

스마트 인버터를 이용한 계통 전압 및 주파수 제어 알고리즘

박화평, 채수용, 강모세, 배국열, 백종복
한국에너지기술연구원

Grid Voltage and Frequency Control Algorithm using Smart Inverter

Hwa-Pyeong Park, Suyong Chae, Moses Kang, Kuk-Yeol Bae, Jongbok Baek
Korea Institute of Energy Research

ABSTRACT

화력 발전에 의한 전력 생산은 환경오염으로 이어지고 이를 극복하기 위해 태양광 발전 혹은 풍력발전과 같은 신재생에너지를 이용한 전력 생산이 꾸준히 증가하고 있다. 하지만 신재생에너지는 불규칙적인 전력을 생산할 뿐만 아니라 전력 계통의 도선 및 부하의 임피던스에 의해 계통의 전압 및 주파수가 변동한다. 이러한 문제를 극복하기 위해 계통 연계형 스마트 인버터를 사용하여 신재생에너지를 사용함과 동시에 계통의 안전성을 높일 수 있다. 본 논문은 ESS를 사용한 계통 연계형 스마트 인버터의 Voltage-Watt, Voltage-Var 제어 및 Frequency-Watt 제어를 통해 신재생에너지에 의해 발생하는 계통의 문제를 해결하는 제어 알고리즘을 제안한다.

1. 서론

기존 화석연료 기반의 전력 발전은 환경오염의 주요 원인으로 꼽히고 있다. 특히 산업이 고도화 됨에 따라 산업계에서 필요한 전력량이 급격히 증가하기 때문에 기존의 전력 발전시스템을 사용할 경우 전세계적인 환경 파괴가 예상된다. 이러한 문제를 극복하기 위해 태양광 발전, 풍력 발전 등의 친환경 에너지원 기반의 전력 생산원이 점차 늘어나고 있다. 하지만 계통에서 신재생 에너지원의 비중이 늘어남에 따라 에너지 생산의 불확실성이 커지고 이는 계통의 불안정을 야기한다.

신재생 에너지에 의해 발생하는 계통의 불안정성을 저감하기 위해 계통 연계형 스마트 인버터가 제안되었다^{[1]-[3]}. 이는 태양광 발전의 전력을 이용하여 Voltage-Watt 제어, Voltage-Var 제어, Frequency-Watt 제어를 구현하여 계통 안정화를 구현하였다. 이를 확장하여 태양광 발전뿐만 아니라 ESS 등 다양한 어플리케이션에서 계통의 불안정성을 저감할 수 있다. 하지만 기존 태양광 발전에서 사용하는 계통 안정화 알고리즘을 사용할 경우 어플리케이션에 최적으로 동작시킬 수 없다. 본 논문은 계통과 연계하는 ESS 어플리케이션의 계통 안정화 알고리즘을 제안하고 이를 CHIL을 통해 제어기 설계를 구현하고자 한다.

2. ESS 제어 알고리즘

기존 PV 스마트 인버터의 제어 알고리즘은 아래의 그림 1과 같은 계통 상태에 따른 커브 기반의 알고리즘을 가진다. 기존의 제어 알고리즘은 Var 기반의 제어를 우선으로 수행하고 Watt 기반의 제어를 낮은 우선순위에서 구동한다. 하지만 이는 PV의 전력 생산을 유지하는 동시에 계통을 제어하는 알고리즘이기 때문에 ESS 시스템에 적합하지 못하다. 따라서 ESS에 적합한 동작 우선순위 제어 알고리즘이 필요하고 그림 2는 기존 PV의 우선순위에 따른 동작 알고리즘을 나타내고, 그림 3은 제안하는 Watt 우선순위 기반의 ESS 동작 알고리즘을 나타낸다.

