

2상 고주파 인버터에 의한 초음파 모터 제어

최정윤 조급배 백형래 오금문 정현상* 유권중**
*조선대학교 전기공학과 **한국에너지 기술연구소

Control of Ultrasonic Motor Using Two-Phase High Frequency Inverter

J.Y Heo G.B Cho H.L Back K.G Oh H.S Jeung* K.J Yu**
*Cho-sun University **Korea Institute of Energy Research

Abstract

In this paper, noble electrical equivalent circuit ultrasonic motor is applied by model of parallel one from mechanical equation of piezoelectric device and characteristics estimation is done by equivalent converter.

Ultrasonic motor is driven by oscillation circuit of two-phase high frequency inverter.

Operating frequency of inverter is described by tracking control method of resonance frequency, according to change of load, temperature etc.

I. 서론

종래의 전자 모터는 영구자석, 철심, 권선을 갖고 전류와 자계 사이의 상호 작용에 의해 구동력을 얻는 전기기계 에너지 변환 기기인 반면에 초음파의 동역적 응용의 하나인 초음파 모터는 전자 모터와 다르게 초음파에 의해서 압전 진동자와 같은 진동체의 미소한 탄성 왕복운동을 이동체 간의 마찰력에 의해서 운전하는 원리로 동작하며 초음파 기공기, 초음파 모터라고 할 수 있다. 본 논문은 초음파 모터를 구성하고 있는 2상의 압전 세라믹에 대해서 전기기계 방정식에 이용해 2상분 등가 회로 모델을 도출하며 2상 고주파 인버터 발진 회로에 의해 초음파 모터를 구동하고, 그 때에 모터의 부하, 온도, 구동 레벨 등의 변동에 따라 공진 주파수도 변동하므로, 인버터 구동 주파수를 초음파 모터의 기계 계열의 공진 주파수로 추종시키는 제어방식에 관해서 연구한 것이다.

기계 계열의 공진 상태를 센서를 사용하지 않고 백터 연산에 기인한 순간 속도 검출 회로에 의한 공진 주파수 자동 추종 제어 시스템을 도입해 이것에 의해 초음파 모터의 속도 제어에 관해서 고찰하였다.

II. 초음파 모터 구동 시스템

1. 회로 구성 및 고주파 인버터의 동작

그림 1은 초음파 모터 구동용 고주파 2상 인버터이다. 이 직렬 공진형 인버터는 스위칭 손실이 적고 스너버레스가 가능하고 EMI 노이즈를 저감할 수 있다. 초음파 모터 구동용 고주파 인버터의 초음파 모터를 가변 R-C 직렬 부하인 경우에 공진용의 L을 부가해 R-L-C 직렬부하라고 생각할 수 있다. 이 부하에서는 동작 주파수와 부하의 공진 주파수와의 관계에서 부하는 용량성 또는 유도성으로 된다. 부하의 공진 주파수보다 동작 주파수가 높을 때에는 부하는 유도성이 되며 부하의 공진 주파수보다 동작 주파수가 낮을 때는 부하는 용량성이 된다. 본 실험에서는 부하의 공진 주파수보다 동작 주파수가 높은 경우에서 동작시키도록 하였다.

2. 공진 주파수 추종 제어회로

그림 2는 공진 주파수 추종 제어계의 블록도를 나타내며 공진 주파수 추종 제어에는 PLL 응용 회로로 구성하였다.

초음파 진동자계에서 검출한 신호 \dot{V} 와 V_p 를 제로 크로스 컵퍼레이터로 파형 정형해 PD에 입력하며 PD는 그림 3은 검출 전압 \dot{V}_p 와 진동단자전압 \dot{V}_2 와의 위상 관계의 주파수 특성을 나타내며 인버터의 동작 주파수가 그림 3의 a점으로부터 b의 점으로 변한 경우 \dot{V} 와 \dot{V}_p 와의 위상차가 90° 보다도 크게 되어 출력전압 평균치가 크게 된다. VCO의 입력전압이 적어지면 게이트의 클럭 주파수가 감소하므로 인버터의 동작주파수가 적어져 b점으로부터 a점에 접근해가며 최종적으로 a점에 정착한다. c점의 경우는 b점과 역의 동작을 한다.

