

계통연계 인버터에서 비선형부하의 위치에 따른 고조파 보상 방식

신찬호, Simatupang Desmon Petrus, 최재호
충북대학교

Harmonic compensation scheme according to the position of non-linear load in the grid-connected inverter

Chanho Sin, Desmon Petrus Simatupang, Jaeho Choi
Chungbuk National University

ABSTRACT

본 논문에서는 계통연계 인버터에서 비선형부하의 위치에 따라서 발생하는 고조파를 보상하기 위한 전류제어 방식을 사용하였다. 비선형부하로 인해 발생하는 고조파는 계통 전압 및 전류의 THD에 많은 영향을 미치기 때문에 이를 보상하는 것이 본 논문의 목적이다. 비선형부하의 위치에 따라서 각각의 경우에 대해 두가지의 고조파 지령값을 선택하는 방식을 사용하였다.

1. 서론

우리가 사용하는 부하들의 대부분이 비선형부하이다. 비선형 부하를 사용하게되면 비선형부하에 의해 고조파가 발생되게 되고 이로 인해 계통의 전압과 전류에 악영향을 주게되는 문제점이 발생한다. 고조파로 인해 발생하는 계통전류의 왜곡을 보상하기 위해서 LCL필터를 사용하였고, 제어기는 PR제어기 및 R제어기를 사용하였다. L필터와 비교하였을 때 LCL필터는 우수한 스위칭리플 저감능력과 고주파수 대역에서 더 나은 성능을 가지고 있기 때문에 LCL 필터를 사용하였다.^[2] 하지만 L필터와 달리 LCL필터를 사용했을 때 공진이 발생하게 되는데 이는 패시브 댐핑을 사용하여 억제하였다.

본 논문에서는 비선형부하의 위치에 따라서 2가지 경우에 대한 전류제어방식을 구분하였다. 첫 번째 경우에는 LCL부하의 순서로 비선형부하가 연결되어있을 때 이고 두 번째 경우는 LC부하의 순서로 비선형부하가 연결되었을 때 이다. 각각의 경우에 대해서 전류제어방식을 두가지로 구분하여 시뮬레이션으로 확인하였다.^[1]

2. 본론

2.1 시스템 구조 및 특성

그림 1은 비선형부하가 연결된 3상 계통연계 인버터를 나타낸다. 그림과 같이 인버터와 계통 사이에 비선형부하가 연결되어 있고 L2에 흐르는 전류를 피드백 받아 제어하는 형태이다. 비선형 부하가 L2를 기준으로 앞 또는 뒤에 존재하는 2가지의 경우에 대해 확인하였다. 그림 2는 제어블럭도를 나타낸다. 기본파와 고조파를 각각 제어하는 방식으로써 비선형부하의 위치에 따라 고조파 지령값을 선택하여 제어하는 방식이다. 제어기는 PR제어기가 사용되었으며^[3] 기본파 제어를 위한 PR제어기의 형태는 식(1)과 같이 나타낸다. 고조파 보상을 위해서 공진 제어기를 사용하였고, 식 (2)로 나타내었다.

