

부임피던스 회로를 이용한 두께 진동 모드 압전 진동자의 특성제어

황 성 필*, 김 무 준**, 하 강 열**

*부경대학교 대학원 음향진동공학과, **부경대학교 물리학과

Characteristics Control of Thickness Vibration Mode Piezoelectric Vibrator Using Negative Impedance Converter Circuit

Sung-Phil Hwang*, Moo-Joon Kim**, Kang-Lyeol Ha**

*Dept. of Acous. & Vib. Eng. in Pukyong National University.

**Dept. of Phys. in Pukyong National University.

(E-mail: sweetheart94@hanmail.net)

요 약

전극분할 된 횡진동 모드 압전 진동자에 NIC 회로를 적용한 특성제어 방법을 두께 진동 모드 압전 진동자에 적용하여 그 가능성을 확인해 보았다. 동일한 특성을 가진 두 개의 두께 진동 모드 압전 진동자를 분극방향이 서로 마주보게 제작한 다음, NIC 회로를 적용하여 그 실험결과를 PSpice 모델을 이용한 시뮬레이션과 비교하였다.

그 결과 NIC 회로의 저항 R_i 의 변화에 따라 두께 진동 모드 압전 진동자의 품질계수는 제어되었으며, NIC 회로를 적용하지 않은 경우보다 품질계수가 약 18.9배 정도 향상되었다.

점차 확대되고 있다. 그러나 그 사용목적에 따라 높은 큐리온도(curie temperature), 좋은 주파수 안정성, 낮은 기계적 피로도 그리고 높은 전기·기계 결합계수 및 품질계수(quality factor) 등이 요구되어 지고 있다. 따라서 이러한 성능개선을 위한 연구들이 진행되고 있으며, Y. I. Ko 등이 전극분할 된 횡진동 모드 압전 진동자에 연산증폭기(OP-Amp)를 이용한 Negative Impedance Converter(NIC) 회로를 적용하여 압전 진동자의 품질계수를 향상시킨 바가 있다.^{(1),(2)}

이에 본 연구에서는 NIC 회로를 이용한 특성 개선방법을 두께 진동 모드 압전 진동자에 적용하여 그 특성 개선 가능성을 확인해보았다.

1. 서 론

PZT계 압전 세라믹과 같은 압전 세라믹 진동자는 압전성 및 전기·기계 결합특성이 우수하여 액츄에이터(actuator), 초음파 진동자, 통신용 필터 등에 핵심소재로 사용될 뿐만 아니라 최근에는 압전 변압기를 이용한 압전 인버터와 압전 안정기까지 그 응용분야와 수요가

2. 이 론

두께 진동 모드를 이용한 압전 진동자의 구조는 Fig 1과 같다. 압전 진동자의 분극은 두께방향이고, 두 장의 압전 진동자는 분극방향이 서로 마주보게 제작되었으며, 사용된 압전 진동자의 특성은 동일하다. Fig 1에서

1-1'은 압전 진동자에 구동전원이 인가되는 입력단을 나타내고 있으며, 2-2'은 연산증폭기(OP-27)를 이용한 NIC 회로가 연결되어 압전 진동자의 특성을 제어하는 제어단을 나타내고 있다.

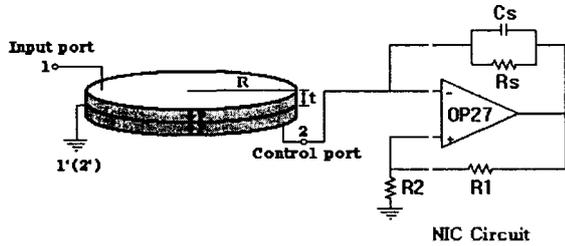


Fig 1. Thickness vibration mode piezoelectric vibrator with NIC circuit

Fig 1의 압전 진동자를 분포동가회로로 나타내면 Fig 2.(a)와 같이 나타낼 수 있으며, L_o' 과 L_o 는 각각 압전 진동자의 음의 제동용량 $-C_0$ 를 고려한 것이다.^[3] 이 동가회로를 집중동가회로로 나타내면 Fig 2.(b)와 같이 R_m , L_m , C_m 로 나타낼 수 있고, 트랜스포머 양단의 L_o' 과 L_o 를 정리하면 Fig 2.(c)와 같이 나타낼 수 있다.

