論文 8-6-5

압전 변압기를 이용한 인버터식 네온관용 변압기에 관한 연구

邊在永*, 金倫鎬**

A Study on the Inverter Type Neon Power Supply Using a Piezoelectric Transformer

J.Y. Byun, and Y.H. Kim

요 약

본 연구에서는 네온 변압기를 세라믹 계열의 압전 변압기를 이용한 인버터식 네온관용 변압기를 제안하였다. 인버터식 네온관용 압전 변압기의 주요 구성은 정류부, 발진부, 공진형 하프브릿지 인버터회로부 및 압전 변압기부로 구성 제작 하였다. 네온관용 변압기는 지금까지 개발된 압전 변압기 용량 보다 대부분 큰 용량을 필요로 하고 있기 때문에 압전 변압기의 용량 증가를 위해 병렬 구동하였다. 이때 병렬로 연결된 단층형 압전 변압기간 내부 임피던스 값의 불일치로 발생하는 불평형 전류를 최소화 하기 위하여 압전 변압기별로 LC 필터값을 분석 부착하여 전압의 왜곡율을 최소화 하여 안정된 정현파 출력을 구현하였다. 그리고 이를 컴퓨터 시뮬레이션 실험과 실제 네온관 부착 실험을 통하여 전력 밀도와 절연 레벨이 높고, 누설 자속이 없는 소형, 경량화된, 압전 변압기를 적용한 인버터식 네온관용 변압기가 기존의 자기식 네온관용 변압기 보다 우수함을 비교 입증 하였다.

ABSTRACT

In this paper, inverter type neon power supply using a piezoelectric transformer is fabricated and its characteristic is investigated. Developed neon power supply is composed of basic circuit and blocks, such as rectifier part, frequency oscillation part and piezoelectric transformer and resonant half bridge inverters. In this paper for complement the low power limitation, piezoelectric transformer at parallel connected driving by inverter is studied for neon tubes system of high power. When piezoelectric transformer is connected with parallel, LC filter connection method with parallel and selection of inductance L and capacitor C of primary side is suggested for reduce unbalanced current at the terminal of each transformer. Piezoelectric transformers use piezoelectric ceramic devices. Thus it is wireless therefore it has high power density, high isolation level, low loss, more light, and miniaturization. In addition, high voltage transfer ratio is expected because there is no leakage inductance. Also, it has economic merit that the electrical loss is low because structure is simple, small and lighter weight.

Key Words : Piezoelectric transformers, Wireless, Leakage inductance, Power density, Neon tubes

*정회원, 중앙대 대학원 전기공학과 박사 졸업
E-mail : jybyun9@daum.net
**정회원 , 중앙대 전기공학과 교수
접수일자 : 2002. 12.30
1차 심사 : 2003. 2.7 2차 심사 : 2003. 6. 25
심사완료 : 2003. 9.15

1. 서 론

지금까지의 네온관용 변압기는 무 방향성의 자성 코어를 적층하여 사용한 것이 대부분이며 이로 인해 부

피가 크고 중량이 무거운 단점을 내포하고 있다[1]. 또한 이러한 자성 재료를 사용한 권선형 타입 변압기의 주요 손실은 철손과 동손으로 이로 인한 전력 손실이 상당한 부분을 차지하고 있다. 이러한 손실을 근본적으로 줄이기 위하여 소재를 신소재로 개발하는 연구가 계속 진행 중에 있다[2].

이러한 가운데 압전 변압기는 1950년대 중반 GE사의 C.A Rosen에 의해 발표되었으며, P.A. Berkum. H.W. Katz등에 의해 연구되어왔다[3]. 그결과 전력밀도와 절연레벨이 높고, 누설 자속이 없으며 기존 자기식보다 손실이 적은, 소형, 경량화된 압전 소자를 사용한 변압기를 개발하게 되었다[4][5]. 이러한 압전 변압기는 종래의 자기식 권선형 변압기에 비하여 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

첫째, 압전 변압기는 철심에 동선을 감아서 전기 에너지를 변환하는 방식이 아니기 때문에 누설 자속이 발생하지 않아 소음이 적다.

둘째, 출력 파형이 정현파이므로 고조파 잡음이 발생하지 않아 이로 인해 관련 기기에 미치는 고조파의 영향을 최소화 할 수 있다.

