

피에조 액츄에이터 구동용 에너지 회수형 인버터의 특성과 구동 기법 연구

A Study on Characteristics and Driving Techniques of Energy Recovery Type Inverter for Piezo Actuator Drive

홍 선 기[†] · 이 정 섭* · 변 남 희* · 나 유 청* · 강 태 삼**

(Sun-Ki Hong · Jung-Seop Lee · Nam-Hee Byeon · Yoo-Cheong Na and Tae-Sam Kang)

Abstract - Piezo devices have large power density and simple structure compared with conventional electrical motors. Thus they can generate larger forces than the conventional actuators with small size. Their responses to commands are also very fast and thus the bandwidths are very wide. Thus the piezo devices are expected to be used widely in the future for actuating devices requiring fast response and large actuating force with small size. However, the piezo actuators need high voltage with high driving current due to their large capacitive property. In this paper, proposed is a simple method to drive piezo devices using voltage inversion circuit with coil inductance. The coil inductance carries the charges in the piezo device to the opposite side, inverting the polarity of the applied voltage, thus saving the power to drive the device with AC voltages. Experiments with real circuit demonstrates that the proposed scheme can improve the energy efficiency very much.

Key Words : Piezo devices, Piezo device driving, Energy efficiency, Capacitive load driving

1. 서 론

전기모터, 유압식, 공압식 액츄에이터들이 이를 구동하기 위한 주변 장치들로 인하여 크기와 무게가 증가하는 단점이 있는 반면, 피에조 소자는 전원만으로도 구동이 가능하고, 소형 경량화가 가능하기 때문에 많은 연구들이 수행되어 왔다 [1-4]. 이 중, 피에조 밸브 등의 구동 시스템은 교번 전압을 인가하거나 단방향 전압을 인가하여, 전압이 가해지면 소자가 변형을 일으키는 성질을 이용하여 전기에너지를 기계에너지로 변환할 수 있게 한다. 피에조소자는 전기적으로 저항과 커패시터 성분을 갖게 되어, 교번 인가 전압에 의해 극성이 반대로 될 때, 커패시터에 충전된 전압이 인가전압과 같은 극성을 갖게 된다. 이 때 흐르는 전류는 인가전압의 2 배 전압을 저항으로만 제한하게 되므로, 순시적으로 매우 큰 펄스 전류가 흐르게 되고, 저항성분에 의해 손실도 발생된다. 따라서 피에조 소자의 기계적 출력은 크지 않지만 이를 구동하기 위해 매우 큰 무효전력을 구동할 수 있어야 하고, 그 용량은 주파수에 비례하게 되어, 구동 주파수가 높을 경우 매우 큰 용량의 전원을 필요로 한다. 따라서, 커패시터의 극성을 반전시킬 때, 자신의 축적 에너지를 소모시키지 않고 스위치와 인덕터를 포함한 간단한 구조의 폐루프를 구성하여 극성 반전시 자신의 에너지로 자기 자신을 역방향으로

충전시켜, 에너지 소모를 최소화하고, 이 때, 부족한 전력만 외부 전원에서 공급하게 함으로써, 전원 용량을 최소화시키고 고자하는 노력을 수행해 왔다[5-7].

본 연구에서는, 이러한 에너지 회수형 회로에 대한 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 타당성을 확인하고, 에너지 회수 회로로 인하여 전원 용량이 충분히 감소될 수 있음을 보인다. 또한, 피에조소자는 -전압 구동 +전압 구동보다 작게 하여 소자의 성질을 보호하는 것이 필요하다. 이에 따라, 정방향과 역방향시 전원을 달리하여 부하에 인가되는 정, 역방향 전압을 조절할 수 있는 회로와 구동방법을 제시하고, 시뮬레이션을 통해 타당성을 확인하고자 한다.

