論 文
6-6-6

복소유전률 측정장치의 연구개발 (컴퓨터제어 복소유전률 측정장치)

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

남 징 락*, 엄 상 오**, 강 대 하***
(J. R. Nam, S. O. Eum, D. H. Kang)

요 약

본 연구는 복소유전률 측정장치의 실현을 목표로 한 것이다. 본 장치는 인터페이스 유니트, 외부 RAM, 프로그래머블 카운터, D/A 콘버터, 측정회로, S&H 회로, A/D콘버터 및 기타 제어회로로 구성하였다.

컴퓨터에 의해 여러 종류의 파형이 디지털화 하여 생성되며, 4096워드의 외부 스태틱 RAM에 전송된다. 이와같이 RAM에 저장된 데이타는 D/A콘버터에 의하여 아날로그 전압파형으로 변환된다. 이 전압파형의 주파수는 클럭펄스에 의한 RAM의 읽기 속도에 좌우된다. 이와같이 생성된 전압파형이 유전체에 인가되며, 이 인가전압과 함께 유전체의 응답전압이 샘플링되어 A/D콘버터에 의해 디지털 데이터로 변환된다. 컴퓨터는 응답전압 및 인가전압을 취하게 되며, 마지막으로 복소유전률을 계산한다.

본 측정장치의 측정주파수 범위는 0.04Hz- 10kHz이다.

Abstract

This paper is to study and realize a measuring device for complex dielectric constants. The device consists 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 datas 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 pulse. 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 range from 0.04 Hz to 10 kHz.

* : 부산공업대학교 산업대학원
** : 부산공업대학교 전기공학과
***: 부산공업대학교 전기공학과
接受日字: 1993年 9月 13日

1. 서 론

최근 전기적 기능재료로서는 무기재료에서 세라믹스를 중심으로 활발히 연구가 진행되어 각종 트렌스듀서 등 기계-전기 변환 재료의 발달 및 응용이 첨단재료로서 다방면에서 취급되고 있다.[1-4] 한편 최근 소형, 경량화에 따라 가볍고 가공성이 좋으며 면적을 크게할 수 있는 고분자재료에도 연구가 활발히 진행되고 있다.[5-9] 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 변화하는 유전특성 즉 주파수-유전분산 특성을 분석하지 않으면 안된다. 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 수동조작 방식으로서 그 취급도 비능률적이며 불편한 점이 많다. 또한 기존의 측정장비는 대부분 고주파의 주파수범위를 대상으로하고 있어 유전특성 분석이 제한적이다. 그러나 이러한 유전률 측정장비를 컴퓨터에 인터페이싱하여 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. 더우기 우리나라에서 널리 보급 사용되고 있는 IBM-PC에 호환성이 있는 장치이므로 그 설치에도 문제성이 없다.

또한 측정주파수 범위는 0.04kHz~10kHz 이다.

2. 복소유전률

진공정전용량 C_0인 캐패시터의 전극사이에 유전물질을 삽입하였을 때의 정전용량이 C로 증가하였다고 가정한다. 이때 이 유전물질의 서셉티빌리티(susceptibility)는 다음 식으로 정의된다.

$$\chi' = (C-C_0)/C_0 = C/C_0 \qquad (2.1)$$

또한 유전률은 다음 식으로 정의된다.

$$\varepsilon' = C/C_0 \qquad (2.2)$$

따라서 서셉티빌리티와 유전률 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$\chi' = \varepsilon' - 1 \qquad (3.3)$$

한편 유전물질에 전압을 인가하면 충전전류 I_0는 인가전압 E에 대하여 $\pi/2$ 만큼 진상이 되나 {그림 1(a),(b)}, 동상성분의 전류도 흐르게 된다. 이 동상성분의 전류는 캐패시터의 도전성 손실을 의미한다. 그러므로 서셉티빌리티와 유전률은 일반적으로 복소량으로서 취급하는 것이 편리하다.

교류회로에서의 유전체를 고려하기로 한다. 인가전압 E에서의 진공정전용량 C_0의 캐태시터를 유전물질로 채울 경우 정전용량

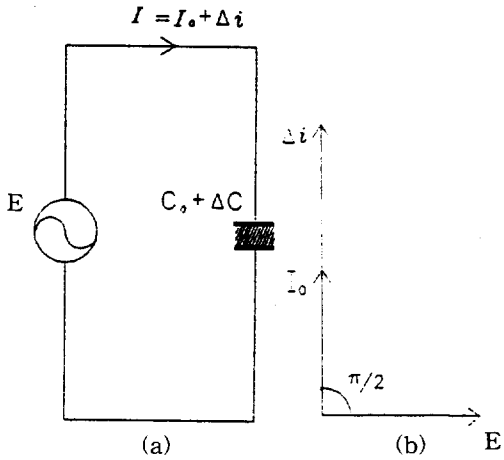


그림 1 무손실 캐패시터
(a) 등가회로
(b) 전압과 전류관계

Fig. 1 A capacitor filled with loss-free dielectric
(a) equivalent circuit
(b) relation between voltage and currents

