

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติสำหรับการไทเทรต

IMPLEMENTATION ON AUTOMATIC MACHINE VISION

FOR TITRATION



T120060



ปรัชญา เครือเพ็ชร
PRATYA KRUEPETCH

วพ.
๒/431ก
2564

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....120060.....
วัน, เดือน, ปี.....1.0.11.2555.....

ที่ en

b.18374คค
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2554

KMITL-2011-EN-M-230-134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPLEMENTATION ON AUTOMATIC MACHINE VISION
FOR TITRATION

PRATYA KRUEPETCH



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2011

KMITL-2011-EN-M-230-134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2011

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสร้างเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติสำหรับการไทเทรต
Thesis Title Implementation on Automatic Machine Vision for Titration
นักศึกษา นายปรัชญา เครือเพ็ชร
รหัสประจำตัว 49061053
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมสารสนเทศ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ปิติเขต สุรักษา
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2011-EN-M-230-134

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.อรรถสิทธิ์	ทล่ำสกุล	
ดร.พนารัตน์	เชิญถนอมวงศ์	
ดร.วีระพล	โมนะกุล	
รศ.ดร.ประกอบ	กิจไชยา	
รศ.ดร.ปิติเขต	สุรักษา	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 25 สิงหาคม พ.ศ. 2554 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

KING MONKUB'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชัยวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)
คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 25 สิงหาคม พ.ศ. 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างเครื่องทศนจักรอัตโนมัติสำหรับการไทเทรต
นักศึกษา	นายปรัชญา เครือเพชร
รหัสนักศึกษา	49061053
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2554
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ปิติเขต สุรักษา

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอหลักการออกแบบและการสร้างเครื่องทศนจักรอัตโนมัติสำหรับการไทเทรตสารเคมี สำหรับผู้ที่ไม่มีความรู้พื้นฐานทางด้านเคมีมาก่อนหรืออำนวยความสะดวกแก่นักเคมี ผลการทดลองกับการไทเทรตน้ำมันใช้แล้วเพื่อผลิตไบโอดีเซลชุมชน พบว่าวิธีการที่นำเสนอให้ค่าความแม่นยำสูงและมีความถูกต้องใกล้เคียงกับการทำไทเทรตด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม

Thesis Implementation on Automatic Machine Vision for Titration
Student Mr.Pratya Kruepetch
Student ID. 49061053
Degree Master of Engineering
Program Information Engineering
Year 2011
Thesis Advisor Assoc.Prof.Dr.Pitikhate Sooraksa



ABSTRACT

This thesis proposes design principle and construction of machine vision for titration. The work would benefit unskilled persons as long as the chemist in light of simple operation. According to the experiment, the proposed automatic titration satisfies the objective for serving community bio-diesel production. The results are accurate equivalent to those obtained from the conventional method.

II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ปิติเขต สุรักษา ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำปรึกษา ชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหา ให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา ที่ให้ความรู้ คำชี้แนะในการแก้ไขปัญหาด้านเคมี ตลอดจนอำนวยความสะดวกให้ใช้วัสดุอุปกรณ์พร้อมกับให้ทดลองห้องทดลองเคมี ในการทำการทดลองสร้างเครื่องที่ศนจักรอัตโนมัติ

ขอขอบคุณ น้องชนินท์ ที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำความรู้ทางด้านเคมี ตลอดจนช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัยมหำบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว-อุตสาหกรรม (MAG Window I) ประจำปี 2552 ชื่อ โครงการ การสร้างเครื่องที่ศนจักรอัตโนมัติสำหรับการไทเทรต (Implementation on Automatic Vision for Titration) สัญญาเลขที่ MRG-WI525E134 และ บริษัทยูนิซิส คอนซัลติง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้

