

# 계통연계형 소용량 태양광 인버터에 적용된 AFD 방식의 단독운전 검출기법

곽래호, 이준희, 이교범  
아주대학교

## Anti-islanding Detection of a AFD Method applied to Grid Connected Micro Inverter

Raeho Kwak, June Hee Lee, and Kyo Beum Lee  
AJOU UNIVERSITY

### ABSTRACT

본 논문은 계통연계형 소용량 태양광 인버터에 적용된 AFD (Active Frequency Drift) 기반의 단독 운전 검출 기법을 제안한다. 태양광 시스템에 일반적인 인버터 토폴로지를 사용한 경우, 무효전력 주입을 이용하여 단독운전 검출이 가능하다. 하지만 무효전력의 제어가 불가능한 인버터를 사용한 경우에는 기존의 무효전력을 이용하는 단독운전 검출기법을 사용할 수 없다. 무효전력의 제어가 불가능한 인버터 토폴로지에 새로운 스위칭 기법을 적용하면 무효전력을 주입한 효과를 얻을 수 있고, 이를 통해 기존의 AFD 방식을 응용하여 단독운전 검출이 가능한 새로운 검출기법을 제안하였다. 제안하는 검출기법은 기존의 AFD 방식보다 인버터 출력전류의 THD (Total Harmonic Distortion)를 개선할 수 있는 장점이 있다. 제안하는 기법의 성능을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

### 1. 서론

계통과 직접 연계되어 있는 분산전원에서는 단독운전 현상 (Islanding phenomenon)이 발생할 수 있다. 단독운전 현상은 계통이 차단되었을 경우에도 계통연계형 발전 시스템이 이를 검출하지 못하고 부하에 계속 전력을 공급하는 현상이다. 이는 보수 인력의 안전을 보장할 수 없고, 태양광 발전 시스템이나 계통의 전기설비에 악영향을 미친다<sup>[1][2]</sup>.

단독 운전 방지(Anti Islanding) 기술은 단독 운전의 위험성과 부작용 때문에 반드시 고려되어야 한다. 본 논문에서는 무효전력의 제어가 불가능하여 기존의 무효전력을 이용하는 단독 운전 검출기법을 사용할 수 없는 경우에도 사용할 수 있는 단독 운전 검출 기법을 제안한다. 인버터에 새로운 스위칭 기법을 적용하여 무효전력을 주입한 효과를 얻고, 이를 통해 기존의 AFD 방식을 응용하여 단독운전 검출이 가능한 검출기법을 제안하였다.

### 2. 토폴로지의 스위칭 방식과 단독운전 검출 기법

#### 2.1 인버터에 적용된 스위칭 방식

그림 1은 단독 운전 검출 기법을 적용할 브릿지리스 인버터의 토폴로지이다. 각 폴의 위쪽 스위치를 다이오드로 바꾼 일

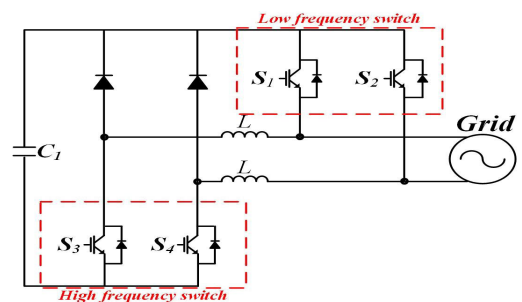


그림 1 브릿지리스 인버터 토폴로지

Fig. 1 Schematic diagram of the bridgeless inverter

반적인 브리지리스 인버터에 2개의 스위치가 추가된 형태이다. 추가된 2개의 스위치는 각 상의 위쪽 다이오드에 병렬로 연결된다. 이는 인덕터에 저장된 에너지에 의한 전류의 환류경로를 제공한다. 이 토폴로지는 계통 전압으로 부터 얻은 정현파를 통해 스위칭이 이루어진다.

