

발전기 고정자 권선 절연상태의 상시 감시 시스템 개발

신병철 · 황돈하 · 김용주 · 김정우
한국전기연구소 발전기진단연구팀, (주)선진전자기술

Development of Continuous Monitoring System for Generator Stator Insulations

Byoung-Chol Shin · Don-Ha Hwang · Yong-Joo Kim · Jeong-Woo Kim
Generator Diagnosis Research Team, KERI, Advanced Electronic Tech. CO.,LTD.

Abstract - In this paper, a novel Generator On-line Diagnosis System (GODS) is proposed. This system monitors the insulation condition of the stator winding by on-line measurements of partial discharge (PD). Sensor, such as SSC (Stator Slot Coupler) and RFCT (Radio Frequency Current Transformer) are used for PD measurement.

PD signals are continuously measured and digitized with a high speed A/D converter to build the database of the generator'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.

1. 서 론

최근 발전기의 예방진단에 관한 중요성이 증대되면서 종래의 Off-Line 진단기법의 단점을 보완하고자 On-Line 진단기법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 발전기 권선 절연상태의 이상유무를 판단하기 위해서 부분방전 신호측정에 의한 절연진단 기법의 연구가 가장 활발히 진행되고 있으며, 부분방전 신호를 기기의 운전중에 측정하는 방법과 이를 분석하는 방법 등에 관한 연구도 이루어지고 있다.^{1,2,3)} 또한, 반도체 기술의 발달에 따른 측정장비의 고성능화와 PC 및 계측기간의 인터페이스에 의한 고속 측정 및 자동화에 힘입어 부분방전 신호의 보다 정확한 검출이 가능해졌다. 그러나 아직은 부분방전 신호의 검출 및 분석과 발전기 On-Line 진단 시스템 설계에 많은 개선점들이 요구되고 있다.

본 논문에서는 발전기 고정자 권선에서 발생하는 부분방전 신호를 운전중(On-Line)에 측정하여 발전기의 절연상태를 진단하고, 기존의 발전기 On-Line 진단 시스템의 미비점을 보완하여, 부분방전 신호의 연속적인 측정과 원격통신이 가능한 발전기 On-Line 모니터링 시스템을 제시한다. 운전중 부분방전 측정센서인 SSC, RFCT 등을 통하여 발전기 고정자 권선에서 발생하는 부분방전 신호를 효과적으로 측정할 수 있는 시스템을 제안하고, 측정된 부분방전 데이터를 디지털화하여, 그 변화를 모니터링 및 기록함으로써, 발전기의 절연상태를 진단하고, 효율적인 발전기 관리, 운용 및 예방정비 계획을 수립할 수 있도록 한다.

2. 본 론

2.1 부분방전 검출용 센서

부분방전은 고전압 절연물 내부의 Void에서 발생하는 전기적 스파크 현상이다. 이 스파크는 고정자 권선을 통해 전송되는 빠른 전류펄스를 발생시키고, 이 펄스가 클

수록 권선 단자에 도달하는 전류펄스와 이에 따른 전압펄스가 증가한다.⁴⁾ 이러한 부분방전 펄스 신호의 측정을 위한 상용 On-Line 측정 센서로는 Stator Slot Coupler (SSC)와 Bus Coupler(Epoxy-Mica Capacitor : EMC) 등이 있으며, 본 연구에서는 비접촉식의 SSC를 부분방전 측정 센서로 사용하였다. SSC는 전자파의 진행에 따른 시간차에 의해 발생된 두 개의 부분방전 신호를 RG-178 Cable을 통해서 전송한다. SSC의 차단 주파수는 10 [MHz]에서 1 [GHz]까지이며, 특성 임피던스는 50 [Ω], 주파수 대역은 10~1000 [MHz]이며, 열과 기계적인 충격에 견딜 수 있도록 NEMA Fire Retardant G10-rated Epoxy Glass Lamination으로 되어 있다. SSC는 슬롯에 따라 폭과 길이를 가변 할 수 있으며, 발전기의 권선과 웨지 사이에 취부하는 방법으로 설치가 가능하다.^{5,6)}

