

DSP기반의 캐리어 변조 Random PWM 기법

°김희근 임영철 °나석환 °°김영철 °°정영국  
 °전남대학교 전기공학과 °(주)하우 °°대불대학교 전기공학과

A DSP based Randomly Modulated Carrier PWM Scheme

Hoe Geun Kim ° Young Cheol Lim ° Seok Hwan Na ° Young Cheol Kim °° Young Gook Jung  
 Dept. of Electrical Eng. Chonnam National University ° How °°  
 Dept. of Electrical Eng. Daebul University °°°

**Abstract** - This paper describes an implementation of the DSP(Digital Signal Processor) based triangular carrier frequency modulated RPWM inverter drive system. The power spectrum of the noise emitted from the induction motor was measured in the anechoic chamber. The analysis of the sources for the acoustic noise and the effects of the noise reduction are confirmed by the measured spectra of the noise. Real-time RPWM along with the speed control was achieved by high speed DSP. By changing the center frequency and the bandwidth of the carrier, the proposed real-time RPWM scheme can be used as an efficient switching frequency band acoustic noise reduction method for the inverter drive system with variant load conditions.

비해 한 스위칭 구간에 대한 듀티비 설정을 위한 계산 과정이 필요 없기 때문에 스위칭 패턴을 매우 간단하게 구할 수 있다는 장점이 있다.

Habetler와 Divan[5-6]은 삼각파 캐리어 변조 RPWM을 구현하기 위하여, 랜덤 데이터를 미리 ROM에 저장한 후 실행 중에 록-업 테이블을 참조하여 랜덤 주파수를 발생하였다. 이 방법은 피크 검출기, 카운터, ROM, D/A변환기, 삼각파 발생 회로 등 여러 가지 하드웨어 장치로 말미암아 RPWM의 유연한 설계가 어렵다는 문제점이 있다. 또한 ROM에 저장된 데이터의 한계 때문에 출력 전압의 기본파 주파수가 17Hz인 경우 중심 스위칭 주파수를 1kHz로 한정하여 그 결과를 실험 분석함으로써, 삼각파의 랜덤 주파수 변화의 폭에 대한 고찰이 미진하였다. 소음 측정방법에 있어서는 전용의 소음측정기 대신 마이크로폰과 스펙트럼 분석기를 사용하였기 때문에 기계적인 소음이 측정되지 않아 기계적인 소음과 전자기적인 소음의 상대적인 비교와 검토가 없었다.

1. 서 론

현재 산업 현장에 보급되어있는 고정 주파수 방식의 삼각파 변조 캐리어 PWM과 공간벡터 PWM 인버터는 모터의 인가 전압과 전류에 고정 스위칭 주파수에 따른 협대역의 고조파를 발생시키고 있다. 이와 같은 인버터의 협대역 스위칭은 곧바로 모터의 전자기적 소음의 원인이 되고 있다[1-2]. 인버터 스위칭에 의한 전자기적 소음은 협대역의 고조파수로 발생되기 때문에 사람이 느끼기에는 광대역의 소음보다는 훨씬 더 고통을 주고 있다 [3]. 이와 같은 가청소음 저감에 관한 연구로서 우선 고조파 제거형 PWM에 의한 소음 저감 방법[4]이 있다. 이 방법은 특정 주파수의 음조를 제어하기 위한 스위칭 펄스의 온/오프 각을 ROM에 저장하여 운전 중에 참조하는 방법이다. 그러나 원하는 파형을 만들기 위한 데이터의 저장 용량이 커야 하며 정상상태에서만 소음 저감의 효과가 나타나므로 잦은 과도상태를 수반하는 전류 제어형 구동 장치에는 적합하지 않다.

따라서 본 연구에서 이상에서 지적된 종전의 방법의 문제점을 개선하기 위하여, DSP 기반의 유연성이 뛰어난 삼각파 캐리어 변조 방식의 RPWM기법을 제안하였다. VVVF방식의 속도 제어 알고리즘 수행 및 실시간 변조 함수 생성을 DSP로 구현하여, 실시간으로 넓은 운전 범위 (10~90Hz)에서 RPWM이 가능하도록 하였다. 구현된 실시간 RPWM 인버터의 가청소음 저감을 확인하기 위하여 무향실(無響室)에서 측정된 소음의 파워 스펙트럼과 모터전압 및 전류의 스펙트럼을 고정 주파수의 캐리어 변조 PWM기법, 공간벡터 RPWM기법과 비교하였으며, 다양한 캐리어 랜덤 주파수에 따른 소음의 저감 효과를 분석하였다.

2. 캐리어 변조 Random PWM 기법

스위칭 주파수가 일정 또는 가변 되는 PWM 시스템에서 k차 고조파에 의한 신호의 세기  $P_k$ 는 n번째 스위칭 구간에서 온 되는 시점  $\theta_n$  및 기본파 1주기의 스위칭 횟수 N에 대해 다음과 같은 관계가 있다.[2]

$$P_k \propto \left| E \left[ \sum_{n=1}^N \frac{1}{a_n} \frac{\sin(\pi \frac{k}{N} \bar{a}_n)}{\pi \frac{k}{N} \bar{a}_n} e^{-j2\pi k t / N a_n} e^{-j2\pi k t / N \theta_n} \right] \right|^2 \quad (1)$$

여기서,  $E(\cdot)$ 는 통계적 기대치를 의미하며,  $\bar{a}_n$ 은 n번째 스위칭 구간의 평균 듀티비를 나타낸다.

