# 전류센서가 없는 불연속 도통모드 플라이백 태양광 마이크로 인버터

김현우, 전영태, 박종후
숭실대학교

# Flyback PV Micro-inverter without Current Sensor under Discontinue conduction mode

Hyun Woo Kim, Young Tae Jeon, Joung hu Park
Soongsil University

ABSTRACT

본 논문에서는 플라이백 마이크로 인버터를 통해 전류센서 없이 최대전력 추종(Maximum Power Point)방법을 제안한다. 이 인버터는 태양광 전력을 역률1인 정현파, 낮은 왜곡율(THDs)로 계통연계 할 수 있는 태양광 인버터 이다. MPPT방식은 전류 센서리스로서 PV모듈의 전압과 MPPT제어 출력 값을 곱하여 PV전력의 정보를 비례적인 값으로 간접적으로 얻는 방식으로 태양광 최대 전력점을 찾을 수 있다. 또한, 계통의 전압으로 위상정보를 얻어 이를 정류시켜 MPPT제어와 곱하여 PWM파형을 발생한다. 제안한 태양광 인버터 전력단 회로는 플라이백으로 불연속 모드(DCM)로 동작하였으며, MPPT제어는 디지털(DSP)로 구현하였다. 100W급 하드웨어로 설계하여 실험을 진행 분석하였다.

## 1. 서론

다양한 태양광 시스템 중 비용절감효과가 크고 많이 선호되는 방식으로 직접 계통에 연계하여 전력을 공급하는 방식이 있다. 그러나 PV시스템은 날씨의 영향으로 부분 그늘짐이 발생하고, 그로 인해 전압불균형이 발행한다. 이러한 문제점에 대한 해결방법으로서 제안된 마이크로인버터를 포함한 분산형 PV 시스템은 독립적으로 입력전류를 조절하여 PV모듈에서 최대전력을 얻을 수 있어, PV모듈간 전압 불균형의 손실이 없다.[1] 하지만, 기존의 MPPT방식은 전류센서를 이용하여 최대파워를 얻는 방식이었다. 이는 비싼 전류센서를 이용함으로 비용적인 측면에서 많은 불이익이 따른다. 따라서 본 논문에서는 불연속 모드(DCM)일 때 전류센서 없이 최대 전력추종(MPPT) 할 수 있는 방법을 제안한다. 파워스테이지는 고승압을 만족하는 플라이백으로 하였고, DCM의 특성상 제어기 없이도 정현파의 전류를 공급할 수 있는 방식 [2]을 적용하여 구현하였다.

## 2. 전류센서 없는 최대전력 추종방법

### 2.1 플라이백 마이크로 인버터

그림 1은 플라이백 마이크로 인버터의 회로도를 보여준다. 정류파형전류를 만들어주는 플라이백 컨버터와, 정현파를 만들어주는 저주파 풀브릿지 인버터로 구성되어있다. 저가형으로 구현할 수 있는 가장 간단한 마이크로 인버터 구조이다.

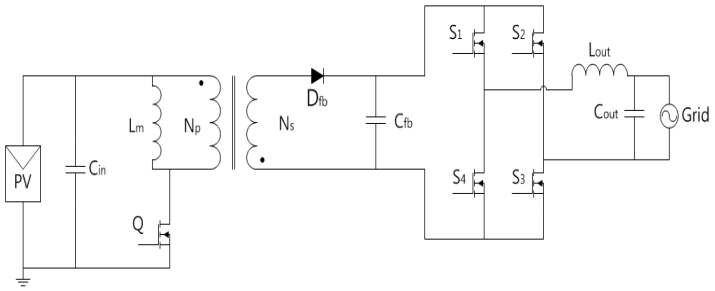


그림 1 플라이백 마이크로 인버터의 회로도

### 2.2 전류제어가 없는 인버터 동작특성

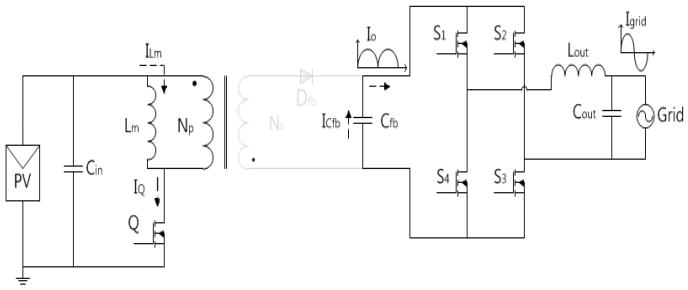


그림 2. 스위치가 Turn-on 되었을 때 등가회로(굵은선)

