

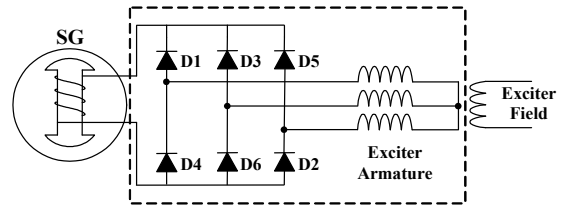
브러시리스 디젤발전기 여자기 회전형 다이오드 고장감시 방법

류호선*, 이의택*, 박만기*, 이주현*, 유준수**
한국전력연구원*, 이투에스**

Method of Exciter Rotating Diode Fault Detection for Brushless Diesel Generator

Hoseon Ryu*, Uitaek Lee*, Manki Park*, Joohyun Lee*, Joonsoo Lyu**
Korea Electric Power Research Institute*, E2S**

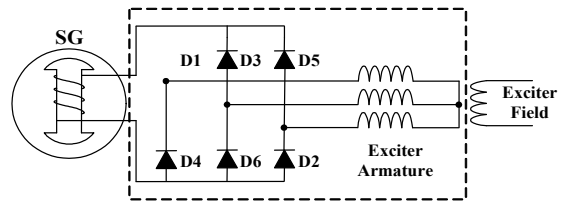
Abstract - 본 논문에서는 도서지역 디젤발전기 브러시리스 여자기 회전형 다이오드 전류실폐에 대한 모니터링 및 감시방법에 대하여 기술하였다. 회전형 다이오드의 전류실폐는 다이오드가 개방되거나, 단락되었을 때 발생하게 된다. 브러시리스 여자기 회전형 시스템은 다이오드가 발전기 회전축에 부착되어 운전되므로 외부에서 직접 고장에 대하여 모니터링 할 수 없고 간접적인 방법을 사용하여야 한다. 본 논문에서는 간접 감시방법들 중에 여자기 계자전류의 고조파 성분을 분석하여 다이오드의 상태를 알 수 있는 방법을 사용하였으며, 실제 여자시스템의 회전 다이오드 모니터링 설비를 제작하여 시험을 실시하고, 모니터링 상태를 확인하였다. 향후 브러시리스 여자시스템을 사용하는 발전소에 확대 적용하여 시스템의 신뢰성 있는 운전에 기여할 것으로 기대하고 있다.



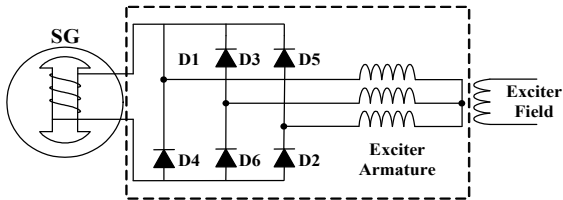
<그림 1> 브러시리스 회전형 여자기 정상상태

1. 서 론

도서내연 발전소의 디젤발전기는 수 백kW의 동기기로서 타여자방식의 브러시리스 여자시스템이 주로 사용되고 있다. 여자시스템은 제어기, 정류부, 회전형 여자기로 구성되어 있고, 여자기의 출력은 3상 회전형 다이오드 브리지로 연결되어 발전기 계자권선에 전류를 공급한다. 최근 디지털 제어기의 확대보급으로 예전에 모니터링 하지 못하였던 3상 회전형 다이오드의 동작상태를 확인할 수 있는 여러 방법들이 개발되었다. 회전형 여자기 다이오드의 정상동작 실패는 발전기의 정상운전에 악영향을 미치므로 고장발생 시 발전기를 비상정지하여야 한다. 다이오드 상태감시방법은 직·간접적인 모니터링 방법이 사용되는데, 가장 선호되는 것은 비용이 적게 드는 간접적으로 모니터링하는 방법이다. 일반적으로 여자기 계자전류를 모니터링하여 다이오드의 이상유무를 판단한다. 여자기의 회전자 브리지 다이오드들 전류실폐는 개방과 단락에 의하여 발생되는데 만일 회로가 개방되면 여자기 공급능력은 줄어들게 되나, 정격용량까지 공급가능하게 회로를 여유설계하기 때문에 단락보다는 양호한 파형을 보인다. 단락이 발생하면, 여자기는 상대적으로 심각한 영향을 받는데 정격출력 운전을 할 수 없고 여자시스템이 발전기 단자전압을 제어할 수 없게 된다. 본 논문에서는 도서전력용 브러시리스 발전기 여자시스템을 설계, 제작하는 과정 중 종종 발전기 여자기 회전자 다이오드 소손되는 것을 발견하였고, 여러 문헌을 조사하여 최적의 디지털 감시방법을 알아내었고, 여자시스템에 적용하여 시험을 완료하였다. 도서 디젤발전기에서 장기간 운전 중 성능이 검증되면, 가스터빈 발전소에도 적용할 예정이다.



