

PRBS비트에 따른 준 랜덤 캐리어 변조기법의 소음 스펙트럼

김종남^{o*} 정영국^{**} 임영철^{*}

^{*}전남대학교 전기공학과 ^{**}대불대학교 컴퓨터정보공학부

Acoustic Noise Spectra of the Pseudo-Random Carrier Modulation Technique According to the Different PRBS Bits

^{o*}J.N. Kim ^{**}Y.G. Jung and ^{*}Y.C. Lim

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

ABSTRACT

This paper describes the acoustic noise spectra of the pseudo-random carrier modulation technique according to the different PRBS(Pseudo Random Binary Sequence) bits. To confirm the validity of the proposed method, a 130v three-phase 5-level inverter motor drives was implemented. The harmonics spectra broadening effect of pseudo random carrier and the acoustic noise radiated from the inverter drives were discussed and verified according to the different bits of shift register operating as PRBS.

1. 서론

전력전자 기술의 눈부신 발달로 인하여 산업 현장에 사용되던 PWM 인버터는 최근 에어컨, 냉장고등 가전 기기에도 적용되고 있다. 그런데 이러한 인버터는 일반적으로 고정 주파수 PWM방식을 채택하고 있으며, 스위칭 주파수의 정수배 고조파를 출력 전압과 전류에 발생하여, 전동기 구동시스템의 경우에는 스위칭 소음 문제를 발생하고 있다^[1-8]. 전동기로부터 발생하는 스위칭 소음 문제는 랜덤 PWM에 의하여 쉽게 해결 가능하며 랜덤 PWM은 랜덤 펄스위치 PWM^[2-3]과 랜덤 주파수 캐리어 PWM^[4-5]으로 구별된다. 일반적으로 랜덤 펄스위치 PWM은 마이크로 콘트롤러로 쉽게 구현이 가능하나 PWM 주파수의 정수배 고조파가 잔존하는 문제가 있다. 한편, 랜덤 주파수 캐리어 PWM은 마이크로 콘트롤러 보다는 랜덤 캐리어 발생 전용 칩 등을 활용하여 하드웨어로 구현하는 것이 유리하다. 그러나 이 방식은 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)^[6-8]에 의하여 선택한 후, 새롭게 합성된 랜덤 주파수의 캐리어를 발생하는 기법

을 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 실효치 130v 멀티 레벨 인버터^[9]기반의 유도전동기 구동 시스템을 제작하여 PRBS로 동작하는 시프트 레지스터의 비트에 따른 스펙트럼 특성을 비교 검토 하였으며 12비트의 경우가 가장 양호한 스펙트럼 분포를 보임을 알 수 있었다.

2. 본론

그림 1은 본 연구에서 제안된 준 랜덤 캐리어 발생기를 나타내고 있다.

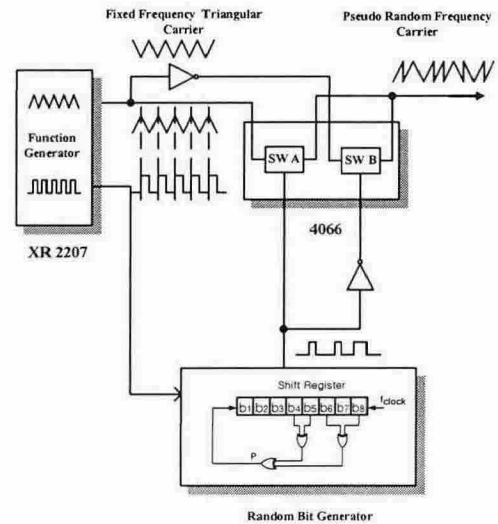


그림 1 제안된 준 랜덤 캐리어 발생기
Fig.1 The proposed pseudo-random carrier generator

그림 1에서 보는 바와 같이 XR2207에서 발생된 고정 주파수의 삼각파 캐리어와 역상인 캐리어가 2입력 1출력의 MUX 4066에 입력되면, PRBS로 동작하는 랜덤

비트 발생기의 출력비트의 상태 “1”또는 “0”에 따라서 정상과 역상의 캐리어가 랜덤하게 선택된다. 이때 정상과 역상의 캐리어의 결정은 랜덤 비트 발생기의 출력에 전적으로 의존되며 랜덤 비트 출력이 “1”인 경우에는 정상과 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 나타낸 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 정현파와 비교하게 되면 그림 2(e)로 나타낸 준 랜덤 캐리어 PWM 펄스가 구해진다.