그림 1의 브릿지리스 인버터 토폴로지의 중요한 특징 중 하나는 무효전력을 제어할 수 없다는 것이다. 이는 그림 1과 같은 단상 인버터에서 인버터를 통해 생성된 전압은 계통 전압과 동일한 위상으로 제어가 된다. 계통 전압을 유효성분에 일치시키면 인버터 출력 전압도 무효성분이 없는 유효성분이다. 인버터 출력 전류도 계통 전압과 동위상의 전류 지령을 추종하기 때문에 유효성분이다. 그러므로 인버터는 출력 전압과 출력 전류 모두 유효성분에 대해서만 제어하고 있고, 무효성분에 대한 제어는 하지 않는다.

그림 1의 토폴로지에서 상단부의 S1과 S2는 저주파 스위치로 각각 정현파의 양의 반주기와 음의 반주기 동안 턴 온 상태를 유지한다. 하단부의 S3와 S4는 PWM (Pulse Width Modulation) 기법을 통해 턴 온과 턴 오프를 반복한다. 그러나 이 스위칭 방식은 양의 반주기에서 음의 반주기로 넘어가는 커뮤테이션(Commutation)에서 출력 전류에 큰 서지(Surge) 전류가 발생한다. 서지 전류를 없애기 위해 스위치에 데드타임을 주입하여 서지 전류가 발생했던 커뮤테이션 부근에서 스위치를 모두 턴 오프한다. 그 결과 커뮤테이션 부근에서 전류가 흐르지 않으므로 서지 전류를 제거할 수 있게 된다.

#### 2.2 적용한 AFD 기법

AFD 방식은 출력 전류의 주파수를 계통 전압의 주파수보다 크게 바꿔 단독 운전 발생시 계통 전압의 주파수 변화로 단독

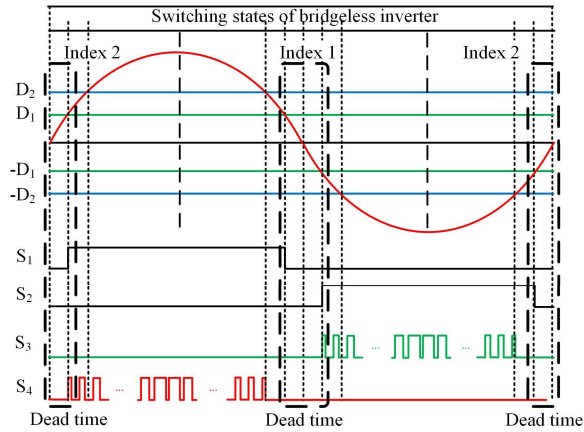


그림 2 인버터 토폴로지의 스위칭 방식  
Fig. 2 Switching method of the topology

운전을 검출한다<sup>[3]</sup>. 이를 위해 AFD 방식에서는 출력 전류에 영전류 구간을 만들어 주는데, 이것이 출력 전류에 무효전력을 주입한 효과를 낸다. 정상작동 시에는 계통의 주파수에 동기화되어 동작하지만, 단독 운전이 발생하게 되면 주입한 전력으로 인해 불균형이 발생하여 계통 전압의 크기와 주파수에 변동이 발생한다. 본 논문에서는 2.1절에서 설명한 스위칭 방식을 통해 기존의 AFD 기법에서 출력 전류에 영전류 구간을 주입하는 것보다 더 간단하게 영전류 구간을 구현할 수 있다.

제안하는 방식은 출력 전류에 주입하는 영전류 구간의 크기를 일정하게 하지 않고 특정 주기마다 영전류 구간의 크기를 바꾸어주는 것이다. 영전류 구간이 큰 주기에는 많은 양의 무효전력이 주입된 효과가 되고, 작은 주기에는 적은 양의 무효전력이 주입된 효과가 나타난다. 따라서 영전류 구간의 크기를 바꿀 때는 충분히 크게 설정하여 무효전력의 불균형을 크게 하여 불검출 영역이 없도록 하고, 그 외의 구간에서는 영전류 구간을 작게 설정하여 출력 전류의 THD를 감소시킬 수 있도록 한다.

