

에너지저장용 슈퍼커패시터의 충방전 시스템 설계

김진영*, 정재현*, 조원우*, 노의철*, 김인동*, 전태원**, 김흥근***

부경대 전기공학과*, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부**, 경북대학교 전자전기공학부***

Design of Charging/Discharging System for Supercapacitor Used in Energy Storage Equipment

Jin-Young Kim*, Jae-Hun Jung*, Won-Woo Cho*, Eui-Cheol Nho*, In-Dong Kim*,
Tae-Won Chun**, Heung-Geun Kim***

Pukyong National Univ.*, Univ. of Ulsan**, Kyungpook National Univ.***

ABSTRACT

This paper describes the design of an energy storage system using supercapacitor. The maximum discharging power and duration of the system are 5 kW and 30 second, respectively. To meet the discharging requirement a supercapacitor module(50.4 V 166 F) is selected, and its model parameters are obtained through experiment. The design and simulation results show the usefulness of the system.

1. 서 론

최근 IT 산업의 발전과 더불어 생산 현장에서 뿐만 아니라 일반 수용가에도 민감한 부하들이 널리 보급되고 있다. 이러한 민감 부하들은 순간정전이나 전압 새그 및 스웰 등에 매우 민감하게 반응하므로 안정적인 동작을 위해서는 전력품질의 고급화가 필요하다.^[1] 전력품질 외란은 전력계통의 사고 등으로 발생하는데 최근 들어 풍력과 태양광에너지 등 신재생에너지의 보급이 확대됨에 따라 전력품질이 저하될 수 있는 요인이 증가하고 있다. 따라서 본 논문에서는 전력급변을 완화하기 위한 에너지 충방전 시스템을 이용하여 전력계통의 안정도를 향상시키고 전력품질을 개선하고자 한다. 에너지저장 요소로는 슈퍼커패시터를 사용하였으며 실험을 통해 모델 파라미터를 추출한다.^[2] 모델 파라미터를 기반으로 한 에너지 충방전 시스템 설계 및 시뮬레이션 결과를 보임으로써 시스템의 유용성을 입증하고자 한다.

2. 에너지 충방전 시스템

2.1 에너지 충방전 시스템의 개요

그림 1은 슈퍼커패시터를 이용한 충방전 시스템의 개요도이다. 분산전원 및 계통이 정상적인 경우에는 그림 1의 (a)와 같이 고속차단 스위치가 ON 상태가 되어 전력은 고속스위치를 통해서 부하로 공급된다. 순간정전이 발생하면 그림 1의 (b)와 같이 고속차단 스위치는 OFF되어 계통을 차단하고 에너지저장 장치의 슈퍼커패시터에 저장된 전력을 부하에 공급하게 된다. 이로 인해 순간정전 시에도 부하의 전압은 100%의 정격전압을 유지하게 되며 계통이 회복되면 고속차단 스위치가 ON이 되어

에너지 저장장치는 다시 충전모드로 동작하여 슈퍼커패시터를 재충전하게 된다.

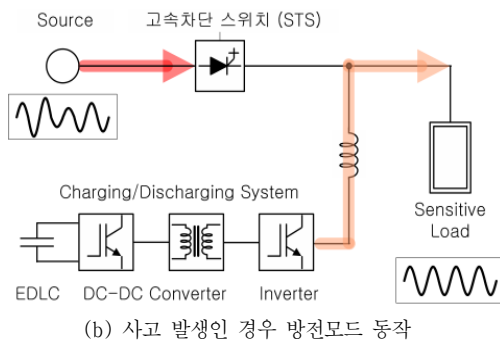
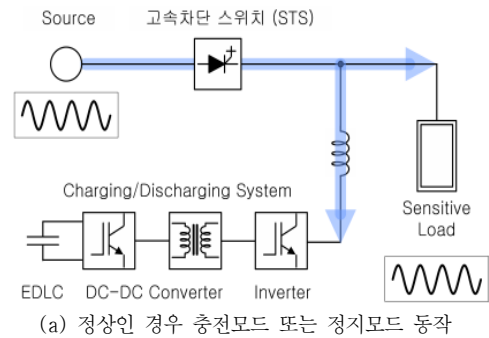


그림 1 에너지 충방전 시스템의 개요도

2.2 에너지 충방전 시스템의 설계

그림 2는 슈퍼커패시터를 이용한 충방전 시스템의 회로이다.

