

# 저역통과 LC필터를 가진 전브리지형 인버터의 특성에 관하여

박진길\* 정주윤\* 남택근\* 노영오\*\*

\*:한국해양대학교 \*\*:목포해양대학

## On the Characteristics of a Full Bridge Inverter with Low Pass LC Filter

J.G. Park\* J.Y. Chung\* T.K. Nam\* Y.O. Roh\*\*

\*:KOREA MARITIME UNIVERSITY \*\*: MOKPO MARITIME UNIVERSITY

### ABSTRACT

In this paper, the dynamic characteristics of the existing filter is analyzed to obtain a sinewave current from full bridge inverter with low pass LC filter. The Chevshev's filter, which is most typical low pass filter, is adopted for this investigation and driven controller of full bridge inverter used EV8097BH one-chip controller.

### 1 서론

본 연구에서는 전브리지형 인버터와 저역통과 LC필터를 이용하여 가변주파수에도 비교적 깨끗한 정현파 전류를 얻기 위하여 기존의 필터특성을 분석실험하였다. 기존의 전압형 인버터를 이용하여 가변주파수의 톱니파를 발생시켰고, 인버터의 부하로서 이용될 LC필터는 3차계의 저역통과 LC필터를 구성하여 사용하였다.

LC 필터의 계수들이 변경될 경우 전류의 크기와 파형이 바뀌게 된다. 본 연구에서는 필터계수의 변화와 브리지형 인버터에서 주기와 전력이용률을 조절하여 가변주파수에서 필요한 전류의 크기와 파형을 얻고자 하였다. 검토대상이 된 저역통과 LC필터로는 대표적인 Butterworth필터, Chebyshev필터 Bessel필터들로 그 특성을 분석하였고, 개량된 LC필터를 제안하였다. 기존의 필터와 새로 제안된 필터의 특성은 주로 컴퓨터 시뮬레이션으로 분석하였고 제안된 필터를 기준으로 LC필터를 제작하여 실험하였다.

### 2 저역통과 LC필터

본 연구에서는 브리지 인버터(Bridge Inverter)에서 생기는 톱니파형의 전압으로부터 필터를 거쳐 정현파의 전류를 얻기위해서 저역통과 LC필터를 사용하였고 구성요소에 있어서는 주파수의 영향을 작게 받는 3차계로 구성하였다. 그림 Fig. 2.1은 RLC요소를 이용한 3차계의 기준 저역통과 필터에 대한 그림이다. 여기에서 Kirchoff 제 1, 2 법칙으로부터  $i_3$ 의 관계식을 구하고 이를 라플라스변환하면

$$\frac{I_3(s)}{V_1(s)} = \frac{(1/L_1L_3C_2)}{S^3 + aS^2 + \beta S + \gamma} \quad (2.1)$$

여기에서, 
$$a = \frac{R_qL_1 + R_pL_3}{L_1L_3} \quad (2.2a)$$

$$\beta = \frac{R_pR_qC_2 + L_1 + L_3}{L_1L_3C_2} \quad (2.2b)$$

$$\gamma = \frac{R_p + R_q}{L_1L_3C_2} \quad (2.2c)$$

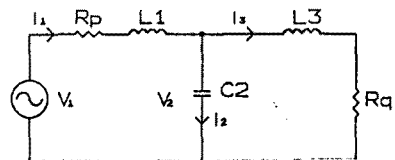


Fig. 2.1 Normalized 3rd Order Low Pass LC Filter

식(2.1)의 해는  $a, \beta, \gamma$ 의 값에 따라 각각의 근을 구할 수 있고 본 연구에서는 1 개의 실근과 2개의 허근을 얻을 수 있도록 각 요소의 크기를 조정 하였다.

### 3 전브리지형 인버터와 LC필터의 전류 파형 분석

#### 3.1 전브리지형 인버터

그림3.1은 전브리지형 인버터의 개략도이다. EV8097BH 컨트롤러의 HSO출력신호를 게이트 트리거링 신호로 IGBT1과 IGBT4가 통전할 경우에는 부하의 a단에서 b단으로 전류가 흐르며 IGBT 3와 IGBT2가 통전할 경우에는 역으로 b단에서 a단으로 전류가 흐르므로 교류를 얻게 된다.

그림 3.2는 각 IGBT의 통전과 차단시간에 대한 그림이다. IGBT1, IGBT4가 통전되면 양단에  $V_s$ 의 전압이 걸리고 반주기 후 IGBT2, IGBT3가 통전되면 부하의 양단에 그림과 같이  $-V_s$ 의 역전압이 걸린다. 인버터의 점화순서 시기 및 부하전압은 그림 3.2에서와 같이 컴퓨터로 적절히 조절함으로써 주파수를 제어함과 동시에 전력이용률을 임의로 변경할 수 있다.

