

Cascaded NPC 고압인버터 개발

Developing Of Cascaded NPC Multilevel Inverter

박중제, 윤홍민, 유안노, 장동제

Jong-Je Park, Hong-Min Yun, An-No Yoo, Dong-Je Jang

LS산전 자동화 제품 연구소
LSIS Automation Product R&D Center

Abstract

멀티레벨 고압인버터 토폴로지 중 저압 Power Cell를 이용하여 고압을 출력하는 Cascaded 방식이 산업계에서는 널리 사용되고 있다. 최근 제품화된 Cascaded 방식은 크게 두 가지 형태로 구분할 수 있다. 저압 Power Cell에 단상 H-Bridge를 이용한 Cascaded H-Bridge 멀티레벨 인버터와 단상 NPC(Neutral Point Clamped) 토폴로지를 적용한 Cascaded NPC 멀티레벨 인버터이다. 이 중 Cascaded NPC 멀티레벨 인버터의 경우 적은 수의 셀을 사용하여 CHB와 동일한 출력 레벨을 생성할 수 있으며, NPC 방식의 고압 인버터 고유의 장점을 모두 구현할 수 있다. 반대로 CHB Type과 NPC type의 단점인 복잡한 구조의 Phase Shift Transformer와 DC_Link 중성점 전압이 변동하는 단점 또한 나타나게 된다. 본 논문에서는 Cascaded NPC 멀티레벨 인버터의 이러한 단점을 극복하기 위한 새로운 방식의 Phase Shift Transformer와 NPC Power Cell의 중성점 전압 변동을 줄일 수 있는 기법에 대해 설명하고 이 기법에 대한 타당성을 모의시험을 통해 검증하였다.

1. Introduction

Cascaded H-Bridge 멀티레벨 인버터와 Neutral Point Clamped 멀티레벨 인버터는 최근 고압인버터 시장에서 가장 보편적인 모터드라이브 토폴로지로서 인식되고 있다. Cascaded H-Bridge 멀티레벨 인버터는 모듈화 된 저압 단상 Power Cell의 결합으로 구성되며 저압 파워 소자를 사용하기 때문에 유지보수가 쉬우며 용량 확장이 용이한 장점을 가진다. 하지만 각각의 Power Cell에 절연된 전원을 공급해야 하기 때문에 복잡한 구조의 Phase Shift Transformer를 이용하여야 하는 단점을 가지며 다수의 Power Cell이 직렬로 구성되기 때문에 시스템 크기가 커지는 문제점이 있다. NPC 멀티레벨 인버터의 경우 범용 2Level 인버터에 비해 출력 전압레벨이 높아지는 장점이 있지만 입력 THD가 H-Bridge 멀티레벨 인버터에 비해 높기 때문에 경우에 따라 필터가 요구될 수 있다. 또한 NPC 토폴로지 고유의 문제점인 중성점 전압변동에 대한 해결책이 필요하다. 최근 모터드라이브 시장에서는 그림 1.과 같이 H-Bridge 멀티레벨 인버터와 NPC 멀티레벨 인버터의 장점을 모두 가지는 Cascaded NPC 멀티레벨 인버터에 대한 연구와 제품화가 많이 이루어지고 있다. 하지만 높은 입력 THD와 중성점 전압변동 문제는 여전히 해결해야 할 과제로 남아 있다. 본 논문에서는 Cascaded NPC 멀티레벨 인버터의 문제점인 높은 입력 전류 THD를 개선할 수 있는 위상치환변압기와 중성점 전압변동 문제 해결을 위한 PWM 기법에 대해 설명하고 이에 대한 모의시험을 통해 해당 기법에 대한 타당성을 검증하였다.

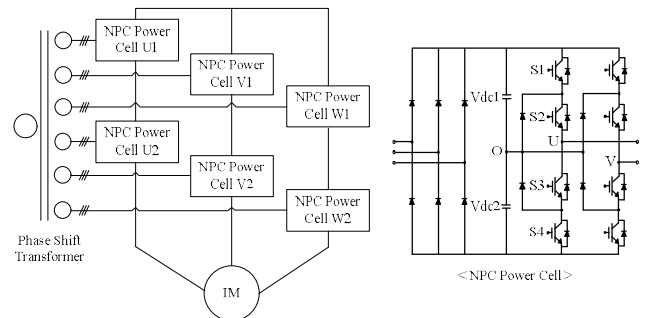


Fig. 1 Configuration of Cascaded NPC Multilevel Inverter

2. Configurations

그림 1은 단상 NPC Power Cell을 이용한 Cascaded NPC 멀티레벨 인버터 구성도이다. 상당 2개의 Power Cell로 구성하였으며 6-pulse 다이오드 정류기를 가진다. Power Cell의 한 상당 스위칭 상태는 P, O, N 3가지로 각각의 극(Pole)전압은 Vdc1, 0, -Vdc2로 나타난다[1][2].

