

고정 주파수의 캐리어 합성을 통한 간단한 유사 랜덤 캐리어 발생기법

김종남^{0*} 오승열^{*} 정영국^{**} 임영철^{*}

^{*}전남대학교 전기공학과 ^{**}대불대학교 컴퓨터정보공학부

A Simple Pseudo-Random Carrier Generation Technique by Fixed Frequency Carrier Composition

^{0*}J.N. Kim ^{*}S.Y. Oh ^{**}Y.G. Jung and ^{*}Y.C. Lim

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

ABSTRACT

본 연구에서는 전력전자 변환장치에 적합한 고정주파수 캐리어 합성을 통한 간단한 유사 랜덤 발생기법을 제안하였다. 제안된 방법은 고정 주파수를 갖는 캐리어 C와 역상의 캐리어 \bar{C} 를 랜덤하게 선택하여 유사 랜덤 캐리어를 발생한다. 랜덤 비트 발생기(PRBS)의 출력 상태에 따라 C와 \bar{C} 가 랜덤하게 선택된다. 제안된 방법의 타당성을 검증하기 위하여 48v 단상 cascaded 5-레벨 인버터를 제작하였다. 실험 결과 고정 주파수의 캐리어 합성만으로 랜덤 주파수 캐리어를 간단하게 구현하였으며 전압 및 전류의 주파수의 광대역화를 실현할 수 있었다.

1. 서 론

최근 전력전자 기술의 눈부신 발전으로 말미암아 산업현장 뿐만 아니라 에어컨, 냉장고등 가전기기에 PWM 인버터가 사용되고 있다. 그런데 이들 PWM 인버터는 고정 주파수로 스위칭하기 때문에 PWM 주파수의 정수배 고조파에 잡음 전력을 집중시키고 전자기적인 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 값으로 부터 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 아나로그 및 디지털 소자 등이 요구되고 있다.

본 연구에서는 랜덤 주파수 캐리어 발생회로가 필요하지 않는 고정 주파수 캐리어 합성을 통한 간단한 유사 랜덤 발생기법을 제안하였다. 제안된 방법은 일정 주파수를 갖는 캐리어 C와 역상의 캐리어 \bar{C} 를 랜덤하게 선택하여 삼각파와 톱니파 그리고 역상의 삼각파와 톱니파가 합성된 유사 랜덤 캐리어를 발생한다. 시프트 레지스터로 구성된 랜덤 비트 발생기(PRBS)^[7-8]의 출력에 의해 캐리어의 랜덤한 선택이 이루어지며 이 부분은 2x1 멀티플렉서가 담당하고 있다. 본 연구에서 제안된 방법은 48v 단상 cascaded 5-레벨 인버터를 제작하여 그 타당성을 입증하였다. 실험 결과 랜덤 주파수 캐리어 발생 없이 고정 주파수의 캐리어 합성만으로 랜덤 주파수 캐리어 특성을 간단하게 구현 가능함을 입증하였다. 또한 제안된 방법에 의해 48v 단상 cascaded 5-레벨 인버터의 출력 전압 및 전류 고조파 스펙트럼의 광대역 분산이 실현됨을 확인하였다.

2. 제안된 방법

그림 1은 본 연구에서 제안된 유사 랜덤 캐리어 발생 원리를 나타낸 블록선도이다. 그림 1(a)에서 보는 바와 같이 고정 주파수의 톱니파 캐리어 C와 역상인 캐리어 \bar{C} 가 2입력 1출력의 멀티플렉서에 입력되면, 랜덤 비트 발생기의 출력비트 P에 따라서 C와 \bar{C} 가 랜덤하게 출력된다. 이때 C와 \bar{C} 의 결정은 랜덤 비트 발생기의 출력 P에 전적으로 의존되며 P가 High인 경우에는 C, Low인 경우에는 \bar{C} 가 선택된다. 표 1은 중간 출력 R1과 R0를 도입하여 나타낸 입력 P와 출력 R사이의 진리표를 나타낸다. 중간 출력은 입력에 따라서 2개의 중간 출력중 하나의 출력에만 입력이 출력되

고 나머지 출력에는 0이 나오므로, 최종 출력 R은 2개의 중간 출력을 OR 조합하면 얻을 수 있고 이를 논리식으로 표현하면 다음과 같다.

