

# 복소유전률 측정장치의 연구개발 -(컴퓨터제어 복소유전률 측정장치)-

<sup>o</sup>남 정 략<sup>\*</sup> 엄 상 오<sup>\*</sup> 강 대 하<sup>\*</sup>  
\* 부산공업대학교 전기공학과

## A study on the computer-controlled measuring device of complex dielectric constant

J. R. Nam<sup>\*</sup> S. O. Eum<sup>\*</sup> D. H. Kang<sup>\*</sup>  
\* Pusan National University of Technology  
dept. of Electrical Engineering

**<ABSTRACT>** This paper is to study and realize a measuring device for complex dielectric constants. The device is consisted in order of interface unit, external RAM, programmable counter, D/A converter, measuring circuit, Sample & Hold circuit, A/D converter and related control circuits.

Various excitation waves are digitalized and sent to the 4096 static RAM by personal computer. These data saved in the RAM are converted to analog excitation waves through D/A converter.

The frequency of excitation wave is depend on the read-out speed of the RAM according to clock pulses. Such generated waves are applied to dielectrics under test and their responses are sampled and converted to digital data through A/D converter.

The computer takes the digital data and calculates finally the complex dielectric constants. The frequencies for measurement ranges from 0.04 Hz to 10 kHz.

### 1. 서 론

최근 전기적 기능재료로서 무기재료에서 세라믹스를 중심으로 활발히 연구가 진행되어 각종 트랜스듀서등 기계-전기 변환재료의 발달 및 응용이 첨단재료로서 다방면에서 취급되고 있다<sup>(1-4)</sup>. 한편 최근 소형, 경량화에 따라 가볍고 가공성이 좋으며 면적을 크게할 수 있는 고분자분야에도 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>(5-9)</sup>. 전기기능재료에 있어서 연구 및 이용 대상특성은 거의 모두 유전, 압전 및 초전특성이다. 유전체의 이러한 전기적 특성은 일반적으로 분자운동에 의한 쌍극자의 거동에 기인하며, 이러한 물성을 연구하기 위하여는 그 유전특성에 관한 연구가 필수적이라 할 수 있다.

물질의 유전특성을 분석하기 위해서는 온도에 따라 변화하는 유전특성 즉 온도-유전분산 특성과 주파수에 따라 변화하

는 유전특성 즉 주파수-유전분산 특성을 분석하지 않으면 안 된다. 이러한 유전특성 연구를 수행하기 위해서는 정확한 유전률 측정장치의 필요성은 두말할 나위도 없다.

우리나라에서 현재 사용하고 있는 유전률 측정장치는 거의 외국에서 도입된 장치로서 매우 고가이며, 모두 수동조작방식으로서 그 취급도 비능률적이며 불편한 점이 많다. 또한 기존의 측정장비는 거의 모두 고주파의 주파수범위를 대상으로 하고 있어 유전특성분석이 제한적이다. 그러나 이러한 유전률 측정장비를 컴퓨터에 인터페이스하여 그 데이터 취득 및 측정제어를 행하게 하면 측정시간 절약 및 정확한 데이터를 측정분석할 수 있다. 본 연구자들이 개발한 유전률 측정장치는 복소유전률을 측정할 수 있으며, 컴퓨터에 의하여 모든 조건(온도, 주파수등)을 제어 및 조절할 수 있으므로 매우 능률적이며, 데이터를 컴퓨터의 메모리에 저장할 수 있어 데이터 분석처리가 매우 유리하다. 더욱이 우리나라에서 널리 보급 사용되고 있는 IBM-PC에 호환성이 있는 장치이므로 그 설치에도 문제성이 없다.

또한 측정주파수 범위는 0.04Hz ~ 10kHz 이다.

