

# 진폭변조방식을 이용한 무전극 램프용 컨버터의 PID제어

권명일, 장도현  
호서대학교

## Electrodeless Lamp Converter of PID Control use Amplitude Modulation Method

Myung-il Kwon, Do-Hyun Jang  
Hoseo University

### ABSTRACT

무전극 램프의 조광 장치에서 필요한 컨버터의 필요조건은 입력 전압을 승·강압 문제뿐만 아니라 역률 보상 문제도 해결하기 위해서는 입력전류가 연속적인 방식만을 사용해야 한다는 제약 조건이 있다. 이 논문에서는 무전극 조광 장치에서 사용되어 질 수 있는 컨버터의 구조와 시스템을 제어하기 위해 가장 일반적으로 사용되고 있는 PID제어기를 사용하여 조광함을 목적을 한다.

### 1. 서 론

1927년 J. J. 톰슨에 의해 고주파 방전에 대한 기본 원리가 이론적으로 확립된 후, 현재까지의 고주파 전원 구동부는 근래까지 완벽하게 개발되지 못한 상태에 있다.

무전극 램프 시스템의 주파수는 수십 kHz로부터 수십 MHz 까지이므로 기존의 주파수 제어 및 펄스폭제어 조광방법으로는 여러 가지 기술적 문제로(방사노이즈, 조광의 정도)인한 접근이 어렵다. 조광제어 공급 장치는 아직 초기개발 단계이므로 기존의 제품보다 기능면에서 향상됨으로 인해 향후 성장 가능성이 크다고 볼 수 있다. 여러 측면에서 볼 때 많은 이점이 있는 무전극 형광램프의 조광 기술을 진폭변조 제어방식을 통해 설계 및 구현하였다.

### 2. Power Factor Correction Stage

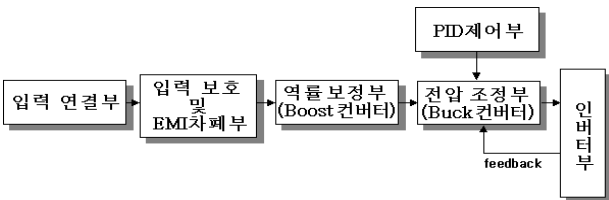


그림 1 전자기 안정기의 개념도

입력전압은 입력보호 및 EMI 필터부를 지나 정류되어진 후 능동 역률 보정부에서 역률 보정과 함께 직류 400[V]로 승압이 되며, 일반적으로 널리 사용하는 Boost 컨버터를 이용하며 다음 전압조정부에서는 PID신호에 의해 듀티비를 조정하여 300[V] 이하로 강압하여 인버터에 전원을 공급하게 된다. 동시

에 인버터부에 흐르는 전류를 피드백(feedback) 받음으로써 안정된 동작을 하게 되며 이러한 일련의 동작에 의해 무전극 램프의 조광이 이루어지는 것을 그림 1에 나타내었다.

### 2.1 역률보정회로의 개요

펄스폭은 출력 전압을 제어하기 위해 가변시키며, 같은 폭의 반주기당  $N$  개의 펄스가 존재하면 펄스의 최대 폭은  $\pi/N$  이다. 펄스의 폭들은 서로 다를 수 있으며 특정한 고조파가 제거 되도록 펄스의 폭을 선택하는 것이 가능하다.

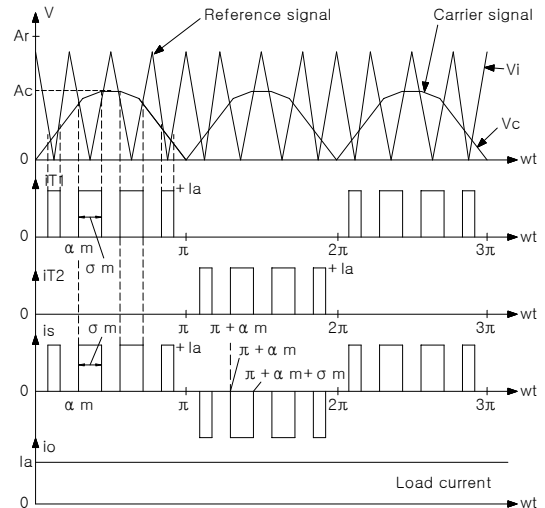


그림 2 정현파 PWM제어

펄스의 폭을 가변 하는 방법들은 서로 다르며, 가장 일반적인 것이 정현파 PWM(Sinusoidal Pulse Width Modulation)제어방식이다. 그림 2와 같은 정현파 PWM제어에서 펄스폭은 크기  $A_r$  과 주파수  $f_r$  의 삼각파 전압  $v_r$  과 가변 크기  $A_c$  와 주파수  $2f_s$  의 반정현파전압  $v_c$  를 비교함으로써 만들어진다. 정현전압  $v_c$  는 입력 상전압과 동상이며 전원 주파수  $f_s$  의 두 배를 갖는다. 펄스의 폭(출력 전압)은 크기  $A_c$  또는 변조지수  $M$  을 0부터 1까지 변화시킴으로써 가변된다. ( 변조지수  $M = A_c / A_r$  ) 정현파 PWM제어에서 변위율은 1 이

