

LCL 필터를 갖는 계통연계형 인버터의 전류센서 위치에 따른 전류 고조파 분석

허진용, 박권식, 서병준, 조광래, 김학수, 노의철
부경대학교

Current Harmonics Analysis of Grid-connected Inverter with LCL Filter According to Current Sensing Position

Jin-Yong Heo, Kwon-Sik Park, Byuomg-Jun Seo Kwang_Rae Jo, Haksoo Kim and Eui-Cheol Nho
Pukyong National Univ.

ABSTRACT

축 전류 i_g , 계통전압 v_g 가 센싱된다.

본 논문에서는 LCL 필터를 사용하는 계통연계형 인버터에서 시스템을 안정시키기 위해 피드백 경로에 2차 저역 통과 필터(LPF)가 사용되었을 때 전류센서의 위치에 따른 출력 전류의 고조파 성분을 분석한다. LCL 필터를 사용하는 계통 연계형 인버터에서는 필터의 공진으로 시스템은 불안정해 지기 쉬우며 또한 안정조건은 전류센서의 위치에 따라서 바뀐다. 전류센서의 위치에 따라 바뀌는 계통축 전류의 고조파 성분을 시뮬레이션을 통해 분석한다.

1. 서론

최근 태양광, 풍력 발전 등 신재생 에너지에 대한 관심이 높아짐에 따라 신재생 에너지를 계통에 연결하기 위해 계통연계형 인버터의 사용이 증가하고 있다. 하지만 계통연계형 인버터의 스위칭으로 발생하는 고조파 때문에 다수의 분산형 전원이 계통에 연결되면 계통품질에 악영향을 끼치게 되기 때문에 고조파 저감을 위해 필터가 필수적으로 사용된다. 계통연계형 인버터의 필터로는 작은 크기와 경제성 때문에 LCL 필터가 널리 사용되고 있다. 하지만 이런 장점에도 불구하고 공진현상 때문에 시스템이 불안정해지고 인버터측 전류제어가 제어될 경우 LCL 필터는 작은 값을 가지지 못하는 단점이 있다. 때문에 시스템을 안정하게 만들기 위해 패시브 댐핑이나 액티브 댐핑 등 여러 기법들이 연구되었다^[1-2]. 하지만 이러한 댐핑 기법들은 시스템 전체의 효율을 떨어뜨리거나 시스템 설계를 복잡하게 한다. 이러한 단점들을 개선하기 위해 피드백 경로에 2차 LPF를 사용한 제어 및 설계 기법이 제안되었다^[3].

본 논문에서는 피드백에 LPF를 사용한 기법에서 전류센서의 위치에 따른 계통축 전류의 고조파 성분을 분석하여 계통품질에 최소한의 영향을 미치는 방법을 찾고자 한다.

2. 전류센서 위치에 따른 시스템 전달함수

그림 1은 계통연계형 인버터와 센서의 위치를 나타낸다. 계통연계형 인버터에서 전류제어를 위해 인버터측 전류 i_i , 계통

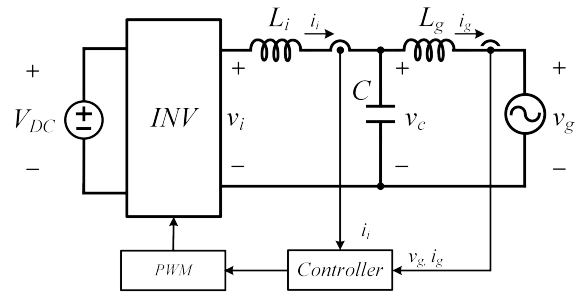


그림 1 계통연계형 인버터의 전류센서 위치
Fig. 1 Current sensing position of grid-connected inverter

i_g 와 v_g 가 센싱될 경우 LCL 필터의 전달함수는 식 (1)과 같고 i_i 와 v_g 가 센싱될 경우에는 식 (2)와 같다. LCL 필터의 공진 주파수는 식 (3)과 같다.

$$G_g(s) = \frac{1}{L_1 L_2 C s(s^2 + \omega_{res}^2)} \tag{1}$$

$$G_i(s) = \frac{s^2 + \frac{1}{L_g C}}{L_i s(s^2 + \omega_{res}^2)} \tag{2}$$

$$\omega_{res} = \sqrt{\frac{L_i + L_g}{L_i L_g C}} \tag{3}$$

$G_c(s)$, $LPF(s)$ 가 각각 PR(Proportional-Resonant)제어기, 2차 저역통과 필터의 전달함수 일 때, i_g 및 i_i 가 센싱되는 경우 시스템의 블록다이어그램과 각각의 출력에 대한 전달함수는 식 (4) 및 (5)와 같다.

