

적층형 압전세라믹을 이용한 강압용 압전변압기의 설계 및 제조

Design and Manufacture of Step-down Piezoelectric Transformers Multi-layered by Ceramic Sheets

정현호, 이원재*, 김인성*, 송재성*, 박태곤
(Hyonho Chong, Wonjae Lee*, Insung Kim*, Jaesung Song*, Taegone Park)

Abstract

The output characteristics of step-down piezoelectric transformer is changed by a structure of layers. In this paper, we simulated output characteristics of multi-layer piezoelectric transformers with variation of output layers. Also, fabricated piezoelectric transformers were compared with simulated data. From simulated piezoelectric transformers, the output voltage decreased with increasing number of layers. From these results, piezoelectric transformers were made and the output electrical power of the transformers was measured at resonance frequency and at other frequency. The electrical power of transformers was measured on each transformer's resonance mode. However, measured value of 12-layered transformer's output power was smaller than that of 6-layered transformer's one. It is supposed that internal capacitance and reactance of the piezoelectric transformer's were effected in this result. Therefore we need to connect other road resistance and capacitance in output circuit, in order to increase electrical power of transformers.

Key Words : Piezoelectric transformer, Step-down, Multi-layer, Resonance, Vibration mode

1. 서론

1957년 미국의 C. A. Rosen이 압전변압기를 개발한 이래 그 사용분야는 점차 확대되어가고 있으며 실용화를 위한 연구는 현재에도 활발히 진행되고 있다^[1]. 이러한 압전변압기는 고주파에서 동작하므로 구동이 어렵고, 해석이 어렵다는 단점이 있는 반면 자속발생을 위한 권선이 필요 없고, 구조가 간단하며, 소형·경량화, 박형화가 가능하고 표피 근접효과가 없다는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점을 이

용하여 현재에는 승압용으로는 형광등점등용, LCD 백라이트 구동을 위한 압전변압기가 실용화되어 있고, 강압용으로는 권선형 변압기로는 사용이 어려운 센서용 장비나 이동용 장비의 전원소자로의 사용 가능성이 부각되고 있다. 본 논문에서는 이러한 압전변압기의 장점을 활용하여 전원소자로서 이용을 위해 유한요소법을 이용하여 출력전류가 낮은 단판형 변압기의 단점을 보완한 적층형 압전변압기를 설계하고, 이를 바탕으로 압전 변압기를 제작하여 변압기의 출력특성을 살펴보았다.

창원대학교 전기공학과,
(경남 창원시 사림동 9번지 창원대학교
Fax: 0551-263-9956 E-mail : sassy9@orgio.net)
*한국전기연구원 전자기소자연구그룹,
(경남 창원시 성주동 28-1
Fax: 055-280-1216)

2. 본론

2.1 압전변압기의 설계

강압용 압전 변압기의 경우 압전변압기의 부피에 대한 출력비는 주파수의 크기에 비례하므로 높은 주

파수에서 구동시킬수록 높은 출력전력과 효율을 얻을 수 있다^[2]. 또한 적층형 압전변압기의 경우 단판형에 비해 높은 커패시턴스를 얻을 수 있으므로 강압용 압전변압기를 구성할 경우 높은 출력전류를 얻기 위해 출력층을 적층형으로 구성하여야 한다. 그러므로 본 논문에서는 3차 두께방향 진동모드를 이용하여 Fig. 1과 같이 적층형 압전변압기를 구성하였다. 전체의 사이즈는 폭×높이×길이를 각각9×8×18로 고정하고 세라믹의 분극방향은 Fig. 1의 화살표 방향으로 하였으며, 입력층의 층수를 2층으로 하고 출력층의 층수를 6,8,10,12,14층으로 변화시키면서 시뮬레이션하여 출력전압의 변화를 살펴보고 그 결과를 바탕으로 출력층이 6층과 12층인 압전변압기를 제작하였다.

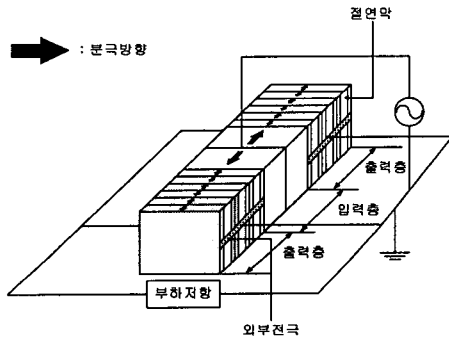


Fig. 1 Structure of piezoelectric transformer.