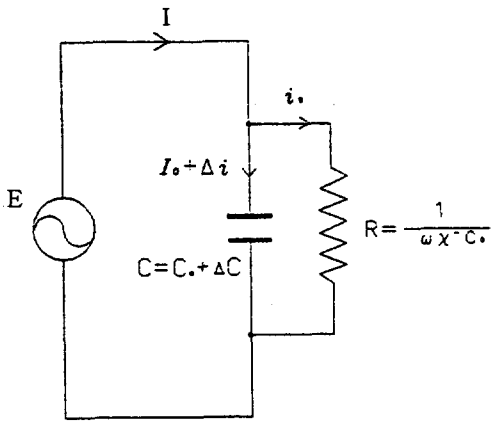


그림 2 유손실 캐패시터의 등가회로
Fig. 2 The equivalent circuit of a capacitor filled with a lossy dielectric

의 증분은 $\nabla C = \nabla q/E$ (2.4)

의 관계가 성립한다. 이때 주파수 f의 인가전압을

$E = E\exp(j\omega t)$ (2.5)

단, $\omega = 2\pi f$

라 하면 유전물질을 통해 흐르는 전류의 증분 ∇i는

$\nabla i = d(\nabla q)/dt = \nabla C(dE/dt) = j\omega \nabla C E$
$= \nabla i_0 \exp[j(\omega t+\pi/2)]$ (2.6)

단 $\nabla i_0 = \omega \nabla C E$

가 된다. 이 식은 캐패시터의 전류가 인가전압에 대하여 $\pi/2$ 만큼 앞섬을 의미하며, 손실이 없는 경우를 나타낸다. 유손실 유전물질로 채워진 캐패시터의 경우는 인가전압과 동상성분의 전류가 흐르며, 이 경우의 등가회로 및 벡터도는 그림 2 및 그림 3과 같다.

이 동상성분의 전류를 $i_s = E/R$ 이라 하면 캐패시터의 전류증분은

$\nabla I = \nabla i + i_s = (j\omega \nabla C + I/R)E$ (2.7)

로 나타낼 수 있으며, 이것이 일반적인 경우이다. 따라서 전류증분 ∇I는 인가전압에 대하여 $\pi/2$ 이하의 위상차를 가지며 저항 R은 유전체의 손실을 등가적으로 나타낸다. 그러므로 서셉티빌리티는 복소량으로서 취급함이 편리하며 다음과 같이 정의된다.

$\chi = \chi' - j\chi''$ (2.8)

따라서 전류증분을 서셉티빌리티와 관련

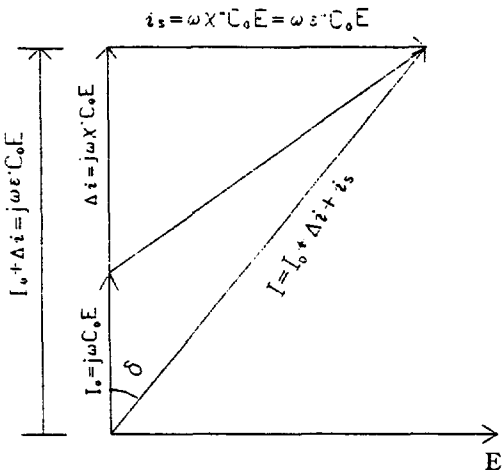


그림 3 유손실 캐패시터의 전압과 전류관계
Fig. 3 The relation between voltage and currents for a capacitor filled with a lossy dielectric

지어 표현하면

$\nabla I = j\omega\chi C_0 E = (j\chi'+\chi'')\omega C_0 E$ (2.9)

로 되며 도전률 σ는

$\sigma = \omega\chi''$ (2.10)

로 정의 된다. 일반적으로는 유전특성을 대표하는 량으로서 서셉티빌리티 대신에 유전률을 사용하는 경우가 많다. 이 유전률은 복소량으로서 다음과 같이 정의 된다.

$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon''$ (2.11)

한편 캐패시터의 전전류 I는

$I = I_0+\nabla i+i_s$ (2.12)

로 나타낼 수 있다. 이 전류 I와 복소유전률을 관련시키면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$I = j\omega\varepsilon C_0 E = (j\varepsilon'+\varepsilon'')\omega C_0 E$ (2.13)

손실각 δ에 대한 탄젠트값은

$\tan\delta = i_s/(I_0+\nabla i) = 1/(\omega RC)$ (2.14)
$= \varepsilon''/\varepsilon'$

로 나타낼 수 있다. 한편 복소서셉티빌리티와 복소유전률과의 관계는

$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' = (\chi'+1) - j\chi''$ (2.15)

로 주어진다.

3. 복소유전률의 일반적 측정이론

복소유전률의 측정법에는 일반적으로 브

릿지법, 공진법, 시간역법등이 알려져 있으나, 본 측정장치는 시간역법을 이용하였으므로 이에 대한 일반적 이론을 우선 간략하게 소개하고자 한다.

