

유도전동기의 소음저감을 위한 DSP기반 PWM인버터의 랜덤 캐리어 주파수 변조기법의 구현

論文
52B-12-4

Implementation of Random Carrier-Frequency Modulation Scheme for a DSP based PWM Inverter for Acoustic Noise Reduction of Induction Motors

鄭榮國*·羅碩煥**·任永徹***·鄭聖基§
(Young-Gook Jung · Seok-Hwan Na · Young-Cheol Lim · Sung-Ki Jeong)

Abstract - This paper describes an implementation of a DSP (Digital Signal Processor) controlled random carrier frequency modulation for the PWM inverter for acoustic noise reduction of induction motors. Real-time generation of the random variable and RPWM(Random PWM) along with the speed control was achieved by DSP TMS320C31. The experimental results show that the voltage and current harmonics are spread to a wide band area and the power spectrum of the acoustic switching noise was spread to create a more appealing, less annoying sound. Also, the speed response of the implemented method and the conventional method is nearly similar to each other from the viewpoint of the v/f constant control.

Key Words : Random Carrier Frequency Modulation Scheme, RPWM, DSP, Acoustic Noise Reduction.

1. 서론

모터 구동시 발생하는 소음은 크게 모터의 방열팬에 의한 소음, 가동부 베어링 등의 기계적인 마찰에 의한 소음 및 인버터 스위칭에 의한 전자기적 소음 등으로 나눌 수 있다. 기계적 소음은 주로 방열팬의 회전수 또는 전동기의 회전수에 관계한 비교적 광대역의 저주파수가 발생하고 있다. 또한 현재 산업 현장에 보급되어있는 고정 주파수의 삼각파 캐리어 PWM는 모터의 인가 전압과 전류에 고정 스위칭 주파수에 따른 협대역의 고조파를 발생시킨다. 이와 같은 인버터의 협대역 스위칭은 곧바로 모터의 전자기적 소음의 원인이 되고 있다[1]. 인버터 스위칭에 의한 전자기적 소음은 협대역의 고조파수로 발생되기 때문에 사람이 느끼기에는 광대역의 소음보다는 훨씬 더 고통을 주고 있다[2].

이러한 문제점을 해결하기 위해 초음파 주파수 스위칭 기법, Optimum PWM[3] RPWM[5-11]등 다양한 방법이 제시되었다. 이 중에서 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[4-5]과 속도 지령치 전압 공간벡터의 스위칭 펄스 각도[6] 또는 펄스 위치를 랜덤하게 변경시키는 방법[2,7,10-11]으로 구분된다. 그 중에서 삼각파 캐리어 주파수

변조에 의한 RPWM은 공간벡터에 의한 RPWM에 비해 한 스위칭 구간에 대한 듀티비 설정을 위한 계산 과정이 필요 없기 때문에 스위칭 패턴을 매우 간단하게 구할 수 있다는 장점이 있다. 삼각파 캐리어 주파수 PWM기법은 랜덤 캐리어를 발생하기 전에 우선 랜덤 함수를 발생하여야 한다. 랜덤 함수 발생 방법으로는 랜덤 데이터를 미리 ROM에 저장하는 ROM 테이블에 의한 방식[4-5]과 랜덤함수 발생 전용 하드웨어를 사용하는 방법[8-9]등이 있다. 이 방법은 랜덤함수를 발생하기 위하여 ROM이나 하드웨어를 이용하기 때문에 다양한 스위칭 주파수의 RPWM을 위한 유연한 설계가 어렵다는 문제점이 있다.

따라서 본 연구에서 이상에서 지적된 종전의 방법의 문제점을 개선하기 위하여, DSP기반의 유연성이 뛰어난 랜덤 함수 발생기에 의한 랜덤 삼각파 캐리어 변조기법을 구현하였다. v/f일정 속도 추종 알고리즘 수행 및 랜덤 함수 생성을 TMS320C31 DSP로 구현하여, 실시간으로 넓은 운전 범위에서 RPWM이 가능하도록 하였다. 구현된 실시간 RPWM 인버터의 가청소음 저감을 확인하기 위하여 소음의 파워 스펙트럼과 모터 전압 및 전류의 스펙트럼을 고정 주파수의 캐리어 변조 PWM기법과 비교하였으며, 다양한 캐리어 랜덤 주파수에 따른 소음의 저감효과를 분석하였다.

2. 랜덤 캐리어 주파수 변조기법

그림1은 랜덤한 삼각파 캐리어 주파수 변조기법의 동작원리 (a)와 스펙트럼 (b)을 나타내고 있다. 본 방식은 근본적으로 고정 스위칭 주파수 변조방식과 동일하나, 삼각파 캐리어의 주파수를 매 주기 또는 반주기마다 랜덤하게 발생하여 스위칭 패턴의 불규칙성을 확보하는 점에 있어서 차이가 있다. 이 방식은 도입부에서 이미 언급한 바와 같이 공간벡터 방식에 비하여 구현이 용이하며 진폭 변조지수와 출력전압 변조

* 正會員 : 大佛大學校 컴퓨터情報工學部 助教授 · 工博

** 正會員 : 韓國天文研究院 委囑研究員

*** 正會員 : 全南大學校 電氣工學科 教授 · 工博

§ 正會員 : 三星電子 DA總括 冷氣 Digital그룹 그룹長

接受日字 : 2003年 5月 28日

最終完了 : 2003年 10月 7日

지수 사이의 선형성이 비교적 우수하여 인버터의 출력전압의 확보가 수월하다.

