

# 컴팩트 형광램프용 Dimming형 전자식 안정기의 회로정수 결정

(Determination of Inverter Circuit Parameters of Electronic Ballasts for Dimming Compact Fluorescent Lamps)

郭宰榮\* · 宋相彬\*\* · 呂寅善\*\*\*

(Jae-Young Gwark · Sang-Bin Song · In-Seon Yeo)

## 요 약

본 논문에서는 컴팩트 형광램프용 Dimming형 전자식 안정기의 설계에 있어서, 인버터 공진탱크의 커패시턴스값을 변화시킬 때 전압이득곡선을 분석하여 최적의 회로정수를 결정하는 방법을 제안하였다. 또한 하프브리지 인버터회로의 회로정수에 대한 PSpice 시뮬레이션을 행하여 램프전압과 전류값을 구하였고, 실제 전자식 안정기를 제작하고 시동특성과 조광특성을 비교분석하였다. 시동특성은 일반 전자식 안정기와 거의 동일하였으며, 조광특성은 전체 광출력의 5%까지 안정동작되어, 제안된 방법이 뛰어난 것을 확인하였다.

## Abstract

This paper presents a new approach in the design of electronic ballasts for dimming compact fluorescent lamps by using voltage gain curves according to various capacitor values of the resonant-tank circuit. Also a prototype of an electronic dimming ballast which adopts half-bridge inverter topology is set up to compare the results of PSpice simulation with experimental ones. Starting characteristics are similar to other electronic ballasts and it is dimmable with stability down to 5% of full light output and therefore is verified the validity of the proposed method.

## 1. 서 론

형광램프용 전자식 안정기의 개발에 따라 전체

\* 正會員 : 全南大學校 電氣工學科 博士課程

\*\* 正會員 : 全南大學校 電氣工學科 碩士課程

\*\*\* 正會員 : 全南大學校 電氣工學科 副教授

接受日字 : 1994年 12月 23日

형광등 시스템의 소형·경량화, 고효율 및 절전 효과를 가져왔으며, 전자식 안정기에 공진형 인버터를 이용하여 고역률 등의 더 많은 장점을 얻어 고 있다.<sup>1)</sup>

최근에는 램프와 안정기가 일체형으로된 콤팩트 형광램프용 전자식 안정기의 설계에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 설계방법으로는

램프등가저항법을 이용하거나 PSpice 시뮬레이션 등을 이용하여 연구가 행해져 왔다.<sup>2)</sup> 특히 다운라이트에 백열전구 대신에 콤팩트 형광램프를 많이 사용하게됨에 따라 Dimming형 전자식 안정기가 필요하게 되었다. 그러나 Dimming형 전자식 안정기의 설계에 관한 연구는 미비한 실정이다.

본 연구에서는 콤팩트 형광램프용 Dimming형 전자식안정기의 설계에 있어서 인버터 공진탱크의 커패시턴스변화에 따른 이득곡선을 분석하여 인버터회로의 최적의 회로정수를 결정하는 방법을 제안하였으며, 각각의 회로정수에 대한 PSpice 시뮬레이션을 행하여 램프출력에 관한 파형을 고찰하였다. 또한 실제 Dimming회로를 갖춘 전자식 안정기를 제작하고 시동특성과 조광특성을 비교분석하여, 제안된 방법이 뛰어난을 확인하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 전자식 안정기의 설계이론

콤팩트 형광램프는 기존의 직관형 형광램프로 다 소형·경량이고 안정기도 램프와 일체형으로 될 수 있어서, 전체적으로 소형·경량화를 실현할 수 있었다.

