

บทที่ 5

ผลการทดลอง

การทดลองควบคุมการปั่นผสมในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยการย่อยส่วนจำลอง การสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยใช้สัญญาณควบคุมแบบต่างๆ ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบแยกตาม สัญญาณควบคุมดังนี้

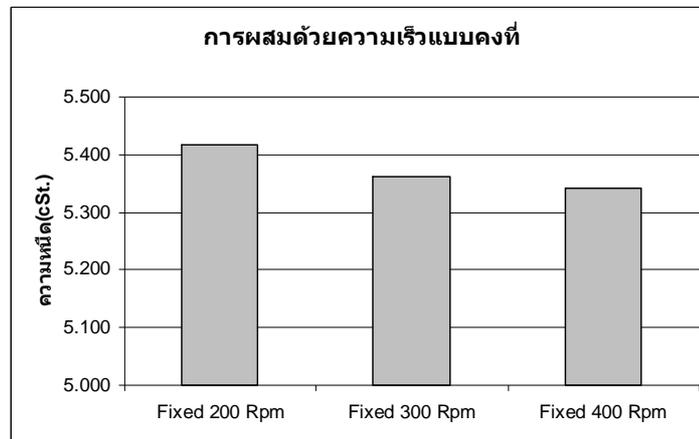
5.1 สัญญาณแรงดันไฟตรง

ในการทดลองทำการปั่นแรงดันไฟตรง เป็นอินพุทของวงจร PWM และทำการปรับแรงดัน อินพุทจนได้ความเร็วตามที่กำหนดในการทดลอง คือ 200 rpm., 300 rpm. และ 400 rpm. ตามลำดับ โดยผลการทดลองแสดงในตารางที่ 5.1

ตาราง 5.1 ผลการทดลองการควบคุมการปั่นผสมด้วยแรงดันไฟตรง

ความเร็วรอบ (rpm.)	เวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ (นาที)	ค่าความหนืด (cSt.)
200	15	5.418
300	15	5.362
400	15	5.342

จากตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองการปั่นผสมด้วยความเร็วคงที่จากการใช้อินพุทของวงจร PWM เป็นแบบแรงดันไฟตรง ผลของการปั่นผสมแสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการปั่นผสมด้วยความเร็ว รอบที่สูงขึ้นจะทำให้ได้ผลที่ดีขึ้นด้วยเช่นกัน โดยรูปที่ 5.1 แสดงกราฟผลการปั่นผสมด้วยความเร็ว แบบคงที่



รูปที่ 5.1 กราฟผลการปั่นผสมด้วยความเร็วแบบคงที่

5.2 สัญญาณรูปคลื่นไซน์

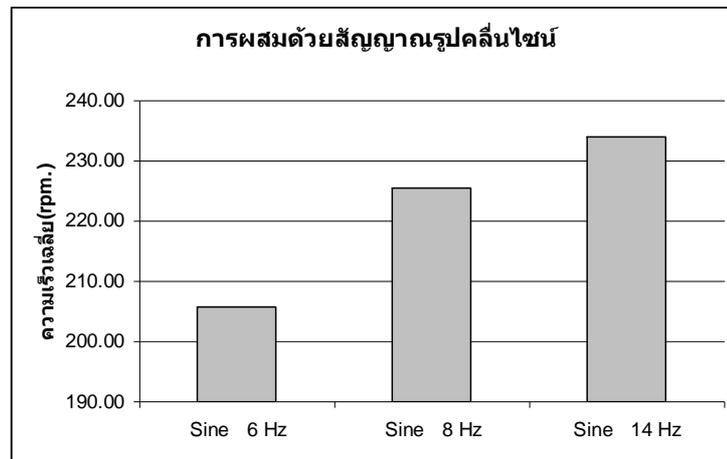
การเปลี่ยนแปลงความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ในการมอดูเลตแบบ PWM โดยใช้สัญญาณพาหะความถี่ 1 kHz ในแบบจำลองจากการทดลองพบว่าช่วงความถี่สัญญาณอินพุตรูปคลื่นไซน์ที่ทำให้มอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วจนเห็นได้อย่างชัดเจนจะอยู่ในช่วง 1 ถึง 15 Hz โดยประมาณเท่านั้น เนื่องจากมอเตอร์มีขีดจำกัดในการตอบสนองความถี่ (Saturate) จึงใช้ความถี่อินพุตในช่วงเดียวกับสัญญาณอลวนความถี่ต่ำ ที่สร้างโดยอุปกรณ์มาตรฐานในห้องตลาด (C1, C2) โดยความถี่ที่ใช้คือ 6, 8 และ 14 Hz สำหรับผลของการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์ในแบบจำลองเมื่อป้อนสัญญาณอินพุตรูปคลื่นไซน์ตั้งแต่ 1 ถึง 15 Hz นั้นแสดงในภาคผนวก จ.

ทำการป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ให้กับวงจร PWM โดยความถี่ที่ใช้คือ 6, 8 และ 14 Hz ตามลำดับผลการทดลองแสดงในตาราง 5.2

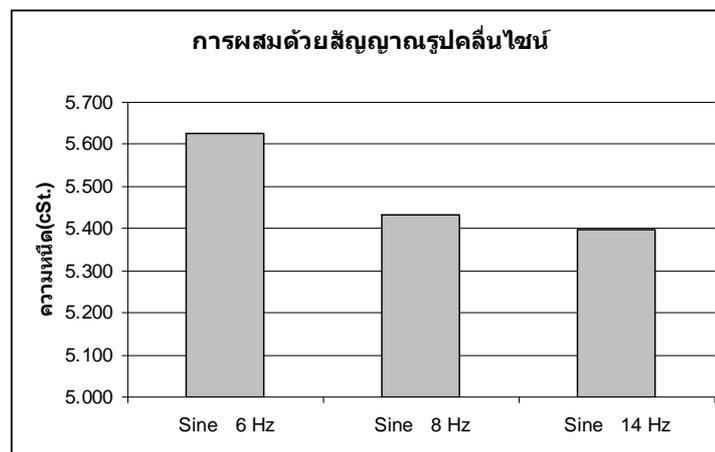
ตาราง 5.2 ผลการทดลองการควบคุมการปั่นผสมด้วยสัญญาณรูปคลื่นไซน์

ความถี่	ความเร็วรอบเฉลี่ย (rpm.)	ความหนืด (cSt.)
6 Hz	205.84	5.625
8 Hz	225.50	5.432
14 Hz	234.02	5.397

จากผลการทดลองการควบคุมการปั่นผสมด้วยสัญญาณอินพุตแบบรูปคลื่นไซน์ในตารางที่ 5.2 จะพบว่าความหนืดที่ได้จะดีขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้นเนื่องจากความเร็วเฉลี่ยที่สูงขึ้น และอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์น้อยลงจนมีลักษณะใกล้เคียงกับความเร็วแบบคงที่ โดยในรูปที่ 5.2 และ 5.3 แสดงกราฟของผลการทดลองด้วยสัญญาณอินพุตรูปคลื่นไซน์



