단일 센서를 사용한 태양광 Module Integrated Converter의 최대전력점 추종 기법

(A Novel MPPT using Single Sensor for Photovoltaic Module Integrated Converter)

지용혁 · 김영호 · 정두용 · 이수원 · 원충연

(Young-Hyok Ji · Young-Ho Kim · Doo-Yong Jung · Su-Won Lee · Chung-Yuen Won)

Abstract

In the photovoltaic applications, MPPT(maximum power point tracking) method is essential due to the non-lineality of photovoltaic output characteristics. To ensure stable tracking response, two sensors are required in conventional popular MPPTs. In modularized PV system as an AC module system, the cost of a sensor can have an effect on entire system cost because a power conditioning device is connected in a PV module. Because only a current sensor is required for proposed MPPT, it is helpful in the cost reduction point of view. In this paper, a novel MPPT using current sensor is proposed. In the proposed MPPT, the voltage is derived from sensed current value. The proposed method is verified by simulation results.

1. 서 론

태양전지 모듈의 출력 용량 증가에 따라 태양전지 모듈을 건축 자재화 하여 건물 외피에 적용하는 건물일체형 태양광 발전(BIPV) 시스템의 적용도 가속화 되고 있는 실정이다.

BIPV의 특성상 각 태양전지 모듈의 설치각도 및 방위가 동일하지 않으며, 모듈의 설치 조건이 동일하다 하더라도 주변 환경이나 건물에 의해 발생하는 그늘 때문에 어레이를 구성하고 있는 각각의 태양전지 모듈에 동일하지 않은 일사량이 조사될 확률이 높다.

이러한 경우에 태양전지 어레이의 출력 특성의 비선형성이 증가하고, 따라서 다수의 최대전력점이 존재하는 현상이 발생할 수 있다. 이러한 현상은 기존의 Centralized PCS의 최대전력점 추종 실패를 야기시킬 수 있다. 반면, AC 모듈 시스템과 같이 PV 모듈에 직접 전력 변환 장치가 연결되는 방식은 위에서 언급한 최대전력점 추종 실패가 없기 때문에 최근에 관심이 높아지고 있다.

AC 모듈 시스템은 PV 모듈에 소형의 DC-AC 변환장치(MIC: PV Module Integrated Converter)를 장착하여 각각의 PV 모듈이 직접 계통과 연계되는 방식이다. AC 모듈 시스템은 DC 배선이 요구되지 않고 전기적 아크나 화재와 같이 위험이 적다. 또한 각각의 MIC는 하나의 태양전지 모듈 출력만을 부담하기 때문에 사용되는 소자의 정격이 작다는 장점을 갖는다.

하지만 각 MIC가 담당하는 전력이 적기 때문에 효율이 비교적 낮고, 단위 전력당 단가가 높다는 단점을 갖는다. 따라서 MIC의 개발에 있어 가격을 저감시키고, 효율을 높이기 위한 연구가 현재까지 계속 진행중이다.

본 논문에서는 MIC의 각격을 저감하기 위하여 기존의 MPPT에서 요구하던 전압센서와 전류센서에서 전압센서를 제거하고, 전류센서만을 이용하여 MPPT를 수행하는 기법을 제안한다.

2. 회로 구성 및 동작

MIC에 사용되는 토폴로지는 다양한 방식들이 연구, 발표되어 왔으나, 가장 대표적인 토폴로지는 플라이백 인버터(Flyback Inverter)이다. 따라서 본 논문에서는 제안하는 MPPT를 플라이백 인버터에 적용하였으며, 플라이백 인버터의 회로 구성을 그림 1에 나타내었다.

