

에너지 저장장치를 갖는 새로운 고주파 링크형 태양광 발전 시스템

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

A Novel High Frequency Linked Photovoltaic Power Conditioning System including Battery Storages

Cheol-Hee Yoo, 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

기존의 에너지 저장장치를 갖는 계통연계형 태양광 발전 시스템은 태양광 모듈의 높은 개방전압으로 인하여 별도의 양방향 컨버터를 이용하여 배터리에 에너지를 충방전 해왔다. 이러한 시스템은 구조상 다수의 반도체 소자의 사용으로 인한 제작 단가 상승 및 전기적 절연의 문제가 발생한다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 본 논문에서는 새로운 구조의 에너지 저장장치를 갖는 고주파 링크 방식의 계통연계형 태양광 발전 시스템을 제안하며, 제안된 시스템의 이론적 분석을 수행하고, PSIM 시뮬레이션 툴을 이용한 모의 실험을 통해 그 우수성을 검증한다.

1. 서론

최근 화석연료 고갈 및 환경오염 문제의 대두로 인하여 무한 청정 에너지원인 태양광을 이용한 발전 시스템 연구가 크게 활성화 되고 있다. 특히 에너지 저장장치(BESS : Battery Energy Storage System)를 갖는 계통 연계형 태양광 발전시스템은 태양광 에너지원을 보다 효율적으로 사용할 수 있는 구조로써 피크 부하시 부족한 전력을 배터리에서 공급 할 수 있을 뿐만 아니라 정전시 배터리의 에너지를 이용하여 부하에 전력을 공급할 수 있는 UPS(Uninterrupted Power Supply) 기능도 수행 할 수 있다.^[1] 에너지 저장장치를 갖는 일반적인 계통 연계형 태양광 발전시스템을 그림 1. 에 나타내었다. 태양광 모듈의 최대전력점을 추종하는 MPPT(Maximum Power Point Tracking)단, 배터리의 충방전을 위한 양방향 컨버터, 태양전지에서 생성된 전력을 계통으로 전달하거나 정전시 배터리 에너지를 이용하여 부하에 전력을 공급하는 인버터단으로 구성된다. 일반적으로 최대 전력점 추종기로 사용되는 부스트 컨버터의 경우, 최대 약 500V의 높은 태양전지 개방 전압에 의해 배터리의 충방전을 위한 별도의 양방향 DC/DC 컨버터가 필요로 하고 이는 다수의 반도체 소자 사용이 불가피 하다. 이를 해결하기위해 링크 캐패시터 대신 배터리를 직접 연결하는 발전 시스템이 존재 하지만 이러한 구조는 높은 배터리 전압을 만들기 위해 다수의 배터리 셀이 필요할 뿐만 아니라 각 배터리 셀 전압의 평형을 위한 다수의 회로(Charge Equalization Converter)가 요구되어 진다.^[3] 또한 기존 시스템은 전기적 절연의 문제점이 존재한다. 따라서 본 논문에서는 새로운 구조의 에너지 저장

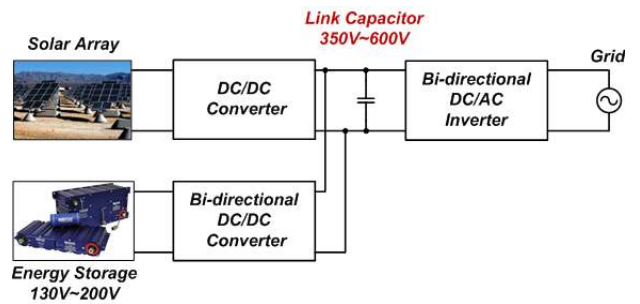


그림 1. 에너지 저장장치를 갖는 기존 계통 연계형 PV PCS
Fig. 1 A Conventional Grid-connected PVPCS with BESS

