

# 승압형 DC-DC 컨버터에서 평균모델을 이용한 캐패시턴스 추정 방법

김완\*, 박태식\*\*, 김주용\*\*\*, 이광운\*  
 목포해양대학교\*, 목포대학교\*\*, 한전전력연구원\*\*\*

## Averaged Model Based Capacitance Estimation Method for Boost DC-DC Converters

Wan Kim\*, Taesik Park\*\*, Ju Yong Kim\*\*\*, Kwang woon Lee\*  
 Mokpo National Maritime Univ\*, Mokpo National Univ\*\*, Korea Electric Research Institute\*\*\*

### ABSTRACT

전력변환장치에 널리 사용되는 전해 캐패시터는 그 수명이 상대적으로 짧은 것으로 알려져 있으며, 전력변환장치의 신뢰성 확보를 위해서는 등가직렬저항 또는 캐패시턴스의 추정을 통해 전해 캐패시터의 열화상태를 진단할 필요가 있다. 본 논문에서는 부스트 컨버터에서 평균 모델 기반 디지털 제어를 통해 전해 캐패시터의 캐패시턴스를 추정하는 방법에 대해 연구를 진행하였고, 시뮬레이션과 실험을 통해 그 특성을 평가하였다.

### 1, 서론

캐패시터(capacitor)는 전하를 저장하는 수동 소자로서 전기/전자 제품에서 전압 평활 및 고주파 필터회로에 널리 사용되고 있다. 알루미늄 전해 캐패시터는 낮은 가격으로 큰 용량을 얻을 수 있어서 전력변환회로에서 전압 평활 목적으로 널리 사용되고 있다.<sup>[1]</sup> 그림 1은 전력변환 장치의 고장 유형을 보여준다.<sup>[2]</sup> 전해 캐패시터의 고장 비율이 상대적으로 높아 전력변환 장치의 신뢰성을 저하시키는 주요 요인 중 하나로 인식되고 있으며, 캐패시터의 열화 상태를 알아냄으로써 고장에 대한 대처를 하고자 하는 연구들이 활발하게 진행되어 왔다.

기준에 제시된 캐패시터 열화 진단 방식들은 주로 등가직렬저항(ESR) 또는 캐패시턴스를 추정하는 방식들로 분류된다.<sup>[1]</sup> 본 논문에서는 승압형 DC DC 컨버터에서 출력단에 사용되는 전해 캐패시터의 캐패시턴스를 추정하는 방법에 대해 제시하고자 한다.

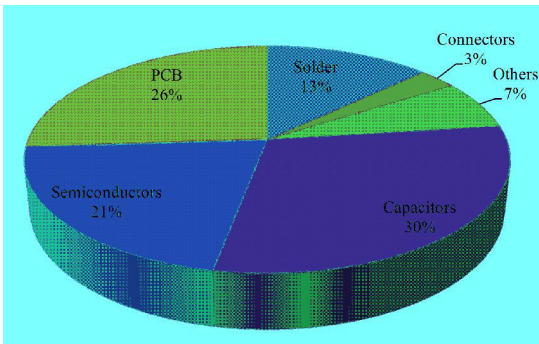


그림 1 전력변환 장치의 고장 모드 분석<sup>[2]</sup>  
 Fig. 1 Failure mode analysis in power converters

### 2. 평균모델 기반 캐패시턴스 추정

그림 2의 부스트 컨버터 구조에서 인덕터 전류가 연속으로 흐를 때 PWM 시비율 D를 식 (1)과 같이 설정하면 인덕터의 평균 전압  $\langle v_L \rangle$ 을 선형적으로 제어할 수 있다.<sup>[3]</sup> 또한, 인덕터의 전류 제어기 대역폭을 정확하게 설정할 수 있다.

