

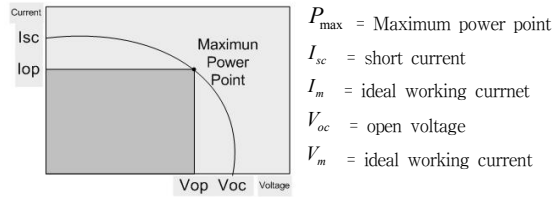
태양광 발전의 계통 도입을 고려한 전력품질 개선에 관한 연구

이태영*, 하광호*, 고연성*, 유현재*, 이종수*, 윤창대*, 신명철*
성균관대학교*

A Study of Improve Power Quality for the Power System interconnected to Photovoltaic System.

Tae-Young Lee*, Kwang-Ho Ha*, Yeon-Seong Ko*, Hyun-Jae Yoo*, Jong-Soo Lee*, Chang-Dae Yoon*, Myong-Chul Shin*
SungKyunKwan University*

Abstract - 정보통신기기 및 컴퓨터시스템 등은 순간전전, 전압변동, 노이즈, 정전기, 고조파전류 등의 영향을 쉽게 받는다. 따라서 이러한 점을 충분히 고려하여 신뢰성과 안전성을 확보하도록 구성되어야 한다. 전력 품질이 강조되는 이유는 컴퓨터는 물론 각종 가전제품 등이 복잡하고 정밀한 전자회로로 구성되어 있어 조그만 전압변동이나 정전사고에도 전자회로가 오작동을 일으키거나 고장날수 있기 때문이다. 이에 본 논문에서는 분산형 태양광 발전이 계통에 연계되었을 경우 발생할 수 있는 전력품질에 영향을 미치는 요인 중 하나인 고조파를 저감시키기 위한 능동형 필터 모델을 제안한다. 본 논문에서의 필터 모델은 PSIM을 이용하여 분석하였으며, 능동형 필터 시스템의 장착 전·후의 고조파 및 잡음 성분을 FFT를 이용하여 분석하여 시스템의 적용 가능성과 효용성을 본 논문에서 증명 하였다.

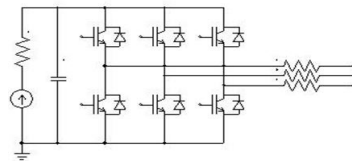


〈그림 1〉 PV cell의 V-I 곡선

태양전지의 출력은 I_{sc} 와 V_{oc} 를 잇는 사각형면적에 나타내진다. 효율적으로 사용하기 위해서 면적을 최대로 하는 I_{sc} 와 V_{oc} 를 설정할 필요가 있다. 그림 2은 PSIM을 이용한 1kw급 PV cell 모델과 제어도이다.

1. 서 론

일반적으로 계통 연계형 태양광 발전 시스템은 태양전지와 여기서 발생된 전력을 계통에 공급하는 전류 제어형 인버터로 구성된다. 이러한 기존의 시스템은 단순히 태양광으로부터 발전된 전력을 인버터 (또는 컨버터)의 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어에 의하여 계통에 공급하는 방식으로 일사량이 있는 주간에만 이용할 수 있어 높은 설치비에 비하여 이용률이 매우 저조할 뿐만 아니라, 주태 등과 같은 계통역률 발생 부하에 적용 시 MPPT 운전에 의한 유효전력 지원으로 계통의 역률은 오히려 악화되는 문제점을 가지고 있다[1]. 전력품질의 문제는 크게 전류와 전압의 문제로 구분 지을 수 있는데, 그 중 전류의 문제는 고조파와 역률 저하 등이 있으며, 전압의 문제로는 순간전전, 순간전압 강하, 순간 전압 상승, 상(相)의 전원전압 불평형 등이 있다. 전원전압 불평형으로 인해 발생하는 문제는 순간전압강하에 의한 문제와 전류 고조파에 의한 문제보다 직접적이고 그 규모도 크다 할 수 있다. 전압의 문제로 인해 각종 컴퓨터 시스템으로 동작하는 기기들이 민감한 부하의 오동작이나 고장 등을 유발할 수 있으며, 비선형 부하에 저주파수의 고조파를 발생시키고, 시스템의 용량을 증대시키는 요인으로 작용할 수 있다[2,3]. 본 논문에서는 태양광 발전시스템의 활용도를 높이고 설치효과를 극대화하기 위하여 전력품질 개선기능을 갖는 능동필터를 제안한다. 제안한 모델은 고조파와 역률을 보상하고, 동시에 불평형 전원전압을 보상할 수 있게 되어 있다. 본 논문에서 제안된 알고리즘은 능동필터와 무효전력과의 관계를 이용하여 성능함수를 정의 하였으며, 이 성능함수를 최소화함으로써 전원에서 발생하는 고조파를 최소화하고 역률을 개선시킬 수 있게 하였다.



