

PWM 기법을 이용한 인버터-유도전동기 구동 시스템의 전도 노이즈 및 스위칭 소음 저감

박현석*, 김이훈*, 정정길*, 천광수* 원충연*, 함년근**, 신한순***
 성균관대학교*, IN-TECH FA Co. Ltd.**, 인천지하철공사***

Conducted Noise & Acoustic Noise Reduction in Inverter fed Induction Motor System using PWM Technique

Park Hyun-Seok*, Kim Lee-Hun*, Jeong Jeong-Gil*, Chun Kwang-Su, Won Chung-Yuen*, Hahm Nyon-Kun**, and Shin Han-Soon***
 Sung Kyun Kwan Univ.*, IN-TECH FA Co., Ltd.**, Incheon Rapid transit Co.***

ABSTRACT

The random pulse width modulation(RPWM) on the noise and vibration abatement in inverter-fed induction motor drive is presented. This paper describes a RPWM technique based on space vector PWM strategy for shaping the switching noise spectrum in such a way it can merge with the natural system noise. To verify the validity of the proposed RPWM scheme, the experiment based on the TMS320 C31 microprocessor was executed. Finally, the simulation and experimental results will be given to demonstrate the effectiveness of the proposed RPWM technique.

1. 서 론

IGBT와 같은 고속 스위칭 소자의 발달로 인해 전압형 PWM 인버터의 스위칭 주파수의 증가가 가능하게 됐으며, 그로 인해 매우 우수한 동작 특성을 가지게 되었다.^[1]

그러나 고속 스위칭은 전압과 전류의 급격한 변화로 인해 모터 내부의 부유커패시터를 통하여 대지로 흐르는 고주파 누설전류를 발생하고, 베어링 전류와 축전압으로 인한 전동기의 수명 저하, 전도 및 방사 노이즈 발생 등의 문제를 발생시킨다.^[1,2]

또한, 스위칭 주파수의 정수배에 고조파 성분을 집중시킴으로써 스위칭 소음 및 기계적 진동이 발생하게 된다.^[3,4]

이러한 문제들을 해결하기 위한 PWM 스위칭 방법으로 크게 하드웨어적인 방법과 소프트웨어적인 방법이 있다.^[1]

본 논문에서는 주파수 가변 RPWM 기법으로 스위칭 주파수를 광대역화 하였으며, 기존의

SVPWM 방식과 달리 동일한 전압 변조 크기를 갖는 Offset전압을 이용한 SVPWM을 기본으로 하는 새로운 RPWM 기법을 제안하였다.^[5]

그리고, 인버터의 스위칭시 발생하는 문제들을 해결하기 위한 방법으로 부가적인 하드웨어 구성없이 소프트웨어적인 방법으로 RPWM 스위칭 방법을 구현하여 전도노이즈, 스위칭 소음 및 기계적 진동의 저감에 대하여 연구하였다.

2. RPWM 기법

RPWM 기법은 크게 주파수 가변 RPWM, 전압 펄스 위치 가변 RPWM, 임의 스위칭 RPWM 등의 3가지 기법으로 구분할 수 있다.^[2-4]

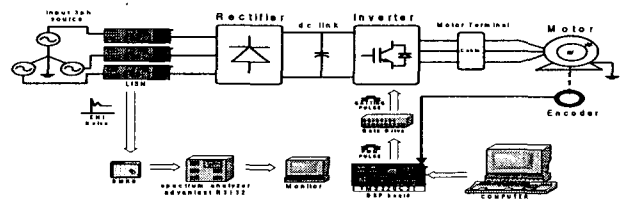


그림 1 인버터 - 유도전동기 전체 시스템

그림 1은 제안된 RPWM 기법을 적용하기 위한 인버터 구동 유도 전동기 시스템의 전체 블록도이다. 주파수 가변 RPWM에는 삼각파 비교 PWM의 경우 캐리어의 기울기를 임의적으로 변경시키거나, SVPWM의 경우 제어주기를 임의적으로 변경시킴으로써 구현 가능하다.^[6]

본 논문에서는 주파수 가변 RPWM 기법으로 스위칭 주파수를 광대역화 하였으며, 기존의 SVPWM 방식과 달리 동일한 전압 변조 크기를 갖는 Offset전압을 이용한 SVPWM을 기본으로 하는 새로운 RPWM 기법을 구현하였다.

