

# 에너지 저장장치를 갖는 고 전력밀도 및 저가격형 태양광 인버터 시스템

장두희, 지상근, 박정필\*, 정남성\*, 노정욱, 홍성수, 한상규  
 국민대학교 전력전자 연구소, \*삼성SDI(주) 전지 사업부

## High Power Density and Low Cost Photovoltaic Power Conditioning System with Energy Storage System

Doo-Hee Jang, Sang-Keun Ji, Jung-Pil Park\*, Nam-Sung Jung\*, Chung-Wook Roh  
 Sung-Soo Hong, Sang-Kyoo Han

Kookmin University Power Electronics center, SAMSUNG SDI Co. LTD\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 고전력 밀도 및 저가형으로 구현이 가능한 새로운 구조의 계통 연계형 태양광 인버터 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 태양전지의 최대 전력점 추종기능과 배터리의 충·방전 기능을 통합하여 기존 3단 구성을 2단으로 줄임으로써 시스템 제작단가가 낮아지고 고전력 밀도 구성이 가능하다. 제안 시스템의 우수성과 신뢰성 검증을 위하여 1.5kW급 PV PCS 시제품을 제작하고 이를 이용한 실험결과를 바탕으로 제안 시스템의 타당성을 검증한다.

### 1. 서론

현재까지 가장 많이 사용되고 있는 배터리를 이용한 계통 연계형 PV PCS(Photovoltaic Power Conditioning System)는 그림 1과 같이 MPPT(Maximum Power Point Tracking)부, BDC(Bi Directional Converter)부, 인버터부의 3단으로 구성되어 있다.<sup>[1][2]</sup> 이러한 태양광 발전 시스템은 에너지 저장장치를 가지고 있으므로 일사량에 관계없이 계통에 항상 일정한 전력을 공급할 수 있어 계통의 신뢰성을 향상시킬 수 있으며 계통의 정전 시에도 부하의 에너지를 지속적으로 공급할 수 있으므로 전원 신뢰성을 향상시킬 수 있는 우수한 장점을 갖는다. 그러나 MPPT부, BDC부, 인버터부의 3단 구성으로 인하여 시스템 가격이 높고 소자수가 많으며 부피가 매우 커지는 문제점을 갖는다.

따라서 본 논문에서는 에너지 저장장치를 가지므로 계통 및 전원 신뢰성을 높일 수 있고 기존 3단 구성의 전력 단을 2단으로 줄임으로써 시스템 가격과 부피를 대폭 개선할 수 있는 고 전력밀도 및 저 가격형의 새로운 PV PCS를 제안하고, 제안 시스템의 이론 및 실험적 분석을 통하여 그 우수성을 검증한다.

### 2. 제안 태양광 인버터 시스템

본 논문에서는 MPPT부와 BDC부를 통합하는 새로운 구조의 PV PCS를 제안한다. 제안된 태양광 인버터 시스템은 그림 2와 같이 MPPT부와 BDC부를 통합하여 시스템의 소자 수를 크게 줄일 수 있고, 이로 인하여 고전력 밀도의 태양광 인버터 시스템 구성이 가능하다.

제안 시스템의 동작 구성은 크게 3가지 모드로 태양 전지로

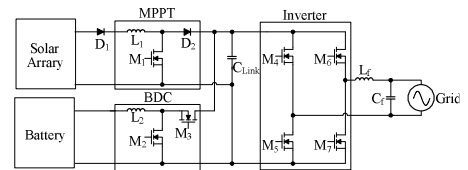


그림 1. 기존 태양광 인버터 시스템

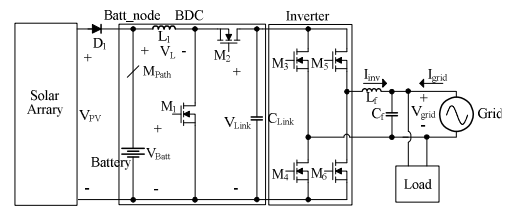


그림 2. 제안된 새로운 구조의 태양광 인버터 시스템

부터 발생한 전력을 계통으로 공급하는 전력전달모드, 방전된 배터리를 계통으로부터 전력을 공급 받아 배터리를 충전하는 충전모드, 정전 시 태양전지 및 배터리로부터 부하에 필요한 전력량을 공급하는 방전 모드로 구성된다.

