

간접 매트릭스 컨버터의 개방사고 고장진단

손대일, 이은실, 박기우, 이교범, 정규범*
아주대학교, 우석대학교*

Open-Fault Detection Method for a Matrix Converter

Daeil Son, Eunsil Lee, Kiwoo Park, Kyo-Beum Lee, and Gyu-Bum Jung*
Ajou University, Woosuk University*

ABSTRACT

본 논문에서는 매트릭스 컨버터(matrix converter)의 스위치 개방사고를 감지하는 기법을 제안한다. 매트릭스 컨버터는 크게 두 가지의 형태로 구현할 수 있는데 그 중 간접 매트릭스 컨버터(indirect matrix converter) 구조에서의 개방사고를 살펴보기로 한다. 제안된 고장진단 기법은 측정된 각 상의 전류를 기반으로 만들어진 패턴과 비교하여 고장상태를 판단하고 고장 스위치의 위치를 판별한다. 시뮬레이션을 통해 제안한 개방사고 고장진단 기법의 타당성을 검증한다.

1. 서론

매트릭스 컨버터는 전력용 반도체 스위치(IGBT)를 통해 입력 전원이 출력 부하에 직접 연결되어 가변 전압, 가변 주파수의 출력을 합성하는 구조이다^[1]. 매트릭스 컨버터는 크게 직접 매트릭스 컨버터(direct matrix converter)와 간접 매트릭스 컨버터로 분류할 수 있다^[2]. 직접 매트릭스 컨버터는 9개의 양방향 전력용 반도체 스위치를 사용하여 행렬(matrix) 형태로 연결한 구조이고, 간접 매트릭스 컨버터는 기존의 교류-직류-교류 간접 전력변환 장치의 구조에서 직류단의 에너지 저장 소자를 제거한 형태이다. 이러한 매트릭스 컨버터는 직류단에 요구되는 전해 커패시터를 제거함으로써 컨버터의 크기를 작게 하고 수명을 연장하며 에너지 회생 및 역률제어가 가능하나, 낮은 전압 전달율과 신뢰성 확보 등이 극복되어야 할 난제이다. 매트릭스 컨버터는 많은 수의 전력용 반도체 스위치가 필요한데 이러한 많은 수의 스위치들의 고장진단은 최근에는 주목받고 있다^{[3],[4]}. 본 논문에서는 매트릭스 컨버터의 스위치 개방사고의 고장진단 기법을 제안한다. 입력과 출력전류의 측정된 값을 이용하여 복잡한 계산 없이 쉽게 스위치의 고장을 판별할 수 있다.

2. 간접 매트릭스 컨버터의 개방사고

간접 매트릭스 컨버터는 직류단 전압을 만드는 정류단과 일반적인 인버터 기능을 가진 인버터단으로 나눌 수 있으며, 그림 1과 같이 18개의 단방향 스위치와 다이오드들로 구성된다.

컨버터의 스위치 고장은 크게 단락사고와 개방사고로 나눌 수 있다. 단락사고는 과전압과 과전류를 흐르게 만들어 시스템에 치명적인 손상을 줄 수 있으므로 퓨즈 등에 의한 즉각적인

대처를 필요로 한다. 본 논문에서는 개방사고의 고장진단만 다루기로 한다.

그림 2는 간접 매트릭스 컨버터의 스위치 개방사고가 일어나기 전과 후의 파형이다. 출력 전류와 입력 전류, 그리고 직류단 전압이 왜곡됨을 볼 수 있다. 이러한 왜곡은 시스템에 좋지 않은 영향을 끼칠 수 있으므로 즉각적인 발견이 중요하다.

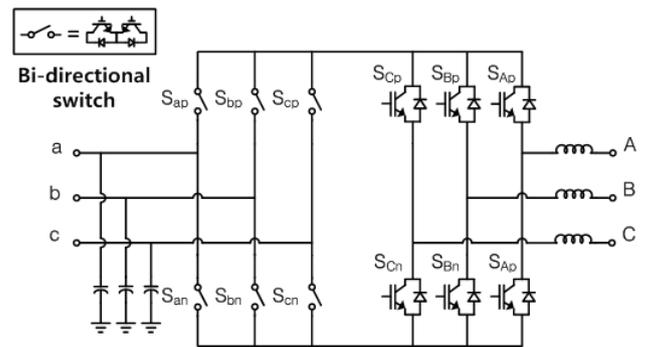


그림 1 간접 매트릭스 컨버터의 구조.
Fig. 1 Schematic for the indirect matrix converter.