### 3. 시뮬레이션 결과

제안하는 단독 운전 검출 기법과 성능을 검증하기 위해 300 W 정격을 갖는 인버터를 설계하여 PSIM을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 단독 운전 시험을 위해 부하는 인버터가 공급하는 정격 전력을 저항이 모두 소비하도록 하고, 역률이 1이 되도록 공진 주파수를 계통 주파수에 맞추어 설계했다. 또한 인버터의 입력측 직류 전원에서 계통측으로 전력을 공급하기 위해 입력측 직류 전원은 400V로 선정하였다. 계산에 사용된  $Q_f$  값은 1을 사용하였고, R은 161.33  $\Omega$ , L은 0.4279 H이며, C는 16.44  $\mu\text{F}$  이다. 또한 계통 전압은 220 V, 60 Hz 이며, 계통 전압의 정상작동 범위는  $59.3 < f < 60.5$  이다.

그림 3은 AFD 기법이 적용되어 단독운전이 발생했을 때 인버터가 이를 검출하고 인버터를 차단하는 시뮬레이션 파형을 나타낸다. (a)와 (b)는 출력 전류에 주입한 영전류 구간에 대한 파형이다. (a)의 경우 확장된 영전류 구간이고, (b)는 축소된 영전류 구간을 보여준다. (c)와 (d)는 단독운전이 발생하여 계통 전압의 주파수가 정상운전 영역에 있어 수동적 방식으로는 단독 운전을 검출하지 못하는 상황에서 단독운전 검출기법이 적용되면 주파수가 증가하여 단독운전을 검출하는 파형이다.

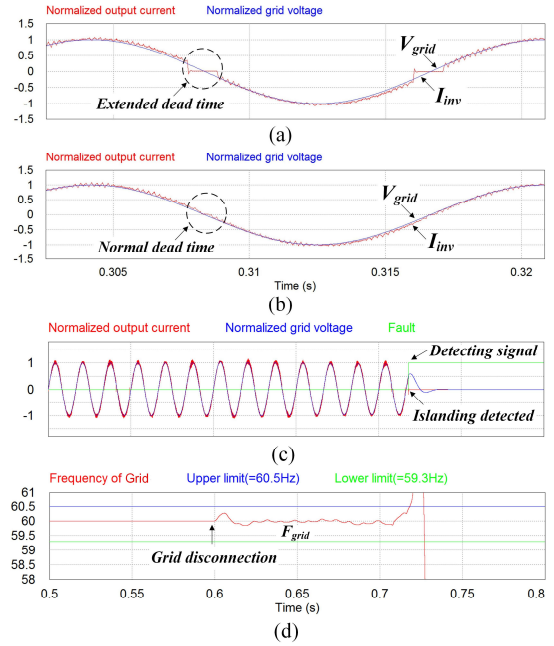


그림 3 시뮬레이션 파형  
(a) 확장된 데드 타임 (b) 일반적인 데드타임  
(c) 인버터 출력 전압, 전류 및 검출 신호  
(d) 인버터 출력 전압 주파수

Fig. 3 Waveform of the simulation  
(a) Extended dead time (b) Normal dead time  
(c) Inverter output voltage, current and detecting signal  
(d) Inverter output voltage frequency

### 4. 결론

본 논문에서는 무효전력의 제어가 불가능한 태양광 인버터 토폴로지에서 스위칭 방식을 통해 AFD 방식을 적용하여 단독운전을 검출하는 방법을 제안하였다. 스위칭 방식을 통해 인버터 출력 전류를 변경함으로써 무효전력의 제어가 불가능한 토폴로지에서 무효전력을 간접적으로 제어할 수 있다. 이에 따라 무효전력의 변동에 의해 단독 운전을 검출할 수 있게 된다. 이를 300W급 인버터로 시뮬레이션을 통해 알고리즘을 검증하였다.

### 참고 문헌

- [1] Luiz A. C. Lopes and Huili Sun, "Performance assessment of active frequency drifting islanding detection methods", *IEEE Trans. Energy Conversion*, vol. 21, no. 1, pp. 171-180, Mar. 2006.
- [2] M. E. Ropp, M. Begovic, and A. Rohatgi, "Analysis and performance assessment of the active frequency drift method of islanding prevention", *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 14, no. 3, Sep. 1999.
- [3] Yafaoui, A., Bin Wu, and Kouro, S., "Improved Active Frequency Drift Anti islanding Detection Method for Grid Connected Photovoltaic Systems", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 5, May. 2012.