

การศึกษาช่วงเวลาระหว่างการเกิดเหตุการณ์ทางนิวเคลียร์ที่มีการกระจายแบบสุ่ม

Study of Time Intervals between Randomly Distributed Nuclear Events



สมศักดิ์ วรณวิไลรัตน์
Somsak Wanwilairat

การวิจัยวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การสอนฟิสิกส์)
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Research for Master of Science (Teaching Physics)

Copyright © by Chiang Mai University

Chiang Mai University

All rights reserved

2524

การวิจัยโดย สมศักดิ์ วรรณวิไลรัตน์

ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
การสอนฟิสิกส์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิวัฒน์

อาจารย์ ดร. บรรจบ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ถิรพัฒน์

คิยาสุนทรานนท์. *[Signature]* กรรมการ

ยศสมบัติ. *[Signature]* กรรมการ

วิสัยทอง. *[Signature]* ประธานกรรมการ

สิงหาคม 2524

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

คำขอบคุณ

ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างสูงต่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิรพัฒน์ วัลย์ทอง ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิวัฒน์ ตียาสุนทรานนท์ และ อาจารย์ ดร. บรรจบ ชดส์สมบัติ ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ชี้แนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ อันเป็นผลให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบคุณอย่างสูงต่อ อาจารย์ ประสิทธิ์ ภูพันธ์ ผู้ให้ความรู้ คำปรึกษา ความช่วยเหลืออย่างมากในด้านอิเล็กทรอนิกส์ตลอดมาในการวิจัย

สมศักดิ์ วรรณวิไลรัตน์
สิงหาคม 2524

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หัวข้อวิจัย การศึกษาช่วงเวลาระหว่างการเกิดเหตุการณ์ทางนิวเคลียร์ที่มีการกระจายแบบสุ่ม
การวิจัย วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การสอนฟิสิกส์)
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2524
ชื่อ สมศักดิ์ วรรณวิไลรัตน์

บทคัดย่อ

ในการศึกษาการกระจายของช่วงเวลาระหว่างการเกิดเหตุการณ์ทางนิวเคลียร์แบบสุ่ม ได้สร้างเครื่องนับช่วงเวลา (Time Interval Analysis Module) ขึ้น สัญญาณที่เกิดจาก ขบวนการนิวเคลียร์วัดได้จากหัววัดรังสีแบบ NaI(Tl) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว ต่อเข้ากับเครื่อง Interface ซึ่งคัดแปลงจาก scaler เพื่อให้สัญญาณ logic แบบ Binary coded decimal สำหรับนำมาวิเคราะห์หาการกระจายของช่วงเวลา ในการทดลองได้สุ่มตัวอย่างทั้งหมด 30,000 ช่วงเวลา พบว่า การกระจายของช่วงเวลาดังกล่าวเป็นแบบปัวซอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Title Study of Time Intervals between Randomly Distributed
Nuclear Events

Research Master of Science (Teaching Physics)
Chiang Mai University 1981

Name Somsak Wanwilairat

Abstract

We used the integrated circuit to construct the Time Interval Analysis Module for the study of distribution of random nuclear events. Signals indicating the occurrence of nuclear process were derived from the 2 in. by 2 in. NaI(Tl) detector which was connected to the Interface modified from a Scaler to give a Binary coded decimal logic signal. The analysis of 30,000 time intervals indicates that the distribution is Poisson.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright © by Chiang Mai University

All rights reserved

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 การแจกแจงความถี่แบบทวินาม	3
2.2 การแจกแจงความถี่แบบปัวซอง	3
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีทดลอง	7
3.1 อุปกรณ์การทดลอง	7
3.1.1 หัววัดรังสี	7
3.1.2 Interface	9
3.1.3 เครื่องนับช่วงเวลา (Time Interval Analysis Module)	9
3.1.3.1 ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกา	11
3.1.3.2 หน่วยควบคุมการเปิด-ปิดสัญญาณเวลา	13
3.1.3.3 หน่วยนับสัญญาณและภาคแสดงผล	16
3.1.3.4 การ set และ reset เครื่องนับช่วงเวลาและ Interface	18
3.2 การทำงานของเครื่องมือทดลอง	20
3.3 การบันทึกข้อมูล	23
บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดลอง	26
4.1 การวิเคราะห์ข้อมูล	26
4.2 ผลการทดลอง	28
บทที่ 5 สรุปและขอเสนอแนะ	39

ภาคผนวก 1	เครื่องนับช่วงเวลา	
	พ1.1 แบบปรินท์	41
	พ1.2 การต่อสัญญาณระหว่าง Time Interval Analysis Module กับ Interface	46
	พ1.3 การต่อสัญญาณรีเซต	48
ภาคผนวก 2	การตั้งและ calibrate discriminator	50
ภาคผนวก 3	แสดงข้อมูลที่ได้ออกจากการทดลอง	51
เอกสารอ้างอิง		56

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved

รายการตารางประกอบ

	หน้า
ตารางที่ ผ 3.1 แสดงข้อมูลการกระจายของช่วงเวลา (1 วินาที) จำนวน 1,000 counts. Discriminator 250 mV.	51
ตารางที่ ผ 3.2 แสดงข้อมูลการกระจายของช่วงเวลา (1 วินาที) จำนวน 10,000 counts. Discriminator 500 mV.	52
ตารางที่ ผ 3.3 แสดงข้อมูลการกระจายของช่วงเวลา (1 วินาที) จำนวน 20,000 counts. Discriminator 250 mV.	53
ตารางที่ ผ 3.4 แสดงข้อมูลการกระจายของช่วงเวลา (1/2 วินาที) จำนวน 1,000 counts. Discriminator 250 mV.	54
ตารางที่ ผ 3.5 แสดงข้อมูลการกระจายของช่วงเวลา (1/4 วินาที) จำนวน 1,000 counts. Discriminator 250 mV.	55

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

รายการภาพประกอบ

	หน้า
รูปที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	8
รูปที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบของเครื่องนับช่วงเวลา (Time Interval Analysis)	10
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรของ Precision Timer SN52555	12
รูปที่ 3.4 แสดงส่วนประกอบของหน่วยควบคุมการเปิด-ปิดสัญญาณเวลา	15
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรหน่วยนับและภาคแสดงผล	17
รูปที่ 3.6 แสดงส่วนประกอบของวงจร set และ reset	19
รูปที่ 3.7 แสดงวงจรเครื่องนับช่วงเวลา	22
รูปที่ 3.8 แสดงการกระจายของช่วงเวลาระหว่างรังสีจำนวน 1,000 counts	24
รูปที่ 3.9 แสดงการกระจายของช่วงเวลาระหว่างรังสีจำนวน 3,000 counts	25
รูปที่ 4.1 แสดงการกระจายของจำนวน counts กับช่วงเวลา Total counts 1,000. Discr. 250 mV. Interval 1sec	30
รูปที่ 4.2 แสดงการกระจายของจำนวน counts กับช่วงเวลา Total counts 1,000. Discr. 250 mV. Interval 1sec	31
รูปที่ 4.3 แสดงการกระจายของจำนวน counts กับช่วงเวลา Total counts 10,000. 500 mV. Total 20,000. 250 mV.	32
รูปที่ 4.4 แสดงการกระจายของจำนวน counts กับช่วงเวลา Total counts 10,000. Discr. 500 mV. Interval 1sec	33
รูปที่ 4.5 แสดงการกระจายของจำนวน counts กับช่วงเวลา Total counts 20,000. Discr. 250 mV. Interval 1 sec	34
รูปที่ 4.6 แสดงการกระจายของจำนวน counts กับช่วงเวลา Total counts 1,000. Discr. 250 mV. Interval 1/2sec	35

รูปที่ 4.7	แสดงการกระจายของจำนวน counts กับช่วงเวลา Total counts 1,000. Discr 250 mV. Interval 1/2 sec	36
รูปที่ 4.8	แสดงการกระจายของจำนวน counts กับช่วงเวลา Total counts 1,000. Discr 250 mV. Interval 1/4 sec	37
รูปที่ 4.9	แสดงการกระจายของจำนวน counts กับช่วงเวลา Total counts 1,000. Discr 250 mV. Interval 1/4 sec	38
รูปที่ ผ1.1.1	แบบปรี้นท์ด้านหน้าแสดงวงจรหน่วยควบคุมของ Time Interval Analysis Module	42
รูปที่ ผ1.1.2	แบบปรี้นท์ด้านหลังแสดงวงจรหน่วยควบคุมของ Time Interval Analysis Module	43
รูปที่ ผ1.1.3	แบบปรี้นท์ด้านหน้าแสดงวงจรนับและภาคแสดงผลของ Time Interval Analysis Module	44
รูปที่ ผ.1.4	แบบปรี้นท์ด้านหลังแสดงวงจรนับและภาคแสดงผลของ Time Interval Analysis Module	45
รูปที่ ผ1.2.1	Decade/Multiplexer Board	47
รูปที่ ผ1.2.2	Discriminator/Logic Board	49

ขบวนการแบบสุ่ม (random process) ซึ่งความน่าจะเป็นเหตุการณ์ที่จะเกิดมีค่าน้อย และคงที่ การแจกแจงความถี่จะสอดคล้องกับการกระจายแบบปัวซอง (Evans , 1967) ขบวนการนิวเคลียร์เป็นขบวนการสุ่มขบวนการหนึ่ง (Evans , 1967) ดังนั้น การแจกแจงความถี่ของขบวนการนิวเคลียร์จะเป็นไปตามการกระจายแบบปัวซอง (Poisson distribution) ตัวอย่างหนึ่งของขบวนการแบบสุ่มคือ ช่วงเวลา (time interval) ระหว่างการเกิดเหตุการณ์ทางนิวเคลียร์

สำหรับการวิจัยนี้จะเป็นการสร้างอุปกรณ์ เพื่อนับช่วงเวลาระหว่างการเกิดกัมมันตรังสีซึ่งเป็นขบวนการนิวเคลียร์แบบหนึ่ง อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นนี้จะนำไปใช้ในการศึกษาวิชานิวเคลียร์ฟิสิกส์เบื้องต้น ในการวัดการกระจายของช่วงเวลาระหว่างการเกิดกัมมันตรังสี ได้มีผู้ทำมาก่อนบ้างแล้วตามลำดับต่อไปนี้

Robert (1940) ได้สร้างวงจรรีเลททรอนิกส์แบบคัดเลือกช่วงเวลา (interval selector) ซึ่งจะให้จำนวนช่วงเวลา (counts*) ที่มีช่วงเวลาเท่ากับหรือน้อยกว่าช่วงเวลาที่กำหนดไว้ โดยการกำหนดช่วงเวลาที่มีค่าต่าง ๆ กัน พบว่าการกระจายของช่วงเวลาเป็นแบบปัวซอง

ในปี ค.ศ. 1963 Owen และ Sawyer (1966) ใช้หัววัดแบบไกเกอร์รับรังสีแล้วส่งสัญญาณ, ที่ขยายแล้วโดยแอมพลิไฟเออร์, สู่เครื่องเขียนกราฟลงบนกระดาษกราฟที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ขนาดหนึ่ง เขาทั้งสองพบการกระจายของช่วงเวลาเป็นแบบปัวซอง เช่นกัน

Arqueros และ Campos (1978) นักวิทยาศาสตร์ชาวสเปนได้สร้างวงจรรีเลททรอนิกส์แบบจ่ายวัดจำนวนช่วงเวลา (counts) ที่ช่วงเวลา (time interval) ต่าง ๆ คล้ายกับการทดลองของ Robert 1940 ซึ่งทั้งสองพบว่าการกระจายของช่วงเวลาเป็นแบบปัวซองอีกเช่นกัน

* ช่วงเวลา (time interval) หนึ่ง ๆ ในวิจัยนี้จะใช้คำว่า count

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้สร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขึ้นโดยใช้อุปกรณ์แบบดิจิทัลไอซีวัดช่วงเวลา ระหว่างการเกิดรังสีที่ติดกันโดยตรง รายละเอียดของอุปกรณ์จะได้อ้างถึงในรายงานการวิจัยนี้

ในบทที่สองจะได้อ้างถึงการกระจายแบบวินาม ซึ่งเป็นการกระจายที่ครอบคลุมขบวนการแบบสุ่มโดยทั่วไป และการกระจายแบบปัวซองซึ่งเป็นกรณีหนึ่งของการกระจายแบบวินาม

บทที่สามจะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยและรายละเอียดของอุปกรณ์วัดช่วงเวลา (Time Interval Analysis Module) ที่สร้างขึ้นและวิธีใช้ในการทดลอง

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองได้อ้างไว้ในบทที่สี่ ส่วนบทที่ห้าจะเป็นการสรุปผลการทดลอง และขอเสนอแนะบางประการใการการศึกษาเรื่องนี้ต่อไป

The logo of Chiang Mai University is a circular emblem. In the center is a detailed illustration of an elephant standing and facing left. The elephant is surrounded by a decorative border. Below the elephant, the text "CHIANG MAI UNIVERSITY 1964" is written in a circular path. The entire logo is rendered in a light, semi-transparent grey color.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การแจกแจงความถี่ของช่วงเวลาระหว่างรังสีสองตัวที่มาต่อเนื่องกัน จะมีรูปแบบเป็น exponential ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการกระจายแบบปัวซอง การกระจายแบบปัวซองก็มีพื้นฐานมาจากการกระจายแบบทวินามซึ่งครอบคลุมขบวนการต่าง ๆ ที่เป็นขบวนการแบบสุ่ม (Evans, 1967)

2.1 การแจกแจงความถี่แบบทวินาม (Binomial Distribution)

การแจกแจงความถี่แบบทวินามเสนอขึ้นมาโดยเบอร์นูลลี (Bernoulli) ในตอนต้นศตวรรษที่สิบแปด (Evans, 1967) การแจกแจงแบบนี้ใช้หาค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ขึ้น x ครั้ง ในจำนวนการทดลองสุ่ม (random experiment) ทั้งหมด z ครั้ง โดยในการทดลองแต่ละครั้งให้โอกาสมีเหตุการณ์จะเกิดขึ้นเป็น p และโอกาสที่เหตุการณ์จะไม่เกิดขึ้นเป็น q ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1-p$ ดังนั้น ความน่าจะเป็นที่จะมีเหตุการณ์เกิดขึ้น x ครั้ง ในการทดลองสุ่มทั้งหมด z ครั้ง จะมีค่าเท่ากับ (Evans, 1967)

$$P_x = \frac{z!}{(z-x)!x!} p^x(1-p)^{z-x} \quad (2.1)$$

เมื่อ P_x = ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ x ครั้งจากการทดลองสุ่มทั้งหมด z ครั้ง

p = ความน่าจะเป็นที่เหตุการณ์จะเกิดขึ้นในการทดลองแต่ละครั้ง

2.2 การแจกแจงความถี่แบบปัวซอง (Poisson Distribution)

การแจกแจงความถี่แบบปัวซองสามารถอนุมาน (deduced) มาจากการแจกแจงแบบทวินาม (Evans, 1967) ในกรณีของ ขบวนการแบบสุ่มซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์น้อย ๆ $p \ll 1$ ในขณะที่จำนวนครั้งของการทดลองสุ่ม z มีค่ามาก ๆ และค่าเฉลี่ยของการเกิดเหตุการณ์มีค่าคงที่ $m = pz$ เมื่อ m เป็นค่าเฉลี่ยของการเกิดเหตุการณ์ในการทดลองสุ่ม z ครั้ง จากเงื่อนไขเหล่านี้สมการ(2.1) จะเขียนใหม่เป็น (Evans, 1967)

$$P_x = \frac{z^x p^x}{x!} e^{-pz} \quad (2.2)$$

ในขบวนการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีที่จำนวนเหตุการณ์เฉลี่ยต่อหน่วยเวลามีค่าคงที่ให้เท่ากับ a ดังนั้น ในช่วงเวลา t จะมีจำนวนเหตุการณ์เฉลี่ยเท่ากับ at กล่าวคือ

$$m = at$$

สมการ(2.2) จะเขียนใหม่ได้เป็น

$$P_x = \frac{(at)^x}{x!} e^{-at} \quad (2.3)$$

เมื่อ P_x = ความน่าจะเป็นที่จะมีเหตุการณ์เกิดขึ้น x ครั้งในช่วงเวลา t

a = จำนวนเหตุการณ์เฉลี่ยต่อหน่วยเวลา

t = ช่วงเวลาหนึ่ง ๆ

x = จำนวนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา t

ถ้ากำหนดให้ t เป็นช่วงเวลาระหว่างรังสีสองตัวที่ถูกสลายตัวติดต่อกันออกมา ในระหว่างช่วงเวลา t นี้จะไม่มีเหตุการณ์เกิดขึ้น ดังนั้น $x = 0$ สมการ(2.3) จะเขียนใหม่ได้ว่า

$$P_0 = e^{-at}$$

ถ้ากำหนดให้ adt เป็นความน่าจะเป็นที่จะมีเหตุการณ์เกิดขึ้นหนึ่งเหตุการณ์ ระหว่าง t และ $t+dt$ แล้ว ความน่าจะเป็นที่จะไม่มีเหตุการณ์เกิดขึ้นในช่วงเวลา t และมีเหตุการณ์หนึ่งเหตุการณ์เกิดขึ้นในช่วงเวลา dt จะมีค่า

$$dP_t = ae^{-at} dt \quad (2.4)$$

จากสมการ(2.4) จะพิจารณาเห็นว่าเหตุการณ์ที่มีช่วงเวลาดสั้น ๆ จะมีโอกาสเกิดขึ้นมากกว่าเหตุการณ์พวกที่มีช่วงเวลายาว ๆ ดังนั้น ในการทดลองจำนวน interval ของพวกช่วงเวลาดสั้น ๆ ควรจะมีจำนวนมากกว่าพวกจำนวน interval ที่มีช่วงเวลายาว ๆ