รูปที่ 5.2 กราฟความเร็วเฉลี่ยของมอเตอร์จากสัญญาณอินพุทรูปคลื่นไซน์



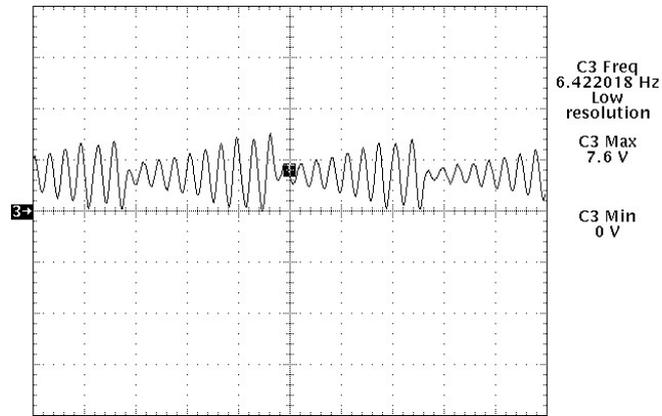
รูปที่ 5.3 กราฟความหนืดที่ได้จากสัญญาณอินพุทรูปคลื่นไซน์

5.3 สัญญาณอลวนจากวงจร Chua

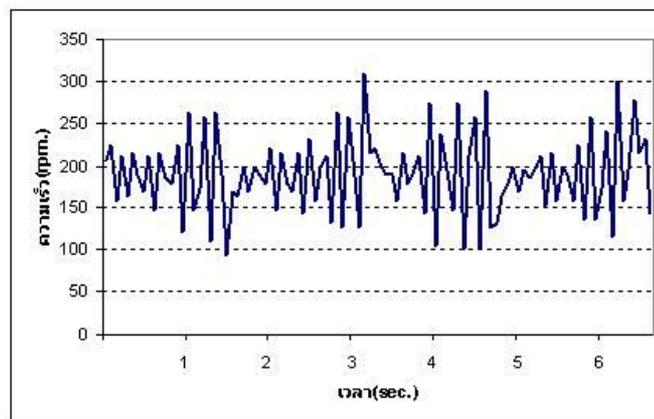
ป้อนสัญญาณอลวนจากวงจร Chua ให้กับวงจร PWM โดยเลือกค่า L , C ในวงจรให้ได้สัญญาณความถี่ต่ำเนื่องจากขีดจำกัดการตอบสนองความถี่สัญญาณอินพุทของมอเตอร์เช่นเดียวกับในกรณีของรูปคลื่นไซน์ ซึ่งค่าที่เลือกใช้มีค่าดังต่อไปนี้ โดยผลการทดลองแสดงในตาราง 5.3 ตามลำดับ

5.3.1 Single score $R=1.655 K\Omega$, $C1 = 4.7 \mu F$, $C2 = 47 \mu F$, $L = 84.6 H (L_{eq})$

สัญญาณอลวนแบบซิงเกิลสกออร์ ที่ได้จะมีความถี่ประมาณ 6.5 Hz โดยรูปที่ 5.4 แสดงสัญญาณอลวน และรูปที่ 5.5 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์



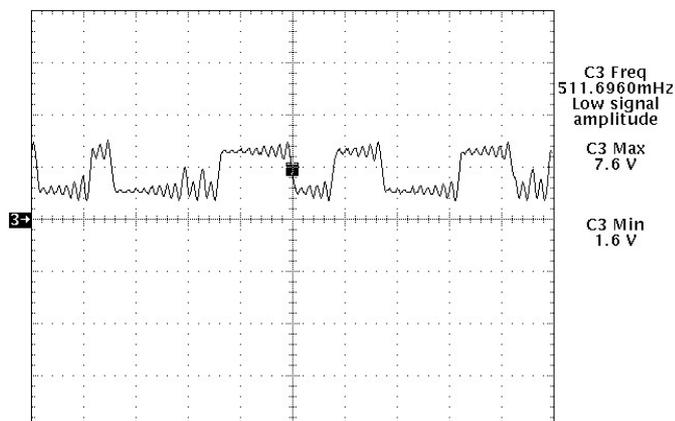
รูปที่ 5.4 สัญญาณ ซิงเกิลสกออร์ 6.5 Hz



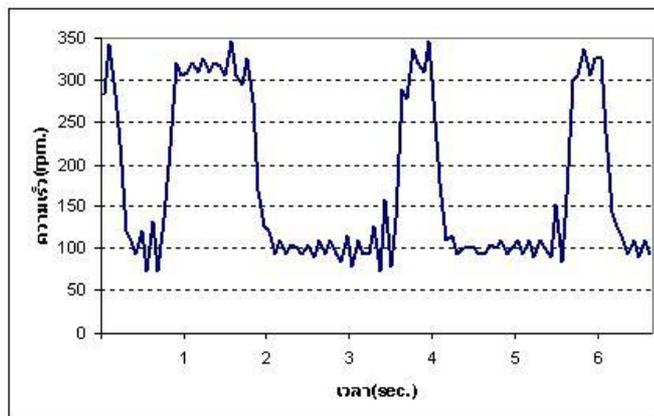
รูปที่ 5.5 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์โดยสัญญาณอลวนแบบ ซิงเกิลสกออร์ 6.5 Hz

5.3.2 Double score $R=1.564 K\Omega$, $C1=4.7 \mu F$, $C2=47 \mu F$, $L=84.6 H (L_{eq})$

สัญญาณอลวนแบบดับเบิลสกออร์ แสดงได้ดังรูปที่ 5.6 และรูปที่ 5.7 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์



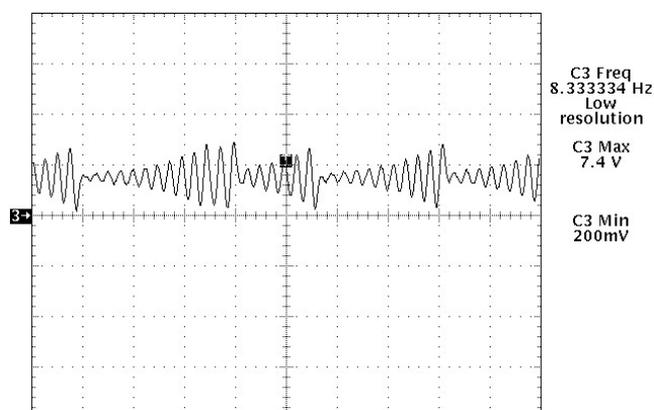
รูปที่ 5.6 สัญญาณอลวนแบบ ดับเบิลสกออร์ 500 mHz



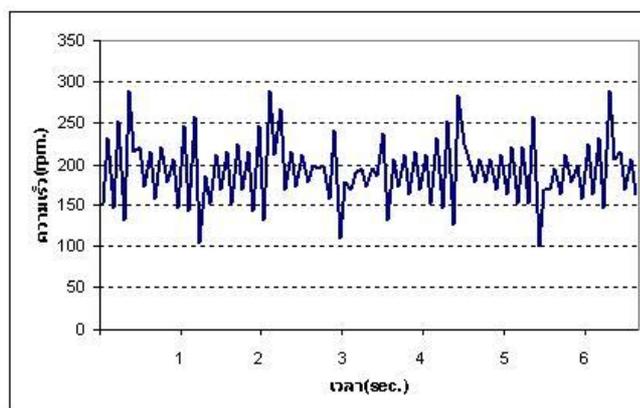
รูปที่ 5.7 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์โดยสัญญาณอลวนแบบ ดับเบิลสกออร์ 500 Hz

