

원자로랭각재루실검출을 위한 다통로초음파신호증폭기

윤광운, 로광철

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《...우리 나라의 실정에 맞는 수력발전소, 화력발전소, 원자력발전소를 건설하는데서 나서는 과학기술적문제를 풀도록 하여야 합니다.》(《김정일선집》증보판 제11권 135페이지)

원자력발전소의 안전성을 담보하는데서 매우 중요한 의의를 가지는 원자로랭각재의 루실감시에는 온도, 습도, 압력, 방사능의 변화, 음향방출신호감시 등 여러가지 방법이 리용되고있다. 가장 널리 리용되고있는 방법은 불수강으로 된 원자로의 압력관로들이 피로 현상에 의하여 파열되는 경우에 방출되는 음향복사에너지를 감시하는 음향학적 방법이다.[1-3] 음향학적방법은 루실량과 함께 루실점의 위치도 평가할수 있는 우점을 가지고있는것으로 하여 많이 리용되고있다.

원자력발전소의 운영경험에 의하면 이 음향복사에너지는 가압경수형원자로의 경우 $k\rho_0 V^8 A_0^3 d^2 = Cd^2$ 으로서 구동압력에 무관계하며 구멍의 크기와 루실점으로부터 음향수감 부까지의 거리에만 관계된다. 음향학적방법에서는 최소한 4개의 수감부신호들의 호상상관함수를 얻고 그로부터 도착시간차를 결정하여 루실점의 위치를 평가하게 되므로 정확도가 높은 다통로초음파신호증폭기를 리용하여야 한다.

이로부터 논문에서는 원자로랭각재루실검출을 위한 광대역4통로초음파신호증폭기를 설계하고 그 특성에 대하여 서술하였다.

1. 회로 설계

압전재료를 리용한 초음파수감부는 2 000~4 000pF정도의 일정한 전기용량을 가지며 그 값은 압전체의 기하학적크기, 재료특성, 검출기동작주파수 등에 관계된다. 신호선과 접지, 신호선사이의 분포용량은 1 000pF정도이다. 초음파측정체계는 검출기가 외부표피를 통하여 접지와 련결되어있으므로 검출기의 압전자기와 접지사이에도 분포용량이 존재하며 동시에 매개 검출기의 신호선사이에도 분포용량이 존재한다. 따라서 복잡한 회로망이 형성된다.

실험에 의하면 간섭은 주로 접지저항과 분포용량으로 인하여 생기며 접지용량이 클수록 감도가 낮아지며 체계안에 초음파수감부의 개수가 많을수록 접지용량이 커진다는것이 확증되었다.[4]

또한 물을 랭각재로 하는 가압경수형원자로들에서 발생하는 초음파는 1MHz까지의 넓은 주파수대역을 가지는데 보통 제품화된 초음파신호증폭기들은 주파수응답대역이 특정한 대역에 제한되어있다.

선행연구[3, 4]에서는 음향신호증폭기가 0.4~11MHz의 넓은 주파수응답대역과 0~60dB의 증폭도를 가지고있지만 전용완충기 BUF04GP와 집적소자 AS603AR를 리용한것으로 하여 비용이 많이 드는 부족점을 가지고있다.

이로부터 저잡음, 고속특성을 가지며 변위와 표류가 적고 통과대역이 580kHz인 집적 회로연산증폭기 OP07과 상사신호선택기 CD4051을 리용하여 통과대역은 비교적 낮지만

증폭도를 프로그램적으로 조절할수 있는 4통로초음파신호증폭기를 설계하였다.

1통로에 해당하는 증폭회로는 그림 1, 증폭도조절회로는 그림 2와 같다.

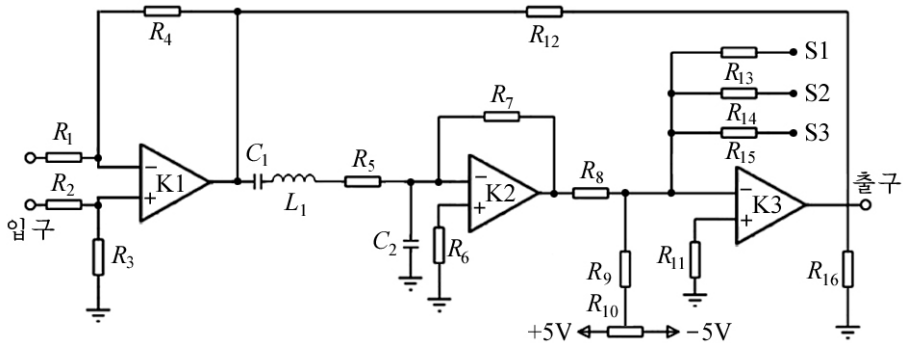


그림 1. 증폭회로

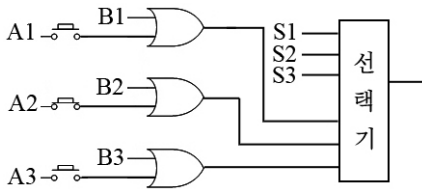


그림 2. 증폭도조절회로

1단은 입구들사이의 간섭을 피하도록 차동증폭기로 구성하였으며 증폭도는 2이다. 1단출구와 2단입구사이에 C_1 , C_2 , L_1 로 통과대역이 $10 \sim 580\text{kHz}$ 인 간단한 피동대역저파기를 구성하였다. 2단증폭기의 증폭도는 5이며 3단증폭기입구에는 출구신호준위를 한소편처리기의 A/D변환입구와 정합시킬수 있도록 $0 \sim 5\text{V}$ 의 정극성신호로 변환하기 위한 조절기를 설치하였다. 3단증폭기는 증폭도조절회로에서 3개의 귀환저항값을

선택하여 전체 증폭도를 10, 100, 1 000 대역에서 변화시키도록 하였다.

