

BESS-디젤발전기 연계 CVCF 제어 안정도 향상기법 설계 및 해석

박종화, 조종민, 권성철, 차한주
충남대학교

Design and Analysis of CVCF Control for Stability Improvement of BESS and Diesel Generator Operation

Jonghwa Park, Jongmin Jo, Seongchul Kwon, Hanju Cha
Chungnam National University

ABSTRACT

본 논문은 독립형 마이크로그리드에서 BESS 디젤발전기 연계운전 시, 동기 인덕턴스와 LCL 필터의 상호간섭을 고려한 CVCF 제어기를 설계하고 해석하였다. CVCF 제어의 외부루프는 비례 공진(PR)을 이용한 기본파 전압제어이고, 내부루프는 제어 안정도 향상을 위한 커패시터 전류제어로 구성된 이중 루프 구조이다. 인버터 1.5T_s 시지연을 고려하여 모델링을 설계하고, 이산시간 영역에서의 근계적 기법을 통해 CVCF 제어의 안정도를 해석하였다. 50kW BESS 디젤발전기로 구성된 시뮬레이션을 통해 안정도 해석과 동일한 결과를 도출함으로써 설계된 CVCF 제어기를 검증하였다.

1. 서 론

전 세계적으로 에너지 고갈 및 친환경 에너지원에 대한 필요성이 증가함에 따라 신재생에너지의 기술개발에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 이러한 추세와 함께 마이크로그리드에 대한 수요가 증가하고 있다. 계통으로부터 전력을 공급받기 어려운 도서 지역의 경우, 독립형 마이크로그리드가 차세대 에너지 인프라로서 주목받고 있으며, CVCF (Constant Voltage Constant Frequency) 제어를 통해 수용가에 고품질 부하전력을 공급해야 한다. 이러한 소규모 분산전원 시스템은 BESS (Battery Energy Storage System)를 기반으로 하며, 신재생에너지 및 디젤발전기가 보조전원의 역할을 수행한다. 디젤발전기는 배터리 뱅크의 SOC(State Of Charge)가 부족할 경우 BESS와의 연계운전을 통해 에너지를 충전할 수 있다.^[1] 그러나 BESS와 디젤발전기가 연계되어 운전할 경우 디젤발전기의 큰 동기 인덕턴스는 LCL 필터와 상호간섭으로 인해 시스템의 불안정성을 야기하는 요인이 될 수 있으며, 특히 무부하 조건이 더욱 심각하므로 BESS의 안정화 운전기술이 요구된다.^[2] 따라서, 본 논문에서는 CVCF 제어 안정도 향상을 위한 이중 루프 제어기를 설계하고, 주파수 및 이산시간 응답특성을 통해 안정도를 해석하였다.

2. BESS-디젤발전기 구성 및 안정도 해석

2.1 BESS-디젤발전기 구성

그림 1은 독립형 마이크로그리드에서 BESS와 디젤발전기의 구성을 나타내는 것으로, 배터리 뱅크, DC AC 인버터 및 LCL

필터로 구성된다. LCL 필터의 공진주파수는 디젤발전기의 동기 인덕턴스가 고려됨에 따라 낮아진다.

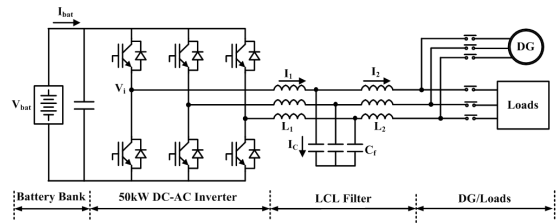


그림 1 BESS-디젤발전기 구성
Fig. 1 Configuration of BESS with diesel generator

2.2 정지좌표계 비례-공진(PR) 전압제어

그림 2는 정지좌표계에서 설계된 비례 공진 전압제어 블록도를 나타낸다. 정지좌표계 비례 공진(PR) 제어기는 동기좌표계 비례 적분(PI)의 역변환을 통해 유도할 수 있다. 비례 공진 제어기는 제어대상 주파수에서 매우 큰 이득을 갖는 특성으로부터 정상상태 오차를 제거할 수 있다. 식 (1)은 실제 구현된 비례 공진 제어기의 전달함수를 나타내며, ω_c 는 공진제어기의 대역폭, ω_0 는 제어하고자 하는 기본파 주파수를 나타낸다.

