

비례공진 제어를 이용한 계통연계형 단상 풍력발전기의 고조파 왜곡보상

김종규, 이종현, 이교범
아주대학교

Compensation of Harmonic Distortion in Grid-Connected Single-Phase Wind Power Generation Systems by Using a PR Controller

Jong Kyu Kim, Jong Hyun Lee, and Kyo Beum Lee
Ajou University

초 록

본 논문에서는 계통연계형 단상 풍력발전 시스템에 발생하는 2차 고조파를 보상하는 기법을 제안한다. 단상 소형풍력 발전 시스템은 직류단에 필연적으로 2차 고조파 성분을 갖게 되며, 이는 출력전류의 왜곡을 야기한다. 제안하는 방법은 직류단 전압의 2차 고조파를 제거하는 기존의 기법과는 달리, 비례공진 제어기로 출력전류 지령의 2차 고조파를 제거하여 출력전류의 왜곡을 보상한다. 제안하는 기법은 복잡한 연산 없이 고조파를 보상할 수 있다. 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘의 우수한 제어특성을 확인한다.

1. 서 론

신재생 에너지를 이용한 발전 기술들 중에서 풍력발전 기술은 전 세계적으로 발전하고 있다. 그 결과, 풍력발전으로 생산한 전력량은 1997년에 7600[MW]에서 2008년 말까지 122,000[MW]로 증가하였고 2013년에는 풍력 발전을 통하여 약 343,000[MW]의 전력을 생산할 것으로 예상하고 있다.^[1]

그림 1은 소형 풍력발전시스템을 나타낸다. 소형 풍력발전 시스템은 단상 계통연계형 시스템이다. 이 시스템의 직류단 전압에는 필연적으로 기본파 주파수의 2배인 맥동성분을 포함한다. 직류단 전압의 2차 고조파는 유효 전류지령에 영향을 미치고, 유효전류 지령은 연속적으로 출력전류를 왜곡시켜 전체 전력효율을 감소시킨다.^[2]

기존의 방법은 대역소거필터(BSF: Band Stop Filter)와 직류단 전압의 2차 고조파를 계산한 값을 전향 보상성분으로 사용하여 직류단 전압의 고조파를 보상하였다. 그러나 대역소거 필터는 과도상태 응답특성이 좋지 않고 2차 고조파를 계산하는 과정은 복잡한 연산을 수반한다.^[3]

본 논문은 비례공진 제어를 이용하여 유효전류 지령의 고조파를 보상하여 시스템의 성능을 개선하는 기법을 제안한다.

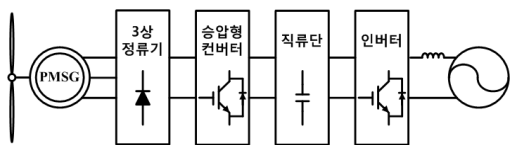


그림 1 2차 고조파를 포함한 직류단 전압과 전류
Fig. 1 The DC-link voltage and current with the ripple

2. 직류단의 고조파로 인한 왜곡 보상

2.1 직류단의 2차 고조파 발생

계통연계형 단상 풍력발전 시스템의 DC/AC 인버터의 입력 전력(P_{dc})과 출력전력(P_{ac})은 식(1)과 식(2)로 표현된다.

$$P_{dc} = V_{dc}I_{dc} \quad (1)$$

$$P_{dc} = V_m I_m \cos^2 \omega t = \frac{V_m I_m}{2} (1 + \cos 2\omega t) \quad (2)$$

입력전력과 출력전력이 같으므로 식(1)과 식(2)로부터 직류단 전류(I_{dc})를 계산할 수 있다. 직류단 전류(I_{dc})는 식(3)과 같이 직류성분(I_{DC})과 교류성분($I_{dc(ac)}$)으로 구성된다.

$$I_{dc} = \frac{V_m I_m}{2V_{dc}} (1 + \cos 2\omega t) = I_{DC} + I_{dc(ac)} \quad (3)$$

$$I_{DC} = \frac{V_m I_m}{2V_{dc}}, \quad I_{dc(ac)} = \frac{V_m I_m}{2V_{dc}} \cos 2\omega t$$

따라서 직류단 전압의 맥동($V_{dc(ac)}$)은 교류성분 전류($I_{dc(ac)}$)를 적분하여 식(4)와 같이 구할 수 있다. 직류단 전압 맥동($V_{dc(ac)}$)은 계통전압(V_{ac})과 위상이 동일한 2차 고조파를 포함한다.

$$V_{dc(ac)} = \frac{1}{C_{dc}} \int I_{dc(ac)} dt = \frac{V_m I_m}{2V_{dc} \cdot C_{dc}} \frac{1}{2\omega} \cdot \sin 2\omega t \quad (4)$$

$$= \frac{V_m I_m}{4\omega C_{dc} V_{dc}} \cdot \sin 2\omega t = V_{m(ac)} \sin 2\omega t$$

그림 2는 직류성분과 2차고조파로 이루어진 교류성분으로 구성된 직류전압(V_{dc})과 직류전류(I_{dc})를 나타낸다.^[2]

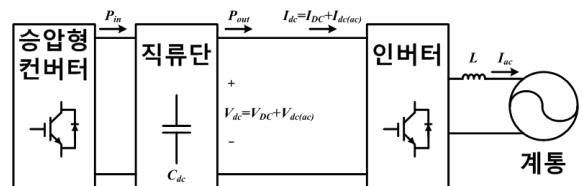


그림 2 2차 고조파를 포함한 직류단 전압과 전류
Fig. 2 The DC-link voltage and current with the ripple