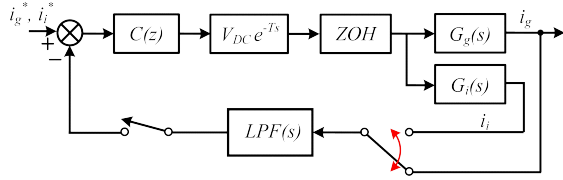


그림 2 시스템 블록다이어그램
Fig. 2 System block diagram

$$i_{gg} = \frac{G_g(s)G_c(s)}{1 + G_g(s)G_c(s)LPF(s)} \quad (4)$$

$$i_{ig} = \frac{G_g(s)G_c(s)}{1 + G_i(s)G_c(s)LPF(s)} \quad (5)$$

위 수식에서 LPF의 위상을 조정하여 불안정한 시스템을 안정하게 만들고 인버터측 전류가 제어될 때 LCL 필터의 값을 줄일 수 있다.

3. 시뮬레이션

계통측 전류와 인버터측 전류를 제어할 때 출력 전류의 고조파 성분 함유량을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 시뮬레이션에 사용된 각 파라미터는 표 1에 나타나 있다. 계통 전압에 3고조파 성분을 5, 10, 15 [%] 주입한 경우 각각에 대하여 계통측 전류와 인버터측 전류를 센싱하였을 경우 계통전류에 포함된 3고조파 전류성분을 분석하였다. 그림 3과 4는 3고조파 성분이 10 [%]인 경우의 전압과 전류성분을 나타낸 것이고 표 2는 3고조파 성분을 변화시켰을 경우 전류고조파 성분을 나타낸 것이다. 표 2에서 알 수 있듯이 인버터측 전류를 센싱하는 것이 훨씬 유리하다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Simulation parameters0

Parameter	value	Parameter	value
L_i	500[μH]	v_g	220[V]
L_g	200[μH]	V_{DC}	380[V]
C	3[μF]	f_s	50[kHz]

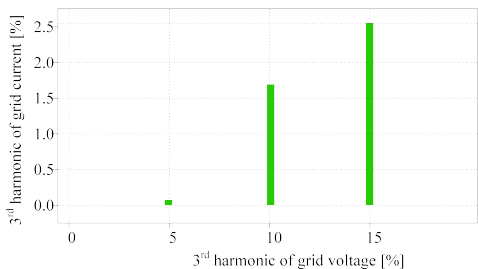


그림 3 계통측 전류가 제어될 때 출력전류 고조파 분석
Fig. 3 Output current harmonics when grid current is controlled

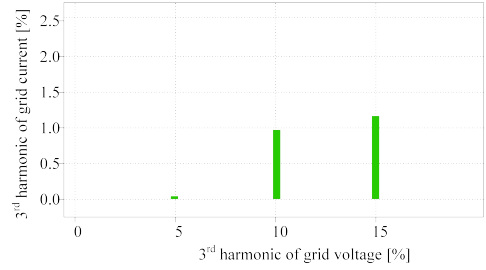


그림 4 인버터측 전류가 제어될 때 출력전류 고조파 분석
Fig. 4 Output current harmonics when inverter current is controlled

표 2 3 고조파 성분 함유량 [%]
Table 2 3rd Harmonic component content [%]

3고조파전압 함유량[%]	5	10	15
계통전류 제어 시	0.91	1.7	2.5
인버터측 전류 제어 시	0.64	1.0	1.3

4. 결론

본 논문에서는 LCL 필터를 사용하는 계통연계형 인버터에서 시스템의 안정 영역을 넓히기 위하여 피드백 경로에 LPF를 사용한 방식의 계통전류 고조파 함유량을 최소화하기 위한 방안에 대하여 고찰하였다. 인버터 출력전류를 센싱한 경우와 계통측 전류를 센싱한 경우를 비교해본 결과 인버터측 전류를 센싱한 경우가 계통측 전류를 센싱한 경우보다 계통측 전류에 포함된 고조파 성분이 50-60 [%] 정도로 줄어드는 것을 확인하였다. 본 연구결과는 계통연계형 인버터의 전력품질 고도화에 기여할 것으로 기대된다.

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20174030201770)

참고 문헌

- [1] R. Guzman, L. G. de Vicuna, J. Morales, M. Castilla, and J. Miret, "Model-based active damping control for three-phase voltage source inverters with LCL filter," IEEE Trans. Power Electron., vol. 32, no. 7, pp. 5637 - 5650, Jul. 2017
- [2] R. Peña-Alzola, M. Liserre, F. Blaabjerg, M. Ordonez, and T. Kerekes, "A self-commissioning notch filter for active damping in a three-phase LCL filter-based grid-tie converter," IEEE Trans. Power Electron, vol. 29, no. 12, pp. 6754 - 6761, Dec. 2014.
- [3] 박권식, 서병준, 김학수, 노의철, "LCL 필터를 사용하는 계통 연계형 인버터의 넓은 안정 영역을 갖는 새로운 제어 및 설계 기법," 전력전자학회논문지, 23(6), pp. 440-445. 2018