ESS SoC 안정화를 위한 시프트된 전력의 재공급 시스템

이우열, 정장현, *최성곤
충북대학교
freddie93@naver.com, wkdgus4788@daum.net, *sgchoi@chungbuk.ac.kr

Re-supply System of Shifted Power for ESS SoC Stabilization

Woo Yeol Lee, Jang Hyeon Jeong, Seong Gon Choi*
Chungbuk Univ.

요 약

본 논문은 ESS의 SoC를 유지하기 위하여 시프트된 전력을 효과적으로 재공급하는 방법을 제시한다. 안정적인 ESS SoC를 유지하기 위하여 전력을 재공급하는 시스템과 제한된 환경에서 수행한 시뮬레이션의 결과를 제시한다. ESS는 자가 전원 유지를 위해 일정한 SoC가 유지되어야 하며 일정 수준 이상의 SoC가 유지가 안 될 경우, ESS의 수명 단축, 스트레스 증가 등의 문제가 발생한다. 이러한 문제를 방지하기 위한 방법 중 하나는 피크 로드가 발생할 경우, 시프트 가능 기기의 전력을 시프트하고 ESS SoC가 안정화 되면 시프트된 전력을 해당 기기에 재공급 해주는 것이다. 하지만 ESS는 대응할 수 있는 전력이 한정되어 있으므로 시프트된 전력이 많을 때, 모든 기기에 대해 전력을 재공급해 줄 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 시프트된 전력의 효과적인 재공급 하는 방법을 제안한다. 제안된 방법을 통해 ESS SoC가 안정적인 상태를 유지하면서도 시프트된 전력을 재공급할 수 있다.

Ⅰ. 서론

전력 분야에서 전력의 생산과 소비에 관한 문제는 다양한 연구와 방법으로 진행되고 있다. 전력의 피크 로드로 인해 수요와 공급에 불균형이 생기면 정전과 같은 위험한 상황이 발생할 수도 있다. 전력의 안정적인 공급을 위해 ESS(Energy Storage System), 로드 시프트 등을 활용한 연구가 진행되고 있다 [1]-[3]. ESS는 에너지 저장 시스템으로 전원 유지나 비상 상황에 대비하기 위해 일정 수준의 SoC(State of Charge)를 유지해야 한다. 만약 일정 수준 이상의 SoC가 유지되지 않을 경우 ESS의 수명이 단축될 수 있고 배터리 스트레스, 전력요금에 영향을 미칠 수 있다 [1][4]-[6].

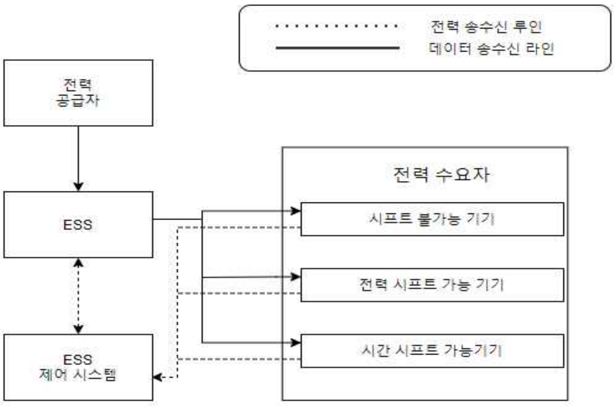
ESS로만 피크로드를 대응하게 되면 SoC가 일정 수준 미만으로 낮아질 수 있다. 이를 방지하기 위해 [1]에서는 시프트 가능기기와 EV의 충/방전 기능을 활용하여 ESS SoC를 일정 수준 이상으로 유지하는 시스템을 제안하였다. 하지만 [1]에서는 시프트 가능기기와 EV의 시프트된 전력을 재공급하는 방법에 대하여 다루지 않았다.

ESS SoC가 안정되어 시프트된 전력을 한 번에 모두 재공급하게 된다면, SoC가 일정 수준 미만으로 낮아질 위험이 존재한다. 본 논문에서 저자들은 ESS SoC의 전력을 일정 수준 이상으로 유지하며 시프트된 전력을 효과적으로 전력을 재공급하는 방법을 제시한다.

Ⅱ. 본론

본 논문에서는 ESS의 충/방전 정보와 ESS의 전원 공급량, 시프트 가능 기기의 필요한 전력량, 재공급해야 할 전력량 현재 ESS SoC와 ESS 변화량을 고려하여 재공급할 시프트된 전력을 결정한다.

