

랜덤 삼각파 캐리어 적용 Hybrid Random PWM기법에 의한 파워 스펙트럼의 확산

김기선^{0*} 정영국^{**} 임영철^{*}

^{*}전남대학교 전기공학과 ^{**}대불대학교 컴퓨터정보공학부

Hybrid Random PWM Technique with a Random Triangular Carrier for Spreading the Power Spectra

^{0*}K.S. Kim ^{**}Y.G. Jung and ^{*}Y.C. Lim

^{*}Chonnam National University ^{**}Daebul University

ABSTRACT

본 연구에서는 유도 전동기의 파워 스펙트럼의 확산을 위한 LF2407 DSP기반 Hybrid Random PWM을 제안하였다. 제안된 방법은 Lead-Lag 랜덤 비트를 발생하기 위한 PRBS (Pseudo-Random Binary Sequence)와 PRBS와 논리적 비교를 위한 삼각파 랜덤 캐리어로 이루어진다. 또한 DSP에 의하여 랜덤 수 및 PRBS 그리고 3상 기준 정현파를 실시간으로 발생하며, DSP외부의 주파수 변조기 MAX038에 의하여 랜덤 주파수의 캐리어를 발생한다. 본 연구의 타당성 검증에 위하여 제안된 기법을 3상 유도전동기 구동장치에 적용하였으며, 종전의 방법과 전압 및 전류 그리고 전동기 소음 스펙트럼을 비교 검토하였다.

1. 서 론

현재 산업현장의 가변속 장치로 광범위하게 적용되고 있는 PWM 인버터 구동 유도전동기의 스위칭 소음은 쾌적한 작업 환경의 질을 저하시키는 중대한 요소로서 작용하고 있다. 고정 스위칭 주파수로 동작하는 인버터의 스위칭 소음 문제를 해결하기 위한 방법으로 Random PWM이 주목 받고 있다^[1]. Random PWM은 랜덤화된 펄스 위치 PWM(RPP)방법과 랜덤 스위칭 주파수 PWM(RSF)방법으로 나눌 수 있으며 여러 연구^[2-4]에서 이들 방법들의 장단점들이 지적되고 있다.

한편 B.R. Lin^[5,6]은 하드웨어만으로 PRBS로 동작하는 시프트 레지스터의 출력과 고정 주파수 캐리어에 상응하는 펄스를 논리적으로 비교하여 RPP를 구현하였다. B.R. Lin이 RPP를 위해 적용한 방법은 시프트 레지스터의 출력에 고정 주파수의 톱니파 또는 고정 주파수의 삼각파를 적용한 것이다. 톱니파에 의한 방법은 RLL(Random Lead-Lag)특성을 지니고 있으며, 삼각파에 의한 방법은 SVM(Space Vector Modulation)과 RLL이 혼합된 특성을 갖는다. 따라서 이 방법으로는 RPP의 근본적인 정수배 스위칭 주파수의 잔존 문제를 해결하기가 어렵다.

본 연구에서는 PRBS로 동작하는 시프트 레지스터의 Lead-Lag 랜덤 비트와 논리적인 비교를 위한 삼각파 캐리어를 랜덤하게 하여 유도전동기 구동장치의 파워 스펙트럼의 분산 효과를 개선하기 위한 Hybrid Random PWM기법을 제안한다. 제안된 방법은 RPP의 특징과 RSF의 특징을 모두 갖고 있는 혼합형 Random PWM의 모습을 보이고 있다. 본 연구의 타당성을 확인하기 위하여 LF2407 DSP기반의 1.5kW급 3상 유도전동기 구동장치를 제작하여 전동기 전압 및 전류 파형을 검토하였다. 전동기의 부하로는 기계적인 소음이 발생하지 않는 ECB(Eddy Current Brake)를 사용하였다. 그 결과, 전류파형은 종전의 고정 주파수 캐리어방법과 동일한 파형을 유지하고 있으며, 전동기 전압 및 전류 그리고 전동기의 소음 스펙트럼은 종전의 방법보다 광대역 주파수로 확산함을 알 수 있었다.

