

CMSB 시스템에 적용된 센서리스 제어 기반 비엔나 정류기의 개방성 스위치 고장진단 기법

Open-Switch Fault Diagnosis Method for Sensorless Control Based-Vienna Rectifier Used in CMSB System

고영민*, 박진혁**, 이준석*†

Young-Min Go*, Jin Hyuk Park**, June-Seok Lee*

초 록 본 논문에서는 도시철도차량 CMSB (Compressor Motor Start Box)의 전력변환기 토폴로지로 적용된 센서리스 제어 기반 비엔나 정류기의 개방성 스위치 고장진단 기법을 제안한다. 센서리스 제어 기법이 적용된 비엔나 정류기에 개방성 고장이 발생했을 경우, PLL (Phase Locked Loop)로 추정된 계통 전압의 각속도는 센서 기반 제어 대비 큰 오차가 발생하여 과전류 사고를 야기한다. 제안하는 고장진단 방법은 각속도 오차를 통해 예측된 고장 전류를 이용하여 고장 스위치의 위치를 빠르게 진단할 수 있으며, 이를 Psim 시뮬레이션을 통해 성능을 검증하였다.

주요어 : CMSB, 도시철도차량, 비엔나 정류기, 센서리스 제어, 고장 진단

1. 서 론

일반적으로 CMSB의 전력변환기로 다이오드 정류기를 사용했으나, 직류단 전압 리플 개선 및 입력 전류 전고조파왜율 저감을 위해 비엔나 정류기와 같은 토폴로지를 사용한다[1]. 또한 단가 및 크기 저감에 이점이 있는 센서리스 제어 기법의 적용 또한 연구되고 있다. 하지만 센서리스 제어를 비엔나 정류기에 적용할 경우, 개방성 스위치 고장이 발생하게 되면 센서를 사용한 제어 대비 PLL 추정 각속도의 오차가 크게 발생하여 과전류 사고를 야기한다.

본 논문에서는 센서리스 제어를 적용한 비엔나 정류기의 개방성 스위치 고장 진단 기법을 제안한다. 제안하는 고장진단 기법에서는 각속도의 오차를 기반으로 고장을 빠르게 판단하고, 전류 변화를 예측하여 고장 스위치의 위치를 정확하게 진단할 수 있다.

† 교신저자: 단국대학교 공과대학 전자전기공학
학과(ljs@dankook.ac.kr)

* 단국대학교 공과대학 전자전기공학과

** 한국철도기술연구원 추진시스템연구실

2. 본 론

2.1 센서리스 제어를 적용한 비엔나 정류기

비엔나 정류기는 Fig.1과 같이 3레벨 컨버터 회로 중 일부 IGBT를 다이오드로 대체한 회로이다. 비엔나 정류기의 계통 전압 센서리스 제어는 Fig.2의 제어 블록도를 통해 수행된다. 수식적 계산을 통해 도출한 q축 가상 자속 성분 $\Psi_{qe,cal}$ 를 이용한 PLL에 의해 출력 위상각을 구하게 된다. $\Psi_{qe,cal}$ 은 전류와 스위칭 듀티를 이용하여 계산한 값이기 때문에, 개방성 스위치 고장이 발생할 경우 각속도에 큰 오차가 발생하게 된다.

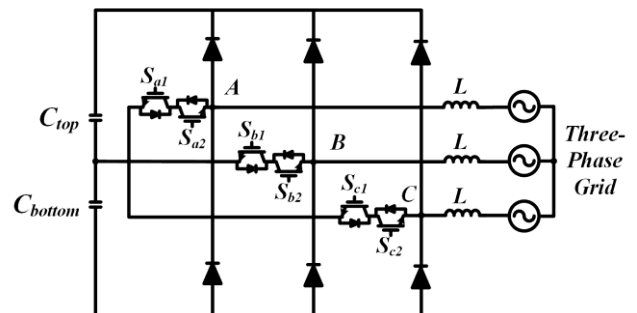


Fig. 1 The Topology of Vienna - Rectifier.

