

# DC/DC 컨버터를 이용한 DC Bus 커패시터의 간단한 ESR 측정 기법

논 문

59P-4-5

## A Simple ESR Measurement Method for DC Bus Capacitor Using DC/DC Converter

손진근\* · 김진식†  
(Jin-Geun Shon · Jin-Sik Kim)

**Abstract** - Electrolytic capacitors have been widely used in power electronics system because of the features of large capacitance, small size, high-voltage, and low-cost. Electrolytic capacitors, which is most of the time affected by aging effect, plays a very important role for the power electronics system quality and reliability. Therefore it is important to estimate the parameter of an electrolytic capacitor to predict the failure. The estimation of the equivalent series resistance(ESR) is important parameter in life condition monitoring of electrolytic capacitor.

This paper proposes a simple technique to measure the ESR of an electrolytic capacitor. This method uses a switching DC/DC boost converter to measure the DC Bus capacitor ESR of power converter. Main advantage of the proposed method is very simple in technique, consumes very little time and requires only simple instruments. Simulation results are shown to verify the performance of the proposed method.

**Key Words** : Electrolytic Capacitor, Equivalent Series Resistance(ESR), DC Bus Capacitor, DC/DC Boost Converter.

### 1. 서 론

최근의 전기 부하설비들은 대부분 전력용 스위칭 소자에 의존한 전력 변환시스템으로 대체되고 있는 추세에 있으며, 이에 따라 전동기의 가변속 드라이브(ASD)와 무정전전원장치(UPS), 신재생에너지의 전력변환용 인버터 및 SMPS에 대한 DC/DC 컨버터 등의 전력변환장치가 많이 사용되고 있다. 이러한 전력변환 장치에는 전압의 평활용이나 에너지의 일시적 저장 및 스위칭 맥동전류의 저감 등을 위하여 전력변환기의 DC Bus부에 알루미늄 전해 커패시터를 일반적으로 사용한다.

이와 같이 전해 커패시터의 사용이 많은 이유는 가격이 저렴하면서 다른 커패시터에 비하여 상대적으로 큰 용량을 가지면서 크기가 적고, 또한 고 내압이 가능하다는 장점들이 있기 때문이다. 그러나 이러한 커패시터의 사용시간 증대는 서서히 열화가 진행되면서 전해액의 증기분출(vaporization) 및 폭발 등을 일으키는 사고의 주 위험 요인으로 작용하기 때문에 이의 신뢰성 확보 및 수명예측 등을 위하여 커패시터 내부의 파라미터 분석을 통한 고장진단이 필요하게 된다 [1-3].

이를 위한 방법으로는 커패시터의 C값을 추정하는 방법과 등가직렬저항(equivalent series resistor; 이하 'ESR'라 칭함)을 측정하는 방법, 전해액의 양을 산출하여 수명을 예측하는 방법 및 기타 커패시터 코어 내부의 온도 측정 방법

등이 있다. 그러나 대부분의 추정방법은 실험장치의 구성과 온라인적인 구현방법, 허용 오차 값의 존재라는 제약 때문에 대부분의 진단 기법은 ESR의 추정방법을 선호한다. 이의 ESR 추정기법은 전력변환장치가 운전 중에 있더라도 커패시터를 시스템에서 분리하지 않고 측정 할 수 있다는 장점 때문에 온라인 방법이 주요 관심사항으로 대두되고 있다 [1,2,4].

ESR 추정기법 연구에서는 커패시터의 맥동 전압과 전류 성분을 계측하여 이를 특정 밴드패스필터에 통과시킨 후 이를 주파수 성분별로 크기를 분석하여 ESR을 추정하는 방법과 또한 이의 맥동 성분을 AC의 전력 손실 개념으로 접근하여 이로 부터 ESR을 추정하는 방식[5-7] 등이 제안되었으며, 커패시터의 실효치 전압과 전류로부터 적응신호처리(LMS)기법을 이용하여 이를 연산하는 방법을 제시되었다 [2]. 그러나 이들의 제안된 기법들은 복잡한 연산과정 및 DSP보드를 이용한 신호처리 알고리즘에 의존하게 되어 구현 및 가격적 측면에서 불리한 점이 존재하게 된다.

