

퍼지제어기를 이용한 계통연계형 3-레벨 NPC 인버터의 중성점 제어

이현희, 최의민, 이교범
아주대학교

Neutral-Point Voltage Balancing Control of a 3-Level NPC Inverter Using a Fuzzy Controller

Hyun-Hee Lee, Ui-Min Choi, and Kyo-Beum Lee
Ajou University

초 록

본 논문은 3레벨 NPC 인버터의 중성점 전위 변동 시 퍼지 제어기를 이용한 중성점 전위 제어 방법을 제안한다. 오프셋 전압을 퍼지제어기의 입력으로 하여 공간벡터의 스위칭 타이밍의 조절변수를 출력함으로써 기존의 오프셋 전압의 복잡한 수학적 모델링 없이 쉽고 간단하게 중성점 전압을 제어한다. 제안하는 제어기법의 우수성을 보이기 위하여 10kW급 계통연계 3-레벨 NPC인버터 모델을 기반으로 시뮬레이션을 수행하였다.

1. 서 론

최근 신재생에너지, 전기자동차, 철도차량 등 전기/전력제어 시스템이 각광받음에 따라 이의 필수 구성요소인 전력변환장치의 개발이 활발하다. 특히 3-레벨 NPC 인버터는 스위칭 소자의 직렬구조로 되어 있으면서 스위치 턴 오프 시 균등한 차단 전압 분배를 이룰 수 있다. 또한 출력전압의 고조파를 같은 스위칭 주파수에서 비교할 때 2-레벨 인버터 보다 2배 이상 줄일 수 있어 고전압 전기설비에 널리 적용되고 있다. 하지만 3-레벨 NPC 인버터는 구조적으로 직류단이 두 개의 커패시터로 직렬 연결되어 있기 때문에 스위칭 상태에 따라서 중성점에서 전압이 변동하게 된다^[1]. 이러한 전압 불균형 문제는 3-레벨 NPC 인버터의 스위칭 소자와 직류단 커패시터에 전압 스트레스를 주고, 출력전류에 왜곡을 발생시킨다^[2].

본 논문은 퍼지제어기를 이용한 3-레벨 NPC 인버터의 중성점 전압제어를 제안하였다. 퍼지제어기를 이용하여 전위 변동 시 오프셋 전압의 복잡한 수학적 모델링 없이 쉽고 간단하게 중성점 전압 제어가 가능하다. 제안한 기법의 우수성을 검증하기위해 PSIM을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 3-레벨 인버터 중성점 전압

스위칭 동작에 따른 중성점 전압의 상태는 그림 2와 같다. 3-레벨 NPC 인버터의 스위칭 상태가 영벡터(PPP)일 때 중성점 전압 V_z 에 아무런 영향을 주지 않는다. 스위칭 상태가 (OOO, NNN)일 때도 마찬가지이다. P-타입 작은 벡터(POO)인 경우는 중성점 Z에 전류가 흘러들어 오는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 중성점 전압 V_z 가 증가한다. 반대로

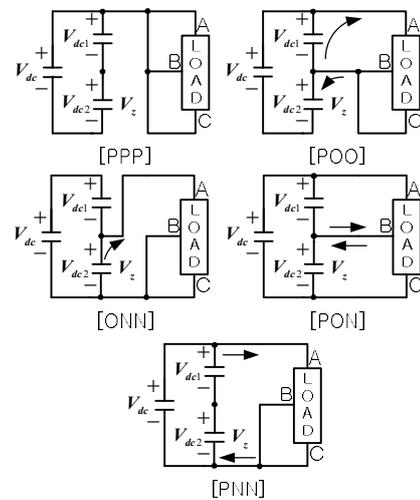


그림 1 스위칭 상태에 따른 중성점 전압변동
Fig. 1 Effect of switching state on Neutral point voltage variation

N-타입 작은 벡터(ONN)의 경우는 중성점 전류가 부하 쪽으로 흘러 들어가게 되어 중성점 전압이 낮아진다. 중간 벡터 (PON)일 때는 중성점의 전류가 들어오거나 나가기 때문에 인버터의 운전 상태에 따라 중성점 전압의 변동이 생긴다.

3. 퍼지제어기를 이용한 중성점 전압 제어

그림 1을 통하여 스위칭 상태에 따른 중성점 전압의 변동을 확인할 수 있었다. 따라서 P-타입 작은 벡터와 N-타입 작은 벡터 스위칭 시간을 조절하여 중성점 전압 제어가 가능하다.

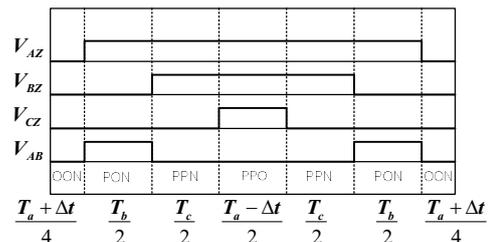


그림 2 3-레벨 인버터 스위칭 시퀀스
Fig. 2 Switching sequence of 3-level inverter

입의 지령전압에 대한 스위칭 시퀀스는 그림 2와 같다. 그림 2에서 Δt 는 P-타입 과 N-타입 의 작은 벡터 스위칭 시간을 조절하는 변수 이다. 그림 1의 $V_{dc1} - V_{dc2}$ 가 일정 전압차이를 초과한다면 Δt 가 가감되어 P-타입과 N-타입의 작은 벡터 스위칭 시간이 조절된다.

