

EL 시트 구동을 위한 인버터의 설계 및 제어

李承約[†]

Inverter Design and Control for Driving Electro-Luminescence Sheet

Seung-Yo Lee

요 약

디스플레이 광원으로 많이 사용되고 있는 EL(Electro-Luminescence)은 특히 면광원 형태로 광고용 판넬에 많이 이용되고 있다. 면광원 EL을 최상의 조건으로 구동하기 위해서는 EL의 부하특성을 알아야 할 필요가 있으며, 본 논문에서는 광고용 판넬의 광원으로 사용되는 EL의 부하특성을 분석하기 위한 모델링을 수행하고 이를 기반으로 EL 시트를 구동하기 위한 인버터의 설계를 수행한다. 얻어진 부하 모델을 통해 인버터의 토폴로지 선정은 물론 구동 설계 파라미터를 제시하고, 시뮬레이션 및 실험을 통하여 설계된 EL 구동 시스템의 타당성과 그 구동 특성을 검증한다.

ABSTRACT

Electro-Luminescence (EL) sheets have been widely used in lighting displays, mainly used as advertisement panels. To drive the ELs in optimal conditions, it is required to understand the load profile of the EL. Hence, in this paper, a modeling for an EL sheet was performed to analyze the load characteristics of the EL. Based on the extracted model of the EL, a topology for inverter system was chosen and the optimal design parameters were obtained. The validity of the designed EL driver system was verified through computer simulations and experiments.

Key Words : Electro-Luminescence(EL) Sheet, Half-bridge Inverter, Brightness vs. Driving Voltage

1. 서 론

EL(Electro-Luminescence)은 두께가 얇고 곡면상태로 발광이 가능하다는 특징을 갖고 있으며 14가지 정도의 색상표현이 가능한 것으로 알려져 있다. 또한 EL은 형상과 크기를 자유자재로 재단하는 것이 가능하므로 다양한 크기와 모양으로 디자인이 가능한 특성을

갖고 있다. EL의 전기적 특성은 소비전력이 적고 열 발생이 없다는 점과 기구적으로 진동과 충격에 강하다는 장점을 갖는다. 따라서 EL은 이상과 같은 장점을 잘 활용할 수 있는 분야로서 디스플레이 백라이트용 및 광고용 싸인 광원 그리고 계기표시장치, 팬시용품 등 매우 광범위한 영역의 응용분야에서 사용되고 있다^[1,2].

면광원 EL은 전극판 사이에 유전체가 들어 있는 커패시턴스 부하로 생각될 수 있는데 이와 같이 면광원 EL을 최상의 조건으로 구동하기 위해서는 EL의 전기적인 부하특성을 분석하여 알고 있을 필요가 있다. EL의 휘도 및 수명은 구동 전압의 주파수 및 크기에 의

[†]교신저자 : 정회원, 대림대학 전기과 전임강사

E-mail : sylee@daelim.ac.kr

접수일자 : 2008. 8. 14

2차 심사 : 2009. 8. 26

1차 심사 : 2008. 10. 8

심사완료 : 2009. 8. 28

해서 영향을 받는 것으로 알려져 있는데, 특히 구동주파수와 구동전압이 높을수록 EL의 휘도가 증가하는 양상을 보이는 반면 그 수명은 짧아지는 특성을 보이는 것으로 보고되고 있다^[3]. 따라서 제조사에서 제공하는 EL의 권장 구동전압 및 주파수를 공급하여 적정한 휘도 및 수명을 유지하기 위해서는 구동부로 사용되는 인버터의 출력을 적절하게 제어해 주어야 할 필요가 있다. 그러나 일반적으로 하나의 부하로 생각되는 EL의 전기적 파라미터를 제조사로부터 제공 받기는 쉽지 않아 EL 구동을 위한 인버터를 설계하기 위해서는 모델링에 근거를 둔 EL의 정확한 전기적 스펙을 유추하여야 할 필요가 있다.

본 논문에서는 사용될 EL의 전기적 모델링을 수행하여 그 전기적 특성을 분석하고 이를 기반으로 EL 시트 구동을 위한 인버터의 설계를 수행한다. 특히 부하 모델링을 통한 특성 분석을 통하여 인버터의 토폴로지를 선정하는데 사용함과 아울러 인버터의 설계 파라미터를 구하는데 이용하도록 하고, 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 수행하여 설계된 인버터의 EL 구동부로서의 타당성을 검증함과 함께 그 구동특성을 제시하도록 한다.

2. EL 특성 및 구동원리

2.1 EL 구조 및 특성

그림 1은 EL 시트의 구조를 보여주는 그림으로 그림에서와 같이 EL은 얇은 막 형태의 다층 구조로 되어 있다. 빛이 투과할 수 있는 투명전극(ITO)과 후면 전극사이에 교류전계가 인가되면 두 전극 사이에 있는 발광층(형광층)에서 가시광선이 발생되어 투명 전극방향으로 전파되는 간단한 구조를 갖는다.

EL의 휘도 특성은 그림2에서 보여주는 것처럼 인가전압의 실효치 크기 및 주파수에 비례하는 특성을 갖고 있음을 알 수 있는데 서술한 바와 같이 주파수나 전압의 크기가 상승하면 휘도는 상승되지만 수명이 반비례하여 짧아지는 특징을 갖는다. 일반적인 인가전압은 100~140 [Vrms] 주파수는 50[Hz]~1[kHz]의 범위가 되지만 제조사 마다 권고하는 구동 사양은 조금씩 다르다. 그림 3은 누적 구동 시간에 따른 휘도의 변화를 나타내는 그림으로 50[%]이하로 그 휘도 변화가 발생하는 시간은 2,500시간 이상임을 알 수 있다.

