

3상 PWM 정류기의 스위치 개방 고장시 감지 및 허용운전 방법

신희근* 안병웅* 김학원* 조관열* 임병국* 정신명**
 충주대학교*, 한국과학기술원**

Switch Open Fault Detection and Tolerant Method for Three Phase PWM Rectifier

Hee-Kuen Shin*, Byoung-Woong An*, Hag-Wone Kim*, Kwan-Yuhl Cho*, Byung-Kuk Lim*,
 Shin-Myung Jung**
 Chungju National Univ*, KIAIST**

ABSTRACT

본 논문에서는 3상 PWM 정류기의 스위치 개방 고장시 감지 및 허용 운전 방법에 대해 제안한다. 스위치의 개방 고장이 발생 하면, 한상의 전류가 반주기 동안 나타나지 않기 때문에 출력 직류전압의 리플로 나타나게 된다. 이 경우 고장 감지 및 허용 운전을 하지 않으면, 전력 품질을 저하되며, 직류 링크 콘덴서의 수명이 감축되는 문제를 발생 시킨다. 제안된 기법은 추가적인 하드웨어 없이 간단한 모델 적응 제어 (Model Reference Adaptive System)을 이용하여, 고장된 스위치를 감지 하며, 고장난 스위치의 반대 스위치를 켜고 나머지 2상을 전류제어 하여 3상 전류를 평형상태로 만들어 출력 직류전압의 리플을 줄이는 허용운전을 제안한다. 본 논문은 6kW급 3상 PWM 정류기 시스템을 모의해석을 통해 제안된 기법의 타당성을 입증 하였다.

1. 서론

최근 3상 PWM 정류기는 대용량 전원장치에 사용이 확대 되어 가면서, 전원장치에 대한 신뢰성에 대한 중요성이 점차 증가 되고 있다. 대용량 전원장치의 고장 발생 시 전원공급이 중단 되어 이로 인한 피해가 발생된다. 본 논문에서는 대용량 전원장치로 널리 사용되는, 3상 PWM 정류기의 신뢰도를 향상시킬 수 있는 스위치 개방 고장 진단과 허용운전 방법에 대해 제안하고자 한다.

지금까지 스위치 개방고장 진단 및 허용운전에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. Ribeiro는 전압 감지 센서를 통하여 개방 고장 진단을 하였고,^[1] 추가적인 상을 만들거나, 고장이 검출된 상을 중성점에 연결하여 허용운전 하는 방법을 제안하였다.^[3] 하지만, 이 방법은 고장 진단 및 허용운전을 위한 회로가 추가되는 단점을 갖고 있다. 또한 Puget은 전류 벡터의 궤적을 분석하여 특정상의 개방 고장을 감지하는 방법을 제안하였다.^[2] 이 방법은 추가적인 회로가 필요하지 않지만, 전류의 여러 주기를 거쳐 개방 고장을 감지 하여 속응성이 낮다.

본 논문에서는 추가적인 회로 없이 간단한 MRAS(Model Reference Adaptive System)을 사용 하여 개방 고장을 진단 하며, DPWM(Discontinuous Pulse With Modulation)방법을 사용하여 출력 전압의 리플 저감을 하는 허용 운전하는 방법을 제안하고자 한다.

2. 스위치 개방 고장 진단 방법 및 허용운전 방법

2.1 스위치 개방 고장

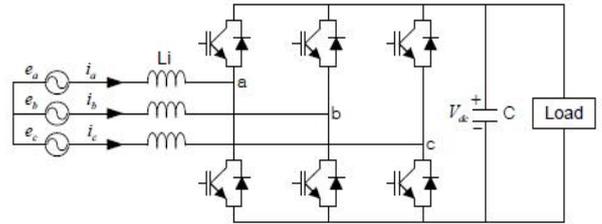


그림 1 3상 PWM 정류기
 Fig. 1 Three phase PWM rectifier

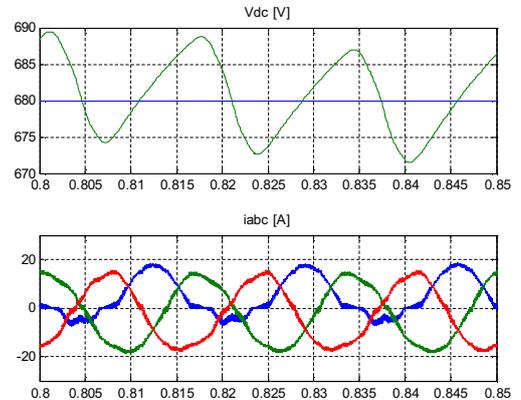


그림 2 상단 스위치 개방 고장시 출력 DC 전압과 입력전류
 Fig. 2 Waveform for input phase current and output DC voltage on the upper switch open fault

그림 1은 3상 PWM 정류기 이다. 그림 2는 6개의 스위치 중에서 a상 상단 스위치의 IGBT가 개방 고장이 발생 하였을 때, 출력 DC 전압과 입력전류 이다.

$$i_{dc} = S_a i_a + S_b i_b + S_c i_c \quad (1)$$

스위치가 개방 고장이 발생 시 전류는 반주기가 나타나지 않고, 식 (1)에 의해 출력 DC 전압의 리플이 발생한다. 이는 출력 캐패시터의 수명 문제 및 발열 문제와 전원장치의 신뢰성에 영향을 준다.

