

Multi-inverter 환경에 적합한 SMS기법을 이용한 Anti-islanding 방법

김태원, 박태준, 이성희, 한무호
 포항산업과학연구원(RIST)

An Improved SMS Anti-islanding Method for Utility Interconnection of Multiple Distributed Power Generations

Tae-Won Kim, Tae-Joon Park, Seung-Hee Lee, Mu-Ho Han
 Research Institute of Industrial Science & Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 여러 대의 인버터를 동시에 사용하는 분산전원 환경하에서 Anti-islanding을 효과적으로 할 수 있는 방안을 제안한다. 제안하는 Anti-islanding기법은 SMS(Sliding Mode Frequency Shift)를 근간으로 하면서 공진 Q가 높을 때 검출이 어려운 단점을 해결하는 방법을 제시한다. SMS위상의 변동 값을 판단근거를 사용하지 않고 SMS위상의 적분 값을 판단근거로 사용한다. Run on시간이 0.5초 이내로 국내의 규격을 모두 만족시킨다. 여러 대의 인버터를 병렬로 접속해도 islanding 검출이 탁월하다. 출력전력의 품질 면에 있어서도 다른 Anti-islanding기법에 비해 우수하다. 본 알고리즘의 우수성을 시뮬레이션과 실험을 통해 검증하였다

1. 서론

화석에너지 자원의 고갈과 에너지의 수요의 지속적인 증가로 인해 태양광, 연료전지, 풍력발전과 같은 대체 에너지 개발에 대한 관심을 증가시키고 있다. 이들은 대체로 분산전원 형태로 계통 연계되어 사용되고, 계통 보호를 위해 Islanding검출이 반드시 필요하다. 만약 검출에 실패하게 되면 인명위험과 장비의 과손을 유발할 수 있다.^[1] 일반적으로 계통에 보호제전기 사용을 통해 Islanding 검출이 가능하지만 Non Detection Zone (NDZ)은 여전히 존재한다. 이러한 NDZ를 최소화하기 위해 여러 가지 능동적인 방법들이 시도되었다.^[2] 그렇지만, 각각의 방법들은 여러대의 인버터가 동시에 병렬로 사용되는 분산전원 환경하에서 서로간에 간섭을 일으키는 단점이 있다. 능동적 방법중에서 Sliping Mode Frequency Shift (SMS) 기법이 최근에 다시 주목되는 이유는 Multi-inverter 환경에 우수한 특성을 갖고 있기 때문이다. 그러나, 부하의 공진 Q가 클때 검출이 어려운 단점을 갖고 있다. 본 논문에서는 기존의 SMS의 단점을 극복하면서 Multi-inverter환경에 적합한 Anti-islanding 알고리즘을 제시하고 시뮬레이션과 실험을 통해 검증하였다.

2. 제안된 Anti-Islanding 기법

2.1 기존의 SMS 기법

계통연계 인버터 출력전류의 위상각은 PCC(point of common coupling)점에서의 전압주파수의 함수로써 식(1)과 같

이 제어된다.

$$I_{inv} = I \sin \theta \quad (1)$$

여기서 인버터 위상각 $\theta = 2\pi ft + \theta_{SMS}$ 이며, f 는 계통 전압 주파수이고, θ_{SMS} 는 아래식과 같이 구한다.

$$\theta_{SMS} = \theta_m \sin \frac{\pi (f - f_0)}{2 (f_m - f_0)} \quad (2)$$

여기서 f_0 는 일반적으로 60Hz nominal 주파수를 의미하고, θ_m 은 f_m 주파수에서 가지는 최대 위상 변화폭을 의미한다. 그림 1과 같은 그래프를 나타낸다.

