



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ **Allan Variance** และ **Overlapping Allan Variance** ในการหารูปแบบสัญญาณรบกวนของออสซิลเลเตอร์

A COMPARISON OF ALLAN VARIANCE AND OVERLAPPING ALLAN VARIANCE FOR PREDICT NOISE MODEL OF OSCILLATOR

โดย

ทัตดาว แนบเนียน

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

รายงานการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

2554

หัวข้อ : การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Allan Variance และ Overlapping Allan Variance ในการหารูปแบบสัญญาณรบกวนของออสซิลเลเตอร์

ชื่อผู้แต่ง : นางทัศนาว แนบเนียน

สถาบัน : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

ปีที่พิมพ์ : 2554

สถานที่พิมพ์ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

แหล่งที่เก็บรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต จำนวน : 154 หน้า

คำสำคัญ : 1. ความแปรปรวนของอลัน
2. รูปแบบสัญญาณรบกวน

ลิขสิทธิ์ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการใช้ Allan Variance และ Overlapping Allan Variance ในการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนของออสซิลเลเตอร์ โดยทำการจำลองแบบข้อมูลอนุกรมเวลาของความถี่ที่มีรูปแบบสัญญาณรบกวน 5 รูปแบบ ได้แก่ White Phase Modulation, Flicker Phase Modulation, White Frequency Modulation, Flicker Frequency Modulation and Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาที่ใช้คือ 100 200 500 และ 1,000 ทำซ้ำ 100 ครั้ง คำนวณค่า Allan Variance และ Overlapping Allan Variance แล้วนำไปทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนโดยใช้หลักการของแผนภาพ Sigma-Tau ค่าความถูกต้องของการทำนายจะใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ผลการศึกษาพบว่า การใช้ Overlapping Allan Variance ในการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนมีประสิทธิภาพสูงกว่า Allan Variance นอกจากนี้ข้อมูลจริงที่ได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์ขนาดอนุกรมเวลา 5,000 ทำซ้ำ 3 ครั้ง ผลการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนพบว่า ข้อมูลทั้ง 3 ชุด ที่ได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์เครื่องนี้มีรูปแบบสัญญาณรบกวนแบบ White Frequency Modulation

Title : A Comparison of Allan Variance and Overlapping Allan Variance
for Predict Noise Model of Oscillator.

Researcher : Taddown Nabnean

Institution : Dhurakij Pundit University

Year of Publication : 2011

Publisher : Dhurakij Pundit University

Sources : Dhurakij Pundit University

No. of page : 154 pages

Keywords : 1. Allan Variance
2. Noise Model

Copyright : Dhurakij Pundit University

ABSTRACT

This research presents comparison between Allan Variance and Overlapping Allan Variance to predict noise model in oscillator circuit. There are five noise models; White Phase Modulation, Flicker Phase Modulation, White Frequency Modulation, Flicker Frequency Modulation and Random Walk Frequency Modulation. Oscillator noise signal were simulated in time series for prediction. Time series data for all forms of noise were simulated size of 100, 200, 500 and 1,000 which all of them were repeated 100 times. After that, these data were calculated to be forecast the noise model by sigma tau diagram. The accuracy measured of forecasting; Mean Square Error (MSE) was used to select the suitable statistics. Consequence, the results show that the Overlapping Allan Variance is efficiency more than Allan Variance because MSE value of forecasting noise model by Overlapping Allan Variance is lower than Allan Variance in all time series. Moreover, there are experimental data from oscillator circuit with size of time series 5,000 and were repeated 3 times in order to forecast noise model by sigma tau diagram. The results of 3 sets are White Frequency Modulation.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญรูปภาพ	(8)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 สมมติฐานงานวิจัย	3
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	4
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการหา Noise Model ของข้อมูลความถี่	6
2.1.1 ความถี่ของวงจรถอดสซิลเลเตอร์	6
2.1.2 เสถียรภาพของความถี่	9
2.1.3 ความแปรปรวน	12
2.1.4 Allan Variance	13
2.1.5 Overlapping Allan Variance	14
2.1.6 รูปแบบสัญญาณรบกวน	15
2.1.7 แผนภาพ Sigma-tau	15
2.1.8 วิธีกำลังสองน้อยที่สุด	17
2.1.9 ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน	17
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการศึกษา	21
3.1 เก็บรวบรวมข้อมูล	21
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล	23
3.3 การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์	26
3.4 วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา	26
บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูล	27
4.1 ผลการคำนวณค่า Allan Variance และ Overlapping Allan Variance	27
4.2 การหารูปแบบสัญญาณรบกวนโดยใช้ Allan Variance และ Overlapping Allan Variance	33
4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนโดย Allan Variance และ Overlapping Allan Variance	48
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	49
5.1 สรุปผลการวิจัย	49
5.2 อภิปรายผล	50
5.3 ข้อเสนอแนะ	50
บรรณานุกรม	51
ภาคผนวก	
ก. ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน	53
ข. ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน	89
ค. โปรแกรมจำลองแบบสัญญาณรบกวน AlaNoise 3.0	125
ง. โปรแกรมคอมพิวเตอร์เก็บข้อมูลจากวงจรรออสซิลเลเตอร์	133
จ. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย	143
ฉ. ประวัติผู้วิจัย	154

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบสัญญาณรบกวนและค่า α	15
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบสัญญาณรบกวนและค่า μ	16
4.1 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100	28
4.2 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100	28
4.3 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100	29
4.4 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100	29
4.5 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100	30
4.6 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White phase modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100	31
4.7 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100	31
4.8 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100	32
4.9 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100	32
4.10 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100	33
4.11 ค่า μ ของการใช้ Allan Deviation สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ จากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลา เท่ากับ 100 ทำซ้ำ 100 ครั้ง	34
4.12 ค่า μ ของการใช้ Allan Deviation สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ จากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลา เท่ากับ 100 ทำซ้ำ 100 ครั้ง	35

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 ค่า μ ของการใช้ Allan Deviation สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ จากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 ทำซ้ำ 100 ครั้ง	36
4.14 ค่า μ ของการใช้ Allan Deviation สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ จากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 ทำซ้ำ 100 ครั้ง	37
4.15 ค่า μ ของการใช้ Allan Deviation สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ จากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 ทำซ้ำ 100 ครั้ง	38
4.16 ค่า μ ของการใช้ Overlapping Allan Deviation สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ จากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 ทำซ้ำ 100 ครั้ง	39
4.17 ค่า μ ของการใช้ Overlapping Allan Deviation สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ จากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 ทำซ้ำ 100 ครั้ง	40
4.18 ค่า μ ของการใช้ Overlapping Allan Deviation สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ จากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 ทำซ้ำ 100 ครั้ง	41
4.19 ค่า μ ของการใช้ Overlapping Allan Deviation สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ จากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 ทำซ้ำ 100 ครั้ง	42
4.20 ค่า μ ของการใช้ Overlapping Allan Deviation สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ จากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 ทำซ้ำ 100 ครั้ง	43
4.21 การทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนจากข้อมูลจริงที่วัดได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์ โดยใช้ Allan Variance และ Overlapping Allan Variance	47
4.22 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวน 5 รูปแบบ ด้วยวิธี Allan Variance และ Overlapping Allan Variance	48

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.1 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 200	54
ก.2 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 500	55
ก.3 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 1,000	57
ก.4 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 200	61
ก.5 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 500	62
ก.6 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 1,000	64
ก.7 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 200	68
ก.8 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White frequency modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 500	69
ก.9 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 1,000	71
ก.10 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 200	75
ก.11 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 500	76
ก.12 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 1,000	78

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.13 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณ Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 200	82
ก.14 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 500	83
ก.15 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 1,000	85
ข.1 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 200	90
ข.2 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 500	91
ข.3 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 1,000	93
ข.4 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 200	97
ข.5 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 500	98
ข.6 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 1,000	100
ข.7 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 200	104
ข.8 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White frequency modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 500	105
ข.9 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 1,000	107
ข.10 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 200	111
ข.11 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 500	112

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.12 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 1,000	114
ข.13 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณ Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 200	118
ข.14 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 500	119
ข.15 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 1,000	121

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สัญญาณรูปไซน์ที่ไม่มีความคลาดเคลื่อนทางแอมพลิจูดและมุมเฟส	7
2.2 สัญญาณรูปไซน์ที่มีความคลาดเคลื่อนทางมุมเฟส	7
2.3 รูปแบบของค่าของความคลาดเคลื่อน($\phi(t)$)	8
2.4 ความถี่ $f(t)$ ที่ได้จากสมการความคลาดเคลื่อน $\phi(t) = 0.2\sin 1000\pi t$	8
2.5 ค่า fractional frequency ณ เวลาต่างๆ	9
2.6 ความสัมพันธ์ของ t_i และ τ_0 ในการหาค่า \bar{y}_i	11
2.7 การเปรียบเทียบการเข้าสู่ค่าจำกัดของ Allan Deviation กับ Standard Deviation	13
2.8 ความแตกต่างระหว่าง Overlapping และ Non Overlapping Allan	14
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$	16
3.1 แผนผังการทำงานของโปรแกรมวัดความถี่จากวงจรรอสซิลเลเตอร์	22
3.2 แผนผังการคำนวณค่า Allan Variance และ Overlapping Allan Variance	24
3.3 แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรมการคำนวณค่าความชันจากข้อมูล Allan Variance และ Overlapping Allan Variance	25
4.1 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ ของข้อมูลชุดที่ 1 โดยการคำนวณ Allan Variance	44
4.2 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ ของข้อมูลชุดที่ 1 โดยการคำนวณ Overlapping Allan Variance	44
4.3 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ ของข้อมูลชุดที่ 2 โดยการคำนวณ Allan Variance	45
4.4 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ ของข้อมูลชุดที่ 2 โดยการคำนวณ Overlapping Allan Variance	45
4.5 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ ของข้อมูลชุดที่ 3 โดยการคำนวณ Allan Variance	46
4.6 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ ของข้อมูลชุดที่ 3 โดยการคำนวณ Overlapping Allan Variance	46

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
ค.1	แสดงการเปิดโปรแกรม สำเร็จรูป AlaNoise 3.0 เพื่อใช้จำลองข้อมูล	126
ค.2	แสดงการเลือกรูปแบบสัญญาณรบกวนที่ต้องการจำลองแบบ	127
ค.3	แสดงการกำหนดขนาดของอนุกรมเวลาเท่ากับ 100	128
ค.4	แสดงการสร้างข้อมูลสัญญาณรบกวนแบบ White PM	129
ค.5	แสดงการบันทึกข้อมูลสัญญาณรบกวนที่สร้างขึ้น	130
ค.6	แสดงการสร้างข้อมูลสัญญาณรบกวนแบบ White PM จำนวน 100 ไฟล์	131
ค.7	แสดงข้อมูลสัญญาณรบกวนแบบ White PM ที่บันทึกเป็น text file	132

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ เนื่องจากการอนุเคราะห์ให้คำปรึกษาจากรองศาสตราจารย์ ดร.สรชัย พิศาลบุตร และกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ อีกทั้งยังได้รับความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูล จากที่ห้องปฏิบัติการมาตรวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยธุรกิจ บัณฑิตยที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในการสร้างงานวิจัยชิ้นนี้ และขอขอบพระคุณ คุณแม่ น้องสาว หัวหน้าครอบครัว และบุตรของผู้วิจัย ที่เป็นกำลังใจให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนในทุกๆ ด้าน เสมอมา สุดท้ายขอขอบคุณกำลังใจจากเพื่อนๆ ทุกคน ทำให้งานวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ทัตดาว แนบเนียน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในแต่ละวันเราสามารถใช้ประโยชน์จากความถี่เพื่ออำนวยความสะดวกในหลากหลายด้านไม่ว่าจะเป็นในด้านของการสื่อสาร ความบันเทิง ด้านสุขภาพ และการเดินทาง เช่น การผ่านเข้าออก สถานีรถไฟฟ้า หอพัก ลานจอด ช่องทางด่วนอัตโนมัติ ได้ใช้เทคโนโลยี RFID (Radio Frequency Identify) ส่งข้อมูลรหัสบัตรผ่านความถี่เพื่อขออนุญาตผ่านเข้าออก ในระบบ GPS เป็นระบบที่มีการบอกพิกัดที่ตั้งและเวลา โดยรับข้อมูลจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง ข้อมูลพิกัดและเวลา จะถูกส่งผ่านความถี่มายังเครื่องรับ GPS ข้อมูลนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ในระบบเครือข่ายป้องกันและรายงานแผ่นดินไหว เครื่องวัดจะมี GPS รายงานพิกัดของตนเองเพื่อแจ้งข้อมูลแผ่นดินไหวเข้าไปที่เครือข่ายคอมพิวเตอร์ เป็นการแจ้งเตือนความปลอดภัยให้ประชาชนในการเตรียมการอพยพหรือเฝ้าระวังภัยอื่นๆ ที่มักจะเกิดหลังแผ่นดินไหว อย่างเช่น สึนามิ โคลนถล่ม เป็นต้น นอกจากนี้ GPS ยังใช้ในระบบนำทางอัตโนมัติในการเดินทาง ระบบขนส่ง และทางการทหาร ในบางระบบอาจใช้ Optical Gyroscope ตรวจวัดการเลี้ยว และบอกทิศทางการเลี้ยวจากความถี่ ตัวอย่างเช่น ระบบนำวิถีของจรวด ระบบนำร่องในเรือ และอากาศยาน ประโยชน์ของความถี่ยังมีอีกหลากหลาย เช่น การติดต่อสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ ใช้คลื่นความถี่ 850/ 900/ 1800/ 1900 MHz การติดต่อผ่านวิทยุสื่อสารในเครือข่ายรถแท็กซี่ วิทยุตำรวจ หน่วยกู้ภัย หน่วยรักษาความปลอดภัย การสร้างความบันเทิงด้วยการฟังวิทยุ ในระบบคลื่นความถี่ AM และ FM การดูโทรทัศน์ ภาพและเสียงจะส่งมาในย่านความถี่ 30 – 3000 MHz ในด้านสุขภาพ เช่น การตรวจสุขภาพเบื้องต้น หรือแม้แต่ผู้ป่วยหนัก จะต้องทำการวัดอัตราการเต้นหัวใจของผู้ป่วยเพื่อตรวจสอบความผิดปกติตลอดเวลา การตรวจครรภ์เพื่อดูการเจริญเติบโตของเด็กจะใช้เครื่องอัลตราซาวด์ตรวจวิเคราะห์ เป็นต้น การประกอบอาหารด้วยเตาไมโครเวฟ หรือเตาคลิ้นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน ล้วนเป็นการใช้ประโยชน์จากความถี่ทั้งสิ้น

ความถี่เป็นรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอในแต่ละช่วงเวลา โดยจะผลิตจากวงจรออสซิลเลเตอร์ ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นสัญญาณรูปไซน์ หรือรูปสี่เหลี่ยม คุณสมบัติประการหนึ่งของวงจรผลิตความถี่ที่ดีนั้นจะต้องมีเสถียรภาพทางความถี่ หรือเรียกว่า Frequency Stability เช่น ถ้าเราสร้างวงจรผลิตความถี่ 1kHz ผลตอบสนองของวงจรนี้ก็ต้องผลิตความถี่ที่ความถี่เท่ากับ 1kHz ออกมา แต่ถ้าค่าความถี่ที่ได้คลาดเคลื่อนไปจาก 1 kHz จะแสดงถึงความไม่มีเสถียรภาพของความถี่ อันเป็นผลเนื่องมาจากสัญญาณรบกวน (Noise) ในตัววงจรเอง

วิธีการทางสถิติที่ใช้ในการหาค่าความผันแปรของข้อมูล ดั้งเดิมจะใช้ค่าความแปรปรวน(S^2) ในการพิจารณาการกระจายของข้อมูล แต่สำหรับข้อมูลในด้านความถี่นั้น จะเก็บข้อมูลเป็นรายวินาทีหรือละเอียดกว่าวินาที ทำให้มีจำนวนข้อมูลมาก การใช้ค่าความแปรปรวน(S^2) พิจารณาเสถียรภาพของความถี่นั้น จะเกิดปัญหาคือ ค่าความแปรปรวนจะเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีการจำกัด (RILEY, 2007)ตามจำนวนข้อมูลที่เก็บมา ดังนั้นไม่ว่าความถี่ที่วัดได้จะมีเสถียรภาพ หรือไม่มีก็ตาม ค่าความแปรปรวน(S^2) จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนข้อมูล สืบเนื่องจากปัญหาดังกล่าว D.W. Allan จึงได้พัฒนาค่าความแปรปรวนที่ไม่ขึ้นกับจำนวนข้อมูล ที่ชื่อว่า Allan Variance และเป็นที่ยอมรับในงานมาตรฐานด้านความถี่โดย Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) ได้แนะนำให้ใช้ค่า Allan Variance ในการหาเสถียรภาพของวงจรรออสซิลเลเตอร์ ตามมาตรฐาน IEEE 1139 นอกจากนี้ ค่า Allan Variance ยังใช้พิจารณาถึงสาเหตุของความไม่มีเสถียรภาพ โดยจะหารูปแบบของสัญญาณรบกวน (Noise Model) ได้ 5 รูปแบบ คือ White Phase Modulation, Flicker Phase Modulation, White Frequency Modulation, Flicker Frequency Modulation และ Random Walk Frequency Modulation (BARAN, KASAL,2009) เพื่อใช้เป็นแนวทางแก้ปัญหาตามรูปแบบสัญญาณรบกวนแบบต่างๆ ที่พบ นอกจากค่า Allan Variance แล้ว ยังมี Overlapping Allan Variance ที่สามารถหาความไม่มีเสถียรภาพของความถี่ และรูปแบบของสัญญาณรบกวน (BARAN, KASAL,2009) ได้ จึงเป็นที่น่าสนใจ ที่จะทำการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนโดยใช้ Allan Variance และ Overlapping Allan Variance

ข้อมูลที่ใช้เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการทำนาย รูปแบบสัญญาณรบกวนระหว่าง Allan Variance และ Overlapping Allan Variance จะใช้ข้อมูลความถี่ ที่มีรูปแบบสัญญาณรบกวน 5 แบบ คือ White Phase Modulation, Flicker Phase Modulation, White Frequency Modulation, Flicker Frequency Modulation และ Random Walk Frequency Modulation ซึ่งจำลองแบบจากโปรแกรมสำเร็จรูป AlaNoise 3.0 และวัดความถูกต้องในการทำนายโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) นอกจากนี้ ยังมีการใช้ข้อมูลจริงที่วัดได้จากวงจรรออสซิลเลเตอร์ มาพิจารณาหารูปแบบสัญญาณรบกวนโดยใช้ Allan Variance และ Overlapping Allan Variance

การวิจัยครั้งนี้ จะทำให้ทราบถึงวิธีการที่เหมาะสมในการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนของข้อมูลความถี่ที่วัดจากวงจรออสซิลเลเตอร์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาวงจรออสซิลเลเตอร์ ให้มีเสถียรภาพ และนำไปใช้งานในอุปกรณ์ที่กล่าวข้างต้น โดยหากไม่มีการพัฒนาเสถียรภาพของวงจรถ้าเกิดความถี่จะส่งผลเสียอย่างมาก เช่น การผ่านเข้าออกโดยใช้เทคโนโลยี RFID ถ้าการส่งข้อมูลรหัสบัตรผ่านความถี่เพื่อขออนุญาตผ่านเข้าออกไม่มีเสถียรภาพ จะทำให้ไม่สามารถผ่านเข้าออกได้ การนำทางโดยใช้ระบบ GPS ความไม่เสถียรของความถี่จะทำให้ไม่สามารถหาพิกัดได้ การนำทางจะผิดพลาด ทำให้หลงทาง ถ้าขาดความระมัดระวังอาจส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุ เนื่องจากสัญญาณการนำทางขาดหาย ต้องคำนวณเส้นทางใหม่ เกิดการสิ้นเปลืองทรัพยากรเชื้อเพลิง ระบบนำวิถีของจรวด ถ้าความถี่ไม่เสถียร อาจยิงพลาดเป้า ทำให้เกิดความเสียหายอย่างร้ายแรง ในการสื่อสารผ่านระบบเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ จะมีการจัดช่วงเวลาให้กับโทรศัพท์ทุกข่ายรับส่งข้อมูล ในค่าความถี่เดียวกัน หากวงจรกำเนิดความถี่ขาดเสถียรภาพ ข้อมูลที่รับส่งอาจทับกันทำให้สื่อสารกันไม่รู้เรื่อง หรืออาจส่งไปผิดเครื่องได้ ในเครื่องอัลตราซาวน์ใช้ความถี่ในการตรวจภายในร่างกายหากความถี่ไม่เสถียรอาจทำให้ภาพที่ได้จากการตรวจวัดผิดพลาด ส่งผลต่อการวินิจฉัยของแพทย์ทำให้ผู้ป่วยเกิดอันตราย และเป็นเหตุให้เกิดการฟ้องร้องของคนไข้ นอกจากนี้ยังเป็นการเริ่มต้นศึกษา การประยุกต์ใช้สถิติในงานมาตรฐานความถี่ ซึ่งเป็นประโยชน์ทั้งด้านการศึกษาในหลักสูตรมาตรวิทยา หรือหลักสูตรอื่นๆ ที่มีการสอนในเรื่องเกี่ยวกับมาตรวิทยาในหลายมหาวิทยาลัย และงานมาตรวิทยาของประเทศไทย ทำให้เห็นความสำคัญของการนำสถิติซึ่งเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูลไปใช้ในอีกแขนงหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการคำนวณหา Allan Variance และ Overlapping Allan Variance ของข้อมูลอนุกรมเวลาของความถี่จากออสซิลเลเตอร์
2. หารูปแบบสัญญาณรบกวนที่เหมาะสมกับข้อมูลโดยใช้ Allan Variance และ Overlapping Allan Variance
3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนของออสซิลเลเตอร์จาก Allan Variance และ Overlapping Allan Variance

1.3 สมมติฐานงานวิจัย

Overlapping Allan Variance มีความสามารถในการทำนาย รูปแบบสัญญาณรบกวนจากอนุกรมเวลาความถี่ของออสซิลเลเตอร์ ได้สูงกว่า Allan Variance

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1. ข้อมูลอนุกรมเวลาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นข้อมูลอนุกรมเวลาความถี่จากออสซิลเลเตอร์ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ข้อมูลที่ได้จากการจำลองแบบ(Simulation) และ ข้อมูลจริงที่วัดได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์

- 1.1 ข้อมูล fractional frequency จากการจำลองแบบ (Simulation) ที่มีรูปแบบการแจกแจงของสัญญาณรบกวน 5 แบบ จากโปรแกรมสำเร็จรูป AlaNoise ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 200 500 และ 1,000 ทำซ้ำ 100 ครั้ง
 - รูปแบบที่ 1 White Phase Modulation
 - รูปแบบที่ 2 Flicker Phase Modulation
 - รูปแบบที่ 3 White Frequency Modulation
 - รูปแบบที่ 4 Flicker Frequency Modulation
 - รูปแบบที่ 5 Random Walk Frequency Modulation

- 1.2 ข้อมูลจริงที่วัดได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์ ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 5,000 ทำซ้ำ 3 ครั้ง

2. วิธีการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนของออสซิลเลเตอร์ ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ใช้หลักการของแผนภาพ Sigma-tau สร้างสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น Allan Variance และ Overlapping Allan Variance เทียบกับ เวลาเฉลี่ย แล้วนำค่าความชันที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวน

3. ประสิทธิภาพในการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนของออสซิลเลเตอร์ ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จะตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE)

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

ประชากรและตัวอย่าง

ประชากร คือ ข้อมูลอนุกรมเวลาความถี่ของออสซิลเลเตอร์

- ตัวอย่าง คือ
1. ข้อมูลอนุกรมเวลาความถี่ของออสซิลเลเตอร์ที่ได้จากการจำลองแบบ
 2. ข้อมูลจริงที่วัดได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์

วิธีการดำเนินการศึกษา

1. ศึกษาวิธีการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนทั้ง 2 วิธี คือ Allan Variance และ Overlapping Allan Variance
2. เก็บรวบรวมข้อมูลจากการจำลองแบบ และเก็บข้อมูลจริงจากวงจรออสซิลเลเตอร์
3. เขียนโปรแกรมคำนวณความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง ค่า log เวลาเฉลี่ย กับ log ของค่ารากที่สองของ Allan Variance และ Overlapping Allan Variance เพื่อหาความชัน แล้วนำไปทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวน 5 รูปแบบ
4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวน จากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ของค่าความชันของเส้นกราฟที่ได้จาก Allan Variance และ Overlapping Allan Variance

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงวิธีการหารูปแบบสัญญาณรบกวนของข้อมูลอนุกรมเวลาความถี่จากวงจรออสซิลเลเตอร์ โดย Allan Variance
2. ทราบถึงวิธีการหารูปแบบสัญญาณรบกวนของข้อมูลอนุกรมเวลาความถี่จากวงจรออสซิลเลเตอร์ โดย Overlapping Allan Variance
3. ทราบถึงวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าในการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนของข้อมูลอนุกรมเวลาความถี่จากวงจรออสซิลเลเตอร์ ระหว่าง Allan Variance และ Overlapping Allan Variance
4. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาค้นคว้า วิจัย วิธีการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนจากข้อมูลอนุกรมเวลาความถี่ของออสซิลเลเตอร์แบบอื่นๆ ที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้จะแบ่งเนื้อหาออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการหารูปแบบสัญญาณรบกวนของข้อมูลความถี่
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการหารูปแบบสัญญาณรบกวนข้อมูลความถี่

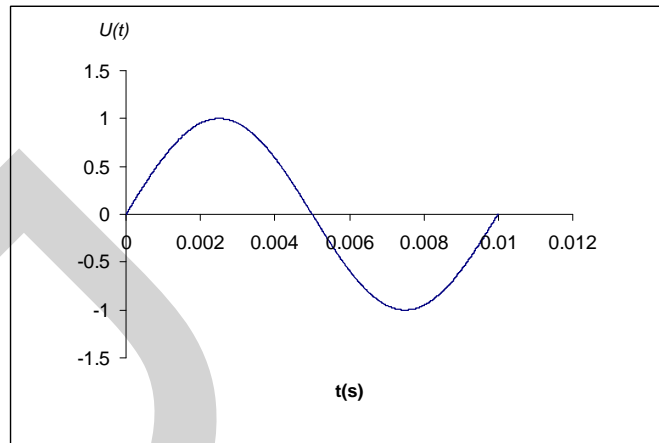
2.1.1 ความถี่ของวงจรรออสซิลเลเตอร์

ความถี่ที่วัดได้จากวงจรรออสซิลเลเตอร์ คือ ความถี่ที่เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ในรูปความต่างศักย์ มีองค์ประกอบสำคัญ 2 ส่วน คือ ความต่างศักย์สูงสุด (แอมพลิจูด) และมุมเฟสของสัญญาณ ซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบสมการได้ดังนี้

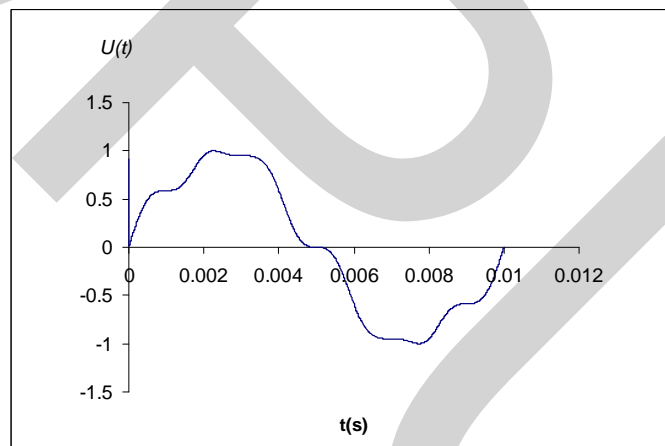
$$U(t) = [U_0 + \varepsilon(t)] \sin[2\pi f_0 t + \phi(t)] \quad (2.1)$$

เมื่อ	$U(t)$	คือ ความต่างศักย์ ณ เวลาใดๆ
	U_0	คือ ความต่างศักย์สูงสุด หรือ แอมพลิจูดของสัญญาณ
	$\varepsilon(t)$	คือ ความคลาดเคลื่อนของแอมพลิจูด
	f_0	คือ ความถี่ของสัญญาณ
	t	คือ เวลา
	$\phi(t)$	คือ ความคลาดเคลื่อนของเฟส

สัญญาณความถี่ที่ได้จากวงจรรออสซิลเลเตอร์ส่วนใหญ่จะเป็นรูปไซน์ (sin) ในการวัดค่าความถี่ตามทฤษฎีถ้าไม่มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น สัญญาณที่ได้จะมีลักษณะสัญญาณเป็นรูปไซน์โดยสมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เป็นสัญญาณรูปไซน์ที่ความถี่ 100 เฮิรตซ์ ค่าความต่างศักย์สูงสุด 1 โวลต์ และในรูปที่ 2.2 จะแสดงสัญญาณรูปไซน์ที่มีความคลาดเคลื่อนในด้านเฟสรวมอยู่ด้วย ทำให้รูปแบบของสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย แต่ยังคงมีลักษณะรูปของสัญญาณไซน์อยู่ ต่างกันตรงที่ตำแหน่งเฟสต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงไปจากสัญญาณในรูปที่ 2.1

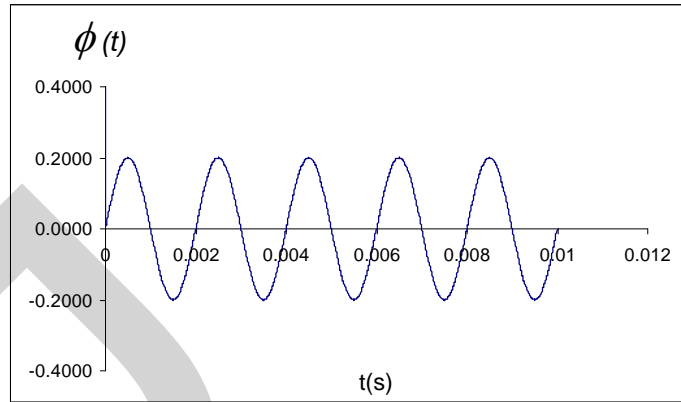


รูปที่ 2.1 สัญญาณรูปไซน์ที่ไม่มีความคลาดเคลื่อนทางแอมพลิจูดและมุมเฟส



รูปที่ 2.2 สัญญาณรูปไซน์ที่มีความคลาดเคลื่อนทางมุมเฟส

การเปลี่ยนแปลงไปของสัญญาณรูปไซน์ที่มีความคลาดเคลื่อนทางมุมเฟส สามารถเขียนกราฟของค่าของความคลาดเคลื่อน ($\phi(t)$) ที่เกิดขึ้นเทียบกับเวลาดังรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงถึงรูปแบบของค่าความคลาดเคลื่อน ($\phi(t)$) ที่เป็นฟังก์ชันไซน์ ที่ความถี่ 500 เฮิรตซ์

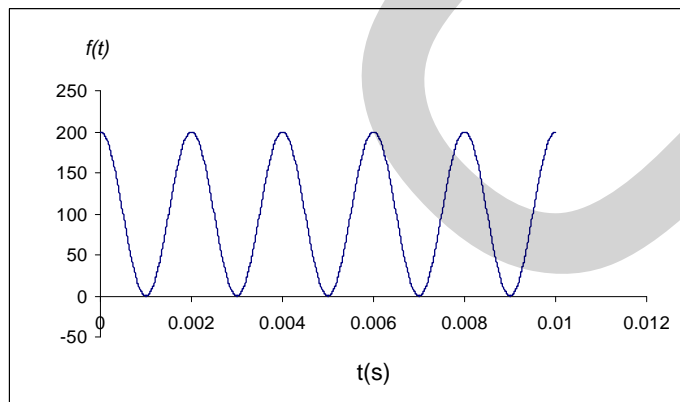


รูปที่ 2.3 รูปแบบของค่าของความคลาดเคลื่อน($\phi(t)$)

รูปแบบของค่าของความคลาดเคลื่อน($\phi(t)$) สามารถคำนวณค่าความถี่ ณ เวลาใดๆ $f(t)$ ได้ตามสมการ

$$f(t) = f_0 + \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \phi(t) \quad (2.2)$$

สมมติ สมการความคลาดเคลื่อนคือ $\phi(t) = 0.2\sin 1000\pi t$ ค่าความถี่ ณ เวลาใดๆ ที่สอดคล้องกับรูปแบบความคลาดเคลื่อน แสดงได้ดังรูปที่ 2.4 จากตัวอย่างรูปแบบของความคลาดเคลื่อนในเชิงเฟส ที่มีรูปแบบเป็นสมการไซน์ ทำให้ความถี่ ณ เวลาใดๆ ของสัญญาณอยู่ในรูปของสมการคอส (cos)



รูปที่ 2.4 ความถี่ $f(t)$ ที่ได้จากสมการความคลาดเคลื่อน $\phi(t) = 0.2\sin 1000\pi t$

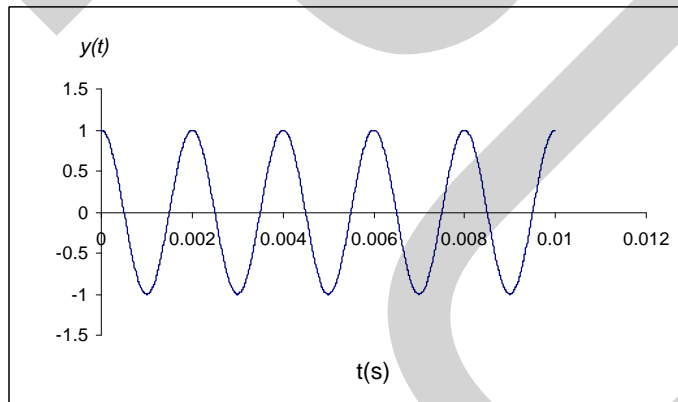
2.1.2 เสถียรภาพของความถี่ (Frequency Stability)

การพิจารณาเสถียรภาพของความถี่ของวงจรกำเนิดความถี่ มีพื้นฐานจากการพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนของเฟสสัญญาณความถี่ ความคลาดเคลื่อนในด้านความถี่นี้สามารถนำมาคำนวณค่า fractional frequency ได้ดังสมการ

$$y(t) = \frac{f(t) - f_0}{f_0} \tag{2.3}$$

เมื่อ $y(t)$ คือ สัดส่วนเบี่ยงเบนของความถี่ (fractional frequency)
 $f(t) - f_0$ คือ ความถี่ที่เบี่ยงเบนไปจากค่าความถี่ปกติ
 f_0 คือ ความถี่ปกติ (nominal frequency)

การหาค่า fractional frequency ของสัญญาณความถี่ที่มีความคลาดเคลื่อนทางมุมเฟส ในรูปที่ 2.2 สามารถแสดงค่า fractional frequency ที่เวลาต่างๆ เป็นฟังก์ชันตรีโกณมิติรูปที่ 2.5 จากตัวอย่างข้างต้นได้แสดงให้เห็นว่า ถ้าความคลาดเคลื่อนทางเฟสอยู่ในรูปสมการตรีโกณมิติ ทำให้ค่าของ fractional frequency มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะรูปสมการตรีโกณมิติเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.5 ค่า fractional frequency ณ เวลาต่างๆ

การเก็บข้อมูลอนุกรมเวลาของความถี่เพื่อนำมาศึกษาเสถียรภาพนั้น จะทำการสุ่มตัวอย่าง โดยการวัดค่าความถี่แล้วคำนวณค่า fractional frequency ตามสมการที่ 2.3 ในช่วงระยะเวลาจำกัดหนึ่งๆ ที่เรียกว่า sampling time (τ_0) ได้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลอนุกรมเวลาที่เวลา τ_0 ซึ่งในการพิจารณาเสถียรภาพนั้น นอกจากสุ่มตัวอย่างในช่วง sampling time แล้ว อาจทำการสุ่มตัวอย่างในช่วงเวลาที่มากขึ้น เรียกว่า เวลาเฉลี่ย (τ) ค่าข้อมูลที่สุ่มได้ จะเป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลอนุกรมเวลาที่เวลา (τ) โดยเวลาเฉลี่ย(τ) นี้มีความสัมพันธ์กับค่า sampling time (τ_0) ดังสมการ

$$\tau = m \tau_0 \tag{2.4}$$

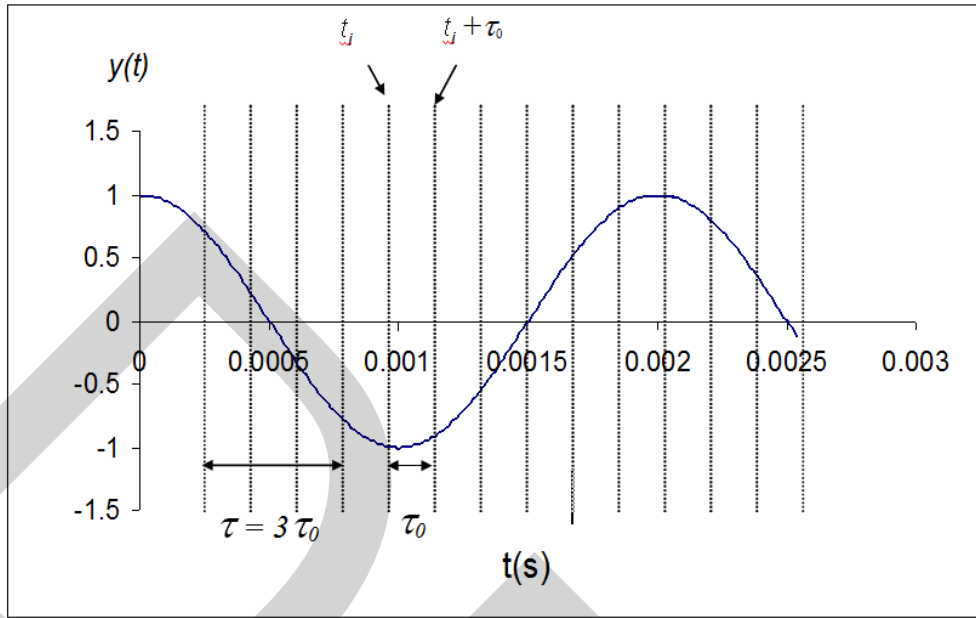
- เมื่อ
- m คือ averaging factor โดยที่ $m = 1, 2, 3, \dots$
 - τ_0 คือ sampling time (measurement interval)
 - τ คือ เวลาเฉลี่ย (averaging time)

การหาค่าเฉลี่ยของ fractional frequency $y(t)$ ในช่วงเวลาเฉลี่ย τ_0 เป็นไปตามสมการดังนี้

$$\bar{y}_i = \frac{1}{\tau_0} \int_{t_i}^{t_i + \tau_0} y(t) dt \tag{2.5}$$

- เมื่อ
- \bar{y}_i คือ ค่าเฉลี่ยของ fractional frequency ในช่วงเวลา ตั้งแต่ t_i ถึง $t_i + \tau_0$
 - t_i คือ เวลา ณ จุดเวลาใดๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา t_i และ τ_0 ในการหาค่าเฉลี่ย \bar{y}_i ตามสมการที่ 2.5 นั้น ถ้าพิจารณาในแต่ละช่วงห่างที่เท่าๆ กัน เท่ากับ τ_0 ค่าเฉลี่ย \bar{y}_i ในช่วงเวลาที่กว้างกว่า τ_0 สามารถทำได้โดยการขยายช่วงอินทิเกรตให้กว้างขึ้น เช่น $\tau = 3 \tau_0$ ที่แสดงในรูปที่ 2.6 คือ การขยายเวลาออกไป 3 เท่าของ τ_0 หรือ ค่า averaging factor เท่ากับ 3



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของ t_j และ τ_0 ในการหาค่า \bar{y}_i

การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของสัญญาณความถี่ที่เกิดขึ้นจากสัญญาณรบกวนในเชิงเฟส (phase noise) จะใช้เป็นแนวทางของการศึกษาเสถียรภาพของความถี่ โดยนำความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมาใช้เป็นวิธีวิเคราะห์รูปแบบสัญญาณรบกวน (noise model) หากแหล่งกำเนิดใดพบรูปแบบสัญญาณรบกวนจะเป็นข้อบ่งชี้ถึงความไม่มีเสถียรภาพของความถี่ เพราะสัญญาณความถี่จะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามรูปแบบสัญญาณรบกวนที่พบ แต่ถ้าแหล่งกำเนิดความถี่ใด ไม่พบรูปแบบสัญญาณรบกวน แสดงว่า แหล่งกำเนิดนั้นมีเสถียรภาพดี สัญญาณความถี่จากแหล่งกำเนิดนั้นไม่โดนรบกวน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบไปจากสัญญาณปกติ

การวัดเสถียรภาพของข้อมูลความถี่จะพิจารณาจากความผันแปรไปของข้อมูลความถี่จากค่าความถี่ปกติ โดยจะใช้ค่าวัดการกระจายทางสถิติ ที่เรียกว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) หรือ รากที่สองของความแปรปรวน ดังนั้น เสถียรภาพของความถี่มักจะพิจารณาได้จากขนาดของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยแหล่งกำเนิดความถี่ที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ แสดงถึงการมีเสถียรภาพของแหล่งกำเนิดความถี่อยู่ในระดับสูง และในทางตรงกันข้าม แหล่งกำเนิดที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูง แสดงถึงการมีเสถียรภาพต่ำ

2.1.3 ความแปรปรวน(Variance)

ความแปรปรวนเป็นค่าสถิติที่ใช้ในการพิจารณารูปแบบของความคลาดเคลื่อนในเชิงความถี่ของแหล่งกำเนิดสัญญาณความถี่ ความแปรปรวนที่ใช้แสดงความผันผวนของความถี่มีหลายชนิด เช่น ความแปรปรวนมาตรฐาน(S^2) ใช้ในการแสดงความผันแปรเทียบกับค่าเฉลี่ยของข้อมูล ความแปรปรวนถูกนำมาใช้เพื่อแสดงลักษณะของความผันแปรของแหล่งกำเนิดความถี่ ความแปรปรวนเป็นค่าโมเมนต์ที่ 2 รอบค่าเฉลี่ย นิยมใช้ในการวัดการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลรอบค่าเฉลี่ยของข้อมูล โดยหาจากผลรวมกำลังสองของความแตกต่างระหว่าง ข้อมูลแต่ละค่ารอบค่าเฉลี่ยของข้อมูล แล้วหารด้วยจำนวนข้อมูลลบด้วยหนึ่ง หรือค่าองศาแห่งความอิสระ (degree of freedom) โดยใช้สูตรการคำนวณดังนี้