고 역률은 개선되며, 저차고조파는 제거 또는 감소된다.

## 2.2 역률 보정 회로의 이론적 고찰

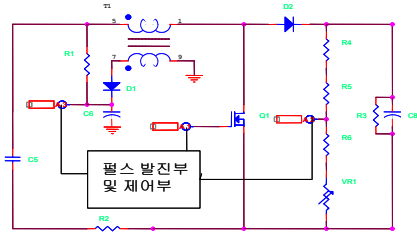


그림 3 실제 적용된 회로도

본 논문에서 적용된 그림 3과 같이 boost방식으로서 역률보상(PFC)회로에 가장 많이 적용 되고 있는 방식중의 하나이다. 고전력용으로는 연속 전류모드 (CCM:continuous current mode)로 사용하고 있고, 저전력용으로는 불연속 전류 모드 (DCM:discontinuous current mode)로 많이 사용 되어 지고 있다. 이러한 boost 방식은 히스테리시스를 이용한 제어 방식으로 인덕터 전류가 입력 전압의 파형의 모양에 따라 전류의 크기를 변화시켜 스위칭 하는 방식이다.

근래에 역률 보상 회로는 스위치 온 시간 제어에 의한 영전류 스위칭 기술이 도입되고 있으며, 그림 4는 몇 개의 기본적인 블록들을 조합하여 펄스폭 변조부를 보여 주고 있다.

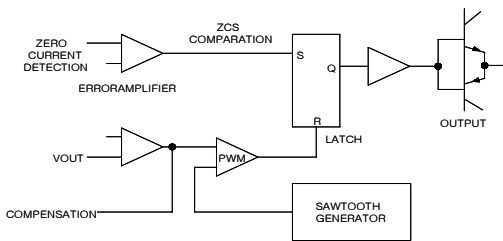


그림 4 제어부 블록도

스위치가 턴온 시 그림 5와 같이 정류부와 필터부와 Boost 인덕터에 AC 입력 전압이 인가되고, 인덕터 전류는 전류부터  $V_{IN}/L$ 의 기울기를 가지고 흐르기 시작한다. PWM회로에 의해 예정된 시간 동안 전류는 계속 상승하다가 적당한 on time에 도달 하자마자, MOSFET는 영전류 제어회로에 의해 턴 오프

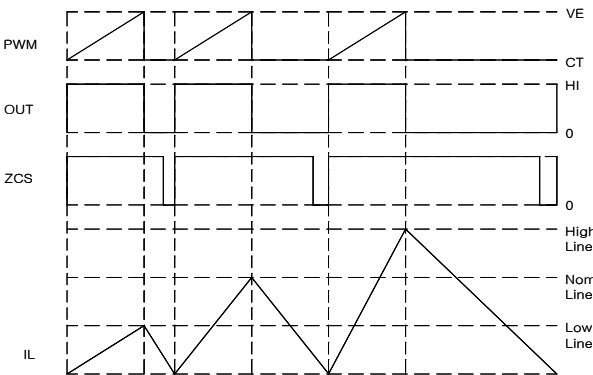


그림 5 제어회로의 동작 파형

된다.

## 3. Buck Converter의 개요 및 설계

### 3.1 Buck Converter의 개요

스위칭 전원은 전력용 MOSFET등 반도체 소자를 사용하여 직류 입력 전압을 일단 구형파 형태의 전압으로 변환 한 후 필터를 통해 제어된 직류 출력 전압을 얻는 장치로, Buck Converter는 그림 6과 같이 MOSFET을 이용한 주 스위치 Q, 환류 다이오드  $D_F$ , 출력필터 L 및 C로 구성된다.

그림 7은 각 부의 동작 파형을 나타내며 위로부터 스위치 구동파형, 인덕터 전류파형, 출력전압 파형을 나타내고 있다.

