

디커플링 회로를 갖는 PV-AC 모듈형 플라이백 인버터의 전류 센서리스 MPPT 제어기법

박정민*, 최봉연*, 노용수*, 이택기**, 원충연*
성균관대학교*, 한경대학교**

Current Sensorless MPPT for PV-AC Module Flyback Inverter with Decoupling Circuit

Jung Min Park*, Bong Yeon Choi*, Yong Su Noh*, Taek Kie Lee**, Chung Yuen Won*
Sungkyunkwan University*, Hankyong National University**

ABSTRACT

본 논문에서는 디커플링 회로가 포함된 PV AC 모듈형 플라이백 인버터의 전류 센서리스(Sensorless) MPPT(Maximum power point tracking) 제어기법을 제안한다. 기존의 MPPT 제어는 각 모듈의 입력단에 존재하는 전압과 전류 센서를 이용하여 최대 전력점을 추종하였다. 본 논문에서는 전력 변환장치의 저 가격화를 위해 MPPT 제어에 요구되는 전류 센서를 사용하지 않는 센서리스 MPPT 기법을 제안한다. 제안한 기법은 시뮬레이션과 실험을 통해 검증하였다.

1. 서론

PV AC 모듈형이란 각각의 PV 패널에 전력변환 시스템(PCS: Power conversion system)이 패널 뒷면에 부착되어 각각 PV 모듈이 최대 전력점에서 동작하는 시스템을 뜻한다. PV AC 모듈은 PV 어레이(Array)에 하나의 PCS를 연결하여 계통연계를 하는 중앙 집중형 태양광 발전에 비해 각 PV 모듈이 최대 전력점에서 동작하기 때문에 태양광 에너지 이용률을 향상시킬 수 있다는 장점이 있다.^[1]

일반적인 PV AC 모듈형 인버터는 PV 모듈의 최대 전력점 추종 제어 MPPT(Maximum power tracking)를 위해 전압과 전류 센서를 통한 PV 모듈의 전력 계산이 요구된다. 이 때 두 개의 센서 중 하나의 센서만을 통해 MPPT제어를 수행할 경우 전체 시스템의 가격을 낮출 수 있다.

본 논문에서는 저가격화를 위한 전류 센서를 사용하지 않고 MPPT를 수행하기 위한 전류 센서리스 MPPT 기법을 제안한다. 전류 센서리스 MPPT 수행을 위해 PV 모듈의 전류를 PV AC 모듈형 플라이백 인버터의 스위칭 파형 분석을 통해 PV 모듈의 전압과 통류율로 수식화 하였다. 수식화 과정을 통해 추정된 PV 모듈의 전류와 측정된 전압을 통해 MPPT를 수행하였고, 제안한 제어기법의 타당성은 시뮬레이션과 실험을 바탕으로 검증하였다.

2. 디커플링 회로가 포함된 PV-AC 모듈형 플라이백 인버터

2.1 시스템 구성

그림 1은 디커플링 회로가 포함된 PV AC 모듈 플라이백 인버터를 나타낸다. 변압기를 기준으로, 1차 측에는 입력단 커패시터 C_m 과 디커플링 회로가 병렬로 연결되어있다.

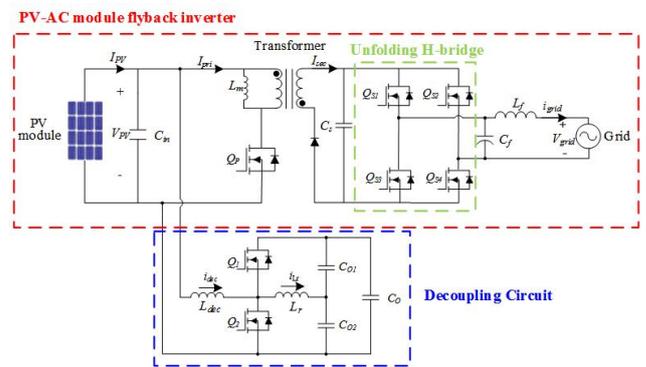


그림 1 디커플링 회로를 갖는 PV-AC 모듈형 플라이백 인버터
Fig. 1 PV-AC module flyback inverter with decoupling circuit