2. 에너지 회수형 회로

그림 1은 일반적인 RC 부하를 H 브리지 인버터에 연결한 회로도이다. 스위치 S_1 과 S_4 가 켜지면, 부하 커패시터 C_{pz} 는 전원 전압 V_s 과 크기는 같고, 방향은 역방향으로 충전된다. 이 후, 스위치 S_1 과 S_4 이 꺼지고 S_2 와 S_3 가 켜지면, 이 순간 커패시터 충전 전압이 더해져 부하저항 R_{pz} 에 전원 전압 V_s 의 2배 전압이 인가되고, 전류는 순시적으로 $2V_s/R_{pz}$ 만큼의 큰 전류가 흐르게 된다. 커패시터가 다시 순방향으로 충전되면서 전류는 급히 0가 되지만, 이때의 에너지는 부하저항에서 소모되게 된다. 피에조 부하는 전류 크기가 아니라 인가 전압에 기계적 변위가 결정된다. 따라서 높은 전압이 요구되고 이 때문에 전압 극성이 바뀔 때마다 큰 전류가 흐르게 되며, 이때의 에너지는 대부분 열로 소모되어, 이러한 전압과 전류를 감당할 수 있는 전원이

* Dept. of Information Control Eng., Hoseo Univ.

** Dept. of Aerospace Information Eng., Konkuk Univ.

† Corresponding Author : Dept. of Digital Control Eng., Hoseo Univ.

E-mail : skhong@hoseo.edu

Received : July 1, 2013; Accepted : July 24, 2013

필요하게 된다. 이것은 피에조 부하가 용량성이 매우 큰 부하이기 때문에 실제 기계적인 출력에 비해 매우 큰 전원 용량이 필요하게 되며, 유효전력도 펄스 전류가 흐를 때마다 대부분 열손실로 소모된다. 따라서 이러한 전력 손실과 전원 용량을 저감할 수 있는 처리가 필요하며, 이에 대한 연구들이 진행되고 있다.

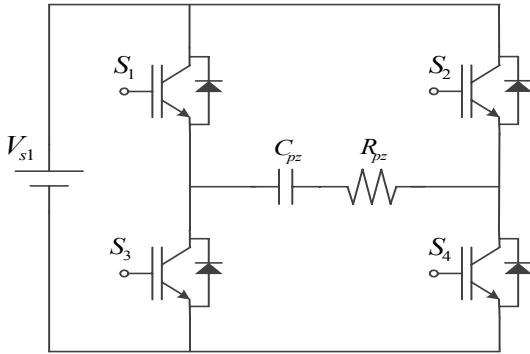


그림 1 H 브리지 인버터를 이용한 피에조 소자 전압구동
Fig. 1 Driving piezo element using H-bridge inverter

2.2 에너지 회수형 회로

그림 2는 기존의 피에조 부하에 대한 인버터 구동에서 나타난 문제에 대하여 피에조 부하에 병렬로 인덕터를 연결하고, 피에조 부하의 극성 변환이 필요할 때 자기 자신의 커패시터 성분에 충전된 에너지를 이용하여 반대 극성으로 충전할 수 있도록 구성한 회로이다[3].

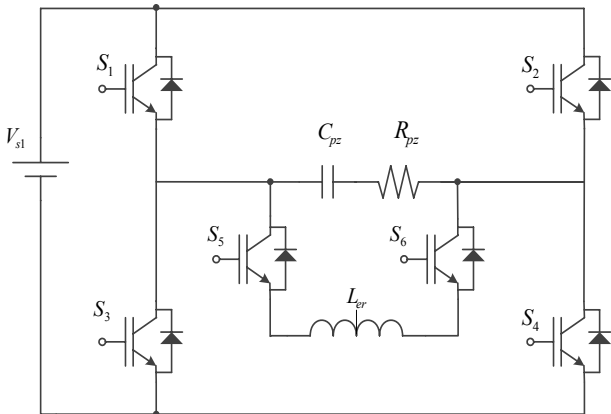


그림 2 극성반전을 이용한 에너지 회수 회로
Fig. 2 Energy recovery circuit by reversing polarity

즉, 스위치 S_1 과 S_4 가 켜있는 동안, 피에조 부하 커패시터에 V_s 만큼의 전압이 전원과 역방향으로 유지된다. 피에조 부하에 역방향 전압을 인가하기 위해 스위치 S_1 과 S_4 를 끄고, 스위치 S_2 와 S_3 를 켜지 전에, 스위치 S_5 를 켜면, 커패시터에 인가되어 있던 전압에 의해, 전류가 에너지 회수를 위한 인덕터 L_{er} 와 스위치 S_6 의 다이오드를 통해 커패시터의

전압과 역방향으로 전류가 흐르게 된다. 따라서 커패시터는 이전 상태와는 반대 방향으로 충전이 되면서 역방향 전압을 띄게 되고, 전류가 0이 되면 다시 반대방향으로 전류가 흐르려고 하게 된다. 그러나 스위치 S_6 이 켜져 있지 않고, 다이오드는 역방향이기 때문에 역방향 전류가 흐르지는 않는다. 이 때 커패시터 C_{pz} 에 걸리는 전압은 이전의 전압 V_s 보다 작게 되는데, 그 이유는 피에조 소자의 자체 저항 성분에서 에너지를 소모하게 되기 때문이다.

