

# 트랩필터를 갖는 NPC멀티레벨 인버터의 LCR필터 차단주파수 설정에 따른 출력특성 분석

論 文
56-5-11

## The Output Characteristics Analysis by Cut-off Frequency Set-up of the LCR Filter on NPC Multi-Level Inverter with Trap-Filter

金 洙 弘\* · 金 倫 鎬†  
(Soo-Hong Kim · Yoon-Ho Kim)

**Abstract** - This paper presents the output filter design and the output characteristic analysis by cut-off frequency set up of the LCR filter on NPC multi-level inverter with trap-filter. The single-phase NPC three-level inverter operates at low switching frequency. The proposed LC trap filter is comprised of a conventional LCR 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 output filter system. The multilevel inverter system used NPC type inverter in proper system for high power application and controller is used DSP(TMS320C31). The effectiveness of proposed system confirmed the validity through SPICE simulation and experimental results.

**Key Words** : LC-Trap Filter, LCR Filter, NPC Multilevel Inverter, Cut-off frequency

### 1. 서 론

일반적인 2레벨 인버터 시스템에 비해 고조파 발생과 스위치의 전압 스트레스가 작은 장점을 가진 멀티레벨 컨버터/인버터 시스템이 널리 이용되고 있다. 이들 멀티레벨 시스템은 고전압-대용량 분야에 응용이 가능한 장점을 지니고 있다. 고전압-대전력 시스템에서는 수십에서 수백 Hz의 스위칭 주파수 사용이 어려우므로, 낮은 대역의 스위칭 주파수를 주로 사용한다. 멀티레벨 인버터 시스템에서 낮은 스위칭 주파수를 사용함에 따라 시스템 출력단에 높은 크기의 고조파 성분이 발생하게 된다. 일반적으로 이러한 문제를 해결하기 위해 인버터 시스템의 출력단에 LC필터를 사용하였다[1].

LC필터를 사용한 필터 시스템은 특정주파수에서 전압고조파의 크기가 차단주파수와 제동저항에 의한 제동량에 따라 달라지게 되고, 제동저항이 인덕터에 직렬로 연결된 필터 시스템은 차단주파수가 감소한다. 제동 저항값이 증가함으로써 필터링이 향상되며, 제동저항이 필터 커패시터와 직렬 연결된 필터 시스템은 제동효과는 향상되지만 차단주파수가 증가되어 필터링 효과는 감소하게 된다[2][3]. 또한 LC출력 필터의 공진문제 해결을 위해 추가된 제동저항의 사용으로 인해 출력필터단의 전압강하가 발생하고, 제동저항의 전력손실로 인해 시스템의 효율이 감소하는 문제를 야기하게 된다. 인버터 시스템의 효율을 증가시키기 위해 제동 저항값을 감소시키면 적절한 필터링 효과를 기대할 수 없게 된다.

본 논문은 낮은 스위칭 주파수를 갖는 단상 NPC 3레벨 인버터 출력단에 LC트랩필터를 설치하여 스위칭에 따른 고

조파를 제거하였으며, LCR필터의 차단주파수를 증가하여 제동 저항값 변화에 따른 필터 시스템의 소비전력을 분석하였다. 또한 제시된 필터 시스템의 설치 여부에 따른 출력전압 및 전류 고조파를 분석하였다. 트랩필터 설치 여부에 따른 고조파 분석과 차단주파수 변경에 따른 필터 시스템의 효율분석은 시뮬레이션과 실험결과를 통해 확인하였다.

### 2. 출력필터를 갖는 NPC 3레벨 인버터 시스템

#### 2.1 회로 구조와 제어 방법

그림 1은 출력 필터 시스템을 갖는 단상 NPC 3레벨 인버터 시스템 회로구조를 보여준다.

