

대용량 전력변환 장치의 전류센서 고장진단 및 허용운전 기법

고영중, Margo Elise, 이교범, 이동춘*, 김장목**
아주대학교, 영남대학교*, 부산대학교**

Fault Diagnosis and Tolerant Algorithm of Current Sensors for a High-Power Conversion System

Young Jong Ko, Margo Elise, Kyo Beum Lee, Dong Choon Lee*, and Jang Mok Kim**
Ajou University, Yeungnam University*, and Pusan National University**

ABSTRACT

본 논문은 계통연계형 전력변환 장치의 페루프 제어에 이용되는 전류센서의 고장진단 및 허용운전 기법을 제안한다. 전류센서에 고장이 발생하면, 정확한 출력전력제어가 불가능해져 품질이 저하될 뿐만 아니라 이에 대한 허용운전이 이루어지지 않으면 전체시스템의 운전을 중지해야 한다. 따라서 실시간 고장진단 및 허용운전 기법이 필요하다. 제안한 기법은 측정된 값과 추정 값의 비교를 통해 고장진단을 하고, 고장발생시 정상 센서에서 측정된 전류 값을 이용하여 허용운전을 한다. 10kW급 3병렬 전력 변환 시스템을 모의한 시뮬레이션을 통해 제안한 기법의 성능을 검증하였다.

1. 서 론

전력변환장치의 고장은 크게 직류단 캐패시터 고장, 스위치 소자 고장, 전류센서 고장으로 나눌 수 있다^[1]. 전류센서에 게인오차 또는 오프셋 오차가 발생하면 출력전류에 1차 또는 2차 리플이 발생하고, 최악의 경우 과전류로 인해 전체 시스템에 악영향을 줄 수 있다^[2,3]. 특히, 대용량 시스템의 안정성을 위해 전류센서의 즉각적인 고장진단과 허용운전 기법이 필요하다.

본 논문은 3병렬 전력변환 장치의 계통연계 운전을 위한 전류센서의 고장진단 및 허용운전 기법을 제안한다. 측정된 3상 전류를 이용해 고장진단을 하고, 시스템 모델을 통해 추정된 전류와 비교하여 고장이 발생한 센서를 판별한다. 또한, 정상 센서로부터 측정된 전류를 이용해 허용운전을 함으로써 전체 시스템의 신뢰성과 안정성을 향상시킬 수 있다. 제안한 기법은 10kW급 3병렬 전력변환장치를 모의한 시뮬레이션을 통해 검증 되었다.

2. 본 론

1.1 시스템 구성

대용량 계통연계형 시스템을 위한 3병렬 전력변환 장치는 그림 1과 같이 병렬 연결된 전력변환장치, LCL필터, 전류센서, 3상 계통으로 구성된다. 전체 시스템의 페루프 제어를 위해 3개의 전류센서가 이용되고, v_{an} , v_{bn} , v_{cn} 은 상전압, v_{agn} , v_{bgn} , v_{cgn} 은 계통 전압, i_a^s , i_b^s , i_c^s 는 상전류를 나타낸다.

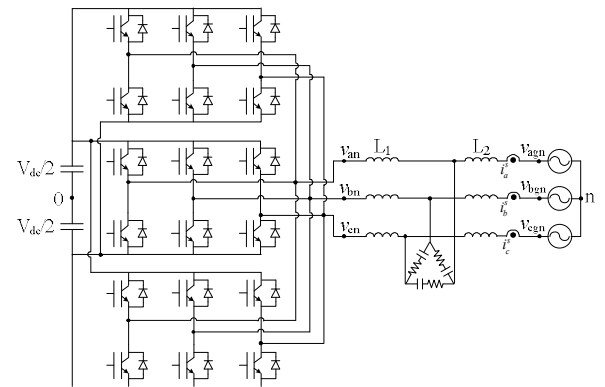


그림 1 계통연계형 3병렬 전력변환 장치
Fig. 1 3-parallel power conversion system for grid connection

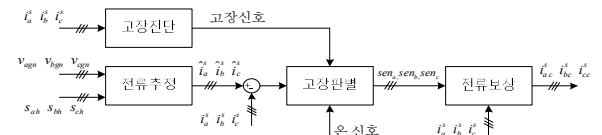


그림 2 전류센서 고장진단을 위한 알고리즘 블록도
Fig. 2 Block diagram for fault detection and tolerant algorithm of current sensor

1.2 제안한 기법

전류센서의 고장진단 및 허용운전을 위한 알고리즘은 고장진단, 전류추정, 고장판별, 전류보상 단계로 구분되고 블록도는 그림 2와 같다.

1.2.1 고장진단

전류센서의 고장진단은 측정된 전류를 이용한다. 정상동작 상태에서 3상전류의 합은 0이지만, 전류센서에 고장이 발생했을 경우 식 (1)과 같이 측정된 3상전류의 합은 0이 아님을 이용하여 고장 여부를 판단한다.

$$|i_a^s + i_b^s + i_c^s| > I_f \quad (1)$$

1.2.2 전류추정

각 상전류는 스위칭 신호와 계통전압, 직류단 전압을 이용하

여 추정된다. 각 상의 극전압은 식 (2)와 같이 스위칭 신호와 직류단 전압을 이용하여 구할 수 있다.

$$v_{kn} = (2S_{kh} - 1)v_{dc}/2 \quad (2)$$

여기서, S_{kh} 는 k상의 스위칭 상태이고, 임피던스에 걸리는 전압은 식 (3)과 같이 각 상의 극전압과 계통전압을 이용하여 구할 수 있다.

