

## 원자로랭각재루실감시용 음향신호증폭기의 특성

로광철, 윤광운

위대한 수령 김일성동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《원자력에 대한 연구사업도 잘하여야 하겠습니다.》(《김일성전집》 제60권 351페이지)

원자로에서 랭각재의 루실을 신속정확히 평가하는것은 원자력발전소의 안전성을 담보하는데서 매우 중요한 의의를 가지며 여기에는 음향학적방법이 널리 리용되고있다. 원자로의 1차회로압력경계의 부식이나 균열 등으로 랭각재가 루실되는 경우 음파가 발생하게 되는데 그 주파수대역은 수kHz~수십MHz의 넓은 대역에 놓인다.[1-4]

이로부터 논문에서는 원자로랭각재루실감시를 위한 광대역음향신호증폭기를 설계하고 그 특성에 대하여 서술하였다.

### 1. 회로 설계

음향신호증폭기는 신호진폭제한기, 완충기(DA1), 대역려파기(LC)와 2개의 광대역증폭기(DA2, DA3)로 구성되어있다.(그림 1)

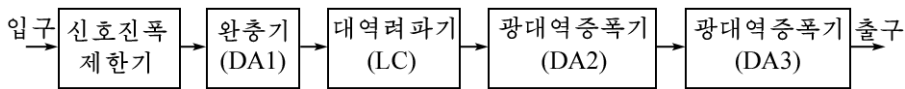


그림 1. 음향신호증폭회로구성도

진폭제한 및 완충회로 회로보호기능을 수행하는 신호진폭제한기는 고역통과려파기  $C_9$ ,  $R_5$ ,  $R_7$ , 2극소자  $D_2$  와  $D_3$ , 기준전압원  $D_1$ ,  $C_1$ ,  $R_1$ (+0.2V)과  $D_4$ ,  $C_{18}$ ,  $R_9$ (-0.2V)로 구성하였다.(그림 2)

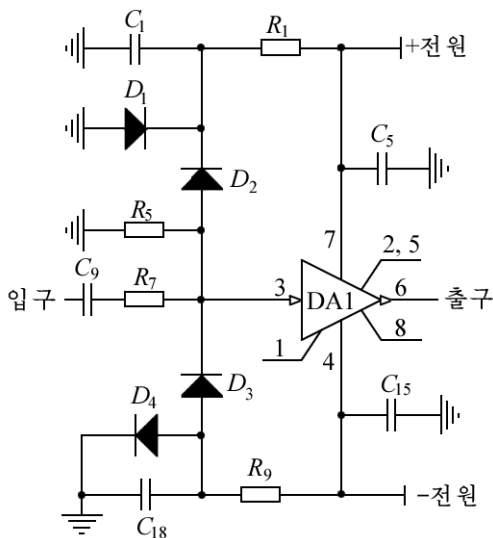


그림 2. 진폭제한 및 완충회로

증폭기입구의 저항  $R_7$  과 직렬로 연결된 콘덴서  $C_9$  는 입구의 직류성분을 차단하고 낮은 주파수대역을 결정한다.

초기에 2극소자  $D_2$  와  $D_3$  는 기준전압 +0.2V 와 -0.2V 로 하여 차단상태에 있다. 입구신호의 진폭이 상대적으로 낮으면 아무런 제한이 없이 증폭기 DA1을 통과한다. 그러나 입구진폭이 지나치게 높으면 실례로 결합있는 검출기로부터 생기는 음향임펄스들의 경우에는 2극소자  $D_2$  혹은  $D_3$  이 열린 상태로 전환되어 임펄스진폭이 제한되고 파잉전압성분은 저항  $R_7$  에서 전압강하된다.

결국 진폭이 큰 입구신호들은 진폭제한회로에서  $\pm 0.2V$ 로 제한되어 완충기는  $\pm 0.2V$

의 안정된 전압신호를 출력한다. 증폭기 BUF04GP의 전압증폭도는 1이고 전류증폭도는 1보다 더 크다. 즉 증폭기는 신호에 대한 완전저항을 감소시킨다.