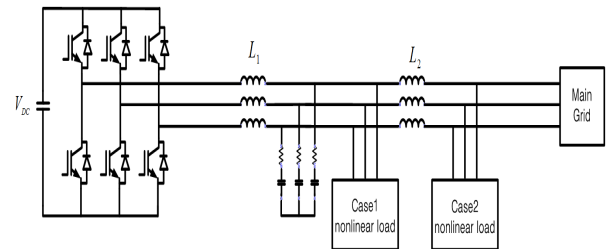


그림 1 고조파 보상을 위한 계통연계 인버터 구조

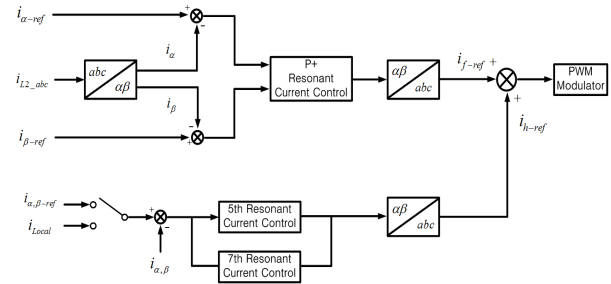


그림 2 시스템 제어블럭도

$$G_1(s) = K_p + \sum_{h=1} \frac{K_{th}s}{s^2 + 2w_c s + w_h^2} \quad (1)$$

$$G_2(s) = \sum_{h=5,7} \frac{K_{th}s}{s^2 + 2w_c s + w_h^2} \quad (2)$$

또한, LCL필터 사용으로 인한 공진을 억제하기 위해 패시브 댐핑을 사용하였고 기본적인 LCL필터의 전압 전류 전달함수는 식(3)과 같다. 공진을 제거하기 위해 패시브댐핑을 포함시켰고 그때의 전달함수는 식(4)로 나타내었다. 각각에 대한 시스템 보테선도는 그림3에 나타내었다.

$$G_{i_{L2}/v_i(\text{no damping})} = \frac{1}{L_1 L_2 C s^3 + (L_1 + L_2) s} \quad (3)$$

$$G_{i_{L2}/v_i(\text{damping})} = \frac{CRs + 1}{L_1 L_2 C s^3 + (L_1 + L_2) CRs^2 + (L_1 + L_2) s} \quad (4)$$

그림3에서 보여지는 것처럼 패시브댐핑을 사용했을 때 공진 주파수 지점에서 공진 Peak가 줄어든 것을 확인 할 수 있다. 본 논문에서는 R=1의 패시브댐핑 값을 사용하였다.

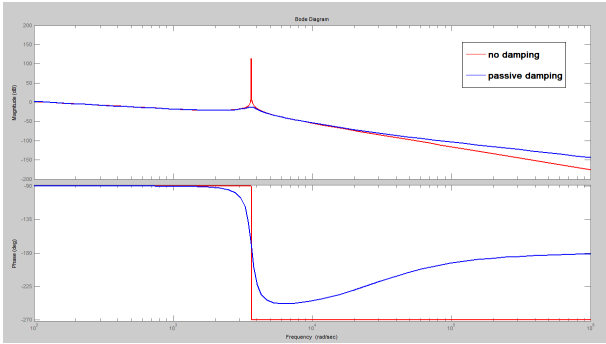


그림 3 패시브댐핑을 적용하였을 때 전달함수 특성

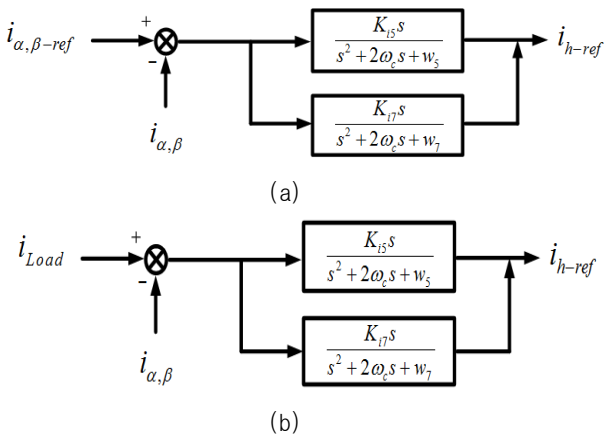


그림 4 고조파 지령값 전류에 대한 블록다이아그램
(a) case 1 (b) case 2

2.2 부하위치에 따른 제어방식

2.2.1 case 1 : L-C-부하-L

필터와 부하의 위치가 L C 부하 L 순으로 연결된 경우에는 L2전류가 계통전류와 같게 된다. 따라서 L2전류를 피드백 받는 경우 비선형부하에 의해 발생하는 고조파가 계통전류에 이미 포함된 형태가 된다. 따라서 case1에서는 L2전류를 피드백 받아 지령값과 비교해서 제어하고, 부하전류에 대한 피드백이 고려되지 않아도 된다. 이와 같은 형태는 그림4(a)에 제시되었다.

