

PWM 인버터의 출력특성 개선

오동길*, 류성래, 이희훈, 김상균, 권영안
부산대학교

Improved Output Characteristics of PWM Inverter

D. G. Oh*, S. R. Ryu, H. H. Yi, S. K. Kim, Y. A. Kwon
Pusan National University

Abstract - PWM 인버터는 VVVV방식으로 전동기구동 등 고성능 시스템에 많이 활용되고 있다. 그러나 일반적으로 활용되는 일정한전압에서의 PWM 인버터 출력특성은 저전압에서 상당히 찌그러짐을 가진다. 본 연구에서는 최근 많은 활용이 이루어지고 있는 공간전압벡터 PWM 인버터의 출력 특성을 검토하여 가변 링크전압의 효율성을 제시하며, 고성능 제어에서 오차가 작은 인버터 구성이 가능하도록 한다.

수 있다. 본 연구에서는 최근 많은 활용이 이루어지고 있는 공간전압벡터 PWM 인버터의 출력전압특성을 검토하여 가변 링크전압의 효율성을 제시한다.

2. PWM 인버터

본 연구에서는 서론에서 기술한 PWM 방식의 출력전압 특성을 검토하기 위하여 그림 2와 같은 3상 전압형 전변터를 고려한다. 그림 2는 스위칭 소자의 스위칭 상태에 따른 전류경로를 나타낸다.

1. 서 론

최근 펄스폭변조(PWM) 방식 인버터가 고성능의 전동기구동 등 많은 분야에 활용되고 있으며, 정밀한 출력전압을 생성할 수 있는 PWM 방식이 다양하게 연구되고 있다[1-5]. PWM방식의 구현은 게이트 펄스의 인가 시간을 직접 계산하는 디지털 구현 방식이 스위칭 주파수가 고정되어 고조파 특성이 좋고 구현이 용이하다는 점에서 널리 사용되고 있다. 그러나, PWM 인버터 출력전압특성은 저전압에서 상당히 찌그러짐을 가진다. PWM 인버터의 출력전압 오차는 지령전압에 대한 링크전압의 비율, 지령전압의 주파수에 대한 스위칭 주파수의 비, 샘플링 시간 내에서 인가되는 스위칭 펄스의 정밀도에 따라 결정된다. 그림 1(a)는 일반적인 경우의 한 상에 대한 스위칭 상태를 나타낸 것이다. 실제 디지털 방식으로 구현된 PWM 인버터의 출력전압의 해상도는 구동 회로의 클럭 주파수에 의해 결정된다. 제어기에 의해 결정된 한 상의 스위칭이 그림 1(a)와 같은 경우 실제 출력 전압은 그림 1(b)나 혹은 그림 1(c)에 의하여 결정된다. 지령전압이 높은 경우에는 한 서브 샘플링의 상전압 오차는 비교적 작지만 지령전압이 낮은 경우에는 전압 해상도가 낮아져 전압오차는 상대적으로 증가하며 출력전압이 크게 찌그러진다.

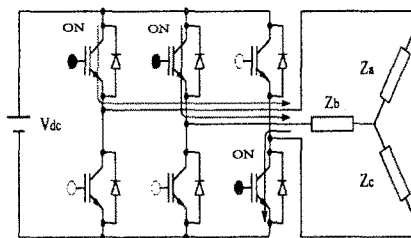


그림 2. 3상 전압형 PWM 인버터

공간전압벡터 PWM에서 지령전압은 벡터 공간상의 위치로 표현되며 이 지령전압의 벡터 위치에 따라 인접한 유효벡터와 영전압 벡터의 합성으로 출력전압이 결정된다. 그림 3은 그림 2와 같은 3상 인버터에서 스위칭 소자의 스위칭 상태에 따라 출력 가능한 6개의 유효벡터를 나타낸다. 각 유효벡터는 60°의 동일 간격을 가지는 6개의 벡터와 인버터의 상단 또는 하단의 스위치가 동시에 온 상태로 되는 영전압 벡터 2개를 포함하여 구성된다.

