2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2003.7.21-23

디스크형 압전변압기의 전극비에 따른 전기적 특성

이 종필, 채 홍인*, 정 수현**, 강 형식***, 이 충호****, 신 현택, 홍 진웅
광운대학교, *주성대학, **대원과학대학, ***청주기능대학, ****충주대학교

Electrical Characteristics of Disk-type Piezotransformer with Electrode Ratio of Driving and Generating Part

J. P. Lee, H. I. Chae*, S. H. Jeong**, H. S. Kang***, C. H. Lee****, H. T. Shin and J. W. Hong
Kwangwoon Univ., *Juseong College, **Daewon Science College,
***Cheongju Polytechnic College, ****Chungju Nat'l Univ.

Abstract - A new type of piezoelectric transformer using radial vibration of disk, poled with the same direction is proposed. The piezoelectric ceramics was composed to PZT-PMN-PSN. The surface ratio of driving electrode and generating electrode of the piezoelectric transformer ranges from 1.4:1 to 3:1. As a experimental result, both resonance frequency and step-up voltage ratio increased with increasing load resistance. The step-up voltage ratio was reached more than 60 times under no load resistance. The maximum efficiency of 97.7% at load resistance of 2kΩ was obtained.

1. 서 론

압전변압기는 구동부(1차측)에 공진주파수의 전압을 인가하여 발생된 압전세라믹의 기계적 진동이 발전부(2차측)으로 전달되어 기계적 진동을 일으키고 이것이 발전부에서 전기적 출력으로 변환된다. 출력특성으로서 승압비는 압전체의 길이나 두께, 전극 패턴, 전기기계 결합계수와 기계적 품질계수 등이 직접 관계되는 파라미터들이다. 그 외에도 압전변형정수, 유전율, 손실계수(tan δ) 및 입도 분포 등이 구동시 성능을 좌우하는 간접적인 요인들이다

Rosen type이나 이와 유사한 형태의 구조를 가진 압전변압기는 임피던스가 매우 높은 부하와의 정합면에서 우수한 특성을 지니고 있어서, TFT LCD 모니터의 후면광원용 압전인버터에 채택되어 널리 사용되고 있다[1,2].

그렇지만 최근에는 Rosen type이 갖고 있는 저출력의 한계를 극복하기 위해, 적층을 한다든지 또는 2개 이상의 압전변압기를 병렬 구동시킨다든지 하는 방법의 연구가 진행되어 왔으며, 한편으로는 효율을 개선하기 위해 압전변압기의 형상과 전극 패턴을 변화시키는 연구가 이루어지고 있다[3-5]. 또한 이러한 Rosen type의 압전변압기를 일반전원의 전압에서 구동하면 압전체가 큰 구동전압에서 파괴되기 쉽다는 것과 임피던스 정합이 어렵게 되어 효율이 저하되는 문제점이 있다. 따라서 일반 형광등 조명용에 적용하려는 새로운 형태의 압전변압기에 대한 연구가 극히 소수 이루어지고 있다[6,7].

본 연구에서는 새로운 형태의 디스크형 압전변압기를 제작하여 구동부와 발전부의 전극 패턴을 설계하고, 분극처리는 동일 방향으로 하였다. 그리고 구동부와 발전부의 전극비를 변화시키면서 전기적 출력 특성을 측정하고 검토하였다.

2. 실 험

2.1 시편제조

디스크형 압전변압기에 적용된 압전세라믹의 조성은 0.95PZT+0.03PMN+0.02PSN이며, 시편제조는 일반적인 세라믹 소성과정을 거쳤다. 이 조성계의 물성은 다음의 표 1과 같다.

표 1. 압전 세라믹의 물성

$\varepsilon^T_{33}/\varepsilon_0$	$\tan\delta$	k_p	d_{33}	Q_m
1200	0.3%	0.53	320	1100

위의 물성을 가진 조성계를 이용하여 디스크형 압전변압기를 그림 1과 같이 제작하였으며, 직경 45mm, 두께 4mm로 연마하였다. 위면의 구동부와 발전부의 전극비를 그림 2와 같이 1.4:1, 2:1, 3:1이 되도록 하였으며, 전극간 간격은 1mm이며, 아래면은 공통으로 전극간 간격이 없도록 하였다. 분극 조건은 120℃의 온도하에서, 3kV/mm의 전계를 30분 동안 시편에 인가하였으며, 구동부와 발전부의 분극방향은 같도록 처리하였다.