2.2 Generator On-line Diagnosis System (GODS)

그림 1은 발전기의 운전중에 고정자 권선에서 발생하는 부분방전 신호의 측정 및 절연감시가 가능한 GODS의 기본 구성도를 나타내고 있으며, 그림 2에서는 실제 제작한 GODS 시제품의 형태를 보여주고 있다. 표 1에서는 본 연구에서 개발한 GODS의 상세 사양과 주요기능을 요약하였다. GODS는 발전기 고정자 권선의 각 상에 설치된 센서에 의해 검출된 부분방전 펄스 아날로그 신호를 각상별로 순차적, 연속적으로 측정하여, 고속 데이터 취득 장치를 이용하여 디지털 데이터로 변환하고, 마이크로 프로세서에 의한 디지털 신호처리 및 분석, 그리고 Display 장치에 의한 모니터링이 가능하다. 이를 통해서 부분방전 펄스의 극성과 위상에 따른 크기 및 갯수의 분석, 변화추이 분석 및 경보신호 발생 등의 기능을 구현하여 발전기 고정자 권선의 절연상태를 상시 감시할 수 있도록 하였다.

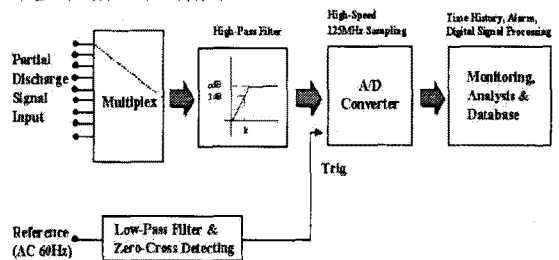


그림 1. GODS의 시스템 구성도

2.2.1 멀티플렉스

멀티플렉스는 채널 선택을 위한 디코더와 릴레이로 구성되어 있으며, On-Line 센서로부터 검출되는 부분방전 신호는 9개의 채널이 있는 멀티플렉스의 입력단으로

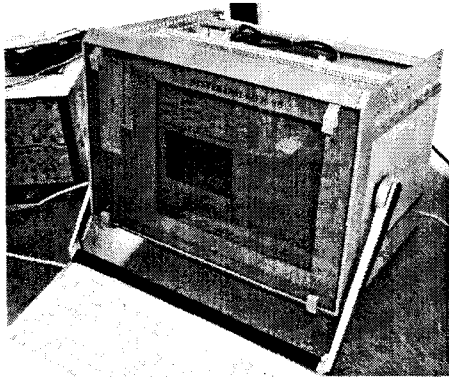


그림 2. GODS의 시제품

표 1. GODS의 주요구성 요소

구성 요소	사양 및 기능
Multiplex	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 입력채널 : 9개 [각 상당 3개의 채널 할당] ▷ 주파수 대역폭 : 1MHz~1GHz ▷ 입력 임피던스 : 50 Ω ▷ 각 상별 3개씩 총 9개 Channel의 부분 방전 신호를 순차적으로 측정
Filter	<ul style="list-style-type: none"> ▷ Low-Pass : 60Hz, 1~220V, 100Hz이하 ▷ High-Pass : 1MHz~20MHz
영점 검출기	<ul style="list-style-type: none"> ▷ AC 60Hz 기준신호의 영점 검출 ▷ A/D Board의 Triggering
고속 A/D Converter	<ul style="list-style-type: none"> ▷ Sampling Rate : 250MSPS/Single, 125MSPS/Dual ▷ Memory Depth : 4 MB ▷ 임피던스 : 50 Ω or 1 MΩ, 25 pF (Coupling : AC or DC) ▷ 대역폭 : 125MHz, Resolution : 8 bits ▷ Amplitude : Max ±14 Volts ▷ Triggering : External Type, Analog Triggering

전송되고, 각 상당 3 채널씩 할당되어 있다. 멀티플렉스는 측정하고자 하는 상에 따라 순차적으로 부분방전 신호를 선택하고, 부분방전 신호를 High-Pass 필터단으로 보내게 된다. 입력 신호의 통과 주파수 대역폭은 1 [MHz]~1 [GHz]로 부분방전 신호의 취득이 용이하도록 설계하였다.

2.2.2 필터 및 영점 검출기

부분방전 신호는 수십 kHz에서 수백 MHz 사이의 주파수 대역에 분포하고 있으므로 가능한 넓은 주파수 대역에 걸쳐 부분방전 신호를 취득하고 분석하는 것이 바람직하다.^[7] 본 연구에서는 GODS의 High-Pass 필터단을 1~20 [MHz] 범위까지 광대역 통과가 가능한 필터회로를 설계하여, 부분방전 신호 측정 대역폭이 10 [MHz] 대역으로 제한되어 있던 기존의 On-Line 진단 시스템의 단점을 보완하였다. 그리고 발전기 운전중에 발생하기 쉬운 수백 kHz 주파수 대역 이하의 외부잡음을 함께 제

거하게 하였다. 그림 3은 High-Pass 필터, Low-Pass 필터 및 영점 검출기의 회로도를 나타내는 것으로서, Low-Pass 필터는 기준신호(AC 60 Hz)를 필터링한 후에 영점 검출기에서 A/D Converter의 트리거 신호로 변환시킨다. 그림 4는 멀티플렉스, High-Pass 필터, Low-Pass 필터 및 영점 검출기가 GODS 내부에 설치되어 있는 상태를 보여주고 있다.

