

## DC/DC 컨버터용 전류분할과 시분할 스위칭 기법의 비교

박천성\*, 권혁대\*, 고성훈\*\*, 이수원\*\*\*, 이성룡\*\*, 전철환\*\*  
 군산대학교\*, 전북대학교\*\*, 연세대학교\*\*\*

### Comparative Study of Current or Time Sharing Switches for DC/DC Converters

Chun-Sung Park\*, Hyuk-Dae Kwon\*, Sung-Hun Ko\*\*, Seong-Ryong Lee\*, Chil-Whan Jeon\*, Su-Won Lee\*\*\*  
 Kunsan National University\*, Chonbuk National University\*\*, Yonsei University\*\*\*

**Abstract** - 본 논문에서는 DC/DC 컨버터의 병렬운전에 사용되는 전류분할(current sharing)기법과 시분할(time sharing)기법을 비교·분석하였다. 고전력 전력변환기(컨버터 or 인버터)에 사용되는 전력용 반도체 소자(스위칭 소자)를 낮은 용량의 스위칭 소자 여러 개로 구성하면 전체 시스템의 원가절감, 용량증대, 스위칭 손실 및 스트레스 감소 등의 효과를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 효율, 스위칭 손실 및 스트레스의 관점에서 병렬운전에 사용되는 2가지 스위칭 기법을 비교·분석하기 위해 1[kW]급의 벡-타입의 DC/DC 컨버터를 제작하여 실험하였다.

#### 1. 서론

최근 산업의 발전과 문화적 편리성을 추구하는 소비자들의 추세에 따라 산업현장에서 가정에 이르기까지 고전력, 고밀도를 요구하는 전기·전자기기들의 보급이 급속하게 확대되고 있다. 이에 따라 전력변환기기(컨버터 or 인버터)에 사용되어지는 전력용 반도체 소자(스위칭 소자)들도 MOSFET나 IGBT와 같이 스위칭 속도가 빠르면서 대용량에 적합하도록 개발되고 있다. 그러나 정격용량이 큰 스위칭 소자들을 이용하여 시스템을 설계하면 회로구성이 간단하고 고장을 일으킬 수 있는 요인이 줄어드는 장점이 있는 반면에 정격용량의 증가에 따라 가격 상승의 폭이 훨씬 크기 때문에 전체시스템의 가격 상승의 원인이 된다. 따라서 저가의 상대적으로 낮은 용량의 스위칭 소자를 여러 개를 병렬로 연결하여 사용함으로써 제품의 원가절감 및 용량증대를 이룩할 수 있다[1]-[2].

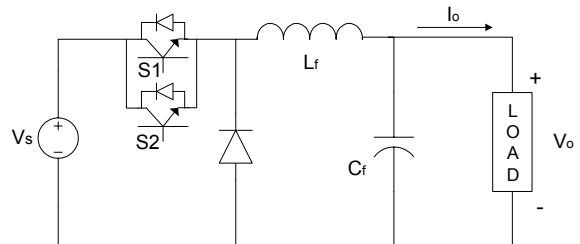
병렬운전에 사용되는 스위칭 기법으로 병렬로 연결된 각각의 스위칭 소자의 스위칭 시퀀스를 동일하게 하는 전류분할(current sharing)기법을 주로 사용한다. 이 기법은 전류용량은 증가시키면서 스위칭시 발생하는 스위칭 손실 및 스트레스를 감소시킬 수 있는 간단하고 효과적인 방법이다. 그러나 병렬운전으로 인해 발생하는 각 스위칭 소자간의 전류불균형(unbalance)으로 인해 전력회로의 동작 이상과 이로 인한 소자 과손 등의 문제가 발생하게 된다. 특히, IGBT의 경우, 포화전압( $V_{ce,sat}$ ) 및 역방향 다이오드 온도 특성, 게이트 온-오프 저항 값, 배선 인덕턴스 등에 따라 스위칭 손실 및 전류 불균형이 증가하게 된다. 따라서 아주 작은 스위칭 손실(순방향 손실 포함(on-state losses))과 온도변화에도 민감하게 반응하기 때문에 스위칭 소자의 선택(제조회사의 동일한 모델), 하나의 게이트 드라이버 회로(온-오프 저항 값을 동일)사용, 배선인덕턴스 최소화(Busbar 구조 또는 동일한 전류 path), 적절한 방열판 설계 등을 반드시 고려해야 한다[1]-[5].

