

단상 AC/DC 컨버터의 병렬운전을 위한 비례 적분 제어기와 비례 공진 제어기에 관한 연구

김정민, 최성춘, 김범준, 조진호, 원충연
성균관대학교

A Study of the PI Controller and the PR Controller for Parallel Operation of Single-Phase AC/DC Converters

Jung-Min Kim, Seong-Chon Choi, Bum-Jun Kim, Jin-Ho Cho, Chung-Yuen Won
Sungkyunkwan University

ABSTRACT

It is the general trend that AC/DC power system topologies with various sources and loads. To control the AC/DC power system, different kind of control system are needed. This paper discusses the parallel operation of single-phase AC/DC converters using a proportional integral (PI) controller and a proportional resonant (PR) controller. The performance of PI and PR controller have been evaluated by simulation.

1. 서 론

최근 전력수요가 증가함에 따라 다수의 전력변환장치를 병렬로 연결하여 대용량 장치를 구축하는 것에 관심이 높아지고 있다. 시스템을 다수의 병렬 컨버터로 구성할 경우, 전력변환장치의 용량을 늘릴 수 있으며, 스위칭 소자의 물리적 사양을 낮추고, 인덕터, 커패시터 등의 부피 비용문제를 해결할 수 있다. 또한 병렬 인버터는 모듈로 구성이 가능하기 때문에, 문제가 발생된 장치만 전체 시스템에서 이탈하면 되므로 신뢰성 측면에서 장점을 가지고 있다.^[1]

병렬로 연결된 컨버터는 독립 운전시 정확한 부하 분담이 요구되며, 계통 연계 모드전환 시 계통과도 연계할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 병렬 컨버터를 계통과 연계하기 위해 사용하는 제어로서 비례 적분 제어기와 비례 공진 제어기를 비교 분석 하였다.

2. 본 론

2.1 시스템 구성

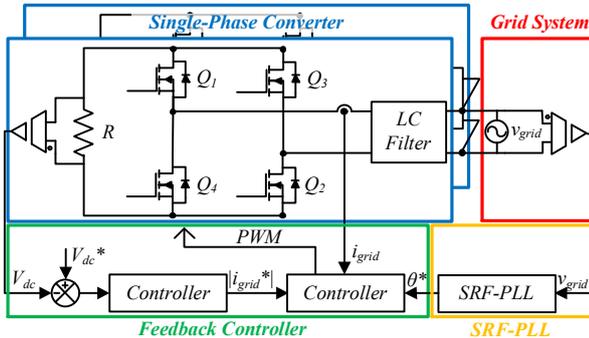


그림 1. 전체 시스템 회로도
Fig 1. Overall circuit diagram of the system

전체 시스템은 그림 2와 같이 단상 AC/DC 컨버터와 계통 시스템, 제어 부분으로 구성되어있다. 단상 AC/DC 컨버터는 계통 교류 전압을 원하는 직류 전압으로 변환하는 역할을 한다. 제어기는 계통의 역률 제어와 출력 전압을 제어하기 위해 사용된다. 이때 계통의 위상정보를 알기 위한 단상 PLL이 필요하다.

2.2 제어 시스템

본 논문에서는 단상 AC/DC 컨버터의 병렬운전을 위한 제어기로 비례 적분 제어기 혹은 비례 공진 제어기를 사용한다. 이 절에서는 두 가지 제어 기법에 대해 비교 분석 하였다. 다음은 비례 적분 제어기와 비례 공진 제어기에 대한 설명이다.

2.2.1 비례 적분 제어기

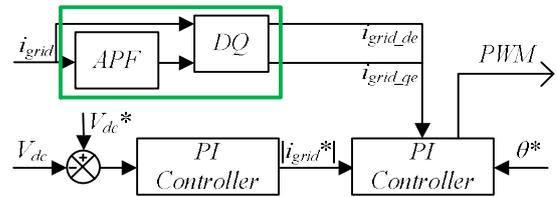


그림 2. 비례 적분 제어 블록선도
Fig 2. Block diagram of the PI controller

그림 3은 비례 적분 제어기의 제어 블록선도이다. 비례 적분 제어기는 선형 제어기이기 때문에 교류 전류를 제어 하기 위해 좌표 변환이 필요하다. 계통 전류를 제어하기 위해선 계통 전류와 90도 위상차이를 갖는 전류를 전역 통과 필터로 만들어 계통 전류를 ds값으로 하고 필터 출력 값을 qs값으로 하여 DQ 변환하는 과정이 필요하다. 이때 de값을 0으로 qe값을 전압 제어기의 출력값으로 제어를 시행하면 계통 전압과 위상이 같은 전류와 원하는 DC값을 출력할 수 있는 PWM 신호가 만들어진다. 비례 적분 제어기의 전달함수는 식1과 같다.

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

2.2.2 비례 공진 제어기

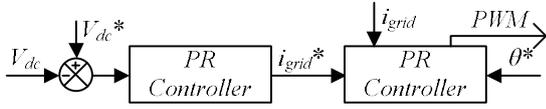


그림 3. 비례 공진 제어기 블록선도
Fig 3. Block diagram of the PR controller

PR 제어기는 특정 주파수에서 무한대의 이득 값을 갖는 제어기이다. 지령 전압과 컨버터 출력 전압의 차이를 0으로 제어하는 전압 제어기의 출력을 전류 제어기의 입력으로 하는 전류 제어를 시행하여 PWM 신호를 생성한다.

