

형광등 안정기용 고출력 (28W급)압전트랜스포머의 부하저항에 따른 전기적 특성

Electrical Characteristics of 28w class-Piezoelectric Transformer for Fluorescent Lamp Ballast as a function of Load Resistance

황상모*, 이정선*, 류주현*, 박창엽*, 이수호**, 이성일***
(S. M. Hwang, J. S. Lee, J. H. Yoo, C.Y Park, S. H. Lee, S. I. Lee)

Abstract

Contour vibration mode piezoelectric transformers were designed and fabricated to the square plate with size of $27.5 \times 27.5 \times 2.5(2.6, 3.0) \text{ mm}^3$ using PNW-PMN-PZT ceramics. Electrical characteristics of the piezoelectric transformer were investigated for fluorescent lamp ballast application. The electrical properties and characteristic temperature rise were measured using oscilloscope and infrared temperature sensor. A 28W fluorescent lamp was successfully driven by the fabricated transformers. After driving the lamp using Power Amplifier for 24 min, the output power, efficiency and characteristic temperature rise of PT2 piezoelectric transformer showed the appropriate values of 28.01W, 99.43% and $11 \text{ }^\circ\text{C}$, respectively. The electronic ballast using PT2 piezoelectric transformer showed an excellent output power of 28.85 W and efficiency of 86.3%, respectively

Key Words : Piezoelectric transformer, Fluorescent lamp ballast

1. 서 론

최근 들어, 압전트랜스포머가 Liquid Crystal Display(LCD) Back-light인 CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp)의 구동원으로서 이용됨에 따라 이에 대한 연구 개발이 활발히 진행되고 있으며, 또한, 이 소자가 형광등 안정기 구동원으로서도 그 응용 가능성이 확인됨에 따라 고출력 압전트랜스포머 개발도 병행되어 진행되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 PNW-PMN-PZT 세라믹스를 이용하여 Ring/Dot의 size와 시편의 두께를 변화

시켜 압전트랜스포머를 제작하여 그에 따른 임피던스 특성, 승압비, 출력전력에 따른 온도 상승, 형광등 점등 후의 특성 등을 조사하고, 실제 안정기회로에 실장하여 제반특성을 조사하여 압전트랜스포머의 형광등 안정기용용 가능성을 고찰하고자 한다.

2. 실험

2.1 압전트랜스포머의 제조 및 특성측정

기존의 LCD Back light 구동용으로 사용되는 압전트랜스포머는 Rosen형이나 Rosen형이 개량된 분극반전형으로 출력 임피던스가 높아 고전압, 소전류를 필요로 하는 냉음극관에는 적합하나 100mA 이상의 전류를 필요로 하는 형광등에는 적용하기 어렵다. 또한, 형광등 점등용 압전트랜스포머는 고전력을 필요로 하므로 고전력에 견디는 압전트랜스포머가 필요하다. 본 연구에서는 경방향 전기기계결합계수

* 세명대학교 전기공학과
(제천시 신월동 세명대학교,
Fax: 043-648-0868
E-mail : juhyun57@venus.semyung.ac.kr)

** 경북대학교 전기전자공학부

*** 충주대학교 안전공학과

k_p 가 일반적으로 길이방향 전기기계결합계수 k_{31} 보다 높은 점을 고려하여 정사각형 모양의 압전트랜스포머를 설계하였다. 또한, 입력부와 출력부의 절연을 고려하여 그림 1과 같이 전극을 형성하여 제작하였다. 여기서, 입력부는 바깥 링부분이며, 출력부는 가운데 도트부분이다.

