

SEMIX와 SKYPER

- 어댑트 가능 드라이버가 장착된 인텔리전트 IGBT 모듈 -

Martin Freyberg, Markus Hermwille, Jens Li

(SEMIKRON International, Germany)

요약

현대식 파워 컨버터 설계는 가격대비 효율적인 파워 솔루션을 위해 간단한 인터페이스를 가진 소형 IGBT 모듈을 필요로 한다. 전반적으로 낮은 높이, 양쪽에 별도로 부착된 AC 및 DC 터미널, 상부의 드라이버 액세스 등은 현대식 파워 모듈에 대한 최근의 시장 요구 사항이다. 이러한 요구에 부응하여 탄생한 것이 바로 SEMIX 모듈 플랫폼이다.

나아가, 이 논문에서는 모듈에 대한 새로운 드라이버 솔루션으로 기본 구동 기능과 보호 기능을 겸비한 간단한 애드온(add-on) 게이트 드라이버인 SKYPER를 선보인다. 이 논문에서, 다양한 모듈에 대한 SKYPER의 적합성은 SEMIX 예를 통해 성공적으로 검증되었다. SEMIX와 SKYPER 모두 IPM과 같이 작동했으나 스위치 특성 제어에 있어 더 많은 유연성을 제공하여 모듈식 인버터 솔루션을 위한 편리한 구축 블록임을 입증하였다.

1. 서론

파워 모듈의 성능은 두 가지 요인에 의해 크게 영향을 받는다. 파워 회로의 낮은 인덕턴스 배열과 드라이버가 그것이다.

파워 MOSFET 및 IGBT는 고속 스위치 장치이기 때문에, 파워 모듈은 기본적으로 가장 작은 전체 치수와 가장 낮은 누설 인덕턴스를 가진 DC 링크에 의해 공급되어질 필요가 있다. 이는 따라서 모듈의 파워 터미널이 최적으로 배열될 것을 요구한다. 사용자 친화적인 인터페이스를 가진 모듈은 파워 회로의 설계를 크게 단순화시킬 수 있다.

파워 모듈에 스위치 기능을 부여하는 드라이버는 이상 동작 시 모니터링, 보호 등의 추가 임무를 수행한다. 그러나 파워 칩과 드라이버간의 간섭은 모든 파워 전자 설계사에게 있어 중요한 문제로 남아 있다. 시장은 모듈과 드라이버를 구비한

최적의 총체적인 솔루션을 요구한다.

SKiiP 기술은 1992년에 처음으로 시장에 출시되었다.

SKiiP에서, 플러스 터미널과 마이너스 터미널은 모듈의 AC 터미널 반대편에 나란히 나열되어 있다. 이 구조는 DC 링크에 대한 기생 인덕턴스를 최소화하고 모듈과 DC 링크간의 기계적 연결을 쉽게 한다. SKiiP 기술은 모듈 및 인버터 설계를 위한 사용자 친화적 인터페이스를 만들었다.

SKiiP은 반도체 스위치, 드라이버 및 방열판을 통합한다. SKiiP의 사용은 매우 간단하며 안정적으로 동작한다는 장점이 있다. 그러나 무거운 방열판은 특정 애플리케이션에서 유연성을 제한하고 있다. 아직까지 시장을 지배하고 있는 재래식 모듈이 인터페이스로 인해 저인덕턴스 설계에 어려움을 겪고 있는 동안, SEMIX라 불리는 새 모듈 시리즈가 탄생하였다. SEMIX는 간단한 저인덕턴스 파워 터미널과 유연한 제어 인터페이스를 사용해 SKiiP의 이점을 재래식 모듈에 채용한다. SEMIX는 폭 넓은 파워 범위(표시 전류: 200-900A)를 갖고 있으며 병렬이 용이하다^[1].

더구나, 옵션인 저비용 드라이버 코어 SKYPER는 기본 구동 기능과 보호 기능을 갖고 있는 SEMIX에 전기적 및 기계적으로 채용되었다. 따라서 작동 유닛 SEMIX+SKYPER는 거의 IPM처럼 기능하면서도 완전히 독립적이며, 모듈의 스위치 특성은 계속 사용자의 영향을 받기 때문에 다양한 애플리케이션에 대해 가장 폭 넓은 유연성을 제공할 수 있다.

