

마이크로 프로세서를 이용한 전자식 안정기 설계

(Design of a Electronic Ballast using Microprocessor)

이창훈*

(Chang-Hoon Lee)

요 약

본 논문에서는 저가형 마이크로 프로세서를 이용한 형광등용 안정기의 인버터 구동회로를 설계하였다. 인버터 안정기의 고속 절체 주파수에 따른 스위칭 손실 및 모멘트 저하를 방지하기 위하여 소프트 스타트 기법이 사용되었으며, 설계된 전자식 안정기는 PWM 제어를 통한 스위칭 펄스의 안정화를 통해 안정기의 안정도 향상 및 형광등의 조도특성 개선이 가능하였다.

Abstract

In this study, design and control method using low cost Micro-controller(MCU) for inverter driving circuit in fluorescence lamp is presented. Soft starting technique is adopted to reduce switching loss and moment deterioration which are induced by high speed switching frequency in inverter ballast. Performance of the ballast stabilizer and the lighting characteristic of the fluorescence lamp have been improved by stabilizing switching pulses through the Pulse Width Modulation control.

Key Words : MCU, Inverter Driving Circuit, Soft Starting Technique, PWM control

1. 서 론

기존의 형광등용 전자식 안정기의 인버터 구동회로에서는 정확한 파라미터 선정이 어렵고, 주파수가 변으로 인한 조도제어가 정밀하지 못하다[1]. 본 논문에서는 저가형 MCU(Micro-Controller Unit)를 이용하여 소프트 스위칭과 인버터 구동 펄스를 안

정화함으로써 안정기내의 스위칭 손실을 절감하고 역률을 개선할 수 있는 인버터 구동회로를 제안하였다[2].

본 논문에서 설계된 전자식 안정기는 45[kHz]대의 고주파스위칭을 하면서 96[%] 이상의 역률과, 9[%] 이하의 전고조파 함유율(THD)을 나타낼 수 있었다. 또한 주파수 가변을 통한 조도조절 기능을 추가함으로써 에너지 절감이 가능하였다.

* 주저자 : 한라대학교 전기전자공학과 교수
Tel : 033-760-1246, Fax : 033-760-1251

E-mail : chlee@halla.ac.kr
접수일자 : 2006년 11월 14일
1차심사 : 2006년 11월 17일, 2차심사 : 2007년 1월 15일
심사완료 : 2007년 1월 30일

2. 전자식 안정기 시스템의 개요

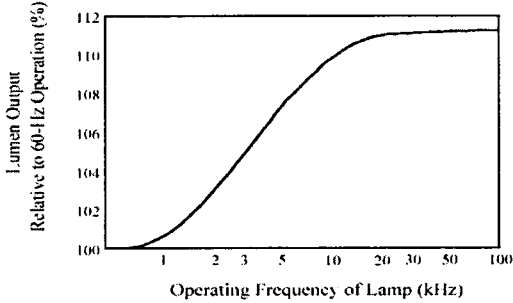


그림 1. 구동주파수에 따른 형광등의 점등효율
Fig. 1. Lighting efficiency along operating frequencies

전자식 안정기의 인버터 회로는 현재 상용되고 있는 Half-Bridge 방식을 채택하였다. Half-Bridge 방식은 스위칭 소자의 정격전압이 높지 않고, Voltage Doubler 구성으로 110/220[V] 겸용 회로를 구성이 용이하다. 그림 1은 구동주파수에 따른 형광등 점등 효율을 나타낸 것으로[3-4], 광 효율을 극대화시키기 위해서는 구동주파수가 20[KHz] 이상이 되어야 한다.

MCU에 의해 구현된 디지털 인버터 구동회로는 기존의 아날로그 구동용 IC로 구현했던 기능을 펄스 제어로 대체함으로써 소프트 스위칭과 구동펄스 안정화를 실현하였다. 또한 인터럽트와 A/D 변환 기능을 이용한 보호기능 및 조도조절 기능이 추가되었다.

