HID 램프와 압전변압기에 대한 모델링 및 고찰

송호빈*, 조문택**, 김영춘***, 백동현****, 주해종*****, 최혜길****** *(주)휴스컴, **대원대학, ***공주대학교, ****경원대학교, *****동국대학교, ******경희사이버대학교 e-mail:songhobin@paran.com

HID lamps and Piezoelectric Transformer of Modeling and Analysis

Ho-Bin Song^{*}, Moon-Taek Cho^{**}, Young-Chun Kim^{***}, Dong-Hyun Baek^{*****}, Hae-Jong Joo^{*****}, Hae-Gil Choi^{******} ^{*}Huscom CO., ^{**}DaeWon Univ. College, ^{***}KongJu National Univ., ^{****}KyungWon Univ., ^{******}DongGuk Univ., ^{******}KyungHee Cyber Univ.

요 약

HID 램프는 광원 1개당 방출되는 광속이 많고 광원효율 또한 높은 광원이며 긴 수명에 경제성까지 우수한 특징을 가지고 있어서 높은 밝기가 요구되는 대규모 공장등에 사용되고 있으며 자동차의 전조 등 등에도 많이 사용되고 있다. HID의 전원부에 압전 변압기를 적용하여 경량, 소형이며 고효율의 전 원부를 구현하고자 하였다. 기존의 HID 및 압전 변압기는 시뮬레이션에서 일반 저항부하와 변압기를 이용하여 개략적인 동작을 확인하는데 만족하였다. 본 논문은 압전 변압기와 HID의 전기적 등가회로 에 의한 정밀한 PSPICE 모델을 제시하였고, 손쉽게 변수값을 수정하여 다양한 모델에 적용할 수 있도 록 구성하였다.

1. 서론

압전 변압기(Piezoelectric Transformer)는 1956년 C.A.Rosen에 의하여 최초로 원리와 응용에 관한 연 구가 이루어 졌으며, H.W.Katz, P.A.van Berkum 등 에 의하여 발전되어 고전압 발생 장치로서 주목을 받기 시작하였다.^[1]

조명부분에 소비되어지는 전기에너지의 비중이 점 차 늘어가고 있어 보다 효율적인 에너지 관리가 시 급한 실정이며, 이를 위한 갖가지 연구개발이 최근 들어 활발히 진행되고 있다. 형광등의 사용은 가정, 사무실, 공장 등에서 큰 비중을 차지하고 있어 조명 기기로서의 형광등에서 전력을 아낄 수 있는 방법에 는 광효율이 높은 형광램프의 선택과 이에 적합한 고효율의 안정기를 선택해야 한다.^[2]

압전 변압기는 판 형태의 세라믹 소자에 한쪽 반 은 두께방향의 단면에 다른 한쪽은 길이방향의 단면 에 각각 전극을 부착하며, 전자는 두께방향으로 후 자는 길이방향으로 각각 직류 고전압을 가하여 분극 한다. 두께방향의 전극부를 구동부, 길이방향의 전극 부를 발전부라 하며 각각 권선형 변압기의 1차측 및 2차측에 해당한다. 압전 변압기의 동작은 구동부의 길이 L과 발전부 의 길이 L의 합으로 표현되는 총 길이 2L에 의해서 결정되는 고유 공진 주파수의 입력 전압을 구동부 측에 인가하면 역 압전 효과에 의해서 길이 방향으 로 강한 진동이 발생한다. 이 기계적 진동은 압전 효과에 의해 발전부측에 전하가 발생하며 따라서 출 력단에서 교류 고전압을 얻을 수 있다.

압전 변압기는 기존의 마그네틱 소자와 코일을 이 용한 변압기에 비해서 초박형의 용이함, 권선의 불 필요, 간단한 구조에 의한 대량 생산의 용이함, 우수 한 절연특성, 그리고 낮은 가격 등의 장점을 가지고 있다.^[3]

본 논문에서는 압전 변압기와 HID의 전기적 등가 회로에 의한 PSPICE 모델을 제시하였고, 시뮬레이 션을 통해 동장 특성을 분석하였으며 모델링의 적정 성을 확인할 수 있었다. HID와 압전 변안기의 모델 은 사용이 용이하도록 라이브러리화 하여 손쉽게 파 라미터를 변경함으로써 다양한 분야에의 응용이 가 능하도록 구성하였다.

