

저압 중용량 인버터에서의 기생 인덕턴스에 의한 영향

최종선*, 전태원**, 김지용**, 김흥근***

*현대중공업, **울산대학교, ***경북대학교

Effects of stray inductance on low voltage inverter for medium capacity

C.S Choi*, T.W Chun**, S.Y Kim**, H.K Kim***

*Hyundai Heavy Industry, **University of Ulsan, ***University of Kyungpook

ABSTRACT

An inverter with large capacity has been demanded at a factory automation and diffusion of the energy saving work. As the capacity of inverter is larger, the stray inductance has much influence on both the di/dt of IGBT current, and voltage stress across IGBT. Also, the life of the snubber capacitor may be shortened due to overheating of the snubber capacitor. In this paper, a planar busbar which consists of two layers is applied to N700-series inverter in order to minimize stray inductance. The voltage stress across IGBT is changed by both the DC busbar structure and the capacity of snubber capacitor.

1. 서 론

모터 속도 제어 장치인 인버터가 범용화되고, 그 사용되는 스위칭소자 기술의 발전으로 IGBT는 적용되는 용량이 점차 증가되고 있으며, 스위칭 속도 또한 증가되고 있다. 스위칭 속도의 증가는 인버터에서 사용되는 스위칭 모듈 및 직류링크 사이를 흐르는 전류를 매우 짧은 시간에 급격하게 변화하게 하므로, 인버터 내부의 기생 인덕턴스에 의한 di/dt 값으로 전압 스파이크를 일으키게 된다. 특히 단락사고 발생시 급격한 전류의 변화에 의한 과도 전압은 스위칭소자가 견딜 수 있는 내전압보다 큰 전압이 소자 양단에 걸려서 파괴될 우려가 있다.

인버터에서 부스바는 직류 커패시터, 스위칭소자 등을 직렬 또는 병렬 연결하는 데 사용된다. 이러한 부스바는 일반적으로 두께는 얇고, 단면적이 클수록 기생 인덕턴스가 작다.^[3] 그러나, 비용상, 제작상의 문제로 이러한 이상적인 부스바를 적용하기는 매우 어렵다. 기생 인덕턴스를 줄이기 위하여 일반적으로 직류단을 적용된 평판 부스바가 사용된다. (+)단 (Plus sheet) 및 (-)단 (Minus sheet)을 동일한 형상 및 적층하여 적용하는 것이 상호 인덕턴스를 증가시킴으로써 기생 인덕턴스를 줄이는 이상적인 방법이다. 이는 제품 제작상 불가능하며, 기생 인덕턴스에 대해서 부스바의 물리적인 형상 및 배치에 따른 변화는 현재까지도 경험적으로 이해되고 있다. 본 연구에서는 부스바 구조에 따른 전압 오버슈트를 보이고, 그 제품의 안정성을 위한 스노버 커패시터의 용량을 증가함으로써 스위칭 소자 양단의 오버슈트 전압을 제한하여 제품의 안정성을 확보할 수 있음을 보였다.

2. 저압 중용량 인버터의 기생 인덕턴스 영향

인버터 회로에서, 직류 전압이 IGBT 에 연결되어 있고, 부스바를 통하여 부하에 연결되어 있으며, 펄스폭 변조 방식(PWM)을 사용하여 원하는 출력전압을 출력한다. 이 출력전압을 만드는 스위칭 온, 오프 순간 전류의 흐름은 그림 1과 같이 나타난다. 각각의 스위칭(IGBT) 소자 양에 걸리는 전압은 다음의 방정식과 같다.

$$V_s = V_{DC} - L_1 \frac{di}{dt} \quad (1)$$

여기에서 L_1 은 전체 기생 인덕턴스이고, V_s 은 각각의 스위칭 소자 양에 걸리는 양단의 전압이다.

