

단상 5-레벨 cascade 인버터를 위한 멀티 캐리어 RPWM기법

김종남*^o 임영철* 정영국** 김영철**

*전남대학교 전기공학과 **대불대학교 컴퓨터정보공학부

A Multi Carrier RPWM Technique for the Single-Phase 5-Level Cascaded Inverters

*^oJ.N. Kim *Y.C. Lim **Y.G. Jung and **Y.C. Kim

*Chonnam National University **Daebul University

ABSTRACT

본 연구에서는 단상 5-레벨 cascaded 인버터의 출력 전압 및 전류의 파워 스펙트럼을 광대역으로 분산시키기 위한 멀티 캐리어 RPWM(Random PWM)기법을 제안하였다. 제안된 방법은 고정 주파수의 멀티 캐리어 대신에 랜덤한 주파수의 삼각파 캐리어를 사용하고 있다. PD(Phase Disposition)방식 및 H(Hybrid)방식의 멀티 캐리어 RPWM을 단상 cascade H-브리지 멀티 레벨 인버터에 적용하였다. 각 방식에 따른 출력 전압과 전류 파형 및 고조파 스펙트럼을 PSIM에 의하여 확인하였으며, 제안된 방식의 타당성을 입증할 수 있었다.

1. 서 론

최근 전력계통에서 요구되는 고압 대용량 인버터 시스템의 구현에 적합한 전력전자 변환기로서 멀티 레벨 인버터가 주목받고 있다. 멀티 레벨 인버터는 동일한 정격을 갖는 2-레벨 인버터와 비교하여 낮은 dv/dt 와 저 스위칭 주파수 그리고 저 정격의 스위칭 소자라도 대용량의 전력 변환 시스템을 구현할 수 있는 장점이 있다. 또한 전압 레벨의 증가에 따라서 보다 작은 스위칭 주파수에서도 양호한 출력의 고조파 특성을 얻을 수 있으며, EMI (Electro-Magnetic Interference) 문제 역시 해결 가능하다^[1]. 멀티 레벨 인버터는 NPC(Neutral Point Clamped)방식과 Flying Capacitor 방식 그리고 단상 H-브릿지로 구성된 Cascade 방식으로 구분된다^[2-3].

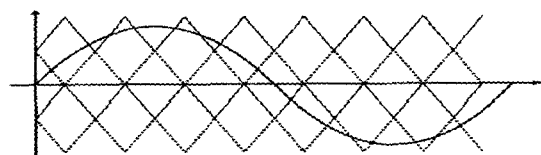
이와 같은 멀티 레벨 인버터의 펄스폭 변조를 위해서 일반적으로 멀티 캐리어 PWM 기법과 공간벡터 기법이 적용하고 있다. 특히 멀티 캐리어 방식은 구현과 캐리어 배치에 대한 이해가 쉽기 때문에 일반화 되어져 가는 추세이다. 멀티 캐리어 PWM기법은 기준파와 비교하는 고정 주파수 캐리어의 배치 방법에 따라서 APOD (Alternative Phase Opposition Disposition),

POD (Phase Opposition Disposition), PD(Phase Disposition), H(Hybrid), PS (Phase Shifted)등으로 분류 가능하다^[2-4]. 그러나 고정 주파수 캐리어 PWM 기반의 멀티 레벨 인버터는 스위칭 주파수의 정수배 최대 고조파를 출력 전압과 전류에 발생하여, 교류 모터 구동시스템의 경우에는 스위칭 소음 문제를 발생하기도 한다^[5-7].

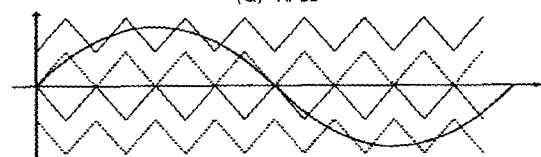
본 연구에서는 이상의 문제점을 해결하기 위하여 멀티 캐리어 PWM기법을 제안하였다. 멀티 캐리어 RPWM기법은 PD와 H방식을 채택하였으며, 단상 5-레벨 cascade 인버터^[8-10]에 적용하여 출력 전압 및 전류 스펙트럼의 광대역화 특성을 개선하였다. 특히 H방식은 PD방식보다 고조파 스펙트럼의 광대역화 특성이 우수하였으며 제안된 방법은 PSIM에 의하여 파형 및 스펙트럼의 광대역화 특성을 검토하였다.

