

폴전압을 이용한 SVPWM 인버터의 과변조 기법

한 대 응, 김 상 훈, 송 영 신*, 이 은 규*
 강원대학교 전기전자정보통신공학부, 우진산전(주) 연구개발팀*

An Overmodulation Strategy for SVPWM Inverter Using Pole Voltage

Dae-Woong Han, Sang-Hoon Kim, Young-Sin Song, and Eun-Kyu Lee
 Dept. of Electrical and Computer Engineering, Kangwon National Univ.
 Woojin Industrial Systems*

ABSTRACT

In this paper, a novel overmodulation strategy for space-vector PWM(SVPWM) inverters to utilize dc link voltage fully is presented. The proposed strategy uses the concept of SVPWM based on the zero sequence signal(offset voltage) injection principle. So, by modifying the pole voltage simply, the linear control of inverter output voltage over the whole overmodulation range can be achieved easily. The validity of the proposed strategy is confirmed by the experimental results.

1. 서 론

직류 입력 전원으로부터 3상 교류 출력 전압을 발생하는 3상 전압형 PWM(Pulse Width Modulation) 인버터는 모터구동, UPS등과 같은 응용에 폭넓게 사용되고 있다. 여러 가지 PWM 방법 중에서 공간벡터 전압 변조방식에 의한 PWM(SVPWM: Space Vector Pulse Width Modulation)은 고정된 스위칭 주파수를 갖고 주어진 직류단 전압을 최대한 이용할 수 있으며 정상상태에서의 고조파 왜율이 기존의 다른 PWM방법보다 작은 것으로 알려져 있다^[1]. 그러나, 이 방법에서도 기본파가 인버터의 최대출력인 6-스텝 동작의 90.7%에 불과하여 지금까지 전압 이용률 향상을 위한 여러 가지 기법들이 제시되어 왔다^[2-5]. 이와 같이 제시된 기법들은 복잡한 계산과정을 거쳐야 하므로 구현에 많은 어려움이 따른다. 따라서, 본 논문에서는 SVPWM 인버터에 대한 새로운 과변조 기법을 제시한다. 제안된 기법은 기존의 SVPWM 방법에서와 같이 영-시퀀스 신호 주입

방법(zero-sequence signal injection method)의 개념을 사용한다^[6]. 즉, 폴전압을 간단히 수정함으로써 6-스텝 동작모드까지 출력전압과 기준전압 사이의 선형성을 유지하게 한다.

2. SVPWM 방법

2.1 SVPWM에 대한 영-시퀀스 신호 주입 방법

그림 1의 3상 인버터 PWM방법은 그림 2에서 보여주는 것과 같은 영-시퀀스 신호 주입 방법으로 구현 될 수 있다^[6].

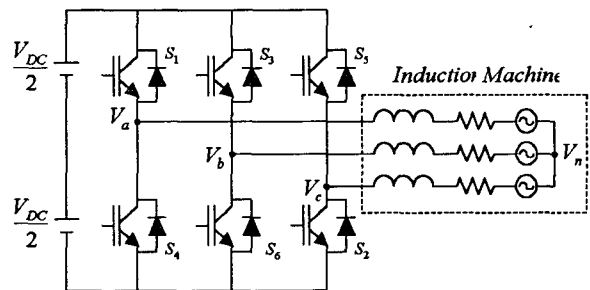


그림 1 PWM 인버터

Fig. 1 PWM inverter

그림 1에 나타나 있는 폴전압(V_{an}, V_{bn}, V_{cn}), 상전압(V_{as}, V_{bs}, V_{cs}) 그리고, 옴셋전압 V_{sn} (또는 영-시퀀스 신호)의 관계식은 다음과 같다.

$$V_{an} = V_{as} + V_{sn} \quad (1)$$

$$V_{bn} = V_{bs} + V_{sn} \quad (2)$$

$$V_{cn} = V_{cs} + V_{sn} \quad (3)$$

상전압 지령치의 최대치 V_{max}^* 와 최소치 V_{min}^* 에 대하여 선택 가능한 옴셋전압의 범위는 식 (4)과

같이 구할 수 있다.

