

# 중성점 스위치의 저주파 스위칭 기법을 이용한 TNPC 인버터의 효율 향상 기법

이태영, 조영훈, 임승범\*  
 건국대학교 전력전자연구실, (주) 이온\*

## High Efficiency Control Strategy of TNPC Inverter Using Low-frequency Switching Method of Neutral Point Switch

Taeyeong Lee, Younghoon Cho, Seungbeom Lim\*  
 Power Electronics Lab., Konkuk Univ., EON\*

### ABSTRACT

This paper introduces a low frequency switching method for the neutral line of TNPC inverters to achieve high efficiency. By applying the method, the switching loss in the neutral line is reduced. In order to compensate the current distortion near zero crossing points, the partial switching strategy is applied. Both the simulation and the experimental results verify the usefulness of the proposed method.

### 1. 서론

전력산업에 있어 대부분의 인버터는 2레벨 인버터 구조를 가지고 있었다. 그러나 최근 3레벨 인버터에 대한 연구가 활발해지면서 주목을 받고 있고, 3레벨 인버터를 이용한 제품들이 많이 생산되고 있다. 3레벨 인버터에는 NPC(Neutral Point Clamped)형, TNPC(T type Neutral Point Clamped)형이 있다. 그 중에서도 TNPC인버터는 회로 구조가 간단하고 출력 전류의 리플을 줄일 수 있어 최근 활발한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 TNPC인버터의 중성선에 저주파 스위칭 또는 부분 저주파 스위칭을 도입하여 인버터의 효율과 전류 품질을 향상시키는 방법을 제안한다.

### 2. TNPC 인버터 저주파 스위칭 기법

#### 2.1 TNPC 인버터의 동작

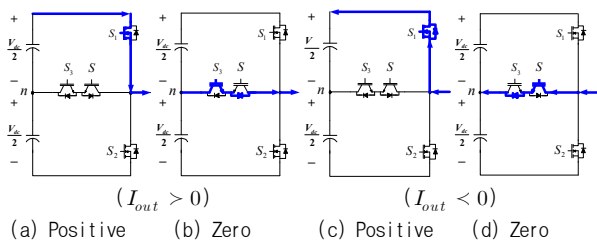


그림 1 단상 3레벨 TNPC 인버터 동작 상태  
 Fig. 1 Single-phase 3-level TNPC inverter operating state

단상 3레벨 TNPC 인버터의 토폴로지는 직류링크 커패시터 2개와 상단, 하단 스위치, 양방향 중성점 스위치 2개와 각 스위치의 역병렬 다이오드로 구성된다.<sup>[1]</sup> 본 논문에서는 상단, 하단

스위치를 MOSFET을 이용하고, 양방향 중성점 스위치는 IGBT를 이용하여 전력회로를 구성하였다.

TNPC 인버터의 동작 상태는 그림 1과 같이 지령전압의 전압레벨과 출력전류의 방향에 따라 나눌 수 있고, 각 동작 상태에서 전류흐름은 전도 손실의 발생을 보여준다. 지령 전압이 positive이고 출력전류의 방향이 양의 방향일 때, 인버터는 (a)와 (b)의 상태가 교번한다. 따라서 스위칭 손실이 발생하는 소자는  $S_1$  MOSFET,  $S_4$  IGBT의 역병렬 다이오드이다. 지령 전압이 Positive이고 출력 전류의 방향이 음일 때, 인버터는 (c)와 (d)의 상태가 교번하게 되는데, 스위칭 손실이 발생하는 소자는  $S_3$  IGBT의 역병렬 다이오드,  $S_4$  IGBT,  $S_1$  MOSFET의 역병렬 다이오드이다. 스위칭 손실은 스위칭 주파수에 비례하므로, 본 논문에서는 중성점 IGBT를 저주파 스위칭하여 전체 스위칭 손실을 감소시키는 방법을 제안한다.

