Z-소스 인버터를 이용한 일단구조의 계통연계형 태양광 발전용 PCS 설계

신현진*, 박종형*, 김흥근*, 전태원**, 노의철
경북대학교*, 울산대학교**, 부경대학교

PCS Design for Single power stage structured PV PCS using Z-source Inverter

Hyun-Jin Shin*, Joung-Hyoung Park*, Heung-Geun Kim*, Tae-Won Chun**, Eui-Cheol Nho
KyungPook National University*, University of Ulsan**, PuKyong National University

ABSTRACT

계통연계형 태양광 PCS는 주로 전압원 인버터와 전압의 승압을 위한 DC/DC컨버터, 즉 이단구조로 구성된다. Z-소스 인버터는 DC/DC컨버터 없이 전압을 승/감압할 수 있다. 3k급 계통연계형 태양광 PCS에 Z-소스 인버터를 적용하여 일단구조로 설계하였고 PSIM 시뮬레이션과 실험을 통하여 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

최근 화석 에너지의 고갈로 인한 고유가와 환경문제로 인해 신재생에너지 개발에 대한 관심이 그 어느 때 보다 높아지고 있다. 신재생에너지 중 태양광 발전 분야는 풍력 발전과 더불어 가장 많이 확산되고 있는 중이다. 에너지원이 친환경적이고 무한정 공급가능한 태양광이지만, 실제 이용하려면 변환장치를 거쳐야 한다. 이를 PCS(Power Conditioning System)이고 하는데 현재 대부분의 태양광 PCS의 경우 승압을 위한 DC/DC 컨버터와 전압원 인버터로 구성이 되고 있다.

최근에 소개 되고 있는 Z 소스 인버터의 경우 DC/DC 컨버터 없이도 승압이 가능하기 때문에 태양광 PCS(Power Conditioning System)에 적용할 경우 DC/DC 컨버터를 사용하지 않고 오직 Z-소스 인버터 일단구조로 설계할 수 있다. Z-소스 인버터를 이용하여 계통 연계형 태양광 발전시스템을 설계할 경우 기존의 제어방법들이 적용될 수 있는지 시스템을 구성하여 검증해보는 것이 필요하다. 계통 연계형 태양광 발전 시스템에 필요한 제어알고리즘은 크게 최대 전력점 추종제어, DC/DC 컨버터 입력전류제어, PLL제어, 직류링크전압제어, 인버터 출력전류제어, 고립운전 방지기술, 보호기술로 나눌 수 있다.[2]

따라서 본 논문에서는 계통 연계형 태양광 발전 시스템에 Z-소스 인버터를 도입하여 주요 제어 알고리즘을 구현하고 시뮬레이션과 실험을 통해 타당성을 검증하는데 초점을 맞추었다. [1]

2. 본 론

2.1 Z-소스 인버터

Z 소스 인버터는 서로 교차하는 커패시터와 평행하는 인덕터가 인버터 앞단에서 임피던스 네트워크를 이루고 있다. Z-소스 인버터 입력전원이 PV 어레이라고 가정하면 그림 1과 같은 전압 관계를 알 수 있다.

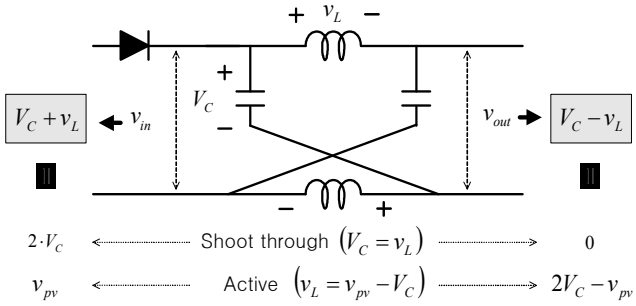

그림 1 Z-소스 네트워크 전압관계도
Fig. 1 Voltage relation of Z-source network

그림 1에서 L과 C가 각각 같을 경우 다음의 식을 만족한다.

$$V_{C1} = V_{C2} = V_C \ , v_{L1} = v_{L2} = v_L \quad (1)$$

식 (1)을 바탕으로 그림 1은 Z-소스 인버터의 임피던스 네트워크의 전압관계를 나타낸다. 암단락(Shoot through) 모드일 때와 활성(Active) 모드일 때 임피던스 네트워크 앞단과 뒷단의 전압관계를 나타내고 있다.

활성모드일 때는 인덕터 전류가 인버터로 흐르면서 전압이 낮아지고 다이오드는 도통되어 임피던스 네트워크 앞단은 PV 어레이 전압이 걸리게 된다.