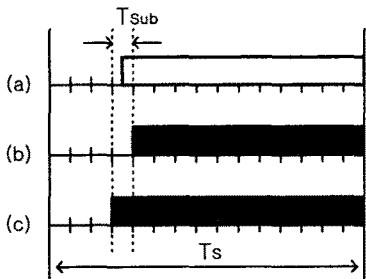


그림 1. 한 상에 대한 인버터 스위칭

본 연구는 상기한 인버터의 출력전압 오차의 원인을 제거하는 가변 링크전압 방식을 검토한다. 지령전압에 대한 링크전압의 비율이 정상영역에 위치하도록 하는 가변 링크전압 구조의 인버터를 사용하여 저전압에서 전압비를 적절히 제어하면 출력전압의 오차를 크게 감소시킬

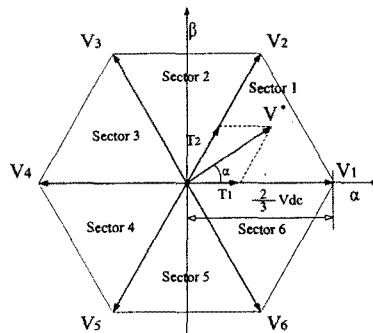


그림 3. 스위칭 상태에 따른 전압벡터

그리고, 한 주기내의 지령전압의 기준벡터와 평균이 동

일하도록 유효벡터들을 합성함으로써 인버터의 출력전압을 생성할 수 있다. 유효벡터의 인가시간은 한 주기 내에서 적분으로부터 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$\int_0^{T_s} V^* dt = \int_0^{T_1} V_n dt + \int_{T_1}^{T_1+T_2} V_{n+1} dt + \int_{T_1+T_2}^{T_s} V_o dt \quad (1)$$

단, T_s : Sampling period

T_1, T_2 : 유효전압 벡터의 인가시간

V_n, V_{n+1}, V_o : 유효전압벡터 및 영전압벡터

각 유효벡터가 인가되는 시간은 다음과 같다.

$$T_1 = T_s a \frac{\sin(60^\circ - \alpha)}{\sin 60^\circ} \quad (2)$$

$$T_2 = T_s a \frac{\sin \alpha}{\sin 60^\circ} \quad (3)$$

$$T_o = T_s - (T_1 + T_2) \quad (4)$$

단, $a = \frac{|V^*|}{2V_{dc}/3}$, $\alpha = \theta - \frac{\pi}{3}(m-1)$

m : 지령전압의 섹터 번호

T_o : 영전압 벡터의 인가시간

이러한 방식으로 계산된 각 유효벡터의 인가시간은 실제 스위칭소자의 게이트 신호 인가시간을 의미하지는 않으며, 각 상의 스위칭 소자를 온·오프 시키는 실제 시간은 각 유효전압벡터의 인가시간을 재구성하여 구하게 된다. 이러한 스위칭 펄스의 인가시간에 대한 계산은 영전압벡터의 분할 방식에 따라 여러 구현이 가능하다. 그림 4는 지령전압이 sector 1에 있을 경우의 일반적인 SVPWM에 의한 실제 게이트 펄스의 배열을 나타낸다.

