

3상 계통 연계형 태양광 발전 시스템용 인버터

정진범	김희준	백수현	이 주	안강순
한양대학교	한양대학교	동국대학교	한양대학교	(주)윌링스
전자전기제어계측공학과	전자·컴퓨터공학부	전기공학과	전자전기컴퓨터공학부	

The 3-phase Inverter for Grid Connected PV Generation System

Jin-Beom Jeong	Hee-Jun Kim	Soo-Hyun Baek	Ju Lee	Kang-Soon Ahn
Hanyang Univ.	Hanyang Univ.	Dongguk Univ.	Hanyang Univ.	Willings Co.,LTD

Abstract - The capability of unity-interactive type in PV generation system depends on its use. In a house, needs such a small capability, a single-phase output of PV can afford. But 3-phase output of PV is required in a case of big capabilities or a PV system directly interactive to 3-phase grid. To verify a validity of a large capable distributed-generation system supplied the proposed method, a 10kW inverter was realized in this paper. And from the results, the system is confirmed its stable operation and validness.

1. 서 론

태양광, 연료전지, 풍력과 같은 신재생 에너지가 새로운 분산형 발전으로 관심이 고조되고 있다. 특히 태양광 발전은 무한한 에너지원이며 친환경성이라는 장점을 지니고 있어 가장 이상적인 대체 에너지원으로 인식되어 활발한 연구가 진행되어 왔다.

태양광 발전은 시스템의 상용계통 연계여부에 따라 독립형과 계통연계형으로 나뉘어진다. 독립형은 전력공급이 용이치 않는 산간오지나 섬 등에서 단독 혹은 소수의 전력소비자를 위한 형태로 시스템 제어가 용이하다는 장점을 지니고 있다. 그러나 독립형은 발전이 이루어지지 못하는 야간이나 우천시 등에 대비하여 배터리와 같은 일정 용량의 에너지 저장장치를 필요로 한다. 계통 연계형은 상용계통과 연계되어 있으므로 분산형 발전 시스템으로 이용이 가능하다는 장점과 더불어 시스템의 보호 및 안정적인 동작을 위해 제어 알고리즘이 복잡해지는 단점을 지닌다.

또한 태양광 발전 시스템은 적용설비에 따라 용량을 달리하게 된다. 주택과 같은 소용량의 설비에서는 단상 출력의 태양광 발전 시스템이 주로 이용되며 대용량 설비 또는 3상 계통과 직접 연계되어야 하는 경우에는 태양광 발전 시스템 또한 3상 출력을 갖는 형태로 구성되어야만 한다.

본 논문에서는 대용량의 분산형 발전으로 적용이 가능한 10kW급 태양광 발전 시스템을 구성하고 시스템의 주요 기기인 3상 인버터를 제작하였다. 인버터는 3상 출력이 계통에 직접 연계 가능하도록 변압기를 포함하고 있으며, 태양전지의 최대 출력에서 동작 가능하도록 MPPT 제어기능이 구현된 제어기를 사용하였다. 또한 계통차단시 태양광 발전시스템이 단독으로 운전되는 독립운전을 방지하기 위하여, 계통 차단을 검출하고 태양광 발전시스템의 정지가 가능하도록 독립운전검출 기법을 적용하였다. 제작된 인버터의 실험결과로부터 시스템

동작의 안정성 및 유효성을 확인하였고 대용량 분산형 발전 시스템으로의 유용성을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 계통 연계형 태양광 발전용 인버터

상용계통과 연계를 위해 구성된 계통 연계형 태양광 발전 시스템은 단상 출력과 3상 출력으로 구분될 수 있는데 그림 1과 같이 단상 출력을 갖는 소용량의 태양광 발전 시스템의 경우 계통과 전력변환기 출력의 연결이 직접적으로 연결되어질 수 있다. 그러나 그림2와 같이 3상 계통에 연계되어질 경우에는 필수적으로 변압기를 사용하여야 하며 이에 따라 발전 시스템 출력제어시 변압기 특성을 고려하여야 한다.