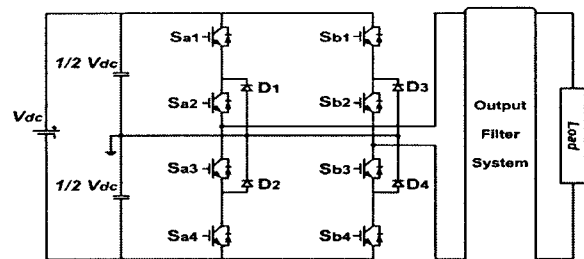


그림 1 출력필터를 갖는 단상 NPC 3레벨 인버터 회로  
Fig. 1 Single-phase NPC 3level inverter circuit

NPC 멀티레벨 인버터의 동작은 a상의 경우 스위치  $S_{a1}$ ,  $S_{a2}$ 가 ON되고  $S_{a3}$ ,  $S_{a4}$ 가 OFF되면 a상에는  $1/2 V_{dc}$  전압이 인가된다. 스위치  $S_{a2}$ ,  $S_{a3}$ 가 ON되고  $S_{a1}$ ,  $S_{a4}$ 가 OFF되면 영전위의 전압이 인가된다. 또한 스위치  $S_{a3}$ ,  $S_{a4}$ 가 ON될 때  $S_{a1}$ ,  $S_{a2}$ 가 OFF되면 중성점에 대하여 a상에는  $-1/2 V_{dc}$ 의 전압이 인가된다. 이와 같은 스위칭이 반복되

† 교신저자, 正會員 : 中央大. 電子電氣工學部 正教授. 工博  
E-mail : yhkim@cau.ac.kr

\* 正會員 : 中央大. 電子電氣工學部 博士課程  
接受日字 : 2006年 12月 8日  
最終完了 : 2007年 4月 12日

면 a상의 전압 레벨은  $1/2 V_{dc}$ ,  $0$ ,  $-1/2 V_{dc}$ 가 나타내게 되며, a상과 b상의 전압레벨을 모두 고려한 경우 인버터의 출력 전압은  $V_{dc}$ ,  $1/2 V_{dc}$ ,  $0$ ,  $-1/2 V_{dc}$ ,  $-V_{dc}$ 의 5레벨 전압이 나타난다[3].

### 2.2 PWM스위칭 방법

3레벨 인버터시스템의 스위칭방법은 비동기식 멀티캐리어 PWM스위칭 방법을 사용하였으며, 그림 2에서와 같이 여러 개의 삼각파 캐리어 신호(Carry1, Carry2)와 하나의 기준신호(Reference Signal)를 비교하여 멀티레벨 인버터 시스템에서 요구되는 스위칭 신호를 만들어 낸다. 단상 NPC 3레벨의 경우, a-b상은 서로 기준파형이  $180^\circ$ 의 위상차를 가지며 이들 두 기준파형이 삼각파 신호와 비교되어 스위칭 신호를 발생시킨다.

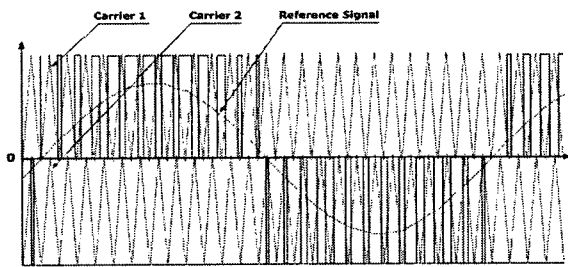


그림 2 멀티캐리어 PWM스위칭 파형  
Fig. 2 Multi-carrier based PWM switching waveform

### 2.3 NPC인버터 LC/LCR필터 설계[5]

그림 3은 인버터 출력필터 회로를 보여준다. 그림 3(a)는 고차 고조파 차단을 위한 필터 인덕터  $L_f$ , 고조파의 바이패스(bypass)를 제공하기 위한 필터 커패시터  $C_f$ , 필터 인덕터와 필터 커패시터의 공진을 막기 위한 제동저항  $R_d$ 로 구성되었다. 그림 3(b)는 스위칭 주파수로 인해 발생하는 전압 고조파를 차단하기 위한 필터 인덕터  $L_{VT}$ , 필터 커패시터  $C_{VT}$ 로 구성되었다.

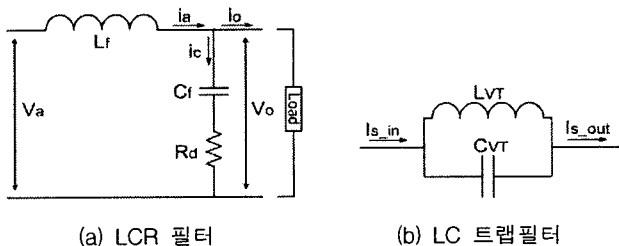


그림 3 출력필터 회로  
Fig. 3 Output filter circuit

그림 4는 LCR필터와 LC트랩필터를 갖는 단상 NPC 3레벨 인버터의 출력필터 회로를 보여준다.

