

## H-브릿지 멀티레벨 인버터 제어알고리즘

김봉석, 류호선, 신만수, 이주현, 임익현  
전력연구원

### Control Algorithm of H-Bridge Multi-level Inverter

Bong-Suck Kim, Ho-Seon Ryu, Man-Su Shin, Joo-Hyun Lee, Ik-Hun Lim  
Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - 본 논문에서는 대용량 전력 변환 장치이며 출력 전압 가변이 가능한 H-브릿지 멀티레벨 인버터의 제어 알고리즘을 제안한다. H-브릿지 멀티레벨 인버터는 독립적으로 절연된 직류 부를 갖는 저압의 단상 인버터(셀 유닛)를 다수 직렬 접속하여 고압 3상 전압을 출력하는 Cascaded H-bridge 전압형 인버터이다. 다수의 독립 절연 직류부를 만들기 위해 입력 측에 다권선 변압기를 사용하여 입력 측 고조파 함유율을 축소시킬 수 있다. 인버터를 사용하는 제어방법 중 가장 오래되고 일반적인 방법으로 출력전압과 출력 주파수의 비를 일정하게 제어하여 전동기의 자속 크기를 일정하게 제어하고, 별도의 센서 없이도 운전이 가능한 V/F 제어모드는 저속 모드에서 제어 성능이 떨어지는 것을 실험을 통해 확인할 수 있었다. 정격용량 180kVA이고 출력 전압 480V인 H-브릿지 멀티레벨 인버터 실험을 통해 벡터제어와 센서리스 벡터제어를 구현하여 저속 모드에서 제어 성능의 향상을 입증하였다.

#### 1. 서 론

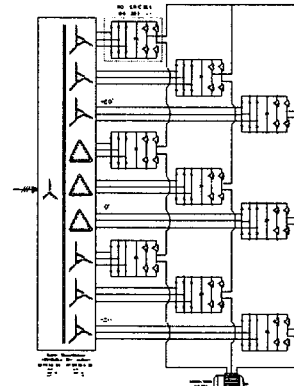
최근 전력용 반도체 소자 기술 분야의 비약적인 발전에 힘입어 전력전자 기술은 고도로 성장하였으며, 특히 전력용 반도체 소자의 스위칭 속도, 전압정격 및 전류 정격의 증대는 H-브릿지 멀티레벨 인버터를 가변속 전동기 구동 시스템에 적용 가능하게 하였다. H-브릿지 멀티레벨 인버터는 구조적으로 독립적으로 절연된 직류부를 갖는 저압의 단상 인버터(셀 유닛)를 다수 직렬 접속하여 고압 3상 전압을 출력하는 Cascaded H-브릿지 전압형 인버터이다. 이로 인해 전력회로에 대한 완전한 모듈화가 가능하여 유지 보수가 쉽고 전압 정격의 증대가 용이하다. 또한, 저압의 IGBT로 구성되기 때문에 경제적으로 개별 전력 셀의 고장시에도 정격 감소 운전(Derating Operation)이 가능하다. 각 상은 직렬 접속된 여러 개의 Power Cell로 구성되며 각 Power Cell은 독립된 단상 인버터 구조이다. 여러 개의 Power Cell을 직렬로 연결함으로써 저전압 Power Cell, 즉 저전압 전력용 반도체를 사용하여 고전압을 얻을 수 있고, 또한 Power Cell의 수에 따라 출력 전압 레벨의 수가 증가하여 정현파에 가까운 전압 파형을 얻을 수 있다.<sup>[1]</sup>

H-브릿지 멀티레벨 인버터의 입출력 특징은 개별 전력셀의 PWM 위상 전이를 이용하여 출력 전압이 멀티 레벨이며 낮은 스위칭 주파수에도 적은 출력 고조파 발생을 한다. 또한 다권선 변압기의 사용으로 입력 THD(Total Harmonic Distortion)가 낮고 출력 전압 step이 여러 단계이므로 출력 THD가 낮으며 전압반사의 영향이 작기 때문에 인버터와 전동기 사이의 거리가 멀어도 전압반사에 의한 과전압이 작다.

