

# 계통 불평형 상태에서의 PWM 컨버터 전류 왜곡 개선

한상협\*, 김흥근\*, 차헌녕\*, 전태원\*\*, 노의철\*\*\*  
 경북대학교\*, 울산대학교\*\*, 부경대학교\*\*\*

## Improvement of Current Distortion of PWM Converter under Unbalanced Grid Voltage

Han Sang Hyup\*, Heung Geun Kim\*, Honnyong Cha\*, Tae Won Chun\*\*, Eui Cheol Nho\*\*\*  
 Kyung-Pook National University\*, Ulsan University\*\*, PuKyung National University\*\*\*

### ABSTRACT

본 논문은 전류의 왜곡을 발생시키는 고조파 성분을 제거하고, 계통 전압 불평형시 PWM 컨버터 출력 전류의 품질을 개선하는 기법을 제시한다. 출력 전류에 고조파가 포함된 경우, 이러한 왜곡을 보상하기 위해서 각각의 고조파에 대한 공진제어기를 주 전류제어기와 병렬로 추가하면 디지털 제어 시스템에서 연산시간이 증가한다. 반복제어기를 병렬로 추가하면 DSP의 연산시간이 줄어들고, 높은 차수의 고조파 제거가 용이해져 총고조파 왜율이 줄어드는 이점이 있다.

### 1. 서론

최근, 신재생 에너지원(renewable energy source)을 기반으로 하는 마이크로 그리드 시스템(micro grid system)과 스마트 그리드(Smart grid)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한, 태양광, 연료전지, 풍력 발전 시스템에서 계통연계형 PWM(Pulse Width Modulation) 컨버터는 직류 링크단(dc link) 전압제어와 계통연계 및 교류 출력단(ac output) 역할을 제어할 수 있는 이점 때문에 널리 사용되고 있다. 에너지 원으로 부터 생성된 전력은 직류 링크단으로 전달되고, 직류링크단의 전력은 인버터를 거쳐 전류 제어 방식에 의해 계통으로 전달된다. 그림 1은 일반적인 신재생 에너지 발전 시스템을 나타낸 것이다.

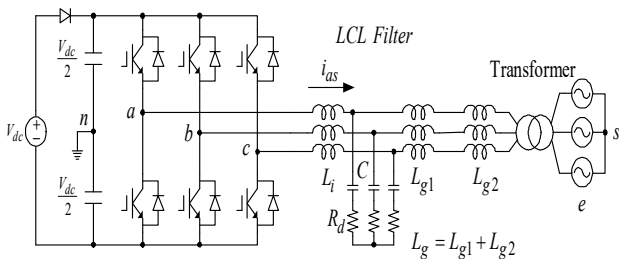


그림 1 분산전원용 PWM 컨버터 시스템의 기본구조  
 Fig 1. General structure of a Distributed Generation System

이러한 신재생 에너지가 연결된 배전 계통에서 왜곡되거나 심한 비선형성을 지니는 부하는 인근의 배전선로에 문제를 발생시킨다. 아크로나 대용량 전동기를 사용하는

공장, 전력전자 기기를 사용하는 가변속 전동기 부하 등이 그 예인데, 이러한 부하들은 전압의 고조파를 유발한다. 이렇게 부하의 특성에 기인하여 발생하는 고조파를 효율적으로 경감시키는 대책으로는 능동형 전력필터, 배전용 정지형 보상기 등이 있다.

본 논문에서는 전류 왜곡에 대한 보상을 최하위 제어기인 전류제어기에 의해 공진제어기를 병렬로 연결하는 방법과 반복제어기를 병렬로 연구하는 방법<sup>[1]</sup>을 비교 연구했으며 Simulink를 이용하여 검증하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 기존의 전류 보상 방법

PR제어기는 정지좌표계상에서 전류 제어를 수행하여 오차가 '0'이 되기 때문에 정지좌표계신호에서 제어가 가능하며 병렬의 공진제어기를 이용하여 고조파를 제어할 수 있다는 장점이 있다.

PR 전류제어기의 전달함수:

$$G_{PR}(s) = K_P + \frac{K_R}{s^2 + \omega^2} \quad (1)$$

전류 제어에 사용되는 정지좌표계 비례 공진 전류 제어기는 부하가 기본파 이외에 고조파가 없거나 또는 적은 수의 고조파가 나타날 때는 유용하다.

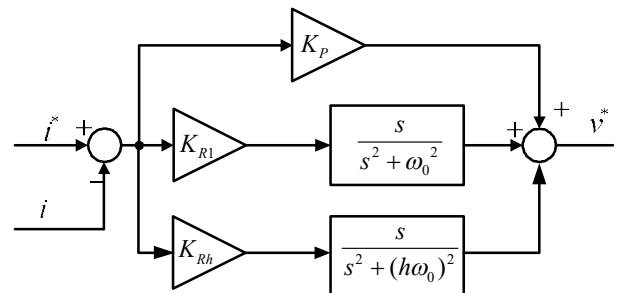


그림 2. 비례-공진 제어기를 이용한 전류제어기의 블록 다이어그램  
 Fig 2. Block diagram of the PR controller

비선형 부하로 인해 부하 전류에 많은 수의 고조파가

포함 될 때 비례 공진 제어기를 이용하면 각각의 고조파에 대한 모든 보상기를 구성해야 한다. 전류에 포함된 고조파의 개수만큼 고조파 보상기가 병렬로 추가로 연결되어야 하고, 수식 (2)와 같이 전류제어기의 전달함수 차수가 고조파 보상기 하나당 2차씩 높아져서 시스템을 수식적으로 분석이 어려워진다. 또한 이로 인해 DSP를 이용한 디지털 제어시 연산시간이 증가한다는 단점이 있다.