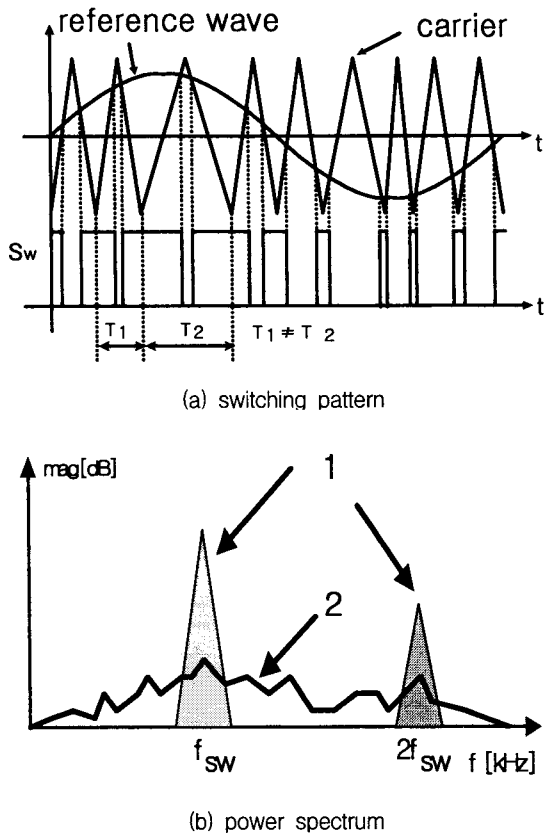


그림 1 랜덤 캐리어 주파수 변조기법
Fig. 1 Random carrier frequency modulation

그림1(b)의 "1"로 나타낸 스펙트럼은 고정 주파수의 캐리어로 동작시켰을 때 스위칭에 의한 고조파가 특정 협대역 주파수대에 집중되어 있는 상태를 보이고 있다. "2"는 랜덤한 캐리어 주파수를 갖는 스위칭에 의하여 고조파가 넓은 대역에 분산되어 있는 상태를 나타내고 있다. 즉 연속치 성분의 스펙트럼은 다소 증가한 듯 보이지만 전체 스펙트럼의 양에는 변함이 없으며 PWM 인버터 구동장치에서 발생하는 EMI, 기계진동 및 소음 저감에 효과가 있다. 이산치 성분의 크기는 고조파 성분의 크기를 의미하며 이산치 성분의 크기가 감소하면, EMI, 진동, 소음 등에 좋지 않은 영향을 미치는 이산치 성분의 스펙트럼은 매우 감소하게 된다.

그림2는 그림1(a)로 나타낸 랜덤 스위칭 주파수의 삼각파 캐리어를 발생하기 위한 방법을 나타내고 있다. 그림2의 (a)는 주파수 변조기에서 출력되는 랜덤 삼각파 캐리어의 파형 f_{carr}' 으로 랜덤 삼각파 캐리어 신호는 PWM 발생부로 입력되어 3상 정현파 모터전압 지령치와 비교되어 인버터의 온/오프 스위칭 패턴을 결정한다. (b)는 매 스위칭마다 삼각파 캐리어의 주파수를 결정하기 위한 랜덤 변조 함수 v_{ran}' 의 파형을 나타내며, (c)는 삼각파가 피크치에 도달하는 순간 샘플링 후의 변조 함수의 파형 v_{ran}'' 을 나타낸다.

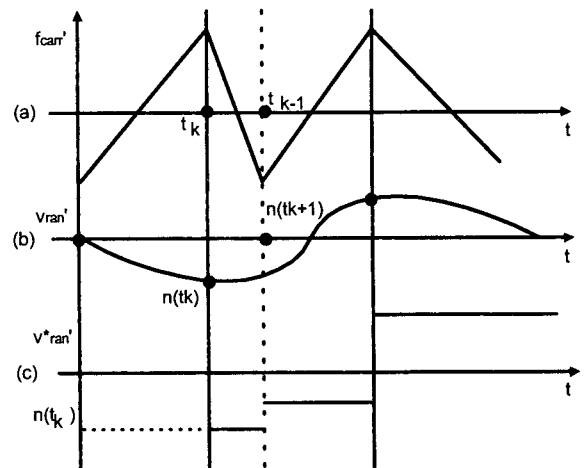


그림 2 랜덤 삼각파 캐리어 발생원리
(a) 캐리어신호 (b) 랜덤변조신호
(c) 샘플링과 홀드(S/H)후의 변조신호

Fig. 2 principle of random triangular wave with random frequency (a) carrier signal (b) random modulation signal (c) modulation signal after sample and hold

t_k 와 t_{k+1} 사이에서 삼각파 캐리어의 순시 주파수는 다음으로 표현된다[5].

$$f_i = \frac{1}{T_i} = \frac{1}{2(t_{k+1} - t_k)} = \frac{1}{T_{s0} + T_n} \quad (1)$$

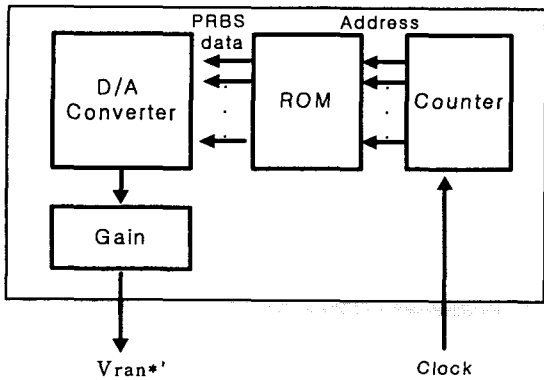
여기서 T_{s0} 는 삼각파 캐리어의 평균 주기, T_n 은 평균치가 0이 되는 $n(t_k)$ 에 의해 랜덤하게 변화하는 주기를 나타내고 있다.

