

와전류 다이아모 메타 부하시험기를 이용한 H-브릿지 멀티레벨 인버터

임익현, 김봉석, 류호선
전력연구원

H-Bridge Multi-level Inverter with Eddy Current Dynamometer

Ik-Hun Lim, Bong-Suck Kim, Ho-Seon Ryu
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - 본 논문에서는 고압전동기를 직접 드라이브 할 수 있는 H-브릿지 멀티레벨 인버터를 제안한다. 전동기의 부하장치로는 에디커런트 다이아모메타를 사용하였다. H-브릿지 멀티레벨 인버터는 여러 개의 단상 Power Cell을 직렬로 연결함으로써 저전압 전력용 반도체를 사용하여 고전압을 얻을 수 있고, 정현파에 가까운 출력전압 파형을 얻을 수 있는 멀티레벨 인버터 토폴로지이다. H-브릿지 멀티레벨 인버터의 주요 장점은 Power Cell의 모듈화, 셀 단위의 보호동작 용이, 확장성 향상 그리고 제어 신호 및 Power Cell의 신뢰성 향상에 있다. 본 논문에서 제안하는 H-브릿지 멀티레벨 인버터는 상당 3개의 Power Cell이 직렬로 연결되어 총 9개의 Power Cell로 구성이 되어, 선간전압은 13레벨이며 dv/dt가 적으며 입력 단 THD를 크게 낮출 수 있다. 정격용량 180kVA 이고 출력전압이 480V인 H-브릿지 멀티레벨 인버터를 제작하여 와전류 다이아모메타 부하 시험을 통해 제안된 방법의 타당성과 신뢰성을 입증하였다.

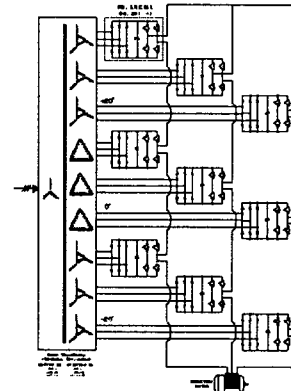
1. 서 론

최근 전력용 반도체 소자 기술 분야의 비약적인 발전에 힘입어 전력전자 기술은 고도로 성장하였으며, 특히 전력용 반도체 소자의 스위칭 속도, 전압정격 및 전류 정격의 증대는 H-브릿지 멀티레벨 인버터를 가변속 전동기 구동 시스템에 적용 가능하게 하였다. 가변속 전동기 구동 시스템은 고압 대용량 유도 전동기에 입력되는 전압 및 주파수 가변을 통해 전동기의 속도를 제어하여 에너지 절감 효과를 얻을 수 있는 전력변환 장치이다. 기존의 대용량 고압 인버터 토폴로지인 전류형 인버터의 경우 스위칭 소자의 동작에 따라 발생하는 큰 dv/dt에 의한 고조파와 common mode 전압에 의한 누설전류는 시스템 전체의 신뢰성을 떨어뜨리며, 스위칭 주파수에 따른 고차 고조파는 발열 및 신호선 간섭 측면에서 문제를 발생시킨다. 이에 대한 해결 방안으로 인버터 출력단에 L-C 필터를 설치하는 방법이 있으나 이는 출력 전압의 제어 응답특성을 떨어뜨리고 대용량 시스템에서는 크기 및 비용 증가 등의 단점이 있다. 이러한 단점으로 인하여 고압 전압형 인버터의 사용이 증가되고 있으나 과도한 dv/dt에 의한 전동기 절연파괴, 인버터와 전동기 사이의 거리 가 멀 경우 전압반사에 의한 과전압의 문제가 있으나 고압 전압형 H-브릿지 멀티레벨 인버터의 경우 출력 전압 step이 여러 단계이므로 출력 필터가 없어 우수한 동적특성과 dv/dt를 줄일 수 있다. 본 논문에서 제안하는 H-브릿지 멀티레벨 인버터는 우수한 동적 특성을 가지고 전속도 영역에 대해서 원활한 토크, 속도 제어가 가능하며 입/출력 역률 측면에서도 유리하다.

