

LC트랩필터를 갖는 단상 NPC 멀티레벨 인버터의 출력 고조파 저감 및 필터 효율 분석에 관한 연구

論 文
55B-8-7

A Study on Filter Efficiency Analysis and Harmonic Reduction of Single Phase NPC Multi-Level Inverter with LC-Trap Filter

金 洙 弘* · 徐 康 文* · 金 倫 鎬**
(Soo-Hong Kim · Kang-Moon Seo · Yoon-Ho Kim)

Abstract - This paper presents a method about the efficiency analysis and the harmonic reduction of single phase NPC multi-level inverter with LC-trap filter and LCR output filter. The proposed LC-trap filter is comprised of a conventional LC output filter, by using LC-trap filter the need for high damping resistor and low LC cut-off frequency is eliminated. Also, low damping resistor is increased the efficiency of the output filter. Experimental verification of the proposed circuit is provided with single phase NPC multilevel inverter system and DSP controller.

Key Words : LC-Trap Filter, LCR Filter, NPC Multilevel Inverter

1. 서 론

최근에는 일반적인 2레벨 시스템에 비해 고조파 발생과 스위치의 전압 스트레스가 작은 장점을 가진 멀티레벨 컨버터/인버터 시스템이 널리 사용되고 있으며, 이들 멀티레벨 시스템은 고전압, 대용량 분야에 응용이 가능하다는 장점을 지니고 있다. 그러나 고전압, 대전력 시스템에서는 수십에서 수백 Hz의 스위칭 주파수 사용이 어려우므로, 낮은 대역의 스위칭 주파수 주로 사용하게 된다. 멀티레벨 인버터 시스템에서 낮은 스위칭 주파수의 사용은 출력단에 높은 크기의 고조파 성분을 발생시키는 원인이 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 인버터 출력단에 LC필터를 사용하였다[1][2]. 이들 LC필터의 사용에 의해 고조파 성분은 현저히 감소하였으나, 필터로 사용된 인덕터와 커패시터의 공진 문제가 발생하게 된다.

LC필터의 공진을 감쇄시키기 위한 간단한 방법은 필터단에 제동저항을 사용하는 것이다[3]. 그러나 이 제동용 저항으로 인해 전압강하가 발생하며, 제동저항의 손실로 인해 시스템의 효율이 감소되는 문제를 발생시켰다. 만약 시스템 효율 증가를 위해 제동저항의 크기를 감소시킨다면 적절한 필터링 효과를 기대할 수 없게 된다. 멀티레벨 인버터 시스템의 효율과 관련하여 기존에 제시된 논문들은 스위칭 소자와 전도 손실에 관련한 부분의 해석을 주로 수행하였다[4][5].

본 논문에서는 낮은 스위칭 주파수를 갖는 NPC멀티레벨 인버터의 LC트랩필터와 LCR출력필터 설계 방법을 제시하였고, 제시된 LC트랩필터의 사용에 의해 LC의 공진을 억제하기 위한 제동용 저항의 크기를 변화에 따른 출력 고조파 분

석과 설계된 출력단 필터 시스템의 효율을 분석하였다. 제시된 방법은 시뮬레이션과 실험결과를 통해 증명하였다.

2. 출력필터를 갖는 멀티레벨 인버터 시스템

2.1 NPC멀티레벨 인버터 시스템 모델링

그림 1은 단상 NPC 멀티레벨 인버터 시스템의 회로도를 보여주고 있다. 이러한 인버터 시스템은 다양한 형태의 부하를 갖게 되며, 부하의 형태에 따라 부하단 전류가 변화하게 된다. 인버터 시스템은 8개의 스위칭 소자, 4개의 블록킹 다이오드, 스위칭 주파수 노이즈 차단을 위한 트랩필터(L_{VT} , C_{VT}), 고조파 차단을 위한 LCR필터(L_f , C_f , R_d)로 구성되었다. 그림 2는 그림 1에서 나타낸 인버터 시스템의 간략화된 블록도를 보여주고 있다.

