

Onechip Microcontroller에 의한 압전 변압기를 이용한 T5 28W급 형광등 전자식안정기에 관한 연구

황락훈, 신양호, 조상로, 장은성, 조문택*, 안익수*, 김주래**
세명대학교 전기공학과, 대원과학대 전기과*, C&C TECH co.,LTD**

A study on T5 28W Class Fluorescent Lamp Ballast using a Piezoelectric Transformer by means of Onechip Microcontroller

L.H. Hwang, Y.H. Shin, S.R. Cho, E.S. Jang
M.T. Cho, I.S. Ahn, J.R. Kim

Dept of Electrical Engineering, Semyung University, Jechon, Chungbuk, 390-711, Korea
Dept of Electrical Engineering, Daewon Science College, Jechon, Chungbuk, 390-702, Korea

ABSTRACT

In this paper, In order to solve the problem is proposed using a new type of electronic ballast that the traditional magnetic ballasts operated at 50-60Hz have been suffered from noticeable flicker, high loss, large crest factor and heavy weight which is composed of rectifier, active power corrector, series resonant half bridge inverter, micro-controller and piezoelectric transformer for driving for driving T5 fluorescent lamp were manufactured. The proposed electronic ballast operated at high frequency (about 75kHz) shows a input power factor of more than 0.995, total harmonic distortion of less than 12% and lamp current crest factor of less than 1.5, respectively. Output power and efficiency showed 28w and 85%, respectively. Accordingly, it is considered that the ballast using piezoelectric transformer can replace the typical electronic ballast.

1. 서론

압전 변압기는 1960년대에는 TV의 수평 발전 회로에 이용되는 고압 변압기로서 개발되었지만 고출력 특성을 얻기가 어렵기 때문에 개발이 중단되었다가 고출력용 압전 세라믹의 개발이 진행되면서 1994년 NEC사에 의해 노트북 PC용 액정 표시 장치의 배면 광원용 인버터에 사용하기 위한 대칭형 로젠 3차 방식의 압전 변압기가 개발되는 등 많은 연구가 활발히 진행되고 있다^{[1][2]}. DC-DC 컨버터의 소형화를 위해서도 압전 변압기가 도입되었다. 컨버터를 소형화하기 위해서는 동작 주파수의 상승이 필연적인데, 기존의 권선형 변압기로는 코어 손실이 문제가 되어 동작 주파수 상승이 제한되었다. 하지만 압전 변압기는 이러한 코어 손실이 존재하지 않으며

로 비교적 고효율을 얻으며 전원장치의 소형화를 가능하게 할 수 있다. 이 응용분야에서 현재 논의되고 있는 문제는 압전 변압기의 고효율 구동을 위한 회로의 개발, 입력 전압과 출력 전압의 변동을 동시에 제어하는 문제, 그리고 구동 전력의 한계를 극복하는 문제 등으로 요약될 수 있다^{[3][4]}. 무엇보다도 전력전자 분야에서 압전 변압기를 응용하려고 할 때 가장 큰 문제가 되는 것은 전력 구동 능력인데, 더 큰 전력을 구동하기 위해서는 재료분야와 회로분야에서 더 많은 연구가 필요하게 된다.

2. 압전 변압기를 사용한 전자식 안정기

2.1 회로 동작 특성¹

압전 변압기(PT ; Piezoelectric Transformer)를 이용한 전자식 안정기의 기본 구동시스템은 그림 1과 같이 이루어진다. 압전 변압기는 구동부의 입력측에 일정주파수를 지닌 전압을 인가하면, 같은 주파수의 전압이 압전 변압기의 발전부에서 압전 변압기의 크기에 관계되는 변압비 만큼의 크기로 변환되어진 전압 및 전류가 출력측에서 발생하게 된다. 이를 이용하여 형광램프의 방전과 안정상태 전류 유지를 이루게 된다. 제작된 안정기에서는 구동주파수 70~80[KHz]범위로 램프 방전 및 전류 유지에 필요한 압전 변압기 출력을 유지토록 하고 있으며, 회로 측과 형광램프 측은 압전 변압기 특성상 입력과 출력 측이 절연(Isolation)되어 있다.

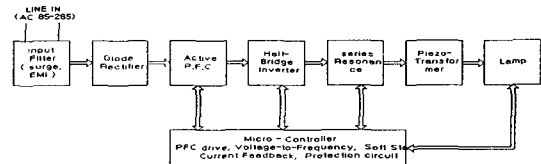


그림 1 전자식 안정기 기본 블록 다이어그램
Fig. 1 System Block diagram.

