

# 삼상 3레벨 T-type 인버터의 효율개선을 위한 DSVPWMx 적용 및 해석

신현진, 박주영, 최재호  
충북대학교

## DSVPWM Method for Improving the Efficiency of Three-phase Three Level T-type Inverter

Hyunjin Shin, Juyeong Park, Jaeho Choi  
Chungbuk National University

### ABSTRACT

대용량 분산 발전에 대한 관심이 많아지면서 분산발전원의 효율을 증가시키기 위한 많은 토폴로지와 제어방식들이 적용되고 있다. 인버터의 효율을 증가시키기 위한 방법으로는 멀티레벨 인버터 토폴로지를 적용하는 방법과 스위칭 손실을 저감시키기 위한 PWM방식을 쓰는 방법 등이 있다. 본 논문에서는 멀티레벨 인버터 중 T-type 인버터의 효율을 개선하기 위한 방법으로 DSVPWMx(DSPVWMP, DSPVWMN, DSPVWMPN0, DSPVWMPN1, DSPVWMPN2, DSPVWMPN3)를 적용하였다. 이를 검증하기 위한 방법으로 Psim Thermal Module을 활용하여 회로를 구성하고 각 PWM방식에서 전압변조비에 따른 THD와 효율을 비교 분석하였다.

### 1. 서론

마이크로 그리드에서 많이 사용되고 있는 전압형 인버터는 다양한 그린에너지를 자원으로 하여 구성된다. 특히, 태양광이나 풍력발전에서 대용량 발전시스템설비가 늘어나면서, 인버터의 효율을 향상시키기위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 본 논문에서는 대용량 인버터의 효율을 높이기위한 토폴로지 중 3레벨 T-type 인버터에서 SVPWM기법들 중 육샷전압을 이용한 대칭 SVPWM과 DSVPWM(Discontinuous Space Vector Pulse Width Modulation)방식<sup>[1]</sup>들을 적용하고, 전압변조율의 변화에 따라 인버터 출력전력의 효율과 출력전류의 THD를 비교 분석하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 T-type 인버터 토폴로지

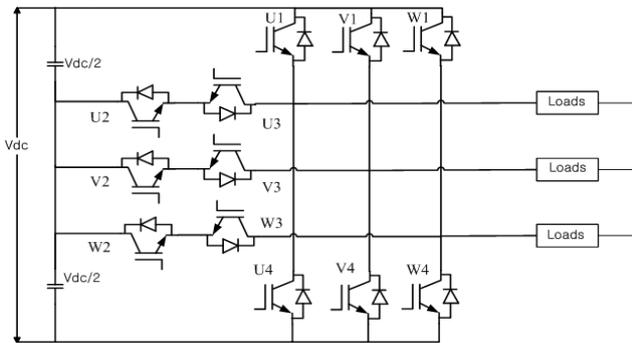


그림 1 3상 3레벨 T-type 인버터 토폴로지  
Fig. 1 Three Phase Three Level T-type Inverter Topology

삼상 3레벨 T-type 인버터는 그림1과 같이 구성된다. 상마다 4개의 IGBT로 구성되며 총 12개의 IGBT로 구성된다. 이러한 T-type 인버터의 스위칭 상태는 표1과 같다. 기존의 3레벨 NPC인버터와 달리 P와, N상태에서 전류의 도통경로가 1개의 IGBT나 다이오드를 지나기 때문에 NPC인버터보다 전체 도통손실의 측면에서 유리하다. 이로인해 T-type 인버터의 IGBT모듈에서 T1과 T4의 IGBT는 스위칭 손실이 작고 도통손실이 비교적 큰 칩을 사용하여 구성되는 것이 일반적이다.<sup>[2]</sup>

표 1 3-레벨 T-type 인버터 스위칭상태  
Table 1 Switching State of Three Level T-type Inverter

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
P state	1	1	0	0
O state	0	1	1	0
N state	0	0	1	1

#### 2.2 DSVPWMx 방식

##### 2.2.1 육샷전압을 이용한 대칭 SVPWM방식

육샷전압을 이용한 대칭 SVPWM방식은 일반적인 상전압에서 극전압을 뺀 육샷전압을 상전압 지령에 더해하여 구현하는 방식으로 복잡한 전압벡터의 인가 시간 계산 과정 없이 각 소자의 게이팅 인가 시간을 간단히 계산할 수 있다는 장점이 있으며 그 식은 다음 식 (1)과 같다.

$$v_{a,b,c}^{**} = v_{a,b,c}^* + v_z^*$$

$$v_z^* = \frac{-[\max(v_a^*, v_b^*, v_c^*) + \min(v_a^*, v_b^*, v_c^*)]}{2} \quad (1)$$

##### 2.2.2 DSVPWMx방식

DSVPWMx방식은 기존의 DPWM방식에서 인버터의 지령전압을 60°씩 6개로 나눈 것과는 다르게 SVPWM방식의 지령전압을 12개의 sector로 나누어 계산하여 지령전압을 생성하며 블록다이어그램은 그림과 같다. 또한 DSVPWMx로의 변환 구성 요소는 표2와 표3에 의해 결정된다.

