

# 직류단을 공유하는 2병렬 단일 선트 인버터에서 전류 측정 잡음 감쇠를 위한 스위칭 기법

김주안<sup>1)</sup>, 조용규<sup>1), 2)</sup>, 최현규<sup>1)</sup>  
 인천대학교 전기공학과<sup>1)</sup>, 다보코퍼레이션(주)<sup>2)</sup>

## Switching techniques for attenuating current measurement noise in parallel single shunt inverters with common DC link

Ju-an Kim<sup>1)</sup>, Yong-gyu Cho<sup>1), 2)</sup>, Hyeon-gyu Choi<sup>1)</sup>  
 Department of Electrical Engineering, Incheon National University<sup>1)</sup>, Dabo Corporation<sup>2)</sup>

### ABSTRACT

본 논문에서는 직류단을 공유하는 2병렬 단일 선트 인버터에서 전류 측정 잡음의 영향을 줄일 수 있는 스위칭 기법을 제안한다. 단일 선트 전류 복원 기법은 직류단 저항의 양단 전압을 이용하여 상 전류를 복원한다. 사용되는 선트 저항은 전압 이용률의 감소를 최소화하기 위해 주로 작은 저항 값을 사용하므로, 측정되는 전압은 스위칭 노이즈에 매우 민감하다. 본 연구의 대상 시스템인 2병렬 인버터는 직류단을 공유하므로, 특정 인버터의 전류 측정 중 다른 인버터에서 스위칭이 발생하면 전류 측정에 노이즈로 작용할 수 있다. 본 논문에서는 이 스위칭 노이즈의 영향을 피하기 위해 대상 시스템의 스위칭 패턴 및 전류 복원 타이밍에 대하여 분석하였고, 이를 통해 스위칭 듀티의 읍셋을 조정하여 전압을 합성하는 Pulse Width Modulation (PWM) 기법을 제안한다. PLECS 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 방법의 구현 가능성을 검증한다.

### 1. 서론

비용과 공간에 제약이 있는 가전과 같은 시스템에 적용하는 인버터는 부피가 작은 단일 선트 저항을 사용하여 전류를 측정한다. 단일 선트 전류 측정 방법에서 상 전류는 유효 벡터가 인가된 동안에만 선트 저항에 흐르며, 이때 유효 벡터는 전류를 안정적으로 측정하기 위해 최소한의 시간보다 길게 인가되어야 한다[1]. 따라서 이 시간을 확보하기 위해 전압 지령 벡터를 재구성해 합성하는 방법이 연구되었다[1, 2].

본 연구의 대상인 2병렬 단일 선트 인버터 시스템은 그림 1과 같이 1대의 풀브리지 인버터와 1대의 3상 인버터가 병렬로 직류 전원을 공유하고 있으므로, 특정 인버터의 스위칭에 의한 노이즈가 상대 인버터의 선트 저항에도 동일하게 나타날 수 있다. 따라서 특정 인버터가 전류를 측정하고 있는 동안에는 상대 인버터의 스위칭 역시 발생하지 않아야 하며, 이를 달성하기 위해 상대 인버터의 스위칭 듀티를 다른 방법으로 조합할 필요가 있다.

본 논문에서는 특정 인버터(이하 인버터1)가 전류를 측정할 때에는 상대 인버터(이하 인버터2)의 스위칭이 일어나지 않도록 인버터2의 PWM 지령을 듀티의 읍셋을 조절하여 합성하는 방법을 제안한다. 또한 합성에 사용할 듀티 읍셋은 어떻게 선정할 것인지 분석하고, 시뮬레이션에 적용한 결과를 제시한다.