2. 종전의 멀티 캐리어 PWM기법^[2-4]

그림 1은 고정 주파수를 갖는 종전의 멀티 캐리어 PWM발생원리를 설명하고 있다. 기준 정현파와 고정 주파수의 캐리어를 다단으로 비교하여 해당 캐리어 수 만큼의 PWM펄스를 발생한다. 우선 그림 1(a)는 APOD 방식, 그림 1(b)는 POD방식, 그림 1(c)는 PD방식, 그림 1(d)는 H방식 그리고 그림 1(e)는 PS방식이다.



(a) APOD



(b) POD

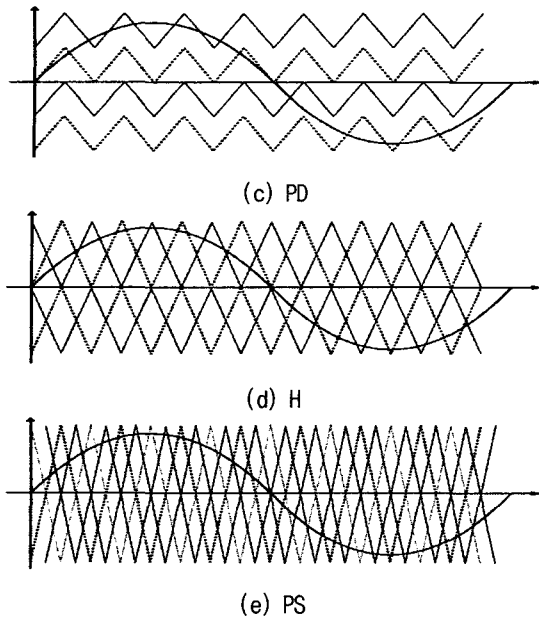


그림 1 종전의 멀티 캐리어 PWM방식
Fig.1 The family of conventional multi-carrier PWM

각 방식은 5-레벨을 기준으로 할 때, APOD는 각각의 캐리어가 반대 위상으로 교차 배치되고 있으며, POD는 기준파의 위쪽 캐리어와 아래쪽 캐리어가 반대 위상이다. 그리고 PD방식은 모든 캐리어는 서로 동일한 위상의 배치를 갖고 있으며, H방식은 위쪽 2캐리어와 아래쪽 2캐리어를 한 그룹으로 하여 각각 위상이 반대이며 서로 중첩되어져 있다. 마지막으로 PS방식은 각각의 캐리어가 90°위상차로 배치된 형태이다.

3. 제안된 멀티 캐리어 Random PWM기법

그림 2는 본 연구에서 제안된 Random 캐리어 주파수 PWM기법을 나타낸 것이다. 사실상 APOD, POD 그리고 PD등은 서로 비슷한 위상 배치를 하고 있으며 또한 RPWM을 적용한 후의 파워 스펙트럼이 거의 동일하기 때문에, 구현의 관점에서 용이한 PD법을 이들 대표로 다루기로 한다.

H방식은 앞의 방식들과는 캐리어의 배치법이 상이하며 따라서 본 연구에서는 PD와 H방식 2종류만을 멀티 캐리어 RPWM기법에 적용한다.

멀티 캐리어 RPWM기법은 종전의 고정 주파수 방식과 구조적으로 동일하다. 그러나 그림 2(a),(b)에서 보듯이 캐리어의 주파수가 매 주기마다 랜덤하게 변하기 때문에 출력 전압 또는 전류에는 특정 주파수의 고조파가 집중되지 않고, 광대역으로 분산된다. 따라서 RPWM을 적용하기 전과 후의 전체 고조파 에너지는 동일하다.

