한국산학기술학회논문지
Vol. 11, No. 2, pp. 476-484, 2010

압전 변압기를 이용한 고주파 DC-DC 컨버터 구동에 관한 연구

황락훈[1*], 나승권[2], 최기호[3]
[1]세명대학교 전기공학과, [2]한국 폴리텍 III 대학 원주 캠퍼스 의용공학과,
[3]한국 폴리텍 III 대학 원주 캠퍼스 전기제어학과

A study on High Frequency DC-DC Converter Drive using a Piezoelectric Transformer

LarkHoon Hwang[1*], SeungKwon Na[2] and Giho Choi[3]
[1]**Dept. of Electircal Engineering, SemyungUniversity**
[2]**Dept. of Biomedical Engineering, Korea Polytechnic III College**
[3]**Dept. of Electircal Control Engineering, Korea Polytechnic III College**

요 약 최근, 압전 변압기 기술의 급속한 발전으로 권선형 변압기를 대체할 수 있는 다양한 분야에 응용되고 있다. 압전 변압기는 자계의 잡음이 없고, 크기가 소형화되며 고효율과 고전력 밀도, 누설자속이 없어 노이즈 발생이 없고, 공진주파수만을 이용하므로 출력파형이 정현파에 가까워 고조파 잡음이 없는 등 권선형 변압기에 비해서 여러 가지 장점을 갖고 있다. 본 연구는 87.2[KHz]정도의 스위칭 모드에서 두께진동 모드 적층형 압전 변압기를 이용하여 전기적인 등가회로를 적용하여 DC-DC컨버터를 동작 하였다. 또한 DC-DC컨버터를 제안된 회로에 의해서 구동 고휘도 LED 구동 전원장치로써의 가능성을 제시 하였다.

Abstract Recently, as the piezoelectric transformer technology develops, piezoelectric transformer may become a variable alternative to magnetic transformers in various applications. Because it was have to favorable characteristics such as electromagnetic-noise free, compact size, higher efficiency, and superior power density, linkage flux, noiseless, etc. its resonance frequency was used to output waveform of a sine wave. In this paper, the switching mode power supply of about 87.2[KHz] is driven by the multilayer thickness vibration mode piezoelectric transformer and the DC to DC converter drive circuit using an electrical equivalent circuit is proposed. Also, it was possible to drive power source device of the high-luminance LED by propose circuits.

Key Words : Higher Efficiency, Multilayer Thickness Vibration Mode Piezoelectric Transforme, High-luminance LED

1. 서론

최근 전자통신기기의 소형, 경량, 박형화의 급속한 진행과 함께 컨버터도 소형화가 요구되고 있다. 이에 따라 소형, 경량, 슬림형으로 제조가 가능한 압전 변압기가 주목을 받고 있다. 압전 세라믹을 이용한 압전 변압기가 1950년대 말에 개발된 이래 정전도장, 복사기, TV수신기 등으로의 응용이 이루어져 왔으나, 고강도와 고전력 밀도를 갖는 압전 특성이 우수한 재료개발이 이루어지지 않아 그동안 실용화가 되지 못하였다. 그러나 1990년대에 들어 일본의 다무라(Damura), NEC 등에서 고강도, 고전력 밀도를 갖는 압전 재료의 개발에 힘입어 노트북 컴퓨터의 디스플레이에 이용되는 LCD Backlight 구동용 승압용 압전 변압기가 실용화 되었다.[1,2] 압전 변압기에 대한 응용을 LCD 디스플레이, DC-DC컨버터, AC-DC컨버터, 형광등 ballast 및 오존발생기 등의 기타 고전압전원장치 등에 적용하고자 하는 연구가 국, 내외서 활발히 진행되고 있다. 특히, 근래에 고휘도 LED가 기존의 형광등

*교신저자 : 황락훈(lhhwang@semyung.ac.kr)
접수일 09년 09월 21일 수정일 (1차 09년 01월 05일, 2차 10년 02월 01일) 게재확정일 10년 02월 24일

