

형광등 점등용 압전트랜스포머



류주현
세명대학교 전기공학과 부교수



이명수
국립기술품질원 조명시험실 연구원



박창엽
연세대학교 전기공학과 교수

1. 서 론

우리 나라 총 사용전력에 대한 조명부분에너지 사용비율은 18%에 이르고 있다. 이는 1995년 통계로 볼 때 31,411Gwh에 달하는 것으로 매년 10%이상 증가하는 전력 소비량 추세로 볼 때 다가오는 2006년에는 56,163Gwh에 이를 것으로 전망되고 있다.

조명 기기의 에너지 절약 잠재량은 여타 전력 기기 보다 높은 것으로 평가되고 있으나 조명산업의 현주소는 영세성을 벗어나지 못하고 있는 실정이고 선진국에 비해 낙후되고 있다. 국내에서는 40w(32mm)형 광등을 32w(26mm)로 대체중이고 또한 16mm(T5)형광램프는 연구가 활발히 진행 중에 있다. 외국의 오스람등에서는 7mm형광램프가 있으나 예열식으로는 더욱 가늘게 하기에는 한계가 있다. 초 세관형 형광램프로는 2mm의 직경을 갖는 냉음극관(CFL, Cold Cathod Fluorescont Lamp)이 있으며, 이 냉음극관은 휴대용 컴퓨터 등의 LCD display에 이용되는 back light 조명으로 이용되고 있다.

휴대용 컴퓨터에 사용되는 LCD Back light용 냉음극관(2mmφ×210mm) 구동을 위해서는 점등 개시 시에 약1,200 Vrms를 필요로 하며, 정상동작 시에는 400~500 Vrms 정도의 전압을 유지시켜 주어

야한다. 이를 위해서, 기존에는 권선 트랜스와 콘덴서 등을 사용하여 냉음극관 구동 인터버를 사용하였다. 그러나 최근 들어 고전력 압전재료 개발에 힘입어 압전트랜스포머를 이용하여 냉음극관을 구동하는 기술이 일본의 NEC, 다무라 등에서 실용화되었으며, 국내에서도 LG정밀, 삼성전기 등지에서 연구가 활발히 진척되고 있다. 그러나, 이 냉음극관(1~3watt급)에 사용되는 압전트랜스포머는 Rosen형을 사용하거나 Rosen형에서 전극 배치를 바꾼 type으로서 사용되며 현재까지 3watt 정도가 실용화가 되었다. 이를 더욱 고출력으로 하기 위해서 일본 및 국내에서도 활발히 연구가 진행되고 있다.

본고에서는 직경이 7mm이상인 냉음극관이 아닌 형광등 점등을 기존의 권선트랜스를 사용한 인터버가 아닌 압전트랜스포머로 구동시키기 위한 기술과 동향을 제시하고자 한다.

2. 본 론

압전트랜스포머가 LCD Back light Inverter 및 오존 발생기, DC-DC Converter, Adaptor 등으로의 응용확대를 위하여 국·내외에서 연구가 활발히 진척되고 있는 이유는 종래의 권선형 트랜스포머를 사용한 방식에 비하여 여러 가지 장점을 가지고 있기 때문이다.

그 장점들은 첫째로 압전트랜스포머는 권선을 감아 자기 에너지를 변환하는 방식이 아니기 때문에 누설 자속이 발생하지 않아 잡음이 안 생기며, 둘째로 압전트랜스포머는 외형 크기에 의해 결정되는 공진주파수만을 선택하여 출력하기 때문에 출력파형이 정형파이므로 고조파 잡음이 발생치 않고, 셋째로 신소재인 무기재료인 세라믹은 소결한 고체소자이므로 발연과 발화의 위험이 없게된다. 이외에도 저 가격화가 가능하며 기존의 권선형 트랜스포머 type에 비해 효율이 80% 이상 높아 에너지가 절약될 뿐 아니라 슬립화, 소형화 경량화등으로에 장점을 가지고 있기 때문에 앞으로 그 응용확대가 괄목할 만하게 진척되리라 확신한다. 그러나, 기존의 Rosen형 압전트랜스포머는 휴대용 컴퓨터의 LCD display용에 사용되고 back light용으로써 냉음극관 점타 장치에 응용되고 있지만 이는 고전압, 소전류 출력에 한정된 것으로서 일반의 형광등에 적용에는 검토가 되지 않았다. 형광등은 점등중의 램프의 등가 임피던스가 수 $k\Omega$ 이하로 냉음극관(80~100 $k\Omega$)에 비해 현저히 낮다.