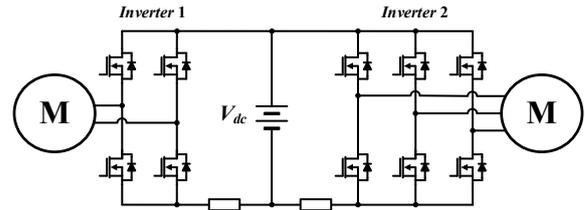


그림1 2병렬 단일 선트 인버터 시스템  
 Fig.1 Parallel single shunt inverter system

### 2. 본론

#### 2.1 제안하는 인버터2의 전압 합성 기법

##### 2.1.1 스위칭 듀티 각 구간의 정의

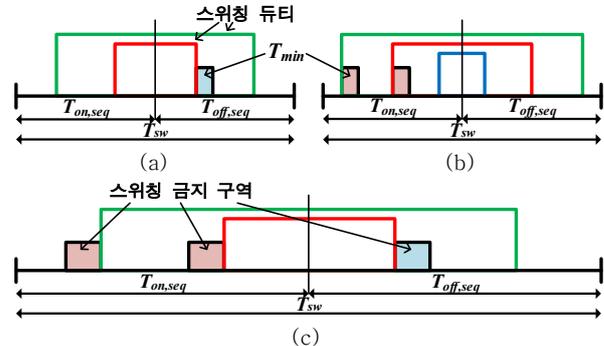


그림2 (a) 인버터1의 듀티, (b) 인버터2의 듀티, (c) 인버터1의 듀티를 기준으로 나타낸 인버터2가 스위칭할 수 없는 영역  
 Fig.2 (a) PWM Duty of Inverter1, (b) PWM Duty of Inverter2, (c) Non-switchable Area of Inverter2

그림 2의  $T_{sw}$ ,  $T_{on,seq}$ ,  $T_{off,seq}$ 는 각각 스위칭 1주기 및 스위칭 주기 전·후반부의 시간이며,  $T_{min}$ 은 전류를 측정하고, 측정값의 아날로그-디지털 변환에 필요한 최소한의 시간이다[1]. 인버터1은  $T_{off,seq}$ 에서, 인버터2는  $T_{on,seq}$ 에서 전류를 측정할 때, 각 인버터는 상대 인버터의  $T_{min}$ 동안은 스위칭하지 않아야 한다. 이를 스위칭 금지 구역이라 정의하고, 인버터1의 듀티를 기준으로 영역을 나타내면 그림 2(c)와 같다.

##### 2.1.2 듀티 읍셋을 고려한 인버터2의 듀티 생성

대상 시스템이 표 1과 같은 조건에서 구동될 때, 인버터2의 전압 벡터는 그림 3(a)와 같은 듀티를 사용하여 합성할 수 있으며, 그림 3(b)와 같이 최소값이 0인 듀티로 구성하여도 동일한 벡터를 합성할 수 있다.

표 1 대상 시스템의 구동 조건

Table 1 Driving conditions of the target system

Parameters			
$V_{dc}$ (V)	12.0	$T_{sw}$ (kHz)	10
인버터1의 전압 크기 (V)	5.0	인버터2의 전압 크기 (V)	3.0

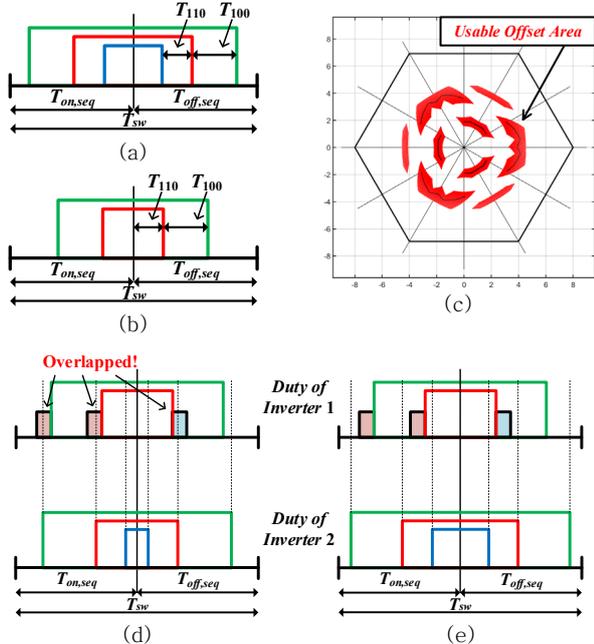


그림3 (a) 인버터 2의 듀티, (b) 오프셋을 제거한 듀티, (c) 인버터2가 사용할 수 있는 오프셋 듀티 범위, (d) 스위칭과 측정이 겹친 듀티 조합, (e) 스위칭과 측정이 겹치지 않은 듀티 조합

Fig.3 (a) Duty of Inverter2, (b) Duty of Inverter2 without offset, (c) Inverter2's usable offset area, (d) Overlapped duty combination, (e) Non-overlapped duty combination

그림 3(b)의 듀티에 오프셋을 더하여 스위칭 타이밍을 결정할 수 있고, 따라서 이 오프셋의 값은 설계자가 선택할 수 있는 자유도가 된다. 그러나 오프셋을 더하여 구성한 듀티는 그림 2(c)에서 살펴본 스위칭 금지 구역에 걸리지 않아야 한다. 그림 3(d)와 같이 오프셋을 더하면 인버터2의 스위칭이 금지 구역에 걸리지만, 그림 3(e)와 같이 스위칭 듀티를 구성하면 측정과 스위칭 타이밍이 겹치지 않는다. 따라서 그림 3(e)를 구성할 때 더한 값이 실제로 사용할 수 있는 오프셋이라 판단할 수 있다.

