

저주파 구동형 집어등용 전자식 안정기 개발

* 김 일 권 · 송 재 용 · 박 대 원 · 서 황 동 · 길 경 석
한국해양대학교 전기전자공학부

Development of a Low Frequency Operating Electronic Ballast for Fish Attracting Lamps

Il-kwon Kim · Jae-yong Song · Dae-won Park · Hwang-dong Seo · Gyung-suk Kil

Dept. Electrical & Electronics Engineering, Korea Maritime University

E-mail : hvkwon@shinbiro.com

ABSTRACT

This paper presents an electronic ballast using a step down converter, a low frequency inverter for high pressure discharge lamp. The proposed ballast is composed of a full-wave rectifier, a step down converter operated as a current source with power regulation and a low frequency inverter with ignition circuit. The ignition circuit generates high voltage pulse of 1~2[kV] peak, 130[Hz]. Moreover, it is able to reignite at regular intervals by protective circuit. As experimental results on the test, lamp voltage, current and consumption power are measured 132.5[V], 7.6[A] and 1,005[W], respectively. It was confirmed that the designed ballast operate the lamp with a constant power.

1. 서 론

일반적으로 야간 집어작업에는 1~3 [kW]의 대용량 메탈 할라이드 램프를 배 한 적당 수 십개 이상을 사용하며 방전램프의 특성상 필수적으로 사용하게 되는 안정기도 같은 수를 사용하게 된다. 그러나 집어등용 안정기는 개 당 20[kg]이 넘는 자기식 안정기를 사용하므로, 배 한 적당 수 [ton]의 무게 및 커다란 부피를 차지하게 된다. 이는 집어용 선박의 어획량 감소에 직접적인 영향을 미칠 뿐만 아니라 유류비 및 선박 조명기기의 유지, 보수비용을 증가시키게 된다. 이러한 기존의 자기식 안정기를 전자식 안정기로 대체하면 안정기를 소형, 경량으로 제작할 수 있기 때문에 무게 및 부피의 감소뿐만 아니라 어획량을 증가시킬 수 있으며 유류비를 크게 절감하게 된다.

따라서 본 논문에서는 소형, 경량화와 더불어 구조가 간단하고 가격이 저렴한 집어등용 전자식 안정기를 설계·제작하였다.

제안한 전자식 안정기는 130[Hz]의 구형 저주파를 램프로 인가함으로써 고압 방전 램프에서 발생할 수 있는 음향공명현상을 감소시켰으며, 35[kHz]의 고주파 전압을 중첩시켜 아크류브의 전극에서 발생할 수 있는 열적 불균형을 해소하였다. 또한 강압형 컨버터를 이용하여 정전원과 같이 동작하면서 램프로 인가되는 전력을 일정하게 제어함으로써 방전 램프로 안정한 점호 전압

및 지속적인 전류를 공급하였다. 램프의 점등은 별도의 점화기를 제작하여 1~2[kV]의 고전압을 인가하였으며, 타이머를 이용하여 일정한 간격으로 재점등을 시도하는 기능을 추가하였다.

II. 전자식 안정기의 설계

2.1 안정기의 기본 구성

본 연구에서 제작한 전자식 안정기는 램프의 안정적인 전력을 공급하며, 제어기의 구조를 단순화하기 위하여 3단으로 구성하였다^{[1],[2]}.

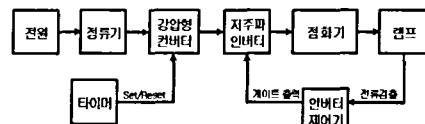


Fig. 1 Block diagram of the electronic ballast

제 1단에서는 상용전원을 전파 정류하여 강압형 컨버터에 인가한다. 제 2단은 점등 초기에 램프로 인가되는 전류를 일정하게 제한하는 정전원원의 역할과 정상상태일 때 정전력 제어가 용이한 강압형 컨버터를 사용하였다. 제 3단에서는 플브릿지 인버터 회로를 적용하여 램프로 인가되는 전압, 전류를 저주파수의 구형파로 만든다. 또한

점화기에 전압을 인가하여 초기 점등시 1~2[kV]의 고전압 펄스를 발생시킨다.