식(1)은 정현파 함수의 합으로 PWM 삼각파 주파수가

근래에 와서 PWM의 스위칭 주파수를 특징하게 고정시키지 않고 넓은 주파수 영역에서 스위칭이 이루어지도록 하여 소음의 파워 스펙트럼을 넓은 주파수 영역으로 고루 분산시켜 사람에게 고통을 주는 가청 소음을 저감시키고자 하는 RPWM에 관한 연구[1-2][5-9]가 진행되고 있다. RPWM 기법은 간단한 계산만으로도 랜덤한 주파수를 갖는 스위칭 패턴을 얻을 수 있으므로 가청소음 저감을 위한 PWM 기법으로서 관심이 집중되고 있다. RPWM 기법은 삼각파 캐리어의 주파수를 랜덤하게 변조하는 방법[5-6]과 속도 지령치 전압 공간벡터의 스위칭 펄스 각도 또는 펄스 위치를 랜덤하게 변경시키는 방법으로 구분된다[1-2][7-9]. 그 중에서 삼각파 캐리어 주파수 변조에 의한 RPWM은 공간벡터에 의한 RPWM에

일정하다면  $\sum_{n=1}^N \sin(\pi \frac{k}{N} \bar{a}_n) = 0$ 이 되므로 통계적 기댓값(E{·})도 0이 된다. 또한 이것은 스위칭 주파수의 정수배에 해당하는 주파수대에서 펄스 모양처럼 파워 스펙트럼의 세기가 강하게 나타나며, 파워 스펙트럼의 피크를 잇는 포락선은 정현파 형태가 됨을 의미한다. 만약  $\theta_n$ 이 랜덤변수라면, 식(1)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_k \propto \left| \sum_{n=1}^N \frac{\sin(\pi \frac{k}{N} \bar{a}_n)}{\pi \frac{k}{N} \bar{a}_n} e^{-j2\pi k/N \bar{a}_n} \cos \left[ \pi \frac{k}{N} (1 - \bar{a}_n) \right] \right|^2 \quad (2)$$

식(2)는 급수의 각 항들이 여현함수 형태로 감소하며, k가 증가함에 따라 파워 스펙트럼의 세기가 감소함을 의미한다. 이상에서 인버터 스위칭 온/오프 각을 제어함에 따라 인버터 출력전압 및 전류(모터의 입력전압 및 전류) 그리고 모터의 전자기적 소음의 파워 스펙트럼의 분포를 제어할 수 있다.

그림1은 고정 주파수의 삼각파와 랜덤한 주파수의 삼각파를 이용한 PWM 방식인 경우의 삼각파, 전압 지령치, 그리고 PWM 스위칭 패턴을 나타내고 있다.

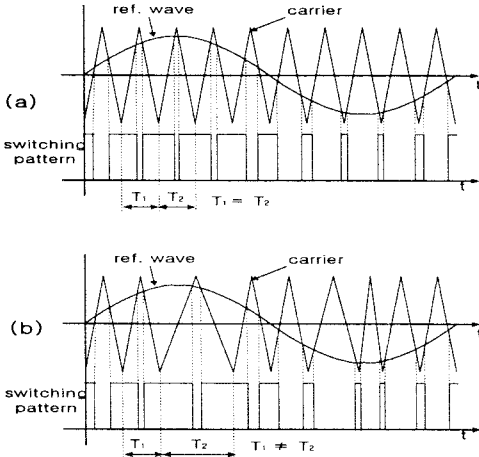


그림1 캐리어 변조 방식의 스위칭 패턴  
(a)고정 스위칭 주파수 (b)랜덤 스위칭 주파수  
Fig.1 Carrier modulated switching patterns (a) fixed switching frequency (b) random switching frequency

그림2에는 그림1에서 나타난 각 PWM방식에 대한 파워 스펙트럼을 보이고 있다. 그림2(a)는 일반적인 고정 주파수로 동작시켰을 때 스위칭에 의한 고조파가 특정 협대역 주파수대에 집중되어 있는 상태를 보이며, 그림 2(b)는 랜덤한 주파수를 갖는 스위칭에 의하여 고조파가 넓은 대역에 분산되어 있는 상태를 보이고 있다.

일반적인 PWM 인버터의 온/오프 스위칭은 고정 스위칭 주파수로 동작되기 때문에 스위칭 주파수의 정수배에 해당하는 주파수대에 이산치의 강한 고조파 성분이 나타난다. 그러나 고정 주파수가 아닌 여러 주파수가 혼재하는 PWM 스위칭을 한다면 전압, 전류, 소음 등의 스펙트럼을 광대역화 할 수 있다. 이렇게 할 경우 특정 스위칭 주파수 대에 강하게 존재하던 고조파 성분의 세력이 약해진다. 즉 연속치 성분의 스펙트럼은 다소 증가하지만 EMI, 진동, 소음 등에 좋지 않은 영향을 미치는 이산치 성분의 스펙트럼은 현저히 감소하게 된다. 이산치 성분의 크기는 고조파 성분의 크기를 의미하며 이산치 성

분의 크기가 감소하면 EMI, 기계진동 및 소음 저감에 효과가 있다.