ปรีชญา เครือเพชร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	1
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนของการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การไทเทรต.....	3
2.1.1 ความหมายของการไทเทรต.....	3
2.1.1.1 การไทเทรตแบบใช้เครื่องมือ.....	3
2.1.1.2 การไทเทรตแบบใช้กรด-เบสอินดิเคเตอร์.....	4
2.1.2 การทำมาตรฐานสารละลายกรดโดยการไทเทรต กรด-เบส (Acid-Base Titration).....	5
2.2 น้ำมันดีเซลชีวภาพ.....	8
2.2.1 ความหมายของน้ำมันดีเซลชีวภาพ.....	8
2.2.2 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันดีเซลชีวภาพ.....	8
2.2.3 มาตรฐานของน้ำมันดีเซลชีวภาพ.....	9
2.2.4 คุณสมบัติและข้อแตกต่างระหว่างน้ำมันดีเซลชีวภาพและน้ำมันดีเซล.....	10
2.3 การสั่นสะเทือน (Vibration).....	11
2.3.1 ความหมายของการสั่นสะเทือน.....	11
2.3.2 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก (Harmonic Motion).....	11
2.3.3 การเคลื่อนที่แบบไม่เป็นฮาร์มอนิก (Non-harmonic Motion).....	13
2.3.4 องค์ประกอบของระบบการสั่นสะเทือน.....	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.4.1 สปริง (Spring).....	15
2.3.4.2 ตัวหน่วง.....	15
2.3.4.3 มวล.....	16
2.3.5 องศาอิสระของการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน (Degrees of Freedom of Vibration Analysis).....	16
2.3.6 การส่งถ่ายแรงไปยังฐาน : ระบบไม่มีตัวหน่วง	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	18
3.1 การไทเทรต.....	18
3.1.1 สารตั้งต้นที่ใช้ในการวิจัย.....	18
3.1.2 ขั้นตอนการไทเทรต.....	18
3.2 การสร้างเครื่องทดสอบจักรอัตโนมัติ.....	18
3.2.1 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องทดสอบจักรอัตโนมัติ	19
3.2.2 องค์ประกอบของเครื่องทดสอบจักรอัตโนมัติ	20
3.2.2.1 บอร์ดควบคุมเครื่องทดสอบจักรอัตโนมัติ	21
3.2.2.2 ตัวโมดูลกลิ้ง.....	21
3.2.2.3 โซลินอยด์.....	23
3.2.2.4 เครื่องสั่น	24
3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความสั่นสะเทือนของแผ่นระนาบ	26
3.2.4 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมเครื่องทดสอบจักรอัตโนมัติ.....	27
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย.....	30
4.1 การทดลองประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบจักรอัตโนมัติ	30
4.1.1 ผลการทดลองประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบจักรอัตโนมัติ	31
4.2 การทดลองเกี่ยวกับข้อมูลใช้ทำแผนที่วิเคราะห์การสั่นแนวแผ่นระนาบฐานรอง	33
4.2.1 ผลการทดลองการสั่นแนวแผ่นระนาบฐานรอง	35
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	52
5.1 สรุปผลการดำเนินการวิจัย	52

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1.1 สรุปผลการทดลองประสิทธิภาพในการทำงานของ เครื่องทศนจักรอัตโนมัติ.....	52
5.1.2 สรุปผลการทดลองเกี่ยวกับข้อมูลใช้ทำแผนที่วิเคราะห์การสั้น แนวแผ่นระนาบฐานรอง	52
5.2 ข้อเสนอแนะ	53
เอกสารอ้างอิง	54
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. หลักการเลือกและปัจจัยที่มีผลต่อการไทเทรต.....	56
ภาคผนวก ข. ความคลาดเคลื่อนและประโยชน์ในการไทเทรต	57
ภาคผนวก ค. ชนิดของการสั้นสะเทือน	58
ภาคผนวก ง. ข้อมูลมอเตอร์ DC	67
ภาคผนวก จ. ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง X และระนาบฐานรอง Y.....	70
ภาคผนวก ฉ. ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	94
ประวัติผู้เขียน	95

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 กรด-เบส อินดิเคเตอร์บางตัว.....	4
2.2 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันชนิดต่างๆ.....	9
2.3 มาตรฐานน้ำมันดีเซลชีวภาพ.....	10
2.4 ค่าเสมือนของสปริง (spring) แบบต่าง ๆ.....	15
4.1 ค่าสีของน้ำมันก่อนทำการไทเทรตด้วยเครื่อง.....	32
4.2 ค่าสีของน้ำมันหลังการทำไทเทรตด้วยเครื่อง.....	32



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะการตั้งบิวเรตเพื่อการไทเทรต.....	6
2.2 ลักษณะการจับบิวเรต(burette) และฟลาสในขณะการไทเทรต.....	7
2.3 การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย (Simple Harmonic Motion).....	12
2.4 การเคลื่อนที่แบบไม่เป็นฮาร์โมนิก (Non-harmonic Motion)	14
3.1 แผนผังกระบวนการขั้นตอนการทำงานของเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ	20
3.2 โครงสร้างของเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ.....	21
3.3 บอร์ดควบคุมที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) ประมวลผล.....	21
3.4 ไดอะแกรมการทำงานของโมดูล IV-CAM.....	22
3.5 แผงวงจรของโมดูลกล้อง IV-CAM.....	22
3.6 เครื่องต้นแบบของโมดูลกล้อง IV-CAM.....	23
3.7 โซลินอยด์และเครื่องต้นแบบของโซลินอยด์	24
3.8 เครื่องต้นแบบของเครื่องสั้น.....	24
3.9 แปลนภาพเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ.....	25
3.10 เครื่องต้นแบบเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติและการจัดสรรพื้นที่ภายใน.....	26
3.11 อุปกรณ์วัดค่าความสั่นสะเทือนของแผ่นระนาบทั้งสองแผ่น.....	27
3.12 หน้าแรกของโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ	28
3.13 หน้าหลักของโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ.....	29
4.1 ผลการไทเทรตที่ทำการทดลองด้วยมือและผลการไทเทรตที่ทำด้วยเครื่อง	31
4.2 การไทเทรตด้วยเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ.....	31
4.3 แผ่นระนาบ A และแผ่นระนาบ B.....	33
4.4 มุมของแผ่นระนาบ A.....	34
4.5 มุมของแผ่นระนาบ B.....	34
4.6 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบที่มอเตอร์ 5 V	35
4.7 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 5 V.....	36
4.8 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 5 V.....	37
4.9 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอร์ 5 V	37
4.10 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอร์ 9 V.....	38
4.11 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 9 V.....	39
4.12 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 9 V.....	39

VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอร์ 9 V.....	40
4.14 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอร์ 12 V.....	41
4.15 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 12 V.....	41
4.16 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 12 V.....	42
4.17 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอร์ 12 V.....	43
4.18 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอร์ 5 V.....	43
4.19 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาที่มอเตอร์ 5 V...	44
4.20 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกาที่มอเตอร์ 5 V...	45
4.21 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอร์ 5 V.....	45
4.22 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอร์ 9 V.....	46
4.23 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาที่มอเตอร์ 9 V...	47
4.24 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกาที่มอเตอร์ 9 V...	47
4.25 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอร์ 9 V.....	48
4.26 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอร์ 12 V.....	49
4.27 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาที่มอเตอร์ 12V..	49
4.28 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกาที่มอเตอร์ 12V..	50
4.29 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอร์ 12 V.....	51

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการทำการทดลองทางเคมี กระบวนการเริ่มต้นที่เราจะต้องทำคือ การทำไทเทรต เพื่อที่จะหาค่าปริมาตร หรือความเข้มข้นของสารเคมีที่เราไม่ทราบค่า เพื่อให้ทราบว่าสารเคมีที่จะนำไปทดลองในกระบวนการต่อไปนั้น สามารถนำไปใช้ทำการทดลองขั้นต่อไปได้หรือไม่ ยกตัวอย่างเช่น การทำน้ำมันไบโอดีเซล ก่อนที่เราจะทำน้ำมันไบโอดีเซล เราจะต้องนำน้ำมันที่ได้มาผ่านกระบวนการไทเทรตก่อน เพื่อที่จะได้ทราบว่าน้ำมันนี้ มีความเหมาะสมหรือไม่ ในการที่จะทำน้ำมันดีเซลชีวภาพ ซึ่งถือว่าการทำไทเทรตของสารเคมีค่อนข้างจะมีความสำคัญ และขั้นตอนกระบวนการทำการไทเทรตของสารเคมีนั้น สำหรับนักเคมีซึ่งมีความรู้พื้นฐานนั้นคงไม่มีปัญหาในการทำไทเทรตสารเคมี แต่สำหรับผู้ที่ไม่มีความรู้พื้นฐานทางด้านเคมีมาก่อน เป็นเรื่องยากที่จะอธิบายถึงขั้นตอนและกระบวนการวิธีการไทเทรตให้เข้าใจได้ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างเครื่องทศนจักรอัตโนมัติขึ้นมา เพื่ออำนวยความสะดวกสำหรับการไทเทรตสารเคมี ให้มีความถูกต้องใกล้เคียงกับการไทเทรตวิธีเดิมให้มากที่สุด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานทั่วไป ให้สามารถทำไทเทรตสารเคมีได้อย่างใกล้เคียงกับผลจากวิธีแบบดั้งเดิมและถูกต้องมากที่สุด เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ต่อไป

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

การทำไทเทรตด้วยเครื่องทศนจักรอัตโนมัติด้วยเครื่องต้นแบบนั้น สามารถให้ผลการทดลองได้อย่างแม่นยำและใกล้เคียงกับการทำไทเทรตด้วยมือ

1.4 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ ควบคุมผ่านทางคอมพิวเตอร์ผ่านทาง port RS-232 และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผล แล้วแสดงผลการทดลองออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ พร้อมบทวิเคราะห์แผนทีระนาบแผ่นสั้น

1.5 ขั้นตอนของการวิจัย

- 1.ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- 2.ออกแบบและสร้างเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ
- 3.ออกแบบและเขียนโปรแกรมในการควบคุมเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ
- 4.ทำการทดลองและเปรียบเทียบผลการทดลองกับการไทเทรตด้วยมือ
- 5.สรุปผลการทดลองและเรียบเรียงรายงาน



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทความ Apparatus for automatic titration ของ Surjaatmadja และ Lee ของ United States Patent เลขที่ 5,192,509 ตีพิมพ์ในปี 1993 ได้นำเสนอบทความเกี่ยวกับเรื่อง การสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการไทเทรต ซึ่งใช้คอมพิวเตอร์ประมวลผลและแสดงผลในการควบคุมบ่มแต่ละบ่มที่ บรรจุสารเคมีไว้ภายใน แล้วปล่อยสารเคมีมาผสมกัน โดยใช้ชุดตรวจวัดไอออนิกในการผสมสารเคมี แล้วใช้ เครื่องจับสีในการตรวจจับสีออกมา ซึ่งบทความนี้จะนำเสนอการสร้างเครื่องทำศนจักรอัตโนมัติสำหรับการไทเทรต ซึ่งได้ศึกษาทดลองเบื้องต้น ซึ่งกระบวนการประดิษฐ์ที่เกี่ยวข้องเช่นเปิดเผยในบทความ นี้ อันเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ไม่ปรากฏหรือเปิดเผยในบทความอื่น ๆ ดังนั้นจึงแสดงวรรณกรรมปริทัศน์ เพียงงานที่เกี่ยวข้องทางทฤษฎีในบทนี้เท่านั้น [1]