2.2 램프 전력 제어

정상상태의 램프 전압은 제조사, 주위 환경과 노화의 정도에 따라 수~수 십[V]의 전압 차이가 발생하게 된다. 따라서 이에 대한 안정적인 동작 특성을 얻기 위해서는 정전력 제어가 필요하다. 제한한 전자식 안정기는 그림 2에서와 같이 점등 후 램프 전압의 상승에 따라 2단 구성의 전력 제어 회로로 구성하였다^{[14]-[15]}.

영역 1은 점등 후 검출저항의 피드백 신호를 기준 전압과 비교하여 강압형 컨버터의 스위칭 소자를 PWM 제어함으로써, 급격히 변화하는 램프의 상태에 대하여 일정한 전류를 공급하는 정전류원의 동작을 수행한다. 이후 램프 전압이 정상 전압에 도달하면 영역 2의 제어신호로 전환되어 램프 전압과 전류의 피드백 신호를 이용한 정전력 제어를 수행한다.

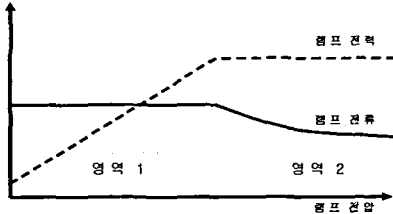


Fig. 2 Characteristics of the electronic ballast

램프의 전력을 제어하기 위해서는 램프의 전압과 전류에 대한 신호를 검출해야한다. 하지만 제한한 안정기는 램프가 플브릿지 양단에 연결되어 있기 때문에 플로팅된 램프의 전압과 전류를 검출하는 것은 어렵고 제어가 복잡해지는 문제가 있다. 따라서 강압형 컨버터 출력 특성을 이용한 간접적인 검출방법을 사용하였다. 이는 컨버터 코일의 평균 전류가 램프 전류와 동일하고, 컨버터 출력 전압의 평균 전압은 램프 전압과 동일한 특성을 이용한 것으로써, 그림 3에 나타낸 바와 같이 강압형 컨버터 출력 전압과 검출 저항 양단의 전압으로 램프의 전압, 전류의 값을 측정하였다.

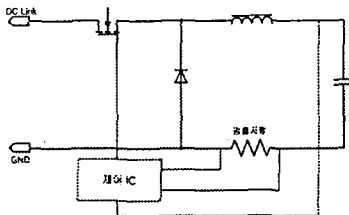


Fig. 3 Step down converter circuit

초기 점등 후 검출 저항을 통하여 램프의 전류를 검출하고 기준값과 비교하여 스위칭 소자의 시비율을 조절함으로써 램프로 흐르는 과전류를 제한하며, 이 후 램프의 전압이 점차 증가하여 정

정상상태에 도달하면 램프의 전압과 전류의 피드백 신호를 기준 전력값과 비교하여 정전력 제어를 수행한다.

2.3 점등 회로

그림 4는 본 연구에서 제작한 점등 회로를 나타낸 것이다. 점화기는 플브릿지 인버터 양단에 램프와 직렬로 연결되며 펄스 트랜스 1차측은 양방향 스위칭 소자에 연결된다. 인버터의 반주기마다 강압형 컨버터 출력전압이 양방향 스위칭 소자의 트리거 전압에 도달하면 스위칭 소자가 도통되어 펄스 트랜스 1차측에 펄스 전류가 흐르게 된다. 이에 따라 2차측 권수비에 의한 1~2[kV]의 고전압이 램프에 인가되어 램프가 점등된다. 램프가 점등된 후에는 양방향 스위칭 소자 양단에는 트리거 전압보다 낮은 램프 전압만이 인가되어 스위칭 소자를 도통시키지 못하므로 펄스 트랜스 1차측은 개방된 회로가 된다. 결과적으로 플브릿지 인버터는 램프와 직렬 인덕턴스만이 연결된 상태가 된다. 직렬 인덕턴스, 즉 펄스 트랜스 2차측은 램프 전류의 맥동성분을 억제하는 이점이 있지만 반대로 램프에 인가되는 전압 및 전류에 대하여 필터역할을 하므로 램프에 전달되는 에너지를 감소시킬 수 있다. 따라서 펄스 트랜스 제작에 있어 2차측 인덕턴스는 점등이 가능한 최소값으로 선정해야 한다^[16-17].

