

매트릭스 컨버터의 그래픽적 방법을 이용한 PWM 방법

부한영, 조영훈
건국대학교

A PWM Modulation Using Graphical Method For Matrix Converter

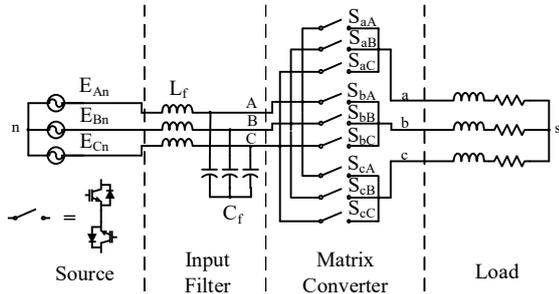
Hanyoung Bu , Younghoon Cho
Kokuk Univ.

ABSTRACT

본 논문에서는 직접형 매트릭스 컨버터에 적용할 수 있는 캐리어 베이스 변조 방법을 제안한다. 또한 불연속 PWM 변조 방법을 적용하여, 스위칭 주기 내에서 스위칭 횟수를 줄일 수 있는 방법을 제시하였다. 해당 방법을 두 개의 모드에서 각각 다른 육상 전압을 적용하여 그 특성을 알아보았다.

1. 서론

본 논문에서는 매트릭스 컨버터의 모델레이션 방법 중 하나인 캐리어 베이스 방법을 이용하여 모의 실험을 통해 그 차이점을 비교, 분석하고 알아보았다.



2. 매트릭스 컨버터의 구조 및 원리

2.1 기본 동작 원리

매트릭스 컨버터는 3x3 행렬 구조의 스위치 배열로 이루어져 있으며, 각 스위치는 총 9개의 back to back 구조 양방향 스위치로 이루어져 있어 양방향 전력 전달이 가능하다.

2.2 전통적인 캐리어 베이스 변조 방법

전통적인 캐리어 베이스 변조 방법은 출력전압 합성에 이용되는 자유도인 육상 전압을 아래 식과 같이 상전압 지령에 더해줌으로써 출력 극전압이 얻어지게 된다.

$$V_{sn1} = \frac{(MAX+MIN) - (\max + \min)}{2} \quad (2)$$

$$V_{sn2} = \begin{cases} \frac{((MAX+MID) - (\max + \min))}{2} \\ \frac{((MID+MIN) - (\max + \min))}{2} \end{cases} \quad (3)$$

위 변조 방법에 따른 캐리어 파형과 스위칭 패턴은 그림 1과 같이 나타나게 되는데, 스위칭 주기 내에서 스위칭 횟수는 총 6번 나타나게 된다.

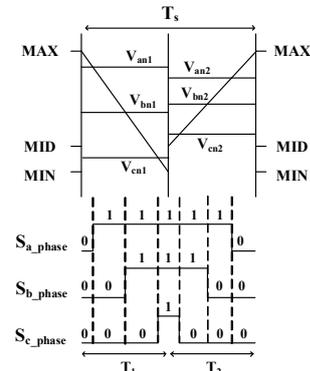


그림 1 전통적인 캐리어 베이스 변조 방법의 캐리어 파형, 스위칭 패턴

3. 불연속 PWM 캐리어 베이스 변조 방법

3상 중 두 상만을 스위칭하여 스위칭을 줄이도록 하는 방법인 불연속 변조 방법(DPWM)을 사용하여 스위칭 횟수 및 스위칭 손실을 줄일 수 있게 된다.

전통적인 캐리어 베이스 변조 방법에 DPWM을 적용하여 그 특성을 알아보았다.

3.1 모드 1

모드 1에서는 육상 전압을 식 (4), (5)의 관계를 이용하여 DPWM과 유사하도록 변형시켜 스위칭 횟수를 저감시킬 수 있다.

$$V_{sn1} = V_{sn2} = MAX - \max \quad (4)$$

$$V_{sn1} = V_{sn2} = MIN - \min \quad (5)$$

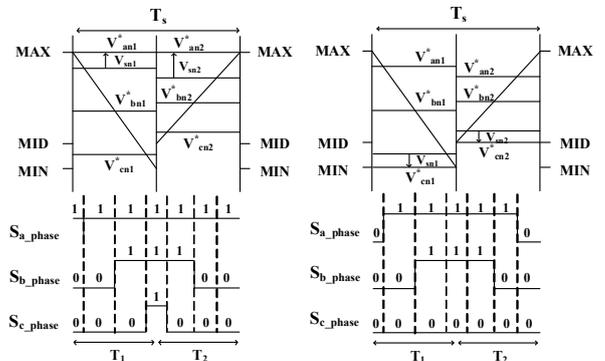


그림 2 모드 1에서의 각각 식 (4), (5)를 적용한 캐리어 파형, 스위칭 패턴

그림 2에서 확인할 수 있듯이 식 (4), (5)를 적용했을 경우

스위칭 주기 내에서 그림 1에 비해 스위칭 횟수가 2회 감소한 것을 확인할 수 있다.

