

## 2-leg 3상 PWM 인버터의 출력전압에서 직류링크 리플 전압의 영향 보상

김영신, 이동춘, 석출기  
 영남대학교 전기공학과

### Compensation of Effects of DC-Link Ripple Voltages on Output Voltage of Two-leg Three-Phase PWM Inverters

Young-Sin Kim, Dong-Choon Lee, Jul-Ki Seok  
 Dept. of Electrical Eng. Yeungnam Univ.

#### ABSTRACT

In this paper, a compensation scheme for the effect of dc-link ripple voltages on output voltage of two-leg and three-phase PWM inverters is proposed, without which compensation scheme the three-phase output voltage and current are much distorted. The proposed scheme has been verified by experimental results.

#### 1. 서론

6개의 스위치로 구동되는 단상-3상 ac/dc/ac PWM 컨버터는 삼상 전원과 12개의 스위칭 소자로 구성되는 일반적인 back-to-back 형태의 ac/dc/ac PWM 컨버터보다 스위칭 소자 수를 감소시켜 비용 및 부피를 줄일 수 있다. 입력 단상전원으로부터 3상 전원을 얻기 위해 사용되는 PWM 정류기는 직류출력전압을 제어할 수 있고, 입력 전류를 정현적으로 제어할 수 있다. 뿐만 아니라 역률 1제어와 양방향전력제어가 가능한 장점이 있다<sup>[1]</sup>. 단상 PWM 정류기와 2-leg 인버터 사이에 연결된 두 개의 직류 링크단의 전압리플 때문에 3상 출력 전압에 왜곡이 발생하고 이에 따라 출력 전류가 많이 왜곡된다<sup>[2][3]</sup>. 일반적으로 2-leg 인버터로 3상 전동기를 구동하기 위해 사용되는 공간벡터 PWM은 각 벡터에 따라 도통시간을 결정하기 때문에 계산이 복잡해지는 단점이 있다<sup>[4]</sup>.

본 논문에서는 단상 반파 PWM 컨버터와 2-leg 3상 PWM 인버터에서 직류링크단의 전압 리플이 출력 전압에 미치는 영향을 분석하고 이를 보상하기 위한 알고리즘을 유도하고 실험을 통하여 그 타당성을 검증한다.

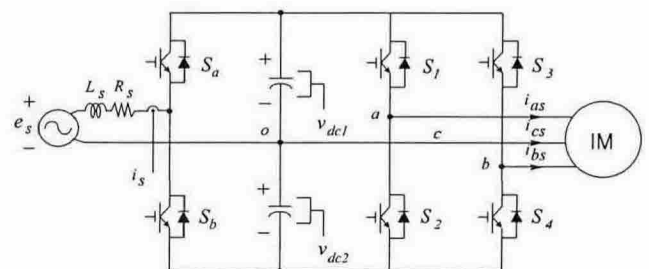


그림 1 단상-3상 ac/dc/ac PWM 컨버터  
 Fig. 1 Single-phase to three-phase PWM converter

#### 2. Ac/dc/ac PWM 컨버터

그림 1은 단상-3상 ac/dc/ac PWM 컨버터의 전력회로도를 나타낸다. PWM 컨버터가 갖는 장점을 그대로 유지하면서도 기존의 회로에 비해 스위칭 소자 수를 감소시켜 비용 및 부피를 줄일 수 있다. 전원 전압을 추정하여 전원 전압센서를 제거하였다. 또한  $v_{dc1}$ 과  $v_{dc2}$ 의 균등한 전압제어와 중성점 전압리플 제거를 위해  $v_{dc1}$ 과  $v_{dc2}$ 의 차이를 전류 제어부로 전향보상(feed forward)하였다<sup>[1]</sup>.

