

복사스펙트르측정에서 검출기와 예비증폭기를 연결하는 한가지 방법

박 창 수

현재 방사선의 에너지를 스펙트르측정에서 이용되는 검출기신호는 한 단자를 접지에 연결시킨 접지된 단일신호이고 입구증폭기는 입출구공통단자가 접지된 단일증폭기이다.[1, 2, 5, 7] 접지된 단일신호원천을 차동증폭기나 평형차동증폭기와 연결하는것은 가능하지만 단일증폭기나 연산증폭기를 반전 및 비반전증폭기와 연결하는데는 일정한 문제가 제기된다.[3, 4]

방사선측정에서는 에너지를 스펙트르의 특수성으로부터 검출기신호증폭에 차동증폭기를 이용하지 못하고있다.

우리는 복사검출기로부터 류동신호를 얻어낼수 있는 검출기회로와 단일3극소자증폭기로 연결의 한가지 방법을 제시하고 그 특성을 모의하였다.

1. 입구회로구성

입구회로를 그림 1과 같이 구성하였다. 회로에서 Det는 검출기이고 Q_1 은 이음형마당효

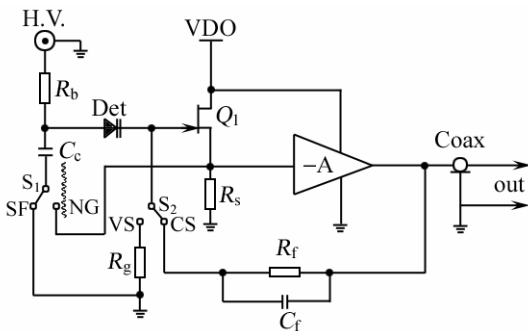


그림 1. 입구회로

과 3극소자, R_b 는 편기저항, R_g 는 검출기부하저항 및 JFET조종극저항, R_s 는 원천극저항, C_c 는 결합콘덴사이다. 전하수감예비증폭기의 경우 R_g 는 부귀환저항 R_f 에 의하여 교체될수 있다. 회로는 스위치 S_2 가 VS에 연결되면 전압수감증폭기로, CS에 연결되면 전하수감증폭기로 동작한다. 또한 스위치 S_1 이 SF에 연결되면 원천극반복기로, NG에 연결되면 접지에 직접 연결되지 않는 검출기출구와 JFET입구를 가지는 입구회로로 동작한다.

우리는 스위치 S_1 이 NG에 연결된 경우를 연구하였다.

검출기출구단자들과 JFET입구단자들은 접지와 직접 연결되지 않았다. 즉 검출기는 접지로부터 띄워진 단일신호원천이고 3극소자증폭기는 원천극을 입출구공통단자로 가지는 단일증폭기이며 입구단자들은 모두 접지되지 않았다. 회로는 차동증폭기[3]와 유사하다.

결합콘덴사의 용량이 검출기용량보다 큰 경우 R_b 는 R_s 와 병렬로 연결된다. 그러므로 R_b 는 려파콘덴사와 연결되지 않았지만 회로의 잡음에 영향을 주지 않는다.

결합콘덴사의 접지에 대한 분포용량은 JFET입구용량이 아니라 두번째 증폭단의 입구용량에 추가되므로 회로는 교류결합이지만 결합콘덴사가 회로의 잡음에 영향을 주지 않는다.

2. 모의실험결과

검출기출구신호에 대한 모의실험결과 검출기출구신호를 모의하기 위한 회로를 그림 2와 같이 구성하였다. 회로에서 빛방출2극소자는 복사원천으로, 빛3극소자의 수전극-기초극이음은 반도체p-n이음검출기이다. R_g , 빛3극소자의 수전극-기초극이음, R_b 로 이루어진 회로가 검출기회로이다. 검출기의 음극은 JFET의 조종극과 연결하고 양극은 결합콘덴샤를 통하여 JFET의 원천극과 연결하였다. 마당효과3극소자의 부하효과를 없애기 위하여 결합콘덴샤의 값을 $C_c=1\text{pF}$ 로 작게 선택하였다. 방사선신호는 임펄스신호이므로 입구신호원천을 주기 1ms, 임펄스폭 0.5ms인 임펄스신호로 선정하였다.