병렬운전에 사용되는 또 다른 스위칭 기법으로 병렬로 연결된 각각의 스위칭 소자의 스위칭 시퀀스를 분할하여 적용하는 시분할(time sharing)기법이 제안되었다[6]. 이 방법은 병렬로 연결된 각 스위칭 소자에 흐르는 전류의 시간을 분할하는 방법으로 스위칭 시퀀스의 온-시간을 스위칭 소자의 수만큼 나누어 그 기간만큼 순차적으로 스위칭 소자를 구동하게 된다. 따라서 전체시스템에 흐르는 평균전류는 각각의 스위치에서 분담함으로써 병렬운전의 장점인 원가절감 및 용량증대의 효과를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 원가절감 및 전류용량증대를 위해 사용되는 DC/DC 컨버터의 병렬운전을 위한 2가지 스위칭 기법(전류분할, 시분할)의 동작원리 및 동작특성을 비교·분석하였다. 또한, 벡-타입 컨버터를 전력용 스위칭 소자로 주로 사용되는 MOSFET와 IGBT로 각각 구성하여 실험을 통해 효율, 스위칭 손실 및 스트레스 등의 관점에서 2가지 스위칭 기법을 비교하였다.

#### 2. 병렬운전용 전류분할과 시분할 스위칭 기법

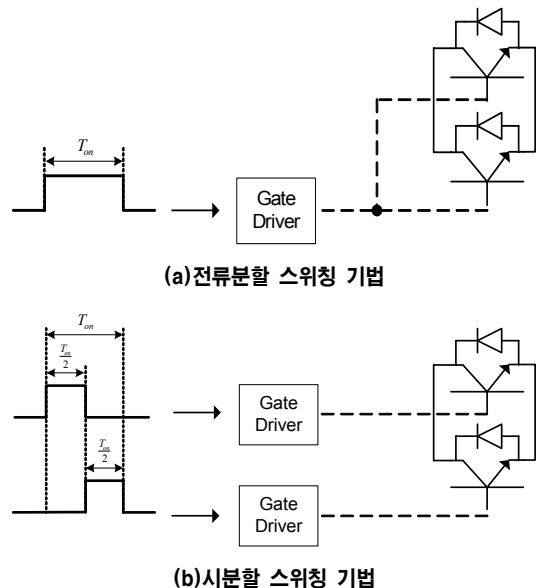
그림 1은 일반적인 벡-타입 DC/DC 컨버터로 병렬운전을 위해 스위칭 소자 2개가 병렬로 연결되어 있다. 벡-타입 컨버터는 입력전압( $V_s$ )보다 출력전압( $V_o$ )이 낮은 강압(step-down)형 컨버터로 출력전압은 식 (1)과 같이 시비율(D: duty ratio)에 의해 결정되어 진다.



〈그림 1〉 병렬운전을 위한 벡-타입 컨버터 회로도

$$V_o = DV_s \quad (1)$$

고전력 전력변환기의 스위칭 손실 및 스트레스를 감소시킬 수 있는 가장 간단하고 효과적인 방법은 스위칭 소자를 2개 이상 병렬로 연결하여 사용하는 방법으로, 병렬운전에 사용되는 스위칭 기법은 그림 2와 같이 전류분할 스위칭 기법과 시분할 스위칭 기법으로 구분할 수 있다.



〈그림 2〉 병렬운전용 2가지 스위칭 기법

그림 2(a)는 병렬운전에 일반적으로 사용되는 전류분할 스위칭 기법으로, 식 (1)에 의해 구해진 시비율에 의해 생성된 스위칭 시퀀스를 병렬로 연결된 각각의 스위칭 소자에 동일한 패턴으로 입력한다. 따라서 각각의 스위칭 소자의 턴-온 및 턴-오프는 동시에 이루어지며 온-시간( $T_{on}$ ) 또한 동일하다. 앞서 언급한 것처럼 전류분할기법에서 사용되는 게이트 드라이버 회로는 온-오프 저항 값을 동일하게 하기 위해 일반적으로 하나만을 사용한다. 그림 2(b)는 시분할 스위칭 기법으로, 식 (1)에 의해 구해진 시비율에 의해 생성된 스위칭 시퀀스를 병렬 연결된 스위칭 소자의 수만큼 분할하게 된다. 예를 들어 그림 1에서처럼 병렬 연결된 스위칭 소자가 2개이면 스위치 온-시간을 2개로 분할하여 스위치 S1이 먼저 턴-온 되어 온-시간의 반절( $T_{on}/2$ )을 스위칭하고 S1이 턴-오프 되면 S2가 턴-온 하여 나머지 구간을 스위칭 하게 된다. 따라서 각각의 스위치는 개별적으로 동작하기 때문에 각각의 게이트 드라이버가 필요

하며 스위치 S1의 턴-오프 직전에 S2를 턴-온 시켜 스위칭 스트레스를 저감할 수 있다.

