

# RSF와 RPP의 논리적인 조합을 이용한 하이브리드 RPWM기법

김기선\* 정영국\*\* 임영철\*

\*전남대학교 전기공학과 \*\*대불대학교 컴퓨터정보공학부

## A Hybrid RPWM Technique using Logical Composition of a RSF and a RPP

\*K.S. Kim \*\*Y.G. Jung and \*Y.C. Lim

\*Chonnam National University and \*\*Daebul University

### ABSTRACT

본 연구에서는 RPP(Randomized Pulse Position PWM)의 특징과 RSF(Random Switching Frequency PWM)의 특징을 모두 갖는 하이브리드 RPWM(Random PWM)기법을 제안하였다. 제안된 방법은 PRBS(Pseudo-Random Binary Sequence)로 동작하는 시프트 레지스터의 lead-lag 랜덤 비트를 사용한다는 점에서 종전의 방법과 동일하나, 이와 논리적인 비교를 위해 랜덤 주파수의 삼각파를 이용한다는 점에서 종전의 방법과 다르다. 본 연구의 타당성을 확인하기 위하여 인버터 기반의 3상 유도모터 구동시스템에 제안된 방법을 적용하였다. 그 결과 종전의 방법에 비하여 인버터 구동 유도모터의 전압 및 전류의 고조파 스펙트럼의 광대역화에 탁월한 효과가 있음을 입증할 수 있었다.

### 1. 서 론

현재 산업현장의 가변속 장치로 광범위하게 적용되고 있는 PWM 인버터 구동 유도모터의 스위칭 소음은 쾌적한 작업 환경의 질을 저하시키는 중대한 요소로서 작용하고 있다. 고정 스위칭 주파수로 동작하는 인버터의 스위칭 소음 문제를 해결하기 위한 전력 전자적인 방법으로 Random PWM기법이 주목 받고 있다<sup>[1-2]</sup>. Random PWM 기법은 랜덤화된 펄스 위치 PWM(Randomized Pulse Position PWM : RPP)방법<sup>[3-5]</sup>과 랜덤 스위칭 주파수 PWM (Random Switching Frequency PWM : RSF)<sup>[6-7]</sup>으로 크게 나눌 수 있다.

RPP는 우선 다양한 종류가 있으며, 마이크로 콘트롤러로 직접 펄스를 발생시킬 수 있기 때문에 하드웨어의 부담이 적으며 구현이 용이하다. 그러나 스위칭 주파수의 정수배 고조파 스펙트럼을 광대역으로 분산하기에는 이 방법으로는 한계가 있다. 반면에 RSF는 일반적으로 랜덤 주파수의 삼각파를 하드웨어적인 방법에 의해 구현 가능하며 스위칭 주파수의 정수배 고조파 스펙트럼의 광대역화가 특성은 RPP보다 매우 탁월하다.

이상에서 언급된 RPP와 RSF는 마이크로 콘트롤러 기반의 공간벡터 기법과 순수한 하드웨어적인 방법으로 각각 구현 가능하다. Bor-Ren Lin<sup>[8-9]</sup>은 하드웨어적인 방법에 의해 시프트 레지스터<sup>[10]</sup>와 고정 주파수 캐리어의 논리적인 비교로부터 RPP를 구현하였다. Bor-Ren Lin이 RPP를 위해 적용한 방법은 시프트 레지스터에 고정 주파수의 톱니파 또는 고정 주파수의 삼각파를 적용한 것이다. 톱니파에 의한 방법은 RLL(Random Lead-Lag)특성을 지니고 있으며, 삼각파에 의한 방법은 SVM(Space Vector Modulation)과 RLL이 혼합된 특성을 보이고 있다. 따라서 이 방법은 RPP가 갖는 스위칭 주파수의 정수배 고조파 스펙트럼의 광대역화에는 한계가 있다.

