

고 효율, 저 잡음 특성을 가지는 양방향 태양광 인버터

이성호*, 권정민**, 권봉환*
포항공과대학교*, 한밭대학교**

Bi-directional photovoltaic inverter with high efficiency, low noise

Sung Ho Lee*, Jung Min Kwon**, Bong Hwan Kwon*
Pohang University of Science and Technology*, Hanbat National University**

ABSTRACT

본 논문에서는 에너지 저장 장치를 포함한 태양광 발전 시스템에 적합한 고 효율, 저 잡음 특성을 가진 양방향 태양광 인버터를 제안한다. 제안하는 인버터는 태양광 발전 시스템에서의 보다 안정적인 전력운용 위해 계통과 직류 전원간의 전력제어를 수행하며, 무 변압기형으로써 고효율 특성을 가진다. 또한 태양전지와 대지 사이에 존재하는 기생 커패시터를 통해 흐르는 누설전류를 제한하여 시스템의 신뢰도를 향상시키고, 저 잡음 특성을 가진다. 최종적으로 제안하는 인버터의 3kW급 시제품을 제작하였고, 이를 이용한 실험결과를 바탕으로 제안하는 양방향 인버터에 우수성 및 타당성을 검증한다.

1. 서 론

태양광 발전은 일사량과 같은 환경 여건에 따라 발전량이 급변하여 연속적이고 안정적인 전력생산이 불가능하다. 최근에는 배터리와 같은 에너지 저장 장치를 활용하여 보다 효율적이고, 신뢰도 높은 태양광 발전 시스템 운용이 요구된다. 에너지 저장 시스템과 연계 시, 계통과 직류전원간의 전력제어가 가능한 양방향 인버터가 필요하다. 이 때, 인버터는 변압기의 유무로 구분이 가능하다. 최근에는 시스템의 효율과 가격을 고려하여 무 변압기형 인버터가 주류를 이룬다.

한편, 태양전지의 물리적 특성상 태양전지와 대지 사이에 기생 커패시터가 존재한다. 태양광 발전 시스템에 무 변압기형 인버터를 적용 시, 기생 커패시터에 의해 태양전지와 계통간의 전기적 연결이 이뤄진다. 이를 통해 흐르는 전류를 누설 전류라 부르며, 누설전류의 크기는 기생 커패시터 전압의 시간에 대한 변화율 즉, dv/dt 값에 의해 결정된다. 높은 누설 전류는 공통모드 잡음을 증가시키고, 태양전지의 소실과 인명 피해까지 야기한다.^[1] 따라서, 무 변압기형 태양광 인버터 설계 과정에서 누설전류는 중요한 변수로 작용한다.

본 논문에서는 무 변압기형의 고 효율 특성을 가지며, 동시에 기생 커패시터를 통해 흐르는 누설전류를 제한하여 시스템의 신뢰도를 향상시키고, 저 잡음 특성을 가지는 양방향 태양광 인버터를 제안한다.

