

# 선형 유도 전동기 구동 인버터의 다중 스위치 개방형 고장 진단 기법

최정현<sup>1</sup>, 김경화<sup>1\*</sup>, 김상훈<sup>2</sup>, 유동상<sup>2</sup>

<sup>1</sup>서울과학기술대학교

<sup>2</sup>한경대학교

## Fault diagnostic method for multiple open-switch faults in an inverter-fed linear induction motor

Jung Hyun Choi, Kyeong Hwa Kim, Sanghoon Kim, Dong sang Yoo

Seoul National University of Science and Technology

Hankyong National University

### ABSTRACT

선형 유도 전동기 구동 인버터의 스위치 결함에 대한 신뢰성 향상을 위해, 실제 온라인 기반의 고장 및 고장점 검출에 대한 연구가 활발하다. 인버터에서 스위치 고장이 발생하면, 일반적으로 전압, 전류에 고조파가 발생되고 토크의 리플이 증가하게 된다. 또한, 인버터 스위치 고장의 경우 과전류가 발생하며 다른 전자 부품에 2차 피해를 일으킬 수 있다.

본 논문에서는 센서를 통해 얻은 전류의 정보를 이용하여 고장 및 고장 스위치를 검출하는 알고리즘을 제안한다. 한 개 또는 두 개의 스위치 고장을 4개의 faulty group으로 구별하여 고장 검출이 이루어지며 제안된 알고리즘을 입증하기 위해 Matlab Simulink을 이용한 시뮬레이션 결과와 실험 결과가 제시된다.

### 1. 서론

최근, AC 모터 드라이브 시스템의 안정성, 지속성 및 고장과 관련된 문제에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. PWM 인버터를 이용한 AC모터 드라이브 시스템은 다양한 공업과 산업에 핵심적인 장비로 고장 진단 및 고장 위치 검출 문제는 드라이브에 안전성 향상을 위한 주요 이슈가 되고 있다 [1].

인버터 구동 AC 모터 드라이브 시스템에는 고정자와 회전자 고장, 컨버터 고장, 컨트롤러 고장, 축과 베어링 등의 기계적인 결함 등 여러 가지 고장 요인이 존재한다. 그 중 가장 일반적인 전기적 고장은 인버터의 스위칭 소자의 개방 스위치 고장이며, 이는 일반적으로 과전류에 의한 스위치의 소손으로 발생된다 [2]. 이러한 고장 시 인버터는 기준 전압과 같은 전압을 합성할 수 없으며 고조파나 왜곡을 포함한 불평형 과전류, 큰 토크 리플 및 심한 경우엔 전체 구동 시스템의 정지를 초래한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 AC 모터 드라이브 시스템의 개방 스위치 고장에 대한 많은 진단 기법이 제시되었다. 개방 스위치 고장 검출뿐만 아니라 고장 스위치를 판별하기 위해 복소 평면에서의 Park 벡터 전류 및 위상각 정보가 사용되었다 [3]. 유사한 원리를 기반으로 한 논문이 다른 저자에 의해 제시되었지만, 이러한 방법은 부하에 의존적이며 상대적으로 계산이 복잡하다는 큰 단점이 있다.

본 논문에서는 다중 스위치의 개방 고장 시에도 고장을 검출하고 고장 위치를 판별할 수 있는 새로운 진단 알고리즘이 제안된다. 제안된 기법은 센서를 통해 얻은 전류의 파형, rms, 평균값, 및 고조파 해석을 통한 신호 처리 기법을 이용하여 효과적으로 고장을 판별할 수 있을 뿐 아니라 고장의 위치를 검출할 수 있다. 인버터에서 하나 혹은 동시에 두 개 스위치의 개방 고장이 일어나는 21 고장 조건이 고려되며 고장을 4개의 faulty group으로 구별하여 고장의 검출과 고장 위치의 판별이 이루어진다. 제안된 알고리즘을 입증하기 위해 Matlab Simulink의 시뮬레이션 결과와 선형 유도 전동기의 제어에 위한 DSP TMS320F28335가 사용되었다.

