

강압용 압전변압기의 전기적 특성

Electrical Characteristics of Step-down Piezoelectric Transformer

신훈범, 유영한, 안형근, 한득영

(Hoonbum Shin, Younghan Yu, Hyungkeun Ahn, Deukyong Han)

Abstract

In this paper, we have explained electrical characteristics of a step-down Rosen type piezoelectric transformer for AC-adapter. When the electric voltage is applied to the driving piezoelectric vibrator polarized in the longitudinal direction, then output voltage is generated at the generating piezoelectric vibrator polarized in the thickness direction due to the piezoelectric effects. Output voltage and current from a 11-layered and a 13-layered piezoelectric transformer were measured under the various conditions of loads and frequencies. We measured resonant frequency from impedance curve. It was shown from experiments that output voltage has increased and resonant frequency has changed according to various resistor loads. Output current has changed inversely proportional to resistances.

Key Words : Rosen type piezoelectric transformer, longitudinal direction, thickness direction, piezoelectric effects

1. 서론

최근 전자기기는 소형화에 대한 요구가 증가하고 있으며 거기에 따르는 전원장치에도 또한 이 소형화가 요구되고 있다. 이 요구에 부응하기 위한 과제로 부품의 소형화, 고효율화, 저노이즈화를 들 수 있는데 이러한 과제를 해결하는 방안의 하나로 압전변압기가 주목 받고 있다[1].

압전변압기는 전기적 에너지를 압전 역효과에 의해 기계적 에너지로 변환 시키고 그 기계적 에너지를 압전 정효과에 의해 다시 전기적 에너지로 변환시키는 소자로 일반적인 권선형 변압기와 비교해 구조가 간단하고, 소형이며 박형으로 제작이 가능하고 높은 효율을 가지며 누설 자속에 의한 노이즈가 없다는 장점과, 출력이 고전압 저전류라는 특성을 가지고 있다[2].

압전변압기의 이러한 특성을 이용해 음이온 발생기나 전자복사기, 고주파 변압기, 공기정화기, DC-DC 컨버터와 소형 AC-adapter에의 응용이 연구되고 있으며, 컴퓨터 모니터의 LCD Backlight에서 권선형 변압기의 전자파에 의한 노이즈 영향을 보완하고 효율을 높이기 위해 압전변압기를 이용한 인버터에 대한 연구의 결과로 상품화가 이루어지고 있다[3]-[5]. 압전변압기는 C. A. Rosen에 의해 기본적인 형태의 압전 변압기가 제안되어 이론적, 실용적 연구가 시작된 후, NEC에서 적층형 압전변압기를 제안하는 등 최근까지 다양한 용도와 형태를 가진 압전변압기가 제안되고 거기에 따른 분극 방향과 진동 방향에서의 압전변압기의 전기적 기계적 특성 연구가 진행되고 있다[6]-[8].

이에 본 논문에서는 AC-adapter의 기초 연구로 일반적인 승압용 Rosen형 압전변압기를 입력력을 반대로 하였을 때의 전기적 특성에 대해 고찰하였다. 구동부에는 길이 방향으로 전기적 입력을 인가하여 길이 방향으로 기계적 진동이 일어나게하여 두께 방향으로 분극된 발전부에서 전기적 출력을 얻게 된

건국대학교 전기공학과
(서울특별시 광진구 화양동1번지 건국대학교)
Fax : 02-447-9186
E-mail : sino89@hotmail.com)

다. 실험은 11층 적층형 변압기와 13층 적층형 변압기를 가지고 부하저항과 주파수를 변화 시켜가면서 측정된 출력특성 결과를 비교 분석하였다.

2. 감압용 압전변압기의 구조

2.1 구동부의 구조 및 원리

그림1은 길이 방향으로 분극된 진동자로 이 진동자에 길이 방향의 공진주파수를 갖는 전계를 인가하면 폭(W)과 두께(T)와 비교하여 길이(L) 방향으로 훨씬 큰 진동을 일으킨다. 그 때의 압전 방정식은 식 (2-1)과 (2-2)로 표현할 수 있다.

$$S_3 = s_{33}^D T_3 + g_{33} D_3 \quad (2-1)$$

$$E_3 = -g_{33} T_3 + \beta_{33}^T D_3 \quad (2-2)$$

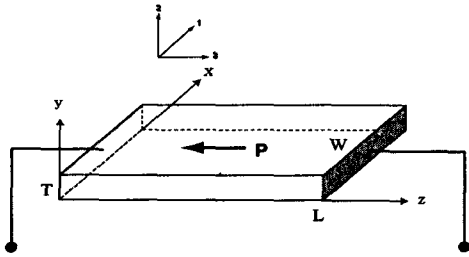


그림 1. 구동 진동자.

