

멀티레벨 인버터 토폴로지의 비교 연구

Comparative Study on the Characteristics of Multilevel Inverter Topology

박종제, 윤홍민, 나승호
 Jong-Je Park, Hong-Min Yun, Seung-Ho Na

자동화 제품 연구소
 LSIS Automation Product R&D Center

Abstract

최근 전력변환 분야에서 고압 인버터의 요구가 증가함에 따라 국내외 Drive 업체에서 멀티레벨 인버터에 대한 관심이 커지고 있다. 특히, 현재 LS산전에서 양산되고 있는 Cascaded H-Bridge(이하 CHB) Type의 멀티레벨 인버터와 더불어 1981년 Nabae 교수에 의해 처음 제안된 3-Level Neutral Point Clamped(이하 NPC) Type의 멀티레벨 인버터는 최근 그 성능 및 신뢰성에 대한 검증이 많이 이루어 졌으며 경쟁사인 ABB/YASKAWA/TMEIC社 등에서 실제 제품화가 되고 있다. 본 논문에서는 현재 LS산전에서 개발중인 3-Level NPC 인버터 기반의 5-Level NPC 인버터의 System 최적화를 위해 양산중인 CHB Type의 멀티레벨 인버터와 그 특성을 비교하여 해당 인버터 개발에 대한 타당성을 검증하였다

1. Introduction

최근 10년간 고압인버터 시장에서 Cascaded H-Bridge 멀티레벨 인버터와 Neutral Point Clamped 멀티레벨 인버터가 고압 드라이브 시장의 가장 보편적인 제품으로 자리매김 하였다[1][2]. 특히, CHB 멀티레벨 인버터의 경우 자사 LS 산전 에서 양산 중이며 제품 특성상 입출력 필터가 필요 없을 뿐 아니라 인버터 구성이 저압(LV) 단상 Cell의 결합으로 이루어지기 때문에 저압 Power 소자를 사용하여 시스템 구성이 가능하고 Cell 단위의 유지보수가 쉬운 장점을 가진다. 하지만 입력 변압기의 부피가 크고 6600V 입력 전원을 사용하는 경우 인버터 한상당 총 6Set의 단위 Cell이 필요하여 관리 포인트가 증가한다는 단점을 가진다. 3-Level NPC 멀티레벨 인버터의 경우 CHB 인버터에 비해 작은 부피를 가지고 고압전동기 구동 시스템에 적용 되고 있지만 입력단 THD가 상대적으로 높고 출력 선간 전압 Level이 CHB 멀티레벨 인버터 보다 낮아 입출력 필터가 필요하다는 단점을 가진다. 최근에는 이러한 멀티레벨 인버터의 장단점을 고려하여 인버터 System 구성은 CHB 멀티레벨 인버터로 하되 단상 Cell의 Power회로를 NPC Type 으로 하여 CHB 멀티레벨 인버터와 NPC 인버터의 장점을 서로 공유하는 5-Level 멀티레벨 인버터가 시장에 선보이고 있다[3].

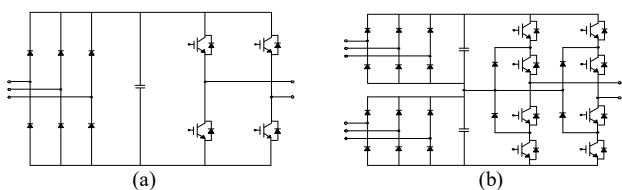


Fig. 1 Power circuit of inverter cell (a) CHB Cell (b) 5-level NPC Cell

본 논문에서는 LS산전 에서 보유하고 있는 CHB 멀티레벨 인버터와 NPC인버터의 특성을 비교하고 5-Level NPC 인버터 개발에 대한 타당성을 확보하기 위해 동일 용량의 인버터에 대해 H/W 구성 및 사이즈, 입출력 THD, Power Device Losses를 분석하였다. 인버터 용량은 Table 1.과 같이 6600V 600KVA 53A를 기준으로 비교하였으며 시뮬레이션 Tool은 PSIM과 IPOSIM 그리고 SMICEL을 이용하였다.

