

5.5kW 가정용 PV-ESS 계통연계형 PCS 개발

서재희¹, 이완희¹, 김진학¹, 김재훈¹, 최세완[†], 박인국²
 서울과학기술대학교¹, (주)피앤케이하이테크²

Development of 5.5kW Residential PV-ESS Grid-connected PCS

Jaehee Seo¹, Wan-Hee Lee¹, Jinhak Kim¹, Jaehoon Kim¹, Sewan Choi[†], Inkook Park²
 Seoul National University of Science and Technology¹, PNK Hitech Co.,Ltd.²

ABSTRACT

본 논문에서는 5.5kW 가정용 PV-ESS 계통연계형 PCS 개발과 실험 결과를 소개한다. PCS의 PV 컨버터, LV 컨버터, 인버터의 토폴로지를 선정하고 PCS 시스템을 연계하여 동작시키는 5가지 운전모드의 자동화 알고리즘을 개발하였다. 계통연계 모드와 단독운전 모드가 끊김 없이 전환되며, 최대 효율 96.25%를 달성한 시작품을 통해 타당성을 검증하였다.

1. 서론

계통연계형 인버터의 경우 계통 이상으로 인하여 계통이 차단되면 인버터 출력 전압과 계통의 위상 오차로 인하여 중요부하 및 기기의 손상으로 이어질 수 있다. 따라서 계통연계 상태 뿐 아니라 단독운전 모드 동작 시에도 중요부하에 끊김 없이 안정적인 AC 전압을 공급하는 제어 방식이 요구된다.^[1] 본 논문에서는 태양전지가 포함된 PV부, ESS 역할을 하는 LV부, 컨버터를 계통과 연결시키거나 local load에 AC전압과 AC전류를 공급하는 인버터부로 구성되어 5가지 운전모드가 끊김 없이 전환되는 PCS를 제안한다.

2. 토폴로지 선정

5.5kW PCS의 PV부는 부스트 컨버터와 직렬 공진형 컨버터를 선정하였다. 부스트 컨버터는 듀티를 변동하면서 MPPT 제어가 가능하며, 넓은 전압 범위에서 동작이 가능하기 때문에 입력전압 125~550V 범위에서 동작하는 PCS에 적합하다. 직렬 공진형 컨버터는 고정 주파수, 고정 듀티에서 동작하여 절연부에 최적화되어 있으며, 전 부하 범위에서 소프트 스위칭 턴 온 및 턴

오프가 가능하다. ESS용 24V 배터리로 사용되는 LV부는 벽 컨버터와 직렬 공진형 컨버터를 선정하였다. 벽 컨버터는 넓은 전압 범위에서 강압 동작이 가능하며, 소자 수가 적어 저가격과 고효율을 달성할 수 있다. 계통과 연결된 AC-DC부는 Unipolar switching 방식을 갖는 단상 풀브릿지 인버터를 선정하였다.

3. 계통연계형 PCS 운전 알고리즘

그림 2은 개발한 PCS 시스템의 제어 알고리즘 시퀀스를 나타낸다. 그림 3은 PCS의 PV 컨버터, LV 컨버터, 인버터가 연계하여 동작하는 운전모드다. PCS 시스템은 상황에 따라 5가지 운전모드로 자동으로 전환된다. PCS는 링크전압 (V_{link})을 항상 400V로 제어하며, 인버터부는 local load에 공급되는 AC전압 또는 AC 전류를 제어한다. PV부는 MPPT 제어를 통해 PCS 시스템에 전류를 효율적으로 공급한다.

