

# 병렬형 계통연계 인버터의 seamless 모드 전환을 위한 제어기 설계

송인중, 최준수, 최재호  
충북대학교

## The controller design of parallel grid connected inverters for seamless mode transfer

Injong Song, Junsoo Choi, Jaeho Choi  
Chungbuk National University

### ABSTRACT

본 논문에서는 병렬연결 인버터의 seamless mode transfer를 위한 제어기 설계를 수행하였다. 인버터의 경우 계통연계 모드에서는 전류원으로 동작하기 때문에 간접전류를 기반으로 제어를 실행하였고, 단독 운전에서는 인버터가 전압원으로 간주되기에 전압 제어가 필요하다. 또한 여러 대의 분산 발전원에 대해 동일 부하 분담을 위해 드롭제어를 이용하였다. 이러한 제어기들은 PR제어를 기반으로 하여 특정 주파수에 높은 이득을 가지게 하여 제어효율을 향상시켰다. 모드 변환 과정에 있어 전압의 변동을 최대한 줄이기 위한 제어 계획을 수립하였고, 이를 Psim 시뮬레이션으로 증명하였다.

### 1. 서론

최근 신재생에너지의 사용이 급증하면서 다수의 발전원을 가지는 분산 발전에 대한 연구가 이슈가 되고 있다. 특히 계통과 분산발전원이 사고로 인해 분리되어, 분산 발전원으로만 부하를 담당하는 경우에 대한 관심이 늘어나고 있다. 계통과 인버터가 연결되어 있는 경우 인버터는 전류제어를 통해 계통 전류를 제어하고 분리된 경우에는 전압을 제어하여 각 모드에 맞춰 제어를 할 대상이 바뀌게 된다. 이러한 모드 변환 시 생길 수 있는 과도현상을 줄이는 것이 seamless mode transfer[1]의 목적이다. 전류제어에서 전압제어로 변환될 시 과도현상을 줄일 수 있는 방법으로 간접전류제어가 제안되었고, 전압제어에서는 여러 대의 발전원을 제어하는 방법으로 마스터-슬레이브 제어, 드롭제어가 제안되었다. 마스터-슬레이브 제어는 마스터 인버터가 신호선을 통해 슬레이브 인버터를 제어하는 것이며, 응답속도가 빠른 장점이 있으나, 신호선이 길어질수록 통신 딜레이, 비용의 문제로 확장성에 한계가 있다. 드롭제어는 인버터 간의 독립적인 제어로 신호선이 필요하지 않지만 송전선로의 성분 때문에 기존 드롭제어식을 사용할 수 없는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 가상 임피던스를 추가하는 방법과 피드-포워드 제어를 추가하여 무효전력 분담을 잘 이뤄지도록 하는 방법이 제안되었다.[2] 따라서 본 논문에서는 병렬운전 인버터에서 간접전류제어와 드롭제어를 이용하여 모드변환 시 seamless mode transfer를 구현하고자 하였고 PR제어를 기반으로 제어기를 설계하였으며 matlab을 이용하여 각 제어기 계수를 구하였다.

### 2. 시스템 설계

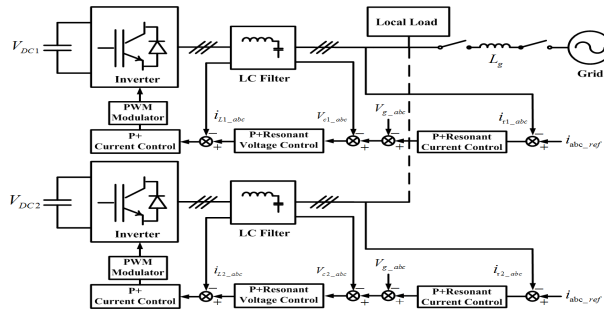


그림 1 Seamless mode transfer를 위한 병렬 인버터 구조  
Fig. 1 Structure of parallel inverter for seamless mode transfer

