

# NTV 식별과정 없는 멀티레벨 인버터의 신속한 공간벡터 PWM 변조기법

오진석<sup>\*</sup> · 이종호<sup>\*\*</sup> · 진선호<sup>\*\*\*</sup> · 곽준호<sup>\*\*</sup> · 조관준<sup>\*\*</sup> · 김종도<sup>\*\*\*</sup>

## Fast Space vector PWM modulation of multi-level inverter without NTV identification

Jin-seok Oh<sup>\*</sup>, Jong-ho Lee<sup>\*\*</sup>, Sun-ho Jin<sup>\*\*\*</sup>, Jun-ho Kwak<sup>\*\*</sup>, Kwan-Jun Jo<sup>\*\*</sup>, Jong-Do Kim<sup>\*\*\*</sup>

**Abstract** : this paper suggest a new space vector PWM modulation method with short processing time which does not need idenfication of nearest three vectors(NTV) and duty calculation for each vector. The suggested PWM method makes mean value of phase voltage to be same as reference during every modulation period by use of a triangle in small hexagon on multi-level vector space. This paper described the suggested modulation method can be successfully applied to the space vector modulation use of multi-level inverter by computer simulations and experiments.

**Key words** : H-Bridge Multi-level inverter(H-브릿지 멀티레벨 인버터), space vector PWM modulation(공간벡터 PWM 변조), pole voltage(극전압), phase voltage(상전압)

### 1. 서론

최근 산업계에서 요구하는 전력설비가 점차 대형화 됨에 따라 멀티레벨 인버터의 사용이 증가하고 있다. 멀티레벨 인버터는 다이오드 클램프형, 플라잉 커패시터형, 중첩형 H-브릿지형이 있으며 Fig. 1은 중첩형 H-브릿지 인버터의 기본 구조를 나타낸다.

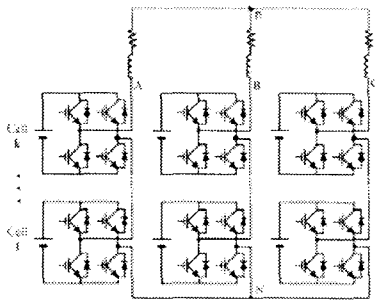


Fig. 1 Basic structure of H-bridge multi-level inverter

전동기의 벡터제어를 위해 사용되는 기존의 공간벡터 PWM 변조기법은 벡터공간상의 기준전압 벡터와 인접한 세 개의 벡터(NTV, Nearest Three Vector), 즉 인접 삼각형을 식별하는 과정을 필요로 하는데 이러한 과정은 마이크로 프로세서에서 많은 연산시간이 소요된다. 본 논문에서는 이러한 NTV의 식별 과정을 생략하고, 1회의 변조 사이클 동안 제어시스템이 요구하는 상전압과 같은 평균전압을 출력하도록 만드는 새로운 방식의 공간벡터 PWM 변조기법을 제안한다.

### 2. 변조기법

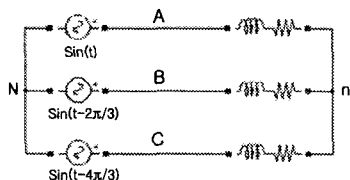


Fig. 2 Ideal condition of 3-phase VSI

Fig. 2와 같이 세 상의 전압이 평형을 이루는 이상적인 평형 3상의 정현파 조건에서 상전압  $V_{An}, V_{Bn}, V_{Cn}$ 은 각각 극전압  $V_{AK}, V_{BK}, V_{CK}$ 과 일치한다. 따라서 특정 시점에서 상전압의 기준값은 식(1)과 같은 극전압으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} V_{aN}^* \\ V_{bN}^* \\ V_{cN}^* \end{bmatrix} = \sqrt{2} V_N^* \begin{bmatrix} \sin(\omega t) \\ \sin(\omega t - 2\pi/3) \\ \sin(\omega t - 4\pi/3) \end{bmatrix} \quad (1)$$

식(1)을 멀티레벨 벡터공간으로 표현하기 위해 단위레벨의 전압으로 나누어 일반화하면 식(2)와 같고, 일반화된 기준전압  $V_N'$ 는 식(3)의 범위 내에서 실수값을 갖는다.

$$\begin{bmatrix} V_{aN}' \\ V_{bN}' \\ V_{cN}' \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2} V_N^*}{V_{cc}} \begin{bmatrix} \sin(\omega t) \\ \sin(\omega t - 2\pi/3) \\ \sin(\omega t - 4\pi/3) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$-\frac{p-1}{2} \leq V_N' \leq \frac{p-1}{2} \quad (3)$$

여기서  $p$ 는 멀티레벨 인버터의 출력 가능한 최대 레벨 수이다. Fig. 3과 같이 변조주기  $T_{cyc}$  동안 기준전압의 평균치를 출력하기 위하여 각 상의 극전압은 Fig. 4와 같은 한번의 스텝을 생성하며  $V_L$ 과  $V_H$ 는 식(4) 및 식(5)와 같다.

