

초음파 신호를 이용한 부분방전 검출 장치 개발에 관한 연구

최수안, 정형호*, 곽희로*, 김계철*, 정상진**, 윤진열**

* 송실대학교 전기공학과
** 한국전력공사 기술연구소

Implementation for Partial Discharge Detection using Ultrasonic Signal

S.A. Choi, H.H. Chung*, H.R. Kwak*, J.C. Kim*, S.J. Chung**, J.Y. Yoon**

* Dept. of Electrical Engineering, Soong sil University
** Korea Electric Power Corporation Research Center

Abstract

This paper presents a diagnostic technique using ultrasonic for operating power transformer.

Two methods are used as a base for detecting a partial discharge. One is a analysis of PD trend using counted ultrasonic signal, the other is a estimation of PD location source using cross-correlation. In this paper we implement detection equipment of partial discharge in power transformer. The desired system is utilized to two methods for PD detection and operated by graphical user interface(GUI).

The results of test showed that the system can be adopted to real power transformer.

1. 서론

전력수요의 급증 및 산업기기의 자동화는 전력계통을 대규모화하였으며, 고신뢰도의 안정된 전력공급을 필요로 하게되었다. 전력계통의 대규모화는 관련 전력기기를 대용량화하여 사고발생 시 파급효과를 증가 시켰으며 고장에 따른 경제적 손실을 증가 하였다. 또한 산업기기의 자동화 및 정보통신분야의 이용이 급증함으로써 전력공급의 중단 및 불안정은 광범위한 분야에 걸쳐 커다란 영향을 미치게 되었다.

그러므로 전력계통의 사고를 미연에 방지하며 안정된 전력공급을 위한 전력용 변압기의 지속적인 진단 및 유지보수의 필요성은 더욱더 절실하게 되었다.

본 논문은 전력용 변압기의 사고예방진단을 위하여 현장 적용이 순쉬우며 효율성이 뛰어난 초음파 측정법을 이용한 부분방전 검출장치를 개발하였다. 본 논문에서 개발된 장치는 부분방전 발생에 의한 초음파 신호수를 분석함으로써 부분방전의 발생 추이를 알 수 있으며 필요시에는 초음파 신호만으로 발생 위치를 추정할 수 있는 검출 장치이다.

검출 장치는 초음파 신호의 측정 및 신호처리를 위한 하나로 그 처리부, 자료 수집을 위한 디지털 처리부와 응용 프로그램부로 구성되어 있다. 주요 특징으로는 장치의 확장성을 고려하여 다채널의 초음파 신호 처리 및 초음파 신호 계수부를 설치하였으며, 검출된 초음파 신호들은 A/D 변환기에 의해 이산신호화하여 상호상관관계를 이용 발생 위치를 추정할 수 있도록 하였다.

본 논문의 응용프로그램은 누구나 손쉽게 운용이 가능하도록 객체 지향 언어인 C++를 이용 GUI(Graphical User Interface)로서 운용된다.

2. 부분방전에 따른 초음파 신호의 분석

2-1. 부분방전의 발생 추이 분석

부분방전 발생에 따른 국내외의 전력용 변압기 사고예방진단 기법으로는 방전량 측정법, 절연유 열화 진단법, 초음파 측정법 등이 있다. [1][2][3]

부분방전량 측정법은 방전 현상의 변화 상태를 선형적으로 추정하는 것이 가능한 반면 방전에 따른 전기 신호의 검출을 필요로 한다. 전기신호의 검출 장치는 장비의 규모가 크고, 고가이며 외부 잡음에 대한 영향이 크기 때문에 현장 적용에는 많은 어려움을 지니고 있다.

절연유의 절연 내력을 측정하여 변압기의 이상 유무를 판단하는 절연유 진단법은 국내외에서 널리 이용되고 있으나 변압기 이상 발생시 일정시간 경과후에 검출이 가능하다는 단점을 지니고 있다.