### 2. 본 측정장치의 구체적 원리 및 구성

#### 2-1. 측정원리 및 측정장치

일반적으로 유전물질의 유전률 측정을 위하여는 시료의 양면에 평판전극을 붙여 평판 캐패시터의 형태로 하는 경우가 대부분이다. 평판 캐패시터의 정전용량과 유전률과의 관계는

$$C = (\epsilon S) / d \quad (2. 1)$$

또는

$$\epsilon = (d / S) C \quad (2. 2)$$

단, S는 전극면적, d는 극간거리

따라서 유전률을 측정하기 위하여는 캐패시턴스 C를 측정하면 된다. 편의상 정전용량 C를 복소량으로서

$$C = C' - j C'' \quad (2. 3)$$

로 정의하기로 한다. 여기서 C'는 일반적인 정전용량을

의미하며, C "는 캐패시턴스의 손실을 나타내는 상수로 볼 수 있다. 따라서 복소유전율과 관련시키면

$$\epsilon' - j\epsilon'' = (d/S)(C' - jC'') \quad (2.4)$$

로 쓸 수 있다.

또한 손실정수  $\tan\delta$  는

$$\tan\delta = (\epsilon'' / \epsilon') = (C'' / C') \quad (2.5)$$

로 나타낼 수 있다.

본 측정장치에 있어서 측정부의 주회로는 그림 1과 같다.

정현파 인가전압을

$$E = E \exp(j\omega t + j\theta) = E' + jE'' \quad (2.6)$$

OP AMP의 출력전압을

$$V_q = V_q' + jV_q'' \quad (2.7)$$

로 표현하면

$$i = j\omega C_x E = -(j\omega C_f + 1/R_f) V_q \quad (2.8)$$

그러므로

$$C_x = -C_f (V_q / E) (1 + (1/j\omega C_f R_f)) \\ = C_x' - jC_x'' \quad (2.9)$$

으로 표현된다. 따라서 본 측정장치에서는 인가전압 E와 OP AMP출력전압 Vq를 측정하여 미지 정전용량

$C_x = C_x' - jC_x''$ 를 계산한다. 그림 2는 측정장치의 전반적인 개략도를 나타낸다. 먼저 컴퓨터와 외부장치와의 데이터 송수신을 위해 인터페이스 유닛을 본 측정장치에 맞도록 설계 제작하였다.

컴퓨터에 의하여 디지털화한 정현파를 4096워드의 스테틱 RAM에 저장하고 이 RAM의 읽기에 의해 12bit DAC(DAC80-CBI-V)에 정현파 데이터를 보내면 DAC의 출력으로서 아날로그 정현파 전압이 얻어진다. 이 때 정현파의 주파수는 RAM의 읽기 속도에 의해 정해진다. 이를 위해 매우 안정하고 정확한 펄스를 제공하는 1MHz의 수정발진기와 프로그래머블 카운터 8253-5를 사용하여 필요한 주파수의 정현파를 얻을 수 있도록 설계하였다. 또한 다주파 파형을 얻기 위해 컴퓨터에 의하여 합성과 즉,

$$e = E_1 \sin \omega t + E_2 \sin 2\omega t + \dots \quad (2.10)$$

을 디지털화 하여 생성하고 RAM에 저장할 수 있도록 하였다. 따라서 이상의 설계로서 function generator의 기능을 수행하고 있는 셈이 된다.

이상과 같은 DAC의 출력을 적당한 필터를 거쳐 시료에 인가하면 그 응답 Vq와 인가전압 E를 동시에 샘플링 하기 위해 Sample & Hold소자를 설치하였다. 샘플링 타이밍은 한 파형에 대하여 512개의 데이터가 취해지도록 설계하였다.

이와 같이 샘플링 된 데이터는 멀티플렉서를 통해 차례로 E 및 Vq 가 12 bit ADC(ADC80AG-12)의 입력으로서 가해지며 디지털화된 데이터가 컴퓨터에 의해 취해진다. 이때 각각 1 개씩의 인가전압 및 전하앰프(charge amp.)의 출력전압 데이터를 컴퓨터 메모리에 저장할 때까지 걸리는 시간은 약 300μs이다. 따라서 취할 수 있는 최대 단일 기본주파수는 1/(300