<그림 2> 브러시리스 회전형 여자기 다이오드 개방상태



<그림 3> 브러시리스 회전형 여자기 다이오드 단락상태

2. 본 론

2.1 회전형 다이오드 고장유형

2.1.1 회전형 다이오드 정상상태

그림 1은 회전형 여자기 다이오드 정상상태를 나타내고 있다. 브러시리스 타입의 회전형 여자기는 여자기 계자전류에 따라서 고정자에 전압이 유기되며, 유기전압은 전과 정류형 회전형 다이오드를 통하여 발전기의 계자에 전류를 공급된다.

2.1.2 회전형 다이오드 개방상태

만일, 다이오드가 D1이 개방되면 그림 2에서 처럼 3상 중 1상이 발전기의 계자전압에 영향을 미치지 못하여 6개의 출력전압 리플 중 2개의 리플이 비정상적으로 발생된다.

2.1.3 회전형 다이오드 단락상태

그림 3은 다이오드 단락상태로 가장 과급효과가 커서 보통 이런 고장이 발생하면 발전기 정지명령이 발생되어 급정지를 한다. 다이오드는 단락상태일 때 발전기 계자전압에 영향을 주어 고정자와 회전자 상호인턴턴스 값이 변하게 되며, 발전기 단자전압이 심하게 동요한다. 발전기가 계통병입 운전중이면 무효전력은 물론 유효전력도 변동하게 된다.

2.2 회전형 다이오드 고장에 따른 계자전류 분석

2.2.1 정상상태

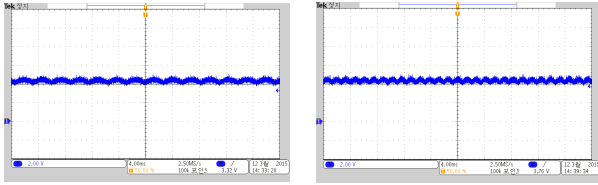
그림 4는 회전형 여자기 다이오드가 정상상태에서 1사이클당 교류성분이 포함된 12리플과 24리플에 대한 파형을 나타내고 있다. 본 파형은 실제파형이 아니고, 모의파형 발생기에서 파형의 형태를 모사하여 아날로그 출력이 된 그림이다. 실제 디젤발전기 여자기 계자전류는 정상상태 파형을 추출할 수 있으나, 다이오드 개방이나 단락상태는 여러 비유적 측면에서 실제로 구사할 수 없어서 참고문헌[2]를 참조하여 유사파형을 모사하였다. 실제로 발전기가 4극이고, 여자기가 8극일 경우에는 1사이클당 12리플이 발생한다.

2.2.2 개방상태

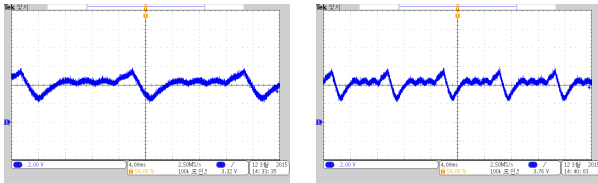
참고문헌에 따르면, 다이오드 D1 개방은 그림 5에서처럼 여자전류의 AC 리플에 영향을 준다. 그림은 1사이클당 12리플과 24리플에 대하여 다이오드 개방시의 여자전류파형을 보이고 있다. 그림에서처럼 교류리플은 변화가 거의 없고, DC 전류성분에 대한 크기변화가 발생함을 알 수 있다.

