Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 22, No.8, pp. 45~51 August 2008 논문 22-8-7

선박용 2.5[kW] HID 탐사등의 Soft-Start 방식에 의한 개방회로 전압과 점등전류 순차 제어

(Soft-Start Open Circuit Voltage and Constant Current Sequence Control of 2.5[kW] HID Search Lamp for Ship)

박노식* · 권순재 · 이동희**
(Noh-Sik Park · Soon-Jae Kwon · Dong-Hee Lee)

요 약

본 논문에서는 2.5[kW]급 선박용 HID 탐사등 조명을 위한 Soft-start 개방회로 전압 및 정전류 순차 제어 방식을 제안한다. 제안된 제어회로는 HID 탐사등의 안정적인 점등을 위하여 개방회로 전압과 점등 전류를 순차적으로 제어하는 방식으로, 특히 전원투입 상태에서의 안정성을 위하여 일정한 입력전압에 대해서 Soft-start 기법을 적용하여 개방회로 전압 제어모드로 동작하도록 설계되었다. 또한, 점등개시 신호의 입력에 따라 제어모드를 전압제어에서 전류 제어모드로 변경하여 단일 PWM 제어소자에서 동시에 처리하도록 하였다. 한편, 입력 노이즈 및 개방회로 전압의 검출을 간단한 원칩 마이크로 프로세서로 구현하여, 오동작 및 점등 실패에 대한 강인성을 부가하도록 하였다.

제안된 제어기는 실제 선박용 HID 탐사등의 적용 시험을 통하여 그 안정성을 시험하였다.

Abstract

HID(High Intensity Discharge) search lamp for shipment requires a high open circuit and output current compare than vehicle.

This paper presents a soft-start open circuit voltage and constant current sequence control method for 2.5[kW] HID search lamp. The proposed mehtod controls the open circuit voltage and discharge current of HID lamp according to ignition signal with a simple 8-bit micro-processor and PWM device. For the stable control of lamp, micro-processor checks the output voltage and current. And the checked signals are compared with ignition signal and changes the control mode for stable operation. An ignition signal and micro-processor change the control mode from open circuit voltage contorl to constant current control.

The proposed control scheme is verified from experimental tests of 2.5[kW] HID search lamp for shipment.

Key Words : HID(High Intensity Discharge) Search Lamp, Voltage And Current Sequence Control

* 주저자 : 부경대학교 메카트로닉스공학과
** 교신저자 : 경성대학교 전기전자메카트로닉스
Tel : 051-532-9306, Fax : 051-532-9307, E-mail : elcpark@paran.com
접수일자 : 2008년 4월 17일, 1차심사 : 2008년 4월 21일, 심사완료 : 2008년 5월 29일

1. 서 론

HID(High Intensity Discharge) 램프는 고압가스 또는 증기 중의 방전에 의한 발광을 이용한 고휘도 방전램프이다. 일반적으로 차량용으로 많이 적용되고 있으나, 최근에는 우수한 연색성 및 고효율과 수명이 좋아서 xenon 가스를 이용한 선박용 탐사등의 활용이 크게 증가하고 있다[1-3]. 차량용 HID 램프의 경우에는 점등시간을 짧게 하기 위하여 높은 전력을 인가하여 점등이 이루어지며 안정상태에서는 일정 전력 동작을 유지하도록 설계되지만[4-7], 선박용 HID 탐사등의 경우 고전압 방전을 위한 별도의 개방회로 전압이 요구되며, 탐사등의 특성상 일정한 전류 제어를 요구하게 된다. 일반적인 차량용 HID 램프의 전력이 25~500[W]이고, 점등 전압이 220~600[V]인데 비하여 선박용 HID 탐사등의 전력은 1.2~8[kW]이며, 점등 전압은 25[kV] 이상으로 매우 높은 특징을 가진다. 또한 Ballast는 대부분 전자식으로 구성되어 있으며, 순간적인 고전압에 의해 방전이 개시된다.