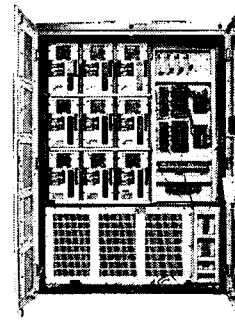
2. 본 론

2.1 개발된 H-브릿지 멀티레벨 인버터

개발된 3상 440V, 180kVA H-브릿지 멀티레벨 H-bridge 인버터는 그림 1과 같이 입력 다권선 변압기와 한 상당 3대의 셀 인버터가 직렬 연결되어 총 9대의 셀 인버터로 구성되어 있다. 각 셀 인버터는 전압형 인버터로써 직렬 연결되어 있으며, 다권선 변압기에 의하여 위상차를 주어 출력 전압은 멀티레벨을 가지며 유사정현파이다. 인버터 출력전압의 레벨수를 증가시키기 위하여 분리된 직류전원을 갖는 셀 인버터 출력을 시스템 1상 당 3대 씩 직렬 연결하여 상 전압 기준 7레벨, 선간전압 기준 13레벨의 유사정현파 파형을 생성한다. 다수의 독립 절연 직류부를 만들기 위해 입력 측에 다권선 변압기를 사용하여 권선 위상차를 포함시켜 18펄스 다이오드 정류부를 구성함으로써 입력 측 고조파 함유율을 축소시키는 구조를 가진다. 그림 2는 480V, 180kVA H-브릿지 멀티레벨 인버터의 사진이다. 상단에는 Power Cell과 제어부가 배치되었고 하단에는 다권선 변압기가 배치되어 있다. 표 1은 개발된 480V, 180kVA H-브릿지 멀티레벨 인버터의 사양이다.



〈그림 1〉 H-브릿지 멀티레벨 인버터 구성도

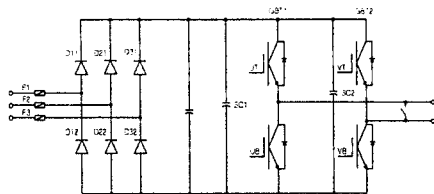


〈그림 2〉 480V, 180kVA H-브릿지 멀티레벨 인버터

〈표 1〉 개발된 H-브릿지 멀티레벨 인버터 사양

인버터 형태	전압형 인버터 (H-Bridge 멀티레벨 인버터)
정격 용량	180kVA
입력전압	3상 440V ± 10%
입력변압기	180kVA, 다권선 변압기
입력주파수	50/60Hz ± 5%
입력 정류 방식	18펄스 다이오드 정류
입력 전원품질	TDD<5%
역률(DPF)	0.95 (from 20% to 100% load)
출력전압	3상 0-440V, 선간전압
출력전압 Level	상 전압 : 7레벨 선간 전압 : 13레벨
셀 인버터 수량	총 9대 (1상 당 3셀 직렬연결)
출력주파수	0Hz-120Hz
사용전력소자 & 변조방식	IGBT, 펄스 폭 변조방식(광 신호 전송)
효율	97% (정격속도, 정격전류 내)
냉각	강제 풍냉
적용 규격	IEEE or NEMA

