

Power Supply용 압전 트랜스포머의 Voltage Gain 특성

Voltage Gain Characteristics of Piezoelectric Transformer for Power Supply

김 성진*, 남 성이*, 이 수호**, 홍 재일#, 류 주현*

* : 세명대학교 전기공학과 ** : 영월공과대학 전기과 # : 대우전문대학 전기과

S-J Kim*, S-I Nam*, S-H Lee**, J-I Hong#, J-H You*

Abstract

This paper present a new structure for a piezoelectric transformer, operating in thickness extensional vibration mode. Modified $PbTiO_3$ family ceramics were used for the piezoelectric transformer, because it is a material with large anisotropy between electromechanical coupling factors k_t and k_p . Piezoelectric transformer was fabricated that is 20mm long, 20mm wide and 3.1mm thick. Resonant frequencies of second thickness extensional vibration mode is 1.72MHz at loading resistance 100[Ω]. And Voltage gain of piezoelectric ceramics is showed 0.53 at resonant frequency of second thickness extensional vibration mode.

1. 서론

최근 전자기술의 진보에 의해 제품이 매우 소형화가 되면서 공급전원의 소형박형화가 요구되어지고 있다^{1~3)}. 이러한 상황 아래에서 switching converter의 switching 주파수의 고주파수가 요구되는 power supply의 소형화가 요구되어진다. 따라서 최근 소형박형화가 가능하며 고주파수에서 높은 전력 전송 디바이스로 압전 트랜스포머에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 고전압원을 위한 Rosen형의 길이 확산 진동 모드로 구동시킨 압전 변압기는 최대 구동 주파수가 200~300KHz이기 때문에 1MHz 이상의 고 switching 주파수에서 사용하기는 어렵다. 또한 종래의 전자 변압기는 주파수증가에 따라 동손과 철손의 증가에 의해 사용하기 어렵다. 그러나 두께 확산 진동을 이용한 압전 트랜스포머는 MHz대에서 공진이 일어나기 때문에 고주파수에서 구

동이 가능하며, 전송전력 밀도도 우수하게 된다.

이러한 두께 확산 진동 모드를 이용하기 위해서는 압전재료가 큰 전기기계 결합계수의 이방성 (k_t/k_p)을 가져야 한다. 그러나 일반적으로 널리 사용되고 있는 PZT계 세라믹은 큰 전기기계 결합계수 k_t 를 가지고 있지만 k_{31} 및 k_p 가 크기 때문에 고주파수에 이용하기 어렵다. 따라서 큰 전기기계 결합계수 이방성을 가졌다고 알려져 있는 $PbTiO_3$ 계 세라믹을 사용하였다.

본 논문에서는 $PbTiO_3$ 계 세라믹을 이용하여 두께 확산 진동 모드로 구동되는 압전 트랜스포머의 제작하고자 하였으며, 또한 압전 변압기의 동작회로로 시뮬레이션을 통해 얻어진 결과와 실제 switching converter로 구동시켜 나타난 특성들을 비교 검토하였다.

2. 압전 트랜스포머의 구조 및 구동원리

두께 확산 진동 모드를 이용한 압전 트랜스포머

는 길이 20mm, 폭 20mm, 두께 3.1mm로 그림 1과 같이 제작하였으며, 입력층과 출력층 사이에 절연층을 두어 입력과 출력을 전기적으로 분리시켰으며 각각 두께 방향으로 분극을 행하였다.

입력측에 교류전압을 가하면 압전 트랜스포머의 전기기계 결합계수 k_t 에 의해 두께 확산 진동이 발생되며, 그 진동은 출력측으로 전달된다. 출력측은 진동을 다시 교류전압을 발생시키는 전기-기계-전기의 변환에 의해 전력을 전송하게 된다. 그러나 전송효율을 올리기 위해서는 트랜스포머의 두께 방향의 공진을 이용하는 것이 우수하다. 두께 확산 진동 모드중 2차 공진모드가 최고 우수하며, MHz대에서 구동이 가능하지만, 전송 주파수대의 폭이 전자 트랜스포머보다 좁은 단점을 가지고 있다. 그러나 압전 트랜스포머를 사용할 경우 다음과 같은 장점을 지니고 있다.

- (1) MHz대에서 동작이 가능
- (2) 표피, 근접효과가 없다.
- (3) 전자 노이즈가 발생하지 않는다.
- (4) 동일한 크기의 전자 트랜스포머보다 고전력을 얻을 수 있다.

