

Dimming형 IC를 이용한 형광램프용 전자식 안정기의 회로상수 결정

송상빈^o, 김 선, 곽재영, 여인선
전남대학교 전기공학과

Determination of the circuit parameters of an electronic ballast for a fluorescent lamp using a dimming ballast controller

Sang-Bin Song^o · Sun Kim · Jae-Young Gwarg · In-Seon Yeo
Dept. of Electrical Engineering, Chonnam National University

Abstract - The purpose of this paper is to determine circuit parameters in the inverter part of the electronic dimming ballast for fluorescent lamps, that is adequate to use with the prevailing dimming controller IC. Firstly, the operating frequency characteristics are investigated by varying circuit parameters of electronic ballasts and are matched with the output characteristics of dimming ballast controller. Secondly, circuit parameter values are determined by using PSpice simulation and operating frequency characteristics. Finally its validity is verified from the electrical and light output characteristics on the prototype of the electronic dimming ballast.

1. 서 론

현재 형광램프는 광원으로서 가장 많이 사용되고 있으며 그 사용범위도 넓어지고 있다. 특히 환경오염과 지구 온난화에 따른 에너지 절약 운동이 활발히 전개되고 있는 시점에서는 형광램프의 효율적인 사용이 크게 대두되고 있는 실정이다. 이에 따라 요즘 형광램프를 Dimming 하는 각종 반도체 소자가 개발되면서 이에 대한 노력들이 활발히 전개되고 있다. 그러나 최저광

속 Dimming시까지 램프의 점등 상태가 안정하게 유지되도록 전자식 안정기를 설계하여야 하는 과제가 남아있다.⁽¹⁾

따라서 이 논문의 목적은 지금 국내에서 사용되고 있는 Dimming형 IC를 이용하여 전자식 안정기를 제작하고, 형광램프와 Dimming형 IC의 특성에 적합한 램프전압 및 전자식 안정기의 인버터부내 회로상수를 결정하는 데 있다. 이를 위해 회로상수 값에 따른 형광램프의 주파수 특성과 Dimming형 IC의 동작 특성을 파악하고 PSpice 시뮬레이션을 수행하여 최적의 회로상수 값을 산출하였다. 또한 산출된 회로소자 값을 이용하여 전자식 안정기를 제작하였고 그 타당성을 증명하였다.

2. 본 론

2.1 전자식 안정기의 등가회로 및 주파수 특성

이 논문에서는 전자식 안정기의 인버터부에 Half-bridge방식을 채용하였고, 형광램프의 초기 시동시 필라멘트에 충분한 예열전류를 공급하기 위하여 주파수 예열 방식을 채용하였다.

형광램프는 예열 동작시 거의 무한대의 임피던스를 나타내고, 전자식 안정기의 인버터부와 더불어 SLR 인버터 회로로 표현할 수 있다. 또

한, 정상 점등시 형광램프는 등가적으로 저항 (R_{lamp})과 커패시터(C_{lamp}) 성분으로 나타낼 수 있으며 전자식 안정기의 인버터부는 직렬 커패시터 C_s 가 약 1 μ F이하로 충분히 작다면 SPLR 인버터 회로로 표현할 수 있고, 만일 C_s 가 충분히 크다면($C_s \gg C_p$) PLR 인버터회로로 표현할 수 있다. 주로 C_s 가 1 μ F이하로 설계하기 때문에 형광램프가 정상 점등시에는 그림 1과 같은 등가회로(SPLR 인버터 회로)로 치환할 수 있다.⁽²⁾

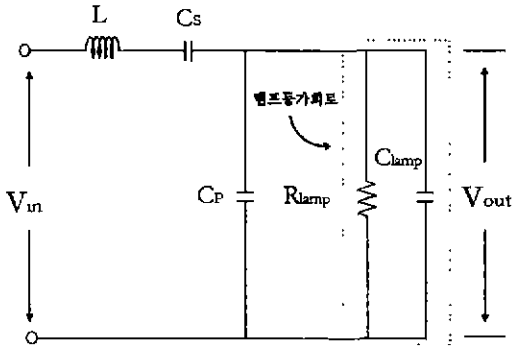


그림 1. 형광램프와 전자식안정기 인버터부의 등가회로.