Fig. 1. A driving piezoelectric vibrator.

S_3 , T_3 , E_3 , D_3 은 각각 z축 방향의 변형(strain), 응력(stress), 전계의 세기, 전속밀도이고 s_{33}^D 는 전속밀도 D 가 일정할 때의 탄성 컴플라이언스(elastic compliance), β_{33}^T 응력 T 가 일정할 때의 역유전율, g_{33} 는 압전상수(piezoelectric constant)를 나타낸다.

2.2 발전부의 구조 및 원리

그림2는 두께 방향으로 분극된 길이 방향 진동자로 전극이 상하 양면에 있고 구동부 압전진동자와 마찬가지로 길이 방향으로 폭(L)과 두께(T)와 비교하여 훨씬 큰 진동을 일으키며 두께 방향의 전계와 길이 방향의 진동을 이용할 때의 압전 방정식은 식 (2-3)과 (2-4)로 표현 할 수 있다.

$$S_1 = s_{11}^E T_1 + d_{31} E_3 \quad (2-3)$$

$$D_3 = d_{31} T_1 + \epsilon_{33}^T E_3 \quad (2-4)$$

여기서 S_1 , T_1 은 각각 x축 방향의 변형(strain)과 응력(stress)이고 D_3 , E_3 은 각각 z축 방향의 전속 밀도와 전계의 세기이며 s_{11}^E 는 전계 E 가 일정할 때의 탄성 컴플라이언스(elastic compliance), ϵ_{33}^T 는 응력 T 가 일정할 때의 유전율(permittivity), d_{31} 는 압전상수(piezoelectric constant)를 나타낸다.

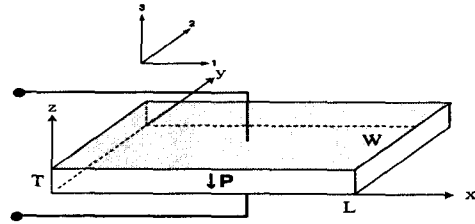


그림 2 발전 진동자.

Fig. 2. A generating piezoelectric vibrator.

3. 실험

실험은 11층, 13층 두 개의 적층형 압전변압기로 실험하였다. 출력전압 및 출력전류 실험은 입력 전압을 $100[V_{p-p}]$ 로 하고 주파수는 11층인 경우 82[kHz]에서 96[kHz]까지, 13층인 경우 70[kHz]에서 82[kHz]까지 일정한 간격으로 주파수를 증가 시키면서 측정하였다. 부하저항 또한 10[Ω]에서 100[Ω] 또 100[Ω]에서 1k[Ω]까지 변화를 주면서 측정하였다. 그림4는 실험에 사용된 압전변압기이다.

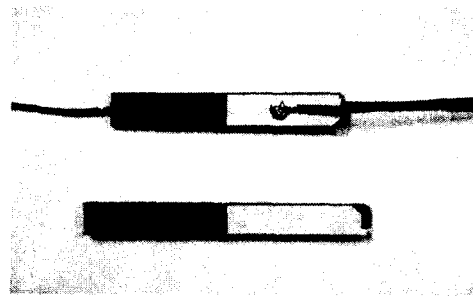


그림 3. 실험에 사용된 압전변압기.

Fig. 3. Piezoelectric Transformer.

3.1 출력전압 및 출력전류 특성

3.1.1 출력전압 특성

그림4와 그림5는 각각 11층과 13층 강압용 압전변압기의 출력전압 특성을 주파수와 부하저항 변화에 따라 실험을 통해 얻은 출력 전압을 3차원으로 구성하였다.

