

3-Level NPC 인버터에서의 새로운 PWM 기법

간 용* · 현승욱* · 이희준* · 유재성** · 이택기*** · 원중연*
 성균관대학교*, 삼성중공업**, 한경대학교***

A New PWM Technique of 3-Level NPC Inverter

Yong Kan*, Seung Wook Hyun*, Hee Jun Lee*, Jae Sung Yu**, Teak Kie Lee***,
 Chung Yuen Won*
 Sungkyunkwan University*, Samsung Heavy Industries**, Han Kyong University***

ABSTRACT

본 논문에서는 3 Level NPC 인버터에서의 새로운 PWM 기법에 대해서 제안하였다. 3 Level NPC 인버터에서 각 상하의 스위치는 데드타임으로 인해 전압과 전류의 왜곡과 직류링크단의 전압 불균형의 원인이 된다. 제안하는 기법은 지령전압과 전류의 위상에 따라 출력전압과 전류의 왜곡성분을 감소시키며 상보동작을 하지 않는 PWM 기법을 이론적으로 검증하였고, 시뮬레이션을 통해 증명하였다.

1. 서론

3 Level NPC 인버터는 스위칭 동작 특성상 전력용 반도체 스위칭 소자 특성상 상승 시간과 하강 시간 차이로 인하여 데드타임을 증가하게 된다. 이러한 이유로 각 leg에서 스위치는 서로 상보적인 동작을 하게 되고, 데드타임의 영향으로 인한 전류의 왜곡이 발생한다.^[1]

본 논문에서는 3 Level NPC 인버터에서 데드타임을 고려하지 않고 상보적인 동작을 새로운 PWM 기법을 제안한다.

2. 3-Level NPC 인버터의 새로운 PWM 기법

2.1 기존 3-Level NPC 인버터의 PWM 기법

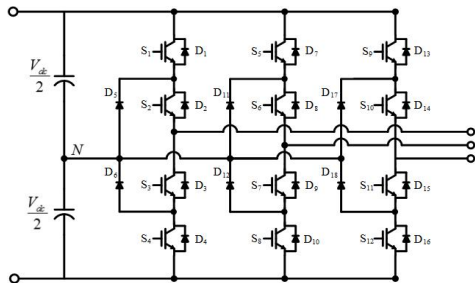


그림 1 3-Level NPC 인버터의 회로도
 Fig. 1 Circuit diagram of 3-Level NPC Inverter

그림 1은 3 Level NPC 인버터의 회로도다. 3 Level NPC 인버터는 중성점을 기준으로 각 leg는 중성점과 DC링크 중성점이 연결되어있고, 한 leg는 4개의 스위치, 중성점 다이오드 2

개로 구성되어있다. 3 Level NPC 인버터는 한 leg에서 S₁과 S₃, S₂와 S₄는 서로 상보적인 동작을 하고, 스위칭 상태에 따라 상전압은 +V_{dc}/2, 0, -V_{dc}/2가 나타나게 된다.^[2] 그림 2는 상전류의 방향에 따라 스위칭 상태를 나타낸 그림이다. 그림 2 (a)는 S₁과 S₂가 On 상태에서 “+”의 상태를 유지하다 “0”의 상태로 전환 될 때 S₁이 Off가 되고 S₃는 On 된다. 그러나 전력용 반도체 스위치 특성상 상승 시간과 하강 시간의 차이로 인하여 단락사고가 발생할 수 있기 때문에 데드타임을 증가하여 단락사고를 막아 준다. 그러나 데드타임은 전압과 전류의 왜곡을 야기하고, 직류링크단의 전압 불균형의 원인이 된다.