2.1 การไทเทรต

2.1.1 ความหมายของการไทเทรต

การไทเทรต (titration) [2] คือ การหาปริมาตร หรือ ความเข้มข้นของ สารละลายที่เรา ไม่ทราบค่า โดยเอาไปทำปฏิกิริยากับสารที่เราทราบความเข้มข้น โดยทั่วไปจะเอากรดมาไทเทรตกับ เบส ให้มันทำปฏิกิริยาพอดีกัน โดยให้เราดูจากอินดิเคเตอร์ (indicator) ที่เราใส่ลงไป วิธีการไทเทรต กรด-เบส มีวิธีหาจุดยุติได้ 2 แบบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1.1.1 การไทเทรตแบบใช้เครื่องมือ [3]

เครื่องมือที่นำมาใช้หาจุดยุติของการไทเทรต กรด-เบส มีอยู่หลายชนิด ได้แก่ เครื่องวัด pH เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า และเครื่องวัดแสง เป็นต้น เช่น การไทเทรตสารละลาย กรด กลือ ที่มีปริมาตร 25.00 cm^3 ด้วยสารละลายมาตรฐาน NaOH ที่มีความเข้มข้น 0.010 mol/dm^3 โดยใช้เครื่อง pH หาจุดยุติ

ขั้นแรก ใช้จุ่มอิเล็กโทรดทั้งสองอันที่ติดอยู่กับเครื่องซึ่งได้แก่ saturated calomel electrode (SCE) ทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรดอ้างอิง (reference electrode) และ glass electrode

ทำหน้าที่เป็นอินดิเคเตอร์อิเล็กโทรด (indicator electrode) ลงในสารละลายตัวอย่าง และเริ่มอ่านค่า pH ของสารละลายจากเครื่องวัด

ขั้นที่สอง เริ่มไทเทรตสารละลาย โดยเติมสารละลาย NaOH จากบิวเรต (เริ่มวัดจากมาตรฐาน) ลงในสารละลาย เมื่อสารละลายผสมกันดีแล้ว ให้อ่านค่า pH จากเครื่องวัด ไทเทรตต่อไปเรื่อยๆ พร้อมกับบันทึกปริมาตรของ NaOH และค่า pH ทุกครั้งภายหลังการเติม NaOH เมื่อเติมปริมาตรของ NaOH ถึงระดับหนึ่ง จะสังเกตเห็นว่าค่า pH เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วก็แสดงให้เห็นว่าการไทเทรตนี้ใกล้จุดยุติแล้ว เมื่อเป็นเช่นนี้อย่าหยุดไทเทรตให้ไทเทรตต่อไปอีกและนำข้อมูลที่ได้ออกมาพลอตกราฟและหาจุดยุติได้จากกราฟนั้น

2.1.1.2 การไทเทรตแบบใช้กรด-เบสอินดิเคเตอร์

กรด-เบส อินดิเคเตอร์ เป็นสารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อนหรือเบสอ่อน และจะเปลี่ยนสีได้เมื่อ pH ของสารละลายเปลี่ยนแปลงไป กรด-เบส อินดิเคเตอร์ แต่ละชนิดจะให้สีต่างกันในการละลายที่มี pH ต่างกันด้วย ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 กรด-เบส อินดิเคเตอร์บางตัว [4]

ชื่อสาร	ช่วง pH	สีที่เปลี่ยน	วิธีเตรียม
Picric acid	0.6-1.3	ไม่มีสี-เหลือง	
Thymol blue	1.2-2.8	แดง-เหลือง	0.04 % ในน้ำกลั่น
α - Dinitrophenol	2.4-4.0	ไม่มีสี-เหลือง	0.1 % ในแอลกอฮอล์
Bromophenol blue	3.0-4.6	เหลือง-น้ำเงิน	0.4 % ในน้ำกลั่น
Methyl orange	3.1-4.4	แดง-ส้ม	0.1 % ในน้ำกลั่น
Bromocresol green	3.8-5.4	เหลือง-น้ำเงิน	0.1 % ในน้ำกลั่น
Methyl red	4.2-6.3	แดง-เหลือง	0.1 % ใน 60 % แอลกอฮอล์
Bromocresol purple	5.2-6.8	เหลือง-ม่วง	0.4 % ในน้ำกลั่น
Bromocresol blue	6.2-7.6	เหลือง-น้ำเงิน	0.5 % ในน้ำกลั่น
Phenol red	6.8-8.4	เหลือง-แดง	0.05 % ในน้ำกลั่น
Cresol red	7.2-8.8	เหลือง-แดง	0.05 % ในน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

