PV-AC 모듈형 단상 플라이백 인버터의 출력 전류 품질 보정을 위한 디지털 스위칭 제어기법

노용수, 임승범, 지용혁, 정두용, 원충연
성균관대학교

Digital Switching Control Method for Current shaping of Single Phase Flyback Inverter for Photovoltaic AC Modules

Yong Su Noh, Sung Bum Lim, Young Hyok Ji, Doo Yong Jung, Chung Yuen Won
Sungkyunkwan University

ABSTRACT

In generally, grid connected single phase flyback inverter is operated as boundary or discontinuous conduction mode. However, the flyback inverter can be operated in continuous conduction mode (CCM) due to its operating conditions in spite of it is designed to operate under boundary or discontinuous conduction mode. This situation causes unintended distortion to output current. In this paper, a current shaping method on unfolding bridge to reduce the output current distortion.

1. 서 론

AC 모듈은 각 태양전지마다 설치되어 출력을 각각 계통에 공급하는 형태로 음영효과가 지더라도 전체 시스템 출력 효율에 크게 영향을 끼치지 않는다. 여러 AC 모듈 토폴로지 중 플라이백 인버터는 적은 소자와 간단한 제어기로 구성되어 가격적 경쟁력에서 큰 이점을 가지고 있다.[1]

단상 플라이백 인버터를 DCM으로 동작시킬 경우 주 스위치의 기준파에 따라 2차 측 출력 전류의 최대값이 결정되므로 제어기는 간단히 구성[2]되지만 2차 측의 피크성 전류에 의해 CCM으로 동작할 경우에 비해 효율을 향상시키기 어려운 단점이 있다. 반면 CCM으로 동작할 경우 효율 향상의 이점을 가지고 있지만, 2차 측 출력 전류는 기준파의 크기에 따라 비선형적으로 변하게 되어 출력 전류의 왜곡이 나타나고 이를 해결하기 위한 제어기 구성이 복잡해진다는 단점이 있다.

본 논문에서는 DCM으로 동작하는 AC 모듈형 플라이백 인버터가 태양전지의 조건에 따라 CCM으로 동작할 경우 별도의 추가적인 제어기를 구성하지 않고 왜곡되는 출력 전류 파형을 해결하기 위한 언폴딩 브릿지의 스위칭 제어기법을 제안한다.

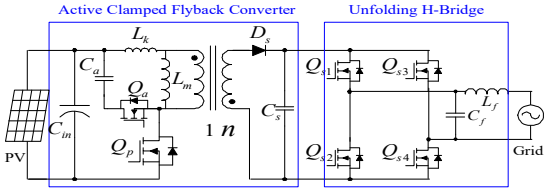

그림 1 단상 AC 모듈형 플라이백 인버터의 구성
Fig. 1 Configuration of the single phase flyback inverter for AC-module

2. DCM 단상 플라이백 인버터의 특성

단상 AC 모듈형 플라이백 인버터의 회로 구성은 그림 1과 같다. 플라이백 인버터가 DCM으로 동작할 경우, 그림 2와 같이 2차 측 링크 전압은 통류율 D와 비례한다. 따라서 Q_p의 기준파를 정류된 사인파 형태로 설정하면, 별도의 제어기가 없이도 2차 측에는 기준파와 같은 형태의 전압이 걸리게 된다. 2차 측 언폴딩 브릿지 스위치 Q_{s1}~Q_{s4}는 정류된 사인파 형태의 전류를 계통에 공급하기 위해 출력 전류의 극성을 계통과 동기화 시킨다. 만약 태양전지의 동작 조건에 따라 DCM 플라이백 인버터가 CCM으로 동작하면, 그림 2와 같이 출력 전압은 통류율과 비선형적인 관계로 출력 파형에 왜곡이 발생하게 된다.

