

태양광 인버터의 무효 전력 보상 활용에 관한 연구

최제연, Trung-Kien Vu, 강산, 김광섭
카코뉴에너지(주)

Utilizing Reactive Power Compensation for Three-phase Grid-connected PV Inverter

Jae-Yeon Choi, Trung-Kien Vu, San Kang, Kwang-Seob Kim
Dept. of R&D Center, KACO new energy Inc.

ABSTRACT

최근 신재생에너지의 보급 정책으로 인해 태양광 또는 풍력과 같은 신재생에너지가 전체 전력 계통에서 차지하는 비율이 증가되고 있는 실정이다. 그러나 신재생에너지는 변동 적이기 때문에 계통의 안정성을 저해하는 원인이 될 수 있다. 이에 따라 각 나라에서는 계통 안정성을 위한 기능들을 요구하고 있으며, 그 요구는 점차 강화되고 있다. 이와 같이 신재생에너지 비율의 증가로 인해 계통 안정성에 대한 문제가 강조되고 있지만, 태양광 분산 발전 시스템의 경우에는 일사량에 의존하여 운전하기 때문에 일사량이 낮거나 야간에는 계통 안정성을 위한 기능을 수행하지 못하는 단점이 있다. 본 논문에서는 일사량이 낮거나 야간에도 계통 안정화를 위해 무효전력 지원이 가능한 확장된 무효전력 운전(EF-RPO: Extended feed-in Reactive Power Operation)방법의 제어 전략을 제안하며, 제안한 방식은 1MVA 계통 연계형 인버터의 제작과 실험을 통해 검증하였다.

1. 서 론

최근 대체 에너지와 환경 문제로 인해 신재생에너지에 대한 관심이 높아지면서 관련 분야의 기술개발이 활발히 진행되고 있다. 특히 태양광 분산 발전 시스템은 설치가 용이하다는 측면에서 주목을 받고 있으며, 효율을 높이기 위해 용량도 증가하고 있는 추세이다. 그러나 변동적인 신재생에너지를 활용한 발전 시스템은 계통의 안정성을 저해하는 원인이 되고 있다. 이에 따라 계통 안정성을 위한 기능들을 요구하고 있으며, 그 중 무효전력을 이용한 계통 안정화 기능은 각 나라의 계통 규정에 의해 점차 강화되고 있는 실정이다^[1].

태양광 분산 발전 시스템은 태양광 모듈로부터 최대 효율을 출력하기 위한 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어와 동시에 유효/무효전력을 제어한다. 기존 태양광 분산 발전 시스템은 일사량이 존재하는 주간에 한정되어 유효전력과 무효전력을 제어하는 구조를 지니기 때문에 일사량이 낮은 경우에는 유효/무효전력 제어가 불가능하여 무효전력을 이용한 계통 안정화 기능을 수행 할 수 없다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 일사량이 낮은 경우나 야간에는 정지형 동기 조상기(STACTOM: Static Synchronous Compensator)기능을 지닌 인버터에 대한 연구가 진행되어 왔다^[2]. 그러나 DC 측 전압을 제어하는 방법과 야간에 무효전력 공급하는 기능을 설명하는

실험 자료가 부족한 문제가 있다.

본 논문에서는 확장된 무효전력 운전 기능인 EF-RPO 모드의 제어 전략을 제안한다. 제안한 방식은 일사량과 관계없이 무효전력을 지원하여 계통 안정화 기능을 수행 할 수 있는 장점을 지니고 있다. 제안된 방식의 제어 전략은 1MVA 계통 연계형 인버터를 이용하여 검증하였다.