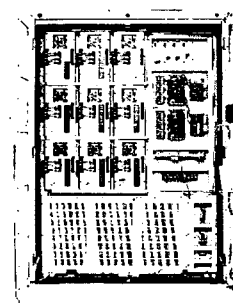
#### 2. 본 론

##### 2.1 개발된 H-브릿지 멀티레벨 인버터

그림 1은 H-브릿지 멀티레벨 인버터 전력회로이다. 그림 2는 실 입력 변압기를 거쳐 각 셀 유닛에 3상 전원이 공급되고 셀 유닛의 인버터는 단상 가변전압, 가변주파수를 출력한 후 그림과 같이 상별로 3개 셀 유닛이 직렬로 접속되어 출력 상 전원을 구성한 후 상간 Y 결선을 통해 선간전압으로 최종 출력이 발생한다. 이와 같은 전력회로 방식을 cascaded H-bridge 멀티레벨 방식이라고 부른다. 실험을 위해 제작한 H-브릿지 멀티레벨 인버터는 직렬접속을 통한 440V 전압 출력을 위해 총 9개의 H-bridge회로 구조를 갖는 셀의 직류 전원을 셀 간 상호 분리시켜야 하므로, 입력 다권선 변압기를 사용해 변압기 2차권선 수를 셀 수량과 동일하게 제작하였다. 각 셀 내 다이오드 정류회로의 사용으로 인해 발생하는 고조파의 크기를 최소한으로 하기 위해 변압기 2차 권선을 3상으로 그룹지어 각 그룹의 3개 권선을 20도 위상차가 되도록 제작하였다. 이렇게 제작된 변압기를 사용하면 셀 내 다이오드 3상 전파 정류부로 인해 발생하는 5차, 7차, 11차, 13차, 17차, 19차, 23차, 25차, 29차, 31차 고조파 성분을 변압기 1차 측 전류합성과정에서 상쇄시켜 30% 이상의 부



〈그림 1〉 H-브릿지 멀티레벨 인버터 구성도

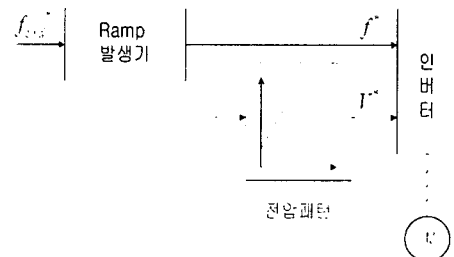


〈그림 2〉 480V, 180kVA H-브릿지 멀티레벨 인버터

하 사용 시 입력전류 THD크기를 5% 이하로 줄일 수 있다. 즉 18 펄스 다이오드 정류부와 동일하게 고조파 함유율을 축소함으로써 고조파제한 국제규격(IEEE std. 519-1992)을 충족시키고 있다.

##### 2.2 H-브릿지 멀티레벨 인버터 제어알고리즘

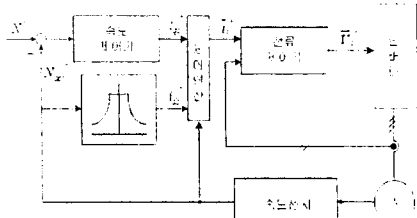
###### 2.2.1 V/F 제어알고리즘



〈그림 3〉 V/F 제어 블록도

그림 3은 V/F 제어 블록도이다. V/F 제어알고리즘은 인버터를 사용한 교류전동기의 제어 방법 중 가장 오래되고 일반적인 방법으로 인버터 출력전압과 출력 주파수의 비를 일정하게 제어하여 전동기의 자속 크기를 일정하게 제어하고, 전동기에 부하가 걸리는 만큼 전동기의 전류도 자동적으로 증가하여 구현이 단순하고 별도의 센서 없이도 운전이 가능하므로 제작상의 경제성이 뛰어나 범용 인버터(General purpose inverter)에 가장 널리 사용되고 있다.