디커플링 회로가 포함되지 않은 일반 PV AC 모듈의 경우, PV와 계통과의 커플링(Coupling)을 막기 위해 비교적 큰 용량의 입력단 커패시터가 필요하다. 이러한 입력단 커패시터의 용량을 줄이기 위해, 능동 전력 디커플링 방식이 적용되었다. 디커플링 회로에는 양방향 컨버터가 사용되었으며, 비교적 구성이 간단한 양방향 벡 부스트 컨버터가 연결되어 독립적인 디커플링 동작을 수행한다. 2차 측에는 계통과 동상인 전류를 공급하기 위한 언폴딩 H 브릿지(Unfolding H bridge) 회로가 포함되어 있다. 언폴딩 H 브릿지 회로를 통해 변환된 교류 전류는 LC 필터를 거치며, 최종적으로 계통에 전력을 공급한다.

2.2 MPPT제어를 위한 PV 평균전류 수식화

본 논문에서의 플라이백 인버터는 DCM(Discontinuous conduction mode) 동작을 기본으로 한다. 플라이백 인버터의 DCM동작 시 나타나는 자화 인덕터 L_m 의 전류 파형은 그림 2와 같다.

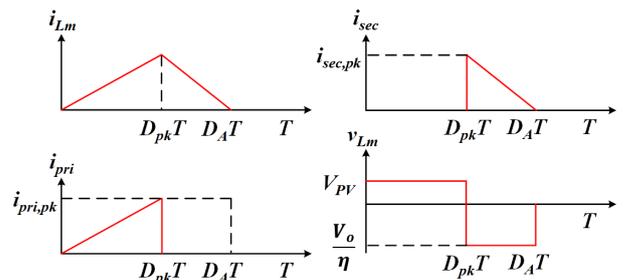


그림 2 자화 인덕터의 전압 및 전류 파형
Fig. 2 The voltage and current of magnetizing inductor

플라이백 인버터의 1차측 전류 최대값 $i_{pri.pk}$ 는 자와 인덕턴스 L_m 과 계통 전압 한주기 동안의 최대 통류율 D_{pk} 의 관계로 나타낼 수 있다.^[2]

$$i_{pri.pk} = \frac{V_{PV}}{L_m} D_{pk} T \quad (1)$$

그림 2의 v_{Lm} 의 파형을 이용하여 Volt Second 법칙을 적용하면, 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$D_A - D_{pk} = \frac{nD_{pk} V_{PV}}{V_o} \quad (2)$$

n 은 플라이백 인버터 내의 변압기 턴수비를 의미한다. PV AC 모듈의 전력변환 손실을 무시할 시, 플라이백 인버터의 2차측 전류는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{i_{sec.pk}}{2} (D_A - D_{pk}) = \frac{V_{PV} I_{PV}}{V_o} \quad (3)$$

PV 모듈의 평균전류 I_{PV} 를 수식화하기 위해, 식 (1)과 (2)를 식 (3)에 대입함으로써 I_{PV} 는 PV전압과 AC 모듈의 통류율로 다음의 식과 같이 추정할 수 있다.

$$I_{PV} = \frac{nD_{pk}^2 T V_{PV}}{4L_m} \quad (4)$$

2.3 제안하는 전류 센서리스 MPPT 제어

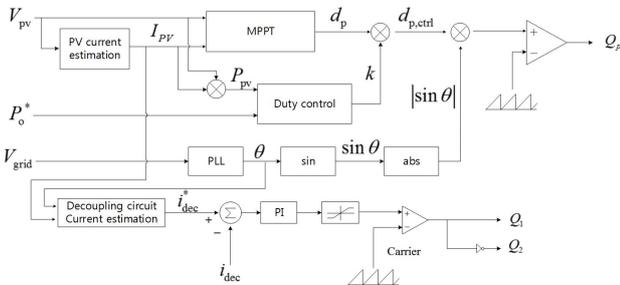


그림 3 PV-AC 모듈 플라이백 인버터의 제어 블록도
Fig. 3 Control blocks of PV-AC module flyback inverter

