

# 고조파 저감을 위한 3-Level 인버터 구동용 PWM 변조법

정연택\*, 이사영\*\*, 이우춘\*\*\*, 김현우\*, 안규복\*, 채희훈\*  
\*명지대학교, \*\*충남전문대학, \*\*\*이리농공전문대학

## The PWM method of 3-Level inverter for harmonic reduction

Yon-Tack Chung\*, Sa-Young Lee\*\*, Woo-Choon Lee\*\*\*,  
Hyun-Woo Kim\*, Kyu-Bock Ahn\*, Heui-Hoon Chai\*  
\*Myong Ji University, \*\*Chung Nam Junior College  
\*\*\* Iri Nat'l College of Agriculture & Technology

### ABSTRACT

The 3-level inverter is applied to the induction motor drive as the voltage type inverter for large power one. This inverter divides the DC link voltage into the two parts and it is supplied to the inverter. The 3-level inverter can reduce the voltage between the each devices, and get more sinusoidal current waveform. This paper presents the new PWM method which can reduce the harmonics. The modulation at the inverter side is implemented using a DSP microprocessor.

### 1. 서론

급속한 산업발전과 함께 유도전동기에 대한 제어 이론 및 우수한 제어장치의 출현에 따라 가변속 분야로 그 사용범위가 확장되는 추세에 있다. 유도전동기의 제어장치로는 주로 전압형 인버터가 사용되고 있지만, 출력전압 및 전류파형에 포함된 고조파로 인하여 적지않은 문제점을 지니게 된다. [1] 즉, 부하로 사용되는 유도 전동기는 인버터 출력측 고조파에 의한 동손 및 철손이 증가되고, 전력회생시 정류회로나 전원계통에 고조파로 인한 장애를 일으키는 원인이 지적되고 있다. [2~3] 또한 전력용 반도체소자의 제한된 정격전압으로 인해 대전력 및 고압 인버터로의 적용이 곤란하여 3-Level 인버터가 높은 신뢰도를 가지고 이용되는 추세이다. [4~5] 고압 인버터로서 이용되는 3-Level 인버터는 종래의 2-Level 인버터와 비교하여 다음과 같은 장점을 갖고 있다. 즉, 인버터의 출력전압 및 전류파형을 정현파에 가깝게 하여 출력측 고조파분을 감소시키

며, DC-link단의 전압을 1/2로 분압시켜 공급함으로써 각 스위칭 소자에 인가되는 역전압을 감소시킨다. 전압형 인버터에 적용되는 근래의 PWM 변조법은  $\mu$ -processor를 이용한 sampling이론에 근거하고 있으며, 삼각파 변조방식, 계산방식(Programmed PWM)등의 PWM 제어기법등이 개발되고 있으며, 최근에는 Delta 변조 및 Hysteresis 제어등의 제어기법들도 실용화되어 PWM 인버터의 고성능화를 이룩하고 있다.

본 논문에서는 3-Level 인버터구동을 위한 펄스폭 변조방식으로 전 구동영역에서 스위칭 주파수를 2[KHz]로 하여 비동기식으로 변조하였으며, 변조시 두번의 sampling을 실시하여 각 sampling 시점에서 원하는 정확한 펄스를 발생시켜 구동시 전압의 오차를 최대한 줄이고자 하였다. 이와같이 함으로써 출력되는 3-Level 인버터의 전류파형은 더욱 정현파에 가깝게 되어 부하측에 인가되는 전압 및 전류파형측에 포함된 고조파 성분을 최대한 줄일 수 있도록 하였다. 제안된 펄스폭 변조방식은 DSP 프로세서에 의해 구현되어 시스템 제어를 위한 연산속도를 향상시킬 수 있도록 하였다. 따라서 이상과 같은 방식으로 Simulation을 수행하였으며 실험을 통하여 이에 대한 타당성을 입증하고자 하였다.

### 2. 동작원리

3-Level 인버터는 전력 스위칭 소자 및 clamp diode가 존재하며, 각 상에 관계된 스위칭 소자가 직렬로 연결되어 각 소자에 인가되는 전압 stress를 1/2로 줄일 수 있도록 하며, neutral point를 형성하도록 하는 캐패시터 뱅크가 있다. 3-Level 인버터의 주회로는 그림 1과 같다.