그림1은 본 논문에서 저자들이 제안하는 시스템의 구성도이다. ESS는 전력 공급자로부터 전력을 공급받고 전력 수요자의 시프트 불가능 기기, 전력 시프트 가능 기기, 시간 시프트 가능 기기에 전력을 전송 한다. ESS 제어 시스템은 ESS의 SoC, 전력수요자의 정보를 수집하고 제안된 수식에 의해 산출하여 ESS가 전력 수요자에게 전송하는 전력을 제어한다.



<그림 1. 제안된 시스템 구성도>

본 발명에서 ESS의 방전 정보 및 세부사항은 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$D_{total}(t) = \begin{cases} P_{NSA}(t) + P_{PSA}(t) + P_{TSA}(t) + P_{CSA}(t) & ,\mathrm{if}(SOC_{Min}^{REQ} < SOC(t)) \\ P_{NSA}(t) + \min(P_{PSA}(t)) & ,\mathrm{if}(SOC_{Min}^{REQ} \geq SOC(t)) \end{cases} \quad (1)$$

수식 1은 ESS SoC에 따라 ESS의 방전할 전력량을 결정한다. 현재 SoC가 ESS가 유지하길 원하는 최소 SoC의 값 보다 높을 경우 모든 전력 소비자에게 전력을 공급한다. 현재 SoC가 반면에 유지하길 원하는 최소 SoC의 값 보다 낮을 경우에는 최소로 공급해야하는 전력량만 공급한다. $D_{total}(t)$는 단위 시간 t에서 ESS가 모든 기기에 공급하는 전력량이다. $P_{NSA}(t)$는 단위 시간 t에서 ESS가 모든 기기에 공급하는 전력량이다. $P_{PSA}(t)$는 단위 시간 t에서 전력 시프트 가능 기기가 요구하는 전력량이

다. $P_{TSA}(t)$는 단위 시간 t에서 시간 시프트 가능 기기가 요구하는 전력량이다. $\min(P_{PSA}(t))$는 단위 시간 t에서 전력 시프트 가능 기기에 공급해야 하는 최소 전력량이다. SOC_{Min}^{REQ}은 ESS가 유지하길 원하는 최소 SoC의 값이다. $SOC(t)$는 단위 시간 t에서 ESS의 SoC 값이다.

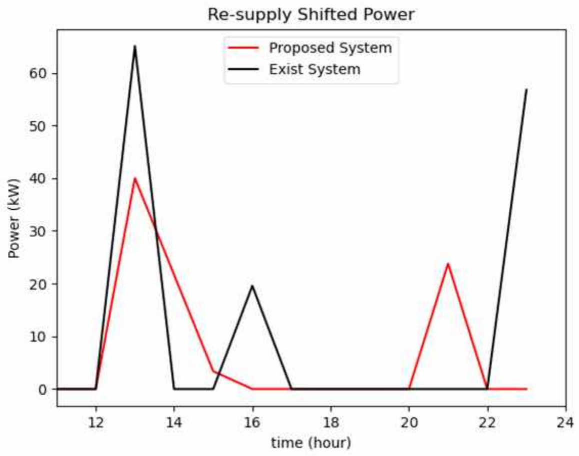
$$P_{CSA}(t)=\begin{cases}[\alpha(t)\times SP_{PSA}^{Min}(t)]+[(1-\alpha(t)\times SP_{TSA}^{Min}(t))] & ,\mathrm{if}(\frac{dSOC(t)}{dt}\geq 0)\\ 0 & ,\mathrm{if}(SP_{total}(t)=0)\end{cases} \qquad (2)$$

수식 (2)는 시프트된 전력량 중 ESS가 단위시간 t에서 재공급해야 할 전력량을 결정한다. $\alpha(t)$는 0 또는 1의 값을 가지며, 전력 시프트가능 기기와 시간 시프트 가능 기기 중에 더 많은 전력이 시프트 된 기기에 전력이 공급 될 수 있도록 한다. $SP_{PSA}^{Min}(t)$는 단위 시간 t에서 시간 시프트 가능 기기 중 가장 적은 값을 가지는 시프트된 전력량이다. $SP_{TSA}^{Min}(t)$는 단위 시간 t에서 시간 시프트 가능 기기 중 가장 적은 값을 가지는 시프트된 전력량이다. $\frac{dSOC(t)}{dt}$는 단위 시간 t에서 ESS SoC 변화량이다. SoC의 변화량의 양의 값을 가지는 경우 ESS는 시프트된 전력량을 재공급할 수 있다.