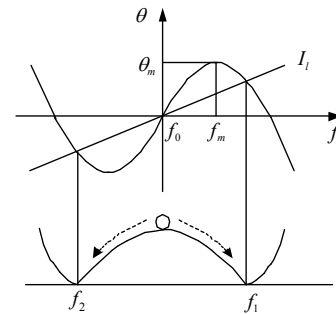


그림 1 SMS 기법의 기본원리
 Fig.1 Basic principle of the SMS method

PCC점에서 인버터는 단위역률이 되도록 제어한다는 기본 가정하에 그림1과 같이 인버터전류를 제어한다면 정전시에 f_0 주파수 금방이 불안정한 지점이 되어서 f_1 또는 f_2 주파수로 이동하게 된다. 예를 들어 지상부하(L부하)일때 계통이 정전되면 PCC점의 주파수는 증가하고 부하L에 흐르는 전류는 줄어들고 반면에 부하C에 흐르는 전류는 증가해서 f_1 주파수에서 양쪽부하전류가 같아지게 된다. 동시에 역률은 1이 되고 안정된 상태에 도달하게 된다. 마찬가지로 진상부하일때 Islanding이 발생하면 주파수가 감소하게 되고 f_2 주파수에서 안정된 상태가 된다. 기존 SMS기법의 장단점을 다른방식과 비교해서 표1에 정리하였다. SMS기법은 Multi-inverter환경에 우수한 특성을 나타내지만 공진Q가 높을때 검출이 어려운 단점을 가지고 있다. 즉, nominal주파수 금방에서 θ_{SMS} 변동폭이 매우 적어져서 단순히 θ_{SMS} 값의 특정기준치로 Islanding의 판단근거로 사용

하기가 어렵다. 상기 단점을 극복하기 위해 본 논문은 그림 2와 같은 알고리즘을 제안한다.

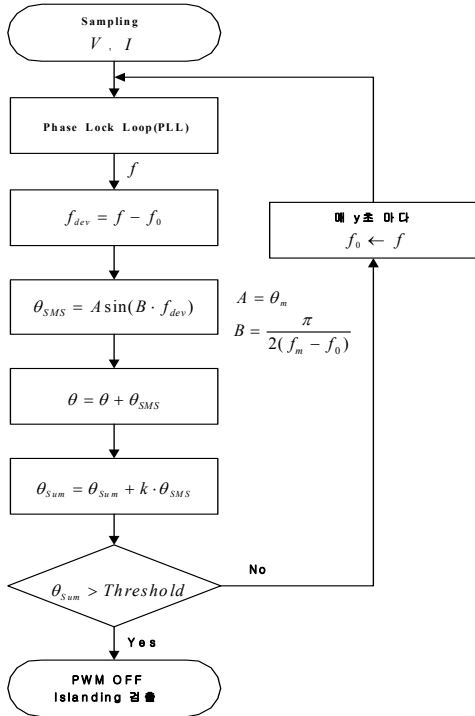


그림 2 제안된 SMS 알고리즘 순서도
Fig.2 Proposed SMS algorithm flowchart

PLL 루프를 통해서 계통 전압 주파수 f 를 구하고 식(2)로 θ_{SMS} 를 구한다. 인버터 위상각 θ 에 θ_{SMS} 를 더해서 그림1과 같은 주파수대 위상특성을 갖도록 위상각을 변화시킨다. 그리고, θ_{SMS} 에 적당한 계인을 곱하고 누적시켜서 θ_{Sum} 을 구한다. θ_{Sum} 값의 특징기준치를 넘어서는 것으로 Islanding 검출의 판단 조건으로 사용하고, 만약 Islanding으로 판단되면 모든 스위치의 게이트신호를 오프시키고 계통과 완전히 분리되도록 조치한다. 그리고, 매 일정한 시간간격마다 현재의 계통전압 주파수 f 를 nominal 주파수 f_0 로 갱신시켜주어야 한다.

표 1 SMS기법의 장단점 비교
Table 1 Pros. and Cons. of the SMS method

	SMS	Others
장점	<ul style="list-style-type: none"> NDZ 작다 Multi-inverter 환경에 적합 	<ul style="list-style-type: none"> NDZ 작다 공진Q에 둔감
단점	<ul style="list-style-type: none"> 공진Q가 크면 검출어려움 	<ul style="list-style-type: none"> Multi-inverter 적용이 힘들 간섭 및 averaging 효과 전력품질 하락이 큼

3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안된 SMS기법의 타당성을 검증하기 위해 PSIM tool을 이용해서 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 모델은 그림3과 같고 회로에 사용된 각종 파라미터들은 아래와 같다.