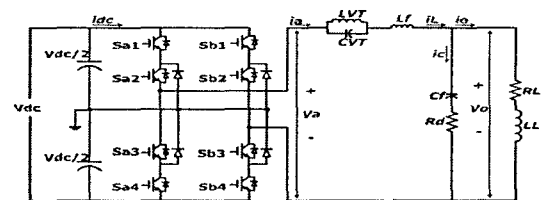


그림 1 단상 NPC 멀티레벨 인버터 시스템의 회로도

Fig. 1 The circuit of single phase NPC multilevel inverter system

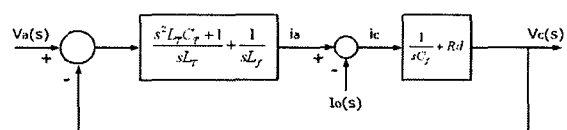


그림 2 단상 NPC 멀티레벨 인버터 시스템의 블록도

Fig. 2 Block diagram of single phase NPC multilevel inverter system

* 교신저자, 正會員 : 中央大. 電子電氣工學部 博士課程

E-mail : powerlab76@wm.cau.ac.kr

* 學生會員 : 中央大. 電子電氣工學部 碩士課程

** 正會員 : 中央大. 電子電氣工學部 正教授. 工博

接受日字 : 2006年 5月 22日

最終完了 : 2006年 6月 27日

그림 2에 나타낸 블록도의 입·출력 전달함수는 식(1)과 같이 표현된다.

$$V_o = \frac{1 + sR_d C_f}{1 + sR_d C_f + s(A_z + B_z)C_f} V_a - \frac{(A_z + B_z)(1 + sR_d C_f)}{1 + sR_d C_f + s(A_z + B_z)C_f} I_o \quad (1)$$

여기서 $A_z = \frac{L_{VT}s}{L_{VT}C_{VT}s^2 + 1}$, $B_z = sL_f$ 이다.

식(1)로부터 필터 출력전압에 포함된 고조파의 크기는 인버터 출력전압의 고조파를 입력으로 하여 얻어진 결과와 부하전류의 고조파를 입력으로 하여 얻어진 결과의 벡터적인 합으로 계산됨을 알 수 있다. 인버터의 스위칭 제어방식은 멀티레벨에서 주로 사용되고 있는 멀티캐리어 PWM제어방식을 사용하였다.

2.2 LCR필터의 구조 및 필터링 특성

그림 3은 단상 NPC멀티레벨 인버터에 적용된 LCR필터의 구조를 보여주고 있다. LCR필터회로에서 일반적으로 필터 인덕터의 임피던스는 부하단 또는 기본주파수에서 모터 임피던스의 5%보다 작게 설계한다.

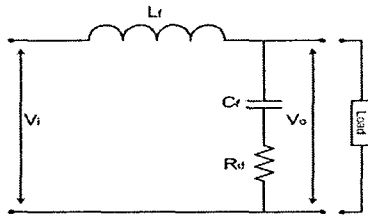


그림 3 LCR필터 시스템
Fig. 3 LCR filter system

또한, LCR필터의 필터링 특성은 식(2)와 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{V_o}{V_i} &= \frac{s \frac{R_d}{L_f} + \frac{1}{L_f C_f}}{s^2 + s \frac{R_d}{L_f} + \frac{1}{L_f C_f}} \\ &= \frac{s^2 \xi \omega_o + \omega_o^2}{s^2 + s \xi \omega_o + \omega_o^2} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, $\omega_o = 1/\sqrt{L_f C_f}$ 는 차단주파수를 나타내고 LC필터의 공진을 억제하기 위한 $\xi = R_d/(2\sqrt{L_f/C_f})$ 는 제동비를 나타낸다. 만약, 제동비가 1보다 크다면 낮은 주파수에서 감쇠비는 일정하기 때문에 제동비는 대개 1보다 작은 값을 선택한다. 그리고 높은 주파수 대역에서는 인덕터의 임피던스가 커패시터의 임피던스보다 크고 낮은 주파수 대역에서는 그 반대의 현상이 일어나게 된다. 그림 4는 식(2)에 나타난 수식을 기반으로 하여 제동비가 0.01, 0.2, 0.5, 1인 경우의 주파수 특성을 보여주고 있다. LCR필터의 차단주파수는 원하는 감쇠비를 얻기 위해 충분히 낮은 값을 선택하면 된다. 그

러나 낮은 차단주파수의 선정은 필터 구성요소의 큰 값과 크기가 요구되어지며, 이러한 선택은 기본주파수에서 커패시터 가지의 큰 전류 흐름을 야기시키고 필터시스템의 효율을 저하시키는 원인이 된다.

