

## 초음파 모터 구동용 발진회로의 설계 및 제작

### Design and fabrication of driving generator for ultrasonic motors

심성훈\*, 백동수\*, 윤석진\*, 김현재\*  
(S. H. SIM\*, D. S. PAIK\*, S. J. YOON\*, and H. J. KIM\*)

#### Abstract

Driving generator of USMs(ultrasonic motors) with low noise, high efficiency was designed and fabricated. It was focused on merits such as size-reduction, thermal resistance. To control revolution speed, input frequency was varied. Output of generator had frequency range of 39.1 ~ 43.5 kHz and voltage of 120 V. USM with resonant frequency 40.3 kHz exhibited a maximum torque of 2.5 kg · cm and a maximum revolution speed of about 130 rpm.

**Key Words** : USM(ultrasonic motor), Resonant frequency

#### 1. 서 론

압전 세라믹으로 구동되는 초음파 모터는 전자계에 의한 일반 모터와는 달리 초음파로 진동하는 고정자와 회전자 사이에 발생하는 마찰력을 회전력으로 변환시키기 때문에 소형, 경량이며, 토크가 높은 장점을 가지므로, 활발한 연구가 진행되고 있다.

특히, 초음파 모터를 구동하기 위해서 90°의 위상차를 가지는 두 종류의 정현파 신호를 인가해 주어야 하므로, 초음파 모터는 이 같은 신호를 출력하는 발진 회로를 필요로 하게 된다. 또한, 발진 회로를 이용하여 초음파 모터의 속도를 제어할 수 있다. 설계 방법에 따라 전압, 주파수 및 위상 제어 방식으로 분류할 수 있고, 좀 더 소형화 및 경량화된 발진 회로를 설계, 제작하여야 한다.

본 연구에서는 주파수 제어 방식을 이용하여 초음파 모터를 구동시키는 회로를 설계 및 제작하였다. 회로는 외경 40 mm, 내경 30 mm인 복합 PZT계 압전 세라믹으로 구성된 초음파 모터를 구동시킬 목적으로 설계되었고, 39.1 ~ 43.5 kHz 범위의 동작 주파수를 가진다. 발진 회로의 주파수 변화에 따른 초음파 모터의 토크와 속도의 변화를 측정하여, 최적의 초음파 모터 구동 조건을 제시하고자 하였다.

#### 2. 설계 및 실험

설계의 기본 구조는 그림 1과 같다. 기본적으로 power supply, initial stage, buffer stage, control amp stage, output stage의 다섯 부분으로 구성된다. 설계 과정에서 가장 중요한 부분인 initial stage는 입력에 공급된 직류 전압만으로 출력이 반복되는 교류 형태의 전기 에너지를 만들어 내며, 출력된 신호는 buffer stage, control amp stage를 거쳐 왜곡의 감소 및 증폭된다. 마지막으로 output stage에서는 공진 회로를 구성해 줌으로써 디바이스가 작동하는 주파수 대역을 정할 수 있다. 피드백 신호는 출력의 일부분을 입력으로 보내줌으로써 출력의 이상 변화를 막는 작용을 하지만, 본 연구에서 사용되는 초음파 모터는 피드백 신호를 필요로 하지 않으므로 사용하지 않았다.

Fig 2는 CMOS IC 칩을 사용하여 설계된 주파수 제어 방식의 회로도이다. 발진 소자로서 4046B를 사용하였고, 4013B는 주기 T인 신호를 위상을 변화시켜 주기가 4T인 sin, cos 신호를 만들어 낸다. 그리고, LM 555는 버퍼로써 사용되었고, MOSFET을 이용한 푸쉬풀 전력 증폭기와 변압기를 사용하여 원하는 전력을 얻을 수 있었다.