3. RPWM의 구현

실험에서 사용된 RPWM 기법은 Offset을 이용한 전압 변조 방식의 SVPWM^[5] 기법에 적용하였으며, 각 상의 지령치는 PWM 신호를 발생하기 위하여 PWM값으로 환산되어 EPLD에 보내지게 된다.

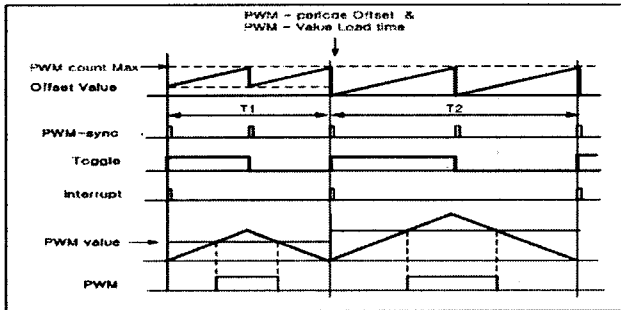


그림 2 주파수 가변 RPWM을 구현하기 위한 EPLD

그림 2는 주파수 가변 RPWM을 구현하기 위해 8bit 카운트의 초기값에 Offset값을 임의로 Load 하여 RPWM을 구현하는 것을 보여 준다. T1 주기는 Offset 값을 임의의 값으로 준 경우이고 T2 주기는 Offset을 0으로 준 경우이다.

T1 주기가 T2 주기보다 Offset 값만큼 줄어든 것을 볼 수 있으며, 본 실험에서는 3KHz ~ 4KHz 사이에서 스위칭이 되도록 하였다.

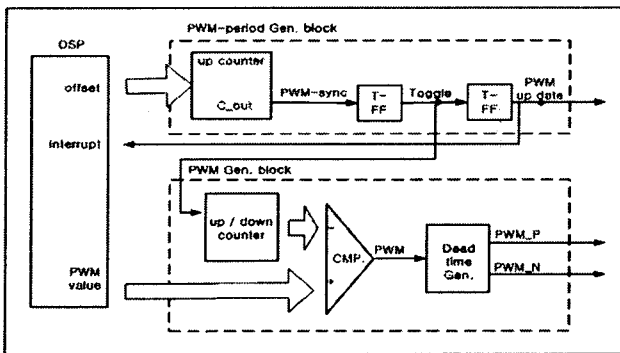


그림 3 PWM 발생 블록도

그림 3은 PWM 발생 블록도이다. 기존의 PWM은 PWM 카운터 값이 최대 2^8 인 255이지만 RPWM 일때의 PWM 카운트 최대값은 최대 255에서 Offset 값만큼 줄어든 값이 된다.

이때, 전압 지령치의 PWM 카운트 값도 같은 비율로 줄어들어 8bit 카운터에 저장 된다.

그림 4는 PWM 랜덤 주기 발생 회로 부분이고, 그림 5에서는 PWM 주기가 가변되고 있음을 보여주는 시뮬레이션 결과이다.

