

# H-브릿지 멀티레벨 인버터의 Level Shifted PWM 적용에 관한 연구

이광환, 박영민  
현대중공업 (주)

## A Study on an Application of Level Shifted PWM for H-bridge Multilevel Inverter

Kwang-Hwan Lee, Young-Min Park  
Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

### ABSTRACT

Phase Shifted PWM은 각각의 셀이 동일한 스위칭 주파수로 PWM을 수행하므로 전압지령의 크기와 관계없이 셀 간의 전력은 동일하나, 각 셀 출력 전압의 위상이 다르므로 무부하 운전이나 부하의 급변동 시 발생하는 회생이 특정 셀에 집중되고 전압지령과 실제 출력전압 사이의 위상 차이가 존재하는 단점을 가지고 있다. 반면 기존 Level Shifted PWM은 전압지령의 크기에 따라 각 셀 간의 스위칭 조건이 다르고 동일 전력 분배가 되지 않는 문제를 가지고 있어 이를 개선하는 Level Shifted PWM 방법에 대해서는 이미 연구가 진행된 상태이다. 본 논문에서는 제어기가 분산화된 H-브릿지 멀티레벨 인버터에 각 셀의 스위칭 조건을 동일하게 유지하는 Level Shifted PWM을 적용하기 위해서 전압지령을 보정하는 방법을 사용하였고 시뮬레이션과 시험을 통해 제어기가 분산화된 H-브릿지 멀티레벨 인버터에 적용 가능성을 증명하였다.

### 1. 서론

H-브릿지 멀티레벨 인버터는 각 상마다 단상 인버터가 직렬로 연결된 구조로 출력전압 크기 증대가 용이하고 정현파에 가까운 전압파형을 출력할 수 있어 대용량 고전압 전동기를 구동하기에 적합한 전력 토폴로지이다. 이러한 H-브릿지 멀티레벨 인버터는 정현파에 가까운 전압을 출력하고 각 셀의 스위칭 주파수를 저감하는 방법으로 Multilevel-carrier based PWM을 사용하며, 그 중에서도 Phase Shifted PWM이 많이 적용되고 있다.

Phase Shifted PWM은 각 셀의 동일한 크기와 주파수의 carrier가 일정한 위상 차이로 구성되어 있어 인버터의 출력전압이 각 셀 DC링크 전압의 크기만큼 스텝을 이루어 전압을 출력하게 된다. PWM 시 사용되는 각 셀의 전압지령과 carrier 주파수의 크기가 동일하므로 셀 간의 동등한 전력 분배가 가능하고, 이러한 특성으로 다권선 변압기를 통해 인버터 입력단의 전류 품질을 향상시킬 수 있다.<sup>[1]</sup> 그러나 각 셀 출력전압의 위상이 다르므로 무부하 운전이나 부하의 급변동 시 발생하는 회생이 특정 셀에 집중되고 전압지령과 실제 출력전압 사이의 위상 차이가 존재하는 단점을 가지고 있다.

반면에 Level Shifted PWM은 셀의 carrier마다 레벨 차이가 존재하며 전압지령이 각 셀이 아닌 전체 셀에

적용되므로 전압지령의 크기에 따라 각 셀의 스위칭 조건이 달라진다. 이러한 특성으로 각 셀의 동등한 전력분배가 어려워지므로 인버터 입력전류의 품질을 악화시키며 동일한 파워셀 설계를 어렵게 만들어 제품 적용 시에 문제가 된다. 그러나 각 셀 출력전압의 위상 차이로 인한 회생이 특정 셀에 집중되지 않아 부하 급변동에 의한 DC링크 전압의 변동은 Phase Shifted PWM과 비교하여 안정적이며, 전압지령과 실제 출력전압 사이의 위상 차이가 발생하지 않는 장점을 가지고 있다. 기존 Level Shifted PWM의 단점을 보완하기 위해서 각 셀의 스위칭 조건을 동일하게 유지하여 전력 분배를 균형되게 하는 Level Shifted PWM은 이미 연구된 상태이다.<sup>[2]</sup>

본 논문에서는 제어기가 분산화된 H-브릿지 멀티레벨 인버터에 각 셀의 스위칭 조건을 동일하게 유지하는 Level Shifted PWM을 적용하기 위해서 셀 ID에 따라 결정되는 레벨 전이량을 전압지령 크기에 보정하는 방법을 사용하였고 시뮬레이션과 시험을 통해 제어기가 분산화된 H-브릿지 멀티레벨 인버터에 적용 가능성을 증명하였다.

