

RPWM기법을 이용한 세탁기용 유도전동기 구동 시스템의 소음 및 진동 저감

(Acoustic Noise & Vibration Reduction of Induction Motor Drive System for Washing Machine Using RPWM Technique)

이원철* · 김이훈 · 배우리 · 장봉안 · 양하영 · 원충연

(Won-Chul Lee · Lee-Hun Kim · Woo-Ri Bae · Bong-An Jang · Ha-Yeong Yang · Chung-Yuen Won)

요 약

본 연구에서는 유도전동기 구동 시스템에서 새로운 RPWM 방식을 제안하였다. 유도전동기 구동 시스템에서 발생하는 소음을 줄이기 위하여공간벡터 PWM방식에에 기반을 둔 RPWM 방식을 제안하였다. 제안된 RPWM 방식을 드럼 세탁기에 적용하여 세탁기에서 발생하는 소음과 진동을 측정하였으며 그 결과를 비교하였다. 제안된 방식의 타당성을 입증하기 위하여 시뮬레이션과 실험을 수행하였다.

Abstract

The random pulse width modulation(RPWM) in inverter-fed induction motor drive is presented. This paper describes a RPWM method 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 DSP56F803 microprocessor was executed. Finally, the simulation and experimental results will be given to demonstrate the effectiveness of the proposed RPWM scheme.

Key Words : RPWM, SVPWM, Drum washing machine, Acoustic noise & vibration

1. 서 론

최근 세탁기에 대한 관심은 종래의 세정, 행급 성능, 탈수 성능 등의 세탁기 본래의 성능향상 이외에 절수, 에너지 절약, 소음저감 성능이 요구되고 있다.

그리하여 자연스럽게 절수 및 에너지 절감 효과가 큰 인버터 방식의 드럼 세탁기가 개발되었다.

드럼 세탁기는 종래의 위상제어를 이용한 유니버설 전동기 제어에서 최근에는 속도제어 및 전압과 주파수의 제어가 가능한 인버터 방식의 유도전동기가 실용화되어 사용되고 있다.

이런 유도전동기 제어에 있어서 스칼라 제어 방식인 슬립주파수제어와 V/f제어는 기본파 실효값과 주파수를 독립 변수로 하여 평균적인 토오크 제어를

* 주저자 : 성균관대학교 정보통신공학부 전기전자공학전공
Tel : 031-290-7169, Fax : 031-290-7169

E-mail : totocil@skku.edu

접수일자 : 2004년 8월 12일

1차심사 : 2004년 8월 13일, 2차심사 : 2004년 9월 14일

심사완료 : 2004년 9월 21일

한다. 그러나 최근에는 스칼라제어의 느린 토크 응답특성과 저속도운전에서의 운전특성 및 효율이 떨어지는 단점 때문에 순시적인 토크제어가 가능한 벡터제어를 세탁기에 적용하는 연구가 시도되고 있다.

유도 전동기를 인버터에 연결하여 선정된 PWM 방식으로 스위칭할 때 고조파 성분이 스위칭 주파수의 정수배의 주파수에 집중되어 스위칭 소음 및 기계적 진동이 생기는 단점이 있다[1-2].

따라서 전동기 구동시스템에서, 스위칭 소음 및 기계적 진동을 감소시키려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 가장 대표적인 방법이 RPWM이다 [3~7].

RPWM은 캐리어 주파수 또는 샘플링 시간을 가변 하는 RFPWM(Random Frequency PWM), 전압 펄스 위치를 제어주기 내의 가변 RPPWM(Random Position PWM), 임의 스위칭 RSPWM(Random Switching PWM) 등의 기법으로 구분된다[2,6].

기존의 SVPWM은 각 스위칭 주기마다 수치 연산을 필요로 하므로 마이크로프로세서를 포함하는 디지털 하드웨어가 필요하다.

본 논문에서는 구현하기에 비교적 간단한 RFPWM중 SPWM보다 높은 인버터 변조지수를 갖고, 기존의 SVPWM 방식과 달리 동일한 전압 변조 크기를 갖는 육상 전압을 이용한 SVPWM을 기반으로 하는 새로운 RPWM을 제안하였다.

그리고 인버터의 스위칭시 발생하는 문제들을 해결하기 위한 방법으로 부가적인 하드웨어 구성없이 소프트웨어적인 방법으로 RPWM 스위칭 방법을 구현하여 소음 및 기계적 진동 저감에 관한 시뮬레이션과 실험을 수행하였다.

2. 세탁기 종류 및 구동 방식

일반 세탁기(Top 방식)는 세탁통 아래 설치된 회전 날개를 좌우로 회전시키는 구조로 강한 물살을 이용한다. 상대적으로 짧은 시간에 세탁이 가능하다는 장점이 있지만 세탁물이 서로 엉키는 단점이 있다. 수질이 좋아 냉수 세탁이 가능한 한국·일본에서 주로 사용하며 미국 등에서도 사용된다.

비누가 잘 풀리지 않는 ‘센물’이 많은 유럽에서 주로 사용되는 드럼 세탁기는 다수의 작은 구멍이 뚫린 드럼이 수평축을 지점으로 하여 회전하고, 드럼 내부의 돌기판(baffle)에 세탁물이 걸려서 들어 올려져 수면에 떨어지는 방법으로 세탁을 한다.

