

# 교류 전동기 구동 장치에서 직류단 평활용 전해 커패시터의 용량 추정

이봉기\*, 박철현\*, 조주현\*, 이교범\*\*  
 LS ELECTRIC\*, 아주대학교\*\*

## Estimating the capacity of the Electrolytic Capacitor for DC-Link in the AC Drive.

Bong-Ki Lee\*, Cheol-Hyun Park\*, Joo-Hyun Cho\*, Kyo-Beum Lee\*\*  
 LS ELECTRIC\*, Ajou University\*\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 DC-Link 전압 평활용 커패시터의 용량을 교류 전동기 구동 장치의 전원이 차단될 때 커패시터에 저장되어 있는 에너지의 소모를 보고 추정법을 제시한다. 교류 전동기 구동 장치의 구성 부품 중 DC-Link 전압 평활을 하는데 일반적으로 전해 커패시터로 구성된다. 전해 커패시터 특성상 온도에 취약하다. 온도가 올라가면 급격히 커패시터는 수명은 줄어 들게 된다. 그러므로 교류 전동기 구동 장치의 다른 부품들에 비해 수명이 짧기 때문에 교류 전동기 구동 장치의 주요 고장 원인이 된다. 전해 커패시터의 수명은 등가 직렬 저항의 증가와 용량의 감소를 통해 추정할 수 있다. 커패시터 용량을 정확하게 추정할 수 있으면 커패시터와 처음 설계된 커패시터 사이의 용량 감소율을 통해 커패시터의 고장을 진단한다.

### 1. 서론

교류 전동기 구동 장치는 IGBT, 커패시터, SMPS(Switching Mode Power Supply), MCU(Micro Controller Unit)등 수많은 부품으로 구성되어 있다. 이들 부품들은 각자의 수명을 가지고 있는데 그 중 가장 수명이 짧으면서 고장이 자주나는 부품으로 직류 전압 평 활용 전해 커패시터이다. 전압 평 활용 커패시터는 전해 커패시터 말고 수명이 길고 성능이 좋은 다른 종류의 커패시터를 사용해도 되지만 다른 종류의 커패시터와 비교하여 작은 크기, 낮은 가격, 큰 용량을 가지도록 제작할 수 있기 때문에 많은 전력전자 기기에서 사용된다.

전해 커패시터의 고장에 의해 전동기가 사용자가 원하지 않게 정지가 되면 사용자에게 큰 손실이 발생하게 된다. 커패시터가 고장 나기 전에 수명을 예측하고 교류 전동기 구동 장치의 전해 커패시터만 교체하게 되면 비용이 크게 절약된다. 전해 커패시터의 일반적으로 받아들여지는 수명 종료 기준은 등가직렬 저항 값이 2배가 되거나 커패시터 용량이 20[%] 감소되었을 때이다. 이 기준을 넘어서면 급속도로 수명이 반감하여 고장률이 높아진다.<sup>[1]</sup>

전해 커패시터의 고장을 판단하는 방법은 여러가지가 존재한다. 커패시터의 등가 직렬 저항 (ESR, Equivalent Series Resistance)값의 변화를 측정하여 판단하는 방법이 많이 있다.<sup>[2]</sup> 등가 직렬 저항 값을 측정하기 위해서는 센서 및 회로가 추가되기 때문에 추가 비용이 발생하는 문제점이 있다. 비용을 생각하여 등가 직렬 저항을 측정하기 보다는 추가 부품 없이

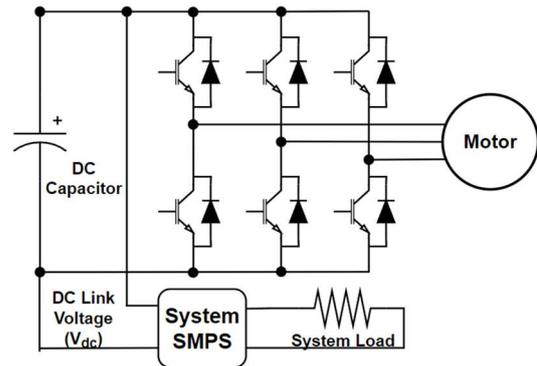


그림1 평활용 커패시터 측정하기 위한 AC 드라이브 회로도  
 Fig.1 AC Drive Circuit Diagram for Measuring Capacitor Capacity.

전동기의 소모 에너지를 측정하여 커패시터의 용량을 추정하는 방법이 연구되었다.<sup>[3]</sup> 이 방법은 전동기 소모 에너지만을 이용하여 연산하여야 하나 시스템에서 소모되는 에너지를 반영하지 못해 커패시터 용량 연산 값에 오차가 존재한다.

본 논문에서 전동기의 소모 에너지를 측정하여 커패시터 용량을 구할 때 교류 전동기 구동 장치의 시스템 소모 에너지를 보상하여 커패시터 용량의 측정 정확도를 높여서 커패시터 용량을 추정하여 좀더 정확하게 고장을 예측하는 방법을 제시한다.

### 2. 커패시터 용량 추정 알고리즘

본 논문에서 적용된 방법의 기본 개념은 DC-Link 전압( $V_{dc}$ )에 연결되어 있는 전해 커패시터에 저장되어 있는 에너지를 AC 드라이브에 연결되어 있는 부하 전동기를 통해 에너지를 소모시키면서 커패시터 용량을 추정한다. 이 때 커패시터의 에너지 소비를 위해 입력 전원을 차단해야 한다. 그림 1 은 전원이 차단된 상태의 교류 전동기 구동 장치 회로도이다. 직류 단 커패시터에는 부하 전동기 외에 교류 전동기 구동 장치에서 기본적으로 에너지를 소모하는 시스템 부하도 존재한다.

$$E_{dc, cap} = \frac{1}{2} C_{dc} V_{dc}^2 \quad (1)$$

식(1)은 일반적인 에너지와 커패시터 용량과의 관계를 나타내는 여러가지 식 중 주파수와 관계가 없는 수식이다

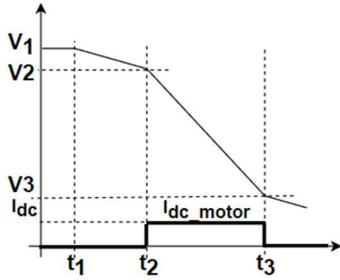


그림2 커패시터 용량 추정할 때 전압 전류 변화

Fig.2 The voltage and current changes, when estimating capacitor capacitance.

