

자동 위상 이동을 이용한 계통 연계형 태양광 발전 시스템의 고립운전 검출기법

尹重赫*, 金興根†, 崔鐘宇**, 蘇楨訓***, 劉權鍾****

Islanding Detection Method for Grid-connected PV System using Automatic Phase-shift

Jung-Hyeok Yun, Heung-Geun Kim, Jong-Woo Choi, Jung-Hun So and Gwon-Jong Yu

요 약

계통 연계형 태양광 발전 시스템이 정전 혹은 사고 등으로 계통으로부터 분리되었을 때 태양광 발전 시스템이 배전선 부하를 떠맡아 운전을 계속하는 현상을 고립운전이라 하는데 이런 상태가 지속되면 선로 유지보수자의 안전사고를 야기할 수 있으며 전기설비에 나쁜 영향을 줄 수도 있다. 수동 검출법은 연계점(PCC:Point of Common Coupling)의 전압이나 주파수를 측정하여 한계치를 벗어나면 고립운전으로 판단하는데 RLC 부하의 유효전력과 무효전력이 각각 PV 시스템의 유효전력, 무효전력과 서로 비슷하면 검출할 수 없다. 이 경우 고립운전을 검출하기 위한 다양한 능동 검출법이 제안되었으며 가장 효과적인 방법은 미국 샌디아 연구실(Sandia National Lab)에서 제안한 SFS법(Sandia Frequency Shift method)이다. 본 논문에서는 자동 위상 이동을 이용한 새로운 능동 검출기법을 제안하고 Matlab 시뮬레이션과 실험을 통하여 타당성을 검증하였다.

ABSTRACT

Islanding of PV systems occurs when the utility grid is removed but the PV systems 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. This can present safety hazards and the possibility of damage to other electric equipments. In the passive method, the voltage and frequency of PCC are measured and it determines islanding phenomena if their values excess the allowed limits. If the real and reactive power of RLC load and those of the PV system are closely matched, islanding phenomena can't be detected by the passive methods. Several active methods were proposed to detect islanding operation in the region where the passive method can not detect it. The most effective method is SFS method which was suggested by Sandia National Laboratory. In this paper, a new islanding detection method using automatic phase-shift is proposed and its validity is verified through the simulation and experimental results.

Key Words : Islanding of PV systems, Grid-connected PV system, Islanding detection method, Automatic phase-shift

1. 서 론

태양광 발전 시스템 및 기타 분산전원이 정전 혹은 사고 등으로 계통에서 분리되었을 때 태양광 발전 시스템의 출력과 배전선 부하의 소비전력이 균형을 이루면 시스템이 배전선 부하를 떠맡아 운전을 계속한다. 이 현상을 고립운전이라 하며 이런 상태가 지속되면 선로 유지보수자의 안전사고를 야기할 수 있으며 전기

†교신저자 : 정회원, 경북대 전자전기컴퓨터학부 교수
E-mail : kimhg@knu.ac.kr
**학생회원, LS산전 Power Conditioner 연구팀 주임연구원
***정회원, 경북대 전자전기컴퓨터학부 부교수
****정회원, 에너지기술연구원 태양광발전연구단 연구원
접수일자 : 2006. 8. 14 1차 심사 : 2006. 8. 30
2차 심사 : 2007. 1. 12 심사완료 : 2007. 1. 25

설비에 나쁜 영향을 줄 수도 있다^[1]. 따라서 계통에서 전원공급이 끊겼을 경우 이를 즉각 감지하여 발전을 중단해야 한다.

고립운전 검출기법에는 연계점의 전압이나 주파수를 측정하여 한계치를 벗어나면 고립운전으로 판단하는 수동 검출법^[2,3]과, 인버터 출력 전류에 변동을 주었을 때 연계점에 나타나는 영향을 측정하여 고립운전을 검출하는 능동 검출법이 있다. 대표적인 능동 검출법에는 주파수 바이어스 방법^[4,5]과, 샌디아 주파수 변동법^[6,7,8]이 있다. 최근까지 이러한 대표적인 방법을 개선하여 보다 효과적으로 고립운전을 검출할 수 있는 방법에 대한 연구가 계속되고 있다.^[11,12]

본 논문에서는 수동 검출법과 기존의 능동 검출법인 주파수 바이어스 방법, 샌디아 주파수 변동법에 대하여 그 원리를 간단히 설명하고, 자동 위상 이동을 이용한 새로운 고립운전 검출기법을 제안하였다. 기존의 능동 검출법 중에서 그 특성이 가장 뛰어난 샌디아 주파수 변동법과 제안한 새로운 고립운전 검출법의 특성을 시뮬레이션과 실험을 통해 비교함으로써 제안한 방법이 더 우수함을 보였다.