ถ้า N เป็นจำนวนช่วงเวลาที่ทั้งหมด และ P_t เป็นโอกาสที่ช่วงเวลามีค่าเท่ากับ t จำนวนช่วงเวลา (counts) ที่มีช่วงเวลา t จะมีค่า

$$n = NP_t$$

แทนค่า P_t จากสมการ(2.4) และอินทิเกรตหาจำนวนช่วงเวลา $n(t)$ สำหรับช่วงเวลาหนึ่งเวลาใดจะได้ว่า

$$n(t) = N \int_{t_1}^{t_2} a e^{-at} dt$$

$$n(t) = N(e^{-at_1} - e^{-at_2}) \quad (2.5)$$

ในการทดลอง ถ้าเราทราบค่าคงที่ a และจำนวนข้อมูลทั้งหมด N เราสามารถหาจำนวนช่วงเวลาที่มีช่วงเวลาอยู่ระหว่าง t_1 ถึง t_2 ได้จากสมการ(2.5) จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่าง $n(t)$ กับ t จะเป็นแบบ exponential function ซึ่งเป็นแบบหนึ่งของการกระจายแบบปัวซอง

ความสัมพันธ์ระหว่าง $n(t)$ กับ t ที่เป็นฟังก์ชันแบบ exponential นี้อาจเขียนความสัมพันธ์เป็น

$$n(t) = N_0 e^{-at} \quad (2.6)$$

เมื่อ $n(t) =$ จำนวนช่วงเวลา (count) ที่มีช่วงเวลาเท่ากับ t

$N_0 =$ จำนวนช่วงเวลา (count) ที่มีช่วงเวลาเท่ากับศูนย์

$t =$ ช่วงเวลาใด ๆ

จากผลการทดลองเมื่อนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์และ fit แล้ว เราจะได้ค่า a และ N_0 ในสมการ(2.6) เมื่อต้องการหาค่าจำนวนช่วงเวลาทั้งหมด N เราก็ทำได้โดยการ integrate สมการ(2.6) ผลของการ integrate จะได้อัตรา N ซึ่งควรมีค่าเท่ากับจำนวนช่วงเวลาหรือจำนวนข้อมูลทั้งหมดของการทดลอง

ดังนั้น ในการทดลองแบบสุ่มของการกระจายช่วงเวลาสมการ (2.5) และสมการ (2.6) จะเป็นสมการที่บอกถึงความสัมพันธ์แบบปัวซอง ระหว่างจำนวน interval กับช่วงเวลา t ข้อมูลผลการทดลองใดที่มีความสอดคล้องกับสมการทั้งสองดังกล่าวข้างต้น ก็จะกล่าวได้ว่าปรากฏการณ์นั้นมีการแจกแจงความถี่แบบปัวซอง



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved

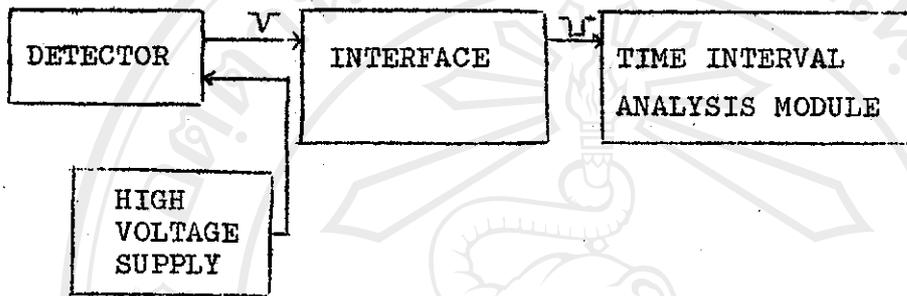
3.1 อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ซึ่งประกอบไปด้วย หัววัดรังสี, Interface และเครื่องนับช่วงเวลา (Time Interval Analysis Module) หัววัดรังสีจะทำหน้าที่ให้สัญญาณไฟฟ้าตามจังหวะที่มีกัมมันตรังสีตกกระทบหัววัด สัญญาณไฟฟ้าจากหัววัดรังสีซึ่งเป็นสัญญาณ analog จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณลอจิก (logic) แบบเลขฐานสอง (binary coded decimal) โดย Interface ให้แก่เครื่องนับช่วงเวลา ซึ่งทำหน้าที่ให้ค่าของช่วงเวลาในหน่วย 10^{-3} วินาที

ระหว่างสัญญาณ BCD(binary coded decimal) สองตัวที่ได้จากการตกกระทบหัววัดของรังสีสองตัวที่มาต่อเนื่องกัน รายละเอียดของอุปกรณ์แต่ละอย่างจะได้กล่าวถึงต่อไป

3.1.1 หัววัดรังสี(Detector)

หัววัดรังสีที่ใช้ในการทดลองคือ NaI(Tl) ขนาด 2" x 2" ติดกับ photomultiplier tube (PMT) ผลิตโดย บริษัท BICRON แบบ 2M2 และ photomultiplier base (PMB) ผลิตโดย ORTEC แบบ 266 หัววัดรังสีใช้ high voltage+900 V. ต่อสัญญาณ anode ขนาดใหญ่กว่า 0.25 V. เข้ากับ Interface



รูปที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

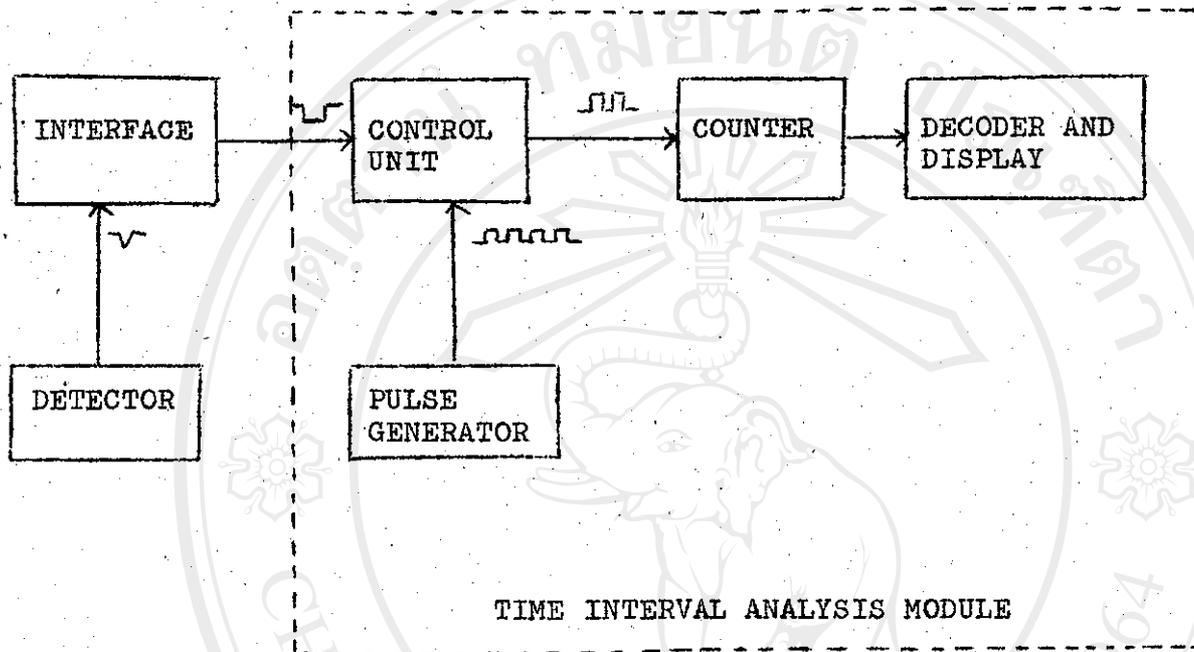
3.1.2 Interface

เครื่องนับช่วงเวลาที่เราสร้างขึ้นต้องการอินพุตเป็นสัญญาณลอจิกแบบ BCD แต่ตัววัดรังสีจะให้สัญญาณแบบ analog ดังนั้นจึงต้องใช้ Interface เปลี่ยนสัญญาณ analog ของหัววัดรังสีเป็นสัญญาณลอจิก และเป็นสัญญาณแบบ BCD ด้วย

Interface ที่ใช้ในการวิจัยนี้คือ Scaler Model 955150 ของบริษัท Baird Atomic ซึ่งสามารถให้สัญญาณลอจิกแบบเลขฐานสอง (BCD) ที่ขา 6, 16, W และ C ของ Decade/Multiplexer Board (ดูรายละเอียดในภาคผนวก 1 รูปที่ ผ.1.2.1) ดังนั้นเราจึงต้องใช้ Interface นี้เปลี่ยนสัญญาณ analog หัววัดเป็นสัญญาณอินพุตแบบลอจิกให้แก่เครื่องนับช่วงเวลา

3.1.3 เครื่องนับช่วงเวลา (Time Interval Analysis Module)

ส่วนประกอบของเครื่องนับช่วงเวลาแสดงในรูปที่ 3.2 จะประกอบด้วยส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (pulse generator) ให้สัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมแก่หน่วยควบคุมการนับซึ่งจะเปิด-ปิดการนับตามสัญญาณจากรังสีที่มาตกกระทบหัววัดรังสีซึ่งถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณลอจิกแบบ BCD โดย Interface เมื่อหน่วยควบคุมการนับเปิด สัญญาณก็จะผ่านไปยังหน่วยนับและถอดรหัส (Counter and Decoder) เพื่อเปลี่ยนสัญญาณที่นับให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแก่ภาคแสดงผล (Seven Segments Decoder Drivers) เพื่อแสดงจำนวนสัญญาณที่นับได้เป็นตัวเลขทั่วไป รายละเอียดส่วนประกอบแต่ละส่วนของเครื่องนับช่วงเวลาจะได้อธิบายต่อไป



รูปที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบของเครื่องนับช่วงเวลา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

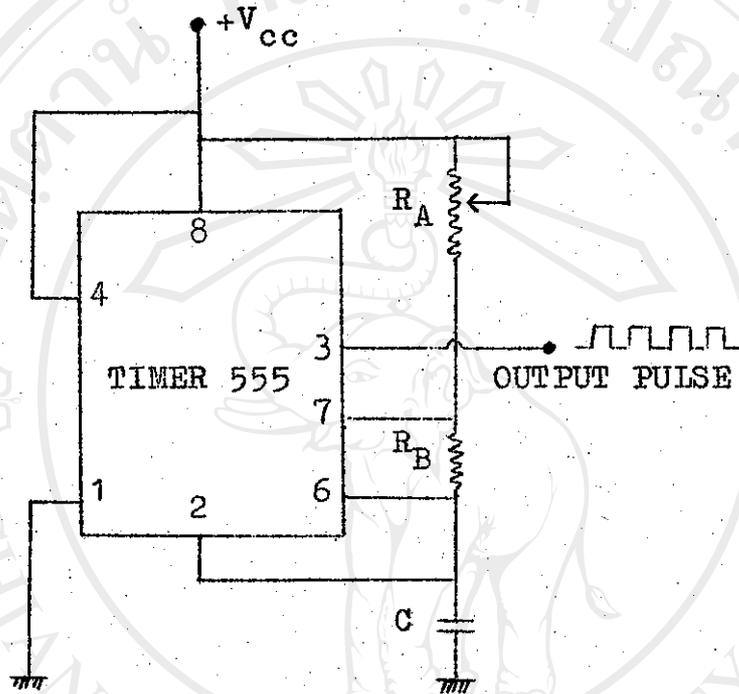
3.1.3.1 ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Pulse Generator)

ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกาในเครื่องนับช่วงเวลาใช้ไอซี Precision Timer

หมายเลข SN 52555 (Timers 555) คอวงจรขาต่างๆ ตามรูปที่ 3.3 ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาจาก Timer 555 นั้นมีได้หลายค่าขึ้นกับการเลือกใช้ค่า R_A , R_B และ C ในวงจรรูปที่ 3.3 ความถี่สัญญาณนาฬิกาจาก Timer 555 หาได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้ (ยื่น กุวรรณ, 2522)

$$f = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C} \quad (3.1)$$

ในการวิจัยนี้ใช้ความถี่ 1 KHz (โดยใช้ R_A เท่ากับ 2×10^3 โอห์ม R_B เท่ากับ 0.15×10^3 โอห์ม และ C เท่ากับ 0.6×10^6 ฟาร์ด) แสดงเวลาโดยตัวเลขหลัก ดังนั้นตัวเลขหลักแรกสุดจะแสดงเวลาเป็น 10^{-3} วินาที



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright © by Chiang Mai University

All rights reserved

3.1.3.2 หน่วยควบคุมการเปิด-ปิดสัญญาณเวลา (Control unit)

หน่วยเปิด-ปิดสัญญาณเวลาเป็นหน่วยที่ควบคุมให้สัญญาณพัลส์จาก Timer 555 ผ่านไปสู่หน่วยนับสัญญาณและภาคแสดงผล (counter and decoder system) ส่วนประกอบต่างๆของหน่วยควบคุมการเปิด-ปิดสัญญาณแสดงไว้ในรูปที่ 3.4 ส่วนประกอบที่สำคัญคือฟลิปฟลอป (Dual D-type Positive Edge-Triggered Flip-Flop) ไอซีหมายเลข SN 7474 เป็นไอซีที่ให้เอาต์พุตเป็นสถานะ H และ L กลับกับสถานะเดิม เมื่อมีสัญญาณเข้า clock สถานะ H ของฟลิปฟลอปจะเป็นตัวเปิดให้สัญญาณพัลส์จาก Timer 555 ผ่านไปยังหน่วยนับ และสถานะ L ของฟลิปฟลอปจะเป็นตัวปิดไม่ให้สัญญาณนาฬิกาผ่านไปสู่หน่วยนับ ดังนั้นโดยการกำหนดสัญญาณ clock ของฟลิปฟลอปโดยสัญญาณจากหัววัดรังสี เราจะได้การเปิด-ปิดการนับเวลาตามสัญญาณของรังสีที่วัดได้ จากหัววัดรังสี

ตามรูป 3.4 สัญญาณ clock ที่เข้าฟลิปฟลอป (SN 7474) จะได้มาจากเอาต์พุตที่มีลักษณะเป็นพัลส์ของดีจิตอลไอซีแบบ Retriggerable Monostable Multivibrator with Clear (SN 74123) ซึ่งไอซีตัวนี้จะให้เอาต์พุตพัลส์เมื่อสัญญาณอินพุต (Input B ที่ขา 2 หรือที่ขา 10 ของ SN 74123) เปลี่ยนจากสถานะ L เป็น H สัญญาณตัวนี้ (Input B) จะนำมาจากเอาต์พุตของ Interface

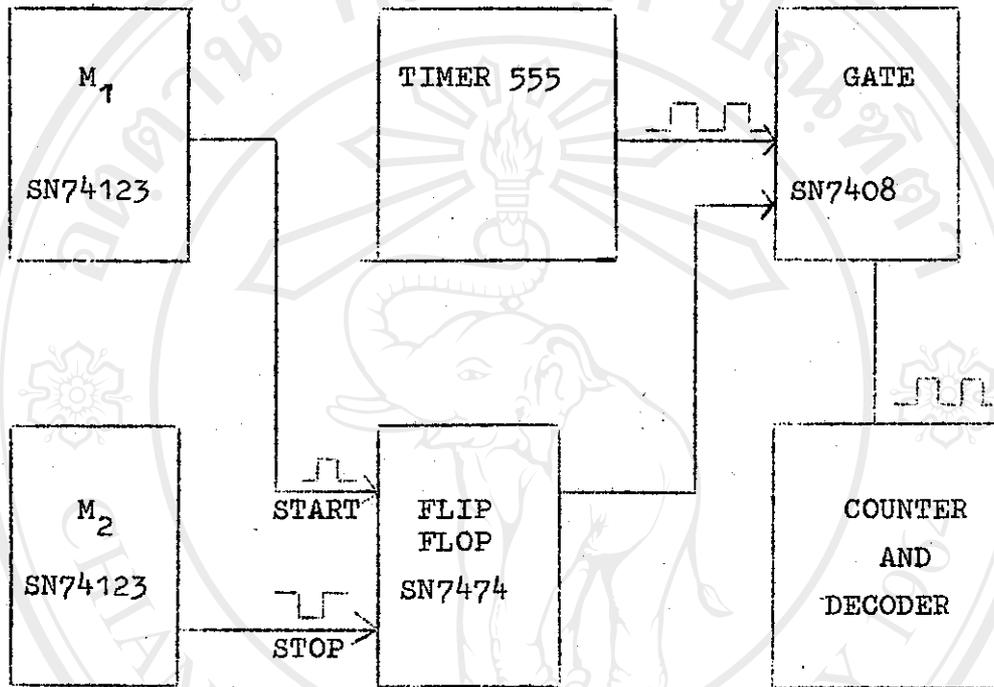
เมื่อมีรังสีมาตกกระทบบหัววัด Interface จะให้สัญญาณ H แก่ input B ของ M_1 (SN 74123) ทำให้ฟลิปฟลอป (SN 7474) มีเอาต์พุตสถานะ H ทำให้สัญญาณพัลส์จาก Timer 555 ถูกปล่อยเข้าสู่หน่วยนับ ตอนนีเรียกว่า เปิดการนับช่วงเวลา (Start)

เมื่อมีรังสีตัวที่สองตกกระทบบั้ววัก Interface จะให้สัญญาณ BCD หลักที่สองเป็น H นำสัญญาณนี้ผ่าน M_2 (SN 74123) ตามรูปที่ 3.4 ทำให้มีเอาต์พุตพัลส์ นำเอาต์พุต (Q) ของ M_2 (ดูรายละเอียดวงจรในรูปที่ 3.7) เข้าไป clear ฟลิปฟลอป (SN 7474) เมื่อฟลิปฟลอปถูก clear จะให้เอาต์พุต (Q) เป็นสถานะ L ทำให้สัญญาณนาฬิกาของ Timer555 ถูก block โดย gate ก่อนจะไปเข้าหน่วยนับ ตอนนี้เรียกว่า การปิดการนับช่วงเวลา (stop)