본 논문에서 사용한 플라이백 인버터의 제어 블록도는 그림 3과 같다. PV AC 모듈의 MPPT를 수행하기 위해 PV 모듈의 전압을 측정하고, 측정된 전압을 토대로 I_{PV} 를 계산한다. 계산된 I_{PV} 와 측정된 전압 V_{PV} 를 통해 MPPT 제어를 수행하며, 제어 결과를 통해 플라이백 인버터의 1차측 스위치 제어 신호 Q_p 를 생성한다. AC 모듈 디커플링 회로의 전류 제어를 위해 계산된 I_{PV} 를 이용하여 디커플링 회로의 지령 전류 i_{dec}^* 를 산출한다. 이때 i_{dec}^* 는 식 (5)로 계산된다.

$$i_{dec}^* = \frac{P_{PV}}{V_{PV}} \cos(2wt) = I_{PV} \cos(2wt) \quad (5)$$

이 때 I_{PV} 는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있으므로, i_{dec}^* 는 L_m 과 스위칭 주기 T 의 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$i_{dec}^* = \frac{nD_{pk}^2 T V_{PV}}{4L_m} \cos(2wt) \quad (6)$$

4. 실험

제안한 MPPT 제어기법의 타당성을 증명하기 위해, PV 출력 전력이 125[W]인 PV AC 모듈 플라이백 인버터가 제작되었다. 그림 4는 제안한 제어기법의 실험 결과 파형이다. 실험의 구간은 크게 100[%] 일사량 구간과 40% 일사량 구간으로 나누어진다. 초기 100[%] 일사량 구간에서 PV 전압 및 전류는 각각 34[V], 3.6[A]로 최대 전력점에서 운전하는 것을 확인하였다. 이후 일사량 감소 시, 일정 시간의 MPPT 수행 후, 34[V], 1.17[A]로 40[W] 지점에서 운전하는 것을 확인하였다.

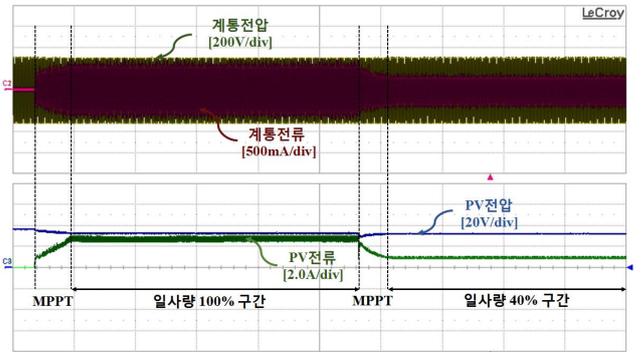


그림 4 제안한 제어기법을 적용한 PV-AC 인버터 모듈 실험 파형
Fig. 4 The experiment result wave forms of PV-AC module flyback inverter applying proposed control method

4. 결론

본 논문에서는 전류 센서 배제를 위해, 전압 센서만을 이용하는 MPPT 제어기법을 제안하였다. PV 패널의 전류를 PV 전압 및 통류율의 관계식으로 수식화하였고, 이를 적용한 MPPT 제어기법은 시뮬레이션을 통해 제어기의 적용 가능성을 확인하였고, 실험을 통해 일사량 가변 시에도 MPPT 제어가 원활히 동작함을 확인하였다.

본 연구는 2014년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원 (No. 20124010203300)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

참고 문헌

- [1] J. M. Kwon, B. H. Kwon, K. H. Nam "High efficiency module-integrated photovoltaic power conditioning system", Power Electronics, IET, vol. 2, pp. 410-420, July 2009.
- [2] Bong Yeon Choi, Jin Woo Jang, Young Ho Kim, Young Hyuk Ji, Yong Chae Jung, Chung Yuen Won, "Current Sensorless MPPT using Photovoltaic AC Module Type Flyback Inverter", IEEE International