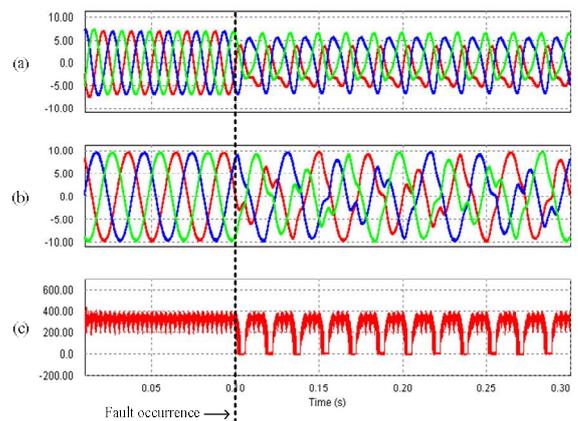


그림 2 매트릭스 컨버터의 스위치 개방 사고. (a) 입력 전류, (b) 출력 전류, (c) 직류단 전압
Fig. 2 Waveforms of the matrix converter with the open-circuit fault of S_{ap} introduced at $t=0.1s$. (a) 3-phase input currents, (b) 3-phase output currents, and (c) the voltage across the dc-link.

3. 제안하는 고장진단 기법

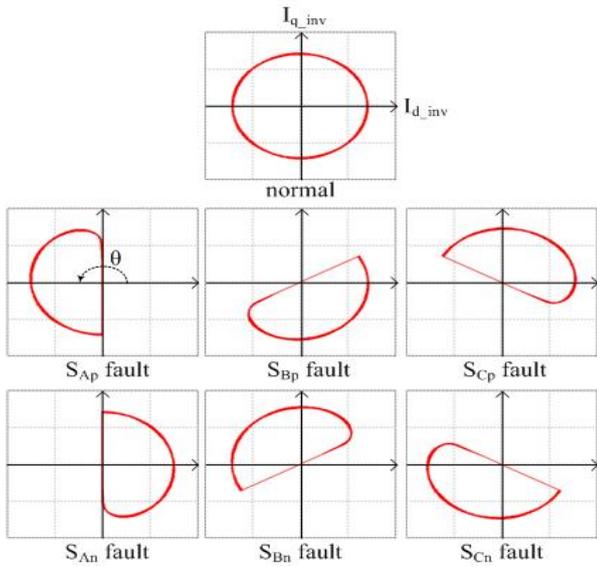


그림 3 인버터단 개방 사고 시 출력 전류 패턴
Fig. 3 The patterns of output currents in normal and open-circuit fault of inverter stage.

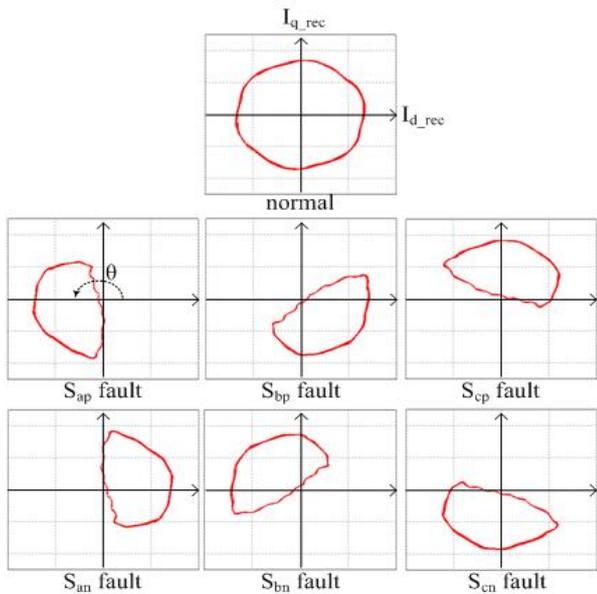


그림 4 정류단 개방 사고 시 입력 전류 패턴
Fig. 4 The patterns of input currents in normal and open-circuit fault of rectifier stage.

