

## AC-DC 컨버터의 고장 시 진단 및 보상기법

이병국, 백주원, 유동욱, 임근희  
한국전기연구원

### A Novel Diagnosis and Compensation Scheme for AC-DC Converters under Switching Fault Status

Byoung-Kuk Lee, Ju-Won Baek, Dong-Wook Yoo, Gun-Hee Rim  
Korea Electrotechnology Research Institute

#### ABSTRACT

In this paper, a novel compensation scheme for ac-dc pwm converters under switching device fault status has been proposed, along with an effective diagnosis method. With the proposed scheme, the pwm converter can be properly operated even when one of the switching devices of the converter is out of control, so that it may ensure the performance and reliability of pwm converters to be increased. The developed scheme is explained in theoretically and the validity is verified by the informative simulation and experimental results in detail.

같이 대응량 시스템에서 더욱 필요성이 대두된다. 시스템을 운영하다 고장이 발생하였을 때 그 고장 원인을 찾는 작업은 시간과 비용이 많이 드는 작업이며 시스템의 구성이 복잡해짐에 따라 그 작업은 더욱 어렵게 된다. 또한 어떠한 공정작업 도중 컨버터에 고장이 발생 하더라도 시스템을 즉시 중단할 수 없고 어느 정도의 시스템 중지시간을 확보해야 하는 경우도 고려 할 수 있다.

AC-DC 컨버터를 구성하는 여러 부품들이 고장의 원인을 제공할 수 있지만 본 논문에서는 AC-DC 컨버터의 스위칭 소자에 문제가 발생한 경우 고장난 스위칭 소자를 효과적으로 진단할 수 있는 진단기법과 스위치의 고장 중에도 컨버터를 안정적으로 동작 시킬 수 있는 방안에 대해서 제안하고자 한다.

#### 1. 서 론

AC-DC 컨버터는 산업계의 여러 분야에서 오랜 시간동안 사용이 되어오고 있다. 특히 최근 들어 전력품질에 대한 관심이 증가하고 제재가 심해지며 또한 신재생에너지원의 도입에 따라서 기존 전력시스템과 연계하는 차원에서의 전력수급의 문제 등의 사회적인 관심사에 따라 그 사용범위가 지속적으로 증가하고 있다. 그동안 AC-DC 컨버터는 주로 Topology와 제어기법에 대해서 중점적으로 연구를 진행해서 많은 연구결과가 도출되었다 [1]-[2]. 이에 비하여 최근에는 시스템의 안정성 (Reliability or Survivability)을 증가 시킬 수 있는 방안에 대해서 관심이 증가하고 있다. 이를 위해서는 AC-DC 컨버터의 상태를 지속적으로 모니터링 하여 어떠한 고장이 발생 하였을 때 정확한 진단을 내릴 수 있는 진단기법과 고장 중에도 시스템을 동작 시킬 수 있는 보상기법에 대한 개발이 필요하다. 이러한 요구사항은 FACT나 HVDC 설비 등과

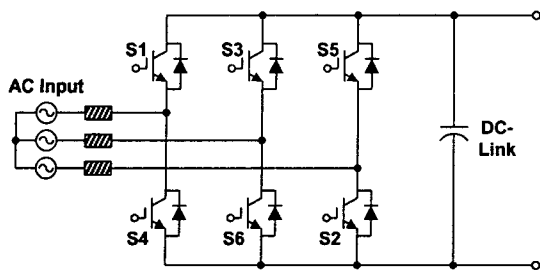
#### 2. AC-DC 컨버터의 상태 진단기법

그림 1에는 3상 AC-DC 컨버터의 구성 및 일반적인 제어기법에 대해서 나타내고 있다. AC-DC 컨버터는 입력전압과 전류의 위상을 동기화 시켜 역률을 보상하며 동시에 안정적인 DC-Link 전압을 제어하는 목적을 가진다. 전반적인 제어조건은 식 (1), (2)과 같이 입력과 출력의 전력관계식에서 얻어지며 Hysteresis 제어 및 d-q 변환식에 의한 제어에 의해 구현이 된다.

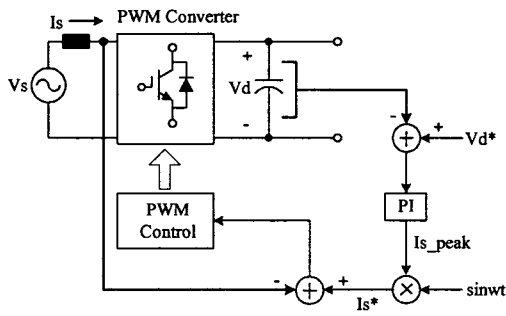
스위칭소자의 비정상적인 동작으로 인하여 컨버터의 상태를 감지하기 위한 진단기법을 위한 시스템 구성을 그림 2에 나타내고 있다. 컨버터의 동작중에 계속적으로 입력전류를 센싱하여 이를 d-q

$$PF = \frac{V_{AB,1} \sin \delta}{\sqrt{V_S^2 + V_{AB,1}^2 - 2V_S V_{AB,1} \cos \delta}} \quad (1)$$

$$I_S \angle \theta = \frac{V_S \angle 0^\circ - V_{AB,1} \angle \delta}{jX_S} \quad (2)$$



(a)



(b)

그림 1 3상 AC-DC 컨버터 시스템 및 제어기법  
Fig. 1. Topology and block diagram of control scheme for AC-DC converters.

