

압전변압기와 CCFL 모델링에 의한 전자식 안정기 해석

황락훈, 장은성, 신양호, 조상로, 조문택*, 안익수*

세명대학교, *대원과학대학

Electric Ballast Analysis by Piezoelectric Transformer and CCFL Modeling

L.H. Hwang, E.S. Jang, Y.H. Shin, S.R. Cho, M.T. Cho*, I.S. Ahn*

*Dept of Electrical Engineering, Semyung University, Jechon, Chungbuk, 390-711, Korea

**Dept of Electrical Engineering, Daewon Science College, Jechon, Chungbuk, 390-702, Korea

ABSTRACT

A CCFL model for high frequency dimming electronic ballast simulation is presented in this paper. The model can be utilized for an electronic ballast simulation with continuous dimming and transient mode simulation such as step dimming.

The piezoelectric transformer is evaluated using an AC analysis. The electronic ballast composed of piezoelectric transformers and ZVS inverter was implemented. It enables a fluorescent lamp to be turned on stably.

Simulation of a high frequency electronic ballast which operates a fluorescent lamp at high frequency is proposed. Simulation is carried out using PSPICE program to illustrate the performance of the circuit.

에 전하가 발생하며 따라서 출력단에서 교류 고전압을 얻을 수 있다.

한편, DC-DC 컨버터의 소형화를 위해서도 압전 변압기가 도입되었다. 컨버터를 소형화하기 위해서는 동작 주파수의 상승이 필연적인데, 기존의 권선형 변압기로는 코어 손실이 문제가 되어 동작 주파수 상승이 제한되었다. 하지만 압전 변압기는 이러한 코어 손실이 존재하지 않으므로 비교적 고효율을 얻으며 전원장치의 소형화를 가능하게 할 수 있다.^{[4],[5],[6]}

본 논문에서는 압전 변압기와 CCFL의 전기적 등가회로에 의한 PSPICE 모델을 제시하였다.

이 모델에 대한 확증을 위해 CCFL의 단독모델을 가지고 시뮬레이션을 수행한 결과 정확한 모델링이 되었음을 확인하였으며, 압전변압기는 푸시풀 인버터와 부하로써 PSPICE로 모델링한 CCFL을 사용하여 시뮬레이션을 수행한 결과 만족스러운 모델링을 이루어졌음을 알 수 있었다.

1. 서 론

압전 변압기는 착화소자와 세라믹 필터의 기능을 합한 것으로 일반 권선형 변압기에 대해 고효율과 소형 경량, 전기적 손실이 적고 구조가 간단하고 출력이 고전압 소전류이며 주파수 대역폭이 작아 음이온 발생기, 전자복사기, 치한 퇴치기, 고주파 변압기 등의 분야에 응용되고 있다. 최근에는 수요가 증대되는 휴대용 컴퓨터의 백라이트용 인버터에 응용되고 있다.^{[1],[2],[3]}

압전 변압기의 동작은 구동부의 길이 L과 발전부의 길이 L의 합으로 표현되는 총 길이 2L에 의해서 결정되는 고유 공진 주파수의 입력 전압을 구동부 측에 인가하면 역 압전 효과에 의해서 길이 방향으로 강한 진동이 발생한다. 이 기계적 진동은 압전 효과에 의해 발전부측

2. 압전 변압기 모델

압전 변압기의 입력측 전압 $V_{Lr}(t)$ 식 (2-1)과 식 (2-2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{Lr}(t) = V_{Lr} \sin \omega_s t \quad (2-1)$$

$$V_{Lr} = \frac{2}{\pi} \frac{V_m}{(1-D)} \sin D\pi \quad (2-2)$$

또한 압전 변압기의 출력 단자측의 등가임피던스는 식 (2-3)으로 표현된다.

$$R_{EQ} = \frac{\pi^2}{2} R_L \quad (2-3)$$

그림 2-1의 교류 등가회로에서 기생저항 r_{cd1} 과 C_{d1} 은 효율의 주파수 특성을 정확하게 나타내기 위해 삽입하였으며, R_{Ls} 와 R_d 는 L_s 의 등가저항이다.

