

계통연계형 PV 시스템에서 스트링 Power Optimizer의 start-up 제어기법

유기범¹, 김형진¹, 하이뜨란¹, 이재연¹, 최세완¹, 팽성일², 주상현²
 서울과학기술대학교¹, 다스텍²

Start-up Control Method of PV String Power Optimizer in the PV Grid Connected System

Gibum Yu¹, Hyungjin Kim¹, Hai N. Tran¹, Jaeyoen Lee¹, Sewan Choi¹, Paeng Seongil²,
 Sanghyun Joo²

Seoul National University of Science and Technology¹, DASS Tech Co., Ltd²

ABSTRACT

PV 계통연계형 시스템은 N대의 PV 스트링 Power optimizer와 1대의 인버터로 구성되며 초기 운전 시 인버터 보조전원에 전력을 공급하기 위한 Power optimizer의 DC링크 전압제어 운전 모드가 요구된다. 본 논문에서는 DC링크의 전압제어가 가능한 스트링 Power Optimizer의 start-up 제어기법을 제안한다. 제안하는 제어기법은 추가회로 없이 초기구동 시에 DC-Link의 전압을 서서히 원하는 전압으로 제어할 수 있는 장점을 갖는다. 또한 제안하는 start-up 시퀀스로 제안하는 제어기법을 검증하기 위한 6.25kW 시작품의 시험결과로 타당성을 검증하였다.

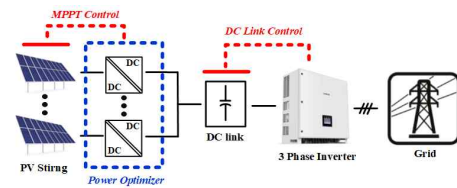


그림 1. PV 스트링 시스템에서의 PCS 구성도

에서는 제안하는 power optimizer의 DC링크 전압제어가 가능한 start-up 제어기법 및 PCS의 start-up 시퀀스에 대해 소개한다.

2. 제안하는 power optimizer의 start-up 제어기법

1. 서론

태양광 에너지는 다양한 신재생에너지원 중에서 화석연료를 대체할 가장 주목받는 에너지원이다. 태양광 발전 시스템의 기술 발전과 규모의 경제 덕분에 균등화발전비용(Levelized Cost of Electricity)이 현재 가장 저렴한 에너지로 평가받고 있다. 과거 태양광 발전시스템은 주로 중앙 집중형 인버터로만 구성되었으나, 최근 컨버터를 추가하여 Maximum Power Point Tracking(MPPT)를 컨버터가 수행하는 시스템으로 변화하는 추세이다. 왜냐하면 태양광발전 시스템은 양산 시 제작에 의한 모듈 간의 미스매치, 패널 노후화에 의한 스트링 간의 미스매치, 스트링 표면의 음영, 이물질에 의한 모듈 간 미스매치 등으로 인해 모듈 또는 스트링 간의 발전 전력 편차를 가져온다.^[1] 특히 음영발생에 따른 미스매치는 100%의 모듈 또는 스트링 간 편차를 발생시키므로 발전량이 가장 작은 모듈을 기준으로 하향평준화가 되어 에너지 생산을 저하시킨다. 따라서 일정 단위의 멀티스트링에 컨버터를 삽입하여 에너지 생산을 저하시키는 외부 환경요인의 영향을 최소화하여 에너지 생산량을 극대화 할 수 있는 power optimizer의 사용이 점차 증가하고 있다.