플라이백 인버터 특성은 스위치에 흐르는 전류 동작 특성에 의해 결정된다. 우선 DCM 플라이백은 3가지 모드 중 스위치

에 흐르는 전류는 스위치 턴 온 모드에서만 흐른다. 그림 2에 스위치가 턴 온 되었을 때 동작모드를 나타내었다. $C_{in}$의 평균전류는 0 이므로 $I_{sw}$의 평균값이 PV전류의 평균값이 된다. 따라서 손실이 없다고 가정하여 $P_{in} = P_{pv} = P_o$ 라고 하면,

$$P_{pv} = V_{pv} I_{sw} = I_o \sin(wt)\, V_o \sin(wt) = P_o \quad (1)$$

식(1)을 $I_{sw}$에 대해 정리를 하면 식(2)를 구할 수 있다.

$$I_{sw} = \left(\frac{I_o V_o}{V_{pv}}\right) \sin^2(wt) \quad (2)$$

불연속 모드(DCM)일 경우 그림 3과 같은 형태의 스위치 전류가 흐른다.

$I_{sw} = I_Q$이므로 (3)과 같은 식을 얻을 수 있다.

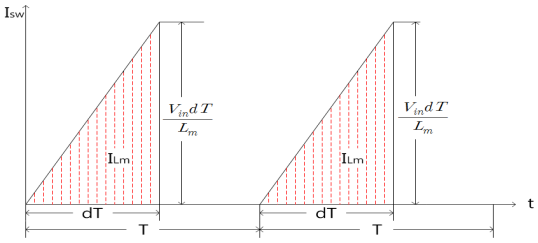


그림 3 플라이백의 스위치 전류파형

$$I_{sw}=\frac{\frac{1}{2}(\frac{V_{in}dT}{L_m})dT}{T} \quad (3)$$

(2),(3)의 식을 이용하여 식(4)을 얻을 수 있다.

$$d=k|\sin(wt)| \quad 단, k=\sqrt{\frac{2L_mI_oV_o}{V_{in}V_{pv}T}} \quad (4)$$

k는 MPPT에 결정되는 상수다. 결국 PWM 도통률 d의 시간에 따른 변화는 전압레퍼런스의 위상과 동일하다. 따라서 전압레퍼런스를 이용하여 직접 PWM을 발생하면 전류제어기가 없어도 원하는 동위상 출력 전류를 만들 수 있다[2].

### 2.3 태양광 MPPT동작특성 및 인버터 구조

위의 수식(4)를 (3)에 대입하면 (5)의 수식을 얻을 수 있다.

$$I_{sw}=\frac{1}{2}(\frac{V_{in}T}{L_m})k^2\sin^2(wt) \quad (5)$$

(5)식에 양변에 $V_{pv}$를 곱하여 (6)의 수식을 얻을 수 있다.

$$V_{pv}I_{sw}=\frac{T}{2L_m}V_{pv}^2k^2\sin^2(wt) \ (V_{in}=V_{pv}) \quad (6)$$

(6)의 수식으로 (7)과 같은 관계를 얻을 수 있다.