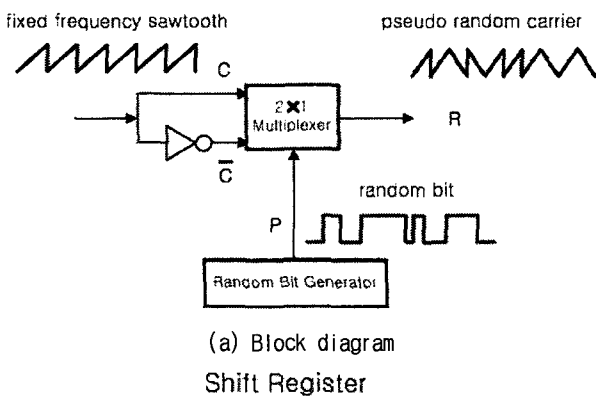
$$R_1 = CP \quad (1)$$

$$R_0 = \overline{C} \overline{P} \quad (2)$$

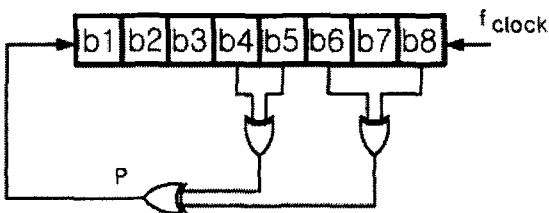
$$R = R_1 + R_0 \quad (3)$$

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



(a) Block diagram
Shift Register



(b) Random bit generator

그림 1 제안된 유사 랜덤 캐리어 발생원리

Fig.1 Proposed pseudo-random carrier generation

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 유사 랜덤 주파수를 갖는 캐리어 형태를 보이게 된다. 그림 1(b)는 시프트 레지스터로 구성된 PRBS(Pseudo Random Binary Sequence) 랜덤 비트 발생기를 나타내고 있다. PRBS 발생기는 N개의 플립플롭을 사용하여 $2^N - 1$ 개의 불규칙 수열을 발생시키는 회로이다.

그림 2는 그림 1로 나타난 제안된 방법의 입출력 펄스를 구체적으로 나타낸 것이다. 제안된 기법의 PWM 펄스는 그림 2에서 보는 바와 같이 전통적인 랜덤 lead-lag PWM과 거의 유사하다. 랜덤 lead-lag PWM은 랜덤 PWM중에서 가장 초기 버전이며 고정 스위칭 주파수를 갖는 펄스들이 샘플링 주기의 전단과 후미부에 랜덤하게 위치하는 기법이다. 이 방법은 구현이 매우 쉬우면서도 전압 및 전류 스펙트럼의 광대역화 효과가 비교적 우수하나, 전류 파형에 함유된 맥동 성분으로 인해 전류 파형이 악화된다는 단점이 있다.

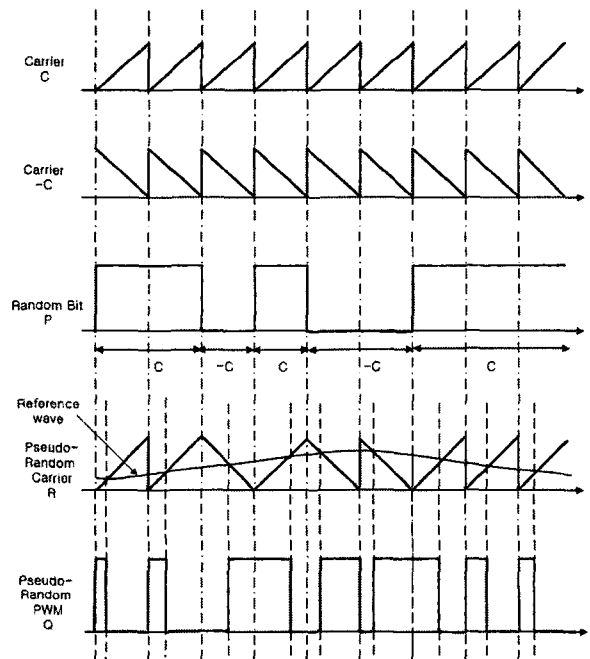
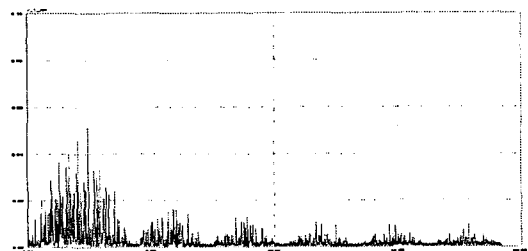
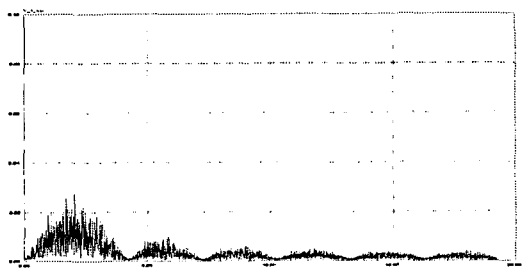


