

# 계통 전압 센싱 옵셋으로 인한 3상 인버터 PLL 오차 보상 기법

장주영, 이정흠, 양승철, 문상호  
포스코에너지

## 3-phase Inverter PLL Error Compensation due to Grid Voltage Sensing Offset

Ju-Young Jang, Jeong-Hum Lee, Seung-Chul Yang, Sang-Ho Moon  
POSCO Energy

### ABSTRACT

계통 연계형 3상 인버터는 계통과 연계 운전을 위해 전력 계통과 동기화시키는 PLL 알고리즘을 사용하게 된다. 본 논문에서는 정상분 전압을 추출하는 PLL 사용을 전제로 계통 전압의 센싱 옵셋이 발생한 경우 PLL 알고리즘을 안정적으로 동작시키기 위한 PLL 보상 방법을 제안한다.

### 1. 서론

계통 연계형 3상 인버터는 계통 연계 운전을 위해 계통과 동기화시키는 PLL 알고리즘을 사용하게 된다. 본 논문에서는 계통 전압 센싱값에서 정상분 전압을 추출하는 PLL 사용을 전제로 계통 전압의 센싱 옵셋에 대한 보상 기법을 서술하였다. 제어 보드 또는 센싱 보드 상에서 계통 전압 센싱에 H/W적인 문제로 인한 옵셋이 발생하면 동기변환 PLL을 사용하는 경우 각 주파수 신호에 정격 주파수와 같은 주파수로 PLL 오차가 발생하게 된다. 각 주파수에 발생하는 리플의 크기는 옵셋의 크기에 비례하여 커지게 된다. 이렇게 발생한 PLL 오차는 계통 연계 운전 제어에 오차를 발생시키고 이로 인해 인버터 전장품의 온도 상승 등으로 시스템에 악영향을 유발시킨다. 전력전자분야에서 옵셋의 영향과 이에 대한 보상과 인버터의 센싱 옵셋을 최소화하는 등의 연구가 진행되어왔다.[1][2][3] 따라서, 본 논문에서는 기존에 연구되었던 결과를 동기좌표계 PLL 알고리즘에 추가하여 계통 전압 센싱에 옵셋 발생시에도 PLL 알고리즘이 안정적으로 동작할 수 있는 보상 기법을 제안한다.

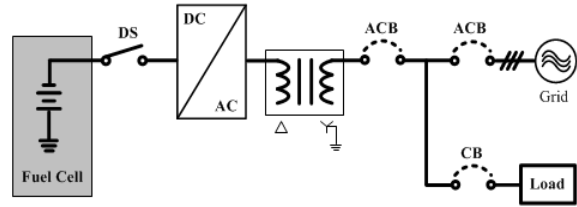


그림 1 연료전지용 계통 연계형 인버터의 단선도

본 논문에서는 그림 1과 같이 신재생에너지 연료전지 분야에서 일반적으로 사용되는 계통 연계형 인버터를 대상으로 보상 알고리즘을 연구하였다.

### 2. 계통 전압 옵셋의 PLL 영향

우선, 옵셋을 가지는 3상 계통 전압을 동기변환을 통하여 dq축 전압으로 정리하면 다음과 같이 옵셋 성분  $\delta v_{gd}^e, \delta v_{gq}^e$ 을 가지는  $v_{gd-AD}^e, \delta v_{gd-AD}^e$ 로 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} v_{gd-AD}^e &= v_{gd}^e + \delta v_{gd}^e \\ v_{gq-AD}^e &= v_{gq}^e + \delta v_{gq}^e \end{aligned}$$

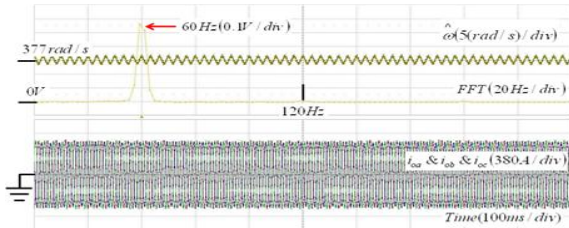
$\delta v_{gd}^e, \delta v_{gq}^e$  성분을 다시 정리하면 다음과 같다.

$$\delta v_{gd}^e = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\delta v_a^2 + \delta v_a \delta v_b + \delta v_b^2} \sin(\omega_g t + \alpha)$$

$$\delta v_{gq}^e = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\delta v_a^2 + \delta v_a \delta v_b + \delta v_b^2} \cos(\omega_g t + \alpha)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{3} \delta v_a}{\delta v_a + 2 \delta v_b} \right)$$

$\delta v_{gd}^e, \delta v_{gq}^e$ 에 기본파에 해당하는  $\omega_g$  성분이 나타나는 것을 확인할 수 있다.[1]



C1:계통 주파수[5(rad/s)/div,377offset], F1:계통 주파수 FFT[20Hz/div, 0.1V/div]  
C2~C4: 3상 출력전류[380A/div]

그림 2 검출된 계통의 각주파수 FFT 분석 결과

그림 2는 3상 계통 전압의 정상분을 추출하여 동기변환한 PLL 결과인 계통의 각 주파수( $\hat{\omega}_g$ )를 FFT 분석한 결과로 기본파(60Hz) 성분이 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이에 대한 원인은 기존 연구 결과를 통하여 센싱 옵셋이 발생할 경우 3상 동기변환 시 기본파 성분으로 나타나는 것을 확인할 수 있다. [1] 이럴 경우 각 주파수( $\hat{\omega}_g$ )의 오차는 동기변환 오차를 유발하고 출력 전류의 왜곡을 발생시키는 원인이 된다.

