

## 2상 SRPP-PWM 기법을 사용한 유도모터 속도제어 시스템

위석오\* 김정근\* 임영철\* 정영국\*\*

\*전남대학교 전기공학과 \*\*대불대학교 전기공학과

### Induction Motor Speed Control System using Two Phase SRPP-PWM Scheme

\*Seog-Oh Wi \*Jung-Kun Kim \*Young-Cheol Lim \*\*Young-Gook Jung

\*Chonnam National University \*\*Daebul University

#### ABSTRACT

In this paper, 2 phase modulated SRPP-PWM (Separately Random Pulse Position PWM) is proposed. This PWM technique is based on the 2 phase modulated SVPWM(Space Vector Pulse Width Modulation). In according to the theory of SVPWM, 2 phase modulated SVPWM uses two pulses, not three pulses as in 3 phase modulated SVPWM. In the proposed SRPP-PWM scheme, each of two phase pulses is located randomly in each switching interval. The experimental results show that the voltage and switching noise harmonics are spread to a wide band area. Also, the performance of the proposed 2 phase modulated SRPP-PWM and the conventional SVPWM are compared to each other. In result, the speed response is nearly similar to each other from the viewpoint of the v/f constant control.

#### 1. 서 론

현재 산업현장에서 사용되는 대부분의 전력변환시스템은 스위칭 주파수가 일정한 PWM 기법을 사용하고 있다. 이러한 방식은 스위칭 주파수의 정수배의 주파수에 잡음 전력을 집중시켜 매우 불쾌한 소음을 유발하는 단점을 가지고 있다.<sup>[1]</sup>

이러한 문제점을 해결하기 위해 가장 쉽게 생각할 수 있는 기법으로 초음파 주파수의 스위칭에 의한 PWM 기법을 생각할 수 있다.<sup>[2-3]</sup> 이 방법은 소음발생을 근본적으로 제거할 수 있는 장점을 갖고 있으나 스위칭 주파수가 높아짐에 따라 발생하는 스위칭 손실과 스위칭 소자 및 제어기의 고가화를 초래하는 단점을 갖고 있는데 대용량 시스템일 수록 이러한 현상은 더욱 심하게 된다. 이와 같이 높은 스위칭 주파수를 이용하는 대신 스위칭 주파수는 그대로 유지하면서 스위칭 패턴을 변경하여 스위칭 소음을 완화하는 기법을 들 수 있는데 이에에는 RPWM<sup>[1,4]</sup>, SHE-PWM<sup>[5]</sup>, 등이 있으며 현재 가

장 주목을 받고 있는 분야는 PWM 주파수를 랜덤하게 변경하여 잡음 전력을 광대역화 하는 RPWM 기법이다. 이러한 기법 중 RPP-PWM(Random Pulse Position PWM)은 펄스의 위치를 랜덤하게 변경하여 RPWM 효과를 나타내는 방법으로 추가적인 하드웨어를 필요치 않는 장점으로 인하여 많은 관심을 모으고 있다. 기존의 RPP-PWM에 관한 연구는 3상 변조 SVPWM에 기반한 방법이었다.<sup>[6-8]</sup>

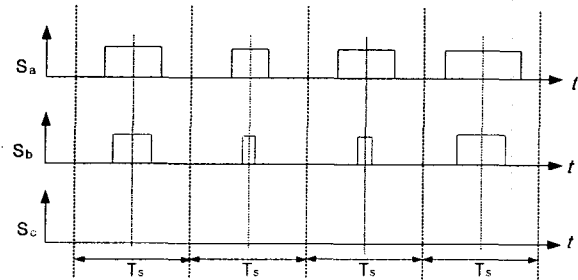
본 연구에서는 2상 변조 SVPWM에 기반한 SRPP-PWM을 제안하고 또 이를 산업현장에 적용가능한가를 검증하기 위하여 속도 피드백 실험을 행하여 기존의 고정 주파수 PWM에 의한 속도제어의 성능과 비교하였다. 속도제어는 부하가 있는 상태에서 유도모터의 v/f 일정제어를 기반으로 하는 속도제어를 행하였다. 실험 결과 v/f 일정 제어의 성능은 기존 고정 주파수 PWM의 경우와 동일함을 확인할 수 있었으며 제안한 2상 변조 SRPP-PWM 방법은 모터의 전압 및 소음 스펙트럼의 관점에서 광대역화 효과가 우수함을 확인할 수 있었다.