따라서 본 논문에서는 전력변환장치가 정지 중에 있는 경우 별도의 LCR 미터의 계측기를 사용하지 않고 복잡한 DSP보드가 필요 없는 가격이 저렴한 방식의 커패시터 ESR 추정기법을 제안하고자 한다. 이의 방법은 진단하고자 하는 전력변환장치의 DC Bus 커패시터를 이용하여 부스트형 DC/DC 컨버터를 구성하여 메인 스위치의 ON/OFF상태에 따라 전압과 전류의 변화에 대한 크기를 계측하여 ESR을 추정하는 방법이다. 이는 별도의 장비 없이 오실로스코프로도 추정 가능하며, 제품 제작시에는 간단한 구성품으로 ESR을 추정할 수 있으므로 가격이 저렴하고 휴대가 가능할 수 있다는 장점이 있다. 이의 제안된 방법을 검증하기 위한 모의실험의 결과는 양호하게 나타났으며, 이의 결과는

\* 정 회 원 : 경원대학교 전기공학과 부교수 · 공박

† 교신저자, 비회원 : (주) 미디어디바이스 대표이사

E-mail : jskim@mdev.co.kr

접수일자 : 2010년 9월 16일

최종완료 : 2010년 10월 27일

향후 전해 커패시터 ESR의 추정 값이 정상 값 대비 약 2 배 이상일 경우에 이상(abnormal) 징후의 시작으로 판단하는 고장진단 시스템에 확장 적용이 가능하다.

## 2. 전해 커패시터의 고장과 ESR 특성

### 2.1 전해 커패시터의 고장

알루미늄 전해 커패시터는 전극으로 고 순도의 알루미늄 박(foil)을 사용하고 유전체로 얇은 산화 막을 사용한다. (+) 전극(Anode foil)은 표면에 유전체 산화피막( $Al_2O_3$ )을 형성 시키고, (-)전극(Cathode foil)은 에칭하여 표면적을 확대시키게 되며 이의 두 전극 사이에는 전해액과 전해지로 구성되어 있다. 그러나 이러한 전해액의 사용은 사용시간의 증대에 따른 전해액의 증발과 열화, 그리고 손실 증대가 가중되면서 폭발로 이어지는 사고가 발생하게 된다[3].

그림 1은 전해커패시터의 고장모드에 대한 개략적인 FTA(fault tree analysis)를 나타낸 것이다[7]. 여기에서 전해 커패시터의 고장 모드는 전기적 성능 악화와 기계적 스트레스로 나눌 수 있다. 기계적 스트레스는 단락 및 개방회로로 나타낼 수 있으나 이의 경우는 매우 드물다. 전기적 성능 악화는 거의 대부분 전기화학적(electrochemical) 반응 즉 온도 상승 등에 따른 전해액의 증발(dry up)이 가장 큰 요인이라 할 수 있다. 이는 전해액의 감소 및 전해액 증기 분출 그리고 커패시턴스 감소로 나타나게 되며 이의 요인으로는 온도 및 전압 그리고 맥동전류 등의 초과에 의해서 발생된다. 특히 온도의 초과는 전해액 성능과 직접 관련이 있으며 기타 맥동 전류의 증가에 의하여 온도 상승을 가중시키게 된다.

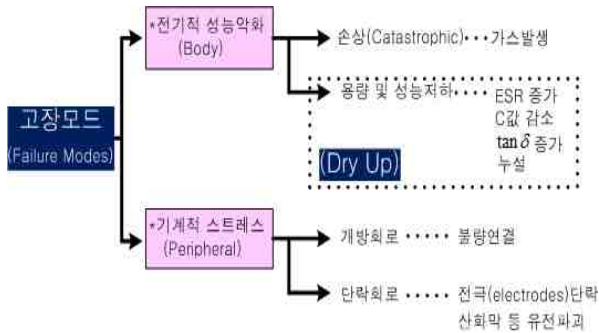


그림 1 전해 커패시터의 고장 모드 FTA  
Fig. 1 Failure mode fault tree analysis of electrolytic capacitor.

따라서 전해 커패시터의 전기적 성능 악화는 정전용량의 감소 및 ESR의 증가, 유전 손실  $\tan \delta$ 의 증가 등을 초래한다고 할 수 있다. 그림 2는 사용시간에 따른 커패시터의 성능악화 특성을 나타낸 그림이다. 이때 커패시턴스의 정전용량 감소는 약 10[%]에서 시작하여 약 40[%]~50[%]이상으로 이어질 경우에는 이를 수명 말기로 판단하여 고장에 대비하게 된다. 또한 ESR의 상승에 대해서는 이의 값이 정상 값 대비 약 2배 이상일 경우 그리고  $\tan \delta$ 는 초기 값 대비 약 1.3배 이상일 경우에 이상(abnormal) 징후의 시작으로 판단하여 고장진단 알고리즘에 적용하는 것이 일반적이다[2,7,9].