셋째, 압전 변압기는 세라믹 계열의 고체 소자이므로 발열로 인한 화재의 위험이 전혀 없으며. 부품의 슬림화와 함께, 소형화, 경량화가 가능하다[6]. 그러나 이러한 장점이 있는 반면에 단점으로는 아직까지도 물리적 충격에 약한점과 소용량으로 밖에 개발 되어있지 않은 단점도 내포 되어있다[7][8]. 본 논문에서는 네온관용 변압기로 압전소자를 사용한 압전 변압기를 적용하였다. 그리고 기존 압전 변압기의 소용량 문제점을 해결하기 위하여 단층형 압전 변압기를 병렬 구동 하였다. 또한 병렬 연결시 단층형 압전 변압기 별로 각각의 내부 임피던스 값의 불일치로 발생하는 불평형 전류를 최소화하기 위한 방법으로 압전 변압기 별로 각각에 LC 필터값을 분석하여 부착 하였다. 이와 함께 병렬로 연결된 압전 변압기의 출력 전압을 직렬 네온관 부하에 적합한 고 전압으로 출력하기 위하여 각각의 출력 전압을 직렬로 연결 하여 출력 전압을 최대화 하였다.

압전 변압기를 사용한 인버터식 네온관용 변압기의 주요 구성은 다음과 같다.

첫째, 네온관 고유의 특성을 고려한 경제성있는 하프 브리지 인버터 제어 방식을 적용하여 회로를 구성

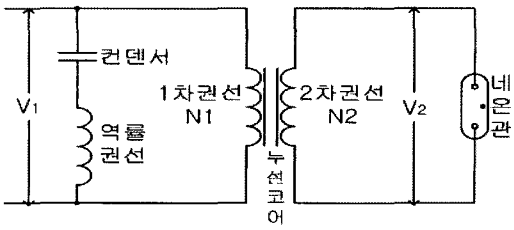

그림 1 자기식 네온관용 변압기의 회로도
Fig. 1 Circuit diagram of magnetic type Neon transformer

하였으며, 영 전압 소프트 스위칭 (ZVS)동작이 이루어지도록 하여 고주파 스위칭시 인버터의 스위칭 소자에서 발생하는 스위칭 손실과 노이즈 발생을 최소화 하였다.

둘째, 네온관 시스템에 고출력 압전 변압기를 병렬로 연결 구동할 수 있도록 인버터 회로와 병렬 필터 회로를 구성하여 압전 변압기간에 특성 차이로 발생되는 불평형 전류의 차이를 최소화 하였으며 이와 함께 2차측 순환 전류도 최소화 하였다.

셋째 네온관 시스템 보호에 필요한 보호회로 즉 네온관 파손과, 2차측 과부하 및 이상시, 입력을 차단하는 보호 회로와 압전 변압기의 2차측 개방으로 인한 과 전압 발생을 차단하는 회로를 구성 하였다. 이와 같이 압전 변압기를 사용한 인버터식 네온관용 변압기는 기존의 자기식 네온관용 변압기의 가장 큰 단점인 부피와 중량의 문제점을 소형 경량화 하여 해결 하였다.

2. 네온관과 네온변압기의 특성

네온관은 형광등과 마찬가지로 기체 방전에 의한 발광을 이용한 것으로, 유리관속에 넣은 기체의 종류에 따라 여러가지 색으로 발광한다. 또한 중요한 사항은 방전 전류를 일정한 값으로 안정시키기 위해 자기 누설 형식의 네온관용 변압기를 사용한다. 자기식 네온변압기는 주 철심과 누설 코어 그리고 공극의 구성을 최적화 하여 부하 변동으로 2차 전류가 증가할 경우, 2차 전압을 낮추어 전류가 감소하도록 되어있다. 즉 정전류형의 누설 변압기이다.

자기식 네온관용 변압기의 회로 구성은 그림 1과 같이 입력측에는 1차 주권선 외에 역률을 보상 시켜주는 역률 보상용 권선과 컨덴서가 직렬 공진 회로로 구성되어 있다. 그리고 2차측은 네온관을 점등시키기 위한 고압을 발생 시키기 위하여 승압비가 약 100배 정도의 고압 회로로 구성되어 있다.

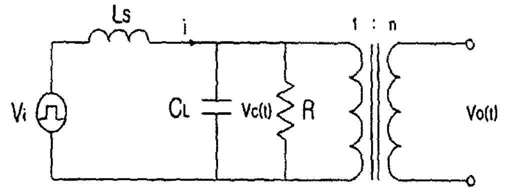

그림 2 전자식 네온관용 변압기의 등가회로
Fig. 2 Equivalent circuit of the electronic type neon transformer