암단락시 임피던스 네트웍크 뒷단의 전압은 0이 되고 인덕터 전압이 증가해 다이오드를 개방시킨다. 인덕터 전압은 커패시터 전압과 같아질 때까지 증가하고 임피던스 네트워크 앞단은 두 배의 커패시터 전압이 된다. 이때 개방된 다이오드로 인해 PV 어레이와 연결이 끈어진다. 이 암단락 동작으로 인해 증가한 전압 때문에 Z-소스 인버터는 승압이 가능하다.[1][3]

2.2 계통 연계형 태양광 PCS

기존의 태양광 PCS는 주로 전압원 인버터에 DC/DC 컨버터가 결합된 형태로 구성된다. 이는 전압원 인버터의 특성에 기인하는 것으로써 전압원 인버터는 교류 출력전압이 직류 입력전압보다 클 수 없기 때문에 승압을 위해서는 추가적인 DC/DC 컨버터가 필요하게 된다. 이로 인해 제작비용이 상승하고 또한 전압원 인버터의 경우 암단락으로 인한 스위칭 소자의 파괴 위험이 있어 PCS의 신뢰도에 영향을 미칠 수 있다.

이에 비해 태양광 PCS에 전압원 인버터 대신 Z-소스 인버터를 이용할 경우 DC/DC 컨버터 없이 전압의 승압을 할 수가 있어 그림 2에서 보듯 일단구조의 PCS로 설계할 수 있다. DC/DC 컨버터가 없는 만큼 제작비용이 감소하고 Z-소스 인버터의 경우 암단락을 적극적으로 이용하므로 이로 인한 스위칭 소자 파괴를 염려할 필요가 없다.

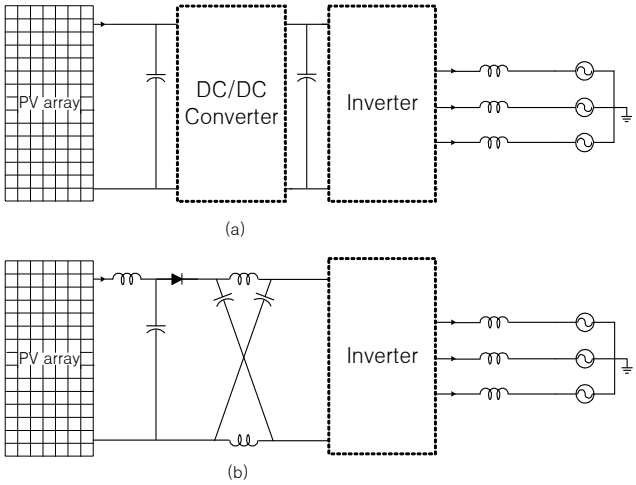

그림 2 (a) DC/DC 컨버터와 전압원 인버터로 구성된 태양광 PCS
(b) Z-소스 인버터를 이용한 일단구조의 태양광 PCS
Fig. 2 (a) Traditional PV PCS
(b) PV PCS using Z-source Inverter

2.2.1 Z-소스 인버터를 이용한 태양광 PCS 구성

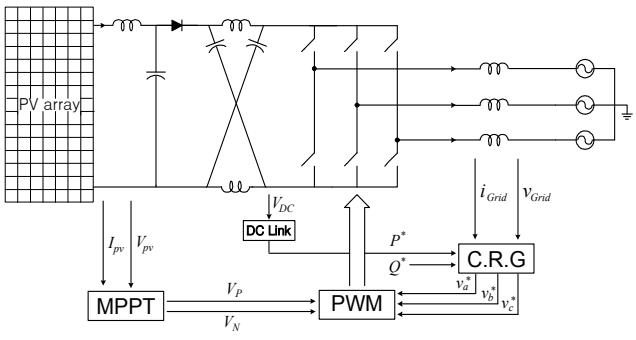

그림 3 Z-소스 인버터를 이용한 계통연계형 PV 시스템 개략도
Fig. 3 Outline of grid-connected PV system using Z-source inverter

그림 3는 전체 PCS 구성과 제어 흐름을 보여준다. 제어부분은 크게 기존의 PCS와 같이 최대전력점 추종제어, 인버터 출력전류 제어, 직류 링크전압 제어로 구성된다.

