

3-레벨 인버터의 공통모드 전압 변동 제거를 위한 Medium Vector PWM

최남섭*, 이은철**, 안강순**
 전남대학교*, (주)윌링스**

Medium Vector PWM for Elimination of Common Mode Voltage Variation in Three-level Inverter

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

ABSTRACT

본 논문에서는 3 레벨 인버터 시스템에서 공통 모드 전압 변동 제거를 위한 새로운 Medium Vector PWM(MVPWM)을 제안한다. 제안된 MVPWM의 특징은 다음과 같다. 1) 스위칭 상태와 관계없이 공통모드 전압은 일정하게 유지된다. 2) 무계 중심좌표계 방법에 의하여 구현되므로 구현이 간단하고 직관적이다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 제안된 MVPWM의 위와 같은 특성을 밝히고 태양광 인버터의 제어에 적합함을 입증하였다.

1. 서론

대용량의 태양광 인버터 시스템에서 효율을 높이고 크기와 무게를 줄일 목적으로 무변압기시스템을 사용한다.^[1, 2] 태양광 시스템에서 태양전지 모듈의 프레임은 안전을 위하여 반드시 접지되어야 하므로 무변압기 태양광 시스템의 태양전지 모듈에서는 누설전류에 의한 PID(potential induced degradation) 문제가 발생한다. 태양광 3상 인버터 시스템에서 누설전류를 제거 또는 감소시키는 방법은 인버터의 공통모드 전압의 변동을 최대한 감소 또는 제거시키는 것이다.^[1, 3]

본 논문에서는 3 레벨 인버터 시스템에서 공통 모드 전압 변동 제거를 위한 새로운 Medium Vector PWM(MVPWM)을 제안한다. 제안된 MVPWM의 특징은 다음과 같다. 1) 스위칭 상태와 관계없이 공통모드 전압은 일정하게 유지된다. 2) 무계 중심좌표계 방법에 의하여 구현되므로 구현이 간단하고 직관적이다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 제안된 MVPWM의 위와 같은 특성을 밝히고 태양광 인버터의 제어에 적합함을 입증한다.

2. Medium Vector PWM의 동작원리

2.1 3-레벨 인버터를 사용한 태양광 시스템

그림 1은 3 레벨 인버터를 중심으로 구성된 태양광 시스템을 단순화 시켜 나타낸 회로도이다. 그림 1에서 직류 전류원은 태양광 모듈을 나타내고 교류 전류원은 연계리액터와 계통전원을 나타낸다. 그림 2는 3 레벨 인버터의 공간벡터 가운데 MVPWM에 사용되는 Medium Vector(MV)와 [000]의 영벡터 V_0 를 나타낸다.

그림 1의 3상 시스템에서 공통모드 전압 V_{CM} 은 다음과 같다.

$$V_{CM} = \frac{1}{3}(V_{AO} + V_{BO} + V_{CO}) \quad (1)$$

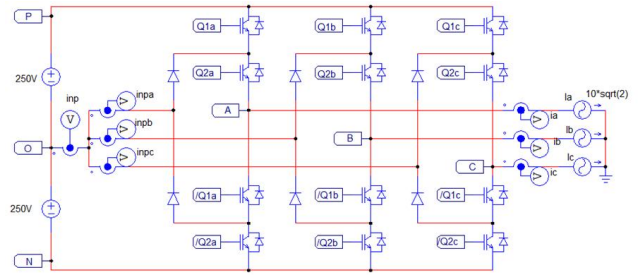


그림 1. 3 레벨 인버터 시스템

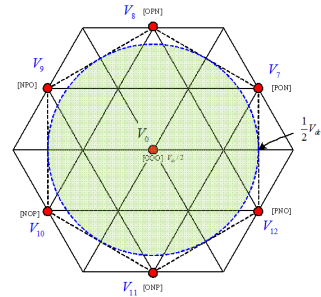


그림 2 MVPWM에 사용되는 공간벡터

그림 2는 3 레벨 인버터의 공간벡터 가운데 Medium Vector(MV)와 $V_0[000]$ 는 식 (1)로부터 공통모드 전압은 0 V로 모두 같음을 알 수 있다. MVPWM은 이러한 MV와 영벡터만을 사용하여 공통모드 전압이 0 V이 되도록 제어하는 PWM 제어방법이다.

2.2 무계 중심좌표계에 의한 PWM 구현

3개의 임의의 벡터 $V_1 = V_{1x} + jV_{1y}$, $V_2 = V_{2x} + jV_{2y}$, $V_3 = V_{3x} + jV_{3y}$ 로 이루어진 삼각형 내에 위치한 기준벡터 $V_{ref} = V_{refx} + jV_{refy}$ 는 스위칭 주기동안 벡터 V_1 , V_2 , V_3 를 사용하여 평균의 의미에서 합성할 수 있다(그림 3(a)참조). 이때 각 벡터가 선택되는 듀티비를 d_1 , d_2 , d_3 라고 할 때 각각의 듀티비는 그림 3(b)에 나타난 것처럼 벡터 V_1 , V_2 , V_3 의 무게중

심좌표계의 좌표값으로 표현된다.