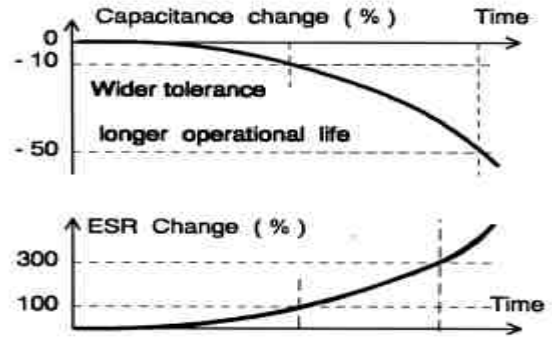


그림 2 사용시간에 따른 전해 커패시터의 성능 변화  
Fig. 2 Performance variations of capacitor versus operating time.

### 2.2 전해 커패시터의 ESR 특성

그림 3은 SMPS 등에 사용되는 전형적인 DC/DC 컨버터(벅/또는 부스트)의 전력회로 구성을 나타내고 있다. 이 회로에 대한 DC 부하단은 에너지의 일시적 저장 및 전압 평활화를 위하여 LC 출력필터가 포함된 전해 커패시터가 사용되고 있으며, 인버터 분야에서는 AC/DC 정류부에 이의 회로가 사용된다.

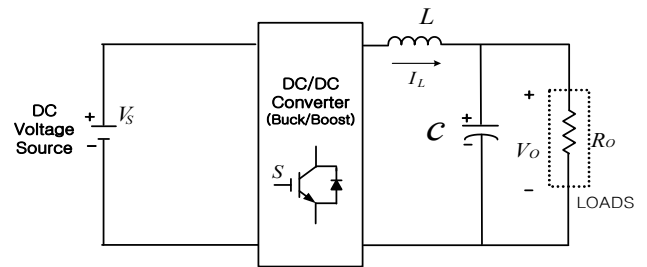


그림 3 DC/DC 컨버터의 출력필터 회로  
Fig. 3 Output filter circuit of DC/DC converter.

그림 3과 같은 DC출력 필터부에 대한 인덕턴스  $L$ 은 전류의 맥동 성분을 저장 시켜주는 전류 평활용 소자로 작용하게 되며(없어도 무방함), 커패시터  $C$ 는 스위치  $S$ 의 ON/OFF시 에너지의 일시적 저장에 의한 전압 평활용 소자로 작용하게 된다. 이때 인덕터에 흐르는 맥동 전류  $I_L$ 은 DC전류의 성분  $I_{L(DC)}$ 와 AC성분의 전류  $I_{L(AC)}$ 의 합으로 주어지며 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_L = I_{L(DC)} + I_{L(AC)} \quad (1)$$

이때 전해 커패시터  $C$ 는 DC 소스에 대해서는 개방회로를 형성하므로 오로지 인덕터 전류  $I_{L(AC)}$ 의 AC 성분 전류만이 커패시터를 통하여 흐르게 된다. 따라서 그림 3의 회로에 대한 LC필터 출력부에서의 AC 맥동 성분의 분석은 그림 4와 같은 등가회로로 간략화 시킬 수 있다.

또한 그림 3과 같은 DC/DC 컨버터 회로의 경우 스위칭 동작 주파수는 최소 수 [kHz]에서 수 십 [kHz]가 되고, 커패시터의 경우에도 그 값이 최소 수 백 [ $\mu F$ ]을 초과하게 되기 때문에 커패시턴스 임피던스는 거의 0이 되고 단지 ESR 값의

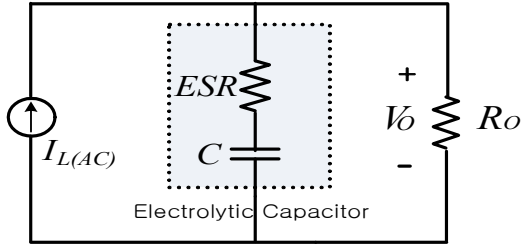


그림 4 AC 맥동 전류원에 대한 등가회로  
Fig. 4 Equivalent circuit for AC ripple current source.

