마이컴을 이용한 무전극 조광 장치

박 재 명
(주) 세광에너텍

Micom Applied Non-electrode dimming system

Jae-Myung Park
SEKWANG ENERTECH CO.,LTD

1. 서 론

1990년초 무전극 램프가 오스람, 필립스, GE 등 주요 조명회사로부터 개발되어 발표된 이후 꾸준히 주목을 받고 있다. 무전극 형광램프의 특징은 형광등이나 기타 HID등과 달리 필라멘트나 전극이 없이 발광되며, 발광관 내부에 전극이 존재하지 않아 수명이 기존 램프에 비해 수배에서 수십 배에 달하며, 높은 연색성과 순간 점등 점멸 그리고 고효율을 겸비한 광원 중 최고 수준의 램프이다.

무전극 램프 시스템의 주파수는 수십 kHz로부터 수십 MHz 까지 이므로 기존의 주파수 제어 및 펄스폭제어 조광방법으로는 여러 가지 기술적 문제로(방사노이즈, 조광의 정도) 접근이 어렵다.

최근 광원기술의 척도로 무전극 램프기술이 높이 평가되기 때문에 많은 연구들이 지속적으로 수행되고 있으며, 특히 무전극 램프의 조광기술에 대한 연구가 활발하며 이는 다양한 분야에서의 응용을 위해 필요한 기술로 인식 되고 있다. 여러 측면에서 볼 때 많은 이점이 있는 무전극 형광램프의 조광 기술을 마이컴 제어를 통해 본 과제에서 설계 및 구현 하였다.

2. 본 론

2.1 무전극 형광램프의 발광원리

본 시스템에 적용한 Endura 광원의 구조는 그림 1) 과 같이 전체적으로는 굵은 직관형 형광등 2개를 결합한 형태로, 광원의 길이는 100W의 경우 250mm, 150W의 경우 350mm이며 관의 두께와 넓이는 모두 각각 54mm, 139mm 이다. 또한 램프 외부에 페라이트 코아 2개를 설치하고 있는데 이를 통해서 RF 유도방식에 의해 봉입가스에 에너지를 공급하여 방전시키는 형태이다. 즉, Endura는 램프내부에 전극이 없이 외부의 페라이트 코아에 자계를 발생시킴으로써 전구내부의 봉입가스에 에너지를 공급하여 방전시키고 이때 발생되는 가시광선과 함께 주로 발생되는 자외선은 형광물질에 의해 가시광선으로 바뀌어서 발광하도록 고안된 램프이다.

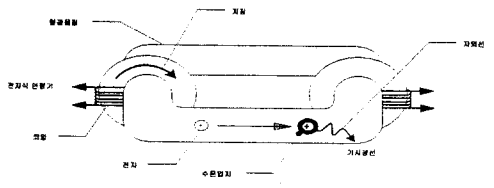

그림 1) 엔듀라의 발광원리.

동작 시 램프자체는 폐루프를 형성하는 방전 플라즈마가 다수 턴으로 감긴 페라이트 코아에 대해 1턴의 2차측으로 결합된 것처럼 동작하는 트랜스포머로 볼 수 있다. 이러한 트랜스포머를 통해 RF유도를 위한 고주파의 전원이 사용되고 Endura 의 경우는 약 250kHz의 고주파 스위칭 전원으로 고주파에너지의 전원을 공급받고 있다.

2.2 무전극 조광장치의 전체 시스템 개요

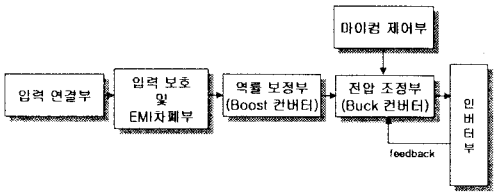

그림 2) 전체시스템의 블록도

전체 시스템은 대략 6블록으로 나눌 수 있으며, 입력전압은 입력보호 및 EMI 필터부를 지나 정류되어진 후 능동 역률 보상부에서 역률 보정과 함께 400VDC로 승압이 되며, 역률 보상부는 일반적으로 널리 사용하는 boost 컨버터를 이용하였으며 전압조정부에서는 마이컴에서 보내어지는 신호에 의해 듀티비를 조정, 300V 이하로 강압하여 인버터에 전원을 공급하게 된다. 동시에 인버터부에 흐르는 전류를 feedback 받음으로써 안정된 동작을 하게 되며 이러한 일련의 동작에 의해 무전극 램프의 조광이 이루어진다.