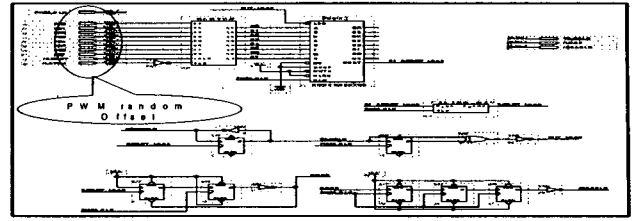


그림 4 PWM random Offset 값에 의한 스위칭 주파수 가변 PWM 회로도

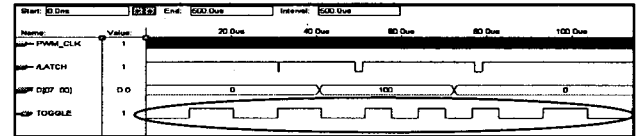


그림 5 PWM 주기 가변 시뮬레이션 결과

4. 시뮬레이션 결과

그림 6은 RPWM 구현을 위한 3상 전압형-인버터 구동 유도 전동기 시스템의 회로도이다. 삼각파 주파수의 변경은 DLL 블록을 이용한 C-언어로 구현하였다.

그림 7은 V/f 운전의 Offset을 이용한 SVPWM 기법에서의 선간 전압 및 FFT 분석 결과이다. FFT 분석 결과를 보면 스위칭 주파수의 정수배 주파수에서 집중적으로 고조파 성분이 발생되고 있음을 알 수 있다.

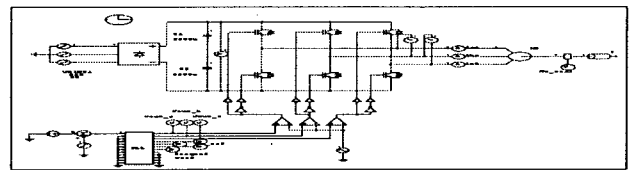


그림 6 RPWM 구현을 위한 3상 전압형-인버터 구동 유도 전동기 시스템

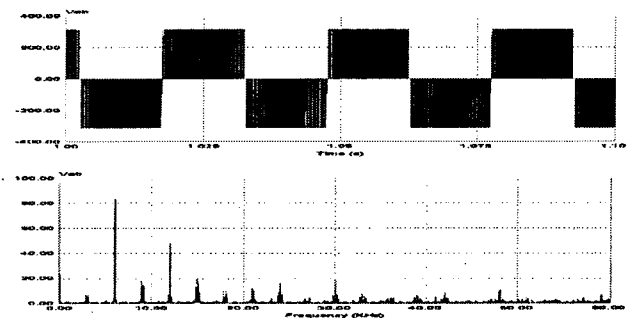


그림 7 V/f 운전의 선간전압 및 FFT 분석 위[200V/div], x축[10kHz/div], y축[20V/div]

5. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 RPWM 기법의 타당성을 입증하기 위하여 TMS320C31 DSP 제어보드와 1.5kW 3상 유도전동기로 실험 세트를 구성하였다.

5.1 선간 전압의 FFT 분석

그림 11은 V/f 운전의 선간전압 및 FFT 분석 결과이다. 시뮬레이션과 동일하게 실험결과에서도 스위칭 주파수의 정수배에 고조파 성분이 집중되어 있음을 알 수 있다.

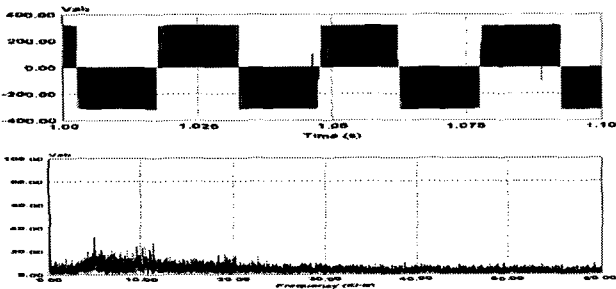


그림 8 V/f 운전의 RPWM시 선간전압 및 FFT 분석
위[200V/div], x축[10kHz/div], y축[20V/div]

