

고정 주파수의 캐리어 합성에 의한 준 랜덤 주파수 캐리어 PWM기법

論 文

54B-11-7

A Pseudo-Random Carrier PWM Technique by Fixed Frequency Carrier Composition

金鍾南* · 鄭榮國† · 任永徹** · 金堯憲** · 朴晟濬**

(Jong-Nam Kim · Young-Gook Jung · Young-Cheol Lim · Kwang-Heon Kim · Sung-Jun Park)

Abstract - This paper describes a pseudo-random carrier PWM technique for the power converters. The proposed method generates a new pseudo-random carrier by randomly composing a carrier with fixed frequency and a carrier with opposition phase. To confirm the validity of the proposed method, a single-phase multi-level inverter was implemented and tested. The experimental results show that the output voltage and current harmonics spectra of an inverter have broadening effect of harmonics, as only simple composition of fixed frequency carries.

Key Words : Pseudo-Random Frequency Carrier, Random PWM, Cascade Multi-Level Inverter, Power Spectra

1. 서 론

최근 전력전자 기술의 눈부신 발전은 세탁기, 에어컨, 냉장고 등 생활 가전기기에 PWM 인버터를 필수적인 전기전자 부품으로 자리잡게 하고 있다. 그런데 이들 PWM 인버터는 고정 주파수로 스위칭하기 때문에 PWM 주파수의 정수배 고조파에 잡음 전력을 집중시키고 스위칭 소음을 유발하는 문제점이 있다. 이상의 문제점은 전체 인버터 시스템의 성능의 저하 없이 랜덤 PWM기법에 의하여 쉽게 해결 가능하다[1].

랜덤 PWM기법은 마이크로 콘트롤러를 기반으로 한 공간벡터 방법[2-4]과 하드웨어에 의하여 구현하는 방법[5-8]으로 나눈다. 또한 그 각각에는 랜덤 펄스 위치 PWM(Random Pulse Position PWM)[2,3,7,8]과 랜덤 주파수 캐리어 PWM(Random Frequency Carrier PWM)[4-6]으로 구분된다. 일반적으로 랜덤 펄스 위치 PWM은 마이크로 콘트롤러로 구현이 용이하고, 저주파수로 동작 가능하기 때문에 스위칭 손실, EMI, 누설 전류 등을 고려하지 않아도 된다. 그러나 PWM 주파수의 정수배 고조파가 잔존하고 이론이 복잡하다는 점이 있다. 한편 랜덤 주파수 캐리어 PWM을 마이크로 콘트롤러로 구현하기 위해서는 주어진 랜덤 값으로부터 듀티 시간을 계산하고 이를 펄스로 만들기 위해 고성능의 DSP제어기가 필요하다. 랜덤 주파수 캐리어 PWM을 외부 하드웨어 회로로 구현하기 위해서는 랜덤한 주파수를 갖는 캐리어 발생회로가 필요하다. 랜덤 주파수 캐리어

발생회로는 복잡하고 정밀한 아날로그 및 디지털 소자 등이 요구된다.

이상의 문제점을 해결하기 위하여, 본 연구에서는 고정 주파수를 갖는 삼각파 캐리어와 역상의 삼각파 캐리어를 PRBS(Pseudo Random Binary Sequence)[7,8]의 비트발생에 따라 이들 캐리어를 랜덤하게 선택한 후, 새롭게 합성된 랜덤 주파수의 캐리어를 발생하는 기법을 제안하였다. 발생된 캐리어와 정현파 기준치를 비교하면 전력전자 변환기를 위한 랜덤 PWM 펄스가 얻어진다. 캐리어의 랜덤한 선택은 시프트 레지스터로 구성된 PRBS의 출력에 의해 이루어지며 이 부분은 2×1 MUX가 담당하고 있다. 단상 110V 멀티 레벨 인버터를 제작하여 종전의 방법과 제안된 방법의 전압과 전류 파형 그리고 고조파 스펙트럼을 비교 검토하였으며 본 연구의 타당성을 확인할 수 있었다.

2. 제안된 기법

그림 1은 본 연구에서 제안된 기법에 의해 랜덤 주파수 캐리어를 발생하기 위한 원리도이다. 그림 1에서 보는 바와 같이 고정 주파수의 삼각파 캐리어 C 와 그 역상인 캐리어 \overline{C} 가 2입력 1출력의 멀티플렉서에 입력되면, PRBS를 발생하는 랜덤 비트 발생기의 Lead-Lag 출력비트 P 에 따라서 C 와 \overline{C} 가 랜덤하게 출력된다.