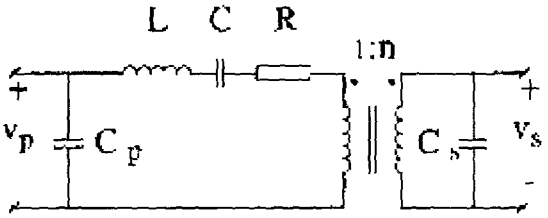

그림 3 압전 변압기의 등가회로
Fig. 3 Equivalent circuit of piezoelectric transformer

그후 이러한 자기식 네온 변압기의 원리를 기반으로 하여 훼라이트 코어를 이용한 고주파 고압의 전자식 네온 변압기가 개발되었다. 그 구성은 입력 전원 회로부, 1차 정류부 ,인버터부, 변압기부, 제어 회로부로 구성되어 있다. 전체적인 회로의 특성은 인입된 교류 입력 전압은 EMI 제거용 필터 회로를 거쳐 정류 회로부에서 직류로 변환되고 다시 평활된다. 평활된 이 직류전압은 FET로 구성된 인버터회로에 의해서 고주파 20[kHz]~30[kHz]의 구형파로 변환되어 훼라이트 코어에 권선을 감은 변압기에 인가 되고 1,2차 승압비에 의하여 정현파의 고전압을 발생시켜 네온관을 점등 시킨다.

네온관은 고압 변압기를 통해 램프 양단에 고전압을 인가함으로써 점등되는데 방전 개시할 때까지는 방전관을 무 부하상태로 취급하는 한편 점등 후에는 등가적으로 순수한 저항 상태로 본다.

고주파 고전압의 변압기를 등가화 함에 있어서 병렬 인덕턴스는 무시될 수 있으므로 전자식 네온 변압기의 등가 회로는 그림 2와 같이 나타 낼 수 있다.

여기서 L_S 는 누설 인덕턴스, C_L 은 표유 커패시턴스 R은 부하 저항 이다. 위 회로에서 누설 인덕터스 L_S 와 표유 커패시턴스 C_L 은 직렬 공진 회로를 구성하고 있다. 점등전의 직렬 공진 주파수를 f_{ro} 라 할때 직렬 공진주파수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_{ro} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{L_s C_L}} \tag{1}$$

또한 점등후 직렬 공진 주파수 f_r 는 다음과 같이 표현된다.

$$f_r = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{L_s C_L} - \left(\frac{1}{RC_L}\right)^2} \tag{2}$$

이와 같이 점등후의 공진 주파수는 점등전보다 작아짐을 알 수있다

3.압전 변압기의 승압특성 및 등가회로 해석

압전 변압기의 출력단이 무부하 상태일때의 승압비 (V_2 /V_1)는 압전 재료의 압전 상수 및 치수에 따라 식(3)으로 주어진다.

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{4}{\pi^2} Q_m k_{31} k_{33} \frac{L}{T} \tag{3}$$

여기서 Q_m 는 기계적 품질계수, k_{31} k_{33} 은 전기기계 결합계수, L은 압전 변압기의 길이 그리고 T는 두께이다. 또한 기본 공진 주파수는 소자중의 음속을 c 라 할 때 다음과 같다.

$$f_r = \frac{c}{4L} \tag{4}$$

즉 압전형 변압기의 변압 원리는 압전 세라믹의 길이 방향으로 진행하는 조밀파에 의한 압축신장 효과에 의해 발생하는 고압의 전하를 전극에서 빼내는 것이다. 이때 발생한 전하를 빼내는 과정에서의 등가회로는 고압전원에 용량성 성분의 특성을 가진 커패시터와 유도성분의 인덕터 그리고 내부 저항이 직병렬로 접속된 형태로 나타낼 수 있다.

그림 3에서와 같이 압전 변압기에 냉음극관이 접속된 상태의 등가 회로는 네온관용 전자식 타입의 인버터 회로의 2차측 변압기 회로와 같은 모양이다. 자기한류 작용 효과에 의해서 기존의 방전등용 안정기의 콘덴서와 등가인 것을 내포하고 있어 별도의 안정기용 콘덴서가 불필요 하다.

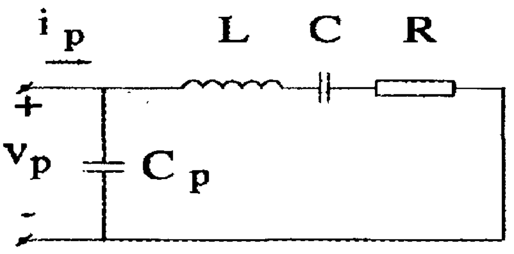

그림 4 2차측을 단락한 경우의 등가회로
Fig. 4 Equivalent circuit for shorted 2'nd circuit

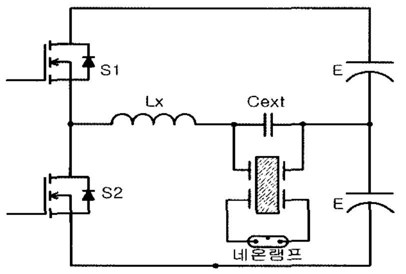

그림 5 네온관용 압전 변압기 하프 브리지 구성도
Fig. 5 Configuration of half bridge circuit of PT for Neon tube

이러한 장점을 지닌 압전 변압기 특성은 도전성 반사판에의한 용량 분압효과와 구동 주파수의 고주파화로 구성되어진다.