3. 랜덤함수 발생기법

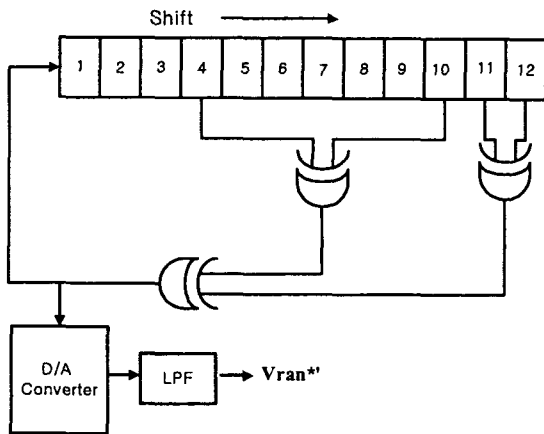
그림3은 랜덤 삼각파 캐리어 변조기법에 적용되고 있는 종전의 랜덤함수 발생기를 나타내고 있다. 그림3(a)는 랜덤 함수에 의해 발생된 노이즈 데이터를 ROM 테이블로 미리 저장하고 있는 오프라인 방식[4-5]이다. ROM의 출력은 캐리어의 경사도를 구하기 위해 D/A 변환기로 전달된다. 이 방법은 ROM의 용량에 따른 제한되는 랜덤수 데이터로 인해서 RPWM의 유연한 설계가 어렵고 광범위한 운전조건에 대응하지 못한다는 문제점이 있다.

그림3(b)는 시프트 레지스터와 XOR 게이트의 논리적 회로에 의하여 랜덤 수를 실시간으로 발생할 수 있는 기법[8]이다. 이 방법은 통신공학에 적용되고 있는 논리적인 랜덤수 발생 기법이며, 시프트 레지스터의 비트수 N과 논리 게이트의 연산 조합에 따라 여러 가지 형태가 있다. 발생 랜덤 수 $2^N - 1$ 을 주기적으로 발생하기 때문에 레지스터의 N을 잘 선정하여야 하며 최소 12비트 이상의 레지스터를 선정하여야 한다. 논리적 랜덤수 발생 기법은 레지스터의 비트수에 랜덤수가 의존되며 또한 랜덤수가 $2^N - 1$ 이후에는 반복된다는 점에서 PRBS (Pseudo Random Binary Sequence)라 할 수 있

다. 기타 SDM(Sigma Delta Modulation)에 의해 랜덤 스위칭 주파수를 직접 발생하는 방법도 있다.



(a) ROM table method



(b) logical method

그림 3 종전의 랜덤 변조 함수 발생방법
Fig. 3 Conventional random modulation signal generator

본 연구에서는 삼각파 캐리어 변조에 의한 RPWM을 모터 속도 제어와 더불어 효율적으로 수행할 수 있도록 하기 위하여 랜덤 변조 함수가 실시간적으로 변화할 수 있는 선형 일치 발생기(Linear Congruential Generator: LCG)를 사용하고 있다[2, 10-11]. LCG에 의해 랜덤수를 발생하는 순서는 다음과 같다.

먼저 i_a , i_c , i_m 이 선택된 상수로써 각각 승산계수 (multiplier), 증분계수(increment), 나머지 계수(modulus)라 할 때, 0부터 i_m 사이의 랜덤수 f_{ran} 은 다음 식에 의해 발생된다.

$$f_{ran+1} = (f_{ran} \times i_a + i_c) \% i_m \quad (2)$$

또 0부터 1사이의 범위에서 랜덤실수 ran 을 발생하려면,

$$ran = \frac{(float)f_{ran}}{(float)i_m} \quad (3)$$

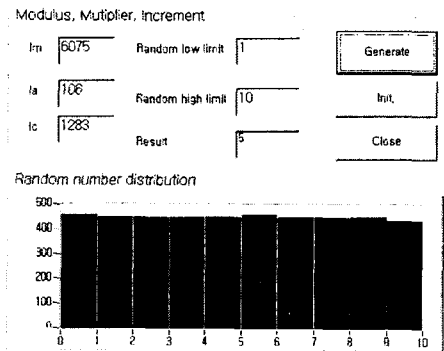
만일 j_{low} 부터 j_{high} 사이의 정수를 원한다면,

$$f = f_{low} + \frac{(f_{high} - f_{low} + 1) * f_{ran}}{i_m} \quad (4)$$

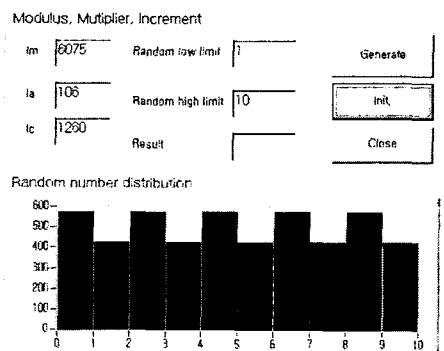
식(4)에 의하여 원하는 랜덤 수를 구할 수 있다. 여기서 f_{low} , f_{high} 는 발생할 랜덤 수의 최소값 및 최대값이며 특히 i_c 는 소수 (prime number)이며, i_c 와 i_m 은