본 논문에서는 실제 현장 적용시 신호의 측정이 용이하며 이상상태 발생시 응답이 빠른 특성을 지닌 초음파 측정법을 제시한다. 초음파 측정법은 초음파 측정센서를 변압기 외벽에 부착하여 부분방전의 발생에 따른 초음파 신호를 측정하고 그림 1의 b와같이 기준 준위 이상의 초음파신호수를 계수하여 부분방전 발생의 지속 정도, 변화 상태, 크기 등을 분석하므로써 변압기 내부의 이상상태를 판단하고자 한다. [4]

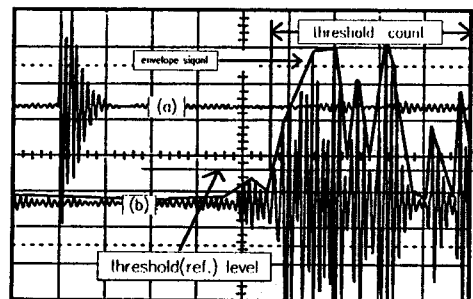


그림 1. 초음파신호의 분석

2-2. 부분방전 발생 위치 측정

변압기 내부의 부분방전 발생 위치를 알 수 있다면 방전 발생에 따른 위험 정도를 판단할 수 있으며 변압기의 고장 수리에 따른 시간적, 경제적 손실을 줄일 수 있으리라 본다. 이와 관련된 국내외의 연구는 다음과 같다.

- 전기 - 초음파 신호 검출법 [2][4][5]
- 초음파 - 초음파 신호 검출법 [6][7]
- 초음파 신호를 이용한 상호상관법 [1][5]

전기-초음파 신호 검출법은 방전 발생에 따른 전기신호를 기준으로 변압기 외벽에 부착한 초음파 신호 측정센서로부터 검출되는 초음파 신호의 시간 지연을 거리로 환산하여 발생 위치를 추정하는 방법이다. 초음파-초음파 신호 검출법은 전기신호의 측정시 어려움을 보완하고자 제시된 방법론으로 부분방전에 의해 발생된 초음파 신호를 검출하여 발생원으로부터 측정 센서간의 거리 차를 구하여 위치를 추정하는 방법이다. 그러나 초음파-초음파 신호 검출법에 의한 시간 영역에서의 파형 분석은 기준을 어느 점으로 선정하느냐에 따라 파형 사이의 도달 시간차는 많은 오차를 보이게 된다.

본 논문에서는 이러한점의 보완을 위해 식 1을 이용 각각의 초음파 신호 사이의 상호상관관계(cross-correlation)를 구하여 초음파 발생에 따른 각 센서간의 도달 시간 차이를 구하는 방법을 이용하였다. [1][4]

부분방전의 발생 위치 추정은 센서간의 시간 차이를 거리로 환산하여 최소의 오차를 갖는 점을 선택함으로써 가능하다. [4]

$$R_{xy}(k) = \frac{1}{M-k} \sum_{n=0}^{M-k-1} x(n) \cdot y(n+k) \quad \dots\dots (1)$$

3. 장치의 구성 및 기능

본 논문에서 제시된 초음파 측정 장치의 전체적인 구성은 그림 2와 같다.

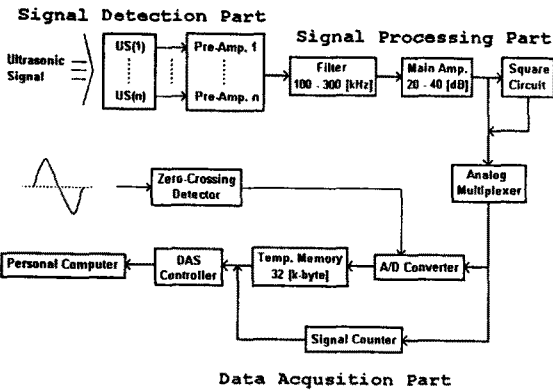


그림 2. 초음파 측정장치의 블럭도

측정 장치는 초음파 신호 측정부, 신호 처리부, 자료 수집부, 화면 처리부로 나눌 수 있으며 장치 상호간의 잡음의 영향을 억제하기 위해 별도의 전원공급장치를 부가하였다. 본 논문을 위해 실제 제작된 장치는 그림 3과 같다.

3-1. 초음파 신호 측정부

초음파 신호의 측정은 공진 주파수가 200 [kHz] 인 압전센서를 이용 변압기의 외벽에 부착하여 사용하였다. 센서로부터 검출된 신호들은 매우 미약하므로 이를 신호처리부로 파형의 변형 없이 전송하기 위해 40 [dB] 의 이득을 지닌 전치 증폭기 (Pre-Amp.)를 제작하여 사용하였다.