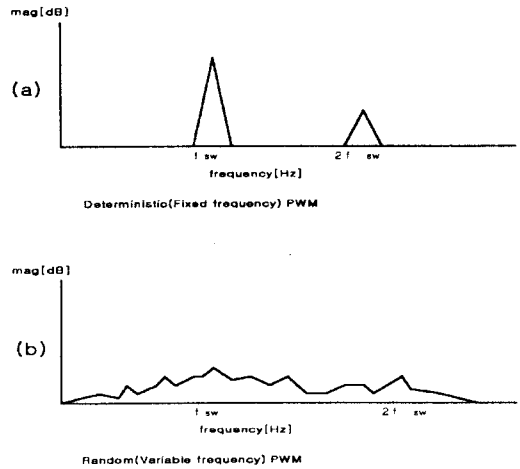


그림2 각 PWM방식의 파워 스펙트럼

(a)고정주파수 (b)랜덤주파수

Fig.2 Power spectrum of each PWM schemes

(a)fixed frequency (b)random frequency.

본 연구에서는 삼각파 캐리어 변조에 의한 RPWM을 속도 제어와 더불어 효율적으로 수행할 수 있고, 부하 조건의 변화에 능동적으로 대처하기 위하여 변조 함수가 실시간적으로 변화할 수 있도록 하였다. 변조 함수는 파워 스펙트럼의 고른 분산을 위해 정현 함수보다는 랜덤 함수가 더 적합하다. 랜덤 함수를 잘 선택하여 RPWM이 수행된다면 전압, 전류 및 소음의 전체적인 파워 스펙트럼의 세기에는 별 영향을 미치지 않으면서 스위칭 주파수만을 넓은 광범위하게 변화시킬 수 있음은 식(2)의 해 알 수 있다.

랜덤 함수를 사용하여 RPWM을 수행할 경우에 생성되는 스위칭 주파수는 이상적으로 수 MHz정도까지 되어 모든 주파수 영역의 스펙트럼이 고루 나타날 수 있지만, 현재 산업용 전력변환기에 이용되는 전력용 반도체 스위칭 소자의 스위칭 주파수에는 한계가 있다. 따라서 랜덤 함수의 출력은 스위칭 소자의 주파수 한계를 감안하여 삼각파 랜덤 주파수의 최대값과 최소값을 설정하여야 한다.

### 3. 실험 시스템의 구성

#### 3.1 시스템 구성

그림3에는 캐리어 변조 RPWM을 구현하기 위한 종전의 방법[5-6]을 나타내고 있다. 제한된 밴드의 노이즈 발생기는 오프라인의 록업 테이블에 의하여 구현되고 있으며 많은 양의 랜덤수는 ROM에 저장된다. ROM의 출력은 캐리어의 경사도를 구하기 위해 D/A 변환기로 전달된다. 이 방법은 하드웨어 필터, 샘플 홀드 소자등이 필요하지 않으며 캐리어를 변조하는 노이즈 함수를 사용하는 방법보다 간단하다[5-6]. 그러나 여러 가지 하드웨어 장치로 말미암아 RPWM의 유연한 설계가 어렵다는 문제점이 있다. 또한 ROM에 저장된 데이터의 한계 때문에 출력 전압의 기본파 주파수가 17Hz인 경우 중심 스위칭 주파수를 1kHz로 제한하여 그 결과를 실험 분석함으로써, 삼각파의 랜덤 주파수 변화의 폭에 대한 고찰이 미진하였다.

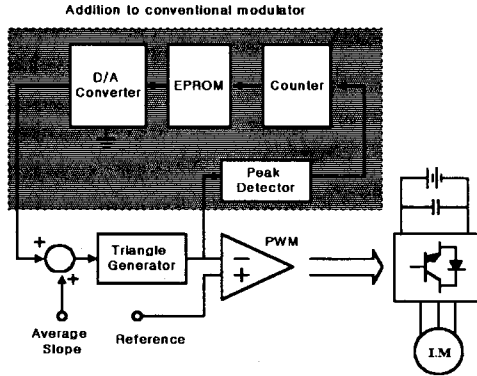


그림3 종전의 삼각파 캐리어 변조방식 APWM 인버터  
Fig.3 Conventional triangular carrier modulated APWM inverter system.

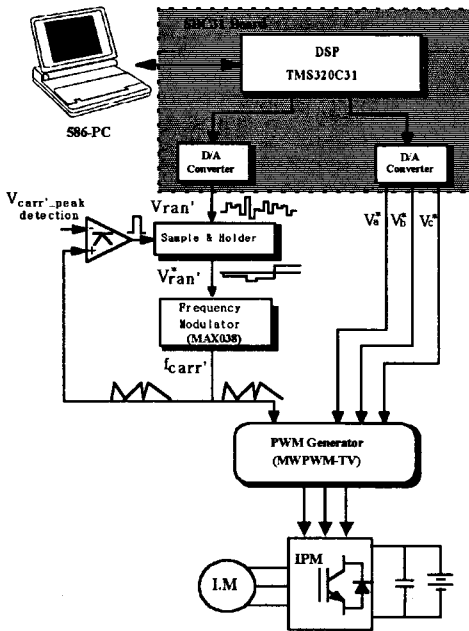


그림4 제안된 삼각파 캐리어 변조방식 APWM 인버터  
Fig.4 Configuration of the proposed triangular carrier modulated APWM inverter system.

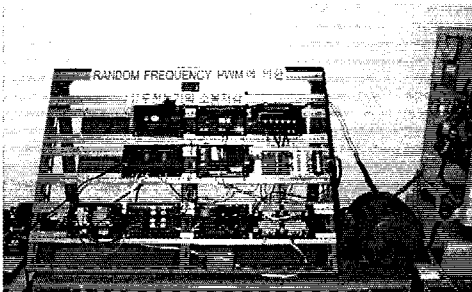


그림5 DSP기반의 APWM 인버터 구동장치 사진  
Fig.5 Photograph of DSP based APWM inverter drives.

