

1200V SiC MOSFET 지능형 전력 모듈 시뮬레이션

이종욱, 강경필, 이민섭, 권태성, 이준배
인피니언 테크놀로지스 코리아

Simulation for 1200V SiC MOSFET Intelligent Power Module

Jong Uk Lee, Kyoung-Pil Kang, Minsub Lee, Taesung Kwon, Junbae Lee
Infineon Technologies, KOREA

ABSTRACT

본 논문은 인피니언 테크놀로지스의 1200V급 3상 지능형 전력 모듈에 탑재된 SiC MOSFET의 과도상태 특성을 시뮬레이션과 실제 측정한 파형의 결과를 비교하였다. 다양한 전류조건에서 전압과 전류의 변화 및 손실을 비교하였으며, 시뮬레이션의 높은 정확도를 위해서는 모듈 및 주변 회로에 구성되어 있는 인덕턴스와 캐패시턴스 등의 다양한 기생성분들을 고려하여야 한다는 것을 검증하였다.

1. 서론

본 논문은 지능형 전력 반도체 모듈의 과도상태 특성을 간접적으로 확인할 수 있도록 시뮬레이션 회로의 높은 정확성을 검증한다. 높은 시뮬레이션의 정확도를 위해 필수적으로 고려되어야 할 기생 성분들에 대해 설명한다. 회로구성은 SIMetrix 시뮬레이션 툴을 사용하였으며, 스위칭 소자로 사용된 1200V SiC MOSFET은 인피니언 테크놀로지스에서 제공되는 모델을 사용하였다. 또한 시뮬레이션의 정확성을 위해, 모듈의 기생 인덕턴스 및 레지스턴스, 패키지 캐패시턴스를 Ansys Q3D Extractor 시뮬레이션 프로그램을 통해 추출하여 회로 구성에 반영하였다. 그 결과, 다양하게 고려된 시뮬레이션을 통해 실제 실험조건과 다양한 전류 조건에서 과도상태 손실 및 특성을 비교 및 검증하였다.

2. 본문

2.1 모듈 구성 및 내부 회로

그림 1은 1200V CIPOS™ IM828-XCC의 패키지를 보여준다. 그림 2는 본 제품의 내부 구성회로도이다. 6개의 1200V SiC MOSFET과 단일 6채널 SOI (Silicon On Insulator) 게이트 구동 소자 및 온도 모니터링을 위한 내장형 NTC thermistor로 구성되어 있다.

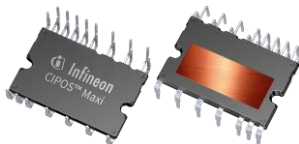


그림 1. CIPOS™ IM828-XCC 지능형 반도체 모듈
(크기: 36mm x 22.7mm x 3.1mm)
Fig 1. Package outline overview of IM828-XCC

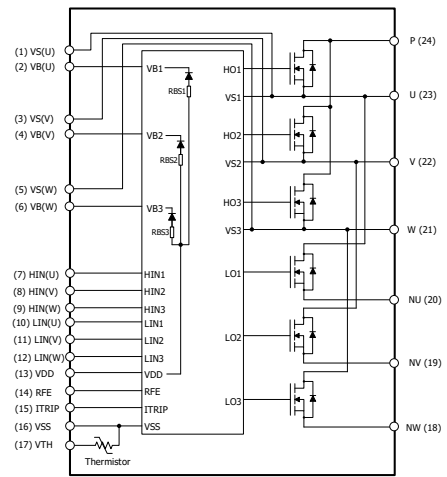
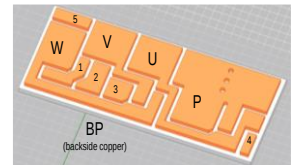
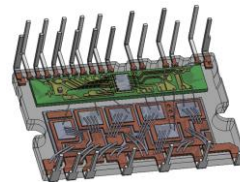


그림 2. CIPOS™ IM828-XCC 내부 등가 회로
Fig 2. Internal equivalent circuit of CIPOS™ IM828-XCC

2.2 시뮬레이션 회로 구성

시뮬레이션의 정확성을 위해서는 모듈 및 주변 회로에 존재하는 기생성분들을 정확히 반영하는것이 필요하다. 정확한 모듈의 기생성분들 추출을 위해 그림 3 과 같이 3D 모델링을 하였다. 그림 3(a)는 모듈의 와이어 및 리드프레임등의 인덕턴스와 저항성분 추출을 위한 3D 모델이며, 3(b)는 패키지의 캐패시턴스 추출을 위한 3D 모델이다. 모듈 외부 주변회로의 기생 성분은 LCR meter 로 측정하였다. 그림 4 는 모듈 내부 및 외부의 기생성분들을 모두 반영한 시뮬레이션 회로이다.