전자식 안정기는 미세한 차이는 있지만 대부분 정류회로와 인버터회로로 구성되어 있고, 이 중에서 인버터회로는 고효율과 회로 간결함의 장점을 갖춘 하프브리지방식이 주종을 이루고 있다.<sup>3)</sup>

그림 1은 일반 전자식안정기의 기본 회로도이다. 그림에서 S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub>는 직류를 고주파 교류로 변

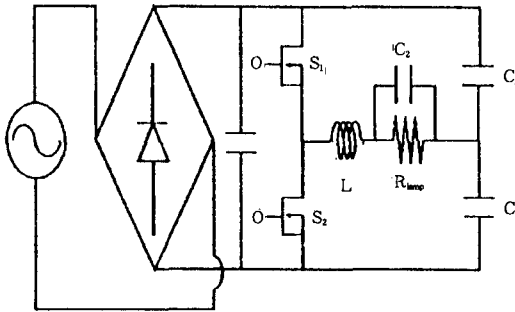


그림 1. 일반 전자식 안정기 회로  
Fig. 1. Common electronic ballasts circuit

환시켜주는 스위칭 소자이며, L은 전류를 제한하는 역할을 담당하고, C<sub>2</sub>는 시동과 방전유지의 기능을 담당한다.

### 2.2 Dimming기능을 갖춘 콤팩트 형광램프용 전자식 안정기회로의 특징

콤팩트 형광램프용 전자식 안정기회로를 주파수변환에 의하여 조광시키기 위해서는 일반 콤팩트 형광램프용 전자식 안정기회로보다 더 높은 주파수에서 동작시켜야 하므로, 스위칭소자의 스위칭주파수와 방열 문제를 고려해야 한다. 또한 Dimming기능을 갖춘 전자식 안정기는 동작주파수 범위에서 안정되게 동작해야 한다.

그림 2는 제안된 Dimming회로를 보여주고 있으며, SG3525 IC소자를 이용하여 구형파를 발생시키고, 주파수변환을 통하여 45~52(kHz)의 범위에서 동작되도록 설계하였다. 그림 3은 Dimming회로의 출력파형이다.

### 2.3 회로정수의 결정

전자식 안정기의 인버터회로의 회로정수 결정을 위하여 그림 4처럼 스위칭소자 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> 앞단에 구형파가 인가되는 교류등가회로로 변환하였다. 등가회로에서 R<sub>lamp</sub>값은 램프를 등가저항으로 변환한 값을 의미한다.

등가회로에서 램프가 최대부하일 경우에는 L-C<sub>1</sub> 직렬공진회로가 주회로로 되며, 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\left| \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)} \right| =$$

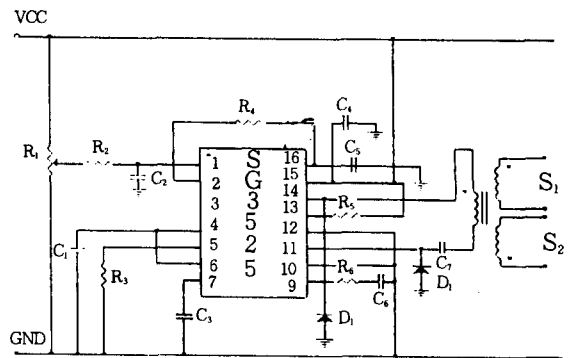


그림 2. 제안된 Dimming회로  
Fig. 2. Proposed dimming circuit for electronic ballasts

$$\frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{C_1}{C_2}\right) - \frac{C_1}{C_2} \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}} \quad (1)$$

단,  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC_1}}$ ,  $Q = \frac{\omega_0 L}{R}$

식(1)을 이용하여  $C_1/C_2$ 의 값이 1에서 5까지 변화하고, Q의 값이 1에서 5까지 변화할때의 전압이득곡선을 3차원으로 도시하면 그림 5와 같다.