2. 고립운전 현상

그림 1은 계통 연계형 태양광발전 시스템의 전력 흐름을 나타낸다. 태양전지는 직류 전류원으로 동작할 수 있으며, 발전된 전기에너지는 직류이므로 인버터를 통해 교류로 변환하여 계통 및 부하에 공급한다. 이때 계통전압과 인버터 출력전류의 위상이 일치하도록 제어하면 단위 역률 운전이 가능하다. 계통전압의 위상 검출을 위해서 디지털 PLL 기법을 사용하였다^[9].

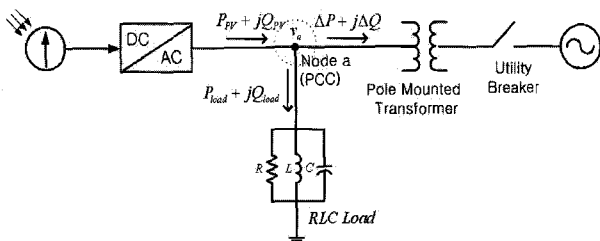


그림 1 PV 시스템과 계통의 전력흐름
Fig. 1 Power flow between PV system and Grid

2.1 수동 검출법

운전 중에 선로의 유지 보수 작업을 위해서 스위치

(Utility breaker)를 개방하던지 또는 고장으로 인하여 스위치가 개방되어 시스템이 계통과 분리되어도 수용가로 표현된 RLC병렬 부하에서 LC공진에 의해 연계점 전압의 크기와 주파수가 유지되어 고립운전이 발생할 수도 있다.

PV 시스템이 정상 운전 중에 있는 경우 계통으로 유입되는 유효전력 ΔP , 무효전력 ΔQ 는 연계점 전압을 V_a 라고 하면 식 (1), (2)와 같다.

$$\Delta P = P_{PV} - \frac{V_a^2}{R} \tag{1}$$

$$\Delta Q = V_a^2 \left[\omega C - \frac{1}{\omega L} \right] \tag{2}$$

식 (1), (2)에서 PV 시스템의 출력전류는 연계점의 전압과 동상이 되도록 제어되기 때문에 Q_{PV} 는 영이 되므로 $\Delta Q = -Q_{load}$ 가 된다. 따라서 $\Delta Q = 0$ 이 될 조건은 $\omega = 1/\sqrt{LC} = \omega_0$ 이다. 이 경우에는 계통이 분리되더라도 LC공진에 의해서 연계점에서의 주파수가 그대로 유지된다. 반면에 $\Delta Q > 0$ 이면 $\omega > \omega_0$ 이므로 주파수가 감소하고 $\Delta Q < 0$ 이면 $\omega < \omega_0$ 이므로 주파수가 증가한다.

한편 $\Delta P = 0$ 인 경우에는 계통이 분리되더라도 PV 시스템이 부하에서 요구되는 유효전력을 공급하기 때문에 연계점의 전압 변동이 없는데 $\Delta P > 0$ 이면 PV시스템 공급전력이 부하전력보다 크기 때문에 연계점 전압이 증가하고 $\Delta P < 0$ 이면 PV시스템 공급전력이 부하 전력보다 작기 때문에 연계점 전압이 감소한다. 따라서 연계점에서의 전압과 주파수를 검출하여 고립운전 상태를 판단할 수 있다.

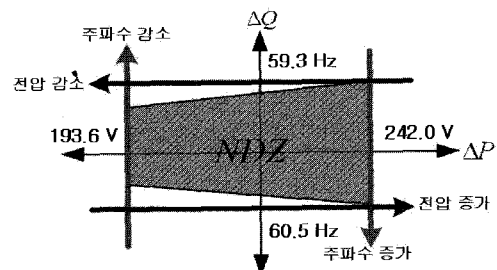


그림 2 검출 불가능 영역
Fig. 2 Non-detection zone

그런데 IEEE929-2000[10]에서 규정한 정상 전압 범위(193.6~242.0[V])와 허용 주파수 범위(59.3~60.5[Hz]) 때문에 고립운전이 발생되더라도 이를 검출할 수 없는 영역인 검출 불능 영역(NDZ: Non Detection Zone)이 나타나게 되고 이를 그림 2에 나타내었다.

2.2 기존의 능동 검출법

능동 검출법에는 인버터의 출력 전류에 변화를 주어 연계점 전압의 주파수 변동을 측정하여 고립운전 상태를 검출하는 주파수 바이어스 방법과 샌디아 주파수 변동법이 있다.