그렇기 때문에 압전형 변압기에 있어서는 내부 소자의 임피던스와 부하 임피던스 매칭에 의해서 고효율의 인버터를 만들 수 있다. 즉 공진 주파수의 산정은 세라믹 압전 변압기가 동작할 수 있는 몇 가지 기계적 공진 주파수 가운데 높은 전압비로 입력에서부터 출력으로의 변환 되는 함수를 찾기 위하여 일반적으로 저항성 부하를 연결한 상태로 가정하여 등가회로가 구성된다.

그리고 압전 변압기를 공진상태로 동작하기 위한 전기적인 등가 회로를 간단히 하기 위하여 2차측을 단락한 회로 상태로 본 등가 회로를 그림 4에 나타내었다. 이와 같은 등가회로에서 $0<\omega<\infty$ 동안 일 때 복소 어드미턴스 값은 다음과 같다

$$Y(\omega)=i_P(\omega)/v_P(\omega)=G(\omega)+jB(\omega) \quad (5)$$

이로부터 전체 등가 구성 요소들의 값을 결정하는 것이 가능하다. 이를 계산하면 다음과 같다

$$Y(\omega)=j\omega C_P+\frac{j\omega C(1-\omega^2LC)+\omega^2RC^2}{(1-\omega^2LC)^2+(\omega RC)^2} \quad (6)$$

여기서 $\omega=\omega_0$ (공진 각 주파수)에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$\omega_0=1/\sqrt{LC} \quad (7)$$

위 식 (7)로부터 공진 주파수에서의 어드미턴스는 다음과 같이 구 할 수 있다.

$$Y(\omega_0)=j\omega_0C_P+1/R \quad (8)$$

그러므로 어드미턴스 원선도로 부터 측정된 $Y(\omega_0)$의 허수와 실수 부분의 값을 계산하면 각각 C_P 와 R 의 값을 구 할 수 있다. 또한 어드미턴스 원선도에서 허수부의 최대점과 최소점의 주파수를 고려하면, C 와 L 에 대한 방정식은 아래와 같이 표현 할 수 있다.

$$C=\frac{1}{R}\frac{(\omega_H-\omega_L)}{\omega_H\omega_L} \quad (9)$$

$$L=R\frac{1}{(\omega_H-\omega_L)} \quad (10)$$

그리고 승압비 n 과 부하측 정전 용량값 C_S의 값을 얻기 위해서는 1차측을 단락한 등가 회로로 환산하여 상기와 동일한 어드미턴스 측정 과정으로 구할 수 있다. 그림 5에 압전 변압기에 공급되는 전압 파형을 최대한 정현파로하고, 공진 주파수에 맞추기 위한 LC 필터 값 L_x 와 C_{ext} 의 값을 구하기 위하여 필터 회로의 구성 상태를 나타내었다.

여기서 네온램프는 고압측에 연결되어 있으므로 높은 동작 주파수로 인하여, 네온램프는 저항 R_{lamp} 로 모델링 된다.

그림 3의 등가 회로에서 입력전압 $v_P(\omega)$가 인가되는 동안, $\omega=\omega_0$일 때 출력 전압 $v_s(\omega)$의 최대 진폭이 발생하는 것은 아니다. 분석적으로 이 최대값

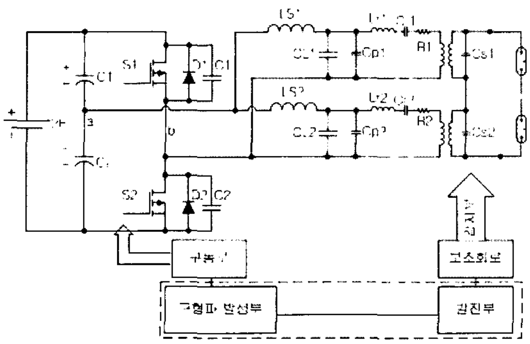

그림 6 네온관용 압전 변압기 구동 인버터 회로도
Fig. 6 Inverter circuit of piezoelectric transformer for Neon tube

이 발생하는 주파수를 정의하기 위해서, 전압 이득 전달식 $H_{SP}(\omega)=v_S(\omega)/v_P(\omega)$ 으로부터 2차측 출력 전압 단자에서의 R_{lamp} 를 기준으로 전압 이득을 구하면 그것은 다음과 같은 식으로 정리 된다.

$$H_{SP}(\omega)=n\frac{C}{C_S^{'}}\left[1-\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2+\frac{C}{C_S^{'}}\left(1+\frac{R}{R_{lamp}^{'}}\right)+j\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)\left(\frac{1}{\omega_0 R_{lamp}^{'}C_S^{'}}+\omega_0 RC\right)-j\left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)\left(\frac{1}{\omega_0 R_{lamp}^{'}C_S^{'}}\right)\right]^{-1} \tag{11}$$

여기서

$$R_{lamp}^{'}=R_{lamp}/n^2 \tag{12}$$

$$C_S^{'}=n^2 C_S \tag{13}$$

이 된다.

