

페라이트 비드를 이용한 다등용 전자식 안정기 설계

The Design of Electronic Ballast for Multiple Lamps Using the Ferrite Bead

고석철*, 이 재*, 임성훈**, 최명호***, 한병성****

(Seok-Cheol Ko*, Jae Lee*, Sung-Hun Lim**, Myong-Hoo Choi***, Byoung-Sung Han****)

Abstract

In this paper, Electronic ballast for multiple fluorescent lamps based on the use of ferrite beads are presented. The use of this system in place of the conventional electromagnetic ballast results in lower power consumption and reduced maintenance cost, because the electronic system has higher efficiency and longer lamp lifetime than the electromagnetic ballast. In comparison with the conventional electronic ballast. The proposed system presents a significant reduction of cost. This reduction becomes were meaningful with the growing of the lamp number. The description of the lighting system, We show that the proposed model can be applied to multiple lamps electronic ballast by simulation processes.

Key Words : multiple fluorescent lamp, ferrite beads

1. 서론

날로 부가되는 조명의 중요성과 함께 우리 나라의 에너지 수입 의존도는 지속적으로 높아지고 있어 국가적으로 에너지 절감을 위한 많은 노력이 뒤따르고 있다. 램프는 부저항 특성을 가지므로, 과도한 전류에 의한 램프 파괴를 막기 위해서는 전류제한을 위한 안정기가 반드시 필요하다.

고주파 인버터에 매끄러운 직류링크 전압을 제공하기 위해서는 상당히 큰 커패시터와 함께 다이오드 브리지 정류기가 필요하다. 이러한 정류회로는 나쁜 역률과 심각한 고조파 왜곡을 야기하는 높은 입력전류가 불가피하게 생성된다. 능동 역률보상기(PFC)를 정류기와 인버터 사이에 삽입하여 이 문제를 경감시킨다. 타러식 공진형 인버터는 구동회로에서 직접 구동 전력을 공급하므로 스위칭 주파수 조절이 가능하여 초기 기동시 필라멘트 예열(preheating)을 통하

여 형광등의 수명을 연장시키고 조광(dimming)을 통하여 추가의 절전효과를 얻을 수 있어 고기능의 전자식 안정기에 적합하다.[1],[2] 제어 IC를 적용하여 조광(dimming)을 자동적으로 조절하여 전력절감 및 시스템 부피축소, 회로의 안정성 향상 등의 효과를 얻을 수 있으나, 비용이 많이 드는 단점이 있다. 간판용에 사용되는 안정기는 네온등을 점등시키기 위한 네온용 안정기를 사용하고 있으며, 형광램프를 점등시키기 위해 가격이 저렴한 2등용 또는 1등용 자기식 안정기를 대부분 사용하고 있다. 다등용 전자식 안정기에 관한 논문이나 개발이 아직 국내에선 전무하다. 또한 전자식 안정기는 가격이 비싸다는 이유로 설치를 꺼려하는 실정이다. 생활수준의 향상과 더불어 현대건물 내부 통로에는 1등용 자기식 안정기를 등기구안에 배열하여 3등용으로 면광원 효율을 증대시키고자 사용되고 있다. 본 논문에서는 페라이트 비드와 MOSFET를 사용하여 비용이 적게 들고 발광효율 및 광원 효율이 우수한 다등용 형광램프 자려식 전자식 안정기 토폴러지를 제안한다. 또한 Pspice 프로그램을 사용하여 페라이트 비드의 등가모델과 제안한 회로에 대한 이론적인 분석에 대한 타당성을 검증하고자 한다.