Table 1 Parameter of Rectifier

Parameters	Value
Grid voltage	100V _{rms} /60Hz
DC-link reference	200V
Filter impedance	3mH

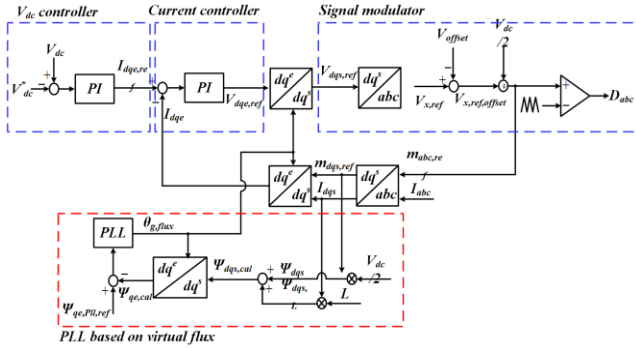


Fig. 2 Block diagram for Vienna – Rectifier

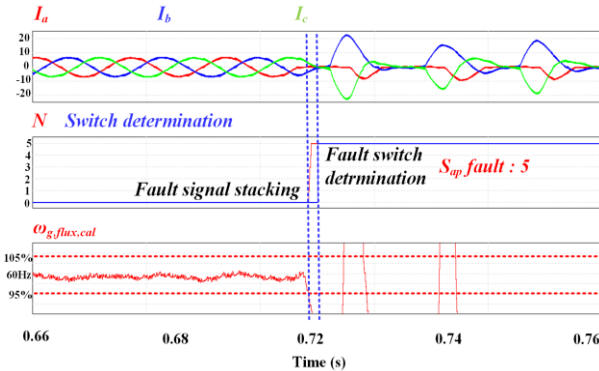


Fig. 3 Open switch fault detection by $\omega_{g,flux,cal}$

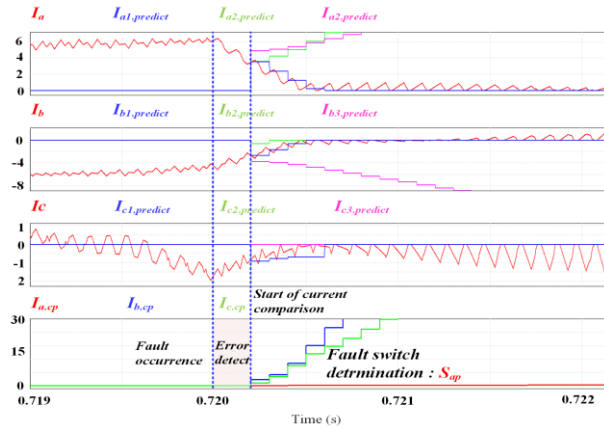


Fig. 4 Real currents and predicted currents

2.2 제안하는 고장진단 기법

가상 자속 성분 $\Psi_{dqs,cal}$ 은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\Psi_{dqs,cal} = L \cdot I_{dqs} + m_{dqs,ref} \cdot \frac{V_{dc}}{2}. \quad (1)$$

이를 이용하여 센서리스 제어시의 각속도 $\omega_{g,flux,cal}$ 를 계산하면 식(2)와 같다.

$$\omega_{g,flux,cal} = \frac{d\theta_{g,flux,cal}}{dt} = \frac{d\left(\tan^{-1}\left(\frac{\Psi_{qs,cal}}{\Psi_{ds,cal}}\right)\right)}{dt}. \quad (2)$$

해당 성분은 개방성 스위치 고장이 발생할 시 급격한 변동을 보이게 되고, 이를 기반으로 하여 개방성 스위치 고장이 발생한 것을 확인할 수 있다. 또한 스위치 고장이 발생한 지점의 위상각에서 발생할 수 있는 고장 전류 변동을 예측하여 고장 스위치의 위치를 정확하게 진단할 수 있다.

2.3 시뮬레이션

제안한 방법의 타당성을 Psim을 통해 검증하였다. A상 스위치(S_{ap})의 고장 상황을 모의하였으며, 파라미터는 Table 1과 같다. 개방성 스위치 고장 발생 시, Fig.3에 도시된 것처럼 $\omega_{g,flux,cal}$ 에 큰 변동이 발생한다. 고장 발생 직후 고장 전류가 예측되며, 예측 전류가 가장 유사한 S_{ap} 가 고장 스위치로 검출됨을 Fig.4를 통해 알 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 도시철도차량 CMSB의 전력변환기에 적용된 센서리스 제어 기반 비엔나 정류기의 개방성 스위치 고장 진단 방법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 센서리스 제어에서 가상 자속 성분을 이용한 PLL의 출력 위상각 변동을 감지하여 고장 발생을 진단하였으며, 고장 전류 예측 및 실제 전류와의 비교를 통해 고장 스위치의 위치를 정확하게 검출할 수 있음을 검증하였다.

후 기

본 연구는 국토교통부의 지원으로 수행되었습니다(과제번호 21TBIP-C160878-0).

참고문헌

- [1] J. -H Park, J. -S Lee, M. -Y Kim, and K. -B Lee (2021) Diagnosis and Tolerant Control Methods for an Open-Switch Fault in a Vienna Rectifier, *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 9, no. 6, pp. 7112–7125.