#### 2.1 전력 전달 모드

제안 시스템의 전력 전달모드는  $D_1$  다이오드가 도통되고  $M_{path}$  스위치는 off되어 태양전지에서 발생된 전력을 계통으로 전달한다. 제안 시스템의 동작은 기존 시스템의 전력전달모드와는 다르게 Synchronous 부스트 컨버터로 동작한다. 따라서  $M_1$  스위치와  $M_2$  스위치는 반대로 동작을 하게 된다. 전력 전달모드의 입출력 관계는 인덕터  $L_1$ 에 인가되는 양단 전압  $V_L$ 의 Volt·Sec 평형 조건을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{V_{Link}}{V_{MPP}} = \frac{1}{1-D} \quad (1)$$

#### 2.2 충전모드

제안 시스템의 충전 모드는  $M_{path}$  스위치가 On되어 기존 태양광 인버터 시스템과 동일하게 배터리에 필요한 전력을 계통으로부터 공급받아 배터리를 충전하게 된다. 이때  $M_1$  스위치와  $M_2$  스위치의 동작은 Synchronous 벡 컨버터와 동일한 동작을 하므로  $M_1$  스위치와  $M_2$  스위치는 반대로 동작을 하게 된다. 인덕터  $L_1$ 에 인가되는 양단 전압  $V_L$ 의 Volt·Sec 평형 조건을 이용하여 충전 모드의 입출력 관계식을 구하면 다음과 같다.

$$\frac{V_{MPP}}{V_{Link}} = D \quad (2)$$

### 2.3 방전모드

제안 시스템의 방전모드는 정전 발생시 부하에 필요한 에너지를 배터리에서 부하로 공급하는 모드로써  $M_{path}$  스위치를 On함으로써 동작이 이루어지고, 방전 모드의 동작은 앞서 언급한 2.1절의 전력전달모드와 동일한 동작인 Synchronous 부스트 컨버터로 동작한다. 방전 모드의 전력 전달은 태양전지와 배터리의 병렬접속으로 인하여 태양전지의 전압은 배터리 전압으로 항상 클램핑 되고 태양전지와 배터리는 부하에 필요한 전력량을 공급하게 된다. 이때 태양전지의 전력 발생량이 부하 전력량보다 작은 경우에는 태양전지에서 발생한 전력량을 모두 부하로 공급하고, 부족한 전력량만을 배터리에서 부하로 공급하게 된다. 반대로 태양전지의 전력 발생량이 부하 전력량 보다 큰 경우에는 태양전지의 잉여전력량이 발생하므로, 태양전지의 잉여 전력량은 배터리로 직접 충전된다. 따라서 별도의 배터리 충전 회로가 사용되지 않으므로 충전효율이 우수하고, 부하에 필요한 전력량을 별도의 제어 없이 공급할 수 있으므로 시스템 제어 알고리즘이 매우 간단해지는 장점을 갖는다.

## 3. 실험 및 결과

제안 시스템의 타당성 및 우수성 검증을 위해 1.5kW급 태양광 발전 시스템 시작품을 제작하였고, 실험에 사용된 소자들은 다음과 같다.

DSP: TMS320F28335, PV array: 1.5kW ( $V_{oc}=290V$ ,  $I_{sc}=7.2A$ ), Load power:  $P_{load}=250W$ , Batteries: PNB12340 12V/30A \* 13EA, Utility: single-phase 220Vrms/ 60Hz,  $L=600\mu H$ ,  $C_{link}=1.36mF$ , Power switch:  $M_1, M_2=FQA24N60(600V/24A)$ , Switching frequency:  $f_{sw}=30kHz$ , MPPT algorithm: P&O (Perturbation and observation)

