운전 중인 전력기기의 부분방전 측정장치 개발에 관하여

Development of On-Line Patial Discharge Detector for Power

김광화[1], 선종호[2], 김우성[3], 이종구[4], 이준모[5], 강창원[6]
K.H Kim[1], J.H Sun[2], W.S Kim[3], J.K Lee[4], J.M Lee[5], C.W Kang[6]

ABSTRACT

This paper is described the development of on-line partial discharge detector for high voltage apparatus. This detector consists of acoustic and high frequency current sensors, amplifier part, A/D converter part, data communication part and computer. The contents of paper are characteristics of units and digital signal processing for reducing noise in partial discharge detection. We seek methods to do good digital signal processing for detection of partial discharge. We apply digital filtering methods to the electric signal and a cross correlation to the acoustic signal. This paper shows the characteristics of these filtering method and cross correlation in partial discharge detection.

1. 서 론

전력기기에서 절연상태를 알기 위하여 여러 가지 측정기술을 활용하여 그 결과로부터 전력기기의 상태를 진단하게 된다. 특히 진단을 위한 측정법 중에서 가장 중요하고 절연파괴를 예상하는데 손쉽게 적용될 수 있는 방법이 부분방전의 측정이다. 그러나 이의 측정은 현장에서 사용할 때 잡음으로 인하여 큰 제약을 받게 된다. 이와 같은 잡음을 감소시키기 위하여 여러 가지 측정법이 제안되어 적용되어져 왔으나, 그 사용이 어렵고 복잡하여 적용이 쉽지가 않다.

최근에는 부분방전의 측정에서 잡음을 줄이기 위한 방법의 하나로 측정신호를 디지털 신호로 변화시킨 후 디지털 필터로 이용 신호처리를 함으로서 큰 진보를 가져오게 되었다. 최근의 컴퓨터 하드웨어 및 소프트웨어의 발전으로 더욱더 쉽게 이 기술을 값싸고 신뢰성 있게 적용할 수 있어 실적용이 가능할 것으로 전망된다.

본 연구에서는 부분방전의 대표적인 현장 측정기술인 고주파 전류센서를 이용한 측정방법의 전기적 잡음제거를 위하여 디지털 필터를 적용하여 부분방전을 구별하고, 또한 초음파 센서에서 얻어진 신호는 상호 상관법을 이용하여 시간차를 구하는 시스템을 개발하였고, 이에 대한 특성을 논하였다.

2. 본 론

2.1 현장에서의 잡음

변전소와 같은 현장에서는 여러 가지 잡음신호가 존재하며 이들은 부분방전 측정에 제약을 가져온다. 이와 같은 잡음을 분류하면 전기적인 측정방식에서는 통신망에 의해 발생되는 잡음신호, 전력전자를 이용하는 제품으로부터 발생되는 일정위상에서의 펄스형 잡음, 고전압 시스템의 스위칭 또는 코로나에 의해 일어나는 불연속적인 전기적 잡음신호가 존재하고, 음파 측면에서 영향을 주는 잡음신호는 사용하는 센서의 주파수 대역에 크게 의존하지만, 고주파인 초음파 센서를 이용하는 경우 다음과 같은 잡음이 있다. 변압기 내부에서 발생하는 잡음은 코아의 튐 현상이고, 변압기 외부에서는 모래 빗방울 등이 탱크와의 충돌에서 일어나는 것과 주변의 작은 짐승이 발생시키는

1) 한국전기연구소 책임연구원 정회원
2) 한국전기연구소 선임연구원 정회원
3) 한국전기연구소 연구원
4) 에이렉스
5) 에이렉스
6) PSD Tech

것이 잡음으로 존재한다.

부분방전측정에서 이상과 같은 잡음의 영향으로 부분방전의 구별이 쉽지 않다. 따라서 잡음으로부터 부분방전을 구별하기 위해서는 전기적 측정방식을 중심으로 기계적 측정방식으로 보완한다면 훨씬 쉽게 행할 수 있다.

