

액티브필터를 사용한 태양광 발전시스템의 출력제어

성낙권^{*}, 박민원^{**}, 유인근^{*}
^{*}창원대학교, ^{**}차세대초전도응용기술개발사업단

Control Method of Output of PV Generation System using Shunt Active Filter

Nak-Gueon Seong^{*}, Minwon Park^{**}, In-Keun Yu^{*}
^{*}Changwon National University, ^{**}CAST

Abstract - In this paper, novel concept of a photovoltaic(PV) power generation system adding the function of active filter(AF) is proposed. Even PV power generation system can be treated to a harmonics source for the power distribution system, it is necessary that the function of AF system in grid connected PV power generation system. Active Filters intended for harmonic solutions are expending their functions from harmonic compensation of nonlinear loads into harmonic isolation between utilities and consumer, and harmonic damping throughout power distribution system. So, the PV system combined the function of AF system can be usefully applied in power distribution system. Here, the control strategy of PV-AF system is introduced.

1. 서 론

전력 계통에 있어서 전력 품질에 대한 문제는 갈수록 높아지고 있다. 과거와 비교해 들어가는 비선형 부하들과 빌딩과 같은 다량의 저용량 전력 변환기들은 전력 품질에 무시할 수 없을 영향을 미치는 문제점들이다. 전력 계통에서 전력을 공급하는 공급자와 전력을 소비하는 소비자의 두 입장에서 생각해볼 때 전력 공급자는 왜곡이나 기타 잡음이 없는 깨끗한 정현파 전압을 소비자에게 공급하여야 하며 전력 소비자는 가능한 한 정현파 전류를 발생시켜내야만 한다. 전력 소비자의 전력 변환장치들에서 발생하는 고조파 성분은 계통의 전압을 왜곡시켜 결과적으로 계통의 전력 품질을 저하시킨다.

1970년대부터 소개된 Active Filter는 현재까지 이러한 비선형 부하를 보상하고 고조파를 제거하는데 널리 사용되고 있다[1-5]. 진보된 전력전자 기술과 끊임없는 연구와 적용으로 Active Filter의 효용성은 매우 높다.

본 논문에서는, 기존의 태양광발전시스템에 Active Filter이론을 접목하는 새로운 개념의 PV-AF 시스템에서 그 출력제어방법을 소개한다.

2. Active Filter

Active Filter는 비선형 부하에서 발생하는 고조파, 무효 전력, 전압 전류 불평형 등을 보상하기 위한 시스템이다. Active Filter의 주된 사용 목적은 개별 수요자들

이 갖고 있는 고조파 발생 부하의 고조파 전류와 전류 불평형을 상쇄시켜 계통에 야기되는 전력 품질 저하를 막는 것이다.

기존의 passive LC filter는 고조파 감소에 사용됨에 있어서 네트워크 임피던스의 병렬 공진을 야기하고, 상이한 주파수의 고조파 요소 보상에 유연하게 대처하지 못하는 단점이 있다. 이에 비해 Active Filter의 장점은 계통의 변화와 부하변동에 자동적으로 적용된다.

3. 고조파 보상을 위한 Active Filter의 제어방법

Active Filter의 제어 방법으로는 크게 두가지가 있다. 하나는 주파수 영역에서의 푸리에 해석에 기초한 방법 [6,7]이고, 또 하나는 Akagi 교수에 의해 제안된 소위 "p-q 이론"으로 불리는 3상 회로에서의 순시무효전력이론[8]에 기초한 제어방법이다. "p-q 이론" 개념은 대부분의 개별 고전력 소비자들의 Active Filter에 사용된다. 본 논문에서 태양광발전시스템의 출력을 보상하기 위한 Active Filter 제어방법에서도 p-q 이론이 적용된다.

3.1 Active Filter의 보상원리

Active Filter는 부하로부터 전류를 피드백 받아 그 전류를 dq변환시킨다. 변환된 전류는 정상신호 성분과 역상신호 그리고 고조파 성분으로 분리될 수 있고, 이렇게 분리된 성분에서 필요한 성분만을 선택하여 우리가 필요로 하는 고조파를 보상시킬 전류를 이끌어낼 수 있다.