출력전압 V_o 의 반주기 동안의 평균값은 식 (2-4)로 표현되며, 승압비 G 는 식 (2-5)으로 나타낼 수 있다.

$$V_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi V_2 \sin \omega t \, d\omega t = \frac{V_2}{\pi} \quad (2-4)$$

$$G = \frac{V_2}{V_{Lr}} = \frac{(1-D)\pi^2}{2 \sin D\pi} \frac{V_o}{V_{in}} \quad (2-5)$$

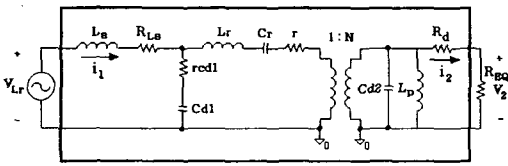


그림 2-1 압전 변압기의 교류등가회로
Fig.2-1 AC equivalent circuit of Piezoelectric Transformer

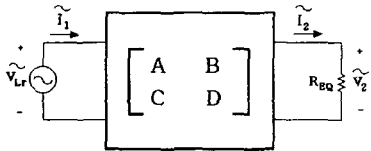


그림 2-2 F-Matrix
Fig.2-2 F-Matrix

그림 2-1을 그림 2-2의 F-Matrix 형태로 나타내므로써 식 (2-6)과 같이 입·출력 전압과 전류의 관계를 구할 수 있으며, 이 때 F-Matrix의 요소들은 식 (2-7)과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \hat{V}_{Lr} \\ \hat{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{V}_2 \\ \hat{I}_2 \end{bmatrix} \quad (2-6)$$

$$F = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & j\omega L_a \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & R_{La} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j\omega C_{d1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & r \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j\omega C_{d2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & R_d \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2-7)$$

교류등가회로의 승압비 G 는 식 (2-8)로 표현할 수 있으며, 출력전압 V_o 는 식 (2-4)와 식 (2-8)에 의해 식 (2-9)을 구할 수 있다.

$$G = \frac{V_2}{V_{Lr}} = \frac{\hat{V}_2}{\hat{V}_{Lr}} = \left| \frac{R_{EQ}}{A \cdot R_{EQ} + B} \right| \quad (2-8)$$

$$V_o = \frac{2 \sin D\pi}{(1-D)\pi^2} \left| \frac{R_{EQ}}{A \cdot R_{EQ} + B} \right| V_{in} \quad (2-9)$$

그림 2-3은 제안한 압전 변압기의 등가회로이며, 이 회로를 근거로 하여 PSPICE로 라이브러리화 하였다.

압전 변압기 등가회로

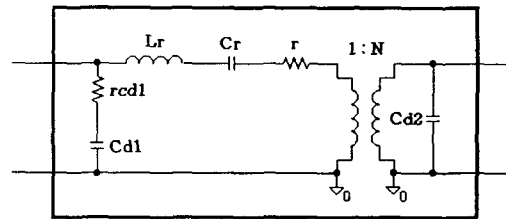


그림 2-3 압전 변압기 등가회로

Fig.2-3 Equivalent circuit of Piezoelectric Transformer

3. CCFL 모델

본 논문에서 제시한 CCFL의 실효전압과 전류의 특성은 감광 레벨에서 형광 램프는 부성 임피던스 특성을 가지며, 램프는 2가지 서로 다른 감광 특성을 식 (3-1)로 표현할 수 있다.

$$V_{rms} = \frac{60.966 + 110.45 \cdot e^{-1.9404 \times I_{rms}} - 48.578 \times e^{-60.182 \times I_{rms}}}{I_{rms}} \quad (3-1)$$

식 (3-1)의 파라미터는 최소 제공근으로부터 유도된다. 고주파수에서 동작하는 저항으로써의 램프를 고려하면 등가 임피던스는 식 (3-2)와 같이 쓸 수 있다.