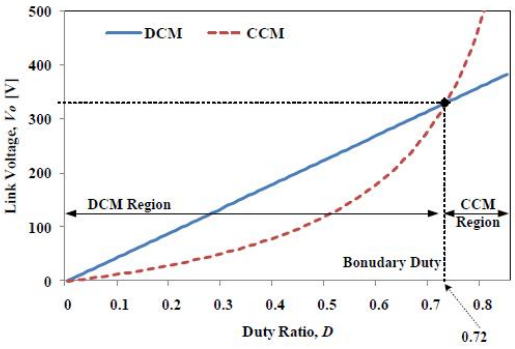

그림 2 DCM 과 CCM 에서의 플라이백 인버터의 전압 전달비
Fig. 2 Voltage transfer function of flyback inverter for DCM and CCM

3. 제안된 출력 전류 왜곡 보상 기법

3.1 DCM 플라이백 인버터의 CCM 검출 기법

DCM 플라이백 인버터 주 스위치의 기준파는 식 (1)과 같이 반송파의 최대값 K_m과 태양전지의 출력 전류, 전압으로 결정된다.

$$i_{FB}^{*} = 2K_m\sqrt{\frac{I_{pv}L_m f_s}{V_{pv}}}\,|\sin(\omega t)| \quad (1)$$

또한 플라이백 인버터가 DCM으로 동작하려면 식 (2)과 같은 조건을 만족하여야만 한다.

$$\sqrt{\frac{I_{pv}L_m f_s}{V_{pv}}} \le \frac{V_g}{\sqrt{2}\left(n V_{pv} + \sqrt{2}\, V_g\right)} \quad (2)$$

따라서 식 (1)과 (2)를 통해 플라이백 인버터의 CCM 으로의 모드 변동은 식 (3)을 통해 검출 할 수 있다.

$$i_{FB}^{*} > \frac{K_m |v_g|}{n V_{pv} + |v_g|} \quad (3)$$

3.2 제안된 CCM에서의 언폴딩 브릿지 제어 기법

그림 1의 출력 필터 커패시터에 걸리는 전압은 인버터가 언폴딩 스위칭만 하므로 계통의 전압과 같다. 하지만 식 (3)을 통해 플라이백 인버터가 CCM 동작을 한다고 판단되면, 언폴딩 스위치 Q_{S1} ~ Q_{S4}는 고주파 스위칭을 통해 벅 컨버터와 같은 특성을 가지도록 제어된다. 이 경우, 필터 커패시터에 걸리는 전압은 식 (4)와 같다.

$$V_{Cf} = V_{o,CCM} \times D_{UB} = \frac{n V_{pv} D_{FB}}{(1 - D_{FB})} D_{UB} \quad (4)$$

여기서 D_{FB}는 주 스위치의 통류율, D_{UB}는 언폴딩 스위치의 통류율을 나타낸다. DCM에서의 플라이백 컨버터의 전압 전달비와 식 (4)를 통해 D_{UB}는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$D_{UB}(\omega t) = \frac{V_g}{n\sqrt{2L_m f_s V_{pv} I_{pv}}} \left(1 - \frac{i_{FB}^{*}(\omega t)}{K_m}\right) \quad (5)$$

따라서, CCM에서의 출력 전류 품질 제어를 위한 플라이백 인버터의 기준파는 식 (5)를 이용하여 식 (6)과 같이 나타낸다.

$$i_{UB}^{*}(\omega t) = \frac{V_g}{n\sqrt{2L_m f_s V_{pv} I_{pv}}} \left(K_m - i_{FB}^{*}(\omega t)\right) \quad (6)$$

그림 3과 4는 제안된 DCM 플라이백 인버터에서 CCM으로 동작모드가 바뀔 경우 언폴딩 브릿지에서의 스위칭 제어를 위한 제어 블록도와 스위칭 파형이다.