2.1.1 전체 시스템 개요

전체회로의 동작은 상용전원(90V-265V, Free Voltage)의 입력을 받아 서지 억제를 위한 필터를 거쳐 전파 정류된 직류 전압을 지니게 되며, 역률 개선 회로에 의해 승압되어지고 역률 개선을 이루게 된다. 제어된 직류 링크 전압은 400V까지 승압되어진 일정 전압을 지니게 되고, 다시 하프브리지 인버터(Half-Bridge Inverter)에 의해 일정한 고주파수를 지닌 전압으로 변환되어 직렬 공진회로에 인가되어지게 되면 다시 정현파의 형태를 지니고 압전 변압기에 인가 되어지므로서 압전 변압기의 1차 측에 진동을 유도하게 된다. 이 진동은 다시 압전 변압기의 2차 측에 의해 전압형태를 지니게 됨으로서 램프 방전 및 전류 유지를 이루게 된다.

2.1.2 입력 및 정류 회로

제작된 전자식 안정기는 입력전원을 역률 개선 회로의 승압형 변압기를 이용함으로써 90V~265V까지의 입력을 받아 구동가능하며, 입력 회로부는 교류 입력전원을 통해 들어오는 잡음 제거를 위해 필터(Line Filter)와 써지(Surge)전압 억제를 위한 (Surge Absorber)회로로 구성되어 있다. 잡음 제거를 위해 사용되어진 라인필터(Line Filter)는 EMI제거를 목적으로 빠른 스위칭동작으로 발생하는 내부 잡음(Noise)이 입력전원 측으로 흘러 들어 가거나 발산되지 않도록 필터와 콘덴서의 X, Y형 회로 구성을 이루었다. 또한 전원 입력측으로부터 낙뢰나 순간적인 과전압 등의 써지(Surge)가 인입될 경우 이를 제거하여 2차 측 회로를 보호하기 위한 목적으로 써지 흡수 회로(Surge Absorber)회로를 구성하였다. 입력전원 측 보호회로를 거친 교류 전압은 제어를 위해 직류 전압으로 바뀌어지는데, 이를 위해 전파 정류 회로와 평활용 캐패시터를 사용하여 정류 회로(Rectifier Circuit)를 구성하였다. 일반적으로 전압 정류 방식은 R,C필터에 의해서 리플(Ripple)성분을 줄이고 있으나, 부피 및 가격의 측면에서 캐패시터 용량이 제한을 받게 된다. 교류 60[Hz]전압을 직류전압으로 변환시키는 회로로서 트랜스레스(Transless)콘덴서 입력정류 방식을 쓰는 것이 보통이다. 이 경우는 약 60% 전후의 낮은 역률 임을 감안하여, 역률 개선을 통하여 고역률(高力率)화 시켜줄 필요가 있다.

그림2 (a)는 정류부 회로도이고 (b)는 승압형 컨버터를 나타내고 있으며 사용되어진 캐패시터 C1은 저주파용 캐패시터이고 C2 및 C3는 스위칭시 발생하는 잡음(Noise)을 제거하기 위한 고주파용 캐패시터이다

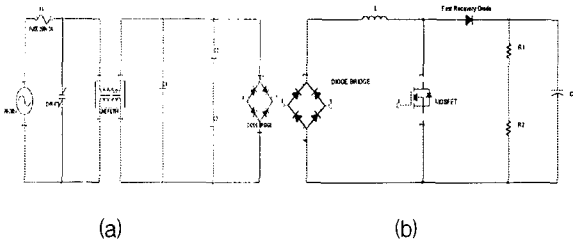


그림 2 정류 회로부와 승압형 컨버터회로
Fig 2 Rectifier(a) and Boost converter circuit(b)

일반적으로 정류 회로의 출력 전압은 리플을 지닌 불연속적 형태임으로 인해 입력전압의 왜곡과 입력전류의 고주파에 의한 주변기기에 악영향을 미치게 되며, 입력전류에는 기본파의 기수배에 상응하는 고조파 성분을 내재하고 있으며, 또한 전류와 전압의 위상 변위 등으로 인해 낮은 역률 (PF ; Power