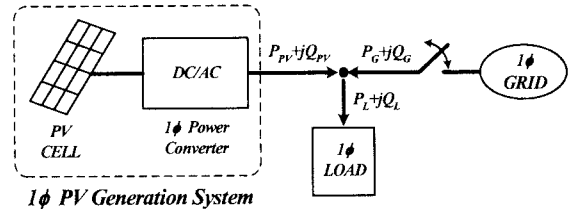


그림 1. 단상 계통연계형 태양광 발전 시스템 구성도

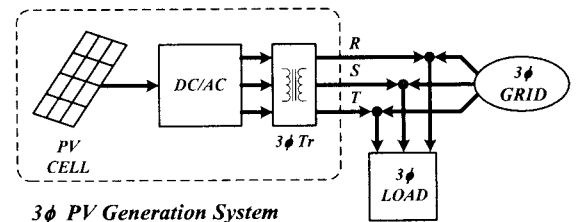


그림 2. 3상 계통연계형 태양광 발전 시스템 구성도

2.2 3상 태양광 발전용 인버터의 제어 및 구성

3상 출력을 갖는 계통연계형 인버터의 경우 기존의 단상 인버터의 경우와 동일하게 그림 3에서와 같이 태양전지의 출력 전압 및 전류를 검출함으로써 최대출력점에서 동작(MPPT)하도록 제어한다. 그러나 단상 계통연계형 인버터와는 달리 시스템 출력은 각 상전력(R상, S상, T상)의 합으로 나타나게 된다. 따라서 세 상전력의 합이 최대 출력값이 되도록 제어하여야 한다. 이는 각

상에 연결된 부하의 크기가 다를 경우, 즉 부하간 불평형이 발생하는 경우에는 MPPT 제어를 위해 각 상전력이 모두 검출되고 제어되어야 함을 말한다. 그러나 계통 연계형의 경우 부하 불평형이 발생하더라도 계통을 통해 잉여분 혹은 부족분의 전력을 주고받을 수 있기 때문에 발전시스템의 출력전력은 세 상이 모두 동일하도록 평형 상태로 제어된다. 따라서 MPPT 제어를 위해 모든 상 전력을 이용하지 않고 단지 한 상의 출력전력만을 고려하면 된다. 그러므로 제어기의 알고리즘의 간략화, 연산 지연의 최소화에 유리해진다.

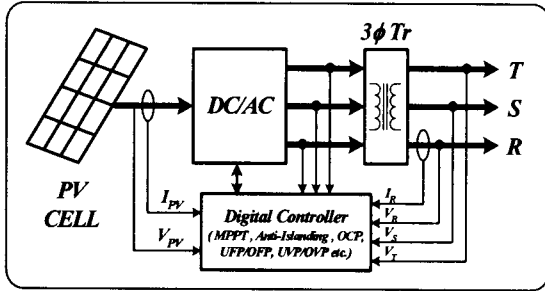


그림 3. 3상 PV 시스템 제어기의 개략적 구성도

본 논문에서는 그림 3에서 나타낸 것과 같이 태양광 발전 시스템의 제어기를 구성하였다. MPPT를 위해서 태양전지의 출력 전압 V_{PV} 및 전류 I_{PV} 검출하였다. 3상 인버터의 출력을 확인하여 이상동작을 보호하기 위해, 3상변압기 1차측에서 보호동작을 위한 전압검출이 이루어진다. 또한 계통전압과 동일한 위상으로 출력전압을 내보내야 하므로 위상 동기화를 위한 각 상전압의 검출이 요구된다. 그러나 이 때 두 상전압의 위상변환만으로 나머지 한 상의 위상이 유추가능하다. 따라서 위상동기를 위한 검출은 두 상으로 충분하다. 단지 시스템의 안정성을 높이기 위하여 각 상에 저전압/과전압, 저주파/고주파 보호회로를 첨가하였으므로, 이를 위한 전압검출이 세 상 모두에서 이루어졌다.

또한 계통 연계형 태양광 발전시스템은 계통과의 연결이 차단되었을에도 발전이 지속되는 독립운전 상태에 주의하여야 한다. 독립운전상태는 계통 기기의 손상 및 전력품질 저하, 인명피해등을 야기시킬 수 있기 때문이다.

