

T-type 3-레벨 인버터 제어를 위한 예측제어 방법

김태훈, 이우철
한경대학교

Predictive control method for T-type 3-level inverter

Tae Hun Kim, WooCheol Lee
Hankyong National Univ

ABSTRACT

본 논문은 3상 T type 3 레벨 인버터에 적용할 수 있는 예측제어 방법에 관한 논문이다. 최근 인버터의 효율 향상 등의 장점으로 멀티레벨 인버터가 주목받고 있다. 그중 T type 방식은 저전압, 중전압에서 강점이 있는 토폴로지이며, 예측제어 방식은 직관적이고 쉽게 이해가능한 스위치 제어방법이다. 3 레벨 인버터에서는 전압벡터의 개수가 많아 예측제어기법을 적용하기에는 계산시간이 오래걸리는 단점이 있다. 본 논문에서는 CB PWM 방식에 예측값으로 offset을 주는 방식으로 DC단 중성점 전압제어와 출력전압제어를 하였다.

1. 서론

멀티레벨 인버터는 기존의 2 레벨 과형보다 큰 고조파 저감 효과를 갖는다는 장점이 있다. 또한 NPC(Neutral Point Clamped) 인버터, H 브리지형(H bridge) 인버터 등 대표적인 토폴로지들이 고전압, 대용량 응용분야에서 이점이 있지만 중, 저용량 예는 적합하지 않기 때문에 T type 인버터가 제안되었다. [1]

3 레벨 인버터에서는 구조적으로 DC Link 전압의 중성점(그림 1에서 O) 불균형 문제가 생게 되는데, 안정성, 신뢰성 향상과 관련되기 때문에 DC Link 전압 밸런싱 문제를 해결하는 것이 필수적이다. 따라서 이 문제를 해결하기 위한 여러가지 PWM 기법들이 연구되고 있다. [2],[3]

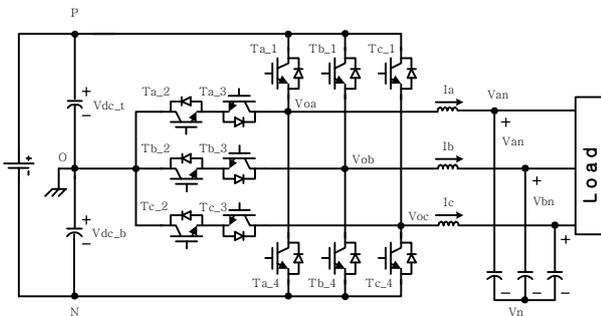


그림1. 3-레벨 T-type 인버터

본 논문에서는 DC Link 중성점 전압 밸런싱 문제 해결과 비선형 부하 인가시 전압 과형 개선을 개선을 위한 방법으로, 가장 많이 사용되는 PWM 기법중 하나인 CB PWM 방식에

예측제어를 위해 계산되는 예측 값을 offset으로 더해주는 방식에 대하여 연구하였다.

2. Predictive control을 적용한 PWM 제어

2.1 3-레벨 T-type 인버터의 CBPWM

3 레벨 T type 인버터의 CBPWM(Carrier Based Pulse Width Modulation) 가장 많이 사용되는 스위치 제어 방식중 하나이며, 반송파인 삼각파에 기준파형을 비교하여 스위칭 상태를 결정하게 된다. 2 레벨에서와 같이 정현파를 기준전압으로 사용하는 SPWM방식과 3고조파를 주입해서 사용하는 THIPWM(Third Harmonic Injection PWM)방식이 있다. 본 논문에서는 상전압을 정현파로 제어하기 위해 SPWM 방식을 사용하였고, 그림 2에 나타내었다.

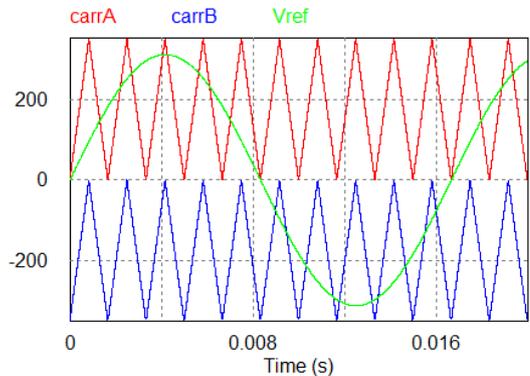


그림2. 3-레벨 인버터의 SPWM

2.2 3-level T-type 인버터의 예측제어

3 레벨 인버터는 그림3의 벡터도와 같이 27가지의 벡터를 갖는다. 예측제어는 시스템을 수식적으로 모델링 하여 27가지의 벡터에 대한 각각의 상태를 계산하고 원하는 지령치와 가장 오차가 적은 값으로 다음 상태를 출력하게 된다.

3 레벨에서는 벡터의 개수 2 레벨에 비해 많기 때문에 계산시간이 길어지게 된다. 또한 예측제어만 할 경우 샘플링 주파수가 작아짐에 따라 출력과형의 오차가 많이 발생하게 된다. 따라서 벡터로 나타나는 출력상태를 offset값으로 환산하여 SPWM의 지령치에 더해 줌으로써 SPWM의 오차를 줄이고 샘플링 주기를 줄여 예측시 계산되는 시간을 절약하도록 하였다.