유전체를 포함한 캐패시터에 일정전압을 인가하면 유전체에는 과도적인 충전전류가 발생하지만 그 형은 평형분극이 달성되는 속도에 의존한다. 원리적으로는 이 속도와 등가인 진동수 대역에서 유전체의 거동을 시간의존의 응답으로 부터 푸리에 적분변환에 의해 얻을 수 있다.

푸리에 적분은 시간대역에 있어서 하나의 과도적 신호로 부터 모든 각각의 고조파성분을 산출해 내는 것이다. 시각 t=0에서 계단전압 V_0를 인가한 콘덴서(진공용량 C_0)중의 선형유전체에 대하여 복소유전률은 일반적으로

$$\varepsilon^*(\omega)=\frac{1}{C_0V_0}\int_0^\infty I(t)e^{-j\omega t}dt \qquad (3-1)$$

단, I(t): 시각 t에서의 과도적 충전전류

로 주어진다. 실제로는 과도전류는 원자 및 전자분극에 대응하는 순간적인 초기펄스와 연이어 나타나는 완화적 쌍극자 배향 과정에 의한 감쇄전류로 되어 있다. 만약 유전체가 어느정도 도전성을 갖고 있으면 정상전류도 존재할 것이다. 따라서 식(3-1)은

$$\varepsilon^*(\omega)=t^\infty+\frac{1}{C_0V_0}\int_0^\infty I(t)e^{-j\omega t}dt-j\frac{G}{\omega C_0} \qquad (3-2)$$

단, G: DC콘덕던스

로 된다. 과도전류 데이터의 완전 푸리에 변환은 매우 광법위한 수치계산을 해야 한다. 따라서 두가지의 근사법이 종종 사용되어 왔다.

Hamon(1952)[11]근사법으로 알려져 있는 최초의 방법은 과도전류가

$$I(t)=At^{-n}\ :(0.5<n<1) \qquad (3-3)$$

에 따른다는 가정에 근거를 두고 있다. 이 식은 과도전류곡선의 어느 한정된 부분에서는 실험적으로 정확함이 인정되고 있다. Hamon은 유전손실, 즉 유전률의 허수부가 근사적으로

$$\varepsilon''(\omega)=\frac{I(t)\cdot t}{0.632C_0V_0} \qquad (3-4)$$

로 주어진다는 사실을 확인하였다. 이 결과는 진동수 ω에 대한 푸리에 변환에서의 중요한 기여가 $t=1/\omega$시각에서의 과도전류와 관련된다는 사실을 반영하고 있으며, 고분자에 있어서 전형적인 Debye형 완화과정에 대하여 아주 정확하다. 또 하나의 근사법으로서는 Hyde(1970)[11]에 의하여 주어지는 방법이다. 이 방법은 과도전류의 시간적분 q(t)의 상승은 log(t)에 대하여 보통 완만하다고 하는 실험적 사실에 기초를 두고 있다. 그러므로 log(t)의 눈금상에서 등간격으로 q(t)를 측정함으로서 넓은 진동수 범위에 걸쳐 과도현상의 경제적인 기록을 행할 수 있다.

Debye완화과정의 고유폭(진동수 반치폭=1.14 decade)을 고려하면 데이터 점간의 간격을 log2(즉 $t_{n+1}/t_n=2$)로 취하여 적절한 시간분할을 줌으로써 컴퓨터에 의한 데이터 처리를 용이하게 할 수 있다. 시간폭을 $2^{(n+1)/2}t_1$에서 $2^{(n+1)/2}t_2$까지 정의하고 전하 증가를 $\nabla q(n)$, $t_1=1/\omega$로 선택하면 고속 푸리에 변환은 다음 식으로 쓸 수 있다.

$$\varepsilon'(\omega)=\sum_{p=0}^{\infty}\nabla q(n)\cdot x(n) \qquad (3-5)$$

$$\varepsilon(\omega)=\sum_{p=0}^{\infty}\nabla q(n)\cdot y(n) \qquad (3-6)$$

단, $n=2^p$

x(n), y(n): 진동수 ω에 대한 일정계수

실제로는 변환식의 최초의 수 항 만 필요하다.

$\varepsilon^*(\omega)$에 있어서 제 5항만으로 1%의 정도를 달성할 수 있다. 실제적 측정부 회로는 그림 4의 전하증폭기[10]와 같은 회로(단 R_f는 고저항)를 사용할 수 있으며 전하증폭기의 출력전압은

$$V_q(t)=-\frac{1}{C_f}\int_0^\infty I(t)dt=-\frac{Q(t)}{C_f} \qquad (3-7)$$

로 된다.

4. 측정장치의 구체적 원리 및 구성

일반적으로 유전물질의 유전률 측정을 위하여는 시료의 양면에 평판전극을 붙여 평판 캐패시터의 형태로 사용하며, 정전용량과 유전율과의 관계는

$$C = (\varepsilon S)/d \qquad (4\text{-}1)$$

또는

$$\varepsilon = (d/S)C \qquad (4\text{-}2)$$

단, S는 전극면적, d는 극간거리

로 주어진다.