$$D = \frac{v_{out} - v_{in} + \langle v_L \rangle}{v_{out}} \quad (1)$$

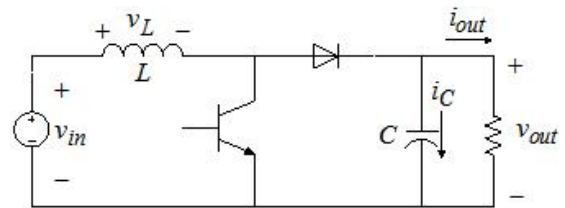


그림 2 부스트 컨버터  
 Fig. 2 Boost converter

그림 2에서 정상 상태 조건을 고려할 때 인덕터의 평균 전류  $\langle i_L \rangle$ 과 캐패시터의 평균 전류  $\langle i_C \rangle$ 의 관계를 구하면 다음과 같다.

$$\langle i_C \rangle = \frac{v_{out}}{v_{in}} \langle i_L \rangle - \langle i_{out} \rangle \quad (2)$$

전압 제어기에서 캐패시터 전류지령을 출력하고, 식 (2)로부터 인덕터 전류 제어지령을 구하여 전류 제어를 수행하면 캐패시터 전압 제어기의 구성은 그림 3과 같이 간략화 된다.

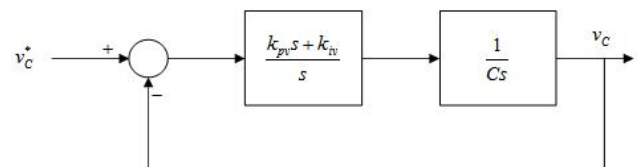


그림 3 평균 모델 기반의 간략화된 전압 제어기  
 Fig. 3 Average model based simplified voltage controller

그림 3과 같이 평균 모델 기반의 전압 및 전류 제어기를 이용하는 경우 출력단 캐패시터의 캐패시턴스는 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$C = \frac{\int_{t_0}^t \left( \frac{v_{out}}{v_{in}} \langle i_L \rangle - \langle i_{out} \rangle \right) dt}{v_C(t) - v_C(t_0)} \quad (3)$$

### 3. 시뮬레이션 및 실험 결과

제시된 캐패시턴스 추정 방법의 특성을 평가할 목적으로 그림 4와 같이 PSIM 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 그림 4에서 인덕터는 1mH, 캐패시터는 500uF, 입력 전압은 28V이며, 출력 전압은 50V로 제어하였다. PWM 주파수는 15kHz, 전류 및 전압 제어기 대역폭은 각각 500Hz, 23Hz로 설정하였다. 그림 5의 시뮬레이션 결과를 보면 캐패시턴스 추정 정확도가 상당히 높음을 알 수 있다.

제시된 캐패시턴스 추정 방식을 실증할 목적으로 실험을 진행하였다. DSP TMS320F28335를 이용하여 제어기를 구성하였다. 부스트 컨버터의 입력단에 10mH의 인덕터를 사용하였고, 출력단에는 470uF의 캐패시터를 사용하였다. 스위칭 주파수는 10kHz로 설정하였고, 전류 제어기 대역폭은 100Hz로 설정하였다. 캐패시턴스 추정을 위한 전압 지령의 변동 폭을 20V > 50V로 설정하였고, 전압 지령은 일정한 기울기를 가지면서 변화하도록 하였다.