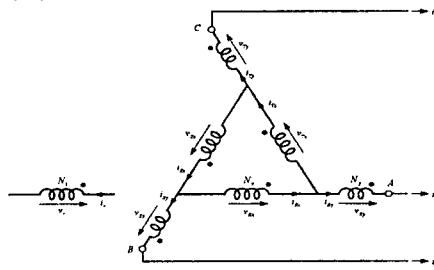
2.1.1 셀 인버터



〈그림 3〉 20kVA 셀 인버터 전력회로

그림 3은 셀 인버터 전력회로 구성도로서 20kVA (180kVA / 9개) 용량의 3상 정류부와 단상출력의 인버터부로 구성 되어있다. 셀 출력전압의 최대 크기는 출력 1상 당 3대의 셀 인버터를 연결하는 방식이므로 85V가 된다. 인버터 부 출력 측에 싸이리스터를 이용 양방향 bypass 스위치를 부착하였다. bypass 스위치는 멀티레벨 H-bridge 인버터의 총 9개 셀 인버터 중 임의의 셀 인버터에 고장이 발생하였을 경우 고장 셀 인버터 출력을 격리시키는데 사용되며 bypass 스위치를 통해 격리된 고장 셀 인버터를 교환 하지 않아도 되도록 정지 없이 시스템을 계속 운전할 수 있다. bypass 운전 중에는 격리된 셀 인버터의 수량에 해당되는 용량만큼의 부하 De-rating 운전이 필요하다.

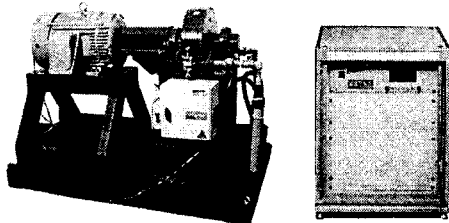
2.1.2 입력 다권선 변압기



〈그림 4〉 입력 다권선 변압기

멀티레벨 H-bridge 인버터에 입력 다권선 변압기를 사용하는 이유는 직렬 연결되는 다수의 Cell 인버터 입력 직류전원을 상호 절연시켜야 하므로 변압기 2차 측 권선 역시 Cell 인버터 수량과 동일하게 설치하여야 한다. 또한 2차 측 권선 상호간의 적절한 위상차에 의해 1차 전류는 파형의 스텝수가 증가해 해당 저차 고조파성분이 제거될 수 있도록 설계해야 한다. 한 상당 3대의 셀 인버터가 직렬 연결되어있고 총 9대의 셀 인버터가 사용되었으므로, 변압기 1차 측 전류에폭으로 인한 모션 전원의 영향을 최소한으로 하기 위해 2차 권선을 3개씩 그룹으로 하여 각 그룹 상호간에 20도의 위상차를 갖도록 하였다.

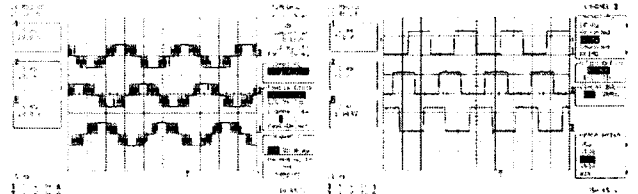
2.1.3 유도전동기와 다이노모메타



〈그림 5〉 유도전동기와 다이노모메타

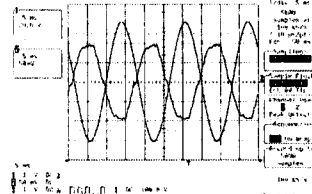
그림 5는 H-브릿지 멀티레벨 인버터의 부하장치인 유도전동기와 다이노모메타이다. H-브릿지 멀티레벨 인버터의 부하장치로는 유도전동기가 사용이 되고, 시스템 특성 해석을 위해서는 전동기 부하장치가 필요하다. 전동기 부하로는 M-G set, Flywheel, 다이노모메타 등이 있는데 성능 및 편의성, 안전등에서 다이노모메타가 가장 효과적인 전동기 부하장치이다. 유도전동기 부하로서 사용할 다이노모메타는 각 연구기관에서 전동기 및 인버터의 Power, 속도, 토크 성능 해석에 널리 사용되는 부하장치로 운전이 용이하고 유지, 보수가 간편한 50kW 용량의 에디커런트 방식 다이노모메타를 사용하였다. 본 실험에 사용된 에디커런트 다이노모메타는 최대 부하 토크 범위에서 원하는 크기의 토크를 연속, 또는 스텝으로 인가할 수 있고 토크 센서와 스피드센서가 내장되어 부하운전 중 다이노모메타 제어를 통해 토크, 스피드 등의 관측, 기록이 가능한 부하장치이다.

