

กรรมวิธีสัญญาณเพื่อเพิ่มความสามารถในการแจกแจงพลังงานสเปกตรัมนิวเคลียร์



นาย หัสฤกษ์ เนียมอินทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1640-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I22208343

SIGNAL PROCESSING TO ENHANCE THE ENERGY RESOLUTION
IN NUCLEAR SPECTROSCOPY



Mr. HUDSALEARK NEAMINTARA

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Engineering in Nuclear Engineering

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic year 2004

ISBN 974-53-1640-7

หัตถุภรณ์ เนียมอินทร์ : กรรมวิธีสัญญาณเพื่อเพิ่มความสามารถในการแยกแยะพลังงานสเปกตรัมนิวเคลียร์.
(SIGNAL PROCESSING TO ENHANCE THE ENERGY RESOLUTION IN NUCLEAR SPECTROSCOPY)
อ. ที่ปรึกษา : รศ.วิรุฬห์ มังคละวิรัช, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.สุวิทย์ ปุณณชัยยะ จำนวนหน้า 76 หน้า. ISBN 974-53-1640-7.

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเทคนิคการประเมินหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกรองสัญญาณรบกวนสำหรับเพิ่มขีดความสามารถในการแยกแยะพลังงาน (Energy resolution) ของสเปกตรัมนิวเคลียร์ด้วยกรรมวิธีสัญญาณเชิงคำนวณเพื่อประยุกต์ใช้กับงานออกแบบและจัดระบบวัดนิวเคลียร์ระดับงานวิจัย โดยอาศัยการคัดเลือกรูปแบบของกระบวนการแต่งรูปสัญญาณและกำหนดค่าเวลาของการแต่งรูปสัญญาณภายในอุปกรณ์ขยายสัญญาณชนิดสเปกโตรสโคปีที่เหมาะสมในการขจัดสัญญาณรบกวนจากระบบวัดส่วนหน้าให้ได้อัตราสัญญาณต่อสิ่งรบกวนสูงที่สุด กรรมวิธีสัญญาณที่พัฒนาขึ้นใช้กระบวนการจำลองสัญญาณของระบบวัดส่วนหน้าด้วยการสุ่มสัญญาณรบกวนและสัญญาณพัลส์ตามคุณลักษณะของการวัดรังสี ในอัตราสุ่มสัญญาณ 5×10^6 ครั้งต่อวินาที สำหรับนำมากำเนิดจำนวนเรดคอมตามเทคนิคการแปลงกลับฟังก์ชันของมอนเตคาโล (Monte Carlo) บนไมโครคอมพิวเตอร์ที่ทำงานกับโปรแกรมแมทแล็บ (MATLAB) เพื่อให้ได้สัญญาณจำลองเหมือนจริงเก็บไว้เป็นฐานข้อมูล พร้อมด้วยการจำลองฟังก์ชันตัวแต่งรูปสัญญาณในอุปกรณ์ขยายสัญญาณโดยเทคนิคการประเมินฟังก์ชันของผลตอบสนองความถี่และแปลงกลับเข้าสู่ฟังก์ชันในโดเมนเวลาด้วยเทคนิคการออกแบบตัวกรองฟิลเตอร์เคอร์เนล (filter kernel) ก่อนนำสัญญาณจำลองของระบบวัดส่วนหน้าและฟังก์ชันตัวกรองในการแต่งรูปสัญญาณเข้ากระบวนการวิธีคอนโวลูชัน (convolution) เพื่อวิเคราะห์ผลการกรองสัญญาณรบกวนจากการประเมินการกระจายของขนาดสัญญาณพัลส์ตามนิยามของความสามารถในการแยกแยะพลังงาน (FWHM) ณ ตำแหน่งพีคพลังงานและอัตรานับรังสีที่จำลองขึ้น เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าเวลาแต่งรูปสัญญาณที่แปรเปลี่ยนไปของตัวแต่งรูปสัญญาณที่เลือกใช้กับผลของความสามารถในการแยกแยะพลังงานที่ดีที่สุดของระบบวัดสเปกตรัมพลังงานของรังสี ผลทดสอบการใช้เทคนิคการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับระหว่างวิธีทางปฏิบัติและเทคนิคการจำลองสัญญาณที่พัฒนาขึ้นกับระบบวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานของรังสีเอกซ์ ซึ่งใช้ระบบวัดส่วนหน้าที่มีหัววัดรังสีชนิด CdTe ของ Amptek รุ่น XTR100 และอุปกรณ์ขยายสัญญาณของ Canberra รุ่น 2022 พบว่าให้ผลสอดคล้องกันอย่างน้อยมีนัยสำคัญและมีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งค่าเวลาแต่งรูปสัญญาณที่เหมาะสม 11 %