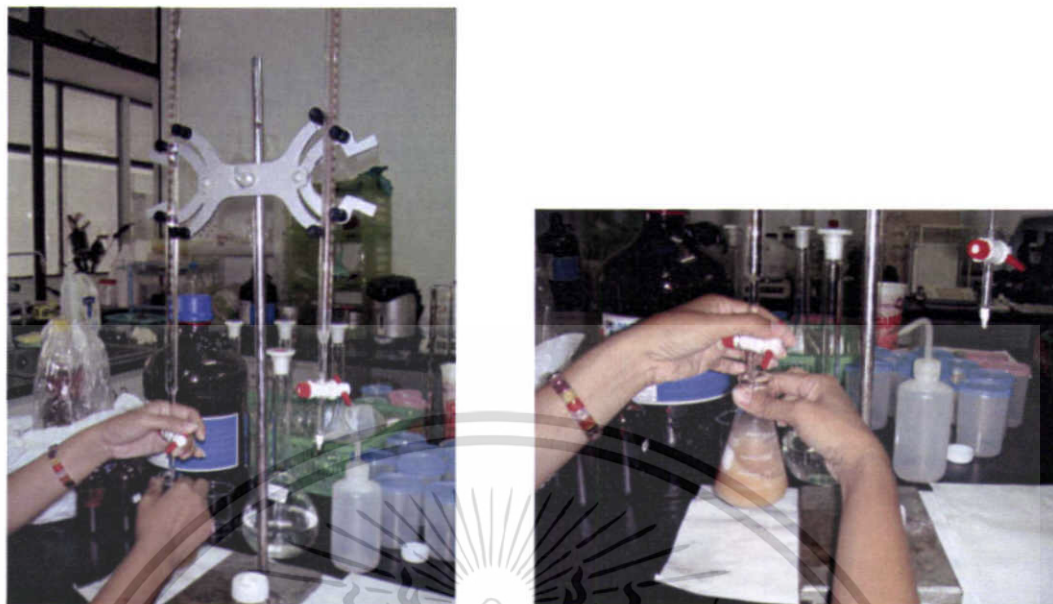
ตารางที่ 2.1 กรด-เบส อินดิเคเตอร์บางตัว (ต่อ)

ชื่อสาร	ช่วง pH	สีที่เปลี่ยน	วิธีเตรียม
Thymol blue	8.0-9.6	เหลือง-น้ำเงิน	0.04 % ในน้ำกลั่น
Phenolphthalein	8.3-10.0	ไม่มีสี-ชมพู	0.05 % ใน 50 % แอลกอฮอล์
Alizarin yellowGG	10.0-12.0	ไม่มีสี-เหลือง	0.1 % ในแอลกอฮอล์
Nitraminee	10.8-13.0	ไม่มีสี-ส้ม	0.01 % ในน้ำกลั่น

2.1.2 การทำมาตรฐานสารละลายกรดโดยการไทเทรต กรด-เบส (Acid-Base Titration)

นำสารละลายกรดที่ทราบปริมาตรที่แน่นอน ไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานเบส (ที่เตรียมจากการชั่งสารปฐุมภูมิที่ผ่านการอบให้แห้งและมีสมบัติเป็นเบส แล้วทำให้เป็นสารละลาย) หรือไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานเบสที่ทำมาตรฐานสารละลายมาก่อนแล้ว เทคนิควิธีการไทเทรต มีดังนี้

- ล้างบิวเรต (burette) ให้สะอาดแล้วตั้งบิวเรตให้มีลักษณะดังรูปที่ 2.1
- เติมสารละลายที่ต้องการจะหาความเข้มข้นลงในบิวเรต (burette) (ใช้กรวยกรอง) ให้มีปริมาตรเหนือขีดศูนย์เล็กน้อย
- ปล่อยสารละลายออกทางปลายบิวเรตอย่างช้าๆลงในบีกเกอร์ (beaker) เพื่อไล่ฟองอากาศที่อยู่ทางปลายบิวเรตออกไปให้หมด แล้วปรับระดับสารละลายในบิวเรตให้อยู่ตรงขีดศูนย์พอดี
- ใช้ปิเปต (pipette) ตูดสารละลายมาตรฐานตามปริมาตรที่ต้องการใส่ลงในฟลาส แล้วหยดอินดิเคเตอร์ (indicator) 2-3 หยด เพื่อใช้เป็นตัวบ่งจุดยุติ
- หยดสารละลายในบิวเรตลงในฟลาสอย่างช้าๆ พร้อมทั้งแกว่งฟลาสด้วยมือขวา ให่วนไปในทิศทางเดียวกัน จนกระทั่งถึงจุดยุติ



(ก)

(ข)

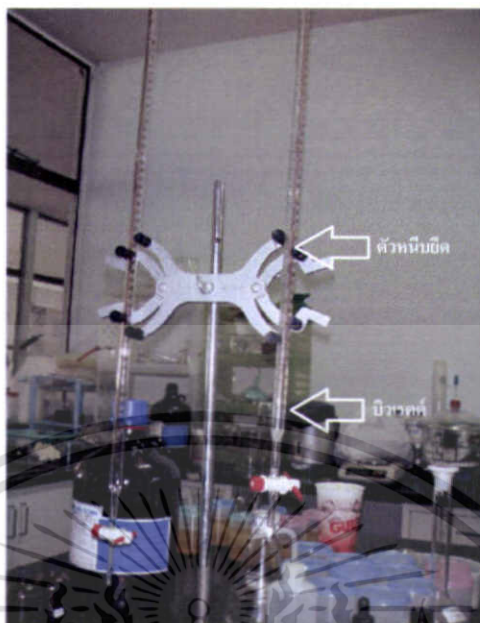
รูปที่ 2.2 ลักษณะการจับบิวเรต (burette) (ก) และฟลาสในขณะการไทเทรต (ข)