전자회로설계 및 분석프로그램 NI10.0/Multisim으로 진행한 검출기출구신호에 대한 모의결과를 그림 3과 같다.

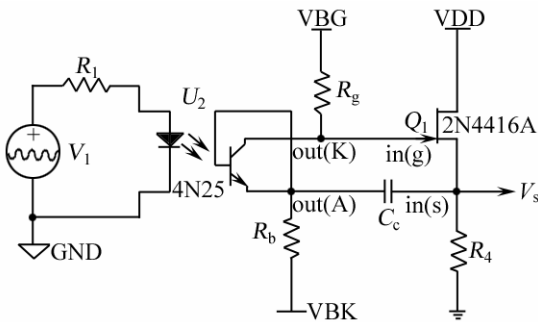


그림 2. 검출기출구신호를 모의하기 위한 회로

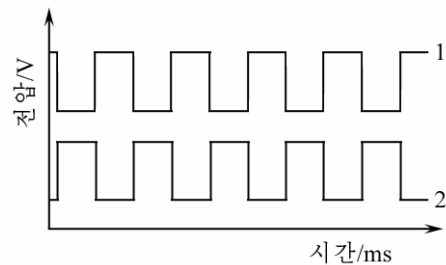


그림 3. 검출기출구신호
1-out(K), 2-out(A)

그림 3에서 보는바와 같이 검출기출구신호는 서로 다른 직류준위에서 변하는 크기가 같고 방향이 반대인 차동신호이다. 이것은 우리가 구성한 검출기회로의 출구신호가 류동신호라는것을 보여준다.

JFET증폭회로에 대한 모의실험결과 회로에서 입구신호는 in(g)와 in(s)로 들어가고 출구신호는 V_s 이다. 즉 회로구성에서는 원천극반복회로이지만 입구신호를 입력하는 방법[8]이 차이난다.

우리가 구성한 회로와 원천극공통회로는 그림 4, 5와 같다.

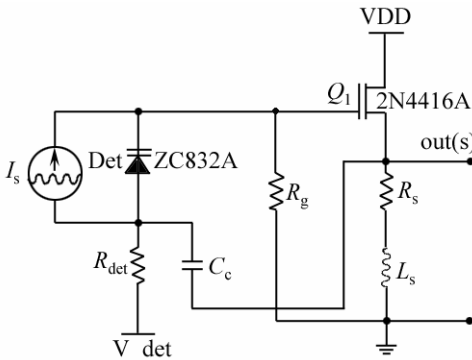


그림 4. 우리가 구성한 회로

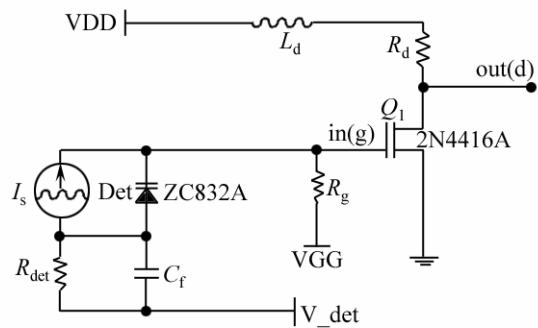


그림 5. 원천극공통회로

우리가 구성한 회로와 원천극반복회로, 원천극접지회로를 가지고 모의실험하였다.

이때 직류동작점을 일치시키기 위하여 세 회로의 편기전압을 다르게 하였다. 검출기모형으로는 p-n이음에 0V의 전압을 걸어주었을 때 이음용량(C_{J0})이 39.99pF, p-n이음포텐셜장벽전압(V_J)이 2.268V인 가변용량2극소자를 리용하였다. 가변용량2극소자에서 p-n이음용량 C_J 는 검출기에 걸리는 역전압이 V_R 일 때 다음의 식에 의하여 결정된다.

$$C_J = C_{J0} / \sqrt{1 + V_R / V_J}$$

L 이 각각 0, 100mH일 때 회로의 증폭특성을 모의한 결과는 그림 6, 7과 같다.