2.2.3 단락상태

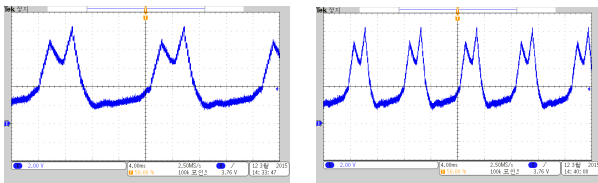
그림 6은 1개의 다이오드 단락발생시의 파형을 나타내고 있다. 다른 어느 고장보다 가장 과급효과가 커서 DC 계자전류 성분에 대하여 매우 큰 AC성분이 검출이 된다.



〈그림 4〉 1사이클당 12리플과 24리플의 계자전류파형(정상상태)



〈그림 5〉 1사이클당 12리플과 24리플의 계자전류파형(다이오드 개방상태)



〈그림 6〉 1사이클당 12리플과 24리플의 계자전류파형(다이오드 단락상태)

2.3 회전형 다이오드 고장감시 구현

위에서 설명된 것처럼 계자전류 파형은 다이오드의 상태에 따라서 변하게 되는데 정상상태에서는 약간의 AC리플성분이 있는 반면, 다이오드 개방상태에서는 큰 AC성분이 검출이 된다. 물론 다이오드 단락상태에서는 가장 큰 교류성분이 포함된 전류가 발생된다. 이런 파형으로부터 여러 문헌들은 DC성분에 대한 기본주파수 성분비로 고장을 감시하였다. 본 논문에서도 가장 많이 사용되고 있는 방법을 사용하여 감시장치를 구현하였다.

2.3.1 고장감시 구현방법

감시장치는 60Hz 기준으로 30회 샘플링을 할 수 있도록 하드웨어를 구성하였다. 1800Hz의 샘플링 횟수를 이용하여 우리가 원하는 기본주파수 성분을 추출할 수 있도록 하였다. 그림 4의 경우 1사이클당 12리플일 경우 120Hz에 대한 고조파 성분이 추출된다. 참고문헌 실험치에 의하면, DC성분에 대하여 기본파의 성분비가 10%~55%일 때 다이오드의 상태에 문제가 발생됨을 알 수 있었다. 본 논문에서도 이 범위를 초과하면 경고로 선정하였으며, 사용자가 이 값의 비를 조절할 수 있게 하였다. 표 1은 참고문헌에서 실제 회전형 다이오드 고장 시 입력전원이 DC와 PWM 변조를 이용한 제어방법에서 계자전류 고조파를 실측한 내용이다. 이 표에서도 알 수 있듯이 다이오드가 정상상태일 때는 기본파가 거의 1% 미만이었으며, 고장발생 시 17% 내외로 측정되었다. 물론 단락상태의 경우는 더 심하여 90% 내외로 측정되었다. 시스템 설계자가 다이오드 고장상태를 감시하기 위하여 기본파 + 제2 고조파 성분을 이용하면 보다 정밀하게 감시할 수 있다.

〈표 1〉 회전형 다이오드 고장 시 DC와 PWM의 계자전류 고조파성분

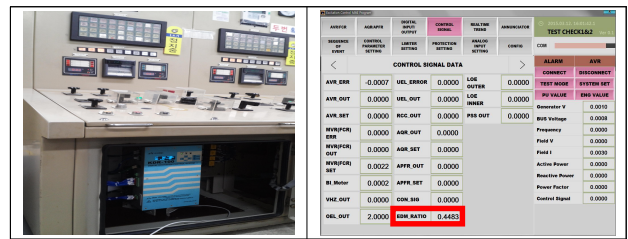
| | DC 전원 | | | PWM 전원 | | |
|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | 정상 | 개방 | 단락 | 정상 | 개방 | 단락 |
| 기본파 | 0.3% | 17.0% | 92% | 0.7% | 16.2% | 89.0% |
| 2차 고조파 | 0.1% | 20.0% | 33% | 0.4% | 19.6% | 32.0% |
| 3차 고조파 | 0.1% | 14.0% | 10.5% | 0.1% | 13.4% | 9.6% |
| 4차 고조파 | 0.1% | 5.0% | 8.0% | 0.3% | 4.6% | 8.0% |
| 5차 고조파 | 0.1% | 2.6% | 13.0% | 1.8% | 2.3% | 15.5% |
| 6차 고조파 | 2.2% | 4.7% | 17.0% | 2.2% | 4.7% | 17.6% |