$$i_c \approx (\frac{1}{2} - \frac{1}{6}\sqrt{3})i_m \quad (5)$$

인 관계를 갖고 있다[12]. 균일한 분포의 랜덤수 발생기를 위한 몇 가지의 상수를 표1에 나타내었다. 표1에서 선정된 상수에 따른 랜덤 분포 결과를 그림4에 나타내었다. 그림 4(a)는 적절한 상수 ($i_m = 6075$, $i_a = 106$, $i_c = 1283$)가 선정되어 랜덤 수가 발생한 경우로서, 랜덤 수 발생 횟수는 약 500번의 고른 분포를 보이고 있다. 그림4(b)는 부적절한 상수 ($i_m = 6075$, $i_a = 106$, $i_c = 1260$)에 의한 랜덤 분포의 결과를 보이고 있다. 증분계수를 1283 대신에 소수가 아닌 1260을 선택한 경우이다.



(a) proper chosen constant



(b) bad chosen constant

그림 4 선택된 상수에 의한 랜덤 분포
Fig. 4 Random distribution by chosen constants

표 1 균일한 분포의 랜덤 수 발생을 위한 상수
Table 1 Constants for portable random number

Overflow at	i_m	i_a	i_c
2^{20}	6075	106	1283
2^{21}	7875	211	1663
2^{22}	7875	421	1663
2^{23}	11979	430	2531
	6655	936	1399
	6075	1366	1283
2^{24}	53125	171	11213
	11979	859	2531
	14406	967	3041

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.

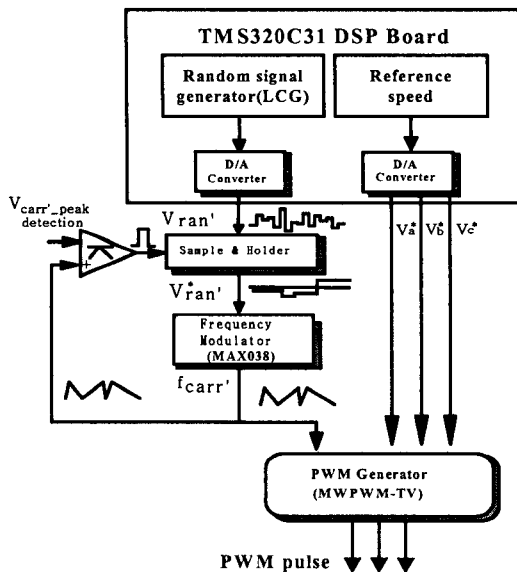


그림 5 DSP기반의 랜덤 삼각파 캐리어 변조방식
Fig. 5 DSP based Random triangle carrier modulation

그림5는 수학적인 LCG 방법에 의하여 랜덤 수를 발생시키고, 이를 이용하여 랜덤한 주파수의 삼각파를 발생하는 회로를 보여주고 있다. DSP는 3상 유도모터의 속도 지령치 및 매 스위칭마다 삼각파의 주파수를 결정하기 위한 랜덤 함수를 발생시킨다. 식(2)-식(5)의 결과로부터 발생된 랜덤수 출력은 샘플 홀더, 주파수 변조기 및 비교기에 의하여 랜덤 캐리어의 경사도가 실시간적으로 구해진다. 이상에서 발생된 랜덤 삼각파 캐리어는 3상 정현파 전압 지령치 신호와 비교되어 인버터의 PWM 스위칭 패턴을 생성한다. PWM 발생기로 동작하는 MWPWM-TV는 전압 지령치 신호와 랜덤 삼각

파 캐리어 신호를 비교하는 전압 비교기, 인버터의 단락을 방지하기 위한 데드타임(dead time) 조정회로, 인버터의 게이트 차단회로, 삼각파 캐리어 신호의 피크 이득 조정 회로와 삼각파 발생 동기화 회로 등으로 구성된 PWM 발생 모듈(module)이다.

4. 실험 시스템의 구성

4.1 시스템 구성

그림6은 본 연구에서 구현된 DSP에 의한 실시간 속도제어와 캐리어 주파수 변조가 가능한 RPWM 인버터 구동 장치에 대한 전체 구성도이다.

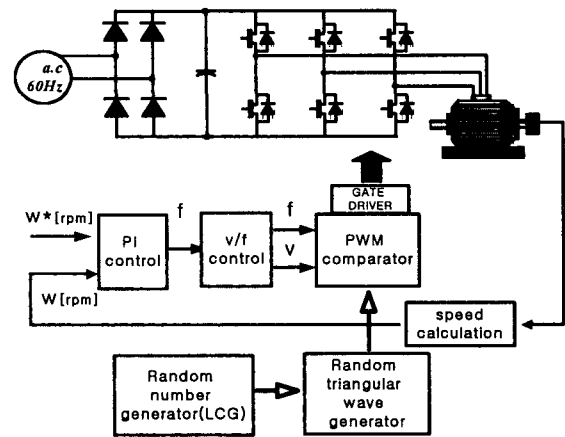


그림 6 구현된 시스템
Fig. 6 Configuration of the Implemented system

표2는 본 연구의 실험에 사용된 시스템 파라미터를 나타내고 있다.

