

수퍼커패시터 뱅크의 커패시턴스 추정방법 검증

조성우, 이준원, 조현식, 차한주
충남대학교

Verification of Capacitance Estimation for Supercapacitor Bank

Sungwoo Cho, Junwon Lee, Hyunsik Jo, Hanju Cha
Chungnam National University

ABSTRACT

본 논문에서는 수퍼커패시터 뱅크로 구성된 에너지 저장장치의 DC링크에 임의의 주파수성분의 AC전압과 전류를 통해 측정된 임피던스의 크기와 위상차를 통하여 실시간으로 커패시턴스를 추정하는 방법에 대한 검증 결과를 기술하고, 수퍼커패시터의 용량 및 계통의 변화에 따라 측정값의 결과를 비교 분석 하였다. 수퍼커패시터 뱅크는 정상 계통인 경우 평균 1.95F 으로 정격용량의 약 85%가 추정 되고 계통의 크기를 90%, 110%로 변화함에 있어서도 동일한 결과를 얻었다. 수퍼커패시터 뱅크의 커패시턴스에 변화를 주었을 경우에도 최대 오차를 약 1.5% 이내에 반복적으로 추정되는 것을 확인하여 수퍼커패시터 뱅크의 커패시턴스 추정방법이 타당함을 검증하였다.

1. 서 론

최근 전 세계 국가들은 전력고갈로 인해 신재생 에너지원과 여러 분산전원 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 분산전원의 발전과 더불어 인버터 및 에너지 저장장치에 대해서도 연구가 활발히 진행되고 있다. 신재생 에너지 및 분산전원의 발전을 위해서는 인버터와 DC링크로 구성된 인버터 시스템이 매우 중요하고 DC링크는 부하에 전압을 안정적으로 제공해주는 역할을 하게 된다. 하지만 시스템의 오랜 사용으로 인해 DC링크가 노화되면 시스템의 고장을 야기할 수 있다. 커패시터는 일반적으로 정격용량의 20%가 되었을 경우 수명을 다했다고 판단한다^[1]. 이러한 이유로 DC링크의 잔존수명 (SOH : State of Health)을 주기적으로 확인하여 적절한 시기에 교체를 해주는 것은 매우 중요하다.

본 논문에서는 인버터의 DC링크를 수퍼커패시터 뱅크로 구성하였고 수퍼커패시터 뱅크의 커패시턴스를 임의의 주파수를 가지는 전류를 주입하여 커패시턴스를 추정하는 방법을 검증하였다^[2]. 또한 주변 환경의 변화에 대해서도 강인한 추정결과를 보여주는지 검증하였다.

2. 수퍼커패시터 추정실험

2.1 커패시턴스 추정방법

그림 1은 수퍼커패시터로 구성된 에너지 저장장치 시스템을 나타낸다. 계통과 인버터가 Wye Delta 변압기로 연결되어 있

고, 변압기의 후단에는 필터 인덕터가 사용되었다. 본 시스템은 전압제어기와 전류제어기가 종속적으로 연결되어 있고, 역률 1 제어이므로 d축 전류는 0으로 제어된다. DC링크의 전압이 충전되어 있는 정상상태에서는 전압과 전류의 변화가 작아서 임피던스를 측정하기가 어렵다. 그렇기 때문에 수퍼커패시터의 임피던스를 측정하기 위해서는 수퍼커패시터 뱅크가 정상상태에서 300V로 제어되며 식 (1)을 이용해 q 축에 f_0 (1~30Hz) 성분의 저주파수 전류를 주입한다. 저주파수의 전류를 주입하게 되면 동일한 주파수의 전압이 발생하는데, 전류와 전압의 교류성분의 크기와 위상차를 통해 커패시턴스를 추정한다.

$$I_{qe_in} = I_m \sin(2\pi \times f_0 t) \quad (1)$$

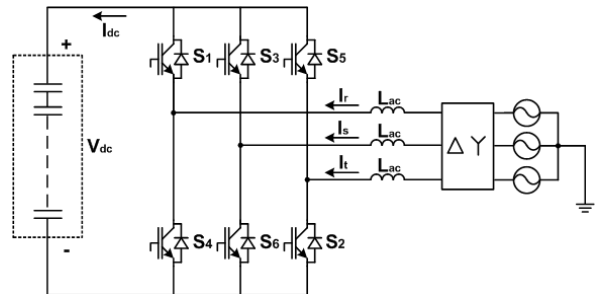


그림 1 수퍼커패시터 에너지 저장장치 구성도
Fig. 1 Configuration of Supercapacitor Energy Storage System