이때 C 와 \overline{C} 의 결정은 랜덤 비트 발생기의 출력 P 에 전적으로 의존되며, P 가 "High"인 경우에는 C , "Low"인 경우에는 \overline{C} 가 선택된다. 시프트 레지스터와 XOR게이트로 구성된 랜덤 비트 발생기는 N 개의 플립플롭을 사용하여 $2^N - 1$ 개의 불규칙 수열을 발생시키는 회로이다.

† 교신저자, 正會員 : 大佛大 컴퓨터情報工學部 助教授 · 工博
E-mail : jyg@mail.daebul.ac.kr

* 學生會員 : 全南大 工大 電氣工學科 碩士課程

** 正會員 : 全南大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2005年 6月 15日

最終完了 : 2005年 9月 27日

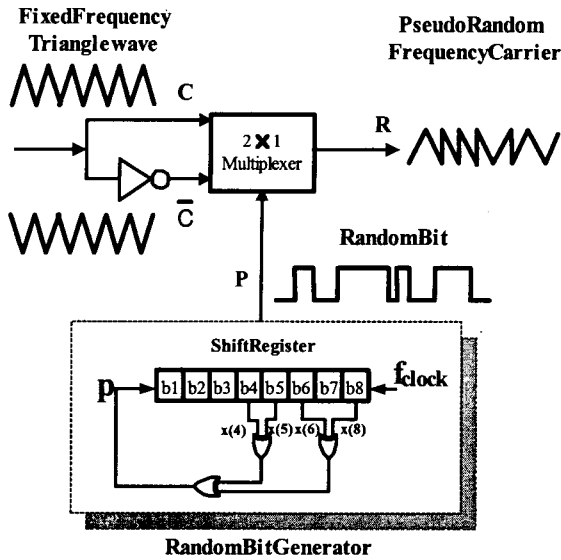


그림 1 제안된 기법의 원리
Fig. 1 Principle of the proposed technique

표 1은 중간 출력 R1과 R0를 도입하여 나타낸 입력 P와 출력 R사이의 진리표를 나타낸다. 중간 출력은 입력에 따라서 2개의 중간 출력중 하나의 출력에만 입력이 출력되고 나머지 출력에는 0이 나오므로, 최종 출력 R은 2개의 중간 출력을 OR 조합하면 얻을 수 있고 이를 논리식에 의해 표현하면 다음과 같다.

$$R_1 = CP \tag{1}$$

$$R_0 = \overline{C} \overline{P} \tag{2}$$

$$R = R_1 + R_0 \tag{3}$$

따라서 고정 주파수의 C와 \overline{C} 의 합성만으로 결과적인 R이 얻어지며 R은 C의 반주기와 \overline{C} 의 반주기, C의 상승부분과 \overline{C} 의 하강부분이 합성된 삼각파 그리고 각각의 역상이 P의 랜덤 비트와 혼합하여 준 랜덤 주파수를 갖는 캐리어 형태를 보이게 된다.

표 1 멀티플렉서의 진리표
Table 1 Truth Table of Multiplexer

input P	R1	R0	output R
0	0	\overline{C}	\overline{C}
1	C	0	C

그림 2는 그림 1로 나타낸 제안된 방법의 입출력 펄스를 구체적으로 나타낸 것이다. 랜덤 비트 발생기의 출력 펄스 P는 전통적인 랜덤 lead-lag PWM[3]과 거의 유사하다. 랜덤 lead-lag PWM은 랜덤 PWM중에서 가장 초기 버전이며 고정 스위칭 주파수를 갖는 펄스들이 샘플링 주기의 전단과 후미부에 랜덤하게 위치하고 있다. 그림 2에서 P가 "High"인 기간동안은 C가 선택되고 "Low"인 펄스구간에는 \overline{C} 가 선택되어 준 랜덤 주파수의 캐리어 R이 만들어진다. R은 고정 주파수의 삼각파 2개를 합성하여 랜덤과 유사한 효과를 내기 때문에 준 랜덤 주파수 캐리어라 한다.

