

헥스펙트르측정에서의 한가지 개선된 수자식임펄스성형방법

김유철, 강호

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《현시대는 과학기술의 시대이며 과학기술의 발전수준은 나라의 종합적국력과 지위를 규정하는 징표로 됩니다.》(《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화보고》 단행본 38페이지)

일반적으로 임펄스성형방법에는 여러가지가 있지만 사다리형성형, 3각형성형, 가우스성형방법들이 상사식 또는 수자식다통로분석기에서 제일 많이 리용되고있다.[2, 3] 임의의 성형방법에 대해 적당한 려과성형방안을 선택하여 임펄스를 성형처리하는것은 수자식다통로분석기의 중요한 기술중의 하나이다.

론문에서는 다통로분석기에 적합한 제일 좋은 성형방안을 선택하기 위하여 많이 리용되고있는 세가지 성형방안의 우결함을 분석하고 구체적인 설계요구에 맞게 한가지 개선된 성형방법을 실현하였으며 상사식스펙트르분석기와 비교분석을 진행하였다.

1. 성형방법의 비교분석

세가지 성형방법의 특성을 비교하기 위하여 성형체계의 출력임펄스너비를 1로 표준화하고 대응하는 등가잡음과 탄도결손을 계산하여 세가지 방법의 우결함을 평가한다. 세가지 성형려과기의 응답은 다음과 같다.[1]

$$\text{3각형성형: } h(t) = \begin{cases} 1+t & (-1 \leq t \leq 0) \\ 1-t & (0 \leq t \leq 1) \\ 0 & (-1 > t, t > 1) \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{가우스성형: } h(t) = e^{-t^2} \quad (2)$$

$$\text{사다리형성형: } h(t) = \begin{cases} \frac{1+t}{1-k} & (-1 \leq t \leq -k) \\ 1 & (-k \leq t \leq k) \\ \frac{1-t}{1-k} & (k \leq t \leq 1) \\ 0 & (-1 > t, t > 1) \end{cases} \quad (3)$$

식 (3)에서 보는바와 같이 k 는 사다리형의 평탄부너비와 전체 사다리너비의 비로서 k 가 클수록 성형할 때 평탄부너비가 더 커진다.

성형체계의 잡음에 대한 기본적인 영향을 다음과 같이 표시할수 있다.[1]

$$\langle \zeta_a^2 \rangle = \frac{1}{2\tau} \langle \xi_a^2 \rangle = \frac{1}{2\pi\tau |h(t_0)|^2} \int_0^\infty \omega^2 |H(\omega)|^2 d\omega = \frac{1}{2\tau |h(t_0)|^2} \int_0^\infty |h(t)|^2 dt \quad (4)$$

$$\langle \zeta_b^2 \rangle = \frac{\tau}{2} \langle \zeta_b^2 \rangle = \frac{\tau}{2|h(t_0)|^2} \int_0^\infty |H(\omega)|^2 d\omega = \frac{\tau}{2|h(t_0)|^2} \int_0^\infty |h(t)|^2 dt \quad (5)$$

여기서 $\langle \zeta_a^2 \rangle$, $\langle \zeta_b^2 \rangle$ 는 각각 a 잡음, b 잡음에 대한 영향을 표시한다. $H(\omega)$ 는 성형러파기 $h(t)$ 의 주파수응답, $h(t_0)$ 은 $h(t)$ 의 봉우리값이다. 식 (4)와 (5)를 곱한 항 $\left| \langle \zeta_a^2 \rangle \langle \zeta_b^2 \rangle \right|$ 과 성형시상수 τ 는 서로 무관계하며 이 항이 a 잡음과 b 잡음의 종합적인 영향을 반영한다.

$$F_{\text{잡}} = \left| \langle \zeta_a^2 \rangle \langle \zeta_b^2 \rangle \right|^{1/4} \quad (6)$$

$F_{\text{잡}}$ 이 작을수록 성형체계의 잡음억제능력이 더 좋다는것을 보여준다.

탄도결손에 대한 특성분석은 다음과 같다. 입력임펄스신호를 $V(t) = Au(t)$ 라고 할 때 A 는 신호진폭, $u(t)$ 는 계단함수이며 임펄스성형체계의 출력진폭의 최대값은 $V(t_{\text{최대}})$ 이다.

입력임펄스가 일정한 장성시간을 가지므로

$$V_R(t) = A \left[\frac{t}{T} u(t) + \left(1 - \frac{t}{T} \right) u(t-T) \right] \quad (7)$$

T 를 $V_R(t)$ 최대임펄스진폭값에 대응하는 시간, 임펄스성형체계의 출력진폭의 최대값을 $V(t_{\text{최대}})$ 라고 하면 상대탄도결손(%)은 다음과 같이 표시할수 있다.

$$R_{BD} = \frac{V(t_{\text{최대}}) - V(T_{\text{최대}})}{V(t_{\text{최대}})} \cdot 100\% \quad (8)$$

실지응용에서는 임펄스진폭이 봉우리값의 1%만큼 하강할 때의 너비를 출력임펄스의 너비로 하고 $t_{0.01}$ 로 표시한다.

