

# 14.3kW급 3-레벨 NPC 인버터 각 SVPWM 효율 및 THD 비교 분석

이춘복\*, 현승욱\*, 이희준\*, 신수철\*, 김영렬\*\*, 원충연\*  
 성균관대학교\*, 안양대학교\*\*

## Comparative analysis of efficiency and THD on SVPWM using 14.3kW 3-level NPC inverter

Chun-Bok Lee\*, Seung-Wook Hyun\*, Hee-Jun Lee\*, Soo-Cheol Sin\*, Young-Real Kim\*\*,  
 Chung-Yuen Won\*  
 Sungkyunkwan University\*, Anyang University\*\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 3 레벨 NPC(Neutral Point Clamped) 인버터에서 사용되는 SVPWM(Space Vector Pulse Width Modulation)기법들 중 육섯전압을 이용한 대칭 SVPWM과 효율을 높이기 위한 전압 지령 벡터를 계산한 120° DPWM(Discontinuous PWM)과 60°(+30°) DPWM을 비교 분석하였다. 각 SVPWM간의 효율 및 THD를 비교 분석 하였고 이를 통해 시뮬레이션으로 스위칭 방식에 따라 비교하여 효율 및 THD 결과를 도출하였다.

### 1. 서론

최근 선진국의 풍력발전시스템은 기존 육상풍력발전시스템보다 대단위 입지선정의 용이성, 소음에 대한 민원 해결, 고품질의 풍력원 등의 장점을 가지고 있어 해상풍력으로 옮겨가고 있는 추세이다. 육상풍력발전시스템에 비해 풍력발전시스템은 초기 설치비가 2배가량 증가하는 문제로 단일 발전설비의 용량을 2.5~3MW에서 5MW~12MW로 확대하는 방향으로 기술개발이 진행되고 있다. 이러한 대용량에서 멀티레벨 인버터는 고압 전력변환의 고효율 저 손실의 핵심기술이라 할 수 있다. 본 논문에서는 멀티레벨 중 3 레벨 NPC 인버터 SVPWM 방법들의 효율 및 THD를 비교 분석하였다.

### 2. 3-레벨 NPC PWM 인버터의 구조

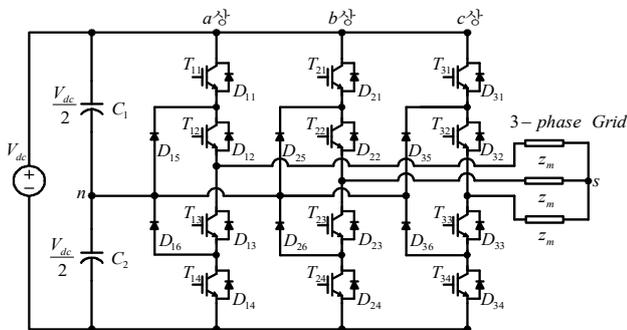


그림 1. 3-레벨 NPC PWM 인버터의 구성도

3 level inverter의 NPC 스위칭 상태는 표1과 같다.[1] 그림 2

는 NPC 스위칭에 따른 전압 벡터이다. 3 레벨 인버터는 27개의 스위칭 상태에 대한 3개의 zero벡터와 6개의 small벡터와 6개의 Medium벡터와 3개의 Large벡터로 나눌 수 있다. SVPWM는 전압 변조의 한 주기( $T_s$ ) 내에서 벡터들의 인가시간에 대한 평균값에 대한 지령벡터로 나타난다.

