

매끄러운 모드 전환과 동일 부하 분담을 고려한 계통연계형 인버터 제어기 설계

송인종, 최준수, 최재호
충북대학교

Grid-connected inverter controller design considering both seamless mode transfer and equal load sharing

Injong Song, Junsoo Choi, Jaeho Choi
Chungbuk National University

ABSTRACT

분산발전에 있어 인버터는 병렬운전을 하게 되며 계통연계 시 전류제어로, 단독운전 시에는 전압제어를 통해 제어가 이뤄진다. 단독운전 시 각 인버터들 간 동일한 부하 분담이 필요하고 계통연계에서 단독운전 또는 그 반대로 모드 변환이 있을 때 과도한 상태변화가 없어야 한다. 계통연계와 단독운전에서 지역부하에 위치에 따른 고려와 모드 변환 시 과도현상을 줄이기 위해 간접전류제어방식을 사용하였고 단독운전 시 동일 부하 분담을 위해 드롭제어를 사용하였다. 각 모드 변환에 있어 매끄러운 전환을 유지하기 위해 Seamless Transfer를 기반으로 제어전략을 수립하였다.

1. 서론

신재생에너지에 사용증가로 다수의 독립적인 발전이 이루어지고 있다. 독립적인 발전원들이 계통에 바로 연결되어 사용되면, 전압변동 및 고조파 등의 문제가 발생한다. 따라서 이러한 분산 발전원들의 출력을 제어하기 위한 시스템 네트워크가 필요하다. 대표적인 방법으로 드롭제어가 있다. 드롭제어는 병렬 연결된 인버터의 전압과 주파수를 독립적으로 제어할 수 있고 별도의 통신선이 필요하지 않기 때문에 확장성이 좋다. 계통에서 사고로 인한 전력 품질 저하 시 계통과 분산 발전원 사이의 Static transfer switch가 오픈이 되며, 각 인버터들이 부하에 안정적으로 전력을 공급하게 해야 한다. 계통과 재연결 시 과도상태가 생기지 않도록 유연하게 모드가 변경되는 것이 필요하기 때문에 Seamless transfer 과정이 필요하다. 이러한 조건을 만족하는 [1]은 드롭제어와 계통 동기화를 통해 동일 부하 분담 및 모드 변환 시 과도상태를 줄이는 방법을 사용하였다. 하지만 동특성이 좋지 않다는 단점을 가지고 있다. [2]의 논문은 PI 제어기를 기반으로 한 제어기와 Seamless transfer, 드롭제어를 사용하였다. PI 제어기의 단점은 동기좌표계에서 설계가 되기 때문에 변환과정이 복잡하고, 고조파가 있는 경우 각 차수별로 제어기를 따로 설계해 줘야한다는 단점이 있다. 따라서 본 논문은 이러한 PI 제어기의 단점을 극복하기 위해 PR 제어기를 기반으로 제어기를 설계하였으며, 시스템의 안정성과 동특성을 고려하여 멀티루프 간접 전류 제어를 사용하였다. 논문 [3]의 Seamless transfer 모드 변환을 기반으로 제어 시퀀스를 구성하였다.

2. 시스템 설계

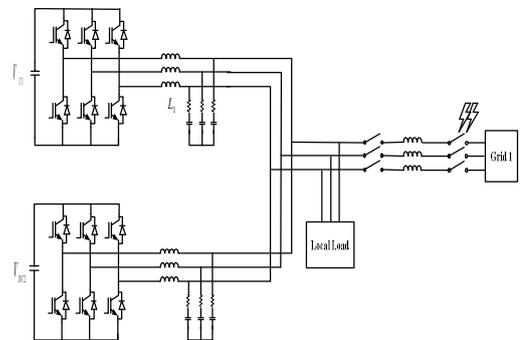


그림 1 병렬 연결된 전체적인 인버터의 구성
Fig. 1 Overall configuration of the parallel inverter

지역 부하의 위치가 그림 1과 같은 경우 부하량의 변동에 의한 전류 레퍼런스를 알 수 없기 때문에 전류제어 사용이 불가능하다. 단독운전 시 분산 발전원은 전압원으로 동작하기 때문에 모두 전류 제어로 제어할 수 없다. 계통 사고 등으로 인하여 계통과 분리되기 전, 제어기는 전류제어로 작동하고 분리 후 단독 운전에서는 드롭제어를 통해 부하를 분담, 담당하는 제어기 설계가 목표이다. 이 제어기에 요구되는 사항은 Seamless transfer와 Power sharing이다.

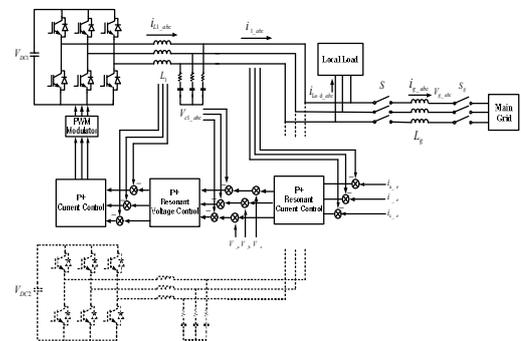


그림 2 병렬 연결된 인버터의 간접 전류 제어 계획
Fig. 2 Indirect current control strategy of parallel inverter

인버터 운전에서 계통연계에서 단독운전으로 변환되는 과정에서 과도현상에 의해 시스템이 망가질 수 있다. 이러한 과도

현상을 줄이기 위해 Seamless transfer 시퀀스를 적용하였다. [3]의 논문을 기준으로 모드변환 과정을 GC(Grid Connection mode), SSI(Steady State of Islanded mode), SBGS(Standby mode for Grid Synchronization), GS(Grid Synchronization mode), SBGC(Standby mode for Grid Connection)로 구분하였다.