선박용 HID 램프의 경우에는 탐사등의 특성상 점등 상태에서 일정한 조도를 유지하기 위하여 매우 일정한 정전류 제어 특성을 요구하고 있으며, 방전 개시에 대한 환경적인 특성을 고려하여 개방 회로 전압(Open-circuit voltage)이 매우 일정하게 제어되어야 하는 특성을 가지고 있다. 또한 탐사등의 제어 장치는 제어기와 전력장치에 동시에 전원이 투입되고 차단되는 형태로 구동되기 때문에 높은 입력전압과 순간적인 동작 및 전원 차단 상태에서도 전력 소자를 보호하기 위한 방안이 필요하다.

본 논문에서는 선박용 2.5[kW]급 HID 탐사등의 안정적인 점등과 제어를 위하여, 간단한 원칩 마이크로 프로세서와 PWM 소자를 적용한 soft-start 방식에 의한 개방회로 전압 및 정전류 순차 제어 방식을 제안한다. 제안된 제어방식은 전원의 투입 상태에서 점등 개시 신호가 인가되기 전까지는 안정적인 기동을 위한 soft-start 방식으로 개방회로 전압을 제어하고, 방전이 개시되면 설정된 전류로 일정하게 점등 전류를 유지하는 방식이다. 개방회로 전압의 제어를 soft-start 방식으로 기동하는 것은 전원의 투입 상태에서 바로 점등 개시 전압에 도달하지 않고 서서히 기동하여 전력소자로 구성된 인버터 및 회로의 소손을 방지하기 위함이며, 개방회로 전압에 도달하기 전까지는 점등 개시 신호가 무시되어 안정적인 시동 준비상태에 돌입하게 된다. 또한 이 상태에서는 HID 램프에서 요구하는 개방회로 전압을 일정하게 제어함으로써, 안정적인 점등이 가능하게 유지할 수 있다.

이그니터(Iginitor)에 의한 방전이 개시되면, 제어 모드는 순차적으로 전류 제어 모드로 변환하여, 방전 전류를 일정하게 제어하게 되며, 이 상태에서는 이미 제어기가 안정화 상태에서 동작하게 되므로 이그니터에서 충분한 방전 전압을 발생할 수 있으므로 쉽게 점등이 가능하게 된다. 또한 원칩 마이크로 프로세서에서 방전 전류 및 전압을 순시적으로 감시하여, 점등 실패의 경우에는 제어 모드를 다시 변환하여 soft-start 방식으로 개방회로 전압 제어 상태를 유지하게 되므로 시스템의 안정적인 제어를 구현할 수 있다. 한편, 전압 및 전류 제어는 하나의 PI형 PWM 소자와 아날로그 스위치를 이용하여 램프 상태에 따른 제어를 순차적으로 수행하므로 간단한 제어 장치를 구현할 수 있다.

제안된 제어 방식은 선박용 2.5[kW]급 HID 탐사등의 실험을 통하여 그 안정성을 검증하였다.

2. 설계된 선박용 HID 구조 및 특성

그림 1은 본 논문에서 적용한 2.5[kW] HID 탐사등 전력 제어 장치의 구조를 나타내고 있다. 본 논문에 적용된 HID 탐사등의 전력 변환기는 고주파 변압기를 이용한 DC-DC 컨버터 구조를 적용하였으며, 보다 높은 운전 효율을 구현하기 위하여 2차측의 전류 및 전압 제어를 1차측의 전력변환장치의 듀티비를 조절하여 직접 제어하는 방식으로, 2차측에서는 전력 변환 장치를 사용하지 않는 구조이다.

HID 탐사등은 제논 가스의 방전을 보다 쉽게 하기 위하여 구동 전압보다 높은 개방회로 전압(Open-circuit voltage)을 유지하는 보조 전원을 가지는 구조로 설계된다.

