

고압 전동기 고장자 권선의 운전중 절연감시 시스템 개발

황 돈하* · 심우용* · 박도영* · 강동식* · 김용주* · 송상욱** · 김희동***
 *한국전기연구원 회전기진단연구팀 · ** (주)신진전자기술 · ***전력연구원 발전연구실

Development of On-Line Partial Discharge Monitoring System for High-Voltage Motor Stator Windings

D.H. Hwang* · W.Y. Sim* · D.Y. Park* · Y.J. Kim* · S.O. Song** · H.D. Kim***
 *Rotating Machinery Diagnosis T.F.T., KERI, **Advanced Electronic Tech. Co. Ltd., ***KEPRI

Abstract - In this paper, a novel high-voltage motor monitoring system (HVMMS) is proposed. This system monitors the insulation condition of the stator winding by on-line measurements of partial discharge (PD). Sensor, EMC (Epoxy-Mica Coupler) is used for PD measurement. PD signals are continuously measured and digitized with a peak-hold A/D converter to build the database of the high-voltage motor's insulation condition. Also, this system can communicate with the central monitoring system via RS-485. This helps more efficient operation and maintenance of the generator.

2. 고압 전동기의 절연감시 시스템

2.1 운전중 부분방전 측정기법

고압 회전기 고장자 권선의 On-line 부분방전 측정 시스템은 Single-channel Analyzer를 채용한 것이 일반적이다⁽¹⁾. 이러한 Single-channel Analyzer는 부분방전의 크기를 60 [Hz] 상용 주파수의 한 주기 내에서 설정된 크기의 부분방전만을 측정하는 방식을 이용하는 방식으로서, 크기의 설정을 점진적으로 증가 혹은 감소시켜 부분방전의 크기 스펙트럼을 구하는 방식이다. 하지만, 불연속적인 신호를 가지는 부분방전 펄스는 탐지할 수 없다. 따라서 한 주기에 대해서 완전한 부분방전 신호를 이러한 방식으로는 검출할 수 없기 때문에 잘못된 절연상태의 판단 가능성이 상존하고 있다.

Single-channel Analyzer에 의한 부분방전 탐지기법의 문제점을 극복하기 위해서 사용한 방식이 Full A/D 변환 기법이다. A/D 변환기에 의해 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하고, 디지털 필터링 기법을 사용하여 부분방전 신호를 주파수 영역에서 상세히 분석할 수 있고 Single-channel Analyzer 탐지기법에서는 검출할 수 없는 신호를 측정할 수 있다. 또한, 디지털화된 부분방전 펄스의 주파수 영역 분석에 의하여 방전의 발생위위와 원인을 확인할 수 있다⁽⁴⁾. 하지만 Full A/D 변환방식은 만족할만한 성능을 위해서는 수 [ns]의 샘플링이 가능한 고가의 아날로그 디지털 변환기가 필요하다. 따라서, 시스템의 가격이 높아져 전동기에 적용하기에는 경제성이 떨어지는 단점이 있다.

이러한 배경으로부터 본 연구에서는 부분방전 신호의 최대값 검출회로를 이용하여 신뢰성은 만족하면서 저가로 시스템을 구현하여 전동기에 적용함에 있어서도 경제성을 확보할 수 있는 새로운 방식의 부분방전 검출기법을 제안한다. 제안한 최대값 검출회로를 이용한 부분방전 검출기법은 상기의 다른 부분방전 검출기법에 비해 부분방전 신호의 최대값에 대한 정보를 비교적 정확하게 얻을 수 있다. 또한, Full A/D 변환방식에 비해 비교적 저속의 A/D 변환기를 이용하더라도 만족할만한 정보를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 80196 프로세서에 내장된 수 [MSPS]의 A/D 변환기를 이용하여 부분방전 신호의 최대값을 구하였다. 그리고, 기존의 방식들에 비하여 데이터 량과 연산량도 줄일 수 있도록 하여 메모리와 프로세서에 부담을 주지 않아 저가로 시스템을 구성할 수 있도록 하였다. 최대값 검출회로를 적용하여 개발된 HVMMS는 발전기 뿐만 아니라 전동기 적용시에도 경제성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