그림 1은 구조에 따른 세탁기의 종류이다.

본 논문에서 사용한 드럼 세탁기는 3상 유도전동기와 드럼을 벨트로 연결한 (b)번 방식이다.

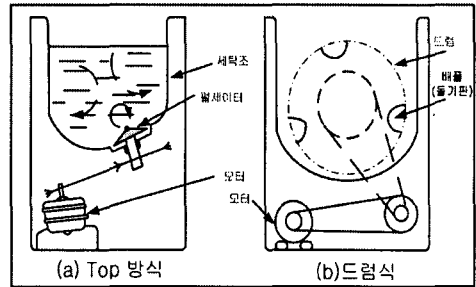


그림 1. 세탁기의 종류
Fig. 1. The types of washing machines

드럼 세탁기는 위상제어 정류기에 의한 유니버설 전동기방식이 저가격의 장점으로 사용되고 있다. 최근에는 에너지 절약 효과가 높은 PWM 인버터를 사용하는 3상 유도전동기 방식이 많이 보급되어 있다.

최근에는 벨트를 이용하지 않고 직접구동이 가능한 BLDC전동기를 이용한 드럼세탁기가 상용화 되어 사용되고 있다.

세탁기에 요구되고 있는 부하특성은 그림 2와 같이 20~30[Nm]의 높은 토크를 필요로 하는 저속 10~45[rpm]의 세탁모드와 800~1200[rpm]의 고속 회전이 필요한 탈수모드로 구별되는 두가지의 부하 토크 영역 있다.

현재 세탁기는 상이한 부하영역에 대하여 저속 및 높은 토크가 필요한 세탁모드에는 기어 및 풀리에 의해 감속비를 약 1:13.7로 하여 높은 토크를 낼 수 있도록 한다.

그리고 고속회전이 필요한 탈수모드에서는 기어를 제거하고 풀리만의 감속비로 변속해서 고속회전을 용이하게 한다.

그러나 본 연구의 실험에는 그림 2처럼 유도전동기와 드럼을 벨트만으로 연결하여 드럼의 속도를 세

탁 모드 45[rpm]에서 탈수 모드 1200[rpm]까지 넓은 속도영역에서 구동된다.

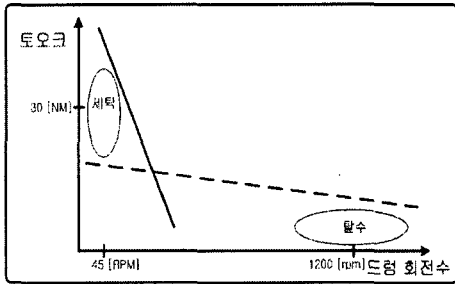


그림 2. 세탁기의 부하특성
Fig. 2. Load characteristics of washing machines

이로 인해 드럼을 회전시키기 위해 유도전동기를 넓은 속도영역 0~16440[rpm]에서 구동된다.

특히 드럼의 탈수 속도 1200[rpm]에서는 소음 및 진동이 최대가 된다.

이를 해결하기 위해서 본 논문에서는 RPWM방식을 적용하여 유도전동기를 적용한 드럼세탁기의 소음 및 진동 저감에 대하여 연구하였다.

그림 3에서 드럼 세탁기는 동작 영역이 크게 세탁과 탈수 두 가지로 구분되어진다.

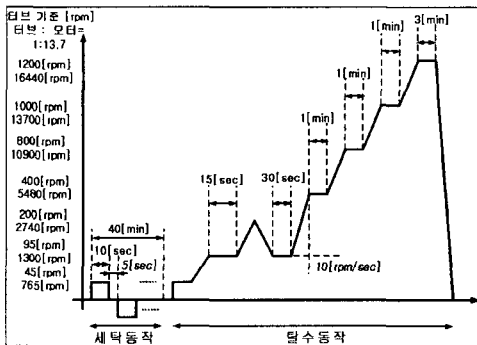


그림 3. 드럼 세탁기의 세탁 및 탈수 기준 속도
Fig. 3. Reference speed of washing and spinning in drum washing machines

그림 3에서와 같이 세탁 영역에서는 일정 시간 동안 드럼을 정·역회전시켜 세탁물을 세탁하게 된다. 세탁시 전동기의 속도는 756[rpm]이며 드럼의 속도는 45[rpm]이다.

세탁은 기존의 세탁기(Top 방식)는 옷감과 물의

마찰을 이용해 세탁을 하였으나 드럼 세탁기는 세탁 물을 중력을 이용해 떨어뜨려서 세탁을 하게 된다. 즉 드럼이 45[rpm]으로 회전하면서 세탁물을 감아올리고 정점에 도달하면 세탁물을 밑으로 떨어뜨려 세탁을 함으로써 세탁력이 기존에 비해 증가되어 마치 방망이로 두드려 세탁을 하는 원리이다.

그리고 기존의 세탁기가 물을 가득 채워서 세탁을 하는 반면에 드럼 세탁기는 필요한 물의 양이 50[%] 이상 줄일 수 있어서 경제적인 측면이 유리하다.

