

새로운 DPWM 방식을 이용한 3-레벨 인버터의 중성점 전압 리플 저감

유승중, 이준석, 이교범
아주대학교

The DPWM Method to Reduce Neutral-Point Voltage Ripple in a Three-Level Inverter

Seungjong Yoo, June Seok Lee, Kyo Beum Lee
Ajou University

ABSTRACT

본 논문에서는 3 레벨 Neutral Point Clamped (NPC) 인버터의 DC Link 중성점 전압 리플을 저감하여 인버터 출력 전압의 품질 신뢰성 향상이 가능한 새로운 Discontinuous Pulse Width Modulation (DPWM) 기법을 제안한다. NPC 인버터에서는 두 개의 커패시터로 이루어진 DC Link 구조로 인해 상, 하단 DC Link 커패시터 전압 불평형인 상황에서 DC Link 중성점 전압 리플이 발생한다. 중성점 전압 리플 발생 시 출력 전압의 품질을 보장할 수 없으며, 민감한 부하에 손상을 입힐 수 있다. 제안한 DPWM 알고리즘은 DC Link 커패시터 전압을 조정하는 두 개의 오프셋을 사용하여 중성점 전압 리플을 저감한다. 또한, 시뮬레이션을 통해 본 논문에서 제안한 알고리즘의 타당성을 검증한다.

1. 서론

최근 화석연료 및 천연자원의 고갈로 인해 신재생 에너지의 관심이 증가하고 있다. 이에 따라 계통연계를 위한 PCS (Power Conversion System)의 관심 또한 증가하고 있다. 이러한 PCS의 화두 중 하나는 시스템의 대용량화인데, 이 때문에 멀티레벨 인버터에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다^[1].

멀티레벨 인버터 중 3 레벨 NPC (Neutral Point Clamped) 인버터가 널리 이용되고 있는데, 이는 2 레벨 인버터에 비해 낮은 Emitter Collector 전압(V_{CE}) 특성을 보유하고 있다. 때문에 낮은 전압 정격의 전력소자들로 시스템 구성이 가능하며, 낮은 전압 스트레스로 인해 3 레벨 NPC 인버터는 스위칭 손

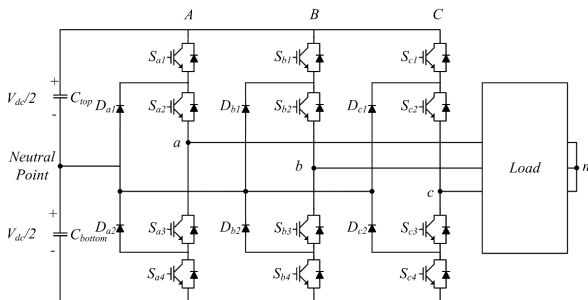


그림 1 일반적인 3-레벨 NPC 인버터 토폴로지
Fig. 1 Topology of a 3-level NPC inverter

실 및 스위칭 노이즈 등을 저감할 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만 그림 1에서 확인할 수 있듯이, DC link 커패시터가 상, 하단으로 나뉘어져 있는 토폴로지의 구성으로 인해 상, 하단 DC link 커패시터 전압이 동일하지 않은, 중성점 전압이 흔들리는 상황이 필연적으로 발생한다. 이러한 현상은 3 레벨 NPC 인버터의 출력을 $V_{DC}/2$, $V_{DC}/2$ 로 보장할 수 없으며, 출력전류에 고조파를 유발하여 출력전압 및 출력전류의 신뢰성을 악화시킨다. 따라서, 3 레벨 NPC 인버터 제어에 있어, 중성점 전압 제어는 필수적이다.

DPWM 기법은 출력전류가 최대, 최소인 구간에서 스위칭 동작을 하지 않고 유지하므로, 스위칭 손실을 줄여 시스템의 효율을 높이는 PWM 기법 중 하나이다. 하지만, 스위칭 동작을 하지 않는 구간에서 중성점이 흔들리는 현상이 발생하여, 제어를 통해 중성점 전압 변동을 제거해주어야 한다^[2].