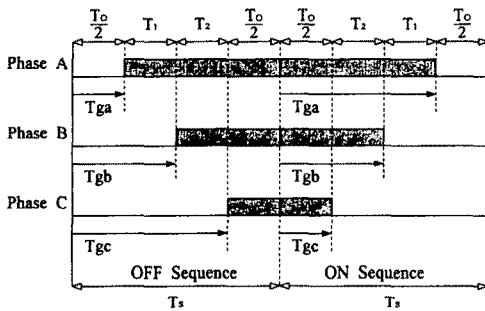


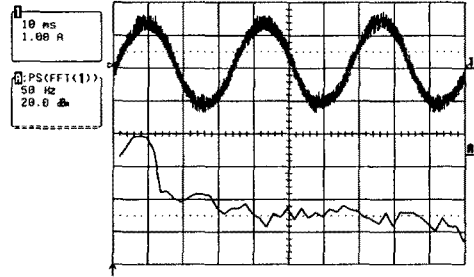
그림 4. SVPWM에서 스위칭소자의 게이트 신호

3. 출력특성 실험 및 검토

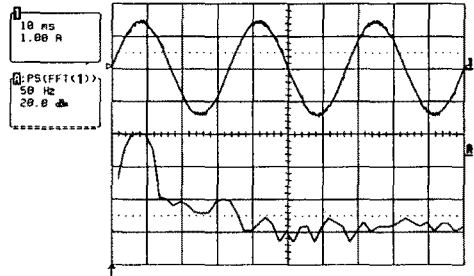
본 3상 인버터 출력특성 실험에서는 30mH, 2Ω으로 구성된 R-L 수동부하를 Y결선하고, 직류 링크전압을 20V, 200V, 주파수는 30Hz, 60Hz, 100Hz, 샘플링 시간은 100μs, 200μs로 하여 상호 비교하였으며 지령전압은 10V, 서브 샘플링시간은 1μs로 고정하였다. 그리고 PWM 인버터 출력전압은 스위칭에 의한 구형파의 연속으로서 정량적인 비교가 어려우므로 본 실험에서는 일정한 역할을 갖는 수동부하에 흐르는 전류를 측정하여 출력특성을 검토하였다.

3.1 링크전압 가변에서 출력특성

그림 5는 주파수가 30Hz, 샘플링시간이 100μs, 지령치 전압이 10V인 같은 조건 아래에서 실험한 결과로서 그림 5(a)는 링크전압이 200V일 때의 인버터 출력의 상전류와 FFT파형이며, 그림 5(b)는 링크전압 20V일 때의 인버터 출력의 상전류와 FFT파형이다. 그림 5에서 링크전압 20V인 경우에 오차의 크기가 0.2%인 반면, 링크전압 200V인 경우에 오차의 크기가 2%로 나타난다. 서론에서 기술한 바와 같이 지령전압에 대한 링크전압의 비가 높은 경우에 오차 및 찌그러짐이 크게 개선했음을 잘 보여준다.



(a) 링크전압 200V인 경우



(b) 링크전압 20V인 경우

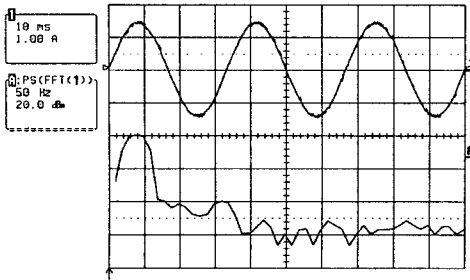
그림 5 링크전압 가변에서 인버터 출력전류 및 FFT

3.2 전압주파수 가변에서 출력특성

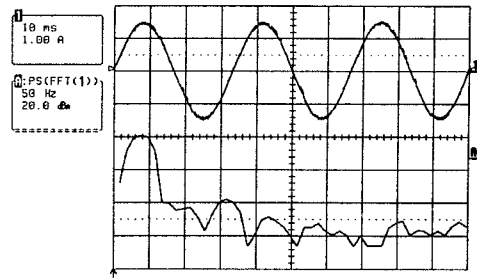
샘플링시간이 100μs, 링크 전압이 20V, 지령치 전압이 10V인 같은 조건에서 주파수를 각각 30Hz, 60Hz, 100Hz으로 하였을 경우에 인버터 출력 특성은 그림 6(a), 그림 6(b), 그림 6(c)와 같다. 실험결과에서 나타난 바와 같이 지령전압에 대한 링크전압의 비율이 높으므로 비교적 작은 찌그러짐을 나타내고 있으며 주파수에 따라 인버터 출력전류의 고조파 크기가 약간 다르나 큰 차이를 나타내지 않고 있다.

