

FPGA를 리용한 수자식핵스펙트르측정방법

강호, 송용혁

핵정보를 얻고 처리하는것은 기초과학연구와 응용과학연구에서 중요한 의의를 가진다. 핵스펙트르메터는 방사선의 에네르기정보를 얻는 기본장치이다. 지난 시기에는 A/D변환기와 수자신호처리장치에서 제한을 받는것으로 하여 핵스펙트르메터가 상사임펄스신호봉우리값을 검출하고 상사수자변환하는 상사식핵스펙트르메터였다. 최근 A/D변환기의 속도가 높아지고 수자신호처리기술이 비약적으로 발전하는데 따라 앞단의 임펄스신호를 직접 받아 수자신호처리를 하여 임펄스진폭측정 및 분석을 진행하는 수자화된 핵스펙트르메터들이 개발되었다.

우리는 광대역고속집적회로연산증폭기와 흐름관식A/D변환기, 론리조종 및 자료처리가 일체화된 FPGA를 리용하여 수자식핵스펙트르를 측정하는 방법을 고찰하였다.

1. 수자식핵스펙트르측정원리와 요구

방사선은 검출기속에서 자기 에네르기의 전부 또는 일부를 잃는다. 검출기와 연결된 예비증폭기에서 생긴 전압 또는 전류임펄스는 A/D변환기에 공급되기 전에 적당히 증폭, 성형된다. 그다음 A/D변환기수자화표본점자료들을 FPGA가 읽어들이고 후 매개 임펄스표본점들을 곡선맞추기하여 곡선의 극대값이 대응하는 임펄스의 진폭으로 되게 한다. FPGA는 각 이한 에네르기에 대응하는 각이한 임펄스진폭들에 대해 통계분석을 진행하여 미분기구선스펙트르를 얻으며 다시 직렬포구를 거쳐 컴퓨터에 보내어 처리를 더 진행한다.

통계오차를 감소시키려면 매개의 임펄스에 대한 표본점이 많을수록 좋다. 매개의 임펄스에 대한 표본점개수를 증가시키기 위하여서는 A/D변환기의 동작속도가 높아야 한다. 또한 스펙트르자료의 통로수가 많을수록 한번에 분석하는 원소의 종류가 많아지므로 다원소 분석을 하기 위해서는 A/D변환기분해능이 높을수록 좋다.[1] 수자식핵스펙트르메터는 수 μs 의 좁은 임펄스신호를 처리할 능력을 가져야 하므로 A/D변환기표본채취속도가 최대한 커야 하고 동특성대역이 최대한 넓은 집적회로연산증폭기를 선택하여야 하며 A/D변환기입구에 차동입구형연산증폭기를 리용하는것이 좋다.[2] 우리는 연산증폭기 AD8004, 차동증폭기 AD8138, A/D변환기 AD9244, FPGA CycloneII계열을 리용하여 위의 조건을 충분히 만족시키는 회로를 구성하였다.

2. 출구임펄스의 곡선맞추기방법

곡선맞추기방법은 임펄스진폭을 얻는 한가지 방법이며 본질상 통계자료속에서 평균값을 찾는 과정이다. 전압임펄스 u 의 하강면곡선방정식은 다음과 같다.

$$y = a \cdot e^{bt} \quad (1)$$

여기서 y 는 임펄스의 진폭, t 는 표본점시간, a 와 b 는 임펄스의 모양을 결정하는 결수들이다.

결수 a 와 b 의 값은 회귀분석방법과 표본점자료의 곡선맞추기에 의하여 구할수 있다. 수자화한 후의 전압임펄스 u 의 표본점진폭값들을 각각 $y = y_0, y_1, y_2, \dots, y_{m-1}$ 이라고 하고 여기에 표본점시간렬 $t = 0, 1, 2, \dots, m-1$ 을 대응시킨다.