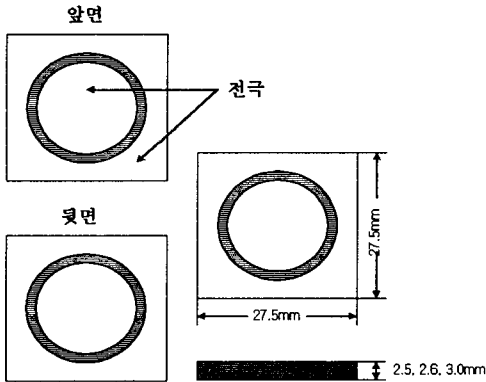


그림 1. 압전트랜스포머의 다이어그램
Fig. 1. Diagram of Piezoelectric transformer

입력측의 임피던스와 출력측의 임피던스는 링과 도트의 전극 면적비를 변화시키기에 따라 조절 가능하며, 출력전류를 크게 하기 위해서는 출력측의 전극 면적을 크게 하는 것이 유리하나 너무 증가하면 상대적으로 입력측의 전극면적이 작아 큰 진동을 유지하기가 곤란하므로 최적 전극 면적비의 설계가 필요하다. 압전트랜스포머용 세라믹스는 산화물 혼합법으로 $Pb(Ni_{1/2}, W_{1/2})O_3-Pb(Mn_{1/3}, Nb_{2/3})O_3-Pb(Zr, Ti)O_3$ 조성으로 CIP(Cold Isostatic Pressing) 방법을 이용하여 제작하고 시편의 크기를 $27.5 \times 27.5 \times 2.5(2.6, 3.0)mm$ 로 가공한 후 Dot의 사이즈를 16ϕ , 17ϕ 로 하여 전극을 형성한 후 $600^\circ C$ 에서 10분간 전극 처리를 하고, $120^\circ C$ 의 silicon oil bath에서 $25[kV/cm]$ 의 전계를 30분 인가하여 분극 하였다.

압전트랜스포머의 분극 후 24시간 경과 후에 Impedance analyzer(HP4194A)로 주파수에 따른 임피던스를 측정하여, 공진·반공진 주파수 및 제반 동작회로 정수를 측정하였으며, 압전트랜스포머의 유효 전기기계결합계수 및 출력임피던스, Q_m' 은 다음 식으로 구하였다.

$$k_{eff} = \sqrt{\frac{f_a^2 - f_r^2}{f_a^2}} \quad \text{----- (1)}$$

$$Z_{out} = \frac{1}{2\pi f_r C_{out}} \quad \text{----- (2)}$$

$$Q_m' = \frac{1}{2\pi f_r \left[1 - \left(\frac{f_r}{f_a} \right)^2 \right] RC} \quad \text{----- (3)}$$

또한, Power Amp(Trek 50/750)와 실제 제작한 형광등 안정기를 구동 전원으로 사용하여 압전트랜스포머의 전기적 특성 및 T5(28W) 형광등 구동특성을 오실로스코프(Tektronix TDS 3054)와 current Probe(Tektronix TCP 202)으로 측정하였으며, 온도 상승은 비접촉식 적외선 온도계(Raytex MX2)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

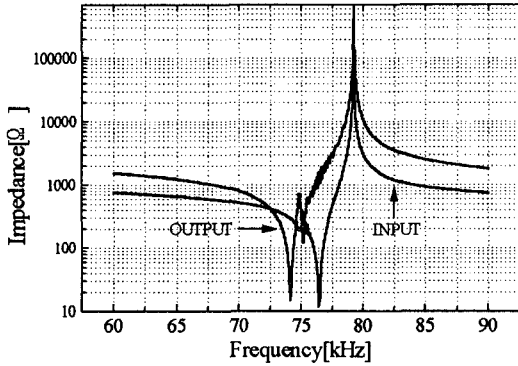
일반적으로, 압전트랜스포머의 입력부의 정전용량 C_{in} 이 출력부의 정전용량 C_{out} 보다 크면 부하를 연결하여 압전트랜스포머를 구동하였을 때 승압형으로 동작한다. 제작된 압전트랜스포머 모두 C_{in} 이 C_{out} 보다 약간 크게 설계하였다. 압전트랜스포머의 유효 기계적품질계수는 손실의 역수에 비례하기 때문에 이 값이 크면 발열이 덜 생기게 된다. PT2 압전트랜스포머가 입, 출력부의 기계적품질계수가 가장 컸다. 압전트랜스포머의 출력 임피던스가 부하저항과 같게 되면 효율이 가장 크게되어 압전트랜스포머 발열이 가장 적게 발생한다. 압전트랜스포머의 출력임피던스는 역시 PT2가 1597Ω 로 가장 작아 T5 형광등을 점등시켰을 때 등가임피던스인 $1[k\Omega]$ 과 가장 가까웠다. 표 1은 제작한 압전트랜스포머의 제반 특성을 정리해 둔 것이다.