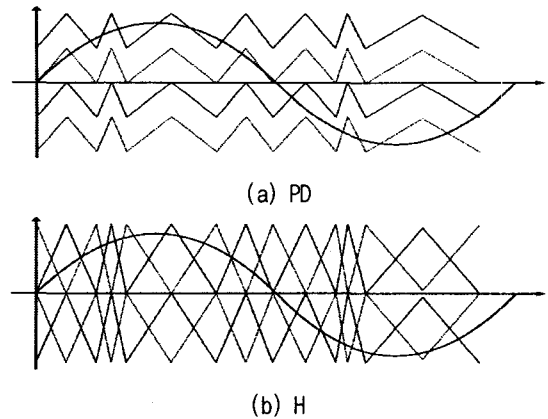


그림 2 제안된 멀티 캐리어 RPWM
Fig.2 The proposed multi-carrier RPWM

4. 시스템 구성

그림 3은 본 연구에서 제안된 PD와 H방식의 RPWM 기법을 적용한 단상 5-레벨 cascade 인버터를 나타내고 있다. 단상 cascade 인버터는 H-브리지 4개가 직렬로 연결되어져 있으며, 각각의 출력은 변압기로 연결되어져 있다. 변압기 2차측 총 출력은 H-브리지 각각의 출력의 합과 같다. 변압기는 그림 3이 태양광 발전이나 무정전 전원장치와 같이 직류전원 V_d 가 일정한 경우, 권선비 a 를 조절하여 교류 출력 V_o 를 가변할 수 있으며, 또한 변압기 1차측과 2차측의 절연 효과도 얻을 수 있다. 본 연구에서는 각 H-브리지 cell 직류전압은 24V 배터리를 사용하였다.

그림 4는 전력전자 전용 시뮬레이터인 PSIM에 의해 그림 3의 시스템을 모델링한 것이며, Random 주파수의 캐리어 발생부는 PSIM DLL(Dynamic Library Link)로 코딩되었다.

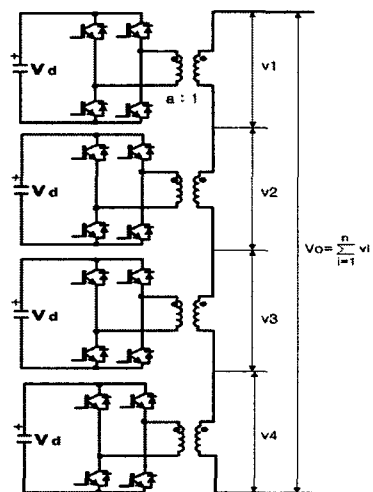


그림 3 단상 5-레벨 cascade 인버터
Fig.3 single phase 5-level cascaded inverter

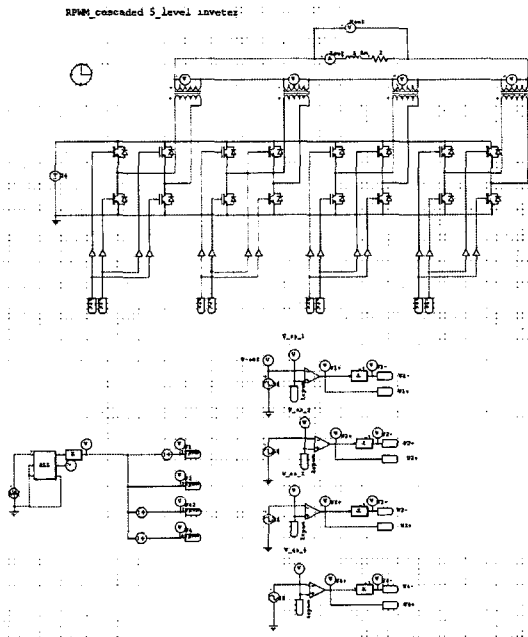


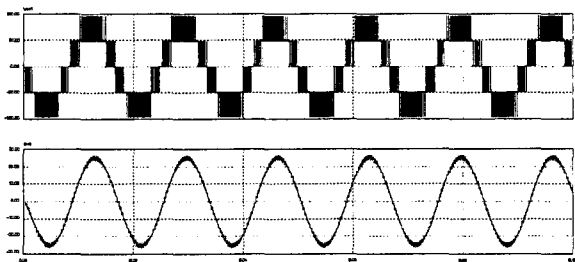
그림 4 제안된 시스템의 PSIM 모델
Fig.4 PSIM Model of the proposed system

5. 결과 및 고찰

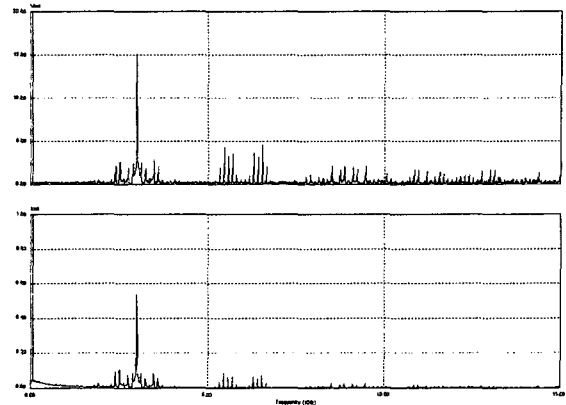
5.1 PD방식

그림 5와 그림 6은 고정 주파수의 PD방식과 제안된 Random 주파수 캐리어 PD방식에 대한 PSIM 시뮬레이션 결과이다. 먼저 그림 5(a)로 나타낸 출력 전압 및 전류 파형에 대한 스펙트럼 분석 결과인 그림 5(b)를 살펴보면, 고정 주파수 PWM의 경우는 전압과 전류에 3kHz 스위칭 주파수의 1배 고조파, 2배 고조파, 3배 고조파 등 정수배 고조파의 최대 성분이 존재하고 있음을 알 수 있다. 여기서 각 스펙트럼의 x축은 주파수(KHz)를 나타내며 5kHz/div의 스케일을 갖는다.