* : 전북대학교 전기공학과 석사과정

** : 전북대학교 전기공학과 박사과정

*** : 광주보건대학교 의료정보공학과 전임강사

**** : 전북대학교 전기공학과 교수

(전주시 덕진구 덕진동 1가 전북대학교,

Fax : 063-277-0918

E-mail : suntrac@shinbiro.com)

2. 페라이트 비드 모델링

페라이트 비드는 클록 라인이나 신호 라인, 전원 라인 등의 노이즈 발생원, 케이블이나 커넥터 근처의 신호 라인 등의 노이즈를 제거하기 위해서 사용된다. 일반 인덕터나 페라이트 비드는 높은 주파수에서 임피던스가 상승한다. 그러나, 페라이트 비드는 노이즈 대역인 고주파에서 저항 성분이 인덕턴스 성분보다 더 큰 영향을 미치게 된다. 이 특성을 이용하면 고주파의 노이즈를 열로 변환하여 제거할 수 있다. 페라이트 비드는 폭넓은 주파수 범위에서 적은 와류손과 높은 전기적 저항항성을 가지고 있다. 또한, 가격이 저렴하고 높은 안정도, 작은 부피를 차지하고 있으며, 10kHz에서 50MHz의 고주파 용도에 사용할 수 있는 자성 물질이다. 페라이트 비드는 그림 1과 같이 등가회로로 나타낼 수 있다.

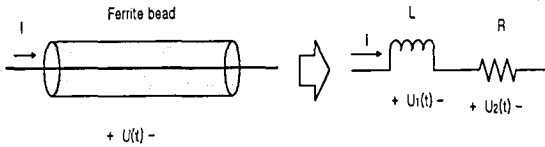


그림 1. 페라이트 비드의 직렬 등가회로
Fig. 1. Equivalent circuit series electric scheme of a ferrite bead

위의 등가모델로부터 전압, 전류방정식을 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$U(t) = U_1(t) + U_2(t)$$

$$I(t) = \frac{U(t)}{R(t)} + \frac{1}{L(t)} \int U(t) dt \quad (1)$$

코어의 인덕턴스는 식 (2)과 같이 구할 수 있다.

$$L = \text{const} \times \text{Length} \times \log(OD/ID) \quad (2)$$

여기서 OD는 페라이트 비드의 바깥 지름이며, ID는 페라이트 비드의 안쪽 지름이다. 또한, Length는 비드의 길이이다.

페라이트 비드의 크기에 대한 치수율은 식 (3)과 같은 관계를 가지고 있다.

$$K = 17.526 \times \text{Length} \times \log(OD/ID) \quad (3)$$

이 상수는 전적으로 코어 재료와 관계없는 기하학율이다. 저주파에서는 $Z = K \cdot j\omega L$ 의 관계가 있으며, 고주파에서는 $Z = K \cdot (R + j\omega L)$ 인 관계로 생각할 수 있다. 저항과 인덕턴스 특성은 주파수에 좌우된다. 결과적으로 페라이트 비드의 전기적인 특성을 쉽게 결정할 수 없다는 것이다. 주파수의 큰 대역폭을 고려하기 위해서는 서로 다른 비드를 사용해야 한다는 것이다. 페라이트 비드는 하이Q타입과 로Q

타입 2종류가 있어 임피던스 특성이 다르다. 이것은 페라이트의 재질이나 부품의 내부구조에 따른 것으로 로Q타입은 광대역에 걸쳐 임피던스 특성이 비교적 평탄하다. 반면, 하이Q타입은 고주파 대역에서 임피던스가 높아지는 특성이 있다.

3. 제안한 다등용 전자식 안정기 설계

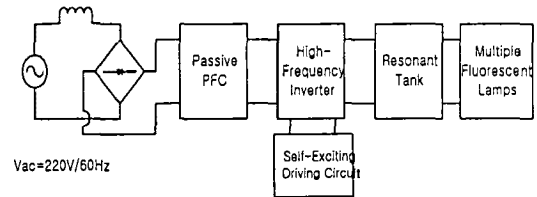


그림 2. 다등용 전자식 안정기의 블록다이아그램
Fig. 2. Block diagram of the multiple electronic ballast

그림 2는 제안한 다등용 전자식 안정기 블록다이아그램이다. 교류 전원은 정류회로를 거쳐 직류 전원으로 바꾸어주고 저가격의 수동 역률 소자를 사용하여 역률을 보상하고, 반파브리치 인버터와 공진회로를 사용하여 3등용 형광램프를 점등시키기 위한 회로로 구성되어 있다. 여기서 페라이트 비드를 사용하여 구동회로를 구성하였으며 여러 개의 형광램프를 점등시킬 수 있도록 하였다.

