

전기용량식나노변위측정체계의 안정성

권철호, 석철남

나노과학과 나노기술연구에서는 나노급에서의 조종과 나노측정 및 가공수단이 중요한 역할을 하며 여기서 나노급변위량이나 위치를 정확히 측정하는 문제가 절박한 과제로 나서고있다.

선행연구[1, 3]에서는 등전위차폐기술을 리용한 용량식나노변위측정체계의 원리와 측정방법에 대하여 고찰하였다.

우리는 전기용량수감부를 리용한 나노변위측정체계의 정밀성과 안정성문제를 고찰하였다.

전기용량측정기구는 정밀도와 안정성이 높은 측정대상에 리용하는 기구로서 그자체의 안정성지표가 매우 높을것을 요구한다. 그중에서도 잡음신호와 온도요동 등 불리한 영향을 없애는것이 기구설계에서 반드시 해결하여야 할 문제이다.

전기용량측정기구에서 콘덴사극판사이의 거리 h 에 따르는 출구전압 V_0 을 구하는 기본공식은 다음과 같다.[1]

$$V_0 = \frac{V_S C_S}{\epsilon S} h \quad (1)$$

여기서 V_S 는 신호원전압, C_S 는 표준콘덴사용량, ϵ 는 수감부전극과 측정대상물사이 매질의 유전률, S 는 수감부의 유효면적이다.

식 (1)에서 출구전압이 오직 대상물의 측정거리에 따르는 함수로 되자면 파라미터 V_S , C_S , ϵ , S 들이 환경조건에 따라 변하지 않는 상수여야 한다.

측정대역이 $50\mu\text{m}$ 이고 출구전압의 표시한계가 10V인 측정기구의 분해능은 다음과 같이 얻어진다.

$$K = \frac{V_0}{h} = \frac{V_S C_S}{\epsilon S} = 0.2\text{mV/nm} \quad (2)$$

체계의 출력이 1nm에서 안정할것을 요구한다면 변위가 $50\mu\text{m}$ 일 때 상대안정성은 다음과 같이 된다.

$$W_K = \frac{1}{50 \times 10^3} = 20\text{ppm} \quad (3)$$

그러므로 V_S , C_S 등 전기회로파라미터의 안정성은 반드시 20ppm보다 떨어지지 말아야 하며 ϵ , S 등 환경파라미터영향도 이 범위까지 퇴치되어야 한다.

이로부터 환경조건에 따르는 파라미터들의 안정성문제를 고찰하였다.

① 유전률(ϵ)의 안정성

온도와 습도에 따르는 수감부에서의 유전률변화는 체계의 특성에 영향을 미칠수 있다.

그림 1에 온도와 습도에 따르는 공기의 유전률변화곡선을 보여주었다.[2]

그림 1에서 보는바와 같이 온도가 $0\sim 40^\circ\text{C}$ 에서 변할 때 유전률은 수십~수백ppm의 상대변화량을 가지는데 이 값은 기구안정성지표보다 큰 값이다.

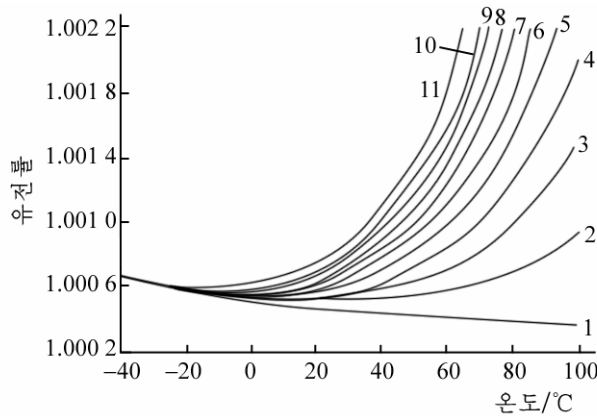


그림 1. 온도와 습도에 따르는 공기의 유전률변화곡선
1-11은 습도가 각각 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100%인 경우

특히 습도에 따르는 상대변화량이 더 크므로 설계에서 수감부에 피막을 입혀 환경변화에 안정하도록 하였다.

② 수감부구조정수의 안정성

수감부구조정수인 유효측정면적(S)의 크기는 온도의 영향을 받는다. 그러므로 수감부를 설계할 때 열팽창계수가 작은 재료를 선택하여야 한다. 측정기구에서는 수감부재료를 열팽창계수가 작은 불수강을 리용하였으며 항온조건에서 짧은 시간에 측정하여 이 문제를 해결하였다.