그림 3은 부족한 에너지를 보충하기 위해 스위치 S_6 를 켜서 커패시터 극성을 반대로 충전하고, 잠시 후 스위치 S_2 와 S_3 를 켜서 커패시터의 전압 크기가 V_s 가 될 때까지 전류가 전원으로부터 공급되는 경우이다.

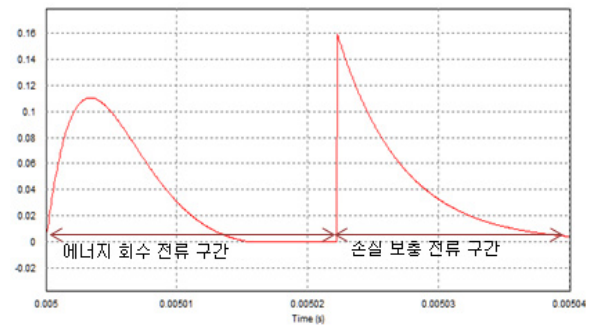


그림 3 에너지 회수형 구동회로에서의 부하 전류 변화
Fig. 3 Load current variation in energy recovery circuit

3. 에너지 회수형 회로 특성 시뮬레이션

에너지 회수형 회로를 시뮬레이션하기 위해서 중요한 요소 중 하나가 각 스위칭 소자를 어떻게 스위칭할 것인가이다. 그림 4는 그림 2 회로의 각 스위치 스위칭 신호이다. 즉, 2장에서 스위치의 동작 순서를 설명하였는데, 이들 스위칭 신호를 그림으로 표현한 것이다. 5, 6번의 에너지 회수용 스위치가 먼저 켜지도, 지연각 α 후에 H-브리지 스위치가 동작한다. 지연각 α 의 선정에 따라 에너지 회수의 특성이 변화하게 된다.

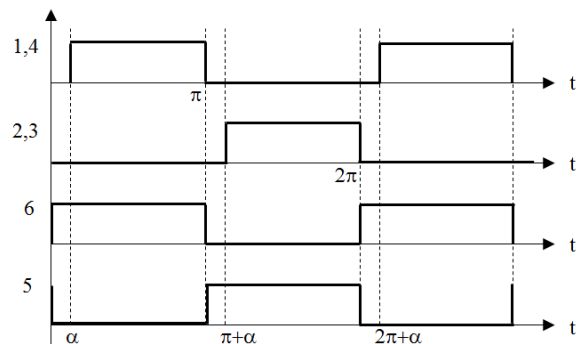


그림 4 에너지 회수형 회로 스위칭 순서도
Fig. 4 switching flowchart in energy recovery circuit

3.1 에너지 회수형 회로에서 인덕턴스 결정

에너지 회수형 회로에서 인덕턴스는 에너지 회수의 효과 뿐 아니라, 부하에 흐르는 전류의 파형과 피크치에 크게 영향을 주게 된다. 인덕턴스가 없을 경우에는 앞에서 설명한 바와 같이 커패시터 에너지가 바로 저항성분에 의해 열로 소모된다. 인덕턴스가 추가되면 우선 인덕턴스의 성질에 의해 순간적인 펄스전류가 흐르는 것이 아니라 급격한 전류 증가를 막기 때문에 전류 피크값을 저감시킬 수 있게 된다. 또한, 커패시터를 역방향으로 충전시키기 때문에 전원 전압을 인가하게 될 때에도 커패시터에 이미 충전 전압이 존재하게 되면 흐르는 전류의 피크 크기도 줄일 수 있게 된다. 이것은 역시 인덕턴스의 크기에 따라 다양한 변화 특성을 갖게 된다. 그림 5는 그림 2에서 스위치 S_5 가 도통되는 순간 부하에 대한 등가회로이다.

