

3상 인버터의 비선형 부하 조건에 따른 DPWM 기법의 효율 분석 및 손실 저감 방안

이선우, 이정용, 최승일, 조영훈
건국대학교 전력전자 연구실

Efficiency Analysis and Loss Reduction Method of DPWM Techniques on Nonlinear Load Conditions of Three-Phase Inverter

Sunwoo Rhee, Jungyong Lee, Seungil Choi, Younghoon Cho
Power Electronics Lab., Konkuk Univ.

ABSTRACT

본 논문에서는 3상 인버터에 다양한 전압 변조 기법들을 적용하여 여러 비선형부하 조건에서의 전력용 반도체 소자의 손실을 비교 및 분석한다. Discontinuous PWM(DPWM) 기법을 구현하고, 비선형부하 조건에서 스위치의 최저 손실이 발생하는 DPWM 동작 조건을 선정한다. 모의실험을 통해 비선형부하 종류에 따른 최적의 DPWM 기법을 제안한다.

1. 서 론

전력 사용량 및 높은 품질의 전원을 필요로 하는 장비가 증가함에 따라 부하에 높은 신뢰성을 갖는 전원에 대한 연구가 이루어지고 있다. 전력 수용가에 사용하는 부하중에선 선형적인 부하보다 전력 반도체 소자를 이용한 비선형 부하가 주로 사용된다. 비선형 부하는 고조파, 노이즈 등의 발생으로 기기의 손실 증가는 물론 전원 측에 연결된 다른 부하에 영향을 주어 시스템의 신뢰도나 전력품질저하의 원인이 되어 이를 줄이기 위한 연구가 진행되어 왔다.

대표적인 비선형부하는 다이오드 정류기가 있으며, 정류된 전류는 높은 고조파 전류를 포함하고 있으며 전류의 첨두치를 상승시킨다. 이에 따라 스위치 손실이 증가하며, DPWM 기법을 이용하여 효율을 개선할 수 있다. 본 논문에서는 다양한 비선형부하 종류에 따른 스위치 손실 및 모의실험 결과를 통해 최적의 DPWM 기법을 선정하였다.^[1]

2. DPWM을 적용한 스위치 손실 분석

2.1 비선형부하

본 논문에서는 그림 1과 같이 3상 인버터에 비선형부하를 다이오드 정류기와 인덕터, 커패시터, 저항을 이용하여 구성하였다. C_{dc} 는 DC링크 단 커패시터이며 L , C , R 은 각각 다이오드 정류기 측 인덕터, 커패시터, 저항이다. 비선형부하의 L과 C의 유무에 따라 부하 고조파 전류의 특성이 다르게 나타난다.

2.2 DPWM 방식이 적용된 3상 인버터 시스템

일반적으로 사용되는 3상 전압 변조 방식은 스위칭 한 주기

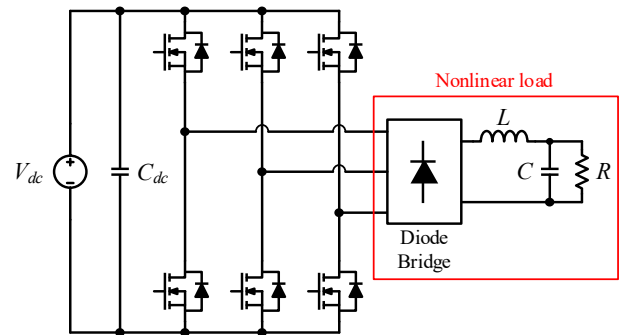


그림 1 비선형 부하 조건 3상 인버터 회로도
Fig. 1 3-phase inverter with nonlinear load

내에서 모든 전력용 반도체 소자가 동작하는 Continuous PWM (CPWM) 방식이다. 하지만 스위칭 손실 저감을 목적으로 3상의 스위치 중 두 상만 스위칭 하도록 하는 DPWM 방식도 사용된다. 3상의 대칭성을 유지하기 위해 한 상의 스위치 소자는 360°내에 총 120°구간동안 스위칭 불연속 구간(온 또는 오프상태 유지)을 가지는 전압 변조 방식을 DPWM이라 칭한다.

상전압 지령치의 크기가 최대일 때 60°씩 스위칭 불연속 구간을 가지는 방식이 가장 대표적인 DPWM 방식이며, 이를 ‘60DPWM’이라 한다. 식 (1)은 각 상마다 120°의 위상차를 갖는 3상 상전압 지령을 나타낸다.

$$\begin{aligned} v_{as}^* &= M_i \frac{V_{dc}}{\sqrt{3}} \sin(\omega t) \\ v_{bs}^* &= M_i \frac{V_{dc}}{\sqrt{3}} \sin(\omega t - 2\pi/3) \\ v_{cs}^* &= M_i \frac{V_{dc}}{\sqrt{3}} \sin(\omega t + 2\pi/3) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 v_{as}^* , v_{bs}^* , v_{cs}^* 는 상전압 지령, M_i 는 전압 변조 지수, V_{dc} 는 DC링크 단 전압을 의미한다.

60DPWM 방식의 옴셋 전압은 식 (2)와 같이 정의된다. 여기서 V_{offset} 은 옴셋 전압을 의미한다.