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
สาขาวิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์
ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อนิติ.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4371820321 : MAJOR NUCLEAR ENGINEERING

KEY WORD: NUCLEAR SPECTROSCOPY / TIME DOMAIN NOISE / SIMULATION/ RANDOM NOISE/
SIGNAL PROCESSING / ENERGY RESOLUTION

HUDSALEARK NEAMINTARA : SIGNAL PROCESSING TO ENHANCE THE ENERGY RESOLUTION IN NUCLEAR SPECTROSCOPY. THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR VIRUL MANGCLAVIRAJ THESIS COADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR SUVIT PUNNACHAIYA, 76 pp. ISBN 974-53-1640-7.

The aim of this research work is to develop an optimum noise filter evaluation technique using a signal processing method for enhancing the energy resolution in nuclear spectroscopy with application in the design and system setting-up. The technique is based on the wave shaper and its shaping time in a spectroscopy amplifier, in order to eliminate the front-end noise for obtaining the high S/N condition. The filter modeling and signal simulation are used in the developed technique. A pseudo noise integrated with nuclear pulse signal, as a data base, is simulated on a microcomputer under the MATLAB program by a random number generation using the Monte Carlo's inverse method from the sampled signal of the front-end at a sampling rate of 5 MS/s, while, a time domain wave shaper function of the amplifier is established by the frequency response converted function using the filter kernel designing technique. The convolution of simulated signal and modeled filter function is applied to analyze the noise filter results through pulse height distribution evaluation, according to the FWHM definition at simulated peak energy and counting rate. The relation of the shaping time variation of selected wave shaper with energy resolution results are plotted and displayed at the optimum point. The experiment for determination of optimum condition between the practical and developed evaluation techniques is based on the setup of the x-ray spectroscopy system consists of AMPTEK XTR100 CdTe in conjunction with the spectroscopy amplifier CANBERRA 2022. The test results obtained from these two methods agree significantly well with an error less than 11 %.

Department of Nuclear Technology
Field of study Nuclear Engineering
Academic year 2004

Student's signature.....*Neamintara*
Advisor's signature.....*Virul Mangclaviraj*
Co-advisor's signature.....*Suvit Punnachaiya*

Acknowledgments

The author would like to acknowledge the financial support from Chiangmai university under the lecturer development program to give me an opportunity to study for doctoral degree. Also I would like to express appreciation to Associate Professor Virul Mangclaviraj and Assistant Professor Suvit Punnachaiya my dissertation advisor for kind advices and supervision.

Finally, I would like to sincerely thank my parents, Mrs. Bung-on, Mr. Punja, my wife, Mrs. Anothai, and my two lovely daughters, Thunyathorn and Panyada for their encouragement, support and patience.

Table of Contents

	Page
ABSTRACT (THAI).....	iv
ABSTRACT (ENGLISH).....	v
Acknowledgement	vi
Table of Contents	vii
Table of Figures	x
Chapter	
I INTRODUCTION.....	1
1.1 Background and problems of interest.....	1
1.2 Thesis objective.....	3
1.3 Scope of work.....	3
1.4 Expected benefits.....	4
II THEORY AND LITERATURE REVIEWS.....	5
2.1 Nuclear spectroscopy system.....	5
2.1.1 Signal pulse processing.....	5
2.1.2 Energy resolution degradation.....	9
2.1.3 Noise in nuclear spectroscopy.....	11
2.1.4 Pulse pile-up and ballistic deficit effect.....	13
2.1.5 Pole zero compensation and Baseline restorer effects.....	14
2.2 Optimization of signal to noise ratio.....	15
2.2.1 Signal to noise ratio.....	15
2.2.2 Power spectral density of front-end noise.....	16
2.2.3 Power transfer function of spectroscopy amplifier.....	17
2.2.3.1 Linear time-invariant systems.....	17
2.2.3.2 Spectroscopy amplifier as a linear time-invariant model.....	18
2.2.3.3 Frequency Response Function.....	19
2.2.4 Dependence of noise on shaping time.....	19
2.3 Literature reviews.....	20
2.3.1 Factors of energy resolution degradation.....	20
2.3.2 Nuclear spectroscopy simulation.....	23