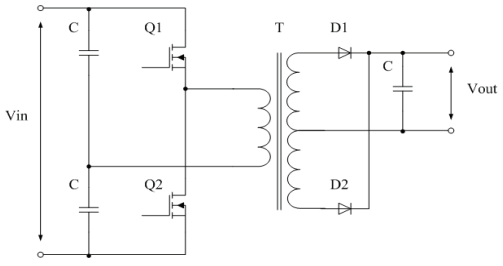
조명에 대한 대체조명으로 그 응용이 확산됨에 따라, LED를 구동하기 위한 DC-DC 컨버터의 시장이 굉장한 속도로 확산되고 있는 실정이다. 그러나 그동안에 실용화 되었던 LCD Backlight 구동용 승압용 압전 변압기는 길이방향 진동모드로 동작되기 때문에 공진주파수가 최대 200 -300 [KHz] 미만이고, 출력임피던스가 높기 때문에 DC-DC 컨버터에 사용하기가 어렵다. 또한, DC-DC 컨버터의 소형화를 위해서는 동작 주파수의 상승이 필연적인데 기존의 권선형 변압기는 특히 고주파에서 사용할 때 고주파 손실, 동손 때문에 효율이 감소하게 되며 슬림형, 소형화에 한계를 가지고 있다. 두께진동을 이용한 압전 변압기는 공진주파수를 1[MHz] 이상으로 할 수 있기 때문에 변압기를 소형화 할 수 있고, 고전력 밀도를 갖게 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 압전 변압기를 이용한 컨버터와 인버터에 대한 연구는 응용분야에 있어서 IT 산업의 한 축으로서 크게 성장하고 있는 LCD 디스플레이, DC-DC 컨버터, AC-DC 컨버터, 기타 고전압 전원장치 등과 같이 그 사용 범위가 상당히 넓다. 압전 변압기는 기존의 권선형 변압기에 비해 누설자속이 없어 노이즈 발생이 없고, 공진 주파수만을 이용하므로 출력파형이 정현파에 가까우며 고조파 잡음이 없고 세라믹 무기재료를 사용 하므로서 불연성의 장점을 갖고 있다. 특히, 소형화, 경량화가 가능하고 90[%]이상의 높은 효율을 얻을 수 있기 때문에 전력품질의 향상과 수요자의 경제성에 큰 혜택을 줄 수 있다. 현재 사용되고 있는 압전형 전원장치는 대부분 디지털 제품에 적용되고 있으나, 그 용량은 2～10[W]급 정도일 뿐만 아니라 DC 구동형 제품이어서 실제적으로 전력품질의 향상에 영향을 줄 수 있는 제품으로 개발되어 있지 않은 실정에 있다. 따라서, 고출력을 요하는 전자제품의 전원장치로 사용되는 압전 변압기를 이용한 컨버터에 대한 개발은 효율향상 및 역률개선, 전자 잡음 개선 등의 성능개선에 따른 전력품질의 극대화를 통하여 전력산업에 큰 이익을 가져올 수 있다.[1-4] 압전 변압기를 전원으로 하는 고 스위칭 주파수를 갖는 컨버터 개발은 산업적으로 그 파급효과가 매우 큰 기술이라 생각된다.[5,6]

본 연구에서는 1[MHz]를 초과한 고스위칭 주파수에서 동작하는 DC-DC 컨버터에 응용하고자 2차 두께방향 진동모드로 동작하는 적층형 압전 변압기를 이용하여, 그에 대한 부하저항변화에 따른 특성을 분석하여 컨버터회로에 응용가능성을 연구하고자 한다. 우선 1[MHz]이상의 고스위칭 주파수를 갖는 컨버터 전원에 응용하고자, 저온도시 소성세라믹인 LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic) 압전 변압기를 적용하며, DC-DC 컨버터로서 적합한 압전 변압기를PSPICE를 사용하여 시뮬레이션을 하고 적용된 적층형 압전 변압기의 부하저항 및 구동주파수에 따른 승압비, 출력전류, 출력전압 및 출력전력 등 전기적 특성을 조사하고, 1[MHz]이상의 고 스위칭 주파수를 갖는 DC-DC 컨버터를 개발하고자 한다.

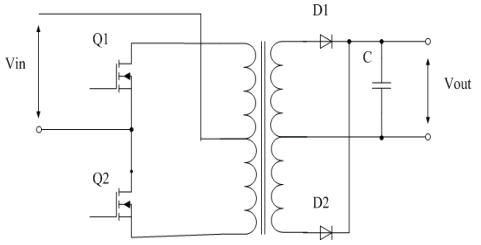
2. 본론

2.1 DC-DC 컨버터 동작 원리

PWM 컨버터 방식 그림 1의 (a)와 (b) 같은 두 가지 구조로 전력회로의 구조가 간단하고, 제어하기 편리하며, 동작 시 전력용 스위치의 전압 및 전류에 대한 스트레스가 작아서 대부분의 DC 전원차에 널리 사용되고 있다. DC-DC 컨버터의 높은 효율을 갖고, 고전력 밀도의 전원을 구현하기 위해서는 기존의 PWM 컨버터와 같이 전압 및 전류 스트레스가 적으며, 공진형 컨버터와 같이 소프트 스위칭을 하여 스위칭 손실도 줄일 수 있어서 고주파에서 고효율의 실현이 가능한 소프트 스위치 방식은 PWM제어 컨버터가 이상적이다. 또한 PWM 컨버터의 전력변환 토폴로지는 하프(Half-Bridge)방식과 푸쉬풀(Push-Pull) 방식이 있다. 푸쉬풀(Push-Pull) 방식은 전압, 전류의 제로 크로싱(Zero Crossing)이 가능하며 스위칭 손실은 아주 작으나 내압이 큰 소자를 사용해야 하는 결함을 가지고 있다. 반면 하프(Half-Bridge) 토폴로지는 스위칭 소자의 정격이 높지 않아도 되고, 회로를 간단하게 제작할 수 있는 장점이 있다.



