

### 3상 멀티 레벨 인버터 구동 유도 전동기의 소음저감을 위한 3상 준 랜덤 캐리어 변조기법

박진규<sup>o\*</sup> 김중남<sup>\*</sup> 정영국<sup>\*\*</sup> 임영철<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>전남대학교 전기공학과 <sup>\*\*</sup>대불대학교 컴퓨터정보공학부

### 3-Phase Pseudo-Random Carrier Modulation Technique for the Acoustic Noise Reduction of the 3-Phase Multi-Level Inverter Based Motor Drives

<sup>o\*</sup>J.K. Park, <sup>\*</sup>J.N. Kim <sup>\*\*</sup>Y.G. Jung and <sup>\*</sup>Y.C. Lim

<sup>\*</sup>Chonnam National University <sup>\*\*</sup>Daebul University

#### ABSTRACT

This paper describes a simple pseudo-random carrier modulation technique for the acoustic noise reduction of the three phase multi-level inverter based motor drives. The proposed method generates a new pseudo-random carrier by randomly synthesizing a carrier with fixed frequency and a carrier with opposition phase. To confirm the validity of the proposed method, a 130v three-phase multi-level inverter was implemented and tested. The experimental results show that the output line voltage and acoustic noise harmonics spectra of an inverter have broadening effect of harmonics, as only simple synthesis of fixed frequency carries.

발생회로는 복잡하고 정밀한 아날로그 및 디지털 소자 등이 요구된다.

이상의 문제점을 해결하기 위하여, 본 연구에서는 고정 주파수를 갖는 삼각파 캐리어와 역상의 삼각파 캐리어를 랜덤 비트 발생기(PRBS)<sup>[4,5]</sup>에 의하여 선택한 후, 새롭게 합성된 랜덤 주파수의 캐리어를 발생하는 기법을 제안하였다. 이 캐리어와 정현파 기준치를 비교하면 전력전자 변환기를 위한 랜덤 PWM 펄스가 얻어진다. 캐리어의 랜덤한 선택은 시프트 레지스터로 구성된 PRBS의 출력에 의해 이루어지며 이 부분은 2x1 MUX가 담당하고 있다. 3상 실험치 130v 멀티 레벨 인버터 기반의 유도전동기 구동 시스템을 제작하여 종전의 방법과 제안된 방법의 전압과 전류 파형 그리고 전동기에서 발생하는 소음 스펙트럼을 비교 검토 하였다.

#### 1. 서 론

멀티 레벨 인버터는 대용량 교류 전동기 구동용 뿐만 아니라 전력계통에서 요구되는 고압 대용량 인버터 시스템에 적합한 전력전자 변환기이다. 그러나 멀티 레벨 인버터에 적용되고 있는 고정 주파수 멀티 캐리어 방식은 스위칭 주파수의 정수배 측대 고조파를 출력 전압과 전류에 발생하여, 교류 전동기 구동시스템의 경우에는 스위칭 소음 문제를 발생하고 있다<sup>[1,2]</sup>.

이상의 문제점은 랜덤 PWM에 의하여 쉽게 해결가능하며 랜덤 PWM은 랜덤 펄스위치 PWM<sup>[2]</sup>과 랜덤 주파수 캐리어 PWM<sup>[3]</sup>으로 대별된다. 일반적으로 랜덤 펄스 위치 PWM은 마이크로 콘트롤러로 구현이 가능하나 PWM 주파수의 정수배 고조파가 잔존하고 이론이 복잡하다. 한편, 랜덤 주파수 캐리어 PWM을 마이크로 콘트롤러로 구현하기 위해서는, 주어진 랜덤 값에서 듀티 시간을 계산하고 이를 펄스로 만드는 고성능 DSP가 필요하다. 랜덤 주파수 캐리어 PWM을 외부 하드웨어 회로로 구현하기 위해서는 랜덤한 주파수를 갖는 캐리어 발생회로가 필요하다. 랜덤 주파수 캐리어

#### 2. 제안된 시스템

그림 1은 본 연구에서 제안된 준 랜덤 캐리어 발생기를 나타내고 있다. 그림 1에서 보는 바와 같이 고정 주파수의 삼각파 캐리어와 역상인 캐리어가 2입력 1출력의 MUX에 입력되면, 랜덤 비트 발생기의 출력비트의 상태 "1"또는 "0"에 따라서 정상의 캐리어와 역상의 캐리어가 랜덤하게 선택된다. 이때 정상의 캐리어와 역상의 캐리어의 결정은 PRBS의 출력에 전적으로 의존되며 랜덤 비트 출력이 "1"인 경우에는 정상의 캐리어, "0"인 경우에는 역상의 캐리어가 선택된다. 시프트 레지스터로 구성된 PRBS는 N개의 플립플롭을 사용하여  $2^N - 1$  개의 불규칙 수열을 발생시키는 회로이다.