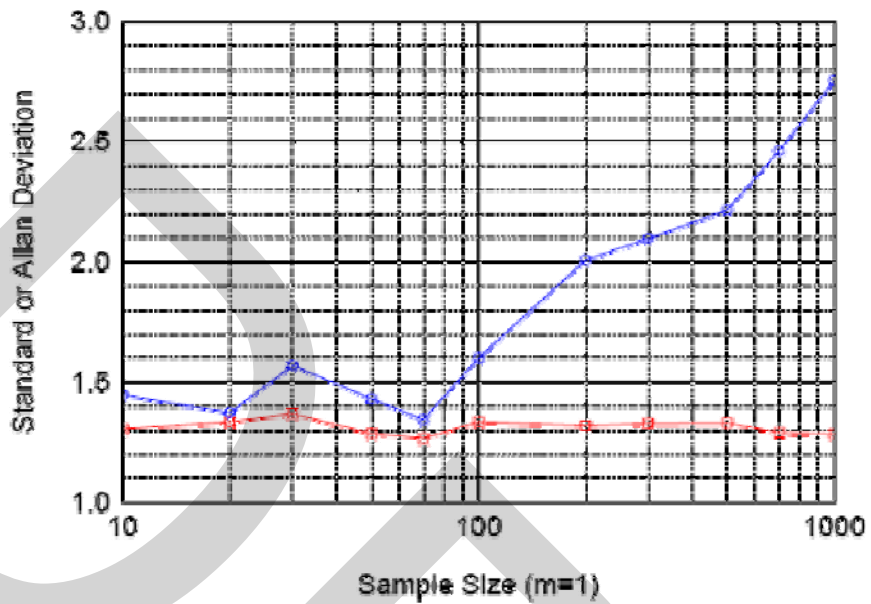
$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1} \tag{2.6}$$

เมื่อ y_i คือ ค่า fractional frequency
 n คือ จำนวนข้อมูล
 \bar{y} คือ ค่าเฉลี่ยของ fractional frequency

การอธิบายความหมายของความแปรปรวน นิยมใช้ค่ารากที่สองของค่าความแปรปรวนหรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S) เป็นตัวอธิบาย เนื่องจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีหน่วยเดียวกับข้อมูลที่นำมาศึกษา แต่สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของความถี่นั้น จะไม่แนะนำให้หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาใช้ในการวัด เนื่องจากในบางรูปแบบของสัญญาณรบกวน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานนี้จะไม่ลู่เข้าเมื่อขนาดตัวอย่างมีค่ามากขึ้น จากปัญหาดังกล่าว จึงมีผู้นำค่าวัดความผันแปรแบบอื่นๆ มาใช้ ซึ่งความแปรปรวนชนิดหนึ่งที่นิยมใช้มากในการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของความถี่คือ Allan Variance

การเปรียบเทียบการลู่เข้าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และ Allan Deviation แสดงดังรูปที่ 2.7 โดยกราฟเส้นบนเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ส่วนกราฟเส้นล่างเป็น Allan Deviation (ADEV) สำหรับสัญญาณรบกวนแบบ Flicker Frequency Modulation จะเห็นว่า Allan Deviation จะมีความคงที่มากกว่า เมื่อขนาดตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น (RILEY W. J.2007)

Convergence of Standard & Allan Deviation for F FM Noise



รูปที่ 2.7 การเปรียบเทียบการลู่เข้าสู่ค่าจำกัดของ Allan Deviation กับ Standard Deviation

2.1.4 Allan Variance

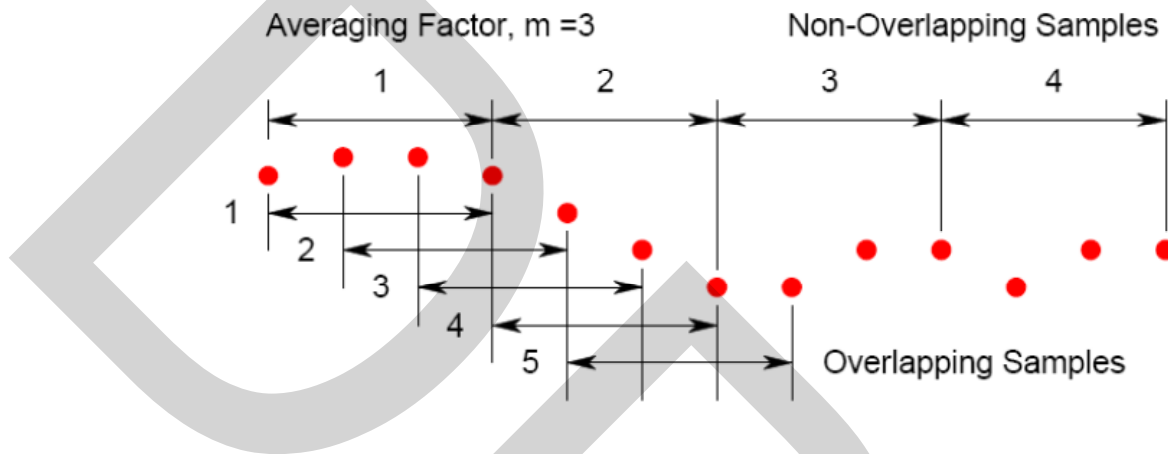
Allan Variance เป็นค่าสถิติที่นิยมใช้ในการวัดเสถียรภาพของความถี่ในโดเมนเวลา โดยจะวัดความผันแปรของ fractional frequency เช่นเดียวกับค่า standard variance (s^2) แต่มีข้อดีกว่าตรงที่ค่า Allan Variance จะลู่เข้าเกือบทุกรูปแบบของสัญญาณรบกวน Allan Variance แบบดั้งเดิมหรือที่เรียกว่า non-overlapped Allan เป็นการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบไม่ใช้ข้อมูลซ้อนทับกัน โดยจะพิจารณาทีละ 2 ตัวอย่าง (two sample) มีสูตรการคำนวณดังสมการ

$$\sigma_y^2(\tau) = \frac{1}{2(M-1)} \sum_{i=1}^{M-1} [y_{i+1} - y_i]^2 \quad (2.7)$$

- เมื่อ
- $\sigma_y^2(\tau)$ คือ Allan variance
 - M คือ จำนวน fractional frequency ทั้งหมด
 - y_i คือ ค่าเฉลี่ยของ fractional frequency ในลำดับที่ i
 - τ คือ ค่า sampling interval หรือ measurement interval

2.1.5 Overlapping Allan Variance

การคำนวณค่าความแปรปรวนโดยใช้ข้อมูลที่มีการซ้อนทับกัน (Overlapped data) ดังรูปที่ 2.8 จะได้จำนวนข้อมูลมากกว่า การใช้ข้อมูลแบบไม่ซ้อนทับ (Non Overlapped data) และเมื่อมีการซ้อนทับมากที่สุด คือ เลื่อนข้อมูลที่ซ้อนทับเพียงหนึ่งตำแหน่ง จะเป็นกรณีที่ได้จำนวนชุดข้อมูลสูงที่สุด (Fully Overlapping data)



รูปที่ 2.8 ความแตกต่างระหว่าง Overlapping และ Non Overlapping Allan

การหาค่า Allan Variance หากมีการใช้ข้อมูลซ้อนทับกัน จะได้ค่าความแปรปรวนที่ เรียกว่า Overlapping Allan Variance ดังสมการที่ 2.8

$$\sigma_y^2(\tau) = \frac{1}{2m^2(M-2m+1)} \sum_{j=1}^{M-2m+1} \left\{ \sum_{i=j}^{j+m-1} [y_{i+m} - y_i] \right\}^2 \quad (2.8)$$

- เมื่อ
- $\sigma_y^2(\tau)$ คือ Overlapping Allan Variance
 - M คือ จำนวน fractional frequency ทั้งหมด
 - m คือ averaging factor
 - y_i คือ ค่าเฉลี่ยของ fractional frequency ในลำดับที่ i
 - y_{i+m} คือ ค่าเฉลี่ยของ fractional frequency ในลำดับที่ i+m
 - τ คือ ค่า sampling interval หรือ measurement interval

2.1.6 รูปแบบสัญญาณรบกวน (Noise Model)

การพิจารณารูปแบบของสัญญาณรบกวนนี้ เดิมจะใช้แผนภาพความสัมพันธ์ของ Power Spectrum Density ($S_y(f)$) กับค่า Fourier Frequency (f) แบ่งประเภทสัญญาณรบกวน โดยค่า $S_y(f) \sim f^\alpha$ ความสัมพันธ์ของ ($S_y(f)$) และ f นี้สามารถบอกถึงประเภทของสัญญาณรบกวนได้ดังแสดงค่าในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบสัญญาณรบกวนและค่า α

รูปแบบสัญญาณรบกวน	α
White Phase Modulation	2
Flicker Phase Modulation	1
White Frequency Modulation	0
Flicker Frequency Modulation	-1
Random walk Frequency Modulation	-2

2.1.7 แผนภาพ Sigma-Tau (Sigma – Tau Plots)

การแสดงความถี่รบกวนของความถี่นั้น นอกจากจะใช้ Power Spectrum Density จากรูปแบบของสัญญาณรบกวนในโดเมนของความถี่แล้ว ยังสามารถใช้แผนภาพ Sigma-Tau พิจารณารูปแบบของสัญญาณรบกวนได้อีกด้วย ซึ่งแผนภาพนี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยรบกวนของความถี่ $\sigma_y(\tau)$ กับ เวลา (τ) ดังนี้

$$\sigma_y^2(\tau) = h(\mu)\tau^\mu$$

$$\log \sigma_y(\tau) = \frac{\log h(\mu)}{2} + \frac{\mu}{2} \log \tau \tag{2.9}$$

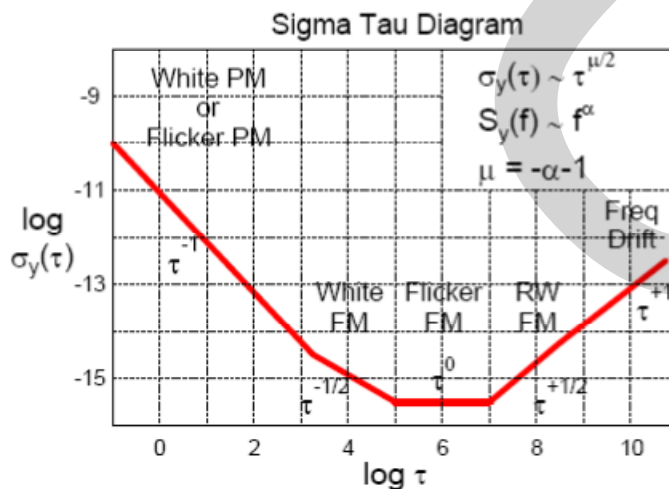
- เมื่อ
- $\sigma_y(\tau)$ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Allan
 - τ คือ ค่า sampling interval หรือ measurement interval
 - $h(\mu)$ คือ Transfer function

แผนภาพระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ ดังรูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเสถียรภาพของความถี่ และรูปแบบของสัญญาณรบกวนในวงจรถ้าเกิดความถี่ ในลักษณะสมการเชิงเส้นตรง โดยค่าความชันของกราฟมีเท่ากับ $\frac{\mu}{2}$ ค่าความชันนี้ สามารถแสดงชนิดของสัญญาณรบกวนที่มีอยู่ในวงจรถ้าเกิดความถี่ได้พร้อมกันในหนึ่งแผนภาพ เนื่องจากในแต่ละรูปแบบของสัญญาณรบกวนมีค่าความชันของสมการเส้นตรงไม่เท่ากัน ทำให้แผนภาพแสดงรูปภาพในลักษณะเส้นตรงที่มีความชันต่างๆ ต่อกัน ตามรูปแบบสัญญาณรบกวนภายในแหล่งกำเนิดความถี่ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่า μ และรูปแบบของสัญญาณรบกวนเป็นดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบสัญญาณรบกวน และค่า μ

รูปแบบสัญญาณรบกวน	μ
White Phase Modulation	-2
Flicker Phase Modulation	-2
White Frequency Modulation	-1
Flicker Frequency Modulation	0
Random walk Frequency Modulation	1

จากรูปแผนภาพของ $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ ในรูปที่ 2.9 จะไม่สามารถแยกความแตกต่างของสัญญาณรบกวนในรูปแบบ White Phase Modulation กับ Flicker Phase Modulation ได้ เนื่องจากค่า μ มีค่าใกล้เคียงกัน คือ -2 แต่แผนภาพสามารถบอกได้เพียงการมีของรูปแบบของสัญญาณรบกวนทั้งสองในแหล่งกำเนิด หรือ มีรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งเท่านั้น



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$

2.1.8 วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method)

วิธีกำลังสองน้อยที่สุด เป็นเทคนิคในการหาตัวประมาณจากสมการเส้นตรงที่ให้ค่าผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อน ($\sum e_i^2$) ต่ำที่สุด ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับศูนย์ และสมการที่ได้จะผ่านจุด \bar{X} และ \bar{Y} เสมอ โดยการประมาณสมการเส้นตรงจะอยู่ในรูปแบบ $\hat{y} = a + bx$ และสามารถหาค่าความชัน (b) จากสมการที่ 2.10 และจุดตัดแกน y จากสมการที่ 2.11

$$b = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} \tag{2.10}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \tag{2.11}$$

2.1.9 ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Mean Square Error: MSE)

เป็นค่าที่ใช้วัดความถูกต้องของการทำนาย โดยการหาค่าเฉลี่ยผลรวมกำลังสองของค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าตามทฤษฎี ถ้าค่า MSE ที่ได้มีค่าน้อย แสดงว่ามีความผิดพลาดในการทำนายต่ำ แต่ถ้าค่า MSE ที่ได้มีค่ามาก แสดงว่า มีความผิดพลาดในการทำนายสูง ค่า MSE คำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n error^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n} \tag{2.12}$$

เมื่อ	n	คือ จำนวนค่าความคลาดเคลื่อน
	y_i	คือ ค่าจริง
	\hat{y}_i	คือ ค่าพยากรณ์
	error	คือ ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความถี่มีประโยชน์ในหลากหลายด้าน เช่น ด้านการสื่อสารผ่านดาวเทียม และเครือข่ายทางด้านการแพทย์ ด้านความบันเทิง ด้านสุขภาพ ด้านการเดินทาง เป็นต้น ดังนั้นความถี่มีความสำคัญสำหรับกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์เป็นอย่างยิ่ง ความถี่ที่ดีหรือความถี่ที่มีเสถียรภาพจะนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างสมบูรณ์ ในทางตรงข้ามความถี่ที่ไม่ดีหรือความถี่ที่ไม่มีเสถียรภาพอาจสร้างปัญหาในการนำไปใช้ได้ ความถี่ที่มีเสถียรภาพนั้น หมายถึง ความถี่ที่มีค่าเท่ากับค่าที่กำหนด เช่น ตัวเราท์เตอร์(Router) ในระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต กำหนดความถี่ที่ 2.40 GHz ในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ลูกข่ายกับตัวเราท์เตอร์ จะต้องใช้ความถี่เท่ากับ 2.40 GHz แต่ในทางปฏิบัติย่อมมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น ความถี่ที่กำหนดจึงต้องยอมให้มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ระดับหนึ่งที่ยังยอมรับได้ เช่น 2.40 ± 0.05 GHz ค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.05 นี้ เป็นค่าที่ยอมรับได้สำหรับการสื่อสารในระบบเครือข่ายนี้ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเกิดจากสัญญาณรบกวนที่ผู้ผลิตไม่ได้เอามาให้เกิดขึ้นแต่ไม่สามารถกำจัดให้หมดไปได้ ผลของสัญญาณรบกวนที่ทำให้ความถี่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่กำหนด อาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น อุณหภูมิ หรือการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ กระแสไฟฟ้าในวงจรกำเนิดความถี่ หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในวงจร เป็นต้น ดังนั้นความถี่ที่มีเสถียรภาพสามารถพิจารณาได้จากสัญญาณรบกวนที่มีในวงจร ทั้งในด้านขนาดและชนิดของสัญญาณรบกวน

วิธีการที่นิยมใช้ในการพิจารณาสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น วิธีหนึ่งที่ได้รับคามนิยม คือ Power Spectral Density ($S_y(f)$) ในโดเมนของความถี่ โดยการพิจารณากราฟ Power Spectral Density ของสัดส่วนความเบี่ยงเบนทางความถี่กับค่าความถี่ วิธีนี้สามารถระบุได้ทั้งชนิดและขนาดของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ตามทฤษฎีแล้ว Power Spectral Density สามารถจะบ่งชี้ชนิดของสัญญาณรบกวนได้ทั้งหมด 5 รูปแบบ คือ White Phase Modulation, Flicker Phase Modulation, White Frequency Modulation, Flicker Frequency Modulation และ Random walk Frequency Modulation นอกจากวิธี Power Spectral Density Law แล้ว การระบุรูปแบบสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นยังมีการนำค่า Allan Variance มาสร้างแผนภาพ Sigma-Tau เพื่อใช้ในการพิจารณารูปแบบสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในวงจรกำเนิดความถี่ของอุปกรณ์อีกด้วย ซึ่งจากการศึกษาของ J.A. Barnes (1971) พบว่า ทั้งสองวิธีให้ผลไม่แตกต่างกัน

Allan Variance เป็นค่าสถิติที่คำนวณโดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลา 2 ลำดับที่ต่อเนื่องกัน บางครั้งเรียกว่า Two Sample Variance ซึ่ง Allan Variance ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหของ ความแปรปรวนดั้งเดิม (Classic Variance: s^2) ที่นำมาใช้กับข้อมูลอนุกรมเวลาทางด้านการวัด ค่าความถี่ เนื่องจากการใช้ s^2 จะมีปัญหาการเพิ่มขึ้นอย่างไม่จำกัดตามจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลา การเพิ่มขึ้นอย่างไม่จำกัดนี้ จะเกิดกับข้อมูลสัดส่วนความถี่ที่มีสัญญาณรบกวนแบบ flicker noise หรือ $1/f$ noise แฝงอยู่ (T.N.Siraya, 2001) ประโยชน์ของ Allan Variance นอกจากใช้พิจารณา รูปแบบสัญญาณรบกวนแล้ว ยังใช้บอกความคลาดเคลื่อนของความถี่ ตามคำแนะนำของ Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) อีกด้วย นอกจากนี้ยังมีการนำ Allan Variance ไปใช้ประโยชน์ในอีกหลายด้าน เช่น การสื่อสารผ่านดาวเทียม สามารถนำมาวิเคราะห์หาอัตรารับส่ง ข้อมูล และระยะทางในการสื่อสารโดยการจำลองแบบข้อมูลความถี่จากวงจรออสซิลเลเตอร์ใน ดาวเทียม ใช้ Allan variance พิจารณาสัญญาณรบกวนเพื่อวิเคราะห์หาผลดังกล่าว (O. Baran และ M. Kasal, 2009) สำหรับการสื่อสารผ่านเครือข่าย Allan Variance สามารถวิเคราะห์สัญญาณ รบกวนแบบเฟส และสัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุณหภูมิได้อย่างถูกต้อง (O. Baran และ M. Kasal, 2010) ส่วนในด้านดาราศาสตร์มีการประยุกต์ Allan variance ในการปรับปรุงประสิทธิภาพกล้องดู ดาว โดย R.Schieder และคณะ (2008) ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงจรถ่ายภาพความถี่ซึ่ง เป็นหัวใจหลักของกล้องดูดาว พบว่า สัญญาณรบกวนมีค่าต่ำลงเมื่อเวลาผ่านไป 50 วินาที ด้วย ความคลาดเคลื่อน 1 MHz โดยความถี่หลักของวงจรถ่ายภาพที่ 3 GHz จากค่าพารามิเตอร์เวลาที่ได้ ทดลองถ่ายภาพบนผิวดาวอังคาร ผลการถ่ายภาพแสดงให้เห็นลมบนดาวอังคารอย่างชัดเจน นอกจากการพิจารณาความถี่ของวงจรถ่ายภาพในกล้องดูดาวแล้ว J.Chen และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษาการเลือกตัวกำเนิดความถี่ที่เหมาะสมของตัวรับรู้แสงแบบ Superconducting Hot Electron Bolometer ระหว่าง Gunn ออสซิลเลเตอร์ และ อินฟราเรดเลเซอร์ ผลการวิเคราะห์ พบว่า Gunn ออสซิลเลเตอร์ให้ประสิทธิภาพดีกว่าอินฟราเรดเลเซอร์ จากการพิจารณาในด้านระยะเวลา พบว่า สัญญาณรบกวนต่ำที่สุดที่เวลา 20 วินาที ส่วนในด้านมาตรวิทยา Allan variance ได้ถูกใช้ใน งานมาตรฐานด้านความถี่ เช่น L. Arceo-Miquel และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเครื่อง กำเนิดความถี่แบบผลึกที่มีการควบคุมเสถียรภาพโดยสัญญาณ 1 Hz จากดาวเทียม GPS ทำการ วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ด้านเวลาของวิธีการกรองสัญญาณ 1 Hz เพื่อลดสัญญาณรบกวนแบบ finite-impulse-respond และ smoothing low pass พบพารามิเตอร์ที่เหมาะสมทำให้เสถียรภาพ สูงขึ้นจนอยู่ระดับเดียวกับ Oven Crystal Oscillator ที่มีเสถียรภาพในระดับที่สูงกว่า นอกจากงาน

มาตรฐานความถี่แล้วในด้านมาตรฐานความต่างศักย์ Allan variance ยังสามารถพิจารณาประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดความต่างศักย์ได้ โดยการจำลองแบบข้อมูลความถี่ที่ป้อนให้แก่แหล่งกำเนิดความต่างศักย์มาตรฐานโจเซฟสัน หลักของมาตรฐานความต่างศักย์นี้ คือการแปลงความถี่เป็นความต่างศักย์ จากการจำลองแบบตามทฤษฎีของโจเซฟสัน พบว่า มาตรฐานความต่างศักย์แบบโจเซฟสันมีสัญญาณรบกวนในรูปแบบ White noise และ Flicker noise (Yi-hua Tang และคณะ (2011)) และสำหรับในวิทยาการของหุ่นยนต์ที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน Allan variance ยังถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ได้ Allan variance ใช้พิจารณาสัญญาณรบกวนในตัวรับรู้ความเฉื่อย ที่ใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ทั้งตำแหน่ง ทิศทาง และความเร็ว ผลการวิเคราะห์สัญญาณรบกวนในตัวรับรู้ความเฉื่อยดังกล่าว พบรูปแบบ Random Walk และ bias ทำให้สามารถหาวิธีกำจัดสัญญาณรบกวนดังกล่าวเพื่อปรับปรุงการเคลื่อนที่ให้แม่นยำขึ้น (N. El-Sheimy และคณะ (2008)) จากตัวอย่างข้างต้นแสดงให้เห็นการนำ Allan Variance ไปประยุกต์ใช้งานในหลากหลายสาขา

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลแยกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลที่ได้จากการจำลองแบบ (Simulation) และข้อมูลจริงที่ได้จากวงจรรอสซิลเลเตอร์ การดำเนินงานวิจัยมีรายละเอียดและขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นข้อมูลอนุกรมเวลาความถี่ของวงจรรอสซิลเลเตอร์ เก็บรวบรวมข้อมูลตัวอย่างแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่

3.1.1 ข้อมูลอนุกรมเวลาความถี่ (fractional frequency) ที่สร้างขึ้นโดยการจำลองแบบสัญญาณรบกวน 5 รูปแบบ ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป AlaNoise 3.0 (ฟรีดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ <http://www.alamath.com>) ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 200 500 และ 1,000 ทำซ้ำ 100 ครั้ง การจำลองแบบสัญญาณรบกวน 5 แบบ ได้แก่

รูปแบบที่ 1 : White Phase Modulation

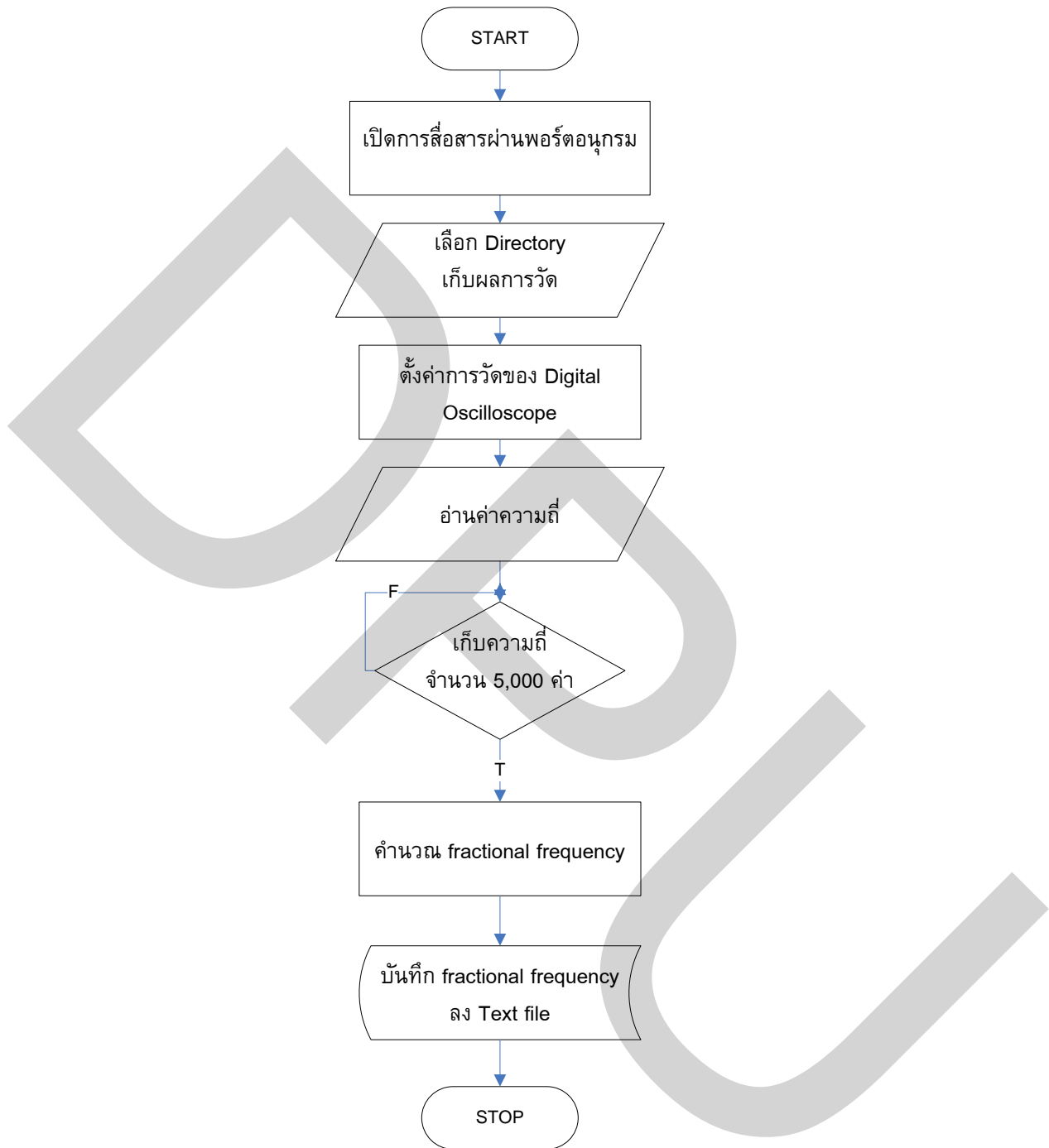
รูปแบบที่ 2 : Flicker Phase Modulation

รูปแบบที่ 3 : White Frequency Modulation

รูปแบบที่ 4 : Flicker Frequency Modulation

รูปแบบที่ 5 : Random Walk Frequency Modulation

3.1.2 ข้อมูลอนุกรมเวลาของความถี่จริง ใช้ความถี่ที่วัดได้จาก Digital Oscilloscope ของบริษัท Trektronix รุ่น TDS 220 มีค่า bandwidth 100 MHz 1G sample/s ในการเก็บข้อมูลนี้ ได้เชื่อมต่อ Digital Oscilloscope กับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS 232 และเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมให้ Digital Oscilloscope วัดข้อมูลความถี่ทุกช่วงเวลา 100 มิลลิวินาที ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 5,000 ทำซ้ำ 3 ครั้ง แผนผังการทำงานของโปรแกรมแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของโปรแกรมวัดความถี่จากวงจรออสซิลเลเตอร์

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.2.1 ข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน ทำการพัฒนาโปรแกรมเพื่อคำนวณค่าต่าง ๆ ดังนี้

3.2.1.1 คำนวณค่า Allan Variance และ Overlapping Allan Variance (ดังรูปที่ 3.2)

3.2.1.2 นำค่า Allan Variance และค่า Overlapping Allan Variance ที่ได้มาสร้างสมการเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยใช้หลักการของแผนภาพ Sigma-Tau แล้วคำนวณหาค่าความชัน ($\frac{\mu}{2}$) (ดังรูปที่ 3.3)

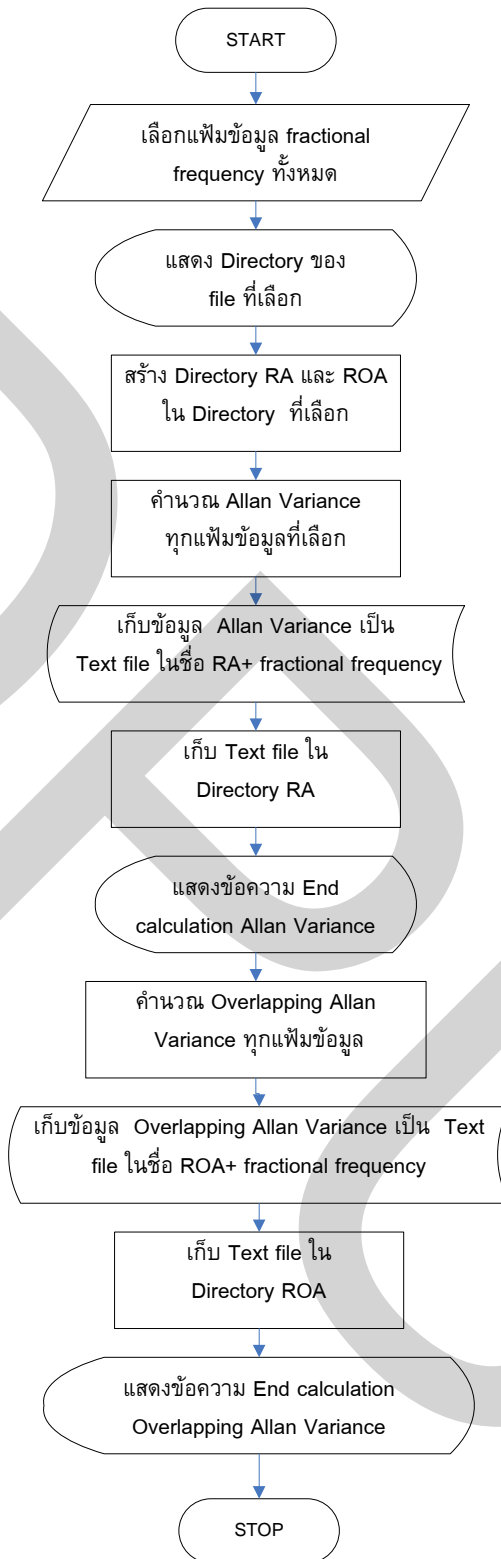
3.2.2 ข้อมูลจริงที่วัดจากวงจรรอสซิลเลเตอร์ ทำการพัฒนาโปรแกรมเพื่อเก็บข้อมูลความถี่จากวงจรรอสซิลเลเตอร์ คำนวณค่า fractional frequency และคำนวณค่าต่าง ๆ ดังนี้

3.2.2.1 คำนวณค่า Allan Variance และ Overlapping Allan Variance (ดังรูปที่ 3.2)

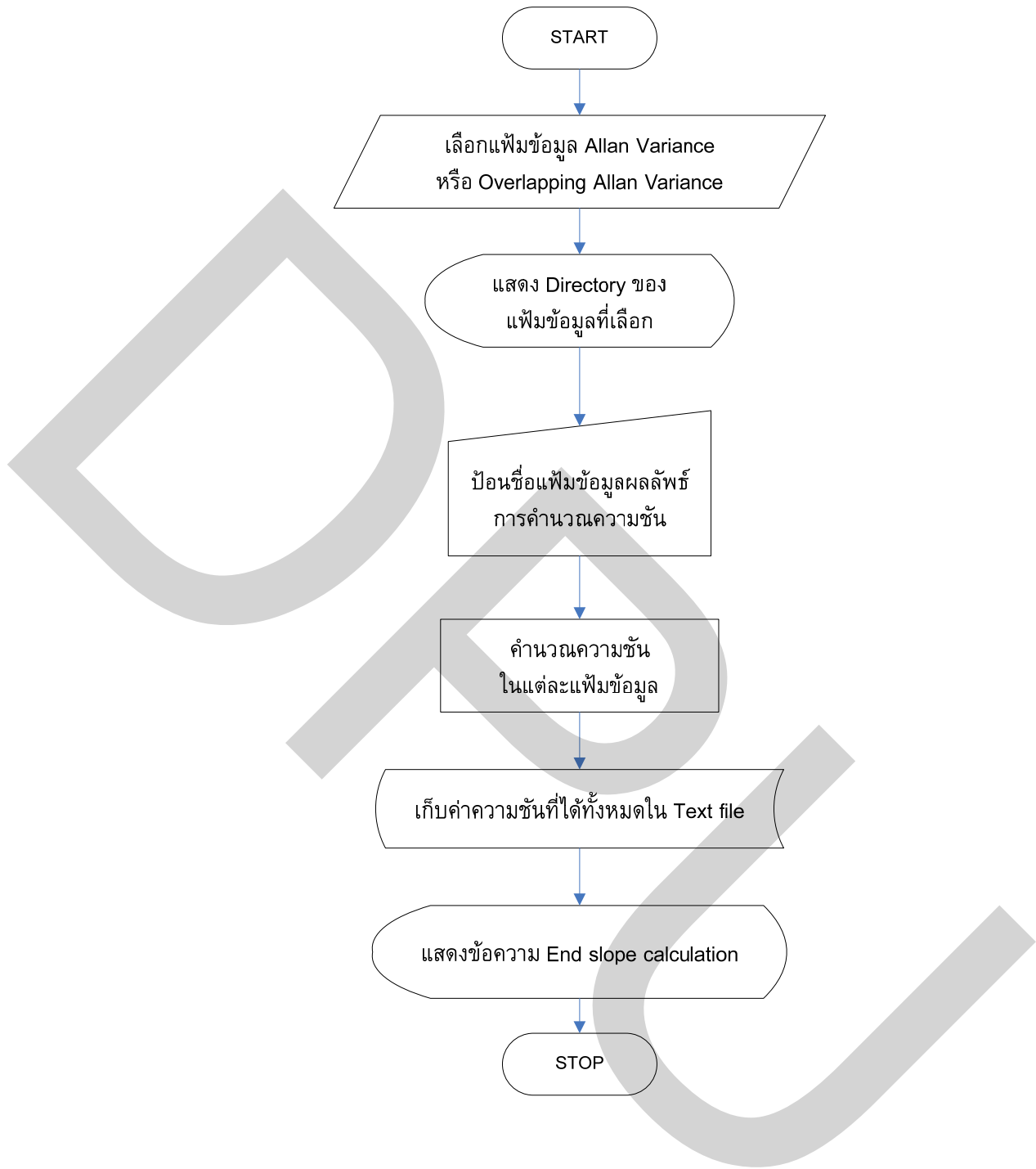
3.2.2.2 นำค่า Allan Variance และค่า Overlapping Allan Variance ที่ได้มาสร้างสมการเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยใช้หลักการของแผนภาพ Sigma-Tau แล้วคำนวณหาค่าความชัน (ดังรูปที่ 3.3)

3.2.2.3 แสดงแผนภาพความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ ของข้อมูลแต่ละชุด และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2)

3.2.2.4 นำค่าความชัน ($\frac{\mu}{2}$) หรือค่า μ ที่ได้ไปทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนโดยพิจารณาจากแผนภาพ Sigma-Tau



รูปที่ 3.2 แผนผังการคำนวณค่า Allan Variance และ Overlapping Allan Variance



รูปที่ 3.3 แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรมการคำนวณค่าความชันจากข้อมูล Allan Variance และ Overlapping Allan Variance

3.3 การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์

การเปรียบเทียบวิธีการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวน จากการใช้ Allan Variance และ Overlapping Allan Variance จะคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างความชัน ($\frac{\mu}{2}$) ที่ได้จากการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด กับค่าความชันตามทฤษฎีของแผนภาพ Sigma-Tau โดยใช้ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (MSE) วัดความถูกต้องของการทำนาย วิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า (MSE) จะเป็นวิธีทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n error^2}{n}$$

3.4 วิเคราะห์ และสรุปผลศึกษา

3.4.1 ข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน

ข้อมูลอนุกรมเวลาที่รวบรวมจากการจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ คำนวณค่า Allan Variance และ Overlapping Allan Variance โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าความชันของค่า $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ ของ Allan Variance และ Overlapping Allan Variance และทำการเปรียบเทียบค่าความชัน ($\frac{\mu}{2}$) กับค่าความชันทางทฤษฎีของรูปแบบสัญญาณรบกวนแบบต่างๆ เพื่อคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) จากนั้น เปรียบเทียบค่า MSE ของ Allan Variance และ Overlapping Allan Variance ว่า ตัวสถิติใดมีประสิทธิภาพในการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนได้ดีกว่ากัน

3.4.2 ข้อมูลจริงที่วัดจากวงจรรออสซิลเลเตอร์

การวิเคราะห์ข้อมูลจริงที่ได้จากวงจรรออสซิลเลเตอร์ ทำการเก็บข้อมูลอนุกรมเวลา fractional frequency ขนาด 5,000 ทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วทำการคำนวณค่า Allan Variance และ Overlapping Allan Variance จากนั้นนำมาสร้างสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ โดยใช้หลักการของแผนภาพ Sigma-Tau เพื่อคำนวณหาความชันของเส้นกราฟของข้อมูลทั้ง 3 ชุด ดูความสอดคล้องของผลที่ได้ แล้วนำไปทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนของออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ทดลอง

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัย เรื่อง การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Allan Variance และ Overlapping Allan Variance ในการหารูปแบบสัญญาณรบกวนของออสซิลเลเตอร์ นำเสนอผลการวิเคราะห์แยกเป็น 3 ส่วน ได้ผลการวิเคราะห์ ตามลำดับดังนี้

1. ผลการคำนวณค่า Allan Variance และ Overlapping Allan Variance
2. การหารูปแบบสัญญาณรบกวนโดยใช้ Allan Variance และ Overlapping Allan Variance
3. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนโดย Allan Variance และ Overlapping Allan Variance

4.1 ผลการคำนวณค่า Allan Variance และ Overlapping Allan Variance

การคำนวณค่า Allan Variance และ Overlapping Allan Variance ของข้อมูลอนุกรมเวลา ความถี่จากออสซิลเลเตอร์ถูกสร้างขึ้นโดยการจำลองแบบตามรูปแบบสัญญาณรบกวน 5 แบบ ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 200 500 และ 1,000 ทำซ้ำ 100 ครั้ง โดยเริ่มตั้งแต่เวลาเฉลี่ย $\tau = \tau_0$ ถึง $\tau = \frac{M}{2} \tau_0$ จะแสดงตัวอย่างการคำนวณค่า Allan Variance ข้อมูลอนุกรมเวลาขนาด 100 ของรูปแบบสัญญาณรบกวนทั้ง 5 รูปแบบ คือ White Phase Modulation , Flicker Phase Modulation , White Frequency Modulation , Flicker Frequency Modulation และ Random Walk Frequency Modulation ดังตารางที่ 4.1 ถึง 4.5 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 แสดงตัวอย่างการคำนวณดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	1.891289	11	0.175613	21	0.077863	31	0.016414	41	0.051185
2	0.91589	12	0.208526	22	0.190512	32	0.029461	42	0.035208
3	0.795076	13	0.098011	23	0.122525	33	0.177341	43	0.001626
4	0.375982	14	0.125716	24	0.078835	34	0.040414	44	0.003088
5	0.31225	15	0.118298	25	0.013015	35	0.030957	45	0.054014
6	0.278887	16	0.085494	26	0.056335	36	0.046942	46	0.002534
7	0.280038	17	0.07047	27	0.016294	37	0.054252	47	0.028392
8	0.289881	18	0.041559	28	0.072589	38	0.031367	48	0.01224
9	0.145827	19	0.129397	29	0.060039	39	0.028459	49	0.022774
10	0.103283	20	0.03923	30	0.021958	40	0.018883	50	0.021906

ผลการคำนวณค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 แสดงตัวอย่างการคำนวณดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.018077	11	0.004194	21	0.001830	31	0.001317	41	0.000315
2	0.013259	12	0.005061	22	0.001506	32	0.000972	42	0.000036
3	0.012198	13	0.002769	23	0.001693	33	0.001695	43	0.001716
4	0.007692	14	0.002869	24	0.002094	34	0.000626	44	0.000655
5	0.005049	15	0.004016	25	0.000825	35	0.000418	45	0.000990
6	0.005498	16	0.002365	26	0.000710	36	0.000569	46	0.000217
7	0.004989	17	0.003029	27	0.000735	37	0.001167	47	0.001067
8	0.002797	18	0.002345	28	0.000709	38	0.000218	48	0.000076
9	0.003897	19	0.001615	29	0.001647	39	0.000056	49	0.000368
10	0.004018	20	0.002841	30	0.000734	40	0.000257	50	0.001125

ผลการคำนวณค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 แสดงตัวอย่างการคำนวณดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	1.121371	11	0.252803	21	0.173924	31	0.165869	41	0.256557
2	0.963116	12	0.347137	22	0.234350	32	0.108468	42	0.239878
3	0.666609	13	0.280849	23	0.181424	33	0.119692	43	0.223808
4	0.584011	14	0.223702	24	0.188760	34	0.125512	44	0.172655
5	0.547586	15	0.226486	25	0.228253	35	0.169189	45	0.227450
6	0.327606	16	0.154429	26	0.184741	36	0.114439	46	0.287613
7	0.338026	17	0.127672	27	0.195987	37	0.163843	47	0.249653
8	0.312091	18	0.240200	28	0.201944	38	0.225492	48	0.242688
9	0.276805	19	0.263232	29	0.219638	39	0.224512	49	0.251080
10	0.281770	20	0.253573	30	0.170554	40	0.167204	50	0.219394