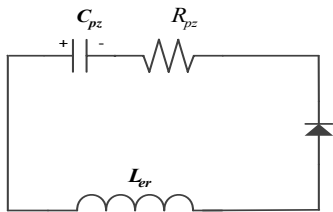


그림 5 그림 2에서 스위치 S_5 가 도통된 순간 회로
 Fig. 5 Temporary circuit in Fig. 2 for S_5 on

이때의 회로방정식은 다음처럼 표현될 수 있다.

$$LCv_c''(t) + RCv_c'(t) + v_c(t) = 0 \quad (1)$$

커패시터의 초기 전압을 $v_c(0) = V_{c0}$ 라고 하고, 커패시터의 전압을 구하면 다음과 같이 된다.

$$v_c(t) = V_{c0} \cdot e^{-\frac{R}{2L}t} \cdot \left(\cos \omega t + \frac{R}{2L} \cdot \frac{1}{\omega} \sin \omega t \right) \quad (2)$$

이 때 공진 각주파수 ω_R 은 다음과 같다.

$$\omega_R = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} \quad (3)$$

피에조 부하의 커패시턴스가 고정되어 있다고 하면, 이 주파수는 에너지 회수를 위한 인덕턴스 L 값에 따라 영향을 받는다. 그림 6은 인덕턴스 변화에 따른 부하 전류의 변화를 보여주고 있다. 인덕턴스가 커지면, (1)에서 알 수 있듯이 인덕턴스의 영향으로 전체 임피던스가 증가하게 되어, 그림 5와 같은 에너지 회수 동작 시에 흐르는 전류의 피크치가 감소한다. 더불어, 인덕턴스가 증가하므로, 공진 주파수가 감소하게 되고, 에너지 회수시의 전류 파형은 그림 6처럼 변화하게 된다. 에너지 회수를 위한 지연 시간이 지나고 H-브리지 스위치가 켜지면, 전원 전압과, R-C 부하 및 C에 충전되어 있는 전압과의 관계에서 피크 전류가 결정된다. 이 때

피크 전류 크기를 결정하는 중요한 요소는 커패시터에 충전된 전압의 크기가 된다. 따라서 에너지 회수시 이 전압이 가장 크게 되는 인덕턴스를 결정할 필요가 있다. 결국, 이때의 적절한 인덕턴스 값은, 부하의 R, C값, 그림 5회로 때의 공진 주파수 및 에너지 회수를 위한 지연시간에 영향을 받게 된다.

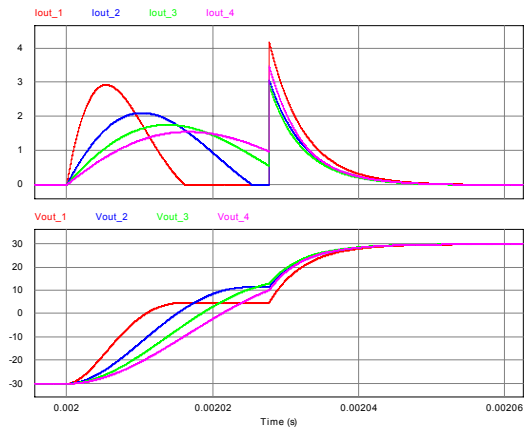


그림 6 인덕턴스 증가에 따른 부하전류 및 커패시터 전압의 변화

Fig. 6 Changes of load current and capacitor voltage according to the inductance increasing