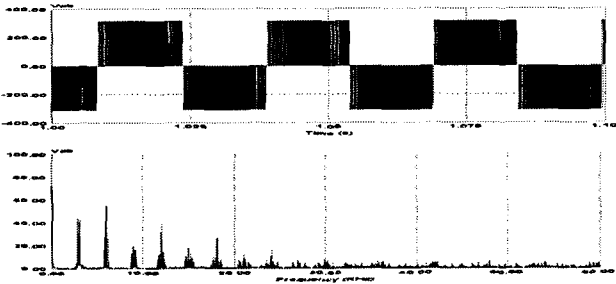


그림 9 슬립 주파수 운전의 선간전압 및 FFT 분석
위[200V/div], x축[10kHz/div], y축[20V/div]

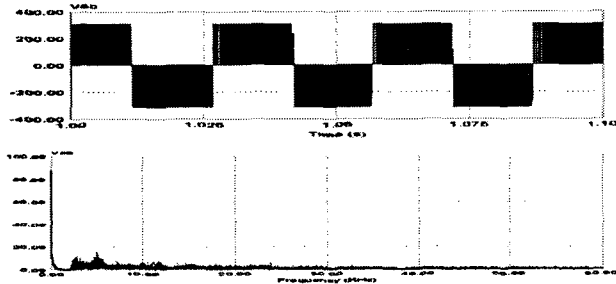


그림 10 슬립 주파수 운전의 RPWM시 선간전압 및
FFT 분석 위[200V/div]
x축[10kHz/div], y축[20V/div]

그림 8은 V/f 운전에 RPWM 기법을 적용했을 때의 FFT 분석이다.

일반적인 PWM 기법에서 스위칭 주파수에 집중된 고조파 성분이 광대역 주파수 영역으로 고르게 분포되었음을 볼 수 있다.

그림 9는 속도 제어가 가능한 슬립 주파수 운전에서의 RPWM의 영향을 보기 위한 선간 전압의 FFT 분석 파형이다.

V/f 운전과 동일한 조건에서 슬립주파수 운전의 RPWM시 선간전압을 FFT 분석한 파형이다.

그림 10은 슬립 주파수 제어에 RPWM 스위칭 기법을 적용하였을 때의 선간 전압과 FFT 분석한 파형이다.

슬립 주파수 운전은 V/f 구동 시와 같이 고조파 성분이 광대역 주파수로 분산되어 나타난다.

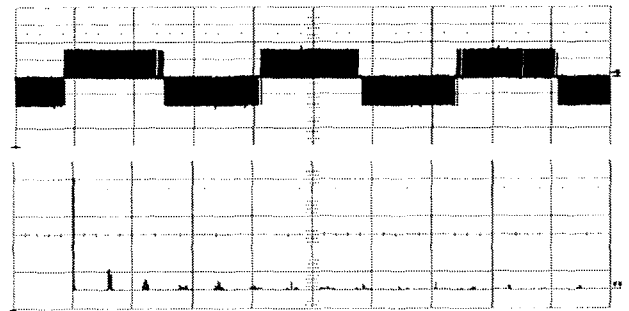


그림 11 V/f 운전의 선간전압 및 FFT 분석
위[200V/div], x축[5kHz/div], y축[50V/div]

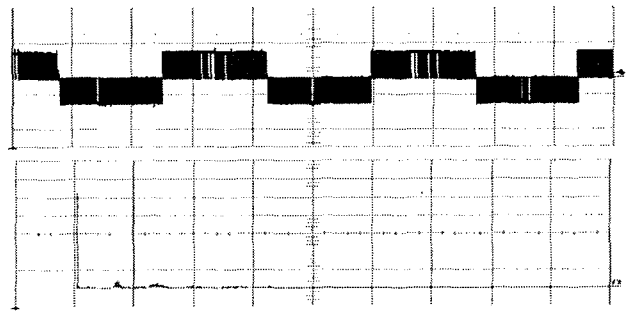


그림 12 V/f 운전의 RPWM시 선간전압 FFT 분석
위[200V/div], x축[5kHz/div], y축[50V/div]