그림 5의 전압이득곡선에서 Q값이 커지면(램프 전부하시) L-C<sub>1</sub>의 직렬공진회로가 되고, Q값이 작아지면(램프 무부하시) 공진주파수가 오른쪽으로 이동한다. 또 C<sub>1</sub>과 C<sub>2</sub>의 비를 C<sub>1</sub>=C<sub>2</sub>에서 C<sub>1</sub>=2C<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>=5C<sub>2</sub>까지 변화시킨 결과, 그림에서와 같이 C<sub>1</sub>=5C<sub>2</sub> 이상이 되면 Dimming시에 이득이

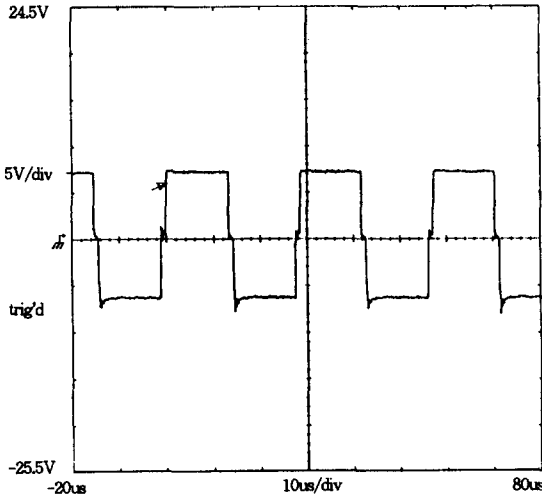


그림 3. Dimming회로의 출력파형  
Fig. 3. Output signal of dimming circuit

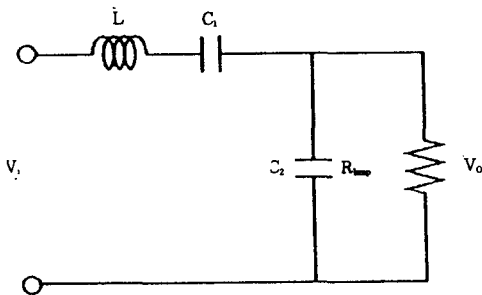


그림 4. 인버터부의 등가회로  
Fig. 4. Equivalent circuit of inverter

줄어들고 회로가 불안정하게 되거나, 조광범위가 좁아져 원활한 Dimming이 어렵게 된다. 또한 C<sub>1</sub>=C<sub>2</sub> 일때는 Q값의 변화에 대한 이득의 변화가 심하게 되어 점등실패의 원인이 된다. 그러므로 C<sub>1</sub>=2C<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>=3C<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>=4C<sub>2</sub>일 경우가 조광가능한 범위가 된다. 그러나 조광시에 전자식 안정기의 최대동작주파수 제한이 있으므로 정상상태 주파수와 최대 Dimming시의 주파수 사이의 범위는 크면 클수록 정상상태 동작주파수가 적은 값으로 되기 때문에, C<sub>1</sub>=2C<sub>2</sub>일 경우가 최대효율을 갖고 최적의 Dimming이 가능할 것이다.

제안한 전자식 안정기회로의 L, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>의 값을 구하기 위하여, 기존의 20[W] 컴팩트 형광램프의 램프전압 및 전류값으로부터 램프의 등가저항 (R<sub>lamp</sub>)을 구하였고, 이를 표 1에 나타냈다.

위에서구한 R<sub>lamp</sub>값을 이용하여 식(1)로부터 Q 값이 1.0~1.6일때 각각의 L, C, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>값을 구하였으며 이결과를 표 2에 나타냈으며, 이 데이터를 이용하여 PSpice 시뮬레이션을 행하였다.

### 3. PSpice 시뮬레이션

컴팩트 형광램프의 램프전압 및 램프전류를 구하기 위하여 램프등가저항(R<sub>lamp</sub>)과 회로정수를

표 1. 20[W]컴팩트 형광램프의 등가저항 R<sub>lamp</sub>  
Table 1. Equivalent resistance R<sub>lamp</sub> of a 20[W] compact fluorescent lamp

	180[V]
	105[V]
	0.191[A]
	553[Ω]

표 2. 인버터회로의 회로정수 계산 (C<sub>1</sub>/C<sub>2</sub>=2)  
Table 2. Calculation of inverter circuit parameters (C<sub>1</sub>/C<sub>2</sub>=2)

