

능동 클램프 전류원 하프 브릿지 기반 태양광 모듈 집적형 전력변환장치

박정규*, 정훈영*, 지용혁*, 이태원**, 원충연*
 성균관대학교*, 삼성전기**

Photovoltaic Module Integrated Converter based on Active Clamp Current-fed Half-Bridge Converter

Jeong-Kyu Park*, Hoon-Young Jung*, Young-Hyok Ji*, Tae-Won Lee**, Chung-Yuen Won*
 Sungkyunkwan University*, Samsung Electro-Mechanics**

ABSTRACT

In this paper, photovoltaic module integrated converter (MIC) based on active clamp current-fed half-bridge converter is proposed. The converter stage operates in zero-voltage condition using active clamp technique. The theoretical study and circuit design for proposed inverter are confirmed with PSIM simulator.

1. 서론

태양광 발전 시스템이 대용량화됨에 따라 태양전지 어레이 구성 시 mismatch 문제가 대두되는 가운데, 태양전지 모듈을 직접 계통에 연계하는 AC 모듈형 PV-MIC에 관한 연구가 지속되고 있다.^[1] PV-MIC는 수명 및 고효율이 가장 큰 문제이며 이 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 ZVS 동작을 통하여 스위칭 손실을 저감시키고 입력전류 리플감소를 통하여 입력 커패시턴스를 저감할 수 있는 능동 클램프 전류원 하프 브릿지 컨버터를 적용한 PV-MIC를 제안하고, 이에 관한 제어분담 및 설계에 대하여 고찰한다.

2. 회로 구성 및 제어

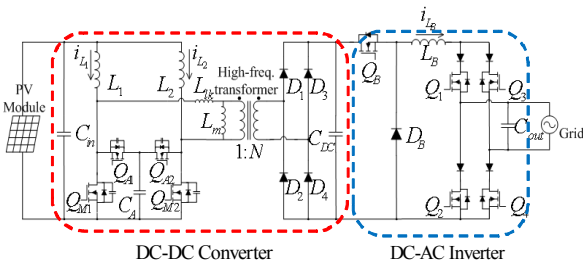


그림 1 제안된 태양광 모듈 집적형 전력변환장치
 Fig. 1 Proposed photovoltaic module integrated converter

제안한 태양광 모듈 집적형 전력변환장치는 그림 1과 같이 PV 모듈의 저전압을 승압시키고 최대전력점 추종제어를 수행하는 능동 클램프 전류원 하프 브릿지 컨버터^[2], 출력전류를 계통과 동기상의 정현파로 제어하는 초퍼 전류원형 인버터로 구성된다. 능동 클램프 전류원 하프 브릿지 컨버터는 기본적으로 부스트 컨버터와 같은 원리로 동작하기 때문에 적은 변압기 턴수비로 높은 승압을 할 수 있다. 초퍼 전류원형 인버터는 하나의 스위치(Q_B)만 고주파로 스위칭하고 출력단의 H-Bridge는 상용주파수(60Hz)로 스위칭하기 때문에 스위칭 손실을 최소화할 수 있으며, 출력단에 필터 인덕터가 요구되지 않는다는 장

점이 있다.

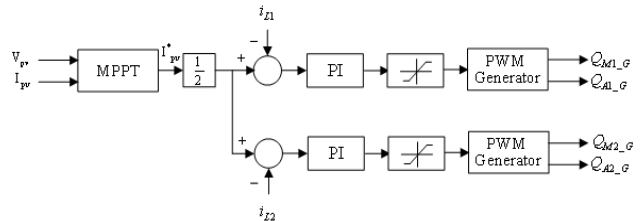


그림 2 컨버터부 제어 블록도
 Fig 2. Converter control block diagram

그림 2는 제안된 시스템의 컨버터부로 P&O MPPT 기법을 사용하여 최대전력점에 상응하는 전류지령을 생성한다. 입력전류의 리플을 감소시키기 위하여 L_1, L_2 에 흐르는 전류 i_{L1}, i_{L2} 에 대해 평형제어를 수행해야 하며, 그림 2에 나타난 바와 같이 MPPT로부터 발생된 전류지령은 양분되어 각 인덕터 전류의 지령치로 사용된다.