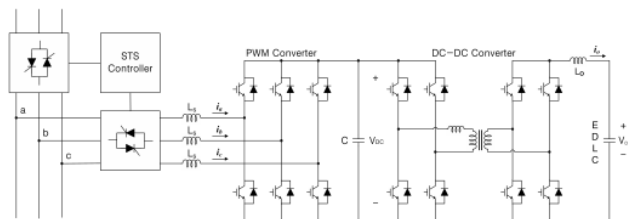


그림 2 에너지 충방전 시스템의 회로

본 연구에서 구축하고자 하는 시스템의 용량은 5 [kVA]급의 전력을 30초 정도 공급할 수 있는 것으로 하고자 한다. 따

라서 본 연구에 적합한 슈퍼커패시터(EDLC) 모듈의 선정기준은 저장에너지 용량과 정격전압을 고려하여 선정한다. 사용 가능한 슈퍼커패시터의 저장 에너지는 다음과 같이 결정된다.

$$E = \frac{1}{2} C (V_{\max}^2 - V_{\min}^2) \quad [J] \quad (1)$$

식 (1)에서 V_{\max} 는 슈퍼커패시터의 최대 충전전압을 의미하며, V_{\min} 은 $V_{\max}/2$ 에 해당한다. 식 (1)의 에너지를 5 [kW]로 방전하는 경우 공급 가능한 시간은 다음과 같다.

$$T_s = \frac{E}{5 \times 10^3} \quad [s] \quad (2)$$

위 식 (1), (2)를 근거로 EDLC 모듈은 시스템 사양을 충족시키는 범위 내에서 최소한의 용량을 고려하여 상용화된 모듈 중에서 50.4 [V], 166 [F]급으로 선정하였다. 이 모듈은 158 [kJ]의 저장에너지 용량을 가지고 있으므로 5 [kW]의 전력을 31.6초간 공급할 수 있다. 또한 이 모듈은 3000 [F], 2.8 [V]의 EDLC cell 18개가 직렬로 연결된 구조로 되어 있으며 이 모듈의 모델 파라미터는 실험을 통하여 추출하였으며 그 값은 표 1과 같다.

표 1 166F EDLC 모듈의 임피던스
Table 1 Model parameters of the 166 [F] EDLC module

커패시턴스 C	165.2 [F]
누설저항 R_L	1388.44 [Ω]
직렬저항 R_s	8.93 [m Ω]

그림 2에서 V_{DC} 측의 커패시터는 4700 [uF]이고 변압기 누설 인덕턴스는 20 [uH], EDLC 측 인덕턴스는 30 [uH]이며 변압기의 권선비는 400:70이다. DC-DC 컨버터를 통한 충방전 시 EDLC의 전압 변동 범위는 25~50 [V]로 충전을 완료하였을 경우는 50 [V]가 되며 방전 시에는 25 [V]가 된다. 충전 시 1차 측의 400 [V] V_{DC} 전압에 비해 EDLC의 전압은 변동하므로 1차 측의 인버터는 Phase shift PWM 스위칭을 통해 정전류로 충전하게 된다. 방전 시에는 EDLC의 전압이 50 [V]에서 25 [V]로 감소하므로 계통으로 정전력을 공급하기 위해서 2차 측 인버터의 스위치는 Boosting 동작을 하게 된다.