$$G_{PR}(s) = k_p + \frac{k_r \omega_c s}{s^2 + 2\omega_c s + \omega_0^2} \quad (1)$$

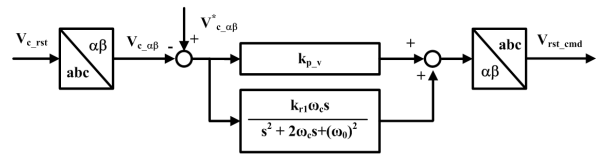


그림 2 정지좌표계 비례-공진 전압제어 블록도
Fig. 2 Block diagram of fundamental voltage control

2.3 기본파 전압제어

그림 3은 기본파 전압제어 조건에서의 제어 블록도이다. 무부하 상태에서 디젤발전기 연계 조건이므로 디젤발전기의 동기 인덕턴스 L_{DG} 가 고려됨에 따라 식 (2)와 같은 필터 전달함수로 나타낼 수 있다. 보하지 못함에 따라 불안정한 전압제어가 수행됨을 알 수 있다. 그림 4는 비례이득 k_p 의 가변에 따른 이산 시간 영역에서의 안정도 해석 결과로써 공진극점의 초기위치는 단위 원(unit circle) 내에 존재하지만, 선정된 k_p 이득에서 공진극점이 단위 원 밖에 있으므로 불안정한 전압제어가 수행됨을 알 수 있다.

$$G_{plant} = \frac{z_{LC}^2}{s^2 + \omega_{res}^2}, \quad z_{LC} = \frac{1}{L_1 C_f}, \quad \omega_{res}^2 = \frac{L_1 + L_T}{L_1 L_T C_f} \quad (2)$$

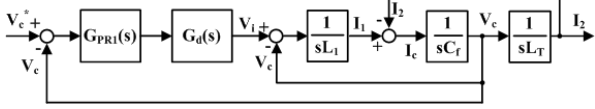


그림 3 기본파 전압 제어 블록도
Fig. 3 Block diagram of fundamental voltage control

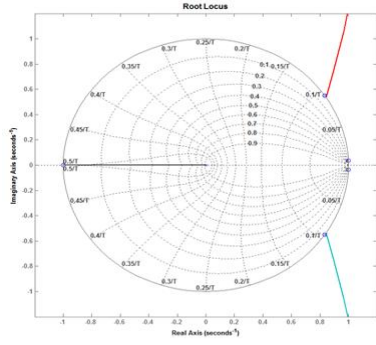


그림 4 기본파 전압 제어 안정도 해석
Fig. 4 Stability analysis of fundamental voltage control

2.4 기본파 전압제어 + 커패시터 전류제어

그림 5는 그림 3의 조건에서 내부 커패시터 전류제어를 추가한 제어 블록도이다. 외부 루프는 기본파 비례 공진 전압제어이며, 내부 커패시터 전류제어를 통해 이중 제어루프의 구조를 가진다. 그림 6은 이산시간 영역에서의 안정도 해석 결과로 공진극점의 초기 위치는 단위 원 내에 존재하고, 선정된 k_p 이득에서 공진극점이 단위 원 내에 존재함으로써 안정적인 제어가 수행됨을 알 수 있다.