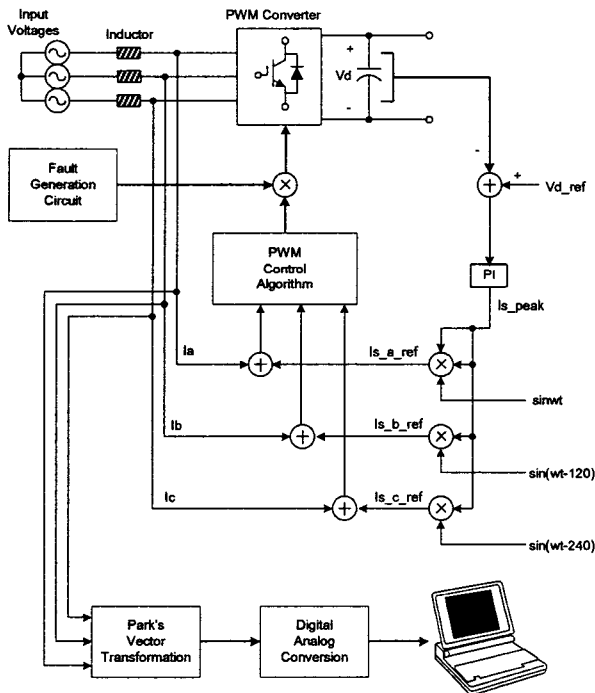
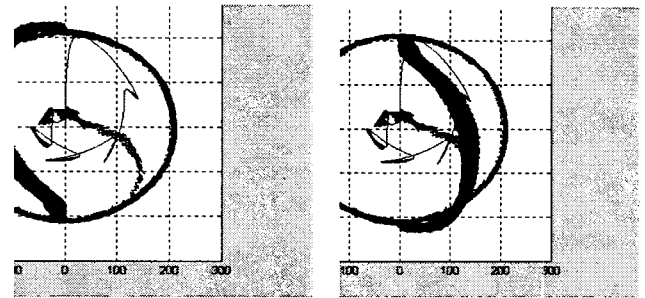


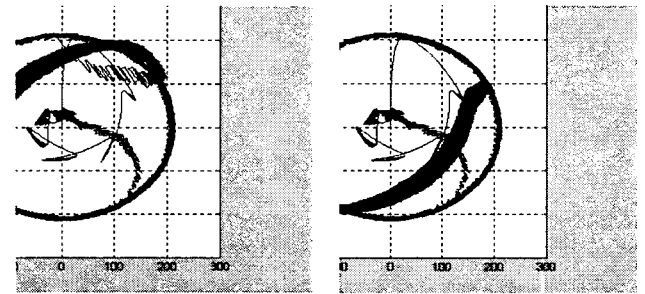
그림 2 컨버터의 상태진단을 위한 시스템 구성도  
Fig. 2. Block diagram for fault diagnosis of converters.

변환식 (Park's Vector Transformation)으로 변환하여 이의 궤적을 모니터링 한다. 정상적인 동작 도중에 Fault Generation Circuit에 의하여 신호를 발생하여 6개의 컨버터를 구성하는 IGBT 스위치 중에서 임의적으로 스위치를 오픈시켜 고장을 발생

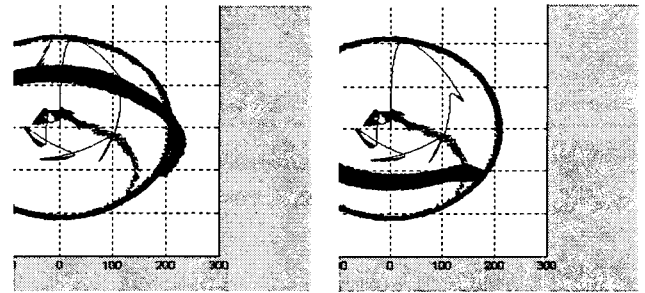
하여 이때의 d-q 궤적을 모니터링 한다. 이러한 방식으로 6개의 스위치 각각이 고장난 경우를 모의하여 d-q 궤적의 변화를 살펴보면 그림 3과 같이 정리할 수 있다. 그림 3에서 보듯이 각각의 경우 궤적의 모양에 뚜렷하게 변화를 보여주고 있어 이를 통하여 소프트웨어적으로 어느 스위치에서 고장이 발생하였는지를 효과적으로 알 수 있게 된다 [3]-[6].



