

저역통과 LC 필터를 이용한 PWM 가변속 3상 유도전동기의 전류파형 개선

남택근, 박진길, 김필재*
한국해양대학교 기관공학부

The Improvement of Current Waveforms for a PWM Variable Speed 3Φ Induction Motor with the Low Pass LC Filter

Nam Taek-Kun, Park Jin- Kil, Kim Pil-Jae*
Division of Marine Engineering, Korea Maritime University

An AC induction motor of constant speed characteristics has been widely used as power source because of simple structure and low maintenance cost in industrial field.

The variable frequency AC source with a conventional inverter which is composed of power semi-conductors and drive systems contains much noises in sine wave current due to high speed switching of direct current.

In this paper, the low pass LC filter for a variable speed induction motor driven by a full bridge inverter is introduced to solve EMI problem originated by much noise current. The modified LC filter based on the 3rd order Butterworth LC filter is used for the computer simulations and real experiments. The characteristics of proposed LC filter are investigated through FFT analysis.

1. 서 론

최근 AC모터는 그 구조가 간단하고 보수가 용이하며 내구성을 특징으로 산업계에 널리 쓰이고 있다. 각종 전력변환소자(SCR, GTO, TR, 전력용 MOSFET)들의 응용기술의 진보와 마이크로 프로세서의 발달, 주변회로소자의 개발, 디지털제어기술 및 정보처리 기술의 현저한 진보 등은 기술적, 경제적인 이유로 곤란했던 AC모터의 주파수 및 토크제어를 가능하게 하였고 보다 용이하게 정현파 전류를 얻기 위한 PWM(Pulse Width Modulation)에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다.

일반적으로 사용되어지는 인버터를 이용한 PWM방식의 전원 변환에는 구형파의 특성으로 인해 출력전원에도 많은 잡음(Noise)이 발생하게 되어 모터의 효율적인 운전에 있어서 문제점으로 등장하게 된다. 이 문제점을 해결하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 각 파라메타와 전력이용률에 의한 영향을 고려하여 3상 유도전동기에 적합한 저역통과 LC필터를 설계하였고 실제 모터를 구동하여 정현파에 가까운 양호한 교류전원을 얻을 수 있는지 알아보았다.

2. 전동기용 저역 통과 LC필터 해석 및 설계

본 연구에서는 그림 1과 같이 3차계의 저역통과 LC필터를 구성하여 실험하였다.

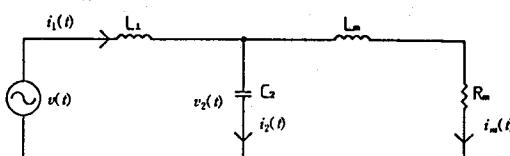


Fig.1 Circuit Configuration of Low Pass LC Filter

그림 1에서 LC필터가 없는 경우를 본다면, Kirchhoff 제 2법칙으로부터

$$v(t) = L_m \frac{di_m}{dt} + R_m i_m(t) \quad (1)$$

식 (1)을 라플라스 변환하면

$$V(s) = (SL_m + R_m)I_m(s) \quad (2)$$

식 (2)로부터 $I_m(s)/V(s)$ 의 관계식을 구할 수 있다.

$$\frac{I_m(s)}{V(s)} = \frac{1.0}{A_{11}s + A_{10}} \quad (3)$$

여기에서,

$$A_{11} = L_m, \quad A_{10} = R_m$$

그림 1에서 3차계 필터를 사용한 경우에 대해서는 $I_m(s)/V(s)$ 의 관계식이 식 (4)로 주어진다.

$$\frac{I_m(s)}{V(s)} = \frac{1.0}{A_{33}s^3 + A_{32}s^2 + A_{31}s + A_{30}} \quad (4)$$

여기에서,

$$A_{33} = L_1 C_2 L_m, \quad A_{32} = L_1 C_2 R_m, \quad A_{31} = L_1 + L_m, \quad A_{30} = R_m$$

필터를 사용하지 않은 경우에 모터에 흐르는 전류 $I_m(s)$ 와 직류 전원전압 $V(s)$ 의 관계식을 구하면 식 (5)와 같다.

$$I_m(s) = \frac{V_s}{S} \frac{1.0}{(A_{11}s + A_{10})} (e^{-as}) \quad (5)$$

단,

$$e^{-as} = (e^{-A_1 s} - e^{-B_1 s} + e^{-A_2 s} - e^{-B_2 s} + e^{-A_3 s} - e^{-B_3 s} + e^{-A_4 s} - e^{-B_4 s} - e^{-A_5 s} + e^{-B_5 s} - e^{-C_1 s} + e^{-D_1 s} - e^{-C_2 s} + e^{-D_2 s} - e^{-C_3 s} + e^{-D_3 s} - e^{-C_4 s} + e^{-D_4 s} - e^{-C_5 s} + e^{-D_5 s})$$