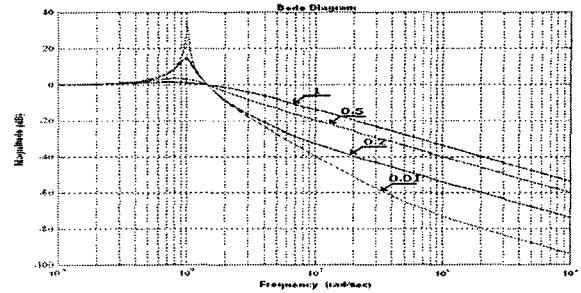


그림 4 LCR필터의 주파수 특성
Fig. 4 Frequency characteristics of LCR filter

인버터 시스템의 필터단 인덕터 양단의 전압강하는 기본주파수에서 정격 출력전압의 5%보다 작아야 하고, 필터 커패시터를 통하여 흐르는 전류는 정격 전류용량의 10%미만이어야 한다. 또한 필터의 전력손실을 최소화하기 위해 제동저항은 0에 가까운 값을 선택하는 것이 바람직하지만 필터의 공진을 억제하기 위해 적당한 값을 선택해야 된다.

2.3 LC트랩필터의 구조 및 필터링 특성

그림 5는 LC 전압 트랩 인버터 출력 필터의 구조를 보여준다. 인버터 시스템에서 사용되는 LC트랩필터의 역할은 인버터의 스위칭 주파수로 인해 발생하는 전압고조파를 차단하는 것이다.

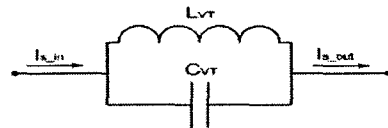


그림 5 LC트랩필터의 구조
Fig. 5 Block diagram of LC trap filter

그림 5를 통해 LC트랩필터의 임피던스는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_{TF}(s) = \frac{s/C_{VT}}{s^2 + (1/L_{VT}C_{VT})} \quad (3)$$

또한, LC트랩필터의 코너(coner) 주파수는 식(4)와 같이 표현된다.

$$f_{TF} = 1/(2\pi\sqrt{L_{VT}C_{VT}}) \quad (4)$$

여기서 f_{TF} 는 3레벨 인버터의 경우 스위칭 주파수의 2배가 되므로, 인버터 시스템에 적용된 스위칭 주파수의 2배에 해당하는 값을 선택하면 된다. LC트랩필터의 인덕터와 커패시터의 적절한 값이 선택되었다면 스위칭 주파수에서 필터 임피던스는 무한대일 것이다. 그러나 우리가 원하는 차단주파수의 인덕터와 커패시터의 값을 선택하였을 지라도 차단주파수 이외의 주파수에 대해서는 인덕터와 커패시터의 값이

변화될 것이다. 커패시터의 값이 감소되면 LC트랩필터의 동일한 코너 주파수를 유지시켜 주기 위해 우리는 인덕터의 값을 증가시켜야만 한다. 이는 결국 필터 임피던스의 증가를 야기하고 필터 밴드폭을 증가시키는 원인이 된다. 따라서 LC트랩필터의 인덕터와 커패시터는 기본주파수와 코너 주파수에서 충분한 필터 밴드폭을 갖는 구성값을 선택해야만 한다.

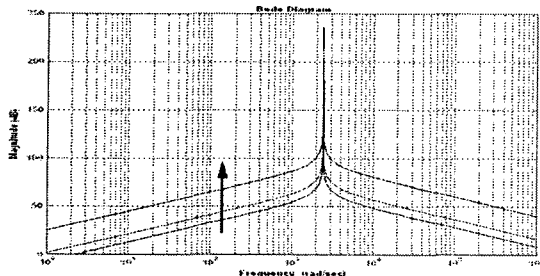


그림 6 C_{VT} 값에 따른 LC트랩필터의 주파수 특성
 Fig. 6 Frequency characteristics of LC trap filter by value of variable C_{VT}

그림 6은 C_{VT} 값 변화에 따른 LC트랩필터의 주파수 특성을 보여주고 있다. 그림의 화살표 방향으로 C_{VT} 의 값이 감소하면 필터의 밴드폭은 증가한다는 것을 알 수 있다.

2.4 LCR필터와 LC트랩필터 설계

인버터 시스템의 고압 대응량화와 출력의 고조파 감소를 위해 멀티레벨이 주로 사용되고 있으며, 지금까지 많은 토폴로지들이 개발되었다. 이들 멀티레벨 시스템 중에서 NPC타입의 멀티레벨 시스템이 가장 적은수의 커패시터가 요구되고 독립된 전원을 필요로 하지 않으므로 가장 널리 이용되고 있다. 그림 7은 본 논문에서 사용된 LC트랩과 LCR필터를 갖는 단상 NPC멀티레벨 인버터 시스템의 회로를 보여주고 있다.

