

## 대출력지능형초음파전원에서 공진주파수 자동추종의 한가지 방법

유주명, 한명성

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학연구부문에서는 나라의 경제발전과 인민생활향상에서 전망적으로 풀어야 할 문제들과 현실에서 제기되는 과학기술적문제들을 풀고 첨단을 돌파하여 지식경제건설의 지름길을 열어놓아야 합니다.》

지능형초음파전원제작에서 중요한 문제로 제기되는 공진주파수자동추종문제를 해결하기 위하여 지금까지 전류귀환방법과 PLL조종방법[1], PI조종방법, DDS방법[2, 3]과 같은 많은 주파수조종방법이 연구도입되었으나 이 방법들은 모두 추종속도와 추종효과, 민음성 측면에서 일련의 우결함들을 가지고있다.

본문에서는 전류귀환법과 위상법을 결합한 주파수추종모듈을 제안하여 주파수추종의 속도와 안정성을 높이고 공진주파수탐지모듈을 첨부하여 공진주파수비약시 추종민음성문제를 해결함으로써 초음파전원에서 온도변화 및 기타 외부영향에 따르는 진동계의 공진주파수변화에 대한 신속정확한 추종을 실현하였다.

### 1. 초음파진동계의 공진주파수자동추종에서 나서는 문제

초음파전원에서 공진주파수를 추종하는것은 전체 초음파전원설계에서 관건적인 문제로 된다.

초음파진동계는 하나의 공진기로서 압전변환요소의 강제진동은 러기주파수와 진동주파수가 일치될 때 출력이 최대로 된다. 초음파진동계의 동작시 진동계의 온도와 부하의 변화로 변환자의 공진주파수가 변할수 있다. 이때 초음파전원의 동작주파수가 공진주파수변화를 따라가지 못하면 에너르기전환효율이 크게 떨어지게 되며 지어 력학적진동이 없어질수도 있다. 그러므로 초음파전원이 제때에 진동계의 공진주파수를 추종하는것은 대단히 중요한 문제로 되며 초음파전원은 반드시 주파수자동추종능력을 갖추어야 한다.

공진주파수자동추종에서는 다음과 같은 문제들을 고려하여야 한다.

우선 초음파진동계는 주파수에 따라 전류극대점이 여러개 나타나는 특성을 가지고 있다. 따라서 진동계는 여러개의 공진주파수들을 가지고있으며 또한 매 주파수대역의 너비와 극대값이 모두 같지 않다. 한편 주파수대역이 넓고 극대값이 큰 공진점일수록 변환효율이 아주 높다. 이로부터 프로그램적으로 많은 공진주파수와 전류극대값점들중에서 하나의 최대값점을 찾아야 할 문제가 제기된다.

다음 추종속도와 안정성 및 민음성문제를 해결하여야 한다.

추종속도를 높이기 위하여 주파수변화걸음값을 크게 하면 안정성이 떨어지며 반대로 걸음값을 작게 하면 안정성을 높일수 있으나 추종속도를 보장할수 없고 공진주파수가 갑자기 크게 변하는 경우 추종이 실패할수 있으며 결과 체계의 민음성이 크게 떨어진다.

또한 부하가 갑자기 변할 때를 비롯하여 공진주파수가 크게 달라질 때 정확한 공진 주파수를 추종하는 문제도 해결되어야 한다. 초음파진동계의 공진주파수자동추종에서는 일반적으로 위상법과 전류귀환법을 리용하는데 이 방법들은 진동계주파수가 공진주파수 근방에서 비교적 완만하고 미세하게 변할 때에만 실현할수 있다.

우리는 공진주파수의 급격한 변동시에도 주파수자동추종의 안정성과 민음성을 최대로 높이기 위하여 전체 주파수구간에서 최대전류값을 찾는 공진주파수탐색모듈을 위상법 및 전류귀환법과 결합하는 방법을 제안하였다.

## 2. 공진주파수자동추종알고리즘

주파수자동추종프로그램은 두가지 모듈 즉 공진주파수탐지모듈과 주파수자동추종모듈로 구성하였다. 그리고 주파수자동추종모듈은 전류귀환법과 위상법에 기초한 두가지 모듈로 구성하였다. 한편 공진주파수탐지모듈을 첨부하여 전체 주파수구간에서 전류값이 최대로 되는 공진주파수를 찾도록 하였다.

설계된 자동주파수추종알고리즘은 다음과 같다.

단계 1 18kHz~33kHz(설정가능)의 주파수구간에서 공진주파수를 탐지한다.(공진주파수 탐지모듈)

- ① 주파수구간의 최소값(18kHz)을 초기주파수로 설정하고 이 주파수의 전압을 출력한다.
- ② 공진전류값을 0으로 한다.
- ③ 출구전류값을 읽어들인다.

출구전류값이 공진전류값보다 크면 이때의 출구전류값을 공진전류값으로, 이때의 주파수를 공진주파수로 설정한다.

- ④ 출구전류값을 전류턱값과 비교한다.

출구전류값이 전류턱값보다 크면 주파수를 0.5Hz 증가시키고 출구전류값이 전류턱값보다 작으면 주파수를 2Hz 증가시킨다.