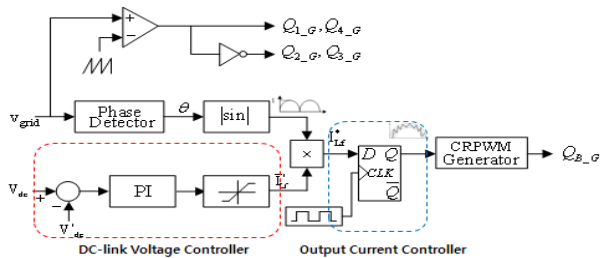


그림 3 인버터부 제어 블록도
 Fig 3. Inverter control block diagram

그림 3은 인버터부 제어 블록도를 나타낸다. 초퍼 전류원형 인버터는 DC-Link 전압을 일정하게 유지하기 위한 정전압 제어와 출력전류를 계통과 동기상의 정현파로 제어하는 역할을 한다. 스위치 Q_B 는 인덕터 L_B 에 흐르는 전류 i_{Lb} 를 히스테리시스 전류제어를 통해 정류 정현파가 되도록 하며, 정류 정현파의 크기는 DC-Link 전압제어의 결과로 결정된다. 정류 정현파의 위상은 계통전압의 위상을 검출하여 동기상이 되도록 한다. 계통전압의 양의 반주기 동안에는 스위치 Q_1, Q_4 가 도통하고 음의 반주기 동안은 Q_2, Q_3 를 도통하여 출력전류의 방향을 제한한다.

3. 회로 설계

3-1. 주요 수동소자 설계

능동 클램프 전류원 하프 브릿지 컨버터는 동일용량의 하프 브릿지 컨버터에 비하여 낮은 턴수비로 설계할 수 있다. 턴수비는 식(1)보다 작게 설계되어야 한다.

$$n_{\max} = \frac{V_{\text{conv},o}(1-D_{\min,\text{set}})}{V_{\text{in},\max}} \quad (1)$$

주 인덕터 L_1 및 L_2 의 인덕턴스는 입력전류의 리플에 따라서 식(2)와 같이 결정된다. 입력전류 리플의 감소는 입력 커패시턴스의 저감에 중요한 요소이며, 이를 통하여 MIC 전체 수명을 향상시킬 수 있다.

$$L_{1,\min} = \frac{(2 \cdot V_{\text{in},\min}(1-D_{\max})D_{\max})}{\left(\frac{\Delta i_L}{100}\right) \cdot n \cdot I_{\text{conv},o} \cdot f_{\text{conv}}} [\mu H] \quad (2)$$

클램핑 커패시터는 클램핑 전압을 결정하며, 다음과 같은 설계식으로 결정된다.

$$C_{\text{clamp}} = \frac{I_{\text{clamp,peak}} \times \sqrt{2 \cdot (1-D_{\max})}}{4\pi \cdot f_{\text{conv}} \cdot \Delta v_{\text{clamp}}} [\mu F] \quad (3)$$

초과 전류원형 인버터에서 Buck 컨버터의 인덕터는 출력전류에 직접적인 영향을 주고 Q_b 의 스위칭 주파수를 결정하기 때문에 최대 스위칭 주파수를 고려하여 설계되어야 하며, 출력전류의 THD를 고려하여 충분히 크게 설계되어야 한다.

$$L_B = \frac{(V_{\text{inv},\text{in}} + \Delta v_{o,\text{conv}} - v_{o,\text{inv}} \sqrt{2}) \cdot D_{B,\max}}{\Delta i_{L_B,\max} \cdot f_B} [mH] \quad (4)$$

3-2. ZVS를 위한 데드 타임 설계

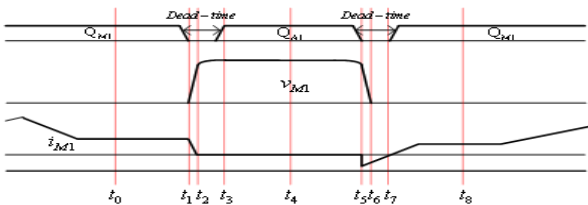


그림 4 컨버터부의 이론적 동작 파형
Fig. 4 Theoretical operation waveforms of the converter stage