각상은 4개의 스위치와 2개의 다이오드로 구성되었으며, 이들 스위치의 상태에 의해 서로 다른 출력 전압을 발생하게 된다. 출력부하는 RL로 구성되었으므로 출력단 임피던스는 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_{Load} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \tag{5}$$

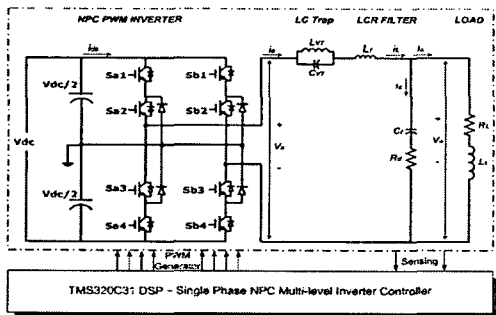


그림 7 LC트랩과 LCR필터를 갖는 단상 NPC멀티레벨 인버터 시스템

Fig. 7 Single-phase NPC multi-level inverter system with LC trap and LCR filter

실제회로에서 부하단은 저항부하 16Ω , 인덕턴스 부하 $6mH$ 를 사용하였으므로 기본 주파수 $60Hz$ 에서 이들 전체 임피던스 Z_{Load} 는 16.16Ω 이다. LCR출력필터의 필터 인덕터의 임피던스 최대값은 $16.16 \times 5\% \approx 0.8\Omega$ 이며, 이 경우 인덕터값은 $2mH$ 가 선택된다. 차단주파수를 $800Hz$ 로 설정하면 커패시터는 식(6)에 의해 결정할 수 있다.

$$f_r = 1 / (2\pi \sqrt{L_f C_f}) \tag{6}$$

식 (6)에 의해 LCR필터의 필터 커패시터는 $19.789\mu F$ 이 되고, 그림 4와 식(2)을 참조하여 제동비가 0.2인 경우 제동 저항값을 결정하면 $R_d = 0.2 \times (2\pi \sqrt{L_f / C_f}) = 12.6\Omega$ 이 된다. 또한, 스위칭 주파수에 의해 발생하는 출력단 전압 고조파를 감쇠하기 위한 LC트랩필터 설계는 그림 6의 주파수 특성을 이용하여 구할 수 있다. LC병렬공진회로 분석은 기준에 제시된 근사적 기법을 사용하는 것이 효과적이다[6]. 그러므로 $Q \geq 10$ 의 근사적 기법을 사용하여 LC트랩 필터의 필터 인덕터 값을 구한 후 식(4)에 대입하여 필터 커패시터의 값을 구할 수 있다. 3레벨 인버터의 경우 f_{TF} 는 스위칭 주파수의 2배가 되므로, 본 시스템의 f_{TF} 는 $4.8kHz$ 를 선택하면 된다. 따라서 근사적 기법을 이용하여 얻어진 LC트랩 필터의 값은 다음과 같다.

$$\therefore L_{VT} = 2.8mH, C_{VT} = 0.4\mu F$$

3. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 그림 7에 제시된 단상 NPC 3레벨 인버터 시스템을 이용하여 Spice시뮬레이션을 수행하였다. 표 1은 시뮬레이션과 실험에 사용된 단상 NPC 멀티레벨 인버터 시스템의 파라미터를 보여주고 있다.

표 1. 시스템 파라미터
 Table 1. The system parameter

Parameter	Value	Parameter	Value
입력전압	100 Vdc	L_f	2 mH
출력전압	85 Vac	C_f	20uF, 9μF
출력전류	5 A	R_d	13Ω, 9Ω
L_{VT}	2.8 mH	C_{VT}	0.4 μF

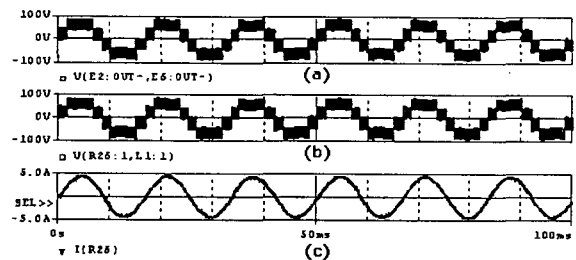


그림 8 필터가 없는 단상 NPC 3레벨 인버터 출력파형
 (a) V_a (b) V_o (c) i_o

Fig. 8 Single-phase NPC 3-level inverter output waveforms without filter (a) V_a (b) V_o (c) i_o