PV 스트링 시스템은 N대의 Power optimizer와 1대의 인버터로 구성되며 1대의 인버터는 DC 링크전압은 제어하게 되고 각각의 power optimizer는 MPPT 제어를하여 생성된 전력을 인버터를 통해 계통으로 전력을 공급한다.^[2] 하지만 초기 운전 시 인버터의 보조전원을 power optimizer가 공급해주어야 하기 때문에 인버터의 보조전원을 공급해주기 위한 power optimizer의 DC링크 전압제어 운전 모드가 요구된다. 본 논문

2.1 전력전달모드에서의 power optimizer의 동작원리

제안하는 PV 스트링 Power Optimizer에서 이용하는 Dual-Bridge LLC 공진 컨버터는 그림 2와 같이 풀브릿지와 하프브릿지가 통합된 구조로 넓은 입력전압 범위를 갖는다.^[3] Dual-Bridge LLC 공진형 컨버터는 기존 풀브릿지 LLC 공진형 컨버터에 비해 2개의 스위치가 추가된 구조를 가지고 있으며 PWM제어와 스위칭 주파수 제어를 입력전압에 따라 모드전환의 과도상태없이 사용하게 된다. PWM 제어에서의 power optimizer의 동작원리는 풀브릿지 모드와 하프브릿지 모드를 한 스위칭 주기안에 반복하여 동작한다. 그림 3(a)는 풀브릿지 모드로 V_{ab} 에 풀브릿지 형태의 전압이 인가되게 되고 그림 3(b)

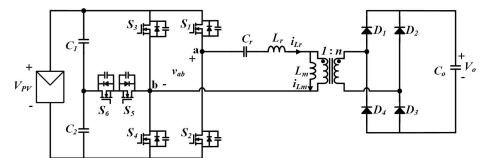


그림 2. Dual-Bridge LLC 공진형 컨버터

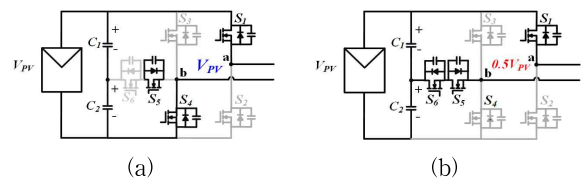


그림 3. Dual-Bridge LLC 공진형 컨버터의 PWM 제어에서의 동작원리 (a) 풀브릿지 모드, (b) 하프브릿지 모드

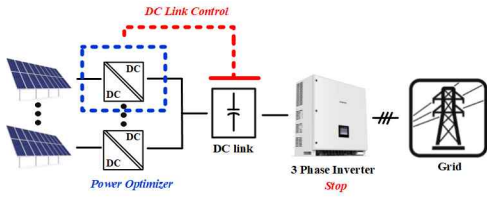


그림 4. 인버터 보조전원 공급모드에서의 PCS 구성도

는 하프 브릿지 모드로 V_{d0} 에 하프브릿지 형태의 전압이 인가되게 된다. 또한 스위칭 주파수제어에서의 power optimizer의 동작원리는 항상 풀브릿지 모드에서 스위칭 주파수를 변동하여 입력전압을 제어하게 된다.

2.2 인버터 보조전원 전달모드에서의 power optimizer start-up 제어기법

제안하는 power optimizer의 start-up 제어기법은 half-bridge 스위치인 S_5, S_6 은 항상 오프한 상태로 S_1, S_2 와 S_3, S_4 의 듀티를 0.5로 고정하고 위상천이 방식으로 PV 스트링의 전압이 450V-900V인 상황에서 출력전압을 940V로 제어하게 된다. 이 스위칭 방법을 사용할 경우 소프트 스타트업 기법을 적용할 수 있기 때문에 PV 스트링 시스템의 안정성을 향상시키게 된다.

2.3 제안하는 PCS의 start-up 시퀀스

제안하는 PCS의 스타트업 시퀀스는 그림 5와 같다. DC 링크전압이 100V 미만일 경우 인버터가 DC 링크전압을 제어하지 않고 있다고 판단하여 power optimizer가 DC 링크 전압을 940V로 스타트업 제어를 하여 인버터의 보조전원을 공급하게 된다. 또한 power optimizer가 DC 링크 전압을 제어하고 있는 상황에서 다른 병렬의 power optimizer는 인버터가 DC 링크전압을 제어하기 전까지 동작하지 않게 된다. 그 후 power optimizer가 DC 링크전압을 제어하게 되면 인버터에 보조전원이 공급되어 인버터가 DC 링크전압을 900V로 제어하게 된다. 이때 DC 링크전압이 920V미만이 되면 start-up 제어를 하고