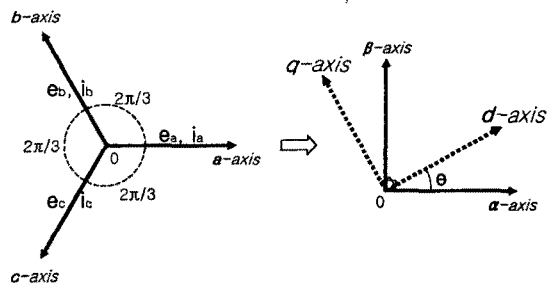


그림 1 3상전압전류 성분과 dq성분과의 관계

식 (1)은 3상전류 i_a, i_b, i_c 를 i_d, i_q 로 변환하는 행렬식을 나타내고 있다. 이 식을 사용하여 dq성분의 전류가 만들어진다. 3상 전류의 정상신호, 역상신호, 그리고 고조파 성분은 dq 변환된 후 각각 dc성분과 2fHz 성분,

6fHz 성분으로 나타난다. 식 (2)의 경우는 ndq변환식으로, 식 변환 후 역상 성분은 dc 성분으로 나타난다. 그러므로 High Pass Filter를 사용하여 고조파 성분을, Low Pass Filter를 사용하여 역상성분을 추출할 수 있다.

그림 1은 3상전압전류 성분과 dq성분과의 관계를 개념적으로 나타내고 있다.

$$\begin{bmatrix} i_o \\ i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\theta & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin\theta & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} i_o \\ i_{nd} \\ i_{nq} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\theta & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin\theta & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

4. 태양광발전시스템

점차 그 사용률이 높아지고 있는 태양광 시스템은 과거와 달리 낮은 셀 제작 비용과 전력전자기술의 발전, 그리고 무공해 대체 전력 전원으로로서의 이점 때문에 활발한 연구가 진행되고 있다. 하지만 태양광으로부터 얻어지는 출력은 직류이다. 그러므로 계통 연계형 태양광발전시스템의 경우 직류로 변환시킬 인버터가 필요하게 되며, 앞서 언급하였듯이 계통의 입장에서 계통 전력품질을 저하시키는 고조파 발생원으로 간주되어진다.

더욱이, 날씨조건에 직접적으로 영향을 받는 태양광의 출력전압은 매우 불안정하여 MPPT 제어가 사용된다.

분산형 전원장치로서 태양광발전시스템이 더욱 발전되고 상용화되기 위해선 꼭 필요하고 해결되어야 할 문제가 이와 같은 태양광발전시스템의 출력을 제어하는 일이므로 Active Filter의 기능과의 결합은 매우 타당하고 새롭게 제시되는 개념이라 할 수 있겠다.

5. Active Filter와 결합된 태양광발전시스템

전체적인 시스템은 보통의 태양광발전시스템에 Active Filter기능을 첨가한 것이므로 기본적인 회로도에는 그림 2와 같이 계통에 연결된 평범한 3상 태양광발전시스템과 거의 같다.

그림 3의 제어흐름선도를 보면 앞서 설명한 Active Filter의 보상원리대로 제어가 진행이 됨을 알 수 있다. 부하로부터 피드백 받은 전류가 ndq 변환을 거쳐 Low Pass Filter를 통과하여 전류의 역상성분이 추출된다. 또한 피드백 전류는 dq변환을 거치고 역상성분을 뺀 신호가 High Pass Filter를 통과함으로써 고조파성분이 추출된다. 이 두 신호가 바로 보상전류성분 신호가 되며 태양광판넬의 출력과 더하여져 계통과 연결된다.