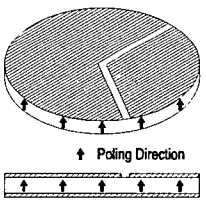
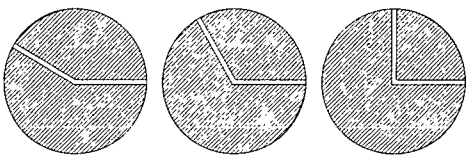


그림 1. 디스크형 압전변압기.



(a) 1.4:1 (b) 2:1 (c) 3:1

그림 2. 구동부와 출력부의 전극 패턴

2.2 특성측정

디스크형 압전변압기의 전기적 입출력 특성인 입출력 전압과 전류 및 위상차의 측정은 그림 3과 같이 측정회로를 구성하여, 오실로스코프(Tektronix, TDS1002)로 측정하였으며, 이 때 부하저항의 범위는 100Ω~70 kΩ로 하였다. 그리고 구동부의 인가 전압은 3.65V_{rms}로 고정하였고, 구동주파수는 부하저항 변화에 따른 각각의 공진주파수를 인가하였다.

부하저항별 구동부의 어드미턴스의 공진 특성은 그림 4와 같이 구성하여 부하저항을 변화시키면서 임피던스 분석기(HP 4194A)로 측정하였다.

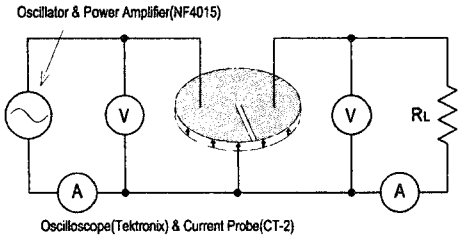


그림 3. 압전변압기 전기적 특성 측정회로.

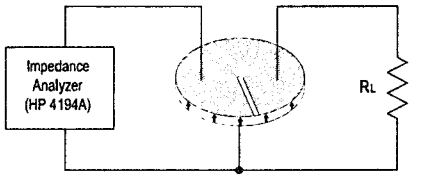


그림 4. 부하저항별 압전변압기의 공진특성 측정회로.

3. 실험결과 및 고찰

그림 5~7은 100Ω~70kΩ 부하저항의 변화에 따른 구동부의 어드미턴스 등가회로의 공진 근처에서 나타난 각 종 주파수를 임피던스 분석기에 의해 측정한 것이다.

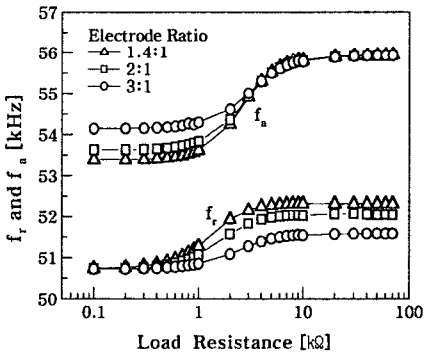


그림 5. 전극비별 부하저항별 압전변압기의 구동부의 공진주파수(f_r) 및 반공진주파수(f_a)

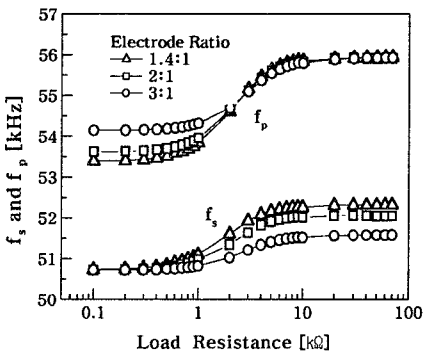


그림 6. 전극비별 부하저항별 압전변압기의 구동부의 직렬공진주파수(f_s) 및 병렬공진주파수(f_p)

