전력전자학술대회 논문집 2002. 7. 3 ~ 7. 6

3상 AC/DC/AC PWM 컨버터의 DC-Link 커패시터 용량 추정

이강주, 이동춘, 석줄기
영남대학교 전자정보공학부

Capacitance Estimation of DC-Link Capacitors of Three-phase AC/DC/AC PWM Converters

Kang-Ju Lee, Dong-Choon Lee, Jul-Ki Seok
School of Electrical Engineering and Computer Science, Yeungnam University

ABSTRACT

In this paper, the novel method is proposed to measure the capacitance of the dc link capacitor. Advantage of the method is not to separate capacitor from 3-phase AC/DC/AC converters. In the proposed method, a specific low frequency current is injected to oscillate the voltage of dc capacitor at no load condition. The capacitance of dc capacitor is calculated with the effective values of this ripple voltage and current. The validity of the proposed method is confirmed by PSIM simulation.

1. 서 론

최근 교류전동기 구동 시스템으로 많이 사용되고 있는 3상 AC/DC/AC 컨버터 시스템에 있어서 커패시터의 고장예측과 관련된 안정성 문제가 크게 대두되고 있다. AC/DC/AC 컨버터 시스템은 크게 전력용 반도체부와 센서부 그리고 직류단으로 구성된다. 이때 전력용 반도체 및 센서부의 수명은 반영구적인 것에 반해 직류 링크단을 구성하는 전해 커패시터는 전해질 증발에 따른 열화로 인해 그 수명이 2~3년에 불과하다[1,2]. 커패시턴스가 감소된 커패시터를 방치하여 계속 사용할 경우 직류단에 큰 리플전압을 야기하여 시스템의 고장이나 사고를 유발할 수 있어 전체 컨버터 시스템의 안정성을 악화하는 요인이 된다. 따라서, 안정성이 요구되는 산업제품에서는 커패시터의 용량을 주기적으로 측정하여 적절한 교체시기를 정해야 할 필요가 있다. 하지만 대부분의 시스템에서 커패시터는 전력변환부 내부에 설치되어 있어 그 용량을 측정하려면 시스템을 분리하여야만 한다.

본 연구에서는 커패시터를 시스템에서 분리하지 않고 그 용량을 추정하는 방법을 제안한다.

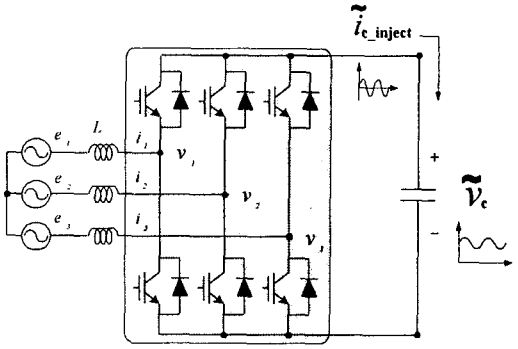

그림 1 3상 PWM 컨버터
Fig. 1 3-phase PWM converter

이를 위해 먼저 인버터는 동작을 중지시키고 컨버터만을 이용하여 커패시터에 특정한 주파수를 갖는 고조파 전류를 주입한다. 이 때, 커패시터의 전압과 전류는 주입한 전류의 주파수와 동일한 고조파 성분이 나타나며 이의 실효치를 검출하면 커패시터의 용량을 계산할 수 있다. 주입전류의 주파수는 커패시터 전류가 고주파 함유률이 큰 것을 감안하여 전원의 주파수에 대하여 저주파가 되도록 한다. 제안한 기법은 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 검증한다.

2. 커패시터 용량 추정

그림 1은 PWM 컨버터 시스템을 보인다. 본 연구에서는 인버터의 동작을 정지시키고 컨버터만 동작하도록 한 후, 무부하 상태에서 커패시터 용량을 계산한다. 따라서, 컨버터의 부하는 커패시터만으로 구성된다. 이 때, 커패시터에 특정한 주파수 성분의 전류를 PWM 컨버터를 이용하여 주입하면 커패시터에 주입전류의 주파수를 갖는 전압이 발생된다. 이 리플전압과 주입전류로부터 커패시터의 용량은 다음과 같이 계산 할 수 있다.

