

자계분포를 고려한 플라이백 트랜스포머의 권선기법

윤신용*, 최근수*, 한경희**, 김남하**, 맹인재**, 백수현**
 *디지아이(주) 기술연구소, **동국대학교 전기공학과

Winding Method of Flyback Transformer Considering Flux Distribution

Shin-Yong Yoon*, G. S. Choi*, K. H. Han**, N. H. Kim**, I. J. Maen**, S. H. Baek**
 *DGI Cop., Technical Research Institute, **Dept. of Electrical Eng., Dongguk University

Abstract - 본 논문에서는 백라이트로 사용되는 CCFL의 점등을 위한 인버터를 연구대상으로 하였다. CCFL의 고전압 점등을 위해 다층 longitudinal 모드구조의 압전세라믹을 이용하였다. CCFL의 점등은 공진특성을 이용하는 것이므로 기계적인 공진주파수와 스위칭 주파수가 거의 일치할 수 있도록 L-C공진회로를 설계하였다. 인버터의 토폴로지는 플라이백 기법을 적용하였으며 이를 위해서 권선의 배치에 의해 손실을 고려한 고주파 트랜스포머를 설계하였다. 시뮬레이션 및 실험 결과를 통하여 이에 대한 타당성을 입증하였다. 이로부터 공진주파수 48[kHz], 점등전압 600[V] 및 점등전류 6[mA] 얻었으며, 적용된 CCFL 램프사양은 관직경 22φ와 관길이 314[mm], 압전세라믹 43x5.5x2.3[mm]를 이용하였다.

1. 서 론

산업의 정보화에 따라 통신기기를 이용한 산업화의 수요는 더욱 매우 폭발적으로 증가되고 있는 추세이다. 특히 LCD용 모니터인 노트북과 컴퓨터, 휴대용 전자 디스플레이, 휴대용 장치 등에 사용된 백라이트용 냉음극램프(CCFL: cold cathode fluorescent lamps)가 점차적으로 증가되고 있다. 이를 위해서는 램프를 점등하기 위한 인버터의 설계가 중요하다. 구동회로에서는 저전압을 고전압으로 승압하는 고압 트랜스포머와 공진회로의 설계 기술이 요구된다[1-4].

고주파 트랜스포머는 페라이트 코어에 코일을 성층한 고압용 자기 트랜스포머와 기계적 응력에 의해 전압을 승압하는 압전 세라믹 트랜스포머(PZT : piezoelectric ceramic transformer)로 분류할 수 있다. 압전 트랜스포머의 특징은 구조가 간단하며, 얇고 가볍다, EMI 문제가 없고, 무화재, 출력단락보호, 고효율 및 고전력밀도 등을 지니고 있다. 응용분야는 CCFL을 위한 DC-AC 인버터, 오존발생기, 고전압 발생기, DC-DC 컨버터, Ballast(안정기) 등에 응용된다. 고주파 자기 트랜스포머는 권수비에 비례한 고전압을 얻을 수 있다. 그러나 다권선 성층으로 열손실인 철손과 동손이 발생이 발생함으로 설계시 코어 선정과 코일 권선기법 기술이 매우 중요하다[5].

본 연구에서는 이를 연구대상으로 하였다. 또한 압전 트랜스포머를 이용하여 CCFL 구동하였다. 압전 트랜스포머는 자기 트랜스포머에 비해 작은 부피로 더욱 큰 전력밀도를 얻을 수 있으며 노이즈의 영향을 받지 않는다. 자기 트랜스포머의 승압에 의한 점등을 위해 공진회로 설계가 요구된다. 그러나 압전 트랜스포머는 압전소자의 부피에 의해 얻은 파라미터들로 공진주파수가 결정되므로 측정에 의해 이를 이용하면 점등이 가능하다. 점등을 위한 구동회로 토폴로지는 크게 공진형 하프브리지, 푸쉬풀브리지, 플라이백(flyback)에 의해 구동이 가능하다. 전원 토폴로지의 선택은 입력전압, 램프전압, 압전 트랜스포머 계인에 의해 결정된다. 본 연구에서는 가장 저전압 전원으로 점등이 가능한 플라이백 인버터를 설계하였다. 따라서 본 연구에서는 압전 트랜스포머를 이용한

CCFL의 인버터 설계와 플라이백 인버터에 적용되는 고주파 트랜스포머의 설계를 통한 손실저감을 연구대상으로 하였다.

