전브리지형 인버터로 구동되는 유도전동기의 LC필터에 의한 전류의 파형 개선

정 주 윤[1] , 박 진 길[2]

The Current Waveform Improvement of an Induction Motor with LC Filter Driven by a Full Bridge Inverter

Ju-Yoon Chung , Jin-Gil Park

ABSTRACT

Recently, the AC motor which has a simple structure and needs less maintenance has become to be used frequently as a servomotor for position [1]control in the automatic control field.

This paper concerns with a method to improve the current and power waveforms of the variable speed 3Φ AC motor system driven by the single-pulse PWM, and the current waveforms and 3Φ power waveforms are analyzed by FFT under various running conditions. The system is composed of a digital bridge inverter, low pass LC filter, and 3Φ AC motor.

By the performance anaysis through the computer simulations and experiments, the following results have been obtained.

1. AC source of pseudo sine waveform can be obtained from the modulated alternating square voltage by means of the well designed LC filter.

1) 한국해양대학교 기관공학과 박사과정 전기제어 전공
2) 한국해양대학교 기관공학과 교수

2. It is confirmed that current waveforms and 3Φ power waveforms can be improved by utilizing the high order low pass LC filter than that of lower order. Especially, current waveforms and 3Φ power waveforms can be much improved at low frequency domain.

3. 3Φ power waveforms have a smaller ripple and bigger power by utilizing the high order low pass LC filter than that of lower order. Also, the running conditon of 3Φ AC motor is good at low frequency domain.

4. The amplitude of the current waveforms and 3Φ power waveforms can be controlled by adjusting power utilizing ratio(T_s). A small ripple at zero level appears at the small T_s of low frequency domain.

1. 서 론

교류전동기는 직류전동기에 비해 기계적인 구조가 간단하고 고장시 보수가 용이하며 또한 가격이 저렴하다는 등의 장점 때문에 산업용 동력원으로 널리 사용되고 있다. 최근 반도체 전력변환장치, 마이크로프로세서를 이용한 제어기의 개발로 인한 가변속전동기에 대한 제어성능 및 효율의 향상, 하드웨어의 간략화 등으로 보다 효과적인 제어를 수행할 수 있게 되었다. 이로 인하여 유도전동기의 가변속운전이 용이하게 됨으로써 산업계에 널리 이용되고 있으며, 보다 용이하게 정현파 전압과 전류를 얻기위한 PWM(Pulse Width Modulation) 기술에 대한 연구가 계속되고 있다.

가변속 유도전동기를 제어하기 위하여 직류-교류 전력변환 장치인 반도체전력소자를 이용한 PWM 인버터가 주로 사용되는데 이는 출력단의 전압 및 주파수를 제어할 수 있고, 또한 전동기에 입력되는 고조파(Harmonics)전압 및 전류로 인해 전동기의 손실을 증가시키고 온도상승과 토크 맥동의 원인이 되는 고조파의 영향을 저감시킬 수 있는 장점 때문에 일반 산업계에 널리 응용되고 있다. 이러한 추세는 전력 스위칭소자(IGBT, GTO, MOSFET, TR, SCR)의 개발과 제

Collection

어기의 발달로 계속될 전망이다. 본 연구에서 사용한 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)는 power-MOSFET의 고속 스위칭(Switching) 성능과 양극성 트랜지스터(Bipolar Transistor)의 고전압·대전류 처리 능력을 함께 가진 신형 소자로써 범용 인버터로 많이 사용되고 있으며, 과거에 일정속도로 운전하던 범용유도전동기는 범용인버터를 그대로 사용하여 간단하게 가변속운전을 할 수 있다.

교류전동기를 가변속하기 위해서는 전원주파수의 변동이 불가피하며 필요한 전원 주파수를 얻기 위하여는 상용전원을 정류하여 직류로 변환한 후 필요한 교류주파수를 다시 만들어 내는 인버터방식과 상용주파수를 필요한 주파수로 직접 변환시키는 싸이클로 컨버터방식이 있으나, 주로 인버터방식을 채용하고 있다.

전력을 제어하는 방법에는 PAM(Pulse Amplitude Modulation)제어와 PWM 제어가 있다. 이것을 이용한 전동기 제어에서 PAM방식은 콘버터 출력부의 직류전압을 제어하여 출력전압을 제어하고 인버터부에서 주파수를 제어하는 것이다. PWM방식은 직류전압은 일정히 놓고 인버터 출력전압의 도통 폭을 제어하여 출력전압을 가변하고 동시에 인버터에서 주파수도 제어한다.

일반적으로 널리 사용되는 삼각파 비교 PWM 방식은 제어회로가 비교적 간단하고 주파수변조나 전압변조가 용이하다는 장점은 있으나 고조파에 의한 EMI(Electromagnetic Interface)가 문제가 되고 있다. 공간전압벡타 변조법에 의한 PWM 제어방식은 직류분권전동기와 유사한 토크 특성을 가지고 있으므로 토크와 속도제어가 쉬운 장점은 있으나 연산시간이 길므로 이를 극복하기 위하여 DSP (Digital Signal Processor) 같은 고가의 장비가 필요함으로 상용화 하는데 문제가 있다.

본 연구의 실험장치는 일반적인 Δ결선의 3상유도전동기에서 각 상을 독립시켜 3상을 구성하였다. 각 상을 완전히 독립시킴으로써 Δ결선시 발생하는 각 상간의 상호 간섭을 배제하였다. 또한 대부분의 연구가 주로 일반적인 3상교류전동기를 그 대상으로 하고 있어 본 연구에서 구성한 3상유도전동기에 대한 보다 많은 연구가 아쉬운 실정이다.

Collection

본 연구에서는 단펄스(Single-pulse) PWM에 저역통과 LC필터를 사용하여 보다 단순하면서 용이하게 구형파전압에 의하여 유사정현파 전류를 얻을 수 있는 방법을 제시하였다. 전브리지형 인버터와 저역통과 LC필터를 이용하여 가변주파수에도 비교적 깨끗한 정현파 전류를 얻기위하여 이미 알려진 많은 필터들의 특성을 시뮬레이션에 의한 파형분석을 통하여 교류전원의 파형과 3상순시전력파형을 FFT 분석을 통하여 비교·분석해 보았다. 기존의 LC필터는 실제로 응용하기엔 여러가지 제약이 따르므로 실험장치에 사용된 모터에 적합한 수정(Revised)된 3차계와 9차계 필터를 설계하고 교류전류와 3상순시전력파형의 시뮬레이션 결과와 실험결과를 FFT 분석을 통하여 비교·분석해 본다. 기존의 LC필터는 여러가지가 있으나 여기에서 검토대상이 된 저역통과 LC필터는 Chebyshev필터와 Bessel필터의 중간 특성을 보이는 Butterworth필터를 택하였다. 노등에 의하여 3차계의 단펄스(Single-pulse) PWM에 대해서는 어느 정도 연구가 진행되었으나, 본 연구에서는 3차계와 9차계 필터에 대하여 살펴보았다.