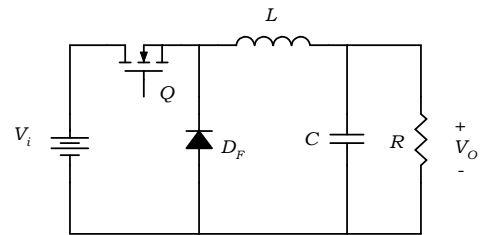


그림 6 Buck 컨버터 회로도

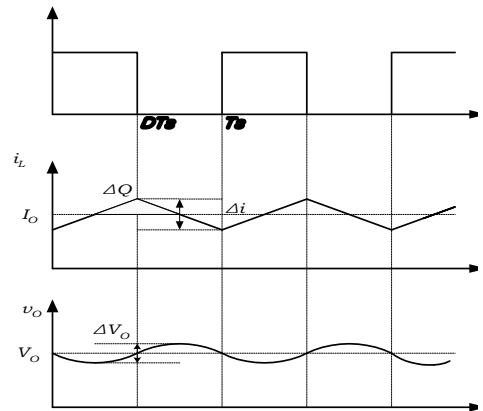


그림 7 각 부의 동작 파형

### 3.2 Buck Converter의 PID제어 설계

Buck Converter는 출력전압의 조절(regulation)을 위한 부궤환 제어 회로를 가지며 제어 회로는 오차 증폭기 및 비교기로 구성된다. 오차 증폭기 및 비교기는 DC/DC converter의 제어 전달 함수와 함께 폐루프를 형성한다.

출력전압의 조절과 과도 특성과 관련하여 안정성 및 고도의 제어 특성이 요구되며, 이에 대응한 부궤환 제어 루프의 안정성 설계가 필요하다. 궤환 루프의 안정성을 논의하는데 있어서 DC/DC converter의 경우 2차 특성의 전달 함수를 가지며 여기에 오차 증폭기의 1차 특성까지 고려하면 루프 전체로서 3차의 특성을 가지게 되어 위상 여유(Phase margin)의 면에서 그다지 유리한 조건이 되지 못하다. 전달함수의 영점이 우반면에 존재하는 경우 루프의 위상을 더욱더 지연(lag)되게 하여 경우에 따라서는 불안정 궤환 루프가 될 가능성도 있다.

DC/DC converter의 제어 특성을 전달 함수의 블록으로 구성하여 그림 8에 나타내었다

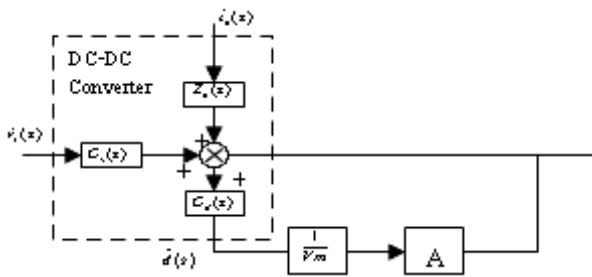


그림 8 DC-DC converter의 제어 특성 블록도

개루프 전달 함수는 식1과 같다.  
입출력 전달 함수

$$G_v(s) = \frac{\hat{v}_o(s)}{\hat{v}_i(s)} \Big|_{\hat{d}=\hat{i}_o=0}$$

제어 전달 함수

$$G_d(s) = \frac{\hat{v}_o(s)}{\hat{d}(s)} \Big|_{\hat{v}_i=\hat{i}_o=0} \quad (1)$$

출력 임피던스

$$Z_o(s) = \frac{\hat{v}_o(s)}{\hat{i}_o(s)} \Big|_{\hat{d}=\hat{v}_i=0}$$

루프 이득은 식2와 같다.

$$T(s) = G_d(s) \cdot A(s) \cdot \frac{1}{V_m} \quad (2)$$

폐루프 전달 함수는 식3과 같다.  
입출력 전달 함수

$$\frac{\hat{v}_o(s)}{\hat{v}_i(s)} \Big|_{\hat{i}_o=0} = \frac{G_v(s)}{1+T(s)} \quad (3)$$

출력 임피던스

$$\frac{\hat{v}_o(s)}{\hat{i}_o(s)} \Big|_{\hat{v}_i=0} = \frac{Z_o(s)}{1+T(s)}$$