일반적으로 램프가 실제 동작하는 상태에서의 신뢰성은 이론적인 출력 상태에서의 신뢰도 보다 좋다. 그러므로 이것은 다음식으로 나타 낼수 있다.

$$\omega_0\frac{L}{R}>>\omega_0 R_{lamp}C_S \tag{14}$$

그러므로 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\alpha=\frac{C}{C_S^{'}}\left(1+\frac{R}{R_{lamp}^{'}}\right) \tag{15}$$

$$\beta=\frac{1}{\omega_0 R_{lamp}^{'}C_S^{'}} \tag{16}$$

$$\beta>>\omega_0 RC \tag{17}$$

여기서 식 (14)를 식 (11)에 대입하면 다음과 같다.

$$H_{SP}(\omega)=n\frac{C}{C_S^{'}}\left[1+\alpha-\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2+j\beta\left(\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega_0}{\omega}\right)\right]^{-1} \tag{18}$$

위 식 (18)을 ω 로 미분 한 후에 $|H_{SP}(\omega)|$ 의 최대값에서의 주파수 ω_m 는 아래 식으로부터 구 할 수 있다.

$$2(\alpha-\varepsilon)-\beta^2\left[1-\left(\frac{1}{1+\varepsilon}\right)^2\right]=0 \tag{19}$$

$$\omega_m=\sqrt{(1+\xi)}\;\omega_0 \tag{20}$$

이것은 $1/(1+\varepsilon)^2\approx 1-2\varepsilon$ 을 만족하기 위해 $0<\varepsilon<<1$ 에서 실험적으로 구할 수 있으며 따라서 식 (19)의 해는 첫 번째 근사값으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\varepsilon=\frac{\alpha}{\beta^2+1} \tag{21}$$

ε 을 식 (20)에 대입하고 ω_m 을 식 (11)에 대입하면, 최대 변압비가 구해진다. 이것을 네온관과 압전 변압기 사이의 임피던스 매칭 회로 설계에 적용하여 압전 변압기의 승압비를 최대화 할 수 있다.

그림 5의 회로에서 L_x 와 C_{ext} 를 구하기 위해, 처음 복소 임피던스 $Z_{eq}(\omega)$결과를 L, C, R, C_S, R_{lamp} 로 구성된 회로로부터 $\omega=\omega_m$ 를 얻기 위해 계산하면 그것은 다음과 같이 얻어진다.

$$Z_{eq}(\omega_m)=\sqrt{\frac{L}{C}}\frac{\alpha\beta}{\beta^2+1+\varepsilon}\times\left(1-j\frac{\varepsilon}{\sqrt{1+\varepsilon}}\frac{\beta}{\beta^2+1}\right) \tag{22}$$

식 (18), (19), (20), (21)에 의해 정리하면 다음과 같

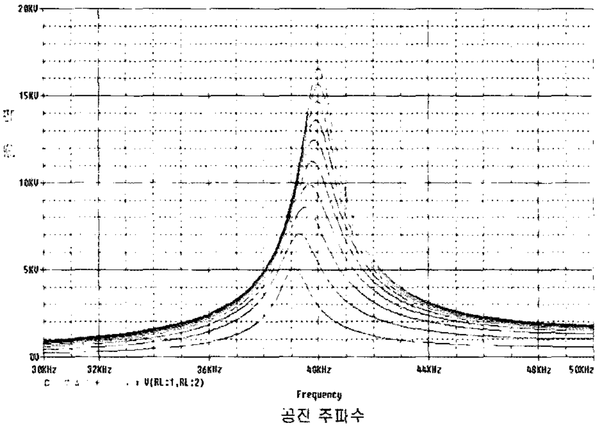

그림 7 공진주파수와 부하변동에 따른 출력전압비
Fig. 7 Output boost voltage ratio as a function of resonant frequency and load impedance condition

이 된다.

$$C_x = C_p + C_{ext} \tag{23}$$

그러므로 $C_{ext} = C_x - C_p$ 로 나타낼 수 있다.
또한 $\varepsilon << 1$ 이기 때문에, 식 (22)는 다음과 같이 간단해 진다.