2. 본 론

2.1 압전 트랜스포머의 구조와 원리

압전 세라믹 트랜스포머(PZT)는 1956년 C. A. Rosen에 의해 처음 제안되었다. 전자계 에너지에 의존하는 자기 트랜스포머와 달리 PZT는 기계적인 응력으로 전기에너지를 발생한다. 압전 트랜스포머의 동작원리는 그림 1과 같다.

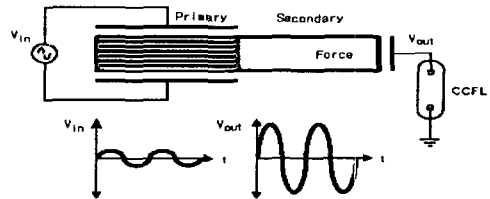


그림 1. 압전 세라믹 트랜스포머의 구동원리

그림 1은 길이 방향의 수평(longitudinal) 모드 구조로 된 다층 PZT를 나타낸 것이다. 위아래에 전극으로 된 압전 세라믹은 다층구조이다. AC 전압은 세라믹이 공진을 발생하도록 주 전극에 공급된다. 여기서 세라믹이 수직방향에서 압축되었을 때 이것은 수평방향으로 팽창될 것이고 이것의 길이는 증가된다. 전기-기계 에너지 변환은 역 압전효과를 의미하며, 반면 기계-전기에너지 변환은 직접 압전효과를 의미한다. 자기 트랜스포머는 자기 경로에 의해 1차로부터 2차로 에너지를 전달하지만 PZT는 1차의 전기에너지를 기계에너지로 변환하며 이를 다시 증폭된 전기에너지로 변환시킨다.

그림 1의 PZT는 1차 저압측은 단층이나 2차 고압측은 다층구조로 되어 있다. 여기서 단층구조는 제조과정이 간단하고 가격이 싸며 비교적 저전압 계인을 얻지만 다층구조는 제조과정이 복잡하고 가격이 비싸며 고전압 계인을 얻는다. 다층 PZT는 고전압을 발생하기 때문에 CCFL에 적용되고 있다.

2.2 PZT의 등가회로 모델

구동회로에서 PZT의 특성을 예측하기 위해서는 이를 등가회로로 모델링 하는 것이 요구된다. 그림 2의 등가회로 모델은 기계적인 공진주파수 영역에서 동작하는 longitudinal 모드 구조의 PZT를 나타낸 것이다.

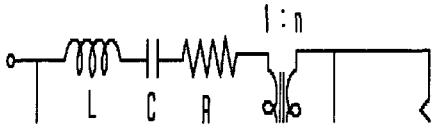


그림 2. PZT의 동가회로 모델

여기서 동가회로의 파라미터 값은 구조에 의해서 결정된다. 여기서 1차 커패시턴스 C_{p1} 은 1차 전극의 다층구조와 물질의 유전율 상수로 결정된다. 출력 커패시턴스 C_{p2} 는 1차와 2차 전극사이 거리로 인하여 매우 작은 값이다. 식 (1)에서 보여진 것처럼 PZT 커패시턴스는 구조와 물질의 함수이다.

$$C_{p1} = \frac{Lw\epsilon}{2t} \quad (1)$$

$$C_{p2} = \frac{Lw\epsilon}{2t} \quad (2)$$

여기서 L :길이, w :폭, ϵ :층수, t :두께, ϵ :유전율
 간단한 공진주파수 근처의 기계적인 압전 계인은 그림 2와 같이 R, L, C 회로에 의해 구할 수 있으며 이에 관계되는 수식은 다음과 같다.