그림 6은 RPWM에 대한 결과로서 캐리어는 중심 주파수 3kHz를 기준으로 하여 $\pm 2\text{kHz}$ 대역폭을 갖는 삼각파를 사용하고 있다. 그림 6(b)에서 보는 바와 같이 PD방식 RPWM은 그림 5(b)와 비교하여 전압 및 전류의 스펙트럼이 광대역으로 분포하고 있음을 알 수 있다.

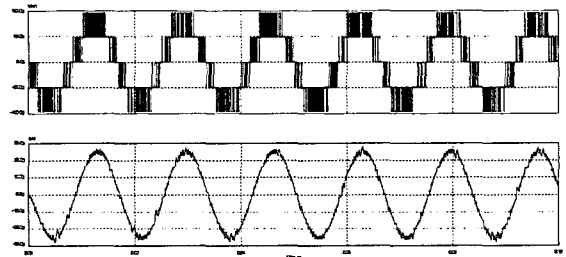


(a) voltage and current

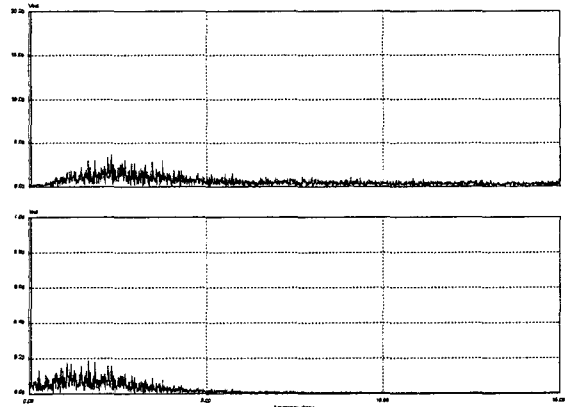


(b) voltage and current spectrum

그림 5 고정 주파수 PWM의 PD방식
Fig.5 PD Type with the fixed frequency PWM



(a) voltage and current



(b) voltage and current spectrum

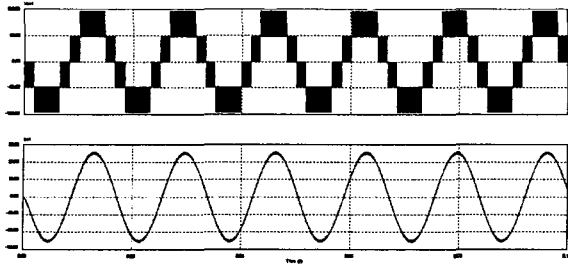
그림 6 RPWM의 PD방식

Fig.6 PD type with the RPWM

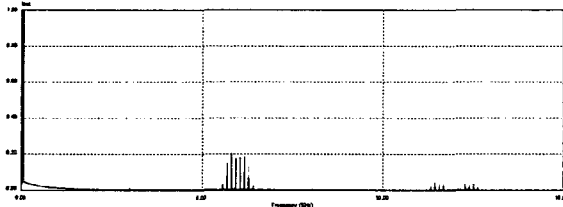
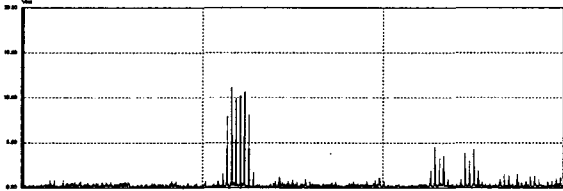
5.2 H방식

그림 7은 고정 주파수 H방식의 경우이며 전류파형의 관점에서 고정 주파수의 PD방식보다 양호하며 스펙트럼은 PD방식과는 다른 분포를 하고 있다. 즉 3kHz 스위칭 주파수 성분은 거의 존재하지 않으며 대신 2배 주파수, 4배 주파수의 최대 성분이 분포를 하고 있다.

