

PV-AF시스템에서 단독운전 방지기법 및 기존 단독운전 방지기법의 시뮬레이션 해석 및 비교

김경훈, 서효룡, 이석주, 박민원, 유인근, 전진홍*, 김슬기*, 안중보*
 국립 창원대학교 전기공학전문전공, 한국전기연구원 신재생에너지 연구그룹*

A Simulation for Anti-islanding Method in PV-AF System and Existing Anti-islanding Method

Gyeong-Hun Kim, Hyo-Ryong Seo, Soek-Ju Lee, Minwon Park, In-Keun Yu
 Department of Electrical Engineering, Changwon National University, Korea

Abstract - Islanding is the electrical phenomenon in a part of a power network disconnected from the utility, where the loads are entirely supplied by PV systems, and where the voltage and frequency are maintained around nominal values. But islanding may result in power-quality issues, interference to grid-protection devices, equipment damage, and even personnel safety hazards[4]. Therefore, islanding must be detected and stopped. The existing anti-islanding methods have NDZ(Non-detection Zone) or power quality degradation. But PV-AF power generation system has the function of not only shunt active filter but also anti-islanding method without NDZ. In this paper, It is proved that PV-AF system has originally the function of anti-islanding without not only NDZ and but current distortion.

1. 서 론

태양광 발전 시스템은 발전하고 있는 유·무효전력과 현재 사용하고 있는 유·무효전력이 일치하는 지점에서 계통이 차단될 경우 단독운전이 발생 할 수 있다. 이러한 단독운전은 공사인력의 인명피해 및 장비손상 등의 문제를 일으킬 수 있다. 따라서 단독 운전은 반드시 이를 검출하여 차단하여야 한다. 본 논문에서는 PV-AF system에서의 단독운전 방지기법, 기존의 능동형 단독운전방법인 샌디아 주파수 변동 방법 및 무효전력 변동 방법을 PSCAD/EMTDC를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 수동형 단독운전 방지기법은 단독운전 불검출 영역을 가진다. 그리고 능동형 단독운전 방지기법 출력 전류의 왜곡을 왜곡 시키고, 전력품질에 영향을 준다. 하지만 PV-AF system은 Active-filter 기능을 가지는 것뿐만 아니라, NDZ도 존재하지 않고 전류왜곡도 발생하지 않는 특징을 표 1에서와 같이 가지고 있다.

<표 1> PV-AF에서 단독운전 방지기법 및 기존 방법 비교

종류	Anti-Islanding		Active Filter 기능
	전력품질문제	불검출영역	
PV-AF	없음	없음	있음
수동형 방법	없음	있음	없음
샌디아 주파수 변동 방법	있음	없음	없음
무효전력 변동 방법	있음	없음	없음

2. PSCAD/EMTDC를 이용한 시뮬레이션

2.1 시뮬레이션 조건

본 연구에서의 시뮬레이션은 18.9[kW]급 태양광 Array를 모의하였다. 표 2는 모의한 태양광 Array의 규격이다[3]. 단독운전이 일어나기 위해 출력에 일정해야 함으로 일사량 0.7[kW/m²]에서 MPPT는 하지 않고, 일정전압으로 운전하였다. 최종적으로 4.3[kW]가 출력되었다. 표 3은 운전조건 및 부하 조건이다.

<표 2> 모의 태양광 Array 규격

용량	18.9[kW]
모듈의 단락전류	7[A]
모듈의 개방전압	30[V]
직렬연결 수	30
병렬연결 수	3

<표 3> 태양광 PCS 운전조건 및 부하조건

일사량	0.7[kW/m ²]
온도	30[°C]
태양광 어레이 운전전압	750[V]
부하조건	R = 33.5[Ω]
	L = 3.518[mH]
	C = 2000[μF]

2.2 샌디아 주파수 변동 방법(Sandia frequency method, SFS)

샌디아 주파수 변동 방법은 계통이 차단되었을 경우 출력 기준전류에 주파수의 변화에 따른 데드타임을 적용하여 데드타임을 계속 증가시킨다. 따라서 데드타임의 변화로 주파수가 발산함으로 단독운전을 검출하여 차단하게 된다. 데드타임에 대하여 출력전류 지령 값에 데드타임을 적용시키기 위해서 PLL를 이용해 추종한 θ 값에 대하여 기준 θ^* 를 표 4의 값으로 설정 하였다. 표에서 t_z 는 데드타임이다.