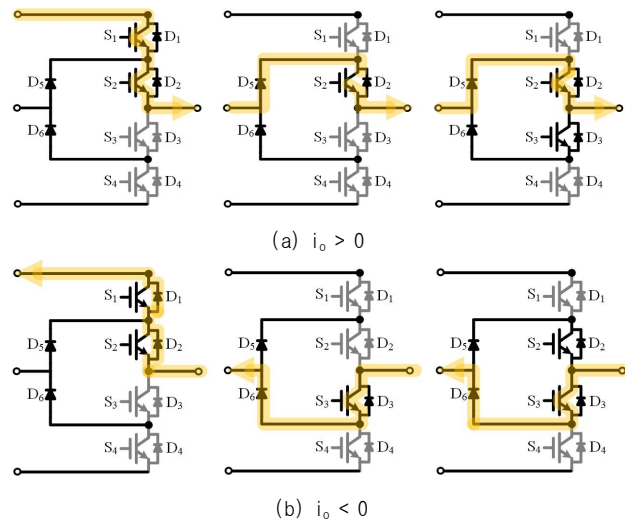


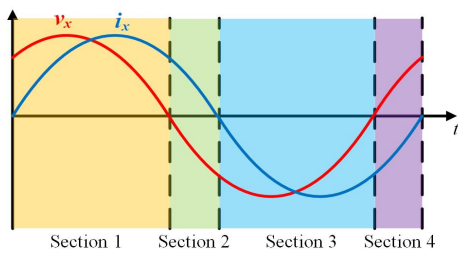
그림 2 전류의 방향에 따른 스위칭 상태
 Fig. 2 According to the direction of the current switching state

2.2 제안하는 3-Level NPC 인버터의 PWM 기법

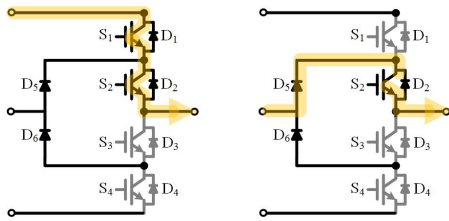
그림 2 (a)와 같이 상전류가 양의 방향일 때 출력 상전압이 “+”에서 “0”으로 전환될 경우 S₁과 S₃가 모두 Off 되는 데드타임 상태를 거치게 되는데, 이 때 전류의 방향은 DC링크 윗 단에서 중성점으로 전환되는 것을 볼 수 있다. 이 후 데드타임에서 Zero로 상태전환 시 S₃가 On 되어도 전류의 방향은 데드타임 상태와 동일한 것을 볼 수 있다. 즉 그림 2 (a)에서는 S₃의 동작과는 관계없이 S₁의 동작에 따라 상전류가 영향을 받는다

는 것을 알 수 있으며, 여기서 S_3 를 동작시키지 않더라도 원하는 전류를 출력할 수 있음을 알 수 있다. 하지만 그림 2 (b)와 같이 동일한 상태 전환에서 상전류의 방향이 음일 경우 S_1 이 아닌 S_3 에 출력 전류가 영향을 받는 것을 볼 수 있다.

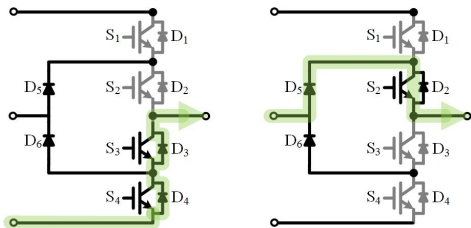
본 논문에서는 그림 2 (a)의 S_3 나 그림 2 (b)의 S_1 과 같이 출력 전류에 영향을 주지 않는 소자를 동작시키지 않는 스위칭 방법을 제안하였다. 제안한 스위칭 기법은 지령 전압과 출력 전류에 따라 그림 3 (a)와 같이 4가지 상태로 나누었으며 그림 3 (b), (c)와 같이 출력 전류에 영향을 주지 않는 소자를 동작시키지 않는 스위칭 기법을 제안하였다. 이러한 기법은 상태 전환에서 소자를 3개 이상 동작시키지 않기 때문에 상보동작에 대한 데드타임을 인가하지 않아도 되며 이에 따른 전류의 왜곡이 발생하지 않도록 스위칭 할 수 있다. 표 1은 각 Section에 따른 스위칭 상태를 나타내었다.