2.3. 역률 보상 회로의 이론적 설계

역률보상(PFC)회로는 현재 여러 방식이 있으나 본시스템에 채택된 방식은 BOOST 방식의 저전력용 불연속 전류모드 (DCM 모드)를 사용하고 있으며, 이에 따른 회로의 이론적 설계는 다음과 같다.

PFC단의 설계 조건은 표1)에서와 같으며, 스위칭 주파수가 50kHz 이므로 주기 T = 20[usec]이다.

표 1) PFC 인덕터 설계 변수

PARAMETERS	VALUES
INPUT VOLTAGE	196~240VAC
OUTPUT POWER	150Watt
OUTPUT VOLTAGE	400VDC
POWER FACTOR	98%
SWITCHING FREQUENCY	50kHz

스위치 턴온 시 인덕터에 인가되는 전압 V_L은 입력전압의 피크치 V_{peak}와 같으며, 스위치 턴 오프 시 $V_L = V_O - V_{peak}$ 와 같게 된다. 따라서 인덕터에서의 Volt· sec 평형조건에 의해

$$V_{peak} \times t_{on} = (V_O - V_{peak}) \times t_{off} \quad \cdots\cdots (1)$$

$$t_{off} = (V_{peak}/V_O) \times T \quad \cdots\cdots (2)$$

와 같은 조건이 성립되며,

$$I_p = \frac{2P_o}{\eta V_p} = \frac{2 \times 150}{0.98 \times 141} = 1.1[A] \quad \cdots\cdots (3)$$

$$I_{LP/minAC} = 2 \times 1.1 = 2.2[A] \quad \cdots\cdots (4)$$

$$L_1 = \frac{0.98(\frac{400-340}{340})2010^{-6}340^2}{4 \times 150} = 566\mu H \quad \cdots\cdots (5)$$

이다. 코어는 TDK 社의 EE 2820 TYPE을 적용 하여 설계 하였다.

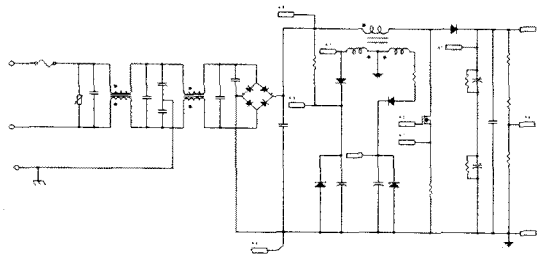

그림 3) EMI 필터와 PFC단

그림3)은 EMI 필터부와 PFC 회로의 일부분으로, 그림4)부터 그림5)까지는 각각 PFC 단 스위치의 전압, 전류 파형으로 경계모드에서 동작하고 있으며, 영전류 스위칭으로 스위칭시 손실을 최소화 하고 있음을 확인 할 수 있다.

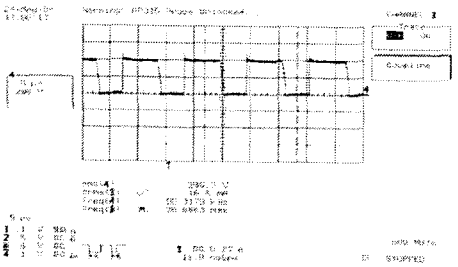

그림 4) Boost 컨버터의 스위치 전압 파형.

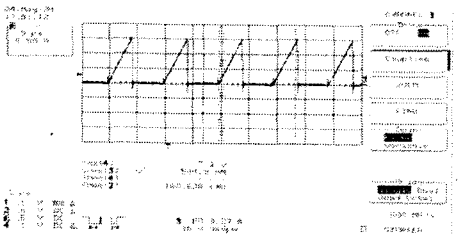

그림 5) Boost 컨버터의 스위치 전류 파형

그림6) 은 입력 전류와 전압파형으로, 보는 바와 같이 전류와 전압의 위상차는 거의 없으며, PFC부의 역할에 의해 역률 0.99, THD 10% 이하의 우수한 성능을 보여주고 있다.