ผลการคำนวณค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 แสดงตัวอย่างการคำนวณดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.011180	11	0.007799	21	0.010837	31	0.015015	41	0.021902
2	0.010198	12	0.007183	22	0.010390	32	0.015117	42	0.022151
3	0.011393	13	0.007245	23	0.009997	33	0.014905	43	0.021550
4	0.011011	14	0.007469	24	0.010685	34	0.020871	44	0.021989
5	0.010622	15	0.008929	25	0.010224	35	0.022195	45	0.021609
6	0.013114	16	0.009527	26	0.012636	36	0.022163	46	0.021074
7	0.008028	17	0.010438	27	0.013476	37	0.021214	47	0.021070
8	0.007831	18	0.010242	28	0.013606	38	0.020592	48	0.020881
9	0.006426	19	0.009437	29	0.013651	39	0.020986	49	0.020178
10	0.006997	20	0.009430	30	0.014373	40	0.021451	50	0.019833

ผลการคำนวณค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 แสดงตัวอย่างการคำนวณ ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.662856	11	0.662354	21	0.795943	31	0.989683	41	1.056136
2	0.725072	12	0.815936	22	0.739458	32	0.953902	42	1.118984
3	0.865299	13	0.981980	23	0.758567	33	0.926778	43	1.222745
4	0.965569	14	0.845772	24	0.783781	34	0.983694	44	1.352026
5	1.024300	15	0.524417	25	0.785035	35	0.993362	45	1.426612
6	1.073572	16	0.501601	26	0.993000	36	1.025859	46	1.467657
7	1.015626	17	0.616671	27	1.004143	37	0.962517	47	1.482485
8	0.989187	18	0.840311	28	1.003634	38	0.958553	48	1.511916
9	0.899410	19	0.854949	29	0.985055	39	0.943939	49	1.545021
10	0.894928	20	0.792147	30	0.981221	40	1.018703	50	1.556126

ตัวอย่างการคำนวณค่า Overlapping Allan Variance ของข้อมูลอนุกรมเวลาขนาด 100 ของรูปแบบสัญญาณรบกวนแบบทั้ง 5 รูปแบบ คือ White Phase Modulation , Flicker Phase Modulation , White Frequency Modulation , Flicker Frequency Modulation และ Random Walk Frequency Modulation แสดงดังตารางที่ 4.6 ถึง 4.10 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 แสดงตัวอย่างการคำนวณดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White phase modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	1.891289	11	0.137169	21	0.079136	31	0.059781	41	0.043220
2	0.846274	12	0.163955	22	0.079604	32	0.061447	42	0.040822
3	0.630507	13	0.129568	23	0.081657	33	0.056612	43	0.053936
4	0.399857	14	0.106235	24	0.066762	34	0.051456	44	0.034353
5	0.346426	15	0.114116	25	0.063719	35	0.041963	45	0.032561
6	0.259671	16	0.113222	26	0.067743	36	0.048058	46	0.033133
7	0.281218	17	0.112151	27	0.064013	37	0.047214	47	0.035499
8	0.219023	18	0.102685	28	0.065258	38	0.042735	48	0.015478
9	0.184494	19	0.093767	29	0.062655	39	0.037943	49	0.018093
10	0.180019	20	0.082427	30	0.054424	40	0.040529	50	0.021906

ผลการคำนวณค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 แสดงตัวอย่างการคำนวณดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.018077	11	0.003435	21	0.001820	31	0.001238	41	0.000709
2	0.013831	12	0.003081	22	0.001538	32	0.001058	42	0.000650
3	0.010765	13	0.002983	23	0.001583	33	0.001071	43	0.000923
4	0.007940	14	0.002755	24	0.001679	34	0.001122	44	0.000840
5	0.005476	15	0.002518	25	0.001503	35	0.001119	45	0.000615
6	0.004296	16	0.002536	26	0.001342	36	0.001035	46	0.000441
7	0.003727	17	0.002192	27	0.001319	37	0.000996	47	0.000480
8	0.003782	18	0.001971	28	0.001360	38	0.000887	48	0.000286
9	0.003898	19	0.001825	29	0.001313	39	0.000809	49	0.000535
10	0.003665	20	0.001830	30	0.001294	40	0.000827	50	0.001125

ผลการคำนวณค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 แสดงตัวอย่างการคำนวณดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	1.121371	11	0.275806	21	0.210169	31	0.199261	41	0.220578
2	0.847043	12	0.260082	22	0.207835	32	0.201938	42	0.215067
3	0.663899	13	0.255374	23	0.204701	33	0.203907	43	0.205119
4	0.550115	14	0.259670	24	0.201251	34	0.207848	44	0.198585
5	0.467088	15	0.248096	25	0.202131	35	0.211084	45	0.201435
6	0.410140	16	0.237989	26	0.199070	36	0.212883	46	0.203954
7	0.344417	17	0.232279	27	0.196166	37	0.214973	47	0.190378
8	0.302440	18	0.230159	28	0.192390	38	0.218927	48	0.187783
9	0.283781	19	0.224469	29	0.194420	39	0.218854	49	0.201883
10	0.293593	20	0.216301	30	0.196450	40	0.218300	50	0.219394

ผลการคำนวณค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 แสดงตัวอย่างการคำนวณดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.011180	11	0.006968	21	0.012088	31	0.016829	41	0.020371
2	0.010833	12	0.007292	22	0.012612	32	0.017192	42	0.020631
3	0.010946	13	0.007779	23	0.013130	33	0.017628	43	0.020870
4	0.011358	14	0.008405	24	0.013632	34	0.018061	44	0.021157
5	0.010787	15	0.009063	25	0.014140	35	0.018416	45	0.021269
6	0.009756	16	0.009660	26	0.014658	36	0.018672	46	0.021344
7	0.008198	17	0.010167	27	0.015151	37	0.018926	47	0.021268
8	0.007055	18	0.010609	28	0.015636	38	0.019282	48	0.020907
9	0.006572	19	0.011065	29	0.016077	39	0.019685	49	0.020386
10	0.006663	20	0.011566	30	0.016463	40	0.020070	50	0.019833

ผลการคำนวณค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 แสดงตัวอย่างการคำนวณดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.662856	11	0.855706	21	0.821724	31	1.017336	41	1.410076
2	0.771830	12	0.861066	22	0.820364	32	1.040060	42	1.462693
3	0.835755	13	0.869960	23	0.829987	33	1.067723	43	1.515741
4	0.879151	14	0.878101	24	0.844746	34	1.100997	44	1.566498
5	0.895541	15	0.884608	25	0.865894	35	1.139343	45	1.605651
6	0.878150	16	0.888142	26	0.891667	36	1.179259	46	1.629979
7	0.855388	17	0.882142	27	0.918734	37	1.219802	47	1.636420
8	0.838617	18	0.867307	28	0.946387	38	1.262588	48	1.622063
9	0.841318	19	0.850048	29	0.973651	39	1.309498	49	1.590726
10	0.849292	20	0.832417	30	0.997015	40	1.360444	50	1.556126

4.2 การหารูปแบบสัญญาณรบกวนของข้อมูลอนุกรมเวลาความถี่จากออสซิลเลเตอร์

4.2.1 ข้อมูลการจำลองสัญญาณรบกวน 5 รูปแบบ

การหารูปแบบสัญญาณรบกวน จะนำผลการคำนวณค่า Allan Variance และ Overlapping Allan Variance ของข้อมูลอนุกรมเวลาความถี่จากออสซิลเลเตอร์ ที่มีรูปแบบสัญญาณรบกวน 5 รูปแบบ มาวิเคราะห์ โดยใช้หลักการของแผนภาพ Sigma - Tau สร้างสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ แล้วคำนวณค่าความชัน ($\frac{\mu}{2}$) ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งตัวอย่างการคำนวณค่า μ จาก Allan Variance ของข้อมูลอนุกรมเวลาขนาด 100 จำนวนการทำซ้ำ 100 ครั้ง ในรูปแบบสัญญาณรบกวนทั้ง 5 รูปแบบ คือ White Phase Modulation , Flicker Phase Modulation , White Frequency Modulation , Flicker Frequency Modulation และ Random Walk Frequency Modulation แสดงดังตารางที่ 4.11 ถึง 4.15 ตามลำดับ

ผลการคำนวณค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 แสดงตัวอย่างการคำนวณดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่า μ ของการใช้ Allan Deviation สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ จากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 ทำซ้ำ 100 ครั้ง

ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ
1	-2.61174	21	-2.4613	41	-3.094	61	-2.6409	81	-2.7974
2	-2.49378	22	-2.3628	42	-2.6389	62	-2.6676	82	-2.4537
3	-2.90634	23	-2.6184	43	-2.5343	63	-2.5982	83	-2.4042
4	-2.40508	24	-2.9467	44	-2.307	64	-2.2763	84	-2.3367
5	-2.13134	25	-2.3628	45	-2.5424	65	-2.7143	85	-2.2506
6	-2.45765	26	-2.7063	46	-2.5526	66	-2.2622	86	-2.2666
7	-2.6007	27	-2.6591	47	-2.4093	67	-2.4041	87	-2.6821
8	-2.47088	28	-2.4947	48	-2.3061	68	-2.565	88	-2.2575
9	-2.59818	29	-2.3935	49	-2.6389	69	-2.9137	89	-2.3717
10	-2.42631	30	-2.3401	50	-2.4103	70	-2.4438	90	-2.5494
11	-2.51514	31	-2.5154	51	-2.5294	71	-2.218	91	-2.653
12	-2.25587	32	-2.5638	52	-2.3325	72	-2.4974	92	-2.489
13	-2.48427	33	-2.7964	53	-2.6117	73	-2.3023	93	-2.21
14	-2.68305	34	-2.2308	54	-2.7471	74	-2.4003	94	-2.8284
15	-2.66484	35	-2.9921	55	-2.5869	75	-2.4456	95	-2.2308
16	-2.59732	36	-2.4085	56	-2.4225	76	-2.254	96	-2.4426
17	-2.40477	37	-2.7424	57	-2.4386	77	-2.3818	97	-2.1638
18	-2.34199	38	-2.4687	58	-2.5137	78	-2.4151	98	-2.4003
19	-2.3248	39	-2.4848	59	-2.4337	79	-2.8972	99	-2.6414
20	-2.62704	40	-2.3393	60	-2.4843	80	-2.1956	100	-2.3529

ตารางที่ 4.12 ค่า μ ของการใช้ Allan Deviation สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ จากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 ทำซ้ำ 100 ครั้ง

ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ
1	-2.404251	21	-2.001301	41	-1.810412	61	-2.594538	81	-2.152822
2	-2.231618	22	-2.862352	42	-2.476921	62	-2.101221	82	-1.889650
3	-2.054427	23	-2.254670	43	-2.171012	63	-2.222622	83	-2.231947
4	-2.633465	24	-2.722850	44	-1.814102	64	-2.551857	84	-2.577786
5	-2.323542	25	-2.464471	45	-2.365565	65	-2.247629	85	-2.427021
6	-2.416230	26	-2.061937	46	-2.526048	66	-2.573469	86	-2.160305
7	-2.174778	27	-1.581015	47	-1.888207	67	-1.887598	87	-2.054762
8	-2.082797	28	-2.190205	48	-2.214364	68	-2.263356	88	-1.887712
9	-2.384938	29	-2.044117	49	-2.062033	69	-2.177383	89	-2.387843
10	-2.230172	30	-2.335441	50	-2.103341	70	-1.511915	90	-2.015323
11	-2.106024	31	-1.863166	51	-2.268901	71	-1.888161	91	-1.986107
12	-2.229661	32	-2.412213	52	-2.070098	72	-2.212021	92	-2.343331
13	-2.382523	33	-2.244905	53	-2.128978	73	-2.226961	93	-2.019674
14	-2.125063	34	-1.900580	54	-2.194006	74	-2.690369	94	-2.029117
15	-1.560773	35	-2.357367	55	-2.364720	75	-2.163962	95	-2.228239
16	-2.101892	36	-2.258557	56	-1.773780	76	-2.817811	96	-2.512485
17	-2.590585	37	-2.259503	57	-2.010890	77	-1.838519	97	-1.979643
18	-2.660003	38	-2.687737	58	-2.005697	78	-2.211937	98	-1.747230
19	-1.824149	39	-1.910044	59	-2.312956	79	-2.410212	99	-1.989573
20	-1.365570	40	-2.337461	60	-2.151125	80	-2.489367	100	-2.191499

ตารางที่ 4.13 ค่า μ ของการใช้ Allan Deviation สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ จากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 ทำซ้ำ 100 ครั้ง

ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ
1	-0.859214	21	-1.269412	41	-1.468888	61	-1.747420	81	-1.657990
2	-0.877015	22	-1.168567	42	-1.306425	62	-1.321426	82	-2.102500
3	-1.884669	23	-2.513040	43	-1.225197	63	-1.501686	83	-1.569960
4	-1.000981	24	-0.647960	44	-2.200846	64	-0.981687	84	-1.116722
5	-1.481388	25	-2.080068	45	-0.883495	65	-2.344198	85	-1.109876
6	-0.798469	26	-1.084285	46	-1.480180	66	-1.857601	86	-1.668452
7	-2.009657	27	-1.123933	47	-1.732917	67	-1.897179	87	-0.913109
8	-2.680859	28	-1.629489	48	-1.531797	68	-1.551991	88	-2.472503
9	-0.495866	29	-1.489958	49	-1.522899	69	-1.841228	89	-0.780446
10	-0.713947	30	-2.340757	50	-0.713711	70	-1.411258	90	-0.715108
11	-1.799163	31	-1.709957	51	-1.996306	71	-1.054749	91	-1.246869
12	-1.855221	32	-0.799261	52	-1.579863	72	-2.297364	92	-0.443756
13	-1.776306	33	-2.060469	53	-1.593595	73	-0.720853	93	-0.653818
14	-1.846896	34	-1.163234	54	-1.585119	74	-0.524615	94	-0.719658
15	-1.285692	35	-0.799311	55	-0.741867	75	-1.521664	95	-1.646485
16	-2.038346	36	-1.121600	56	-1.148721	76	-2.019363	96	-0.801891
17	-1.871030	37	-1.632395	57	-0.837027	77	-0.996034	97	-2.494534
18	-1.071799	38	-0.952491	58	-1.967898	78	-1.230782	98	-1.485251
19	-0.741867	39	-1.783595	59	-2.141155	79	-1.512357	99	-1.023534
20	-2.010903	40	-0.813236	60	-2.049545	80	-1.601855	100	-1.737966

ตารางที่ 4.14 ค่า μ ของการใช้ Allan Deviation สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ จากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 ทำซ้ำ 100 ครั้ง

ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ
1	0.585249	21	0.039801	41	-0.236543	61	-2.063012	81	-1.555568
2	-0.793492	22	-0.811671	42	-1.365517	62	-0.968841	82	-0.581222
3	-1.983671	23	-1.419914	43	-0.483211	63	-0.388776	83	-0.103999
4	0.270936	24	-1.149664	44	0.025643	64	0.148821	84	-1.774728
5	-1.058273	25	-1.821809	45	-0.298199	65	-1.598146	85	-0.837598
6	0.067935	26	-0.792988	46	-0.964594	66	-1.856346	86	-0.889337
7	0.139568	27	0.062674	47	-0.327274	67	-0.479498	87	-0.305305
8	-0.998624	28	0.001849	48	0.091692	68	-0.999957	88	-0.944356
9	-0.258044	29	-0.051492	49	-0.527614	69	-0.085804	89	-1.356543
10	-0.705539	30	-0.859950	50	-0.428065	70	0.026678	90	0.215360
11	-0.093578	31	0.296345	51	-0.698714	71	-0.872717	91	0.105061
12	-0.785944	32	-0.984716	52	-0.371766	72	0.001381	92	-0.604524
13	0.073959	33	-0.877262	53	-0.474687	73	-0.608232	93	0.369877
14	0.043228	34	-1.165625	54	-1.002024	74	-1.097102	94	-1.366623
15	-1.173974	35	-0.690310	55	-0.810809	75	-0.933042	95	-0.994395
16	-1.305690	36	-0.220403	56	-0.012165	76	-0.894495	96	0.023310
17	-1.532893	37	-1.666181	57	-0.014978	77	-1.344241	97	0.328557
18	-0.233633	38	-2.409154	58	-0.605673	78	-0.568805	98	-0.239863
19	-0.924088	39	-0.359244	59	-0.239084	79	-0.848211	99	-0.582879
20	-0.666900	40	-2.235172	60	0.146359	80	-0.599589	100	-1.591614

ตารางที่ 4.15 ค่า μ ของการใช้ Allan Deviation สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ จากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 ทำซ้ำ 100 ครั้ง

ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ
1	0.279733	21	0.390307	41	0.217542	61	0.238564	81	0.772726
2	-0.176059	22	-1.460124	42	0.436050	62	0.627320	82	0.566954
3	-0.124515	23	0.576407	43	-0.230039	63	0.501660	83	0.406562
4	-0.124515	24	0.034118	44	-0.047750	64	0.846250	84	-0.584989
5	0.026985	25	0.756507	45	-0.252123	65	-0.247467	85	0.014212
6	-0.699176	26	0.597021	46	0.445945	66	-0.230296	86	0.828189
7	0.585330	27	0.058640	47	0.426341	67	0.090020	87	0.761951
8	0.953348	28	0.508166	48	0.121852	68	0.391463	88	-0.776293
9	0.703091	29	-0.071295	49	0.396007	69	0.102613	89	-0.221755
10	-0.147847	30	-0.023381	50	-0.542555	70	0.666340	90	0.084183
11	0.372914	31	-0.216614	51	-0.154103	71	-0.235081	91	0.533616
12	0.016724	32	0.870974	52	0.328938	72	-0.475599	92	0.818247
13	0.273557	33	0.410981	53	0.002043	73	-0.983602	93	-0.456342
14	0.010652	34	0.684494	54	0.524965	74	-0.777060	94	0.832782
15	-0.262796	35	0.564601	55	-0.010535	75	-0.525695	95	-0.047750
16	-0.382530	36	0.591290	56	-0.297031	76	0.800696	96	0.030325
17	0.014446	37	0.823443	57	0.230668	77	-0.347673	97	-0.059609
18	0.289915	38	0.283624	58	1.238351	78	0.108687	98	0.083991
19	-0.088684	39	0.709358	59	0.504141	79	-0.097197	99	0.232852
20	0.691657	40	-0.016149	60	0.621122	80	0.441872	100	0.282240

ตัวอย่างการคำนวณค่า μ จาก Overlapping Allan Variance ของข้อมูลอนุกรมเวลาขนาด 100 จำนวนการทำซ้ำ 100 ครั้ง ในรูปแบบสัญญาณรบกวนทั้ง 5 รูปแบบ คือ White Phase Modulation , Flicker Phase Modulation , White Frequency Modulation , Flicker Frequency Modulation และ Random Walk Frequency Modulation แสดงดังตารางที่ 4.16 ถึง 4.20 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.16 ค่า μ ของการใช้ Overlapping Allan Deviation สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ จากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 ทำซ้ำ 100 ครั้ง

ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ
1	-2.120334	21	-1.856894	41	-1.992272	61	-2.120649	81	-2.020389
2	-2.083516	22	-2.054314	42	-2.067422	62	-2.000015	82	-2.113475
3	-2.144435	23	-1.901375	43	-2.182859	63	-2.152588	83	-1.974939
4	-2.122232	24	-2.095098	44	-2.033543	64	-2.031458	84	-2.202658
5	-2.042789	25	-2.054314	45	-2.121005	65	-2.140624	85	-2.167770
6	-2.223036	26	-2.181759	46	-2.246019	66	-1.877768	86	-1.951761
7	-2.418830	27	-2.049014	47	-2.063141	67	-1.970529	87	-2.178081
8	-2.142474	28	-2.101254	48	-1.949892	68	-2.240502	88	-2.111028
9	-2.152588	29	-2.071432	49	-2.067422	69	-1.971306	89	-2.173970
10	-2.077248	30	-2.041325	50	-2.022237	70	-2.006514	90	-2.113531
11	-2.019602	31	-2.148167	51	-2.164735	71	-1.983346	91	-2.008535
12	-2.016119	32	-2.019422	52	-1.966421	72	-2.085633	92	-1.861866
13	-2.103216	33	-2.166961	53	-2.120334	73	-2.091651	93	-2.027596
14	-2.247276	34	-2.060087	54	-1.999501	74	-2.069848	94	-2.159935
15	-1.877753	35	-2.169524	55	-1.984562	75	-2.119913	95	-1.983757
16	-2.038160	36	-1.931551	56	-2.157162	76	-1.949684	96	-2.209717
17	-2.116734	37	-2.298978	57	-1.911668	77	-2.101577	97	-1.861539
18	-2.028237	38	-2.054214	58	-1.997134	78	-1.940203	98	-2.069848
19	-1.941446	39	-1.913092	59	-1.973108	79	-2.162047	99	-2.193892
20	-2.166301	40	-1.932408	60	-2.103216	80	-1.961703	100	-2.105499

ตารางที่ 4.17 ค่า μ ของการใช้ Overlapping Allan Deviation สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ จากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 ทำซ้ำ 100 ครั้ง

ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ
1	-1.894578	21	-1.896304	41	-1.448615	61	-1.926284	81	-1.834858
2	-1.586061	22	-1.909743	42	-1.641627	62	-1.766084	82	-1.745861
3	-2.030954	23	-2.037590	43	-1.803197	63	-1.950610	83	-2.017413
4	-1.889778	24	-1.873309	44	-1.616503	64	-1.988622	84	-1.788501
5	-1.897579	25	-1.758770	45	-1.910403	65	-2.030401	85	-1.787433
6	-1.909332	26	-1.683170	46	-1.734935	66	-1.973124	86	-1.552530
7	-1.906961	27	-1.378462	47	-1.563460	67	-1.388362	87	-1.998567
8	-2.022774	28	-1.868661	48	-1.770746	68	-2.144071	88	-1.962076
9	-1.917518	29	-1.917361	49	-1.756551	69	-2.042147	89	-1.875475
10	-1.933029	30	-1.923716	50	-1.799158	70	-1.509439	90	-1.706036
11	-1.842514	31	-1.822971	51	-1.745558	71	-1.384025	91	-1.992747
12	-1.845751	32	-2.089223	52	-1.934591	72	-2.009336	92	-1.814719
13	-2.102221	33	-1.788887	53	-1.790970	73	-1.864452	93	-1.663528
14	-1.869363	34	-1.923674	54	-1.811903	74	-2.258906	94	-1.947143
15	-1.466328	35	-1.838293	55	-2.097607	75	-1.892110	95	-1.687022
16	-1.865085	36	-1.934852	56	-1.771676	76	-2.101827	96	-2.093028
17	-1.903258	37	-2.057975	57	-1.714354	77	-1.964612	97	-1.545958
18	-2.079078	38	-1.976456	58	-1.267473	78	-2.115164	98	-1.594392
19	-1.698284	39	-1.840993	59	-1.695790	79	-1.973497	99	-1.476789
20	-1.488079	40	-1.961135	60	-1.990927	80	-1.986198	100	-1.869088

ตารางที่ 4.18 ค่า μ ของการใช้ Overlapping Allan Deviation สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ จากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 ทำซ้ำ 100 ครั้ง

ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ
1	-0.81818	21	-1.28266	41	-1.00409	61	-1.76495	81	-1.27284
2	-1.02682	22	-1.01659	42	-1.50932	62	-1.44413	82	-1.82865
3	-1.29807	23	-1.81518	43	-1.20359	63	-1.32161	83	-1.69497
4	-1.08812	24	-0.76597	44	-1.92907	64	-0.47402	84	-1.13263
5	-1.26385	25	-1.45159	45	-1.02252	65	-1.94078	85	-1.0565
6	-0.92313	26	-0.99266	46	-1.18457	66	-1.48935	86	-1.69392
7	-1.08717	27	-0.53997	47	-1.7412	67	-1.65834	87	-0.90445
8	-1.87598	28	-1.06305	48	-1.14451	68	-1.20275	88	-2.00714
9	-0.70083	29	-1.80552	49	-1.1524	69	-1.5547	89	-0.93782
10	-0.7906	30	-1.313	50	-0.84545	70	-0.98456	90	-0.66999
11	-1.249	31	-1.58712	51	-1.44121	71	-0.94617	91	-1.26687
12	-1.50993	32	-0.90406	52	-1.03281	72	-1.08234	92	-0.56774
13	-1.33299	33	-1.37617	53	-0.83831	73	-0.69909	93	-0.59334
14	-1.42861	34	-1.2944	54	-1.34396	74	-0.4019	94	-0.57039
15	-0.50062	35	-0.79279	55	-0.82239	75	-1.39039	95	-1.53181
16	-1.64084	36	-0.60625	56	-0.95386	76	-1.59882	96	-0.4539
17	-1.55266	37	-1.5204	57	-0.76913	77	-1.05336	97	-1.55428
18	-1.09306	38	-1.09186	58	-1.56262	78	-0.82837	98	-1.58475
19	-0.82239	39	-1.31215	59	-1.84761	79	-1.20823	99	-1.25386
20	-1.46438	40	-0.98721	60	-1.62299	80	-1.40506	100	-1.23425

ตารางที่ 4.19 ค่า μ ของการใช้ Overlapping Allan Deviation สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ จากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 ทำซ้ำ 100 ครั้ง

ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ
1	0.600875	21	-0.03315	41	-0.09019	61	-1.44957	81	-1.34388
2	-0.79925	22	-1.19671	42	-1.48743	62	-0.34807	82	-0.8372
3	-1.45568	23	-0.95575	43	-0.22697	63	-0.36909	83	-0.23075
4	0.044218	24	-1.07451	44	0.276218	64	0.22015	84	-1.6576
5	-1.30768	25	-0.77705	45	0.227386	65	-1.0469	85	-0.4466
6	-0.04599	26	-0.16443	46	0.047088	66	-1.32277	86	-0.33243
7	0.489836	27	-0.00084	47	-0.37589	67	-0.67588	87	-0.24405
8	-0.44305	28	0.088021	48	0.485051	68	-0.79501	88	-0.55205
9	-0.26085	29	-0.09374	49	-0.56999	69	-0.42256	89	-1.14963
10	-0.23302	30	-0.44827	50	-0.14727	70	0.510823	90	0.387244
11	-0.29691	31	-0.0292	51	-0.45881	71	-0.71774	91	0.450693
12	-0.26903	32	-1.02074	52	-0.69328	72	0.094437	92	-1.1009
13	0.064846	33	-0.74051	53	-0.69898	73	-0.87557	93	0.346515
14	-0.27659	34	-0.07808	54	-0.96768	74	-0.50108	94	-1.17788
15	-0.90544	35	-0.58154	55	-0.92265	75	-1.06665	95	-0.36641
16	-1.10487	36	-0.03746	56	-0.43197	76	-0.7948	96	0.238633
17	-0.90878	37	-0.99184	57	0.269232	77	-0.92115	97	0.500546
18	-0.54394	38	-1.99555	58	-0.47507	78	-0.15351	98	0.037694
19	-0.25427	39	-0.61419	59	-0.06655	79	-0.2174	99	-0.64059
20	-0.31211	40	-1.00362	60	-0.2087	80	-0.83947	100	-1.04906

ตารางที่ 4.20 ค่า μ ของการใช้ Overlapping Allan Deviation สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง

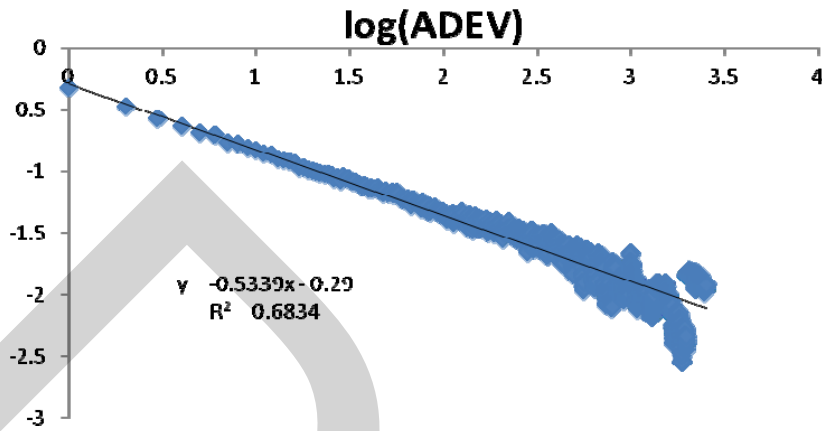
$\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ จากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Random Walk Frequency Modulation

ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 ทำซ้ำ 100 ครั้ง

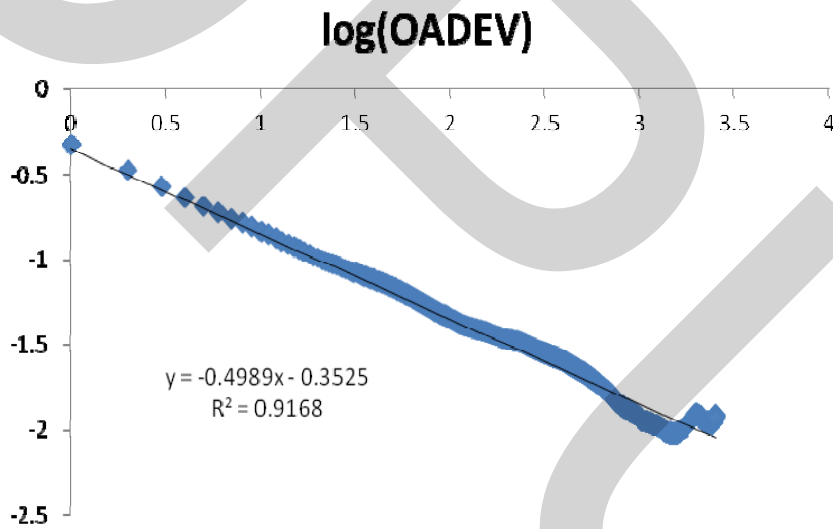
ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ	ชุด	μ
1	0.417212	21	0.521754	41	0.280370	61	0.607341	81	0.704013
2	-0.252410	22	-0.269978	42	0.488269	62	0.545129	82	0.727580
3	0.405206	23	0.357363	43	-0.395717	63	0.355245	83	0.530290
4	0.405206	24	-0.218832	44	-0.022562	64	1.040246	84	-0.321078
5	-0.277654	25	0.650686	45	-0.532075	65	0.223531	85	0.558574
6	0.169059	26	1.024351	46	0.423658	66	0.041091	86	0.493024
7	0.415128	27	0.243056	47	0.323702	67	0.594001	87	0.671819
8	0.977690	28	0.649119	48	0.449676	68	0.795386	88	-0.315359
9	0.889787	29	-0.091190	49	0.649497	69	0.250176	89	0.101160
10	0.401554	30	0.635651	50	0.271418	70	0.428883	90	0.815077
11	0.211519	31	0.228137	51	0.261444	71	0.593361	91	0.857251
12	-0.287348	32	0.860784	52	0.179376	72	0.053344	92	0.628438
13	0.407837	33	0.449035	53	0.607222	73	-1.196548	93	-0.135007
14	-0.132742	34	0.380743	54	0.586200	74	-0.208129	94	0.756653
15	-0.413809	35	0.902001	55	-0.294035	75	-0.008680	95	-0.022562
16	-0.674783	36	0.212254	56	-0.182574	76	0.819579	96	0.520779
17	0.045168	37	1.013682	57	-0.051106	77	-0.111017	97	0.716050
18	0.146521	38	0.458445	58	1.314760	78	0.210276	98	0.733818
19	-0.032641	39	0.326524	59	0.247088	79	0.206608	99	0.550649
20	0.853553	40	-0.355588	60	0.275780	80	0.510341	100	0.259054

4.2.2 ข้อมูลจริงจากวงจรรอสซิลเลเตอร์

การวิเคราะห์ข้อมูลจริงที่ได้จากวงจรรอสซิลเลเตอร์ ทำการเก็บข้อมูลอนุกรมเวลา fractional frequency ขนาด 5,000 ทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วทำการคำนวณค่า Allan Variance และ Overlapping Allan Variance จากนั้นนำมาสร้างสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นโดยใช้หลักการของแผนภาพ Sigma-Tau เพื่อคำนวณหาค่าความชันของเส้นกราฟของข้อมูลทั้ง 3 ชุด โดยแผนภาพของความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ แสดงดังรูปที่ 4.1 ถึง รูปที่ 4.6

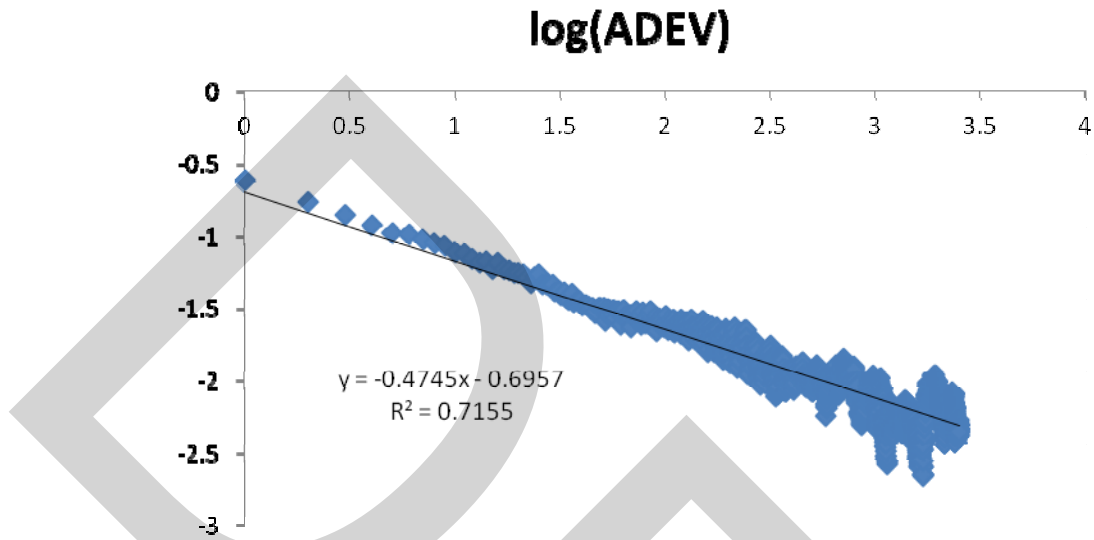


รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ ของข้อมูลชุดที่ 1 โดยการคำนวณ Allan Variance

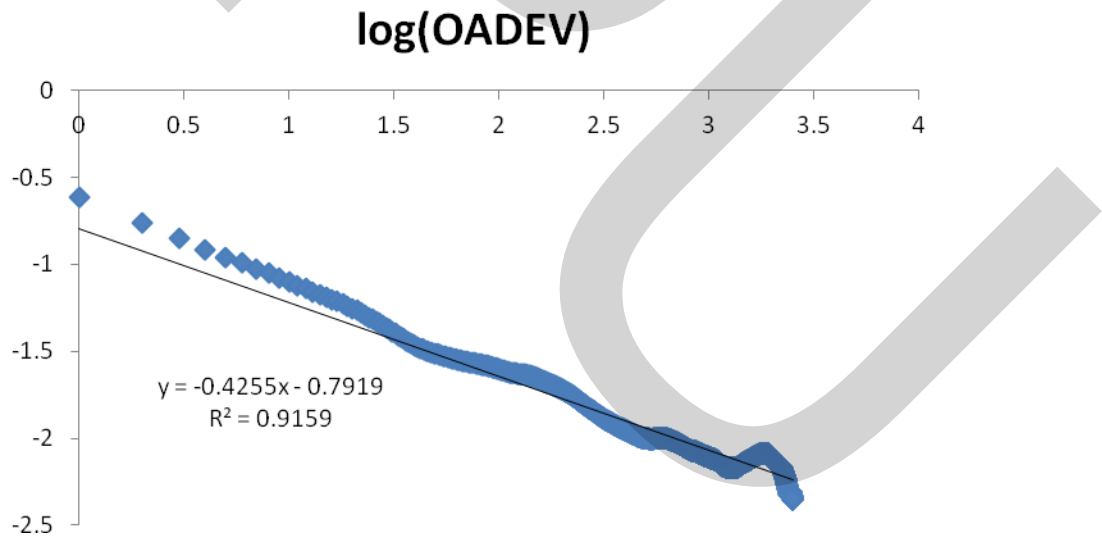


รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ ของข้อมูลชุดที่ 1 โดยการคำนวณ Overlapping Allan Variance

แผนภาพแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ โดยแสดงกราฟของข้อมูลชุดที่ 2 ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4

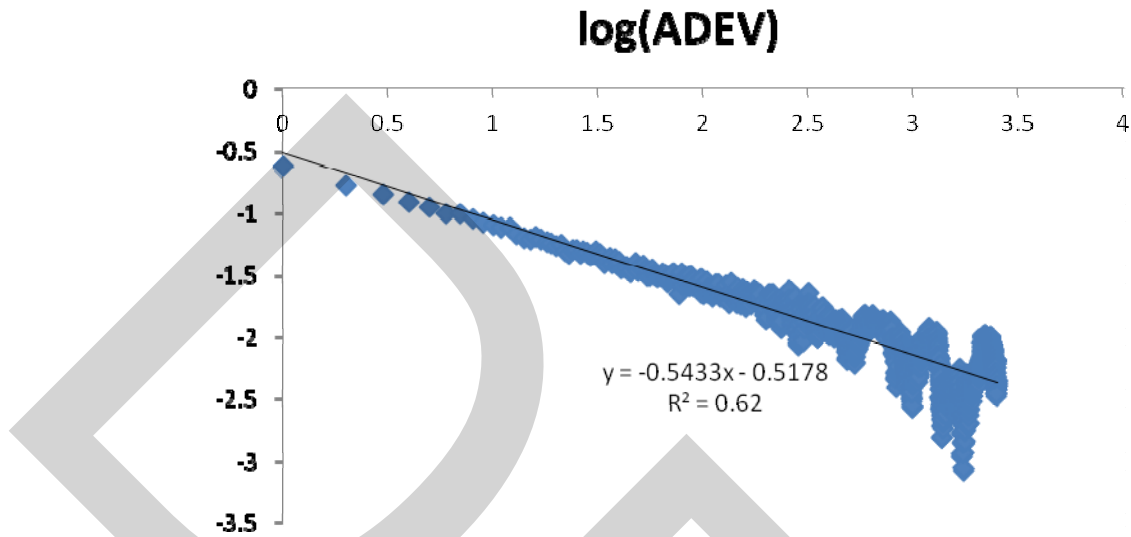


รูปที่ 4.3 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ ของข้อมูลชุดที่ 2 โดยการคำนวณ Allan Variance

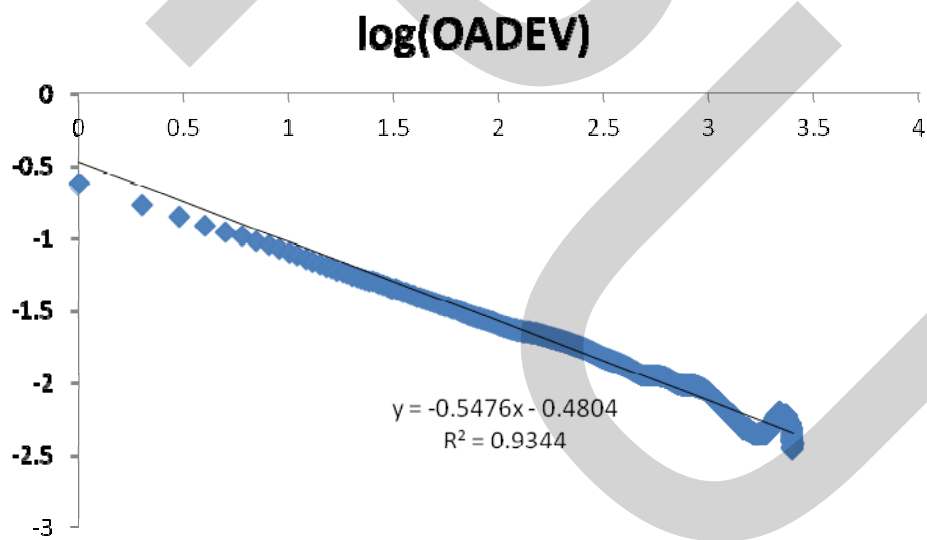


รูปที่ 4.4 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ ของข้อมูลชุดที่ 2 โดยการคำนวณ Overlapping Allan Variance

แผนภาพแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ โดยแสดงกราฟของข้อมูลชุดที่ 3 ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.5 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ ของข้อมูลชุดที่ 3 โดยการคำนวณ Allan Variance



รูปที่ 4.6 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $\log \sigma_y(\tau)$ กับ $\log \tau$ ของข้อมูลชุดที่ 3 โดยการคำนวณ Overlapping Allan Variance

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจริงที่ได้จากวงจรรออสซิลเลเตอร์ อนุกรมเวลาขนาด 5,000 ทำซ้ำ จำนวน 3 ครั้ง ได้ผลการคำนวณค่าต่างๆ จากวิธี Allan Variance และ Overlapping Allan Variance สรุปได้ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 การทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนจากข้อมูลจริงที่วัดได้จากวงจรรออสซิลเลเตอร์ โดยใช้ Allan Variance และ Overlapping Allan Variance

ข้อมูลชุดที่	วิธี	R^2	ความชัน	μ	ทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวน
1	Allan Variance	0.6834	-0.5339	-1.0678	White Frequency Modulation
	Overlapping Allan Variance	0.9168	-0.4989	-0.9978	White Frequency Modulation
2	Allan Variance	0.7155	-0.4745	-0.9490	White Frequency Modulation
	Overlapping Allan Variance	0.9159	-0.4255	-0.8510	White Frequency Modulation
3	Allan Variance	0.6200	-0.5433	-1.0866	White Frequency Modulation
	Overlapping Allan Variance	0.9344	-0.5476	-1.0952	White Frequency Modulation

ข้อมูลในตารางที่ 4.21 แสดงผลการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนโดยใช้ Allan Variance และ Overlapping Allan Variance จากการคำนวณพบว่า ค่า μ มีค่าเข้าใกล้ -1 แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลจริงที่ได้จากวงจรรออสซิลเลเตอร์นี้ มีสัญญาณรบกวนแบบ White Frequency Modulation

4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนโดย Allan Variance และ Overlapping Allan Variance

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวน โดยใช้ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (MSE) วัดความถูกต้องของการทำนาย วิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า จะเป็นวิธีทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวน 5 รูปแบบ ด้วยวิธี Allan Variance และ Overlapping Allan Variance