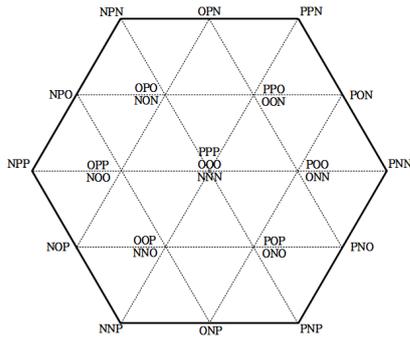


그림3. T-type 인버터의 공간벡터

2.3 제안된 PWM 기법

2.3.1 중성점 전압 모델링

DC Link 중성점을 예측제어 하기 위해 다음과 같이 모델링 하였다. 그림 1을 참조하여 상태방정식을 구하면 식(1)이 되고, approximation 하여 구하면 식(2)와 같이 표현될 수 있다. 여기서 $V(k+1)$ 로 표시된 부분이 다음상태의 C_p 에 걸리는 전압값을 의미한다. 또한 전류항은 다음상태의 예측 값으로 공간벡터상의 27개 벡터에 대한 값을 계산하여 대입하게 되며 식(3) 같이 표현된다. H항은 각 상 1번 스위치의 상태를 나타낸다.

같은 방법으로 C_n 의 전압값을 계산할 수 있다.

$$\frac{dV_{Cp}}{dt} = \frac{1}{C_p} i_{Cp} \quad (1)$$

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

$$i_{Cp}(k+1) = i_{dc}(k) - H_{1a}i_a(k) - H_{1b}i_b(k) - H_{1c}i_c(k) \quad (3)$$

2.3.1 부하 상전압 모델링

그림1의 V_{an} 의 전압을 제어하기 위하여 모델링을 한다. V_n 부분의 전압은 식(4) 과 같다. 각 상으로 흐르는 전류는 식(5)로 표현된다. 스위칭 상태를 고려하면 V_{oa} 를 구할 수 있으므로 approximation 하면 식(6) 으로 되어 전류값을 예측할 수 있고, 이를 통하여 식(7)의 상전압을 구하게 된다.

이렇게 계산된 값들 중 지령치와 오차가 가장 작은 벡터를 선택하여 V_{offset} 으로 더해준다.

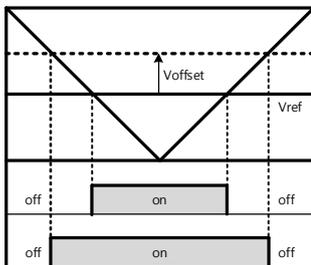


그림4. Offset을 고려한 PWM

$$V_n = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c) = \frac{1}{3}(V_{oa} + V_{ob} + V_{oc}) \quad (4)$$

$$V_{oa} - V_a = L \frac{di_a}{dt} \quad (5)$$

$$i_a(k+1) = (V_{an}(k) - V_n(k)) \frac{T_s}{L} + i(k) + V_{oa}(k+1) \quad (6)$$

$$V_{an}(k+1) = (i_a(k+1) - \frac{V_{an}(k)}{R}) \frac{T_s}{C} + V_{an}(k) \quad (7)$$

1. 시뮬레이션

그림5와 그림6은 중성점 전압 불균형, 정류기 부하 상태에서 PSIM으로 시뮬레이션 하였다.

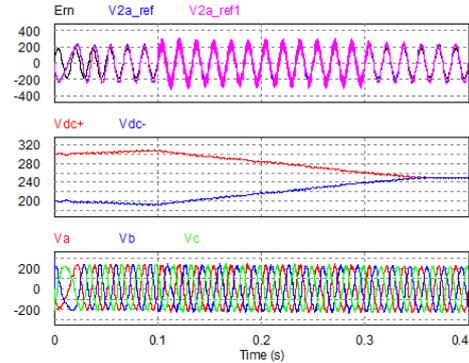


그림5. DC전압 밸런싱 시뮬레이션

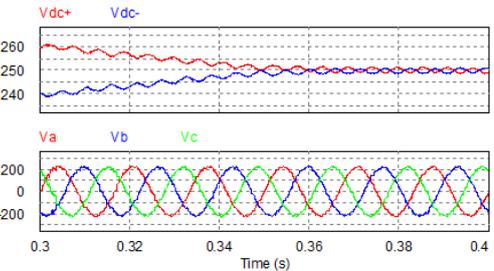


그림6. 정상상태에서의 상전압제어

4. 결론

본 논문에서는 3 level T type 인버터의 Carrier Based PWM 방식에 Model Predictive Control 기법을 offset 방식으로 적용시켜 중성점 전압 제어와 출력전압 제어를 하였다.

본 연구는 경기도의 경기도지역협력연구센터(GRRC) 사업의 일환으로 수행하였음.
 [(GRRC)한경2011 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 pp. 586 594, 2015
- [2] 교운혁, 이귀준, 김래영, 현동석, "3 레벨 NPC 인버터에서 중성점 전압의 예측 제어" 전력전자학술대회논문지, pp.356 357, 2011.
- [3] Dong Hyun Kim, Dae Wook Kang, Yo Han Lee, Dong seok Hyun, "The analysis and comparison of carrier based PWM method for 3 level inverter", IEEE, vol.2 pp.1316 1321, Oct, 2000.