2. SEMIX의 구조 및 특징

그림 1은 3가지 크기의 SEMIX 파워 모듈군을 보여준다. 보여지는 제어 인터페이스는 납땜 핀-연결이다.

시장에서 점차 소형 모듈을 선호하게 되자, IGBT 모듈의 전체적인 치수 또한 점점 작아지고 있다. SEMIX의 경우, 모

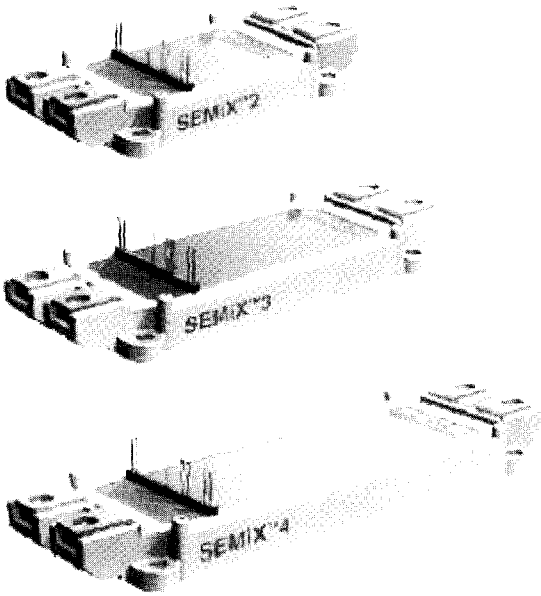


그림 1 각각 다른 길이의 SEMiX (위에서부터 아래로: 핀 프레임의 SEMiX 2, 3, 4)

들의 전체 높이는 17mm 밖에 되지 않는다. 이는 모듈의 낮은 인덕턴스에 기여한다. 최소의 내부 저항 및 인덕턴스에 도달하기 위해 내부 배열 및 연결은 극대화되었다.

SEMIX의 플러스 터미널 및 마이너스 터미널은 모듈의 한 쪽에 있어, DC 링크의 어셈블리를 박판 버스-바 구조에서 손쉽게 사용할 수 있도록 하여 전체 시스템의 기생 인덕턴스를 최소화한다. AC 터미널은 다른 쪽에 위치해 있다. DC 회로와 AC 회로의 분명한 분리는 DC와 AC 사이에 편안한 고립 거리를 제공한다. 더구나, 이러한 배열은 드라이버가 모듈 위에 위치하는 것을 허용하여 드라이버에서 모듈까지의 회선 길이를 줄여주고 시스템 전체의 크기를 소형으로 만들어 준다.

메인 터미널이 모듈 위에 위치한 재래식 모듈과 비교할 때, DC 링크를 측면에서 연결하는 것에는 분명 이점이 있다.

모듈(또한 게이트 핀)에 대한 기계적 스트레스는 훨씬 작다. DC 링크의 무게는 적절한 고정을 통해 충분히 흡수가 가능하다. 이는 모듈의 신뢰성, 특히 진동 하에서의 모듈의 신뢰성을 높여 준다²⁾. 필요한 경우에는 모듈과 DC 링크간에 유연한 연결을 사용하여 스트레스를 추가로 줄일 수 있다.

SEMIX 시리즈의 또 다른 이점은 폭 넓은 파워 범위이다. 200A ~ 900A의 전류 범위에서 SEMIX 2, SEMIX 3, SEMIX 4의 세 가지 케이스를 사용할 수 있다(1200V 모듈을 예로 했을 경우). 각 모듈에는 병렬로 2개, 3개 또는 4개의 하프브리지(half bridge)가 들어있어 서로 다른 모듈 길이를 가진다(그림 2 참조). 양 쪽의 기계 구조 및 치수는 동일하다.

