

3단계 MUX와 2개의 고정주파수 캐리어를 이용한 준 랜덤 주파수 캐리어(PRC) 발생기

김중남*, 정영국**, 임영철*

*전남대 전기공학과, **대불대 컴퓨터정보공학부

A Pseudo-Random Frequency Carrier(PRC) Generator Using Three Stage MUX and Two Carrier with Fixed Frequency

*J.N. Kim, **Y.G. Jung and *Y.C. Lim

*Chonnam National University, **Daebul University

Abstract - 종전의 준 랜덤 주파수 캐리어(PRC) 발생기는 스위칭 주파수의 2배 주파수에서 매우 큰 스펙트럼 클러스터가 존재하는 문제점이 있었다. 본 연구에서는 상호 2배 관계를 갖는 고정 주파수의 삼각파 캐리어와 3단계 MUX를 이용하여 종전의 PRC방법의 파워 스펙트럼 확산 성능을 개선하였다. 제안된 방법을 3상 캐스캐이드 멀티레벨 인버터에 적용하였으며, PSIM시뮬레이션에 의하여 종전의 방법과 제안된 방법의 파워 스펙트럼을 비교 검토하였다.

서 보는 바와 같이 3kHz 고정 주파수의 삼각파 캐리어와 이것과 역상인 캐리어가 2입력 1출력의 MUX에 입력되면, PRBS의 출력 비트에 따라서 정상의 캐리어와 역상의 캐리어가 랜덤하게 선택된다. 이때 정상과 역상의 선택은 랜덤 비트 발생기의 출력에 전적으로 의존되며, PRBS비트가 "1"인 경우에는 역상의 캐리어, "0"인 경우에 정상의 캐리어가 선택된다. 즉 고정 주파수를 갖는 정상 캐리어와 역상 캐리어의 합성만으로 랜덤 주파수의 캐리어가 발생된다.

1. 서 론

근래에 개발된 전력변환장치는 대부분 전력전자 기술을 기반으로 하고 있다. 이러한 전력전자 기술은 IGBT 등 전력용 스위치를 이용하여 고정 주파수의 PWM으로 전력을 변환하게 된다. 그런데 고정 주파수의 PWM은 스위칭 주파수의 정수배 고조파를 전력변환장치의 출력전압과 전류에 발생시켜서 전자기적인 잡음과 가청 스위칭 소음을 발생한다[1,2]. 이러한 문제점은 RPWM(Random PWM)에 의하여 해결 가능하며, RPWM은 랜덤 펄스 위치 PWM(RPP)과 랜덤 주파수 캐리어 PWM(RSF)으로 구분되고 있다[3].

RPP는 스위칭 주파수의 1배, 2배, 3배의 고조파 성분을 랜덤하게 분포시키는데 한계가 있으며, 변조지수가 0.75이상이면 고조파의 랜덤 분포 성능이 더 이상 개선되지 않는다[4]. 한편 RSF를 공간벡터를 이용하지 않고, 하드웨어로 구현하게 되면 고전적인 RPWM의 개념과 일치한다. 이 방법은 랜덤 캐리어 발생 전용 칩이 필요하며 그 외에 정교한 회로들이 필요하다[5].

이상의 문제점을 해결하기 위하여 저자들은 랜덤 캐리어가 필요하지 않는 고정 주파수 캐리어 합성을 통한 간단한 유사 랜덤 주파수의 캐리어(PRC)발생기[5]를 제안한 바 있다. 이 방법은 고정 주파수의 삼각파 캐리어와 역상의 삼각파 캐리어를 PRBS(Pseudo Random Binary Sequence) [6,7]에 의하여 선택한 후, 새롭게 합성된 랜덤 주파수의 캐리어를 발생하는 기법이다. 이 방법은 매우 간단하면서도 고정 주파수의 캐리어만으로 준 랜덤 주파수의 캐리어를 안정적으로 발생시킬 수 있는 최대의 장점을 가지고 있다. 그러나 이 방법으로는 고정 스위칭 주파수의 2배의 주파수 성분이 확산되지 않고 그대로 남아있는 문제점이 있었다.

따라서 본 연구에서는 종전의 PRC의 문제점을 개선하기 위한 새로운 PRC기법을 제안하였다. 제안된 기법은 한 고정 주파수의 캐리어와 2배수가 되는 캐리어와, 이를 선택하기 위한 MUX 3개 그리고 PRBS비트 발생기로 구성되어 있다. 본 연구의 타당성은 PSIM 시뮬레이션에 의하여 검토하였으며, 제안된 PRC와 종전의 PRC의 파워 스펙트럼 특성을 비교하였다.