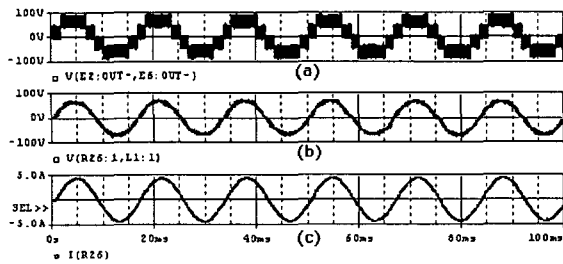


그림 9 LCR필터를 갖는 단상 NPC 3레벨 인버터 출력파형 ($\omega_0 = 800Hz$) (a) V_a (b) V_o (c) i_o

Fig. 9 Single-phase NPC 3-level inverter output waveforms with LCR filter ($\omega_0 = 800Hz$) (a) V_a (b) V_o (c) i_o

그림 8은 필터가 없는 단상 NPC 3레벨 인버터의 출력파형을 나타내고, 그림 9는 인버터 출력단에 LCR필터를 설치한 경우의 출력파형을 나타낸다. 그림8과 그림 9를 비교하여 볼 때, LCR출력필터를 설치한 경우 출력전압 (V_o)과 출력전류 (i_o)의 고조파가 감소하였음을 알 수 있다.

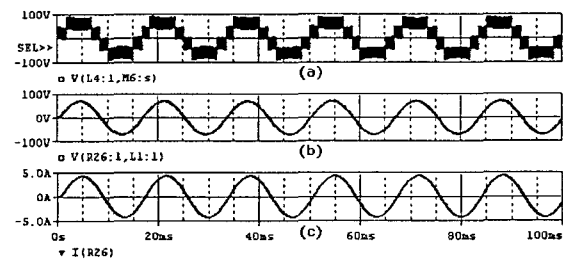


그림 10 LC트랩/LCR필터를 갖는 단상 NPC 3레벨 인버터 출력파형($\omega_0 = 800Hz$) (a) V_a (b) V_o (c) i_o

Fig. 10 Single-phase NPC 3-level inverter output waveforms with LC trap/LCR filter ($\omega_0 = 800Hz$)

(a) V_a (b) V_o (c) i_o

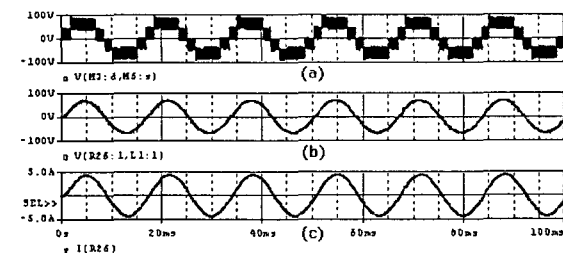


그림 11 LC트랩/LCR필터를 갖는 단상 NPC 3레벨 인버터 출력파형($\omega_0 = 1200Hz$) (a) V_a (b) V_o (c) i_o

Fig. 11 Single-phase NPC 3-level inverter output waveforms with LC trap/LCR filter ($\omega_0 = 1200Hz$)

(a) V_a (b) V_o (c) i_o

그림 10은 LCR필터의 차단주파수 $\omega_0 = 800Hz$ 로 설정하고 LC트랩/LCR출력 필터를 설치한 경우의 출력파형을 나타낸다. LCR필터만 설치한 경우(그림 9)에 비해 출력전압 고조파가 감소함을 알 수 있다. 그림 11은 LCR필터의 차단주파

수 $\omega_0 = 1200Hz$ 로 설정하여 LC트랩/LCR출력 필터를 설치한 경우의 출력파형을 나타낸다. 그림 10과 그림 11을 비교하였을 때, LC트랩필터를 설치한 경우 LCR출력필터의 차단주파수를 증가시켜도 출력 고조파는 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 또한 차단주파수를 증가시켜 CR단으로 유입되는 전류를 감소시킬 수 있으며, 제동저항(R_d)의 파라미터 값을 감소시킬 수 있다. 결국 필터단이 소비하는 전력을 감소시킬 수 있으므로 필터 시스템의 효율을 증가시킬 수 있다.

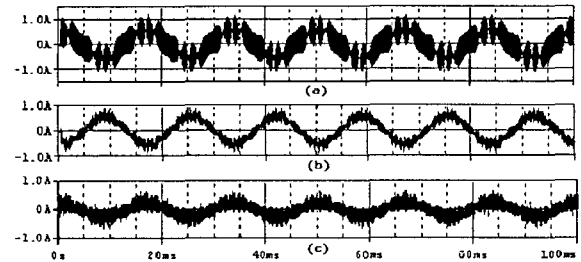


그림 12 LCR필터의 CR단 유입 전류(i_c) 출력파형

(a)with LCR filter (b)with LC/LCR filter($\omega_0 = 800Hz$)
(c) with LC/LCR filter ($\omega_0 = 1200Hz$)