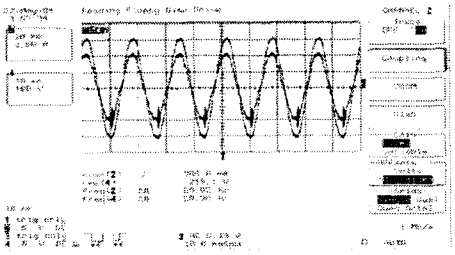

그림 6) 입력 전압과 전류 파형

2.4. Buck Converter의 설계

Buck 컨터터의 인덕터 및 주 스위치 등의 기본을 설계하기 위한 주요 설계 사항은 표 2)과 같다. 먼저 입력전압 VDC는 PFC 단의 출력전압으로 400[VDC]이며 이를 다시 300[VDC] 이하로 강압하며, 출력단에서 피드백되는 신호를 제어함으로써 Buck 컨터버의 출력전압을 제어하고 있다. 또한 설계 사양 중 출력전류의 범위는 무전극 형광램프의 구동 특성상 구동 초기에 약 2배 이상의 돌입전류가 흐르므로 초기 상태에서의 마진을 두어 전체 시스템을 안정하게 할 수 있다.

표 2) Buck converter의 설계 사양

PARAMETERS	VALUES
INPUT VOLTAGE	400VDC
OUTPUT CURRENT	0.5~2A
OUTPUT VOLTAGE	300VDC
Δv_O	1% of Vout
SWITCHING FREQUENCY	33kHz

(1) 인덕턴스 L

인덕턴스 L은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$L = \frac{V_O D T_S}{2I_{omin}} = \frac{300 \times (1 - \frac{300}{400}) \times \frac{1}{33 \times 10^3}}{2 \times 0.5} = 2.2mH \quad \cdots(6)$$

(2) 커패시턴스 C

커패시터의 설계식은 다음과 같다.

$$C = \frac{V_o D T^2}{8L\Delta v_O} = \frac{300 \times (1 - 0.75) \times (\frac{1}{33 \times 10^3})^2}{8 \times 2.2 \times 10^{-3} \times 3} = 1.3\mu F \quad \cdots(7)$$

그러나 Buck 컨버터의 출력 전압의 리플은 거의 커패시터의 기생성분인 ESR에 의해 결정이 되고 또 이 ESR에 의해 커패시터 자체의 허용 전류가 제한되므로 커패시턴스의 설계에는 신뢰성의 관점에서 식(7)으로 주어지는 설계식 보다는 커패시터에 흐르는 전류 I_{crms} 와 ESR을 고려해야 하므로 이를 고려하여 $100\mu F$/250VDC 전해 커패시터 두 개를 직렬 사용하였다.

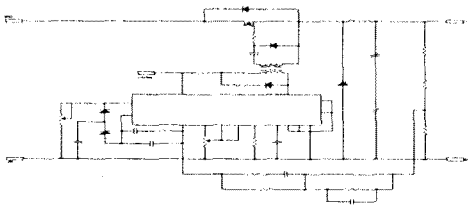

그림 7) Buck 컨버터의 회로도

그림7)은 실제 구성된 Buck 컨버터의 회로로 400VDC 입력을 300VDC 이하로 출력을 제어하는 피드백 회로와 주스위치를 제어하는 컨트롤러로 구성되어 있으며 실제 각 부분의 측정된 파형들은 아래와 같으며, 그림 7)에서 보는 바와 같이 스위치의 전류가 ZERO 점의 윗부분에서 상승과 하강을 하고 있으므로 전류 연속모드에서 동작하고 있음을 알 수 있다.