(a) 하프(Half-Bridge)방식

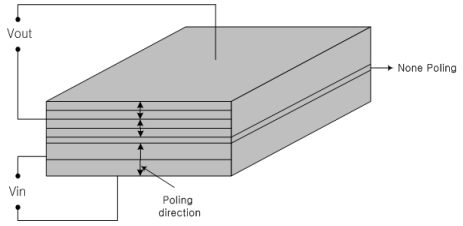


(b) 푸쉬풀(Push-Pull)방식

[그림 1] DC-DC 컨버터

2.2 압전 변압기

압전 변압기는 전기적 에너지를 압전 역효과에 의해 기계적 에너지로 변환하고, 그 기계적 에너지를 압전 정효과에 의해 다시 전기적 에너지로 변환하는 소자로 일반적인 권선형 변압기와 비교할 때 구조가 간단하고, 소형이며, 박형으로 제작이 가능하고 높은 효율을 지니며, 누설 자속에 의한 노이즈가 없다는 장점과 소형, 경량화가 가능한 특징을 지니고 있다. 실험에 사용된 압전 변압기는 그림 2와 같은 구조로서 두께방향 진동모드로 2차 공진모드가 공진 주파수 대역이 넓으며, 가장 낮은 임피던스를 나타내는 등 가장 우수한 특성을 가지고 있다. 또한 두께방향 진동모드는 [MHz]의 고주파수에서도 구동이 가능하며 표피 및 근접효과가 없고 전자 노이즈가 발생하지 않는 장점을 가지고 있어 권선형 변압기 보다 소형이며 고 전력을 얻을 수 있다.[7]



[그림 2] 압전 변압기의 구조

2.3 압전 변압기의 등가회로 해석

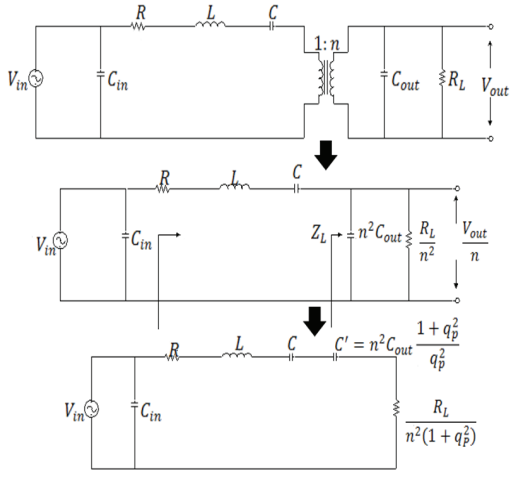
그림 3은 압전 변압기의 등가회로를 나타낸 것이다. 그림3 에서의 화살표는 압전 변압기 2차측을 1차측으로 변환하는 과정을 나타낸 것이다. 압전변압기의 해석은 어드미턴스 원선도를 이용하여 집중 등가회로의 제반 정수를 구할 수 있다. 등가회로에서$q_p = \omega R_L C_{out}$이며 그리고, 등가회로에서의 입력 임피던스 Zin 과 전압이득 V_{gain}은 식(2)와 같이 계산된다.

$$Z_{\in} = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} + Z_L \qquad (1)$$

$$V_{gain} = \left|\frac{Z_L}{Z_{\in}}\right| = \left|\frac{\frac{R_L}{n^2(1+q_p^2)} + \frac{q_p^2}{j\omega n^2 C_{out}(1+q_p^2)}}{Z_{\in}}\right| \qquad (2)$$

또한, 효율 η는 식(3)과 같이 계산된다.

$$\eta = \frac{Re|Z_L|}{Re|Z_{\in}|} \qquad (3)$$



[그림 3] 압전 트랜스포머의 등가회로

따라서, 효율은 다음과 같이 되며, $q_p = 1$일 때 공진주파수에서 최적효율(optimum) η는 식 (4)와 같이 된다. 여기서 R_L은 부하저항 이다.

$$\eta(optimum) = \frac{R_L(opt)}{2n^2R + R_L(opt)} \qquad (4)$$

따라서 ,$q_p = 1$, 즉 $R_L = \frac{1}{2\pi f_r C_{out}}$ 일 때 최적효율이 얻어지므로 압전 변압기의 출력임피던스와 부하저항과의 임피던스가 같아질 때 압전 변압기의 효율이 최대가 되며, 그 때 온도상승은최소가 된다.

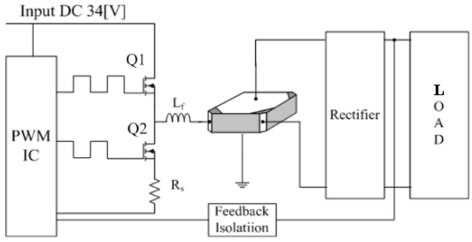
2.4 압전 변압기를 이용한 DC-DC 컨버터의 동작원리

본 연구에서는 승압된 직류전압을 고주파인 1[MHz]이상의 구형파로 변환하는 하프 브리지 방식으로 회로 구성을 하였으며 스위칭 소자도 안전동작영역(SOA : Safety Operation Area)이 넓고 신뢰성이 높은 MOSFET를 사용함으로서 스위칭 손실을 줄이고 변환효율을 높일 수 있다는 장점을 지니게 된다. 사용되어진 스위칭 소자인 MOSFET의 특성을 살펴보면, 턴-온(Turned-On)시 캐리어(Carrier)축적효과에 따른 축적시간 지연이 없으므로 빠른 스위칭 속도를 지니고 있으며 전압 제어형 소자로 구동전력이 작고 회로 구성이 간단하며 열적 안정성이 뛰어나므로 2차 항복현상이 일어나기 어려우며 파괴에 강한 특성을 지닌다. 또한 스위칭 소자 자체에 환류 다이오드가 내장되어 있어 외부 회로가 구성되지 않아도 유도성부하의 전류가 연속적으로 흐를 수 있다는 장점을 지니게 된다.