탈수 영역에서는 최대 탈수 속도는 그림에서와 같이 전동기속도 16440[rpm]이다. 이때의 드럼의 회전 속도는 1200[rpm]이다.

최종 속도에 도달하기 전에 이루어지는 동작은 탈수시 빨래의 엉킴을 풀어서 드럼의 수평을 유지하여 원활한 탈수를 가능하게 한다.

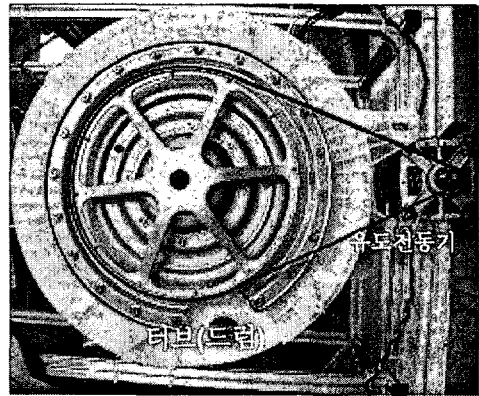


그림 4. 유도 전동기와 터브(드럼) 연결 상태
Fig. 4. Connects between induction machine and tub (drum)

그림 4는 실험에 사용한 드럼세탁기의 드럼과 유도전동기의 연결 상태를 보여준다.

벨트에 의해 유도전동기 속도를 감속하여 드럼에 동력을 전달하여 토크를 증가 시킨다.

그리하여 전동기 속도인 765[rpm]은 드럼 속도로는 약 1/14로 감소된 45[rpm]으로 회전하게 된다.

3. 고정주파수 PWM과 RPWM 기법

그림 5는 유도전동기 시스템에서 사용하는 인버

터를 구동하기 위한 PWM 패턴을 보여준다. 그림 5(a)는 기존의 고정주파수를 갖는 삼각파 캐리어를 이용한 변조법인 SPWM을 보이고 있다.

고정된 주파수의 삼각파 캐리어와 출력하고자 하는 기준값을 비교하여 인버터의 스위치를 스위칭하여 변조하는 방법이다.

그림 5(b)는 고정 주파수 대신 매 샘플링 주기마다 캐리어 주파수를 임의로 변경시킨 후 기준값과 비교하여 변조시키는 방법이다. 즉 캐리어 주파수를 임의로 가변 시키는 주파수 가변 RPWM이다.

주파수 가변 RPWM은 SPWM 기반인 경우 캐리어의 주파수를 임의적으로 변경시켜 만들고, SVPWM을 기반으로 하는 경우 제어주기를 임의적으로 변경하여 구현이 가능하다[5-6].

본 논문에서는 주파수 가변 RPWM 기법으로 스위칭 주파수를 광대역으로 분포시켰다.

또한 기존의 SVPWM 방식과 동일한 전압변조 크기를 가지면서 구현이 더 간단한 Offset전압을 이용한 SVPWM을 기반으로 하는 RPWM을 만든다.

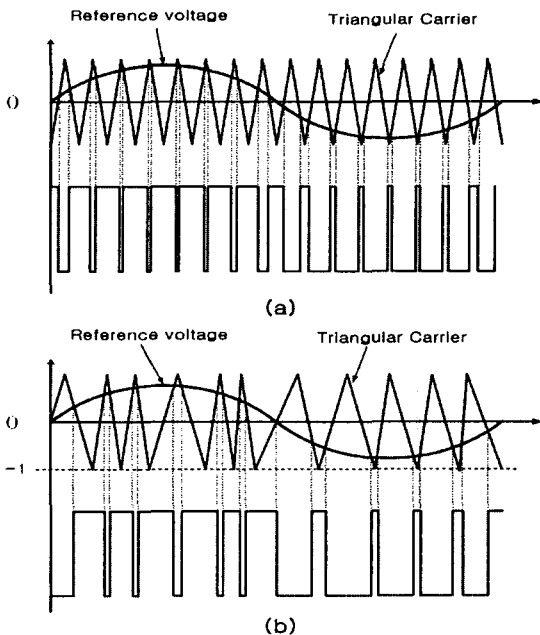


그림 5. SPWM과 RPWM의 PWM 패턴
 (a) 고정 캐리어 주파수 (b) 랜덤 캐리어 주파수
 Fig. 5. PWM pattern of SPWM and RPWM
 (a) Fixed carrier frequency (b) Random carrier frequency

4. 옵셋 전압을 이용한 SVPWM 기반 RPWM의 구현

실험에서 사용된 RPWM 기법은 Offset을 이용한 SVPWM 기법에 적용하였다[8].

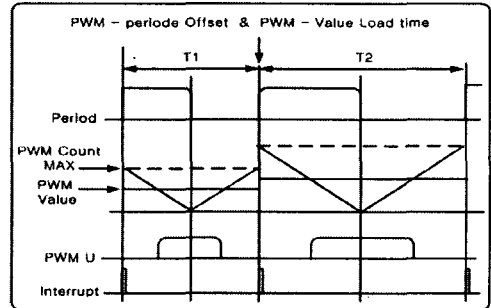


그림 6. 옵셋 전압을 이용한 SVPWM 기반 RPWM 스위칭 주기 가변
 Fig. 6. RPWM switching period changes based on SVPWM using offset voltage

그림 6은 주파수 가변 RPWM을 구현하기 위해 마이크로프로세서 내부 타이머를 이용하였다.