ดังนั้น สัญญาณนาฬิกาที่หน่วยนับ นับได้ตั้งแต่การเปิด (start) จนกระทั่งถึงการปิด (stop) สัญญาณนาฬิกาโดยรังสีตัวแรกและตัวที่สองตามลำดับ จึงเป็นช่วงเวลาระหว่างรังสีสองตัวที่มาติดกันในหน่วย 10^{-3} วินาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

MONOSTABLE MULTIVIBRATOR



MONOSTABLE MULTIVIBRATOR

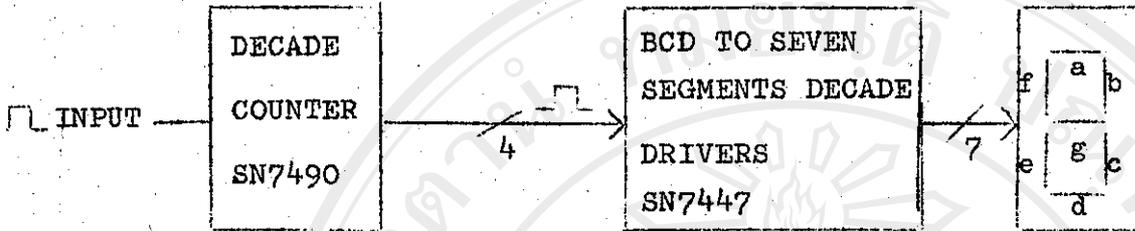
รูปที่ 3.4 แสดงส่วนประกอบของหน่วยควบคุมการ เปิด-ปิดสัญญาณเวลา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved

3.1.3.3 หน่วยนับสัญญาณและภาคแสดงผล (Counter and Decoder System)

เมื่อมีสัญญาณนาฬิกาจาก Timer 555 เข้าสู่หน่วยนับ ตามรูปที่ 3.5 ไอซีที่ทำหน้าที่นับสัญญาณพัลส์คือ ไอซี Decade counter หมายเลข SN7490 เมื่อนับแล้วจะให้เอาต์พุตเป็นสัญญาณ BCD

ไอซี BCD to-Seven Segments Decoders Drivers หมายเลข SN7447 จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณ BCD เป็นสัญญาณอินพุตให้แก่ seven segment ของ Light Emitting Diode(LED) แบบ common anode ที่ทำหน้าที่ display สัญญาณจาก SN7447 ก็จะทำให้ segments ต่าง ๆ ของ LED สว่าง เป็นตัวเลขตามจำนวนสัญญาณนาฬิกาจาก Timer555 ที่ Decade counter(SN7490) นับได้ ซึ่งก็คือเวลาระหว่างช่วงรังสีตัวแรกถึงตัวที่สองในหน่วย 10^{-3} วินาที นั่นเอง



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรหน่วยนับและภาคแสดงผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

3.1.3.4 การ set และ reset เครื่องนับช่วงเวลาและ Interface

ในการทดลองเมื่อบันทึกช่วงเวลาของ รังสีระหว่างพัลส์ที่ 1 และ 2 แล้ว จะต้องมีการ clear และ set ที่พัลส์ที่ 4 เพื่อให้เครื่องมือเริ่มทำงานนับช่วงเวลาระหว่างรังสีคู่อีก หากไม่มีการ clear และ set ใหม่แล้ว เมื่อ Interface ที่ทำหน้าที่เป็น Scaler นับถึงพัลส์ที่ 5 สัญญาณจาก BCD จาก Interface ก็จะทำให้เครื่องนับช่วงเวลาเริ่มนับอีกและหยุดเมื่อถึงพัลส์ที่ 6 ซึ่งช่วงเวลาต่อมา เราจะบันทึกไม่ได้เพราะเป็นการรวมช่วงเวลาของรังสีคู่ก่อน (1 กับ 2) ไว้ด้วย ดังนั้น จึงต้องมีการ reset ที่พัลส์ที่ 4 ของสัญญาณจาก Interface

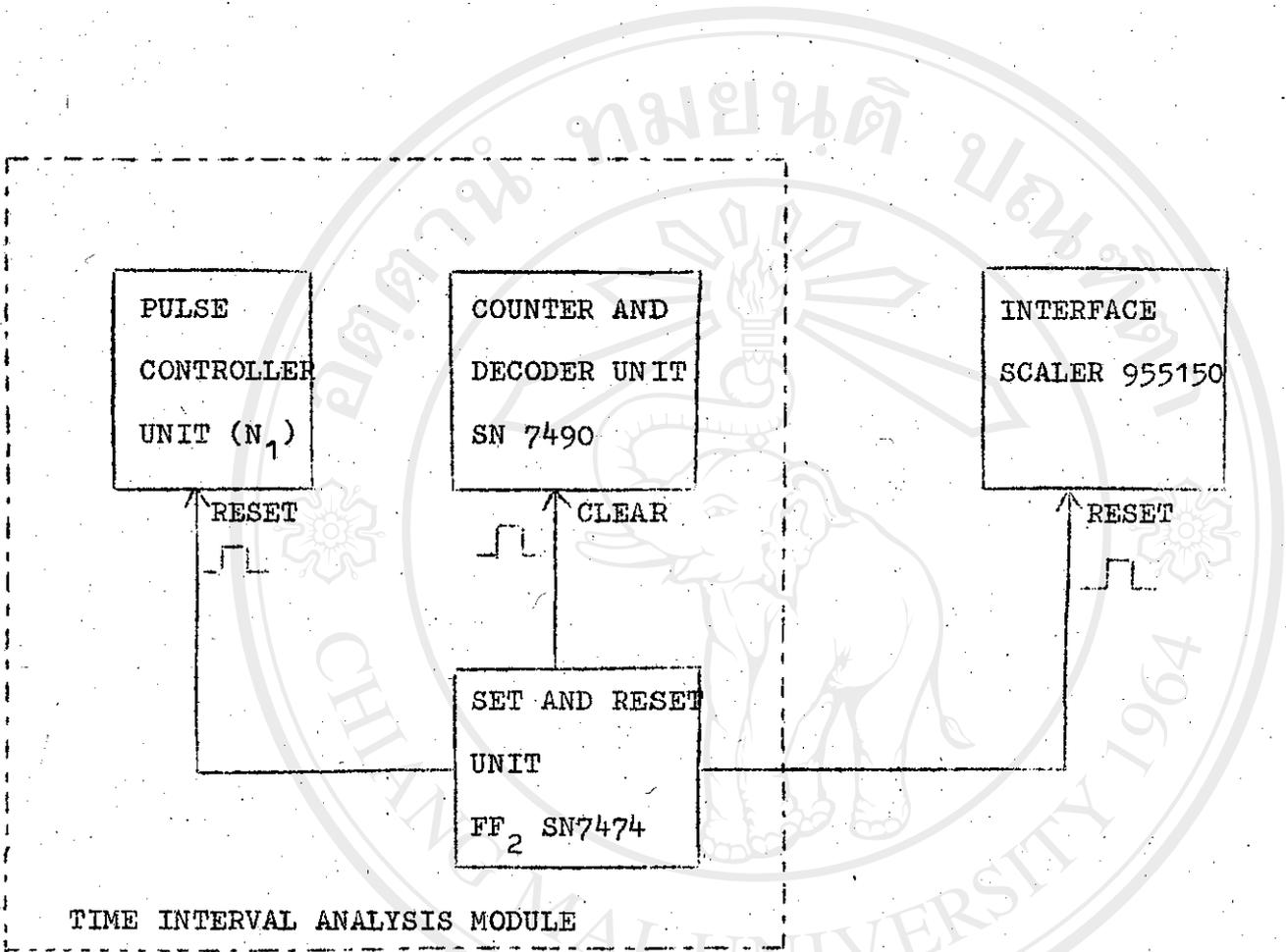
ตามรูปที่ 3.6 เมื่อถึงพัลส์ที่ 4 FF_2 (Flip-Flop SN7474) จะให้เอาต์พุต (Q) เป็นสถานะ H ไป reset หน่วยควบคุมสัญญาณพัลส์คือ N_1 (ดูวงจรในรูปที่ 3.7) เพื่อรอนับสัญญาณพัลส์ที่ 1 ใหม่อีก และสัญญาณ H จาก FF_2 จะไป clear หน่วยนับและภาคแสดงผลให้ตัวเลขเป็นศูนย์หมดเพื่อรอการ display ใหม่

สัญญาณ H จาก FF_2 จะไป reset ตัว Interface ที่ทำหน้าที่ Scaler ให้เริ่มต้นนับที่ศูนย์ใหม่เพราะเราไม่ต้องการให้สัญญาณ BCD เกินพัลส์ที่ 4 โดยการผ่านสัญญาณ reset จาก FF_2 เข้าทางขา 22 บนแผง Decade/Multiplexer Board (ดูรายละเอียดในรูปที่ ผ.1.2.1) ก็จะทำให้ Interface ถูก reset พร้อมทั้งจะเริ่มทำงานใหม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright © by Chiang Mai University

All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright © by Chiang Mai University

All rights reserved

รูปที่ 3.6 แสดงส่วนประกอบของวงจร set และ reset

3.2 การทำงานของเครื่องมือทดลอง

จากรูปที่ 3.7 สัญญาณ BCD จาก Interface จะเข้าสู่เครื่องนับช่วงเวลาทาง $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}$ และ \bar{D} ซึ่งจะต้องผ่าน inverter เพื่อให้ได้สัญญาณบวก A, B, C, และ D สัญญาณ A, B, C และ D จะเป็นสัญญาณจากรังสีตัวที่ 1, 2, 4, และ 8 ตามลำดับที่ตกกระทบบทวารังสี

ที่ input B จะมีสวิตช์ 2 (S_2)[†] ที่ input C มีสวิตช์ 3 (S_3) และที่ input D จะมีสวิตช์ 4 (S_4) สวิตช์เหล่านี้ต่อกับ AND gate (N_2) เพื่อทำหน้าที่เลือกการนับช่วงเวลา ระหว่างรังสีว่าจะนับระหว่างจุดใด ในการวิจัยนี้จะวัดช่วงเวลา ระหว่างรังสีตัวแรกกับตัวที่สอง จึงให้ S_2 เป็น L ส่วน S_3 และ S_4 เป็น H

นอกจากการกำหนดสวิตช์เหล่านี้แล้วยังต้องมีการ set อุปกรณ์ตัวอื่นให้พร้อมทำงาน ซึ่งการ set จะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ (ดูรูป 3.7)

- (1) ตั้ง S_2 เป็น L ตั้ง S_3 และ S_4 เป็น H
- (2) โยก S_8 จาก L เป็น H ทำให้ clear ของฟลิปฟล็อป FF_1 และ FF_2 เป็น H ฟลิปฟล็อปทั้งสองอยู่ในสภาวะพร้อมทำงานให้เอาต์พุต Q เป็น L
- (3) โยก S_5 จาก L H L ให้สัญญาณพัลส์เข้า input B ของ M_3 ซึ่ง M_3 จะให้เอาต์พุตพัลส์เข้า clock ของ FF_2 ทำให้ FF_2 ให้เอาต์พุต (Q) เป็น H เข้า N_1 ขา And gate สองขาของ N_1 จึงเป็น H มีเฉพาะขา 3 เป็น L เอาต์พุตของ N_1 จึงยังเป็น L
- (4) เมื่อมีสัญญาณรังสีตัวแรกจากหัววัดเข้า Interface จะมีสัญญาณเอาต์พุตเป็น H จาก Interface เข้าสู่ A ทำให้ N_1 ให้เอาต์พุตเป็น H เมื่อขา B เมื่อขา B ของ M_1 เปลี่ยนจาก L เป็น H ก็จะทำให้เอาต์พุตพัลส์เข้า clock ของ FF_1 (ซึ่ง clear เป็น H แล้วจากการโยก S_8) ทำให้เอาต์พุต (Q) ของ FF_1 เป็น H รวมกับสัญญาณพัลส์จาก Timer 555 เข้า N_7

[†] สวิตช์ทุกตัวยกเว้น S_6 เป็น toggle on-off switch

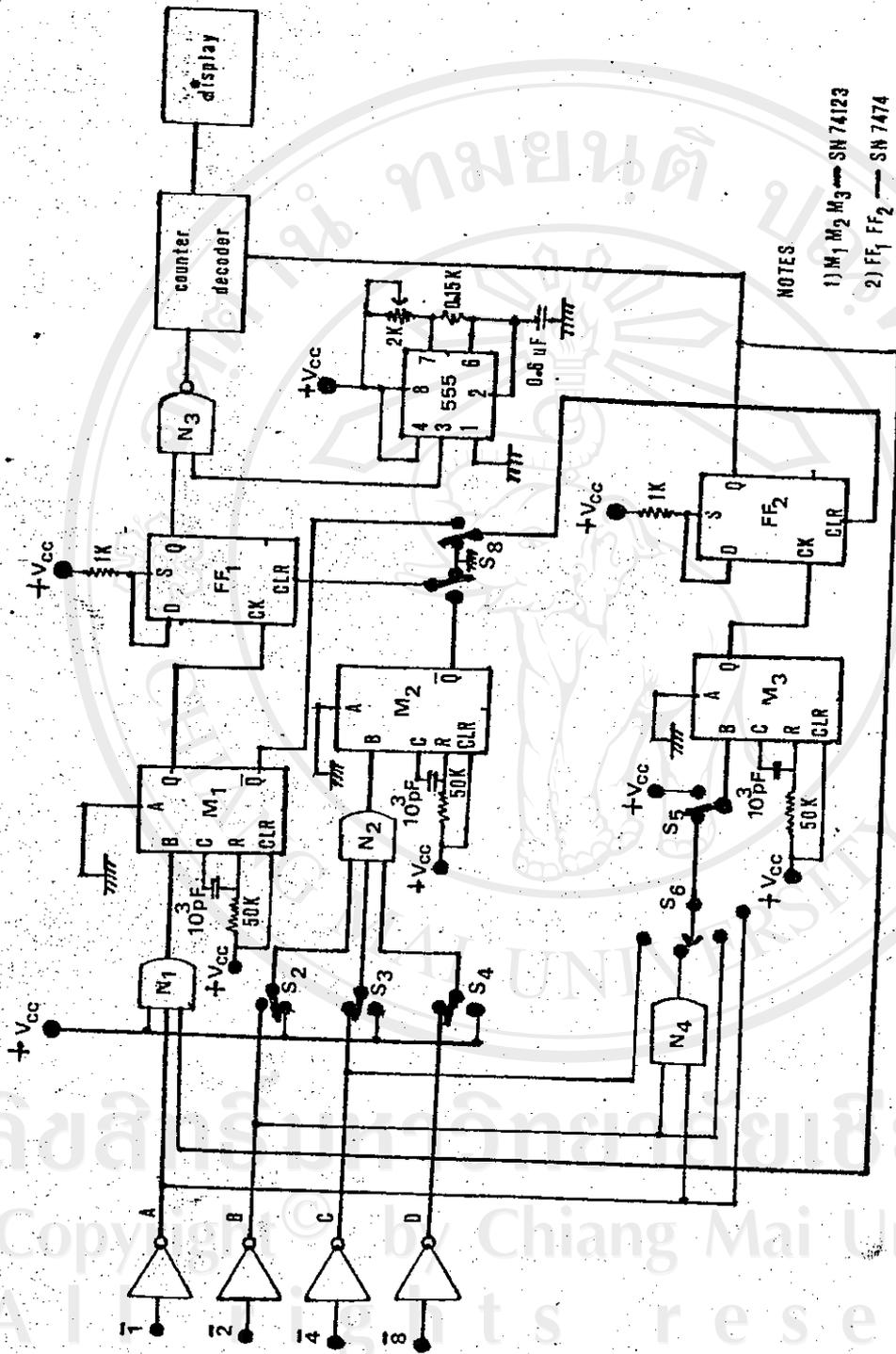
ในขณะที่เดียวกันเอาต์พุต (\bar{Q}) ของ M_1 จะทำให้ clear ของ FF_2 เป็น L
ส่งไปยัง clear ของ Counter and Decoder System ทำให้ clear
ของ Decade counter (SN 7490) เป็น L สัญญาณ Q จาก FF_1 เข้า N_3
เป็น H ทำให้เอาต์พุตของ N_4 เป็นพัลส์ส่งเข้า Counter and Decoder System
ซึ่ง clear เป็น L จึงมีการ count (start)

(5) เมื่อรังสีตัวที่สองตกกระทบบั้วตัวรังสี จะมีสัญญาณลอคจิกจาก Interface เป็น H
เข้าที่ S_2 ทำให้เอาต์พุตของ N_2 เป็น H เพราะ S_3 และ S_4 เป็น H อยู่
แล้วเอาต์พุต H จาก N_2 ทำให้ M_2 ให้สัญญาณพัลส์ที่ \bar{Q} ซึ่งต่อกับ clear
ของ FF_1 ผ่านทาง S_8 ทำให้ clear ของ FF_1 เป็น L ให้เอาต์พุต Q
เป็น L เข้า N_3 เมื่อเอาต์พุต N_3 เป็น L จึงไม่มีพัลส์เข้า Counter System
การนับจึงหยุด (Stop) หากแสดงผลแสดงตัวเลขที่นับได้ค้างไว้เพราะยังไม่มี
การ clear