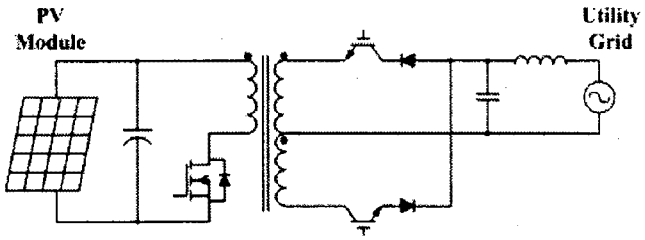


그림 1, 플라이백 인버터 회로 구성도
Fig. 1. Circuit configuration of flyback inverter

플라이백 인버터의 기본적인 동작 원리는 플라이백 컨버터(DC-DC)와 유사하다. 1차측 스위치가 턴온 되었을 때, 변압기 1차측에 자화 인덕턴스에 에너지를 저장하였다가 스위치가 턴오프 되면 자화인덕턴스에 저장된 에너지를 2차측으로 전달한다. 이 때, 2차측 스위치는 계통과 동일한 주파수로 스위칭 하여, 출력 전류의 방향을 결정하며, 1차측 스위치는 고주파로 스위칭하여 출력 전류가 AC가 되도록 제어하는 역할을 한다. 그림 2에 계통전압 한 주기동안의 스위칭 신호와 그에 따른 각부 파형을 나타내었다.

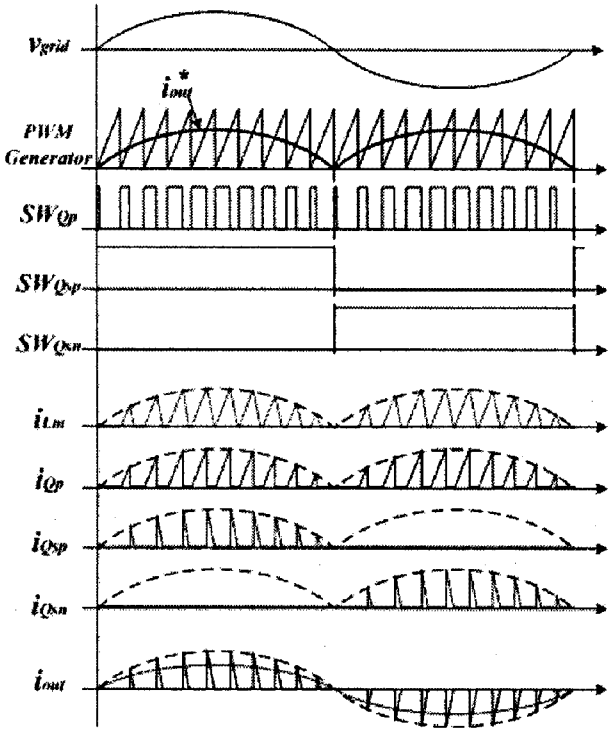


그림 2. 계통 전압 한주기 동안의 스위칭 신호 및 입·출력 전류파형

Fig. 2. Switching signals and current waveforms during a grid period

1차측 스위치의 통류율은 출력 전류 지령치 i_{out}^*에 의하여 결정되며, 그림 2에서 확인할 수 있는 바와 같이 i_{out}^*은 정현파를 절대값 취한 형태가 되어 최종적으로 출력 전류를 정현파로 제어한다.

1차측 스위치 Q_p가 턴온 되었을 경우, 변압기 1차측의 자화전류 i_{Lm}은 선형적으로 상승하고, Q_p가 턴오프 되었을 때, i_{Lm}은 선형적으로 감소한다.

즉, 스위치 Q_p의 듀티에 따라서 자화전류 i_{Lm}의 크기가 결정된다. 자화전류의 첨두치를 $I_{Lm(pk)}$은 다음 식 (1)과 같이 표현된다.

$$I_{Lm(pk)} = \frac{V_{PV}\, t_{on}}{L_m} = \frac{V_{PV}\, DT}{L_m} \tag{1}$$

여기서 L_m은 변압기의 자화 인덕턴스이고, T는 스위치 Q_p의 스위칭 주기, V_{PV}는 PV 모듈로부터 입력되는 평균전압을 의미한다.