(a) 전압과 전류의 크기에 따른 영역



(b) Section 1의 스위칭 상태



(c) Section 2의 스위칭 상태

그림 3 제안된 PWM 기법에서 전압과 전류의 방향에 따른 영역 및 스위칭 상태

Fig. 3. Proposed PWM Techniques, the area and switching state according to the direction of Voltage and current

표 1 영역별 스위칭 상태
Table 1 Switching state of each area

| | Section1 | Section2 | | Section3 | | Section4 | |
|-------|----------|----------|-----|----------|-----|----------|-----|
| State | "P" | Zero | "N" | Zero | "N" | Zero | "P" |
| S_1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S_2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| S_3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| S_4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

2.3 시뮬레이션

표 2 3-Level NPC 인버터 파라미터
Table 2 Parameter of 3-Level NPC Inverter

| | 기존 PWM 방식 | 제안된 PWM 방식 |
|---------|---------------|---------------|
| DC링크 전압 | $311[V_{dc}]$ | $311[V_{dc}]$ |
| R 부하 | $2[\Omega]$ | $2[\Omega]$ |
| L 부하 | $2.5[mH]$ | $2.5[mH]$ |
| 스위칭 주파수 | $10[KHz]$ | $10[KHz]$ |
| 데드타임 | $10[\mu s]$ | X |

표 2는 제안된 PWM 기법의 타당성을 검증하기 위한 3 Level NPC 인버터의 파라미터를 나타내고 있다. DC링크 전압 및 수동소자 값 스위칭 주파수를 동일하게 두었다. PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였고, THD를 분석하였다.

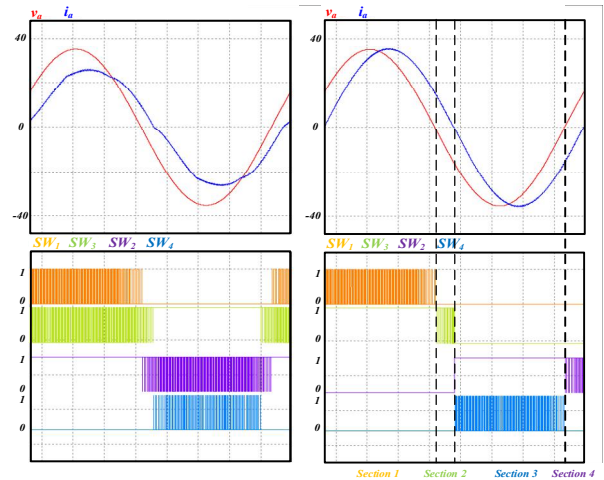


그림 4 전압, 전류, 각 상의 스위칭 파형

Fig. 4. Voltage, current, and switching waveforms of each phase.

표 3 기존 PWM 기법과 제안된 PWM 기법의 THD 비교

Table 3 Compared the THD of existing and proposed PWM techniques.

| | I_a | I_b | I_c |
|------------|---------|---------|---------|
| 기존 PWM 방식 | 0.08352 | 0.08323 | 0.08352 |
| 제안된 PWM 방식 | 0.02403 | 0.02424 | 0.02404 |

3. 결론

본 논문에서는 3 Level NPC 인버터에서 새로운 PWM 기법에 대해서 제안하였다. 기존 PWM 기법에서는 전류가 왜곡되었고, 상보동작을 하였다. 상보 동작을 하지 않는 제안된 PWM 기법은 시뮬레이션을 통하여 전류의 왜곡이 줄어드는 것을 확인하였다.

이 논문은 2012년도 정부(지식경제부)의 재원으로 삼성중공업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2012T100100064)

참고 문헌

[1] 김상훈, "DC, AC, BLDC 모터제어", 북두출판사 2008.
 [2] A. Nabae, I. Takahashi, H. Akagi, "A new neutral point clamped PWM inverter," IEEE Trans. on Ind. Applicat., Vol. IA 17, No.5, pp.518-523, Sept./Oct. 1981.