

에너지 저장장치를 갖는 고 전력밀도 및 저가격형 태양광 인버터 시스템

금문환, 장두희, 홍성수, 한상규
국민대학교 전력전자 연구소

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

Moon Hwan Keum, Du Hee Jang, Sung Soo Hong, Sang Kyoo Han
Kookmin University Power Electronics center

ABSTRACT

본 논문에서는 고 전력밀도 및 저가형으로 구성 가능한 새로운 구조의 계통 연계형 태양광 인버터 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 태양전지의 최대 전력점 추종기능과 배터리의 충·방전 기능을 단일 전력단으로 구성함으로써, 고 전력밀도 및 저가격형 시스템 구성이 가능하다. 또한, 제안 시스템은 배터리를 링크 캐패시터에 직렬 연결함으로써 링크 캐패시터의 전압 스트레스를 배터리 전압만큼 저감할 수 있으므로 가격저감 효과가 크다. 최종적으로 제안 시스템의 우수성과 신뢰성 검증을 위하여 1.5kW급 태양광 인버터 시스템의 시작품을 제작하였고, 이를 이용한 실험결과를 바탕으로 제안 시스템의 타당성을 검증한다.

1. 서론

현재까지 가장 많이 사용되고 있는 배터리를 이용한 에너지 저장장치를 갖는 PV PCS(Photovoltaic Power Conditioning System)는 태양광의 최대 전력점 추종을 위한 MPPT(Maximum Power Point Tracking)부, 배터리 충·방전을 위한 BDC(Bi Directional Converter)부, 계통연계를 위한 인버터부의 3단으로 구성되어 있다. 배터리를 가지는 PV PCS는 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 3단 구성으로 인하여 시스템 가격이 높고 소자수가 많으며 부피가 매우 커지는 단점이 있으며, 태양전지의 높은 개방 전압으로 인하여 링크 캐패시터를 직·병렬로 구성하여야 하므로 캐패시터 수 증가 및 시스템 크기가 매우 커지는 문제점을 갖는다.

따라서, 최근에는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 링크 캐패시터 대신에 배터리를 사용하는 2단 구조의 배터리 링크형 PV PCS가 제안된 바 있다.^[1] 기존의 배터리 링크형 PV PCS는 링크 캐패시터 대신에 배터리를 사용하므로 링크 캐패시터 및 BDC부가 필요치 않고, 저 가격 및 고 전력밀도의 PV PCS 구성이 가능하다. 그러나 높은 링크 전압을 충전하기 위해서는 다수의 배터리를 직렬로 구성하여야 하므로 배터리 셀간의 전압 불균형 방지를 위한 BMS의 부담이 커지는 단점을 갖는다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 새로운 구조의 PV PCS를 제안한다. 제안 시스템은 에너지 저장장치를 가지므로 계통 및 전원 신뢰성을 높일 수 있고 기존의 MPPT부와 BDC부를 통합하여 시스템 가격과 부피를 대폭 개선할 수 있다. 또한, 배터리와 링크 캐패시터의 직렬 연결로

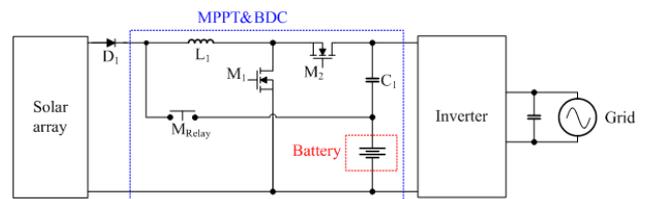


그림 1 제안된 새로운 구조의 PV PCS

링크 캐패시터의 내압을 크게 저감할 수 있으므로 저가격 및 고 전력밀도 구성이 가능하다.

2. 제안 태양광 인버터 시스템

제안된 태양광 인버터 시스템은 그림 1과 같이 MPPT부와 BDC부를 통합하여 시스템의 소자 수를 대폭 저감할 수 있고, 배터리를 링크 캐패시터에 직렬 연결함으로써 링크 캐패시터의 전압 스트레스를 낮출 수 있다.

제안 시스템의 동작은 크게 3가지 모드로 태양 전지로부터 발생된 전력을 계통으로 공급하는 전력전달모드, 방전된 배터리를 계통으로부터 전력을 공급 받아 배터리를 충전하는 충전모드, 정전 시 부하에서 필요로 하는 전력을 배터리로부터 공급하는 방전 모드로 구성된다.