$$v_{zk} = v_{kgn} - (2v_{kn} - v_{in} - v_{jn})/3 \quad (3)$$

여기서, v_{kgn} 는 각 상의 계통전압이고 v_{kn} , v_{in} , v_{jn} 은 각 상의 극전압이다. 결과적으로, 식 (2)와 (3)을 이용해 추정된 상전류는 다음과 같이 구해진다.

$$\hat{i}_k^s(m) = i_k^s(m-1)/3 - (T_s \times v_{zk})/(L_1 + L_2) \quad (4)$$

여기서, T_s 는 샘플링 주기이고 $L_1 + L_2$ 는 출력필터 인덕턴스이다. 추정된 전류와 측정된 전류는 고장이 발생한 전류센서의 판별을 위해 이용된다.

1.2.3 고장판별

고장신호와 온 신호가 입력되었을 경우 고장판별을 한다. 1.2.1에 제안된 방법은 영 전류에서 정확한 고장진단을 할 수 없기 때문에 임의로 정의한 임계값 이상 전류가 흐를 경우 온 신호를 입력하여 고장판별 블록을 동작 시킨다. 고장이 발생한 상에서 측정된 값과 추정된 값의 차가 가장 크다는 점을 이용해 고장이 발생한 센서를 판별한다.

1.2.4 전류보상

고장판별 단계의 출력신호와 정상 센서로부터 측정된 전류를 이용한다. 고장이 발생한 상의 전류를 식 (5)의 알고리즘을 통해 보상한다.

$$\begin{aligned} \text{if } (S_{ena} = 1) \quad i_a^s &= - (i_b^s + i_c^s) \\ \text{if } (S_{enb} = 1) \quad i_b^s &= - (i_a^s + i_c^s) \\ \text{if } (S_{enc} = 1) \quad i_c^s &= - (i_b^s + i_a^s) \end{aligned} \quad (5)$$

3. 시뮬레이션

제안한 고장진단 기법은 PSIM 시뮬레이션 툴을 이용하여 검증되었다. 전체 시스템은 그림 1과 같이 구성되고 3상 계통 전압은 $380 [V_{rms} \text{ line to line}]$, 스위칭 주파수는 $2 [kHz]$, 제어주기는 $250 [usec]$ 이다.

측정된 전류와 추정된 전류를 그림 3에 나타내었고 이를 통해 정확한 전류가 추정됨을 확인하였다. 그림 4는 a상 전류센서에 고장이 발생한 경우이다. $1.5 [sec]$ 에 고장이 발생하였고 $1 [msec]$ 이내에 고장진단과 허용운전을 통해 정상적인 전류제어가 됨을 확인하였다.

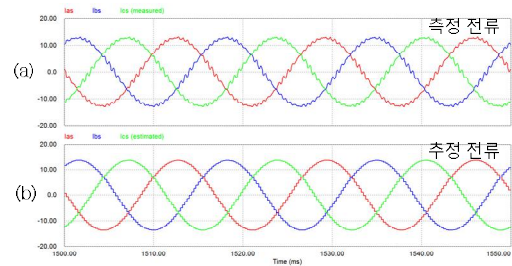


그림 3 정상상태에서 (a)측정된 전류와 (b)추정된 전류
Fig. 3 (a)Measured current and (b)estimated current under healthy condition

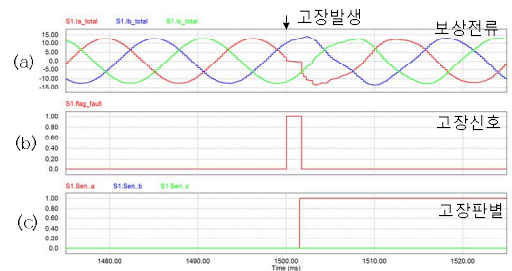


그림 4 고장 발생 시 (a)보상전류, (b)고장신호, (c)고장 판별신호
Fig. 4 (a)Compensation current, (b)fault signal, and (c)fault identification signals under fault condition

4. 결 론

3병렬 전력변환 장치의 계통연계 운전을 위한 전류 센서의 고장진단 기법을 제안하고 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 측정된 3상 전류와 추정된 전류를 이용해 전류센서의 고장진단 및 판별을 한다. 제안된 기법을 통해 고장진단 뿐만 아니라 허용운전을 함으로써 시스템의 신뢰성과 안정성을 향상시킬 수 있다.

이 논문은 2011년도 정부(지식경제부)의 재원으로 한국 에너지 기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 20091020300380 12 2 200).

참 고 문 헌

- [1] B. G. Park, T. S. Kim, and D. S. Hyun, "Fault Tolerant Strategies for BLDC Motor Drives under Switch Faults," IAS Annual Meeting, pp. 1637 1641, Oct. 2006.
- [2] S. Karimi, A. Gaillard, P. Poure, and S. Saadate, "Current sensor Fault Tolerant Control for WECS with DFIG," IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol. 56, No. 11, pp. 4660 4670, Nov. 2009.
- [3] H. S. Jung, S. H. Hwang, J. M. Kim, C. U. Kim, and C. Choi, "Diminution of Current Measurement Error for Vector Controlled AC Motor Drives," IEEE Trans. Industrial Application, Vol. 42, No. 5, pp. 1249 1256, Sept./Oct. 2006.