(6) เมื่อรังสีตัวที่สามตกกระทบบั้วตัวรังสี N_1 เป็น H จะเริ่มนับแต่ขณะเดียวกัน S_2 ก็
เป็น H จึงหยุดนับ รังสีตัวที่สามจึงไม่ให้เวลานับเพิ่มขึ้นแต่เว้นไว้เพื่อบันทึกข้อมูล

(7) เมื่อรังสีตัวที่สี่ตกกระทบบั้วตัวรังสี Interface ให้เอาต์พุต H ที่ S_4 ซึ่งต่อกับ
Selector Switch (S_6) และ S_5 ทำให้เอาต์พุต H เข้าขา B ของ M_3
ซึ่งจะให้เอาต์พุตพัลส์แก่ clock ของ FF_2 ทำให้ Q ของ FF_2 เป็น H
Q ของ FF_2 ที่เป็น H จะ clear ตัว counter ให้ display เป็นศูนย์
หมด Q ของ FF_2 ที่เป็น H จะ reset ตัว Interface ที่ทำหน้าที่ Scaler
ให้เป็นศูนย์พร้อมที่จะเริ่มนับ 1 ใหม่

Q ของ FF_2 ที่เป็น H จะทำให้อินพุตของ N_1 เป็น H สองขาเหลือ L เพียง
ขาเดียวที่ต่อกับ A สัญญาณจากรังสีตัวใหม่ผ่าน Interface เป็น H เข้า A ก็
จะทำให้ N_1 มีเอาต์พุตเป็น H วงจรนับก็จะเริ่มทำงานใหม่เหมือนเดิมอีก



NOTES

1) M₁ M₂ M₃ — SN 74123

2) FF₁ FF₂ — SN 7474

รูปที่ 3.7 แสดงวงจรเครื่องนับช่วงเวลา (Time Interval Analysis Module)

ลิขสิทธิ์ © โดย Chiang Mai University
All rights reserved

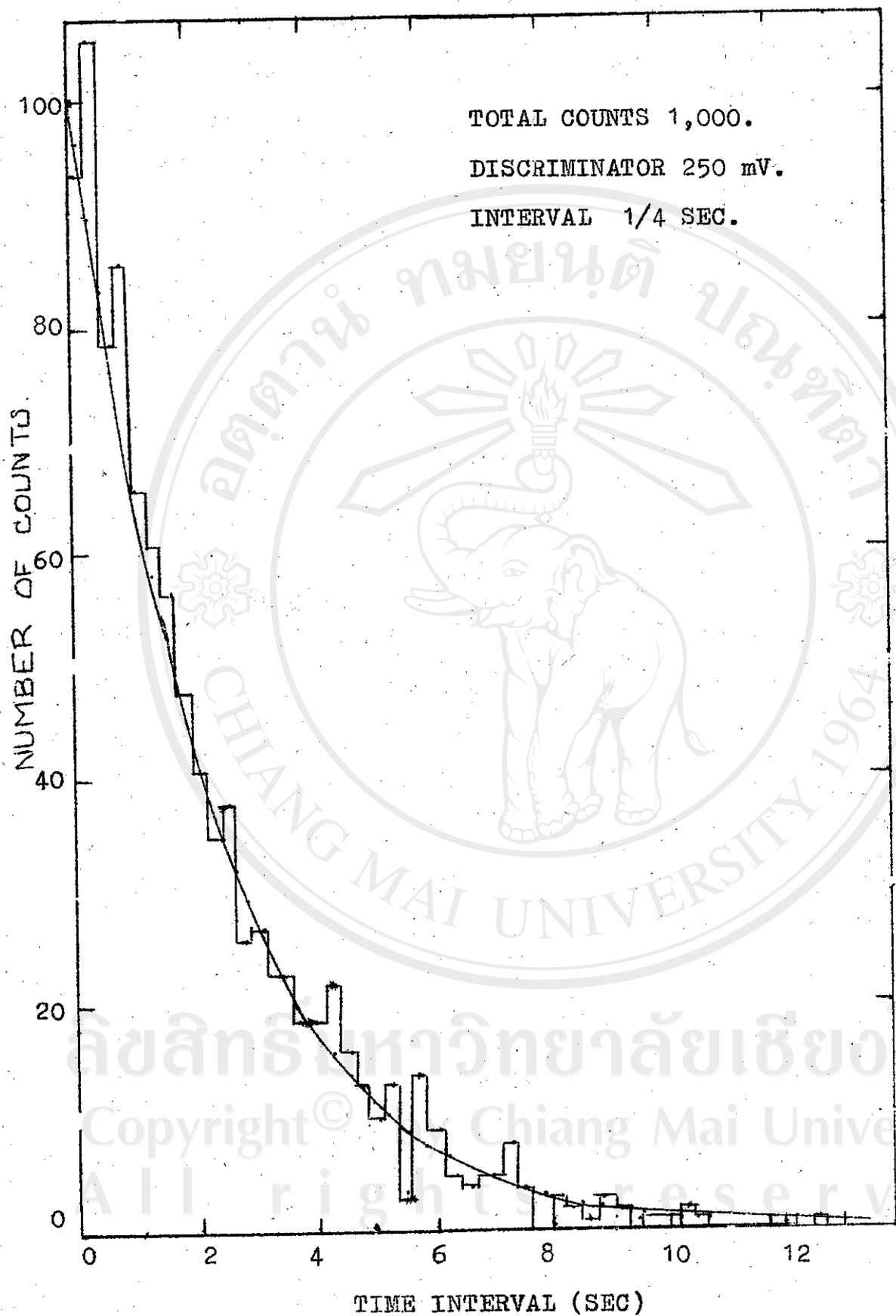
3.3 การบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูลเป็นการบันทึกช่วงเวลา (time interval) แล้วนำมาแจกแจงความถี่ของช่วงเวลาต่างๆ ในการวิจัยได้บันทึกข้อมูลแบบต่างๆ ต่อไปนี้

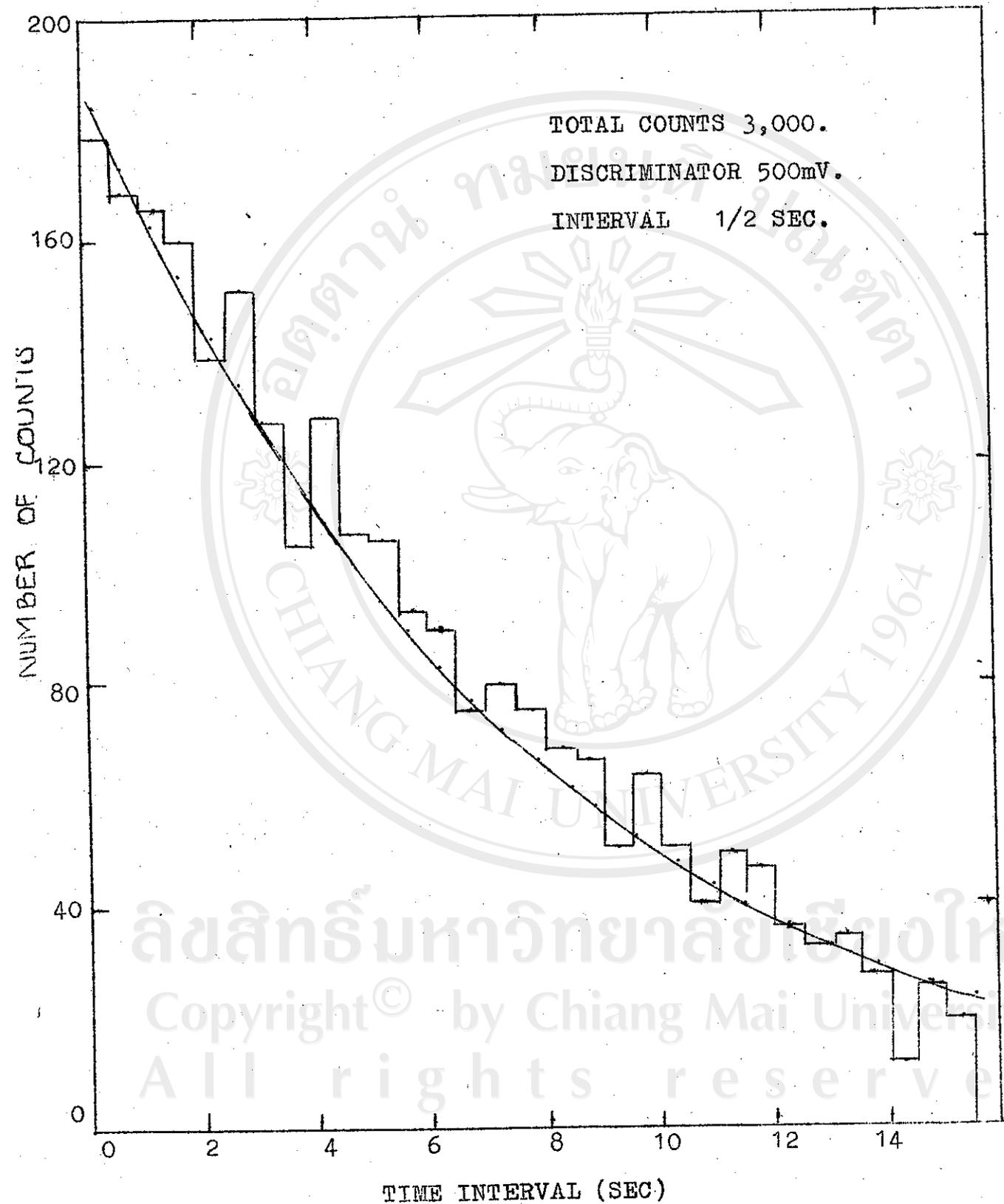
ก. บันทึกจำนวน 20,000 ช่วงเวลา (intervals) โดยตั้ง Discriminator (ดูการตั้งและ calibrate discriminator ในภาคผนวกที่ 2) ที่ 250 mV

ข. บันทึกจำนวน 10,000 ช่วงเวลา (interval) โดยตั้ง Discriminator ที่ 500 mV. เพื่อลด background พลังงานต่ำๆ ซึ่งการบันทึกใช้เวลายาวนานกว่าครั้งแรก (หัวข้อ 3.3.1) มาก เพราะจำนวนรังสีต่อช่วงเวลามีค่าน้อยลง

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างข้อมูลที่บันทึกได้ เป็นการแจกแจงความถี่ระหว่างจำนวน intervals (counts) กับช่วงเวลาในรูป 3.8 และ รูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 แสดงการกระจายของช่วงเวลาระหว่างรังสี จำนวน 1,000 counts.



รูปที่ 3.9 แสดงการกระจายของช่วงเวลาดระหว่างรังสี จำนวน 3,000 counts.

การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดลอง

ข้อมูลที่ได้อาจแสดงในรูปของกราฟระหว่างจำนวน (counts) กับช่วงเวลา (time interval) จากกราฟผลการทดลองดังกล่าวเราสามารถวิเคราะห์หาค่า N_0 และ a เพื่อทดสอบสมการ (2.7) ซึ่งเป็นรูปแบบของการกระจายแบบปัวซอง

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

ค่า N_0 และ a ในสมการ (2.7) จะได้จากการ fit ข้อมูลที่ได้โดยการเลือกใช้วิธี weighting least square fit (Jaffey, 1960) ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้ จากสมการเส้นตรง

$$y = b + cx$$

ถ้าสมมติว่าค่า x วัดได้โดยไม่มี ความคลาดเคลื่อน (error) ค่า y มีการกระจายรอบๆ ค่าเฉลี่ย (mean) แต่ละค่าของ x_i ก็จะมีค่าอุดมคติ y_i และค่า y_i ซึ่งได้จากการวัดในการทดลองก็จะมีค่า y_i ค่าหนึ่ง ถ้าผลการทดลองมี x_i, y_i อยู่ k คู่ ค่า b และ c ของเส้นตรงที่ดีที่สุดจะหาได้จาก

$$c = \frac{\sum w_i x_i y_i - X_{avg} Y_{avg} \sum w_i}{\sum w_i x_i^2 - X_{avg}^2 \sum w_i} \quad (4.1)$$

$$b = Y_{avg} - c X_{avg} \quad (4.2)$$

$$X_{avg} = \frac{\sum w_i x_i}{\sum w_i} \quad (4.3)$$

$$Y_{avg} = \frac{\sum w_i y_i}{\sum w_i} \quad (4.4)$$

$$w_i = \frac{1}{\sigma^2(y_i)} \quad (4.5)$$

ในการวิเคราะห์ข้อมูลแต่ละครั้งนั้น จะต้องพิจารณาว่าอะไรคือ weight ของข้อมูลชุดนั้น ในการกระจายของช่วงเวลาดังกล่าวว่าเป็นแบบปัวซอง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวน counts จะมีค่า (Evans, 1967)

$$\sigma(n_i) = \sqrt{n_i} \quad (4.6)$$

สมการ (2.7) เขียนเป็นสมการเส้นตรงจะได้

$$\ln n = \ln N_0 - at$$

ดังนั้นต้องมีการเปลี่ยนแปลง (error propagation) $\sigma(n_i)$ เป็น $\sigma(y_i)$ ซึ่งจะได้

(Jaffey, 1960)

$$\sigma^2(y_i) = \frac{\sigma^2(n_i)}{n_i^2}$$

จากสมการ (4.6) แทนค่า n_i จะได้

$$\sigma(y_i) = \frac{1}{n_i}$$

จากสมการ (4.5) และสมการ (4.7) จะได้

$$w_i = n_i$$

จากข้อมูลทดลองเมื่อ weighting least square fit แล้วจะได้ค่า N_0 และ a

ทำให้ได้ค่า $n(t)$ ต่างๆ จากสมการ (2.7) จำนวน total counts นั้นหาได้จากการ integrate สมการ (2.7) ดังนี้

$$N = \int_{t_1}^{t_2} n(t) dt$$

$$N = \frac{N_0}{a} (e^{-at_1} - e^{-at_2}) \quad (4.8)$$

4.2 ผลการทดลอง

ค่า N_0 และ a ที่ได้จากการ fit ข้อมูลผลการทดลองที่ total counts และ time interval ต่างๆ แสดงไว้ต่อไปนี้

Total Counts	Interval (sec)	threshold (mV)	N_0	a
953	1/2	250	231	0.217
1096	1	250	558	0.503
19,619	1	250	7449	0.371
8,966	1	500	1346	0.136

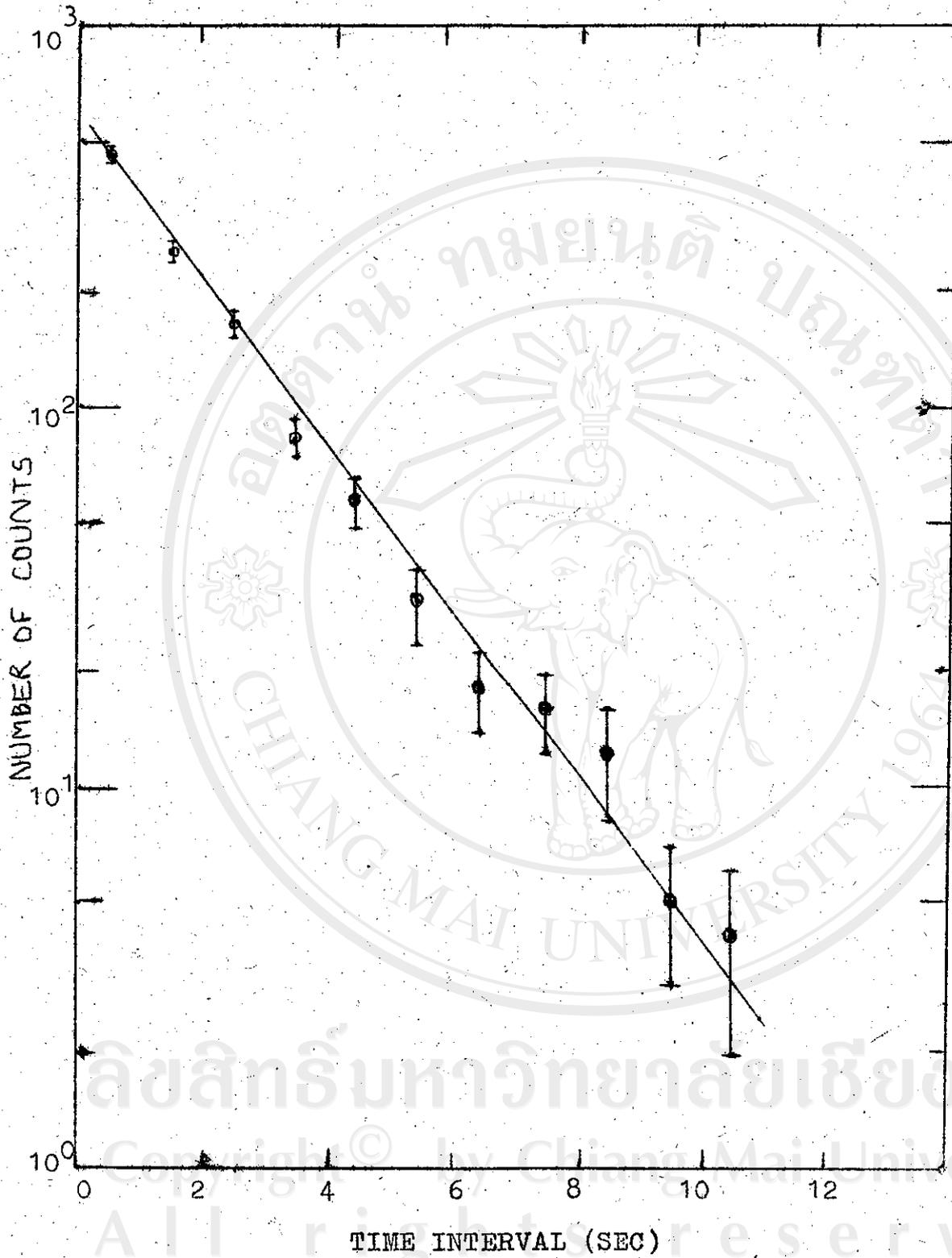
จากสมการ (4.8) เราสามารถคำนวณหา total counts ได้โดยการใส่ค่า N_0 และ a ที่คำนวณได้จากตารางที่ 4.1 และนำมาเปรียบเทียบกับค่า total counts ที่ได้จากการทดลองดังนี้

