

독립형 마이크로그리드간의 자율 분산 제어방법에 관한 연구

정 봉훈, 이 경수
한국산업기술대학교 에너지·전기공학과

A study on the Autonomous Distributed Control Method between Isolated Microgrids

BongHoon Jung, KyungSoo Lee
Department of Energy and Electrical Engineering, Korea Polytechnic University

ABSTRACT

도시 및 산간지역에 필요한 독립형 마이크로그리드는 디젤발전, 태양광발전 및 에너지저장장치 등으로 구성된다. 독립형 마이크로그리드내의 급격한 부하 변동, 분산형전원의 발전량 변동과 같은 문제로 인해 교류계통의 전압과 주파수가 변동한다. 특히, 독립형 마이크로그리드간에 전력을 주고받는 상황에서는 상호간의 교류전압과 주파수를 적절히 조절해야 할 필요가 있다. 본 논문에서는 독립형 마이크로그리드 간에 전력을 주고받을 시, 에너지 라우터(Energy Router)라는 기기를 이용하여 통신을 사용하지 않고 자율 분산 제어방법을 통해 계통 전압과 주파수를 제어하는 방법을 제안한다. 에너지 라우터는 AC/AC 컨버터를 사용하여 전력을 상호 간에 전달한다. 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 부하 변동 및 분산형전원의 발전량 변동을 모의하고 에너지 라우터의 유효성을 검증한다.

1. 서론

독립형 마이크로그리드 내의 태양광 발전(PV)은 간헐적 출력특성을 가지고 있어 전력품질(Power Quality)유지에 어려움이 따른다. 특히 독립형 마이크로그리드간에 전력을 주고받는 상황에서는 일조량에 의한 주파수 및 교류 전압변동을 억제하기 위해 상호간의 유·무효전력제어가 필요하다. 상호간의 유·무효전력을 제어하기 위해 양방향 AC/AC 컨버터 토폴로지 Back to Back 컨버터는 Thyristor를 스위칭 소자로 하는 전류원 컨버터(LCC : Line Commutated Converter)와 IGBT를 스위칭 소자로 하는 전압원 컨버터(VSC : Voltage Source Converter) 2가지로 구분할 수 있다. 전류원 컨버터는 2상한 동작의 특성을 나타내며 전압원 컨버터는 4상한 동작이 가능하다. 따라서 본 논문에서는 PV와 부하로 구성된 독립형 마이크로그리드간의 연계를 위해 DC Link를 포함하는 VSC Back to Back 컨버터 토폴로지를 사용하였다. VSC Back to Back 컨버터는 풀 브리지 정류기를 통해 입력전류와 DC Link의 전압을 제어하고, 풀 브리지 인버터를 통해 출력전류와 출력전력을 제어한다. 이때 계통전압과 인버터 출력 위상을 일치시키는 PLL제어가 적용된다. 따라서 PV의 일조량 변화에 따라 안정된 전력공급을 위한 3상 양방향 Back to Back 컨버터를 사용하여 양방향 유·무효전력제어를 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

2. 본론

2.1 3상 전압원 Back to Back 컨버터

본 논문에서 구성한 전압원 Back to Back 컨버터는 2대의 3상 계통연계형 인버터 사이에 DC Link를 포함하며 양방향 유·무효전력 제어가 가능하다. 전체적인 토폴로지는 그림 1과 같으며 각 인버터의 계통측을 각각 MG1(Micro Grid1), MG2(Micro Grid2)로 부른다.

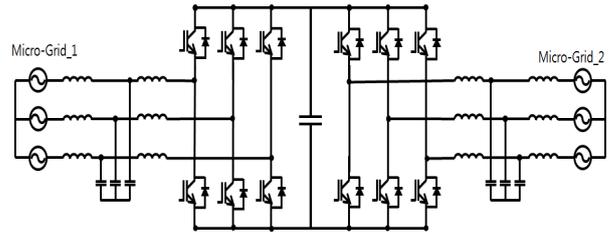


그림 1 전압원 Back to Back 컨버터 구조
Fig. 1 Topology of Voltage Source Back to Back Converter

2.2 3상 전압원 Back to Back 컨버터 제어

3상 전압원 Back to Back 컨버터의 양방향 제어를 위해 2대의 계통연계형 인버터가 정류기모드와 인버터모드로 각각 동작해야 한다. 정류기모드 제어는 DC Link의 전압을 일정한 전압으로 유지하기 위해 정류기 입력 단 전류 제어가 필요하다. 인버터모드 제어는 유·무효전력을 제어하기 위해 인버터 출력 단 전류 제어가 필요하다. 또한, 계통연계를 위해 계통전압 위상을 추종하는 PLL제어도 필요하다.