2.1 전력 전달 모드

전력전달모드는 M_{Relay} 가 항상 ‘오프’되고, 태양전지에서 발생된 전력만 계통으로 전달한다. 이때 MPPT&BDC 부는 최대전력점 추종 알고리즘에 따라 동기형 부스트 컨버터로 동작한다.

2.2 충전 모드

충전 모드는 M_{Relay} 가 항상 ‘온’되고, 계통으로부터 에너지를 공급받아 배터리를 충전하게 된다. 이때 MPPT&BDC 부는 최대전력점 추종 알고리즘에 따라 동기형 벡 컨버터로 동작하고 인버터부는 PFC(Power Factor Corrector)로 동작한다.

2.3 방전 모드

제안 시스템의 방전모드는 정전 발생 시 M_{Relay} 를 ‘온’함으로써 부하에서 요구되는 에너지를 야간일 경우 배터리로 그리고 주간일 경우에는 PV와 배터리가 동시에 공급하게 된다. 이때 MPPT&BDC 부는 배터리 방전 알고리즘에 따라 동기형 부스트 컨버터로 동작하며, 방전 모드의 전력 전달은 태양 전지의 PV 동작점 및 배터리 전압에 따라 다음과 같이 4가지 세부 모드로 나눌 수 있다.

2.3.1 $V_{MPP} > V_{Bat}$ & $P_{PV} > P_{Load}$

정전 발생 이전의 최대 전력 추종 전압이 배터리 전압보다 크고 PV전력량이 부하의 전력 소모량보다 큰 경우로 태양전지의 PV동작 점이 배터리 전압과 같은 점으로 이동하여 전력 전달이 이루어진다. 또한 태양전지의 발전량이 부하의 전력 소모량보다 크므로 전력 전달은 그림 2 (a)와 같이 부하에 필요한 소모량만을 부하로 공급하고 잔여 전력을 배터리로 충전하게 된다.

2.3.2 $V_{MPP} > V_{Bat}$ & $P_{PV} < P_{Load}$

정전 발생 이전의 최대 전력 추종 전압이 배터리 전압보다 크고 PV전력량이 부하의 전력 소모량보다 작은 경우로 태양전지의 PV동작 점이 배터리 전압과 같은 점으로 이동하여 전력 전달이 이루어진다. 또한 태양전지의 발전량이 부하의 전력 소모량보다 작으므로 전력 전달은 그림 2 (b)와 같이 태양전지의 발전량 모두를 부하에 전력공급을 하고 배터리는 부족한 전력량만을 부하로 공급하게 된다.

2.3.3 $V_{MPP} < V_{Bat}$ & $P_{PV} > P_{Load}$

정전 발생 이전의 최대 전력 추종 전압이 배터리 전압보다 작고 PV전력량이 부하의 전력 소모량보다 큰 경우로 태양전지의 PV 동작점이 배터리 전압과 같은 점으로 이동하여 전력 전달이 이루어진다. 또한 태양전지의 발전량이 부하의 전력 소모량보다 크므로 전력 전달은 그림 2 (a)와 같이 부하에 필요한 소모량만을 부하로 공급하고 잔여 전력을 배터리로 충전하게 된다.

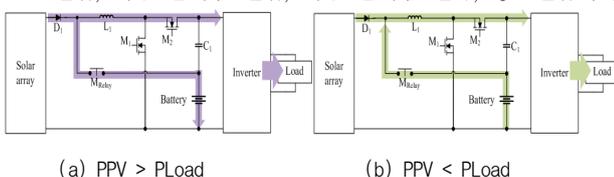
2.3.4 $V_{MPP} < V_{Bat}$ & $P_{PV} < P_{Load}$

정전 발생 이전의 전력전달모드에서 최대 전력 추종 전압이 배터리 전압보다 작고 PV전력량이 부하의 전력 소모량보다 큰 경우로 태양전지의 PV 동작 이 배터리 전압과 같은 점으로 이동하여 전력 전달이 이루어진다. 또한 태양전지의 발전량이 부하의 전력 소모량보다 작으므로 전력 전달은 그림 2 (b)와 같이 태양전지의 발전량 모두를 부하에 전력공급을 하고 배터리는 부족한 전력량만을 부하로 공급하게 된다.