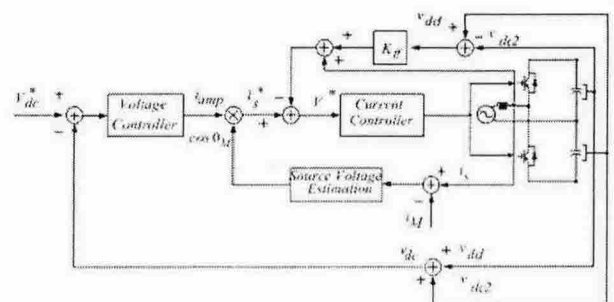


그림 2. 단상 반파 PWM 정류기의 전체 제어 블록도  
 Fig. 2. Overall control block diagram of single-phase half-bridge PWM converter

### 3. 2-leg 인버터

3상 유도전동기가 부하인 경우, 상전압 지령치는 다음과 같다.

$$v_{as} = V_m \cos \omega t \quad (1)$$

$$v_{bs} = V_m \cos(\omega t - \frac{2}{3} \pi) \quad (2)$$

$$v_{cs} = V_m \cos(\omega t + \frac{2}{3} \pi) \quad (3)$$

상전압 지령치를 선간 전압 지령치로 바꾸어 주면 다음과 같다.

$$v_{ac} = v_{as} - v_{cs} = \sqrt{3} V_m \cos(\omega t - \frac{\pi}{6}) \quad (4)$$

$$v_{bc} = v_{bs} - v_{cs} = \sqrt{3} V_m \cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (5)$$

새로운 선간 전압 지령치는 상전압 지령치에 비해 크기는  $\sqrt{3}$ 배 커지고 두 전압 지령치간의 위상차는  $\pi/3$ 가 된다. 이 전압 지령치를 간소화된 스위칭 기법을 이용하여 도통 시간을 구하면 다음과 같이 표현된다<sup>[4]</sup>.

$$T_1 = \frac{T_s}{2} + \frac{v_{a}^*}{v_{dc}} T_s \quad (6)$$

$$T_2 = \frac{T_s}{2} + \frac{v_{bc}^*}{v_{dc}} T_s \quad (7)$$

식(6)과 (7)은 직류 링크단 전압  $V_{d1}$ 과  $V_{d2}$ 가 동일한 이상적인 경우의 도통 시간이다. 두 직류 링크단 전압의 차와 데드타임의 영향으로 출력전압의 오차가 발생하고 출력 전류에 불평형과 왜곡이 나타난다. 이를 보상하기 위해 한 샘플링 주기 동안의 출력전압을 고려하여 보상 시간을 계산한다.

출력 전압  $v_{ac}$ 와  $v_{bc}$  각각의 평균값을 계산하면 다음과 같다.

$$\overline{V_{ac}} = (T_1 v_{d1} - T_s \frac{v_{d1}}{2}) / T_s \quad (8)$$

$$\overline{V_{bc}} = (T_2 v_{d1} - T_s \frac{v_{d1}}{2}) / T_s \quad (9)$$

실제로는  $V_{d1}$ 과  $V_{d2}$ 는 같지 않고 맥동하기 때문에 실제 인가되는 출력 전압을 계산하면 식(10), (11)과 같다.

$$\overline{V_{ac}} = (T_1 v_{d1} - T_s v_{d2}) / T_s \quad (10)$$

$$\overline{V_{bc}} = (T_2 v_{d1} - T_s v_{d2}) / T_s \quad (11)$$

원하는 출력 전압과 실제 출력전압의 평균값이 동일해지는 보상 전압을 계산하면 다음과 같다<sup>[5]</sup>.

$$v_{amp} = \overline{V_{ac}} - \overline{V_{ac}} = \overline{V_{bc}} - \overline{V_{bc}} = \frac{v_{d2} - v_{d1}}{2} \quad (12)$$

따라서 보상 전압을 고려하여 도통시간을 계산하면 식(13), (14)와 같다.

$$T_1^i = \frac{T_s}{2} + \frac{(v_{a}^* + 0.5(v_{d2} - v_{d1}))}{v_{dc}} T_s \quad (13)$$

$$T_2^i = \frac{T_s}{2} + \frac{(v_{bc}^* + 0.5(v_{d2} - v_{d1}))}{v_{dc}} T_s \quad (14)$$

위 식에서 계산한 도통시간은 전압센서가 이상적인 경우이다. 만약 전압센서에 옵셋이나 스케일링 오차가 존재할 경우에는 출력전압에 그 영향이 미치게 된다.