5.3.3 Single Score $R=1.758 K\Omega$, $C1=33 \mu F$, $C2=33 \mu F$, $L=59.4 H (L_{eq})$

สัญญาณอลวนแบบซิงเกิลสกออร์ ที่มีความถี่ประมาณ 8.5 Hz แสดงโดยรูปที่ 5.8 และรูปที่ 5.9 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์ที่เปลี่ยนไปตามสัญญาณอินพุท



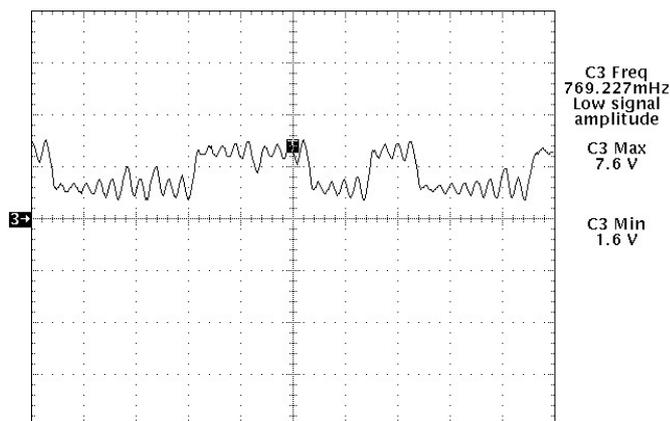
รูปที่ 5.8 สัญญาณ ซิงเกิลสกออร์ 8.5 Hz



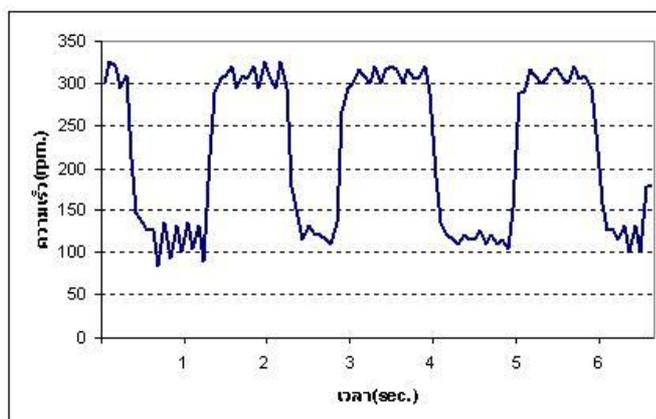
รูปที่ 5.9 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์โดยสัญญาณอลวนแบบ ซิงเกิลสกออร์ 8.5 Hz

5.3.4 Double Score $R=1.719\text{ K}\Omega$, $C1=33\text{ }\mu\text{F}$, $C2=33\text{ }\mu\text{F}$, $L=59.4\text{ H}$ (L_{eq})

สัญญาณอลวนแบบดับเบิลสกออร์ ที่ใช้ในหัวข้อย่อยนี้แสดงในรูปที่ 5.10 และรูปที่ 5.11 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์



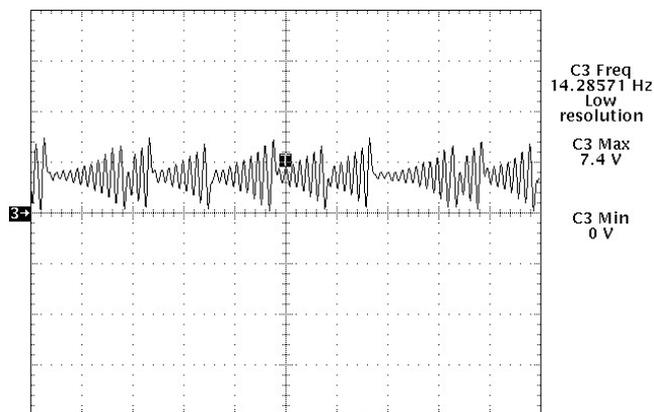
รูปที่ 5.10 สัญญาณอลวนแบบ ดับเบิลสกออร์ 760 mHz



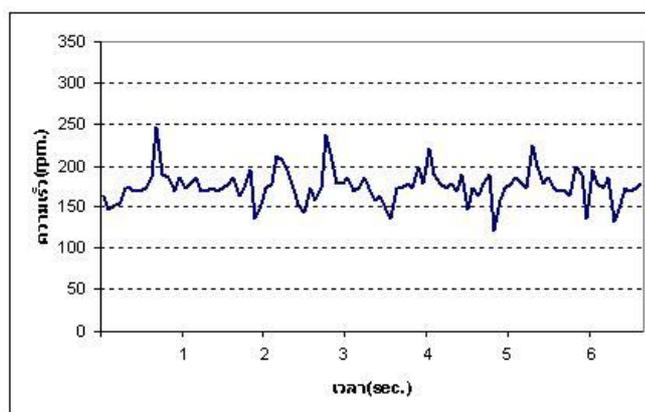
รูปที่ 5.11 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์โดยสัญญาณอลวนแบบ ดับเบิลสกออร์ 760 mHz

5.3.5 Single Score $R=1.491\text{ K}\Omega$, $C1=2.2\text{ }\mu\text{F}$, $C2=22\text{ }\mu\text{F}$, $L=39.6\text{ H}$ (L_{eq})

สัญญาณอลวนแบบซิงเกิลสกออร์ ที่ใช้คล้ายกับหัวข้อ 5.3.4 มีความถี่ประมาณ 14.5 Hz โดยรูปที่ 5.12 แสดงสัญญาณอลวน และรูปที่ 5.13 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์



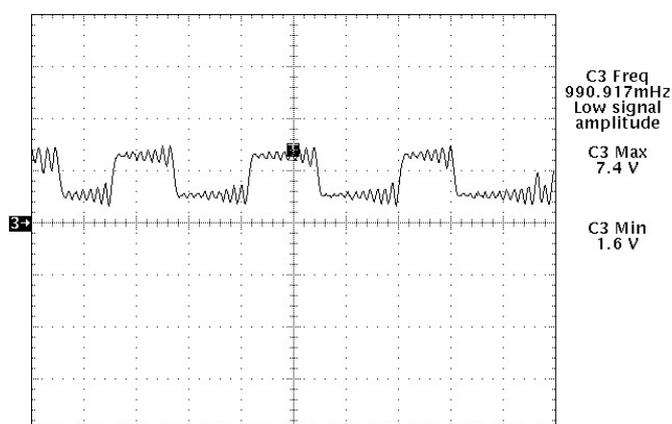
รูปที่ 5.12 สัญญาณอลวนแบบซิงเกิลสกออร์ 14.5 Hz



