

방사능 동시계수의 측정을 위한 ADC시스템 개발

오 용 선
목원대학교 정보통신공학과

E-mail : ysunoh@mwus.mokwon.ac.kr

Development of an ADC System for Measurements of Radioactive Coincidence Coefficients

Yongsun Oh

Dept. of Inform. & Comm. Eng. Mokwon Univ.

E-mail : ysunoh@mwus.mokwon.ac.kr

요약 방사성 핵종의 인위적 방사능 측정과 환경방사능의 측정에 있어서, 발생된 펄스의 에너지와 발생 상대시간을 동시에 측정하여 계수함으로써, 채널분해능과 시간분해능 및 처리속도를 향상시킬 수 있는 ADC 시스템을 개발하였다. 다양한 크기를 갖는 입력펄스의 파고와 관계없이 일정한 불감시간(deadtime)을 갖는 방식으로 시간보정 과정을 필요로 하지 않으며, 측정된 파고와 상대적 불감시간은 동시에 계수되어 방사능 분석을 위한 자료로 제공된다. 본 연구는, 기존에 측정효율을 감소시키는 주요 원인이 되었던 불감시간 보정 과정을 배제하고 전체 스펙트로스코피(spectroscopy)의 정확도 및 안정도를 유지할 수 있는 변환체계를 개발하며, 특히 측정 환경에 따라 다양하게 적용할 수 있는 불감시간 측정방식을 제공하는 것이다.

1. 서론

방사성 핵종으로부터 발생하는 방사능을 측정하기 위한 β - γ 동시계수방법은 측정계수로부터 직접 방사능을 산출하기 때문에 불확실성을 크게 감소시킬 수 있을 뿐 아니라 두 가지 이상의 방사선을 방출하는 대부분의 핵종에 적용할 수 있기 때문에 방사능 절대측정이나 환경방사능 측정에 있어서 매우 유용한 것으로 알려져 있다(1, 2). 또한, 오늘날의 발달된 산업·기술 분야에서 요구하고 있는 정밀도와 처리속도를 충족시키기 위한 연

구는 매우 활발하게 진행되고 있다.

그러나, 현재 산업기술 분야에서 요구하고 있는 방사능 측정의 불확실도는 1% 미만으로서, 이를 충족시키기 위해서는 ADC를 비롯한 새로운 계수 장치와 불감시간 보정방법 등이 개발되어야 한다. 동시계수 장치의 측정오차는, 여러 가지 오차요인들에 의하여 발생하는 것이지만, 특히 물리적으로 거의 동시에 발생하는 두 개의 펄스 사이를 시간차로 인식하는 기존의 시각 계수방식의 맹점에 기인하는 바 크며, 이러한 문제점은 각 ADC(analog to digital converter)에 입력되는 방사능 펄스들의 절대 입력시간(absolute input time)을 높은 정밀도로 측정함으로써 해결할 수 있는 문제이다.

지금까지 개발된 동시계수 장치로는, 영국의 D. Smith, 일본의 미야하라, 그리고 한국표준과학연구원에서 개발한 장치 등을 들 수 있다(3). 이들 중 최근에 개발된 장치는, 입력되는 펄스의 파고와 입력시각을 동시에 측정할 수 있는 장치로 알려져 있으나, 여기에 사용된 ADC는 소위 누적 방식(integrating ADC)으로 각 펄스에 대한 불감시간이 펄스의 크기에 따라 변화한다. 그러므로, 시스템은 이러한 불감시간의 보정을 위하여 별도의 장치를 구축해야 할 뿐 아니라, 그 보정과정 때문에 처리속도와 정밀도의 손실을 감수해야 하는 것이다.

본 논문에서는, 입력펄스의 파고와 관계없이 일정한 불감시간을 갖는 소위 직접비교방식(direct comparison ADC)을 적용하고, 파고와 입력시간을

동시에 측정하는 스펙트로스코피를 구축하고자 하는 것이다. 사실, ADC 기술은 이미 1920년대 후반 H. Nyquist에 의하여 그 원리가 제안된 이래 빠른 속도로 발전되어 왔으며, 오늘날 ADC 및 DAC는 디지털신호를 처리하는 거의 모든 분야에서 응용되고 있다. 따라서, 그 구성방식이나 설계의 개념도 매우 방대한 이론으로 발전하였으며, 구체적인 응용을 위한 시스템들이 다양하게 개발되어 있는 실정이다(4, 5).