주파수가 주파수구간의 최대값(33kHz)에 도달하면 단계 2의 ①로 이행한다.

- ⑤ 주어진 주파수의 전압을 출력한다.
- ⑥ 40ms지연후 단계 1의 ③으로 이행한다.

단계 2 전류귀환법에 의한 공진주파수추종모듈을 다음과 같이 동작시킨다.

- ① 공진주파수의 전압을 출력한다.
- ② 40ms지연후 출구전압과 전류값을 읽어들인다.
- ③ 전류값을 전류턱값과 비교한다.

전류값이 전류턱값보다 작으면 단계 1의 ①로 이행한다.

- ④ 전류값과 공진전류값의 차를 계산한다.
- ⑤ 전류값차의 절대값이 턱값 1보다 작으면 단계 3의 ⑤로 이행한다.

- ⑥ 주파수변화결음값을 2Hz로 한다.

⑦ 전류값차의 절대값이 턱값 2(턱값 1보다 크다)보다 크면 주파수변화결음값을 4Hz로 한다.

- ⑧ 전류값이 공진전류값보다 크면 전류값을 공진전류값으로 한다.

⑨ 출구전압이 출구전류보다 위상이 앞서면 공진주파수를 걸음값만큼 작게 하고 단계 2의 ⑩로 이행한다.

⑩ 공진주파수를 걸음값만큼 크게 한다.

⑪ 현재의 전류값을 공진전류값으로 하고 단계 2의 ①로 이행한다.

단계 3 위상법에 기초한 공진주파수추종모듈을 다음과 같이 동작시킨다.

① 공진주파수의 전압을 출력한다.

② 출구전압과 전류값을 읽어들인다.

③ 전류값을 전류턱값과 비교한다.

전류값이 턱값보다 작으면 단계 1의 ①로 이행한다.

④ 전류값과 공진전류값과의 차를 계산한다.

전류값차의 절대값이 턱값 1보다 크면 단계 2의 ⑥으로 이행한다.

⑤ 출구전압과 전류의 위상차를 계산한다.

⑥ 위상차에 기초하여 주파수변화값을 얻는다.

⑦ 원래의 공진주파수에 주파수변화값을 더한 값을 새로운 공진주파수로 하고 단계 3의 ①로 이행한다.

### 3. 실험 및 결과분석

모의실험은 MATLAB Simulink에서 진행하였다.

초음파진동계의 공진주파수변화를 모의하기 위하여 세가지 주파수-전류곡선을 리용하였다. 스위치를 리용하여 이 세 곡선을 절환하는 방법으로 급격한 주파수변화를 모형화하였으며 매 곡선을 0.1s에 50Hz씩 왼쪽으로 평행이동하는 방법으로 완만한 주파수변화를 모형화하였다.

실험결과 제안한 알고리즘으로 완만한 주파수변화뿐만아니라 급격한 주파수변화에 대해서도 공진주파수를 신속히(130ms이내) 추종할수 있다는것을 확인하였다.(그림)

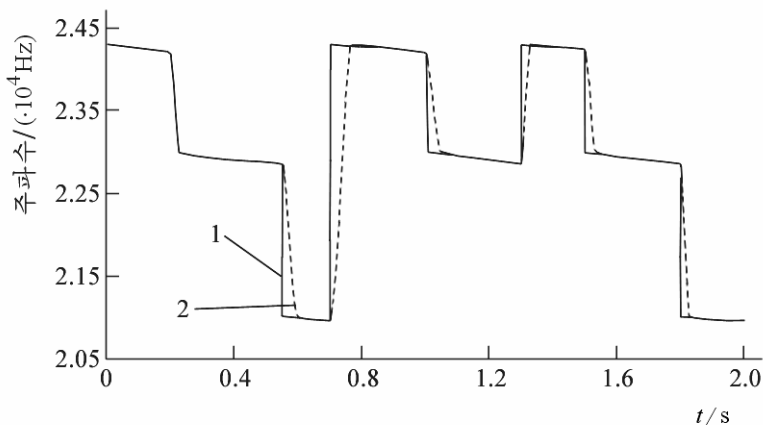


그림. 공진주파수추종곡선  
1-실제곡선, 2-추종곡선

## 맺 는 말

새형의 대출력지능형초음파전원의 개발을 위하여 초음파진동계의 동작특성을 분석하고 그에 기초하여 3개의 모듈로 된 새로운 주파수자동추종알고리즘을 제기하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] B. Mortimer et al.; Ultrasonics, 39, 4, 257, 2001.
- [2] 白生娟 等; 现代电子技术, 37, 19, 147, 2014.
- [3] 张善理 等; 科学技术与工程, 10, 5, 1246, 2010.

주체107(2018)년 8월 5일 원고접수

## **A Method of Frequency Auto-Tracing Control on Intelligent High-Power Ultrasonic Power Supply**

*Yu Ju Myong, Han Myong Song*

This paper analyzed the working characteristics of ultrasonic vibration system and then based on these, set up the new algorithm of frequency auto-tracing control with three modules for developing a new type of intelligent high-power ultrasonic power supply.

Key words: power ultrasonic, frequency auto-tracing control