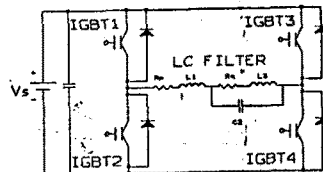


Fig.3.1 Full-Bridge Inverter with a Low Pass LC Filter

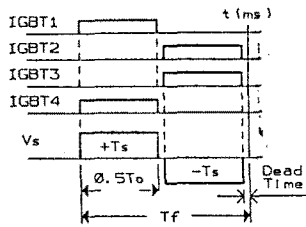


Fig. 3.2 Time Chart of Triggering Signal for IGBT's in Fig.2.2

### 3.2 LC 필터회로의 특성 해석

브리지형 인버터에서 나오는 전압은 그림 3.2에서 볼 수 있는 바와 같이 한주기당 +Vs 와 -Vs가 번갈아 필터에 가해지며 전압이용률(Utilty Factor  $T_u = T_o/T_f$ )도 임의로 조정하게 됨으로 이 때 마다 필터에 흐르는 전류파형을 구하는 일은 쉽지 않다. 이 때 LC 필터에 주어지는 공급전압  $V_1(s)$ 는 다음식과 같이 주어진다.

$$V_1(s) = V_s ( e^{-As} - e^{-Bs} - e^{-Cs} + e^{-Ds} ) \quad (3.1)$$

$$\text{여기에서, } A = kT_f \quad (3.2a)$$

$$B = T_f ( k + 0.5T_u ) \quad (3.2b)$$

$$C = T_f ( k + 0.5 ) \quad (3.2c)$$

$$D = T_f ( k + 0.5 ( 1 + T_u ) ) \quad (3.2d)$$

$$k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

식(2.2)와 식(3.1)로 부터 필터에 흐르는 전류  $i_3(s)$ 와 공급전압  $V_1(s)$ 와의 관계식을 구하면 다음식과 같다.

$$i_3(s) = \frac{(1/L_1 L_2 C) V_s}{s^3 + \alpha s^2 + \beta s + \gamma} ( e^{-As} - e^{-Bs} - e^{-Cs} + e^{-Ds} ) \quad (3.3)$$

식(3.3)에서 알수있는 바와 같이 필터에 흐르는 전류  $i_3(t)$ 에 영향을 가장 많이 미치는 것은  $\alpha, \beta, \gamma$ 의 값이며 필터의 종류에 따라 이 값이 정해지고 따라서 특성방정식의 근이 정해지며 과도특성등이 변한다. 다음으로  $i_3(t)$ 의 전류파형에 관계하는 것은 식(3-2)에서의 A, B, C, D의 값들로 주파수 및 전압이용률( $T_u$ )에 의하여 결정되는 값으로 전류의 진폭과 파형에 큰 영향을 미치게 한다. 식(3.3)의 해를 구하는 것은 쉽지 않으므로 컴퓨터로 시뮬레이션하여 각 필터마다 그 특성을 알아 보았다. 유도전동기의 가변속 구동을 고려하여  $R_p=0.0[\Omega]$ ,  $R_2=40.0[\Omega]$ ,  $\omega=600[\text{rad/sec}](95\text{Hz})$ 로 하고 각 필터에 따라 요소들의 크기를 결정하였다. 전류파형은 컴퓨터의 시뮬레이션 결과로 분석하며 시뮬레이션에서 파형전류의 크기는  $V_1/(R_p+R_q)$ 로 무차원화한 것이다.

### 3.3 유도전동기용 저역통과 LC필터의 설계

3.2절의 방법에 의하여 대표적인 저역통과 LC필터인 Butterworth, Chebyshev 그리고 Bessel 필터에 대하여 시뮬레이션을 통해 분석해 본 결과 Chebyshev 필터는 전류진폭의 크기에서는 가장 바람직하나 낮은 주파수에서는 큰 리플이 파형에 나타나므로 문제가 있고, Bessel 필터는 가장 안정된 파형을 얻을 수 있으나 진폭이 작은 것이 큰 결점이었다. 따라서 큰 진폭에 안정된 파형을 얻기 위하여서는 새로운 LC필터의 설계가 필요하였으며, 여기서는 LC필터의 각 요소의 크기에 따라 특성근의 배치가 변함으로 속응성과 안정성등을 고려하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 파형을 분석하였다. 3차제의 LC 필터회로 에서  $R_p=0.0[\Omega]$ ,  $R_q=40[\Omega]$ ,  $L_1=280[\text{mH}]$ ,  $L_3=61[\text{mH}]$ ,  $C_2=48[\mu\text{F}]$ 의 크기를 가질 때 대역폭은  $400[\text{rad/sec}]$  이며,

