

병렬운전 및 부분운전에 대한 고찰(연구)

박민준[†], 박주현, 장재훈, 김희중, 정원욱*

LS 산전 전력연구소, 한국전력연구원*

A Study on Parallel and Partial Operation

Minjun Park[†], Juhyun Park, Jaehoon Jang, Heejung Kim, Wonwook Jung*

LS Industrial Systems Co. LTD, Korea, KEPCO/KEPRI*

ABSTRACT

본 논문은 250kW급 에너지저장장치(ESS)를 이용한 배전계통 일체형 전력변환 장치의 병렬운전 및 부분운전 방식을 제안한다. 제안하는 ESS의 기능은 배전선로에 4식 PCS로 1MW급 계통 연계형 병렬운전, 4식의 ESS 중 1식 이상의 고장에 대해서 모든 ESS가 정지하는 것이 아닌 고장 시료만 정지하는 부분운전 방식의 운영 사례에 대한 고찰이다. 나아가 병렬운전과 부분운전으로 수용가 부문에서 상업·가정 전력 최적소비 방안을 도출한다. 제안하는 구조는 DC Link를 공유하지 않는 일체형 모형으로 내부 순환전류 회피 가능하다. 본 구조는 시뮬레이션, Prototype, 현장 시험으로 기성능을 검증하였다.

1. 서론

본 논문은 배전계통 연계 에너지저장장치(ESS)로 주된 기능은 첫째, 배전설비에 연결되어 과부하 해소를 위한 배전선로 신설과 증설 대체할 수 있어야 한다. 둘째, 분산형 전원 과다로 전압차과 등에 따른 배전선로 추가연계 불가 지역에 설치하여 피크이동, 선로 전압 조정 등의 기능을 수행할 수 있어야 한다. 셋째, 주 전력계통과 분리되는 경우에도 배터리 시스템 단독으로 분리된 계통의 정격전압과 주파수를 유지하여 안정적인 전력을 공급할 수 있어야 한다. 마지막으로 상위 운영시스템인 DAS와 통신으로 연결되어서 배터리 시스템의 상태 정보를 전송할 수 있으며, DAS로부터 받은 제어명령(충전, 방전, 기동, 정지 등)을 수행할 수 있어야 한다. 또한 과/부족 전압·전류, 단락 등 보호 기능을 갖추어야 하며, 국가 법규 표준에 상응하는 안정성능을 만족해야 한다. 이러한 조건을 만족하는 자사(LS) 배전용 ESS는 계통용 변압기를 포함한 일체형 구조로 용량250kW 효율96% 이상의 최적화된 Size로 제안 한다. 본 개발품은 병렬운전이 가능하여 Mega단위 용량으로도 운용이 가능하다.

2. 계통구성 및 운영시스템

2.1 계통구성

본 논문에서 그림1과 같이 계통을 구성하며, DC/AC 변환을 위한 Power stack부, 고조파 제거를 담당하는 Filter부, 충·방전 제어와 유·무효전력 제어 등을 담당하는 제어부, 전원 감시장치 및 단락전류와 같은 과전류로부터 시스템을 보호하기 위한 회로 보호부로 구성된다.

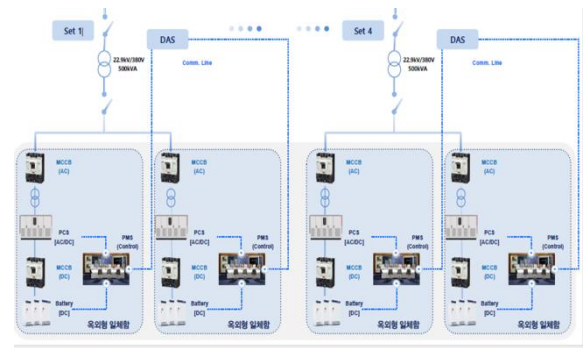


그림 1. 계통도

<Fig. 1 Algorithm>

또한 상위 운영시스템인 DAS 와 통신으로 연결이 가능한 PMS, 계통 연계용 Battery 를 제품 내 포함된 형태이다.

