

인덕터 전류를 이용한 태양광 직류 모듈 집적형 전력변환장치 제어

이희서, 김동희, 이은주, 이병국*
성균관대학교 정보통신대학

Photovoltaic DC Module Integrated Converter Control using Inductor Current

Hee Seo Lee, Dong Hee Kim, Eun Ju Lee, and Byoung Kuk Lee*
College of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문에서는 태양광 발전 시스템의 직류 모듈 집적형 전력 변환장치를 인덕터 전류 및 입·출력 전압을 이용하여 MPPT 및 출력 전류 제한을 수행하는 제어 방법을 제안한다. 이를 통해 기존의 입·출력 전류 및 입력 전압을 이용하는 방식에 비해 전류 센서를 한 개 줄이면서 동일한 특성으로 제어가 가능하다. 또한 실험을 통해 제안하는 방식의 타당성을 검증한다.

1. 서 론

태양광 발전 시스템의 모듈 간 출력 불평형은 전체 시스템 출력 저하의 원인이 된다. 이에 대한 대책의 하나로써 개별 모듈마다 MPPT 제어를 수행하고, 계통 연계 및 String 전압 제어는 중앙 인버터에서 수행하는 직류 모듈 집적형 전력변환장치 (DC Module Integrated Converter)가 개발되었다. 각각의 DC MIC는 입력 전압을 승·강압 하여 개별 모듈의 MPPT 제어를 수행하며 모듈의 출력이 극히 적을 때는 String의 전류를 Bypass 시키는 동작을 수행한다. 그리고 출력 전압 및 전류를 정상 동작 범위에서 벗어나지 않도록 제한하는 기능도 포함한다. 이처럼 DC MIC의 동작에는 입력 및 출력 전압/전류를 측정해야 한다. 그런데 센서의 개수를 줄이면서 동일한 특성을 낼 수 있다면 경제적인 관점 및 동작 특성 측면에서 장점을 가질 수 있다.

본 논문에서는 인덕터 전류를 측정하여 DC MIC의 MPPT 및 출력 전류 제한 기능을 수행하는 제어 방법을 제안한다. 이를 위해 우선 DC MIC에 요구되는 동작 및 기존 제어 방법에 대하여 알아본다. 그리고 각 모드별 On/Off 동작을 분석하여 인덕터 전류로 기존의 두 전류 센서를 대체할 수 있는 방법을 제안한다. 마지막으로 제안한 방법은 Test Bed를 이용한 실험으로 검증한다.

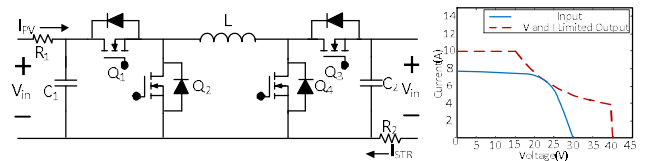
2. 인덕터 전류를 이용한 MPPT

2.1 기존 DC-MIC 제어

태양광 전력변환장치의 가장 중요한 기능은 최대 출력 전압을 추종하는 MPPT 제어이다. MPPT 방식으로는 P&O 및 InC 등의 Trial & Error를 바탕으로 하는 다양한 제어 방식이 제안되었으며 기본적으로 모듈의 출력 전류 및 전압을 곱하여 전력을 계산하여 과거의 값과 비교하는 방식으로 최대 출력 전압을

찾아낸다. 이를 위해 모듈 출력 전력 계산을 위한 입력 전류 및 전압 센서가 필요하다. 그리고 전력변환장치의 출력 전압 및 전류가 정상 동작 범위를 벗어나면 기기 고장을 유발할 수 있기 때문에 출력을 제한하기 위한 전압 및 전류를 측정한다.

그림 1 (a)는 MPPT 및 출력 제한을 위해 입·출력 전압 및 전류를 측정하는 DC MIC 토폴로지를 보여준다^[1]. 토폴로지는 Cascaded Buck Boost 컨버터 구조이며 동기정류 방식을 사용한다. 그림 1 (b)는 태양광 모듈의 V-I 특성 및 출력 전류 및 전압이 제한된 DC MIC 출력 특성을 보여준다^[2].



