

불평형전류 측정에 의한 회전기 열화감시장치
Deterioration Monitoring Device by Unbalance Current
Measurement of Rotating Machines

박찬용† 박대원* 류길수** 길경석*** 이강원§
Chan-Yong Park Dae-Won Park Keel-Soo Rhyu Gyung-Suk Kil Kang-Won Lee

ABSTRACT

This paper described an on-line condition monitoring device for rotating machines by measurement of unbalance current due to insulation deterioration. The device consists of a zero-phase current transformer (ZCT), a low-noise amplifying circuit, and a microprocessor unit. The prototype device measures current of $500\ \mu\text{A} \sim 30\ \text{mA}$ in frequency ranges from 10 Hz to 3 kHz.

An application experiment was carried out on 3-phase induction motors and we could measure current changes caused by a short-circuited turn.

1. 서 론

절연은 회전기의 동작에 있어서 가장 필수적인 요소로, 절연상태는 회전기의 신뢰성과 직결된다. 회전기의 절연재료는 열, 전기, 환경 및 기계적 요소 등에 의해 스트레스를 장기간 받으면, 초기의 절연상태를 유지하지 못하고 열화되어 수명이 저하된다. 이러한 절연열화는 제조상의 결함 또는 운전중 발생하는 스트레스와 외부환경의 요인 등 복합적인 형태로 작용하기 때문에 열화메커니즘이 매우 복잡하다[1]. 특히 하이브리드차량에서는 발전기, 전동기와 같은 회전기를 사용하여 차량의 동력을 공급하므로 차량 운행중 회전기의 절연열화로 인한 사고는 막대한 인적, 물적 손실을 초래한다. 따라서 열화상태의 상시 모니터링이 매우 중요하며, 이러한 열화요인을 진단할 수 있는 많은 측정법이 요구되고 있다.

회전기의 절연진단법은 크게 절연내력시험과 절연특성시험으로 나눌 수 있다. 내전압시험 및 임펄스시험과 같은 절연내력시험은 권선절연물의 성능을 판단하고, 절연내력이나 잔존수명을 추정하기 위함으로 비파괴적 진단이 불가피하다[2]. 최근에는 비파괴 진단법으로서 누설전류 측정이나 부분방전에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 그러나 부분방전에 의한 열화진단은 회전기 운전 중 외부에서 유입되는 노이즈와 실제 부분방전신호와 구분하기가 불분명하여 절연진단에 많은 어려움이 있다. 또한 누설전류에 의한 진단법은 철도차량의 회전기가 대부분 평면구조의 차량프레임에 취부되어 있어 접지선을 통한 누설전류검출이 거의 불가능하다는 단점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 회전기의 절연열화로 인해 발생하는 불평형전류를 검출함으로써 회전기의 열화상태를 진단할 수 있는 방법과 장치에 대해 연구하였다.

† 한국해양대학교 전기전자공학부 대학원 석사과정, 정회원
E-mail : cypark@hhu.ac.kr

TEL : (051)410-4893 FAX : (051)403-1127

* 한국해양대학교 전기전자공학부 대학원 박사과정, 정회원

** 한국해양대학교 IT공학부 교수, 정회원

*** 한국해양대학교 전기전자공학부 교수, 정회원

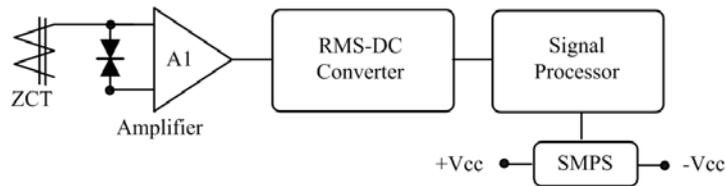
§ 한국철도기술연구원 바이오달수송시스템연구단, 정회원

2. 열화 감시장치

3상 유도전동기의 권선이 절연열화되어 층간 또는 권선간 일부분에 단락이 발생하면 상전류가 변화하여 3상의 불평형 전류로 나타난다. 이러한 변화는 전동기의 용량에 따라 수 ~ 수십 mA의 범위이므로 불평형 전류를 검출함으로써 열화진단이 가능하다.

2.1 설계 및 제작

열화 감시장치는 회전을 흐르는 3상 불평형전류를 측정할 수 있도록 설계하였다. 미소전류 검출을 위해 그림 1과 같이 고감도 영상변류기 (ZCT; Zero-phase Current Transformer)와 신호증폭을 위한 이득 40dB의 저잡음 증폭회로 및 신호처리를 위한 마이크로프로세서로 구성하였다.