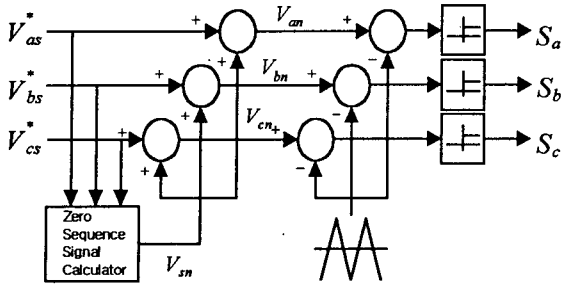


그림 2 영-시퀀스 신호 주입 원리를 이용한 PWM 방법
Fig. 2 PWM method employing the zero sequence signal injection principle

$$-\frac{V_{dc}}{2} - V_{min}^* \leq V_{sn} \leq \frac{V_{dc}}{2} - V_{max}^* \quad (4)$$

그러므로 윗셋전압 V_{sn} 의 선정에 따라 다양한 전압변조 방식이 구현될 수 있으며 SVPWM 에서의 윗셋전압 V_{sn} 은 식 (5)와 같이 선택한다.

$$V_{sn} = -\left(\frac{V_{max}^* + V_{min}^*}{2}\right) \quad (5)$$

2.2 SVPWM에서의 과변조 기법

과변조 영역에서 출력 폴전압의 크기는 그림 4와 같이 $V_{dc}/2$ 로 제한되며, 이 때의 윗셋전압 V_{sn} 은 식 (6)와 같이 수정된다^[7].

$$V_{sn} = -\frac{V_{dc}}{2} \left(\frac{V_{max}^* + V_{min}^*}{V_{max}^* - V_{min}^*}\right) \quad (6)$$

이와 같은 과변조 영역은 변조지수 M_i 에 따라 그림 3과 같이 영역 I과 영역 II의 두 부분으로 나눌 수 있다. 여기서 변조지수 M_i 는 인버터 출력 상전압의 기본파 크기를 6-스텝 모드의 출력 상전압 기본파 크기로 나눈 값이다.

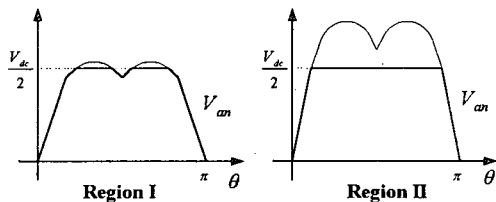


그림 3 과변조 영역에서 SVPWM 전압파형
Fig. 3 Voltage waveform of SVPWM in the overmodulation region

3. 제안된 과변조 기법

본 논문에서는 윗셋전압 주입 방법을 이용하여 SVPWM에 대한 새로운 과변조 기법을 제안한다.

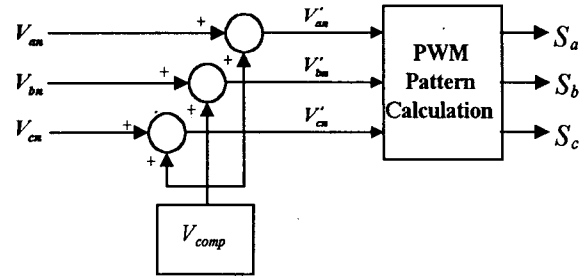


그림 4 제안된 과변조 기법
Fig. 4 Proposed overmodulation method

즉, 그림 4와 같이 보상전압 V_{comp} 에 의한 새로운 폴전압을 이용하여 제안된 PWM 패턴에 따라 인버터의 스위칭 시간을 직접 계산할 수 있다.

3.1 과변조 영역 I ($0.906 \leq M_i \leq 0.956$)

방법 A에서는 출력전압의 기본파 성분의 크기가 기준전압과 같도록 하기 위해서 새로운 폴전압에 V_{comp} 가 첨가된 윗셋전압을 더함으로써 구할 수 있다. 방법 B는 기준전압의 크기를 키워 폴전압을 보상하는 방법이다. 즉, 변조지수 $M_i=0.951$ ($V_1=181.6[V]$)에 해당하는 상전압 기본파의 피크값을 얻기 위해서는 기준전압의 크기를 변조지수 $M_i^*=1.01$ ($V_1=192.3[V]$)로 새롭게 보상해 주어야 한다. 그림 5는 과변조 영역 I에 대한 보상후의 폴전압과 상전압을 나타낸다.