따라서 먼저 전기적 측정방식에서 잡음을 제거하기 위해서 최근 디지털 필터에 의한 신호처리를 도입하면 통신망으로부터 오는 잡음을 쉽게 제거가 가능하다. 또한 일정한 위상에서 발생하는 펄스형 신호의 잡음은 고정적이므로 이의 제거도 가능하다. 여기에 고전압 시스템에서 발생하는 스위칭 또는 코로나와 같은 신호의 판단은 초음파 센서로부터 얻는 신호를 이용함으로써 어느 정도 해결이 가능하다. 그리고 초음파 신호에 포함되는 잡음원은 제거를 위해 디지털 신호처리를 근본적으로 적용할 수 없으므로 전기적 측정결과와 비교하여 부분방전과 잡음을 분류할 수 있다.

2.2 개발된 부분방전 측정장치의 개요

본 부분방전 측정시스템은 크게 3개 부분으로 그림 1과 같이 이루어져 있다. 그림 1에서 보면 센서와 앰프부분, A/D converter 그리고 분석 및 디지털처리를 담당하는 컴퓨터로 구성되어 있다.

센서 및 앰프는 다음의 표 1과 같은 특성을 가지고 있으며, 전류센서용 앰프는 측정신호의 처리를 위하여 광대역 앰프를 사용하고 있고, 개발된 전류센서용 앰프는 그림 2와 같은 주파수에 대한 증폭율 특성을 갖는다. 그리고 이의 특성을 충분히 획득할 수 있는 A/D converter의 샘플링 특성을 갖도록 최대 20MHz 로 하였다.

내부 프로그램의 구성은 그림 3과 같이 구성되어 있다. 분석 및 디지털 필터 처리를 할 컴퓨터에 Band rejection 필터와 Linear prediction 필터를 처리할 수 있는 소프트웨어를 구축하여 측정결과를 잡음과 분리가 가능하도록 하였다.

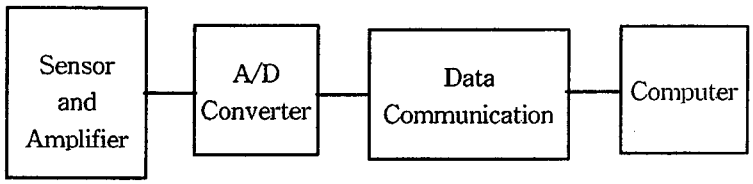

그림 1. 개발된 부분방전측정장치의 블록도

표 1. 앰프 및 센서의 특성

	Sensor			Amplifier	
	Type	Bandwidth	Sensitivity	Bandwidth	Amplification
Electric Part	Ring	-10 ㎒	1V/1A	0.1-6 ㎒	40-60dB
Acoustic Part	Piezo	70-200 ㎑	-24.5dB	100-300㎑	40-60dB