2. HID 램프 모델링

HID(High Intensity Discharge Lamp)램프의 PSPICE 모델은 물리적 특성과 램프 파라미터, 보편 적인 상수들을 바탕으로 만들었다. 그림 1에 나타낸 램프의 모델은 식 1과 같이 정의할 수 있다.

$$i_{lamp} = \frac{v_{lamp}}{R_{lamp}}$$
 (1)
여기서 v_{lamp} : 램프에 걸리는 전압
 $R_{lamp} = \int_{V} \frac{1}{\sigma_{\Sigma}} \frac{L}{S} dV$: 램프의 비선형저항
 σ_{Σ} : 범용적으로 지정된 플라즈마의 콘덕턴스
V : 플라즈마의 부피
L : 플라즈마의 길이
S : 단면적

식 (2)와 같이 일반적으로, 범용적으로 지정된 콘 덕턴스는 플라즈마 가스 성분의 전체 콘덕턴스 o_i의 합과 같다.

$$\sigma_{\sum} = \sum \sigma_i \tag{2}$$

약하게 이온화된 플라즈마에 대한 지정된 콘덕턴 스 σ_i는 온도에 좌우되며, 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma_{i} = \sigma_{oi} \frac{T^{0.75}}{\sqrt{p}} \exp\left(-\frac{E_{i}}{2kT}\right)$$
(3)
여기서, σ_{oi} : 가스 성분 상수 T: 온도
p: 가스압력
 E_{i} : 볼쯔만 상수 i,k 성분의 이온화된 에너지

아크가열에서 증대분 dQ는 다음 식으로 나타낸다.

식 (4)는 가정에 의해^[4] 아크의 단위길이당 가열에 서 증가분은 식 (5)과 같이 된다.

ρ_{arc}, ρ_{per} : 내부와 외부층의 밀도
 R_{tube}, R_{el} : 아크구멍과 전극의 반지름
 k_{Tred} : 아크 외면에서의 온도 감소 유지 요소
 램프의 단위 길이 당 입력전력 P_{ind}는 식 (6)과 같
 다.

P_{ind} =
$$\frac{v_{lamp} i_{lamp}}{L_g}$$
 (6)
여기서 L_g : 전극사이의 거리

복사에너지 P_{rad}은 식 (7)로 표현할 수 있다.

기열전도손실 P_{cm}은 식 (8)로 나타낼 수 있다.

식 (5)~식 (8)을 식 (4)에 대입하므로써 식 (9)과 같은 미분방정식을 구할 수 있다.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\frac{V_{lamp} i_{lamp}}{L_g} - 2\pi R_{el} [\epsilon(T) + k(T - T_{amb})]}{\pi [c_{arc} \rho_{arc} R_{el}^2 + k_{Tred} c_{per} \rho_{per} (R_{tube}^2 - R_{el}^2)]}$$
(9)

식 (9)를 PSPICE로 수식화하면 그림 1의 HID램 프 모델을 만들 수 있다.



[그림 1] HID램프의 PSPICE 모델

3. 압전 변압기의 모델링

그림 2는 2차 로젠형(λ모드 진동형) 압전 변압기 의 구조이다. 그림과 같이 장방형 압전 세라믹에 있 어서 좌반부는 판면에 대향 전극을 만들고 판의 두 께 방향으로 분극 처리를 행하여 구동부를 구성하였 으며, 나머지 우반부에는 판의 단면에 전극을 설치 하고 길이 방향으로 분극 처리를 행한 후 길이 방향 에서 정해지는 고유 공진주파수의 전압을 구동부에 인가하게 되면 길이 방향인 발전부에 기계적 진동이 발생, 압전 효과에 의하여 단면 전극에서 고전압이 발생하게 된다.



압전 변압기의 입력측 전압 $V_{Lr}(t)$ 식 (10)과 식 (11) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{Lr}(t) = V_{Lr} \sin \omega_s t \tag{10}$$

$$V_{Lr} = \frac{2}{\pi} \frac{V_{in}}{(1-D)} \sin D\pi$$
(11)

또한 압전 변압기의 출력 단자측의 등가임피던스 는 식 (12)으로 표현된다.

$$R_{EQ} = \frac{\pi^2}{2} R_L \tag{12}$$



[그림 3] 압전 변압기의 교류등가회로

그림 3의 회로에서 기생저항 r_{cd1} 과 C_{d1} 은 효율 의 주파수 특성을 정확하게 나타내기 위해 삽입하였 으며, R_{L_s} 와 R_d 는 L_s 의 등가저항이다. 출력전압 V_o 의 반주기 동안의 평균값은 식 (13)으로 표현되며, 승압비 G는 식 (14)로 나타낼 수 있다.

