전자식 안정기의 고조파 저감에 관한 연구

박찬군* · 이성근*

* 한국해양대학교

A study on reducing the harmonic wave in the electronic ballast

Park chan kun*, Lee sung geun*

*Korea Maritime University

E-mail : jiwonland@hanmail.net

요 약

본 논문에서는 형광등용 인버터에서 발생하는 고조파를 억제할 수 있는 2단 평활용 콘덴서를 이용한 고효율 고조파 저감회로를 제안한다. 형광등용 인버터에 직류전원으로서 사용되는 전파 전류의 파형은 전압 평활 콘덴서가 충전될 때 입력전압의 최대치 부근에서 펄스형태를 가지는 돌입전류의 발생으로 인해 많은 고조파들을 함유하게 된다. 따라서 이 고조파의 원인이 되는 돌입전류를 억제하기 위하여 본 논문에서는 전단 평활용 콘덴서의 충전전압을 이용하여 입력에서의 갑작스러운 충전전류를 억제하는 방법을 제안하였다 그 결과 공급전류에서의 고조파의 발생을 억제하여 역율을 개선하게된다. 이에 대한 타당성을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

ABSTRACT

This paper proposes a highly efficient inverter circuit for fluorescent lamp inverters using two state 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 purse shape when voltage smoothing capacitor is charged. Therefore, In order to suppress inrush current which will result in harmonic wave, This paper proposed a method to control abrupt charging current by use of charging voltage at pre-state capacitor. As the result of it, power factor comes to be improved through the suppression of harmonic wave generation at supply current. Validity as to this experiment is confirmed through simulation.

Ⅰ. 서 론

형광등의 광효율은 백열등에 비해 매우 높으므로 조명분야에 폭넓게 이용되고 있다. 그러나 형광등은 방전현상을 이용하여 전기에너지를 광으로 변환하는 방전등이므로 램프 점등시 전압-전류 관계가 부성저항특성을 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 고조파들을 포함하여 결과적으로 역율이 저하되는 현상이 일어난다.[3] 이를 개선하기 위한 한 방법으로 수동역율 보상회로인 밸리필 회로를 사용하였다.[4] 그러나 이 방법은 입력 전원 전압이 밸리 전압보다 낮을 때는 입력으로부터 전류를 공급 받을 수 없다는 단점이 있다. 본 논문에서는 형광등용 인버터 시스템에 있어서 고조파 발생의 한 요인이 되는 돌입전류를 억제하기 위하여 2단 평활용 콘덴서를 부가하여 전류의 연속적인 공급을 통한 돌입전류의 발생을 억제한다[5].

II. 본 론

1. 고효율 인버터 시스템 구성

그림 1은 2단 평활 콘덴서가 부가된 형광등용 인버터 시스템이다.

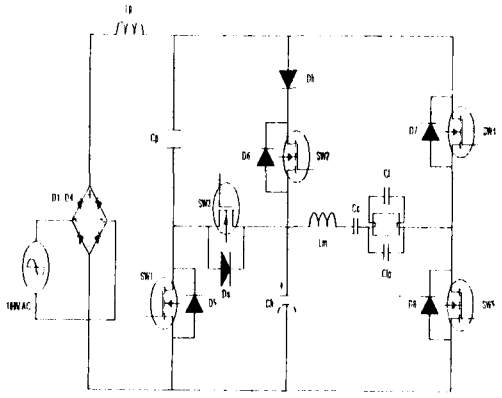


그림1 인버터회로의 기본구성

이 회로는 입력교류전원을 전파정류하는 정류회로와 입력단에 정류된 전압 파형을 평활시키는 전단 평활회로와 교류전원 사이클의 저전압 기간 중에 있어서도 인버터전압을 발생하기 위한 후단 평활회로 및 형광등을 고주파 점등하기 위한 인버터 회로로 구성된다. 본 방식의 장점은 연속적으로 후단 평활 콘덴서 Ch에 전류를 인가하기 위하여 전단 평활 콘덴서 Cp의 전압을 이용하였으며 이 평활된 Cp의 전압을 다시 후단 평활 콘덴서 Ch에 인가시켜 인버터 회로에서 발생하는 고조파성분을 억제하였다.