이러한 등가회로에 대한 주파수의 특성을 파악하기 위해, 먼저 등가회로의 입력 임피던스 (Z_{in})를 알아보면 다음과 같다.

$$Z_{in} = \frac{R_{lamp}}{1 + j\omega R_{lamp} C_p} + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C_s}\right) \dots\dots\dots (1)$$

단, $C_{lamp} + C_p \approx C_p$

공진주파수와 Q값은

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC_s(1 + \omega_o^2 R_{lamp}^2 C_p^2)}} \dots\dots\dots (2)$$

$$Q = \frac{\omega_o L (1 + \omega_o^2 R_{lamp}^2 C_p^2)}{R_{lamp}} \dots\dots\dots (3)$$

$$= \frac{[1 + \omega_o^2 R_{lamp}^2 C_p (C_p + C_s)]}{\omega_o^2 R_{lamp}^2 C_s} \dots\dots\dots$$

이고, 입력과 출력의 관계를 나타내는 전달함수는 다음과 같다.

$$\left| \frac{V_{out}(j\omega)}{V_{in}(j\omega)} \right| = \left\{ \left[1 + \frac{C_p}{C_s} - \left(\frac{\omega}{\omega_o}\right)^2 \left(\frac{C_p}{C_s}\right) \frac{1 + \omega^2 R_{lamp}^2 C_p (C_p + C_s)}{1 + \omega^2 R_{lamp}^2 C_p^2} \right] + jQ \left[\left(\frac{\omega}{\omega_o}\right) \frac{1}{(1 + \omega^2 R_{lamp}^2 C_s^2)} - \left(\frac{\omega_o}{\omega}\right) \frac{1}{1 + \omega^2 R_{lamp}^2 C_p (C_p + C_s)} \right] \right\}^{-1} \dots\dots\dots (4)$$

위의 식을 이용하여 주파수 특성을 알아보면 그림 2와 같이 나타낼 수 있으며, 동작주파수의 변화에 따라 램프의 전압이 변화됨을 알 수 있다. 또한 식(4)에서 C_s/C_p 에 따라서 전압이득이 달라짐을 알 수 있다.⁽³⁾

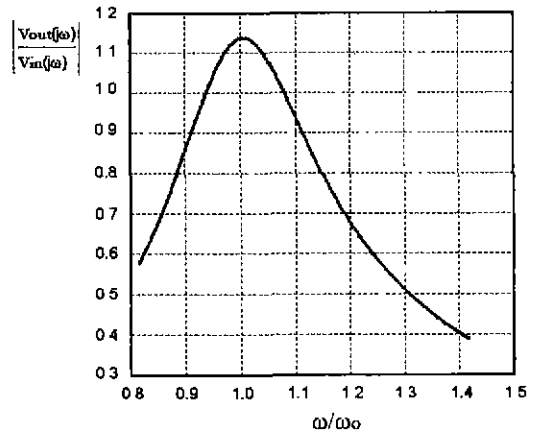


그림 2. 정상 점등시 주파수 응답 특성.

2.2 Dimming용 IC의 동작 특성

이 논문에서 사용한 Dimming용 IC는 A301-QA100(Digital Electronic Dimming Ballast Controller)를 사용하였으며, 이 IC의 주요 기능을 표 1에 나타내었다.

또한, 주파수 변화에 의한 예열방식을 채택하고 있으며, 다양한 보호기능과 칩 세팅에 의해 예열시간을 변화시킬 수 있다. 그러나 IC 자체에 많은 기능들이 수반되어 있어서 필요 이상의 전력을 소비하게 되는 단점도 있다.

표1. A301-QA100의 주요 기능.

기능	내용
동작주파수 범위	45~65[kHz]
예열주파수	54[kHz]
주파수 변화	54[kHz] → 45[kHz] → 선정된 Dimming 주파수
예열시간	0.3~1.2sec
가능한 제어신호	RS232, Manchester Code, Analog 신호
보호기능	No Lamp Detection Emergency Shut Down 이상 온도 Protection
RS232C 이용 Dimming제어신호	256단계(0단계:OFF신호)

2.3 시뮬레이션에 의한 회로상수 결정

실험에 사용된 직관형 20W 형광램프의 특성과 Dimming용 IC의 특성에 적합한 회로상수 결정시 고려해야 할 조건을 알아보면 다음과 같다.

