

# 계통연계형 3-레벨 T-type 인버터의 중성점 전압 불평형 보상

박관남  
광운대학교

## Neutral-Point Voltage Compensation of Grid-Connected 3-Level T-type Inverter

kwannam Park  
Kwangwoon University

### ABSTRACT

3-레벨 T-type 인버터는 DC-Link 전압을 중성점을 기준으로 상, 하단 두 개의 커패시터로 나누어 사용한다. 이때 두 커패시터의 특성이 일치하지 않거나 스위칭 동작 패턴에 따라 불평형이 생겨 인버터 출력에 왜곡이 발생한다. 이러한 왜곡으로 인해 인버터 성능이 저하되고, 심해질 경우 스위칭 소자에 손상을 발생시킨다. 본 논문은 불평형 전압 차이를 간략화된 공간 벡터 변조 기법을 이용해 스위칭 시간을 보상하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 시뮬레이션을 사용하여 타당성을 검증하였다.

### 1. 서론

최근 환경오염으로 인한 문제와 자원 고갈로 인해 태양광, 풍력 등 신재생 에너지가 각광 받고 있다. 이와 관련해 얻은 에너지를 계통으로 전달하기 위한 전력변환 시스템 연구가 이뤄지고 있으며 전력 품질을 높일 수 있는 멀티레벨 인버터의 사용이 증대되고 있다. 이 중에서 3-레벨 NPC(Neutral Point Clamped) 인버터가 가장 일반적인 토폴로지다. 3-레벨 T-type 인버터는 전력변환 시 생기는 스위칭 손실이 NPC 인버터에 비해 감소되어 에너지 효율을 개선한 토폴로지로 제안되고 있다.<sup>[1][2]</sup>

하지만 NPC, T-type 인버터는 DC-Link 전압을 중성점 기준으로 상, 하단 두 개의 커패시터로 나누어 사용하기 때문에 두 커패시터의 전압 차이가 생길 수 있으며 이러한 불평형 문제로 인해 인버터 성능이 저하되고 스위칭 소자가 손상될 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 PWM 기법에 따라 불평형 보상 기법에 대한 여러가지 연구가 진행되고 있다.<sup>[3][4][5]</sup>

본 논문에서는 T-type 인버터에서 간략화된 공간 벡터 변조 기법을 이용해 DC-Link 전압 불평형 보상 방법을 제안한다. 스위칭 패턴에 따라 상, 하단의 커패시터 전압 변화를 관찰하고, 보상 제어를 통해 출력된 Offset 전압을 계산하여 보상하였다.

### 2. T-type 인버터의 DC-Link 전압 불평형 보상

#### 2.1 전압벡터에 따른 중성점 전압변화

3레벨 인버터는 27개의 전압벡터가 존재하며 크기에 따라 zero, small, medium, large 총 4개의 전압벡터로 나눌 수 있다.

여기서 중성점 전압에 영향을 주는 벡터는 small, medium 벡터이며 특별히 small 벡터를 P-type small 벡터와 N-type small 벡터로 세분화 시켜서 볼 수 있다. 그림1에서 보듯 medium 벡터는 중성점에 흐르는 전류의 방향에 따라 중성점 전압이 변하는데 전류가 흐르는 방향을 알 수 없기 때문에 전압이 어떻게 달라지는지 알 수 없다. 반면 DC/AC 모드일 때 그림과 같이 P-type은 상단 커패시터가 방전되어 Vc1 전압이 감소되고, 하단 커패시터는 충전되어 Vc2 전압이 증가한다. N-type은 반대로 Vc1 전압이 증가하고, Vc2 전압이 감소한다. AC/DC 모드일 때는 DC/AC 모드와 반대로 P-type에서 Vc1 전압이 증가되고, Vc2 전압이 감소한다. N-type은 Vc1 전압이 감소하고, Vc2 전압이 증가한다. 즉, P-type, N-type 벡터를 적절하게 이용하면 DC-Link 불평형을 보상할 수 있다.