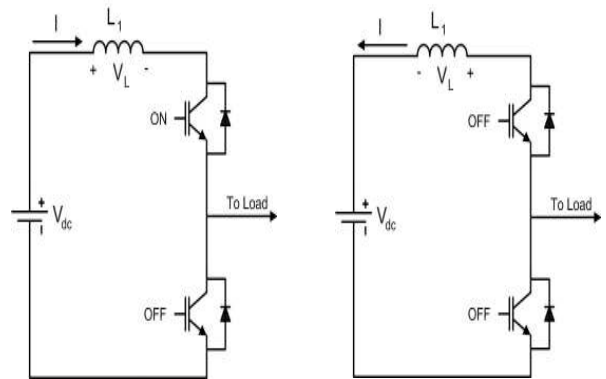


그림 1 스위칭 온, 오프시 스위칭 소자 전압

Fig. 1. Switching device voltage at on/off switching states.

그림 1(a)의 경우는 IGBT 양에 걸리는 전압은 직류 링크 전압 보다 작은 $V_{DC} - V_L$ 이 된다. 그러나, 그림 1(b)와 같이 IGBT가 턴 오프 되는 순간 IGBT 양단에 걸리는 전압은 $V_{DC} + V_L$ 이 된다. 따라서 기생 인덕턴스에 의한 전압은 IGBT가 턴 오프되는 순간 IGBT에 가전압이 인가되어 소손시킬 수 있음을 알 수 있다.^[2]

2.1 Busbar 구조에 따른 IGBT 양단 전압 파형 비교

2.1.1 Busbar 구조 비교



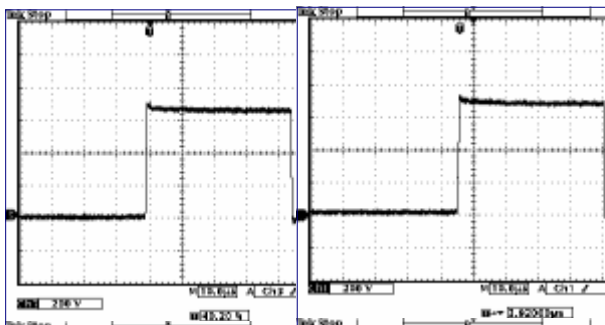
그림 2. EP제품 (Engineering Product) Busbar 구조
Fig. 2. Structure of EP(Engineering Product) busbar



그림 3. PP제품 (Prototype Product) Busbar 구조
Fig. 3. Structure of PP(Prototype Product) busbar

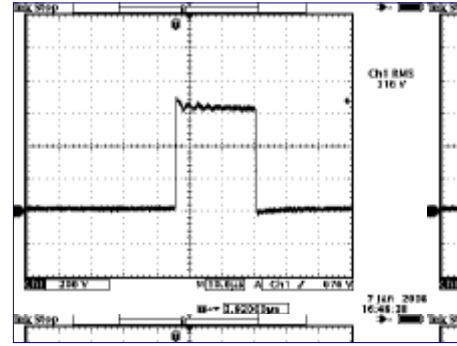
상기 그림 2와 3은 각각 당사 N700-1100HF (400V, 110kW 급)의 EP 제품 (Engineering Product)과 PP제품 (Prototype Product)으로 모두 적층된 평판 부스바를 적용하였으나, 직류 커패시터에서 IGBT 양단으로 전달되는 부분에서 구조적인 차이를 보인다.

2.1.2 부하 전류의 크기에 따른 IGBT 양단 전압의 변화

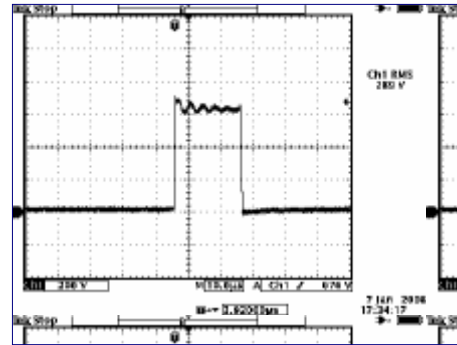


(a) EP제품 (b) PP제품

그림 4. 무부하 운전 시 EP와 PP제품의 IGBT 양단 전압
Fig. 4. IGBT voltage of both EP and PP at no load operating
그림 2와 3에서 보인 형상 차이는 그림 4와 같이 무부하 운전 시(출력전류 37A)에는 IGBT 양단전압이 차이를 보이지 않는다.