TOTAL COUNTS	
การทดลอง	การคำนวณ
953	805
1096	1104
8966	8917
19619	19729

จากตารางที่ 4.2 พบว่าข้อมูลการทดลองจำนวนมากๆ จะให้ผลการทดลองสอดคล้องกับทฤษฎีมากกว่าข้อมูลจำนวนน้อย (หัวข้อ 2.2) ดังแสดงกราฟผลการทดลองในรูปที่ 4.3 รูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 ส่วนข้อมูลการทดลองจำนวนต่ำๆ ความสอดคล้องจะเห็นไม่ชัดเจน มีความคลาดเคลื่อนมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.8



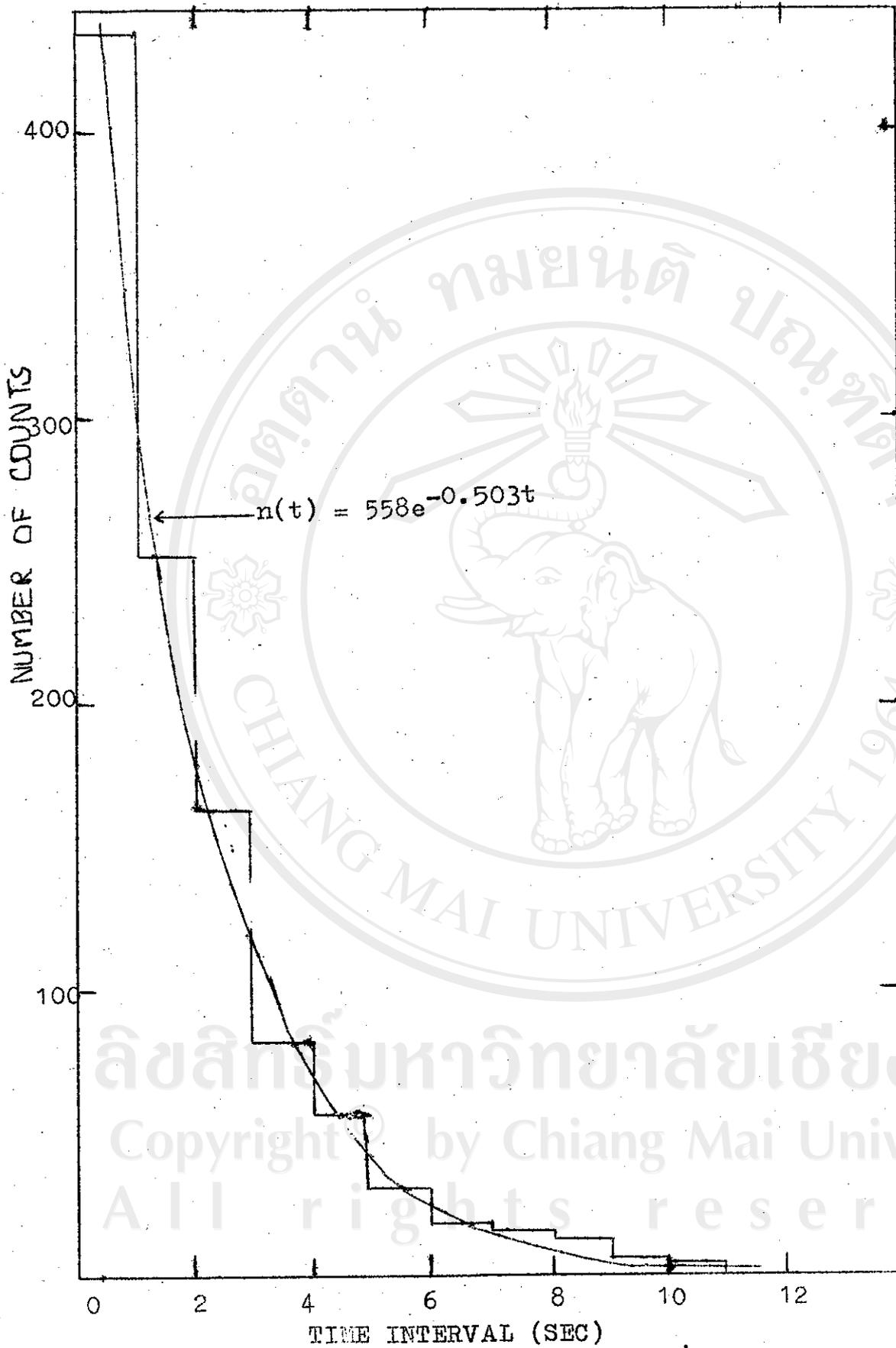
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.1 แสดงการกระจายของจำนวน counts กับช่วงเวลา

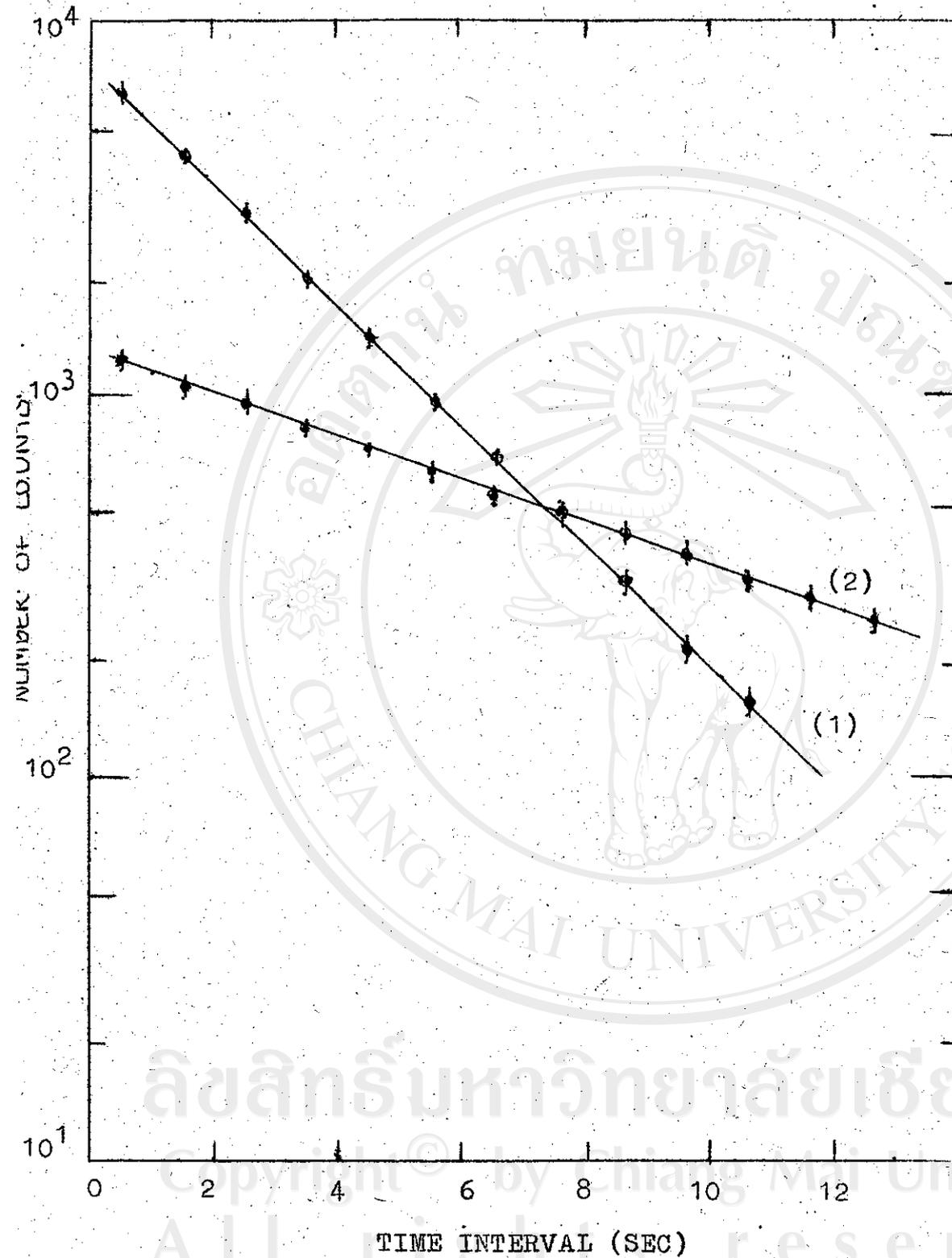
Total counts 1,000. Discriminator 250 mV.

Interval 1 sec.



รูปที่ 4.2 แสดงการกระจายของจำนวน counts กับช่วงเวลา

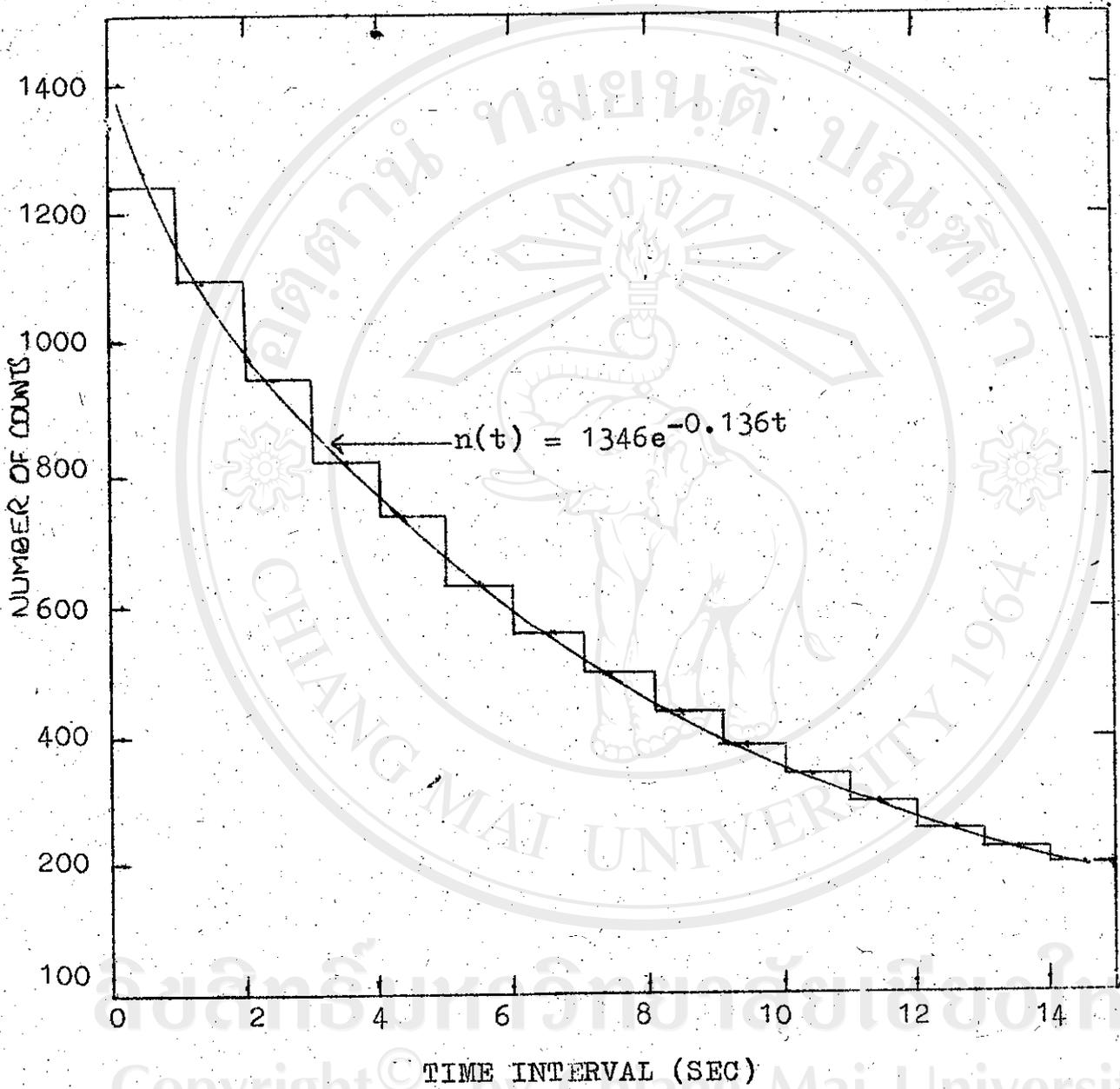
Total counts 1,000. Discriminator 250 mV. Interval 1sec



รูปที่ 4.3 แสดงการกระจายของจำนวน counts กับช่วงเวลา

(1) Total counts 20,000. Discri. 250 mV. Interval 1 sec.

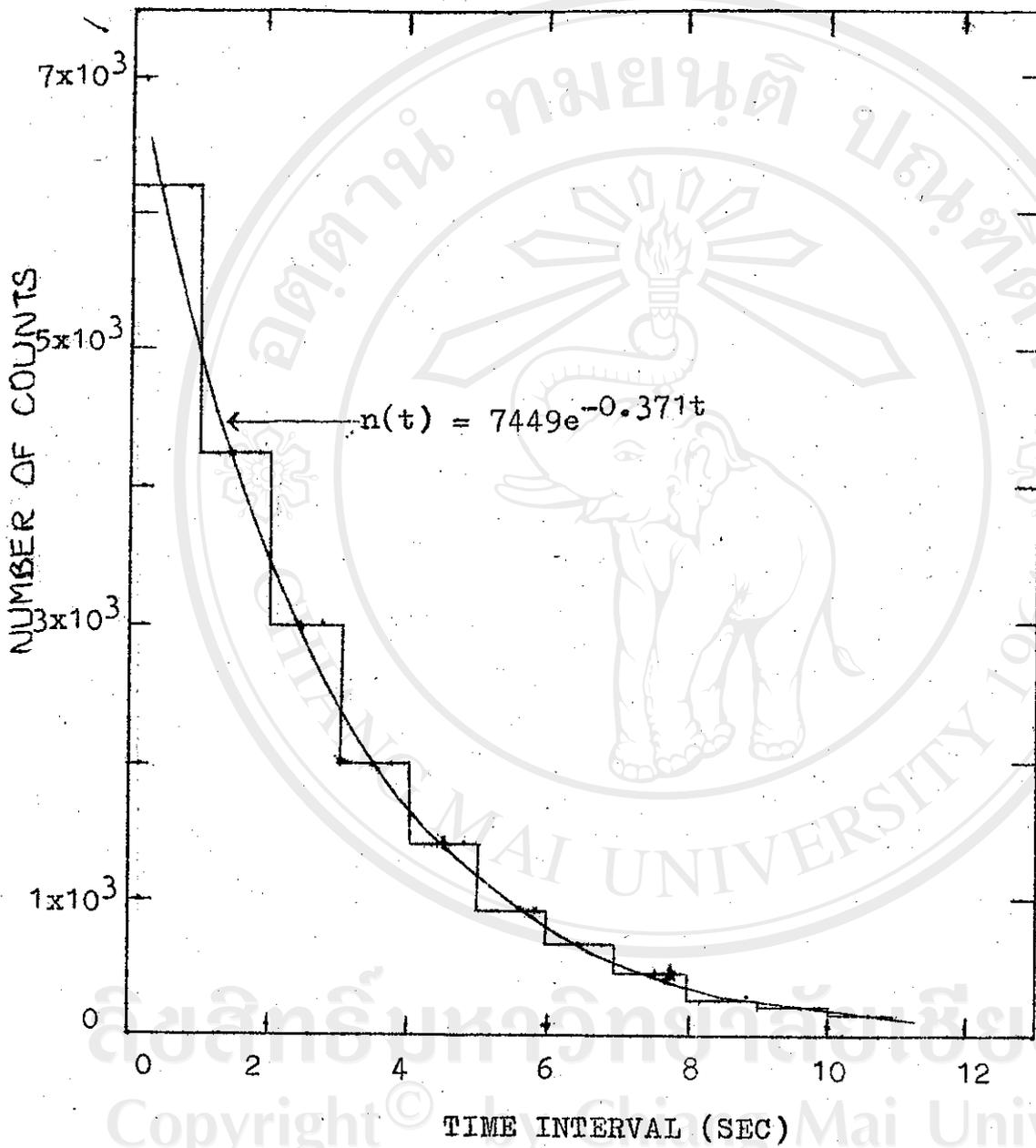
(2) Total counts 10,000. Discri. 500 mV. Interval 1 sec.