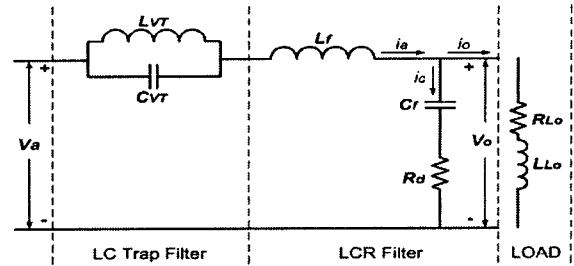


그림 4 LCR/LC트랩필터를 갖는 출력필터 시스템  
Fig. 4 The output filter system with LCR/LC trap filter

그림 4에서 부하단 임피던스와 LCR필터 시스템의 CR단 임피던스를 구하면 식(1)과 같다.

$$Z_{load} = \sqrt{\omega^2 L_{Lo}^2 + R_{Lo}^2} \quad (1)$$

$$Z_{C_f R_d} = \sqrt{\frac{1}{\omega^2 C_f^2} + R_d^2}$$

또한, LCR필터단 전체 임피던스( $Z_T$ )를 구하면 식(2)와 같다.

$$Z_T = Z_{L_f} + (Z_{C_f} // Z_{load}) \quad (2)$$

$$= \sqrt{\frac{L_{Lo}^2 \omega^2 (L_f C_f \omega^2 - 1)^2 + R_{Lo}^2}{(L_{Lo} C_f \omega^2 - 1)^2}}$$

LCR출력필터의 출력인덕터 임피던스는 일반적으로 기본 주파수에서 부하단 임피던스의 비에 의해 결정되며, 일반적으로 부하단 임피던스의 5%보다 작아야 한다. 그리고 필터 커패시터는 기본주파수에서 커패시터를 통해 흐르는 전류가 정격 전류의 10%보다 작아야 하는 제약조건을 가지고 있다 [4]. 이 조건을 정리하면 식(3)과 같이 표현된다.

$$\begin{cases} V_{L_f} \leq 0.05 V_{o-rat} \\ i_c \leq 0.1 I_{o-rat} \end{cases} \quad (3)$$

여기서,  $V_{o-rat}$ ,  $I_{o-rat}$ 는 각각 부하 출력단 정격전압과 정격 전류를 의미한다. 그리고 LCR필터 시스템의 전달함수는 식(4)와 같이 표현된다.

$$\frac{V_o}{V_a} = \frac{(R_d/L_f)s + (1/L_f C_f)}{s^2 + (R_d/L_f)s + (1/L_f C_f)} \quad (4)$$

여기서, 차단주파수  $\omega_o = 1/L_f C_f$ 이고, LC필터의 공진을 억제하기 위한 제동비  $\zeta = R_d/(2\sqrt{L_f/C_f})$ 로 나타낼 수 있다. 만약 제동비가 1보다 크다면 낮은 주파수에서 감쇠비는 일정하기 때문에 제동비는 일반적으로 1보다 작은값을 선택한다. 그리고 높은 주파수 대역에서는 임피던스가 커패시터의 임피던스보다 크고 낮은 주파수 대역에서는 그 반대의 현상이 발생하게 된다. LCR필터의 차단주파수는 원하는

감쇠비를 얻기 위해 충분히 낮은값을 선택하면 되지만 낮은 차단주파수의 선정은 필터 구성요소의 큰값이 요구되어 지고, 기본주파수에서 커패시터 가지의 큰 전류흐름을 야기하여 필터 시스템의 효율을 저하시키는 원인이 된다. 또한 필터의 전력손실을 최소화하기 위해 제동저항은 0에 가까운 값을 선택하는 것이 바람직하지만 필터의 공진을 억제하기 위해 적절한 값을 선택하여야 한다.