입출력 전달 함수는 입력 전압의 미소 변동분에 대한 출력 전압의 미소 변동분의 크기를 나타내며 입력 전압의 스텝 변화에 의한 과도 특성의 평가에도 이용될 수 있다. 제어 전달 함수는 시비율의 미소 변동분에 대한 출력 전압의 미소 변동분의 크기를 나타내고 있으나, 그림 8에서 알 수 있듯이 시비율의 미소 변동의 근본적인 원인은 출력 전압이므로 이 전달 함수는 루프 이득의 한 구성 요소가 된다. 출력 임피던스는 출력 전류의 미소 변동분에 대한 출력 전압의 미소 변동분의 크기를 나타내며 출력 전류의 스텝 변화에 의한 과도 특성의 평가에도 이용될 수도 있다. 시스템에서는 이러한 오버슈트나 정격 도달 시간(상승시간)의 지연으로 인한 문제들이 많이 발생하고 있다. 그림 9를 보면 오버슈트로 인한 문제는 주로 컨버터의 출력 전압을 입력 전원으로 사용하는 회로에서 발생되는데 주로 과전압의 형태로 발생된다. 이러한 문제를 개선하기 위해 여러 가지 대책들이 수립되어 적용되고 있다. 컨버터의 출력 측에 과전압 및 서지 전압을 흡수하는 수동 소자를 삽입하는 방법은 아주 보편화 되어진 방법이다. 다른 방법으로는 부하

측의 회로에 과전압 감지 회로를 구성하여 시스템을 보호하기도 한다. 또 다른 방법으로는 컨버터에 출력전압 제한 루프와 입력전류 제한 루프를 두어 시스템의 응답속도를 향상 시키는 방법도 있다.

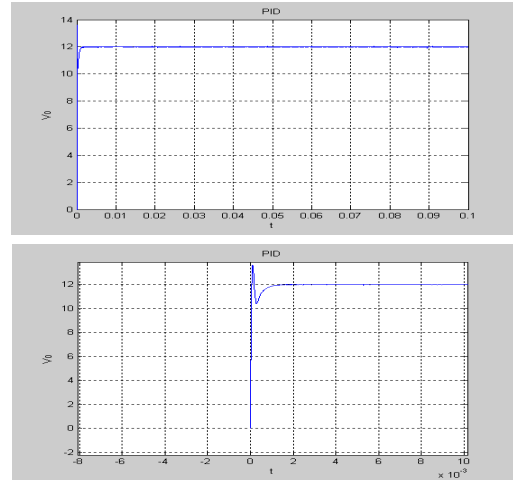


그림 9 Buck converter 출력전압 특성

#### 4. 결 론

무전극 형광램프는 어떠한 램프보다도 월등히 수명이 길다는 장점으로 인해 현 조명시장에서 차세대 램프로써 주목받고 있다. 또한 조광을 통해 불필요한 에너지 소모를 줄임으로써 에너지 절약이란 측면에서 큰 장점을 가지고 있다.

기존의 관 전류 제어방식이나 Duty ON/OFF 방식은 무전극 형광 램프 시스템에서의 동작 주파수가 높고 LC공진대역 폭이 좁아 적용이 불가능하므로 본 논문에서는 진폭 변조 방식으로 조광을 하였다. Boost 컨버터를 통해 승압된 직류 400[V]는 Buck 컨버터를 통해 강하되는데 이는 PID에서 보내주는 신호에 따라 Buck 컨버터 스위치의 게이트 신호의 진폭을 변조시켜 조광이 이루어지게 된다. 본 논문에서는 조광범위를 30~100%까지 가능하도록 하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] B. Louis R. Nerone, "A Novel Ballast for Electrodeless Fluorescent Lamp", IEEE Industry Applications Con., Vol 5, pp 3330-3337, Oct .2000.
- [2] Cook, B. "New developments and future trends in high-efficiency lighting" Engineering Science and Education Journal vol. 9.no 5, pp. 207-217, 2000.
- [3] Giuliani, J.L.; Petrov, G.M.; Pechacek, R.E.; Meger, R.A. "Plasma study of a moly-oxide-argon discharge bulb", IEEE Transactions on Plasma Science, vol 31, no.4,pp.546-571, 2003.
- [4] T. Fukasawa, T.Nouda, A. Nakamura, H. Shindo, and Y. Horiike, "RF self bias characteristics in inductively coupled plasma," Jpn. J. Appl. Phys. Lett, vol. 32, pp. 6076-6079, 1993.
- [5] D.O.Wharmby, "Electrodeless lamps for lighting: a review" Science, Measurement and Technology. IEE Proceedings A vol. 140, no. 6, pp.465-473, 1993.
- [6] A.P. Paranjpe, "Modeling on inductively coupled plasma source", J.vac. Sci. Technol. A.Vac. Surf. films, vol. 12,no.4, pp.1221-1228, 1994.