2.2 HVMMS의 설치도

그림 1과 그림 2는 보령화력발전소에 실제 설치된 부분방전 측정센서와 HVMMS의 설치도 및 실제 설치사진을 나타내는 것으로서, 보령화력 제1발전소와 제2발전소에 각각 5대씩의 HVMMS를 설치하였다. 그림 3은 RS-485를 이용한 멀티드롭 방식의 네트워크 구성을 통

1. 서 론

고압 전동기의 장기간 운전에 따른 고장자 권선의 절연열화가 원인이 되어 발생하는 절연파괴에 의한 돌발적인 운전정지는 사고로 인한 파급효과가 크고, 장기간의 복구시간이 요구되며, 보수비용이 과다하게 소요되기 때문에 예방진단의 필요성이 크게 요구되고 있다. 더욱이 산업 플랜트 및 발전설비의 증대, 자동화 및 정보통신기기의 증가와 함께 고압 전동기가 대형화함에 따라 운전의 신뢰성 확보가 필수적이다. 따라서 운전중의 불시적인 절연파괴 사고를 방지하기 위한 기술과 진단 시스템의 개발이 우선적으로 필요하다.

선진외국에서는 고장자 권선의 절연진단 및 부분방전 측정기술의 확보와 함께 운전중 진단 시스템의 개발 연구가 활발히 진행되고 있으며, 일부 제품은 상용화되어 현장에 적용중인 상태이다⁽¹⁻⁴⁾. 국내에서도 발전설비 운전의 신뢰성 향상, 경제적인 유지보수 계획의 수립과 선진국의 기술중속 탈피 등을 위해서, 고압 전동기의 절연상태를 상시 감시할 수 있는 On-Line 진단 시스템의 독자적인 개발이 진행되어 왔지만, 진단결과 분석과 판정에 전문가의 판단이 필수적으로 요구되어 분석에 많은 어려움이 있고, 판정기준이 미비한 실정이다⁽³⁻⁵⁾.

본 논문에서는 부분방전 측정 신뢰성을 만족하면서 기존의 On-Line 측정기법에 비해 경제성을 가지는 부분방전 신호의 최대값 검출회로를 적용한 On-Line 부분방전 측정 시스템을 제안하고, 상기의 방식을 이용해 기존의 고장자 권선 절연상태 진단 시스템들의 단점을 보완하고, 비전문가도 용이하게 고장자 권선의 절연상태를 진단할 수 있는 고압 전동기 고장자 권선의 운전중 절연상태 감시 시스템 (HVMMS : High-Voltage Motor Monitoring System)을 개발하였다⁽⁵⁻⁷⁾.

또한, 본 연구에서 개발한 HVMMS를 보령화력 발전소에 설치하여 5대의 고압 전동기를 동시에 감시할 수 있는 고압 전동기의 중앙 집중식 절연감시 시스템을 구성하였고, 이를 통하여 고장자 권선의 On-Line 절연감시 시스템의 성능시험 결과를 제시한다.

해 1개의 중앙 감시 시스템이 5대의 HVMMMS를 실시간으로 모니터링하도록 구현된 네트워크 구성도를 나타낸다.

