

형광등용 인버터 시스템의 고조파 저감에 관한 연구

박찬근*, 김종윤*, 전내석*, 박정현*, 이성근*
* 한국해양대학교

A study on reducing the harmonics in inverter system for fluorescent lamp

Chan-Kun Park*, Jong-Yun Kim*, Nae-Suck Jeon*, Jeung-Hwan Park*, Sung-Geun Lee*
* Korea Maritime University

Abstract - This paper proposes a harmonics reducing circuit for fluorescent lamp inverters using hybrid type smoothing circuit with pumping and smoothing capacitors. A waveform of full-wave rectification used as a direct current power supply at fluorescent lamp inverters contains a lot of harmonic wave from inrush current which is generated near the maximum of input voltage with pulse shape when voltage smoothing capacitor is charged. Therefore, in order to suppress inrush current which will result in harmonic wave, this paper proposes a method to control abrupt charging current by use of charging voltage at pumping capacitor. The suppression of harmonics generation at lamp current is confirmed through simulations.

그림 1은 Hybrid형 평활회로가 부가된 제안된 전자식 안정기의 블록도이다.

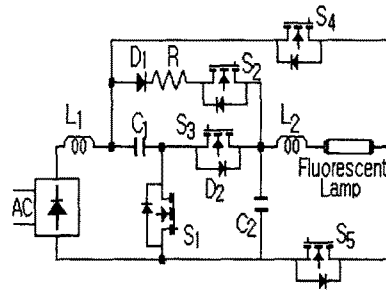


그림 1 제안된 인버터 안정기 블록도

1. 서 론

형광등은 방전현상을 이용하여 전기에너지를 광으로 변환하는 방전등이므로 램프 점등시 전압-전류 관계가 부성 저항특성을 가지고 있기 때문에 형광등을 안정하게 점등하기 위해서는 특별한 점등회로, 즉 안정기가 필요하다. 형광등용 안정기는 자기식과 전자식으로 대별되는데 자기식은 부피가 크고 무거우며, 소음이 크고 안정기에서의 전력손실이 많이 발생하는 등의 단점이 있다.[1] 이에 따라 전력사용에 있어서 효과적인 절전을 목표로 전자식 안정기가 연구되기 시작하였다. 전자식안정기는 20kHz 이상의 고주파 스위칭을 통하여 램프를 구동하므로 기존 안정기에서의 단점을 해결하는 동시에 에너지절감을 비롯한 여러 가지 장점을 얻을 수 있다.[2] 그러나 입력 전류의 형태가 전파정류 전압의 최대치 부근에서 펄스 형태를 가지는 돌입전류의 발생으로 많은 고조파들이 포함되어 결과적으로 효율이 저하되는 현상이 일어난다.[3][4] 본 논문에서는 형광등용 인버터 시스템에 있어서 펄핑 콘덴서와 평활 콘덴서가 결합된 Hybrid형 고조파 저감회로를 구성하여 펄핑 콘덴서로부터 충전된 전압을 병렬 평활콘덴서의 충전전압으로 사용하여 고조파 발생의 한 요인이 되는 돌입전류를 억제하므로써 출력 고조파를 저감하고자 한다. 또한 제안된 회로에 대해 P-spice 프로그램을 이용한 시뮬레이션을 통하여 고조파 저감특성을 확인한다.[5][6]

2. 본 론

2.1 고효율 인버터 시스템 구성

이 회로는 입력 교류전원을 전파정류하는 정류회로와 입력단에 정류된 전압파형을 충전하여 교류전원 사이클의 저전압 기간중에 있어서도 인버터전압을 발생하기 위한 후단 평활 콘덴서에 펄핑하는 hybrid 평활회로 및 형광등을 고주파 점등하기 위한 인버터 회로로 구성된다.

hybrid형 평활회로는 C_1 - S_1 의 펄핑회로와 D_1 - S_2 - C_2 의 후단 평활회로로 구성된다. 인버터 회로는 형광등과 직렬로 접속하는 초크코일 L_2 및 인버터 구동 스위치 S_4 , S_5 로 구성되며, 형광등은 전극 필라멘트를 넣은 형광등에 병렬로 접속되는 예열 콘덴서, 전극 필라멘트를 넣어서 램프에 병렬로 접속하는 공진주파수 조정용 콘덴서, 형광등에 직렬로 접속하는 콘덴서와 직류 cut 콘덴서가 있는 램프 점등회로로 구성된다. 제안된 회로에서는 콘덴서 C_1 의 전압을 이용하여 콘덴서 C_2 에 충전되는 전류의 흐름을 연속적으로 만들었고 전원전압으로부터의 갑작스러운 돌입전류를 억제하여 고조파를 제거한다. 따라서 C_1 , C_2 의 적절한 선택은 출력 고조파 특성에 결정적 영향을 주게된다.

