

Random PWM 기법을 이용한 무정전 전원장치의 노이즈 저감에 관한 연구

(A study on the Noise Reduction of Uninterruptible Power Supply using Random PWM Method)

엄태욱* · 이병순 · 이재학

(Tae-Wook Eom · Byung-Soon Lee · Jae-Hak Lee)

Abstract

In this paper, Uninterruptible Power Supply(UPS) Inverter system using Carrier Frequency Modulated PWM (CFM-PWM) is proposed to reduced harmonics and electromagnetic noise. Power conversion of UPS system is executed by the ON-OFF operation of semiconductor switching devices. However, this switching operation causes the surge and EMI which deteriorate the reliability of the UPS system. This Problems improved by Random PWM switching method.

The simulation results of the proposed system was compared with the system using conventional method using Matlab/Simulink. The results show that the output voltage and current harmonics of the proposed UPS system significantly decreased and spread into wide band area by the proposed Carrier Frequency Modulated PWM(CFM-PWM) method based on the Space Vector Modulation.

Key Words : Uninterruptible Power Supply, Carrier Frequency Modulated PWM, Space Vector Modulation

1. 서 론

무정전 전원장치는 교류전원을 사용하는 기기(부하)에 예고 없는 정전이나, 사고로 인하여 과도한 전압강하가 일어날 때, 사용 중인 기기에 항상 정상적인

전원을 공급하기 위해 설치되는 장치이다. 이와 같은 무정전 전원장치는 입력전압이 비정상적인 상황(정전, 순간전압강하 등)에만 배터리를 동작시켜 부하에 전원을 공급하는 오프라인(Off-line) 방식과, 정상적인 입력전압 공급 시에도 정류기(AC/DC)와 인버터(DC/AC)의 동작에 의해 정전압과 정주파수(CVCF)의 전압을 부하에 공급하다가 정전 시에는 배터리로 전원을 공급하는 온라인(On-line) 방식으로 구분된다 [1-2].

무정전 전원장치의 인버터에 적용되고 있는 고정주파수 PWM방식은 스위칭 주파수가 증가됨에 따라 스

* 주저자 : 동양미래대학교 자동화시스템과 조교수
* Main author : Dongyang Mirae Univ. Dept. of Automation System Assistant Professor
Tel : 02-2610-5187, Fax : 02-2610-1852
E-mail : twum0311@dongyang.ac.kr
접수일자 : 2014년 9월 2일
1차심사 : 2014년 9월 4일
심사완료 : 2014년 10월 2일

위칭 손실과 더불어 스위칭 주파수에서의 전자기적 노이즈의 발생을 초래한다. 이러한 스위칭 주파수의 정수배 고조파에서 발생하는 전자기적 노이즈는 출력 전압과 전류에 영향을 주게 되며, 이로 인해 무정전 전원장치 시스템의 신뢰성을 저하시킨다[3].

고정주파수 PWM 동작으로 인한 스위칭 주파수의 정수배 대역에 집중되는 잡음전력의 문제점을 해결하기 위해, PWM 주파수를 랜덤하게 가변하여 제어하는 RPWM(Random Pulse Width Modulation) 방식이 활발히 연구되고 있다[4-6].

본 논문에서는 무정전 전원장치의 인버터 시스템에서 발생하는 전자기적 노이즈의 원인이 되는 잡음전력 문제를 해결하기 위하여 RPWM 방식 중 캐리어 주파수 변조 PWM (CFM-PWM : Carrier Frequency Modulated PWM)기법을 적용한 인버터 시스템을 제안하고자 한다.

2. 제안된 시스템

2.1 무정전전원장치(UPS) 시스템의 구조

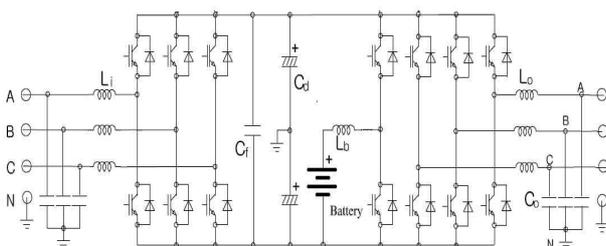


그림 1. 온라인 방식 무정전전원장치의 구조
Fig. 1. Structure of On-Line UPS

그림 1은 기존의 온라인(On-line) 방식 무정전 전원장치 시스템의 전체 블록도이다. UPS 시스템은 운전 시 온라인모드로 동작시켜 부하단에 정전압, 정주파수(CVCF)의 전력을 공급한다.