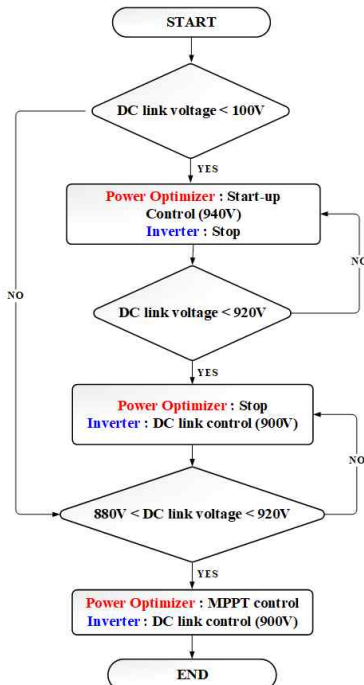


그림 5. 제안하는 PCS의 start-up 시퀀스

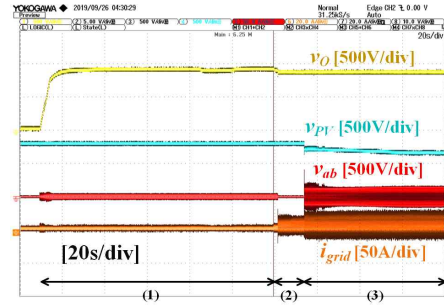


그림6. 제안하는 PCS의 시퀀스를 적용한 실험파형

있던 power optimizer는 동작을 멈추게 된다. 그 후 DC 링크 전압이 880V 이상 920V 미만일 때 인버터가 DC링크 전압을 제어하고 있다고 판단하여 병렬의 power optimizer는 MPPT 제어로 인버터를 통해 계통으로 전력을 전달하게 된다.

3. 실험 결과

제안하는 PCS의 타당성을 입증하기 위해 아래와 같은 사양으로 시작품을 제작하여 실험을 하였다

- $P_o = 6.25kW$
- $V_{PV} = 300V-900V$
- $V_o = 900V$
- $f_s = 70-120kHz$

그림 6에서 구간(1)은 power optimizer 는 인버터가 동작하지 않고 있다고 판단하고 DC 링크 전압을 940V로 start-up 제어를 하며, 구간(2)에서는 인버터의 제어전원이 공급되어 인버터가 DC링크 전압을 900V로 제어하게 된다. 이때 DC 링크 전압이 920V 미만이 되면 power optimizer는 정지하게 된다. 구간(3)은 DC링크 전압이 880V 이상 920V 미만일 때 power optimizer는 인버터가 DC 링크 전압을 제어하고 있다고 판단하여 MPPT 제어를 통해 PV 스트링의 입력전압을 제어 하게 된다.

4. 결론

본 논문에서는 넓은 PV 스트링 전압에서 고효율을 달성할 수 있는 dual-bridge LLC 공진형 컨버터를 이용한 power optimizer에서의 start-up 제어기법 및 PCS start-up 시퀀스를 제안하였다. 또한 6.25kW급 시작품 실험을 통하여 제안하는 start-up 제어기법 및 PCS start-up 시퀀스를 검증하였다.

참고 문헌

- [1] 민준기. (2018). 태양광 마이크로 컨버터 (Power Optimizer) 기술 동향. 한국태양광발전학회지, 4(2), 25-32.
- [3] 유기범, 김형진, 하이프란, 최세완, 최운성, 최영규, 이정욱, 주상현. (2019). Dual-Bridge LLC 공진형 컨버터를 이용한 고효율 PV 스트링 Power Optimizer 개발. 전력전자학회 학술대회 논문집, (), 418-419.
- [2] X. Sun, X. Li, Y. Shen, B. Wang, and X. Guo, "Dual-Bridge LLC Resonant Converter With Fixed-Frequency PWM Control for Wide Input Applications," IEEE Trans. Power Electron., vol. 32, no. 1, pp. 69 - 80, Jan. 2017.