

풍력발전의 출력변동 완화를 위한 3kW 수퍼커패시터 에너지 저장장치 구현 및 실험

이우종, 차한주
충남대학교

Implementation and Experiment of 3kW Supercapacitor Energy Storage System for Smoothing a Fluctuating Wind Power

Wujong Lee, Hanju Cha
Chungnam National University

ABSTRACT

본 논문에서는 풍력발전의 불규칙한 출력을 안정화하기 위해 수퍼커패시터의 에너지 저장장치를 통해 계통으로 유입되는 전력을 완화시키는 제어에 대하여 서술한다. 풍력발전은 친환경 에너지원이지만, 바람에 의해 출력이 불규칙하게 변하는 단점이 있다. 5kW 소규모 풍력발전 시뮬레이터와 3kW 수퍼커패시터 에너지 저장장치를 이용하여 단주기의 불규칙한 출력을 완화시켜 계통으로 안정적인 전력을 공급한다. 풍력발전 시뮬레이터의 불규칙한 출력을 100%에서 30%로 감소시켰으며, 제안한 불규칙한 출력 완화 방법의 타당성을 실험을 통해 검증하였다.

1. 서론

현재 환경과 에너지 공급에 대한 우려에 의해 그린 에너지를 기반으로 전기를 공급하는 연구가 진행되고 있다. 풍력과 태양광 발전은 신재생에너지로 급격하게 성장하고 있지만, 바람에 영향으로 불규칙한 출력이 발생하는 단점이 있다. 불규칙한 출력으로 인하여 계통에 유입되는 전력 품질의 문제는 무시할 수 없다^[1]. 따라서 에너지 저장장치를 이용하여 불규칙한 출력을 완화시켜 전력 시스템을 안정화 시키는 목적으로 에너지 저장장치를 사용한다^[2]. 에너지 저장장치는 장주기용과 단주기용으로 구분되고, 각각 배터리와 수퍼커패시터 에너지 저장장치(SCESS)로 구분된다. 장주기는 수분에서 수시간, 단주기는 수초에서 수분으로 정의된다.

본 논문에서는 단주기 전력보상을 위한 수퍼커패시터 에너지 저장장치를 적용하여 불규칙한 풍력발전의 출력을 안정화시키는 제어방법을 적용하였다. 불규칙한 풍력발전 출력은 백투백 컨버터를 이용하여 구현하였다. 불규칙한 출력을 완화시키는 제어방법은 실험을 통해 증명하였다.

2. 불규칙한 출력 보상을 위한 3kW SCCESS

2.1 수퍼커패시터 에너지 저장장치 구성

그림 1은 수퍼커패시터의 에너지 저장장치의 구성을 보여줍니다. 백투백 컨버터를 통해 소규모 풍력발전 시뮬레이터를 구현하여 불규칙한 출력을 만들어낸다. SCCESS는 수퍼커패시터 뱅크, 3상 DC AC 인버터, 130:220 변압기와 L 필터로 구성되어 있다. 소규모 풍력발전 시뮬레이터가 불규칙한 출력을 계통

으로 보내면, SCCESS는 출력 전력을 확인하고 불규칙한 출력에 대한 보상을 수행한다. 따라서 계통으로는 안정적인 전력이 공급된다.

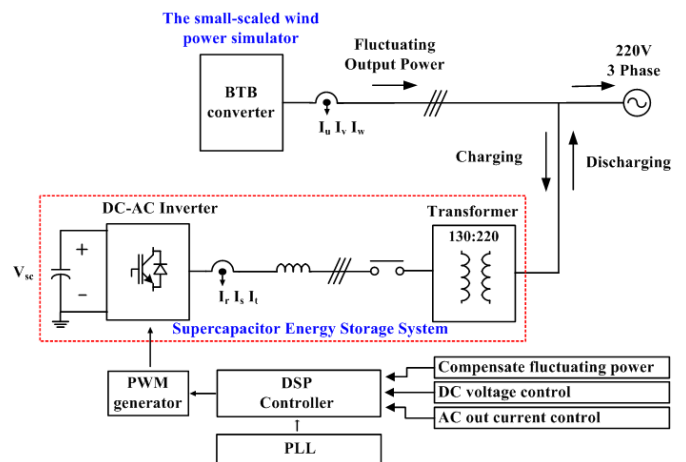


그림 1 불규칙한 출력 보상을 위한 3kW SCCESS
Fig. 1 3kW SCCESS for smoothing a fluctuating power