그림 6에서 알 수 있듯이, 인덕턴스가 가장 작은 첫 번째의 경우, 부하 전류가 증가 후 감소하여 0가 되었으나, 아직 스위치 지연 시간이 끝나지 않아 전류는 0을 유지한다. 이 때 커패시터에 충전된 전압은 인덕턴스가 작아 저항성분에서 에너지를 거의 소모하고 작은 전압만 갖게 된다(Iout_1, Vout_1). 인덕턴스가 증가하여 Iout_2는 지연시간보다 약간 모자란 시점에서 전류가 0이 되고, Iout_3은 전류가 0이 되지 조금 전 지연시간에 도달한 경우, Iout_4는 인덕턴스가 충분히 커서, 지연시간이 지나는 순간에도 전류값은 0과 거리가 있다. 이 때 여기에 대응하는 커패시터 전압을 검토해보면, Iout_2의 경우 전압 Vout_2는 지연시간이 끝날 때 다른 전압보다 값이 작다. Vout_4는 인덕턴스가 너무 커서 Vout_3과 비교하여 전압 상승이 오히려 늦어, 최종 값도 약간 작다. 결국 적절한 최적의 값이 존재한다고 볼 수 있다. 당연히 커패시터에 걸리는 전압이 최대가 되도록 하는 것이 바람직한 것이므로, 회생전류가 0이 되는 순간에 해당하는 지연시간을 갖는 것이 가장 타당하다고 볼 수 있다. 이것은 공진 주기의 절반에 해당되는 것이 된다. 공진 주기는 다음 식으로 표현된다.

$$T_R = \frac{1}{f_R} = \frac{2\pi}{\omega_R} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}} \quad (4)$$

따라서 지연시간은 공진 주기의 절반인 다음과 같이 설정하면 적당하다고 볼 수 있다.

$$T_d = \frac{T_R}{2} \quad (5)$$

반대로 지연시간 T_d 가 결정되어 있다면 이때의 적절한 인덕턴스를 결정할 수 있다. 즉, 지연시간이 공진시간에 절반이 되도록 인덕턴스를 선택하면, 전원으로부터 흐르게 되는 전류 피크값을 최소로 되게 할 수 있으며, 손실을 줄일 수 있을 뿐 아니라, 전원 용량을 저감할 수 있는 효과를 얻게 된다.

3.2 지연각 영향

피에조 소자는 정확히 모델링하려면 히스테리시스 특성이 고려해야 하며 매우 복잡해지지만, 저항과 커패시터의 성질을 갖고 있기 때문에, 부하를 간단히 R-C로 모델링하였다. 에너지 회수의 효과를 알아보기 위해, 에너지회수용 인덕턴스의 크기 변화에 따른 효과, 스위치 S_6 가 켜지는 지연시간에 대한 효과를 검토하였다. 지연각을 일정하게 하고, 인덕턴스의 크기를 변화시켜 본 경우의 전류 변화는 그림 6에서 이미 살펴보았다. 그림 6에서는 인덕턴스가 증가할수록 LC 직렬회로에서 임피던스가 증가하게 되어 처음 스위치가 온 되었을 때 피크 값을 감소하게 됨을 알 수 있다. 하지만, 인덕턴스가 너무 크면, 에너지 회수시의 전류 상승이 너무 느려, 지연시간까지 회수되는 에너지가 더 작아질 수 있다. 이런 경우라면 지연시간을 증가시키거나, 인덕턴스 값을 줄여야 한다.

다음은 인덕턴스를 고정하고, 지연시간을 조정하는 경우이다. (4), (5)에서 알아보았듯이, 지연시간 T_d 는 공진 주기의 절반이 되는 것이 바람직하다. 그러나 지연시간이 너무 길면 에너지 회수 전류가 감소하여 0가 된 이후에는 다이오드 때문에 전류가 역으로 흐르지는 못하지만, 역시 더 이상 커패시터를 충전할 수 있는 전류가 없으므로 커패시터의 충전 전압은 일정하게 된다. 따라서 피크 전류는 그대로 일 수 있지만, 시간이 그만큼 흐르고 다시 전원에서 전압이 인가되어 출력 전압 파형의 왜곡이 증가할 수 있다.

반면 지연 시간이 공진 주기 절반보다 너무 짧으면 에너지 회수 효과가 감소하게 된다. 그림 7은 지연시간을 그림 6에 비해 더 작게 준 경우(2°)와 더 크게 준 경우(8°)에 대한 시뮬레이션 결과이다.