또 검출 회로는 초음파 모터의 2상 입력의 1상에 설치해서 그것에 의해 제어를 행하고 있다.

그림 4는 제어 회로의 블록도로서 VCO 1을 발진시키는 타어 방식과 공진 주파수 추종 제어방식을 SW로 바꾸어, 그 신호를 D 플립 플롭으로 주파수를 1/2로 하여 출력을 PD와 LPF를 써서 2배의 주파수를 가진 파형을 VCO 2에서 얻는다. D 플립 플롭을 통해서 주파수가 1/2이 되어 각각의 D 플립 플롭의 출력은 같은 주파수가 된다.

이 때, LPF의 입력에 위상차 ϕ 에 대한 전압을 더하여 각각의 플립 플롭의 출력은 같은 주파수로 위상 ϕ 만 빗나간 신호가 된다. 이 전압에 의해 ϕ 를 90°로 설정하고 이 전압 제어 위상차 제어를 한다.

인버터에 상하의 Power SW가 동시에 도통하지 않는 드라이브 신호가 필요하므로 네드타임 조정 회로를 사용하였으며 드라이브 회로는 펄스 트랜스를 사용하여 메인 회로와 제어 회로의 절연을 하고 있다.

III. 실험

초음파 모터의 구동 전원으로 구동 주파수 40kHz, 구동 전압 100V, 2상의 전압의 위상각 90°를 갖는 고주파 정현파 상진압인버터 전원을 사용하였다.

스위칭 디바이스는 Power MOSFET를 사용하고 피드백 다이오드는 power MOSFET에 내장되어 있으며 초음파 모터는 USH-60을 사용하였다.

공진용(보상용)의 L_1 , L_2 는 등가 회로 정수치로 보정용했으며 L_1 를 쓰고 있는 쪽은 a상(기준상), L_2 를 쓰고 있는 쪽은 b상(제어상)이다.

그림 5는 제어를 하지 않고 주파수를 변화시켰을 때 입력과 출력에서 구한 효율로서 공진 주파수 f_r 부근에서 효율이

peak로 되므로 모터를 공진 주파수에서 구동시키는 것이 효율이 가장 좋다.

다음에 공진 주파수 추종 제어에 있어서 중요한 특성이 되고 있는 단자 전압 \dot{V} 와 검출 전압 \dot{V}_p 와의 위상차에 대한 주파수 특성을 그림 6에 나타내며 또 공진 주파수 f_r 에서의 $\dot{V} - \dot{V}_p$ 의 위상차는 90° 가 된다.

공진 주파수는 부하변동, 온도, 구동, 파워레벨 등에 따라 변한다. 그림 7에서 입력전압이 높아지면 공진 주파수 f_r 은 하강하여 부하 토크를 가한 상태에서도 같은 경향을 보이고 무부하의 상태에서 입력 전압을 40(V) 변화시키는데 대해 f_r 은 400(Hz)정도 변화했으나 제어는 잘 추종하였다.

초음파 모터는 마찰 진동 때문에 회전함에 따라 온도가 상승한다. 따라서 시간 변화에 의한 특성은 온도 변화에 대해 공진주파수가 높아진다.

그림 8 시간(온도) 변화에 대한 토크 특성을 나타내며 그림 9는 시간(온도) 변화에 대한 회전수 특성을 나타낸다. 그림 10에서 제어시 회전수는 일정한 경향을 보이며, 제어를 하지 않는 경우는 시간 변화에 따라 공진 주파수가 감소하며, 회전수 특성의 곡선도 왼쪽으로 이동해 간다. 따라서 제어를 안했을 때는 주파수가 일정하기 때문에 회전수가 감소하지만 제어를 했을 때는 공진 주파수 변화에 추종하기 때문에 회전수는 일정하게 되므로 속도제어를 할 때는 공진 주파수 추종 제어가 필요함을 알 수 있다.