2. 제안하는 고 효율, 저 잡음 특성을 가진 양방향 태양광 인버터

2.1 구성 및 특징

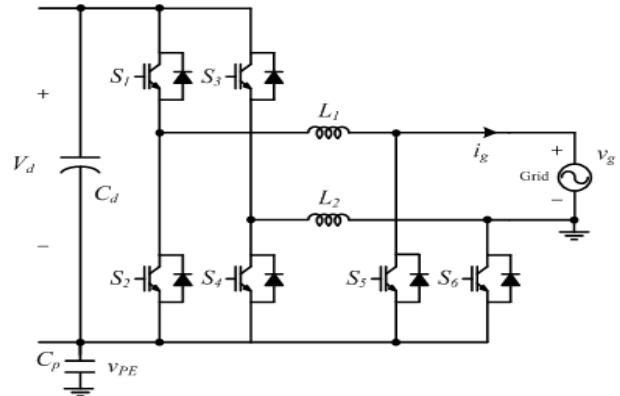


그림 1 제안하는 양방향 인버터의 회로도

그림 1은 제안하는 양방향 인버터이며, dc link 커패시터 C_d 와 필터 인덕터 L_1 과 L_2 그리고 스위치 $S_1 \sim S_4$ 로 구성된 풀 브릿지 회로에 스위치 S_5 와 S_6 가 추가된 구조이다. C_p 는 태양전지의 기생커패시터를 나타낸다. 제안하는 인버터는 계통 주파수로 동작하는 스위치 S_5 와 S_6 를 이용하여 저 잡음 특성을 가진다. 계통의 양의 반주기 동안, 스위치 S_6 를 통해 직류 전원측의 negative단과 대지를 연결하여, 기생 커패시터 전압 v_{PE} 를 0으로 유지한다. 반면 음의 반주기 동안, 스위치 S_5 를 통해 기생커패시터 C_p 와 계통을 병렬로 연결시킨다. 따라서 기생 커패시터의 전압 v_{PE} 에 고 주파수 성분이 존재하지 않고, 시간에 대한 변화율 dv_{PE}/dt 가 낮기 때문에 누설전류를 제한할 수 있다.

2.2 제어 및 동작원리

그림 2는 제안하는 양방향 인버터의 제어 블록도이다. 계통과 직류전원간의 요구하는 전력에 따라 dc link 전압 V_d 는 변한다. 이는 dc link 전압을 제어하여 전력 제어가 가능함을 의미하며 전압 제어를 통해 전원간의 요구하는 전력분에 대한 계통 전류 지령치 I_g^* 가 결정된다. 그리고 단일 역률을 얻기 위해 계통전압과의 위상 동기화 즉, PLL(Phase locked loop)과 전류제어를 이용하여 듀티비(duty ratio) D 를 얻는다. 듀티비 D 는 양의 반주기에서는 스위치 S_1 의 듀티비로 정해지고, 음의 반주기에서는 스위치 S_3 의 듀티비가 된다.

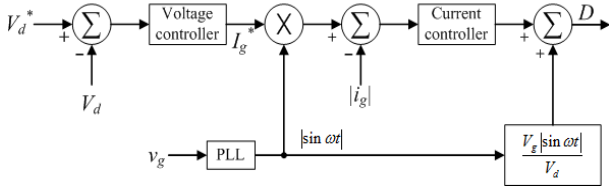


그림 2 제안하는 양방향 인버터의 제어블록도

제안하는 인버터의 동작은 양의 반주기에서는 스위치 S_1 과 S_2 가 상보적으로 고 주파수 스위칭 동작하고, 스위치 S_6 는 항상 On 상태로 유지된다. 음의 반주기에서는 스위치 S_3 와 S_4 가 상보적으로 고 주파수 스위칭 동작하고 스위치 S_5 가 항상 On 상태로 유지된다. 제안하는 인버터는 직류 전원에서 계통으로 전력전달 시 인버터 모드로 동작하고, 이 경우엔 강압형 컨버터 (buck converter)와 같이 동작한다. 반면, 계통에서 직류 전원으로 전력전달 시 정류기 모드로 동작하며, 제안하는 회로는 승압형 컨버터 (boost converter)와 같이 동작한다.

3. 실험결과

제안하는 양방향 인버터의 동작 및 성능을 검증하기 위해 3kW 시작품을 제작하여 실험을 하였다. 실험조건은 스위칭 주파수 16kHz, 계통 전압은 220 V_{rms}, 60Hz이며, dc link 전압은 360V로 설정하였다. 기생 커패시터 C_p 는 실리콘 태양전지에서 0.1μF/kW로 추정하기 때문에 0.3μF로 설정하였다.

그림 3(a)는 인버터 모드 동작 시의 3kW 정격에서의 계통 전압과 전류이며, 계통 전류는 계통 전압과 동상인 정현파이다. 이때의 역률은 0.999이다. 그림 3(b)는 기생 커패시터 전압과 누설전류이다. 기생 커패시터 전압에는 고 주파수 성분이 존재하지 않아 누설전류가 제한됨을 확인할 수 있다. 이때의 누설 전류는 35mA이다. 그림 4(a)는 정류기 모드에서의 계통전압과 전류이다. 계통전류는 계통전압과 180° 위상차의 정현파이며, 이때의 역률은 0.998이다. 그림 4(b)를 통해 정류기 모드에서도 낮은 누설전류가 나타남을 확인할 수 있고, 측정된 누설전류는 32mA이다.