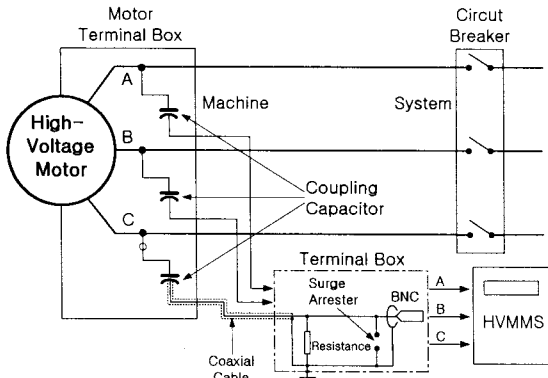


그림 1. HVMMMS 설치도



그림 2. HVMMMS 설치사진

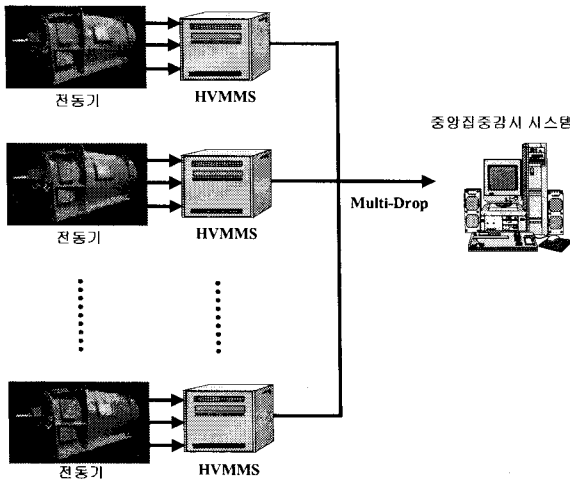


그림 3. HVMMMS 네트워크 구성도

2.3 HVMMMS의 하드웨어 구성

그림 4는 HVMMMS의 하드웨어 구성을 보여주고 있다. HVMMMS는 기본적으로 3개의 부분방전 센서 입력을 받을 수 있도록 설계하였고, 이를 Multi-Channel Selector를 이용하여 원하는 상의 부분방전 신호를 순

차적으로, 또는 선택적으로 취득할 수 있다. Multi-Channel Selector를 통해 입력받은 부분방전 신호는 일반적으로 On-Line 센서의 특성으로 10 [MHz] 대역에서 발생하므로 저주파 성분의 잡음을 High-Pass 필터를 이용하여 제거시킨 후, PD 분배기에 의해 정(+) 극성 PD와 부(-)극성 PD로 분리하였다. 이렇게 얻어진 신호는 최대값 검출회로에 의해 신호의 최대값을 검출하고, 그 후 80196 프로세서 자체에 내장된 A/D 변환기로 입력된다.

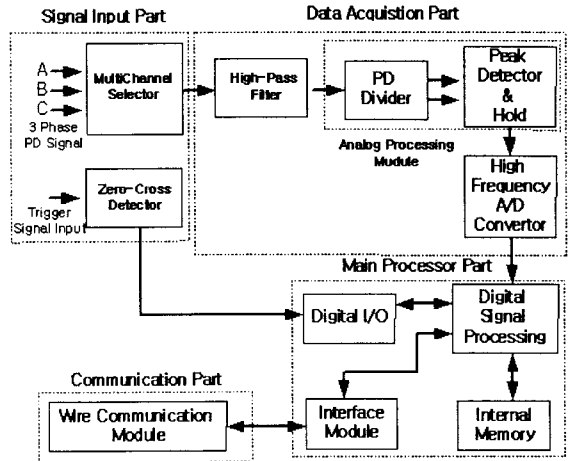


그림 4. HVMMMS의 구성도

A/D 변환기의 트리거 신호는 영점검출기를 이용하여 회전기의 A상 출력(60 [Hz], 220 [V])에서 생성하였고, 이는 부분방전 신호의 정확한 위상 동기를 가능하게 한다. A/D 변환기는 센서에서 측정된 부분방전 신호의 최대값을 디지털 값으로 변환하고 연산영역에서 부분방전 신호 분석 프로그램에 의해 최대 부분방전 크기인 QM과 NQN을 산출한 후, 통신포트를 통하여 중앙의 모니터링 시스템으로 Data를 전송하여 진단 프로그램에 의해 분석할 수 있도록 하였다^[5-7].

2.4 Software 구성

고압 전동기 옆에 부착된 HVMMMS에서는 80196 어셈블러를 이용해서 QM과 NQN을 구하도록더 프로그램되었고, 중앙 감시 시스템에는 계측, 제어, 모니터링 및 데이터 분석용 그래픽 프로그램인 LabVIEW를 이용하여 프로그래밍 하였다.