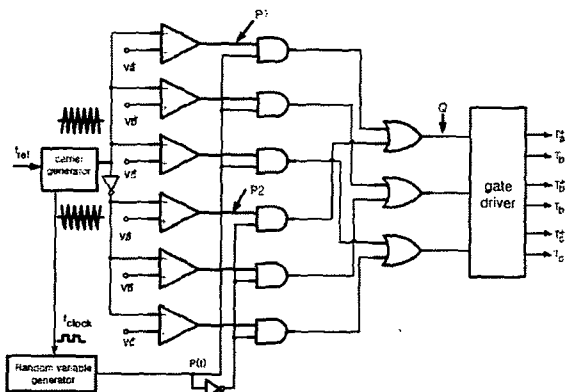
본 연구에서는 PRBS로 동작하는 시프트 레지스터의 lead-lag 랜덤 비트와 논리적인 비교를 위한 삼각파 캐리어를 랜덤하게 하여 전력전자 변환기의 고조파 스펙트럼의 분산 효과를 개선하기 위한 하이브리드 RPWM 기법을 제안한다. 제안된 방법은 RPP의 특징과 RSF의 특징을 모두 갖는 하이브리드 기법이다. 본 연구의 타당성을 확인하기 위하여 전력전자 전용 시뮬레이터인 PSIM으로 인버터 기반의 3상 유도모터 구동 시스템을 모델링 하였다. 그 결과 종전의 방법에 비하여 인버터로 구동되는 유도모터의 전압 및 전류의 고조파 스펙트럼을 광대역으로 분산 가능함을 입증할 수 있었다.

### 2. 논리적인 비교기법에 의한 RPWM발생<sup>[8-9]</sup>

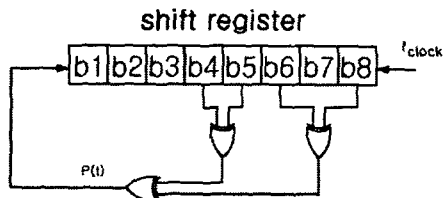
그림 1은 논리적인 비교기법에 의한 RPWM발생을 위한 전형적인 회로를 보이고 있다. 그림 1을 보면 PRBS로 동작하는 시프트 레지스터의 Lead-Lag 랜덤 비트와 캐리어와 비교하여 펄스 위치를 랜덤하게 배치하고 있다. 간단한 하드웨어로 RPWM을 실용적이며 저렴하게 구현할 수 있는 장점을 가지고 있다.

논리적 비교를 위한 캐리어로는 그림 2에서 보는 바와 같이 고정 주파수의 톱니파와 삼각파가 있으며, 톱니파를 캐리어로 적용할 경우에는 RPWM은 RLL로 동

작하게 되며, 삼각파를 사용할 경우에는 RLL과 중앙정렬 SVM이 혼합된 RPWM으로 된다. 그림 2(a)의 톱니파를 이용한 RLL은 RPP중에서 가장 초기버전이며 구현이 매우 간단하다. 그러나 전류파형에 맥동 성분이 많아 파형의 악화를 가져오며, 따라서 스펙트럼의 랜덤 특성이 양호하지 않다. 그림 2(b)는 RLL가 전류파형의 악화를 가져오는 문제점을 해결하기 위하여 제시된 방법이다. RLL에 중앙정렬 SVM이 혼합되기 때문에 RLL로 악화된 파형을 어느 정도 개선 가능하다. 그러나 근본적으로 고정 주파수의 중앙 정렬 SVM을 사용하기 때문에 결과적인 파형에는 고정 스위칭 주파수 성분이 존재하게 된다.

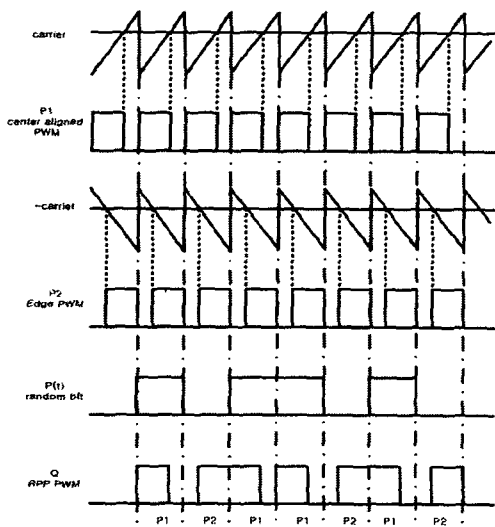


(a) circuit for the RPWM generation

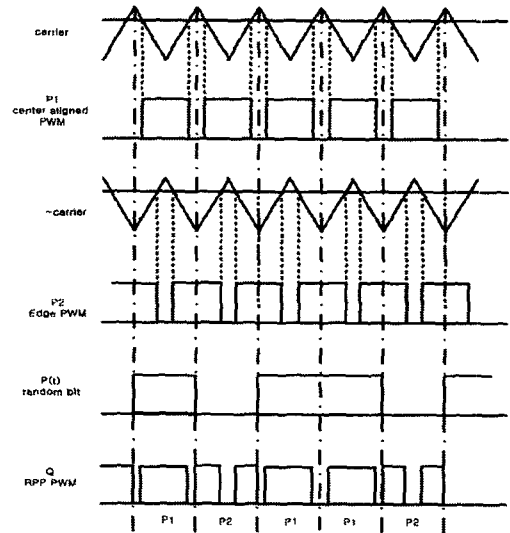


(b) pseudo random variable generator

그림 1 논리적인 비교기법에 의한 RPWM  
Fig.1 Typical RPWM by logical comparison



(a) sawtooth wave



(b) triangle wave

그림 2 고정 주파수의 캐리어에 의한 RPWM  
Fig.2 Conventional RPWM using carrier with fixed frequency