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

$$C = C' - jC'' \qquad (4\text{-}3)$$

로 정의하기로 한다. 여기서 C'는 일반적인 정전용량을 의미하며, C''는 유전체의 손실을 나타내는 상수로 볼 수 있다. 따라서 복소유전률과 관련시키면

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - j\varepsilon'' = (d/S)(C' - jC'') \qquad (4\text{-}4)$$

로 쓸 수 있다.

또한 손실정수 $\tan\delta$는

$$\tan\delta = (\varepsilon''/\varepsilon') = (C''/C') \qquad (4\text{-}5)$$

로 나타낼 수 있다.

본 측정장치에 있어서 측정부의 주회로는 그림 4와 같다.

정현파 인가전압을

$$E = E\exp(j\omega t + j\theta) = E' + jE'' \qquad (4\text{-}6)$$

전하증폭기의 출력전압을

$$Vq = Vq' + jVq'' \qquad (4\text{-}7)$$

로 표현하면

$$i = j\omega C_x E = -(j\omega C_f + 1/R_f)Vq \qquad (4\text{-}8)$$

그러므로

$$C_x = -C_f(Vq/E)(1/j\omega C_f R_f) = C_x' - jC_x'' \qquad (4\text{-}9)$$

으로 표현된다. 따라서 본 측정장치에서는 인가전압 E와 전하증폭기의 출력전압 Vq를 측정하여 미지 정전용량

$C_x = C_x' - jC_x''$ 및 복소유전률 $\varepsilon^* = \varepsilon' - j\varepsilon''$를 계산한다. 그림 5는 측정장치의 전반적인 개략도를 나타낸다. 먼저 컴퓨터와 외부장치와의 데이터 송수신을 위해 인터페이스 유니트를 본 측정장치에 맞도록 설계 제작하였다.

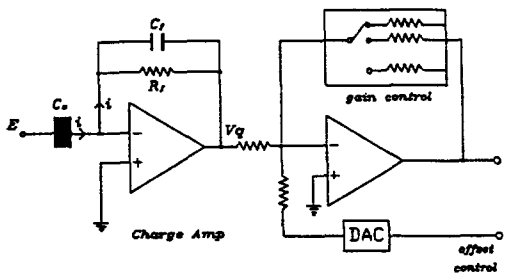


그림 4 측정부의 주회로

Fig. 4 Main circuit of measuring part

컴퓨터에 의하여 디지탈화한 정편파를 4096워드의 스태틱RAM에 저장하고 이 RAM의 읽기에 의해 12bit DAC에 정현파 데이터를 보내면 DAC의 출력으로서 아날로그 정편파 전압이 얻어진다. 이 때 정현파의 주파수는 RAM의 읽기 속도에 의해 정해진다. 이를 위해 컴퓨터의 내부클럭 또는 외부의 수정발진기와 프로그래머블 카운터를 사용하여 필요한 주파수의 정현파를 얻을 수 있도록 설계하였다. 또한 다주파 파형을 얻기 위해 컴퓨터에 의하여 합성파 즉,

$$e = \sum_{n=0}^{n} E_n \sin p\omega t, \quad p = 2^n \text{ 또는 } p = 3^n \qquad (4\text{-}10)$$

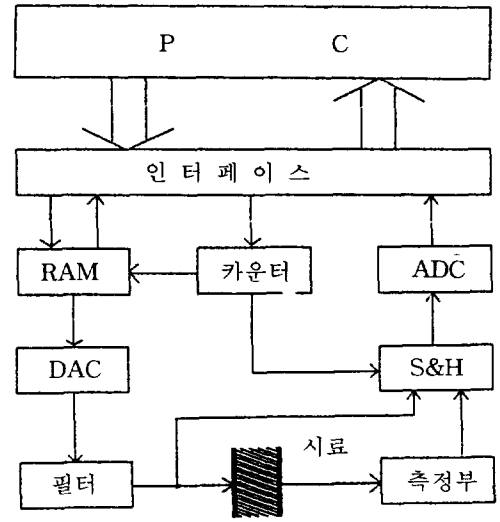


그림 5 측정장치의 전반적인 개략도

Fig. 5 Entire block diagram of the measuring device

을 디지탈화 하여 생성하고 RAM에 저장할 수 있도록 하였다. 따라서 이상의 설계로서 파형합성기의 기능을 수행하고 있는 셈이 된다.

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

이와같이 샘플링 된 데이터 E 및 Vq는 2개의 12bit ADC 입력으로서 각각 가해지며, 디지탈화된 데이터가 차례로 컴퓨터에 의해 취해진다. 이때 각각 1개씩의 인가전압 및 전하증폭기의 출력전압 데이터를 컴퓨터 메모리에 저장할 때까지 걸리는 시간은 약 300μs이다. 따라서 취할 수 있는 최대 단일 기본주파수는 1/(300μs x 512) = 6.5Hz로 제한된다.

