

원자로잡음분석용 직류미소전류증폭기에 대한 연구

조인형, 로광철

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《대학들에서는 자력갱생의 혁명정신을 발휘하여 자체로 지금 있는 교육설비들과 과학 연구설비들을 현대화하고 새로운 실험실습설비와 기재들을 개발하며 교과서와 참고서적도 많이 만들어내야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제18권 461페이지)

동력용원자로의 잡음측정에 리용되는 중성자이온화함의 출력신호는 보통 $10^{-9} \sim 10^{-13} \text{A}$ 로서 매우 작으므로 수pA까지 증폭하는 미소전류증폭기들에 대한 많은 연구결과들이 발표되였다.[1-3]

우리는 입구FET연산증폭기 CA3140을 리용하여 직류미소전류증폭기를 설계하고 그것의 특성을 개선하였다.

1. 직류미소전류측정원리와 회로설계

직류미소전류측정원리 전류-전압변환형식의 직류미소전류측정회로도에는 그림 1과 같다.

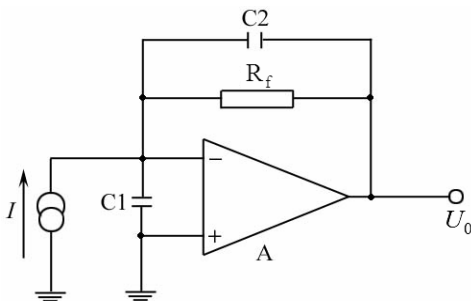


그림 1. 직류미소전류측정회로도

입구저항과 증폭결수가 무한대인 이상적인 증폭기에서 출력전압은 $U_0 = -I_s R_f$ 이다. 여기서 I_s 는 측정전류이고 R_f 는 귀환저항이다.

R_f 가 충분히 크면 I_s 가 작아도 출력전압 U_0 을 크게 할 수 있다. 그러나 실제로는 연산증폭기의 입구저항이 무한대가 아니며 귀환저항도 입구저항에 의하여 제한된다. 따라서 편의전류(I_B)를 고려하면 $U_0 = -(I_s - I_B)R_f$ 이므로 I_B 가 I_s 보다 클 때에는 I_s 를 측정할 수 없다.

미소전류측정감도에 영향을 미치는 기본요인은 연산증폭기의 편의전류이며 잡음전압과 령점표류도 영향을 미친다.

미소전류를 측정하자면 연산증폭기는 다음의 요구를 만족시켜야 한다.

- ① 편의전류 $I_B < \text{측정전류 } I_s$
- ② 입구저항 $R_{\text{입}} \gg \text{귀환저항 } R_f$
- ③ 증폭도, 동위상신호제거비가 높아야 한다.
- ④ 전압비대칭과 령점표류가 작아야 한다.
- ⑤ 잡음이 작아야 한다.

회로설계와 제작 집적회로연산증폭기를 리용한 직류미소전류증폭기회로는 그림 2와 같다.

첫번째 단은 CA3140($R_{\text{입}} 1.5\text{T}\Omega$, $I_s 10\text{pA}$, $C_{\text{입}} 4\text{pF}$, $R_{\text{출}} 60\Omega$)을 리용하여 직류증폭단으로, 두번째 단은 LF356을 리용하여 전압증폭단으로 동작되게 하였다. 저항 R1과 D1, D2를 입구보호회로로, R2, R3은 입구평형저항으로 설계하였다. 귀환저항을 선택하는 방법으로 미소전류의 측정대역을 절

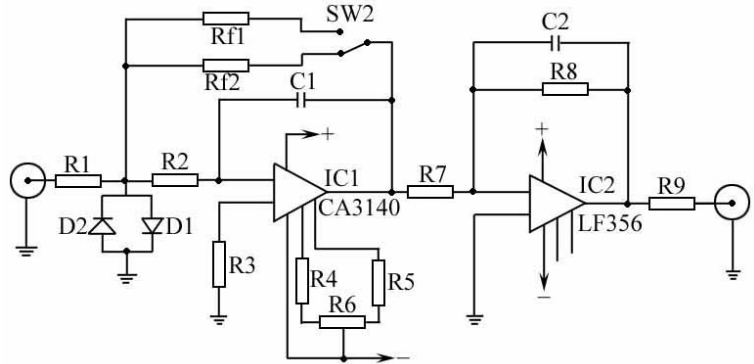


그림 2. 직류미소전류증폭기회로

환하도록 하였다. 증폭단입구에서 루설전류를 감소시키기 위하여 접점들을 절연이 좋고 정전기를 발생시키지 않으며 습기를 잘 흡수하지 않는 테플론수지로 띄움처리하였다. 회로에서 신호입구배선은 절연저항이 $100\text{T}\Omega$ 이상인 차폐선으로서 될수록 짧아야 하며 출구와 나란히 배선하지 말아야 한다.

