

# 계통연계형 태양광 단상 인버터의 단독운전 방지를 위한 알고리즘

황의선, 서진범, 권효상, 김덕기, 조영균, 민준기  
(주)다쓰테크 기술연구소

## Algorithm for Anti-Islanding of the Grid Connected Single Phase PV Inverter

Uiseon Hwang, Jinbum Seo, Hyosang Kwon, Deokki Kim, Youngkyun cho, Joonki Min  
DASS Tech Co., Ltd R&D Center

### ABSTRACT

본 논문에서 제안한 단독운전 알고리즘은 무효전력 주입을 기반으로 설계하였다. 정상상태에서는 무효전력을 주입하지 않고 계통전압, 고조파, 주파수의 변동을 확인하여 제 1차와 2차 단계를 통해 무효전력의 주입량과 주입 방향을 결정하여 주입한다. 제안한 방법을 통하여 단독으로 운전될 때 뿐만 아니라 다수대 병렬운전할때도 단독운전을 200ms 이내에 검출됨을 확인하였다.

### 1. 서론

계통연계형 태양광 인버터의 단독운전 방지 기능은 인명피해 혹은 화재에 있어서 중요한 보호기능 중 하나이다. 단독운전 방지 기법은 로컬제어기법과 원격제어기법이 있다. 단독운전 방지 알고리즘은 AFD(Active Frequency Drift), RPV(Reactive Power Variation) 등을 많이 사용되어 왔으며 구현이 간단하고 단독운전 차단시간이 짧은 장점을 가지고 있다. 하지만 정상상태에서 출력전류의 주파수를 변동하거나 무효전력을 주입시켜 전력품질, 역율이 저하되며 2대 이상이 병렬로 연계되었을때 단독운전 차단 시간이 증가하는 단점이 있다<sup>[1][2]</sup>.

본 논문에서는 단독 또는 다수대 병렬운전 시에도 단독운전을 신속하게 검출하여 단독운전을 방지하는 알고리즘을 제안하고자한다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 무효전력 주입을 기반으로 설계하였으며 정상상태에서는 무효전력을 주입하지 않고 계통전압의 변동, 계통전압의 고조파 변동, 계통전압의 주파수 변동을 모니터링하여 무효전력을 주입함으로써 신속하게 단독운전을 검출하고 차단시킨다.

### 2. 본론

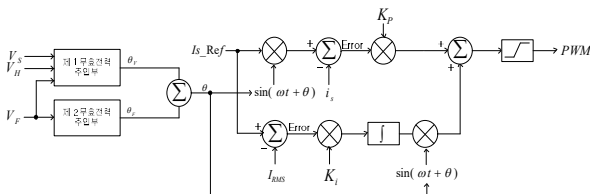


그림 1 단독운전방지 제어기의 블록다이어그램  
Fig. 1 Block diagram of Anti-Islanding controller

### 2.1 제 1차 무효전력 주입부

그림 1에서 제 1차 무효전력 주입부는 계통전압의 변동과 계통전압 고조파의 변동을 모니터링하게 된다. 단독운전 발생시 발생하는 전압의 고조파 변동 및 전압 변동을 계측하여 전압의 고조파 및 전압 편차가 일정치를 초과할 경우 일정량의 무효전력인 0.1 P.U.를 주입한다<sup>[3]</sup>. 계통전압의 실효값을 구하는 식은 다음의 식 1과 같으며 계통전압의 고조파는 DFT(Discrete Fourier Transform) 알고리즘으로 산출하였으며 식 2와 같다.

$$V_s = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \left( \sum_{n=0}^m |v_s| \right) \quad (1)$$

$$V_{h^k} = \frac{\sqrt{2}}{m} \left\{ \left( \sum_{n=0}^m v_s \cos k\theta \right)^2 + \left( \sum_{n=0}^m v_s \sin k\theta \right)^2 \right\} \quad (2)$$

식 1과 2에서  $V_s$ 는 계통전압의 실효값이며  $v_s$ 는 순시 계통전압이고  $V_{h^k}$ 는 k차수의 고조파 전압이다. 또한 m은 샘플링 개수이며 k는 고조파 차수이다.