그림 2는 온라인 모드로 동작하는 무정전 전원장치의 동작흐름도를 나타내는 그림이며, 온라인 방식의 무정전 전원장치는 정류기와 인버터에 의해 이중 변환된 전력을 부하로 공급하는 구조로 되어 있다.

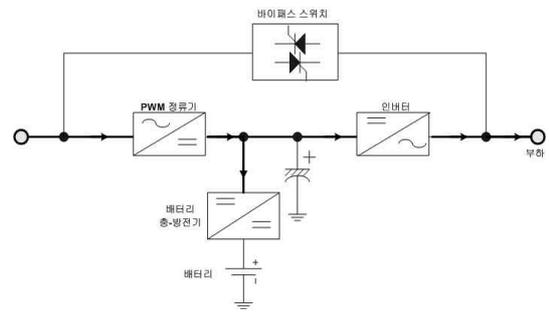


그림 2. 온라인모드 시 동작흐름도
Fig. 2. Diagram of operation in On-line mode

2.2 캐리어 주파수 변조 PWM (CFM-PWM) 방식

기존의 무정전 전원장치의 인버터 시스템에서는 고정주파수 PWM(Pulse Width Modulation)방식을 사용한다. 고정 주파수 PWM 스위칭 방식은 특정주파수 대역에서 전자기적 소음과 EMI 등의 발생 요인이 되는 강한 고조파 성분을 발생시킨다.

반면 RPWM(Random Pulse Width Modulation)방식은 강한 고조파 성분이 존재하는 특정 주파수대역의 고조파를 줄이기 위해 랜덤 수를 이용하여 PWM 펄스의 위치나 스위칭 주파수를 변경하는 방식이다.

고정 주파수 PWM과 RPWM 방식을 적용한 인버터의 출력전압과 전류의 고조파 스펙트럼의 특징은 그림 3과 같다.

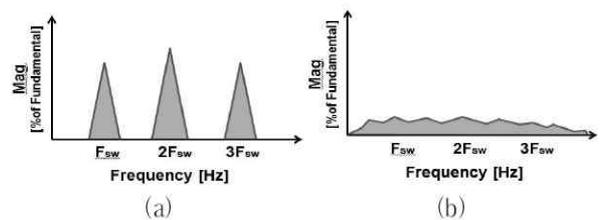


그림 3. 고조파 스펙트럼 분석
(a) 고정주파수 PWM 방식 (b) RPWM 방식

Fig. 3. Harmonic spectrum
(a) Fixed frequency PWM Method
(b) RPWM Method

그림 3 (a)는 고정주파수로 동작시켰을 때 스위칭에 의한 고조파가 특정 주파수대(스위칭 주파수의 정수

배의 주파수대에) 집중되는 것을 볼 수 있다. 반면 RPWM 방식은 그림 3 (b)와 같이 특정 주파수대에 있는 고조파 성분을 넓은 대역으로 분산시키는 특징이 있다.

본 논문에서는 RPWM 방식 중, PWM 삼각파와 캐리어의 주파수를 랜덤하게 변화시키는 방식인 캐리어 주파수변조 방식을 무정전 전원장치 인버터 시스템에 적용하였다.

캐리어 주파수 변조 PWM (CFM-PWM : Carrier Frequency Modulated PWM)은 랜덤한 주기를 가지는 톱니파(V_{SAW})를 지령치(V_{in})와 비교하여 펄스를 생성하는 방식이다.