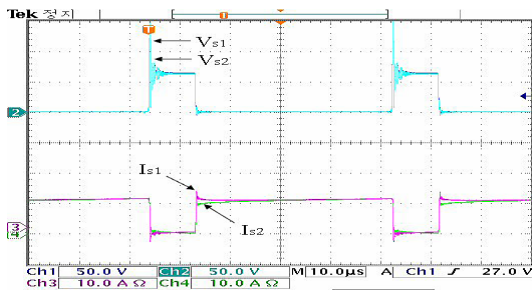
### 3. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 병렬운전에 사용되는 2가지 스위칭 기법을 비교·분석하기 위해 그림 1의 벡-타입 컨버터를 제작하여 실험하였다. 전력용 반도체 소자로 주로 쓰이는 MOSFET와 IGBT를 각각 실험하여 2가지 스위칭 기법에 따른 동작특성을 확인하였으며, 실험 조건 및 사양은 표 1과 같다.

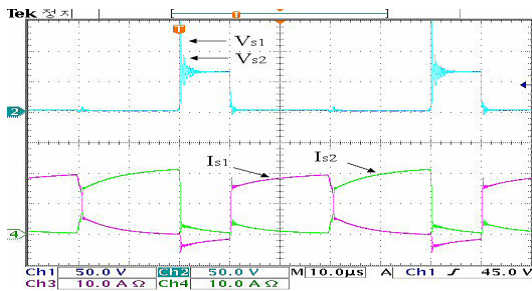
〈표 1〉 실험 조건

용량	1KW
입력 전압	60V(DC)
출력 전압	48V(DC)
출력 필터	inductor:340uH capacitor:66uF
스위칭 주파수	20KHz
스위치	IGBT : 2MBI75N60 MOSFET : IXFK 50N50
게이트 드라이버	IGBT : EXB841 MOSFET : IR4427
컨트롤러	ATMEGA 128

그림 3과 4는 동일한 조건(부하 및 스위칭 시퀀스)에서 2가지 스위칭 기법의 동작특성을 보여주며, 그림 3은 MOSFET 그림 4는 IGBT를 사용했을 때의 실험 결과이다.  $V_{s1}$  과  $V_{s2}$ 는 스위치 S1과 S2 양단간의 전압이고,  $I_{s1}$ 과  $I_{s2}$ 는 스위치 S1과 S2에 흐르는 전류이다.