2. 실험 및 결과 분석

3차계와 9차계 LC필터에 대한 실험장치를 구성하고 모터의 전류와 전압의 파형 데이타를 디지탈 오실로스코프로 수집하였다. 이 데이타로 3상전력을 구하고 FFT 분석도 하였다. 여기에서 실험한 자료는 입력단의 전원전압이 80[V]에서 실험하였다.

2.1 수정된 3차계 필터로 구동한 경우

3차계 LC필터회로에서 R_m =85.0[Ω], L_1=180.0[mH], C_2=40.0[μF], L_m=275.0[mH]로 실험장치를 구성하여 실험을 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

Fig.2.1a는 20Hz에서 T_s=50%와 T_s=80%일때 실제 전류 $i_{r3}(t)$의 파형이다.

dCollection

전력이용률 T_s에 관계없이 리플이 포함된 유사정현파 형태를 보이고 있으며 T_s가 클수록 진폭이 약간 증가하고 있다. Fig.2.1b는 20Hz에서 T_s=80%일 때 실제 전류 $i_{r3}(t)$의 FFT 분석이다. 기본파의 1/2 크기인 제3고조파와 기본파의 1/9 크기인 제5고조파가 있다. Fig.2.2a는 20Hz에서 T_s=50%와 T_s=80%일 때 실제 3상순시전력 $P_{tr3}(\omega t)$의 파형이다. 전력이용률 T_s가 클수록 진폭이 증가되고 리플도 증가함을 알 수 있다. Fig.2.2b는 20Hz에서 T_s=80%일 때 실제 3상순시전력 $P_{tr3}(\omega t)$의 FFT 분석이다. 20Hz의 3배인 60Hz에서 DC성분의 1/9 크기인 고조파가, 6배인 120Hz에서 DC성분의 1/1.3 크기인 고조파가, 9배인 180Hz에서 DC성분의 1/22 크기인 고조파가 나타난다.

Fig.2.3a는 50Hz에서 T_s=50%와 T_s=80%일때 실제 전류 $i_{r3}(t)$의 파형이다. 전력이용률 T_s의 크기에 관계없이 정현파에 근사하고 진폭은 T_s가 클수록 증가함을 알 수 있다. Fig.2.3b는 20Hz에서 T_s=80%일 때 실제 전류 $i_{r3}(t)$의 FFT 분석이다. 기본파만 존재하는 정현파임을 알 수 있다. Fig.2.4a는 20Hz에서 T_s=50%와 T_s=80%일 때 실제 3상순시전력 $P_{tr3}(\omega t)$의 파형이다. T_s가 클수록 진폭이 증가함을 알 수 있다. Fig.2.4b는 50Hz에서 T_s=80%일 때 실제 3상순시전력 $P_{tr3}(\omega t)$의 FFT 분석이다. 50Hz의 3배인 150Hz 전후에서 DC성분의 1/30 크기인 고조파가, 6배인 300Hz에서 DC성분의 1/18 크기인 고조파가 나타난다.

전류파형인 Fig.2.1a와 Fig.2.3a을 비교·분석하면 주파수가 높을수록 정현파에 가까워지나 진폭은 다소 감소하고, 전력이용률 T_s가 클수록 진폭이 증가함을 알 수 있다. 3차계 필터를 사용한 경우의 시뮬레이션 결과와 유사한 특성을 보이고 있다. 3상순시전력파형인 Fig.2.2b와 Fig.2.4b를 비교·분석하면 주파수가 높을수록 리풀이 감소하고 진폭도 증가하였다. 대체로 3차계 필터를 사용한 경우의 시뮬레이션 결과와 유사한 특성을 보이고 있다.

Collection

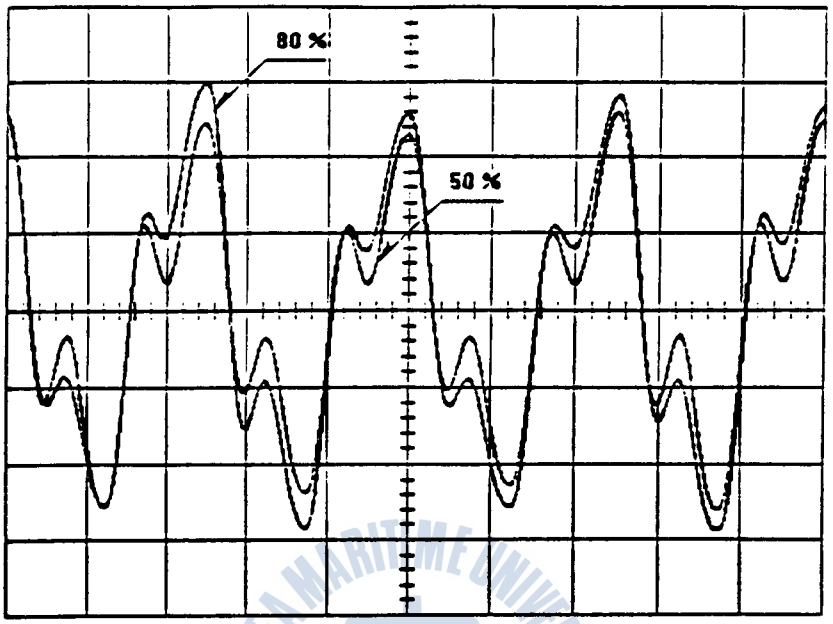


Fig.2.1a Real current waveforms of the induction motor with revised 3rd order filter in the case of T_s=50% and T_s=80% at 20Hz (0.3 A/DIV, 20ms/DIV)