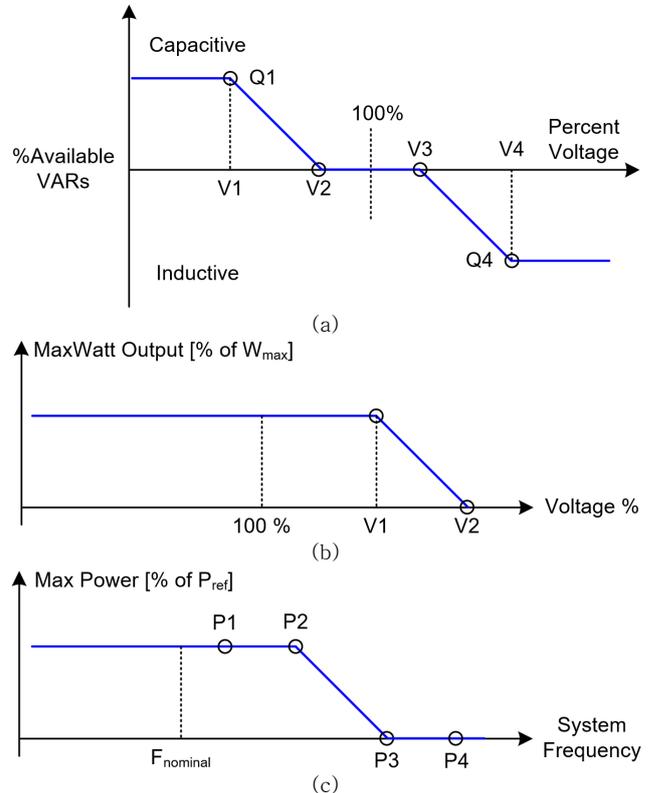


그림 1. 제어 알고리즘: (a) Volt-Var 제어, (b) Volt-Watt 제어, Freq-Watt 제어

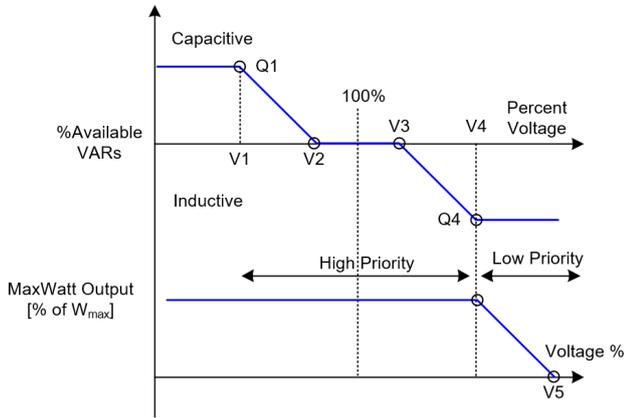


그림 2. 기존의 PV에 적합한 우선순위 알고리즘

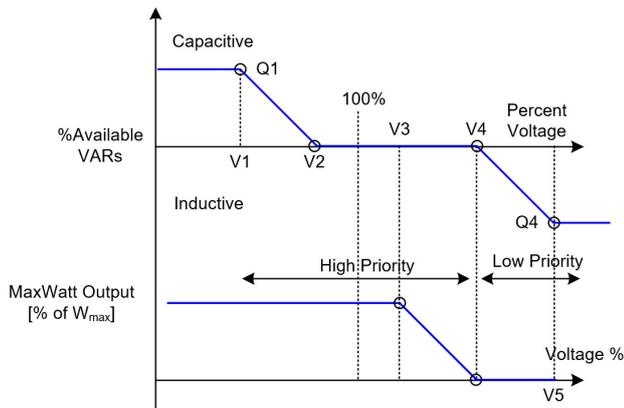


그림 3. ESS에 적합한 우선순위 알고리즘

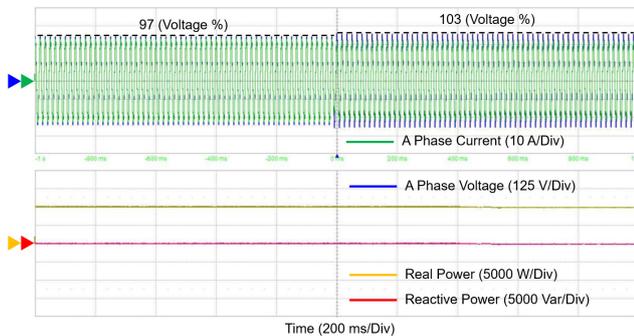
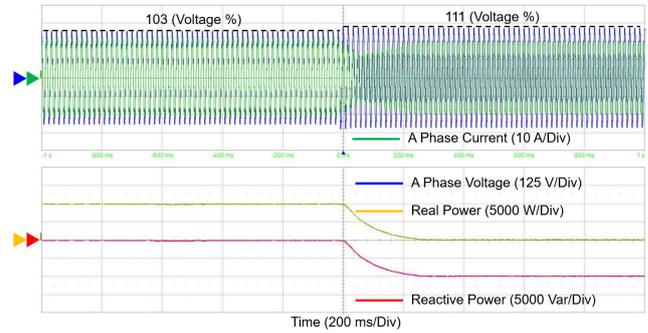


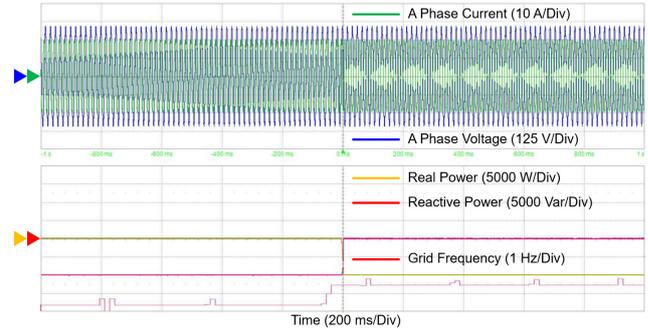
그림 4. 인버터 정상 상태 동작 파형

3. CHIL을 통한 알고리즘 구현

제안하는 알고리즘을 CHIL 기반으로 구현하고자 한다. 그림 4는 배터리와 계통을 연계하는 인버터의 정상상태 동작 파형을 나타낸다. 전압이 97%에서 103%까지는 정상상태이고 해당 상태에서는 계통 안정화 알고리즘이 동작하지 않는다. 그림 5는 계통의 문제 상황에서 커브 기반의 제어 알고리즘 구현을 보인다. 그림 5 (a)는 과전압 상태에서 전력이 0으로 수렴하는 동시에 무효전력으로 전압을 제어하는 것을 보인다. 그림 5 (b)는 주파수 변동 상황에서 유효 전력을 우선적으로 제어하고 이에 따라 무효 전력을 제어 한다.



(a)



(b)

그림 5. 계통 안정화 알고리즘: (a) 전압 변동의 경우, (b) 주파수 변동의 경우

3. 결론

본 논문은 계통 안정화를 구현하기 위해 ESS 어플리케이션 기반의 전압 및 주파수 제어 알고리즘을 제안하였다. 기존의 PV 어플리케이션 기반에서는 Var가 우선으로 동작하였지만 ESS 어플리케이션에서는 Watt가 우선으로 동작하는 것이 유리하고 제한하는 알고리즘을 CHIL 기반의 인버터를 구동하여 이의 동작 시나리오를 구현하였다.

본 연구는 2020년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20182410105280)

참고 문헌

- [1] X. Zhao, L. Chang, R. Shao and K. Spence, "Power system support functions provided by smart inverters—A review," in CPSS Transactions on Power Electronics and Applications, vol. 3, no. 1, pp. 25–35, March 2018.
- [2] M. Ebrahimi, S. A. Khajehoddin and M. Karimi-Ghartemani, "Fast and Robust Single-Phase DQ Current Controller for Smart Inverter Applications," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 31, no. 5, pp. 3968–3976, May 2016.
- [3] S. Li, Y. Sun, M. Ramezani and Y. Xiao, "Artificial Neural Networks for Volt/VAR Control of DER Inverters at the Grid Edge," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 10, no. 5, pp. 5564–5573, Sept. 2019.