카운터의 초기값에 프로세서 내부에서 랜덤함수를 대입하여 생성된 Offset값을 임의로 저장하여 스위칭 주파수의 주기를 랜덤하게 가변된다.

T1 주기는 오프셋 값을 임의의 값으로, T2 주기는 Offset을 0으로 준 경우이다.

T1 주기가 T2 주기보다 오프셋 값만큼 줄어든 것을 볼 수 있다.

본 실험에서는 14.7[kHz]~16[kHz] 사이에서 스위칭이 되도록 하였다.

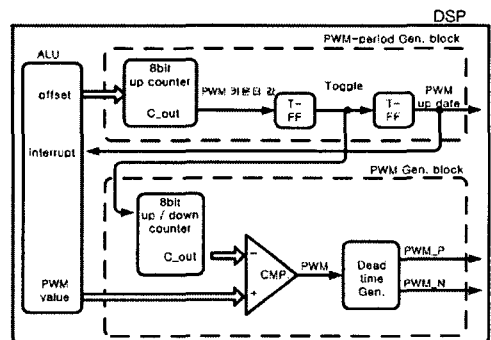


그림 7. RPWM 발생 블록도
 Fig. 7. Block of generating RPWM

그림 7은 RPWM 발생 블록도이다. 삼각파의 주기를 발생하는 블록에서 마이크로프로세서로부터 출력되는 임의의 오프셋 값을 읽어와 Up 카운터의 초기값으로 사용하여 임의의 주기를 출력한다.

발생된 임의의 주기를 바탕으로 Up/Down 카운터에서 임의의 주기를 갖는 삼각파 캐리어를 발생한다.

그리고 발생된 삼각파 캐리어와 전압 기준값을 비교하여 PWM 출력을 발생한다.

일반적인 전압지령치의 PWM 카운터 값은 식 (1) 과 같이 정해진다.

$$PWM\text{카운터값} = V^* \times \frac{PWM_CNT_MAX}{V_{dc}/2} \quad (1)$$

그러나 RPWM의 전압 지령치의 PWM 카운트 값은 식 (2)와 같이 최대 PWM 카운트 값에서 오프셋 값만큼 줄어든 값이 카운터에 저장된다.

$$PWM\text{ 카운터 값} = V^* \times \frac{(PWM_CNT_MAX) - \text{offset value}}{V_{dc}/2} \quad (2)$$

따라서 주파수가 가변되는 캐리어와 기준값을 비교하여 PWM을 수행하는 오프셋 전압을 이용한 SVPWM 기반을 둔 RPWM이 구현하는 것이 가능하다.

5. 시뮬레이션 결과

그림 8은 오프셋 전압을 이용한 SVPWM을 적용한 3상 전압형-인버터 구동 유도 전동기 시스템의 회로도이다.

시뮬레이션은 전력전자 전용 툴인 Psim 6.0으로 수행하였고 오프셋 전압을 이용한 SVPWM과 속도 제어는 Psim의 DLL(Dynamic link library)블럭에 의해 ANSI-C로 코딩하여 구성하였다.

전동기가 일정 속도로 회전 하고 있을 경우를 가정하고, 스위칭 주파수 16[kHz]로 인버터를 구동하고 속도제어는 슬립 주파수 제어를 이용하여 구현하였다.

그림 9는 속도 제어가 가능한 슬립 주파수 제어에

오프셋을 이용한 SVPWM 방식을 적용한 경우의 선간 전압 및 FFT 분석 결과이다.

스위칭 주파수의 정수배 주파수에서 집중적으로 고조파 성분이 발생된다.

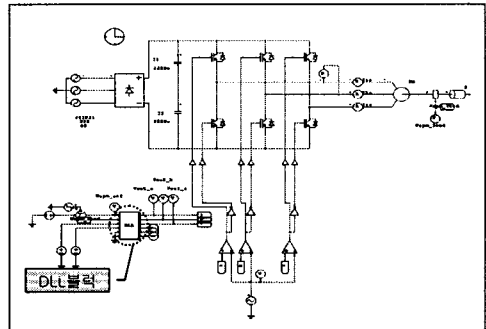


그림 8. 오프셋전압을 이용한 SVPWM을 적용한 3상 인버터 구동 유도 전동기 시스템
Fig. 8. Inverter fed 3 phase induction motor drive system utilizing SVPWM using offset voltage

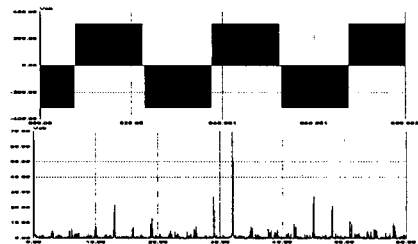


그림 9. 오프셋전압을 이용한 SVPWM의 선간전압 및 FFT 분석
Fig. 9. Analysis of line to line voltage and FFT

스위칭 주파수의 정수배의 대역에 집중된 고조파 성분 때문에 그 주파수 대역에 해당하는 소음이 발생되는 논문이 발표되었다[1-2].