5°인 경우는 지연시간이 공진주기의 절반보다 약간 긴 경우이고, 8°인 경우는 이미 공진주기 절반보다 많이 긴 경우가 되어, 전류 피크값에 영향을 주지 못한다. 반면, 2도인 경우는 공진 주기의 절반보다 많이 짧기 때문에 커패시터가 충분히 충전되지 못한다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 커패시터가 충전되는 전압은 5°나 8°인 경우에 비해 훨씬 작아 심지어는 전압이 역전되지 못하고 -에 머물러 있는 순간 전압 전압이 인가될 수도 있다. 이런 경우에는 커패시터 전압이 인가전압과 순방향이 되어 5°와 8°와 다르게 피크 전류는 매우 커질 수 있다. 지연각이 0라는 것은 에너지 회수회로 없이 기존의 H-브리지 인버터 방식을 이용하는 것과 같은 결과가 되며, 스위칭 되는 순간마다 큰 전류가 흐르게 된다.

4. 에너지 회수형 회로 특성 실험

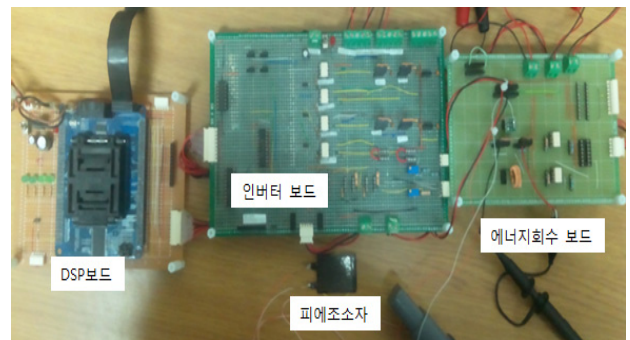


그림 8 실험 시스템
Fig. 8 Experiment system

그림 8은 본 연구에서 피에조 소자를 이용하여 에너지 회수 실험을 하는데 이용한 구성 사진이다. 인버터의 스위칭 신호 발생은 DSP를 이용하여 제어하였다. DSP는 TI의 TMS320F28335를 이용하였으며, 여기서 발생한 스위칭 신호는 포토커플러를 통하여 IGBT 게이트에 입력된다. 부하는 60Ω, 80nF의 용량을 갖는 피에조 소자를 시험용으로 이용하였다.

그림 9는 인가전압 10V, 인덕턴스가 46μH 에너지 회수 회로에, 지연각을 1°, 3°, 5°를 준 경우의 전압 및 전류 파형이다. 전류가 시뮬레이션과 달리 진동이 있는 것은 피에조 소자가 액추에이터로서 기계적 변위가 발생하는 것에 기인하는 것으로 예상된다. 하지만, 처음 발생하는 전류 파형은 시뮬레이션과 매우 일치하게 되는 것을 볼 수 있다. 즉, 지연각이 작은 1°에서는 에너지가 충분히 회생전 스위치가 켜진 경우, 3°에서는 좀 더 회수가 된 경우 5°에서는 전류가 0가 된 후 스위치를 켜는 경우가 된다. 이런 경우에는 지연각을 5° 정도로 하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다. 이때는 최대 피크 전류도 점점 감소한 것을 알 수 있으며, 5° 이상은 지연각을 주는 의미가 없다고 볼 수 있다.

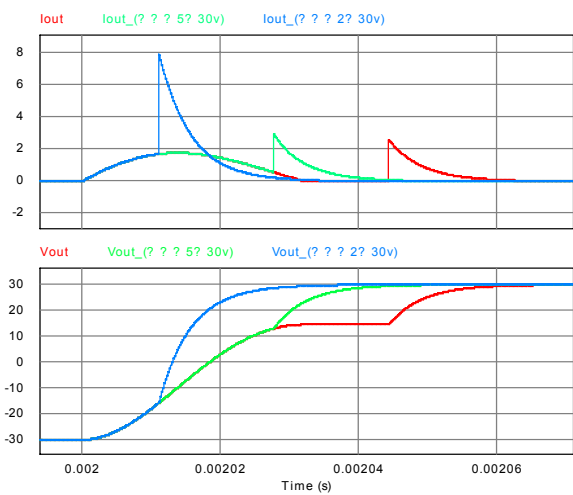
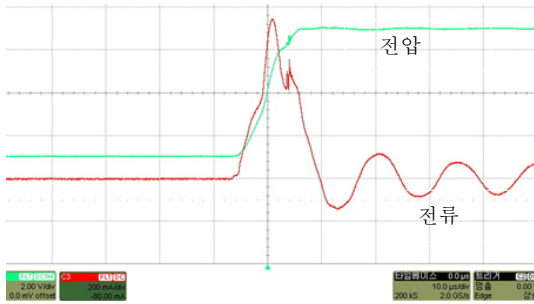
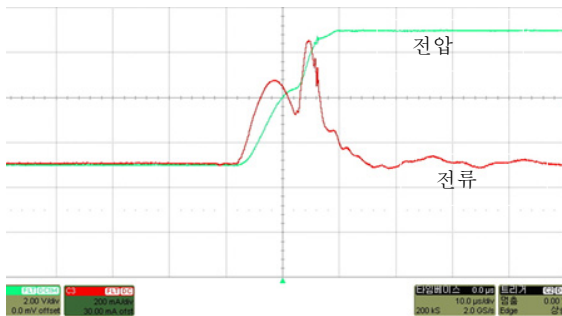