인버터2의 전압 벡터 지령의 위치에 따라 인버터2가 수행할 스위칭의 구성이 달라지고, 따라서 사용 가능한 오프셋의 범위도 달라진다. 이를 인버터2의 전압 벡터 각도에 따라 그림 3(c)의 빨간색 영역으로 나타낼 수 있다.

### 2.1.3 듀티 오프셋 선정에 따른 시뮬레이션 결과

오프셋을 선택하여 인버터2의 듀티를 구성한 예시가 그림 4에 나타나 있다. 그림 4(a)의 각도에 따라 값을 조정하지 않고 그림 4(c)처럼 일정한 오프셋으로 그림 4(g)와 같이 인버터2의 듀티를 구성할 경우, 그림 4(e)의 스위칭 금지 구역에서 스위칭이 일어나게 되며, 그림 4(i)와 같이 스위칭 오버랩 플래그가 나타나게 된다.

반면 제안하는 방법대로 그림 4(b)와 같은 전압 벡터 각도에 따라 그림 3(c)의 범위 내에서 그림 4(d)와 같이 사용 가능한 오프셋을 선택하여 그림 4(h)와 같이 인버터2의 스위칭 타이밍을

Conventional PWM

Proposed PWM

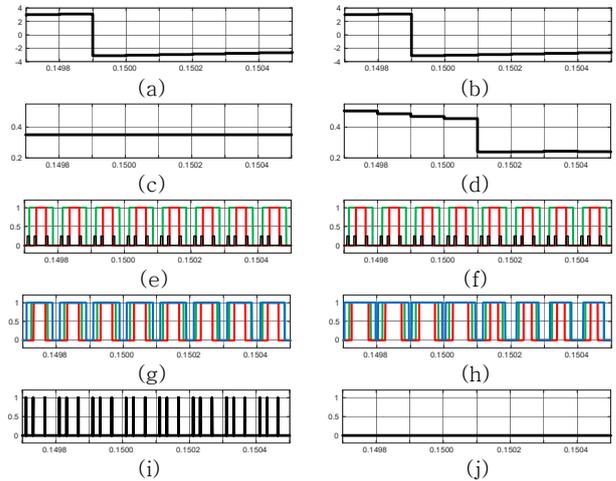


그림 4 (a)(b) 인버터2의 전압 벡터 각도(rad), (c)(d) 각도에 따른 인가 오프셋, (e)(f) 인버터1의 듀티, (g)(h) 오프셋을 더한 인버터2의 듀티, (i)(j) 스위칭의 측정 영역 오버랩 플래그

Fig.4 (a)(b) Voltage vector angle(rad) of inverter2, (c)(d) Duty offset by angle, (e)(f) Duty of inverter1, (g)(h) Duty of inverter2 with offset, (i)(j) Switching overlap flag

구성하면 그림 4(f)의 스위칭 금지 구역에 걸리지 않는 듀티를 조합할 수 있으며, 오버랩이 발생하지 않았음을 그림 4(j)를 통해 알 수 있다.

## 3. 결론

본 논문에서는 직류단을 공유하는 2병렬 단일 선트 인버터 시스템에 있어서 두 인버터의 스위칭 패턴과 전류 측정 타이밍을 분석하였으며, 이를 통해 듀티의 오프셋을 조정하여 스위칭 타이밍을 결정할 수 있는 PWM 기법을 제안하였다. 이 기법을 사용하면 스위칭 1주기 내에서 스위칭 타이밍을 유동적으로 변경하여 특정 인버터의 스위칭에 의한 리플이 상대 인버터의 전류 측정에 노이즈로 작용할 가능성을 저감할 수 있다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 “자동차산업기술개발(그린카)” (20018558) 으로 수행된 연구결과입니다.

## 참고 문헌

[1] G. Yikun, N. Fenglei, Y. Dapeng, and L. Hong, "Switching-State Phase Shift Method for Three-Phase-Current Reconstruction With a Single DC-Link Current Sensor," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 11, pp. 5186-5194, 2011, doi: 10.1109/tie.2011.2123854.

[2] H. Jung-Ik, "Voltage Injection Method for Three-Phase Current Reconstruction in PWM Inverters Using a Single Sensor," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 24, no. 3, pp. 767-775, 2009, doi: 10.1109/tpe.2008.2009451.