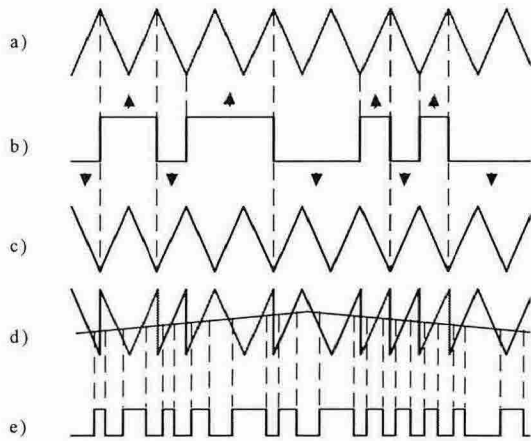


그림 2 제안된 방법의 결과적인 캐리어와 PWM 펄스
Fig.2 Resultant carrier and PWM pulses of the proposed method
(a)Positive carrier (b)Random bit(PRBS)
(c)Negative carrier (d)Resultant random carrier
(e)Random PWM Pulses

3. 하드웨어 구성 및 실험 결과

그림 3은 본 연구에서 제안된 방법을 적용하기 위한 실험 시스템을 나타내고 있다. 그림 1에서 나타난 바와 같이 고정 주파수의 삼각파 캐리어 발생은 EXAR사의 XR220을 이용하였으며, 3상 기준 정현파는 80C196의 타이머 오버 플로어 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 그림 4와 같은 PD(Phase Disposition)로 배치한 후 3상 정현파 기준치와 비교하면 본 연구에서 제시된

준 랜덤 캐리어의 PWM 펄스가 얻어지게 된다. 3상 캐스캐이드 인버터는 각 상당 H-브리지 2개가 직렬로 연결되어 있으며, 각상은 1차 측이 Δ 결선된 유도 전동기에 연결된다. 본 연구에서는 각 상당 1입력 2출력의 절연 변압기와 다이오드 정류기에 의하여 각 상당 H-브리지의 cell 직류전압 60v가 공급된다.

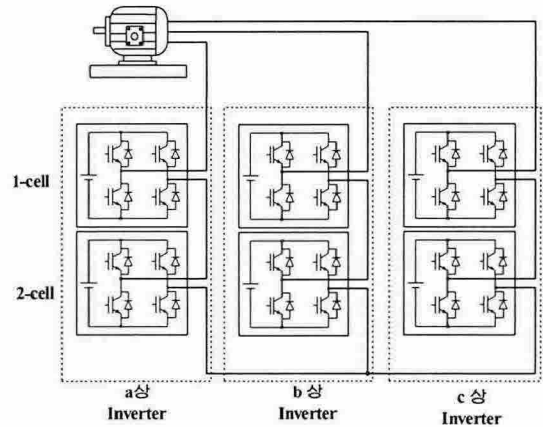


그림 3 3상 5-레벨 캐스캐이드 인버터
Fig.3 Three-phase 5-level cascaded inverter

그림 4는 스위칭 주파수 $f_{sw}=3kHz$, 12비트 PRBS의 조건에 대한 결과적인 준 랜덤 캐리어의 파형이다.