2.2 수퍼커패시터 뱅크

에너지는 간단한 충전동작에 의해 수퍼커패시터로 충전이 가능하다. 그러므로 수퍼커패시터에 저장되는 에너지는 일반적으로 사용하는 식(1)과 같이 계산할 수 있다. 에너지 저장 시스템의 보상 시간은 부하와 수퍼커패시터 뱅크의 용량의 양에 의해 결정된다. 수퍼커패시터의 정격전압은 270V로 160개를 직렬 연결하여 수퍼커패시터 뱅크를 만들었다. 수퍼커패시터 뱅크 전압의 동작 범위는 240V에서 400V까지이다. 수퍼커패시터는 3kW 부하가 30초 동안 보상할 수 있도록 설계하였고 총 에너지는 115kJ이다.

$$E_{\max} = \frac{1}{2} C_{sc} (V_{\max}^2 - V_{\min}^2) = P_{sc} \times T_{sc} \quad (1)$$



그림 2 수퍼커패시터 셀 및 뱅크
Fig. 2 Supercapacitor unit and bank

3. 불규칙한 출력 보상 방법

불규칙한 출력 보상을 위한 SCCESS 제어 방법은 식(2), (3)에서 확인할 수 있다. LPF를 사용하여 불규칙한 출력을 완화시킨 기준값을 결정하고, LPF 출력값에 불규칙한 출력을 소거하는 방법을 통해 SCCESS의 출력 레퍼런스를 결정한다. 그림 3에서 $G(s)$ 는 불규칙한 출력, $P_o(s)$ 는 LPF 출력, $H_o(s)$ 는 SCCESS의 출력 레퍼런스를 의미한다.

$$P_o(s) = \frac{1}{1+sT} G(s) \quad (2)$$

$$H_o(s) = \frac{1}{1+sT} G(s) - G(s) = \frac{-sT}{1+sT} G(s) \quad (3)$$

SCCESS 출력 레퍼런스는 식(3)과 같은데 결과적으로 불규칙한 출력이 HPF를 적용한 결과와 같다. 식(2), (3)을 제어 블록도로 표시하면 그림 3과 같이 표현할 수 있다.

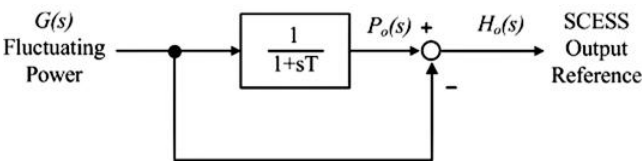


그림 3 불규칙한 출력 보상 블록도

Fig. 3 Block of compensated to fluctuating power

SCCESS는 출력 레퍼런스에 의해 충전과 방전을 번갈아가며 수행한다. 충전과 방전을 결정하는 출력 레퍼런스는 그림 4와 같이 $G(s)$ 와 $P_o(s)$ 의 관계에 따라 결정된다. $G(s)$ 가 $P_o(s)$ 보다 클 경우, $H_o(s)$ 는 0보다 작게 되어 SCCESS는 충전 동작을 수행한다. 반면에 $G(s)$ 가 $P_o(s)$ 보다 작을 경우, $H_o(s)$ 는 0보다 크게 되어 SCCESS는 방전 동작을 수행한다.