2.3.2 회전형 다이오드 고장감시 시스템 제작 및 튜닝

그림 7은 디젤발전기 고장감시가 가능한 여자시스템과 모니터링 셋팅값을 나타내고 있다. 시작품은 회전형 여자시스템에 적용가능하도록 소형으로 제작되었으며, 초퍼형 PWM방식을 사용하였다. 회전형 여자기의 내부 다이오드를 감시하기 위한 셋팅값은 계자전류 DC성분에 대한 기본주파수 1차 성분비로 하였다. 다이오드 개방상태는 10~40%로 하였으며, 40% 이상은 단락상태로 발전기 정지명령이 발생되도록 하였다. 그림 8은 현장 설치사진과 단락상태일 때의 성분비가 모니터링 되는 화면을 나타내었다. 다이오드 1개가 단락상태일 때 실제값이 44.8%가 됨을 확인할 수 있었다.

| 모니터링 셋팅값 (DC성분에 대한 1차 성분비) | |
|-------------------------------|--------|
| 개방 | 단락 |
| 10% 이상 40% 미만 | 40% 이상 |

〈그림 7〉 시작품과 모니터링 셋팅값



〈그림 8〉 현장설치와 사용자 HMI 화면(단락상태일 때 성분비)

3. 결 론

회전형 여자기 내부의 다이오드는 개방 또는 단락상태가 되면, 여자전류의 파형이 기존의 미소 AC리플이 아니라 큰 폭의 교류성분이 포함된 파형으로 변화하게 된다. 개방 또는 단락상태의 계자전류 파형은 크게 다르며, 개방상태에서 여자시스템 전체를 정지시킬 정도의 과급효과는 가지지 못한다. 본 논문에서는 다이오드 개방 또는 단락상태 감지를 위하여 여러 방법들 중 고조파 검출방법을 사용하였다. 시험에서 알 수 있듯이 계자전류의 DC성분 대 기본주파수의 성분비 크기값으로 상황판단을 하게 하였다. 발전기가 계통병입 상태에서 회전형 여자기의 다이오드가 개방되면 알람이 발생하도록 하였으며, 단락상태가 되면 발전기 정지명령이 주보호 회로에 전달되게 하였다. 실제 여자시스템의 회전 다이오드 모니터링 설비를 제작하여 시험을 실시하고, 모니터링 상태를 확인하였으며, 도서지역의 디젤발전기에 현장적용을 하였다. 향후 브러시리스 여자시스템을 사용하는 발전소에 확대 적용하여 발전기 여자계통의 신뢰성 있는 운전에 기여할 것으로 기대하고 있다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] Xing-yuan Li, "A microprocessor-based fault monitor for rotating rectifiers of brushless AC exciters using a pattern-recognition approach. IMTC 94 pp. 394-397, May 10-12, 1994.
- [2] M. G. McArdle, D. J. Morrow, "Noninvasive detection of brushless exciter rotating diode failure", IEEE Energy Conversion, Vol. 19, No 2, 2004.
- [3] J. Scottile, F.C. Trutt and A. W. Leedy, "Condition monitoring of brushless three-phase synchronous generators with stator windings or rotor circuit deterioration", IEEE Trans. Industry Applications, Vol. 42, no. 5, pp. 1209-1215, 2006.
- [4] W, Na, "A feedforward controller for a brushless excitation system during the diode open circuit fault operation", in Proc. 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp. 1-4, 2011.
- [5] Mohamed Salah, Khmais Bacha, Abdelkader Chaari, Mohamed Benbouzid, "Brushless Three phase Synchronous Generator Under Rotating Diode Failure Conditions", IEEE Energy Conversion, Vol. 29, No 3, 2014.