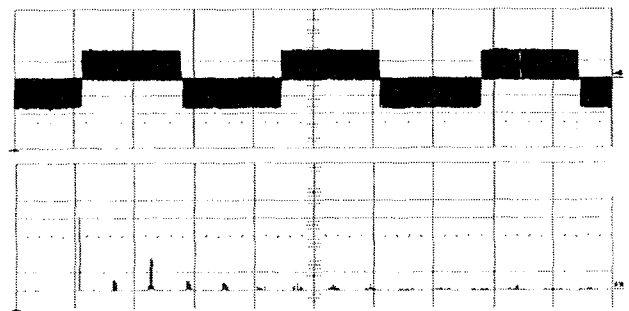


그림 13 Slip 주파수 운전의 선간전압 및 FFT 분석
위[200V/div], x축[5kHz/div], y축[50V/div]

그림 12는 V/f 운전의 RPWM시 선간전압 및 FFT 분석결과이다. 기존의 PWM 스위칭시 집중된

고조파 성분이 광대역으로 분산, 분포되었음을 확인할 수 있다. 그림 13은 슬립 주파수 운전의 선간전압 및 FFT 분석 파형이다.

그림 14는 슬립 주파수 운전의 RPWM시 선간전압 및 FFT 분석 파형이다.

RPWM을 적용했을 때 집중된 고조파 성분이 광대역으로 분포되고 있음을 볼 수 있다.

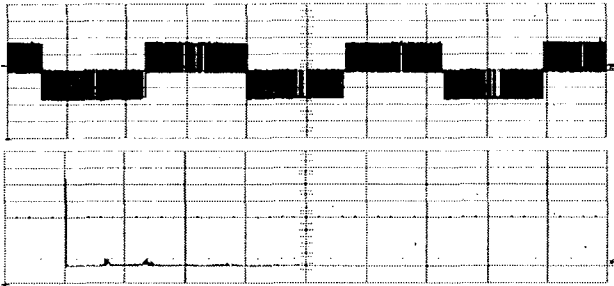


그림 14 Slip 주파수 운전의 RPWM시 선간전압 및 FFT 분석 위[200V/div] x축[5kHz/div], y축[50V/div]

5.2 전도노이즈, 스위칭 소음 및 진동 측정 결과

RPWM 기법은 선간 전압의 스위칭 주파수의 정수배에 집중된 고조파 성분을 광대역으로 분산시키는 효과가 있으므로 이것을 전도 노이즈와 스위칭 소음 및 기계적 진동을 저감하는데 사용하였다.

표 1 실험 대상 시스템 정격

Input voltage	3 ∅ 220	V
Switching frequency	3.3	kHz
DC-link voltage	311	V
Main controller	DSP	TMS320C31
Rated voltage	220/380	V
Rated current	6.3/3.6	A
Rated power	1.5	kW
Rotated speed	1735	rpm
Pair pole number	4	

5.2.1 전도 노이즈 측정

전도 노이즈의 측정 장비로는 Advantest사의 R3132 Spectrum Analyser를 사용하였다.

그림 15는 V/f 운전에 기존의 SVPWM 기법 적용시 전도노이즈 스펙트럼 결과 파형이다.

그림 16은 V/f 운전에 RPWM을 적용시 전도노이즈 스펙트럼 파형이다.

그림 16에 표시된 부분이 RPWM을 적용했을 때의 저감된 대역으로서 약 3~5 [dB μ W] 정도 감소된 것을 볼 수 있다.

그림 17은 슬립 주파수 운전에서의 전도노이즈 스펙트럼 결과 파형이다.

그림 18은 슬립 주파수 운전에 RPWM을 적용했을

때의 전도노이즈 스펙트럼 결과 파형이다.

약 1MHz에서 5MHz 사이의 전도노이즈가 약 5[dB μ W] 정도 감소 됨을 볼 수 있다.