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3)$$

그림 2의 PZT에 대한 파라미터 c_{p1} : 29.766pF, c_{p2} : 80pF, R :157.268 Ω , L :2.683 μ H, c :480.174nF, n :50, ω_0 : 48kHz 이다. 이 파라미터는 임피던스 계측기 HP4194에 의해 측정하였다. PZT의 기계적인 공진주파수는 부하에 따라 변한다. 이들의 변화는 직접적으로 전기적인 전압 계인에 영향을 준다. 압전세라믹 사양은 43x5.5x2.3mm 이다.

그림 3은 그림 2의 전기회로에서 램프 부하저항 (50~250k Ω)과 공진주파수 가변에 대한 전압계인을 나타낸 것이다. 압전 세라믹의 기계적인 공진주파수와 전압 이득은 부하저항에 따라 변화된다. PZT는 CCFL의 초기 방전 전압을 발생하는데 필요한 극히 고 계인을 발생하기 위해서는 거의 600k Ω 근처의 부하저항에서 구동한다. 부하가 있을 경우에는 낮은 동작전압에서 동작하도록 매우 낮은 계인에서 동작한다.

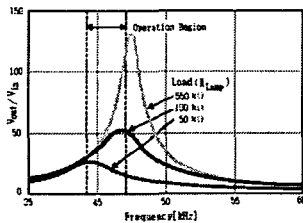


그림 3. 부하저항에서 공진주파수에 따른 전압 계인비

CCFL램프의 전기적인 동작특성을 이해는 것은 부하를 제어하는 데에 있어서 매우 중요하다. 램프가 점등하기 전에는 매우 높은 저항을 지니고 있고 오픈회로로 모델화 되어있다. 램프를 점등하는데 필요한 전압은 방전전압(strike voltage)이라고 한다. 방전전압은 램프길이와 직경에 의해 결정되며 여기서는 직경 2.2 ϕ 길이 314mm를 이용하였다. 보통 500V에서 2000V 범위이다. 방전 전압은 음극 동작온도에서 더 높게 되며 램프가 방전 할 때 전류는 흐르기 시작한다. 램프특성은 초기 임피던스는 크지만 시간이 지날수록 임피던스는 감소하는 동적특성에 따라 구동전압은 감소하며 전류가 증가하는 비선형 특성을 지니고 있다. 비록 비선형이 높을 지라도 램프

임피던스는 어느 한 동작 점에서는 저항으로서 모델화 될 수 있다. 램프 밀도는 대략 램프 전류에 비례한다. 여기서 구동전류는 약 5.5mA 이다.

2.3 플라이백 인버터 및 트랜스포머

본 연구에서는 점등을 위한 공진 플라이백 인버터를 설계하였다. 고전압의 승압은 압전 트랜스포머를 이용하였다. PZT 제어기는 플라이백 토폴로지를 이용한 PZT 백라이트의 디밍을 제어하기 위해 주파수 제어회로를 구성하였다. 공진 플라이백 기법에서 N형 MOSFET(IRF740) 스위칭은 압전 트랜스포머 1차에서 정류된 반 정현파를 발생하며 이때 듀티 사이클 50%로 동작한다. 그림 4는 압전 트랜스포머에 의해 CCFL을 점등하기 위한 플라이백 인버터이다.