예를 들어 V_1 의 무계중심좌표계에서의 좌표는 삼각형 $\triangle(V_1 V_2 V_3)$ 의 면적을 S 라할 때 S_1/S 가 된다. 그리고 이러한 무계중심좌표값은 V_1 의 듀티비와 같다. 즉,

$$d_1 = \frac{S_1}{S} = \frac{M_1}{M}, \quad d_2 = \frac{S_2}{S} = \frac{M_2}{M}, \quad d_3 = \frac{S_3}{S} = \frac{M_3}{M} \quad (2)$$

$$M = \begin{bmatrix} V_{1x} & V_{2x} & V_{3x} \\ V_{1y} & V_{2y} & V_{3y} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad M_1 = \begin{bmatrix} V_{refx} & V_{2x} & V_{3x} \\ V_{refy} & V_{2y} & V_{3y} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix},$$

$$M_2 = \begin{bmatrix} V_{1x} & V_{refx} & V_{3x} \\ V_{1y} & V_{refy} & V_{3y} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$M_3 = \begin{bmatrix} V_{1x} & V_{2x} & V_{refx} \\ V_{1y} & V_{2y} & V_{refy} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

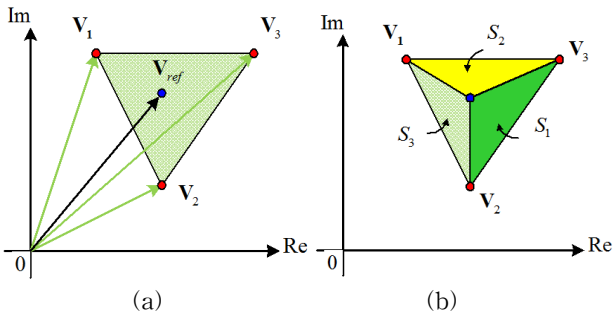


그림 3 무계중심좌표계에 의한 벡터의 합성, (a) 기준전압의 합성, (b) 무계중심좌표계에 의한 각 벡터의 듀티비의 계산

무계중심좌표계를 사용하면 다음과 같은 장점이 있다.

- (1) 듀티비를 계산할 때 SIN, COS의 함수계산없이 단순한 행렬식 계산만으로 구할 수 있으므로 계산량이 줄어든다.
- (2) 기준벡터가 속한 섹터에 따라 서로 다른 듀티비를 정하는 식을 유도할 필요가 없이 기준벡터가 어떤 섹터에 있던지 동일한 식으로 듀티비를 표현할 수 있다.
- (3) 무계중심좌표계의 좌표값은 면적으로 표시되므로 듀티비가 어떻게 정해지는지에 대한 직관적인 이해를 할 수 있다.

3. 시뮬레이션

그림 4는 3 레벨 인버터(그림 1)를 MVPWM할 때 PSIM 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림 4에서 보듯이 공통모드전압 V_{CM} 은 0 V로 일정하며 MVPWM이 태양광 인버터에 사용되는 경우 누설전류가 최소화 될 것임을 알 수 있다. 또 dc link 중성점에 흐르는 전류는 평균값이 0이며 밸런싱된 dc 링크 전압을 변동시키지 않음을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 3 레벨 인버터 시스템에서 공통 모드 전압 변동 제거를 위한 Medium Vector PWM(MVPWM)을 제안하였고 새로운 무계중심좌표계 방법에 의하여 구현하였다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 제안된 MVPWM의 위와 같은 특성을 밝히고 태양광 인버터의 제어에 적합함을 입증하였다.

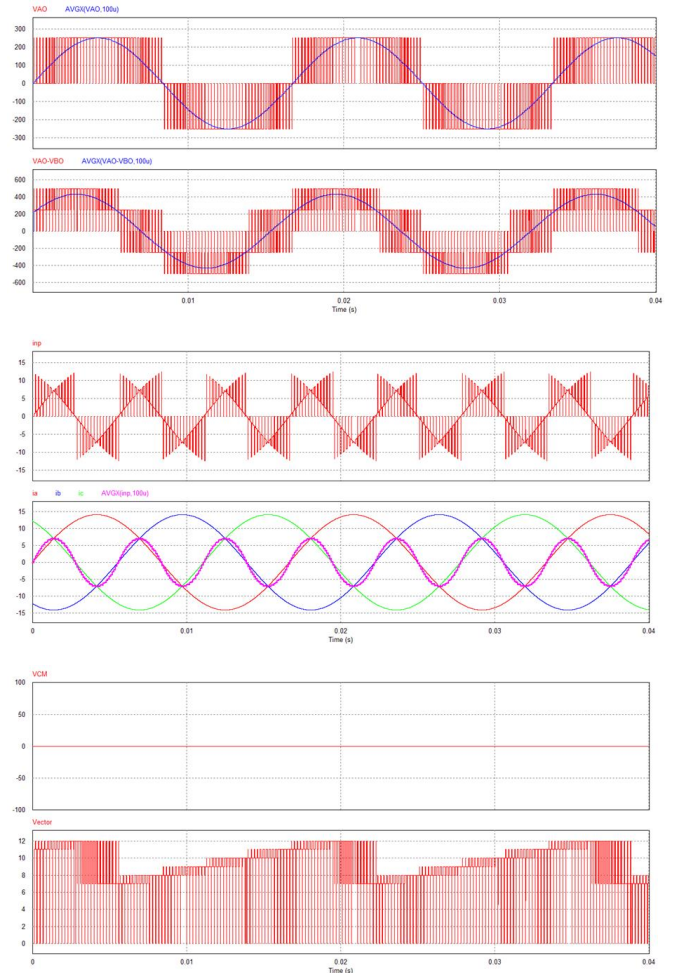


그림 4. PSIM 시뮬레이션, 위에서부터 상전압 (V_{AO}), 선간전압 (V_{AB}), dc link 중성점에 흐르는 전류(i_{np}), 3상전류와 i_{np} 의 스위칭 주기마다의 평균, 공통모드전압, 선택되는 벡터의 번호.

참고 문헌

- [1] June Seok Lee and Kyo Beum 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.