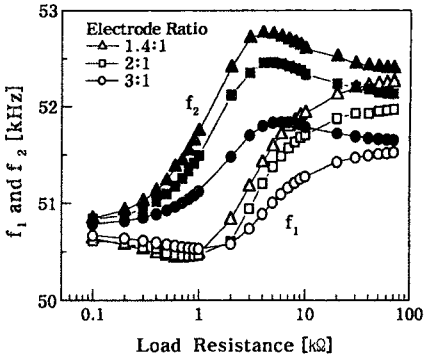


그림 7. 전극비별 부하저항별 압전변압기의 구동부의 최대서셉턴스주파수(f_1) 및 최소서셉턴스주파수(f_2)

그림 8은 구동부에 부하저항별 각각의 공진주파수를 인가하면서 측정한 승압비를 나타낸 것이다. 승압비는 구동부의 전극비가 증가함에 따라 증가되었으며, 또한 부하저항이 2kΩ까지는 서서히 증가하다가 그 이후의 부하저항부터는 보다 큰 폭으로 증가하는 경향을 보여주고 있다. 그리고 무부하에서의 승압비는 모두 60배 이상으로 나타났으며, 전극비가 3:1인 경우 최대 72배로 나타났다.

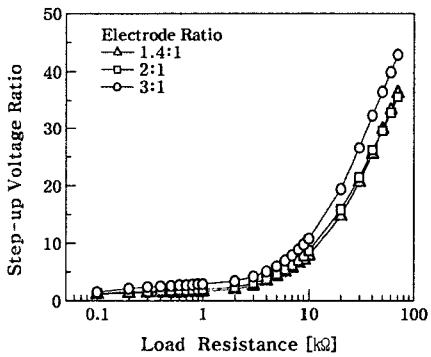


그림 8. 전극비별 부하저항별 승압비

승압비와 전기기계결합계수(k_{eff})와 기계적품질계수(Q_m)가 주요인으로 작용하는데, 즉

$$n = \frac{V_o}{V_i} \propto k_{eff}^2,\ Q_m \qquad (1)$$

의 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 여기서,

$$k_{eff}^2 = \frac{{f_p}^2 - {f_s}^2}{{f_p}^2},\quad Q_m = \frac{f_s}{f_2 - f_1} \qquad (2)$$

로 주어진다.

그림 6과 7의 데이타와 식 (2)에 의해 구한 k_{eff}와 Q_m를 나타낸 것이 그림 9와 10이다.

그림 9에서 보듯이 부하저항이 증가함에 따라 그리고 구동부 전극비가 증가함에 따라 k_{eff}는 증가되는 경향을 보이고 있다. 이는 승압비의 경향과 일치하므로, 본 논문의 새로운 형태의 디스크형 압전변압기의 승압비와 k_{eff}는 비례관계가 있음을 알 수 있었다.

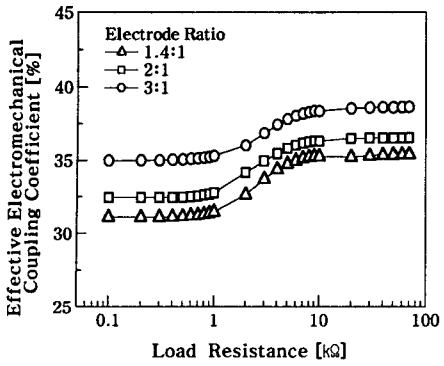


그림 9. 전극비별 부하저항별 유효전기기계결합계수

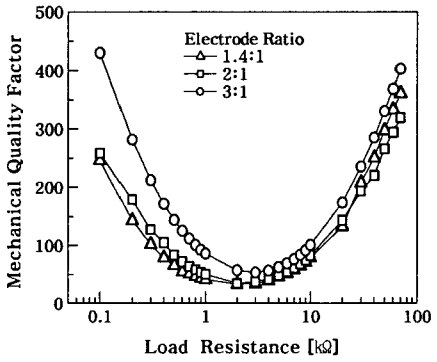


그림 10. 전극비별 부하저항별 기계적품질계수

한편, 기계적 품질계수도 구동부의 전극비가 증가함에 따라 증가되는 경향을 보이고 있지만, 부하저항의 변화에 따른 승압비의 증가 경향과는 불일치되는 부분이 있다. 즉, ~2kΩ의 부하저항까지는 감소되는 경향을 보여주고 있어서 본 본문과 같은 압전변압기의 형태의 승압비와 Q_m은 비례관계가 성립되지 않다고 보여지는데, 이는 밑면을 공통으로 사용함에 따라 저저항에서는 구동부와 더불어 발전부도 공진의 영향과 또한 구동부와 발전부간의 커패시터 성분이 존재 등이 원인이라 생각된다.