$$V_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \mathbf{V}_2 \sin \omega t \, \mathrm{d}\omega t = \frac{\mathbf{V}_2}{\pi}$$
(13)

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

$$= \frac{(1-D)\pi^2}{2 \sin D\pi} \frac{V_o}{V_{in}}$$
(14)



[그림 4] F-Matrix

그림 3를 그림 4의 F-Matrix 형태로 나타내므로 써 식 (15)와 같이 입·출력 전압과 전류의 관계를 구할 수 있으며, 이 때 F-Matrix의 요소들은 식 (16)과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \nabla_{Lr} \\ \mathbf{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nabla_2 \\ \mathbf{I}_2 \end{bmatrix}$$
(15)
$$F = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$$
$$= \begin{bmatrix} 1 & j_{0L_s} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & R_{L_s} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{j_{0C}C_{d1}}{1 + j_{0C}C_{d1}r_{cd1}} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & r \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & j_{0L_r} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$
(16)
$$\begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{j_{\omega}C_r} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{N} & 0 \\ 0 & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j_{\omega}C_{d2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{j_{\omega}L_s} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & R_d \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

교류등가회로의 승압비*G*는 식 (17)로 표현할 수 있으며, 출력전압 V_o는 식 (13)과 식 (17)에 의해 식 (18)을 구할 수 있다.

$$G = \frac{\mathbf{V}_2}{\mathbf{V}_{Lr}} = \frac{\mathbf{\nabla}_2}{\mathbf{\nabla}_{Lr}} = \left| \frac{R_{EQ}}{A \cdot R_{EQ} + B} \right|$$
(17)

$$V_{o} = \frac{2\sin D\pi}{(1-D)\pi^{2}} \left| \frac{R_{EQ}}{A \cdot R_{EQ} + B} \right| V_{in} \qquad (18)$$



[그림 5] 압전 변압기 등가회로

그림 5는 제안한 압전 변압기의 등가회로이며, 이

회로를 근거로 하여 PSPICE로 라이브러리화 하였 다.

4. 시뮬레이션

그림 6은 60[Hz]에서 HID 램프의 PSPICE모델에 대한 시뮬레이션 파형이며, 그림 7은 30[kHz]에서 HID 램프의 PSPICE모델에 대한 시뮬레이션 파형이 다.



[그림 6] 60[Hz]에서의 HID램프의 전압 및 전류곡선



[그림 7] 30[kHz]에서의 HID램프의 전압 및 전류곡선



[그림 8] 압전변압기를 이용한 푸시풀 인버터 PSPICE 모델 그림 8은 압전 변압기의 등가회로를 포함한 푸시 풀 인버터의 PSPICE 모델을 나타내고 있다. 이 회

로에서 부하인 HID는 100[kΩ]의 저항 *R*_L로 나타냈 으며, 그림 9는 부하저항을 200[kΩ], 150[kΩ], 100[kΩ], 50[kΩ] 가변 시에 출력전압의 파형이며, 그림 10은 구동 주파수에 따른 압전 변압기의 출력전압을 나타 냈다.



참고문헌

- [1] 황락훈; 조문택; 이상용; 류주현; 김주래; 김종선; 유충식, "압전 변압기를 이용한 PFC CCFL 안 정기의 PSPICE 모델", 대한전기학회:학술대회논 문집, 대한전기학회 2000년도 하계학술대회 논 문집 B, pp.1209-1211, 2000년 7월
- S.Kawashima, O.Ohnishi, H.Hakamata,
 S.TAgami, A.Fukuoka, T.Inoue, and
 S.Hirose,"Third-Order Longitudinal Mode
 Piezoelectric Ceramic Transformer and Its
 Application to High-Voltage Power Inverter,"
 IEEE APEC, 1997, pp.568~572.
- T.Zaitsu, Y.Fuda, Y.Okabe, T.Ninomiya, S. Hamamura, and M.Katsuno ,"New Piezoelectric Transformer Converter for AC Adapter," IEEE APEC, 1997, pp.568~572
- [5] T.Zaitsu, T.Inoue, O.Ohnishi, and A.Iwamoto, "2
 MHz Power Converter with Piezoelectric Ceramic Transformer." IEEE INTELEC'92 Proc., PP. 430–437, Oct.1992.