크기가 그 특성을 좌우하게 된다. 따라서 그림 4와 같은 회로 구조에서 커패시터 \$C\$는 단락회로로 무시할 수 있으므로 부하저항 \$R\_O\$에서의 AC 맥동 전압(\$V\_{O(AC)}\$)의 검출은 식 (2)로 표현할 수 있다.

$$V_{O(AC)} = \frac{ESR \times R_O}{ESR + R_O} \times I_{L(AC)} \quad (2)$$

그러므로 식 (2)와 같이 DC/DC 컨버터의 출력 맥동 전압은 커패시터의 ESR 값과 직접 관계가 있음을 알 수 있으며, 이에 따라 출력 전압의 평활화 특성을 얻기 위해서는 ESR이 부하저항 보다 그 값이 매우 적을수록 양호한 출력을 나타나게 되며 이러한 특성을 고려하면 출력 AC 맥동 전압은 식 (3)으로 다시 쓸 수 있다. 따라서 AC성분 전압의 맥동은 커패시터 ESR 값의 크기에 직접 비례하게 됨을 알 수 있다.

$$V_{O(AC)} = ESR \times I_{L(AC)} \quad (3)$$

이와 같이 높은 맥동 성분의 전압은 큰 ESR 값을 가지는 열화된 전해 커패시터에서 크게 나타나게 될 것이며, 전해 커패시터의 맥동 전압 증가는 ESR 값의 증가로 나타내게 되며 이로써 커패시터의 열화 및 고장 상태를 진단할 수 있게 된다. 또한 이의 결과는 4장의 시뮬레이션 결과에 의하여 그 타당성을 입증할 수 있게 된다.

### 3. DC/DC컨버터에 의한 ESR 추정 알고리즘

본 논문에서는 부스트형 DC/DC 컨버터를 이용하여 전력 변환장치가 정지 중에 있는 경우 별도의 LCR 메터의 계측기를 사용하지 않고 오실로스코프의 사용으로도 추정이 가능하며, 또한 제품 제작시 복잡한 연산이 필요 없으면서 간단하고 저렴한 방식의 ESR 추정기법을 제안하고자 한다.

이의 방법은 진단하고자 하는 전력변환장치의 DC Bus 커패시터를 이용하여 부스트형 DC/DC 컨버터를 구성하기 때문에 이중의 커패시터가 필요치 않은 장점이 있다. 그림 5는 전력컨버터의 동작정지(오프라인)시 커패시터 내부 파라미터 검출을 위한 부스트형 DC/DC 컨버터의 등가회로를 나타낸 것이다. 또한 그림 6과 그림 7은 전력컨버터의 메인 스위치 \$S\$가 ON과 OFF일 때의 등가회로를 각각 나타내며, 식 (4)과 식 (5)는 각각 ON/OFF시 DC Bus 커패시터에 나타나는 전압 식을 \$V\_{C1}\$과 \$V\_{C2}\$로 표현한 식이 된다.

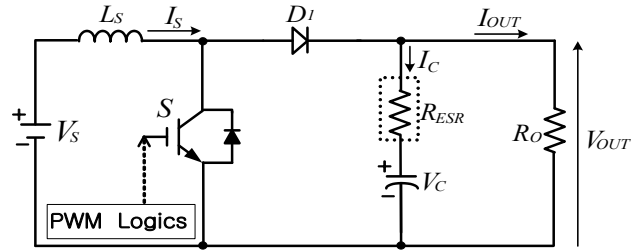


그림 5 부스트형 DC/DC 컨버터의 등가회로  
Fig. 5 Equivalent circuit for boost DC/DC converter.

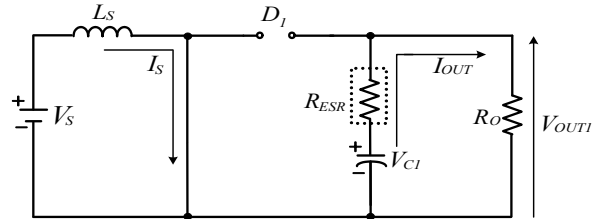


그림 6 \$S\$가 ON일 때의 DC/DC 컨버터의 등가회로  
Fig. 6 DC/DC converter equivalent circuit at \$S\$:ON