2.1 Phase Shift Transformer

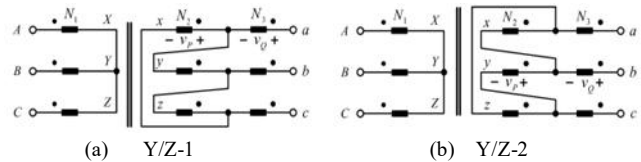


Fig. 2 Connection Diagram of Phase shift Transformer

그림 2는 위상 치환 변압기의 결선도를 나타낸다[3]. 1차측은 Y결선, 2차측은 Extended-Delta 결선으로 이루어져 있으며 각각의 결선법에 따른 위상각(delta)과 턴수비(Turn Ratio)를 표 1에 나타내었다. 기존 입력단 변압기의 경우 상당 2층의 Power Cell로 구성된다고 가정하였을 때 입력 전류는 12-pulse 특성을 나타낸다. 하지만 위상변위를 시스템 권선 기준으로 산정할 경우 2층 기준 총 6개의 권선을 가지므로 상당 6층의 Cell로 구성한 것과 동일한 특성을 나타내어 입력전류에 대한 THD가 감소된다.

Table. 1 Turn ratio of Phase Shift Transformer

Y/Z-1	Y/Z-2	N3/(N2+N3)	N1/(N2+N3)
0	0	1	1.0V _{AB} /V _{ab}
5	-5	0.739	0.872V _{AB} /V _{ab}
10	-10	0.532	0.778V _{AB} /V _{ab}
15	-15	0.366	0.707V _{AB} /V _{ab}
20	-20	0.227	0.653V _{AB} /V _{ab}
30	-30	0	0.577V _{AB} /V _{ab}

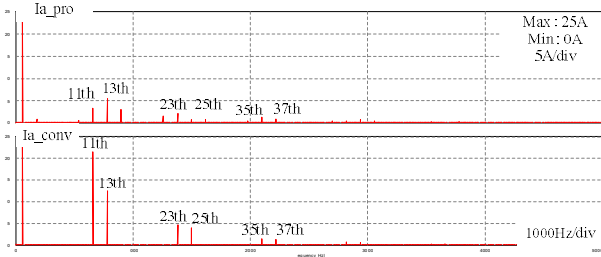


Fig. 3 Input Current THD

그림 3. 은 제안한 위상 치환 변압기를 적용하였을 경우 입력전류에 대한 전고조파 왜율(THD)을 분석한 파형이다. 기존 변압기를 사용한 12-pulse 시스템의 경우 THD가 13.8%를 나타내었으며 제안한 변압기를 적용하였을 경우 동일 시스템에서 THD가 3.7%로 감소함을 확인 할 수 있었다.

2.2 Method of DC_Link Voltage Variation

단상 NPC Power Cell의 경우 9가지의 유효 스위칭 상태를 가지며 이 중 DC_link 중성점과 부하간 전류 Path가 형성되는 <PO>, <OP>, <NO>, <ON> 4가지 경우 중성점 전압이 변동하게 된다. 따라서 위의 4가지 스위칭 상태를 조절하여 DC_Link 전압을 제어한다. 그림 4는 “P”상태와 “N”상태에 대한 DC_Link 커패시터 전압 양상을 나타낸다.

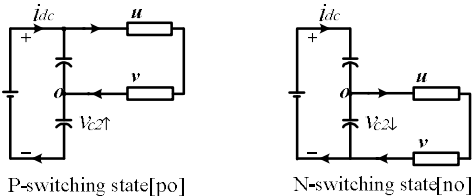


Fig. 4 DC_Link Voltage Variation

그림 5와 같이 Cascaded NPC 멀티레벨 인버터의 PWM은 In-Phase Disposition(IPD) 방법을 적용하였으며 중성점 전압을 제어하기 위해 Vdc1과 Vdc2의 전압 오차를 이용하여 반송파에 옵셋전압을 인가 한다.

$$V_{carrier_offset} = \frac{V_{dc2} - V_{dc1}}{2}$$

그림 5는 Vdc1이 Vdc2보다 작은 경우이며 옵셋 전압을 반영한 반송파 파형과 지령 전압에 따른 스위칭 상태를 나타내고 있다. 옵셋전압에 의해 재구성된 반송파에 의해 “P”상태의 스위칭 시간이 감소하고 “N” 상태의 스위칭 시간이 증가하게 되어 상위 커패시터의 전압을 증가시키고 하위 커패시터의 전압을 감소하여 중성점 전압 변동에 대한 오차를 줄이게 된다.