그림 1은 계통과 연결된 3상 병렬 인버터의 구조를 나타낸 것이다. 인버터와 계통이 연결되어 있는 경우 전압은 계통 전압으로 고정되게 되고, 인버터는 전류원으로 동작하여 전류제어가 필요하다. 반면에, 계통과 인버터가 분리되어 단독운전을 하게 된다면 인버터로 부하 분담을 해야 하며, 이 경우에 필요한 제어는 전압제어가 되게 된다. 이러한 전압제어에서 각 인버터가 동일한 출력을 생성할 수 있도록 해주는 전압 제어가 필요하고 이를 위해 드롭제어를 사용하여 인버터간 동일 출력 및 부하분담이 이뤄지도록 하였다. 계통에 사고가 발생하여 인버터와 계통이 분리되는 경우 전류제어에서 전압제어가 필요하게 되는데 이 때 생길 수 있는 과도현상을 줄여주면서 제어가 바뀌는 방법으로 간접전류 제어를 사용하였다.

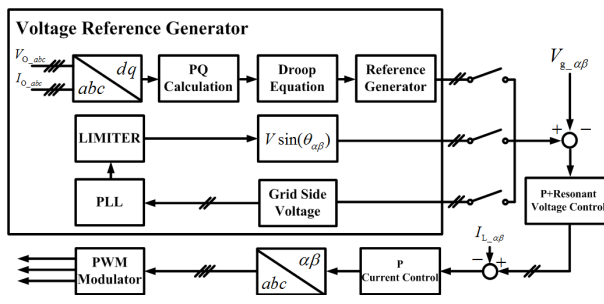


그림 2 단독운전에서 병렬인버터 제어 구성도  
Fig. 2 Control strategy of parallel inverter in islanded mode

그림 2는 단독 운전에서 제어기 동작과 인버터 전압 동작을 위한 전압 레퍼런스 생성에 대한 블록선도를 나타낸 것이다. 상황에 따른 전압 레퍼런스를 생성하여 단독운전 모드에서 계통연계 모드로 변환될 때 PLL을 통한 전압 레퍼런스를 이용하여 계통과 인버터 사이의 위상 차이를 줄여준다.

그림 3은 내부 전류제어기의 블록선도로 이 제어기의 전달함수를 이용한 근궤적을 그림4와 같이 그려 제어기 계수를 얻었고 그림 5의 내부전압제어기에서 계수를 구하는 것은 전류제어기와 과정이 비슷하지만 비례 이득과 기본주파수 공진 이득을 각각 0으로 설정하여 그림 6, 7과 같이 제어기의 각 계수를 선정하였다.

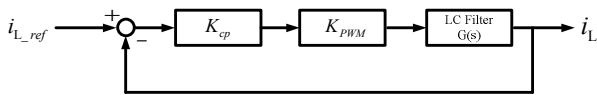


그림 3 내부 전류 제어기의 블록선도  
Fig. 3 Block diagram of the inner current controller

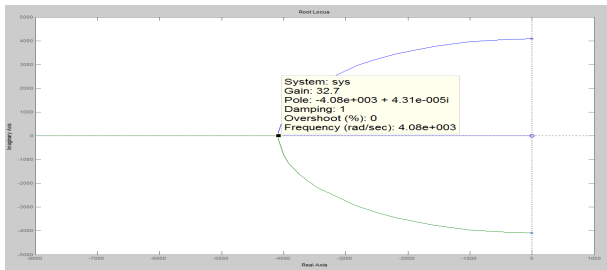


그림 4  $K_{cp}$ 에 대한 내부 전류 제어기 근궤적  
Fig. 4 Root locus for inner current controller with  $K_{cp}$

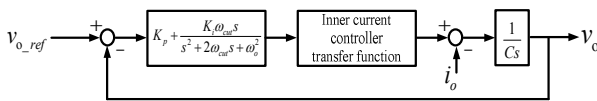


그림 5 내부 전압 제어기의 블록선도  
Fig. 5 Block diagram of the inner voltage controller

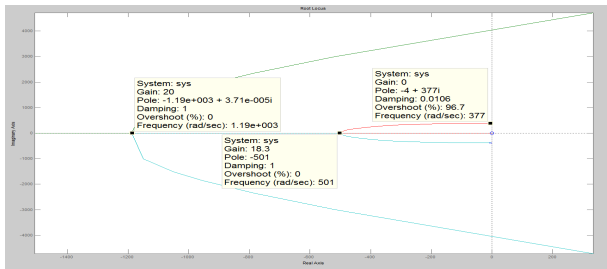


그림 6  $K_i$ 에 대한 내부 전압 제어기 근궤적( $K_p=0$ )  
Fig. 6 Root locus for inner voltage controller with  $K_i$  ( $K_p=0$ )