Table of Contents (continue)

2.3.3 Summary of research work.....	25
III DESIGN AND DEVELOPMENT.....	26
3.1 Concept of optimum shaping time estimation.....	26
3.2 Front-end signal pulse simulation.....	29
3.2.1 Time domain simulation of noise.....	29
3.2.2 Random photon signal generation.....	30
3.2.3 Preamplifier signal generation.....	31
3.2.4 Front-end noise sampling technique.....	33
3.3 Spectroscopy amplifier modeling.....	34
3.3.1 Frequency response sampling technique.....	34
3.3.2 Power transfer function of band pass filter estimation.....	34
3.3.3 Designing of digital filter from frequency response.....	37
IV EXPERIMENT AND RESULTS.....	41
4.1 Experimental apparatus.....	41
4.1.1 Electronic instrument.....	41
4.1.2 Application softwares.....	41
4.1.3 Nuclear instrument.....	41
4.2 Experiment procedure.....	42
4.2.1 Input parameter preparation for simulation.....	42
4.2.1.1 Front-end signal generation.....	42
4.2.1.1.1 Noise simulation.....	42
4.2.1.1.2 Random photon signal generation.....	44
4.2.1.2 Spectroscopy amplifier transfer	
function estimation.....	45
4.2.1.2.1 Frequency response estimation.....	45
4.2.1.2.2 Digital filter design.....	47
4.2.2 Simulation for optimum shaping time searching.....	47
4.2.3 Manual check for optimum shaping time searching.....	47

Table of Contents (continue)

4.3 Experiment result.....	48
4.3.1 Simulation of preamplifier noise.....	48
4.3.2 Simulation of front-end pulse output.....	50
4.3.3 Spectroscopy amplifier transfer function.....	51
4.3.4 Digital filter design.....	53
4.3.5 Simulation for optimum shaping time.....	54
V CONCLUSION DISCUSSION AND SUGGESTION.....	57
5.1 Conclusion.....	57
5.1.1 Pseudo noise generation.....	57
5.1.2 Time interval in preamplifier signal generation.....	57
5.1.3 Digital filters.....	58
5.2 Discussion.....	59
5.2.1 50 cps signals from pulser.....	59
5.2.2 60 cps nuclear radiation count rate.....	59
5.2.3 1 kcps nuclear radiation count rate.....	59
5.3 Suggestion.....	60
References.....	61
Appendices.....	65
Appendix A.....	66
Appendix B.....	67
Appendix C.....	74
Biography.....	76