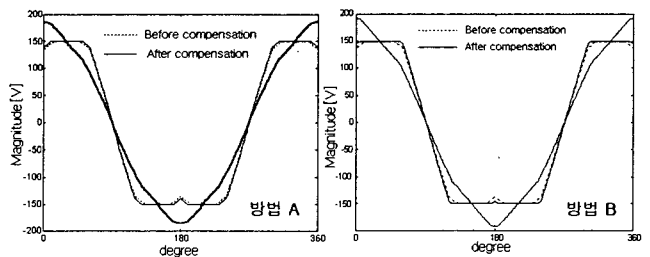


그림 5 폴전압과 상전압 - 영역 I
Fig. 5 Pole and phase voltage in region I

3.2 과변조 영역 II ($0.956 \leq M_i \leq 1$)

영역 II에서의 과변조 기법은 다음과 같이 세 가지 기법을 제안하여 비교연구. 하였고 폴전압의 보상 패턴은 그림 6과 같다.

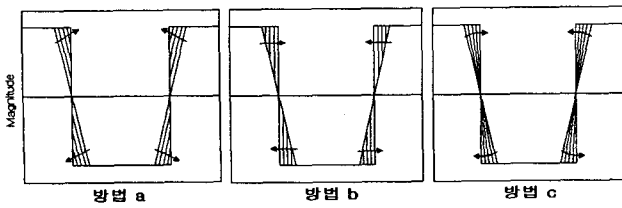


그림 6 폴전압의 보상패턴 - 영역 II
Fig. 6 Compensation pattern of pole voltage

방법 a는 폴전압에 인가하는 보상전압이 단지 구형파로 이루어지며, 이 구형파의 크기는 푸리에 급수로부터 구할 수 있다. 방법 b는 보상전의 폴전압의 크기에 좌우대칭으로 직접 $\pm V_{dc}/2$ 를 더하여 폴전압을 보상하는 방법이다. 이 기법은 폴전압의 모양으로부터 구형파를 인가하는 방법 a에 비해서 스위칭 횟수를 감소시켜 인버터의 스위칭 손실을 줄이는 효과를 기대할 수 있다. 방법 c는 원하는 상전압의 기본파 크기를 얻기 위해서 기준전압의 크기를 키워 폴전압을 보상하는 방법이다. 보상후의 폴전압과 상전압은 각각 그림 7에서 보여 준다.

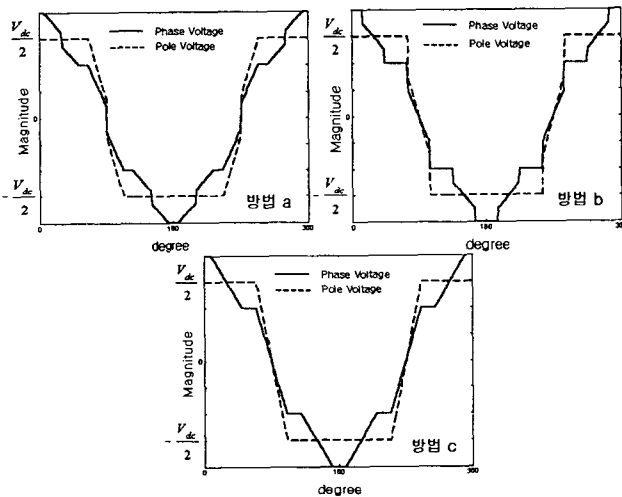


그림 7 폴전압과 상전압 - 영역 II
Fig. 7 Pole and phase voltage in region II

그림 8은 과변조 영역 II에서 제안된 기법에 대한 고조파 왜율 분포를 나타낸다. 고조파 왜율에 관한 식은 다음과 같이 정의한다.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum (V_{ref} - V_{real})^2}}{V_{six-step, THD}} \quad (7)$$

여기서 V_{ref} 와 V_{real} 은 각각 기준 상전압과 실제 상전압을 의미하며, $V_{six-step, THD}$ 는 6-스텝 모

드에서의 고조파 분포를 나타낸다. 전반적으로 방법 c에서 고조파 왜율이 낮음을 알 수 있다.