실제로 가칭 주파수는 20[kHz]까지의 대역이다. 스위칭 주파수 16[kHz]의 고조파는 인간의 귀로는 감지할 수 없는 대역이다.

따라서 인버터의 스위칭 주파수를 20[kHz] 이상으로 높이면 가청소음이 줄어들지만, 그림 9에서 저차 고조파의 대역에서 소음이 발생하기 때문에 고조파 성분을 전대역으로 분산하는 RPWM 적용이 필요하다.

RPWM을 적용하면 주파수 스펙트럼상에 모든 대

RPWM기법을 이용한 세탁기용 유도전동기 구동 시스템의 소음 및 진동 저감

역으로 에너지가 고르게 분포됨을 알 수 있다.

그림 10은 오프셋 전압을 이용한 SVPWM을 기반으로 하는 RPWM을 적용한 유도전동기 구동 회로도이다.

기존의 오프셋 전압을 이용한 SVPWM을 구현하는 DLL 블록에 랜덤 캐리어를 발생하는 DLL 블록을 추가하여 RPWM을 구현하였다.

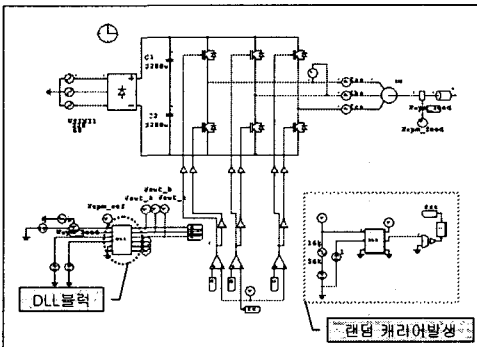


그림 10. 오프셋 전압을 이용한 SVPWM 기반 RPWM 구현을 위한 3상 인버터 구동 유도전동기 시스템
Fig. 10. Inverter fed 3 phase induction motor drive system utilizing SVPWM using offset voltage for realizing RPWM

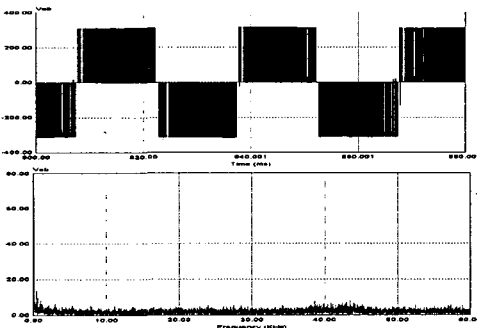


그림 11. RPWM을 적용한 선간전압 및 FFT 분석, 위[200V/div], x축[10(kHz)/div], y축[20V/div]
Fig. 11. Line to line voltage and FFT analysis utilizing RPWM

그림 11은 슬립 주파수 운전에서 오프셋 전압을 이용한 SVPWM을 기반으로 하는 RPWM 기법을 적용했을 때의 한상의 선간 전압과 그의 FFT 분석이다.

그림 9의 고정된 주파수의 오프셋 전압을 이용한 SVPWM 기법에서 스위칭 주파수의 정수배의 대역

에 집중된 고조파 성분이 RPWM을 적용한 후 광대역 주파수 영역으로 고르게 분포되었음을 볼 수 있다.

시뮬레이션 과정에서 드럼세탁기가 슬립주파수 제어에 RPWM기법으로 적용하였을 때 인버터의 출력 전압의 고조파가 넓은 대역으로 분포되어 Peak 값이 낮아짐을 알 수 있다.

6 실험 결과 및 고찰

표 1. 실험 대상 시스템 정격
Table 1. Rated parameter of system

Input voltage	1 ϕ 220	[V]
Switching frequency	16	[kHz]
DC-link voltage	311	[V]
Main controller	DSP	DSP56F803
Rated voltage	220/380	[V]
Rated current	3.4/1.9	[A]
Rated power	750	[W]
Rotated speed	3600	[rpm]
Pair pole number	2	

본 논문은 RPWM 기법에 의해 세탁기용 750[W]급 유도전동기 구동 시스템의 소음 및 진동 저감을 확인하기 위하여 모토로라사의 DSP56F803에 의한 디지털 제어로 슬립 주파수 제어방식에 오프셋 전압을 이용한 SVPWM 기반 RPWM을 적용하였다.

표 1은 실험에 사용한 드럼세탁기용 유도전동기의 파라미터를 나타낸다.

6.1 선간 전압의 FFT 분석

그림 12는 오프셋 전압을 이용한 SVPWM을 적용한 경우 상전류 및 전압 그리고 전압의 FFT 실험 결과 파형이다.

시뮬레이션과 동일하게 실험결과에서도 스위칭 주파수의 정수배 대역에 고조파 성분이 집중되어 있음을 알 수 있다.

따라서 고조파 성분이 집중된 대역의 주파수의 소음이 발생하게 된다[1-2].

FFT 파형의 x축이 5[kHz/div]이므로 스위칭 주파수인 16[kHz]에 가장 큰 에너지가 집중되어 있다.

