

# PWM 단상인버터의 common mode noise 저감이 가능한 Switching 방법

이승주, 홍창표, 김학원\*, 조관열, 최원일  
한국교통대학교

## A Switching Method of Common Mode Noise Reduction of Single Phase PWM Inverter

Seung Ju Lee, Chang Pyo Hong, Hag Wone Kim\*, Kwan Yuhl Cho, Won Il Choi  
Korea National University of Transportation

### ABSTRACT

본 논문에서는 Unipolar PWM 스위칭 (Totem pole) 방법을 사용하는 단상인버터에서 나타나는 common mode noise를 저감시키는 스위칭 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 출력전압의 중성점(N)을 입력전압 양단에 항상 고정하도록 스위칭을 하여 Common Mode Noise를 저감했다. 이를 Matlab Simulink를 사용한 모의해석과 실험을 통하여 Noise의 원인과 효과를 입증하였다.

### 1. 서 론

정전 전원장치(UPS : Uninterruptible Power Supply 이하 UPS), 에너지 저장 시스템(ESS : Energy Storage System 이하 ESS)에서는 교류전원 출력을 목적으로 PWM 단상인버터가 사용된다. PWM 단상 인버터는 풀 브릿지(Full Bridge)회로를 통하여 교류전원을 만들게 되는데, 기존 스위칭 방식(Unipolar PWM)에서는 입력의 접지와 교류전압 중성점간에 전위차이가 발생하게 되고, 이는 Common Mode Noise를 유발하게 된다. Common Mode Noise는 EMI(Electro Magnetic Interference)를 발생시킬 뿐만 아니라 시스템 전체에 영향을 주게 되고, 이는 계측오류를 유발시킴으로서 제어시스템을 악화시킨다.<sup>[1]</sup> Common Mode Noise의 원인인 Common Mode Voltage를 개선하기 위한 방법으로 논문[2]에서는 기존 스위칭 방식(Unipolar PWM)에서 누설전류를 줄이기 위한 양방향 스위칭 방식(Bipolar PWM)을 제안 하였다. 하지만 Bipolar PWM 방식은 스위칭 손실이 크고, 전압 THD를 증가시키게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 논문[3]에서는 기존 풀 브릿지 회로에서 환류구간 스위치를 추가하고, Unipolar PWM방식을 사용하여 Common Mode Noise를 저감시키는 방법을 제안하였다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 스위칭 방식은 기존 스위칭 방식인 Unipolar PWM을 유지하면서 별도의 스위치 추가 없이 전압의 중성점(N)을 입력전압 양단에 항상 고정하도록 하는 스위칭 방법을 통해 Common Mode Noise 저감이 가능한 스위칭 방식을 제안하고 모의해석과 실험을 통하여 Noise 원인과 효과를 입증하였다.

### 2. 본 론

### 2.1 기존의 Unipolar PWM 스위칭 방법

PWM 인버터의 Unipolar 스위칭 방식은 표1과 같이 지령전압( $V_{out}^*$ )의 상태와 공급 및 회생 상태에 따라 스위칭 펄스가 결정된다. 표.1에 따르면 그림. 1에서 양의 전압 구간에서 PWM 1(60Hz)로  $S_2$ 은 항상 ON 이고, PWM 2(20kHz)스위치  $S_3, S_4$ 는 상보적으로 동작되어 Common Mode Voltage(이하  $v_{com}$ )는 그림.1 (b)와 같이 항상 0V를 유지하게 된다. 음의 전압 구간에서 표.1에 따르면 PWM 2(60Hz)는 음의 전압 구간 동안 항상  $S_4$ 를 ON시키고 PWM 1(20kHz)  $S_1$ 과  $S_2$ 가 상보적으로 20[kHz]스위칭을 하게 된다. 그림.1 (a)와 같이  $S_1$  ON 시 입력전원  $V_{dc}$ 와 도통되어 있으므로  $v_{com}$ 에는  $V_{dc}$ 가 걸리게 된다. 그와 상보적인 스위치  $S_2$  ON 시 입력전원과 단락 되어있어,  $v_{com}$ 에는 0V가 걸리게 된다. 따라서 PWM 1스위칭 주파수(20[kHz])에 따라  $S_1, S_2$ 가 상보적으로 동작하여  $v_{com}$  전압이 그림. 2 (b)와 같이 스위칭 주파수에 따라 변하게 되고,  $S_1$ 과  $S_2$ 의 Dead Time구간동안 접지와 중성점이 완전개방이 된다. 이 구간 동안에 부하 측 기생 캐패시터  $C_{com}$ 에 누설전류가 흐르게 되고, Common Mode Voltage에 노이즈를 유발하여 EMI의 발생의 원인이 된다.<sup>[3]</sup>