한편, 3차계 필터에 흐르는 전류 $I_m(s)$ 와 직류 전원전압 $V(s)$ 의 관계식을 구하면 식 (6)과 같다.

$$I_m(s) = \frac{V_s}{S} \frac{1.0}{(A_{33}s^3 + A_{32}s^2 + A_{31}s + A_{30})} (e^{-as}) \quad (6)$$

식 (5)~(6)에서 알 수 있는 바와 같이 전동기에 흐르는 전류 $I_m(s)$ 의 파형에 영향을 가장 많이 미치는 것은 C_2 와 L_1 에 의하여 결정되는 특성방정식의 각 파라메타의 값이며 이 값들은 필터의 종류에 따라 달라진다. 필터설계에 있어서 각 계수 값은 표준 3차

Butterworth필터를 참고로 하였고 실제 모터를 구동시키기 위한 개정필터의 계수 값은 각 주파수에서 Try and error방법으로 컴퓨터시뮬레이션을 통하여 구하였다.

3. 실험장치

그림 2는 전제적인 실험장치를 나타내고 있다. 실험장치는 AC전원의 전류전환부, 인버터, LC필터, IGBT 드라이브, 원칩 마이크로프로세서, PC등으로 이루어져 있다. 구동 대상인 3상유도전동기의 결선은 Δ (delta) 결선 방식이 아니고 각 상을 독립적으로 분리시켜 3상을 구성하고 있다. 각 상을 완전하게 독립시킴으로써 Δ (delta) 결선시 발생하는 각 상간의 간섭을 방지할 수 있는 장점이 있다.

시스템의 구동은 먼저 통신 프로그램에 의해서 원칩마이크로프로세서와 PC간의 통신이 이루어지게 되고 PC상에서 원하는 주파수를 입력하여 20Hz ~ 80Hz까지 주파수를 가변하면서 모터를 구동할 수 있다.

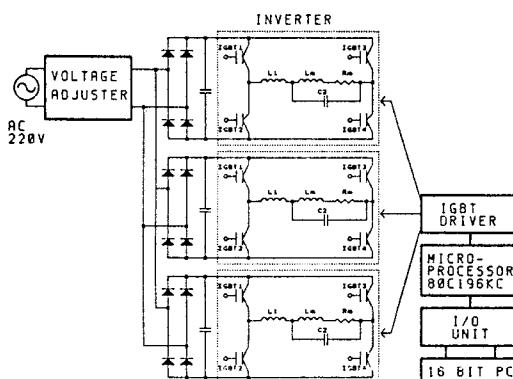


Fig.2 Schematic Diagram of Experimental Equipments

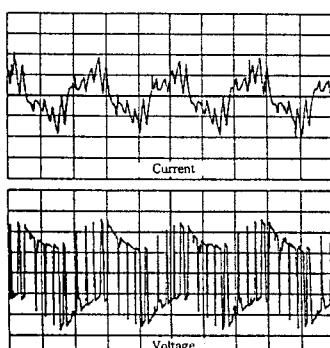


Fig.3 Current and Voltage Waveforms of the Induction Motor without LC Filter at 20 Hz
(I:700mA/div,20ms/div || V:45V/div,20ms/div)

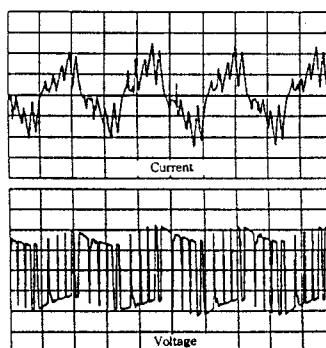


Fig.4 Current and Voltage Waveforms of the Induction Motor without LC Filter at 50 Hz
(I:225mA/div,10ms/div || V:50V/div,10ms/div)

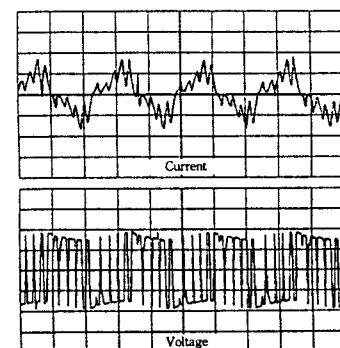


Fig.5 Current and Voltage Waveforms of the Induction Motor without LC Filter at 80 Hz
(I:225mA/div, 5ms/div || V:50V/div, 5ms/div)