그림 7 일정 인덕턴스에서 지연각 변화에 따른 전류와 커패시터 충전전압 변화
Fig. 7 Changes of current and capacitor charged voltage according to delay angle



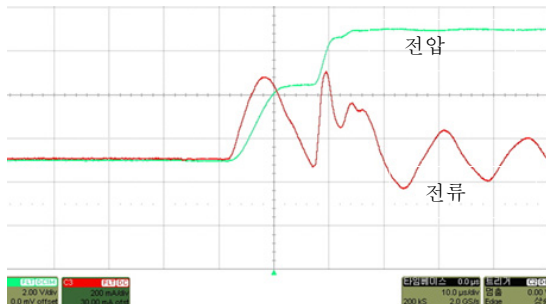
(a) 전압 및 전류 파형(지연각 1°)

(a) Voltage and current waveform(delay angle : 1°)



(b) 전압 및 전류 파형(지연각 3°)

(b) Voltage and current waveform(delay angle : 3°)



(c) 전압 및 전류 파형(지연각 5°)

(c) Voltage and current waveform(delay angle : 5°)

그림 9 $L=46\mu F$ 일 때, 지연각에 따른 전압, 전류 파형
Fig. 9 Voltage and current waveforms for $L=46\mu F$, according to the delay Angle

이런 방식으로 일정 인덕턴스에서 지연각을 변화시켜 보고, 또한 일정 지연각에서 인덕턴스를 변화시켜서 다음 표 1과 2를 작성하였다. 에너지 회수회로가 없는 기존의 H-브리지 인버터에서 피크 전류는 340mA이었다. 표 1은 시뮬레이션, 표 2는 실험 결과이다. 표와 실험의 값은 어느 정도 오차가 있는 것은, 피에조 부하가 R-C로 구성되기는 하지만, 히스테리시스 특성과 기계적 변위로 정확한 모사가 어렵기 때문에 오는 오차라고 판단된다. 하지만, 적당한 인덕턴스와 지연각이 에너지 회수 또는 최대 전류 저감 및 이에 따른 전원 용량의 감소에 기여할 수 있음은 분명한다고 볼 수 있다.

표 1 지연각과 인덕턴스에 따른 부하 피크전류(시뮬레이션)

Table 1 Load peak current according to delay angle and inductance (simulation)

Delay time \ L_{eq}	46uH	123uH	200uH	398uH
	1°	220mA	229mA	249mA
3°	167mA	164mA	146mA	133mA
5°	164mA	160mA	146mA	127mA
7°	164mA	160mA	146mA	127mA

표 2 지연각과 인덕턴스에 따른 부하 피크전류(실험)

Table 2 Load peak current according to delay angle and inductance (experimental)

Delay time \ L_{eq}	46uH	123uH	220uH	398uH
	1°	220mA	260mA	280mA
3°	180mA	200mA	220mA	240mA
5°	140mA	140mA	140mA	200mA
7°	140mA	140mA	140mA	200mA