그림 11은 전극비별 부하저항별 효율을 측정하여 나타낸 것으로서, 구동부의 전극비가 클수록 약간씩 감소하는 경향을 보여주고 있으며, 최대효율은 전극비가 1.4:1인 경우 부하저항 2kΩ에서 97.7%로 얻어졌다.

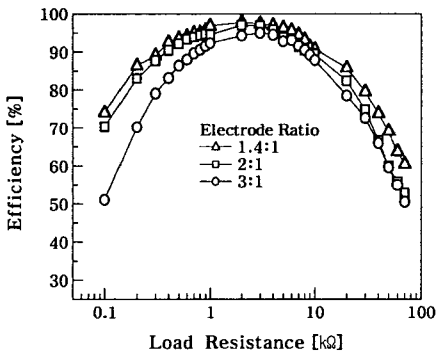


그림 11. 전극비별 부하저항별 효율

최대 효율은 식 (3)과 같이 부하저항과 발전부의 출력임피던스가 같을 때 얻어진다.

$$R_{optimal} = \frac{1}{w C_{d2}} \tag{3}$$

여기서, w와 C_{d2}는 각각 인가공진주파수 및 발전부의 제지용량이다.

각각의 전극비별 압전변압기의 발전부의 제지용량을 임피던스분석기에 측정한 후, 인가공진주파수를 구하여 식 (2)에 의해 계산하면, 약 2.2kΩ인데 그림 11에 나타낸 측정결과 2kΩ의 부하저항에서 최대 97.7% 정도를 보이고 있다. 즉, 발전부의 출력임피던스가 부하저항과 매칭될 때 구동부의 입력전력이 출력부로 최대로 이루어짐을 확인할 수 있었다.

3. 결 론

본 연구에서는 디스크형 압전변압기를 제작하여 동일 방향으로 분극한 후, 전기적 출력 특성을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

부하저항과 구동부 전극비가 클수록 승압비는 증가하고 있으며, 특히 2kΩ 이상에서 승압비의 증가폭은 크게 나타났으며, 무부하 승압비는 모두 약 60배 이상이었다. 효율은 2kΩ의 부하저항에서 최대 97.7%로 나타났다.

참고 문헌

[1] Y. Shimada, S. Kawashima, N. Furuhashi, M. Sugimoto, Y. Sato, H. Suzuki, and K. Isobe, "LCD Backlight Inverter using Piezoelectric Transformer", NEC Technical Journal, Vol.48, No.10, pp.122-126, 1995.

[2] Fuda Y, Kumasaka K, Katsuno M, Sato H and Ino Y, "Piezoelectric Transformer for Cold Cathode Fluorescent Lamp Inverter", JJAP Part 1-Regular Papers Short Notes & Review Papers, Vol.36, No.5B, 1997

[3] Yasuhiro Sasaki, Koichi Zama, Atsushi Ochi, Mitsuru Yamamoto and Susumu Saito, "Multilayer Piezoelectric Transformer for 10W Use", NEC Technical Report, Vol.51, No.10, pp.81-84, 1998.

[4] Hoy-Seung Jeong, et al, "Pararell Driving of Piezoelectric Transformers", JJAP Part 1, Vol.38, No.9A, pp.5166-5169, 1999.

[5] Sakurai K, Shindou S, Ohnishi K, and Tomikawa Y, "Characteristics of a 1st Radial -Vibration-Mode-Disk Coupler-type Piezoelectric Ceramic Transformer, JJAP Part 1-Regular Papers Short Notes & Review Papers, Vol.37, No.9B, pp.5326-5329, 1998.

[6] Katsutoshi Sakurai, Kazumasa Ohnishi and Yoshiro Tomikawa, "Presentation of a New Equivalent Circuit of a Piezoelectric Transformer under High-Power Operation", JJAP, Vol.38, No.9B, pp.5592-5597, 1999.

[7] Masatosi Imori, Takashi Taniguchi and Hiroshi Matsumoto, "A Photomultiplier High-Voltage Power Supply Incorporating a Ceramic Transformer Driven by Frequency Modulation", IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol.45, No.3, 1998.