2.2 EL 부하 모델링

그림 4는 본 논문에 사용된 EL 시트의 외관을 보여주는 사진으로 그 단면적은 9000[cm²] (60[cm]×150[cm])

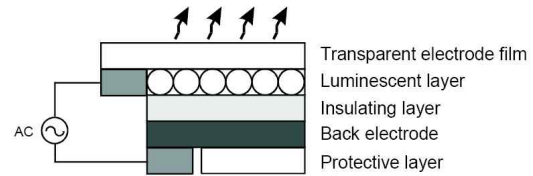


그림 1 EL 시트의 구조
Fig. 1 Structure of electro-luminescence sheet

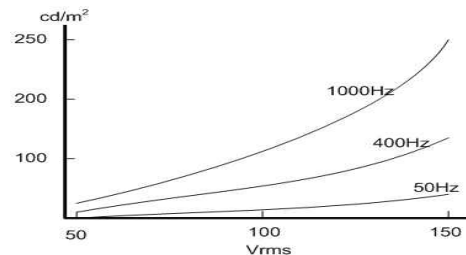


그림 2 구동전압과 휘도
Fig. 2 Brightness vs. driving voltage

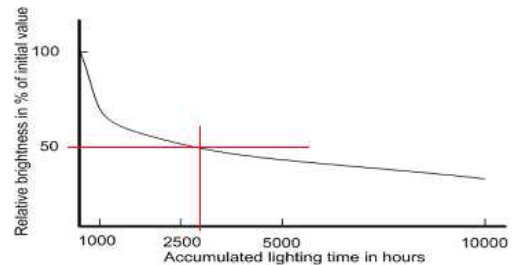


그림 3 누적 구동시간과 상대 휘도
Fig. 3 Accumulated lighting time vs. relative brightness

이며 전기적 용량은 100[W]이다. EL은 전극판을 사이에 두고 유전체가 들어가 있는 구조이므로 평판 커패시터의 특성을 갖는 것으로 볼 수 있는데, 에너지관점에서 보면 전기에너지가 광 에너지로 변환되어 방사되므로 변환되는 에너지는 회로 관점에서 손실로 간주할 수 있으므로^[4] 이는 저항이 평판 커패시터에 병렬로 연결되어 있는 형태로서 그림 5와 같이 모델링을 하는 것이 가능하다. 상용화된 EL 램프의 커패시턴스는 제조사 및 제조공정에 따라서 다르지만 0.3~ 0.9 [nF/cm²]정도의 값을 갖는 것으로 알려져 있고 기본적으로 EL 시트가 갖는 커패시턴스는 LCR 미터를 사용하여 측정할 수 있다. 병렬로 연결된 저항은 EL 램프에서 전기적인 에너지가 100[%] 빛으로 변환된다고 가정함으로써 식 (1)과 같이 그 값을 유추하여 계산할 수 있다.

$$R_{EL} = V_{EL}^2 / P_{EL} \quad (1)$$

여기서 V_{EL} 은 인가 전압이고 P_{EL} 은 EL의 소비전력임을 나타낸다.

그림 6은 R-C병렬로 모델링된 EL램프에서 커패시터에 흐르는 전류와 저항에 흐르는 전류를 페이저로 나타낸 것으로, 대체적으로 커패시턴스에 의한 임피던스가 작기 때문에 커패시터에 상대적으로 큰 전류가 흐르게 된다. 본 논문에서 사용된 EL 시트의 커패시턴스는 LCR 미터로 실측하여 얻었으며 저항 R의 값은 EL의 인가전압 및 소비전력에 의한 계산에 의해서 추정하였는데, 본 논문에서 사용된 EL 시트의 측정 커패시턴스는 5.2uF, 계산에 의한 병렬 저항의 값은 169[Ω]이었다.

2.3 EL 구동 시스템

EL 인버터는 EL 램프를 구동하기 위한 부분으로서 EL의 성능 및 수명에 직접적으로 영향을 줄 수 있으므로 설계에 있어 매우 신중할 필요가 있다. 그러나

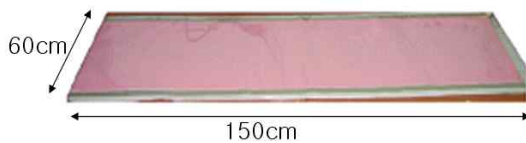


그림 4 EL시트 외관 사진
Fig. 4 An image of EL sheet

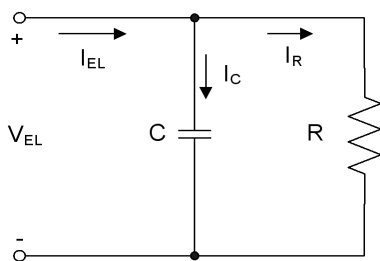


그림 5 EL 등가회로
Fig. 5 EL equivalent circuit

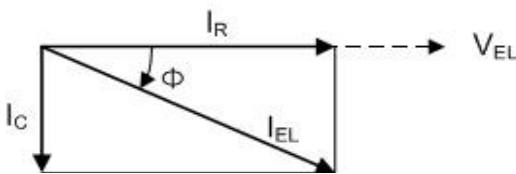


그림 6 등가회로의 페이저도
Fig. 6 Phasor diagram of equivalent circuit

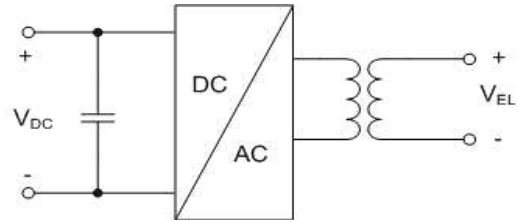


그림 7 저전압 입력형 인버터
Fig. 7 EL inverter with low voltage input

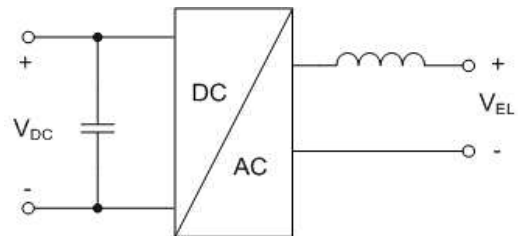


그림 8 고전압 입력형 인버터
Fig. 8 EL inverter with high voltage input

계기조명 및 소형 광고 패널 등에서 사용하는 소형 EL 램프 구동드라이버의 경우에 있어서는 주로 소형화 및 단가를 낮추기 위해 그림 7과 같은 매우 간단한 구조를 갖도록 한다. 입력전압의 크기에 따른 분류 형태로 그림 7은 저전압 입력형으로서 직류 입력 전압의 범위가 일반적으로 5~24[V] 정도이며 주로 소형 EL 구동시 사용되고, 직류-교류 전력변환 회로에 의해서 직류전압을 교류전압으로 변환 후 변압기에 의해 전압을 승압하여 EL 램프에 구동전압을 공급하는 방식이다.

