

고압 회전기 고정자 권선의 절연진단을 위한 중앙 집중 감시 시스템 개발

신병철* · 윤대희* · 황돈하* · 김용주* · 주영호** · 김정우***
 *한국전기연구소 메카트로닉스연구그룹 · **전력연구원 · ***(주)선진전자기술

Development of Central Monitoring System for Insulation Diagnosis of High-Voltage Generator/Motor Stator Windings

Byoung-Chol Shin* · Dae-Hee Yoon* · Don-Ha Hwang* · Yong-Joo Kim*
 Young-Ho Ju** · Jeong-Woo Kim***

*Mechatronics Research Group, KERI · **KEPRI · ***Advanced Electronic Tech. CO., LTD.

Abstract - The central monitoring system with on-line diagnosis of high-voltage generator/motor stator insulation is developed. The system is capable of remote diagnosis and monitoring partial discharges of high-voltage generator/motor stator insulation.

GOMS(Generator On-line Monitoring System) with maximum of 9 input channels can measure and analyze the status of high-voltage motor stator insulation by on-line. The measured and analysis data are brought to the central monitoring system via modem to build database. The central monitoring system can diagnose and monitor the insulation status of several high-voltage generator/motor at any time. The insulation status of those machines can be enhanced by the database on partial discharges.

1. 서 론

고전압 대용량 발전기 및 전동기의 장기간 운전에 따른 고정자 권선의 절연열화가 원인이 되어 발생하는 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 정보통신기술의 증가와 함께 회전기가 대형화함에 따라 운전의 신뢰성 확보가 필수적이다. 따라서 운전중의 불시적인 절연파괴 사고를 방지하기 위한 기술과 진단 시스템의 개발이 우선적으로 필요하다. 이러한 요구에 부응하여 선진외국에서는 고정자 권선의 절연진단 및 부분방전 측정기술의 확보와 함께 운전중 진단 시스템의 개발 연구가 활발히 진행되고 있으며, 일부 제품은 상용화되어 현장에 적용중인 상태이다⁽¹⁾. 국내에서도 산업설비 운전의 신뢰성 향상, 경제적인 유지보수 계획의 수립과 선진국의 기술종속 탈피 등을 위해서, 고압 회전기의 절연상태를 상시 감시할 수 있는 On-line 진단 시스템의 독자적인 개발이 진행되어 왔지만^(2,3,4), 진단결과 분석과 판정에 전문가의 판단이 필수적으로 요구되어 분석에 많은 어려움이 있고, 판정기준이 미비한 실정이다.

본 논문에서는 고압 회전기 고정자 권선의 절연상태를 원격에서 감시할 수 있는 중앙 집중 감시 시스템을 제안한다. 발전기 및 전동기의 운전중에 고정자 권선에서 발생하는 부분방전 신호를 측정하여 이를 분석하고, 그 결과를 중앙 감시 시스템으로 전송하여 원격지의 사용자가 직접 이를 통하여 고압 회전기의 절연상태를 판단할 수 있게 하였다. 또한, 복수대의 고압 회전기 정보를 중앙 감시 시스템으로 전송하도록 하여, 동시에 많은 고압 회전기의 정보를 상호 비교분석이 가능하게 하였고, 고압 회전기 고정자 권선의 진단 Database 구축을 통

하여 정확한 진단결과와 신뢰성 있는 판정기준의 정립에 활용할 수 있도록 하였다.

2. 중앙 집중 감시 시스템

2.1 시스템의 전체 구성

중앙 집중 감시 시스템은 복수대의 고압 회전기를 원격지에서 동시에 On-line으로 진단 감시하기 위한 시스템이다. 그림 1은 본 연구에서 제안하는 대형 발전기에 대한 중앙 집중 감시 시스템의 전체 구성도를 나타내고, 여기서 GOMS(Generator On-line Monitoring System)는 발전기 고정자 권선의 부분방전 신호를 측정하여 분석 및 진단하고, RS-232 통신기능을 내부에 내장하고 있는 발전기 On-line 진단 시스템이다.