LC트랩필터의 임피던스는 식(5)와 같이 표현된다.

$$Z_{TF} = \frac{(1/C_{VT})s}{s^2 + (1/L_{VT}C_{VT})} \quad (5)$$

LC트랩필터의 차단주파수 설정은 인버터 시스템의 차단주파수와 동일한 값을 선택하면 되고, 원하는 차단주파수를 가진 적절한 LC값을 선택하여 스위칭주파수대역에서 무한대의 임피던스를 나타내도록 하면 된다. 다만 3레벨 인버터에서 차단주파수는 스위칭 주파수의 2배가 되므로 LC트랩필터의 차단주파수 값을 스위칭 주파수의 2배인 값이 되도록 LC값을 설정해 주어야 한다. 그림 4와 같이 LC트랩필터 및 LCR필터가 혼합되어 연결된 경우 식(6)과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} V_a &= \frac{1}{C_{VT}} \int i_{CVT} dt + L_f \frac{di_{LVT}}{dt} \\ &+ \frac{1}{C_f} \int i_a dt + R_d i_a \\ \left( \because L_{VT} \frac{di_{LVT}}{dt} &= \frac{1}{C_{VT}} \int i_{CVT} dt \right) \\ V_o &= \frac{1}{C_f} \int i_a dt + R_d i_a \end{aligned} \quad (6)$$

인버터 출력전압 ( $V_a$ )와 부하 출력단 전압 ( $V_o$ )를 이용하여 필터단 전달함수를 구하면 식(7)과 같다.

$$\frac{V_o}{V_a} = \frac{as^3 + bs^2 + C_f R_d s + 1}{cs^4 + ds^3 + es^2 + C_f R_d s + 1} \quad (7)$$

여기서,

$$\begin{aligned} a &= C_f R_d L_{VT} C_{VT}, \quad b = L_{VT} C_{VT}, \quad c = L_f C_f L_{VT} C_{VT}, \\ d &= R_d L_{VT} C_{VT} C_f, \quad e = (L_{VT} C_{VT} + C_f L_{VT} + L_f C_f) \end{aligned}$$

이다.

그림 5는 LC트랩 및 LCR필터를 갖는 NPC멀티레벨 인버터 시스템의 간략화된 블록도를 보여준다.

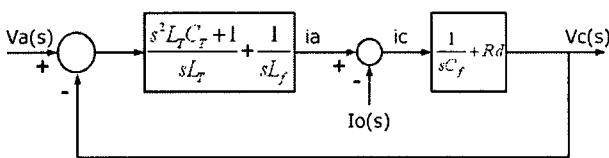


그림 5 인버터 시스템의 제어 블록도  
Fig. 5 Control block diagram of the inverter system

### 2.4 필터 시스템 파라미터 설정

앞절에서 제시된 필터 설계방법을 이용하여 본 논문에서 사용된 필터 회로 파라미터를 구할 수 있다. 논문에서 사용된 회로의 부하단은 저항부하  $16\Omega$ , 인덕터 부하  $6mH$ 가 사용되었으므로 기본주파수  $60Hz$ 에서 식(1)에 의해 부하단 전체 임피던스  $Z_{load}$ 는 약  $16.16\Omega$ 이 된다. 식(3)에 의해 LCR필터의 필터 인덕터의 최대값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \therefore (Z_{L_f} &= 16.16\Omega \times 5\% \approx 0.8\Omega) \\ (L_f &= 0.8 / (2\pi f) \approx 2.1mH) \end{aligned}$$

LCR필터의 차단주파수를  $800Hz$ 로 설정할 경우 필터 커패시터  $C_f$ 는  $\omega_o = 1/\sqrt{LC}$ 에 의해 다음과 같이 결정된다.

$$\therefore C_f = \left( \frac{1}{2\pi f_c} \right)^2 \times \left( \frac{1}{L_f} \right) \approx 19.789\mu F$$

LCR필터의 제동저항값의 설정은 제시된 필터 인덕터와 필터 커패시터 파라미터를 이용하여 식(4)에 제시된 제동비 수식을 이용하여 구할 수 있다. 또한 그림 6에 제시된 주파수 특성 곡선을 이용하여 적절한 값을 선택하면 된다. 본 논문에서는 제동비가 0.2인 경우를 선택하였으므로 제동저항값은 다음과 같다.

$$\therefore R_d = 0.2 \times (2\pi \sqrt{L_f / C_f}) \approx 12.6\Omega$$

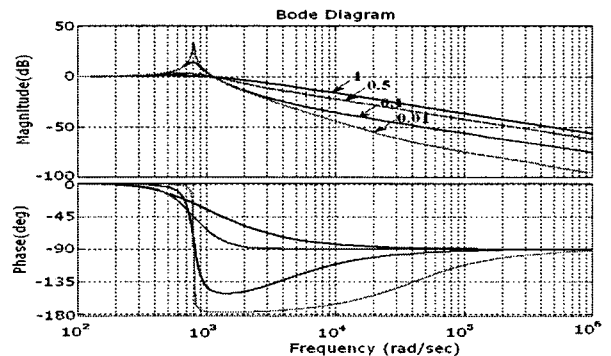


그림 6 제동비에 따른 LCR필터의 주파수 특성  
Fig. 6 Frequency characteristics of the LCR filter by the damping ratio

