

태양광 PCS의 MPPT 효율향상 방안 연구

이승구, 김영록, 차한주
충남대학교 전기공학과

A study for MPPT efficiency improvement of PV PCS

Seunggoo Lee, Youngroc Kim, Hanju Cha
Chungnam National University

ABSTRACT

디지털 제어기에 의해 동작하는 단방향 DC-DC컨버터는 불연속 전도모드 구간에서 입력전류 기준치와 평균입력전류 사이에 오차가 존재하여 MPPT 추종이 부정확하고 MPPT 효율 역시 낮아진다. 따라서 본 논문은 전류제어를 하는데 전류오차를 2%까지 최소화할 수 있는 전류계인 전향보상기법을 이용하여 DCM 구간에서도 98%이상의 MPPT효율로 MPPT 수행이 가능함을 실험으로 증명하였다.

1. 서론

태양전지를 비롯한 그린에너지 공급원들은 지구에 한정적으로 존재하는 화석연료를 사용하지 않는다는 점과, 그 때문에 환경오염이 최소화 된다는 큰 장점이 있다. 따라서 그린에너지 시스템에서의 전력전자공학은 한정된 사양으로 제공되는 신재생 에너지 공급 장치에서 얼마나 효율적으로 전력을 변환할 수 있는지에 대한 문제점이 중요한 역할을 차지하고 있다. 발전이라는 응용분야의 특성상 효율은 발전시스템의 핵심이다. 따라서 태양광 어레이의 낮은 출력전압의 승압이 요구되기 때문에 부스트컨버터의 연계가 불가피하고 발전효율의 향상을 위해 MPPT (Maximum Power Point Tracking) 알고리즘을 수행해야 하며, 이 과정에서 컨버터는 CCM(Continuous Conduction Mode)과 DCM(Discontinuous Conduction Mode) 모든 구간에서 동작해야한다. CCM과 달리 DCM은 영전류 구간이 존재함으로 인해 디지털 제어기에서 평균전류를 구하는데 어려움이 있다. 따라서 본 논문은 최대 2%의 전류오차만을 허용하는 전류계인 전향보상기법을 제안하고 실험으로 적용 가능성을 검증하였다. 추가로 DCM 구간에서 MPPT 시뮬레이션 및 실험을 시행하여 최소 98%발전효율로 동작함에 따라 제안기법의 DCM 전류제어 성능을 재확인하였다.

2. 3상 인터리브드 부스트 컨버터

2.1 3상 인터리브드 부스트 컨버터 특징 및 효과

인터리브 방식의 3상 구조는 PV array와 컨버터 사이의 입력전류 리플을 감소시켜 DC 링크의 전압 및 전류의 리플을 감소시켜 효율 상승을 유도하고, 부가적으로 능동 소자의 용량과 사이즈를 줄이기 위한 효과를 얻을 수 있다. 이때의 리플크기는 듀티비에 따라 단상보다 약 $1/N$ 배로 감소되며 입력전류

의 리플 주파수는 인덕터 전류의 3배 크기로 증가한다. 그 결과 입력전류와 출력전압의 리플감소 효과로 L, C필터 용량 및 체적감소의 이점을 얻을 수 있다[1].

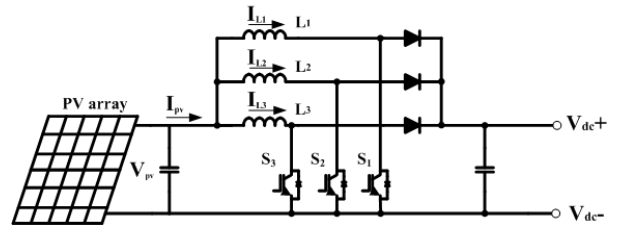


그림 1 3상 인터리브드 부스트 컨버터 토폴로지

3. MPPT 효율 향상 방안

3.1 전류계인 전향보상기법

이 기법은 DCM구간에서 입력전류 기준치와 평균입력전류와의 오차를 최소화할 수 있는 DCM전류제어 기법으로써 우선 입력전압, 출력전압, 스위칭 주기, 인덕턴스는 일정한 상수로 가정한다. 정상상태, DCM 구간에는 최소전류 I_{min} 은 0이 되고, 부스트컨버터 인덕터 전류의 상승과 하강구간에서 최대전류 I_{max} 는 동일하므로