그러나 기본주파수의 n배에 해당하는 디지탈화된 데이터를 RAM에 저장함으로써 측정가능 단일 주파수 범위를 n배로 확대할 수 있다. 또한 잡음비(S/N 비)를 개선하기 위하여 동일 파형에 대한 반복샘플링을 행하고, 이전의 데이터에 더하여 컴퓨터의 메모리에 저장할 수 있도록 하였다. 또 DAC의 출력은 디스크리트 스탭(discrete step)에서 발생하는 고주파성분이 포함된다. 이를 개선하기 위하여 차단(cutoff)주파수가 최대 생성주파수와 일치하는 능동필터(active filter)를 설치하였다. 또한 OP AMP의 옵셋(offset)전압은 오차의 원인이 되므로 이를 개선하기 위해 컴퓨터에 취해진 데이터의 결과로 부터 최대값 및 최소값을 구하여 평균을 취한다. 이 평균값이 옵셋전압이 되며, 이것을 상쇄시키기 위하여 보조 DAC를 통하여 그림 4와 같이 반대로 인가함으로써 해결할 수 있다. 또 측정시료의 정전용량에 따라 전하증폭기의 응답전압이 달라져서 데이터 취득회로의 각 소자등에 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 2~6V범위로 자동 조정되도록 하였다. 또한 외부로부터의 잡음을 최소화 하기 위하여 모든 회로 기판을 금속외함에 수용하였으며, 컴퓨터 외함과의 접지를 통하여 동전위를 유지하도록 하였다.

그림 6과 그림 7은 단일 주파수 및 다주파수의 파형에 대한 결과의 일례를 컴퓨터에 의해 도시한 것이다. 데이터의 샘플링은 임의의 시각에서 시작되므로 인가전압 E는 위상각을 갖게 된다. 또한 다주파전압 E 및 시료의 응답 Vq에 대하여 각각의 주파수성분을 분석하기 위해서는 디지탈 푸리에변환을 하여야 한다.

또 그림 6에서 알 수 있는 바와 같이 저레벨의 고조파성분이 다소 포함되어 있으나 디지탈 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 디지탈 푸리에 변환은 다음 식으로 주어진다.

$$Ek' = (I/N) \sum_{I=1}^{N} E(I)\cos(2\pi kI/N) \quad (4-11)$$

$$Ek'' = (I/N) \sum_{I=1}^{N} E(I)\ \sin(2\pi kI/N) \quad (4-12)$$

$$V_{qk}' = (I/N) \sum_{I=1}^{N} Vq(I)\ \cos(2\pi kI/N) \quad (4-13)$$

$$V_{qk}'' = (I/N) \sum_{I=1}^{N} Vq(I)\ \sin(2\pi kI/N) \quad (4-14)$$

단, E(I) 및 Vq(I)는 디지탈 데이터, N=512 따라서 이상과 같이 구한 E_k 및 V_{qk}를 식(4-9) 및 (4-4)에 대입함으로서 $C_k=C_k-jC_k''$ 및 $\varepsilon^*=\varepsilon'-j\varepsilon''$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 표준캐패시터(HEWLETT PACKARD CS-0.01)에 의하여 보정을 행하였다.