- 1) Utility grid : 220V, 60Hz
- 2) DC link voltage : 350V
- 3) Grid inductor : 6mH
- 4) Switching frequency : 20kHz
- 5) SMS parameters : $f_m=61\text{Hz}$, $\theta_m=\pi/6$

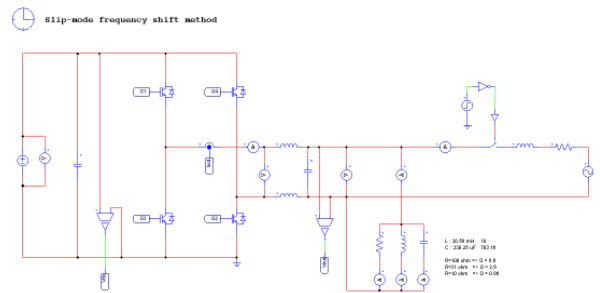


그림 3 계통연계인버터 시스템의 PSIM 모델
Fig.3 PSIM model of the grid-connected inverter system

그림 4 정상동작중일때의 인버터 출력전류, 계통전류, 계통 전압 주파수, θ_{SMS} , θ_{Sum} 을 나타낸 것이다. RLC 부하의 공진 Q 값은 8.6으로, nominal 주파수는 60Hz로 세팅하였다. 그림 5는

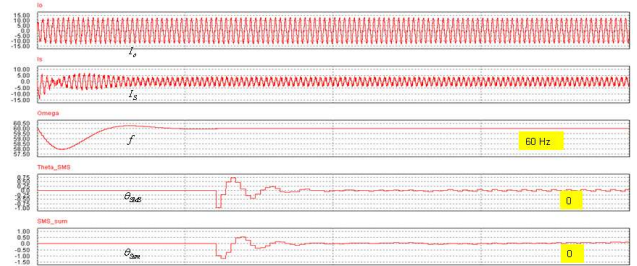


그림 4 정상동작중일때 인버터 출력전류, 계통전류, 주파수, θ_{SMS} , θ_{Sum} (RLC : 30Ω, 30.56mH, 220.25uF → Q=8.6, $f_0=60\text{Hz}$)

같은 부하조건에서 갑자기 정전을 발생시켰을때 Islanding 검출이 원활히 이루어 지는 것을 보여주고 있다. 정전발생후

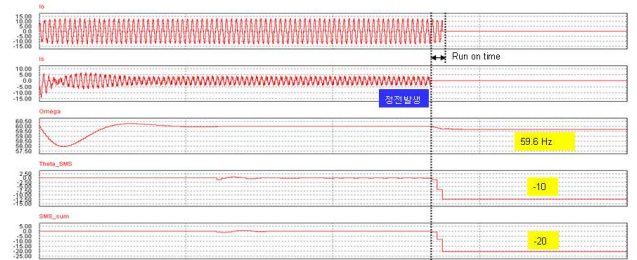


그림 5 정전 발생후 인버터 출력전류, 계통전류, 주파수, θ_{SMS} , θ_{Sum} (RLC : 30Ω, 30.56mH, 220.25uF → Q=8.6, 판정기준: $\theta_{Sum}>10^\circ$)

θ_{SMS} 는 -10° , θ_{Sum} 는 -20° 로 수렴하고 계통주파수는 59.6Hz로 변화되는 것을 볼 수 있다. Run on time은 약 2주기정도로 33ms 정도로 빠르게 검출됨을 볼 수 있다. 그림 6은 기존 SMS기법으로 검출이 어려웠던 부하조건에 대해 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 저항부하 값이 크고 Q값이 높을 때 θ_{SMS} 의 변화폭이 1° 로 매우 작다. θ_{SMS} 값만으로는 판단 기준을 잡기가 어렵지만, θ_{Sum} 은 θ_{SMS} 의 적분값으로 판단기준이 10° 에 도달하였을때 Islanding으로 인식하고 인버터 출력을 정지시키게 된다. Run on time은 약 10주기정도로 0.16초 이내에 검출이 이루어 짐을 볼 수 있다.

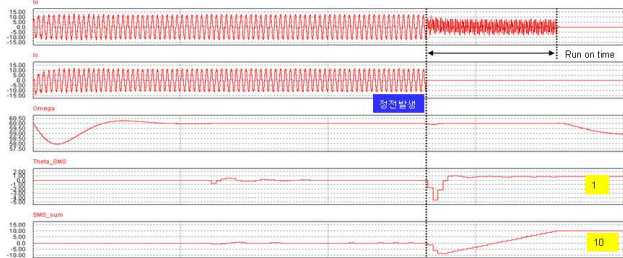


그림 6 Large R 부하일때 인버터 출력전류, 계통전류, 주파수, θ_{SMS} , θ_{Sum} (RLC :300 Ω , 30.56mH, 220.25 μ F \rightarrow Q=80.6, 판정기준: $\theta_{Sum}>10^\circ$)

그림 7은 또 다른 약조건하에서의 검출결과를 보여주고 있다. 부하의 L값이 작고, C값이 크며, 공진 Q값이 매우 큰 조건에서 시뮬레이션을 수행하였다. θ_{SMS} 의 변화폭이 -0.5° 로 매우 작다. 그렇지만, 10주기정도 적분한 후에는 판단기준에 도달하게 됨을 볼 수 있다.