반면 비교적 대형 광고패널에서 사용하는 EL 램프는 50~200[W] 이상에 이르는 상대적으로 큰 용량이므로 입력전압의 크기에 따른 분류 형태로서 그림 8과 같은 고전압 입력형의 토폴로지를 사용하게 된다. 따라서 대용량 EL을 구동하는 경우 고전압의 직류 전압을 얻기 위하여 일반적으로 PFC회로를 인버터 앞단에 사용하여 입력측에 고압 직류전압을 얻도록 한다. 고압 직류전압을 입력으로 하는 경우에 있어서의 장점은 승압용 트랜스포머가 없어도 된다는 점이지만 넓은 출력전압 범위를 확보하기 위해서 400[V] 이상의 고압 직류전압을 필요로 한다는 단점을 수반하게 된다. 높은 정격의 EL을 구동하는 경우 출력측에 나타나는 고조파 성분은 EL 특성을 저감시킬 수 있고, 고조파 성분에 의한 가청 노이즈가 문제가 되므로 출력을 필터링하여 출력특성을 개선해야 할 필요가 있다. 따라서 그림 8과 같이 출력단에 전류필터링을 위한 추가적인

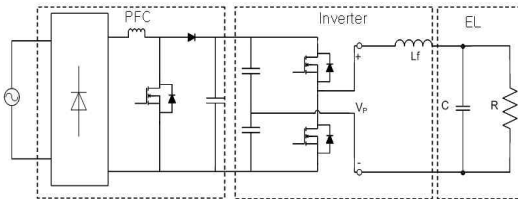


그림 9 전체 시스템의 구성
Fig. 9 Overall system configuration

리액터를 두도록 한다.

본 논문에서 사용된 EL 패널의 전력용량은 100[W]로 본 논문에서는 그림 8과 같은 고전압 입력형 인버터를 사용하도록 하였는데 사용된 인버터 토폴로지는 해프 브리지(Half-Bridge) 인버터이며 입력단에 PFC 회로를 포함한 전체 시스템 구성은 그림 9에 나타낸 바와 같다. 본 논문에서는 사용된 EL의 해석과 EL을 구동하기 위한 인버터의 설계에 초점을 두고 있으므로 PFC 회로에 대한 설명은 생략하기로 하며 단, 본 논문에서 PFC의 출력전압은 450[V]로 설정하여 운전하였다.

3. EL 구동을 위한 인버터의 설계 및 제어

3.1 EL 인버터 설계

이미 서술한 바와 같이 본 논문에서는 100[W]급의 EL 램프를 구동하기 위한 인버터의 설계를 수행하였으며 이를 위하여 그림 8에서와 같은 고전압 입력형 인버터를 적용하였다. EL 구동을 위한 인버터 부분은 가능한 작은 MOSFET 소자 및 간단한 드라이브 회로를 구성하기 위해서 그림 9에서와 같은 Half-Bridge 타입의 인버터를 채택하였다.

간단한 해석을 통해 인버터의 설계를 수행하기 위해서, 사용된 인버터 부분만을 그림 10에 또한 인버터 출력단 필터 인덕터와 EL 램프 모델을 함께 그린 그림을 그림 11에 나타내었다. 그림에서 V_p 는 인버터 스위칭 동작에 의해 발생하는 PWM 출력전압을 의미하며 L_f 는 인버터의 출력단 필터 인덕터의 인덕턴스를 나타낸다. 앞에서 언급한 바와 마찬가지로 EL은 부하 저항이 병렬로 연결된 커패시터로 모델링되므로 인버터 출력 필터 인덕터와 함께 그림 11에서와 같은 공진 회로를 구성하게 된다. EL을 포함한 공진회로의 공진 특성을 분석하기 위해서 인버터 출력전압 V_p 및 전류 I_{EL} 을 이용하여 그림 11에서 KVL을 아래 식 (2)와 같이 세운 후, 이를 정리하면 식 (3)과 같은 공진주파수 ω_r 을 얻을 수 있다.

$$\vec{V}_p = [j\omega L_f + R // \frac{1}{j\omega C}] \vec{I}_{EL} \quad (2)$$

$$\omega_r = \sqrt{\left(\frac{1}{L_f C} - \frac{1}{R^2 C^2}\right)} \quad (3)$$

공진주파수 ω_r 은 EL 구동주파수 ω_{EL} 와 스위칭 주파수 ω_{sw} 사이에 존재하여야 필터링 효과를 얻을 수 있기 때문에 아래 식 (4)와 같은 범위로 설계하여야 한다.

$$\omega_{EL} \ll \omega_r \ll \omega_{sw} \quad (4)$$

보통 EL의 사용되는 구동전압과 구동주파수 그리고 형상 및 용량에 따라 EL의 파라미터는 이미 정해져 있는 값이므로, EL 구동을 효과적으로 하기 위한 인버터의 설계 파라미터에는 주로 필터 인덕터의 인덕턴스와 인버터 스위칭 주파수의 선정이 중요한 고려사항으로 작용한다. 본 논문에서는 최적의 필터 인덕턴스와 스위칭 주파수의 선정을 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였으며 이를 통해 다음 식 (5)와 같이 구동 주파수와 공진 주파수 및 스위칭 주파수의 관계를 얻을 수 있었다.