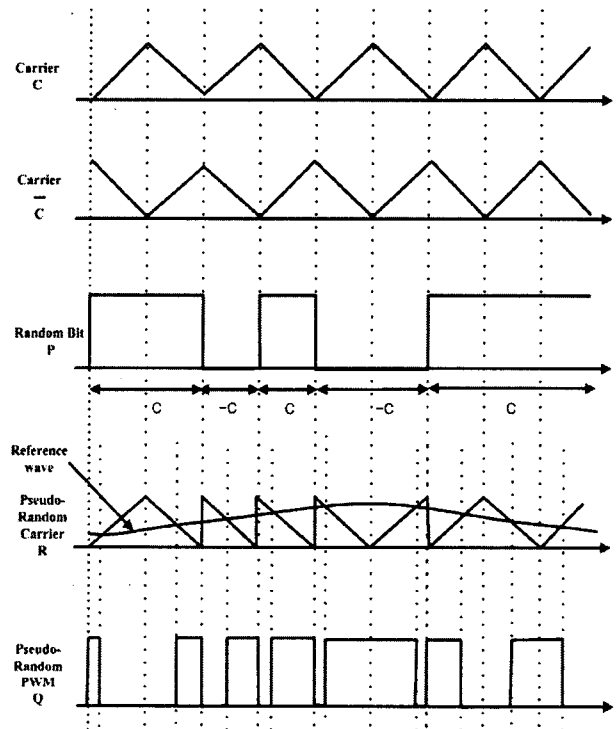


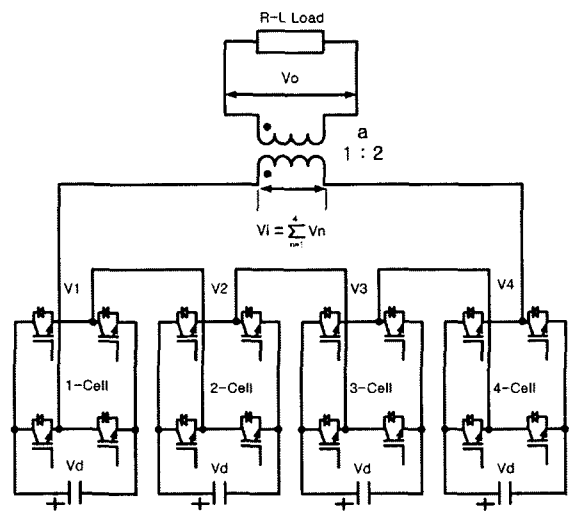
그림 2 제안된 기법의 입 출력 펄스
Fig. 2 Input and output pulses of the proposed method

이상의 원리에 입각하여 캐리어 주파수 C = 3kHz, PRBS P=12비트일 때, 제안된 방식의 캐리어 스펙트럼에 대한 시뮬레이션 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3을 살펴보면 발생된 랜덤 주파수 캐리어는 3kHz를 중심으로 정현파 분포의 스펙트럼을 하고 있다.

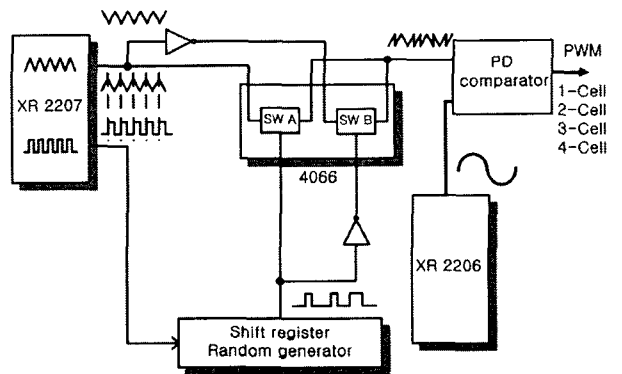
그림 4는 12비트 PRBS의 경우, 랜덤 주파수 캐리어 PWM을 적용한 단상 5-레벨 캐스케이드 인버터의 출력 전압과 전류의 스펙트럼에 대한 시뮬레이션 결과를 고정 주파수의 경우와 비교한 것이다. 3kHz 고정 주파수의 경우는 전압과 전류의 스펙트럼에 3kHz 정수배의 고조파가 존재하고 있다. 그러나 제안된 방법은 고정 주파수의 경우 강하게 존재하고 있던 3kHz 주파수대의 고조파 성분을 광대역으로 분산시키고 있다.