증폭도의 수동조종은 누르개식건반(A1, A2, A3)으로, 프로그램조종은 상위컴퓨터에서 프로그램적으로 설정한 한소편처리기의 조종신호(B1, B2, B3)로 상사신호선택기(CD4051)의 신호입구(S1, S2, S3)를 선택하는 방식으로 진행하도록 하였다.

입구신호진폭 1mV, 주파수가 100kHz인 조화파신호에 대한 모의결과는 그림 3과 같다.

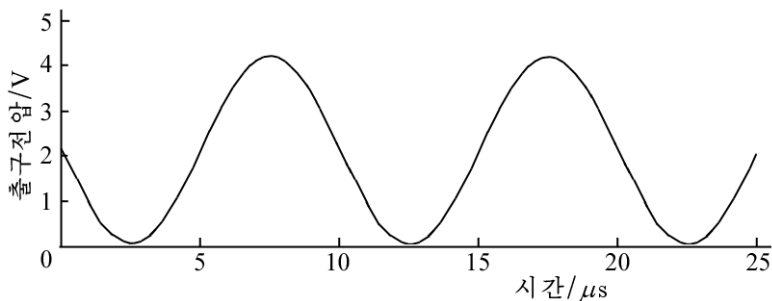


그림 3. 조화파신호에 대한 모의결과(귀환저항 100kΩ)

2. 실험결과 및 분석

증폭도 그림 1에서 $R_1 = R_2 = R_f = 100\text{k}\Omega$, $R_3 = R_4 = R_f = 200\text{k}\Omega$ 으로서 차동증폭단의 증폭도는 $K_1 = U_0 / (U_2 - U_1) = R_f / R_r = 2$ 로, $R_5 = 10\text{k}\Omega$, $R_7 = 50\text{k}\Omega$ 으로서 2단의 증폭도는

$K_2 = R_7 / R_5 = 5$ 로 설정하였다.

그리고 입구신호의 주파수에 따라 실제 증폭도가 직류전압의 경우와 차이나므로 3단에서 R_{13} , R_{14} , R_{15} 의 값은 함수발진기 FG273과 수자식오실로그래프 UTD2202를 리용하여 조화파신호의 진폭을 5mV로 고정하고 주파수를 10kHz~1MHz에서 변화시키면서 4통로에서 증폭도가 1, 10, 100으로 되도록 세밀히 조절하여 전체 회로의 증폭도대역이 10, 100, 1 000을 만족시키도록 하였다.

전원잡음의 영향과 통로사이의 간섭영향 실험에 의하면 4통로의 증폭기를 하나의 기관에 조립하는 경우 공통접지를 리용하면 매개 통로의 입구단에서 접지저항과 분포용량에 의한 잡음과 통로사이간섭영향이 크게 나타난다.

이러한 영향은 입구신호진폭이 5mV보다 작고 통로수가 많을수록 중요한 문제로 제기된다.

이로부터 접지저항과 분포용량을 가능한껏 줄이도록 기관설계와 요소배치를 합리적으로 하고 증폭단사이에 금속차폐를 보장하여 입구잡음준위를 2mV이하로 낮추었다.

제작된 음향신호증폭기의 기술적특성은 표와 같다.

표. 음향신호증폭기의 기술적특성

특성량	특성값	특성량	특성값
최대증폭도/dB	60	주파수대역/kHz	10~580
입구신호준위/mV	>2	출구전압/V	0~5
증폭도조절방식	자동, 수동	전원/V	±12

맺 는 말

원자로랭각재의 루실음신호를 검출하기 위하여 주파수대역이 600kHz인 집적회로연산증폭기와 상사신호선택기 CD4051을 리용하여 증폭도를 프로그램적으로 조절할수 있는 4통로초음파신호증폭기를 설계제작하고 기본특성량들을 실험적으로 검증하였다. 이 증폭기의 차동입구신호준위는 2mV이상, 주파수통과대역은 10~580kHz이며 증폭도는 0~60dB, 출구전압범위는 0~5V이다.

증폭도를 컴퓨터로 조종하는 경우 매 증폭단의 전원투입과 차단을 순차조종하는 방식을 적용하면 통로들사이의 간섭영향을 훨씬 줄일수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성 종합대학학보(물리학), 64, 1, 123, 주체107(2018).
- [2] 김성택 등; 원자력, 4, 2, 주체106(2017).
- [3] V. A. Barkhatov et al.; Russian Journal of Nondestructive Testing, 37, 6, 394, 2001.
- [4] 李德重 等; 核动力工程, 19, 3, 260, 1998.

Multi-Channel Ultrasonic Signal Amplifier for Detecting Coolant Leak of Nuclear Reactor

Yun Kwang Un, Ro Kwang Chol

For detecting leak-sound signal of nuclear reactor coolant, we have designed and manufactured a 4-channel ultrasonic signal amplifier which can programmably control the gain with using a 600kHz of low cost operational amplifier OP07 and analog signal selector CD4051, and experimentally verified its basic characteristics.

The differential input level is 2mV and above, the pass band 10~580kHz, gain 0~60dB and output voltage range 0~5V.

In case of controlling the gain with computer, applying the way of sequentially controlling power on-offs of every amplifier unit can sharply reduce the interference between channels.

Keywords: ultrasonic signal amplifier, detecting of coolant leak