그림4와 그림5는 본 연구에서 제안된 DSP에 의한 실시간 속도제어와 캐리어 주파수 변조가 가능한 RPWM 인버터 구동 장치에 대한 구성도와 실험장치 사진이다. 실험 장치는 ①속도제어 지령치 및 변조함수 발생부, ②삼각파 주파수 변조부, ③PWM 발생부, ④인버터 및 유도모터로 구성되어 있다. 표1에는 본 연구의 실험에 사용된 시스템 파라미터를 나타내고 있다.

표 1 실험시스템 파라미터  
Table 1 Parameters of experimental system

Digital Signal Processor(DSP)	TMS320C31-60MHz
IPM	PMC20U060 - 600V/20A
PWM	Carrier Modulated PWM / RPPWM(3KHz- 9KHz)
PWM Generation Module	MWPWM-TV
Frequency Modulator	MAX038
Motor	Three phase squirrel cage Induction Motor
Motor Parameters	Rating : 2hp 200V/60Hz
	Stator resistance : 3.35 ohm
	Rotor resistance : 1.99 ohm
	Inductance : 163.73mH
	Leakage inductance : 6.94mH Inertia factor : 0.1kgm <sup>2</sup>

### 3.2 스위칭 소음 측정

일반적으로 소음은 발생하는 형태나 종류가 매우 광범위하여 실제 소음에 관련된 계측의 방법 또한 다양하다. 발생하는 소음을 수량적으로 평가하기 위해서 음의 세기 레벨(intensity level), 음압 레벨(pressure level), 음의 크기 레벨(loudness level), 소음레벨(noise level) 및 음향 파워 레벨(power level) 등과 같은 표현을 사용하는데, 유도모터의 경우 주로 소음계측기에 의한 음향 파워레벨을 측정하고 있다. 보편화된 규격에서는 소음원 즉, 전동기의 축 방향과 상측 반지름 방향 등 두 지점에 마이크를 설치하여 평균하는 방식을 사용하고 있으므로 본 논문에서는 편의상 보편화된 규격으로 측정하였다.

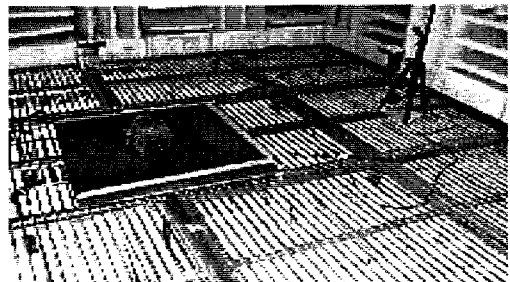


그림6 무향실에서의 모터의 스위칭 소음 측정 사진  
Fig.6 System photograph for measuring audible switching noise of motor in anechoic chamber

본 연구에서 인버터에 의해 구동되는 유도모터의 스위칭 소음의 파워 스펙트럼을 얻기 위한 실험은 특별히 설계된 삼성전자 광주공장의 6면이 모드 흡음체로 밀폐되어 있는 무향실(無響室)에서 수행되었으며, 측정 장비로는 소음 및 진동신호에 대한 분석이 가능한 전용 측정기 「RION SA-74」를 사용하였다. 실험 결과의 분석에 사용된 데이터는 유도모터로부터 축 방향으로 1m 떨어진

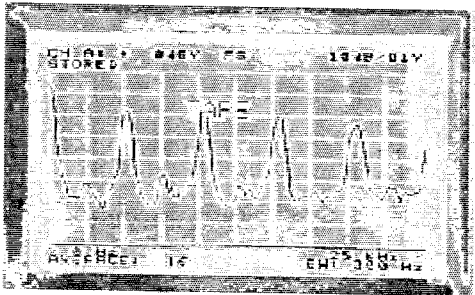
곳과 상측 반지름 방향으로 1m 떨어진 곳 등 두 지점에 설치된 마이크로미터 측정된 값을 평균하여 얻은 값을 사용하였다. 그림6은 무향실에서 모터의 가청 스위칭 소음을 측정하고 있는 사진을 보이고 있다.

#### 4. 실험 결과 및 고찰

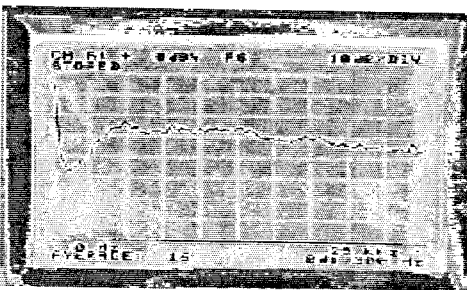
제안된 DSP 기반의 삼각파 캐리어 RPWM 인버터에 의해 1.5kW의 산업용 유도모터를 정격 주파수 60Hz, 무부하로 무향실에서 구동할 때, 모터 입력 전압 및 전류의 파워 스펙트럼, 그리고 소음에 대한 파워 스펙트럼을 측정하여 분석하였다.