(a)모듈 기생성분 3D 모델 (b)패키지 캐패시턴스 3D 모델

그림 3. IM828-XCC 기생임피던스 추출을 위한 3D 모델링
Fig 3. 3D modeling for stray impedance extraction

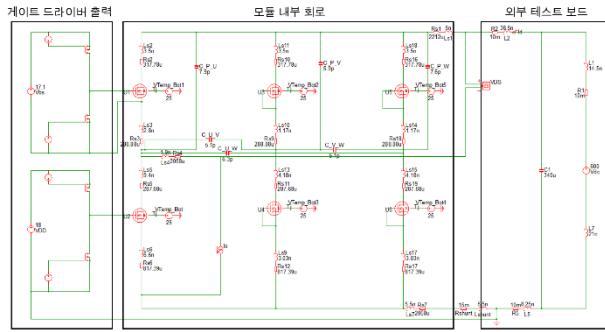
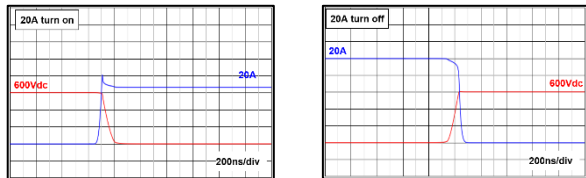


그림 4. 시뮬레이션 회로
Fig 4. Simulation circuit

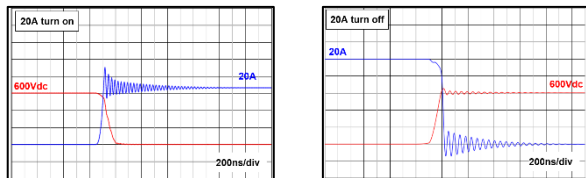
2.3 과도상태 파형 비교

그림 5는 과도상태 시뮬레이션 및 실측 파형 비교이다. 과도상태 조건은 DC link 600V, 18Vdd, 상온조건에서의 정격전류 20A 를 비교하였다. 그림 5(a)는 모듈의 기생 성분들이 고려되지 않은 이상적인 모듈의 결과이다. 그림 5(b)는 모듈의 기생 성분들을 추출하여 회로를 구현한 시뮬레이션 결과이다. 과도상태에서 두 시뮬레이션의 비교를 하였을 때, 기생성분을 고려한 회로의 전압 및 전류의 기울기에서 차이가 생기는 것을 확인하였다. 또한 기생 성분들에 의해 과도상태에서 전압 및 전류에 오실레이션이 생기는 것을 확인하였다.

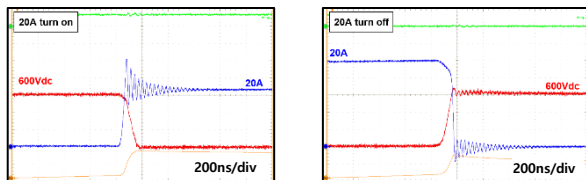
그림 5(c)는 실제 측정파형이며 기생성분이 포함된 시뮬레이션 결과와 비교하였을 때, 과도상태에서의 전압과 전류의 변화율이 유사한 것을 확인했다. 또한 실제 측정 파형에서도 오실레이션이 발생하는 것을 확인하였으며 이는 기생성분에 의해 생겨난 것으로 예상할 수 있다. 따라서 시뮬레이션 회로에서 고려된 기생 성분들이 실제 평가 환경과 유사하게 모델링이 되었다는 것을 검증하였다.



(a) 기생성분 미 적용된 시뮬레이션 결과



(b) 기생성분 적용된 시뮬레이션 결과



(c) 실측 결과

Condition : 600Vdc, 18Vdd, Ic= 20A, Tc= 25°C

그림 5. 시뮬레이션 및 실제 파형 과도상태 파형 비교

Fig 5. Transient waveform comparison between simulation and measurement

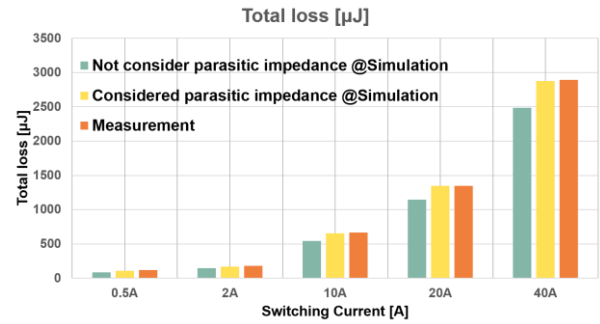


그림 6. 다양한 스위칭 전류 구간에서의 과도상태 손실 비교

Fig 6. Total loss comparison with variable switching current condition

2.4 손실 비교

그림 6 은 다양한 전류 구간에서 턴 온, 턴 오프의 과도상태 합산 손실을 비교하였다. 모듈 및 주변회로의 기생성분이 포함된 시뮬레이션의 과도상태 합산 손실은 기생성분들이 고려되지 않은 시뮬레이션의 합산 손실보다 약 15% 높은 합산 손실을 보였다. 실제 측정된 과도 상태의 합산손실과 비교하였을때, 기생성분들이 고려된 합산 손실과 유사한 결과가 나왔으며 이는, 모듈 및 주변회로의 기생성분들이 실제 측정 환경을 최대한 반영 했다는 것을 검증하였다. 따라서 정확한 과도상태 시뮬레이션 결과를 위해서는 모듈 및 주변 회로의 정확한 기생 성분 추출이 필요하다는 것을 확인 하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 시뮬레이션으로 1200V급 지능형 전력모듈의 과도상태 특성에 대하여 분석하였다. 시뮬레이션은 모듈과 주변회로의 기생성분들을 반영하여 구성하였으며, 다양한 전류 조건에서 실제 실험결과와 비교하여 과도상태에서 기생성분의 영향도를 파악하였다. 기생성분들이 반영된 결과는 실제 실험결과와 유사한 과도상태 특성과 합산 손실을 보였다. 따라서 시뮬레이션의 높은 정확성을 위해서는 모듈 및 주변 회로의 기생성분들이 충분히 고려되어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] M Lee, M Baek, J Lee, D Chung: A New Smallest 1200V Intelligent Power Module for Three Phase Motor Drives, IPEC-Niigata 2018, DOI 10.23919/IPEC.2018.8507961