

분산전원용 계통연계형 PCS의 전류제어기 해석

한상협, 조택현, 박종형, 김흥근, 전태원*, 노의철**
경북대학교, 울산대학교*, 부경대학교**

Analysis of Current Controllers of Grid-connected PCS for Distributed Resource

Teak-Hyun Jo, Park Jong Hyung, Han Sang Hyup,
Heung-Geun Kim, Tae-Won Chun, Eui-Cheol Nho

Kyung-Pook National University, University of Ulsan, PuKyung National University

ABSTRACT

본 논문은 LCL필터를 이용한 분산전원용 계통연계형 PCS의 전류제어기를 비교 분석하였다. 주요 비교대상은 PI(Proportional-integral)제어기, PR(Proportional-Resonant) 제어기, DeadBeat (DB)제어기 등의 선형 제어기이며, 각 제어기의 과도상태 응답특성과 정상상태 응답특성을 시뮬레이션으로 비교하였다. 또한 DSP의 특성에 의한 1 주기 지연, 리액턴스와 저항 변화 등에 강인한 DB제어기 관하여 논의 하겠다.

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) 인버터는 직류 링크단(dc-link) 전압제어와 계통연계 및 교류 출력단(ac-output) 역률을 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.

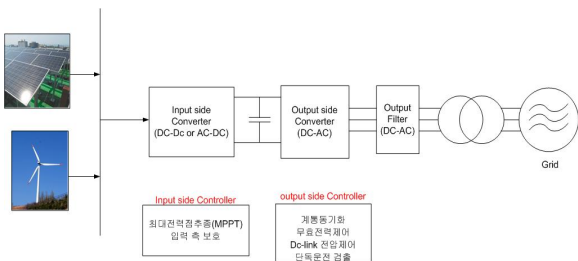


그림 1 분산전원용 PCS의 기본구조

Fig. 1 General structure of a DPGS and its main control feature

일반적인 태양광 발전시스템은 DC/DC 컨버터(부스트 컨버터)와 DC/AC 컨버터(PWM인버터)의 2단 전력변환 구조를 사용하며, DC/DC컨버터에서는 입력측보호와, MPPT를 수행하며, DC/AC컨버터에서는 계통동기화, 유효, 무효전력제어, DC링크 전압제어, 단독운전검출을 수행하

게 된다.

하지만, 태양광 발전시스템의 대응량화에 따라 2단 전력변환구조는 손실이 커지게 된다. 이에 따라 대응량의 경우 DC/DC컨버터 없이 단일 DC/AC변환구조를 가지는 구조가 제안되고 있다[1]. 이에 따라 DC/DC컨버터에 의해 수행되던 MPPT와 입력 측 보호 제어를 DC/AC컨버터가 수행하게 되어 MPPT에 의해 DC링크 전압지령이 생성되며 DC링크 전압제어기에 의해 전류제어기의 지령이 생성되어 최하위 제어기인 전류제어기에 의해 PWM에 의한 인버터 제어가 수행된다. 그러므로 최하위 제어기인 전류제어기의 중요성이 더욱 커지게 되어 이 연구를 수행하게 됐다.

2. 본론

2.1 분산전원용 PCS

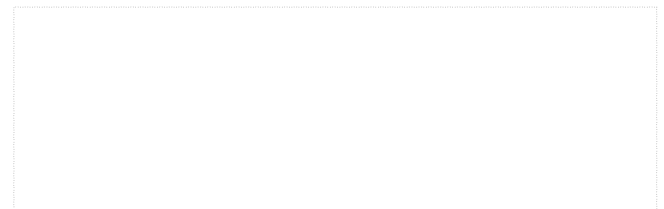


그림 2 계통연계형 3상 PWM 인버터의 토폴로지

Fig. 2 Topology of grid-connected three-phase PWM inverters.

대용량용 계통연계형 3상 PWM 인버터의 토폴로지는 그림 2와 같이, 직류 전압원과 직류 전압을 교류 전압으로 변환시켜 주는 인버터, 전류 리플을 저감하기 위한 LCL 필터부 그리고 공진 역률을 위한 계통 저항부로 구성된다. 효율 등의 문제로 계통 저항부를 대체한 액티브 댐핑에 대한 연구 역시 활발하게 이루어지고 있지만, 본 논문에서는 논외로 두겠다.

2.2 계통연계형 PCS의 전류제어기

기존의 동기좌표계(dq)와 정지 좌표계상(αβ)에서의 전류제어기와 제안된 3상 좌표계상(abc)에서의 전류제어기특성을 비교 분석하였다.

2.2.1 PI 제어기

동기좌표계를 이용한 전류제어를 위하여서 먼저 abc-dq 좌표변환이 선행되어야 하며 이를 위한 위상고정루프(PLL)의 성능이 보장되어야 한다. 하지만, 복잡한 상변환으로 인한 DSP의 연산수행부담이 있고, 계통불평형등의 사고 시 전류제어기의 응답특성을 보장 할 수 없다는 단점이 있다.