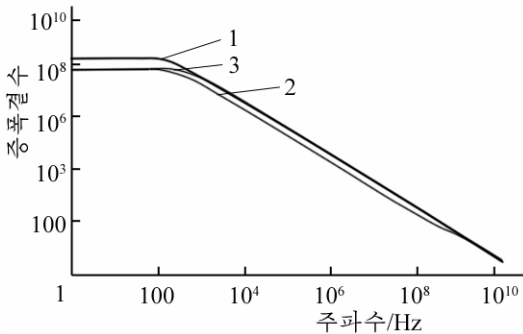


그림 6. 모의결과($L=0$ mH)

1—원천극접지회로, 2—원천극반복회로,
3—우리가 구성한 회로

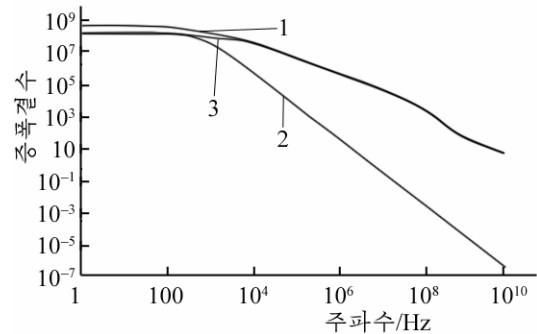


그림 7. 모의결과($L=100$ mH)

1—원천극접지회로, 2—원천극반복회로,
3—우리가 구성한 회로

그림 6, 7에서 보는바와 같이 우리가 구성한 회로는 직류와 낮은 주파수에서는 반복회로와 같은 특성을 가지고 중간 및 높은 주파수에서는 원천극공통회로와 같은 특성을 가진다. 그러나 출구신호의 극성은 원천극공통회로와 반대이다. 이것은 출구신호의 기준점인 접지위치가 원천극공통회로와 차이하기때문이다.

3. α 선에너지스펙트르측정

α 선에너지를 측정하기 위한 실험장치를 그림 8과 같이 구성하였다.

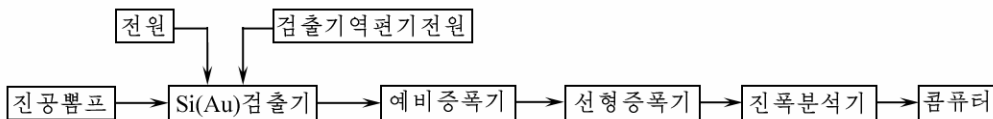


그림 8. 실험장치의 구성체계

반도체검출기로는 동작면적이 약 294mm²인 위치검출기를 리용하였다. 예비증폭기로는 우리가 구성한 입구회로와 원천극접지회로, 원천극반복회로를 각각 입구단으로 구성한 예비증폭기를 리용하였다. 증폭결수는 400~6 000이며 주파수대역은 3MHz, 전원전압은 9~24V이다. 선형증폭기의 증폭결수는 최대로 1 024까지 계단식으로 변화시킬수 있고 매개 단에서 세밀조절할수 있다. A/D변환기의 박자주파수는 1 000MHz, 변환결수는 8, 4, 2, 1, (1/2)K, 입구신호길이는 (0.7~4) μ s, 입구신호전면장성시간은 (1~5) μ s, 입구신호의 최소진폭은 80mV, 최대진폭은 8.192V, 입구저항은 100k Ω , 입구용량은 70pF이다.

²⁴¹Am의 α 선스펙트르를 측정한 결과는 그림 9와 같다. 이때 귀환결합용량 C_f 는 0.3pF로, 선형증폭기에서 미적분시상수를 $\tau_{\text{미}} = \tau_{\text{적}} = 6.4\mu$ s로 설정하였다.