3-1. Pspice 형광램프 모델링

제안한 전자식 안정기 회로를 시뮬레이션 하기 전에 페라이트 비드 모델과 램프모델을 이 회로에 적용해야 한다. 그림 3은 T8 형광램프 모델 구성도이다. 이 모델은 전기적인 방전 현상에 바탕을 둔 물리적인 모델이 아니라 램프의 V-I 특성에 근거를 둔 실험적인 모델이다. 오스람 32W/T8 측정 데이터 값을 표 1에 나타냈다. 등가저항값은 정적상태에서 램프 실효전류-전압 값을 이용함으로써 계산할 수 있다. 동작주파수는 50kHz이며, 램프 역률은 일정하다고 가정한다. 램프 모델은 가변 저항부, 램프 전류 탐지회로부, 지연회로부, 다항식 합수부로 구성되어 있다. 전압제어 스위치 S₁의 매개 변수 값들은 R_{on}=1Ω, R_{off}=100kΩ, V_{on}=1V, V_{off}=0V로 결정될 수 있다. 표 1에서 알 수 있듯이 램프 전류 범위 내에서 가변저항으로서 충분한 범위를 제공한다. 스위치 S₂는 R_{on}=0.1Ω, R_{off}=134Ω, V_{on}=1V, V_{off}=0V로 정한다. S₁과 S₂의 조합으로 스위치 S₁의 저항은 가변 저항부의 입력 전류에 따라 변하게 된다. 램프 전류 탐

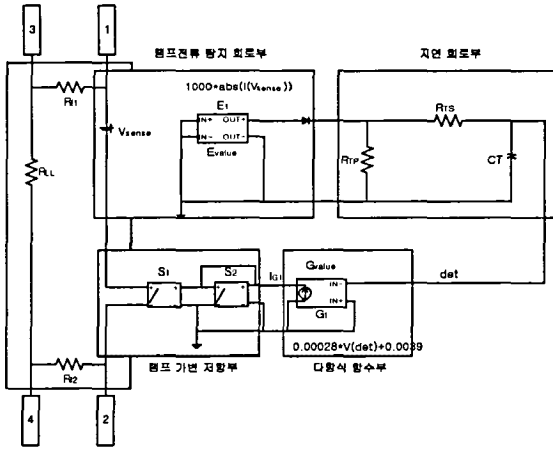


그림 3. Pspice을 위한 램프 모델 구성 회로도
Fig.3. Circuit diagram of the lamp model for pspice

표 1. 측정된 형광 램프 실효 V-I 특성
Table 1. Measured fluorescent lamp RMS V-I characteristics

램프 실효전류 (mA)	램프 실효전압(V)	전력(W)
24.48	191.2	4.68
49.26	177.2	8.73
77.72	167.2	12.99
106.00	158.6	16.81
147.90	149.5	22.38
178.40	143.7	25.64
209.70	137.5	28.83
233.30	132.9	31.00
245.80	130.6	32.10
261.60	128.3	33.56

지회로부에서 램프 전류는 스위치 S₁에 직렬로 연결된 영전압 전압원인 V_{sense}에 의해 탐지되고, 탐지된 전류는 절대값 함수를 사용하여 전압으로 전환된다. RC 저역통과 필터회로에 의해서 자연회로를 구성할 수 있으며, 주파수 특성을 램프 모델에 적용한다. 다항식 함수부에서 전압 제어 전류원인 G₁은 램프 전류 탐지부의 출력 전압 값을 가변 저항부 입력 전류 함수로 지정할 수 있다. T8 32W의 V_{det}과 I_{G1}의 일차 다항식 함수는 I_{G1}=0.0003V_{det}+0.0039로 나타낼 수 있다. 다른 모델의 램프 변수 값을 결정할 때는 단지 이 함수의 계수를 바꿔주면 된다. R₁₁과 R₁₂는 필라멘트 저항으로 10Ω으로 고정시킬 수 있다. R_{LL}은 개방회로의 문제점을 방지하기 위해서 추가적으로 설치했다. R_{LL}의 저항값은 1GΩ이다.