제안하는 양방향 인버터에 대한 보다 객관적인 평가를 위해 동일한 실험조건 하에서 기본 풀 브릿지 인버터에 바이폴라 변조방식과 유니폴라 변조방식을 각각 적용하여 실험하였다. 일반적으로, 유니폴라 방식이 적용된 풀 브릿지 인버터는 바이폴라 방식이 적용된 풀 브릿지 인버터보다 효율면에서 우수하지만, 누설전류가 매우 높다^[2]. 표 1은 제안하는 양방향 인버터와 각 변조방식을 적용한 풀 브릿지 인버터에 대한 실험결과이다. 표 1에서 확인할 수 있듯이, 제안하는 양방향 인버터가 효율과 누설전류제한이란 두 가지 측면 모두에서 가장 우수한 결과를 보였다.

4. 결론

본 논문에서는 고 효율, 저 잡음특성을 가진 양방향 태양광 인버터를 제안하였다. 제안하는 양방향 인버터는 무 변압기형으로써 시스템의 효율을 향상시키고, 태양전지와 대지사이에 흐르는 누설전류를 제한하여 시스템의 안정성 및 저 잡음 특성을 가진다. 따라서 제안하는 양방향 인버터는 에너지 저장 장치를 포함하는 태양광 발전 시스템에 적합할 것으로 기대된다.

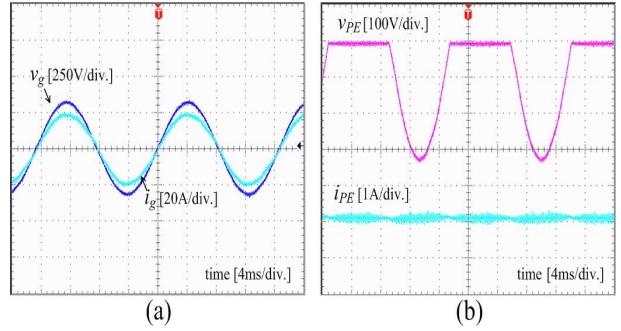


그림 3 인버터 모드 실험파형 (a) 계통전압 v_g 와 전류 i_g (b) 기생 커패시터 전압 v_{PE} 와 누설전류 i_{PE}

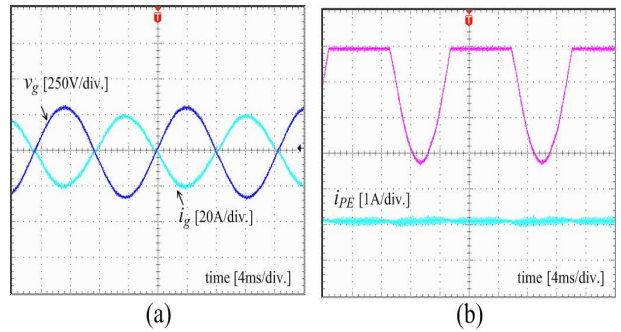


그림 4 정류기 모드 실험파형 (a) 계통전압 v_g 와 전류 i_g (b) 기생 커패시터 전압 v_{PE} 와 누설전류 i_{PE}

표 1 실험결과 요약

인버터 토폴로지	정격 효율		누설전류	
	인버터 모드	정류기 모드	인버터 모드	정류기 모드
바이폴라 풀 브릿지 인버터	96.2%	96.1%	57mA	55mA
유니폴라 풀 브릿지 인버터	97.4%	97.2%	2.6A	2.7A
제안하는 양방향 인버터	98.1%	98%	35mA	32mA

참고 문헌

[1] H. Xiao and S. Xie, "Leakage current analytical model and application in single phase transformerless photovoltaic grid connected inverter," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, Vol. 52, No. 4, pp. 902-913, Nov. 2010.

[2] R. González, J. López, P. Sanchis, and L. Marroyo, "Transformerless inverter for single phase photovoltaic systems," *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 22, No. 2, pp. 693-697, Mar. 2007.