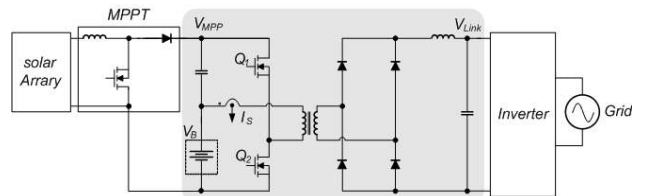


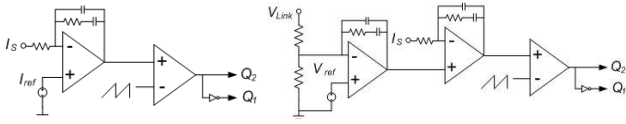
그림 2. 에너지 저장장치를 갖는 제안된 고주파 링크형 PV PCS
Fig. 2 A proposed high freq. Linked PV PCS with BESS

장치를 갖는 고주파 링크 방식의 계통연계형 태양광 발전시스템을 제안하여 상기의 단점을 개선하고, PSIM 시뮬레이션을 이용한 모의실험을 통해 제안회로의 타당성을 검증한다.

2. 제안된 배터리 링크형 인버터 시스템

2.1 제안된 시스템의 특징

그림 2.는 제안된 에너지 저장장치를 갖는 고주파 링크형 인버터 시스템이다. 제안된 시스템의 구성은 최대전력점 추종을 위한 부스트 컨버터와 고주파 링크형 DC/DC 컨버터, 그리고 DC/AC 인버터로 구성된다. 그림 2에서 보는 바와 같이 고주파 링크형 양방향 컨버터의 입력인 링크 전압은 기존과 달리 링크 캐패시터와 직렬로 배터리가 연결되어 있다. 이로 인하여 배터리의 내압이 감소하므로 상대적으로 적은 배터리 셀이 요구되고 배터리 셀 전압 평형을 위한 회로의 부담을 줄일 수 있다. 또한 고주파 트랜스포머를 이용하여 입력과 출력단의 절연이 가능해 안전성을 확보 할 수 있는 특징이 있다.



(a) 평균 전류 알고리즘 (b) 정전압, 전류 제어 알고리즘

그림 3 고주파 링크형 DC/DC 컨버터의 제어 알고리즘

Fig. 3 A control algorithm of high freq. linked DC/DC converter

2.1.1 제안된 시스템의 동작원리

본 논문에서 고주파 링크형 DC/DC 컨버터로 사용된 토폴로지는 잘 알려진 Double-ended 능동 클램프 포워드 컨버터로써 2가지 제어 방식으로 구동하게 된다. 그림 3. 에 제안된 시스템의 제어 알고리즘을 나타내었다. 2가지 제어 방식은 여러 조건에 의해 5가지 상황이 존재 하며, 각 상황에 따른 동작원리 및 조건의 정의는 아래와 같다.

- 용어정의 : P_{PV} - 태양광 모듈에서 발전하는 전력
- P_{Load} - 부하에서 요구하는 전력
- SOC(State of Charge) - 배터리의 충전 상태
- 0: 방전 불가, 충전 필요, 1: 방전 가능, 2: 충전완료

Case1 : $P_{PV} > P_{Load}$, SOC=0

- 이 조건에서 고주파 링크형 컨버터는 그림 3.(a)의 평균 전류 알고리즘으로 동작된다. 이때 I_{ref} 는 음의 값을 갖게 되고 그 크기 만큼의 일정 전류로 배터리를 충전하게 된다. 컨버터의 출력 전압은 인버터단에 의해서 제어가 된다.

Case2 : $P_{PV} > P_{Load}$, SOC ≥ 1

- 이 조건에서는 Case1과 마찬가지로 평균제어 알고리즘으로 동작하게 된다. 이때 I_{ref} 는 0이 되고 그에 따라 트랜스포머의 1차측 전류의 평균은 0으로 제어된다. 이는 태양광 모듈에서 발전된 전력이 모두 계통 및 부하로 모두 전달됨을 뜻한다.

Case3 : $P_{PV} < P_{Load}$, SOC ≥ 1

- 이 조건은 피크 로드 상황으로 배터리의 에너지를 이용해 부하에 부족한 전력을 충당시켜야 한다. 따라서 앞선 조건과 마찬가지로 평균제어 알고리즘을 이용하여 양의 값을 갖는 I_{ref} 를 발생시키고, 그에 따라 배터리는 방전하게 된다.