그림 4는 하프 브리지(Half-Bridge) 컨버터 블록도 이다. 직류 전원전압이 두 부분으로 분리된 것으로서 각 스위칭 작용이 $V_{dc}/2$전압이 걸리게 되므로 스위치 수를 2개로 줄일 수 있다. 하프브리지 및 직렬 공진회로, 압전 변압기의 구성을 지닌 직렬 공진형 컨버터의 개략도를 나타낸 것으로서, 스위치 Q1이 닫혀 있으면 부하 전압이 $-V_{dc}/2$이고, Q2가 닫히면 부하전압이 $+V_{dc}/2$가 된다. 열려 있는 스위치의 양단전압은 부하전압의 2배로서 V_{dc}가 된다.

출력에는 '0'의 상태는 존재하지 않으며 회로에서 두 스위치 Q1과 Q2를 동시에 켰을 때 에만 출력전압이 '0'이 된다. 그러나 두 스위치가 동시에 켜지면 전원이 단락되므로 사실상 '0'상태는 존재하지 않는다.

컨버터의 제어시 직류링크가 이처럼 단락되지 않도록 조심해야 하고, Q1을 턴-오프 시킨 후 일정 시간이 경과한 후 Q2를 턴-온 시켜야 한다. 이와 같이 스위칭 소자 Q1과 Q2는 서로 교대로 온-오프 동작을 하게 되며, 스위치 순간의 단락 현상으로 인한 교차 순간의 충돌 현상을 방지하기 위해 지연시간을 만들어준다. 안정된 동작 유지를 위해 약 1.2[μs]의 지연 시간을 만들어 주게 되며, 또한 외부 캐패시터의 입력값과 저항을 조정함으로서 스위칭 온 까지의 상승시간과 오프까지의 하강시간을 조절해 줌으로서 안정된 동작과 스위칭 손실을 줄인다.



[그림 4] 압전 변압기를 이용한 DC-DC 컨버터의 블록도

하프 브리지의 발진 주파수는 PWM IC를 이용한 전압 제어 발진방식을 사용하였다. 이렇게 발진된 주파수는 스위칭 소자를 구동시킴으로서 고주파수를 지닌 구형과 전압을 발생하게 된다.

3. 실험 및 시뮬레이션

3.1 DC-DC Converter의 PSPICE 시뮬레이션 모델링

압전 변압기 1차측은 교류입력을 갖기 때문에 정현함수를 갖는 식으로 표현 된다. 따라서 압전 변압기의 입력측 전압 $V_{Lr}(t)$는 식 (5)와 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{Lr}(t) = V_{Lr} sin\omega_s t \tag{5}$$

$$V_{Lr}(t) = \frac{2}{\pi}\frac{V_{in}}{(1-D)} sin D\pi \tag{6}$$

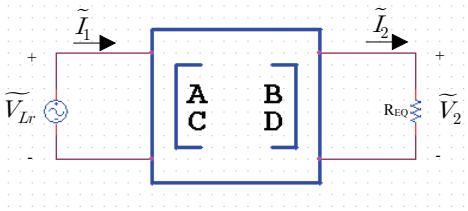
또한 압전 변압기의 출력 단자 측의 등가 임피던스R_{EQ}는 식(7)로 표현된다.

$$R_{EQ} = \frac{\pi^2}{2} R_L \tag{7}$$

그림 3의 교류 등가회로에서 RLS와 Rd는 LS의 등가저항이다. 출력전압 V_0의 반주기 동안의 평균값은 식 (8)로 표현되며, 승압비 G는 식 (9)으로 나타낼 수 있다.

$$V_o = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} V_2 sin\,\omega t\, d\omega t = \frac{V_2}{\pi} \tag{8}$$

$$G = \frac{V_2}{V_{Lr}} = \frac{\pi V_o}{\frac{2}{\pi}\frac{V_0}{(1-D)} sin D\pi} = \frac{(1-D)\pi^2}{2 sin D\pi}\frac{V_o}{V_{in}} \tag{9}$$



[그림 5] F-Martix

그림 3을 그림 5의 F-Matrix 형태로 나타내어 식 (10)과 같이 입·출력 전압과 전류의 관계를 구할 수 있다.

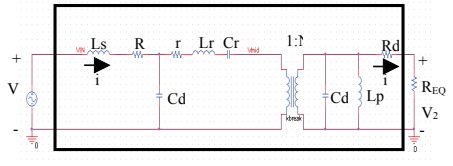
$$\begin{bmatrix} \tilde{V}_{Lr} \\ \tilde{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{V}_2 \\ \tilde{I}_2 \end{bmatrix} \tag{10}$$

[표 1] 적층 압전 변압기 등가회로의 시정수

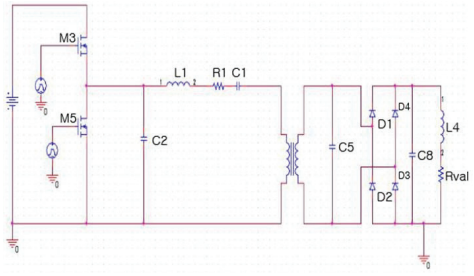
R[Ω]	Cd[nF]	Cr[pF]	Cd2[nF]	Lr[μH]
18.98	1.378	99.74	1.31	174.36

표 1은 압전 변압기 등가회로의 시정수 값을 나타 낸 것이다.

