

강력초음파변환자의 공진주파수지능추종의 한가지 방법

장래석, 안영남

출력이 큰 초음파를 발생시키는 압전변환자들은 초음파세척과 절단, 용접과 같은 공업적응용들에서 많이 리용되고있다. 이 변환자들은 공진점 혹은 공진점에 가까운 주파수를 가지는 교류전원에 의하여 구동된다.

변환자가 동작상태에 있을 때 변환자의 온도증가와 구동전압의 크기, 음향저항의 변화와 같은 여러가지 리유로 하여 공진점변화가 일어난다. 변환자의 공진점에서의 편차는 변환자출력의 손실을 가져오며 초음파가공효과를 낮춘다. 엄중한 경우 변환자를 파손시킬수 있으며 급증하는 미분전류에 의하여 구동전원의 절환요소들이 파손될수 있다. 그러므로 변환자를 구동시키는 전원체계는 자동적으로 공진점 즉 공진주파수를 추적하여야 한다.

지금까지 위상고정고리법(PLL)과 최대전류측정법, 최소전압법, 완전저항측정법을 비롯하여 여러가지 방법들이 연구되었다.[1-4] 그중에서도 PLL방법이 제일 많이 리용되고있다. 이 방법에서는 변환자가 기계적으로 공진되었을 때 정합회로에 의하여 전압과 전류의 위상차가 거의 령으로 되는것을 리용하여 주파수의 자동조종을 진행한다.

만일 전압과 전류의 위상차가 거의 령이었던것이 일정한 시간이 지나 전압의 위상이 전류의 위상보다 앞선다면 그것은 진동자의 공진주파수가 낮아졌다고 보고 구동전원의 주파수를 그만큼 감소시켜 전압과 전류의 위상차를 령으로 되게 한다. 전압의 위상이 전류의 위상보다 뒤선다면 그것은 공진주파수가 높아졌다고 보고 구동전원의 주파수를 그만큼 증가시켜 전압과 전류의 위상차를 령으로 되게 한다.

실험결과에 의하면 정합회로의 구성방식과 변환자의 특성에 따라 변환자가 용량성부하로 동작할 때에는 구동전원의 주파수를 증가시키는것이 아니라 반대로 감소시켜야 전압과 전류의 위상차가 령으로 된다. 또한 변환자가 유도성부하로 동작할 때에는 구동전원의 주파수를 더 작게 하는것이 아니라 반대로 더 크게 하여야 위상차가 령으로 된다. 이러한 실험결과는 종전의 오차증폭기에 의한 피동적인 주파수추종이 아니라 컴퓨터를 리용하는 지능적인 공진점추종을 하여야 한다는것을 보여준다. 한편 위상차가 거의 령으로 되는 일정한 주파수대역(수십Hz)이 존재하며 이 대역에서 구동전원의 주파수에 따라 변환자의 출구전류가 변하게 된다. 그러므로 변환자의 안정한 출력을 보장하기 위하여서는 변환자의 출구전류도 측정하여 구동주파수를 결정하는것이 필요하다.

론문에서는 위상차측정과 출구전류측정에 의한 강력초음파변환자의 공진주파수의 지능적인 추종을 진행하기 위한 한가지 방법을 제기하였다.

1. 강력초음파변환자의 공진주파수지능추종원리

강력초음파변환자의 공진주파수지능추종방법의 원리도를 그림 1에 보여주었다.

단상 220V, 50Hz의 교류는 정류회로에 의하여 직류로 변환되어 고주파역변환기에 공급된다. 고주파역변환기는 4개의 IGBT로 구성된 전기다리회로로 구성되었으며 다리회로

의 중간가지에 연결된 고주파변압기를 통하여 초음파변환자에 적합한 교류전압을 공급한다. 압전변환자는 공진점에서 용량성부하로 되므로 정합회로를 거쳐 구동시켜야 한다.