3차 두께방향진동모드($3/2 \lambda$ mode)를 이용하여 압전변압기를 구성하였을 때 입력층과 출력층에서는 두께방향으로 확장과 수축이 교대로 일어나며, 입력층과 출력층의 중심에서 최소의 변위가 나타나고 그 점에서 최대의 응력이 나타나게 되며 그 크기의 분포는 Fig.2에 나타나 있다^[2]. 압전변압기의 경우 지지점에 따라 공진주파수가 변화되며 출력특성이 달라지게 되는데 변위가 0인 점을 변압기의 지지점으로 사용할 경우 가장 좋은 출력특성을 얻을 수 있다.^[2]

Table 1. Material constant of ceramics

재료정수	측정치
Dielectric constant ($\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$)	11000
Curie temperature T_c (°C)	320
Density (ρ)	$7.72 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
Elastic constant (Y_{33}^E)	$6.6 [10^{10} \text{ N/m}^2]$
Piezoelectric constant (d_{33})	$226 [10^{-12} \text{ m}^3/\text{V}]$
coupling factor (k_{33})	0.67
Mechanical quality factor (Q_m)	1600

본 연구에서 압전변압기의 제조를 위해 사용된 압

전세라믹의 물질상수는 Table 1에 나타나 있다. 본 실험에서는 큐리점이 높으므로 온도의 안정화가 가능하고, 변압기의 출력특성이 높이기 위해 Q_m 값과 압전상수(d_{33} , k_{33})가 높은 재료를 사용하였다.

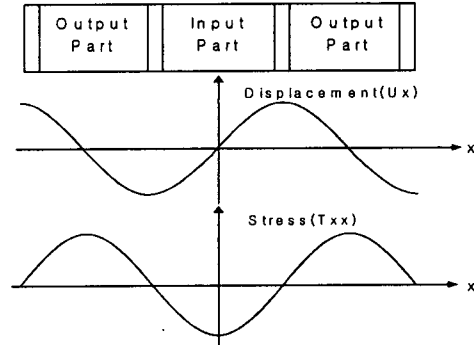


Fig. 2 Mechanical displacement and stress distribution for transverse vibration mode.

2.2 Simulation

앞에서 설계한 것을 바탕으로 압전변압기를 출력특성을 살펴보기 위해 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS 5.5.1을 이용하여 시뮬레이션하여 출력전압의 변화를 살펴보았다. Fig. 3은 입력층의 전압을 30 [V]로 하고 출력층수의 변화에 따른 출력전압의 변화를 나타낸 그래프이다. 3차 두께방향 공진시의 주파수는 모두 260[kHz]부근에서 나타났으며 그 주파수에서의 출력전압은 층수가 증가할수록 감소함을 알 수 있다.

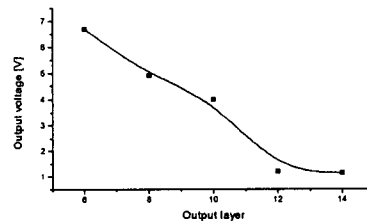


Fig. 3 Output voltage by increasing number of output layers.

압전변압기의 경우 입력층의 층수가 변함에 따른 출력전압은 점차 감소하지만, 적층형압전변압기의 출력층의 층수에 따라 커패시턴스가 변화한다. 이에 대한 출력부의 커패시턴스는 다음 수식으로 표현할 수 있다.^[1]

$$C_o = \frac{n\epsilon_0\epsilon_r S}{t} \quad (2.1)$$

n : 적층수 S : 내부 전극 면적

ϵ_r : 비유전율 t : 한 층의 두께

여기서 트랜스의 전체두께 T 는 nt 이므로 출력층의 커패시턴스는 다음과 같이 표시된다.

$$C_o = \frac{n^2 \epsilon_0 \epsilon_r S}{T} \quad (2.2)$$

이 식으로 부터 층수가 증가함에 따라 출력층의 커패시턴스는 n^2 배로 증가하며, 전류는 시간의 변화에 따른 전하의 이동량이므로 n^2 의 커패시턴스에 비례하는 전류를 얻을 수 있다. 그러므로 출력층수를 증가시키면 전압은 n 배로 감소하지만 전류가 n^2 배로 증가하므로 n 배의 출력전력을 얻을 수 있다.

2.3 압전변압기의 제작

Fig. 4는 압전변압기를 구성하기 위한 해 두께 3[mm], 1[mm], 0.5[mm]의 압전세라믹을 8[mm]×9[mm]의 크기로 연마하여 Fig. 4와 같은 적층형의 구조를 형성하였다. 연마한 압전세라믹 시트(sheet)를 도전성 접착제로 접착하여 입력층을 2층, 출력층을 각각 6, 12층이고 전체길이 18[mm]의 압전변압기를 제작하였다. 분극방향은 화살표 방향으로 하여 접착하였으며 절연을 시켜 적층형의 압전변압기를 구성하고, 주파수와 입력전압을 변화 시켜 그에 따른 출력특성들을 살펴보았다.