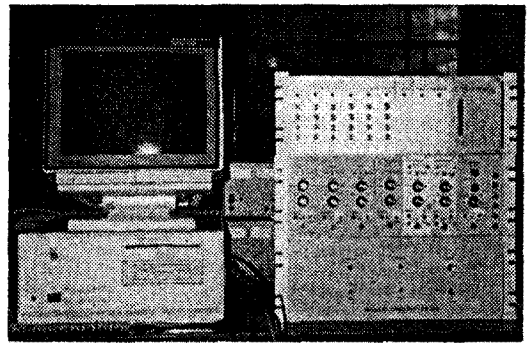


그림 3. 초음파 측정장치

3-2. 신호 처리부

신호 측정부로부터 전송된 초음파 신호는 100[kHz] - 300 [kHz] 의 주파수 특성을 가지는 대역통과 필터를 거쳐 잡음을 제거한 후 신호의 변환 및 처리가 용이하도록 20 - 40 [dB] 의 이득을 가진 주증폭기로 전송된다. 주증폭기를 통과한 신호는 필요에 따라 명확한 신호의 구분을 위해 제곱회로를 거치게 되며 신호 처리된 초음파 신호는 자료수집부로 전송된다.

3-3. 자료 수집부

자료 수집부는 그림 2 에서 볼 수 있듯이 A/D 변환부, 이산정보 저장부, 신호 계수부, 상용전원과의 동기 및 A/D 변환 시점 결정을 위한 제로크로싱 검출부로 나뉘어지며 이들은 멀티플렉서에 의해 선택되어져 운용된다.

자료수집부는 장치의 확장성을 고려하여 24개의 입력채널을 설치하였으며 동시에 6채널의 초음파 신호를 A/D 변환하여 저장 가능하도록 하였다. 또한 6채널의 초음파 신호 계수부는 소프트웨어적으로 계수 주기를 변환할 수 있으며 계수가 종료될과 동시에 인터럽트를 발생시켜 관련 정보를 PC로 전송하게 된다.

초음파 신호를 이산신호로 변환하기 위한 시점의 결정은 그림 4의 a), b) 에서 볼 수 있듯이 상용전원의 주기에 동기화 시켜 그림 4의 c) 와 같이 변환시점을 결정하게 된다.

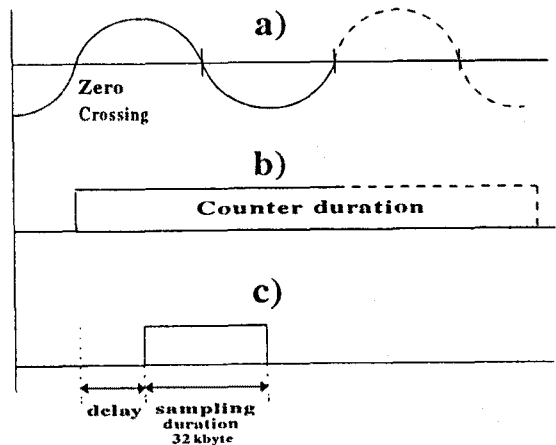


그림 4. 초음파 신호의 A/D 변환시간 결정

초음파 신호의 변환은 고속 A/D 변환기인 KSV3110을 이용하였으며 4[MHz]의 샘플 시간에 의해 32 [k-byte]의 정보를 저장한다.

3-4. 신호분석 및 화면 처리부

부분방전의 발생추이 분석 및 위치측정을 위한 응용 프로그램의 구성은 다음과 같다.

- o 자료 수집 MODULE
- o 상호상관관계 계산 및 DISPLAY MODULE
- o 초음파 신호수 DISPLAY MODULE
- o 부분방전 발생추이 분석 및 DISPLAY MODULE

4. 초음파 신호의 검출

본 논문에서 제안된 장치의 유용성 검증을 위하여 두단계로 초음파 신호를 검출하여 결과를 나타내었다. 부분방전은 모의 변압기 내부에서 발생되며 초음파 측정 센서는 모의 변압기 외벽 여섯 곳에 설치하여 신호를 측정하였다.

4-1. 초음파 신호의 계수

초음파 신호수의 측정은 1초를 단위로 하여 기준준위를 설정 기준준위 이상의 신호수를 계수 하였다. 계수된 초음파 신호수는 컴퓨터로 전송되어 화일로서 저장되며, 그림 5와같이 화면상에 나타내어진다.