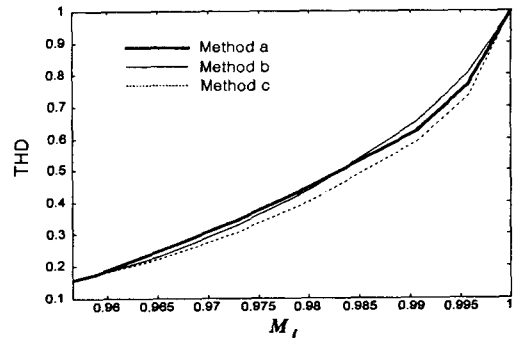


그림 8 영역 II에서의 고조파 분포
Fig. 8 Total harmonic distortion - Region II

4. 실험 결과

본 논문에서는 제안된 기법의 타당성을 검증하기 위해 그림 9에서처럼 IGBT인버터와 유도전동기로 이루어진 시스템으로 실험을 수행하였다. 스위칭 주파수는 5[kHz]이고 직류단 전압은 300[V]이다.

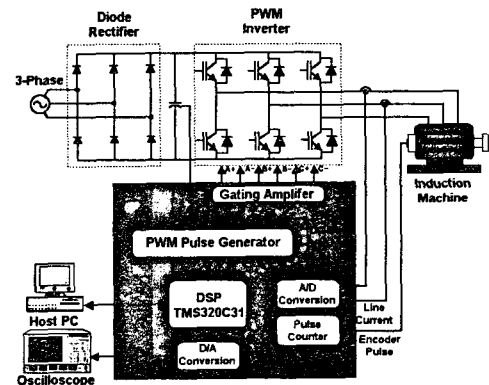


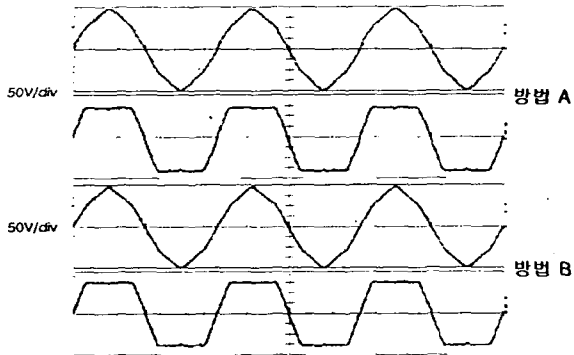
그림 9 실험 구성도
Fig. 9 Experimental system

그림 10은 각각 과변조 영역 I과 II에서의 상전압과 폴전압을 보여 준다. 또한 그림 11은 출력 상전압의 FFT 스펙트럼을 나타낸다. 이 스펙트럼으로부터 각각의 기법에 대한 상전압의 고조파 분포를 비교할 수 있으며 그것의 기본파 성분의 크기가 기준전압과 거의 일치함을 보여 준다.

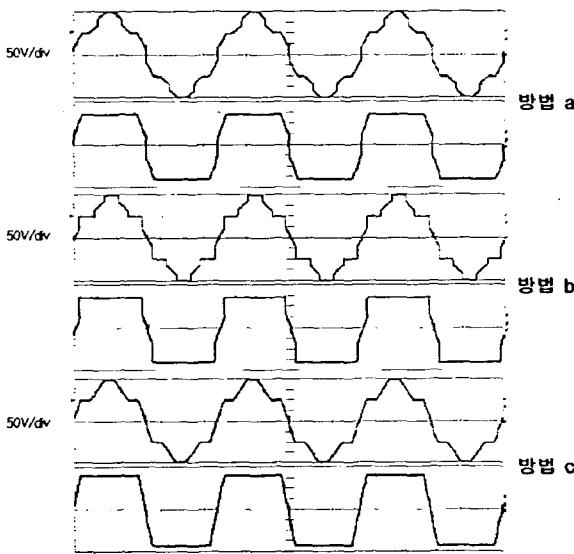
5. 결론

본 논문에서는 SVPWM에 대한 새로운 과변조 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 육상전압 주입 방법에 근거한 SVPWM의 개념을 사용하였다.

