니다.

그림 12: 스위칭 전류의 예시값(SKiiP 데이터시트 참조)			
I_S	$k_1 = 29 \text{ mA/kHz}, k_2 = 0.00065 \text{ mA/A}^2$	$= 240 + k_1 * f_{sw} + k_2 * I_{AC}^2$	mA

다시 전류계를 통한 조절된 DC 공급이 적용됩니다. 또한 상단 및 하단 스위치에는 ON-OFF(구형파) 게이팅 신호가 필요합니다. 상단 및 하단 스위치는 고정된 스위칭 주파수에서 보완적으로 게이팅됩니다. 듀티 사이클은 무관합니다.

그림 13: 스위칭 전류 측정을 위한 연결

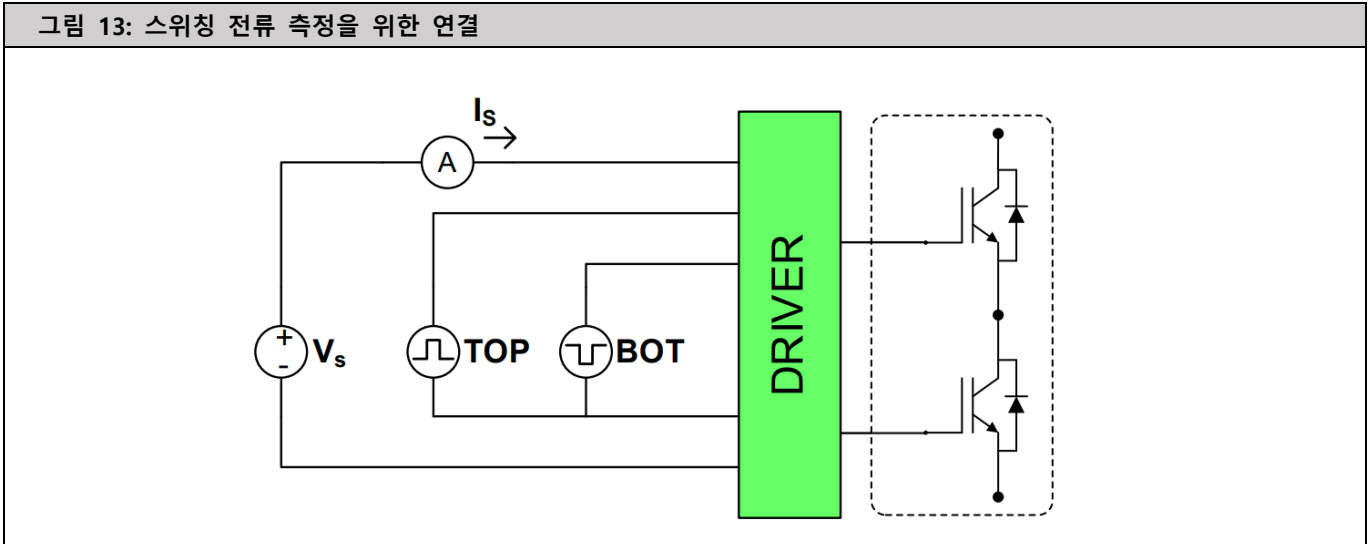


그림 12의 예제 값을 사용하여 24VDC 제어 전력과 10kHz 게이팅 신호만 적용되면 530mA의 전류가 예상됩니다. IPM이 전혀 스위칭하지 않으면 240mA 바이어스 전류만 소비됩니다. 하나의 IGBT(TOP 또는 BOT)만 스위칭하는 경우 240mA~530mA 사이의 값이 예상됩니다.

5.2.3 오류

문제 해결의 일환으로 드라이버를 검사하여 오류 신호가 생성되는지 확인해야 합니다. 일반적으로 제어 전력만 적용된 IGBT 모듈에 연결된 드라이버는 오류 신호(예: 저전압, DESAT 등)를 생성하지 않아야 합니다. 그러나 드라이버가 문제를 자가 진단할 수 있는 기능이 없는 경우가 많아 드라이버가 오작동하거나 오류를 표시하지 않을 수 있습니다.

6. 결론

전력 반도체는 특수 장비 없이는 완벽하게 평가할 수 없는 복잡한 장치입니다. 그러나 다이오드 검사 기능이 있는 디지털 멀티미터를 사용하면 현장에서 대부분의 고장 모드에 대한 "합격/불합격" 검사를 신속하게 진행할 수 있습니다.

참고자료

- [1] www.SEMİKRON.com
- [2] A. Wintrich, U. Nicolai, W. Tursky, T. Reimann, "Application Manual Power Semiconductors", 2nd edition, ISLE Verlag 2015, ISBN 978-3-938843-83-3
- [3] Ingenieurbüro Billmann. Lerchensteige 10, 91448 Emskirchen, Germany. www.ib-billmann.de

변경 이력

SEMIKRON 은 추가 통지 없이 변경할 수 있는 권리를 가집니다.

면책조항

SEMIKRON 은 추가 통지 없이 신뢰성, 기능 또는 설계를 개선하기 위해 변경할 수 있는 권리를 가집니다. 이 문서에 제공된 정보는 정확하고 신뢰할 수 있는 것으로 간주됩니다. 그러나 이러한 정보의 정확성 또는 사용과 관련하여 어떠한 확약이나 보증도 제공하지 않으며 어떠한 책임도 지지 않습니다. SEMIKRON 은 이 문서에 기술된 제품이나 회로의 응용 또는 사용으로 인해 발생하는 어떠한 책임도 지지 않습니다. 아울러 이 기술 정보는 부품 특성에 대한 보증으로 간주되지 않을 수 있습니다. 배송, 성능 또는 적합성과 관련하여 일체의 명시적 혹은 암묵적 보증이나 보장도 하지 않습니다. 이 문서는 이전에 제공된 모든 정보를 대체 및 대신하며 추가 통지 없이 업데이트로 대체될 수 있습니다.

SEMIKRON 제품은 SEMIKRON 의 명시적인 서면 승인 없이 생명 유지 장치 및 시스템에 사용할 수 없습니다.

SEMIKRON-DANFOSS KOR

경기도 광명시 새빛공원로 67 광명역자이타워 A 동 1207~1212 호

• Tel: +82-2-6370-4799 • Fax: +49 911-65 59-26