

안정기의 필터 특성에 대한 연구

(Resonant Filter Characteristics for Electronic Ballast)

한수빈* · 박석인 · 정학근 · 정봉만 · 송유진 · 김규덕

(Soo-Bin Han · Suck-In Park · Hak-Guen Jeung · Bong-Man Jung · Eugene Song, Gue-Duck Kim)

한국에너지기술연구원

Abstract

Electronic ballast uses various resonant type filters, which perform many important functions such as filtering the high frequency harmonics, shaping the proper lamp current waveform and regulating the lamp power. In this paper, characteristics of resonant type filters are reviewed and the matching problem between inverter and resonant filter are described. Transfer function which is always necessary for the circuit parameter design is derived in case of LCC filter type as an example.

1. 서론

형광등용 전자식 안정기는 90년대이후 보급되기 시작하여 현재까지 계속 보급률이 증가하고 있다. HID용 전자식 안정기의 경우도 최근에 시장에서 많은 관심을 보이고 있고 선진국의 경우는 메탈할라이드 램프를 중심으로 보급이 증가하고 있다. 최근에 우리나라에서도 많이 보급되기 시작한 무전극 램프 등 신광원들은 주로 전자식안정기로만 점등이 되도록 되어 있다.

통상 전자식 안정기의 구성은 크기는 정류 및 역유체어부, 램프를 고주파로 구동하기 위한 인버터부, 광원이 효과적으로 동작하기 위한 정합부인 공진필터부로 구성된다.

공진필터부는 광원에 고주파성분을 필터링하고 전류파형을 정형화시켜주는 역할을 하면서 광원의 시동전압 및 정상상태에서의 안정화 전력을 공급하는 다양하고도 중요한 역할을 수행하게 된다. 본 논문에서는 전자식안정기에서 사용되고 있는 여러 공진필터를 소개하고 특성을 검토하고 설계하는 방안에 대해 고찰해 보기로 한다.

2. 전자식안정기의 인버터와 필터

전자식 안정기의 경우 형광등의 경우 수십kHz의 주파수로 광원을 점등하게 되며 HID광원의 경우는 수백Hz내지는 100kHz이상으로 점등하게 되고 무전극 광원의 경우는 주파수가 수백KHz-수MHz정도로 동작하므로 기존의 하드스위칭의 PWM 인버터 방식이 아닌 출력에 공진필터가 연

결된 공진형(Resonant type) 인버터를 사용하는 것은 일반적인 선택이다. 아직까지 150W급이하의 공진형 인버터의 경우는 기본적으로 그림 1-(a)d와 같이 반도체 스위치를 2개사용하는 하프브리지(Half bridge) 형의 회로구조를 기본으로 하고 있다. 광원의 용량이 200W대에 진입하게 되면 하프브리지 구조로 갈 것인지 반도체 스위치를 4개사용하는 풀브리지(Full bridge)구조로 갈 것인지 결정해야 하는 문제가 따른다. 현재 대부분의 전자식 안정기의 용량으로는 하프브리지 형이 사용되고 있다.

이 하프브리지에 공진필터가 어떻게 연결되는가에 따라서 직렬 공진, 병렬 공진, 직병렬 공진회로의 인버터가 결정된다. 공진회로의 종류는 무수히 많으며 그림 1-(b)에서 그림 1-(g)의 경우가 비교적 많이 접할 수 있는 공진필터들이다. 그중에서도 가장 많이 사용되는 것은 그림 2와 같이 직렬형, 병렬형, 직병렬형(LCC)으로 현재 전자식 안정기에서는 직병렬형(LCC)이 선호되고 있고 1MHz가 넘는 고주파에서는 병렬공진회로를 기초로 한 변형 방식이 사용되고 있다.

그림 2의 직렬형의 경우는 회로의 파라미터를 바꾸어도 입출력의 이득이 1로 한계가 있고 부하가 없는 경우는 사용이 어렵고 부하의 저항이 커지게 되면 필터로서의 성능이 감소된다. 또한 캐패시터에 흐르는 전류가 매우 커지게 되므로 낮은 입력전압에 높은 전류가 요구되는 목적에서는 사용에 적합하지가 않고 높은 입력전압이 사용되는 목적에 이용될 수 있다. 장점으로는 캐패시터가 직렬로 되어 있어 출력에 트랜스포머를 사용하는

풀브리지형에서는 직류전압을 차단하는 역할을 수행하게 되므로 고출력용으로는 선호된다. 또한 부하가 감소하면 인버터 스위치에 흐르는 전류가 감소되어 경부하에서 고효율을 달성할 수 있는 것도 장점이다.

