

액티브 필터기능을 갖는 3상 태양광 발전시스템의 단독운전 방지기능의 분석

김경훈*, 서효룡*, 장성재*, 박상수*, 박민원*, 유인근*, 전진홍**, 김슬기**, 조창희**, 안종보**
 창원대학교*, 한국전기연구원**

Analysis results of the Anti-islanding Function for PV-AF System

Gyeong-Hun Kim*, Hyo-Ryong Seo*, Seong-Jae Jang*, Sang-Soo Park*, Minwon Park*, In-Keun Yu*,
 Jin-Hong Jeon**, Seul-Ki Kim**, Chang-Hee Jo**, Jong-Bo Ahn**
 Changwon National University*, Korea Electrotechnology Research Institute**

Abstract - Shunt active filter can compensate harmonic current of utility results from non-linear loads such as rectifiers, cycloconverters and arc furnaces. It has the same structure as photovoltaic(PV) generation system. So, it was proposed the system that generates PV power and also has active filter function. It is called PV-AF(Photovoltaic and Active Filter) power generation system.

Islanding can be occurred in an inverter based dispersed generation system, when the system disconnected from utility and loads are entirely supplied by PV system only. Islanding may result in interference to grid protection devices, equipment damage, and even personnel safety hazards. Therefore, islanding has to be detected and protected.

The conventional 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, a novel anti-islanding method for PV-AF system is proposed and analysed in detail.

1. 서 론

최근 높아가는 부하와 환경문제에 따른 대체에너지의 필요성은 날로 높아지고 있으며, 분산형 전원에 대한 연구 또한 활발히 진행되고 있다. 태양광 발전 시스템은 오래 전부터 많은 연구가 진행되어 왔다. 그리고 과거와 비교해 높아가는 비선형 부하들과 다량의 저용량 전력 변환기 등은 전력 품질에 무시할 수 없을 영향을 미치는 문제점들이다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 액티브 필터는 비선형 부하에서 발생하는 고조파, 무효 전력 등을 보상하는 시스템이다. 액티브 필터의 주된 사용 목적은 개별 수요자들이 갖고 있는 고조파 발생 부하의 고조파 전류를 상쇄시켜 계통에 야기되는 전력 품질 저하를 막는 것이다.

병렬로 연결된 계통연계 인버터는 계통의 유·무효전력을 제어할 수 있다. 그리고 태양광에서 발전용 계통연계 인버터와 병렬 액티브 필터를 위한 계통연계 인버터는 구조적으로 동일하다. 따라서 특별한 하드웨어의 추가 없이 태양광에서 발전하는 유효전력을 계통에 공급할 뿐만 아니라 계통의 고조파 전류를 보상하는 액티브 필터기능을 동시에 가지는 PV-AF 시스템이 연구되어 왔다[1].

또한 태양광 발전시스템은 발전하고 있는 유·무효전력과 현재 사용하고 있는 유·무효전력이 일치하는 지점에서 계통이 차단될 경우 단독 운전이 발생 할 수 있다. 이러한 단독운전은 공사인력의 인명피해 및 장비손상 등의 문제를 일으킬 수 있다. 따라서 단독 운전은 반드시 이를 검출하여 차단하여야 한다. 기존의 태양광 발전시스템은 출력 전류의 파형을 왜곡 시켜 단독운전을 방지하기 때문에 전력품질에 영향을 준다.

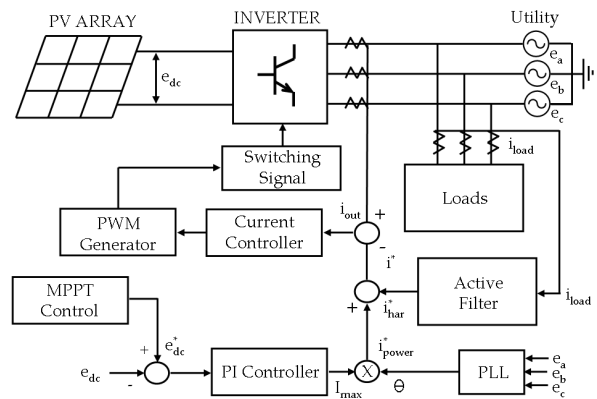
하지만 PV-AF 시스템은 액티브 필터 기능을 가지는 것뿐만 아니라 불검출영역도 존재하지 않고, 전류왜곡도 발생하지 않는 특징을 가지고 있다[2]. 따라서 본 논문에서는 액티브 필터기능을 가지는 3상 태양광 발전시스템의 단독운전방지기능을 직접 실험을 통해 검증하고, 분석하였다.