그림6은 적층 압전 변압기의 등가 회로를 PSPICE 시뮬레이션을 위한 등가 모델을 나타낸 것이다. 압전 변압기 PSPICE시뮬레이션을 위해 그림7의 적층 압전 변압기의 등가회로를 포함한 하프(Half-Bridge) DC-DC 컨버터의 PSPICE시뮬레이션을 하는 제안된 회로모델을 나타내었다.



[그림 6] 압전 변압기의 PSPICE 등가 모델

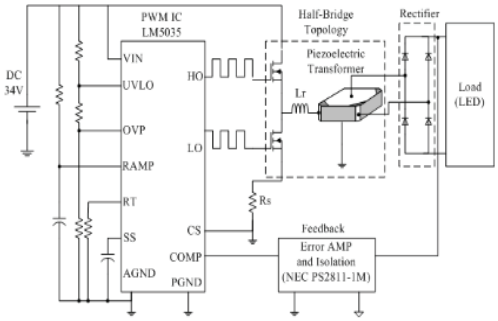


[그림 7] 적층 압전 변압기를 이용한 하프(half-bridge) DC-DC 컨버터

3.2 압전 변압기를 이용한 DC-DC Converter 회로 구성

적층형 압전 변압기를 이용한 DC-DC 컨버터는 다음과 같은 조건이 필요하다. 첫째로 적층형 압전 변압기를 구동하기 위해서는 고주파의 DC-AC 변환기가 있어야 한다. 이는 적층형 압전 변압기는 일반 권선형 변압기와 달리 높은 강압비를 얻기 위해서는 공진주파수와 동일한 구동주파수의 선형적 교류전압을 인가하여만 하고, 공진주파수 영역은 압전 변압기의 특성상 좁은 영역을 가지고 있기 때문에 구동 주파수의 매칭은 필수적이다. 둘째로 부하의 손상 시 과전압보호, 저전압 입력방지, 그리고 과전류 보호회로 등이 필요하다.

그림 8은 압전 변압기를 이용한 DC-DC컨버터의 간이화한 회로이다. 압전 변압기의 구동 주파수 발진시키는 PWM IC와 DC-AC변환 하프 브리지(Half-Bridge) 토폴로지, AC-DC 정류회로, LED 부하, 피드백 회로로 구성되어 있다.



[그림 8] 압전 변압기를 이용한 DC-DC 컨버터의 간이 회로도

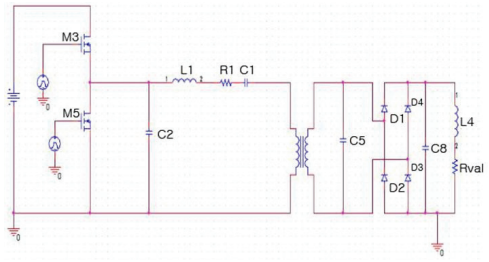
압전 변압기의 측정된 공진 주파수 fr은 1.2[MHz] 부근이며, 측정된 압전 변압기의 입력 측의 캐패시터 C_0의 값은 0.59[nF]이므로 Lr은 30[μH] 보다 작은 값으로 선정하여야 한다. 또한 작은 직렬공진 인덕터의 용량은 고조파에 의해 정현파가 되지 않으며 입력 전류의 증가로 효율 또한 감소하고, 큰 인덕터의 경우는 입력 전류의 감소로 인하여 충분한 출력을 얻기 힘들다. 따라서 실험에 선정한 직렬공진 인덕터의 용량은 22[μH]이다.

구동회로에 사용된 보호회로는 그림 8에 나타 낸 것과 같이 입력과 UVLO, OVP 핀과 연결된 저항으로 프로그램된 과전압 입력, 저전압 입력 시 자동 오프 기능 UVLO, OVP를 사용하여 입력신호에 대한 보호회로를 사용하였다. 압전 변압기는 무부하시 최대 승압비를 나타내므로 갑작스런 부하 개방상태가 되면 발진이 상승하여 과 진동을 하게 된다. 이로 인한 파손을 방지하기 위해 컨버터 전체와 압전 변압기에 무리가 가지 않도록 지속적인 센싱이 필요하다. 따라서 그림 8의 압전 변압기의 1차측의 전류신호를 센싱 저항 Rs에서 감지하는 과전류 보호회로를 사용하였으며 또한 포토 커플러(NEC PS2811-1M)를 사용하여 피드백 회로를 구성하여 HO, LO에서 출력되는 펄스 신호의 듀티 사이클 및 주파수를 컨트롤 하여 출력 전압을 고정과 압전 변압기의 공진 주파수를 추종 제어할 수 있도록 설계 하였다.

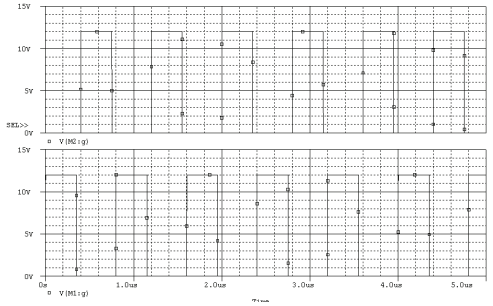
3.3 압전 변압기의 시뮬레이션

그림 9는 적층 압전 변압기의 등가회로를 포함한 하프 브리지(Half-Bridge) DC-DC 컨버터의 PSPICE모델을 나타내었다.