#### 2. 제안된 2상 변조 RPP-PWM 기법

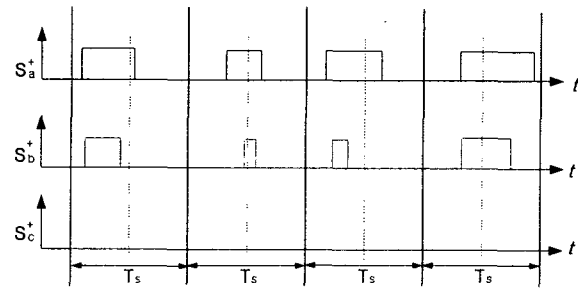
본 연구에서는 2상 변조 SRPP-PWM을 제안한다. 기존의 RPP-PWM은 3상을 기반으로 하고 있으나 본 연구에서는 2상 변조 SVPWM을 기반으로 하고 있다. 제안된 방법은 2상 변조에 의해 얻어진 펄스의 위치를 각 상별로 랜덤하게 재배치하는 PWM방법(SRPP-PWM)을 통해 전력 스펙트럼의 광대역화를 이루고자 하는 것이다. 그림1(a)는 종전의 2상 변조 SVPWM 기법에 의해 얻어진 펄스를 중앙 정렬하여 4주기 동안을 도시한 펄스패턴이다. 여기서 Ts는 샘플링 주기이다. 그림1(b)는 본 연구에서 제안한 2상 변조 SRPP-PWM의 스위칭 기법을 나타낸 것이다. 본 방법은 2상 변조 SVPWM을 기반으로 하기 때문에 1 샘플링 주기 동안 2개의 상만이 2번의 펄스 교번(commutation)이 이루어

1샘플링 주기동안 두 상에만 펄스가 존재하게 된다. 이렇게 얻어진 두개의 펄스는 그 위치를 랜덤하게 정할 수 있는데 각 펄스별로 자유롭게 그 위치를 정할 수 있다.

그림 2는 지령전압 벡터가 공간 벡터도의 1번 섹터에 있을 때 1주기 동안의 3상 변조 SRPP-PWM (a)과 2상 변조 SRPP-PWM(b)을 도시한 것이다. 3상 변조된 경우 랜덤 변위 TRAND가 세 번이 필요한 반면 제안된 2상 변조 SRPP-PWM의 경우 두 번의 랜덤 변위만으로 구현이 가능하다. 즉 구현이 더 용이함을 알았다.