2.2 회로의 동작모드별 특성해석

동작모드는 모드 0에서 모드 3으로 대별하고 각 모드를 그림으로 표시하면 그림 3에서 그림 5와 같다.

모드 0 : S_1 이 ON되면 전파정류된 전원은 L_1 을 통하여 C_1 을 충전시키고 이때 S_3 가 ON되어 C_2 에 충전되어 있던 에너지는 충전전압에 따라서 Lamp를 통하여 방전하게된다.

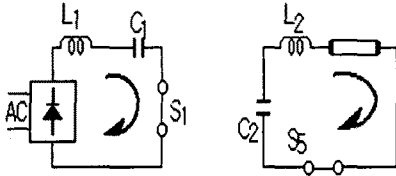


그림 2 : 모드 0

여기서 C_1 에 흐르는 전류와 전압은 아래와 같이 표현된다.

$$I_{C_1}(t) = E \sqrt{\frac{C_1}{L_1}} \sin \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} t \quad (1)$$

$$V_{C_1}(t) = E(1 - \cos \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} t) \quad (2)$$

C_1 콘덴서의 전위 V_{C_1} 의 상승으로 C_2 의 전위 V_{C_2} 와 V_{C_1} 이 같을 때까지의 시간을 t_1 이라 하면 t_1 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V_{C_1} = E(1 - \cos \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} t_1) \quad (3)$$

$$\cos \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} t_1 = 1 - \frac{V_{C_2}}{E} \quad (4)$$

$$t_1 = \sqrt{L_1 C_1} \cos^{-1} \left(1 - \frac{V_{C_2}}{E} \right) \quad (5)$$

이 때 시간 t_1 에서의 L_1 에 흐르는 전류는 식(5)를 식(1)에 대입하면

$$\begin{aligned} I_{C_1}(t) &= E \sqrt{\frac{C_1}{L_1}} \sin \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} \sqrt{L_1 C_1} \cos^{-1} \left(1 - \frac{V_{C_2}}{E} \right) \\ &= \sqrt{\frac{C_1}{L_1}} V_{C_2} \sqrt{2E - V_{C_2}} \quad (7) \end{aligned}$$

이 된다.

모드 1 : D_1 의 양단전압이 항복전압이 되었을 경우에는 D_1 이 도통하게 되고, 모드 0과 병행해서 C_2 에 에너지를 충전시킨다. 이 때는 펌핑 콘덴서로부터 전단 평활된 직류전압의 에너지가 후단 평활 콘덴서의 충전에너지로 사용하기 때문에 발생하는 돌입전류의 흐름을 억제 할 수가 있다.

V_{C_2} 전압이 $2E$ 전압보다 적으면 다이오드 D_1 이 도통되어 L_1 에 흐르는 전류는 콘덴서 C_2 와 램프회로로 흐르게 된다. 이 때 콘덴서 C_2 의 용량은 C_1 에 비해 매우 크며, 이 구간에서는 C_1 의 전압이 코일 L_1 에 역 방향으로 작용하여 L_1 에 흐르는 전류는 t_1 시점의 전류 값에서 $(V_{C_2} - E)(t - t_1) / L_1$ $V_{C_2} - E$ 크기 만큼씩 감소하게

된다.

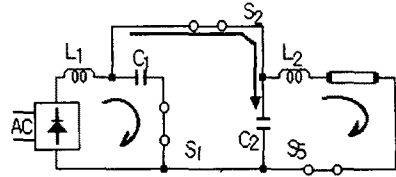


그림 3 : 모드 1

모드 2 : 모든 스위치가 OFF가 되고 D_2 의 양단전압이 항복전압이 되었을 경우에 D_2 가 도통이 되어 C_1 과 C_2 에 직렬로 에너지를 충전하게 되고 C_1 의 전위는 상승하게 된다.

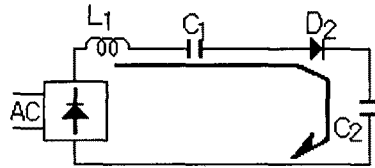


그림 4 : 모드 2

여기서 C_1 은 C_2 보다 훨씬 적은 용량을 사용하므로 두 콘덴서의 직렬연결 시 V_{C_1} 이 V_{C_2} 보다 상대적으로 높은 전압이 걸리게 되고 다음 모드에서 모드 0과 모드 1에서 공급되는 에너지와 같은 량의 에너지를 lamp에 공급하게 된다.

모드 3 : S_3 과 S_4 를 ON하여 C_1 의 전압 에너지를 모드 0과 모드 1의 전류방향과 반대방향으로 lamp를 통해서 방전시킨다.