### 2. 다중 개방 스위치 고장에 대한 제안된 고장 진단 알고리즘

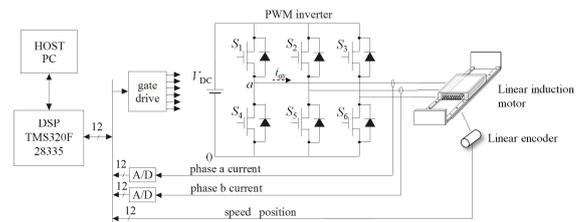


그림 1 전체 구동 시스템

스위치 개방 고장을 검출하고 고장 스위치를 판별 할 수 있는 고장 진단 및 고장 스위치 검출에 대한 알고리즘이 설명된다. 그림 1은 PWM 인버터를 포함한 전체 구동 시스템을 나타낸다. 그림 2는 제안된 개방 스위치 검출 알고리즘이다. 검출을 위해 측정된 3상 전류  $i_{as}$ ,  $i_{bs}$  와  $i_{cs}$ 를 이용하여 고조파 성분, 평균값, rms 값이 계산된다. 이 그림에서 기본파와 고조파의 크기는  $i_{ms}^m$ 로 나타내며, m은 고조파의 차수, n은 상을 의미한다. 동작 조건에 상관없는 검출 알고리즘을 만들기 위해 기본파 크기에 대한 2차 고조파의 상대적 크기  $i_{ah2}$ ,  $i_{bh2}$  와  $i_{ch2}$ 가 고장 검출을 위해 사용된다.

$$i_{nh2} = i_{nh}^2 / i_{nh}^1 \quad n = a, b \text{ 와 } c \quad (1)$$

고장 검출 알고리즘은 최소 한 상에 대해 rms전류가 거의 영 또는  $i_{nh2}$ 의 값과 threshold value  $i_{th2}$ 의 비교를 통해 이루어진다.

\* 교신저자

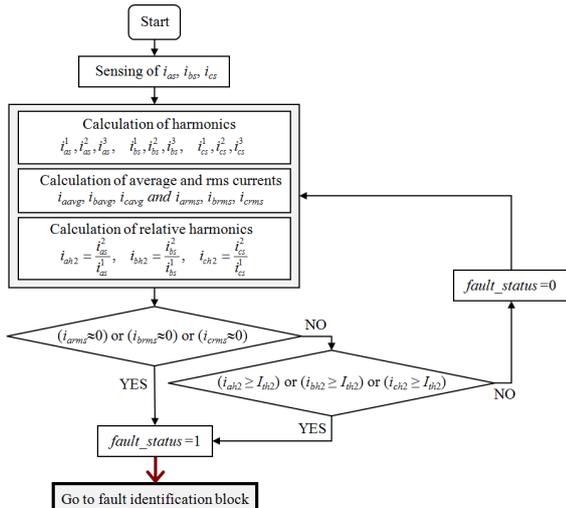


그림 2 제안된 개방 스위치 고장에 대한 검출 알고리즘

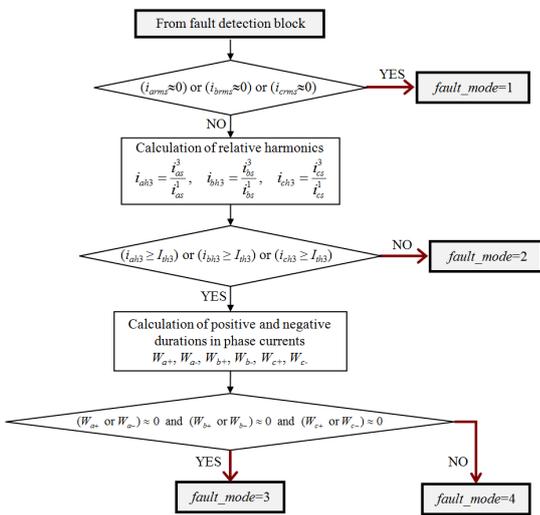


그림 3 제안된 개방 스위치 고장에 대한 검출 알고리즘

그림 3은 각 그룹에 해당하는 개방 스위치 고장 모드를 결정하는 알고리즘이다. "fault\_status"가 고장 검출 알고리즘을 통해 1이 되면, 동작모드는 고장모드 판별 알고리즘으로 전환된다. 그림 3과 같이 "fault\_mode=1"은 각 상의 rms값이 0에 근접하는 조건으로 결정되며, "fault\_mode=2"는 3차고조파의 크기와 threshold value  $i_{th3}$ 의 비교를 통해 결정되며, "fault\_mode=3"과 "fault\_mode=4"는 각 상전류의 양의 지속시간 및 음의 지속시간을 통해 결정된다. 고장모드 판별 알고리즘에서 고장모드가 결정되면 각 모드에서의 파형 분석을 통해 고장 스위치가 판별된다.