(a) EP 제품

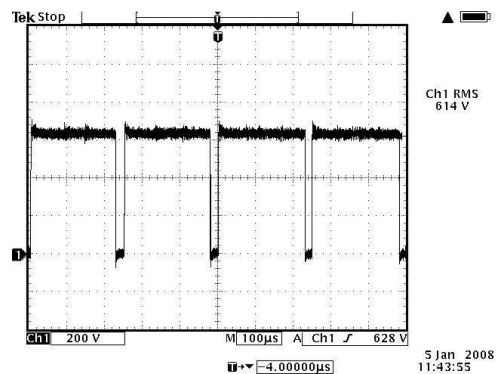


(b) PP 제품

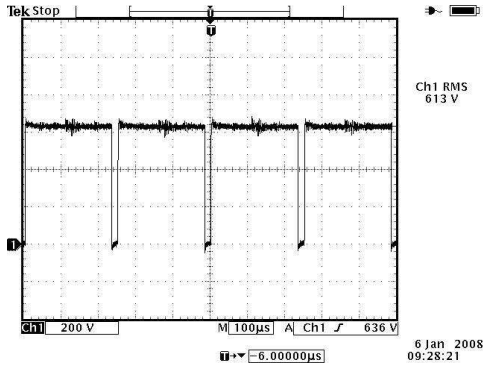
그림 5. 정격부하 시 IGBT 양단 전압
Fig. 5. IGBT voltage at full load operation

그림 5는 같이 정격부하 운전시 (출력전류=217A) EP와 PP제품의 IGBT 양단 전압을 차이를 보인다. 상기 그림 5 (a)와 (b)를 보면 기생 인덕턴스에 의해 IGBT 양단 전압의 진폭 및 크기의 차이가 발생함을 알 수 있다. 이로 인한 스노버 커패시터의 충방전은 스노버 커패시터의 발열을 일으켜 인버터의 사용 환경 (주위 온도) 저하 및 커패시터의 수명을 떨어뜨리는 원인이 된다.

2.2 스노버 커패시터 용량에 따른 DC단 전압



(a) 스노버 커패시터=1.5uF



(b) 스노버 커패시터=2.2uF

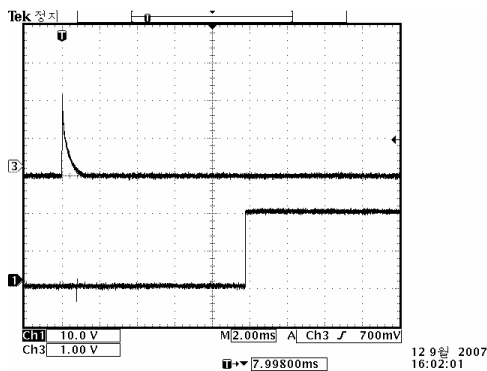
Fig. 6. 스노버 커패시터 값에 대한 IGBT 양단 전압
Fig. 6. IGBT voltage with a variation of snubber capacitor

기생 인덕턴스에 의한 영향을 줄이는 이상적인 방법은 직류단 부스바를 동일한 형태로 하여 적층하는 방법이 이상적이나 구조적인 면에서 제작이 불가능하다. 따라서, 구조적인 면을 고려한 후 보호 회로인 스노버 커패시터에 의해 IGBT 양단 전압을 줄여야 한다.