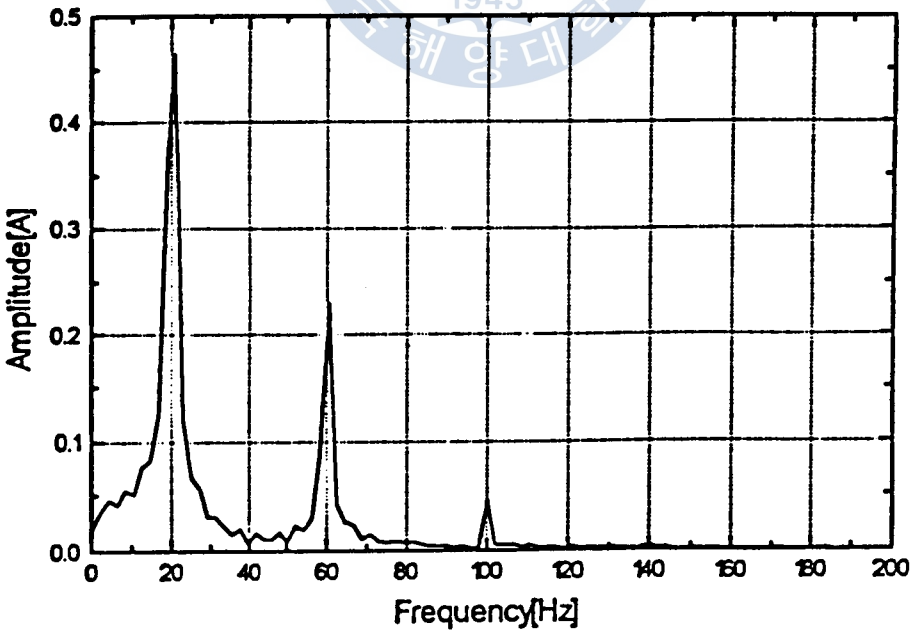


Fig.2.1b FFT analysis of the Fig.6.1a in the case of T_s=80% at 20Hz

dCollection

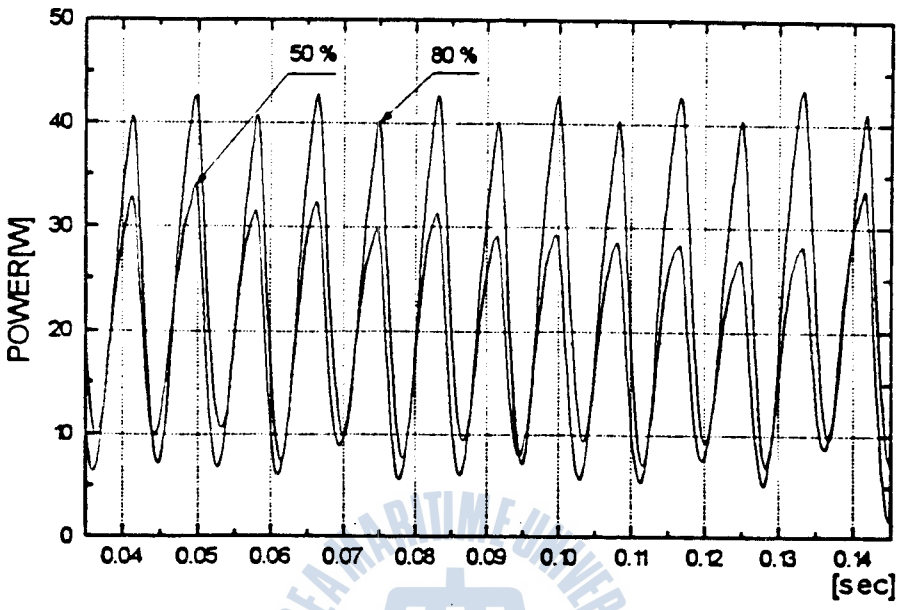


Fig.2.2a Real 3Φ power waveforms of the induction motor with revised 3rd order filter in the case of T_s=50% and T_s=80% at 20Hz

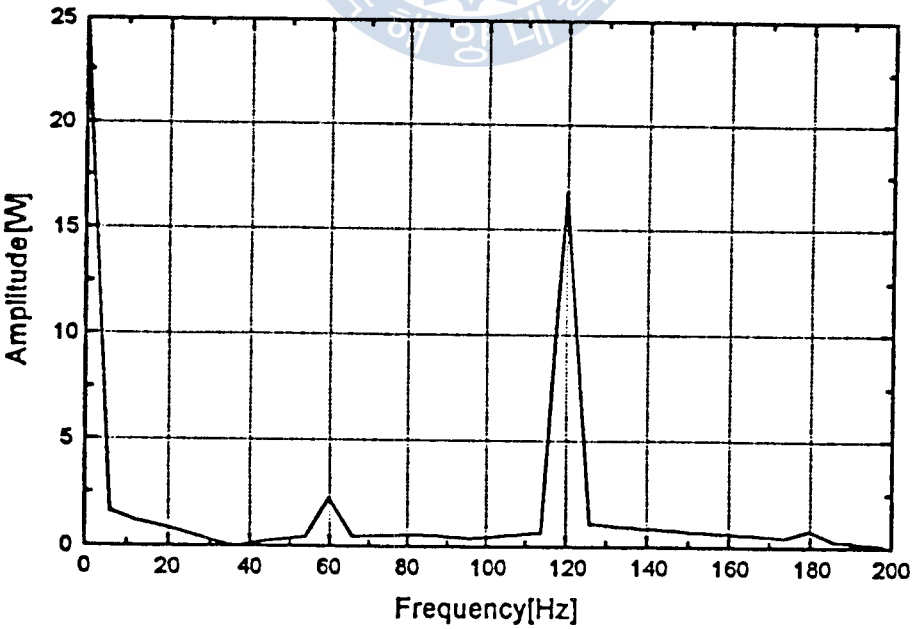


Fig.2.2b FFT analysis of the Fig.6.2a in the case of T_s=80% at 20Hz

dCollection

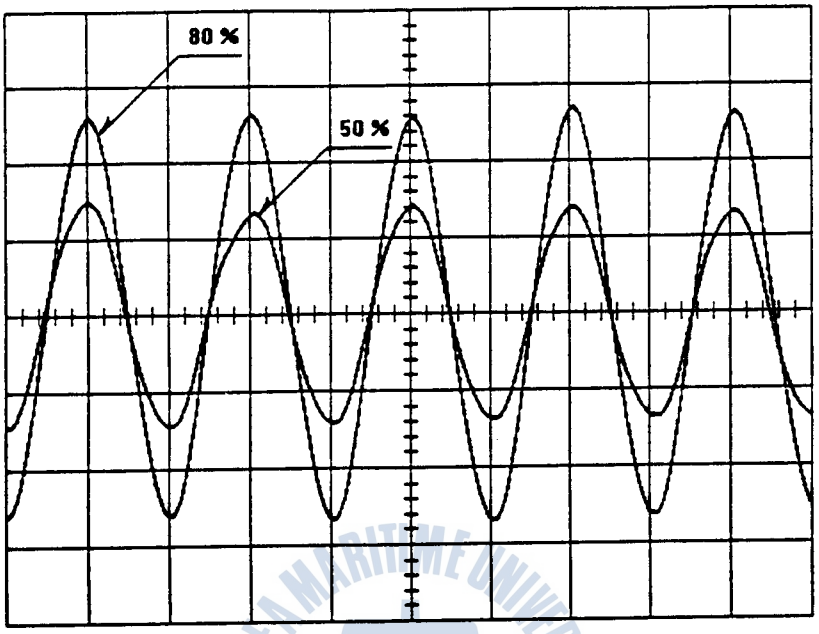


Fig.2.3a Real current waveforms of the induction motor with revised 3rd order filter in the case of T_s=50% and T_s=80% at 50Hz (0.3 A/DIV, 10ms/DIV)