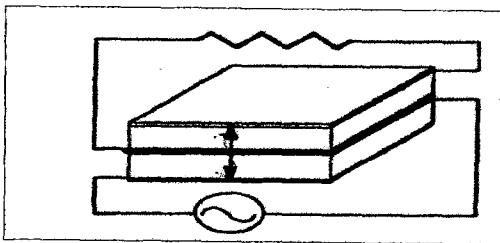


그림 1. 압전 세라믹 변압기의 구조

3. 압전 세라믹 재료

압전 트랜스포머를 두께 확산 진동 모드로 이용하기 위하여 큰 압전 이방성을 가진 물질이어야 한다. $PbTiO_3$ 계 세라믹은 전기기계 결합계수의 이방성이 큰 물질로 알려져 있다. 따라서 본 논문에서도 제반 압전특성들을 향상 시키기 위하여 변형된 $PbTiO_3$ 계 세라믹을 사용하였으며, 그 조성은 $(Pb_{0.76}Ca_{0.24})[(Co_{1/2}W_{1/2})_{0.04}Ti_{0.96}]O_3$ 이고 재료정수는 표 1과 같다⁴⁾. 그림 2에 주파수에 따른

임피던스 공진특성을 나타내었는데, 출력측을 short하여 측정하였다. 이는 1차, 2차 및 3차 두께 공진 응답을 보이고 있으며, 이중 2차 공진시 가장 작은 임피던스를 나타냄을 알 수 있다. 따라서 2차 공진시 가장 높은 효율과 변압비를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

표 1. $PbTiO_3$ 계 세라믹의 재료정수

재료정수	측정치
유전상수(k_{33})	150
밀도(ρ)	$7.06(g/cm^3)$
전기기계결합계수(k_t)	49(%)
(k_p)	≈ 0

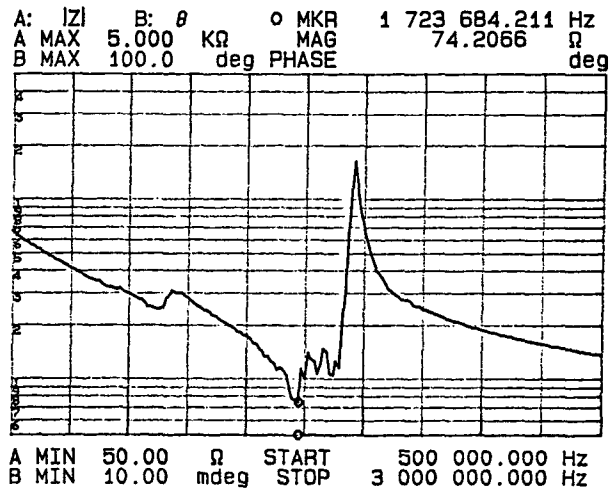


그림 2. $PbTiO_3$ 계 세라믹의 주파수에 따른 임피던스

4. 등가회로에 의한 시뮬레이션 및 실험

시뮬레이션을 위한 전기기계 등가회로는 이산정수를 사용하였으며, 그림 3에 압전 세라믹 변압기의 등가회로를 나타내었다. 입력과 출력은 모두

한 층으로 구성되어 있기에 Mason 등가회로를 적용할 수 있으며, 등가회로에 이용된 정수는 표 2에 정리 하였으며, 이는 그림 4에 나타낸 원선도를 통하여 계산된 값들로 이 시뮬레이션에 사용 하였다. 이 등가회로는 Rosen형 압전 트랜스포머의 등가회로로 알려져 있으며, 이것을 두께 진동형 압전 트랜스포머에 적용하는 경우 다소 문제점이 있지만, 어드미턴스 특성을 잘 일치하고 있다고 알려져 있다. 그림 5에서는 부하저항이 50Ω 일 경우 시뮬레이션에 의해 계산된 이론치와 실제 측정에 의해 얻은 gain G를 그림 5에 나타내었다. 압전 세라믹 트랜스포머의 주파수에 대한 G의 값은 부하저항에 의해 다르게 되며, 본 실험에서도 부하저항을 5, 10, 30, 50, 100, 150Ω을 사용함에 따라 전압 gain값의 변화를 알 수 있었으며, 이를 그림 6에 나타내었다. 또한 부하의 증가에 의해 공진주파수도 다소 고주파로 이동되는 것을 그림 7에 의해 알 수 있었다. 표 3에 부하저항에 따른 최대 전압 gain과 공진주파수를 정리 하여 두었다.