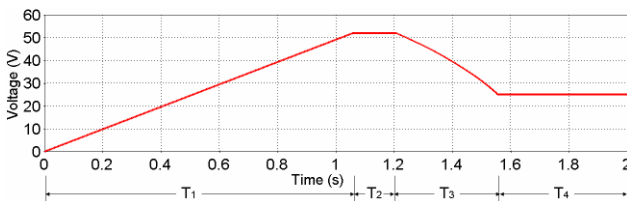
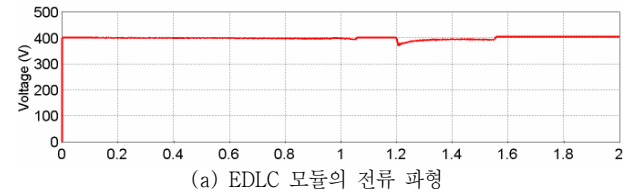


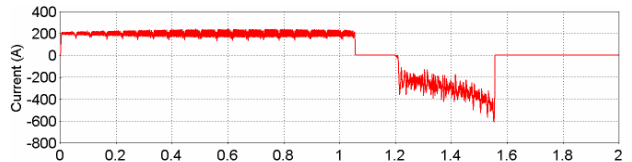
그림 3 EDLC 모듈의 충방전 시 전압 파형

그림 3은 계통에 연계된 에너지 충·방전시스템의 충방전 동작 시 EDLC 모듈의 전압 파형이다. 에너지 충·방전 시스템은 EDLC 모듈을 최초 0 [V]에서 50 [V]까지 충전하기 위해 계통으로부터 에너지를 전달 받아 T_1 시간동안 충전하게 되고, 충전이 완료되면 정지모드(T_2)로 대기한다. 1.2초에 임의의 사고가 발생하면 방전 모드로 전환이 되며 T_3 동안 방전모드를 갖

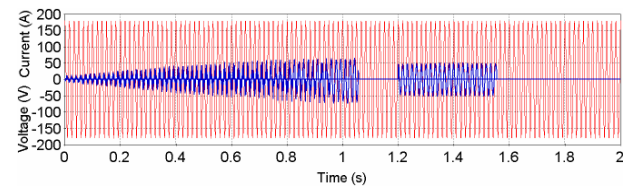
는다. 방전이 완료되면 계통이 정상운전이 될 때까지 T_4 동안 정지모드로 대기한다.



(a) EDLC 모듈의 전류 파형



(b) DC-DC 컨버터의 1차측 V_{DC} 전압 파형



(c) 충방전 시 시스템의 a상 전압과 전류 파형

그림 4 에너지 충방전 시스템의 전압과 전류 파형

그림 4는 그림 3의 충방전 동작 시 에너지 충방전 시스템의 전압과 전류 파형이다. 충전구간 T_1 에서 200 [A]의 정전류로 충전이 되며 방전구간 T_3 에서는 정전력 방전으로 인해 EDLC 전압이 감소함에 따라 전류가 점차 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 그림 4의 (c)를 통해 충전 구간 동안 계통에서 에너지 충방전 시스템으로 유입되는 전류는 점차 증가하고, 방전구간에서는 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 계통 또는 마이크로그리드에 적용하기 위한 슈퍼커패시터를 이용한 에너지 충방전 시스템에 대해 기술하였다. 설계된 에너지 충방전 시스템은 계통이 정상인 경우에는 정전류 모드로 동작하여 슈퍼커패시터에 에너지를 저장하고 사고 발생 시에는 신속하게 보상할 수 있도록 정전력 모드로 동작한다. 실험을 통해 추출한 슈퍼커패시터(EDLC)의 파라미터를 이용하여 에너지 충방전 시스템을 설계하고 시뮬레이션을 수행하였으며 전력급변 시 원활한 에너지 충방전이 이루어짐을 확인하였다. 추후 실험을 통해 성능을 검증할 예정이다.

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 2007-P-EP-HM-04-0000)

참고 문헌

[1] Chan-Nan Lu and Cheng-Chieh Shen, "Estimation of Sensitive Equipment Disruptions Due to Voltage Sags", IEEE Transactions on power delivery, vol. 22, no. 2, pp. 1132-1137, April. 2007.
[2] 손진근, 추순남, 이원식, 나채동, "DVR 시스템 구성을 위한 EDLC의 특성해석", 전력전자학술대회 논문집, PP. 424-427, 2006. 6