	1.95	19.20	9.60
	2.15	17.45	8.73
	2.35	16.00	8.00
	2.54	14.77	7.38
	2.74	13.71	6.86
	2.94	12.80	6.40
	3.03	12.39	6.19
	3.13	12.00	6.00

이용하여 각각  $C_1/C_2=2$ ,  $C_1/C_2=3$ ,  $C_1/C_2=4$ 일 경우의 등가회로 시뮬레이션을 행하였다. 표 3은  $C_1/C_2=2$ 인 경우를 PSpice로 시뮬레이션한 램프 등가저항의 전압, 전류의 rms값을 나타내고 있다. 시뮬레이션 결과  $C_1/C_2=2$ 일 때는  $Q=1.55$ 인 경우가,  $C_1/C_2=3$ 일 때는  $Q=1.5$ 가,  $C_1/C_2=4$ 일 때는  $Q=1.45$ 가 각각 최적의 값으로 나타났다. 따라서  $C_1/C_2=2$ 인 경우와  $C_1/C_2=3$ ,  $C_1/C_2=4$ 인 경우의 데이터를 이용하여 실제 전자식 안정기를 제작한 다음, 정상상태와 조광상태를 비교분석하였다.

표 3. 램프전압과 전류값의 PSpice 시뮬레이션 결과 ( $C_1/C_2=2$ )  
Table 3. Results of PSpice simulation of lamp voltage and current value ( $C_1/C_2=2$ )

Q	V <sub>lamp</sub>	I <sub>lamp</sub>	R <sub>lamp</sub>	V <sub>lamp</sub>	I <sub>lamp</sub>
1.0	1.95	19.20	9.60	156.3	0.284
1.1	2.15	17.45	8.73	144.6	0.261
1.2	2.35	16.00	8.00	132.7	0.242
1.3	2.54	14.77	7.38	124.8	0.226
1.4	2.74	13.71	6.86	116.8	0.211
1.5	2.94	12.80	6.40	109.9	0.197
1.55	3.03	12.39	6.19	105.9	0.193
1.6	3.13	12.00	6.00	103.3	0.187

#### 4. 실험결과 및 고찰

시뮬레이션 결과 얻어진 회로정수를 이용하여, 45~52(kHz)의 조광범위를 갖는 3개의 콤팩트 형광램프용 전자식 안정기를 제작하여 램프전압 및 램프 시동특성과 조광특성을 실험하였다.

각각의 전자식 안정기회로에서 정상상태에 도달하기까지의 시동특성은 그림 6에 나타나듯이 거의 일정하였으나, Dimming시에는 전압과 조광특성이 달라짐을 확인할 수 있었다. 그림 7은  $C_1/C_2=2, 3, 4$ 일 때의 조광특성을 보여주고 있다.

그림 7에서 나타나듯이  $C_1/C_2=2$ 일 경우의 전자식 안정기회로가 전체 Dimming범위에서 조광특성이 가장 뛰어나고 조광범위도 5%까지 가장 넓으며, 안정되게 동작됨을 알 수 있었다.

그림 8은  $C_1/C_2=2$ 일 경우의 램프전압 파형을 전체 동작주파수 영역에서 동작주파수가 각각 45, 48, 52(kHz)일 때를 측정하여 나타내고 있고,

주파수가 증가함에 따라 램프전압이 상승되고 안정하게 동작됨을 알 수 있다.