2. 제안된 방법

그림 1은 전형적인 PRBS 비교기를 사용한 Random PWM발생 회로^[5,6]이며, 각 부분 (a)-(f)에 대한 파형을 종전의 방법과 제안된 방법의 그림 2와 그림 3에 각각 나타내었다. 우선 그림 1의 랜덤 비트 발생기는 시프트 레지스터와 XOR게이트의 조합으로 이루어져 있으며, Lead-Lag 랜덤 비트와 캐리어에 상응하는 펄스를 논리적으로 비교하여 펄스 위치를 랜덤하게 배치하고 있다. 종전의 방법은 3상 정현파 신호 $v_{(abc)}$ 와 비교하기 위한 캐리어로 그림 2의 (a),(c)와 같은 고정 주파수의 삼각파를 사용하고 있다. 이 방법은 비록 PRBS의 출력이 (e)와 같은 랜덤 비트를 가진다 해도 고정 주파수 삼각파를 사용하기 때문에 결과적인 파형에는 고정 스위칭 주파수 성분이 존재하게 된다.

그림 3은 본 연구에서 제한한 방식을 나타내고 있다. 이 방법은 그림 3의 (a),(c)와 같은 랜덤 주파수의 삼각파 캐리어를 사용하기 때문에 그림 2의 고정 주파수 캐리어로부터 발생하는 특정 주파수대의 스펙트럼을 광대역으로 분산시키는 효과가 크다.

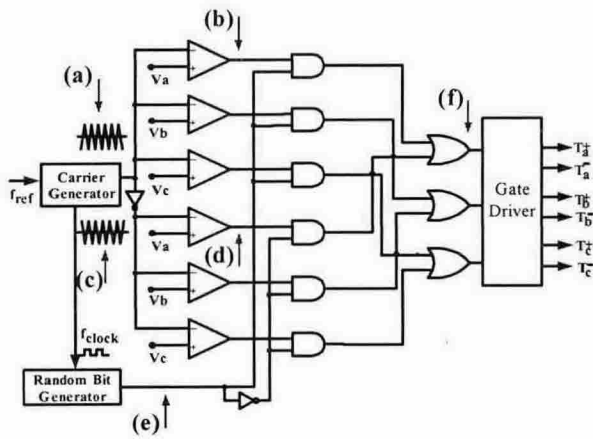


그림 1 PRBS비교기를 이용하는 Hybrid random PWM
Fig.1 Hybrid random PWM using PRBS comparator

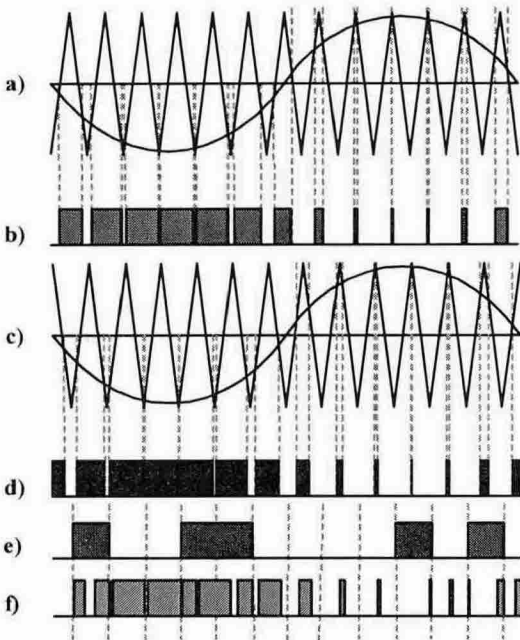


그림 2 종전의 고정 주파수 Hybrid random PWM
Fig.2 Conventional hybrid random PWM with a fixed frequency

그림 4에 제안된 방식을 적용한 LF2407 DSP기반의 3상 유도전동기 구동장치를 나타내었다. LF2407 DSP는 랜덤 수 및 PRBS 랜덤 비트와 3상 기준 정현파 발생을 발생한다. DSP외부에는 DSP가 발생한 랜덤 수로부터 랜덤 주파수의 캐리어를 발생하기 위한 MAX038과 여러 가지 논리회로 등으로 구성되어 있다. 그림 4의 회로에 대한 동작원리를 살펴보면 다음과 같다. 우선 LCG(Linear Congruential Generator)알고리즘^[3-4]과 외부 인터럽트에 의하여 랜덤 수를 연산하고, DA변환기를 통하여 랜덤 수를 출력한다. DA변환기를 통해 출력된 신호는 MAX038로 인가되며, 여기서 MAX038은 삼각파를 생성하는 IC소자로서 본 시스템에서는 DA변환

기의 출력 신호를 주파수 변조하여 랜덤 주파수의 삼각파 캐리어를 발생하고 있다. PRBS 랜덤 비트는 소프트웨어인 방법으로 8비트 랜덤 비트를 구현하였으며, 외부에서 입력되는 삼각파 캐리어의 피크검출(상승에지) 신호의 인터럽트에 동기되어서 DSP의 I/O포트로 PRBS 랜덤 비트를 출력한다.

