

## 커패시터 수명 추정방법 비교분석

### Comparative Analysis of Capacitor Lifetime Estimation Method

김민섭\*, 최용은\*, 오효석\*, 김재문†

Min-Seop Kim\*, Chin-Young Chang\*, Jae-Moon Kim†

**초 록** 최근 철도 산업은 차량의 유지보수 비용 절감, 안전성과 신뢰성의 향상 등의 이유로 고장률이 높은 전력용 커패시터에 상태 기반 유지보수 방식을 적용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 전동차 주요장치 중 보조전원장치(SIV)의 전력용 커패시터는 Bus Bar로 연결되어 있어 전류의 측정이 어려워 열화 진단을 통한 수명 추정이 용이하지 않다.

본 논문에서는 전동차에 적용되는 전력용 커패시터의 전류가 직접 측정이 가능한 경우와 불가능한 경우에 수명 추정방법론을 제시하며 비교, 분석하였다.

**주요어** : 전력용 커패시터, 보조전원장치(SIV), 수명 추정, ESR

## 1. 서 론

다양한 에너지에 관한 연구가 증가함에 따라 전력 변환 시스템은 모터 드라이브, 무정전 전원 공급 장치(UPS) 및 전기 난방과 같은 많은 산업 분야에 필수적인 부분을 차지하고 있다. 하지만 커패시터, PCB, 반도체 소자 등 주요 부품의 빈번한 고장이 발생하며[1] 이로 인한 부품 교체 비용 증가, 안전성 및 신뢰성이 감소의 문제가 발생하고 있다. 이를 해결하기 위해 주요 부품의 상태를 모니터링하여 고장을 사전에 방지하는 상태 기반 유지보수(Condition Based Maintenance 이하 CBM)방식의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 변화에 맞춰 국내 철도 산업도 차량의 유지보수 비용 절감, 안전성과 신뢰성의 향상 등의 이유로 고장률이 높은 전력용 커패시터에 상태 기반 유지보수 방식을 적용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다.

전동차에 적용되는 전력용 커패시터는 대부분 전선이 아닌 Bus Bar로 연결되어 커패시터에 전류 센서 부착이 어려워진다. 이로 인해, 커패시터의 상태 모니터링 및 수명 추정에 어려움이 생기게 된다.

† 교신저자: 한국교통대학교 교통대학원  
교통시스템공학과 교수  
(goldmoon@ut.ac.kr)

\* 한국교통대학교 교통대학원 교통시스템공학과

본 논문에서는 전동차 보조전원장치(SIV)에 적용되는 전력용 커패시터의 전류를 직접 측정하는 경우와 간접 측정하는 경우의 2가지 수명 추정방법을 제시하며 이를 비교 분석하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 보조전원장치 회로 구성

실제 철도차량에 적용되는 SIV는 입력 전원과 절연, 분리하기 위한 단로기와 AC/DC 필터, 축전지 충전 회로로 구성된 입력회로, DC/DC 컨버터(Converter), 필터 커패시터(Filter capacitor 이하 FC), 인버터(Inverter) 등의 주 회로로 구성된다. 본 논문에서는 SIV에 적용되는 전력용 커패시터의 수명 추정방법론에 초점을 맞추어 Fig 1과 같이 컨버터, 인버터, 3상 부하로 이루어진

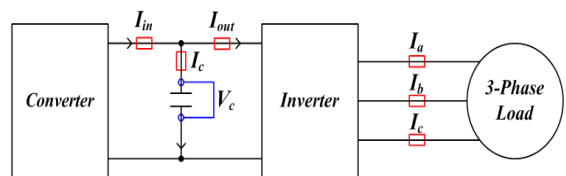


Fig. 1 Auxiliary Power Supply(SIV) Equivalent Circuit

등가회로를 이용하여 연구를 진행하였다.