려파회로 증폭기 DA1을 통과한 신호들은  $C_{10}$ ,  $L_1$ ,  $C_{14}$ 로 구성된 대역려파기에 전달된다. 이 대역려파기는 증폭기의 주파수특성을 결정한다. 이 회로의 통과대역은 5kHz~2MHz로 설계하였으며 요구에 따라 려파기파라미터들을 쉽게 변화시킬수 있다.

증폭회로 대역려파기를 통과한 신호들은 동일한 2개의 AD603AQ로 구성된 광대역증폭기들에 의하여 연속적으로 증폭된다.(그림 3) 그림에서 GPOS는 정극성증폭도조절전압, GNEG는 부극성증폭도조절전압을 의미한다.

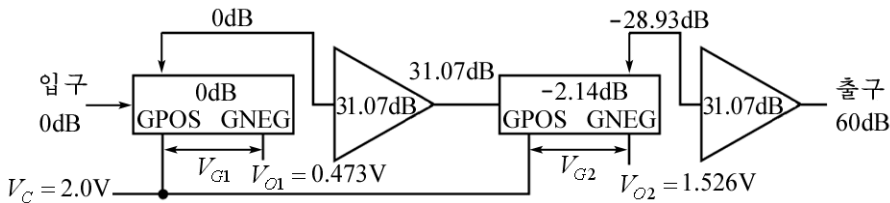


그림 3. AD603AQ를 리용한 증폭도조절(60dB)

AD603AQ의 기본특성량들은 표 1과 같다.

표 1. AD603AQ의 기본특성량

특성량	표준값	특성량	표준값
전원/V	$\pm 5$	출구전압/V	$\pm 3.0$
입구저항/ $\Omega$	10	출구저항/ $\Omega$	2
입구전압/V	$\pm 1.4$	지연시간/ns	$\pm 2$
입구잡음밀도/(nV·s)	1.3	증폭도조절전압/V	-1.2 ~ 2.0
주파수대역/MHz	90	소비전류/mA	12.5

AD603AQ의 기본우점은 표 1과 그림 3에서 보는것처럼 입구잡음의 영향이 작고 넓은 주파수대역에서 전압( $V_C$ )을 -1.2~2.0에서 변화시키는 방법으로 증폭도를 0~51dB의 넓은 구간에서 쉽게 조절할수 있는것이다.

증폭도는  $k(\text{dB}) = 40V_G + V_O(-20\text{dB})$ 에 의하여 간단히 평가할수 있다. 이 식을 리용하면 그림 3에서 증폭도는  $V_C = 0V$ 에서 -20dB,  $V_C = 1V$ 에서 20dB,  $V_C = 2V$ 에서 60dB이다.

가변저항기  $R_{V1}$ , 귀환저항  $R_4$ 를 리용하여 증폭도를 미세하게 조절할수 있게 설계하였다.(그림 4) 증폭도척도 인자는 20dB/V이다. DA3에 의한 증폭회로는 DA2의 경우와 동일하므로 생략한다.