그림 11, 12에서 위상차를 변화시키면 구동 주파수가 변화하며 그것으로 인해 속도가 변화하며 이 위상차를 제어하면 공진 주파수 추종 제어와 동시에 속도 제어가 가능할 것으로 생각된다.

IV. 결론

본 논문은 초음파 모터 구동용 2상 고주파 인버터를 제안하고 기계계 진동 속도 순시치를 전기 기계 방정식으로부터 연산하여 구하고 공진 주파수 자동 추종 제어 이론을 초음파 모터의 공진 주파수 추종 제어에 응용했다. 초음파 모터는 완전 기계계 공진 주파수로 동작시키지는 않지만 공진 주파수 추종 제어계를 먼저 구성하며 또 거기에 외부신호에 의해 공진 주파수보다 약간 높여 되도록 동작시키는 제어 방식이다. 공진 주파수로 부터 주파수를 높이는 회로에서 기계계 진동 속도 신호 \dot{V}_p 와 입력전압 \dot{V}_N 의 위상차를 임의로 바꿀 수 있으므로 주파수가 변화하여 회전수가 변화했다.

따라서 공진 주파수 추종 제어시의 정속도 제어가 가능하게 되는 특성을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] 泉野, 武田, 中岡 : 「超音波 モータのアクティブ 回転むら 低減制御」, 平3電氣學會産應用部門全大, No.80, pp. 342-347, 1992.
- [2] 秋山 : 「超音波 モータ」, 電學誌, 111, 586-589, 1992.
- [3] S.Furuya, et al.: "Load-Adaptive Frequency Tracking Control Implementation of Two-Phase Resonant Inverter for Ultrasonic Motor", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol.17, No.3, pp. 542- 550,1992.
- [4] M.J.Grimble : "A control weighted minimum-variance controller for non-minimum phase system", Int. J. Control, Vol.33, No.4, pp.751-762,1981.
- [5] D.W.Clarke: "Self-Tuning Control of Nonminimum phase System", Automat. Vol.20, No.5, pp.501-517,1984.

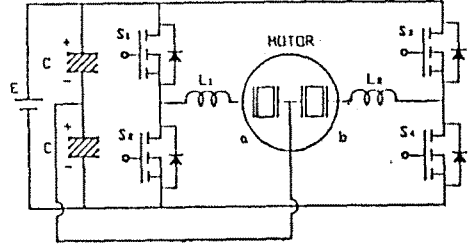


그림 1 직렬 공진형 2상 인버터

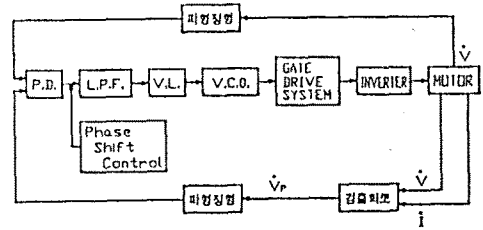


그림 2 공진 주파수 추종 제어계의 블럭도

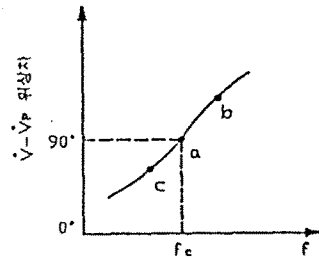


그림 3 $\dot{V} - \dot{V}_p$ 의 위상관계

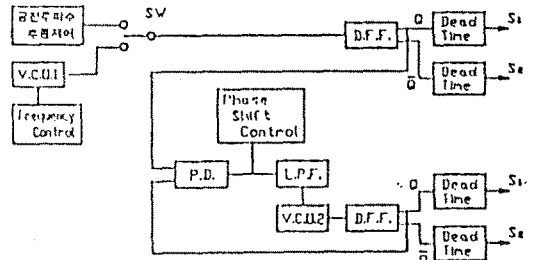


그림 4 게이트 드라이브 제어 회로 블럭도

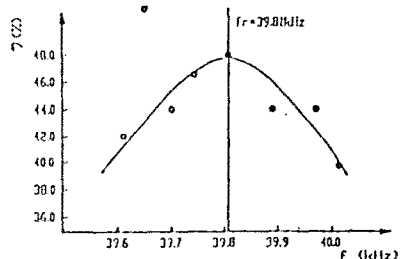


그림 5 효율 η 의 주파수 특성
(E_{in} 110(V), 무부하)