(a) A상 윗단 스위치 (S<sub>1</sub>) (b) A상 아랫단 스위치 (S<sub>4</sub>)



(c) B상 윗단 스위치 (S<sub>3</sub>) (d) B상 아랫단 스위치 (S<sub>6</sub>)



(e) C상 윗단 스위치 (S<sub>5</sub>) (f) C상 아랫단 스위치 (S<sub>2</sub>)

그림 3 스위치 이상동작 시 d-q 궤적변화  
Fig. 3. Variation of d-q pattern according to each switch fault status.

### 3. AC-DC 컨버터의 스위치 고장 시 보상기법

그림 4에서 보듯이 AC-DC 컨버터의 스위치에 이상이 발생하였을 때 입력전류에 심한 왜곡이 발생하고 이에 따라 DC-Link 전압이 올바르게 제어되지 않고 심한 변동이 발생하게 된다. 본 논문에서는 이러한 상황에서 DC-Link 전압을 안정적으로 유지시킬 수 있는 방안에 대해서 기술하고자

한다.

3상 컨버터의 임의 상의 스위치에 이상이 발생하게 되면 이상이 발생한 상의 스위치를 모두 차단하여 사용하지 않고 3상 컨버터를 그림 5와 같이 단상 컨버터로 동작을 시킬 수 있게 된다. 그림 6에서는 스위치 고장 시 3상 컨버터를 단상 컨버터로 동작 시키는 제어 Block Diagram을 나타내고 있다. 그림 6에서 보듯이 입력전류의 d-q 패적을 모니터링 한 것에 근거하여 이상 동작이 발생하였을 때 어느 상에 문제가 있는지를 판단하여 이상이 발생한 상을 고립시키고 나머지 두상 전압의 위상을 감지하여 전류와 동기화 시켜서 컨버터를 동작 시키게 된다. 이에 따른 DC-Link 전압의 제어는 그림 7에 나타내었다. 그림 7에서 보듯이 0.6초에서 A상 윗단 스위치에 임의적으로 Fault 신호를 인가하여 스위치 S1에 고장을 발생시켰을 때 2.6초 정도의 시간 안에 DC-Link 전압이 안정화됨을 확인할 수가 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 3상 AC-DC 컨버터가 임의 IGBT 스위치의 고장에 따라 이상 동작이 발생하였을 때 이를 효과적으로 진단할 수 있고 보상할 수 있는 기법에 대해서 고찰하였다. 제안하는 기법은 별도의 하드웨어를 필요로 하지 않고 단지 입력 전류의 정보에 의해서만 구현될 수 있기 때문에 기존의 산업체에 적용되고 있는 AC-DC 컨버터에 용이하게 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 현재 한국전기연구원 전력전자그룹에서 대용량 컨버터를 제작하여 실험을 진행하고 있어서 좀 더 상세한 실험결과는 추후에 보고될 것으로 예상된다.

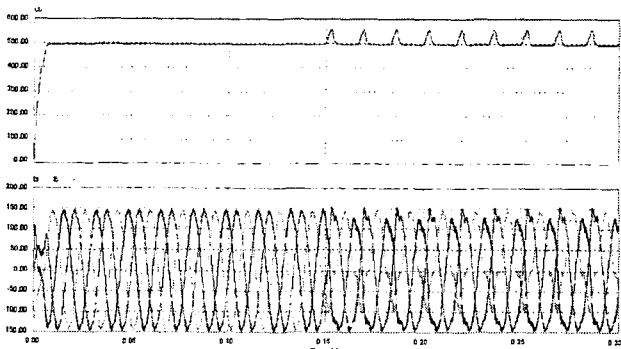


그림 4 스위치 이상동작 시 DC-Link 전압변동  
Fig. 4. DC-Link voltage fluctuation at switch fault.