발전기 고정자 권선에서 발생하는 부분방전 신호를 운전중에 측정하기 위해서 SSC(Stator Slot Coupler) 센서를 각 상당 3개씩 설치하고, 센서의 출력단을 GOMS의 Multiplexer에 연결하였다. 이때 GOMS는 순차적으로 센서를 통하여 부분방전 신호를 측정하게 되며, 측정되어진 부분방전 신호는 디지털 값으로 변환되고, 이 데이터는 디지털 필터 및 진단 알고리즘에 의해 분석된다. 분석결과는 GOMS에 저장되고 동시에 3종류의 진단 파라미터가 중앙 집중 감시 시스템으로 전송된다. 이때 Multi-drop 모드로 분석이 완료된 GOMS로부터 중앙 집중 감시 시스템으로 데이터를 전송하는 방법을 채택하였다. GOMS는 내부에 RS-232 통신 모듈을 내장하고 있으며 이를 통하여 외부의 산업용 모뎀으로 데이터를 전송하게 된다. 이후 산업용 모뎀에서 중앙 집중 감시 시스템으로 모든 데이터가 전송되도록 하였다. 중앙 집중 감시 시스템은 고압 회전기 진단 파라미터의 변화 추이(Trend)를 On-line으로 보여주고, 동시에 고압 회전기의 이상유무를 진단하여, 각각의 진단결과에 따른 Database를 구축하도록 하였다.

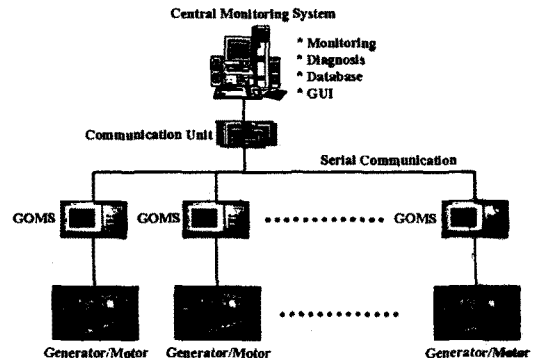


그림 1. 중앙 집중 감시 시스템의 구성도

2.2 직렬통신

중앙 집중 감시 시스템과 각각의 GOMS는 모뎀을 이용한 직렬통신 방식으로 데이터를 전송한다. 그림 2는 복수대의 발전기에 각각 설치되어 있는 GOMS와 중앙 집중 감시 시스템간의 데이터 전송을 위한 직렬통신 구성도를 나타내고 있다. 본 논문에서 사용한 모뎀은 산업용 모뎀으로서, 그 특성과 사양은 표 1과 같고, 비동기식 전 이중방식(full-duplex system)으로 데이터를 전송한다. 비동기식 전 이중방식은 송신한 캐릭터를 상대 측 기기가 반송하므로 송신측은 그 캐릭터가 정확하게 수신되었는지를 확인할 수 있는 장점이 있다. RS-232에서 전송되는 신호를 외부의 모뎀으로 전환하여 RS-232의 짧은 전송거리 및 Multi-drop 모드 사용이 어려운 단점을 보완하였다. Multi-drop 모드를 사용하는 시스템은 하나의 Master에 여러개의 Slave가 연결되어 Master가 어떤 Slave와 통신을 할 것인지를 결정하고, 해당 Slave를 호출하면 호출된 Slave가 응답을 하는 체제로 구성되어 있다. 이때 주의하여야 할 사항은 모든 Slave의 송신라인을 데이터 전송시만 공동 송신라인에 접속시켜야만 하고, 일반적으로 S/W에 의한 적절한 타이밍 제어로서 조절이 가능하다. 본 연구에서는 중앙 집중 감시 시스템에서 데이터를 전송받을 GOMS를 결정하고 해당 GOMS는 분석을 완료한 경우에만 중앙 집중 감시 시스템으로 데이터가 전송되도록 하였다.