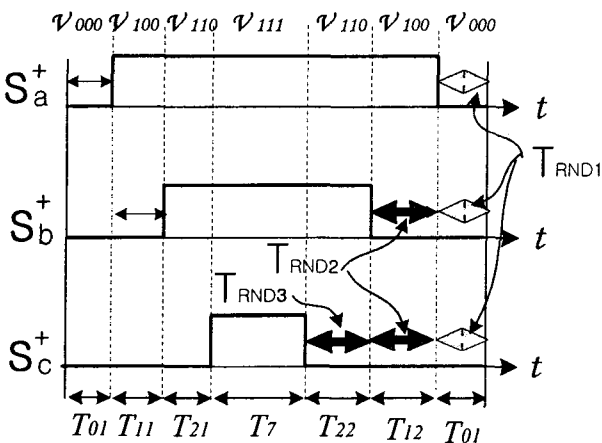
(a) center aligned



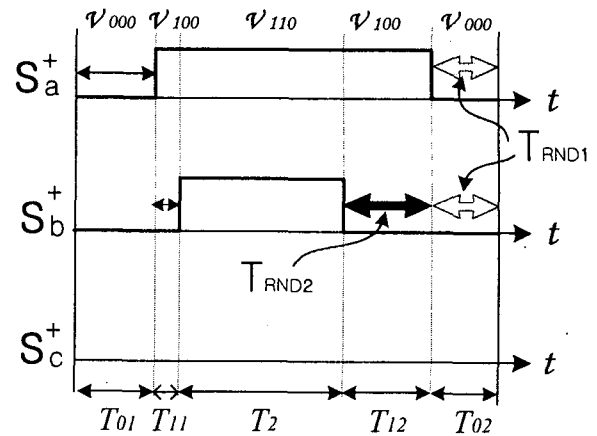
(b) SRPP-PWM

그림 1 2상변조 SVPWM

Fig.1 2 Phase Modulated SVPWM



(a) 3 phase SRPP-PWM



(b) 2 phase SRPP-PWM

그림2 각 상별 랜덤펄스 위치 PWM

Fig.2 Range for each phase pulse

본 연구에서 구현된 2상 변조 SRPP-PWM는 SVPWM을 통하여 얻어진 우측 정렬된 두개의 펄스 위치를 좌측으로 어느 정도 변위시킬 것인가를 랜덤하게 지정하는 방법으로 이를 위해 랜덤함수를 사용한다. 이를 구현하기 위한 과정이 그림2에 자세히 도시되어 있다. 먼저 그림2 (b)를 보면 두개의 펄스 모두를 영벡터( $V_{000}$ )의 범위 내에서의 결정된 랜덤 변위( $T_{RAND1}$ )만큼 좌측으로 이동시킨다. 그리고 작은 펄스를  $T_1$  범위에서 결정된 랜덤 변위( $T_{RAND2}$ )만큼 좌측으로 이동하면 지령전압벡터를 충실히 구현하면서 2상 변조 SRPP-PWM이 구현된다.

### 3. 시스템 구성 및 결과

#### 3.1 시스템 구성

본 연구에서 제안된 2상 변조 SRPP-PWM의 특성을 살펴보고 산업현장에서의 적용하여 타당성을 보이기 위하여 속도제어 특성 실험을 하였다.

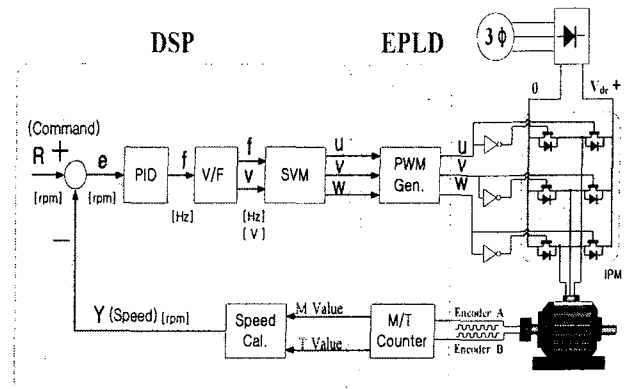


그림3 실험 시스템

Fig.3 Experimental system

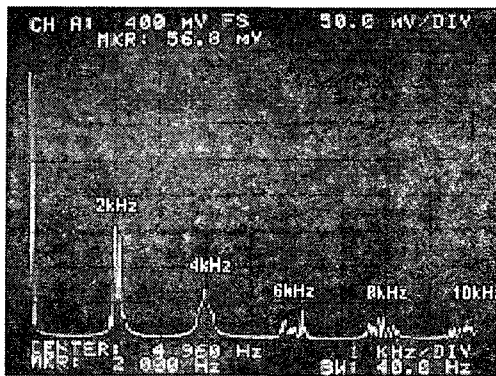
속도제어 시스템은 v/f 일정제어에 의하여 이루어 졌으며 제어 알고리즘으로는 산업현장에서 가장 많이 사용되는 PI제어를 사용하였다. 그림3는 시스템의 전체적인 구성도이다. 본 연구에서 인버터로 구동되는 유도모터의 스위칭 소음의 파워 스펙트럼을 얻기 위한 실험은 6면이 모두 흡음제로 밀폐되도록 특별하게 설계된 무향실에서 수행되었으며, 측정 장비로는 소음 및 진동신호에 대한 분석이 가능한 전용 측정기 「OROS-25」를 사용하였다. 실험 결과의 분석에 사용된 데이터는 유도모터로부터 측면방향으로 0.3m 떨어진 곳에서 얻은 값을 사용하였다.

### 3.2 실험 결과 및 고찰

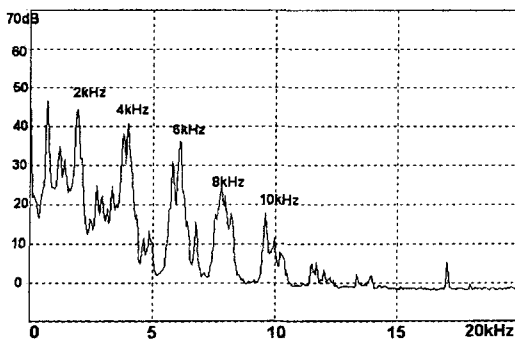
부하가 있는 상태에서 유도모터를 40Hz의 지령속도, 2kHz의 스위칭 주파수로 페루프 속도제어 하였을 때, 종전의 2상 변조 펄스 중양 정렬 방식 SVPWM 방식과 제안된 2상 변조 SRPP-PWM방식에 의한 유도모터의 선간전압과 소음 스펙트럼을 그림4와 그림5에 각각 나타내었다. 그림4는 SVM-PWM의 경우이며, 그림5는 제안된 2상 변조 SRPP-PWM을 수행한 경우이다.

