

# 비례공진 전류제어 기반 단상 계통연계형 인버터의 옵셋 오차 분석

신광현, 김은수, 정병국, 황선환  
경남대학교

## Analysis of Offset Error on Single-phase Grid-connected Inverter Based on PR Current Controller

Gwang-Hyun Shin, Eun-Soo Kim, Byung-Guk Jeong, Seon-Hwan Hwang  
Kyungnam University

### ABSTRACT

단상 계통연계형 인버터에서 전류센서를 통한 계통측 상전류 추정시 옵셋 오차는 전류센서와 추정 경로상에 위치한 아날로그 소자의 전압 불균형 및 비선형성으로 인하여 발생하게 된다. 옵셋 오차가 존재하지 않는 실제 상전류와 달리, 옵셋 오차를 포함한 측정된 전류로 전류 제어를 수행하게 되면 계통측 상전류에 직류, 전원 주파수의 기본파 및 2배 고조파 성분을 야기한다. 이러한 직류 및 맥동 성분은 계통연계형 인버터의 전력전달에 있어서 효율을 저하시키는 원인이 된다. 본 논문에서는 단상 계통연계형 인버터에서 비례공진 전류 제어기를 적용하는 경우, 전류 옵셋 오차의 영향을 분석하고, 이를 저감하기 위한 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘의 타당성은 시뮬레이션과 실험을 통해 증명한다.

### 1. 서론

단상 계통연계형 인버터에서는 인버터의 효율 향상을 위하여 계통측 상전류의 안정적인 제어가 요구된다. 그림 1은 비례공진 전류제어를 갖는 계통연계형 단상 인버터 시스템을 나타내며, 시스템의 동작을 위하여 직류단 전압제어기, 전류제어기 및 위상검출기가 구성되어 있다. 이 중 전류 제어를 위한 계통측 상전류는 전류센서, 아날로그 소자 그리고 A/D 컨버터의 순서로 측정되며, 이러한 상전류 측정경로상의 비선형적인 특성으로 인하여 옵셋 및 스케일 오차가 나타난다.<sup>[1]</sup> 하지만 스케일 오차는 단상 시스템에서 계통측 상전류에 영향을 주지 않기 때문에 고려되지 않는다. 반면, 비례공진 전류 제어기를 적용한 시스템에서 옵셋 오차는 상전류에 직류 및 맥동성분을 야기하기 때문에 시스템의 성능을 저하시키는 원인이 된다.<sup>[2]</sup>

따라서 본 논문에서는 비례공진 전류 제어기 적용시 옵셋 오차의 영향을 수식적으로 분석하였으며, 이를 보상하기 위하여 SOGI, APF 그리고 LPF가 적용된 새로운 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 옵셋 오차에 의해 발생하는 상전류의 2배 맥동을 통해 직류성분을 보상하기 때문에 빠르고 안정적인 특성을 가진다. 제안된 알고리즘의 유용성은 시뮬레이션과 실험을 통해 증명되었다.