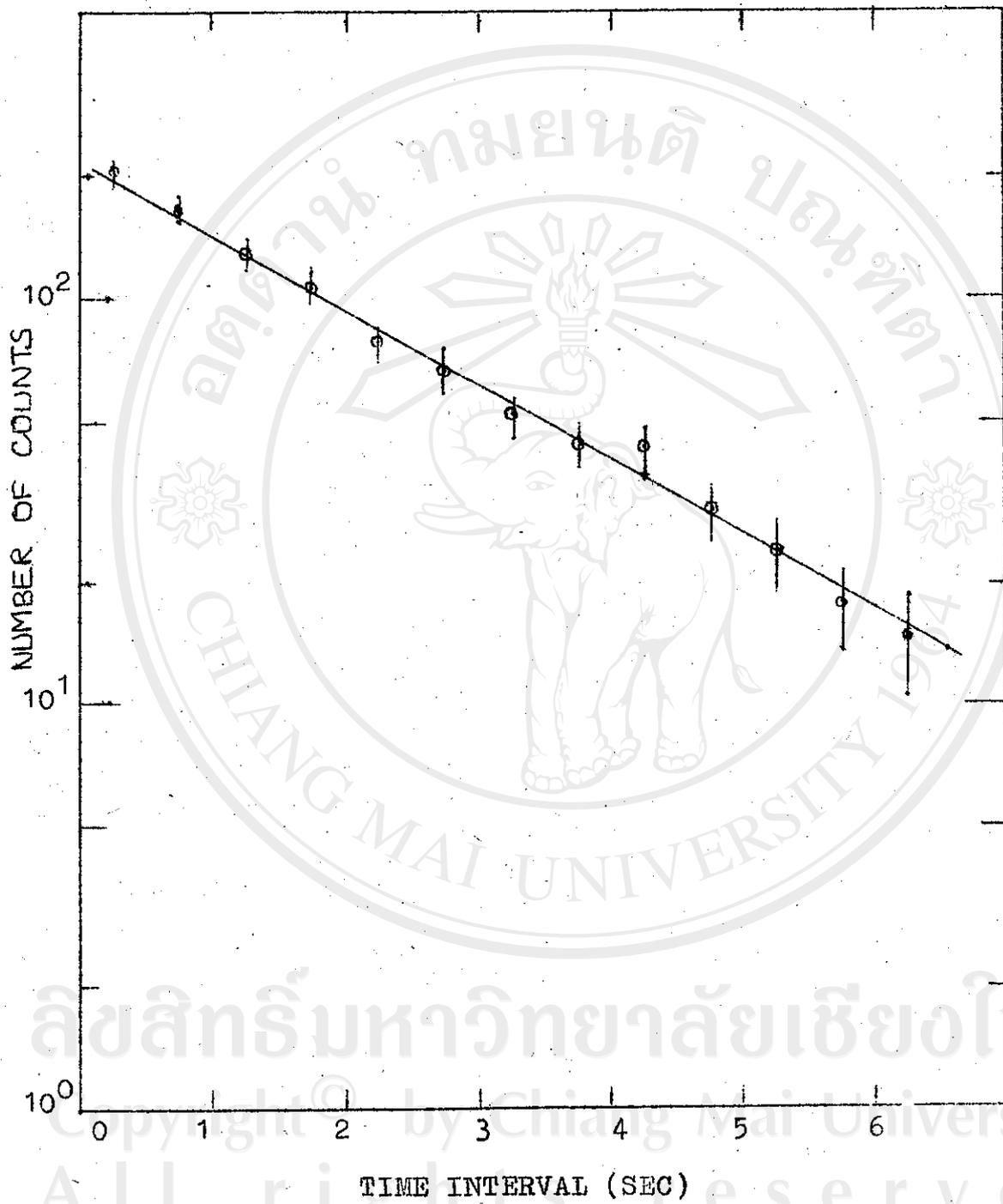
รูปที่ 4.4 แสดงการกระจายของจำนวน counts กับช่วงเวลา

Total counts 10,000. Discri. 500 mV.

Interval 1 sec.



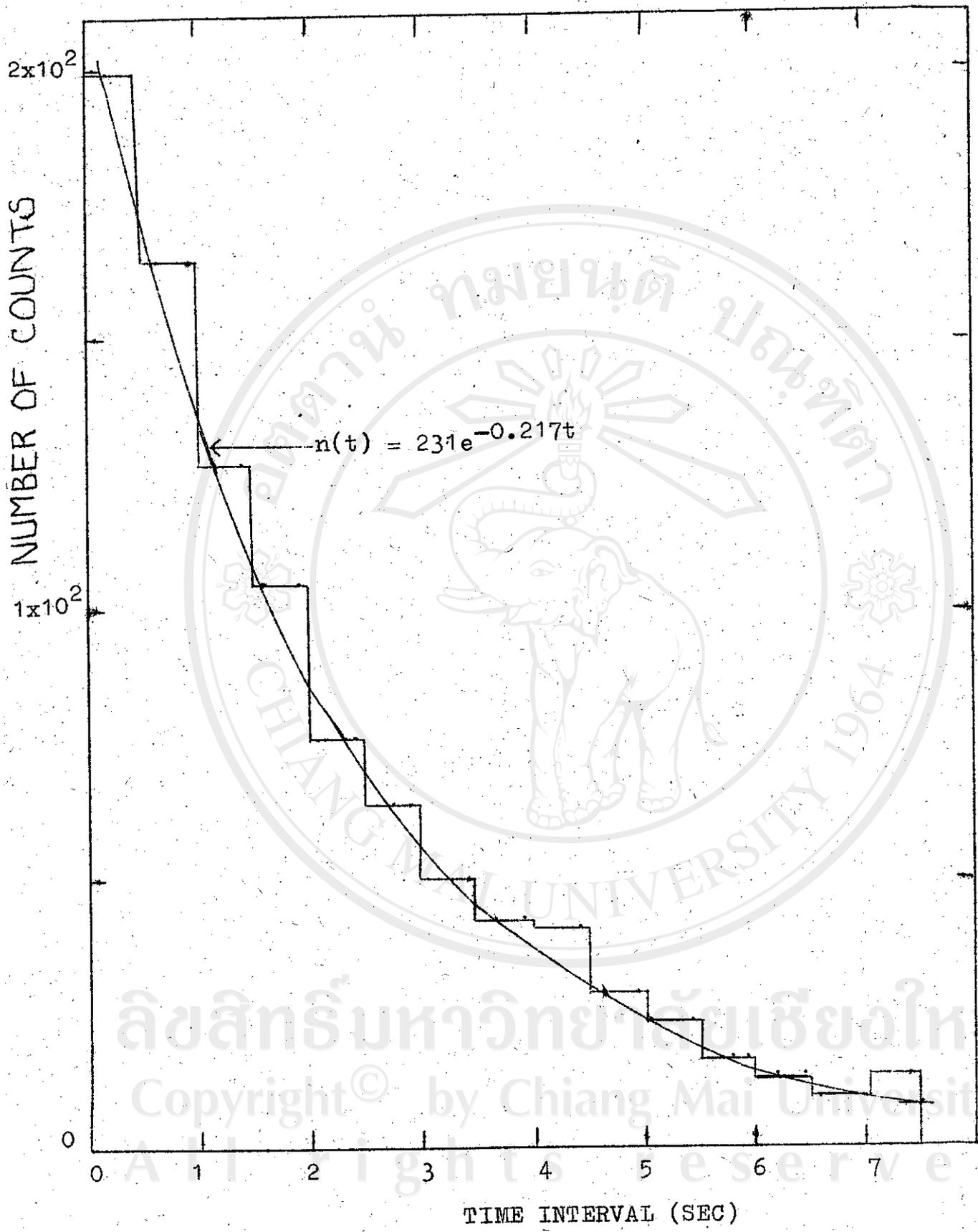
รูปที่ 4.5 แสดงการกระจายของจำนวน counts กับช่วงเวลา
 Total counts 20,000. Discr. 250 mV.
 Interval 1 sec.



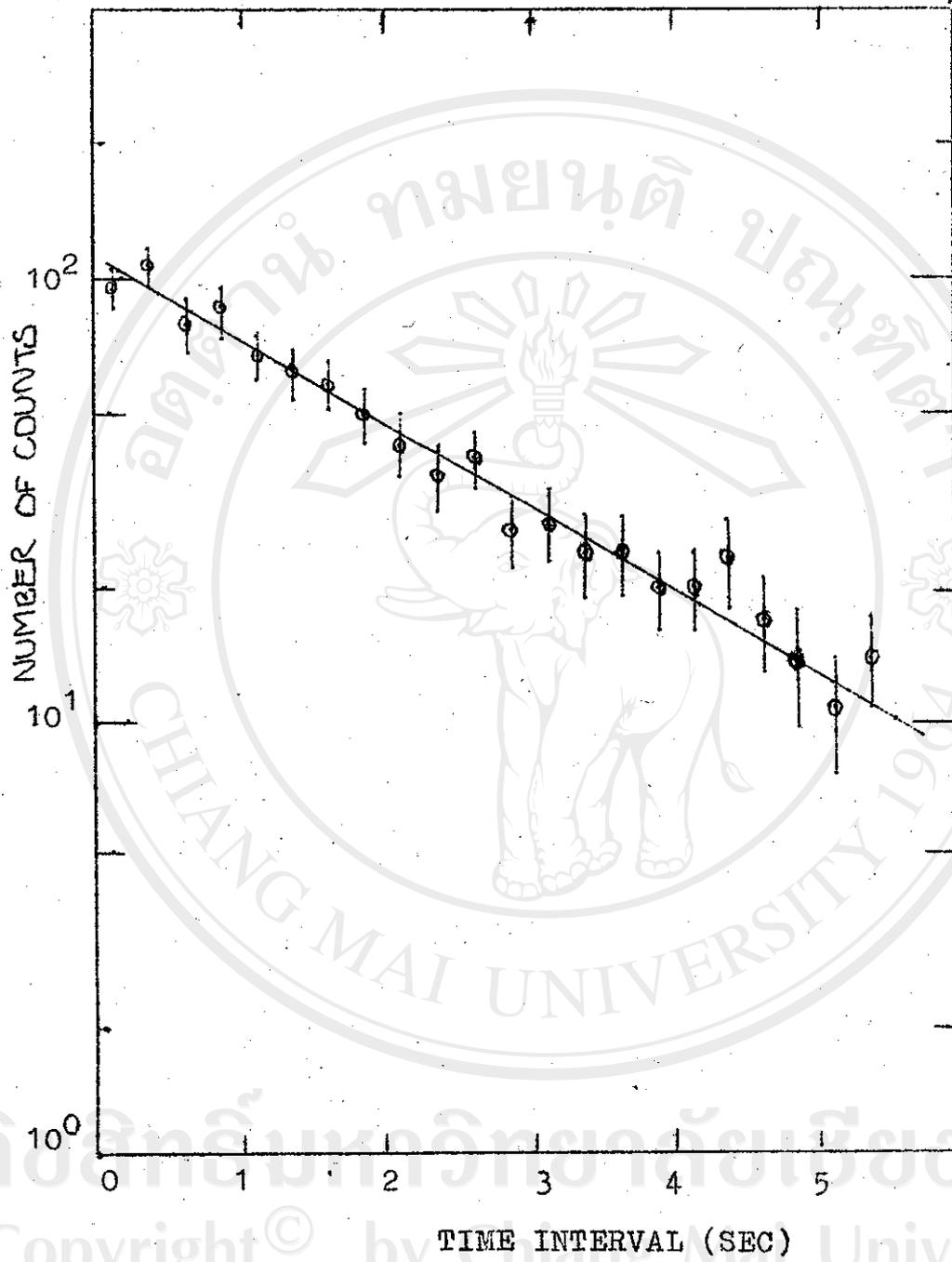
รูปที่ 4.6 แสดงการกระจายของจำนวน counts กับช่วงเวลา

Total counts 1,000. Discr. 250 mV.

Interval 1/2 sec.



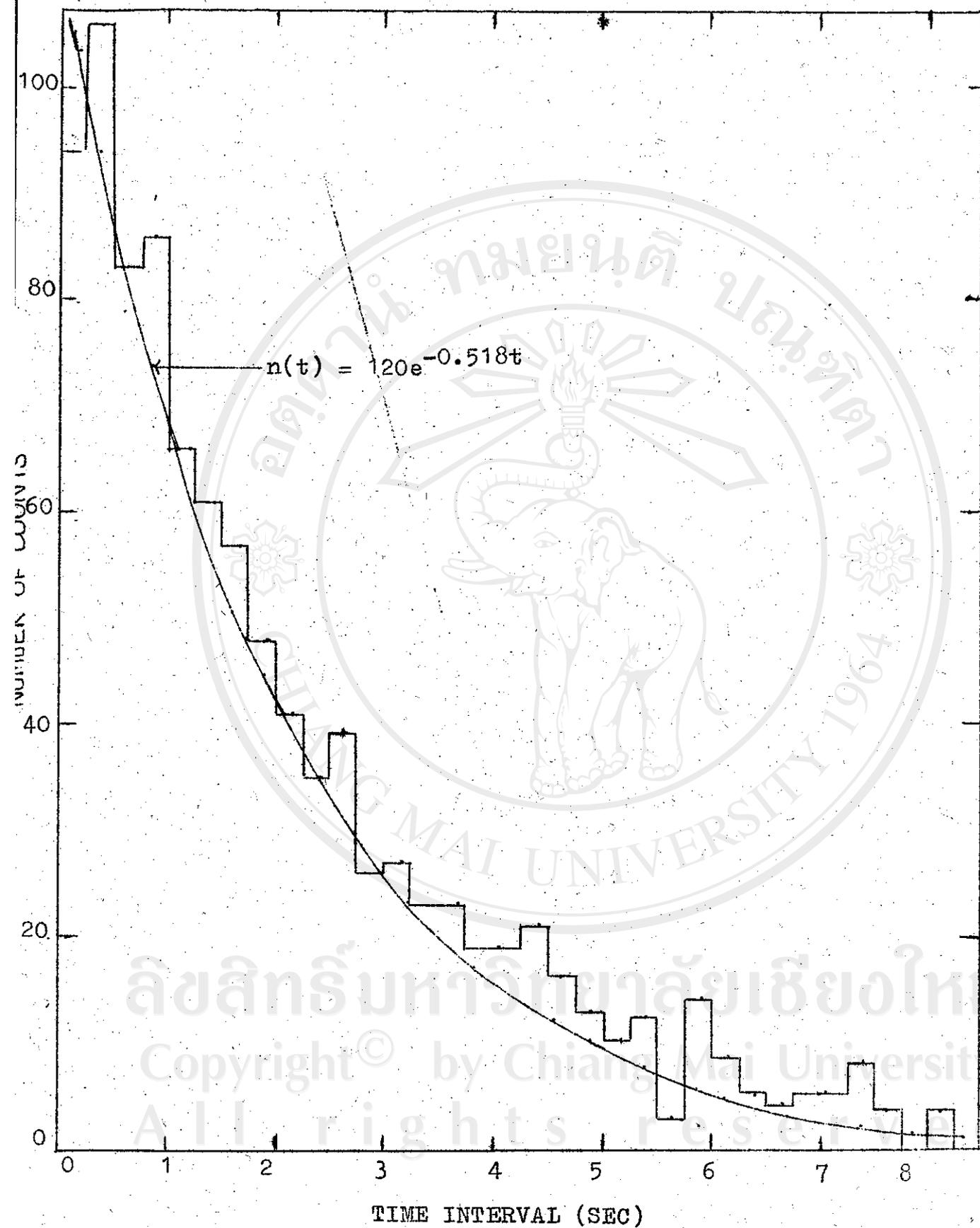
รูปที่ 4.7 แสดงการกระจายของจำนวน counts กับช่วงเวลา
 Total counts 1,000. Discri. 250 mV.
 Interval 1/2 sec.



รูปที่ 4.8. แสดงการกระจายของจำนวน counts กับช่วงเวลา

Total counts 1,000. Discri. 250 mV.

Interval 1/4 sec.



รูปที่ 4.9 แสดงการกระจายของจำนวน counts กับช่วงเวลา

Total counts 1,000. Discri 250 mV. Interval 1/4 sec.