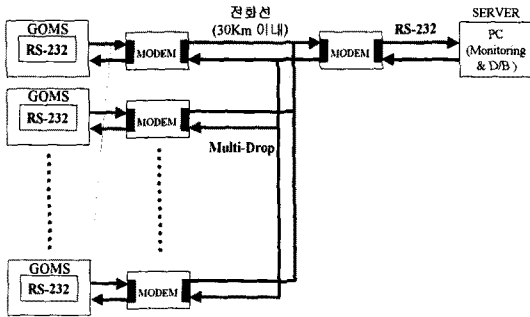


그림 2. 데이터 전송을 위한 직렬통신

표 1. 모뎀의 특성 및 사양

항 목	특성 및 사양
통신속도	1200 bps
적용회선	음성급 전용회선 4선식 전 이중방식(Full-Duplex) 2선식 반 이중방식(Half-Duplex)
변조방식	주파수 변조 방식 (Frequency Shift Keyed)
반송 주파수	Mark "1" 1200 Hz Space "0" 2200 Hz
선로측 임피던스	600Ω ± 20 %
송신출력	0~-12 dBm(2dB step)
수신감도	0~-43 dB
DTE측 임피던스	3~7 kΩ
데이터 형태	비동기식 방식(Asynchronous)

3. Generator On-line Monitoring System

3.1 부분방전 측정기법

부분방전 측정기법은 회전기의 정지중에 실시하는 Off-line 방식, 회전기가 운전중일 때 부정기적으로 측정하는 On-site 방식과 회전기의 정격 운전상태에서 연속적으로 절연상태를 진단하는 On-line 방식으로 구분할 수 있다. On-site 방식과 Off-line 방식은 소요시간과 비용의 과다, 복잡한 측정설비, 회전기의 운전정지, 돌발적인 상태변화 감지의 어려움, 전문가에 의한 판단의 필요성 등의 문제점을 가지고 있으며, 운전중에 부분방전을 측정하는 On-line 방식은 이러한 문제를 해결하여 고정자 권선의 절연진단에 정확성과 신뢰성을 높일 수 있다. 고압 회전기의 운전중 부분방전 검출방법에는 고정자 권선의 중성점으로 흐르는 RF(Radio Frequency) 전류를 측정하는 RF 측정기법과 상용 On-site 부분방전 측정 전용기기인 PDA(Partial Discharge Analyzer) 및 TGA(Turbine Generator Analyzer) 등을 이용하는 방법이 있다^[5,6]. 그러나 RF 측정기법은 잡음 제거의 어려움 때문에 부분방전 신호와 잡음을 구별하기 힘들며, PDA와 TGA는 측정 주파수 대역이 한정되어 있고, 측정시간이 짧기 때문에 각종 주파수 대역의 부분방전과 발생빈도가 낮은 부분방전을 측정하지 못하는 단점이 있다^[7].

본 연구에서는 기존 상용 진단 시스템에서 채택한 측정기법의 문제점을 보완하기 위해 고압 회전기 고정자 권선에 설치된 부분방전 측정용 센서로부터 나오는 부분방전 신호를 기준전압과 위상동기 시킨 후 고속 A/D 컨버터를 이용하여 기준전압 한 주기 동안 발생하는 부분방전 신호를 연속적으로 측정하도록 하였다^[8].

3.2 GOMS의 구성

GOMS는 펜티엄급 프로세서를 내장하고 있고, 자체 하드 드라이브에 분석 Data가 자동 저장된다. 그리고, 고속 A/D 컨버터 보드, 디지털 I/O 보드, 영점 검출기 및 멀티포트, RS-232 통신포트 등의 하드웨어와 부분방전 신호를 분석 저장하는 프로그램으로 구성되어 있다. GOMS는 기본적으로 9개의 부분방전 센서 입력을 받을 수 있도록 설계하였고, 이는 Multiplex를 이용하여 원하는 상의 부분방전 신호를 순차적으로, 또는 선택적으로 취득할 수 있다. Multiplex를 통해 전달되어진 부분방전 신호는 저주파 성분의 잡음을 제거하기 위해 High-Pass 필터를 거친 후, 고속 A/D 컨버터로 입력되도록 하였다. 고속 A/D 컨버터의 트리거 신호는 영점 검출기를 이용하여 발전기의 A상 출력(60 Hz, 120 V)에서 생성하도록 하여, 부분방전 신호의 정확한 위상 동기를 가능하게 하였다. 고속 A/D 컨버터는 250 MHz까지 샘플링이 가능한 것으로서, 센서에서 측정된 아날로그 부분방전 신호를 디지털 값으로 변환하고, 부분방전 신호 분석 프로그램과 진단 프로그램에 의해 해석할 수 있도록 하였다.^[5,6,7] 그리고, 분석되어진 부분방전 신호로부터 진단 파라미터의 결과를 RS-232를 통하여 외부에