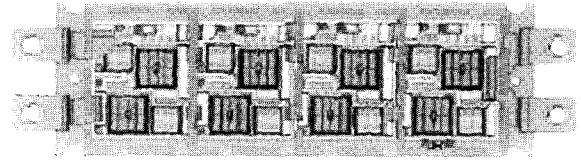
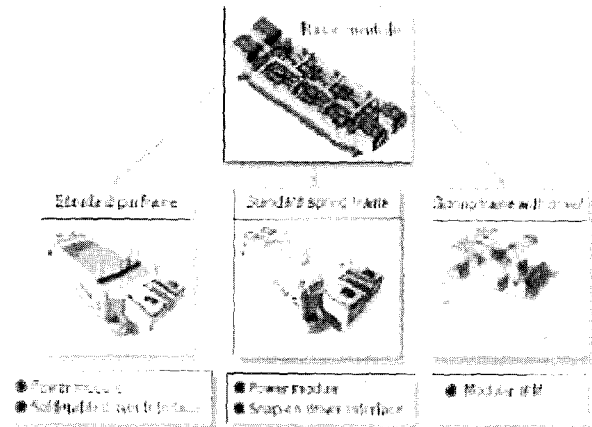


그림 2 네 개의 병렬 하프브리지로 구성된 SEMiX 4의 내부 구조



- 기본 모듈
- 표준 핀 프레임
- 표준 스프링 프레임
- 드라이버 장착 스프링 프레임
- 파워 모듈
- 맹렬 가능 드라이버 인터페이스
- 스냅 온(snap-on) 드라이버 인터페이스
- 모듈식 IPM

그림 3 SEMiX 기본 패키지와 옵션 인터페이스

그러므로, 한 개의 고유한 기계적 DC 링크 배열은 세 가지 크기의 모듈 모두에 장착이 가능하며, 따라서 각각 다른 출력 전력을 갖는다.

파워 터미널이 양 쪽에 위치해 있으므로, 모듈의 맨 위 공간은 드라이버에 최상의 위치를 제공한다. 드라이버와 반도체 칩 사이의 짧은 거리는 드라이버 회로에서의 기생 인덕턴스를 줄여준다.

또한, 모듈의 맨 위에 있는 드라이버에 대한 인터페이스는 여러 가지의 옵션을 갖는다(그림 3). 하나는 다른 회사 모듈들과 호환성이 있는 재래식 핀 인터페이스이다(그림 1 참조).

두 번째 옵션은 스프링 접촉을 포함해 탑재가 쉽고 신뢰성이 높다.

뿐만 아니라, 분산 스프링 접촉을 사용해 개별 모듈의 병렬 브리지를 제어함으로써 병렬 동작에 있어서 동적 전류에 균형을 줄 수 있다.

모듈의 최적 병렬 작동이 필요한 경우, 이 옵션을 가장 먼저 고려해야 한다. 세 번째 옵션은 적응형(adapted) 드라이버, 즉 IPM에 대한 모듈을 형성하기 위해 장착할 수 있는 SKYPER로서, 사용자에게 의해 드라이버 매개변수가 개별적으로 영향을 받을 수 있는 가능성을 가진다.

3. SKYPER - 표준 버전

파워 전자 시스템의 품질은 파워 반도체에 의해서만 정의되는 것이 아니라 구성요소(파워 부분, 드라이버 부분)와 전체 시스템의 상호작용에 의해서도 정의된다. 이 같은 요구를 충족시키기 위해서는 최적화된 게이트 드라이버가 필수적이다.

여기서 최적화란 기능, 유연성, 낮은 비용 등을 적절하게 감안하여 드라이버 코어 개념을 산출하는 것을 뜻한다^[3]. SKYPER에는 신호 처리, 고립 전원, 단락 보호 등 게이트 드라이버의 코어 기능만이 통합되었다. "코어"를 위한 드라이버의 이 최소 배열은 사용자에게 최대의 유연성과 낮은 비용을 제공한다. 그림 4는 SKYPER의 주된 레이아웃을 보여준다.

SKYPER는 1차측(primary side)에 정격 +15V 전원을 필요로 한다. 2차측(secondary side)에 필요한 전압(+15/-8V)은 고립되어 있는 DC/DC 컨버터에 의해 생성된다. 맨 위 및 맨 아래의 IGBT에 대한 제어 신호(15V CMOS 호환)는 펄스 변압기를 통해 전송된다. 높은 절연 능력(최대 4kV) 이외에도, 펄스 변압기는 2차측에 높은 dv/dt 면역성(최대 50 kV/μs)을 허용한다. 게이트 드라이버 기능에 추가하여, 쇼트 펄스(short pulse) 억제, 데드 타임 생성, 저전압 모니터링, VCE 모니터링(포화이탈 모니터링), 오류 메모리 및 오류 피드백 등의 보호 기능 및 모니터링 기능도 구현되었다.