สรุปและขอเสนอแนะ

ในการศึกษาการกระจายของช่วงเวลาระหว่างการเกิดรังสี ช่วงเวลาระหว่างรังสีจะวัดได้โดย Time Interval Analysis Module ที่สร้างขึ้น นำช่วงเวลาต่างๆ ที่บันทึกได้มาแจกแจงความถี่ พบว่าการกระจายของความถี่เป็นแบบปัวซอง (Poisson distribution)

จากการวิจัยนี้ ทำให้ได้ข้อมูลยืนยันว่าในขบวนการนิวเคลียร์ซึ่งเป็นขบวนการแบบสุ่มอย่างเช่น การสลายตัวของนิวเคลียร์จะมีการแจกแจงความถี่แบบปัวซอง (Poisson distribution) และจากการวิจัยนี้ จะได้เครื่องนับช่วงเวลา (Time Interval Analysis Module) ไว้ใช้ในห้องปฏิบัติการนิวเคลียร์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อเป็นปฏิบัติการเบื้องต้นในการทดสอบการแจกแจงความถี่ของขบวนการทางนิวเคลียร์ฟิสิกส์

ขอเสนอแนะในการศึกษาและวิจัยขั้นต่อไป

1. Time Interval Analysis Module ที่สร้างขึ้นจะนับช่วงเวลาใดเฉพาะรังสีตัวแรกกับตัวที่สองเท่านั้น ซึ่งเป็นกรณีหนึ่งของการกระจายแบบปัวซอง กรณีอื่นจะเป็นระหว่างรังสีตัวที่หนึ่งกับตัวที่สาม, ตัวที่หนึ่งกับตัวที่สี่ หรือ อื่นๆ การกระทำเช่นนี้จะได้จะต้องมีการปรับปรุงวงจรระหว่าง N_2, N_4 และ S_6 ในวงจรรูปที่ 3.7 ใหม่

2. ในวงจรของ Time Interval Analysis Module ควรมีหน่วยความจำ (memory unit) ไว้ด้วยเพื่อผลดีในการบันทึกข้อมูล เพราะเมื่อช่วงเวลาสั้นๆ การบันทึกข้อมูลด้วยการจดจะทำไม่ทัน และเมื่อช่วงเวลายาวๆ การบันทึกข้อมูลจะต้องเสียเวลาทำการบันทึกข้อมูลนานมาก ถ้าหากมีหน่วยความจำจะเป็นผลดีต่อปัญหาทั้งสองนี้

3. การตั้ง discriminator ของ Interface ที่เหมาะสมควรดูขนาดของ noise จากหัววัดรังสีก่อน แล้วจึงตั้ง discriminator (ดูภาคผนวก 2) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไป discriminator จะตั้งให้สูงกว่า noise 2 เท่าขึ้นไป สำหรับการทดลองนี้เลือกใช้ discriminator เป็น 3 เท่าของ noise พบว่าเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการบันทึกผลของการทดลอง และผลที่วัดได้สอดคล้องกับทฤษฎี

4. Time Interval Analysis Module ต้องกรอกรับเป็น positive
 signal แบบ BCD ขนาด 5 v. และต้องมีสัญญาณ clock เซาไอซี SN7495 ที่ต่อกับอินพุท
 ภายจึงจะมีอินพุทผ่านเข้า A,B,C และ D ในรูปที่ 3.7



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

ภาคผนวก 1

เครื่องนับช่วงเวลา (Time Interval Analysis Module)

ผ 1.1 แบบปรีนท์

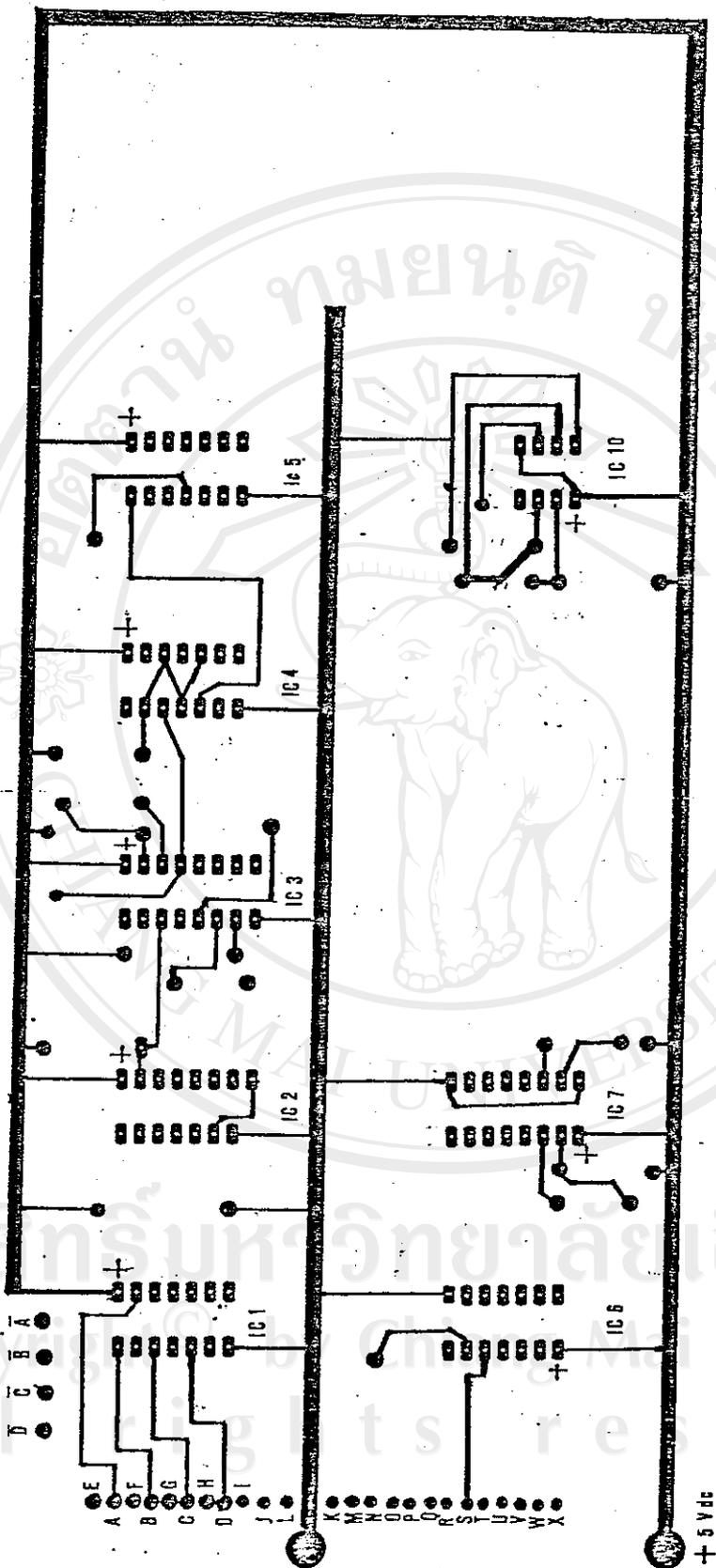
อุปกรณ์ดิจิทัลไอซีที่ใช้จะประกอบกันอยู่บนแผ่นปรีนท์สองหน้า 2 แผ่น แผ่นแรกตั้งแสดงแผ่นปรีนท์ด้านหน้าและด้านหลังตามรูปที่ ผ 1.1.1 และรูปที่ ผ 1.1.2 ตามลำดับ จะเป็นแผ่นของหน่วยควบคุมการเปิด-ปิดวงจร หน่วยกำหนดเวลา หน่วยเคิลยร์และรีเซ็ต

ส่วนแผ่นที่สอง ตั้งแสดงแผ่นปรีนท์ด้านหน้าและด้านหลังตามรูปที่ ผ 1.1.3 และรูปที่ ผ 1.1.4 ตามลำดับ จะเป็นแผ่นของหน่วยแปลรหัส (decoder) และหน่วยแสดงผล (display)

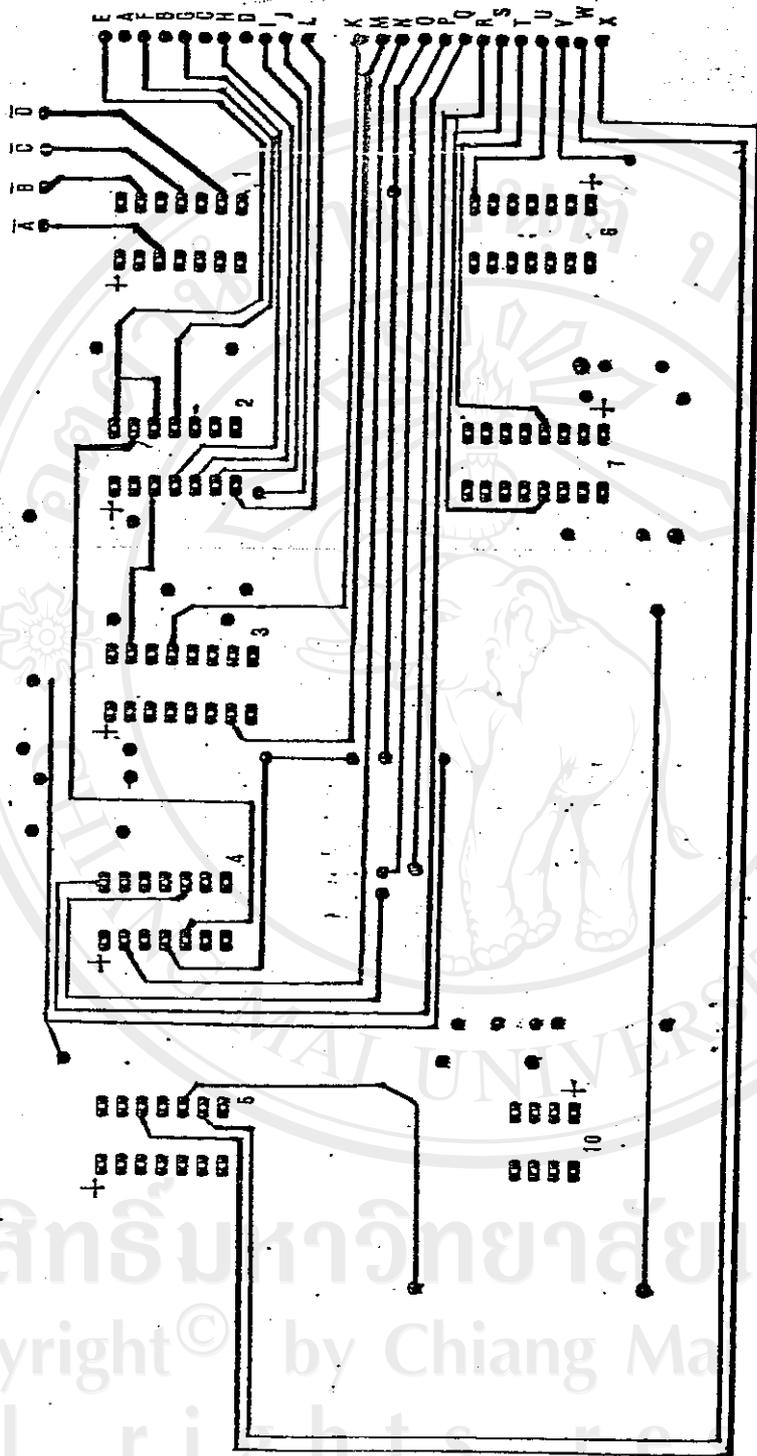
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

NOTE

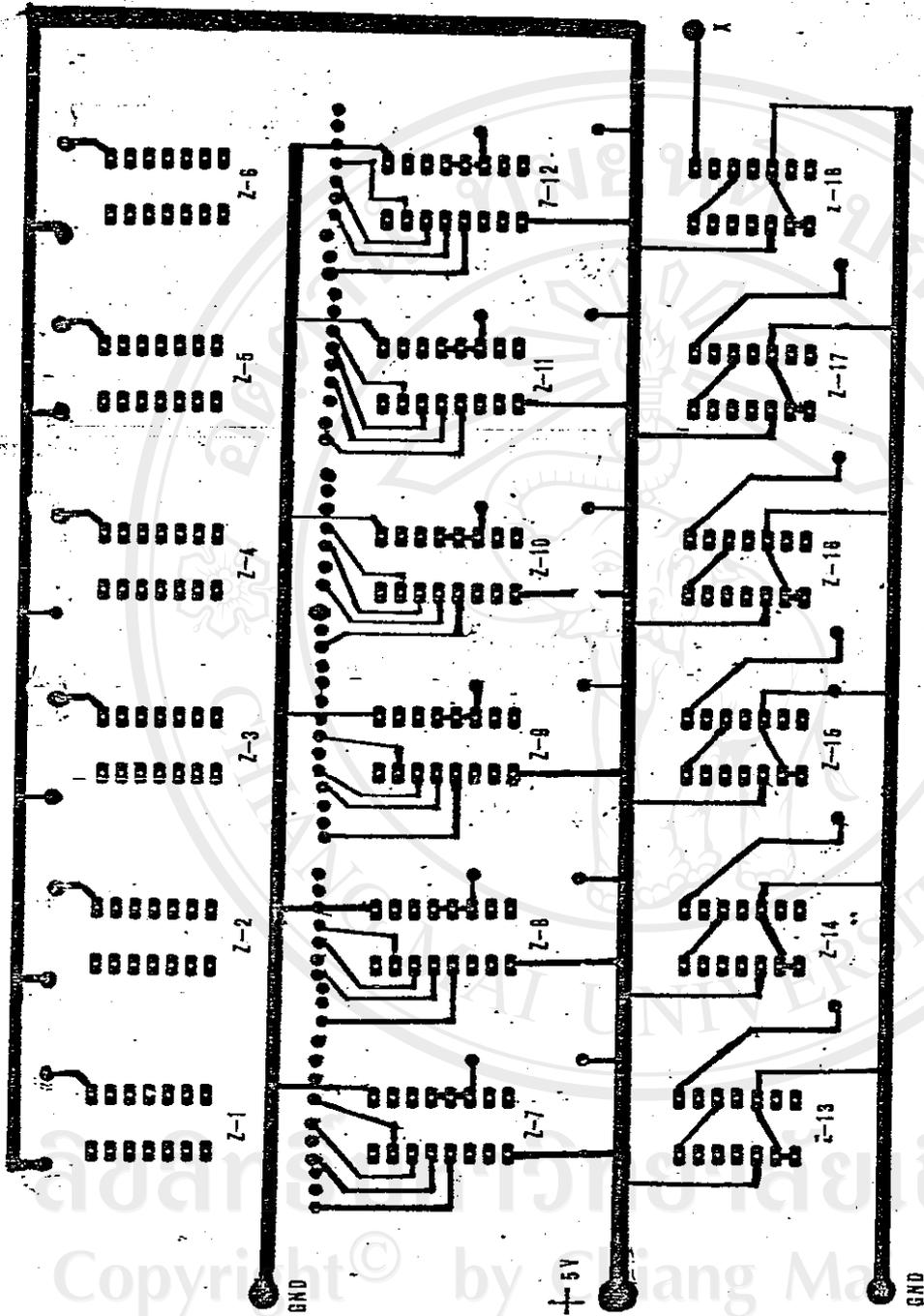
- 1 ic1 SN 7404
- 2 ic2 SN 7411
- 3 ic3 ic7 SN 74123
- 4 ic5 SN 7400
- 5 ic4 SN 7474
- 6 ic6 SN 7432
- 7 ic10 SN 72555



รูปที่ ๒.๑.๑.๑ สมบับิทกานหน้าสทกวงจรทวนควมกนทาง Time Interval Analysis Module

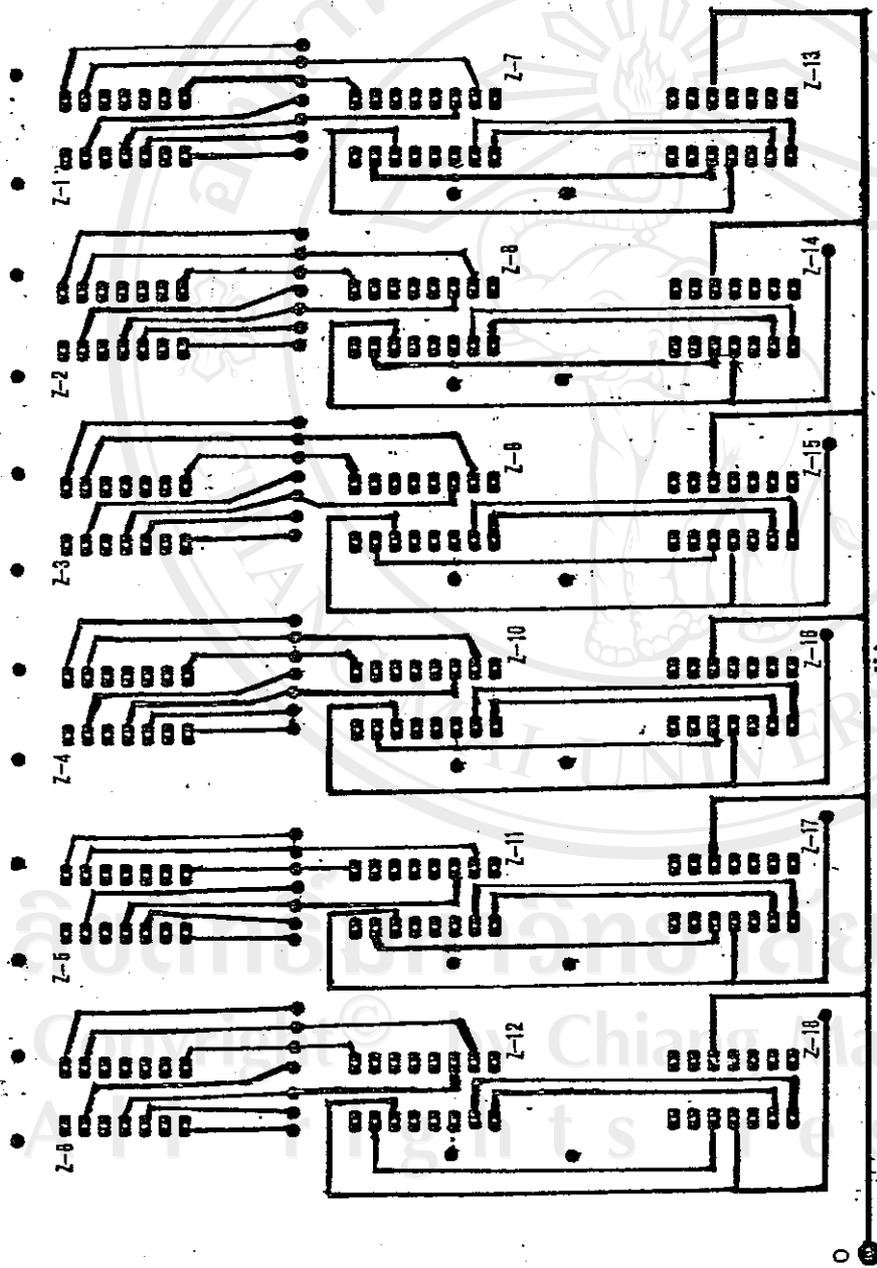


รูปที่ 1.1.2 แผนภูมิการติดตั้งแผงวงจรหน่วยคำนวณช่วง Time Interval Analysis Module