### 3. 제안된 하이브리드 RPWM기법

그림 3은 본 연구에서 제안된 RPP와 RSF를 혼합한 하이브리드 RPWM기법을 나타내고 있다. 이 방법은 우선 공간벡터에 의하지 않기 때문에 복잡한 이론이 필요치 않고 간단하다는 장점이 있다.

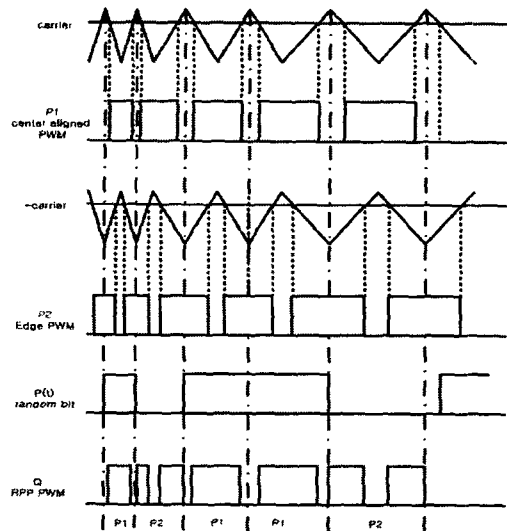


그림 3 제안된 하이브리드 RPWM

Fig.3 Proposed hybrid RPWM by random carrier

그림 3에서 보는 바와 같이 제안된 방법은 삼각파를 캐리어로 사용하기 때문에 톱니파를 캐리어로 사용하는 그림 2(a)에 비하여 급격한 lead-lag 랜덤 비트가 발생하지 않는다. 따라서 전류 파형의 악화를 초래하지 않으며, 또한 랜덤 캐리어를 사용하기 때문에 그림 2(b)와 같은 고정 주파수 캐리어가 발생하는 특정 주파수대

의 스펙트럼을 광대역으로 분산시키는 효과가 크다. 즉 그림 3에서 Q로 표시된 최종 RPP PWM을 살펴보면, P1의 SVM과 P2의 lead-lag 펄스들은 그 유형에서 동일하다 할지라도 각각의 주파수가 다르다는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결과 및 고찰

그림 4는 제안된 방법의 타당성 검토를 위한 PSIM 모델을 나타낸 것이다. 랜덤 삼각파 발생부는 PSIM의 DLL(Dynamic Library Link)로 코딩되었으며 그 외 부분은 PSIM의 schematic에 의하여 모델링을 하였다.

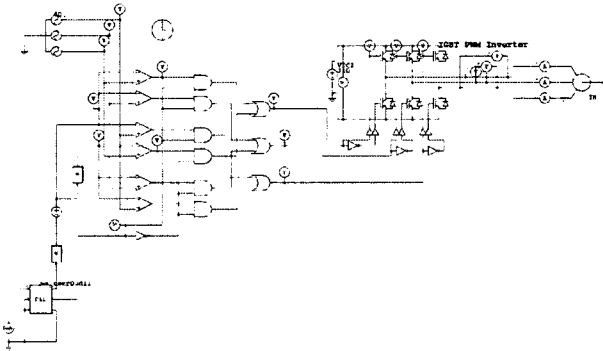
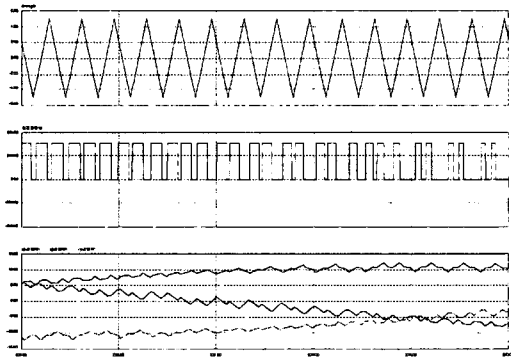
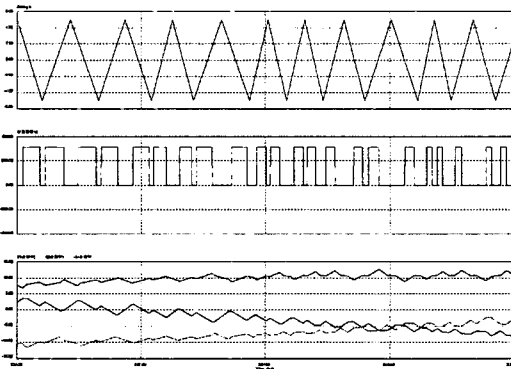