$$Z_{eq}(\omega_m) \approx R_{eq} = \sqrt{\frac{L}{C}}\frac{\alpha\beta}{\beta^2+1} \tag{24}$$

결론적으로 전압 전달 이득 $H_{pi}(\omega) = v_p(\omega)/v_i(\omega)$ 은 $\omega = \omega_m$ 으로 되기 때문에 다음과 같이 표현된다.

$$H_{pi}(\omega_m) = 1\bigg/\left[1-\left(\frac{\omega_m}{\omega_x}\right)^2 + j\omega_m\frac{L_x}{R_{eq}}\right] \tag{25}$$

$$\omega_x = 1\big/\sqrt{L_x C_x} \tag{26}$$

4.네온관용 압전 변압기의 병렬구동 인버터 회로의 구성

압전 변압기의 병렬 구동 방식이 고용량화를 위해 사용 되고 있으나 각각의 변압기간에 전류의 평형을 위해 다음의 특성이 같아야 한다.

즉 첫째는 병렬로 사용되는 압전 변압기의 출력 기본 주파수 및 스위칭 주파수의 위상이 같아야 할 것과 둘째로는 압전 변압기이 정격 출력 전압의 크기 및 위상이 서로 같아야 한다. 병렬 운전하는 두개의 네온관용 압전 변압기의 구동회로를 그림 6에 나타내었다.
그림 6에서와 같이 병렬로 연결된 압전 변압기간 Lr, Cr, R,로 이루어지는 어드미턴스값 및 Cp, Cs의 용량성 임피던스의 불일치로 발생되는 전류, 전압의 차이에 의한 순환전류를 최소화하기 위하여 각각의 압전 변압기의 1차측에 그림과 같이 LC 필터를 부착하여 최적의 상태로 동작 시켰다.

또한 각각의 압전 변압기 별로 최대의 승압효과를 얻을 수 있도록 하기 위하여 적합한 인덕터와 커패시터값을 산출 부착 하였다.
네온관의 점등을 위한 구동 회로로 영전압 소프트 스위칭 하프 브리지 인버터회로를 적용하였다. 낮은 에너지 변환 효율과 변압기의 크기 및 과중한 무게등을 개선키 위해 고주파 PWM 인버터 방식을 적용하였다. 그러나 이러한 PWM 방식을 적용한 고주파 전자식 네온관용 변압기는 고주파 스위칭시 인버터의 스위칭 소자에서 스위칭 손실의 증가 및 노이즈 발생의 문제점을 초래해 왔다. 이러한 문제점을 보완키 위해 압전 변압기를 사용하여 영전압 스위칭 방식을 PWM 인버터에 적용하여 고주파 스위칭이 가능하게 하였다.

구성된 회로의 동작 상태를 살펴보면 입력용 필터 커패시턴스 C1, C2는 입력 전압 2E를 둘로 나누어 전압원 E로 동작 하게 한다. 압전 변압기는 권선형이 아니므로 누설 자속이 발생하지 않는 반면에 완벽한 정현파를 공급하여야 승압 효율이 좋아지므로 구형파를 정현파로 필터링하는 인덕터 L_S 와 커패시턴스 C_L 로 구성되는 직 병렬 필터 회로를 구성하였다.

스위치의 출력 커패시턴스 C_1, C_2 는 천이 구간 동안에 공진하여 스위치 S_1 및 S_2 가 영전압 스위칭 조건으로 동작 할 수 있도록 하였다. 영전압 스위칭이 이루어지기 위한 조건으로서는 압전 변압기의 인덕터인 L_S 에 저장된 에너지가 스위치의 출력 커패시턴스 C_1 또는 C_2 를 완전히 방전시킬 수 있도록 충분히 커야 한다. 또한 커패시턴스 C_1 .C_2 의 충·방전은 두 스위치가 턴 오프되는 데드 타임 기간 중에 이루어지며 스위치의 턴온은 역 병렬로 구성된 다이오드의 도통 기간 내에 스위치가 턴온 된다.