식 (1), (2), (3)에서 $h(t)$ 의 임펄스너비 $t_{0.01}$ 을 1로 표준화하면 T 는 입력신호가 최대값에 도달하는데 대응하는 시간이다. 세가지 성형방법에 대응하는 등가잡음과 탄도결손을 계산하였다.(표)

표. 세가지 성형방법의 특성파라미터비교

성형방법	등가잡음		잡음종합인자 $F_{\text{잡}}$	탄도결손 /%
	$\langle \zeta_a^2 \rangle$	$\langle \zeta_b^2 \rangle$		
3각형성형	3.96	0.337	1.08	5.00
가우스성형	5.38	0.292	1.12	1.51
사다리형 $k=0.02$	4.04	0.350	1.09	3.35
성형 $k=0.06$	4.32	0.379	1.13	1.46

표에서 보는바와 같이 3각형성형의 잡음종합인자가 제일 작지만 탄도결손은 제일 나쁘다. 탄도결손을 무시할수 있는 소형검출기에 대해서는 3각형성형이 한가지 좋은 성형방법으로 될수 있다. 가우스성형이 전체적으로 특성이 좋은데 잡음종합인자와 탄도결손을 다같이 고려하고있지만 동일한 에너르기분해능에 대한 요구조건일 때 사다리형성형처리 속도는 가우스형에서보다 2배 빠르다.

리론적으로 볼 때 사다리형성형의 평탄부의 너비가 최대 전하수집시간보다 작지 않으면 즉 탄도결손을 없앨수 있으면 표에서 보는바와 같이 k 값이 증가하는데 따라 탄도결

손이 더 작아진다.

또한 k 값이 증가하는데 따라 잡음억제능은 떨어지며 사다리장성시간이 증가함에 따라 잡음억제능이 더 좋아진다는것을 알수 있다.

사다리형성형과 3각형성형은 현재 수자식다통로분석기에서 전형적으로 리용하는 임펄스성형방법이며 전통적인 고성능상사식다통로분석기에서는 가우스성형기술을 광범히 리용하고있다.

성형방법을 선택한 다음 성형파라미터를 선택하는것도 매우 중요하다. 계수률에 대한 요구가 매우 높을 때 임펄스겹침이 계수률에 주는 영향을 감소시키기 위하여 성형파라미터를 적당히 감소시킬수 있다. 에네르기분해능에 대한 요구가 매우 높을 때 잡음, 탄도결손이 에네르기분해능에 주는 영향을 감소시키기 위하여 성형파라미터를 적당히 증가시킨다.

계수률과 에네르기분해능을 함께 고려해야 하는 경우에는 파라미터의 영향을 종합적으로 고려하여야 한다. 장성시간이 클수록 임펄스성형정확도가 더 좋아진다. 성형시간이 길수록 에네르기분해능은 더 좋아지지만 임펄스겹침을 고려하여야 하며 성형시간이 작을수록 임펄스겹침이 생길 확률이 작아진다.

따라서 위에서 서술한 여러가지 영향들을 함께 고려할 때 제일 좋은 성형방법은 평탄부가 매우 좁은(3각형에 근사한) 사다리형성형이다.

합성성형법은 각이한 장성면, 평탄부, 지연시간을 설정하고 입력신호를 오목곡률도형과 볼록곡률도형으로 성형한 다음 2개의 성형기를 합성하여 빠른 사다리형임펄스를 얻을수 있다.(그림 1)

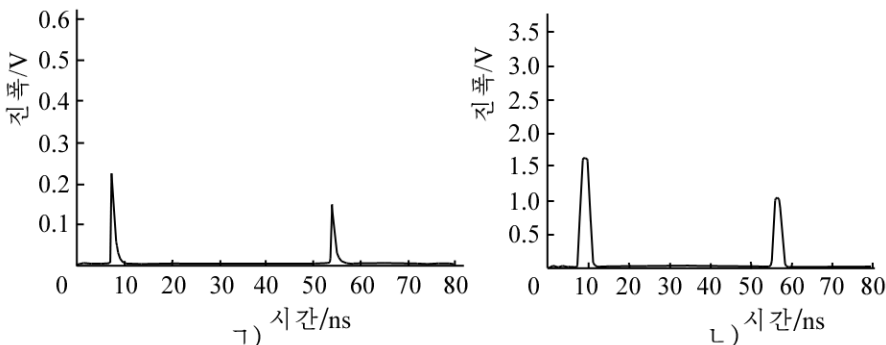


그림 1. 합성성형법으로 실현한 빠른 사다리형임펄스
 a) 입력신호, b) 사다리형성형신호

느린 사다리형임펄스도 같은 방법으로 얻을수 있다.