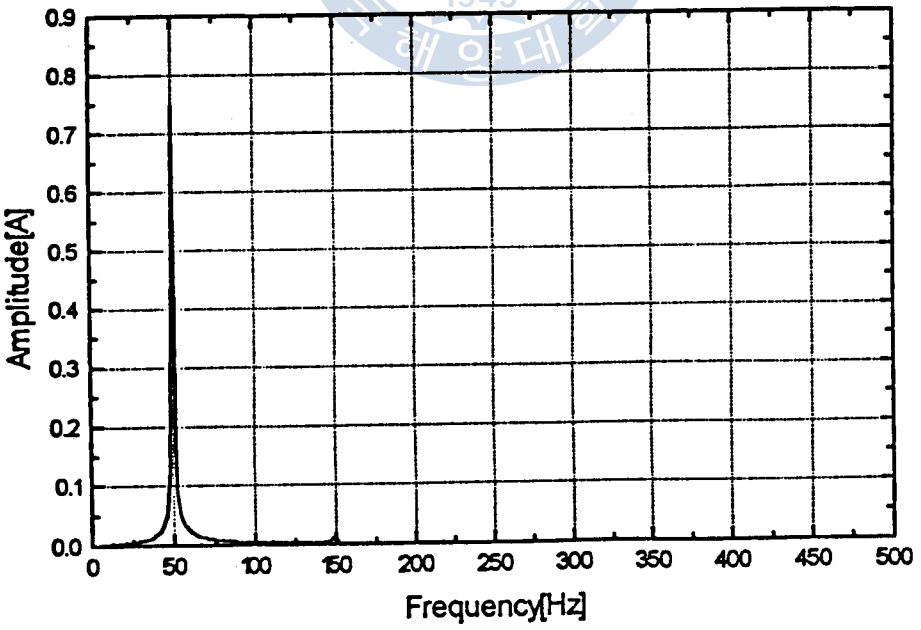


Fig.2.3b FFT analysis of the Fig.6.3a in the case of T_s=80% at 50Hz

dCollection

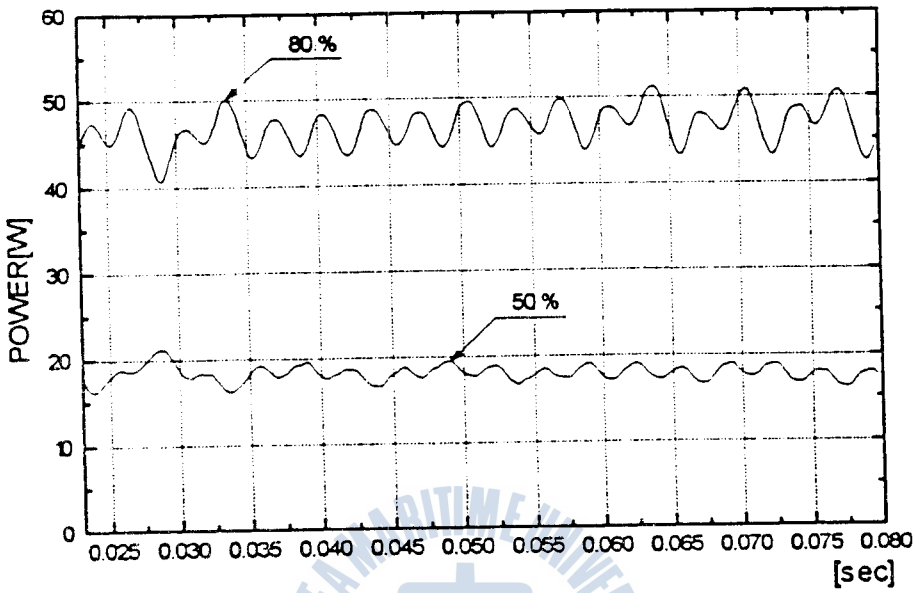


Fig.2.4a Real 3Φ power waveforms of the induction motor with revised 3rd order filter in the case of T_s=50% and T_s=80% at 50Hz

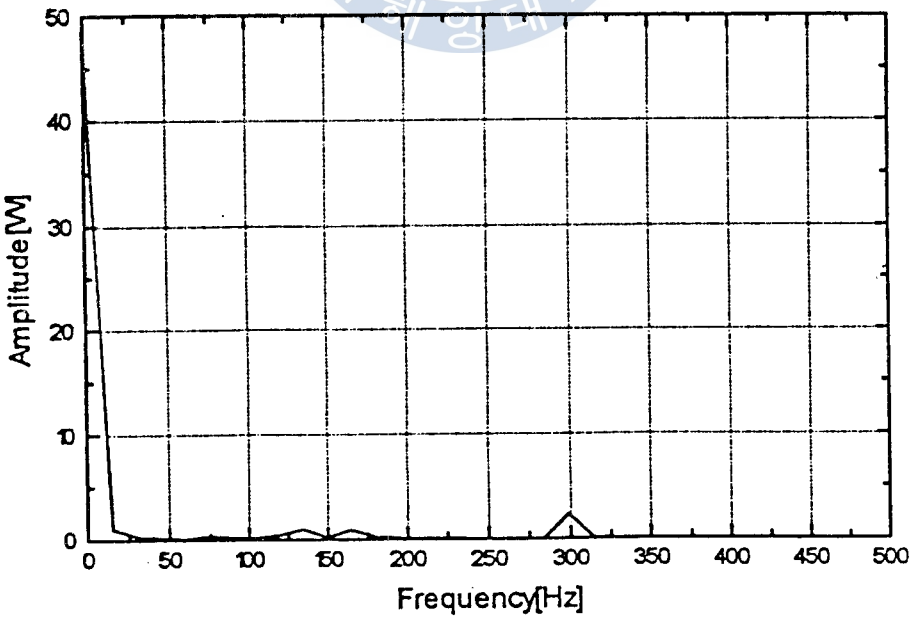


Fig.2.4b FFT analysis of the Fig.6.4a in the case of T_s=80% at 50Hz

dCollection

2.2 수정된 9차계 필터를 사용한 경우

9차계 LC필터회로에서 R_m =85.0[Ω], L_1=120.0[mH], C_2=50.0[μF], L_3= 140.0[mH], C_4=50.0[μF], L_5= 140.0[mH], C_6=50.0[μF], L_7= 140.0[mH], C_8=40.0[μF], L_m=275.0[mH]로 실험을 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

Fig.2.5a는 20Hz에서 T_s=50%와 T_s=80%일때 실제 전류 $i_{r9}(t)$의 파형이다. 전력이용율 T_s에 관계없이 약간의 리플이 포함된 유사정현파형이다. Fig.2.5b는 20Hz에서 T_s=80%일 때 실제 전류 $i_{r9}(t)$의 FFT 분석이다. 기본파의 1/4 크기인 제3고조파와 기본파의 1/16 크기인 제5고조파가 나타난다. Fig.2.6a는 20Hz에서 T_s=50%와 T_s=80%일 때 실제 3상순시전력 $P_{tr9}(\omega t)$의 파형이다. T_s가 클수록 진폭이 증가되고 리플도 증가함을 알 수 있다. Fig.2.6b는 50Hz에서 T_s=80%일 때 실제 3상순시전력 $P_{tr9}(\omega t)$의 FFT 분석이다. 20Hz의 6배인 120Hz에서 DC성분의 1/2 크기인 고조파가 나타난다.