2. 이 론

그림 1은 종전의 PRC 발생기를 나타내고 있다. 그림 1에

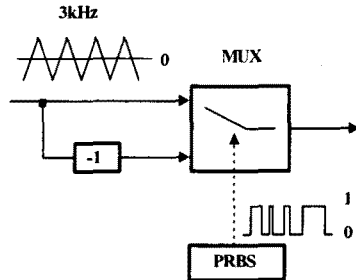


그림 1 종전의 PRC발생기[5]
Fig.1 Conventional PRC Generator

이 PRC는 고정 주파수의 캐리어를 합성하여 랜덤과 유사한 효과를 내기 때문에 준 랜덤 캐리어라 한다. 여기서 시프트 레지스터로 구성된 PRBS비트 발생기는 N개의 플립플롭을 사용하여 $2^N - 1$ 개의 불규칙 수열을 발생시키는 회로이다.

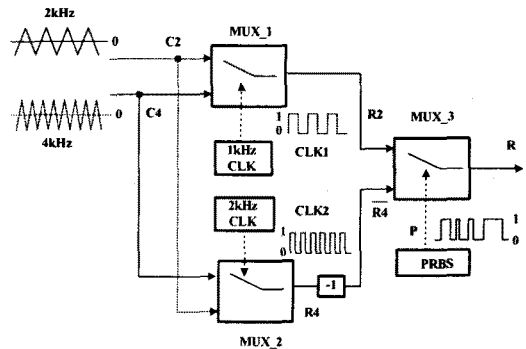


그림 2 제안된 PRC발생기
Fig.2 Proposed PRC generator

그림 2는 본 연구에서 제안된 PRC 발생기이다. 이 방법은 종전의 방법에 비하여 2kHz 고정 주파수의 삼각파 캐

리어와 2배수인 4kHz의 삼각파 캐리어가 필요하다. 그리고 3개의 MUX와 1kHz와 2kHz 구형파 발생기 역시 필요하다. MUX는 일반적으로 1개의 MUX칩 속에는 여러 개의 MUX가 있는 경우가 대부분이기 때문에 MUX의 증가는 비용의 증가로 이어지지는 않는다.

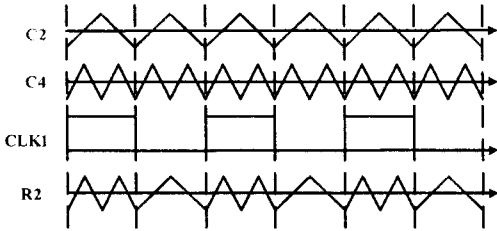


그림 3 MUX_1에서의 입출력 파형
Fig.3 Input/output waveform of the MUX_1

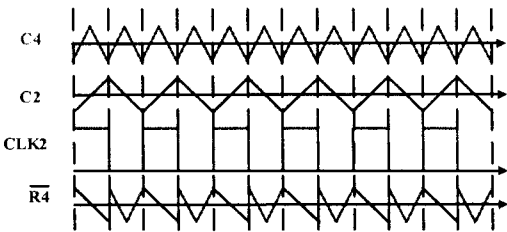


그림 4 MUX_2에서의 입출력 파형
Fig.4 Input/output waveform of the MUX_2

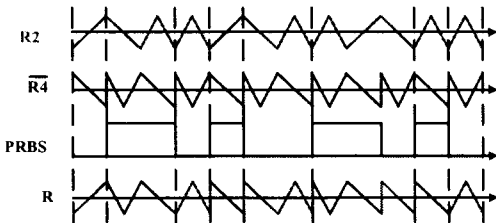


그림 5 MUX_3에서의 입출력 파형
Fig.5 Input/output waveform of the MUX_3



그림 6 결과적인 PWM 펄스
Fig.6 Resultant PWM pulses

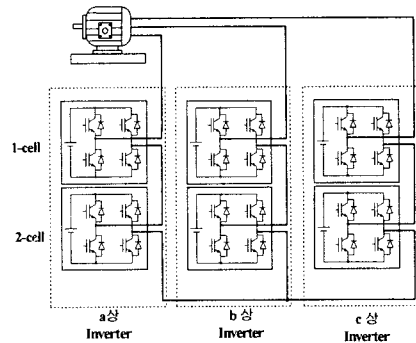
먼저 2kHz 삼각파 캐리어 C2가 기본 주파수인 경우의 동작 원리를 그림 2부터 그림 6을 이용하여 살펴본다. C2와 서로 동기된 2배 주파수의 삼각파 캐리어 C4를 발생시킨 후, MUX_1에 C2와 C4가 입력되면, 1kHz 주파수의 구형파 CLK1의 상태 "1"과 "0"에 의하여 R2가 발생된다. 이때 CLK1이 "1"의 상태이면, R2는 C4로 선택되고, "0"이면 R2는 C2로 선택된다. 따라서 R2는 CLK1의 주파수에 의해서 2kHz와 4kHz가 주기적으로 반복된다(그림 3).