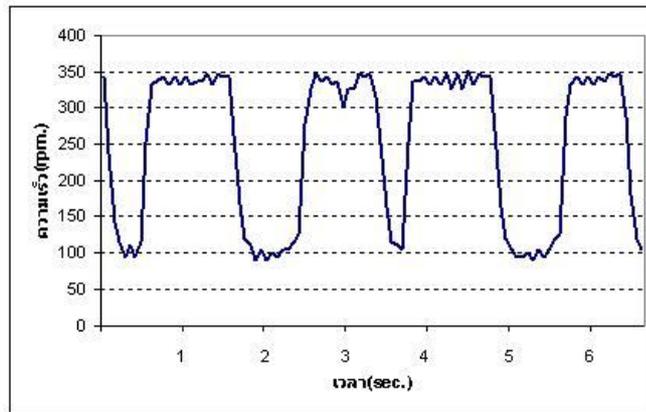
รูปที่ 5.13 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์โดยสัญญาณอลวนแบบซิงเกิลสกออร์ 14.5 Hz

5.3.6 Double Score $R=1.587\text{ K}\Omega$, $C1=2.2\text{ }\mu\text{F}$, $C2=22\text{ }\mu\text{F}$, $L=39.6\text{ H}$ (L_{eq})

สัญญาณอลวนแบบดับเบิลสกออร์ ที่ได้จากพารามิเตอร์ในหัวข้อย่อหน้านี้แสดงในรูปที่ 5.14 และรูปที่ 5.15 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์



รูปที่ 5.14 สัญญาณอลวนแบบดับเบิลสกออร์ 990 mHz

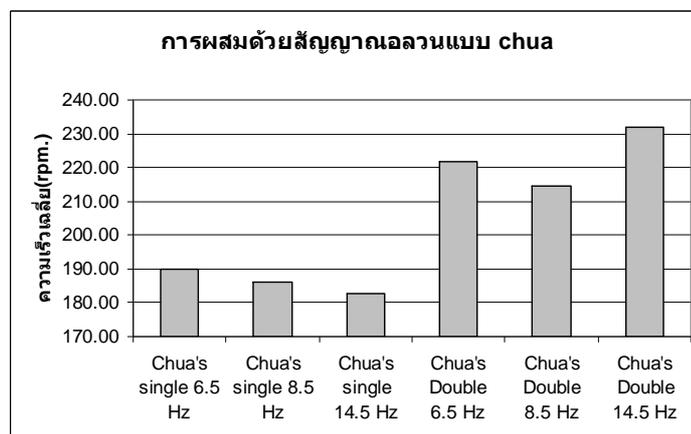


รูปที่ 5.15 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์โดยสัญญาณอลวนแบบดับเบิลสกอว์ 990 mHz

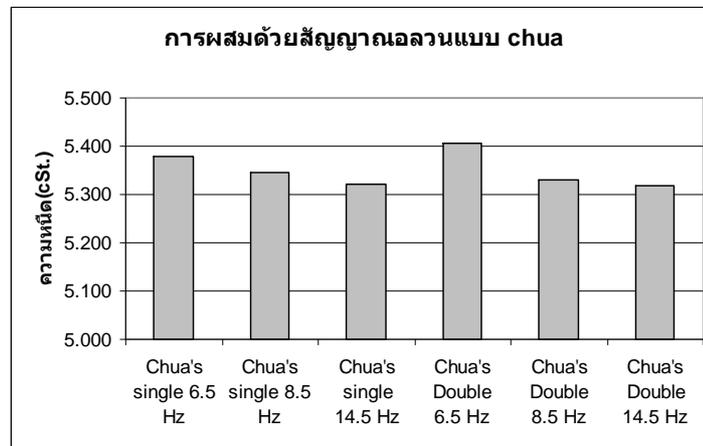
ผลการทดลอง ด้วยสัญญาณอลวนจากวงจร Chua แสดงในตารางที่ 5.3 โดยรูปที่ 5.16 และ 5.17 จะแสดงกราฟของผลการทดลอง

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองการควบคุมการปั่นผสมด้วยสัญญาณอลวนแบบ Chua

สัญญาณอินพุท	ความเร็วรอบเฉลี่ย (rpm.)	ความหนืด (cSt.)
Single score 6.5 Hz	190.01	5.379
Double score 6.5 Hz	221.95	5.406
Single score 8.5 Hz	186.11	5.346
Double score 8.5 Hz	214.52	5.330
Single score 14.5 Hz	182.92	5.320
Double score 14.5 Hz	231.91	5.317



รูปที่ 5.16 กราฟความเร็วเฉลี่ยของมอเตอร์จากสัญญาณอลวนแบบ chua



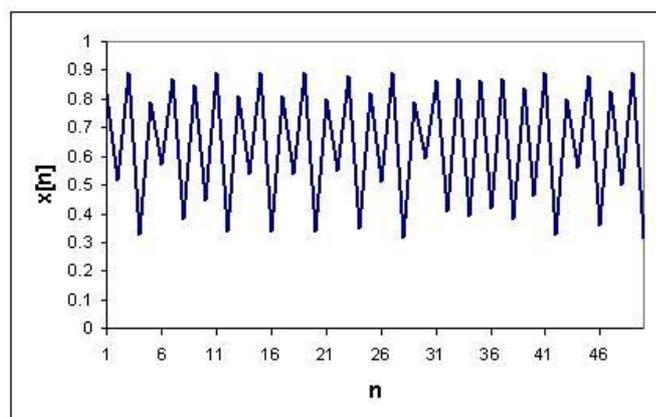
รูปที่ 5.17 กราฟความหนืดที่ได้จากสัญญาณเอลวนแบบ chua

5.4 สัญญาณเอลวนแบบลอจิสติก

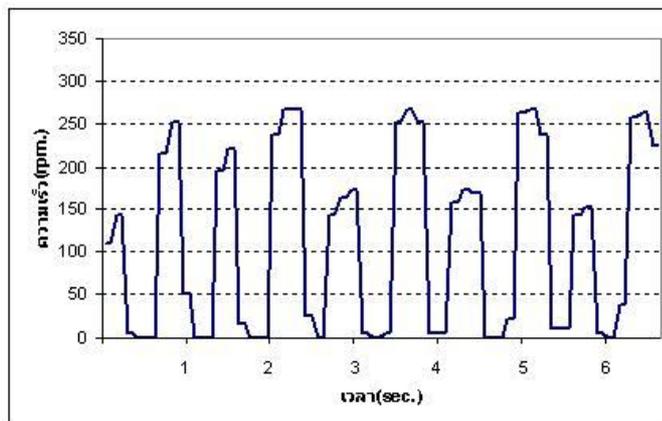
วงจรสร้างสัญญาณเอลวนแบบลอจิสติกที่ใช้ในการทดลองเป็นสัญญาณเอลวนแบบดิจิทัล กำหนดโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 5.4 โดยใช้ค่า $r = 3.60$ และ 3.999 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการเกิดสภาวะเอลวน ที่ค่าน้อย และค่ามาก โดยใช้ความถี่ในการควบคุมมอเตอร์ที่ 6 Hz, 8 Hz และ 14 Hz ตามลำดับใช้ค่า r ทั้งสองค่าสำหรับการเปรียบเทียบกับสัญญาณอื่นๆ