회로정수	계산치
C ₁	914pF
R	105Ω
C	97.37pF
L	80.77 μH
C ₂	719pF

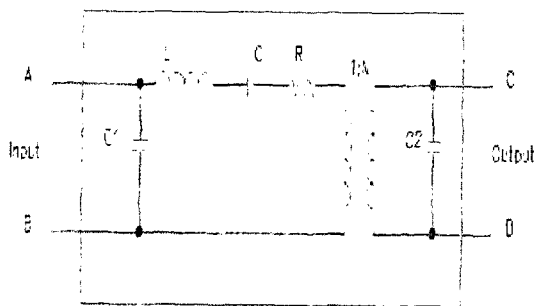


그림 3. 압전 세라믹 트랜스포머의 등가회로

표 2. 세라믹 변압기의 등가회로 정수

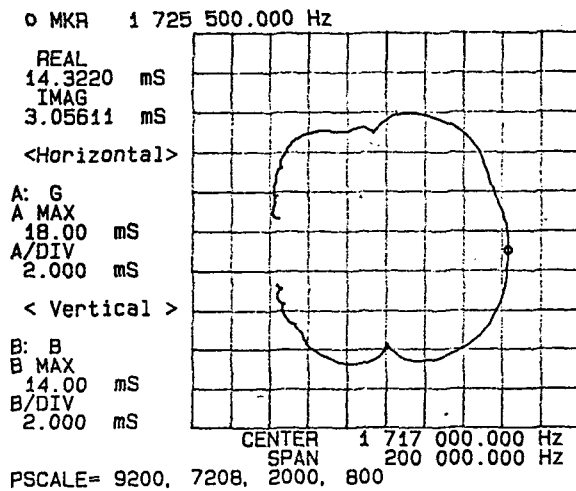


그림 4. 압전 트랜스포머의 원선도

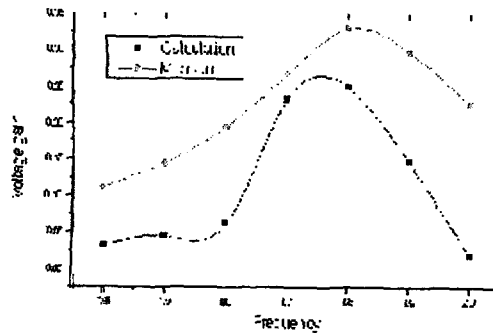


그림 5. 주파수 변화에 따른 전압 gain G값

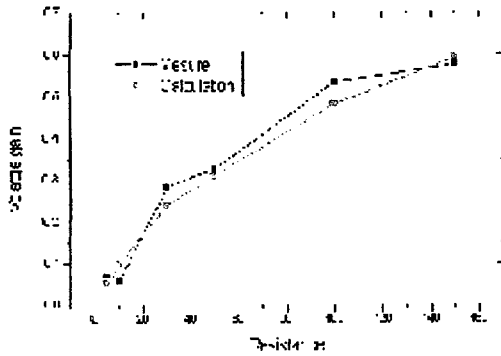


그림 6. 부하저항의 변화에 따른 최대 gain값

표 3. 부하저항에 따른 공진주파수와 최대 전압 gain

저항[Ω]	측 정 치		이 른 치	
	Voltage gain	공 진 주파수	Voltage gain	공 진 주파수
5	0.07	1.71	0.05	1.8
10	0.055	1.72	0.097	1.8
30	0.282	1.72	0.236	1.8
50	0.326	1.73	0.31	1.8
100	0.532	1.75	0.48	1.85
150	0.576	1.8	0.59	1.9

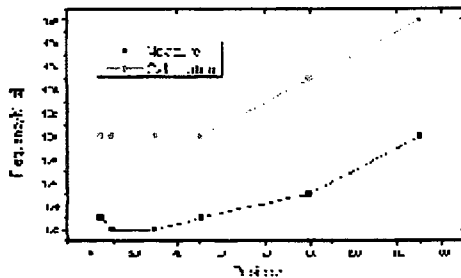


그림 7. 부하저항의 변화에 따른 공진주파수

6. 결론

두께 진동 모드로 구동되는 압전 세라믹 변압기를 제작하기 위하여 이방성이 큰 $(\text{Pb}_{0.76}\text{Ca}_{0.24})[(\text{Co}_{1/2}\text{W}_{1/2})_{0.04}\text{Ti}_{0.96}]\text{O}_3$ 를 사용하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 약 1.71MHz에서 가장 우수한 두께 방향 공진을 나타내었다.
- 2) 시뮬레이션에 의해 계산된 전압 gain과 실측한 값은 비교적 일치하였다.
- 3) 부하저항의 증가에 따라 최대 전압 gain값은 증가하였다.
- 4) 공진 주파수는 부하가 증가됨에 따라 다소 증가되었다.

참고문헌

- 1) O. Ohnishi, H. Kishie, A. Iwamoto, Y. Sasaki, T. Zaitso, and T. Inoue, "Piezoelectric ceramic transformer operating in thickness extensional vibratin mode for power supply", IEEE Ultrasonics Symposium Proc., pp. 483~488, 1992.
- 2) T. Zaitso, T. Inoue, O. Ohnishi, A. Iwamoto, "2MHz power converter with piezoelectric ceramic transformer", IEEE INTELEC '92 Proc., pp.430~437, Oct. 1992.
- 3) S. Kawashima, O. Ohnishi, H. Hakamata, S. Tagami, A. Fukuoka, T. Inoue, and S. Hirose, "Third order longitudinal mode piezoelectric ceramic transformer and its application to high-voltage power inverter", IEEE International Ultrasonic Symposium Proc., Nov. 1994.
- 4) 홍 재일, 유 주현, 윤 현상, 윤 광희, 장 낙원, 박 창엽, "MnO₂ 첨가에 따른 PbTiO₃계 세라믹스의 구조적, 전기적 특성", 대한전기학회 논문지, Vol. 44, No. 11. pp. 1488~1493, 1995.