LC트랩필터의 경우, 스위칭 주파수에 의해 발생하는 부하 출력단 전압고조파를 감소시키기 위해  $Q_l \geq 10$ 의 근사적 기법과  $X_l = X_c$ 의 공진특성을 이용하여 트랩필터의 L, C 파라미터를 구할 수 있다[6]. 또한 LC트랩필터의 필터 파라미터에 따른 주파수 특성을 분석하면 그림 7과 같다.

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. 커패시터

의 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.

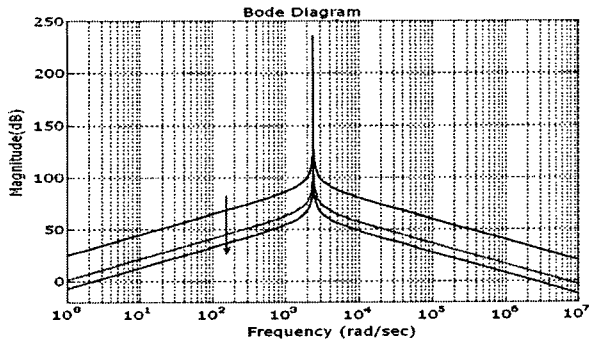


그림 7  $C_{VT}$  값에 따른 LC트랩필터의 주파수 특성

Fig. 7 Frequency characteristics of LC trap filter by value of variable  $C_{VT}$

논문에서 스위칭 주파수는  $2.4kHz$ 이므로 LC트랩필터의 차단주파수는  $4.8kHz$ 로 설정하면 된다. 결과적으로 LCR필터와 LC트랩필터의 파라미터는 다음과 같이 설정되었다.

표 1 시스템 파라미터

Table 1 The system parameter

LCR 필터		LC 트랩필터	
Parameter	Value	Parameter	Value
$L_f$	2 [mH]	$L_{VT}$	2.8 [mH]
$C_f$	20 [ $\mu F$ ]	$C_{VT}$	0.4 [ $\mu F$ ]
$R_d$	13 [ $\Omega$ ]	$f_c$	4.8 [kHz]

표 1에 제시된 필터 파라미터를 이용하여 Pspice로 필터링 특성을 분석하면 그림 8과 같다. 그림에서 보듯이 LCR필터의 차단주파수는  $-3dB$ 인 점에서 약  $829Hz$ 로 설정되었고, LC트랩필터의 차단주파수는 약  $4.8kHz$ 라는 것을 알 수 있다.

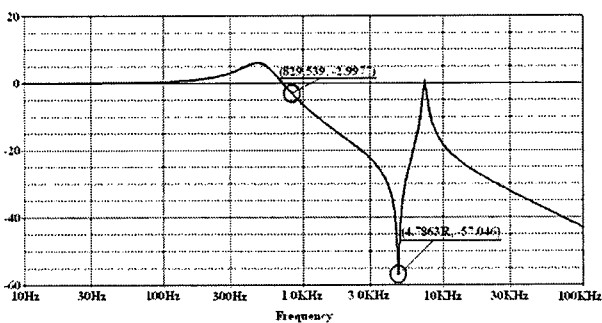


그림 8 LCR/LC트랩필터의 주파수 특성

Fig. 8 Frequency characteristics of the LCR/LC trap filter

### 3. 시뮬레이션 결과

앞절에서 논의된 LCR/LC트랩필터 설계방법을 통해 계산된 필터시스템의 파라미터를 이용하여 Pspice시뮬레이션 회로를 구성 후 그 결과를 검토하였다. 표 2는 시뮬레이션과 실험에 사용된 인버터 시스템의 파라미터를 보여준다.

표 2 인버터 시스템 파라미터

Table 2 The inverter system parameter

Parameter	Value	Parameter	Value
입력 전압	100 [ $V_{dc}$ ]	$R_{Lo}$	16 [ $\Omega$ ]
출력 전압	85 [ $V_{ac}$ ]	$L_{Lo}$	6 [mH]
출력 전류	5 [A]	제어기	TMS320C31

그림 9는 필터가 없는 단상 NPC 3레벨 인버터의 출력파형을 보여준다. 인버터 출력( $V_a$ ), 부하단 출력전압( $V_o$ ) 및 출력전류( $i_o$ )는 많은 고조파를 포함하고 있음을 알 수 있다.