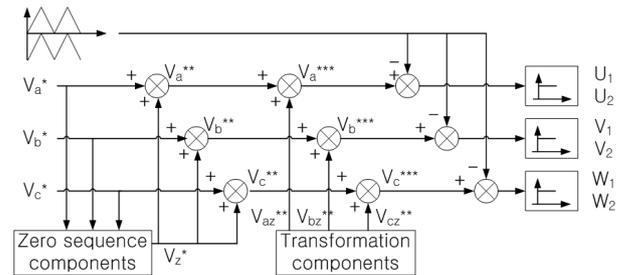


그림 2 DSVPWMx 생성 블록다이어그램  
Fig. 2 Pulse generating method of DSVPWMx

표 2 DSVPMx의 변환 구성요소

Table 2 Transformation Components of DSVPMx

30° sector	$\Theta$	$v_z^{**}/v_{dc}$
1	$[0, \pi/6]$	$\delta_P + \delta_{P1} + \delta_{P2}$
2	$[\pi/6, 2\pi/6]$	$\delta_P + \delta_{P3} + \delta_{P2}$
3	$[2\pi/6, 3\pi/6]$	$\delta_P + \delta_{P3} + \delta_{N2}$
4	$[3\pi/6, 4\pi/6]$	$\delta_N + \delta_{N3} + \delta_{N2}$
5	$[4\pi/6, 5\pi/6]$	$\delta_N + \delta_{N3} + \delta_{P2}$
6	$[5\pi/6, 6\pi/6]$	$\delta_N + \delta_{N1} + \delta_{P2}$
7	$[-\pi, -5\pi/6]$	$\delta_P + \delta_{N1} + \delta_{N2}$
8	$[-5\pi/6, -4\pi/6]$	$\delta_N + \delta_{N3} + \delta_{N2}$
9	$[-4\pi/6, -3\pi/6]$	$\delta_P + \delta_{P3} + \delta_{P2}$
10	$[-3\pi/6, -2\pi/6]$	$\delta_P + \delta_{P3} + \delta_{P2}$
11	$[-2\pi/6, -\pi/6]$	$\delta_P + \delta_{P3} + \delta_{N2}$
12	$[-\pi/6, 0]$	$\delta_P + \delta_{P1} + \delta_{N2}$

표 3 DSVPMx에 대한 변환구성 요소의 파라미터 값

Table 3 Parameter Values of Transformation Components for DSVPMx

Ty	II-type DSVPMx, $\delta_0 = M\sqrt{3}/2$					
	P	N	PN0	PN1	PN2	PN3
$\delta_P$	$1 - \delta_0$	$\delta_0 - 1$	0	0	$\delta_0 - 1$	$\delta_0 - 1$
$\delta_N$	$1 - \delta_0$	$\delta_0 - 1$	0	0	$1 - \delta_0$	$1 - \delta_0$
$\delta_{P1}$	$\delta_0(1 - \sqrt{3}/2)$	0	0	0	$2 - \delta_0(\sqrt{3}/2 + 1)$	0
$\delta_{N1}$	0	$\delta_0(\sqrt{3}/2 - 1)$	0	0	$\delta_0(\sqrt{3}/2 + 1) - 2$	0
$\delta_{P3}$	$\delta_0(1 - \sqrt{3}/2)$	0	0	0	0	$2 - \delta_0(\sqrt{3}/2 + 1)$
$\delta_{N3}$	0	$\delta_0(\sqrt{3}/2 - 1)$	0	0	0	$\delta_0(\sqrt{3}/2 + 1) - 2$
$\delta_{P2}$	0	0	$\delta_0\sqrt{3}/2 - 1$	$1 - \delta_0\sqrt{3}/2$	0	0
$\delta_{N2}$	0	0	$1 - \delta_0\sqrt{3}/2$	$\delta_0\sqrt{3}/2 - 1$	0	0

### 2.3 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 3레벨 T-type 인버터에서 육상전압을 이용한 대칭 SVPWM방식과 DSVPMx방식을 시뮬레이션을 통해 전압이용률 변화에 의한 효율과 THD의 변화를 비교 분석하였다. 이를 측정하기 위한 시뮬레이션 조건은 표4와 같다. T-type 인버터 회로에서 고정된 DC전압과 RL부하의 조건에서 MI가 변화할 때의 전체 출력전력에 대한 효율과 THD를 측정하였다.