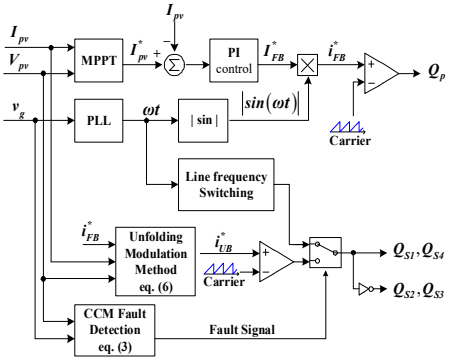

그림 3 제안하는 1, 2차 측 스위치 제어도
Fig. 3 Proposed control block diagram for unfolding H-bridge modulation method

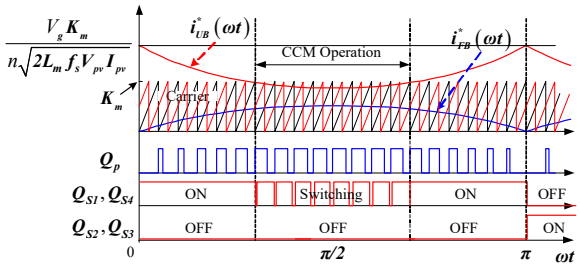

그림 4 CCM에서의 언폴딩 브릿지의 스위칭
Fig. 4 Unfolding bridge switch signal under CCM

4. 시뮬레이션

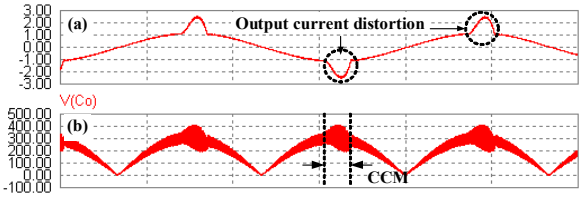

그림 5 DCM 플라이백 인버터의 CCM 동작에 인한 출력 전류 왜곡
Fig. 5 Output current distortion due to CCM operation

DCM 플라이백 인버터가 CCM으로 동작할 경우 출력 전류에 왜곡 현상은 그림 5(a)와 같다. 제안된 제어기법을 적용할 경우, 그림 6(a)와 같이 CCM 동작 모드를 검출하고, 그림 6(b)와 같이 언폴딩 브릿지를 스위칭한다. 보상된 출력 전류의 파형은 그림 6(d)와 같다.

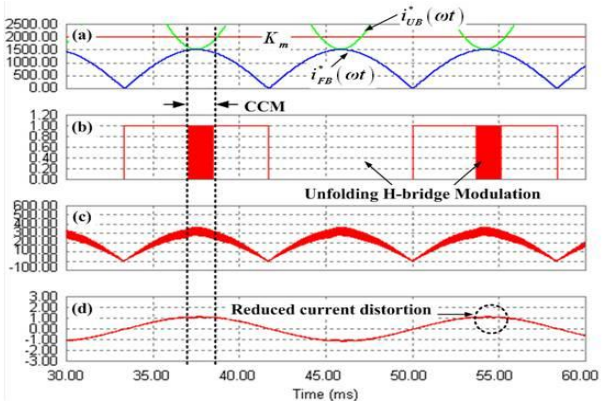

그림 6 단상 AC 모듈형 플라이백 인버터의 구성
Fig. 6 Configuration of the single phase flyback inverter for AC-module

4. 결 론

DCM 플라이백 인버터는 태양전지의 동작 조건에 따라 CCM으로 동작할 경우, 출력 전류에 왜곡현상이 발생하게 된다. 본 논문에서는 CCM에서의 출력 전류 왜곡에 대한 보상을 위한 언폴딩 스위칭 제어기법을 제안하였다. 보상된 전·후의 전류 파형은 그림 5와 6과 같다.

참 고 문 헌

[1] S. B. Kjaer, J. K. Pedersen, F. Blaabjerg, "A Review of Single Phase Grid Connected Inverters for Photovoltaic Modules", IEEE Trans. Industry Appl., vol. 41, no. 5, pp. 1292 1306, 2005.

[2] T. Shimizu, K. Wada, and N. Nakamura, "Flyback Type Single Phase Utility Interactive Inverter with Power Pulsation Decoupling on the DC Input for an AC Photovoltaic Module System", IEEE Trans. Power Electron., vol. 21, no. 5, pp. 1264 1272, 2006.