

# H-브릿지 멀티레벨을 적용한 11,000V & 13,800V 고압인버터 개발

박영민, 김종철, 조성준  
현대중공업 (주)

## Development of 11,000V & 13,800V Medium Voltage Inverter using H-Bridge Multilevel

Young-Min Park, Jong-Cheol Kim, and Sung-Joon Cho  
Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

### ABSTRACT

본 논문은 입출력 전력품질이 우수하고 전압별 시리즈화가 용이한 Cascaded H-브릿지 멀티레벨 전력 회로를 적용한 고압 대용량 전동기 구동용 11,000V / 13,800V 고압인버터 개발에 관하여 기술하였다.

기준에 개발된 3,300V/200kVA - 6,600V/8,000kVA 고압인버터의 단상 인버터로 구성된 개별 파워 셀 전압 증대, 파워 셀의 직렬 갯수 추가, 입력 위상 전이 다권선 변압기 2차 권선수 확장, 그리고 분산 제어 기능을 확대하는 방식을 적용하여 전압을 증가시켰다. 실용량 제품의 제작 (11,000V/1,000kVA, 13,800V/2,400kVA) 및 실험을 통하여 개발된 11,000V/13,800V 고압인버터의 성능을 확인하였다.

### 1. H-브릿지 멀티레벨 인버터

H-브릿지 멀티레벨 인버터 시스템의 각 상은 단상 인버터 (파워 셀) 직렬 연결 구조이며, 여러 개의 파워 셀을 직렬로 연결함으로써 저전압 파워 셀, 즉 저전압 전력용 반도체를 사용하여 고전압을 얻을 수 있고, 또한 파워 셀의 직렬 연결 수량에 따라 출력 전압 레벨의 갯수가 증가하여 정현파에 가까운 전압 파형을 얻을 수 있다<sup>[1]</sup>. 입력측 변압기는 2차측 권선간에 위상차를 두어 Multi-pulse 방식의 정류기형 컨버터를 구성함으로써 기존의 6-pulse 정류 방식에 비하여 아주 낮은 입력측 전류 고조파 특성이 있다. 인버터 최종 출력 전압은 파워 셀의 갯수를 조정함으로써 대응이 가능하다. 따라서, 입출력 전력 품질이 우수하며 강압 및 승압 변압기, 입출력 필터 그리고 고전압 전력용 반도체 소자를 사용하지 않으면서 고전압 전동기를 직접 구동할 수 있는 우수한 전력 토폴로지이다.

### 2. 고압인버터 전압 증대 방법

#### 2.1 개별 파워 셀 전압 증대

H-브릿지 멀티레벨 인버터 파워 토폴로지로 구성된 고압인버터의 파워 셀은 전력변환 장치의 모듈화 및 표준화 개념인 PEBB (Power Electronics Building Block<sup>[2]</sup>)을 적용하여 설계하였다. 파워 셀은 하나의 완전한 단상 인버터 구조로써 입력 퓨즈, 다이오드 정류부, 평활용 커패시터, IGBT Module, IGBT Driver, SMPS 그리고 파워 셀 제어기로 구성된다. 직렬 연결로 수량을 줄이기 위하여, 다음과 같은 방법으로 기존의 파워 셀 전압을 20% 증대하였다.

- 1) 기존 3단 직렬로 구성하였던 평활용 전해 커패시터를 1단 필름 커패시터로 변경

- 2) 입력 퓨즈 전압 증대
- 3) SMPS 입력 전압 증대
- 4) 다이오드 및 IGBT 전압 여유율 극대화
- 5) 파워 셀 제어기 기능 확장

그림 1은 11,000V와 13,800V 고압인버터에 적용된 파워 셀 구성도이다.

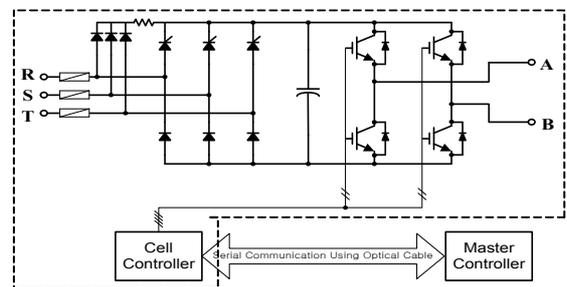


그림 1 파워 셀 구성도

#### 2.2 파워 셀 직렬 갯수 추가

기준에 개발된 3,300V 고압인버터는 상당 3개, 그리고 6,600V 고압인버터 상당 6개의 파워 셀이 직렬 연결로 구성되어 있다. 따라서, 11,000V 고압인버터 구성을 위하여 상당 10개의 파워 셀 직렬 연결되어야 하며, 13,800V 고압인버터에서는 상당 12개의 파워 셀 직렬 연결이 필요하다. 고압인버터의 가격 경쟁력 향상과 단순화를 위하여 개별 파워 셀 전압을 20% 향상시켜 11,000V 고압인버터는 상당 8개 파워 셀, 13,800V 고압인버터는 상당 10개의 파워 셀 직렬 연결로 수량을 감소시켰다.