적용된 전력 제어 장치는 출력단에 고주파 교류

출력을 직류로 변환하기 위한 Fast-Recovery 다이오드 모듈과 스위칭 주파수인 39[kHz]의 전력 리플을 억제하기 위한 L-C 전력 필터가 적용되었으며, 점등 상태에서 개방회로 전압을 차단하기 위한 릴레이 회로 및 개방회로의 전류를 억제하기 위한 PTC(Positive temperature coefficient)가 적용된다. 또한 HID 탐사등의 점등을 위한 25[kV]의 고압 이그니션 전압을 발생하기 위한 고압 방전 회로가 연결된다. 입력단은 교류 440[V]/60[Hz]의 교류입력을 직류로 변환하는 전력 다이오드 모듈과 고전압

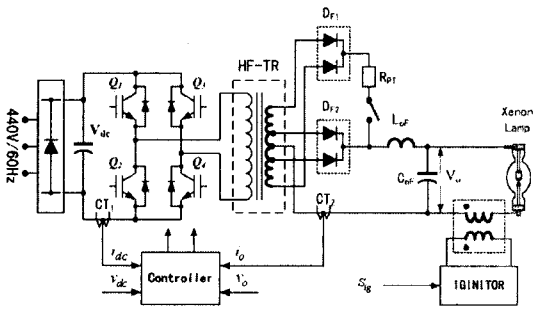
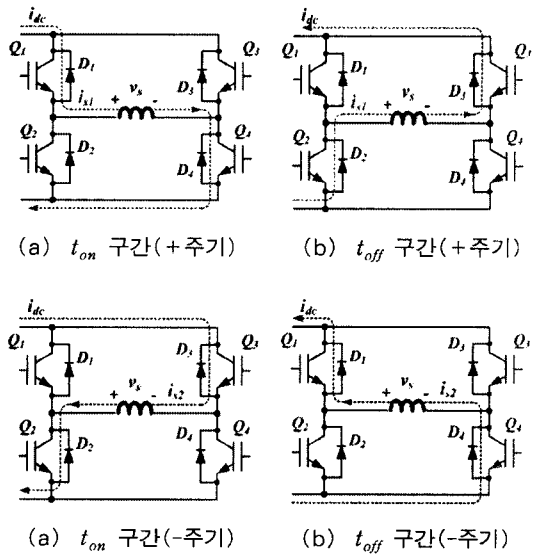


그림 1. 2.5[kW] HID 탐사등 전력 제어 장치 구조
Fig. 1. The block diagram of 2.5[kW] HID search lamp



(a) t_{on} 구간(+주기) (b) t_{off} 구간(+주기)

(a) t_{on} 구간(-주기) (b) t_{off} 구간(-주기)

그림 2. 고주파 변압기 1차측 권선의 동작모드에 따른 전류
Fig. 2. The current of high-frequency transformer 1st winding according to operating mode

DC-Link 커패시터 및 고주파 변압기의 1차측 전력을 제어하는 H-브릿지 전력제어기로 구성되어 있다.

HID 탐사등에 인가되는 개방회로 전압 및 점등 전류는 고주파 변압기의 1차측 권선에 연결된 파워 스위치 Q_1, Q_2, Q_3 및 Q_4에 의해 제어되며, 스위칭 소자의 스위칭에 따른 1차측의 동작 특성은 그림 2와 같다. 양의 반주기 동안 Q_1 및 Q_4가 턴-온 되는 시간(t_{on} 구간)동안 그림 2 (a)와 같이 정방향 전력이 고주파 변압기 1차측 권선으로 전달된다.

턴-오프 되는 시간(t_{off} 구간)동안 그림 2 (b)와 같이 프리휠링 전류가 흐르게 된다. 또한 음의 반주기 동안에는 그림 2 (c) 및 그림 2 (d)와 같이 Q_2와 Q_3가 턴-온/턴-오프 동작에 의해 부전력을 1차측 권선으로 전달하게 된다.