이상과 같은 장치를 구동시키기 위한 프

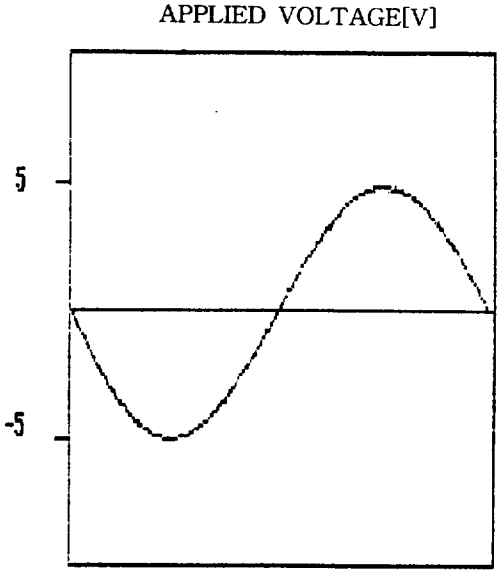


그림 6 단일 주파수의 전압파형
Fig. 6 The voltage wave with a single-frequency

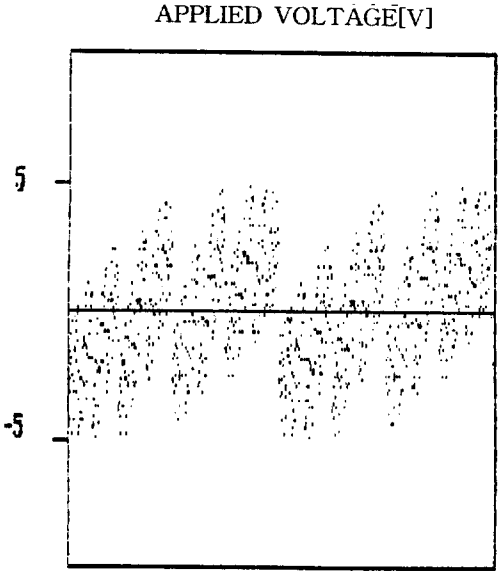


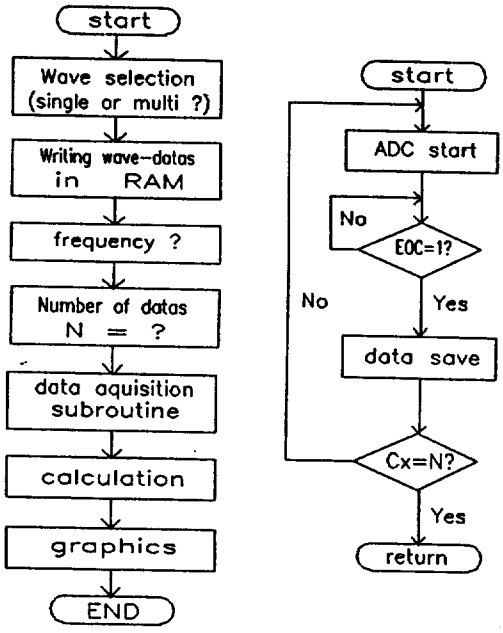
그림 7 다주파수의 전압파형

$$(e=\sum_{n=0}^{7}E_n\sin p\omega t,\quad p=2^n)$$

Fig. 7 The voltage wave with a multi-frequency

$$(e=\sum_{n=0}^{7}E_n\sin p\omega t,\quad p=2^n)$$

로그램의 프로우차트(흐름도)는 그림 8과 같다. 주 프로그램은 배이직언어를 사용하였으며 데이터 취득 프로그램은 속도가 요구되므로 어셈블리언어를 사용하여 주프로그램에 링크시켰다.



(a) (b)

그림 8 프로그램의 흐름도
(a) 주프로그램
(b) 데이터 취득 프로그램

Fig. 8 The flowchart of program
(a) main program
(b) data aquisition subroutine

5. 측정 및 결과

유전률 및 정전용량의 주파수 분산특성 및 온도 분산특성을 측정하기 위하여는 온도 콘트롤러가 필요하다. 본 측정장치에서는 온도콘트롤러로서 HY-P100(한영(주))과 자체 제작한 온도콘트롤러를 동시 사용하였다. HY-P100은 자동 튜닝 PID제어가 가능하며 제어전력은 200W로 하였다.

자체 제작한 온도콘트롤러의 제어전력은 100W로 하였으며, 컴퓨터에 의해 PID연산 및 제어를 행할 수 있도록 설계 제작 하였다. 그림 9는 이 온도콘트롤러의 전반적인

개략도를 나타낸다.

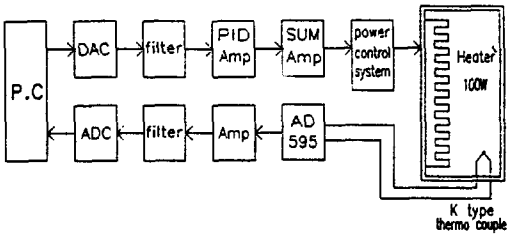


그림 9 온도콘트롤러의 개략도

Fig. 9 A block diagram of temperature controller

그림 10은 VDF/TrFE공중합체의 온도유전분산특성실험을 위해 달성한 시간-온도변화를 30초간격으로 도시한 것이다. 최종온도(150℃)에서 30분 동안 유지되도록 하였으나 최종온도에 도달한 후 약 15분동안은 2℃이상 높은 값으로 나타났으며, 그 이후에는 오차범위가 1℃이하로 유지되었다. 따라서 일정온도에서 행하는 주파수 유전분산특성 실험에서는 세팅온도에 도달한 후 20분후에 실험을 행하였다.

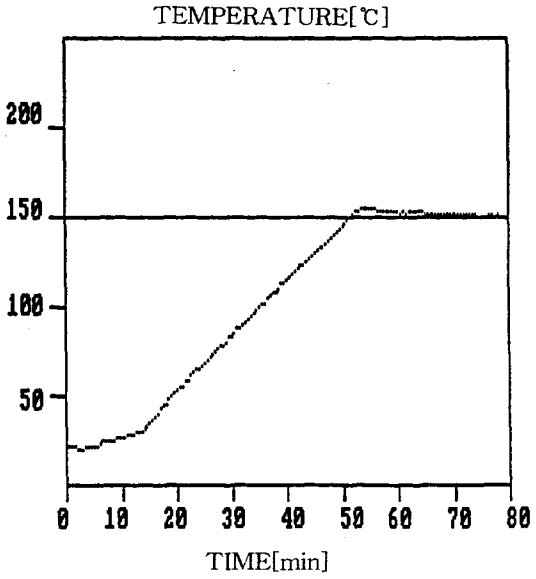


그림 10 온도콘트롤러에 의한 시간-온도 제어예

Fig. 10 Example of time-temperature control by the temperature controller

그림 11은 마이카캐패시터(103J), PZT (Zr/Ti=0.53/0.47), VDF/TrFE(65/35)공중합체의 정전용량 및 tanδ값에 대한 주파수 분산특성을 나타낸 것이다. 마이카캐패시터의 경우 정전용량이 주파수에 대하여 거의 일정한 값(1000pF)을 나타내고 있으며 tan δ값은 약 10Hz이상에서 0.005이하로서 매우 양호한 손실특성을 나타내고 있다.