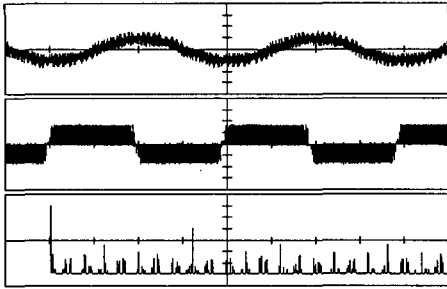


그림 12. 오프셋 전압을 이용한 SVPWM 방식의 상전류 및 선간전압 FFT 분석
 Fig. 12. FFT analysis of phase voltage and line to line voltage in SVPWM using offset voltage

그림 13은 RPWM 방식을 적용했을 경우 상전류 및 전압 그리고 전압의 FFT 분석결과이다.

오프셋 전압을 이용한 SVPWM으로 시스템 구동 시 특정 스위칭 주파수 대역에 집중되었던 고조파 성분이 광대역으로 분포되었다.

14[kHz]대역에서 고조파의 크기가 다른 대역에 비하여 크지만 RPWM을 적용하지 않았을 경우와 비교하면 그 크기는 더 작다.

따라서 RPWM을 적용하면 소음이 줄어들게 된다는 것을 간접적으로 알 수 있다.

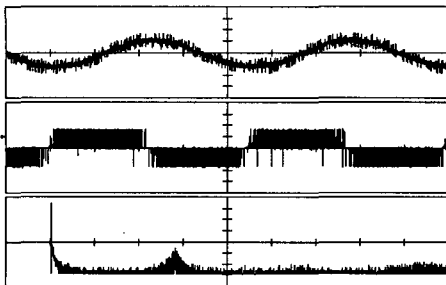


그림 13. 오프셋 전압을 이용한 SVPWM 기법에 RPWM을 적용한 경우 상전류 및 선간전압 파형과 선간 전압 FFT 분석
 Fig. 13. FFT analysis of phase voltage and line to line voltage in proposed system

6.2 스위칭 소음 측정

출력 전압의 FFT 분석을 통하여 간접적으로 소음이 줄어드는 것을 확인하였다. 더 명확한 소음 및 진동의 저감 효과를 확인하기 위하여 프랑스 OROS

사의 OR25 PC-Pack II장비를 사용하였다.

소음 측정은 실험 시스템의 정면 1[m]에서 실시하였다. 그림 14는 제안된 RPWM 기법을 적용하여 소음과 진동을 측정하기 위한 드럼 세탁기용 인버터 구동 유도 전동기 시스템의 전체 블록도이다.

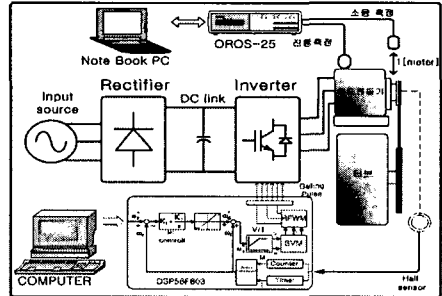


그림 14. 드럼 세탁기용 유도전동기 구동 장치의 소음 진동 측정 시스템
 Fig. 14. Noise and vibration measuring system for induction motor drive system in drum washing machines

그림 15는 세탁기 탈수 준비 동작중(5680rpm)의 RPWM을 적용하지 않을 때(a)와 적용했을 때(b)의 스위칭 소음 측정결과이다.

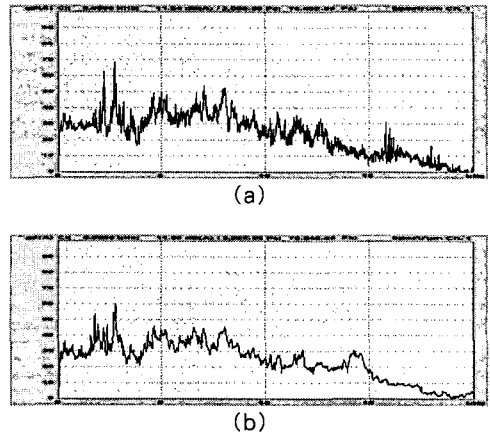


그림 15. 5600 [rpm]에서 가청 소음 측정 결과
 (a) 오프셋 전압을 이용한 SVPWM
 (b) 오프셋 전압을 이용한 SVPWM 기반 RPWM
 Fig. 15. Measure of acoustic noise at 5600 (rpm)
 (a) SVPWM using offset voltage
 (b) RPWM utilizing SVPWM using offset voltage

RPWM기법을 이용한 세탁기용 유도전동기 구동 시스템의 소음 및 진동 저감

주파수 스펙트럼 파형이 RPWM을 적용했을 경우 전체적인 레벨이 낮아짐을 정성적으로 확인할 수 있다.

그러나 실험 시스템에서의 소음은 여러 주파수별로 다양한 강도를 가지고 있기 때문에 주파수 별로 소음수준을 파악하는 것이 바람직하다.

소음 감소의 효과를 명확하게 보기 위하여 1/3 옥타브 소음 분석을 실시하였다.