### 2. Level Shifted PWM 적용

Level Shifted PWM은 전압지령 크기에 따라 각 셀 간의 스위칭 조건이 다르므로 H-브릿지 멀티레벨 인버터에 적용하기 위해서는 각 셀 간의 동일한 전력 소모를 하는 스위칭 패턴이 필요하다. 이러한 이유로 H-브릿지 멀티레벨 인버터에 Level Shifted PWM을 적용하기 위해서는 그림 1과 같이 각 셀의 carrier 레벨을 순환시키는 것이 필요하며, 이 내용은 이미 다른 논문에서 연구가 수행되었다.<sup>[2]</sup>

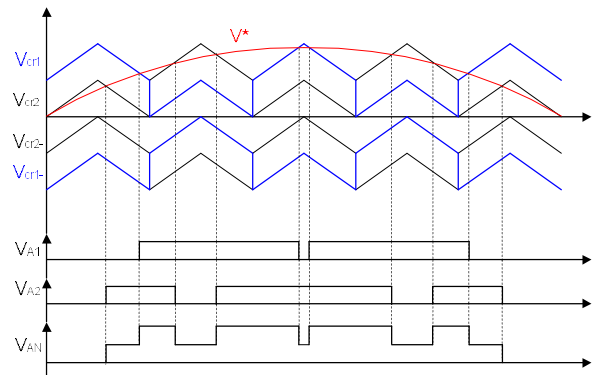


그림1 Carrier 레벨을 순환하는 Level Shifted PWM  
H-브릿지 멀티레벨 인버터의 제어기는 주제어기와 파워셀 제어기로 구성되어 있으며 주제어기는 제어를 통한

전압지령을 생성하여 각 셀 제어기에 전달하고, 셀 제어기는 주제어기로부터 받은 전압지령을 사용하여 PWM을 사용한다.

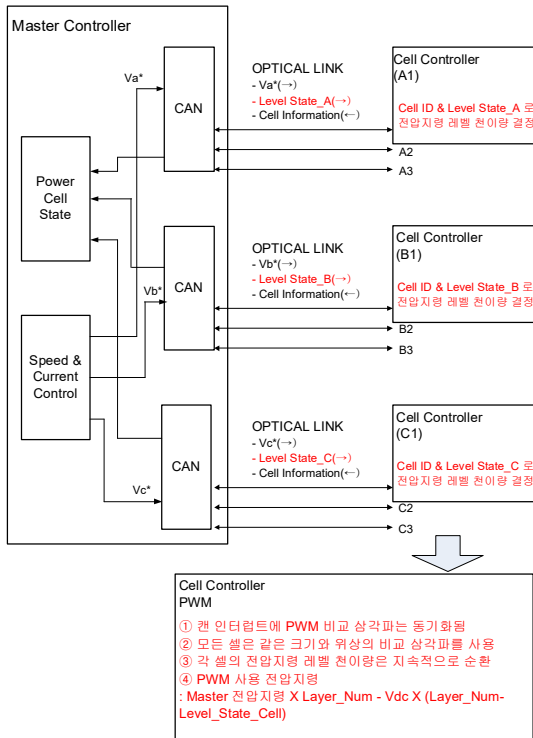


그림2 분산화된 제어장치 구조에서의 Level Shifted PWM

주제어기와 셀제어기가 구분된 제어기 구조에서 각 셀 간의 스위칭 조건을 동일하게 하는 Level Shifted PWM을 수행하기 위해 구현한 방법은 그림 2와 같다. 주제어기는 순환하는 레벨 State 정보를 모든 셀에 전달하고, 각 셀은 전달 받은 State와 셀 ID를 이용해 전압지령에 반영될 레벨 전이량을 결정한다. 각 셀 제어기는 캐인 인터럽트에 동기화된 위상과 레벨이 동일한 carrier를 사용하며 계산된 레벨 전이량이 반영된 전압지령으로 PWM을 수행한다.