#### 2.2 제어기 구조

기존의 제어기를 이용하여 TNPC 인버터를 동작시키면 2.1 절에서 설명한 것과 같이 중성점 스위치  $S_3$ ,  $S_4$ 는 각각  $S_2$ ,  $S_1$ 과 스위칭 주파수로 상보적으로 동작하게 된다. 중성점 스위치  $S_3$ ,  $S_4$ 를 저주파 스위칭을 하기 위한 제어기는 그림 2과 같다.

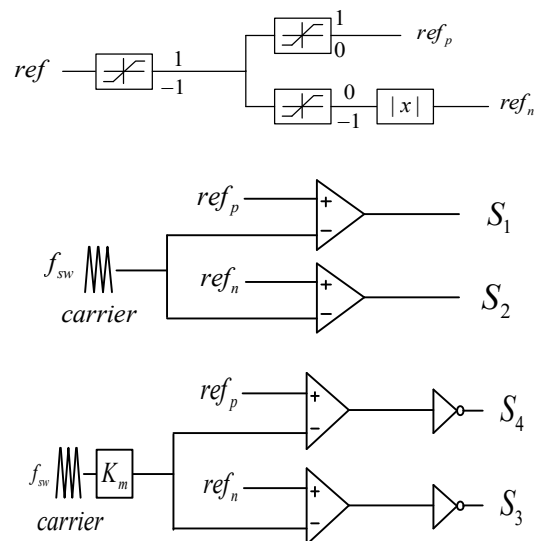


그림 2 TNPC 인버터 저주파 스위칭 제어기 블록도  
 Fig. 2 Block diagram of low-frequency switching controller for TNPC inverter

기존의 제어기에서  $K_m$  파라미터를 중성점 스위치 비교기의 캐리어에 추가하고, 그 값을 0에서 1사이의 값으로 바꾸면  $S_4$ ,  $S_3$ 는 과변조펄스폭 변조와 같은 형태로 스위칭을 하게 된다.

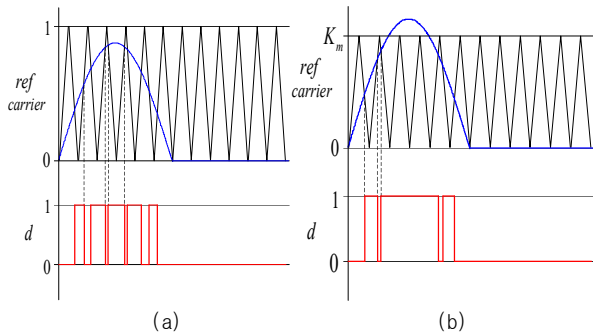


그림 3 (a)  $K_m = 1$  duty 파형 (b)  $0 < K_m < 1$  duty 파형  
Fig. 3 (a)  $K_m = 1$  duty waveform (b)  $0 < K_m < 1$  duty waveform

$K_m$ 이 0일 경우  $S_4$ ,  $S_3$ 는  $S_1$ ,  $S_2$ 와 상보적으로 출력 전압 주파수(60Hz)로 동작하게 되고,  $K_m$ 이 1일 경우  $S_4$ ,  $S_3$ 는 기존의 제어기와 같이 스위칭 주파수로 동작하게 된다.  $0 < K_m < 1$ 일 경우  $S_3$ 와  $S_4$ 의 스위칭이 교차되는 부분 즉,  $ref$ 이 0과 가까운 부근에서  $K_m$ 의 비율에 따라 스위칭 주파수로 스위칭 되는 범위가 정해진다.

### 3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안한 저주파 스위칭 제어기법을 PSIM으로 시뮬레이션하여 정상 작동하는 것을 확인할 수 있다. TNPC 인버터의 설계는 표 1과 같이 설계하였다.