이러한 교류 전력의 전달에 의해 고주파 변압기 2차측 출력은 1차측 권선 전압 v_s의 권선비 N_1과 N_2에 따라 개방회로 2차 권선전압 e_{o1} 및 점등회로 2차 권선전압 e_{o2}는 다음과 같이 결정된다.

$$v_s = d \cdot V_{dc} \tag{1}$$

$$e_{o1} = \frac{v_s}{N_1} \tag{2}$$

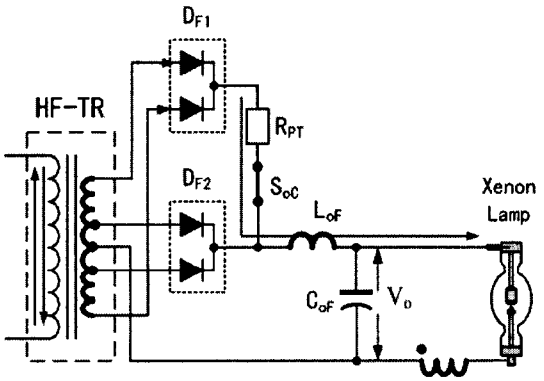
$$e_{o2} = \frac{v_s}{N_2} \tag{3}$$

단, d : PWM 듀티 비(duty-ratio)
V_{dc} : 1차측 DC-link 전압
N_1, N_2 : 고주파 변압기 권선비
e_{o1}, e_{o2} : 개방회로 및 점등회로 출력 전압

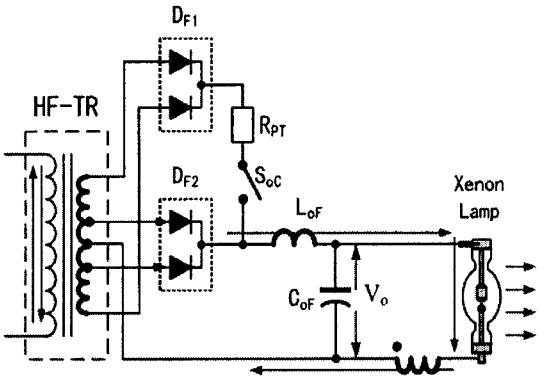
한편, 고주파 변압기 2차측 출력전압은 각각 그림 3에서 보는 바와 같이 전력 다이오드 모듈 D_{F1} 및 D_{F2}를 통하여 직류로 변환되어, 개방회로의 경우 연결 스위치 S_{oC}를 통하여 출력단 필터회로로 연결된다.

그림 3은 HID 탐사등의 점등 전과 점등 후의 동작 상태를 나타내고 있다. 점등 전에는 점등을 위한 개방회로 전압이 HID 탐사등에 그림 3 (a)와 같이 연

결되어 대기 상태로 유지하며, 이그니션 회로에 의해 점등이 된 후, 연결 스위치 S_{oC}가 턴-오프되고, HID 탐사등의 조도를 유지하기 위한 정전류가 그림 3 (b)와 같이 전달된다. 이때, 이그니션 순간에서 연결 스위치 S_{oC}가 차단되는 동안에는 높은 전류가 HID 램프로 흐를 수 있으므로 이를 제한하기 위하여 PTC 저항이 직렬로 연결된다. 실제 점등이 되기 전의 개방회로에는 xenon 가스가 방전이 되지 않기 때문에 거의 전류가 흐르지 않고, 이그니터의 높은 방전 전압(25[kV])으로 인해 xenon 가스가 방전이 되고 나면 점등 후 조도를 유지하기 위한 전류가 흐르게 된다.