2. Configurations

2.1 Inverter Spec.

Table. 1 Comparison of each inverter Spec.

| | CHB | | 5-Level NPC | |
|--------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | | |
| System Input | 6600V | 6600V | 6600V | 6600V |
| Cell Type | H-Bridge Cell | NPC Cell | NPC Cell | NPC Cell |
| # of Stair | 6 Stair | 2 Stair | 3 Stair | 3 Stair |
| Input Trans. | 6600V/635V | 6600V/1905V | 6600V/1270V | 6600V/1270V |
| Input Section | 36 Pulse | 24 Pulse | 36 Pulse | 36 Pulse |
| Cell Input | 635V | 1905V | 1270V | 1270V |
| DC_Link | 890V | 2694V | 1795V | 1795V |
| Output Volt. level | 25Level | 17Level | 25Level | 25Level |

2.2 H/W 구성 및 사이즈

5-Level NPC 멀티레벨 인버터의 경우 Fig.1(b)와 같은 NPC Type의 Cell을 직렬 연결하여 구성한다. 6600V 기준으로 시스템을 구성한다면 Fig 1(a)의 단상 H-Bridge Cell 6층을 직렬 연결하는 CHB 멀티레벨 인버터와 달리 5-Level NPC 인버터는 한 상당 3층으로 인버터가 구성되어 상대적으로 전체 인버터 사이즈가 감소하게 된다.

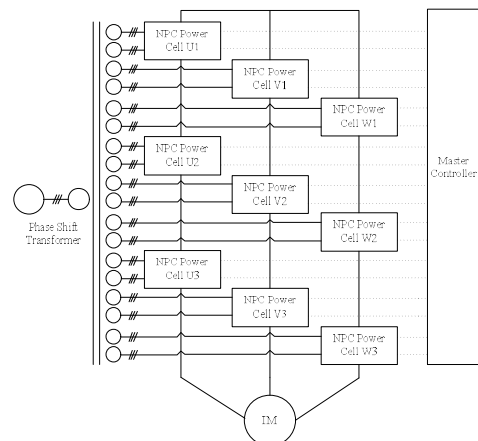


Fig. 2 Configuration of 5-Level NPC Multilevel Inverter

현재 자사에서 개발중인 Cell의 구조는 Fig 1. (b)와 같이 두 개의 입력전원을 이용하므로 입력단 THD개선을 위한 입력필터 설치가 불필요하며, 출력 전압 레벨도 Table1. 과 같이 기존 CHB 멀티레벨 인버터 동일한 25-Level을 유지한다.

2.3 출력 THD 비교

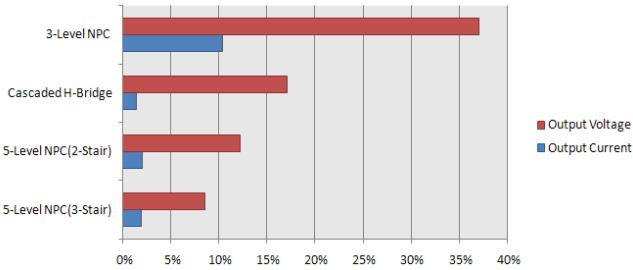


Fig. 3 Output Voltage and Current THD

출력 전압 및 전류에 대한 THD측정은 6600V/53A 인버터를 기준으로 3-Level NPC, CHB, 5-Level NPC(2층), 5-Level NPC(3층)을 비교 시뮬레이션 하였으며 필터는 고려하지 않았다. PWM Method는 CHB 멀티레벨 인버터의 경우 Phase-Shifted Modulation을, NPC 멀티레벨 인버터는 Level-Shifted Modulation(IPD)을 적용하였다. 5-Level NPC 인버터의 출력전압 THD는 8.6%로 CHB 멀티레벨 인버터와 비교하였을 때 더 양호한 특성을 나타내었으며, 3-Level NPC 인버터는 출력 필터의 사용이 권장된다.

2.3 Switching Device Losses

인버터 설계 시 Power 소자의 발열량 계산은 인버터의 신뢰성 측면에서 필수적으로 고려되어야 할 사항이다. Fig. 4는 각각의 멀티레벨 인버터에 대해 정류부와 인버터부를 나누어 발열량을 계산한 그래프이며, 1kHz 스위칭 주파수와 주위온도 25°C기준으로 계산하였다. CHB 멀티레벨 인버터와 5-Level NPC 인버터를 비교 하였을 때 Cell단위에서는 Power 소자의 사용이 많은 5-Level NPC 인버터가 발열량에 불리 하였으나 시스템 측면에서 고려하였을 경우 Fig. 5와 같이 Cell 수량이 적은 5-Level NPC 인버터가 더 유리한 것을 확인 할 수 있다.