그림 2 제안된 기법의 입 출력 펄스

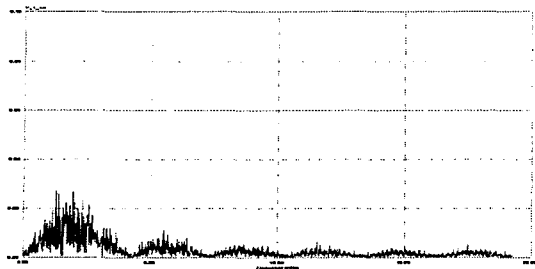
Fig.2 Input and output pulses of the proposed method



(a) 8 bit



(b) 10 bit



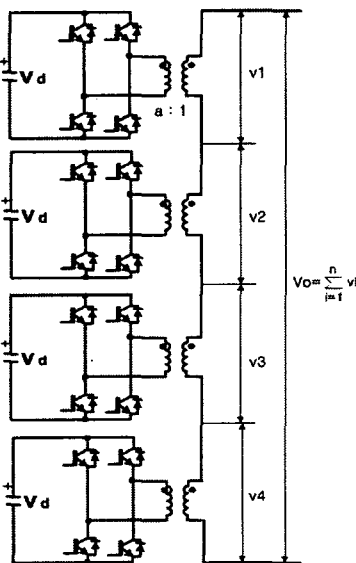
(c) 12 bit

그림 3 시프트 레지스터의 비트에 따른 제안된 유사 랜덤 주파수 캐리어의 스펙트럼(C = 3kHz)
 Fig. 3 Pseudo random frequency carrier spectrum according to the variation of shift register bit(y-axis:5kHz/div.)

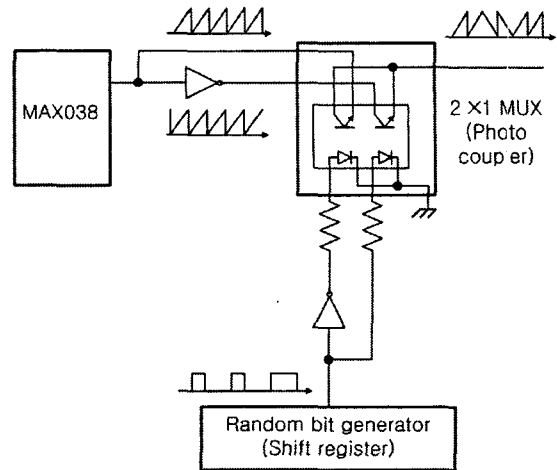
그림 3은 PRBS의 시프트 레지스터의 비트별 출력 유사 랜덤 캐리어 R의 스펙트럼을 나타낸 것이다. 8비트, 10비트, 12비트의 순서로 랜덤도가 양호해짐을 알 수 있다. 여기서 y축은 주파수를 나타내고 있으며 5kHz/div 크기를 가지고 있다. 본 연구에서는 12비트 시프트 레지스터와 XOR게이트를 PRBS로 채택하였다.

3. 시스템 구성

본 연구에서 제안된 방법을 48v 단상 cascaded 5-레벨 인버터에 적용하여 타당성을 검증하였다. 캐리어로는 톱니파를 이용하였으며 캐리어 발생은 MAX038을 사용하였다. 랜덤 비트 발생기로서의 PRBS는 시프트 레지스터 74164와 XOR게이트 4030에 의하여 구현되었다. 또한 본 연구에서 가장 중요한 MUX는 포토 커플러를 사용하였다.



