

불평형 전원전압 하에서 삼상 PWM 컨버터의 전류 보상 기법

박내춘, 김상훈
강원대학교

Current Compensation Method of a Three Phase PWM Converter under Unbalanced Source Voltages

N.C. Park, S.H. Kim
Kangwon National University

ABSTRACT

본 논문에서는 불평형 전원 전압 하에서 삼상 PWM 컨버터의 전류 보상 기법을 제안하였다. 전원 전압이 불평형인 경우 PLL(Phase Locked Loop)를 이용하여 추출한 위상각에는 왜곡 성분이 포함된다. 이러한 왜곡된 위상각으로 컨버터를 제어하는 경우 입력 전류에도 고조파가 포함되게 된다. 본 논문에서는 불평형 전원 전압 하에서도 입력 전류의 THD(Total Harmonic Distortion)를 IEEE Std. 519 규정인 5% 이내로 제한할 수 있도록 하는 전류 보상 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 검증하였다.

1. Introduction

최근 전동기의 가변속 구동이나 UPS 등의 여러 시스템에서 AC/DC 전력변환장치로서 원하는 직류 출력전압을 제어할 수 있고 교류 입력측 전류를 정현적으로 제어할 수 있을 뿐만 아니라 역률제어 및 양방향 전력전달이 가능한 PWM 컨버터의 사용이 점차 늘어가고 있다[1].

실제 삼상 전원 시스템에서의 전원 전압은 공통접속점에 연결된 비선형부하나 단상 부하로 인하여 그 형태가 왜곡되거나 불평형이 발생한다[1]. 이러한 불평형 전원 전압 하에서 PWM 컨버터를 제어하는 경우 제어 위상각이 왜곡되어 입력 전류에 고조파가 발생할 뿐만 아니라 고조파 유효전력이 발생하여 직류 출력 전압에도 리플이 발생한다.

불평형 전원 전압 하에서 기존의 PWM 컨버터의 제어 방법 들로는 정상분만을 이용하여 위상각을 추출하는 방법[2], 입력 전류를 정상분과 역상분으로 구분하여 전류제어를 하는 이중 제어기를 사용하는 방법[3]과 MRAS를 이용하는 방법[4]들이 제안된 바 있다. 그러나 이러한 방법들은 정상분과 역상분 성분을 추출해야하고 추가적인 제어기의 사용 등으로 인하여 제어가 복잡해지는 단점이 있다.

본 논문에서는 전원 전압 불평형시 동기좌표계 PLL을 통하여 검출된 제어 위상각으로 불평형 성분으로 인한 왜곡성분을 추출하여, 이를 동기좌표계 d q축 기준 전류에 보상하여 입력 전류를 평형으로 제어하는 것 뿐 만아니라 고조파 성분을 제거하는 새로운 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 검증하였다.

2. 전원전압 불평형시의 문제점

그림 1(a)와 같이 전원 전압에 불평형이 발생한 경우 동기좌표계 PLL기법을 사용하여 검출된 제어 위상각은 그림 1(b)와 같이 전원 전압의 2배의 주파수 성분을 포함하게 되어 왜곡이 발생하게 된다[2].

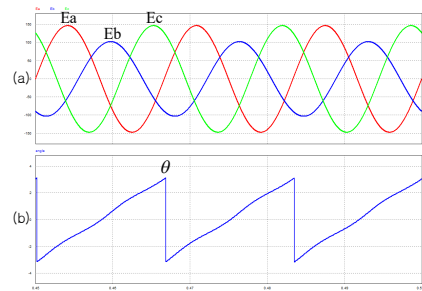


그림 1 불평형 전원전압과 제어 위상각
Fig. 1 Unbalanced source voltage and phase angle

이러한 왜곡된 제어 위상각을 사용하여 제어를 할 경우 그림 2에 보이듯이 입력단 교류 전류의 왜곡을 피할 수 없다.

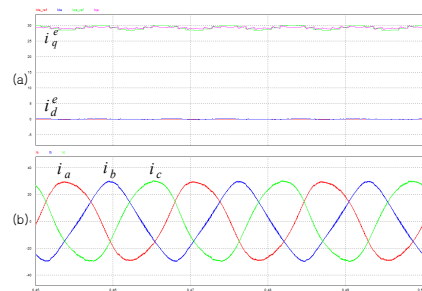


그림 2 전원전압 불평형시 입력 전류
Fig. 2 Input current under unbalanced source voltage

3. 제안된 전류 보상 기법

제안된 보상 기법에서는 불평형이 발생한 전원 전압으로부터 동기좌표계 PLL을 통해 2차 고조파 성분을 포함한 왜곡된 위상각 $\theta + \Delta\theta$ 와 저역통과필터를 사용한 동기좌표계 PLL을 통해 기본과 성분의 위상각 θ 를 검출한다. 이로부터 불평형 왜곡 성분을 식(1)과 같이 추출하고, 식(2)과 같이 왜곡이 보상된

동기좌표계 기준 전류 i_d^{e*}, i_q^{e*} 를 구한다.

$$\mathbf{T}(\theta + \Delta\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta + \Delta\theta) & \sin(\theta + \Delta\theta) \\ -\sin(\theta + \Delta\theta) & \cos(\theta + \Delta\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta \\ \sin\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\Delta\theta \\ -\sin\Delta\theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} i_d^{e*} \\ i_q^{e*} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\Delta\theta & \sin\Delta\theta \\ -\sin\Delta\theta & \cos\Delta\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d^{e*} \\ i_q^{e*} \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 i_d^{e*}, i_q^{e*} 는 보상되지 않은 d, q축 기준 전류이다.

