

포워드-플라이백 컨버터와 단일 전원 비대칭 다단식 H-bridge 다중 레벨 인버터를 적용한 태양광 전력 조절 시스템

전영태, 모하나 선다, 박종후
 숭실대학교

A Single-Source Photovoltaic Power Conditioning System using Forward-Flyback converter and Asymmetric cascaded Multi Level H-bridge Inverter

Young tae Jeon, Mohana Sundar, Joung Hu Park
 Soongsil University, Seoul

ABSTRACT

본 논문은 포워드 플라이백 컨버터와 태양광 단일 전원 비대칭 다단식 H bridge 다중 레벨 인버터를 적용한 태양광 전력 조절 시스템에 관한 논문이다. 이는 기존에 연구되었던 대칭형 다단식 H Bridge 다중 레벨 인버터나 플라이백 컨버터를 사용한 태양광 전력 조절 시스템의 단점을 보완 한 것이다. 대칭형 다단식 멀티 레벨 인버터는 각 H Bridge 구조 마다 독립된 전원이 필요하지만, 포워드 플라이백(Forward Flyback) 컨버터를 접목시켜 단일 태양광 전원으로 하나의 다단식 H Bridge 인버터를 구성 할 수 있고, 또한 기존의 플라이백 컨버터를 포워드 플라이백 컨버터로 대체 하면서 기존 대비 대용량 설비가 용이하고 효율적인 태양광 전력 조절 시스템을 설계 할 수 있다. 제안한 시스템의 가능성을 확인하기 위하여, PSIM 시뮬레이션을 통해 계통 연계형 1kW급 태양광 시스템의 최대 전력 추종 제어(Maximum Power Point Tracking)와 인버터의 V_{dc} 전압 제어를 확인하였다.

1. 서론

태양광 전력 조절 시스템 (Photovoltaic Power Conditioning System : PV PCS) 은 최근 태양광 시장의 수요 증가에 따른 연구의 중요성으로 인하여 중앙 집중형 방식, 스트링 방식, 모듈 집적형 방식 등의 다양한 시스템이 연구 되었다. 일반적으로, 멀티 레벨 인버터 (Multi Level Inverter : MLI) 는 대전력 응용 분야에 많이 사용 되어져 왔지만, 최근 이를 이용한 PV PCS 또한 자주 제안 되었고, 그 중에서도 태양광 시스템의 접목의 편의성과 간편함으로 인하여 다단형 H Bridge (Cascaded H bridge : CHB) 인버터가 주를 이루었다. 그러나, 기존의 CHB 인버터 시스템은 한 단의 H Bridge(HB) 셀에 여러개의 PV 스트링으로 구성되어, 각 셀의 MPPT를 위해 필요한 센서가 요구됨에 따라, 시스템의 크기와 가격의 증가 요소가 있고, 부분 음영등의 원인으로 인하여, 각 셀의 전압 불균형 또한 발생 할 수 있다. 이러한 단점을 극복하기 위한 대안으로 대칭형 (Symmetric) CHB 구조를 사용 할 수 있으나, 이 구조는 다중 전원의 경우 하나의 HB 셀 마다 독립적인 절연형 전원이 필요하기 때문에, 절연을 위해 변압기가 요구 되어, 시스템 가격과 크기 증가의 원인이 된다.

따라서 본 논문에서는 단일 태양광 전원을 사용하는 비대칭형 (Asymmetric) CHB MLI를 제안하고, HB 셀 간의 절연된

전원을 공급하기 위하여 포워드 플라이백을 컨버터를 사용하는 PV PCS를 제안한다. 이는 대칭형 CHB MLI를 보다 적은 CB셀로부터 더 높은 레벨의 MLI 동작을 가능하게 하는 장점이 있어, 필터 설계의 최소화, THD 개선 등의 효과가 있다. 일반적으로 플라이백 컨버터에 비해 포워드 플라이백 컨버터는 포워드 동작 영역으로 설계할 경우, 더 높은 효율과 전력 용량을 갖기 용이하다. 따라서, HB 셀간의 비대칭 전압을 유지하기 위하여, 절연형 입력 전원으로 포워드 플라이백 컨버터를 적용하여 기존의 플라이백의 단점과 포워드의 단점을 극복할 수 있는 구조의 PCS를 제안하고, PSIM 시뮬레이션을 통해 동작 가능성을 검증하였다.^{[1][2]}

2. 포워드-플라이백 비대칭 다단식 H-Bridge 다단식 다중 레벨 인버터 시스템의 구조

2.1 제안하는 단일 전원 PV PCS

그림 1은 제안 하는 계통 연계형 PV PCS를 나타낸다. 이는 비대칭 CHB MLI단과 절연형 포워드 플라이백 컨버터단으로 이루어져 있다. 비대칭 CHB MLI는 두 개의 HB 로 구성 되어 있고, 각 HB 의 입력 전압은 고전압의 HV단의 V_{dc} 와 저전압인 LV단의 $V_{dc}/2$ 로 비대칭을 이룬다. 계통 연계형 PCS 시스템은 인버터의 전압, 전류 루프 제어를 통해 Vdc 전압의 MPPT 제어를 수행하고, 또한 포워드 플라이백 출력 전압 제어를 통해 LV HB 단의 입력 전압인 $V_{dc}/2$ 를 일정하게 유지 가능하다.