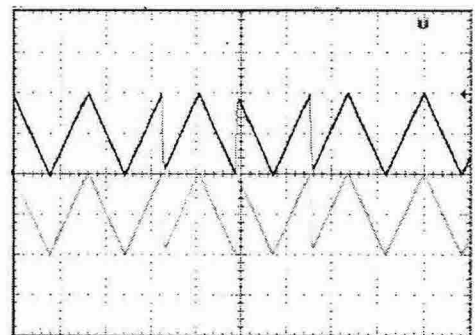
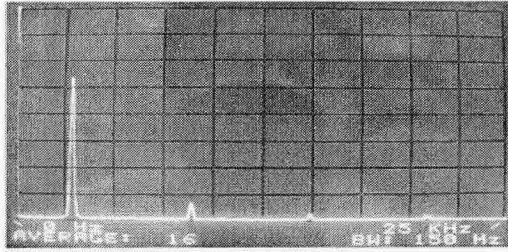


그림 4 측정된 준 랜덤 캐리어 파형
Fig.4 Measured pseudo-random carrier
($f_{sw}=3kHz$, PRBS=12 bit)

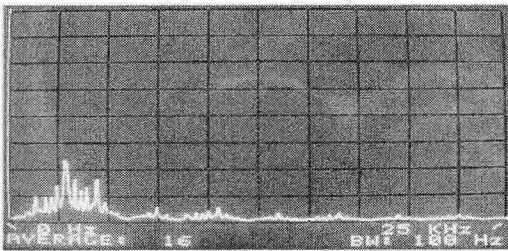
그림 5는 그림 1에서 나타난 시프트 레지스터의 비트별 준 랜덤 캐리어의 스펙트럼 결과를 나타낸 것이다. 먼저 그림 5(a)는 3kHz 고정 주파수의 삼각파 캐리어에 대한 결과로서, 3kHz 주파수에 고조파 스펙트럼이 집중되어 있다. 그림 5(b)-(d)는 PRBS의 시프트 레지스터가 각각 8비트, 10비트, 12비트 인 경우의 스펙트럼으로 비트수가 증가함에 따라 스펙트럼의 광대역화 분포는 증가함을 알 수 있다. 즉 3kHz를 중심으로 0과 6kHz사이의 고조파 정규 분포도가 증가하게 된다.

그림 6은 $f_{sw}=3kHz$ 의 경우, 3상 5-레벨 캐스캐이드 인버터로 구동되는 유도 전동기에서 발생하는 스위칭

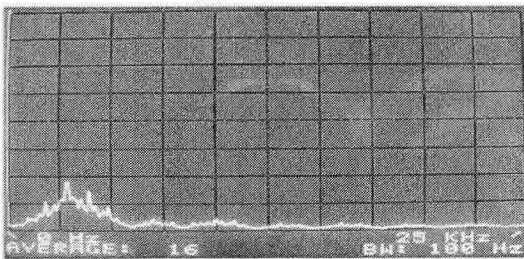
소음의 스펙트럼을 각 비트별로 측정된 결과이다. 그림 6(a)는 종전의 고정 주파수 방법d 대한 결과이고, 그림 6(b),(c)는 10비트와 12비트에 대한 제안된 방법을 적용한 결과이다. 종전의 방법은 $f_{sw}=3kHz$ 의 정수배로 소음 스펙트럼이 매우 강하게 분포되고 있다.



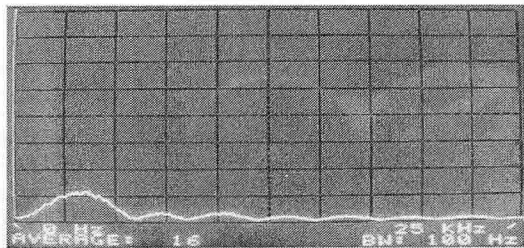
(a)Fixed frequency



(b)PRBS=8 bit



(c)PRBS=10 bit



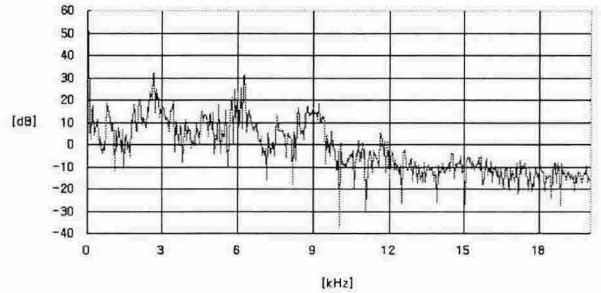
(d)PRBS=12 bit

그림 5 측정된 준 랜덤 주파수 캐리어의 고조파 스펙트럼 결과($f_{sw}=3kHz$)