μs x 512) = 6.5Hz로 제한된다. 그러나 기본주파수의 n배에 해당하는 디지털화된 데이터를 RAM에 저장함으로써 측정가능 단일 주파수 범위를 n배로 확대할 수 있다. 또한 잡음비(S/N 비)를 개선하기 위하여 동일 파형에 대하여 반복샘플링, 측정하여 이전의 데이터에 대하여 메모리에 저장할 수 있도록 하였다. 또 DAC의 출력은 디스크리트 스텝(discrete step)에서 발생하는 고조파성분이 포함된다. 이를 개선하기 위하여 차단(cutoff)주파수가 최대 생성주파수와 일치하는 능동필터(active filter)를 설치하였다. 또한 OP AMP의 오프셋(offset) 전압은 오차의 원인이 되므로 이를 개선하기 위해 컴퓨터에 취해진 데이터의 결과로부터 최대값 및 최소값을 구하여 평균을 취한다. 이 평균값이 오프셋전압이 되며, 이것을 상쇄시키기 위하여 보조 DAC를 통하여 그림 1과 같이 반대로 인가함으로써 해결할 수 있다. 또 측정시료의 정전용량에 따라 전하앰프의 응답전압이 달라져서 데이터 취득회로의 각 소자 등에 악영향을 미치거나 데이터의 오차를 유발할 우려가 있으므로 적절한 값으로 저감 또는 증대시킬 필요가 있다. 따라서 이를 위해 이득제어(gain control)을 행하도록 하여 인가전압 및 응답전압에 대하여 컴퓨터에 의해 2-6 V 범위로 자동 조정되도록 하였다. 또한 외부로부터의 잡음을 최소화하기 위하여 모든 회로 기판을 금속의함에 수용하였으며, 컴퓨터 외함과 함께 동전위를 유지하도록 하였다.

그림 3과 그림 4은 단일 주파수 및 다주파수의 파형에 대한 결과의 일례를 컴퓨터에 의해 plot한 것이다. 데이터의 샘플링은 임의의 시각에서 시작되므로 인가전압 E는 위상각을 갖게 된다. 또한 다주파전압 E 및 시료의 응답 Vq에 대하여 각각의 주파수성분을 분석하기 위해서는 디지털 푸리에변환을 하여야 한다.

또 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 피크 부분에 포함되어 있는 저레벨의 고조파성분도 디지털 푸리에변환을 행함으로써 분리 제거될 수 있다. 기본파의 k배 주파수에 대한  $E_k = E_k' + jE_k''$  및 응답  $V_{qk} = V_{qk}' + jV_{qk}''$ 의 디지털 푸리에 변환은 다음 식으로 주어진다.

$$E_k' = (1/N) \sum_{l=1}^{512} E(l) \cos(2\pi k l/N) \quad (2.11)$$

$$E_k'' = (1/N) \sum_{l=1}^{512} E(l) \sin(2\pi k l/N) \quad (2.12)$$

$$V_{qk}' = (1/N) \sum_{l=1}^{512} V_q(l) \cos(2\pi k l/N) \quad (2.13)$$

$$V_{qk}'' = (1/N) \sum_{l=1}^{512} V_q(l) \sin(2\pi k l/N) \quad (2.14)$$

단, E(l) 및 Vq(l)는 디지털 데이터

따라서 이상과 같이 구한  $E_k$  및  $V_{qk}$ 를 식(2.9)에 대입함으로써  $C_k = C_k' - jC_k''$ 의 값을 계산할 수 있다. 이와 같이 하여 계산한 값은 필터등의 위상특성 때문에  $\tan\delta$  값이 잘 맞지 않는다. 따라서 기존의 측정장치 또는 캐패시터의 결과에 맞도록 위상보상을 해 주지 않으면 안된다. 본 측정장치에서는 기존의 측정장비(HEWLETT PACKARD HP4277A) 및 표준캐패시터(HEWLETT PACKARD CS-0.01)에 의하여 보정을 행

하였다.

### 2-2. 측정예

그림 5은 마이카콘덴서(103J), PZT 및 VDF/TrFE의 정전용량 및  $\tan\delta$  값을 주파수에 대하여 Plot한 것이다(측정온도 20°C). 그림에서 알 수 있는 바와 같이 마이카 콘덴서의 경우 10kHz 이상의 주파수에서  $\tan\delta$  값이 0.5이하로서 매우 양호한 손실특성을 나타내고 있다. VDF/TrFE 및 PZT의 경우 1kHz 이상에서  $\tan\delta$  값이 증가하는 추세를 보이고 있다. VDF/TrFE 공중합체의 경우는  $T_c$ 가 80°C 근방으로서  $T_c$ 와 관련한 유전완화 현상으로 추정할 수 있으나 PZT의 경우는 불분명하다.

