

오프셋 전압을 이용한 일정 스위칭 주파수의 Random PWM 기법

김도겸, 김상훈
강원대학교

A novel Random PWM technique with a constant switching frequency utilizing an offset voltage

Do Kyeom Kim, Sang Hoon Kim
Kangwon National University

ABSTRACT

본 논문에서는 오프셋 전압을 이용한 Random PWM 기법을 제안한다. 제안된 Random PWM은 일정 스위칭 주파수 하에서 유효벡터를 랜덤하게 위치시켜 고조파 스펙트럼(Spectrum)을 확산한다. 제안된 기법과 일반적인 PWM 기법의 고조파 스펙트럼 분포, Harmonic Spread Factor(HSF), Total Harmonic Distortion(THD)를 통해 제안된 Random PWM의 유효성을 확인하였다. 3.7kW 유도 전동기에 대한 실험을 통해 제안된 기법의 타당성을 검증하였다.

1. 서론

교류전동기 구동 시스템에서 가변속 구동을 위하여 통상 PWM 인버터가 사용된다. 이 경우 PWM 인버터의 변조기법의 성능은 주어진 직류 링크의 전압을 이용하여 인버터의 출력전압을 선형적으로 표현할 수 있는 범위와 출력전압의 고조파 특성으로 평가된다. 이러한 관점에서 SVPWM 기법이 다른 PWM 기법보다 우수하다고 알려져 있다. PWM 출력전압에는 스위칭 주파수와 그 배수의 주파수 및 이들 성분들의 측파대(Sideband)에 해당하는 특정 주파수 대역에서 고조파가 집중적으로 발생한다.^[1] 이러한 고조파에 의해 소음과 진동을 유발하며 전자기파 간섭(EMI) 문제도 발생시키게 된다.^[2] 스위칭 주파수를 높이지 않고 이런 문제를 해결하기 위한 PWM 기법으로 Random PWM(RPWM) 기법이 있다.^[3]

본 논문에서는 일정 스위칭 주파수의 3상 인버터 시스템에서 Random 오프셋 전압을 이용하는 Random PWM을 제안한다. 제안된 기법은 추가적인 회로 및 복잡한 알고리즘의 요구 없이 간단하게 구현할 수 있다. 3.7kW 유도전동기를 부하로 하는 3상 인버터 시스템에 대한 실험을 통해 제안된 기법이 특정 주파수 대역에 집중된 고조파를 적절하게 확산시킬 수 있음을 확인하였다. 또한, 일반적인 PWM 기법과 제안된 기법을 사용하여 얻어진 HSF(harmonic spread factor)와 THD를 통해 본 연구의 타당성을 확인하였다.

2. 본론

2.1 Random PWM 기법

RPWM 기법은 그 구현 기법에 따라 두 가지 형태로 시도

되었는데 스위칭 주파수를 가변 하는 RCFPWM 기법과 스위칭 주파수를 가변하지 않는 RPPPWM 기법으로 나뉘게 된다.

2.1.1 Random Frequency Carrier PWM

이 기법은 삼각 반송파의 주파수를 매 스위칭 구간마다 랜덤하게 변화시키는 방법이다. 이 기법은 부가적인 하드웨어가 필요하기 때문에 시스템이 복잡하게 되고 비용이 증가하는 단점을 가진다. 또한 전류제어주기가 지속적으로 바뀌기 때문에 전류 제어대역폭 선정에 어려움이 발생한다.

2.1.2 Random Pulse Position PWM^[4]

유효벡터의 위치를 변조 구간 내에 앞 또는 뒤로 랜덤하게 위치시키는 기법이다. RPPPWM의 구현 과정은 다음과 같다. 먼저, 각상의 유효벡터를 계산하고 가장 유효벡터가 큰 상을 선택한다. 변조 구간 내에서 유효벡터가 위치할 수 있는 범위를 설정하고, 이 범위 내에 들도록 랜덤 수를 발생하여 유효벡터를 위치시킨다. 그 다음에 크기가 두 번째로 큰 유효벡터가 가장 큰 유효벡터의 범위 내에서 임의의 위치로 위치시킨다. 세 번째 상의 유효벡터의 위치도 같은 방식으로 결정한다. 그림 1은 RPPPWM 기법을 적용했을 때 각 상 유효벡터의 크기와 위치할 수 있는 범위를 나타낸다.

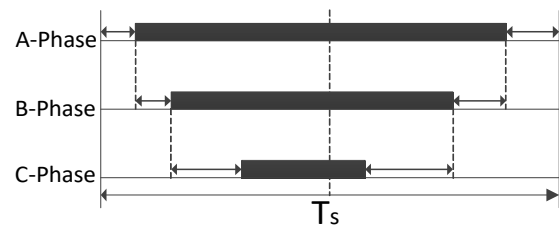


그림 1. RPPPWM 기법 적용 시 각상 유효벡터에 대한 위치 범위

이와 같이 이 기법은 각 상의 유효벡터의 크기를 고려하여 스위칭 시간을 계산해야 하는 복잡성이 존재한다. 제안된 Random PWM 기법은 위와 같은 구현과정 없이 단순히 전압 변조 지수를 계산하여 Random 오프셋 전압을 사용하는 것만으로 간단하게 적용이 가능하다.