식 (1)의 양변에 로그를 취하면

$$\ln y = \ln a + bt. \quad (2)$$

식 (2)에 곡선맞추기한 b 와 a 는 다음과 같다.

$$b = \left(m \sum_{i=0}^{m-1} i \ln y_i - \sum_{i=0}^{m-1} i \sum_{i=0}^{m-1} \ln y_i \right) / \left[m \sum_{i=0}^{m-1} i^2 - \left(\sum_{i=0}^{m-1} i \right)^2 \right] \quad (3)$$

$$a = \exp \left(\frac{1}{m} \sum_{i=0}^{m-1} \ln y_i - \frac{b}{m} \sum_{i=0}^{m-1} i \right) \quad (4)$$

FPGA의 내부CPU의 연산능력이 제한되어있으므로 연산시간을 감소시키기 위하여 표검사법에 의한 계산을 적용하였다.[3]

주어진 임펄스에 대하여 곡선맞추기를 하였을 때와 하지 않았을 때의 측정값의 대비자료는 표와 같다.

표. 곡선맞추기에 의한 측정값대비자료

No.	통로번호	곡선맞추기를 한 자료		곡선맞추기를 하지 않은 자료	
		측정값	오차	측정값	오차
1	1 000	1 008	1.0	933	42
2	1 000	999	10.0	967	8
3	1 000	1 007	2.0	1000	0
4	1 000	1 012	3.2	997	22
5	1 000	1 011	1.7	1006	31
6	1 000	1 000	0	953	22
7	1 000	1 020	11.0	991	16
평균값		1 009	4.2	975	20.1

곡선맞추기를 하였을 때와 하지 않았을 때 측정값의 상대편차는 각각 0.42, 2.1%로서 정확도가 5배 개선되었다.

3. 수자식핵스펙트르메터를 리용한 ^{55}Fe 원천의 에네르기스펙트르측정

수자식핵스펙트르메터에서는 상사식핵스펙트르메터에서 회로적으로 진행하는 성형러파, 실시간기록, 봉우리검출, 임펄스검침제거, 기준선회복 등의 기능을 FPGA가 수행한다.[3, 4]

QuartusII 응용프로그램을 리용하여 설계한 검출기신호의 실시간기록론리도는 그림 1과 같다. Pipe부분블록은 자료지연통로이고 Pipe의 Q단자출구자료는 Da단자입구자료보다 수십ns정도 지연되며 이것은 Pipe의 DelayTime단자의 자료에 의하여 결정된다. Pipe의 RdEn 단자가 1일 때 Q단자출구가 유효로 된다. Pipe의 RdEn단자와 WriteEnable 부분블록이 결합되어 검출기신호를 기록한다. Pipe의 En단자는 Pipe부분블록의 조종단자로서 En이 0일 때 동작을 시작한다.

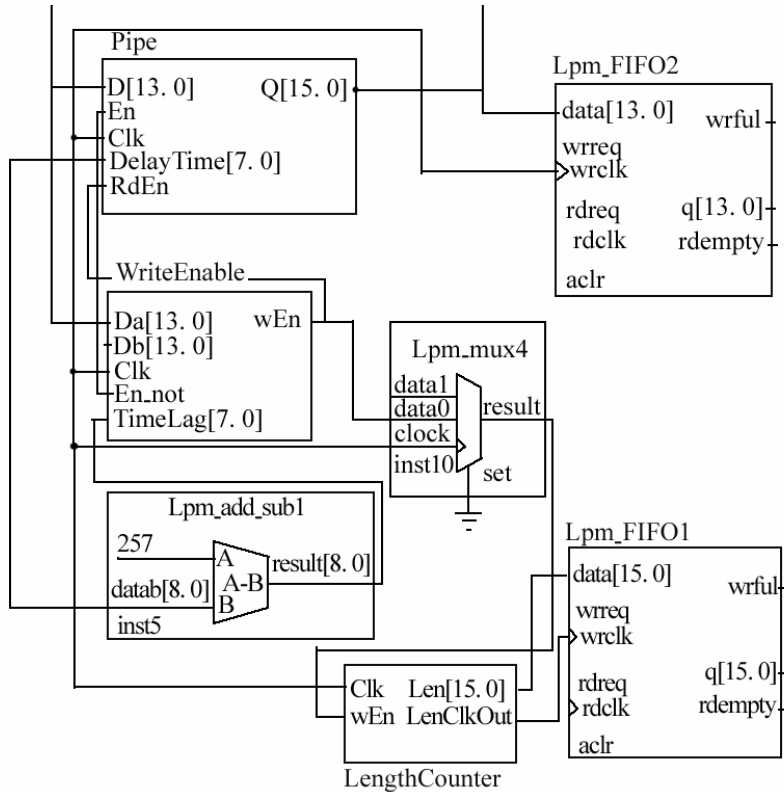
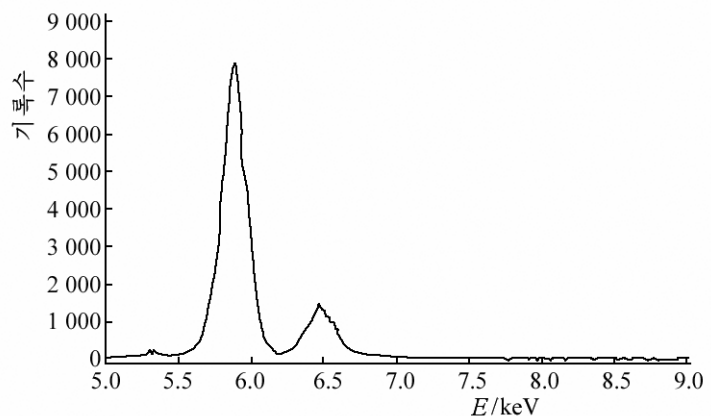