〈그림 2〉 태양광 셀 모델

C_{var} 의 용량은 C_p 의 용량과 같으며 C_{var} 의 용량은 내부전압 V_d 와 함께 변한다. 내부전압 신호는 시간간격을 작고 일정하게 한 실극점을 가지는 함수에 필터링 되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 시간 크기는 시뮬레이션 안정도를 위한 제한 때문에 가능한 최소화하고 시간 프레임의 비교는 무시하는 것으로 한다. 그러므로 시뮬레이션 타임 스텝은 2us가 적당하다.

2.2 제안한 능동필터

그림 3는 직렬형 능동전력필터와 병렬형 수동전력필터를 병용하여 전력품질을 개선하고자 통합된 능동전력필터를 PSIM으로 제시하였다[6].

2. 태양광 능동 필터 시스템

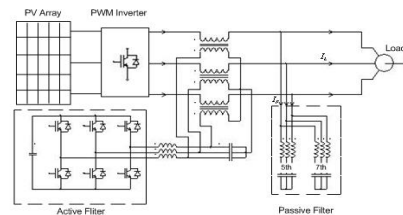
2.1 태양광 발전 시스템

태양광발전시스템에서 PV-Array는 여러 개의 태양전지의 직렬, 병렬 연결을 통해 구성되며, 연결 개수를 조정하는 것을 통해 PV Array는 계통연계를 위한 적절한 전류 및 전압의 출력 값을 확보할 수 있다. 여기에서 사용된 태양전지는 하나의 다이오드를 이용한 모델이며 해당 모델의 특성 방정식은 다음 식 (1), (2)와 같다.

$$I_{pv} = I_p - I_D - I_{sh} \quad (1)$$

$$I_p - I_o \left[e^{\frac{q(V_{pv} + R_s I_{pv})}{NkT}} - 1 \right] - \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_{sh}} \quad (2)$$

다음 그림 1은 태양전지의 $I_{pv} - V_{pv}$ 의 특성곡선이다. 다수의 태양전지로 구성된 PV Array는 직렬로 연결된 전지에 의한 전압 특성과 병렬로 연결된 전지에 의한 전류 특성에 의해 결정된다.



〈그림 3〉 능동전력 필터

이 시스템에서 병렬형 수동필터는 비선형 부하와 병렬로 연결되어 전력시스템에서 발생될 수 있는 가장 큰 차수의 고조파인 5차와 7차 고조파를 bypass 시키는 역할을 하게 된다. 그리고 직렬형 능동전력필터는 전원과 부하 사이에 직렬로 연결된 전압원으로써 부하에서 발생된 고조파를 차단하는 역할을 한다. 이와 같이 병렬 수동필터와 직렬형 능동필터의 결합시스템은 병렬 수동필터만 썼을 경우에 야기될 수 있는 전원 임피던스와의 직렬공진현상을 직렬형 능동필터를 사용함으로써 막을 수 있다는 장점이 있다. 그리고 직렬형 능동필터만 썼을 경우에 비해서 병용시스템을 쓴 경우에는 직렬형 능동필터의 용량이 크게 줄어들게 되기 때문에 직렬형 능동필터의 소형화가 가능해지게 된다. 또한 기존에 설치되어 있는 병렬형 수동필터를 최대한 활용할 수 있다는 큰 장점이 있다 [6].

