

에너지 자립을 위한 태양광발전 기반 소형 단상 마이크로그리드

허세완, 구태연, 박완기
한국전자통신연구원

sewany@etri.re.kr, kutai@etri.re.kr, wkpark@etri.re.kr

Small Single-phase Microgrid based on Photovoltaic Generation for Energy Self-reliance

Sewan Heo, Tai-yeon Ku, Wan-Ki Park
Electronics and Telecommunications Research Institute

요약

본 논문은 태양광 발전을 통해 에너지자립을 이룰 수 있는 마이크로그리드를 제안한다. 태양광 발전은 두 가지 형태의 구성을 통해 부하에 에너지를 전달하거나 에너지 저장장치를 충전한다. 단상 계통과 연결되어 있는 전력변환기(PCS)를 기반으로 마이크로그리드는 계통과 연계 또는 분리되어 동작할 수 있다. 단상 위상고정루프(PLL)와 동기화기를 통해 위상을 조절하는 안정적인 마이크로그리드의 동작을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

I. 서 론

태양광 발전과 같은 신재생 에너지는 날씨와 같은 환경에 영향을 받음에 따라 발전량이 일정하지 않고 가변적이다. 이러한 신재생 에너지원의 증가는 계통에 나쁜 영향을 미치는 문제가 있다. 이러한 문제 해결을 위해 마이크로그리드 내에서 신재생 에너지와 에너지 저장장치를 함께 활용할 수 있다[1]. 대표적으로 태양광 발전은 대형에서부터 소형에 이르기까지 다양한 규모로 활용되며, 소형 마이크로그리드에서는 단상 인버터와 단상 위상고정루프를 통해 계통에 연계된다[2][3]. 소형 마이크로그리드 내 태양광 발전으로 에너지 자립을 이루고, 에너지 저장장치와 같은 분산자원의 제어를 통해 계통 운영을 안정화하는데 도움을 줄 수 있다.

II. 본 론

본 논문에서 제안하는 태양광 발전 기반 소형 단상 마이크로그리드의 구성은 그림 1 과 같다. 태양광 발전의 두 가지 구성으로서, 하나는 직렬로 연결되어 계통연계 인버터를 통해 부하에 직접 전기를 공급하는 반면, 다른 하나는 병렬로 연결되어 배터리 충전기를 통해 에너지 저장장치에 전기를 충전한다. 전력변환기는 DC 라인에 연결된 에너지 저장장치 및 AC 라인에 연결된 계통을 통해 에너지를 공급받거나 공급할 수 있으며, AC 라인에 함께 연결된 부하에도 전기를 공급할 수 있다. 전력변환기는 단상 계통에 연결되어 계통의 상태에 따라 스위치를 통해 연결을 차단하거나 다시 연결할 수 있다.

계통의 전압이 임계점 이상 또는 이하이거나, 전압의 형태가 불안정 하는 등의 문제가 발생하면, 전력변환기는 이것을 감지하여 계통을 차단함과 동시에 에너지 저장장치를 활용하여 부하에 안정된 전기를 공급한다. 반면, 계통이 안정적으로 돌아오고 에너지 저장장치에 충전된 에너지가 부족한 경우에는 다시 계통을 연결하여

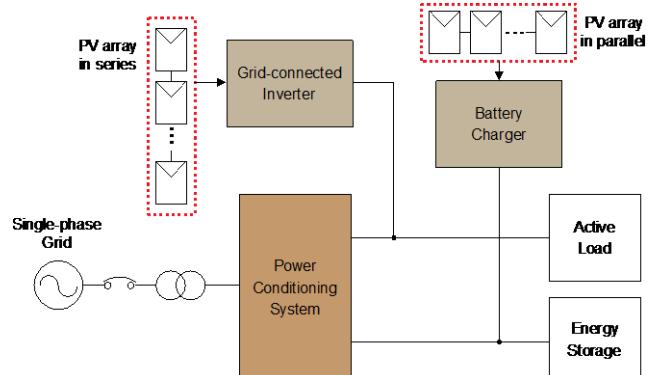


그림 1. 태양광 발전 기반 소형 단상 마이크로그리드

계통에서부터 부하에 전기가 공급될 수 있도록 하는 동시에 필요한 전기를 추가로 공급받아 에너지 저장장치를 충전한다.

계통과의 연결이 차단되는 경우와 다시 계통과 연결하는 경우에는 계통의 위상을 정확하게 검출하는 것이 필요하므로, 그림 2 와 같이 검출된 위상을 통해 마이크로그리드 내 위상을 결정하고 전력변환기의 모드를 제어한다. 단상 위상고정루프는 계통의 AC 전압을 통해 위상 Θ_{PLL} , 주파수 f_{PLL} , 전압크기 V_{PLL} , 고정여부를 생성하며, 이 정보를 통해 동기화기는 마이크로그리드 내 위상 Θ_{PCS} 을 결정한다. 전력변환기 모드 제어기는 에너지 저장장치 충전상태 SOC, 부하의 크기를 종합적으로 판단하여 계통연계 모드로 동작할지 독립 모드로 동작할지, 출력의 세기 등을 결정한다.

