

## 새로운 제로 전압 스위칭 PWM 인버터

郭 東杰\* 李 鉉雨\* 徐 基永\* 權 純杰\* 禹 靖仁\*\*

\*慶南大學校 \*\*東亞大學校

## New Zero-Voltage-Switching PWM inverter

\*Dong-Kurl Kwak \*Hyun-Woo Lee \*Ki-Young Suh \*Soon-Kurl Kwon \*\*Jung-In Woo

\*KyungNam University \*\*Dong-A University

### Abstract

In this paper, the authors propose a so-called new zero voltage switching circuit topology and an improved PWM strategy. In order to minimize voltage stress in dc-ac high switching frequency power conversion, the proposal circuit is used as interface between DC voltage supply and the PWM inverter. The new ZVS circuit provide PWM inverter with a short zero voltage period in the dc link just before inverter switches operate.

By using the proposed modulating signal (transformational sinewave) and carrier signal (sawtooth wave), the amplitude of the fundamental component is increased about 15 percent more than that of a conventional sinusoidal modulating signal and triangular carrier signal, the switching losses is reduced.

Some simulative results on computer are included to confirm the validity of the analytical results.

### 1. 서론

종래의 PWM 인버터는 하-드 스위칭에 의한 스위칭 손실의 발생, 스위칭 소자의 가열, 고조파의 발생등의 문제점들이 나타나고 있다. 이것을 개선하기 위하여 공진 DC-Link 부를 부여한 소프트 스위칭 즉, 제로 전압 스위칭 (ZVS, Zero-Voltage-Switching), 제로 전류 스위칭 (ZCS, Zero-Current-Switching) 방식 인버터들이 제안되고 있지만 1)~3) 공진 용 소자들의 용량 부담이 크며 공진 링크부의 스위칭 소자

의 수가 증가하므로 스위칭의 시퀀스가 복잡한 것이 문제가 되고 있다 4)~6). 본 논문에서는 간단한 회로 구성과 소자들의 적정 배치에 의한 스위칭 동작과 ZVS 방식을 제안한다. 또한 PWM 기법에 있어서도 종전의 삼각파 캐리어 신호와 정현파 변조신호를 대신해서 톱니파 캐리어 신호와 변형 정현 변조신호를 사용하므로 해서 1주기 동안의 전류(轉流) 회수를 감소 시키고 출력 기본파형을 15[%] 증가 시키며 또한 각상의 스위칭 단계 있어서 1/3주기 동안의 유지 기간에 의해 스위칭 스트레스를 더욱 감소시킬 수 있다.

### 2. 회로 구성과 제어 원리

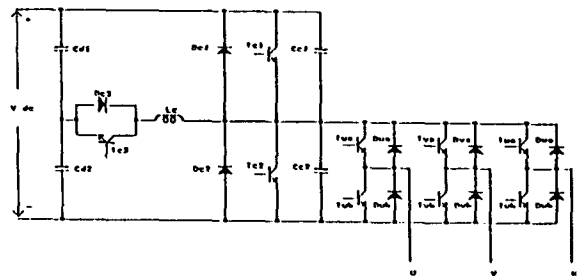


그림 1. 제로 전압 스위칭 PWM 인버터

그림 1에 회로 구성을 나타낸다. 본 회로는 PWM 인버터의 입력부에 ZVS 회로를 접속하고 3상 인버터의 스너버를 전부 제거한 간단한 구성으로 되어 있다.

PWM 인버터에 사용한 AC 필터의 인덕턴스가 공진용 인덕턴스와 비교하여 충분히 큰것으로 가정하면 PWM 인버터는 정전류인  $I_c$ 로 보는 것이 가능하다. 그 동작은 ZVS 회로부의 콘덴서  $C_c$ 의 전압이 제로로 될때 PWM 인버터의 스위치  $T_{ua}, T_{ub}, \dots, T_{wb}$ 를 ON·OFF 동작시키므로 PWM 인버

터는 ZVS를 실현한다. 또한 ZVS 회로부 자체에 있어서도 Lc, Cc1, Cc2의 공진에 의하여 ZVS 동작을 시키는 것이 가능하다.