그림 8은 H방식의 RPWM의 결과를 나타내고 있다. H 방식의 RPWM의 전류 파형은 고정 주파수의 전류 파형과 유사하면서도 그림 8(b)에서 보는 바와 같이 고조파 스펙트럼은 임의의 주파수대에 집중되지 않고 광대역화 분포되어 있다.



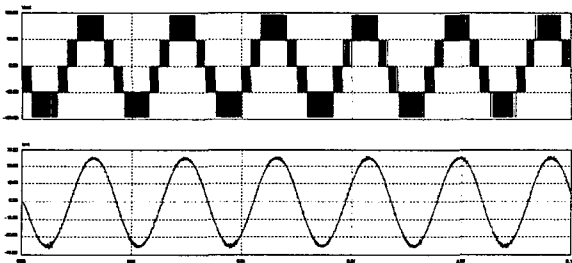
(a) voltage and current



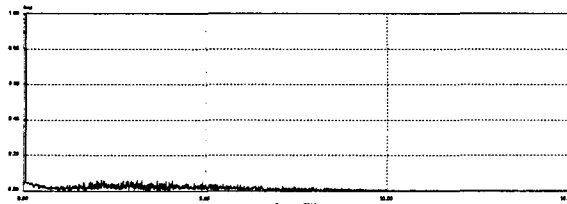
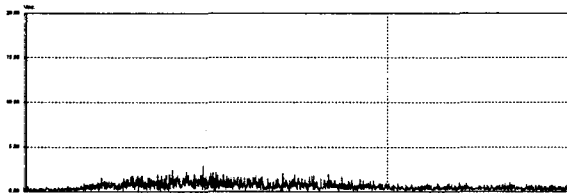
(b) voltage and current spectrum

그림 7 고정 주파수 PWM의 H 방식

Fig.7 H type with the fixed frequency PWM



(a) voltage and current



(b) voltage and current spectrum

그림 8 RPWM의 H방식

Fig.8 H type with the RPWM

6. 결 론

본 연구에서는 멀티 캐리어 RPWM기법 중 대표적인 몇가지 방법을 단상 cascade H-브리지 인버터에 적용하였다. 종전의 APOD, POD방식은 캐리어의 배치와 랜덤 적용 후의 스펙트럼의 분포가 거의 유사하기 때문에 캐리어 배치가 간단한 PD방식과 H방식을 RPWM기법에 적용하였다. H방식은 전류의 파형과 스펙트럼의 광대역화 특성이 PD방식보다 우수하였다. 특히 H방식 RPWM 기법은 고정 주파수 PWM방식과 같은 전류파형을 보이면서도 스펙트럼의 광대역화 분산 효과가 매우 우수하였다.

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

참 고 문 헌

- [1] 김준성, 김태진, 강대욱, 현동석, "출력 상전압을 이용한 멀티-캐리어 PWM기법의 간단한 고조파 분석방법", 대한전기학회 논문지, 52B-7-8, pp.352-359, 2003.
- [2] V.G. Agelidis and M. Calis, "Application specific harmonic performance evaluation of multicarrier PWM techniques", in Proc. IEEE PESC'98, 1998, pp.172-178.
- [3] H.Wang, R. Zhao, Y. Deng and X. He, "Novel carrier based PWM methods for multilevel inverter", in Proc. IEEE IECON'03, 2003, pp.2777-2787.
- [4] D.G. Holmes and T.A. Lipo, Pulse width modulation for power converters-principles and practice, A John Wiley & Sons, INC., publication, 2003.
- [5] 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.
- [6] K. Borisov and A. Trzynaldowski, "Experimental investigation of a naval propulsion drive model with PWM based attenuation of the acoustic and electromagnetic noise", in Conf. Rec. of IEEE IECON'03, 2003, pp.12-17.
- [7] K.A. Almarr, J.C. Balda and K. Carr, "Optimized selection of the random PWM switching frequencies in a limited pool", in Conf. Rec. IEEE APEC'00, 2000, pp.569-573.
- [8] Y. Shrivastava and S.Y. Hui, "Analysis of random PWM switching methods for three-level power inverters", IEEE Trans., Power Electron., vol.14, no.6, pp.1156-1163, 1999.
- [9] C.K. Lee, S.Y.H. Hui and H.S.H. Chung, "A Random voltage vector switching scheme for 3-level inverters", in Conf. Rec. IEEE PESC'00, 2000, pp.27-32.
- [10] Y. Shrivastava, C.K. Lee, S.Y. Hui and H.S.H. Chung, "Comparison of RPWM and PWM space vector switching schemes for 3-level power inverters", in Conf. Rec. IEEE PESC'01, 2001, pp.138-145.