Fig. 12 Output waveforms of current through CR side of LCR filter

(a)with LCR filter (b)with LC/LCR filter($\omega_0 = 800Hz$)
(c)with LC/LCR filter ($\omega_0 = 1200Hz$)

그림 12는 LCR필터의 CR단에 흐르는 전류의 출력파형을 보여주고 있다. 전류 피크값은 (a)는 1.2A, (b)는 1A, (c)는 0.6A이며 따라서 유입전류(i_c)의 크기는 (a) > (b) > (c)와 같이 표현할 수 있다. LC트랩필터의 사용에 의해 LCR필터의 차단주파수를 증가시키고 제동저항의 크기를 감소시킨 경우 필터 커패시터단의 유입전류가 감소한다. 또한 제동저항의 크기도 감소되었으므로 CR필터단에서 소비되는 전력은 감소함을 알 수 있다.

4. 실험 결과

실험에 사용된 파라미터는 시뮬레이션의 파라미터와 동일하며, 제어기는 DSP(TMS320C31)를 사용하였다. 실험 결과의 고조파는 PM3000A 전력분석기를 사용하여 측정하였다.

그림 13은 필터가 없는 단상 NPC 3레벨 인버터의 출력파형을 보여주고 있다. 부하단 출력전압(V_o)과 출력전류(I_o)에 고조파가 포함되었음을 나타낸다. 그림 14는 인버터 출력단에 LCR필터를 설치한 경우($\omega_0 = 800Hz$)의 출력파형을 나타낸다. 그림 13의 출력결과와 비교하였을 경우 고조파가 감소하였다. 그림 15는 인버터 출력단에 2.4절에서 설계된 LC 트랩필터를 첨가한 경우의 출력파형을 나타낸다. 부하단 출력전압과 출력전류가 거의 정현적으로 출력됨을 알 수 있다. 그림 16은 LCR필터의 차단주파수를 1200Hz로 설정하고 LC 트랩필터를 함께 설치한 경우의 출력파형을 나타낸다. 그림 14의 전압 및 전류파형과 비교할 때, 고조파가 감소되었다.

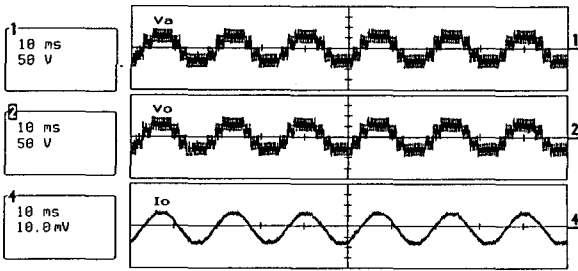


그림 13 필터가 없는 단상 NPC 3레벨 인버터 출력파형 $i_o = [5A/div]$

Fig. 13 Single-phase NPC 3-level inverter output waveforms without filter, $i_o = [5A/div]$

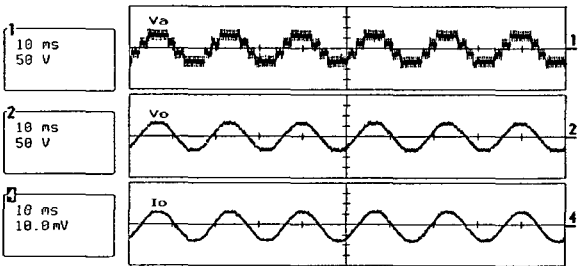


그림 14 LCR필터를 갖는 단상 NPC 3레벨 인버터 출력파형 ($\omega_0 = 800Hz$), $i_o = [5A/div]$

Fig. 14 Single-phase NPC 3-level inverter output waveforms with LCR filter ($\omega_0 = 800Hz$), $i_o = [5A/div]$

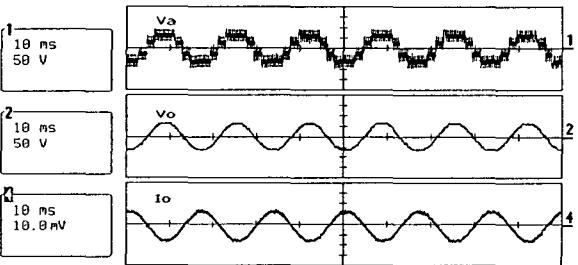


그림 15 LC트랩/LCR필터를 갖는 단상 NPC 3레벨 인버터 출력파형($\omega_0 = 800Hz$), $i_o = [5A/div]$

Fig. 15 Single-phase NPC 3-level inverter output waveforms with LC trap/LCR filter($\omega_0 = 800Hz$), $i_o = [5A/div]$