5. เมื่ออินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี ควรตั้งสารละลายทิ้งไว้ประมาณ 30 วินาที หากสีไม่มีการเปลี่ยนแปลงแสดงว่าถึงจุดยุติแล้ว

6. อ่านปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการไทเทรตโดยดูตรงส่วนโค้งเว้าต่ำสุดว่าตรงกับขีดบอกปริมาตรใด

ตามปกติการไทเทรตจะต้องทำซ้ำ 2-3 ครั้ง ดังนั้นเพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการทดลอง การไทเทรตครั้งแรกอาจใส่สารละลายจากบิวเรตลงไปอย่างรวดเร็ว เพื่อหาจุดยุติอย่างคร่าวๆหรือหาปริมาตรของสารละลายโดยประมาณก่อน ในการไทเทรตครั้งที่ 2 หรือ 3 ตอนแรกอาจใส่สารละลายจากบิวเรตเร็วได้แต่พอใกล้จะถึงจุดยุติก็หยดสารละลายลงไปทีละหยดเพื่อให้ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตมีความเที่ยงตรงและไม่มากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ลักษณะการตั้งบิวเรต (burette) เพื่อการไทเทรต

หมายเหตุ

1. การจับบิวเรตเพื่อปล่อยสารละลายออกจากบิวเรต ควรจับให้ถูกวิธีคือจับบิวเรตด้วยมือซ้าย จับฟลอสด้วยมือขวาขณะไทเทรตปลายบิวเรตจะต้องจุ่มอยู่ในปากฟลอส (ภาพที่ 2.2 (ข))
2. ขณะไทเทรตควรใช้กระดาษสีขาววางใต้ฟลอส เพื่อให้สังเกตการเปลี่ยนแปลงสี ได้อย่างชัดเจน
3. ในระหว่างการไทเทรตควรมีการล้างผนังด้านในของฟลอสเพื่อให้เนื้อสารที่ติดอยู่ข้างๆ ไหลลงไปทำปฏิกิริยากันอย่างสมบูรณ์
4. เมื่อการไทเทรตใกล้ถึงจุดยุติควรหยดสารละลายลงในบิวเรต (burette) ทีละหยดหรือทีละครึ่งหยด เพื่อป้องกันการเติมสารละลายลงไปมากเกินไป การหยดสารละลายทีละครึ่งหยดทำได้โดยเปิดก๊อกเพียงเล็กน้อย เมื่อสารละลายเริ่มไหลมาอยู่ที่ปลายบิวเรตก็ปิดก๊อกทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 น้ำมันดีเซลชีวภาพ

2.2.1 ความหมายของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

การนำเอาน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นสามารถทำได้โดยการนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลโดยตรงและใช้เป็นเชื้อเพลิง หรือนำเอาน้ำมันพืชมาผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification) เพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล ซึ่งปัจจุบันคำว่า น้ำมันดีเซลชีวภาพ (biodiesel) นั้นคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติได้มีมติให้ใช้ชื่อเรียกที่หมายถึงเชื้อเพลิงที่ได้จากน้ำมันพืชและสัตว์ที่ผ่านกระบวนการเคมี เกิดเป็นสารที่เรียกว่าเมทิลเอสเทอร์ หรือเอทิลเอสเทอร์ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้ดี โดยไม่ต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ น้ำมันนี้ไม่มีส่วนผสมของปิโตรเลียม สลายได้ง่าย และปราศจากกำมะถัน ส่วนการนำน้ำมันพืชมาผสมกับน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันก๊าด เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลนั้น คณะกรรมการนโยบายแห่งชาติมีมติให้ใช้คำเรียกว่า น้ำมันดีเซลมะพร้าว หรือน้ำมันดีเซลปาล์ม ขึ้นอยู่กับชนิดของประเภทน้ำมันที่นำมาผสม เช่น น้ำมันดีเซลมะพร้าวดิบ น้ำมันดีเซลมะพร้าวบริสุทธิ์ น้ำมันดีเซลปาล์มดิบ น้ำมันดีเซลปาล์มบริสุทธิ์ เป็นต้น

น้ำมันดีเซลชีวภาพที่นำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่างๆซึ่งจะเรียกชื่อน้ำมันชนิดนี้โดยใช้สัญลักษณ์เป็น B แล้วจะตามด้วยตัวเลขที่แสดงปริมาณร้อยละของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ทำการผสม BXX ประกอบด้วยน้ำมันดีเซลชีวภาพร้อยละ XX และดีเซลร้อยละ 100-XX ตัวอย่างเช่น B5 คือ น้ำมันน้ำมันดีเซลชีวภาพร้อยละ 5 ผสมกับน้ำมันดีเซลร้อยละ 95 ส่วน B100 คือ น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีน้ำมันดีเซลชีวภาพอย่างเดียวไม่มีน้ำมันดีเซลผสม

2.2.2 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

น้ำมันดีเซลชีวภาพจะมีคุณสมบัติคล้ายกับน้ำมันดีเซลทั่วไปอยู่มากนอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติที่เหนือกว่าน้ำมันดีเซลธรรมดาในบางกรณี ดังต่อไปนี้