VCE 모니터링은 IGBT에 대한 가장 중요한 보호 기능이다. VCE 모니터링은 기능은 2차측에 구현되었으며 부하 및 개별 스위치의 단락을 탐지한다(샷쓰루(shoot-through)).

컬렉터-에미터(collector-emitter) 전압은 커진 상태 동안

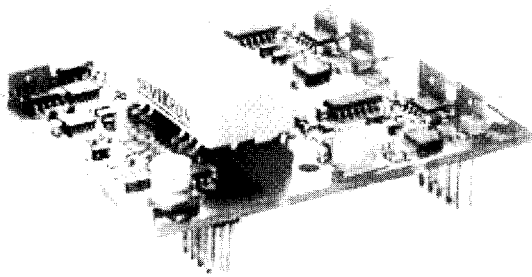


그림 4 SKYPER - 드라이버 코어 레이아웃

빠른 고전압 다이오드에 의해 모니터링되어 참조 값과 비교된다. 참조 값이 초과되는 경우는 오류 메모리가 설정되고 IGBT가 꺼진다. IGBT의 빠른 포화이탈 프로세스는 단락의 빠른 탐지를 허용하여 몇 μs 이내에 전원차단 명령이 내려진다. 정상 작동 중 IGBT의 안전한 전원공급을 보장하기 위해, V_{CE} 모니터링은 IGBT가 완전히 포화될 때까지 지연된다^[4].

1차측의 모든 기능은 특별히 개발된 ASIC(Application Specific Integrated Circuit)로 통합된다^[5]. 이러한 기능은 다음과 같다.

- 쇼트 펄스 억제
- 펄스 성형기
- 저전압 모니터링
- 오류 탐지
- 인터록
- DC/DC 컨버터 드라이버

이들은 두 채널(하프브리지)에서 사용이 가능하다.

따라서, 드라이버 코어에는 단지 몇 개의 추가 개별 부품만이 필요하다. 동시에, 개별 부품의 이 같은 감소는 드라이버 안정성의 향상 및 전체 시스템 안정성의 향상을 의미한다.

4. SKYPER Pro - 프리미엄 버전

위에서 설명한 기본 드라이버 코어(표준 버전)에 기초하여, SKYPER 사용자의 편의 증진을 위해 프리미엄 버전(SKYPER Pro)도 사용이 가능하다. 표준 버전에 포함된 기능들에 추가해, 확장 드라이버와 보호 기능을 가진 세 기능 블록이 구현되었다. 그림 5는 SKYPER 드라이버 코어의 블록 다이어그램을 표준 버전과 프리미엄 버전으로 보여준다. SKYPER Pro에서 사용할 수 있는 추가 기능은 이탤릭으로 그려져 있다.

프리미엄 드라이버 코어의 2차측에는 초과 온도 또는 초과 전류 보호 기능을 제공하는 추가 오류 입력 단자가 있다.

단락의 경우는 높은 DC 링크 전압에서조차 추가 보호 회로가 낮은 속도(소프트 전원차단)를 사용해 IGBT의 전원을 끈다. 이는 단락 전원차단 시 훨씬 작은 과전압 스파이크를 생산하여 장치가 극한 상황에서도 보호될 수 있도록 한다. 그림 6은 소프트 전원차단이 있을 때와 없을 때의 예들을 통해 이를 보여준다.

테스트된 모듈은 SEMiX 3 패키지의 SEMiX 703GB126HD이다. 소프트 전력차단의 경우는 U_{dc} = 900V으로도 단락을 끌 수 있다.

최고 보호 수준을 달성하기 위해 1차측과 2차측의 전원에 대해 추가 모니터링 회로들이 통합되었다.