그림 2는 제안된 방법의 결과적인 캐리어와 PWM 펄스를 얻는 과정을 나타낸 것으로 그림 2(b)로 나타난 PRBS의 출력이 "1"인 동안은 그림 2(a)가 선택되고 "0"인 펄스구간에 그림 2(c)가 선택되어 그림 2(d)의 결과적인 준 랜덤 캐리어가 합성된다. 그림 2(d)는 고정 주파수의 삼각파 2개를 합성하여 랜덤 효과를 내기 때문에 준 랜덤 캐리어라 한다. 그림 2(d)는 기준 정현파

와 비교하게 되면 그림 2(e)로 나타낸 준 랜덤 캐리어 PWM펄스가 구해진다.

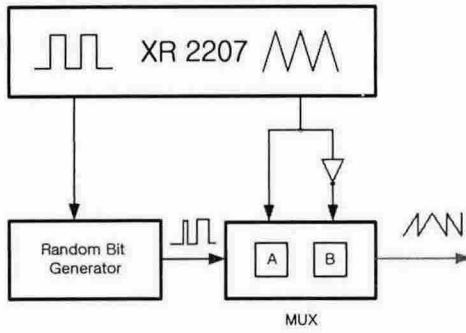


그림 1 제안된 준 랜덤 캐리어 발생기  
Fig.1 The proposed pseudo-random carrier generator

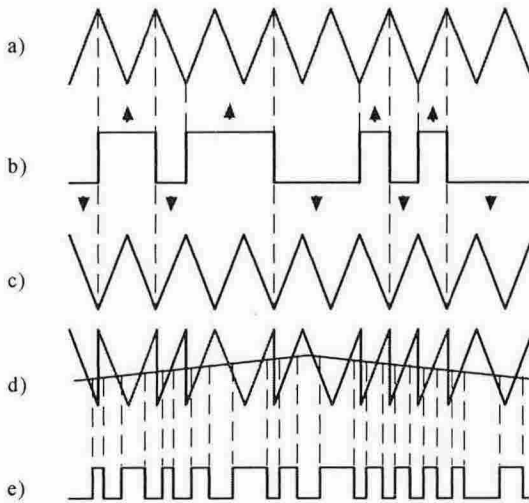


그림 2 제안된 방법의 결과적인 캐리어와 PWM 펄스  
Fig.2 Resultant carrier and PWM pulses of the proposed method  
(a)Positive carrier (b)Random bit(PRBS)  
(c)Negative carrier (d)Resultant random carrier  
(e)Random PWM Pulses

그림 3은 본 연구에서 제안된 전체 시스템을 나타내고 있다. 고정 주파수의 삼각파 캐리어 발생은 EXAR사의 XR2207을 이용하였으며, 3상 기준 정현파는 80C196의 타이머 오버 플로우 인터럽트 및 메모리된 테이블 값과 DA변환기에 의하여 발생하였다. 또한 랜덤 비트 발생기로서의 PRBS는 시프트 레지스터 74164와 XOR게이트 4030에 의하여 구현하였다. MUX로는 양방향 스위치 4066을 사용하였으며, 이 MUX로 출력되는 준 랜덤 캐리어를 PD(Phase Disposition)로 배치한 후 3상 정현파 기준치와 비교하면 본 연구에서 제시된 준 랜덤 캐리어의 PWM 펄스가 얻어지게 된다. 3상 캐스케이드 인버터는 각 상당 H-브리지 2개가 직렬로 연결되어 있으며, 각상은 1차측이  $\Delta$ 결선된 유도 전동기에 연결된다. 본

연구에서는 각 상당 1입력 2출력의 절연 변압기와 다이오드 정류기에 의하여 각 상당 H-브리지의 cell 직류전압 60V가 공급된다.