- (1) 동작주파수 45[kHz]에서 형광램프가 시동되기 위한 충분한 램프 시동전압을 공급해야 하며, 램프의 정상 동작시 램프 최대 광출력과 발광효율을 나타내야 한다.
- (2) 예열 주파수 54[kHz]에서 램프전압이 시동 전압이하(약 $V_{pick} = 300[V]$)로 선정되어야 하고 그와 함께 충분한 예열전류를 제공해야 한다.
- (3) 최저 Dimming시(약 61[kHz])에 형광램프가 최저 광속(최대 광속의 5[%]이내)을 나타내어야 하고, 램프전압이 최저 점등 유지 전압(약 71[V]) 이내로 유지되어야 한다.

2.3.1 시동특성에 따른 회로상수 값

램프시동시 램프의 등가회로는 SLR 인버터 회로로 표현할 수 있으며, 이에 따른 공진주파

수와 Q값을 다음과 나타낼 수 있다.

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L\left(\frac{C_s C_p}{C_s + C_p}\right)}} \dots\dots\dots (5)$$

$$Q = \frac{\omega_o L}{R_f} = \frac{1}{\sqrt{\omega_o\left(\frac{C_s C_p}{C_s + C_p}\right)R_f}} \dots\dots\dots (6)$$

단, R_f = 필라멘트 저항

여기서 정상 동작주파수 45[kHz]에서 안정된 시동특성을 얻기 위해 QR_f 의 값을 충분히 큰 값(300~600)으로 변화시키고, 그에 따른 C_s/C_p 의 비를 Dimming시에 적당한 1에서 10까지 변화시켜 각각의 회로상수 L, C_s , C_p 값을 구하였다.⁽⁴⁾

2.3.2 PSpice를 이용하여 회로상수 값 결정

계산된 회로상수 L, C_s , C_p 값 중에서 형광램프 특성에 최적인 값을 선정하기 위해 PSpice 시뮬레이션에 수행하였으며, 그 회로도를 그림 3에 나타냈다.

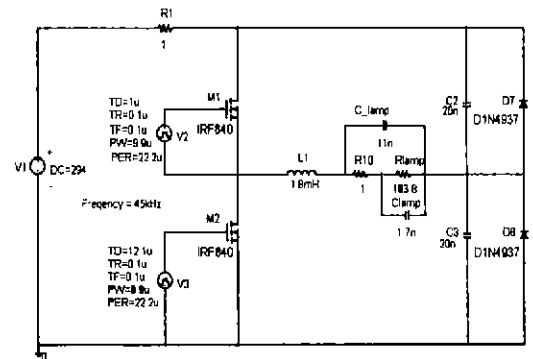


그림 3. PSpice 시뮬레이션 회로도.

시뮬레이션은 사용된 회로는 램프 예열시와 최대 Dimming시, 최저 Dimming시로 구분한 각각의 회로에 대해서 수행하였으며, 그 때의 조건을 표 2에 나타냈다.

시뮬레이션 결과, 최적의 회로상수 값은 $L = 1.8\text{mH}$, $C_s = 20\text{nF}$, $C_p = 1\text{nF}$ 이다.

표 2. PSpice 시뮬레이션에서 고려될 내용.

램프상태	램프 동작회로	고려사항 조건
램프 예열시 (54[kHz])	$Z_{\text{lamp}} = \infty$	$V_{\text{peak}} = 300\text{V}$ 이하
최대Dimming시 (45[kHz])	$R_{\text{lamp}} = 184\Omega$ $C_{\text{lamp}} = 1.7\text{nF}$	램프전력=19W
최저Dimming시 (61[kHz])	$R_{\text{lamp}} = 683\Omega$ $C_{\text{lamp}} = 1.6\text{nF}$	램프전력=5W이상 램프전압:71V

2.4 회로 구성

시뮬레이션을 통하여 구한 회로 상수값을 이용하여 전자식안정기를 제작하였으며, 전체적인 회로구성을 그림 4에 나타내었다.