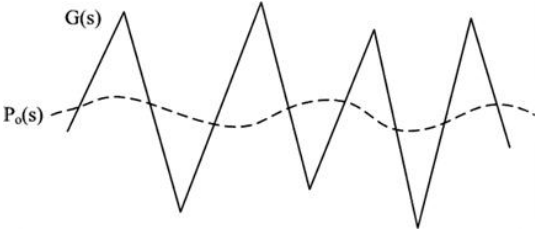


그림 4 불규칙한 출력 보상 동작

Fig. 4 Operation of compensated fluctuating power

4. 실험 결과



(a) (b)

그림 5 (a) 소규모 풍력발전 시뮬레이터 (b) SCCESS

Fig. 5 (a) Small-scaled wind power simulator (b) SCCESS

불규칙한 출력 보상을 위한 SCCESS에 대한 제어를 확인하기 위해 그림 5와 같은 프로토타입을 구현하였고 실험을 통해 제어 알고리즘의 타당성을 확인하였다. 실험은 백투백 컨버터를 이용하여 풍력발전 시뮬레이터를 구성하고, SCCESS를 통해 불규칙한 출력을 완화시킨다. 그림 6은 그림 3에서의 각 부분 전력에 대한 파형을 보여준다. (a)는 $H_o(s)$, (b)는 $G(s)$, (c)는 $P_o(s)$ 를 나타낸다. 그림 7은 실험결과를 보여준다. (a)는 슈퍼커패시터의 전압, (b)는 계통전류, (c)는 시뮬레이터 전류, (d)는 SCCESS 전류이다. 시뮬레이터 전류는 최소 0Arms에서 13Arms까지 흔들리지만 SCCESS의 보상을 통해 계통으로 유입되는 전류는 4.5Arms에서 8.5Arms로 흔들리는 전류의 폭이 감소하였다. 불규칙한 출력의 경우 5kW에서 1.7kW로 감소하였다.

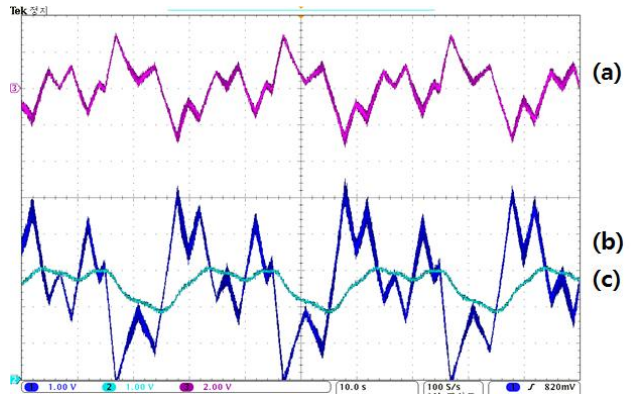


그림 6 SCCESS 기준값

Fig. 6 SCCESS reference

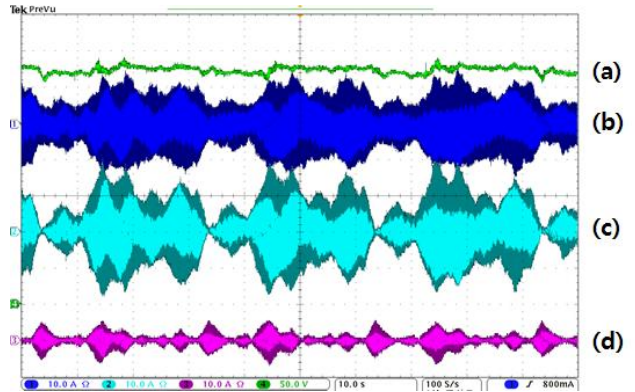


그림 7 실험결과

Fig. 7 Experiment results

6. 결론

본 논문에서는 불규칙한 풍력발전의 출력을 완화시키기 위한 슈퍼커패시터 에너지 저장장치를 구현하여 실험하였다. 풍력발전 시뮬레이터에서의 불규칙한 출력은 계통으로 유입될 때 100%에서 30%로 감소하였으며, 제안한 불규칙한 출력보상 제어가 타당함을 실험을 통해 증명하였다.

참고 문헌

- [1] SS Choi, et al. "Energy Storage Systems in Distributed Generation Schemes" IEEE, PES, pp 1 8, July, 2008.
- [2] Chad Abbey, Geza Joos, "Supercapacitor Energy Storage for Wind Energy Applications" IEEE, Transactions on Industry Applications, Vol45, No3, pp769 776, June 2007.