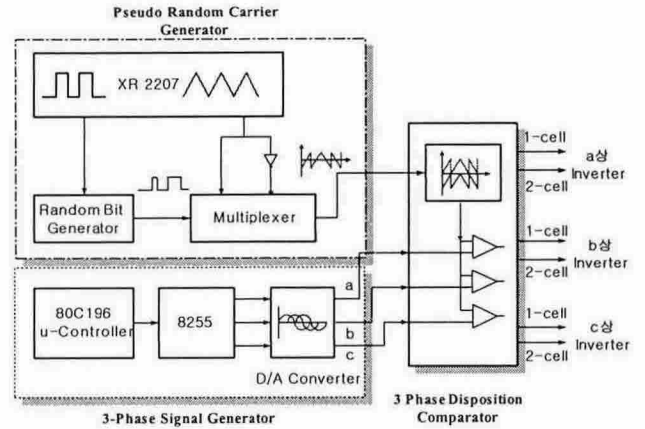


그림 3 제안된 전체 시스템  
Fig.3 The proposed entire system

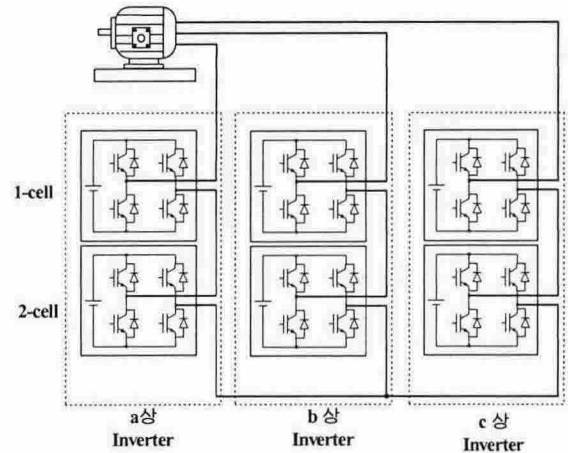


그림 4 3상 5-레벨 캐스케이드 인버터  
Fig.4 Three-phase 5-level cascaded inverter

### 3. 실험 결과 및 고찰

그림 5는 고정 주파수  $f_{sw}=3kHz$ , 12비트 PRBS를 기반으로 제작한 준 랜덤 캐리어 발생기의 각 부분의 파형을 나타내고 있다. 그림 5(1)은  $f_{sw}=3kHz$  고정 주파수의 삼각파, 그림 5(2)는 역상의 삼각파, 그림 5(3)은 12 비트 PRBS의 출력 그리고 그림 5(4)는 이들의 조합에 의해 발생된 결과적인 준 랜덤 캐리어의 파형이다. 그림 6은 그림 5(4)의 결과적인 준 랜덤 캐리어의 스펙트럼 결과이다. 3kHz를 중심으로 0과 6kHz사이를 고조파가 정규 분포를 하고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 PRBS의 시프트 레지스터의 비트에 따른 준 랜덤 캐리어의 고조파 스펙트럼은 8비트, 10비트, 12비트의 순서로 랜덤도가 좋다<sup>[5]</sup>. 본 연구에서는 12비트 시프트 레지스터와 XOR게이트를 PRBS로 채택하였다.

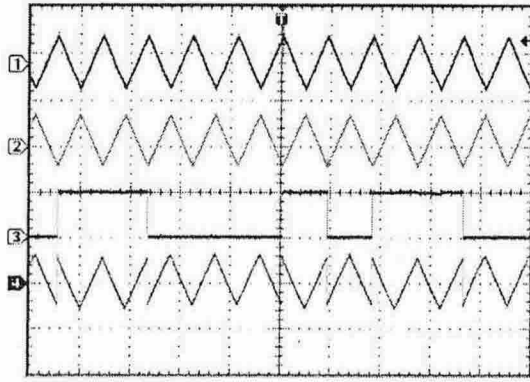


그림 5 측정된 준 랜덤 캐리어 파형  
Fig.5 Measured pseudo-random carrier  
( $f_{sw}=3\text{kHz}$ , PRBS=12 bit)

(1)Positive carrier (2)Negative carrier (3)Random bit(PRBS) (4)Resultant random carrier

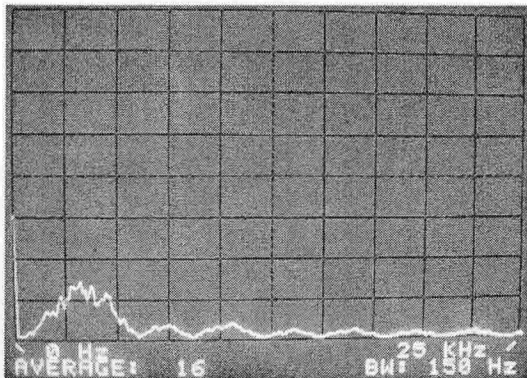


그림 6 준 랜덤 캐리어의 스펙트럼  
Fig. 6 Spectra of pseudo random carrier  
(x-axis:2.5kHz/div.,  $f_{sw} = 3\text{kHz}$ , PRBS=12 bit)