(a) 점등 전 개방회로에서의 동작 모드



(b) 점등 후 HID 탐사등의 동작 모드

그림 3. HID 탐사등의 점등 전 · 후 동작 모드
Fig. 3. The operating modes of HID lamp

3. 제안된 Soft-Start 개방회로 전압 및 정전류 순차 제어 방식

HID 탐사등의 가스 방전은 이그니터(ignitor)에 의해 발생된 높은 25[kV]의 고압에 의해 순간적으로 이루어지고 이때부터 HID 탐사등은 활성화 상태로 된다. 하지만, 제논 가스의 방전은 주변 온도에 따라 방전 특성이 달라지게 되고, 한번의 방전으로 활성 상태가 되지 못하는 경우가 종종 발생한다. 또한 방전 개시 순간에 순간적으로 HID 탐사등의 상태는 단락 상태가 되어 높은 전류가 순시적으로 입력되므로, 탐사등의 수명을 감소시키며, 전력 회로의 잦은 고장의 원인이 된다. 또한, 교류 입력단에서 돌입전류(Inrush current)를 억제하기 위한 회로에서 1차측 전압이 완전히 확립되기 전에 이그니터가 동작하게 되면, 돌입전류 억제 회로가 소손하게 된다. 따라서, 1차측 입력단 DC-link 전압이 완전히 확립된 후, 개방회로 전압이 HID 탐사등의 개방회로 요구 전압까지 서서히 증가하고, 이그니션이 발생 된 후, 개방회로가 완전히 차단된 후, 점등 구동 전류가 서서히 증가하여 정전류로 제어되어야 한다. 따라서, 1차측 전력 변환회로는 점등 전에는 전압 제어 모드로 구동되고, 점등 후에는 전류 제어모드로 변환하여 구동하게 된다. 또한, 이그니터의 동작에서 제논 가스가 방전이 실패하게 되는 경우에는 다시 전압 제어 모드로 방전 대기 상태를 유지하도록 설계되어야 한다.

일반적인 방전회로에서 출력단의 높은 전류로 인한 노이즈로 인해 대부분 아날로그 전류 제어 회로를 적용하고 있으나, 아날로그 회로에서는 방전 실패와 같은 반복적인 점등에서의 시퀀스를 만족하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 기본적인 제어는 PI 형 아날로그 PWM 제어기를 적용하고, HID 탐사등의 점등 및 Soft-start는 마이크로 프로세서로 구현하여 안정적인 정전류 제어기를 구성하도록 설계하였다.

그림 4와 그림 5는 본 논문에서 적용한 2.5[kW]급 HID 탐사등의 제어 Flow-chart 및 제어기의 구조를 나타내고 있다.

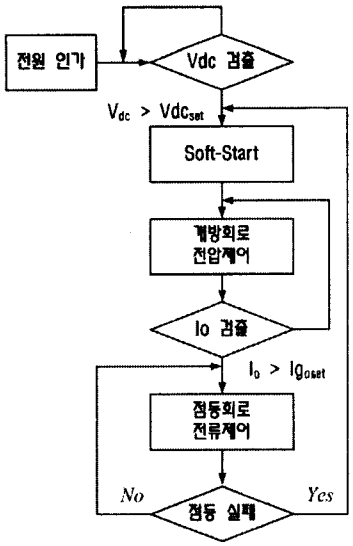


그림 4. 제어 플로우 차트
Fig. 4. Flow chart of the proposed controller

그림 5에서 $/POW_{on}$ 신호는 점등 전원이 되는 1차측 직류 링크단 전압을 검출하기 위한 신호이다. 설계된 시스템에서 제어전원 및 점등 전원이 동시에 투입되므로, 시스템의 안정성을 위하여 1차측 직류 링크단 전압은 초충전 회로를 구성하여 서서히 증가시킨다. 1차측 직류 링크단 전압이 400[V] 이상 인가되었을 경우에, $/POW_{on}$ 신호를 검출하여 2차측 개방 회로 전압을 Soft-start시켜 제어하도록 구성되었다.