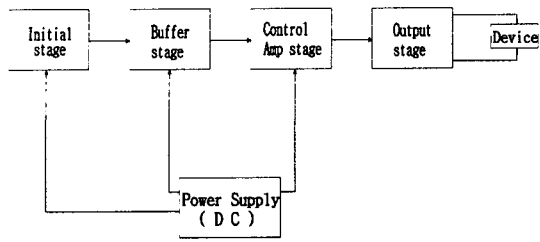


Fig 1. 설계의 기본 구조도

주파수는 4046B의  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $C_1$ 의 3개의 소자의 값을 변화시켜 조절 가능하며 각 소자값의 관계는 Fig 3에 잘 나타내었다. 먼저 Fig 3(a)에서  $R_1$ 과  $C_1$ 의 관계에 의해 원하는 주파수 대역을 넓게 선택할 수 있다. 그 후, Fig. 3(b)의  $R_2$ 와  $C_1$ 의 관계에 의해 좀 더 세밀하게 선택할 수 있다. 그러나, 실제로 사용되는 주파수는 4013B에서 출력되는 신호이다. 그러므로, 사용되는 주파수가 40 kHz라면 4046B에서 출력되는 신호는 4배인 160 kHz가 되어야 한다. 그리고,  $L^*$ 은 신호의 잡음을 없애기 위해서 연결시켜 주었으며, windings 수는 2로 해 주었다.

Transformer의 2차측은 인덕터와 압전체의 캐패시터로 공진 회로를 이루었다. Fig. 4는 등가 공진 회로와 그에 따른 공진 특성을 나타내었다. 공진점에서 최대 전류가 공급되므로 모터의 속도가 최대가 된다. 공진 주파수는 식 (1)과 같다.

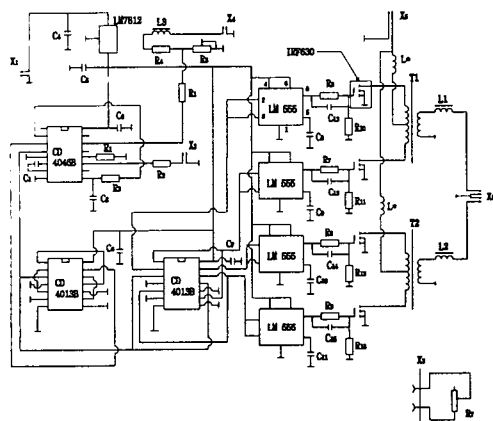


Fig 2. 회로도

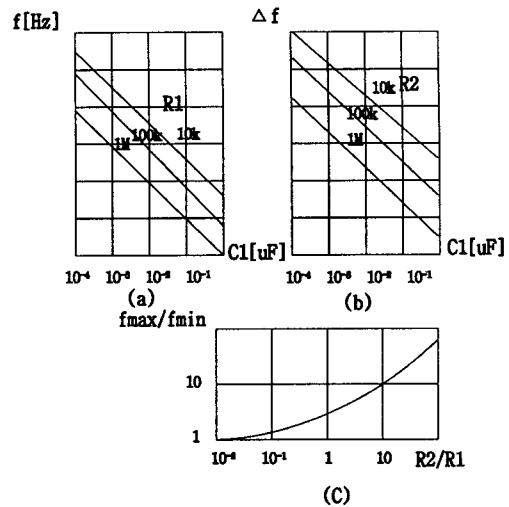


Fig 3. 소자값에 대한 주파수 변화

$$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

(C : 압전 초음파 모터의 캐패시터 값)

공진 회로의 Q 값은 회로의  $R_f$ , C, L 값을 통해 구할 수 있다. 그리고, 초음파 motor에 인가되는 전압  $V_c$ 와 출력 전압  $V_{out}$ 의 관계는 기울기 Q인 일차함수의 관계를 나타낸다.

$$Q = \sqrt{\frac{L}{R_f C}} \quad (2)$$

$$V_c = V_{out} \times Q \quad (3)$$

본 연구에서 사용되는 초음파 모터의 Q 값은 약 1.5~2 이다.