표 2 실험시스템 파라미터
Table 2 Parameters of experimental system

Digital Signal Processor(DSP)	TMS320C31-60MHz
IPM	PMC20U060 - 600V/20A
PWM	Carrier Modulated PWM / (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 ²

DSP의 랜덤 변조 함수로부터 출력되는 신호의 크기에 비례하는 주파수의 랜덤 삼각파 캐리어는 3상 정현파 전압 지령치와 비교되어 인버터의 온/오프 스위칭 패턴을 결정한다. 랜덤 삼각파 캐리어 변조기법에서는 매 스위칭마다 랜덤한 주파수로 스위칭을 하여야 하므로 출력되는 삼각파는 연속적이어야 하며 빠른 응답성을 갖고 있어야 한다. 본 연구에서는 이러한 요구 조건에 적합하다고 생각되는 MAX038 주파수 변조기를 사용하였다.

4.2 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 소음 계측기에 의한 음향 파워레벨을 측정하고 있다. 보편화된 규격에서는 소음원 즉, 모터의 축 방향과 상측 반지름 방향 등 두 지점에 마이크를 설치하여 평균하는 방식을 사용하고 있으므로 본 논문에서는 편의상 보편화된 규격으로 측정하였다.

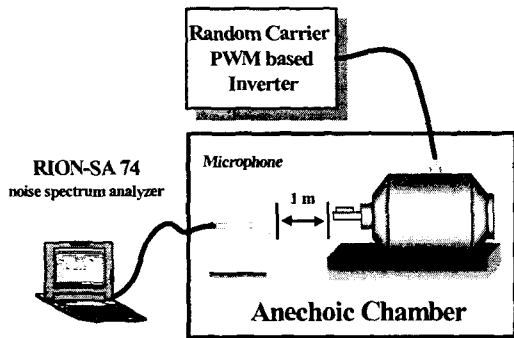


그림 7 무향실에서의 모터의 스위칭 소음 측정
Fig. 7 System for measuring acoustic noise of motor in anechoic chamber

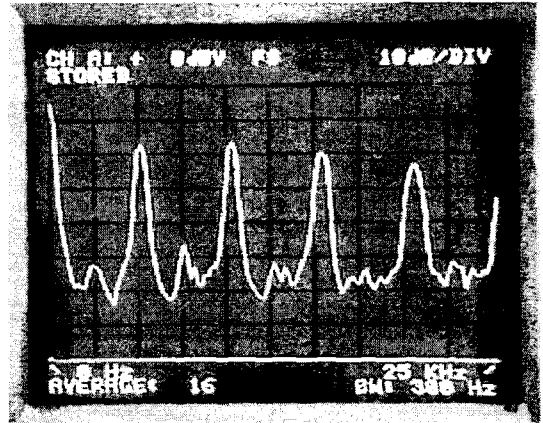
본 연구에서 유도모터의 스위칭 소음의 파워 스펙트럼을 얻기 위한 실험은 특별히 설계된 6면이 모두 흡음체로 밀폐되어 있는 무향실에서 수행되었으며, 측정 장비로는 소음 및 진동신호에 대한 분석이 가능한 전용 측정기 「RION SA-74」를 사용하였다. 실험 결과의 분석에 사용된 데이터는 유도모터로부터 축 방향으로 1m 떨어진 곳과 상측 반지름 방향으로 1m 떨어진 곳 등 두 지점에 설치된 마이크로로부터 측정된 값을 평균하여 얻은 값을 사용하였다.

5. 실험 결과 및 고찰

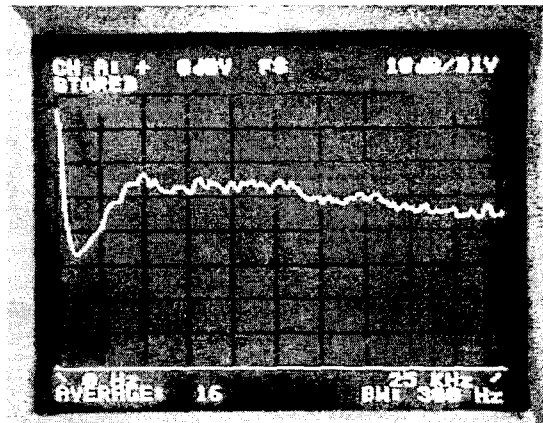
DSP기반의 랜덤 캐리어 주파수 변조기법을 적용한 PWM 인버터에 의해 1.5kW의 산업용 유도모터를 정격 주파수 60Hz, 무부하로 무향실에서 구동할 때, 모터 전압 및 전류의 파워 스펙트럼, 그리고 소음에 대한 파워 스펙트럼을 측정하여 분석하였다.

5.1 모터 전압 및 전류의 파워 스펙트럼

그림8은 인버터 구동 모터 전압의 파워 스펙트럼을 나타내고 있다.