의 가장 강한 성분이 있고 스위칭 주파수의 2배 주파수 4kHz 영역에 두 번째로 강한 고조파 성분이 존재하고 있다. 소음 스펙트럼을 나타내고 있는 그림4(b)의 경우, 전압 스펙트럼 분포와 비슷하게 1배 스위칭 주파수인 2kHz 주파수대에 소음의 가장 강한 성분이 있음을 볼 수 있으며 스위칭 주파수의 배수 주파수에서 소음 성분이 집중된 현상을 볼 수 있다. 그리고 스위칭과 상관없는 주파수대인 750Hz 및 1.8kHz대에 약간의 소음성분이 존재함을 알 수 있다.

제안된 2상 변조 SRPP-PWM를 나타내고 있는 그림5(a)의 경우, 1배 스위칭 주파수인 2kHz 대역을 제외하고 2배, 3배 스위칭 주파수대 고조파 성분의 크기가 현격하게 감소되어 광대역 효과가 뚜렷하게 나타나고 있음을 관찰할 수 있다. 그림5(b)는 소음 스펙트럼을 나타내고 있다. 전압 스펙트럼에서 유추할 수 있는 바와 같이 스위칭 주파수인 2kHz에서는 기존의 것과 비슷한 소음이 있으나 기타 다른 주파수 영역에서는 소음의 광대역화가 확실하게 이루어지고 있음을 관찰할 수 있다. 그런데 이 경우 SVM-PWM에서는 작았던 1kHz 이하의 주파수성분이 상당히 증가하였음을 볼 수 있다.



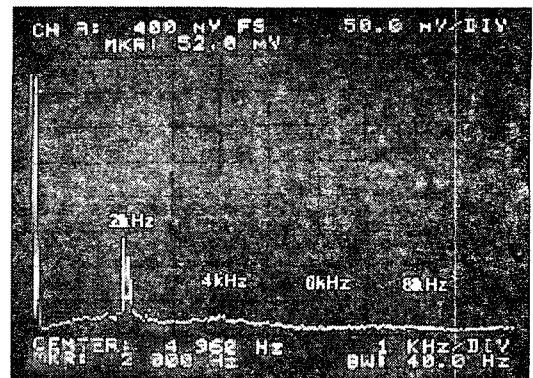
(a)spectrum of the voltage(1kHz/div.)



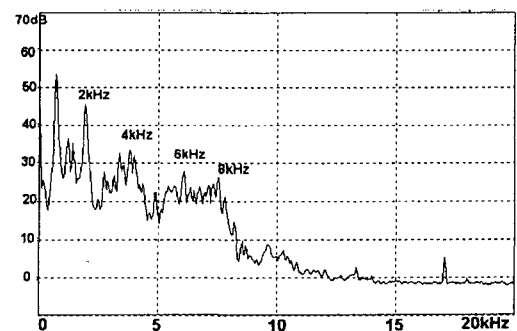
(b)spectrum of the switching noise(5kHz/div.)

그림4 SVM-PWM기반의 모터구동시스템  
Fig.4 SVM-PWM based motor drives

우선 그림4(a)로 나타낸 SVM-PWM의 전압 스펙트럼은, 스위칭 주파수의 1배 주파수 2kHz 부근에서 고조파



(a)spectrum of the voltage(1kHz/div.)



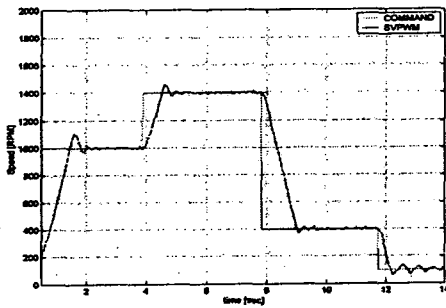
(b)spectrum of the switching noise(5kHz/div.)