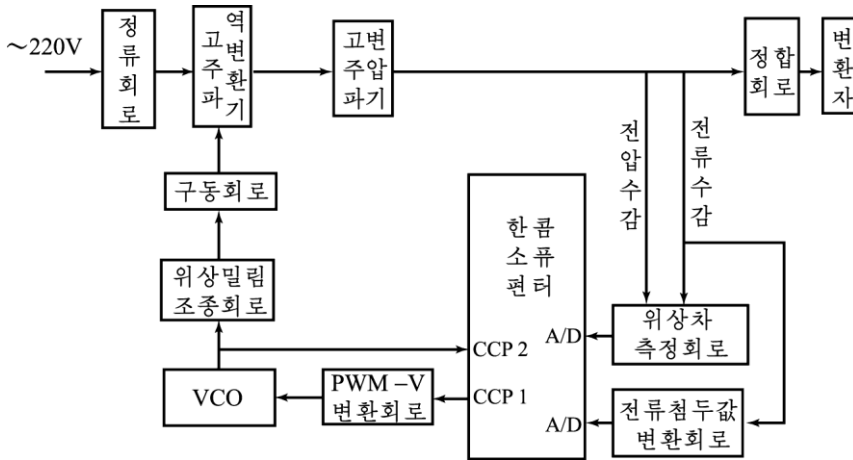


그림 1. 강력초음파변환자의 공진주파수지능추종방법의 원리도

정합회로의 입구에 변성기결합한 전압수감부와 전류수감부를 설치하였는데 수감부들의 출구신호는 고주파변압기의 2차측전압과 전류에 비례하는 교류전압신호들이다.

전압수감신호와 전류수감신호는 위상차측정회로에 입구되며 위상차측정회로에서는 그것들의 위상차를 측정하고 그에 비례하는 직류전압을 한소편컴퓨터의 A/D입구에 보낸다.

한편 전류수감신호는 전류첨두값변환회로에서 전류의 첨두값에 비례하는 직류전압으로 변환되어 한소편컴퓨터의 다른 하나의 A/D입구에 입력된다.

이 체계에서 중심은 한소편컴퓨터이며 이것에 의하여 지능적인 공진주파수추종이 실현된다. 프로그램작성에 앞서 정합회로를 포함한 변환자계의 위상-주파수특성을 측정하는데 기초하여 변환자계가 용량성 혹은 유도성일 때 주파수의 변화방향을 확정한다. 한소편컴퓨터는 이 자료에 기초하여 전압과 전류의 위상차가 거의 령이 되게 하면서도 설정 전류값을 유지하도록 한다. 이를 위하여 PWM신호로 PWM-V회로의 출구전압을 변화시키는 방법으로 VCO의 출구주파수를 세밀조종한다.

VCO가 내보내는 구형고주파신호는 위상밀립조종회로와 구동회로를 거쳐 역변환기의 안정한 동작을 보장한다.

2. 실험결과와 분석

실험에 리용한 초음파변환자는 랑쥬병형압전진동자(BLT)이다.

그림 2에 주목하는 주파수대역에서 1kW급BLT의 완전전도도측정결과를 보여주었다.(측정은 완전전도도분석기 《LBO-115M》으로 진행하였음.)

측정결과로부터 알수 있는바와 같이 이 변환자의 공진주파수는 16.42kHz이다.

일반적으로 초음파세척기를 비롯하여 큰 출력의 초음파를 요구하는 응용들에서 BLT의 동작주파수는 공진주파수에 설정하는데 이 공진주파수는 변환자의 기계적조건, 부하상태, 압전진동자의 온도, 구동전압준위 등에 따라 변화된다.

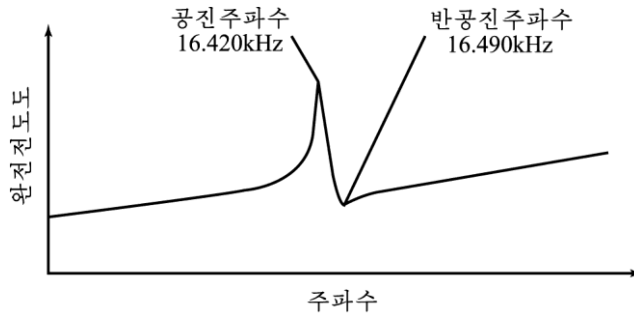


그림 2. 1kW급BLT의 완전전도도측정결과

측정결과로부터 공진주파수와 반공진주파수의 차는 70Hz정도밖에 되지 않으므로 공진주파수의 자동추종은 더욱 중요한 문제로 나선다.

완전전도도곡선으로부터 16.42kHz의 주파수가 이 변환자의 초기동작주파수로 선택된다.

먼저 정합회로를 포함한 변환자계의 주파수에 따르는 위상특성과 진폭특성을 보았다. 정류회로의 입구전압은 교류 100V로 하고 지능추종을 하지 않도록 PWM-V변환회로의 출구는 차단하였다. 대신에 5V직류가변전원으로 VCO의 출구주파수조종을 진행하였다. VCO의 주파수측정은 함수발진기(FG-273)로 진행하였다. 변환자를 물속에 넣었으므로 부하는 물이다.

그림 3에 수자식오실로스코프(UTD4304C)를 리용하여 측정한 전압수감부와 전류수감부의 출구에서 전압과 전류의 파형들을 보여주었다.