그림 3에서 PV인버터의 출력전류에 cf (Chopping fraction)로 정의한 데드타임 구간을 주면 고립운전 발생 시 연계점의 주파수가 변한다. 데드타임을 일정하게 인가하는 방법을 주파수 바이어스법이라 한다.

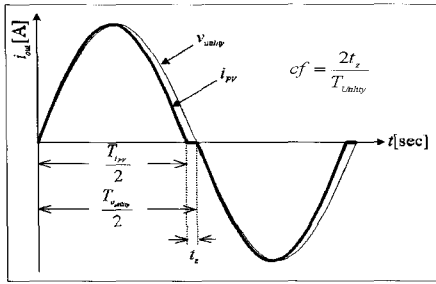


그림 3 주파수 바이어스 방법
Fig. 3 Frequency bias method

PV인버터 출력전류의 기본과 성분은 식 (3)과 같은데, 고립운전 발생 시 연계점 전압은 식 (4)와 같게 되어 전류보다 위상이 앞선다.

$$i_{PV}(t) = I_{PV} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2} \cdot cf\right) \quad (3)$$

$$v_a = V_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2} \cdot cf + \phi\right) \quad (4)$$

식 (4)에서 $\phi = \tan^{-1}[R(1/(\omega L) - \omega C)]$ 이고, 단위역률제어에 의해 $\frac{\pi}{2} \cdot cf + \phi = 0$ 이 될 때까지 연계점에서의 주파수는 변하며, 연계점의 주파수를 ω_a 라 하면 $\frac{\pi}{2} \cdot cf = -\phi$ 이 되는 주파수로 변한다. ω_a 에 대한

2차방정식으로 나타내면 식 (5)로 표현된다.

$$\omega_a^2 - \frac{1}{RC} \cdot \tan\left(\frac{\pi}{2} \cdot cf\right) \cdot \omega_a - \frac{1}{LC} = 0 \quad (5)$$

식 (5)의 해는 두개지만 주파수는 음이 될 수 없으므로 음의 값을 버리면 근은 식 (6)과 같다.

$$\omega_a = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{RC} \tan\left(\frac{\pi}{2} \cdot cf\right) + \sqrt{\left\{ \frac{1}{RC} \tan\left(\frac{\pi}{2} \cdot cf\right) \right\}^2 + \frac{4}{LC}} \right] \quad (6)$$

식 (6)으로부터 $\frac{\pi}{2} \cdot cf = 0$ 이면 $\omega_a = \omega_o (=1/\sqrt{LC})$

이고 $\frac{\pi}{2} \cdot cf \neq 0$ 이면 ω_a 가 상승하게 된다. 즉, 고립운전이 발생하면 연계점의 추정 주파수는 계통 주파수보다 약간 상승하게 된다.

주파수 바이어스법과 수동 검출법을 비교하면 NDZ의 크기는 변하지 않고 ΔQ 축의 양의 방향으로 이동하게 되어 수동 검출법의 검출 불능영역 중 일부영역이 검출 가능하게 되어 수동 검출법과 병행하여 주파수 바이어스법을 사용하면 검출 불능영역이 줄어든다. 그러나, 고립운전 상태가 아닌 정상 운전 시에도 데드타임에 의해 출력 전류에 왜곡이 발생한다.

그림 4는 데드타임의 변화에 따른 연계점의 주파수 추정치의 변화를 나타낸 것이다.

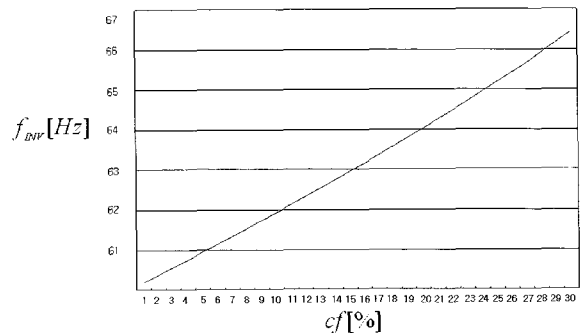


그림 4 데드타임 변화에 대한 주파수 추정치의 변화
Fig. 4 Variation of estimated frequency according to the variation of dead time.

샌디아 주파수 변동법은 연계점에서의 추정 주파수

변화를 데드타임 cf 에 적용시킴으로써 피드 포워드 효과에 의해 주파수가 발산하는 것을 이용한 검출방법이다.