여기에서는, 현대적인 ADC 구성방식의 다양한 개념과 그 정밀도 및 변환속도를 비교하여, 방사능 측정 스펙트로스코피에 적절한 설계방식을 채택하고, 그들 중 누적방식인 'Wilkinson-type'과 직렬형 구조의 직접비교방식인 'Successive-app. type'을 검토한다. 또한, 스펙트로스코피의 조건에 따라 병렬형 직접비교방식인 'Flash-type'의 적응성을 분석하고자 한다. 또한, 서로 다른 방사능 검출장치로부터 인가되는 펄스 입력신호를 다중화하여 단일 ADC로 변환하고, 변환된 디지털 정보를 내부의 프로세서와 기억장치에 저장하며 이를 외부에 설치된 컴퓨터로 분석하는 일련의 과정을 제시하고자 한다.

II. 스펙트로스코피의 구성

그림1은 방사능 측정을 위하여 사용되는 스펙트로스코피의 일반적 구성을 간단히 나타낸 것이다. 스펙트로스코피의 역할은, 방사성 핵종에 따라 발생하는 방사능 펄스(nuclear pulse)를 트랜스듀서를 통하여 전기적 펄스(electrical pulse)로 바꾸고, 이를 증폭하여 적절한 크기의 파고를 형성시킨 후, ADC를 이용하여 계수로 나타내고, 이들을 분석함으로써 방사선의 특성을 규명하기 위한 것이다.

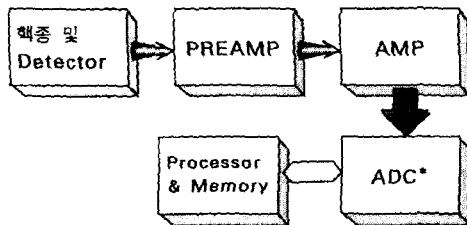


그림1 방사능 스펙트로스코피의 구성
Fig.1 Block Diagram of Nuclear Spectroscopy

따라서, 본 논문의 초점인 ADC와 연계하여 상호 동작을 고려해야 하는 각 부분의 역할과 그 발생 신호의 특성은 다음과 같다.

- 1) Detector/Transducer: 물리적으로 발생된 방사능 펄스의 크기에 비례하는 아날로그 입력 펄스 발생 (semi-Gaussian/delay-line shaped)
- 2) PreAmp./Amp.: 발생된 아날로그 입력펄스를 ADC의 동작조건에 맞도록 증폭 (0-10V)
- 3) ADC: 절대적 펄스 파고와 상대적 불감시간의 디지털데이터 생성 (13bits/10bits)
- 4) Processor/Memory (내외부): 변환에 의하여 주어진 데이터를 스펙트로스코피의 목적에 맞도록 조작 (Spectrum 생성)

주지하는 바와 같이, ADC는 스펙트로스코피 내에서 가장 기본적인 데이터를 생성하는 장치로서 그 성능에 따라 시스템 전체의 성능이 좌우되며, 펄스 파고와 불감시간 측정의 정확도 및 측정속도는 전적으로 ADC의 정밀도 및 변환속도에 의하여 결정된다.

III. ADC 설계의 요구조건

방사능 측정을 위한 ADC의 설계에 있어서 가장 먼저 고려할 사항은 그 ADC가 적용될 스펙트로스코피의 요구조건이다. ADC를 적용하였을 때 전체적인 시스템이 최고의 성능으로 동작할 수 있을 것인지 혹은 시스템 전체의 목적에 부합되도록 설치 가능한지를 확인하는 것은 중요한 일이다.

일단, 위에 언급된 기본적 요구조건이 충족되면, 다음으로 ADC의 특성을 결정해야 하는데, 이들 중 가장 먼저 결정해야 하는 사항은

- 1) 정밀도 (Resolution): 하나의 입력펄스에 대하여 몇 개의 채널을 적용할 것인가
- 2) 변환속도 (Speed of conversion): 하나의 입력펄스를 변환하는데 걸리는 시간. 입력펄스의 크기에 따라 가변적이거나 혹은 고정적이거나 등의 두가지 사항이다.

일반적으로, 정밀도와 변환속도가 결정되면 가용한 형태들이 상당히 축소되는 것이 보통이다. 또한, 이 두가지 특성은 결국 ADC의 복잡성을 결정하는 요인이 되므로 다음에 열거되는 기타 요건 중 cost/complexity/size/weight/power/ 등의 결정에 영향을 주게 된다. ADC 설계시 고려해야 하는 기타 요건들은 다음과 같다.

