

주입전류를 이용한 슈퍼커패시터 뱅크의 실시간 커패시턴스 추정방법

이준원*, 이재도*, 류지수**, 차한주*
 충남대학교 전기공학과*, (주)오키**

Online Capacitance Estimation of Supercapacitor Bank Using Current Injection

Junwon Lee*, Jaedo Lee*, Jisu Ryu**, Hanju Cha*

Department of Electrical Engineering, Chungnam National University*, OKY Co.Ltd**

ABSTRACT

본 논문에서는 슈퍼커패시터 에너지 저장장치의 DC링크 커패시터뱅크 커패시턴스 추정에 관하여 기술한다. DC링크 커패시터뱅크에 임의의 주파수성분의 전류를 주입하여 생성되는 전압과 전류의 AC성분의 관계로 커패시턴스를 추정하였다. 제안한 방법은 온라인으로 실시간 추정이 가능하며, BPF(Band Pass Filter)를 구성하여 동일한 주파수 신호를 추출하여 커패시턴스를 추정한다. 100%, 110% 계통전압에서도 커패시턴스의 평균 값은 2.03F과 2F으로 나타났고, 분산은 0.0005와 0.0001로 나타나 동일한 추정 값이 연속해서 계산되어 타당성을 검증하였다.

1. 서론

최근 분산전원의 발전과 더불어 에너지저장장치의 중요성은 더욱 강조되고 있다. 그 중 슈퍼커패시터 에너지 저장장치는 충방전 시간이 짧아 중요부하나 침두부하를 단기적으로 보상해주는 역할에 적합하다. 부하를 보상하기 위하여 슈퍼커패시터는 항상 일정 전압을 유지하고 있어야 하며 정상 동작을 해야 한다. 이런 점에서 슈퍼커패시터의 수명과 용량 감소율을 예측하는 것을 중요하다고 할 수 있다. 커패시턴스가 감소된 커패시터를 방지하여 계속 사용할 경우, 직류단에 큰 리플전압을 야기하며 이는 시스템에 큰 고장을 유발할 수도 있다. 참고문헌에 따르면 일반적으로 커패시터 용량이 20%에서 30% 감소하면 동작수명이 다한 것으로 판정된다.^{[1][2]} 따라서 중요부하에 사용되는 안정성이 요구되는 산업제품에는 슈퍼커패시터의 용량을 예측하여 교체시기를 판별해야 할 필요가 있다. 본 논문에서는 슈퍼커패시터 에너지 저장장치의 슈퍼커패시터 뱅크의 용량을 추정하는 방법을 제시하고 실험을 통해 확인하였다.

2. 커패시턴스 추정방법

그림1은 슈퍼커패시터 에너지 저장장치의 구성도이다. 계통과 변압기로 연결되어 있고, 인덕터가 필터로 사용되었다. 그림 2에서 나타난 바와 같이 전압제어기와 전류제어기가 종속적으로 연결되어 있고, 역률 1 제어이므로 d 축 전류는 0으로 제어된다. 전압제어기의 레퍼런스는 300V로 슈퍼커패시터는 300V에서 제어되며 식 (1)에서 나타낸 q 축에 $f_0(1\sim 30\text{Hz})$ 성분의 저주파수 전류를 주입한다. 주입전류의 크기는 보통 수 암페어

이내의 커패시터의 허용 리플전류 이내로 제한되어야 하므로 이를 고려하면 가능한 작은 크기의 전류로 보다 큰 리플 신호를 얻을 수 있는 저주파수의 주입이 바람직하다.^[3]

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

이 때 q 축 전류지령에 f_0 의 교류성분을 인가하게 되면 슈퍼커패시터 뱅크에는 주입전류와 동일한 주파수의 리플전류가 흐르고 이는 동일 주파수의 리플전압을 야기한다.