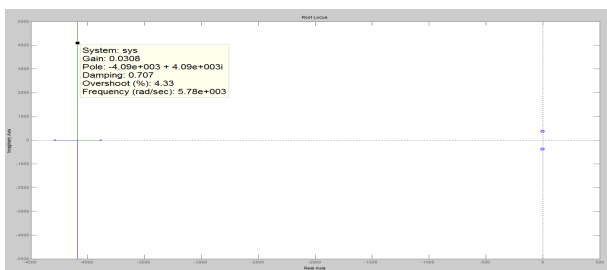


그림 7  $K_p$ 에 대한 내부 전압제어기 근궤적( $K_i=0$ )  
Fig. 7 Root locus for inner voltage controller with  $K_p$  ( $K_i=0$ )

### 3. 시뮬레이션

표 1 시뮬레이션 파라미터  
Table 1 Simulation parameter

Parameter	Value
Proportional gain $K_{cp}$	32.7
Fundamental frequency resonant gain $K_i$	20
Proportional gain of voltage controller $K_p$	0.0308
Filter inductor $L_1, L_2, L_g$	4, 4, 0.1 [mH]
Filter capacitor $C_1, C_2$	80, 80 [ $\mu$ F]
Load resistance R	80 [ $\Omega$ ]

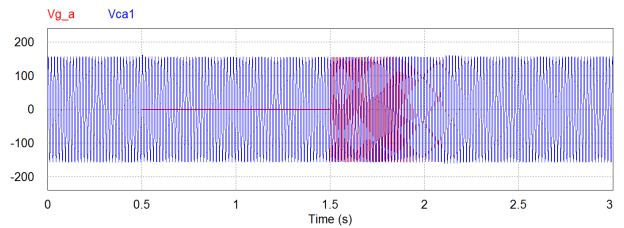


그림 8 계통 전압과 DG1의 인버터 출력 전압 비교  
Fig. 8 Output voltage of DG1 and grid voltage

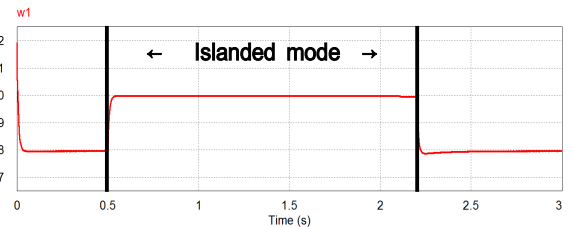


그림 9 단독운전에서 주파수의 변동 (0.5s~2.3s)  
Fig. 9 Frequency fluctuation in islanded mode (0.5s~2.3s)

그림 8은 계통이 인버터와 분리, 복전 되었을 때 전압을 나타낸 것이다. 모드 변환에도 불구하고 일정 전압을 유지하고, 사고에 의한 위상차이도 1.5s에서 맞춰지는 것을 확인할 수 있다. 그림 9는 정격 주파수인 60Hz를 단독운전에서 유지하는 것을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

### 4. 결론

본 논문에서는 간접전류제어와 드롭제어를 이용한 병렬연결 인버터의 seamless mode transfer를 구현하였다. 시뮬레이션을 통해 모드의 변환에도 불구하고 전압과 주파수가 정격의 값을 유지하는 것을 확인하였다. 다음 단계에는 실험을 통해 이를 증명할 것이다.

### 참고 문헌

[1] Z. Liu, J. Liu, "Indirect current control based seamless transfer of three-phase inverter in distributed generation", IEEE Trans. Power Electron., vol. 29, no. 7, pp. 3368-3383, Jul. 2014.  
[2] 임경배, 최재호, 과자르, "마이크로그리드 단독 운전 모드시 Droop 방식의 인버터 병렬 운전 제어 연구," 전력전자학술대회논문집, pp. 132-133, 2012, 7.