

3상 3-레벨 인버터의 캐리어 기반 MVPWM의 과변조 특성

최남섭*, 이은철**, 안강순**
 전남대학교*, (주)윌링스**

Overmodulation Characteristics of Carrier Based MVPWM for 3-Phase 3-Level Inverter

Nam Sup Choi*, Eun Chul Lee** and Kang Soon Ahn**
 Chonnam National University*, Willings Co., Ltd.**

ABSTRACT

본 논문에서는 3 레벨 인버터의 공통 모드 전압 변동 제거의 목적으로 사용되는 MVPWM(Medium Vector PWM)의 과변조 특성을 분석한다. MVPWM의 과변조 특성은 다음과 같다. 1) 과변조 상태에서도 동일한 공통모드전압을 갖는 7개의 벡터만 선택한다. 2) 진폭변조지수를 증가시킬 때 선형영역에서 비선형영역으로의 천이가 연속적이다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 MVPWM의 위와 같은 과변조 특성을 밝힌다.

1. 서론

대용량의 무변압기 태양광 인버터 시스템이나 모터 드라이브 시스템에서 공통모드 전압의 변동에 따른 누설전류의 문제는 중요한 연구주제 중의 하나이다. 3상 인버터 시스템에서 누설전류를 제거 또는 감소시키는 방법은 인버터의 공통모드 전압의 변동을 최대한 감소 또는 제거시키는 것이다.^[1-3]

최근 제안된 Medium Vector PWM(MVPWM)은 3 레벨 인버터의 공통모드 전압 변동 제거를 목적으로 사용될 수 있다^[4]. MVPWM은 동일한 공통모드 전압을 갖는 8개의 벡터만을 사용하여 출력전압을 발생하는 PWM 방안으로 공간벡터 PWM 또는 캐리어 기반 PWM으로 구현될 수 있다. 본 논문에서는 MVPWM의 과변조 특성을 밝히고 시뮬레이션을 통하여 동작 특성을 입증한다.

2. Medium Vector PWM의 과변조 동작

2.1 MVPWM의 동작원리

그림 1은 3 레벨 인버터를 나타내며 그림 1의 3상 시스템에서 공통모드 전압 V_{CM} 은 $V_{CM} = (V_{AO} + V_{BO} + V_{CO})/3$ 와 같다. 3 레벨 인버터의 공간벡터 가운데 MVPWM에 사용되는 벡터는 medium vector와 영벡터 $V_0[000]$ 이며 이들 8개의 벡터는 공통모드 전압이 모두 같다. MVPWM은 이러한 MV와 영벡터만을 사용하여 공통모드 전압의 변동이 0 V이 되도록 제어하는 PWM 제어방법이다.

그림 2는 캐리어 기반 MVPWM의 동작을 나타내는 블록다이어그램이다. 그림 2에서 $v_{max} = \max(v_{Aref}, v_{Bref}, v_{Cref})$, $v_{min} = \min(v_{Aref}, v_{Bref}, v_{Cref})$ 이다.

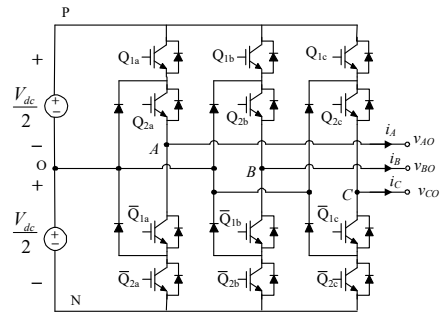


그림 1. 3 레벨 인버터 시스템

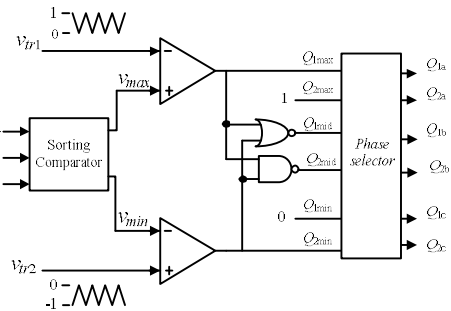


그림 2 캐리어 기반 MVPWM의 블록다이어그램

2.2 과변조 특성

캐리어 기반 MVPWM의 가장 큰 특징은 기존의 2 레벨 인버터의 정현파 캐리어 PWM에서와 같이 거의 유사한 특성을 갖는 과변조(overmodulation)가 가능하다는 점이다.

그림 3은 변조지수에 대한 출력상전압의 기본파의 성분의 변화이다. 그림 3은 최대 출력상전압을 발생할 때 게이팅 신호와 a 상 출력상전압을 나타낸다. 이 경우 출력상전압의 기본파의 크기는 $(2\sqrt{3}/\pi)(V_{dc}/2)$ 가 된다. 최대 과변조시 출력상전압은 준구형파의 4스텝 파형이 되며 60° 구간마다 서로 다른 medium vector가 선택된다.

선형영역에서 한 스위칭 주기당 커뮤테이션의 수는 8이므로 f_c 가 캐리어 주파수라고 할 때 각 스위치의 평균 스위칭 주파수 f_{sw} 는 다음과 같다.

$$f_{sw} = \frac{8f_c}{12} = \frac{2}{3}f_c \quad (1)$$

변조지수 m_i 가 1보다 크면 과변조 상태가 되는데 스위칭이 발생하지 않는 구간이 발생한다. 스위칭 주파수가 충분히 크다고 가정할 때 이 구간의 각격 θ_n 은

$$\theta_n = \pi - 2\sin^{-1}\left(\frac{1}{m_i}\right) \quad (2)$$

가 된다. 또 $\theta_n(m_i > 2) = 120^\circ$ 이다.