Fig.2.7a는 50Hz에서 T_s=50%와 T_s=80%일 때 실제 전류 $i_{r9}(t)$의 파형이다. 전력이용율 T_s의 크기에 관계없이 정현파에 근사하고 진폭은 T_s가 클수록 증가함을 알 수 있다. Fig.2.7b는 50Hz에서 T_s=80%일 때 실제 전류 $i_{r9}(t)$의 FFT 분석이다. 고조파가 거의 없는 정현파임을 알 수 있다. Fig.2.8a는 50Hz에서 T_s=50%와 T_s=80%일 때 실제 3상순시전력 $P_{tr9}(\omega t)$의 파형이다. T_s가 클수록 진폭이 증가함을 알 수 있다. Fig.2.8b는 50Hz에서 T_s=80%일 때 3상순시전력 $P_{tr9}(\omega t)$의 FFT 분석이다. 50Hz의 6배인 300Hz에서 DC성분의 1/27 크기인 고조파가 나타난다. 전류파형인 Fig.2.5a와 Fig.2.7a는 주파수가 높을수록 정현파에 가까워지나 진폭은 감소하고, 전력이용율 T_s가 클수록 진폭이 증가함을 알 수 있다. 전류파형의 형태는 Fig.2.5a와 Fig.2.7a의 9차계 필터로 구동한 경우가 Fig.2.1a와 Fig.2.3a의 3차계 필터로 구동한 경우 보다 개선이 되었음을 알 수 있다. 특히 50Hz의 전류파형 보다는 20Hz의 전류파형이 많이 개선되었을을 알 수 있다. 그러나 전류의 진폭은 다소 감소하였다. 3상순시전력파형도 Fig.2.6a와 Fig.2.8a의 9차계 필터로 구동한 경우가 Fig.2.2a와 Fig.2.4a의 3차계 필터로 구

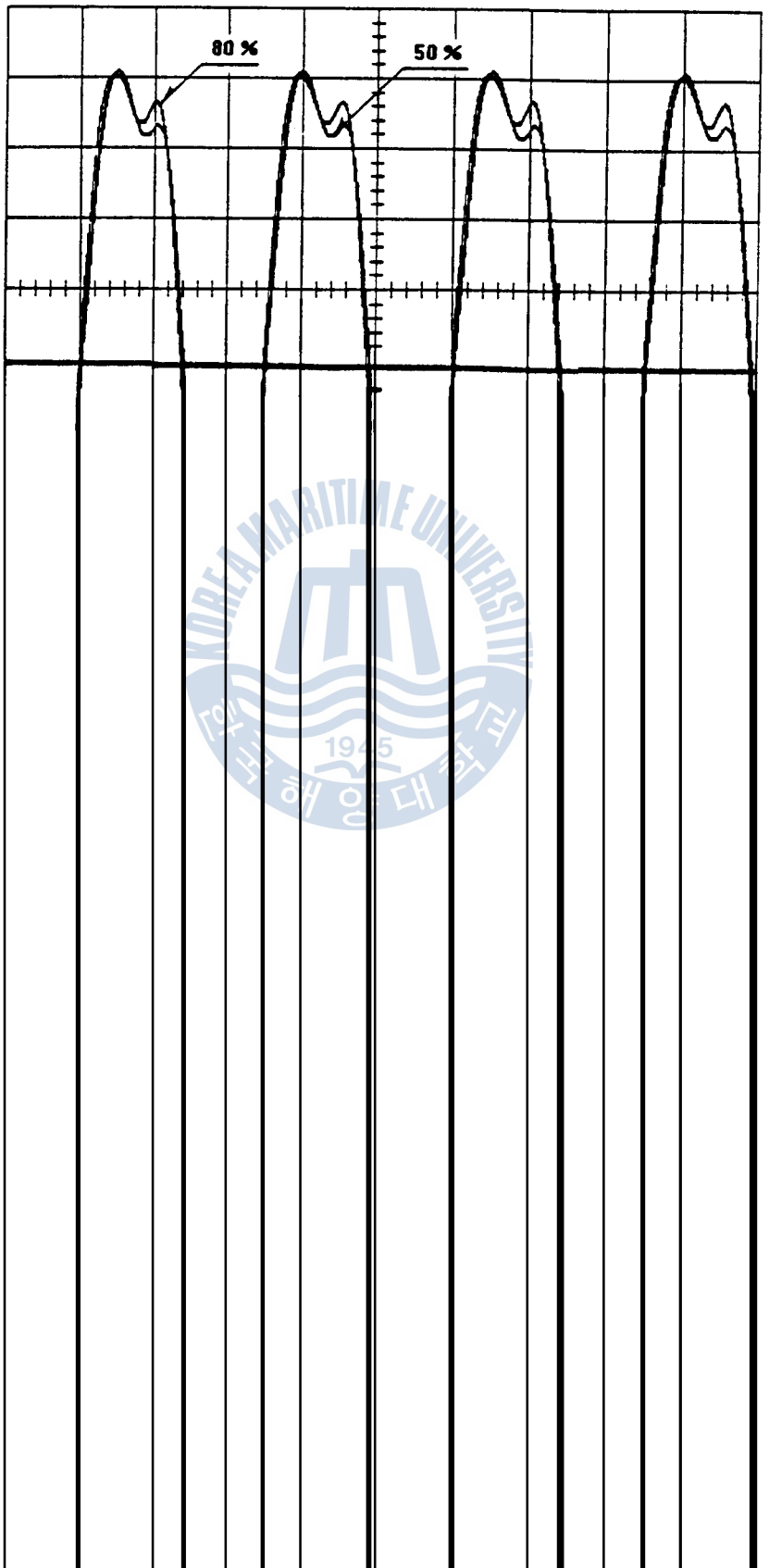
dCollection

동한 경우 보다 개선이 되었음을 알 수 있다. 모터의 구동상태도 9차계 필터로 구동한 경우가 낮은 주파수영역에서 보다 양호한 운전 상태를 보여주었다.