변압기에서의 누설 인덕턴스를 무시하면 Q_p의 한 스위칭 주기 동안에 2차측 출력 전류의 평균값은 식 (2)와 같이 표현된다.

$$I_{s(pk)} = \frac{V_{PV} D}{2nL_m} t_{off} \tag{2}$$

여기서 n은 변압기의 턴수비를 나타내고, t_{off}는 1차측 자화 전류가 방전하는데에 걸리는 시간이다. 이를 이용하여 출력 전류 i_{out}을 근사식으로 나타내면 다음 식(3)과 같이 표현된다.

$$\frac{V_{PV} D}{2nL_m f}\left(1 - \frac{n V_{PV} D}{V_g}\right)\sin\omega t \tag{3}$$

여기서 V_g는 계통 전압의 첨두치를 나타낸다.

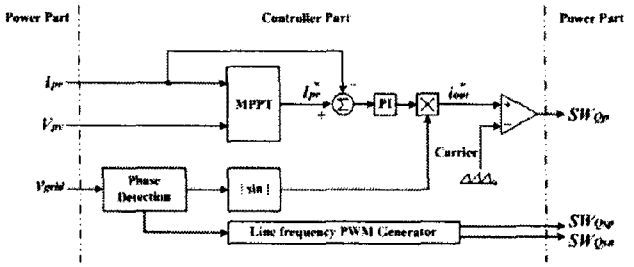
식(3)으로부터 1차측 스위치 Q_p의 통류율에 따라서 출력 전류의 크기가 결정이 되는 것을 확인할 수 있다.

3. 단일 센서를 사용한 MPPT

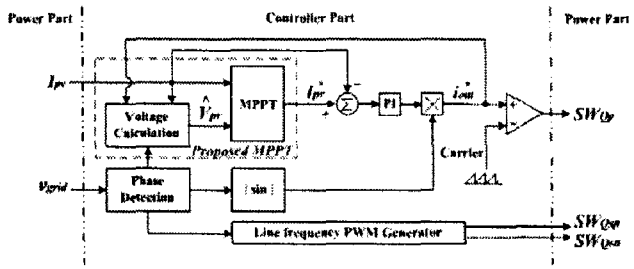
3.1. 제안된 MPPT 개요

태양광 발전 시스템에서는 태양전지로부터 출력되는 전력을 최대로 하기 위해서 최대전력점 추종 제어가 필수적이다. 일반적으로 사용되는 P&O나 IncCond 방식의 MPPT는 구현이 간단하고 추종 특성이 우수하다는 장점이 있으나, 입력 전압과 전류를 이용하여 입력 전력을 계산하는 방식을 취하고 있기 때문에 두 개의 센서를 요구한다는 단점이 있다. 실제로 이는 기존의 태양광용 전력변환 장치에서는 큰 문제가 되지 않으나, AC 모듈 시스템에서는 시스템 용량에 따라 센서의 수가 증가하게 되므로, 센서의 개수에 따른 가격도 무시할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 1차측 스위치의 듀티에 따라 출력 전류가 결정된다는 플라이백 인버터의 특성을 이용하여 입력 전류 정보로부터 입력 전압을 추정하고, 이를 통하여 기존의 P&O 및 IncCon MPPT를 구현하고자 한다.

그림 3에 플라이백 인버터의 기존 제어 블록도와 제안된 MPPT를 적용한 제어블록도를 나타내었다. 기존 방식에서 MPPT를 위해 요구되던 2개의 센서중, 전압센서를 제거하고 제어부 내부의 루프를 추가하여 입력 전압을 연산함으로써, 기존의 제어와 동일한 기능을 할 수 있도록 하였다.



(a) 기존의 플라이백 인버터 제어블록도



(b) 제안된 MPPT를 적용한 플라이백 인버터 제어블록도

그림 3. 플라이백 인버터의 제어 블록도
Fig. 3. Control block diagram of flyback inverter

3.2 입력 전압 연산

플라이백 인버터의 1차측을 등가회로화 하면 다음 그림 4와 같이 표현할 수 있다.