표 1. 3-레벨 NPC 스위칭 상태

	$T_{X1}$	$T_{X2}$	$T_{X3}$	$T_{X4}$
State"P"	1	1	0	0
State"O"	0	1	1	0
State"N"	0	0	1	1

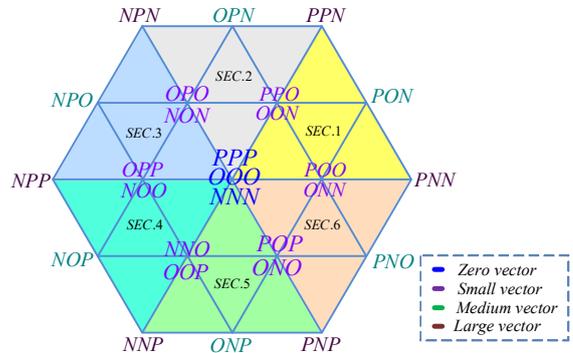


그림 2. 3-레벨 인버터의 섹터 영역과 전압 벡터

### 2. 각 SVPWM의 방식

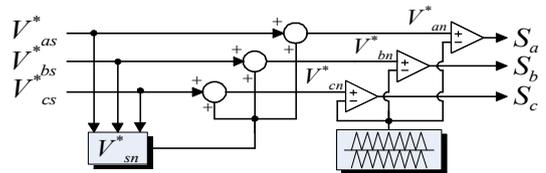


그림 3. 육섯 전압을 이용한 대칭 SVPWM

그림 3은 육섯전압을 이용한 시간 $T_1+T_2$ 을 한주기 내에서 정중앙에 위치하는 대칭 SVPWM이다. 일반적인 상전압에서 극전압을 뺀 육섯전압을 상전압 지령에 더해주어 구현하는 방식으로 복잡한 전압 벡터의 인가 시간 계산 과정 없이 각 소자의 게이팅 인가 시간을 간단히 계산 할 수 있는 장점이 있다.

그림 4는 120° DPWM으로 한 주기 내에 상전압이 가장 작거나 큰 120° 구간에서 스위칭을 하지 않는 방식으로 스위칭 횟수를 크게 저감할 수 있다. 하지만 3 레벨 NPC 인버터에서는 스위칭을 120° DPWM 방식으로 하게 되면 입력단 커패시터(C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>)의 전압 불균형으로 인한 신뢰도가 떨어지게 된다.

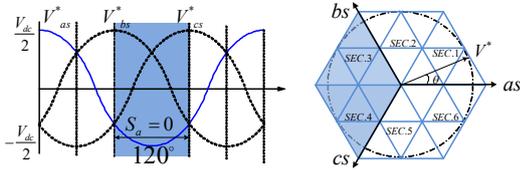


그림 4. 120° DPWM

그림 5는 60°(+30°) DPWM 섹터1에 대한 으로 a상의 상전류가 가장 큰구간에서 60° 만큼 Medium백터 ONN과 OON에 대한 전압 벡터를 인가하지 않는 것을 보여준다. 하지만 ONN과 OON의 벡터를 사용하지 않음으로서 C<sub>1</sub>의 전압이 낮아지고 섹터 4에서의 C<sub>2</sub>의 전압만 사용함으로 보상된다.

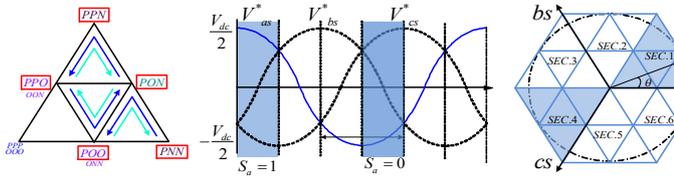


그림 5. 60° (+30°) DPWM 방식에서 섹터 영역1에 대한 순시적인 전압 벡터에 인가

### 3. 시뮬레이션

14.3kW급 시뮬레이션 조건은 표 2와 같다. 그림 6은 3 레벨 NPC 인버터 120° DPWM 방식에서의 커패시터 전압 부하 상전압, 상전류 이다. 2 레벨 인버터와 다르게 중성점이 있으므로 상전압의 크기가 가장 큰 구간 120°에서는 DPWM의 방식은 전압 불균형을 발생시키고 그로인해 상전류를 왜곡 시킬 수 있다.