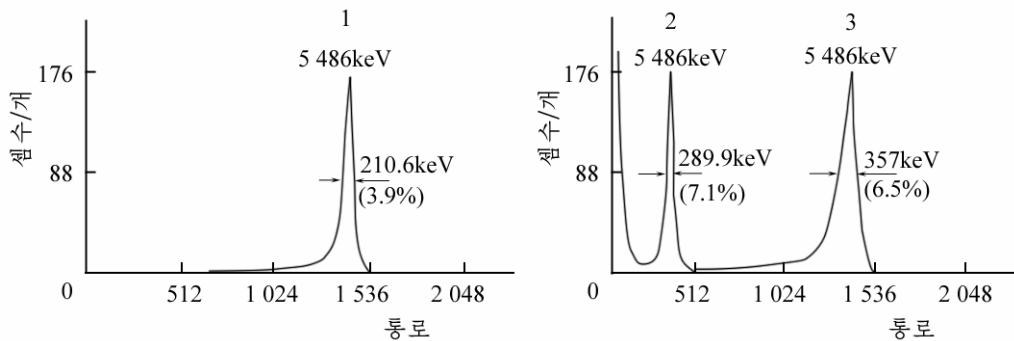


그림 9. ^{241}Am 의 α 선스펙트럼

1-3은 각각 우리가 구성한 회로, 원천극반복회로, 원천극접지회로를 입구단으로 리용한 경우

그림 9에서 보는바와 같이 우리가 구성한 회로와 원천극반복회로, 원천극접지회로를 입구단으로 리용할 때 5486keV의 α 선에 대하여 분해능은 각각 210.6keV(3.9%), 289.9keV(7.1%), 357keV(6.5%)이며 신호대잡음비는 각각 47.8, 4.4, 8.5이다. 우리가 구성한 회로를 입구단으로 리용한 예비증폭기는 원천극접지예비증폭기보다 에네르기분해능은 약 1.4배, 원천극반복예비증폭기보다 신호진폭은 3.6배, 에네르기분해능은 약 1.7배 더 높다.

맺는 말

복사검출기로부터 류동신호를 얻어낼수 있는 검출기회로와 검출기와 접지우에 띄워져 있는 입출구공통단자를 가지는 3극소자 1개로 구성된 입구증폭기연결의 한가지 방법을 제기하였다. 검출기의 출구신호는 직류준위가 서로 다른 차동신호이며 단일증폭기는 직류와 낮은 주파수에서는 원천극반복회로와 같은 주파수특성을, 중간 및 높은 주파수에서는 원천극접지회로와 같은 주파수특성을 가진다. 우리가 구성한 회로를 입구단으로 리용한 예비증폭기는 원천극접지예비증폭기보다 에네르기분해능은 약 1.4배, 원천극반복예비증폭기보다 신호진폭은 3.6배, 에네르기분해능은 약 1.7배 더 높다.

참고 문헌

- [1] K. Schneider et al.; Highly Sensitive Optical Receivers, Springer, 36~48, 2006.
- [2] Vladimir Polushikin; Nuclear Electronics: Superconducting Detectors and Processing Techniques, John Wiley & Sons, 52~54, 2004.
- [3] J. G. Webster; Electrical Measurement, Signal Processing and Displays, CRC Press, 20.1~25, 2004.
- [4] D. A. Burt et al.; Electronic Instrument Handbook, McGraw-Hill, 5.1~3, 34.1~7, 35.1~8, 2004.
- [5] Krzysztof Iniewski; Electronics for Radiation Detection, CRC Press, 24, 2011.
- [6] C. D. Motchenbacher et al.; Low-Noise Electronic System Design 2, John Wiley & Sons, 208, 1988.
- [7] W. Nicholson; Nuclear Electronics, John Wiley & Sons, 68, 1974.
- [8] T. L. Floyd et al.; Fundamentals of Analog Circuits 2, Prentice Hall, 163, 2000.

주체105(2016)년 4월 5일 원고접수

A Method for Connecting Radiation Detector and Preamplifier in Radiation Spectrometry

Pak Chang Su

We consisted of the front-end electronics of measurement system with the detector circuit for extracting the floating signal from radiation detector and pseudo-differential amplifier for amplifying the signal. As the simulation result, we can know that the output signals of the detector is the differential signals, but discrepancy direct voltage levels and the amplification of the amplifier is same in magnitude and the phase is opposite.

Key words: low-noise amplifier, front-end electronics