#### 5. 결론

조광기능을 갖춘 콤팩트 형광램프용 Dimming형 전자식안정기의 설계를 위해 주파수 변화와 Q값,  $C_1/C_2$ 값의 변화에 따른 이득곡선을 분석하여 최적의 회로정수를 결정하는 방법을 제안하였

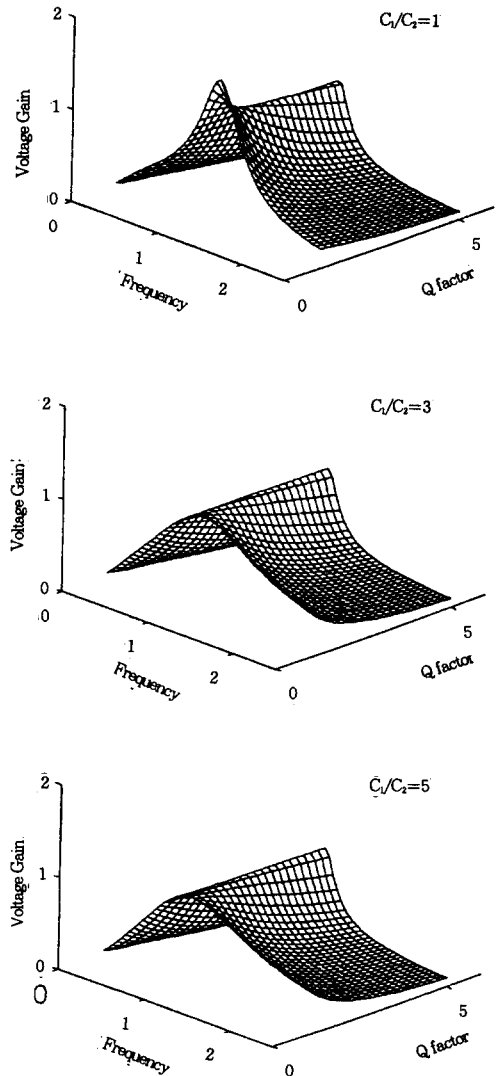


그림 5. 캐패시턴스 변화시의 전압이득곡선  
Fig. 5. Plots of voltage gain curve at various capacitance value

다.

제안된 방법을 이용하여 PSpice 시뮬레이션을 수행한 결과 인버터부에 있어서 가장 적절한 회로정수를 구할 수 있었다. 이 결과를 이용 하프 브리지 인버터방식의 안정기를 제작하여 시동특성과 조광특성을 비교분석한 결과  $C_1/C_2=2$ 인 경우가 가장 뛰어난 특성을 나타냄을 확인하였다. 시동특성은 일반 전자식 안정기와 거의 동일하였고, 전체 동작주파수 영역 ( $f=45\sim 52$ [kHz])에서의 조광특성은 전체 광출력의 5%까지 연속조광이 가능하였고 안정되게 동작하였다.

또한 제안된 방법은, 향후 새로운 전자식 안정기의 개발과, 원하는 주파수 영역에서의 Dimming형 전자식 안정기 개발에 유용할 것으로 기대된다.

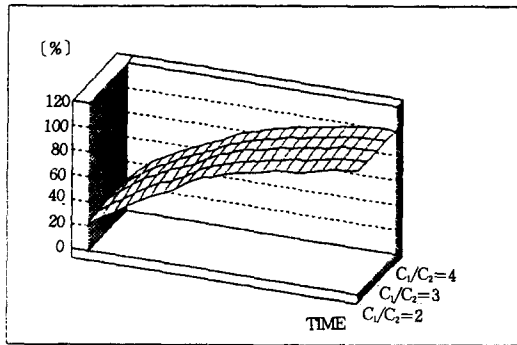


그림 6. 20(W)컴팩트 형광램프의 시동특성 ( $f=45\sim 52$  [kHz])  
Fig. 6. Starting characteristics of a 20(W) compact fluorescent lamp ( $f=45\sim 52$ [kHz])