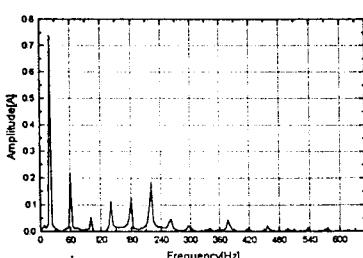


Fig.3.1 FFT Analysis of Current Wave in Fig.3 Fig.4.1 FFT Analysis of Current Wave in Fig.4 Fig.5.1 FFT Analysis of Current Wave in Fig.5

4. 필터를 적용한 3상 유도 전동기의 구동

실험에 있어서는 필터를 사용하지 않고 인버터의 출려만으로 모터를 구동시켜 모터의 전류, 전압파형은 확인한 후 3차계 LC필터를 적용시켜 모터를 구동하였을 때의 전류, 전압파형을 관측하고 뷔너닝 전·후의 파형을 비교, 분석하는 한편 FFT분석을 통하여 LC필터의 노이즈 제거효과를 살펴보았다.

4.1 LC필터를 사용하지 않은 경우

그림 3 ~ 그림 5는 모터 축에 필터를 부착하지 않은 상태에서 모터구동시의 전류, 전압파형을 나타내고 있다. 전압파형은 구형파의 형태가 그대로 나타나고 있으며, 전류크기는 주파수가 높아짐에 따라 줄어들을 알 수 있다.

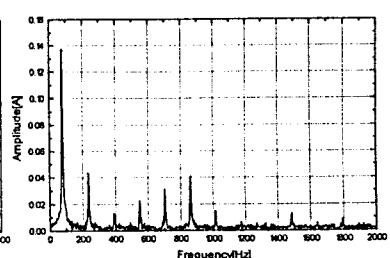
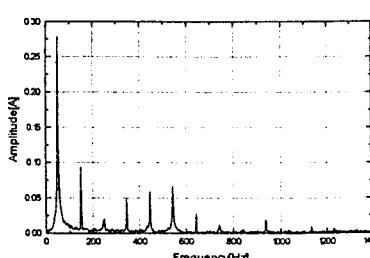
그림 3.1 ~ 그림 5.1은 LC 필터를 부착하지 않고 모터를 구동하였을 때의 전류파형을 FFT분석한 결과이다. 각 주파수대에서 3차, 7차, 9차 고조파가 두드러지게 나타나고 있다.

4.2 3차계의 필터를 사용한 경우

각 주파수에 따른 3차계의 LC필터를 설계하여 실제로 모터를 구동하여 전류, 전압 파형을 관측하고 여기에서 얻은 전류파형을 FFT분석해 보았다. 20Hz ~ 80Hz의 주파수 범위에서 인버터의 DC회로전압은 80 [V] 이고 각 주파수에서의 파라메타값은 다음과 같다.

- 가) 20Hz : $L_1 = 270mH$, $C_2 = 110\mu F$
- 나) 50Hz : $L_1 = 80mH$, $C_2 = 40\mu F$
- 다) 80Hz : $L_1 = 40mH$, $C_2 = 26\mu F$

그림 6 ~ 그림 8은 위의 가), 나), 다)의 파라메타값으로 설계된 3차계의 LC 필터를 적용하여 모터를 구동하였을 때의 전류, 전압파형이고 그림 6.1 ~ 그림 8.1은 실험에서 얻은 전류파형을 FFT분석한 결과이다.



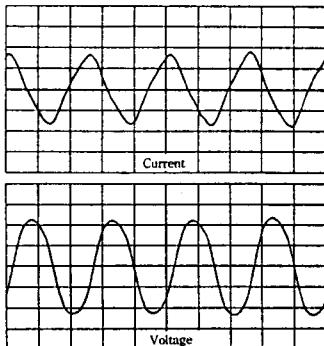


Fig.6 Current and Voltage Waveforms of the Induction Motor with 3rd order LC Filter at 20 Hz
(I:350mA/div,20ms/div || V:20V/div,20ms/div)

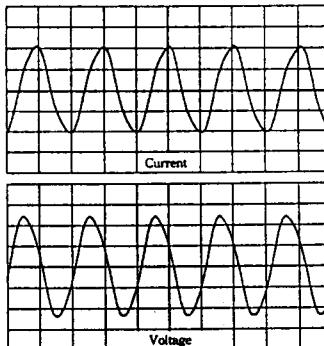


Fig.7 Current and Voltage Waveforms of the Induction Motor with 3rd order LC Filter at 50 Hz
(I:250mA/div,10ms/div || V:45V/div,10ms/div)