그림 7은 육섯 전압을 이용한 대칭 SVPWM 방법과 60°(+30°) DPWM 방법의 출력전류 FFT분석 결과이다. 60°(+30°) DPWM 경우 SVPWM 방식보다 10kHz에서 크기가 더 크게 나타난다. 또한 부하 상전류의 THD가 2배 가량 높게 나타남을 확인하였다. 표 3은 3 레벨 NPC 인버터에서 부하 상전류 THD를 분석하여 표로 비교한 것이다.

그림 8은 SVPWM방식과 60°(+30°) DPWM 방식의 스위칭 손실 비교를 한 과형이다. 표 1과 같은 시뮬레이션 조건에서 SVPWM은 효율이 94.92% 60°(+30°) DPWM에서는 96.43%이므로 1.51%상승 하였다.

표 2. 시뮬레이션 조건

	값	단위
입력전압 [V <sub>dc</sub> ]	700	[V]
입력 커패시터[C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> ]	12	[mF]
스위칭 주파수	10	[kHz]
부하 인덕턴스	3	[mH]
부하 저항	10	[Ω]

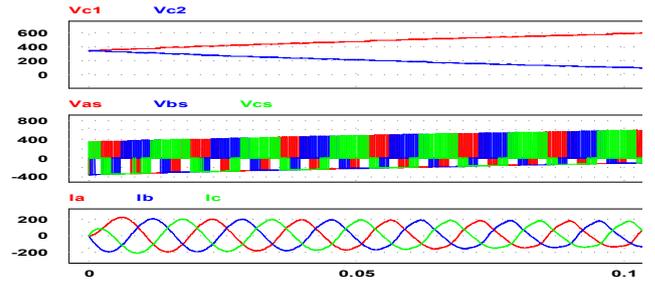


그림 6. 3-레벨 NPC 인버터의 120° DPWM 방식의 전압 불균형

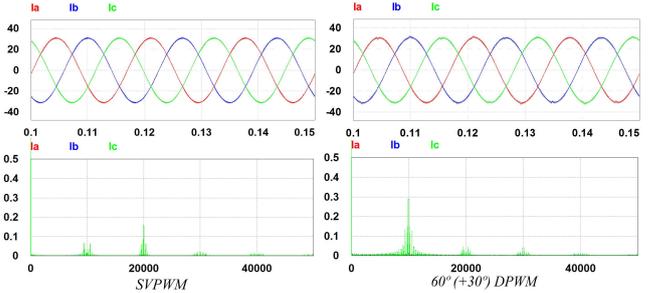


그림 7. SVPWM 방식과 60° (+30°) DPWM 방식의 부하 상전류 및 FFT 시뮬레이션 결과 비교

표3. SVPWM 방식과 60° (+30°) DPWM 방식의 THD 비교

	I <sub>a</sub>	I <sub>b</sub>	I <sub>c</sub>
SVPWM	9.8425	9.8279	9.8368
60°(+30°) DPWM	18.171	18.425	18.679



그림 8 SVPWM 방식과 60° (+30°) DPWM 방식의 효율 비교

### 3. 결론

본 논문에서는 3 레벨 NPC 인버터에서 육섯 전압을 이용한 SVPWM과 스위칭 손실을 저감 시키기 유리한 60°(+30°) DPWM과 120° DPWM의 특징을 비교 분석하였다. 120° DPWM은 3 레벨 NPC 인버터에서 상전압의 크기가 가장 큰 구간에서 사용하지 못함을 확인하였고 SVPWM보다 60°(+30°) DPWM의 효율이 1.51% 향상됨과 THD가 2배 증가한다는 것을 확인하였다.

이 논문은 2012년도 정부(지식경제부)의 재원으로 삼성중공업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2012T100100064)

### 참고 문헌

- [1] Bruckner, T.; Bernet, S.; Guldner, H. "The Active NPC Converter and Its Loss Balancing Control" Industrial Electronics, IEEE Transactions on Volume: 52, Issue: 3