### 3. 인버터부의 PWM 기법과 특징

PWM 방식에서 출력파형에 포함되는 불요 주파수 성분을 적게하기 위해서 삼각파의 캐리어신호와 정현파 변조신호와 비교 출력신호로써 인버터를 동작시킬 경우에 최적이라고 일반적으로 알려져 있다. 그림 2에 이들 파형 해석을 나타내고 있다. 이 신호들에 의한 출력파형을 복소 이중 푸리에 급수로 풀어 나타내 보면

$$\begin{aligned}
 V_{uv}(\omega_b t, \omega_s t)/E &= (\sqrt{3}/2)M \sin(\omega_s t + \pi/6) \\
 &+ \sum_{m=1,3,\dots}^{\infty} \sum_{n=\pm 2, \pm 4, \dots}^{\pm \infty} \{4J_{1n1}(v/2)/\pi m\} \\
 &\times \sin(n\pi/6) \cos\{m(\omega_b t + \pi/2) + n(\omega_s t + \pi/6)\} \\
 &+ \sum_{m=2,4,\dots}^{\infty} \sum_{n=\pm 1, \pm 3, \dots}^{\pm \infty} \{4J_{1n1}(v/2)/\pi m\} \\
 &\times \cos(n\pi/6) \sin\{m(\omega_b t + \pi/2) + n(\omega_s t + \pi/6)\} \\
 &\dots \dots \dots (1)
 \end{aligned}$$

로 된다.

- 여기서,  $M \leq 1$  ( $M = E_s/E_b$ ; M은 변조도임)  
 $E_s$ : 정현파 변조신호의 진폭치  
 $E_b$ : 삼각파 캐리어 신호의 진폭치  
 $\omega_s$ : 변조신호의 주파수  
 $\omega_b$ : 캐리어 신호의 주파수  
 $J_{1n1}(v/2)$ : 벵셀 함수  
 $v = m\lambda r$

선간전압  $V_{vw}$ ,  $V_{uv}$ 는 (1)식의  $\omega_s t$ 를 대신해서  $\omega_s t - 2\pi/3$ ,  $\omega_s t - 4\pi/3$ 을 대입해서 얻을 수 있다. 그러나 이 종래의 방식은 출력 기본파성분이 직류 전원전압에 대해 비교해서 삼상 선간전압이 최대 0.866으로 적게 되고  $\omega_b$ 와  $\omega_s$ 의 합 및 차의 주파수를 가지는 불요 주파수 성분이 나타난다.

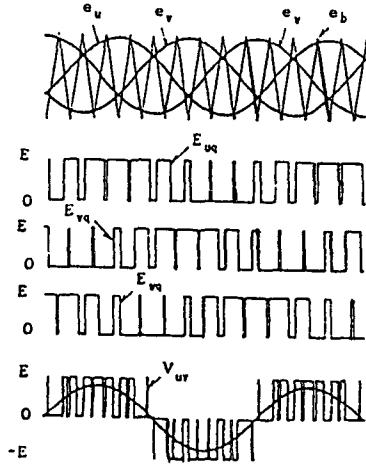


그림 2. 정현파 변조신호에 의한 삼상 PWM 인버터 파형

인버터에 있어서는 직류 전원전압의 유효이용 및 인버터에 이용되는 소자의 내압경감의 면에서 인버터의 출력 기본파 성분 진폭치가 직류 전원전압에 대해서 비교될 정도로 클 필요가 있다.

이것을 개선하기 위해서 그림 3과 같은 본 논문에서 제안한 변형 정현파 변조신호와 톱니파 캐리어 신호를 이용해서 해석을 하여 보면 선간전압의 출력파형은 다음의 식으로 표현된다.

$$\begin{aligned}
 V_{uv}(\omega_b t, \omega_s t)/E &= M \sin \omega_s t \\
 &+ \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=\pm 1}^{\pm \infty} A_{mn} \sin(m\omega_b t + n\omega_s t) \dots \dots (2) \\
 A_{mn} &= 2(-1)^m \left[ \frac{1 - (-1)^n}{3\pi m} \right] J_{1n1}(v) \{1 + \cos(n/3)\pi\} \\
 &- (-1)^{n+m} \frac{4/\pi^2 m}{3} \times \sin \frac{|n|}{3} \pi \sum_{k=1,3,\dots, k \neq \pm n}^{\pm \infty} J_k(v) \\
 &\times \frac{k}{(k+n)(k-n)} \left[ 2 \sin \frac{k}{6} \pi \sin \frac{k}{2} \pi - 1 \right] \\
 &\dots \dots \dots (3)
 \end{aligned}$$

앞서의 방식과 비교해서 그 출력 기본파 성분을 15% 증가시킬 수 있고 또한 1/3주기 동안의 유지 기간이 나타남으로 스위칭 손실이 감소하고 소자의 가열을 경감할 수 있다. 고조파 성분에 있어서도 3n차 조파성분이 나타나지 않아 적당

한 저역 필터에 의한 기본파와 불요 주파수 성분을 분리시킬 수가 있다.