3. 하드웨어 구성

그림 5는 본 연구의 제안된 기법의 타당성을 검증하기 위해 제작된 단상 5-레벨 캐스케이드 인버터이다. 단상 캐스케이드 인버터는 H-브리지 4개가 직렬로 연결되어져 있으며, 각각의 출력 V1-V4는 그림 5와 같이 변압기로 연결되어져 있다. 변압기는 그림 5가 태양광 발전이나 UPS와 같이 직류전원 Vd가 일정한 경우, 권선비 a를 조절하여 교류 출력 Vo을 가변할 수 있으며, 또한 변압기 1차 측과 2차 측의 절연 효과도 얻을 수 있다.



(a) Power circuit of 5-level cascaded inverter



(b) Proposed Random PWM generator

그림 5 제안된 시스템
Fig. 5 The proposed system

본 연구에서는 각 H-브리지 cell 직류전압으로 24v의 SMPS를 사용하였다. 고정 주파수의 삼각파 캐리어 발생은 EXAR사의 XR2207을 그리고 기준 정현파는 XR2206을 사용하였다. PRBS를 발생하는 랜덤 비트 발생기는 시프트 레지스터 74164와 XOR게이트 4030으로 구현하였다. MUX로는 양방향 스위치 4066을 사용하였으며, 이 MUX로 출력되는 준 랜덤 캐리어를 PD(Phase Disposition)로 배치한 후

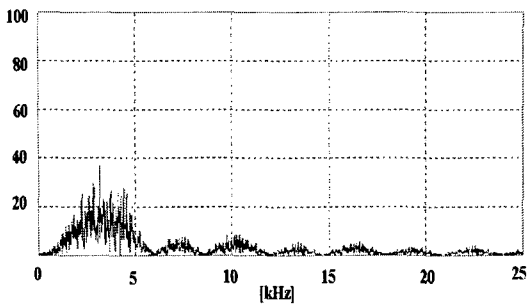
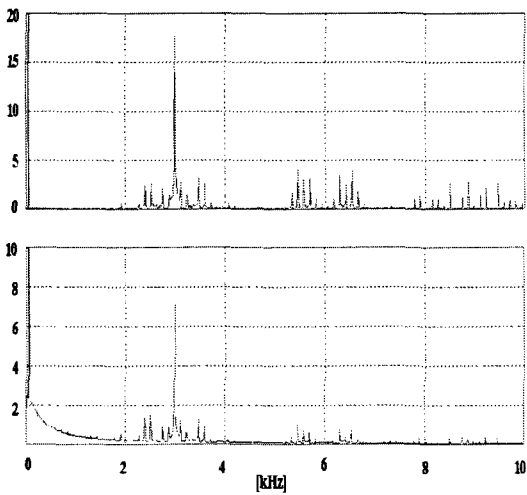
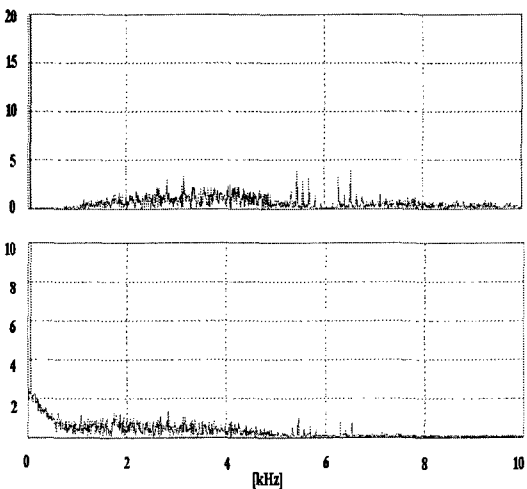


그림 3 제안된 방법의 캐리어 스펙트럼에 대한 시뮬레이션 결과(C=3kHz,P=12bit)

Fig. 3 Simulation results for the carrier spectra of the proposed method (C=3kHz,=12bit)



(a) Fixed frequency (C = 3kHz)



(b) Proposed technique (C = 3kHz)

그림 4 전압과 전류의 스펙트럼에 대한 시뮬레이션 결과

Fig. 4 Simulation results of output voltage and current spectra

정현과 기준치와 비교하면 본 연구에서 제시된 기법의 PWM펄스가 얻어지게 된다.

