

# 3레벨 인버터의 중성점 전압 제어 제한 영역에 관한 연구

황한규, 박용순  
광주과학기술원

## A Study on the Neutral Point Voltage Control Limitation Area in Three-Level Inverter

Han Kyu Hwang, Yongsoon Park  
Gwangju Institute of Science and Technology

### ABSTRACT

A three level inverter is widely used thanks to its excellent performances, but the voltage may fluctuate at the neutral point of the split DC Link. Neutral point voltage fluctuations cause inverter performance degradation and switching element damage, so the neutral point voltage control is essential. However, the neutral point control can be also limited by modulation index and power factor. This paper analyzes the limitation of the neutral point voltage control due to the limitation of zero sequence voltage, and suggests a method to determine the region where the PWM has to be changed for a better neutral point control.

### 1. 서론

최근 널리 쓰이고 있는 3레벨 인버터는 중성점 전류에 의해 중성점 전압의 변동이 발생할 수 있다. 이는 인버터의 성능 하락 및 스위칭 소자의 손상을 발생시킨다. 따라서 중성점을 제어하기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다.<sup>[1][2]</sup>

Carrier based PWM(CBPWM) 기반의 3레벨 인버터의 제어에서는 영상분 전압을 이용해 중성점 전압을 제어하지만, 변조지수와 역률에 의해 영상분 전압의 크기가 제한되어 중성점 전압 제어도 제한을 받게 된다.<sup>[1]</sup> 이러한 제한 영역에서는 중성점 전압 제어를 위해 PWM 방식의 변화가 요구된다. 본 논문에서는 PWM 변화가 필요한 영역을 판별하는 방법을 제시하고자 한다.

### 2. 3레벨 인버터에서의 중성점 전압 제어

#### 2.1 CBPWM을 통한 인버터 제어 원리

3레벨 인버터에서 위아래 커패시터 양단의 전압 차이를  $\delta V_{dc}$  라고 했을 때,  $\delta V_{dc}(t)$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.<sup>[1]</sup>

$$\begin{aligned} \delta V_{dc}(t) &= V_{dcH}(t) - V_{dcL}(L) \\ &= V_{dcH0} - V_{dcL0} + R_{dc} \cdot i_{np}(t) \\ &\quad + \frac{1}{C_{dc}} \int_0^t i_{np}(t) dt \end{aligned} \quad (1)$$

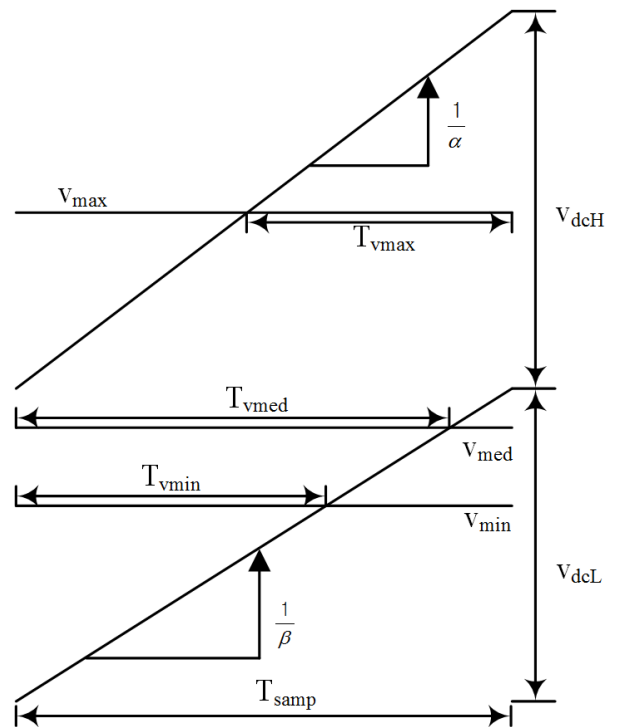


그림 1 삼각파와 폴 전압 지령

Fig. 1 Carrier-waves and pole-voltage references

따라서  $\delta V_{dc}$ 를 제어하기 위해서  $i_{np}$ 를 적절히 조절하는 것이 중요하다. PWM 인버터에서  $i_{np}$ 는  $T_{samp}$  동안에  $i_{np}$ 의 평균값인  $I_{np}$ 로 조절될 수 있으며,  $I_{np}$ 는 그림 1에 의해 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$I_{np} = \frac{1}{T_{samp}} (T_{vmax} \cdot i_{vmax} + T_{vmed} \cdot i_{vmed} + T_{vmin} \cdot i_{vmin}) \quad (2)$$

$T_{vmax}$ 와  $i_{vmax}$ 는  $v_{max}$ 에 해당하는 시간과 전류이며, 나머지 성분들도 동일한 표기 방법을 따른다.

폴 전압은 상 전압과 영상분 전압의 합으로 표현되며, 영상분 전압에 의해 그림 1의 각 폴 전압이 위아래로 동일하게 움직여서 (2)의 시간 성분들이 변하게 된다. 따라서 영상분 전압

은 중성점 전압을 제어하는데 매우 중요하다.

하지만 활용 가능한 영상분 전압의 범위는 변조지수와 역률에 따라 변화하고, 중성점 전류를 조절하여  $\delta V_{dc}$ 를 일정한 값으로 제어할 수 없는 영역이 존재하게 된다.

### 2.2 중성점 전압 제어 제한 영역 분석

먼저 전압벡터가 전압육각형에 내접하는 경우를 변조지수가 1이고 상 전압 지령의 크기가 1pu인 것으로 정의하고자 한다. 그러면 a상의 상 전압은  $v_a = MI \times \cos(\theta)$ 가 되고, 전류는 역률에 따라  $I_m \cos(\theta - \Phi)$ 로 표현된다. b와 c상은 각각 a상으로부터  $-\frac{2}{3}\pi, \frac{2}{3}\pi$ 만큼 차이가 난다.