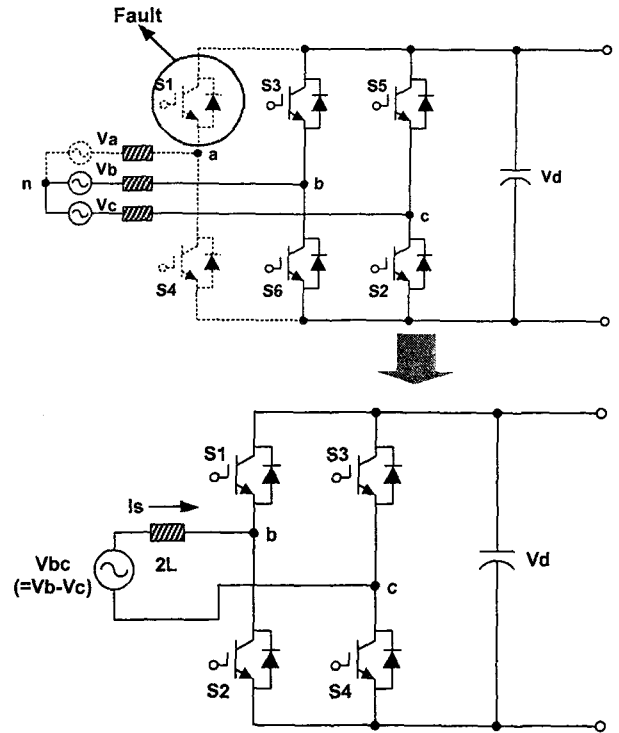
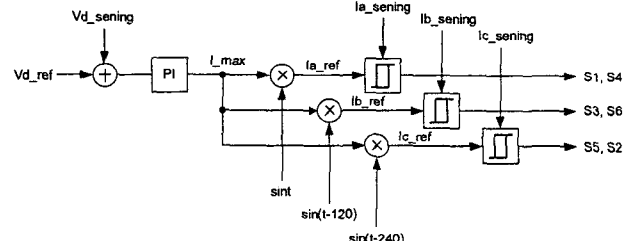
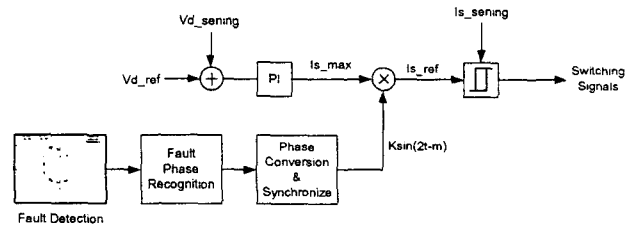


그림 5 스위치 이상 시 3상 컨버터의 단상 동작 모드  
Fig. 5. Operation of 3-phase AC-DC converters to single-phase converters at fault status.



(a) 3상 컨버터의 정상 시 제어 모드



(b) 3상 컨버터의 이상 동작 시 단상 제어 모드

그림 6 스위치 이상 시 제어 블록도  
Fig. 6. Control block diagram of 3-phase AC-DC converter at fault status.

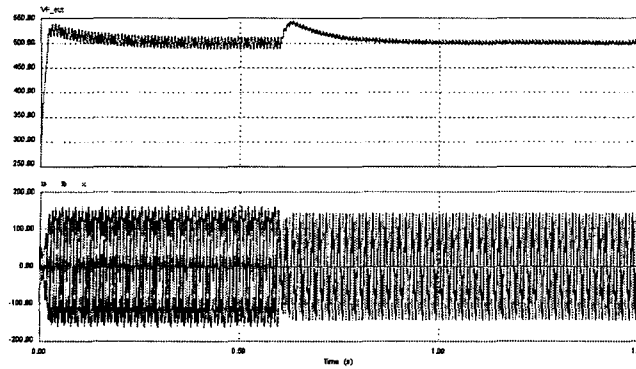


그림 7 3상 컨버터의 단상 컨버터 절환에 의한 DC-Link 전압보상에 따른 전압, 전류파형

Fig. 7. Voltage and current waveforms with the compensation scheme.

### 참 고 문 헌

- [1] T. G. Habetler, "A space vector-based rectifier regulator for AC/DC/AC converters," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 8, no. 1, pp. 30-36, Jan. 1993.
- [2] A. W. Green and J. T. Boys, "Hysteresis current-forced three-phase voltage-source reversible rectifier," *IEE Proc.*, vol. 136, no. 3, pp. 113-120, May 1989.
- [3] H. Nejjari and M. E. H. Benbouzid, "Monitoring and diagnosis of induction motors electrical faults using Park's vector pattern learning approach," *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 36, no. 3, pp. 730-735, May 2000.
- [4] A. J. M. Cardoso, S. M. A. Cruz, J. F. S. Carvalho, and E. S. Saraiva, "Rotor cage fault diagnosis in three-phase induction motors, by Park's vector approach," *IEEE-IAS'95 Conf. Rec.*, pp. 642-646, 1995.
- [5] A. M. S. Mendes, A. J. M. Cardoso, and E. S. Saraiva, "Voltage source inverter fault diagnosis in variable speed ac drive, Park's vector approach," *IEEE Power Electronics and Variable Speed Drives'98 Conf. Rec.*, pp. 538-543, 1998.
- [6] A. J. M. Cardoso and E. S. Saraiva, "Computer-aided detection of airgap eccentricity in operating three phase induction motors by Park's vector approach," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 29, no. 5, pp. 897-901, September 1993.