2.2 실험조건 구성

에너지 저장장치의 DC링크는 수퍼커패시터 뱅크로 구성되고 이를 그림 2에 나타내었다. NESSCAP사의 2.7V, 360F의 수퍼커패시터 20개를 직렬로 연결하여 1개의 PCB 모듈로 제작하고, 이를 8 직렬 연결하여 총 160개의 수퍼커패시터를 직렬로 구성한 400V, 2.25F의 수퍼커패시터 뱅크를 제작하였다.



그림 2 수퍼커패시터 뱅크 (400V, 2.25F)
Fig. 2 Supercapacitor Bank (400V, 2.25F)

수퍼커패시터 뱅크의 커패시턴스 추정에 있어서 강인한 성능을 확인하기 위하여 몇 가지 실험조건을 구성하였다.

조건 1은 기본적인 3상 220V 정상 계통전압에 연결하여 커패시턴스를 추정했다. 조건 2는 계통과 변압기 사이에 슬라이더를 추가하여 3상 220V 계통전압을 10%(198V), +10%(264V)로 승·강압 하여 커패시턴스를 추정하였다. 조건 3은 수퍼커패시터 뱅크의 용량을 기존 160개 직렬연결에서 한 개의 모듈을 제거하여 총 140개 직렬연결 하여 용량을 2.25F에서 2.57F로 변경하였다.

위의 조건들로 10일에 걸쳐 각각의 조건에 대해 실험을 진행하여 커패시턴스를 추정하였으며, 추정값의 반복성이 재현되는지 확인하였다.

2.3 실험결과

수퍼커패시터 뱅크의 커패시턴스 추정을 위한 시퀀스는 그림 3과 같다. 전류주입 후 약 4초간의 안정화 시간을 거친 뒤 커패시턴스 추정 알고리즘이 실행되고 10초의 커패시턴스 추정 안정화시간이 필요하게 되며, 4초 동안 커패시턴스의 평균값을 계산하여 출력하게 된다. 수퍼커패시턴스의 특성상 AC 임피던스와 DC 임피던스가 다르기 때문에 AC로 측정된 결과는 정격용량과 동일하게 측정되지 않는다^[3].

그림 4는 조건 1과 조건 2에 대한 커패시턴스 추정결과를 나타낸다. 그 결과 최소값과 최대값의 오차율은 약 5%이고 평균값은 각각 1.96F, 1.97F, 1.98F로 정격용량보다는 약 15% 작은 값이다. 10일 동안의 반복적 실험 결과 재현성이 있기 때문에 본 논문에서 제안한 주입전류를 통한 수퍼커패시터 추정 방법이 타당성이 있음을 확인할 수 있다.

조건 3에 대해서 실험을 한 결과는 그림 5와 같으며, 이는 조건 1과 조건 2에서 얻은 커패시턴스와 동일하게 2.57F의 정격용량보다 약 15% 작은 2.26F를 평균값으로 얻을 수 있다. 조건 3으로 추정된 커패시턴스도 동일하게 10일 동안 반복실험을 통해 최대오차율 1.3% 이내에서 추정되었다. 그러므로 조건 1과 조건 2로 측정된 커패시턴스와 동일한 비율의 값을 얻을 수 있기 때문에 수퍼커패시터 뱅크의 커패시턴스 추정 알고리즘은 여러 조건에서 모두 적용되는 것으로 추정성능의 강인함을 확인하였다.