(a) 입·출력 전류를 측정하는 토폴로지 (b) 출력 제한 V-I 곡선
그림 1 기존의 DC-MIC 토폴로지 및 출력이 제한된 V-I 곡선
Fig. 1 Existing DC-MIC topology and output limited V-I curve

2.2 인덕터 전류를 이용한 DC-MIC 제어

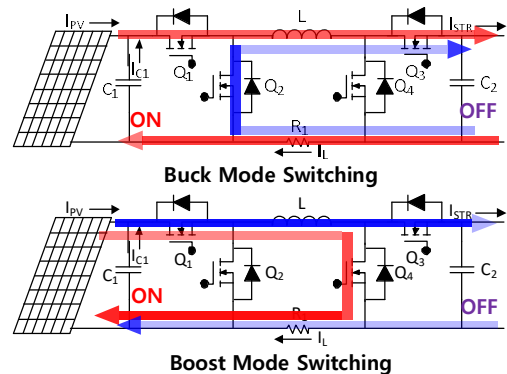


그림 2 제안하는 DC-MIC 토폴로지 및 모드별 On/Off 동작
Fig. 2 Proposed DC-MIC topology and On/Off operation flow

그림 2는 제안하는 토폴로지 및 동작 모드별 On/Off시의 전류 흐름을 나타낸다. Boost 모드부터 살펴보면 On/Off 모두 입력되는 전류가 인덕터에 그대로 흐른다. 그러므로 인덕터 전류를 측정하여 MPPT 제어를 수행할 수 있다. 그리고 Boost 모드에서는 입력 전류보다 출력 전류가 작으므로 출력 전류 측정이 필요 없다. 다음으로 Buck 모드를 살펴보면 On/Off 모두

인덕터 전류가 출력으로 그대로 흐른다. 그러므로 DC MIC의 출력 전류 제한을 위한 별도의 출력 전류 측정이 필요 없다. 하지만 MPPT 제어는 불가능한데 Buck 모드는 입력 전류를 Chopping 하므로 입력 전류와 인덕터에 흐르는 전류가 다르기 때문이다. 즉 Buck 모드에서 인덕터 전류를 그대로 이용하여 MPPT를 수행하면 정확한 최대 출력 점을 얻을 수 없다.

본 논문에서는 이러한 문제를 Buck 모드의 입력 전압과 출력 전압의 관계를 입력 전류와 출력 전류의 관계로 바꾸어 해결하였다. 다시 말하면 식 (1), (2)에서 표현한 것과 같이 Buck 모드에서 입력 전류는 출력 전류에 전압 전달비를 곱한 것과 같으며 이때 출력 전류는 인덕터 전류와 같으므로 인덕터 전류를 통해 모듈 전류를 구할 수 있다. 이 방법을 통해 인덕터 전류를 사용하여 Buck, Boost 모드 각각의 MPPT를 수행할 수 있으며 Buck 모드로 동작할 때 출력 전류를 제한할 수 있다.

$$\frac{V_{OUT}}{V_{\in}} = D \rightarrow \frac{I_{OUT}}{I_{\in}} = \frac{1}{D} \quad (1)$$

$$I_{PV} = D \times I_L \quad (2)$$

3. 실험 및 결과

3.1 실험 조건

그림 3은 제안한 제어 방법을 검증하기 위한 Test Bed를 보여준다. 전원은 Agilent社의 태양광 Simulator를 사용하여 실제 태양광 모듈 특성을 모의하였으며 부하는 KIKUSUI社의 PLZ334W를 사용하였다. DC MIC는 250W 정격의 태양광 모듈을 기준으로 설계하였으며 표 1에 설계 사양을 정리하였다.