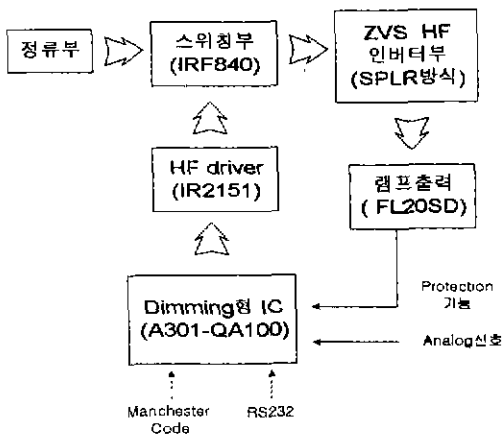


그림 4. Dimming형 전자식 안정기의 회로 구성.

Dimming용 IC(A301-QA100)의 출력 신호를 Self-Oscillating Half-Bridge Driver(IR2151)로 제공하고, IR2151에서 나오는 두 개의 출력신호를 스위칭 소자(FET840)의 게이트에 공급하여 주파수를 제어할 수 있게 하였다.

2.5 실험 결과 및 고찰

제작된 전자식 안정기를 이용, 주위온도를 $25[^\circ\text{C}]$ 로 하고 전력분석기와 조도계, 디지털 오실로스코프를 이용하여 램프의 전압, 전류 및 광출력을 측정하였다.

그 결과로서 광출력 특성은 약 5[%]까지 Dimming이 가능하였고 최저 Dimming시에 점등불안 현상이 나타나지 않음을 알 수 있었다. 그러나 특정 주파수(54[kHz]) 이하에서 램프의 광출력이 급격히 떨어지는 비선형성을 띄고 있어서 이에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 IC가 소비하는 전력을 뺀 입력전력은 최대 19W에서 최소 6W 범위까지 변화하였다.

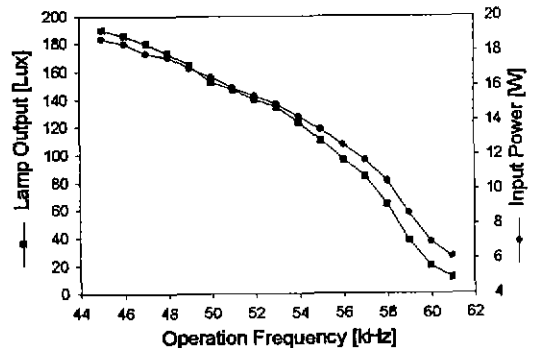
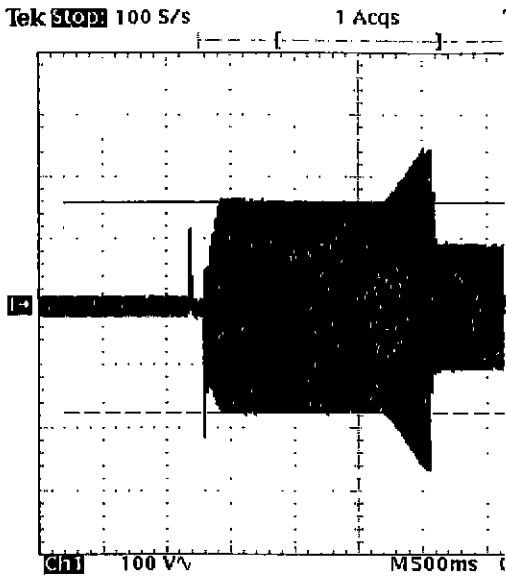
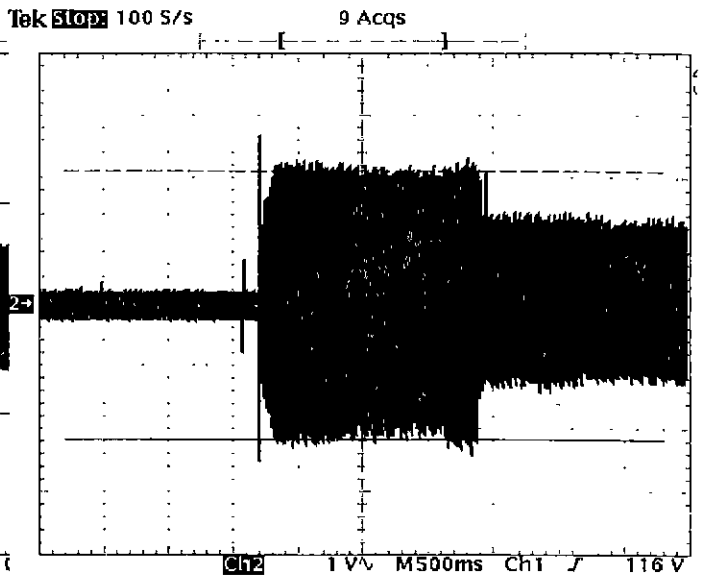