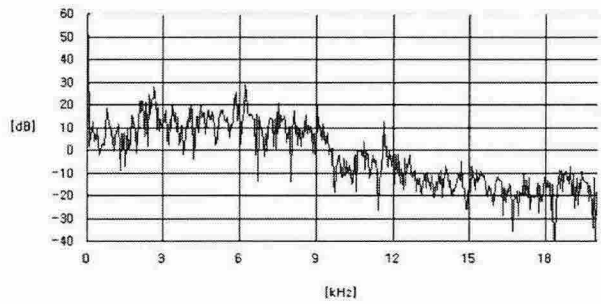
Fig. 5 Measured harmonics spectra of the pseudo random frequency carrier ($f_{sw}=3kHz$)

그러나 10비트의 제안된 방법은 그림 6(b)에서 보는 바와 같이 불연속적인 스펙트럼은 연속적인 분포로 변화하였음을 알 수 있다. 즉 9kHz성분은 상당히 감소되었으며, 3kHz성분과 6kHz성분은 약간 감소된 반면 오히려 12kHz성분은 약간 증가된 모습을 보인다. 그림 6(c)는 12비트를 적용한 제안된 방법의 결과로서 10비트의 경우보다 훨씬 더 선형적인 스펙트

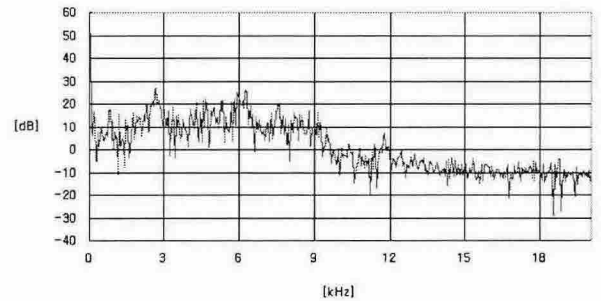
럼 분포를 하고 있다. 즉 10비트의 경우에 저감되지 않은 6kHz성분과 12kHz성분을 더욱 더 감소시키고 있다. 이는 그림 5의 결과와 거의 일치함을 알 수 있다. 그림 7은 $f_{sw}=5kHz$ 의 경우로서 $f_{sw}=3kHz$ 의 경우보다 소음 스펙트럼의 결과가 약간 평탄한 특성을 보이고 있다.



(a)Fixed frequency

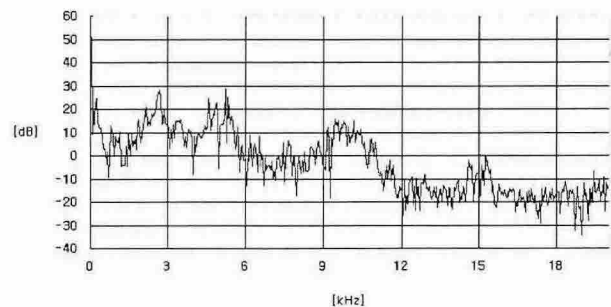


(b)Proposed method(PRBS=10bit)

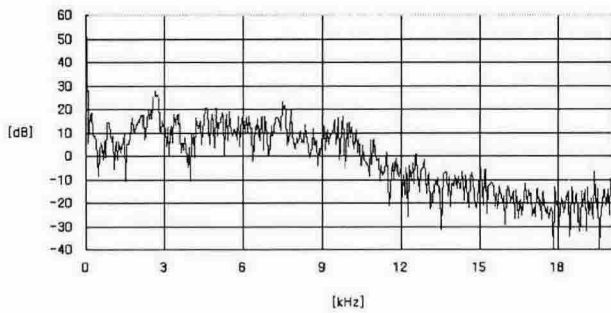


(c)Proposed method(PRBS=12bit)