### 2. 비례공진 전류제어 기반에서의 옵셋 오차 영향

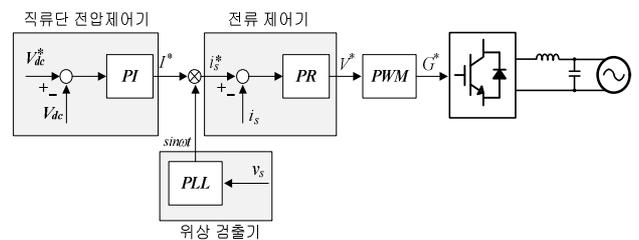


그림 1 비례공진 전류제어를 갖는 계통연계형 단상 인버터의 블록도

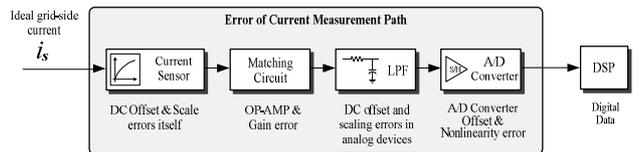


그림 2 전류측정 경로에서의 전류측정 오차 원인

그림 2는 상전류의 측정 경로에서 발생하는 전류측정 오차의 원인을 타낸다. 전류측정은 전류센서, 매칭회로, 저역통과필터, A/D 변환기 등의 아날로그 소자에 의하여 이루어지며, 측정경로상의 비선형적인 특성으로 인하여 디지털로 변환된 전류는 실제 전류와는 다르게 옵셋 및 스케일 오차를 포함하게 된다. 하지만 스케일 오차는 3상 인버터 시스템과는 달리 단상 시스템에서는 영향을 주지 않는다. 옵셋 및 스케일 오차가 포함된 계통측 상전류는 식 (1)과 같다.

$$i_s = -I_m \sin \omega t + \Delta_o \tag{1}$$

상전류에 옵셋 오차  $\Delta_o$ 가 포함된 경우의 입력전력은 아래와 같이 나타낼 수 있다.<sup>[1]</sup>

$$P_{in} = C_{dc} V_{dc} \frac{dV_{dc}}{dt} + \frac{I_m V_m}{2} = \alpha_0 \Delta_o \sin \omega t + \alpha_1 \sin 2\omega t - \alpha_2 \cos 2\omega t + \frac{I_m V_m}{2} \tag{2}$$

식 (2)에서 입력전력에 옵셋 오차에 의한 전원 주파수의 1배 맥동이 포함됨을 확인할 수 있다. 이는 직류단 전압에 동일한 형태의 맥동성분으로 나타나며, 그 결과 직류단 전압제어기의 출력인 전류 지령은 식 (3)과 같이 나타난다.

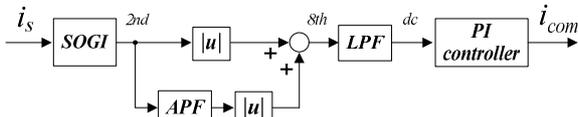


그림 3 제안된 윽셋 오차 보상 알고리즘 블록도

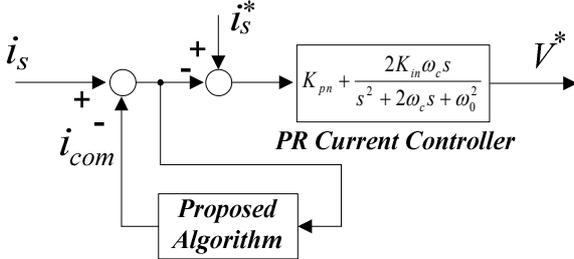


그림 4 윽셋 오차 보상 알고리즘을 포함한 전류 제어 블록도

$$i_s^* = I^* \sin \omega t \quad (3)$$

$$= \{I_m + \beta_0 \Delta_o \sin \omega t + \beta_1 \sin 2\omega t - \beta_2 \cos 2\omega t\} \sin \omega t$$

식 (3)에서 상전류 지령에 나타난 윽셋 오차의 영향만을 고려하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{off} = \beta_0 \Delta_o \sin \omega t \times \sin \omega t = \frac{\beta_0 \Delta_o}{2} (1 - \cos 2\omega t) \quad (4)$$

식 (4)에서 상전류에 윽셋 오차에 의한 전원 주파수의 2배 맥동성분이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 상전류에 포함된 윽셋 오차로 인한 맥동성분을 보상함으로써 높은 품질의 전력을 계통측으로 전달할 수 있다.

### 3. 제안된 윽셋 오차 보상 알고리즘

그림 3은 제안된 윽셋 오차 보상 알고리즘의 블록도를 보여 준다. 그림 4에서 보여 지듯이 계통측 상전류에 포함된 윽셋 오차의 영향을 검출하기 위해 측정된 상전류를 보상 기준신호로 선정하였으며, 제안된 알고리즘을 통해 윽셋 오차를 보상한다. 제안된 알고리즘은 특정 주파수의 검출이 가능한 SOGI를 이용하여 상전류에 포함된 윽셋 오차에 의한 2배 맥동성분을 검출하고 전역통과필터를 통해 90°의 위상차를 가지는 가상의 전류를 생성한다. 이 두 신호를 각각 절대값을 취하여 합한 결과 직류를 포함한 8배 맥동을 발생시킨다. 이를 저역통과필터를 통해 직류성분만을 추출하여 PI 제어기에서 최종적으로 보상신호  $i_{com}$ 을 출력하여 계통측 상전류에 보상된다. 제안된 알고리즘은 간단한 구성과 저역통과필터에서 직류성분에 포함된 8배 맥동을 높은 차단 주파수로 설정하여 필터링할 수 있기 때문에 윽셋 오차에 대한 정확하고 빠른 응답특성을 가진다.