한편 MUX_2로 입력된 C4와 C2는 2kHz의 CLK2의 조건 즉 CLK2가 "1"이면 "C2"이며, "0"이면 C4가 선택되어 R4가 얻어지고, 이 R4와 180° 위상 차나는 $\overline{R4}$ 를 얻을 수

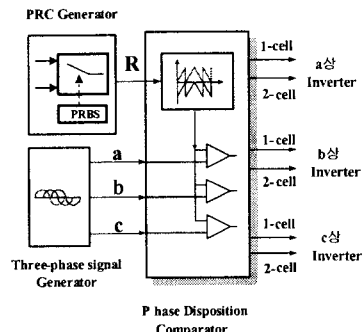
있다(그림 4). 이상에서 발생된 MUX_1의 R2와 MUX_2의 $\overline{R4}$ 를 PRBS비트의 조건에 의하여 MUX_3에 의하여 랜덤하게 선택하게 되면 결과적인 유사 랜덤 주파수를 갖는 캐리어 R이 얻어진다(그림 5). 이 R을 기준 정현파와 비교하면 랜덤한 특성을 갖는 PWM 펄스가 얻어진다(그림 6).

3. 시스템 구성

그림 7은 본 연구에서 제안된 3단계 MUX에 의한 PRC발생기를 적용하고 있는 3상 캐스케이드 멀티레벨 인버터이다. 그림 5의 결과적인 R을 PD(Phase Disposition)배치한 후, 3상 정현파 기준치와 비교하면 각 상 각 cell별 PWM펄스가 발생된다. 3상 캐스케이드 인버터는 각 상당 H-브리지 2개가 직렬로 연결되어 있으며, 각 상은 1차 측이 Δ 결선된 유도모터에 연결된다.



(a) Power circuit



(b) PRC generator and PD comparator

그림 7 제안된 시스템
Fig.7 Proposed system

4. 결과 및 고찰

그림 8부터 그림 10은 고정 주파수 C2=2kHz, C4=4kHz, PRBS=12비트인 조건 하에서 그림 7을 PSIM으로 시뮬레이션한 결과이다. 그림 8, 그림 9 그리고 그림 10은 MUX_1, MUX_2 그리고 MUX_3의 입출력 파형을 각각 나타내고 있으며, 이 결과들은 그림 3부터 그림5로 나타낸 제안된 방법의 파형 발생 개요도와 동일한 양상을 보이고 있다.

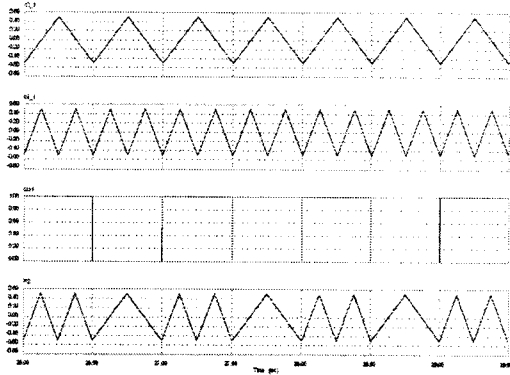


그림 8 MUX_1의 PSIM 시뮬레이션 결과
 (a) C2 (b) C4 (c) CLK1 (d) R2
 Fig.8 PSIM simulation results for the MUX_1
 (a) C2 (b) C4 (c) CLK1 (d) R2

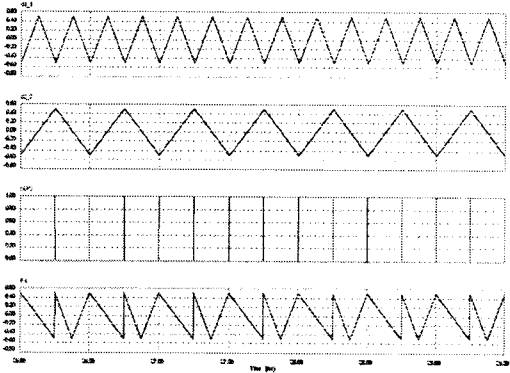


그림 9 MUX_2의 PSIM 시뮬레이션 결과
 (a) C4 (b) C2 (c) CLK2 (d) $\overline{R4}$
 Fig.8 PSIM simulation results for the MUX_2
 (a) C4 (b) C2 (c) CLK2 (d) $\overline{R4}$