Case4 : $P_{PV} < P_{Load}$, SOC=0

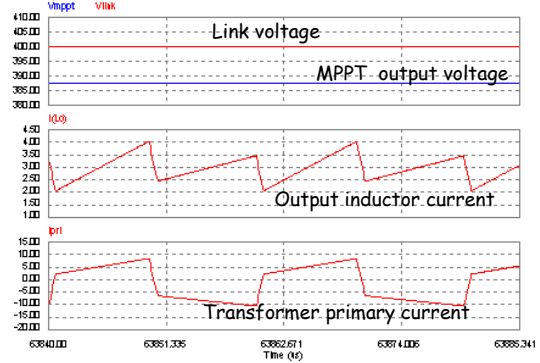
- 이 상황은 배터리에 저장된 에너지가 없어 더 이상 방전할 수 없는 상태로써 I_{ref} 는 0로 바뀌게 된다. 따라서 태양광에서 발전된 전력은 모두 부하로 전력 전달이 이루어지고, 부족한 전력은 계통측으로부터 공급받게 된다.

Case5 : 정전시, SOC ≥ 1

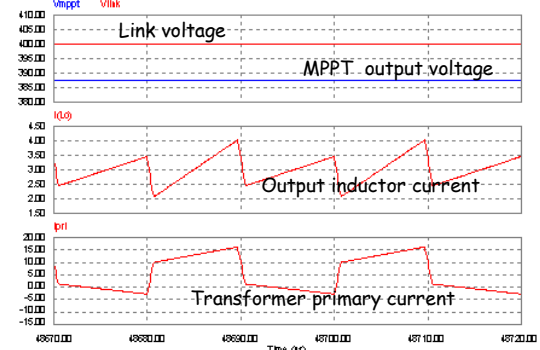
- 이 상황은 계통측에 이상이 발생하여 정전이 발생한 상태이다. 이때 제안된 발전시스템의 인버터 단은 전압원 인버터로 동작하고, 고주파 링크형 컨버터단은 정전압, 전류 제어 알고리즘을 이용하여 부하측에서 요구하는 전력을 공급하게 된다..

2.2 제안된 시스템의 모의 실험

다음은 본 논문에서는 제안된 에너지 저장장치를 갖는 고주파 링크형 태양광 발전시스템의 타당성을 검증하기 위한 PSIM 시뮬레이션을 이용한 모의 실험 결과를 그림 4에 나타내었다. 첫 번째 조건은 Case1의 상황으로 P_{PV} 는 1.6kW, P_{Load} 는 1.2kW로 잉여 전력인 400W는 배터리 충전에 사용된다. 그 결과 앞서 언급한 동작원리와 동일하게 배터리 전압이 200V 일때



(a) $P_{PV}=1.6kW$, $P_{Load}=1.2kW$, SOC=0 의 경우 주요 파형



(b) 정전시, $P_{Load}=1.2kW$, SOC=2 의 경우 주요 파형
그림 4 제안된 태양광 인버터 시스템의 모의실험 결과
Fig. 4 Simulation waveforms of Proposed PV PCS

약 -2A인 평균전류로 배터리를 충전하고 있음을 확인하였다. 두 번째 모의실험의 조건은 정전 상황시 P_{Load} 는 1.2kW로서 배터리에 의해 6A의 평균전류로 400V 출력전압 제어와 동시에 전류 제어가 이루어짐을 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 제작단가 저감 및 전기적 절연을 위해 새로운 구조의 배터리 링크 및 고주파 링크형 인버터 시스템을 제안하였다. 제안 시스템은 링크 캐패시터에 직렬로 배터리를 연결한 구조로서 배터리의 전압 스트레스를 상대적으로 저감하므로 적은 배터리 셀을 사용이 가능해 원가 저감 효과를 기대할 수 있다. 그와 동시에 고주파 트랜스포머를 이용하여 입력과 출력단의 절연 문제를 해결할 수 있다.

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

참 고 문 헌

[1] 이강연, 정병호, 조금배, 백형래, 정해덕. "BESS를 적용한 계통연계형 PV시스템의 운전특성에 관한 연구", 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 26, No. 2, pp. 69-77, 2006, June.

[2] H.S Park, C.E Kim, C.H Kim, B.C Kim, G.W Moon, J.H Lee, "Modularized charge equalization converter with high power density and low voltage stress for HEV lithium-ion battery string", ICPE '09. 7th international Conference on. pp784-789, 2007. October.