Factor)을 지니게 된다. 역률 개선 회로의 궁극적인 목표는 이러한 총고조파 왜곡률 (THD ; Total Harmonic Distortion)을 낮게 함으로서 정류기 입력단에서 볼 때 스위칭 전원이 저항 부하와 같이 동작하도록 하는 것이다. 또한, 입력전압에 따른 입력전류를 설정하여 전압과 전류의 비를 일정하게 만들어 줌으로서 역률 1이 되게 하여 입력전압에 대한 입력전류의 위상 변위가 발생하지 않도록 하는 것이다. 역률 개선의 방법에는 일단 역률 개선과 이단 역률 개선의 방법이 있는데 본 연구에서는 승압형 컨버터(Boost Converter)를 기본으로 한 이단형 역률개선을 적용하였다. 이는 램프의 방전이 용이하도록 직류 전압을 승압하기 위한 승압형 컨버터(Boost Converter)를 내장함으로써 입력전압을 일정 범위(교류 90V~265V)에서 주어진면, 출력 측의 저항비를 이용하여 일정한 직류 출력전압을 유지함으로써 자동전압(Free Voltage) 구동이 가능토록 하여 준다. 이러한 승압 작용은 인덕터에 흐르는 전압을 이용하여 자체 스위칭 동작에 의해 전류가 '0' 이 되는 점을 찾아내는 영전류 검출(ZCD ; Zero Current Detection)방법을 이용하여 외부에 연결되어진 MOSFET를 스위칭 함으로서 일정한 직류 전압이 얻어지게 된다. 승압 작용을 이용한 역률개선의 기능을 다시 살펴보면, 정류되어진 교류 전압은 승압형 컨버터(Boost Converter)에 이르게 되고, 이는 스위칭 기술을 이용하여 정류된 전압을 일정한 출력을 유지하는 직류 출력전압으로의 승압을 이루게 된다. 승압형 컨버터는 인덕터와 스위칭 소자로서의 MOSFET, 빠른 스위칭 동작을 할 수 있는 다이오드와 평활용 캐패시터로 구성되어지며, 기본 개략도는 그림 2(b)와 같이 표현되어진다. 실험에 사용되는 MOSFET의 스위칭 동작은 부스트 인덕터의 온-타임(On-time)을 이용한 방식으로 MOSFET가 턴오프(Turned-Off)되면 인덕터는 이 전류가 '0'이 될 때까지 방전을 하게 된다. 인덕터의 방전이 끝나면 스위칭 소자의 드레인 점은 플로팅(Floating)되어지고, 인덕터는 드레인측의 캐패시터스에 의해 공진하게 되며, 드레인 전압은 즉시 선전압 이하로 떨어지게 되고, 다시 영전류 검출 신호에 의해 MOSFET는 온(On)되어지게 되고, 또 다른 주기가 반복되게 되어진다. 외부 스위칭 소자에 흐르는 낮은 턴-온(Turned-On) 전압은 스위칭 손실을 줄일 수 있게 됨으로 스위칭소자의 안전 동작영역(SOA ; Safety Operation Area)을 확보할 수 있게 된다. 인덕터 전류와 MOSFET의 ON-OFF 주기의 결과는 그림 3과 같이 표현되어 질 수 있다.

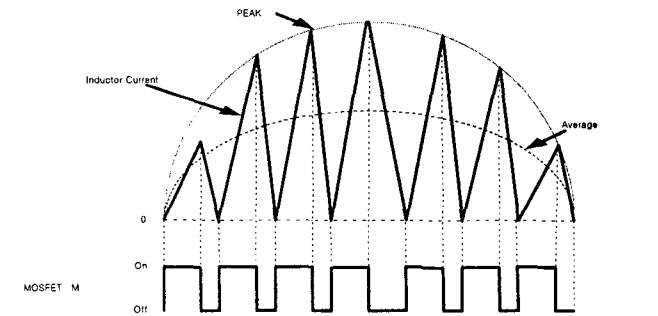


그림 3 MOSFET의 스위칭 주기 모델링
Fig 3 Switching time modeling of MOSFET

그림 4는 실제 회로의 파형을 나타낸 것으로 실제 MOSFET의 게이트(Gate)측의 입력 전압 파형과 인덕터 자체 내에서의 전류 스위칭 파형을 측정한 것이다. 일반적으로 인덕터의 승압작용(Boost)에 필요한 스위칭 동작은 20[KHz] 이상으로 함으로서 출력 측 전압을 보다 안정된 형태로 유지해 낼 수 있으며 본 실험에서는 30[KHz]대의 주파수를 사용하였다.