2.2 스위치 개방 고장 진단 방법

3상 PWM 정류기의 전압방정식은 다음 식 (2)와 같다.

$$e_{abc} = L_s \frac{di_{abc}}{dt} + v_{abc} \quad (2)$$

이때, 전압방정식에 대하여 Model식을 쓰면 식 (3)과 같다.

$$e_{abcn} = L_s \frac{di_{abcn}}{dt} + v_{abc}^* \quad (3)$$

식 (2)와 식(3)의 차이를 구하면 전원전압에 불평형 및 왜곡이 없다면, $e_{abc} = e_{abcn}$ 이며, 실제 정류기의 상전압과 상전압 지령 값의 오차를 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$v_{abc} - v_{abc}^* = -L_s \left(\frac{di_{abc} - di_{abcn}}{dt} \right) \quad (4)$$

스위치의 개방 고장 발생 시 정류기 상전압의 오차에 나타나므로 개방 고장 진단이 가능하다. 그림 (3)은 a상 상단 스위치 개방 고장 시 고장 감지한 모의해석 결과 이다.

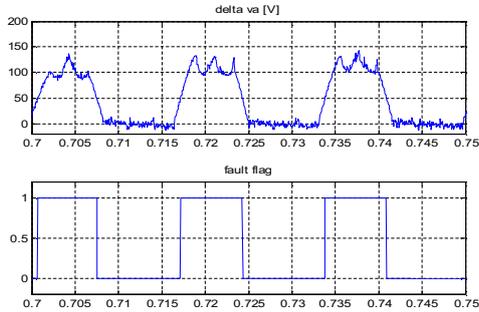


그림 3 상단 스위치 개방 고장 시 고장 감지
Fig 3. Simulation waveform for calculated phase voltage error on the upper switch open fault

2.3 허용운전 기법

허용 운전 기법은 120° DPWM방법을 사용 하였다. 120° DPWM방법은 상전압 지령이 120°구간동안 큰 구간은 극전압 지령을 $V_{dc}/2$ 을 작은 구간은 $-V_{dc}/2$ 을 만들어 준다.

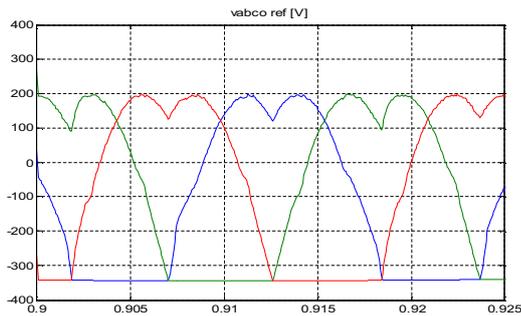


그림 4 제안된 DPWM 방법의 극전압 지령
Fig 4. Simulation results of pole voltage command on the proposed DPWM method

상단 스위치 개방 고장 시 입력전류는 음의방향일 때, 상단 스위치를 사용할 수 없기 때문에 그림 (4)와 같은 방법으로 하면, 전류가 하단 다이오드를 통해 흐르기 때문에, 입력전류를 평형상태로 만들 수 있다. 입력전류를 평형상태로 만들면 식 (1)에 의해서 출력 전압의 리플이 저감되는 효과가 나타난다.

3. 모의해석 결과

본 논문에서 모의해석에 사용한 3상 PWM 정류기의 정격전력은 6kW, 계통전압은 선간전압 380V/60Hz, PWM 주파수는 17kHz이다.

그림 5는 a상 상단 스위치 개방 고장 시 제안된 알고리즘의 모의실험 결과를 나타낸다. 허용운전 실시 전후에 비교 결과 입력전류의 평형상태에 의해 출력 DC 전압의 리플이 저감되는 것을 확인 할 수 있었다.

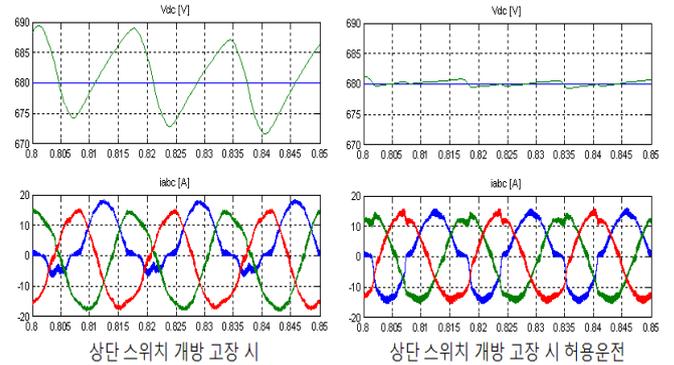


그림 5 제안된 방법의 모의실험 결과
Fig 5. Simulation results of the proposed method

4. 결론

본 논문에서는 간단한 MRAS기법을 사용하여 스위치의 개방고장을 진단하며, 이에 맞는 허용 운전을 실시하여, 출력 DC 전압의 리플이 저감되는 효과를 보았다. 또한 6kW급 PWM 정류기에 대해 모의실험을 통하여 제안하는 알고리즘의 성능을 입증하였다.

이 논문은 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (한국연구재단-2011-0003813)

참고 문헌

- [1] R. L. A. Ribeiro, C. B. Jacobina, E. R. C. Silva, A. M. N. Lima, "Fault Detection of Open-Switch Damage in Voltage-Fed PWM Motor Drive Systems," IEEE Trans. On. Power Electronics., Vol. 18, No. 2, pp.587-593, 2003. March.
- [2] R. Peugot, S. Courtince, J. P. Rognon, "Fault Detection and Isolation on a PWM Inverter by Knowledge-Based Model," IEEE Trans. On. Ind. Applications., Vol. 34, No. 6, pp.1318-1326, 1998.
- [3] R. L. A. Ribeiro, C. B. Jacobina, E. R. C. Silva, A. M. N. Lima, "Fault-Tolerant Voltage-Fed PWM Inverter AC Motor Drive Systems," IEEE Trans. On. Ind. Electronics., Vol. 51, No. 2, pp.436-449, 2004.
- [4] 김상훈, DC 및 AC 모터 제어, 북두출판사.