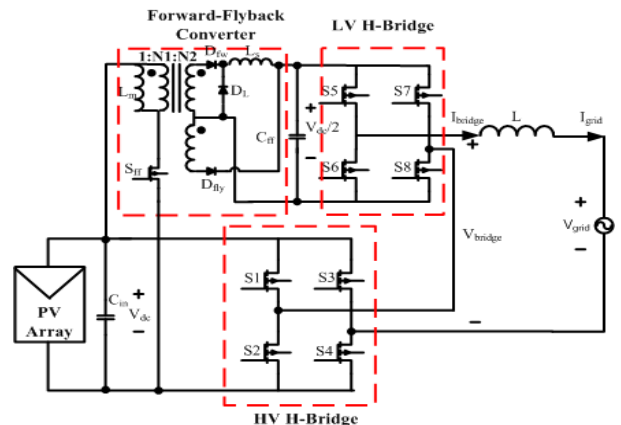


그림 1 제안하는 PV PCS 시스템

2.1.1 비대칭 다단식 H-Bridge 다중 레벨 인버터

기존의 대칭형 CHB 인버터의 경우 HB 셀의 입력 전압이

같으므로, 모듈화 하기 쉽다는 장점을 가진 반면, 비대칭 CHB MLI에 비하여 HB 셀 당 출력 전압 레벨이 낮은 단점을 갖는다. 예를 들어, 대칭 방식은 7레벨의 출력 전압을 위해 3 셀의 HB가 필요한 반면, 비대칭 방식은 2개의 HB 셀로 7레벨의 출력 전압을 만들 수 있다.^[1] 그림 2는 사용된 멀티 레벨 인버터의 전압 출력, $3/2 V_{dc}$ 부터 $3/2 V_{dc}$ 까지 7레벨을 갖는, 파형이다. LV HB 셀은 10kHz 스위칭을 하지만 전체 시스템 전력의 20% 만을 다루기 때문에 회로 손실이 적다. HV HB 셀은 기본 계통의 주파수로 스위칭을 하고 80% 전력을 담당하므로 손실이 거의 없는 장점을 갖는다.^[1]

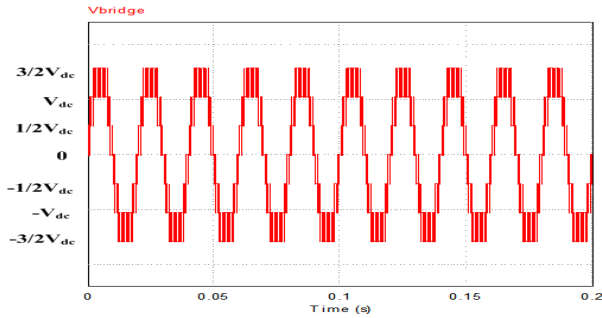


그림 2 비대칭 CHB MLI의 출력 전압 파형

인버터의 입력 전압인 V_{dc} 와 출력 전류를 제어하기 위한 각 전달 함수는 state space averaging을 통해 도출 할 수 있고^[1], PI 제어기와 PLL을 통하여 2루프 제어 시스템을 구성 하였다.

2.1.2 포워드-플라이백 컨버터

기존의 플라이백 컨버터를 사용한 PCS의 단점을 보완하기 위하여 포워드 플라이백 컨버터를 사용 하였다. 이를 위해선 포워드 컨버터 위주의 동작 모드인 동작 영역 1을 적용해야 한다. 동작 영역 1에서는 포워드컨버터가 연속 전류 모드(CCM)로 동작하고, 플라이백 컨버터의 부분은 불연속 전류 모드(DCM)로 동작하여, LV 셀의 전력은 포워드 컨버터와 플라이백 컨버터로 나뉘어 전달된다. 일반적으로 대용량 PV PCS 동작에서 플라이백 컨버터 보다는 포워드 컨버터가 효율이나 전력 용량 면에서 유리하기 때문에 포워드 플라이백 컨버터를 사용하는 것이 좋고, 포워드 플라이백 컨버터는 전력 용량이 커질수록 포워드 모드가 담당하는 전력이 더 높아 지기 때문에 더 나은 선택지가 된다.