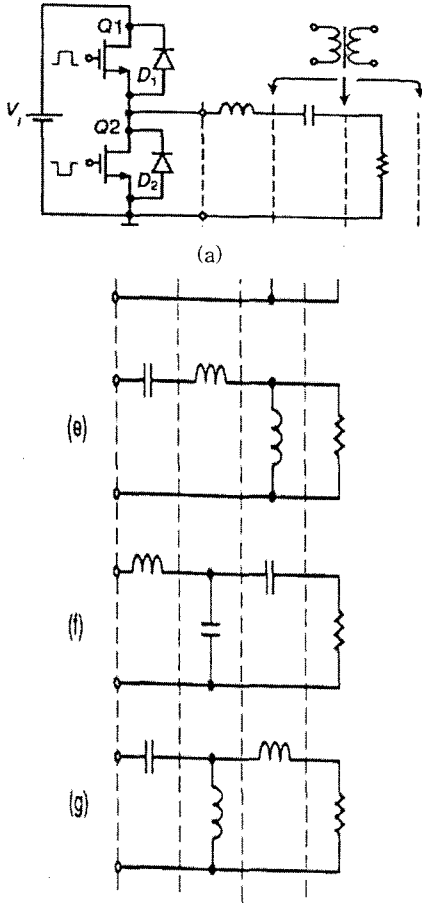


그림 1 하프브리지형 인버터 및 다양한 공진필터

Fig. 1 Half-Bridge Inverter and various resonant filter

그림 2의 병렬형의 경우는 무부하에서 공진주파수보다 높은 주파수로 동작시킬 경우 동작이 가능하며 입출력 이득을 부하의 값에 따라 크게 변화시킬 수 있다. 그러나 스위치의 전류는 부하에 거의 무관하게 유지되므로 경부하에서의 효율이 좋지 않다. 따라서 병렬형의 경우는 입력전압의 변동이 적고 최대출력부근에서 부하가 크게 바뀌지 않는 용도에 적합하다.

또한 컨버터로 사용될 경우 낮은 출력전압에 높은 전류가 필요로 하는 목적에 사용할 수 있다.

병렬형의 경우는 출력이 단락되는 경우도 직렬로 연결된 인덕터가 전류를 제한하기 때문에 동작이 지속될 수 있다.

그림 2의 직병렬형의 경우는 직렬형의 단점인 낮은 부하에서의 제어성이 떨어짐과 병렬형의 경우 부하에 상관없이 전류가 크게 흐르는 문제를 모두 보완하기 위해 사용된다. Cp/Cs의 비율에 따라 전체적으로 특성을 조정하게 되어 있는데 이 값에 따라 직렬형 특성에 가까울 수도 있고 병렬형 특성에 가까울 수가 있다.

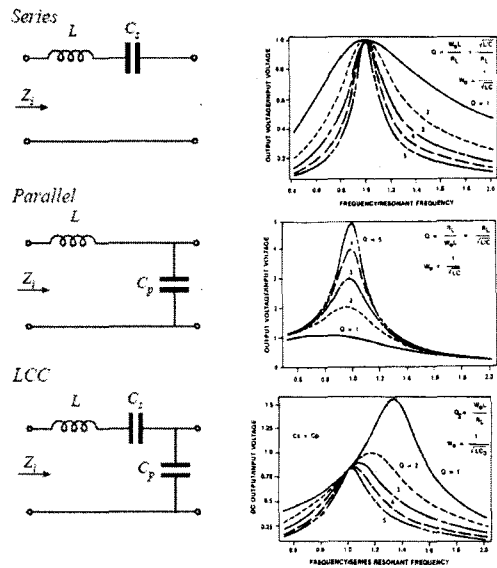


그림 2 대표적인 공진필터 및 특성
Fig. 2 Popular resonant filters and its characteristics

3. 정합성 및 필터 설계

램프의 경우 전압-전류 특성은 그림 3과 같이 음의 저항특성을 보이고 있고 인버터의 경우는 타원형의 특성을 보이고 있기 때문에 이들의 특성이 결합되도록 필터의 설계 값을 정해야 한다. 통상 부하가 저항일 경우 결합되는 위치는 그림 4와 같이 되는데 개방전압과 단락전류의 $1/\sqrt{2}$ 의 값에서 결정된다.