2.2.1 위상추종제어(PLL)

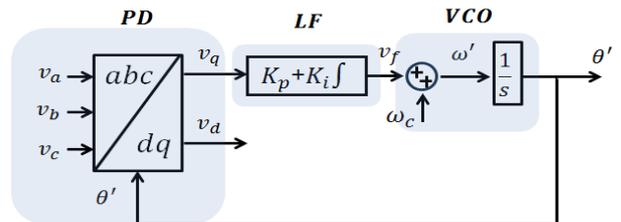


그림 2 위상추종제어(PLL) 제어 블록도
Fig. 2 Phase-Locked Loop Control Block Diagram

계통연계형 시스템에서는 계통의 위상과 주파수를 추종하는

것이 매우 중요하다. 그림 2와같이 3상으로 입력되는 계통전압 (v_a, v_b, v_c)을 정지좌표변환(α, β), 동기좌표변환(d, q)을 통해 v_d, v_q 를 추출하고, PI제어기를 통해 추종위상과의 차를 적분기를 통해 더해주어 위상 θ' 를 추종하게 된다.

2.2.2 정류기 모드

그림 3은 계통연계형 인버터의 정류기 모드 제어 블록도를 나타낸다. 정류기 모드는 DC Link의 전압을 일정한 전압으로 유지하여 인버터 모드의 입력기준전압으로 제어하기 위해 계통에서 얻어진 전류를 통해 DC link의 커패시터에 충전되며, DC Link를 일정한 전압으로 유지한다.

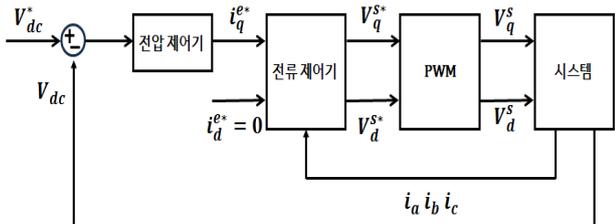


그림 3 정류기모드 제어 블록도
Fig. 3 Rectifier Mode Control Block Diagram

2.2.3 인버터 모드

계통의 3상 전압 및 전류를 측정하여 정지좌표변환, 동기좌표변환을 통해 유·무효전력을 제어한다. 이때 동기좌표변환 과정에서 간섭 성분인 wL 이 존재함으로 간섭분을 미리 보상하는 비간섭 전류제어가 필요하게 된다. 그림 4는 간섭 성분인 wL 을 보상하기 위해 Feed Forward 제어 방식을 나타내고 있다.

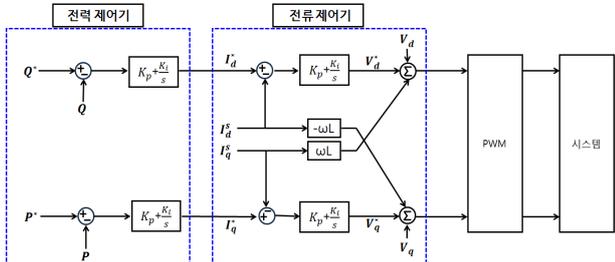


그림 4 인버터모드 제어 블록도
Fig. 4 Inverter Mode Control Block Diagram

3. 시뮬레이션

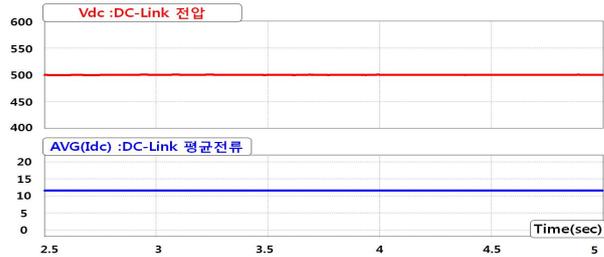
독립형 마이크로그리드 간의 상호전력전달을 모의하기 위해 시뮬레이션 프로그램인 PSIM 소프트웨어를 사용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 컨버터의 양방향 제어가 이루어짐을 확인하기 위해 DC Link단에 흐르는 전류(I_{dc})값을 기준으로 MG1에서 MG2로 전력전달시 양의 값, MG2에서 MG1으로 전력전달시 음의 값을 나타내도록 기준을 설정하였다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Simulation Parameters