(a) fixed frequency carrier PWM(5kHz)



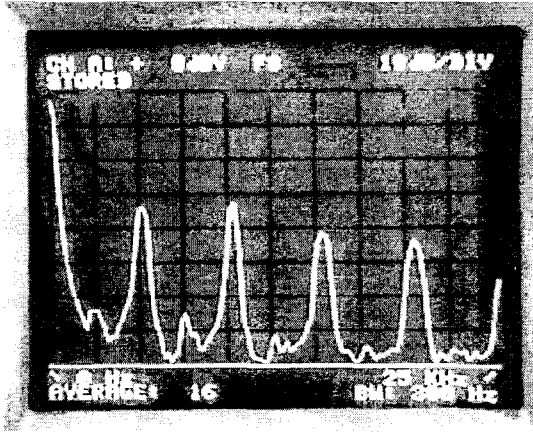
(b) random carrier PWM(4~12kHz)

그림 8 모터 전압의 파워 스펙트럼
Fig. 8 Power spectrum of motor voltage

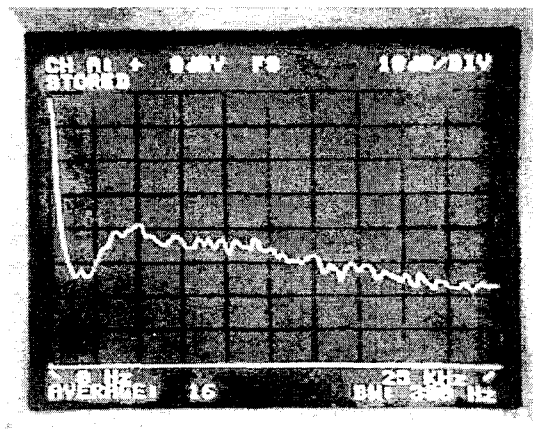
그림8(a)은 5kHz 고정 주파수의 삼각파 캐리어 변조 방식이며, 그림8(b)은 DSP에 의한 LCG 랜덤 변조 함수 호출에 의한 캐리어 변조 RPWM방식이다. 고정 주파수 PWM에 의한 그림8(a)에서는 전압의 파워 스펙트럼이 스위칭 주파수의 정수배인 특정 주파수에 집중된 형태이다. 그러나, 삼각파 캐리어 주파수가 4~12kHz(중심 주파수를 8kHz로 하고, 삼각파 캐리어 주파수 변화폭을 ±4kHz로 변화)로 변화하고 있는 RPWM은 그림8(b)에서와 같이 전압의 파워 스펙트럼이 넓은 주파수 영역에 걸쳐 평탄하게 분산된 형태임을 알 수 있다.

그림9는 모터 전류의 파워 스펙트럼을 비교한 것으로 파워 스펙트럼은 전압 스펙트럼과 동일한 형태를 보이고 있다. 이는 속도 제어 알고리즘으로부터 출력되는 전압 지령치 신호가 정현파이므로, 전류의 파워 스펙트럼도 전압의 파워 스펙

트럼과 비슷한 모양이 되기 때문이다. 전류의 고조파는 전자 기적 소음에 밀접한 영향을 미치므로, RPWM을 수행할 경우 소음에 대한 스펙트럼도 전류의 파워 스펙트럼과 비슷하게 넓은 주파수 영역으로 분산된 형태일 것으로 예측된다.



(a) fixed frequency carrier PWM(5kHz)



(b) random carrier PWM(4~12kHz)

그림 9 모터 전류의 파워 스펙트럼
Fig. 9 Power spectrum of motor current

5.2 가칭 스위칭 소음의 파워 스펙트럼

그림10(a)는 8kHz의 고정 주파수의 삼각파 캐리어 변조기 법으로 모터를 구동하였을 때의 소음의 파워 스펙트럼을 나타내고 있다. 인버터 스위칭 주파수의 정수배에 해당하는 협대역의 주파수 영역에서 소음의 파워 스펙트럼의 세기가 강함을 알 수 있다. 또한 그림9(a)에서 나타난 전류의 파워 스펙트럼과 비교하여 보았을 때, 약 2kHz이하의 소음의 파워 스펙트럼은 스위칭 주파수에 영향을 거의 받지 않는 기계적 인 소음에 의한 것임을 알 수 있다.

그림10(b)-(d)는 랜덤 스위칭 주파수 대역을 각각 6 ~ 10kHz, 4 ~ 12kHz 그리고 2 ~ 14kHz로 한 경우의 소음에 대한 파워 스펙트럼이다. 본 연구에서 구현된 DSP에 의한 실시간 RPWM기법은 그림10에서 보는 바와 같이 다양한 랜덤

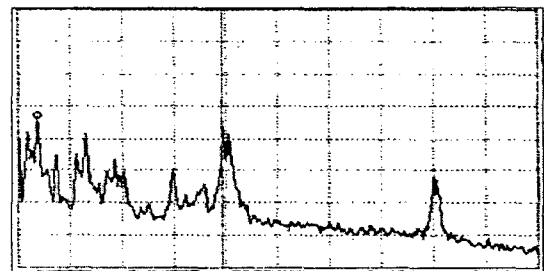
삼각파 캐리어 주파수의 RPWM을 발생시킬 수 있으며, 또한 캐리어의 랜덤 주파수 대역이 커질수록 소음의 파워 스펙트럼은 넓은 주파수 영역에 걸쳐 평탄하게 분산되어져 감을 알 수 있다.