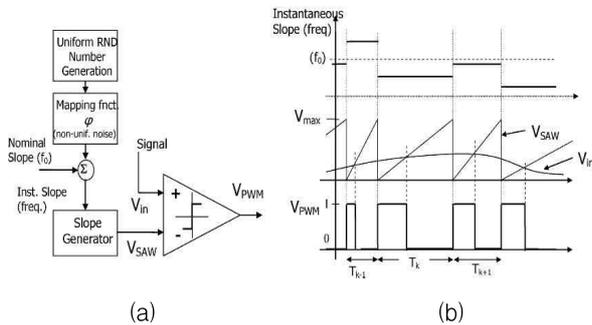


그림 4. CFM-PWM 동작원리
 (a) CFM-PWM 발생기 (b) CFM-PWM 펄스
 Fig. 4. Principle of CFM-PWM operation
 (a) CFM-PWM generator
 (b) CFM-PWM pulse

그림 4는 CFM-PWM 동작원리를 나타낸 그림이다. 그림 4 (a)는 CFM-PWM 발생기의 구조로, 랜덤 수 발생기(Uniform RND Number Generation)를 통해 나온 랜덤 수와 고정 스위칭 주파수와 더해져서 랜덤 주파수를 선정하게 된다. 이 랜덤 주파수는 톱니파 발생기 (Slope Generator)를 통해 랜덤한 주기를 가지는 톱니파(V_{SAW})가 생성된다. 이렇게 생성된 톱니파는 비교기를 이용하여 지령값(V_{in})과 비교하여 CFM-PWM 펄스가 만들어진다.

그림 4 (b)는 CFM-PWM 에 의해 만들어진 게이트 펄스파형을 나타내고 있다. 그림 4 (b)의 위의 파형은 랜덤 주파수를 나타내고 있으며, 랜덤 주파수에 의해

그림 4 (b)의 가운데 파형과 같은 랜덤한 주기를 가지는 톱니파(V_{SAW})를 생성하게 되고, 이때 발생하는 톱니파와 지령치(V_{in})를 비교하여 그림 4 (b)의 아래 파형과 같은 CFM-PWM 펄스가 생성된다.

3. 시스템 모델링

공간벡터변조기반의 캐리어 주파수 변조(CFM-PWM : Carrier Frequency Modulated PWM)방식을 적용한 무정전 전원장치 모델을 구현하기 위해 그림 5와 같은 CFM 캐리어 발생기를 설계하였다.

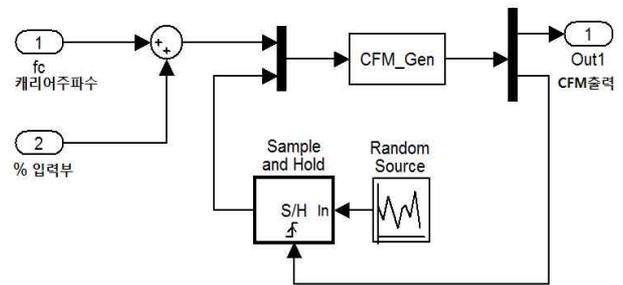


그림 5. CFM 캐리어 발생기 블록도
 Fig. 5. CFM carrier generator block diagram

일정한 삼각파 형태의 캐리어 주파수를 사용하는 기존 SVPWM 모의시험 모델과 달리 CFM방식은 랜덤한 캐리어 주파수를 사용한다.

CFM 방식은 RCF(Random Carrier Frequency)방식에서 캐리어 파형 형태를 삼각파에서 톱니파로 변경하여 구성한다. CFM 방식은 랜덤 수를 사용하여 삼각파의 주파수를 변경하는 방식이므로, 캐리어 주파수 입력부와 몇 %의 변화를 줄 것인지를 결정하는 퍼센트 입력부가 필요하다. 이 두 입력 값에 랜덤 수를 적용하여 랜덤한 주파수를 가지는 캐리어 파형을 생성하였다.

그림 6은 무정전전원장치 인버터시스템에 적용된 CFM 방식의 공간벡터변조(SVM) 블록도이다. 캐리어 발생기에서 생성된 랜덤한 톱니파와 공간벡터변조 시스템(SVM system)에서 생성된 지령과의 비교를 통해 각 상의 게이트 펄스가 만들어진다.