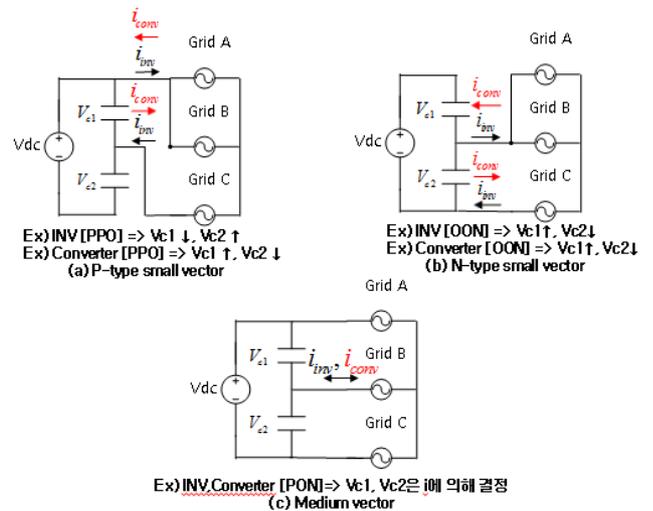


그림1. Medium, small 벡터의 전류 흐름  
Fig 1. The flow of cur

#### 2.2 간략화된 SVM을 이용한 불평형 보상

3레벨 T-type 인버터는 편이상 상전압과 상전류를 a,b,c 좌표에서 dq좌표로 변환하여 제어하게 되는데 제어기의 최종 출력은 a,b,c 상에 인가되어야 하는 상전압이다. 각각의 상에 인가되어야 하는 상전압 지령을  $V_a^*, V_b^*, V_c^*$  라고 하고, 가장 큰 값을  $V_{Max}$ , 가장 작은 값을  $V_{Min}$  이라고 하면 식(1)과 같이 간략화된 SVM을 적용할 수 있다.

$$V_{a,b,c} = V_{a,b,c}^* - \frac{V_{Max} + V_{Min}}{2} \quad (1)$$

여기서 1~6섹터별로 정리하면 한 주기동안 양쪽 끝에 P-type small 벡터와 N-type small 벡터가 하나씩 들어가게 되고, DC/AC 모드 기준으로 상단 커패시터 전압이 하단 커패시터 전압보다 크면 식 양의 offset 전압을 인가하여 P-type small 벡터의 인가 시간을 증가시켜 주어야 한다. 반대로 하단 커패시터 전압이 상단 커패시터 전압보다 크면 음의 offset 전압을 인가하여 N-type small 벡터의 인가시간을 증가시켜 주어야 한다. 모드에 따라 offset 전압이 달라지기 때문에 인버터 출력 파워 P를 계산하여 식(2),(3) 같이 구분하여 전압 offset을 넣어준다.

$$V_{a,b,c} = V_{a,b,c} + V_{offset} \quad (P > 0 : DC/AC 모드) \quad (2)$$

$$V_{a,b,c} = V_{a,b,c} - V_{offset} \quad (P < 0 : AC/DC 모드) \quad (3)$$

여기서  $V_{offset}$ 은 상단 커패시터 전압  $V_{C1}$ 과 하단 커패시터 전압  $V_{C2}$ 의 차이에 의해 크기가 결정된다.

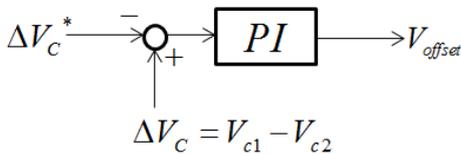


그림 2 중성점 전압 보상 제어기 블록도  
Fig. 2 Neutral point voltage compensation block diagram

그림 2와 같이 커패시터 양단의 전압 차이  $\Delta V_C$ 를 0으로 만드는 출력  $V_{offset}$ 을 만들어주는 PI 제어기를 설계하여 보상하면 중성점의 불평형 전압이 0으로 수렴하게 된다.