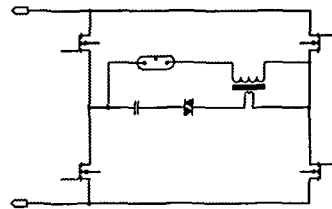


Fig. 4 Photograph of lighting control switch

그림 5는 램프가 정상 상태에 도달했을 때 램프의 임피던스와 직렬 인덕턴스의 값을 이용하여 시뮬레이션한 주파수 특성 곡선이다. 차단 주파수는 36[kHz]이며 그 이하 주파수에서는 감쇠가 없어 램프에 안정적인 전력을 공급함을 알 수 있다.

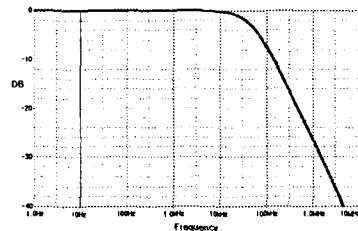


Fig. 5 Frequency characteristic of the ignitor after ignition

2.4 재점등 회로

램프가 점등되어 일정시간이 흐르면, 아크-류브는 방전에 의하여 강렬한 빛을 방출함과 동시에

내부가 고온·고압의 상태가 된다. 이 때 순간 정전이나 일시적 소등 후 램프가 충분히 식기 이전에 재점등을 하면 파센의 법칙에 의하여 램프의 방전개시전압이 매우 높아진다. 이 때문에 자연 냉각에 의해 내부 압력이 낮아져서 램프가 재점등 될 때까지 점화기는 지속적으로 램프에 고전압을 인가하므로 램프, 스위칭 소자 및 제어 IC에 불필요한 전압 스트레스를 주게 된다. 따라서 본 연구에서는 타이머를 이용하여 램프가 냉각되는 일정시간 간격으로 재점등을 시도하도록 구성하였다. 그림 6은 재점등 회로의 흐름도를 나타낸 것으로 램프가 정상 점등되었을 때에는 리셋 상태를 유지하다가 램프가 소등되어 램프 전류 검출저항에 전압이 발생하지 않으면 타이머가 동작하여 일정 주기의 펄스를 강압형 컨버터 제어기의 리셋단자에 인가한다. 이로 인하여 전자식 안정기는 3.6초 동안 점등을 시도하고 만약 램프가 점등되지 않았을 때에는 2분 동안 강압형 컨버터를 정지시키는 재점등을 반복한다. 일반적인 집어등용 고압 방전 램프는 5~10분 내에 냉각이 되므로 램프가 재점등되는 동안 2~5회 정도만 고전압이 인가되어 불필요한 전압 스트레스를 줄일 수 있다.

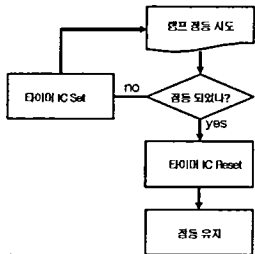
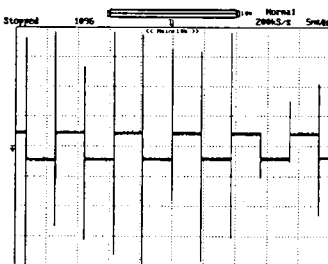