따라서, 기존의 Rosen형 압전트랜스포머는 출력 임피던스가 높고, 출력전력이 낮기 때문에 사용할 수가 없게 된다. 최근 들어 Rosen형이 아닌 압전트랜스포머를 이용하여 7mm의 직경의 형광등(일본 송하 전기제)을 점등시킨 논문 등이 발표되고 있으며, 아직까지는 실용화가 안된 상태이며, 일본 및 국내에서도 활발히 연구가 진행 중에 있다.

2.1 형광등 점등용 압전트랜스 구조

그림 1은 기존의 Rosen형 압전트랜스포머의 구조에서 폭 방향(w 방향)을 긴 구조로 한 타입이다.

그림 1에서 1차 전극에는 두께 방향(T)으로 2차 전극에는 길이(L) 방향으로 분극되며, 1차 전극에 교류전압을 가하는 것에 의해 전왜 압전 효과로 2차 전극에 전압을 발생시켜 부하에 전력을 공급하게 된다.

진동모드는 $\lambda/2$ 모드를 이용하며, 상기 size의 직렬 공진주파수는 약 150kHz 근방이다. 출력전력을 증가시키기 위해서는 압전트랜스포머를 2개이상 사용하여 병렬로 접속하여 사용하면 된다. 그림 1의 폭 방향 압전트랜스는 일단 길이(L)을 줄이고 폭(W)을 늘렸기 때문에 출력 임피던스가 상당히 감소되며 상대적으로 압전트랜스포머의 승압비는 감소하게 된다. 그러나, 형광등은 (7mm)방전개시시에 약 400Vrms 이상의 전압이 필요로 하나 점등중에는 100~200Vrms로 down되며, 등가 임피던스는 1k Ω ~5k Ω 정도이기 때문에 이에 맞추어 압전트랜스포

머의 출력임피던스를 조절하면 된다. 그림 2는 링-돛트형 압전트랜스포머의 구조를 나타낸 것이다.

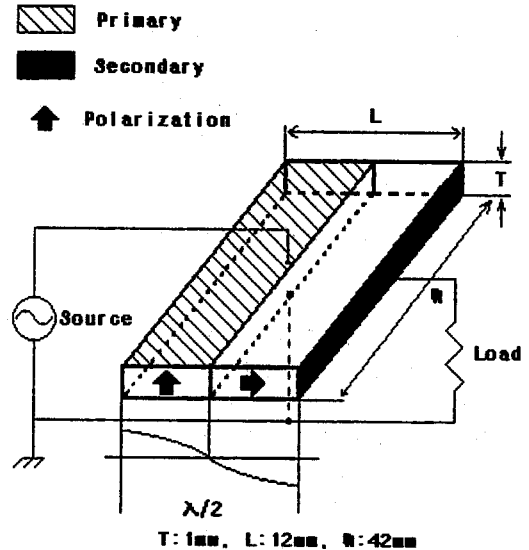


그림 1. 폭 방향 압전트랜스포머

2-2 압전트랜스포머 설계

형광등 점등용 압전트랜스포머를 설계하기 위한 방법으로서 ANSYS 유한 요소 해석 프로그램을 이용하여 설계가능하다. 압전트랜스포머 설계시 파괴를 고려하여 허용응력 한계를 설정해야 하며, 또한 허용 인가전압을 설정해야 한다. 지나친 인가전압으로 인해 파괴나 과열을 방지하도록 하는 설계가 필요하다. 그림 2에서 압전소자의 등가회로를 진동속도, 구동 force관점으로 해석하면 식 (1), (2)에서 진동속도가 증가하면 출력전력이 증가하기 때문에 진동속도를 증가시켜 고출력으로 할 수 있으나, 진동속도를 증가시키면 기계적 품질계수가 하강되기 때문에 고강도, 고밀도의 세라믹 제조가 필수적이다. 또한, 압전트랜스포머의 고출력화를 위한방법으로서 병렬구동회로 설계기술이 확립되어야 한다.

