

# Phase-shifted PWM을 적용한 단상 Cascaded H-bridge Multilevel Inverter의 고장진단 방법 Open Fault Detection Method for a Single Phase CHMI Based on Phase-Shifted PWM

곽주일\*, 최동호\*, 김명룡\*\*, 이은규\*\*\*, 이준석\*†

Juil Kwak\*, Dongho Choi\*, Myung Yong Kim\*\*, Eun-Kyu Lee\*\*\*, June-Seok Lee\*†

**초 록** 철도차량용 추진 시스템에 사용되는 반도체 변압기(Solid-State-Transformer)에는 중·고전력 시스템에 사용되는 CHMI (Cascaded H-bridge Multilevel Inverter)가 사용될 수 있다. CHMI를 구성하는 스위치에 개방성 고장이 발생하면 역병렬 다이오드를 통해 전류 경로가 형성되며 출력 전류에 왜곡이 발생한다. LS (Level-Shifted) PWM 방법을 기반으로 한 CHMI에서는 전류 왜곡이 발생한 출력 레벨에 따라 고장 스위치의 위치를 판별할 수 있지만, PS (Phase-Shifted) PWM 방법을 기반으로 한 CHMI에서는 동일 방법을 적용할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 영전압 벡터를 인가하여 고장 스위치를 검출하는 PS PWM 기반 CHMI의 고장진단 기법인 ZVOF (Zero Vector Based Open Fault)를 제안한다. 제안하는 기법의 타당성은 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증한다.

**주요어** : 반도체 변압기, CHMI, 개방성 고장, 영전압 벡터, 고장진단

## 1. 서론

최근 에너지 효율 개선과 환경 오염 문제에 대한 관심이 증가함에 따라 철도차량의 추진 시스템 내에 반도체 변압기의 사용이 증가하고 있다[1]. 반도체 변압기를 구성하는 컨버터로는 중·고전력 시스템에 적합한 CHMI를 사용할 수 있으나, 다수의 전력반도체로 구성된 토폴로지이므로 시스템의 신뢰성 향상을 위해 고장진단 기법이 요구된다.

LS PWM 기반 CHMI는 전류 왜곡이 발생한 레벨에 따라 고장 소자를 검출할 수 있으나 동일 방법을 PS PWM 기반 CHMI에는 적용할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 영전압 벡터를 인가하여 고장 소자를 검출하는 PS PWM 기반 CHMI의 고장진단 기법을 제안한다.

† 교신저자: 단국대학교 공과대학 전자전기 공학과 (ljs@dankook.ac.kr)

\* 단국대학교 공과대학 전자전기공학과

\*\* 한국철도기술연구원 스마트전기신호본부

\*\*\* 인터모빌리티(주)

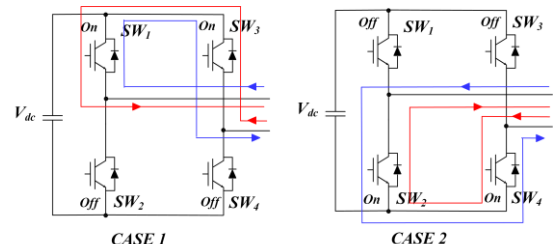
## 2. 본론

### 2.1 영전압 벡터

H-bridge에서의 영전압 벡터를 갖는 스위칭 상태는 Fig. 1과 같이  $SW_1, SW_3$ 이 ON 상태인 CASE1과  $SW_2, SW_4$ 이 ON 상태인 CASE2가 존재한다. 두 가지 경우에서 모두 전류의 경로만을 제공하며 H-bridge의 출력 선간 전압은 0V가 된다[2].

### 2.1 제안하는 기법

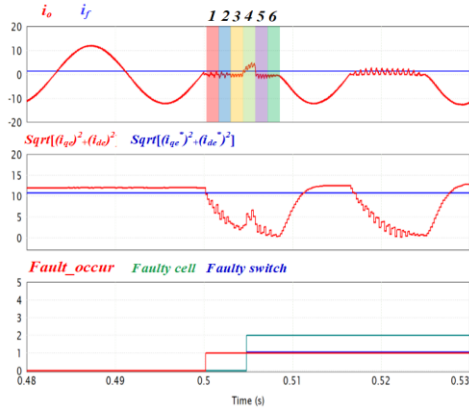
CHMI를 구성하는 스위치에 개방성 고장이 발생하면 해당 H-bridge의 전류 경로가 차단되어 CHMI 출력 전류의 왜곡이 발생한다.