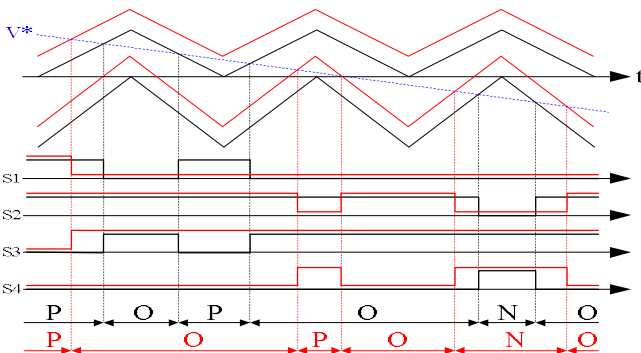
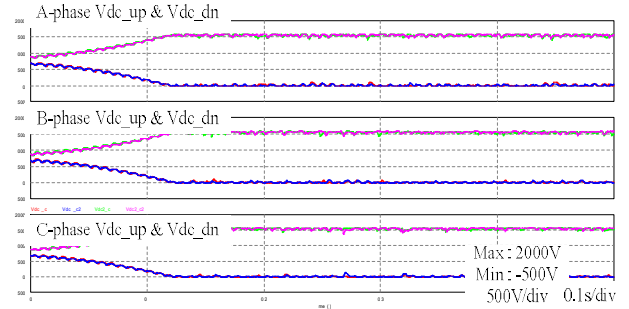


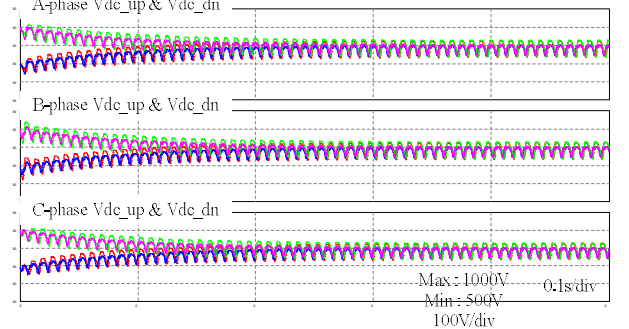
Fig. 5 PWM Method of Cascaded NPC Multilevel Inverter

3. Simulation

시뮬레이션은 입력 선간 전압/주파수: 3300V/60Hz, 입력단 구성: 12-pulse, 스위칭 주파수: 1kHz, 출력 상전압: 1350V, 출력전류: 250A, 출력 주파수: 60Hz의 조건으로 구성되어 진행하였다. 그림 6(a)는 DC_Link 전압제어를 하지 않았을 경우 U, V, W 각상의 DC_Link 전압 불평형이 증가하는 파형이며 그림 6(b)의 파형은 옵셋전압에 의한 유효 스위칭 상태의 수위칭 타임을 조절하였을 경우 DC_Link 전압파형이 일정한 값으로 수렴하는 파형이다. 해당 파형을 통해 전압제어가 적절하게 동작하는 것을 확인 할 수 있다.



(a) Unbalanced waveform of DC_Link voltage



(b) Balanced waveform of DC_Link voltage

Fig. 6 DC_Link voltage waveform

4. Conclusion

본 논문에서는 Cascaded NPC Type의 고압인버터 개발에 있어서 개선이 요구되는 낮은 입력 전류 THD에 대한 문제와 DC_Link 중성점 전압변동에 대한 문제를 고찰하고 이를 해결할 수 있는 방안을 제안하였다. 위상 치환 변압기를 이용하여 Cascaded NPC 멀티레벨 인버터의 입력 전고조파 왜율(THD)을 저감하여 12-pulse 시스템 기준 36-pulse 정류부를 가지는 시스템과 동등한 특성을 나타내는 것을 확인 하였으며 DC_Link 전압 불균형에 대한 문제를 옵셋 전압을 이용한 반송파를 재구성하여 해결하였다.

Reference

- [1] Nabae, A.; Takahashi, I. & Akagi, H. “A New Neutral-Point-Clamped PWM Inverter” Industry Applications, IEEE Transactions on, 1981, IA-17, 518-523.
- [2] Rodriguez, J.; Lai, J.-S. & Peng, F. Z. “Multilevel inverters: a survey of topologies, controls, and applications” Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 2002, 49, 724-738.
- [3] Bin Wu, “High-Power Converters and AC Drives,” Chap.1, Wiley Inter-science, 2006.