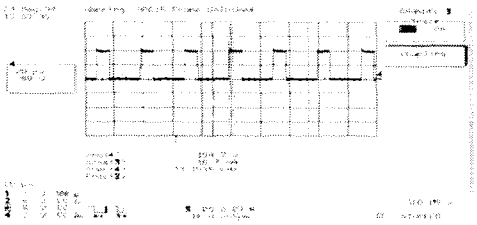

그림 8) Buck 컨버터의 스위치 전압 파형

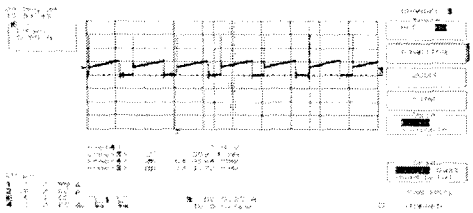

그림 9) Buck 컨버터의 스위치 전류 파형

2.5. 디밍 컨트롤러의 구성 및 알고리즘

디밍 메인 컨트롤러는 8051계열의 80c31을 사용하였으며, 그림 10)에서 보는 바와 같이 디밍컨트롤러 부분은 크게 전원부, 80c31 코아, 프로그램 메모리 영역인 ROM, 토템폴형태의 출력부로 나눌 수 있다.

기존의 DC 전압신호를 사용할 경우 제어선 길이의 제한 및 신호의 손실 등의 문제점을 감안하여 구형파의 주파수를 가변시켜 제어 신호로 사용한다. 구형파의 주파수의 가변 및 생성은 디밍컨트롤러에서 담당하게 되며, 인버터로 보내어진 구형파 신호는 내부에 포함되어 있는 F/V 변환 회로를 거쳐 인버터부의 출력전압을 300VDC 이하로 제어하게 된다.

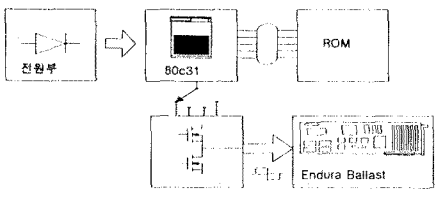

그림 10) 디밍컨트롤러 블록다이어그램

그림 11)은 무전극 형광램프의 조광값을 제어하는 디밍 컨트롤러의 제어알고리즘으로, 첫 단계는 MCU의 동작 초기화 단계로 정상 동작 및 타이머 인터럽트 등의 기능 등을 이용하기 위해 필요한 초기화 부분으로, 타이머/카운터 중 타이머로 사용하기 위한 설정, 타이머 인터럽트의 주기 및 초기치, 입력/출력 중 출력포트로 사용하기 위한 설정 및 기타 기본 변수들의 초기화 부분이 포함되어 있다.

초기화 단계를 거쳐 메인 함수에서 초기 설정된 주파수를 출력포트로 내보내게 되며 일정시간이 지나 타이머 인터럽트 비트가 SET 되면 타이머 인터럽트 서비스 루틴으로 제어가 넘어가게 된다. 이 때 주파수 제어값을 일정 크기만큼 증가 시키고 난 후 off 주파수 제어값과 비교 후 초기값으로 리셋 또는 저장한 후 메인 함수로 리턴하게 된다.

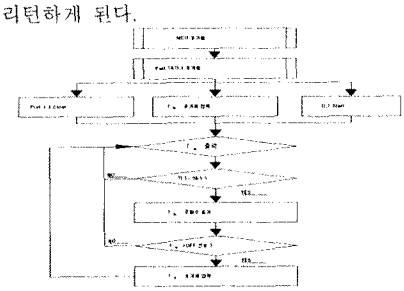

그림 11) 디밍컨트롤러의 제어 알고리즘

지금까지 설명한 것은 기본적인 제어 알고리즘으로 이를 다등용 인버터에 적용할 때에는 많은 변수 들이 발생하게 되며, 동시에 인버터를 제어하기 위해서는 앞서 설명한 것과는 다른 방법으로 접근이 필요하다. 다등일 경우 각 단계별 출력주파수 도달 시 목표 제어값(목적 출력 주파수)까지 도달하였는가를 확인 하고 이를 USER FLAG에 할당된 개별 비트에 SET 시킨 후 모든 포트의 출력비트가 SET된 상태(1 바이트 임) 즉, 0xFF 값이 되었을 때 마지막 제어값을 저장 후 다음 루틴으로 넘어간다.

