

# T형 3레벨 인버터 중성점 전압의 모델예측제어

김태훈, 이우철  
한경대학교

## Model predictive control for T-type 3-level inverter neutral point

Tae Hun Kim, WooCheol Lee  
Hankyong National Univ

### ABSTRACT

본 논문은 3상 T type 3 레벨 인버터의 중성점 전압 제어를 위한 예측제어에 관한 연구이다. 최근 인버터의 효율 향상 등의 장점으로 멀티레벨 인버터가 주목받고 있다. 모델예측제어 방식은 물리적 입력 상태를 반영하여 최적의 성능을 제공할 수 있는 제어기법이다. 3 레벨 인버터에서는 전압벡터의 개수가 많아 예측제어기법을 적용하기에는 계산시간이 오래걸리는 단점이 있다. 본 논문에서는 SPWM 방식에 예측제어를 통해 offset 을 주는 방식으로 DC link단 중성점 전압제어를 하였다.

### 1. 서론

3레벨 T type 인버터는 출력전압이 3레벨의 전압을 갖기 때문에 2레벨 인버터에 비해 큰 고조파 저감효과, 스위칭 손실 저감, 전압 변동률 저감 등의 장점을 가지고 있다. 최근 연구 동향으로는 중성점 전압제어 방법 연구, 효율 향상에 관한 연구, PWM 기법에 관한 연구 등이 많이 이루어 지고 있다.<sup>[1]</sup>

모델예측제어기법은 물리적 상태를 고려하여 최적의 성능을 제공할 수 있는 제어기법으로서 인버터의 출력전압 제어, 3레벨 인버터의 중성점 제어 등 많은 연구가 진행 되었다. 스위칭 주파수에 따라 예측제어의 성능이 결정되기 때문에 정확한 예측제어를 위해 스위칭 주파수를 높이는 것이 중요하지만 3레벨 인버터의 경우 고려해야 하는 전압벡터가 많기 때문에 계산시간이 길어져 주파수를 높이기 힘들다는 단점이 존재한다.<sup>[2]</sup>

본 논문에서는 모델예측제어를 적용 가능하게 하기 위해 전압벡터를 이용한 예측제어를 설계하였다. 계산시간을 줄이기 위한 방법으로 출력전압 지령치의 전압에 따라 위상을 나누어 벡터수를 줄일 것을 제안하여 계산시간을 줄였고 주파수의 한계를 극복하기 위해 SPWM 에 offset 으로 더해주는 방법을 사용하였다.

### 2. 본 문

#### 2.1 T-type 인버터의 중성점 예측제어

그림 1 에 나타내었듯이 3상 3레벨 T type 인버터는 한 상이 4개의 스위칭 소자로 구성이 되며 DC link 단이 두 개의 커패시터로 구성되기 때문에 DC link 중성점 불균형의 문제가

발생하게 된다. 따라서 중성점의 불균형 문제를 해결하기 위한 예측제어 기법을 제안한다.

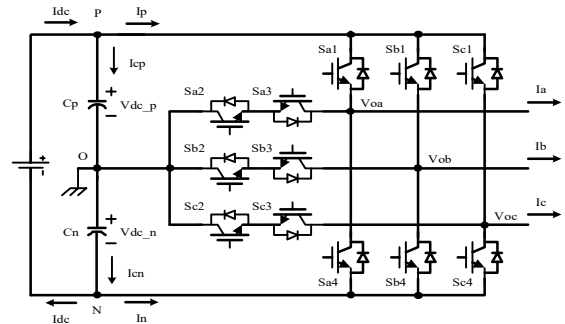


그림 1 3상 3레벨 T-type 인버터  
Fig. 1 3-phase 3-level T-type inverter

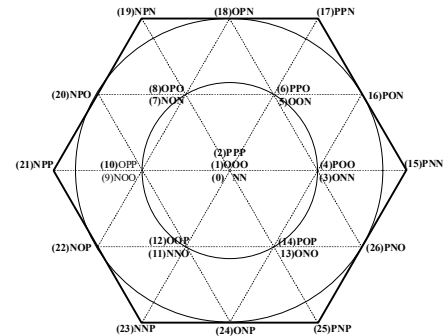


그림 2 T-type 인버터 벡터도  
Fig. 2 Space vectors T-type inverter

표 1 영역에 따른 8개의 전압 벡터  
Table 1 8 voltage vectors according to the area

Area	Voltage Vector
A	1, 4, 12, 13, 14, 24, 25, 26
B	1, 3, 4, 5, 13, 15, 16, 26
C	1, 4, 5, 6, 8, 16, 17, 18
D	1, 5, 7, 8, 9, 18, 19, 20
E	1, 8, 9, 10, 12, 20, 21, 22
F	1, 9, 11, 12, 13, 22, 23, 24

그림 2 에 3상 3레벨 인버터의 전압벡터도를 나타내었다. 3 상의 각 출력은 P, O, N 상태로 결정되기 때문에 총 27개의 벡터를 갖는다. 이를 전압 부호에 따라 영역을 나누어 표1과 같이 영역에 따라 필요한 벡터를 나타내었다.