3차계 필터와 9차계 필터를 설계하여 컴퓨터 시뮬레이션을 하고, 실험장치를 구성하여 실험을 하였다. 실험 결과는 시뮬레이션 결과와 대체로 유사한 특성을 보여주고 있음을 확인하였다.

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

dCollection



dCollection

동한 경우 보다 개선이 되었음을 알 수 있다. 모터의 구동상태도 9차계 필터로 구동한 경우가 낮은 주파수영역에서 보다 양호한 운전 상태를 보여주었다.

3차계 필터와 9차계 필터를 설계하여 컴퓨터 시뮬레이션을 하고, 실험장치를 구성하여 실험을 하였다. 실험 결과는 시뮬레이션 결과와 대체로 유사한 특성을 보여주고 있음을 확인하였다.

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

dCollection

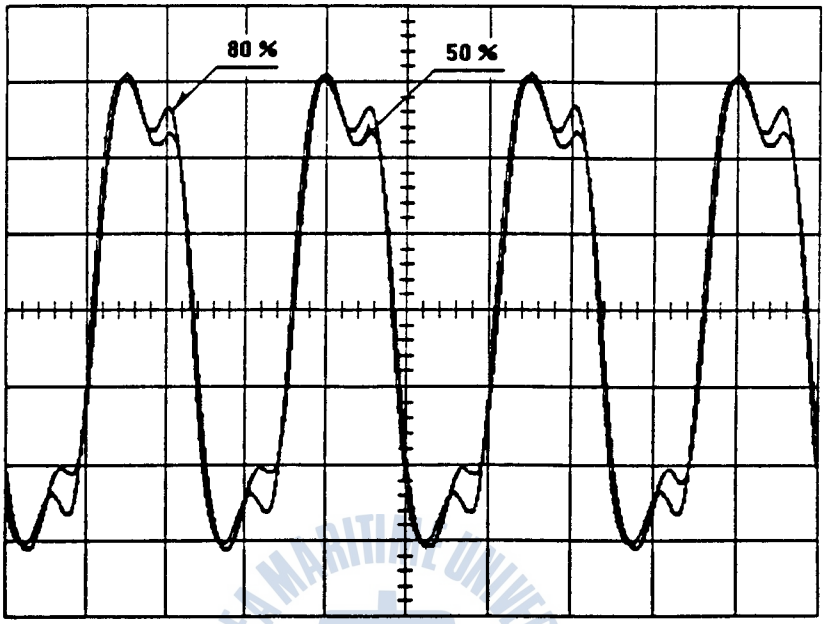


Fig.2.5a Real current waveforms of the induction motor with revised 9th order filter in the case of T_s=50% and T_s=80% at 20Hz (0.26 A/DIV, 20ms/DIV)

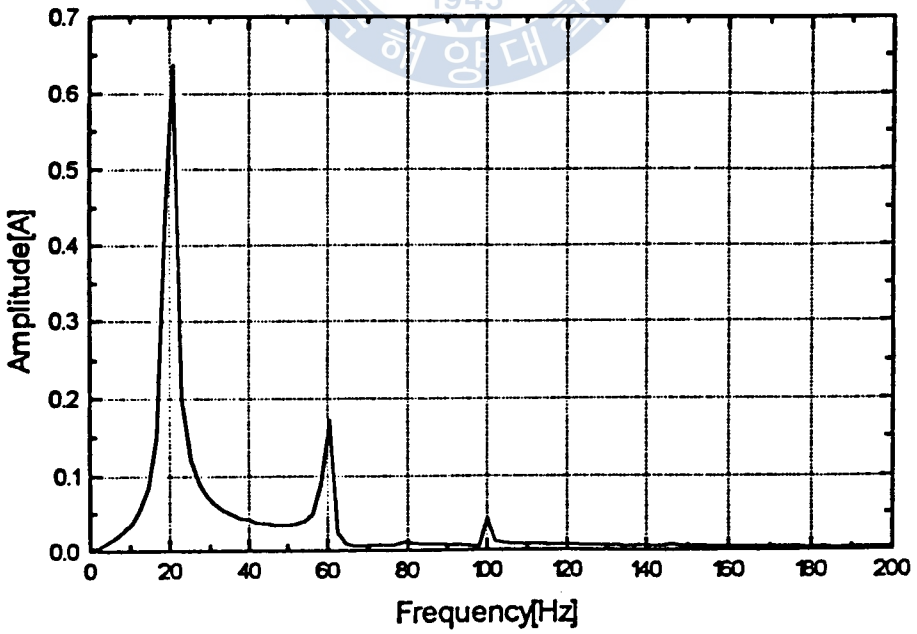


Fig.2.5b FFT analysis of the Fig.6.5a in the case of T_s=80% at 20Hz

dCollection

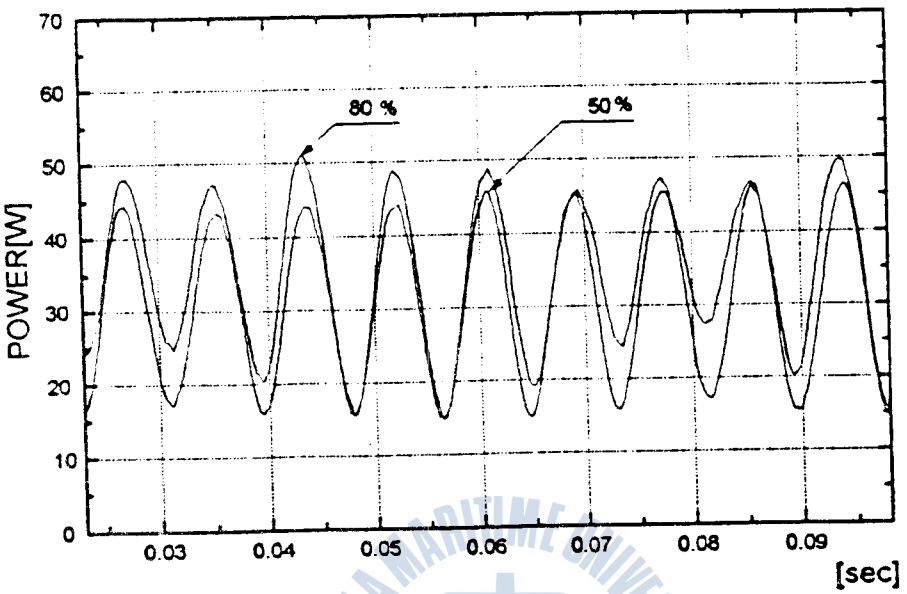


Fig.2.6a Real 3Φ power waveforms of the induction motor with revised 9th order filter in the case of T_s=50% and T_s=80% at 20Hz

