

# 3상 양방향 인버터의 계통 불평형 및 왜곡 보상

양승대\*, 김승민\*, 송승호\*, 최익\*, 최주엽\*, 이상철\*\*, 이동하\*\*

\*광운대학교, \*\*대구경북과학기술원

## The Compensation of the Input Voltage Unbalance and Distortion for Three Phase Bi-Directional Inverter

Yang, Seung Dae\*, Kim, Seung Min\*, Song, Seung Ho\*, Choy, Ick\*, Choi, Ju Yeop\*, Lee, Sang Cheol\*\*, Lee, Dong Ha\*\*

\*Kwangwoon University([yds4860@gmail.com](mailto:yds4860@gmail.com)), \*\*Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology

### ABSTRACT

본 논문은 상용계통의 전압에 불평형 및 왜곡이 있을 경우, 양방향 인버터의 동작에 영향을 주어 발생하는 계통전류의 불평형 및 왜곡을 보상해 주는 알고리즘을 제안한다. 일반적으로 3상 계통시스템은 공통 입력단자에 단상 부하 및 비선형 부하가 3상 부하와 같이 연결될 수 있으므로 종종 불평형과 왜곡이 발생한다. 이러한 불평형 및 왜곡상황에서 3상 양방향 인버터를 일반적인 방법으로 제어할 경우, 계통의 입·출력 전류의 불평형 및 왜곡 문제가 발생한다. 본 논문에서는 제어기 상에서 왜곡성분을 추출하고 이를 제어기의 출력에 보상하여 줌으로써 간단한 보상기법을 제시하며, 모의실험을 통하여 그 효과를 검증한다.

### 1. 서 론

3상 인버터는 일정한 DC전압과 정현적인 계통전류를 제어할 수 있으며, 단위역률제어 및 양방향 전력전달이 가능하다. 양방향 인버터의 제어루프는 외부의 직류전압 제어루프와 내부의 전류 제어루프로 구성된다<sup>[1]</sup>.

일반적인 3상 계통시스템은 전압의 작은 왜곡이나 불평형이 있다. 이는 PCC(Point of Common Coupling)에 비선형 또는 단상부하가 연결되기 때문이다. 비선형 부하로 인한 왜곡전류가 PCC에서 전압의 왜곡을 발생시킨다. 또한 단상부하로 인한 불평형 전류가 PCC에서 전압의 불평형을 초래한다. 이러한 불평형과 왜곡의 계통전압이 양방향 인버터에 연결되면 직류단 전압의 맥동 또는 계통전류의 왜곡을 발생시킨다<sup>[2]</sup>.

계통전압이 불평형일 경우에 직류단 전압의 리플을 제거하기 위해 계통전류를 정상분과 역상분으로 분리하여 제어하는 듀얼 전류제어기가 제안되었고, 계통전압의 왜곡의 경우 기본 전류제어기에 공진제어기를 추가하는 방식이 제안되었다<sup>[3]</sup>. 그러나 듀얼 전류제어기는 제어의 복잡성이 증가하며, 공진제어기는 공진주파수 이외의 왜곡은 보상하지 못한다.

본 논문에서는 간단한 방법으로 불평형 및 왜곡의 계통전압에서도 계통전류의 왜곡을 보상하여 주는 새로운 방식을 제안한다. 제안하는 방식은 계통전류의 정상분을 추출하여 PLL(Phase Locked Loop)을 하고 왜곡 전압값을 한번에 추출하여 최종 인버터 출력전압 추종값에 보상하여 준다. 제시된 보상기법을 PSIM 시뮬레이션을 통하여 검증한다.

### 2. 제안하는 계통 전류 왜곡 보상 기법

#### 2.1 계통 전류 불평형 보상을 위한 PLL

계통 전압의 불평형 상태에서는 그림(1)와 같이 추종하는 위상각이 틀어지게 되고 이로 인하여 제어되는 계통 전류의 불평형이 생겨나게 된다. 전압의 불평형은 정상분과 역상분 전압을 만들어낸다. 식(1)과 같이 정상분 전압을 계산할 수 있고 그림(2)와 같이 PLL을 수행하면 그림(3)과 같이 정상분 전압은 평형으로 이를 가지고 위상각을 추종하면 왜곡없는 위상각을 추종할 수 있다. 이를 이용하여 계통전류의 불평형을 보상할 수 있다.