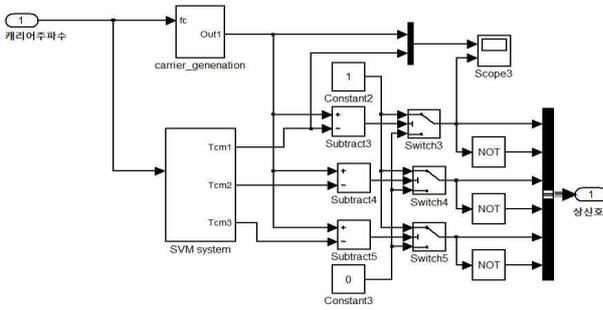


그림 6. CFM 방식이 적용된 공간벡터변조(SVM) 블럭도
Fig. 6. SVM block diagram using CFM

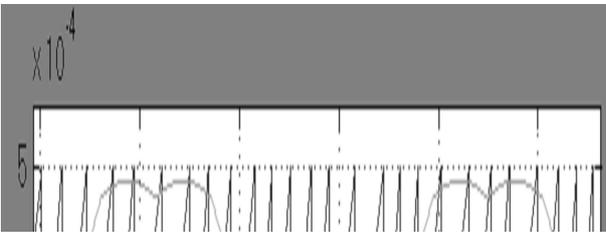


그림 7. 공간벡터 지령 및 CFM 캐리어 파형
Fig. 7. SVM command and CFM carrier waveform

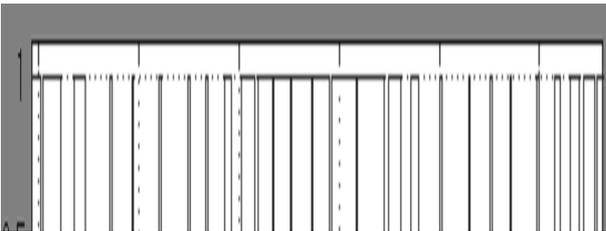


그림 8. CFM PWM에 의한 게이트 펄스
Fig. 8. A-phase gate pulse using CFM-PWM

그림 7은 CFM 캐리어 파형과 공간벡터 지령 파형을 나타내고 있으며, 그림에서 보는 바와 같이 CFM 캐리어 파형의 주기가 랜덤하게 변하는 것을 볼 수 있다.

그림 7에 나타난 CFM 캐리어 파형과 공간벡터 지령 파형의 비교를 통해 그림 8과 같은 CFM PWM에 의한 게이트 펄스가 만들어진다.

4. 시뮬레이션

본 논문에서 무정전 전원장치에 적용할 캐리어 주파수변조(CFM) 방식을 적용한 SVPWM 모의시험 모델은 Matlab/ Simulink를 사용하여 그림 9와 같이 구현

하였다. 구현된 모의시험 모델은 3상 380V, 60Hz, 10KVA 무정전 전원장치의 파라미터를 기준으로 구현하였으며, 인버터스위칭 주파수 7500Hz에서, 랜덤수를 넣어 스위칭 주파수의 $\pm 15\%$, $\pm 30\%$, $\pm 45\%$ 의 범위에서의 랜덤한 주파수가 발생되도록 하였다.

CFM PWM method - SVPWM

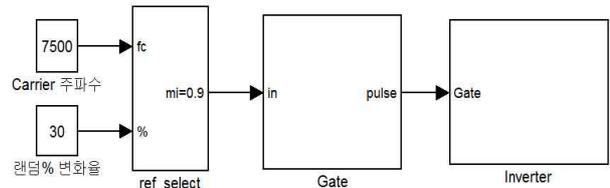


그림 9. CFM 방식 시뮬레이터블록
Fig. 9. Simulator block using CFM

시뮬레이션에 사용된 무정전 전원장치 인버터시스템의 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameter

항목	파라미터
UPS 용량	10KVA
DC 링크전압	700V
출력전원	3상 380V, 60Hz
스위칭 주파수	7500Hz
출력측 리액터	0.8mH
출력측 콘덴서	20uF
저항부하	3.6Ω

시뮬레이션 결과는 지령주파수 60Hz의 기본파 크기를 100%로 하고 0~30kHz 대역의 상대적인 고조파 크기를 분석하였다.

