

계통 연계형 PV 시스템의 고립운전 검출기법의 성능개선

최철훈, 최종우
경북대학교

Performance Improvement of Islanding Detection Technique in Photo-Voltaic System

Chul Hoon Choi and Jong Woo Choi
Kyungpook National University

ABSTRACT

PV system's islanding occurs when the utility grid is removed but local sources continue to operate and provide power to local loads. Islanding is one of the serious problems in an electric power system connected with dispersed power sources. Also, this can present safety hazards and the possibility of damage to other electric equipments. If the real and reactive power of RLC load and PV system are closely matched, islanding detection by passive methods becomes difficult. Novel islanding detection method is proposed for grid connected PV system.

1. 서 론

다수의 태양광발전 시스템을 포함한 배전선이 작업으로 인한 정전 혹은 사고 등의 원인으로 계통에서 분리되어도 태양광발전 시스템의 출력과 배전선 부하의 소비전력이 균형을 이루면 태양광발전 시스템이 배전선 부하를 떠맡아 운전을 계속하며, 이 현상을 고립운전이라고 한다. 이런 상태가 지속되면 선로 유지·보수자의 감전사고가 발생할 우려가 있고 전기설비에 나쁜 영향을 줄 수 있다^[1]. 또한 고립운전 중에 계통이 다시 복구되면 계통전압과의 위상오차로 인하여 태양광발전 시스템이나 배전계통 설비가 손상될 수도 있다. 따라서 계통에서의 전원 공급이 끊겼을 경우에는 이를 즉시 검출하여 발전을 중단해야 한다.

고립운전 검출기법으로는 계통에 변화가 있을 때만 검출하는 수동검출법과 인버터 출력전류에 변동을 주어 이를 이용하여 고립운전을 검출하는 능동검출법이 있다. 본 논문에서는 주파수 변동에 의한 새로운 고립운전 검출기법을 제안하고 Matlab 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

2. 본 론

2.1 기존의 능동 검출법

능동검출법에는 주파수 바이어스 방법[FB], 샌디아 주파수 변동 방법[SFS]^[2], 주파수 점프 방법[FJ], 샌디아 전압 변동 방법[SVS] 등이 있다.

이 중 샌디아 주파수 변동 방법은 주파수 바이어스 방법을 개선한 것으로, 주파수 바이어스 방식은 데드타임을 고정시키

지만 이 방법은 식(1)에 의해 데드타임을 변동시켜주는 방법이다.

$$cf = cf_o + K(f_a - f_{line}) \quad (1)$$

여기서 cf_o 는 주파수의 오차가 없을 때의 cf , f_a 는 PCC에서 검출되어진 주파수, f_{line} 은 계통의 주파수를 나타낸다. 그리고 K 는 가속이득이다.

따라서, 고립운전이 일어나게 되면 PV인버터에서는 데드타임이 변하고 있는 전류를 부하로 공급하게 된다. 따라서, 고립운전 시 PCC에서의 주파수는 상승하거나 하강하고, 이때의 주파수를 이용해 고립운전을 검출한다.

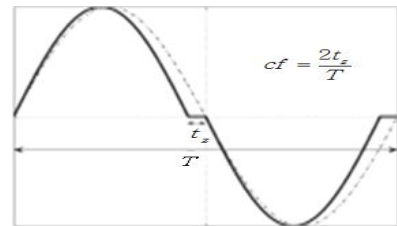


그림 1 SFS 방법
Fig. 1 SFS method

2.2 제안된 능동 검출법

능동 검출법의 공통적인 단점은 고립운전 상태를 검출하기 위해서 정상상태에서도 인버터 출력전류에 변동을 주기 때문에 전류의 THD가 증가하고, 역률 또한 감소한다. 그리고, 샌디아 주파수 변동방법은 f_{line} 을 60Hz 상수로 두기 때문에 cf_o 를 '0'으로 두더라도 f_a 값이 60Hz가 아닐 때 전류의 THD 및 역률에 악영향을 준다.

본 논문에서 제안하는 방법은 정상상태에서는 인버터 출력전류의 기준치를 PCC전압과 동상이 되도록 하여 THD가 증가하는 문제를 해결하면서, 고립 상태가 발생하면 인버터 출력전류의 기준치를 전압에 비해 뒤지거나 앞서게 함으로써, PCC 전압의 주파수가 발산하게 하여 검출하는 방법이다.

제안한 고립운전 검출의 블록도는 그림 2과 같다. 여기서, $\hat{\omega}$, $\hat{\theta}$ 는 각각 PCC전압 정보로부터 PLL을 거쳐 추정된 계통 전압의 주파수, 위상 추정 값이며, I_L^* 은 인버터 입력단 전압을 일정하게 제어하기 위한 전압제어기 출력으로서 인버터 전류 지령치의 크기이고, i_L^* 은 인버터 출력전류의 지령치이다.