$$T_R(s) = K_P + \frac{K_{Rs}}{s^2 + \omega_0^2} + \frac{K_{Rs}}{s^2 + (h\omega)^2} \quad (2)$$

## 2.2 반복 제어기를 이용한 전류 보상 방법

반복제어기는 주기 신호 발생기를 이용하여 설계된다. 주기 신호 발생기의 전달함수는 식 (3)과 같다. T는 입력 파형의 주기를 나타낸다.<sup>[2]</sup>

$$G_r(s) = \frac{e^{-sT}}{1 - e^{-sT}} \quad (3)$$

아래 그림 5는 반복 제어기를 이용한 전류 보상 방법의 블록 다이어그램이다. 주 제어기를 비례 공진 제어기를 이용하여 지령 전류의 기본파를 제어하고, 주 제어기로 보상하지 못하는 고조파를 반복 제어기를 이용하여 감쇄시킨다.

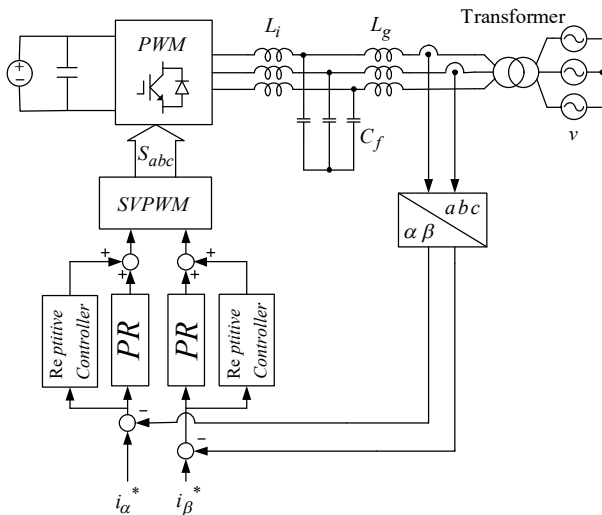


그림 3. 반복 제어기를 이용한 전류 보상 방법의 블록 다이어그램

Fig 3. Block diagram of current controller using Repetitive controller

## 2.3 시뮬레이션

시뮬레이션은 Simulink를 이용하여 수행했으며, 계통 전압에 3, 5 고조파를 주입하여 전류 왜곡을 모의하였다. 아래 그림 3과 그림 4는 각 제어기의 a상 지령전류와 a상 출력전류이다. 시뮬레이션 결과 공진제어기를 병렬로 연결하여 보상하는 경우보다 반복제어기를 이용하여 전

류를 보상할 때, 응답속도와 더불어 정상상태에서의 오차 역시 줄어듦을 확인할 수 있다.

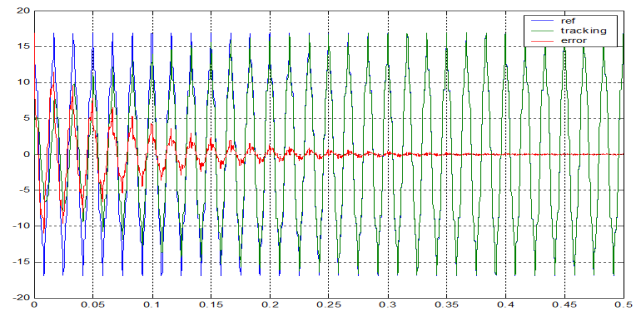


그림 4. 기존의 전류 보상 방법의 전류 응답

Fig 4. Dynamics of the current compensation using Resonant controller

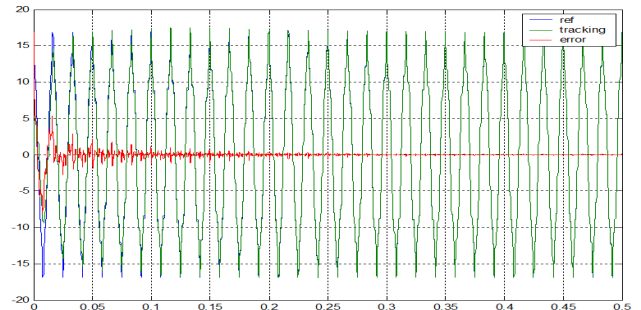


그림 5. 반복 제어기를 이용한 전류 보상 방법의 전류 응답

Fig 5. Dynamics of the current compensation using Repetitive controller

## 3. 결론

본 논문은 분산전원용 계통연계형 PCS의 불평형 상태에서의 전류 왜곡 방법에 대한 연구를 수행하였다. 기존의 전류 보상 방법과 달리 반복 제어기를 주 제어기에 병렬로 추가하여 보상하면 DSP의 연산 시간이 줄어들고 높은 차수의 고조파 감쇄가 가능하여 THD가 줄어들며, 해석이 용이하다는 장점이 있다.

본 연구는 2013년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20111020400260)

## 참고 문헌

- [1] 정성민, 김민, 최중우, “교류 전동기의 주기적인 부하토크에 의한 속도리플을 저감하는 속도제어기법”, 전력전자 학술대회 논문집, pp 409 410, 2012. 7.
- [2] K.Toyama, H.Ohtake, S.Matsuda, S.Kobayashi, M.Morimoto, and H.Sugimoto, “Repetitive Control of Current for Residential Photovoltaic Generation System”, Ind. Elec. Soc., Conf. of IEEE, Vol. 2, pp. 741 745, 2000.