4. 실험 결과 및 고찰

그림 6은 C=3kHz, PRBS P=12비트일때, 제안된 준 랜덤 주파수 캐리어 R의 스펙트럼 결과이다. 3kHz를 중심으로 정현파의 스펙트럼 분포는 그림 3의 시뮬레이션 결과와 유사하다.

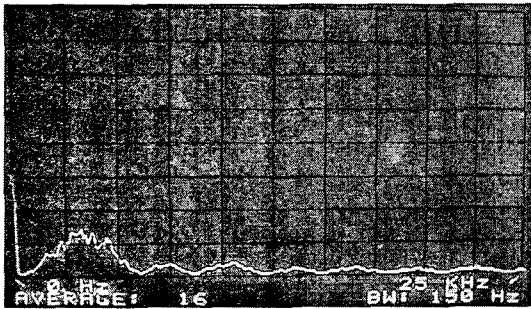


그림 6 측정된 캐리어의 스펙트럼(C=3kHz,P=12bit)
Fig. 6 Measured carrier spectra (C=3kHz,P=12bit)

그림 7은 고정 주파수 3kHz, 12비트 PRBS를 기반으로 제작한 준 랜덤 주파수 캐리어 발생기의 각 부분에서 측정된 파형이며 이는 그림 2의 결과와 논리적으로 일치하고 있다. 그림 7(1)은 3kHz 고정 주파수의 삼각파 C, 그림 7(2)는 3kHz 고정 주파수의 역상 삼각파 \bar{C} , 그림 7(3)은 랜덤 비트 발생기의 출력 P 그리고 그림 7(4)는 이들의 조합에 의해 발생된 결과적인 랜덤 주파수 캐리어 R의 출력이다.

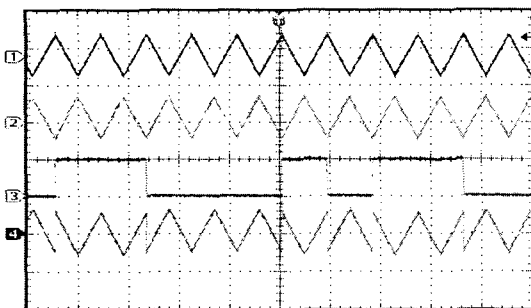


그림 7 측정된 캐리어의 파형
(C=3kHz,P=12 bit) (1) C (2) \bar{C} (3) P (4) R
Fig. 7 Measured carrier waveforms
(C=3kHz,P=12 bit) (1) C (2) \bar{C} (3) P (4) R

그림 8은 그림 5의 PD비교기의 출력인 1-cell, 2-cell, 3-cell, 4-cell의 PWM 패턴을 보여주고 있다. 그림 9는 단상 5-레벨 캐스케이드 인버터의 출력 전압과 전류 파형을

측정한 것이다. 그림 9(a)는 3kHz 고정 주파수의 경우이며, 그림 9(b)는 제안된 방법의 결과이다. 제안된 방법의 전류에는 랜덤 PWM을 적용하였음에도 불구하고 일반적인 랜덤 PWM 적용 시 발생되는 전류의 맥동이 거의 없음을 알 수 있다. 이는 2개의 고정 주파수에 의하여 준 랜덤 주파수의 캐리어가 합성되었기 때문이다.

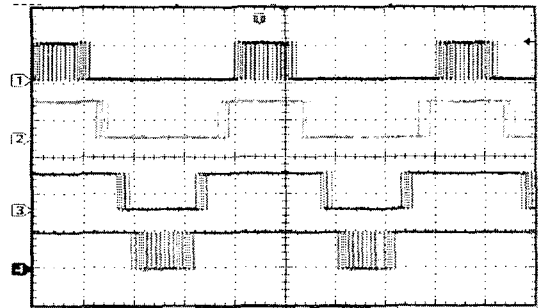
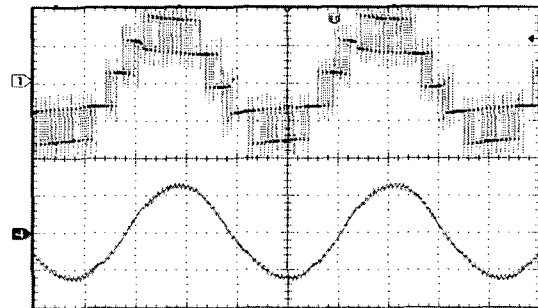
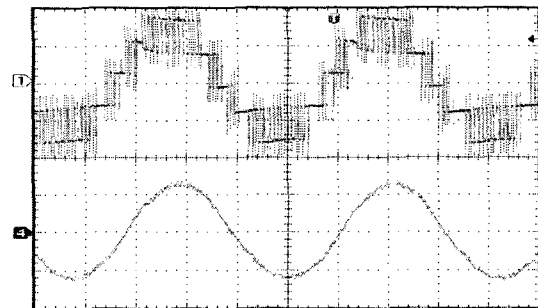