##### 4.1 인버터 출력 전압(모터 전압)의 파워 스펙트럼

그림7과 그림8은 삼각파 캐리어 PWM과 공간벡터 PWM에 의한 모터 전압의 파워 스펙트럼을 비교한 것이다. 그림7(a)은 5kHz 고정 주파수의 삼각파 캐리어 변조 PWM방식이며, 그림7(b)은 본 연구에서 제시된 변조 함수 호출에 의한 캐리어 변조 RPWM방식이다. 고정 주파수 PWM에 의한 그림7(a)에서는 전압의 파워 스펙트럼이 특정 주파수에 집중된 형태이다. 그러나, 삼각파 캐리어 주파수가 4~12kHz(중심주파수를 8kHz로 하고, 삼각파 캐리어 주파수 변화폭이  $\pm 4$ kHz로 변화)로 변화하고 있는 RPWM에 의한 그림7(b)에서는 전압의 파워 스펙트럼이 넓은 주파수 영역에 걸쳐 평탄하게 분산된 형태임을 알 수 있다.



(a) 5kHz deterministic carrier PWM



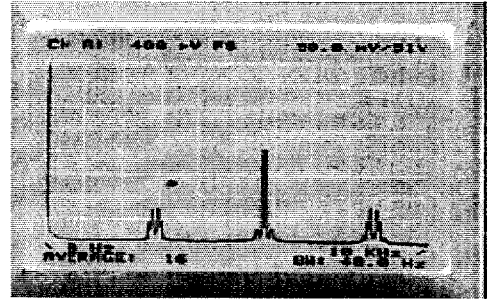
(b) 4~12kHz Randomly modulated carrier PWM

그림7 삼각파 캐리어 변조PWM 방식의 모터 전압의 파워 스펙트럼

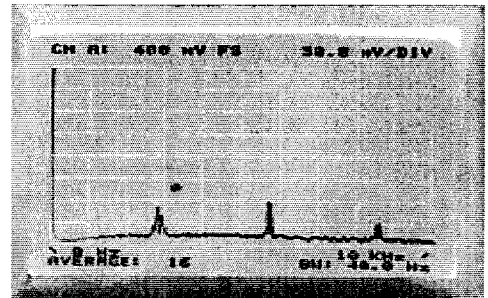
Fig.7 Power spectrum of motor voltage in case of triangular carrier PWM

그림8(a)는 3kHz 고정 주파수 공간벡터 PWM방법에 의한 전압의 파워 스펙트럼이다. 공간벡터의 특징인 3kHz 스위칭 주파수의 2배 주파수 6kHz 영역에서 가장 강한 고조파 성분이 있고, 스위칭 주파수 영역에 두 번

째로 강한 고조파 성분이 존재하고 있다. 그림8(b)에는 3kHz 공간벡터 RPWM방법에 의한 전압의 파워 스펙트럼을 나타내고 있다. 그림7(b)에 비하여 고조파는 약간 잔류는 하고 있으나 전반적으로 전압파워 스펙트럼을 광대역으로 분산시키고 있음을 알 수 있다.



(a) 3kHz deterministic Space Vector PWM



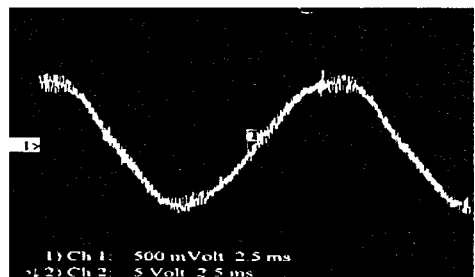
(b) 3kHz Space Vector Random PWM

그림8 공간벡터 PWM방식의 모터 전압의 파워 스펙트럼  
Fig.8 Power spectrum of motor voltage in case of space vector PWM

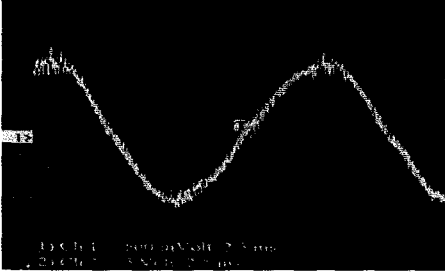
##### 4.2 인버터 출력전류(모터 전류) 파형

그림9와 그림10은 삼각파 캐리어 PWM과 공간벡터 PWM에 의한 모터 전류를 비교한 것이다. 그림9(a)는 고정 주파수 삼각파 캐리어 변조 PWM방식이며, 그림9(b)은 본 연구에서 제시된 실시간 변조 함수 호출에 의한 캐리어 변조 RPWM방식이다.

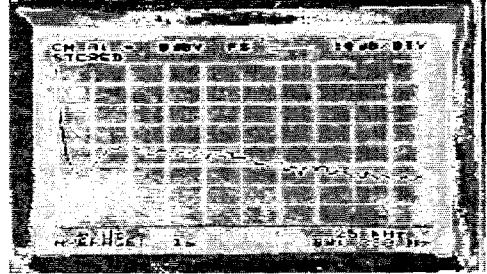
본 연구에서 제시된 방법은 고정 주파수 공간벡터 PWM방법과 공간벡터 RPWM에 의한 전류인 그림10(a)와 그림10(b)와 비교해 보아도 외견상으로 큰 차이는 없으며, 모두 정현파 형태를 갖추고 있다. 이것은 결국 고정 주파수 PWM에 의한 모터 구동과 RPWM에 의한 모터 구동의 성능에는 별 차이가 없다는 것을 나타낸다고 할 수 있다.