5.4.1 ความถี่ 6 Hz $r = 3.60$

รูปที่ 5.18 แสดงสัญญาณเอลวนแบบลอจิสติกเมื่อ $r = 3.60$ และรูปที่ 5.19 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์ที่ความถี่ 6 Hz



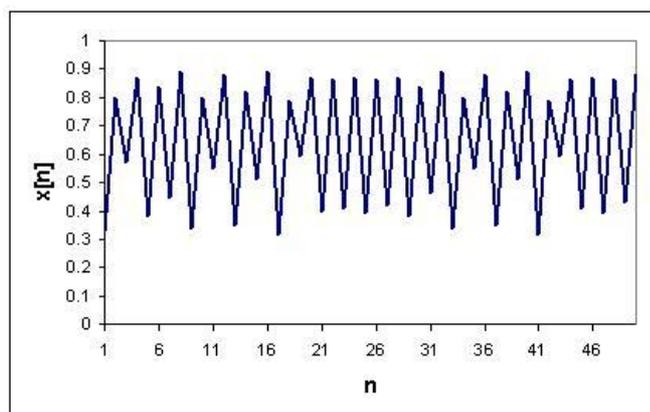
รูปที่ 5.18 ค่าพารามิเตอร์ลอจิสติก $r = 3.60$



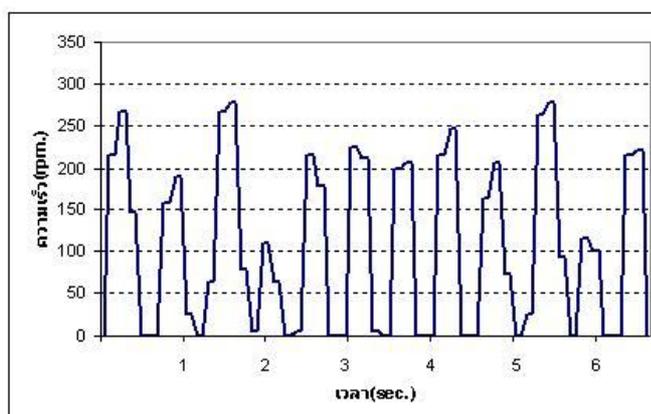
รูปที่ 5.19 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์โดยสัญญาณลอจิสติก ค่า $r = 3.60$ ความถี่ 6 Hz

5.4.2 ความถี่ 8 Hz $r = 3.60$

รูปที่ 5.20 แสดงสัญญาณอลวนแบบลอจิสติกเมื่อ $r = 3.60$ และรูปที่ 5.21 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์ที่ความถี่ 8 Hz



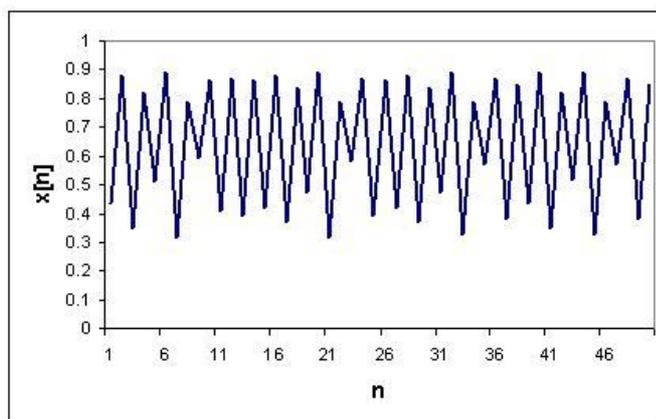
รูปที่ 5.20 สัญญาณอลวนแบบลอจิสติกใช้ค่าพารามิเตอร์ $r = 3.60$



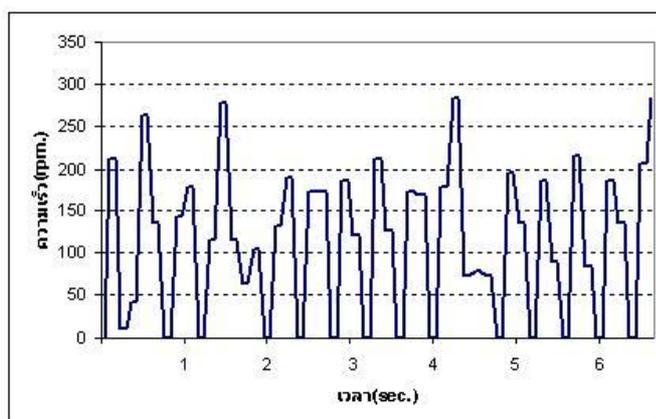
รูปที่ 5.21 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์โดยสัญญาณลอจิสติก ค่า $r = 3.60$ ความถี่ 8 Hz

5.4.3 ความถี่ 14 Hz $r = 3.60$

รูปที่ 5.22 แสดงสัญญาณอลวนแบบลอจิสติกเมื่อ $r = 3.60$ และรูปที่ 5.23 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์ที่ความถี่ 14 Hz



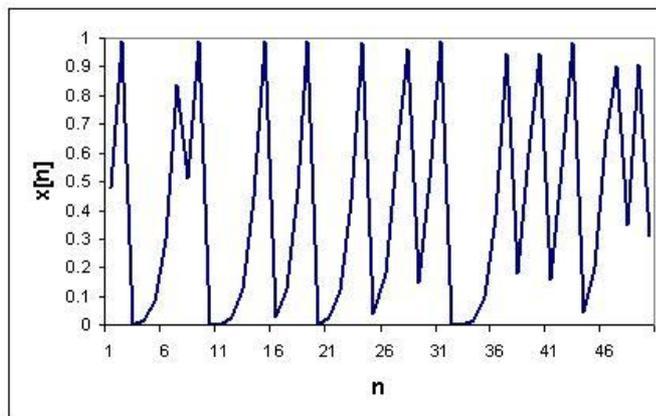
รูปที่ 5.22 สัญญาณอลวนลอจิสติกใช้ค่า $r = 3.60$



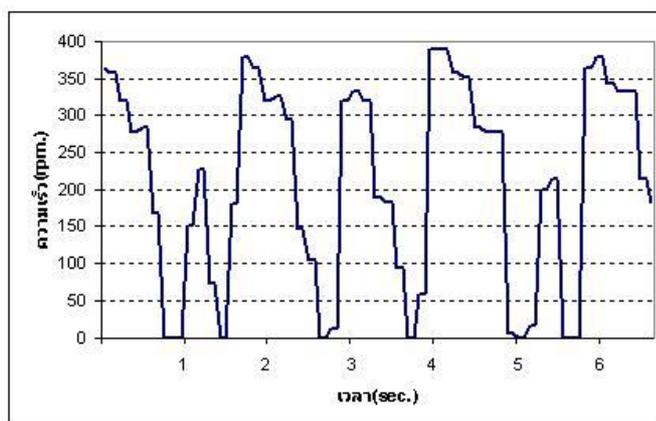
รูปที่ 5.23 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์โดยสัญญาณลอจิสติก ค่า $r = 3.60$ ความถี่ 14 Hz