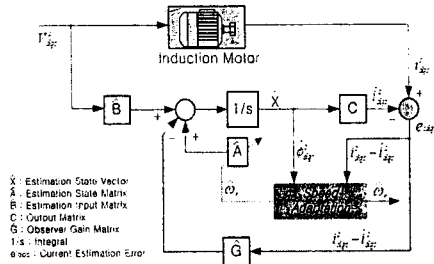
### 2.2.2 벡터 제어알고리즘



〈그림 4〉 벡터 제어 블록도

그림 4는 벡터 제어 블록도이다. 벡터제어는 토크 및 자속을 분리 제어하는 대표적인 제어 방식으로 전동기의 자속이 공간 벡터 상에서 회전할 때, 고정자 또는 회전자 자속벡터의 순시위치를 검출하여 기준벡터로 정한다. 그 다음 고정자전류를 검출하여 자속 기준벡터에 투영한다. 이 과정을 통하여, 고정자전류를 자속 기준벡터와 동일한 방향을 갖는 전류성분 즉 여자전류 성분과, 자속과 90° 위상차를 갖는 성분, 즉 토크 전류 성분으로 각각 분리한다. 검출된 여자전류 및 토크 전류는 전류제어기를 통해 각각의 지령치를 따라가도록 제어된다. 토크 전류 및 여자 전류의 지령치는 전동기의 정격 및 운전 조건에 따라 결정된다. 제어성능이 뛰어나 고성능 가변속 제어에 널리 이용되고 있으며, 인버터 오퍼레이터에서 설정이 가능하다.

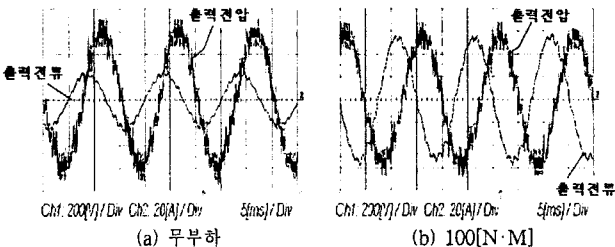
### 2.2.3 센서리스 벡터 제어알고리즘



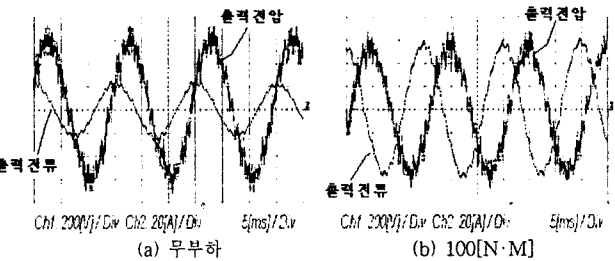
〈그림 5〉 센서리스 벡터 제어 블록도

그림 5는 센서리스 벡터 제어 블록도이다. 전동기 속도추정을 위해 적응 관측기(Adaptive Observer)를 사용하였다. 속도 및 위치 검출기를 사용할 경우 하드웨어의 복잡성, 가격상승, 전동기의 축방향 길이의 증가, 열악한 환경(특히 진동, 충격이 있는 환경)에서 사용의 어려움, 속도/위치 센서 케이블의 유지 및 점검의 필요성, 전기적 잡음에 취약, 기계적 부착의 어려운 점 등이 단점이 있다. 센서리스 벡터 제어는 위의 단점을 보완하기 위하여 속도 및 위치 검출기 없이 적용할 수 있는 방법이다.