<표 4> 기준전류에 데드타임을 적용시키기 위한 기준위상 값

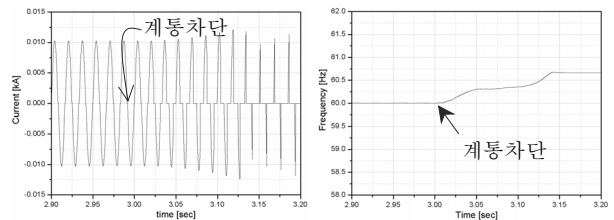
PLL theta, θ_{PLL}	Reference theta, θ^*
$0 \leq \theta_{PLL} < \pi - t_z*377$	$\theta^* = \theta_{PLL} * (1+2t_z/T)$
$\pi - t_z*377 \leq \theta_{PLL} < \pi$	$\theta^* = 0$
$\pi \leq \theta_{PLL} < 2\pi - t_z*377$	$\theta^* = \theta_{PLL} * (1+2t_z/T)$
$2\pi - t_z*377 \leq \theta_{PLL} < 2\pi$	$\theta^* = 0$

PSCAD/EMTDC를 이용하여 표 4를 적용 시켰다.

$$t_z = t_{z0} + K(f_a - f_u) \tag{1}$$

그리고 식 (1)은 샌디아 주파수 변동 방법에서의 데드타임이다. 여기서 t_{z0} 는 초기 데드타임, f_a 는 측정된 주파수, f_u 는 계통 주파수, K는 가속이득이다.

그림 1(a)는 SFS 방법을 적용시킨 경우 출력 기준전류이다. 3초에서 계통이 차단되었으며, 주파수의 변화에 따라 데드타임이 점점 증가한다. 그림 1(b)는 계통이 차단되었을 경우 주파수의 변화를 보여준다. 계통이 차단된 후, 데드타임의 증가에 따라 주파수가 발산하는 것을 보여준다.



(a) 기준전류 (b) 주파수 변화

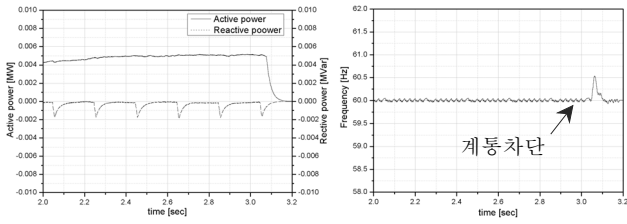
<그림 1> 샌디아 주파수 변동방법 시뮬레이션 결과

2.3 무효전력 변동 방법

무효전력 변동 방법은 일정 시간 간격으로 무효전력을 가감 투입하여 단독운전 발생 시 무효전력 차에 의한 주파수 변동을 일으켜 단독운전을 차단하는 방법이다[5].

본 시뮬레이션에서는 5[Hz] 간격으로 무효전력의 변화를 주었다. 그림 2(a)는 그 때의 유효전력 및 무효전력을 나타낸다. 그림 2(b)는 3초에서

계통이 차단되었을 경우 주파수 변화를 보여준다.

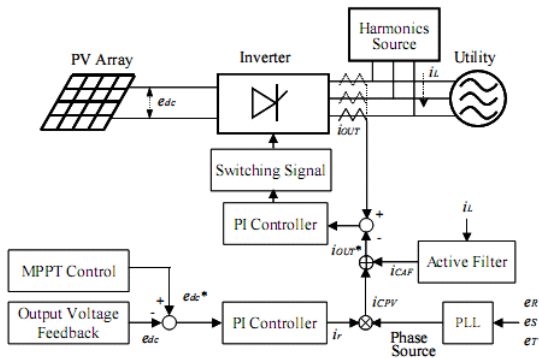


(a) 유효전력 및 무효전력 (b) 주파수 변화

<그림 2> 무효전력 변동방법 시뮬레이션 결과

2.4 PV-AF 시스템

기존의 태양광 발전 시스템에 고조파를 보상하는 Active-Filter 기능을 추가한 시스템을 PV-AF 시스템이라 부른다. PV-AF 시스템은 계통에 비선형 부하인 다이오드 정류기, 사이리스터 정류기, 사이클로 컨버터 등이 사용될 경우 생기는 고조파 전류를 보상하여 전력 품질을 개선시킨다[2]. 그림 3은 PV-AF시스템의 컨트롤 다이어그램이다[1].



<그림 3> PV-AF 시스템의 컨트롤 다이어그램

2.5 PV-AF 시스템에서의 단독운전방지기법

일반적으로 3상 인버터의 고조파 수는

$$n = 6c \pm 1, \text{ where } c = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

따라서 인버터의 출력전류의 고조파는 5차, 7차, 11차, 13차 등이다. 인버터의 출력 전류는 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$I_{out} = I_1 \sin \theta + I_5 \sin 5\theta + I_7 \sin 7\theta + I_{11} \sin 11\theta + I_{13} \sin 13\theta \dots \quad (3)$$