5.4.4 ความถี่ 6 Hz $r = 3.999$

รูปที่ 5.24 แสดงสัญญาณอลวนแบบลอจิสติกเมื่อ $r = 3.999$ และรูปที่ 5.25 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์ที่ความถี่ 6 Hz



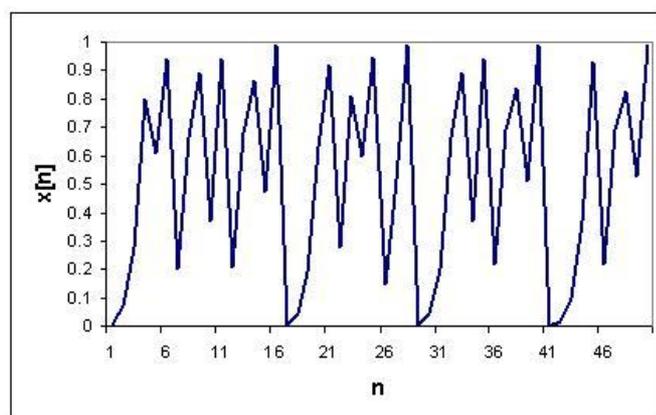
รูปที่ 5.24 สัญญาณอลวนลอจิสติกใช้ค่า $r = 3.999$



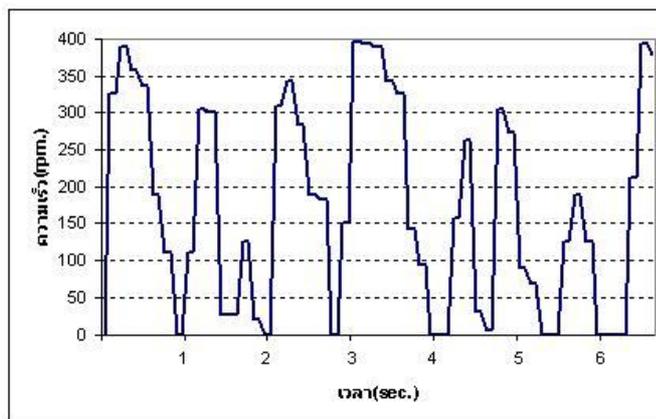
รูปที่ 5.25 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์โดยสัญญาณลอจิสติก ค่า $r = 3.999$ ความถี่ 6 Hz

5.4.5 ความถี่ 8 Hz $r = 3.999$

รูปที่ 5.26 แสดงสัญญาณอลวนแบบลอจิสติกเมื่อ $r = 3.999$ และรูปที่ 5.27 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์ที่ความถี่ 8 Hz



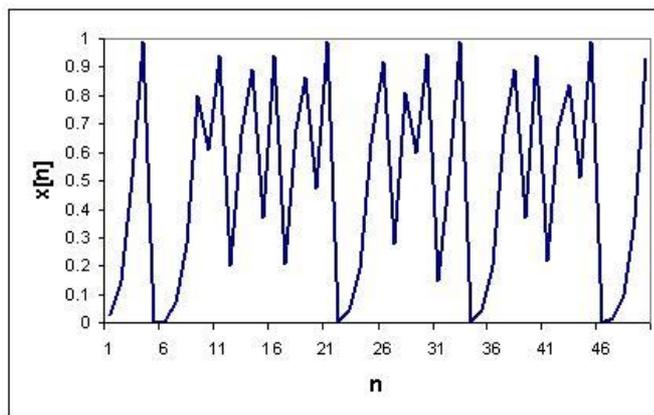
รูปที่ 5.26 สัญญาณอลวนลอจิสติกใช้ค่า $r = 3.999$



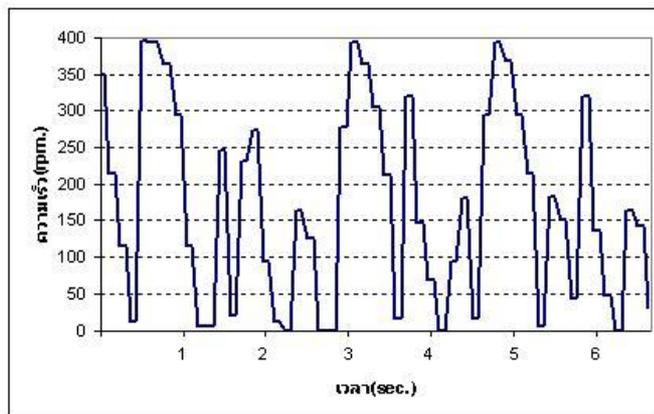
รูปที่ 5.27 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์โดยสัญญาณลอจิสติก ค่า $r = 3.999$ ความถี่ 8 Hz

5.4.6 ความถี่ 14 Hz $r = 3.999$

รูปที่ 5.28 แสดงสัญญาณคลื่นแบบลอจิสติกเมื่อ $r = 3.999$ และรูปที่ 5.29 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์ที่ความถี่ 14 Hz



รูปที่ 5.28 สัญญาณคลื่นลอจิสติกใช้ค่า $r = 3.999$

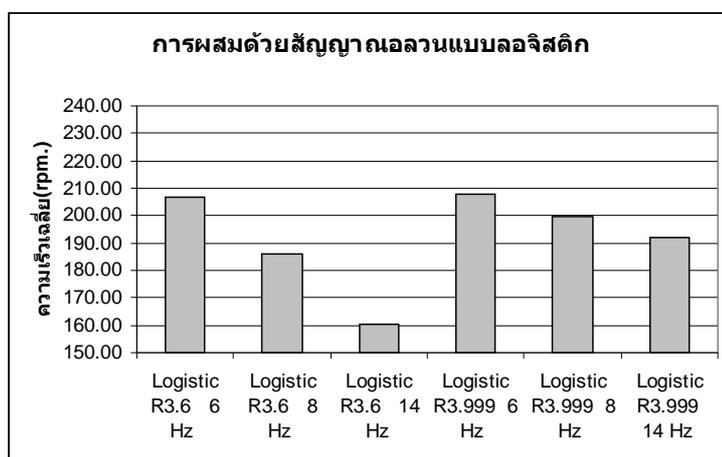


รูปที่ 5.29 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์โดยสัญญาณลอจิสติกค่า $r = 3.999$ ความถี่ 14 Hz

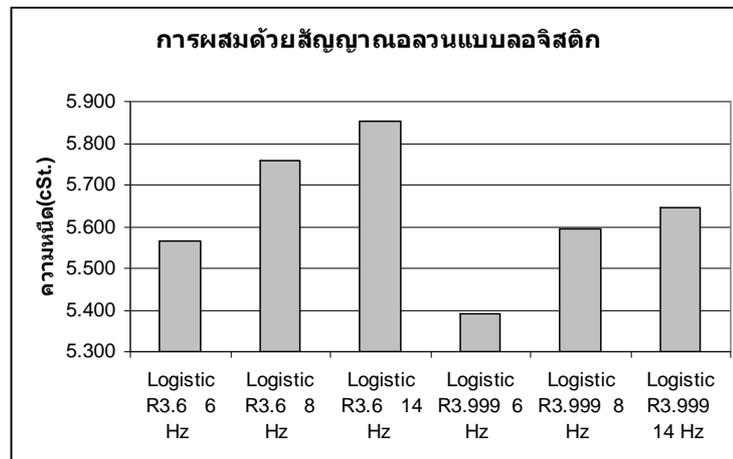
ผลการทดลอง ด้วยสัญญาณออสซิลโลแกรมแบบลอจิสติก แสดงในตารางที่ 5.4 โดยรูปที่ 5.30 และ รูปที่ 5.31 แสดงกราฟของผลการทดลอง