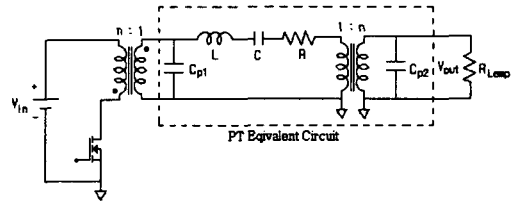


그림 4. CCFL 점등을 위한 플라이백 인버터회로

그림 4의 구동회로에서 자기트랜스포머는 플라이백 기법을 이용하여 압전 트랜스포머의 1차측에 전압을 공급하였다. 이때 자기트랜스포머는 저 전류를 위해 낮은 턴수비(3:1)와 전압 비로 인해 작은 구조로 설계하였다. 압전 트랜스포머는 고 전압의 승압이 가능한 전압 변환비 50을 이용하였다. 이때 높은 Q 값을 지닌 압전 트랜스포머의 공진주파수 f_0 와 동조 되도록 스위칭 주파수 f_s 를 선정하였다. CCFL의 점등을 위해서는 공진주파수는 스위칭주파수 보다 약간 커야 한다. 이때 스위칭 주파수를 위한 L_s 의 값은 다음 식과 같다. ($L_s = L_1$)

$$L_s = \frac{1}{\omega_s^2 C_{p1}} \quad (4)$$

$$Q = \omega_0 \frac{L}{R} \quad (5)$$

여기서 L_1 : 1.1[mH], L_2 : 228[μ H], V_{in} : 5[V], I_{in} : 1.3[A], V_{const} : 600[V], V_{peak} : 1200[V], I_{out} : 5.5[μ A], V_{out} : 32V, Q_1 : 19.31, Q_2 : 49.8, P_{out} : 3.5W.

플라이백 인버터에서 설계시 중요한 부분은 플라이백 주파와 트랜스포머의 설계이다. 설계시 손실을 고려하는 것이 중요하며 손실은 철손으로서 히스테리시스손과 동손이 발생하게 된다. 이를 해결하기 위해서는 권선 배치법을 고려하여 유효요소법 툴인 Maxwell-2D에 의해 손실을 고찰하였다.

$$P_L = k \times \sigma \times \nu \times B_{max} \quad (6)$$

여기서 k :1.4-1.5 (중앙철심 자속밀도200-250[Gauss]에 따른 단위체적[mW/cm³]당 손실전력계수), ν :총체적, B_{max} : 최대자속밀도(포화자속밀도), σ :온도계수(25[$^{\circ}$ C]=1, 100[$^{\circ}$ C]=2.3).

적용된 EI 코어는 Magnetics사 페라이드 자석 F material을 이용하였으며 큐리온도는 250[$^{\circ}$ C]이다. 포화 자속밀도 B_{sat} :0.49[T]-25[$^{\circ}$ C], B_{sat} :0.38[T]-100[$^{\circ}$ C], 투자율 μ_r :3000(25[$^{\circ}$ C]), 코어체적 ν : 4.38099[cm^3].

3. 시뮬레이션 및 실험결과

본 연구에서 FEM에 의해 해석 위한 입력 파라미터는 다음과 같다. 해석조건, 철심의 공극 0.1[mm], 코일턴수 1차 20 : 2차 20, 인가전류 : 0.1[A], 주파수 : 48[kHz]이다. 그림 5(a), (b)에서 안쪽 코일은 1차권선, 바깥쪽 코일은 2차 코일이며 코아로부터 코일 거리가 0.1[mm], 1.5[mm]인 경우의 자속분포(a)와 자속밀도 크기(b)를 나타낸 것이다. 그림 5(b)의 중앙철심 자속밀도 B_c :231.9[T], 양측 자속밀도 $B_L=B_R$:349.5[T]이다. 그림 5(d) 중앙철심 자속밀도 B_c :230[T], 양측 자속밀도 B_L : 247[T], B_R : 250[T]이다.