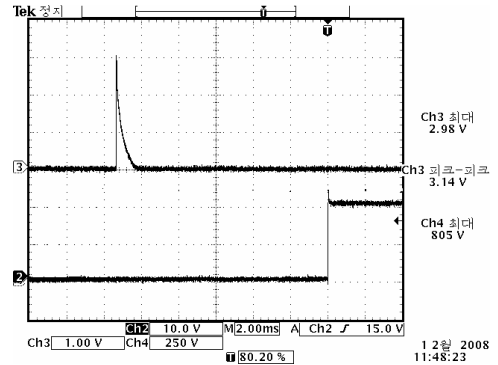
그림 6은 PP 제품에서 정격부하 전류 운전시 스노버 커패시터가 1.5uF와 2.2uF 일 때 IGBT 양단 전압의 파형을 보인 것이다. 그림 6 (a)와 (b)를 통하여 스노버 커패시터를 1.5uF에서 2.2uF로 증가시 IGBT 양단 전압의 진동을 억제하여 전압의 크기를 약 50% 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

2.3 단락사고시 보호동작에 의한 IGBT 전류 제한

인버터는 출력단에 단락 사고가 발생하였을 경우 제품의 보호를 위해 구동회로 보호 동작 또는 과전류 보호 동작을 수행한다. 아래 그림 7 (a)와 (b)는 각각 EP 제품과 PP제품의 단락사고시 보호동작에 의한 차단 전류의 크기를 나타낸 것으로 PP 제품의 차단 전류가 1.5배 크게 나타났다. 이러한 전류의 검출 차이는 기생 인덕턴스에 의한 전류 상승의 기울기가 PP가 미세하게 완만하여 HCPL316J를 사용한 구동회로 보호 동작으로 검출하지 못하고 4us 마다 전류의 크기를 검출하는 CT 신호 신호에 의한 제어기의 과전류 보호동작이 이루어지기 때문인 것으로 판단된다.



(a) EP제품의 단락전류



(b) PP제품 단락전류

그림 7. 단락실험 시 단락전류
Fig. 7. Short current at short circuit test

3. 결 론

본 연구에서는 기생 인덕턴스와 IGBT 양단 전압과의 관계를 시험을 통하여 고찰 해 봄으로써 제품 제작상 문제로 인한 구조의 차이에 의한 IGBT 양단의 전압의 문제점을 확인할 수 있었으며, 스위칭 소자에 걸리는 과전압 문제를 일정 부분 스노버 회로를 통하여 해결할 수 있었다. 그러나, 스위칭 소자의 안정성 확대 및 원가 절감을 위하여 구조설계 초기부터 기생인덕턴스를 최소화 할 수 있도록 소자 배치 및 부스바 형태를 체계적이며 지속적인 연구가 필요하다. 또한, 향후 개발될 160kW급 이상의 인버터 개발 시 이러한 문제점에 대한 해결방안에 대해 지속적으로 연구할 예정이다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2005-7-067) 주관으로 수행된 과제임

참 고 문 헌

- [1] Firuz Zare, Gerard Ledwich, "Side-by-Side Planar Busbar for Voltage Source Inverters", Power Electronics Specialist Conference, 2002. pp. 23-27.
- [2] 노지준, "스트레이 인덕턴스 저감을 위한 인버터 평판 버스의 형상 설계", 서울대학교 대학원 석사논문, 1995.
- [3] JM. Guichon, J.Aime, JL.Schanen, C.Martin, J.Roudet, E.Clavel, M.Arpillrere, R.Pasterczyk, Y.Le Floch, "Busbar Design: How to spare Nanohenries?", IAS Annual Meeting. Oct. 2006 pp 1865-1869.
- [4] Firuz Zare, Gerard F. Ledwich, "Reduced layer Planar Busbar for Voltage Source Inverters", IEEE Transactions on power electronics, vol. 17, No. 4, pp508-516, July. 2002.