정류회로는 D1, D2로 구성되고, 전단 평활회로는 콘덴서(Cp)와 쵸크코일(Lp)로 구성된다. 충전기간 중에 SW1을 열어서 정류회로와 결합시킨다. 후단 평활회로는 평활 콘덴서(Ch)와 이것에 충전을 제어하는 SW2 및 역류 저지 다이오드(Dh)로 구성된다. 인버터 회로는 형광등과 형광등에 직렬로 접속하는 쵸크코일(Lm), 형광등의 전극 필라멘트를 넣은 형광등에 병렬로 접속되는 예열 콘덴서(Cf), 전극 필라멘트를 넣어서 램프에 병렬로 접속하는 공진주파수 조정용 콘덴서(Clp), 형광등에 직렬로 접속하는 Cp와 직류 cut 콘덴서(Cc)가 있는 램프 점등회로 및 인버터 구동 스위치(SW4, SW5)로 구성된다. 콘덴서 Cp의 전압을 이용하여 콘덴서 Ch에 충전되는 전류의 흐름을 연속적으로 만들었고 전원전압으로부터의 갑작스러운 돌입전류를 억제하여 고조파를 제거한다.

2. 회로의 동작 특성

2.1 동작모드

표 1은 동작모드별 각부의 상태를 표시한다. 동작모드는 A에서 E모드로 대별하고 각 모드에 따른 각각의 스위치 상태와 콘덴서의 충·방전 상태를 보이고 있다. 콘덴서 Cp의 충전기간 중에 스위치 5를 ON하고 평활 콘덴서 Ch의 충전전압에 따라서 램프점등회로를 구동시키고(모드 A-B), 충전기간 종료 후에는 스위치 4를 ON하는 동시에 스위치 3도 ON해서 콘덴서 Cp를 램프점등회로에 결합시킨다(모드 D). 모드 D의 구간에서 콘덴서 Cp에 충전된 전류는 램프를 통해서 방전된다. Cc는 모드 A-B의 구간에서 램프를 통해서 방전된다. 따라서 램프전력은 콘덴서 Cp의 충전에너지에 대략 비례하게 된다. 또한 모드 C 구간에서는 모든 스위치를 OFF시킨다.

모드	스위칭과 다이오드의 상태							콘덴서와 램프 점등회로	
	SW1	SW2	Dh	Ds	SW3	SW4	SW5	Cp	Ch
A	1	1	0	0	0	0	1	충전	방전
B	1	1	1	0	0	0	1	충전(소)	충전
C	0	0	0	1	0	0	0	충전	충전
D	0	0	0	0	1	1	0	방전	-
E	0	1	1	0	1	0	0	방전	-

1 : 스위칭 ON, 2 : 스위칭 OFF, - : 충방전 되지 않음

표1. 동작모드별 회로상태

2.2. 동작모드별 특성해석

그림 2는 콘덴서 Cp 충전시의 등가회로를 표시한다. 램프 점등회로는 사각의 블록으로 표시하였고 입력전원은 상용 교류전원을 전파 정류하는 것이 가능하지만 해석기간 중에는 변화가 작기

때문에 직류전압 V_0가 인가되는 것으로 표현하였다. 또한 스위칭의 ON저항과 다이오드의 순방향 강하전압은 회로전체의 임피던스 및 전압에 비교하면 적은 값이기 때문에 무시할 수 있다.

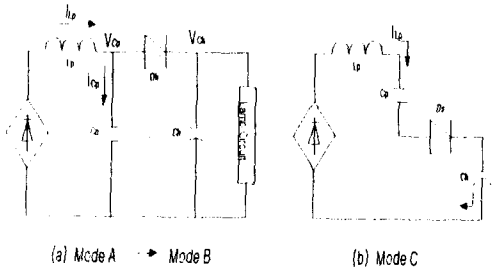


그림 2 모드 A,B,C에서의 등가회로

콘덴서 Cp를 상제적으로 방전시키는 모드를 불일 필요없이 보다 양호한 특성을 얻기 위해서 콘덴서 Cp가 충전되기 직전의 콘덴서 Cp의 충전전압은 0 [V]로 가정한다.