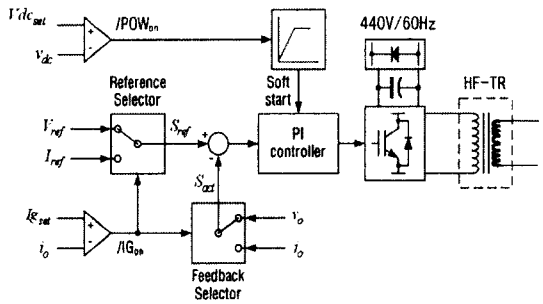


그림 5. 제어기의 구조
Fig. 5. Block diagram of the proposed controller

또한, $/Ig_{on}$은 2차측 점등이 이그니터(ignitor)에 의해 점등 개시가 되면 기준지령과 피이드백 신호를 2차측 전압에서 전류로 변경하며, 즉시 정전류 제어에 돌입하게 된다. 본 논문에서 2차측 점등 전류의 검출은 전류센서로부터 검출된다. 점등 전류는 2차측에 설치된 100[A]급의 전류센서로부터 5[A]이상의 전류가 순간적으로 투입되면, 점등 상태로 검출되도록 설계되었다. 점등 실패 또는 노이즈에 의한 $/Ig_{on}$의 오류에 대해서는, 2차측 전류를 AD 컨버터로 검출하여, 점등신호 후에 일정 전류 이상 상승하지 않았을 때는 다시 개방회로 전압 제어모드로 동작하게 설계되었다. PI 제어기의 입력단에 S_{ref} 및 S_{act}는 제어 입력 및 피이드백 신호로 다음과 같이 결정된다.

$$S_{ref}=\begin{cases} I_{ref} & (when\ /Ig_{on}=0) \\ V_{ref} & (when\ /Ig_{on}=1) \end{cases} \quad (4)$$

$$S_{act}=\begin{cases} i_o & (when\ /Ig_{on}=0) \\ v_o & (when\ /Ig_{on}=1) \end{cases} \quad (5)$$

이때, i_o 및 v_o는 2차측 점등 회로의 전류 및 전압을 의미한다.

4. 실험 결과

제안된 제어기의 검증을 위해 2.5[kW] HID 탐사등에 대한 회로를 구성하고 실험을 수행하였다. 순차 제어 및 Soft-start는 ATMEL사의 Atemga8을 적용하였으며, 전류의 검출과 전압의 검출은 마이크로 프로세서에 내장된 10bit AD 컨버터를 사용하였다. 전류 센서는 1차측에 20[A], 2차측에 100[A]급으로 설치되었다. 개방회로 전압과 점등전류의 제어에는 PWM 전용소자인 ST사의 UN3525를 사용하였으며, 제어 이득은 저항 및 커패시터로 조절하도록 설계하였다. 개방회로 지령전압은 105[V]이며, 2차 회로의 점등 전류는 정격이 96[A]이지만, 사용환경에 따라 85~110[A]까지 조절이 가능하도록 하였다.

그림 6은 제안된 제어기의 실험환경을 나타내고 있다. 실험에 사용된 탐사등은 정격 26[V], 96[A]급이며, 100,000[Cd]의 밝기를 가진다.

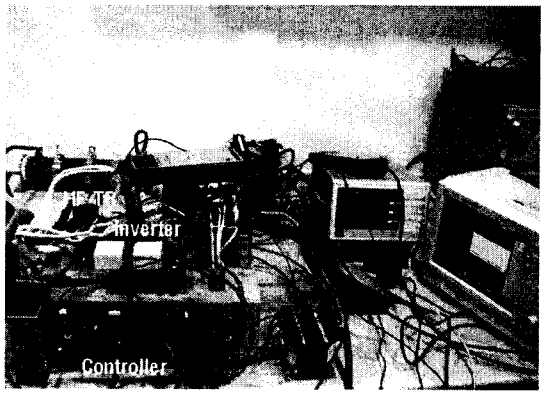


그림 6. 실험 환경
Fig. 6. Experimental configuration

그림 7은 전원 투입 상태에서의 각부의 실험 파형을 나타내고 있다. 실험 결과는 각각 1차측 직류 링크 전압과 고주파 변압기의 2차측 출력 전압 및 2차측 직류 전압 v_o와 전류 i_o를 나타내고 있다. 실험 7의 결과에서 2차측 출력은 1차측 직류 링크 전압 V_{dc}가 400[V]가 되기 전까지는 대기 상태로 유지하다가, 충전이 충분히 되었을 때, soft-start하여 서서히 증가하게 된다. 이때, 점등관에 일부 전류 노이즈가 발생하지만, 2차측 전압이 개방회로 전압에 도달하지 않았으므로, $/Ig_{on}$ 신호가 입력되지 않는다. 이는 마이크로 프로세서에서 2차측 출력전압 v_o를 AD 컨버터로 입력하여, 개방회로 전압에 도달하지 않았을 때는 $/Ig_{on}$ 신호를 무시하도록 프로그램하였기 때문이다.