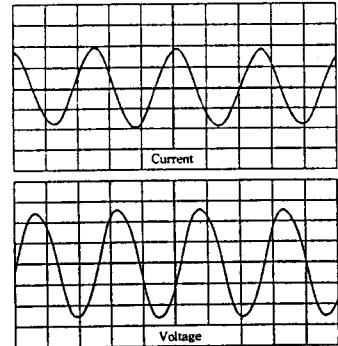


Fig.8 Current and Voltage Waveforms of the Induction Motor with 3rd order LC Filter at 80 Hz
(I:200mA/div, 5ms/div || V:50V/div, 5ms/div)

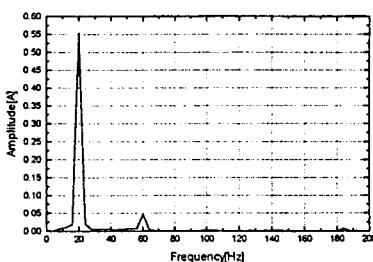


Fig.6.1 FFT Analysis of Current Wave in Fig.6

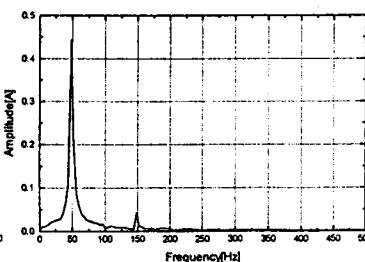


Fig.7.1 FFT Analysis of Current Wave in Fig.7

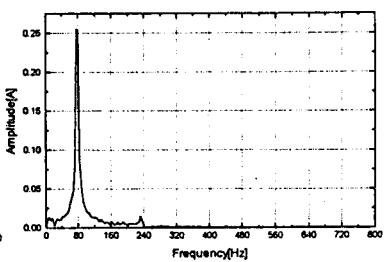


Fig.8.1 FFT Analysis of Current Wave in Fig.8

20Hz에서는 약간의 삼각파를 나타내는 과정이나 전체적으로는 유사한 정현파의 형태이다. 50Hz에서도 미소한 과정의 왜곡현상을 나타내기는 하지만 정현파의 형태를 취하고 있다. 80Hz에서의 과정은 정현파에 대단히 극점한 결과를 얻을 수 있고 주파수가 높은 영역에서의 과정특성이 주파수가 낮은 영역에 비해 좋아짐을 알 수 있다. 위의 실험에서의 전류파형에 대한 FFT분석결과를 살펴보면 제 3고조파가 미약하게 나타나고 있으나 전반적으로 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

5. 결 론

전브리지 인버터로 저역통과 LC필터가 부착된 AC전동기를 구동 시켰을 때 전동기에 흐르는 전류파형을 살펴보았다. 시뮬레이션 결과와 실제적으로 전동기를 구동하면서 얻은 실험결과를 비교분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 전동기의 결선에 있어서 각 상을 독립적으로 분리시켜 실제 구동하였으며 장래 실제적인 속도 혹은 위치제어시 용이한 방법으로 제이가 가능하는 확인하였다.
2. 시뮬레이션과 실제 실험에서 1사이클당 10분주의 적은 분주수로도 LC 필터를 이용하여 양호한 정현파를 얻을 수 있었다.

정규화된 편리계수값을 기준으로 주파수대에 적합한 필터를 설계하여 모터에 응용함으로써 양호한 전류파형을 얻을 수 있었다. 본 연구에서는 20Hz~80Hz의 주파수영역에서 실험을 행하였지만 같은 실험방법으로 20Hz아래 범위에서는 LC계수값과 분주수를 높이고 80Hz이상의 영역에서는 LC계수값과 분주수를 줄여 실험을 행한 경우 좋은 결과를 얻을 수 있으리라 생각한다.

참 고 문 헌

1. 노영오, “전브리지 인버터를 이용한 단상유도전동기의 가변속구동시스템에 관한 연구”, 한국해양대학교 대학원 논문집, 1994.
2. P.C.Krause, “Analysis of Electric Machinery”, McGraw-Hill.
3. Peter Vas, “Vector Control of AC Machines”, CLARENDRON PRESS OXFORD.
4. Vincent Del Tore, “BASIC ELECTRIC MACHINES”, 1990, Prentice-Hall.
5. Ludger Szklarski와 2인, “Electronic Drive Systems Dynamics”, Elsvier.
6. B.K.Bose, “Power Electronics and AC Drives”, Prentice-Hall, 1987.
7. Arthur B.Williams, Fred J.Taylor, “Electronic Filter Design Hand-book”, McGraw-Hill, 1990.