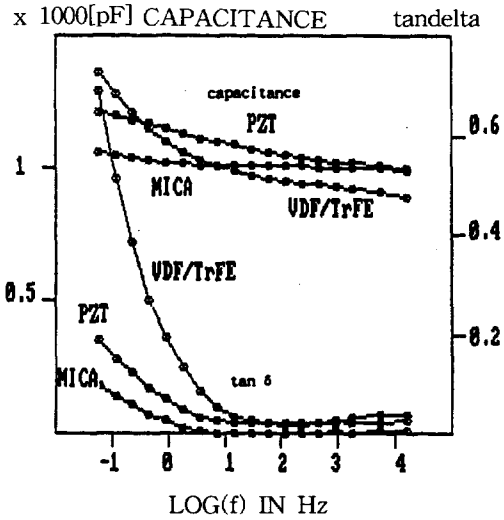


그림 11 캐패시턴스 및 tan δ의 주파수변화 측정예
(시료: Mica capacitor, PZT,VDF/TrFe, 20℃)

Fig. 11 Change of capacitance and tan δ for various frequencies

이 시료들에 대한 정전용량 및 tanδ값을 1kHz에 대하여 기존의 측정장비(HEWLETT PACKARD HP4277A)에 의하여 확인해 본 결과 거의 잘 일치함을 알 수 있었다.

또한 각 시료에 있어서 저주파영역에서 정전용량 및 tanδ의 증가는 공간전하분극 및 직류전도현상인 것으로 추정된다. 그림 12는 VDF/TrFE공중합체에 대한 복소유전률의 주파수특성을 나타낸 것이다. 전극은 알루미늄 증착전극이며, 면적 10.28mm^2, 시료 두께 1.5μm이다. 약 100Hz의 유전율(실수부)의 값은 약 14정도로서 문헌(12)에 보고된 값과 잘 일치하고 있다. 허수부의 경우 약 1kHz이상의 주파수 영역에서 증가추세를

보이고 있어 더욱 높은 고주파영역에서 유전완화(dielectric relaxation)현상이 일어나는 것으로 추정된다.

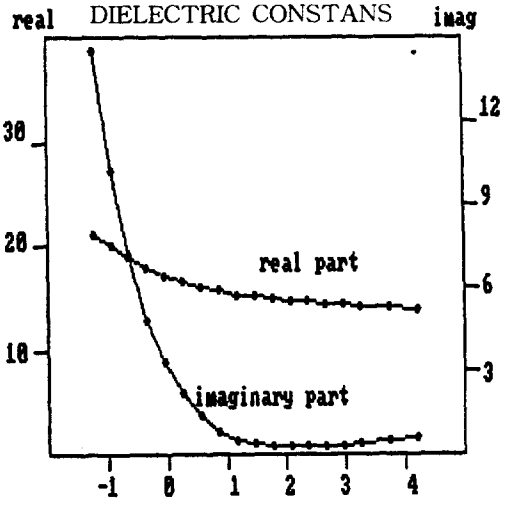


그림 12 VDF/TrFe 공중합체의 주파수- 유전분산 특성(20℃)

Fig. 12 Frequency dielectric dispersion of VDF/TrFe copolymer at 20℃

그림 13은 20℃~140℃범위의 온도 유전분산특성을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 실수부의 경우 약 100℃, 허수부의 경우 70℃~80℃부근에서 peak현상을 나타내고 있다. 따라서 이 현상은 유전완화특성을 나타낸 것으로 볼 수 있으며, 이 공중합체의 상전이온도(Tc)가 약 70℃부근에 존재하는 것으로 보고[13]되어 있으므로 상전이와 관련된 유전완화인 것으로 사료된다.

그림 14는 각 온도별 주파수 유전분산특성을 나타낸 것이다.

실수부의 경우 100℃까지는 온도의 증가와 함께 증가하고 있으나 120℃의 경우는 100℃의 경우보다 낮은 값을 나타내고 있다. 이 경우도 온도 유전분산의 경우와 마찬가지로 성전이와 관련된 것으로 생각된다.

5. 결 론

복소유전률의 이론 및 측정원리를 기본으

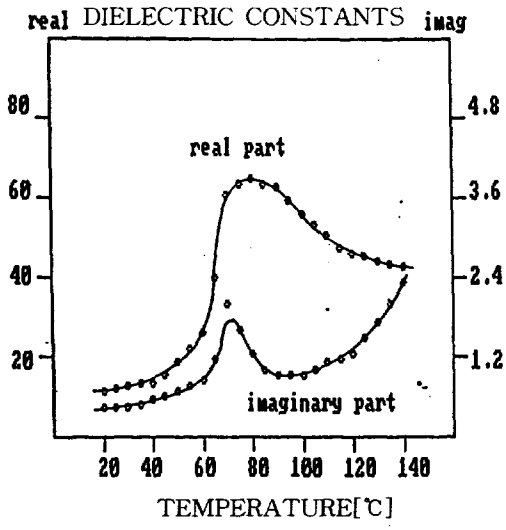


그림 13 VDF/TrFe 공중합체의 온도-유전분산 특성(986Hz)