(a) Power circuit



(b) Pseudo random PWM generator

그림 4 단상 cascaded 5-레벨인버터
 Fig.4 Single phase cascaded 5-level inverter

48v 단상 cascade 인버터는 H-브리지 4개가 직렬로 연결되어 있으며, 각각의 출력은 변압기로 연결되어 있다. 변압기 2차측 총 출력은 H-브리지 각각의 출력의 합과 같다. 변압기는 그림 3이 태양광 발전이나 무정전 전원장치와 같이 직류전원 V_d 가 일정한 경우, 권선비 a 를 조절하여 교류 출력 V_o 를 가변할 수 있으며, 또한 변압기 1차측과 2차측의 절연 효과도 얻을 수 있다. 본 연구에서는 각 H-브리지 cell 직류전압은 24v 정류기를 사용하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

그림 5는 제안된 유사 랜덤 주파수 캐리어의 파형을 나타내고 있다. 그림 5의 top은 3kHz 고정 주파수의 톱니파 C, middle top은 3kHz 고정 주파수의 역상 톱니파 \bar{C} , middle은 PRBS의 출력 P 그리고 bottom은 이들의 조합에 의해 발생된 결과적인 출력이다.

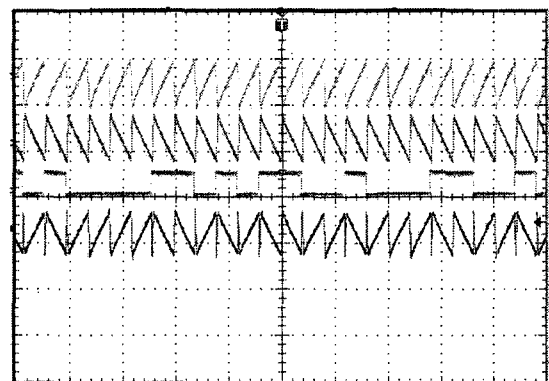


그림 5 측정된 캐리어의 파형(C=3kHz,P=12 bit)
 Fig.5 Measured carrier waveforms(C=3kHz,P=12 bit)

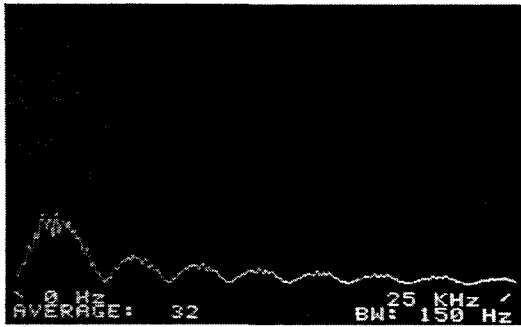
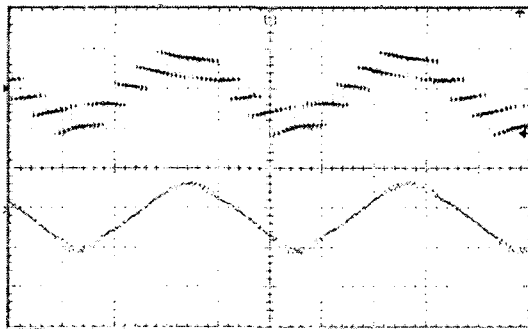


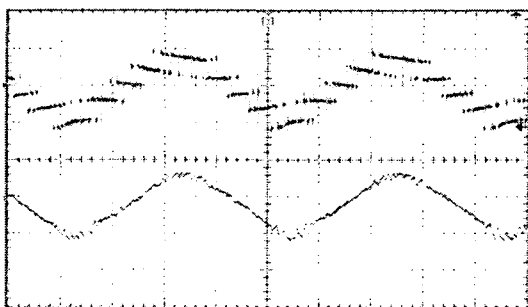
그림 6 유사 랜덤 주파수 캐리어의 스펙트럼
(C = 3kHz)

Fig. 6 Pseudo random frequency carrier spectrum
(x-axis:2.5kHz/div.)

파형 결과를 살펴보면 그림 2로 나타낸 이론적인 파형과 동일한 원리에 의하여 파형이 발생됨을 알 수 있다. 그림 6은 그림 5의 bottom에서 보여준 제안된 유사 랜덤 주파수 캐리어의 스펙트럼 결과이다. 그림 3(c)에서 예측된 결과와 거의 유사함을 알 수 있다.



(a) fixed frequency PWM (C = 3kHz)



(b) proposed RPWM

그림 7 측정된 출력 전압과 전류 파형
(voltage :50v/div., current=0.5A/div.)

Fig. 7 measured output voltage and current
(voltage :50v/div., current=0.5A/div.)