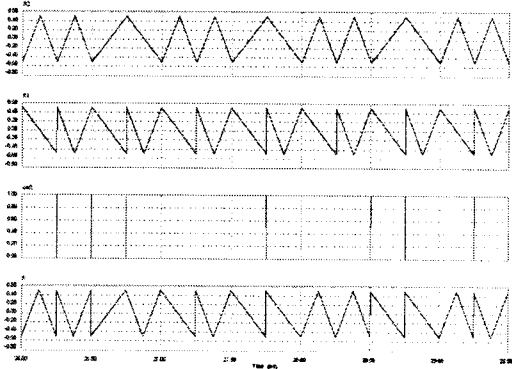


그림 10 MUX_3의 PSIM 시뮬레이션 결과
 (a) R2 (b) $\overline{R4}$ (c) PRBS비트 (d) R
 Fig.8 PSIM simulation results for the MUX_3
 (a) R2 (b) $\overline{R4}$ (c) PRBS비트 (d) R

그림 11은 제안된 방법과 종전의 방법에 대한 결과적인 R에 대한 파워 스펙트럼을 각각 나타내고 있다. 그림 11(a)는 종

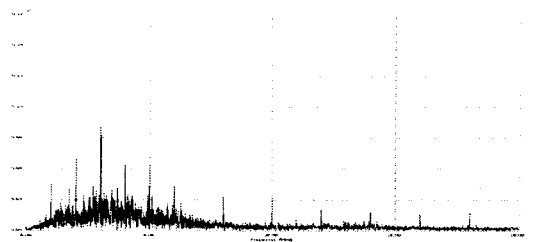
전의 방법에 의한 결과로서 3kHz 고정 주파수 캐리어 1개를 PRBS비트로 선택한 것이다. 3kHz를 중심으로 1번째 스펙트럼이 반원모양의 정규분포를 하고 있으며, 그 뒤를 이어 2번째, 3번째, 4번째, 5번째 스펙트럼이 분포하고 있다.

그림 11(b)는 제안된 방법의 결과로서 종전의 방법에 비하여 전체적으로 반원 모양의 스펙트럼 분포는 선형화 되었으나, 1kHz-10kHz 영역에서 불연속적 스펙트럼이 나타나고 있다. 이것은 결과적인 R을 생성하는 과정에 고정 주파수의 CLK1과 CLK2로 캐리어를 선택하는 중간 부분이 존재하기 때문에 발생한 현상으로 보인다.

그러나 캐리어의 스펙트럼이 전압 및 전류 스펙트럼과 유사한 양상을 보이는 일반적인 RPWM과는 다르게, PRC기법은 캐리어의 스펙트럼에서 존재하지 않은 고조파 클러스터가 전압 및 전류 스펙트럼에 나타나는 경향이 있다. 따라서 캐리어의 스펙트럼만으로는 PRC기법에서는 전압 전류 그리고 스위칭 소음에 대한 파워 스펙트럼을 예상할 수가 없다.



(a) Conventional PRC



(b) Proposed PRC

그림 11 결과적인 R에 대한 파워 스펙트럼
 (x-axis: 5kHz/div., y-axis:dB)
 Fig.11 Power spectra of the resultant R
 (x-axis: 5kHz/div., y-axis:dB)

그림 12와 그림 13은 유도모터와 연결된 3상 캐스캐이드 멀티레벨 인버터의 출력전압과 전류에 대한 파워 스펙트럼을 나타내고 있다. 그림 12(a)와 그림 13(a)는 전압의 파워 스펙트럼으로서 이미 언급한 바와 같이, 그림 11과는 다소 다른 모습의 스펙트럼 분포를 보이고 있다. 즉, 종전의 방법에 의한 캐리어 스펙트럼의 경우, 주기적인 반원의 스펙트럼을 무시하면 비교적 스펙트럼 분포가 양호하다고 말할 수 있다. 그러나 전압 스펙트럼은 캐리어 스펙트럼에서 보이지 않던 3kHz 스위칭 주파수의 2배 주파수에서 아주 강한 스펙트럼이 존재함을 알 수 있다. 또한 그림 11의 캐리어 스펙트럼으로 예상 못한 4배와 6배 주파수대의 스펙트럼들도 존재하고 있다.