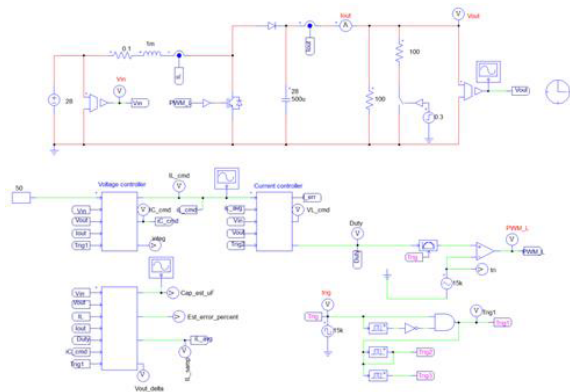


그림 4 시뮬레이션 회로 구성  
Fig. 4 Circuit configuration for simulation

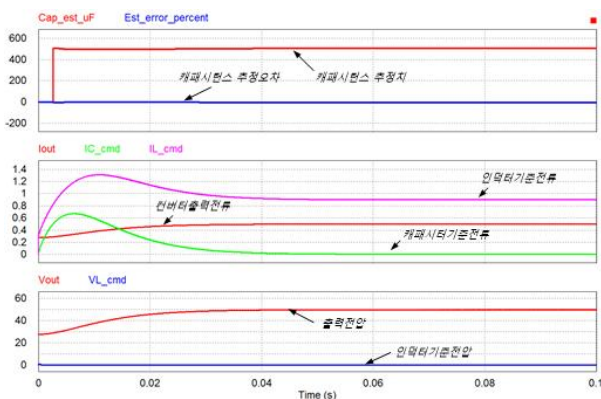


그림 5 시뮬레이션 결과  
Fig. 5 Simulation Result

그림 6의 실험 결과에서 캐패시턴스 추정 값의 평균 값은 469uF, 최종 값은 500uF이다. 시뮬레이션 결과에 비해 실험에서는 추정 오차가 상대적으로 크게 발생하는 데, 주된 요인은 전류 및 전압 센서의 오프셋 및 스케일 오차인 것으로 보인다.

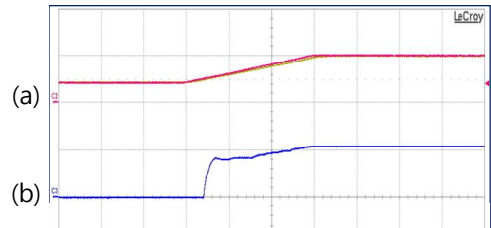


그림 6 실험 결과 (500ms/div.) (a) 전압 응답 (50V/div.), (b) 추정 캐패시턴스 (500uF/div.)  
Fig. 6 Experimental Result (500ms/div.) (a) voltage response (50V/div.), (b) estimated capacitance (500uF/div.)

### 4. 결론

본 논문에서는 부스트 컨버터에서 출력단 전해 캐패시터의 캐패시턴스를 추정할 수 있는 방법을 제시하였고, 시뮬레이션 및 실험을 통해 제시된 방식의 특성을 평가하였다. 제시된 방식은 평균 모델 기반 디지털 제어 기법을 적용하기 때문에 전체 제어 알고리즘의 복잡도 및 성능에 영향을 미치지 않으면서 캐패시턴스를 추정할 수 있는 특징이 있다. 실험 결과를 살펴보면 시뮬레이션에 비해 캐패시턴스의 추정 오차가 상대적으로 크게 발생하였다. 이것은 전류 및 전압 센서의 오프셋 및 스케일 오차에 의한 것으로 판단되며, 향후 전류 및 전압 센서의 측정 오차에 보다 강인한 캐패시턴스 추정 방식에 대해 연구가 진행될 예정이다.

이 논문은 한국전력공사 전력연구원에서 수행중인 "직류기반 도서지역 분산전원 및 부하 연계시스템 구축" 과제의 지원에 의하여 연구되었음.

### 참고 문헌

- [1] S. Yang, D. Xiang, A. Bryant, P. Mawby, L. Ran, and P. Tavner, "Condition monitoring for device reliability in power electronic converters: A review," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 25, no. 11, pp. 2734-2752, Nov. 2010.
- [2] Power supply failure survey part II. [Online]. Available: <http://www.rs-online.com/designspark/electronics/knowledge/item/power-supply-failure-survey-part-ii>
- [3] K. Lee, T. Kim, "Operating point insensitive voltage control of the Z source inverter based on an indirect capacitor current control," IET Power Electron., vol. 8, no. 8, pp. 1358-1366, Aug. 2015.