3.3 샘플링 시간 가변에서 출력특성

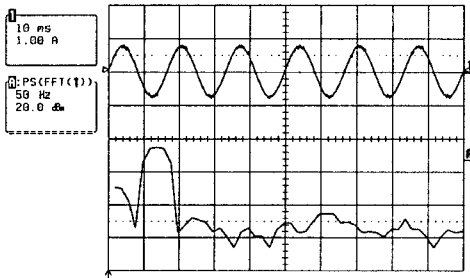
주파수가 30Hz, 링크 전압이 20V, 지령치 전압이 10V인 같은 조건에서 샘플링 시간을 각각 100μs, 200μs로 하였을 경우에 인버터 출력 특성을 상호 비교 하였다. 본 연구에서 SVPWM의 연산에 소요되는 처리시간은 약 40μs정도이다. 실험결과에서 나타난 바와 같이 지령전압에 대한 링크전압의 비가 높으므로 비교적 작은 찌그러짐을 나타내고 있으며 샘플링 시간에 따라 인버터 출력전류의 고조파가 큰 차이를 나타내지 않고 있다.



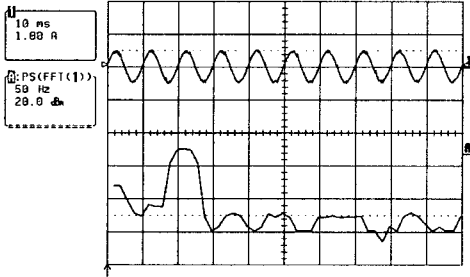
(a) 전압주파수 30Hz인 경우



(b) 샘플링시간 200μsec인 경우

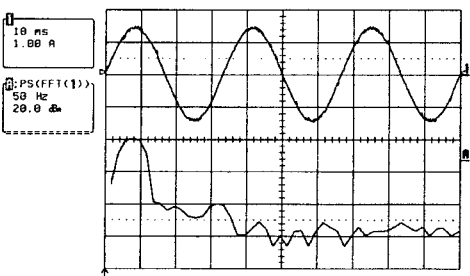


(b) 전압주파수 60Hz인 경우



(c) 전압주파수 100Hz인 경우

그림. 6 전압주파수 가변에서 인버터 출력전류 및 FFT



(a) 샘플링시간 100μsec인 경우

그림. 7 샘플링시간 가변에서 인버터 출력전류 및 FFT

4. 결 론

최근 펄스폭 변조방식 인버터가 고성능의 전동기 구동 등 많은 분야에 활용되고 있으며, 정밀한 출력 전압을 생성할 수 있는 PWM방식이 다양하게 연구 되고 있다. 본 연구는 디지털방식으로 구현된 PWM방식으로 구동되는 3상 전압형 인버터의 출력특성 개선에 관한 연구로서 PWM 인버터 출력 특성을 상호 비교하여 가변 링크전압의 효율성을 제시하였으며 고성능 제어에서 오차가 작은 인버터의 구성이 가능하도록 실험을 통하여 타당성을 검토하였다. 실험 결과에서 나타난 바와 같이 지령전압에 대한 링크전압의 비율이 커지도록 링크전압이 가변되는 경우에 인버터 출력의 오차 및 찌그러짐이 크게 개선된다. 그리고 지령전압에 대한 링크전압의 비가 커지도록 링크전압이 가변되고 서브 샘플링시간이 충분히 작은 경우에 전압주파수 가변 및 샘플링시간 가변에 큰 영향을 받지 않고 양호한 인버터 출력특성을 나타내고 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Gerald B. Kliman and Allan B. Plunkett, "Development of a Modulation Strategy for a PWM Inverter Drive," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.15, No.1, pp.72-79 January/February 1979.
- [2] Giuseppe S. Buja, "Optimum Output Waveforms in PWM Inverters," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.16, No.6, pp.830-836, November/ December 1980.
- [3] S. Fukeda, Y. Iwaji and H. Hasegawa, "PWM Technique for Inverter with Sinusoidal Output Current," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.5, No.1, pp.54-61, January 1990.
- [4] H. W. Van der Broeck, H. C. Skudelyny, "Analysis and Realization of a Pulse Width Modulator Based on Voltage Space Vectors," IEEE Transactions on Industry Application, Vol.24, No.1, pp.142-150, January/February 1988.
- [5] Keliang Zhou and Danwei Wang, "Relationship Between Space-Vector Modulation and Three-Phase Carrier-Based PWM: A Comprehensive Analysis", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.4, No.1, pp186-196, February 2002.