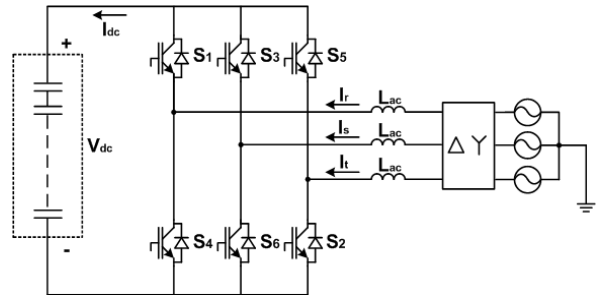


그림 1 슈퍼커패시터 에너지 저장장치 구성도
 Fig. 1 Configuration of Supercapacitor Energy Storage System

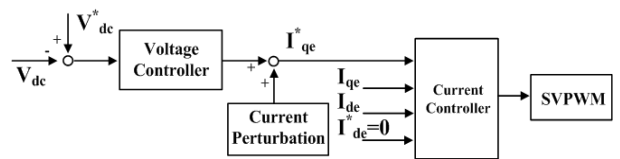


그림 2 커패시턴스 추정을 위한 제어 블록도
 Fig. 2 Control block diagram for estimating capacitance

슈퍼 커패시터 뱅크는 슈퍼커패시터를 160개 직렬로 연결하여 제작하였다. 슈퍼커패시터를 직렬로 연결하여 단일 소자로 구성한 뒤 뱅크의 동작 전압은 최소 160V에서 400V까지 운전이 가능하다. 슈퍼커패시터의 정격 전압은 2.7V로 8%의 여유를 고려하여 정격전압 2.5V로 사용하였고, 동작전압은 60%인 1.5V로 선정하였다.

DC링크에는 스위칭주파수와 관련된 고주파 성분들이 포함되어 있고, 슈퍼커패시터 뱅크를 제작하면서 공간에 따라 분포되어 있는 인덕턴스로 인하여 커패시터와 공진을 일으키는 성

분들도 포함되어 있다. 따라서 주입전류와 동일한 주파수 성분을 갖는 Vdc, Idc를 추출하기 위하여 BPF(Band Pass Filter)를 사용하여 신호를 추출하였다.

수퍼커패시터 뱅크의 커패시턴스는 Vdc, Idc의 교류 성분의 관계를 이용하여 계산될 수 있다. 즉, 전압과 전류의 최대크기와 위상차를 이용하면 커패시턴스의 값을 알 수 있다. 일반적으로 커패시터에는 90도의 진상전류가 흐르지만, 제작한 수퍼커패시터 뱅크에는 90도보다 작은 위상차를 갖는 진상 전류가 흐르는 것을 확인하였다.

3. 실험결과

q 축에 전류를 주입함으로써 주입전류와 동일한 주파수의 q 축 전류가 제어되는 것을 그림 3에서 확인 할 수 있다. 저주파수 전류를 주입하기 때문에 전류제어가 잘 되고, 전류 제어기 앞에 위치한 전압제어기로 인하여 DC링크 전압이 300V로 유지되는 것을 확인할 수 있다.

제안된 기법으로 커패시턴스를 추정한 실험파형을 그림4에 나타내었다. 전류가 주입되기 전까지 DC링크 전압은 300V를 유지하고 있다가 전류가 주입된 이후 300V를 유지하면서 f_c 성분의 AC 전압을 생성한다.