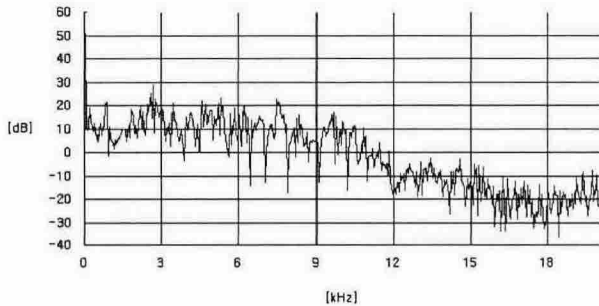
그림 6 측정된 전동기의 소음 스펙트럼($f_{sw}=3kHz$)
Fig. 6 Measured noise spectra of the motor drives ($f_{sw}=3kHz$, x-axis:3kHz/div., y-axis:10dB/div.)



(a)Fixed frequency PWM



(b) Proposed method(PRBS=10bit)



(c) Proposed method(PRBS=12bit)

그림 7 측정된 전동기의 소음 스펙트럼($f_{sw} = 5\text{kHz}$)
Fig. 7 Measured noise spectra of the motor drives
($f_{sw} = 5\text{kHz}$, x-axis:3kHz/div., y-axis:10dB/div.)

4. 결론

본 연구에서는 준 랜덤 캐리어 발생기법의 랜덤 비트 발생기의 시프트 레지스터의 비트별 소음 스펙트럼의 특성을 파악하였다. 선간전압 130V 실효치의 3상 5-레벨 캐스캐이드 인버터 시스템을 제작하여 본 연구의 타당성을 검증하였다. 그 결과 제안된 방법의 랜덤 캐리어는 진정한 랜덤 캐리어가 아닌 준 랜덤 캐리어임에도 전동기 소음의 고조파 스펙트럼을 광대역 분산 성능이 양호하였다. 특히 PRBS의 비트별 시프트 레지스터에 따른 스펙트럼은 8비트, 10비트, 12비트 순으로 양호한 선형적인 분포를 하고 있으며, 캐리어의 주파수가 3kHz보다는 5kHz의 경우가 소음이 더 저감됨을 알 수 있었다.

본 연구는 한국과학재단 지정 전남대 고품질전기 전자부품 및 시스템 연구센터 연구비 지원에 의하여 연구된 결과임.

참고 문헌

[1] K. Borisov, A.M. Trzynadlowski, "Experimental investigation of a naval propulsion drive model with PWM-based attenuation of the acoustic and electromagnetic noise", in Proc. IEEE IECON,

2003, pp.12-17.

- [2] R. L. Kirlin, S. Kwok, S. Legowski and A. M. Trzynadlowski, "Power spectra of a PWM inverter with randomized pulse position", IEEE Trans. Power Electron., vol.9, no.5, pp.463-471, 1994.
- [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 space vector PWM", IEE Proc. Electr. Power Appl., vol.149, no.3, May, pp.195-200, 2002.
- [4] F. Blaabjerg and J. K. Pedersen, "Digital implemented random modulation strategies for ac and switched reluctance drives", in Conf. Rec. of IEEE IECON'93, pp.676-682. 1993.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 박진규, 김종남, 정영국, 임영철, "준 랜덤 주파수 캐리어 (PRC-PWM) 발생기", 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환 시스템 부문회 춘계학술대회 논문집, 2005.4, pp.157-160
- [9] V.G. Agelidis and M. Calis, "Application specific harmonic performance evaluation of multicarrier PWM techniques", in Proc. IEEE PESC'98, 1998, pp.172-178.