### 3. 시뮬레이션 및 실험 결과

그림 4(a)는  $S_1, S_2$  스위치 개방 고장 시 시뮬레이션 결과이다. 이 고장 조건은 a상과 b상의 상단 스위치들의 고장이기 때문에 a, b상은 양의 방향으로 흐를 수 없으며, c상은 다른상의 영향 때문에 음의 방향으로만 흐를 수 있다. 그림 4(b)는  $S_1, S_2$  스위치 개방 고장 시 실험 결과를 나타내며 실제 인버터의 개방 스위치 고장에 대해 시뮬레이션 결과와 같으며 제안

된 알고리즘이 고장 및 고장 스위치 검출에 대해 잘 동작하는 것을 확인 할 수 있다.

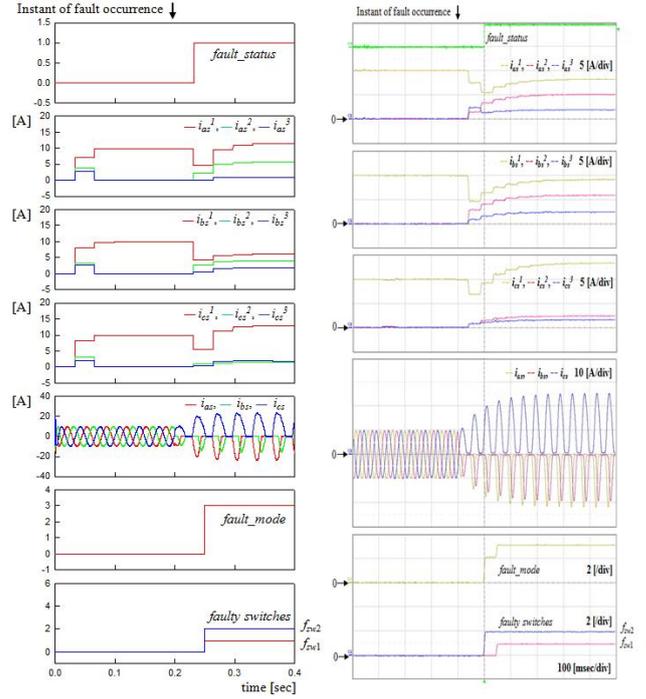


그림 4  $S_1, S_2$  스위치 개방 고장에 대한 결과

### 4. 결론

본 논문에서는 선형 유도 전동기 구동 인버터의 신뢰성 향상을 위해 다중 스위치의 개방 고장 시 고장을 검출하고 고장 위치를 판별할 수 있는 진단 기법을 제안 하였다. 고장을 4개의 faulty group으로 구분하였고 다중 스위치의 개방 고장 시에도 제안된 진단 알고리즘이 효과적임을 시뮬레이션과 실험을 통해 검증하였다.

본 연구는 경기도의 경기도지역협력연구센터 (GRRC) 사업의 일환으로 수행하였음. (GRRC한경2012 B02, 이동식 배출기 방식의 자동피킹시스템 및 머신비전을 이용한 제품 인식기술 개발)

### 참고 문헌

- [1] R. L. D. A. Ribeiro, C. B. Jacobina, E. R. C. da Silva, and A. M. N. Lima, "Fault detection of open switch damage in voltage fed PWM motor drive system", IEEE Trans. PowerElectr., Vol. 18, No. 2, pp. 587-593, Mar. 2003.
- [2] S. Bolognani, M. Zordan, and M. Zigliotto, "Experimental fault tolerant control of a PMSM drive", IEEE Trans. Indus. Electr., Vol. 47, No. 5, pp. 1134-1141, Oct. 2000.
- [3] A.M.S. Mendes and A.J.M. Cardoso, "Fault diagnosis in a rectifier inverter system used in variable speed ac drives, by the average current Park's vector approach", EPE '99, 8th European Conference on Power Electronics and Applications, 1999. pp. 1-9, Lausanne.