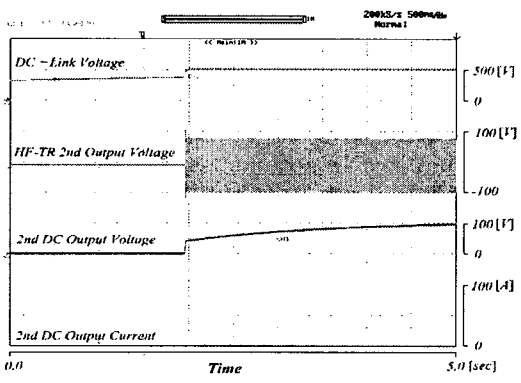


그림 7. 전원 투입 상태의 실험결과
Fig. 7. Experimental result in power on

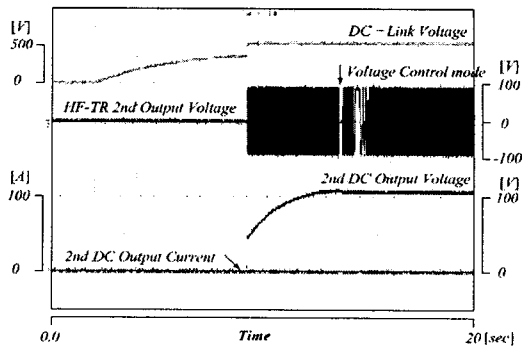
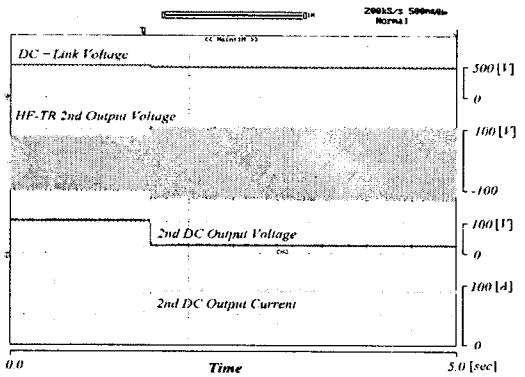
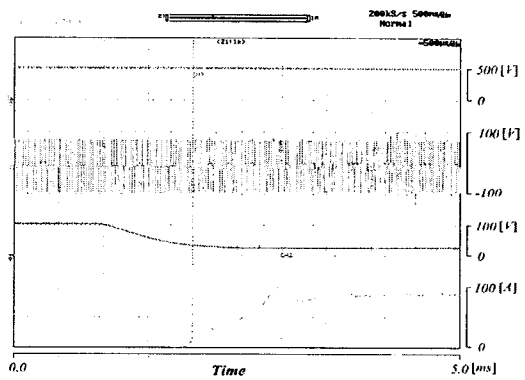


그림 8. 전압제어모드에서의 실험결과
Fig. 8. Experimental result in open circuit voltage control



(a) 점등 개시 상태(500[ms/div])



(b) 점등 개시 상태(500[μs/div])

그림 9. 점등 개시 상태의 실험결과
Fig. 9. Experimental result in ignition

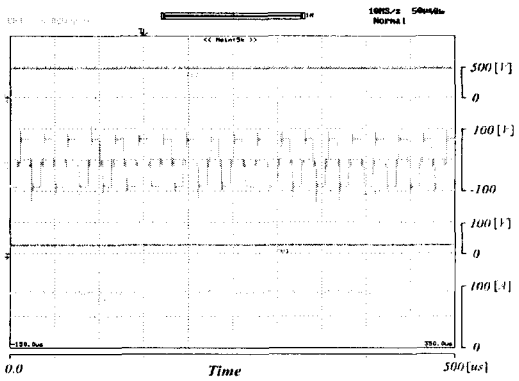


그림 10. 정상상태의 실험결과
Fig. 10. Experimental result in steady state

그림 8은 개방회로 전압이 충분히 증가하여, 정상상태 전압제어 모드에서의 실험결과이다. PWM 제어 방식에 의해 출력 전압이 설정된 105[V]로 안정적인 제어가 이루어지고 있음을 보이고 있다.