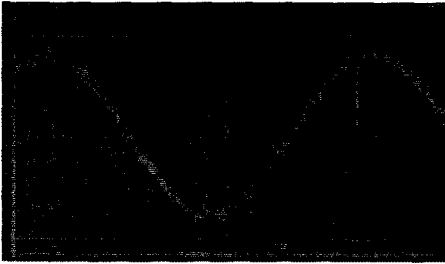
(a) 5kHz deterministic carrier PWM



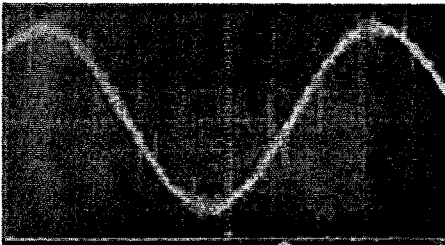
(b)4~12kHz Randomly modulated carrier PWM  
 그림9 삼각파 캐리어 변조PWM 방식의 모터 전류의 파형  
 Fig.9 Waveform of motor current in case of triangular carrier PWM



(b)4~12kHz Randomly modulated carrier PWM  
 그림11 삼각파 캐리어 변조PWM 방식의 모터 전류의 파워 스펙트럼  
 Fig.11 Power spectrum of motor current in case of triangular carrier PWM



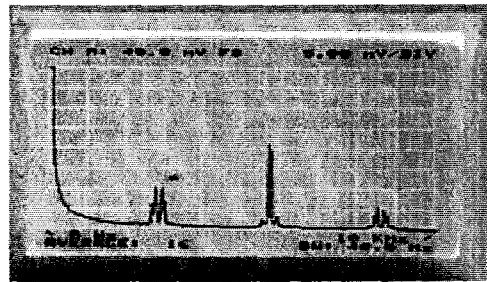
(a)3kHz deterministic Space Vector PWM



(a)3kHz deterministic Space Vector PWM

(b)3kHz Space Vector Random PWM

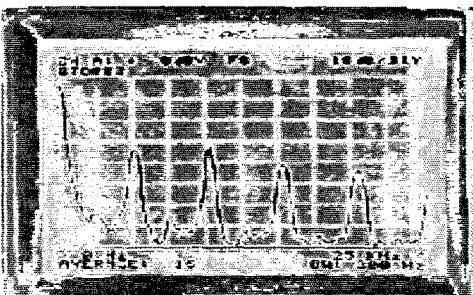
그림10 공간벡터 PWM방식의 모터 전류의 파형  
 Fig.10 Waveform of motor current in case of space vector PWM



(b)3kHz Space Vector Random PWM  
 그림12 공간벡터 PWM방식의 모터 전류의 파워 스펙트럼  
 Fig.12 Power spectrum of motor current in case of space vector PWM

### 4.3 모터 전류의 파워 스펙트럼

그림11과 그림12는 캐리어 변조 PWM방식과 공간벡터 PWM 방식에 의한 모터 전류의 파워 스펙트럼을 비교한 것이다.



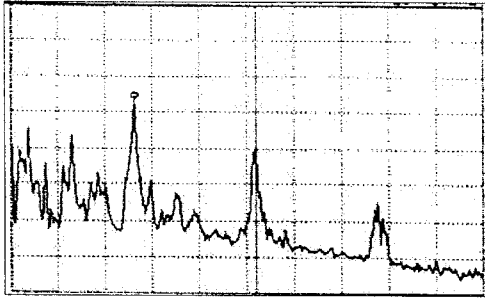
(a)5kHz deterministic carrier PWM

속도 제어 알고리즘으로부터 출력되는 전압 지령치 신호가 정현파이므로, 전류에 대한 파워 스펙트럼도 전압의 파워 스펙트럼과 비슷한 모양이 된다. 전류의 고조파는 전자기적 소음에 밀접한 영향을 미치므로, RPWM을 수행할 경우 소음에 대한 스펙트럼도 전류의 파워 스펙트럼과 비슷하게 넓은 주파수 영역으로 분산된 형태일 것으로 예측된다.

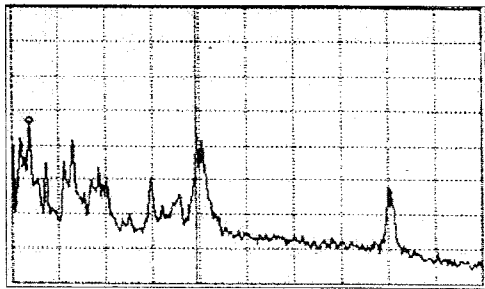
### 4.4 가청 스위칭 소음의 파워 스펙트럼

그림13은 각각 5kHz, 8kHz 그리고 10kHz의 고정 주파수의 삼각파 캐리어 PWM패턴으로 모터를 구동하였을 때의 소음에 대한 파워 스펙트럼이다. 인버터 스위칭 주파수의 정수배에 해당하는 협대역의 주파수 영역에서 소음의 파워 스펙트럼의 세기가 강함을 알 수 있다. 또

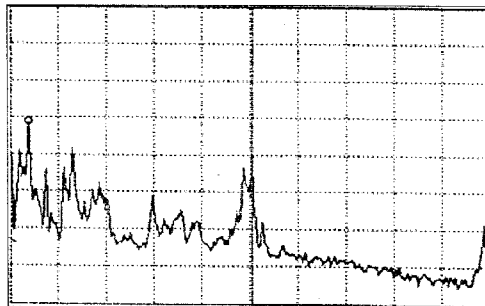
한 그림11(a)의 전류에 대한 파워 스펙트럼과 비교하여 보았을 때, 약 2kHz이하의 소음의 파워 스펙트럼은 스위칭 주파수에 영향을 거의 받지 않는 기계적인 소음에 의한 것임을 알 수 있다.