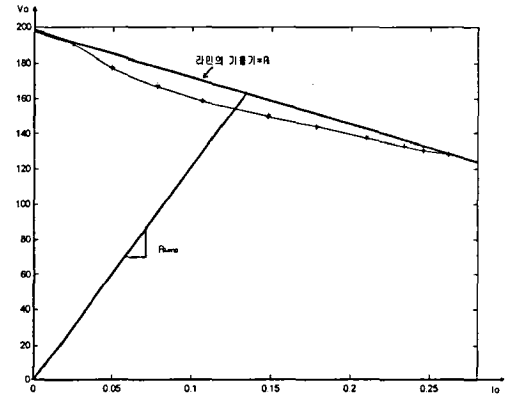


그림 4. 램프의 V-I 특성 곡선
Fig. 4. The V-I characteristic plot

그림 4는 램프의 V-I 특성 곡선을 나타내고 있다. 직선의 기울기 값인 R_s는 -273.8Ω이고 램프 최대 전압은 197.7V이다. 형광램프의 등가저항은 식 (4)과 같이 표현될 수 있다.[3],[4]

$$R_{lamp} = R_s + \frac{V_H}{I_o} = \frac{V_o \cdot R_s}{V_o - V_H} \quad (4)$$

3-2. 제안한 다등용 전자식 안정기 회로

그림 5는 페라이트 비드를 게이트 구동회로에 직병렬로 연결하여 고주파 발전 코일(O.S.C)을 통해 넘어오는 에너지를 보조 커패시터에 담아 두었다가 턴온 시에 게이트 구동전류를 크게 하여 천이구간을 감소시키는 방안이다. 형광램프는 작은 고주파 공진 필터에 연결되어 있으며 직렬 커패시터 C_s는 출력전압의 직류성분을 제거한다. 반파브리지 인버터는 스위칭 주파수가 공진 필터 주파수보다 약간 높은 주파수에서 동작하도록 설계해야 한다. 영전압 스위칭을 하기 위해서 출력전류는 출력전압과의 관계에서 지상이 되어야 한다. 직류저지 직렬 커패시터 C_s는 공진 커패시터 C_r보다 훨씬 커야 한다. 그림 7은 고주파 공진회로의 등가회로를 보여주고 있다. 램프 점등전의 공진 주파수는 식 (5)과 같다.

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s \cdot (C_s \parallel C_p)}} \quad (5)$$

$$i_{Ls}(t) = \frac{V_{DC}/2 \cdot \omega_s}{L_s(\omega_s^2 - \omega_o^2)} \cdot (\cos(\omega_o \cdot t) - \cos(\omega_s \cdot t)) \quad (6)$$