GC(Grid Connection mode) : 일반적인 계통연계 모드로써 간접 전류 제어로 전류를 제어하고 있는 단계이다.

SSI(Steady State of Islanded mode) : 계통과 분리되는 과정으로 리플로저가 오픈되고 간접 전류제어가 Disable 된다. 따라서 전압제어로 동작하게 되며 전압 레퍼런스는 드롭제어의 전압레퍼런스가 주입된다. 드롭제어로 인해 인버터는 동일한 출력을 가지게 된다.

SBGS(Standby mode for Grid Synchronization) : 계통 동기화를 위한 준비단계로 계통이 다시 연결이 되지만 인버터와 연결되지는 않는다.

GS(Grid Synchronization mode) : 연결된 계통의 전압과 인버터 출력 전압을 싱크로해주는 단계로써 계통 전압을 이용하여 전압레퍼런스를 주입한다.

SBGC(Standby mode for Grid Connection) : 간접 전류 제어가 다시 연결되고, 전압 레퍼런스는 계통전압이 주입되며 피드포워드 연결로 전환되어 제어기의 액션을 줄여준다.

이후 인버터와 계통이 연결되고 전류 레퍼런스가 주입되면서 다시 계통연계 모드로 동작하게 된다.

3. 시뮬레이션

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Simulation parameter

Parameter	Value
DC link voltage	400 [V]
Filter capacitor	80 [μ F]
Filter inductance	4 [mH]
Switching frequency	5 [kHz]
Grid voltage	$155\angle 0^\circ$ [V]
Load resistance	80 [Ω]
Rated voltage value(peak)	155 [V]
Rated current value(peak)	4 [A]

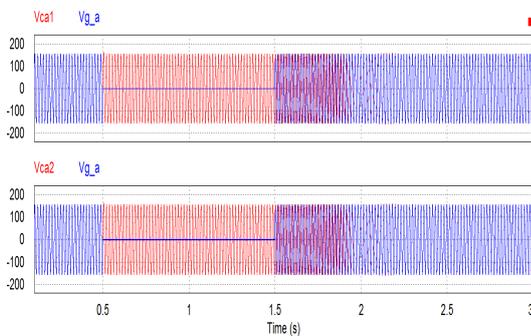


그림 3 DG1, DG2 커패시터 출력전압과 계통 전압과 비교
Fig. 3 Comparison of DG1, DG2 capacitor output voltage and grid voltage

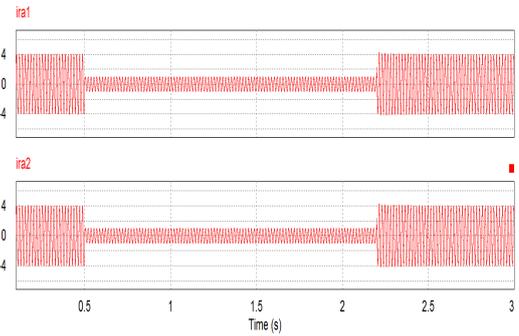


그림 4 DG1과 DG2의 출력 전류
Fig. 4 Output current of DG1 and DG2

그림 3의 각 구간별 분석은 0s~0.5s 사이는 GC로 계통전압과 출력전압이 동일한 값을 가지고 있다. 0.5s~1.7s SSI 구간으로 드롭제어로 GS까지 부하를 담당한다. 1.7s~2.1s GS구간으로 출력전압과 계통전압의 위상차이가 맞춰지고 있음을 확인할 수 있다. 2.1s는 SBGC로 GC를 준비하며 2.2s 이후로는 다시 GC로 동작한다. DG1과 DG2의 출력과 계통 동기화가 동일한 것을 확인하였고 155V의 피크치를 유지하였다, 그림 4는 각 모드에 맞춰 전류가 GC에는 레퍼런스 값은 4A, 드롭제어에서 출력에 맞춰 1A의 피크치를 유지하였다. GC에서 SSI가 되기 전 전류 레퍼런스를 드롭제어에 맞춰 1A로 미리 줄여줌으로써 과도현상을 줄였다.

4. 결론

인버터가 병렬연결일 때 계통 사고 등으로 인하여 단독 운전 시 드롭제어가 실행되도록 PR 제어를 기반으로 제어기를 구성하였다. 계통연계 시 간접 전류 제어를 통해 일정한 전류가 출력되도록 하였으며, 단독운전 시 각 분산 발전원들이 동일한 출력을 가지는 것을 확인하였다. 모드 변환 과정에서 매끄러운 변화를 가질 수 있도록 Seamless transfer 전략을 이용하여 출력 전압이 일정하게 유지되고 각 인버터의 출력 역시 동일한 값을 가지는 것을 확인하였다. 현재 시뮬레이션으로만 검증을 한 상태이며 추후 실험을 통해 이론을 검증할 예정이다.

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] D. N. Zmood, D. G. Holmes, and G. H. Bode, "Stationary frame current regulation of PWM inverters with zero steady state error." IEEE Trans. Power Electron, Vol. 18, no.3, pp. 814-822, 2003.
 [3] K. Lim, J. Choi, "Seamless Grid Synchronization of a Proportional+Resonant Control Based Voltage Controller Considering Non Linear Loads under Islanded Mode" Energies vol. 10, no. 10, pp.1514, Oct. 2017.