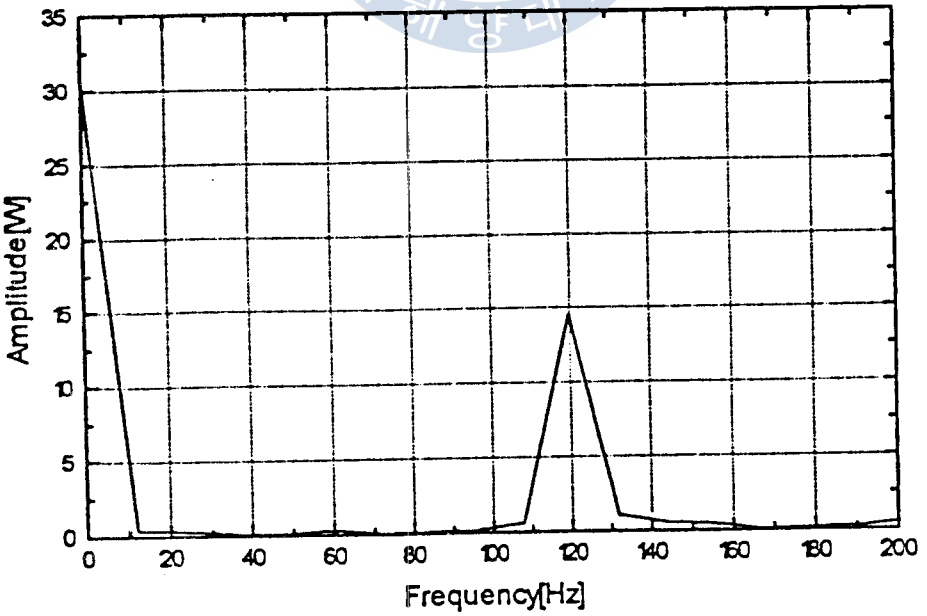


Fig.2.6b FFT analysis of the Fig.6.6a in the case of T_s=80% at 20Hz

dCollection

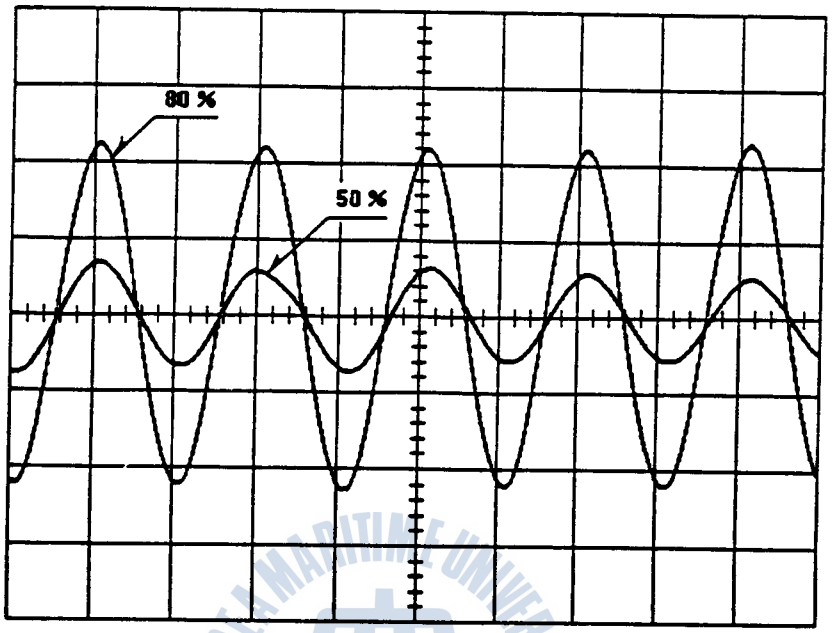


Fig.2.7a Real current waveforms of the induction motor with revised 9th order filter in the case of T_s=50% and T_s=80% at 50Hz (0.26 A/DIV, 10ms/DIV)