2.1 밸리필 PFC(Power Factor Correction)

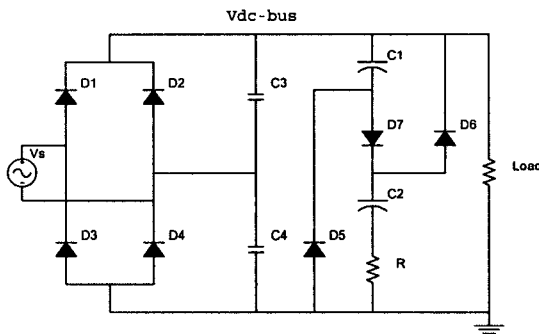


그림 2. 개선된 밸리필 수동역률개선회로
Fig. 2. Improved valley-fill PFC

개선된 Valley-fill PFC를 그림 2에 나타내었다. 기존의 Valley-fill 회로에서 커패시터 C3, C4 및 돌입전류 제한을 위한 저항(R)이 추가되었다. 이를 통해 기존의 Valley-fill 역률회로보다 돌입전류가 일정하였고, Crossover-Distortion이 감소하였으며, 역률 및 THD가 개선됨을 알 수 있다[3-6]. 그림 3, 4는 개선된 Valley-fill 역률개선회로를 사용하였을 경우의 출력 전압 및 전류에 대한 시뮬레이션 파형이다.

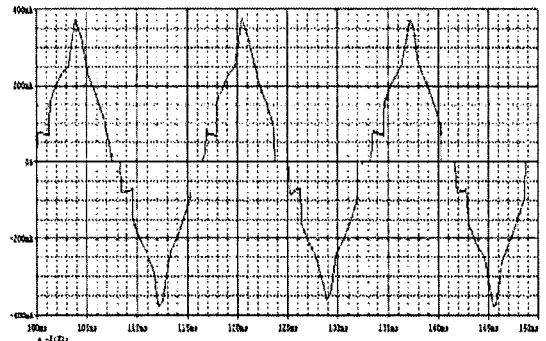


그림 3. 입력전류 시뮬레이션 파형
Fig. 3. Simulation waveform of input current

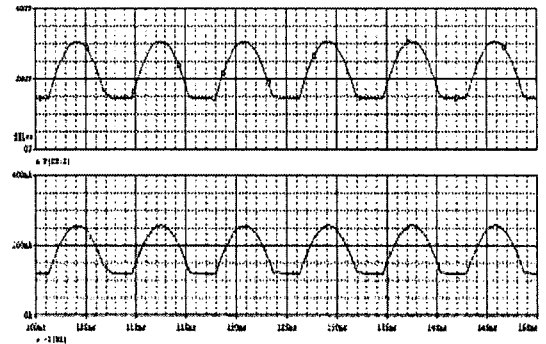


그림 4. 출력전압 및 출력전류 시뮬레이션 파형
Fig. 4. Simulation waveform of output voltage and output current

2.2 Half-Bridge 공진형 인버터 해석

전자식 안정기의 출력단에는 그림 5와 같은 공진형 하프 브리지 회로가 가장 많이 사용된다. 그림 5에서 MOSFET는 상하측이 교번으로 동작하게 되고 그에 따라 L-(C1, C2)의 공진이 이루어지게 된다.

마이크로 프로세서를 이용한 전자식 안정기 설계

MOSFET의 스위칭 주파수가 공진 주파수에 접근하게 되면 형광등에는 정현파의 전압이 가해지게 된다.

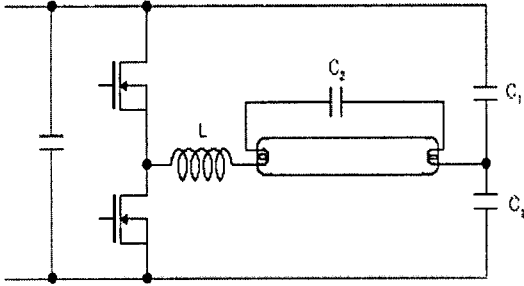


그림 5. 공진형 half-bridge 출력회로
Fig. 5. Resonant type half-bridge output circuit

초기에 램프를 점등하기 위해서는 정상시 방전 유지 전압보다 큰 전압을 인가해야 하는데 필라멘트가 충분히 가열되어 열전자를 많이 방출할 수 있을 때는 큰 충격 전압이 없이 방전할 수 있다. 따라서 램프 방전을 위해서는 공진 주파수보다 큰 주파수로 안정기를 동작시켜 전류가 수백[msec] 동안 필라멘트에 흐르도록 하는 Preheat과정이 필요하다.

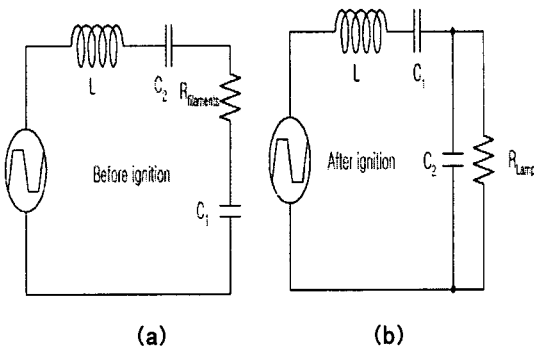


그림 6. 점등 전과 점등 후의 등가회로
Fig. 6. Equivalent circuit before and after ignition

그림 6 (a)는 점등 전의 등가 회로이다[7]. 그림에서 $R_{filaments}$ 는 램프 양단 필라멘트 저항의 직렬합으로 정의하였다. 먼저 점등전의 LC공진회로의 이득을 구하기 위해 (a)회로에 흐르는 전류를 i_1 , $C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ 라고 하고 공진주파수를 f_0 구하

면, 식 (1)과 같다.