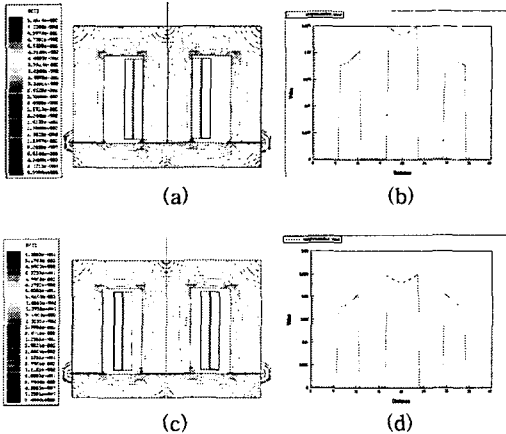


그림 5. 1, 2차코일 순으로 성층된 권선구조

그림 5(b), (d)에서는 철심으로부터 외부로 성층 할수록 철손이 감소함을 알 수 있었다. 그림 6(a), (b)에서 중앙 코일은 1차권선, 바깥쪽 코일은 2차 코일이며 코아로부터 코일간격이 0.1[mm], 1.5[mm]인 경우 자속분포(a)와 자속밀도(b)를 나타낸 것이다. 그림 6(b)의 중앙철심 자속밀도 B_c :231[T], 양측 자속밀도 $B_L=B_R$:248[T]이다. 그림 6(d) 중앙철심 자속밀도 B_c :228[T], 바깥 양측자속밀도 B_L : 245[T], B_R : 245[T]이다.

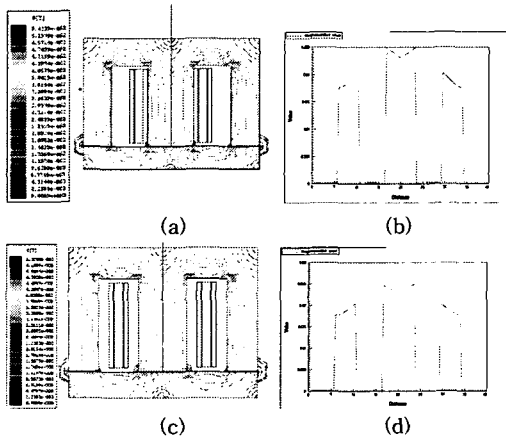


그림 6. 2, 1차코일 순으로 성층된 권선구조

그림 5와 그림6의 해석결과 그림 6(d) 인 경우 철심 중앙부의 자속밀도가 가장 작음을 알 수 있었다. 그림 7은

그림 5, 그림 6의 온도 변화에 따른 손실 특성을 비교한 결과이다. 여기서 그림 7(a)는 온도가 25[°C] 일 경우 손실특성이며 그림 7(b)는 온도 100[°C] 인 경우 손실특성이므로 온도가 증가함에 따라 손실이 증가함을 알 수 있다.

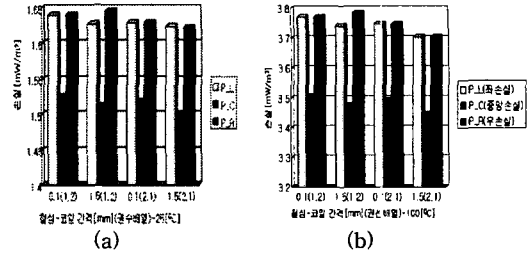


그림 7. 온도 변화에 따른 손실특성

그림 8(a)의 보드선도에서는 공진주파수 48[kHz]에서 전압이득이 가장 큼을 알 수 있으며, 이때의 위상은 안정된 위상여유를 얻었다.

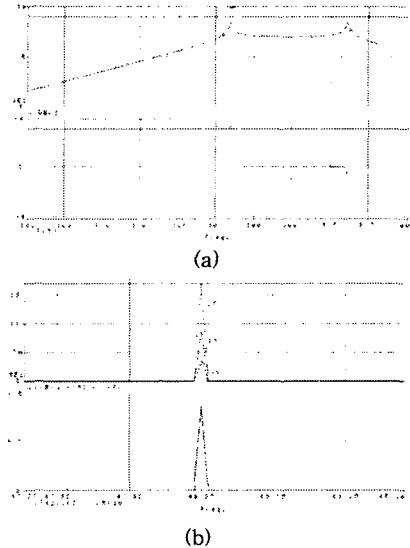


그림 8. 보드선도와 공진주파수에서 전압이득

그림 8(b) 위의 부하 50, 100, 250kΩ에 대해서 공진주파수에 대한 전압이득과 램프 부하저항 100kΩ에 대한 전압이득 1100V 결과는 아래 그림과 같다.