2. 정밀임펄스발진기를 리용한 비교실험결과

임펄스성형방법을 리용하여 다른 방법들과 비교검사를 진행하였다. 실지 검출기들에서 임펄스들은 각이한 지속시간과 진폭을 가진다. 실험을 진행할 때 이전의 경험에 기초하여 고찰하려는 구역을 설정한다. 성형기의 기본목적은 완성된 모양을 가진 출력신호를 얻는것이 아니라 신호대잡음비가 최대가 되도록 하는것이다. 성형기를 리용하여 검사를 진행하기 위하여 예비증폭기를 분석기에 련결한다. 논문에서는 고찰하려는 구역의 시작점을 성형기

의 턱으로 설정하였다. 리상적인 성형기는 장치의 잡음형태에 의존한다. 따라서 성형기가 입력신호를 리상적인 모양으로 변환하도록 적당한 공정을 거쳐야 한다.

스펙트르분석기를 리용할 때 기본잡음은 백색잡음이다. 이 경우에 고찰하려는 구역에서 $N=32$, $f_s=1/T_s=10\text{MSPS}$ 인 사다리형성형을 리용하였다.

상사식다통로분석기로 얻은 스펙트르와 수자식다통로분석기로 얻은 스펙트르를 그림 2에 보여주었다. 그림에서 설정된 통로번호는 280이며 측정시간은 2min이다. 수자식다통로분석기로 얻은 스펙트르의 반폭은 6.8이고 상사식다통로분석기를 리용한 경우에 반폭은 9.8이다.

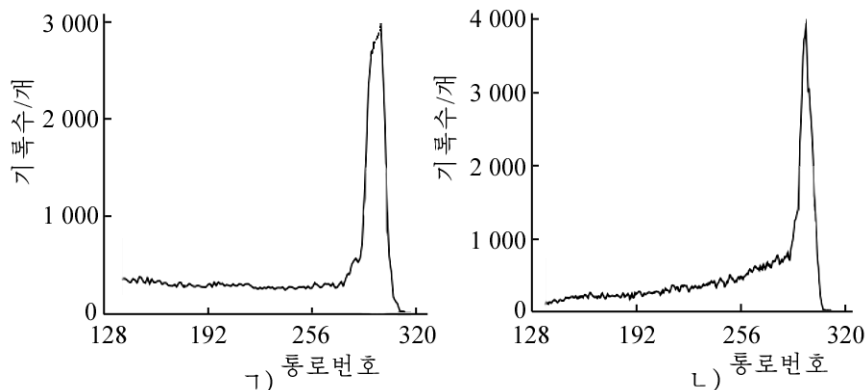


그림 2. 상사식다통로분석기(A)와 수자식다통로분석기로 얻은 스펙트르(B)

이 성형방법은 고찰하는 시간동안에 입력신호를 리용하여 성형기의 결수들을 자동적으로 조절함으로써 요구되는 임펄스모양을 효과적으로 얻을수 있게 한다. 높은 표본속도는 전력소비를 증가시키지만 반대로 낮은 표본속도는 반폭을 나쁘게 하므로 좋은 결과를 얻으려면 서로 절충할 필요가 있다. 다른 성형기들과 마찬가지로 성형차수를 증가시키면 표본화효과때문에 반폭이 감소된다.

맺는 말

FPGA를 리용하여 한가지 새로운 개선된 실시간스펙트르측정용 수자식성형방법을 실현하였다. 이 방법은 잡음억제와 탄도결손, 신호처리속도를 고려한 평탄부가 매우 좁은 사다리형성형방법이다. 이 성형방법을 리용한 경우에 반폭은 6.8이고 상사식다통로분석기를 리용한 경우에 반폭은 9.8로서 상사식인 경우에 비하여 1.5배 개선되었다.

참고 문헌

- [1] Valentin T. Jordanov; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 805, 63, 2016.
- [2] A. Abba et al.; IEEE Transactions on Nucl. Sci., 59, 5, 899, 2012.
- [3] M. Nakhostin; IEEE Transactions on Nucl. Sci., 58, 5, 89, 2011.

An Advanced Method of Digital Pulse Shaping in Nuclear Spectroscopy

Kim Yu Chol, Kang Ho

In this paper, a new advanced method of digital pulse shaping for real-time spectroscopy was implemented by using a FPGA. This method is trapezoidal shaping which the width of the flat-top is very narrow with considering the effects on noise suppression, ballistic deficit and signal processing rate.

Key words: pulse shaping, trapezoidal shaping