그림 4 하이브리드 RPWM의 PSIM 모델  
Fig.4 PSIM model of proposed hybrid RPWM



(a) conventional method



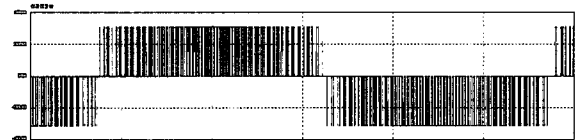
(b) proposed method

그림 5 캐리어 및 전압/전류 파형  
Fig.5 Waveforms of the carrier and voltage /current

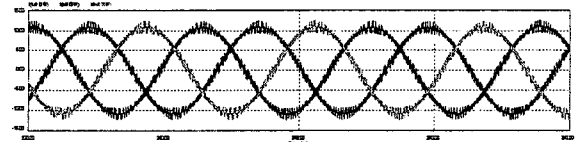
그림 1(b)로 나타낸 랜덤 비트 발생부는 8비트 시프트 레지스터를 사용하였다. 기본 주파수 40Hz, 변조비 0.85의 조건하에서 최대치가 310V인 PWM 전압, 10A 전류를 무부하 3상 유도모터에 인가하였을 때의 모터 출력 전압과 전류 파형 및 그 스펙트럼을 그림 5-9에 나타내었다. 그림 5(a)는 중전의 방법으로서 3kHz 고정 주파수를 갖는 삼각파를 사용한 결과이다. 그림 5(b)는 3kHz 중심 주파수에 대하여  $\pm 1$ kHz 대역폭을 갖는 랜덤 삼각파를 사용한 결과이다.

그림 5에 나타낸 a상의 PWM 전압을 확대한 파형을 살펴보면, 그림 2(b)와 그림 3의 RPP PWM의 최종 결과인 Q와 유사한 패턴을 보임을 알 수 있다. 즉 고정 주파수 삼각파의 경우에는 중앙정렬 SVM과 RLL이 일정한 주기를 가지고 발생하고 있기 때문에 3상의 전류를 확대한 파형은 일정한 경사를 갖는 맥동이 있다. 한편 랜덤 삼각파의 경우에는 SVM과 RLL가 랜덤한 주기를 갖고 있기 때문에 전류의 맥동 역시 랜덤하다.

그림 6과 그림 7은 중전의 방법과 제안된 방법에 의한 a 상 전압과 3상 전류 파형을 각각 나타내 것이다. 제안된 방법은 랜덤 특성을 갖고 있으면서도 중전의 방법과 비교하여 전류 파형이 거의 유사함을 알 수 있다.

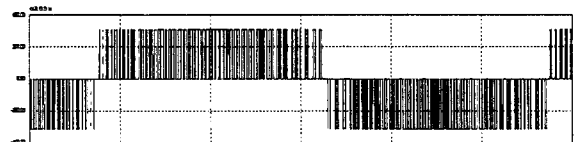


(a) voltage

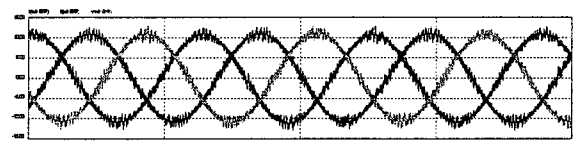


(b) current

그림 6 중전의 방법의 전압과 전류파형  
Fig.6 voltage/current waveforms of the conventional method



(a) voltage



(b) current

그림 7 제안된 방법의 전압과 전류파형  
Fig.7 voltage/current waveforms of the proposed method

그림 8과 그림 9는 그림 6과 그림 7의 전압과 전류 파형에 대한 스펙트럼 분석 결과이다. 종전의 방법은 전압과 전류 스펙트럼에 모두 스위칭 주파수 3kHz의 2 배수 주파수의 강한 고조파 성분이 존재하고 있다. 그러나 제안된 방법은 그림 9에서 보는 바와 같이 6kHz 성분을 거의 완전하게 광대역으로 분산시키고 있다. 이것이 RPWM을 적용하는 중요한 목적이다. 다시 말하여 제안된 방법에 의한 전류파형은 고정 주파수 특성과 랜덤 특성을 가지고 있으며, 전압과 전류의 스펙트럼은 랜덤 특성을 잘 보이고 있다.