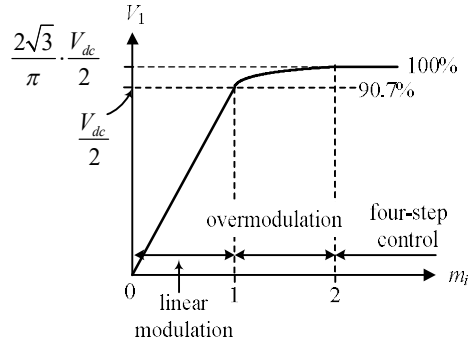


그림 3 변조지수에 대한 출력상전압의 기본파 성분

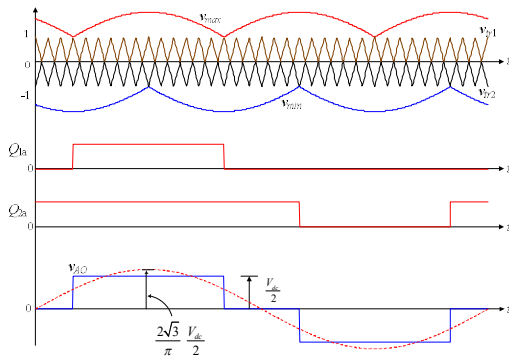


그림 4 최대 출력상전압의 발생

3. 시뮬레이션

그림 5는 3 레벨 $m_i = 1.2$ 로 인버터를 과변조 MVPWM할 때 PSIM 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림 5에서 보듯이 공통모드전압 V_{CM} 은 0 V로 일정하며 MVPWM이 과변조 상태에서도 누설전류가 최소화 될 것임을 알 수 있다. 또 벡터번호 7번부터 12번까지만 선택됨을 알 수 있다. 그림 6은 변조지수에 따라 출력상전압의 벡터가 만드는 궤적을 나타낸다. 최대전압 발생시 6개의 벡터만 선택되므로 6각형을 나타냄을 확인할 수 있다.

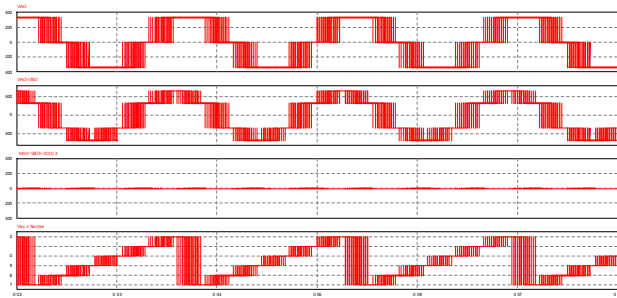


그림 5. PSIM 시뮬레이션, 위에서부터 상전압(V_{AO}), 선간전압(V_{AB}), 공통모드전압(V_{CM}), 선택되는 벡터의 번호.

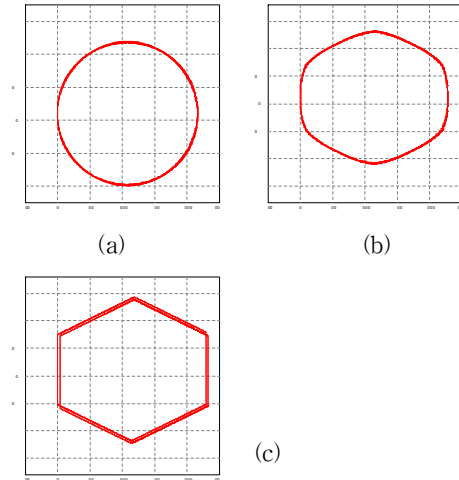


그림 6. 출력상전압의 궤적, (a) 선형변조 경우($m_i = 1$), (b) $m_i = 1.2$ 과변조의 경우, (c) $m_i = 2$ 과변조의 경우.

4. 결론

MVPWM의 과변조 특성은 다음과 같다. 즉, 과변조 상태에서도 동일한 공통모드전압을 갖는 7개의 벡터만 선택한다. 또 진폭변조지수를 증가시킬 때 선형영역에서 비선형영역으로의 천이가 연속적이다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 MVPWM의 위와 같은 과변조 특성을 밝힌다. MVPWM의 과변조 동작은 누설전류를 줄이며 동작주파수 저감이 요구되는 대용량 인버터 시스템이나 기본주파수가 매우 높은 고속의 드라이브 시스템에서 사용될 수 있다.

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 결과물의 일부임(No. NRF 2013R1A1A4A01012606)

참고 문헌

- [1] J. S. Lee and K. B. Lee, "New Modulation Techniques for a Leakage Current Reduction and a Neutral Point Voltage Balance in Transformerless Photovoltaic Systems Using a Three level Inverter", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 29, No. 14, April 2014.
- [2] M. C. Cavalcanti, A. M. Farias, K. C. Oliveira, F. A. S. Neves and J. L. Afonso, "Eliminating Leakage Currents in Neutral Point Clamped Inverters for Photovoltaic Systems", IEEE trans. on Industrial Electronics, Vol. 59, No. 1, pp. 435-442, Jan. 2012.
- [3] X. Guo, M. C. Cavalcanti, A. M. Farias and J. M. Guerrero, "Single Carrier Modulation for Neutral Point Clamped Inverters in Three Phase Transformerless Photovoltaic Systems", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 28, No. 6, June 2013.
- [4] N. S. Choi, E. C. Lee and K. S. Ahn, "A Carrier Based Medium Vector PWM Strategy for Three Level Inverters in Transformerless Photovoltaic Systems", Conf. Record on ICPE 2015, Jun 1-6, Seoul, Korea