2. 본 론

2.1 시스템 구조 및 동작

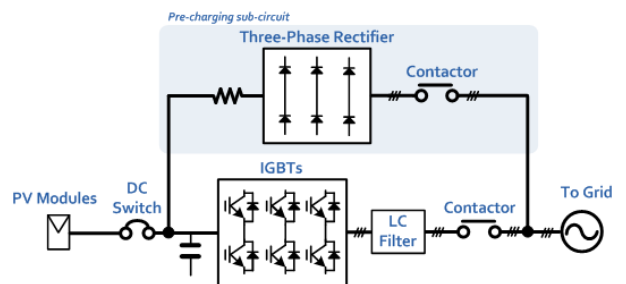


그림 1 초기 충전 회로를 지닌 태양광 분산 발전 시스템의 블록 다이어그램

Fig. 1 Equivalent Block Diagram of Photovoltaic distributed generation System with Pre-Charging Sub-Circuit

제안된 시스템의 구조는 그림 1와 같이 구성되어 있다. 시스템의 구조는 일반적인 태양광 분산 발전 시스템과 유사하지만 EF-RPO 모드 운전을 위해 초기 충전 회로(Pre-Charging Sub-Circuit)가 추가된 형태를 지닌다. 초기 충전 회로는 PV 모드에서 EF-RPO 모드로 모드전환 시, DC 측 전압이 부족할 경우에만 DC 측 전압을 충전하는 역할로 사용된다. 태양광 인버터가 PV 모드로 운전될 경우에는 유효전력과 무효전력 모두 제어가 가능하지만, EF-RPO 모드로 운전될 경우에는 무효전력 제어만 가능하다.

그림 2는 제안된 시스템이 PV 모드와 EF-RPO 모드로 전환하는 순서도를 나타내며 각 단계의 설명은 아래와 같다.

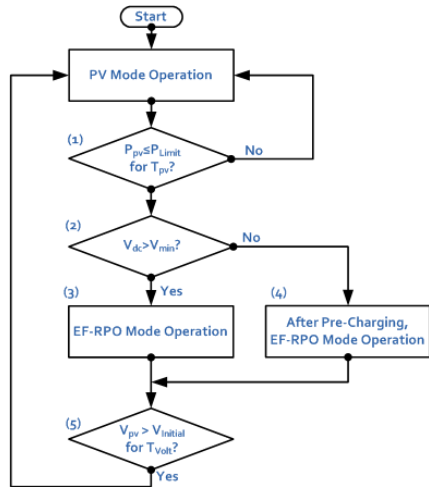


그림 2 동작 원리의 순서도
Fig. 2 Operational Principle

Stage (1): PV 모드에서 PV 측 전력이 제한 값보다 작은지 확인한다.

Stage (2): Stage(1)에서 확인한 PV 측 전력에 제한 값보다 작은 경우, DC 측 전압이 제한 값보다 높은지 확인한다.

Stage (3): Stage (2)에서 확인한 DC 측 전압이 제한 값보다 높은 경우, EF-RPO 모드로 운전한다.

Stage (4): Stage (2)에서 확인한 DC 측 전압이 제한 값보다 작을 경우, 초기 충전 회로를 통해 DC 측 전압을 충전 한 후, EF-RPO 모드로 운전한다.

Stage (5): EF-RPO 모드에서 PV 측 전압을 주기적으로 확인하여 PV 측 전압이 제한 값보다 높을 경우, PV 모드로 전환한다.

2.2 제어기의 구조

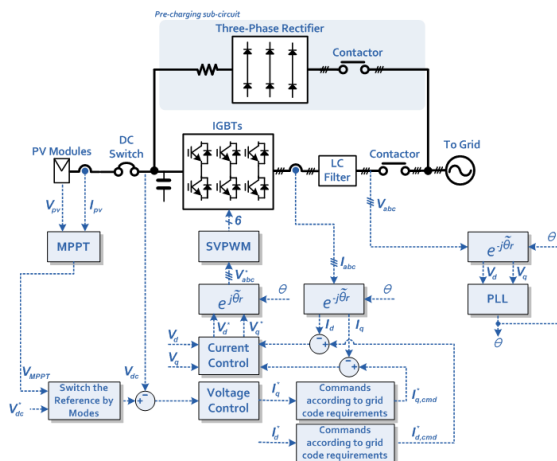


그림 3 제어 블록 다이어그램
Fig. 3 Control Block Diagram

그림 3은 제안된 시스템의 제어 블록다이어그램을 나타낸다. 그림 3에 표현된 것과 같이 PV 모드에서는 V_{MPPPT} 전압을 기준 전압으로 제어하지만, EF-RPO 모드에서는 특정 전압 V_{dc}^* 로 전압을 제어한다. EF-RPO 모드는 DC 측 차단기가 개방된