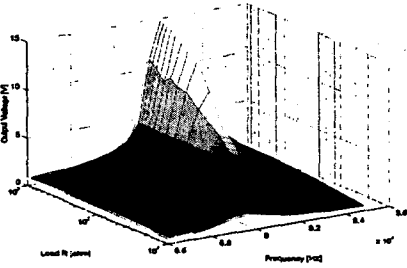


그림 4. 11층 압전변압기의 출력전압 특성.
Fig. 4. Output voltage characteristics of a 11-layered piezoelectric transformer.

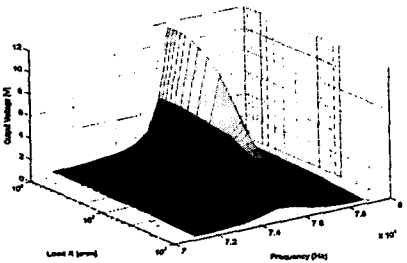


그림 5. 13층 압전변압기의 출력전압 특성.
Fig. 5. Output voltage characteristics of a 13-layered piezoelectric transformer.

3.1.2 출력전류 특성

그림6과 그림7은 각각 11층과 13층 강압용 압전변압기의 출력전류 특성을 주파수와 부하저항 변화에 따라 실험을 통해 얻은 출력 전압을 3차원으로 구성하였다.

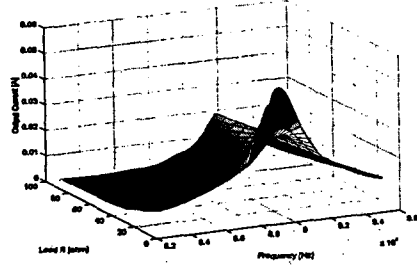


그림 6. 11층 압전변압기의 출력전류 특성.
Fig. 6. Output current characteristics of a 11-layered piezoelectric transformer.

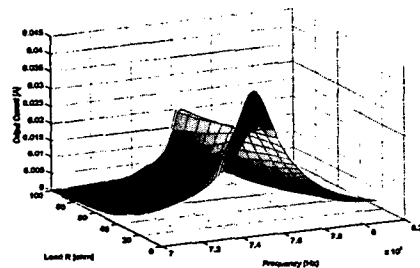


그림 7. 13층 압전변압기의 출력전류 특성.
Fig. 7. Output current characteristics of a 13-layered piezoelectric transformer.

4. 실험 결과 및 고찰

전압 특성은 11층 적층형 압전변압기인 경우 입력 전압 100[V_{p-p}], 부하저항10[Ω]일 때 89.4[kHz]에서 최고 전압인 1.64 [V_{p-p}]가 측정되었고 부하저항을 증가함에 따라 출력전압의 최고점이 출력되는 공진 주파수가 변화였다. 그러다 200[Ω]이상에서 92[kHz]로 공진주파수가 더 이상 변하지않고 출력 전압 또한 약 14[V_{p-p}]에서 부하 저항이 증가하여도 출력전압은 일정하였다. 시플레이션은 10[Ω]일 때 1.52[V_{p-p}]가 나타났고 실험과 유사한 형태로 증가하다 500[Ω]이상에서 14[V_{p-p}]을 지나면서 포화하는 특성을 보였다.

13층 적층형 압전변압기의 전압특성은 입력전압

100[V_{p-p}], 10[Ω]일 때 74.6[kHz]에서 최고 전압인 1.31[V_{p-p}]가 출력 되고 부하가 증가함에 따라 공진 주파수가 변하다가 100[Ω]이상에서 77[kHz]로 공진 주파수가 변하지 않고 출력전압도 약 11.5[V_{p-p}]로 일정하였다. 시뮬레이션은 10[Ω]일 때 1.27[V_{p-p}]가 나타났고 실험과 유사한 형태로 증가하다가 400[Ω] 이상에서 11[V_{p-p}]을 지나면서 포화하는 특성을 보였다.