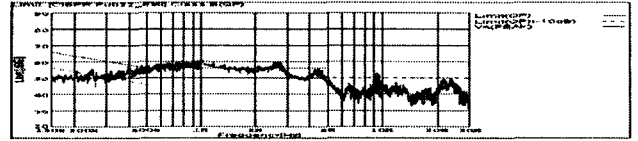


그림 15 v/f 운전의 전도노이즈 스펙트럼

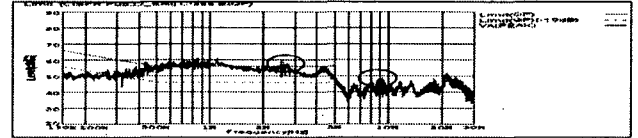


그림 16 v/f 운전의 RPWM시 전도노이즈 스펙트럼

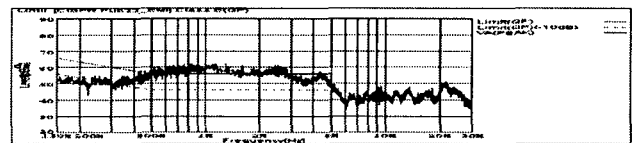


그림 17 슬립 주파수 운전의 전도노이즈 스펙트럼

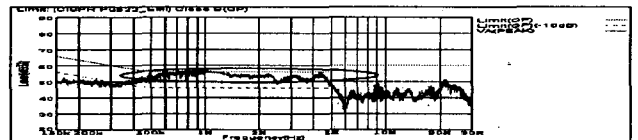


그림 18 슬립 주파수 운전의 RPWM시 전도노이즈 스펙트럼

5.2.2 스위칭 소음 측정

소음 및 진동 측정은 프랑스 OROS사의 OR25 PC-Pack II 장비를 사용하였고 A-가중치 1/3 옥타브 분석을 하였다.

그림 19와 20은 V/f 운전에서 RPWM을 적용하지 않을 때와 적용했을 때의 스위칭 소음 측정결과이며, 가장 높은 옥타브 부분이 약 6kHz 부분인데 약 8[dBA]정도의 저감 효과를 보였다.

전체 스위칭 소음은 65.13[dBA]에서 61.79[dBA]로 약 3.34[dBA]만큼 감소하였다.

그림 21과 22는 슬립 주파수 제어에서 RPWM을 적용하지 않은 경우와 적용한 경우의 파형이다. V/f 운전때와 마찬가지로 약 6kHz에서의 소음 감소가 현저하게 나타났으며 전체 스위칭 소음은 66.44[dBA]에서 64.43[dBA]로 약 2.01[dBA]만큼 감소하였다.

5.2.3 기계적 진동 측정

그림 23과 24는 V/f 운전에서 RPWM을 적용하지 않았을 때와 적용했을 때의 기계적 진동을 측정 한 결과이다.

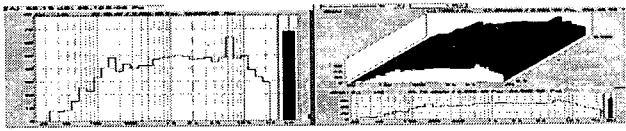


그림 19 V/f 운전의 스위칭 소음 측정 결과
[10dBA/div]

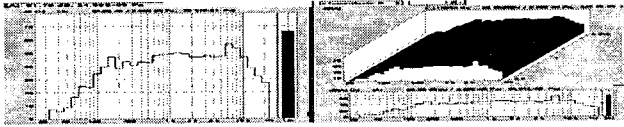


그림 20 V/f 운전의 RPWM시 스위칭 소음 측정 결과
[10dBA/div]

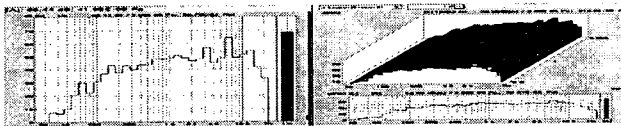


그림 21 슬립 주파수 운전의 스위칭 소음 측정결과
[10dBA/div]