그림 3은 제안 시스템의 전력전달모드 동작검증을 위한 PV simulator의 태양전지의 전류, 전압 및 전력, 전압 곡선이다. 그림에서 보는 바와 같이 PV 동작 점은 전압 239.3V, 전류 6.2A의 위치에 있는 것을 확인할 수 있으며, 이때의 발생된 전력은 1483.7kW로 약 99%의 MPPT 변환 효율을 갖는 것을 확인할 수 있다. 그림 4는 납 축전지를 이용한 정 전류 충전 및 정 전압 충전을 나타낸 것이다. 그림 4 (a)는 배터리 정 전류 및 정 전압충전 모드전환 파형으로, 초기 배터리 전압은 약 167V로 충전 되어 있고, 평균 전류 2.5A로 정 전류 충전이 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 또한 배터리가 180V 도달 이후 정 전압충전 모드로 전환되어 충전이 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 그림 4 (b)는 정 전압충전 모드의 정상 상태 동작 파형이다. 배터리는 BDC부에 의하여 180V로 일정하게 제어됨을 확인할 수 있고, 이 때의 전류는 약 2A의 평균전류로 충전됨을 확인할 수 있다. 그림 5는 제안 시스템의 방전모드 실험파형이다. 그림에서 보는바와 같이 정전이전에는 태양전지의 발전 전력인 약 650W의 전력을 계통으로 공급하고 있는 것을 확인할 수 있으며, 정전 발생 시에는 모드 전환으로 인하여 태양전지 입력 노드 전압이 배터리 전압인 180V로 클램핑 된 것을 확인할 수 있다. 또한 계통이 끊어져 있으므로 부하에서 약 250W만을 소모하므로 부하 전류가 약 4.2Arms에서 약 1.25Arms로 줄어든 것을 확인할 수 있다.

## 4. 결론

기존의 태양광 시스템은 MPPT부, BDC부, 인버터부의 3단 구성으로 인하여 시스템 구성을 위한 소자수가 크게 증가하고 이로 인하여 시스템 부피가 매우 커지는 문제점을 가졌다.

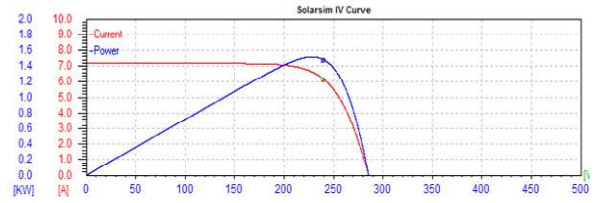
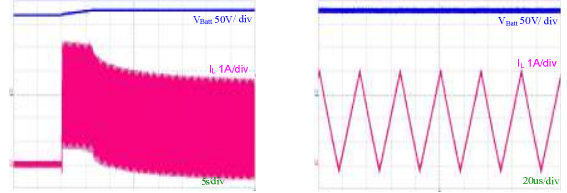


그림 3. 전력 전달모드 실험 파형



(a) 배터리 정 전류, 정 전압 충전 모드전환 (b) 배터리 정 전압 충전 정상상태

그림 4. 배터리 정 전류, 정 전압 충전 모드전환 및 정전압 충전 정상상태 파형

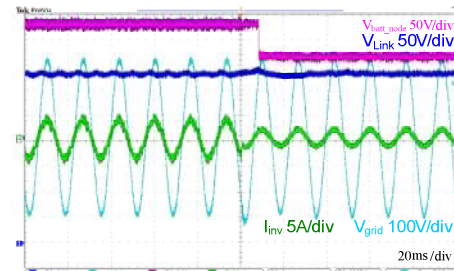


그림 5. 방전 모드 실험 파형

따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결할 수 있는 새로운 구조의 PV PCS 시스템을 제안하였다. 제안 시스템은 MPPT 부와 BDC 부를 통합하여 소자수를 대폭 저감 하였고, 이로 인하여 고 전력 밀도 구성의 태양광 인버터 시스템 구현이 가능하다. 또한 기존 대비 1개의 전력단을 저감하였음에도 불구하고 기존 시스템과 동일한 전력 전달모드, 충전모드를 가지고, 정전 시에는 PV array와 배터리의 병렬접속을 통하여 배터리에 PV의 잉여전력을 별도의 충전회로 없이 충전하므로 우수한 충전 효율을 갖는다. 따라서 본 논문에서 제안된 PV PCS를 제품에 적용할 경우 시스템의 저 가격화 및 고 전력밀도 구성이 가능할 것으로 기대한다.

본 연구는 삼성SDI 연구비 지원과 지식경제부 및 정보통신 연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-C1090-1021-0005)

## 참고 문헌

- [1] S. J. Chiang, K. T. Chang, C. Y. Yen, "Residential Photovoltaic Energy Storage System", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.45, pp.385-394., June 1998.
- [2] P. Bolduc, D. Lehmiche, J. Smith, "PERFORMANCE OF A GRID-CONNECTED PV SYSTEM WITH ENERGY STORAGE", Photovoltaic Specialists Conference, 1993, pp. 1159-1162.