식 (7)에서 K 는 가속이득, cf_0 는 주파수의 오차가 없을 때의 cf , f_a 는 연계점의 추정 주파수, f_{line} 은 계통주파수(일정)이고, 식 (8)은 연계점 전압과 인버터 출력전류의 위상차이다.

$$cf = cf_0 + K(f_a - f_{line}) \quad (7)$$

$$\tan^{-1} \left[R \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right) \right] = \frac{\pi \cdot (cf_{k-1} + K\Delta f)}{2} \quad (8)$$

고립운전이 발생하면 식 (7)에 의해 cf 가 계속 증가(감소)하여 식 (8)을 만족하는 주파수로 발산(수렴)하게 되며 계통의 주파수 변동 한계치를 벗어나면 고립운전으로 판단하여 인버터를 정지시킨다.

3. 자동 위상 이동을 이용한 고립운전 검출기법

능동 검출법의 공통적인 단점은 고립운전상태를 검출하기 위해 계통이 정상인 상태에서도 인버터 출력전류에 변동을 주기 때문에 전류의 THD가 증가하고, 역률 또한 다소 감소한다. 제안된 자동 위상 이동법은 정상상태에서는 인버터 출력전류의 기준치를 연계점의 전압과 동상이 되도록 하여 THD가 증가하는 문제를 해결하면서, 고립운전 상태가 발생하면 인버터의 출력전류의 기준치를 연계점의 전압에 비해 뒤지거나 앞서게 함으로써 연계점의 주파수가 발산(수렴)하게 하여 고립운전을 검출하는 방법이다.

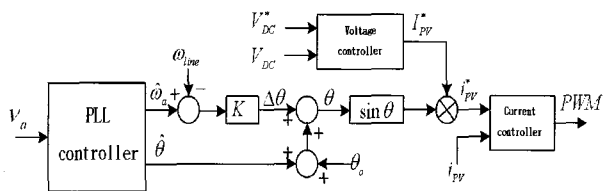


그림 5 새로운 고립운전 검출 알고리즘
Fig. 5 Novel islanding detection algorithm

그림 5는 제안한 자동 위상 이동을 이용한 새로운 고립운전 검출 알고리즘을 보여준다. 연계점 전압으로

부터 디지털 PLL 제어기를 통해 전압의 위상과 주파수를 추정한다. 한편 직류 링크 전압제어기의 출력은 인버터 출력전류 진폭의 기준치가 된다. 단위 역률 제어인 경우 인버터 전류는 연계점 전압과 동상이므로 추정 위상과 전류 진폭 기준치로부터 인버터 순시전류 기준치를 식(9)와 같도록 한다. 인버터 출력 전류의 실제값이 기준값을 추종할 수 있도록 하는 PWM신호를 발생시킨다. 자동 위상 이동 값은 식(10)으로 결정되는데 여기서 ω_{line} 은 60 Hz에 해당하는 각 주파수이다. 즉 추정 주파수가 계통 주파수와 같으면 자동 위상 이동 값은 영이며, 다른 경우에는 가속 이득 K 에 의해서 계속 증가하거나 감소한다.

$$i_{PV}^* = I_{PV}^* \sin(\hat{\theta} + \Delta\theta) \quad (9)$$

$$\Delta\theta = K(\hat{\omega}_a - \omega_{line}) \quad (10)$$

고립운전 상태가 발생되면 인버터 출력 전류지령 i_{PV}^* 에 의해 RLC병렬부하에 나타나는 연계점 전압은 식 (11)과 같고 ϕ 는 식 (12)와 같다.

$$v_a = V_m \sin(\hat{\omega}_a t + \Delta\theta + \phi) \quad (11)$$

$$\phi = \tan^{-1} [R(1/(\omega_a L) - \omega_a C)] \quad (12)$$

단위 역률 제어이므로 식 (11)에서 $\Delta\theta + \phi = 0$ 이 될 때까지 연계점 주파수가 변한다.

따라서 $\Delta\theta = -\phi = \tan^{-1} [R \cdot (\omega_a C - 1/(\omega_a L))]$ 이 되므로 ω_a 대한 2차방정식으로 나타내면 식 (13)으로 표현된다.

$$\hat{\omega}_a^2 - \frac{1}{RC} \cdot \tan(\Delta\theta) \cdot \hat{\omega}_a - \frac{1}{LC} = 0 \quad (13)$$

식 (13)에서 $\tan(\Delta\theta)$ 로 나타내면 식 (14)와 같다.

$$\tan(\Delta\theta) = \frac{RC}{\hat{\omega}_a} \left(\hat{\omega}_a^2 - \frac{1}{LC} \right) \quad (14)$$

$\hat{\omega}_a = \omega_{line}$ 이면 $\Delta\theta = 0$ 이고 $\hat{\omega}_a \neq \omega_{line}$ 이면 $\Delta\theta \neq 0$

이므로 연계점의 주파수 $\hat{\omega}_a$ 가 증가(감소)하게 되고 가속이득 K 에 의하여 주파수는 계속 증가(감소)하므로 허용 한계치를 넘는 순간 인버터를 정지시킨다.