표 1 퍼지 제어기의 규칙
Table 1 Control rule of fuzzy controller

e \ ce	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	NS	Z
NM	NB	NM	NM	NS	NS	Z	PS
NS	NM	NM	NS	NS	Z	PS	PS
Z	NM	NS	NS	Z	PS	PS	PM
PS	NS	NS	Z	PS	PS	PM	PM
PM	NS	Z	PS	PS	PM	PM	PB
PB	Z	PS	PS	PM	PM	PB	PB

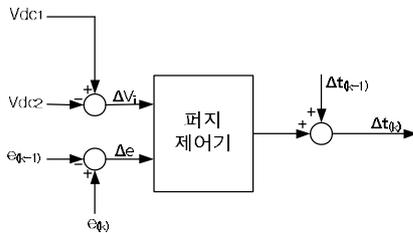


그림 3 본 논문에서 고려된 퍼지 제어기
Fig. 3 Considered fuzzy controller

본 논문에서는 Δt 를 출력하기 위해 퍼지제어기를 이용하였다. 퍼지제어기의 입출력은 삼각형 7개를 사용하였다. 3-레벨 NPC 인버터의 두 커패시터 전압의 차이(e)와 두 커패시터 전압의 차이에 대한 변화량(ce)를 입력으로 하였다. 퍼지제어기의 입력은 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} e &= V_{dc1} - V_{dc2} \\ ce &= e(k) - e(k-1) \end{aligned} \quad (1)$$

퍼지제어기의 규칙은 표 1과 같으며, 직류단의 두 커패시터의 전압차이에 기인하여 규칙을 정한다. 본 논문에서 비퍼지화 방법은 수계노 제로-오더 방법을 사용하였다. 비퍼지화를 거쳐 퍼지제어기의 출력으로 P-타입과 N-타입 작은 벡터의 스위칭 타이밍을 조절하는 변수인 Δt 값을 얻을 수 있다. 중성점 제어를 위한 퍼지제어기 전체 구성은 그림 3과 같다. 직류단의 상단 커패시터 기준으로 두 커패시터 전압의 차이가 양의 방향으로 증가된다면, Δt 는 음의 방향으로 증가하게 된다. Δt 가 음의 방향으로 증가 할수록 P-타입 스위칭 벡터에 인가되는 시간이 증가되고, 아랫단의 커패시터 전압이 증가된다.

3.시뮬레이션

제안한 기법의 타당성을 검증하기 위해 PSIM을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 파형은 그림 4와 같다. 직류단 전압은 600 [V]로 제어하였다.

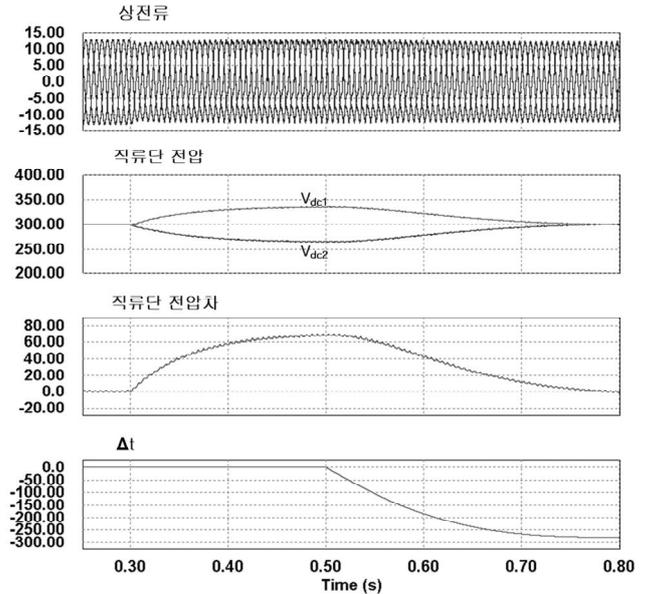


그림 4 퍼지제어기를 이용한 중성점 전압제어
Fig. 4 Neutral-point voltage balancing control using fuzzy controller

0.3초부터 두 커패시터의 전압차가 나는 구간에서 각 상의 출력전류가 왜곡되는 것을 확인 할 수 있다. 0.5초부터 퍼지제어기를 이용한 중성점 전압제어가 시작된다. Δt 가 음의 값이므로 P타입 작은 벡터 스위칭 시간이 증가하며, 중성점에 평소보다 많은 전류가 유입된다. 0.76초 후에 직류단의 전압 각 300[V]로 평형을 이뤘고 각상의 전류가 왜곡 없이 출력된다.

4.결론

본 논문에서는 3-레벨 NPC 인버터의 중성점 전압 변동을 퍼지제어기를 이용한 중성점 전압제어 방법을 제안하였다. 제안된 기법은 두 커패시터 전압오차나 중성점에 흐르는 전류에 대한 수학적 모델링이나 복잡한 계산 없이 퍼지제어기에서 출력된 변수로 간단하게 중성점 전압 제어가 가능하다. 직류단 전압차이로 인한 스위치의 정격전압 초과를 막을 수 있고, 출력전류의 왜곡을 방지함으로써 3-레벨 NPC 인버터의 안정성 및 안전성 향상에 기여할 수 있음을 입증하였다.

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.20110004685).

참고 문헌

[1]Arkadiusz Lewicki, Zbigniew Krzeminski, and Haitham Abu-Rub, "Space-Vector Pulsewidth Modulation for Three-Level NPC Converter With the Neutral Point Voltage Control", IEEE Trans. on Ind Electron., Vol. 58, No. 11, pp. 5076-5086 Nov. 2011.
[2] 박종제, 박병건, 하동현, 현동석, "3레벨 NPC 인버터 개방성 고장 시 중성점 전압 변동에 관한 연구", 전력전자학회논문지, 제14권 제4호 pp.333-342, 2009.8.