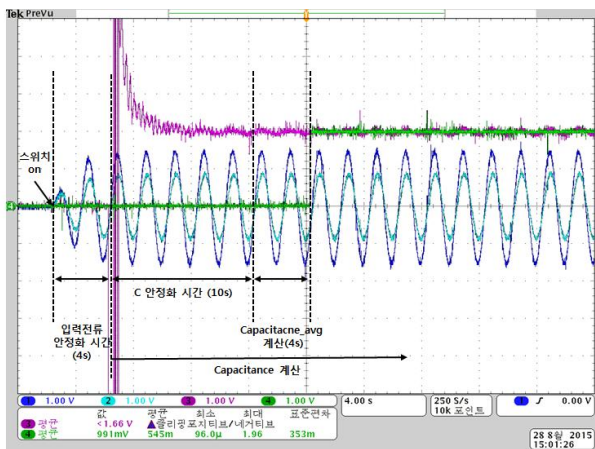


그림 3 수퍼커패시터 추정 알고리즘
Fig. 3 Algorithm of Capacitance Estimation

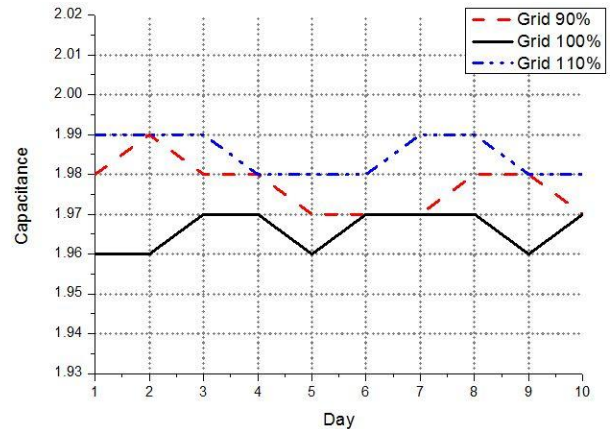


그림 4 조건 1, 2에 대한 커패시턴스 추정결과
Fig. 4 Results of Capacitance Estimation in case 1, 2

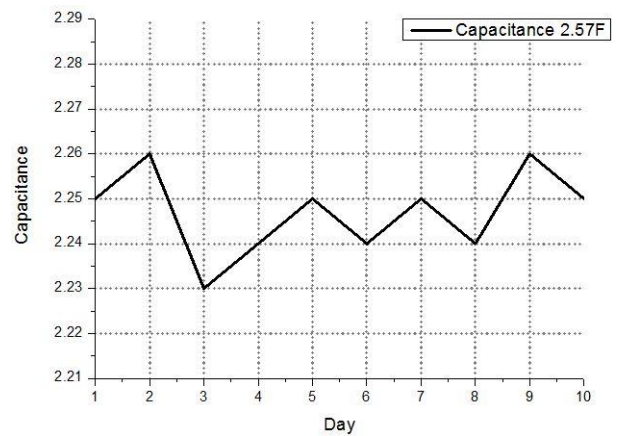


그림 5 조건 3에 대한 커패시턴스 추정결과 (2.57F)
Fig. 5 Results of Capacitance Estimation in case 3 (2.57F)

3. 결론

본 논문에서는 수퍼커패시터 뱅크로 구성된 에너지 저장 장치 DC링크의 커패시턴스를 추정하는 방법을 3가지 조건에서 실험하였다. 추정된 수퍼커패시터 뱅크의 커패시턴스는 계통크기의 변화에도 최대 오차 1.5% 이내의 추정값을 가지며, 수퍼커패시터 뱅크의 커패시턴스를 변화시켜도 1.3% 이내의 값을 추정하는 것으로 보아 제안된 수퍼커패시터 뱅크의 커패시턴스 추정방법이 타당함을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] D. C. Lee, J. K. Seok, and J. W. Choi, "Online capacitance estimation of DC link electrolytic capacitors for three phase AC/DC/AC PWM converters using recursive least squares method," Proc. Inst. Electr. Eng. Electr. Power Appl., vol. 152, no. 6, pp. 1503-1508, Nov. 2005.
- [2] 이준원, 이재도, 류지수, 차한주 "주입전류를 이용한 수퍼커패시터 뱅크의 실시간 커패시턴스 추정방법" 전력전자학회 2015년도 하계학술대회 논문집, pp. 395-396, 2015.07
- [3] Catelani, M., Ciani, L., Marracci, M., Tellini, B "Frequency dependent failure region definition for supercapacitors" 2014 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), pp. 1021-1025, 2014