그림5 제안된 SRP-PWM기반의 모터구동시스템  
Fig.5 The proposed SRP-PWM based motor drives

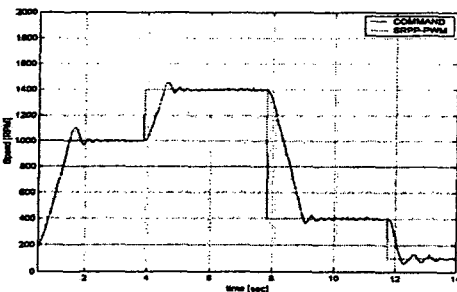
이는 모터의 고유 주파수와 랜덤 주파수가 중첩되어 기계적인 공진을 유발하여 발생한 현상으로 추측되고있

다. 이와 같이 RPWM에 의해 구동되는 모터의 예기치 못한 공진은 RPWM의 단점으로 지목되고 있는데, Holtzer법에 의하여 공진 주파수를 예측한 후, 지능적 전력밀도 함수에 의하여 해당 공진 주파수만을 상쇄하는 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서 제안한 2상 변조 SRPP-PWM의 산업현장의 적용 타당성을 검증하기 위해 v/f일정제어를 기반으로 하는 속도 제어 성능 특성 실험을 하였다. 그림 6에 다단 스텝지령 입력을 주었을 때 기존 2상 변조 중앙정렬 SVPWM 방식과 2상 변조 SRPP-PWM 방식을 사용하였을 경우의 응답특성을 보인 것이다. 제어기는 PI제어기를 사용하였다. 제어 응답특성을 관찰하면 오버슈트 특성 및 세팅 타임이 거의 비슷한 특성을 보이고 있다. 이상으로 부터 제안된 SRP-PWM기법은 종전의 SVM-PWM과 비교하여 모터의 가청 스위칭 소음은 현저하게 저감되며, 속도응답 특성은 거의 동일함을 확인할 수 있었다.



(a) multi-step Response using Center-aligned SVPWM



(b) multi-step Response using SRPP-PWM

그림6 SVM-PWM과 SRP-PWM의 속도제어를 위한 과도특성 비교  
Fig.6 Measurements of dynamics using SVM-PWM and SRP-PWM

#### 4. 결 론

본 연구에서는 새로운 2상 변조 랜덤 펄스 위치 PWM 기법(SRP-PWM)을 제안하였다. 제안된 방법은 스위칭 주파수를 제외한 전 영역에서 매우 우수한 광대역 특성을 갖고 있으며 v/f 일정제어 기반 속도제어를

수행한 결과, 기존의 중앙정렬 SVPWM 방법과 거의 일치하는 속도응답 특성을 얻을 수 있었다. 제안된 SRP-PWM기법은 종전의 SVM-PWM과 비교하여 유도모터로부터 발생하는 불쾌한 가청 스위칭 소음을 현저히 완화시킬 수 있으며, 속도응답 성능은 동일하게 유지됨을 알 수 있었다.

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

#### 참 고 문 헌

- [1] S. H. Na Y. G. Jung, 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.
- [2] S. Legowski and A. M. Trzynadlowski, "Hypersonic MOSFET based power inverter with random pulse width modulation", IEEE-IAS, pp. 901-903,1989.
- [3] S. Legowski and A. M. Trzynadlowski, "Power-MOSFET, hypersonic inverter with high quality output current," IEEE APEC'90, pp.3-7,1990.
- [4] R. L. Kirlin, S. Kwok, S. Legowski and A. M. Trzynadlowski, "Power spectra of a PWM inverter with randomized pulse position", IEEE Trans. PE vol.9, no.5, pp.463-471,1994.
- [5] F. G. Turnbull, "Selected harmonic reduction in static DC-AC inverter", IEEE Trans. comm. EI, 83(73), pp. 374-378, 1964
- [6] 위석오, 정영국, 나석환, 임영철, "새로운 2상 랜덤 펄스 위치 PWM기법", 전력전자학회 논문지 제7권 제2호, pp.194-204, 2002.
- [7] R. L. Kirlin, S. Kwok, S. Legowski and A. M. Trzynadlowski, "Power spectra of a PWM inverter with randomized pulse position", IEEE Trans. PE vol.9, no.5, pp.463-471,1994.
- [8] M. M. Bech, J. K. Pedersen and F. Blaabjerg, "Random modulation techniques width fixed switching frequency for three-phase power converters", IEEE PESC'99, pp.544-551,1999.
- [9] J. K. Pedersen and F. Blaabjerg, "Determination of mechanical resonances in induction motors by random modulation and acoustic measurement", EPE'93,pp.319-324,1993.