부분방전 신호를 표준화(Normalize)시킨 후 크기, 갯수 및 위상을 각각 분석하고, 이때 크기와 갯수의 데이터에서 QM과 NQN의 분석이 가능하다. 현재의 부분방전 신호에서 분석한 QM과 NQN은 이전의 분석결과와 비교되어 발전기의 이상유무를 진단하게 되고, 이를 주화면에 나타내게 하였다. 이상 발생시에는 경고 메시지를 Display하는 프로그램으로 구성하였다.

2.5 중앙 감시 시스템의 기능

그림 5는 본 연구에서 개발한 HVMMMS 중앙 감시 시스템의 주화면을 나타내고, 전동기의 각 상별 QM(±), NQN(±)를 동시에 한 화면에 나타내어 한눈에 각 전동기의 절연상태를 파악할 수 있게 하였다. 그 외에도 회전기 고장자 권선의 이상에 따른 경고기능, 정확한 이상 발생 시간과 해당 데이터 저장기능, 표준화된 부분방전 신호 데이터와 분석결과와 Database 구축기능 및 Display 기능 등을 가지고 있다.

또한, 그림 6에 나타낸 것과 같이 부분방전 파라미터의 변화추이를 각 전동기의 상별로 나타낼 수 있어 전동기 각 상의 절연상태를 모니터링 할 수 있게 하였다. 그

림 6에서 전동기의 운전일자와 운전시간에 따라 부분방전 데이터를 분석할 수 있고, 각상별 운전 및 정지를 쉽게 확인할 수 있다. 그리고, 기동시에는 부분방전이 크게 발생하고, 운전이 지속되었을 때는 부분방전 크기가 작아지는 전형적인 부분방전 특성을 볼 수 있다.

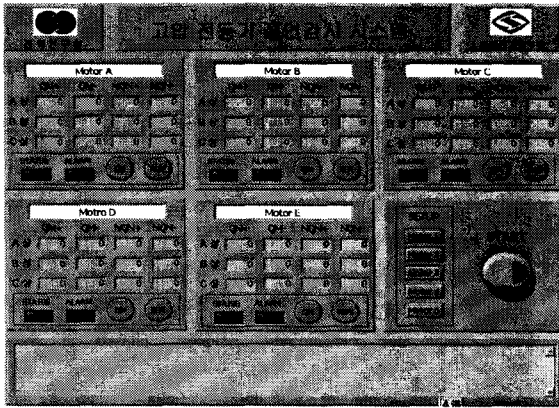


그림 5. 중앙 감시 시스템의 주화면

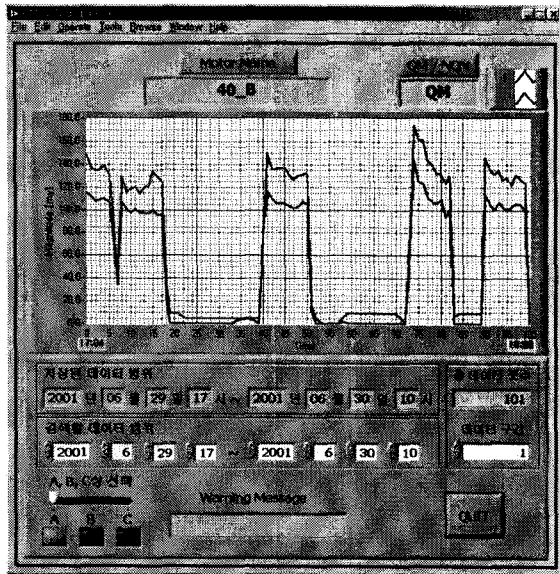


그림 6. 중앙 감시 시스템의 부분방전 모니터링 화면

2.6 HVMMS와 PDA와의 실험결과 비교

그림 7은 본 연구에서 개발한 HVMMS와 기존 상용 장비인 PDA(Partial Discharge Analyzer)를 이용해서 보령화력발전소의 고압 전동기 3대를 대상으로 운전 중인 상태에서 측정 한 결과를 나타낸 것이다. HVMMS와 PDA에 의한 측정결과를 비교해 보면, 고정자 권선의 절연열화 정도를 나타내는 NQN 값의 경향이 3개 전동기 모두 동일하게 나타남을 볼 수 있다⁽⁷⁾.