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองการควบคุมการปั่นผสมด้วยสัญญาณลอจิสติก

ความถี่สัญญาณอินพุต	ความเร็วรอบเฉลี่ย (rpm.)	ความหนืด (cSt.)
6 Hz $r = 3.60$	206.57	5.566
8 Hz $r = 3.60$	185.79	5.757
14 Hz $r = 3.60$	160.10	5.852
6 Hz $r = 3.999$	207.90	5.390
8 Hz $r = 3.999$	199.90	5.594
14 Hz $r = 3.999$	191.98	5.646



รูปที่ 5.30 กราฟความเร็วเฉลี่ยของมอเตอร์จากสัญญาณออสซิลโลแกรมแบบลอจิสติก



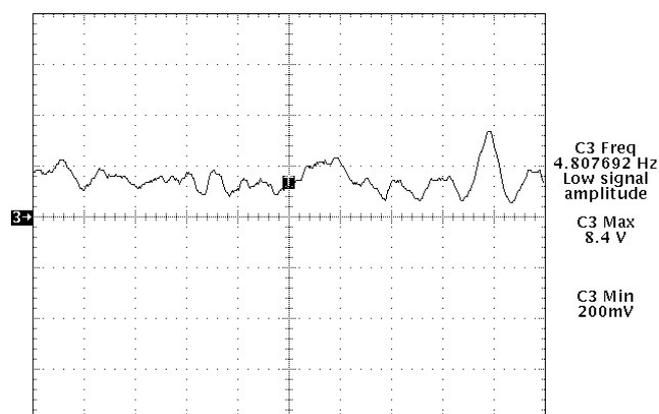
รูปที่ 5.31 กราฟความหนืดที่ได้จากสัญญาณอลวนแบบลอจิสติก

5.5 สัญญาณรบกวนแบบ Pink noise

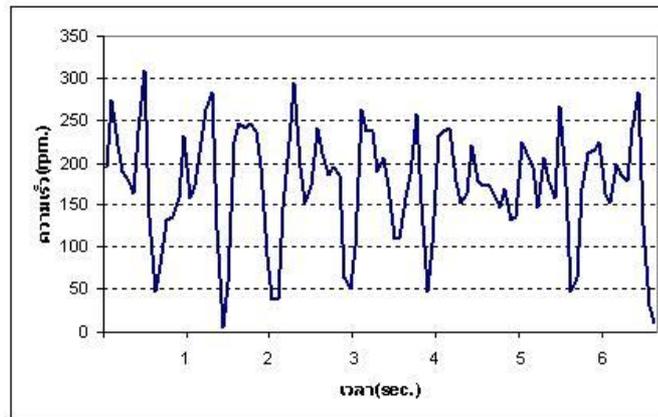
สัญญาณรบกวนแบบ Pink noise ที่ใช้ในการทดลองสร้างจาก Noise Generator โดยในการทดลองจะใช้สัญญาณ Noise ที่ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ โดยใช้วงจรกรองความถี่ต่ำแบบ Sallen Key filter order 2 [21] ความถี่คัทออฟ ที่ 6 Hz และ 14 Hz ตามลำดับ โดยผลการทดลองแสดงในตาราง 5.5

5.5.1 สัญญาณรบกวน Pink noise cut-off 6 Hz

รูปที่ 5.32 แสดงลักษณะของสัญญาณรบกวน pink noise ที่ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ 6 Hz และรูปที่ 5.33 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์



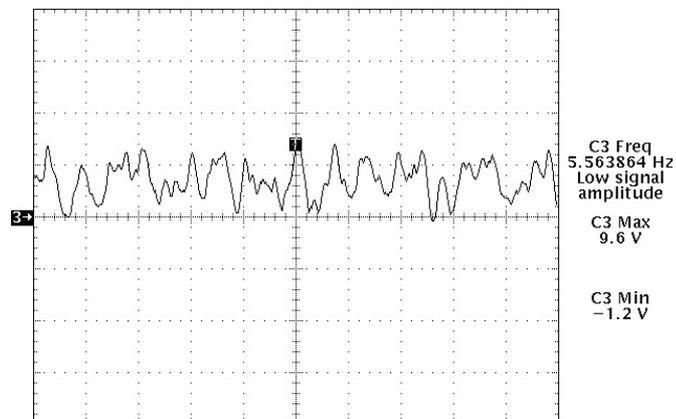
รูปที่ 5.32 คลื่นสัญญาณรบกวน Pink noise (cut-off 6 Hz)



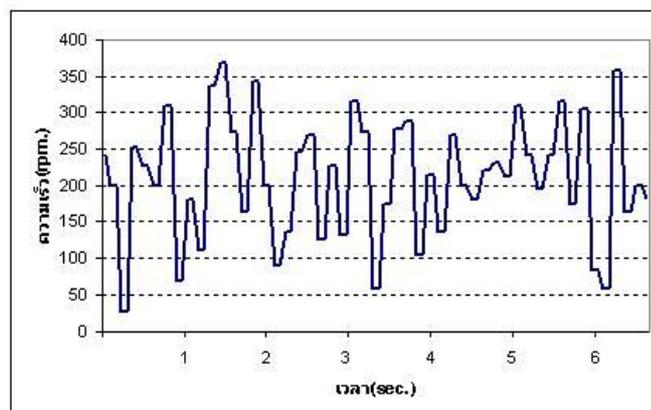
รูปที่ 5.33 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์โดยสัญญาณรบกวน Pink noise (cut-off 6 Hz)

5.5.2 สัญญาณรบกวน Pink noise cut-off 14 Hz

รูปที่ 5.34 แสดงลักษณะของสัญญาณรบกวน pink noise ที่ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ 14 Hz และรูปที่ 5.35 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์



รูปที่ 5.34 คลื่นสัญญาณรบกวน Pink noise (cut-off 14 Hz)

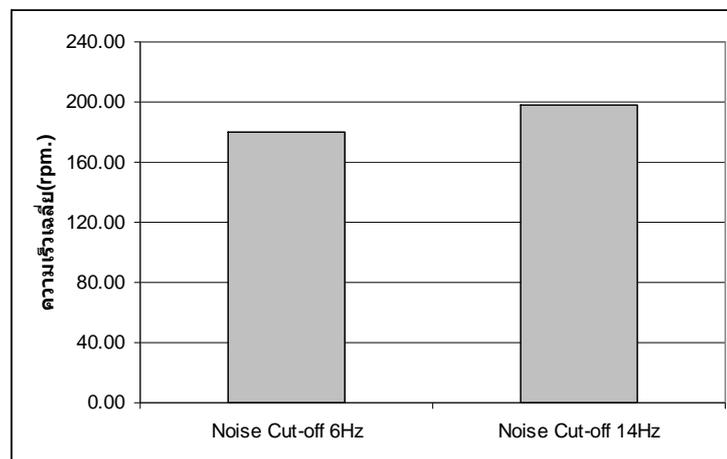


รูปที่ 5.35 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์โดยสัญญาณรบกวน Pink noise (cut-off 14 Hz)