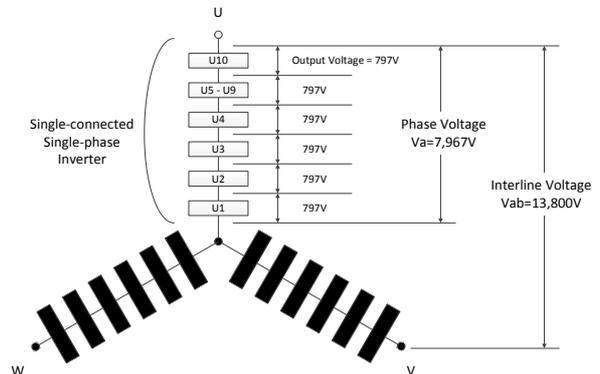


그림 2 13,800V 고압인버터 벡터도

### 2.3 다권선 변압기 2차 권선수 확장

고압인버터 입력측에 사용된 변압기는 개별 파워 셀에 독립된 전원을 공급하며, 인버터 입력측 전력품질 향상을 위하여 다권선 변압기가 사용된다. 13,800V 고압인버터 구성을 위하여 기존 18권선에서 30권선으로 확장하였으며, 그림 3과 그림 4는 1차 권선은 Y-결선, 2차 권선은 확장 Δ-결선 형태로 구성된 변압기의 권선 구성과 2차 권선의 벡터도이다.

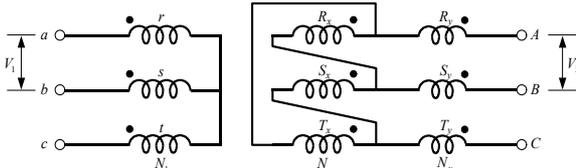


그림 3 Wye - Extended Delta 권선 구성

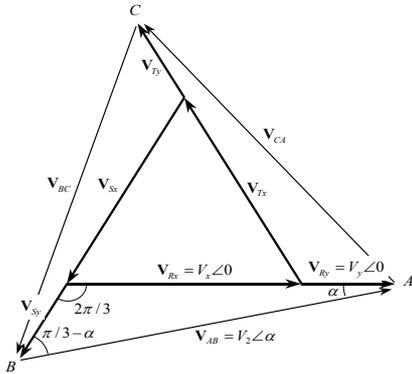


그림 4 2차 권선의 벡터도

### 2.4 분산 제어 기능 확대

본 논문의 고압인버터는 PEBB 개념을 파워 모듈에 한정하지 않고 제어 장치까지 확대함으로써 그림 5와 같이 주제어기와 파워 셀 제어기로 구분한 분산 제어기로 구성되어 있다. 기존 고압인버터의 전압을 증가시키기 위하여, 확장성에서 장점을 가지고 있는 분산 제어기의 기능을 다음과 같은 방법으로 확대하였다.

- 1) 주제어기 연산 속도 및 메모리 확장
- 2) 주제어기 & 파워 셀 연계 CAN 통신 채널을 기존 상단 6 채널에서 10 채널로 확장
- 3) 파워 셀 제어기 PWM 위상 전이 및 주제어기와의 연계 운전 기능 확대

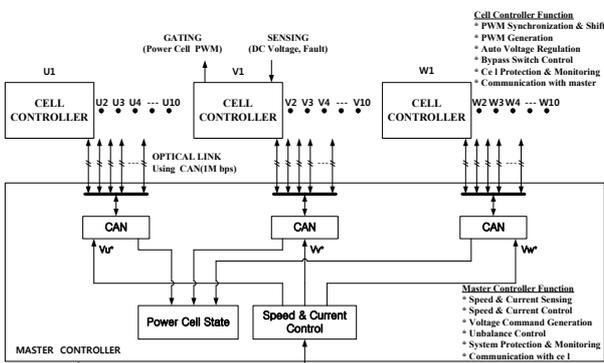


그림 5 분산 제어 장치의 구성

### 3. 개발된 11,000V & 13,800V 고압인버터

그림 6은 다권선 변압기와 단상 인버터의 직렬 연결로 구성된 H-브릿지 멀티레벨 인버터의 전력회로와 제어기 구성도이며, 그림 7과 8은 개발된 11,000V/13,800V 고압인버터이다.

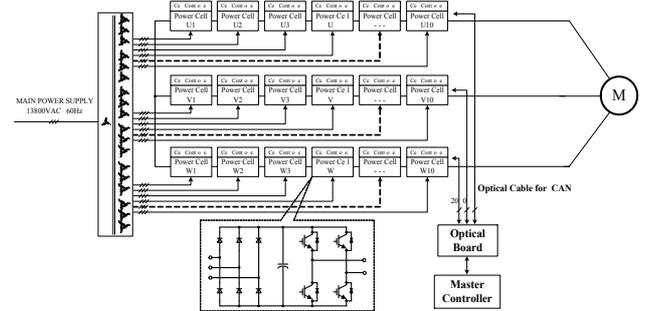


그림 6 시스템 구성도



그림 7 개발된 11,000V/1,000kVA 고압인버터



그림 8 개발된 13,800V/2,400kVA 고압인버터

### 4. 결론

기존에 상품화된 최대 전압 6,600V 고압인버터의 개별 파워 셀 전압 증대, 파워 셀 직렬 갯수 추가, 입력 위상 전이 다권선 변압기 2차 권선수 확장, 그리고 분산 제어 기능을 확대하는 방식을 적용하여 11,000V/13,800V 고압인버터를 개발하였으며, 기존 제품군에 최대 전압 13,800V를 추가함으로써 다양한 전압과 용량의 고압인버터 제품 (3,300V/200kVA ~ 13,800V/16,000kVA)을 확보하였다.

### 참고 문헌

- [1] Bin Wu, "High-Power Converters and AC Drives", A John Wiley & Sons, 2006
- [2] Retzmann D. and Gambach H., "Panel session on PEBB concepts - from medium voltage drives to high voltage applications", IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), pp.3689-3691, 4-7 July 2010