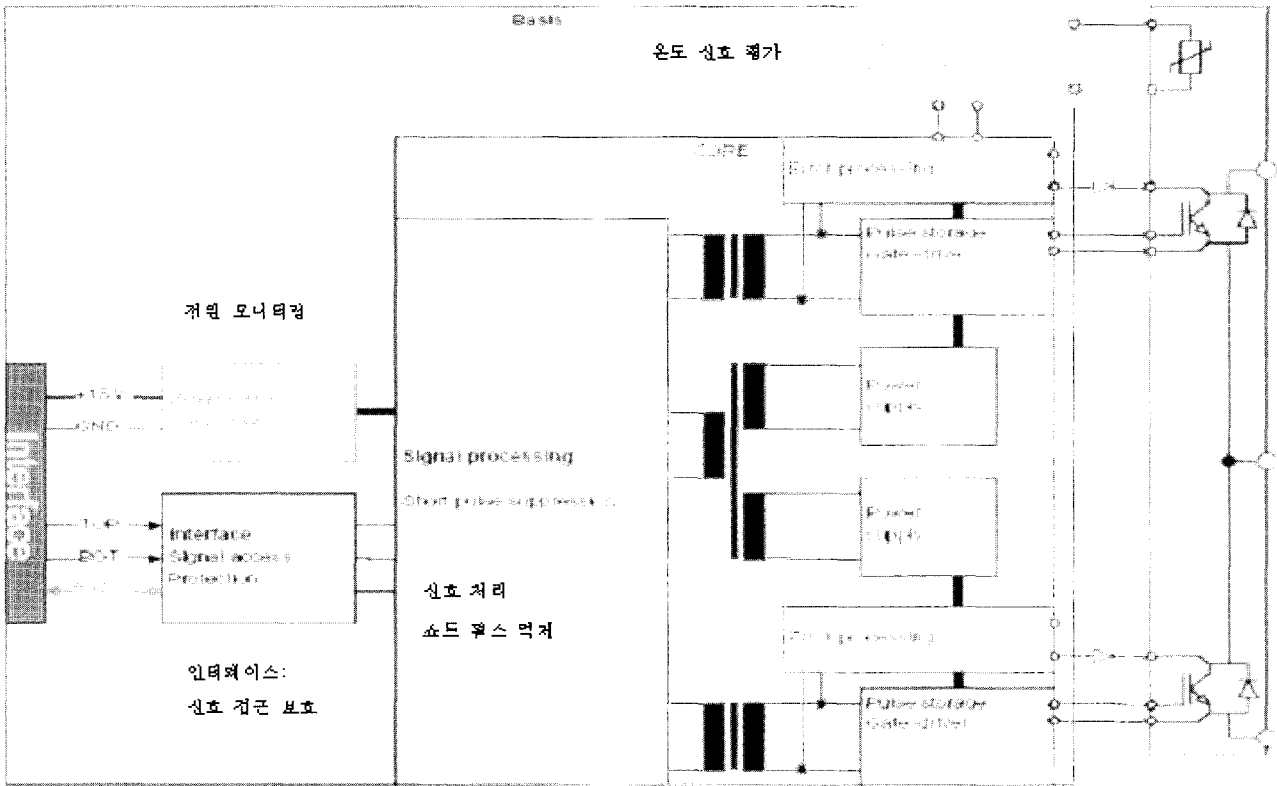
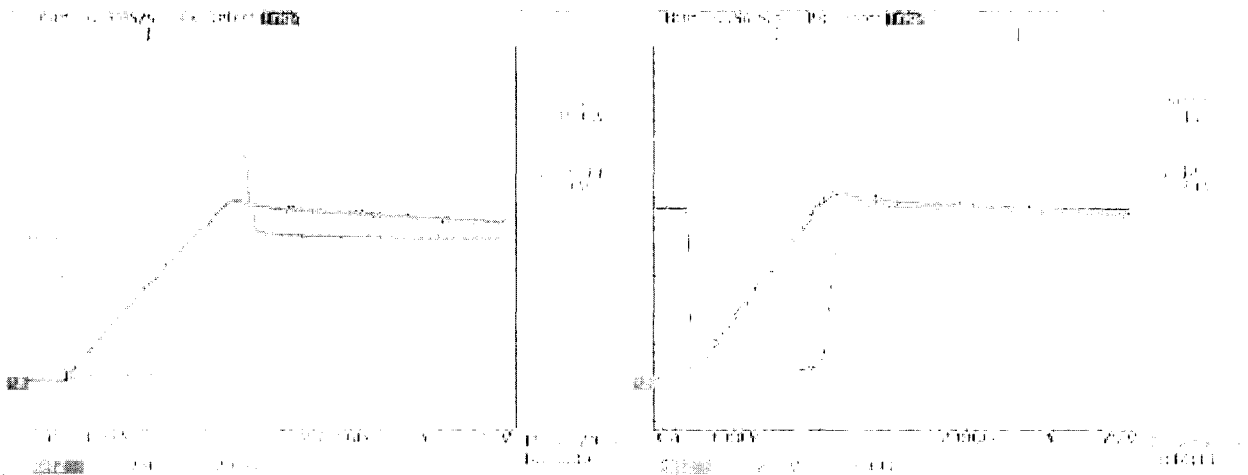