Unit Cell Losses (Watt)

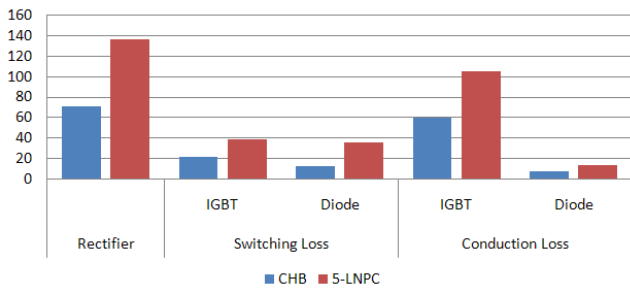


Fig. 4 Power device losses of each power cell

System Losses (Watt)

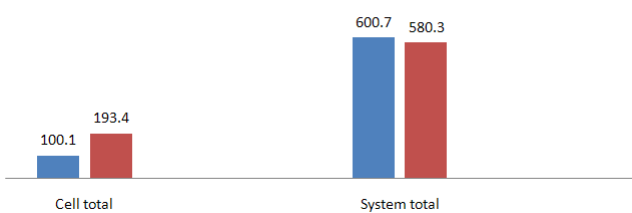
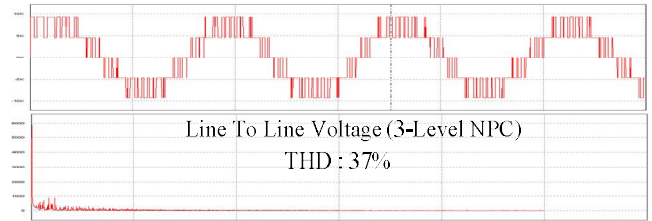
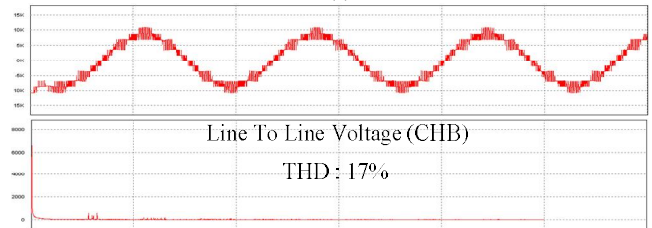


Fig. 5 System losses of CHB and 5-LNPC inverter

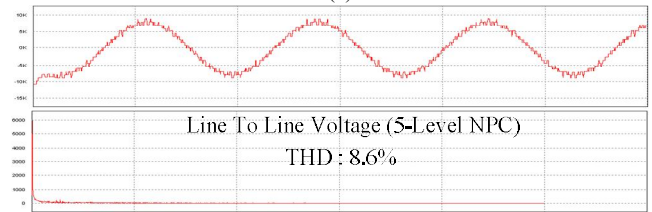
3. Simulation



(a)



(b)



(c)

Fig. 5 Output voltage wave form and THD (a) 3-Level NPC inverter (b) CHB Inverter (c) 5-Level Inverter

시뮬레이션은 입력 선간 전압/주파수 6600V/60Hz, 직류단 커패시턴스 3000uF으로 각 인버터에 동일하게 적용하였으며 CHB 멀티레벨 인버터는 상당 6층, 5-Level 멀티레벨 인버터는 상당 3층으로 구성하여 모의 시험을 진행하였다. 3-Level NPC인버터는 출력 선간 전압 레벨이 5레벨로 출력 THD가 가장 나빴으며, CHB 인버터와 5-Level NPC 인버터는 양호한 THD 특성을 보여주었다.

4. Conclusion

본 논문에서는 Cascaded H-Bridge(CHB) 고압인버터와 5-Level Neutral Point Clamped(NPC) 고압인버터의 특성을 비교하였다. 현재 LS산전에서 양산하고 있는 CHB 고압인버터와 더불어 NPC 구조를 가지는 고압인버터 제품군 도입의 타당성을 인버터 구조, 출력 THD, Power 소자의 발열량 측면에서 시뮬레이션을 통해 확인 하였다. 특히, 작은 인버터 사이즈를 가지며 입출력 특성은 기존 CHB 인버터와 동등한 5-Level 멀티레벨 인버터를 도입함으로써 LS산전 고압인버터 제품의 Line up다양화에 큰 도움이 될 것이라 예상된다.

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.