Active Filter와 결합된 태양광발전시스템의 출력을 확

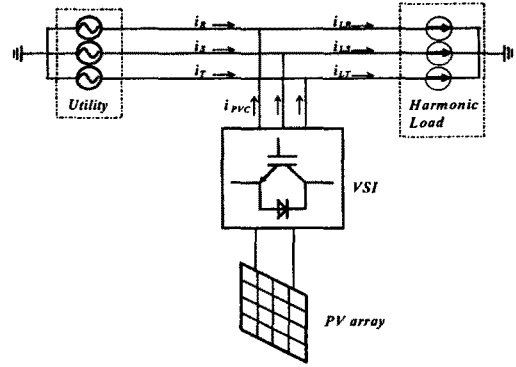


그림 2 PV-AF 시스템의 회로도

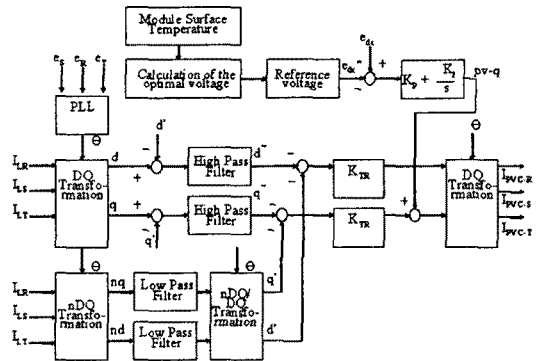


그림 3 PV-AF 시스템의 제어흐름도

표 1 시뮬레이션 조건

Simulation Time	1.4 s	
Simulation sampling time	1μs	
Simulator	PSCAD/EMTDC	
PV array	Rated power	30 kW
	Rated voltage	6 kV
	Rated current	5 A
Utility	Rated voltage	6.6 kV
	Frequency	60 Hz

인하고 효과를 검증하기 위한 시뮬레이션은 PSCAD/EMTDC를 사용하여 이루어졌다. 시뮬레이션에 사용된 조건은 표 1과 같다. 그리고 시뮬레이션에 사용된 분산형전원시스템의 시뮬레이션법 및 태양광발전시스템을 위한 실제 기상 상태는 참고문헌 [9]에서 주어진다. 그림 2의 Harmonic Load에서는 임의로 전원전류의 5% 크기의 5고조파와 3% 크기의 7고조파를 설정하였다.

시뮬레이션 결과는 그림 4, 5, 6으로 나타내어진다.

만약 그림 2의 VSI가 단지 PV 시스템으로만 작동한다면 그 시뮬레이션 결과는 그림 4와 같다. 그림 4에서 나타나듯이 VSI의 출력전류는 고조파를 포함하지 않고 깨끗한 정현파로 흐른다. 하지만, 여전히 계통에는 고조파 전류가 흐르고 있다.

그림 5는 VSI가 AF 시스템만으로 동작할 때의 시뮬레이션 결과이다. 그림 5에서 보듯이 계통으로 유입되는

전류는 AF 시스템에 의해 보상되어져 깨끗한 정현파를 이루고 있다.

PV 시스템에 AF의 기능을 더한 시뮬레이션의 결과는 그림 6에 나타나 있다. 계통에서 유입되는 전류가 깨끗한 정현파가 됨을 확인할 수 있다. 이와 같은 PV-AF 시스템에서, 태양광판넬에서 발생한 출력은 부하로 흐르며, 부족 전류는 계통에서 공급을 받게 된다. 동시에 Active Filter의 보상전류도 VSI로부터 흘러나와 계통측 전류를 정현파로 만들어주게 된다.

6. 결 론

본 논문에서는 Active Filter의 기능을 갖는 태양광발전시스템의 기본적인 특성을 설명하였다. 시뮬레이션 해석을 수행한 결과 Active Filter의 기능을 포함한 태양광발전시스템은 계통의 전력 품질을 향상시키는데 결정적인 역할을 함을 알 수 있었다. 이는 앞으로 태양광발전시스템이 사용되어지는 기회를 넓혀줄 것이고, 태양광발전시스템의 가격대비 기능상승효과도 충분히 예상되어짐을 알 수 있었다.