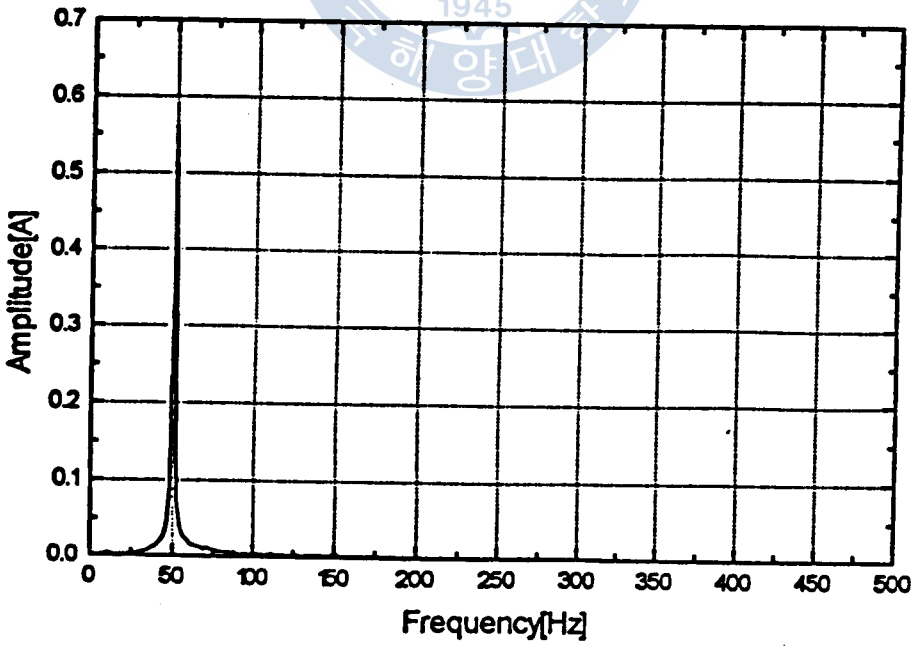


Fig.2.7b FFT analysis of the Fig.6.7a in the case of T_s=80% at 50Hz

dCollection

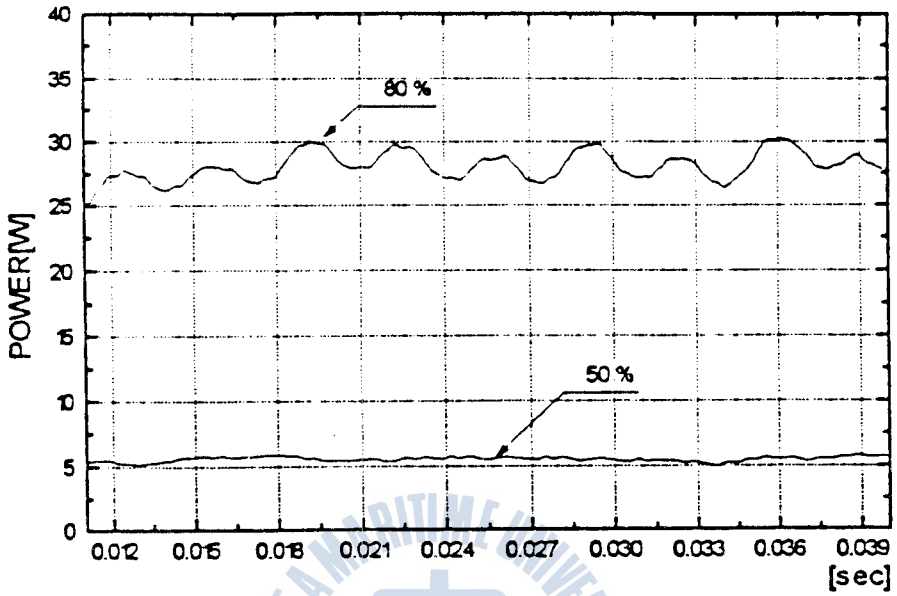


Fig.2.8a Real 3Φ power waveforms of the induction motor with revised 9th order filter in the case of T_s=50% and T_s=80% at 50Hz

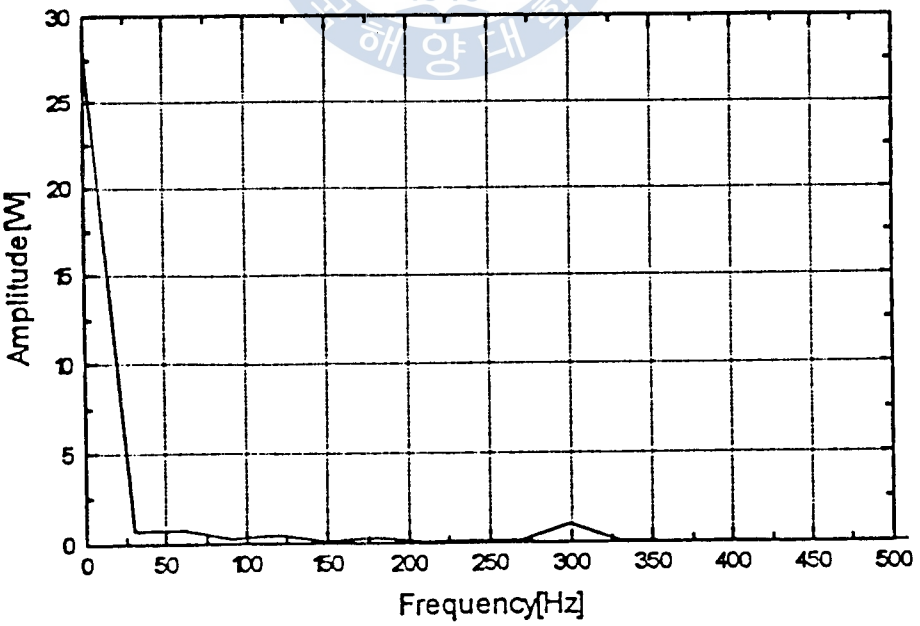


Fig.2.8b FFT analysis of the Fig.6.8a in the case of T_s=80% at 50Hz

dCollection

3. 결 론

본 연구의 실험장치는 일반적인 Δ결선의 3상유도전동기에서 각 상을 독립시켜 3상을 구성하였으며 각 상을 완전히 독립시킴으로써 Δ결선시 발생하는 각 상간의 상호 간섭을 배제하는 장점이 있다. 전브리지형 인버터로 구동되는 저역통과 LC필터가 부착된 이 실험장치에 구형파의 전압을 번갈아 주어질 때 전동기에 흐르는 전류파형과 순시전력파형을 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통하여 각각 비교·분석하였고 정현파의 교류전원이 걸렸을 때와 유사하도록 LC필터를 설계하였다. 또한, 시뮬레이션과 실험결과를 FFT 분석을 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 설계한 LC 필터에 구형파 전압을 가하여 유사정현파 교류전원을 얻을 수 있었다.

2. 9차계 필터를 사용한 경우는 3차계 필터를 사용한 경우보다 전류의 진폭이 다소 감소하지만 파형은 개선이 되었다. 특히 낮은 주파수 영역에서 전류의 파형이 많이 개선이 되었다.

3. 3상순시전력파형은 9차계 필터를 사용한 경우가 3차계 필터를 사용한 경우보다 낮은 주파수에서 보다 리플이 작아 보다 안정된 전력을 얻을 수 있다. 모터의 구동상태도 낮은 주파수에서는 보다 양호한 운전 상태를 보여주었다.

4. 전력이용률(T_s)를 조정하면 전류 및 전력의 크기와 파형을 전주파수 영역에서 조정가능하나 전력이용률이 낮아지면 저주파수대에서 작은 리플이 영레벨에서 나타난다.

dCollection

참 고 문 헌

1. J. K. Johansen, F. Jenset, and T. Rogne, "Characterization of High Power IGBT's With Sinewave Current", IEEE Trans. Ind. Appl. Vol. 30, No. 5, pp. 1142-1148, 1994.

2. N. R. Zargari, G. Joos, and P. d. Ziogas, "Input Filter Design for PWM Current-Source Rectifiers", IEEE Trans. Ind. Appl. vol. 30, No. 6, pp. 1573-1579, 1994.

3. R. C. Thurston, S. F. Legowski, "A Simple and Accurate Method of Computing Average and RMS Currents in a Three-Phase PWM Inverter", IEEE Trans. Pow. Elec. Vol. 8, No. 2, pp. 192-199, 1993.

4. 정주윤,박진길, "디지탈 브리지형 인버터로 구동되는 저역통과 LC필터를 가진 교류전동기의 전류 및 전력의 파형 개선 (I)", 한국박용기관학회지 제19권 제3호, pp. 285-296, 1995.

5. 김준석,설승기,"공간 전압 벡터 PWM의 새로운 기법", 대한전기학회 논문지, Vol. 44, No. 7, pp. 865-874, 1995.

6. J. Holtz, L. Springob, "Reduced Harmonics PWM Controlled Line-Side Converter for Electric Drives", IEEE Trans. Ind. Appl. Vol. 29, No. 4, pp. 814-819, 1993.

7. 윤병도 외 4인, "전력전자", 보성각, pp.97-129, 1993.

8. S. B. Dewan, A. Straughen, "Power Semiconductor Circuits", Jhon Wiley & Sons, Inc., pp. 357-457, 1975.

9. 정순배, 김대근, 이우선, "i80c196kc 구조(메카 트로닉스)", 도서출판 인텔기술, pp. 1.2 - 1.49, 1994.

10. LeCROY Cop., "LeCROY Digital Oscilloscopes 9350 Series Operator's Manual", Rev. 1, pp. 2.1-24.5, 1994.

dCollection

dCollection