그림 5. 동작 주파수에 따른 광출력 및 입력전력.

그리고 그림 6은 램프 시동시 예열전류 및 램프전압을 나타내고 있으며, 이는 시동시에 램프를 점등시키지 않고 충분한 예열전류가 공급되고 주파수가 정상 주파수에 도달할 때 램프가 점등되는 Soft Start가 되는 것을 알 수 있다. 그리고 그림 7은 주파수 변화시의 램프전압과 전류의 변화를 나타내고 있다. 여기서 동작 주파수가 증가함에 따라 램프전압이 상승하고 램프전류가 감소하여 Dimming이 이루어짐을 알 수 있다.



(a) 램프전압



(b) 예열전류

그림 6 램프 시동시 램프전압과 예열전류

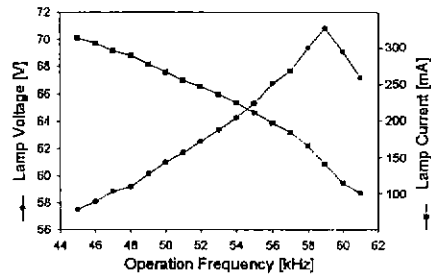


그림 7 동작 주파수에 따른 램프전압과 전류.

3. 결 론

Dimming형 IC로 전자식 안정기를 제어할 경우에 있어서 그 주어진 조건에 대한 형광램프의

주파수 특성을 파악하고, PSpice시뮬레이션을 통해 회로상수를 구하여 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 전자식 안정기의 동작 주파수를 제어하여 형광램프를 제어할 수 있었으며, 특히 시동시에 충분한 예열전류를 공급할 수 있었고 정상 동작시 적절한 Dimming 특성을 나타낼 수 있었다.
2. 주파수 제어 방식의 Dimming형 IC의 주어진 주파수 조건에 따른 형광램프 특성을 파악하였고, 이를 토대로 PSpice 시뮬레이션을 수행하여 램프 시동과 각 주파수에 대한 램프 특성을 파악할 수 있었다.
3. 주파수 제어 방식의 Dimming형 IC가 제공하는 전자식 안정기의 동작주파수 조건에 대한 회로상수 값의 올바른 선정법을 제공하였다.
4. 앞으로 주파수 제어 방식의 Dimming형 IC를 전자식 안정기에 적용할 경우에 있어서, 주파수에 따른 램프의 광출력의 비선형성을 해결하는 연구가 진행되어야 할 것이며, 이를 기반으로 원거리 제어가 효과적으로 이루어질 수 있도록 하여야 할 것이다.

[참고문헌]

- [1] T.-F. Wu, T.-H. Yu, J.-C. Hung, and H.-P. Y "Analysis and Design of Dimmable Electronic Ballast for Fluorescent Lamps Using Fuzzy Controller," Pro APEC'94, Vol. 2, pp. 648-654, 1996.
- [2] R. M. Nelms, T.D Jones, and M.C. Cosby, comparison of resonant inverter topologies for HP lamp ballasts," IEEE Ind. Appl. Soc. 28th Annu Meeting, Vol. 3, pp. 2317-2322, 1993.
- [3] G.-C. Hsieh, C.-H. Lin and Y.-A. Soun, "Modeling Estimation of the Fluorescent Lamp and I Pre-heating Control," Proc. LUX PACIFICA '97, p B113-B119, 1997.
- [4] 여인선, 광재영, 송상빈, "컴팩트 형광램프용 Dimming형 전자식 안정기의 회로정수 결정," 조명·전기설비학회지, Vol. 9, No. 2, pp. 29-34, 1995.