이것을 결정하기 위해서는 공진필터의 전달함수를 계산해야 하는데 가장 많이 사용되는 직병렬 LCC 공진필터의 전달함수를 구하면 다음과 같이 얻을 수 있다.

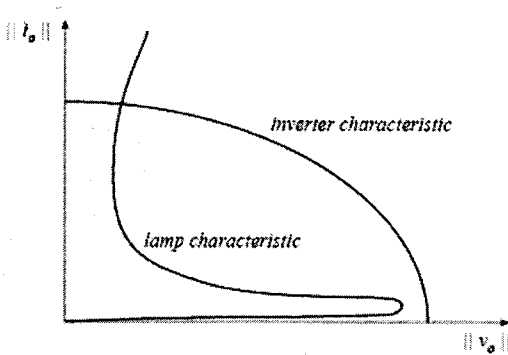


그림 3 인버터와 램프의 I-v 특성
Fig. 3 I-v characteristics of inverter and lamp

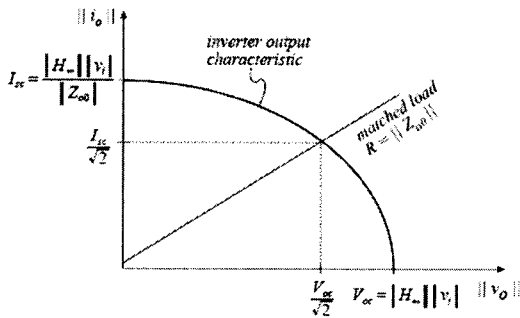


그림 4 인버터와 램프의 정합 관계
Fig. 4 Matching relation between inverter and lamp

공진필터의 출력 V_{inv} 대 출력전압인 램프전압의 V_{lamp} 비 즉 전달함수는 다음식과 같다.

$$\frac{V_{inv}}{V_{lamp}} = \frac{1}{1 + \frac{C_p}{C_s} - \frac{\omega^2}{\omega_p^2} + jQ_s \left(\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega} \right)}$$

식에서

$$\omega_s = \frac{1}{\sqrt{L_s C_s}}, \quad \omega_p = \frac{1}{\sqrt{L_s C_p}}$$

$$Q_s = \frac{1}{\omega_s R C_s} = \frac{\omega_s L}{R}$$

이 경우 magnitude는 다음과 같다.

$$\left| \frac{V_{inv}}{V_{lamp}} \right| = \sqrt{\frac{1}{\left(1 + \frac{C_p}{C_s} - \frac{\omega^2}{\omega_p^2}\right)^2 + Q_s^2 \left(\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega}\right)^2}}$$

위상은

$$\angle \frac{V_{inv}}{V_{lamp}} = -\text{Arctan} \left(\frac{Q_s \left(\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega} \right)}{1 + \frac{C_p}{C_s} - \frac{\omega^2}{\omega_p^2}} \right) \text{ 이다.}$$

이들 관계식을 갖고 최대 효율로 매칭된 부하는 출력 개방전압과 단락전류에 의해서 다음의 조건에서 가능하게 된다.

$$V_{mat} = V_{oc} / \sqrt{2}$$

$$I_{mat} = I_{sc} / \sqrt{2}$$

4. 결론

본 논문에서는 전자식 안정기에서의 공진필터에 대해 고찰하여 보았다. 가장 보편적인 3가지의 공진필터를 중심으로 그 역할과 함께 특성을 비교해 보았다. 실제 램프와 정합하는 문제와 공진필터의 설계 방안에 대해 기술하였고 그 과정에서 필요한 전달함수를 LCC 직렬병렬필터에 대해서 예로서 구하였다.

참고 문헌

- [1] R. Erickson, "Fundamentals of Power Electronics", Kluwer Academic Publishers, 2001
- [2] R.L. Steigerwald, "A Comparison of Half Bridge Resonant Converter Topologies", IEEE Trans. Power Electronics, vol. 3, no. 2, pp. 174-182, 1988