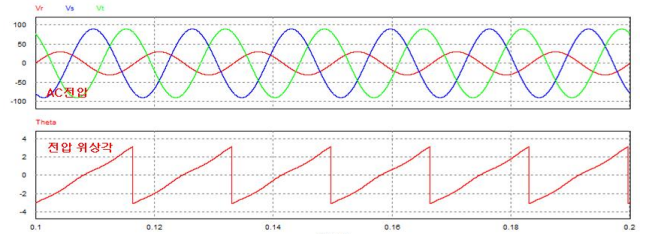


그림 1. 계통 전압 불평형에 따른 위상각 오류 파형

$$\begin{bmatrix} E_{pa} \\ E_{pb} \\ E_{pc} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ a^2 & 1 & a \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_a \\ E_b \\ E_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{1}{3}E_a - \frac{1}{6}E_b + \frac{\sqrt{3}}{6}E_b - \frac{1}{6}E_c - \frac{\sqrt{3}}{6}E_c \\ -\frac{1}{6}E_a - \frac{\sqrt{3}}{6}E_a + \frac{1}{3}E_b - \frac{1}{6}E_c + \frac{\sqrt{3}}{6}E_c \\ -\frac{1}{6}E_a + \frac{\sqrt{3}}{6}E_a - \frac{1}{6}E_b - \frac{\sqrt{3}}{6}E_b + \frac{1}{3}E_c \end{bmatrix}$$

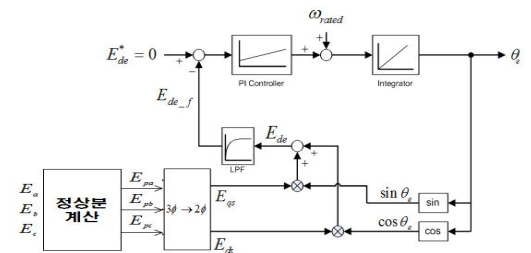


그림 2. 불평형 및 왜곡 전압전압 컨버팅 시뮬레이션

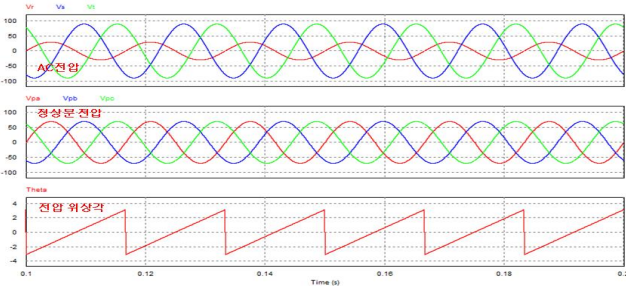


그림 3. 정상분 전압을 이용한 위상각 추종 파형

## 2.2 계통 전류 왜곡 보상

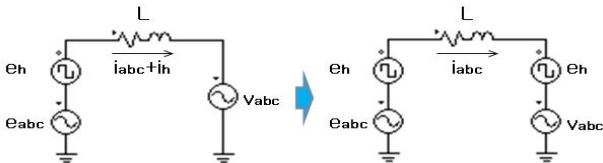


그림 4. 계통 전압 왜곡 시 전류 왜곡 보상 개념도

$$e_{abc} + e_h = L \frac{d}{dt} (i_{abc} + i_h) + v_{abc} \quad (2)$$

$$e_{abc} + e_h = L \frac{d}{dt} i_{abc} + v_{abc} + e_h \quad (3)$$

$$\Rightarrow e_{abc} = L \frac{d}{dt} i_{abc} + v_{abc}$$

$$e_{am} = e_m \sin(\theta) \quad (4)$$

$$e_{bm} = e_m \sin(\theta - 2\pi/3)$$

$$e_{cm} = e_m \sin(\theta + 2\pi/3)$$

$$e_{ah} = e_a - e_{am} \quad (5)$$

$$e_{bh} = e_b - e_{bm}$$

$$e_{ch} = e_c - e_{cm}$$

제안하는 계통전류의 왜곡 보상개념은 그림(4)와 같다. 식(2)에서와 같이 계통전압에 왜곡이 생기면 그 왜곡성분이 전류에도 나타나게 된다. 이때 계통전압의 왜곡성분을 계산할 수 있다면 식(3)에서와 같이 인버터 출력전압에 계통의 왜곡성분을 더하여서 왜곡성분을 서로 상쇄시킴으로써 전류의 왜곡을 보정할 수 있다. 이상적인 계통전압의 크기와 제어기에서 추종하는 전압의 위상각을 가지고 식(4)와 같이 이상적인 계통전압을 계산할 수 있다. 식(5)와 같이 실제 왜곡이 포함된 계통전압에서 이상적인 계통전압을 빼서 왜곡전압을 계산할 수 있다. 계산된 왜 전압을 인버터 출력전압에 보상하여 주면 그림(4)의 개념과 같이 전류의 왜곡을 보정할 수 있다.