그림 3은 제안한 방법을 이용하기 전의 상, 하단 커패시터 전압의 변화이며, 그림 4는 제안한 방법을 이용한 후 상, 하단의 커패시터 전압이다. 정상 상태 DC 링크 전압은 700V이고, 초기 DC링크 전압은 600V이라고 가정하고 시뮬레이션을 진행하였다. 보상기가 들어있지 않은 경우 그림 3과 같이 제어가 시작되면서 바로 중성점의 불평형이 야기되어 시스템이 불안정해지게 된다. 반면 그림 4와 같이 보상기가 적용된 경우 제어가 시작되면서 상, 하단의 커패시터 전압 오차가 0으로 수렴해 가는 것을 확인 할 수 있다.

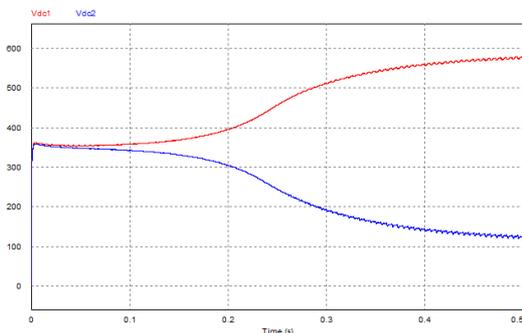


그림 3 중성점 전압 보상 전  
Fig. 3 Before neutral point voltage compensation

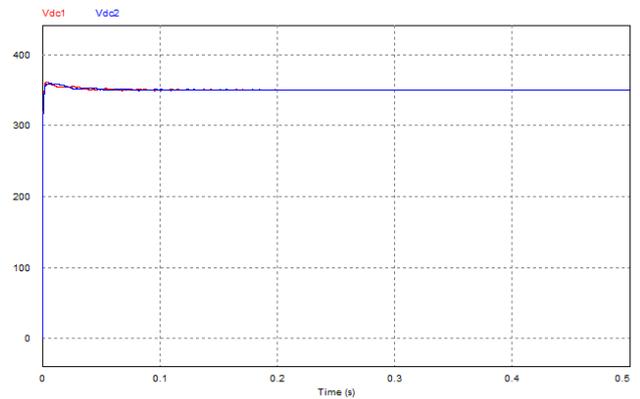


그림 4 중성점 전압 보상 후  
Fig. 4 After neutral point voltage compensation

### 3. 결론

본 논문은 계통연계형 3-레벨 T-type 인버터 시스템의 중성점 전압 불평형을 보상하는 기법을 제안하였다. 인버터의 출력 파워를 측정하여 DC/AC, AC/DC 모드를 구분하였고, 각 모드에서 사용하는 Space Vector를 분석하여 보상기를 설계하고, 출력된 Offset 전압을 이용하여 보상하였다. 제안된 방법의 결과를 12kW급 계통연계 시스템을 모의하여 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

이 논문은 광운대학교의 교내 연구비 지원에 의하여 연구되었음

### 참 고 문 헌

- [1] J. Rodriguez, S. Bernet, P. L. Steimer, and I. E. Lizama, "A Survey on Neutral-Point-Clamped Inverters," IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 57, no. 7, pp. 2219-2230, Jul. 2009.
- [2] Kwanghee Lee, "Comparative Analysis of Power Losses for 3-Level NPC Inverter and T-type Inverter Modules", Master's Thesis, Chungbuk University, 2015.
- [3] C. Newton and M. Sumner, "Neutral point control for multi-level inverters: Theory, design and operational limitations," in Proc. Ind. Appl. Soc. (IAS), New Orleans vol. 2, pp. 1336-1343, Oct. 1997
- [4] A. Lewicki, Z. Krzeminski, and H. Abu-Rub, "Space-Vector Pulsewidth Modulation for Three-Level NPC Converter with the Neutral Point Voltage Control," IEEE Transaction on Industrial Electronics, vol. 58, no.11, pp. 5078-5086, Nov. 2011