2.2 제안된 Random PWM 기법

본 논문에서 제안된 RPWM은 다음과 같다. Random 변수를 오프셋 전압으로 활용하였으며 SPWM과 SVPWM 기법 두 가지 기법에 대해서 추가적인 Random 오프셋 전압으로 스위칭 주기마다 변하는 Random 변수를 더해 주어 유효벡터를 랜덤하게

위치는 Random PWM 기법을 구현하였다. 극전압 지령이 $0.5V_{dc} \sim 0.5V_{dc}$ 범위 내의 값을 가지도록 Random 변수 값의 범위를 지정하였으며 Random 변수는 v_{rd} 로 표현한다. 또한, 편의상 SPWM 기법에서 옴셋 전압으로 v_{rd} 를 활용한 Random PWM을 Random(S), SVPWM 기법에서 옴셋 전압으로 v_{rd} 를 활용한 Random PWM을 Random(SV)로 표현하였다. 제안된 기법의 스펙트럼 확산 효과를 평가하기 위해 확률이론의 표준편차 개념인 Harmonic Spread Factor(HSF)를 도입한다.

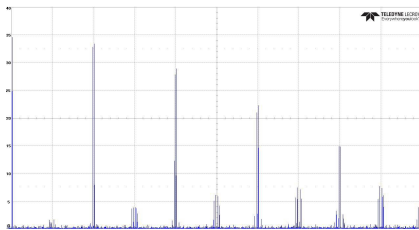
$$HSF = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j>1}^N (H_j - H_0)^2} \quad (4)$$

$$H_0 = \sum_{j>1}^N (H_j) / (N-1) \quad (5)$$

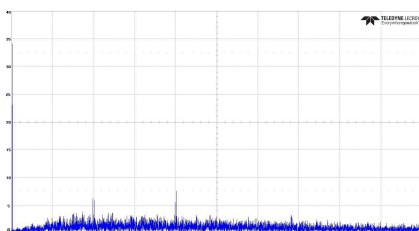
여기서 H_j 는 j번째의 개별 고조파의 크기를 말하며, H_0 는 'N'개의 고조파의 평균을 의미한다. 최상의 고조파 확산효과는 HSF가 0인 경우이며, 이는 이상적인 백색 잡음의 조건과 같다. 또한, 제안된 기법에 의해서 고조파 특성이 달라질 수 있기 때문에 Total Harmonic Distortion(THD)에 대해서도 분석하였다.

3. 실험 결과

제안한 기법의 타당성을 검증하기 위해 3.7kW 유도 전동기에 대한 실험을 진행하였으며 스위칭 주파수는 3kHz, 운전주파수 50Hz인 조건에서 0.2에서 0.9까지의 전압 변조 지수(MI)에 대해 고조파 특성을 확인하였다. 그림 2는 MI가 0.2인 조건일 때, SVPWM과 Random PWM 기법의 선간전압(Vab) 고조파 스펙트럼을 보여준다. 제안된 기법을 적용했을 때 집중된 고조파들을 분산시킬 수 있음을 확인할 수 있다.



(a) SVPWM



(b) Random PWM

그림 2. 고조파 스펙트럼 (MI:0.2)
(x-axis: 3[kHz/DIV], y-axis: 5[Vrms/DIV])

그림 3은 각각의 PWM 기법에서 MI에 대한 HSF를 보여준다. MI가 낮을수록 유효벡터의 위치를 랜덤하게 위치시킬 수 있는 자유도의 증가로 더욱 좋은 랜덤 특성을 보였고 SVPWM을 이용한 Random(SV)가 SPWM을 이용한 Random(S)보다

조금 더 우수한 특성을 보였다.

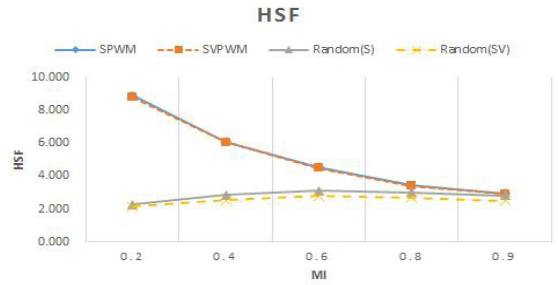


그림 3. Harmonic Spread Factor

표 1의 결과 제안된 Random PWM을 적용해도 THD에는 영향을 주지 않는 것을 확인하였다.

표 1. Total Harmonic Distortion

MI	Total Harmonic Distortion			
	SPWM	SVPWM	Random(S)	Random(SV)
0.2	236.08%	230.09%	235.68%	235.14%
0.4	157.61%	157.63%	157.76%	157.31%
0.6	121.49%	121.55%	121.45%	121.52%
0.8	95.53%	95.50%	95.54%	95.40%
0.9	76.86%	76.91%	76.85%	76.70%

4. 결론

본 논문에서는 Random 옴셋 전압을 이용하는 새로운 Random PWM을 제안한다. HSF를 사용하여 실험을 통해 제안된 기법의 유효성을 확인하였다. 스위칭 주파수가 일정한 상태에서 유효벡터 위치의 변화로 집중된 고조파들을 확산시키는 제안된 기법의 특성상 MI가 낮은 조건에서 더욱 우수한 랜덤 특성을 보였다. 또한, 동일한 MI 조건에서 제안된 기법을 사용함에 따른 THD의 변화는 거의 없음을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] C. M. Liaw and Y. M. Lin, C.H and K. I. Hwu, "Analysis, Design and Implementation of a Random Frequency PWM Inverter", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 15, No. 5, pp. 843-854, 2000.
- [2] Y. S. Lai " New Random Technique of Inverter Control for Common Mode Voltage Reduction of Inverter Fed Induction Motor Drivers", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 14, No. 4, pp. 1139-1146, 1999.
- [3] Bor Ren Lin, "Implementation of Non deterministic Pulse Width Modulation for Inverter Drives", IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System, Vol. 36, No. 2, pp. 482-490, 2000.
- [4] 나석환, 정영국, 임영철, "인버터 구동 시스템을 위한 새로운 공간 벡터 Random PWM 기법", 전력전자학회 논문지 제6권 제6호, pp. 525-537, 2001.