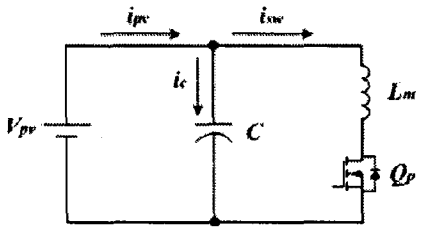


그림 4. 플라이백 인버터 1차측 등가회로
Fig. 4. Primary equvalent circuit of flyback inverter

그림 4로부터 식 (4)~(5)를 알 수 있다.

$$i_{pv} = i_c + i_{sw} \tag{4}$$

$$v_{pv} = v_c = \frac{1}{C}\int_0^T i_c\,dt \tag{5}$$

앞서 언급한 바와 같이 자화 인덕터 전류는 스위치 Q_p가 온상태인 구간에 선형적으로 증가한다. 즉, 스위치에 흐르는 전류는 식(6)으로 표현된다.

$$i_{sw}(k) \simeq \frac{v_c(k) - V_{th}}{L_m} t, \quad [0 \le t \le t_{on}] \tag{6}$$

여기서 k는 현재 값을 나타내며, V_{th}는 스위치 Q_p의 문턱전압을 나타낸다. 식 (4)~(6)을 조합하여 이를 $v_c(k)$에 대한 식으로 정리하면 식 (7)을 얻을 수 있다.

$$v_c(k) = \frac{2L_m\int_0^T i_{pv}\,dt + V_{th}t_{on}^2(k)}{2CL_m + t_{on}^2(k)} \tag{7}$$

계통 한 주기동안의 PV 모듈로부터 출력되는 전압 V_{pv}는 v_c의 평균값으로 표현할 수 있다. 즉, 계통 반 주기동안 N개의 샘플링을 한다면, V_{pv}는 식 (8)과 같이 정의할 수 있다.

$$V_{pv} = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} v_c(k) \tag{8}$$

식 (7)을 식(8)에 대입하여 정리하면 최종적으로 V_{pv}는 식 (9)와 같다.

$$V_{pv} = \frac{2L_m\frac{T}{N}I_{pv} + \frac{V_{th}}{N}\sum_{k=1}^{N} t_{on}^2(k)}{2CL_m + \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} t_{on}^2(k)} \tag{9}$$

여기서 I_{pv}는 입력 전류의 평균값을 의미하고, 이를 수식으로 나타내면 다음 식 (10)과 같이 표현할 수 있다.

$$I_{pv} = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} i_c(k) \tag{10}$$

t_{on}은 Q_p의 통류율을 통해서 구할 수 있다. 반송파의 최대값을 A라고 할 때, t_{on}은 다음과 같이 표현된다.

$$t_{on} = DT = \frac{i_{out}^*(k)}{A}T \tag{11}$$

식 (9)에 식 (10)과 (11)을 대입하여 정리하면 $i_{pv}(k)$와 $i_{out}^*(k)$를 이용하여 최종적으로 입력 전압 연산을 할 수 있다.

4. 시뮬레이션

본 논문에서는 제안된 MPPT의 성능을 확인하기 위하여 PSIM을 사용하여 시뮬레이션 하였다. 태양전지 모듈은 Sharp社의 NT-185U1을 DLL로 사용하였다. NT-185U1의 사양을 표 1에 나타내었고, DLL로 모델링된 PV 모듈의 출력 특성을 그림 5에 나타내었다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 PV 모듈 파라미터
Table 1. PV module parameter for NT-185U1

파라미터	기호	값	단위
정격전력	P	185	W
개방전압	Voc	44.9	V
단락전류	Isc	5.75	A
MPP전압	Vmp	36.2	V
MPP전류	Imp	5.11	A