그림 3은 T-type 인버터에 SVPWM방식과 DSVPMx방식을 적용하였을 때 인버터의 효율을 비교한 것이다. 전체 전압 변조율에서 DSVPMx방식을 적용한 경우 MI = 1일 때 98.98%로 가장 높게 나타났으며, 효율이 가장 낮게 나타난 SVPWM방식은 MI = 1일 때 98.63%로 나타나는 것을 확인하였다.

그림 4는 전압변조율 변화에 따른 THD의 변화를 나타낸다. 전체 전압변조율 범위에서 THD는 SVPWM방식을 적용할 경우 MI = 1일 때 1.02%로 가장 작게 나타났으며, DSVPMx방식중에서는 DSVPMx방식이 MI=1.0일 때 2.62%로 가장 작게 나타나는 것을 확인하였다.

위의 그림 3과 4의 결과를 통해 THD를 고려하여 효율을 높이 고자 할 때 DSVPMx가 가장 적합하다.

표 4 시뮬레이션 파라미터

Table 4 Simulation Parameter

	값	단위
입력전압[V <sub>dc</sub> ]	700	[V]
입력 커패시터[C1, C2]	6800	[uF]
스위칭주파수	20	[kHz]
부하 인덕턴스	2m	[mH]
부하 저항	14.7	[Ω]

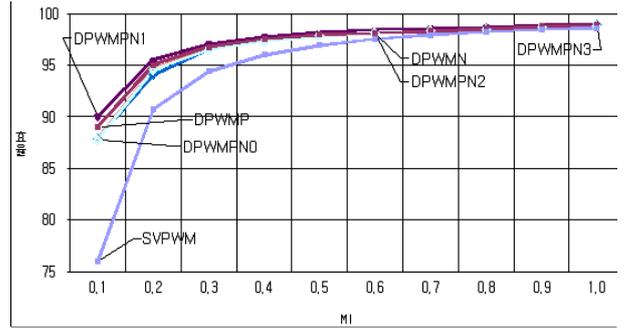


그림 3 효율 비교결과

Fig. 3 Efficiency comparison results

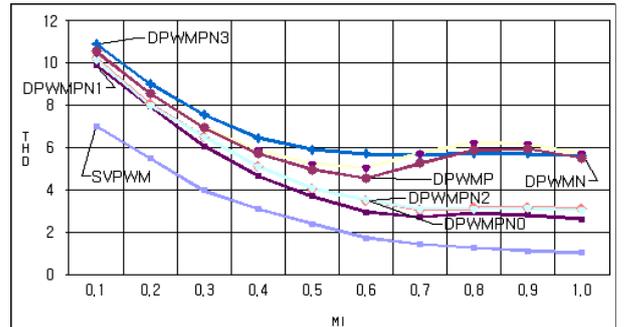


그림 4 THD비교 결과

Fig. 4 THD comparison results

### 3. 결론

본 논문에서는 3레벨 T-type 인버터의 효율을 높이기 위해 DSVPMx방식을 적용하고 이를 육상전압을 이용한 SVPWM과 전압이용률에 따라 비교하였다. T-type 인버터의 IGBT모듈은 T-type 인버터의 회로적인 이점 때문에 T1과 T4가 스위칭 손실이 비교적 작은 IGBT로 구성되며, 이로 인해 SVPWM을 적용하였을 때와 DSVPMx를 적용하였을 때 효율간의 차이가 나타나지 않았지만, MI = 1.0일 때 0.35%의 효율의 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 향후 연구 진행은 IGBT모듈의 특성에 따라 IGBT의 도통손실과 스위칭손실의 크기가 반비례적으로 나타나게 되는데, 도통손실이 큰 IGBT와 스위칭 손실이 큰 IGBT에서 각각 DSVPMx를 적용하였을 때의 효율을 비교한다면, 기존의 인버터들의 효율을 증가시킬 수 있을 것으로 기대된다.

이 논문은 “충청지역사업평가원”의 “고신뢰성 대용량 태양광 전력변환시스템 개발”로 수행된 연구결과임.

### 참고 문헌

- [1] S. L. An, X. D. Sun, Q. Zhang, Y. R. Zhong, and B. Y. Ren, "Study on the novel generalized discontinuous SVPWM strategies for three-phase voltage source inverters," IEEE Trans. Ind. Inf., vol. 9, no. 2, pp. 781-789, May 2013
- [2] M. Schweizer, J.W. Kolar, "Design and Implementation of a Highly Efficient Three-Level T-Type converter for Low-Voltage Application", IEEE Transactions on Power electronics, vol.28, Nos.2, pp.899-907, February 2013
- [3] Vincotech IGBT / Diode module data sheet. Online. Available : <http://www.vincotech.com/en.html>.