### 3. 제안한 동기좌표계 PLL 오차 보상 기법

본 논문에서 사용되는 PLL 알고리즘은 PSC(Positive Sequence Computation using All Pass Filter)를 이용하여 정상분을 추출한다. 정상분 전압을 동기변환한 d축 전압을 피드백 받아 PLL 알고리즘을 구동한다. PLL 알고리즘 결과는  $\hat{\omega}_g$ 로 나타나고 이를 적분하여  $\hat{\theta}_g$ 를 계산한다.

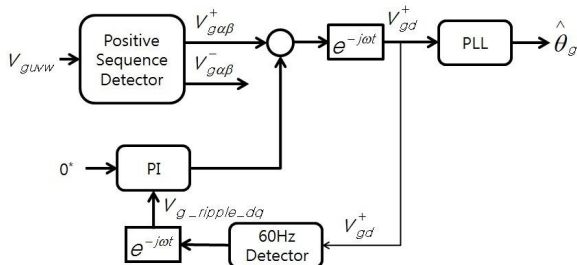


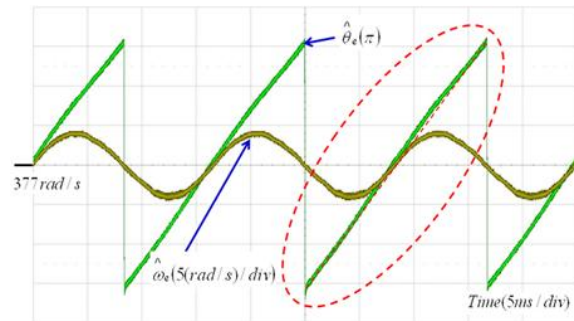
그림 3 전압 센싱 옵셋으로 인한 PLL 오차 보상기 블럭도

본 논문에서는  $v_{gd}^+$ 에 발생한 옵셋 성분인  $\delta v_{gd}^e, \delta v_{gq}^e$ 를 검출하여 이를 PLL 지령에 보상하는 형태로 보상한다. 그림 3에 PLL 오차를 보상하는 알고리즘에 대해 간략히 나타내었다.

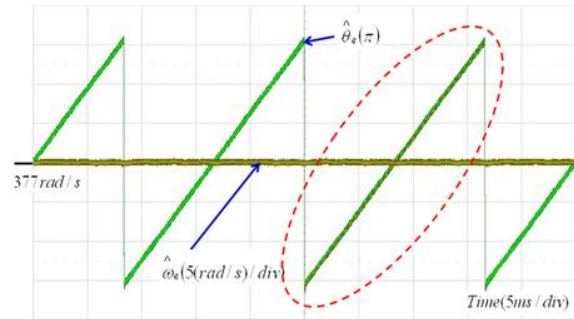
### 4. 실험 결과 및 결론

본 논문의 알고리즘을 검증하기 위해 v상 계통 전압에 10V의 옵셋 전압을 외부에서 주입하였다. 그 결과 그림 4의 파형과 같이 보상 이전에는 각 주파수  $\hat{\omega}_g$ 에 기본파 성분이 나타나고  $\hat{\theta}_g$ 에도 주기적으로 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

PLL 센싱 옵셋에 대한 보상을 적용한 경우 각 주파수  $\hat{\omega}_g$ 에 기본파 성분이 사라짐으로써  $\hat{\theta}_g$ 도 상당히 개선되는 것을 확인할 수 있다.



<보상 전>



<보상 후>

그림 4 옵셋 보상 전/후 PLL 실험 파형  $\hat{\omega}_g, \hat{\theta}_g$

### 참고 문헌

- [1] D.W. Chung and S.K. Sul, "Analysis and Compensation of Current Measurement Error in Vector Controlled AC Motor Drives," IEEE Transactions on Ind, Appl., vol 34, no.2, 1998
- [2] Buticchi, G.; Lorenzani, E.; Franceschini, G.; , "A DC Offset Current Compensation Strategy in Transformerless Grid Connected Power Converters," Power Delivery, IEEE Transactions on , vol.26, no.4, pp.2743-2751, Oct. 2011.
- [3] 장주영, 이정흠, 양승철, 문상호, "3상 계통 연계형 인버터의 출력 센싱 옵셋 보상 알고리즘," 전력전자학회, 2013년도 전력전자학술대회 논문집, 2013.7, page(s): 510-511