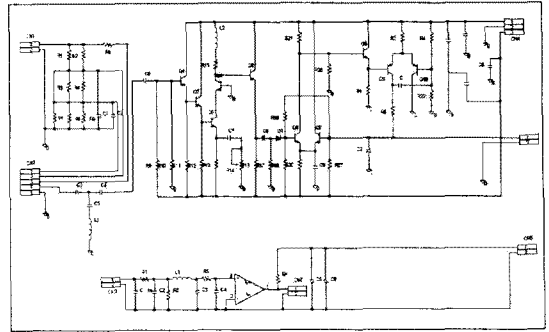


그림 3. 필터 및 영점 검출기 회로도

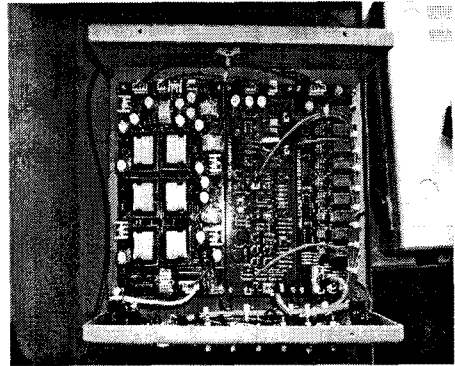


그림 4. 멀티플렉스, 필터 및 영점 검출기의 내부회로

2.2.3 고속 A/D 컨버터

GODS는 최대 250 [MHz]까지 샘플링이 가능한 고속 A/D 컨버터가 내장되어 기존의 On-Line 진단 시스템보다 정확한 부분방전 신호 데이터를 검출할 수 있다. 그리고, A/D 컨버터 내에 4MB의 자체 메모리가 내장되어 있어 데이터 처리 속도를 향상 시켰고, 8 bits의 분해능과 2MB/s의 Transfer Rate를 가지고 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하도록 되어 있다.

2.2.4 Display 및 데이터 분석

GODS 모니터링 시스템은 운전중에 취득한 부분방전 신호의 분석을 위하여 산업용 컴퓨터와 Visual C++를 사용하여 그림 5와 같은 ON-Line 모니터링 시스템을 구성하였다. 발전기 고정자 권선의 각 상별로 측정된 부분방전 신호의 위상, 크기 및 갯수를 분석할 수 있도록 2차원 및 3차원 그래프로 나타내도록 하였고, 추가적으로 부분방전 신호의 주파수 특성을 분석하기 위하여 FFT와 Wavelet 기법을 이용하였다. 측정된 데이터의 FFT 분석은 발전기 절연물에 따라 다른 주파수 대역을 가지는 부분방전 신호의 분석을 가능하게 하였고, 특히,

Wavelet 기법은 크기, 위상 및 갯수로 부분방전 신호를 분석하던 종전의 분석기법에서는 얻을 수 없었던 주파수, 위상 및 크기의 동시 비교 분석을 가능하게 하므로써, 발전기 고정자 권선의 절연상태 진단에 정확성 및 신뢰성을 증대 시켰다.

GODS에서는 이렇게 분석되어진 각 상의 부분방전 신호의 변화추이 및 분석결과에 대한 데이터 베이스 구축이 가능하게 하였다. 그리고, 외부의 중앙 감시 모니터링 시스템으로 데이터를 전송하기 위하여 통신기능을 부여하였다.

