

분산전원용 계통연계형 PCS의 전류제어기 해석

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

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

Teak-Hyun Jo, 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 자원고갈과 환경문제에 대처하기 위해 태양광, 풍력, 연료전지 등의 신재생에너지를 이용한 분산전원시스템(Distributed Power Generation System, DPGS)의 보급이 확대되는 추세에 있다. 그러나 이러한 분산전원 시스템은 인접 배전계통에 연계되어 운전되기 때문에 계통의 전력품질 및 안전에 영향을 줄 수 있다. 또한, 풍력, 태양광의 경우 주변 환경에 의해 최대전력점(MPP)이 변하여, 이에 따른 출력의 제어가 적절하게 이루어져야 한다.

계통연계형 분산전원용 PCS는 일반적으로 전류제어형 인버터를 사용하며 이는 가변되는 입력전력에도 높은 품질을 유지하며 배전계통에 안전에 영향을 주지 않는 운전을 위한 전류제어기가 필수적이다.

전류제어는 일반적으로 좌표변환을 이용한 PI제어기를 사용한다. 하지만, PI제어기는 계통불평형 시 정상상태오차가 발생하게 된다. 이를 극복하기 위해 피드포워드(feedforward)를 사용하지만 이를 위한 복잡한 상변환은 저가의 DSP를 사용할 경우 연산시간의 제약을 받게 된다. 이를 극복하기 위하여 정지좌표계상에서의 PR제어를 사용 할 수 있다.^[1] 또한 최근에는 전류 예측기법을 이용한 Deadbeat제어기에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.^[2]

따라서 본 논문에서는 각 전류제어기의 제어구조를 설명하고 각 제어기의 과도상태 응답특성과 정상상태 응답특성을 비교하여 보겠다.

2. 본론

2.1 분산전원용 PCS

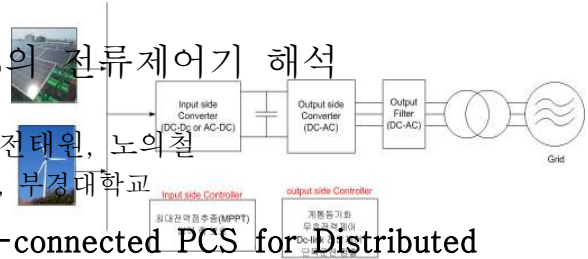


그림 1 분산전원용 PCS의 기본구조

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

일반적인 구조의 분산전원시스템과 각 부분에서의 필요기능을 그림1에 나타내었다. 이 중 Output Controller에 해당하는 전류제어기에 의해 계통동기화, 무효전력제어, DC_link 전압제어, 단독운전검출(능동검출법)등이 이루어 지게 된다. 또한, 최근에는 MPPT를 위한 Input Controller없이 DC_link 전압을 이용한 MPP를 추종하는 알고리즘이 제안되어 전류제어기의 응답특성과 안정성이 더욱 중요하다.

2.2 계통연계형 PCS의 전류제어기

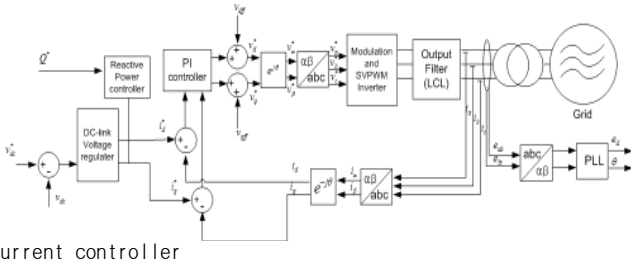
기존의 동기좌표계(dq)와 정지 좌표계상(αβ)에서의 전류제어기와 제안된 3상 좌표계상(abc)에서의 전류제어특성을 비교 분석하였다.

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.

그림2. 동기좌표계 PI 전류제어기

Fig. 2 General structure for synchronous rotating frame PI



PI 전류제어기의 전달함수:

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

(1)

2.2.2 PR 제어기

PR제어기의 특징은 교류정상상태 오차가 '0'이 되기 때문에 정지좌표계신호에서 제어가 가능하며 병렬의 공진 제어기를 이용하여 고조파를 제어할 수 있다는 장점이 있다.

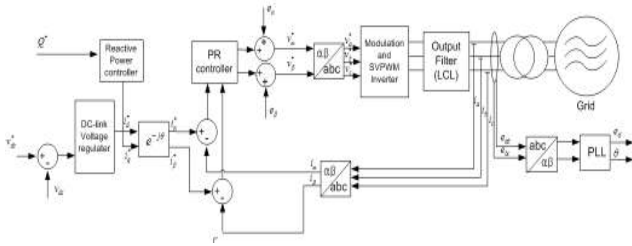


그림3. 정지좌표계 PR 전류제어기

Fig. 3 General structure for stationary reference frame PR current controller

PR 전류제어기의 전달함수:

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

2.2.2 Deadbeat 제어기

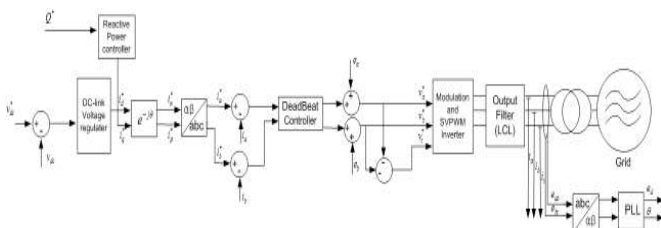


그림4. 3상 좌표계 Deadbeat 전류제어기

Fig4. General structure for natural frame deadbeat current controller

데드비트 전류제어기는 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.

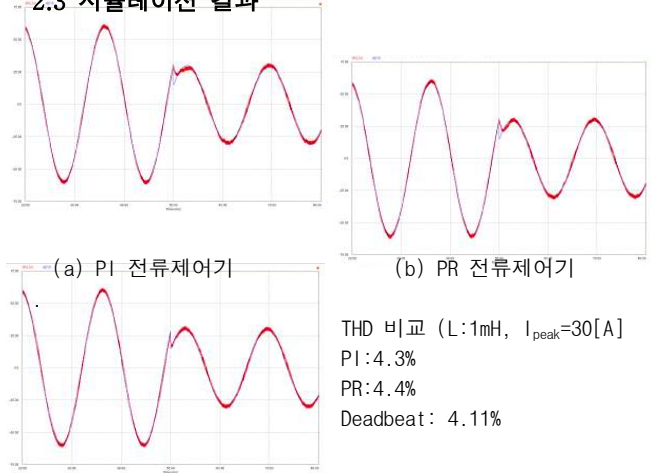
Deadbeat 제어기의 전달함수:

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

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

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

2.3 시뮬레이션 결과



(a) PI 전류제어기

(b) PR 전류제어기

(c) Deadbeat 제어기

그림5. 출력지령 크기를 절반으로 떨어트렸을 때의 전류응답
Fig5. Dynamics of the controllers in the case of half step down

위 그림은 각제어기의 a상 지령전류와 a상 출력전류이다. 모의 실험 결과 Deadbeat 제어기가 응답속도가 가장 빠르고, 오버슈트가 적으며 THD또한 적은 제어기임을 알 수 있다.

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 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

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

참고 문헌

- [1] Teodorescu, R. "Proportional-resonant controllers and filters for grid-connected voltage-source converters," in IEE proceedings of Electric Power Applications, vol153,no. 5, pp 750-762, September 2006
- [2] Espi Huerta, J.M "A synchronous Reference Frame Robust predictive Current Control for Three-Phase Grid-Connected Inverters," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.57, no.3, pp 954-962, march 2010