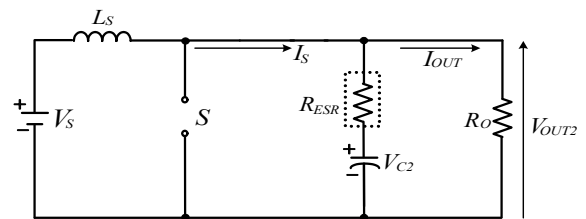


그림 7 \$S\$가 OFF일 때의 DC/DC 컨버터의 등가회로  
Fig. 7 DC/DC converter equivalent circuit at \$S\$:OFF

$$V_{C1} = V_{OUT1} + I_{OUT} \times R_{ESR} \quad (4)$$

$$V_{C2} = V_{OUT2} - (I_S - I_{OUT}) \times R_{ESR} \quad (5)$$

위의 식 (4)와 식 (5)의 관계를 정리하기 위하여 커패시터의 값이 매우 크고 스위칭 ON/OFF 속도가 빠르다고 가정하면 커패시터 양단의 전압 \$V\_C\$는 순간적으로 변하지 않는다고 가정할 수 있으므로 이를 식 (6)으로 정리할 수 있으며, 이의 관계를 이용하여 식 (7)과 같이 추정 \$R\_{ESR}\$을 구할 수 있다.

$$V_{C1} = V_{C2} \quad (6)$$

$$R_{ESR} = \frac{V_{OUT2} - V_{OUT1}}{I_S} = \frac{\Delta V_{OUT}}{I_S} \quad (7)$$

### 4. 모의실험 및 결과의 검증

3장에서 기술한 전해 커패시터의 ESR 추정 알고리즘의 검증 위하여 모의실험을 수행하였다. 모의실험에서는 그림 8과

같이 교류 입력전원을 바탕으로 부스트컨버터의 동작을 시뮬레이션 툴 PSIM 7.0을 사용하여 모의 하였다. 이때 추정하고자 하는 ESR은 DC 부하단에 있는 커패시터를 선정하였고, 이의 전압  $V_C$ 의 관계인  $V_{OUT}$ 의 출력전압과 다이오드를 통하여 흐르는 전류  $I_S$ 의 계측에 의하여 추정을 수행하였다. 이때의 ESR 값은 PSIM 상에서 커패시터의 내부 파라미터 설정모드가 없는 관계로 인하여 이를 직렬로 주입(Injected ESR)하여 연결하였다(0.4[Ω] 및 0.8[Ω]으로 각각 가변하여 주입 함). 이때 전압의 최대값( $V_{OUT2}$ ) 및 최소값( $V_{OUT1}$ ) 그리고  $I_S$  전류의 피크값 계측은 샘플링 & 홀드 기능을 이용하여 검출하였으며, 이후 식 (3.4)를 이용하여 ESR을 구하였다. 이때의 시뮬레이션 조건은 다음과 같다.

- 전원  $V_S = 100[V_{peak}]$ , 60[Hz], 부하저항 : 50[Ω]
- 듀티비 : 0.5, IGBT의 스위칭 주파수 : 5[kHz],
- $V_{DC}$  및  $V_C$ 의 전해 커패시터 : 6,800[μF] 및 4,700[μF]
- $L$  : 0.9[mH]

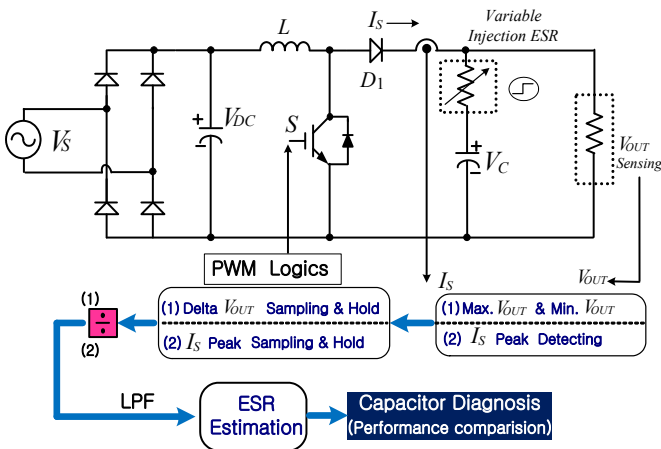


그림 8 ESR 추정을 위한 부스트 컨버터의 모의회로  
Fig. 8 Simulation circuit of boost converter for ESR estimation.