출력 3상전류의 측정을 기반으로 매트릭스 컨버터의 스위치 고장상태를 파악할 수 있다. 측정된 3상의 전류(i_a , i_b , i_c)는 다음 식(1)을 통해 d-q축으로 변형될 수 있다.

$$\begin{aligned} I_d &= (2i_a - i_b - i_c) / 3 \\ I_q &= (i_b - i_c) / \sqrt{3} \end{aligned} \quad (1)$$

변형된 식을 이용하여 파형을 나타내면 그림 3과 같다. 개방 사고가 일어나기 전에 원으로 나타났던 파형은 개방사고가 일어난 후 반원 형태가 되므로 고장을 쉽게 판단할 수 있다.

정류단에서 스위치 개방사고가 일어나면 직류단에 큰 영향

을 주지만 인버터단에서 스위치 개방사고가 일어나면 앞의 직류단에 큰 영향을 주지 않으므로 직류의 전압을 통해 고장 난 스위치가 정류단의 스위치인지 인버터단의 스위치인지 파악할 수 있다.

식 (2)는 고장 난 스위치의 위치 판별을 위한 각도이다. 여기서 θ_n 은 패턴의 원점과 중심값의 각도이다. 중앙값은 각 d-q 축으로 변형된 전류의 무게중심 값이다. 이를 통해 고장 난 스위치의 위치를 알 수 있다. 각도에 따른 고장 난 스위치의 위치를 표 1에 나타내었다.

$$\theta_n = \tan^{-1}(I_{q-mid} / I_{d-mid}) \quad (2)$$

표 1 고장 스위치 분류
Table 1 The classification of the faulty switches

각도(θ_n)	고장 스위치 (인버터단)	고장 스위치 (정류단)
θ_1 ($30^\circ \sim 90^\circ$)	S_{Cp}	S_{cp}
θ_2 ($90^\circ \sim 150^\circ$)	S_{Bn}	S_{bn}
θ_3 ($150^\circ \sim 180^\circ$)	S_{Ap}	S_{ap}
θ_4 ($210^\circ \sim 270^\circ$)	S_{Cn}	S_{cn}
θ_5 ($270^\circ \sim 330^\circ$)	S_{Bp}	S_{bp}
θ_6 ($330^\circ \sim 30^\circ$)	S_{An}	S_{an}

4. 결론

본 논문에서는 간접 매트릭스 컨버터에서 일어날 수 있는 개방 사고 상황에서 고장진단 기법을 적용하여 빠르게 고장을 진단 할 수 있다. 제안된 기법을 통해 각 상의 전류를 기반으로 만들어진 패턴과 비교하여 고장 난 스위치의 위치를 알 수 있다. 따라서 시스템의 유지 및 보수비용을 줄일 수 있다. 시뮬레이션을 통해 이 기법의 타당성을 검증하였다.

본 논문은 교육과학기술부 과학기술위성 3호 개발사업의 예산지원을 받아 작성되었으며, 연구비 지원에 깊은 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] P. W. Wheeler, J. Rodriguez, J. C. Clare, L. Empringham, and A. Weinstein, "Matrix Converter : A Technology Review," *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol. 49, pp. 276-288, 2002
- [2] J. W. Kolar, T. Friedli, F. Krismer, and S. D. Round, "The Essence of Three-phase AC/AC Converter Systems," in Proc. *EPE_PEMC 2008*, pp. 27-42, Sep. 2008.
- [3] S. Kwak and H. A. Toliyat, "An Approach to Fault-Tolerant Three-Phase Matrix Converter Drives," *IEEE Trans. Energy Conversion*, vol. 22, pp. 855-863, 2007.
- [4] S. M. A. Cruz, M. Ferreira, and A. J. M. Cardoso, "A New Method for the Detection and Location of Faults in Matrix Converters," *IEEE IEMDC'09*, pp. 165-170, 2009.