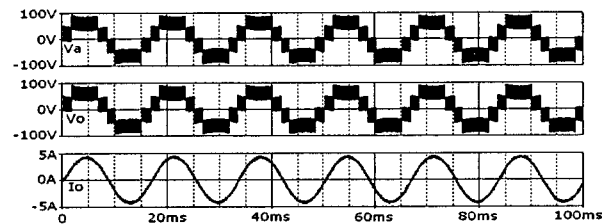


그림 9 필터가 없는 단상 NPC 3레벨 인버터 출력파형

Fig. 9 Single-phase NPC 3-level inverter output waveforms without filter

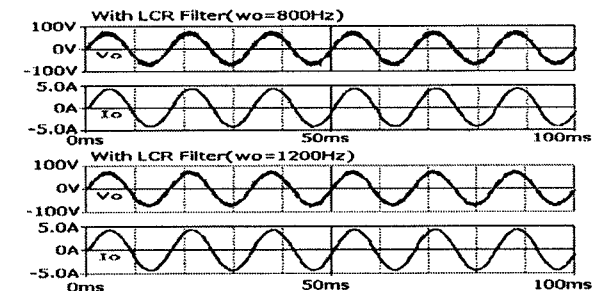


그림 10 차단주파수 가변에 따른 LCR필터의 출력파형

Fig. 10 Output waveforms of LCR filter by variable cut-off frequency

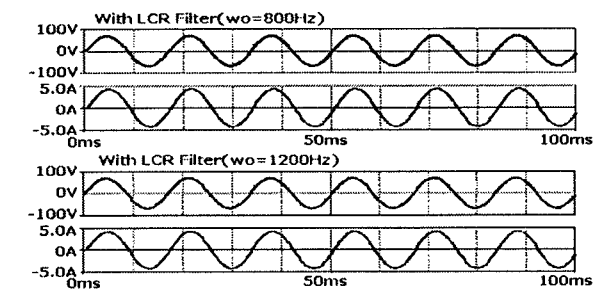


그림 11 차단주파수 가변에 따른 LCR/LC필터의 출력파형

Fig. 11 Output waveforms of LCR/LC filter by variable cut-off frequency

그림 10은 NPC 3레벨 인버터의 출력단에 LCR필터를 설치한 경우, 필터 차단주파수 가변에 따른 부하단 출력전압과 출력전류 파형을 보여준다. 차단주파수를 800Hz에서 1200Hz로 증가시켰을 때 출력파형에서 전압-전류 고조파의 변화는 큰 차이가 없다. 그림 11은 LCR필터와 LC트랩필터를 설치한 경우, 필터의 차단주파수 증가에 따른 부하단 출력전압과 전류 파형을 보여준다. 그림 10의 LCR필터만 설치한 경우에 비해 부하 출력단 전압-전류 고조파가 감소되었다.

그림 12는 차단주파수 가변 및 필터 형태에 따른 LCR필터 커패시터 CR단 유입전류 파형을 보여준다. LCR필터의 인덕터와 커패시터의 공진을 억제하기 위해 사용된 제동저항값이 필터 형태에 따라 감소되어 필터 시스템에서 소비되는 전력이 감소됨을 확인할 수 있다.

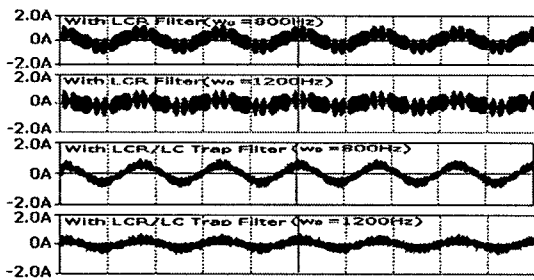


그림 12 차단주파수 가변 및 필터형태에 따른 CR단 전류  
Fig. 12 Current through CR side by variable frequency and filter type [ 10ms/div ]