$$\omega_r \geq 2\omega_{EL}, \quad \omega_{sw} \geq 10\omega_r \quad (5)$$

따라서 EL의 구동 주파수 ω_{EL} 에 따라 식 (5)에서와 같이 공진 주파수가 설정되면 식 (3)을 이용하여 아래 식 (6)과 같이 필터 인덕터의 인덕턴스를 결정해 줄 수 있다.

$$L_f = \frac{1}{\omega_r^2 \cdot C + (1/R^2 C^2)} \quad (6)$$

한편 아래 그림 12는 필터 인덕터를 포함한 EL의 주파수 응답으로서 공진주파수를 기준으로 위상천이가 발생함을 보여준다. 필터 인덕터를 포함한 EL의 주파수 특성으로부터 필터 인덕터와 함께 EL은 스위칭 주파수 영역에서는 유도성 부하와 같이 작용하고 EL 램프 구동주파수에 대해서는 용량성 부하로 작용하게 됨을 알 수 있다. 이때 EL의 구동 주파수 ω_{EL} 은 4586.7[rad/sec] (730[Hz]), 공진 주파수 ω_r 은 ω_{EL} 의 2.64배에 해당하는 12,110[rad/sec]이었으며, $C=5.2\mu F$, $R=169[\Omega]$ 에 따라 계산된 필터 인덕터의 인덕턴스는 1.3[mH]이었다.

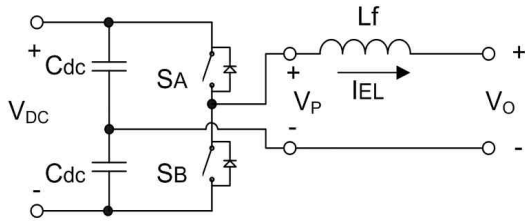


그림 10 해프-브리지 인버터
Fig. 10 Half-bridge inverter

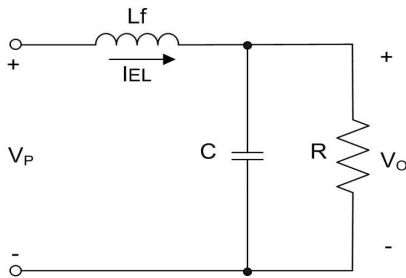


그림 11 필터 인덕터를 갖는 EL 등가회로
Fig. 11 Equivalent circuit of EL with filter inductor

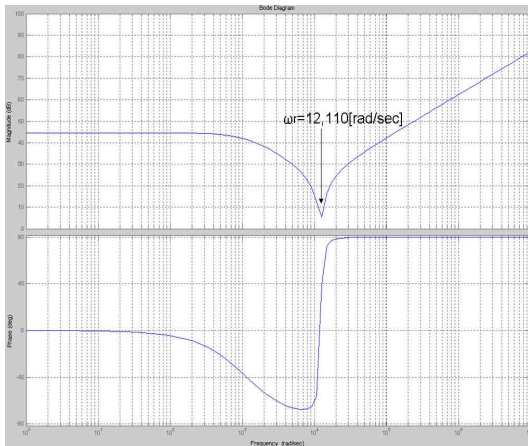


그림 12 필터 인덕터를 포함한 EL의 주파수 응답
Fig. 12 Frequency response of EL with filter inductor

표 1은 100[W]급 EL램프를 구동하기 위한 인버터 설계사양을 나타내고 있으며 앞에서도 언급되었던 바와 마찬가지로 EL의 커패시턴스 C는 LCR 미터로 실측을 통하여 얻어진 값이며, R은 EL의 인가 전압 및 소비전력에 의해 계산된 추정치이다. 인버터의 출력전류를 필터링하기 위한 필터 인덕터의 인덕턴스 L_f 및 스위칭 주파수 F_{sw} ($F_{sw} = \omega_{sw}/(2 \cdot \pi)$)는 식 (3)~(6)을 통하여 설계되어 얻어진 값으로 스위칭 주파수는 공진 주파수의 약 12배인 147,026.5[rad/sec] (23.4[kHz])로 선정하였다.

표 1 설계 시스템 정수
Table 1 Designed system parameters

구분	항목	값	단위
EL	용량	100	W
	Sheet Size	60 x 150	cm x cm
	V_{EL}	130	Vr.m.s
	F_{EL}	730	Hz
	C	5.2	uF
Inverter	R	169	Ω
	V_{EL}	130	Vr.m.s
	F_{EL}	730	Hz
	F_{sw}	23.4	kHz
	L_f	1.3	mH
	V_{DC}	450	V

3.2 EL 인버터의 제어

본 논문에서 사용된 EL의 권장 구동전압은 실효치 130[Vrms], 730[Hz]의 정현파로서 전체제어 루프는 EL 구동을 위한 출력전압을 센싱하여 외부에 전압제어 루프를 구성하고 전압제어 루프내에 필터 인덕터의 전류를 제어하는 2중 제어 루프를 구성하도록 하였다. 전체적인 제어시스템은 디지털시스템으로 구성하였으며, 다른 변조방식에 비하여 직류전압을 최대한 많이 이용할 수 있는 공간전압벡터 PWM 방식을 적용하기 위하여 단상 시스템을 가상의 하나의 3상 시스템으로 보고 제어계를 구성하였다. 단상 시스템을 가상의 3상 시스템으로 가정하고 제어계를 구성하면 동기좌표계 d-q축 상에서 인버터의 제어가 가능한데 본 논문에서는 인버터의 제어를 정현파 신호를 기준으로 좌표축이 회전하는 동기 좌표계 상에서 이루어지도록 하였다. 정지좌표계 d축 성분들은 우선 검출된 신호 그 자체이므로 정지좌표계 q축 신호를 만들어 주기 위해 아래 식 (7)~(8)을 이용하여 센싱된 검출 신호들에 대하여 90°위상 지연 된 신호들을 만들어 줄 필요가 있다. 아래 식 (7)은 EL 구동 인가 전압에 대한 정지좌표계 d-q축 성분을 그리고 식 (8)은 필터 인덕터 전류의 정지좌표계 d-q축 성분을 각각 나타낸다.

