

# 부스트 컨버터의 불연속 전류모드에서 주파수 제어를 통한 최대전력전달추종

최병민 전영태 모하나 박종후  
승실대학교

## Direct Frequency MPPT Control using a Boost Converter of Discontinuous Current Mode

Byung-Min Choi, Young-Tae Jeon, MohanaSundar, Joung-Hu Park  
SoongSil University

### ABSTRACT

본 논문에서는 태양광 모듈의 최대 전력점을 추종하기 위한 제어 기법으로 부스트 컨버터(boost converter)의 불연속 전류모드(Discontinuous Current Mode)에서 주파수를 제어하는 기법을 구현하였다. 태양광 모듈에 연결된 부스트 컨버터는 전압루프를 통하여 Perturb and Observation(P&O) 기법을 사용하여 최대 전력점을 추종하였다. 부스트 컨버터의 인덕터에 흐르는 전류는 불연속 전류모드로 제어된다. 불연속 전류모드에서의 제어기 설계는 MATLAB과 PSIM의 전달함수 특성을 수학적 모델링을 통하여 비교 검증하였으며, 모든 제어는 MCU(TEXAS INSTRUMENTS사의 DSPF28335)를 통해 디지털로 제어하였다. 제안된 기법은 단일 PV 모듈이 연결된 불연속 전류모드 부스트 컨버터를 통해 동작 특성을 분석하였다.

### 1. 서론

태양광 발전 시스템은 신재생 에너지 분야에서 널리 사용되는 방법으로 이를 제어하기 위한 다양한 방법이 존재한다. 최근 태양광 발전 시스템은 낮은 출력을 인버터 동작을 위한 최소한의 전압으로 승압이 가능한 부스트 컨버터가 많이 사용된다. 본 논문에서는 부스트 컨버터를 불연속 전류모드에서 동작시켜 MOSFET의 턴온 및 턴오프 시간을 보장하여 스위칭 손실을 줄이는 장점이 있으며 기존 방식의 스위칭 시비율을 통한 제어 기법이 아닌 주파수를 통한 제어를 함으로써 동일 계열의 연속 전류모드 컨버터보다 인덕터 소자와 커패시터 소자의 크기를 줄여 갈수록 작아지는 전자기기에 대한 수요를 충족하게 한다.<sup>(1)</sup> 태양광 발전 시스템의 단점인 태양이 흐리게 떠있을 때와 밤에는 인덕터에 불연속 전류가 흐르게 되어 발전이 미비하다는 근본적인 한계를 보완하기 위해 태양광 발전 시스템의 병렬로 다른 신 재생 에너지 발전 시스템을 연결한 하이브리드 시스템에서의 제어를 용이하게 해주는 장점이 있다.