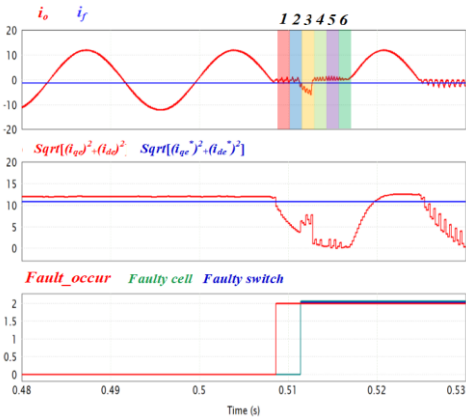
**Fig. 1** Zero voltage vector switching state

**Table 1** Simulation parameters

Parameters	Value
Grid voltage	38V <sub>rms</sub> /60Hz
DC-link Voltage per cell	60V
Filter inductor	2.2mH
IGBT switching frequency	1.667kHz



**Fig. 2** Simulation results of ZVOF ( $i_o > 0$ )



**Fig. 3** Simulation results of ZVOF ( $i_o < 0$ )

따라서 수식 (1)을 통해 고장 발생을 판단할 수 있으며, 전류 왜곡 발생 지점의 부호에 따라  $SW_1$ ,  $SW_4$  또는  $SW_2$ ,  $SW_3$ 의 고장 여부를 판단할 수 있다.

$$\sqrt{i_{dq}^2 + i_{dde}^2} < k\sqrt{i_{qe}^{*2} + i_{de}^{*2}} \quad (1)$$

$i_{dq}$ ,  $i_{dde}^*$  및  $k$ 는 각각 측정된  $dq$ 축,  $dq$ 축 지령전류, 그리고 고장 발생 상수를 의미한다. 본 논문에서는  $k$ 를 0.9로 선정하였다. 고장 발생이 판단되면 CASE1과 CASE2의 영전압 벡터 스위칭이 출력 전류의 반주기동안 각각의 H-bridge에 순차대로 적용된다. 고장이 발생한 H-bridge에서 고장이 발생하지 않은 스위치를 통해 영전압 벡터 스위칭이 적용되고 있다면, CHMI 출력 전류의 경로가 형성된다. 따라서

수식 (2)를 통해 고장 스위치의 위치를 진단할 수 있다.

$$|i_o| > |i_f| \quad (2)$$

$i_o$ 와  $i_f$ 는 각각 CHMI 출력 전류와 고장 기준 상수를 의미하며, 본 논문에서는  $i_f$ 를 출력 전류 피크 값의 10%로 선정하였다.

제안하는 ZVOF 기법의 타당성을 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증하였고 사용된 파라미터는 Table 1과 같다. Fig. 2와 Fig. 3은 각각 2번 H-bridge의  $SW_1$ ,  $SW_2$ 의 개방성 고장을 가정한 시뮬레이션 결과이다. 각각 0.5s와 0.508s에서 수식 (1)을 통해 고장발생이 판별되며, 4번째 섹터와 3번째 섹터에서 수식 (2)에 의해 고장 스위치의 위치를 진단한다. 4번째 섹터와 3번째 섹터에서는 각각 2번 H-bridge에 CASE2와 CASE1이 적용되었으므로  $SW_1$ 과  $SW_2$ 의 개방성 고장을 판별하게 된다.

### 3. 결론

본 논문에서는 영전압 벡터를 인가하여 PS PWM 기반 CHMI의 고장 스위치 위치를 검출하는 ZVOF 기법을 제안하였다. 제안하는 기법의 타당성은 PSIM 시뮬레이션 결과를 통해 검증하였다.

### 후 기

본 연구는 국토교통부의 지원으로 수행됨.  
과제번호(22RSCD-A163337-03)

### 참고문헌

- [1] J. H. Park, E. S. Lee, M. Y. Kim (2021) Passing method of Rail Neutral Section for Solid-State Transformer System for Railway Vehicle, *Journal of the Korea Society for Railway*, 24(6), pp. 552-562.
- [2] H. Sim, J. Lee, and K. -B. Lee (2016) Detecting Open-Switch Faults: Using Asymmetric Zero-Voltage Switching States, *IEEE Ind. Appl. Mag.*, 22(2), pp. 27-37.