그림 16에서 전동기 속도 5600[rpm]에서 실험 시스템에서 발생하는 소음은 고정주파수 PWM일 경우 69.51[dBPa]이었으나 같은 속도에서 RPWM을 적용하였을 경우 스위칭 소음이 66.89[dBPa]로 약 3[dBPa]만큼 감소하였다.

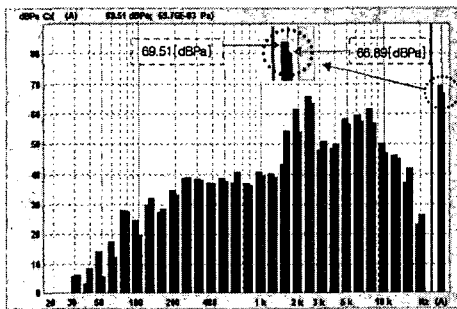


그림 16. 5600 [rpm]에서 가청 소음 측정 결과
Fig. 16. Measure of acoustic noise at 5600(rpm)

그림 17에서 (a)는 탈수 속도(16440 rpm)에서 고정 주파수 PWM일 경우 스위칭 소음의 spectrum 파형이고 (b)는 RPWM을 적용했을 경우이다. 전 구간에서 근소하게 peak가 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

그림 18은 탈수 동작(16440[rpm])에서 RPWM을 적용하지 않았을 때와 적용했을 때의 1/3 옥타브 소음 분석을 나타낸다.

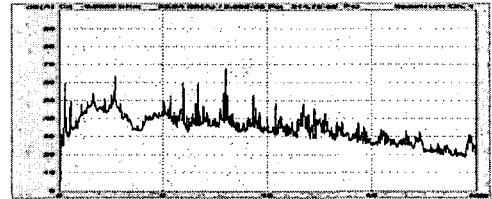
실험 시스템에서 발생하는 소음이 74.13[dBPa]에서 70.77[dBPa]로 약 3[dBPa] 정도 낮아졌다.

즉 탈수 모드에서 RPWM을 적용한 실험을 통하여 실험 시스템의 소음이 저감되었다.

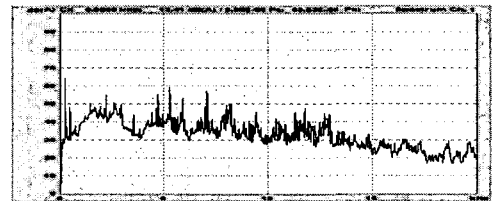
참고로 그림 18에서 RPWM을 적용하지 않았을 경우 가장 큰 소음이 나는 대역은 스위칭 주파수의 저차 고조파인 8[kHz] 대역이라는 것을 알 수 있다.

그리고 RPWM의 적용과 상관없이 약 300[Hz] 대역에서 비교적 큰 소음이 발생하는데 이 부분은 전

동기의 베어링과 축 사이에서 나는 기계적 마찰음으로써 스위칭 주파수와는 무관하다.



(a)



(b)

그림 17. 16440 [rpm]에서 가청 소음 측정결과
(a) 오프셋 전압을 이용한 SVPWM
(b) 오프셋 전압을 이용한 SVPWM 기반 RPWM

Fig. 17. Measure of acoustic noise at 16440(rpm)
(a) SVPWM using offset voltage
(b) RPWM utilizing SVPWM using offset voltage

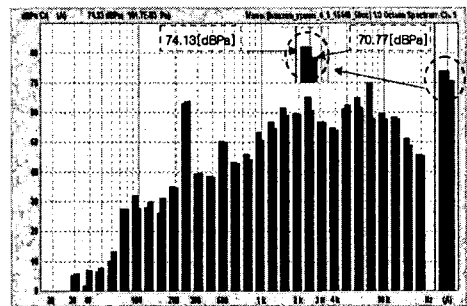


그림 18. 16440 [rpm]에서 가청 소음 측정 결과
Fig. 18. Measure of acoustic noise at 16440(rpm)

6.3 기계적 진동 측정

실험 대상 세탁기는 탈수모드에서 전동기의 진동이 크게 나타나기 때문에 최고 탈수 속도인 1200[rpm]에서 실험을 하였다.

전동기 표면에 압전소자로 이루어진 accelerometer를 부착하여 진동을 측정한다.

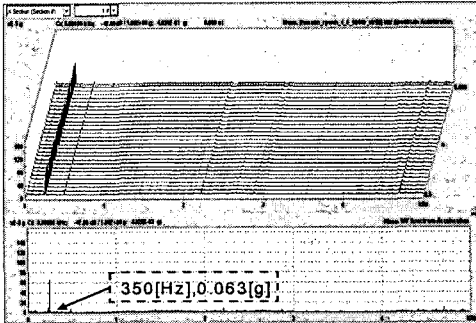


그림 19. 16440 (rpm)에서 오프셋 전압을 이용한 SVPWM기법 적용시 진동 측정결과
Fig. 19. Measure of vibration at 16440(rpm) applying SVPWM using offset voltage

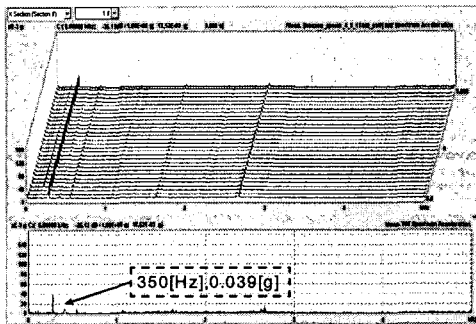


그림 20. 16440 (rpm)에서 오프셋 전압을 이용한 SVPWM 기반 RPWM 기법 적용시 진동 측정 결과
Fig. 20. Measure of vibration at 16440(rpm) applying FPWM utilizing SVPWM using offset voltage

그림 19에서 RPWM을 적용하지 않았을 경우 진동이 특정 주파수(350[Hz])에서 0.063[g] 정도의 진동이 발생한다.