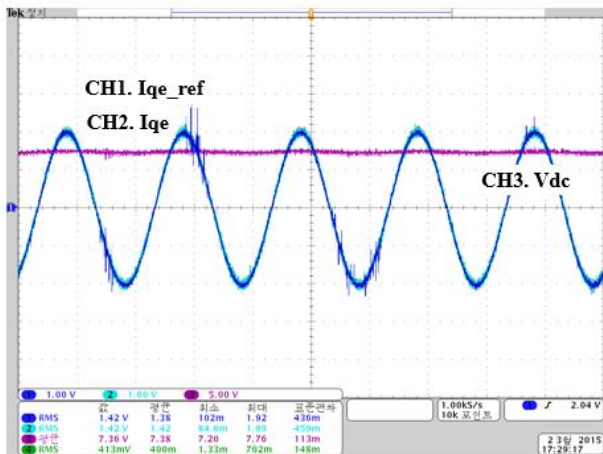


그림 3 전류제어 파형
Fig.3 Current control waveforms

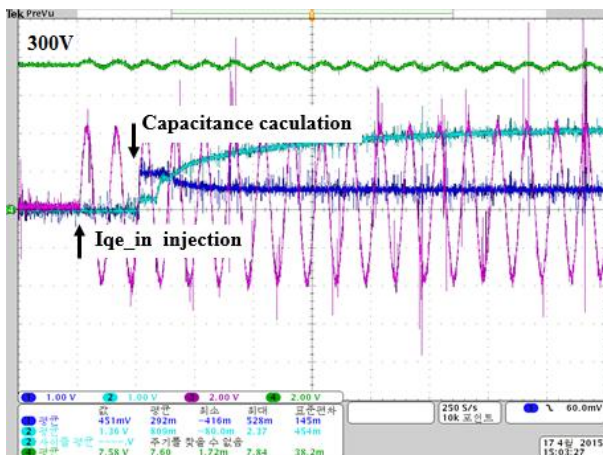


그림 4 주입전류에 따른 커패시턴스 추정 과정
Fig. 4 Capacitance estimation according to current injection

수퍼커패시터 단품에는 공칭용량이 제시되어 있어 LCR 미터나 FRA(Frequency Response Analyzer)와 같은 계측기로 실제 값을 측정할 수 있지만, 수퍼커패시터 뱅크를 제작하면서 수퍼커패시터를 PCB에 직렬로 연결하여 이런 계측기로 실제 값을 측정할 수 없다. 실제 값을 모르는 상태에서 제안한 방법을 검증하기 위하여 커패시턴스를 추정하는 알고리즘을 적용한 실험을 100% 계통전압과 110% 계통전압에서 여러번 반복하여 실험하였다. 110% 계통전압은 슬라이더스를 추가하여 생성하였다. 실험 결과 재현성이 있으면 본 논문에서 제안한 방법의 타당성이 입증된다고 할 수 있다. 표1에서 보이듯이 100% 계통전압에서 평균값은 2.03F로 나타났고 분산은 0.0005로 나타났으며, 110% 계통전압에서는 평균값이 2F, 분산은 0.0001로 나타났다.

표1 커패시턴스 추정 결과

Table 1 Capacitance estimation results

	실험1	실험2	실험3	실험4	실험5
용량[F] (계통전압100%)	2F	2.01F	2.05F	2.03F	2.06F
용량[F] (계통전압110%)	1.99F	2.02F	2.02F	2.00F	2.00F

4. 결론

수퍼커패시터 에너지 저장장치의 DC링크 커패시터뱅크 커패시턴스를 실시간으로 추정하는 방법에 관하여 제안하였다. 수퍼커패시터 뱅크에 임의의 성분의 전류를 주입하여 DC링크 양단에서 생성되는 전압과 전류의 AC성분의 관계로 커패시턴스를 추정하였다. 제안한 방법으로 타당성을 검증하기 위하여 계통전압에 변화를 주면서 5번 실험을 진행하였다. 추정된 커패시턴스 값의 평균은 2.03F와 2F으로 나타났고, 분산은 0.0005와 0.0001로 나타났다. 위의 방법을 이용한다면 중요부하에 사용되는 안정성이 요구되는 수퍼커패시터 에너지 저장장치에서 온라인으로 추정된 커패시턴스의 용량변화를 파악하여 수퍼커패시터의 열화정도를 판단하여 교체시기를 판별할 수 있다.

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] Vita Lystianingrum, Vassilios G. Agelidis, Branislav Hredzak: 'State of Health and Life Estimation Methods for Supercapacitors', Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC 2013, Hobart, TAS, Australia, 29 September - 3 October 2013, pp. 1-7

[3] Hayatee, F.G.: 'Heat dissipation and ripple current rating in electric capacitors', Electrocompon. Sci. Tech., 1975, 2, pp. 109-114