본 논문에서는 중성점 전압 변동으로 인한 리플을 저감하는 두 개의 오프셋을 사용하는 새로운 DPWM 기법을 제안한다. 본 논문의 제안한 DPWM 기법은 시뮬레이션의 결과를 통해 제안한 기법의 타당성을 검증한다.

2. 제안하는 DPWM 기법

2.1 기존 DPWM 기법

기존의 DPWM 기법은 아래의 오프셋을 지령 전압에 주입하여 구현이 가능하다. 기존의 DPWM 기법을 구현하는 오프셋을 구하는 수식은 식 (1)과 같다. 최종적인 지령전압은 기존의 지령전압에 오프셋을 합한 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$V_{offset} = \begin{cases} \frac{V_{dc}}{2} - |V_{max}| & |V_{max}| > |V_{min}| \\ -\frac{V_{dc}}{2} - |V_{min}| & |V_{max}| < |V_{min}| \end{cases} \quad (1)$$

$$V_{x.ref.DPWM} = V_{x.ref} + V_{offset} \quad (2)$$

기존의 DPWM 기법은 스위칭 동작을 하지 않는 구간에서 P나 N 상태로 스위칭 동작이 고정된다. 스위칭 동작이 P로 고정된 구간에서는 상단 DC link 전압이 감소하고, 하단 DC link 전압이 증가한다. 또, 스위칭 동작이 N으로 고정된 구간에서는 상단 DC link 전압이 증가하고, 하단 DC link 전압이 감소한다. 이러한 현상은 그림 2에서 확인할 수 있다.

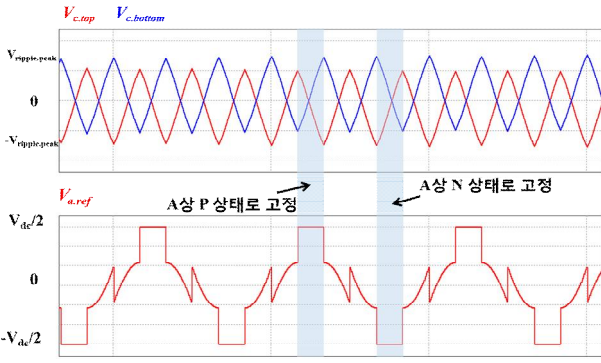


그림 2 비스위칭 구간에 따른 DC-link 전압 변동
Fig. 2 DC-link voltage fluctuation according to switching state

2.2 제안하는 DPWM 기법

본 논문에서 제안하는 DPWM 기법에서는 기존의 DPWM 기법이 중성점 전압에 미치는 영향을 완화하는 새로운 오프셋을 도입한다. 제안하는 DPWM 기법에서 도입하는 새로운 오프셋을 $V_{offset.N}$ 으로 명명하고, 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$V_{offset.N} = \begin{cases} \frac{V_{dc}}{2} - |V_{max}| & |V_{max}| < |V_{min}| \\ -\frac{V_{dc}}{2} - |V_{min}| & |V_{max}| > |V_{min}| \end{cases} \quad (3)$$

새로운 오프셋은 기존의 DPWM 기법에서 사용하는 오프셋을 $V_{offset.P}$ 로 명명하고, 제안하는 DPWM 기법의 최종 지령 전압은 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$V_{x.ref.NewDPWM} = \begin{cases} V_{x.ref} + V_{offset.P} \\ V_{x.ref} + V_{offset.N} \end{cases} \quad (4)$$

$V_{offset.P}$ 는 스위칭 주기가 홀수일 때, 지령전압에 주입되고, $V_{offset.N}$ 는 스위칭 주기가 짝수일 때, 지령전압에 주입되어 제안한 DPWM 기법의 최종 지령전압이 생성된다.