영상분 전압인  $v_{zs}$ 는 최솟값  $-V_{dcL} - v_{\min0}(v_{zs\_min})$ 와 최댓값  $V_{dcH} - v_{\max0}(v_{zs\_max})$ 을 가지며, 그 사이에서 폴 전압이 0이 되게 하는  $v_{zs}$  값을 경계로 각 구간마다  $I_{np}$ 를  $\delta v_{zs}$ 에 대한 선형 방정식으로 표현이 가능하다.<sup>[1]</sup>

(1)에서  $i_{np}$ 가 0이 되면  $\delta V_{dc}$ 를 일정하게 제어할 수 있다. 따라서  $v_{zs}$ 의 조절 가능한 범위 내에서 항상  $I_{np}$ 가 0이 될 수 있다면, 영상분 전압 제한 범위 내에서 중성점 전압이 일정하게 유지 가능하다.

먼저  $v_{\max} - v_{\min} \leq \frac{\sqrt{3}}{2}$ 인 구간을 고려하면,  $v_{zs}$ 는  $v_{zs\_min}$ 에서  $I_{np} = \sqrt{3} \times MI \times I_m \cos(\Phi)$ ,  $v_{zs\_max}$ 에서  $I_{np} = -\sqrt{3} \times MI \times I_m \cos(\Phi)$ 이다. 따라서 변조지수와 역률에 상관없이  $I_{np}$ 의 범위는 항상 0을 포함하므로, 이 구간에서는 영상분 전압 제한에 관계없이 중성점 전압을 일정한 값으로 유지할 수 있다.

다음은  $v_{\max} - v_{\min} > \frac{\sqrt{3}}{2}$ 인 구간을 고려한다. 이 구간에서는 표 1의 조건에 따라 세 영역으로 나눌 수 있다.

(I)을 만족하는 경우  $0 \leq \Delta v_{zs} \leq \sqrt{3} - (v_{\max} - v_{\min})$ 일 때,  $I_{np}(\Delta v_{zs})$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$I_{np}(\Delta v_{zs}) = I_{np}(0) - \frac{4}{\sqrt{3}} \times i_{\max} \times \Delta v_{zs} \quad (3)$$

$$I_{np}(0) = \frac{2}{\sqrt{3}} [\sqrt{3} - (v_{\max} - v_{\min}) i_{\max} + (v_{med} - v_{\min}) i_{med}] \quad (4)$$

$I_{np}(\Delta v_{zs}) = 0$ 이 되는  $\Delta v_{zs}$ 를  $\Delta v_{zs0}$ 라고 할 때,  $\Delta v_{zs0}$ 가  $\Delta v_{zs}$ 의 범위인 0과  $\sqrt{3} - (v_{\max} - v_{\min})$  사이에 있으면  $\delta V_{dc}$ 는 일정하게 유지될 수 있다. 다른 영역에서도 같은 방법으로 전개하면, 그림 2와 같이 중성점 전압 유지가 가능한 영역을 도식화 및 판별할 수 있다. 제어 가능한 영역을 노란색, 제어 불가능한 영역을 파란색으로 나타내었다.

표 1 조건에 따른 영역 구분  
Table 1 Region classification by condition

영역	조건
(I)	$v_{\max} - v_{med} > \frac{\sqrt{3}}{2}$
(II)	$v_{med} - v_{\min} > \frac{\sqrt{3}}{2}$

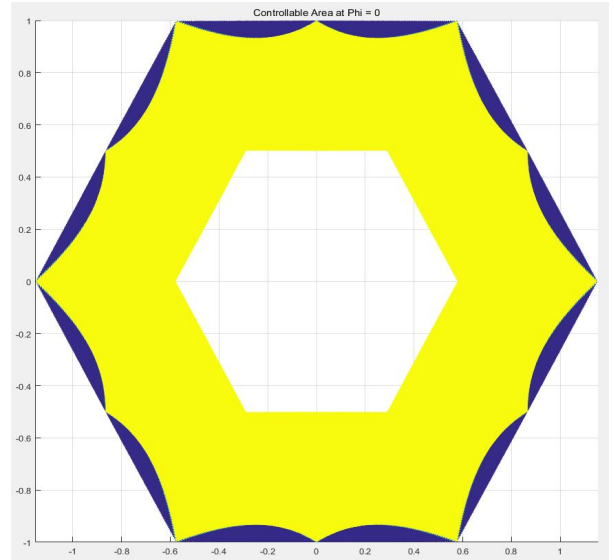


그림 2  $\Phi = 0$ 에서 중성점 전압 일정 제어가 가능 영역  
Fig. 2 Controllable area for neutral-point regulation when  $\Phi = 0$

### 3. 결론

본 논문은 CBPWM을 이용한 3레벨 인버터에서 변조지수와 역률에 상관없이 중성점 전압의 일정값 제어가 가능한 영역을 판별하는 방법을 제시하였다.

이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2017017608).

### 참고 문헌

- [1] Park, Yongsoo, et al. "Asymmetric control of DC link voltages for separate MPPTs in three level inverters." IEEE Transactions on Power Electronics 28.6 (2013): 2760-2769.
- [2] Celanovic, Nikola, and Dushan Boroyevich. "A comprehensive study of neutral point voltage balancing problem in three level neutral point clamped voltage source PWM inverters." IEEE Transactions on power electronics 15.2 (2000): 242-249.