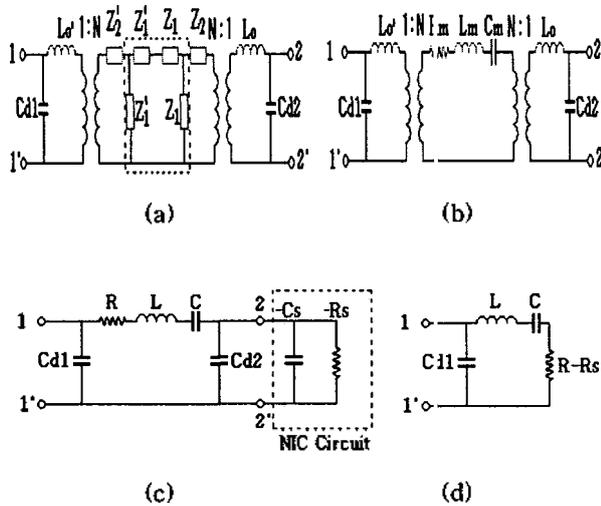


Fig 2. Equivalent circuit of piezoelectric vibrator with NIC circuit

Fig 1에 연결된 NIC 회로의 입력 어드미턴스는 (1)식과 같이 나타낼 수 있으며, 여기서 저항 R_1 과 R_2 의 값을 동일하게 놓으면 NIC 회로의 입력 어드미턴스는 $-(j\omega C_s + 1/R_s)$ 로 표현되기 때문에 이 negative elements를 등가소자로 나타내면, Fig 2.(c)의 점선 부분과 같이 $-C_s$ 와 $-R_s$ 가 압전 진동자에 병렬로 연결된 형태가 된다.

$$Y_{IN} = -\frac{R_1}{R_2} \left\{ j\omega C_s + \frac{1}{R_s} \right\} \quad (1)$$

따라서, $-C_s$ 와 $-R_s$ 은 각각 제동용량 Cd2와 등가저항 R을 소거하므로 Fig 2.(d)와 같이 나타낼 수 있고, 압전 진동자의 품질계수는 (2)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = \frac{\omega L}{R - R_s} \quad (2)$$

3. 시뮬레이션 및 실험방법

Fig 3은 NIC 회로가 연결된 압전 진동자를 PSpice^{[4],[5]} 모델로 나타낸 것이며, 저항 R_o 는 계측기의 내부저항을 고려한 것이다. 시뮬레이션 방법은 1 [V_s]의 교류전원을 구동전압으로 인가하고 주파수를 327~339 [kHz]까지 변화시키면서, NIC 회로의 저항 R_s 의 변화에 따른 압전 진동자의 입력 어드미턴스를 저항 R_o 에 걸리는 전압과 전류의 비로 시뮬레이션 하였다.

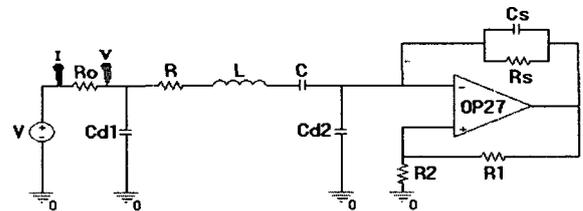


Fig 3. PSpice model of piezoelectric vibrator with NIC circuit

Fig 4는 NIC 회로가 연결된 압전 진동자의 전기적 특성을 측정하기 위한 장치도로서, NIC 회로의 저항 R_s 의 변화에 따른 압전 진동자의 입력 어드미턴스를 입력단에 연결된 Network Analyzer(R3754A)로 측정하였다.