Noise Model	ขนาดอนุกรมเวลา	MSE	
		Allan Variance	Overlapping Allan Variance
White PM	100	0.07100736	0.003794877
	200	0.061302454	0.001300115
	500	0.047805287	0.000281971
	1000	0.044810251	0.000143951
Flicker PM	100	0.028941261	0.015781402
	200	0.026074909	0.009909749
	500	0.024329876	0.007095524
	1000	0.022087275	0.010112956
White FM	100	0.117076089	0.047148831
	200	0.097996938	0.041065022
	500	0.102848527	0.042779221
	1000	0.066643323	0.032918387
Flicker FM	100	0.211092215	0.130665803
	200	0.222800578	0.146378818
	500	0.226218501	0.14799095
	1000	0.24934724	0.151972008
Random Walk FM	100	0.226592246	0.164341848
	200	0.159549301	0.139005289
	500	0.166212997	0.122250806
	1000	0.165804095	0.113062561

จากข้อมูลในตาราง 4.22 พบว่า ค่า MSE ในการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนที่คำนวณโดยใช้ Overlapping Allan Variance มีค่าน้อยกว่า Allan Variance ในทุกกรณี จึงสรุปได้ว่าการใช้ค่า Overlapping Allan Variance มีประสิทธิภาพสูงกว่า Allan Variance

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะแบ่งเนื้อหาออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. สรุปผลการวิจัย
2. อภิปรายผล
3. ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ข้อมูลอนุกรมเวลา fractional frequency จากการจำลองแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในรูปแบบสัญญาณรบกวน 5 รูปแบบ คือ White Phase Modulation, Flicker Phase Modulation, White Frequency Modulation, Flicker Frequency Modulation และ Random Walk Frequency Modulation สามารถนำมาคำนวณค่า Allan Variance และ Overlapping Allan Variance ตัวอย่าง การคำนวณค่า Allan Deviation และ Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบ สัญญาณรบกวน ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 แสดงดังตารางที่ 4.1 ถึง 4.10 และค่า μ ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ข้อมูล Allan Variance และ Overlapping Allan Variance แสดงตัวอย่างการ คำนวณในตารางที่ 4.11 ถึง 4.20 จากนั้นทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายรูปแบบ สัญญาณรบกวนโดยใช้ค่า MSE เป็นเกณฑ์การพิจารณา ดังแสดงในตารางที่ 4.22 ได้ผลสรุปดังนี้

5.1.1 รูปแบบสัญญาณรบกวน White Phase Modulation ค่า MSE ของ Overlapping Allan Variance มีค่าน้อยกว่า Allan Variance ในทุกขนาดของอนุกรมเวลา

5.1.2 รูปแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ค่า MSE ของ Overlapping Allan Variance มีค่าน้อยกว่า Allan Variance ในทุกขนาดของอนุกรมเวลา

5.1.3 รูปแบบสัญญาณรบกวน White Frequency Modulation ค่า MSE ของ Overlapping Allan Variance มีค่าน้อยกว่า Allan Variance ในทุกขนาดของอนุกรมเวลา

5.1.4 รูปแบบสัญญาณรบกวน Flicker Frequency Modulation ค่า MSE ของ Overlapping Allan Variance มีค่าน้อยกว่า Allan Variance ในทุกขนาดของอนุกรมเวลา

5.1.5 รูปแบบสัญญาณรบกวน Random Walk Frequency Modulation ค่า MSE ของ Overlapping Allan Variance มีค่าน้อยกว่า Allan Variance ในทุกขนาดของอนุกรมเวลา

ดังนั้นการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนโดยใช้ Overlapping Allan Variance มีประสิทธิภาพสูงกว่า Allan Variance

ข้อมูลอนุกรมเวลา fractional frequency จากวงจรรอสซิลเลเตอร์ ขนาดอนุกรมเวลา 5,000 ทำซ้ำ 3 ครั้ง คำนวณค่า Allan Variance และ Overlapping Allan Variance สร้างสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง $\log \tau$ กับ $\log \sigma_y(\tau)$ ทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนโดยหลักของแผนภาพ Sigma-Tau โดยวิธี Allan Variance ได้ค่า μ เท่ากับ -1.0678, -0.9490 และ -1.0866 ซึ่งคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยได้เท่ากับ -1.0345 และวิธี Overlapping Allan Variance ได้ค่า μ เท่ากับ -0.9978, -0.8510 และ -1.0952 คำนวณเป็นค่าเฉลี่ยได้เท่ากับ -0.9813 จะเห็นได้ว่าค่า μ ที่ได้จากการคำนวณทั้งสองวิธีได้ผลออกมาใกล้เคียงกัน และมีค่าใกล้เคียง -1 เมื่อเทียบกับค่า μ ตามทฤษฎี ทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในวงจรรอสซิลเลเตอร์เครื่องนี้เป็น White Frequency Modulation

5.2 อภิปรายผล

ผลการคำนวณค่า MSE ของข้อมูลอนุกรมเวลาขนาด 100, 200, 500 และ 1000 ในรูปแบบสัญญาณรบกวนทั้ง 5 รูปแบบดังแสดงในตารางที่ 4.22 แสดงให้เห็นว่าการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนแบบ White Phase Modulation นั้น วิธี Overlapping Allan Variance มีประสิทธิภาพสูงกว่าโดยค่า MSE ของ Overlapping Allan Variance มีค่าต่างจากวิธี Allan Variance ในลักษณะต่างกันมากขึ้นเมื่อข้อมูลอนุกรมเวลามีขนาดเพิ่มขึ้น ในรูปแบบสัญญาณรบกวนแบบ Flicker Phase Modulation, White Frequency Modulation, Flicker Frequency Modulation และ Random Walk Frequency Modulation ค่า MSE โดยวิธี Overlapping Allan Variance มีค่าน้อยกว่าในทุกขนาดของข้อมูลอนุกรมเวลา แต่ไม่แตกต่างกันมากเหมือนในรูปแบบสัญญาณรบกวนแบบ White Phase Modulation จากผลข้างต้น ค่า MSE โดยวิธี Overlapping Allan Variance มีค่าต่ำกว่า Allan Variance ในทุกกรณี ทำให้สามารถยืนยันถึงประสิทธิภาพที่สูงกว่าในการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนของ Overlapping Allan Variance

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการทำนายรูปแบบสัญญาณรบกวนโดยวิธี Allan Variance และ Overlapping Allan Variance เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งพิจารณาได้จากค่า MSE ที่มีค่าค่อนข้างน้อย แต่โดยวิธีทั้งสองยังไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างรูปแบบสัญญาณรบกวน White Phase Modulation และ Flicker Phase Modulation ได้ ในการวิจัยครั้งต่อไป ควรที่จะศึกษาความแปรปรวนอื่นๆ ที่มีความสามารถในการแยกรูปแบบสัญญาณรบกวนทั้งสองรูปแบบได้เพื่อเป็นการบ่งชี้ถึงรูปแบบสัญญาณรบกวนอย่างชัดเจน อันจะเป็นประโยชน์ในการสร้างแหล่งกำเนิดความถี่ที่มีเสถียรภาพต่อไป

บรรณานุกรม

กนิษฐา ยี่ม่นาค. “การเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์เชิงสถิติ เมื่อข้อมูลมีการเคลื่อนไหวแบบไม่เชิงเส้น” รายงานผลการวิจัย, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์. 2551.

D.A. Howe and K.J. Lainson, "**Simulation Study Using a New Type of Sample Variance**". Proc. 1995 PTTI Meeting. : 279-290, 1995

James A. Barnes et al. "**Characterization of Frequency Stability**". IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. IM-20, No. 2, May 1971.

J. Chen, Y. Jiang, M. Liang, L. Kang, B. B. Jin, W. W. Xu และ P. H. Wu. "**Stability of Superconducting Hot Electron Bolometer Receivers**". IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, VOL. 21, NO. 3 (2011) :667-670.

Luis A. M., Yuriy S. S. and Oscar I. M. "**Optimal Synchronization of Local Clocks by GPS 1PPS Signals Using Predictive FIR Filters**". IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 58, NO. 6 (2009) :1833-1840

Naser E.S., Haiying H. and Xiaoji N. "**Analysis and Modeling of Inertial Sensors Using Allan Variance**". IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 57, NO. 1 (2008) :140-149.

O. Baran and M. Kasal "**Oscillator phase noise models**". Proceedings of the 18th International Conference Radioelektronika. :115-118, 2008.

O. Baran and M. Kasal "**Allan variances calculation and Simulation**". Proceedings of the 19th International Conference Radioelektronika . :187-190, 2009.

- O. Baran and M. Kasal “**Study of oscillators frequency stability in satellite communication Link**”. Proceedings of 4th International Conference on Recent Advances Space Technologies. : 535-540, 2009.
- O. Baran and M. Kasal “**Modeling of the phase noise in space communication systems**”. Radioengineering, VOL. 19, Issue 1 (2010) :141-148.
- P.C. Chang, H. M. Peng and S. Y. Lin. “**Allan Variance Estimated by Phase Noise Measurements**”. Proc. 1995 PTTI Meeting. :165-172, 1995.
- R.Schieder and other. “**Mid-infrared Observations with the Tuneable Heterodyne Infrared Spectrometer (THIS)**”. 33rd International Conference on Infrared and Millimeter Waves and the 16th International Conference on Terahertz Electronics, 2008.
- T.N.Siraya. “**Comparison of Uncertainty Estimates: Allan Variance and Sample Variance**”. Measurement Science Review, Volume 1, Number 1, 2001.
- W.J. Riley and C.A. Greenhall. “**Power Law Noise Identification using the Lag 1 Autocorrelation**”. Preprint of paper to be presented at the 18th European Frequency and Time Forum, University of Surrey, Guildford, UK. 5 - 7 April 2004.
- W.J. Riley. **Handbook of Frequency Stability Analysis**. National Institute of Standards and Technology (NIST), U.S. Department of Commerce, NIST Special Publication 1065, July 2008.
- Yi-hua Tang, Stéphane Solve and Thomas J. Witt. “**Allan Variance Analysis of Josephson Voltage Standard Comparison for Data Taken at Unequal Time Intervals.**” IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 60, NO. 7 (2011) : 2248-2254.



ภาคผนวก ก

ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน

ตารางที่ ก.1 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 200

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	1.76076	21	0.07906	41	0.03642	61	0.03273	81	0.00532
2	0.79862	22	0.04478	42	0.0389	62	0.00984	82	0.01784
3	0.52711	23	0.07509	43	0.02044	63	0.04674	83	0.00762
4	0.34109	24	0.07673	44	0.00955	64	0.01533	84	0.00576
5	0.31767	25	0.07576	45	0.03237	65	0.03794	85	0.02653
6	0.30483	26	0.10082	46	0.01074	66	0.02058	86	0.01109
7	0.184	27	0.04183	47	0.0242	67	0.01189	87	0.00512
8	0.20692	28	0.03855	48	0.0472	68	0.00474	88	0.00529
9	0.24317	29	0.05537	49	0.01025	69	0.04323	89	0.01114
10	0.1381	30	0.03292	50	0.02741	70	0.00817	90	0.00245
11	0.09976	31	0.0671	51	0.02571	71	0.0141	91	0.01829
12	0.127	32	0.06315	52	0.02086	72	0.00974	92	0.00878
13	0.09604	33	0.04627	53	0.01468	73	0.03121	93	0.01606
14	0.09251	34	0.03831	54	0.01151	74	0.04445	94	0.0203
15	0.09977	35	0.02898	55	0.04209	75	0.0322	95	0.00774
16	0.13158	36	0.04945	56	0.02266	76	0.01575	96	0.0067
17	0.08105	37	0.06318	57	0.05798	77	0.00241	97	0.00675
18	0.07188	38	0.0414	58	0.02715	78	0.01644	98	0.00371
19	0.07412	39	0.03776	59	0.00661	79	0.00052	99	0.01423
20	0.05055	40	0.02372	60	0.0085	80	0.00349	100	0.0189

ตารางที่ ก.2 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 500

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	1.66188	26	0.04758	51	0.0157	76	0.01373	101	0.01492
2	0.81605	27	0.03773	52	0.02322	77	0.00776	102	0.01481
3	0.58843	28	0.03795	53	0.02428	78	0.01651	103	0.01133
4	0.38406	29	0.04778	54	0.03828	79	0.02	104	0.00895
5	0.32011	30	0.05046	55	0.01726	80	0.01521	105	0.01531
6	0.28037	31	0.06306	56	0.03511	81	0.02256	106	0.01126
7	0.17371	32	0.06759	57	0.04186	82	0.00614	107	0.02105
8	0.20754	33	0.03265	58	0.02491	83	0.01641	108	0.01328
9	0.20476	34	0.03228	59	0.02678	84	0.01947	109	0.01448
10	0.14273	35	0.03964	60	0.03258	85	0.01045	110	0.00967
11	0.16253	36	0.06107	61	0.02659	86	0.00817	111	0.00774
12	0.15279	37	0.03286	62	0.02032	87	0.01353	112	0.02475
13	0.113	38	0.04635	63	0.02435	88	0.01451	113	0.01742
14	0.13245	39	0.02897	64	0.01731	89	0.02288	114	0.01434
15	0.08094	40	0.04534	65	0.01573	90	0.01939	115	0.01358
16	0.11726	41	0.02704	66	0.02518	91	0.01544	116	0.00707
17	0.12059	42	0.0374	67	0.03065	92	0.0057	117	0.01352
18	0.0896	43	0.02132	68	0.011	93	0.0323	118	0.00919
19	0.09729	44	0.0472	69	0.01453	94	0.01383	119	0.01274
20	0.05555	45	0.04969	70	0.00964	95	0.00861	120	0.00883
21	0.06341	46	0.01941	71	0.0177	96	0.01132	121	0.02198
22	0.06793	47	0.0364	72	0.02262	97	0.01998	122	0.01802
23	0.05648	48	0.04158	73	0.02367	98	0.00638	123	0.00522
24	0.05834	49	0.03353	74	0.01562	99	0.0259	124	0.01072
25	0.08643	50	0.0358	75	0.02672	100	0.01204	125	0.01617

ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
126	0.0021	151	0.00533	176	0.00118	201	0.01046	226	0.00229
127	0.00265	152	0.01467	177	0.01029	202	0.00551	227	0.01254
128	0.0024	153	0.01908	178	0.00698	203	0.00074	228	0.00367
129	0.01257	154	0.0043	179	0.02233	204	0.0029	229	0.00905
130	0.01542	155	0.00493	180	0.00705	205	0.00636	230	0.00763
131	0.01622	156	0.00614	181	0.0011	206	0.00988	231	0.00304
132	0.02068	157	0.00257	182	0.01308	207	0.00742	232	2.69E-05
133	0.00647	158	0.00329	183	0.00459	208	0.00467	233	0.0023
134	0.01084	159	0.00258	184	0.00582	209	0.00871	234	0.00491
135	0.0178	160	0.00101	185	0.00638	210	0.00392	235	0.00478
136	0.00375	161	0.01567	186	0.01091	211	0.00061	236	0.00696
137	0.01289	162	0.00536	187	0.00786	212	0.00894	237	0.00535
138	0.01081	163	0.01449	188	0.00582	213	0.01127	238	0.00048
139	0.00898	164	0.00417	189	0.00183	214	0.00717	239	0.00614
140	0.00381	165	0.00846	190	0.0005	215	0.00101	240	0.00606
141	0.0117	166	0.00588	191	0.00864	216	0.00753	241	0.00514
142	0.01302	167	0.01144	192	0.003	217	0.00853	242	0.01053
143	0.0141	168	0.00867	193	0.00155	218	0.00813	243	0.00576
144	0.02743	169	0.00054	194	0.01279	219	0.01533	244	0.00033
145	0.01809	170	0.01273	195	0.00781	220	0.00119	245	0.00456
146	0.00378	171	0.01466	196	0.00092	221	0.00339	246	0.00408
147	0.0141	172	0.00386	197	0.01212	222	0.01148	247	0.00744
148	0.01534	173	0.0018	198	0.00669	223	0.00453	248	0.00725
149	0.0134	174	0.01146	199	0.0013	224	0.01433	249	0.00027
150	0.00388	175	0.00803	200	0.00358	225	0.00913	250	0.00318

ตารางที่ ก.3 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 1,000

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	1.868792	26	0.059159	51	0.042094	76	0.024954	101	0.019748
2	0.898663	27	0.064565	52	0.027037	77	0.032011	102	0.011229
3	0.611935	28	0.066559	53	0.030968	78	0.018328	103	0.011664
4	0.461016	29	0.048472	54	0.037404	79	0.024629	104	0.014235
5	0.374454	30	0.067608	55	0.041641	80	0.032467	105	0.013622
6	0.330506	31	0.052346	56	0.030163	81	0.016288	106	0.021364
7	0.261638	32	0.060852	57	0.021582	82	0.015111	107	0.017196
8	0.228547	33	0.055115	58	0.016922	83	0.016280	108	0.015370
9	0.218168	34	0.059729	59	0.030898	84	0.032127	109	0.002964
10	0.199664	35	0.053258	60	0.037072	85	0.014950	110	0.016659
11	0.152242	36	0.062226	61	0.018337	86	0.017495	111	0.010109
12	0.189641	37	0.056838	62	0.042122	87	0.010710	112	0.010325
13	0.134028	38	0.043760	63	0.029530	88	0.020274	113	0.016193
14	0.172823	39	0.053724	64	0.039751	89	0.009973	114	0.016156
15	0.127028	40	0.040171	65	0.027793	90	0.029363	115	0.006727
16	0.130754	41	0.033228	66	0.025696	91	0.020089	116	0.010790
17	0.128055	42	0.054645	67	0.020475	92	0.027537	117	0.020114
18	0.114195	43	0.033864	68	0.023903	93	0.019414	118	0.022092
19	0.072666	44	0.032768	69	0.042206	94	0.016163	119	0.009861
20	0.104965	45	0.050061	70	0.027378	95	0.012282	120	0.010168
21	0.077682	46	0.035242	71	0.014391	96	0.019732	121	0.012189
22	0.079425	47	0.033481	72	0.027542	97	0.016011	122	0.015117
23	0.089232	48	0.034741	73	0.019610	98	0.030775	123	0.012129
24	0.070070	49	0.050544	74	0.026917	99	0.012504	124	0.017594
25	0.070509	50	0.036986	75	0.033457	100	0.026361	125	0.011975

ตารางที่ ก.3 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
126	0.015955	151	0.011849	176	0.008146	201	0.011199	226	0.004353
127	0.012225	152	0.006292	177	0.024332	202	0.008045	227	0.009137
128	0.012833	153	0.013973	178	0.006757	203	0.009436	228	0.005242
129	0.012290	154	0.011689	179	0.010635	204	0.015176	229	0.002804
130	0.017514	155	0.011807	180	0.017991	205	0.003135	230	0.003681
131	0.008702	156	0.003595	181	0.007138	206	0.010991	231	0.011434
132	0.008374	157	0.012152	182	0.007458	207	0.011750	232	0.003750
133	0.014049	158	0.014936	183	0.005111	208	0.007687	233	0.010360
134	0.019247	159	0.005493	184	0.004678	209	0.004442	234	0.009367
135	0.014266	160	0.008372	185	0.008484	210	0.012645	235	0.005405
136	0.011818	161	0.007847	186	0.017789	211	0.011566	236	0.011072
137	0.018024	162	0.009653	187	0.004936	212	0.004055	237	0.013103
138	0.017836	163	0.004345	188	0.010976	213	0.004980	238	0.008264
139	0.015241	164	0.006346	189	0.004598	214	0.006943	239	0.006798
140	0.022490	165	0.008799	190	0.007754	215	0.004415	240	0.009537
141	0.004063	166	0.016998	191	0.002449	216	0.013586	241	0.006210
142	0.009725	167	0.013196	192	0.008296	217	0.012956	242	0.006957
143	0.011083	168	0.006206	193	0.011454	218	0.001062	243	0.001765
144	0.015267	169	0.010618	194	0.010008	219	0.009453	244	0.007159
145	0.017420	170	0.006696	195	0.006985	220	0.004325	245	0.006673
146	0.011717	171	0.009071	196	0.009516	221	0.018697	246	0.004855
147	0.011911	172	0.007338	197	0.009824	222	0.013160	247	0.001004
148	0.012569	173	0.009458	198	0.012735	223	0.004158	248	0.006396
149	0.012395	174	0.004660	199	0.003013	224	0.013602	249	0.007279
150	0.007042	175	0.011330	200	0.009676	225	0.014344	250	0.000746

ตารางที่ ก.3(ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
251	0.0046526	276	0.0102368	301	0.0036538	326	0.0011761	351	0.000363
252	0.0037867	277	0.0026947	302	0.0086072	327	0.0015004	352	0.0051229
253	0.0063013	278	0.0070466	303	0.0107232	328	0.0013457	353	0.0069075
254	0.005001	279	0.0064197	304	0.0087413	329	0.0054442	354	0.0039503
255	0.0086195	280	0.0046148	305	0.0048107	330	0.0038451	355	0.0012338
256	0.0067299	281	0.004263	306	0.0080189	331	0.0015337	356	0.0025896
257	0.0016123	282	0.0029584	307	0.0109706	332	0.0112377	357	0.0019061
258	0.0022509	283	0.0083367	308	0.0018949	333	0.0069855	358	0.0052664
259	0.00237	284	0.0027387	309	0.0054227	334	0.0035341	359	0.0020694
260	0.0113608	285	0.0073449	310	0.0071078	335	0.0028255	360	0.0014111
261	0.0065678	286	0.0048527	311	0.0030915	336	0.0062632	361	0.0062966
262	0.0041734	287	0.0022035	312	0.0025171	337	0.0043041	362	0.0038127
263	0.0024337	288	0.0013708	313	0.0005415	338	0.0028609	363	0.0076466
264	0.0021997	289	0.0165107	314	0.000816	339	0.0057975	364	0.0080694
265	0.0067987	290	0.0014383	315	0.0062733	340	0.0025951	365	0.0045099
266	0.005817	291	0.0048214	316	0.0027795	341	0.0014795	366	0.0005139
267	0.001945	292	0.0054551	317	0.0032403	342	0.007843	367	0.0136595
268	0.0020258	293	0.0017424	318	0.0027208	343	0.0006029	368	0.0002044
269	0.0024285	294	0.0084319	319	0.0053902	344	0.0002345	369	0.0046912
270	0.0121919	295	0.0021997	320	0.0067481	345	0.0041611	370	0.0043383
271	0.0073066	296	0.0040596	321	0.0070128	346	0.0030374	371	0.0042387
272	0.004254	297	0.0039376	322	0.0025744	347	0.0008528	372	0.0060049
273	0.0060112	298	0.0032439	323	0.0071599	348	0.0016256	373	0.00132
274	0.0037959	299	0.0017666	324	0.002883	349	0.0032555	374	1.91E-05
275	0.0053888	300	0.0077461	325	0.0051811	350	0.0075809	375	0.000145

ตารางที่ ก.3 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
376	0.0020755	401	1.86E-05	426	0.0024039	451	0.0016768	476	0.0023741
377	0.0025422	402	0.0068754	427	0.0021811	452	0.0013558	477	0.0010586
378	0.0043664	403	0.002167	428	0.0002478	453	0.0019552	478	0.0047933
379	0.001508	404	0.0074577	429	0.0012161	454	0.0008627	479	0.0041476
380	0.0016436	405	0.0010279	430	0.001535	455	0.0013762	480	0.0031488
381	0.0010359	406	0.0047	431	0.0007033	456	0.0033568	481	0.0023969
382	0.0020084	407	0.0057517	432	0.0027846	457	0.0038367	482	0.002779
383	0.0028305	408	0.0061757	433	0.0016616	458	0.0033041	483	0.0005839
384	0.0007992	409	0.0008528	434	0.0051813	459	0.0016823	484	0.0007743
385	0.0040884	410	0.0036601	435	0.0028301	460	0.0005713	485	0.0026663
386	0.0038337	411	7.30E-05	436	0.0011691	461	0.000422	486	0.0024472
387	0.0013502	412	0.001583	437	0.0039474	462	0.0038111	487	0.0010709
388	0.00399	413	0.0029487	438	0.0014084	463	0.0053183	488	0.0050704
389	0.0018906	414	0.0056379	439	0.0018577	464	0.001463	489	0.0043382
390	0.0010102	415	0.0006054	440	0.0018485	465	0.0001802	490	0.0053831
391	0.0047434	416	0.0008534	441	0.0039083	466	0.0070998	491	0.0002271
392	0.0027333	417	0.0033166	442	0.0061112	467	0.0034086	492	0.0010541
393	0.0014849	418	0.003119	443	0.0014985	468	0.0042759	493	0.001056
394	0.0085663	419	0.0034742	444	0.0018068	469	0.0018444	494	5.89E-05
395	0.0067218	420	0.0071519	445	0.0044832	470	0.0013106	495	0.0052691
396	0.0044513	421	0.0005609	446	0.0029545	471	0.0040022	496	0.0029263
397	0.0088427	422	0.0077267	447	0.0008223	472	0.0015522	497	0.0016218
398	0.0031718	423	0.0059141	448	0.0073511	473	0.0007519	498	0.0031013
399	0.0063805	424	0.001252	449	0.0048978	474	0.0054366	499	0.0012993
400	0.0097409	425	0.0064566	450	0.0077354	475	0.0012932	500	0.0004001

ตารางที่ ก.4 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 200

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.012789	21	0.001178	41	0.000345	61	0.000405	81	0.000278
2	0.008789	22	0.001663	42	0.000563	62	0.000114	82	0.000375
3	0.005120	23	0.001123	43	0.000623	63	0.000079	83	0.000397
4	0.005123	24	0.001854	44	0.000669	64	0.000601	84	0.000801
5	0.003499	25	0.000780	45	0.000757	65	0.000049	85	0.000337
6	0.003575	26	0.000313	46	0.000567	66	0.000021	86	0.000509
7	0.002602	27	0.000536	47	0.000441	67	0.000135	87	0.000564
8	0.003355	28	0.000885	48	0.000437	68	0.000179	88	0.000752
9	0.002139	29	0.000943	49	0.000102	69	0.000260	89	0.000337
10	0.002226	30	0.001611	50	0.000375	70	0.000001	90	0.000790
11	0.002128	31	0.000610	51	0.000447	71	0.000201	91	0.000531
12	0.001962	32	0.000529	52	0.000147	72	0.000290	92	0.000546
13	0.001515	33	0.000503	53	0.000208	73	0.000182	93	0.000529
14	0.001593	34	0.000805	54	0.000441	74	0.000353	94	0.000016
15	0.001433	35	0.000234	55	0.000294	75	0.000461	95	0.000280
16	0.001835	36	0.000529	56	0.000292	76	0.000290	96	0.000054
17	0.001153	37	0.000325	57	0.000336	77	0.000152	97	0.000068
18	0.001784	38	0.000397	58	0.000501	78	0.000019	98	0.000109
19	0.000591	39	0.000656	59	0.000426	79	0.000013	99	0.000180
20	0.001338	40	0.000321	60	0.000177	80	0.000113	100	0.000261

ตารางที่ ก.5 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 500

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.005009	26	0.000268	51	0.000177	76	0.000136	101	0.000050
2	0.003516	27	0.000320	52	0.000200	77	0.000170	102	0.000042
3	0.002337	28	0.000395	53	0.000213	78	0.000093	103	0.000097
4	0.002208	29	0.000344	54	0.000144	79	0.000124	104	0.000060
5	0.001697	30	0.000358	55	0.000198	80	0.000147	105	0.000038
6	0.001435	31	0.000263	56	0.000233	81	0.000113	106	0.000126
7	0.001386	32	0.000285	57	0.000170	82	0.000151	107	0.000183
8	0.001029	33	0.000345	58	0.000162	83	0.000145	108	0.000105
9	0.000960	34	0.000301	59	0.000122	84	0.000185	109	0.000056
10	0.000851	35	0.000257	60	0.000268	85	0.000179	110	0.000057
11	0.000865	36	0.000239	61	0.000147	86	0.000127	111	0.000122
12	0.000813	37	0.000301	62	0.000207	87	0.000151	112	0.000119
13	0.000909	38	0.000264	63	0.000202	88	0.000078	113	0.000106
14	0.000661	39	0.000281	64	0.000189	89	0.000100	114	0.000068
15	0.000669	40	0.000255	65	0.000252	90	0.000088	115	0.000059
16	0.000525	41	0.000255	66	0.000170	91	0.000098	116	0.000055
17	0.000579	42	0.000346	67	0.000157	92	0.000074	117	0.000063
18	0.000431	43	0.000385	68	0.000164	93	0.000098	118	0.000053
19	0.000333	44	0.000186	69	0.000114	94	0.000086	119	0.000099
20	0.000566	45	0.000183	70	0.000188	95	0.000049	120	0.000095
21	0.000515	46	0.000308	71	0.000125	96	0.000124	121	0.000112
22	0.000500	47	0.000125	72	0.000184	97	0.000056	122	0.000032
23	0.000512	48	0.000206	73	0.000195	98	0.000073	123	0.000108
24	0.000559	49	0.000213	74	0.000238	99	0.000089	124	0.000084
25	0.000513	50	0.000307	75	0.000293	100	0.000175	125	0.000061

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
126	0.000146	151	0.000052	176	0.000067	201	0.000025	226	0.000062
127	0.000065	152	0.000030	177	0.000101	202	0.000038	227	0.000041
128	0.000075	153	0.000047	178	0.000049	203	0.000016	228	0.000061
129	0.000098	154	0.000061	179	0.000028	204	0.000054	229	0.000070
130	0.000079	155	0.000063	180	0.000020	205	0.000052	230	0.000077
131	0.000079	156	0.000113	181	0.000019	206	0.000017	231	0.000065
132	0.000073	157	0.000122	182	0.000007	207	0.000044	232	0.000027
133	0.000018	158	0.000114	183	0.000050	208	0.000061	233	0.000054
134	0.000032	159	0.000137	184	0.000035	209	0.000012	234	0.000041
135	0.000035	160	0.000092	185	0.000014	210	0.000025	235	0.000082
136	0.000058	161	0.000101	186	0.000013	211	0.000045	236	0.000042
137	0.000076	162	0.000042	187	0.000016	212	0.000050	237	0.000014
138	0.000093	163	0.000025	188	0.000006	213	0.000053	238	0.000070
139	0.000147	164	0.000046	189	0.000007	214	0.000067	239	0.000048
140	0.000093	165	0.000031	190	0.000002	215	0.000050	240	0.000046
141	0.000017	166	0.000018	191	0.000078	216	0.000025	241	0.000043
142	0.000073	167	0.000122	192	0.000064	217	0.000061	242	0.000079
143	0.000024	168	0.000143	193	0.000036	218	0.000115	243	0.000075
144	0.000036	169	0.000031	194	0.000031	219	0.000053	244	0.000019
145	0.000066	170	0.000036	195	0.000044	220	0.000010	245	0.000016
146	0.000012	171	0.000064	196	0.000009	221	0.000072	246	0.000085
147	0.000049	172	0.000012	197	0.000021	222	0.000113	247	0.000052
148	0.000071	173	0.000074	198	0.000039	223	0.000042	248	0.000077
149	0.000143	174	0.000033	199	0.000022	224	0.000075	249	0.000114
150	0.000115	175	0.000098	200	0.000004	225	0.000011	250	0.000060

ตารางที่ ก.6 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 1,000

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.00277773	26	0.00017145	51	0.00013920	76	0.00006938	101	0.00003909
2	0.00164824	27	0.00017970	52	0.00007871	77	0.00005158	102	0.00003327
3	0.00129008	28	0.00016076	53	0.00011054	78	0.00004305	103	0.00005076
4	0.00096500	29	0.00015664	54	0.00013109	79	0.00005606	104	0.00004915
5	0.00077690	30	0.00015236	55	0.00009282	80	0.00005477	105	0.00006745
6	0.00069634	31	0.00016569	56	0.00008668	81	0.00006663	106	0.00005887
7	0.00062129	32	0.00014359	57	0.00009968	82	0.00004027	107	0.00004930
8	0.00045629	33	0.00009717	58	0.00006859	83	0.00003681	108	0.00004094
9	0.00052928	34	0.00013342	59	0.00010344	84	0.00006130	109	0.00003924
10	0.00045401	35	0.00014035	60	0.00006977	85	0.00006740	110	0.00003905
11	0.00042477	36	0.00014379	61	0.00008059	86	0.00006870	111	0.00003954
12	0.00042010	37	0.00008046	62	0.00007645	87	0.00005488	112	0.00002548
13	0.00029967	38	0.00010427	63	0.00008488	88	0.00004533	113	0.00003798
14	0.00033452	39	0.00010878	64	0.00006101	89	0.00004757	114	0.00003487
15	0.00027838	40	0.00011133	65	0.00003147	90	0.00004523	115	0.00008141
16	0.00027159	41	0.00013038	66	0.00003484	91	0.00003242	116	0.00001713
17	0.00031050	42	0.00008931	67	0.00006747	92	0.00005573	117	0.00003274
18	0.00029559	43	0.00008739	68	0.00008905	93	0.00004934	118	0.00003228
19	0.00020437	44	0.00009655	69	0.00009710	94	0.00003085	119	0.00004596
20	0.00022153	45	0.00011325	70	0.00007801	95	0.00002657	120	0.00004705
21	0.00022011	46	0.00007989	71	0.00004771	96	0.00005221	121	0.00004647
22	0.00018419	47	0.00006912	72	0.00008503	97	0.00003921	122	0.00005037
23	0.00024192	48	0.00007459	73	0.00005799	98	0.00005237	123	0.00003194
24	0.00017565	49	0.00009974	74	0.00006368	99	0.00003554	124	0.00003264
25	0.00016938	50	0.00009722	75	0.00005878	100	0.00006194	125	0.00005419

ตารางที่ ก.6 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
126	0.00004042	151	0.00005205	176	0.00001730	201	0.00003560	226	0.00001364
127	0.00002884	152	0.00002724	177	0.00004228	202	0.00001309	227	0.00001658
128	0.00003500	153	0.00006116	178	0.00002307	203	0.00001455	228	0.00001976
129	0.00004480	154	0.00003952	179	0.00001026	204	0.00001562	229	0.00001434
130	0.00003576	155	0.00001697	180	0.00003183	205	0.00001040	230	0.00000802
131	0.00001996	156	0.00002161	181	0.00001582	206	0.00002064	231	0.00001085
132	0.00002896	157	0.00004396	182	0.00001970	207	0.00004242	232	0.00001773
133	0.00003164	158	0.00004617	183	0.00002031	208	0.00000860	233	0.00002101
134	0.00003912	159	0.00003221	184	0.00002345	209	0.00001525	234	0.00001557
135	0.00002908	160	0.00005521	185	0.00003851	210	0.00000744	235	0.00000846
136	0.00004896	161	0.00006187	186	0.00003387	211	0.00001811	236	0.00002270
137	0.00003504	162	0.00003722	187	0.00002930	212	0.00002103	237	0.00003222
138	0.00003707	163	0.00003243	188	0.00002691	213	0.00002374	238	0.00003024
139	0.00001986	164	0.00002742	189	0.00003136	214	0.00001513	239	0.00002321
140	0.00003435	165	0.00002005	190	0.00003461	215	0.00001868	240	0.00003970
141	0.00002310	166	0.00002270	191	0.00002486	216	0.00003417	241	0.00004921
142	0.00004626	167	0.00001769	192	0.00003070	217	0.00004267	242	0.00004279
143	0.00003126	168	0.00003310	193	0.00002788	218	0.00001534	243	0.00004462
144	0.00002436	169	0.00001125	194	0.00003051	219	0.00001088	244	0.00004607
145	0.00002799	170	0.00003549	195	0.00003114	220	0.00002564	245	0.00004564
146	0.00002633	171	0.00004000	196	0.00002683	221	0.00001687	246	0.00002118
147	0.00003232	172	0.00003168	197	0.00002596	222	0.00002099	247	0.00004060
148	0.00003441	173	0.00001077	198	0.00002516	223	0.00002606	248	0.00003754
149	0.00004340	174	0.00001844	199	0.00002589	224	0.00002608	249	0.00002055
150	0.00003754	175	0.00003349	200	0.00005207	225	0.00001612	250	0.00004418

ตารางที่ ก.6 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
251	0.00002475	276	0.00001588	301	0.00002235	326	0.00001779	351	0.00000958
252	0.00004559	277	0.00002899	302	0.00001666	327	0.00000348	352	0.00000235
253	0.00002071	278	0.00000777	303	0.00001201	328	0.00000819	353	0.00000936
254	0.00003143	279	0.00001034	304	0.00002858	329	0.00001201	354	0.00001577
255	0.00004166	280	0.00002889	305	0.00001104	330	0.00001074	355	0.00000289
256	0.00001825	281	0.00003946	306	0.00001006	331	0.00000577	356	0.00000378
257	0.00000327	282	0.00001882	307	0.00001145	332	0.00001296	357	0.00001218
258	0.00000808	283	0.00001465	308	0.00001889	333	0.00000274	358	0.00001389
259	0.00001266	284	0.00000847	309	0.00000744	334	0.00000013	359	0.00001093
260	0.00003301	285	0.00003521	310	0.00001150	335	0.00000158	360	0.00000020
261	0.00000484	286	0.00001275	311	0.00001194	336	0.00002087	361	0.00000638
262	0.00000502	287	0.00001753	312	0.00000510	337	0.00000716	362	0.00000221
263	0.00001143	288	0.00002185	313	0.00002806	338	0.00000538	363	0.00000862
264	0.00002506	289	0.00000775	314	0.00003116	339	0.00000690	364	0.00000750
265	0.00001513	290	0.00000139	315	0.00001751	340	0.00001571	365	0.00000450
266	0.00002154	291	0.00002034	316	0.00000308	341	0.00000520	366	0.00000285
267	0.00003608	292	0.00003483	317	0.00000614	342	0.00000666	367	0.00000955
268	0.00002006	293	0.00002302	318	0.00002016	343	0.00001084	368	0.00000619
269	0.00002689	294	0.00000906	319	0.00003454	344	0.00001240	369	0.00000095
270	0.00000411	295	0.00000773	320	0.00000791	345	0.00000667	370	0.00000915
271	0.00001007	296	0.00001851	321	0.00001330	346	0.00001315	371	0.00003238
272	0.00000589	297	0.00002063	322	0.00001394	347	0.00000532	372	0.00003010
273	0.00002084	298	0.00002192	323	0.00001032	348	0.00000896	373	0.00001913
274	0.00003145	299	0.00002375	324	0.00000641	349	0.00000719	374	0.00003470
275	0.00000801	300	0.00001806	325	0.00001290	350	0.00001767	375	0.00001813

ตารางที่ ก.6 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
376	0.00001865	401	0.00001575	426	0.00003293	451	0.00000539	476	0.00002174
377	0.00003074	402	0.00002025	427	0.00003267	452	0.00000569	477	0.00001808
378	0.00003923	403	0.00001199	428	0.00002164	453	0.00002042	478	0.00001740
379	0.00003015	404	0.00001602	429	0.00003318	454	0.00002604	479	0.00001209
380	0.00001158	405	0.00002472	430	0.00001728	455	0.00001841	480	0.00001556
381	0.00001269	406	0.00002907	431	0.00001035	456	0.00002214	481	0.00001607
382	0.00001012	407	0.00002111	432	0.00002447	457	0.00002253	482	0.00001609
383	0.00001698	408	0.00002511	433	0.00002597	458	0.00000782	483	0.00001055
384	0.00001979	409	0.00002842	434	0.00003210	459	0.00000025	484	0.00002379
385	0.00000758	410	0.00002144	435	0.00001071	460	0.00001380	485	0.00001848
386	0.00000986	411	0.00002169	436	0.00001213	461	0.00000635	486	0.00001240
387	0.00001415	412	0.00001801	437	0.00001541	462	0.00000963	487	0.00000025
388	0.00002509	413	0.00000696	438	0.00001914	463	0.00000872	488	0.00002980
389	0.00003157	414	0.00000149	439	0.00002385	464	0.00001590	489	0.00001650
390	0.00001588	415	0.00001016	440	0.00002135	465	0.00001672	490	0.00001670
391	0.00002816	416	0.00001639	441	0.00001614	466	0.00000962	491	0.00001036
392	0.00002069	417	0.00001802	442	0.00001768	467	0.00001359	492	0.00001666
393	0.00001388	418	0.00002006	443	0.00002526	468	0.00001387	493	0.00001783
394	0.00000081	419	0.00003371	444	0.00002424	469	0.00001641	494	0.00002232
395	0.00002077	420	0.00001003	445	0.00002442	470	0.00001426	495	0.00001709
396	0.00002891	421	0.00002257	446	0.00002674	471	0.00002525	496	0.00001313
397	0.00003433	422	0.00001744	447	0.00002300	472	0.00001742	497	0.00001151
398	0.00003815	423	0.00002082	448	0.00002601	473	0.00001807	498	0.00001352
399	0.00003515	424	0.00002504	449	0.00000210	474	0.00002947	499	0.00000980
400	0.00002480	425	0.00002942	450	0.00001100	475	0.00002218	500	0.00000666

ตารางที่ ก.7 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 200

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	1.1712716	21	0.15155	41	0.18183	61	0.14247	81	0.22839
2	0.6601251	22	0.14545	42	0.17471	62	0.11998	82	0.2545
3	0.5233103	23	0.24744	43	0.16504	63	0.11821	83	0.28237
4	0.5135332	24	0.17488	44	0.186	64	0.12798	84	0.25897
5	0.4351894	25	0.18509	45	0.26479	65	0.13154	85	0.2837
6	0.4390349	26	0.15428	46	0.29708	66	0.16533	86	0.23621
7	0.311677	27	0.19622	47	0.29547	67	0.21124	87	0.25274
8	0.2056858	28	0.16534	48	0.26521	68	0.165	88	0.24376
9	0.3067601	29	0.1371	49	0.2531	69	0.19334	89	0.25227
10	0.2828119	30	0.17174	50	0.24781	70	0.20163	90	0.2849
11	0.2648045	31	0.2378	51	0.22478	71	0.17786	91	0.29526
12	0.2188038	32	0.20349	52	0.20116	72	0.19131	92	0.29081
13	0.2937997	33	0.19531	53	0.19155	73	0.18882	93	0.26745
14	0.2918227	34	0.1917	54	0.19499	74	0.19331	94	0.28251
15	0.2066039	35	0.24126	55	0.16605	75	0.21131	95	0.24839
16	0.2467784	36	0.19242	56	0.15524	76	0.20961	96	0.2602
17	0.1630451	37	0.18397	57	0.14146	77	0.19908	97	0.24905
18	0.210155	38	0.2059	58	0.13403	78	0.20982	98	0.22216
19	0.2204011	39	0.20033	59	0.13448	79	0.19695	99	0.20425
20	0.2334451	40	0.20057	60	0.1366	80	0.20048	100	0.20087

ตารางที่ ก.8 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White frequency modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 500