그림 8 측정된 1~4 cell의 PWM패턴
(1) 1-cell (2) 2-cell (3) 3-cell (4) 4-cell
Fig. 8 Measured 1~4 cell PWM patterns
(1) 1-cell (2) 2-cell (3) 3-cell (4) 4-cell



(a) Fixed frequency (C = 3kHz)



(b) Proposed technique (C = 3kHz)

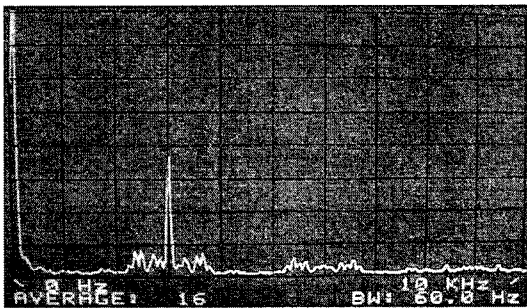
그림 9 측정된 출력 전압과 전류 파형
(Voltage :50v/div.,Current:1A/div.)

Fig. 9 Measured output voltage and current
(Voltage :50v/div.,Current:1A/div.)

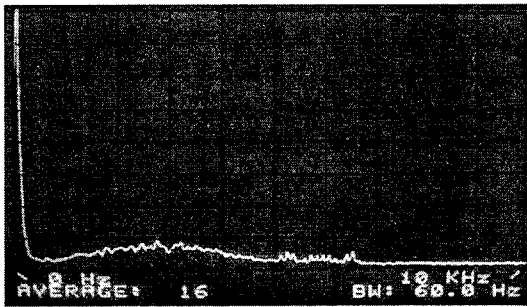
그림 10과 그림 11에는 그림 9로 나타낸 5-레벨 출력 전압과 전류에 대한 스펙트럼을 각각 나타내고, 이는 그림 4

에서의 시뮬레이션과 매우 유사한 양상을 보인다. 그림 10(a)와 그림 11(a)에서 보는 바와 같이 3kHz 고정 주파수 기법은 3kHz의 정수배 측대 고조파가 강하게 나타나고 있다. 그러나 제안된 방법은 그림 10(b)와 그림 11(b)에서 보는 바와 같이 3kHz 성분을 비롯한 정수배 고조파를 광대역으로 분산시키고 있음을 알 수 있다.

제안된 기법은 다른 랜덤 PWM에 비하여 매우 단순한 구조로 되어져 있으며 고정 주파수의 캐리어로 랜덤한 주파수의 캐리어를 발생시킬 수 있는 장점이 있다. 제안된 기법이 에어컨, 청소기, 냉장고 등의 생활가전 구동 시스템에 적용되는 경우, 스위칭 소음과 그에 따른 진동 등이 저감되리라 생각된다.

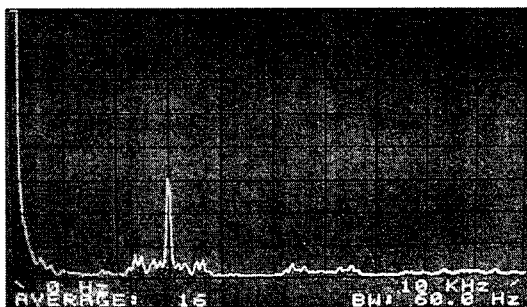


(a) Fixed frequency (C = 3kHz)

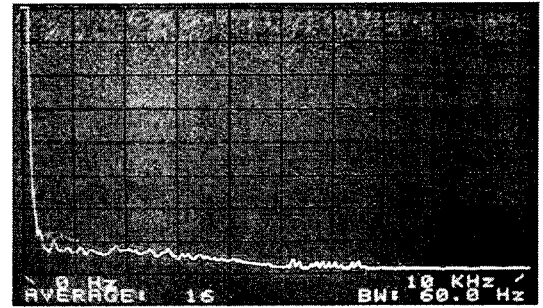


(b) Proposed technique (C = 3kHz)

그림 10 측정된 출력 전압의 스펙트럼
(x-axis:1kHz/div., y-axis:800mv/div.)
Fig. 10 Measured output voltage spectra
(x-axis:1kHz/div., y-axis:800mv/div.)