그림 9는 5[kHz]로 스위칭되고 있는 부스트 컨버터에서 ESR 0.4[Ω]을 추정하기 위한 식 (3.4)의 오프라인 계산결과를 나타낸 파형이다. 이때의 부하의 출력전압  $V_{OUT}$ 은 전압의 맥동성분으로 나타나며, 최대값( $V_{OUT2}=196.5[V]$ ) 및 최소값( $V_{OUT1}=189.8[V]$ )의 차이 즉 Delta  $V_{OUT}$ 는 6.7[V]로 나타났고  $I_S$ 의 피크값은 16.9[A]로 나타나 ESR은 0.396[Ω]으로 추정되어 목표값 0.4[Ω]과 차이가 없음을 알 수 있다.

마찬가지로 그림 10은 그림 9와 동일조건에서 ESR 0.8 [Ω]을 추정하는 과정의 파형이다. 이때 부하 전압  $V_{OUT}$ 은 전압의 맥동성분으로 나타나며, 최대값( $V_{OUT2}=200.4[V]$ ) 및 최소값( $V_{OUT1}=186.8 [V]$ )의 차이 즉 Delta  $V_{OUT}$ 는 13.6[V]로 나타났고  $I_S$ 의 피크값은 16.6[A]로 나타나 ESR은 0.82[Ω]으로 추정되어 목표값 0.8[Ω]과 차이가 거의 없음을 알 수 있다. 이처럼 이의 검출 알고리즘은 오실로스코프만으로도 추정이 가능하며, 또한 3장에서 설명한 바와 같이 ESR의 변화는 전압의 맥동과 비례관계임을 알 수 있다.

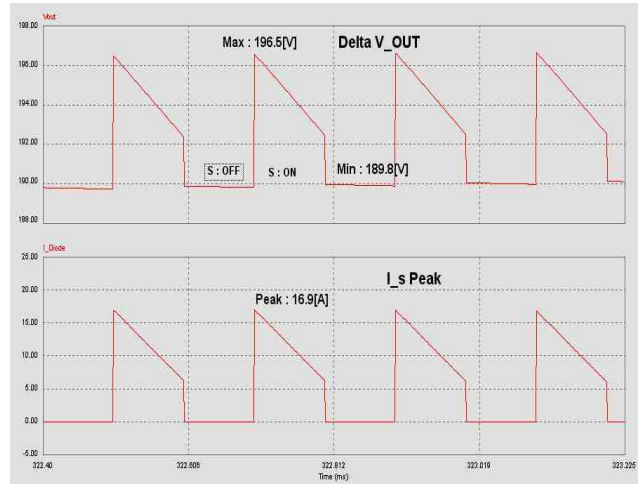


그림 9 오프라인에 의한 ESR 값의 추정 결과(0.4[Ω])  
Fig. 9 ESR estimation results by off-line(0.4[Ω]).

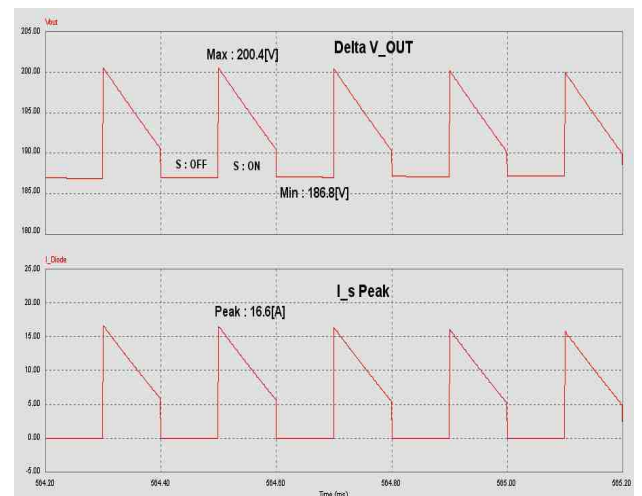
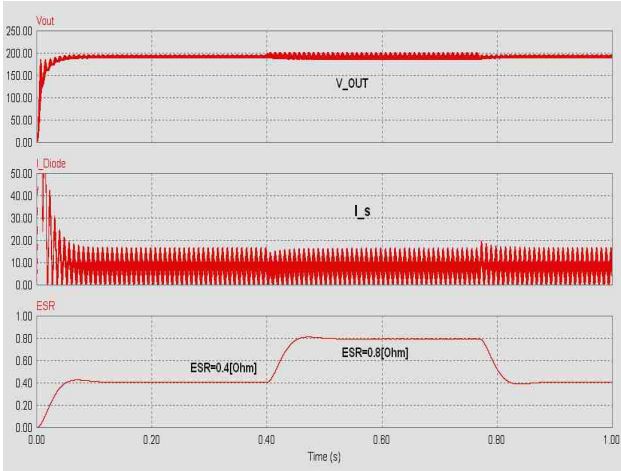


그림 10 오프라인에 의한 ESR 값의 추정 결과(0.8[Ω])  
Fig. 10 ESR estimation results by off-line(0.8[Ω]).