그림 5 SKYPER의 블록 다이어그램(SKYPER Pro의 추가 기능은 이탤릭으로 표시)



스너버 커패시터(snubber capacitor) 비사용: REF1: I at AC terminal, $L_{Load} = 1.4\mu H$; REF2: V_{CE} of BOT-IGBT

스너버 커패시터(snubber capacitor) 사용: CH1: I at AC terminal, $L_{Load} = 1.4\mu H$; CH2: V_{CE} of BOT-IGBT

a. SKYPER ($U_{dc} = 750V$) 하드 전력차단

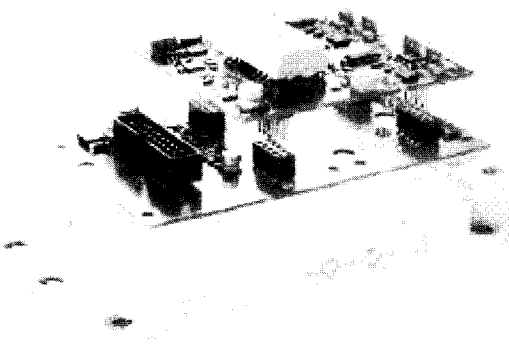
b. SKYPER Pro ($U_{dc} = 900V$) 소프트 전력차단

그림 6 SKYPER와 SEMiX703GB126HD의 하드 전력차단 및 소프트 전력차단

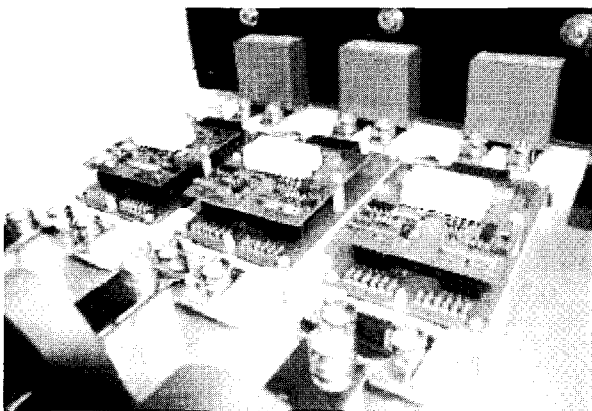
또한 데드 타임 발생도 조정이 가능하며, TOP과 BOTTOM의 IGBT의 연동 기능도 사용하지 않을 수 있다.

5. 인터페이스 보드를 통한 매개변수 선택

드라이버 코어가 드라이버의 가장 중요한 공통 기능을 제공하므로, 간단한 인터페이스 보드를 사용하여 개별 모듈 및 애플리케이션에 이를 채용할 수 있다. 그림 7은 이러한 어셈블리 SEMiX - SKYPER 시스템을 보여준다. 시스템은 스프링 접촉을 가진 파워 모듈, 표준 또는 프리미엄 버전의 드라이버 코어 및 드라이버 코어와 특정 모듈 즉 SEMiX(그림 7a)를 연결시켜주는 추가 인쇄 회로판(PCB)으로 구성된다. 실제 인버터에서 AC 구성요소와 DC 구성요소를 완전히 분리하는 것의 이점은 그림 7b에 나타나 있다.



a. 인터페이스 보드를 사용한 SKYPER와 SEMiX의 연결
(위로부터 아래로: 드라이버 코어, 인터페이스 보드, 스프링 접촉이 장착된 SEMiX 모듈)



b. 실제 인버터에 조립된 SEMiX - SKYPER
(SEMiX703GB126HD + SKYPER Pro 포함)

그림 7 SEMiX - SKYPER 조립

이 인터페이스 보드는 시스템 채택 및 최적화를 위해 사용자 정의가 가능하다. 다시 말해, IGBT의 스위칭 특성은 R_{gon} / R_{goff} 의 변경을 통한 전력공급 및 전력차단 속도 변경, 인터록 타임(프리미엄 버전)의 조정이나 비활성화, Vce 모니터링 레벨 및 윈도우 타임 등의 조정 등과 같은 사용자 설정을 통해 영향을 받을 수 있다. 시장에 나와 있는 대부분의 IPM과 비교할 때, 인터페이스 보드는 시스템 전체를 보다 유연하게 만들고 애플리케이션에 따른 최적화를 가능하게 한다. 일단 설정이 고정되면, 시스템은 IPM과 같이 작동하며 유사한 편의를 제공한다.