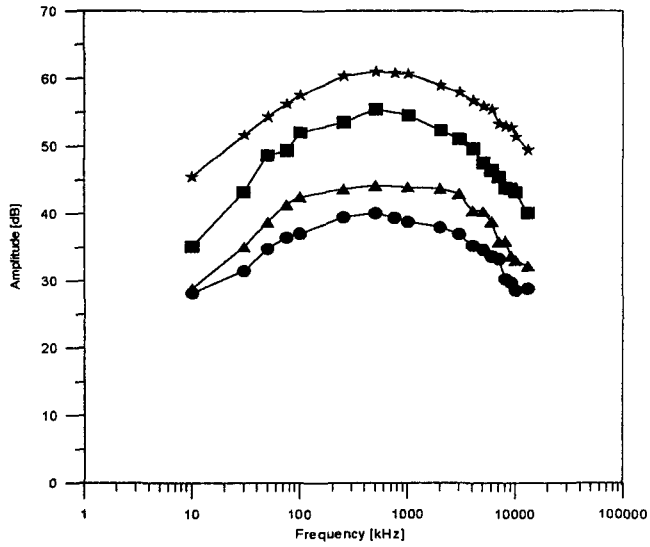

그림 2. 전류센서용 앰프의 주파수에 대한 증폭율특성

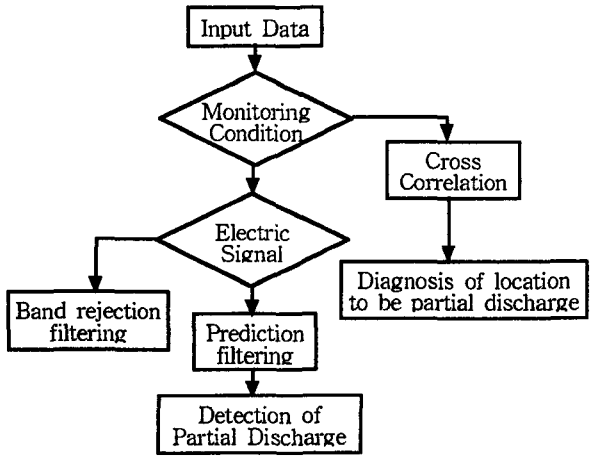

그림 3. 전기 및 초음파 신호처리의 흐름도

2.3 디지털 필터의 구성

(1) 전기적 신호의 디지털 필터의 구성

전기적 신호의 측정에서 잡음은 앞에서 열거한 3가지이다. 일반적으로 연속적인 잡음은 부분방전 신호의 주파수특성에 큰 차이를 보여 주고 있으므로 이들을 다음의 2가지 방법으로 필터링을 하는 것으로 구성하였다.

가) Band rejection filter

연속적인 잡음과 부분방전 신호의 주파수 특성의 차이를 이용하여 잡음영역의 주파수부분을 필터링함으로써 부분방전신호를 얻을 수 있다. 예전에는 아날로그 band rejection 필터에 의하여 처리를 하였으나, 디지털 신호에서는 FFT 처리를 하여 주파수 영역으로 신호를 치환하는 것이 가능하다. 잡음과 혼재된 부분방전 신호를 FFT 처리를 하면 잡음의 신호에 해당하는 값이 가장 큰 값으로 나타나게 되므로 이를 주변의 신호크기로 감소시켜 역 FFT 처리를 하면 잡음이 제거된 부분방전의 신호만을 얻을 수 있게 된다. 이 방식은 실시간으로 자동으로 처리를 하기는 어려우나 부분방전신호를 큰 변형없이 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.

나) Linear Prediction Filter

이 필터는 먼저 샘플된 값으로부터 다음의 샘플 값을 계산하는 방식이다. 예측된 값과 샘플된 값의 차이가 필터링 된 결과이다. 적절한 잡음의 억제를 고려하여 이 필터가 방해신호의 통계적 특성을 채택한다면 장점이 될 것이다. 이 경우 알고리즘은 필터 전달함수가 시간에 불변하다는 것을 의미하는 adaptive필터와 같은 행동을 할 것이다. 필터링의 계수는 신호의 차를 0으로 하는 방법으로 구해질 것이다. 측정신호에서 부분방전의 펄스들은 예측할 수 없고 억제될 수 없다. 필터가 일정한 상수로 행하여진다면 전달함수는 전체적으로 결정될 수 있다. Nonadaptive필터는 똑같은 통계적 잡음신호가 여러 번 측정에서 존재한다면 장점으로 적용될 수 있다. 그러면 요구되는 계산시간은 adaptive가 없어지므로 더욱 빠른 시간에서 계산될 수 있다. 이 필터는 자동으로 거의 실시간에 가까운 빠른 처리를 할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

(2) 초음파 신호의 디지털 필터의 구성

초음파신호의 획득에서는 전기적 신호와는 달리 전자장의 잡음은 거의 받지 않지만, 외부의 다른 기계적인 잡음의 영향을 받는다. 그러나 초음파 신호의 측정은 센서에 의해서 측정되며 이 신호가 센서의 특성에 지배되기 때문에 이것은 신호 자체로부터는 차이를 알 수가 없다. 따라서 전기적 신호와 비교하여 잡음인가 아닌가를 구분하는 것이 필요하다.

초음파 센서로 측정하는 가장 큰 장점은 부분방전의 발생점을 측정신호간의 시간차로 알 수 있다는 것이다. 그러나 배경 잡음이 혼재된 상태에서 신호 입력의 위치를 정확하게 알기가 힘든 경우가 많다. 따라서 센서간에서 측정되는 시간차를 쉽게 구하는 것이 어렵다. 이에 평균화 처리를 실시하고 cross correlation 을 이용하여 측정되는 신호를 처리함으로서 이를 정확하게 확인할 수 있다.

(3) 개발된 부분방전 측정기

본 부분방전측정기는 휴대용 및 고정형으로 사용할 수 있도록 제작하였으며, 휴대형으로 사용할 경우는 컴퓨터의 병렬포트로 EPP mode의 통신방식으로 하는 것으로 하였고, 고정형으로 사용하는 경우 광방식의 RS 422 통신방식을 채용할 수 있도록 하였다. 이 장치의 단위 구성은 부분방전의 전류 측정을 할 수 있는 것이 2채널이고, 부분방전의 초음파를 측정할 수 있는 것이 4채널이다. 이들은 동시측정이 가능하며, 1회 측정에 60Hz 주파수의 3Cycle 정도를 측정할 수 있다. 이상과 같이 개발된 장치의 사진은 그림 4와 같다.