4. 시뮬레이션

Matlab을 이용하여 IEEE929-2000에 정의되어 있는 양호도($Q = R\sqrt{C/L}$)를 2.5로 하여 $P = 2kW$ 인 부하조건에서 $\Delta P = 0, \Delta Q \neq 0$ 인 경우에 대하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션과 실험에 사용된 PV시스템의 정격은 220 V, 60 Hz, 3 kVA 이며, 고립운전 시험을 위한 파라미터 값은 표 1과 같다.

표 1 고립운전 검출 시험을 위한 파라미터 값
Table 1 Parameter values for islanding detection test

$\Delta P = 0, \Delta Q < 0$			
R [Ω]	L [mH]	C [μF]	f_o [Hz]
24.2	25.68	269.5	60.5
$\Delta P = 0, \Delta Q > 0$			
R [Ω]	L [mH]	C [μF]	f_o [Hz]
24.2	25.68	280.5	59.3

그림 6은 고립운전 발생시 주파수 바이어스법에 의한 연계점의 주파수 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 i_{ref} 는 데드 타임을 포함한 전류지령이고 \hat{f}_{PCC} 는 연계점의 추정 주파수인데 증가함을 알 수 있다.

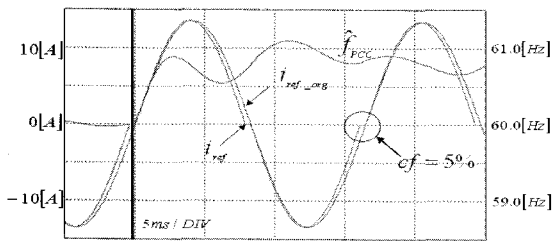
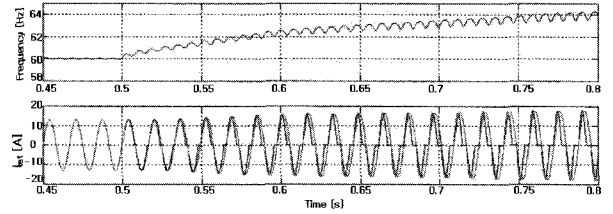
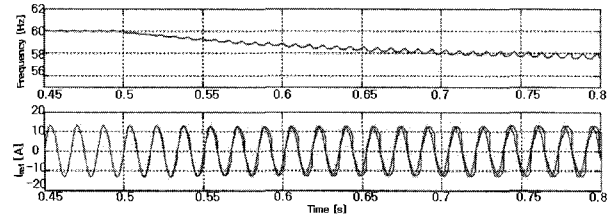


그림 6 FB방법에 의한 연계점 전압의 주파수 변화
Fig. 6 Frequency variation by FB method

그림 7은 $\Delta P = 0, \Delta Q \neq 0$ 로서 공진주파수가 각각 59.3Hz, 60.5Hz인 부하조건에서 고립운전이 발생했을 때 샌디아 주파수 변동법에 의한 주파수 변화를 나타낸 것으로 연계점 주파수가 발산함을 볼 수 있다.



(a) $\Delta Q < 0$

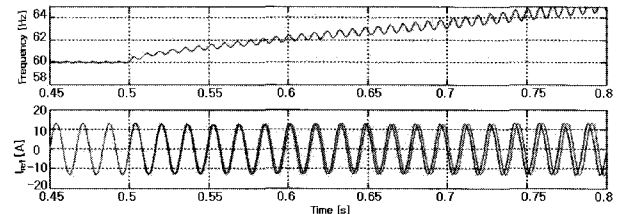


(b) $\Delta Q > 0$

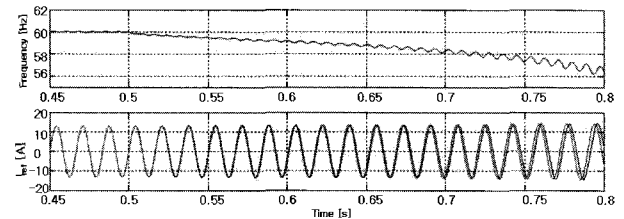
그림 7 고립운전시 샌디아 주파수 변동법에 의한 연계점의 주파수 및 인버터 전류지령

Fig. 7 PV inverter current command and frequency of PCC by SFS method

그림 8은 제안된 고립운전 검출법을 사용하여 $\Delta P = 0, \Delta Q \neq 0$ 로서 공진주파수가 각각 59.3Hz, 60.5Hz인 조건에서 고립운전이 발생했을 때 연계점의 주파수와 전류지령의 변화를 나타낸 파형이다.