본 연구에서 사용한 초음파 모터는 완만한 공진 특성을 가지고 있기 때문에 피드백 신호를 사용하지 않아도 별 문제가 되지 않았다. Q 값은 공진 주파수와 대역폭의 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q = \frac{F_r}{2\Delta F} \quad (5)$$

공진 특성의 평탄정도는 Q 값을 통해서 알 수 있다.

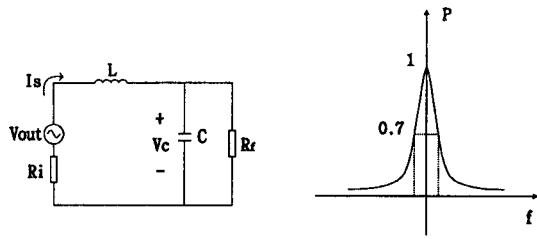


Fig. 4 등가 공진 회로 및 특성

	측정치
최대 토크	2.5 kg · cm
최대 회전 속도	약 100 rpm

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 5는 오실로스코프로 측정된 발진 회로의 출력 파형을 나타낸 것이다. 90°의 위상차가 나는 두 종류의 정현파를 얻을 수 있었고, 모터의 회전에 의한 부하의 변화로 인한 신호의 왜곡이 있음을 관찰할 수 있었다.

표 1은 40.3 kHz의 공진 주파수를 가지는 PZT계 초음파 모터를 본 연구에서 설계, 제작된 발진 회로로 구동시켰을 경우 Dynamic torque tester (PROTEC Corp. PT-2300)를 이용하여 최대 토크와 최대 회전 속도를 측정된 값을 나타낸 것이다.

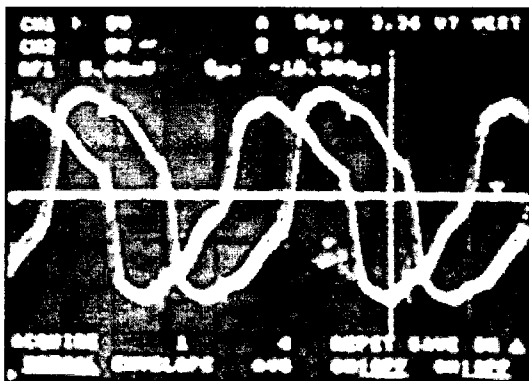


Fig. 5 출력 파형

### 4. 결론

본 논문은 발진 회로를 설계, 제작한 후, 초음파 모터를 구동시 모터의 토크 및 회전 속도의 값을 측정된 것이다. 제작된 발진 회로의 출력 power는 약 10 W 이고, 출력 전압은 약 120 V 를 나타내었다. 모터의 구동 조건을 충족시킬 수 있었으며, 공진 주파수 근처에서 약 130 rpm의 최대 회전 속도를 나타내었다.

### Reference

- [1] Seok-Jin Yoon and Piotr Vasiljev, Technical report for ultrasonic motor, 1999
- [2] H.V. Barth, "Ultrasonic Driven Motor", Am. Ceram. Soc. bull., 65 [4] 2263 (1973)
- [3] T.SaSchida, "Approach of the Development of the Ultrasonic Motor", Jpn. J. Appl. Phys. 54 589 (1983)
- [4] S. Ueha, Y.Tomikawa, M.Kurosawa, and N.Nakamura, Ultrasonic Motors : Theory and Applications Clarendon Press oxford pp 32-33
- [5] M.Aoyagi, T.oda, Y.Kamiya, and S.Okabe, "A Study on Fast and Fine Position Control of an Ultrasonic Motor", JSPE, 59 [2] 121-26 (1993)
- [6] S. Ueha, Y.Tomikawa, M.Kurosawa, and N.Nakamura, Ultrasonic Motors : Theory and Applications Clarendon Press oxford pp 61-62

표 1. PZT계 초음파 모터의 토크 및 회전 속도