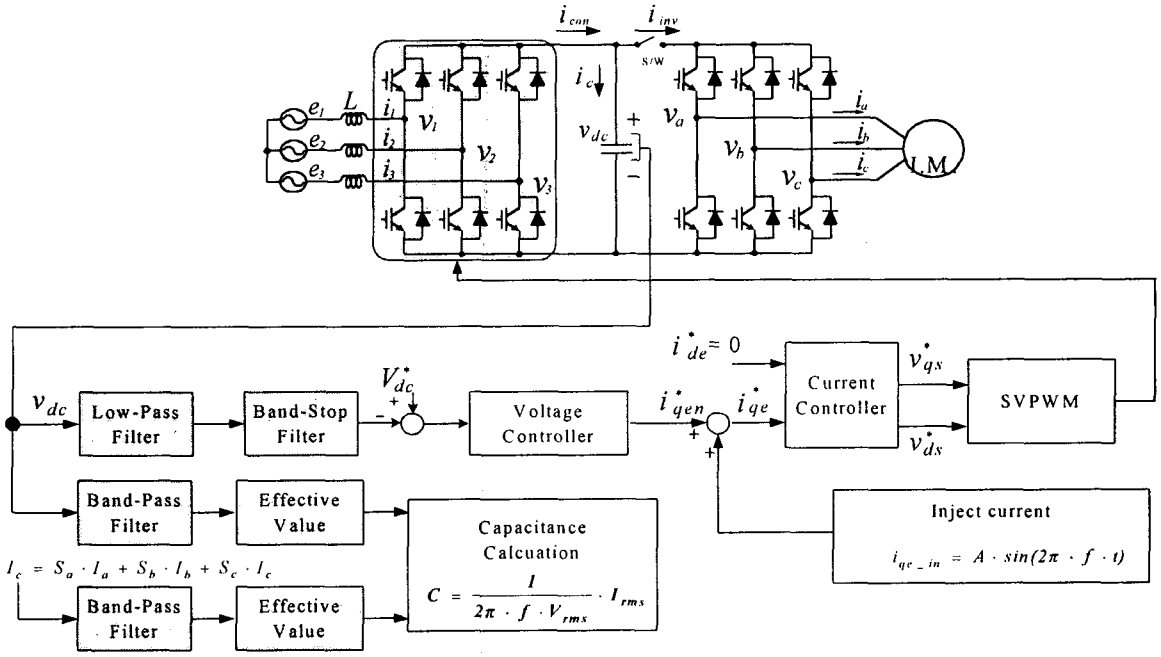

그림 2 직류 커패시터를 추정하기 위한 제어 블록도

Fig. 2 Control block diagram of 3-phase PWM converter to estimate capacitance of the dc link capacitor

$$C=\frac{I_{rms}}{2\pi f V_{rms}} \quad (1)$$

보통의 경우 커패시터의 수명은 초기 용량의 20% 이상 감소하게 되면 그 수명이 다 한 것으로 본다[3,4]. 커패시터의 용량 계산에 있어서 그 오차가 크면 커패시터의 교체시기를 판단하기 어려우며, 시스템의 안정도 및 고장의 원인이 된다. 따라서, 외부 노이즈 성분들에 의한 오차가 최소화 되도록 주입전류의 주파수를 정하는 것이 중요하다. 3상 AC/DC/AC 컨버터 경우 직류 커패시터는 저역 통과 필터의 역할을 하기 때문에 커패시터로 흐르는 전류는 대부분 고주파 성분들로 구성되어 있다. 따라서, 고주파의 전류를 주입할 경우 커패시터 전류의 상대적 크기가 작아 식 (1)을 이용하여 커패시터 용량을 계산하는 것이 어려워진다. 그러므로 저주파의 전류를 커패시터에 주입하여 그 용량을 계산하는 것이 외부 노이즈의 영향을 최소화 할 수 있다.