그림 2에서 t1 시점에서 교류 전동기 구동 장치의 전원을 차단한다. t1과 t2 사이에서는 시스템 부하에 의해 소모에 의해 전압이 하강한다. t2에서 t3 사이에는 시스템 부하에 의한 소모와 함께 전동기에 DC 출력을 하여 에너지를 소모한다. 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{dc\_cap} = E_{sys} + E_{motor} \quad (2)$$

t2에서 t3사이에서 소모되는 에너지는 식(1)에 전압 변화율만 반영한 식(3)과 같다. 이때 시스템 에너지  $E_{sys}$ 는 식(4)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{dc\_cap} = \frac{1}{2} C_{dc} (V_2^2 - V_3^2) \quad (3)$$

$$E_{sys} = \frac{1}{2} C_{dc} (V_1^2 - V_2^2) \left( \frac{t_3 - t_2}{t_2 - t_1} \right) \quad (4)$$

전동기에서 소모되는 에너지는 출력 전류 값과 출력 전압 값을 알고 있기 때문에 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{motor} = \int_{t_2}^{t_3} \frac{3}{2} (v_{ds}^e i_{ds}^e + v_{qs}^e i_{qs}^e) dt \quad (5)$$

식(3), 식(4) 그리고 식(5)를 식(2)에 대입한 후 커패시터 용량  $C_{dc}$ 로 정리하면 식 (6)과 같이 된다.

$$C_{dc} = \frac{3 \int_{t_2}^{t_3} (v_{ds}^e i_{ds}^e + v_{qs}^e i_{qs}^e) dt}{\left( (V_2^2 - V_3^2) - (V_1^2 - V_2^2) \left( \frac{t_3 - t_2}{t_2 - t_1} \right) \right)} \quad (6)$$

식(6)은 AC 드라이브가 기본적으로 가지고 있는 센서 값을 통하여 DC 평활용 전해 커패시터 용량 추정할 수 있는 것을 알 수 있다.

### 3. 커패시터 용량 추정 시험

커패시터 용량 추정 시험은 380[V] 입력의 0.75 [kw] 교류 전동기 구동 장치로 진행되었으며 이전 알고리즘과 본 논문에서 제시하는 알고리즘 비교 시험을 진행하였다. 그림 3은 시험 장비 사진이다.

시험은 LCR 메터를 통해 실제 전해 커패시터의 용량을 측정하고 알고리즘을 비교하여 표1로 작성하였다. 그림 4는 알고리즘을 측정할 때 DC-Link 전압과 출력전류 그림이다.

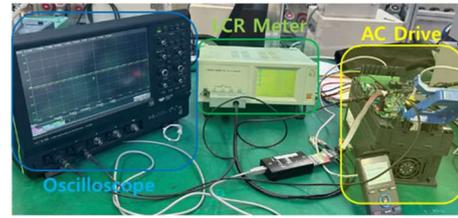


그림3 시험 장비

Fig.3 Test Equipment

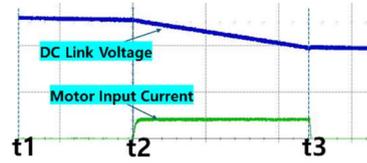


그림4 시험 파형

Fig.4 Test Wave

표 1 전해 커패시터 용량 추정 실험 결과

Table 1 Diagnosis of DC Link Electrolytic Capacitor Test Result

	설계	측정	추정1	추정2
이전 알고리즘	150	139.1	127.4	126.3
제시된 알고리즘	150	139.1	142.5	141.7

\* 커패시터 용량 단위는 [uF]로 생략

표1의 결과를 보면 설계 값에 비해 LRC로 측정한 용량이 90%정도이며 이전 알고리즘보다 제시한 알고리즘이 좀더 측정값에 가까운 것을 확인할 수 있다.

### 3. 결 과

본 논문에서 교류 전동기 구동 장치의 평활용 전해 커패시터의 고장 여부를 판단하기 위한 연구이다. 전해 커패시터 용량이 줄어드는 것이 교류 전동기 구동 장치 평활용 전해 커패시터 고장을 진단하는데 결정적인 파라미터임을 다른 논문들을 통해 확인하였다. 교류 전동기 구동 장치에 추가 장비 없이 정확한 용량을 추정할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 기존 알고리즘과 비교 실험을 통해 정확도가 높아짐을 실험을 통해 확인하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] L. Rodrigues, V. J. Paris, A. S. Vaccari, G. Waltrich, "Real Time Measurements of Aluminum Electrolytic Capacitor Parameters in EVs Inverters," IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, pp. 3495- 3502, 2023.
- [2] X. Pu, T. Nquyen, D. C. Lee, K. B. Lee, and J. M. Kim, "Fault Diagnosis of DC-Link Capacitors in Three-Phase AC/DC PWM Converters by Online Estimation of Equivalent Series Resistance," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 60, No. 9, pp. 4118-4127, Sep. 2013.
- [3] J. K. Yang "Fault Diagnosis of DC Link Electrolytic Capacitors in Inverter." The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 18, No. 2, pp. 145-152, April 2013