รูปที่ ๑.๑.๑.๓ แผงรับสัญญาณและภาคกลางของ Time Interval Analysis Module

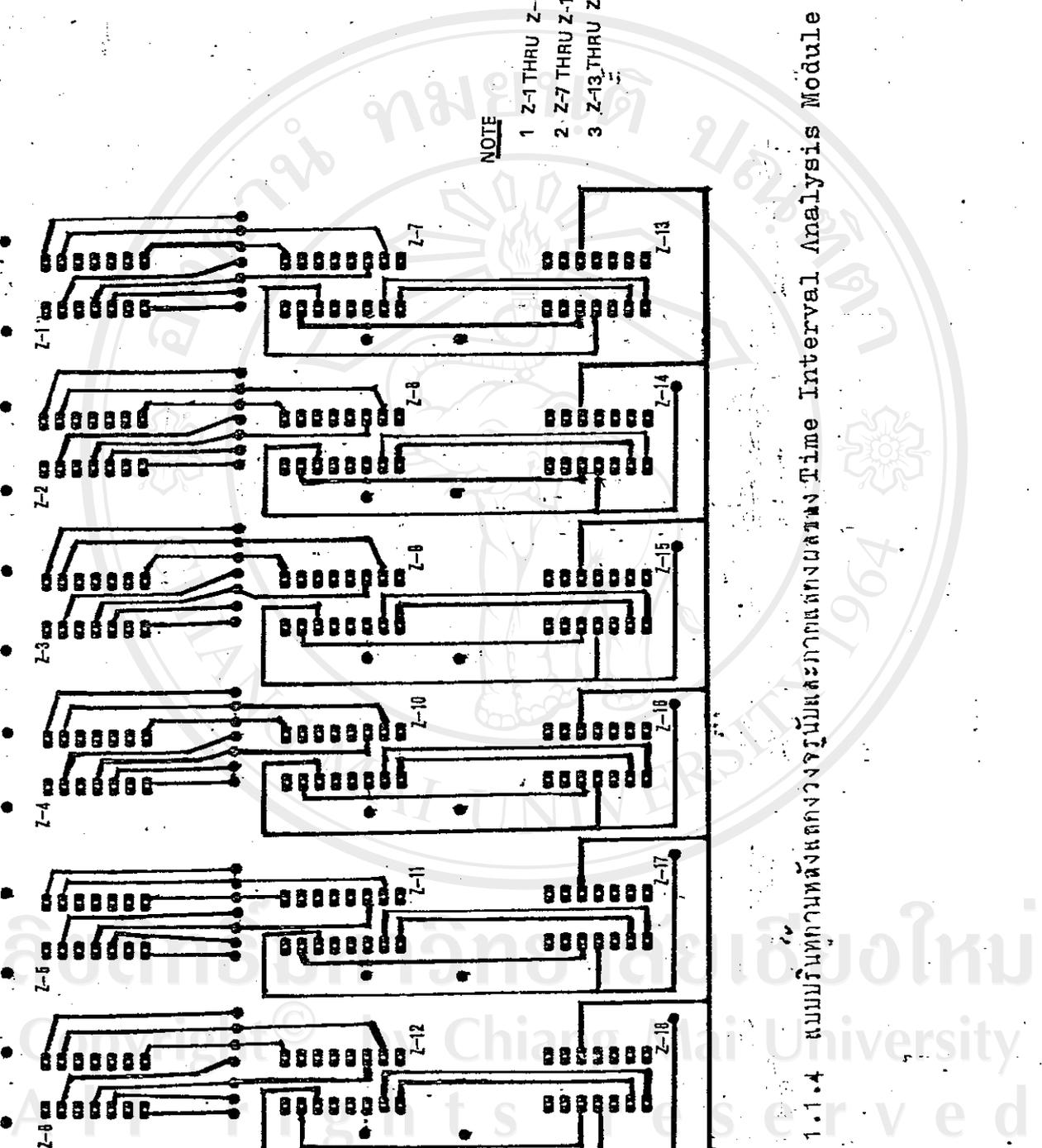
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



NOTE

- 1 Z-1 THRU Z-6 COMMON ANODE
- 2 Z-7 THRU Z-12 SN 7447
- 3 Z-13 THRU Z-18 SN 7490

รูปที่ ๑ 1.1.4 แผนภูมิการเดินสายของวงจรมหาภาคการวัดช่วงเวลา Time Interval Analysis Module

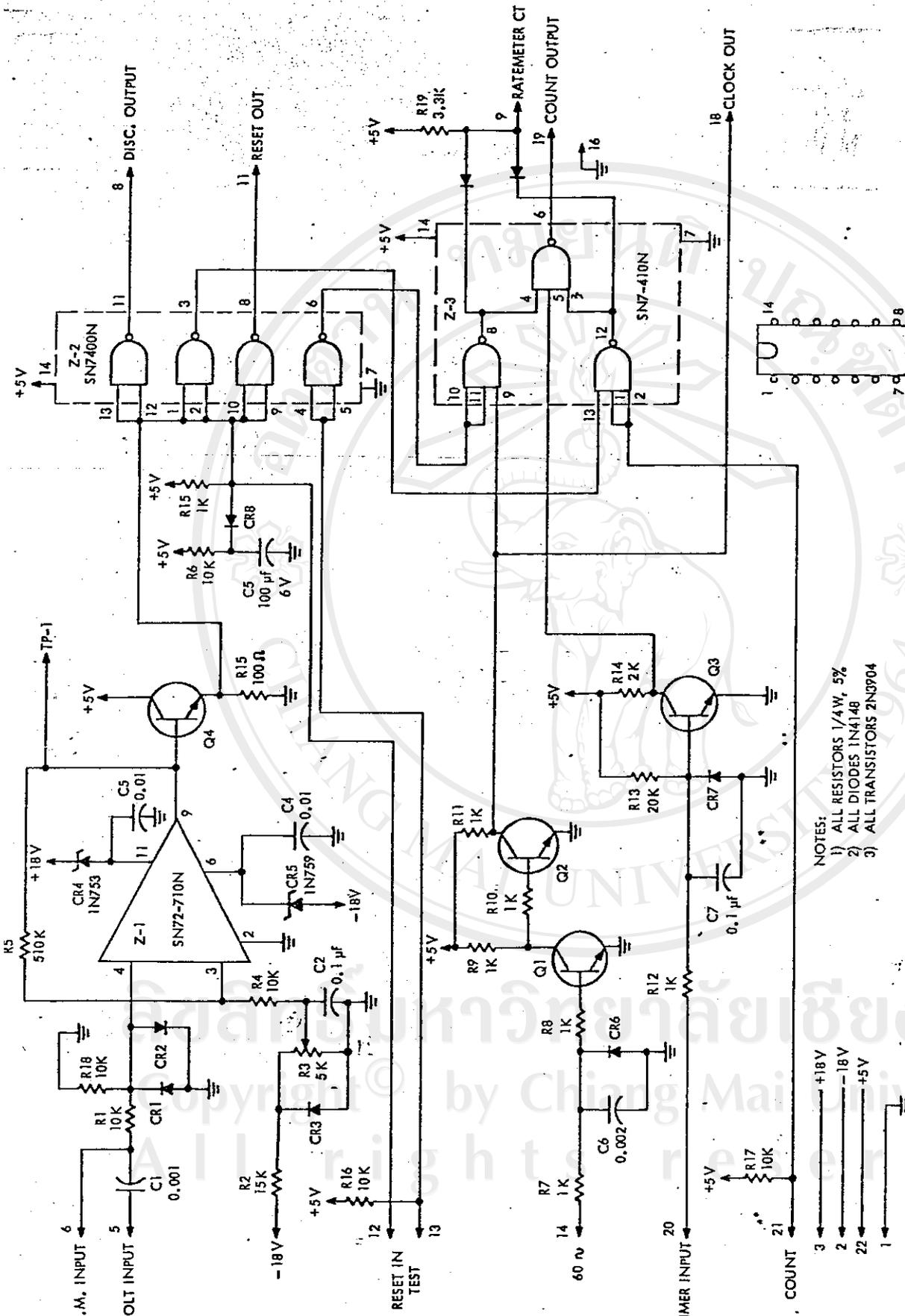


ผ 1.2 การต่อสัญญาณระหว่าง Time Interval Analysis Module และ Interface

ตั้งได้กล่าวมาแล้วว่า Time Interval Analysis Module จะอาศัยสัญญาณลอจิกเป็นตัวควบคุมจาก Interface ดังนั้น จะมีการต่อสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองนี้ สัญญาณลอจิกที่จะนำไปจาก Interface เป็นสัญญาณแบบ BCD จาก ขา 6, W, 16 และ C บน Decade/Multiplexer Board (C-3) ของ Interface จากรูปที่ ผ 1.2.1 สัญญาณทั้งสิ้นนี้จะทำเข้า Time Interval Analysis Module ที่ A, B, C และ D บนแผงหน่วยควบคุมการเปิด-ปิด ตามรูปที่ ผ 1.1.1 ในการวิจัยที่ได้ทำโดยใช้ stereojack ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณ $\bar{1}, \bar{2}, \bar{4}, \bar{8}$ (จากขา 16, 6, W, C ตามลำดับ) และอีกสองสายเป็น ground และ reset ซึ่งจะได้อธิบายดังต่อไปนี้

ผ 1.3 การต่อสัญญาณรีเซต

สัญญาณที่รีเซต Interface ที่ทำหน้าที่ scaler จะเข้าทางขา 22 ของ Decade/Multiplexer Board (C-3) รูปที่ ผ 1.2.1 ซึ่งสัญญาณที่ปกติจะมาจากขา 11 ของ Discriminator/Logic Board (C-2) รูปที่ ผ 1.2.2 เราจะตัดสายเชื่อมระหว่าง ขา 11 ของ C-2 กับ ขา 22 ของ C-3 แล้วนำ ขา 11 ของ C-2 ไปเข้า OR gate ซึ่งเป็นขา 10 ของ IC.6 (รูปที่ ผ 1.1.1) และนำสัญญาณจาก Q ของ IC. 74123 ซึ่งเป็นตัวเคลียร์และรีเซตมาต่อเข้ากับอีกอินพุตหนึ่งของ OR gate ร่วมกับขา 11 ของ C-2 แล้วนำเอาที่พุทของ OR gate ไปเข้าขา 22 ของ C-3 เมื่อมีสัญญาณเคลียร์จาก Q ของ IC. 74123 หรือจากขา 11 ของ C-2 ก็จะทำให้เกิดการเคลียร์และรีเซตบน Interface ได้



- NOTES:
- 1) ALL RESISTORS 1/4W, 5%
 - 2) ALL DIODES 1N4148
 - 3) ALL TRANSISTORS 2N3904



แผ่น ๑ 1.2.2: Discriminator/Logic Board (C-2)

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ภาคผนวก 2

การตั้ง และ Calibrate Discriminator

ในการทดลองวัดช่วงเวลาระหว่างรังสีโดยการใช้นิวทริ่งที่ติดตั้งอยู่บน PMT และ PMB เมื่อเราใช้ HV ค่าสูงๆ แก่นิวทริ่ง สัญญาณรบกวน (noise) ย่อมถูกขยายสูงขึ้น สัญญาณรบกวนค่าสูงมากพอที่จะทำให้ Time Interval Analysis Module ทำงาน อาจเป็น start หรือ stop ก็ได้ ทำให้ช่วงเวลาที่ได้อาจไม่ใช่ช่วงเวลาของรังสี ทำให้ผลการทดลองผิดพลาด ดังนั้นจึงต้องมี discriminator เพื่อตัดสัญญาณรบกวน (noise)ทิ้งหรือถ้าเราต้องการวัดช่วงเวลาที่รังสีคอสมิกซึ่งเป็นพวกพลังงานสูงโดยไม่ต้องการ background ใดๆ ไป ก็อาจทำได้โดยการตั้ง discriminator ที่เหมาะสม

ในการวิจัยนี้ Interface มี Discriminator Board ซึ่งเราสามารถตั้ง discriminator ได้ตามต้องการระหว่าง 0 - 1,000 mV. โดยการหมุน Potentiometer (R_3) บน Discriminator/Logic Board (C - 2) ตามรูปที่ ผ 1.2.2

การวัดค่า discriminator ที่ตั้งนี้เราไม่อาจใช้ VOM วัดได้เพราะ R_3 มีความต้านทานขนาด 5K โอม และ VOM โดยทั่วไปมีความต้านทานในระดับ $10^4 - 2 \times 10^4$ โอมต่อโวลต์ เมื่อใช้ VOM วัดโดยต่อขานเข้ากับขา 1 กับ 2 (ดูรูปที่ ผ 1.2.2) ของ Potentiometer จะทำให้ค่าโวลต์เตจที่วัดได้ผิดไป

ดังนั้น ในการหาค่าโวลต์เตจของ discriminator ว่าตัดสัญญาณขนาดกี่โวลต์ จะใช้ calibrate โดยอาศัย pulse generator (Advance Instr. Model PG58A) ซึ่งให้ pulse ขนาด 0 - 10 volt และ Oscilloscope (Tektronix Model 475) วิธีการ calibrate เมื่อต้องการตั้ง discriminator ตามที่ต้องการเช่น 250mV. ก็ใช้ pulse generator ให้สัญญาณขนาด 250mV. ออกมาวัดโดย oscilloscope แล้วให้สัญญาณที่ผ่านเข้า Interface ปรับ potentiometer (R_3) จน Interface ที่ทำหน้าที่ scaler เริ่มไม่ทำงาน (นับ) ที่ระดับสัญญาณขนาดนี้ ก็จะได้ discriminator ของ Interface เท่ากับ 250 mV.

ภาคผนวก 3
แสดงข้อมูลที่ไ้จากการทดลอง

ตารางที่ ๓.1 แสดงข้อมูลการกระจายของช่วงเวลา(1 วินาที) จำนวน 1,000 counts
Discriminator 250 mV.

TIME INTERVAL (SEC)	NUMBER OF COUNTS
0 - 1	457
1 - 2	254
2 - 3	163
3 - 4	81
4 - 5	56
5 - 6	31
6 - 7	18
7 - 8	16
8 - 9	12
9 - 10	5
10 - 11	3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ น 3.2 แสดงข้อมูลการกระจายของช่วงเวลา (1 วินาที) จำนวน
10,000 counts Discriminator 500 mV.

TIME INTERVAL (SEC)	NUMBER OF COUNT
0 - 1	1259
1 - 2	1095
2 - 3	950
3 - 4	819
4 - 5	738
5 - 6	633
6 - 7	553
7 - 8	495
8 - 9	433
9 - 10	381
10 - 11	330
11 - 12	290
12 - 13	250
13 - 14	222
14 - 15	195
15 - 16	172
16 - 17	151

ตารางที่ ผ 3.3 แสดงข้อมูลการกระจายช่วงเวลา(1 วินาที) จำนวน
2000 counts Discriminator 250 mV

TIME INTERVAL (SEC)	NUMBER OF COUNTS
0 - 1	6200
1 - 2	4250
2 - 3	3000
3 - 4	1996
4 - 5	1407
5 - 6	939
6 - 7	680
7 - 8	464
8 - 9	318
9 - 10	210
10 - 11	155

ตารางที่ ผ.3.4 แสดงข้อมูลการกระจายของเวลา(1/2 วินาที) จำนวน

1000 counts Discriminator 250 mV

TIME INTERVAL (SEC)	NUMBER OF COUNTS
0 - 0.5	200
0.5 - 1.0	165
1.0 - 1.5	127
1.5 - 2.0	105
2.0 - 2.5	76
2.5 - 3.0	64
3.0 - 3.5	50
3.5 - 4.0	42
4.0 - 4.5	41
4.5 - 5.0	29
5.0 - 5.5	23
5.5 - 6.0	17
6.0 - 6.5	14

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ ผ.3.5 แสดงข้อมูลการกระจายของช่วงเวลา(1/4 วินาที) จำนวน
1,000 counts Discriminator 250 mV.

TIME INTERVAL (SEC)	NUMBER OF COUNTS	TIME INTERVAL (SEC)	NUMBER OF COUNTS
0 - 0.25	94	3.0 - 3.25	27
0.25 - 0.5	106	3.25 - 3.5	23
0.5 - 0.75	79	3.5 - 3.75	23
0.75 - 1.0	86	3.75 - 4.0	19
1.0 - 1.25	66	4.0 - 4.25	19
1.25 - 1.5	61	4.25 - 4.5	22
1.5 - 1.75	57	4.5 - 4.75	16
1.75 - 2.0	48	4.75 - 5.0	13
2.0 - 2.25	41	5.0 - 5.25	10
2.25 - 2.5	35	5.25 - 5.5	13
2.5 - 2.75	38	5.5 - 5.75	3
2.75 - 3.0	26	5.75 - 6.0	14

เอกสารอ้างอิง

ยี่น ภูววรรณ , 2521

"ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์", ซีเอคยูเกชั่น, หน้า 93

Arqueros and Campos, 1978

Fernando Arqueros and Jose Campos., Am. J. Phys., 46, 191

Evans, 1967

Evans, R.D., "The Atomic Nucleus", McGraw-Hill Book Co.,
P. 746-759

Jaffey, 1940

Jaffey, A.H., Nucleonics, 18, 180

Owen and Sawyer, 1966

Owen, D. and Sawyer, D., "Experiments in Modern Physics,"
Academic Press Inc, P. 189-193

Malmstat, 1973

Malmstat, H.V., Enke, C.G. and Crough, S.R., "Digital and
Analog Data Conversion," W.A. Benjamin Inc,

Marsden, 1911

Marsden, E. and Barrat, T., Proc. Phys. Soc. (London), A23, 367

Roberts, 1940

Roberts, A., Rev. Sci. Instr., 12, 71

Copyright © by Chiang Mai University

All rights reserved

ประวัติการศึกษา

ชื่อ

นายสมศักดิ์ วรรณวิไลรัตน์

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2515 สำเร็จชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จาก
โรงเรียน เพชรพิทยาคม เพชรบูรณ์

พ.ศ. 2519 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (กศ.บ.)
จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน ชลบุรี

ประสบการณ์งานวิชาการ

พ.ศ. 2519 - 2520 เป็นอาจารย์สอนวิชาฟิสิกส์ระดับ
มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียน เพชรพิทยาคม เพชรบูรณ์

พ.ศ. 2521 - 2522 เป็นอาจารย์สอนวิชาวิทยาศาสตร์
โรงเรียน เทพประสาทพิชยการ เชียงใหม่

พ.ศ. 2522 - 2523 เป็นอาจารย์สอนวิชาวิทยาศาสตร์
วิทยาลัยพายัพ เชียงใหม่