표 3 캐리어 주파수 변화폭에 따른 소음의 파워 스펙트럼의 세기

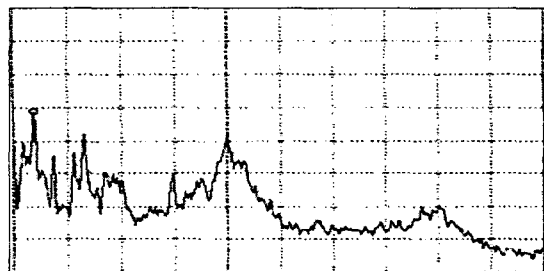
Table 3 Sound Pressure Level with Varying Bandwidth of The Carrier Frequency

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

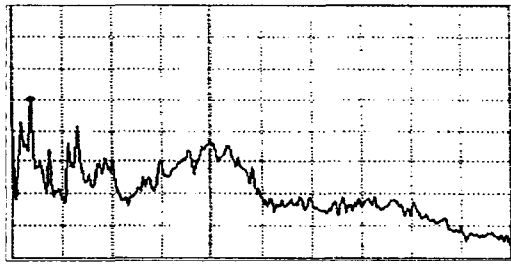
표 3에는 랜덤 캐리어 주파수 변화에 따른 소음의 파워 스펙트럼의 세기를 나타내고 있으며, 전체적인 소음의 양은 고정 주파수의 PWM의 경우와 거의 같은 수준으로 유지된다. 그러나 사람에게 불쾌감을 유발하는 고정 주파수 PWM방식에서 발생하는 특정 주파수의 협대역 소음의 파워 스펙트럼의 세기는, RPWM방식에 의하면 점차로 감소하고, 넓은 주파수 영역으로 소음의 파워 스펙트럼이 분산되어 감을 알 수 있다.



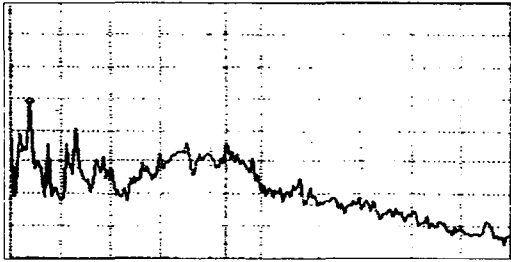
(a) fixed frequency carrier PWM (8kHz)



(b) Random carrier PWM (6~10kHz)



(c) Random carrier(4~12kHz)



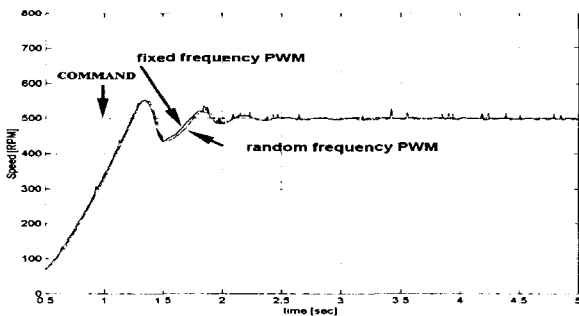
(d) Random carrier PWM (2~14kHz)

그림 10 소음의 파워 스펙트럼(Y-axis : 10dB/div., X-axis : 2kHz/div.)

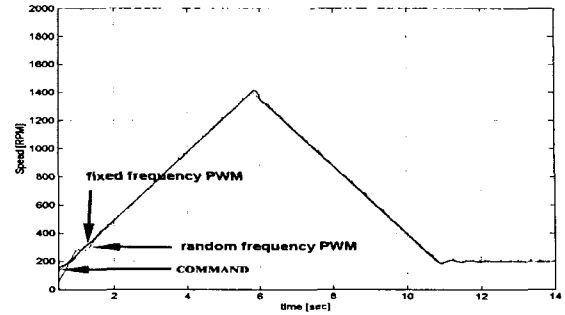
Fig. 10 Power spectrum of acoustic noise (Y-axis : 10dB/div., X-axis : 2kHz/div.)

5.3 모터 속도 추종 특성

그림 11은 부하가 있는 상태에서 모터 구동 시스템의 속도 지령치와 속도응답 특성을 나타낸 것이다. 우선 그림11(a)는 5kHz 고정 주파수의 캐리어 변조기법과 본 연구에서 구현된 4-12kHz 랜덤 캐리어 주파수 변조기법에 대한 500rpm의 속도 지령치에 대한 스텝응답 특성을 보이고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 RPWM기법을 적용하더라도 유도모터의 과도응답 특성은 종전의 고정 주파수 PWM과 동일함을 알 수 있다. 본 연구의 목적은 과도응답 특성의 개선에 있지 않기 때문에 과도상태의 지연은 고려하지 않아도 된다. 그림11(b)는 속도를 0 ~ 1400rpm까지는 증가시키고 다시 200rpm으로 감소하는 램프 지령치에 대한, 두 방식의 속도응답특성을 보여주고 있다. 앞의 스텝 지령치와 동일하게 서로 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다.