그림 2는 PWM 컨버터의 제어 블록도이다. 먼저, 동기 좌표계상의 q축 전류에 40[Hz] 성분의 교류를 인가한다. 이 때, 직류 커패시터의 전압과 전류는 주입전류와 동일한 주파수의 리플성분을 갖게되고, 40[Hz]의 절점주파수를 갖는 대역통과필터(BPF)를 이용하면 전압과 전류의 리플성분을 검출할 수 있다. 마지막으로 이들의 실효치를 계산한 후, 식 (1)을 이용하여 커패시터의 용량을 계산할 수 있다. 여기서 커패시터에 흐르는 전류는 컨버터 입력 상전류와 스위칭 함수로 구할 수 있고, 직류전압은 센서를 통하여 측정된다. 한편, 저주파수의 주입전류가 직류전압제어에 미치는 영향을 최소화하기 위해 커패시터 전압 제어기에 저역 통과 필터(LPF)와 대역 차단 필터(BSF)를 사용해야 한다.

3. 시뮬레이션 결과 및 검토

제안한 알고리즘의 검증을 위해 PSIM-5.0 소프트웨어에 의한 시뮬레이션을 수행하였다. 전력 회로부는 스케메틱 툴로 구현하였고, 제어기 대역 및 저역 통과필터, 실효치 계산은 boland c로 구현하였다. 시뮬레이션에 사용된 파라미터는 표 1과 같다.

그림 3은 2350[μF]의 직류 커패시터에 40[Hz]의 저주파수 전류를 주입한 경우 직류단 전압과 전류를 보인다. 주입한 전류와 동일한 주파수를 갖는 전압과 전류가 발생함을 알 수 있다. 그림 3의 (c)는 동기 좌표상에서 커패시터에 주입한 전류를 나타낸다. 전류의 크기는 2[A]로 정격전류의 약 6%에 해당되고, 주파수는 공진 주파수보다 낮은 40[Hz]를 주입한다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 simulation parameters

입력전압	3상 220[V]
승압용 인덕터의 인덕턴스	1[mH]
승압용 인덕터의 저항성분	0.01[Ω]
컨버터 용량	3[kVA]
직류단 커패시터의 정전용량	2350[μF]
	2115[μF]
	1880[μF]
	1645[μF]
스위칭 주파수	5[kHz]
커패시터 주입전류	2[A], 40[Hz]

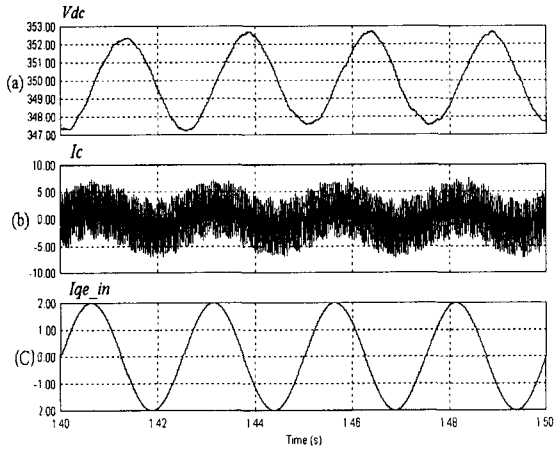

그림 3 (a) 직류 커패시터 전압
(b) 직류 커패시터 전류 파형
(c) 커패시터로 주입한 전류 파형
Fig.3 (a) voltage of dc capacitor
(b) current of dc capacitor
(c) waveform of current injected into dc link capacitor

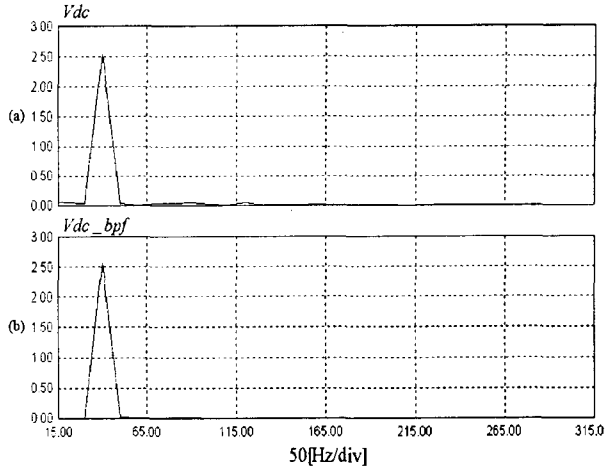

그림 4 고조파 스펙트럼
(a) 직류 커패시터의 전압
(b) 대역통과 필터를 통과한 전압
Fig. 4 Harmonics spectrum
(a) voltage of dc link capacitor
(b) voltage passed by band pass filter