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] L. Gyugi & C. Strycula : "Active AC Power Filters", IEEE/IAS '76 Annal Meeting, p. 529 (1976).
- [2] H. Akagi, Y. Kanazawa, K. Fujita, A. Nabae : "Generalized Theory of the Instantaneous Reactive Power and its Application", Trans. IEE Japan, Vol. 103-B, No. 7, 1983, pp.41-48.
- [3] L. Gyugi : "Unified Power-Flow Control Concept for Flexible AC Transmission Systems", IEE-Proceedings-C, Vol. 139, pp.323-331, July 1992.
- [4] L. Gyugi, C. D. Schauder, S. L. Williams, T. R. Rietman, D. R. Torgerson and A. Edris : "The Unified Power Flow Controller: A New Approach to Power Transmission Control", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 2, pp.1085-1097, April 1995.
- [5] Mauricio Aredes, Edson H. Watanabe : "New Control Algorithms for Series and Shunt Three-phase four-wire Active Power Filters", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, pp.1649-1656, July 1995.
- [6] W. M. Grady, M. J. Samotyj, and A. H. Noyola : "Survey of active power line conditioning methodologies", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 5, pp.1536-1542, 1990.
- [7] W. M. Grady, M. J. Samotyj, and A. H. Noyola : "The application of network objective functions for actively minimizing the impact of voltage harmonics in power systems", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 7, pp.1379-1386, 1992.
- [8] H. Akagi, Y. Kanazawa, A. Nabae : "Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage components", IEEE Trans. on Ind. Application, vol. IA-20, pp.625-630, 1984.
- [9] Minwon Park, Kenji Matsuura, Masakazu Michihira : "A Novel Simulation Method of PV cell using Field Data", Trans. IEE Japan, Vol. 121-B, No. 2, 2001, pp.262-263.

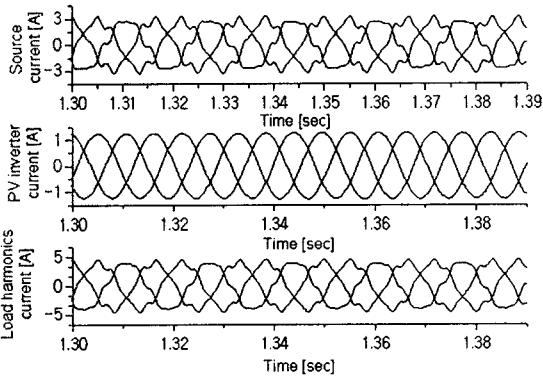


그림 4 VSI가 PV system만으로 동작할 때의 결과

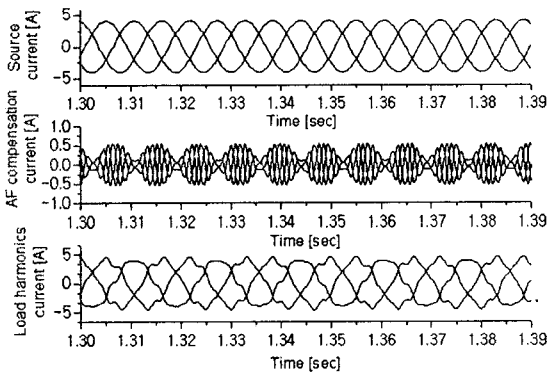


그림 5 VSI가 AF system만으로 동작할 때의 결과

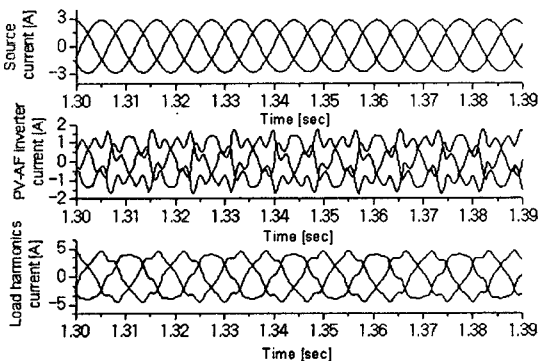


그림 6 PV-AF 시스템의 시뮬레이션 결과