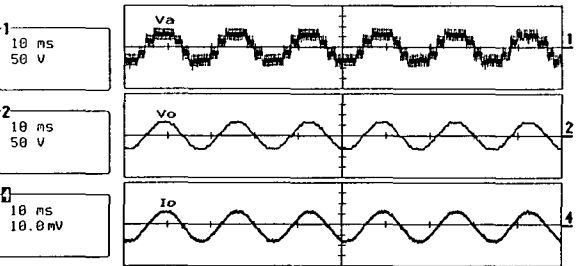


그림 16 LC트랩/LCR필터를 갖는 단상 NPC 3레벨 인버터 출력파형($\omega_0 = 1200Hz$), $i_o = [5A/div]$

Fig. 16 Single-phase NPC 3-level inverter output waveforms with LC trap/LCR filter($\omega_0 = 1200Hz$), $i_o = [5A/div]$

그림 17은 LCR필터만 설치한 경우($\omega_0 = 800Hz$), LC/LCR필터를 설치한 경우($\omega_0 = 800Hz$), LCR필터의 차단주파수를 1200Hz로 증가하여 LC/LCR필터를 설치한 각각의 경우 CR단 유입전류를 나타낸다. 그림 17을 통해 LC트랩필터를 LCR필터와 함께 설치하고 CR단 제동저항을 감소하면 유입전류도 감소하여 소비전력이 감소함을 알 수 있다.

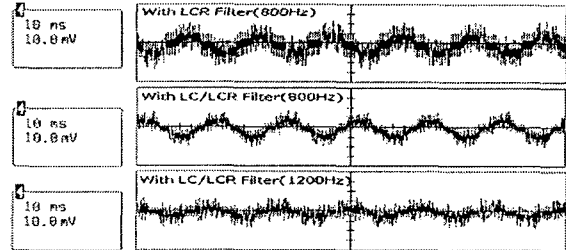


그림 17 LCR필터의 CR단 유입 전류(i_c) 출력파형 [1A/div]

Fig. 17 Output waveforms of current through CR side of LCR filter [1A/div]

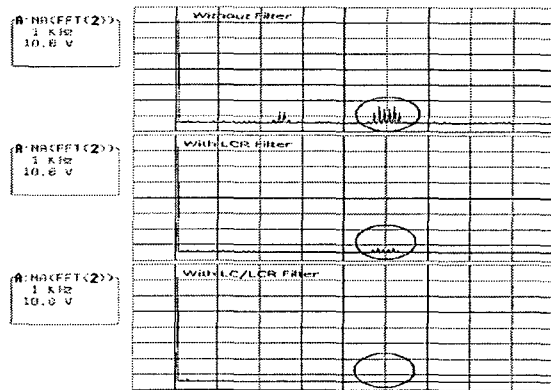
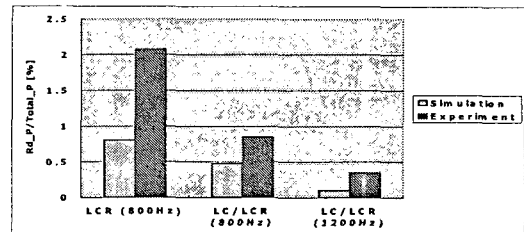
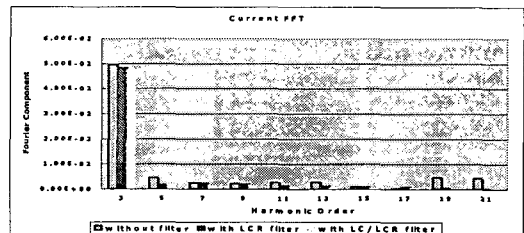


그림 18 부하단 출력전압 FFT분석

Fig. 18 FFT analysis of load output voltage



(a) 제동저항 R_d 의 소비전력 비율[%]