PI 전류제어기의 전달함수:

$$G_{PI}(s) = kp + \frac{k_i}{s} \quad (1)$$

2.2.2 PR 제어기

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:

$$G_{PR}(s) = kp + \frac{k_r}{s^2 + w^2} \quad (2)$$

2.2.2 Deadbeat 제어기

데드비트 전류제어기는 3상 좌표계에서 전류제어를 수행하여 1주기 이후 지령치를 추종하며 오버슈트가 없다는 장점이 있다. 하지만, 마이크로프로세서(DSP)의 특성에 의한 인버터 시스템의 1주기 지연특성에 의해 지령에 2주기 지연된 응답이 이루어지게 되며, 또한, 출력필터의 파라미터값에 민감한 단점이 있어 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

Deadbeat 제어기의 전달함수:

$$G_{DB}(z) = \frac{1}{b} \frac{1 - az^{-1}}{1 - z^{-1}} \quad (3)$$

(단, $a = e^{-\frac{R}{L}T_s}$, $b = 1 - e^{-\frac{R}{L}T_s}$)

이때 b 값을 연산값의 1.5배 정도로 가져가면 파라미터 값 변화에도 강인한 제어 특성을 나타낸다.

2.3 시뮬레이션

위 그림은 각제어기의 a상 지령전류와 a상 출력전류이다. 모의 실험 결과 Deadbeat 제어기가 응답속도가 가장 빨랐고, 실험결과 THD가 가장 낮은 우수한 특성을 나타냈다.

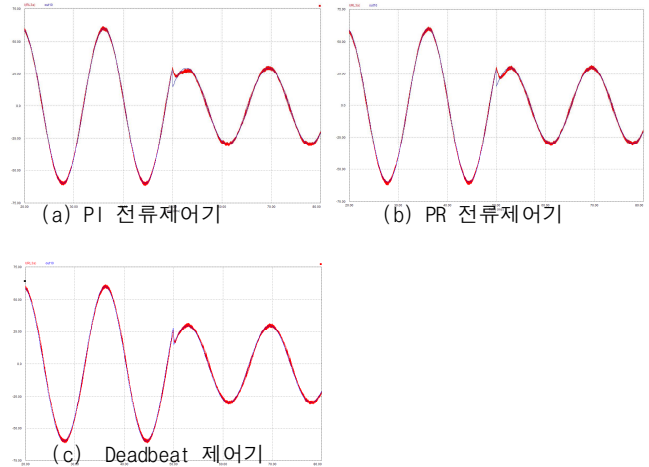
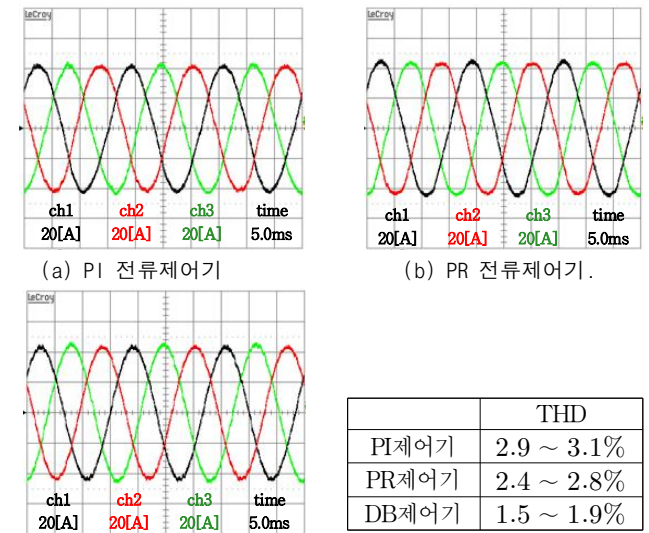


그림3. 출력지령 크기를 절반으로 떨어트렸을 때의 전류응답
Fig3. Dynamics of the controllers in the case of half step down

2.4 실험결과



(c) Deadbeat 제어기
그림4. 3상 10[kw] 인버터출력전류와 전류 THD
Fig4. 3 phase Output current of 10[kw] inverter and current THDs.

3. 결론

본 논문은 분산전원용 계통연계형 PCS의 각 좌표계에서의 제어기를 설명하고 파라미터값 변화에도 강인한 3상좌표계 상의 Deadbeat제어기를 제안하였다. 제안된 제어기는 복잡한 상변환이 필요없고, 다른 제어기보다 낮은 THD를 가지며 또한, 응답속도가 빠르다는 특징을 가짐을 시뮬레이션과 실험을 통하여 검증하였다.

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2009T100200094)

참고 문헌

[1] Wu libo "A single-Stage Three-Phase Grid-Connected Photovoltaic System With Modified MPPT Method and Reactive Power Compensation," IEEE Trans. Energy Conversion, vol 22, no. 4, Dec. 2007.