$i_3(s)/V_1(s)$ 의 전달함수는 아래식과 같다. 편의상 이 LC 필터를 Proposed Filter로 칭한다.

$$\frac{i_3(s)}{V_1(s)} = \frac{1219750}{s^3 + 656s^2 + 415935s + 48790000} \quad (3.4)$$

식 (3.4)에 대한 계단응답은 식 (3.5)과 같다

$$i_3(t) = 4.45 - 5e^{-300t} + 3.93e^{-630t} \cos(360t + 82^\circ) \quad (3.5)$$

아래 그림들에서 알 수 있는 바와 같이 저역통과 Proposed LC필터와 전브리치 인버터에 의한  $i_3(t)$ 의 파형은 Bessel 필터의 안정성과 Chebyshev 필터의 속응성 및 큰 진폭의 장점을 살리고저 하였으며 낮은 주파수에서 리플의 크기를 다소 감소시켰다. 그림 3.3은  $T_u=50\%$ 에서 10Hz, 50Hz, 90Hz에서의  $i_3(t)$ 의 파형들이다. 10Hz에서는 작은 리플이 간존하나 50Hz, 90Hz에서는 정현파이며, 주파수가 높을수록 진폭이 줄어들음을 알 수 있다. 그림 3.4는 20Hz, 50Hz, 80Hz에서  $T_u=20\%$ ,  $T_u=50\%$ ,  $T_u=80\%$ 로 변경하였을 때의  $i_3(t)$ 의 파형들이다. 20Hz에서는  $T_u$ 가 작을수록 정현파에 가깝고 커지면 리플이 내재하는 사다리꼴 파형이 된다. 50Hz와 80Hz에서는  $T_u$ 에 관계없이 정현파가 되며 주파수가 클수록 진폭이 줄어든다.

위에서 살펴본 바와 같이 저역통과 LC필터에서는 각주파수대에서  $T_u$ 를 적절히 조절함으로써 필터에 흐르는 전류의 크기와 파형을 조정할 수 있음을 알 수 있다.

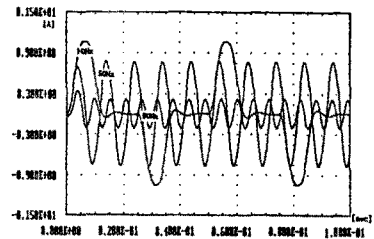


Fig. 3.3 Current Waveform for Proposed Filter at  $T_u=50\%$  of 10Hz, 50Hz and 90Hz

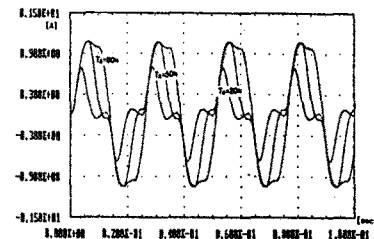


Fig. 3.4a Current Waveforms for Proposed Filter at 20Hz of  $T_u=20\%$ ,  $T_u=50\%$  and  $T_u=80\%$

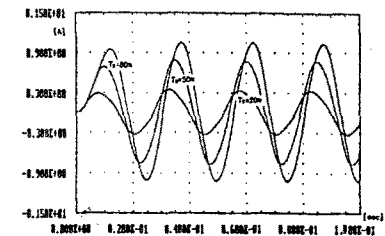


Fig. 3.4b Current Waveforms for Proposed Filter at 50Hz of  $T_u=20\%$ ,  $T_u=50\%$  and  $T_u=80\%$

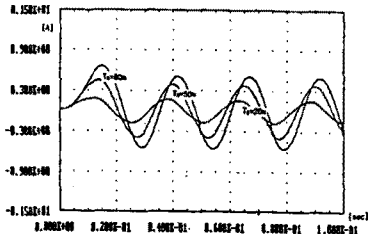


Fig. 3.4c Current Waveforms for Proposed Filter at 80Hz of  $T_a=20\%$ ,  $T_a=50\%$  and  $T_a=80\%$