### 3. 시뮬레이션 및 실험 결과

#### 3.1 시뮬레이션 결과

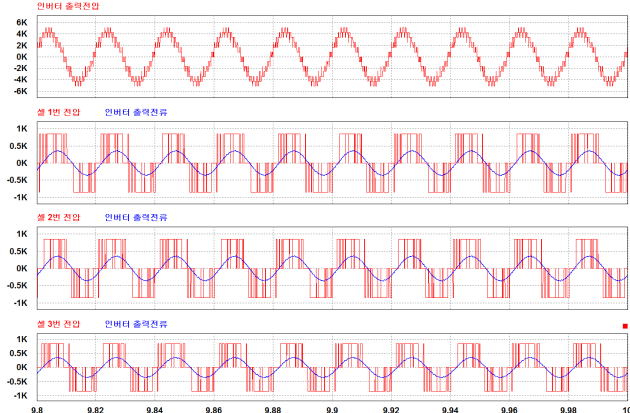


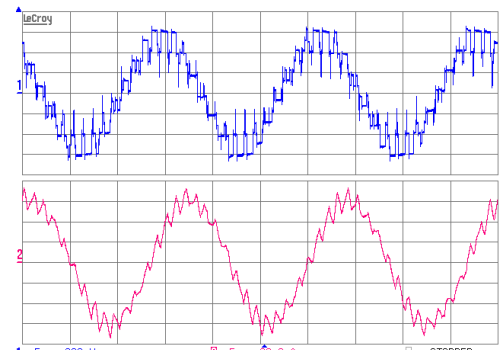
그림3 Level Shifted PWM 시뮬레이션 파형

7-레벨 H-브릿지 멀티레벨 인버터의 3300V/1430kW 전동기 구동으로 시뮬레이션은 수행되었다. 그림 3의 인버터

유효 스위칭 주파수 1kHz 조건의 Level Shifted PWM 시뮬레이션 결과 정격부하 운전 시에도 출력전압과 전류의 THD가 17.5%, 2.93%로 나쁘지 않으며, 각 셀의 전력 측정 결과 각각 140kW, 139.9kW, 139.7kW로 동일하게 분배됨을 확인할 수 있다.

#### 3.2 실험장치의 구성 및 결과

45kVA 7-레벨 H-브릿지 멀티레벨 인버터와 380V 22kW 유도전동기를 이용하여 Level Shifted PWM으로 부하시험을 수행하였다. 그림 4는 정격부하 운전 시의 출력전압과 출력전류를 나타내며, 표 1은 기존 사용하는 Phase Shifted PWM 적용 시와 Level Shifted PWM을 적용 시 출력전압과 전류의 THD 값을 나타낸다. 제품 상에서 구현 가능한 인버터의 유효 스위칭 기준으로 시험을 수행하였으며, Level Shifted PWM 적용 시 출력 THD는 제어기 간의 통신 속도와 유효 스위칭을 증가시켜 출력 품질을 더욱 향상시키는 것은 가능하다.



CH1: 인버터 출력전압(X축: 5ms/div, Y축: 200V/div)  
CH2: 인버터 출력전류(X축: 5ms/div, Y축: 20A/div)

그림4 정격부하 운전 파형

표1 기존 사용 PSPWM과 LSPWM의 THD 비교

THD (%)	PSPWM (인버터 유효스위칭: 6kHz)	LSPWM (인버터 유효스위칭: 1kHz)
출력전압	10.54	19.09
출력전류	5.00	8.13

### 4. 결론

제어장치가 분산화 된 H-브릿지 멀티레벨 인버터에서 적합한 Level Shifted PWM을 구현하였고, 시뮬레이션과 부하시험을 통해 H-브릿지 멀티레벨 인버터 제품에 적용 가능함을 증명하였다.

### 참고 문헌

[1] Bin Yu, "High Power Converters and AC Drives", A John Wiley & Sons, 2006  
[2] Mauricio Angulo, Pablo Lezana, Samir Kouro, Jose Rodriguez and Bin Yu, "Level Shifted PWM for Cascaded Multilevel Inverters with Even Power Distribution", IEEE PESC, pp. 2373-2378, June. 2007.