태양광 모듈 집적형 전력변환장치의 제어 시퀀스의 분석 및 구현

이은주, 김동희, 이병국*
성균관대학교 정보통신대학

Analysis and Realization of Control Sequence of Photovoltaic Module Integrated Converter

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

ABSTRACT

본 논문에서는 태양광 모듈 집적형 전력변환장치 (Photovoltaic Module Integrated Converter, PV MIC)를 구동하기 위한 제어 시퀀스를 분석하고 이를 구현한다. 이를 위해 Cascade Buck-Boost Converter Topology를 채택하였고, 이를 기반으로 일사조건에 따른 최대 전력점 추종을 위해 PV MIC의 동작 모드를 결정하는 제어 시퀀스를 제안한다. 실제 PV Module을 연결한 PV MIC의 구동 실험을 통하여 제안한 제어 시퀀스를 검증한다.

1. 서론

태양광 발전 시스템은 다른 발전 방식에 비해 운전과 유지보수가 용이하며 Module로 구성하기 때문에 수요나 지형에 맞게 설계 할 수 있는 장점이 있어 각광 받는 미래 에너지원이다. 그러나 태양전지의 출력은 환경적인 요소에 크게 영향을 받아 비선형적으로 변화하는 특성을 가져 태양광 발전 시스템에서는 출력 및 효율을 최대화하기 위한 최대 전력점 추종 (Maximum Power Point Tracking, MPPT)제어가 필수적이다.

종래의 중앙 PCS에 의한 중앙 MPPT의 경우 일부 PV Module에서의 출력이 감소하는 경우 스트링 전류의 감소를 유발하여 MPPT 제어가 최적으로 이루어지지 못하는 한계가 있었다. 이와 달리 PV MIC는 각 PV Module에 연결되어 일부 PV Module의 출력이 감소하는 경우 전체 시스템 출력의 급감을 막고 변화하는 MPP를 추종한다. 주변 환경에 따라 민감하게 변화하는 PV Module의 출력 특성상 효과적인 MPPT 제어를 위해 PV MIC의 동작모드 결정에 대한 시퀀스의 정립 및 검증이 요구된다.

본 논문에서는 태양광 발전 시스템의 출력을 극대화하기 위한 PV MIC의 MPPT 동작을 분석한 기본 시퀀스를 제시하고 실제 PV MIC의 동작을 확인한다. 그리고 부분음영의 영향으로 인한 PV Module과 PV 스트링의 출력 특성 변화를 고려하여 PV MIC의 제어 시퀀스를 제시한다. 이를 실제 실험 결과와 대조하여 검증한다.

2. 본론

2.1 PV MIC의 MPPT 제어 및 구동

PV MIC의 Topology로 승강압이 가능하며 상대적으로 동작효율이 높은 Casecade Buck-Boost Converter를 채택하였다. MPP 추종을 위한 제어 알고리즘으로 P&O 알고리즘을 채택하였으며 PI 제어를 통해 지령치를 추종하도록 제어한다. 이는 정밀한 제어와 변수의 세밀한 조정이 가능한 DSP Controller (TMS320F28035) 를 통해 수행되도록 하였으며 Controller는 입력 전압, 입력 전류와 출력 전압, 출력 전류를 비교하여 PV MIC의 동작모드를 판별하고 Gate Signal를 내보내 PV MIC를 구동한다.

2.2 PV MIC의 제어를 위한 기본 시퀀스의 제안

그림 1에 PV MIC의 동작을 위한 기본 시퀀스 다이어그램을 제시하였다. PV MIC는 제어 loop를 통한 reference값과 출력 전압을 비교하며 기본 동작 시퀀스에 따라 동작모드를 결정한다.

Buck Mode로 초기 구동을 시작하여 급격한 출력의 증가를 막았으며 일사조건에 따라 MPPT 제어를 통한 레퍼런스값 V^{*}_{in}과 출력 전압 V_{out}을 비교하게 된다. 그 결과 Buck Mode를 유지하거나 Panel의 출력 전압을 그대로 전달하는 Panel Mode 또는 승압시키는 Boost Mode로 동작 모드를 변경하게 된다. 이를 확인하기 위해 KPE사의 PV Module (KPEM-S150A72)와 PV MIC를 연결하여 부하 임피던스의 변경을 통해 일사조건의 변경을 모의하여 제어 시퀀스에 따라 동작모드가 변경됨을 확인하였다. PV Module의 출력은 85±5% [W]이었으며 R_{mp}는 7.72 [Ω]이다.