### 2. 본론

### 1.1 동작원리

부스트 컨버터의 구성은 그림 1과 같이 태양광 모듈(PV)에 병렬로 연결되어 있다. 스위치 모드 전원 컨버터(SPCs)는

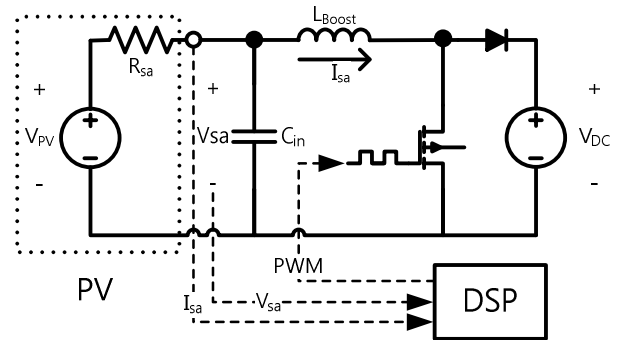


그림 1. 부스트 컨버터의 구성

불연속 전류모드로서  $1-D_1$ 이 고정되어 있으므로 인덕터에 흐르는 전류가 0이 되어 다이오드가 off되는 구간  $D_3$ 가 그림 2(c)이다.<sup>(2)</sup> 그림 2(a)는 스위치 턴 온 구간, 그림 2(b)는 스위치 턴 오프 구간이다.  $D_2$ 와  $D_3$  구간을 통하여 스위치 게이트의 충전된 전하가 턴 오프 시간 때 접지로 방전되는 동안 MOSFET은 전류를 더 이상 흐르지 않게 하는 시간이 필요한데 불연속 전류모드는 스위치를 켜고 끝 때 필요한 시간을 보장한다. 제어 기법은 부스트 컨버터의 전압루프를 통하여 주파수를 제어하며, 안정된 불연속 전류모드를 위해  $D_1$ 을 50% 시비율로 고정하면  $D_2$ 는 식 (1)에 의하여 정해지며 식 (2)에 의하여  $D_3$ 의 구간을 보장하게 된다.

$$D_2 = \frac{D_1 \times V_{sa}}{V_{DC} - V_{sa}} \quad (1)$$

$$D_3 = 1 - D_1 - D_2 \quad (2)$$

그림 1의  $V_{sa}$ 를 이용하여 전압루프 PI제어기를 설계하였다. PI제어기를 통해 고정된  $V_{DC}$ 를 기준으로 가변하는 태양광 모듈의 전압을 주파수를 변경하여 제어하였다. 수학적 시뮬레이션을 통해 설계된 PI제어기를 MCU를 이용하여 제어하고, 제어된 부스트 컨버터의 입력 전압과 입력 전류 정보를 MCU를 이용하여 P&O 기법으로 최대 전력점을

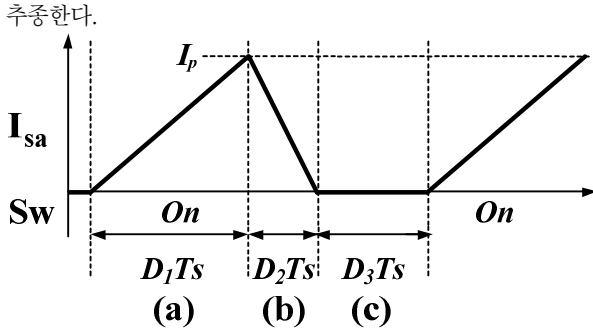


그림 2. 불연속 전류 모드의 입력전류 파형과 시비율

### 1.2 전달함수 특성

부스트 컨버터의 주파수를 제어하기 위해서는 전달함수를 태양광모듈의 출력과 스위칭 주파수로 구해야한다. 하지만 실제 전달함수를 구하기 위해서는 PSIM에서 주파수 변경을 통한 소신호 모델링을 하기 어렵기 때문에 PWM을 만드는 삼각파 캐리어의 주기를 변경하여 주파수를 변경하였고 주파수와 삼각파캐리어의 변동에 대한 전달함수를 곱하여 부스트 컨버터의 주파수변경을 위한 전달함수를 식(3)에 표현하였다.

$$\hat{V}_{sa} = \frac{\hat{V}_{sa}}{f} \times \frac{f}{\hat{V}_{sweep}} \quad (3)$$

태양광 모듈형부스트 컨버터를 상태평균화 기법을 통해 frequency to output의 전달함수를 식 (4)에 표현하였다.

$$\frac{\hat{V}_{sa}}{f} \quad (4)$$

$$= \frac{\frac{m}{f_s} (D_1 + D_2)}{\left\{ (c \times s) + \left( \frac{2D_1 + 2D_2 - 1}{R_{sa}} \right) + (D_1 + D_2) \left( \frac{D_1}{2Lf_s} \right) + \left( I_{sa} + \frac{2V_{sa}}{R_{sa}} \right) \left( \frac{D_1 + D_2}{V_{DC} - V_{sa}} \right) \right\}}$$

주파수와 삼각파캐리어에 관한 전달함수는 100u의 커패시터에 충전되는 전압을 10V마다 턴 오프해주어 발생하는 커패시터 전류의 적분값을 이용해 1V마다 1KHz가 스위칭되는 발생되도록하여 1000의 전달함수 상수값을 갖는다.

