

2-레벨 SVPWM을 기반으로 한 N-레벨 NPC 인버터의 간단한 SVPWM방법

임이슬, 구남준, 현동석

한양대학교

A Simplified SVPWM Scheme for N-Level inverter Based on Two-Level SVPWM

Li-Suel Lim, Nam-Joon Koo, Dong-Seok Hyun

Department of Electrical Engineering, Hanyang University

Abstract

본 논문에서는 복잡한 계산 없이 간단한 방법을 통하여 어느 레벨에서도 적용이 가능한 일반적인 N-레벨 식을 제안한다. 이 방법은 각 α 축과 β 축을 움직여 N-레벨 인버터를 2-레벨 인버터로 단순화 한다. 이 과정으로 타입을 구분하지 않고 하나의 식으로 N-레벨 인버터의 dwell-time을 나타낼 수 있다. 시뮬레이션 결과를 통하여 본 논문의 타당성을 검증 하였다.

1. 서론

멀티레벨 인버터[1]는 2-레벨 인버터와 비교하여 인버터 출력전압의 고조파를 같은 스위칭 주파수에서 비교할 때 2배이상 줄일 수 있고, 전원 스위치 전압의 감소 이점 때문에 폭 넓게 사용되어 왔다.

최근에는 산업시장에서 고용량, 고압에 대한 전력변환장치를 요구하는 만큼 멀티레벨 인버터는 널리 쓰이고 있다. 그 결과 전압레벨이 증가함에 따라 멀티레벨 인버터의 dwell-time계산은 더 복잡해진다.

본 논문에서 제안된 기법은 기준전압을 알파-베타 좌표로 변형하고, time-balance식과 voltage-time characteristic식을 사용하여 각 섹터의 dwell-time을 구한다. 다음으로 각 α 축과 β 축을 움직여 N-레벨 인버터를 2-레벨 인버터로 간략화 한다. 이전 방법[2]은 두 가지 타입을 나눠 일반적인 식을 나타낸다. 하지만 본 논문에서는 타입을 나누지 않고 오직 하나의 식으로 일반적인 N-레벨의 dwell-time을 나타낼 수 있다.

2. 본론

그림1은 5-레벨 인버터와 N-레벨 인버터이다. 5-레벨인버터는 2-레벨인버터보다 dwell-time계산이 어렵고 복잡해진다. 또한, 레벨 수가 증가함에 따라 dwell-time계산은 더욱 복잡해진다. 하지만 다음 과정을 통해 구현된 일반적인 dwell-time 식을 사용한다면 5-레벨 뿐만이 아니라 N-레벨에서도 간단히 dwell-time이 계산 될 수 있다.

2.1 섹터 결정

기준전압에 크기는 $\alpha - \beta$ 좌표로 변환한다.

$$\begin{pmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} \quad (1)$$

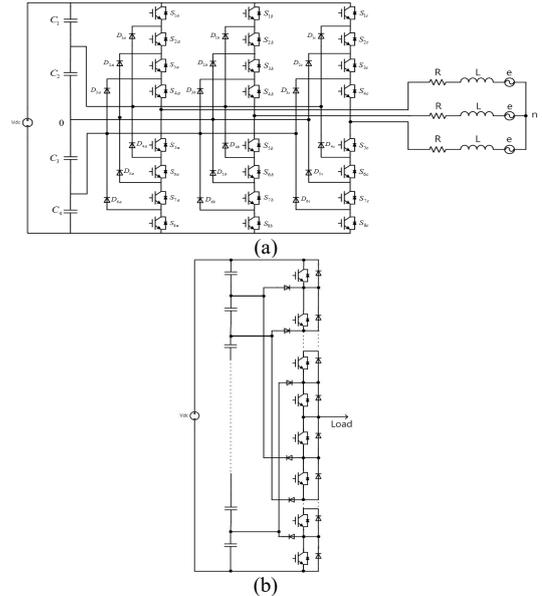


그림. 1 일반적인 NPC 인버터 (a) 5-레벨 NPC 인버터 (b) N-레벨 NPC 인버터

기준 각도는 식 (2)와 같이 계산된다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{V_\beta}{V_\alpha} \quad (2)$$

섹터는 세 가지 파라미터 L,H,G 로 정의 한다. 파라미터 L,G,H는 식 (3)과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} L &= \text{int} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} (n-1) \square V \square \cos \left(\frac{\pi}{6} - \theta \right) \right) \\ G &= \text{int} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} (n-1) \square V \square \cos \left(\frac{\pi}{6} + \theta \right) \right) \\ H &= \text{int} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} (n-1) \square V \square \sin \theta \right) \end{aligned} \quad (3)$$

n은 레벨 수 이다.

2.2 Dwell-time 계산

전체섹터의 크기를 1로 정의하고 각 섹터의 크기를 $1/(n-1)$ 로 정의한다. 세 전압에 dwell-time은 전압특성 방정식과 time balance 식으로 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} V_1 t_1 + V_2 t_2 + V_3 t_3 &= V^* \square V \\ T &= t_1 + t_2 + t_3 \end{aligned} \quad (4)$$

T는 샘플링 시간이다.