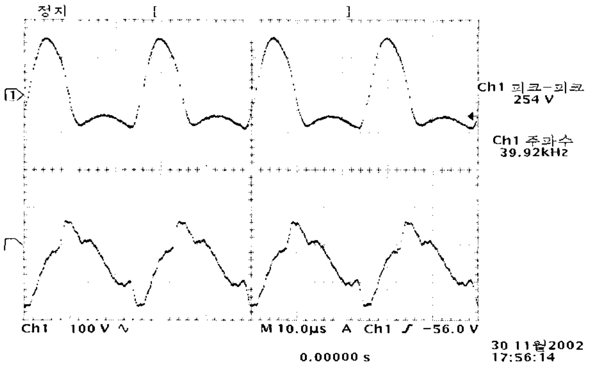

그림 8 필터L2값 변화시 PT2의 입력전압,전류파형

Fig. 8 Waveforms of input voltage and current of PT2 according to filter L2

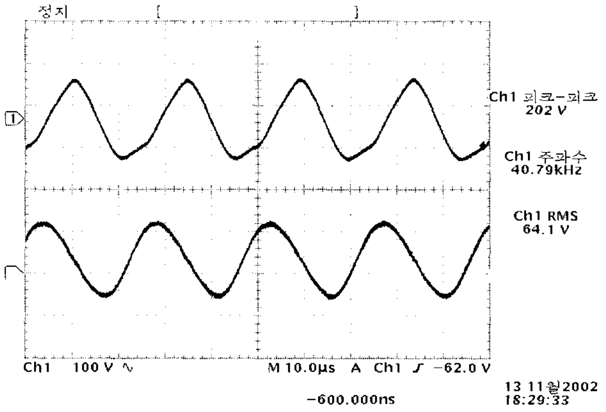

그림 9 LC 필터 병렬 운전시 PT2의 입력 전압 전류파형

Fig. 9 Input voltage and current waveforms of PT2 in Parallel operation of LC filters

인버터 제어 회로부는 하프 브리지 방식의 인버터를 이용해서 회로를 구성하였다. 인버터 발진 방식으로는 자려식과 타려식으로 크게 나눌 수 있는데 자려식의 경우 입력 전압의 변동에 의하여 소비전력 및 네온관 광량의 변화가 극심한 점과 일정 주파수 이상으로 주파수를 매우 높게 설정하면 원하는 광량의 출력을 얻기 어려운 점 등을 들을 수 있다.이를 극복하기 위하여 타려식 발진 방식을 적용 하여 설계 하였다. 타려식에 의한 방식은 주파수 설정이 용이하며, 입력 전압 변동에 따른 주파수 변동이 거의 없는 장점이 있다.그리고 고주파 전원을 사용함에 따른 전자파 장해, 그리고 네온관 파손시 그리고 누전시 인체의 감전사고 예방과 함께 네온 변압기를 보호하기 위한 자기 차단 회로를 감안 하여 제어회로를 설계 하였다.

5. 컴퓨터 시뮬레이션

압전 변압기의 승압비와 효율을 최대화 할 수 있는 공진 주파수 대역을 찾고, 주파수 변동에 따른 최적의 출력 전압을 확인하기 위하여 주파수를 30[kHz] ~ 50[kHz]까지 변화시키면서 실험 하였다. 즉 공진 주파수 부근에서 승압비가 증가하여 높은 전압을 출력하고 있음을 그림 7에서 확인 할 수 있었다. 그리고 일정한 공진 주파수 대역 내에서는 승압비가 높게 나타나지만 일정 범위 이상이나 이하로 되면 급격히 승압비가 떨어지고 있음을 알 수 있다.

그림 7에 냉음극관 점등시 주파수와 출력 전압 변화곡선을 나타내고 있다. 압전 변압기는 부하 임피던스가 높을 때는 고전압을 발생하고 부하 임피던스가 저하하면 발생전압이 낮아지는 특성을 갖고 있다. 이것은 냉음극관의 점등과 부저항 특성에 대해서 매칭이 되는 전원을 구축 할 수 있는 장점을 지니고 있음을 의미 한다. 즉 초기 점등 상태에서는 구동 주파수보다 높은 주파수와 높은 고전압으로 점등시 까지만 출력된다. 점등 후에는 부하 임피던스가 낮아지므로 초기 점등시보다 낮은 실제 구동 주파수와 동작 전압으로 지속되는 압전 변압기 고유의 특성을 이용하여 냉음극관용 인버터 회로를 구성한다.

그림 8과 그림 9는 압전 변압기 내부의 Cr2값과 Lr2값의 변화에 따른 출력전압과 전류 파형의 왜곡 현상을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인한 결과이다. 특히 그림 9에서 보는 바와같이 Lr2값 변화시에는 정현파와 비교해 파형의 왜곡현상이 크게 이그러져 있음을 보여주고 있다[7].

이러한 문제점을 해결 하기 위하여 압전 변압기 병렬 운전시 각각의 압전 변압기별로 특성에 적합한 LC 필터를 부착하였다.

그림 9에 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인한 압전 변압기 전단의 입력 파형을 나타내었다. 그림 8과 비교하여 출력 파형이 정현파에 가까워짐을 확인 할 수 있다.