그림 4와 같이 캐리어파를 삼각파에서 톱니파로 하는 것이므로 1주기의 전류(轉流)회수를 10회에서 6회로 감소시키는 것이 가능하고 따라서 스위칭 손실도 감소하게 된다.

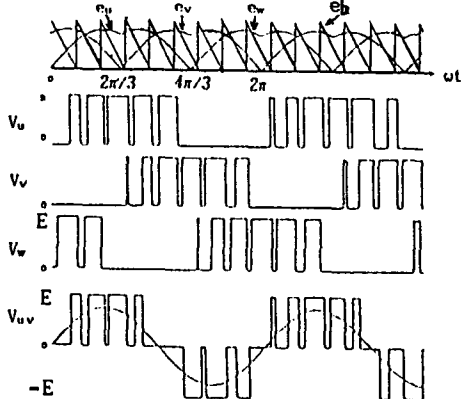
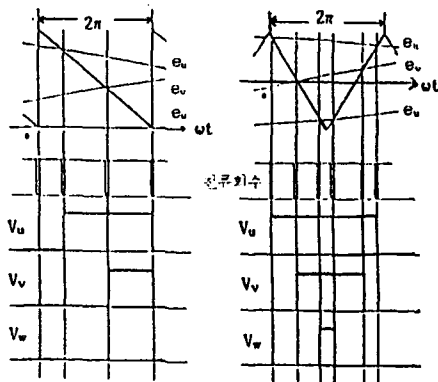


그림 3. 제한한 삼상 PWM 펄스의 발생 원리



(a) 제한된 방식 (b) 정현파 PWM

그림 4. 전류(轉流)회수의 비교

#### 4. 새로운 ZVS 회로부의 동작 원리

그림 5에 ZVS 회로부의 동작 모-드를 나타낸다. ZVS 회로부의 정상상태로써는  $T_{c1}$ 이 온,  $T_{c2}$ ,  $T_{c3}$ ,  $D_{c1}$ ,  $D_{c2}$ 가 오프,  $V_{c2}$ 가 전원전압으로 인가되어지며  $T_{c1}$ 을 통해서 정전류  $I_c$ 가 흐르는 것이 된다.

(모-드 a) 정상상태 : 초기상태

(모-드 b)  $T_{c3}$ 가 온하므로 전위가 낮은  $C_{d1}$ ,  $C_{d2}$ 에 전류가 유입되어  $L_c$ 에 에너지가 축적된다.  $I_{Tc1}$ 은  $I_c$ 를 일정량으로

흐르게 하므로 증가한다.

(모-드 c)  $T_{c1}$ 을 오프하면  $I_{Lc}$ 는 전류를 보유하기 위해  $C_{c2}$ ,  $C_{c1}$ 에서 전하가 공급되고  $V_{c1}$ 은 전원전압으로  $V_{c2}$ 는 제로로 되어진다.

(모-드 d)  $V_{c2}$ 가 제로로 되면  $D_{c2}$ 가 온한다.

(모-드 e) 그 즉시에  $I_{Lc}$ 가 감소해서 제로로 되어 역으로 흘러 나오고  $T_{c3}$ 을 오프 시킨다.

(모-드 f)  $I_{Lc}$ 가 정전류  $I_c$ 보다 크게되면 바로 직전에 온하여 도통하고 있는  $T_{c2}$ 로 유입 되어진다.

(모-드 g)  $T_{c2}$ 를 오프하면  $C_{c2}$ ,  $C_{c1}$ 에서 전하가 공급되고  $V_{c2}$ 는 전원전압으로  $V_{c1}$ 은 제로로 되어진다.

(모-드 h)  $V_{c1}$ 이 제로로 되면  $D_{c1}$ 이 도통한다.

(모-드 i) 서서히  $I_{Dc1}$ 은 감소해서 정전류  $I_c$ 보다 작게 되면 바로 직전에 온하여 도통하고 있는  $T_{c1}$ 으로 유입 되어진다. 그 즉시에  $I_{Lc}$ 가 제로로 되고 (모-드 a)상태로 되돌아 간다.

