

경방향 확장 진동모드를 이용한 강압용 압전변압기의 특성에 관한 연구

A Study on Characteristics of Step-down Piezoelectric Transformer Using Contour Extended Vibration Mode

이원재*, 민복기*, 송재성*, 정현호**, 박태곤*

(Won-Jae Lee*, Bok-ki Min*, Jae-sung Song*, Hyon-ho Chong**, Tae-gon Park*)

Abstract

This paper presents design and construct of flat type step-down piezoelectric transformer for the application to AC-adapters. This piezoelectric transformer operated in resonance vibration mode. In this paper, Finite element method(FEM) was used for analysis piezoelectric transformers. Vibration mode and electric field of piezoelectric transformer at resonance frequency were simulated. Using this simulation, we manufactured flat type piezoelectric transformer and measured its output characteristics. As results, output power was linearly increased by increasing input power at resonance frequency. And it was found that the transformer exhibited an output power of 11.4[W] at 60[V] input voltage. From these results, we expect that this piezoelectric transformer can be applied to AC adapters.

Key Words : piezoelectric, trnsformer, step-down, flat type, resonance

1. 서 론

1957년 미국의 G.E.사의 C. A. Rosen이 압전트랜스를 제안한 이래로 그에 관한 수많은 연구가 진행되었다. 그러나 압전변압기로서의 적합한 성능(높은 Qm, kp, 큐리온도)을 가진 압전세라믹의 부재(不在)로 실용성에 관한 연구는 잠시 위축되었으나 1990년대에 들어 PZT압전세라믹이 개발되고 압전변압기에 적합한 세라믹스의 개발이 이루어지면서 최근에 그 연구가 다시 활발히 진행되고 있다.

압전변압기는 코일이 존재하지 않으며, 고주파에서 구동되고, 회로의 소손에 대한 위험이 없으며 다양한 형태의 변압기를 만들 수 있다는 특성에 의해 그 사용분야는 점차 확대되어가고 있는 전망이다. 근래에는 높은 승압비의 특성으로 고압발생용으로 LCD백라이트구동용, 형광등 점등용으로의 상용화가 이루어져 있으며 국내에서도 몇몇 기업

에 의해 상용화가 진행되고 있다. 그러나 강압용 압전변압기의 경우 높은 전류발생이 어려워 출력 전력이 낮아 현재 실용화가 되어 있지 않은 것이지 그에 관한 수많은 연구가 진행 중이다^[1].

본 논문에서는 이러한 강압용 압전변압기의 출력 특성을 향상시키기 위해 종래의 두께방향공진모드를 이용한 강압용 압전변압기의 단점인 낮은 전력 변환효율을 보완하기 위해 경방향 진동모드와 두께방향 진동모드를 혼용한 flat type의 강압용 압전변압기를 설계, 제작하여 종래의 두께방향 진동모드를 이용한 강압용 압전변압기와 그 출력특성을 비교하여 보았다.

2. 본 론

2.1 압전변압기의 구조와 원리

압전변압기의 경우 전기→기계→전기로의 에너지 변환을 이용한다. 그러므로 입력부와 출력부사이의 에너지 전달은 기계적 에너지에 의해 이루어지므로 입력부와 출력부의 접촉부에 응력이 집중하게 된다. 그러므로 Rosen형 변압기의 원리를 이용하여 강압용 압전변압기를 구성할 경우 입력측과 출력측의 접촉부가 좁으므로 이 부위에 응력이

* : 한국전기연구원 전자기소재연구그룹
경남 창원시 성주동 68-1번지
E-mail : wjlee@keri.re.kr

** : 창원대학교 전기공학과
경남 창원시 사림동 9번지

집중하게 되어 기계적으로 견고하지 못한 특성을 나타낸다^[2]. 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 입력부와 출력부의 접촉부를 넓게 구성하고 출력부의 커패시턴스를 늘리기 위해 출력부를 3개의 세라믹판을 이용하여 적층형으로 구성하였다. 그림 2.1은 연구에서 제작된 압전변압기의 형태이다. 변압기의 공진을 최대한 활용하기 위해 입력부와 출력부의 전체두께와 면적을 동일하게 하였다. 입력측을 단층으로 두겹게 구성하여 임피던스를 높여 분극을 높이고 출력부의 전류를 높이기 위해 두께를 얇게하고 적층형으로 구성하여 출력부의 커패시턴스를 높게 하였다. 입력부와 출력부 사이에 동일한 재료의 분극이 되지 않은 세라믹층을 삽입하여 입출력부를 전기적으로 절연하였다.