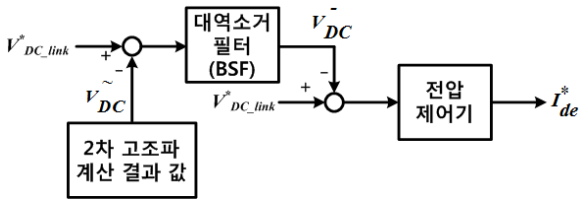


그림 3 기존의 2차 고조파 보상 기법
Fig. 3 The conventional 2nd harmonics compensation method

2.2 기존의 2차 고조파 보상기법

그림 3은 2차 고조파를 계산한 값과 대역소거필터를 이용하여 직류단 전압의 2차 고조파를 보상한 기존의 기법을 블록 다이어그램으로 나타낸 것이다. DC/AC 인버터에서 전력손실이 없다고 가정하면, 그림 1의 전력흐름을 고려하여 직류단 전압의 2차고조파를 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{V}_{dc} = -\frac{1}{C_{dc} V_{dc}^*} \left(\frac{L I_m^2}{4} \cos 2\omega t + \frac{V_m I_m}{4\omega} \sin 2\omega t \right) \quad (5)$$

기존의 기법은 파라미터값이 정확하지 않고 연산과정에 오류가 발생하면 2차 고조파 보상 능력이 떨어지고 대역소거필터는 과도상태 응답특성이 좋지 않다는 단점이 있다.^[3]

2.3 제안하는 2차 고조파 보상방법

특정한 주파수 대역에서 높은 이득을 갖는 비례공진 제어기의 특징을 이용하여 보상하고자 하는 저차 고조파의 차수를 조절하여 선별적으로 고조파를 보상할 수 있다. 식(6)은 2차 고조파 보상기의 전달함수이다.

$$G_h(s) = \sum_{h=2} \frac{2K_{ih}\omega_c s}{s^2 + 2\omega_c s + (h\omega)^2} \quad (6)$$

h 는 보상하고자 하는 고조파 차수를 나타내고 K_{ih} 는 각 고조파 차수의 공진이득을 나타낸다. 이러한 고조파 보상기를 이용하여 유효전류 지령의 2차 고조파 맥동성분을 보상할 수 있다.

그림 4는 제안한 방법을 이용하여 유효전류 지령의 2차 고조파를 보상하는 블록다이어그램을 나타낸다.

그림 5는 제안하는 기법을 사용하여 보상하기 전과 보상한 이후의 출력전류의 파형을 나타낸다. 보상 전에 비해서 보상 이후의 고조파는 90.07% 감소하여 출력전류의 파형이 정현파에 가까워진 것을 확인할 수 있다.

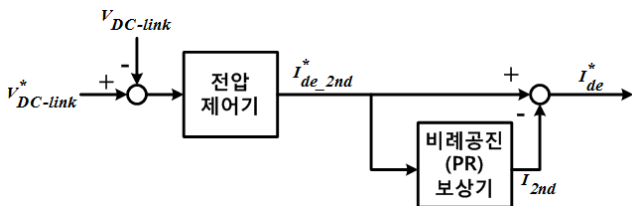
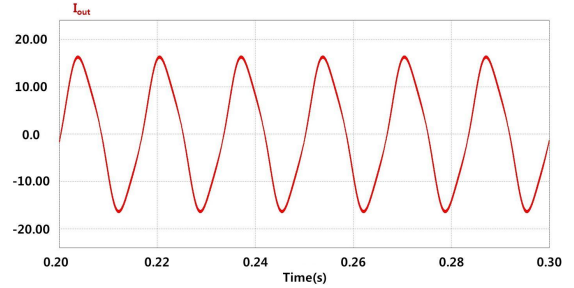
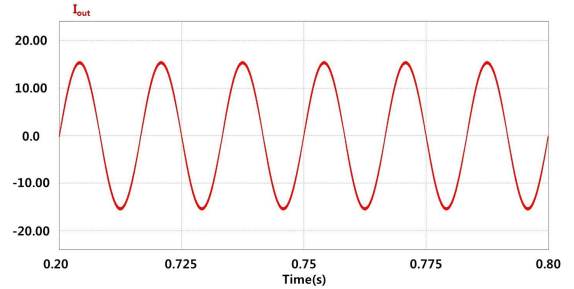


그림 4 제안하는 2차 고조파 보상 기법
Fig. 4 The proposed 2nd harmonics compensation method



(a) 보상 전



(b) 보상 후

그림 5 유효전류 지령의 2차 고조파 보상 전후의 출력전류
Fig. 5 The output current before and after 2nd harmonics compensation of the reference active current

3. 결론

본 논문은 계통연계형 단상 풍력발전 시스템의 직류단에 발생하는 2차 고조파에 의하여 발생하는 출력전류의 왜곡을 보상하는 기법을 제안하였다. 이 방법은 기존의 방법과는 다르게 복잡한 연산과 추가적인 대역소거필터 없이 간단하게 왜곡을 보상하는 장점이 있다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국 연구 재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 20120002247)..

참고 문헌

- [1] P. Rodriguez, A. Timbus, R. Teodorescu, M. Liserre, "Reactive power control for improving wind turbine system behavior under grid faults," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 24, no. 7, pp. 1798-1801, Jul. 2009.
- [2] S. H. Lee, T. P. An, and H. J. Cha, "Mitigation of low frequency ac ripple in single phase photovoltaic power conditioning systems," *Journal of Power Electronics*, vol. 10, no. 3, pp. 328-333, May. 2010.
- [3] 이재근, 최중우, "단상 계통연계형 태양광 발전 시스템의 맥동전압 제거기법," 전력전자 학술대회 논문집, pp. 406-407, 2011. 7.