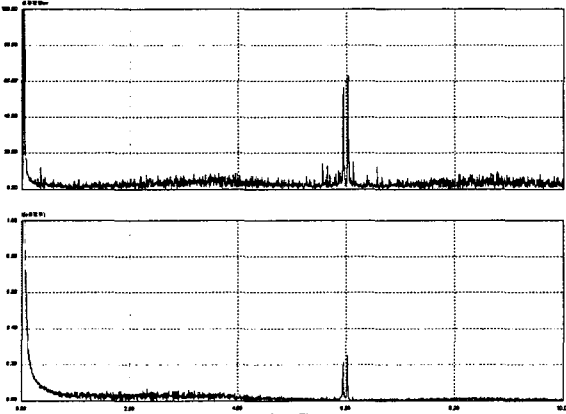


그림 8 종전 방법의 전압과 전류 스펙트럼  
Fig.8 voltage/current spectrum of the conventional method

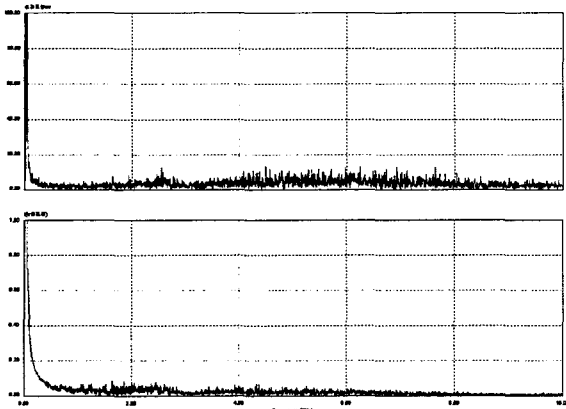


그림 9 제안된 방법의 전압과 전류 스펙트럼  
Fig.9 voltage/current spectrum of the proposed method

## 5. 결 론

본 연구에서는 고정 주파수 삼각파 캐리어와 시프트 레지스터를 이용한 RPWM의 문제점을 개선하기 위한 하이브리드 RPWM을 제시하였다. 제안된 방법은 랜덤 조절이 가능한 삼각파를 캐리어로 사용하여 RPP에 국한되어 있던 종전의 방법을 RSF와 RPP를 혼합함으로써 그 성능을 개선하였다. 제안된 방법의 타당성은 PSIM 시뮬레이션에 의하여 확인 가능하였다. 하이브리드 RPWM기법은 랜덤을 기반으로 하면서도 전류파형

은 종전과 거의 유사하였으며, 전압과 전류 스펙트럼에 존재한 2배 스위칭 주파수의 광대역화 특성이 탁월함을 보였다. 추후 연구과제로는 제안된 방법에 대한 해석적인 접근과 제작된 유도모터 구동시스템에 적용하여 소음 저감 및 전도성 EMI 노이즈 특성을 확인하는데 있다.

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

## 참 고 문 헌

- [1] A. Cichowski, J. Nieznanski 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] K. Borisov and A. Trzynaldowski, "Experimental investigation of a naval propulsion drive model with PWM based attenuation of the acoustic and electromagnetic noise", in Proc. IEEE IECON'03, 2003, pp.12-17.
- [3] M. M. Bech, J. K. Pedersen and F. Blaabjerg, "Random modulation techniques with fixed switching frequency for three-phase power converters", IEEE Trans. Power Electron., vol.15, no.4, pp.753-761, 2000.
- [4] 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 PWM", IEE Proc. Electr. Power Appl., vol.149, no.3, May, pp.195-202, 2002.
- [5] 위석오, 정영국, 나석환, 임영철, "모터 구동 장치의 가청 스위칭 소음 저감을 위한 2상 및 3상 랜덤 펄스 위치 PWM기법의 성능 비교", 전력전자학회 논문지 제7권 제3호, pp.224-236, 2002.
- [6] K.A. Almari, J.C. Balda and K. Carr, "Optimized selection of the random PWM switching frequencies in a limited pool", in Proc. IEEE APEC'00, 2000, pp.569-573.
- [7] V. Blasko, M.M. Bech, F. Blaabjerg and K. Pedersen, "A New hybrid random pulse width modulator for industrial drives", in Proc. IEEE APEC'00, 2000, pp.932-938.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] S.Y.H. Hui, I. Oppermann and S. Sathiakumar, "Microprocessor based random PWM schemes for da-ac power conversion", IEEE Trans. power electron., vol.12, no.2, pp.253-260,1997.