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_T}} \quad (1)$$

이때 양호도(Quality Factor) Q를 구하면 Q의 정의에 의해 식 (2)와 같이 주어진다.

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C_T}} \quad (2)$$

점등전의 램프저항 R_{Lamp} 는 거의 무한대이고 필라멘트 저항 $R_{filaments}$ 는 약 2~5[Ω]이기 때문에 점등전의 공진 회로에는 양호도 Q-Factor가 상당히 크게 나타난다. 점등 전 공진주파수의 입출력 이득을 구하면 식 (3)과 같다.

$$\left| \frac{V_{C_2}}{V_{in}} \right|_{\omega=\omega_0} = \frac{1}{\omega_0 RC_2} = \frac{\sqrt{LC_T}}{RC_2} \quad (3)$$

식 (3)을 통하여 공진 전의 입출력 이득은 L과 C에 따라 상당히 큰 값을 만들 수 있음을 알 수 있다. 램프가 방전을 개시하면 양단 저항은 수백[Ω] 정도로 낮아지고 전류는 램프와 램프에 병렬로 연결된 콘덴서를 통하여 흐른다. 점등 후 각 회로의 전류 i_1, i_2 를 그림 7과 같이 정의한다.

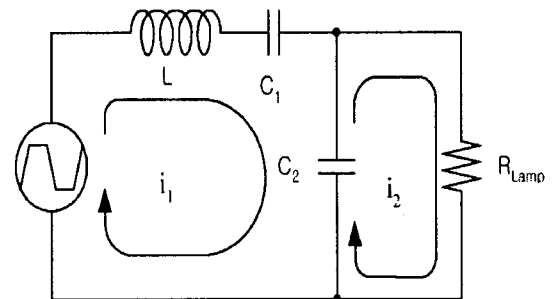


그림 7. 점등 후 공진 회로의 전류 정의
Fig. 7. Loop current of resonant circuit after ignition

LAMP 저항 R_{Lamp} 를 R로 정의하고 전류 i_2 를 통해 점등 후의 공진주파수를 구하면, 공진주파수

f_0 는 식 (4)와 같다.

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}} \quad (4)$$

점등후의 공진 주파수는 램프에 병렬로 취부된 콘덴서 C_2 값에 무관한 값이라는 것을 주의해야 한다. 저항 R에 걸리는 전압 V_{LAMP} 는 $V_{LAMP} = i_2 R$ 이므로 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC_1}}$ 에서의 입출력 이득은 식 (5)와 같다.

$$\left| \frac{V_{LAMP}}{V_{in}} \right|_{\omega=\omega_0} = \frac{R}{R} = 1 \quad (5)$$

식 (5)에서 보듯이 공진 주파수에서 입출력 이득은 1이며 따라서 입력 전압이 공진 주파수에 있다고 하더라도 큰 이득은 얻을 수 없음을 알 수 있다. 공진주파수의 물리적인 의미는 공진 주파수에서 허수부=0이 되는 주파수이지만 그림 7과 같이 저항 성분이 회로 내에서 무시할 수 없을 때는 반드시 공진 주파수에서 최대이득이 일어난다고 볼 수 없다.

실제 램프 저항은 100~300[Ω]정도의 값을 가지므로 입출력 이득은 1.1정도이고 주파수는 이론적 공진주파수인 $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}}$ 보다 약간 큰 값을 갖는다.

램프의 저항은 온도나 주파수 전류 크기 등에 따라 가변하게 되는데 이 저항 값은 전류가 증가함에 따라 80[%] 정도 상승한다. 따라서 실제 전자식 안정기의 점등 후 동작 주파수는 $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}}$ 보다 약 5~8[kHz]정도 크게 동작을 시켜야 한다.

2.2.1 형광램프 스타트 방식

스타트 방식의 경우 T8형 32[W] 램프용 전자식 안정기에서 많이 사용된 순시시동(instant start) 방식과 소프트 스타트방식이 있다. 순시시동 방식의 경우, 시동 시 또는 점등 시 전극의 가열이 없는 것으로 추가 손실이 없지만 높은 시동전압이 발생되어 램프의 수명을 단축하게 된다. 소프트 스타트 방식의 경우, 램프 점등 전 예열 기간 동안 램프양단에 전압을 제어하여 글로우 방전을 특정 한계 이내로

억제하면서 필라멘트에 적당한 가열을 하는 것으로 필라멘트에 미치는 충격을 최소화하기 위한 것이다.