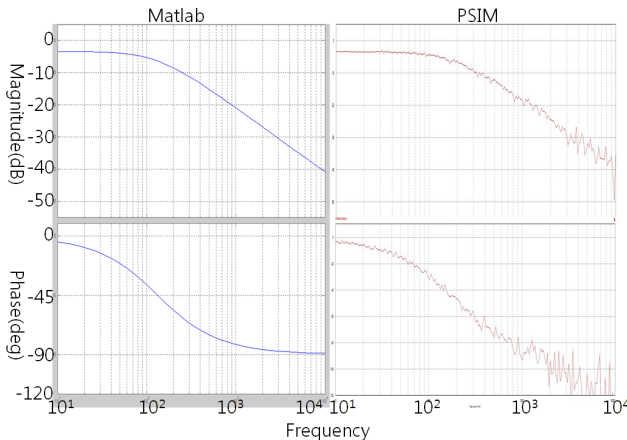


그림3. Matlab(좌), PSIM(우) 소신호 모델링

그림 3을 통해 식(4)와  $f/\hat{V}_{sweep}$ 의 전달함수 곱으로 주파수 변화에 따른 소신호 모델링을 Matlab을 통한 수학적계산에 의한 전달함수 특성을 나타내었고 이를 PSIM을 이용하여 소신호 모델링을 구현하여 전달함수

특성을 검증하였다. Pole의 위치가 100Hz 부근에 있기 때문에 제어기의 응답 주파수를 저속으로 설계하였다. PSIM에서 고주파 영역에서의 표현이 Matlab과 다르지만 제어영역에서는 영향을 주지 않으므로 고려하지 않았다.

표 1. 태양광 발전시스템의 부스트컨버터 주요 파라미터

$V_{PV}$	60V	$R_{sa}$	21.5Ω
$V_{sa}$	30V	$L_{boost}$	130uH
$V_{DC}$	156V	$C_{sa}$	100uF

### 3. 실험 결과

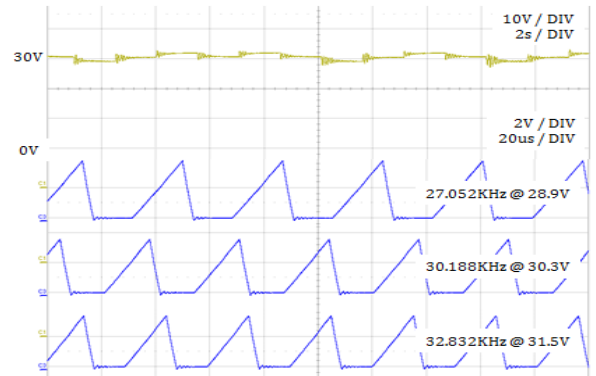


그림 4. 최대전력점 추종과 각 전압에서의 인덕터전류 파형

본 논문에서는 불연속전류모드에서 MPP레퍼런스를 30V로 적용했을 때 최대전력점추종 실험을 하였다. 그 결과 1.5V의 스텝변화를 통해 최대전력에 해당하는 MPPT를 추종하는 것을 볼 수 있고, 스텝변화시 스위칭주파수의 변화를 통해 주파수변화를 이용한 제어기법을 그림 4에 나타내었다.

### 4. 결론

본 논문에서는 태양광 발전시스템의 전력조절기에서 스위칭 주파수의 변화를 이용하여 최대전력추종 제어 구현을 제시하였다. 주파수변화 소신호 모델링을 삼각파 캐리어의 변화를 이용하여 PSIM과 MATLAB을 통해 주파수변화와 같은 특성을 갖게 됨을 검증하였고 MCU를 사용한 디지털제어 방식에서 주파수변화를 위한 PI제어기로 PV전압을 제어하였고 P&O기법을 사용하여 최대전력점 추종을 하는 전력조절기 시스템을 구현하였다.

### 참고문헌

- [1] 이영진, 한동화, 변병주, 최중목, 바이스갈랑, 최규하, DCM에서 PV시스템용 부스트 컨버터의 개선된 제어방식, The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 18, No. 4, 2013 August.
- [2] Rudolf P. Severns, GoModern DC-to-DC switchmode power converter circuits,, Van Nostrand Reinhold, pp. 73-77, 1985.