그림 3은 데드타임을 포함한 출력전압 펄스를 나타낸다. 직류링크단의 차이에 상관없이 전류의 극성이 양일 때는 온 시퀀스에서 데드타임만큼 출력전압에 영향을 주고 오프 시퀀스에는 영향을 주지 않는다. 전류의 극성이 음 일때는 그 반대 경우가 발생한다. 따라서 일반적인 3-leg 인버터에서 적용되는 데드타임 보상을 그대로 적용할 수 있다.

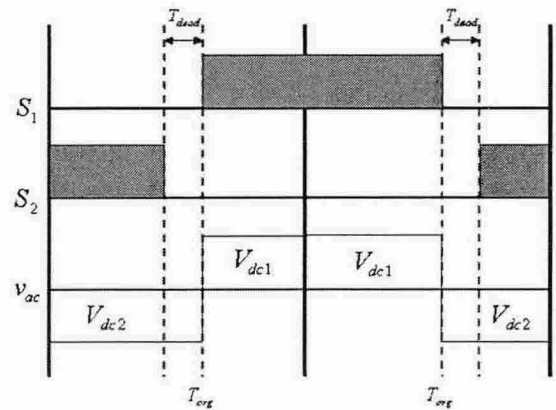


그림 3.  $i_a > 0$ 일 때  $v_{ac}$  출력전압  
Fig. 3 Output  $v_{ac}$  voltage for  $i_a > 0$

### 4. 실험 결과 및 검토

단상-3상 ac/dc/ac PWM 컨버터를 사용하여 V/F 일정 전압 제어로 구동시킨 3상 유도전동기의 전류를 보여준다.

그림 4와 5는 3상 유도전동기를 10Hz로 구동시켰을 경우의 전류 파형이다. 그림 4(a)는 어떠한 보상도 포함하지 않은 경우의 전류 파형으로 직류 링크 전압의 리플과 데드 타임의 영향으로 불평형과 왜곡이 발생하는 것을 볼 수 있다. 그림 4(b)는 직류 링크 전압의 리플만을 보정한 전류 파형으로 그림 4(a)보다는 불평형이 작지만 여전히 데드타임에 의한 왜곡이 발생하는 것을 알 수 있다. 그림 5(a)는 데드타임만을 보정한 전류 파형이다. 전류의 왜곡은 다소 없어졌지만 여전히 불평형을 보인다. 이는 데드타임 보상만으로는 전류 왜곡과 불평형을 완전히 해결할 수 없음을 보인다. 그림 5(b)는 데드타임과 직류 링크단의 리플 전압을 보정한 전류 파형이다. 3상 전류가 불평형과 왜곡된 성분이 완전히 해결된 것을 볼 수 있다. 그림 6과 7은 RL 부하일 경우에 전류 파형으로 역시 직류 링크단의 전압을 보상을 하면 전류의 불평형과 왜곡이 제거되는 것을 볼 수 있다.

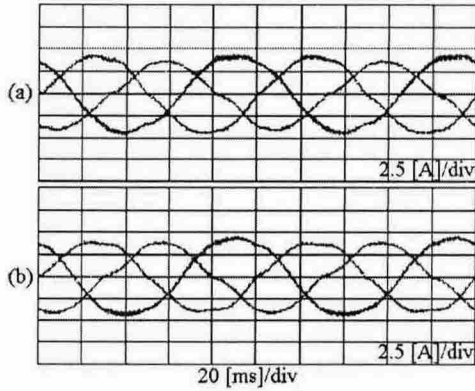


그림 4 유도기 부하 전류 (10 Hz)  
(a)보상 안함 (b)직류 링크단 리플만 보상

Fig 4. Load current of IM (10 Hz)

(a)no compensation, (b)only dc link ripple compensation

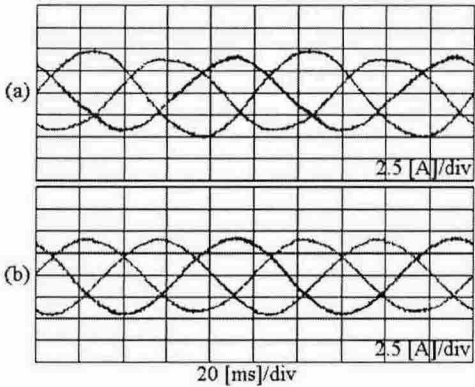


그림 5 유도기 부하 전류 (10 Hz)