그림 10은 MOSFET의 게이트 전압 파형으로 적층형 압전 변압기의 구동 주파수가 1.21[MHz] 부근이기 때문에 MOSFET 두개를 사용하여 교번 스위칭하여 적층형 압전 변압기의 구동 주파수를 인가하였다.

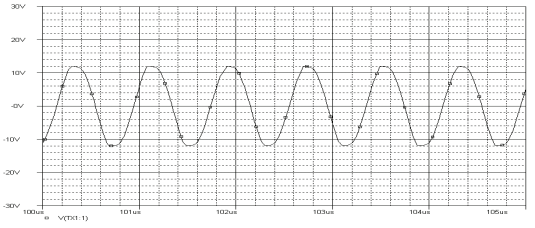


[그림 9] 적층 압전 변압기를 이용한 하프 브리지 (half-bridge) DC-DC 컨버터

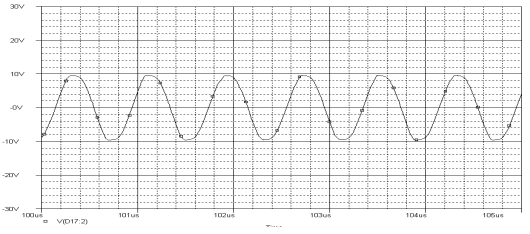


[그림 10] M3, M5의 게이트 전압

그림 11과 그림 12는 입·출력 전압이 MOSFET에 의해서 교번 스위칭 되어 적층 압전 변압기의 인가되는 전압 파형을 나타낸 것이다. 부하 저항이 10[Ω]으로 하여 입·출력 파형을 나타내었다.



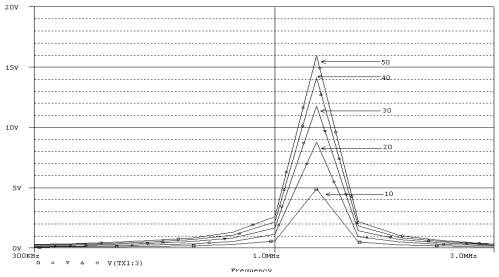
[그림 11] 적층 압전 변압기 입력전압 파형



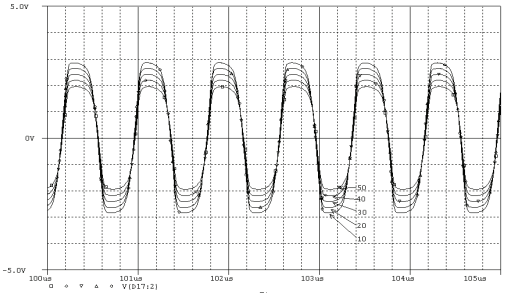
[그림 12] 적층 압전 변압기 출력전압 파형

그림 13은 부하저항을 10[Ω], 20[Ω], 30[Ω], 40[Ω], 50[Ω] 가변 했을 시와 구동 주파수에 따른 변압기의 출력전압의 파형이다.

그림 14는 PSPICE로 모델링된 적층형 압전 변압기의 등가회로를 구동 주파수와 부하저항의 가변 하였을 때 적층형 압전 변압기의 출력 파형은 부하저항이 50[Ω]일 때 적층형 압전 변압기의 효율이 가장 좋음을 볼 수 있으며 적층형 압전 변압기의 공진 주파수가 1.21[MHz] 부근임을 알 수 있다.

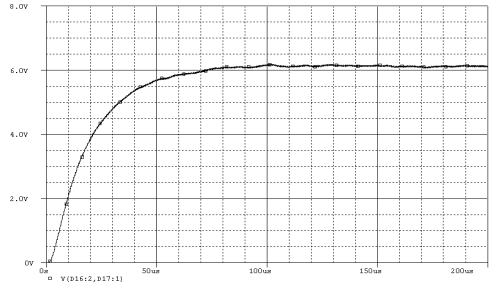


[그림 13] 구동 주파수와 부하저항 가변에 따른 적층 압전 변압기 출력 파형



[그림 14] 부하저항 가변 시 적층 압전 변압기 출력 전압 파형

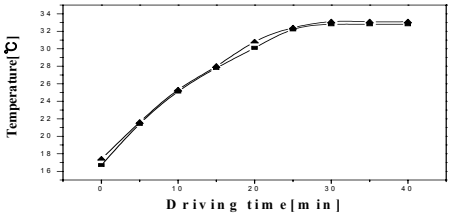
그림 15는 Half-Bridge DC-DC 컨버터 출력전압 파형이다. 입력 전압이 24[V]일 때 출력 전압의 값은 6[V]로서 적층형 압전 변압기에서 출력되는 정현파는 전파정류 회로를 거쳐 직류에 가까운 값을 가지게 된다.