그림 13(b)는 제안된 방법의 결과이다. 종전의 방법에서 강하게 존재하던 6kHz 주파수의 스펙트럼은 제안된 방법에서는 4kHz와 8kHz로 분할되어 분포함을 알 수 있다. 또한 10kHz 이상의 주파수 대역에 존재하던 고조파 역시 제안된 방법으로 확산 가능함을 알 수 있다. 결과적으로 캐리어 스펙트럼의 관점에서는 제안된 방법이 불리하게 보였을 지라도, 전압 스

펙트럼의 관점에서는 스펙트럼의 전반적인 분포가 매우 양호함을 알 수 있다.

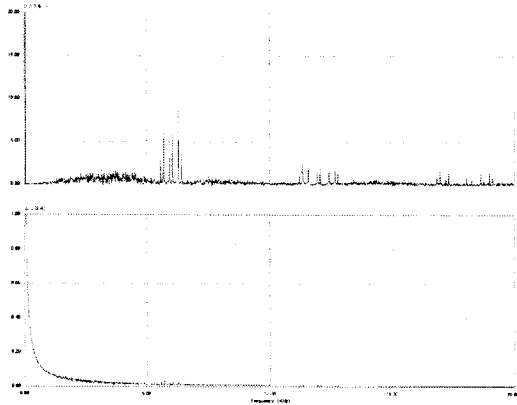


그림 12 종전의 방법에 의한 모터 출력전압과 전류의 파워 스펙트럼 (a) 전압 (b) 전류
(x-axis: 5kHz/div., y-axis: dB)
Fig. 12 Power spectra of the motor output voltage and current by the conventional PRC
(a) Voltage (b) Current
(x-axis: 5kHz/div., y-axis: dB)

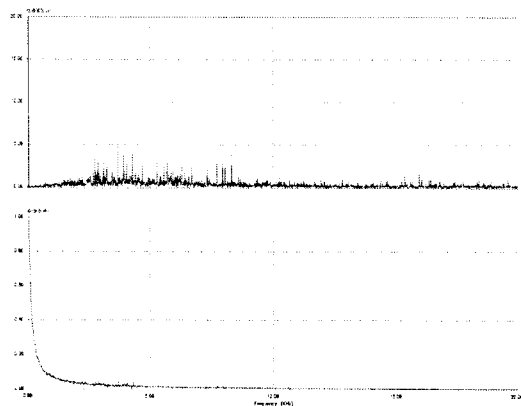


그림 13 제안된 방법에 의한 모터 출력전압과 전류의 파워 스펙트럼 (a) 전압 (b) 전류
(x-axis: 5kHz/div., y-axis: dB)
Fig. 13 Power spectra of the motor output voltage and current by the proposed PRC
(a) Voltage (b) Current
(x-axis: 5kHz/div., y-axis: dB)

5. 결 론

종전의 유사 랜덤 주파수 캐리어(PRC) 발생기법은 2배 스위칭 주파수에 해당하는 파워 스펙트럼이 매우 강하게 분포하는 문제점이 있었다. 본 연구에서는 3단계 MUX를 이용한 새로운 PRC기법을 제안하였다. 제안된 방법은 유도모터와 연결된 3상 캐스캐이드 멀티레벨 인버터에 적용하였으며, PSIM 시뮬레이션에 의하여 그 가능성을 확인하였다.

그 결과, 제안된 방법은 종전의 방법에 비하여 고정 주파수의 캐리어가 2개 필요하고 종전이 방법에 비하여 복잡한 회로로 구성된다. 또한 캐리어 스펙트럼의 관점에서 보면 제안된 방법이 종전의 방법에 비하여 좋은 고조파 분포를 보이지 않는다. 그러나 캐리어의 경우에는 다르게, 종전의 방법에 의하여 발생된 스위칭 주파수의 2배 고조파 성분을 제안된

방법에 의하여 광대역 주파수로 분포시킬 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 '전남대 고품질 전자 부품 및 시스템 연구센터'의 연구비 지원으로 연구된 결과의 일부임.

[참 고 문 헌]

- [1] A. Cichowski, J. Nicznanski 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] 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.
- [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] 김정근, 오승렬, 정영국, 임영철, "2중 영 벡터 모드를 갖는 2상 개별 펄스 위치 변조기법", 대한전기학회 논문지, 53B권, 12호, pp.739-750, 2004.
- [5] J.N. Kim, K.S. Kim, Y.C. Lim and Y.G. Jung, "A simple pseudo randomized frequency carrier (PRC-PWM) technique with fixed frequency carrier synthesis for power electronics converters", in Proc. ICEE'05, 2005, PS2-20 in CD ROM version.
- [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.