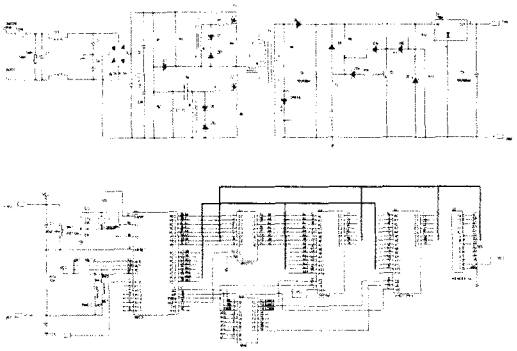

그림 12) 디밍컨트롤러의 구성

그림 12)은 디밍컨트롤러 실제 구성회로로 MCU의 출력포트의 팬아웃을 감안하여 토템폴 구조의 출력단을 별로도 구성하였으며 크게 전원부와 MCU 및 주변회로로 구분되어 있다. 메모리 주소 및 주변회로의 분할을 위해 PLD IC인 GAL 소자를 사용하였으며, 예비로 출력포트를 확보하여 동시에 다등의 인버터를 제어가능 하도록 하였다.

3. 결 론

무전극 형광램프용 조광장치는 DC 버스단의 전압을 400V에서 300V 이하로 강압한 후 이를 인버터 부에서 고주파 AC 구형파로 변환하게 되며, 이를 임피던스 매

칭 회로를 통해 최대 전력을 출력부에 전달하게 된다.

ENDURA 램프는 250kHz에서 구동 시 가장 안정적이고 최대 효율의 동작을 하지만 고주파 동작은 스위칭 손실이나 EMI 등의 문제로 그동안 안정기의 구동방식으로는 회피되어왔다. 하지만 고주파 스위칭시 공진형 인버터는 가격적인 면이나 효율면에서 유리하기 때문에 이를 이용해 스위치의 발열을 최소화하고 안정된 구동상태를 구현하였다. 또한 스위칭 손실을 최소화하기 위해 공진형 스위칭 방법을 채택하였으며, ZCS(Zero Current Switching)의 상태 확인은 그림 13)의 스위치 전압, 전류 파형을 통해 확인 할 수 있다. 또한 임피던스 매칭 회로는 램프에 최대전력을 공급가능하게 하며, 이로써 램프에 공급되는 전압 및 전류의 파형은 이상적인 싸인 파형이 되며 안정적인 구동이 가능하게 된다.

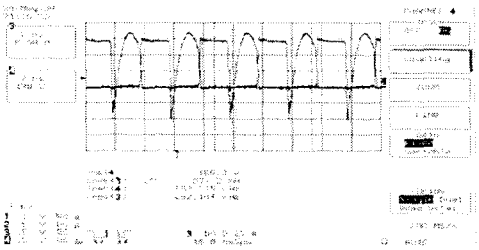

그림 13) Half Bridge의 스위치 전압 및 전류 파형

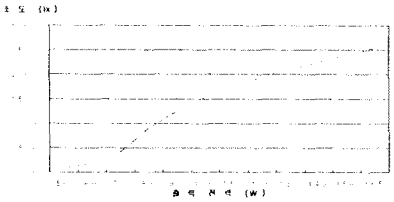

그림 14) 제어신호에 따른 조도변화

그림 14)은 제어신호를 가변시킴에 따른 출력의 변화와 그에 따른 조도의 변화를 측정한 그래프이다. 그래프에서 보여 지는 바와 같이 제어신호에 따라 선형적으로 조도가 변화하는 것을 알 수 있다.