2.2.2 case 2 : L-C-L-부하

필터와 부하의 위치가 L C L 부하 순으로 연결된 경우에는 L2전류가 계통전류와 같지 않게 된다. 따라서 L2전류를 피드백 받는 경우 비선형부하에 의해 발생하는 고조파에 의해 계통전류가 왜곡되는 문제점이 발생한다. 따라서 case2같은 경우에 부하전류를 피드백받아 고조파 지령값 전류를 만들어내는 형식으로 제어한다. 그림4(b)는 case2 형태를 나타내었다.

3. 시뮬레이션

시뮬레이션은 고조파 보상이 포함되지 않은 기본과 제어와 각각의 case에 대해서 진행하였다. 우선 그림 5는 고조파 보상이 포함되지 않은 기본과 제어에 대한 그림이다. 비선형부하에 의해 고조파가 많이 포함되어있는 것을 확인할 수 있다. 전류 THD는 약 8.2%인 상태이다.

그림 6(a)와 6(b)는 case 1, case 2 에 대한 시뮬레이션이다. 그림 6(a)에서 전류 THD는 약 4.2%이고, 그림 6(b)에서 전류 THD는 약 4.6%로 확인되었다. 두 가지 경우 모두 고조파보상을 통해 계통전류의 THD를 향상시켰다.

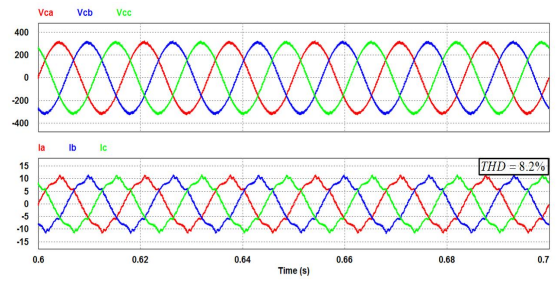
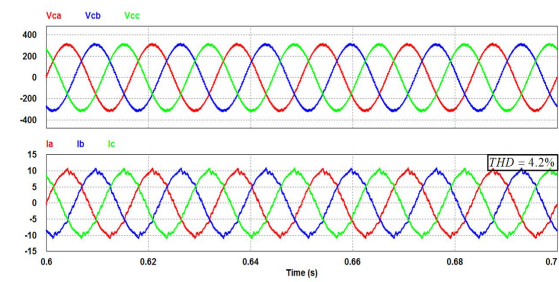
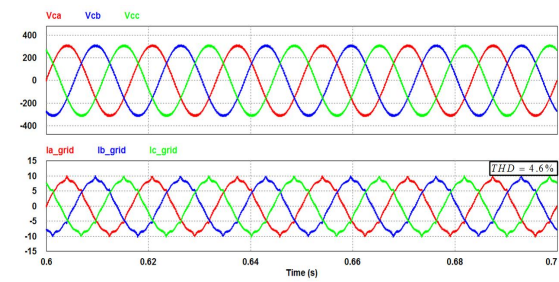


그림 5 고조파 보상이 포함되지 않은 기본과 제어 적용



(a)



(b)

그림 6 고조파 보상 후 PCC전압, 계통전류 파형
(a) case 1 (b) case 2

4. 결론

본 논문에서는 계통연계 인버터에서 비선형부하 연결시 발생하는 고조파를 보상하는 방식을 제시하였다. 비선형부하 위치를 두 가지 경우로 나누어서 분석하였고, 부하의 위치에 따라 고조파 지령값을 선정하였다. 각각의 방식에 대하여 시뮬레이션을 통해 입증하였다.

참고 문헌

- [1] J. He, Y. W. Li, F. Blaabjerg, and X. Wang, "Active harmonic filtering using current controlled, grid connected DG units with closed loop power control," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 29, pp. 642–653, 2014.
- [2] Y. Jia, J. Zhao, and X. Fu, "Direct grid current control of LCL filtered grid connected inverter mitigating grid voltage disturbance," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 29, pp. 1532–1541, 2014.
- [3] Lai, N.B.; Kim, K.H. "An improved current control strategy for a grid connected inverter under distorted grid conditions." *Energies* 2016.