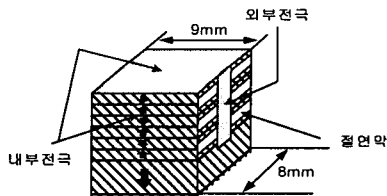


Fig. 4 Structure of stacked piezoelectric transformer.

2.3 압전변압기의 출력특성

Fig. 5는 입력층수:출력층수가 2:6으로 제작된 압전변압기의 주파수의 변화에 따른 출력전압의 변화를 나타낸 그래프이다. 이때 부하저항을 200[Ω]으로 하였으며 입력전압은 30[V]로 하였다.

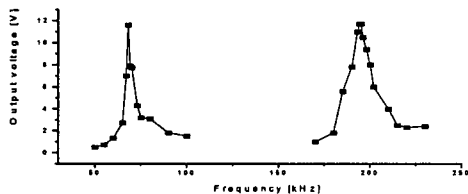
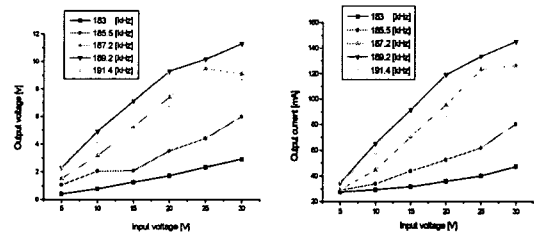


Fig. 5 Measured output voltage of piezoelectric transformers(out layers=6).

입력주파수가 증가함에 따라 68[kHz]일 때와 189.2[kHz]일 때 출력전압이 최대로 나타났다. 결과로 보아 68[kHz]일 때와 189.2[kHz]일 때가 두께방향의 진동이 가장 크게 일어나는 것으로 보여지며, 압전변압기에서의 첫 번째 두께방향공진모드($1/2\lambda$)를 68[kHz]라고 볼 때, 그 주파수의 3배에 달하는 189.2[kHz]에서의 다시 최대의 출력전압이 나타나므로 이 주파수가 세 번째 두께방향진동모드($3/2\lambda$)임을 예상할 수 있다. 이 주파수를 구동주파수로 사용할 때 가장 큰 효율을 얻을 수 있을 것이다.



(a) Output voltage (b) Output current

Fig. 6 Measured electrical output of piezoelectric transformer(output layer=6).

Fig. 6은 두께방향진동모드시의 공진주파수로 보이는 189.2[kHz]부근의 출력전압과 출력전류를 나타낸 것이다. 입력전압이 증가할수록 출력전압과 전류는 거의 선형적이 증가를 나타내고 있으며 이는 출력전력이 입력전압의 제곱에 비례하여 증가하고 있음을 의미한다.

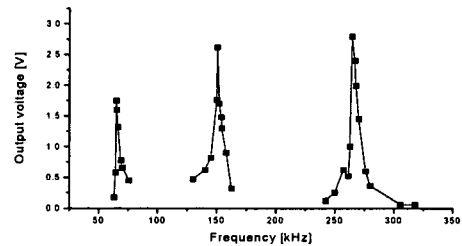
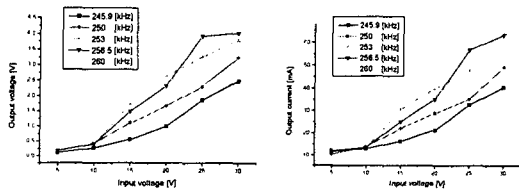


Fig. 7 Measured output voltage of piezoelectric transformers(out layers=12).

Fig. 7은 입출력층의 비가 2:12인 압전변압기의 입력주파수의 변화에 따른 출력전압을 나타낸 그래프이며 60[kHz], 160[kHz], 256[kHz]근처에서 가장높은 출력전압들이 나타났다. 이것으로 보아 이 주파수들이 각각 이 압전변압기의 두께방향 공진모드를 나타내는 것으로 보이며 60[kHz]와 160[kHz]근처의 주파수들은 입력전압이 증가함에 따라 출력 파형의 형태가 정현파에서 벗어나 일그러지는

현상이 나타났다. 60[kHz], 160[kHz], 256 [kHz]가 이 변압기의 두께방향 공진주파수라고 할 때 이 60[kHz]와 160[kHz]가 1,2차 두께방향 공진모드임을 예상할 수 있다. 이 변압기는 두께방향진동에 의해 출력측에 전압이 발생하며 3차 두께방향진동모드에 맞춰져 설계되었으므로 3차 두께방향 공진모드에서 가장 좋은 출력전압특성을 나타낸다. 그러므로 256[kHz]일 때의 파형이 정현파형태로 나타나고 주파수의 크기의 비로 볼 때 이 주파수가 3차 두께 방향의 공진 주파수인 것으로 사료된다.