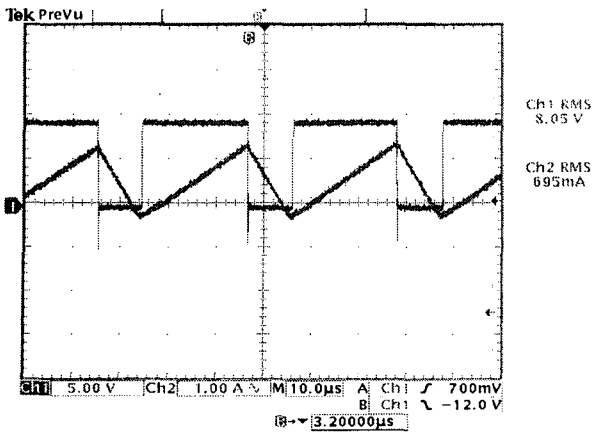


그림 4 PFC 인덕터에 전압과 전류 파형
Fig 4 Voltage and current waveform of PFC inductor

2.1.3 안정기의 제어회로

제어 회로부는 발진 회로부와 궤환 제어(Feedback Control) 회로부로 나눌 수 있는데, 발진 회로부는 인버터의 동작 주파수를 만들어 주는 것이고, 궤환 제어회로부는 램프의 동작 상태를 검출하여 마이크로 컨트롤러에 제어하기 위한 것이다.

본 연구는 원칩 마이크로 컨트롤러(One-Chip Micro Controller)를 이용한 전압 제어 발진 방식을 통해 구동 주파수 발진을 이루었다.

사용되어진 마이크로컨트롤러는 아트멜(Atmel)사의 AT90S4433으로 RISC(Reduced Instruction Set Computer)구조로 대부분 단일 사이클(Cycle) 명령을 실행할 수 있다. 또한 연산과 데이터 저장에 한 번에 할 수 있는 하바드 구조(Harvard Architecture)를 가지고 있으므로 빠른 처리 능력을 지닌다.

또한 전이중 방식의 UART, SPI(Serial Programming Interface), ADC(Analog Digital Conversion)의 기능이 내장되어 있어 다양한 외부 접속이 가능하다. 그리고 타이머/카운터(Timer/Counter)기능과 입력 캡처(Capture), 외부 인터럽트(Interrupt)기능 등이 내장되어 각종 제어를 용이하게 한다.

하프브리지 인버터(Half Bridge Inverter)의 발진 주파수를 제어하기 위해 본 연구에서는 전압제어 발진(VCO ; Voltage Controlled Oscillator)방식을 채택하였다. 이는 외부로부터 가해진 전압에 따라 발진 주파수를 변화시키는 발진방식으로 V-F(Voltage to Frequency)변환 회로라고도 한다. 제안된 발진 방식의 블록 다이어그램은 그림 5와 같이 나타 낼 수 있다.

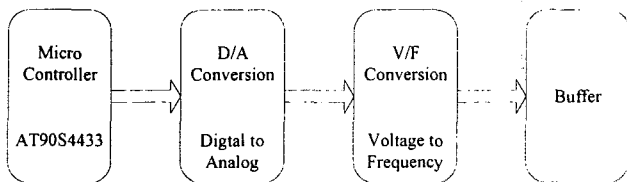


그림 5 주파수 발진의 블록 다이어그램
Fig. 5 Block diagram of micro-controller circuit.

마이크로 컨트롤러에서 내려진 지령값(reference)은 자체 포트(Port)에 의해 출력 되어지고, D/A 변환회로에 의해 일정 직류 전압으로 변환된다. 이 전압이 주파수로의 변환에 제어값이 된다. 변환된 전압은 다시 전압제어 발진회로에 의해 주파수로 바뀌어 출력되고 버퍼(Buffer)를 거쳐 인버터 제어 IC의 주파수 입력에 요구되는 일정 전압으로 승압되어 인버터회로로 전