그림 1. 검출기신호의 실시간기록논리도

WriteEnable부분블록은 임펄스채취기능을 수행한다. WriteEnable의 wEn출구와 Pipe부분블록이 결합되어 임펄스를 실시간기록한다. LengthCounter부분블록은 매개 임펄스의 표본점길이를 기록하는 기능을 수행한다. LengthCounter의 wEn단자가 0일 때 LengthCounter부분블록의 내부계수기가 0으로 된다. wEn단자 출구신호의 내림면에서 LengthCounter부분블록의 내부계수기의 계수값이 Lpm_FIFO1에 기억된다. CPU의 임펄스처리속도가 실시간요구에 도달하지 못하면 Lpm_FIFO1과 Lpm_FIFO2 둘중의 하나에 쓰기충만중단이 일어나며 중단처리프로그램은 우선 wFIFOen을 0으로 설정하여 자료쓰기를 중지시킨다. 다시 En_not를 1로 설정하여 임펄스기록기능을 일시 중지시킨다. CPU가 FIFO의 자료를 다 처리한 다음 임펄스기록기능을 다시 수행한다.

그림 2에서 수자식핵스펙트럼메터를 리용하여 ^{55}Fe 원천의 에너지스펙트럼을 측정 한 자료를 보여주었는데 이 자료는 선행연구들과 잘 일치한다.

그림 2. ^{55}Fe 에너지스펙트럼

맺 는 말

1) 고속집적회로연산증폭기와 흐름관식A/D변환기, 론리조종 및 자료처리가 일체화된 FPGA를 리용하여 지난 시기 핵물리측정분야에서 리용하던 상사식헥스펙트르측정방법과 다른 수자식헥스펙트르를 측정하는 한가지 방법을 실현하였다.

2) 곡선맞추기를 하였을 때의 측정자료는 곡선맞추기를 하지 않았을 때보다 정확도에 서 5배 개선되었다.

참 고 문 헌

- [1] A. Pullia et al.; IEEE Transactions on Nuclear Science, **57**, 2, 732, 2010.
- [2] L. Abbene et al.; Nuclear Instrument and Methods in Physics Research, A **621**, 447, 2010.
- [3] L. Abbene et al.; Nuclear Instrument and Methods in Physics Research, A **654**, 340, 2011.
- [4] Huang Shan Shan; Nuclear Electronics and Detection Technology, **32**, 1, 36, 2012.

주체106(2017)년 2월 5일 원고접수

Method for Measuring Digital Nuclear Spectrum based on FPGA

Kang Ho, Song Yong Hyok

There has been accomplished a method for measuring digital nuclear spectrum by utilizing ultra-wideband high speed integrated circuit amplifier, pipelined ADC(A/D converter) and FPGA with the function of both logic control and data processes in this paper. The accuracy extracted by curve fitting method is improved 5 times than that of curve non-fitting method.

Key words: FPGA, digital nuclear spectrum, curve fitting method