이 기법은 폴전압을 간단히 수정함으로써 인버터의 각 스위칭 시간을 영역 I과 영역 II에서 수정된 폴전압으로부터 직접 계산할 수 있게 된다. 마지막으로 제안된 기법의 타당성은 실험을 통하여 확인하였다.

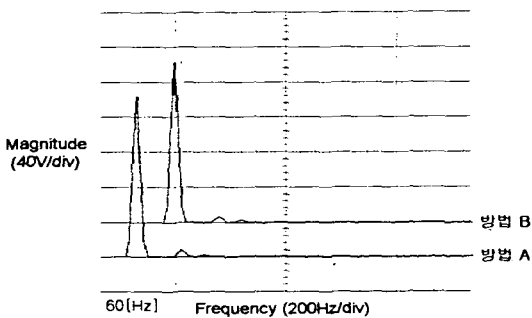


(a) 영역 I ($M_i = 0.951$)

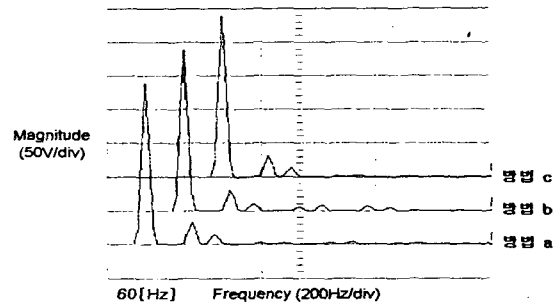


(a) 영역 II ($M_i = 0.984$)

그림 10 상전압과 폴전압
Fig. 10 Phase and pole voltage



(a) 영역 I ($M_i = 0.951$)



(b) 영역 II ($M_i = 0.984$)

그림 11 출력전압의 스펙트럼
Fig. 11 Spectrum of the output voltage

참 고 문 헌

- [1] H. W. Van Der Broe et. al. "Analysis and Realization of a Pulsewidth Modulator Based on Voltage Space Vectors," IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol. 24, No. 1, pp. 142~150 Jan./Feb. 1988.
- [2] J. Holz, W. Lotzkat, and A. M. Khambadkone, "On Continuous Control of PWM Inverters in the Overmodulation Range Including the Six-step Mode," IEEE Trans. Power. Elect., Vol. 8, No. 4, pp. 546~553, 1993.
- [3] S. Bolognani, and M. Zigliotti, "Novel Digital Continuous Control of SVM Inverters in the Overmodulation Range," in IEEE-APEC Conf. Rec., pp. 219~223, 1996.
- [4] A. R. Bakhshai, G. Joos, P. K. Jain and H. Jin, "Incorporating the Overmodulation Range in Space Vector Generators Using a Classification Algorithm," IEEE Trans. on Power. Elec., Vol. 15, No. 1, Jan. pp. 83~91, 2000.
- [5] A. M. Hava, R. J. Kerkman and T. A. Lipo, "Carrier-Based PWM-VSI Overmodulation Strategies: Analysis, Comparison, and Design," IEEE Trans. on Power Elec. Vol. 13, No. 4, July pp. 674~689, 1998.
- [6] Dae-Woong Chung and Seung-Ki Sul, "Minimum-Loss Strategy for Three-Phase PWM Rectifier," IEEE Trans. on Ind. Elec., Vol. 46, No. 3, June. pp. 517~526, 1999.
- [7] T. G. Habetler, F. Profumo M. Pastrolli and L. M. Tolbert, "Direct Torque Control of Induction Machines Using Space Vector Modulation," IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol. 28, No. 1, pp. 1045~1053, Sep./Oct. 1991.