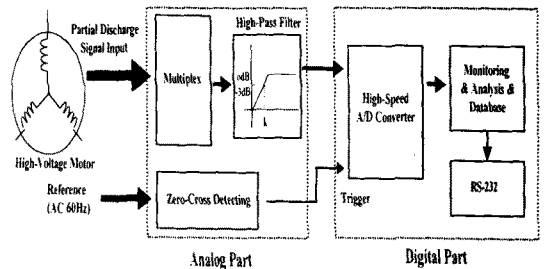


그림 3. GOMS의 구성도

있는 모델로 전송한다. GOMS는 최대 부분방전의 크기인 QM, 일정시간 내의 부분방전량의 합계를 나타내는 NQN과 부분방전의 위상개념을 도입하여 회전기 의 잔존수명을 예측할 수 있는 DSV 분석기법을 동시에 수행하고, 이를 통하여 고압 회전기 고장자 권선의 절연 상태를 판정할 수 있도록 하였다^[9]

3.3 GOMS의 기능

GOMS는 고속 A/D 컨버터에 의해 입력되는 부분방 전 신호를 5종류의 디지털 필터를 이용하여 주파수 대 역을 나누어 분석하게 된다. 디지털 필터는 1, 5, 10, 15 및 20 MHz 대역의 Band-Pass 필터를 사용하였 다. 부분방전 신호의 크기, 갯수 및 위상을 각각 분석 하고, 이때 크기와 갯수의 데이터에서 QM과 NQN의 분석이 가능하다. 또한, 크기, 갯수 및 위상의 3차원 데이터에서 DSV 분석을 수행할 수 있고, 이렇게 분석 되어진 QM, NQN, DSV의 결과는 모델을 통하여 중앙 집중 감시 시스템으로 전송된다.

본 연구에서 개발한 GOMS는 디지털 필터를 통한 외 부 잡음제거와 Background 잡음을 선택적으로 제거할 수 있는 기능이 있고, 주파수 대역 선택기능에 의해 5종 류의 부분방전 신호를 동시에 분석 및 진단이 가능하다. 또한, 측정 일자별 부분방전 신호의 분석결과 및 변화추 이를 도식적으로 보여주고, 고압 회전기 고장자 권선의 이상에 따른 경고기능, 정확한 이상발생 시간과 해당 데 이터 저장 기능, 부분방전 신호 데이터와 분석결과와 저장기능 등을 가지고 있다. 표 2는 현재상용화되어 있는 캐나다 IRIS Power Eng.사 제품인 TGA (Turbine Generator Analyzer)와 GOMS의 특성 및 기능을 바 교한 것이다. 기존 상용제품과의 가장 큰 차이는 부분 방전 신호를 측정하는 방법에 있어서 GOMS는 고속 A/D 컨버터를 이용한 기준전압 내주 동안의 부분방 전 신호를 연속적으로 측정하는 것이다. 이는 측정 데 이터의 정확성 및 신뢰성을 높여줄 뿐만 아니라 부분방 전 신호의 분석이 매우 용이하다. 그리고, GOMS는 중앙 집중 감시 시스템을 구성하기 위해 제작되어진 시 스템으로서 원거리 통신이 가능한 장점이 있다.

표 2. 상용 진단 시스템과의 비교

	특성 및 기능
G O M S	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 고속 A/D 컨버터에 의한 부분방전 신호 샘플링 방식 ▷ 디지털 필터를 이용한 정확한 데이터 분석 ▷ 부분방전 신호의 주파수 대역별 분석 가능 ▷ Reference : 120 V / 60 Hz 외부 입력 ▷ 다양한 진단 파라미터 연산 (QM, NQN, DSV) ▷ 이상발생시 경보 메시지 발생 ▷ Graphic User Interface 기능 ▷ 디지털 필터를 이용한 외부잡음 제거 ▷ 진단 파라미터의 변화추이 분석 가능 ▷ 부분방전의 크기와 위상 분석 가능 ▷ 자동 On-Line 진단 기능 ▷ 최고 9개의 센서입력 가능 ▷ 원거리 통신을 위한 직렬통신 모듈 내장
T G A	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 아날로그 방식에 의한 부분방전 신호 획득 ▷ 부분방전의 크기와 위상 분석 가능 ▷ SSC 센서의 Slot 방전과 Endwinding 방전 구별 측정 ▷ 2종류의 진단 파라미터 연산 (QM, NQN) ▷ 펄스폭을 이용한 외부잡음 처리 ▷ Reference : 120 V / 60 Hz 외부 입력 ▷ 1회 1상 측정 가능