일반적인 RLC 부하에서는 저차 고조파의 대부분은 인버터에서 상대적으로 임피던스가 낮은 계통으로 흐른다. 하지만 계통이 어떠한 이유로 차단되었을 경우 이들 고조파는 부하 측으로 흐르게 된다. 따라서 계통이 차단되었을 경우 $I_{Load} = I_{out}$ 이다. PV-AF 시스템은 부하에 흐르는 전류의 고조파를 검출하여 이를 보상하므로 계통이 차단되었을 경우 부하에 흐르는 고조파를 검출하기 위해서 부하 전류를 DQ변환을 하면, 식 (4)와 같다[6].

$$\begin{aligned} I_D &= (I_5 - I_7) \sin 6\theta + (I_{11} - I_{13}) \sin 12\theta \\ I_Q &= I_1 + (I_7 - I_5) \sin 6\theta + (I_{13} - I_{11}) \sin 12\theta \end{aligned} \quad (4)$$

60[Hz] 성분은 DQ변환 시 D축 값은 0, Q축 값은 직류 값이다. 고조파 성분을 추출하기 위하여 Q축의 직류성분을 필터링하면 고조파 성분을 추출할 수 있다. 따라서 I_1 을 뺀 값이 Active filter의 기준 전류가 된다. Active filter의 기준 전류는 식 (5)와 같다.

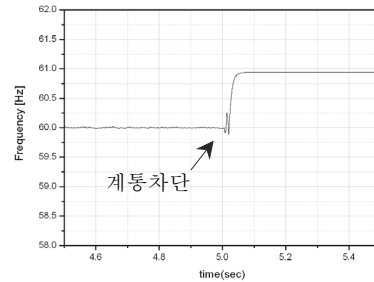
$$\begin{aligned} I_D &= (I_5 - I_7) \sin 6\theta + (I_{11} - I_{13}) \sin 12\theta \\ I_Q &= (I_7 - I_5) \sin 6\theta + (I_{13} - I_{11}) \sin 12\theta \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)를 역변환 하면 인버터가 보상해야 할 전류이다.

$$\begin{aligned} I_R &= I_5 \sin 5\theta + I_7 \sin 7\theta + I_{11} \sin 11\theta + I_{13} \sin 13\theta + \dots \\ I_S &= I_5 \sin \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) + I_7 \sin 7 \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) + I_{11} \sin 11 \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) + \\ &\quad I_{13} \sin 13 \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) + \dots \\ I_T &= I_5 \sin \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) + I_7 \sin 7 \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) + I_{11} \sin 11 \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) + \\ &\quad I_{13} \sin 13 \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) + \dots \end{aligned} \quad (6)$$

따라서 계통이 차단되면 식(6)의 전류가 계속 증가하게 되어 주파수가 급속하게 증가하게 되어 OFR에 의해 시스템은 운전을 정지하게 되는 것이다.

그림 4는 5초에 계통이 차단되었을 경우 주파수다. 그림 4는 전압 파형은 5.05초에서 차단되었다는 것을 보여준다.



<그림 4> PV-AF 시스템에서 계통이 차단되었을 경우 주파수 변화

3. 결 론

PSCAD/EMTDC를 이용하여 기존 단독운전방지기법과 PV-AF 시스템을 적용한 경우의 단독운전 시뮬레이션을 수행하였다. 기존의 단독운전 방지기법은 전력품질 문제를 가진다. 하지만 PV-AF 시스템은 계통에 흐르는 고조파를 보상함으로써 전력 품질을 개선하고, 계통이 차단되었을 경우 자신의 고조파를 보상함으로써 주파수가 증가되어 단독운전이 방지되는 기능까지 가진다. 따라서 PV-AF 발전 시스템은 NDZ를 가지지 않고, 전류파형의 왜곡, 별도의 장치 없이 단독운전을 검출하여 차단할 수 있다. 향후 시뮬레이션 뿐만 아니라 실험을 통해서 검증할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 산학협력 중심대학의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 서효룡, 김경훈, 박영길, 박민원, 유인근, "DSP Control of Photovoltaic Power Generation System Adding the Function of Shut Active Filter", IASTED, 2007.
- [2] 박민원, "A Novel Photovoltaic Power Generation System including the Function of Shut Active Filter", KIEE International Transactions on EMECS, Vol3B-2, pp. 103-110, 2003.
- [3] 박민원, "A Novel Simulation model of Solar Cell using EMTDC", Proceedings of the KIEE, autumn annual conference, 2000.
- [4] Z. Ye, R. Walling, L. Garcés, R. Zhou, L. Li, and T. Wang "Study and Development of Anti-Islanding Control for Grid-Connected Inverters," General Electric Global Research Center Niskayuna, New York., Subcontractor Report.
- [5] 이기욱 "단독운전 검출을 위한 Active Frequency Drift Positive Feedback기법의 Chopping Fraction Gain", 석사학위논문, 2004
- [6] Se-Kyo Chung, "A Phase Tracking System for Three Phase Utility Interface Inverters", IEEE Transactions on power electronics, Vol. 15, No.3, MAY 2000