

3상 계통 연계형 인버터의 출력 센싱 옵셋 보상 알고리즘

장주영, 이정흠, 양승철, 문상호
포스코에너지

Output Sensing Offset Compensation Algorithm for 3-Phase Grid-connected Inverter

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

ABSTRACT

3상 인버터 출력단 센싱에 옵셋이 발생할 경우 DC 전류에 출력 주파수에 해당하는 리플 성분이 발생하게 된다. 리플의 크기는 옵셋의 크기에 비례하여 커지게 된다. 센싱 단자 등의 H/W적인 문제로 옵셋이 발생할 경우 DQ축 전류 및 DC 전류에 리플이 발생하게 되고 이는 필터 리액터, 변압기 등의 온도 상승 및 IGBT Stack의 온도 상승 등 인버터 시스템에 악영향을 유발시킬 뿐만 아니라 DC 소스원에도 악영향을 발생시킬 가능성이 존재한다. 따라서, 본 논문에서는 옵셋의 영향을 줄여 시스템을 안정적으로 동작시키기 위해 옵셋 보상 방법을 제안하였다.

1. 서론

센싱 옵셋에 대해서는 인버터 제어를 포함하여 여러 제어 분야에서 많은 연구가 진행되어왔다. 특히, 전력전자분야에서 모터 인버터의 경우에는 옵셋이 토크 리플에 영향을 미치고[1][2], 계통 연계형 인버터의 경우에는 옵셋이 변압기 포화를 유발시켜 시스템을 과열시킨다. 이러한 이유로 인버터의 센싱 옵셋을 최소화하는 연구도 진행되었다.[3]

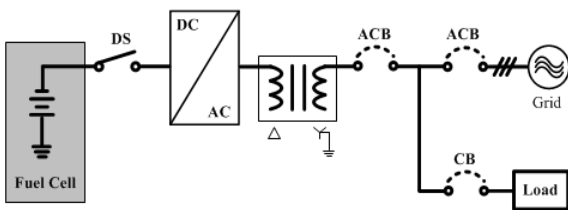
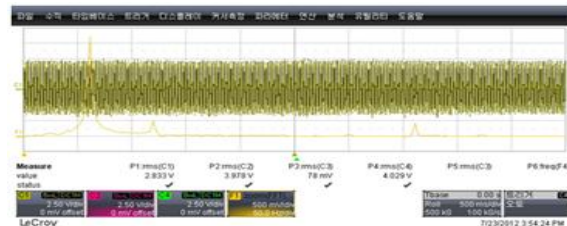


그림 1 연료전지용 계통 연계형 인버터의 단선도

본 논문에서는 그림 1과 같이 신재생에너지 연료전지 분야에서 일반적으로 사용되는 계통 연계형 인버터를 대상으로 출력 전류의 옵셋을 최소화하여 시스템 과열 및 효율적이고 안정적인 인버터 운전을 위해 옵셋 보상 알고리즘을 제안한다.

2. 옵셋의 영향[1]

Q축 전류 및 DC 전류의 리플을 분석하여 원인을 찾기 위해 다음과 같이 DC 전류에 대한 FFT 분석을 수행하였다.



C1:Q축 전류[50A/div,750A_offset], F1:DC 전류 FFT [50Hz/div, 50mV/div]

그림 2 DC 전류의 FFT 분석 결과

위 그림 2는 DC 전류의 주파수를 분석한 결과로 1고조파(60Hz) 성분이 가장 크게 나타났고 2고조파, 6고조파 등의 고조파 성분들이 모니터링된다.

3상 출력 전류 센싱값을 i_{a_AD} , i_{b_AD} , i_{c_AD} 이라고 하고 i_a , i_b , i_c 를 실제 전류로 두면

$$\begin{aligned} i_{a_AD} &= i_a + \delta i_a \\ i_{b_AD} &= i_b + \delta i_b \\ i_{c_AD} &= -(i_{a_AD} + i_{b_AD}) \end{aligned}$$

로 정리할 수 있다. 여기에서 δi_a , δi_b 를 각 상전류의 옵셋 성분이라고하고 이 3상 전류 센싱값을 동기좌표

계를 이용하여 수식을 정리하면

$$\begin{aligned} i_{d_AD}^e &= i_d^e + \delta i_d^e \\ i_{q_AD}^e &= i_q^e + \delta i_q^e \end{aligned}$$