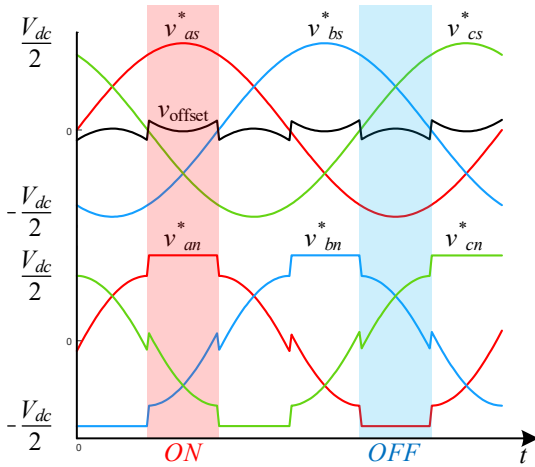


그림 2 60 DPWM 방식의 오프셋 전압과 지령 전압
Fig. 2 Offset and reference voltage of DPWM

$$v_{\text{offset}} = \begin{cases} \frac{V_{dc}}{2} - v_{\text{max}}, v_{\text{max}} \geq v_{\text{min}} \\ -\frac{V_{dc}}{2} - v_{\text{min}}, v_{\text{max}} < v_{\text{min}} \end{cases} \quad (2)$$

최종적으로 극전압 지령은 식 (3)과 같이 중성점에 오프셋 전압을 주입한 형태로 나타낼 수 있다. 여기서 v_{an}^* , v_{bn}^* , v_{cn}^* 은 극전압 지령을 의미한다.

$$\begin{aligned} v_{an}^* &= v_{as}^* + v_{\text{offset}} \\ v_{bn}^* &= v_{bs}^* + v_{\text{offset}} \\ v_{cn}^* &= v_{cs}^* + v_{\text{offset}} \end{aligned} \quad (3)$$

그림 2는 60DPWM 방식의 지령 전압과 오프셋 전압을 나타낸다. 지령이 최대인 60°구간에는 스위치를 ON시키고, 지령이 최저인 60°구간에는 스위치를 OFF시킨다.

마찬가지로 60(+30)DPWM, 60(-30)DPWM은 스위칭 상태를 각각 30°, -30°만큼의 위상을 지연시켜 고정한다. 30DPWM은 한 주기에 30°씩 4구간에 걸쳐 스위칭 상태를 고정시키는 방식이다.^[2]

2.3 모의실험 결과

PLECS 툴을 이용하여 3상 인버터에서 다양한 비선형부하 조건에서 SVPWM과 DPWM을 적용했을 때 나타나는 스위치 손실을 비교 및 분석하였다. 표 1은 시스템 파라미터, 표 2는 부하 파라미터를 나타낸다.

스위치 손실은 그림 3과 같이 나타나는데, DPWM을 적용했을 때의 손실이 우세하게 줄어드는 것을 확인할 수 있다. DPWM 방식 중에서 L부하와 LC부하는 60DPWM, C부하는 30DPWM을 적용하였을 때 스위치 손실이 가장 적게 나타난다.

3. 결 론

3상 인버터에서 L, LC 비선형부하 조건에서는 60DPWM, C 비선형부하 조건에서는 30DPWM 기법을 적용하였을 때 가장 높은 효율을 가짐을 모의실험을 통해 확인할 수 있었다. 차후 실험을 통해 고조파 전류 파형을 분석하여 비선형부하의 종류를

표 1 시스템 파라미터
Table 1 System parameters

파라미터	값
입력 전압	700 V _{dc}
최대 출력	5 kVA
스위칭 주파수	20 kHz
출력 주파수	60 Hz
SiC MOSFET	CREE 社 C3M0016120K

표 2 부하 파라미터
Table 2 Load parameters

파라미터	값
L	300 μH
C	2.2 mF
R	57.5 Ω

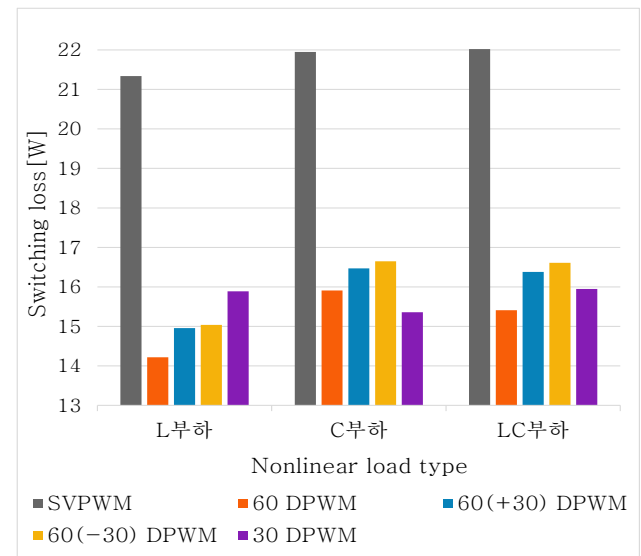


그림 3 DPWM 기법 별 스위치 손실
Fig. 3 Switch loss by DPWM method

판단하고 최적의 변조 기법을 적용하는 알고리즘 개발까지 연구를 확장할 계획이다.

본 연구는 2023년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임 [S3276794]

참 고 문 헌

- [1] 이정록, 서승규, 이교범. (2016). DPWM 방식을 적용한 3상 계통 연계 인버터의 LCL-필터 설계. 전기학회논문지, 65(3), 419-427.
- [2] 정대웅. “오프셋 전압에 의한 3상 전압형 인버터 PWM 방법의 일반적 해석.” 국내박사학위논문 서울대학교 大學院, 2000. 서울
- [3] 김동현, 강대욱, 이요한, 현동석. (2000). 3-level inverter를 위한 새로운 Carrier-Based DPWM 기법. 전력전자학회 학술대회 논문집, (), 347-350.