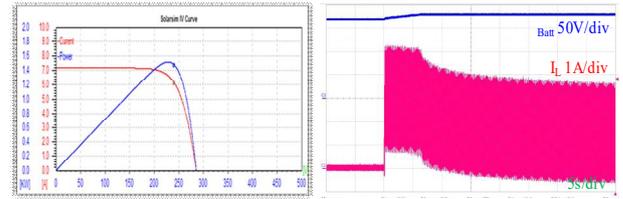
3. 실험결과

제안 시스템의 타당성 및 우수성 검증을 위해 1.5kW급 태양광 발전 시스템 시작품을 제작하였고, 실험은 전력전달모드, 충전모드, 방전모드 3가지 조건으로 나누어 진행 하였다. 실험을 위해 제어는 TMS320F28335 DSP를 사용하였고, 스위치는 FDA28N50, 인덕터는 600uH, 출력 캐패시터는 1.36mF, 배터리는 New Max사의 PNB12340을 사용하였다.

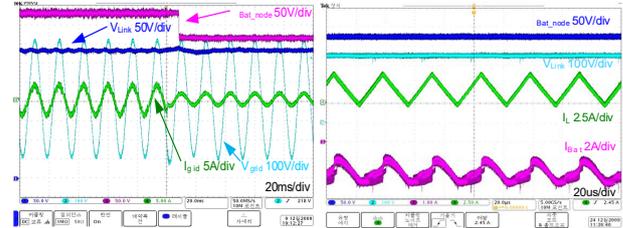
그림 3 (a)는 전력전달 모드 시 P V 및 V I 곡선을 나타낸 것으로서 P&O 알고리즘을 이용한 최대 전력점을 추종한 결과 전압 239.3V, 전류 6.2A 전력 1483.7kW로 약 99%의 MPPT 변환 효율을 보이고 있다. 그림 3 (b)는 충전 모드 시 동작으로 배터리를 2.5A 정 전류 충전을 수행하다가 배터리 전압이 180V에 도달하면 정 전압충전 모드로 전환됨을 보이고 있다. 그림 3 (c)는 방전 모드 시 동작으로 정전 시의 모드 전환을 나타낸 파형을 보이고 있다. 파형은 위에서부터 태양전지 입력 노드 전압, 계통 연계점 전압, 계통 연계점 전류, 링크전압이다.



(a) $PPV > P_{Load}$ (b) $PPV < P_{Load}$
그림 2 태양광 발전 및 부하 소모 전력에 따른 전력이동



(a) P-V 및 V-I 곡선 (b) 배터리 충전 모드전환



(c) 정전 검출 모드 전환 (d) 정전시 BDC부 정상상태
그림 3 배터리 전압에 따른 PV곡선 변화

정전이전에는 태양전지에서 계통으로 전력을 공급하고 있다가, 정전 발생으로 인하여 태양전지 입력 노드 전압이 배터리 전압으로 클램핑 된 것을 확인할 수 있다. 그림 3 (d)는 정전 발생 시 방전모드 동작 파형을 보이고 있으며 파형은 위에서부터 태양전지 입력 노드 전압, 링크 전압, BDC부 인덕터 전류, 태양전지 전류를 나타낸다. 태양전지 입력 노드 전압이 병렬운전으로 인하여 배터리 전압인 180V로 클램핑 된 것을 확인할 수 있으며, 링크 전압은 BDC부가 일정하게 제어함을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 고 전력밀도 및 저가격으로 구성이 가능한 새로운 구조의 PV PCS를 제안하였다. 기존의 태양광 시스템은 큰 전압 스트레스로 인하여 직·병렬로 구성된 다수 개의 캐패시터를 사용하였고, 3단 구성으로 인하여 시스템 구성을 위한 소자수가 크게 증가하고 시스템 부피가 커지는 문제점을 가졌다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결할 수 있는 새로운 구조의 PV PCS 시스템을 제안하였다. 배터리를 링크 캐패시터에 직렬로 구성함으로써 링크 캐패시터의 큰 전압 스트레스 문제를 해결하였고, 이를 통하여 적은 수의 캐패시터로 구성이 가능하고, MPPT부와 BDC부를 통합하여 소자를 저감하고 PCB 크기를 크게 줄일 수 있어 고 전력 밀도를 가지는 태양광 시스템 구성이 가능하다. 실험을 통하여 제안 시스템이 기존과 동등한 수준의 효율을 나타냄을 확인하였고, 방전모드에서는 태양 전지와 배터리를 병렬 운전함으로써 기존보다 우수한 성능을 나타냄을 입증 하였다. 최종적으로 본 논문에서 제안된 PV PCS를 제품에 적용할 경우 시스템의 저 가격화 및 고 전력밀도 구성이 가능할 것으로 기대된다.

본 연구는 지식경제부 및 정보통신 연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음
(NIPA 2011 C1090 1121 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.