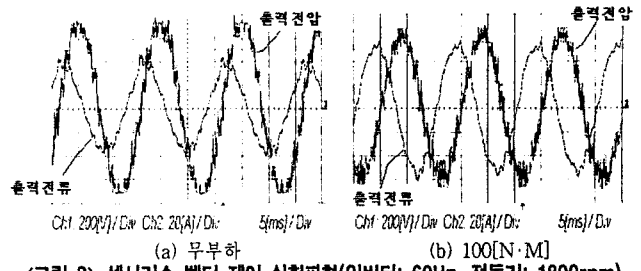
### 2.3 실험결과



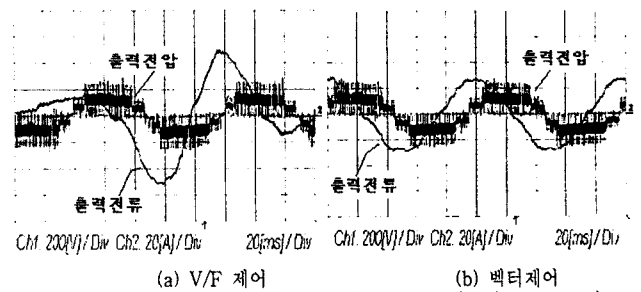
〈그림 6〉 V/F 제어 실험파형 (인버터 : 60Hz, 전동기 : 1800rpm)



〈그림 7〉 벡터 제어 실험파형 (인버터 : 60Hz, 전동기 : 1800rpm)



〈그림 8〉 센서리스 벡터 제어 실험파형(인버터 : 60Hz, 전동기 : 1800rpm)



〈그림 9〉 저속모드 실험파형 (인버터 : 10Hz, 전동기 : 300rpm)

그림 6은 V/F 제어 운전 시 지령주파수 60Hz에서의 무부하 조건 및 100[N·M]에서의 출력전압과 출력전류이다. 그림 7은 벡터 제어 운전시의 출력전압과 출력전류이고 그림 8은 센서리스 벡터 제어 운전시의 출력전압과 출력전류이다. 제어모드와 무관하게 싸인 웨이브 형태의 출력 전압과 출력 전류를 관측할 수 있었다. 그림 9는 저속모드에서의 실험파형이다. 저속 모드에서 V/F 제어 모드 운전 시 출력 전류가 현탕을 하였지만, 벡터제어와 센서리스 벡터 제어 모드 운전을 통해 출력 전류를 싸인 웨이브 형태로 파형을 개선할 수 있었다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 전동기 가변속 장치인 대용량 인버터 전력회로를 구성하는 여러 토폴로지 중 전압 및 용량 변경에 쉽게 적용할 수 있고 시장 경쟁력이 있는 저 전압용 IGBT를 이용할 수 있는 Cascaded 방식의 H-브릿지 멀티레벨 인버터를 선정하였다. 440V, 180kVA H-브릿지 멀티레벨 인버터를 실제 제작하여 실험을 통해 인버터 출력 전압이 멀티레벨이고 dv/dt가 적으며 입력단 THD를 크게 낮출 수 있어 성능 면에서도 여타 방식보다 우수함을 입증하였다. 또한 생산적인 측면에서도 저압 소자를 사용하여 설계하므로 기존의 생산/시험 기술과 설비를 이용할 수 있어 매우 경제적이며 Power Cell 단위 결합 구조이므로 신뢰성 측면이나 유지/보수 측면에서도 유리하다는 결론을 얻었다. 정격용량 180kVA이고 출력 전압 480V인 H-브릿지 멀티레벨 인버터 실험을 통해 벡터제어와 센서리스 벡터제어를 구현하여 저속 모드에서 제어 성능의 향상을 입증하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Ichikawa, Kosaku; Hirata, Akio; Kawakami, Kazuto; Satoh, Kazuhiro; "Multiple inverter system", *United States Patent Number* 622~722, 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 제어특성 연구", *전력전자학회 하계학술대회 논문집*, pp. 339~342, 2002. 7. 3-6.
- [6] 박영민,김연달,이현원,이세현,서광덕, "3300V 1MVA H-브릿지 멀티레벨 인버터 개발", *전력전자학회 논문지* 제8권 제6호, pp.478~487, 2003.12.