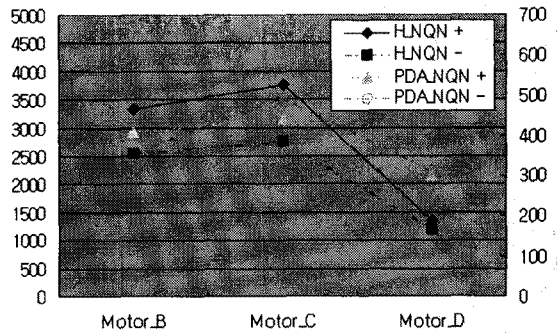


그림 7. HVMMS와 PDA 측정결과 비교

3. 결론

본 논문에서는 고압 전동기의 운전중에 고정자 권선에서 발생하는 부분방전 신호의 연속적인 측정 에 의한 절연상태의 상시 감시를 위하여 기존의 펄스탐지 기법이나 A/D 변환 기법의 단점을 보완하여 운전중 부분방전 측정에 의한 새로운 절연진단 시스템을 제안하였다. 개발된 HVMMS는 최대값 검출회로를 이용해서 저가의 시스템으로 고가의 A/D 변환기를 이용한 것과 거의 유사한 신뢰도의 QM과 NQN 등의 절연열화 진단 파라미터를 동시에 측정 및 분석할 수 있었다. 또한, 부분방전 신호의 데이터와 분석 데이터를 중앙의 모니터링 시스템에서 분석 저장하여 부분방전 신호의 Database를 구축하였고, 분석결과에 따른 전동기 고정자 권선 절연상태의 빠르고 정확한 진단기능을 수행할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 개발한 HVMMS에 의하여 회전기 절연진단의 신뢰성과 정확성을 높일 수 있어, 발전기에 비해 비교적 저가인 전동기에도 적용이 가능하여 앞으로 전동기 On-Line 진단 시스템의 현장설치가 증가할 것으로 기대된다.

향후 보다 다양하고 신뢰성 있는 파라미터의 검출을 위해 DSP(Digital Signal Processor)를 채용한 On-Line 진단 시스템의 개발이 필요하고, 더욱 많은 실험과 분석을 통한 고정자 권선의 절연수명 예측기술을 고도화해야 할 것으로 사료된다.

(참고 문헌)

- [1] G.C. Stone and J.F. Kapler, "Stator Winding Monitoring", IEEE IA Magazine, Vol. 4, No. 5, pp. 15-20, 1998.
- [2] K. Itoh, et al., "Partial Discharge Detection for Turbine Generator in Operation", IEEJ, DEI-95-33, pp. 33-38, Feb, 1995.
- [3] 황돈하, 김진봉, 김용주, 박명수, 김택수, "수력 발전기 권선에서의 운전중 부분방전 측정기법", 대한전기학회 논문지, 제45권, 제2호, pp. 294-300, 1996, 2.
- [4] Y.J. Kim, D.H. Hwang, B.C. Shin, D.Y. Park, J.W. Kim, "Development of Continuous Partial Discharge Monitoring System for Generator Stator Insulations", Conference Record of the 2000 IEEE-ISEI, Anaheim, USA, pp. 5-8, April 2-5, 2000.
- [5] 황돈하, 신병철, 심우용, 박도영, 김용주, 송상욱, "고압 전동기 고정자 권선의 절연진단을 위한 운전중 부분방전 측정기법", 대한전기학회 하계학술대회 논문집(C), pp. 1727-1729, 2001, 7, 18.-20.
- [6] 한국전기연구원, "고압 회전기 On-Line 감시기술 개발 (최종보고서)", 과학기술부, 1998, 12.
- [7] 한국전기연구원, "발전소 고압 전동기 절연감시 시스템 개발" 전력연구원 수탁 연구과제 최종보고서, 2001, 7.