(a) $\Delta Q < 0$



(b) $\Delta Q > 0$

그림 8 고립운전시 제안된 방법에 의한 연계점의 주파수 및 인버터 전류지령 변화

Fig. 8 PV inverter current and frequency of PCC by proposed method

그림 9는 계통이 허용 주파수 변동 폭인 59.7Hz에서

60.3Hz까지 변동하고 있을 때 제안한 알고리즘이 고립 운전으로 오판하지 않고 정상 동작함을 보이고 있으며 0.6초에서 고립운전이 발생하면 연계점 주파수가 발산하여 고립운전을 검출할 수 있음을 보여준다.

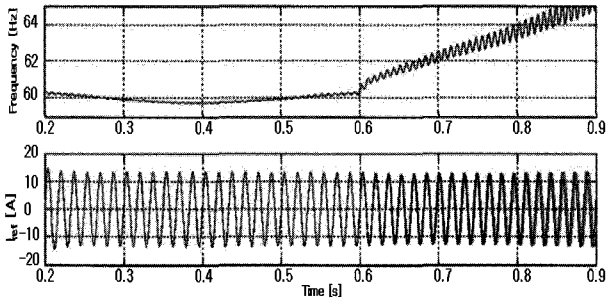


그림 9 제안된 고립운전 검출법의 특성
Fig. 9 Characteristics of the proposed islanding detection method.

표 2는 계통이 정상적으로 운전될 때 연계점의 주파수 변화에 따른 제안된 방법과 SFS 방법의 출력전류의 THD를 비교한 시뮬레이션 결과이다. 제안된 검출 방법은 전류 THD에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

표 2 제안된 방법과 SFS 방법의 전류 THD 비교(시뮬레이션)
Table 2 Current THD comparison of SFS & proposed method
[출력전류 THD[%]]

계통주파수	제안된 방법	SFS 방법
59.4[Hz]	1.2%	8.1%
59.6[Hz]	1.2%	5.6%
59.8[Hz]	1.1%	3.0%
60.0[Hz]	1.1%	1.1%
60.2[Hz]	1.1%	2.8%
60.4[Hz]	1.2%	5.3%
60.6[Hz]	1.2%	7.7%

5. 실험

시뮬레이션과 같은 부하조건에서 IEEE929-2000의 절차에 따라 실험하였고, 3kW 계통 연계형 PV 인버터를 직접 제작하여 사용하였다.

그림 10은 고립운전시 연계점의 주파수를 측정할 수 있는 파형이다. 고립운전시 부하의 LC공진에 의하여 연계점의 주파수가 변하는데, 계통 전압의 주파수 변동 허용치 이내에 있으므로 수동법으로는 검출 불가능하다.

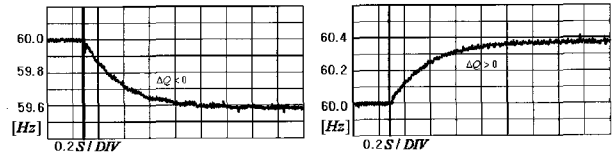


그림 10 고립운전시 연계점의 주파수변화
Fig. 10 Frequency variation of PCC

그림 11 (a)는 주파수 바이어스법으로 $\Delta P = 0$, $\Delta Q \neq 0$ 의 조건에서 실험한 결과이다. 그림 11 (b)는 출력 전류파형인데 데드타임으로 인해 왜곡되었음을 볼 수 있다.

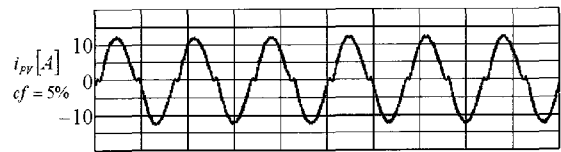
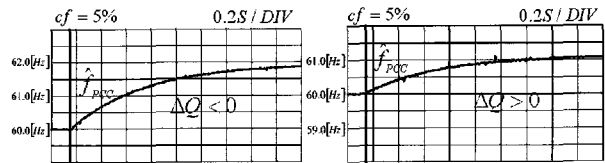


그림 11 (a) FB 방법의 추정 주파수 (\hat{f}_{PCC})
(b) FB 방법의 PV 인버터 출력전류 (i_{PV}), 10ms/div
Fig. 11 (a) Estimated frequency by FB (\hat{f}_{PCC})
(b) Output current by FB (i_{PV}), 10ms/div