컨버터부의 ZVS 동작을 위해서는 주 스위치(Q_{M1} or Q_{M2})와 보조 스위치(Q_{A1} or Q_{A2}) 사이에 일정한 데드 타임이 존재해야 하며, 보조 스위치 턴오프와 주 스위치 턴온 사이의 데드 타임은 식(5), 주 스위치 턴오프와 보조 스위치 턴온 사이의 데드 타임은 식(6)으로 표현된다.

$$T_{\text{delay},Q_{M1} \square Q_{M1}} = \frac{\pi}{2} \sqrt{L_{lk} \cdot C_{M1}} \quad (5)$$

$$T_{\text{delay},Q_{M1} \square Q_{A1}} = \frac{\pi}{2} \sqrt{L_{lk} \cdot C_{\text{clamp}}} \quad (6)$$

4. 시뮬레이션

표 1은 본 논문에서 제안한 태양광 모듈 집적형 전력변환장치의 각 파라미터 정격을 나타내고 있다. 시뮬레이션은 PSIM 6.0을 사용하여 제안된 회로의 동작을 확인하였다.

그림 5(a)는 주 스위치와 보조 스위치가 소프트 스위칭 동작을 하며 ZVS 턴온, ZVS 턴오프하는 것을 보여준다. 그림 5(b)를 통하여 인버터부 Buck 컨버터와 단상 풀 브릿지 인버터에 의하여 상용 주파수를 갖는 정현파 출력전류가 흐르는 것을 확인할 수 있다.

표 1 시뮬레이션에 사용된 파라미터 값
Table 1 Parameter values for the simulation

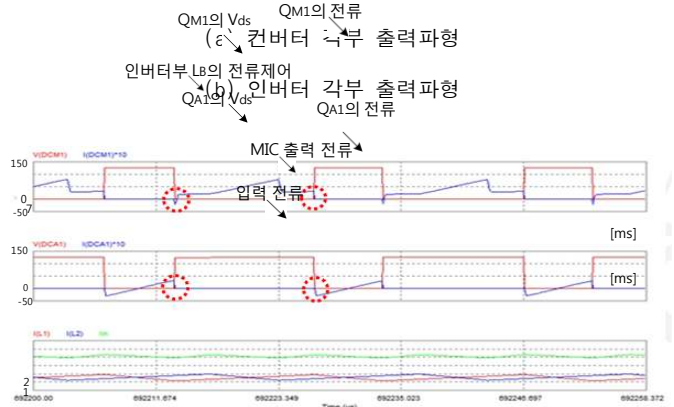
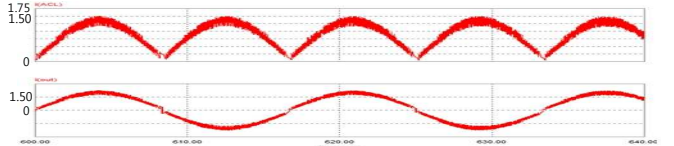


그림 5 시뮬레이션 각부 파형
Fig. 5 Simulation waveforms of the proposed MIC



용량	300 [W]	스위칭 주파수	50 [kHz]
입력전압	25~40 [V]	C_{DC}	2 [μF]
C_{in}	20 [μF]	C_{out}	0.068 [μF]
L_1, L_2	740 [μH]	L_B	14 [mH]
C_A	0.94 [μF]		

5. 결론

본 논문에서는 능동 클램프 전류원 하프 브릿지 컨버터와 초과 전류원형 인버터를 결합한 PV-MIC를 제안하였다. 제안한 토폴로지의 컨버터부는 ZVS 동작을 통하여 스위칭 스트레스와 손실을 절감하며, 인버터부는 초과 전류원형으로서 스위칭 손실을 최소화하였다. 또한, 주요 수동소자의 설계 및 데드 타임에 대하여 고찰하였으며, 시뮬레이션을 통하여 동작을 확인하였다.

이 논문은 삼성전기의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] C. Rodriguez and G.A.J. Amaratunga, "Long-Lifetime Power Inverter for Photovoltaic AC Modules", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 55, No. 7, pp. 2593~2601, July. 2008.
- [2] S. J. Jang, J. T. Kim, T. W. Lee, B. K. Lee and C. Y. Won, "Fuel Cell Generation System with a New Active Clamping Current-Fed Half-Bridge Converter", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 22, No. 2, pp. 332~340, June. 2007.