### 4. 시뮬레이션

그림 5는 제안된 윽셋 오차 보상 알고리즘의 적용 전과 후에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내며, 시뮬레이션은

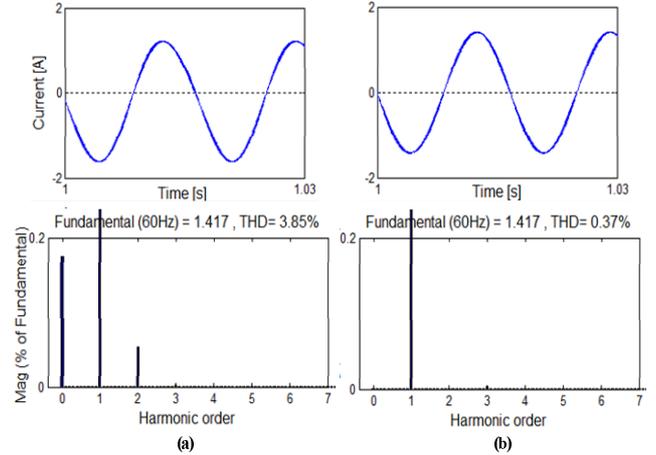


그림 5 윽셋 오차 보상 알고리즘의 적용 전과 후의 상전류 및 FFT 결과. (a) 보상전. (b) 보상후.

Matab/Simulink를 통해 수행되었다. 그림 5(a)는 윽셋 오차 보상 전 상전류 및 FFT결과를 나타내며 0.2[A]의 윽셋 오차를 주입함에 따라 계통측 상전류의 THD가 3.85%로 나타남을 확인할 수 있다. 그림 5(b)는 제안된 알고리즘을 적용한 후 상전류 및 FFT 결과를 나타내며, 보상전보다 3.48%개선된 0.37%의 THD결과를 나타낸다. 이를 통해 제안된 알고리즘을 적용함으로써 윽셋 오차 및 2배 맥동성분이 잘 보상됨을 알 수 있다.

### 5. 결론

본 논문에서는 단상 계통연계형 인버터에서 비례공진 전류 제어기를 이용하는 경우, 전류 윽셋 오차의 영향을 상세히 분석하고 이를 보상하기 위한 새로운 알고리즘이 제안되었다. 제안된 알고리즘은 SOGI, APF 및 LPF를 적용하여 계통측 상전류에 포함된 2배 맥동성분의 크기를 통해 윽셋 오차를 보상하도록 설계되었다. 비례공진 전류 제어기가 적용된 시스템에서 제안된 윽셋 오차 보상 알고리즘을 적용한 결과, 계통측 상전류에 포함된 직류 및 전원 주파수의 2배 맥동성분이 제거되었으며 상전류의 THD가 0.37%로 나타남을 확인하였다. 실험 및 시뮬레이션을 통하여 제안된 알고리즘의 유용성을 검증하였다.

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 지역 특화산업육성사업으로 수행된 결과입니다(R0005067-1).

### 참고 문헌

- [1] C.H. Lee and J.W. Choi, "Compensation strategy to eliminate the effect of current measurement offsets in grid-connected inverters," Journal of Power Electronics, Vol. 14, No. 2, pp. 383-391, 2014, Mar.
- [2] D.Y. Kim, J.M. Kim, J.W. Park and S.H. Hwang, "Compensation of current offset error in half-bridge PWM inverter for linear compressor," Journal of Power Electronics, Vol. 15, No. 6, pp. 1593-1600, 2015, Nov.