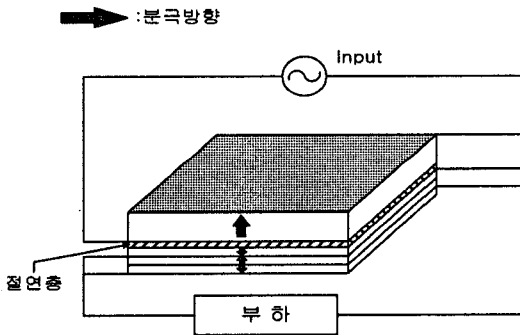


그림 2.1. 압전변압기의 구조.
Fig. 2.1. Construction of piezoelectric transformer.

2.2 압전변압기의 유한요소해석

설계 한 압전변압기의 출력특성을 유한요소해석 프로그램인 ANSYS 5.5.1을 이용하여 살펴보았다. 변압기의 element는 SOLID-5를 사용하였으며 ANSYS의 경우 e형식의 압전방정식(식 2.1)을 이용하므로 사용된 사용한 압전상수e와 stiffness상수c는 다음과 같다^[3].

$$\begin{aligned} T &= c^E S - e E \\ D &= e S + \epsilon^E E \end{aligned} \quad (2.1)$$

Piezoelectric Matrix $e[C/m^2]$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 6.67 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6.67 & 0 & 0 \\ -5.93 & -5.93 & 11.6 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Stiffness Matrix $c^E[\times 10^{-10}N/m^2]$

$$\begin{bmatrix} 1.16 & & & & & \\ 4.45 & 11.6 & & & & \\ 4.42 & 4.42 & 9.01 & & & \\ 0 & 0 & 0 & 1.02 & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.02 & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3.6 \end{bmatrix}$$

그림 2.2는 압전변압기의 공진주파수에서의 진동형상을 보여준다. 압전변압기의 형상이 두께방향에 비하여 경방향의 면적이 넓으므로 두께방향 진동에 비하여 경방향으로의 진동이 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

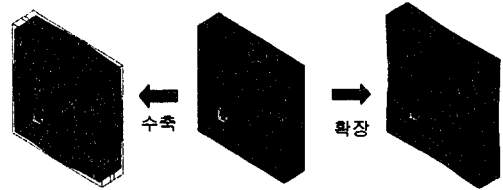


그림 2.2. 압전변압기의 진동형상.
Fig. 2.2. Vibration shape of piezoelectric transformer

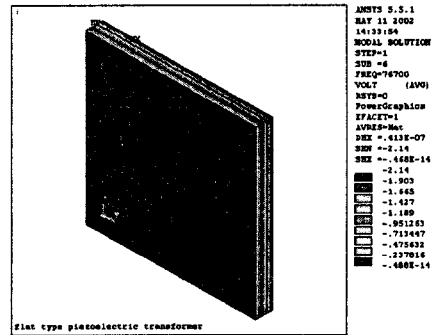


그림 2.3. 압전변압기의 출력부의 전계분포.
Fig. 2.3. Electric field in piezoelectric transformer.

그림 2.3는 공진모드에서의 출력부의 전계분포를 나타낸다. 입력부와 출력부 사이의 전압차이가 크므로 출력부의 각 층간의 전압을 가시화하기 위해 출력부만을 선택하여 전계의 분포를 살펴보았다. 출력부의 각층간에 전압차이가 2.5[Volt]로 나타났다.

2.3 압전변압기의 제작

분극이 되어져 있는 각각의 두께 1[mm], 3[mm]의 압전 세라믹 플레이트(NEPEC-8)를 30×30(너

비×폭)로 절단하여 에폭시접착제로 접착하여 건조하였다. 건조된 변압기의 너비와 폭을 각각 30[mm], 30[mm]로 연마하고 병렬 접속을 위해 내열성 테이프(3m社)으로 절연을 한 후에 실버페이스트(DOTITE-51)로 외부전극을 입힌 후 전선을 연결하여 120[°C]로 1시간 동안 건조하였다. 그 제작 과정은 그림 2.4와 같다.