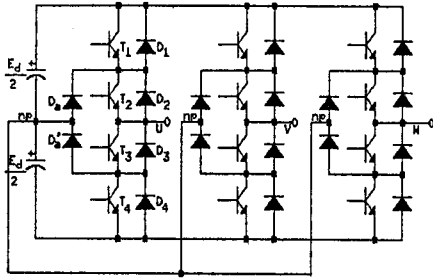
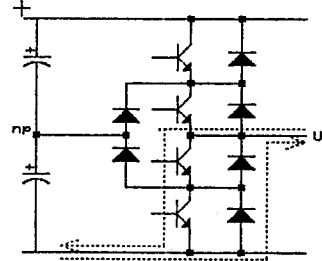


그림 1. 3-Level 인버터의 주회로

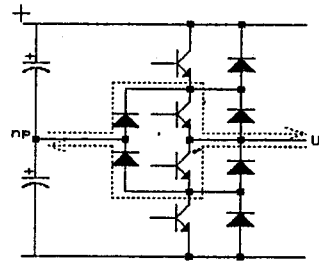
Fig.1 Main Circuit of 3-Level Inverter

스위치  $T_2, T_3$  는 다이오드  $D_a, D'_a$  와 함께 *neutral point* 전위로  $a$  상의 출력전압을 *clamp* 시키는데 이용된다.  $a$  상에 대하여 가능한 스위칭 조합은  $(T_1, T_2)$  와  $(T_2, T_3)$  그리고  $(T_3, T_4)$  가 된다. 따라서  $a$  상의 전위는 *neutral point* 에 대하여  $+\frac{E_d}{2}, 0, -\frac{E_d}{2}$  의 전위를 유지하게 되고, 선간전압  $V_{\omega}$  ( $V_a - V_b$ ) 의 level은  $+E_d, +\frac{E_d}{2}, 0, -\frac{E_d}{2}, -E_d$  의 level을 유지하게 된다. 그러나  $(T_1, T_3)$  와  $(T_2, T_4)$  그리고  $(T_1, T_2, T_3)$  와  $(T_2, T_3, T_4)$  가 ON이 되는 구간은 존재하지 않는다.

3-Level 인버터의 동작을 다음의 모드로 구별하면 다음 그림 2와 같다.



(c) Mode 3



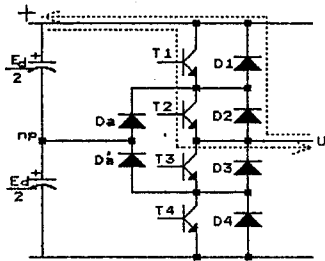
(d) Mode 4

그림 2. 동작 모드

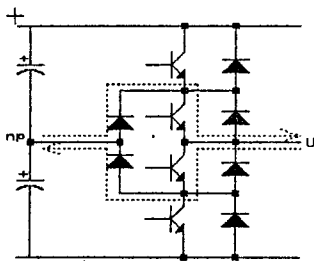
Fig. 2 Operation Mode

모드 1은  $T_1, T_2$  가 ON상태이고,  $D_1, D_2$  가 ON상태일때로서 출력전압이  $+E_d$  의 전위를 유지하게 되고, 모드 2에서는  $T_2, T_3$  가 ON상태이며,  $D_a, D'_a$  가 ON상태일때로서 중성점  $N$  의 전위를 유지하게 된다. 또한 모드 3은  $T_3, T_4$  가 ON상태이며,  $D_3, D_4$  가 ON상태일때로서  $-E_d$  의 전위를 갖게되며, 모드 4에서는 다시 중성점  $N$  의 전위를 갖게되어 3-Level의 출력전압 형태를 유지하게 된다.

### 3. PWM 변조법



(a) Mode 1



(b) Mode 2

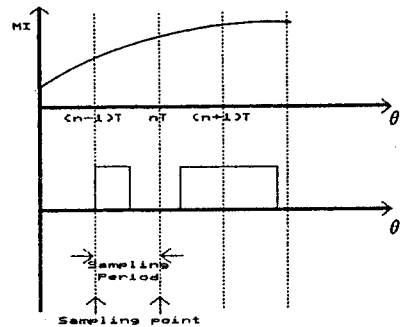


그림 3. 제안된 PWM 변조법

Fig. 3 The proposed PWM method

그림 3과같이 제안된 PWM변조법에 의해 두번의 *sampling*을 실시하여 *sampling* 시점에서의 변조비와 기준전압의 비가 같도록 한개의 펄스를 발생시킨다. 전원측 및 부하측의 상전압과의 관계는 식 (1)을 만족한다.

$$e_a = S_1 E_{dc} MI \left[ \sum_{k=odd}^n KT \sin(\theta + KT) + \sum_{k=even}^n KT (1 - \sin(\theta + KT)) \right] \quad (1)$$

여기서  $e_a$ 는 상전압,  $S_1$ 는 스위칭 함수(1,0,-1),  $MI$ 는 변조율,  $K$ 는 시간에 따른 변수이다.