표 1. 제작된 압전트랜스포머의 특성

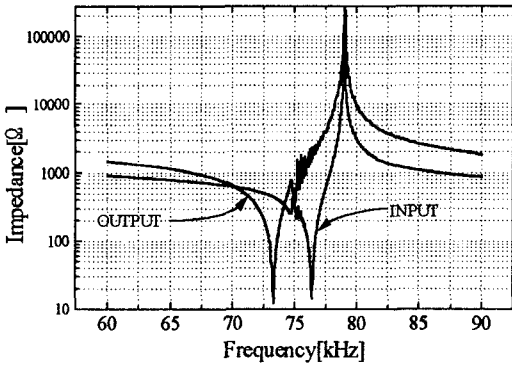
Table 1. Characteristics of fabricated Piezoelectric transformer

		PT1	PT2	PT3
입 력 부	f_r	76.4[kHz]	76.4[kHz]	76[kHz]
	f_a	79.2[kHz]	79[kHz]	78.8[kHz]
	Z_r	11.8[Ω]	14.4[Ω]	17.5[Ω]
	Z_a	58.3[k Ω]	150[k Ω]	58.9[k Ω]
	C_{in}	3.02[nF]	2.54[nF]	2.21[nF]
	Q_m	842	880	776
	k_{eff}	0.26	0.25	0.26
출 력 부	f_r	74.1[kHz]	73.3[kHz]	73.2[kHz]
	f_a	79.2[kHz]	79[kHz]	78.9[kHz]
	Z_r	15[Ω]	12.5[Ω]	15.2[Ω]
	Z_a	647[k Ω]	254[k Ω]	553[k Ω]
	C_{out}	1.34[nF]	1.36[nF]	1.18[nF]
	Q_m	858	919	871
	k_{eff}	0.35	0.37	0.37
	Z_{out}	1,604	1,597	1,844

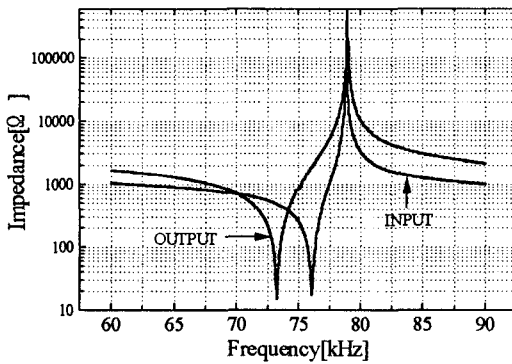
그림 2는 Impedance analyzer(HP4194A)로 측정
한 각 압전트랜스포머(PT1~PT3)의 임피던스 특성
곡선을 나타낸 것이다. 입력부의 공진, 반공진 임피
던스차가 출력부의 차보다 작아 입력부의 유효전기
기계결합계수 K_{eff} 가 작았다.



(a) PT1



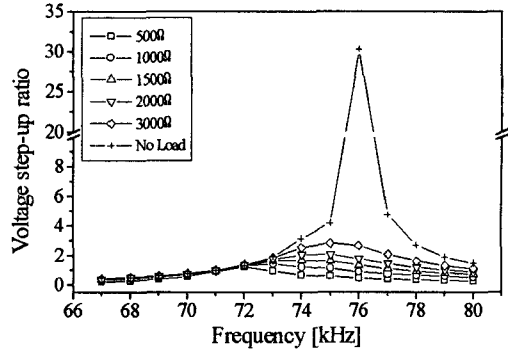
(b) PT2



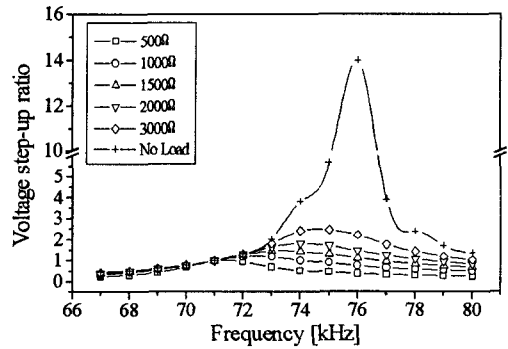
(c) PT3

그림 2. 압전트랜스포머의 임피던스곡선
Fig. 2. Impedance curve of Piezoelectric
transformers

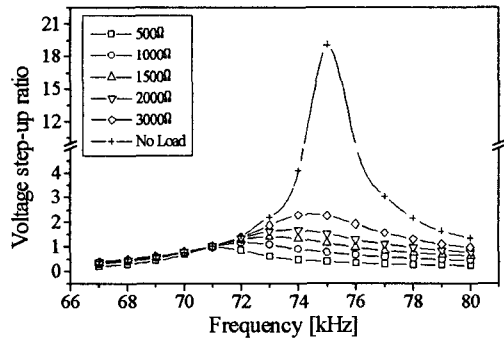
그림 3은 부하저항 500Ω, 1kΩ, 1.5kΩ, 2kΩ, 3kΩ 및
무부하 일 때에 주파수에 따른 승압비 특성을 나타
내고 있다. 부하가 증가함에 따라 승압비는 증가하
였으며, PT1에서 대체적으로 승압비가 가장 컸다.