출력전력 P_{out} 을 계산하면 다음식으로 계산된다.

$$P_{out} = \frac{R_L}{1 + (\omega_r C_d R_L)^2} \cdot 4 \phi^2 V_i^2 \quad (1)$$

최대 출력전력이 발생될 때는

$$P_{out}(MAX) = \frac{1}{\omega_r C_d} \cdot 2 \phi^2 v_i^2 \quad (2)이다.$$

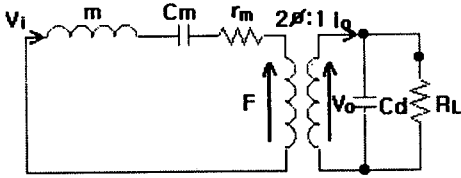


그림 2. 등가의 전기기계 회로

2-3 형광등 점등용 압전트랜스포머의 회로 구성
과 동작원리와 AC해석

그림 3에 압전트랜스포머를 이용한 형광등
(FHL10)점등용 인터버를 그림 4에 각부의 파형을
표시하고 있다.

이 회로의 부하로서는 형광등을 압전트랜스포머의
2차측에 연결하면 되며, 회로 형상은 입력의 정류 평
활부, MOS-FET S1, S2로 이루어진 half-bridge
부, Lr, Cr로 이루어진 병렬공진회로, 출력전력을 증
가시키기 위한 병렬로 구성된 압전트랜스포머로 이루
어진다.

S1과 S2 스위치는 dead time을 두고, duty
ratio를 50%로 교대로 ON, off하여 영전압 스위칭
(ZVS)으로 하면된다.

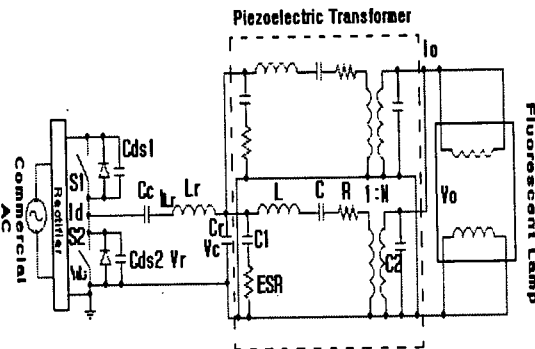


그림 3. 압전 트랜스포머를 이용한 인터버

그림 5(a)에 Inverter 회로 전체의 AC등가회로

를 표시하고 있다. 이 회로의 병렬공진회로 PTA,
PTB를 각각 black box로 보고 F행렬로 표시하면
그림 5(b)처럼 된다. 그것들의 F행렬로 표시하는
것에 의해 회로 전체는 1개의 중속 행렬[F]의 2단
자 망으로서 표현된다.

정의에 의해 다음 식이 얻어진다.

$$\begin{bmatrix} V_{in} \\ I_{in} \end{bmatrix} = [F] \begin{bmatrix} V_{out} \\ I_{out} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$[F] = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$$

$$V_{out} = R_L I_{out} \quad (4)$$

등가 회로의 출력전압과 Inverter의 출력전압은
같기 때문에 식 (1), (2)에 의해

$$V_{out} = \left| \frac{R_L}{AR_L + B} \right| V_{in} \quad (5)$$

$$\text{(단, } V_{in} = \frac{2V_i}{\pi} \sin \alpha \text{)}$$

또한, 입력전력 P_{in} , 출력전력 P_{out} , 효율을 n 로
하면 다음 식이 얻어진다.