단상 계통 전압으로부터 위상을 검출하는 단상 위상고정루프는 그림 3 과 같이 a, β 축을 d, q 축으로 변환하는 Clarke 변환을 통해 가능하다. 이 중 d 축의 신호가 0 으로 수렴하도록 내부 위상 Θ 의 증가 정도를 조절한다. 내부에서 생성한 위상과 전압의 위상이 거의 일치하게 되면 d 축 신호는 거의 0 에 수렴하게 되고,

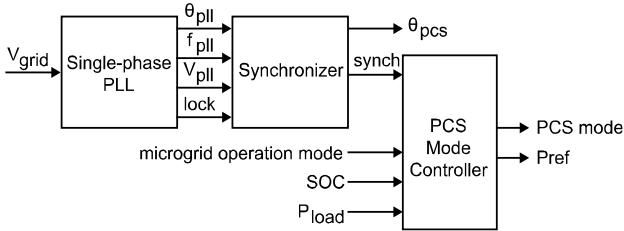


그림 2. 위상 추정 기반 전력변환기 모드 제어기

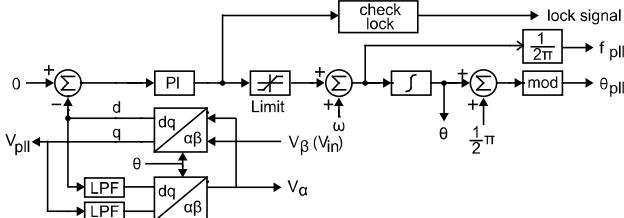


그림 3. 단상 위상고정루프

이것을 통해 고정이 되었는지 판단하여 고정 여부 신호(lock signal)를 생성하게 된다.

위상고정루프를 통해 검출된 위상은 마이크로그리드 내부의 위상으로 직접 사용하기보다는 그림 4(a)와 같이 위상 동기화기를 활용하여 부드럽게 조절하였다. 위상 고정루프를 통해 얻은 계통의 위상 θ_{PLL} 는 계통 연계상태에서는 전력변환기의 위상 θ_{PCS} 이 되며, 독립 상태 중에 계통에 연계하기 위해 위상을 변화시킬 때에는, 내부 위상에 일정한 슬루울을 추가로 적용하여 더 빠른 위상을 생성함으로써 그림 4(b)와 같이 일정한 속도로 동기화된다.

소형 단상 마이크로그리드의 전력변환기 모드 전환에 따른 계통 연계 및 독립 동작은 시뮬레이션을 통해 검증되었다. 그림 5는 계통연계 상태에서 계통의 전압에 하강(sag)이 발생한 경우 계통을 차단하여 독립 모드로 동작하고, 계통이 다시 정상으로 돌아온 것을 확인하고 계통에 위상을 동기화하여 다시 연계한 것을 보여준다. 전압 하강은 위상고정루프를 통해 즉시 확인되며, 고정 신호가 사라짐에 따라 전력변환기 모드 제어기는 독립 모드로 동작하도록 지시한다. 이때 마이크로그리드 내 위상은 기존의 계통 위상을 유지하므로 독립으로 전환 즉시에도 동일한 위상이 유지된다. 또한 계통이 정상으로 돌아온 경우 짧은 시간 내에 위상을 동기화시킨 후에 위상이 일치하는 것이 확인되면 스위치를 다시 연결하고 전력변환기의 모드를 연계 모드로 전환하였다. 그에 따라 모드가 전환됨에도 불구하고 부하에 정전이 발생하지 않는 것을 검증하였다.

III. 결 론

본 논문에서는 태양광 발전을 포함하는 소형 단상 마이크로그리드가 제안되었다. 태양광 발전은 부하 및 에너지 저장장치에 전기를 공급하며, 전력변환기는 마이크로그리드 내 위상을 적절하게 조절함으로써 계통에 문제가 생긴 경우에도 부하를 안전하게 보호할 수 있었다. 에너지 저장장치의 효과적인 운영을 통해 태양광 발전 설비의 증가에도 불구하고 계통과 마이크로그리드 모두가 안정적으로 운영될 수 있도록 하는데 이바지 할 수 있다.

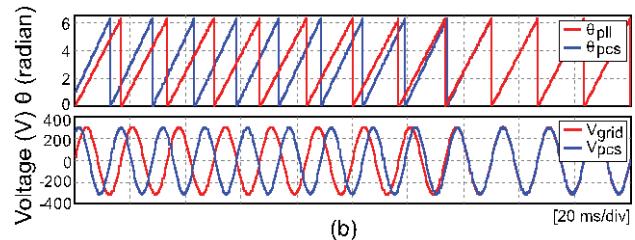
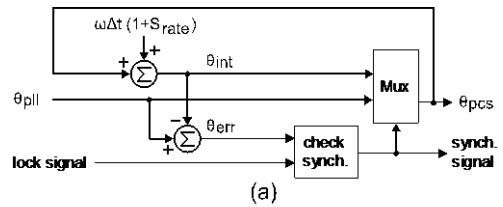


그림 4. 슬루울 조절이 가능한 위상 동기화기: (a) 구성 (b) 시뮬레이션

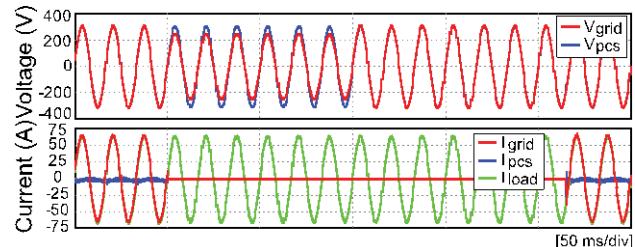


그림 5. 전압 이상검출에 따른 마이크로그리드 모드전환 시뮬레이션

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE) of the Republic of Korea. [No. 20191210301990]

참 고 문 헌

- [1] R. Zamora et al., "Controls for microgrids with storage: Review, challenges, and research needs," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 7, pp. 2009–2018, 2010.
- [2] S. Dasgupta et al., "Single-Phase Inverter Control Techniques for Interfacing Renewable Energy Sources With Microgrid," *IEEE Trans. Power Electronics*, vol. 26, no. 3, pp. 717–731, 2011.
- [3] R. M. S. Filho et al., "Comparison of Three Single-Phase PLL Algorithms for UPS Applications," *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol. 55, no. 8, pp. 2923–2932, 2008.