(a) 구성



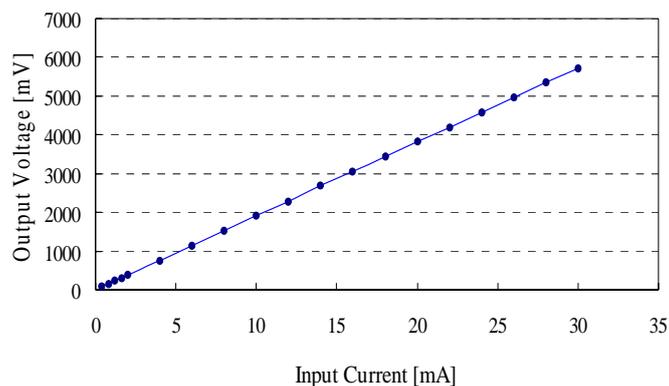
(b) 사진

그림 1 열화 감시장치

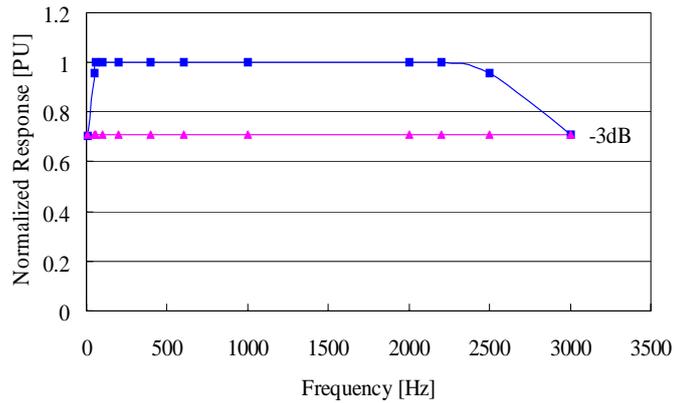
2.2 교정실험

열화 감시장치의 감도와 주파수응답을 평가하기 위하여 교정실험을 수행하였다. 측정감도는 정현파입력에 대한 출력전압의 비로서 산출하였으며, 함수발생기 (CFG-280, Tektronix)를 이용하였다.

그림 2에 교정실험을 통해 얻어진 감도와 주파수응답에 대해 나타내었다. 변류기를 포함한 감시장치의 주파수 대역은 10Hz ~ 3kHz (-3dB)이며, 500uA ~ 30mA까지 측정할 수 있는 특성이다.



(a) 입력전류-출력전압



(b) 주파수 응답
그림 2 출력특성

3. 적용실험

회전기 절연열화에 따른 불평형전류의 변화를 측정하기 위해 기사용 전동기에 적용실험을 수행하였으며, 실험계의 구성은 그림 3과 같다.

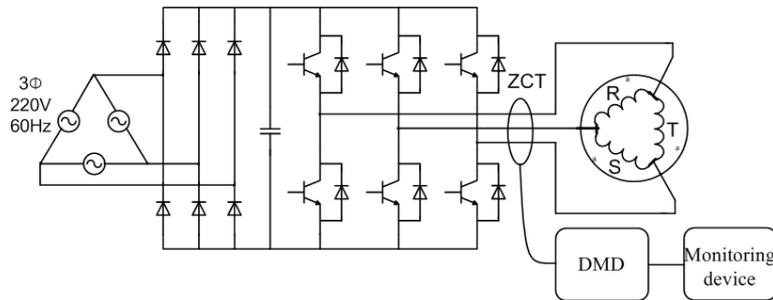


그림 3 실험계의 구성

본 실험에서는 PWM (Pulse Width Modulation)인버터에 의해 구동되는 유도전동기를 사용하였으며, 불평형전류는 3상 일괄하여 영상 변류기에 의해 검출된다.

3.1 정상 운전상태에서의 불평형전류의 측정

그림 3과 같이 실험계를 구성하고 정상 운전상태에서의 불평형전류를 측정하였다. 측정결과는 그림 4와 같으며 파형은 각각 증폭회로와 A/D컨버터의 출력을 나타낸다. 절연열화전 정상 운전상태에서는 약 331mA의 불평형전류가 측정되었다.