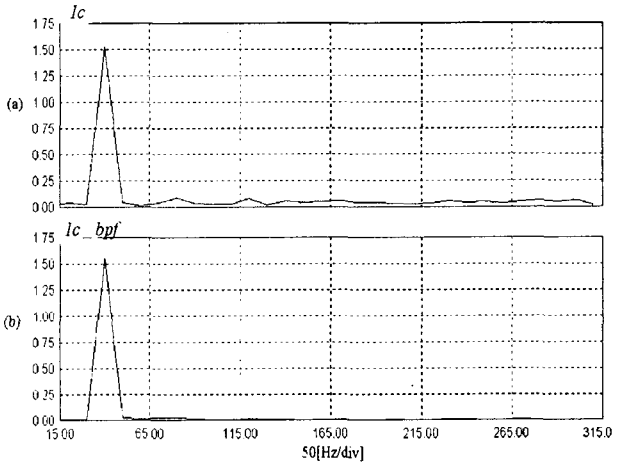

그림 5 고조파 스펙트럼
(a) 직류 커패시터의 전류
(b) 대역통과 필터를 통과한 전류
Fig. 5 Harmonics spectrum
(a) current of dc link capacitor
(b) current passed by band pass filter

그림 4와 5는 40[Hz] 성분의 리플 전압과 전류를 검출하기 위한 대역통과 필터의 성능을 보인다. 그림 4에서 직류전압과 이의 대역통과필터로 얻은 40[Hz] 리플전압의 크기가 동일함을 알 수 있다.

그림 5는 커패시터 전류와 이의 대역통과필터로 얻은 40[Hz]성분의 전류크기를 보인다. 이 역시 그 크기가 동일함을 알 수 있다. 여기서 커패시터 입력 전류는 실제 측정하는 것이 가능하나 시스템의 경제성을 고려하여 컨버터의 입력 상전류와 스위칭 함수로 계산한 값을 이용하였다.

그림 6은 커패시터 용량이 2350[μF] 경우 대역통과 필터 이용하여 검출한 40[Hz] 성분의 전압과 전류파형을 보인다. 실효치는 각각 1.8527[V]와 1.116[A]이다. 이 실효치를 식 (1)에 넣고 계산한 결과 커패시터의 용량은 2435[μF]이다. 실제 용량과 오차는 3.6% 정도이다. 그림 7, 8은 커패시터 용량을 2350[μF]을 기준으로 각각 10%, 20%로 감소시켰을 때의 직류 커패시터 전압과 전류이다.