3. 결 론

본 논문에서는 발전기 고장자 권선의 절연상태 감시 진단을 위한 중앙 집중 감시 시스템을 제안하였다. 중앙 집중 감시 시스템의 구성은 최하위부의 단말장치의 기능을 포함한 On-line 진단 시스템에서 고압 회전기의 부분방전을 측정하여 이를 먼저 분석하고, 이 결과를 직렬통신 방식으로 구성되어 있는 Local Network망을 통하여 중앙 집중 감시 시스템으로 전송하여 현장 관리 자가 모니터링할 수 있게 하였고, 분석결과를 그래프으 로 나타내어 비전문가도 쉽게 판정할 수 있도록 하였다. 직렬통신은 Multi-drop 모드를 사용하여 하나의 중앙 집중 감시 시스템이 복수대의 GOMS와 통신이 가능하 도록 하였으며, GOMS는 부분방전 신호를 분석하여, QM, NQN, DSV와 같은 진단 파라미터의 결과를 중앙 집중 감시 시스템으로 전송한다. 그리고, 중앙 집중 감 시 시스템은 이를 그래프 나타내어 사용자의 판단을 용 이하게 하였고, Database 구축을 통하여 진단의 신뢰 성을 높였다.

이러한 중앙 집중 감시 시스템을 이용하면, 현장에 설 치된 진단 시스템의 진단결과를 전문가가 원거리에서 직 접 분석이 가능하기 때문에 고압 회전기의 진단결과 분 석 및 이상유무 판정이 매우 용이하다. 또한, 전문가 시 스템 구축을 위한 무인 진단 시스템 구성을 위한 사전 연구가 가능할 것이다. 중앙 집중 감시 시스템은 모든 원거리의 회전에 관한 Database를 가지고 있으므로 보다 정확한 판정을 할 수 있으며, Local Network망 을 통한 연속적인 진단으로 회전기의 효율적 운영이 가 능할 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] G. Stone and J. Kapler, "Stator Winding Monitoring", IEEE-IA Magazine, Vol. 4, No. 5, pp. 15~20, 1998.
- [2] Y.J. Kim, D.H. Hwang, B.C. Shin, D.Y. Park, and J.W. Kim, "Development of Continuous Partial Discharge Monitoring System for Generator Stator Insulations", Conference Record of the 2000 IEEE International Symposium on Electrical Insulation(ISEI), pp. 5-8 April 2-5, 2000.
- [3] 신병철, 황돈하, 김용주, 김정우, "발전기 고장자 권선 절연 상태의 상시 감시 시스템 개발", 대한전기학회 하계학술대 회 논문집, pp. 2212~2214, 1999. 7.
- [4] 신병철, 황돈하, 김용주, 김정우, "발전기 고장자 권선의 른 전중 부분방전 측정에 의한 절연진단 시스템 개발", 대한전 기학회 추계학술대회 논문집, pp. 1025~1027, 1999. 11.
- [5] K. Iton, et al, "Partial Discharge Detection for Turbine Generator in Operation", IEE-Japan, DEI-95-33, pp. 33~38, Feb, 1995.
- [6] J.F. Lyles, "Ontario Hydro's Experience Regarding PDA Test Data Correlation as Applied to Hydraulic Generator Stator Winding", CEA-EPRI-Ontario Hydro PDA and RF Monitor User's Workshop, Toronto, Sep. 22-24, 1986.
- [7] 한국전기연구소, "고압 회전기 On-Line 감시기술 개발(최 중보고서)", 과학기술부, 1998. 12.
- [8] 윤대희, 신병철, 황돈하, 김용주, 이광식, "발전기 고장자 권 선의 절연진단을 위한 운전중 부분방전 측정기법", 대한전 기학회 추계학술대회 논문집, pp. 136~138, 2000. 5.
- [9] Y.J. Kim and J.K. Nelson, "Assessment of Deterioration in Epoxy/Mica Machine Insulation", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. 27, No. 5, pp. 1026~1039, 1992.