2.2 순환전류

순환전류는 2 대 이상의 ESS 혹은 인버터를 병렬운전시 DC Link 를 공유하므로, 인버터 1(DC Link 전압 V1) 과 2(DC Link 전압 V2)의 각 DC Link 전압이 그림 2 와 같이 연결된다. 이상적인 PWM 에 대한 동작은 같은 시간에 동작이 되나, 실제 PWM 인가는 불확실한 시간 지연을 갖는다. 이에 대한 PWM 위상에 따른 전압, 전류 파형은 그림 3 과 같다. 식 1 은 DC Link 전압 V1, V2 에 의해서 순환전류 값을 계산하였다. 하지만, 배전계통 일체형 전력변환 장치는 DC Link 를 공유하지 않는 방식으로 순환전류가 발생하지 않는 장점이 있다.

$$I_1 = \frac{1}{2} I_o + I_{circ}$$

$$I_2 = \frac{1}{2} I_o - I_{circ}$$

$$I_{circ} = \frac{I_1 - I_2}{2}$$

$$V_1 - V_2 = 2L \frac{dI_{circ}}{dt}$$

$$I_{circ} = \frac{1}{2L} \int (V_1 - V_2) dt$$

식 1. 순환전류
<Circulating Current>

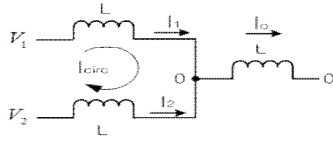


그림 2. DC 전압 회로
<Fig. 2 DC Link Circuit>

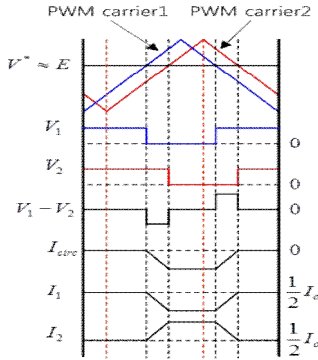


그림 3. PWM 동작
<Fig. 3 PWM Control>



그림 4. 운영시스템
<Fig. 4 Operation System>

2.3 운영시스템

본 논문의 배전계통 연계 에너지저장장치(ESS)는 사진4와 같이 상위의 통신에서 PMS, PCS, BAT의 정보를 확인 가능하다. ESS 현재 상황을 Fault 상태로 인지한다면, ESS System을 전체 정지 하는 것이 아니라 문제가 있는 시료만 정지하는 부분운전이 가능하다. 그림의 노란색 박스 내용은 1, 2번 ESS 시료는 정상 동작 중이며, 붉은색 박스의 3번시료는 PCS Fault 신호로 인지하였으며, 4번 시료는 BAT Fault 신호를 인지하여 정지한 상태이다. 각 상황에서 Load Leveling Mode, Peak Shift Mode, Peak Shaving Mode 등의 기능에 맞게 부분, 병렬운전을 이행한다.

2.4 경제성 운전

에너지저장장치(ESS)를 상업·가정에 이용할 경우 기본요금 절감, 사용량 요금 절감, 경부하 충전 요금 할인, ESS 전용 요금제로 기본요금 추가 절감의 경제적인 효과를 얻을 수 있다. 또한 신재생 에너지설비에 ESS를 직·간접적으로 연계하여 운영하는 개인·법인 사업자는 태양광 연계형 ESS REC 가중치 5.0이 적용 된다. (하위의 요금 및 가중치는 산업통상자원부의 전기저장장치(ESS) 활용촉진 전기요금제, 태양광 연계형 ESS REC를 참조하였다.)

1. 할인 요금 = 경부하 충전 전력량(kWh) * 경부하 요금단가(원/kWh) * 50%
2. 연간 절감효과 = 감축 요금적용전력(kW) * 기본요금단가(원/kW) * 12개월
3. 월 할인 요금 = 최대부하시간대(kWh)/3시간 * 기본요금단가(원/kWh)



그림 5. 제품 사진
<Fig. 5 Prototype>

3. 결론

본 논문에서는 그림5의 배전계통 연계 에너지저장장치(ESS)를 제안 하였다. 병렬운전, 부분운전 기능을 갖는 250kW급 연계형 일체형 에너지저장장치(ESS)를 이용하여 수용가 부문 E-프로슈머(상업·가정 전력최적소비)에 적용을 한다면 전기요금 절감효과를 극대화 할 수 있다. 또한 최소의 에너지저장장치(ESS)를 설치하여 운영 후 경제적 효과가 있다면 병렬연결이 가능한 본 제품을 이용하여 증축이 가능하며, ESS 점검이 필요 할 경우 전체 시스템을 정지하지 않고 점검 및 유지보수가 가능한 장점을 갖는다. 제안된 회로 및 제어기를 적용하여 250kW Prototype을 제작하여 동작 확인 및 효율을 확인 하였다.

참고 문헌

- [1] Marco Liserre, Frede Blaabjerg, Steffan Hansen "Design and Control of an LCL-Filter-Based Three-Phase Active Rectifier," IEEE Trans. Ind. Appl., vol 41, no. 5, Sep. 2005.
- [2] R.Wu, S. B. Dewan, and G. R. Slemon, "Analysis of an ac-to-dc voltage source converter using PWM with phase and amplitude control," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 27, no. 3, pp. 355-364, Mar./Apr. 1991.