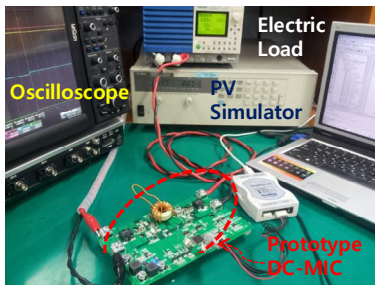


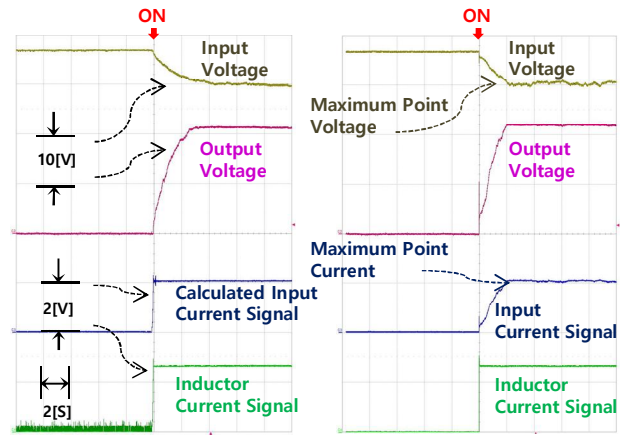
그림 3 제안한 제어 방법 확인을 위한 Test Bed
Fig. 3 Test bed for verifying the proposed control method

표 1 DC-MIC 설계 사양
Table 1 DC-MIC design specifications

Controller	TMS320F28035	Inductor	20[μH]
Switching Frequency	200[kHz]	Input/Output Capacitor	46 / 53[μF]
Input Rating	30.5[V], 8.2[A]	Output limit	40[V], 10[A]

3.2 실험 결과

실험은 태양광 모듈의 최대출력이 150W일 때를 가정하여 인덕터 전류를 이용해서 Buck 모드에서도 최대 출력 전압을 정확하게 추종하는지에 대하여 진행하였다. 이를 위해 저대역 통과 필터로 리플 성분을 없앤 인덕터 전류를 식 (2)의 관계식으로 입력 전류로 변환하여 MPPT를 수행하였고, 입력 전류를 그대로 이용한 MPPT와 비교하여 동작 특성을 확인하였다.



(a) 제안한 방법 사용 MPPT (b) 기존 방법 사용 MPPT
그림 4 제안한 제어 방법에 의한 실험 결과

Fig. 4 Experimental results by proposed control method

우선 Buck 모드에서 인덕터 전류를 이용하여 MPPT를 수행할 수 있는지 확인한다. 그림 4 (a)는 DSP로 입력되는 인덕터 전류와 이를 이용하여 계산한 입력 전류를 DAC (Digital to Analog Converter)로 출력하였다. 계산된 입력 전류는 그림 4 (b)의 입력 전류 DAC 출력 값과 비교하여 크기가 같음을 알 수 있고, 이를 통해 Buck 모드일 때 입력 전압 및 인덕터 전류를 이용하여 입력 전류를 계산해낼 수 있음을 확인했다.

MPPT 특성을 비교하면 그림 4 (a)와 같이 인덕터 전류를 이용하여 2초 이내에 최대 전력 전압을 추종하며 이는 그림 4 (b)의 입력 전류를 이용한 결과와 같다.

4. 결 론

본 논문에서는 기존의 입·출력 전류 및 전압을 이용하는 DC MIC 제어방법보다 전류 센서를 한 개 줄인 인덕터 전류를 이용한 MPPT 및 출력 전류를 제한하는 방법을 제안하였다. 제안된 제어 방법은 Test bed를 이용한 실험을 통해 검증되었으며 기존의 방식과 동일한 특성을 확인하였다. 이를 통해 시스템 구축비용을 절감시킬 수 있으며 Shunt 저항을 한 개 줄임으로써 효율을 증가시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한 인덕터 전류를 이용하면 기존의 입·출력 전류 측정으로는 불가능한 전류 모드 제어를 이용하여 과도 상태 특성을 향상시킬 수 있으므로 향후 전류 모드 제어를 구현할 예정이다.

본 논문은 (주)삼성전기의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

[1] National Semiconductor Corporation, SM3320 1A1 SolarMagic Power Optimizer, www.solarmagic.com, 2010, July.
[2] Perry Tsao, Sameh Sarhan, Ismail Jorio, "Distributed max power point tracking for photovoltaic arrays", Photovoltaic Specialists Conference, Addison Wesley Publishing Company, pp. 2293-2298, 2009, June.