## 3. 시뮬레이션

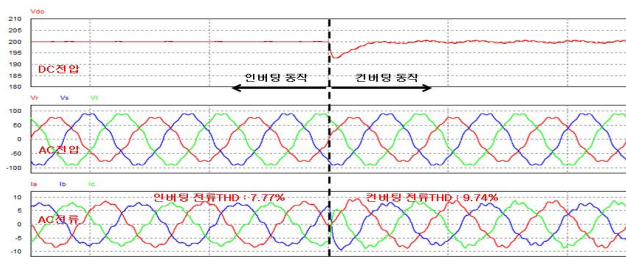


그림 5. 불평형+고조파 왜곡 상태 보상기법 적용 전 파형

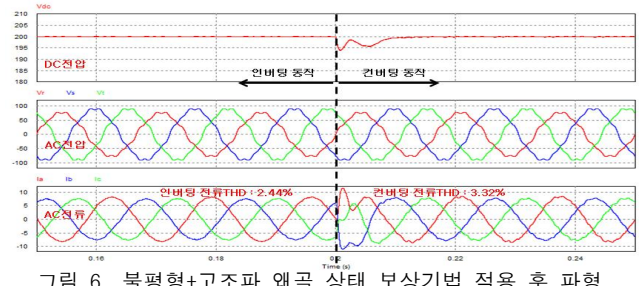


그림 6. 불평형+고조파 왜곡 상태 보상기법 적용 후 파형

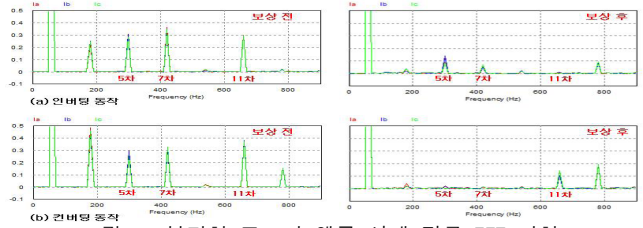


그림 7. 불평형+고조파 왜곡 상태 전류 FFT 파형

그림(5)~(7)은 계통 전압을 불평형 상태에서 고조파 왜곡을 주입하고 모의실험을 진행한 파형이다. 보상기법 적용 전 인버터 7.8%, 컨버터 9.7%의 THD가 보상기법을 적용하여 인버터 2.4%, 컨버터 3.3%의 THD로 약 70%의 왜곡 개선효과가 있음을 확인할 수 있다. 그림(7)의 주파수 분석에서도 역시 개선효과를 확인할 수 있다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 3상 양방향 인버터에서 계통 전압의 불평형과 고조파 왜곡으로 인한 계통 전류의 왜곡을 기존의 보상기법에 비하여 간단하게 개선할 수 있는 보상기법을 제시하였다. 그리고 제안한 보상기법이 양방향 동작 모두에서 계통전류의 왜곡을 개선할 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 추후 불평형과 왜곡을 모의할 수 있는 전원장비를 이용하여 실험을 진행하여 제시한 보상기법을 검증할 계획이다.

본 연구는 교육과학기술부에서 지원하는 대구경북과학기술원 일반사업(12 BD 0101)에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- [1] M. T. Tsai, and W. I. Tsai, "Analysis and Design of Three Phase AC to DC Converters With High Power Factor and Near Optimum Feedforward," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 46, no. 3, June 1999.
- [2] P. Enjeti and S. A. Choudhury, "A new control strategy to improve the performance of a PWM AC to DC converter under unbalanced operating conditions," in Proc. IEEE Pesc Conf., pp.382-389, 1991.
- [3] J. I. Jang, D. C. Lee, D. and H. G. Kim, "Current Control of Three Phase PWM Converters under Unbalanced and Distorted Source Voltage," 전력전자학회 논문지, vol. 12, no. 1, pp.27-36, 2007.