2. PV-AF 시스템에서의 단독운전 방지기법

2.1 PV-AF 시스템

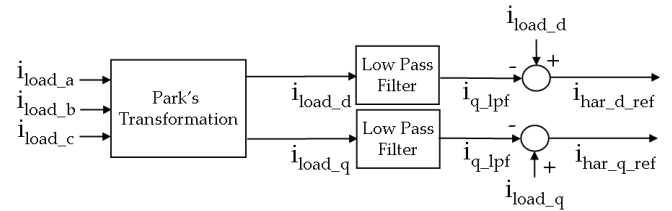
기존의 태양광 발전시스템에 고조파를 보상하는 액티브 필터기능을 추가한 시스템을 PV-AF 시스템이라 부른다. PV-AF 시스템은 계통에 비선형 부하인 다이오드 정류기, 사이리스터 정류기, 사이클로 컨버터 등이 사용될 경우 생기는 고조파 전류를 보상하여 전력 품질을 개선시킨다. 또한 태양광 어레이에서 발생하는 유효전력을 공급하고, 태양광

최대 출력 전력 제어(MPPT)를 통해서 태양광 어레이로부터 최대 전력을 얻어낼 수 있다. 그림 1은 PV-AF 시스템의 컨트롤 블록 다이어그램이다.



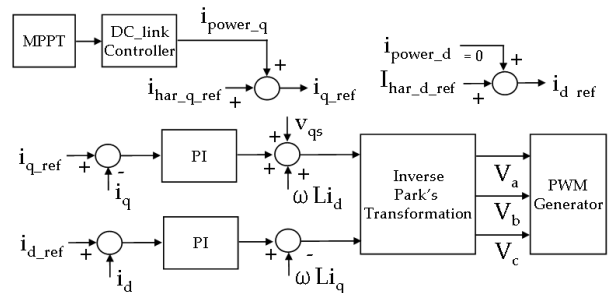
<그림 1> PV-AF 시스템 컨트롤 블록 다이어그램

그림 1에서 부하에 흐르는 전류의 고조파 전류를 액티브 필터 기능으로부터 추출한다. 그리고 MPPT 제어를 위한 전압 제어기로부터 유효 전류를 추출한다. 따라서 부하의 고조파 전류와 유효전류의 합이 전류 제어기를 통해 제어된다. 부하의 고조파 전류를 추출하기 위한 알고리즘은 그림 2와 같다.



<그림 2> 부하의 고조파 전류 추출 알고리즘

그림 2에서 부하에 흐르는 전류는 Park's 변환을 통해서 D축, Q축 성분 전류로 변환된다. 부하의 60[Hz] 성분은 Park's 변환을 하면 직류 값이 된다. 따라서 저역 통과 필터를 이용하여 직류 값을 제거하면, 고조파 성분만을 추출 할 수 있다.



<그림 3> 전류 제어 알고리즘

그림 3의 벡터 제어기를 사용하여 추출된 부하의 고조파 전류와

MPPT 제어기로 부터의 유효전류를 제어한다. 따라서 태양광 어레이로 부터의 유효전력을 계통에 공급할 뿐만 아니라 부하의 고조파 전류를 보상하여 계통의 전력품질을 개선시킨다.

2.2 PV-AF 시스템에서의 단독운전 방지방법

일반적으로 3상 인버터의 고조파 수는 식(1)과 같다.

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

따라서 인버터의 출력전류의 고조파는 5차, 7차, 11차, 13차 등이다. 인버터의 출력 전류는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{out} = I_1 \cos \theta + I_5 \cos 5\theta + I_7 \cos 7\theta + I_{11} \cos 11\theta + I_{13} \cos 13\theta \dots \quad (2)$$

일반적으로 인버터에서 발생한 저차 고조파의 대부분은 RLC 부하보다 상대적으로 임피던스가 낮은 계통으로 흐른다. 하지만 계통이 어떠한 이유로 차단되었을 경우 이들 고조파는 부하 측으로 흐르게 된다. PV-AF 시스템은 부하에 흐르는 전류의 고조파를 검출하여 이를 보상하므로 계통이 차단되었을 경우 부하에 흐르는 고조파를 검출하기 위해서 부하 전류를 DQ변환을 하면, 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} I_D &= (I_5 - I_7) \sin 6\theta + (I_{11} - I_{13}) \sin 6\theta \\ I_Q &= I_1 + (I_7 - I_5) \sin 6\theta + (I_{13} - I_{11}) \sin 6\theta \end{aligned} \quad (3)$$

I_Q 값에서 직류성분만 제거하면 고조파 성분을 추출할 수 있다. 따라서 I_1 을 뺀 값이 액티브 필터의 기준 전류가 된다. 액티브 필터의 기준 전류는 식 (4)와 같다.

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

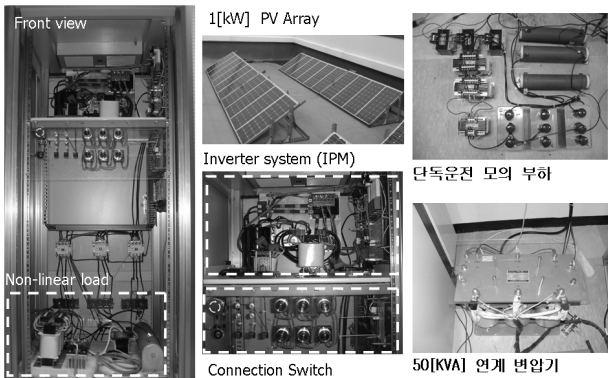
식 (4)를 역변환 하면 인버터가 보상해야 할 전류이다.