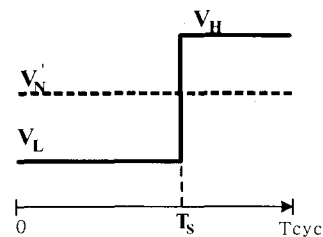


Fig.3 Basic concept

\* 오진석(한국해양대학교 선박전자기계 공학부), E-mail : ojs@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4866

\*\* 한국해양대학교 대학원 메카트로닉스 공학과

\*\*\* 한국해양대학교 대학원 기관시스템공학과

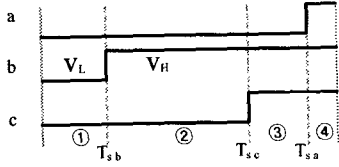


Fig. 4 Step sequence,  $T_{sb} < T_{sc} < T_{sa}$

$$V_L = \text{floor}(V_N') \quad (4)$$

$$V_H = V_L + 1 \quad (5)$$

식(4)의  $\text{floor}(V_N')$ 은  $V_N'$ 보다 작거나 같은 최대 정수를 나타낸다. 그림 4의 각각의 스위칭 시간  $T_S$ 는 변조주기  $T_{cyc}$ 와 함께 식 (6)과 같은 관계를 갖는다.

$$T_S = |V_H - V_N'| \times T_{cyc} \quad (6)$$

### 3. 벡터공간에서의 동작특성

각 상이 가지는  $V_L$ 와  $V_H$ 는 3상 극전압 벡터공간에서 식 (7)과 같은 8개의 벡터를 만들며 이 8개의 벡터는 멀티레벨 벡터공간에서 Fig. 5와 같은 하나의 작은 육각형을 형성한다. 식 (7)의 8개의 벡터에서  $V_0(V_{LLL})$ 과  $V_7(V_{HHH})$ 는 합성벡터의 방향과 크기가 같은 벡터로써 작은 육각형의 중심에 위치하며 전통적인 2레벨 인버터의 원점과 유사하다. 나머지 6개의 벡터는 작은 육각형의 외곽 꼭지점에 위치하며 그 배치는 각 상의 벡터 방향을 따른다.

$$V_{a,b,c} = \begin{bmatrix} V_0 = V_{LLL} \\ V_1 = V_{HLL} \\ V_2 = V_{LHL} \\ V_3 = V_{LLH} \\ V_4 = V_{RHL} \\ V_5 = V_{LHH} \\ V_6 = V_{HLH} \\ V_7 = V_{HHH} \end{bmatrix} \quad (7)$$

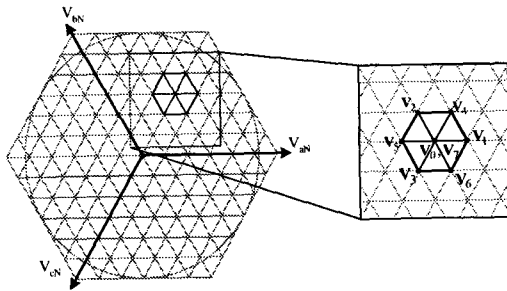


Fig. 5 Small hexagon in multi-level vector space

Fig. 4와 같이 스위칭 시간  $T_S$ 의 크기가  $T_{sb} < T_{sc} < T_{sa}$ 의 관계인 상태의 예를 들면, 처음 세 상 모두  $V_L$  상태, 즉  $V_{LLL}(V_0)$ 에서 출발하여  $T_S$ 가 작은 순서대로 각 상의 양의 방향으로 세 번의 천이를 거쳐 동일한 위치인  $V_{HHH}(V_7)$ 로 되돌아간다. 따라서 Fig. 6의 6개의 작은 육각형 중 하나의 삼각형을 일주하며,  $T_{sb} < T_{sc} < T_{sa}$ 의 관계에 따라  $b \rightarrow c \rightarrow a$  상

의 순서로 +1씩 증가하여 삼각형 Tr3를 일주한다.

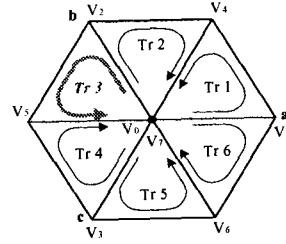
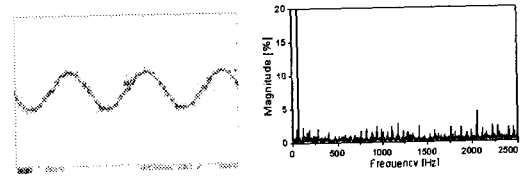


Fig. 6 6-triangles in small hexagon

### 3. 실험 및 고찰



(a) phase voltage,  $V_{An}$  (b) THD,  $V_{An}$

Fig. 7 Experimental results

Fig. 6은 제안한 방법으로 삼상 유도전동기를 구동할 때 a 상의 상전압 및 상전압 THD 분석결과이다. 고조파 성분은 변조주파수 성분인 약 2KHz 부근에서 다소 높게 나타나며 그 외 영역에서는 낮은 고조파 성분을 나타냄을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 NTV의 식별과정 없이 신속하게 공간벡터 PWM 변조를 구현할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안한 변조법은 변조주파수에 따라 결정되는 주기 동안 1회의 극전압 스텝을 이용하여 상전압 기준값과 평균적으로 동일한 값을 출력하는 방법으로서 마이크로프로세서에서 신속한 구현이 가능하며 하드웨어에서의 구현시간을 단축하도록 설계되었다.

### 참고문헌

- [1] Jose Rodriguez and Jih-Sheng Lai and Fang Zheng Peng, "Multilevel Inverters: A Survey of Topology, Controls and Applications", IEEE Transactions on Industrial electronics, Vol. 49, No. 4, pp.724-738, August 2002.
- [2] Keith A. Corzine, "Multilevel Voltage-Source Duty-Cycle Modulation : Analysis and Implementation", IEEE Transactions on Industrial electronics, Vol. 49, No.5, pp.1009-1016, October 2002
- [3] Nikola Celanovic, "Space vector modulation and control of Multilevel inverters", Doctoral thesis, Virginia Polytechnic Institute, 2000 October 2002