2.2.2 스위칭주파수 가변에 의한 조도조절

형광등의 휘도는 인가되는 전력에 비례한다. 따라서 전자식 안정기의 인버터 출력을 제어함으로써 조도제어(Dimming)가 가능하다. 램프 전력을 저감하기 위한 방법은 스위칭 주파수를 제어하는 것이다. 만약 스위칭 주파수가 증가하면, 인덕터의 임피던스는 증가하며, 인덕터 전류는 감소하게 된다. 따라서 스위칭 주파수의 증가는 램프 전력(즉 빛의 세기)의 감소를 의미한다[8-9].

3. 디지털 인버터 구동회로 설계

인버터 안정기의 설계요건을 만족하기 위해 MCU는 PIC시리즈 16F716를 사용하였다. 16F716은 저가형 8비트 마이크로 컨트롤러이고, 내부에 타이머/카운터 기능과 외부 인터럽트 기능 등이 내장되어 각종 제어를 용이하게 한다[10]. 기준 주파수는 외부 발진소자 혹은 내부 발진을 이용하면 오차가 1[%] 이내이므로 정밀한 주파수 제어가 가능하다.

그림 8과 같이 본 연구에서 구현하고자하는 인버터 안정기의 주된 설계요건을 요약하면 다음과 같다.

- (1) Half Bridge 공진시스템을 동작시키기 위한 인버터 구형파를 가변
- (2) 45[kHz]정도의 고주파를 이용한 점멸을 통해 플리커 현상 및 직렬 리액터를 극소화
- (3) 소프트 스위칭회로를 사용하여 스위칭 손실과 램프의 점등을 최적화
- (4) 예열시간 조절
- (5) 보호회로(무부하, 과전류) 설계
- (6) 소형, 저가형 인버터 구동 IC 사용

3.1 PIC16F716 전원회로

PIC16F716 IC에서 요구하는 전류는 출력 핀 HI, LO에서 각각 20[mA]씩 전체 40[mA]이므로 DC-link 전압에서 분배저항을 통해 IC 전원을 공급할 경우 저항에서 열손실이 크기 때문에 그림 9와 같

마이크로 프로세서를 이용한 전자식 안정기 설계

은 SMPS(Switching Mode Power Supply) 회로를 이용해 열손실을 최소화하였다.

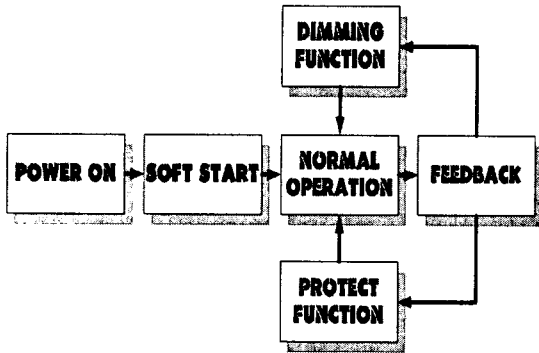


그림 8. 디지털 전자식 안정기 기능구현도
Fig. 8. Function diagram of digital electronic ballast

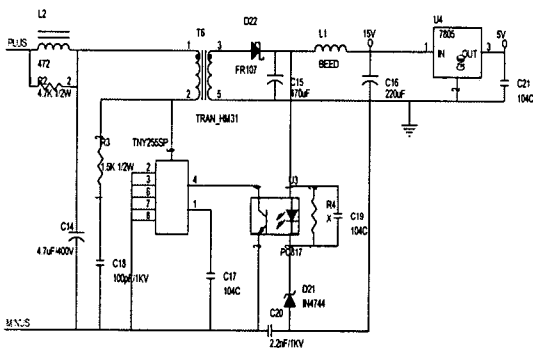


그림 9. PIC용 SMPS 회로
Fig. 9. SMPS circuit for PIC

3.2 소프트 스타트부

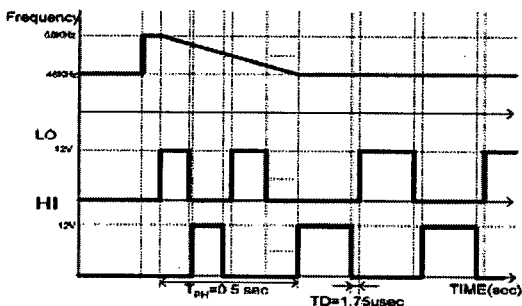


그림 10. 소프트 스타트 시 인버터 파형
Fig. 10. Waveforms of inverter outputs after soft start

소프트 스타트부의 동작은 MCU에 설정된 초기 스위칭 주파수 변수 값을 내장 타이머를 이용해 출력하고, 일정 간격으로 주파수 값을 균일하게 감소시킨다. 그림 10은 소프트 스타트 시 인버터 구동 IC의 주파수 및 LO, HI 파형을 보여준다. 고주파 점등을 하기 때문에 초기 예열이 가능하고 변수 값 조절만으로 예열시간 및 예열 주파수를 조절할 수 있다[1].