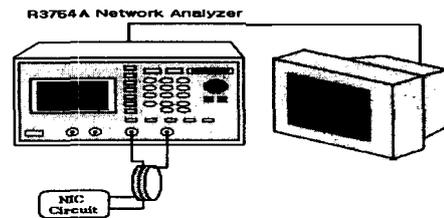


Fig 4. Schematic of input admittance measurement

아래의 Table 1은 시뮬레이션 및 실험에서 사용된 압전 진동자의 상수값을 나타내고 있다.

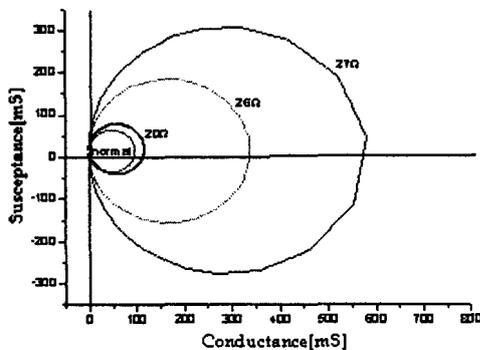
Table 1. Equivalent circuit constants of the vibrator

Items	Values
Radius	25.0 [mm]
Thickness	3.05 [mm]
Density	7975.45 [kg/m ³]
Center frequency	332.21 [kHz]
Equivalent resistance	32.464 [Ω]
Equivalent capacitance	58.857 [pF]
Equivalent inductance	3.845 [mH]
Clamped capacitance Cd1	5.988 [nF]
Clamped capacitance Cd2	6.012 [nF]

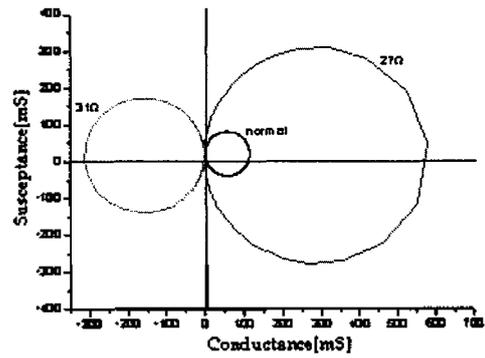
4. 시뮬레이션 및 실험결과

NIC 회로가 연결된 압전 진동자의 저항 R_s 의 변화에 따른 입력 어드미턴스의 시뮬레이션 및 실험결과를 Fig 5와 Fig 6에 나타내었다. 단 Cd2와 C_s 는 동일한 값을 가지며, normal은 두께 진동 모드 압전 진동자를 전체 구동시켰을 때의 입력 어드미턴스를 나타내고 있다.

Fig 5의 시뮬레이션결과 NIC 회로의 저항 R_s 가 증가함에 따라 어드미턴스 로커스는 점점 증가하여, R_s 가 27 [Ω]일 때 어드미턴스 로커스는 최대로 나타났다. 이것은 (2)식에 나타낸 것처럼 압전 진동자의 등가저항 성분이 NIC 회로에 의해 감소됨을 의미하며 따라서 품질계수가 커짐을 의미한다. 그리고 저항 R_s 가 31 [Ω]일 때, 어드미턴스 로커스의 컨덕턴스 성분이 음의 값을 가진다. 이것은 NIC 회로의 부임피던스가 진동자의 등가임피던스보다 커졌기 때문이다.



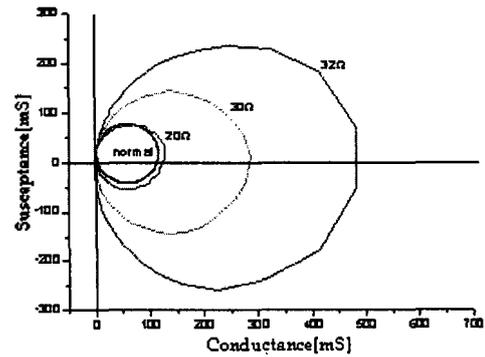
(a)