그림 10은 무정전 전원장치의 인버터시스템에 기준의 고정주파수 SVPWM 방식을 적용한 무정전 전원장치의 출력전류파형의 주파수 스펙트럼으로 인버터의 스위칭 주파수와 2고조파 주파수대역에서 고조파 성분이 각각 기본파크기의 3.5%와 1% 정도로 발생되는 것을 알 수 있다.

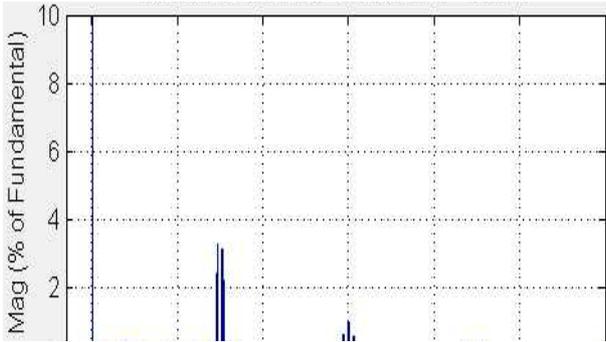


그림 10. 기존의 고정주파수 SVPWM 방식의 주파수 스펙트럼
Fig. 10. Frequency spectrum of conventional fixed frequency SVPWM

그림 11, 12, 13은 CFM SVPWM 방식을 적용한 무정전 전원장치의 출력전류파형의 주파수 스펙트럼으로 스위칭 주파수를 기준으로 하여 스위칭 주파수의 $\pm 15\%$, $\pm 30\%$, $\pm 45\%$ 의 주파수를 랜덤하게 변화시킨 것이다.

기존의 고정주파수 SVPWM 방식보다 스위칭 주파수의 정수배 주파수대역에서의 고조파 성분이 줄어든 것을 확인할 수 있다.

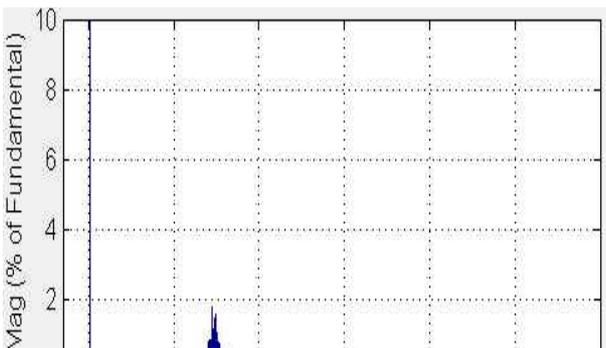


그림 11. CFM-SVPWM 방식의 주파수 스펙트럼 (CFM 15%)
Fig. 11. Frequency spectrum of CFM-SVPWM (CFM 15%)

그림 12에서 나타낸 스위칭 주파수를 기준으로 $\pm 30\%$ 의 주파수를 랜덤하게 변화시킨 주파수 스펙트럼에서 스위칭 주파수의 정수배에 해당되는 주파수 대역에서의 고조파 성분이 기본파크기의 0.5% 이하로 가장 많이 줄어든 것을 확인할 수 있다.

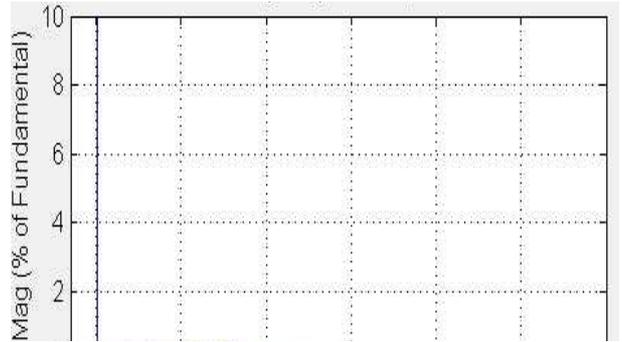


그림 12. CFM-SVPWM 방식의 주파수 스펙트럼 (CFM 30%)
Fig. 12. Frequency spectrum of CFM-SVPWM (CFM 30%)