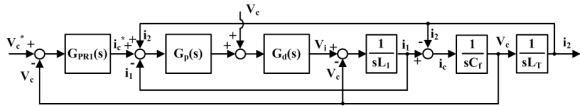


그림 5 기본파 전압 제어 + 커패시터 전류 제어 블록도
Fig. 5 Block diagram of fundamental voltage control with capacitor current control

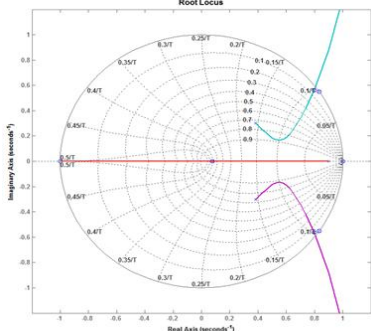
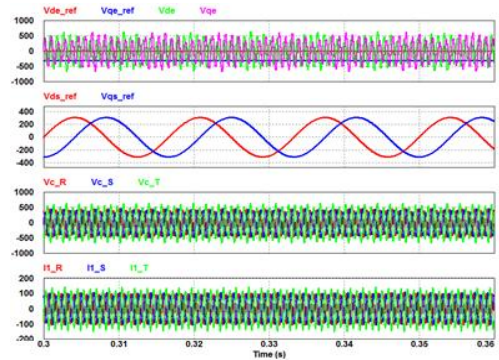


그림 6 기본파 전압제어 + 커패시터 전류제어 안정도 해석
Fig. 6 Stability analysis of fundamental voltage control with capacitor current control

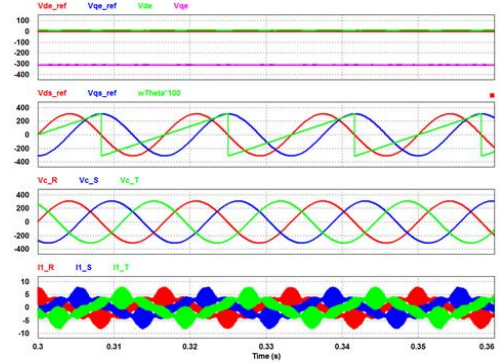
2.5 시뮬레이션

그림 7(a)는 무부하 조건에서 디젤발전기 연계운전 시 기본파 비례 이득 제어기 출력의 시뮬레이션으로 정상상태 구간의 결과파형을 나타낸다. 안정도 해석 결과와 동일하게 선정된 이

득 조건에서 불안정한 전압제어가 수행됨을 알 수 있다. 그림 7(b)는 기본파 전압제어와 커패시터 전류제어 조건에서의 시뮬레이션 결과파형을 나타낸다. 내부 커패시터 전류제어를 추가함에 따라 동일 제어이득 조건일 때, 이산영역에서의 근계적 기법을 이용한 안정도 해석과 시뮬레이션 결과가 일치함으로써 제어가 안정하게 수행됨을 알 수 있다.



(a) 기본파 전압제어



(b) 기본파 전압제어 + 커패시터 전류제어

그림 7 CVCF 제어 시뮬레이션
Fig. 7 Simulation of CVCF control

3. 결론

본 논문은 독립형 마이크로그리드에서 BESS 디젤발전기 연계운전 시, 동기 인덕턴스와 LCL 필터의 상호간섭으로 인해 불안정성을 야기하는 문제를 해결하기 위해 내부 커패시터 전류제어를 결합한 이중 제어루프 구조를 가지는 제어기를 설계하고 구현하였다. 이산영역에서의 근계적 기법을 통해 CVCF 제어의 안정도를 해석하였다. 50kW BESS 디젤발전기로 구성된 시뮬레이션을 통해 안정도 해석과 동일한 결과를 도출함으로써 설계된 CVCF 제어기를 검증하였다.

참고 문헌

- [1] J. Philip, B. Singh and S. Mishra, "Design and operation for a standalone DG SPV BES microgrid system", Power India International Conference (PIICON), 2014 6th IEEE, pp.1 6, 5 7 Dec. 2014.
- [2] P. C. Loh, M. J. Newman, D. N. Newman and D. G. Holmes, "A comparative analysis of multiloop voltage regulation strategies for single and three phase UPS systems", IEEE Trans. Power Electronics, vol. 18, no. 5, pp. 1176 1185, Sep 2003.