2.2.2 최대전력점 추종 제어 (MPPT)

Z-소스를 이용한 태양광 PCS의 최대전력점 추종 제어는 기존의 태양광 PCS의 것을 그대로 적용할 수 없다. 기존의 태양광 PCS는 최대전력점 추종제어를 위해 DC/DC 컨버터를 이용하는데 Z-소스를 이용한 태양광 PCS에는 DC/DC 컨버터가 없기 때문이다. 대신 최대 전력점 추종제어는 암단락 시간으로 제어하게 된다. Z-소스 인버터에서 암단락 신호를 주게되면 직류링크 전압이 증가한다. 이때 직류링크 전압을 증가하지 못하게 일정전압으로 제어하게 되면 암단락 신호로 인하여 오히려 PV 어레이 출력전압이 감소하게 된다.. 암단락 시간으로 이를 적절히 조절할 수 있고 PV 어레이의 최대 전력점에서 동작하게 하는 것이다. 암단락 시 Z-소스네트워크의 다이오드로 인해 개방이 되어 PV 어레이 출력전류가 불연속이 된다. 그림의 PV어레이 출력단의 LC 필터는 암단락 시에도 출력전류가 불연속이 되지 않도록 한다.

2.2.3 인버터 출력전류제어 및 직류 링크전압제어

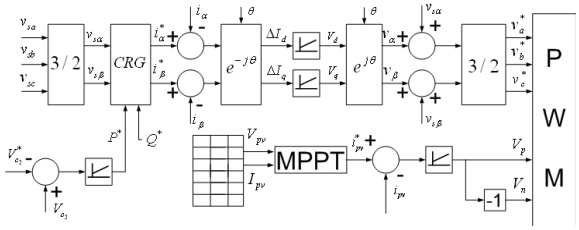

그림 4 제어 흐름도
Fig. 4 conrtol flow

인버터 출력전류 제어와 직류 링크 전압제어는 같이 동작하게 된다. 인버터 출력전류 제어는 계통의 전압정보와 직류 링크 전압 제어에서 나온 전력 지령과 함께 전류 지령을 만든다. 이 때 계통의 위상정보도 함께 얻게 된다.

직류링크 전압제어는 설정한 기준전압과 비교를 하여 실제 전압이 낮으면 유효전력을 감소시켜 Z-소스 네트워크의 커패시터 전압을 높이고, 실제 전압이 높으면 유효전력을 높이도록 제어한다. 또한 최대 전력점 추종제어의 암단락 지령과 인버터 3상 PWM 지령이 하나의 삼각파에서 비교하는데 서로 간섭하지 않도록 조절하는 것이 중요하다.

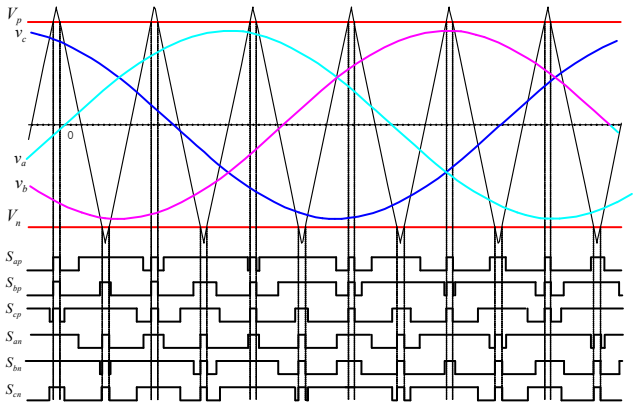

그림 5 최종 PWM 파형
Fig. 5 PWM waveform

그림 5에서 알수 있듯이 암단락 지령은 모든 스위치가 온 또는 오프 상태일 때 일어나게 되어 활성 모드의 동작에는 영향을 끼치지 않는다.

2.3 모의실험

PSIM을 이용하여 모의실험을 수행하였다. PV 어레이의 경우 3.2kW급으로 보간법을 이용하여 태양전지 출력특성이 나오도록 구성하였다. 개방전압과 단락 전류를 각각 426V, 9.75A, 최대전력점 전압과 전류를 각각 355V, 9.1A가 되도록 하였다. PV 어레이가 최대 전력을 낼 때 인버터 역시 3.2kW를 내도록 설계하였다. 계통의 선간 전압은 220V이고 직류 링크 전압 즉 Z-소스 네트워크의 커패시터 전압을 500V가 되도록 설정하였다. 그림 6은 모의실험에 의한 출력파형이다. PV어레이 출력전압과 전류는 각각 355V와 9.1A로 최대 전력점에서 동작하는 것을 알 수 있다. 또한 직류링크전압이 500V로 제어되고 유효전력 지령이 3.2kW로 나오고 있음을 확인할 수 있었다.인버터 출력전류의 실효치는 상당 약 8.3A로 상전압 126.9V를 감안하여 인버터 출력 전력은 약 3.2kW임 알 수 있다.