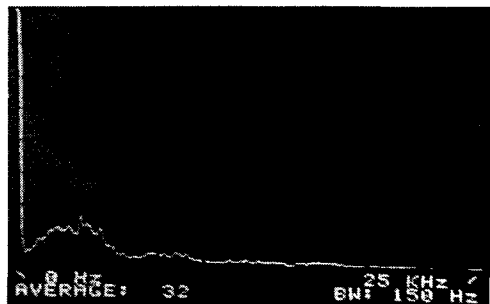
그림 7은 단상 5-레벨 cascade 인버터의 출력 전압과 전류 파형을 측정된 것이다. 그림 7(a)는 3kHz 고정 주파수의 경우이며 그림 7(b)는 제안된 방법의 결과이다.

제안된 방법의 전류에는 약간의 맥동이 존재하는데 이는 RPWM을 적용하는 경우 발생하는 일반적인 현상이다.

그림 8과 그림 9는 그림 7로 나타낸 출력 전압과 전류에 대한 스펙트럼을 각각 보이고 있다. 그림 8(a)와 그림 9(a)에서 보는 바와 같이 3kHz 고정 주파수 기법은 3kHz의 정수배 측대 고조파가 강하게 나타나고 있다. 그러나 제안된 방법은 그림 8(b)와 그림 9(b)에서와 같이 3kHz 성분을 비롯한 정수배 고조파를 광대역으로 분산시키고 있음을 알 수 있다. 이것이 전력전자 변환장치에 랜덤 PWM을 적용하는 중요한 이유이다. 제안된 기법이 모터 구동 시스템에 적용되는 경우, 고정 스위칭 주파수에서 발생하는 모터 구동시스템의 스위칭 소음은 대폭 저감된다.



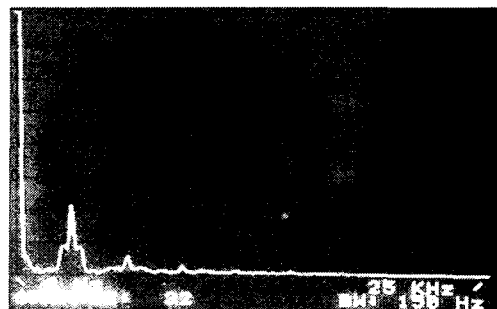
(a) fixed frequency PWM (C = 3kHz)



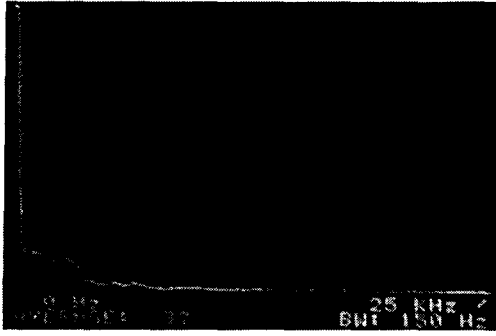
(b) proposed RPWM

그림 8 측정된 출력 전압의 스펙트럼
(x-axis:mv, y-axis:2.5kHz/div.)

Fig. 8 measured output voltage spectrum
(x-axis:mv, y-axis:2.5kHz/div.)



(a) fixed frequency PWM (C = 3kHz)



(b) proposed RPWM

그림 9 측정된 출력 전류의 스펙트럼
(x-axis:mv, y-axis:2.5kHz/div.)

Fig. 9 measured output current spectrum
(x-axis:mv, y-axis:2.5kHz/div.)

5. 결 론

본 연구에서는 랜덤 주파수 캐리어가 필요하지 않은 고정 주파수 캐리어 합성에 의한 유사 랜덤 주파수 캐리어 발생기법을 제시하였다. 제안된 방법의 PRBS로는 종전의 12비트 시프트 레지스터와 XOR를 사용하였다. 서로 역상인 고정 주파수의 캐리어를 멀티플렉서에 의하여 랜덤하게 선택함으로써 유사 랜덤 주파수 캐리어가 구해진다.

제안된 방법의 타당성은 단상 cascaded 5-레벨 인버터를 제작하여 입증하였다. 제안된 방법은 진정한 랜덤 캐리어가 아닌 유사 캐리어임에도 출력 전압 및 전류의 고조파 스펙트럼을 광대역으로 분산하는 성능이 탁월하였다. 제안된 방법을 모터 구동장치에 적용하는 경우 스위칭 소음저감에 탁월한 성능을 보일 것으로 사료된다.

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

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", Proc. in 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.