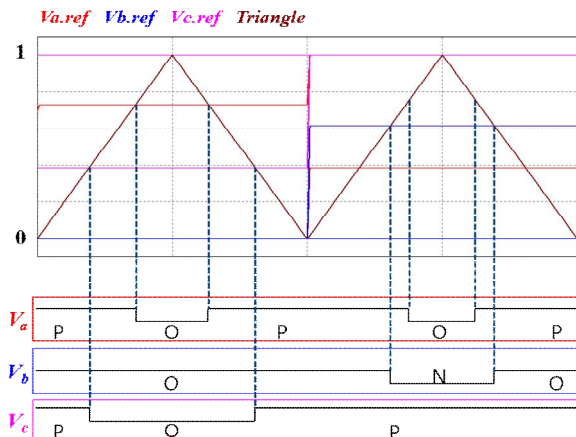


그림 3 제안한 DPWM 기법의 두 스위칭 주기 파형
Fig. 3 Two switching periods of the proposed DPWM method

그림 3에서의 두 개의 스위칭 주기 중 첫 번째 스위칭 주기에서는 B 레그의 스위치는 스위칭 동작하지 않고, 나머지 스위치들만 동작한다. 또, 두 번째 스위칭 주기에서는 C 레그의 스위치가 동작하지 않고, 나머지 스위치들만 동작한다. 각 주기마다 동작하지 않는 스위치가 하나씩 존재하며, 이를 통해 스위칭 횟수를 줄일 수 있다.

3. 시뮬레이션 검증

표 1 시뮬레이션의 3-레벨 NPC 회로 변수
Table 1 3-level NPC inverter parameters of simulation

정격 전력	20kW	DC link 커패시턴스	1100μF
제어 주기	100μs	스위칭 주파수	10kHz
저항성 부하	10Ω	유도성 부하	2mH

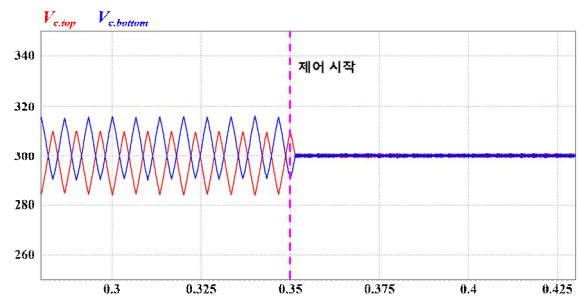


그림 3 제안한 DPWM 기법의 중성점 전압 리플 제어
Fig. 3 Neutral-point voltage control of the proposed DPWM method

시뮬레이션 파형은 3 레벨 NPC 인버터의 중성점 전압 파형이다. 기존의 DPWM 기법으로 동작하다, 0.35초 이후에는 제안한 DPWM 기법으로 동작한다. 제안한 DPWM 기법이 적용된 이후 중성점 전압 리플이 저감되는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 3 레벨 NPC 인버터의 중성점 전압 리플을 저감하는 새로운 DPWM 기법을 제안한다. 제안한 DPWM 기법은 스위칭 횟수를 줄이는 DPWM의 특성을 유지하며, 기존 DPWM이 중성점 전압에 미치는 영향을 완화하는 새로운 오프셋을 도입하고, 스위칭 주기 별로 기존 DPWM을 구현하는 오프셋과 새로운 오프셋을 번갈아 주입하여 중성점 전압 리플을 저감한다. 제안한 DPWM 기법의 타당성은 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

참고 문헌

- [1] N. V. Nguyen, B. X. Nguyen, and H. H. Lee, "An optimized discontinuous PWM method to minimize switching loss for multilevel inverters," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 58, no. 9, pp. 3958-3966, Sep. 2011.
- [2] U. M. Choi, H. H. Lee, and K. B. Lee, "Simple Neutral Point Voltage Control for Three Level Inverters Using a Discontinuous Pulse Width Modulation," IEEE Trans. Energy Convers., vol. 28, no. 2, pp. 434-443, Jun. 2013.