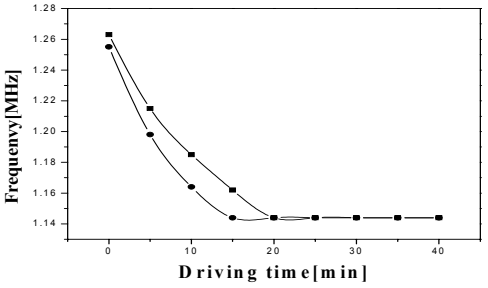
[그림 15] 하프브리지(Half-Bridge)DC-DC 컨버터 출력전압 파형

3.4 압전 변압기를 이용한 DC-DC 컨버터의 구동 특성

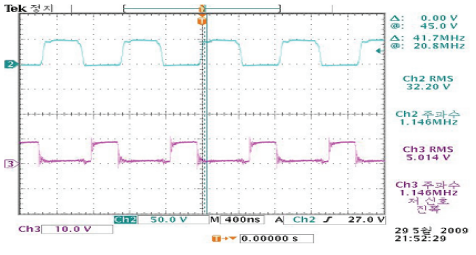
제작된 DC-DC 컨버터를 이용하여 고휘도 LED를 40분간 2차례에 걸쳐 점등 하였을 때의 특성을 조사하였다. 그림 16은 압전 변압기의 표면 온도를 측정한 그래프이며, 구동 15분까지 압전 변압기의 표면온도가 지속적으로 상승하다가 15분 이후부터는 온도상승이 감소하였다. 25분 후부터는 압전 변압기의 표면 온도가 약 33[℃]에서 포화되어 안정되었다. 압전 변압기의 표면 온도 상승은 약 17[℃]로 측정되었다. 압전 변압기의 온도 상승으로 인하여 공진 주파수 또한 감소하는 특성을 갖는다. 그림 17에 나타냈듯이 구동 주파수 역시 압전 변압기의 표면 온도가 포화되는 시점인 구동 15분 후부터는 약 1.14[MHz]로 고정되었다. 그림 18은 제안한 컨버어터 장치에서 두 개의 MOS FET의 게이트 신호전압 파형을 나타내었다.



[그림 16] 구동 시간에 따른 압전 변압기의 표면 온도



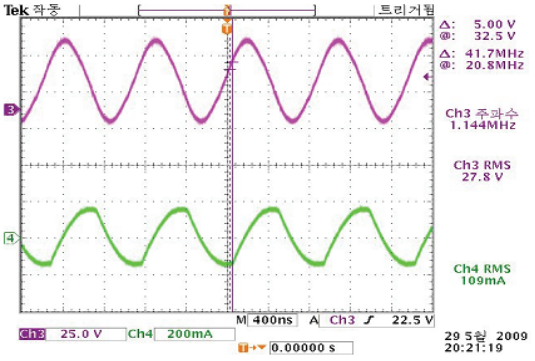
[그림 17] 구동 시간에 따른 구동 주파수 특성



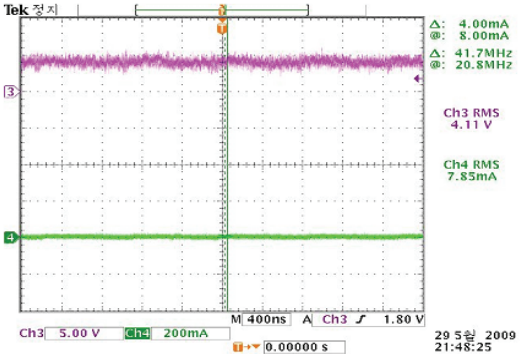
[그림 18] 구동회로 FET단의 입력신호와 출력 파형

그림 19는 압전 변압기의 표면 온도와 주파수가 안정되었을 때의 입력 전압, 전류 파형이며 구동 주파수는 1.14[MHz]이다. 그림 20은 정류회로를 거친 DC파형으로 고휘도 LED를 점등하였을 때 출력 파형을 나타낸 것이다.

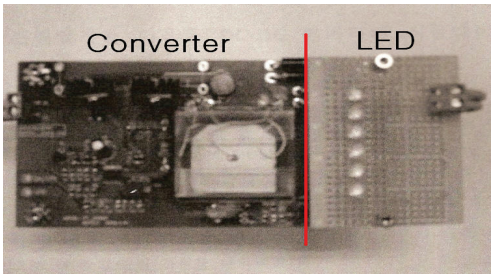
그림 21은 압전 변압기를 이용한 컨버어터 장치이며, 그림 22는 압전 변압기를 이용한 컨버어터 장치를 이용하여 LED를 구동하여 점등한 상태를 나타내었다.



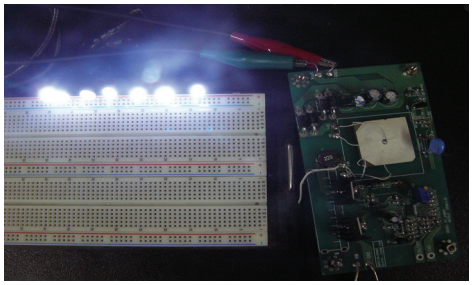
[그림 19] 압전 변압기의 입력 전압(위), 전류(아래) 파형



[그림 20] 고휘도 LED 출력파형



[그림 21] 압전 변압기를 이용한 컨버터장치



[그림 22] 압전 변압기를 이용한 컨버터에 의해 점등된 고휘도 LED

4. 결론

본 연구에서는 두께 진동모드형 압전 변압기를 이용하여 부하저항, 구동주파수에 따른 전기적 특성을 조사하였으며, 고휘도 LED를 점등시켜 그 특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 주파수와 부하저항에 따른 승압비를 측정한 결과 부하저항의 증가에 따라 승압비도 증가 하였고 주파수 1.42[MHz]~1.44[MHz]에서 최대승압비가 나타났으며, 각각의 최대 승압비는 0.99, 1.44 그리고 1.58배의 승압비를 나타내었다.