수식 (1)~(5) 에 나타난 대로 중성점 전압  $V_{dc\_p}$  와  $V_{dc\_n}$  에 대한 모델링을 할 수 있다. 커패시터에 대한 회로 방정식 (1) 을 세워 (2)를 이용하여 이산시간 방정식(3) 으로 구할 수 있고 (4)의 H 함수로 다음 상태의 스위칭을 대입하여 두 커패 시터에 걸리는 전압의 예측값을 구할 수 있고, 오차를 계산하 여 이를 줄이는 방향으로 스위칭을 결정하게 된다.. .

$$\frac{dV_{Cp}}{dt} \approx \frac{V_{Cp}(k+1) - V_{Cp}(k)}{T_s} \quad (1)$$

$$V_{Cp}^P(k+1) = V_{Cp}(k) + \frac{1}{C_p} i_{Cp}(k) T_s \quad (2)$$

$$i_{Cp}(k) = i_{dc}(k) - H_{a1}i_a(k) - H_{b1}i_b(k) - H_{c1}i_c(k) \quad (3)$$

$$H_{xn} = \begin{cases} 1 & \text{if } (S_{xn} = on) \\ 0 & \text{if } (S_{xn} = off) \end{cases} \quad (4)$$

$$V_{dcerr}(k+1) = V_{Cp}(k+1) - V_{Cn}(k+1) \quad (5)$$

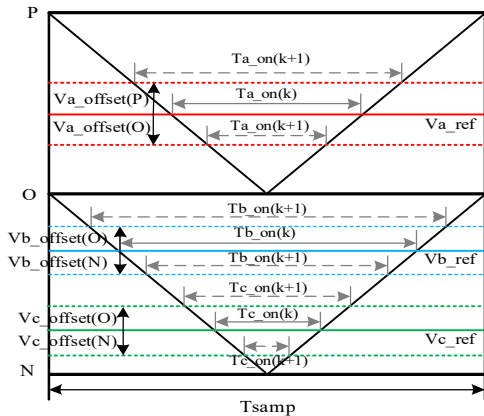


그림 3 offset 주입 방법  
Fig. 3 Offset injection method

그림 3 은 offset 방식을 보여준다. 지령치의 부호에 따라 예측제어의 결과인 P, O 혹은 O, N 상태를 offset 으로 환산하여 지령치에 더해지게 된다.

## 2.2 시뮬레이션 및 실험

표 2 시스템 파라미터  
Table 2 System parameter

Parameter	Value
DC Source Voltage ( $V_{dc}$ )	500 V
Output Voltage ( $V_{LL}$ )	3 상, 220 Vrms, 60 Hz
Switchin Frequency ( $F_s$ )	11 kHz
DC link Capacitor ( $C_p, C_n$ )	3,300 $\mu$ F
Filter Inductor $L_1, L_2, L_3$	0.5 mH
Filter Capacitor $C_1, C_2, C_3$	100 $\mu$ F
Load Register $R_{load}$	40 $\Omega$

시뮬레이션과 실험은 그림 1의 회로와 같이 구성하였고 LC 필터와 저항부하를 추가하였다. 파라미터 값은 표 2 와 같이 사용하였다. 그림 00은 시뮬레이션으로  $V_{oa}$  는 a 상의 폴전압을 나타내었다. DC 밸런싱이 잘 됨에 따라 a 상 폴전압도 일정하게 나오는 것을 확인하였다. 그림 00 은 실험파형으로 DC link 밸런싱이 완료된 시점으로부터 3s 정도 후에 저항을 인가하여 DC 전압이 잘 유지되는지 확인하였다.

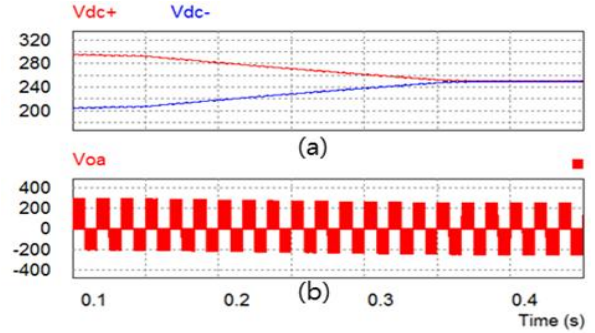


그림 4 DC-link 밸런싱 시뮬레이션  
Fig. 4 Simulation of DC-link balancing

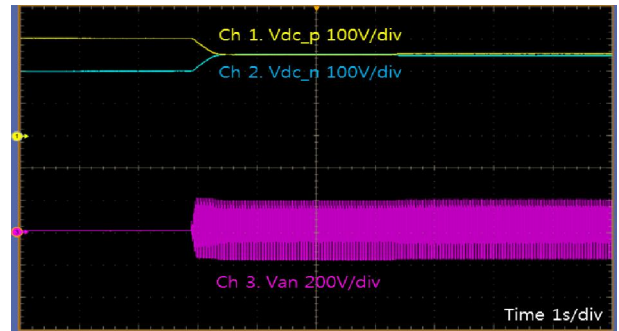


그림 5 DC-link 밸런싱 실험 결과  
Fig. 5 Experimental result of DC-link balancing

## 3. 결론

3상 3레벨 T type 인버터의 중성점 제어를 위해 예측제어 기법을 사용하였다. DC link의 두 커패시터의 전압의 예측값을 계산하여 오차를 줄이는 방향으로 벡터를 결정하고 SPWM 에 offset 으로 더해주는 방식으로 적용하였다.

본 연구는 경기도의 경기도지역협력연구센터(GRRC) 사업의 일환으로 수행하였음.  
[[GRRC환경2011 B04], 클린 및 농식품 물류센터를 위한 에너지 절약형 전력변환장치 상용화 개발]

## 참고 문헌

- [1] Seung Min Shin, Jung Hoon Ahn, Byoung Kuk Lee, "Maximum Efficiency Operation of Three Level T type Inverter for Low Voltage and Low Power Home Appliances" J Electr Eng Technol, vol.10, no.2
- [2] Cortés, Patricio, "Model predictive control of an inverter with output filter for UPS applications." Industrial Electronics, IEEE Vol 56, No.6, 2009