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	1.009497	26	0.187217	51	0.137174	76	0.056110	101	0.188436
2	0.680904	27	0.197596	52	0.145068	77	0.085244	102	0.137972
3	0.595544	28	0.156033	53	0.139413	78	0.119482	103	0.158212
4	0.465663	29	0.129795	54	0.119122	79	0.131508	104	0.143261
5	0.445345	30	0.106395	55	0.090769	80	0.145651	105	0.132343
6	0.411687	31	0.185101	56	0.114742	81	0.126418	106	0.121043
7	0.413155	32	0.168944	57	0.130916	82	0.111486	107	0.122916
8	0.365991	33	0.192118	58	0.144284	83	0.121729	108	0.094423
9	0.347063	34	0.142933	59	0.163274	84	0.071132	109	0.090336
10	0.284134	35	0.147046	60	0.120816	85	0.077593	110	0.060504
11	0.280251	36	0.121286	61	0.119863	86	0.061898	111	0.063892
12	0.291725	37	0.126473	62	0.140170	87	0.076477	112	0.041689
13	0.244596	38	0.131648	63	0.129440	88	0.093921	113	0.032412
14	0.261823	39	0.181586	64	0.120295	89	0.116353	114	0.046810
15	0.250864	40	0.148323	65	0.137489	90	0.107685	115	0.023520
16	0.211024	41	0.099988	66	0.161591	91	0.089270	116	0.024353
17	0.207832	42	0.110006	67	0.172966	92	0.104325	117	0.038568
18	0.224605	43	0.083919	68	0.145340	93	0.119965	118	0.026319
19	0.211822	44	0.100318	69	0.126939	94	0.138155	119	0.029620
20	0.198727	45	0.112979	70	0.097369	95	0.135949	120	0.045391
21	0.157868	46	0.132824	71	0.114759	96	0.144029	121	0.066236
22	0.162670	47	0.132567	72	0.093839	97	0.163944	122	0.075139
23	0.133244	48	0.116771	73	0.106903	98	0.212757	123	0.070853
24	0.193346	49	0.159829	74	0.108613	99	0.201889	124	0.074877
25	0.155635	50	0.157781	75	0.068760	100	0.185542	125	0.081834

ตารางที่ ก.8 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
126	0.052987	151	0.060970	176	0.009849	201	0.009433	226	0.045603
127	0.040169	152	0.052930	177	0.030970	202	0.010899	227	0.052064
128	0.051941	153	0.045249	178	0.024051	203	0.012206	228	0.054735
129	0.071695	154	0.045549	179	0.033470	204	0.038979	229	0.055338
130	0.065438	155	0.048200	180	0.017644	205	0.035034	230	0.048577
131	0.079258	156	0.036575	181	0.014123	206	0.027748	231	0.046275
132	0.083948	157	0.044186	182	0.007775	207	0.033527	232	0.031896
133	0.100459	158	0.043720	183	0.001566	208	0.034484	233	0.028360
134	0.113001	159	0.025404	184	0.009708	209	0.033429	234	0.023948
135	0.099909	160	0.037907	185	0.006414	210	0.032105	235	0.036020
136	0.087211	161	0.029297	186	0.013065	211	0.024694	236	0.027663
137	0.076149	162	0.020308	187	0.000567	212	0.038630	237	0.028037
138	0.067019	163	0.022017	188	0.015366	213	0.034423	238	0.032448
139	0.055702	164	0.016307	189	0.008017	214	0.024245	239	0.024663
140	0.057397	165	0.023586	190	0.016632	215	0.016124	240	0.027585
141	0.067794	166	0.037810	191	0.013122	216	0.000368	241	0.035495
142	0.065746	167	0.020230	192	0.012730	217	0.011755	242	0.035777
143	0.065257	168	0.023201	193	0.022415	218	0.010278	243	0.042586
144	0.053888	169	0.012081	194	0.012398	219	0.024777	244	0.035965
145	0.058087	170	0.023505	195	0.027098	220	0.025536	245	0.033730
146	0.074349	171	0.016549	196	0.021770	221	0.033688	246	0.039944
147	0.085834	172	0.015139	197	0.016552	222	0.053061	247	0.054248
148	0.090959	173	0.014293	198	0.008598	223	0.050029	248	0.049750
149	0.080995	174	0.017153	199	0.004317	224	0.048276	249	0.053121
150	0.063059	175	0.018689	200	0.005750	225	0.051799	250	0.049016

ตารางที่ ก.9 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 1,000

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	1.009178	26	0.219699	51	0.167200	76	0.125565	101	0.061755
2	0.745026	27	0.201310	52	0.174310	77	0.092409	102	0.064917
3	0.593820	28	0.192108	53	0.177042	78	0.095514	103	0.048445
4	0.521951	29	0.220321	54	0.157161	79	0.094386	104	0.031615
5	0.448054	30	0.182917	55	0.166439	80	0.089870	105	0.048441
6	0.409102	31	0.236828	56	0.152106	81	0.098152	106	0.040927
7	0.356186	32	0.190722	57	0.150887	82	0.095115	107	0.066542
8	0.332863	33	0.194127	58	0.183680	83	0.096628	108	0.056228
9	0.288322	34	0.209824	59	0.163347	84	0.088722	109	0.045653
10	0.291096	35	0.194393	60	0.172383	85	0.066517	110	0.064061
11	0.260458	36	0.158447	61	0.176595	86	0.102786	111	0.049414
12	0.296549	37	0.219350	62	0.200830	87	0.119819	112	0.054260
13	0.262775	38	0.184816	63	0.157000	88	0.111399	113	0.051153
14	0.247027	39	0.174199	64	0.122710	89	0.104146	114	0.072534
15	0.261735	40	0.200918	65	0.124626	90	0.099723	115	0.068804
16	0.218520	41	0.206923	66	0.102365	91	0.113398	116	0.095316
17	0.260996	42	0.153929	67	0.130455	92	0.114355	117	0.094888
18	0.233284	43	0.145011	68	0.126074	93	0.123318	118	0.084411
19	0.242263	44	0.152941	69	0.135494	94	0.096593	119	0.089293
20	0.232628	45	0.165697	70	0.137889	95	0.081289	120	0.082318
21	0.229388	46	0.185246	71	0.101051	96	0.066470	121	0.066720
22	0.227863	47	0.167829	72	0.101100	97	0.049375	122	0.091941
23	0.211118	48	0.116797	73	0.140362	98	0.060310	123	0.088279
24	0.230852	49	0.114834	74	0.150414	99	0.052077	124	0.083642
25	0.222112	50	0.184368	75	0.152445	100	0.074325	125	0.082768

ตารางที่ ก.9 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
126	0.073845	151	0.060133	176	0.052000	201	0.062883	226	0.041081
127	0.058519	152	0.059503	177	0.048551	202	0.057326	227	0.042699
128	0.051723	153	0.070130	178	0.055138	203	0.065014	228	0.045944
129	0.061736	154	0.078080	179	0.066831	204	0.074691	229	0.044167
130	0.048693	155	0.065438	180	0.065587	205	0.074139	230	0.038631
131	0.036514	156	0.061584	181	0.084142	206	0.061296	231	0.042455
132	0.036264	157	0.061520	182	0.085297	207	0.059888	232	0.041909
133	0.029452	158	0.051157	183	0.098369	208	0.052703	233	0.043752
134	0.032254	159	0.052614	184	0.106443	209	0.050377	234	0.044827
135	0.039635	160	0.045513	185	0.110676	210	0.051693	235	0.039801
136	0.045288	161	0.040746	186	0.099942	211	0.048254	236	0.034106
137	0.041258	162	0.040006	187	0.099237	212	0.051926	237	0.037228
138	0.033025	163	0.037443	188	0.094314	213	0.043591	238	0.037967
139	0.036217	164	0.024520	189	0.077799	214	0.049303	239	0.036814
140	0.027849	165	0.028594	190	0.069519	215	0.047309	240	0.042094
141	0.025824	166	0.021100	191	0.060330	216	0.045007	241	0.036297
142	0.043591	167	0.018874	192	0.047220	217	0.043762	242	0.039832
143	0.033457	168	0.019289	193	0.035886	218	0.036490	243	0.039519
144	0.028714	169	0.022503	194	0.029673	219	0.037062	244	0.035224
145	0.028832	170	0.025002	195	0.032830	220	0.038451	245	0.038972
146	0.025870	171	0.027820	196	0.036039	221	0.036187	246	0.036792
147	0.028736	172	0.036546	197	0.041477	222	0.037750	247	0.036792
148	0.038281	173	0.044113	198	0.043810	223	0.039970	248	0.036792
149	0.053586	174	0.040595	199	0.051215	224	0.037398	249	0.041366
150	0.057004	175	0.051225	200	0.056927	225	0.041591	250	0.041333

ตารางที่ ก.9 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
251	0.050906	276	0.048711	301	0.058104	326	0.033843	351	0.021424
252	0.052705	277	0.054374	302	0.059663	327	0.034028	352	0.016917
253	0.048237	278	0.049014	303	0.057939	328	0.036846	353	0.017496
254	0.053439	279	0.037440	304	0.055666	329	0.038031	354	0.011412
255	0.058233	280	0.037317	305	0.050371	330	0.038219	355	0.012860
256	0.061476	281	0.039327	306	0.056502	331	0.033994	356	0.019227
257	0.060918	282	0.043709	307	0.059469	332	0.033185	357	0.019894
258	0.064662	283	0.043846	308	0.061352	333	0.032204	358	0.018139
259	0.063181	284	0.042440	309	0.063562	334	0.032605	359	0.029429
260	0.060473	285	0.046519	310	0.067543	335	0.039638	360	0.032717
261	0.056785	286	0.045160	311	0.066009	336	0.035974	361	0.027965
262	0.051590	287	0.044731	312	0.064174	337	0.035514	362	0.030164
263	0.047922	288	0.046495	313	0.068032	338	0.037573	363	0.028112
264	0.052710	289	0.045334	314	0.070952	339	0.045893	364	0.023929
265	0.050571	290	0.046856	315	0.063141	340	0.048101	365	0.017208
266	0.047592	291	0.052052	316	0.057236	341	0.044472	366	0.011114
267	0.046371	292	0.051742	317	0.059959	342	0.043929	367	0.019677
268	0.044664	293	0.049665	318	0.061500	343	0.039303	368	0.020775
269	0.038850	294	0.048412	319	0.053889	344	0.030624	369	0.013189
270	0.040157	295	0.048056	320	0.053032	345	0.027999	370	0.010958
271	0.039282	296	0.050593	321	0.054762	346	0.018844	371	0.004914
272	0.044199	297	0.056304	322	0.048034	347	0.021664	372	0.008937
273	0.040812	298	0.062231	323	0.043747	348	0.016280	373	0.002302
274	0.039631	299	0.064997	324	0.040267	349	0.017182	374	0.008371
275	0.041712	300	0.064027	325	0.035903	350	0.011400	375	0.015634

ตารางที่ ก.9 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
376	0.022021	401	0.074556	426	0.070356	451	0.081488	476	0.068219
377	0.022051	402	0.071130	427	0.076451	452	0.086085	477	0.065839
378	0.027840	403	0.070649	428	0.076378	453	0.084235	478	0.064107
379	0.029206	404	0.066484	429	0.075471	454	0.088672	479	0.063469
380	0.031628	405	0.068542	430	0.073973	455	0.090249	480	0.062156
381	0.042961	406	0.070964	431	0.075806	456	0.093998	481	0.058188
382	0.032613	407	0.072084	432	0.076852	457	0.087081	482	0.052519
383	0.033457	408	0.075120	433	0.076761	458	0.082233	483	0.053506
384	0.038170	409	0.071491	434	0.080736	459	0.084930	484	0.053437
385	0.040403	410	0.074201	435	0.075350	460	0.080359	485	0.056529
386	0.041683	411	0.060208	436	0.076101	461	0.081496	486	0.051893
387	0.050714	412	0.067400	437	0.079118	462	0.086659	487	0.054866
388	0.053412	413	0.066919	438	0.077014	463	0.085084	488	0.055228
389	0.051640	414	0.071265	439	0.078675	464	0.082809	489	0.056061
390	0.051559	415	0.072282	440	0.080084	465	0.082121	490	0.058795
391	0.050054	416	0.075711	441	0.074944	466	0.082879	491	0.052427
392	0.050557	417	0.067660	442	0.074288	467	0.076710	492	0.052178
393	0.063041	418	0.061031	443	0.074045	468	0.081757	493	0.050499
394	0.066981	419	0.056400	444	0.079416	469	0.074832	494	0.054175
395	0.065909	420	0.055620	445	0.078136	470	0.072887	495	0.048687
396	0.065097	421	0.063492	446	0.083827	471	0.067123	496	0.046981
397	0.072986	422	0.062187	447	0.077005	472	0.067772	497	0.046784
398	0.076027	423	0.063167	448	0.074151	473	0.069286	498	0.042456
399	0.074488	424	0.071306	449	0.075216	474	0.068940	499	0.040318
400	0.072762	425	0.070634	450	0.084017	475	0.068849	500	0.046900

ตารางที่ ก.10 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 200

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.006985	21	0.008165	41	0.011137	61	0.003515	81	0.001198
2	0.006706	22	0.008546	42	0.01226	62	0.003222	82	0.001192
3	0.006418	23	0.00963	43	0.013064	63	0.003022	83	0.001217
4	0.006748	24	0.009703	44	0.013949	64	0.002974	84	0.001466
5	0.006712	25	0.009023	45	0.014718	65	0.002935	85	0.001676
6	0.006225	26	0.009626	46	0.01512	66	0.003343	86	0.002083
7	0.006211	27	0.009892	47	0.015621	67	0.001981	87	0.002266
8	0.006135	28	0.009603	48	0.01465	68	0.001448	88	0.00261
9	0.005919	29	0.010661	49	0.014118	69	0.000894	89	0.002816
10	0.005632	30	0.011443	50	0.013027	70	0.000217	90	0.00262
11	0.00546	31	0.011488	51	0.013294	71	0.000243	91	0.002448
12	0.005854	32	0.011558	52	0.011868	72	0.000502	92	0.002192
13	0.006667	33	0.011252	53	0.011353	73	0.000992	93	0.002204
14	0.006713	34	0.012357	54	0.010357	74	0.00111	94	0.002578
15	0.006668	35	0.012193	55	0.009019	75	0.001641	95	0.002463
16	0.0072	36	0.012046	56	0.007171	76	0.001835	96	0.002316
17	0.007205	37	0.011695	57	0.005952	77	0.001684	97	0.002273
18	0.007619	38	0.011156	58	0.004994	78	0.001426	98	0.001918
19	0.0084	39	0.01047	59	0.004387	79	0.00139	99	0.001348
20	0.008013	40	0.010244	60	0.003932	80	0.001409	100	0.00123

ตารางที่ ก.11 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 500

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.003678	26	0.0028	51	0.002287	76	0.002937	101	0.003323
2	0.00353	27	0.001707	52	0.002264	77	0.003134	102	0.003255
3	0.003557	28	0.002298	53	0.002232	78	0.003222	103	0.003214
4	0.003564	29	0.002233	54	0.002225	79	0.003103	104	0.003313
5	0.003611	30	0.00236	55	0.002339	80	0.003039	105	0.003218
6	0.003327	31	0.002153	56	0.002643	81	0.002963	106	0.003207
7	0.003492	32	0.002072	57	0.002602	82	0.002788	107	0.003286
8	0.003343	33	0.002181	58	0.002621	83	0.002749	108	0.003342
9	0.002838	34	0.001876	59	0.00273	84	0.003076	109	0.003377
10	0.002824	35	0.002034	60	0.002701	85	0.003107	110	0.003372
11	0.002686	36	0.001993	61	0.002647	86	0.003318	111	0.003338
12	0.002415	37	0.001658	62	0.002747	87	0.003181	112	0.003272
13	0.002894	38	0.001711	63	0.002932	88	0.003177	113	0.00336
14	0.002736	39	0.002387	64	0.002953	89	0.003178	114	0.00352
15	0.002912	40	0.001814	65	0.00305	90	0.003216	115	0.00364
16	0.002409	41	0.001762	66	0.00286	91	0.003213	116	0.003637
17	0.002846	42	0.001823	67	0.002786	92	0.003122	117	0.003669
18	0.002357	43	0.00228	68	0.002664	93	0.003051	118	0.003662
19	0.002312	44	0.001887	69	0.002731	94	0.002991	119	0.00362
20	0.002013	45	0.001874	70	0.002681	95	0.003098	120	0.003519
21	0.002752	46	0.00201	71	0.002948	96	0.003268	121	0.003351
22	0.00274	47	0.001948	72	0.00311	97	0.003403	122	0.003252
23	0.00205	48	0.002345	73	0.002929	98	0.003293	123	0.003197
24	0.002455	49	0.00218	74	0.002896	99	0.00309	124	0.003122
25	0.001977	50	0.002082	75	0.002882	100	0.002978	125	0.003126

ตารางที่ ก.11(ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
126	0.003839	151	0.002099	176	0.002576	201	0.003187	226	0.003739
127	0.00387	152	0.002017	177	0.002669	202	0.003206	227	0.00379
128	0.003903	153	0.001869	178	0.002686	203	0.003173	228	0.003798
129	0.003953	154	0.001773	179	0.002737	204	0.003132	229	0.003854
130	0.003772	155	0.001689	180	0.00278	205	0.003077	230	0.003871
131	0.003568	156	0.001633	181	0.002778	206	0.003058	231	0.003887
132	0.003431	157	0.001658	182	0.00279	207	0.003152	232	0.003897
133	0.003353	158	0.001618	183	0.002757	208	0.003123	233	0.003921
134	0.003263	159	0.001675	184	0.002838	209	0.003102	234	0.003859
135	0.003181	160	0.001748	185	0.002898	210	0.00313	235	0.003792
136	0.003047	161	0.001784	186	0.0029	211	0.003131	236	0.00377
137	0.002973	162	0.001747	187	0.002897	212	0.003161	237	0.003761
138	0.002869	163	0.001763	188	0.002888	213	0.003211	238	0.003771
139	0.002683	164	0.001759	189	0.002936	214	0.003242	239	0.003778
140	0.002708	165	0.001822	190	0.003038	215	0.003266	240	0.003792
141	0.002718	166	0.001895	191	0.003152	216	0.0033	241	0.003777
142	0.002742	167	0.00157	192	0.003319	217	0.003373	242	0.003782
143	0.00275	168	0.001644	193	0.003442	218	0.003435	243	0.003744
144	0.002661	169	0.001794	194	0.003551	219	0.00355	244	0.003706
145	0.002582	170	0.001924	195	0.003555	220	0.003604	245	0.003699
146	0.002597	171	0.002124	196	0.003489	221	0.003584	246	0.003666
147	0.002465	172	0.00228	197	0.003413	222	0.003588	247	0.003704
148	0.002313	173	0.002327	198	0.003327	223	0.003606	248	0.003756
149	0.002206	174	0.002394	199	0.003312	224	0.00361	249	0.003859
150	0.002122	175	0.00248	200	0.003264	225	0.003705	250	0.003897

ตารางที่ ก.12 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 1,000

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.00185	26	0.001371	51	0.002043	76	0.002237	101	0.002055
2	0.001762	27	0.001622	52	0.001938	77	0.002021	102	0.001747
3	0.001801	28	0.001668	53	0.002041	78	0.001955	103	0.001514
4	0.001712	29	0.001841	54	0.002175	79	0.001851	104	0.001365
5	0.001653	30	0.00175	55	0.002062	80	0.001955	105	0.00129
6	0.001565	31	0.001754	56	0.002151	81	0.002186	106	0.001237
7	0.001501	32	0.001783	57	0.002219	82	0.002325	107	0.001298
8	0.001429	33	0.001762	58	0.002197	83	0.002432	108	0.001482
9	0.001392	34	0.001659	59	0.002125	84	0.002416	109	0.001708
10	0.001395	35	0.001885	60	0.002197	85	0.002606	110	0.001912
11	0.001427	36	0.001711	61	0.002173	86	0.00273	111	0.002166
12	0.00146	37	0.001875	62	0.00205	87	0.002792	112	0.002106
13	0.001494	38	0.001825	63	0.002096	88	0.002668	113	0.002273
14	0.001514	39	0.00189	64	0.002169	89	0.002691	114	0.002363
15	0.001545	40	0.001714	65	0.002241	90	0.002619	115	0.002407
16	0.001612	41	0.001772	66	0.002179	91	0.002405	116	0.00246
17	0.0017	42	0.001804	67	0.002233	92	0.002168	117	0.002454
18	0.001575	43	0.001997	68	0.00226	93	0.002089	118	0.002416
19	0.001546	44	0.001936	69	0.002511	94	0.002022	119	0.002357
20	0.001655	45	0.002005	70	0.002675	95	0.001941	120	0.00233
21	0.001668	46	0.001886	71	0.002559	96	0.002089	121	0.00237
22	0.001676	47	0.001856	72	0.00222	97	0.002424	122	0.002311
23	0.001706	48	0.001882	73	0.002092	98	0.002395	123	0.002216
24	0.001662	49	0.001969	74	0.001921	99	0.002421	124	0.00226
25	0.001759	50	0.002092	75	0.002071	100	0.002371	125	0.002336

ตารางที่ ก.12(ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
126	0.002529	151	0.001499	176	0.001871	201	0.001184	226	0.001131
127	0.002518	152	0.001531	177	0.00194	202	0.001161	227	0.001142
128	0.002526	153	0.001643	178	0.001959	203	0.001134	228	0.001139
129	0.002527	154	0.00169	179	0.002023	204	0.001116	229	0.001137
130	0.002412	155	0.001729	180	0.002034	205	0.001061	230	0.001166
131	0.002276	156	0.001676	181	0.002042	206	0.001029	231	0.00119
132	0.002181	157	0.001629	182	0.001967	207	0.001018	232	0.001216
133	0.002097	158	0.001613	183	0.001928	208	0.00101	233	0.001257
134	0.001999	159	0.001589	184	0.001854	209	0.00099	234	0.001303
135	0.001882	160	0.001564	185	0.001871	210	0.000969	235	0.001388
136	0.001701	161	0.00159	186	0.001862	211	0.000953	236	0.001421
137	0.00151	162	0.001575	187	0.001853	212	0.000925	237	0.001443
138	0.001341	163	0.001576	188	0.0019	213	0.000904	238	0.001472
139	0.001223	164	0.00163	189	0.001872	214	0.000887	239	0.001524
140	0.001085	165	0.001668	190	0.001854	215	0.000899	240	0.001524
141	0.000943	166	0.001667	191	0.001866	216	0.000943	241	0.001546
142	0.000811	167	0.001759	192	0.001854	217	0.00096	242	0.001562
143	0.000846	168	0.001758	193	0.001808	218	0.001001	243	0.001568
144	0.000907	169	0.001684	194	0.001786	219	0.001044	244	0.001584
145	0.000977	170	0.001665	195	0.001673	220	0.001083	245	0.001585
146	0.000994	171	0.001664	196	0.001588	221	0.001108	246	0.0016
147	0.00104	172	0.001647	197	0.001528	222	0.001118	247	0.001614
148	0.001129	173	0.001676	198	0.001467	223	0.001119	248	0.001633
149	0.001234	174	0.001718	199	0.001437	224	0.001151	249	0.001648
150	0.001356	175	0.001788	200	0.001373	225	0.001108	250	0.001658

ตารางที่ ก.12(ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
251	0.001463	276	0.001222	301	0.001079	326	0.000616	351	0.000338
252	0.001481	277	0.001211	302	0.001117	327	0.000608	352	0.000372
253	0.001487	278	0.001207	303	0.001107	328	0.000601	353	0.000407
254	0.001486	279	0.0012	304	0.001082	329	0.000574	354	0.000401
255	0.001489	280	0.001201	305	0.001036	330	0.00056	355	0.000407
256	0.001475	281	0.001183	306	0.000994	331	0.000539	356	0.000433
257	0.00147	282	0.00117	307	0.00098	332	0.000506	357	0.000459
258	0.001461	283	0.00117	308	0.000957	333	0.00046	358	0.000492
259	0.001452	284	0.001158	309	0.000957	334	0.000564	359	0.000518
260	0.00143	285	0.001133	310	0.000937	335	0.000546	360	0.000531
261	0.001417	286	0.001108	311	0.000933	336	0.000555	361	0.000552
262	0.001395	287	0.001092	312	0.000891	337	0.00053	362	0.000557
263	0.001377	288	0.00109	313	0.000875	338	0.00048	363	0.000574
264	0.001371	289	0.0011	314	0.000858	339	0.000457	364	0.000595
265	0.001369	290	0.001094	315	0.000818	340	0.000426	365	0.000613
266	0.001371	291	0.001089	316	0.00079	341	0.000399	366	0.000647
267	0.001369	292	0.001088	317	0.000775	342	0.000368	367	0.000678
268	0.001368	293	0.001105	318	0.00073	343	0.000344	368	0.000705
269	0.001352	294	0.001096	319	0.000698	344	0.000334	369	0.000744
270	0.00133	295	0.001065	320	0.000656	345	0.000347	370	0.000775
271	0.001311	296	0.001076	321	0.000625	346	0.000336	371	0.000793
272	0.00129	297	0.001083	322	0.000626	347	0.000318	372	0.000805
273	0.001283	298	0.001078	323	0.000639	348	0.000301	373	0.000815
274	0.001264	299	0.001098	324	0.000638	349	0.00031	374	0.000833
275	0.001239	300	0.001076	325	0.000625	350	0.000316	375	0.000857

ตารางที่ ก.12(ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
376	0.000885	401	0.001024	426	0.001165	451	0.000752	476	0.000862
377	0.000911	402	0.001026	427	0.001155	452	0.000737	477	0.00087
378	0.000926	403	0.001041	428	0.001137	453	0.000739	478	0.000899
379	0.000937	404	0.001033	429	0.001097	454	0.000752	479	0.000911
380	0.000951	405	0.001017	430	0.001082	455	0.000766	480	0.000917
381	0.000985	406	0.00101	431	0.00106	456	0.000758	481	0.000938
382	0.001008	407	0.001018	432	0.00104	457	0.000758	482	0.000961
383	0.00101	408	0.001025	433	0.001016	458	0.000755	483	0.000976
384	0.001016	409	0.001048	434	0.000984	459	0.000763	484	0.001
385	0.001014	410	0.001061	435	0.000964	460	0.000788	485	0.001015
386	0.001017	411	0.001064	436	0.000937	461	0.000813	486	0.001023
387	0.001007	412	0.001082	437	0.000932	462	0.000826	487	0.001029
388	0.001009	413	0.001083	438	0.000922	463	0.000828	488	0.001016
389	0.001001	414	0.001084	439	0.000924	464	0.000832	489	0.001001
390	0.001011	415	0.001077	440	0.000908	465	0.000841	490	0.000999
391	0.001022	416	0.001087	441	0.000881	466	0.000838	491	0.000994
392	0.00103	417	0.001102	442	0.000862	467	0.000852	492	0.000995
393	0.001022	418	0.001118	443	0.000836	468	0.000863	493	0.001016
394	0.001026	419	0.00114	444	0.000837	469	0.000866	494	0.001028
395	0.001033	420	0.001168	445	0.000834	470	0.000864	495	0.001031
396	0.001023	421	0.001169	446	0.000823	471	0.000865	496	0.00103
397	0.001015	422	0.001171	447	0.000815	472	0.000863	497	0.001017
398	0.00102	423	0.001166	448	0.000791	473	0.00087	498	0.001034
399	0.001021	424	0.00117	449	0.000766	474	0.000862	499	0.001042
400	0.001013	425	0.001173	450	0.000764	475	0.000851	500	0.001058

ตารางที่ ก.13 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณ Random Walk
Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 200

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.705835	21	2.212685	41	3.560123	61	2.004594	81	0.010477
2	0.929412	22	2.186016	42	3.564860	62	1.839652	82	0.053463
3	1.092785	23	2.469680	43	3.549795	63	1.692611	83	0.143404
4	1.319426	24	2.493656	44	3.612090	64	1.614256	84	0.177670
5	1.445593	25	2.257223	45	3.693040	65	1.496397	85	0.190764
6	1.571697	26	2.397483	46	3.745963	66	1.388649	86	0.192315
7	1.654404	27	2.484913	47	3.737276	67	1.498270	87	0.191337
8	1.887450	28	2.423189	48	3.649192	68	1.325226	88	0.192283
9	1.756925	29	2.578963	49	3.497937	69	1.186424	89	0.222342
10	1.795717	30	2.797224	50	3.355920	70	1.079792	90	0.248699
11	1.861076	31	2.977420	51	3.882248	71	0.970263	91	0.271588
12	2.017611	32	2.981617	52	3.645657	72	0.816352	92	0.309782
13	2.041409	33	2.866848	53	3.532491	73	0.663120	93	0.348606
14	2.059130	34	3.062049	54	3.451343	74	0.526093	94	0.390059
15	1.994148	35	3.062762	55	3.426739	75	0.432957	95	0.438555
16	2.000354	36	3.140765	56	3.261178	76	0.347215	96	0.471919
17	1.817629	37	3.277393	57	2.985493	77	0.280732	97	0.514043
18	2.279720	38	3.309314	58	2.737404	78	0.266288	98	0.528217
19	1.989308	39	3.233643	59	2.488401	79	0.197446	99	0.557888
20	2.303950	40	3.157998	60	2.244875	80	0.108483	100	0.603374

ตารางที่ ก.14 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 500

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.698792	26	2.616587	51	4.126873	76	4.804945	101	6.303409
2	0.816339	27	2.705767	52	4.174308	77	4.692989	102	6.263177
3	0.983527	28	2.802533	53	4.149536	78	4.694239	103	6.243555
4	1.112820	29	2.988300	54	4.060205	79	4.748271	104	6.232764
5	1.210515	30	3.058385	55	4.027003	80	4.856771	105	6.225804
6	1.317953	31	2.999293	56	4.266662	81	5.067247	106	6.203458
7	1.469678	32	3.038938	57	4.464948	82	5.252957	107	6.164925
8	1.575820	33	3.153255	58	4.566896	83	5.335512	108	6.150805
9	1.628498	34	3.160728	59	4.620888	84	6.058654	109	6.143629
10	1.617962	35	3.144569	60	4.673636	85	6.204534	110	6.113497
11	1.852000	36	3.453697	61	4.684369	86	6.251712	111	6.071691
12	1.892034	37	3.618443	62	4.569814	87	6.270585	112	6.045926
13	2.001522	38	3.536652	63	4.653526	88	6.286725	113	6.018155
14	1.937838	39	3.438334	64	4.602874	89	6.254709	114	5.995841
15	2.005172	40	3.425503	65	4.656519	90	6.254080	115	5.921303
16	2.179705	41	3.518955	66	4.703875	91	6.232734	116	5.864166
17	2.177101	42	3.634740	67	4.734934	92	6.162417	117	5.870241
18	2.205080	43	3.686157	68	4.825942	93	6.084155	118	5.882977
19	2.241074	44	3.748297	69	4.859447	94	5.989445	119	5.871177
20	2.332149	45	3.850226	70	4.887989	95	5.892604	120	5.901304
21	2.655572	46	4.071752	71	4.902030	96	5.784023	121	5.927877
22	2.560786	47	4.133410	72	5.257309	97	5.713667	122	5.901803
23	2.610107	48	4.102166	73	5.235430	98	5.655112	123	5.836715
24	2.617579	49	4.105578	74	5.109787	99	5.586145	124	5.728509
25	2.794636	50	4.005273	75	4.952437	100	5.539503	125	5.596789

ตารางที่ ก.14 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
126	6.489636	151	3.209085	176	5.627269	201	6.361821	226	6.011179
127	6.362429	152	3.104262	177	5.720166	202	6.331196	227	6.001698
128	6.215643	153	3.014970	178	5.805295	203	6.303331	228	5.999700
129	6.075505	154	2.954506	179	5.886161	204	6.276989	229	5.998149
130	5.937448	155	2.886842	180	5.981068	205	6.261228	230	6.010263
131	5.798499	156	2.858151	181	6.065205	206	6.255225	231	6.029672
132	5.647051	157	2.835721	182	6.140280	207	6.250862	232	6.042309
133	5.464480	158	2.830537	183	6.191647	208	6.242118	233	6.072425
134	5.271224	159	2.847890	184	6.236145	209	6.227494	234	6.106360
135	5.069914	160	2.867015	185	6.279025	210	6.209713	235	6.137941
136	4.873083	161	2.895819	186	6.308473	211	6.177391	236	6.173264
137	4.737052	162	2.937522	187	6.331970	212	6.153965	237	6.215727
138	4.610215	163	2.984610	188	6.349110	213	6.141829	238	6.266739
139	4.513421	164	3.043368	189	6.358384	214	6.125364	239	6.305805
140	4.403506	165	3.114735	190	6.364827	215	6.108616	240	6.333989
141	4.311644	166	3.183800	191	6.354748	216	6.086556	241	6.368962
142	4.226921	167	4.418007	192	6.356601	217	6.067284	242	6.400962
143	4.155040	168	4.596966	193	6.375746	218	6.069123	243	6.431979
144	4.061360	169	4.769924	194	6.378306	219	6.073175	244	6.442997
145	3.961694	170	4.937231	195	6.392018	220	6.076036	245	6.445493
146	3.872029	171	5.080274	196	6.400921	221	6.078081	246	6.439966
147	3.750985	172	5.190851	197	6.394347	222	6.065721	247	6.424534
148	3.617627	173	5.305614	198	6.393163	223	6.049129	248	6.407849
149	3.470834	174	5.414311	199	6.388033	224	6.029284	249	6.389648
150	3.337418	175	5.522965	200	6.385936	225	6.024625	250	6.376670

ตารางที่ ก.15 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 1,000

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.708624	26	2.576431	51	2.419642	76	2.413087	101	2.583475
2	0.845656	27	2.689075	52	3.141291	77	2.223206	102	2.629238
3	0.971919	28	2.532284	53	2.761590	78	2.143398	103	2.689587
4	1.128322	29	2.474773	54	2.435863	79	2.228707	104	2.766073
5	1.219580	30	2.547409	55	3.068037	80	2.431100	105	2.833412
6	1.282488	31	2.503772	56	3.021546	81	2.645301	106	2.893097
7	1.398337	32	2.698709	57	2.349960	82	2.633397	107	2.956498
8	1.496689	33	2.742033	58	2.446594	83	2.698760	108	3.021120
9	1.603574	34	2.789290	59	2.961681	84	2.985603	109	3.096159
10	1.644392	35	2.647259	60	2.978056	85	3.033222	110	3.168052
11	1.662943	36	2.600464	61	2.587372	86	3.067114	111	3.168043
12	1.796578	37	3.017185	62	2.638876	87	3.095649	112	3.334839
13	1.815235	38	2.758940	63	3.027587	88	3.135743	113	3.351681
14	1.921283	39	2.714047	64	2.856288	89	3.029374	114	3.327244
15	1.926229	40	3.122769	65	2.361564	90	2.795604	115	3.280864
16	2.058779	41	2.540956	66	2.033988	91	2.752092	116	3.223011
17	2.034653	42	2.941654	67	2.372651	92	2.683243	117	3.184913
18	2.205584	43	2.877278	68	2.891095	93	2.644308	118	3.139217
19	2.222065	44	2.816199	69	3.053876	94	2.595938	119	3.108643
20	2.357075	45	2.905185	70	2.819746	95	2.569488	120	3.096417
21	2.232321	46	2.625726	71	2.670534	96	2.592203	121	3.114023
22	2.353405	47	3.146135	72	2.795267	97	2.675599	122	3.130113
23	2.381311	48	2.683578	73	2.961043	98	2.651854	123	3.142448
24	2.331802	49	3.079758	74	3.111391	99	2.569841	124	3.135444
25	2.629707	50	3.095703	75	2.851903	100	2.436131	125	3.110460

ตารางที่ ก.15 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
126	3.326113	151	3.480612	176	4.372267	201	4.938691	226	4.761590
127	3.299899	152	3.494801	177	4.356683	202	4.910121	227	4.769294
128	3.276697	153	3.519775	178	4.343389	203	4.880454	228	4.775258
129	3.263357	154	3.550809	179	4.331290	204	4.857664	229	4.787263
130	3.246415	155	3.591900	180	4.315891	205	4.829695	230	4.803433
131	3.221841	156	3.643294	181	4.309389	206	4.807122	231	4.815095
132	3.202831	157	3.687326	182	4.313557	207	4.790886	232	4.833532
133	3.192667	158	3.703551	183	4.325813	208	4.780390	233	4.851894
134	3.167878	159	3.723380	184	4.341611	209	4.774718	234	4.870698
135	3.139428	160	3.745660	185	4.373929	210	4.772344	235	4.883990
136	3.116747	161	3.743636	186	4.399516	211	4.768501	236	4.890767
137	3.113604	162	3.734769	187	4.421401	212	4.770389	237	4.887096
138	3.111340	163	3.734796	188	4.443959	213	4.772207	238	4.887247
139	3.109573	164	3.745527	189	4.459699	214	4.769707	239	4.886806
140	3.096313	165	3.764351	190	4.445841	215	4.765011	240	4.881894
141	3.101519	166	3.798672	191	4.432306	216	4.771926	241	4.886680
142	3.105748	167	4.276672	192	4.423210	217	4.783121	242	4.899285
143	3.402876	168	4.304238	193	4.426336	218	4.785058	243	4.917077
144	3.401651	169	4.334989	194	4.426093	219	4.775319	244	4.924046
145	3.413539	170	4.354074	195	4.419677	220	4.765477	245	4.933364
146	3.431534	171	4.372907	196	4.405045	221	4.757346	246	4.948780
147	3.435370	172	4.379203	197	4.379232	222	4.750156	247	4.960906
148	3.427247	173	4.381485	198	4.352335	223	4.754974	248	4.963626
149	3.439814	174	4.381923	199	4.327573	224	4.762804	249	4.962963
150	3.453066	175	4.379648	200	4.298732	225	4.759285	250	4.957480

ตารางที่ ก.15 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
251	6.068165	276	5.507926	301	4.893308	326	3.945174	351	4.027169
252	6.066996	277	5.496115	302	4.857728	327	3.892357	352	4.011944
253	6.055139	278	5.484473	303	4.815036	328	3.837433	353	3.995955
254	6.047762	279	5.465848	304	4.773862	329	3.784669	354	3.987348
255	6.034815	280	5.448507	305	4.741887	330	3.734269	355	3.990873
256	6.022318	281	5.447906	306	4.712948	331	3.684240	356	3.989218
257	5.999888	282	5.442960	307	4.673732	332	3.635497	357	3.989265
258	5.975943	283	5.434376	308	4.635593	333	3.590747	358	3.987561
259	5.954164	284	5.423380	309	4.603332	334	4.962140	359	3.976964
260	5.923752	285	5.409257	310	4.570102	335	4.920974	360	3.956682
261	5.893768	286	5.390257	311	4.534258	336	4.883267	361	3.933860
262	5.859024	287	5.366725	312	4.502936	337	4.842667	362	3.919924
263	5.821824	288	5.340599	313	4.469940	338	4.798406	363	3.906432
264	5.798191	289	5.308879	314	4.432226	339	4.771012	364	3.892068
265	5.780120	290	5.285893	315	4.393110	340	4.753721	365	3.888268
266	5.754542	291	5.266275	316	4.354868	341	4.728767	366	3.883303
267	5.722597	292	5.242609	317	4.318443	342	4.708573	367	3.878939
268	5.688301	293	5.219049	318	4.286637	343	4.691168	368	3.879353
269	5.650931	294	5.183897	319	4.251463	344	4.675515	369	3.883145
270	5.622763	295	5.142308	320	4.212543	345	4.653338	370	3.888988
271	5.603813	296	5.091662	321	4.170283	346	4.638287	371	3.887583
272	5.581346	297	5.058259	322	4.118750	347	4.628373	372	3.894745
273	5.562338	298	5.024918	323	4.072912	348	4.620108	373	3.899086
274	5.547968	299	4.981893	324	4.030711	349	4.614618	374	3.915072
275	5.525073	300	4.939107	325	3.989257	350	4.611746	375	3.933922

ตารางที่ ก.15 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
376	4.027169	401	3.956541	426	4.035278	451	3.348309	476	3.052505
377	4.011944	402	3.974169	427	4.007392	452	3.342449	477	3.036173
378	3.995955	403	4.002041	428	3.981810	453	3.340542	478	3.024011
379	3.987348	404	4.029623	429	3.950217	454	3.340477	479	3.016372
380	3.990873	405	4.053320	430	3.913901	455	3.334933	480	3.013356
381	3.989218	406	4.073225	431	3.871913	456	3.329613	481	3.009595
382	3.989265	407	4.093386	432	3.828741	457	3.322635	482	2.999788
383	3.987561	408	4.113051	433	3.780481	458	3.308500	483	2.989787
384	3.976964	409	4.126866	434	3.737782	459	3.293417	484	2.975994
385	3.956682	410	4.135556	435	3.697420	460	3.276526	485	2.958768
386	3.933860	411	4.149050	436	3.659251	461	3.260901	486	2.933954
387	3.919924	412	4.160558	437	3.625355	462	3.250703	487	2.904879
388	3.906432	413	4.165057	438	3.599708	463	3.234879	488	2.875301
389	3.892068	414	4.176556	439	3.574164	464	3.224698	489	2.842313
390	3.888268	415	4.186124	440	3.546028	465	3.218995	490	2.809320
391	3.883303	416	4.188729	441	3.515526	466	3.207944	491	2.778024
392	3.878939	417	4.191233	442	3.486478	467	3.199469	492	2.742551
393	3.879353	418	4.191822	443	3.464357	468	3.178863	493	2.702154
394	3.883145	419	4.182833	444	3.438099	469	3.160050	494	2.656142
395	3.888988	420	4.166559	445	3.410414	470	3.152691	495	2.603893
396	3.887583	421	4.145355	446	3.386499	471	3.139547	496	2.549497
397	3.894745	422	4.125007	447	3.366417	472	3.129085	497	2.491938
398	3.899086	423	4.105928	448	3.350076	473	3.109358	498	2.431503
399	3.915072	424	4.082220	449	3.345305	474	3.089222	499	2.375730
400	3.933922	425	4.059467	450	3.349034	475	3.072971	500	2.327202



ภาคผนวก ข

ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน

ตารางที่ ข.1 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน
White Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 200