(a) Fixed frequency (C = 3kHz)



(b) Proposed technique (C = 3kHz)

그림 11 측정된 출력 전류의 스펙트럼
(x-axis:1kHz/div.,y-axis:8mv/div.)
Fig. 11 Measured output current spectra
(x-axis:1kHz/div.,y-axis:8mv/div.)

5. 결 론

본 연구에서는 랜덤 주파수의 캐리어 발생기가 필요하지 않은 고정 주파수의 캐리어의 합성에 의한 준 랜덤 주파수 캐리어 발생기법을 제시하였다. 제안된 방법을 기반으로 하여 실효치 110V 출력의 단상 5-레벨 캐스캐이드 인버터 시스템을 제작하였다. 제안된 방법은 진정한 랜덤 캐리어가 아닌 준 랜덤 캐리어임에도 5-레벨 출력 전압 및 전류의 고조파 스펙트럼을 광대역으로 분산하는 성능이 탁월하였다. 또한 일반적으로 랜덤 PWM에서 발생하는 전류파형의 맥동여거의 발생하지 않았다.

제안된 방법은 단순한 구조로 되어져 있기 때문에 저가격의 랜덤 PWM을 구현할 수 있으며, 모터 구동장치를 포함하는 생활 가전기에 적용하는 경우, 스위칭 소음 및 진동 저감의 효과도 있다. 끝으로 제안된 방법은 3상 멀티레벨 인버터로 확장이 가능하며 대부분의 전력변환 시스템의 PWM발생기에 적용 가능하리라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지정 전남대 고품질 전기전 자부품 및 시스템연구센터 연구비 지원에 의하여 연구된 결과입니다.

참 고 문 헌

[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] 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.
- [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 implementaion", IEE Proc. Electr. Power Appl., vol. 147, no.1, pp.45-54, 2000.
- [6] K.K. Tse, H.S.H. Chung, S.Y. Hui and H.C. So, "Analysis and spectral characteristics of a spread spectrum technique for conducted EMI suppression," IEEE Trans. Power Electron., vol.15,no.2, pp.399-410, 2000.
- [7] 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.
- [8] 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.

저 자 소 개



김종남 (金鍾南)

1978년 03월 13일생. 2004년 대불대 전기공학과 졸업. 2005년 전남대 대학원 전기공학과 석사과정. 현재 산업자원부 지정 전남대 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터 (RRC) 연구원

Tel : 062) 530-0656

E-mail : gooddaykjin@nate.com



정영국 (鄭榮國)

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

Tel : 061) 469 1263

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



임영철 (任永徹)

1953년 4월 23일생. 1975년 전남대 전기공학과 졸업. 1977년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1997년 호주 모나시 대학 Visiting Scholar. 현재 전남대 전기공학과 교수. 산업자원부 지정 전남대 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터 소장. 전력전자 학회 부회장.

Tel : 062) 530 1743

E-mail : yclim@chonnam.ac.kr



박성준 (朴晁濬)

1965년 3월 20일생. 1991년 부산대학교 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 졸업(석사). 1996년 동 대학원 졸업(공학박). 2002년 동 대학원 지능기계공학과 졸업(공학박). 1996년 ~ 2000년 거제대학 조교수. 2000 ~ 2003년 동명대학 조교수. 2003년~ 현재 전남대 전기공학과 조교수.

Tel : 062) 530 1741

E-mail : sjpark1@chonnam.ac.kr



김광현 (金堯憲)

1960년 12월 27일생. 1983년 전남대 계측 제어공학과 졸업. 1986년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 전남대 전기공학과 교수.

Tel : 062) 530 1747

E-mail : khk@chonnam.ac.kr