그림 3은 모드 A,B,C 기간에 있어서의 동작파형을 표시한다. t=0에서 스위치 1이 ON되어 콘덴서 Cp에 충전이 시작되고, $t=t_1$에서 Cp에 걸리는 전압 V_{Cp}는 평활콘덴서 Ch에 걸리는 양단전압 V_{Ch}에 도달한다(A mode).

$2V_0 \leq V_{Ch}$인 구간동안 V_{Cp}는 V_{Ch}에 도달하지 않는다. 그러나 $2V_0$까지 오른 후에 역전류는 정류다이오드에 의해서 저지되며, $2V_0$의 충전전압을 유지한다. 이 구간 동안의 콘덴서 Cp의 충전전류 I_{Cp}와 충전전압 V_{Cp}는 다음과 같이 표현이 된다.

$$I_{Cp}(t) = V_0\sqrt{\frac{C_p}{L_p}}\sin\omega_p t \quad \text{---------- (1)}$$

$$V_{Cp}(t) = V_0(1-\cos\omega_p t) \quad \text{---------- (2)}$$

여기서 $\omega_p = \frac{1}{\sqrt{L_pC_p}}$ 이다.

이 모드에서 쵸크코일 L_p를 통해 흐르는 모든 입력전류는 콘덴서 Cp를 충전시킨다. 따라서 L_p에 흐르는 I_{Lp}는 I_{Cp}와 같고, 이로 인해 $V_{Cp}=V_{Ch}$라는 것을 알 수 있다.

식(3)으로부터 t_1 시간을 결정하고, 이 결과를 식(1)에 대입하여 t_1 시간에서 L_p에 흐르는 전류 I_{Lp}를 식(4)와 같이 구할 수 있다.

$$t_1 = \sqrt{L_pC_p}\arccos\left(1-\frac{V_{Ch}}{V_0}\right) \quad \text{---------- (3)}$$

$$I_{Lp}(t_1) = \sqrt{\frac{C_p}{L_p}}\sqrt{V_{Ch}(2V_0-V_{Ch})} \quad \text{------- (4)}$$

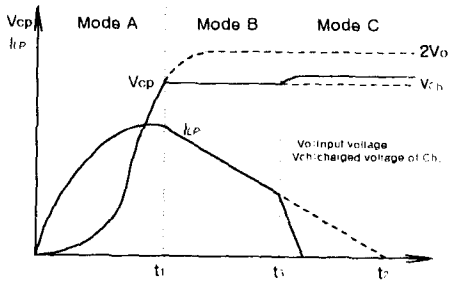


그림 3 모드 A,B,C에서의 V_{cp} 및 I_{LP}

C_p에 걸리는 전압 $2V_0$가 C_h에 걸리는 전압 V_{Ch}보다 크면 다이오드 Dh가 도통되어 B 모드 상태로 들어가게 되어 I_{Lp}는 평활 콘덴서 C_h와 램프 회로로 흘러 들어가게 된다.

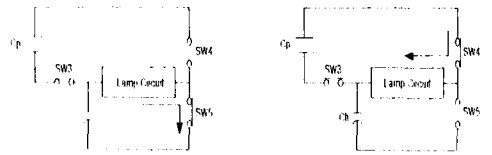
이 평활 콘덴서의 용량은 콘덴서 Cp의 약 100~1000배 정도되며, 짧은 인버터 한 주기동안의 충전전압은 일정한 것으로 가정할 수 있다. 모드B의 구간에서 V_{Ch}-V_0의 전압이 쵸크코일 Lp에 역방향으로 가해지며 결과적으로 L_p에 다음과 같은 전류가 흐르게된다.

$$I_{Lp}(t) = I_{Lp}(t_1) - \frac{V_{Ch}-V_0}{L_p}(t-t_1)$$

$t=t_3$에서는 스위치 1과 스위치 2가 OFF되고 모드 B는 종료된다. 이때 만약 I_{Lp}가 zero가 되지 않으면 Lp에 역 기전력이 발생한다. 따라서 Cp의 전위는 상승하게되고, 회로의 상태는 모드 C로 들어가게 된다. I_{Lp}는 다이오드 Ds를 통하여 직렬

로 C_h와 C_p에 충전이 된다. 여기서 L_p에서 발생하는 역기전력은 $2V_{Ch}$ V_0를 초과하는 큰 값이다. 따라서 I_{Lp}는 급격하게 떨어진다.