5 결론

본 논문에서는 피에조 소자와 같이 용량성을 가지는 소자를 효과적으로 구동하기 위한 방법을 제시하였다. 즉, 용량성 부하에 인덕터를 병렬로 연결하고, 2개의 스위치를 이용하여 용량성 부하에 걸린 전하를 반대의 극성으로 바꾸어 줄 수 있게 함으로써, 피에조 소자에 효과적인 구형과 형태의 전압을 인가할 수 있게 하였다. 제시된 방법은 (+) 방향으로 충전된 전하를 (-) 방향으로 충전되도록 인덕턴스와 스위치를 이용하였다. 또한 인덕턴스의 크기에 따라 에너지 회수의 효과와 특성을 해석하였으며, 에너지 회수를 위하여 에너지 회수 후 H-브릿지가 도통되는 지연각의 특성도 시뮬레이션 및 실험을 통해 타당성을 확인하였고 적절한 인덕턴스나 지연각을 결정할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 제안된 방법을 이용하면 손실되는 에너지를 크게 줄이면서, 다양한 주파수로 구형파를 발생시킬 수 있어서, 피에조 소자를 구동하는 전원 용량을 줄일 수 있으며, 이에 따라 피에조 소자와 같이 구형파 구동을 필요로 하는 다양한 종류의 용량성 부하 구동 회로에 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

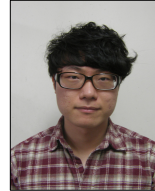
[1] Takeo Furukawa, "Piezoelectricity and Pyroelectricity in Polymers," IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 24, No. 3, June 1989, pp.375-394.
 [2] SahngMin Lim, Sangki Lee, Hoon Cheol Park, Kwang Joon Yoon and Nam Seo Goo, "Design and demonstration of a biomimetic wing section using a lightweight piezo-composite actuator (LIPCA)," Smart Materials and Structures, Institute of Physics Publishing, Vol. 14, 2005, pp. 496-503.

- [3] Feel-soon Kang, "AC-PDP Sustain Driver using Bidirectional Switches", JEET Vol.6, No.1, pp.86-93, 2011.
- [4] K.J. Yoon, H.C. Park, H.J Lee and C.K. Kim, "Design and manufacture of a lightweight piezo_composite curved actuator," Smart Materials and Structures, Vol 11(2002), pp.163-168.
- [5] S.C.Lee, S.Y.Soh, J.W.Seo and B.K.Kang, "Versatile energy recovery circuit for driving AC plasma display panel with single sustain circuit board", Displays, Volume 27, Issues 4-5, pp.153-160, Nov. 2006.
- [6] Dong Y. Lee, Jun H. Yang, and Bo H. Cho, "Novel Energy-Recovery Driving Circuit for Plasma Display Panel using Regenerative Transformer", Pesc03, Vol.,2, pp.656-659, June, 2003.
- [7] Han-Bin Park, Jin-Ho Park, Sun-Ki Hong and Taesam Kang, "Study on High-Efficiency Driving of a Piezo Device Using Voltage Inversion Circuit", Trans of KIEE, Vol.61, No.12, pp.1843-1847, 2012.



변 남 희 (邊 南 希)

2013년 호서대학교 시스템제어공학과 졸업, 2013년~현재 호서대학교 정보제어공학과 대학원 석사과정, 관심분야는 컨버터 및 인버터, 랩뷰 프로그래밍, 서보기기 해석 및 제어



나 유 청 (羅 裕 淸)

2013년 호서대학교 시스템제어공학과 졸업, 2013년~현재 호서대학교 정보제어공학과 대학원 석사과정, 관심분야는 기기 해석 및 모델링, 랩뷰 프로그래밍, 서보기기 제어



강 태 삼 (康 泰 三)

1986년 서울대학교 제어계측공학과 졸업, 1988년 동 대학원 석사졸업, 1992년 동 대학원 제어계측공학 박사. 2001년 9월~현재 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 교수, 관심분야는 항공제어, 소형 무인비행체 제어, 관성센서, 지능소자 개발 및 활용, 강인제어 이론 및 응용

저 자 소 개



홍 선 기 (洪 瑄 基)

1987년 서울대학교 전기공학과 졸업, 1989년 동 대학원 석사졸업. 1993년 동 대학원 전기공학 박사. 1993~1995 렉스산전(주) 선임연구원, 1995~현재 호서대학교 디지털제어공학과 교수, 관심분야는 전기기기 해석, 설계 및 고장진단, 서보기기 제어, 컨버터 및 인버터 설계



이 정 섭 (李 禎 燮)

2013년 호서대학교 시스템제어공학과 졸업, 2013년~현재 호서대학교 정보제어공학과 대학원 석사과정, 관심분야는 컨버터 및 인버터, 서보기기 제어