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

따라서 식(5)의 전류를 계속 보상 하려고 하여 주파수가 급속하게 증가 하게 되어 과주파수 계전기에 의해 시스템은 운전을 정지하게 된다.

2.3 실제 하드웨어 구성

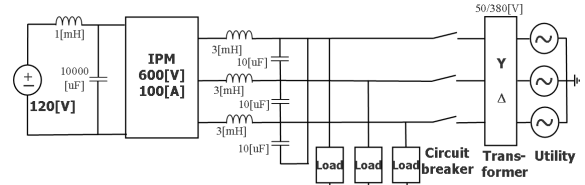
IPM(Intelligent Power Module)을 사용하여 3상 계통연계 인버터를 구성하였다. 제어기는 TMS320F2812를 사용하였으며, 시스템의 운전 주파수는 20[kHz]이다. 그림 4는 실제 제작한 하드웨어이다.



〈그림 4〉 실제 제작한 하드웨어

하드웨어 구성도는 그림 5와 같다. 단독운전을 모의하기 위한 부하는 $R=10[\text{ohm}]$, $C=400[\mu\text{F}]$, $L=18[\text{mH}]$ 를 사용하여 선택도 인자(Quality Factor)의 값을 1.5로 설정하였다. 선택도 인자는 부하의 유효전력에 대한 무효전력의 비로서 값이 클수록 단독운전이 일어났을 때, 외란에 대

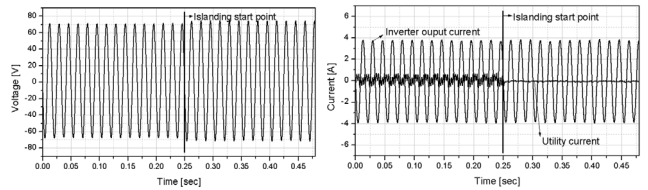
한 주파수 변동이 작다.



〈그림 5〉 하드웨어 구성도

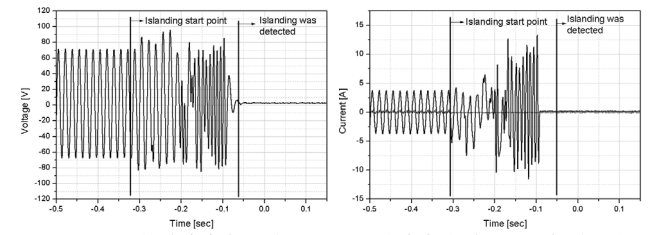
2.4 분석 결과

그림 6은 기존의 단독운전 방지방법이나 액티브 필터기능이 없을 경우 계통이 차단되었을 때 단독운전이 발생한 것을 보여준다. 그림 6(a)에서 계통이 차단된 후에도 전압과 주파수가 정상영역 안에 존재하는 것을 알 수 있다. 그림 6(b)는 그 때의 인버터 출력 전류와 계통전류이다.



(a) 연계 점에서의 전압 (b) 인버터 출력 전류 및 계통전류
〈그림 6〉 액티브 필터 기능이 없을 경우의 단독운전

그림 7은 같은 조건에서 별도의 단독운전 방지방법 없이 액티브 필터 기능만을 추가하였을 경우에 계통이 차단되었을 때 단독운전이 검출된 것을 보여준다. 그림 7(a)은 계통이 차단된 후 액티브 필터기능에 의해 연계 점에서의 전압의 주파수가 급격하게 상승하여 단독운전이 방지된다는 것을 보여준다.



(a) 연계 점에서의 전압 (b) 인버터 출력 전류 및 계통전류
〈그림 7〉 액티브 필터 기능이 있을 경우의 단독운전

3. 결 론

단독운전 방지방법에는 수동형 단독운전 방지방법과 능동형 단독운전 방지방법이 있다. 수동적인 방법은 전력품질을 저하시키지는 않지만 단독운전발검출영역을 가진다. 그리고 능동적인 방법은 출력전류의 왜곡이나 무효전력의 변화 등을 유도하여 단독운전을 검출하므로 불검출 영역을 가진 않지만 계통의 전력품질을 저하시킨다.

하지만 PV-AF 시스템은 전력품질을 저하시키지 않고 단독운전을 검출할 수 있다는 것을 실험을 통해 검증하였다. 따라서 PV-AF 시스템은 부하의 고조파 전류를 보상하여 전력품질을 향상 시키고, 출력전류를 왜곡 시키지 않고 단독운전을 검출할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부·지식경제부·노동부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업과 분산전원의 미래형 배전망 적용 기술개발 지원 사업에 의해서 수행된 연구결과입니다.

[참 고 문 헌]

[1] 서효룡, 김경훈, 박영길, 박민원, 유인근 “A DSP Control of Photovoltaic Power Generation System Adding the Function of Shunt Active Filter”, IASTED, 2007
[2] 김경훈, 서효룡, 이석주, 박민원, 유인근 “PV-AF에서 단독운전 방지 방법 및 기존 단독운전 방지방법의 시뮬레이션 해석 및 비교”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 제38호, 206-207, 2007