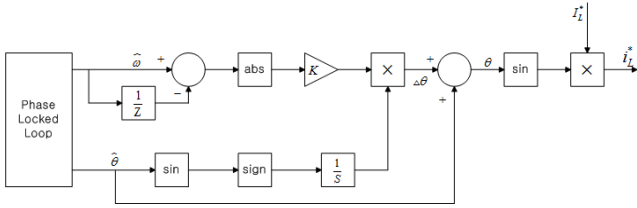


그림 2 새로운 고립운전 검출법 블록도
Fig. 2 Block diagram of novel islanding detection method

$$i_L^* = I_L^* \sin(\hat{\theta} + \Delta\theta) \quad (2)$$

고립운전 상태가 발생되면 전류원 i_L^* 에 대하여 RLC병렬회로에 의한 PCC전압은 식 (3)과 같다.

$$v_a = V_m \sin(\hat{\omega}t + \Delta\theta + \phi) \quad (3)$$

단, 여기서 $\phi = \tan^{-1} [R(1/(\omega L) - \omega C)]$ 이다. 그런데, PCC에서 검출되는 전압 위상 $\hat{\theta} = \hat{\omega}t$ 이므로 $\Delta\theta + \phi = 0$ 이 된다. 따라서 $\Delta\theta = -\phi = \tan^{-1} [\omega C - R(1/(\omega L))]$ 이 되므로 ω 대한 2차방정식으로 나타내면 식 (4)로 표현된다.

$$\omega^2 - \frac{1}{RC} \cdot \tan(\Delta\theta) \cdot \omega - \frac{1}{LC} = 0 \quad (4)$$

식 (4)의 근은 다음과 같다.

$$\omega = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{RC} \tan(\Delta\theta) + \sqrt{\left\{ \frac{1}{RC} \tan(\Delta\theta) \right\}^2 + \frac{4}{LC}} \right] \quad (5)$$

식 (5)로부터 $\Delta\theta = 0$ 이면 $a[z] = a[z-1]$ 이고 $\Delta\theta \neq 0$ 이면 ω 가 발산하게 된다.

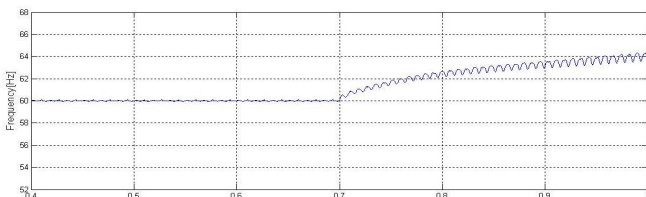
1.3 모의 실험

모의 실험에는 MATLAB Simulink를 사용하였고, 고립운전 시험을 위한 부하 파라미터는 표 1과 같다.

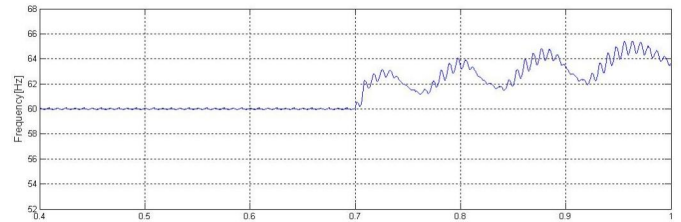
표 1 고립운전 검출 시험을 위한 부하 파라미터
Table 1 Islanding detection test for the load parameters

$\Delta P = 0, \Delta Q < 0$			
$R[\Omega]$	$L[mH]$	$C[\mu F]$	$f_o [Hz]$
24.2	25.68	269.5	60.5

다음과 같이 부하조건에서 0.7초에 고립운전을 발생시켰을 때 SFS방법과, 제안된 방법의 고립운전 검출 특성을 비교하였다.



(a) 샌디아 주파수 변동 방법



(b) 제안된 방법

그림 3 고립운전 발생 시 연계점의 주파수 변화

Fig. 3 The frequency changes of PCC when islanding occurs

그림 3과 같이 0.7초에 고립운전이 발생하였을 때, 두 검출방법의 주파수 발산 기울기를 같게 가속이득을 조절 한 뒤, 정상상태에서 계통주파수의 변화에 따른 인버터 출력전류의 THD를 분석한 결과는 표2와 같다.

표 2 제안된 방법과 SFS 방법의 전류 THD 비교
Table 2 Current THD comparison of SFS & proposed method

계통주파수	제안된 방법	SFS 방법
59.4 [Hz]	1.1 %	8.1 %
59.6 [Hz]	1.1 %	5.6 %
59.8 [Hz]	1.1 %	3.0 %
60 [Hz]	1.1 %	1.1 %
60.2 [Hz]	1.1 %	2.8 %
60.4 [Hz]	1.1 %	5.3 %
60.6 [Hz]	1.1 %	7.7 %

표 2와 같이 SFS 방법은 계통 주파수가 60Hz와 차이가 클수록, 인버터 출력 전류의 THD를 상승시킴에 반해 제안된 방법은 THD에 영향을 주지 않는다.

이를 바탕으로 제안된 방법이 SFS방법보다 우수함을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 계통연계형 태양광발전 시스템의 고립운전 검출에 있어 기존의 고립운전 검출법 중 가장 성능이 우수한 샌디아 주파수 변동방법을 분석하고, 이 방법의 단점인 인버터 출력전류 왜곡을 일으키는 점을 보완하여 인버터 출력 전류의 THD에 영향을 주지 않는 새로운 검출법을 제안하였다.

그리고 모의실험을 통해 계통주파수의 변화에 따른 THD를 비교함으로써 제안된 알고리즘의 우수성과 타당성을 검증 하였다.

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No.2007-P-EP-HM-04-0000)

참고 문헌

- [1] 윤중혁, 김홍근, 최종우, 소정훈, 유권중, “자동위상 이동을 이용한 계통 연계형 태양광 발전 시스템의 고립운전 검출 기법”, 전력전자학회논문지, 제12권 2호 pp.107 114, 2007
- [2] M. E. Roop, M. Begovic, A.Rohatgi, "Analysis and Performance Assessment of the Active Frequency Drift Method of Islanding Prevention", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 14, NO. 3, PP. 810 816, 1999.