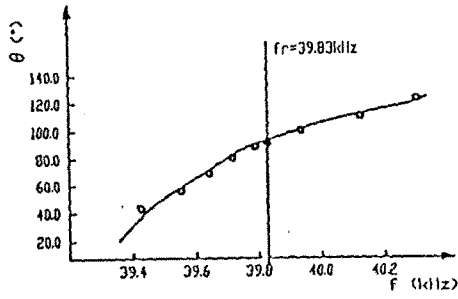


그림 6 $\dot{V}-\dot{V}_p$ 의 위상차의 주파수 특성
($E_{in}=110(V)$, 무부하)

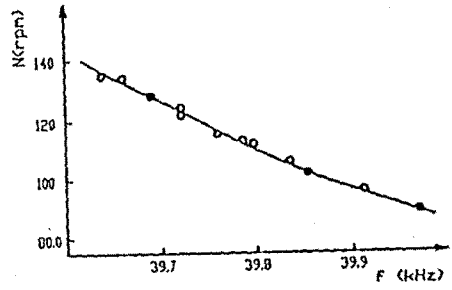


그림 10 회전수의 주파수 특성
($E_{in}=110(V)$, 무부하)

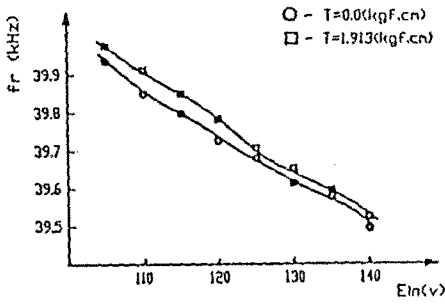


그림 7 입력 전압 E_{in} 에 대한 공진 주파수 f_r 의 특성

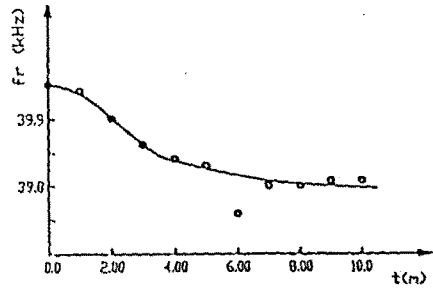


그림 11 $\dot{V}-\dot{V}_p$ 의 위상차에 대한 구동 주파수 특성

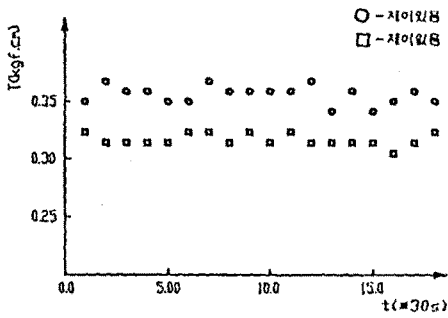


그림 8 부하 토크에 대한 공진 주파수 f_r 의 특성

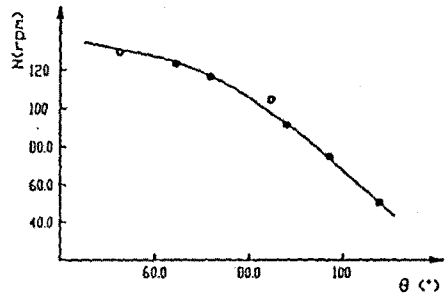


그림 12 $\dot{V}-\dot{V}_p$ 의 위상차에 대한 회전수 특성

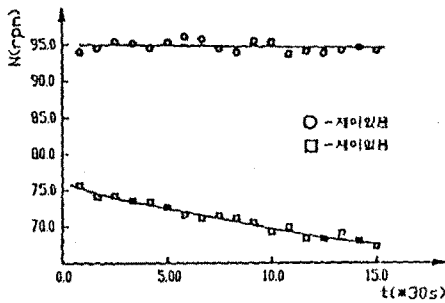


그림 9 시간(온도) 변화에 대한 회전수 특성