(a) 5kHz deterministic carrier PWM



(b) 8kHz deterministic carrier PWM



(c) 10kHz deterministic carrier PWM

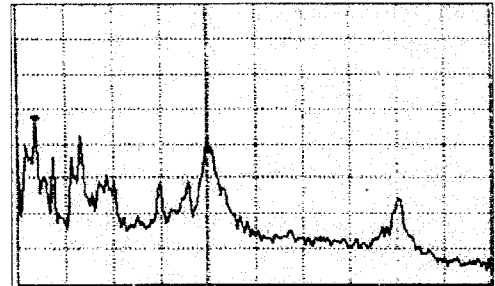
그림13 고정 주파수의 삼각파 캐리어 변조 PWM방식의 소음의 파워 스펙트럼(Y-axis:10dB/div., X-axis: 2kHz/div.)

Fig.13 Power spectrum of acoustic noise in deterministic carrier PWM (Y-axis:10dB/div., X-axis: 2kHz/div.)

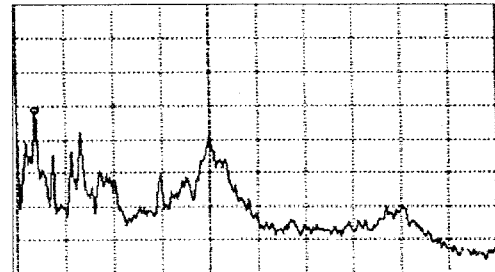
그림14는 랜덤 스위칭 주파수 대역을 각각 7-9kHz, 6-10kHz, 4-12kHz 그리고 2-14kHz로 한 경우의 소음에 대한 파워 스펙트럼이다. DSP에 의한 실시간 RPWM기법은 그림14에서 보는 바와 같이 다양한 랜덤 삼각파 캐리어 주파수의 RPWM을 발생시킬 수 있으며, 또한 캐리어의 랜덤 주파수 대역이 커질수록 소음의 파워 스펙트럼은 넓은 주파수 영역에 걸쳐 평탄하게 분산되어져 감을 알 수 있다.

그림15(a)는 5kHz 고정 주파수 공간벡터 PWM방법에 의한 소음의 파워 스펙트럼이다. 공간벡터의 특징인 5kHz 스위칭 주파수의 2배 주파수 10kHz 영역에서 가장 강한 고조파 성분이 있고, 스위칭 주파수 영역에 두 번째로 강한 고조파 성분이 존재하고 있다. 그림15(b)에

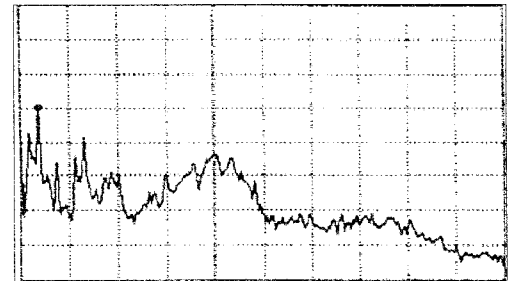
는 5kHz 공간벡터 RPWM 방법에 의한 소음의 파워 스펙트럼을 나타내고 있다.



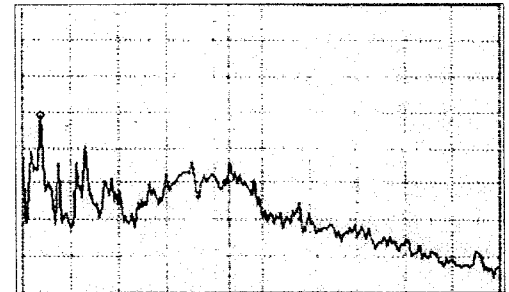
(a) 7~9kHz Randomly modulated carrier PWM



(b) 6~10kHz Randomly modulated carrier PWM



(c) 4~12kHz Randomly modulated carrier PWM

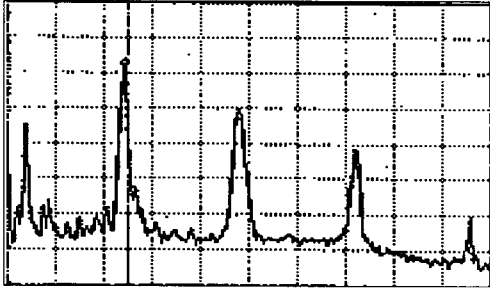


(d) 2~14kHz Randomly modulated carrier PWM

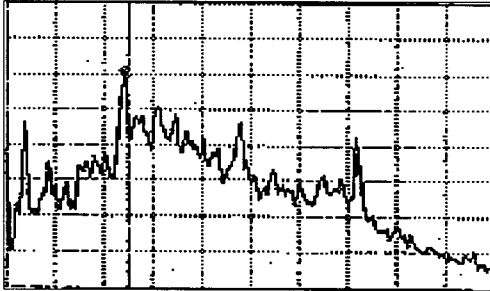
그림14 삼각파 캐리어 변조 RPWM방식의 소음 파워 스펙트럼 (Y-axis:10dB/div., X-axis: 2kHz/div.)

Fig.14 Power spectrum of acoustic noise in case of triangular carrier RPWM (Y-axis:10dB/div., X-axis: 2kHz/div.)

제안된 방법의 소음 파워 스펙트럼 결과인 그림14와 공간벡터 RPWM방식인 그림15(b)와 비교해 볼 때, 모두 비슷한 형태의 광대역의 소음 파워 스펙트럼 형태를 보임을 알 수 있다.