<표 1. 시뮬레이션에서 가정한 값 >

전력 소비 데이터	• Smart *Project 2 데이터 [7]
시간 시프트 가능기기	• 전제 소비 전력의 30%
전력 시프트 가능기기	• 전제 소비 전력의 30% • 최소유지 전력 : 15%
SOC_{Min}^{REQ}	• 50kW
$SP_{PSA}^{Min}(t)$	• 20kW
ESS SoC 최대값	• 100kW
전력공급자가 시간당 공급하는 전력	• 37kwh

제한된 환경 내에서 시프트된 전력이 재공급되는 것을 그림 2에서 확인 할 수 있다.



<그림 2. 시프트된 전력 재공급 >

기존 시스템의 경우, 16시에 SoC가 SOC_{Min}^{REQ} 값을 이상의 값을 유지하기 때문에 시프트된 모든 전력을 재공급한다. 하지만 제안된 시스템은 16시에 SoC가 SOC_{Min}^{REQ} 값을 이상을 유지하고 있지만 SoC가 감소하고 있기 때문에 바로 재공급하지 않는다. 이것은 16시에 ESS가 공급받는 전력량보다 소비하는 전력량이 많기 때문이다. 제안된 시스템은 SoC가 SOC_{Min}^{REQ} 값 이상을 유지하고 SoC가 증가하는 21시에 시프트된 전력을 재공급한다. 또한 기존시스템은 시프트된 전력을 13시에 모두 재공급 한다. 하지만 제안된 시스템은 재공급 조건을 만족하여도 시프트된 전력을 한 번에 재공급하지 않고 기기별 시프트된 전력량에 따라 13시부터 16시 사이에 전력을 차등적으로 재공급한다.

Ⅲ. 결론

본 논문은 ESS SoC 부하 최소화를 위한 시프트된 전력의 재공급 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 시프트 가능 기기를 활용하여 ESS가 SoC를 일정 수준 이상으로 유지 할 수 있도록 하였다. 또한 시프트된 전력을 재공급 할 때도 SoC를 고려하여 재공급 시간을 딜레이시켜 지급함으로써 SoC를 일정 수준 미만으로 떨어지는 것을 방지 할 수 있었다. 이로 인해, 제안된 시스템은 배터리 수명 단축을 방지하고 배터리 스트레스를 줄이는 효과를 얻을 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

"이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2020R1A6A1A12047945).

"본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학 지원사업의 연구결과로 수행되었음"(2019-0-01183)

*교신저자 : choisg@cbnu.ac.kr

참고 문헌

[1] Jang Hyeon jeong, Hyeon Yang, Seong Gon Choi, “Power control system for minimizing SoC variation of ESS”, IEEE Transactions on Power Systems.

[2] Ahmed S. A. Awad, Tarek H. M. EL-Fouly, Magdy M. A. Salama, “Optimal ESS Allocation for Load Management Application”, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 30, no. 1, pp.327-336, Jan. 2015.

[3] C. Chen, S. Duan, T. Cai, B. Liu, and G. Hu, “Optimal allocation and economic analysis of energy storage system in microgrids,” IEEE Trans. Power Electron, vol. 26, no. 10, pp. 2762–2773, Oct. 2011.

[4] Ryan Ahmed, Mohammed El Sayed, Ienkaran Arasaratnam, Jimi Tjong, Saeid Habibi, “Reduced-Order Electrochemical Model Parameters Identification and State of Charge Estimation for Healthy and Aged Li-Ion Batteries—Part II: Aged Battery Model and State of Charge Estimation”, IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 2, no. 3, pp. 678 – 690, Sept. 2014

[5] D. Maly, K. Kwan, "Optimal Battery Energy Storage System (BESS) charge scheduling with dynamic programming", Proc. Inst. Elect. Eng. Sci. Meas. Technol., vol. 142, no. 6, pp. 453-458, Nov. 1995.

[6] S. E. Samadani, R. A. Fraser, M. Fowler, "A review study of methods for lithium-ion battery health monitoring and remaining life estimation in hybrid electric vehicles", Apr. 2012.

[7] Smart *Project 2, (2020) The UMass website [Online]. Available : http://traces.cs.umass.edu/index.php/Smart/Smart