- 3) 정확도 (Accuracy): 정밀도가 높은 ADC일수록 잡음의 영향에 의하여 그 정확도가 한정

되며, 그렇지 않은 ADC는 잡음의 영향보다 요구되는 정확도에 의하여 그 정밀도가 결정된다. 방사능 절대측정에 사용되는 ADC는 이 두 가지 상황이 동시에 고려되어야 한다.

- 4) 소모전력 (Operating power consumption)
- 5) 가격 (Cost)
- 6) 크기 (Size)
- 7) 무게 (Weight)
- 8) 신뢰성 (Reliability) /복잡성 (Complexity) /유지 보수성 (Maintainability)
- 9) 동작환경 (Operating environment)

이러한 고려사항들을 종합하여, ADC의 설계시 취해야 할 흐름도를 그림2에 나타내었다.

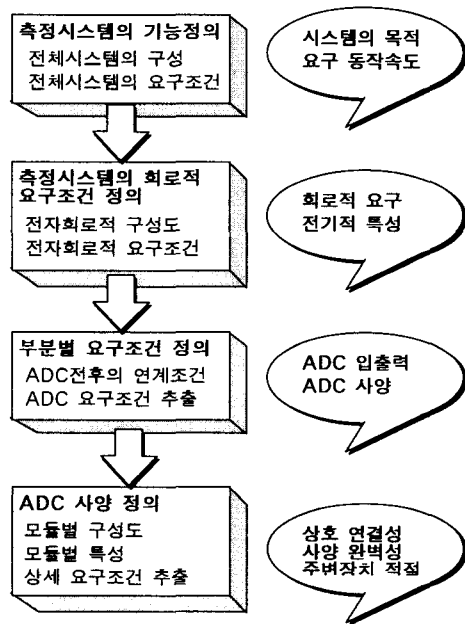


그림2 ADC 설계과정 흐름도
Fig.2 ADC Design flow

IV. 누적/직렬연속접근/병렬형 ADC

방사능 펄스의 특성상, 스펙트로스코피에 사용되는 ADC는 매우 고속으로, 높은 정밀도를 가지고 측정하지 않으면 안된다. 일반적으로, ADC는 그것이 처리하고자 하는 아날로그 신호의 특성에

따라 서로 다른 형태로 설계되는 것이 보통인데, 보통 아날로그 입력신호의 특성은 크게 세 가지로 구분되며, 그들을 처리하기 위하여 개발되어 있는 ADC의 형태는 다음과 같다.

- 1) 직류 혹은 저속 아날로그 신호: A/D 변환과정 동안 신호의 크기가 크게 변화하지 않는 신호로서, 저속 제어시스템 등으로부터 얻을 수 있는 신호형태이다.
 - ▶ Slope-type ADC
 - ▶ Ramp/Continuous counter ramp ADC*
 - ▶ Delta-Sigma ADC
- 2) 고속 펄스 혹은 고주파 신호(대역제한형): 주파수 한계(대역폭)를 가지므로 신호의 포획을 위하여 표본화율을 증가시키면 각 변환시간의 사이에서 신호의 크기를 어느정도 일정하게 유지할 수 있는 신호형태이다.
 - ▶ Successive approximation ADC*
 - ▶ Fully parallel(Flash) ADC*
 - ▶ Multiple-step ADC
 - ▶ Delta-Sigma ADC
- 3) 시간제한 펄스진폭 신호(시간제한형): 연속되는 펄스 사이에 거의 상호관계가 주어지지 않는 아날로그 펄스로서, 변환 후 각 펄스의 최종값으로 유지되는 신호형태이다.
 - ▶ Successive approximation ADC*
 - ▶ Multiple-step ADC
 - ▶ Pipelined ADC
 - ▶ Fully parallel(Flash) ADC*

이러한 아날로그 신호형태의 분류로 볼 때, 본 논문의 초점인 방사능신호는 짧은 시간동안 큰 변화를 일으키는 펄스형태의 신호이므로 위의 두번째 혹은 세번째 형태로 분류된다.

일반적으로, 대부분의 ADC는 자연발생적인 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하고, 이를 다시 DAC에 의하여 원래의 아날로그 신호로 복원함으로써, 아날로그 신호의 다양한 처리를 디지털신호처리(DSP) 방식에 적용하려는 것이다. 따라서, ADC-DAC 쌍을 전제로 설계되는 것이 보통이다. 그러나, 본 연구의 초점인 방사능 절대측정은 단순히 측정값을 얻어내기 위한 수단으로 사용되기 때문에 ADC만을 설계하게 된다.