식(4)를 이용하여 기준전압과 전압벡터 A,B,C는

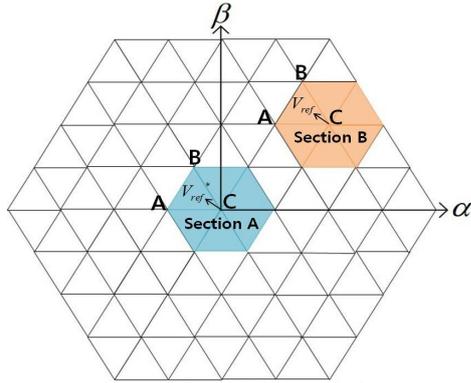


그림2. 5-레벨 인버터의 공간벡터도

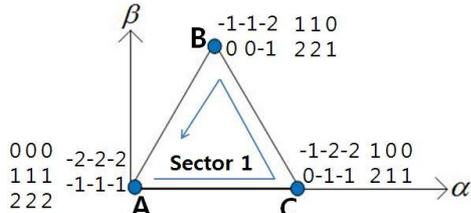


그림3. 5-레벨의 스위치 변화

행렬로 나타낸다. 행렬식을 실수 부분과 허수 부분으로 나누고[3] t_1, t_2, t_3 값을 계산한다.

2.3 기준전압의 수정

이 섹션에서는 그림2에 나타난 것과 같이 기준전압을 포함하고 있는 작은 육각형B를 안쪽의 육각형A로 움직여 N-레벨의 공간벡터를 2-레벨 공간벡터로 간략화한다.[4]

작은 육각형B를 안쪽의 육각형A로 움직이기 위한 α 축과 β 축의 변화 값을 식(5)의 일반적인 식으로 나타내었다.

$$\alpha : V \cos \theta + \left(\frac{-2L+H}{2(n-1)} \right) \quad (5)$$

$$\beta : V \sin \theta + \left(\frac{-3H}{2(n-1)} \right)$$

이로써, 간단하고 일반적인 dwell-time 식은 식 (6)으로 정의될 수 있다.

$$\theta : \theta - \{(m-1) \square 60\}$$

$$t_1 = T \left(1 - (n-1) \square V \cos \theta - \frac{(n-1)}{\sqrt{3}} \square V \sin \theta \right) \quad (6)$$

$$t_2 = T \left(\frac{2(n-1)}{\sqrt{3}} \square V \sin \theta \right)$$

$$t_3 = T - t_1 - t_2$$

m 의 값은 $m=1 (0^\circ < \theta < 60^\circ), m=2 (60^\circ < \theta < 120^\circ)$ 이다.

본 논문의 제안된 방법을 이용하면, 복잡한계산과 타입[2]을 나누지 않고 일반적인 식을 유도할 수 있다.

2.4 스위칭 상태 선택

전압벡터에 선택은 샘플링 주기 동안 최소한의 스위칭 시퀀스 변화하도록 해야 한다. 기준전압이 섹터1에 놓여있는 경우 샘플링 시간 동안 스위칭 변화는 그림 3과 같이 나타난다.

3. 시뮬레이션

본 논문에서는 유효시간을 제안한 방법으로 얻어낸 dwell-time 식의 조합으로 얻는다. 시뮬레이션은 본 논문에 제안된 식을 확인하기 위하여 PSIM 프로그램을 사용하여 실행하였다. 시뮬레이션 모델은 5-레벨 NPC 인버터를 기반으로 한다. 그림3, 그림4, 그림5 의 파형을 통하여 논문에 타당성을 검증한다.

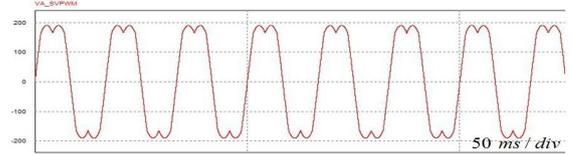


그림3. A상의 기준전압 파형

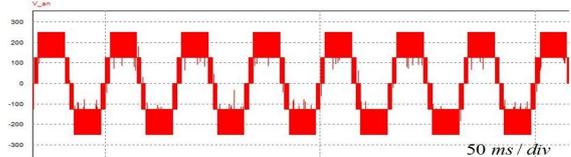


그림4. A상의 극 전압 파형

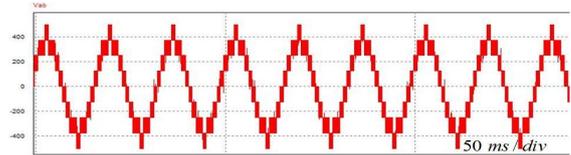


그림5. A상과 B상의 순간 전압 파형

4. 결론

본 논문은 복잡한 계산과정이 필요 없는 간단한 N-레벨 NPC인버터의 SVPWM방법을 제안하고 있다. 이 논문에서 제안된 방법은 레벨 수 증가에 따른 까다로운 각도 계산 없이 $\alpha - \beta$ 변환을 통해 간단히 dwell-time을 유도한다. 또한, 각 α 축과 β 축을 움직여 N-레벨의 공간벡터를 2-레벨 공간벡터로 간략화 한다. 이전 방법은 두 가지의 파라미터와 타입으로 일반적인 식을 계산한다. 하지만 본 논문에서 제안한 방법은 타입을 나누거나 복잡한 계산 없이 오직 하나의 식으로 N-레벨 인버터에 적용할 수 있다. 제안된 방법은 시뮬레이션을 통해 검증 하였다.

Reference

- [1] A. Nabae, I.Takahashi, and H. Akagi, "A New neutral-point clamped pwm inverter," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. IA-17, no.5, pp.518-523, Sep/Oct. 1981.
- [2] M.Trabelsi, L.Ben-Brahim, T.Yokoyama, A.Kawamura, R.Kurosawa, T.Yoshino, "An Improved SVPWM Method for Multilevel Inverters," 15th International Power Electronics and Motion Control Conference, 2012 ECCE.
- [3] B.S.Suh, D.S.Hyun, "A New-Level High Voltage Inversion System," IEEE Trans. on Industrial Electronics and Motion Control Conference, 2012 ECCE.
- [4] J.H.Seo, C.H.Choi, and D.S.Hyun, "A new simplified Space-Vector PWM method for three-level inverter," IEEE Trans. Power Electron, vol.16, no.4 pp.545-550 Jul.2001