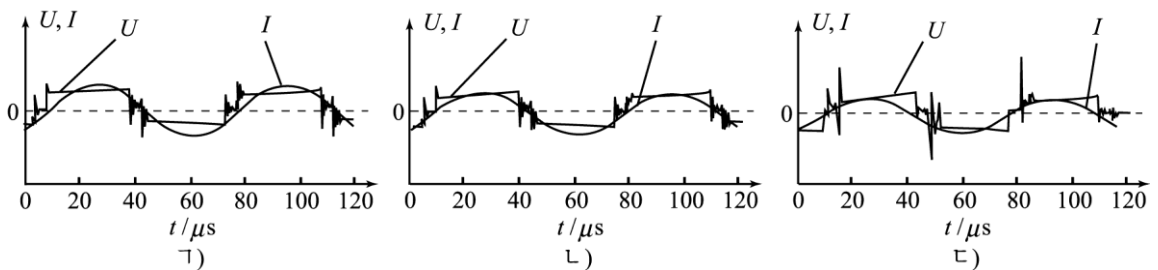


그림 3. 전압수감부와 전류수감부의 출구에서 전압과 전류의 파형

그림 3에서 휴식시간이 $3\mu s$ 인 구형파는 고주파변압기의 2차측전압파형이고 시누스파는 거기에 흐르는 전류 즉 변환자에 흐르는 전류이다. 그림의 ㉠)는 전압의 위상이 전류의 위상보다 10° 앞서도록 구동주파수($f=16.394kHz$)를 조절하였을 때, ㉡)는 전압과 전류의 위상이 같아지도록 구동주파수($f=16.410kHz$)를 조절하였을 때, ㉢)는 전압의 위상이 전류의 위상보다 10° 떨어지도록 구동주파수($f=16.424kHz$)를 조절하였을 때의 전압과 전류의 파형이다.

실험결과를 보면 변환자가 유도성부하로 동작할 때에는 구동전원주파수의 감소가 아니라 오히려 16Hz 증가로 위상정합되었고 변환자가 용량성부하로 동작할 때에는 구동전원주파수의 증가가 아니라 14Hz 감소로 위상정합되었다. 이것이 공진주파수의 지능추종을 진행해야 하는 이유로 된다.

다음으로 교류전원전압이 200V인 조건에서 제기한 방법에 의한 공진점지능추종실험

을 진행하였다. 초음파변환자를 구동시킨 다음 16min후부터 위상차와 전류, 동작주파수, 변환자의 온도변화특성들을 고찰하였다. 변환자의 초기온도는 22°C이다.

표에 동작시간에 따르는 변환자의 공진점추종실험결과를 보여주었다.

표. 동작시간에 따르는 변환자의 공진점추종실험결과

동작시간/min	위상차/V	전류/A	동작주파수/kHz	변환자온도/°C
16	2.02	4.9	16.400	33
19	1.98	4.8	16.393	40
21	2.03	4.8	16.385	45
25	2.06	4.7	16.377	50
31	2.01	4.7	16.364	54

그림 1의 위상차측정회로는 전압에 대한 전류의 위상차가 -10, 0, 10° 일 때 출구전압이 1.6, 2.0, 2.4V로 눈금새김되어있다. 표로부터 위상차가 거의 0으로 되고 전류도 일정한 값을 유지한다는것을 알수 있다.

변환자가 구동된 때로부터 16min후에 변환자의 온도는 초기의 22°C로부터 33°C로 되고 공진주파수는 16.400kHz였으며 31min후에는 변환자의 온도가 54°C로 되고 공진주파수는 16.364kHz로 되었다. 즉 15min동안에 공진주파수는 36Hz만큼 감소하였다.

맺 는 말

강력초음파변환자에 대한 전압과 전류의 위상차측정과 출구전류측정에 의한 공진주파수지능추종을 통하여 압전변환자의 온도상승과 초음파구동전압의 변화와 같은 계의 변화에 따라 초음파변환자의 동작주파수를 능동적으로 변화시켜 보다 높은 효율을 얻을수 있게 하였다.

참 고 문 헌

- [1] F. J. Arnold et al.; Physics Procedia, 63, 114, 2015.
- [2] 巩丽文; 应用声学, 6, 464, 2011.
- [3] 杜劲超; 应用声学, 5, 336, 2013.
- [4] 稲葉 保; トランジスタ技術, 12, 238, 2001.

주체109(2020)년 12월 5일 원고접수

A Method for Intelligent Tracking of Resonant Frequency in Power Ultrasonic Transducer

Jang Thae Sok, An Yong Nam

We proposed a method for intelligent tracking of resonant frequency in ultrasonic transducer that was able to measure phase difference and output current, comparing and controlling the operating frequency by single-chip computer.

Keywords: ultrasonic transducer, resonant frequency tracking method