3.2 모드 2

모드 2에서는 유효 전압 벡터를 스위칭 주기의 중앙에 위치시키기 위해 식 (6), (7)의 옅색 전압을 주입한다.

$$V_{sn1} = MIN - \min, \quad V_{sn2} = MAX - \max \quad (6)$$

$$V_{sn1} = MAX - \max, \quad V_{sn2} = MIN - \min \quad (7)$$

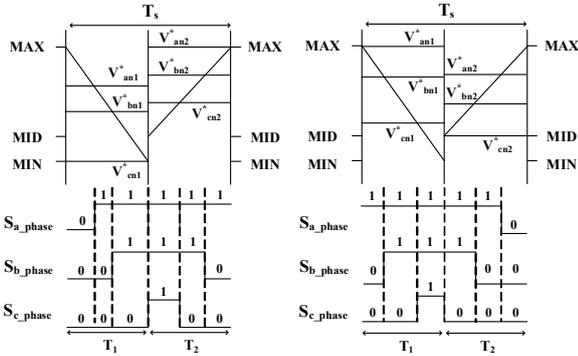


그림 3 모드 2에서의 각각 식 (6), (7)를 적용한 캐리어 파형, 스위칭 패턴

그림 3에서 확인할 수 있듯이 식 (6), (7)를 적용했을 경우 스위칭 주기 내에서 그림 1에 비해 스위칭 횟수가 1회 감소한 것을 확인할 수 있다.

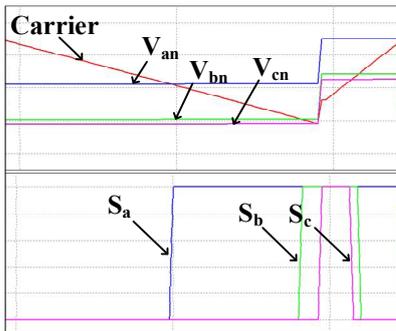


그림 3 식 (6)을 적용한 방법의 모의 실험 캐리어 파형, 스위칭 패턴

4. 입력 필터 설계

매트릭스 컨버터는 비교적 많은 스위치의 온,오프 스위칭으로 인해 dv/dt특성이 두드러지게 나타난다. 따라서, 입력 전류에서 나타나는 스위칭 고조파를 줄이고 전체 시스템을 보호하기 위해 입력 필터가 반드시 필요하게 된다.

입력 필터의 커패시터가 출력단 무효전력의 값과 동일하다면, 입력단에는 유효전력 성분만 남게되어 역률 1을 달성할 수 있다. 본 논문에서는 입력단 목표 역률을 0.95로, 약간의 여유를 두어 계산하였다.

$$Q_{3\phi, out} \times \tan(\cos^{-1}(0.95)) = Q_{3\phi, var} \quad (8)$$

식 (8)을 이용하면 필터가 담당해야하는 무효전력의 양을 구할 수 있고, 이를 3개의 필터 커패시터가 담당해야 하기 때문에 식 (9)를 통해 그 값을 구할 수 있다.

$$C_f = \frac{Q_{3\phi, var}}{2 \times \pi \times 60 \times 220^2} \quad (9)$$

입력 LC필터의 공진 주파수는 2kHz로 설정하였으며, 식

(10)을 통해 필터 인덕턴스 값을 최종적으로 구할 수 있다.

$$L_f = \frac{1}{C_f \times (2 \times \pi \times 2k)^2} \quad (10)$$

4.1 모의 실험

입력 필터가 입력 역률에 미치는 영향을 알아보기 위해 식 (3)을 적용한 DPWM 방법을 사용하였다. 그림4, 그림5의 파형을 비교해보면 입력 필터의 유무에 따라 입력 전류의 THD 차이가 극명하게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 그림 5의 입력 전압과 전류의 역률이 약 95%의 수준으로 나타나고 있다. 그러나 스위칭을 하지 않는 구간에서는 전류 파형에 약간의 왜곡이 있는 것을 확인할 수 있다.

표 1 모의 실험 사양 및 파라미터

입력 상전압(rms)	220(V)
출력 전력	3.7(kW)
입력 필터 인덕턴스	0.3(mH)
입력 필터 커패시턴스	21(uF)
필터 댐핑저항	10(Ω)
출력 주파수	30(Hz)
출력 전압(rms)	110(V)
스위칭 주파수	10(kHz)

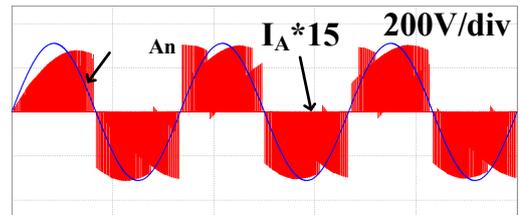


그림 4 식(3)을 적용한 DPWM 방법에 입력 필터가 없는 파형

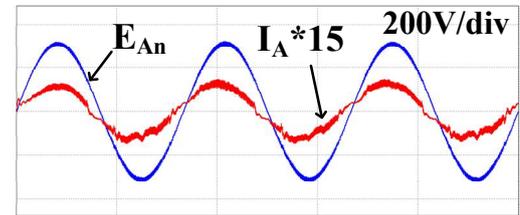


그림 5 식(3)을 적용한 DPWM 방법에 입력 필터를 추가한 파형

5. 결론

본 논문에서는 캐리어 베이스 변조 방법을 사용하여 스위칭 주기 내에서 스위칭 횟수를 줄일 수 있는 불연속 PWM 변조 방법을 제안하였다. 그리고 입력 필터 설계를 통해 전체 시스템의 안정성을 높이고, 입력 전류의 파형을 개선할 수 있을 것을 모의 실험 결과를 통해 알아보았다.

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2017R1C1B2009425)

참고 문헌

- [1] Chengzhu Piao, John Y. Hung, "A Unified Carrier Based Modulation Method for Direct Matrix Converter", 2015 IEEE EIT, pp. 122 128, 2015, May.
- [2] Ahmet M. Hava, Russel J. Kerkman, Thomas A. Lipo, "Simple Analytical and Graphical Methods for Carrier Based PWM VSI Drives", IEEE Transactions on power electronics, Vol. 14, No. 1, pp. 49 61, 1999, Jan.