고조파 보상을 위한 직렬형 능동전력필터의 보상 전압은 다음 식 (3), (4), (5)와 같다[6].

$$V^* C_a = \frac{\sqrt{3}(i_{sb} - i_{sc}) \cdot \tilde{q}}{2(i_{sa}^2 + i_{sb}^2 + i_{sc}^2 - i_{sa}i_{sb} - i_{sb}i_{sc} - i_{sc}i_{sa})} \quad (3)$$

$$V^* C_b = \frac{\sqrt{3}(i_{sc} - i_{sa}) \cdot \tilde{q}}{2(i_{sa}^2 + i_{sb}^2 + i_{sc}^2 - i_{sa}i_{sb} - i_{sb}i_{sc} - i_{sc}i_{sa})} \quad (4)$$

$$V^* C_c = \frac{\sqrt{3}(i_{sa} - i_{sb}) \cdot \tilde{q}}{2(i_{sa}^2 + i_{sb}^2 + i_{sc}^2 - i_{sa}i_{sb} - i_{sb}i_{sc} - i_{sc}i_{sa})} \quad (5)$$

역률 개선을 위한 병렬형 수동 필터의 보상 전류는 다음 식 (6), (7), (8)과 같다[6].

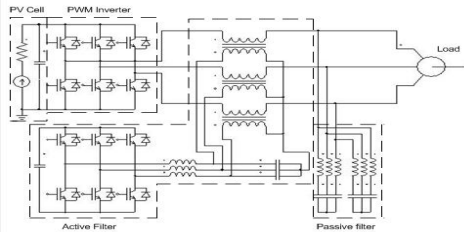
$$i^* C_a = \frac{\sqrt{3}(i_{sb} - i_{sc}) q}{2(i_{sa}^2 + i_{sb}^2 + i_{sc}^2 - i_{sa}i_{sb} - i_{sb}i_{sc} - i_{sc}i_{sa})} \quad (6)$$

$$i^* C_b = \frac{\sqrt{3}(i_{sc} - i_{sa}) q}{2(i_{sa}^2 + i_{sb}^2 + i_{sc}^2 - i_{sa}i_{sb} - i_{sb}i_{sc} - i_{sc}i_{sa})} \quad (7)$$

$$i^* C_c = \frac{\sqrt{3}(i_{sa} - i_{sb}) q}{2(i_{sa}^2 + i_{sb}^2 + i_{sc}^2 - i_{sa}i_{sb} - i_{sb}i_{sc} - i_{sc}i_{sa})} \quad (8)$$

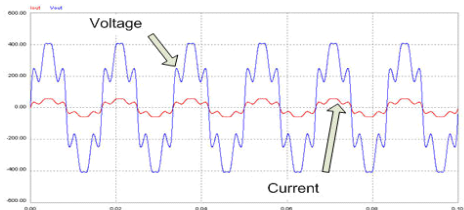
3. 태양광 시스템에 능동 필터 연계

다음의 그림 4는 P-SIM으로 모델링 한 하이브리드형 능동형 전력필터를 사용한 계통 연계형 태양광발전시스템을 나타내었다. PV Cell은 전류원으로 나타내었고 PWM 인버터는 직류 출력을 무효전력을 포함한 교류 출력으로 변환시키며 인버터의 스위칭 작용 시 고조파가 발생하는 것을 확인 하였다.



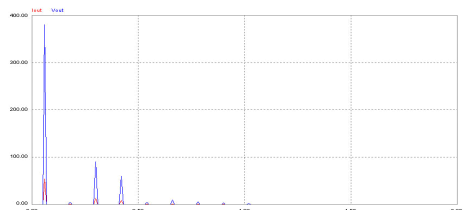
〈그림 4〉 계통 연계형 태양광 발전 시스템

본 절에서는 고조파 전류원에 대한 실험 결과를 제시하였다. 즉, 3상 3선식 하이브리드형 능동전력필터를 사용하여 고조파 전류원에서의 고조파와 역률에 대한 보상 전과 후의 파형들을 보여주고 있다. 각각의 파형들은 3상 전압 및 전류 중 a상의 전압, 전류를 나타내고 있다.



〈그림 5〉 능동 필터 통과 전 파형

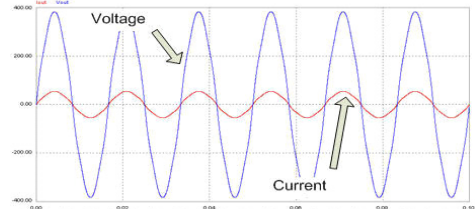
그림 5는 능동 필터를 통과 하기 전 태양광 시스템에서 발생하는 전압, 전류 파형을 나타낸다. 전압, 전류 파형이 고조파 성분들로 인하여 왜곡되어 있는 것을 확인 할 수 있다. 전류 THD는 28.2%이며, 역률은 93%이다.