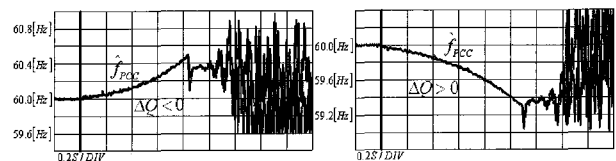


그림 12 SFS 방법의 고립운전 검출
Fig. 12 Islanding detection by SFS method

그림 12는 샌디아 주파수 변동법에 의한 고립운전 검출 시 연계점의 주파수 변화이다.(0.2초 후 고립운전 발생) $\Delta Q \neq 0$ 일 때 주파수가 계속 증가하거나, 계속 감소하여 고립운전을 검출한다.

그림 13은 $\Delta Q < 0$ 경우 SFS 방법에 의한 고립운전 검출 시 연계점 전압과 인버터 출력전류의 파형이다.

연계점의 주파수가 증가함에 따라 출력전류에 왜곡이 증가하여 THD의 최대 값은 약 8.1%이다.

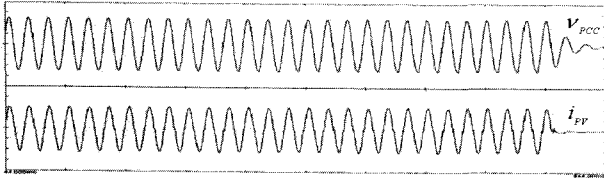


그림 13 SFS 방법의 고립운전 검출 시 인버터 출력전류 변화 (50ms/div)

Fig. 13 Inverter current variation by SFS method(50ms/div)

그림 14는 $\Delta Q \neq 0$ 일 때 제안된 방법에 의한 고립 운전 검출 시 연계점의 주파수 변화이다.(그림 12와 마찬가지로 0.2초 후 고립운전 발생)

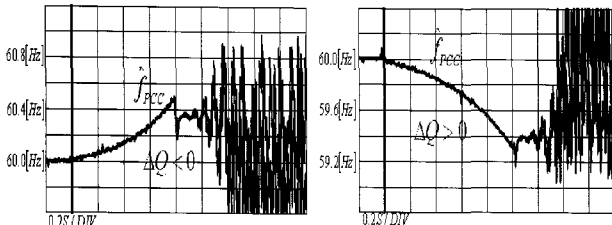


그림 14 제안된 방법의 고립운전 검출

Fig. 14 Islanding detection by proposed method

그림 15는 $\Delta Q < 0$ 인 경우 제안된 방법에 의한 고립 운전 검출 시 연계점 전압과 인버터 출력전류의 파형이다. 인버터 출력전류의 THD는 약 1.1%로서 출력전류의 왜곡 측면에서 제안한 방법이 SFS 방법 보다 우수함을 알 수 있다.

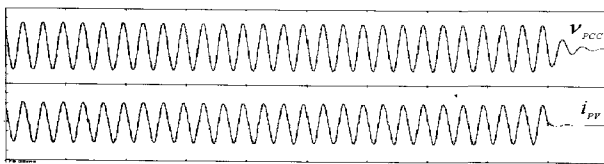
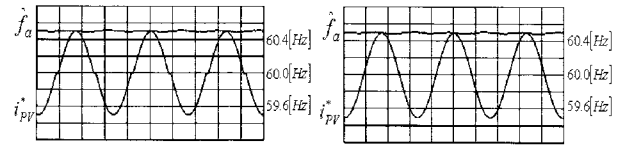


그림 15 제안된 방법의 고립운전 검출 시 인버터 출력전류 변화 (50ms/div)

Fig. 15 Inverter current variation by the proposed method(50ms/div)

그림 16은 계통 주파수가 60.5Hz로 정상 운전 중일 때 인버터 출력전류를 비교한 실험 결과이다. 샌디아 주파수 변동법의 경우 출력 전류의 왜곡이 나타나지만 제안한 자동 위상 이동을 이용한 검출법의 경우에는 출력전류에 왜곡이 없음을 보여준다.



(a)샌디아 주파수 변동법 (b)자동 위상 이동법

그림 16 정상상태 출력전류 비교(5ms/div)

Fig. 16 Comparison of steady state current between SFS method and the proposed method.(5ms/div)

6. 결 론

본 논문에서는 계통연계형 태양광 발전 시스템의 고립운전현상, 고립운전 검출을 위한 수동 검출법과 능동 검출법에 대하여 해석하고, 이를 바탕으로 구현이 간단하고 출력 전류에 왜곡이 없는 고립운전 검출법인 자동 위상 이동을 이용한 고립운전 검출법을 제안하였다.