3.3 조도제어부

그림 11은 PIC16F716을 이용한 구동주파수 발생부의 회로도이다. 소프트 스타트 동작 후 정상 구동 상태에서, 조도조절용 가변저항 값이 변하는 것을 감지하면 그에 따른 주파수를 조절할 수 있도록 구성하였다. 가변저항 값이 변하지 않거나, 보호기능과 같은 외부 인터럽트가 동작 되지 않으면, 설정된 주파수를 고정 출력한다.

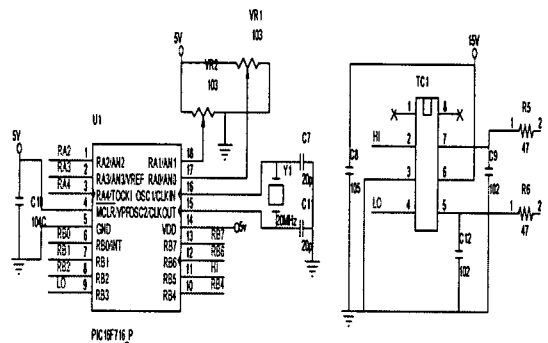


그림 11. 구동주파수 발생부 회로
Fig. 11. Circuit for generating driving frequency

3.4 보호기능

보호기능은 무부하 및 과전류 두 가지 상황에서 동작된다. 무부하 시 안정기는 불필요한 스위칭에 의해 MOSFET에 열이 발생하게 된다. 이를 방지하기 위해 공진 인덕터의 주 권선에 보조권선을 감아 그 전위차를 MCU에서 입력받아 무부하시에 스위칭을 멈추도록 설계하였다.

과전류 인가는 화재의 원인 된다. 이를 방지하기 위해 형광등 출력단에 검출저항을 삽입하여 전류값

을 피드백 받는다. 전류값이 설정된 최대값 이상이 되면 MCU는 절전모드로 동작하게 한다.

4. 실험 및 결과

본 논문에서 설계된 T8 32[W] 형광램프용 전자식 안정기는 공진주파수 안정이 우선 고려되어야 한다. 아날로그 방식을 채택한 안정기는 수동소자를 이용하여 공진주파수를 설정하기 때문에 게이트 펄스에 오차가 발생하지만, 본 연구에서 설계된 형광램프용 전자식안정기는 디지털 방식으로 게이트 펄스를 발생하기 때문에 공진 값에 해당하는 주파수를 오차 없이 출력 가능하고 T8 32[W] 형광램프 전자식 안정기로서의 특성 안정화가 함께 고려되었다.

설계된 T8 32[W] 형광램프용 전자식 안정기의 입·출력 특성 및 게이트 펄스의 안정도 부분을 평가하기 위하여 입력전류, 출력전류, 출력전압과 고조파, 역률, 게이트 파형에 대하여 실험을 실시하였다.

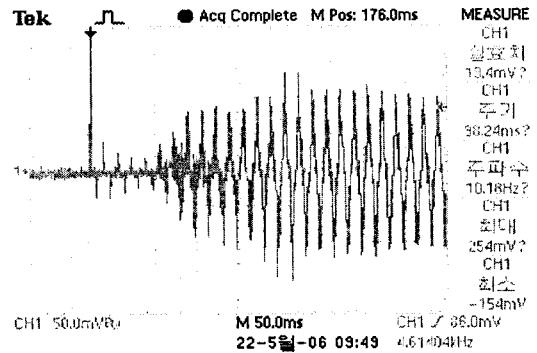
4.1 입력전류

입력전류는 안정기 동작특성을 좌우하기 때문에 안정된 파형이 공급되어야 한다. 본 논문에서는 220[V] 60[Hz]의 교류파형을 설계된 T8 32[W] 형광램프용 전자식안정기에 인가하였을 때의 입력전류 파형을 확인하는 방법으로 그 성능을 평가하였다.