독립운전상태를 방지하기 위한 방법은 많은 방법이 연구되고 있는데 본 논문에서는 무효전력을 이용하여 독립운전 상태를 검출하는 방법을 적용하였다. 이 방법은 출력전력에 무효전력성분이 포함되므로 출력전압과 출력전류의 위상차가 발생하게 된다. 따라서 무효전력성분의 존재에 따른 계통역률에 악영향을 미치게 되는데, 본 논문에서는 독립운전 검출을 위한 최소 크기로 제한하여 계통 역률에 미치는 영향을 최소화 하였다. 무효전력 성분은 유효전력성분의 2.5% 내의 값으로 제한하였다.

3상 출력을 계통과 연결하기 위하여 Δ -Y 결선 형태로 구성된 3상변압기를 사용하였다. 또한 1차측에 L-C 필터를 구성하여 출력전압을 안정화 하였다.

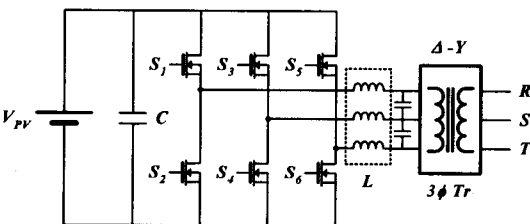


그림 4. 3상변압기를 이용한 인버터 구성

3상 변압기는 1차, 2차 권선비를 이용하여 2차전압을 승압시킬 수 있다. 그러므로 일반적인 태양광 발전 시스템에서 태양전지 전압을 승압한 후 인버터를 구성하는 것과 달리, 태양전지 전압을 직접 인버터에 입력하여도 된다. 본 논문에서도 변압기 2차 전압을 계통 전압으로 승압할 수 있도록 제작하였다. 그림5에 주문제작된 변압기와 인덕터의 실물을 나타내었다.

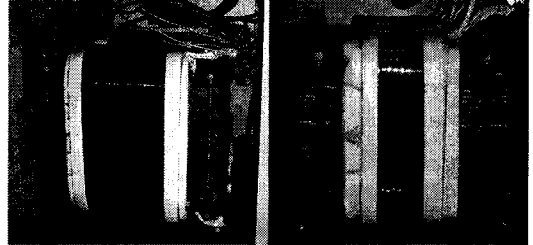
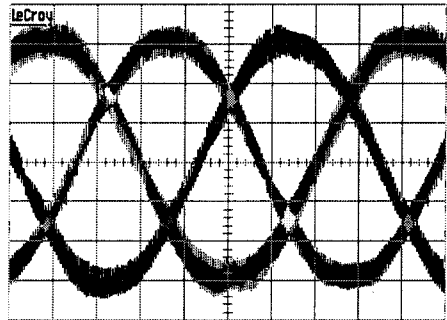


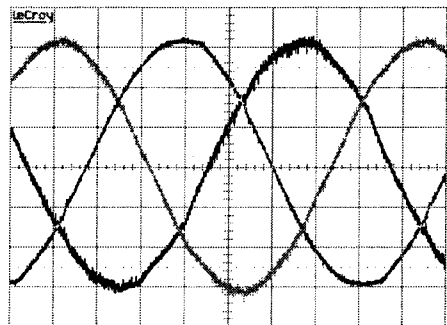
그림 5. 제작된 3상 변압기(좌)와 인덕터(우) 실물

2.3 실험결과 및 파형

그림 6은 3상 출력을 갖는 계통연계형 인버터의 1차측 전압과 2차측 전압을 나타내고 있다. 1차측 전압에 비해 계통과 연계된 2차측이 노이즈성분이 많이 감소된 것을 볼 수 있다. 이는 변압기 자체 인덕턴스와 커패시턴스 성분이 필터 역할을 하기 때문이다.