SEMiX와 인터페이스 보드간의 전기 연결은 SEMiX 파워 모듈에 통합되어 있는 스프링 접촉 및 보드 아래 쪽의 랜딩 패드를 통해 실현된다. 조립 후, 보드의 랜딩 패드는 파워 모듈의 스프링 접촉을 눌러 안정적인 전기 연결을 설정한다. 납땜 이음의 제거가 파워 모듈의 안정성을 향상시킨다는 것은 잘 알려진 사실이다^[6].

SEMiX에 있는 각각의 내부 하프브리지는 자체적인 게이트 및 보조 에미터 스프링 접촉을 가진다(그림 3 및 그림 7a 참조). 제어 스프링의 이 같은 분산 배열은 개별 게이트 액세스를 허용한다.

단락 행동과 스위칭 손실간의 최적화는 각각의 회로 배열 및 애플리케이션에 대해 수행이 가능하다^[2]. 모듈의 병렬 작동의 경우는 보다 나은 전류 분배와 모듈간의 보다 적은 진동을 가능하게 한다.

개별 게이트 액세스는 새로운 방법으로 높은 파워를 제어하는데 기여한다.

6. 구동 능력

SKYPER는 어떤 SEMiX IGBT 모듈도 구동할 수 있는 완전한 엔드 스테이지를 갖고 있다. SKYPER 펄스당 출력 전하는 6.4μC에 달한다.

구동할 파워 반도체 요소에 따라, 그림 8의 스위칭 주파수는 어떤 작업량 사이클에서도 가능하다. 모듈 채용은 인터페이스 보드상의 게이트 리지스터 및 추가 버퍼 커패시터를 통해 수행할 수 있다.

최대 스위칭 주파수(f_{max})는 다음 공식을 사용해 계산할 수 있다.

$$f_{max} = \frac{I_{out_{AVmax}}}{Q_{GE}}$$

여기서 각각의 변수는 다음과 같다.

$I_{out_{AVmax}}$: 출력 평균 전류(최대)

Q_{GE} : 구동 모듈의 게이트 전하

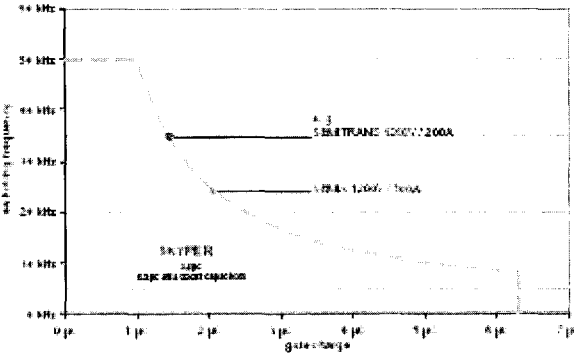


그림 8 SKYPER의 출력 전하

7. 결론

IGBT 모듈을 위한 간단한 드라이버 코어인 SKYPER를 소개함으로써 다양한 애플리케이션에 대해 높은 유연성을 제공하였다. 이 드라이버 코어는 특수 인터페이스 보드를 사용해 새로운 SEMiX IGBT 모듈에 채용되었다. 그 결과 전형적인 IPM만큼 편리하며 스위칭 특성을 최적화하여 재래식 모듈만큼 유연성이 높은 시스템이 탄생하였다. 다양한 테스트 결과는 SEMiX 및 SKYPER 시스템의 우수한 성능을 입증해주며 안정적인 소형 인버터 구축에 기여한다.

〈 저 자 소 개 〉



Markus Hermwille

독일 Dortmund 응용과학 대학에서 Electrical Engineering 전공. 수년간 Sales Engineer로 근무. 2000년 독일, Nuremberg의 SEMIKRON International에서 Product Manager로 근무. 2003년 10월-2004년 8월까지 세미크론 코리아에서 Senior Technical Advisor로 근무.



김동운

1960년 1월 27일생. 동국대 공대 전자공학과 졸업. 삼성반도체, STM 등에서 Technical Sales & Marketing 부문 근무. 현재 세미크론 코리아의 Sales Director.