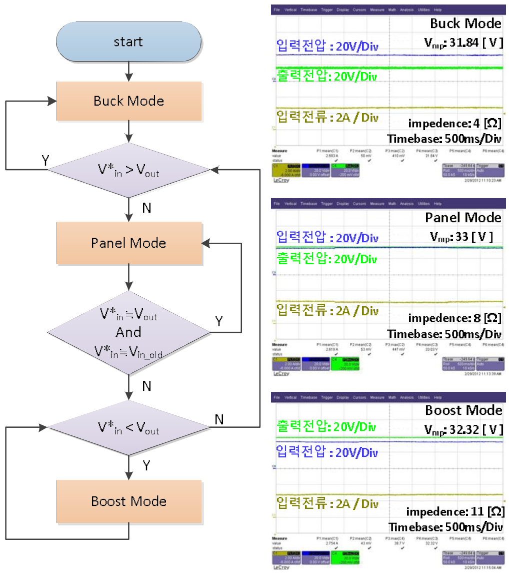


그림 1 기본 동작 시퀀스 다이어그램 및 검증

Fig. 1 Operation sequence diagram & verification

2.3 부분 음영 조건에서의 PV MIC 구동 제어 시퀀스

주변 환경에 의한 부분음영이 발생하는 경우 PV Module의 바이패스 다이오드가 도통하여 PV Array의 국부적인 MPP가 나타날 수 있다.[1] 그림 2에서와 같이 일부 PV Module에서 부분음영에 의한 출력이 감소하는 경우 원래의 MPP는 A점이었으나 부분 음영의 영향으로 MPP는 B점으로 변화하게 된다.[1][2] PV MIC는 변화하는 MPP를 추종하기 위하여 앞서 제시한 기본 시퀀스에 따라 V^{*}_{in}과 V_{out}을 비교하여 동작모드를 결정한다.

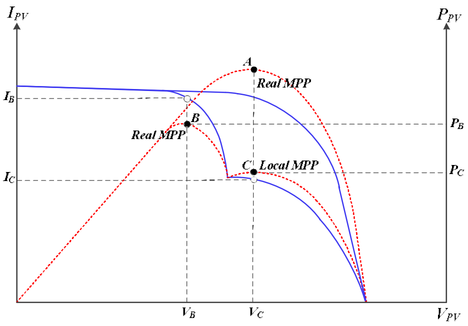


그림 2 부분음영시 PV 스트링의 출력 특성

Fig. 2 Tracking characteristics of PV string with partial shadow condition

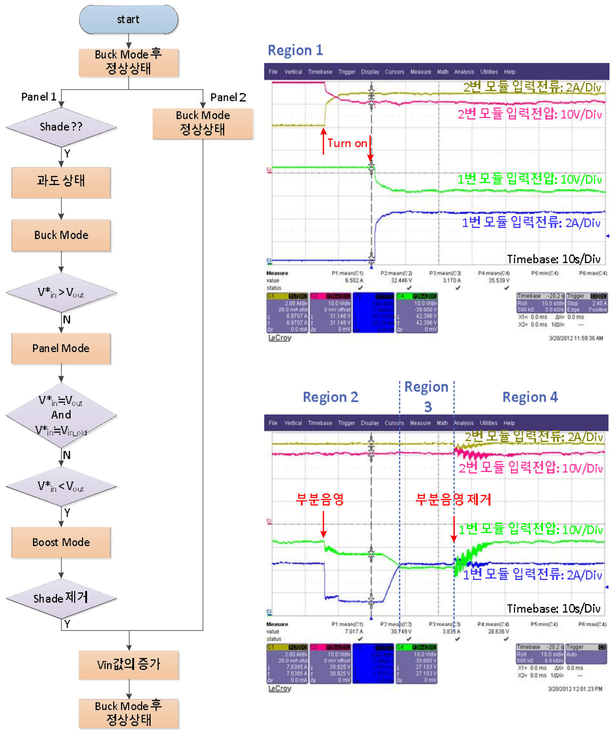
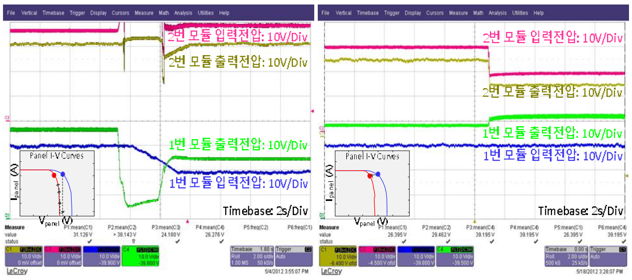