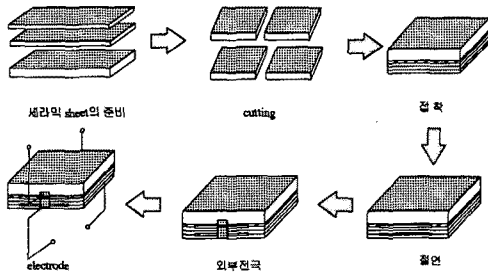


그림 2.4. 압전변압기의 제작순서.
Fig. 2.4. Construction of piezoelectric transformer.

2.4 특성측정

먼저 제작된 압전변압기의 기본 특성을 임피던스분석기(HP4194A)를 이용하여 측정하였으며, 압전 변압기를 구동하기 위해 그림 2.5와 같이 구성하고 입력전압, 주파수, 부하를 가변하여 각각의 변압기의 출력 특성을 살펴보았다. function generator(LG, FG-7005C)에서 주파수를 발생시켜 변압기의 공진주파수에 해당하는 주파수를 high speed 전력 증폭기인 NF-4025에 인가하고 전압을 증폭하여 고주파의 전압을 변압기의 입력 단에 인가하였다. 변압기의 출력 단에 가변 저항을 연결하여 부하의 변화에 따른 출력전압을 살펴보았다. 전압의 측정은 오실로스코프(HP 54522A)로 측정하였으며 출력전류를 digital multimeter(Agilent 34401)로 측정하여 출력 특성을 살펴보았다.

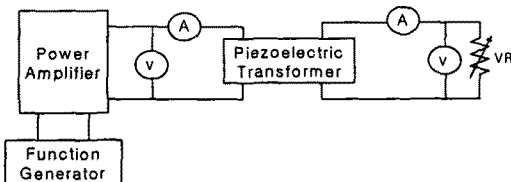


그림 2.5. 특성측정을 위한 장비의 구성
Fig. 2.5. Experimental setup for measuring the characteristics of transformer.

3. 결과 및 고찰

임피던스분석기(HP4194A)를 통해 측정된 입력부와 출력부의 임피던스특성을 그림 3.1에 나타내었다. 최소의 임피던스를 나타내는 공진주파수가 입력부와 출력부에서 모두 같았으며 그 값은 출력부가 3[Ω]으로 출력부의 1/4의 값을 나타내었다. 입력부와 출력부의 공진주파수가 일치하므로 입출력부의 전기적인 임피던스 매칭을 이루고 있음을 알 수 있었다.

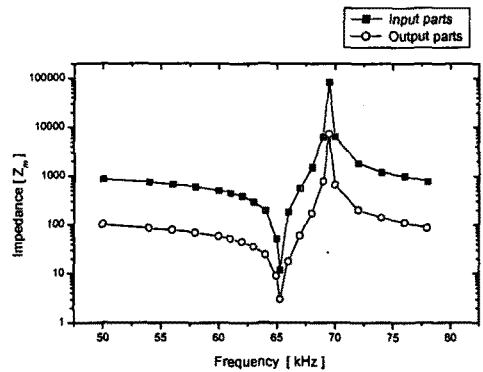
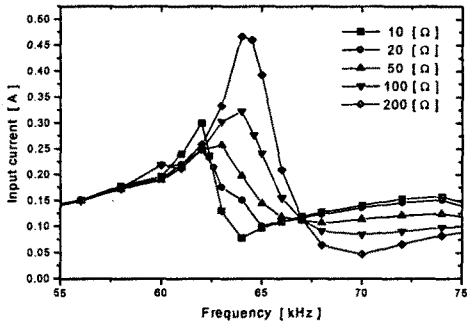
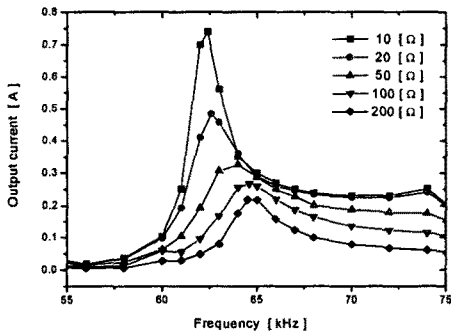


그림 3.1. 입출력부의 임피던스 특성.
Fig. 3.1. Impedance of input and output parts.