(a) 1차측 전압파형(50[V]/Div)



(b) 2차측 전압파형(100[V]/Div)

그림 6. 3상 변압기의 전압파형(2[ms]/Div)

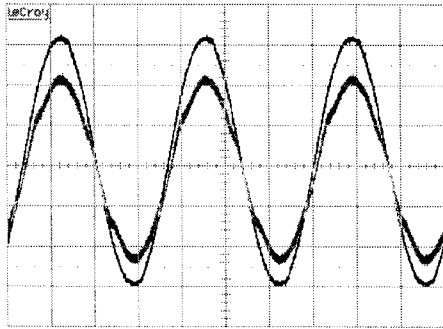


그림 7. 태양광 발전 시스템 R상 출력
(5[ms]/Div, 100[V], 10[A]/Div)

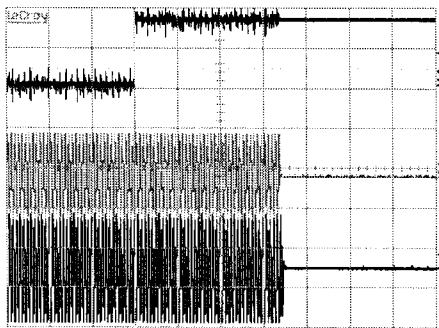


그림 8. 태양광 발전 시스템 출력의 독립운전 검출
(200[ms]/Div, 20[V], 20[A], 400[V]/Div)

그림 7은 제작된 태양광 발전 시스템의 최대출력시 R상의 출력전압 및 전류를 나타낸 것으로 S상, T상은 동일한 출력으로 제어되고 있다.

그림 8은 적용된 독립운전 방지기법의 성능을 보여주는 파형으로 계통차단신호(상), 시스템 출력전류(중), 시스템 출력전압(하)를 나타낸다. 계통 차단 실험을 위해 연계 스위치의 차단신호를 임의의 입력한 것으로 20[V]이상의 전압이 나타나면 스위치를 OFF 시켜 계통과 차단을 하게 된다. 실험은 계통으로부터 주어지는 전력이 없는, 즉 부하와 발전시스템의 출력이 동일한 경우에서 진행하였다. 이는 독립운전 검출이 가장 어려운 경우이다. 적용된 무효전력을 이용한 검출법의 성능을 그림8에서 살펴보면 차단에서 검출시까지 약 0.7초 정도가 필요한 것으로 나타났다. 이는 일반적으로 독립운전 검출기준인 1초이내의 값으로 10kW의 대용량 시스템에서도 적용된 기법이 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 계통연계형 태양광 발전 시스템을 구성하였다. 대용량의 분산전원에 적용이 가능하도록 10kW 3상으로 구성하였으며, 시스템용 3상 인버터를 직접 제작하였다. 제작된 인버터의 실험을 통하여 3상 시스템이 계통과 연계될 때 변압기의 존재로 인하여 승압회로가 있어도 되며 보호동작을 위한 검출, 제어기에 구현되어야 할 기능들에 대해 살펴보았다. 또한 적용된 무효전력을 이용한 독립운전 검출법의 성능을 확인하였다. 제작된 인버터의 실험결과들로부터 시스템 동작의 안정성 및 유효성을 확인하였고 대용량 분산 전원으로서의 가능성을 확인하였다.

본 연구는 산업자원부에서 시행한 전력산업연구개발사업의 지원에 의하여 수행된 연구결과입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 황진수, "분산형전원이 도입된 배전계통에 대한 Islanding Detection Method", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp 522~524, 2000.
- [2] M.E. Ropp, "Analysis and Performance Assessment of the Active Frequency Drift Method Of Islanding Prevention", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 14, No. 3, pp, 811~816, 1999.
- [3] S. Agematsu, S. Imai, "Islanding Detection System With Active and Reactive Power Balancing Control for Tokyo Metropolitan Power System and Actual Operational Experiences", IEE Developments in Power Protection Conference, No.479, pp 351~354, 2001.
- [4] Woyte. A., Belmans. R., Njts. J., "Testing the islanding protection function of photovoltaic inverters", Power Engineering Society General Meeting, 2003, IEEE , Volume: 4 , 13-17 July 2003