그림 3 부분 음영 조건에서의 제어 시퀀스 다이어그램 및 검증

Fig. 3 Control sequence diagram & verification with partially shadow condition

시퀀스의 검증을 위해 2개의 PV Module과 PV MIC를 연결하고 직렬 스트링으로 구성하여 1개의 PV Module에 대해 부분 음영 조건을 조성하고 제어 시퀀스에 따라 MPPT 동작을 하는 것을 확인하였다. 그림 3의 Region 1에서와 같이 양 PV MIC는 Buck Mode로 초기 기동을 시작하며 Region 2에서 Module 1에 부분음영이 발생하면서 변화한 MPP를 추종하기 위한 레퍼런스 V^{*}_{in}이 낮아지고 Module 1에 연결된 PV MIC는 이를 추종하기 위해 동작 모드를 바꾼다. Panel Mode를 거쳐 Boost Mode에 도달하여 MPPT를 완료하게 되는 것이 Region 3에 나타나며 그 동안 음영이 지지 않은 Module에 연결된 다른 PV MIC의 경우 Buck Mode를 유지하게 된다. 그 후 Region 4에서는 부분 음영을 제거하여 1번 Module의 $V^{*}in$이 다시 증가하게 되며 PV MIC는 Buck Mode로 복귀한다.

또한 DSP Controller는 다양한 제어변수의 삽입을 통해 정밀한 제어가 가능하며 제안된 제어 시퀀스는 MPPT의 개선을 위해 수정될 수 있다. 그림 4(a)에서와 같이 부분 음영이 지는 Paenl에 연결된 PV MIC는 P&O step에 따라 MPPT 과정을 다시 시작하게 되어 출력전압의 급감이 발생하였다. 이를 개선하기 위해 갑작스런 MPP의 변동이 일어나는 경우 원래 유지되던 MPP전압에서 일정 전압을 뺀 레퍼런스 지령이 내려지도록 제어방법을 수정하여 그림 4(b)에서와 같이 안정적인 MPPT의 수행을 확인하였다.



(a) (b)

그림 4 수정된 제어 알고리즘을 통한 MPPT의 개선

Fig. 4 Improvement of MPPT by modifying of control algorithm

3. 결론

본 논문에서는 전체 태양광 발전 시스템에서의 일부 Module의 출력 감소로 인한 효율 급감을 완화하고 효율적인 MPPT를 수행하는 PV MIC의 제어 시퀀스를 제시하고 실험으로 확인하였다. 디지털 제어는 민감한 특성을 가지는 PV Module의 출력을 정밀하게 제어할 수 있어 과도상태 응답특성의 조절이 가능하다. 본 논문에서와 같은 다양한 조건에서의 PV MIC 동작 시퀀스의 제시 및 확인을 통한 제어 시퀀스의 정립은 실제 다양한 조건에 노출되는 태양광 발전 시스템의 최적 MPPT 구현에 활용이 가능할 것으로 기대된다.

본 논문은 (주)삼성전기의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

[1] H. Patel and V. Agarwal, “Maximum Power Point Tracking Scheme for PV Systems Operating Under Partially Shaded Conditions”, in Industrial Electronics, IEEE Transactions on, Volume 55, Issue 4, 2008, pp. 1689-1698.

[2] 최정식, 고재섭, 정동화. “그림자 영향을 고려한 PV 시스템의 VPO MPPT 제어”, 전력전자학회논문지, 제16권 제5호 2011. 10, pp. 521-531