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	1.760763	21	0.084827	41	0.044895	61	0.028041	81	0.022468
2	0.848613	22	0.071570	42	0.034200	62	0.030981	82	0.021479
3	0.558218	23	0.075363	43	0.037023	63	0.028165	83	0.022116
4	0.408540	24	0.071409	44	0.037366	64	0.024129	84	0.020479
5	0.356567	25	0.062900	45	0.036721	65	0.027996	85	0.019923
6	0.293370	26	0.065273	46	0.032323	66	0.027365	86	0.022540
7	0.208816	27	0.066121	47	0.036110	67	0.024693	87	0.018795
8	0.202762	28	0.062721	48	0.037576	68	0.025145	88	0.020471
9	0.206663	29	0.054991	49	0.037020	69	0.026655	89	0.019616
10	0.163234	30	0.054389	50	0.028373	70	0.025718	90	0.018104
11	0.148646	31	0.056897	51	0.039288	71	0.025429	91	0.019137
12	0.133583	32	0.052892	52	0.032972	72	0.022795	92	0.023594
13	0.134478	33	0.054382	53	0.031556	73	0.025405	93	0.021027
14	0.125426	34	0.051882	54	0.028634	74	0.024574	94	0.013249
15	0.111247	35	0.047980	55	0.033681	75	0.018875	95	0.011192
16	0.114576	36	0.048604	56	0.032112	76	0.022407	96	0.013703
17	0.105259	37	0.046049	57	0.026855	77	0.024505	97	0.014451
18	0.084708	38	0.045424	58	0.032970	78	0.023158	98	0.009620
19	0.089132	39	0.044040	59	0.031847	79	0.018458	99	0.008683
20	0.080293	40	0.042410	60	0.027618	80	0.021363	100	0.018896

ตารางที่ ข.2 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 500

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	1.661880	26	0.064151	51	0.033920	76	0.019750	101	0.017606
2	0.848171	27	0.062066	52	0.035166	77	0.021584	102	0.016343
3	0.587699	28	0.061178	53	0.032107	78	0.021230	103	0.016887
4	0.436547	29	0.058318	54	0.032270	79	0.022748	104	0.016866
5	0.348546	30	0.053360	55	0.030249	80	0.020760	105	0.016526
6	0.290417	31	0.058079	56	0.029688	81	0.019484	106	0.016645
7	0.237938	32	0.056518	57	0.029375	82	0.021645	107	0.015603
8	0.218430	33	0.052729	58	0.029828	83	0.020254	108	0.016011
9	0.193129	34	0.049183	59	0.030244	84	0.021198	109	0.015743
10	0.171942	35	0.046918	60	0.028116	85	0.020482	110	0.015421
11	0.158005	36	0.046875	61	0.027273	86	0.021400	111	0.015882
12	0.140037	37	0.046442	62	0.026980	87	0.020510	112	0.015238
13	0.131782	38	0.048218	63	0.025725	88	0.019118	113	0.015143
14	0.115892	39	0.043916	64	0.025592	89	0.020243	114	0.015300
15	0.114206	40	0.043553	65	0.026885	90	0.017881	115	0.014540
16	0.107180	41	0.038952	66	0.026206	91	0.017259	116	0.015014
17	0.097933	42	0.039400	67	0.024526	92	0.018690	117	0.014311
18	0.098770	43	0.037553	68	0.025010	93	0.018651	118	0.015020
19	0.086505	44	0.037968	69	0.024246	94	0.019905	119	0.014349
20	0.084862	45	0.037628	70	0.025094	95	0.018080	120	0.014450
21	0.078251	46	0.035122	71	0.023698	96	0.017921	121	0.013440
22	0.079991	47	0.035235	72	0.024359	97	0.017082	122	0.013492
23	0.078311	48	0.036568	73	0.024696	98	0.017294	123	0.012784
24	0.074193	49	0.036313	74	0.022654	99	0.018407	124	0.013394
25	0.070492	50	0.033857	75	0.023062	100	0.017434	125	0.013070

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
126	0.013223	151	0.011423	176	0.009677	201	0.007975	226	0.007820
127	0.013481	152	0.011070	177	0.009687	202	0.008903	227	0.007148
128	0.013369	153	0.011078	178	0.008910	203	0.008544	228	0.007581
129	0.013091	154	0.011929	179	0.009868	204	0.007937	229	0.007546
130	0.012810	155	0.010838	180	0.009116	205	0.007905	230	0.007048
131	0.012580	156	0.011091	181	0.009168	206	0.008829	231	0.006602
132	0.012663	157	0.011102	182	0.010068	207	0.008844	232	0.007157
133	0.013050	158	0.010228	183	0.009651	208	0.008388	233	0.006555
134	0.013078	159	0.010856	184	0.009602	209	0.008063	234	0.006448
135	0.012883	160	0.011236	185	0.009859	210	0.007677	235	0.006299
136	0.011589	161	0.011278	186	0.009347	211	0.008904	236	0.006889
137	0.011649	162	0.011333	187	0.008329	212	0.007681	237	0.005944
138	0.012356	163	0.010866	188	0.008629	213	0.007971	238	0.006519
139	0.012923	164	0.010481	189	0.009899	214	0.007655	239	0.006075
140	0.012728	165	0.010686	190	0.009144	215	0.008096	240	0.005656
141	0.011606	166	0.010255	191	0.008140	216	0.008614	241	0.006440
142	0.012491	167	0.009734	192	0.008141	217	0.007566	242	0.004661
143	0.011026	168	0.010493	193	0.009019	218	0.007789	243	0.003140
144	0.011644	169	0.009841	194	0.009675	219	0.007621	244	0.005164
145	0.011579	170	0.010449	195	0.009501	220	0.008371	245	0.005207
146	0.011407	171	0.009633	196	0.008756	221	0.007561	246	0.006524
147	0.012215	172	0.010260	197	0.007597	222	0.007013	247	0.007217
148	0.011595	173	0.009742	198	0.008149	223	0.008016	248	0.007614
149	0.011809	174	0.009687	199	0.007960	224	0.008077	249	0.005542
150	0.011056	175	0.010250	200	0.007782	225	0.006550	250	0.003184

ตารางที่ ข.3 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 1,000

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	1.868792	26	0.071421	51	0.036878	76	0.024016	101	0.018528
2	0.890131	27	0.067691	52	0.033626	77	0.023422	102	0.017187
3	0.597666	28	0.063213	53	0.033806	78	0.022367	103	0.017867
4	0.457116	29	0.062982	54	0.033846	79	0.024599	104	0.018232
5	0.372177	30	0.060077	55	0.033273	80	0.023022	105	0.016975
6	0.288103	31	0.056050	56	0.032229	81	0.022234	106	0.017460
7	0.261905	32	0.054940	57	0.033500	82	0.022225	107	0.017164
8	0.212890	33	0.055543	58	0.031020	83	0.022517	108	0.016649
9	0.196630	34	0.054085	59	0.031191	84	0.021183	109	0.017361
10	0.179668	35	0.050727	60	0.030553	85	0.020930	110	0.016297
11	0.159068	36	0.050583	61	0.028857	86	0.021184	111	0.016689
12	0.155328	37	0.048737	62	0.029408	87	0.021468	112	0.016960
13	0.137881	38	0.046270	63	0.028073	88	0.020823	113	0.015753
14	0.133243	39	0.045104	64	0.027448	89	0.019905	114	0.015837
15	0.118686	40	0.045684	65	0.028486	90	0.021466	115	0.016142
16	0.115823	41	0.044495	66	0.028218	91	0.019686	116	0.015391
17	0.101899	42	0.042861	67	0.026931	92	0.020129	117	0.015574
18	0.099473	43	0.042473	68	0.026988	93	0.019866	118	0.015372
19	0.093489	44	0.040328	69	0.026300	94	0.019576	119	0.015462
20	0.089799	45	0.040351	70	0.025940	95	0.019386	120	0.014908
21	0.085869	46	0.037555	71	0.025048	96	0.018703	121	0.015243
22	0.082211	47	0.037188	72	0.024741	97	0.018787	122	0.014901
23	0.078899	48	0.037629	73	0.025192	98	0.019292	123	0.014038
24	0.075487	49	0.036507	74	0.023921	99	0.018159	124	0.014157
25	0.069937	50	0.035715	75	0.024782	100	0.018328	125	0.014729

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
126	0.014759	151	0.011836	176	0.010179	201	0.008670	226	0.008321
127	0.014208	152	0.012176	177	0.010308	202	0.008928	227	0.007707
128	0.014480	153	0.012395	178	0.010223	203	0.009060	228	0.008156
129	0.014691	154	0.011824	179	0.010617	204	0.008906	229	0.007959
130	0.013761	155	0.011699	180	0.010211	205	0.008836	230	0.007389
131	0.013903	156	0.012092	181	0.009998	206	0.009064	231	0.008101
132	0.013485	157	0.011480	182	0.009762	207	0.008636	232	0.008168
133	0.013746	158	0.011343	183	0.009860	208	0.008355	233	0.007855
134	0.013495	159	0.011578	184	0.009923	209	0.008467	234	0.007759
135	0.013332	160	0.011349	185	0.009578	210	0.008259	235	0.007712
136	0.013393	161	0.011566	186	0.009487	211	0.008690	236	0.007734
137	0.014042	162	0.010912	187	0.009453	212	0.008279	237	0.007752
138	0.012732	163	0.011339	188	0.009722	213	0.008681	238	0.007406
139	0.013309	164	0.011163	189	0.010062	214	0.008755	239	0.007854
140	0.012790	165	0.011545	190	0.009673	215	0.008485	240	0.007389
141	0.012695	166	0.010417	191	0.009235	216	0.008000	241	0.007686
142	0.012941	167	0.010878	192	0.009822	217	0.008608	242	0.007750
143	0.012690	168	0.010812	193	0.009078	218	0.008269	243	0.007490
144	0.012949	169	0.010813	194	0.009442	219	0.008001	244	0.007710
145	0.012698	170	0.010490	195	0.009294	220	0.008118	245	0.007409
146	0.012405	171	0.011016	196	0.009360	221	0.008256	246	0.007316
147	0.012475	172	0.010353	197	0.009532	222	0.008212	247	0.007331
148	0.012414	173	0.010508	198	0.009133	223	0.008146	248	0.007399
149	0.011519	174	0.010035	199	0.008816	224	0.008258	249	0.007388
150	0.012716	175	0.010678	200	0.009434	225	0.008121	250	0.007318

ตารางที่ ข.3(ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
251	0.006900	276	0.006546	301	0.005836	326	0.005310	351	0.005364
252	0.007481	277	0.006589	302	0.006109	327	0.005763	352	0.005422
253	0.007300	278	0.006822	303	0.006287	328	0.005702	353	0.005068
254	0.007190	279	0.006659	304	0.005726	329	0.005589	354	0.005229
255	0.007246	280	0.006429	305	0.006001	330	0.005589	355	0.005524
256	0.007184	281	0.006297	306	0.005974	331	0.005481	356	0.005186
257	0.007076	282	0.006051	307	0.005947	332	0.005438	357	0.005166
258	0.007192	283	0.006410	308	0.005856	333	0.005422	358	0.005288
259	0.006978	284	0.006543	309	0.006113	334	0.005318	359	0.005158
260	0.007012	285	0.006278	310	0.005834	335	0.005543	360	0.005096
261	0.007353	286	0.006780	311	0.005960	336	0.005446	361	0.005459
262	0.006592	287	0.006364	312	0.005662	337	0.005754	362	0.005184
263	0.006890	288	0.006390	313	0.005832	338	0.005915	363	0.004777
264	0.007366	289	0.006506	314	0.005742	339	0.005230	364	0.004919
265	0.006676	290	0.006238	315	0.005648	340	0.005306	365	0.005061
266	0.006677	291	0.005981	316	0.005678	341	0.005462	366	0.005308
267	0.007033	292	0.006402	317	0.005700	342	0.005313	367	0.005021
268	0.006858	293	0.005882	318	0.005711	343	0.005355	368	0.004905
269	0.006783	294	0.006109	319	0.005823	344	0.005117	369	0.004934
270	0.006809	295	0.006163	320	0.005716	345	0.005379	370	0.005004
271	0.006689	296	0.006303	321	0.005540	346	0.005484	371	0.004910
272	0.006636	297	0.005989	322	0.005714	347	0.005432	372	0.004815
273	0.006658	298	0.005878	323	0.005436	348	0.005330	373	0.004740
274	0.006678	299	0.006379	324	0.005605	349	0.005346	374	0.005160
275	0.006876	300	0.006156	325	0.005633	350	0.005212	375	0.004877

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
376	0.004664	401	0.004213	426	0.003831	451	0.003758	476	0.003811
377	0.004884	402	0.004602	427	0.004065	452	0.003862	477	0.003786
378	0.004796	403	0.004313	428	0.003959	453	0.003729	478	0.003424
379	0.004738	404	0.004510	429	0.003963	454	0.003764	479	0.003684
380	0.004461	405	0.004627	430	0.004474	455	0.003533	480	0.003156
381	0.004670	406	0.004524	431	0.003935	456	0.003944	481	0.003044
382	0.004747	407	0.004216	432	0.004133	457	0.003745	482	0.002851
383	0.004826	408	0.004101	433	0.003932	458	0.004127	483	0.003428
384	0.004848	409	0.004334	434	0.004174	459	0.003959	484	0.002823
385	0.004892	410	0.004493	435	0.004047	460	0.003980	485	0.003271
386	0.004828	411	0.004163	436	0.003889	461	0.004053	486	0.003691
387	0.004695	412	0.004295	437	0.003873	462	0.003817	487	0.003451
388	0.004679	413	0.004624	438	0.003781	463	0.003877	488	0.003864
389	0.004759	414	0.004001	439	0.003774	464	0.004024	489	0.003362
390	0.004685	415	0.004345	440	0.003920	465	0.003603	490	0.003536
391	0.004670	416	0.004244	441	0.003685	466	0.004114	491	0.002498
392	0.004783	417	0.004061	442	0.003741	467	0.003638	492	0.003625
393	0.004776	418	0.003892	443	0.003890	468	0.003826	493	0.003329
394	0.004711	419	0.004303	444	0.003923	469	0.003756	494	0.003710
395	0.004536	420	0.004314	445	0.004001	470	0.004109	495	0.003760
396	0.004864	421	0.004444	446	0.004012	471	0.003992	496	0.004886
397	0.004829	422	0.004351	447	0.003724	472	0.003415	497	0.003623
398	0.004751	423	0.004106	448	0.003555	473	0.003619	498	0.003280
399	0.004725	424	0.003919	449	0.003562	474	0.003576	499	0.002747
400	0.004480	425	0.004147	450	0.003706	475	0.003285	500	0.000400

ตารางที่ ข.4 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 200

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.012789	21	0.001255	41	0.000503	61	0.000412	81	0.000496
2	0.008166	22	0.001193	42	0.000445	62	0.000425	82	0.000497
3	0.005287	23	0.001173	43	0.000449	63	0.000422	83	0.000488
4	0.004333	24	0.001108	44	0.000487	64	0.000445	84	0.000476
5	0.003738	25	0.001010	45	0.000484	65	0.000443	85	0.000439
6	0.003129	26	0.000991	46	0.000477	66	0.000441	86	0.000421
7	0.002728	27	0.001011	47	0.000478	67	0.000444	87	0.000409
8	0.002482	28	0.000972	48	0.000468	68	0.000434	88	0.000407
9	0.002050	29	0.000913	49	0.000463	69	0.000451	89	0.000381
10	0.001854	30	0.000849	50	0.000477	70	0.000471	90	0.000383
11	0.001700	31	0.000779	51	0.000457	71	0.000470	91	0.000359
12	0.001505	32	0.000750	52	0.000462	72	0.000477	92	0.000330
13	0.001504	33	0.000769	53	0.000448	73	0.000468	93	0.000301
14	0.001445	34	0.000757	54	0.000456	74	0.000470	94	0.000286
15	0.001389	35	0.000724	55	0.000430	75	0.000488	95	0.000283
16	0.001343	36	0.000683	56	0.000403	76	0.000506	96	0.000252
17	0.001203	37	0.000652	57	0.000403	77	0.000507	97	0.000229
18	0.001252	38	0.000603	58	0.000408	78	0.000501	98	0.000239
19	0.001236	39	0.000575	59	0.000420	79	0.000501	99	0.000215
20	0.001219	40	0.000528	60	0.000414	80	0.000501	100	0.000261

ตารางที่ ข.5 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker phase modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 500

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.005009	26	0.000365	51	0.000226	76	0.000166	101	0.000114
2	0.003596	27	0.000355	52	0.000228	77	0.000167	102	0.000110
3	0.002565	28	0.000343	53	0.000223	78	0.000164	103	0.000109
4	0.002066	29	0.000347	54	0.000212	79	0.000162	104	0.000113
5	0.001729	30	0.000342	55	0.000211	80	0.000162	105	0.000113
6	0.001464	31	0.000337	56	0.000206	81	0.000160	106	0.000112
7	0.001251	32	0.000338	57	0.000201	82	0.000156	107	0.000109
8	0.001077	33	0.000333	58	0.000198	83	0.000151	108	0.000107
9	0.000991	34	0.000311	59	0.000198	84	0.000145	109	0.000105
10	0.000871	35	0.000292	60	0.000196	85	0.000142	110	0.000104
11	0.000822	36	0.000285	61	0.000189	86	0.000145	111	0.000105
12	0.000793	37	0.000284	62	0.000188	87	0.000141	112	0.000104
13	0.000740	38	0.000273	63	0.000185	88	0.000135	113	0.000105
14	0.000700	39	0.000273	64	0.000180	89	0.000131	114	0.000106
15	0.000652	40	0.000268	65	0.000172	90	0.000128	115	0.000101
16	0.000607	41	0.000267	66	0.000172	91	0.000125	116	0.000098
17	0.000564	42	0.000262	67	0.000180	92	0.000122	117	0.000097
18	0.000532	43	0.000251	68	0.000177	93	0.000120	118	0.000094
19	0.000515	44	0.000249	69	0.000173	94	0.000119	119	0.000089
20	0.000502	45	0.000246	70	0.000174	95	0.000119	120	0.000089
21	0.000497	46	0.000242	71	0.000173	96	0.000120	121	0.000096
22	0.000481	47	0.000234	72	0.000172	97	0.000119	122	0.000093
23	0.000448	48	0.000228	73	0.000166	98	0.000117	123	0.000094
24	0.000416	49	0.000227	74	0.000165	99	0.000115	124	0.000094
25	0.000390	50	0.000227	75	0.000167	100	0.000114	125	0.000094

ตารางที่ ข.5 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
126	0.000094	151	0.000076	176	0.000072	201	0.000057	226	0.000050
127	0.000094	152	0.000077	177	0.000073	202	0.000056	227	0.000053
128	0.000095	153	0.000074	178	0.000073	203	0.000056	228	0.000050
129	0.000096	154	0.000073	179	0.000074	204	0.000057	229	0.000050
130	0.000100	155	0.000077	180	0.000072	205	0.000056	230	0.000052
131	0.000101	156	0.000076	181	0.000071	206	0.000057	231	0.000053
132	0.000100	157	0.000074	182	0.000071	207	0.000056	232	0.000053
133	0.000098	158	0.000076	183	0.000069	208	0.000057	233	0.000055
134	0.000094	159	0.000076	184	0.000065	209	0.000058	234	0.000056
135	0.000091	160	0.000075	185	0.000064	210	0.000055	235	0.000054
136	0.000089	161	0.000072	186	0.000065	211	0.000054	236	0.000056
137	0.000085	162	0.000072	187	0.000064	212	0.000056	237	0.000057
138	0.000084	163	0.000070	188	0.000064	213	0.000059	238	0.000058
139	0.000085	164	0.000070	189	0.000065	214	0.000060	239	0.000062
140	0.000087	165	0.000070	190	0.000065	215	0.000057	240	0.000063
141	0.000086	166	0.000070	191	0.000061	216	0.000055	241	0.000067
142	0.000085	167	0.000069	192	0.000060	217	0.000056	242	0.000069
143	0.000082	168	0.000071	193	0.000060	218	0.000055	243	0.000067
144	0.000080	169	0.000072	194	0.000061	219	0.000054	244	0.000071
145	0.000080	170	0.000073	195	0.000063	220	0.000056	245	0.000079
146	0.000080	171	0.000073	196	0.000062	221	0.000055	246	0.000080
147	0.000078	172	0.000071	197	0.000060	222	0.000054	247	0.000082
148	0.000075	173	0.000071	198	0.000059	223	0.000053	248	0.000097
149	0.000075	174	0.000072	199	0.000058	224	0.000053	249	0.000093
150	0.000076	175	0.000073	200	0.000058	225	0.000048	250	0.000060

ตารางที่ ข.6 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 1,000

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.002778	26	0.000168	51	0.000093	76	0.000066	101	0.000048
2	0.001672	27	0.000163	52	0.000089	77	0.000064	102	0.000048
3	0.001232	28	0.000156	53	0.000090	78	0.000063	103	0.000048
4	0.000950	29	0.000153	54	0.000090	79	0.000061	104	0.000049
5	0.000802	30	0.000148	55	0.000086	80	0.000058	105	0.000048
6	0.000653	31	0.000146	56	0.000083	81	0.000056	106	0.000047
7	0.000580	32	0.000146	57	0.000081	82	0.000057	107	0.000046
8	0.000508	33	0.000136	58	0.000079	83	0.000056	108	0.000045
9	0.000463	34	0.000131	59	0.000076	84	0.000058	109	0.000045
10	0.000420	35	0.000124	60	0.000076	85	0.000057	110	0.000045
11	0.000389	36	0.000120	61	0.000077	86	0.000056	111	0.000044
12	0.000358	37	0.000115	62	0.000073	87	0.000057	112	0.000046
13	0.000324	38	0.000115	63	0.000071	88	0.000057	113	0.000047
14	0.000298	39	0.000113	64	0.000070	89	0.000054	114	0.000047
15	0.000287	40	0.000108	65	0.000071	90	0.000055	115	0.000047
16	0.000265	41	0.000109	66	0.000071	91	0.000056	116	0.000046
17	0.000246	42	0.000107	67	0.000072	92	0.000057	117	0.000046
18	0.000229	43	0.000102	68	0.000072	93	0.000057	118	0.000046
19	0.000207	44	0.000099	69	0.000073	94	0.000056	119	0.000046
20	0.000199	45	0.000097	70	0.000071	95	0.000055	120	0.000045
21	0.000194	46	0.000093	71	0.000070	96	0.000054	121	0.000044
22	0.000190	47	0.000094	72	0.000070	97	0.000053	122	0.000043
23	0.000184	48	0.000091	73	0.000071	98	0.000053	123	0.000043
24	0.000180	49	0.000091	74	0.000068	99	0.000051	124	0.000044
25	0.000176	50	0.000093	75	0.000067	100	0.000049	125	0.000043

ตารางที่ ข.6 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
126	0.000042	151	0.000037	176	0.000033	201	0.000030	226	0.000026
127	0.000043	152	0.000036	177	0.000034	202	0.000030	227	0.000026
128	0.000043	153	0.000037	178	0.000034	203	0.000029	228	0.000026
129	0.000041	154	0.000037	179	0.000034	204	0.000029	229	0.000026
130	0.000041	155	0.000037	180	0.000033	205	0.000029	230	0.000027
131	0.000040	156	0.000037	181	0.000033	206	0.000028	231	0.000027
132	0.000041	157	0.000036	182	0.000033	207	0.000029	232	0.000027
133	0.000041	158	0.000036	183	0.000033	208	0.000028	233	0.000027
134	0.000041	159	0.000035	184	0.000033	209	0.000028	234	0.000026
135	0.000040	160	0.000035	185	0.000032	210	0.000027	235	0.000027
136	0.000040	161	0.000035	186	0.000032	211	0.000028	236	0.000026
137	0.000040	162	0.000035	187	0.000032	212	0.000028	237	0.000026
138	0.000040	163	0.000035	188	0.000031	213	0.000028	238	0.000026
139	0.000039	164	0.000035	189	0.000031	214	0.000028	239	0.000026
140	0.000039	165	0.000035	190	0.000031	215	0.000028	240	0.000027
141	0.000039	166	0.000034	191	0.000032	216	0.000028	241	0.000027
142	0.000038	167	0.000035	192	0.000031	217	0.000027	242	0.000027
143	0.000038	168	0.000035	193	0.000031	218	0.000027	243	0.000026
144	0.000037	169	0.000034	194	0.000031	219	0.000028	244	0.000026
145	0.000036	170	0.000034	195	0.000031	220	0.000027	245	0.000026
146	0.000036	171	0.000034	196	0.000031	221	0.000028	246	0.000026
147	0.000037	172	0.000034	197	0.000030	222	0.000028	247	0.000026
148	0.000037	173	0.000033	198	0.000030	223	0.000027	248	0.000026
149	0.000037	174	0.000034	199	0.000030	224	0.000027	249	0.000026
150	0.000037	175	0.000033	200	0.000030	225	0.000026	250	0.000026

ตารางที่ ข.6 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
251	0.000025	276	0.000022	301	0.000022	326	0.000022	351	0.000021
252	0.000025	277	0.000022	302	0.000022	327	0.000022	352	0.000021
253	0.000024	278	0.000023	303	0.000022	328	0.000021	353	0.000020
254	0.000024	279	0.000023	304	0.000023	329	0.000022	354	0.000020
255	0.000024	280	0.000023	305	0.000023	330	0.000021	355	0.000020
256	0.000024	281	0.000023	306	0.000022	331	0.000021	356	0.000020
257	0.000024	282	0.000022	307	0.000022	332	0.000021	357	0.000020
258	0.000024	283	0.000022	308	0.000022	333	0.000021	358	0.000020
259	0.000024	284	0.000023	309	0.000022	334	0.000021	359	0.000020
260	0.000024	285	0.000023	310	0.000022	335	0.000021	360	0.000020
261	0.000025	286	0.000023	311	0.000022	336	0.000021	361	0.000020
262	0.000024	287	0.000023	312	0.000022	337	0.000021	362	0.000020
263	0.000025	288	0.000023	313	0.000022	338	0.000021	363	0.000020
264	0.000024	289	0.000022	314	0.000022	339	0.000021	364	0.000020
265	0.000024	290	0.000022	315	0.000022	340	0.000021	365	0.000020
266	0.000024	291	0.000022	316	0.000022	341	0.000021	366	0.000020
267	0.000023	292	0.000022	317	0.000022	342	0.000021	367	0.000020
268	0.000023	293	0.000022	318	0.000022	343	0.000021	368	0.000020
269	0.000023	294	0.000023	319	0.000022	344	0.000021	369	0.000020
270	0.000023	295	0.000023	320	0.000021	345	0.000021	370	0.000020
271	0.000023	296	0.000023	321	0.000022	346	0.000022	371	0.000020
272	0.000023	297	0.000023	322	0.000021	347	0.000021	372	0.000020
273	0.000023	298	0.000023	323	0.000022	348	0.000021	373	0.000019
274	0.000022	299	0.000022	324	0.000022	349	0.000021	374	0.000020
275	0.000022	300	0.000022	325	0.000022	350	0.000021	375	0.000019

ตารางที่ ข.6 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
376	0.000019	401	0.000017	426	0.000015	451	0.000014	476	0.000012
377	0.000019	402	0.000017	427	0.000015	452	0.000014	477	0.000011
378	0.000019	403	0.000017	428	0.000015	453	0.000014	478	0.000011
379	0.000019	404	0.000017	429	0.000015	454	0.000015	479	0.000011
380	0.000019	405	0.000017	430	0.000014	455	0.000015	480	0.000011
381	0.000019	406	0.000016	431	0.000014	456	0.000014	481	0.000011
382	0.000019	407	0.000016	432	0.000014	457	0.000014	482	0.000011
383	0.000018	408	0.000017	433	0.000014	458	0.000014	483	0.000012
384	0.000019	409	0.000017	434	0.000014	459	0.000014	484	0.000011
385	0.000018	410	0.000017	435	0.000014	460	0.000014	485	0.000011
386	0.000019	411	0.000017	436	0.000014	461	0.000014	486	0.000011
387	0.000019	412	0.000016	437	0.000014	462	0.000014	487	0.000011
388	0.000019	413	0.000016	438	0.000014	463	0.000014	488	0.000011
389	0.000018	414	0.000016	439	0.000014	464	0.000014	489	0.000011
390	0.000018	415	0.000016	440	0.000014	465	0.000014	490	0.000011
391	0.000018	416	0.000016	441	0.000014	466	0.000013	491	0.000011
392	0.000018	417	0.000016	442	0.000014	467	0.000013	492	0.000012
393	0.000018	418	0.000016	443	0.000015	468	0.000013	493	0.000013
394	0.000018	419	0.000016	444	0.000015	469	0.000013	494	0.000013
395	0.000018	420	0.000016	445	0.000014	470	0.000013	495	0.000011
396	0.000018	421	0.000016	446	0.000014	471	0.000013	496	0.000011
397	0.000018	422	0.000016	447	0.000014	472	0.000013	497	0.000010
398	0.000018	423	0.000016	448	0.000014	473	0.000013	498	0.000009
399	0.000018	424	0.000016	449	0.000014	474	0.000013	499	0.000008
400	0.000018	425	0.000016	450	0.000014	475	0.000012	500	0.000007

ตารางที่ ข.7 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 200

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	1.171272	21	0.196806	41	0.222836	61	0.239362	81	0.255811
2	0.691662	22	0.193529	42	0.224827	62	0.241115	82	0.255000
3	0.539534	23	0.187328	43	0.227252	63	0.242853	83	0.254560
4	0.498318	24	0.184702	44	0.229158	64	0.244406	84	0.252762
5	0.459306	25	0.184116	45	0.231068	65	0.245573	85	0.251953
6	0.404646	26	0.184798	46	0.231407	66	0.246481	86	0.250889
7	0.364005	27	0.186327	47	0.231259	67	0.247175	87	0.251708
8	0.330966	28	0.189975	48	0.231479	68	0.247936	88	0.251643
9	0.316303	29	0.193531	49	0.232032	69	0.249358	89	0.250758
10	0.296143	30	0.197695	50	0.232103	70	0.250368	90	0.249485
11	0.287214	31	0.200088	51	0.232421	71	0.251452	91	0.246807
12	0.281345	32	0.204082	52	0.232835	72	0.252972	92	0.241864
13	0.269301	33	0.207188	53	0.233088	73	0.254248	93	0.236251
14	0.255275	34	0.209475	54	0.233289	74	0.255037	94	0.231406
15	0.239619	35	0.211859	55	0.233350	75	0.255477	95	0.221378
16	0.230742	36	0.213594	56	0.234256	76	0.255222	96	0.213615
17	0.219797	37	0.216028	57	0.235086	77	0.255267	97	0.207108
18	0.213965	38	0.217088	58	0.236357	78	0.255267	98	0.203181
19	0.207647	39	0.217733	59	0.237509	79	0.255085	99	0.198835
20	0.202775	40	0.220317	60	0.238062	80	0.255291	100	0.200867

ตารางที่ ข.8 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 500

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	1.009497	26	0.169213	51	0.133304	76	0.137116	101	0.112909
2	0.694755	27	0.166748	52	0.133641	77	0.136738	102	0.111051
3	0.563028	28	0.164781	53	0.133695	78	0.136261	103	0.109391
4	0.487825	29	0.163190	54	0.134109	79	0.135590	104	0.107389
5	0.442374	30	0.160273	55	0.134521	80	0.134969	105	0.105955
6	0.410292	31	0.157375	56	0.134330	81	0.134431	106	0.104765
7	0.372794	32	0.155296	57	0.133951	82	0.133783	107	0.103691
8	0.350941	33	0.154155	58	0.133755	83	0.133069	108	0.102333
9	0.325702	34	0.151257	59	0.133899	84	0.132261	109	0.101045
10	0.308226	35	0.149132	60	0.134415	85	0.131381	110	0.100048
11	0.289979	36	0.147548	61	0.134720	86	0.130435	111	0.099261
12	0.271769	37	0.145517	62	0.135011	87	0.129516	112	0.098626
13	0.257275	38	0.143596	63	0.135205	88	0.128598	113	0.097901
14	0.243153	39	0.141703	64	0.135497	89	0.127894	114	0.097290
15	0.230482	40	0.140818	65	0.135539	90	0.127065	115	0.096472
16	0.216595	41	0.139896	66	0.136059	91	0.126086	116	0.095511
17	0.208716	42	0.139400	67	0.136529	92	0.124936	117	0.094558
18	0.201189	43	0.138397	68	0.137046	93	0.123767	118	0.093592
19	0.195332	44	0.137033	69	0.137242	94	0.122624	119	0.092707
20	0.189245	45	0.136093	70	0.137447	95	0.121525	120	0.091825
21	0.183569	46	0.135316	71	0.137827	96	0.120056	121	0.090877
22	0.179702	47	0.134585	72	0.138013	97	0.118719	122	0.089874
23	0.175543	48	0.134093	73	0.137734	98	0.117410	123	0.088930
24	0.173754	49	0.133854	74	0.137382	99	0.116038	124	0.087970
25	0.170861	50	0.133645	75	0.137270	100	0.114484	125	0.086909

ตารางที่ ข.8 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
126	0.085760	151	0.065123	176	0.057110	201	0.053394	226	0.046898
127	0.084674	152	0.064619	177	0.057074	202	0.053374	227	0.046757
128	0.083672	153	0.064046	178	0.056954	203	0.053349	228	0.046307
129	0.082751	154	0.063528	179	0.056783	204	0.053455	229	0.045927
130	0.081771	155	0.063154	180	0.056694	205	0.052938	230	0.045319
131	0.080623	156	0.062904	181	0.056641	206	0.052339	231	0.044708
132	0.079668	157	0.062542	182	0.056501	207	0.051774	232	0.044597
133	0.078808	158	0.062156	183	0.056424	208	0.051216	233	0.044166
134	0.077974	159	0.061629	184	0.056197	209	0.050710	234	0.043733
135	0.077082	160	0.061086	185	0.055881	210	0.050352	235	0.043462
136	0.076244	161	0.060611	186	0.055510	211	0.050265	236	0.043526
137	0.075530	162	0.060246	187	0.055223	212	0.050256	237	0.043368
138	0.074783	163	0.059886	188	0.055015	213	0.050002	238	0.042880
139	0.074050	164	0.059561	189	0.054686	214	0.049798	239	0.043183
140	0.073290	165	0.059452	190	0.054320	215	0.049756	240	0.043932
141	0.072465	166	0.059057	191	0.053949	216	0.049818	241	0.044606
142	0.071624	167	0.058779	192	0.053795	217	0.049785	242	0.044621
143	0.070676	168	0.058370	193	0.053603	218	0.049692	243	0.043537
144	0.069905	169	0.057996	194	0.053426	219	0.049458	244	0.042692
145	0.069338	170	0.057566	195	0.053388	220	0.049600	245	0.044313
146	0.068693	171	0.057298	196	0.053246	221	0.049340	246	0.046438
147	0.067901	172	0.057307	197	0.053151	222	0.048822	247	0.048800
148	0.067128	173	0.057338	198	0.053133	223	0.048348	248	0.050448
149	0.066429	174	0.057291	199	0.053180	224	0.047936	249	0.052071
150	0.065655	175	0.057157	200	0.053407	225	0.047434	250	0.049016

ตารางที่ ข.9 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน White Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 1,000

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	1.009178	26	0.217548	51	0.162963	76	0.117052	101	0.081205
2	0.760516	27	0.215641	52	0.161411	77	0.115455	102	0.080464
3	0.601430	28	0.212696	53	0.159841	78	0.113693	103	0.079747
4	0.507494	29	0.210804	54	0.158596	79	0.111966	104	0.078974
5	0.446319	30	0.208961	55	0.157342	80	0.110155	105	0.078189
6	0.404572	31	0.207186	56	0.155946	81	0.108441	106	0.077468
7	0.368330	32	0.205562	57	0.154244	82	0.106752	107	0.076601
8	0.341435	33	0.203559	58	0.152181	83	0.104929	108	0.075719
9	0.321428	34	0.200894	59	0.150084	84	0.103207	109	0.074790
10	0.306024	35	0.198303	60	0.148016	85	0.101635	110	0.074056
11	0.294016	36	0.195243	61	0.145891	86	0.100172	111	0.073295
12	0.279908	37	0.192420	62	0.143695	87	0.098773	112	0.072429
13	0.268849	38	0.189402	63	0.141614	88	0.097332	113	0.071620
14	0.261363	39	0.186766	64	0.139445	89	0.095972	114	0.070893
15	0.253784	40	0.184245	65	0.137153	90	0.094462	115	0.070252
16	0.247566	41	0.181745	66	0.135095	91	0.093005	116	0.069466
17	0.243235	42	0.179346	67	0.132995	92	0.091545	117	0.068866
18	0.240748	43	0.177237	68	0.131004	93	0.089989	118	0.068339
19	0.237707	44	0.175387	69	0.129189	94	0.088584	119	0.067754
20	0.234628	45	0.172980	70	0.127187	95	0.087460	120	0.067075
21	0.230675	46	0.171037	71	0.125267	96	0.086504	121	0.066374
22	0.227367	47	0.169604	72	0.123562	97	0.085490	122	0.065748
23	0.225093	48	0.168055	73	0.121830	98	0.084368	123	0.065206
24	0.221750	49	0.166288	74	0.120182	99	0.083135	124	0.064659
25	0.219240	50	0.164698	75	0.118544	100	0.082133	125	0.064168

ตารางที่ ข.9 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
126	0.063748	151	0.057228	176	0.059844	201	0.050906	226	0.043897
127	0.063293	152	0.057160	177	0.059789	202	0.050683	227	0.043776
128	0.063021	153	0.057159	178	0.059658	203	0.050454	228	0.043637
129	0.062770	154	0.057239	179	0.059543	204	0.050190	229	0.043488
130	0.062615	155	0.057280	180	0.059418	205	0.049947	230	0.043351
131	0.062542	156	0.057344	181	0.059231	206	0.049648	231	0.043271
132	0.062462	157	0.057403	182	0.058977	207	0.049359	232	0.043211
133	0.062349	158	0.057549	183	0.058581	208	0.049101	233	0.043098
134	0.062109	159	0.057728	184	0.058134	209	0.048841	234	0.043075
135	0.061772	160	0.057927	185	0.057705	210	0.048601	235	0.043055
136	0.061371	161	0.058041	186	0.057135	211	0.048243	236	0.043003
137	0.061023	162	0.058163	187	0.056508	212	0.047908	237	0.042941
138	0.060656	163	0.058311	188	0.055878	213	0.047582	238	0.042863
139	0.060398	164	0.058459	189	0.055367	214	0.047292	239	0.042773
140	0.060210	165	0.058663	190	0.054831	215	0.047002	240	0.042770
141	0.059972	166	0.058894	191	0.054319	216	0.046642	241	0.042747
142	0.059657	167	0.059064	192	0.053749	217	0.046288	242	0.042629
143	0.059296	168	0.059199	193	0.053281	218	0.046013	243	0.042520
144	0.059004	169	0.059359	194	0.052901	219	0.045722	244	0.042452
145	0.058660	170	0.059471	195	0.052592	220	0.045436	245	0.042411
146	0.058345	171	0.059654	196	0.052323	221	0.045118	246	0.042382
147	0.058023	172	0.059763	197	0.052032	222	0.044816	247	0.042359
148	0.057802	173	0.059845	198	0.051777	223	0.044545	248	0.042264
149	0.057577	174	0.059818	199	0.051452	224	0.044260	249	0.042166
150	0.057371	175	0.059813	200	0.051160	225	0.044077	250	0.042041

ตารางที่ ข.9 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
251	0.041925	276	0.042411	301	0.046588	326	0.045571	351	0.049505
252	0.041889	277	0.042638	302	0.046581	327	0.045672	352	0.049685
253	0.041840	278	0.042889	303	0.046547	328	0.045783	353	0.049890
254	0.041838	279	0.043117	304	0.046553	329	0.045873	354	0.050103
255	0.041741	280	0.043349	305	0.046595	330	0.045964	355	0.050320
256	0.041624	281	0.043595	306	0.046621	331	0.046092	356	0.050540
257	0.041487	282	0.043795	307	0.046578	332	0.046244	357	0.050768
258	0.041408	283	0.044042	308	0.046547	333	0.046392	358	0.050994
259	0.041318	284	0.044312	309	0.046501	334	0.046602	359	0.051228
260	0.041232	285	0.044558	310	0.046487	335	0.046774	360	0.051440
261	0.041127	286	0.044811	311	0.046433	336	0.046927	361	0.051659
262	0.041038	287	0.045020	312	0.046395	337	0.047088	362	0.051878
263	0.041023	288	0.045222	313	0.046294	338	0.047237	363	0.052085
264	0.040970	289	0.045431	314	0.046174	339	0.047413	364	0.052287
265	0.040910	290	0.045632	315	0.046018	340	0.047545	365	0.052482
266	0.040886	291	0.045806	316	0.045888	341	0.047681	366	0.052716
267	0.040902	292	0.045945	317	0.045799	342	0.047821	367	0.052988
268	0.041034	293	0.046094	318	0.045694	343	0.047934	368	0.053265
269	0.041240	294	0.046202	319	0.045590	344	0.048050	369	0.053538
270	0.041451	295	0.046345	320	0.045562	345	0.048205	370	0.053830
271	0.041644	296	0.046459	321	0.045545	346	0.048381	371	0.054124
272	0.041799	297	0.046546	322	0.045520	347	0.048615	372	0.054408
273	0.041896	298	0.046644	323	0.045499	348	0.048867	373	0.054695
274	0.042040	299	0.046678	324	0.045504	349	0.049112	374	0.054999
275	0.042224	300	0.046627	325	0.045515	350	0.049308	375	0.055301

ตารางที่ ข.9 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
376	0.055589	401	0.062248	426	0.067249	451	0.066928	476	0.055229
377	0.055869	402	0.062497	427	0.067300	452	0.066629	477	0.054989
378	0.056144	403	0.062752	428	0.067328	453	0.066243	478	0.054803
379	0.056435	404	0.063027	429	0.067383	454	0.065802	479	0.054655
380	0.056736	405	0.063317	430	0.067452	455	0.065297	480	0.054489
381	0.057028	406	0.063606	431	0.067516	456	0.064798	481	0.054320
382	0.057281	407	0.063889	432	0.067582	457	0.064214	482	0.054282
383	0.057595	408	0.064143	433	0.067697	458	0.063679	483	0.054540
384	0.057907	409	0.064364	434	0.067773	459	0.063192	484	0.054680
385	0.058234	410	0.064595	435	0.067798	460	0.062756	485	0.054681
386	0.058513	411	0.064797	436	0.067805	461	0.062328	486	0.054426
387	0.058778	412	0.065032	437	0.067815	462	0.061807	487	0.054330
388	0.059006	413	0.065212	438	0.067805	463	0.061256	488	0.054313
389	0.059230	414	0.065350	439	0.067880	464	0.060706	489	0.054399
390	0.059449	415	0.065483	440	0.067929	465	0.060160	490	0.053897
391	0.059681	416	0.065591	441	0.068002	466	0.059576	491	0.052969
392	0.059991	417	0.065679	442	0.068127	467	0.058996	492	0.052152
393	0.060303	418	0.065844	443	0.068277	468	0.058412	493	0.051526
394	0.060555	419	0.066057	444	0.068345	469	0.057713	494	0.050541
395	0.060764	420	0.066316	445	0.068247	470	0.057210	495	0.048728
396	0.061011	421	0.066571	446	0.068123	471	0.056828	496	0.047709
397	0.061300	422	0.066787	447	0.067831	472	0.056562	497	0.046676
398	0.061537	423	0.066994	448	0.067600	473	0.056220	498	0.045202
399	0.061753	424	0.067143	449	0.067458	474	0.055809	499	0.044151
400	0.061982	425	0.067205	450	0.067239	475	0.055484	500	0.046900