$$R_{LAMP} = \frac{V_{rms}}{I_{rms}} \quad (3-2)$$

식 (3-1)과 (3-2)로부터 식 (3-3)을 구할 수 있다.

$$R_{LAMP} = \frac{60.966 + 110.45 \cdot e^{-1.9404 \cdot I_{rms}} - 48.578 \times e^{-60.182 \cdot I_{rms}}}{I_{rms}} \quad (3-3)$$

이 때 식 (3-4)와 같이 순시 램프 전류 I_t 를 사용하여 순시램프 전압 V_t 에 대한 식을 구할 수 있다.

$$V_t = R_{LAMP} \times I_t = \frac{60.966 + 110.45 \cdot e^{-1.9404 \cdot I_{rms}} - 48.578 \times e^{-60.182 \cdot I_{rms}}}{I_{rms}} \times I_t \quad (3-4)$$

식 (3-4)에 의해 CCFL을 모델링 하였으며, 순시전압 V_t 는 순시램프전류 I_t 와 실효전류 I_{rms} 의 함수로써 구할 수 있으며, 그림 3-1(a)와 같이 PSPICE 모델로 만들 수 있다. 그림 3-1에서 HI은 이득=1을 갖는 전류제어

전압원으로 순시램프전류를 검출하며, G2는 전압제어 전류원, E2는 식 (3-3)과 같은 전원을 가지는 전압제어 전압원, E3는 이득=1을 갖는 전압제어 전압원으로 순시램프전압을 발생한다. 또한 그림 3-1의 PSPICE 모델은 조건에 따라 그림 3-1(b)와 같은 등가회로를 이용해도 된다.

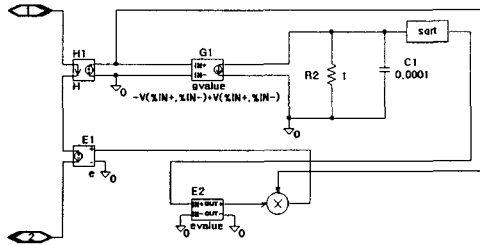


그림 3-1 CCFL의 PSPICE 모델
Fig.3-1 PSPICE Model of CCFL

4. 시뮬레이션 결과

4.1 압전 변압기의 시뮬레이션

그림 4-1은 그림 2-3의 압전 변압기의 등가회로를 포함한 푸시풀 인버터이며, 이 때의 PSPICE 모델은 그림 4-2에 나타냈다. 이 회로에서 CCFL은 100[kΩ]의 저항 R_L 로 나타냈으며 각단의 시뮬레이션 파형은 그림 4-3에 표현했다. 또한 그림 4-4는 부하저항을 200[kΩ], 150[kΩ], 100[kΩ], 50[kΩ] 가변시에 출력전압의 파형이며, 그림 4-5는 구동 주파수에 따른 압전 변압기의 출력전압을 나타냈다. 그림 4-6은 인덕턴스 L_1 과 L_2 를 50[μH], 100[μH], 150[μH]으로 가변했을 때의 각 단의 파형을 시뮬레이션 했다.

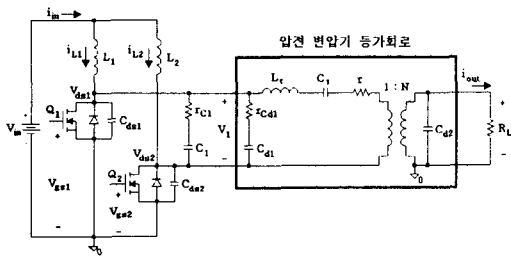


그림 4-1 압전 변압기를 이용한 푸시풀 인버터
Fig.4-1 Push-pull Inverter using Piezoelectric Transformer