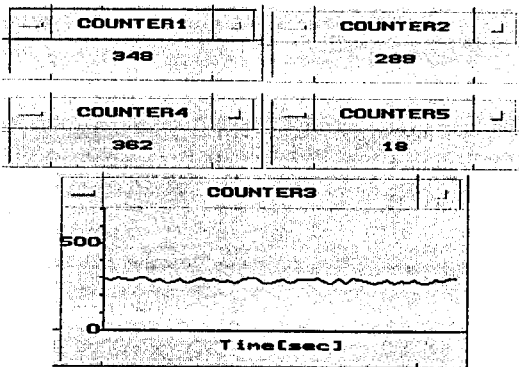


그림 5. 초음파 신호수의 계수 결과

그림 5에서 볼 수 있듯이 화면의 상단에는 매초당 각센서를 통해 검출된 초음파 신호수를 나타내며, 하단에는 초당 검출된 초음파 신호수를 분단위로 평균하여 결과를 연속적으로 나타내고 있다. 초음파 신호수의 평균 계산을 위한 주기는 변화가 가능하며 특정시간대의 자세한 결과를 알고자 할 때는 시간대를 지정함으로써 결과를 얻을 수 있다.

4-2. 상호상관법에 의한 위치측정

부분방전의 발생에 의해 검출된 초음파 신호들은 각 채널에서 동시에 A/D 변환되며, 변환된 이산정보는 고속메모리에 기억된다. 기억된 각각의 정보는 컴퓨터로 읽어져 화일로서 저장되며 그림 6과같이 상호상관관계를 계산하고 결과를 나타낸다.

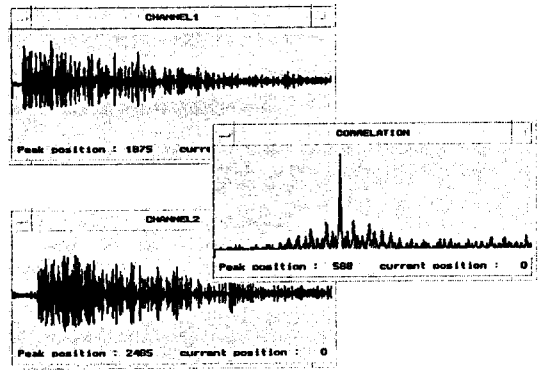


그림 6. 상호상관관계의 계산 결과

5. 결론 및 고찰

본 논문에서 개발한 초음파 측정장치는 부분방전 발생에 따른 초음파 신호를 측정하여 부분방전의 발생추이를 분석할 수 있으며, 각 센서간의 상호상관관계를 이용 부분방전 발생위치를 추정할 수 있도록 제작하였다.

제안된 측정장치와 모의 변압기를 이용 각각의 기능에 대해 정확한 동작 여부와 효용성을 검토한 결과 만족할만한 결과를 얻을 수 있었다.

향후에는 통신시설을 이용한 정보수집 관련 연구와 초음파 신호의 전압, 전류, 온도등 다양한 요소들을 추가로 측정하여 분석할 수 있는 종합적인 예방진단 장치로 발전 시키고자 한다.

참고 문헌

- [1] S.L.Jones "The detection of partial discharges in power transformers using computer aided acoustic emission techniques" IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Toronto Canada, June 3-6, 1990.
- [2] H.Kawada, M.Honda, T.Inow, T.Amamiya "Partial discharge automatic monitor for oil-filled power transformer" IEEE Transaction on Power Apparatus and System, Vol. PAS-103, NO. 2, pp. 422-428, Feb. 1984.
- [3] 김재철, 곽희로 "유입 변압기내 부분방전 위치측정", 대한전기학회 논문집, Vol.41, No.11, pp.1316-1323, 1992.11
- [4] 곽희로 "초음파 센서를 이용한 변압기 예방진단 기술연구 (최종 보고서)" 한국과학재단, 1993.2.
- [5] 곽희로, 김재철 "변압기내 부분방전 탐지 및 위치검출", 조명, 전기설비학회 논문집, Vol.6, No.4, pp.53-59, 1992.8
- [6] J.Slangen "Investigations on the acoustic emission techniques for locating partial discharges during transformer testing" ELEKTRO TECHNIK 67(1989) 4(april)
- [7] E.Howells, E.T.Norton "Location of partial discharge sites in on-line trans formers", IEEE Transactions on Power Apparatus and System, Vol. PAS-100, NO. 1, Jan. 1981.