위 식과 같이 dq축의 전류를 정리하여 전류 오차분인 $\delta i_d^e, \delta i_q^e$ 로 정리할 수 있다. 여기에서 $\delta i_d^e, \delta i_q^e$ 성분을 다시 정리하면

$$\begin{aligned} \delta i_d^e &= \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\delta i_a^2 + \delta i_a \delta i_b + \delta i_b^2} \sin(\omega_e t + \alpha) \\ \delta i_q^e &= \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\delta i_a^2 + \delta i_a \delta i_b + \delta i_b^2} \cos(\omega_e t + \alpha) \\ \alpha &= \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{3} \delta i_a}{\delta i_a + 2\delta i_b} \right) \end{aligned}$$

여기에서 $\delta i_d^e, \delta i_q^e$ 에서 그림2와 같이 기본파에 해당하는 60Hz 성분이 나타나는 것을 확인할 수 있다.

3. 제안한 출력 전류 센싱 옵셋 보상 기법

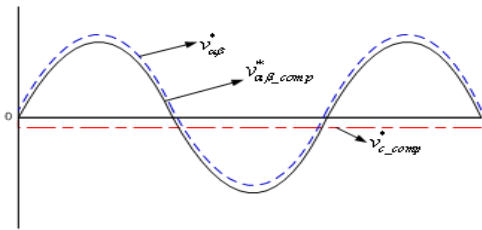


그림 3 옵셋 보상기 출력 신호

본 논문에서는 d축, q축 전류 또는 DC 전류를 센싱 받아 기본파 성분에 해당하는 $\delta i_d^e, \delta i_q^e$ 성분을 검출하여 이를 인버터 제어기 출력단에 보상하는 형태로 출력 센싱에 대한 옵셋을 보상한다. 그림 3은 이러한 출력 전류 센싱 옵셋을 보상하는 알고리즘에 대해 간략히 나타낸 것이다.

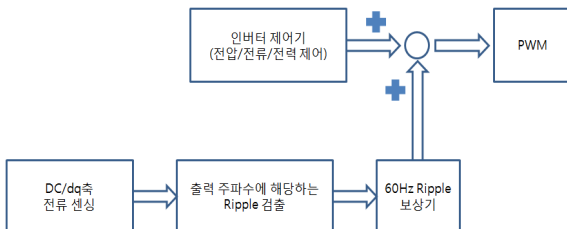
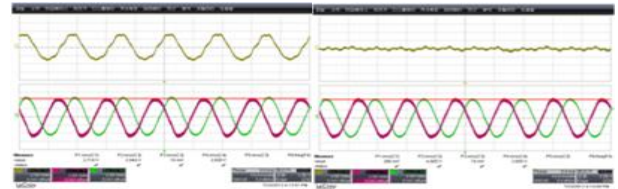


그림 4 출력 전류 센싱 옵셋 보상 알고리즘 블록도

그림 3과 같이 기존에 옵셋을 가진 센싱값을 피드백 받아서 제어한 전압 지령 $v_{\alpha\beta}^*$ 에 옵셋 성분을 추출하여 보상한 보상기 출력인 $v_{c_comp}^*$ 값을 더하여 PWM 지령을 만들게 되면 $v_{\alpha\beta_comp}^*$ 와 같은 전압 지령 출력된다. 센싱 옵셋을 보상하는 개념을 그림 4와 같이 간단히 표현할 수 있다.

4. 실험 결과 및 결론



<보상 전> <보상 후>
C1:Q축 전류[50A/div], C2:U상 출력 전류, C4:V상 출력 전류[0.4pu/div]
그림 6 옵셋 보상 전/후 Q축 전류 및 출력 전류

본 논문의 알고리즘을 검증하기 위해 임의로 v상전류에 약 30A가량의 옵셋 전류를 주입하였다. 그 결과 그림 6의 보상 전 파형과 같이 보상 이전에는 Q축 전류에 기본파 성분이 나타나고 v상전류가 옵셋으로 u상 전류보다 떠있는 것을 확인할 수 있다.

옵셋 보상기를 적용한 경우 Q축 전류에 60Hz 기본파 성분이 줄어들고 출력 전류의 옵셋도 제거되는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 본 논문에서 제안한 옵셋 보상기는 3상 인버터의 출력 전류의 옵셋을 보상하여 IGBT 소자 뿐만아니라 리액터, 변압기 등을 포함한 인버터의 안정적인 운전을 가능케 할 수 있다.

참고 문헌

- [1] 설승기 저, "전기기기제어론" 홍릉과학출판사, Chapter8, pp.430 435.
- [2] 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
- [3] 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.