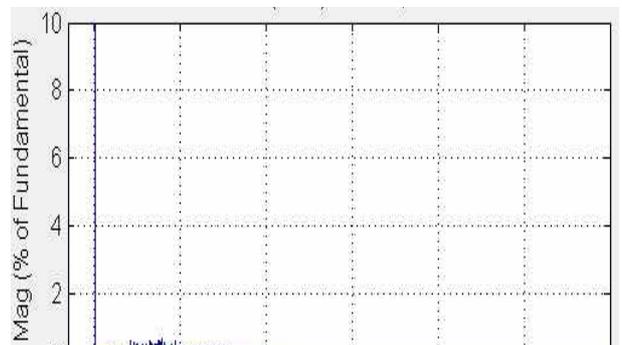


그림 13. CFM-SVPWM 방식의 주파수 스펙트럼 (CFM 45%)
Fig. 13. Frequency spectrum of CFM-SVPWM (CFM 45%)

5. 결 론

본 논문에서는 무정전 전원장치의 인버터부에 공간벡터기반 캐리어주파수변조 PWM(CFM-PWM)방식을 적용한 시스템을 제안하였다.

기존의 고정주파수 PWM방식과 캐리어주파수변조 PWM (CFM-PWM)방식의 출력에 대한 고조파 성분을 시뮬레이션을 통해 비교하였으며, 공간벡터기반 캐리어주파수변조 PWM(CFM-PWM) 방식은 기존의 고정주파수를 사용한 공간벡터변조방식에서 스위칭 주파수의 정수배에 해당되는 주파수 대역에서 집중되는 고조파 성분의 크기를 감소시키는 것을 확인하였다.

제안된 공간벡터기반 캐리어주파수변조 PWM (CFM-PWM)방식은 무정전 전원장치에서 발생하는

전자기적 노이즈의 발생을 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

References

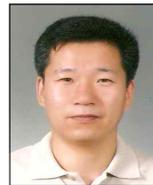
- [1] S.B. Bekiarov and A. Emadi, "Uninterruptible power supplies: classification, operation, dynamics, and control," in Proc. IEEE APEC'02, vol.1, 2002, pp.597-604.
- [2] F. Kamran and T. G. Habetler, "A novel on-line UPS with universal filtering capabilities," in IEEE Trans. PowerElectron., vol.13, 1998, pp.410 - 418.
- [3] C.M. Liaw and Y.M. Lin.C.H and K.I. Hwu, "Analysis, Design, and Implementation of a Random Frequency PWM Inverter", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 15, No. 5, pp. 843-854, Sep. 2000.
- [4] Michael M. Bech, Frede Blaabjerg, John K. Pedersen, "Random Modulation Techniques with Fixed Switching Frequency for Three-Phase Power Converters", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 15, No. 4, jul. 2000.
- [5] A. M. Trzynadlowski, F. Blaabjerg, J. K. Pedersen, R. L. Kirlin, and S. Legowski, "Random Pulse Width Modulation Techniques for Converter-Fed Drive Systems - A Review", IEEE Trans. on IA, Vol. 30, No. 5, pp. 1166-1175, Sep/Oct. 1994.
- [6] S. Y. R. Hui, I. Oppermann, and S. Sathiakumar, "Microprocessor based random PWM schemes for DC-AC power conversion." IEEE Trans. Power Electron., vol.12, no. 2, pp.253-260, 1997.
- [7] S.B. Bekiarov, A. Emadi, "A new on-line single-phase to three-phase UPS topology with reduced number of switches," in IEEE PESC'03, vol.1, pp.451-456, 2003.
- [8] Philip F. Okyere. "Computer aided analysis and reduction of conducted EMI in switching-Mode Power Supply." IEEE PESC'98. Vol.1, May17-22. pp. 924~928, 1998.

◇ 저자소개 ◇



엄태욱(嚴泰昱)

1968년 3월 11일생. 1990년 중앙대학교 전기공학과 졸업. 1992년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2008년 동대학원 전자전기공학부 졸업(박사). 현재 동양미래대학교 자동화시스템과 조교수.



이병순(李炳順)

1962년 11월 19일생. 1988년 중앙대학교 전기공학과 졸업. 1991년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 8월 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 서일대학교 전기과 강의전담교수.



이재학(李在鶴)

1965년 3월 29일생, 1989년 중앙대학교 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1990년~1996년 (주)이화전기 기술연구소. 1999년~현재 청암대학교 소방안전관리과 부교수.