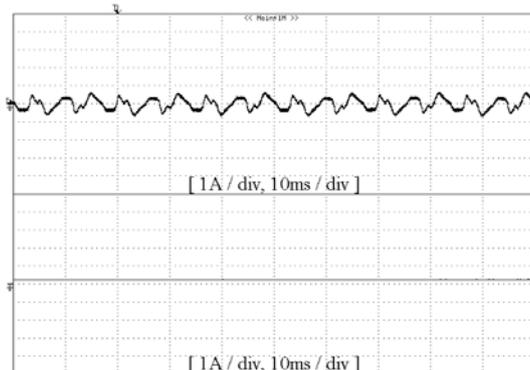


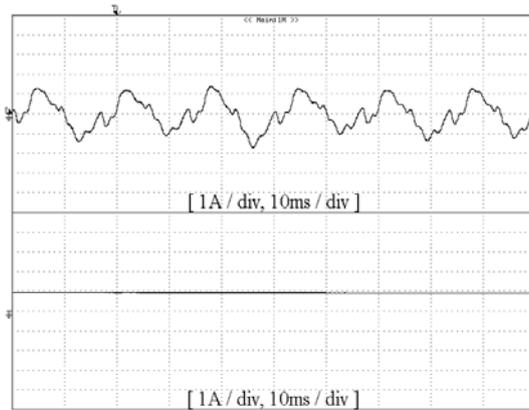
그림 4 불평형전류 파형의 예
- 2037 -

3.2 절연열화에 따른 불평형전류의 측정

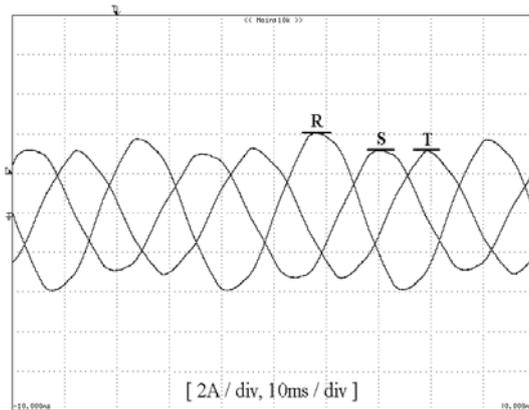
일정기간 열화가 진전된 회전기의 불평형전류를 측정하기 위해 내전압 시험기를 이용하여 임의적으로 고정자 권선의 R상을 열화시켰다. 인가전압은 IEEE 56에서 제시한 AC-Hipot (High potential) 시험에 사용되는 1.5E (E:선간전압)를 1분간 인가하였으며[3], 식 (1)에 의해 열화기간은 235시간(약10일)이라는 값이 산출된다. 즉, 10일간 정상상태에서 운전한 것과 동일한 절연열화 상태를 가진다[4].

$$L = cE^{-n} \tag{1}$$

여기서, L은 절연물의 수명시간, c는 상수, E는 절연물의 임계전계, n은 전압감쇄율 (보통9~12)을 나타낸다[5]. 초기 1분간의 열화에 의한 불평형전류의 증가량은 매우 미소하여 정상 운전상태에서의 측정값과의 크기비교가 거의 불가능하였다. 수차례 반복된 열화과정 후 불평형전류의 뚜렷한 증가를 확인할 수 있었으며, 측정결과는 그림 5(a)에 나타내었다.



(a) 3상 불평형전류



(b) 상전류

그림 5 불평형전류 파형의 예

절연열화 후 약 810mA의 불평형전류가 측정되었으며, 초기 운전조건에 비해 약 2.4배 증가하였다. 측정값이 불평형전류의 증가에 의한 결과임을 명시하기 위해 R, S, T상에 개별의 변류기를 설치하고 상전류를 측정하였다. 그림 5(b)의 결과로부터 R상의 불평형전류를 관찰할 수 있으며, 3상 벡터합에 의한 불평형전류는 813mA로 감시장치에 의해 측정된 값과 근사하다. 따라서 불평형전류의 변화량은 절연열화에 의한 결과임을 추정할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 불평형전류 측정에 의한 회전기의 온라인 상태감시 장치 및 기술에 대해 연구하였다. 절연열화에 따른 불평형전류를 측정하기 위해 열화 감시장치를 설계·제작하였으며, 고감도 영상변류기와 저잡음 증폭회로로 구성된다. 주파수대역은 10 Hz ~ 3 kHz (-3 dB)이며, 측정범위는 500 μ A ~ 30 mA로서 회전기 불평형전류 검출에 충분한 특성을 가진다. 적용실험을 통하여 절연열화에 따른 불평형전류를 측정·비교 하였으며, 초기 운전조건에 비해 일정기간 열화가 진행된 회전기에서 불평형전류의 증가를 확인할 수 있었다. 그러나 절연열화에 따른 불평형전류의 증가량이 매우 미소하여 단기간 내의 열화진단에는 많은 어려움이 있었다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부의 교통체계 효율화사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

- [1] IEC Standard 60505, "Evaluation and Qualification of Electrical Insulation System"
- [2] 박현준(2002), "철도시스템 성능향상 핵심기술개발-전기분야", 한국철도기술연구원, pp.25-40
- [3] IEEE 56(1997), "IEEE Guide for Insulation Maintenance of Large Alternating Current Rotating Machinery"
- [4] Greg C. Stone, Edward A. Boulter, Ian Culbert, Hussein Dhirani, "Electrical Insulation For Rotating Machines", A John Willey & Sons, Inc., pp.247-249
- [5] Greg C. Stone, Edward A. Boulter, Ian Culbert, Hussein Dhirani, "Electrical Insulation For Rotating Machines", A John Willey & Sons, Inc., pp.43-49