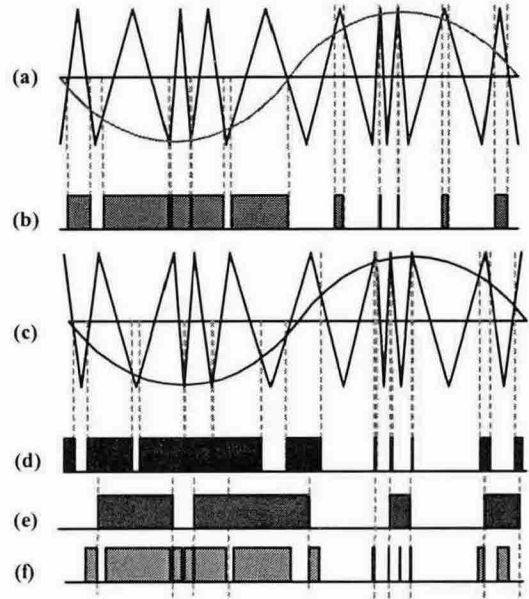


그림 3 제안된 방식
Fig.3 Proposed method

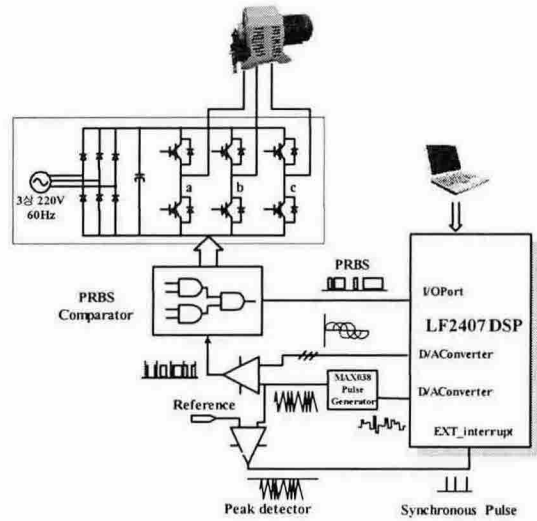


그림 4 제안된 시스템
Fig.4 Proposed system

3. 실험결과 및 고찰

그림 5는 3상 기본파 주파수 60Hz, 변조지수 0.8, 3kHz±1kHz 랜덤 대역폭을 갖는 랜덤 주파수의 삼각파 캐리어와 8비트 PRBS의 조건 하에서 발생된 여러 펄스를 측정된 결과이다.

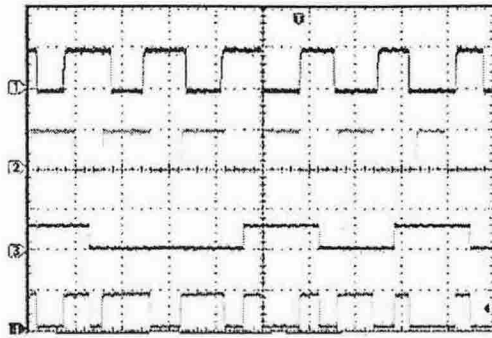
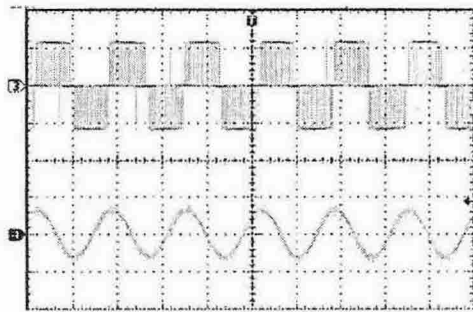
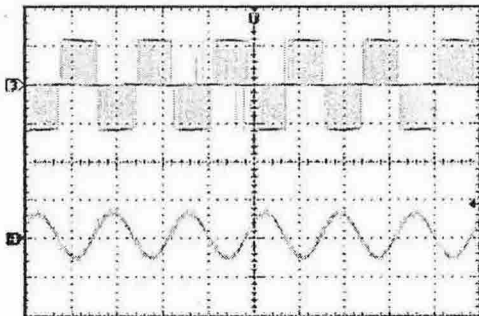


그림 5 측정된 제안된 방법의 펄스(b,d,e,f)
Fig.5 Measured pulses of the proposed method (b,d,e,f)

실효치가 220v인 인버터 출력전압을 ECB(Eddy Current Brake)와 연결된 1.5kW급 3상 유도전동기에 인가하였을 때의 측정된 220v 전동기 전압과 2.3A 전동기 전류 파형을 그림 6에 나타내었다.