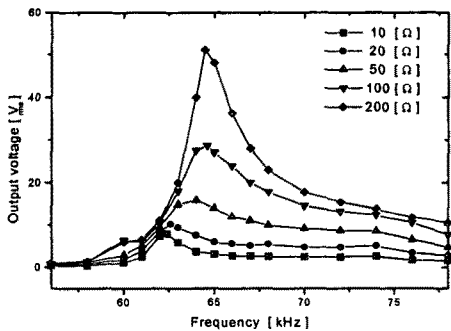
그림 3.2는 40[Vrms]의 전압을 인가하고 부하저항을 변화시켰을 때 입력부와 출력부의 주파수변화에 따른 전류와 전압의 변화를 나타낸 그래프이다. 부하저항이 증가함에 따라 최대 출력을 나타내는 주파수가 점차 증가하였으며 최대전류는 감소하였다. 그러나 입력부의 경우 부하저항의 증가에 따른 최대전류의 변화는 동일하였으나 입력전류는 감소하는 양상을 나타내었다. 주파수 변화에 따른 출력전압은 그림 3.2(c)와 같이 부하저항이 증가함에 따라 최대전압을 나타내는 주파수가 조금씩 증가하였으며 출력전압은 부하저항의 변화에 따라 선형적으로 증가하였다.



(a) Input parts



(b) Output parts



(c) Output voltage

그림 3.2. 압전변압기의 주파수에 따른 출력특성.
Fig. 3.2. Output characteristics of piezoelectric transformer as function of driving frequency.

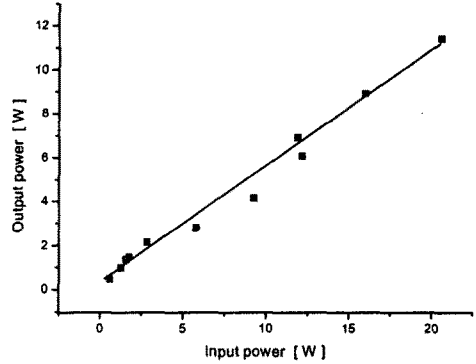


그림 3.3. 입력전력의 변화에 따른 출력전력

Fig. 3.3. Output power of piezoelectric transformer as a function of input power.

그림 3.3은 부하저항을 20[Ω]으로 고정하고 입력 전력의 변화에 따른 출력전력의 변화를 나타낸 그래프이다. 60[V_{rms}]의 입력전압에서 최대 11.4[W]의 출력을 나타내었으며 그 값은 입력전력에 비례하여 증가함을 알 수 있었다.

4. 결론

경방향 진동이 적용된 flat type의 강압용 압전 변압기의 출력특성은 부하저항이 증가할수록 출력 전류는 감소하였으나 입력전류는 증가하였다. 이를 통해 입력전압과 입력전류가 출력측의 전압강하와 전류증가에 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 출력전압과 출력전류는 입력전력에 비례하여 증가하였으며 선형적인 증가를 나타내었다. 60[V_{rms}]의 입력에서 최대 11.4[W]의 출력을 얻을 수 있었으며 그에 따른 온도 변화는 20[°C]내외였다. 이를 통해 본 연구에서 제작된 강압용 압전변압기는 소형 어댑터로서 활용이 가능할 것이라 사료된다.

참고 문헌

- [1] Toshiyuki Zaitzu, "New Piezoelectric Transformer Converter for AC-adapter", IEEE. 0-7803-3704-2/97, pp. 569-572, 1997
- [2] Kenji Uchino, B. Koc, P. Laoratanakul and A. Vazquez Carazo" Pezoelectric Transformers", AMF, New perspective.
- [3] ANSYS 5.4 verification manual.