## 2.2 수명 추정방법

### 2.2.1 전압, 전류의 직접 측정이 가능한 경우

커패시터의 수명 추정방법은 대부분 ESR의 추정을 이용한 수명 추정방법을 사용하게 된다. [2] 첫 번째 방법은 식 (1)과 같이 커패시터 전압과 전류의 변화량을 이용하여 ESR의 변화량을 추정하는 방식이다.

$$\Delta ESR = \frac{\Delta V_C}{\Delta I_C} \dots\dots\dots (1)$$

$(\Delta V_C = V_{high\ peak} - V_{low\ peak}, \Delta I_C = I_{high\ peak} - I_{low\ peak})$

$\Delta ESR$ : ESR의 변화량,  $\Delta V_C$ : 커패시터 전압의 변화량,  $\Delta I_C$ : 커패시터 전류의 변화량,  $V_{high\ peak}$ : 커패시터 최대 리플 전압,  $V_{low\ peak}$ : 커패시터 최소 리플 전압,  $I_{high\ peak}$ : 커패시터 최대 리플 전류,  $I_{low\ peak}$ : 커패시터 최소 리플 전류

커패시터 전압, 전류의 변화량은 리플 전압, 전류의 최대값과 최소값의 차이로 계산된다.

### 2.2.2 전압, 전류의 직접 측정이 불가능한 경우

두 번째 방법은 앞서 언급한 Bus Bar로 인한 전류 센서의 부착이 어려운 경우에 ESR을 변화량을 추정하는 방식이다.

$$I_{in} = I_{out} + I_C \quad (I_{out} = I_a + I_b + I_c)$$
$$I_C = I_{in} - I_{out} = I_{in} - (I_a + I_b + I_c)$$
$$\Delta ESR = \frac{\Delta V_C}{\Delta I_C} = \frac{\Delta V_C}{I_{in} - (I_a + I_b + I_c)} \dots\dots\dots (2)$$

$I_{in}$ : 컨버터 출력 전류,  $I_{out}$ : 인버터 입력 전류,  $I_C$ : 커패시터 전류

식 (2)와 같이 3상 부하 전류( $I_a, I_b, I_c$ )와 키르히호프의 전류 법칙(KCL)을 이용하여 커패시터 전류( $I_C$ )를 간접적으로 추정한다. 이 방식을 사용하게 된다면 커패시터에 직접 센서를 부착하지 않고도 ESR을 간접적으로 추정할 수 있지만 직접 측정하는 경우보다 오차율이 크며 컨버터와

인버터의 스위칭 주파수로 인한 노이즈 발생이 더욱 클 것으로 판단된다.

## 2.3 수명 추정방법 비교

앞서 제시한 두 가지 수명 추정방법은 커패시터의 전압과 전류를 이용하여 ESR의 변화량을 추정하게 된다. 간접적 추정방법은 직접적 추정방법에 비해 노이즈와 오차율이 클 것으로 판단되어 전류 센서를 부착하지 못하는 경우에만 적용해야 할 것으로 사료된다. 또한, 두 가지 방법 모두 ESR 추정을 위한 필터 설계와 전압, 전류의 변화량을 측정할 수 있는 샘플링 회로가 필수적으로 요구되는 것으로 판단된다.

## 3. 결론

본 논문에서는 철도차량 전력용 커패시터의 전압, 전류, ESR을 이용한 수명 추정을 두 가지 방법론을 제시하였다. 커패시터 전압과 전류의 직접 측정과 간접 측정으로 나누어 제시하였으며 두 방법 공통적으로 정확한 ESR 추정을 위한 필터 설계와 변화량을 측정하는 샘플링 회로가 필수적임을 알 수 있었다. 추후 시뮬레이션과 실험을 통해 두 가지 수명 추정방법의 검증이 필요할 것으로 사료된다.

## 후 기

본 연구는 2020년도 국토교통과학기술진흥원에서 지원하는 철도차량 스마트 유지보수 기술개발 사업 개발 중 ‘전력용콘덴서 열화모델 및 복합 진단시스템 개발’ 과제의 지원을 받아 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

## 참고문헌

[1] Prasanth Sundararajan et al, "Online Condition Monitoring System for DC-Link Capacitor in Industrial Power Converters", IEEE, Vol. 54, pp. 4775~4785, 2018. 09

[2] Jin-Geun Shon, Jin-Sik Kim, "A Simple ESR Measurement Method for DC Bus Capacitor Using DC/DC Converter", The Transaction of the Korean Institute of Electrical Engineers P, Vol. 59(4), pp. 372~377, 2010.12