(a) PT1



(b) PT2



(c) PT3

그림 3. 부하저항에 따른 승압비
Fig. 3. Voltage step-up ratio as a function of load
resistance

T5(28W) 형광등을 구동하기 위해서는 점등개시전압 450[V], 점등 후 관전압 167[V]의 전압이 필요하므로 이는 입력전압을 220[V]로 보았을 때 점등개시 시에는 약 2.04배, 점등 후에는 약 0.76배의 승압비가 요구되기 때문에 세가지 구조의 압전트랜스포머는 이 요구조건을 모두 만족하였다.

그림 4는 입력전압에 따른 부하저항 1k Ω , 1.5k Ω , 2k Ω , 3k Ω 에서의 PT2 압전트랜스포머의 출력전력을 보이고 있다. 부하저항이 낮을 때는 보다 높은 부하저항에서 보다 상대적으로 승압비가 낮기 때문에 더 높은 입력전압이 필요하게 된다. 부하저항 1k Ω 에서 입력전압이 약 230[V]일 때에 28[W]에 가까운 출력전력을 보이는 반면, 1k Ω 을 제외한 나머지 부하에서는 모두 200[V]에 가까운 입력으로 28[W]의 출력전력을 나타내고 있다.

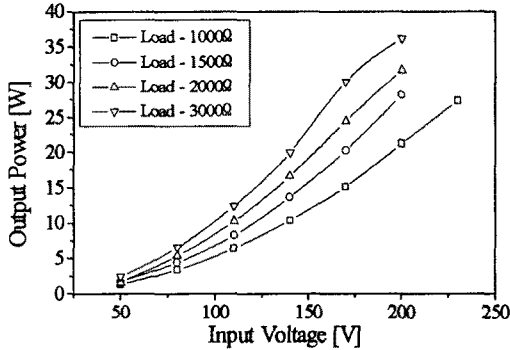


그림 4. PT2의 입력전압에 따른 출력전력
Fig. 4. Output power of PT2 as a function of input voltage

그림 5는 부하저항이 1k Ω 일 때의 출력전력에 따른 24분 구동 후의 온도상승을 보이고 있다. PT2가 온도상승이 13 $^{\circ}$ C로 가장 좋은 특성을 보였다.

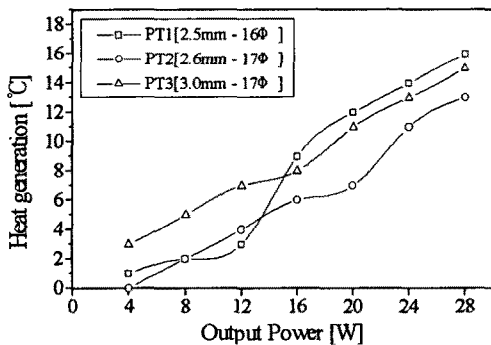


그림 5. 출력전력에 따른 온도상승(부하 1k Ω)
Fig. 5. Temperature increase as a function of output power(Load 1k Ω)

표 2는 전력증폭기(power amplifier)를 사용하여 압전트랜스포머로 형광등을 구동한 후 24분 경과된 후의 전기적 특성을 나타낸 것이다. PT1~PT3 모두 99%의 효율을 보여 우수한 특성을 보이고 있으나, 공히 T5(28W) 형광등의 정격인 167[V], 170[mA]와는 조금 상이한 특성을 보이고 있다. 이는 형광등의 등가저항과 압전트랜스포머의 출력임피던스의 불일치에서 기인한다고 생각된다. 형광등의 등가저항은 약 1k Ω 인데 반해, 상대적으로 압전트랜스포머의 출력 임피던스가 높기 때문에 전류의 감소와 더불어 전압의 증가를 야기한 것으로 생각된다.