그림 9와 그림 10은 점등 상태와 정상상태의 실험결과를 보이고 있다. $/Ig_{on}$ 신호에 따라, 탐사등은 방전이 개시되어 점등이 되며, 제어 모드는 전압제어에서 전류제어 모드로 변환되고 있음을 보인다. 이때, 2차측 전압은 105[V]에서 정격전압인 26[V]로 감소하고, 탐사등의 전류는 90[A]로 제어된다. 이때 제어기의 PWM 주파수는 39[㎑]로 설계되었다.

5. 결 론

본 논문에서는 8비트 마이크로 프로세서와 아날로그 PWM 소자를 적용한 선박용 HID 탐사등의 Soft-start 개방 회로 전압 및 정전류 순차 제어 회로를 구성하고, 그 특성을 시험하였다. 제안된 제어 회로는 HID 탐사등의 안정적인 점등을 위하여 개방회로 전압과 점등 전류를 순차적으로 제어하는 방식으로, 특히 전원투입 상태에서의 안정성을 위하여 일정한 입력전압에 대해서 Soft-start 기법을 적용하여 개방회로 전압 제어모드로 동작하도록 설계되었다. 또한, 점등개시 신호의 입력에 따라 제어모드를 전압제어에서 전류 제어모드로 변경하여 단일 PWM 제어소자에서 동시에 처리하도록 하였다. 한편, 입력 노이즈 및 개방회로 전압의 검출을 간단한 원칩 마이크로 프로세서로 구현하여, 오동작 및 점등 실패에 대한 강인성을 부가하도록 하였다.

실험 결과에서 제안된 방식의 선박용 HID 탐사등 제어 회로는 안정적인 전원투입 및 점등과 정상상태를 나타내었다.

References

[1] In-Kyu Lee, Sung-Jin Choi, Kyu_Chan Lee, Bo H. Cho, "Modeling and Control of Automotive HID Lamp Ballast", PEDS'99, July. 1999. Hong Kong, pp. 506-510.
[2] M. Sugiura, "Review of metal-halide discharge lamp development 1980-1992", IEE Proceedings-A, vol. 140, No. 6, pp. 443-449, November, 1993.
[3] Tsoring-Juu Liang, Wen-Bin Shyu, Chun-An Cheng, Chia-Ming Chuang, Jiann-Fuh Chen, "Investigation on Transient and Steady-State Characteristics with Electric Ballast of Automotive HID Lamps", Power Electronics Specialists Conference, Vol. 4, pp. 1651-1655, June, 2002.
[4] H. J. Faehnrich and E. Rasch, "Electronics ballasts for metal halide lamps", Journal of the Illuminating Engineering Society, pp. 131-140, 1998.
[5] H. J. Chiu, T. H. Song, S. J. Cheng, C. H. Li, Y. K. Lo, "Design and Implementation of a Single-stage High-Frequency HID lamp Electronic Ballast", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 55, No. 2, pp. 674-683, Feb. 2008.
[6] Chien-Ming Huang, Tsorng-Juu Liang, Ray-Lee Lin, Jiann-Fuh Chen, "A Novel Constant Power Control Circuit for HID Electronic Ballast", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 22, No. 5, pp. 1573-1582, Sept. 2007.
[7] M. Ponce, E. Flores, M. A. Juarez, V. H. Olivares, "Stabilization of HID Lamps Using DC-DC Converters With an Open Loop Control", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 22, No. 3, pp. 769-779, May, 2007.

◇ 저자소개 ◇

박노식 (朴魯植)
1959년 9월 7일생. 2006년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 세웅테크 대표.

권순재 (權純在)
1951년 11월 4일생. 1982년 부산대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 부경대학교 기계공학부(지능기계공학전공) 교수.

이동희 (李東熙)
1970년 11월 11일생. 1996년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2002~2005년 OTIS-LG 서보 R&D 선임연구원. 2005년~현재 경성대 전기 · 전자 · 메카트로닉스 공학부 조교수.