ตารางที่ ข.10 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 200

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.006985	21	0.008837	41	0.011328	61	0.007091	81	0.004061
2	0.006424	22	0.009146	42	0.011261	62	0.006887	82	0.003945
3	0.006573	23	0.009430	43	0.011166	63	0.006686	83	0.003832
4	0.006784	24	0.009699	44	0.011040	64	0.006499	84	0.003718
5	0.006906	25	0.009946	45	0.010890	65	0.006318	85	0.003599
6	0.006905	26	0.010170	46	0.010707	66	0.006145	86	0.003473
7	0.006748	27	0.010374	47	0.010503	67	0.005984	87	0.003335
8	0.006489	28	0.010552	48	0.010277	68	0.005831	88	0.003193
9	0.006273	29	0.010710	49	0.010041	69	0.005680	89	0.003049
10	0.006131	30	0.010853	50	0.009799	70	0.005531	90	0.002897
11	0.006092	31	0.010981	51	0.009550	71	0.005384	91	0.002754
12	0.006155	32	0.011098	52	0.009281	72	0.005239	92	0.002634
13	0.006345	33	0.011209	53	0.009013	73	0.005095	93	0.002525
14	0.006613	34	0.011313	54	0.008733	74	0.004955	94	0.002402
15	0.006920	35	0.011396	55	0.008456	75	0.004820	95	0.002238
16	0.007236	36	0.011456	56	0.008190	76	0.004686	96	0.002068
17	0.007551	37	0.011485	57	0.007944	77	0.004553	97	0.001859
18	0.007870	38	0.011479	58	0.007714	78	0.004425	98	0.001574
19	0.008193	39	0.011436	59	0.007501	79	0.004302	99	0.001309
20	0.008520	40	0.011385	60	0.007295	80	0.004181	100	0.001230

ตารางที่ ข.11 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน
Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 500

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.003678	26	0.002266	51	0.002281	76	0.002641	101	0.002988
2	0.003587	27	0.002223	52	0.002301	77	0.002654	102	0.003002
3	0.003493	28	0.002188	53	0.002321	78	0.002668	103	0.003015
4	0.003461	29	0.002153	54	0.002339	79	0.002682	104	0.003029
5	0.003442	30	0.002120	55	0.002356	80	0.002695	105	0.003041
6	0.003374	31	0.002090	56	0.002370	81	0.002708	106	0.003054
7	0.003279	32	0.002067	57	0.002382	82	0.002721	107	0.003067
8	0.003153	33	0.002051	58	0.002395	83	0.002736	108	0.003078
9	0.003007	34	0.002042	59	0.002410	84	0.002752	109	0.003090
10	0.002882	35	0.002041	60	0.002426	85	0.002768	110	0.003102
11	0.002772	36	0.002045	61	0.002443	86	0.002784	111	0.003114
12	0.002692	37	0.002055	62	0.002458	87	0.002798	112	0.003126
13	0.002640	38	0.002067	63	0.002472	88	0.002812	113	0.003139
14	0.002607	39	0.002081	64	0.002486	89	0.002825	114	0.003152
15	0.002582	40	0.002094	65	0.002500	90	0.002840	115	0.003165
16	0.002564	41	0.002108	66	0.002512	91	0.002853	116	0.003179
17	0.002542	42	0.002121	67	0.002524	92	0.002866	117	0.003192
18	0.002518	43	0.002134	68	0.002536	93	0.002879	118	0.003206
19	0.002497	44	0.002151	69	0.002549	94	0.002893	119	0.003219
20	0.002474	45	0.002168	70	0.002563	95	0.002907	120	0.003233
21	0.002451	46	0.002187	71	0.002576	96	0.002921	121	0.003247
22	0.002427	47	0.002207	72	0.002589	97	0.002934	122	0.003261
23	0.002395	48	0.002226	73	0.002601	98	0.002947	123	0.003275
24	0.002354	49	0.002243	74	0.002614	99	0.002961	124	0.003289
25	0.002310	50	0.002261	75	0.002627	100	0.002974	125	0.003304

ตารางที่ ข.11(ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
126	0.003318	151	0.003715	176	0.004069	201	0.004203	226	0.004057
127	0.003333	152	0.003732	177	0.004078	202	0.004204	227	0.004041
128	0.003347	153	0.003749	178	0.004086	203	0.004205	228	0.004025
129	0.003361	154	0.003766	179	0.004094	204	0.004207	229	0.004010
130	0.003376	155	0.003782	180	0.004102	205	0.004208	230	0.003992
131	0.003390	156	0.003799	181	0.004109	206	0.004211	231	0.003974
132	0.003405	157	0.003815	182	0.004118	207	0.004212	232	0.003957
133	0.003421	158	0.003831	183	0.004126	208	0.004213	233	0.003939
134	0.003436	159	0.003847	184	0.004135	209	0.004212	234	0.003924
135	0.003452	160	0.003863	185	0.004144	210	0.004211	235	0.003910
136	0.003467	161	0.003879	186	0.004152	211	0.004207	236	0.003897
137	0.003483	162	0.003894	187	0.004160	212	0.004203	237	0.003888
138	0.003499	163	0.003908	188	0.004169	213	0.004199	238	0.003880
139	0.003514	164	0.003923	189	0.004178	214	0.004194	239	0.003873
140	0.003530	165	0.003938	190	0.004186	215	0.004187	240	0.003862
141	0.003546	166	0.003952	191	0.004193	216	0.004179	241	0.003853
142	0.003563	167	0.003966	192	0.004199	217	0.004169	242	0.003849
143	0.003579	168	0.003979	193	0.004203	218	0.004158	243	0.003851
144	0.003596	169	0.003993	194	0.004205	219	0.004146	244	0.003860
145	0.003613	170	0.004006	195	0.004205	220	0.004133	245	0.003871
146	0.003630	171	0.004018	196	0.004204	221	0.004119	246	0.003882
147	0.003647	172	0.004029	197	0.004203	222	0.004105	247	0.003894
148	0.003664	173	0.004040	198	0.004203	223	0.004094	248	0.003905
149	0.003681	174	0.004050	199	0.004203	224	0.004083	249	0.003923
150	0.003698	175	0.004060	200	0.004203	225	0.004071	250	0.003897

ตารางที่ ข.12 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน
Flicker Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 1,000

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.001850	26	0.001749	51	0.002060	76	0.002340	101	0.002273
2	0.001794	27	0.001757	52	0.002079	77	0.002343	102	0.002266
3	0.001794	28	0.001764	53	0.002096	78	0.002345	103	0.002258
4	0.001751	29	0.001769	54	0.002114	79	0.002347	104	0.002250
5	0.001676	30	0.001772	55	0.002131	80	0.002348	105	0.002242
6	0.001577	31	0.001776	56	0.002148	81	0.002349	106	0.002234
7	0.001496	32	0.001780	57	0.002164	82	0.002349	107	0.002225
8	0.001446	33	0.001786	58	0.002179	83	0.002349	108	0.002217
9	0.001424	34	0.001794	59	0.002194	84	0.002349	109	0.002208
10	0.001432	35	0.001803	60	0.002209	85	0.002348	110	0.002198
11	0.001456	36	0.001813	61	0.002222	86	0.002347	111	0.002189
12	0.001488	37	0.001824	62	0.002235	87	0.002346	112	0.002179
13	0.001520	38	0.001836	63	0.002248	88	0.002343	113	0.002169
14	0.001554	39	0.001849	64	0.002259	89	0.002341	114	0.002160
15	0.001586	40	0.001863	65	0.002270	90	0.002338	115	0.002150
16	0.001614	41	0.001877	66	0.002281	91	0.002334	116	0.002140
17	0.001638	42	0.001893	67	0.002290	92	0.002330	117	0.002131
18	0.001658	43	0.001910	68	0.002299	93	0.002326	118	0.002121
19	0.001675	44	0.001927	69	0.002306	94	0.002321	119	0.002112
20	0.001691	45	0.001945	70	0.002314	95	0.002315	120	0.002102
21	0.001705	46	0.001964	71	0.002320	96	0.002309	121	0.002093
22	0.001717	47	0.001983	72	0.002326	97	0.002302	122	0.002083
23	0.001726	48	0.002002	73	0.002330	98	0.002295	123	0.002074
24	0.001735	49	0.002022	74	0.002334	99	0.002288	124	0.002064
25	0.001742	50	0.002041	75	0.002337	100	0.002280	125	0.002055

ตารางที่ ข.12(ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
126	0.002046	151	0.001829	176	0.001609	201	0.001414	226	0.001223
127	0.002037	152	0.001820	177	0.001601	202	0.001407	227	0.001215
128	0.002028	153	0.001812	178	0.001592	203	0.001400	228	0.001206
129	0.002019	154	0.001803	179	0.001583	204	0.001393	229	0.001196
130	0.002010	155	0.001794	180	0.001574	205	0.001386	230	0.001187
131	0.002001	156	0.001785	181	0.001565	206	0.001378	231	0.001178
132	0.001992	157	0.001776	182	0.001556	207	0.001371	232	0.001169
133	0.001983	158	0.001767	183	0.001548	208	0.001364	233	0.001160
134	0.001974	159	0.001758	184	0.001540	209	0.001357	234	0.001151
135	0.001965	160	0.001749	185	0.001532	210	0.001350	235	0.001142
136	0.001956	161	0.001740	186	0.001524	211	0.001342	236	0.001133
137	0.001947	162	0.001731	187	0.001517	212	0.001335	237	0.001124
138	0.001939	163	0.001722	188	0.001509	213	0.001328	238	0.001114
139	0.001930	164	0.001713	189	0.001502	214	0.001321	239	0.001105
140	0.001922	165	0.001704	190	0.001495	215	0.001313	240	0.001096
141	0.001913	166	0.001695	191	0.001487	216	0.001306	241	0.001088
142	0.001905	167	0.001686	192	0.001480	217	0.001299	242	0.001079
143	0.001897	168	0.001678	193	0.001472	218	0.001291	243	0.001070
144	0.001888	169	0.001669	194	0.001465	219	0.001283	244	0.001062
145	0.001880	170	0.001660	195	0.001457	220	0.001276	245	0.001053
146	0.001872	171	0.001652	196	0.001450	221	0.001267	246	0.001044
147	0.001863	172	0.001643	197	0.001443	222	0.001259	247	0.001035
148	0.001855	173	0.001635	198	0.001436	223	0.001250	248	0.001026
149	0.001846	174	0.001626	199	0.001429	224	0.001241	249	0.001017
150	0.001838	175	0.001618	200	0.001422	225	0.001232	250	0.001008

ตารางที่ ข.12(ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
251	0.000999	276	0.000847	301	0.000826	326	0.000883	351	0.000907
252	0.000990	277	0.000844	302	0.000828	327	0.000885	352	0.000907
253	0.000982	278	0.000842	303	0.000829	328	0.000887	353	0.000907
254	0.000974	279	0.000839	304	0.000831	329	0.000889	354	0.000907
255	0.000966	280	0.000837	305	0.000833	330	0.000890	355	0.000907
256	0.000958	281	0.000834	306	0.000835	331	0.000892	356	0.000906
257	0.000950	282	0.000832	307	0.000837	332	0.000894	357	0.000905
258	0.000942	283	0.000830	308	0.000840	333	0.000895	358	0.000905
259	0.000934	284	0.000827	309	0.000842	334	0.000897	359	0.000904
260	0.000927	285	0.000825	310	0.000844	335	0.000898	360	0.000903
261	0.000921	286	0.000823	311	0.000847	336	0.000900	361	0.000902
262	0.000914	287	0.000822	312	0.000849	337	0.000901	362	0.000900
263	0.000909	288	0.000821	313	0.000851	338	0.000902	363	0.000899
264	0.000903	289	0.000820	314	0.000854	339	0.000903	364	0.000898
265	0.000897	290	0.000819	315	0.000856	340	0.000903	365	0.000896
266	0.000892	291	0.000819	316	0.000858	341	0.000904	366	0.000894
267	0.000886	292	0.000819	317	0.000861	342	0.000905	367	0.000892
268	0.000881	293	0.000819	318	0.000863	343	0.000905	368	0.000890
269	0.000875	294	0.000819	319	0.000866	344	0.000906	369	0.000889
270	0.000870	295	0.000819	320	0.000868	345	0.000906	370	0.000886
271	0.000866	296	0.000820	321	0.000871	346	0.000907	371	0.000884
272	0.000862	297	0.000821	322	0.000874	347	0.000907	372	0.000881
273	0.000858	298	0.000822	323	0.000876	348	0.000907	373	0.000879
274	0.000854	299	0.000823	324	0.000878	349	0.000907	374	0.000876
275	0.000850	300	0.000824	325	0.000881	350	0.000907	375	0.000873

ตารางที่ ข.12(ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
376	0.000870	401	0.000780	426	0.000696	451	0.000719	476	0.000889
377	0.000867	402	0.000777	427	0.000693	452	0.000725	477	0.000897
378	0.000864	403	0.000773	428	0.000689	453	0.000731	478	0.000905
379	0.000860	404	0.000769	429	0.000686	454	0.000737	479	0.000912
380	0.000857	405	0.000766	430	0.000684	455	0.000743	480	0.000920
381	0.000853	406	0.000763	431	0.000682	456	0.000748	481	0.000927
382	0.000850	407	0.000760	432	0.000681	457	0.000755	482	0.000934
383	0.000846	408	0.000757	433	0.000680	458	0.000761	483	0.000940
384	0.000842	409	0.000754	434	0.000679	459	0.000768	484	0.000946
385	0.000838	410	0.000751	435	0.000679	460	0.000774	485	0.000951
386	0.000835	411	0.000748	436	0.000679	461	0.000781	486	0.000955
387	0.000831	412	0.000745	437	0.000680	462	0.000787	487	0.000961
388	0.000827	413	0.000742	438	0.000681	463	0.000794	488	0.000966
389	0.000824	414	0.000739	439	0.000682	464	0.000801	489	0.000971
390	0.000820	415	0.000736	440	0.000683	465	0.000808	490	0.000978
391	0.000817	416	0.000733	441	0.000685	466	0.000815	491	0.000986
392	0.000813	417	0.000730	442	0.000687	467	0.000823	492	0.000995
393	0.000809	418	0.000727	443	0.000689	468	0.000830	493	0.001004
394	0.000806	419	0.000723	444	0.000692	469	0.000837	494	0.001011
395	0.000802	420	0.000720	445	0.000695	470	0.000845	495	0.001017
396	0.000798	421	0.000716	446	0.000698	471	0.000852	496	0.001023
397	0.000794	422	0.000712	447	0.000702	472	0.000859	497	0.001031
398	0.000791	423	0.000708	448	0.000705	473	0.000867	498	0.001043
399	0.000787	424	0.000704	449	0.000709	474	0.000874	499	0.001051
400	0.000783	425	0.000700	450	0.000714	475	0.000882	500	0.001058

ตารางที่ ข.13 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณ Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 200

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.705835	21	2.208896	41	2.539751	61	1.990802	81	1.478890
2	0.934038	22	2.261497	42	2.520555	62	1.972587	82	1.428179
3	1.130766	23	2.313076	43	2.498045	63	1.955063	83	1.374194
4	1.300475	24	2.362825	44	2.472116	64	1.937976	84	1.318321
5	1.455313	25	2.410679	45	2.441304	65	1.920458	85	1.260839
6	1.593463	26	2.455055	46	2.406209	66	1.903004	86	1.202186
7	1.704423	27	2.493134	47	2.367949	67	1.885721	87	1.144350
8	1.780954	28	2.524760	48	2.327222	68	1.868113	88	1.091258
9	1.828888	29	2.549882	49	2.287792	69	1.850088	89	1.039194
10	1.861315	30	2.570851	50	2.252719	70	1.830815	90	0.989733
11	1.883282	31	2.589084	51	2.220956	71	1.809884	91	0.942695
12	1.904848	32	2.603660	52	2.193482	72	1.787298	92	0.897835
13	1.927877	33	2.614194	53	2.169788	73	1.762928	93	0.852047
14	1.950914	34	2.618403	54	2.147487	74	1.737345	94	0.804692
15	1.977293	35	2.616427	55	2.124693	75	1.709768	95	0.755819
16	2.005486	36	2.608498	56	2.100282	76	1.679205	96	0.706072
17	2.035779	37	2.595713	57	2.076699	77	1.645710	97	0.661929
18	2.071580	38	2.581989	58	2.054391	78	1.609586	98	0.627066
19	2.112694	39	2.568519	59	2.032390	79	1.570357	99	0.609053
20	2.158439	40	2.555402	60	2.010778	80	1.526400	100	0.603374

ตารางที่ ข.14 ค่า Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 500

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.698792	26	2.771206	51	4.025436	76	4.938163	101	5.434524
2	0.816559	27	2.825808	52	4.071572	77	4.966891	102	5.451158
3	0.976275	28	2.879717	53	4.116897	78	4.994457	103	5.468054
4	1.116381	29	2.932823	54	4.161300	79	5.020847	104	5.485192
5	1.237620	30	2.984779	55	4.204487	80	5.046257	105	5.502549
6	1.345952	31	3.035506	56	4.246425	81	5.070811	106	5.520239
7	1.446646	32	3.085203	57	4.287082	82	5.094312	107	5.538366
8	1.542526	33	3.134186	58	4.326755	83	5.116656	108	5.557042
9	1.634681	34	3.182798	59	4.365522	84	5.137809	109	5.576224
10	1.722510	35	3.231524	60	4.403247	85	5.157752	110	5.595829
11	1.806017	36	3.280645	61	4.440016	86	5.176623	111	5.615727
12	1.885547	37	3.330574	62	4.476197	87	5.194849	112	5.635966
13	1.960334	38	3.381271	63	4.511694	88	5.212578	113	5.656554
14	2.030624	39	3.432662	64	4.546611	89	5.230014	114	5.677408
15	2.098965	40	3.484517	65	4.580888	90	5.247446	115	5.698446
16	2.166992	41	3.536344	66	4.614627	91	5.264905	116	5.719611
17	2.233702	42	3.588083	67	4.648128	92	5.282328	117	5.740790
18	2.299003	43	3.639646	68	4.681287	93	5.299590	118	5.761826
19	2.362826	44	3.690542	69	4.714148	94	5.316787	119	5.782708
20	2.424776	45	3.740536	70	4.746954	95	5.333917	120	5.803497
21	2.484896	46	3.789436	71	4.779878	96	5.350992	121	5.824241
22	2.543881	47	3.837369	72	4.812809	97	5.367990	122	5.844916
23	2.601958	48	3.884771	73	4.845368	98	5.384822	123	5.865510
24	2.659401	49	3.931948	74	4.877225	99	5.401453	124	5.886175
25	2.715880	50	3.978855	75	4.908239	100	5.418018	125	5.906993

ตารางที่ ข.14 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
126	5.927921	151	6.498489	176	6.969998	201	7.026901	226	6.843724
127	5.948891	152	6.522108	177	6.979877	202	7.021893	227	6.833946
128	5.969949	153	6.545656	178	6.988897	203	7.016731	228	6.823618
129	5.991202	154	6.569079	179	6.997149	204	7.011450	229	6.813158
130	6.012724	155	6.592314	180	7.004594	205	7.005749	230	6.802608
131	6.034492	156	6.615347	181	7.011154	206	6.999236	231	6.791357
132	6.056489	157	6.638200	182	7.017043	207	6.991720	232	6.779359
133	6.078737	158	6.660770	183	7.022290	208	6.983422	233	6.767297
134	6.101263	159	6.683019	184	7.027056	209	6.974617	234	6.755096
135	6.124017	160	6.704918	185	7.031358	210	6.965817	235	6.742555
136	6.146910	161	6.726450	186	7.035126	211	6.957032	236	6.729874
137	6.169904	162	6.747445	187	7.038409	212	6.948612	237	6.716343
138	6.192990	163	6.767815	188	7.041268	213	6.940602	238	6.701144
139	6.216162	164	6.787587	189	7.043816	214	6.932891	239	6.683909
140	6.239399	165	6.806819	190	7.046060	215	6.925521	240	6.664929
141	6.262751	166	6.825505	191	7.047860	216	6.918521	241	6.644043
142	6.286179	167	6.843595	192	7.049175	217	6.912244	242	6.620934
143	6.309664	168	6.860953	193	7.049744	218	6.906302	243	6.595173
144	6.333167	169	6.877418	194	7.049392	219	6.900117	244	6.565501
145	6.356695	170	6.893012	195	7.048280	220	6.893457	245	6.534417
146	6.380249	171	6.907697	196	7.046216	221	6.886007	246	6.501550
147	6.403851	172	6.921611	197	7.043327	222	6.877816	247	6.468026
148	6.427495	173	6.934886	198	7.039889	223	6.869299	248	6.435640
149	6.451163	174	6.947456	199	7.036027	224	6.860895	249	6.404279
150	6.474835	175	6.959182	200	7.031693	225	6.852620	250	6.376670

ตารางที่ ข.15 ค่า Overlapping Allan Deviation ของข้อมูลจากการจำลองแบบสัญญาณรบกวน Random Walk Frequency Modulation ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 1,000

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
1	0.708624	26	2.497002	51	2.874053	76	2.751045	101	2.842030
2	0.849748	27	2.529862	52	2.871512	77	2.749736	102	2.849003
3	0.992100	28	2.562269	53	2.867715	78	2.748928	103	2.855965
4	1.113965	29	2.592866	54	2.862969	79	2.748666	104	2.862954
5	1.219413	30	2.621294	55	2.857441	80	2.748929	105	2.870065
6	1.313635	31	2.647622	56	2.851378	81	2.749717	106	2.877353
7	1.399946	32	2.671622	57	2.845095	82	2.750951	107	2.884783
8	1.481962	33	2.694186	58	2.838674	83	2.752620	108	2.892365
9	1.561685	34	2.715276	59	2.832191	84	2.754742	109	2.900145
10	1.639719	35	2.734811	60	2.825707	85	2.757368	110	2.908076
11	1.715219	36	2.752862	61	2.819256	86	2.760471	111	2.916148
12	1.788661	37	2.769511	62	2.812992	87	2.764029	112	2.924357
13	1.859667	38	2.784804	63	2.806877	88	2.767961	113	2.932747
14	1.928317	39	2.798689	64	2.800852	89	2.772165	114	2.941295
15	1.994443	40	2.811200	65	2.794877	90	2.776556	115	2.950042
16	2.056862	41	2.822759	66	2.789022	91	2.781178	116	2.958923
17	2.115709	42	2.833272	67	2.783318	92	2.786113	117	2.967964
18	2.170924	43	2.842852	68	2.777863	93	2.791433	118	2.977206
19	2.222393	44	2.851507	69	2.772879	94	2.797158	119	2.986576
20	2.270566	45	2.858872	70	2.768355	95	2.803142	120	2.996042
21	2.314952	46	2.865059	71	2.764267	96	2.809259	121	3.005670
22	2.355746	47	2.869883	72	2.760670	97	2.815447	122	3.015577
23	2.393744	48	2.873047	73	2.757564	98	2.821794	123	3.025670
24	2.429645	49	2.874725	74	2.754960	99	2.828374	124	3.035913
25	2.463905	50	2.875118	75	2.752794	100	2.835133	125	3.046246

ตารางที่ ข.15 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
126	3.056642	151	3.301295	176	3.330896	201	3.230575	226	3.209192
127	3.067081	152	3.308647	177	3.327150	202	3.227976	227	3.206233
128	3.077552	153	3.315596	178	3.323482	203	3.225767	228	3.202849
129	3.088012	154	3.322087	179	3.319813	204	3.223979	229	3.199061
130	3.098407	155	3.328129	180	3.316097	205	3.222607	230	3.194793
131	3.108728	156	3.333673	181	3.312377	206	3.221659	231	3.189995
132	3.118896	157	3.338670	182	3.308548	207	3.221115	232	3.184725
133	3.129055	158	3.343170	183	3.304559	208	3.220937	233	3.178993
134	3.139279	159	3.347102	184	3.300388	209	3.221049	234	3.172790
135	3.149529	160	3.350453	185	3.296057	210	3.221273	235	3.166057
136	3.159826	161	3.353195	186	3.291592	211	3.221446	236	3.158903
137	3.170178	162	3.355390	187	3.287050	212	3.221550	237	3.151428
138	3.180500	163	3.357086	188	3.282509	213	3.221599	238	3.143800
139	3.190769	164	3.358217	189	3.278043	214	3.221622	239	3.135914
140	3.201049	165	3.358728	190	3.273616	215	3.221618	240	3.127809
141	3.211307	166	3.358573	191	3.269244	216	3.221545	241	3.119569
142	3.221521	167	3.357730	192	3.264999	217	3.221288	242	3.111115
143	3.231593	168	3.356271	193	3.260769	218	3.220816	243	3.102387
144	3.241417	169	3.354269	194	3.256472	219	3.220160	244	3.093333
145	3.250886	170	3.351687	195	3.252213	220	3.219433	245	3.084041
146	3.259989	171	3.348737	196	3.248145	221	3.218545	246	3.074502
147	3.268760	172	3.345495	197	3.244257	222	3.217400	247	3.064726
148	3.277270	173	3.342043	198	3.240506	223	3.215926	248	3.054720
149	3.285556	174	3.338418	199	3.236891	224	3.214044	249	3.044572
150	3.293582	175	3.334670	200	3.233542	225	3.211774	250	3.034311

ตารางที่ ข.15 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
251	3.023994	276	2.763486	301	2.482596	326	2.237920	351	2.139420
252	3.013572	277	2.753126	302	2.472085	327	2.230583	352	2.135146
253	3.003017	278	2.742586	303	2.461576	328	2.223781	353	2.130749
254	2.992353	279	2.731903	304	2.451132	329	2.217518	354	2.126218
255	2.981558	280	2.721134	305	2.440775	330	2.211806	355	2.121596
256	2.970665	281	2.710242	306	2.430378	331	2.206646	356	2.116881
257	2.959710	282	2.699098	307	2.419958	332	2.202054	357	2.112031
258	2.948798	283	2.687755	308	2.409612	333	2.198014	358	2.107058
259	2.937916	284	2.676242	309	2.399335	334	2.194465	359	2.101907
260	2.927081	285	2.664577	310	2.389044	335	2.191193	360	2.096628
261	2.916380	286	2.652824	311	2.378777	336	2.188054	361	2.091295
262	2.905780	287	2.641026	312	2.368532	337	2.184977	362	2.086107
263	2.895321	288	2.629249	313	2.358277	338	2.182006	363	2.081141
264	2.885015	289	2.617529	314	2.348076	339	2.179157	364	2.076423
265	2.874717	290	2.605919	315	2.337979	340	2.176286	365	2.071932
266	2.864422	291	2.594274	316	2.328023	341	2.173322	366	2.067668
267	2.854174	292	2.582580	317	2.318250	342	2.170363	367	2.063609
268	2.844034	293	2.570899	318	2.308575	343	2.167367	368	2.059751
269	2.834015	294	2.559276	319	2.298951	344	2.164303	369	2.056288
270	2.824080	295	2.547816	320	2.289390	345	2.161162	370	2.053160
271	2.814124	296	2.536603	321	2.280002	346	2.157974	371	2.050425
272	2.804129	297	2.525644	322	2.270888	347	2.154663	372	2.047994
273	2.794079	298	2.514754	323	2.262148	348	2.151146	373	2.045912
274	2.783948	299	2.503916	324	2.253740	349	2.147443	374	2.044081
275	2.773730	300	2.493218	325	2.245656	350	2.143539	375	2.042461

ตารางที่ ข.15 (ต่อ)

τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$	τ	$\sigma(\tau)$
376	2.041124	401	2.035067	426	1.929051	451	2.083585	476	2.365291
377	2.040038	402	2.034401	427	1.925145	452	2.096727	477	2.373772
378	2.039182	403	2.033410	428	1.921809	453	2.109789	478	2.381940
379	2.038534	404	2.031890	429	1.919062	454	2.122570	479	2.389608
380	2.037950	405	2.029865	430	1.917103	455	2.135072	480	2.396583
381	2.037267	406	2.027397	431	1.916045	456	2.147473	481	2.402544
382	2.036545	407	2.024530	432	1.915988	457	2.159713	482	2.407437
383	2.035729	408	2.021270	433	1.917063	458	2.171871	483	2.411193
384	2.034853	409	2.017681	434	1.919347	459	2.184102	484	2.413665
385	2.034092	410	2.013789	435	1.922705	460	2.196365	485	2.414769
386	2.033519	411	2.009619	436	1.927147	461	2.208670	486	2.414590
387	2.033133	412	2.005081	437	1.932588	462	2.220919	487	2.413605
388	2.032867	413	2.000211	438	1.938973	463	2.232976	488	2.412157
389	2.032759	414	1.995138	439	1.946127	464	2.244976	489	2.410301
390	2.032856	415	1.989716	440	1.954088	465	2.256796	490	2.407992
391	2.033044	416	1.984091	441	1.962811	466	2.268283	491	2.404375
392	2.033380	417	1.978338	442	1.972362	467	2.279485	492	2.398867
393	2.033817	418	1.972416	443	1.982659	468	2.290316	493	2.391185
394	2.034259	419	1.966322	444	1.993554	469	2.301011	494	2.382084
395	2.034631	420	1.960245	445	2.005135	470	2.311406	495	2.371821
396	2.034920	421	1.954326	446	2.017357	471	2.321229	496	2.361464
397	2.035215	422	1.948633	447	2.030120	472	2.330574	497	2.350619
398	2.035433	423	1.943211	448	2.043341	473	2.339349	498	2.339961
399	2.035581	424	1.938118	449	2.056858	474	2.347942	499	2.331686
400	2.035453	425	1.933403	450	2.070333	475	2.356697	500	2.327202

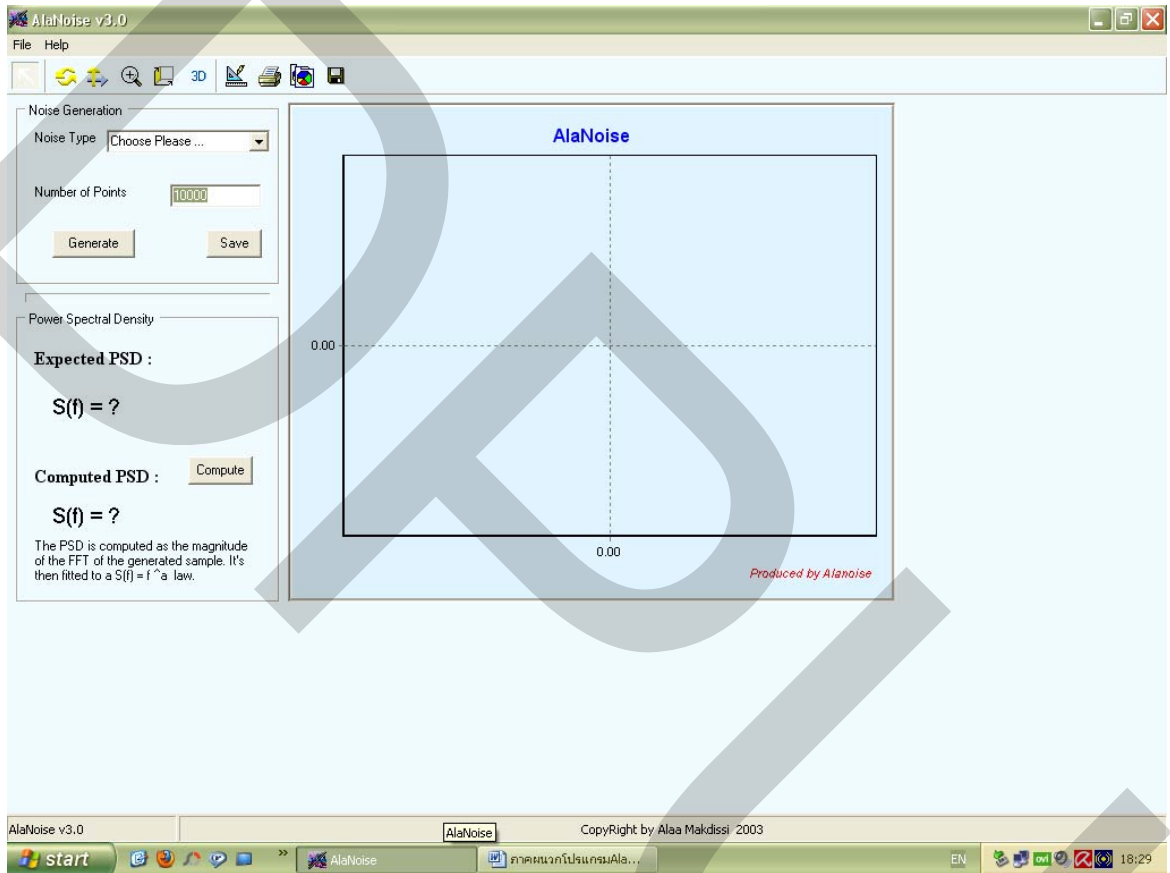


ภาคผนวก ค

โปรแกรมจำลองแบบสัญญาณรบกวน AlaNoise 3.0

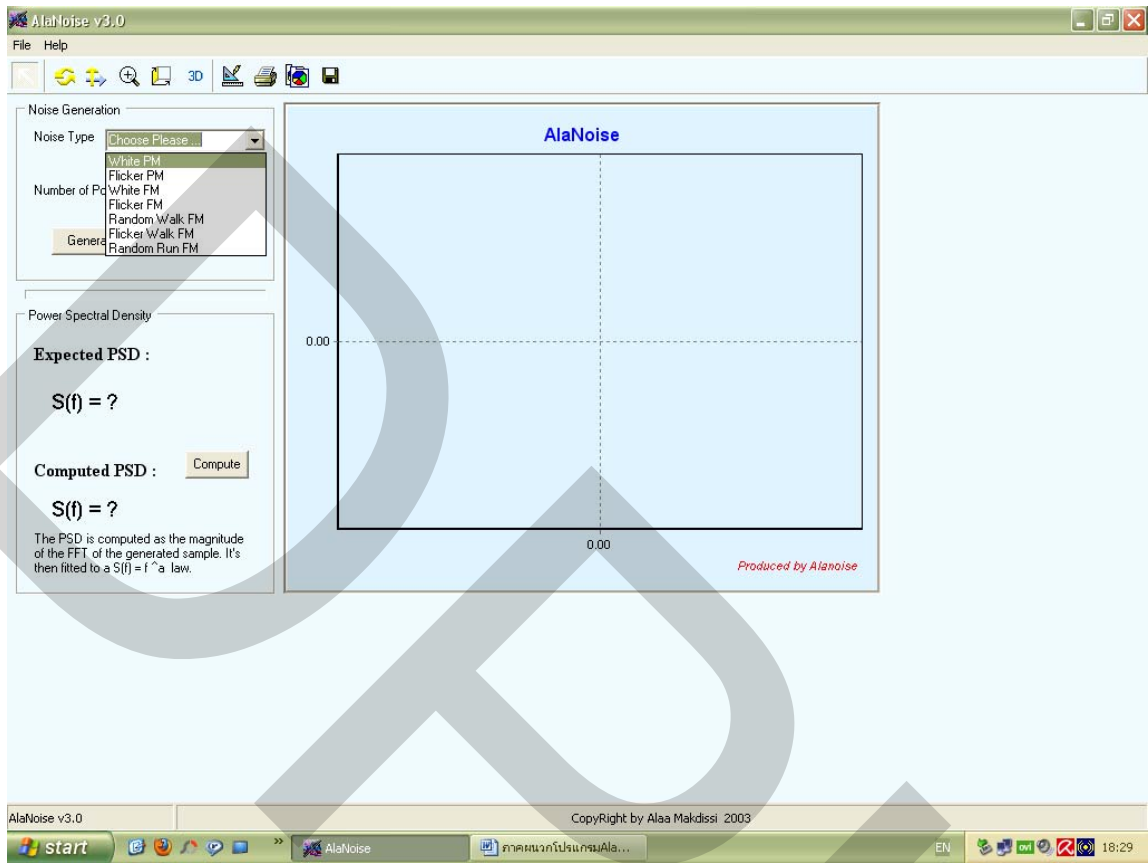
ภาพแสดงตัวอย่างการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป AlaNoise 3.0 จำลองข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวนแบบ White Phase Modulation ขนาดอนุกรมเวลา 100 ทำซ้ำ 100 ครั้ง มีขั้นตอนการสร้างข้อมูลดังรูปที่ ค.1 – ค.7

1. เปิดโปรแกรม AlaNoise 3.0 (ฟรีดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ <http://www.alamath.com>)



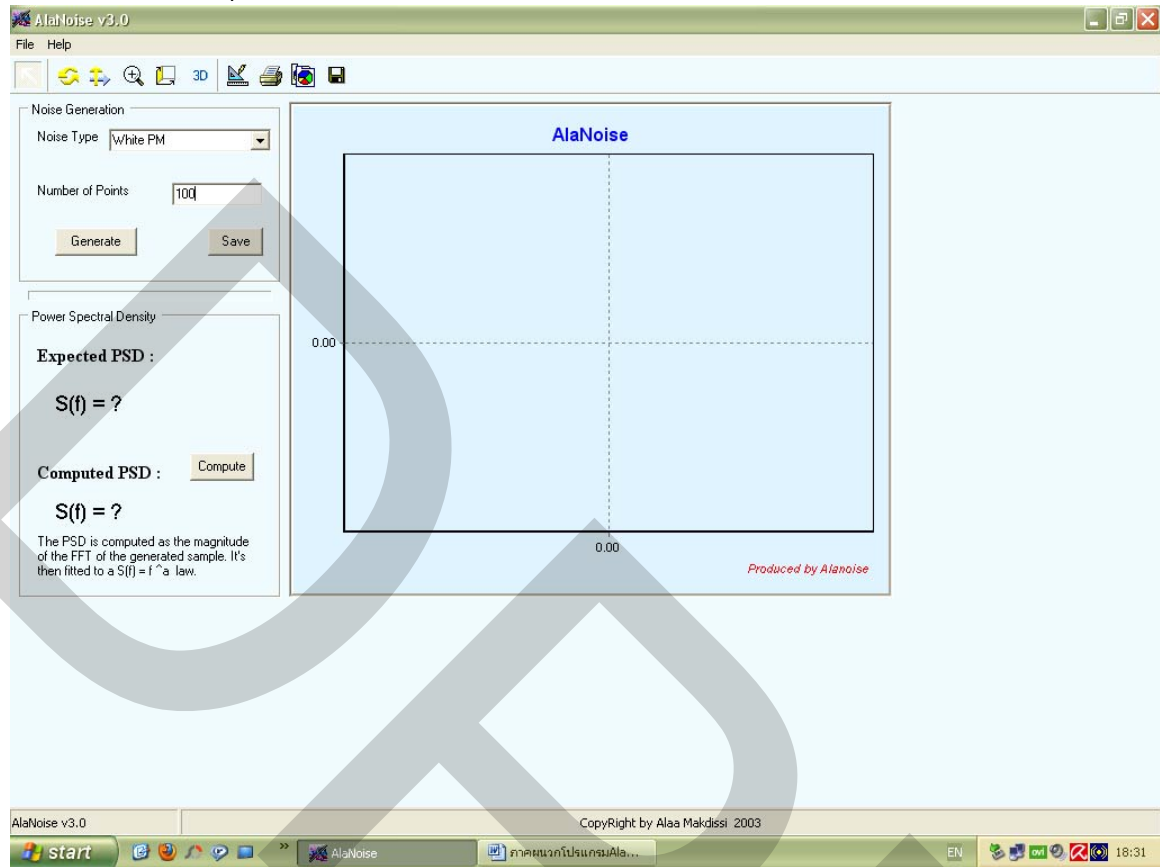
รูปที่ ค.1 แสดงการเปิดโปรแกรม สำเร็จรูป AlaNoise 3.0 เพื่อใช้จำลองข้อมูล

2. เลือกรูปแบบสัญญาณรบกวน ที่ตำแหน่ง Noise Type เลือก “White PM” จาก Drop Down List



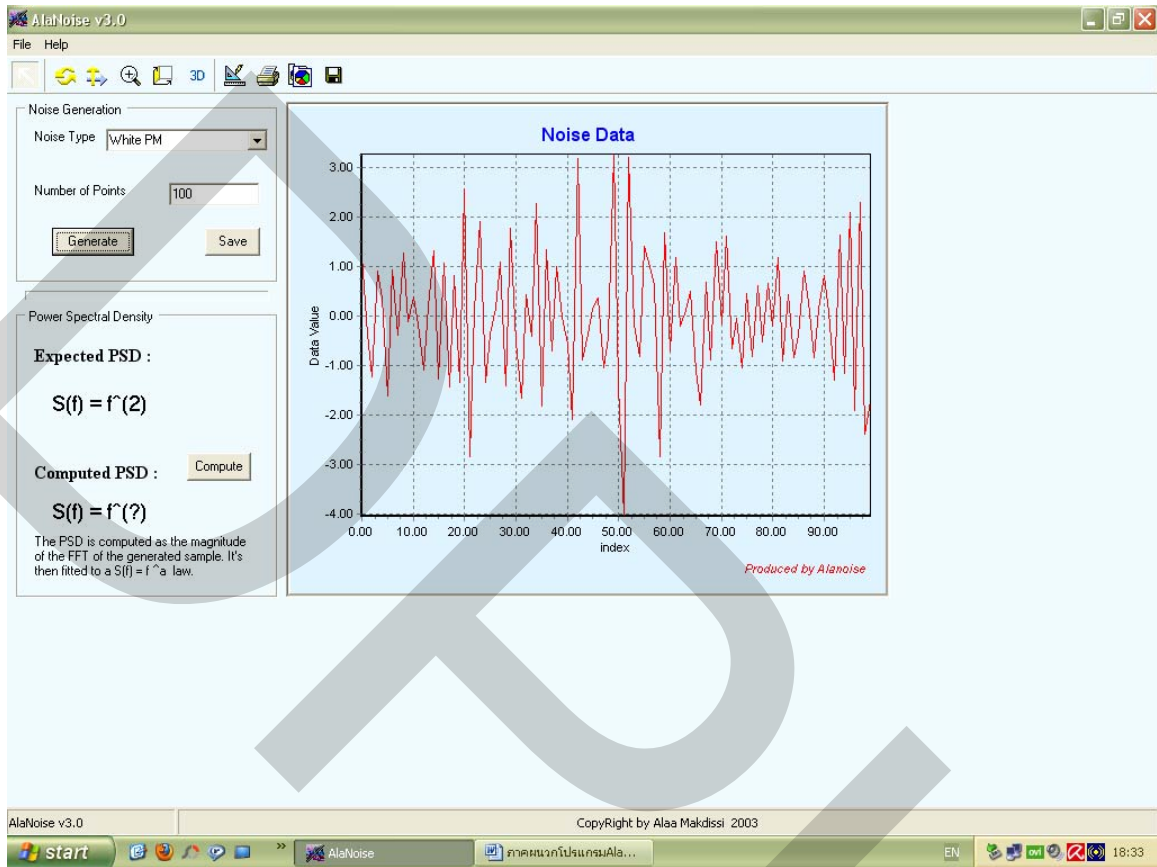
รูปที่ ค.2 แสดงการเลือกรูปแบบสัญญาณรบกวนที่ต้องการจำลองแบบ

3. กำหนดขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 ที่ช่อง Number of Point กรอกตัวเลข เท่ากับ 100



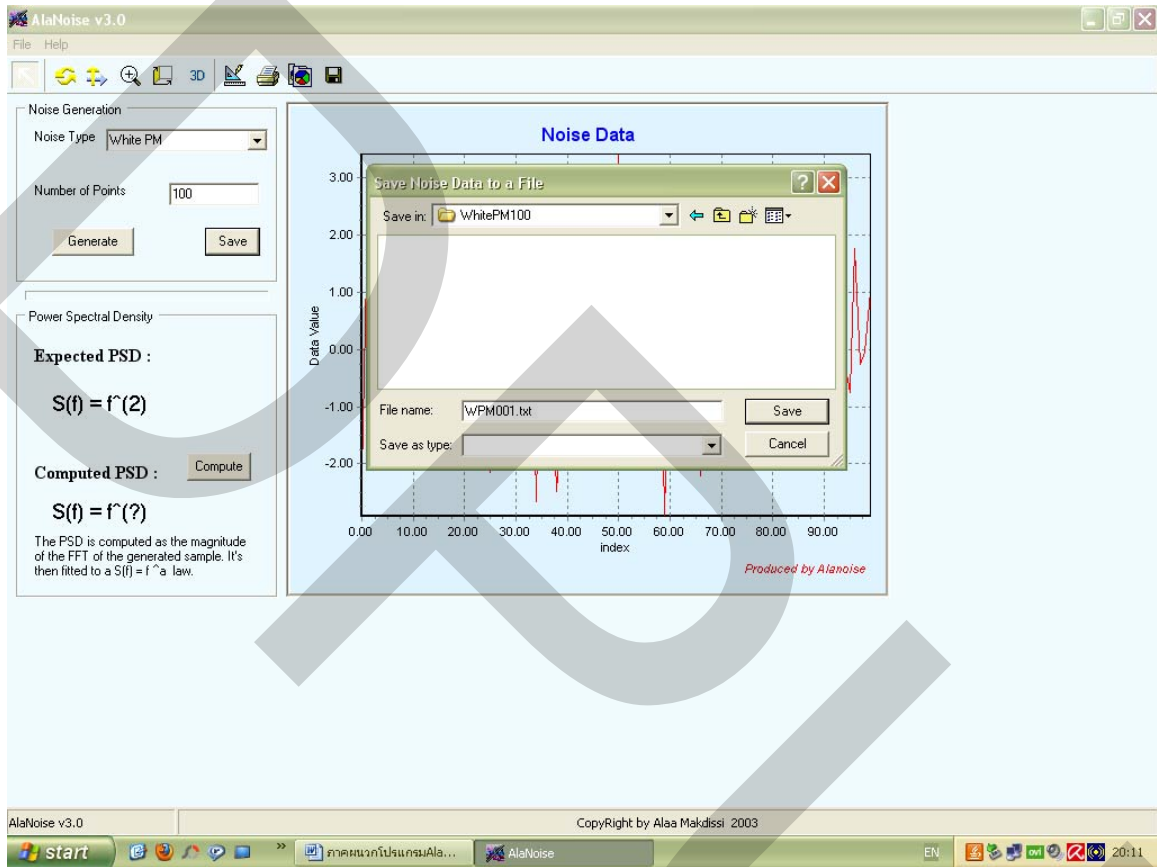
รูปที่ ค.3 แสดงการกำหนดขนาดของอนุกรมเวลาเท่ากับ 100

4. เลือกคำสั่ง Generate เพื่อสร้างข้อมูลสัญญาณรบกวนแบบ White PM ขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ 100 โปรแกรมจะสร้างกราฟแสดงการเคลื่อนไหวของ Noise Data



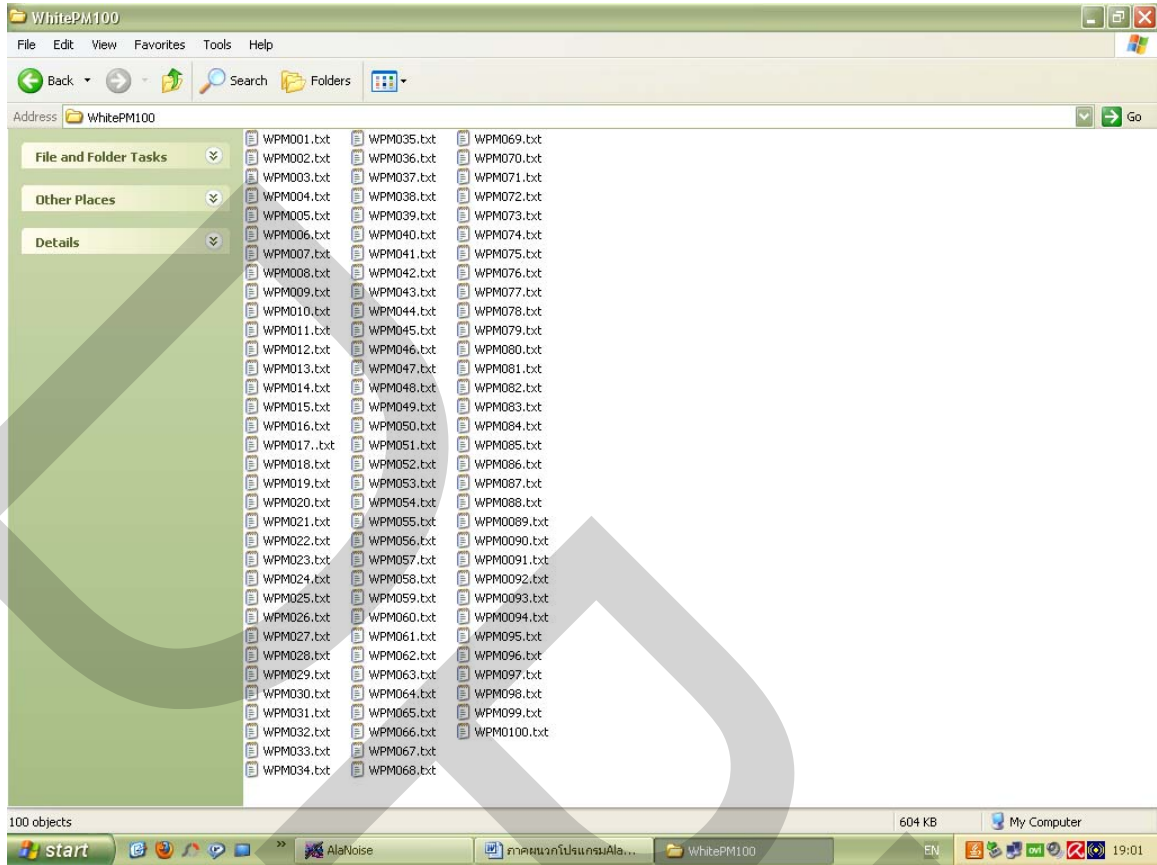
รูปที่ ค.4 แสดงการสร้างข้อมูลสัญญาณรบกวนแบบ White PM

5. เลือกคำสั่ง Save ข้อมูล จะปรากฏหน้าต่างใหม่ให้เลือกที่บันทึกข้อมูล สร้างโพลเดอร์เพื่อแยกเก็บข้อมูลการจำลองแบบแต่ละรูปแบบให้เป็นหมวดหมู่ โดยสร้างโพลเดอร์ชื่อ “WhitePM 100” เพื่อเก็บข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวนแบบ WhitePM มีขนาดอนุกรมเวลาเท่ากับ100 แล้วพิมพ์ชื่อไฟล์ (กำหนดเอง) “WhitePM001.txt” แล้วสั่ง Save



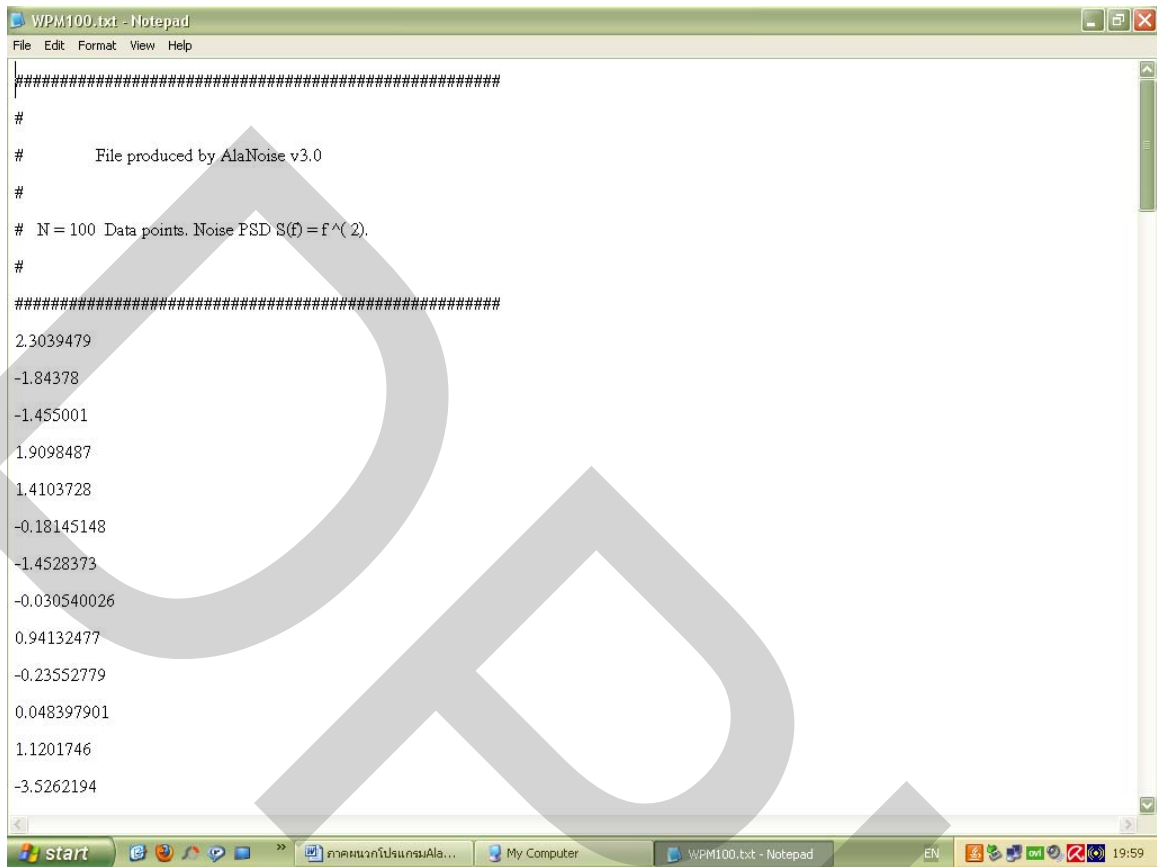
รูปที่ ค.5 แสดงการบันทึกข้อมูลสัญญาณรบกวนที่สร้างขึ้น

6. ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 1-5 เพื่อสร้างข้อมูลสัญญาณรบกวนให้ครบตามจำนวนการทำซ้ำ 100 ครั้ง



รูปที่ ค.6 แสดงการสร้างข้อมูลสัญญาณรบกวนแบบ White PM จำนวน 100 ไฟล์

7. ข้อมูลที่ได้จากการจำลองแบบสัญญาณรบกวนแบบ White PM ที่บันทึก นามสกุล.TXT



```
#####  
#  
# File produced by AlaNoise v3.0  
#  
# N = 100 Data points. Noise PSD S(f) = f^( 2).  
#  
#####  
2.3039479  
-1.84378  
-1.455001  
1.9098487  
1.4103728  
-0.18145148  
-1.4528373  
-0.030540026  
0.94132477  
-0.23552779  
0.048397901  
1.1201746  
-3.5262194
```

รูปที่ ค.7 แสดงข้อมูลสัญญาณรบกวนแบบ White PM ที่บันทึกเป็น text file



ภาคผนวก ง

โปรแกรมคอมพิวเตอร์เก็บข้อมูลจากวงจรออสซิลเลเตอร์

```
unit MeasureFreq;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
OoMisc, AdPort, ExtCtrls, StdCtrls, FileCtrl;
```

```
type
```

```
TForm1 = class(TForm)
```

```
  Memo1: TMemo;
```

```
  Timer1: TTimer;
```

```
  com1: TApdComPort;
```

```
  Label1: TLabel;
```

```
  SetTDS220: TButton;
```

```
  Label2: TLabel;
```

```
  Label3: TLabel;
```

```
  SetDirectory: TButton;
```

```
  Label4: TLabel;
```

```
  Label5: TLabel;
```

```
  MeasureN: TEdit;
```

```
  Measure: TButton;
```

```
  Label6: TLabel;
```

```
  Tranfer: TButton;
```

```
  Edit2: TEdit;
```

```
  Label7: TLabel;
```

```
  Label8: TLabel;
```

```
  Label9: TLabel;
```

```
  RepNum: TEdit;
```

```
  procedure FormCreate(Sender: TObject);
```

```
  procedure SetTDS220Click(Sender: TObject);
```

```
  procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
```

```
  procedure SetDirectoryClick(Sender: TObject);
```

```
  procedure MeasureClick(Sender: TObject);
```

```
  procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
```

```
  procedure TranferClick(Sender: TObject);
```

```
  procedure com1TriggerAvail(CP: TObject; Count: Word);
```

```
private
```

```
  { Private declarations }
```

```
public
```

```
  procedure CalFluctFreq(F2Name, F3Name: String);
```

```
procedure CreaMeasureFreq(F1Name,F2Name:String);  
  { Public declarations }  
end;
```

```
var
```

```
Form1: TForm1;  
F1,F2,F3:TextFile;  
S,directory:String;  
NumMeas,CountMeas,Findex,Repea:integer;
```

```
implementation
```

```
{ $R *.DFM }
```

```
procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
  com1.AutoOpen:=True;  
  Memo1.Lines.Clear;  
  S := ";
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.SetTDS220Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
  com1.Output:='MEASUrement:MEAS1:SOURce CH1'+#13+#10;  
  com1.Output:='MEASUrement:MEAS1:TYPe FREQUency'+#13+#10;  
  com1.Output:='MEASUrement:IMMed:SOURce CH1'+#13+#10;  
  com1.Output:='MEASUrement:IMMed:TYPe FREQUency'+#13+#10;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
```

```
begin
```

```
  com1.AutoOpen:=false;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.SetDirectoryClick(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
if SelectDirectory('Select a directory', 'C:', directory)
then ShowMessage('Chosen directory = '+directory)
else ShowMessage('Directory selection aborted');
SetCurrentDir(directory);
com1.AutoOpen:=False;
end;
```

```
procedure TForm1.MeasureClick(Sender: TObject);
begin
  com1.AutoOpen:=true;
  AssignFile(F1,'Tranfer.TXT'); //create file F1 before write in rs232 Events
  try
    Rewrite(F1);
  finally
    CloseFile(F1);
  end;
  NumMeas:=StrToInt(MeasureN.Text);
  CountMeas:=0;
  Findex:=0;
  Repea:=0;
  //Repea:=StrToInt(RepNum.Text);
  com1.FlushInBuffer;
  Memo1.Lines.Add('Start Measurement');
  Timer1.Enabled:=True;
end;
```

```
procedure TForm1.Timer1Timer(Sender: TObject);
begin
  com1.Output:='MEASUrement:IMMed:VALue?'+#13+#10;
end;
```

```
procedure TForm1.CalFluctFreq(F2Name,F3Name:String);//MeasureFreq.TXT and FluctFreq.TXT
```

```
var
```

```
  str,NomFreq,strDisp:String;
```

```
  Result,Sum:Double;
```

```
  line:integer;
```

```
begin
```

```
  AssignFile(F2,F2Name);
```

```
  try
```

```
    Reset(F2);
```

```
    line:=0;
```

```
    Sum:=0;
```

```
    while not Eof(F2) do
```

```
      begin
```

```
        Readln(F2,str);
```

```
        Sum:=Sum+StrToFloat(str);
```

```
        line:=line+1;
```

```
      end;
```

```
      NomFreq:=FloatToStr(Sum/line);//average freq
```

```
      Edit2.Text:=NomFreq;
```

```
    finally
```

```
      CloseFile(F2);
```

```
    end;
```

```
//*****open MeasureFreq.TXT to calculate fluctuate freq save to FluctFreq.TXT
```

```
  AssignFile(F2,F2Name);
```

```
  AssignFile(F3,F3Name);
```

```
  try
```

```
    Reset(F2);
```

```
    Rewrite(F3);
```

```
    while not Eof(F2) do
```

```
      begin
```

```
        Readln(F2,str);
```

```
        Result:=(StrToFloat(str)-StrToFloat(NomFreq))/StrToFloat(NomFreq);
```

```
        strDisp:=FormatFloat('0.0000000000',Result);
```

```
        writeln(F3,strDisp);
```

```
      end;
```

```
    finally
```

```
      CloseFile(F2);
```

```
      CloseFile(F3);
```

```
    end;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.CreaMeasureFreq(F1Name,F2Name:String);
var
  str,power:String;
  C:char;
  line:integer;
begin
  AssignFile(F1,F1Name);
  AssignFile(F2,F2Name);
  try
    Reset(F1);
    Rewrite(F2);
    line:=0;
    while (not Eof(F1)) and (line<NumMeas) do
    begin
      Read(F1,C);
      Case C of
        '0'..'9' : str:=Str+C;
        '.'      : str:=Str+C;
        'E'      : begin
          Repeat
            Read(F1,C);
            power:=C;
            until (C<>#10)and(C<>#13);
            str:=str+'E'+power;
            writeln(F2,str);
            line:=line+1;
            str="";
          end;
        else ;
      end;//case
    end;
  finally
    CloseFile(F1);
    CloseFile(F2);
  end;//try
end;
```

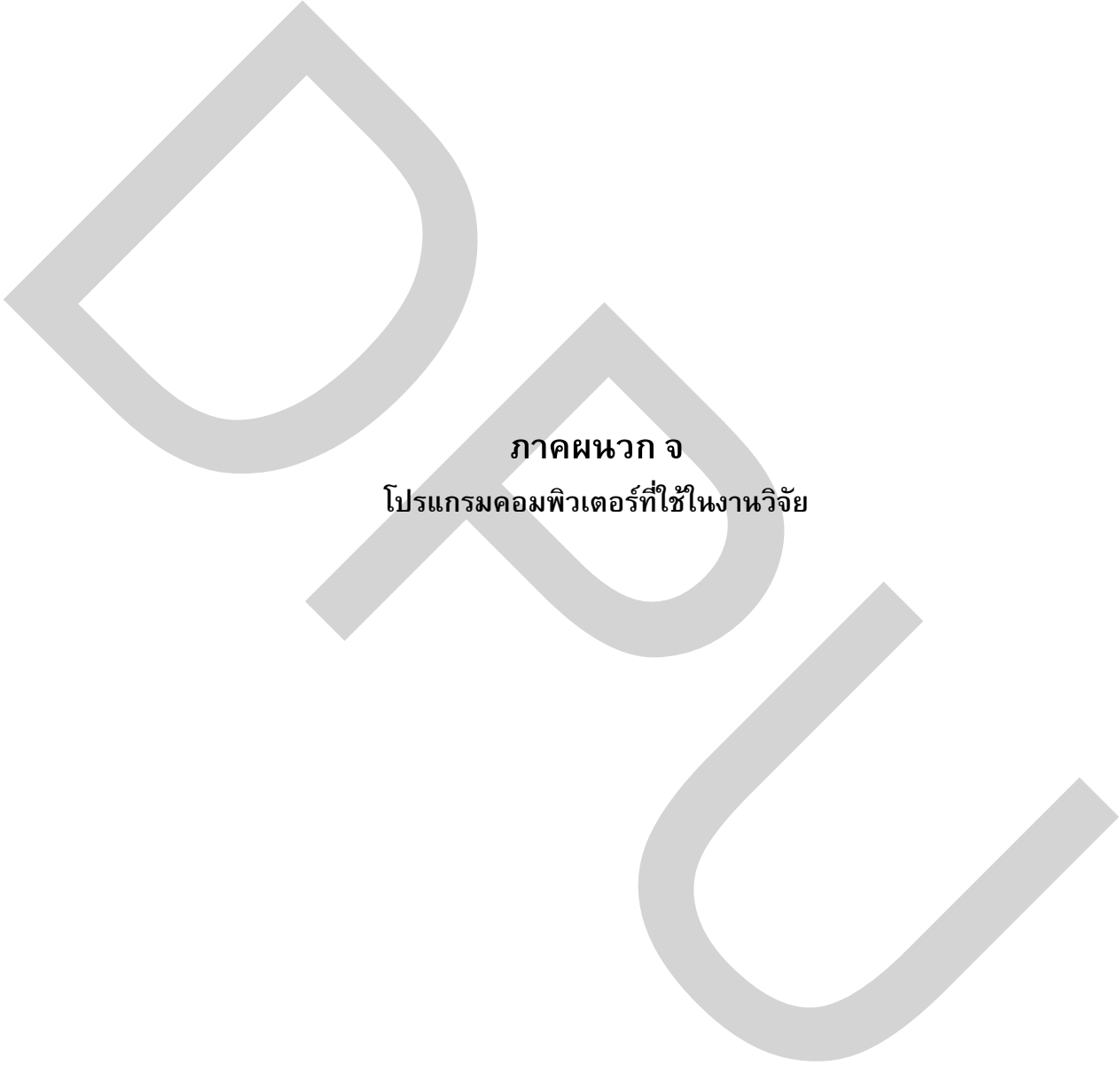
```
procedure TForm1.TransferClick(Sender: TObject);
var
  str,power,NomFreq,strDisp:String;
  C:char;
  Result,Sum:Double;
  line:integer;
begin
  Memo1.Lines.Add('Start Transfer');
  AssignFile(F1,'Transfer.TXT');
  AssignFile(F2,'MeasureFreq.TXT');
  AssignFile(F3,'FluctFreq.TXT');
  try
    Reset(F1);
    Rewrite(F2);
    line:=0;
    while (not Eof(F1)) and (line<NumMeas) do
      begin
        Read(F1,C);
        Case C of
          '0'..'9' : str:=Str+C;
          '.'      : str:=Str+C;
          'E'      : begin
              Repeat
                Read(F1,C);
                power:=C;
                until (C<>#10)and(C<>#13);
                str:=str+'E'+power;
                writeln(F2,str);
                line:=line+1;
                str="";
              end;
            else ;
          end;//case
        end;
      finally
        CloseFile(F1);
        CloseFile(F2);
        //CloseFile(F3);
      end;//try
      //*****open MeasureFreq.TXT to calculate NomFreq
      AssignFile(F2,'MeasureFreq.TXT');
      try
        Reset(F2);
```



```
line:=0;
Sum:=0;
while not Eof(F2) do
begin
  Readln(F2,str);
  Sum:=Sum+StrToFloat(str);
  line:=line+1;
end;
NomFreq:=FloatToStr(Sum/line);//average freq
Edit2.Text:=NomFreq;
finally
CloseFile(F2);
end;
//*****open MeasureFreq.TXT to calculate fluctuate freq save to FluctFreq.TXT
AssignFile(F2,'MeasureFreq.TXT');
AssignFile(F3,'FluctFreq.TXT');
try
Reset(F2);
Rewrite(F3);
while not Eof(F2) do
begin
  Readln(F2,str);
  Result:=(StrToFloat(str)-StrToFloat(NomFreq))/StrToFloat(NomFreq);
  strDisp:=FormatFloat('0.0000000000',Result);
  writeln(F3,strDisp);
end;
finally
CloseFile(F2);
CloseFile(F3);
end;
Memo1.Lines.Add('End transfer');
end;
procedure TForm1.com1TriggerAvail(CP: TObject; Count: Word);
var
  I : Word;
  C : Char;
begin
  for I := 1 to Count do
  begin
    C := Com1.GetChar;
    case C of
      #0..#32: ;
      'E':
```

```
begin
CountMeas:=CountMeas+1;
S := S + C;
if CountMeas=NumMeas then
    begin
        Repea:=Repea+1;
        Timer1.Enabled:=False;
        com1.AutoOpen:=False;
        Findex:=1;
        Memo1.Lines.Add('End Measurement'+IntToStr(Repea));
    end;
    //Memo1.Lines.Add(IntToStr(CountMeas));
    //Memo1.Lines.Add('R'+IntToStr(Repea));
end;
else
begin
S := S + C;
end;
end;//case
end;
if S<> '' then
    begin
        AssignFile(F1,'Tranfer.TXT');
        try
            Append(F1);
            Writeln(F1,S);
            //Memo1.Lines.Add(S);
        finally
            CloseFile(F1);
            S:="";
        end;
        if (Findex=1) and (Repea<>(StrToInt(RepNum.Text)+1)) then
            begin
                CreaMeasureFreq('Tranfer.TXT','Measurement'+IntToStr(Repea)+'.TXT');
                CountMeas:=0;
                Findex:=0;
                com1.FlushInBuffer;
                DeleteFile('Tranfer.TXT');
                AssignFile(F1,'Tranfer.TXT'); //create file F1 before write in rs232 Events
            try
                Rewrite(F1);
            finally
                CloseFile(F1);
            end;
        end;
    end;
end;
```

```
end;  
CalFluctFreq  
'Measurement'+IntToStr(Repea)+' .TXT', 'FluctFreq'+IntToStr(Repea)+' .TXT');  
//MeasureFreq.TXT and FluctFreq.TXT  
DeleteFile('Measurement'+IntToStr(Repea)+' .TXT');  
if Repea<StrToInt(RepNum.Text) then  
begin  
com1.AutoOpen:=True;  
Timer1.Enabled:=True;  
end;  
end;  
end;  
end.  
end.
```



ภาคผนวก จ
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

```
unit Allan;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, Math, FileCtrl;
```

```
type
```

```
TForm1 = class(TForm)  
    Memo: TMemo;  
    GroupBox1: TGroupBox;  
    Label1: TLabel;  
    OpenFiles: TButton;  
    OpenFileDialog: TOpenDialog;  
    GroupBox2: TGroupBox;  
    Label2: TLabel;  
    SlopeCal: TButton;  
    GroupBox3: TGroupBox;  
    Label3: TLabel;  
    MSECal: TButton;  
    procedure FormCreate(Sender: TObject);  
    procedure OpenFilesClick(Sender: TObject);  
    procedure SlopeCalClick(Sender: TObject);  
    procedure MSECalClick(Sender: TObject);  
private  
    { Private declarations }  
public  
    { Public declarations }  
    procedure SetLengthAllanArray(FileName:String);  
    procedure LoadTextFileToAllanArray(FileName:String);  
    procedure OverlapImprovArray(Om:word);  
    procedure ImprovArray(m:word);  
    function CalSumation(Data:array of String):Double;  
    function CalSumLogXLogY(Data:array of String):Double;  
    function CalSumLogX(Data:array of String):Double;  
    function CalSumLogY(Data:array of String):Double;  
    function CalSumLogXSqr(Data:array of String):Double;  
    function CalDifPower2Sumation(Data:array of String):Double;  
    function fCalMSE(Slope:Double):Double;  
end;
```

```
var
  Form1: TForm1;
  Dir,RADir,ROADir:String;//directory for result calculation
  AllanArray:array of String;
  AllanArrayImprove:array of String;
  ResultAllan:array of String;

implementation

{$R *.DFM}
procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  Memo.Clear;
end;

function TForm1.CalSumation(Data:array of String):Double;
//calculate sum of Yi from AllanArrayImprove
var
  size,i:integer;
  sum:Double;
begin
  sum:=0;
  size:=length(Data);
  for i:= 0 to (size-1) do //array index begin 0 so last index size-1
  begin
    sum:=sum+ StrToFloat(Data[i])
  end;
  CalSumation:=sum;
end;
//*****calculate Overlapping Allan Variance*****
procedure TForm1.OverlapImprovArray(Om:word);
var
  newsize,j,k:word;
  sum:Double;
begin
  newsize:=length(AllanArray)- (2*Om) + 1;
  //array size of AllanArrayImprove (M-2m+1)
  SetLength(AllanArrayImprove,newsize); //set size off AllanArrayImprove
  for j:=0 to newsize-1 do
  //loop for define value in AllanArrayImprove index with j
  begin
    sum:=0;
```

```
    for k:=0 to Om-1 do
    begin
        sum:=sum+(StrToFloat(AllanArray[j+k+Om])-StrToFloat(AllanArray[j+k]));
    end;
    AllanArrayImprove[j]:=FloatToStr(sum*sum);
end;
```

```
procedure TForm1.LoadTextFileToAllanArray(FileName:String);
```

```
var
    F:Textfile;
    text:String;
    line:word;
begin
    line:=0;
    AssignFile(F,FileName);
    Reset(F);
    while not Eof(F) do
    begin
        ReadLn(F,text);
        if text[1] <> '#' then
            begin
                //Memo.Lines.Add(text);
                AllanArray[line]:=text;
                inc(line);
            end;
    end;
    CloseFile(F);
end;
```

```
procedure TForm1.SetLengthAllanArray(FileName:String);
```

```
//count line in text file not include # comment and define array size
```

```
var
    F:Textfile;
    text:String;
    line:word;
begin
    line:=0;
    AssignFile(F,FileName);
    Reset(F);
    while not Eof(F) do
    begin
        ReadLn(F,text);
```

```
    if text[1] <> '#' then inc(line); //not include # comment lines
end;
CloseFile(F);
SetLength(AllanArray,line);      //set length of one dimension array
end;

//*****Calculation NonOverlaped Allan Variance*****
procedure TForm1.ImprovArray(m:word);
var
  newsize,i,j,k:word;
  sum:Double;
begin
  Memo.Clear;
  newsize:=length(AllanArray) DIV m; //array size of AllanArrayImprove
  SetLength(AllanArrayImprove,newsize); //set size off AllanArrayImprove
  i:=0;          //index for AllanArray
  for j:=0 to newsize-1 do
    //loop for define value in AllanArrayImprove index with j
    begin
      sum:=0;          //sum for average
      for k:=0 to m-1 do
        //loop for sum in AllanArray(m value) average to AllanArrayImprove
        begin
          sum:=sum+StrToFloat(AllanArray[i]);
          i:=i+1;
        end;
        AllanArrayImprove[j]:=FloatToStr(sum/m);
        //Memo.Lines.Add(FloatToStr(j)+' '+AllanArrayImprove[j]);
      end;
    end;
end;

function TForm1.CalDifPower2Sumation(Data:array of String):Double;
//calculate sum of (Yi+1 - Yi)Power2 from array
var
  size,i:integer;
  sum:Double;
begin
  sum:=0;
  size:=length(Data);
  for i:= 0 to (size-2) do
    //array index begin 0 so last index size-1 and in allan variance formula
    //use M-1 then last index calculate is size-2
    begin
      sum:=sum+ Power ( (StrToFloat(Data[i+1])- StrToFloat(Data[i])),2 )
```



```
end;
CalDifPower2Sumation:=sum;
end;

//*****Calculation Slope*****
function TForm1.CalSumLogXLogY(Data:array of String):Double;
var
  sum:Double;
  index:word;
begin
  sum:=0;
  for index:= 0 to length(Data)-1 do
  begin
    sum:=sum+Log10(index+1)*Log10(StrToFloat(Data[index]));
  end;
  CalSumLogXLogY:=sum;
end;
function TForm1.CalSumLogX(Data:array of String):Double;
var
  sum:Double;
  index:word;
begin
  sum:=0;
  for index:= 0 to length(Data)-1 do
  begin
    sum:=sum+Log10(index+1);
  end;
  CalSumLogX:=sum;
end;

function TForm1.CalSumLogY(Data:array of String):Double;
var
  sum:Double;
  index:word;
begin
  sum:=0;
  for index:= 0 to length(Data)-1 do
  begin
    sum:=sum+Log10(StrToFloat(Data[index]));
  end;
  CalSumLogY:=sum;
end;
```

```
function TForm1.CalSumLogXSqr(Data:array of String):Double;
var
  sum:Double;
  index:word;
begin
  sum:=0;
  for index:= 0 to length(Data)-1 do
  begin
    sum:=sum+(Log10(index+1)*Log10(index+1));
  end;
  CalSumLogXSqr:=sum;
end;

//*****MSE Calculation*****
function TForm1.fCalMSE(Slope:Double):Double; //calculate MSE from text file
var
  MSE,line:Double;
  myFile:TextFile;
  RSlope:String;
begin

if Opndialog.Execute then
  begin
    Dir:=ExtractFilePath(Opndialog.FileName);
    Memo.Lines.Add('Select directory '+Dir);
    if SetCurrentDir(Dir)then
      Memo.Lines.Add('Current directory is'+GetCurrentDir());
      AssignFile(myFile,Opndialog.FileName);
      ReSet(myFile);
      MSE:=0;
      line:=0;
      while not Eof(myFile) do
        begin
          ReadLn(myFile,RSlope);
          MSE:=MSE+Sqr(StrToFloat(RSlope)-Slope);
          line:=line+1;
        end;
      CloseFile(myFile);
      MSE:=MSE/line;
    end;
    fCalMSE:=MSE;
  end;
end;
```

```
procedure TForm1.OpenFilesClick(Sender: TObject);
var
  i:integer;
  index:word;
  SumArray,SumSquare,DivValue,AllanResult:Extended;
  myFile:TextFile;
begin
  if OpenFileDialog.Execute then
    begin/*
      Memo.Lines.Add(OpenDialog.FileName);
      Dir:=ExtractFilePath(OpenDialog.FileName);
      Memo.Lines.Add('Select directory '+Dir);
      if SetCurrentDir(Dir) then
        Memo.Lines.Add('Current directory is '+GetCurrentDir());
      if CreateDir('RA') then
        begin
          Memo.Lines.Add('Directory RA Created');
          RADir:=GetCurrentDir()+'\RA';
        end;
      if CreateDir('ROA') then
        begin
          Memo.Lines.Add('Directory ROA Created');
          ROADir:=GetCurrentDir()+'\ROA';
        end;
      Memo.Lines.Add('RA directory '+RADir);
      Memo.Lines.Add('ROA directory '+ROADir);

//cal Allan Variance
      SetCurrentDir(RADir);
      for i:=0 to Opendialog.Files.Count-1 do
        begin
          Memo.Lines.Add(Opendialog.Files[i]);
          SetLengthAllanArray(Opendialog.Files[i]);
          LoadTextFileToAllanArray(Opendialog.Files[i]);
          SetLength(ResultAllan,length(AllanArray) div 2);
          AssignFile(myFile,'RA'+ExtractFileName(Opendialog.Files[i]));
          ReWrite(myFile);
          for index:= 1 to length(AllanArray) div 2 do
            begin
              ImprovArray(index);
              SumSquare:= CalDifPower2Sumation(AllanArrayImprove);
              //sum of power 2 Yi+1 - Yi
```

```
divValue:= 2* (length(AllanArrayImprove)-1);
//2(M-1)
AllanResult:=Sqrt( SumSquare/divValue );
ResultAllan[index-1]:=FloatToStr(AllanResult);
WriteLn(myFile,ResultAllan[index-1]);
end;//for index
        CloseFile(myFile);
end;//for i
Memo.Lines.Add('End calculated Allan Variance');
//End cal Allan Variance
//cal Overlapping Allan
SetCurrentDir(ROADir);
for i:=0 to Opendialog.Files.Count-1 do
begin
Memo.Lines.Add(Opendialog.Files[i]);
SetLengthAllanArray(Opendialog.Files[i]);
LoadTextFileToAllanArray(Opendialog.Files[i]);
SetLength(ResultAllan,length(AllanArray) div 2);
AssignFile(myFile,'ROA'+ExtractFileName(Opendialog.Files[i]));
ReWrite(myFile);
for index:= 1 to length(AllanArray) div 2 do
begin
OverlapImprovArray(index);
SumArray:= CalSumation(AllanArrayImprove);
divValue:= 2*Power(index,2)*(length(AllanArrayImprove));
AllanResult:=Sqrt( SumArray/divValue );
ResultAllan[index-1]:=FloatToStr(AllanResult);
WriteLn(myFile,ResultAllan[index-1]);
end;
CloseFile(myFile);
end;//End cal Overlapping Allan
Memo.Lines.Add('End calculated Overlapping Allan Variance');
end;/*
```

end;

```
procedure TForm1.SlopeCalClick(Sender: TObject);
```

```
var
```

```
  i:integer;
```

```
  Sxy,Sx,Sy,Sxsqr,Slope:Double;
```

```
  myFile : TextFile;
```

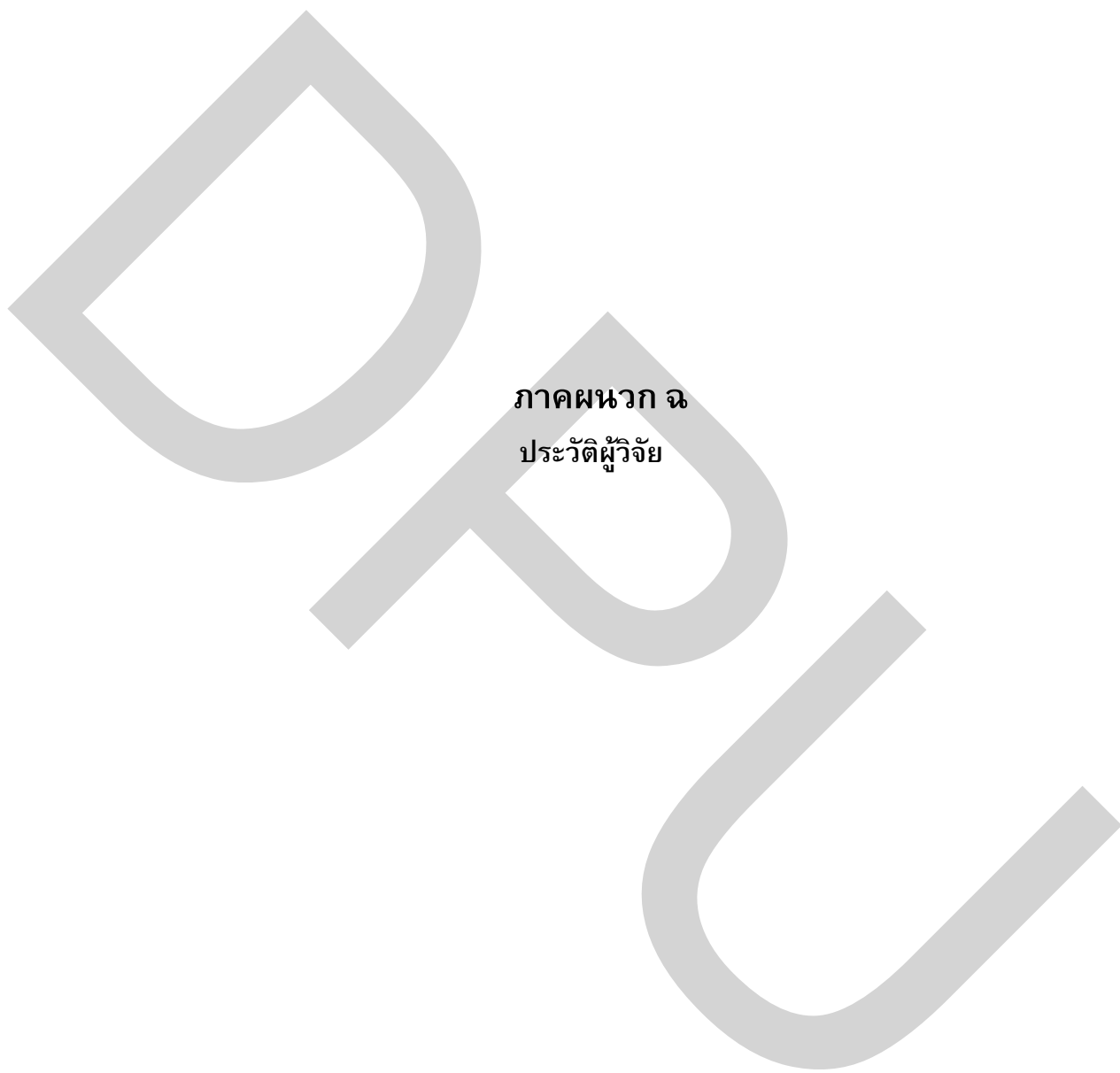
```
  FileName:String;
```

```
begin
```

```
if Opendialog.Execute then
```

```
begin
Dir:=ExtractFilePath(OpenDialog.FileName);
Memo.Lines.Add('Select directory '+Dir);
if SetCurrentDir(Dir) then
Memo.Lines.Add('Current directory is '+GetCurrentDir());
FileName:=InputBox('FileName','Input Result File Name For Slope','Slope.txt');
AssignFile(myFile,FileName);
ReWrite(myFile);
for i:=0 to Opendialog.Files.Count-1 do
begin
Memo.Lines.Add(Opendialog.Files[i]);
SetLengthAllanArray(Opendialog.Files[i]);
LoadTextFileToAllanArray(Opendialog.Files[i]);
Sxy:=CalSumLogXLogY(AllanArray);
Sx:=CalSumLogX(AllanArray);
Sy:=CalSumLogY(AllanArray);
Sxsqr:=CalSumLogXSqr(AllanArray);
Slope:=(Sxy-((Sx*Sy)/length(AllanArray)))/(Sxsqr-((Power(Sx,2)/length(AllanArray)));
Writeln(myFile,FloatToStr(Slope));
end;
end;
CloseFile(myFile);
Memo.Lines.Add('End slope calculated');
end;
procedure TForm1.MSECalClick(Sender: TObject);
var
eMSE:Double;
TSlope:String;
begin
TSlope:=InputBox('Define Slope for Calculate MSE','Input Slope Value','2');
eMSE:=fCalMSE(StrToFloat(TSlope));
Memo.Lines.Add(FloatToStr(eMSE));
end;

end.
```



ภาคผนวก จ
ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล : ทัดดาว แนนเนียน

วุฒิการศึกษา : วท.บ.(สถิติศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วท.ม.(สถิติศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประสบการณ์ : ปี 2545-2546 อาจารย์พิเศษวิทยาลัยเทคโนโลยีทางการแพทย์และ
สาธารณสุขกาญจนภิเษก

ปี 2546-ปัจจุบัน อาจารย์ประจำ สังกัดภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ
คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์