(a) 전류분할 스위치 기법

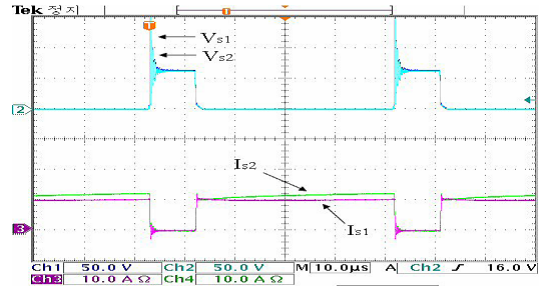


(b) 시분할 스위치 기법

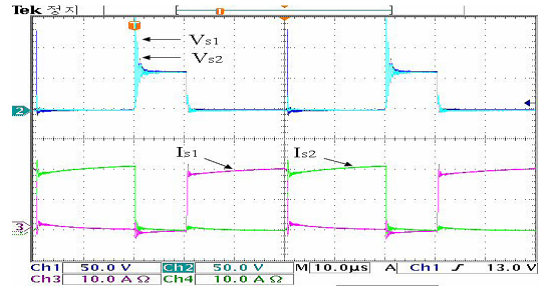
〈그림 3〉 MOSFET 사용 시의 실험 결과

그림 3(a)는 전류분할 스위칭 기법을 MOSFET에 적용한 실험 결과로, 전체 전류(약 21A)의 절반(약 10.5A)씩을 각각의 스위칭 소자가 부담하고 있음을 확인할 수 있다. 그러나 그림 4(a)의 IGBT의 경우 스위치 S1에 흐르는 전류는 10A이지만 S2에 흐르는 전류는 최대 12A로 측정되었다. 이는 전류분할기법을 IGBT 소자에 적용하면, 그림 2(a)에서처럼 하나의 게이트 드라이버 회로로 동일한 IGBT 모델을 구동하더라도 각각의 스위칭 소자의 아주 작은 특성 하나에도 매우 민감하게 반응하여 전류 불균형이 발생할 수 있음을 확인할 수 있다. 반면에 그림 4(b)처럼 시분할 기법을 IGBT에 적용했을 경우, 각각의 스위칭 소자(S1과 S2)에 약 20A 전류가  $T_{on}/2$  구간동안 흐르고 있음을 알 수 있다. 이는 병렬운전형 컨버터의 전력용 스위칭 소자로 IGBT를 사용할 경우 시분할 기법을 적용하면 전류 불균형 문제를 해결할 수 있음을 알 수 있다.

그림 5는 부하를 풀부하에서 10%씩 가변하여 측정된 효율 그래프이다. 이는 스위칭 소자로 MOSFET를 사용할 경우에는 전류분할 기법이 효율 및 동작특성에서 시분할 기법보다 좋으며, IGBT를 사용할 경우 전류분할 기법보다 시분할 기법이 보다 효과적임을 확인할 수 있다.

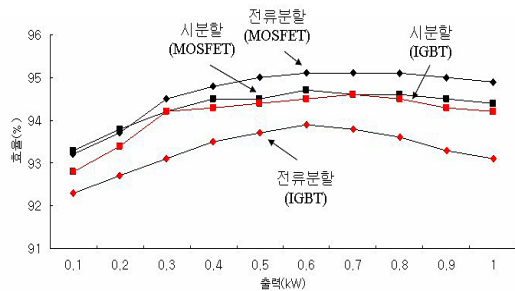


(a) 전류분할 스위치 기법



(b) 시분할 스위치 기법

〈그림 4〉 IGBT 사용 시의 실험 결과



〈그림 5〉 부하변화에 따른 시스템 효율 변화

### 4. 결론

본 논문에서는 DC/DC 컨버터의 병렬운전에 사용되는 2가지 스위칭 기법(전류분할과 시분할)을 2가지 스위칭 소자(MOSFET와 IGBT)에 적용할 경우를 실험을 통해 비교·분석하였다. 실험 결과 MOSFET 소자를 이용한 병렬운전형 컨버터는 전류분할기법이 효율 및 스위칭 특성 면에서 시분할 기법보다 우수함을 확인하였다. 그러나 IGBT의 경우 동일 제조사의 모델사용, 게이트 드라이버회로 공통사용, 전력선(power line)을 판(Laminated) 구조인 Busbar 형태 사용 등의 일반적인 병렬운전 요구사항을 고려하더라도 아주 작은 동작특성차이로 인해 전류분할 기법을 적용하면 평균 전류 편차가 약 10% 이상이 발생함을 확인하였다. 반면에 시분할 기법을 적용할 경우 전류분할기법의 고려사항에 관계없이 전류 불균형이 획기적으로 감소됨을 확인할 수 있었다.

### [참고 문헌]

- [1] 윤재학, 박건태 “물리적인 전력소자 모델을 이용한 직병렬운전 특성 해석,” 2002년 전력전자 추계학술대회 논문집, p213-217, 2002
- [2] 박건태, 윤재학, 정명길, 김두식, “중·대용량 인버터용 IGBT 병렬 운전 연구,” 2003년 전력전자 추계학술대회논문집, pp. 320-433, 2003. 7.
- [3] R. Korn, “Parallel Operation of the Insulated Gate Transistor in Switching Operations,” presented at PCIM, pp. 218-234, 1986.
- [4] Romeo Letor, “Static and Dynamic Behaviour of Paralleled IGBT's,” Industry Applications, IEEE Trans. Ind. Applications, vol. 25, no.2 pp. 395-402, March. 1992.
- [5] J.C. Joyce, “Current Sharing and Redistribution in High Power IGBT Modules,” Ph. D, in clare College: University of Cambridge, 2001.
- [6] H. Dehbonei, S. H. Ko, S. R Lee, L. Borle, C. V. Nayar “Current or Time Sharing Switches for High Efficiency Photovoltaic Power Systems,” presented at IECON, pp. 2459-2464, Nov. 2006.