출력층이 12층인 압전변압기의 공진주파수로 보이는 256[kHz] 부근에서의 출력전압과 전류를 Fig. 8에 나타내었다. 낮은 입력전압에서는 공진주파수 보다 높은 260[kHz]의 주파수에서의 전압과 전류가 더 높게 나왔으나 입력전압이 높아짐에 따라 그 출력전압은 공진주파수에서 높은 전압이 나타남을 보여주고 있다.



(a) Output voltage (b) Output current

Fig. 8 Measured electrical output of piezoelectric transformer(output layer=12).

이 두 결과를 바탕으로 출력층이 각각 6층과 12층일 때의 출력특성을 비교하여보면, 입력전압에 따른 출력전압은 시뮬레이션 결과와 같이 6층일때의 출력전압이 12층일 때의 출력전압에 비해 2배정도의 높은 값을 나타내었으나, 출력전류에 있어서는 출력층이 12층일 때의 변압기가 높은 특성을 나타내지 않았다. 이는 변압기 내부에 존재하는 리액턴스와 커패시턴스의 영향으로 보이며 실제 변압기의 커패시턴스 측정 시 그 값이 6층일 때와 12층일 때 각각 9.27[nF], 31.32[nF]을 나타내었으며, 이는 변압기의 출력층수의 변화에 따라 출력부에 다른 크기의 부하저항에 따라 공진회로가 형성됨을 의미하므로 이를 보완하기 위해 출력부에 동조(tuning)를 위한 커패시터와 저항의 연결이 필요함을 의미한다^[3].

3. 결론

이상에서 나타난 결과를 바탕으로 3차 두께방향 진동모드로 설계된 압전변압기의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

1. 시뮬레이션 결과 출력층의 층수가 증가함에 따라 출력전압은 출력층수의 n배에 비례하여 낮아지고 출력전력은 n배로 증가함을 알 수 있었다. 실제 변압기를 제조하여 실험하였을 때 이와같은 양상을 나타내었으나, 출력층수가 증가하여도 출력층의 전류는 증가는 보이지 않았다. 이는 변압기 내부의 리액턴스성분과 커패시턴스 성분으로 인한 전기적인 공진현상에 의한 것으로 보여진다.
2. 실험에 의한 압전변압기의 주파수의 변화에 따른 출력전압은 주파수가 증가함에 따라 어떤 일정한 주파수에서 최대의 출력전압을 나타내었으며 그 주파수가 이 압전변압기의 두께방향의 공진주파수임을 예측할 수 있으며, 이 주파수에서 구동하는 것이 이 변압기에서 최대의 효율을 얻을 수 있을 것이라 사료된다.
3. 공진주파수 부근에서의 변압기의 출력전압과 전류를 살펴보면 입력전압이 증가함에 따라 출력전압과 전류도 선형적으로 증가하는 경향을 보였으며, 이를 바탕으로 출력전력이 입력전압의 n^2 에 비례하여 증가함을 알 수 있었다.

이상에서의 결과를 살펴보면 전원소자로서의 활용을 위한 강압용 압전변압기의 경우 입출력층의 층수를 변화시켜 원하는 출력의 압전변압기를 얻을 수 있으며, 압전변압기의 공진주파수에서 최대의 출력을 나타내며, 입력전압이 증가할수록 높은 출력전압을 얻을 수 있었다. 그러나 전원소자로서의 사용을 위한 크기의 출력전력을 얻을 수 없었으며, 구동주파수가 높아 실제 구동전압에서의 구동이 어려웠으며 실제적인 사용을 위해서는 이러한 문제들이 개선되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1]. 김동범, 이재열, "압전트랜스 적층화 기술", 전기전자재료 Vol. 12, No. 5, pp7-11, 1999
- [2]. Junhui Hu, "A Study on the Rectangular-Bar-Shaped Multilayer Piezoelectric Transformer Using Length Extensional Vibration Mode." *J. Applied Physics*, May, Vol.38, No. 5B, pp.3208-3212, 1999,
- [3] 이덕출, 이능현, 고의석, 이동인, "회로이론", 동일출판사, pp179-197,