$$v_{ods}(n) = v_o(n) \tag{7}$$

$$v_{oqs}(n) = -K v_{oqs}(n) + K v_{ods}(n) + v_{ods}(n-1)$$

$$i_{LEls}(n) = i_{LE}(n) \tag{8}$$

$$i_{LEls}(n) = -K i_{LEls}(n) + K i_{LEls}(n) + i_{LEls}(n-1)$$

여기서 $K = (\omega_{EL} \times T_{samp} - 2) / (\omega_{EL} \times T_{samp} + 2)$ 이며 ω_{EL} 은 EL 구동 각주파수, T_{samp} 는 디지털 제어기의 샘플링 타임을 의미한다. 이와 같이 전압, 전류 신호에 대한 정지좌표계 d-q축 신호를 얻으면 식 (9)와 (10)의 변환 행렬을 이용하여 정지좌표계 신호를 동기좌표계 신호로 또 동기좌표계 신호를 정지좌표계 신호로 변환시켜 줄 수 있다. 식 (9)~(10)에서 첨자 s는 정지좌표계를 첨자 e는 동기좌표계 신호임을 의미한다.

$$\begin{bmatrix} f_{de} \\ f_{qe} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{ds} \\ f_{qs} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} f_{ds} \\ f_{qs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{de} \\ f_{qe} \end{bmatrix} \quad (10)$$

그림 10~11에서 인버터의 필터 인덕터에 흐르는 전류와 인버터 출력전압에 대한 표현은 식 (11)~(12)와 같으며, 이들을 하나의 3상 시스템으로 가정하여 동기축상에서의 표현식으로 전개하면 식 (13)~(14)와 같이 표현될 수 있다.

$$i_{LE} = C \frac{dv_o}{dt} + i_R \quad (11)$$

$$v_p = L_f \frac{di_{LE}}{dt} + v_o \quad (12)$$

$$i_{LEle} = C \frac{dv_{ode}}{dt} + i_{Rde} - \omega_{EL} C v_{oqe} \quad (13)$$

$$i_{LEqe} = C \frac{dv_{oqe}}{dt} + i_{Rqe} + \omega_{EL} C v_{ode} \quad (14)$$

$$v_{pde} = L_f \frac{di_{LEle}}{dt} + v_{ode} - \omega_{EL} L_f i_{LEqe} \quad (14)$$

$$v_{pqe} = L_f \frac{di_{LEqe}}{dt} + v_{oqe} + \omega_{EL} L_f i_{LEle} \quad (14)$$

동기축상에서 EL 구동전압에 대한 전압제어기를 구성 하기 위하여 식 (13)의 d-q축 각항에 대한 EL 구동전압의 미분항에 대하여 PI제어기를 구성하고, 이를 통해 얻어지는 전압제어기 출력과 부하전류에 대한 전향성분 및 간섭항을 합하여 필터 인덕터 전류제어를 위한 d-q축 인덕터 전류 기준신호를 각각 만들어 주도록 한다. EL 구동전압에 대한 전압제어기는 인버터 외부 제어루프에 해당하며 EL에 인가되는 출력전압의 크기와 주파수를 조정해 주기 위한 제어루프로써 동작한다. 이제 위에서 얻어진 필터 전류 제어기준 신호를 이용하여 식 (14)의 필터 인덕터 전류에 대한 미분항

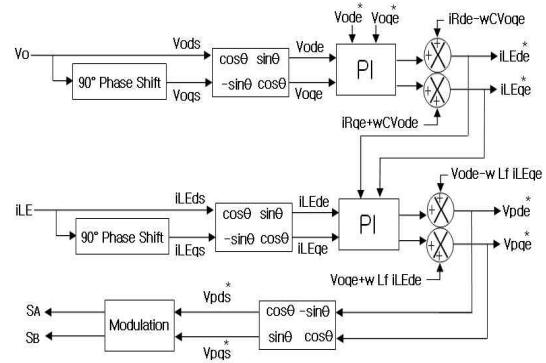


그림 13 제어 시스템 블록 다이어그램
Fig. 13 Block diagram for control system

에 PI제어기로 전류제어기를 구성하면 전류제어기 출력과 구동전압에 대한 전향성분 및 간섭항의 합으로 인버터에서 만들어 주어야할 전압백터를 발생시키게 된다. 따라서 최종적으로 만들어지는 이 전압백터 신호에 대한 공간전압백터 PWM을 수행하여 인버터 스위칭 신호를 발생시키도록 한다. 그림 13은 본 논문에서 구성된 EL 구동 제어루프의 블록다이어그램을 보여주고 있으며, d-q축 전압제어기 및 전류제어기에 대한 전달함수는 각각 식 (15) 및 식 (16)과 같이 표현해 줄 수 있다.