Fig. 13 Temperature dielectric dispersion of VDF/TrFe copolymer in 986Hz

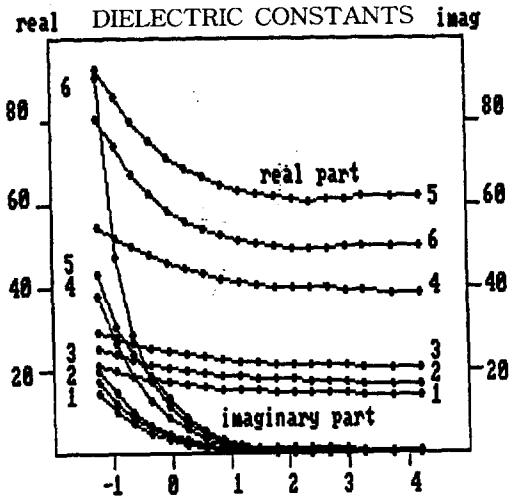


그림 14 각종 온도에서의 주파수-유전분산 특성
(1:20℃, 2:40℃, 3:60℃, 4:80℃, 5:100℃, 6:120℃)

Fig. 14 Frequency dielectric dispersions of VDF/TrFe copolymer for various temperatures
(1:20℃, 2::40℃, 3:60℃, 4:80℃, 5:100℃, 6:120℃)

로 하여 복소유전률 측정장치를 구성하였다.

컴퓨터와 측정계와의 데이터 송수신을 위하여 인터페이스 유니트를 자체 제작하였고, 인가전압파형의 데이터를 저장하기 위한 외부 RAM, 주파수를 결정하기 위한 컴퓨터의 내부클럭 또는 수정발진기 및 프로그래머블 카운터, DA콘버터, 측정회로, 필터회로, 샘플링회로 및 AD콘버터등으로 장치를 구성하였다. 또한 이 장치를 컴퓨터에 의하여 각종제어를 행할 수 있도록 하였다.

이상과 같이 설계 제작된 장치로써 VDF/TrFE, 마이카 캐패시터 및 PZT에 대한 정전용량과 tanδ를 측정한 값과 기존의 장비에 의한 측정값을 비교하여 좋은 일치 결과를 얻었고, VDF/TrFE에 대한 유전률의 주파수 유전분산 및 온도 유전분산을 측정한 결과 기 보고된 데이터와 근사한 값을 나타내었으며, 분석결과에서도 타당성 있는 특성이 얻어졌다.

※ 이 논문은 1992년도 교육부 지원 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. T.Furukawa et al. "Electromechanical Properties in the Composite of Epoxy Resin and PZT ceramics", J.Appl. Phys. Japan, Vol. 15, 11, pp.2119-2129, 1976
2. B.Jaffe et al, "Piezoelectric Ceramics", Academic Press, London and Newyork, 1971
3. H.Banno, "Recent Developments of Piezoelectric Ceramic Products and Composite of Synthetic Rubber and Piezoelectric Ceramic Particles", Ferroelectrics, Vol. 50, pp. 3-12, 1983
4. 김용혁, 김호기, 이덕출, "PZT/Epoxy o-3형 복합재료의 압전특성에 관한 연구", 대한전기학회, Vol.36.7, 1987
5. R.G.Kepler and R.A.Anderson, "Piezoelectricity Pyroelectricity in Poly Vinylidene fluoride", J.App.Phys.49(8), pp. 4490-4494,8,1978
6. J.D.Zook and S.T.Liu, "Pyroelectric effects", J.Appl.49(8), pp.4604-4606,8,1978
7. T.Yagi et al, "Transition Behavior and Dielectric Properties in trifluorethylene and Vinylidene fluoride Copolymers", Polymer Journal, Vol.12, No.4, pp.209-223, 1980
8. 이덕출, 강대하, 김재호, 진경시, "폴리불화비닐리덴의 전기물성에 관한 기초연구", 대한전기학회, 37권, 5, 1988
9. 이덕출, 강대하, "VDCN공중합체의 선형유전특성",대한전기학회, 38권, 6, pp.416-423, 1989
10. T.Furukawa et al, "Measurements of Nonlinear Dielectricity in Ferroelectric Polymers" ,J.J.Appl.Phys.Vol.26, No.7, pp.1039-1045,7, 1987
11. A.R.Blythe, "Electrical Properties of Polymers", Cambridge University Press, 1979
12. Masayuki Ohuchi et al, "Ferroelectric Relaxation in a 65/35 mol% Copolymer of Vinylidene Fluoride and Trifluoroethylene", J.J.Appl.Phys.22, 8, 1983
13. 古川猛夫, "高分子科學最近の進步-高分子强誘電體",高分子 36卷,pp.868-871, 12, 1987