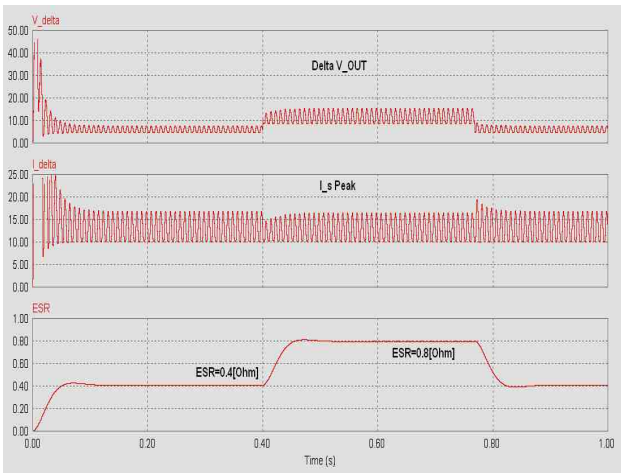
그림 11과 그림 12는 ESR의 추정에 대한 다이내믹 특성을 고찰하기 위하여 가변 ESR 값을 0.4[Ω]에서 0.8[Ω]으로 각각 주입하였다. 초기에 컨버터가 0.4[Ω]으로 운전되다 400[ms]순간부터는 0.8[Ω]으로 운전되며, 약 800[ms] 순간부터는 다시 0.4[Ω]으로 운전되는 모습을 보이고 있다. 이때 그림 11의 파형은 부스트 컨버터에서 DC출력  $V_{OUT}$ 과 다이오드에 흐르는  $I_S$  전류의 피크값 및 ESR의 추정값에 대한 과도 상태를 나타낸 파형이다.

마찬가지로 그림 12의 파형은 부스트 컨버터에서 DC출력  $V_{OUT}$ 에 대한 Delta  $V_{OUT}$ 과 다이오드에 흐르는  $I_S$  전류의 피크값에 대한 샘플링 & 홀드 출력 및 ESR의 추정값에 대한 과도상태를 나타낸 파형이다.

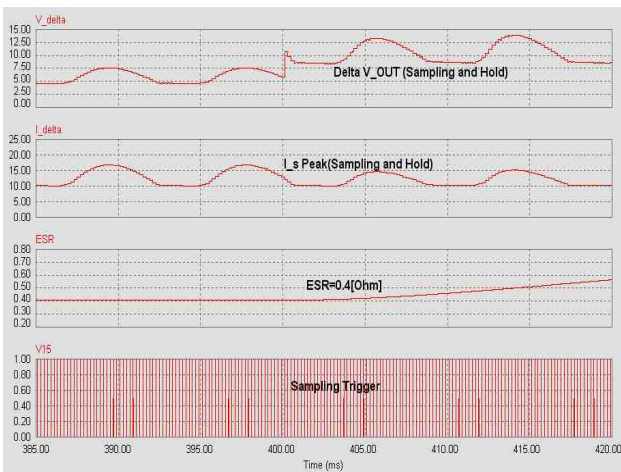
또한 그림 13은 그림 12의 파형과 마찬가지로 Delta  $V_{OUT}$ 과  $I_S$  전류의 피크값에 대한 샘플링 & 홀드 출력, ESR의 추정값 및 샘플링 트리거파형을 과도상태에서 확대파형을 각각 나타낸 것으로 원하는 ESR의 추정에 잘 응답하고 있음을 보여준다.



**그림 11** 컨버터의 출력 특성과 가변 ESR의 추정  
**Fig. 11** Converter output waveform & variable ESR estimation results.



**그림 12** 가변 ESR의 추정과 전압/전류 측정신호  
**Fig. 12** Variable ESR estimation & measurement signal.



**그림 13** 가변 ESR의 추정과 전압/전류 측정신호 확대  
**Fig. 13** Variable ESR estimation & measurement signal. (time expansion)

## 5. 결 론

알루미늄 전해 커패시터는 다른 커패시터 등과 비교하여 가격이 저렴하면서 용량이 크고 고 내압의 특성을 가지고 있어서 전력변환장치의 전압 평활용으로 많이 사용된다. 그러나 이 커패시터는 전해액의 증발과 열화, 그리고 손실 증대가 가중되면서 폭발로 이어지는 사고가 발생하게 된다.