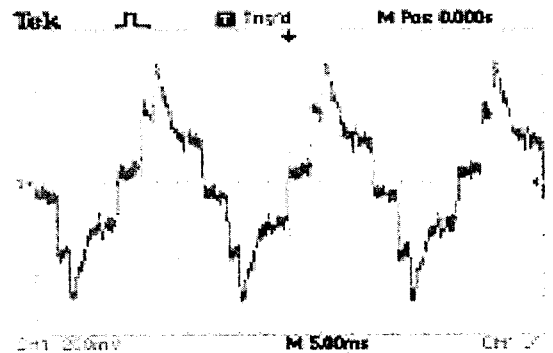
그림 2와 같이 설계된 역률개선용 회로[2]에 앞에서 언급한 220[V] 60[Hz]의 교류파형을 인가하고 오실로스코프와 전류 프로브를 사용하여 점등 시 소프트 스타트 파형과 점등된 후 1시간의 에이징을 한 후의 입력전류 파형을 계측하였다.

측정된 입력전류 파형은 그림 12와 같다. 그림 12 (a)에서 보듯이 형광등 점등 시 돌입전류를 차단했고, 그림 12 (b)에서 알 수 있듯이 그림 3에서 도시된 램프 구동시의 밸리필 시뮬레이션 결과와 같은 파형이 출력됨을 알 수 있다. 그림 12 (a)의 15[msec] 지점에서 측정되는 피크 파형은 전원공급 회로의 인덕터 성분에 의해 비정상적으로 발생하는 현상으로 돌입전류와는 상관이 없으며, 또한 형광등 점등 특성에도 영향을 주지 않는다. 그림 13 (a), 그림 14 (a)에

서 보이는 초기 과형 공백도 비정상적인 전류 피크 현상에 의해 측정되는 파형이다.



(a) 소프트 스타트 시
(a) After soft start



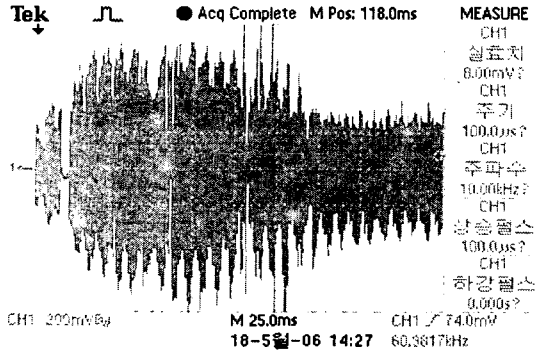
(b) 구동 시
(b) After ignition

그림 12. 입력전류 파형(100(mV)->1(A))
Fig. 12. Waveform of input current(100(mV)->1(A))

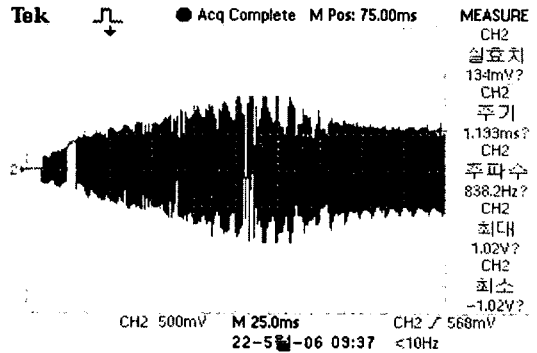
4.2 출력전류

출력전류는 형광등 양단의 전류 측정을 통해 형광등에 인가되는 파형의 안정도와 공진파형을 확인하였다. 출력전류 역시 소프트 스타트 시와 램프 구동 시 파형을 측정하였으며 소프트 스타트 시 전류 인가 정도를 확인할 수 있다. 그림 13 (a)에서와 같이 본 연구에서 구현하고자 하는 소프트 스타트 방식에 충분한 예열전류가 흐름을 알 수 있고, 이를 통해 형광등 순시시동으로 인한 필라멘트의 흑화현상을 줄일 수 있다. 그림 13 (b)는 램프 구동시의 파형으로 일반적인 형광등의 출력전류 파형과 동일하다.