$$\frac{V_{pv}}{L} DT_s = \frac{V_{dc} - V_{pv}}{L} (1-D) T_s \quad (1)$$

이 된다. $(1-D)$ 를 Δ 로 정의하면

$$\frac{V_{pv}}{L} DT_s = \frac{V_{dc} - V_{pv}}{L} \Delta T_s \quad (2)$$

로 다시 표현이 가능하며 다시 정리하면 아래와 같은 수식을 유도할 수 있다.

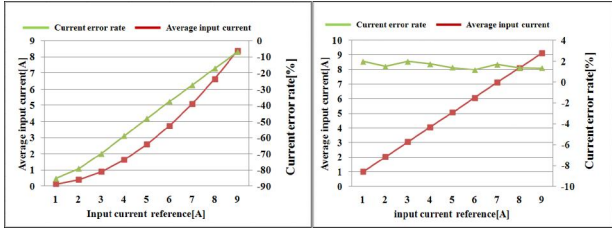
$$V_{pv}(D + \Delta) = V_{dc}\Delta \quad (3)$$

$$\Delta = \frac{V_{pv}}{V_{dc} - V_{pv}} D \quad (4)$$

식(4)로부터 전류계인 전향보상기법에 쓰일 $gain = D + \Delta$ 을 구할 수 있다. 이 계인($0 < \text{계인} < 1$)을 A/D 컨버터로 변환된 전류 피드백에 곱을 한 후 듀티비를 산출하기 위한 PI제어기에 적용되면 DCM 동작에서 필연적으로 발생하는 입력전류 기준치와 입력전류의 평균값 사이의 불일치현상을 최소화 할 수 있다. 그림 2는 컨버터의 입력전압 V_{pv} 530V에서 DC-link 전압 V_{dc} 700V으로 승압 시 DCM과 CCM 경계구간에 속하는 I_{in_ref} 1A-9A까지 제안기법을 미적용 및 적용한 실험결과를 그래프로 나타내고 있다.

표 1 컨버터의 동작에 따른 게인 범위

게인 < 1	DCM 동작
게인 = 1	DCM과 CCM 경계점
게인 > 1	CCM 동작



(a) 제한한 기법 미적용 (b) 제한한 기법 적용
그림 2 제한한 기법의 실험 결과

3.2 1차 저역통과 필터

MPPT 알고리즘 수행 시 입력전류 기준치의 증감기준이 되는 입력전압, 입력전류는 A/D변환된 전압, 전류를 아래 수식의 1차 저역통과필터로 필터링한 후 MPPT 수행주기 0.2s로 평균 낸 값으로 계산하였다. 이때 차단 주파수는 데이터 지연을 고려해 1.4kHz를 선정하였다.

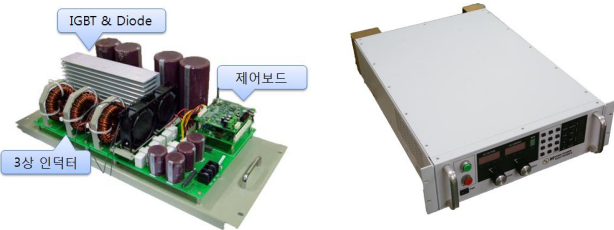
$$y(k) = y(k-1) + [x(k) + x(k-1) - 2y(k-1)]\alpha \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{T_s}{2T_c + T_s}$$

(y : 필터링 된 결과 값, x : 원본 데이터 값, k : 데이터 번호, T_s : 스위칭 주기, T_c : 필터 주기, α : 필터 게인)

4. 시뮬레이션 및 실험 결과

실험에는 그림 3의 실험 세트와 50kW 태양광 인버터, Magna-Power Electronics사 PV시뮬레이터 TS 600-16을 이용하였고, MPPT 알고리즘은 전류형 최대전력점 추종제어 기법(CMPPT)을 사용하였다[2]. 표 2는 시뮬레이션 및 실험을 위해 설정된 V-I 곡선 1, 2의 파라미터를 보여주고 있다.