본 논문에서는 인버터나 DC/DC 컨버터 등 전력변환장치가 정지 중에 있는 경우 이의 전력변환기 내부의 커패시터 고장진단을 위하여 효과적 방법인 커패시터 ESR 추정기법을 제안하였다. 이는 복잡한 연산이 필요 없으면서 가격이 저렴한 방식의 간단한 커패시터 ESR 추정기법으로 진단하고자 하는 전력변환장치의 DC Bus 커패시터를 이용하여 부스트형 DC/DC 컨버터를 구성하여 ESR 추정이 가능한 방식이다. 컨버터 메인 스위치의 ON/OFF 상태에 따라 전압과 전류의 변화에 대한 크기를 계측하여 ESR을 추정하는 방법으로 오실로스코프만으로도 계측이 가능하며 또한 제품 제작시 휴대가 가능할 수 있다는 장점이 있다. 이의 제안된 방법을 검증하기 위한 모의실험은 양호한 결과를 나타내었으며, 향후 이러한 알고리즘을 바탕으로 기존에 제작되어 있는 전해 커패시터의 온라인 ESR 고장 진단시스템과 병행으로 시작품을 제작하여 사용할 계획이다.

## 감사의 글

이 연구는 2010학년도 경원대학교 지원에 의한 결과이며 또한 지식경제부(에기평)의 2010년도 ‘전력산업연구개발사업’의 연구 지원에 의하여 연구 수행된 내용의 일부임

## 참 고 문 헌

- [1] M.L. Gasperi, "Life Prediction Modeling of Bus Capacitor in AC Variable-Frequency Drives", *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, vol., 41, no.6 ,pp.1430-1435, Nov./Dec. 2005.
- [2] Afroz M. Imam, Thomas G. Habetler, Ronald G. Harley and D. M. Divan, "LMS based Condition Monitoring of Electrolytic Capacitor" *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, vol., 41, no.6 ,pp.848-853, 2005.
- [3] 기술표준원 신뢰성전문위원회, "알루미늄 전해 커패시터 해설서 RS C 0005", 산업자원부, 2001년 11월.
- [4] J.W. Kolar and S.D. Round, "Analytical calculation of the RMS current stress on the DC-link capacitor of voltage-PWM converter systems", *IEE Proc.-Electr. Power Appl.*, Vol. 153, No. 4, pp.535-543, July 2006.
- [5] 손진근, 김진식, "주파수 분석기법을 이용한 전압 평활용 전해 커패시터의 고장진단", *전기학회 논문지*, 제 58P권 제2호, pp. 207-213, 2009년 6월.
- [6] 손진근, "전력변환장치에서의 DC 출력 필터 커패시터의 온라인 고장 검출기법", *전기학회 논문지*, 제58P권 제4호, pp. 483-489, 2009년 12월.
- [7] 손진근, 나채동, "PWM 전력 컨버터에서 DC 링크 커패시터의 개선된 온라인 고장 진단", *전기학회 논문지*, 제59P권 제1호, pp. 40-46, 2010년 3월.

- [8] P. Venet, F.Perisse, M.H. El-Hussein1, and G. Rojat, "Realization of a smart electrolytic capacitor circuit", *IEEE of Industry Applications Magazine*, No.1, pp. 16-20. 2002.
- [9] 안치영, 김재중, 장석원, 신승중, 광계달, "알루미늄 전해 커패시터의 가속열화시험," *대한기계학회 추계학술대회 논문집*, pp.1-6, 2006년.

## 저 자 소 개



### 손진근 (孫珍勗)

1990년 숭실대 전기공학과 졸업. 1992/1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사/박사). 1992~1995 현대중공업(주) 기전연구소 주임연구원. 2002. 2~2003. 2 (한국과학재단) 일본 가고시마대학 전기공학부 Post-doc., 2009. 1~2010. 2 Michigan State University Visiting Scholar. 현재, 경원대학교 전기공학과 부교수.

Tel : 031-750-5711

Fax : 031-750-5354

E-mail : shon@kyungwon.ac.kr



### 김진식 (金溱植)

1991년 숭실대학교 전자공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1993 ~ 1999 현대중공업(주) 기전연구소 선임연구원. 2000.2 ~ 2005.2 (주)인포이큐 연구소장. 2005.3 ~ 현재 (주)미디어디바이스 대표이사.