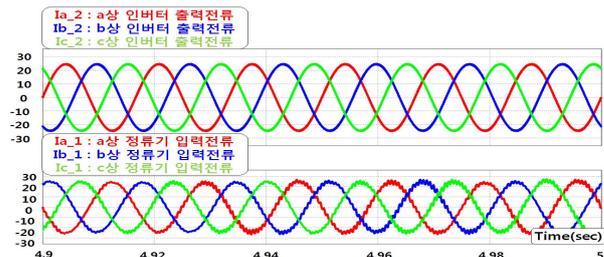
정격 전력	10 [kW]	L_f	3[mH]
계통 전압	220 [Vrms]	L_g	0.1[mH]
계통 주파수	60 [Hz]	C_f	30[μF]
DC Link 전압	500 [V]	C_{DC}	30[mF]

3.1 MG1에서 MG2으로 전력전달

그림 5는 MG1에서 MG2로 전력전달 시뮬레이션 과정을 나타낸다. (a), (b)는 정격전력 10[kW]로 운전시 DC Link의 전압 및 전류파형과 모드에 따른 계통연계형인버터의 전류파형을 나타내고 있다. DC Link단의 I_{dc}값이 양의 값을 나타내므로 MG1에서 MG2로 전력이 공급되고 있음을 나타낸다. (c), (d)는 유·무효전력 제어값 변경에 따른 출력전력 파형을 나타낸다. 3[sec] 지점에서 유효전력의 제어값을 5[kW]에서 7[kW]로 변경하였고, 4[sec] 지점에서 무효전력의 제어값을 2[kVAR]에서 3[kVAR]로 변경하였다. 제어값에 따라 유·무효전력제어가 이루어짐을 확인할 수 있고, 제어값 증가에 따라 공급하는 전류의 크기가 증가하는 것을 확인할 수 있다.



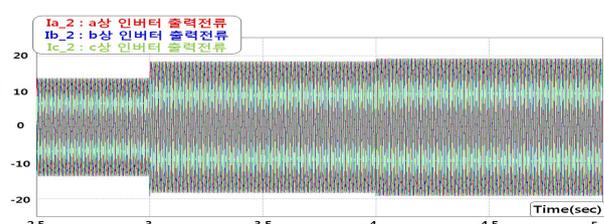
(a) 유효전력 10kW 제어시 DC-Link 전압 및 전류파형



(b) 유효전력 10kW 제어시 인버터 및 정류기 전류파형



(c) 유효전력, 무효전력 제어값 변경시 DC-Link 평균전류파형



(d) 유효전력, 무효전력 제어값 변경시 인버터 출력전류 파형
그림 5 MG1에서 MG2로 전력공급 시뮬레이션

Fig. 5 Simulation of Power Supply from MG1 to MG2

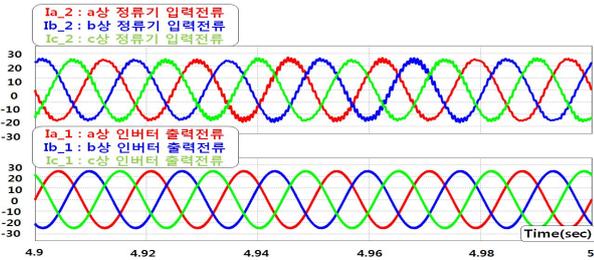
3.2 MG2에서 MG1으로 전력전달

그림 6는 MG2에서 MG1으로 전력전달 시뮬레이션 과정을

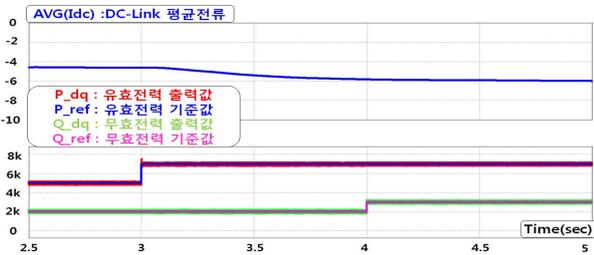
나타낸다. (a), (b)는 정격전력 10[kW]로 운전시 DC Link의 전압 및 전류파형과 모드에 따른 계통연계형인버터의 전류파형을 나타내고 있다. DC Link단의 Idc값이 음의 값을 나타내므로 MG2에서 MG1으로 전력이 전달되고 있음을 나타낸다. (c), (d)는 유·무효전력 제어값 변경에 따른 출력전력 파형을 나타낸다. 3[sec] 지점에서 유효전력의 제어값을 5[kW]에서 7[kW]로 변경하였고, 4[sec] 지점에서 무효전력의 제어값을 2[kVAR]에서 3[kVAR]로 변경하였다. 각각 제어값에 따라 유·무효전력제어가 이루어짐을 확인할 수 있고, 제어값 증가에 따라 공급하는 전류의 크기가 증가하는 것을 확인할 수 있다.