그림 20은 RPWM을 적용하였을 경우 특정주파수(350[Hz])에서 약 40[%] 정도 감소한 0.039[g] 진동이 측정되었고 그 주변 주파수 대역으로 진동이 분산되었다.

7. 결 론

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

1) 인버터 출력전압의 선형 제어 영역이 기존의 SVPWM과 동일하며 구현하기 쉬운 오프셋 전압을 이용한 SVPWM기법을 이용한 RPWM 기법을 소프트웨어적인 방법으로 구현하여 인버터 성능의 신뢰성 및 편리성을 확보하였다.

2) SVPWM을 기반으로 하는 RPWM 기법을 적용한 드럼세탁기 구동에서 소음 저감효과를 얻었다. 탈수 모드(전동기 16440[rpm])에서 가청 소음이 약 3[dBPa]정도 감소하였다.

3) SVPWM을 기반으로 하는 RPWM 기법을 적용한 드럼세탁기 구동에서 진동의 저감효과를 얻었다. 탈수모드 운전시 특정 주파수(350[Hz])에서 진동이 RPWM을 적용하기 전보다 40[%] 정도 감소하였다.

4) 제안된 SVPWM 기반 RPWM을 구현하기 위하여 PSIM6.0에 의한 시뮬레이션 수행과 함께 EPLD 없이 단일칩 모토로라 DSP56F803으로 제어되는 실험장치로 진동 및 소음 저감이 이루어짐을 확인하였다.

이 논문은 삼성전자의 지원을 받은 SFARC 2003-0656-800에 의하여 연구되었음. (2003.09~2004.08)

References

- [1] S. Iida, Y. Okuma, S. Masukawa, S. Miyairi, B.K. Bose, "Study on magnetic noise caused by harmonics in output voltages of PWM inverter", Proceedings of IECON '90, pp. 1155~1161, 1990.
- [2] 나석환, 정영국, 임영철, "인버터 구동 시스템을 위한 새로운 공간벡터 Random PWM기법", 전력전자 학회 논문지 제6권, 제6호, pp. 525~537, 2001.
- [3] Boys, J.T. Andrews, M, "Random PWM inverter drive systems: theory and practice", Proceedings of the IECON '93. Conf. vol.2, pp.695~700, 1993.
- [4] A. M. Trzynadlowski, F. Blaabjerg, "Random Pulse width modulation technique for converter-fed drive system - a review", IEEE Trans. On Ind. vol. 30, no. 5, pp. 1166~1175, 1994.
- [5] Yen-Shin Lai, "Random switching techniques for inverter control", Electronics Letters, Vol. 33, pp.747~749, 1997.
- [6] S.H. Na, Y.G. Jung, H.G. Kim, and Y.C. Lim, "A new space vector random PWM scheme for induction motor drives", Proceedings of ICPE '01, pp.160~168, 2001.
- [7] 서영민, 홍순찬, "견인 전동기 구동시스템의 소음 저감을 위한 MRSF-PWM 방식", 전력 전자 학회 논문지 제7권, 제3호, pp. 262~271, 2002.

RPWM기법을 이용한 세탁기용 유도전동기 구동 시스템의 소음 및 진동 저감

[8] Dae-Woong Chung, Seung-Ki Sul, "Unified voltage modulation technique for real time three-phase power conversion", IEEE IAS '96. Vol. 2, pp. 921~926, 1996.

◇ 저자소개 ◇

이원철 (李元喆)

1977년 4월 9일생. 2003년 성균관대 전기전자컴퓨터공학부 졸업. 2004년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기전자공학과 박사과정.

김이훈 (金利勳)

1970년 7월 7일생. 성균관대 대학원 메카트로닉스 공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 메카트로닉스 공학과 박사과정.

배우리 (裴우리)

1980년 4월 1일생. 2004년 수원대 전기공학과 졸업. 현재 성균관대 대학원 전기전자공학과 석사과정.

장봉안 (張鳳安)

1963년 6월 27일생. 1989년 중앙대 전기공학과 졸업(학사). 현재 삼성전자 세탁기개발팀 수석연구원.

양하영 (楊河榮)

1965년 7월 10일생. 2002년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 삼성전자 세탁기개발팀 책임연구원.

원충연 (元忠淵)

1955년 5월 10일생. 1978년 성균관대 전기공학과 졸업. 1980년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991년 12월~1992년 12월 미국 테네시 주립대학 전기공학과 방문교수. 1988년~현재 성균관대 전기전자컴퓨터 공학부 교수.