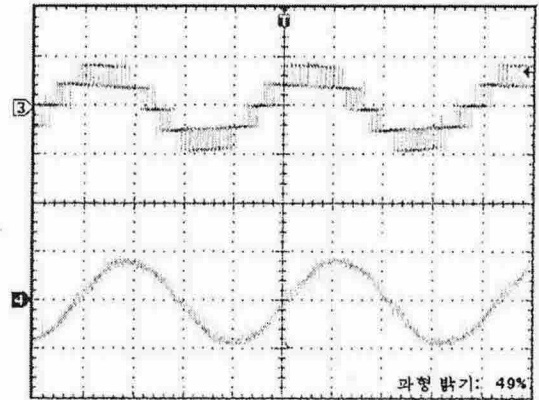
그림 7은 3상 5-레벨 캐스캐이드 인버터의 측정된 선간 전압과 전류 파형으로서 그림 7(a)는 3kHz 고정 주파수, 그림 7(b)는 제안된 방법의 결과이다. 2개의 고정 주파수 캐리어에 의하여 준 랜덤 캐리어가 합성되었기 때문에, 제안된 방법의 전동기 전류에는 일반적인 랜덤 PWM 적용 시 발생하는 전류의 맥동이 심하지 않음을 알 수 있다.

그림 8에는 그림 7에서 나타낸 5-레벨 선간 전압에 대한 스펙트럼을 각각 나타내고 있다. 그림 8(a)에서 보는 바와 같이 3kHz 고정 주파수 기법은 3kHz의 정수배의 주파수파에 측대 고조파가 강하게 나타나고 있다. 그러나 그림 8(b)에서 보는 바와 같이 제안된 방법은 6kHz성분을 제외하고는 가장 강한 3kHz성분과 9kHz성분의 고조파를 광대역으로 분산시키고 있다.

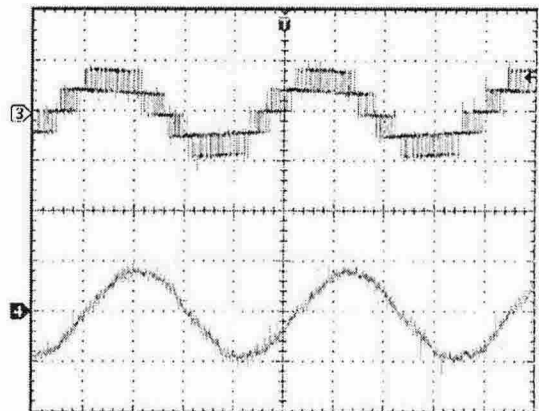
그림 9는 유도 전동기로부터 발생하는 스위칭 소음의 스펙트럼을 측정<sup>[2]</sup>한 결과이다. 그림 9(a)는 종전의 방법을 적용한 결과이고, 그림 9(b)는 제안된 방법을 결과이다. 종전의 방법은 그림 8의 선간 전압의 경우와 유사하게  $f_{sw}=3\text{kHz}$ 의 정수배로 소음 스펙트럼이 분포

하고 있다. 그러나 그림 9(b)에서 보는 바와 같이 제안된 방법은 3kHz의 정수배의 모든 영역에서 소음 스펙트럼이 감소됨을 알 수 있다.

제안된 기법은 다른 랜덤 PWM기법에 비하여 매우 단순한 구조와 고정 주파수의 캐리어로 랜덤한 캐리어를 발생시킬 수 있는 점을 고려해 볼 때, 이상의 결과는 매우 양호한 결과라 할 수 있다.

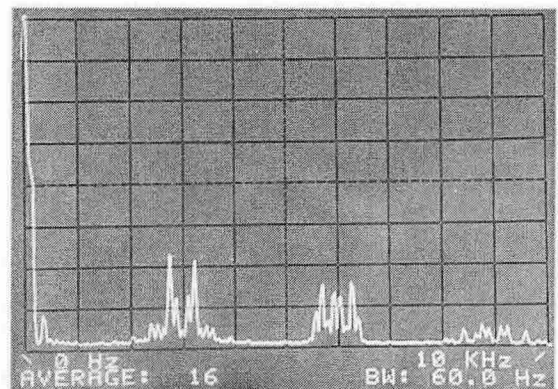


(a)Fixed frequency ( $f_{sw} = 3\text{kHz}$ )

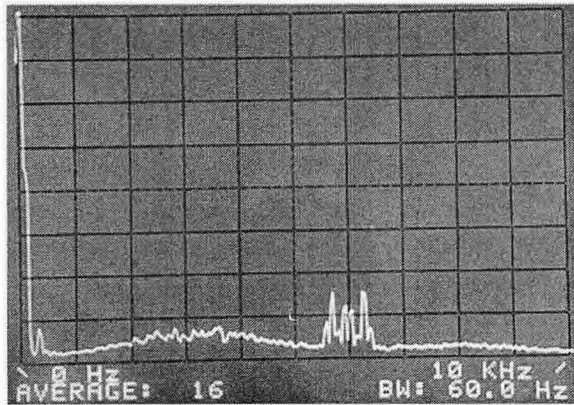


(b)Proposed method( $f_{sw} = 3\text{kHz}$ )

그림 7 측정된 선간 전압과 전류 파형  
Fig. 7 Measured line to line voltage and current  
(voltage :250v/div., current=2A/div.)