Fig. 6 Reignition process

III. 실험 결과 및 고찰

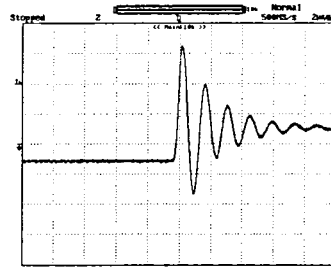
3.1 점등 회로의 출력 특성

그림 7은 1,000[W]의 집어등 메탈할라이드 램프를 대상으로 실험한 초기 점등 전압의 파형이다. 점화기는 폴브릿지의 반주기 마다 고전압 펄스를 발생시키며, 이 때의 최대 전압은 1.9[kV]로 측정되었다.



전압 [500V/div, 5ms/div]

Fig. 7 Output voltage waveform during ignition

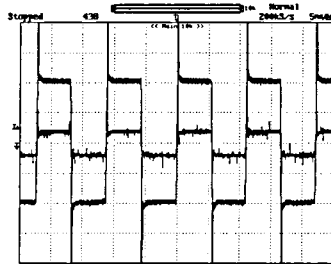


전압 [500V/div, 2μs/div]

Fig. 8 Ignition voltage waveform

3.2 램프 출력 특성

그림 9는 점등 직후에 램프의 전압 및 전류 파형을 나타낸 것이다.



외부 : 전압 [40V/div, 5ms/div]

내부 : 전류 [4A/div, 5ms/div]

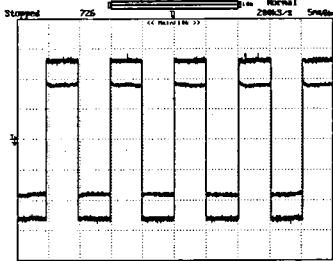
Fig. 9 Output voltage and current waveforms during run-up state

그림에서 보는 바와 같이 램프 전압은 약 20[V] 정도로 급격히 낮아 졌으며, 전류는 안정기의 동작에 의하여 8.3[A]로 제한되었다. 그러나 램프의 임피던스가 증가함에 따라 점차 감소되기는 하지만, 점등 직후 램프 전류의 약 2배 정도의 높은 피크가 발생하는 문제가 있다. 이는 LC 또는 LCC 공진을 이용하는 기존의 전자식 안정기에서 나타나는 공통 현상으로 램프와 직렬로 연결된 인덕터의 영향에 의하여 발생하는 현상이다. 따라서 추후 램프가 점등되었을 때에는 직렬 인덕터를 단락 시키는 보조회로가 필요하다고 판단된다.

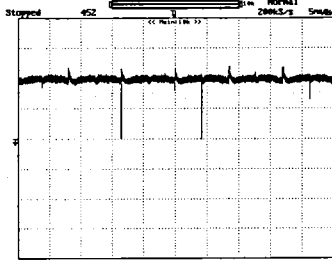
그림 10은 램프가 정상 상태에 도달했을 때의 램프 전압 및 전류 파형을 나타낸 것으로 각각의 크기는 132.5[V]와 7.6[A]로 측정되었다. 일반적으로 램프가 초기 점등에서 정상 상태에 도달하는 시간은 램프의 특성 및 주위 온도와 같은 여러 요인에 의하여 일정한 시간이 소요되며, 국내 KS 규격에는 약 5분 이내의 시간으로 정하고 있다. 본 연구에서 제작한 전자식 안정기는 점등부터 정상 상태에 도달하는 시간은 약 2분 정도로 이러한 요구 조건을 만족함을 확인하였다.

그림 11은 램프의 전력을 오실로스코프에 내장된 연산기능을 이용하여 전압과 전류의 곱에 대한 평균값으로 계산한 파형을 나타낸 것이다. 측

정된 램프의 전력은 1,005[W]이며, 시간에 따라 일정한 램프 출력을 확인할 수 있다. 이처럼 램프의 출력이 항상 일정하기 때문에 플리커 현상 및 음향공명현상을 제거할 수 있으며, 램프의 광출력 또한 안정화 할 수가 있다.



