

차량용 전력반도체 모듈의 기생 임피던스에 관한 고찰

장태은*, 김태완*, 장동근*, 김준식**, 박시홍**
LS산전*, 단국대학교**

A study on Parasitic Impedance of Power Semiconductor Modules for EV

Jang Tae Eun*, Kim Tae Wan*, Jang Dong Keun*, Kim Jun Sik**, Park Sihong**
*LS IS Co., Ltd. **Dankook University

ABSTRACT

최근 국내에서도 다양한 형태의 전력반도체 모듈이 개발되고 있으며 대용량화에 따라 전력반도체 패키지 내부에 소자의 병렬연결이 흔히 사용되고 있다. 이에 따라 회로의 구조에 따른 기생 임피던스, 즉, 인덕턴스와 저항 성분은 개별 소자의 안전 영역(SOA)을 넘는 스트레스를 발생시키고 고장을 일으킬 수 있다. 이러한 기생 임피던스를 모듈 설계 단계에서 시뮬레이션을 통해 분석하여 이에 의한 영향을 예측하고 설계에 반영하여 고 신뢰성 차량용 전력반도체 모듈을 개발하고자 한다.

1. 서론

전 세계적으로 강화되고 있는 환경규제와 고유가에 대응하기 위해 자동차 산업은 내연기관 자동차에서 전기자동차로 기술의 패러다임이 변화하고 있다. 전기자동차의 부품인 전력반도체는 고 신뢰성의 패키지 기술과 우수한 전기적 특성을 요구한다. 또한 최근 IGBT, Diode 등 소자의 속도가 빨라짐에 따라 기생 임피던스 특성의 중요성이 커지고 있다. 본 논문에서는 차량용 전력반도체 모듈의 전기적 특성중 기생 임피던스에 대하여 고찰하였다.

2. 본론

2.1 시뮬레이션 과정

모듈의 고 전력화 및 고속 스위칭화에 따라, 기생 임피던스의 영향^[1]이 크게 나타나게 되어, Noise, Over voltage, EMI 현상 등을 야기하게 된다. 따라서 모듈의 기생 임피던스 특성은 모듈의 성능을 결정하는 매우 중요한 요소이다.

그림 1은 시뮬레이션 프로그램의 모델링 과정 및 최종 시뮬레이션과 분석을 하는 과정들을 나타내고 있다. 실제모델 혹은 개발할 모델을 3D모델화 하고 기생성분 분석 프로그램을 이용하여 각 부분의 파라미터를 추출한다. 추출된 파라미터는 Spice 프로그램의 Library로 등록하여 회로를 구현^[2]하여 각부의 전압과 전류를 분석한다.

2.2 전력반도체 모듈의 기생 임피던스

전력반도체 모듈에서 기생성분은 인덕턴스, 저항, 커패시턴스가 있다. 여기서 저항성분은 전력반도체의 IGBT나 Diode가 턴온된 상황, 즉 DC상태에서 많은 영향을 미치며, 인덕턴스는 턴온, 턴오프 되는 과도상태에서 많은 영향을 미친다.

그림 2는 시스템 회로에서의 기생 인덕턴스에 대한 등가 회로를 나타낸다. 기생 인덕턴스는 2가지로 분리할 수가 있다. 전력반도체 모듈 내부의 기생 인덕턴스 성분과 모듈 외부의 시스템 기생 인덕턴스 성분으로 나눌 수 있다. 전력반도체 소자가 턴온, 턴오프 할 경우 소자에 인가되는 전압은 DC Link 전압인 V_{DC} 와 Over shoot 전압의 합이 된다. 이때 소자에 인가되는 Over shoot 전압은 다음 수식으로 표현이 된다.

$$\Delta V = (L_{SYSTEM} + L_{Module}) \times -\frac{di}{dt} \quad (1)$$

여기서,

$$L_{SYSTEM} = L_{P1} + L_{P2} + L_{P3} \quad (2)$$

$$L_{Module} = L_{C1} + L_{E11} + L_{E12} + L_{C2} + L_{E21} + L_{E22} \quad (3)$$

Over shoot 전압이 안전영역(SOA)을 넘지 않아야 모듈을 안전하게 사용할 수 있다. 즉 모듈 설계에서 기생 인덕턴스 성분 설계는 매우 중요하다.

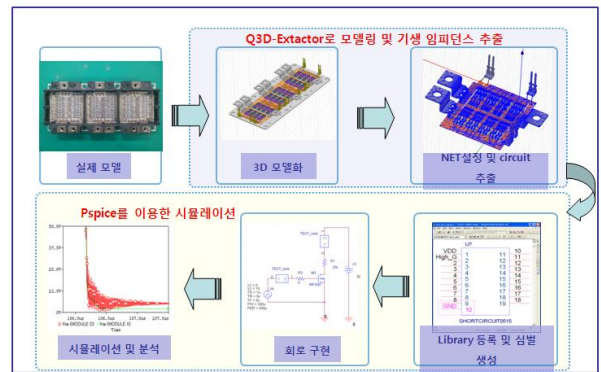


그림 1 시뮬레이션 과정의 다이어그램
Fig. 1 Block diagram of the Simulation Process

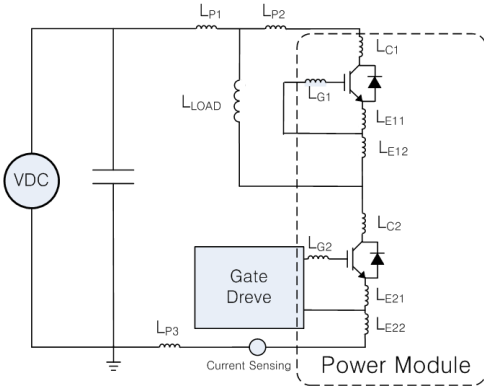


그림 2 기생 인덕턴스의 등가회로
Fig. 2 Equivalent circuit showing parasitic inductances

2.3 차량용 전력반도체 모듈의 분석

그림 3은 당사 차량용 전력반도체 모듈의 그림을 나타낸다. 정격은 600V 800A로써 Half Bridge 3상 타입으로 구성이 된다.