포워드 플라이백 컨버터로 입력과 출력 전압으로부터 각 HB 셀에 독립된 전압을 유지 할 수 있다. 비대칭형 CHB MLI의 V_{dc} 와 $V_{dc}/2$ 의 전압을 공급하기 위해 포워드 플라이백 컨버터의 입력력 비는 2:1로 105V:52.5V 이다. 포워드 플라이백 컨버터 제어를 위한 스위칭 온 타임 시비율 D에 대한 출력 전압의 전달 함수는 state space averaging를 도출 가능 하고^[2], 인버터 제어와 마찬가지로 PI 제어기를 통해 인버터의 MPPT 동작으로 인한 V_{dc} 의 섭동이 있어도, $V_{dc}/2$ LV HB 입력 전압을 2:1의 비율로 유지 할 수 있도록 하였다.

3. PSIM Simulation

제안한 PCS의 동작 가능성을 PSIM 시뮬레이션을 통하여 검증 하였다. PLL 루프를 이용해 계통과의 위상을 동기화 하고, PI 제어기로 각각 인버터 출력 전류와, 입력 전압을 제어 하였다. 입력 전압 V_{dc} 는 P&O 알고리즘을 이용해 MPPT 동작이 가능한 것을 확인 하였다. 포워드 플라이백 컨버터는 V_{dc}

를 입력으로 받아 출력 전압인 $V_{dc}/2$ 를 1:2의 비율로 PI 제어기를 통해 전압 제어하는 것을 확인 하였다. 그림 3은 V_{dc} 제어를 통한 MPPT 전압과 $V_{dc}/2$ 전압 PV 전류 파형이다.

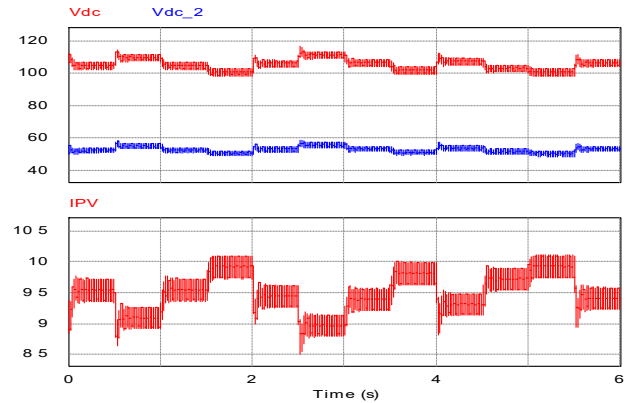


그림 3 제안한 PCS의 MPPT 동작, 전압 제어 PSIM 파형

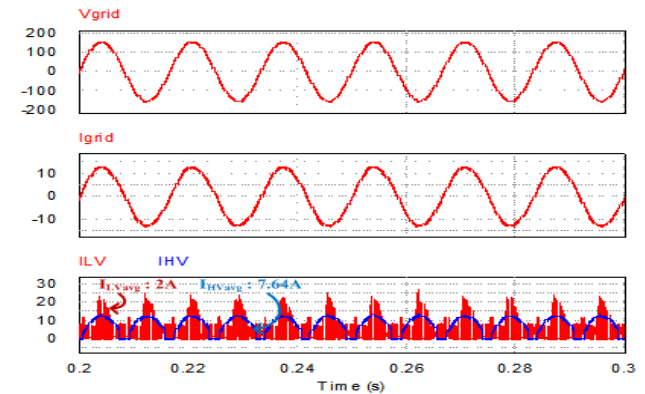


그림 4 제안한 PCS의 계통 전압, 전류, LV, HV 셀의 전류

그림 4는 1kW 동작점의 계통 전압, 전류 파형과, LV, HV 셀의 전류를 나타낸다. PV로 부터의 전류(전력)이 HV 셀을 통하여 더 많이 전달되는 것을 확인 할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 포워드 플라이백 기반의 비대칭형 다단식 H Bridge 다중 레벨 인버터 태양광 전력 조절 시스템을 제안 하였다. 이는 기존의 플라이백 컨버터 기반의 시스템에 비하여 포워드 플라이백 컨버터를 이용하기 때문에 보다 높은 급의 전력 시스템에서 사용할 수 있는 장점을 갖는다. 포워드 플라이백 컨버터를 통해 LV 셀 전력이 전달되고, 전체 전력은 HV 셀을 통해 80%가 전달되기 때문에, 더 높은 효율을 예측할 수 있을 것이다. 제안한 1kW PCS의 동작 가능성을 PSIM 시뮬레이션을 통해 입증 하였다.

참 고 문 헌

[1] M. S. Manoharan, A. Ahmed, H. W. Kim, J. H. Park, "A Single Source Photovoltaic Power Conditioning System using Asymmetric Cascaded Multi level Inverter," International Conference of Power Electronics, 2015, Seoul, Korea.
 [2] T.R. Zaloum, "An Analysis of a Dual Mode Forward/Flyback Converter", M.A. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1982.