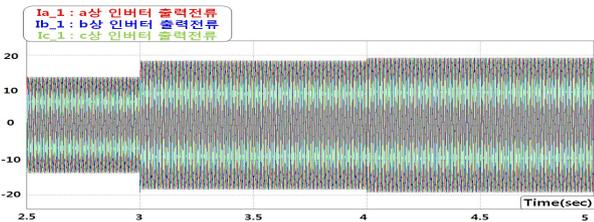
(a) 유효전력 10kW 제어시 DC-Link 전압 및 전류파형



(b) 유효전력 10kW 제어시 인버터 및 정류기 전류파형



(c) 유효전력, 무효전력 제어값 변경시 DC-Link 평균전류 파형



(d) 유효전력, 무효전력 제어값 변경시 인버터 출력전류 파형
그림 6 MG2에서 MG1으로 전력공급 시뮬레이션

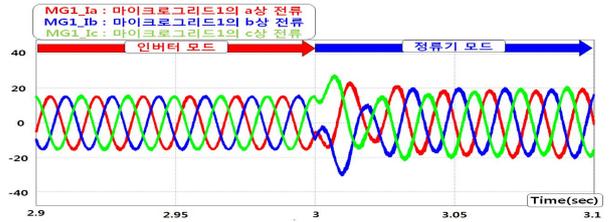
Fig. 6 Simulation of Power supply from MG2 to MG1

3.3 전압원 Back to Back 컨버터 모드전환

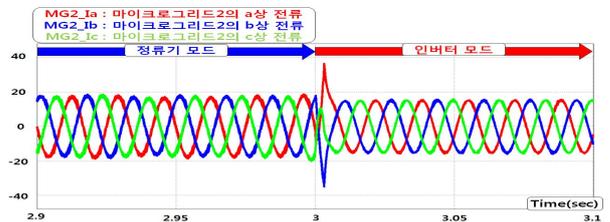
그림 7은 전압원 Back to Back 컨버터의 양방향 모드전환에 따른 시뮬레이션 파형을 나타내고 있다. (a)는 DC Link의 전류파형을 나타내고 있다. 3[sec]지점에서 양방향 모드 전환에 따라 전류의 방향이 음의 값에서 양의 값으로 전환됨을 확인할 수 있다. (b), (c)는 모드 전환시 각 마이크로그리드의 상전류를 나타내고 있다.



(a) DC-Link 전류파형



(b) 모드전환시 MG1의 상전류 파형



(c) 모드변환시 MG2의 상전류 파형

그림 7 계통연계형 인버터 모드전환 시뮬레이션

Fig. 7 Simulation of Grid-connected Inverter Mode Switching

4. 결론

전압형 Back to Back 컨버터 토폴로지를 사용하여 독립형 마이크로그리드간의 상호전력전달에 대한 시뮬레이션 및 분석을 진행하였다. DC Link 전압의 정상상태 추종까지의 시간을 줄여야 하는 문제점과 양방향 모드전환 시 오버슈트의 크기를 줄여야 하는 문제점을 확인하였다. 향후에는 각각의 오차를 줄이기 위한 제어기 설계와 독립형 마이크로그리드 내의 PV발전량 변동 및 계통 주파수변동을 모의하여 에너지 라우터의 안정성을 검증할 예정이다.

이 논문은 2017년도 한국전력공사의 연구비 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.
(No. R17XA05 40)

참고 문헌

- [1] Liu.Yingshu, Yue Fang, "Interconnecting Microgrids via the Energy Router with Smart Energy Management.", *Energies*, Vol. 10, No. 9, p.p. 1297, August.2017
- [2] Rodríguez Cabero, Alberto, Francisco Huerta Sánchez, and Milan Prodanovic. "A unified control of back to back converter." *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE) of the IEEE*, pp. 1 8, 2016.
- [3] I.Y. Lee, et al, "Implementation of 10kW Grid Connected Three phase Back to Back Converter", *Power Electronics Annual Conference*, pp. 56 57, 2011, July.