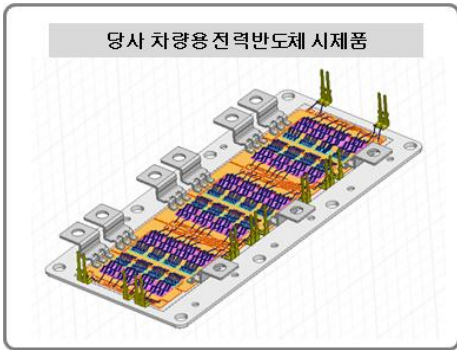


그림 3 차량용 전력반도체 모듈의 3D 모델
Fig. 3 The 3D Model of power semiconductor module for EV

그림 4는 당사 차량용 전력반도체모듈에 대한 기생 인덕턴스의 시뮬레이션 결과이다. 차량용 전력반도체 모듈의 스위칭 시간이 약 100ns 정도이므로 약 10MHz 정도에서 값이 스위칭 시 모듈의 기생 인덕턴스가 된다. 즉, 당사 제품의 기생 인덕턴스는 약 11nH 이며 작은 기생 인덕턴스로 인하여 안전영역(SOA)이 더욱 넓어지고 더 빠른 스위칭을 하여 손실을 절감할 수 있다.

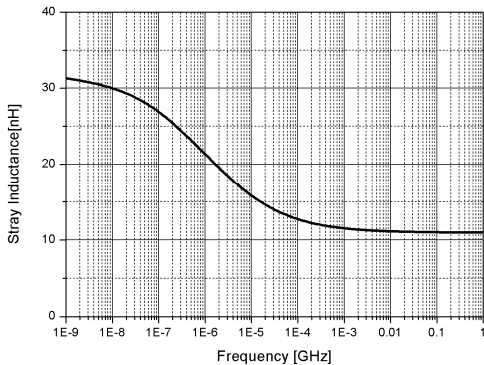


그림 4 모듈의 기생 인덕턴스 시뮬레이션 결과
Fig. 4 The Simulation result of parasitic inductance

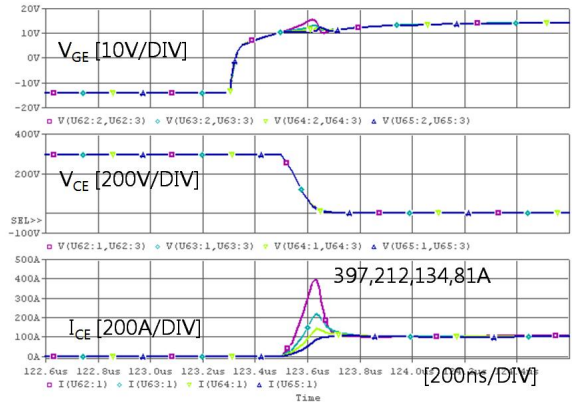


그림 5 실험 및 시뮬레이션 파형
Fig. 5 The Waveforms of experiment and simulation

그림 5는 당사 제품의 하측 IGBT 턴 온 시뮬레이션 파형을 나타낸다. 하측 IGBT 턴 온 순간 병렬 연결된 IGBT에 전류가 고르게 분포되지 못하고 있다. 이는 제품 패키지의 기생 인덕턴스가 소자들에 미치는 영향이 서로 차이 있기 때문이다. 즉, 전력반도체 소자에 인가되는 전압과 전류를 정리하면 작은 기생 인덕턴스를 가지도록 설계하는 경우 이로 인하여 전압 스트레스가 작아서 고속 스위칭이 가능하지만 병렬 소자들의 전류 균형에 이롭지 않은 배치가 될 수 있다. 그러므로 두 가지의 최적 점을 찾는 설계가 필요하다.

3. 결론

차량용 전력 반도체 모듈은 대용량화에 따라 내부 소자가 병렬로 사용되고 이에 따라 소자에 여러 문제들이 발생할 수 있다. 특히 기생 임피던스로 인한 과전압과 소자들 간의 전류 불균형이 중요한 요소이다. 이러한 기생 임피던스는 설계 단계에서 시뮬레이션을 통해 그 영향을 분석하고 그에 따른 최적 설계가 가능하며 그 결과 고 신뢰성의 차량용 전력반도체 모듈을 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] Yanqun Shen; Jian Jiang; Yan Xiong; Yan Deng; Xiangning He; Zhaohui Zeng, "Parasitic inductance effects on the switching loss measurement of power semiconductor devices", IEEE International Symposium on, VOL. 2, 2006
- [2] Mihalic, F.; Jezernik, K.; Krischan, K.; Rentmeister, M., "A SPICE model for IGBTs", Industrial Electronics, IEEE Transactions on Volume: 42 1995 , Page(s): 98 105
- [3] Bhalla, A.; Gladish, J.; Dolny, G. "Effect of IGBT switching dynamics on loss calculations in high speed applications", Electron Device Letters, IEEE Volume: 20, 1999 , Page(s): 51 53
- [4] Li, H.H.; Trivedi, M.; Shenai, K.. "Dynamics of IGBT performance in hard and soft switching converters", Industry Applications Conference, 1995 , Page(s): 1006 1009 vol.2