전류특성은 11층 적층형 압전변압기인 경우 공진 주파수에서 입력전압 100[V_{p-p}], 부하저항에 반비례하여 10[Ω]일 때 주파수가 89.4[kHz]에서 최고 전류인 50.5[mA]가 출력되었고, 20[Ω]이후부터는 출력전류가 급감하여 31[mA]까지 출력되고 공진주파수가 변하면서 출력전류가 감소하다가 부하저항 100[Ω]에서 주파수가 92[kHz]일 때 15[mA]가 측정되었다. 시뮬레이션은 10[Ω]일 때 49.5[mA]가 나타났고 실험과 마찬가지로 20[Ω]에서 급감하여 부하에 따라 출력전류가 감소하는 특성을 보였다.

13층 적층형 압전변압기의 전류특성도 공진주파수에서 입력전압 100[V_{p-p}], 부하저항에 반비례하여 10[Ω]일 때 41.5[mA]가 출력되었고 11층과 마찬가지로 20[Ω]이후부터는 출력전류가 급감하여 29[mA]까지 출력되고 공진주파수가 변하면서 감소하다가 부하저항이 100[Ω]이고 주파수가 77[kHz]일 때 20[mA]로 출력이 나타났다. 시뮬레이션은 10[Ω]일 때 38.4[mA]가 나타났고 실험과 마찬가지로 20[Ω]에서 급감하여 부하에 따라 출력전류가 감소하는 특성을 보였다.

5. 결 론

본 논문은 11층과 13층 승압용 적층형 압전변압기를 이용하여 입출력을 반대로 강압용 압전변압기의 전기적 특성을 관찰하였다.

입력을 100[V_{p-p}]로 주고 주파수와 부하 저항을 변화시키면서 출력 전압과 출력전류를 측정하고 특성을 고찰하였다. 강압용 압전변압기에서 출력전압과 출력전류 모두 공진주파수를 승압시켰을 때와 마찬가지로 부하저항의 증가에 따라 변화하였다.

또 입력전압 100[V_{p-p}]일 때의 출력전압은 공진 주파수에서 10[Ω]에서는 11층 1.64[V_{p-p}], 13층 1.31[V_{p-p}]가 출력 되었고 부하저항이 증가함에 따라 증가하다가 11층 압전변압기는 200[Ω]에서, 13층 압전변압기는 100[Ω]이상에서 출력이 일정해지는 특성을 나타내었다.

또 동일한 입력전압인 100[V_{p-p}]일 때의 출력전류는

부하저항에 반비례하여 감소하며, 10[Ω]에서는 11층 50.5[mA], 13층 41.5[mA]가 출력되었고 20[Ω]이상에서는 출력 전류가 급감하여 10[mA]정도까지 감소하다가 200[Ω]이상에서 1~3[mA]의 전류가 측정되었다.

앞으로 이러한 압전변압기를 AC-adapter로 사용하기 위해서는 출력전류를 증가시킬 수 있는 방법을 더욱 연구할 필요가 있다고 생각한다.

참고 문헌

- [1] S. Hamamura, Toshiyuki Zaitso, "AC-DC Converter Using Piezoelectric Transformer" NEC 技報 Vol. 51 No. 4, 1998.
- [2] A. Mizutana, Y. Hashiguchi, et al, " New Transformer Shrinks LCD Backlight Thickness", Nikkei Electronics Asia, pp.76-80, 1995.
- [3] C. Y. Lin, " Development of Piezoelectric Transformer Converter ", VPEC Power Electron. Seem. Proc, pp.79-85, 1993.
- [4] T. Zaitso, T. Inoue, O. Ohnishi, and A. Iwamoto, " 2 MHz Power Converter with Piezoelectric Ceramic Transformer", IEEE Intelec Proc., pp.430-437, 1992.
- [5] T. Zaitso, Y. Fuda, Y. Okabe, T. Ninomiya, S. Hamamura, and M. Katsuno, "New Piezoelectric Transformer Converter for AC-adapter", IEEE APEC'97 Proc., pp.568-572, 1997.
- [6] C. A. Rosen: "Ceramic Transformer and Filters", Proc. Electronic Comp. Symp., pp.205-211, 1957.
- [7] K. Uchino, "Ferroelectric Devices", Marcel Dekker, Inc., New York, 2000.
- [8] J. H. Kim, D. Y. Han, et al, "Analysis of a Three-Layered Piezoelectric Ceramic Transformer Filters", IEEE Trans. Circuit & System-I Vol. 42 No. 6, pp.307-313, 1995.