

LCL 필터를 가지는 태양광 인버터의 안정도 향상을 위한 Active Damping Filter 설계

박권식, 최희창, 노의철
부경대학교

Design of Active Damping Filter for Stability Improvement of Grid Connected Photovoltaic Inverter with LCL Filter

Kwon Sik Park, Hee Chang Choi and Eui Cheol Nho
Pukyong National Univ.

ABSTRACT

본 논문에서는 LCL 필터를 가지는 계통연계형 태양광 인버터의 필터에 의한 공진을 억제하는 기법을 제시하였다. 기존의 L 필터보다 LCL 필터가 높은 고조파 저감 효과를 가지지만 LC 필터가 추가됨으로써 발생하는 공진으로 인해 시스템은 불안정해진다. 공진을 억제하기 위해 댐핑 기법이 함께 사용된다. 능동 댐핑은 수동 댐핑에 비해 실제 저항이 추가되지 않음으로써 회로의 손실을 저감하는 장점이 있다. 적절한 설계 기법을 통해 공진을 억제하고 시스템의 안정성을 높였으며 시뮬레이션을 통해 제안한 방식의 타당성을 검증하였다.

1. 서론

최근 신재생 에너지의 보급이 확대되면서 계통연계형 인버터의 안정성 및 성능을 향상시키는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그 중 계통으로 유입되는 전류의 THD(Total Harmonic Distortion)를 저감하기 위해 L 필터 보다 크기를 줄일 수 있으며 고조파 저감 성능이 우수한 LCL 필터를 많이 사용하는 추세이다. 하지만 설계가 까다로우며 수동소자 간 공진으로 인해 댐핑 기법 적용이 필수적이다. 일반적으로 커패시터와 직렬로 저항을 연결하는 수동 댐핑 기법을 이용한다^[1]. 이 방법은 가장 신뢰성이 높으나 저항에서 손실이 발생하므로 시스템의 효율을 저하시킨다. 능동 댐핑 기법 중 가상저항을 사용하는 기법은 실제 댐핑 저항과도 같은 성능을 가지고 있는 반면에 커패시터의 전류 정보가 필요하므로 추가적인 센서가 필요하다는 단점을 가지고 있다. 노치필터를 이용한 댐핑은 정확한 공진 주파수를 계산하면 효과적인 댐핑을 할 수 있으나 계통의 상황에 따라 계통의 임피던스가 변동할 수 있으므로 실제 공진 주파수가 계산한 주파수와 다를 경우 안정성을 보장하기 힘들다.

본 논문에서는 노치필터를 이용해 공진을 억제하고 계통의 임피던스의 변화에 따라 공진 억제 범위를 늘릴 수 있는 새로운 제어기법을 제시한다.

2. 노치필터를 적용한 능동 댐핑 기법

2.1 LCL 필터를 가지는 단상 계통연계형 인버터

LCL 필터를 가지는 계통연계형 인버터는 그림 1과 같다. 전

류를 측정하는 위치에 따라 전달함수는 달라지며 그에 맞는 제어기 설계와 댐핑 기법이 필요하다.

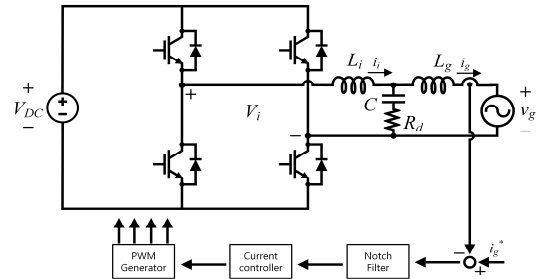


그림 1 LCL 필터를 가지는 단상 계통연계형 인버터
Fig. 1 Single-phase grid-connected inverter with LCL filter

계통 전류를 측정하는 경우의 인버터 전달함수는 다음과 같다.

$$\frac{i_{grid}}{V_i} = \frac{1}{s^3 + \frac{L_i + L_g}{L_i L_g C} s} \quad (1)$$

여기서

$$\omega_{res} = \sqrt{\frac{L_i + L_g}{L_i L_g C}} \quad (2)$$

이다.

노치필터의 수식은 다음과 같다.

$$G_n(s) = \frac{s^2 + \frac{\zeta_2 \omega_{res}}{Q} s + \omega_{res}^2}{s^2 + \frac{\zeta_1 \omega_{res}}{Q} s + \omega_{res}^2} \quad (3)$$

위 수식에서 ζ_2 와 ζ_1 을 통해 공진 주파수에서의 이득을 결정할 수 있으며 Q 로 감쇠의 형태를 결정할 수 있다.

주파수를 LCL 필터의 공진 주파수와 맞춰 설계할 경우의 Bode Plot은 다음과 같다.