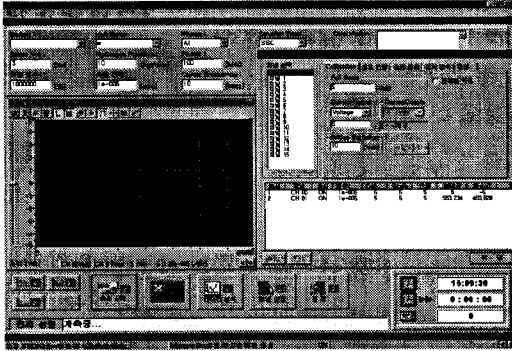


그림 5. GODS의 화면 구성

2.3 Network 구성

그림 6은 발전기 고정자 권선 절연상태의 상시 감시와 복수대의 발전기에 대한 중앙 집중 감시가 가능한 Local Network 구성도를 나타내고 있다. 고정자 권선에서 발생하는 부분방전 신호를 검출하여 Local에서 저장 및 분석하는 GODS와 여러 대의 GODS에서 데이터를 전송받아 데이터 베이스를 구축하는 중앙 감시 모니터링 시스템으로 구성되어 있다. GODS와 중앙 감시 모니터링 시스템간의 통신은 외부잡음에 강하며 전송거리가 1 [km] 이상으로서 발전소 현장에 적용가능한 통신방식인 RS-485로 이루어진다. 중앙 감시 모니터링 시스템은 각각의 GODS에서 전송받은 부분방전 데이터에 의해 다수대의 발전기로부터 얻어지는 정보를 분석하여 발전기 고정자 권선 절연상태에 관한 데이터 베이스를 구축하고, 개별 발전기별로 이상상태 발생을 경보하도록 함으로서 전체 발전기의 고정자 권선 절연상태에 대한 진단과 효율적인 예방정비 계획 수립이 가능할 것으로 판단된다.

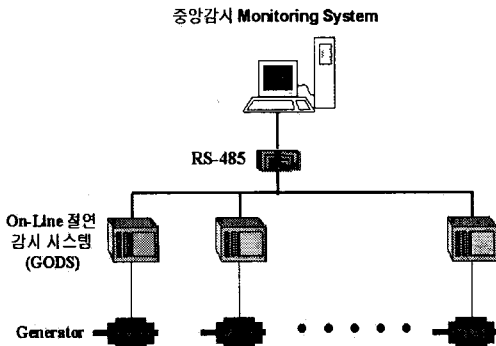


그림 6. Local Network 구성도

3. 결 론

본 논문에서는 발전기의 운전중에 고정자 권선에서 발생하는 부분방전 신호의 연속적인 측정에 의한 절연상태의 상시 감시가 가능한 On-Line 진단 시스템(GODS)과 Network를 이용한 중앙 집중 감시 모니터링 시스템을 제안하였다. 부분방전 신호의 측정이 특정 주파수 대역으로 한정된 기존 시스템의 단점을 보완하여 광범위한 주파수 대역에서의 부분방전 측정이 가능하도록 하였고, 수백 kHz 대역의 외부잡음을 제거시키도록 하였다. 또한, 부분방전 신호의 위상, 크기 및 갯수를 분석하고, FFT, Wavelet 기법 등을 이용한 부분방전 신호의 주파수 특성 분석을 통하여 발전기의 절연상태를 진단하고, 변화추이의 모니터링과 데이터 베이스 구축을 할 수 있도록 하여 GODS의 성능 및 진단의 정확성과 신뢰성 향상을 추진하였다.

현재 GODS의 현장설치를 통한 적용시험 및 기능보완을 위한 추가연구가 진행되고 있으며, 향후 통신기능을 강화하여 TCP/IP를 이용한 원격 감시 시스템을 개발할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] "Standard Methods for Detection and Measurement of Partial Discharge(Corona) Pulses in Evaluation of Insulation Systems", Philadelphia, Pa. : American Society of Testing Materials, Volume 10.02, ASTM Std. D1868-1986, 1986.
- [2] G.C.Stone, H.G. Sedding, N.Fujimoto and J.M. Braun, "Practical Implementation of Ultrawideband Partial Discharge", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 27, No.1, pp. 70-81, 1992
- [3] 황돈하, 김용주 외 4인, "발전기 고정자 권선의 절연 열화 진단기법에 관한 연구", 대한전기학회 방전 및 고전압연구회 춘계 학술연구발표회 논문집, pp. 174-179, 1997. 5.
- [4] S.R.Campbell, G.C.Stone and H.G.Sedding, "Characteristics of Partial Discharge Pulses from Operating Rotating Machines", 1994 International Symposium on Electrical Insulation, June 1994.
- [5] "Notes for the Installation of SSCs", IRIS Power Engineering, July 1991.
- [6] H.G.Sedding, S.R.Campbell, G.C.Stone and G.S. Klempner, "A New Sensor for Detecting Partial Discharge in Operating Turbine Generators", IEEE/PES 1991 Winter Meeting, 91WM065-3EC, Feb. 3-7, 1991.
- [7] 한국전기연구소, "고압 회전기 On-Line 감시기술개발(최종보고서)", 과학기술부, 1998. 12.