표 1 TNPC 인버터 변수 값  
Table 1 Parameter values of TNPC inverter

변수	값
$V_{dc}$	400 [V]
$C_{dc}$	6800 [ $\mu F$ ]
$L_f$	2000 [ $\mu H$ ]
$C_f$	45 [ $\mu F$ ]
$V_{o r m s}$	110 [V]
$f_{sw}$	60000 [Hz]
$f_o$	60 [Hz]

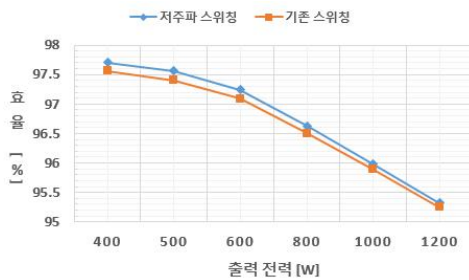


그림 4 출력 전력에 따른 저주파 스위칭 기법과 기존 스위칭 기법의 효율 비교  
Fig. 4 Comparison between the efficiency of traditional controller and the efficiency of the proposed controller with respect to the output power

그리고 기존의 제어기와 제안된 저주파 스위칭 제어기의 효율 비교를 위해 PSIM의 Thermal module을 사용하여 시뮬레이션을 하였다. MOSFET, IGBT는 PSIM의 Thermal module에서 기본으로 제공하는 MOSFET STW45NM50, IGBT IXGH40N60C2를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 그림 4에서 출력 전력에 따른 두 제어기의 효율을 비교하였다. 출력이 높아짐에 따라 효율은 작아졌고, 제안된 60Hz 저주파 스위칭 제어기는 기존의 제어기보다 효율이 전반적으로 높았다.

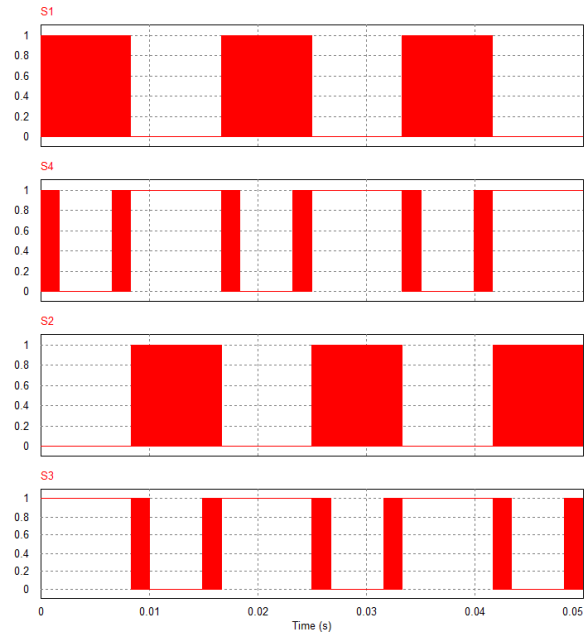


그림 5  $K_m = 0.5$   $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  스위치 duty 파형  
Fig. 5  $K_m = 0.5$  duty waveform of four switches

### 4. 결론

본 논문에서는 TNPC 인버터의 기존 제어기와 60Hz 저주파 스위칭 제어기의 두 효율을 비교했고, 제안된 60Hz 저주파 스위칭 제어기의 효율이 전반적인 출력 전력 조건에서 기존 제어기의 효율 보다 높았다. 중성점 저주파 스위칭을 할 경우 출력 전압과 출력 전류의 영점 부근에서 왜곡이 발생하는데  $K_m$  파라미터의 값을 그림 5와 같이 조정하여 이를 보상할 수 있다.

본 연구는 중소기업청의 중소기업기술혁신개발사업의 일환으로 수행되었습니다. (No. S2222196)

### 참고 문헌

[1] M.Schwezer, J.W.Kolar, "Design and Implementation of a Highly Efficient Three Level T Type converter for Low Voltage Application", IEEE Transactions on Power electronics, vol.28, no. 2, pp.899 907, 2013