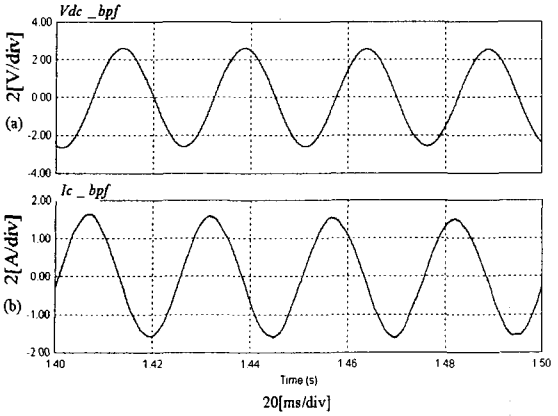

그림 6 대역통과 필터를 통과한 파형(C=2350 μF)
(a) 전압, (b) 전류

Fig. 6 Waveform filtered by band pass filter
(a) voltage, (b) current

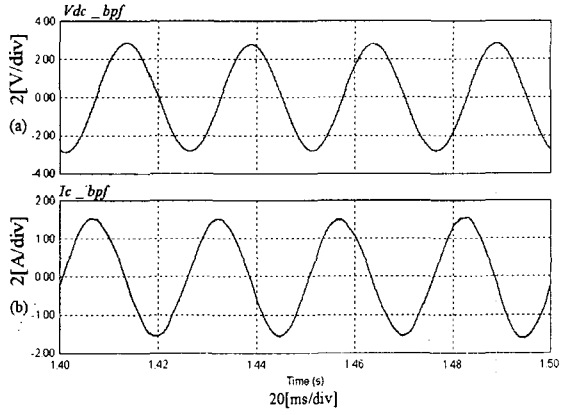

그림 7 대역통과 필터를 통과한 파형(C=2115 μF)
(a) 전압, (b) 전류

Fig. 7 Waveforms filtered by band pass filter
(a) voltage, (b) current

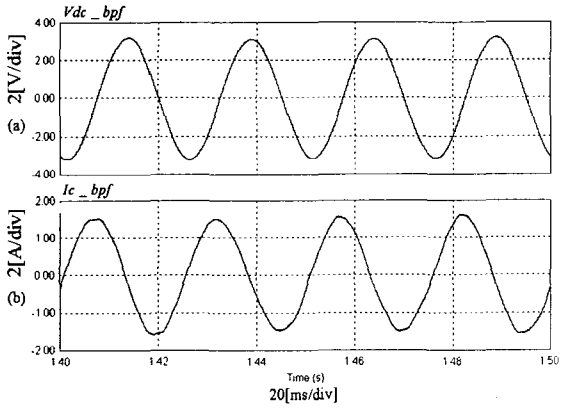

그림 8 대역통과 필터를 통과한 파형(C=1880 μF)
(a) 전압, (b) 전류

Fig. 8 Waveforms filtered by band pass filter
(a) voltage, (b) current

표 2 커패시터 용량의 실제치와 추정치

Table 2 Real and calculated values of capacitance of dc link capacitor

커패시터 용량	직류 커패시터의 전압과 전류의 40[Hz] 성분		계산된 커패시터 용량	계산 오차
	전압 실효치[V]	전류 실효치[A]		
2350[μF]	1.825	1.116	2433[μF]	+3.6%
2115[μF]	2.019	1.060	2089[μF]	-1.2%
1880[μF]	2.244	1.107	1959[μF]	+4.1%

표 2에서 각각의 커패시터에 대한 결과를 요약하였다. 모든 경우에서 계산된 커패시터 용량이 실제 용량에대해 4% 이내의 오차범위를 갖는다. 이는 실제 파라미터 측정장치의 오차 범위와 유사하며 본 연구에서 제안한 정전용량 추정기법이 타당함을 의미한다.

4. 결 론

3상 AC/DC/AC 컨버터에 특정 주파수의 전류를 주입한 후 직류 커패시터의 리플 전압과 전류로부터 정전용량을 추정하는 방법을 제시하였다. 제시된 기법은 전력변환부 내부에 설치되어 있는 커패시터를 시스템에서 분리하지 않고 그 용량의 추정이 가능하다는 장점이 있다. 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 검증한 결과 실제 커패시터의 정전용량과 오차율 4% 이내로 일치한다는 결론을 얻었다.

참 고 문 헌

[1] M.L. Gasperi, " Life Prediction Model for Aluminum Electrolytic Capacitor," *IEEE IAS, Annual Meeting*, pp. 1347-1351, 1996, October

[2] M.L. Gasperi, " A Methode for Predicting the Expected Life of Bus Capacitor," *IEEE IAS, Annual Meeting*, pp. 1042-1047, 1997, October.

[3] Hitachi AIC Inc., " Technical Report Aluminum Electrolytic Capacitors," Tokyo, Japan, 1998, August.

[4] Hitachi AIC Inc., " Estimated Life of Aluminum Electrolytic Capacitors," Tokyo, Japan, 1999, August.