$$P_{pv}\propto(kV_{pv})^2 \quad (7)$$

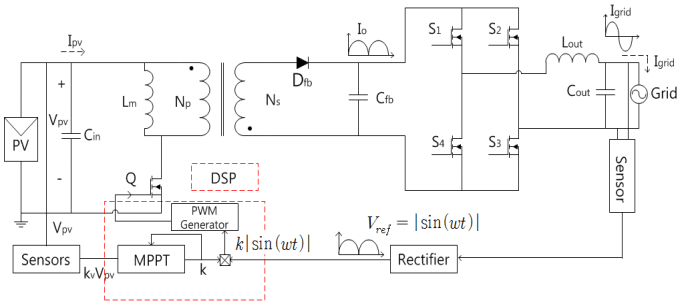


그림 4 태양광 마이크로 인버터 시스템

(7)과 같은 관계로 인해 PV전력대신 $k \cdot V_{pv}$값을 사용가능하며, 따라서 전류센서 없이 MPPT를 구현할 수 있다. 그림 4는 플라이백 태양광 마이크로 인버터 제어기 구조를 나타내었다. 파워스테이지는 120Hz의 정류파형을 발생하는 플라이백 컨버터와 60Hz의 정현파를 발생하는 풀브릿지 인버터로 구성되어 있고, MPPT와 계통의 위상정보를 받아 DSP로 PWM을 발생하는 신호부분으로 구성되어 있다. MPPT부에서 k값을 센싱된 값과 곱하여 PV전력에 비례하는 값을 얻어내고, 이를 Perturb and Observe(P&O)방법을 적용하여 최대전력점에 해당하는 k값을 제공하게 된다. DSP는 이 값으로 계통위상과 곱하여 Flyback의 도통율을 결정한다.

## 3. 시뮬레이션 및 실험 결과

### 3.1 플라이백 태양광 마이크로 인버터 설계

표1에 플라이백 태양광 마이크로 인버터 설계사양이 나와 있다.

### 3.2 실험결과

그림 5는 $I_{pv}$와 $V_{pv}$ 파형으로 MPPT가 제대로 동작하는 것을 확인할 수 있고, 그림6에서는 정현파가 출력되는 것을 확인할 수 있다.

표 1 인버터 설계사양

| | | |
|---|---|---|
| Vpv | PV모듈MPP전압 | 40[VDC] |
| Ipv | PV모듈MPP전류 | 2.5[A] |
| Cin | 입력 커패시터 | 2200[uF] |
| Np:Ns | 변압기 Turns ratio | 1:5 |
| Lm | 자화 인덕턴스 | 55[uH] |
| Lout | 필터 인덕턴스 | 15[mH] |
| fsw | 스위칭 주파수 | 18[kHz] |
| Cfb, Cout | 필터 인덕턴스 | 0.1[uF] |
| Vgrid | 계통전압 | 60[Hz]/220[VAC] |

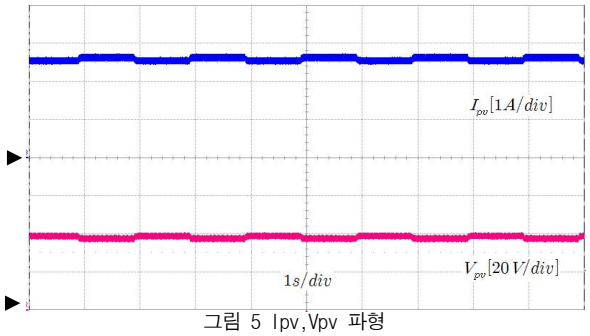


그림 5 Ipv,Vpv 파형

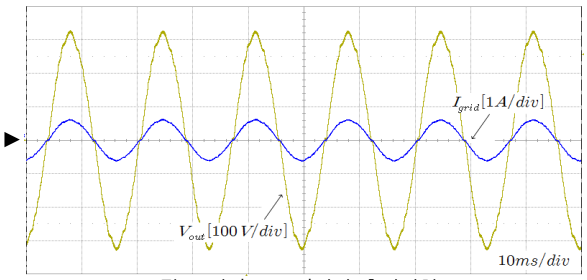


그림 6 마이크로 인버터 출력파형

## 4.결론

본 논문은 기존의 P&O 방법을 이용하여 플라이백컨버터 불연속모드(DCM)에서 전류센서 없이 MPPT가 되는 것을 제안하였다. 실험을 통해 전류센서 없이도 MPPT가 잘 동작되는 것을 증명하였다. 또한, 계통에 공급되는 출력 전류가 낮은 왜곡율의 정편파임을 파형을 통해 확인할 수 있었다. 향후 실험을 더 진행하여 효율을 높이는 방법으로 연구하고자 한다.

## 참 고 문 헌

[1] Thang,T.V., Thao,N.M., Do Hyun Kim, Joung Hu Park, "Analysis and design of a single phase Flybackmicroinverter on operation", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 2, No. 7, pp. 1229 1234, 2012, June.

[2] Hyun Woo Kim, Gi Young Cheon, Joung Hu Park Soongsil Universit "Discontinue conduction mode Forward flyback Micro inverter without Current Controller", 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, 2014 4, 200~202 (3pages)