(b) 부하 출력 전류 FFT분석

그림 19 FFT 분석 결과

Fig. 19 The result of FFT analysis

그림 18은 멀티레벨 인버터 시스템에 필터를 설치하지 않은 경우, LCR필터만 설치한 경우, LC트랩/LCR필터를 설치한 각각의 경우에 대한 출력전압 FFT분석 파형을 나타낸다. 필터를 설치하지 않은 경우 출력전압은 많은 고조파를 포함하고 있으며, 특히 스위칭 주파수의 2배인 4.8kHz대역에서 많은 고조파가 발생된다. LCR필터만 설치한 경우 고조파가 감소하나 여전히 4.8kHz대역에서는 많은 고조파가 발생한다는 것을 알 수 있다. LC트랩/LCR필터를 설치한 경우 기본파를 제외한 전 영역에서 현저히 고조파가 감소함을 알 수 있다. 그림 19(a)는 [제동저항(R_d)]의 소비전력/실효전력 $\times 100$ [%]을 나타내고 있다. LC트랩/LCR필터를 설치하고 차단주파수를 증가시킨 경우 제동저항에서 소비되는 전력이 가장 적음을 알 수 있고, 이 경우 필터 시스템의 효율은 가장 높음을 나타낸다. 그림 19(b)는 차단주파수가 800Hz인 경우 부하 출력전류(I_o)의 기본파를 제외한 FFT 분석결과를 나타낸다. 부하 출력전류 또한 LC트랩/LCR필터를 설치한 경우 발생하는 고조파는 가장 작음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문은 낮은 스위칭 주파수로 구동되는 단상 NPC멀티레벨 인버터의 LC트랩 및 LCR필터 설계방법을 제시하였다. 제시된 LC트랩필터를 설치함으로써 LCR필터의 차단주파수 범위를 증가시킬 수 있고, 제동저항의 크기를 감소시킬 수 있음을 보여주었다.

또한 LC트랩필터와 차단주파수 영역이 800Hz에서 1200Hz로 증가된 LCR필터를 함께 설치함에 따라 LCR필터의 RC단유입 전류와 제동저항의 크기를 감소시킬 수 있고, 이로 인해 제동저항에 의해 소비되는 전력손실을 감소시켜 시스템의 효율을 증가시킬 수 있었다. 그리고 LC트랩필터와 LCR출력필터를 함께 사용함으로써 LCR필터만 사용한 경우에 비해 부하 출력 전압 및 전류의 고조파가 감소함을 보였다. 제안된 시스템의 설계방법은 시뮬레이션과 실험 결과를 통해 입증하였고, 낮은 스위칭 주파수하에서 구동되는 중-대용량 인버터 시스템에서 고조파 저감 및 효율 증가를 위해 유용하게 사용되리라 사료된다.

참 고 문 헌

[1] Steinke, J.K., "Use of an LC filter to achieve a motor-friendly performance of the PWM voltage source inverter", Energy Conversion, IEEE Transactions on, Vol. 14, 1999, pp:649-654.
 [2] Hanigovszki, N., Poulsen, J., Blaabjerg, F., "A novel output filter topology to reduce motor overvoltage", Industry Applications, IEEE Transactions on, Vol. 40, 2004, pp:845-852.

[3] von Jouanne, A., Enjeti, P.N., "Design considerations for an inverter output filter to mitigate the effects of long motor leads in ASD applications", Industry Applications, IEEE Transactions on, Vol. 33, 1997, pp:1138-1145.
 [4] 김태진, 강대욱, 이요한, 현동식, "멀티레벨 인버터 시스템의 전도손실과 스위칭 손실 해석", 전력전자학회 논문지 제 7권 2호, 2002. 4, pp:111-120.
 [5] Sibylle Dieckhoff, Steffen Bernet, Dietmar Krug, "Power loss-oriented evaluation of high voltage IGBTs and multilevel converters in transformerless traction applications", Power electronics, IEEE Transactions on, Vol. 20, 2005, pp:1328-1336.
 [6] Jung-Hui Cheng, Witulski, A.F., "Simple design of selected 3-element converters by scaling the solution of the LC parallel resonant converter", APEC '96. Vol. 1, pp: 284 - 290.

저 자 소 개



김 수 홍 (金 洙 弘)

1976년 8월 11일생. 2002년 삼척대 제어계측 공학과 졸업. 2004년 중앙대 전자전기공학부 대학원 졸업(석사). 2006년 현재 동 대학원 전자전기공학부 박사과정.

Tel : 02-820-5290

E-mail : powerlab76@wm.cau.ac.kr



서 강 문 (徐 康 文)

1979년 5월 8일생. 2005년 중앙대 전자전기 공학부 졸업. 2006년 현재 동 대학원 전자전기 공학부 석사과정.

Tel : 02-820-5290

E-mail : cupidseo@nate.com



김 윤 호 (金 倫 鎬)

1949년 6월 20일생. 1974년 서울대 공대 전기 공학과 졸업. 1987년 미국 Texas A&M대학 졸업(공학). 2003년 전력전자학회 회장 역임. 2004년~현재 중앙대 전자전기공학부 교수.

Tel : 02-820-5290

E-Mail : yhkim@cau.ac.kr