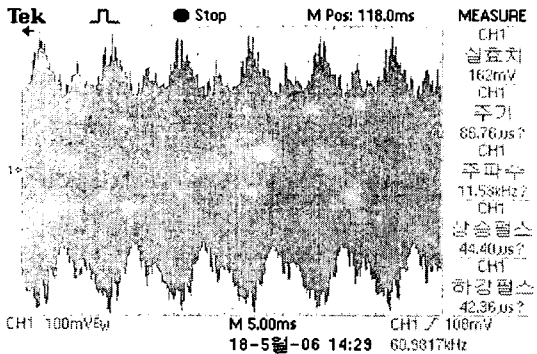
마이크로 프로세서를 이용한 전자식 안경기 설계



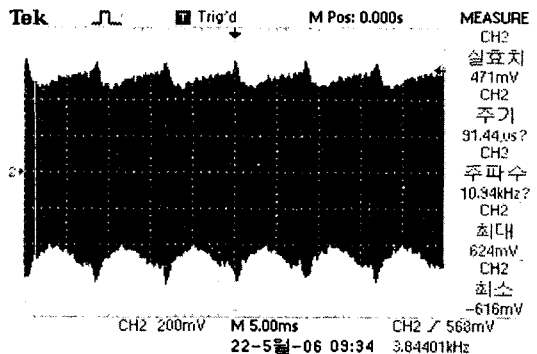
(a) 소프트 스타트 시
(a) After soft start



(a) 소프트 스타트 시
(a) After soft start



(b) 구동 시
(b) After ignition



(b) 램프 구동 시
(b) After ignition

그림 13. 출력전류 파형(100(mV)->1(A))
Fig. 13. Waveform of output current(100(mV)->1(A))

그림 14. 출력전압 파형(100(mV)->50(V))
Fig. 14. Waveform of output voltage(100(mV)->50(V))

4.3 출력전압

형광등 양단에 인가되는 전압 측정을 통해 소프트 스타트시의 예열 전압변화와 설계한 공진회로에 의해 형광등 점등전압에 도달하는지 여부를 확인할 수 있다. 오실로스코프와 절연프루브를 사용하여 형광등 양단의 전압을 측정 한 결과는 그림 14와 같다.

그림 14 (a)는 전원 인가를 통해 MCU가 Power On Reset 된 후 소프트 스타트 알고리즘을 실행할 때의 파형을 Single Shot으로 측정 한 것이다. 그림 14 (b)는 정상 구동시의 출력전압으로 밸리플 역률 개선회로를 사용한 파형이다.

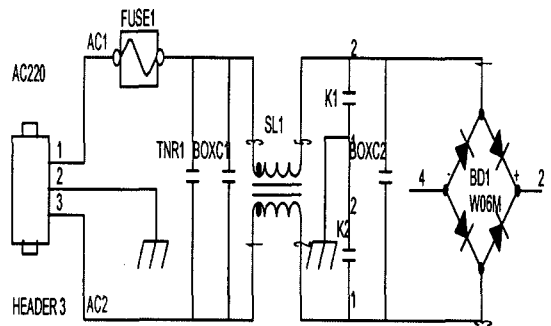


그림 15. 고조파 필터회로
Fig. 15. Circuit for filtering harmonic distortion

4.4 고조파필터 및 역률개선회로

그림 15는 고조파 필터 회로이다. 인가된 전원은 고조파 필터를 통과함으로써 불필요한 고조파가 제거되고, 벨리필 방식의 역률개선 회로를 통과함으로써 역률 95[%] 이상의 고역률을 출력할 수 있다. 실제로 AC Power Meter를 사용하여 역률을 측정하면 결과 96.4[%]의 높은 역률을 얻을 수 있었다.

4.5 게이트 회로

그림 16이 게이트 회로도이다. 게이트 회로에서는 설계한 공진 주파수에 해당하는 게이트 펄스를 디지털 소자를 사용하여 출력함으로써 아날로그 방식보다 정밀한 고정주파수 출력이 가능하다. 이로 인해 장시간 사용한 안정기에서 나타나는 공진주파수 변동에 의한 안정기 성능저하를 감소시킬 수 있다

주파수 가변을 통해 램프의 전력, THD, 그리고 역률을 측정하였다. 표 1에서 알 수 있듯이 주파수가 상승해서 공진점 으로부터 멀어질수록 전압이득은 감소하고, 램프전력은 최대값의 1/2로 줄어들어 에너지 소비를 반감시킬 수 있다는 결론을 도출하였다. 그러나 주파수를 높일수록 THD는 상당히 증가하고, 역률이 다소 떨어짐을 알 수 있다.

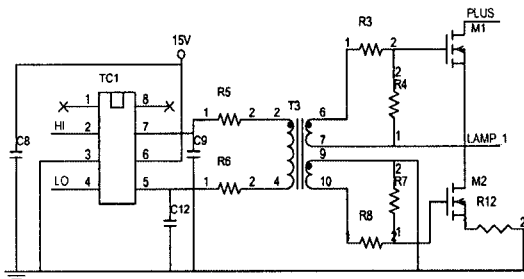


그림 16. 게이트회로
Fig. 16. Gate circuit

표 1. 주파수 가변에 따른 특성변화
Table 1. Characteristics along frequency change

주파수[kHz]	45.45	53	60	63
램프파워[W]	31.5	25	17.5	14
THD[%]	9	11	25	35
역률	0.96	0.94	0.93	0.91

표 2는 기존 전자식 안정기의 특성을 보여주고 있다[11]. 표 2에서 보는 바와 같이 기존 벨리필 방식보다는 본 연구에서 제시된 방식이 45[kHz] 대에서 역률 및 THD 특성이 개선된 것을 알 수 있다.