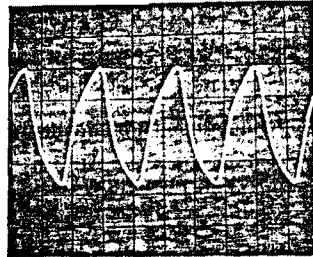


Fig. 4.3 Real Current Waveforms for Proposed Filter at 80Hz of  $T_a=90\%$

## 4 실험 및 결과분석

### 4.1 각 주파수에서의 전류 파형 분석

3.3절에서 설계한 Proposed 필터를 기준으로  $R_p=0.6[\Omega]$ ,  $L_1=250.0[mH]$ ,  $C_3=50.0[\mu F]$ ,  $L_2=65[mH]$ ,  $R_4=43[\Omega]$  되도록 필터의 LCR요소들의 크기를 정하였다. 원래 LC필터를 설계할 때 역폭이  $400[\text{rad/sec}]$ 이나, 필터의 제작 후에는 이들 요소들의 크기를 변동 시키기는 어려우므로 시뮬레이션 결과를 보고 각 주파수에서 좋은 파형들을 선택하여 실험에 적용하였다.

그림 4.1은  $f=20\text{Hz}$ , 전력이용률  $T_a=30\%$ 일 때의  $i_3(t)$ 의 파형으로 모나지 않은 안정된 삼각파에 가깝다. 그림 4.2는  $f=50\text{Hz}$ , 전력이용률  $T_a=50\%$ 일 때의  $i_3(t)$ 의 파형으로 삼각파와 정현파의 중간형태이나, 주파수가 높을수록 정현파에 가까워진다.

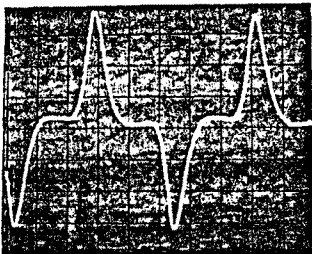


Fig. 4.1 Real Current Waveforms for Proposed Filter at 20Hz of  $T_a=30\%$

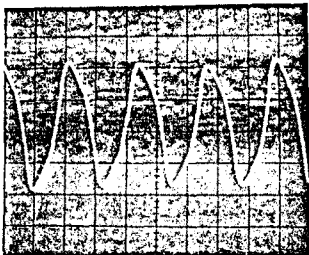


Fig. 4.2 Real Current Waveforms for Proposed Filter at 50Hz of  $T_a=50\%$

그림 4.3은  $f=80\text{Hz}$ , 전력이용률  $T_a=90\%$ 일 때의 파형으로 약간 찌그러진 정현파이나 낮은 차수의 고조파가 포함되지 않는 것을 알 수 있다.

실험에서 전류의 파형은 대체로 시뮬레이션 결과와 유사하나 전류의 크기는 수치계산 결과 보다는 크게 변동하지 않음을 발견하였다. 이는 전기기기의 비선형성에도 기인하지만, 유도전동기는 회전시 회전자의 저항이 슬립에 따라 역비례하여 변동하는 것이 주된 원인으로 생각된다. 또한 30Hz이하에서 전력이용률  $T_a=100\%$ 인 경우에는 고조파의 리플이 나타남을 확인하였다.

## 5 결론

EV8097BH 컨트롤러의 출력으로 전브리지형 인버터에 톱니파형의 전압을 인가시키고 저역통과 LC필터를 부하로서 구성하여 부하에 흐르는 전류파형을 컴퓨터 시뮬레이션 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전브리지형 인버터에 LC필터의 부하를 걸 경우 전류는 전주파수영역에서 비교적 양호한 정현파가 되었다.
2. 전력이용률( $T_a$ )을 조정하면 전류의 크기, 파형을 전주파수영역에서 조정가능하며 리플도 제거할 수 있었다.

## 參 考 文 獻

1. 강민구, 문세홍, "18096A 자동제어 실습", 인텔제어연구회, 1993
2. 윤병도, 정재륜 공저, "최신 전력전자 공학", 生能出版社, 1991
3. 김윤호 외 3인, "스너버를 고려한 IGBT의 병렬운전 특성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 1993. 7
4. 김영철 외 4인, "저잡음 PWM 인버터를 위한 최적 패턴에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 1992. 7.
5. 조본구, 진명철, 이광원, "고조파를 억제하는 가변 주파수 정현파 PWM의 실시간 구현", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 1992. 7. 23
7. Arthur B. Williams, Fred J. Taylor, "Electronic Filter Design Hand-book", McGraw-Hill, 1990.
8. 노영오, "전브리지 인버터를 이용한 단상 유도전동기의 가변속 구동 시스템에 관한 연구", 한국해양대학교 대학원 논문집, 1994