달된다. 사용된 전압제어 발진 소자는 기준 주파수 250[KHz]에서 최대 0.1%의 주파수 변동율을 지니게 되므로 안정적이고 정밀한 주파수 제어가 가능하게 된다. 마이크로 컨트롤러의 8비트(Bit)지령값에 따른 디지털/아날로그 변환(D/A Conversion)된 출력 값과 이에 따른 전압제어 발진(VCO)의 출력 주파수를 나타낸 것이다. 8비트(Bit) 마이크로컨트롤러의 신호는 약 0에서 255까지 256의 분해능을 지닌 신호를 출력하게 되는데, 이를 바탕으로 확인한 결과 디지털/아날로그 변환시 최대 전압을 12V 기준으로 하였을 때, 이론상의 단위 지령값에 따른 전압 변동은 약 0.02[V]이나 실제 실험결과 약 0.05[V]정도의 변동폭을 확인할 수 있다. 또한 출력 주파수도 압전 변압기의 발진을 시작하는 공진 주파수보다 조금 높은 주파수를 최대 주파수로 사용함으로써 단위 전압당 주파수 제어효율이 높도록 설계되었으며, 본 실험에서의 주파수는 약 71[KHz]를 최대 주파수로 사용하였다. 이를 기준으로 하여 이론상 지령값에 따른 주파수의 간격은 약 0.25[KHz]정도로 계산되어지지만, 실제 지령값에 따른 변동은 0.3[KHz]를 보이며, 단위 전압당 주파수 변동율은 최대 0.3%에서 0.1%정도를 나타냄으로서 압전 변압기의 출력 전류 제어를 위한 정밀 주파수 제어가 가능하다. 일정 출력 주기는 디지털/아날로그 출력의 기준이 되는 전압이 기준전압(12[V])보다 작기 때문에 일어나는 구간으로 최대 전압 11.1[V]를 표시하게 된다. 따라서 전압제어 발진의 출력 주파수도 동일주기에서 정제되는 현상을 보이게 된다.

2.1.4 궤환제어(Feedback Control) 회로부

압전 변압기는 입력측에 인가되는 전력과 주파수에 따라 출력측의 전력이 변동되며, 특히 구동 가능 주파수 범위가 2~3[KHz]로 형광램프의 방전과 정상상태 구동이 이루어진다.

실제 압전 변압기의 시료에 따라 이 구동 주파수는 다소의 편차가 발생하며, 최초 점등시점의 전류가 약 130[mA] 정도이고 형광램프는 170[mA]에서 정상 상태 구동이 이루어지게 된다. 따라서 형광램프의 방전 여부와 최적 전류치를 검출하여 압전 변압기의 입력측에 인가되는 주파수를 제어하는 것은 중요한 관점이다. T-5 28W 형광램프는 수명 말기에 형광램프의 예열 상태가 지속되므로, 방전전압에 의한 고전압이 유기되고, 전류는 기준보다 떨어지는 현상이 발생하게 된다. 따라서 이에 대한 보호를 위해서는 형광램프에 인가되는 전류량을 검출함으로써 형광램프 수명말기 현상을 알아내고 회로의 구동을 정지시켜야 한다. 더불어 형광램프, 압전 변압기 및 구동회로의 조건 변화를 줄 수 있는 온도 등의 외적 요소에 의해 일정 구동 범위를 벗어날 수 있으므로 이를 능동적으로 제어해야 할 필요가 있다. 형광램프의 고기능화의 일환으로 에너지 절약과 구동 환경 및 시간대에 따른 조도 조절(Dimming) 기능 부여할 필요가 있으므로 외부 명령에 의한 램프조도 조도를 조절할 수 있는 기능을 부여한다. 본 연구에서는 이러한 부분에 대한 개선 방향으로 형광램프에 인가되는 전류를 검출함으로써 형광램프의 정상상태 동작을 위한 능동적 제어를 택하게 되었다. 전류 검출을 위해서 형광램프 출력측의 한 개의 선을 택하여 전류 검출을 위한 CT(Current Detector)를 사용함으로써 형광램프 구동에 외부의 물리적 요소를 배제했다. 검출된 전류는 다시 절대치 회로를 통해 전파 정류되어지고 이를 다시 일정 배율로 조절함으로써 형광램프에 인가되는 전류량을 산출하게 된다.

그림 6과 그림 7.은 램프 전류 검출회로와 오실로스코프 이용하여 검출된 형광램프의 실질 전류와 CT의 의해 검출된 전압을 보여주는 것이다.