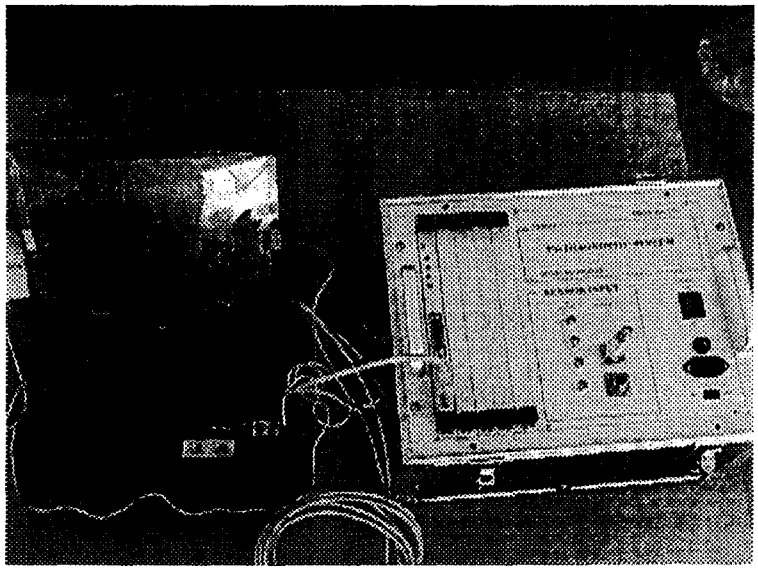

그림 4. 개발된 부분방전장치의 사진

2.4 측정결과

(1) 전기적 신호의 측정결과

전기적 측정신호에서 측정장치의 adaptive prediction 필터의 성능에 대하여 실험을 실시하였다. 입력신호는 연속적인 300kHz의 정현파와 펄스형 부분방전용 교정신호를 복합하여 입력하였다. 이와 같이 입력된 신호의 오실로그램은 그림 5이고, 샘플링 주파수는 20Ms/s로 하였다. 입력된 정현파의 크기는 0.2V(rms) 이고, 입력된 펄스의 크기는 0.2V(peak)이다.

그림 5의 입력신호에 대하여 prediction filter를 처리하면 그림 6과 같은 오실로그램을 얻을 수 있다. 이 결과는 정현적인 잡음 파형이 1/4 정도로 줄어들고 부분방전 신호는 약 30% 감소된 형태를 보여주고 있다.