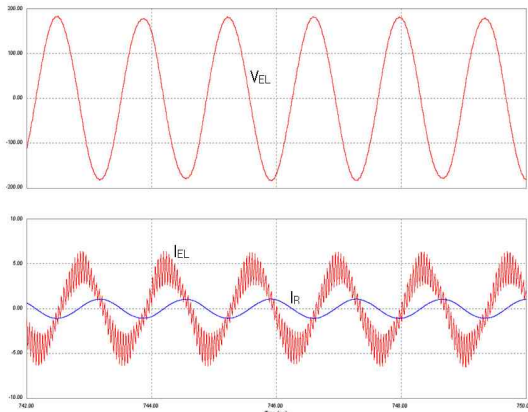
$$\frac{v_{odqe}}{v_{odqe}^*} = \frac{K_{vp} s + K_{vi}}{C s^2 + K_{vp} s + K_{vi}} \quad (15)$$

$$\frac{i_{LElqe}}{i_{LElqe}^*} = \frac{K_{ip} s + K_{ii}}{L_f s^2 + K_{ip} s + K_{ii}} \quad (16)$$

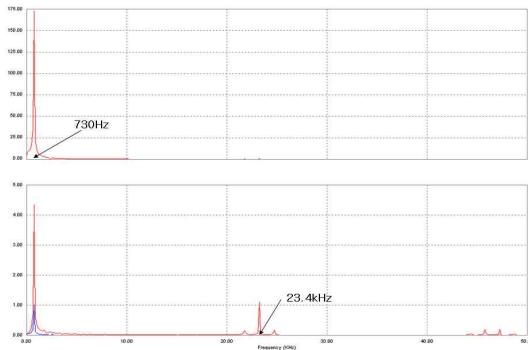
여기에서 K_{vp} , K_{vi} 는 PI로 구성된 전압제어기의 비례상수 및 적분상수를 의미하고 K_{ip} , K_{ii} 는 각각 PI로 구성된 전류제어기의 비례상수 및 적분상수를 나타낸다.

4. 컴퓨터 시뮬레이션

표 1에 주어진 시스템 설계 사양에 따라 PSIM을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였으며, 그림 14는 EL에 공급되는 전압의 실효치가 130[Vrms] (최대치: 183.8[V]), 주파수 730[Hz]로 앞에서 설계된 바와 같이 필터 인덕터의 인덕턴스를 1.3[mH], 스위칭 주파수를 23.4[kHz]로 운전한 결과를 보여주고 있다. 그림 14의 (a)에서 V_{EL} 로 표시된 첫 번째 파형은 EL에 공급되는 전압파형이며 아래 그림의 I_{EL} 은 필터 인덕터에 흐르



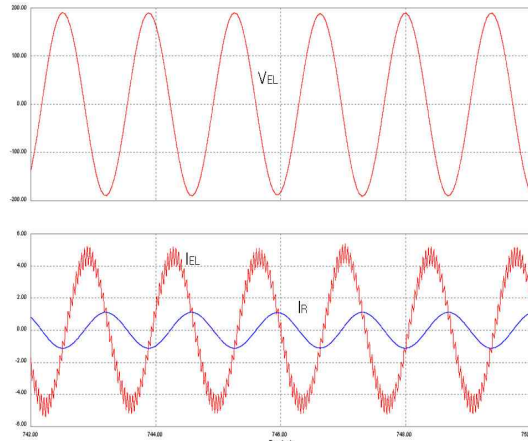
(a) EL 인가 구동 전압, 필터 인덕터 전류 및 부하 저항전류
 (a) Applied EL driving voltage, filter inductor current and load resistor current



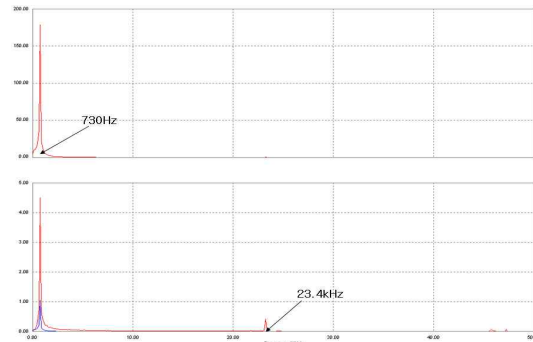
(b) 각 파형에 대한 FFT 결과
 (b) FFT results for each waveform

그림 14 시뮬레이션 파형(Lf=1.3mH, fr=1.93kHz, fsw=23.4kHz)
 Fig. 14 Simulation Waveforms
 (Lf=1.3mH, fr=1.93kHz, fsw=23.4kHz)

는 전류, I_R 은 부하저항에 흐르는 전류 파형을 각각 나타내고 있다. 그림 14의 (b)는 그림 (a)에 보여주고 있는 각 파형에 대한 FFT 결과로서 그림에서 보면 스위칭 주파수에 의한 인버터의 출력전류 I_{EL} 의 전류 리플성분이 매우 크게 나타나고 있는데, 이는 인덕터의 인덕턴스 값을 증가시키거나 인버터의 스위칭 주파수를 증가시킴으로써 개선이 가능하나 이는 제품의 부피 및 가격 등을 함께 고려하여 설정할 필요가 있다. 그림 15는 필터 인덕터의 인덕턴스를 4[mH]로 변경하여 시뮬레이션 한 파형으로 각각에 해당하는 파형은 그림 14의 경우와 같다. 필터 인덕터의 인덕턴스를 1.3[mH] 사용하는 경우 전류 THD는 27[%], 4[mH]를 사용하는 경우의 THD는 8.8[%]로서 전류 리플을 현격하게 줄



(a) EL 인가 구동 전압, 필터 인덕터 전류 및 부하 저항전류
 (a) Applied EL driving voltage, filter inductor current and load resistor current

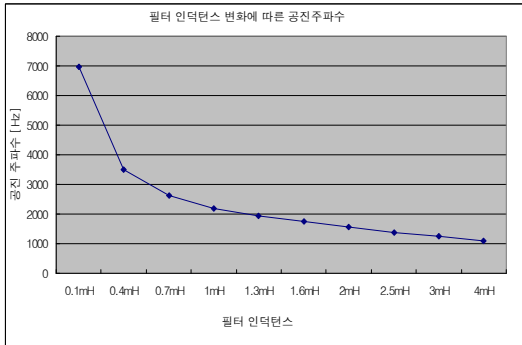


(b) 각 파형에 대한 FFT 결과
 (b) FFT results for each waveform

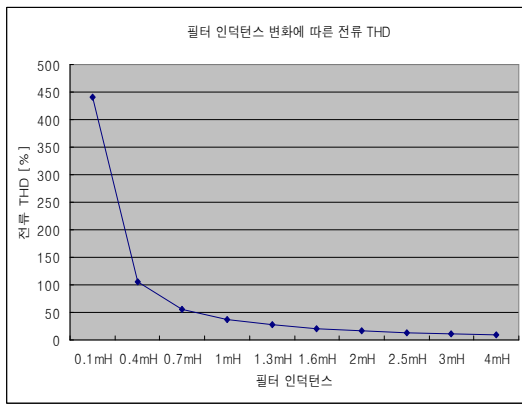
그림 15 시뮬레이션 파형(Lf=4mH, fr=1.09kHz, fsw=23.4kHz)
 Fig. 15 Simulation Waveforms
 (Lf=4mH, fr=1.09kHz, fsw=23.4kHz)