### 2.2 제 2차 무효전력 주입부

제 2차 무효전력 주입부는 부하조건에 의해 발생하는 계통전압의 주파수 편차, 제 1차 무효전력 주입부의 무효전력 주입으로 인해 발생하는 계통전압의 주파수 편차를 모니터링하여 무효전력량과 무효전력 주입 방향이 결정된다. 단독운전 상태가 아닌 정상운전 상태일 때는 주파수 변동이 없으므로 역율 또는 출력전류의 왜률에 영향을 주지 않게 된다. 주파수 편차에 따른 무효전력 주입식은 다음의 식 3과 같다.

$$\theta_F = (F_v - f_v) \times 2\pi \times \text{Sampling} / F_{pwm} \quad (3)$$

식 3에서  $F_v$ 는 평균처리한 계통전압의 주파수 이며  $f_v$ 는 한 주기 계통전압의 주파수이고  $F_{pwm}$ 은 PWM(Pulse Width Modulation)의 주파수이다<sup>[3]</sup>. 계통전압의 주파수 측정 주기는 120Hz마다 계속하게 된다. 즉 반주기에 한번씩 계통 주파수를 계속하게 되며 반주기마다 주파수 편차에 따른 무효전력을 주입하게 된다.

### 2.3 단독운전 판단부

단독운전 판단 시 무효전력을 주입함으로써 계통전압의 주파수를 변동시켜 단독운전 상태를 정지하게 된다. 단독운전 검출

은 계통전압의 고주파수 혹은 저주파수(Over/Under Frequency) 검출 레벨보다  $\pm 0.5\text{Hz}$ 에서 단독운전을 검출하여 명확하게 단독운전 상태를 판단하고 인버터를 정지시킨다.

### 3. 실험 및 고찰

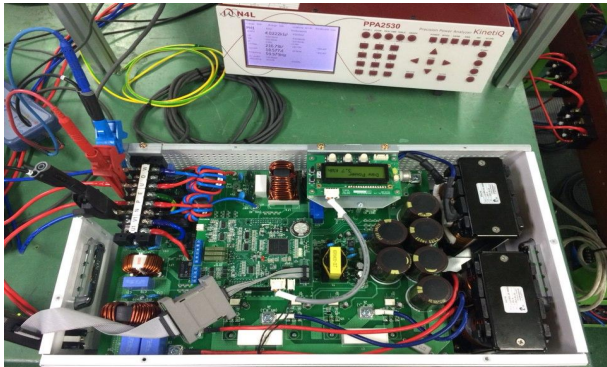
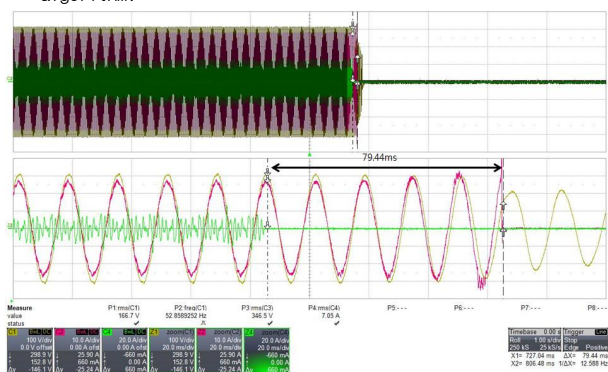
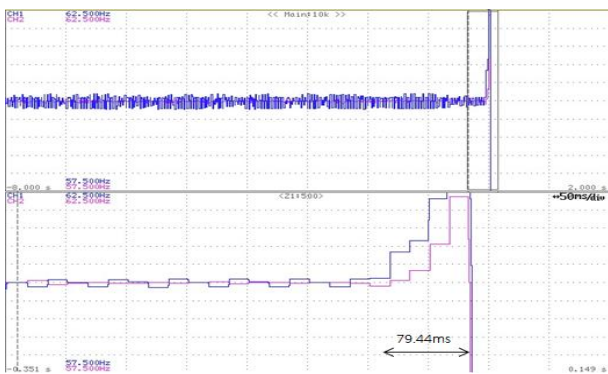


그림 2 제안한 알고리즘을 적용한 계통연계형 태양광 인버터  
Fig. 2 Grid connected PV inverter using proposed algorithm.