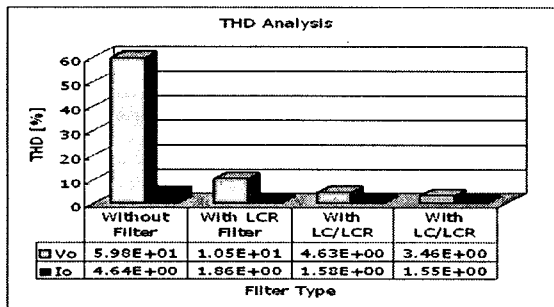


그림 13 필터 형태에 따른  $V_o - I_o$ 의 THD 분석  
Fig. 13 THD analysis of  $V_o - I_o$  by filter type

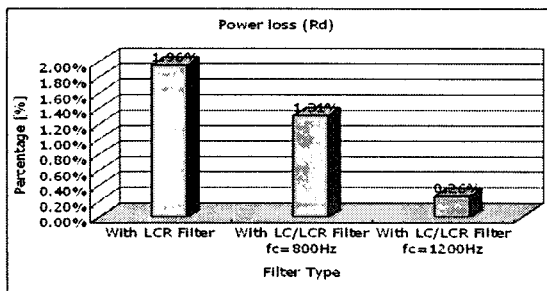


그림 14 제동 저항  $R_d$ 의 소비 전력  
Fig. 14 Power loss of the damping resistor( $R_d$ )

그림 13은 필터 형태에 따른 부하단 출력전압과 출력전류의 THD분석을 보여준다. 필터가 없는 경우에 비해 LCR필

터를 설치한 경우, LCR/LC트랩필터를 설치한 경우가 THD가 현저히 감소되었다. 그림 14는 필터 형태에 따른 [제동저항( $R_d$ )의 소비전력/실효전력]×100 [%]값을 보여준다. LCR/LC트랩필터를 설치하고, LCR필터의 차단주파수를 감소함으로써 필터 시스템의 효율을 증가시킬 수 있다.

#### 4. 실험 결과

그림 15는 필터가 없는 단상 NPC 3레벨 인버터의 출력파형을 보여준다. 시뮬레이션 파형과 동일하게 부하 출력단 전압과 전류는 많은 고조파를 포함하고 있음을 실험결과를 통해 확인할 수 있다. 주회로 스위칭 소자는 IRF740(400V, 10A), Blocking 다이오드는 DSEI30-10A, 입력단 커패시터는 200V-1500 $\mu F$ 를 사용하였다.

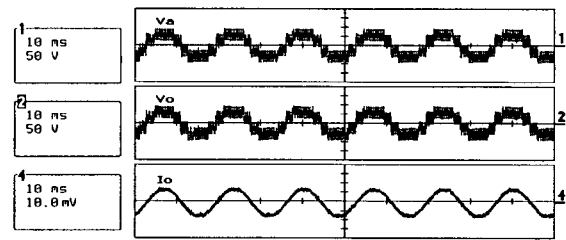


그림 15 필터가 없는 단상 NPC 3레벨 인버터 출력파형  
Fig. 15 Single-phase NPC 3-level inverter output waveforms without filter [  $I_o=5A/div$  ]

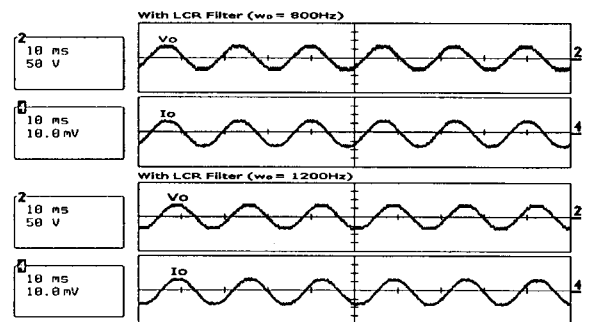


그림 16 차단주파수 가변에 따른 LCR필터의 출력파형  
Fig. 16 Output waveforms of LCR filter by variable cut-off frequency [  $I_o=5A/div$  ]

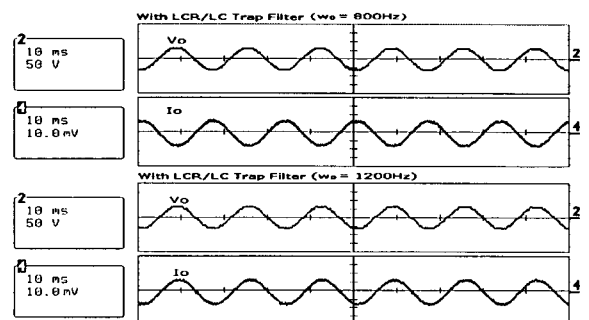


그림 17 차단주파수 가변에 따른 LCR/LC필터의 출력파형  
Fig. 17 Output waveforms of LCR/LC filter by variable cut-off frequency [  $I_o=5A/div$  ]