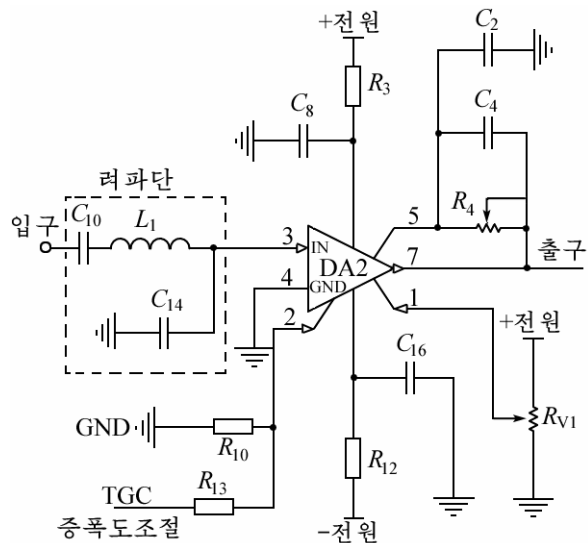


그림 4. 증폭회로부분도

## 2. 특성량결정

설계한 음향신호증폭기의 특성량을 평가하기 위하여 먼저 전자회로설계프로그램 Altium Designer 09로 모의하여 전달함수특성을 평가하고 함수발진기 FG273을 리용하여 1kHz~10MHz에서 주파수를 변화시키면서 실험적으로 검증하였다. 이때 입구신호진폭은 1mV로 설정하였다. 대역려파기의 요소값들을  $C_{10}=1\mu F$ ,  $L_1=10\mu H$ ,  $C_{14}=470pF$ 로 선택한 경우 증폭도는 10kHz~1MHz대역에서 60dB로서 평탄한 특성을 가지며 3dB차단대역은 5kHz~2MHz이다.(그림 5)

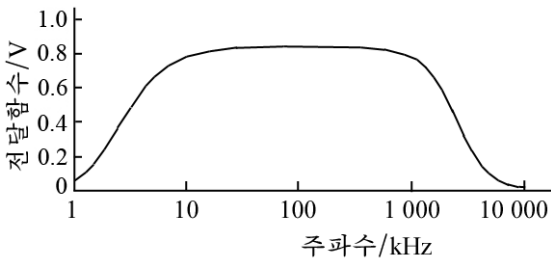


그림 5. 음향신호증폭기의 전달함수특성

합결수가 -120dB 혹은 그 이하로 보장되도록 전자요소들을 선택하고 회로기판에서 요소 배치에 깊은 주의를 돌려야 한다.

논문에서는 SOP형저항과 콘덴사들이 리용되었으며 기생고주파전압들로부터 신호회로들을 보호하도록 기판의 공간부분들에 추가적인 금속층을 입히고 20~30개의 핀들을 전체 기판표면에 균일하게 분배하였다. 그리고 보호합들은 회로의 공통접지선과 연결하여 자려진동이 나타나지 않도록 하였다.

제작된 음향신호증폭기의 기술적특성은 표 2와 같다.

표 2. 음향신호증폭기의 기술적특성

특성량	특성값	특성량	특성값
최대증폭도/dB	80	출구전압의 유효잡음/ $\mu V$	12
증폭도조절대역/dB	-3~+77	입구저항/ $k\Omega$	10
증폭도조절오차/dB	$\pm 1$	입구용량/pF	>10
주파수대역/MHz	0.05~2	출구저항/ $\Omega$	>4
입구전압대역/mV	0.1~200	전원/V	$\pm 5$

## 맺 는 말

원자로에서 1차회로의 압력경계에서 펑크재가 루실되는 사고가 일어나는 경우에 발생하는 음향신호와 원자로펑크재루실감시용 음향수감부들의 특성에 적합한 광대역음향신호증폭기를 설계제작하고 그 특성량들을 실험적으로 검증하였다.

이 증폭기는 입구신호가 0.1~200mV인 경우 0.05~2MHz의 주파수대역에서 프로그램적으로 0~60dB, 수동세밀조절방식으로 최대 80dB까지 증폭할수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] V. A. Barkhatov et al.; Russian Journal of Nondestructive Testing, **37**, 6, 394, 2001.
- [2] U. Kunze; Progress in Nuclear Energy, **34**, 3, 213, 1999.
- [3] A. G. Beattie; J. Acoustic Emission, **21**, 95, 2003.
- [4] S. B. Shimanski et al.; Atomic Energy, **98**, 2, 89, 2005.

주제 109(2020)년 3월 5일 원고접수

## **Characteristics of Acoustic Signal Amplifier for Monitoring Coolant Leak of Nuclear Reactor**

*Ro Kwang Chol, Yun Kwang Un*

We have designed and manufactured a broad-band acoustic signal amplifier, which is suitable to the acoustic signal produced when it happens an accident that leaks coolant in primary pressure boundary of nuclear reactor and properties of acoustic sensors, and experimentally identified its characteristics.

The amplifier operates in the frequency band of 5kHz-2MHz, and its gain varies between 0 and 60dB by means of control voltages fed to pins 1 and 2 of ICs DA2, DA3.

Further, the maximum gain can reach 80dB by using feedback resistors, i.e., variable resistors.

**Keywords:** acoustic signal amplifier, coolant leak of nuclear reactor