Table 1 Existing switching method of Inverter

		Mode	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$
$v_{out}^* > 0$	PWM 1 (60 Hz)	Power Supply	0	1	1	0
	PWM 2 (20k Hz)	Recovery	0	1	0	1
$v_{out}^* < 0$	PWM 1 (20k Hz)	Power Supply	1	0	0	1
	PWM 2 (60 Hz)	Recovery	0	1	0	1

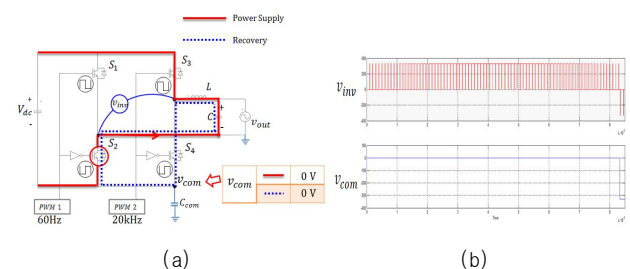


fig.1 (a) Previous inverter circuit of positive phase  
(b) Previous inverter voltage of positive phase

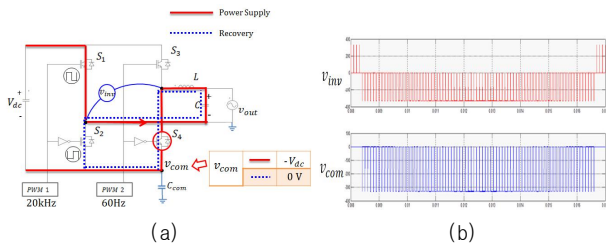


fig.2 (a) Previous inverter circuit of negative phase  
(b) Previous inverter voltage of negative phase

## 2.2 제안하는 Unipolar PWM 스위칭 방법

제안하는 스위치 방식은 중성점을 지령전압상태와 상관없이 항상 입력전압과 단락시킨다. 표.2는 제안하는 스위칭(Totem pole)방식을 나타낸다. 중성점과 연결된 암의 스위칭 신호 PWM 1을 60[Hz]의 주파수로 동작시키고 PWM 2는 20[kHz]의 주파수로 동작시킨다. 표. 2에 나타낸 바와 같이 음의 전압 구간에서  $S_1$ 은 항상 ON 되어 PWM 2주파수(20kHz)에 따라  $S_3$ 을  $S_4$  상보적으로 스위칭 한다. 그림. 3 (a)에서  $S_1$  ON 시  $v_{com}$ 에  $V_{dc}$ 가 걸리게 되고, 그림. 3 (a)에서  $S_2$  ON 시  $v_{com}$ 에  $-V_{dc}$ 가 걸리게 된다. 따라서 음의 전압 구간에서 스위칭 주파수에 상관없이 그림. 3 (b)와 같이  $V_{dc}$  걸리게 되어, 스위치의 Dead Time구간에 발생하는 Common Mode Noise가 억제된다.

Table 2 Proposed switching method of Inverter

		Mode	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$
$v_{out} > 0$	PWM 1 (60 Hz)	Power Supply	0	1	1	0
	PWM 2 (20k Hz)	Recovery	0	1	0	1
$v_{out} < 0$	PWM 1 (60 Hz)	Power Supply	1	0	0	1
	PWM 2 (20k Hz)	Recovery	1	0	1	0

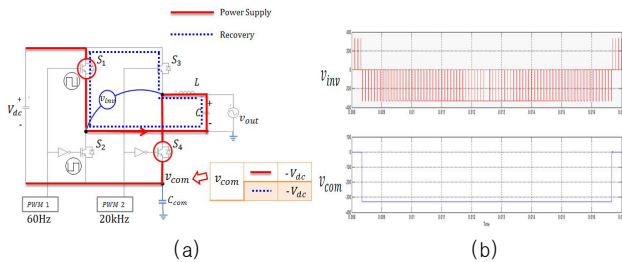


fig.3 (a) Proposed inverter circuit of negative phase  
(b) Proposed inverter voltage of negative phase