1. ความถ่วงจำเพาะ	0.88
2. ความหนืดที่ 20 C	7.5
3. ซีเทนนัมเบอร์	49
4. ค่าความร้อน	33,300 กิโลจูลต่อลิตร

น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ผลิตจากน้ำมันหรือไขมันต่างชนิดต่างๆจะมีคุณสมบัติต่างกันดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันชนิดต่างๆ [5]

เมทิลเอสเทอร์ ของน้ำมันพืช	ความหนืด mm ² /sec	ซีเทน นัมเบอร์	ค่าความร้อน MJ/Liter	จุดหมอก °C	จุดวาบไฟ °C	ความหนาแน่น g/L	กำมะถัน %wt
Peanut	4.9 (37.8 °C)	54	33.6	5	176	0.883	-
Soybean	4.5 (37.8 °C)	45	33.5	1	178	0.885	-
Babassu	3.6 (37.8 °C)	63	31.8	4	127	0.879	-
Palm	5.7 (37.8 °C)	62	33.5	13	164	0.88	-
Sunflower	4.6 (37.8 °C)	49	33.5	1	183	0.86	-
Tallow	-	-	-	12	96	-	-
Rapeseed	4.2 (40 °C)	51-59.7	32.8	-	-	0.882	-
Used rapeseed	9.48 (30 °C)	53	36.7	-	192	0.895	0.002
Used corn oil	6.23 (30 °C)	63.9	42.3	-	166	0.884	0.0013

น้ำมันดีเซลชีวภาพสังเคราะห์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ แอลกอฮอล์ที่เหมาะสมคือ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล บิวทานอล และเอมีลแอลกอฮอล์ แต่ที่นิยมใช้คือเมทานอล เนื่องจากมีราคาถูกและหาได้ง่าย บางครั้งใช้เอทานอลเพราะผลิตจากแหล่งหมุนเวียนได้ ชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้จะทำให้ น้ำมันดีเซลชีวภาพมีคุณสมบัติส่วนใหญ่ใกล้เคียงกัน แต่มีสมบัติบางประการที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืด จุดเกิดหมอก และจุดไหลเท

2.2.3 มาตรฐานของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

เนื่องจากน้ำมันดีเซลชีวภาพนั้นผลิตได้จากน้ำมันพืชและไขมันหลายชนิดที่มีคุณสมบัติต่างกัน มีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม ดังนั้นการกำหนดคุณภาพมาตรฐานนั้นมิได้เพื่อให้ น้ำมันดีเซลชีวภาพมีคุณภาพเป็นมาตรฐานเดียวกัน ซึ่ง ASTM (American Society of Testing & Materials) ได้กำหนดมาตรฐาน D 6751 สำหรับน้ำมันดีเซลชีวภาพ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 [6]

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานน้ำมันดีเซลชีวภาพ [7]

คุณสมบัติ (ภาษาไทย)	Property	ASTM Method	ข้อกำหนด	หน่วย
จุดวาบไฟ	Flash Point	D 93	ไม่ต่ำกว่า 130	°C
น้ำและตะกอน	Water & Sediment	D 2709	ไม่สูงกว่า 0.05	%Volume
ความหนืด	Kinematic Viscosity (40 °C)	D 445	1.9-6.0	mm ² /sec
เถ้า	Sulfated Ash	D 874	ไม่สูงกว่า 0.02	%mass
กำมะถัน	Sulphur	D 5453	ไม่สูงกว่า 0.05	%mass
การกัดกร่อนทองแดง	Copper Strip Corrosion	D 130	ไม่สูงกว่า No.3	
ซีเทนัมเบอร์	Cetane	D 613	ไม่ต่ำกว่า 47	
จุดหมอก	Cloud Point	D 2500		°C
กากถ่าน 100%สารตัวอย่าง	Carbon Residue (100% Sample)	D 4530	ไม่สูงกว่า 0.05	%mass
ความเป็นกรด	Acid Number	D 664	ไม่สูงกว่า 0.80	mgKOH/gm
กลีเซอรินอิสระ	Free Glycerine	D 6584	ไม่สูงกว่า 0.02	% mass
กลีเซอรินทั้งหมด	Total Glycerine	D 6584	ไม่สูงกว่า 0.24	% mass
ปริมาณฟอสฟอรัส	Phosphorous Content	D 4951	ไม่สูงกว่า 0.001	% mass
อุณหภูมิการกลั่น 90%vol.	Distillation Temperature (90% Recovered)	D 1160	ไม่สูงกว่า 360	°C

2.2.4 คุณสมบัติและข้อแตกต่างระหว่างน้ำมันดีเซลชีวภาพและน้ำมันดีเซล

-น้ำมันดีเซลชีวภาพบริสุทธิ์ มีค่าซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งจำนวนซีเทน (Cetane Number) เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการจุดระเบิดและการลุกติดไฟได้เร็ว ซึ่งจะทำให้มีผลต่อการสตาร์ทติดของเครื่องยนต์ การเผาไหม้ และปริมาณมลพิษในไอเสีย ค่าจำนวนซีเทนยิ่งสูงจะทำให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดง่าย ไม่มีการน็อคในเครื่องยนต์ และเป็นการประหยัดการใช้เชื้อเพลิงด้วย