표 2. 압전트랜스포머의 형광등 구동 특성
Table 2. Driving characteristics of Piezoelectric transformer (using Power-amp)

	PT1	PT2	PT3
f_d [kHz]	76.67	76.55	75.58
V_{in} [V]	159	180	177
I_{in} [mA]	214	209	204
P_{in} [W]	28.10	28.17	28.87
V_{out} [V]	197	196	198.7
I_{out} [mA]	145	149	147.5
P_{out} [W]	27.87	28.01	28.65
η [%]	99.18	99.43	99.23
ΔT [$^{\circ}$ C]	14	11	12

표 3. 압전트랜스포머의 형광등 구동 특성
Table 3. Driving characteristics of Piezoelectric transformer(using ballast circuit)

	PT1	PT2	PT3
f_d [kHz]	79.71	79.17	79.98
V_{in} [V]	103.7	105.1	103.8
I_{in} [mA]	343.6	337.4	352.8
P_{in} [W]	33.44	33.43	35.16
V_{out} [V]	187.7	188.9	186.3
I_{out} [mA]	154.4	155.6	160.4
P_{out} [W]	28.43	28.85	29.40
η [%]	85.01	86.3	83.61
ΔT [$^{\circ}$ C]	16	15	17

표 3은 안정기회로를 설계하여 제작한 후 압전트랜스포머를 장착한 후 형광등을 구동한 후 24분 경과된 다음에 전기적 특성을 나타낸 것이다. 효율은 안정기 입력부와 압전트랜스포머 출력부에서 계산하였으며, PT2에서 86.3%로 가장 우수한 안정기효율

특성을 나타내었다. 이때에 온도상승은 15℃를 나타내었으며, 이는 20℃을 최대 허용전력으로 볼 때 28W형광등에 적용하기에 아주 적합한 압전트랜스포머라고 생각된다.

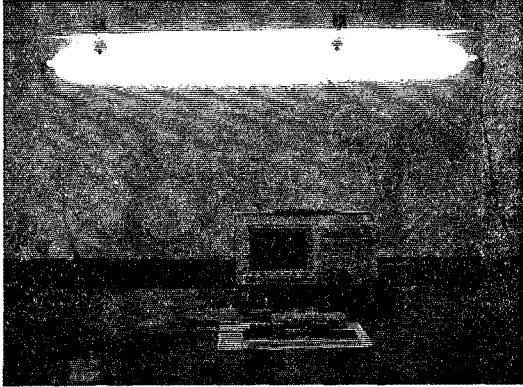


그림 7. 압전트랜스포머가 장착된 형광등 안정기로 점등된 T5(28W) 형광등
 Fig. 7. Lit fluorescent lamp by the ballast circuit using piezoelectric transformer

4. 결 론

본 연구에서는 PNW-PMN-PZT 세라믹스를 이용하여 압전트랜스포머를 27.5 × 27.5 × 2.5(2.6, 3.0) mm³로 제작하여 T5(28W) 형광등 안정기로에 응용가능성을 조사한 결과, 전력증폭기로 구동된 모든 압전트랜스포머가 우수한 특성을 나타냈으며, PT2가 입력전력 28.17[W], 출력전력 28.01[W], 효율 99.43[%] 온도상승 11℃로 가장 우수한 특성을 나타내었다. 또한, 제작한 모든 압전트랜스포머를 실제 안정기회로에 장착하여 형광등 구동실험을 해 본 결과 PT2에서 86.3%로 가장 우수한 안정기효율 특성을 나타내었다. 이때에 온도상승은 15℃를 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 1999년도 과학재단 특정기초연구과제(과제번호:1999-1-302-004-3)로 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] J. H. Yoo, M. S. Lee and C. Y. Park: Piezoelectric Transformer Bull. KIEEME 12 (1999) No. 5, 26.
- [2] S. Kawashima, O. Ohnishi, H. Hakamata, S. Tagami, A. Fukuoka, T. Inoue and S. Hirose: Proc.1. Int. IEEE Ultrasonic Symp,(1994) p.525.
- [3] H. W. Katz: *Solid State Magnetic and Dielectric Devices* (John Wiley & Sons, New York, 1959) Chap. 2, p. 35.
- [4] Y. Fuda, K. Kumasaka, M. katsuno, H. Sato and Y. Ino: Jpn. J. Appl. Phys. 36 (1997) 3050.
- [5] J. H. Yoo, Y. W. Lee, K. H. Yoon, H. S. Jung, Y. H. Jung and C. Y. Park: J. KIEEME 11 (1998) No. 10, 849.
- [6] C. Y. Park: *Piezoelectric Ceramics* (Kimyoungsa, Seoul, 1987) Chap. 10, p. 220.
- [7] S. Hirose, N. Magami and S. Takahasi: Jpn. J. Appl. Phys. 35 (1996) 3038.
- [8] H. Kawai, Y. Sasaki, T. Inoue, T. Inoi and S. Takahashi: Jpn. J. Appl. Phys. 35 (1996) 5015.