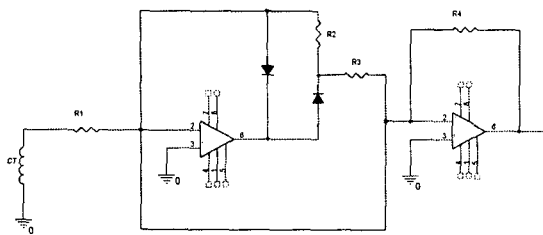


그림 6 형광 램프 전류검출 회로
Fig. 6 Fluorescent lamp current detector circuits

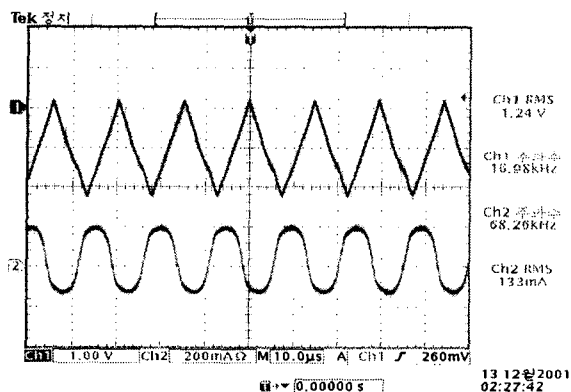
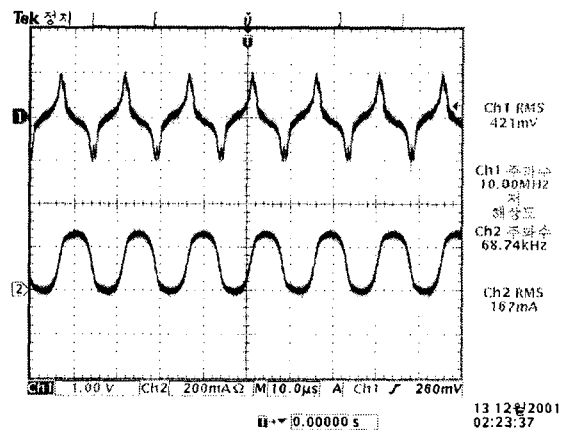


그림 7 형광램프의 전류, 전압 검출과 변환파형
Fig. 7 Current and voltage detector and transfer waveforms of Fluorescent lamp

3. 실험결과 및 고찰

출력에는 '0'의 상태는 존재하지 않으며 회로에서 두 스위치 M1과 M2를 동시에 켜줄 때에만 출력전압이 '0'이 된다. 그러나 두 스위치가 동시에 에 켜지면 전원이 단락되므로 사실상 '0' 상태는 존재하지 않는다. 인버터의 제어시 직류링킹이 이처럼 단락되지 않도록 조심하여야 하고, M1이 오프(Off)시킨 후 일정 시간 경과한 후 M2를 온(On)시켜야 한다. 이와 같이 스위칭 소자 M1과 M2는 서로 교대로 온-오프(On-Off) 동작을 하게 되며, 스위칭 순간의 단락 현상으로 인한 교차 순간의 충돌 현상(Cross-Condition)을 방지하기 위해 지연시간(Delay Time)을 만들어준다. 안정된 동작 유지를 위해 약 $1.2\mu\text{s}$ 의 지연 시간을 만들어주게 되며, 또한 외부 캐패시터의 입력 값과 저항을 조정함으로써 스위칭 온(On)까지의 상승시간(Rising Time)과 OFF까지의 하강시간(Falling Time)을 조절해 줌으로써 안정된 동작과 스위칭 손실을 줄인다. 하프브리지의 발진

주파수는 마이크로 프로세서를 이용한 전압제어 발진(VCO ; Voltage Controlled Oscillator)방식을 사용하였다. 이렇게 발진된 주파수는 스위칭 소자를 구동시킴으로서 고주파수를 지닌 구형파 전압을 발생하게 된다.

그림 8은 하프브리지의 스위칭 소자 M1과 M2의 게이트(Gate)입력측의 전압파형을 확인한 것으로 지연시간(Delay Time)과 스위칭 손실을 확인할 수 있다. 여기서 M1측은 소자 내부의 부트스트랩(Bootstrap)기능에 의해 600V까지의 허용 전압을 지니게 된다. 하프브리지의 지연시간을 측정할 것으로 스위칭 소자 M1과 M2의 게이트(Gate)입력측의 전압파형을 확인한 것으로 지연시간(Delay Time)과 스위칭 손실을 확인할 수 있다. 여기서 M1측은 소자 내부의 부트스트랩(Bootstrap)기능에 의해 600V까지의 허용 전압을 지니게 된다.