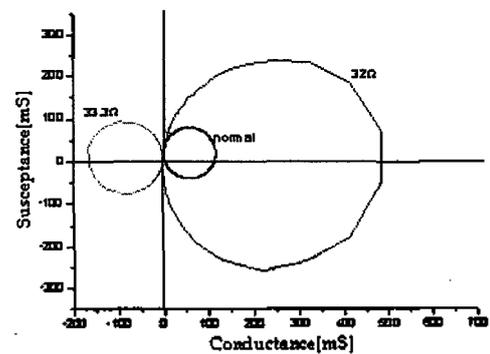
(b)

Fig 5. Simulation result of R_s changes

실험결과인 Fig 6을 보면 저항 R_s 가 32 [Ω]일 때, 어드미턴스 로커스가 최대로 나타났으며, 저항 R_s 가 33.3 [Ω]일 때, 어드미턴스 로커스의 컨덕턴스 성분이 음의 값을 가짐을 알 수 있다.



(a)



(b)

Fig 6. Measurement result of R_s changes

Fig 5와 Fig 6의 시뮬레이션 및 실험결과로부터 NIC

회로가 갖는 부임피던스 값에 대한 압전 진동자의 어드미턴스의 변화 경향이 잘 일치하고 있음을 알 수 있으며, 실험과 시뮬레이션결과가 차이를 보이는 것은 실제 압전 진동자와 이론적으로 계산된 압전 진동자의 상수 값에서 발생하는 오차와 시뮬레이션시 고려하지 않은 접착층에 의한 것이라 생각된다.

Table 2는 NIC 회로의 적용 유무에 따른 압전 진동자의 품질계수를 나타내고 있다. 계산결과 NIC 회로가 적용된 경우가 그렇지 않은 경우보다 품질계수가 약 18.9 배정도 향상됨을 알 수 있다.

Table 2. Comparison of quality factor.

	Origin value (without NIC)	Maximum value (with NIC)
Quality factor	246.2	4672.7

5. 결 론

본 연구에서는 연산증폭기를 이용한 NIC 회로를 적용하여 두께 진동 모드 압전 진동자의 특성 제어 가능성을 시뮬레이션 및 실험으로 확인해보았다. 시뮬레이션 및 실험결과 NIC 회로의 저항 R_s 의 변화에 따라 압전 진동자의 등가저항이 변하여 품질계수가 제어됨을 확인할 수 있었고, NIC 회로의 적용전보다 품질계수가 약 18.9배정도 향상됨을 확인할 수 있었다.

이상의 결과들로부터 NIC 회로를 이용한 두께 진동 모드 압전 진동자의 특성 제어 가능성을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Y. I. Ko, M. J. Kim, K. L. Ha, Y. Tomikawa, "PSpice Simulation on Piezoelectric Vibrator with Negative Impedance Converter Circuit", Jpn., J. Appl. Phys., Vol. 40, pp. 3707-3708, 2001.
- [2] H. Tamura, Y. Tomikawa, C. Kusakabe, K. Sakurai, K. Ohnishi, "Basic Investigation on Achieving High Resonance Quality Factor of Piezoelectric Vibrator", Jpn. J. Phys. Vol. 36, pp. 3030-3033, 1997.
- [3] C. Y. Lin, Fred C. Lee, "Design and Analysis of Piezoelectric Transformer Converters", July 15, 1997., Blacksburg, Virginia.
- [4] Maione E., Tortoli P., Lypacewicz G., Nowicki

A. "PSpice Modelling of Ultrasound Transducers: Comparison of Software Models to Experiment", Ultrason., Ferroelect., and Freq., Contr, IEEE Transactions on, Vol. 46, Issue. 2, pp. 399-406, March 1999.

- [5] W. M. Leach, Jr., "Controlled-Source Analogue Circuits and PSpice Models for Piezoelectric Transducers", IEEE Tras., Ultrason., Ferroelect., Freq., Contr., Vol. 41, No. 1, pp. 60-66, January 1994.