일 수 있으나 인덕터의 사이즈가 2배 이상 증가하게 되며, 본 논문에서 연구 개발된 EL 드라이버의 경우 양산을 위한 제품용으로 개발되었기 때문에 제한된 부피 안에 전체 시스템을 구성할 수 있도록 하기 위해 인덕터의 인덕턴스를 한정된 값으로 제한하여야 할 필요가 있다.

그림 16은 인덕터의 인덕턴스에 따른 공진주파수의 변화와 인버터 출력전류에 대한 THD 값의 비교를 보여주고 있으며, 본 논문에서는 PFC 회로, EL 구동 인버터 및 제어부 회로를 9cm×17cm×4.5cm 내부에 모두 두기 위해 필터 인덕터의 인덕턴스를 1.3[mH]로 제한하였다.



(a) 필터 인덕턴스에 따른 공진 주파수
(a) Resonant frequency according to the filter inductance



(b) 필터 인덕턴스에 따른 전류 THD
(b) Current THD according to the filter inductance

그림 16 필터 인덕턴스에 따른 공진주파수 및 전류 THD
Fig. 16 Resonant frequency and current THD vs. filter inductance

5. 실험결과

100[W]급 EL을 대상으로 EL 모델을 통해 예측한 부하 값과 설계된 시스템 파라미터를 사용하여 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 설계 파라미터 값들은 컴퓨터 시뮬레이션에서 사용된 파라미터 값들과 동일하게 사용되었으며, 그림 17은 시뮬레이션에서처럼 필터 인덕턴스의 값을 1.3[mH], 스위칭 주파수를 23.4[kHz]로 실험한 결과를 보여주고 있다. 실험결과에서 EL의 소비전력을 100[W]로 맞추기 위해서는 구동 전압의 실효치를 125[Vrms]로 조정할 필요가 있었으며 이는 실제의 EL 부하 저항값이 156.25[Ω] 임을 의미하는 것으로, 당초 구동전압 130[Vrms]에 169[Ω]의 부하저항으로 예측한 값에서 약 7.5[%]의 EL 저항값에 대한 오차가 있었음을 보여준다.

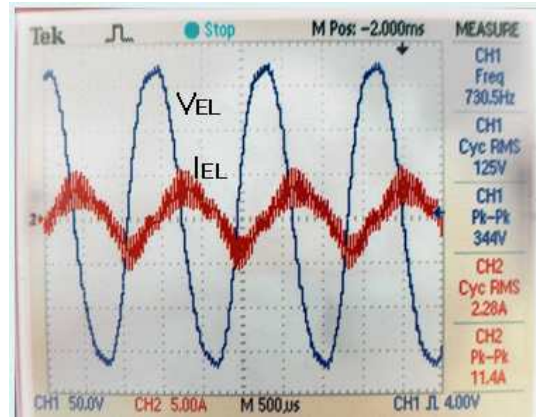


그림 17 EL구동 실험 파형(VEL:EL구동전압, IEL: 인덕터 전류)
Fig. 17 Experimental waveforms using the EL driver (VEL:EL driving voltage, IEL: inductor current)

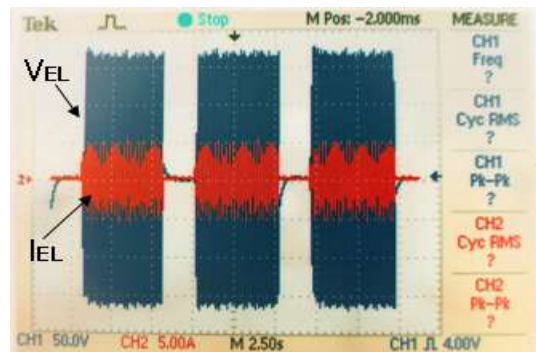


그림 18 EL 점멸 모드 실험 파형(5초간 점등, 2초간소등)
Fig. 18 Experimental waveforms for the on, off modes of the EL (ON for 5 seconds, OFF for 2 seconds)

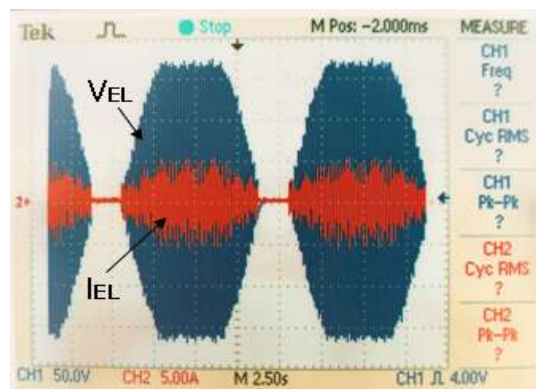


그림 19 EL 시나브로 점멸 모드 실험 파형(2초간 상승 점등, 5초간 점등유지, 2초간 하강점등)
Fig. 19 Experimental waveforms during rising and falling intensity of the EL(increasing intensity for 2 sec., maintaining it for 5 sec. and then decreasing for 2 sec.)