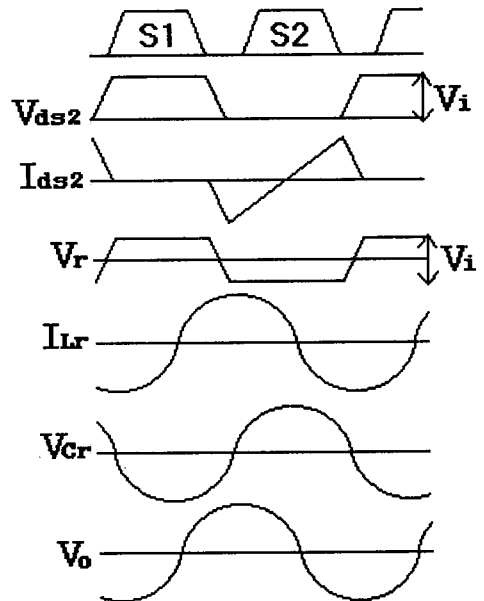
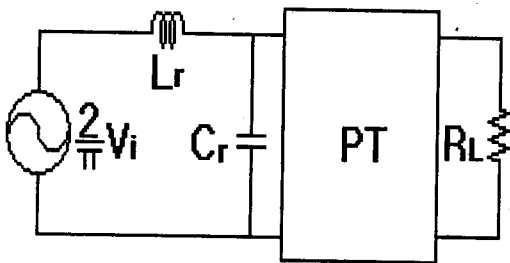


그림 4. 각부의 파형

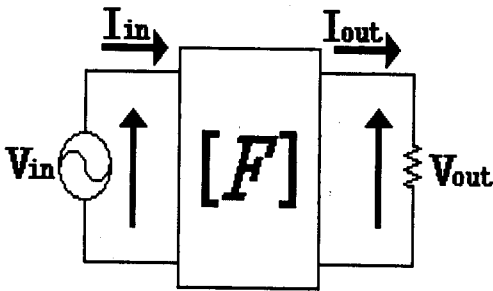
$$P_{in} = R_e \left[\frac{CR_L + D}{AR_L + B} \right] V_{in}^2 \quad (6)$$

$$P_{out} = \frac{R_L}{|AR_L + B|^2} V_{in}^2 \quad (7)$$

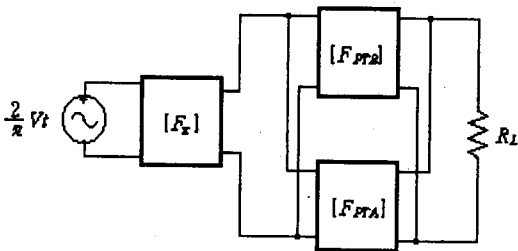
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (8)$$



(a)



(b)



(c)

그림 5. 압전 트랜스포머 및 구동회로의 AC 등가회로와 F 행렬

3. 결 론

현재 압전트랜스포머에 대한 기술동향을 살펴보면 일본 등지에서는 특히 밧, 논문이 많이 발표되고 있고, NEC, 하야시, 다무라, 삼정석유화학 등의 수많은 기업에서 압전트랜스포머가 소출력급으로 생산되고 있으며 고출력(10Watt 이상)급의 압전트랜스포머 설계, 제작을 하기 위해 노력중이다. 그러나, 국내에서는 삼성전기, LG정밀 등의 소수의 기업에서만 소출력급으로 시험생산하고 있는 중으로 형광등 점등을 위한 고출력급으로의 압전트랜스포머는 아직 연구만 하고 있는 실적이다. 따라서, 여러 가지 장점을 갖고있는 압전트랜스포머에 대한 구동기술 및 제작기술에 관한 기술축적을 통하여 국내기술의 저변확대를 도모해야 한다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. 류주현, 이용우, 윤광희, 정희승, 정영호, 박창엽 "집중등가회로를 사용한 압전변압기의 승압비 및 효율해석" 전기전자재료학회논문지, vol. 11, No. 10(1998) pp. 849-854.
2. Seiji Hirose, Norio Magami and Sadayuki Takahasi "Piezoelectric ceramic Transformer using piezoelectric Lateral Effect on Input and on Output" Jpn. J. Appl. phys. vol. 35 (1996) pp. 3038-3041.
3. Yoshiaki Fuda, Katsunori Kumasaka, Masafumi katsuno, Hiroyuki Sato and Yoshihiro Ino "piezoelectric Transformer for cold cathode Fluorescent Lamp Inverter" Jpn. J. Appl. phys. vol. 36 (1997) pp. 3050-3052.
4. 류주현, 김성진, 이수호, 임인호, 홍재일 "2차 두께방향진동모드로 동작되는 압전트랜스포머의 Voltage Gain 특성" 전기전자재료학회논문지, vol. 11, No. 10(1998) pp. 855-860.