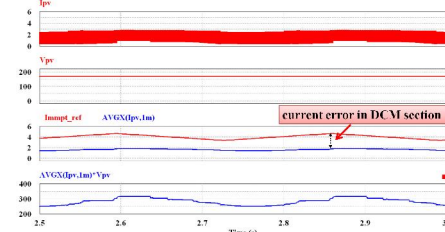
(a) 10kW 3상 인버터부드 부스트 컨버터 (b) PV simulator
그림 3 실험 세트의 구성

표 2 V-I곡선의 파라미터

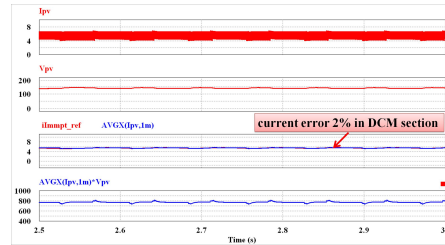
Parameter	곡선 1	곡선 2
V _{OC}	170[V]	170[V]
I _{SC}	4.5[A]	6.5[A]
I _{rad}	700[W/m ²]	1000[W/m ²]
T	25[°C]	25[°C]
Maximum Power	541[W]	775[W]
V _{MPP}	141[V]	141[V]
I _{MPP}	3.8[A]	5.5[A]

그림 4는 각각 제한기법이 적용되지 않았을 경우와 적용되었을 경우 곡선2의 MPPT 시뮬레이션 결과 파형으로 그림 4(a)의

경우 MPPT 입력전류 기준치 I_{mppt_ref}와 입력전류 I_{pv}사이 전류 오차가 약2배가량 발생되어 부스트 컨버터는 최대전력점을 정확히 추종하지 못하고 있다. 하지만 그림 4(b)의 경우 MPPT 입력전류 기준치와 입력전류사이 전류오차가 약 2%만 존재하기 때문에 부스트 컨버터는 최대전력점 MPP를 정확히 추종하는 것을 볼 수 있다. 그림 5 (a)와 (b)는 V-I곡선1과 2의 전력, 전압, 전류의 파형으로써 각 곡선의 최대전력점을 기준으로 약 98%이상의 MPPT효율로 동작하는 것을 볼 수 있다.

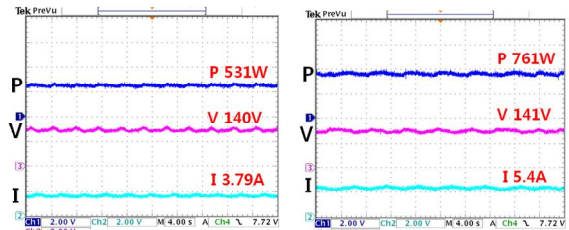


(a)



(b)

그림 4 (a) V-I 곡선2의 MPPT 시뮬레이션 결과(기법 미적용) (b) V-I 곡선2의 MPPT 시뮬레이션 결과(기법 적용)



(a)

(b)

그림 5 (a) V-I곡선1의 정상상태 파형 (b) V-I곡선2의 정상상태 파형 (P : 444W/div, V : 90V/div, I : 4.4A/div)

5. 결 론

본 논문에서는 DCM 구간에서 부스트 컨버터가 안정적인 MPPT 알고리즘을 수행하도록 전류계인 전향보상기법을 적용하였다. 이때 사용되는 전압, 전류 파라미터들은 1차 저역통과 필터를 적용하였고, MPPT기법은 전류형 최대전력점 추종제어 기법을 적용하여 시뮬레이션 및 실험을 하였다. 그 결과 DCM 구간에서도 부스트컨버터는 98%이상의 MPPT 효율로 정확히 최대전력점을 추종할 수 있음을 실험을 통해 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] 강영주, 차한주, “멀티스트링 태양광 인버터용 인터리브드 부스트 컨버터의 설계 및 제어”, 대한전기학회논문지, Trans. Vol. 60, No. 3, pp538-543, 2011.
- [2] 차한주, 이상희, 김재연, “전류형 MPPT를 이용한 3kW 태양광 인버터 시스템 제어기 설계 및 구현”, 대한전기학회논문지, Vol 57, No. 10, pp1796-1801, 2008.