〈그림 6〉 필터 통과 전 파형 FFT 분석결과

그림 6은 그림 5의 전압, 전류 파형을 FFT로 분석한 결과이다. 그림과 같이 분석결과 5고조파와 7고조파의 성분이 많은 것으로 나타났다. 이러한 고조파 성분들은 전력품질을 저하시켜 기기의 수명 단축 또는 오동작을 일으킬 수 있다.

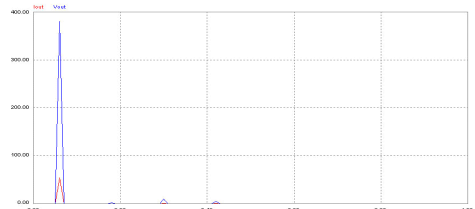
다음 그림 7은 Photovoltaic System에 Hybrid Active Filter를 적용한 경우의 출력단에서 부하측으로 유입되는 전압, 전류 파형을 나타낸 것이다. 그림 7에서 보는 바와 같이 직렬형 능동필터에서 고조파 성분이 제거되고 병렬형 수동필터에서는 역률이 개선되어짐을 확인 할 수 있다. 이때의 전류 THD는 5%이고, 역률은 98%로 확인 되었다.



〈그림 7〉 능동필터 통과 후 파형

그림 8에서는 그림 7의 파형을 FFT로 분석한 결과이다. 5고조파와 7고조파가 눈에 띄게 감소 된 것을 확인할 수 있다.

이처럼 계통연계형 태양광발전시스템에 하이브리드 능동형 전력필터를 적용시킨 결과 신뢰성과 안전성을 확보할 수 있도록 전력품질이 개선되어짐을 알 수 있었다.



〈그림 8〉 필터 통과 후 파형 FFT 분석결과

3. 결 론

본 논문에서는 태양광 발전시스템의 활용도를 높이고 설치효과를 극대화하기 위하여 전력품질 개선기능을 갖는 하이브리드형 능동전력필터를 적용한 계통 연계형 태양광발전시스템을 제안하였다. 제안하는 알고리즘과 시스템의 검증을 위하여 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 하였으며, 태양광발전시스템 인버터의 스위칭 동작으로 발생하는 고조파를 제거하기 위하여 하이브리드형 능동전력필터 시스템의 장작 전, 후의 파형을 비교하였다. 이때, 고조파 및 무효전력의 보상을 THD 5%미만의 보상효과를 나타내었고 역률이 거의 1에 가까운 값을 나타내었다. 이러한 하이브리드형 능동전력필터는 태양광발전시스템 뿐만 아니라 풍력 및 연료전지 같은 신재생 에너지를 이용한 계통 연계형 분산전원 시스템에 즉시 적용이 가능할 것으로 예상된다.

[참 고 문 헌]

- [1] N. G. Hingorani, "Introducing Custom Power", IEEE Spectrum, pp.41-48, 1995
- [2] K. Haddad, et al. "Distribution System Voltage Regulation under Fault Conditions Using Static Series Regulators", IEEE IAS Conf. Record, pp.1383-1389, 1997.
- [3] Swiegers, W.; Enslin, J.H.R, "An integrated maximum power point tracker for photovoltaic panels", Industrial Electronics, Proceedings. ISIE '98. IEEE International Symposium on, Volume 1,7-10 July 1998, pp.40 - 44 vol.1
- [4] H. Fujita, H. Akagi. "The Unified Power Quality Conditioner(UPQC): the Integration of series and shunt Active Filter", IEEE Trans. On Power Delivery, Vol.13, No.2, , 1998. pp.315-322
- [5] Jou, H.-L.; Wu, J.-C.; Wu, K.-D. "Parallel operation of passive power filter and hybrid power filter for harmonic suppression", Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings, Volume 148, Issue 1, Jan. 2001, pp. 8 - 14
- [6] 강민형, "직, 병렬 능동전력필터 시스템을 이용한 불평형 전원전압 보상", 인하대학교 대학원 석사학위 청구논문, 2007