상태이기 때문에 DC 측 전압을 유지하기 위해 계통으로부터 최소한의 유효전력을 소비하게 된다. 따라서 유효전력 발전은 불가능하며 계통 운영자의 요구에 따라 무효전력 제어만이 가능하다.

2.2 실험 결과

제한한 시스템의 검증을 위해 1MVA 계통 연계형 인버터를 사용하여 실험하였다. 실험은 태양광 모듈 대신 DC 전압원을 이용하여 제안한 방식의 제어 전략을 검증하였다.

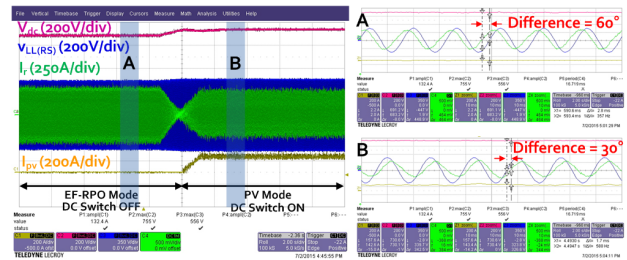


그림 4 EF-RPO 모드에서 PV 모드로 전환 시, 실험 결과 파형

Fig. 4 Experimental waveforms in case of when the Mode is changed from EF-RPO mode to PV mode

그림 4는 EF-RPO 모드에서 PV 모드로 전환할 때, DC 측 전압 V_{dc} , 계통 R-S 선간 전압 v_{LL} , 계통 R상 전류 i_r , 그리고 DC 측 전류 I_{pv} 를 나타낸다. 그림 4의 A구간은 EF-RPO 모드로 운전하는 구간으로 I_{pv} 는 흐르지 않으며, v_{LL} 과 i_r 의 위상차가 약 60도이기 때문에 무효전력만 공급되는 것을 확인 하였다. 그림 4의 B구간은 PV 모드로 운전하는 구간이며 실험에서는 유효전력만 공급되는 상태이기 때문에 v_{LL} 과 i_r 의 위상차는 약 30도 인 것을 확인하였다. 선간전압과 상전류는 30도의 위상차를 지니고 있기 때문에 그림 4의 결과와 일치하는 것을 확인하였다.

3. 결론

본 논문은 일사량이 낮아 태양광 모듈로부터 전력 공급이 불가능한 조건에서도 태양광 인버터를 정지하지 않고 계통 안정화를 위한 무효전력을 공급 할 수 있는 제어 전략을 제안하고 있다. 이와 같이 계통의 전력 품질 안정화를 위한 기술 개발과 노력은 계통의 전력 품질 안정화에 도움이 될 뿐만 아니라 국내 태양광 발전 시스템 산업의 세계시장 진출을 위한 경쟁력 강화에 이바지 할 것으로 기대한다.

참고 문헌

- [1] Y.Bae, T. K. Vu, and R. Y. Kim, "Implemental control strategy for grid-stabilization of grid connected PV system based on German grid code in symmetrical low-to-medium voltage network", IEEE Trans. Energy Conversion, Vol. 28, Iss. 3, pp. 619-631, 2013
- [2] Rajiv K. Varma, Vinod Khadkikar, and Ravi Seethapathy, "Nighttime application of PV solar farm as STATCOM to regulate grid voltage", IEEE Trans. Energy Conversion, Vol. 24, No. 4, pp.983-985, 2009