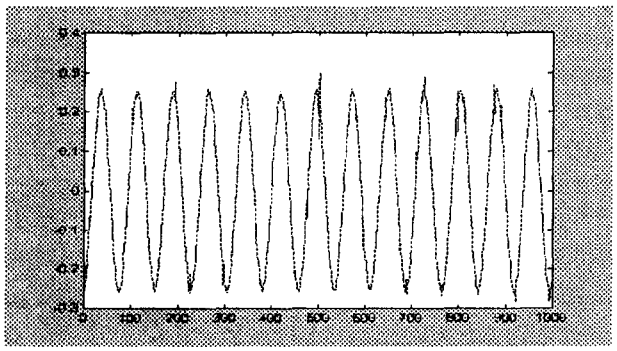

그림 5. 입력된 신호의 오실로그램

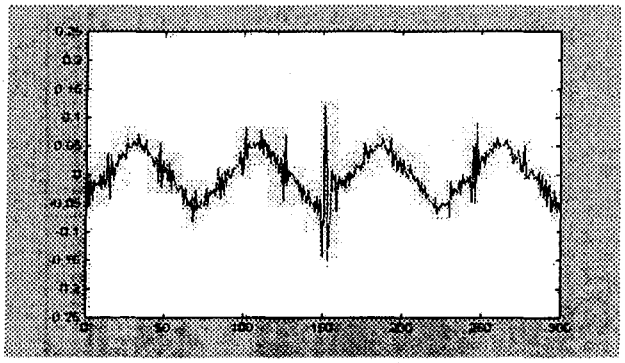

그림 6. 본 장치에 의해 필터된 결과

(2) 초음파적 신호의 측정결과

초음파 신호간의 시간차를 알기 위하여 그림 7과 같은 직경 1m인 철의 원판에 그림과 같이 3개의 센서를 설치하고 신호를 중심에서 1번 센서 방향으로 50mm 위치에서 발생시키고 이들의 파형을 동시에 측정하였다. 동시에 측정된 오실로그램은 그림 8과 같고 이의 신호를 전처리하여 상호상관관계를 계산하면 그림 9와 같은 결과를 얻었다. 이 결과는 실제의 거리차인 10cm와 거의 같은 결과로 계산되었다.

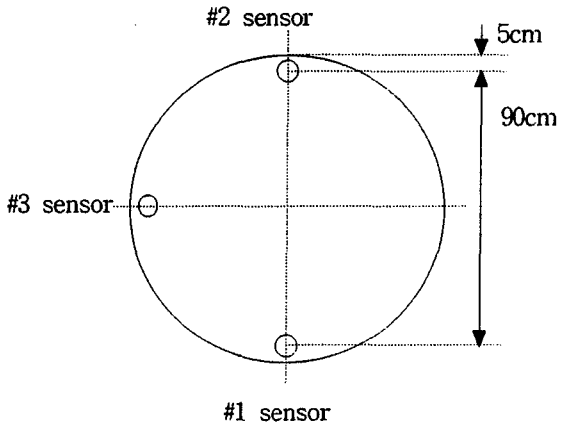

Fig. 7 Acoustic experimental setup

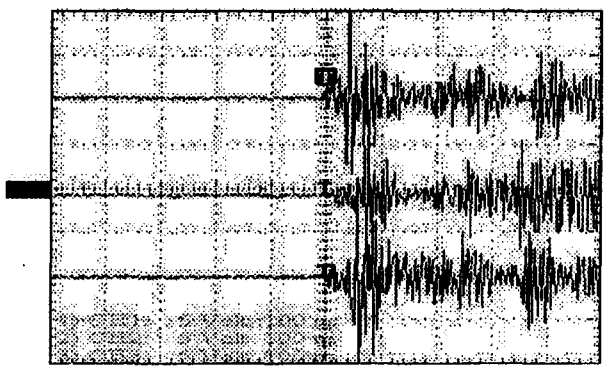

Fig. 8 The measured acoustic wave oscillogram

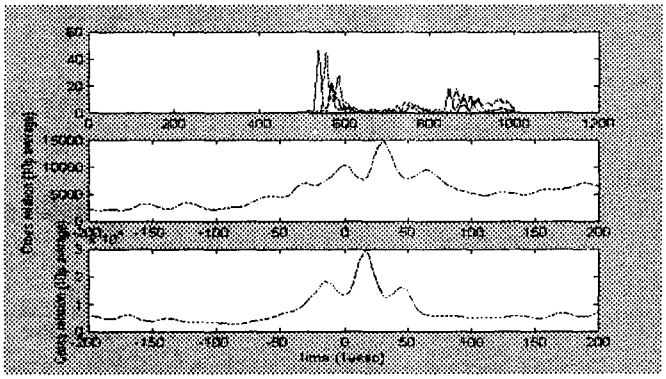

Fig. 9 The result of cross Correlation

3. 결 론

본 장치에서는 전기적 신호에 대하여 디지털 필터 방법에 의한 신호를 처리하였으며, 음향적 신호에 대하여 cross correlation을 실시하였다. 디지털 필터에 의해서 전기적인 잡음신호처리가 가능하였다. 그리고 초음파 신호에서 cross correlation을 처리하면 50mm 정도의 센서간의 거리차도 알 수 있어 부분방전의 발생위치를 찾는 데 쉽게 접근할 수 있고, 현장의 고장 발생의 적용에도 충분한 효과가 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

(1) Y. Narayama Rao, Partial discharge in electric power apparatus , Berlin and Offenbach, 1993

(2) IEC 270

(3) H. Borsi, E. Gockinbach, U. Schichler, Partial Discharge measurements under noisy condition. Possibilities and limits of digital noiserejection.

(4) J. Slangen, Investigation on acoustic emission techniques for locating partial discharge during
transformer testing , Elektro techiek 67, April, pp. 349-354, 1989