(a)5kHz deterministic Space Vector PWM



(b)5kHz space vector random PWM

그림15 공간벡터 PWM방식의 소음 파워 스펙트럼  
(Y-axis:10dB/div., X-axis: 2kHz/div.)

Fig.15 Power spectrum of acoustic noise in case of space vector PWM

표 2에는 랜덤 캐리어 주파수 변화에 따른 소음의 파워 스펙트럼의 세기를 나타내고 있다. 캐리어 변조 RPWM이든지 공간벡터 RPWM방식이든지 전체적인 소음의 양은 고정 주파수의 PWM의 경우와 거의 같은 수준으로 유지된다. 그러나 사람에게 불쾌감을 유발하는 고정 주파수 PWM방식에서 발생하는 특정 주파수의 협대역 소음의 파워 스펙트럼의 세기는, RPWM방식에 의하면 점차로 감소하고, 넓은 주파수 영역으로 소음의 파워 스펙트럼이 분산되어 감을 알 수 있다.

표 2 캐리어 주파수 변화폭에 따른 소음의 파워 스펙트럼의 세기

Table 2. Sound Pressure Level with Varying Bandwidth of The Carrier Frequency

Random Frequency	Center Switching Frequency Band	Center Switching Frequency Double Band
7~ 9 [kHz]	11 [dB]	2.5 [dB]
6~10 [kHz]	10 [dB]	0 [dB]
4~12 [kHz]	7.5 [dB]	-2 [dB]
2~14 [kHz]	7.5 [dB]	-3 [dB]

## 5. 결 론

본 연구에서 DSP기반의 삼각파 캐리어 변조 RPWM 기법을 제안하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) DSP에 의하여 모터의 속도제어 알고리즘 수행 및 실 시간 변조 함수를 생성함으로써, 유연한 캐리어 변조

방식의 RPWM을 구현하였으며, 고정 주파수 PWM 과 공간벡터 PWM과 그 결과를 비교 검토하였다.

- 2) 제안된 시스템에 의하여 다양한 랜덤 주파수의 RPWM을 구현하였으며, 모터로부터 발생하는 전자 기적 가청 소음을 측정할 결과, 고정 주파수 PWM 방식보다 RPWM 방식에 의한 경우에 파워 스펙트럼 이 광대역 주파수 영역으로 고른 분포를 보이고, 주 위 사람이 느끼는 불쾌감의 정도가 훨씬 적어졌다.
- 3) 삼각파 캐리어 변조 RPWM의 스위칭 주파수의 변화 폭이 커짐에 따라 특정 주파수에 집중된 소음의 파워 스펙트럼의 세기가 넓은 주파수 영역으로 분산되었다.
- 4) 고정 주파수 PWM 방식과 삼각파 주파수 변조 RPWM방식에 의한 파워 스펙트럼의 분석 결과, 저주 파대 영역의 소음원은 주로 기계적인 소음이며, 그 이상의 주파수대 영역의 주된 소음원은 PWM 인버 터의 스위칭 동작에 기인한 소음임을 확인하였다.
- 5) 소음에 대한 파워 스펙트럼의 분석 결과, RPWM을 수행한다하여도 절대적인 소음의 크기가 줄어드는 것 은 아니고, 소음을 백색 잡음화 하여 사람이 느낄 수 있는 가청 소음 저감의 효과를 낼 수 있음을 확인하 였다.

본 연구는 한국과학재단 지정 전남대 고품 질전기전자부품 및 시스템 연구센터 연구비 지원에 의하여 연구된 결과임.

## [참 고 문 헌]

- [1] J. T. Boys, P. G. Handley, "Spread spectrum switching : low noise modulation technique for PWM inverter drives", IEE Proc.-B, vol.139, no.3, pp.252-260, 1992.
- [2] A. M. Trzynadlowski, F. Blaabjerg, J. K. Pedersen, R. L. Kirlin, S. Legowski, "Random pulse width modulation techniques for converter-fed drive systems- A Review", IEEE Trans. IA, vol. 30, no. 5, pp1166-1174, 1994
- [3] S. J. Yang, Low-noise electrical motors, Clarendon Press, Oxford, 1981
- [4] I. Takahashi, H. Nochikawa, "Optimum waveforms of an inverter for decreasing acoustic noise of an induction motor", IEEE IAS Ann. Meeting Conf. Rec. pp641-646, 1985.
- [5] T. G Habetler, D. M. Divan, "Acoustic noise reduction in sinusoidal PWM drives using a randomly modulated carrier", IEEE PESC, pp665-671, 1989.
- [6] T. G Habetler, D. M. Divan, "Acoustic noise reduction in sinusoidal PWM drives using a randomly modulated carrier", IEEE Trans. on Power Electronics, vol 6, no.3, pp.356-363, 1991.
- [7] A. M. Trzynadlowski, S. Legowski, R. L. Kirlin, "Random pulse width modulation technique for voltage controlled power inverters", IEEE IA Conf. Rec, pp.863, 1987.
- [8] R. L. Kirlin, S. Kwok, S. Legowski, and A. M. Trzynadlowski, Power spectra of a PWM inverter with randomized pulse position, in Proc. PESC'93, pp. 1041-1047. 1993.
- [9] S. H. Na, S. O. Wi, Y. C. Lim, S. H. Yang, "Reduction of Audible Switching Noise in Induction Motor Drives Using Random Position PWM", KIPE Pro. ICPE'98, pp.316-319. 1998.