## 3. 실험 결과

기존의 스위칭 방법과 제안하는 스위칭 방법의 비교하기 위한 실험 파라미터는 표.3 과 같다. 그림.4은 기존의 스위칭 방식, 그림.5는 제안하는 스위치의 방식의 파형이다. 기존의 스위칭 방식에서는 Common Mode Noise의 영향으로 ( )전압 구간의 출력 전류에 노이즈 성분이 있는 반면 제안하는 스위칭 방법(Totem pole)에서는 음의 전압 구간에 노이즈가 저감된 것을 확인할 수 있다. Matlab Simulink를 사용한 모의실험과 실험을 통하여 제안하는 스위칭 방법에서의 Common Mode Noise 저감 효과를 입증하였다.

Table 3 Single-Phase PWM Inverter circuit parameters

	Value
입력전압	350[V]
출력 rms전압, 주파수	220 [ $V_{r.m.s}$ ], 60[Hz]
전력	1[kW]
Switching Frequency	PWM 1 = 60[Hz], PWM 2 = 20[kHz]
Filter Inductor, ESR	1[mH], 0.8[ $\Omega$ ]
Filter Capacitor	1.5[ $\mu$ F]

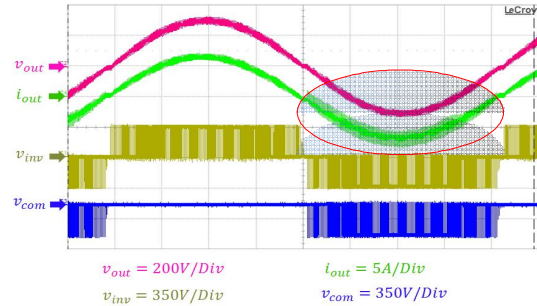


fig.4 Measured waveform of previous switching method

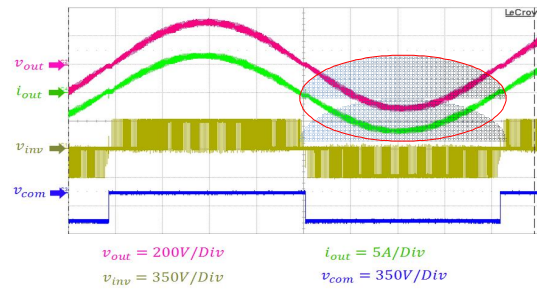


fig.5 Measured waveform of proposed switching method

## 4. 결론

본 논문에서는 단상인버터에서 접지와 중성점간에 발생하는 Common Mode Noise 문제를 해결하는 새로운 스위칭(Totem pole) 방법을 제안하였다. 이를 실험을 통하여 부하전압과 전류에서 발생하는 Common Mode Noise를 확인하였고, 제안하는 스위칭 방법을 사용하여 부하 측에 나타나는 Common Mode Noise 저감 효과를 확인함으로써 제안하는 스위칭 방법의 효과를 입증하였다.

본 논문은 교육부의 재원인 한국연구재단의 지원(No.2014026347)과 산업통상자원부의 재원인 한국 에너지기술연구원(KETEP)의 지원(No. 20134030200310)을 받아 연구한 논문입니다.

## 참고 문헌

- [1] M. Cacciato, A. Consoli, G. Scarcella, and A. Testa, "Reduction of common mode currents in pwm inverter motor drives," IEEE IAS Annual Meeting, Vol. 1, pp. 707-713, 1997.
- [2] Toshiji Kato, Kaoru Inoue and Koji Akimasa "EMI reduction method for a single phase pwm Inverter by suppressing common mode currents with complementary switching," Power Electronics and Motion Control Conference, IEEE 2006. Vol. 3 pp. 1-5
- [3] A. Rao, "A modified single phase inverter topology with active common mode voltage cancellation," Proceedings of the IEEE, Vol. 1 No. 4, pp. 850-854, 1999.