표 3) 시험결과

시험항목	기 준 치	단위	시험결과	비고
입력전류	표시된(0.68A)값 대비 90~110% 이내	%	99.76	
입력전력	표시된(150W)값 대비 90~110% 이내	%	98.96	
역률	0.90 이상일 것	-	0.99	
	표시된 값(0.98)과 0.05이상 차이가 나지 않을 것	-	0.01	
입력전류파형 (전류고조파 함유율)	n=2일 때 2% 이하일 것	-	이하임	
	n=3일 때 30×λ(29.4%) 이하일 것	-	이하임	
	n=5일 때 10% 이하일 것	-	이하임	
	n=7일 때 7% 이하일 것	-	이하임	
	n=9일 때 5% 이하일 것	-	이하임	
	11≤n≤39일 때 한계값 이하일 것	-	이하임	
파고율	1.7 이하일 것	-	1.49	
전자파장해	잡음단자전압 및 차기장유도전류의 한계값이하일 것	-	이하임	

* 위 결과는 공인기관((재)한국조명기술연구소) 에 의뢰하여 측정한 결과치를 기재한 것임

무전극 형광램프는 어떠한 램프보다도 월등히 수명이 길다는 장점으로 인해 현 조명시장에서 차세대 램프로써 주목받고 있다. 그 뿐 아니라 광고, 홍보 등이 중요시되어지고 소비자들의 이목을 끌어야만 하는 시장에서는 무전극 형광램프의 매우 짧은 점등시간 또는 형광등과 달리 점멸에 의한 수명 단축이 없다는 것도 매력이 아닐 수 없다. 여기에 점등과 소등 뿐 아니라 빛의 밝기를 조정하는 것은 무전극 형광램프의 장점을 최대화시킬 것이다. 또한 조광을 통해 불필요한 에너지 소모를 줄임으로써 에너지 절약이란 측면에서도 커다란 매력이라고 할 수 있다. 본 과제를 통해 얻어진 결과는 표3)과 같다. 조광을 위해 우리가 선택한 방법은 진폭 변조 방식으로 구동주파수 변조에 의한 관전류 제어방식이나 Duty ON/OFF 방식은 무전극 형광 램프 시스템의 높은 동작 주파수와 좁은 LC공진대역폭 때문에 적용이 불가능 하였으며, 진폭 변조 방식은 회로가 복잡해지고 제어가 용이하지 않다는 단점이 있으나, 마이컴을 이용한 제어를 통해 이러한 문제들을 해결할 수 있었다.

Boost 컨버터를 통해 승압된 400VDC는 Buck 컨버터를 통해 강압되는데 이는 마이컴에서 보내주는 신호에 따라 Buck 컨버터 스위치의 게이트 신호의 진폭을 변조시켜 결국 프로그래머가 의도한 조광이 이루어지게 된다. 따라서 프로그램에 따라 원하는 사양대로의 램프 조광이 가능하게 제작된 것이다. 본 과제에서는 조광범위를 10~100%까지 가능하도록 하였고 조광단계는 프로그램을 통해 세분화하였다. 또한 마이컴의 출력신호를 다변화하여 하나의 마이컴으로 최대 10set의 무전극 형광램프 전원 공급 장치를 제어할 수 있도록 확장이 가능하다.

그리고 향후의 연구개발을 통해 마이컴과 전원공급장치 사이의 신호선의 무선화, DA 컨버터 및 V/F 컨버터를 통한 무전극 형광 램프의 개별 동작 등의 다양한 기능의 조광이 가능해 질 것으로 사료된다.

하지만 무전극 램프의 특성상 최대 출력으로 안정화되어지는 시간이 필요하다는 점과 주위 온도에 따라 광출력의 변화가 발생하는 부분은 향후 보완되어야 할 사항이다.

본 연구는 중소기업청에서 시행한 중소기업 기술혁신개발사업으로 수행되었음.

[참 고 문 헌]

[1] B.D Bedford and R.G.Hoft, "Principle of Inverter Circuits " New York:John Wiley & Sons., Inc., 1964.

[2] H.S.Patel, R.G. Hoft, "Generalized techniques of harmonic elimination and voltage control in thyristor converter.", IEEE Transactions on Industry Applications. Vol. IA9. No.3 1937 pp.310 317 and Vol. IA10,No.5,1947,pp.666-673

[3] T.Ohnishi and H. Okitsu, "A novel PWM technique for three-phase inverter /converter," International Power Electronics Conference,1983,pp.206 216

[4] 김희준, "스위칭 전원의 기본 설계", 성안당.