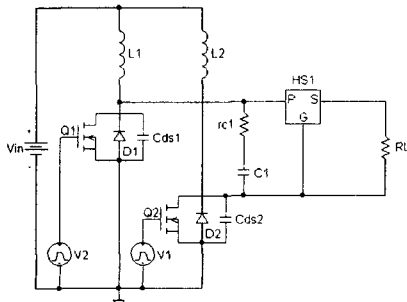


그림 4-2 PT를 이용한 푸시풀 인버터 PSPICE 모델
Fig.4-2 Push-pull Inverter PSPICE Model using PT

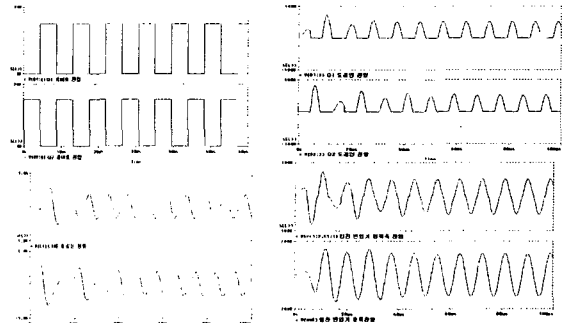


그림 4-3 푸시풀 인버터의 시뮬레이션 파형
Fig.4-3 Simulation Waveforms of Push-pull Inverter

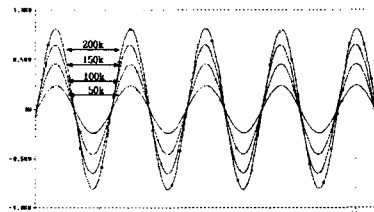


그림 4-4 부하저항 가변시 출력전압 파형
Fig.4-4 Output Voltage Waveforms with Load Resistor Variation

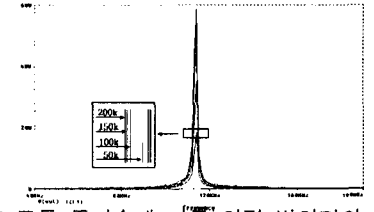


그림 4-5 구동 주파수에 따른 압전 변압기의 출력전압
Fig.4-5 Output Voltage of Piezoelectric Transformer as a function of driving frequency

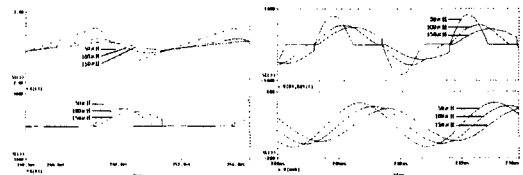


그림 4-6 인덕턴스 L_1, L_2 가변시 시뮬레이션 파형
Fig.4-6 Simulation Waveforms with Inductance L_1, L_2

Variation

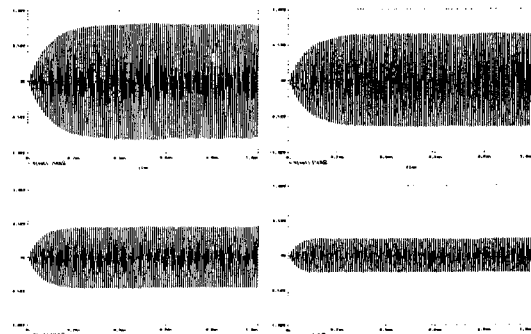


그림 4-7 저항가변시 출력전압 파형
Fig.4-7 Output Voltage Waveforms with Resistor Variation
4.2 CCFL 시뮬레이션

5. 결 론

본 논문에서는 형광램프와 압전 변압기의 PSPICE 모델을 제시했다. 램프모델은 최소 제공근을 이용하여 모델의 파라미터들을 유도하였으며 시동모드에서 상승모드까지 시뮬레이션이 가능했다. 또한 입력전류에 따른 기계적 공진 특성의 변화를 고려하고 3차 길이방향진동 모드에서 동작하는 압전 변압기는 여러 가지 부하조건과 입력 전류에 따른 기계적인 공진 특성의 변화를 알 수 있었으며, 형광램프 안정기의 응용회로에도 적합하다.