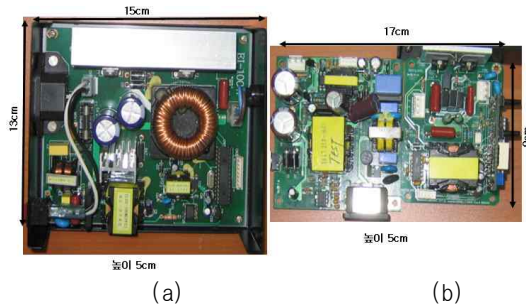


그림 20 기존 및 새로 설계된 EL 구동 시스템 사진 (a) 기존 EL 드라이버 (b) 새로 설계 제작된 EL 드라이버
Fig. 20 Conventional and newly designed EL driver systems (a) Conventional EL driver (b) New EL driver

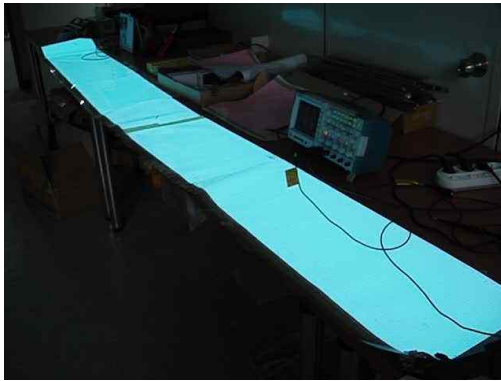


그림 21 EL 점등 실험 사진
Fig. 21 EL lighting experimental set-up

그림 18은 EL의 점멸모드 실험 파형으로 반복적으로 5초간 EL을 점등시키고 2초간 EL을 소등시키는 모드를 나타내고 있다. 따라서 EL은 5초간 밝게 켜져 있고 2초 동안은 꺼져있는 상태를 유지한다. 아울러 그림 19는 시나브로 점멸 모드를 실험한 파형으로 이는 EL을 점차 밝게 하였다가 잠시 일정한 밝기를 유지하고 다시 점차 어두워지도록 제어해 주는 모드이다.

그림 19의 경우 2초간 상승점등 시켜 EL을 점차 밝게 해주고 5초간 일정한 밝기로 점등 상태를 유지시킨 후 다시 2초간 하강 점등하여 밝기를 점차 어둡게 만드는 경우에 대한 파형을 나타내고 있다.

그림 20은 기존 사용되고 있던 100[W]급 EL 드라이버와 본 논문을 통해서 새로 설계되어 제작된 EL 드라이버의 비교 사진을 보여주고 있다. 기존 드라이버 회로는 전체 $975[\text{cm}^3]$ ($15\text{cm} \times 13\text{cm} \times 5\text{cm}$)의 체적에 효율 약 83[%]정도로 본 논문을 통해 제작된 드라이버 회로와 효율면에서 거의 같은 수준이나 회로의 체적면

에 있어서는 본 논문을 통해 새롭게 설계 및 제작된 드라이버 회로의 체적이 $688.5[\text{cm}^3]$ ($9\text{cm} \times 17\text{cm} \times 4.5\text{cm}$)로 많이 감소되었음을 확인 할 수 있다. 그림 21은 새로 제작된 EL 드라이버에 의한 EL 점등 실험 사진을 보여 주고 있다.

6. 결 론

면광원 형태로 사용되고 있는 EL 시트의 구동을 위한 인버터의 설계를 수행하기 위하여 EL 램프의 전기적 부하 모델링을 수행하고 EL 부하에 대한 부하 파라미터 값을 예측하였다. EL 부하 모델에 의해 얻어진 파라미터들을 사용하여 해프-브리지로 구성된 인버터의 출력측 필터 인덕턴스와 스위칭 주파수에 대한 산정이 이루어 졌으며 이를 토대로 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 수행함으로써 부하 모델과 인버터 설계 파라미터들에 대한 타당성을 검증하였다. 100[W] 출력을 내기위한 인버터의 구동 실효치 전압은 당초 130[Vrms]에서 125[Vrms]로 약 4[%]의 오차를 보여 예측한 부하저항 값에 있어서는 당초 예측치인 169[Ω]에서 156.25[Ω]으로 약 7.5[%]의 오차를 나타내었음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 산업자원부, "무기EL 및 Hybrid EL용 형광체 소재기술 개발에 관한 연구", 20001-E-FM11-P-07, 2004,12,21
- [2] 산업자원부, "EL 기반의 광고 조명 시스템 기술개발", 20001-E-FM11-P-08, 2004,12,21
- [3] H. W. Leverenze, "An introduction to luminescence of solid", *Dever Publication INC.* New York.
- [4] M. Matsumura, Y. Jinde, T. Akai and T. Kimura, "Analysis of current-voltage characteristics of organic electroluminescent devices on the basic of schottky emission mechanism", *Japanese Journal of Applied Physics*, 35, 5735, 1996
- [5] C. Chakraborty, M. Ishida, and Y. Hori, "Novel half-bridge resonant converter topology realized by adjusting transformer parameters", *IEEE Trans. Ind. Electronics*, Vol. 49, No. 1, pp. 197-205, Feb. 2002.
- [6] 이기제 외, "EL용 인버터 구동방식을 위한 One Bridge 설계 방식에 관한 연구", *전력전자학회 추계학술대회 논문집*, pp. 101-104, 1999.
- [7] 이종찬 외, "7-segment형 후막 EL소자와 구동회로", *학국조명·전기설비학회 추계학술대회 논문집*, pp. 60-63, 2000.

저 자 소 개



이승요(李承約)

1967년 7월 16일생. 1994년 건국대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2000년 9월~2003년 10월 버지니아공대 박사후 연구원. 2003년 10월~2004년 10월 Intronics, Inc. (USA), Research Engineer. 2004년 12월~2007년 3월 삼성전자(주) DM총괄 영상 디스플레이 사업부 책임연구원. 2007년 3월~2008년 2월 (주)이이시스 이사. 2008년 3월~현재 대림대학 전기과 전임강사.