2.2 실험결과

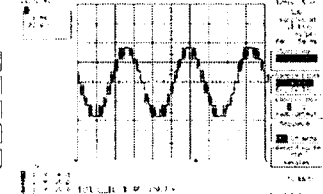


〈그림 7〉 셀 인버터 출력 전압

〈그림 8〉 셀 인버터 위상 전이 시험



〈그림 9〉 다권선 변압기 전압 및 전류



〈그림 10〉 인버터 출력 상전압(U상)

그림 7은 각 상의 파워 셀(Cell 1, Cell 4, Cell 7)에 대한 출력 전압을 측정하였다. 각 파형의 주기는 16.67msec의 주기를 가지며 각 상의 파워 셀 간에는 5.55msec의 위상 차이가 있다. 그림 8은 Cell 인버터 U상의 Cell 1, Cell 2 그리고 Cell 3의 출력 파형을 측정하였다. 각 Cell 인버터 출력 간에는 전체 주기의 3.6도에 해당하는 167e μ sec의 위상 차이가 있다. 그림 9는 제어모드는 V/F 제어운전이 며 부하는 100[N·M]의 실험 조건에서 측정된 다권선 변압기 1차 측 전압 및 전류 파형이다. 그림 10은 U상의 Cell 인버터 출력 상 전압의 파형이다. 인버터 출력 상 전압 레벨의 이론치 수는 "2×상당 셀의 수"이며 실제 파형도 이론치와 같은 7레벨임을 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 고압전동기를 직접 드라이브 할 수 있는 전동기 가변속 장치인 H-브릿지 멀티레벨 인버터를 선정하였다. 여러개의 단상 Power Cell을 직렬로 연결함으로써 저전압 전력용 반도체를 사용하여 고전압을 얻을 수 있고, 정현파에 가까운 출력전압 파형을 얻을 수 있었다. 상당 3개의 Power Cell이 직렬로 연결되어 총 9개의 Power Cell로 구성이 되어, 선간전압은 13레벨이며 dv/dt가 적으며 입력 단 THD를 크게 낮출 수 있었다. 정격용량 180kVA 이고 출력전압이 480V인 H-브릿지 멀티레벨 인버터를 제작하여 와전류 다이노모메타 부하 시험을 통해 제안된 방법의 타당성과 신뢰성을 입증하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Ichikawa, Kosaku; Hirata, Akio; Kawakami, Kazuto; Satoh, Kazuhir o; "Multiple inverter system", *United States Patent Number* 622~7 22, 2001. 5. 8.
- [2] Hammond, Peter W., Hammond, "Medium voltage pwm drive and method", *United States Patent Number* 5625545, 1997. 4. 29.
- [3] Hammond, Peter W.; Aiello, Marc F.; "Multiphase power supply with plural series connected cells and failed cell bypass", *United States Patent Number* 5986909, 1999. 11. 16.
- [4] Bor-Ren Lin, Yuan-Po Chien, Hsin-Hung Lu, "Multilevel inverter with series connection of H-bridge cells", *Power Electronics and Drive Systems, 1999. PEDS '99. Proceedings of the IEEE 1999 International Conference, Volume: 2, pp. 859~864, 1999.*
- [5] 서광덕,김종규,박영민,조성준, "멀티레벨 인버터의 기술동향 및 제어특 성 연구", *전력전자학회 하계학술대회 논문집*, pp. 339~342, 2002. 7. 3-6.
- [6] 박영민,김연달,이현원,이세현,서광덕, "3300V 1MVA H- 브릿지 멀티 레벨 인버터 개발", *전력전자학회 논문지* 제8권 제6호, pp.478~48 7, 2003.12.