그림 3은 제안된 전류 보상기법이 포함된 전체 제어 구성도를 나타내고 있다. 실제 제어에 사용되는 위상각은 불평형 성분을 포함하는 왜곡된 위상각이고, 기본과 성분의 위상각은 단지 보상을 위한 왜곡성분을 추출용으로만 사용한다.

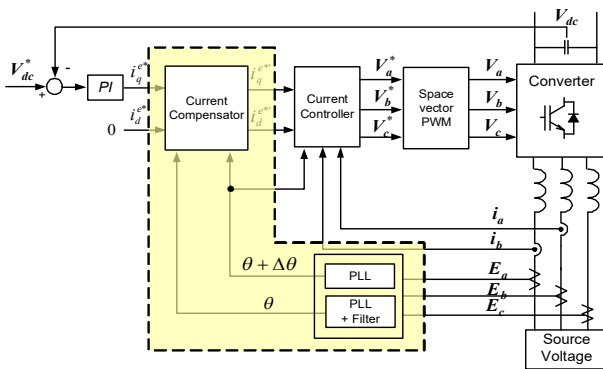


그림 3 제안된 기법 구성도
Fig. 3 Composition of proposed method

제안된 전류 보상기의 내부구조가 그림 4에 보인다. 보상기는 제어 위상각을 검출하기 위한 두개의 PLL, 검출된 위상각을 이용하여 왜곡성분을 추출하는 부분과 왜곡성분이 보상된 동기좌표계 기준 전류를 구하는 부분으로 구성된다.

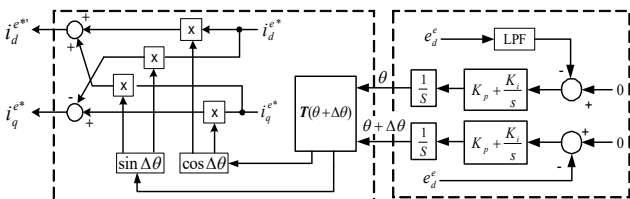


그림 4 전류 보상기의 구성도
Fig. 4 Block diagram of current compensator

4. 시뮬레이션 결과

제안한 기법의 타당성을 검증하기 위하여 시뮬레이션 툴인 PSIM의 DLL라이브러리를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서는 인터페이스 인덕터 1.2[mH], 직류단 커패시터 4400[uF], 부하 저항 20[Ω]를 사용하였고, 직류 출력 전압은 340[V]로 제어하였다.

그림 5(a)는 b상의 크기가 80%로 감소된 불평형 전원 전압을 나타내고 있고, 그림 5(b)는 제안한 보상기법을 사용한 경우 교류 입력 측의 전류를 나타내고 있다. 제안한 보상기법을 사용한 경우 전원 전압에 불평형이 발생하여도 교류 입력 전류는 평형으로 제어되고 있음을 알 수 있다. 이 경우 전류의 THD는

약 2.3%이다.

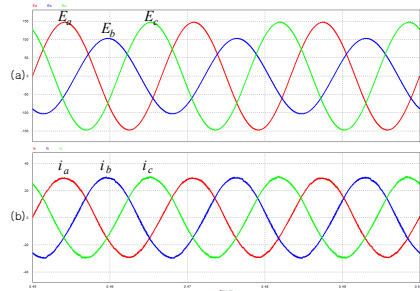


그림 5. 전원 전압과 교류 입력 전류
Fig. 5. Source voltage and AC input current

그림 6(a)는 PLL을 이용하여 검출한 왜곡된 위상각과 기본과 위상각을 나타내고, 그림 6(b)는 보상 후 동기좌표계 d q축 기준 전류와 실제 전류를 나타내고 있다. 불평형 성분을 보상하기 위한 기준 전류에는 전원 전압의 2배 주파수로 맥동하는 성분이 포함되어있다.

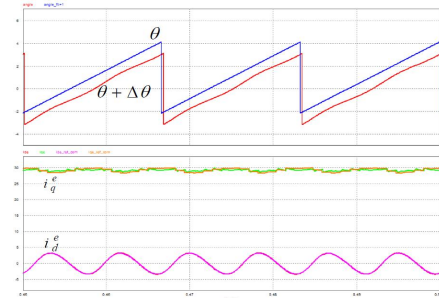


그림 6 위상각과 동기좌표계 d-q축 전류
Fig. 6 Phase angle and d-q axis currents

5. 결론

본 논문에서는 3상 PWM 컨버터에서 전원 전압 불평형이 발생한 경우 제어 위상각에서 불평형 성분을 추출하여 기준 전류에 보상함으로써 입력 전류를 평형으로 만들고 전류의 THD를 저감하는 기법을 제안하고 시뮬레이션 통해 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] Nae Chun Park, Hyung Soo Mok, Sang Hoon Kim, "Reduction of Input Harmonics for Three Phase PWM Converter Systems under Distorted Utility Voltage", *Journal of Power Electronics*, Vol. 10, No. 4, pp. 428-433, Jul., 2010.
- [2] 이상준, "순간 전압 강하 보상용 직렬 보상기를 위한 새로운 PLL 및 전압 제어기에 관한 연구", 서울대학교 공학박사 학위논문, 2003. 8.
- [3] 장정익, 이동춘, 김홍근 "전원전압의 불평형 및 왜곡시 3상 PWM 컨버터의 전류제어", 전력전자학회 논문집, 제12권, 제1호, 2007. 2, pp.27-36.
- [4] 신희근, 김학원, 조관열, 임병국, "전원전압의 불평형 및 왜곡 보상기능을 갖는 3상 PWM 정류기의 전류제어기", 전