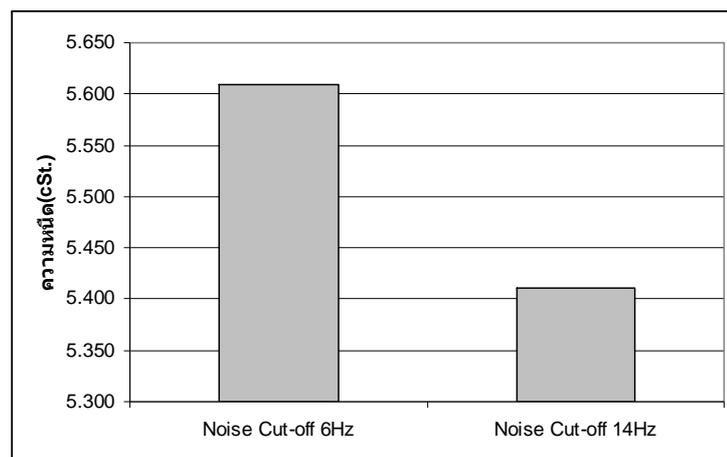
ผลการทดลอง ด้วยสัญญาณรบกวน pink noise แสดงสรุปในตารางที่ 5.5 โดยรูปที่ 5.36 และรูปที่ 5.37 แสดงกราฟของผลการทดลอง.

ตาราง 5.5 ผลการทดลองการควบคุมการปั่นผสมด้วยสัญญาณรบกวน Pink Noise

ความถี่สัญญาณอินพุท	ความเร็วรอบเฉลี่ย (rpm.)	ความหนืด (cSt.)
Noise Cut-off 6 Hz	179.53	5.609
Noise Cut-off 14 Hz	198.43	5.411

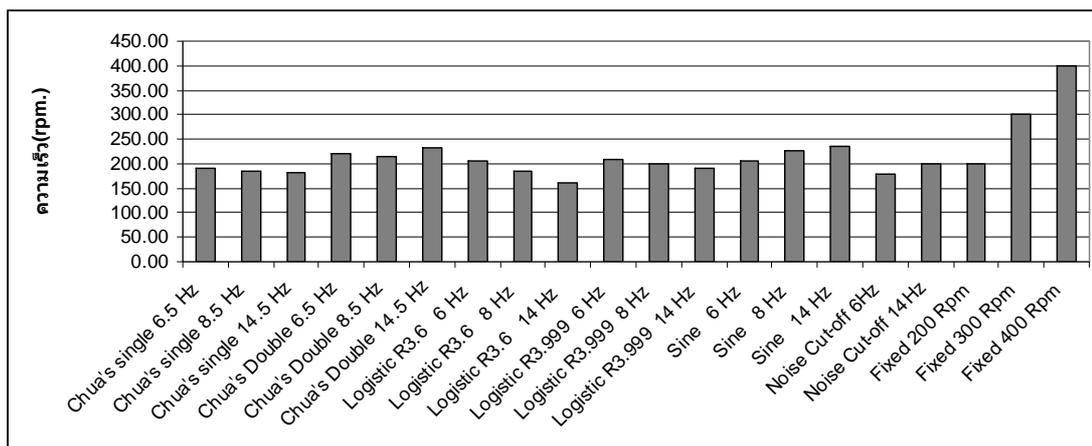


รูปที่ 5.36 กราฟความเร็วเฉลี่ยของมอเตอร์จากสัญญาณรบกวน pink noise

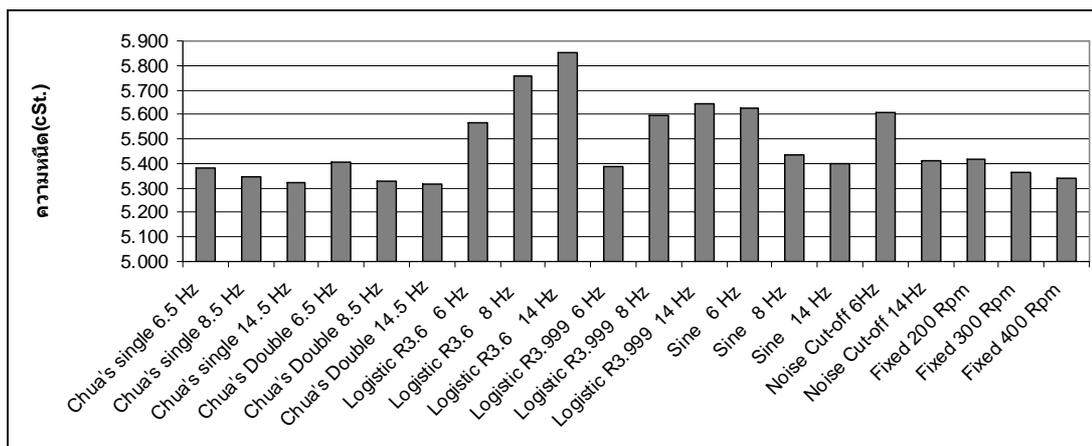


รูปที่ 5.37 กราฟความหนืดที่ได้จากสัญญาณรบกวน pink noise

จากผลการทดลองทั้งหมดเมื่อนำมาเขียนกราฟ เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองจะได้ดังรูปที่ 5.38 และ 5.39 โดยจะเห็นว่า การใช้สัญญาณอินพุตแบบสัญญาณอลวนจากวงจร Chua แบบ ซิงเกิลสกออร์ ให้ผลโดยรวมที่ดีที่สุดเมื่อพิจารณาทั้งในแง่ของความหนืดที่ได้ ร่วมกับความเร็วยรอบที่ใช้ในการทดลอง แต่หากพิจารณาเฉพาะผลของความหนืดที่ได้ต่ำที่สุดนั้น จะเป็นการใช้สัญญาณอินพุตแบบลอจิสติกค่า $r = 3.60$ ความถี่ 14 Hz แต่หากพิจารณาในส่วนของความเร็วในการปั่นผสมที่ใช้จะมีค่ามากกว่าสัญญาณแบบอื่น หรือหากพิจารณาเฉพาะในส่วนของ ความเร็วที่ต่ำที่สุดจะเป็นการใช้สัญญาณ อลวนจากวงจร Chua แบบดับเบิลสกออร์ แต่ค่าความหนืดที่ได้จะไม่ดีเช่นกัน



รูปที่ 5.38 กราฟความเร็วจากการทดลองทั้งหมด



รูปที่ 5.39 กราฟความหนืดจากการทดลองทั้งหมด