기존의 스펙트로스코피에 구성된 ADC는, 입력 펄스의 범위 0~10(V)를 최대 8,192 채널(13 bits)로 변환하는 일종의 'Counter ramp ADC'이다. 이는, 소위 누적방식의 설계로 입력펄스의 크

기에 따라 변환시간이 달라지므로 불감시간 교정을 반드시 필요로 한다[6].

본 연구를 통하여 설계되는 스펙트로스코피는, 소위 직렬연속접근형 ADC(Successive app. ADC)를 포함하는 MCB(multichannel buffer)로 구성되어, 데이터의 저장 및 기본처리를 목적으로 하는 시스템이라 할 수 있다. 0~10(V) 범위의 입력신호에 대하여 최대 16,384 채널(14 bits)로 변환하며, 입력펄스의 크기가 달라진다 하더라도 변환시간은 7(μ sec)로 고정되어 있다[7].

한편, 방사능 스펙트로스코피는 대량생산을 필요로 하는 시스템이 아니라, 핵물리학적 측정결과를 얻고자 하는 시스템으로 그 정밀도와 변환속도 등은 시스템의 복잡성이나 코스트의 문제보다 월등히 중요한 위치를 차지한다. 이러한 관점에서 제안되는 ADC의 형태는 병렬형 ADC(flash type ADC)이다[5].

V. 불감시간의 측정

방사능 계수의 동시측정에 있어서, 입력펄스의 파고와 ADC의 불감시간은 동시에 측정되어야 한다. 일반적으로 설계되는 MCB 혹은 ADC의 출력으로는 펄스의 파고와 관련된 병렬 데이터와 ADC-busy 상태를 나타내는 불감시간 Flag이 주어진다. 우리는 Model-919 MCB의 "ADC Board"로부터도 입력펄스의 시간정보를 얻을 수 있으며, 이를 이용하여 다음과 같은 방법으로 불감시간을 동시에 측정할 수 있다.

방법 1: ADC와 별도로 memory 장치를 구현하는 방법

이 방법은, 현재 한국표준과학연구원에서 Model-800 ADC와 연결하여 사용하고 있는 'Deadtime Circuit'와 유사한 개념의 장치를 구성하여, 이를 ADC B'd와 PC 사이의 버퍼로 사용하는 것이다. 이 때, 구성될 'Deadtime Circuit'는 Model-800에 서와는 달리 불감시간 보정회로를 필요로 하지는 않으나, 아날로그 입력펄스의 파고와 상대적 불감시간에 관한 정보를 동시에 기억하여 처리할 수 있는 회로로 구성되어야 한다. 그러나, ADC의 기본데이터를 기억하기 위하여 설치된 것보다 더 우수한 성능의 memory 장치를 구축할 수 있을 것으로 기대하기는 어려우며, 이 방법은 상용시스템을 이용하는 경우에 비하여 엄청난 비용이 소요된다. 따라서, 파고와 불감시간을 동시에 측정하기 위하

여 별도의 memory 장치를 구현하는 것은 그리 현명한 방법은 아니다.

방법 2: MCB에 의하여 입력펄스의 파고정보를 저장하고, 별도로 설계된 논리회로에 의하여 불감시간을 측정·저장한 후, S/W로 이들을 추출·분석하는 방법

앞에서 설명한 바와 같이, MCB는 ADC 뿐만 아니라 상당한 성능의 프로세서와 충분한 고속 기억장치인 DPM(dual-port memory)을 소유하고 있다. 또한, DPM은 segment로 분할하여 별도의 기억장치로 사용할 수 있다. 따라서 원래의 MCB에 의하여 측정된 파고정보를 DPM의 segment #1에 저장하고, 별도로 설계된 논리회로에 의하여 측정된 상대적 불감시간(relative dead-time)을 DPM의 segment #2에 저장한 후, 이들을 프로그램에 의하여 대응시킴으로써 분석할 수 있다. 이 때, 하나의 입력펄스에 대하여 크기 정보가 1 word(14-bit)로 저장되므로, 이에 대응되는 상대적 불감시간도 같은 크기로 측정되는 것이 바람직하다.

이러한 방법은 구입 가능한 시스템에 논리회로를 첨가하고, 저장된 정보들을 프로그램에 의하여 처리하므로 비용면에서 대단히 유리하다. 그러나, DPM의 입력으로 크기 정보와 상대적 불감시간을 동시에 저장시키기 위해서는 이들 상호간 인터페이스에 관련된 제반 문제를 해결하여야 한다. 또한, 이 방식에 있어서는 DPM을 감제로 분할하여 사용하게 되므로, 정상적 개념의 다중화 MCB로 구현하기는 어려운 것으로 사료된다.