또한 제안된 알고리즘을 기존의 고립운전 검출법 중 가장 성능이 우수한 샌디아 주파수 변동법과 비교하여 시뮬레이션 및 실험을 통해 제안된 방법의 우수성과 타당성을 검증하였다.

본 논문에서 제안한 고립운전 검출법은 태양광 시스템뿐만 아니라 다양한 분산전원의 고립운전 검출에도 적용할 수 있다.

본 논문은 산업자원부 에너지·자원기술개발사업(2004-N-PV11-P-02)의 연구비 지원과 2006년도 경북대학교 연구교수 연구비 지원에 의하여 연구된 것으로 연구비 지원에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] Gregory A. Kern, "SunSine300: Utility Interactive AC Module Anti-Islanding Test Results", IEEE 26th PVSC, pp. 1265-1268, 1997.
- [3] Zhihong Ye, Amol Kolwalkar, Yu Zhang, Pengwei Du, and Reigh Walling, "Evaluation of Anti-Islanding Schemes Based on Nondetection Zone Concept," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 19,

- No. 5, pp. 1171-1176, 2004.
- [4] Hiromu Kobayashi, Kiyoshi Takigawa, "Statical Evaluation of Optimum Islanding Preventing Method for Utility Interactive Small Scale Dispersed PV systems", Proceedings of the IEEE World Conference on Photovoltaic Energy Convesion (1994), pp. 1085-1088, 1994.
 - [5] M. E. Roop, M. Begovic, A. Rohatgi, "Determining the Relative Effectiveness of Islanding Detection Methods Using Phase Criteria and Nondetection Zones," IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 15, No. 3, pp. 290-296, 2000.
 - [6] Evaluation of Islanding Detection Methods for Photovoltaic Utility interactive Power Systems, IEA-PVPS Report, IEA-PVPS T5-09: March 2002.
 - [7] A. Woyte, R. Belmans, and J. Nijs, "Testing the Islansing Protection Function of Photovoltaic Inverters," IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 18, No. 1, pp. 157-162, 2003.
 - [8] 은석준, 최종우, 김흥근, "태양광발전 시스템의 단독운전 검출법 비교", 전력전자 하계학술 대회 논문집, pp. 92-96, 2004. 7.
 - [9] 김용균, 최종우, 김흥근, "계통연계형 태양광발전 시스템의 위상동기화를 위한 디지털 PLL". 전기학회 논문지 53권 9호, pp. 562-568, 2004.
 - [10] IEEE Std. 929-2000, IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Photo-voltaic(PV) Systems, Sponsored by IEEE Standards coordinating Committee 21 on Photovoltaics, Published by IEEE, New York, NY, Apr. 2000.
 - [11] Gwon-jong Yu, Jeong-Hoon So, Young-Seok Jung, Ju-yeop Choi, Seung-Gi Jeong, Ki-Hyun Kim, Ki-ok Lee, "Boundary conditions of reactive-power-variation method and active-frequency-drift method for islanding detection of grid-connected photovoltaic inverters," in Proc. 31th IEEE Photovoltaic Spec. Conf., Jan. 2005, pp. 1785-1787.
 - [12] Moon-Ju Ko, Ick Choy, Ju-Yeon Choi, Ki-Ok Lee, Gwon-Jong Yu, "Simulation of Active Frequency Drift Adding Qero Current Method for Islanding Detection," in Proc. 37th IEEE PESC'06, Jun. 2006, pp. 1-5.

저 자 소 개

윤중혁(尹重赫)



1976년 8월 4일생. 2003년 홍익대 과학기술대 전기공학과 졸업. 2005년 경북대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 LS산전 중앙연구소 Power Conditioner 연구팀 주임연구원.

김흥근(金興根)



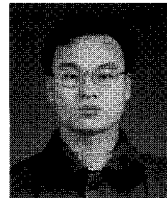
1956년 4월 24일생. 1980년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 경북대 전자전기컴퓨터학부 교수. 당 학회 부회장.

최종우(崔鐘宇)



1969년 2월 25일생. 1991년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 경북대 전자전기컴퓨터학부 부교수.

소정훈(蘇楨訓)



구원.

1970년 5월 4일생. 1994년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 광운대 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1996년~현재 에너지기술연구원 태양광발전연구단 선임연구원.

유권중(劉權鍾)



단장.

1954년 8월 5일생. 1982년 조선대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 일본 KOBE대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1989년~1990년 일본 Fuji전기(주) 종합연구소 주임연구원. 1990년~현재 에너지기술연구원 태양광발전연구단 단장.