그림 16은 차단주파수 가변에 따른 LCR필터의 부하 출력단 전압-전류 파형을 보여준다. 출력전압과 전류파형 또한 시물레이션 파형과 유사하게 LCR필터의 차단주파수만을 가변한 경우 고조파 출력파형은 큰 변화가 없다. 그림 17은 LCR/LC트랩필터를 설치한 경우 차단주파수 변경에 따른 출력파형을 보여준다.

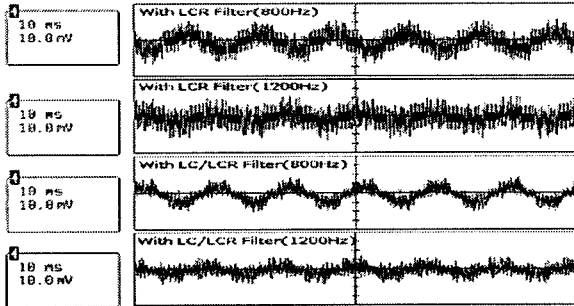


그림 18 차단주파수 가변 및 필터형태에 따른 CR단 전류  
 Fig. 18 Current through CR side by variable frequency and filter type [ 2A/div ]

그림 18은 차단주파수 가변 및 필터 형태에 따라 LCR필터의 CR단으로 유입되는 전류의 출력파형을 보여준다. 논문에서 제안된 것과 같이 LC트랩필터를 추가로 설치하고 차단주파수를 증가함으로써 LCR필터의 CR단 유입전류가 감소되었고, 이를 통해 필터 시스템에서 소비되는 전력을 감소시킬 수 있다. 제안된 LCR/LC트랩필터를 사용함에 의해 부하단 출력전압 및 전류의 고조파가 감소되었으며 스위칭에 의해 발생하는 스위칭 전압 노이즈 또한 감소되었음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문은 낮은 스위칭 주파수로 구동되는 단상 NPC 3레벨 인버터의 LCR/LC트랩필터 설계방법을 제시하였고, 이러한 설계에 따른 차단주파수 변화에 따라 필터 시스템 효율증가 방법을 제시하였다. 또한, 제시된 방법에 따른 각 필터 파라미터의 설계예시를 보였으며 설계된 파라미터값을 시물레이션과 실험에 실제 적용하였다. LC트랩필터를 사용하여 적절한 LCR필터의 파라미터 값을 설정함으로써 부하 출력단 전압 및 전류 고조파를 현저히 감소시킬 수 있었다. 또한 출력전압 THD는 필터를 사용하지 않은 경우 약 60%, LCR필터를 사용한 경우 8.6%, LC/LCR필터를 사용한 경우 3.5%이며 출력전류 THD는 필터를 사용하지 않은 경우 약 25%, LCR필터를 사용한 경우 4.2%, LC/LCR필터를 사용한 경우 3.4%로 감소됨을 확인하였다. 그리고 필터시스템에서 소비되는 전력을 감소시켜 필터시스템의 효율을 증가시킬 수 있음을 확인하였다. 제시된 설계방법은 시물레이션과 실험 결과를 통해 입증하였다.

감사의 글

이 논문은 2006학년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

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] 최경진, 전태원, 이홍희, 노의철, 김홍근, "PWM인버터의 출력 LC필터에 의한 공진전압 억제 기법", 전력전자학술대회 논문집(1), 2004, pp:415~419.
- [4] Chen Xiyiu, Yan Bin, Gao Yu, "The Engineering design and optimization of inverter output RLC filter in AC motor drive system", IECON 02, Vol. 1, 5-8 Nov. 2002 pp:175 - 180.
- [5] 김수홍, 김운호, 이재학, "고조파 저감을 위한 단상 NPC 멀티레벨 PWM 인버터의 LC트랩 필터 설계" 전력전자학회 논문지 제11권 제4호, 2006. 8, pp. 313 ~ 320
- [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 제어계측공학과 졸업. 2004년 중앙대 전자전기공학부 대학원 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자전기공학부 박사과정.



김 윤 호 (金倫鎬)

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