

손실이 있는 강유전체의 전기리력측정 개선에 대한 연구

리 근 남

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《새로 개발한 극소형전자계산기에 쓰이는 전자요소와 전자재료들의 특성을 개선하고 자급률을 높이며 프로그램을 적극 개발하고 전자계산기의 리용분야를 넓혀나가도록 하여야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제15권 486페이지)

강유전체의 전기리력특성은 강유전체의 물성연구와 응용에서 중요한 자리를 차지한다.

현재 강유전체의 전기리력특성측정에는 Sawyer-Tower회로가 널리 리용되고있는데 전도손실이 있는 강유전체의 리력곡선으로부터 특성량을 정확히 평가하기는 어렵다.

전도손실이 큰 경우에는 리력곡선의 첨두부분이 둥그러지면서 자발분극을 계산할수 없게 되므로 선행연구[2]에서는 자발분극을 주지 못하고 잔류분극만 주었다. 이로부터 손실을 고려한 보상회로를 Sawyer-Tower회로에 첨부하는 여러가지 방법이 제기되었지만 회로가 복잡하고 각이한 주파수에서 측정해야 하며 걸어주는 전압에 따라 시편의 저항이 달라지는 조건에서 손실은 정확히 보상할수 없다는 부족점이 있다.[3]

본문에서는 보상회로가 없이 컴퓨터결합에 의한 전기리력곡선측정[1]에서 프로그램적으로 위상보정을 실현하여 간단히 전기리력특성량들을 정확히 측정할수 있는 방법을 제기하였다.

보통 강유전체시편은 용량성저항뿐아니라 큰 전도성저항도 가지고있으므로 저항 R 와 콘덴사 C_x 의 병렬회로로 등가시킬수 있다.(그림 1)

그림 1에서 C_0 , C_1 , C_2 는 선형용량으로서 용량 값이 주어져있다.

전도손실이 없는 강유전체시편의 경우 즉 그림 1에서 저항 R 가 없는 경우에는 오실로그래프의 X 축에 걸린 전압(C_2 에 걸린 전압)과 Y 축에 걸린 전압(C_0 에 걸린 전압 $U'_0 = C_x U / (C_x + C_0)$)사이에는 위상차가 생기지 않는다.

이 경우에는 리력곡선으로부터 정확히 자발분극을 비롯한 기타 특성량들을 측정할수 있다. 그러나 전도손실이 전혀 없는 재료는 드물며 대다수의 강유전체재료는 약간의 전도손실을 가지므로 리력곡선모양이 달라진다.

강유전체의 자발분극은 리력곡선의 꼭두점에서 접선을 그어 Y 축과 사귀는 점으로부터 구하는데 위상차가 커짐에 따라 리력곡선의 모양이 심하게 달라지므로 자발분극을 정확히 측정하려면 위상차를 반드시 고려하여야 한다.

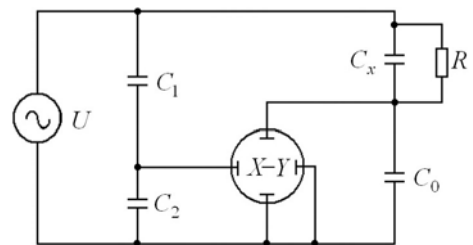


그림 1. 강유전체의 리력곡선측정회로

전도손실을 가진 강유전체에 대하여 그림 1의 회로를 분석하면 전원전압이 U 인 경우 C_0 과 C_x 에 흐르는 전류는 다음과 같다.

$$I = \frac{U}{\frac{X_x R}{X_x + R} + X_0} \quad (1)$$

여기서 $X_x = \frac{1}{j\omega C_x}$, $X_0 = \frac{1}{j\omega C_0}$ 이다.

콘덴사 C_0 에 걸린 전압은

$$U_0 = I \cdot X_0 = \frac{(1 + \omega^2 R^2 C_x^2) \{ [\omega^2 R^2 C_x (C_0 + C_x) + 1] - j\omega R C_0 \} \cdot \frac{C_x + C_0}{C_x} \cdot U'_0}{[\omega^2 R^2 C_x (C_0 + C_x) + 1]^2 + \omega^2 R^2 C_0^2} \quad (2)$$

과 같다.

식 (2)로부터 저항 R 가 존재하는것으로 하여 U_0 과 U'_0 사이에는 위상차(φ)가 생기고 U_0 은 U'_0 보다 커진다는것을 알수 있다.

이때 생기는 위상차는 다음과 같다.

$$\tan \varphi = - \frac{\omega R C_0}{\omega^2 R^2 C_x (C_0 + C_x) + 1} \quad (3)$$

전도성저항이 존재하는 경우와 존재하지 않는 경우 C_0 에 걸리는 전압비 U_0/U'_0 와 위상차를 강유전체시편의 전기저항과 유전률을 변화시키면서 보았다.(그림 2, 3)

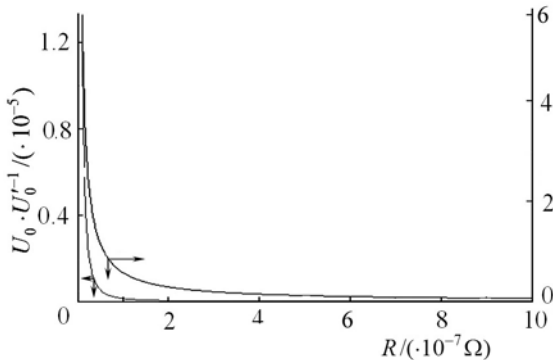


그림 2. 전기저항에 따르는 전압과 위상차변화($\epsilon = 2000$)

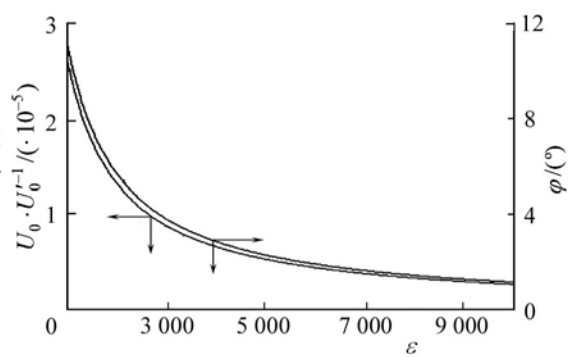


그림 3. 유전률에 따르는 전압과 위상차변화($R = 10M\Omega$)

강유전체의 리력곡선은 파괴마당근방의 아주 높은 전기마당에서 측정한다.