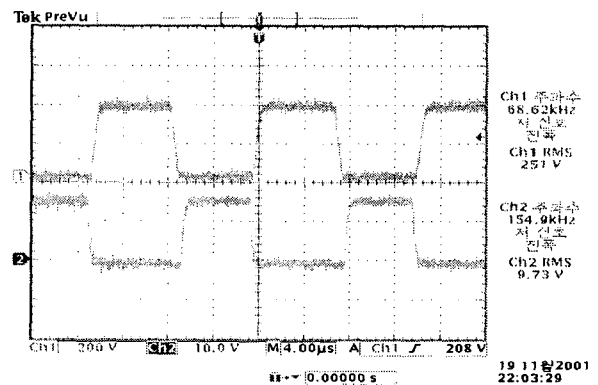


그림 8 하프브리지 지연시간 파형
Fig. 8 Delay time waveform of halfbridge

그림 9는 직렬 공진회로를 거친 전압과 전류의 파형을 나타낸 것으로 이렇게 얻어진 전력은 압전 변압기에 인가되어 압전 변압기의 1차측을 구동시키게 된다.

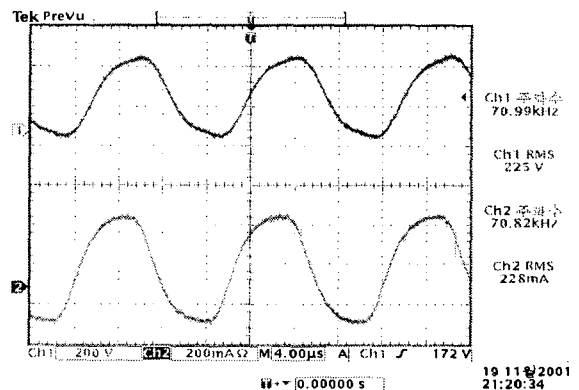
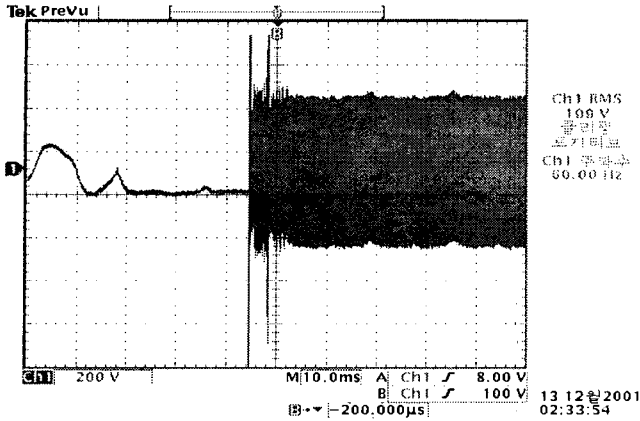


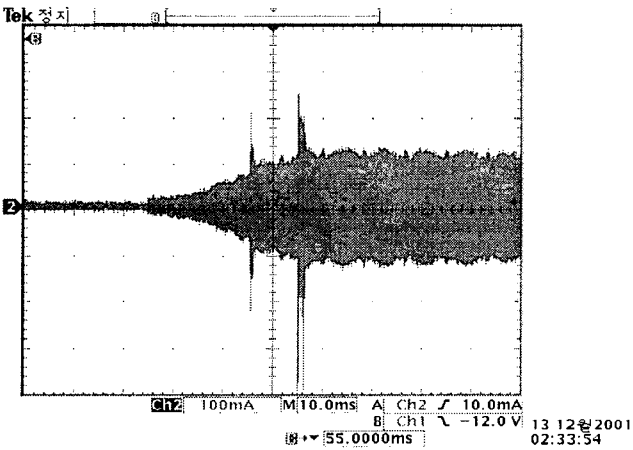
그림 9 직렬 공진회로 출력 파형
Fig. 9 Output waveform of series resonant circuit

본 연구에서는 윈칩마이크로프로세서(One-Chip Microprocessor)를 이용하여 주파수 발진을 하게 됨으로 프로그램 스타트(Program Start)가 가능하다. 프로그램 스타트를 통해 발진 주파수는 보다 높은 주파수에서 발생되어지고 점점 낮은 단계로의 이동을 통해 주파수 이동을 통해 압전 변압기의 구동 주파수로의 이동을 유도하게 된다. 이렇게 함으로서 압전 변압기의 안정된 구동을 유도하고, 또한 압전 변압기의 2차 측에 유도되는 전압에 의해 형광램프 자체의 예열(Preheating)을

만들어 줌으로서 초기의 램프 방전을 쉽게 만들어 줄 뿐 아니라, 부드러운 점등을 유도할 수 있는 소프트 스타트(Soft start)의 상태를 그림 10(a)와 그림 10(b)와 그림 11에 나타 내었다.