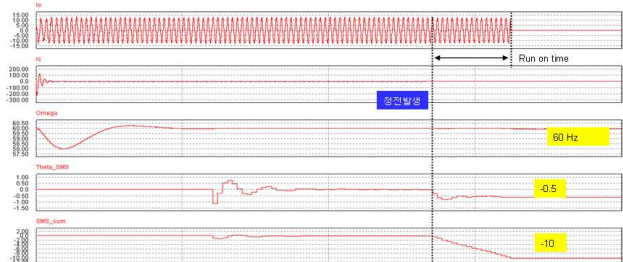


그림 7 Small L & large C 부하일때 인버터 출력전류, 계통전류, 주파수, θ_{SMS} , θ_{Sum} (RLC:30 Ω , 1mH, 7036 μ F \rightarrow Q=79.6, 판정기준: $\theta_{Sum}>10^\circ$)

그림 8은 계통연계 인버터를 2대 병렬로 동시에 접속시켰을때 서로 간에 간섭없이 빠르게 Islanding검출이 이루어 지는 것을 보여주고 있다.

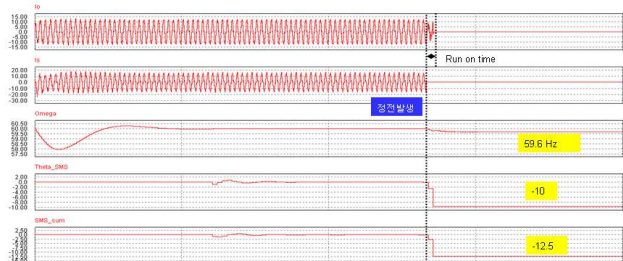


그림 8 Multi-inverter 조건일때 인버터 출력전류, 계통전류, 주파수, θ_{SMS} , θ_{Sum} (RLC:30 Ω , 30.56mH, 220.25 μ F \rightarrow Q=8.6, 판정기준: $\theta_{Sum}>10^\circ$)

그림 9는 실제 인버터를 제작해서 Anti-islanding 알고리즘을 테스트한 결과를 보여주고 있다. RLC 부하 공진(Q=1) 조건하에서 0.1초 이내에 검출이 됨을 볼 수 있다.

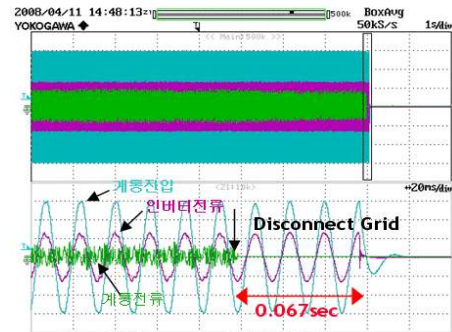


그림 9 Anti-islanding 실험결과 (RLC:47 Ω , 130mH, 54 μ F \rightarrow Q=1)

4. 결론

본 논문에서는 여러 대의 인버터를 동시에 사용하는 분산 전원 환경하에서 Anti-islanding을 효과적으로 할 수 있는 방안을 제안하였다. 제안하는 Anti-islanding기법은 SMS를 근간으로 하면서 공진 Q가 높을 때 검출이 어려운 단점을 해결하는 방법을 제시한다. SMS위상의 변동 값을 판단근거를 사용하지 않고 SMS위상의 적분 값을 판단근거로 사용하였다. Run on시간이 0.5초 이내로 국내의 규격을 모두 만족시킨다. 여러 대의 인버터를 병렬로 접속해도 islanding 검출이 탁월하다. 출력전력의 품질 면에 있어서도 다른 Anti-islanding기법에 비해 우수하다. 본 알고리즘의 우수성을 시뮬레이션과 실험을 통해 검증하였다

참고 문헌

- [1] Pukar Mahat, Zhe Chen and Birgitte Bak-Jensen, "Review of Islanding Detection Methods for Distributed Generation", Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies(DRPT), pp. 2743-2748, 2008, April.
- [2] Chuttchaval Jeraputa and Prasad N. Enjeti, "Development of a Robust Anti-Islanding Algorithm for Utility Interconnection of Distributed Fuel Cell Powered Generation", Power Electronics of the IEEE, Vol. 19, No. 5, pp. 1163-1170, 2004.