2.3. 램프회로의 동작원리



(a) Mode A, B　　(b) Mode D

그림 4 램프회로의 인버터 동작

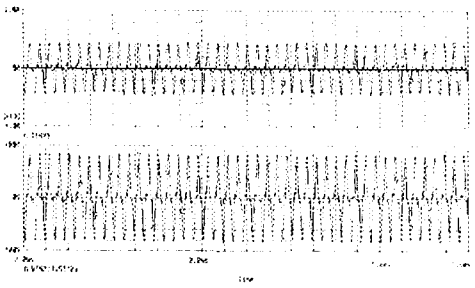
램프회로 동작모드는 그림 4로 표현된다. 그림 4(a)와 4(b)의 모드에서 램프회로는 폐루프를 형성하기 위해서 콘덴서와 접속된다.

그림 4(a)의 A, B모드(콘덴서Cp가 충전되고 있는 동안)에서 아래 인버터 스위치(SW5)가 ON되고 전류는 평활콘덴서(Ch)에 의하여 램프회로로 공급된다.

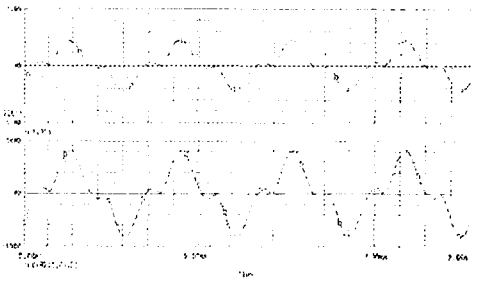
그림 4(b)의 D 모드에서 SW3과 위 인버터 스위치(SW4)가 ON되며 이로 인해 램프회로는 콘덴서 Cp와 직렬로 연결된다. 결과적으로 콘덴서 Cp에 충전된 전압이 램프회로를 통하여 방전된다.

III. 시뮬레이션 및 결과고찰

그림 5는 시중의 전자식 형광등용 안정기를 사용하였을 때의 램프의 전압과 전류 파형이다.



(a)

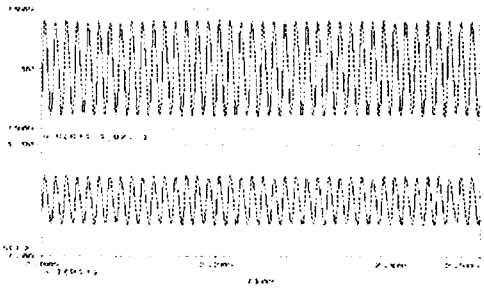


(b)

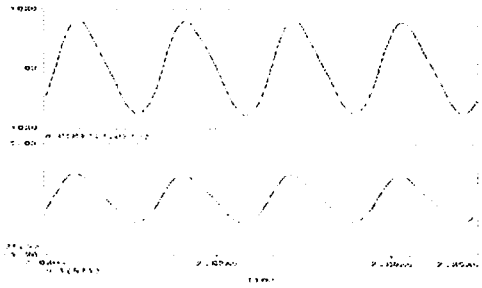
그림 5 시중의 전자식 안정기의 램프전압과 전류파형

그림 5는 고조파 성분이 포함되어 있어서 램프에 걸리는 전압파형이 왜곡되는 것을 볼 수 있다.

그림 6은 제안된 안정기 회로를 사용하였을 때의 램프전압과 전류파형이다



(a)



(b)

그림 6. 제안된 회로에서의 램프전압과 전류파형

그림 6에서 램프전압 및 전류파형은 왜곡됨이 없이 거의 정현파와 유사한 형태의 파형이 됨을

볼 수 있다.

IV. 결 론

2단 평활 콘덴서를 형광등용 인버터에 부가한 제안된 시스템에서 Pspice를 이용한 시뮬레이션을 수행한 결과 램프전압 및 전류파형의 고효율 고조파 저감효과를 확인할 수 있었다.

참고문헌

[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.