제시된 두 가지 방법 중 어떤 것을 채택하더라도, ADC 내에서 발생하는 'BUSY' 신호로부터 상대적 불감시간을 디지털 정보로 얻어내는 회로는 반드시 구현되어야 한다. 이를 위하여 VHDL 논리를 이용하여 구현할 수 있다.

VI. 결 론

본 연구에서는 다중채널로 입력되는 방사선 검출신호의 입력시간 및 에너지 정보를 실험적으로 10^{-8} 초 이내의 분해능으로 측정할 수 있는 ADC 시스템을 개발하였다. 펄스 파고의 크기와 관계없이 일정한 불감시간을 가짐은 물론 시간 분해능과 신호처리 속도를 기존의 시스템에 비하여 향상시킬 수 있는 모델을 제시하였다.

개발된 ADC 신호처리 기술은 베타-감마 동시측정에 의한 방사능 절대측정과 환경 방사능 측정을 위한 스펙트로스코피의 일부로 적용되어 시간 분해능 및 신호처리 속도 등을 향상시키고 측정의 정확도 및 안정도를 유지할 수 있는 방식으로 적용될 수 있다. 또한, 이 보다 더욱 우위의 성능을 나타낼 수 있는 다양한 방식을 제시함으로써 측정 장치의 설계시 선택의 폭을 넓힐 수 있는 기반을 마련하였다.

또한, Model-919 MCB의 기본 기능으로 불가능 하였던 상대적 불감시간의 측정방법을 제한함으로써, 기존 측정방식보다 시간 분해능 및 신호처리 속도를 향상시키는 방안을 제시하였다. 이는, 입력펄스의 파고에 관계없이 불감시간이 일정한 직렬연속접근 방식 ADC를 이용하여, 입력펄스의 크기 정보와 상대적 불감시간 정보를 동시에 측정할 수 있는 신호처리 장치의 구체적 모델이다.

이와 같은 연구결과는, ADC 자체 기술의 개발과 응용 기술의 발전에 모두 유용하며, 특히 방사능 절대측정 분야와 환경 방사능 측정분야에 있어서 그 정밀도를 향상시키고 측정과정을 단순화함으로써 측정계수율을 크게 향상시킬 것으로 기대된다. 또한, 액체 섬광계수 장치 등에 적용하여 새로운 분석방법의 개발에도 기여할 것으로 사료되며, 본 연구의 주 과제인 '국가환경 측정분석 사업'에 필수적 기반기술을 제공, 새로운 아이디어의 창출에도 기여할 수 있을 것으로 본다.

본 연구의 결과는 우선적으로 방사능 절대측정을 위한 'spectroscopy'의 일부로서, 신호처리 기술 향상을 위하여 활용될 것이다. ADC 전단의 증폭기로부터 'BUSY' 신호를 얻어 상대적 불감시간을 측정하는 방안은 전체 측정장치의 구성을 통하여 입력 방사능 신호의 크기와 불감시간을 동시에 얻을 수 있는 새로운 방안으로 제시되어, 베타-감마 동시측정에 의한 방사능 절대측정과 환경 방사능 측정에 유용할 것이다. 또한, 표준 인중물질 개발과 액체 섬광계수 장치에 활용되어 새로운 아이디어의 창출에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

최근, ADC 기술의 추세는 CMOS 1-chip 형태로 구성하는 것이다. 방사능 측정을 위한 ADC에 적용하기에는 아직 미흡한 점이 많으나, 향후의 측정장치 구성을 위하여 이러한 신기술들은 지속적으로 추적해 둘 필요가 있다. 이러한 기술의 추적이 향후의 연구과제로 제시된다.

참 고 문 헌

- (1) 박태순 외, 방사능 절대측정을 위한 이차원 동시계수장치 개발(III), 한국표준과학연구원 최종보고서, 1996년 1월.
- (2) 오용선, 역동시계수의 신호처리 기술 향상 연구, 한국표준과학연구소 위탁연구보고서, 1997년 12월.
- (3) H. Miyahara and C. Mori, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 43, No. 3, pp. 377-381, 1992.
- (4) K. Y. Kim, et al., "A 10-bit, 100MS/s CMOS AD Converter," *IEEE J. of Solid-State Circuits*, Apr. 1997.
- (5) D. F. Hoeschele, Jr., *Analog-to-Digital and Digital-to-Analog Conversion Techniques*, John Wiley & Sons, 1995.
- (6) EG&G ORTEC, *Model-800 ADC Operating & Service Manual*, 1980.
- (7) EG&G ORTEC, *Model-919 Spectrum Master Hardware Manual*, 1986.