(a) step speed reference



(b) ramp speed reference

그림 11 측정된 속도 추종 특성

Fig. 11 Measured speed response

6. 결 론

본 연구에서는 DSP기반의 랜덤 삼각파 캐리어 변조기법을 적용한 인버터 구동장치를 구현하였다. DSP에 의하여 모터의 v/f 일정 속도제어 알고리즘 수행 및 실시간 랜덤 변조 함수를 생성함으로써, 유연한 랜덤 캐리어 변조기법을 구현할 수 있었다. 제안된 방법의 전압 전류 스펙트럼은 전 주파수 영역에서 우수한 광대역 특성을 갖고 있으며, v/f 일정제어 기반 속도제어를 수행한 결과, 기존의 고정 스위칭 주파수 방법과 거의 일치하는 속도 추종 성능을 얻을 수 있었다. 또한 모터로부터 발생되는 전자기적 가청 소음의 스펙트럼은 광대역의 주파수 분포를 보이며, 주위 사람이 느끼는 소음의 불쾌감 정도가 종전의 방식에 비하여 훨씬 감소되었다. 앞으로 삼각파 캐리어 변조 RPWM의 스위칭 주파수의 변화폭에 따른 전류의 고조파 해석과 THD의 정량적인 분석이 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 '전남대 고품질 전기전자 부품 및 시스템 연구센터'의 연구비 지원으로 연구되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] C. Wang, A. Astfalck and J. C. S. Lai, "Sound power radiated from an inverter-driven induction motor : experimental investigation", IEE Proc. Electr. Power Appl., vol.149, no.1, Jan., pp.46-52, 2002.
- [2] Y. G. Jung, S. H. Na, Y. C. Lim and S. H. Yang, "Reduction of audible switching noise in induction motor drives using random position PWM", IEE Proc. Electr. Power Appl., vol.149, no.3, May, pp.195-202, 2002.
- [3] I. Takahashi and H. Mochikawa, "Optimum PWM waveforms of an Inverter for decreasing acoustic noise of an induction motor", IEEE Trans. Ind.

- Applicat., vol.22, no.5, pp.828-834, 1986.
- [4] C. M. Liaw, Y. M. Lin and K. I. Hwu, " Analysis, design and implementation of a random frequency PWM inverter, IEEE Trans. Power Electron., vol.15, no. 5, pp.843-854, 2000.
 - [5] T. G. Habetler and D. M. Divian, "Acoustic noise reduction in sinusoidal PWM drives using a randomly modulated carrier", IEEE Trams. Power Electron., vol. 6, no. 3, pp. 356-363, 1991.
 - [6] A. M. Trzynadlowski, J. K. Pedersen, R. L. Kirlin and S. Legowski, "Space vector PWM technique with minimum switching losses and a variable pulse rate", IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.44, no.2, pp.173-181, 1997.
 - [7] M. M. Bech, J. K. Pedersen and F. Blaabjerg, "Random modulation techniques width fixed switching frequency for three-phase power converters", IEEE Trans. Power Electron., vol.15, no.4, pp.753-761, 2000.
 - [8] S. Y. R. Hui, I. Oppermann and S. Sathiakumar, " Microprocessor based random PWM schemes for dc - ac power conversion", IEEE Trans. Power Electron., vol.12, no.2, pp.253-260, 1997.
 - [9] F. Mihalic and M. Milanovic, EMI reduction in randomized boost rectifier" in Conf. Rec. IEEE ISIE, 1999, pp.457-462.
 - [10] 위석오, 정영국, 나석환, 임영철, "모터 구동 장치의 가청 소음저감을 위한 새로운 3상 Lead-Lag 랜덤 펄스 위치 PWM기법", 대한전기학회 B부문 논문지 51B -7-8, pp.387-398, 2002.
 - [11] 위석오, 정영국, 나석환, 임영철, "모터 구동 장치의 가청 스위칭 소음 저감을 위한 2상 및 3상 랜덤 펄스 위치 PWM기법의 성능 비교", 전력전자학회 논문지 제7권 제3호, pp.224-236, 2002.
 - [12] D. E. Knuth, Seminumerical Algorithms, 2nd ed., vol. 2 of The Art of the Computer Programming, Addison Wesley, 1981

저 자 소 개



정영국(鄭榮國)

1963년 11월 10일생. 1986년 전남대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2000년 일본 오카야마대학교 연구방문. 현재 대불대 컴퓨터정보공학부 조교수.

Tel : 061-469-1263

E-mail : jyng@mail.daebul.ac.kr



나석환(羅碩煥)

1963년 4월 3일생. 1991년 전남대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2000년-2002년 (주)하우 무선데이터 통신 연구소 책임연구원. 2003년 현재 한국천문연구원 위촉연구원

H.P : 016-9310-2112

E-mail : s.h.na@ieee.org



임영철(任永徹)

1953년 4월 22일생. 1975년 전남대 전기공학과 졸업. 1977년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1997년 오스트레일리아 모나시대학 Visiting Scholar. 현재 전남대 전기공학과 교수.

한국과학재단 지정 전남대 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터(RRC)소장

Tel : 062-560-1743, E-mail : yclim@chonnam.ac.kr



정성기(鄭聖基)

1985년 2월 서울대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1984년 12월~1998년 삼성전자 입사, 종합연구소 냉장고 및 에어컨 개발. 1999년~현재 삼성전자 DA 총괄 냉기 Digital 제어그룹 그룹장(수석연구원)

Tel : 062-950-0842

E-mail : skjeong@samsung.com