Table of Figures

	Page
Fig. 1.1 The basic nuclear spectroscopy system.....	1
Fig. 1.2 Frame work of this dissertation.....	4
Fig. 2.1 A principal block diagram of nuclear spectroscopy system.....	5
Fig. 2.2 A Functional diagram of signal chain.....	6
Fig. 2.3 Illustration of an output signal of RC and active reset preamplifier.....	6
Fig. 2.4 The signal outputs at different filter shaping time.....	7
Fig. 2.5 Illustration of pulse height distribution.....	8
Fig. 2.6 Energy spectrum of NaI and semiconductor detector Ge(Li) from pulse height analyzer.....	9
Fig. 2.7 Definition of system resolution.....	9
Fig. 2.8 Illustration of energy resolution degradation.....	11
Fig. 2.9 Detector amplifiers modeled with noise sources.....	11
Fig. 2.10 Illustration of energy spectrum distorted by pulse pile up.....	13
Fig. 2.11 Definition of the ballistic deficit.....	14
Fig. 2.12 Pole zero cancellation to eliminate the undershoot.....	15
Fig. 2.13 Illustration of signal and noise in spectroscopy.....	15
Fig. 2.14 Power spectral density of noise.....	17
Fig. 2.15 Linear time-invariant systems in series.....	18
Fig. 2.16 Input-output linear time invariant system model.....	19
Fig. 2.17 The contribution of series, parallel and 1/f noise to FWHM and shaping time..	20
Fig. 2.18 Charge sensitive preamplifier circuits.....	21
Fig. 2.19 Noise Power Spectral Density derived from sample of preamplifier.....	24
Fig. 3.1 The concept for searching the best shaping time by simulation of the nuclear spectroscopy system at each environment.....	28
Fig. 3.2 Illustrate the photon generation time.....	31
Fig. 3.3 Simulated radiation signals from preamplifier.....	32
Fig. 3.4 The preamplifier signal output and noise.....	32
Fig. 3.5 System design for the estimation of the front-end power spectral density.....	33

Table of Figures (continue)

Fig. 3.6 The front-end noise power spectral density of CANBERRA 2006 and locally developed preamplifiers.....	33
Fig. 3.7 System setup for the estimation of the frequency response of spectroscopy amplifier.....	34
Fig. 3.8 Show the calculated frequency response of Canberra 2020 spectroscopy amplifier.....	35
Fig. 3.9 Frequency response of Canberra 2020 spectroscopy amplifier at 0.25 to 12 μ s shaping time.....	36
Fig. 3.10 Frequency responses of spectroscopy amplifier at different degree of pole zero compensation and baseline restoration.....	36
Fig. 3.11 The flow chart of designing the digital filter from arbitrary frequency response.....	37
Fig. 3.12 The impulse response modified by truncating and shifting.....	39
Fig. 3.13 Simulated output produce from convolution between simulated preamplifier output and filter kernel.....	40
Fig. 4.1 The system set-up for sampling a sequence of noise from preamplifier.....	42
Fig. 4.2 Photograph of spectroscopy system set-up for sampling a sequence of noise from preamplifier output.....	43
Fig. 4.3 Calculated empirical distribution function of a sequence of noise sample.....	43
Fig. 4.4 Illustrated pulse of preamplifier pulse output at constant amplitude.....	45
Fig. 4.5 System setup for the estimation of frequency response of spectroscopy amplifier.....	46
Fig. 4.6 Photograph of the set-up for the estimation of the frequency response of spectroscopy amplifier.....	46
Fig. 4.7 System setup for the energy resolution measurement.....	48
Fig. 4.8 Measured noise from preamplifier output and simulated noise waveform.....	49
Fig. 4.9 Comparison of Power spectral densities of Measured and Simulated noise....	49
Fig. 4.10 The schematic of the numerical experiment test in noise behavior.....	50
Fig. 4.11 The equivalent noise charge (ENC) of both measured and simulated noise....	50

Table of Figures (continue)

Fig. 4.12 A simulated detector-preamplifier signal at specific energy.....	51
Fig. 4.13 A simulated pulse pair output.....	51
Fig. 4.14 Calculated frequency response of spectroscopy amplifier CANBERRA model 2022.....	52
Fig. 4.15 Frequency response of digital filter equivalent to frequency response of spectroscopy amplifier CANBERRA model 2022.....	52
Fig. 4.16 The derived filter kernels which have the similar frequency response to spectroscopy amplifier under test.....	53
Fig. 4.17 Amplifier output generated from convolution between front-end outputs and filter kernel.....	54
Fig. 4.18 The FWHM resolution of system under test at 0.5 and 12 μ s shaping time.....	54
Fig. 4.19 Graphical plot of optimum shaping time searching by simulation method.....	55
Fig. 4.20 Graphical plot of optimum shaping time searching by manual check method.....	55
Fig. 5.1 The pile up phenomenal due to time interval between the two consecutive pulses.....	58
Fig. 5.2 a) The true amplifier of shaping time 0.5 to 12 μ s.....	58
Fig. 5.2 b) The simulated amplifier output of shaping time 0.5 to 12.0 μ s.....	59