그림 9(a)는 공진에 의한 압전세라믹 2차측 램프 점동 전압 1200[V], 그림 9(b)는 램프 점동전류 8[mA], 그림 9(c)는 압전 세라믹의 1차 입력전압 12[V]를 나타낸 것이다.

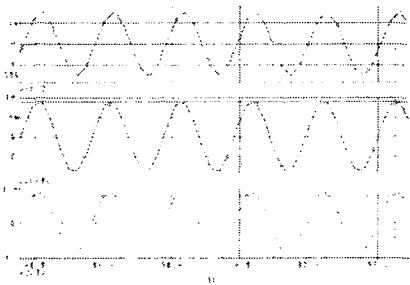


그림 9. 램프전압, 램프전류 및 입력전압 파형

그림 10(a)는 제작된 플라이백 인버터의 제어기의 듀티 사이클 50%를 나타낸 것이며 그림 10(b)는 램프의 점등 전압을 나타낸 것이다. 여기서 공진주파수는 48.3[kHz]이며 램프 출력전압은 552[V]임을 알 수 있었다.

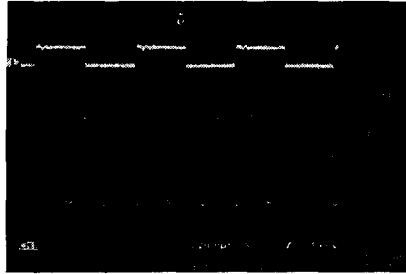


그림 10. 듀티사이클 및 램프 점등전압

4. 결 론

본 연구에서는 정보화기기의 백라이트로 많이 사용되는 CCFL의 인버터를 설계, 제작하였다. 이를 위해서 먼저 노이즈의 영향을 거의 받지 않으며 자기 트랜스포머에 비해 작은 부피로 고 전력밀도를 발생할 수 있는 승압용 압전 트랜스포머를 이용하여 공진에 의한 램프 점등 인버터를 구성하였으며 이로부터 시뮬레이션과 거의 일치하는 우수한 특성을 얻을 수 있었다. 또한 인버터의 토폴로지는 플라이백 기법을 적용하였다.

이때 적용한 공진형 고주파 트랜스포머는 손실을 저감할 수 있도록 1차 권선과 2차권선의 위치를 바꿔 성층함으로써 손실을 저감할 수 있었다. 마지막으로 램프의 점등은 공진특성을 이용하는 것으로서 이때 공진 현상은 압전 세라믹의 고유 기계적인 공진주파수와 스위칭 주파수가 거의 일치하도록 구성하였다. 이를 위해서 L-C 공진은 측정된 압전 세라믹의 입력측 C_{p1} 와 기계적인 공진 주파수에 의해 플라이백 2차측 인덕턴스 L_2 를 결정하였으며 이로부터 48[kHz]에서 공진이 발생하며 약 600[V]의 전압이득이 발생함을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] PJM, Smidt & JL Duarte, "Powering Neon lamps through piezoelectric transformers," IEEE Conference, PESC 1996, pp.310-314.
- [2] Toshiyuki Zaitzu, Takeshi Inoue, Osamu Ohnishi and Akio Iwamoto, "2MHz Power Converter with Piezoelectric Ceramic Transformer," IEEE Conference PESC 1992, pp.430-437
- [3] L. H. Hwang, J. H. Yoo, B. H. Lee, J. R. Kim, E.S. Jang, " Matlab and Pspice Micro-Modeling of Piezoelectric Transformer for CCFL Drive," IEEE APEC 2002 , pp.281-285.
- [4] Texas Instruments, "Multi-Topology Piezoelectric Transformer Controller", 2002, pp.1-24.
- [5] Ray L. Lin Fred C. Lee, Eric M. Baker and Dan Y. Chen, "Inductor-less Piezoelectric Transformer Electronic Ballast for Linear Fluorescent Lamp," IEEE proceeding, 2001, pp.664-669.