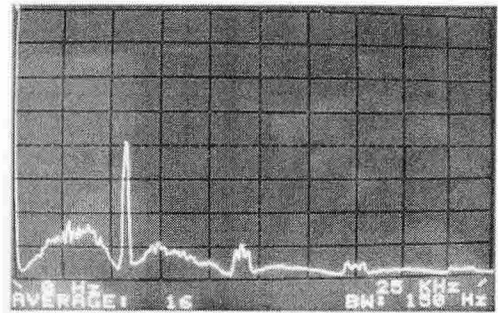
(a)Conventional method (3kHz)



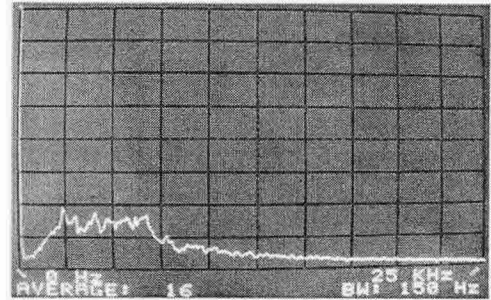
(b) Proposed method(3kHz±1kHz)

그림 6 측정된 전압과 전류 파형
Fig.6 Measured voltage and current waveforms (voltage:250v/div.,current:5A/div.)

ECB는 자체적인 기계 소음이 없으며 전동기와 연결하여 부하로서 사용 가능한 전기기계이다. 그림 6(a)는 종전의 방법으로서 3kHz 고정 주파수 삼각파를 사용한 hybrid random PWM기법의 결과이다. 그림 6(b)는 3kHz 중심 주파수에 대하여 ±1kHz 대역폭을 갖는 랜덤 삼각파를 사용한 제안된 방식의 결과이며, 이때 각 방식의 전류파형과 비교해보면 제안된 방식이나 종전의 방식이 거의 동일하다는 것을 알 수 있다.

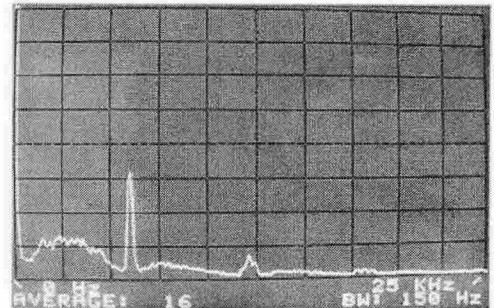


(a) Conventional method (3kHz)

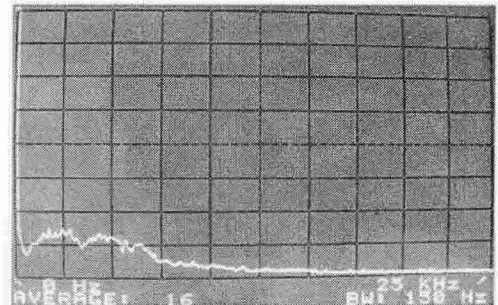


(b)Proposed method (3kHz±1kHz)

그림 7 측정된 전압 스펙트럼
Fig.7 Measured voltage spectra (x-axis:2.5kHz/div.,y-axis:200mv/div.)



(a)Conventional method (3kHz)



(b)Proposed method (3kHz±1kHz)

그림 8 측정된 전류 스펙트럼
Fig.8 Measured current spectra (x-axis:2.5kHz/div.,y-axis:10mv/div.)

그림 7과 그림 8은 종전의 방식과 제안된 방식의 전압과 전류 파형에 대한 스펙트럼 분석 결과이다. 그림 7(a)와 그림 8(a)로 나타낸 종전의 방법은 전압과 전류

스펙트럼에 모두 스위칭 주파수 3kHz의 정수배인 6kHz와 12kHz에 강한 고조파 성분이 존재한다. 그러나 제안된 방법은 그림 7(b)와 그림 8(b)에서 보는 바와 같이 6kHz와 12kHz성분을 거의 완전하게 광대역으로 분산시키고 있다. 결과적으로 제안된 방법에 의한 전류 파형은 양호한 전류파형과 고조파 스펙트럼의 광대역화 특성을 모두 가지고 있음을 알 수 있다.