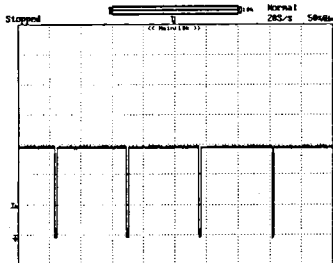
외부 : 전압 [40V/div, 5ms/div]
내부 : 전류 [4A/div, 5ms/div]
Fig. 10 Output voltage and current waveforms during burn state



전력 [500W/div, 5ms/div]
Fig. 11 Output waveform of the lamp power

3.3 재점등 회로 특성

그림 12는 순간 정전이나 재점등시 일정한 간격으로 점등을 시도하는 재점등 회로의 출력 파형이다. 재점등 회로의 타이머 IC는 그림에서와 같이 3.6[s]동안 점등을 시도하여 램프가 점등되지 않으면, 약 2분동안 강압형 컨버터를 정지시켜 전자식 안정기의 동작을 멈추게 한다. 이후 이와 같은 동작을 반복하다가 램프가 점등되면 타이머 IC가 리셋되어 전자식 안정기가 정상적인 동작을 하게 된다.



전압 [5V/div, 50s/div]
Fig. 12 Output voltage waveform of the timer

IV. 결 론

본 연구에서는 강압형 컨버터와 저주파 인버터를 이용하여 1,000[W]급 집어등용 전자식 안정기를 제작하였다. 제안한 안정기는 소형, 경량화와 더불어 정전력형의 안정적인 동작 특성을 확인할 수 있었으며, 결과는 다음과 같다.

- 1) 점등 회로는 양방향 스위칭 소자와 고압 펄스 트랜스를 이용하여 구성하였고, 점등시 최대 1.96[kV]의 고전압을 램프에 인가하였다.
- 2) 강압형 컨버터의 스위칭 소자를 비교기와 PWM 제어 IC를 이용하여 램프 점등 후 정전류원으로 동작하다가 램프가 정상 상태에 도달 했을 때는 정전력으로 동작하는 2단 구성의 전력 제어회로를 구성하였다.
- 3) 간단한 타이머 회로를 첨가하여 순간 정전이나 재점등시 2분 간격으로 점등시도를 하는 자동 재점등 기능을 추가하였다.
- 4) 램프가 정상 상태에 도달했을 때 램프의 전압, 전류 및 전력은 각각 132.5[V], 7.6[A]와 1,005[W]로 측정되었다.

참고문헌

- [1] H. Guldner, "Principles of Electronic Ballast for Fluorescent Lamps - An Overview", Pro. of the IEEE Power Electronics Specialists Conference, Vol. 1, pp. 19-25, 1999
- [2] T. J. Liang, "High Frequency Electrical Circuit Model of Metal-Halide Lamp", Pro. of the IEEE Power Electronics Conference and Exposition, Vol. 2, pp. 1163-1167, 1998
- [3] Reatti A, "Low-cost high power-density electronic ballast for automotive HID lamp", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 15, No. 2, pp. 361-368, 2000
- [4] Benyaakov S, "Design and Performance of An Electronic Ballast for High-Pressure Sodium (HPS) Lamps", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 44, No. 4, pp. 486-491, 1997
- [5] Kaiser W, "Hybrid Electronic Ballast Operating The HPS Lamp At Constant Power", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 34, No. 2, pp. 319-324, 1998
- [6] J. M. Alonso, "A Comparison of LCC and LC Filters for its Application in Electronic Ballast for Metal-Halide Lamps", Pro. of the IEEE Power Electronics Specialists Conference, Vol. 1, pp. 114-119, 2001
- [7] Christian Branas, "Electronic Ballast for 250W HPS Lamps Based on LCC Resonant Inverter with Soft Start-up and Quasi-Optimum Control", Pro. of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Vol. 2, pp. 768-773, 1999