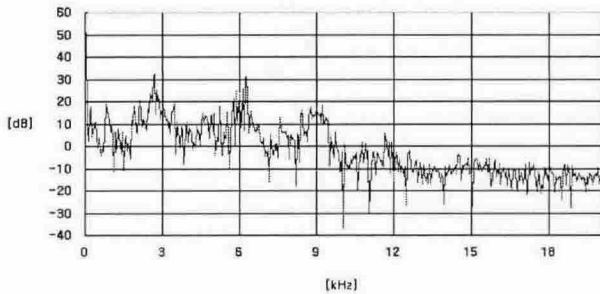


(a)Fixed frequency PWM ( $f_{sw} = 3\text{kHz}$ )

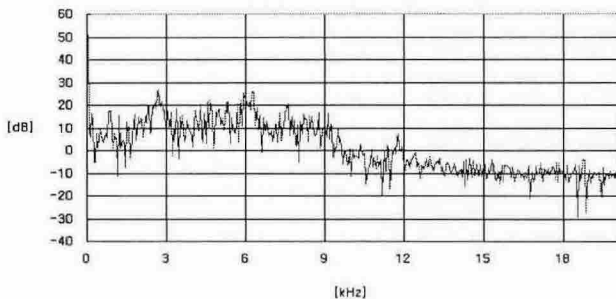


(b) Proposed method ( $f_{sw} = 3\text{kHz}$ )

그림 8 측정된 선간 전압의 스펙트럼  
Fig. 8 Measured line to line voltage spectra  
(x-axis: 1kHz/div., y-axis: 100mv/div.)



(a) Fixed frequency PWM ( $f_{sw} = 3\text{kHz}$ )



(b) Proposed method ( $f_{sw} = 3\text{kHz}$ )

그림 9 측정된 전동기의 소음 스펙트럼  
Fig. 9 Measured noise spectra of the motor drives  
(x-axis: 3kHz/div., y-axis: 10dB/div.)

#### 4. 결론

본 연구에서는 랜덤 캐리어 발생기가 필요하지 않은 고정 주파수의 캐리어의 합성에 의한 준 랜덤 캐리어 발생기법을 제시하였다. 제안된 방법을 기반으로 하여 선간전압 220v 실효치의 3상 5-레벨 캐스캐이드 인버터 시스템을 제작하였다. 제안된 방법의 랜덤 캐리어는 진정한 랜덤 캐리어가 아닌 준 랜덤 캐리어임에도 3

상 5-레벨 선간 전압 및 전동기 소음의 고조파 스펙트럼을 광대역 분산 성능이 양호하였다. 또한 일반적으로 랜덤 PWM 적용시 발생하는 전류파형의 맥동이 심하게 발생하지 않았다. 제안된 방법은 매우 단순한 구조로 되어져 있기 때문에 저가격의 랜덤 PWM을 구현할 수 있으며, 고압 대용량의 전동기 구동장치를 포함하는 전력 변환기에 적용하는 경우, 스위칭 소음 및 진동 저감에 효과가 있으리라 생각된다.

이 논문은 전남대학교 고품질전기전자부품 및 시스템연구센터의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

#### 참고 문헌

- [1] A.M. Trzynadlowski, K. Borisov, Y. Li, and L. Qin, "A novel random PWM technique with minimum computational overhead and constant sampling frequency for high volume, low cost applications", in Proc. IEEE APEC'04, 2004, pp.473-478.
- [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 space vector PWM", IEE Proc. Electr. Power Appl., vol.149, no.3, May, pp.195-200, 2002.
- [3] C.M. Liaw and Y.M. Lin, "Random slope PWM inverter using existing system background noise : analysis, design and implementation", IEE Proc. Electr. Power Appl., vol. 147, no.1, pp.45-54, 2000.
- [4] 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.
- [5] 박진규, 김종남, 정영국, 임영철, "준 랜덤 주파수 캐리어 (PRC-PWM) 발생기", 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환 시스템 부문회 춘계학술대회 논문집, 2005.4, pp.157-160