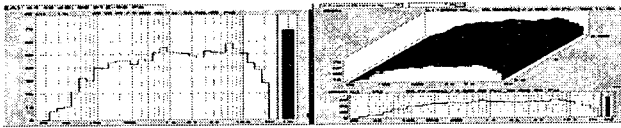


그림 22 슬립 주파수 운전의 RPWM시 스위칭 소음
측정결과 [10dBA/div]

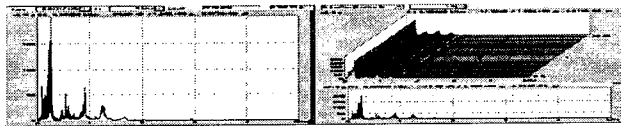


그림 23 V/f 운전의 기계적 진동 측정
[0.05g/div]

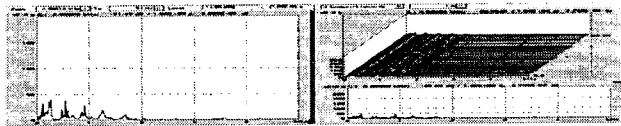


그림 24 V/f 운전의 RPWM시 기계적 진동 측정 결과
[0.05g/div]



그림 25 슬립 주파수 운전의 기계적 진동 측정 결과
[0.05g/div]



그림 26 슬립 주파수 운전의 RPWM시 기계적 진동 측정
결과 [0.05g/div]

진동 측정 결과 RPWM 적용시 전체 진동 크기가 0.391[g]에서 0.185[g]로 감소하였다.

그림 25와 26은 슬립 주파수 운전에서 RPWM을 적용하지 않았을 때와 적용했을 때의 기계적 진동을 측정된 결과이다.

V/f와 마찬가지로 전체 진동 크기가 0.287[g]에서 0.258[g]로 감소하였다.

6. 결 론

본 논문에서는 PWM 인버터 유도 전동기 구동 시스템에서 전도노이즈, 스위칭 소음 및 기계적 진동을 저감하는 새로운 RPWM 기법을 제안하여 다음의 결과를 얻었다.

1) 제안된 RPWM 기법을 적용하여 EMI 전도노이즈 저감효과를 얻었고, 모터 구동 시 발생하는 스위칭 소음 및 기계적 진동이 감소되는 것을 시뮬레이션과 실험을 통하여 확인하였다.

2) 제안된 RPWM을 소프트웨어적인 방법인 EPLD 로직으로 설계 구현하여 인버터 성능의 신뢰성 및 편리성을 확보하였다.

향후 계획으로 새로운 RPWM 기법 및 전도노이즈 저감을 위한 스위칭 기법을 산업용 기기나 가정용 전자제품에 적용할 예정이다.

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (R01-2001-00306-0)지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] 박규현, 김이훈, 원충연, 김규식, 최세완, 함년근, "TMS320F240을 이용한 PWM 인버터 유도전동기 구동 시스템의 전도노이즈 저감을 위한 스위칭 기법", 전력전자학회 논문지, 제8권, 제1호, pp. 89~97, 2003. 2.
- [2] J. Erdman, R. J. Kerkman, D. W. Schlegel, and G. L. Skibinski, "Effect of PWM Inverters on AC Motor Bearing Currents and Shaft Voltages," IEEE Trans. Ind. Applicat. vol. 32, pp. 250~259, Mar/Apr. 1996.
- [3] 위석오, 정영국, 나석환, 임영철, "새로운 2상 랜덤 펄스 위치 PWM기법", 전력전자학회 논문지 제7권, 제6호, pp. 194~204, 2002.
- [4] 나석환, 정영국, 임영철, "인버터 구동 시스템을 위한 새로운 공간벡터 Random PWM기법", 전력전자학회 논문지 제6권, 제6호, pp. 525~537, 2001.
- [5] 설승기, "전기기기제어론," 브레인코리아, pp.246~268.
- [6] 이현동, "PWM 기법을 이용한 인버터 구동 교류 전동기 시스템에서의 커먼 모드 전압 저감", 서울대 박사학위 논문 pp. 121~124, 1999.