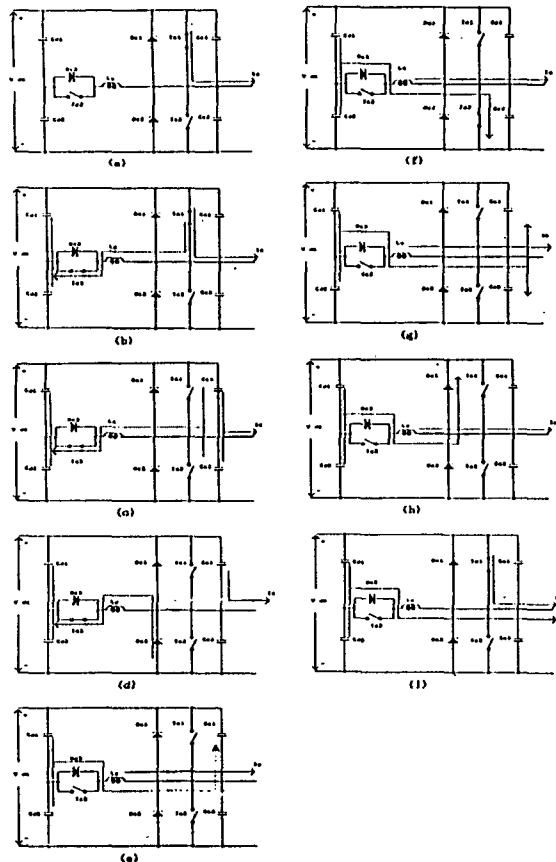


그림 5. 전류(轉流)방식

## 5. 시뮬레이션 결과

전원전압:100[V], 공진주파수:25[KHz], 정전류  $I_c:5[A]$ 로 한 결과를 그림 6에 나타내었다.

제로 전압 회로부, 인기에 입각해서 시뮬레이션 동작이 되는 것이 확인 되어진다. 또한 스위칭이 ZVS로 되는 것도 확인할 수 있다.

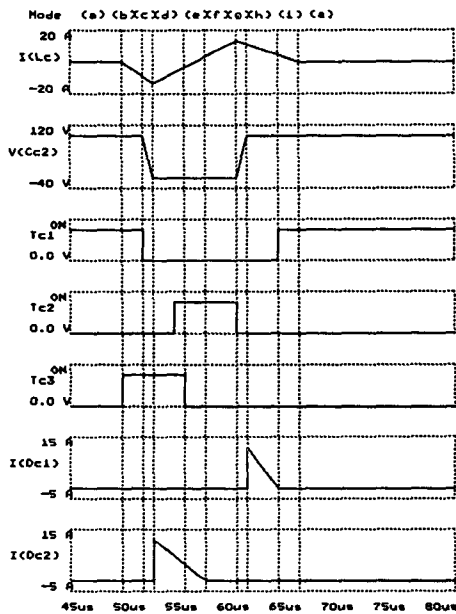


그림 6. 스위칭 한 사이클에 대한 전류(轉流)파형

## 6. 결론

간단한 회로구성과 제어동작에 의한 참신한 제로 전압 스위칭 회로를 제안해서 ZVS 회로부의 동작 모드에 대해 세부적인 이론적 해석을 하였고 계산기 시뮬레이션에 의한 회로동작을 확인 하였다. 또한 PWM 인버터의 스위칭 기법에 대해서도 세련되고 개선된 PWM 기법을 제시하여 그 유용함을 증명해 보았다.

## 참 고 문 헌

- (1) R.W.DeDonker, J.P.Lyons : "The Auxiliary Resonant Commutated Pole Converter", IEEE-IAS Conference Proceedings 1990, 1228/1235(1990)
- (2) W.McMurray : "Resonant Snubbers with Auxiliary Switches", IEEE-IAS Conference Proceedings 1989, 829/834 (1989)
- (3) Jin He, N.mohan : "Paralel Resonant DC Link Circuit - A Novel Zero Switching Loss Topology with Minimum Voltage Stresses", IEEE Trans., PE-6, No.4, 687/694 (1991)
- (4) 青木 : 「제로 전압 스위칭 PWM 인버터」, 電氣學會全國大會, 542(平4-4)
- (5) 谷口 入江 : 「三相正弦波 PWM 인버터에 관한 變調信號」, 電學論B, 105-10, 880/886 (昭和60)
- (6) 郭東杰, 李鉉雨, 權純杰, 徐基永, 禹靖仁 : 「共振 DC-Link 인버터의 共振 初期電流의 補償에 관한 研究」, 大韓電氣學會 夏季 學術大會 論文集(B), pp.1136-1141 (1992)