1Hz 이하의 경우 주파수 감소와 함께  $\tan\delta$  값이 급증하는 현상을 보이고 있으며, 이것은 불순물 이온등에 의한 전도현상으로 풀이할 수 있다.

### 3. 결론

이상과 같은 이론 및 장치구성으로서 P.C에 의한 각종 제어 및 data취득을 행할 수 있는 복소유전률 측정장치를 실현하였다.

### 参考文献

- 1). 尾上 : 日本音響學會 講演 論文集, 11, 1964
- 2). B. Jaffe : Academic Press, 1971...
- 3). H. Banno : Ferroelectrics, Vol. 18, 1083.
- 4). 김용혁, 김호기, 이덕출 : 대한전기학회, 36, 7, 1987.
- 5). R. G. Kepler and R. A. Anderson : J. App. Phys. 49(8), August 1978.
- 6). J. P. Zook and S. T. Liu : J. Appl. 49(8), August 1978.
- 7). T. Yagi et al : Polymer Journal, Vol. 12, No. 4, 1980.
- 8). 이덕출, 강대하, 김재호, 진경시 : 대한전기학회, 37, 5, 1988.
- 9). 이덕출, 강대하 : 대한전기학회, 38, 6, 1989.
- 10). T. Furukawa et al : J. J. Appl. Phys., 26, 7, 1987.
- 11). hamon, b. v. : Proc. Instn. Electr. Engrs., 99, 1952.
- 12). Hyde, R. C. : Proc. Instn. Electr. Engrs., 117, 1970.

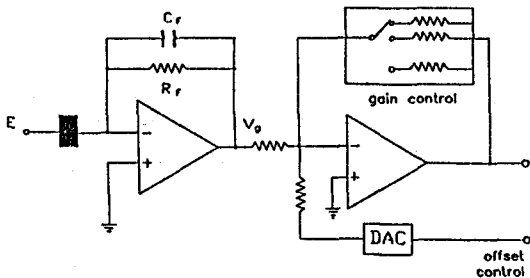


Fig.1 Main experimental circuit

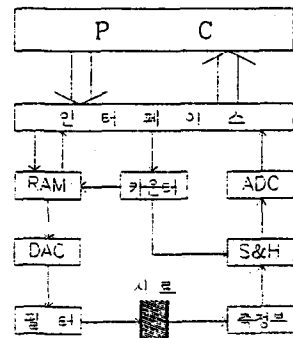


Fig.2 The entire block diagram of the experimental device

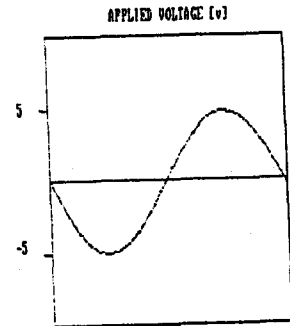


Fig.3 Applied voltage wave of single frequency

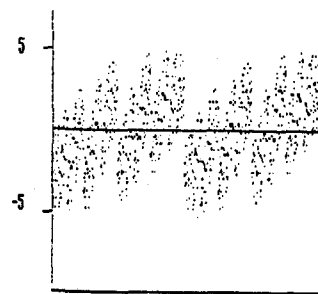


Fig.4 Applied voltage wave of multifrequency

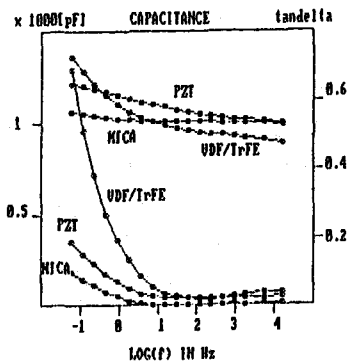


Fig.5 The experimental results for dielectrics(20°C)