2. 직류미소전류증폭기의 특성량결정

직류미소전류증폭기의 특성량결정을 위한 장치구성은 그림 3과 같다.

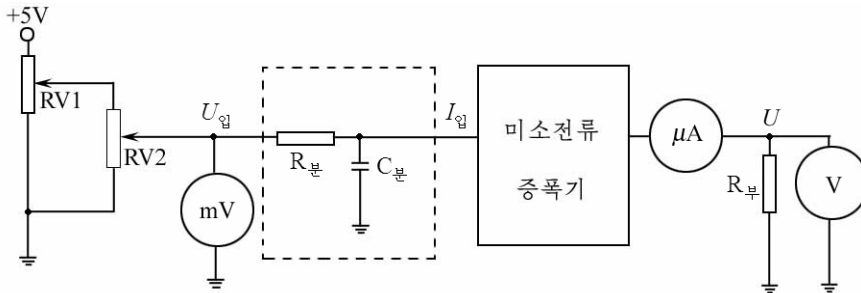


그림 3. 직류미소전류증폭기의 특성량결정을 위한 장치구성

직류미소전류원천은 가변저항 RV1과 RV2로 $U_{\text{입}}$ 을 변화시키고 분로저항 $R_{\text{분}}$ 을 통과시키는 방법으로 구성하였다. 이때 미소전류의 크기는 다음식으로 계산할수 있다.

$$I_{\text{입}} = \frac{U_{\text{입}}}{RV1 + RV2 + R_{\text{분}}} \approx \frac{U_{\text{입}}}{R_{\text{분}}} \quad (1)$$

직류미소전류증폭기의 령점은 CA3140의 1, 5번다리의 가변저항 R6과 귀환용량 C1을 리용하여 조정하였다. Altium Designer 2008에 의한 모의와 실험을 통하여 확정한 합리적인 귀환용량값은 4pF 이하이다.

$U_{\text{출}} \approx I_{\text{입}} R_f \frac{R_8}{R_7}$ 이므로 실험적으로 $U_{\text{출}}$ 을 측정하면 입구전류 $I_{\text{입}}$ 은 다음식으로 결정할 수 있다.

$$I_{\text{입}} = U_{\text{출}} \cdot \frac{R_8}{R_f R_9} \quad (2)$$

$U_{\text{입}}$ 에 따르는 미소전류측정결과는 표와 같다.

표. $U_{\text{입}}$ 에 따르는 미소전류측정결과

$U_{\text{입}}/V$ (측정값)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$I_{\text{입}}/pA$ (환산값)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$U_{\text{출}}/V$ (측정값)	0	0.77	1.56	2.44	3.16	4.08	5.00	5.86	6.69	7.42	8.2
$I_{\text{출}}/\mu A$ (측정값)	0	4.70	9.50	14.87	19.25	24.87	30.50	35.75	40.8	44.25	50.0

표에서 보는바와 같이 입구전류 10pA에 해당하는 입구전압 0.1V에서 $R_f = 10G\Omega$ 일 때 출구전압은 0.77V이다. 전류증폭도는 0~17Hz에서 $K_I = 4.96 \times 10^5$ 이다.

맺는말

우리는 집적회로연산증폭기 CA3140을 리용하여 0~17Hz 대역에서 10pA까지의 미소전류를 측정할수 있는 미소전류증폭기를 제작하고 직류미소전류증폭기의 특성량들을 평가하였다.

참고문헌

- [1] 丁卫撑 等; 核电子学与探测技术, 29, 4, 854, 2009.
- [2] 陈国杰 等; 核电子学与探测技术, 25, 3, 243, 2005.
- [3] 王立新 等; 仪表技术, 4, 34236, 1999.

주체105(2016)년 1월 5일 원고접수

On the Micro Direct Current Amplifier for Nuclear Reactor Noise Analysis

Jo In Hyong, Ro Kwang Chol

We manufactured the micro direct current amplifier, which can measure micro current up to 10pA over the range of 0~17Hz using the integrated circuit operation amplifier CA3140 and evaluated the characteristics of micro direct current amplifying circuit.

Key words: micro current amplifier, direct current, amplifying circuit