(a) 램프 방전시 전압
(a) Lamp discharge voltage



(b) 램프 방전시 전류
(b) Lamp discharge current

그림 10 램프방전시의 전압 전류 특성

Fig. 10 Voltage and Current characteristic of lamp discharge

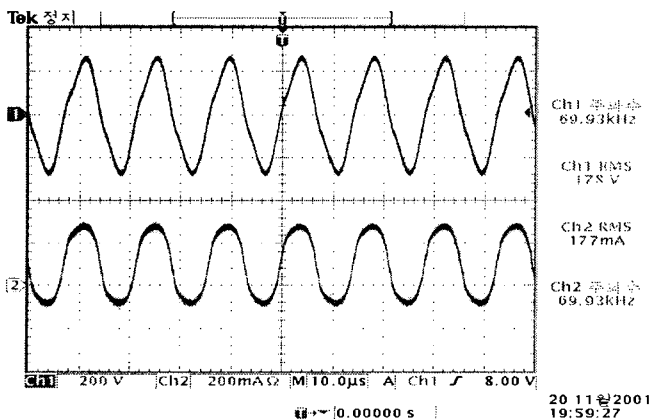


그림 11 램프방전시의 전압 전류 특성

Fig. 10 Voltage and Current characteristic of lamp discharge

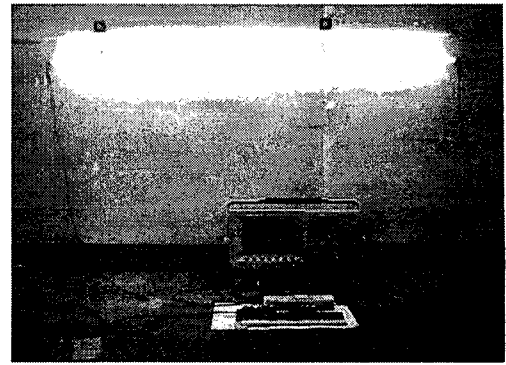


그림 12 램프 동작 파형

Fig. 12 The photograph of fluorescent lamp drive

3. 결 론

현재의 국내 안정기의 대부분은 자기식 혹은 역률 개선이 적용되지 않는 전자식 안정기로서 앞으로는 제시될 전력 품질 규정에 대비하여 새로운 적용이 요구되어 진다. 제작된 압전 변압기를 이용한 전압제어 발진(VCO)형 전자식 안정기는 약 70 [kHz]대의 주파수에서 동작하며 99.5[%]이상의 높은 역률 특성을 지니고, 또한 형광램프의 수명에 절대적 영향을 미치는 CF(Crest Factor)도 1.5이하로 안정적 구동에 의해 기존 방식에 비해 높은 형광램프의 수명을 보장할 수 있으며 총 고조파 왜곡률(THD ; Total Harmonic Distortion)도 12[%]이하이며 전체 효율도 80[%]이상의 우수한 특성을 나타내고 있으므로 이러한 요구를 충분히 수용할 수 있다. 기존의 자기식 혹은 일부 전자식 안정기에서는 큰 용량의 자기식 트랜스포머(Magnetic Transformer)의 사용으로 인하여 부피가 커지고 무거워지게 되나, 제작된 안정기는 이러한 부분을 배제할 수 있으므로 소형 경량화 할 수 있다는 장점을 지니게 된다. 또한 마이크로 컨트롤러에 의한 제어를 사용함으로써 앞으로 제기되는 전자식 안정기의 고기능화 목적인 조도조절(Dimming Control)과 보호 회로 등에 대해 능동적 제어를 할 수 있다는 장점을 지니게 되므로 차세대 안정기로서 지금의 안정기를 대체할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Chick-kwo Liang, Long wu and Tien-shou Wu, Temperature stability of resonant frequency of Ternary PZT ceramic at MPB by variation of sintering and poling treatment, Ferroelectrics, Vol, 120, pp. 185-195, 1991.
- [2] Gyun Chae New Single-stage Cost-Effective High Power Factor Electronic Ballast with Series/Parallel resonant Inverter 2000.
- [3] E, E, Hammer, High frequency characteristics of fluorescent lamp up to 500kHz, J. Illuminating Engineering Society pp. 52-61, Winter 1987.
- [4] Chae, G, Youn, Y. S. and Cho, G. H. High power factor correction circuit for low-cost electronic ballast, Electronics Lett., 1997, May, vol. 33, No. 11, pp. 921-922.