(a)



(b)

그림 3 단독운전 실험  
Fig. 3 Anti-island experiment

그림 2는 제안한 단독운전 알고리즘의 타당성을 확인하기 위해 사용한 계통연계형 태양광 인버터이며 제안한 알고리즘을 적용시켜 실험하였다. 계통전압은 220V/60Hz, 출력전력은 4kW 조건하에 0.02모멘트의 진동부하를 연결한 후 전체 Q factor가 3이 되도록 부하를 설정하여 실험을 한다. 그림 3(a)은 1대의 인버터가 계통연계 운전시에 단독운전 실험을 한 계통전압과 출력전류파형이다. 그림 3(b)은 계통전압과 전류의 주파수를

측정한 파형이다. 그림 3에서 단독운전 상황 시 즉각 무효전력을 주입하여 계통전압의 주파수를 변화시켜 단독운전을 검출하고 인버터를 정지하였다. 이때 단독운전 차단시간은 79.44ms로 측정되었다.

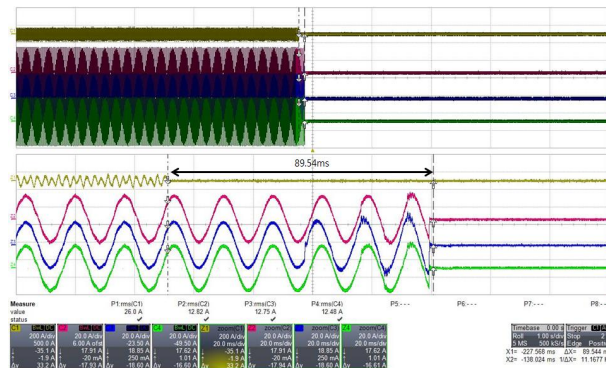


그림 4 다수대 단독운전 실험  
Fig. 4 Anti-islanding experiment of parallel connected inverters

그림 4는 3대 병렬운전 시 단독운전 실험을 한 계통으로 흐르는 전류와 3대의 출력전류파형이다. 부하기 및 실험 조건은 그림 3의 실험과 동일하게 설정하였다. 3대 병렬운전 시 단독운전 검출 시간은 89.5ms로 신속하게 검출하였다. 또한 다수대 병렬운전 시 단독운전 상황에서 3대 모두 같은 방향으로 무효전력을 주입함으로써 단독운전을 유지하지 않고 신속하게 차단할 수 있었으며, 이를 확인하였다.

### 4. 결론

본 논문에서 제안한 단독운전 알고리즘은 정상상태에서는 출력전류의 주파수 변동 혹은 무효전력을 주입하지 않고 계통전압, 계통전압의 고조파 그리고 계통전압의 주파수로 단독운전 상태를 판단함으로써 무효전력을 주입하여 단독운전을 검출하였다. 또한 다수대 병렬운전 시 단독운전 상태에서 계통전압, 고조파, 주파수의 편차에 따라 무효전력 주입 방향을 동일하게 하여 추가적인 인터페이스없이 단독운전을 신속하게 검출 후 정지시켰으며 검출 시간은 200ms 이하였다.

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원 (KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (20123010010060)

### 참고 문헌

- [1] 최정식, 고재섭, 정동화, “계통연계형 태양광 인버터의 단독운전 방식을 위한 새로운 알고리즘 개발” 조명·전기설비학회논문집, Vol.25, No.10, 2011.
- [2] 정영식, 유병규, 강기환, “병렬운전하는 계통연계형 발전용 인버터의 단독운전 검출 성능 분석, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.33, No.5, 2013.
- [3] 오므론 주식회사, “단독운전검출방법, 제어장치, 단독운전검출장치 및 분산형전원시스템”, 특허제4835587호(P4835587), 2011.12.14.