(a)  $T_{dcut}$ 만 보상 (b)직류 링크단 리플과  $T_{dcut}$ 보상

Fig 5. Load current of IM (10 Hz) (a) only  $T_{dcut}$  compensation, (b)dc link ripple voltage and  $T_{dcut}$  compensation

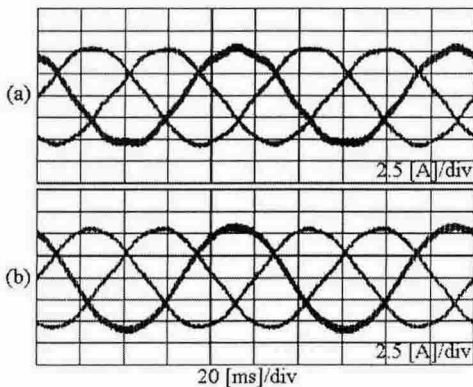


그림 6 RL 부하전류 (10Hz)

(a)  $T_{dcut}$ 만 보상 (b)직류 링크단 리플과  $T_{dcut}$ 보상

Fig 6. RL load current (a) only  $T_{dcut}$  compensation, (b) dc link ripple voltage and  $T_{dcut}$  compensation

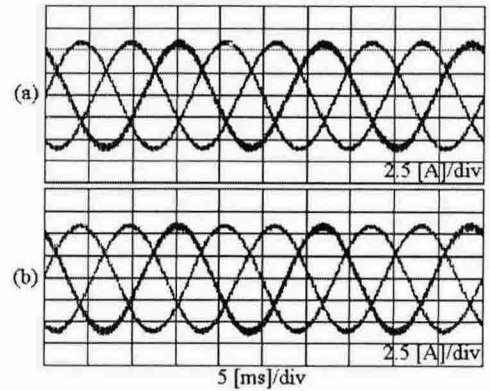


그림 7 RL 부하 전류(60 Hz)

(a)  $T_{dcut}$ 만 보상 (b)직류 링크단 리플과  $T_{dcut}$ 보상

Fig 7. RL load current(60 Hz)

(a)only  $T_{dcut}$  compensation, (b)dc link ripple and  $T_{dcut}$  compensation

## 5. 결론

단상-3상 ac/dc/ac 컨버터 시스템을 구동하기 위해 간략화된 스위칭 기법을 이용하여 기존의 공간 벡터 PWM 기법보다 간단하게 도통시간을 계산할 수 있다. 직렬로 연결된 두 직류 링크단의 전압의 리플이 출력 전압에 오차를 발생시키는 것을 한 샘플링 주기 동안의 평균치를 이용하여 보상이었다. 이는 단상-3상 변환 2-leg IGBT 인버터 시스템에 적용한 실험을 통해 그 타당성이 입증되었다.

본 연구는 산업자원부 지원에 의하여 기초전력연구원(과제 번호:R2005-B-109)주관으로 수행된 과제임.

## 참고 문헌

- [1] T. Y. Kim, G. M. Lee, D. C. Lee, and J. K. Seok, "Low-cost single-phase to three-phase ac/dc/ac pwm converters for induction motor drives", Trans. of KIPE, Vol. 7, no. 3, 2002.
- [2] Frede Blaabjerg, Dorin Neacsu and John K. Pedersen, "Adaptive SVM to compensate dc-link voltage ripple for component minimized voltage source inverters," IEEE PESC, Annual, Vol. 1, 1997.
- [3] Gi-Taek Kim, Thomas A. Lipo, "VSI-PWM Rectifier/Inverter System with a Reduced Switch Count" IEEE Trans on IA, Vol. 32, No. 6, 1996.
- [4] C. B. Jacobina and M. B. R. Correa, "Induction Motor Drive System for Low-Power Application," IEEE Trans. on IA, Vol. 35, No. 1, 1999.