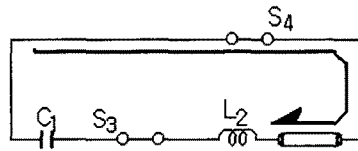
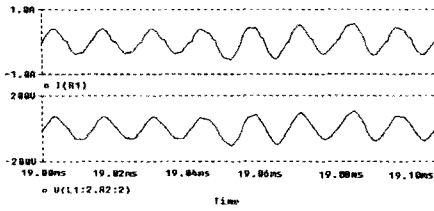


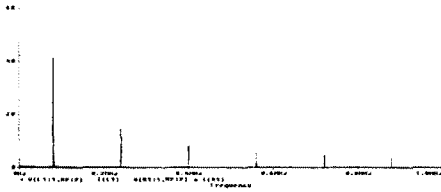
그림 5 : 모드 3

2.3 시뮬레이션 및 결과고찰

그림 6은 본 논문에서 제안한 회로와 고조파 저감특성 면에서 비교하기 위해 시중에서 흔히 사용되고 있는 Half bridge형 전자식 안정기에 대한 시뮬레이션 파형이다. (a) 파형은 램프전류 및 전압파형이고, (b) 파형은 FFT 파형이다.



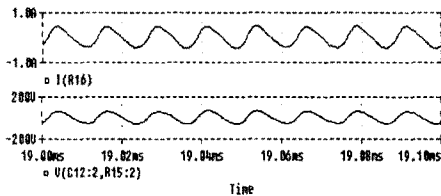
(a) 램프전류 및 전압파형



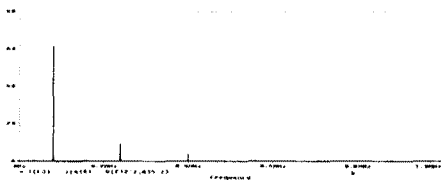
(b) FFT 파형

그림 6 : Half bridge형 전자식 안정기의 출력특성

그림 7은 제안된 안정기 회로를 사용하였을 때의 램프 전압과 전류파형이다. 이 때 C_2 는 30 [μF]이며, 그림 6의 Half bridge형과 비교해 볼 때 고조파 저감특성이 양호함을 알 수 있다.



(a) 램프전류 및 전압파형

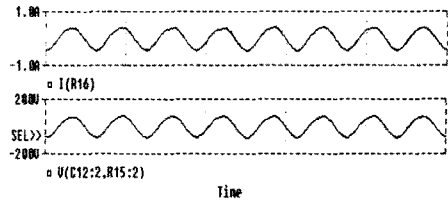


(b) FFT 파형

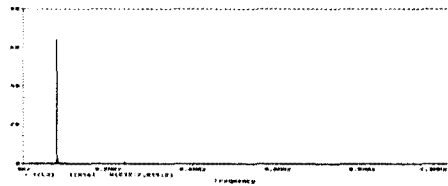
그림 7 : 제안된 회로의 출력특성 ($C_2 : 30[\mu F]$)

그림 8은 제안된 회로에서 C_2 의 용량변화를 주었을 때 고조파 출력특성을 비교하기 위한 파형이다. 그림 7과 비교해 볼 때 C_2 용량이 적을 때가 고조파 저감효과 면에서 뛰어난 것을 알 수 있다. 이는 입력측 정류전압의 최대치 부근에서 발생된 돌입전류의 감소 때문인 것으로 사료된

다.



(a) 램프전류 및 전압파형



(a) FFT 파형

그림 8 : 제안된 회로의 출력특성 ($C_2 : 10[\mu F]$)

3. 결 론

본 논문에서는 형광등용 인버터 시스템의 고조파 특성을 개선할 수 있는 Hybrid형 평활회로를 구성하였으며, 구성된 회로에 대해 시뮬레이션을 수행한 결과 시증의 전자식 안정기에 비해 고조파 저감효과가 향상되었음을 확인하였고, 특히 평활콘덴서의 용량변화에 따른 고조파 특성을 분석한 결과 용량 감소에 따라 고조파 특성이 양호함을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이진우 "안정기의 최근동향" Proceeding of KIEE. Vol. 47, No. 8. AUG. 1998.
- [2] J.H. Campbell "Elements of high frequency fluorescent lighting" Illuminating Engineering, vol. LII, 337-342(1957-7).
- [3] 박종연, 정동열, 조계현 "Lamp용 안정기의 종류 및 특징" 조명·전기설비학회지 제 13권 제 1호 1999년 3월.
- [4] 류태하, 조규형 "전자식 안정기 시스템과 제어 IC관련 기술동향" 전력전자학회지 제 4권 제 3호, 1999년 6월.
- [5] Fumio Suzuki, Kazuo Okino et al " A High-Efficiency RF Suppression Circuit for Fluorescent Lamp Inverters Using Charge Pump and Partial Smoothing Capacitors", IEEE, pp. 1733-1738, 1998.
- [6] 송상민, 광재영, 여인선 "형광램프용 Dimming형 전자식 안정기 및 원격제어시스템의 회로설계", 조명·전기설비학회지 제 13권 제 2호, 1999년 5월.