③ 표준콘덴샤용량(C_S)의 안정성

표준콘덴샤용량으로 고정밀 1pF사기콘덴샤를 리용[1]하였을 때에는 온도요동으로 인한 측정오차가 심하게 나타났다. 이를 극복하기 위해 정의 온도계수와 부의 온도계수가 나타나는 2개의 1pF 탄탈콘덴샤를 선정하여 그것들을 병렬로 연결시켜 근사적으로 평온도계수를 가진 콘덴샤를 형성하였다.(그림 2) 이때 다음의 식이 성립한다.

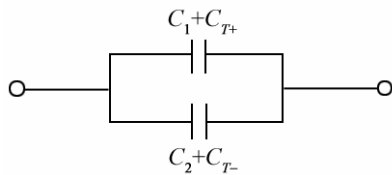


그림 2. 평온도계수를 가진 콘덴샤 구성방안

$$C_S = C_1 + C_{T+} + C_2 + C_{T-} \quad (4)$$

식 (4)에서 C_{T+} , C_{T-} 의 용량값은 절대값에서 같으며 부호는 반대이므로 C_S 값을 일반적으로 5~15ppm/°C의 범위내에서 조절할수 있다.

④ 기준전압(V_S)의 안정성제고

측정체계에서 정밀안정발전기는 연산증폭회로가 요구하는 기준전압을 만드는데 리용되는데 발전기에서 출력되는 진폭의 안정성은 측정값의 정확성을 평가하는 중요한 지표로 된다.

이전 발전기회로에서는 정밀기준전압공급원을 리용할 때 부분품의 출력진폭값의 안정도가 0~70°C 온도구역에서 35ppm이었다.

개선된 기구에서는 연산증폭소자(O_1)의 전원공급을 전압안정2극소자식 고정밀도전압소자(《LM399》)로 보장하였다.(그림 3) 이 소자를 함침하고 항온회로를 보충하여 온도표류에 대한 안정도를 1ppm/°C이하로 떨구었다.

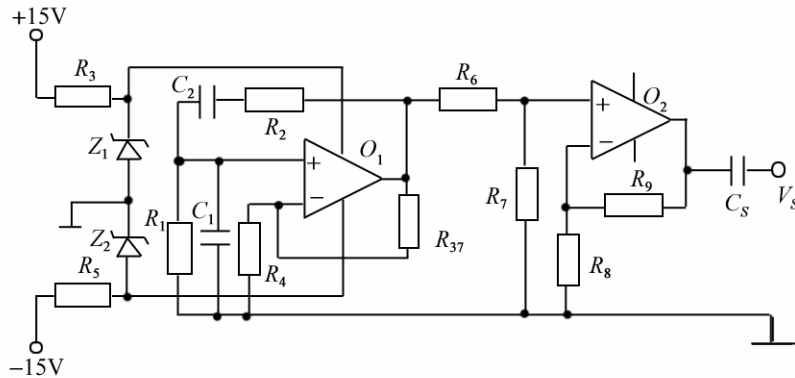


그림 3. 새로 개선된 발진기회로의 원리도

이와 같이 등전위차폐기술을 리용한 기구에서의 잡음방지능력이 높아졌고 동시에 기구의 총적인 구조설계에서 수감기와 주증폭기회로, 표준콘덴샤는 모든 바깥잡음을 막는데 리용되었다.

맺 는 말

기구파라메터들에 대한 안정성분석을 진행한데 기초하여 수감부에 온습도변화방지용 피막을 입히고 열팽창계수가 작은 재질로 수감부전극을 만들었다. 또한 정의 온도계수와 부의 온도계수를 가지는 2개의 1pF탄탈콘덴샤를 병렬로 연결하여 표준콘덴샤로 리용하고 기구전원과 발진기 등 주요회로를 개선하여 측정기구의 안정성문제를 해결하였다. 이 기구는 미소변위량뿐만아니라 비평면도, 비원형도, 두께, 진동, 힘 등의 미세한 변화를 비접촉식방법으로 측정하는데 리용할수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 신영제 등; 나노과학기술, 6, 16, 주체101(2012).
- [2] 최영남 등; 유전체분극 및 손실특성과 그 응용, 김책공업종합대학출판사, 114, 주체106(2017).
- [3] 徐熙平 等; 长春理工大学学报, 33, 2, 54, 2012.

주체109(2020)년 6월 5일 원고접수

Stability of the Capacitive Nano Displacement Measuring System

Kwon Chol Ho, Sok Chol Nam

We analyzed various factors affecting the stability of the nano displacement measuring system using capacitance sensor, then improved power source, oscillator and so on, so that we solved the problem of stability of the system.

Keywords: capacitance sensor, displacement measurement, stability