PR제어기는 PI제어기와는 다르게 정지 좌표계에서 구현이 가능하기 때문에 별도의 좌표변환을 할 필요가 없다는 장점이 있다. 하지만 이상적인 PR제어기의 경우 공진 주파수에서 매우 높은 이득을 갖게 되어 시스템이 불안정하게 되므로 비이상적인 적분기 모델을 사용한다. 비이상적인 비례공진 제어기의 전달함수는 식2와 같다.

$$G_{PR}(s) = k_p + \frac{k_i \omega_c (s + \omega_c)}{s^2 + 2\omega_c s + \omega_c^2 + \omega^2} \approx k_p + \frac{k_i \omega_c (s + \omega_c)}{s^2 + 2\omega_c s + \omega^2} \quad (2)$$

2.3 시뮬레이션 결과

표 1. 단상 컨버터 회로 파라미터

Table 1. Parameter of the single-phase converter

파라미터	값	파라미터	값
L _{in}	50[uH]	W	5[Kw]
R _{in}	1[Ω]	V _{grid(rms)}	220[V]
C _{in}	70[uF]	f _s	10[kHz]
R _{out}	10[Ω]		
C _{out}	1000[uF]		

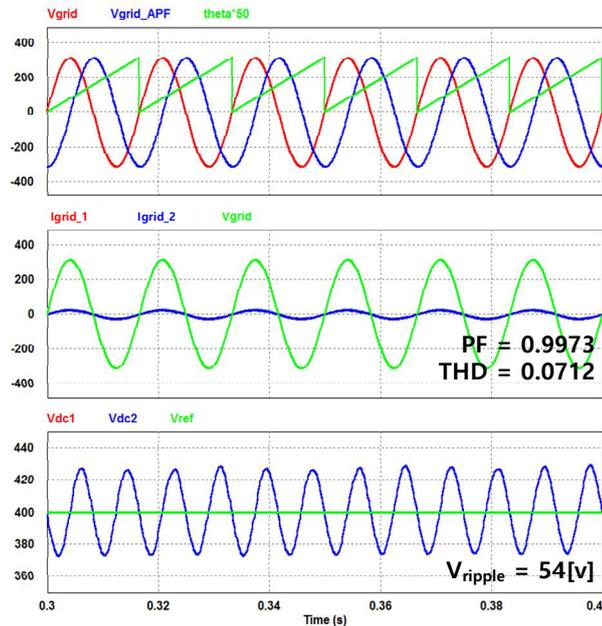


그림 4. PI 제어기를 이용한 시뮬레이션 결과
Fig 4. Simulation result of using PI controller

PI제어기를 이용한 시뮬레이션 결과를 그림 5에 나타내었다. 인덕터 전류와 계통 전압의 역률은 0.9973이며, 출력 DC 전압 리플은 54[V]이다.

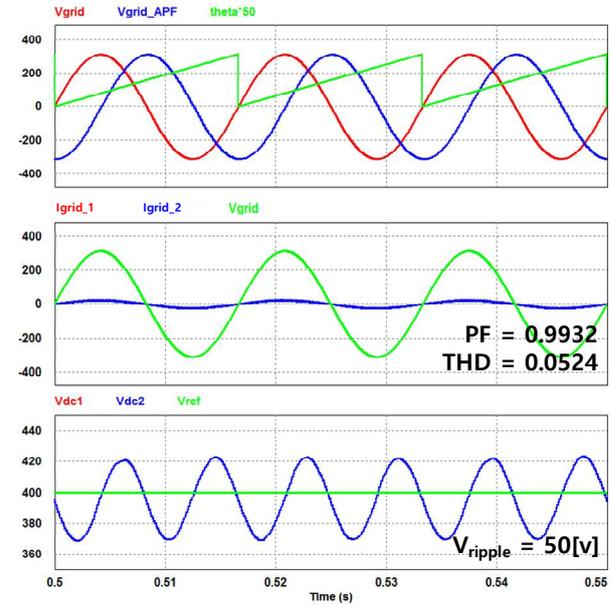


그림 5. PR 제어기를 이용한 시뮬레이션 결과
Fig 5. Simulation result of using PR controller

PR제어기를 이용한 시뮬레이션 결과를 그림 6에 나타내었다. 인덕터 전류와 계통 전압의 역률은 0.9932이며, 출력 DC 전압 리플은 50[V]이다.

PI제어기를 사용하여 시뮬레이션 한 결과와 PR제어기를 사용하여 시뮬레이션 한 결과를 비교해 보면, PI제어기의 경우 역률은 0.9973으로 PR제어기의 역률인 0.9932과 비교하여 계통 전압과 인덕터 전류의 위상이 더 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결론

본 논문은 비례 적분 제어기와 비례 공진 제어기를 이용해 단상 AC/DC 컨버터의 병렬 운전을 시행하였다. 비이상적인 비례 공진 제어기를 사용하였으며, 컨버터를 계통과 연계시켜 동작을 확인하였다. 이를 통해서 단상 AC/DC 컨버터의 병렬운전을 위한 제어를 시행하였을 때 제어기의 구조는 PR 제어기가 더 간단하지만 PI 제어기의 효율이 더 높은 것을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2014R1A2A2A05006744)

참고 문헌

- [1] 한정호, "인터리브드 컨버터와 병렬운전 인버터의 부하 분담 제어", 서울과학기술대학교, 2016