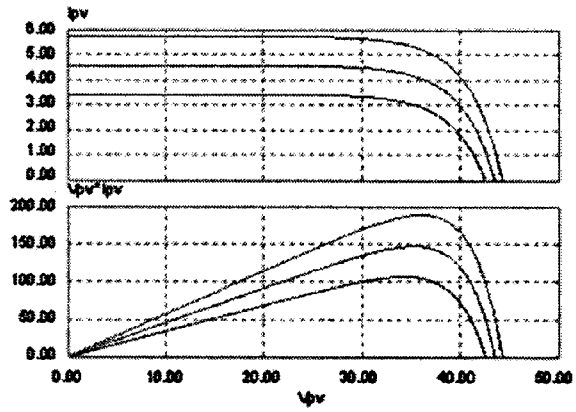


그림 5. PV 모듈 출력 특성 모델링
Fig. 5. PV module output characteristics

본 논문에서는 시뮬레이션을 위해 플라이백 인버터는 200W로 설계하였으며 제안된 MPPT는 입력 전압을 연산하기 위해서 계통의 위상과 동기시켜 입력 전류의 값을 센하여야 함을 감안하여 스위칭 주파수는 24kHz로 하였다. 따라서 $N=200$ 이다. 이에 따른 플라이백 인버터의 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 PV 모듈 파라미터
Table 1. PV module parameter for NT-185U1

파라미터	기호	값	단위
입력 커패시턴스	C	9000	uF
자화 인덕턴스	Lm	50	uH
출력 필터 커패시턴스	Cf	0.3	uF
출력 필터 인덕턴스	Lf	5	mH
변압기 턴수비	n	4	turns

그림 6은 입력 전압을 계산하는 특성을 나타낸다. 이를 이용하여 본 논문에서 제안한 MPPT가 수행 가능 하다는 것을 알 수 있다.

그림 7은 제안된 MPPT의 추종 특성을 보인다. 그림 7로부터 MPPT와 계통연계가 수행되고 있음을 확인할 수 있다.

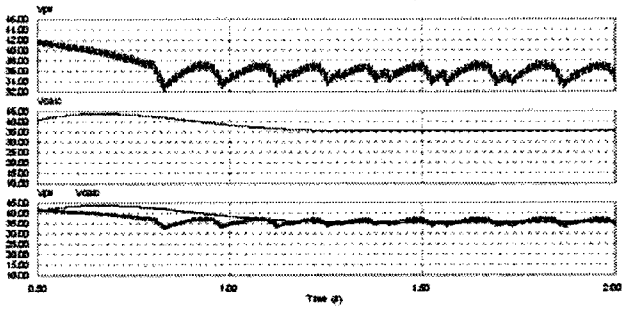


그림 6. 전압 계산 특성
Fig. 6. Voltage calculation characteristics

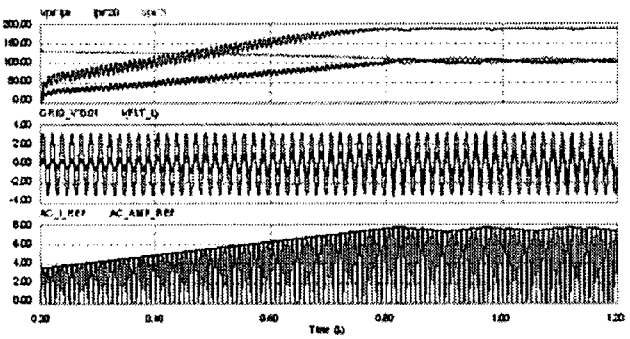


그림 7. MPPT 추종 특성
Fig. 7. MPP tracking dynamics

5. 결 론

본 논문에서는 AC 모듈형 PV 발전 시스템에 사용되는 플라이백 인버터를 기반으로 단일센서를 사용한 MPPT를 제안하였다. 제안된 방식은 센싱된 전류 정보를 이용하여 입력 전압을 계산하여 MPPT에 적용하는 기법으로 전압 계산 이론 및 시뮬레이션 결과를 논문에 제시하였다. 입력 전류 센서를 Shunt 저항등의 저가형 검출 기법과 접목하면 AC 모듈형 플라이백 인버터의 시스템 단가 저감에 효과가 있을 것으로 기대된다.

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한
에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

[1] T. Shimizu, K. Wada, and N. Nakamura, "A flyback-type single phase utility interactive inverter with low-frequency ripple current regulation the dc input for an ac photovoltaic module system," in Proc. IEEE Power Electron. Spec. Conf., Cairns, Australia, Jun. 23.27, 2002, vol. 3, pp. 1483-1488.
[2] N. Kasa, T. Iida, and C. Liang, "Flyback inverter controlled by sensorless current mppt for photovoltaic power system," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 52, no. 4, pp. 1145.-1152, 2005.