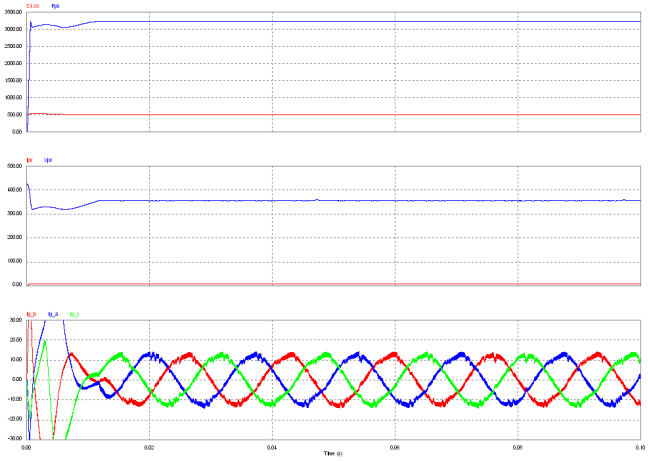

그림 6 결과파형(유효전력, 직류링크전압, PV 어레이 출력 전압 전류, 인버터 출력전류)
Fig. 6 simulation result waveform (Active Power, DC link Voltage, PV array voltage and current , Grid current)

2.4 실험

그림 7은 3kW급 Z-소스 인버터와 태양전지 출력특성이 나오는 시뮬레이터로 제작한 벅컨버터이다. 출력특성은 모의실험과 마찬가지로 개방전압과 단락 전류를 각각 426V, 9.75A, 최대전력점 전압과 전류를 각각 355V, 9.1A가 되도록 하였다. 인버터의 스위칭 신호를 발생시키기 위해 TMS320F2812 DSP를 사용하여 PCS를 구축하였고 현재 실험이 진행 중이다.

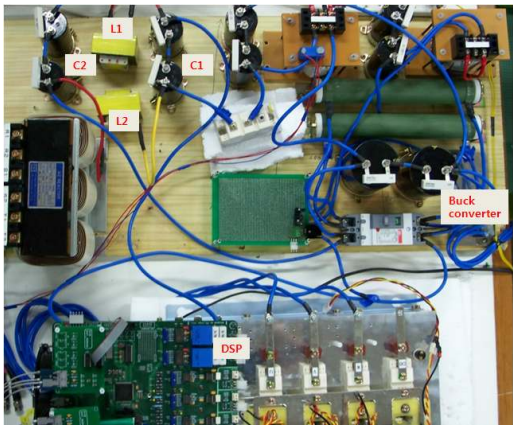

그림 7 제작된 Z-소스 인버터
Fig. 7 3kW Z-source Inverter

3. 결 론

본 논문에서는 Z-소스 인버터를 이용하여 일단 구조의 계통연계형 태양광 발전용 PCS를 설계하고 이를 모의실험을 통해 타당성을 검증하였으며 현재 실험을 진행 중이다. 계통연계형 태양광 발전용 PCS에 Z-소스 인버터를 적용함으로써 DC/DC 컨버터와 전압원 인버터의 이단 구조에서 Z-소스 인버터의 일단구조로 구현 할 수 있었다. 이로 인해 기존의 인버터 동작을 유지하면서 DC/DC 컨버터 없이 MPPT를 수행하였고 스위치 수를 감소시켰다. 또한 데드타임을 주지 않아도 암단락으로 인한 스위칭 소자의 소실을 방지하였다. 앞으로 태양광 발전용 PCS에 Z-소스 인버터가 널리 활용 될 것으로 기대된다.

본 과제는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구 결과입니다.

참 고 문 헌

[1] F. Z. Peng, "Z-source inverter", IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 39, no. 2, pp. 504-510, Mar./Apr. 2003
[2] 윤중혁 “계통연계형 PV 시스템의 분석 및 설계”, 경북대학교 대학원 석사학위 청구논문, 2005
[3] 박종형 “Z-소스 인버터를 이용한 계통연계형 PV 시스템용 PCS 설계”,경북대학교 대학원 석사학위 청구논문, 2007
[4] Miaosen Shen, F. Z. Peng, "Operation Modes and Characteristics of the Z-Source Inverter with Small Inductance," Proc. of IEEE IAS 2005, pp. 1253-1260