계통연계 시, 인버터의 초충저항 릴레이가 연결되어 링크전압을 220V 계통전압의 피크값인 311V까지 충전한다. 센싱 받은 링크전압이 311V에 도달하면 메인 계통 릴레이가 연결되면서 링크전압을 400V까지 충전한다. 링크 전압이 제어됨과 동시에 PV 릴레이가 연결되며, 센싱 받은 LV부 출력 전압에 따라 LV부의 벽 컨버터 출력 전류를 일정하게 제어한다. 이 때 센싱 받은 LV부 출력 전압이 22V보다 작으면 LV부는 충전모드로, 22V보다 크면 방전모드로 전환된다. 또한 PV에서 들어오는 전류의 크기보다 배터리에 흐르는 전류가 작으면 계통 또는 부하로 충전 전류를 소비한다. LV에 필요한 충전 전류가 PV에서 발전되는 전류보다

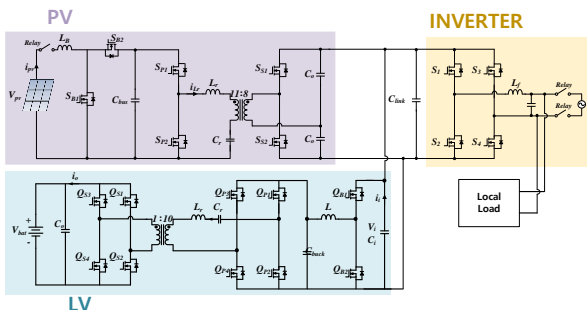


그림 1. PCS 시스템의 전체 회로도

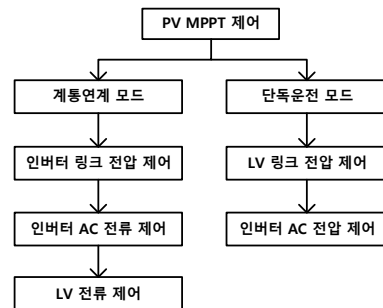


그림 2. PCS 자동화 알고리즘 시퀀스

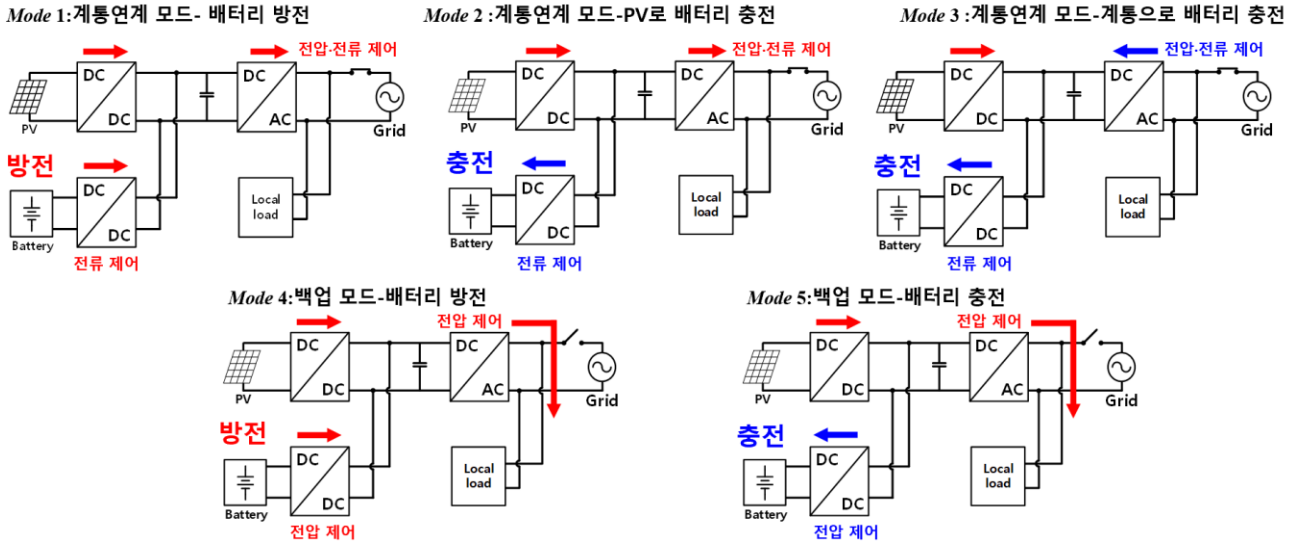


그림 3. PCS 시스템 5가지 운전모드

그런 나머지 필요한 전류를 계통으로부터 공급받는다. 단독운전(백업 모드) 시, 전류제어를 하던 LV부가 전압제어로 전환하여 링크전압을 400V로 제어한다. 이때 인버터부는 센싱 받은 링크전압을 일정한 AC 출력전압으로 제어한다. 계통연계 모드와 동일하게 센싱 받은 LV부 출력전압에 따라 LV부는 충방전모드를 결정한다. LV부의 충방전모드 여부에 관계없이, 인버터부는 local load에 일정한 AC 전압을 공급한다. 이때 AC 전류는 제어하지 않으며, local load에 의해 결정된다.