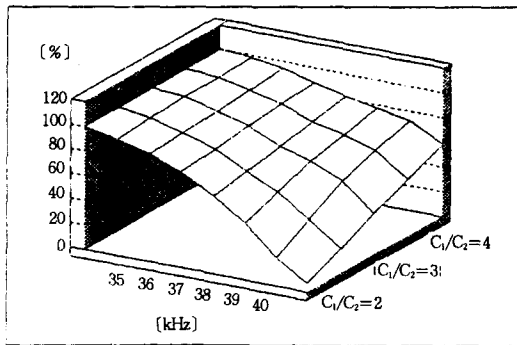
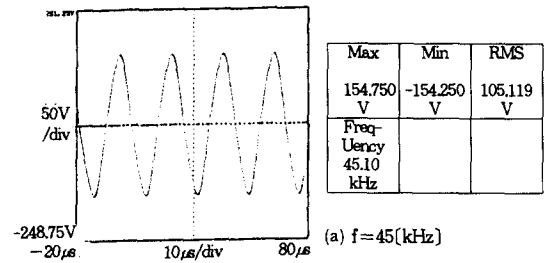


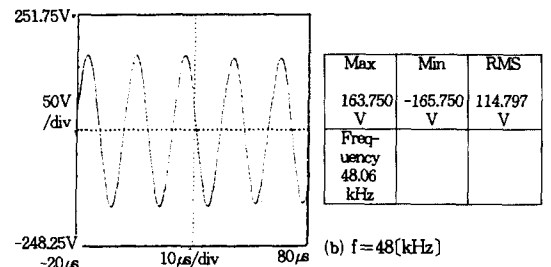
그림 7. 20(W)컴팩트 형광램프의 조광특성 ( $f=45\sim 52$  [kHz])  
Fig. 6. Dimming characteristics of a 20(W) compact fluorescent lamp ( $f=45\sim 52$ [kHz])

참고 문헌

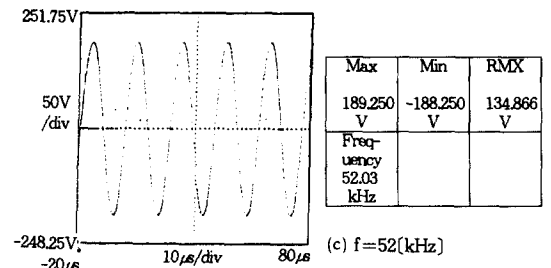
- 1) A.K.S. Bhat, "Analysis, selection, and design of resonant inverters for electronic ballasts," IEEE PESC, Vol. 1, 1994, pp. 796-804.
- 2) Yjyoung Sun, P.E., "PSpice modeling of electronically ballasted compact fluorescent lamp system," IEEE Ind. Appl. Soc. 28th Annual Meeting, Vol. 3, 1993, pp.2311-2316.
- 3) T.F. Wu, T.H. Yu and H.M. Huang, "Complete analysis and performance-characteristic compromise for self-excited half-bridge parallel resonant electronic ballasts," IEEE PESC, Vol. 1, 1994, pp.124-129.
- 4) R.M. Nelms, T.D Jones, and M.C. Cosby, "A comparison of resonant inverter topologies for HPS lamp ballasts," IEEE Ind. Appl. Soc. 28th Annual Meeting, Vol 3, 1993, pp.2317-2322.



(a)  $f=45$ [kHz]



(b)  $f=48$ [kHz]



(c)  $f=52$ [kHz]

그림 8. 각 동작주파수에서의 램프전압 파형  
Fig. 8. Lamp voltage waveforms at various operating frequencies

◇ 著者紹介 ◇

---



여 인 신(呂寅善)

1957年 6月 11日生. 1979年 서울대  
工大 電氣工學科 卒業. 1981年 서울  
대 大學院 電氣工學科 卒(碩士).  
1989年 서울대 大學院 電氣工學科  
卒(博士). 現在 全南대 工大 電氣工學科 副教授. 當  
學會 評議員.



송 상 빈(宋相彬)

1969年 10月 1日生. 1994年 全南대  
電氣工學科 卒(學士). 現在 全南대  
大學院 電氣工學科 碩士課程.



곽 재 영(郭宰榮)

1963年 11月 12日生. 1989年 全南대  
工大 電氣工學科 卒業. 1991年 全南  
대 大學院 電氣工學科 卒(碩士). 現  
在 全南대 大學院 電氣工學科 博士  
課程.