#### 4. 제어기 구성

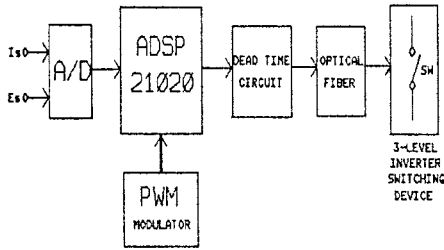


그림 4. 제어기 구성도.

Fig. 4 The Block Diagram of Controller.

본 논문에서 제안된 제반사항을 확인하기 위한 제어기 구성은 그림 4와 같으며 복잡한 제어 알고리즘을 정확히 수행하기 위하여 Analog Device사의 ADSP 21020을 CPU로 하여 부동소수점 연산을 수행하도록 하였다. 또한 DSP내부에는 Timer가 1개 뿐이므로 3상분 PWM 신호를 발생시키기 위해 별도의 Timer를 추가하였고, 상하 스위칭소자의 오점호를 방지하기 위하여 16[μs]의 dead time회로를 추가하였으며, 부하측에 공급되는 전압 및 전류분을 각각 궤환시켜 제어회로를 구성하였다.

#### 5. 시뮬레이션

이상과 같은 PWM 변조방식을 이용하여 3-LEVEL 인버터 구동하였을때 출력되는 선간전압 파형에 대한 시뮬레이션 및 고조파 분석을 실시한 결과 아래와 같은 파형을 얻을 수 있었다.

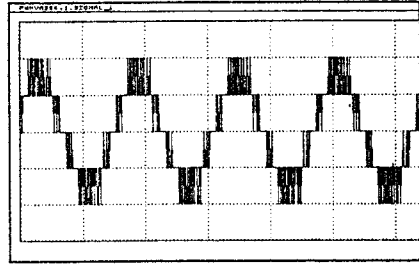


그림 5. 선간전압파형 ( $V_{ab}$ )

Fig. 5 line to line voltage waveform ( $V_{ab}$ )

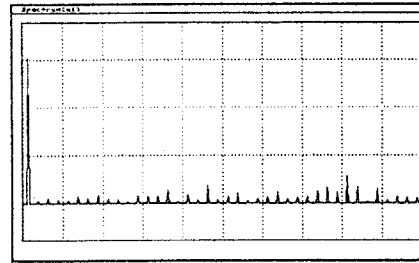


그림 6. 고조파 분석

Fig. 6 Spectrum analysis

#### 6. 실험결과 및 검토

그림 7은 제안된 방식의 PWM 변조법을 이용하여 시스템을 구동한 결과 출력되는 선간전압 파형을 나타내고 있으며, 양호한 파형을 보이고 있다.

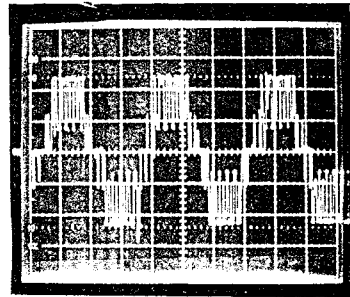


그림 7. 인버터 출력전압파형

#### 7. 결론

본 연구에서는 3-level 인버터를 구동하기 위한 PWM 변조방식에 대한 연구로서 *sampling* 시점에서 보다 정확한 변조를 실시하여 정현파에 가까운 전압 및 전류파형을 얻었으며, 출력측에 포함된 고조파를 감소시켜 부하측에 양호한 전력을 공급하도록 하였다. 또한 본 시스템을 위한 컨트롤러로서 DSP

마이크로 프로세서를 이용하여 보다 정확하고 신속한 변조가 될 수 있도록 하였다. 이상과 같은 PWM 발생원리를 기본으로하여 고압 대전력용 인버터로서 이용될 수 있도록 더욱 적절한 전력용 스위칭 소자를 선택하고, 시스템 운전시에 발견되는 기타의 문제점들을 해결하여 보다 안정한 운전을 할 수 있는 제어기를 구성하고 있다.

#### 참 고 문 헌

1. Jurgen K. Steinke, "Switching Frequency Optimal PWM Control of a Three-Level Inverter," IEEE PP. 487~496, VOL 7, NO. 3, JULY 1992.
2. H.L.Klaver, "Control of the neutral point of a three-level inverter." EPE PP. 3-278~3-281 1991.
3. B.Velaerts, P.Mathys, " New developments of 3-level PWM strategies." EPE PP. 411~416 1989
4. G.Lipphardt. " Using a three-level GTO voltage source inverter in a HVDC transmission system." EPE pp. 151~155 1993.
5. Jurgen K.Steinke, "Switching frequency Optimal PWM control of a three-level inverter." EPE PP 1267~1271 1989.