또한, 압전변압기는 대칭형 3차 로젠형 등가회로를 이용하여 모델링함으로써 만족스러운 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있었다.

앞으로의 과제는 저·고주파용 형광램프의 안정기 설계 및 고출력용 램프의 모델링과 고출력용 압전 변압기의 모델링이 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] N.Sun and B.Hesterman, "Pspice High Frequency Dynamic Fluorescent Lamps Model" IEEE APEC Conference Record, 1997, pp. 641-647.
- [2] T.Zaitso, T.Shigehisa, M.Shoyama, and T.Ninomiya, "piezoelectric Transformer Converter with PWM Control," IEEE APEC'96 Proc., pp.279-283, March 1996.
- [3] T.Zaitso, T.Inoue, O.Ohnishi, and A. Iwamoto, "2MHz Power Converter with Piezoelectric Ceramic Transformer." IEEE INTELEC'92 Proc., PP.430-437, Oct.1992.
- [4] T.Zaitso, TInoue, O.Ohnishi, and Y.Sasaki, "2 MHz Power Converter with Piezoelectric Ceramic Transformer," IEICE Transactions on Electronics. Vol. E77-C, No.2.
- [5] 박지식, "異方性 및 損失을 考慮한 長方形 PZT 壓電세라믹 變壓器의 모델링", 서울대학교 대학원 박사논문, 1988.
- [6] D.Y.Han, J.H.Kim, M.H.Nam, S.M.Kang, "Analysis of a Tree-layered Piezoelectric Ceramic Transformer Filter", IEEE Trans. Circuit & System-1, Fundamental Theory & Application, Vol.42, No.6, June 1990.

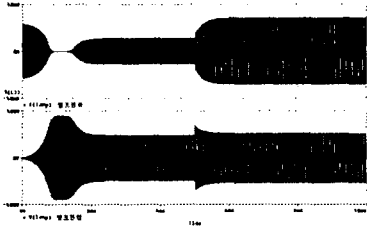


그림 4-8 저항 가변시의 램프 전압 및 전류의 시뮬레이션 파형
Fig.4-8 Simulation Waveforms of Lamp Voltage and Current with Resistor Variation

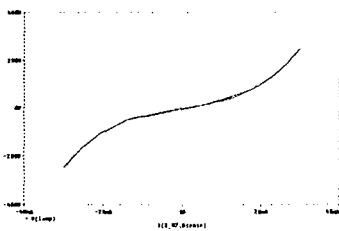


그림 4-9 CCFL의 V-I 특성곡선
Fig.4-9 V-I Characteristics of CCFL

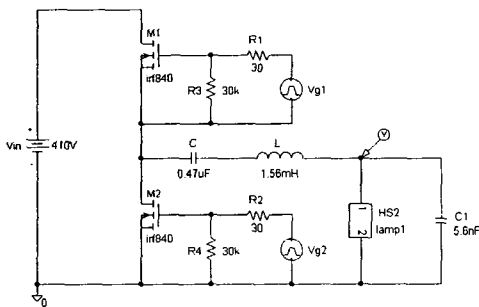


그림 4-10 전자 안정기 시뮬레이션 회로
Fig.4-10 Simulation Circuit of Electronic Ballast

그림 4-10은 전자 안정기 시뮬레이션을 위한 회로도이다. 이 때의 시뮬레이션 파형은 그림 4-11에 나타냈다.

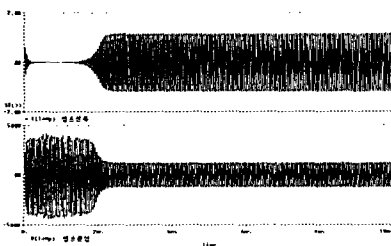


그림 4-11 CCFL 전류 및 전압 시뮬레이션 파형
Fig.4-11 Simulation Waveforms of CCFL Current and Voltage