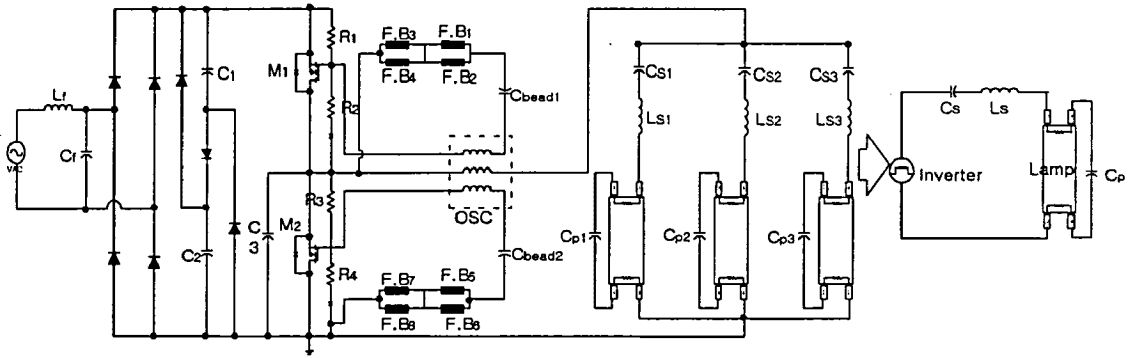


그림 5. 제안한 다등용 전자식 안정기 회로도

Fig.5. Proposed electronic ballast circuit of the multiple lamps

그림 6. 고주파 공진 필터의 등가회로

Fig. 6. An equivalent circuit of the high-frequency resonant filter

$$V_{Cp}(t) = \frac{V_{DC} \cdot \omega_s}{L_s (\omega_o^2 - \omega_s^2)} \cdot \frac{1}{\omega_s \cdot C_{eq}} \quad (7)$$

여기서 $\omega_o = 2\pi f_o$, $\omega_s = 2\pi f_s$, $C_{eq} = \frac{C_s \cdot C_p}{C_s + C_p}$
 f_s 는 스위칭 주파수이다. 설계 값은 $V_{AC}=220V$,
 $V_{DC}=300V$, $f_s=56kHz$, $f_o=50kHz$, $C_s=0.1\mu F$, $L_s=0.9$
 $94mH$, $C_p=11.35nF$ 이다. 식 (6), (7)에서 알 수 있듯
이 스위칭 주파수와 공진 주파수를 약간 다르게 줌
으로써 공진 회로에서 전압과 전류 최대 값을 제어
할 수 있으며, 램프 양단 전압이 램프 기동 시 계속
적으로 증가하지 않도록 하였다. 그림 7은 시동 시
램프의 전압-전류 및 공진 인덕터 전류와 램프 전압
파형을 보여주고 있다.

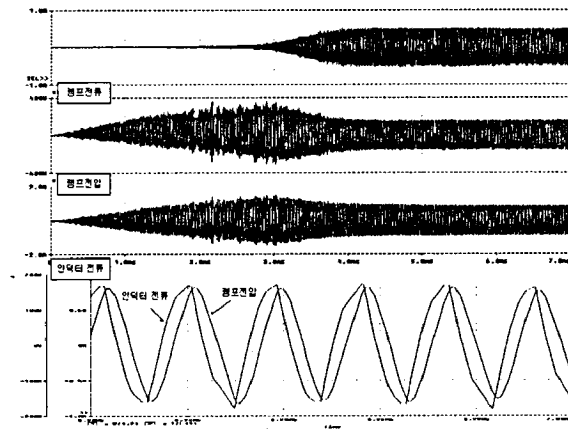


그림 7. 기동 시 램프전압-전류 및 공진인덕터 파형

Fig. 7. Waveforms of the resonant inductor current and lamp voltage-current in the startup

4. 결론

본 논문에서는 페라이트 비드와 MOSFET를 사용
하여 비용이 적게 들고 발광효율 및 광원 효율이 우
수한 3등용 형광램프 자려식 전자식 안정기 토폴러
지를 제안하였다. 또한 Pspice 프로그램을 사용하여
페라이트 비드의 등가모델과 제안한 회로에 대한 이
론적인 분석에 대한 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] Tsai-Fu Wu, Yuan-Chyuan Liu, Yong-Jing Wu. "High-efficiency low-stress electronic dimming ballast for multiple fluorescent lamps" Power Electronics, IEEE Transactions on, Vol.14, Issue: 1, pp.160 -167, Jan. 1999.
- [2] Gules R., Barbi I., Simoes E.M. "A 1.2 kW electronic ballast for multiple lamps, with dimming capability and high-power-factor" APEC '99. Fourteenth Annual, Vol.2, pp.720 -726, 1999.
- [3] Onishi N, Shiomi T, Okude A, Yamauchi T, "A Fluorescent Lamp Model for High Frequency Wide Range Dimming Electronic Ballast Simulation" Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1999. APEC '99. Fourteenth Annual, Vol.2, pp.1001 -1005, 1999
- [4] Tsai-Fu Wu, J.-C. Hung, and T.-H. Yu, "A PSpice model for fluorescent lamps operated at high frequency" in Proc. Industrial Electronics, Control and Instrumentation Conf., pp.359-364. Nov.1995,