4. 실험 결과

- $P_o = 5.5kW$
- $V_{link} = 400V$
- $V_{PV} = 125\sim 550V$
- $V_{AC} = 90\sim 260V_{ac}$
- $V_{bat} = 20\sim 28.8V$
- $I_{PV,max} = 13.75A$

제안하는 PCS의 타당성을 검증하기 위해 위의 설계사양으로 프로토타입을 제작하여 실험을 진행하였다. 그림 5에 따르면 단독운전 모드에서 계통연계 모드로 전환할 때와 5가지 운전모드의 파형을 확인할 수 있다. 5가지 운전모드에 해당하는 모드 전환 시 smooth mode change가 확인되며, 인버터부가 local load에 끊김 없이 안정적인 AC 전압을 공급하는 모습을 확인할 수 있다.

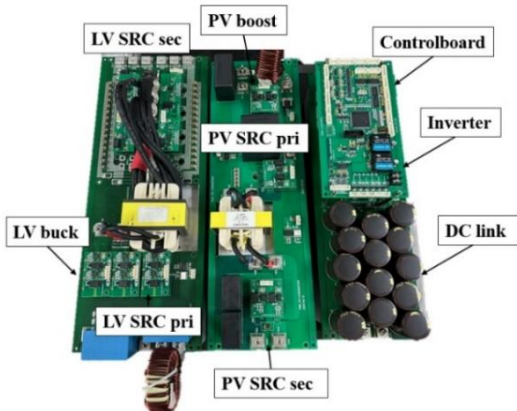


그림 4. PCS 시스템 시작품

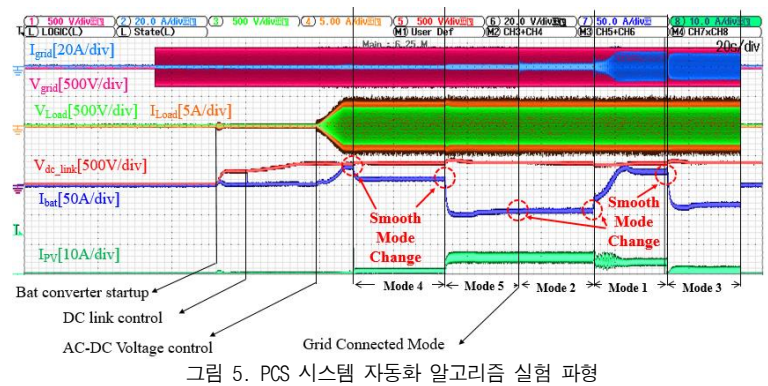


그림 5. PCS 시스템 자동화 알고리즘 실험 파형

5. 결론

본 논문에서는 5가지 운전모드와 자동화 알고리즘을 적용하여 PV부, LV부, 인버터부가 연계하여 동작하는 5.5kW 가정용 PV-ESS 계통연계형 PCS를 개발하였다. 프로토타입을 제작하여 실험을 통해 PV 컨버터 입력전압 125~550V, LV 컨버터 출력전압 20V~28.8V, 링크전압 400V, 5.5kW 동작의 타당성을 검증하고, 최대 효율 96.25%를 달성하였다.

이 논문은 ㈜피앤케이하이테크의 연구비 지원에 의하여 연구되었음. 이 논문은 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 3단계 산학협력 선도대학 육성사업(LINC 3.0)의 연구임.

참고 문헌

[1] 이종원, 서희진, 최세완, “무효전력 P&O 단독운전 검출 기법에 의한 계통연계형 인버터의 끊김없는 모드 전환”, 전력전자학회 학술대회 논문집, 2021.7, p.458-459