표 2. 전자식 안정기의 특성 비교
Table 2. Comparison table of characteristics of electronic ballast

방식	역률	THD
기존 벨리필 방식	92[%]	36[%]
Dizzer PFC 방식	96[%]	16[%]

5. 결론

현재 국내 안정기는 자기식 혹은 공진특성이 제대로 적용되지 않는 전자식 안정기들이 대부분이며 앞으로 적용될 전력 품질 규정에 대비한 새로운 성능이 요구되어 진다. 본 논문에서는 LCC 직병렬 공진회로와 MCU를 사용하여 형광등용 전자식 안정기의 인버터 구동회로를 설계하였고, 실험을 통해 다음과 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 전자식 안정기는 약 45[kHz]대의 주파수에서 동작하며 96[%] 이상의 높은 역률 특성을 지니고 있다.
- 2) 전고조파 함유율(THD)이 10[%] 이하로 저고조파 함유임을 알 수 있다.
- 3) 소형 저가의 MCU 사용으로, 기존의 자기식 또는 일부 전자식 안정기에 비해 소형, 경량화가 가능하다.
- 4) MCU 채용을 통해 조도조절, 보호회로, 그리고 소프트 스타트 등의 구현이 가능하다.

MCU의 알고리즘만으로 모든 아날로그의 성능의 구현이 가능하였고, 이로 인해 회로의 유연성 및 설계의 폭이 다양해졌으며, 별도의 회로 구성 없이 프로그램 수정만으로도 제어가 가능하였다. 소프트 스위칭과 인버터 구동 펄스를 안정화함으로써 아날로그 방식이 가지고 있는 파라미터 선정의 어려움이나 주파수의 가변으로 인한 조도제어의 오차를 감소할 수 있었고, 아날로그 방식에 비해 안정된 파형을 MOSFET에 공급해 줌으로써 안정기내의 스위칭 손

마이크로 프로세서를 이용한 전자식 안정기 설계

실의 감소와 역률 향상이 가능한 인버터 구동회로를 설계하였다.

따라서 앞으로 차세대 전자식 안정기로서 기존 안정기를 대체하여 실용화함으로써 에너지 절감효과가 매우 클 것으로 사료된다.

References

- (1) 송상빈, 궤재영, 여인선, "형광램프용 Dimming형 전자식 안정기 및 원격제어 시스템의 회로설계", 한국조명·전기설비학회 논문집, 1999. 5. pp.17~23.
- (2) 주성준, "가장 간편하고 튼튼한 형광등 안정기용 반도체 IP3101의 사용법", 응용노트, INTERPION 반도체, 2003.
- (3) K. Kit Sum, "Improved Valley-Fill Passive Current Shaper", PCIM 7, 1998, P42~50.
- (4) Parviz Parto and Keyue M. Smedley, "PASSIVE PFC FOR FLYBACK CONVERTORS", PCIM Conf., 1998, pp.1~7.
- (5) 송명석, 박종연, "수동역률 개선회로의 특성비교", 강원대학교 정보통신 논문지 제7호, 2003.
- (6) 한재현, 박종연, 박재일, "8등 형광 램프용 전자식 안정기 설계" 강원대학교 정보통신 논문지 제 7호, 2003, pp.184-189.
- (7) 이은화, 장준영, 송요창, 박창훈, "형광등용 전자식 안정기의 설계", 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회 논문집, 2004. 5, pp.34~39.
- (8) NLFP's Specifier Report : Dimming Electronic Ballast, 1999.
- (9) NLFP's Specifier Report : Electronic Ballast, 2000.
- (10) Microchip, Tips & Tricks Using the 18-Pin PIC16F716, Part I: The RC Timing Method.
- (11) 송명석, 박종연, "형광등용 전자식 안정기에서 수동역률 개선회로의 특성비교", 강원대학교 정보통신논문지, Vol.7, 2003, pp.179-183.

◆ 저자소개 ◆

이창훈 (李昌勳)

1960년 8월 23일생. 1983년 연세대학교 공과대학 졸업. 1985년 연세대학교 대학원(석사). 1991년 연세대학교 대학원(박사). 현재 한라대학교 전기전자공학과 교수.