(2) 부하저항에 따른 효율은 17 [Ω]에서 96.9[%]의 최대효율을 나타내었다.

(3) 입력전압과 부하저항에 따른 출력전력을 측정한 결과 입력 전압이 증가할수록 출력 전력이 증가하였고, 매칭저항 부근에서 비교적 큰 출력전력을 나타내었다.

(4) 제안된 두께 진동모드의 적층 압전 변압기를 이용한 DC-DC 컨버터는 DC40[V]을 1.14[MHz]의 구동 주파수에서 안정적으로 고휘도 LED를 점등할 수 있는 DC4.11[V]출력을 낼 수 있었다.

(5) 고휘도 LED를 40분간 점등 하였을 때 압전 변압기의 표면온도는 17[℃]의 온도 상승률을 나타내었으며, 구동 25분후부터는 포화되었고 구동주파수 또한 압전 변압기의 온도가 상승되면서 감소하였으며 1.14[MHz]에서 안정적으로 고휘도 LED를 점등 하였다.

(6) 측정된 압전 변압기의 공진 주파수는 1.2[MHz]부근이나 실제 설계된 DC-DC 컨버터에 적용하였을 때 압전 변압기의 온도상승으로 안하여 압전 변압기의 공진 주파수가 감소하였고 그에 따라 구동 주파수가 1.2[MHz]에서 1.14[MHz로] 감소하였다

참고문헌

[1] J. H. Yoo, K. H. Yoon, Y. W. Lee, S. J. Suh, J. S. Kim, and C. S. Yoo, " Electrical Characteristics of the Contour-Vibration- Mode Piezoelectric Transformer with Ring/ Dot Electrode Area Ratio", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 39, No. 5A, p 2680, 2000.

[2] J. H. Yoo, K. H. Yoon, S. M. Hwang, and S. J. Suh, "Electrical characteristics of high power piezoelectric transformer for 28W fluorescent lamp", Sensor and Actuators, Vol. A 2884, p 1, 2001.

[3] X.X. Wang, K. Murakami, O. Sugiyama, S. Kaneko "Piezoelectric properties, densification behavior and microstructural evolution of low temperature sintered PZT ceramics with sintering aids" Journal European Ceramic Society, vol 21, no. 10, pp. 1367, 2001.

[4] S. Zhang, R. Xia and T. R. Shrout, "Low temperature sintering and properties of piezoelectric ceramics PSNT-Mn with LiBiO2 addition", Materials Science and Engineering: B, vol. 129, no. 1-3, pp. 131, 2006.

[5] R. Zno, L. Li and Z. Gui, “Modified cofiring behaviors between PMN-PNN-PZT piezoelectric ceramics and PZT-doped 70Ag-30Pd alloy metallization”, Mat. Sci. Eng., Vol.A326, pp.202-207, 2002.

[6] K. Nagata, J. Thongrueng, and K. Kato, "Evaluation of the reliability of piezoelectric ceramic transformers", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 36. No. 9B, p. 6103, 1997.

[7] O. Ohnishi, Y. Sasaki, T. Zaitsu, H. Kishie, and T. Inoue, "Piezoelectric ceramic transformer for power supply operating in thickness extensional vibration mode", IEICE Trans. Funda., Vol. E77-A, No. 12, p. 2098, 1994.

황 락 훈(Lark-Hoon Hwang) **[정회원]**

- 1981년 2월 : 명지대학교 전기공학과 (공학사)
- 1983년 8월 : 명지대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1989년 8월 : 명지대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 1988년 3월 ~ 1991년 2월 충남 전문대학 (현 대덕대학) 전기과 조교수
- 1991년 3월 ~ 현재 : 세명대학교 전기공학과 교수

<관심분야>
에너지 변환, 전동기 제어, 전력전자 응용분야, 반도체 시뮬레이션 등

나 승 권(Seung-Kwon Na) **[정회원]**

- 1999년 2월 : 세명대학교 전기공학과 (공학사)
- 2001년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학석사)
- 2008년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학박사)
- 1981년 7월 ~ 1988년5월:부산위생 (한방)병원
- 1988년 5월 ~ 1994년 8월 : 한국수자원공사
- 1994년 8월 ~ 현재 : 한국 폴리텍 Ⅲ대학 원주캠퍼스 의용공학과 부교수

<관심분야>
의용공학, 전력전자 응용분야, 에너지 변환등

최 기 호(Gi-Ho Choi) **[정회원]**

- 2008년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학석사)
- 1981년 10월 : 한국 폴리텍Ⅱ대학 남인천 캠퍼스 전기제어과 조교수
- 2008년 2월 ~ 현재 : 한국 폴리텍Ⅲ대학 원주캠퍼스 전기제어과 조교수

<관심분야>
소방설비, 승강기, 전기기기, 전력전자 응용분야 등