이런 높은 전기마당에서는 전기마당의 세기에 따라 전기저항과 유전률이 크게 차이난다.

리력곡선자체가 전기마당의 세기에 따라 분극이 비선형적으로 변한다는것을 보여주므로 유전률도 변한다는것을 알수 있다.

계산에서 전원주파수는 60Hz, 시편의 크기는 두께 1.1mm, 직경 14.5mm로, C_0 은 $2\mu F$ 로 설정하였다.

그림 2, 3으로부터 전기저항과 유전률에 따라 위상차는 크게 나타나지만 저항이 있는 경우와 없는 경우의 전압비는 큰 차이가 없으며(10^{-5} 정도) 결국 위상차만 고려하면 된다는것을 알수 있다.

또한 전기저항과 유전률에 따라 위상차가 변하므로 전기마당을 증가시킬 때 위상차에 대한 보정은 회로적인 방법으로가 아니라 프로그램적인 방법으로 자동조종해야 한다는것을 알수 있다.

우리는 오실로그래프대신에 컴퓨터결합에 의하여 리력곡선을 측정하면서 X 와 Y 신호의 위상차를 검출하고 자동적으로 위상밀림을 실현하는 프로그램을 작성하여 위상보정을 하였다. 여기서 위상밀림은 X 와 Y 신호의 위상차만큼 어느 한 신호를 이동시켜 X 와 Y 신호의 극대점을 일치시키는 방법으로 실현한다.

위상차(φ)가 존재하는 경우에 PZT강유전체의 리력곡선은 그림 4와 같고 그로부터 구한 특성량들은 표와 같다.

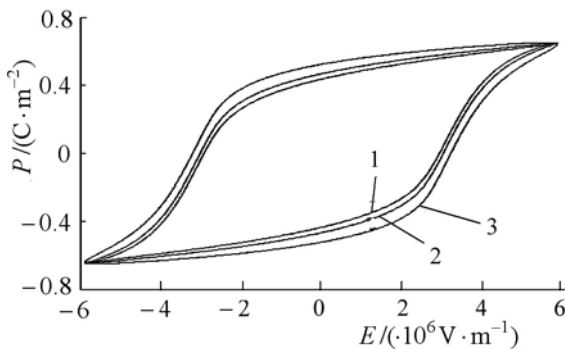


그림 4. PZT강유전체의 전기리력곡선

1-3은 각각 $\varphi=0, 4.9, 14.7^\circ$ 일 때

표. 전기리력곡선으로부터 구한 특성량들

$\varphi/^\circ$	P_s $/(C \cdot m^{-2})$	P_r $/(C \cdot m^{-2})$	E_c $/(MV \cdot m^{-1})$	$\tan \delta$
0	0.452	0.434	2.91	0.469
4.9	0.539	0.467	3.00	0.522
14.7	0.645	0.524	3.19	0.632

표에서 P_s 는 자발분극, P_r 는 잔류분극, E_c 는 보전마당, $\tan \delta$ 는 리력손실이다.

표에서 보는바와 같이 위상차가 큰 경우 즉 손실이 큰 경우에는 리력곡선으로부터 구한 특성량값들이 크게 나타난다.

위상차를 줄이여 $\varphi=0$ 인 경우의 특성량들이 강유전체의 고유한 특성값들을 반영한다.

같은 시편이라 해도 전기마당을 변화시킬 때 위상차는 달라지므로 자동적으로 위상보정하여 리력곡선을 현시하게 하였다.

결국 보상회로를 첨부하지 않고 프로그램적인 방법으로 위상을 자동적으로 보정하여 리력곡선을 정확히 측정할수 있게 하였다.

맺 는 말

전도손실이 있는 강유전체의 전기리력곡선을 정확히 측정하는 새로운 방법을 제기하였다.

높은 전기마당에서는 강유전체시편의 전기저항과 유전률이 변하며 그것에 따라 위상차도 변하므로 측정전기간에 위상보정을 하여야 한다.

리력곡선측정회로의 X 와 Y 신호의 위상차를 측정하고 프로그램적으로 보정하여 전도손실을 고려한 정확한 리력곡선을 측정하였다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 54, 9, 64, 주체97(2008).
- [2] N. Jaitanong et al.; Ferroelectrics Letters, 38, 11, 2011.
- [3] S. C. Das et al.; Ferroelectrics Letters, 38, 78, 2011.

주체103(2014)년 7월 5일 원고접수

Advanced Measurement of Lossy Ferroelectric Hysteresis Loops

Ri Kun Nam

We report a new method for accurately measuring lossy ferroelectric hysteresis loops.

In the method, electric hysteresis loops were accurately measured without compensation circuit by coupling a computer to Sawyer-Tower circuit and measuring phase difference between X and Y signals, then shifting the phase.

Key words: ferroelectric, electric hysteresis