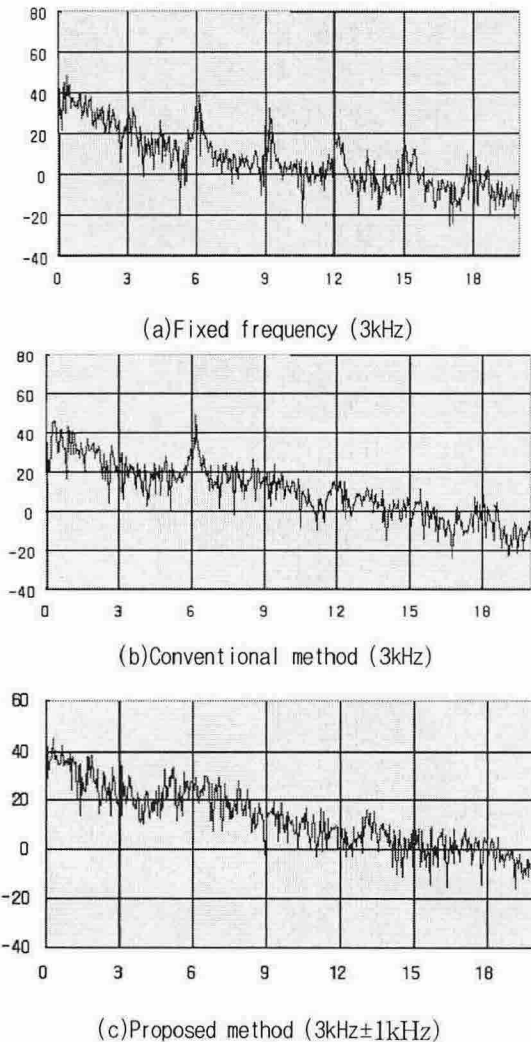


그림 9 측정된 전동기 스위칭 소음 스펙트럼
Fig.9 Measured motor switching noise spectra
(x-axis:3kHz/div.,y-axis:20dB/div.)

그림 9는 2.3A부하의 경우, 전동기로부터 발생하는 스위칭 소음 스펙트럼을 나타내고 있다. 먼저 그림 9(a)는 3kHz 고정 삼각파 캐리어만을 사용한 경우로서 3kHz 스위칭 주파수의 정수배 파워 스펙트럼이 모두 존재하는데, 특히 6kHz와 9kHz의 스펙트럼이 매우 강한 분포를 보인다. 그림 9(b)는 고정 주파수의 삼각파 캐리어를 적용한 Hybrid Random PWM 방식으로 전압과 전류의 경우와 동일하게 6kHz 고조파 성분이 매우 강하게 존재하고 있다. 그림 9(c)는 제안된 방법의 스펙

트럼 결과로서 0-21kHz 전 주파수에 걸친 거의 이상적인 선형적인 스펙트럼 분포를 하고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 종전의 고정 주파수의 삼각파 캐리어를 적용한 Hybrid Random PWM기법의 문제점을 개선하기 위해 랜덤 삼각파 캐리어를 적용한 Hybrid Random PWM기법을 제시하였다. 제안된 방법을 1.5kW급 3상 유도전동기 구동장치에 적용하여 전동기 전압과 전류 및 소음 스펙트럼을 측정하였다. 그 결과, 제안된 기법은 랜덤 PWM의 특징인 파워 스펙트럼의 광대역화 특징을 가지면서도 전류 파형은 종전의 방법과 유사하였다. 또한 종전의 방법은 스위칭 주파수의 2배 주파수에서 매우 강한 파워 스펙트럼을 보였으나, 제안된 방법은 특정 주파수대에 집중하지 않고 전 주파수대로 확산된 선형적인 파워 스펙트럼 분포를 하였다.

이 논문은 전남대학교 고품질전기전자부품 및 시스템연구센터의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] A. Cichowski, J. Nieznanski and A. Wojewodka, "Shaping the SPL spectra of the acoustic noise emitted by inverter fed induction motors", in Proc. IEEE IECON'03, 2003, pp.2923-2928.
- [2] M. M. Bech, J. K. Pedersen and F. Blaabjerg, "Random modulation techniques with fixed switching frequency for three-phase power converters", IEEE Trans. Power Electron., vol.15, no.4, pp.753-761, 2000.
- [3] 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.
- [4] 위석오, 정영국, 나석환, 임영철, "전동기 구동 장치의 가청 스위칭 소음 저감을 위한 2상 및 3상 랜덤 펄스 위치 PWM기법의 성능 비교", 전력전자학회 논문지 제7권 제3호, pp.224-236, 2002.
- [5] B.R. Lin, "Implementation of non-deterministic pulse width modulation for inverter drives", IEEE Trans. aerospace and electronic system, vol.36, no.2, pp.482-490, 2000.
- [6] B.R. Lin and H.H. Lu, "Three-phase ac/dc/ac/converter with random pulse position PWM", in Conf. Rec. EPE'99, 1999, in CD ROM.