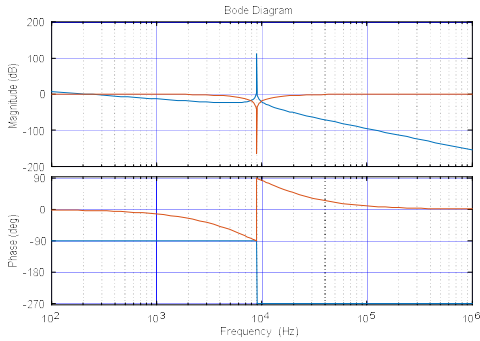


그림 2 LCL 필터와 노치 필터의 보드선도
Fig. 2 Bode plot of LCL Filter and Notch Filter

설계한 LCL 필터의 정확한 임피던스를 측정 가능한 경우, 공진 주파수에 맞춰 노치필터 설계가 가능하지만 실제 계통 측에 인덕턴스 성분이 존재하므로 정확한 임피던스를 추정하기 어렵다. 따라서 적절한 보상이 필요하다.

2.2 제안한 제어기

노치필터 설계 시 공진 주파수와 공진 주파수에서의 이득, 감쇠 형태 설정을 위한 Q값 조정 등을 고려해야 하므로 설계가 까다롭다. 또한 커패시터의 직렬저항성분의 값에 따라 설계가 달라진다.

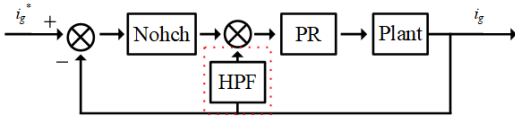


그림 3 제안한 보상기의 블록선도
Fig. 3 Block diagram of proposed compensator

그림 3과 같이 계통 전류의 피드백 제어 시 HPF(High Pass Filter)를 통해 고조파 성분을 보상해 준다. L_g 와 R_d 값에 따른 극점의 변화는 그림 4와 같다.

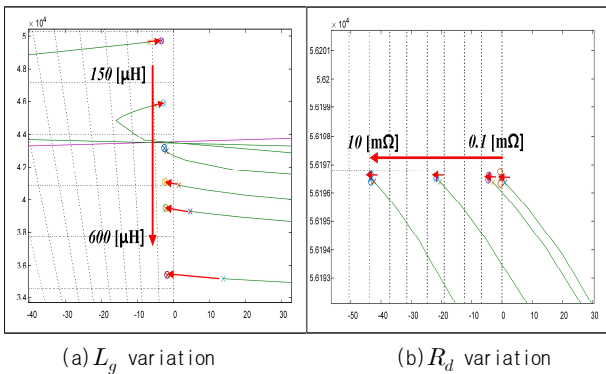


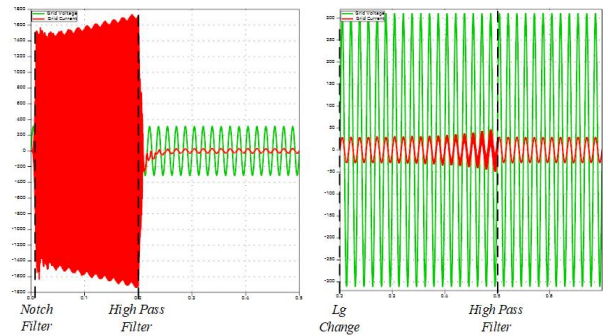
그림 4 L_g 와 R_d 값에 따른 극점의 위치 변화
Fig. 4 Pole location variation according to the variation of L_g and R_d

3. 시뮬레이션

시뮬레이션은 PLECS로 수행하였으며 시뮬레이션에 사용된 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Simulation Parameters

L_i	570 [uH]	L_g	150 350 [uH]
C	2.7 [uF]	R_d	0.1 1 [mOhm]
V_{dc}	380 [V]	V_{grid}	220 [V]



(a) $R_d = 0.1 [m\Omega]$ 일 때 (b) $R_d = 1 [m\Omega]$,
 $L_g = 150 \rightarrow 350 [\mu H]$ 일 때

그림 5 각각의 경우에 따른 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulation results in each case

(a)에서 알 수 있듯이, $R_d = 0.1 [m\Omega]$ 일 경우, 극점은 우반면에 있으므로 노치필터를 적용하더라도 전체 시스템을 불안정하게 된다. 또한 (b)에서 알 수 있듯이 $R_d = 1 [m\Omega]$ 일 경우 시스템은 안정하나 L_g 값에 따라 시스템이 불안정해짐을 알 수 있다. HPF를 적용함으로써 시스템이 안정해짐을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 기존의 노치필터를 이용한 능동 댐핑 기법에서 새로운 보상기를 추가하여 임피던스 변화 시 불안정한 시스템을 안정하게 함을 확인하였다. 수동 댐핑 저항을 제거함으로써 시스템의 손실을 저감할 수 있으며 불안정한 영역을 제거함으로써 신뢰성을 높였다. 본 연구 결과를 계통연계형 태양광 인버터의 필터 최적화 및 안정도 향상에 기여할 것으로 기대된다.

참고 문헌

[1] M. Liserre, F. Blaabjerg, and S. Hansen, "Design and Control of an LCL filter based Three phase Active Rectifier," IEEE Trans. On. Ind. Appl., Vol. 41, No. 5, 2005.