6. 특성 시험 결과

특성 비교 시험은 동일한 정격입력에서 부하는 적색 네온관 직경12[mm], 봉입가스압 11[Torr], 1[m]관 4개를 직렬로 연결하여 시험하였다. 표 1에 실 제품의 실

험을 통하여 특성을 비교하였다. 제안된 병렬 압전 변압기를 적용한 네온관용 변압기와 기존의 권선 타입의 자기식 네온 변압기의 전원 공급 장치를 비교 시험한 결과 압전 변압기쪽이 가볍고, 부피가 작으며 성능이 우수함을 확인 할 수 있었다.

표 1 압전 변압기를 적용한 네온변압기 특성시험 결과
Table 1 Measured results of PT type neon power supply's characteristic

구 분 / 내 용	압전 변압기식	기존 일반 자 기 식
입력전압[V]	120/60[Hz]	120/60[Hz]
입력전류[A]	0.53	1.45
입력전력[W]	43	60
역률[%]	67%	34.4
출력전압[kVp]	4[kVp]	4[kVp]
단락전류[mA]rms	30.8	30
정격부하관길이[m]	Ø12, 11[torr] 4	Ø12,11[torr]4
출력 주파수	40[KHz]	60[Hz]
정격부하전류 [mA]rms	24.5	21.6
GFCI 기능	양호	없음
OCP 기능	양호	없음
자기 소음	없음	있음
부피(L×W×H)	150×70×52	140×124×203
중량[g]	650	6200

7. 결 론

종래의 자기식 제어에 비해 1초간의 제어 횟수가 800~1000배로 높기 때문에 응답속도가 향상 되었다. 또한 변압기의 크기는 대폭적으로 소형화가 가능하게 되었다. 체적도 기존 자기식대비 1/7로 줄여 소형화 되었으며. 네온변압기의 소형화에 따라 중량 감소가 대폭적으로 가능하게 되었다. 그리고 자기적 소음의 경감은 물론이고 인버터 회로의 구성으로 GFCI(Ground Fault Circuit Interrupter) 회로와 OCP(Over Current Protector) 보호회로를 구성하여 2차측 이상시 출력을 완벽히 차단하여 네온관 고장발생시 필요없이 계속 소모되던 무부하 손실을 제로화 하여 에너지 절감 효과도 함께 가져 왔다. 본 논문의 결과를 토대로 압전 변압기를 적용한 네온관용 인버터에 대한 연구가 계속 활성화 되리라 생각된다.

이 논문은 2003학년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의한 것임

참 고 문 헌

[1] M..K.Kazimierczuk and W. Szaraniec, "Electronic Ballast for Fluorescent Lamps," *IEEE Trans-actions on Power Electronics*, Vol. 8, No.4, pp. 386-395, October 1993.

[2] Smidt, P.J.M. Duarte, J.L. "Powering neon lamps through piezoelectric transformers", *Power Electronics Specialists Conference, IEEE*, Vol 1, pp. 310-315, 1966.

[3] Takashi Yamane, Sunao Hamamura,Toshiyuki Zaitsu. "Efficiency Improvement of Piezoe lectric Transformer DC-DC Converter" .*IEEE* Vol 1, pp. 122.-1261, 1998.

[4] M..C. Cosby, R. M. Nelms," A resonant inverter for electronic ballast Applications," *IEEE* Trans. Industry Electronic ballast applications" *IEEE* Vol. 41, No. 4, pp. 418-425, Aug. 1994.

[5] Lak-Hoon Hwang, Ju-Hyun Yoo. "One Chip Microcontroller와 압전변압기를 이용한 T5 28W 형광등용 전자식 안정기에 관한 연구" 전력 전자 학회 논문지 제 8권 제 1호, pp. 70-78 .2003. 2.

[6] Vasic, D. Costa, F. Sarraute, E. "A new MOSFET & IGBT gate drive insulated by a piezoelectric transformer" , PESC .*IEEE* Vol.3, pp. 1479-1484. 2001.

[7] Jin-Hong Chung, Seung-Min Lee."High Power 30W and high efficiency 80% Piezoelectric transformer for EB" *IEEE*, pp. 131-134, 1999.

[8] Jeung-Won Yun, Yoon-Ho Kim, "An Analysis of Neon Tube Inverters with Piezoelectric Transformers Using Pspice Model" 전력 전자 학술 대회 논문집 2002, pp. 701-706. 2002. 7.

저 자 소 개

변재영(邊在永)

1951년 9월 11일생,1974년 중앙대학교 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원(석사), 2003년 동 대학원 졸업(박사).

김윤호(金倫鎬)

1949년 6월 20일생 1974년 서울대 공대 전기공학과 졸업, 1987년 미국 Texas A&M 대학졸업(박사). 현재 중앙대공대 전기공학과 교수. 현 전력 전자 학회 회장.