-น้ำมันดีเซลชีวภาพเป็นสารไม่ไวไฟและไม่ระเบิด

-น้ำมันดีเซลชีวภาพมีจุดวาบไฟสูงถึง 120 °C ในขณะที่น้ำมันดีเซลมีจุดวาบไฟที่ 64 °C

-น้ำมันดีเซลมีกำมะถันสูง แต่น้ำมันดีเซลชีวภาพไม่มีน้ำมันดีเซลชีวภาพช่วยหล่อลื่นแทนกำมะถันและลดฝุ่นละอองหรือควันดำ ให้ต่ำลงโดยไม่ทำให้เครื่องยนต์อุดตันเพราะเผาไหม้หมด

น้ำมันดีเซลชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงสะอาด ช่วยให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีขึ้น ทำให้การจุดระเบิดทำได้ดี การสันดาปสมบูรณ์ นอกจากใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำแล้ว ยังนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูงได้ โดยไม่มีปัญหาในการใช้งานทั้งระยะสั้นและระยะยาว เมื่อเปรียบเทียบการใช้น้ำมันดีเซลแล้ว น้ำมันดีเซลชีวภาพจะช่วยลดมลพิษทางอากาศได้มาก โดยปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนรวม และฝุ่นละอองลดลงร้อยละ 20-40

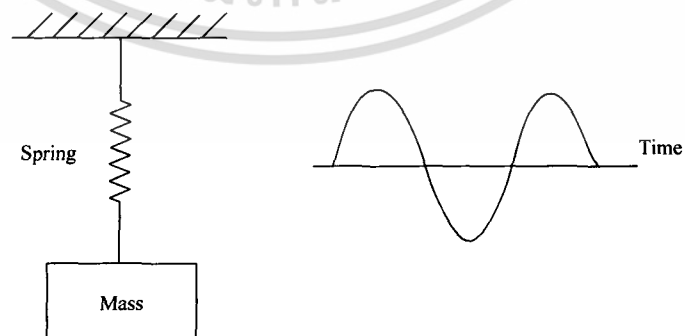
2.3 การสั่นสะเทือน (Vibration)

2.3.1 ความหมายของการสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือน (Vibration) [8] คือ การที่วัตถุเคลื่อนที่รอบๆจุดสมดุลในช่วงเวลาหนึ่งของการเคลื่อนที่ ไม่ว่าจะการเคลื่อนที่รอบจุดสมดุลนั้นจะเกิดขึ้นในแบบการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาหรือจะเป็นการแกว่ง (Oscillation) รอบจุดสมดุลก็ตามการเคลื่อนที่ที่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

2.3.2 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก (Harmonic Motion)

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก (Harmonic Motion) คือ การเคลื่อนที่แบบซ้ำๆกันในเวลาที่เท่ากัน จะเรียกว่าเป็น การเคลื่อนที่แบบเป็นรอบ (periodic motion) ตัวอย่างเช่น การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาที่มีการเคลื่อนที่ที่บทยืดหดทุกครั้งโดยมีคาบเวลาและความถี่คงที่ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ครบรอบเรียกว่า คาบเวลา (T) จำนวนรอบในการเคลื่อนที่ได้ต่อหนึ่งหน่วยเวลาเรียกว่า ความถี่ (f) ซึ่งเป็นความถี่เชิงเส้น และระยะทางสูงสุดที่เคลื่อนที่ได้ในแต่ละรอบการเคลื่อนที่เรียกว่า แอมพลิจูด ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เป็นการเคลื่อนที่ของระบบอย่างง่าย เป็นการแขวนของวัตถุมวล m ไว้กับสปริง เมื่อมีการดึงวัตถุมวล m ลงมาด้านล่างแล้วปล่อย ก้อนวัตถุมวล m ก็จะเคลื่อนที่ขึ้น-ลง



รูปที่ 2.3 การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย (Simple Harmonic Motion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก สามารถแสดงในรูปตรีโกณมิติแทนความสัมพันธ์ระหว่างการขจัดและเวลาได้ดังนี้

$$x = x_0 \sin(\omega t) \quad (2.1)$$

เมื่อ x_0 คือ ค่าแอมพลิจูด (Amplitude)

x คือ ค่าขจัดที่เวลา t ใดๆ

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.2)$$

เมื่อ T คือ คาบเวลา มีหน่วยเป็นวินาทีต่อรอบ (sec) หรือเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ 1 รอบ นอกจากนั้นยังสามารถวัดความถี่ของการสั่นได้อีกวิธีคือ การวัดความถี่เชิงมุม (Circular Frequency; ω) มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที (Radians per Second) ดังสมการที่ 2.3

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (2.3)$$

สำหรับเครื่องจักรกลแบบหมุน ความถี่ส่วนใหญ่จะแสดงด้วยค่าการสั่นสะเทือนต่อนาที (Vibration per Minute : vpm) ดังสมการ 2.4

$$vpm = \frac{\omega}{\pi} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.1) เมื่อนำมาหาอนุพันธ์ลำดับที่ 1 ของสมการนี้เทียบเวลาจะได้ สมการที่ (2.5)

$$v = \frac{dX}{dt} = \dot{X} = \omega X_0 \cos(\omega t) \quad (2.5)$$

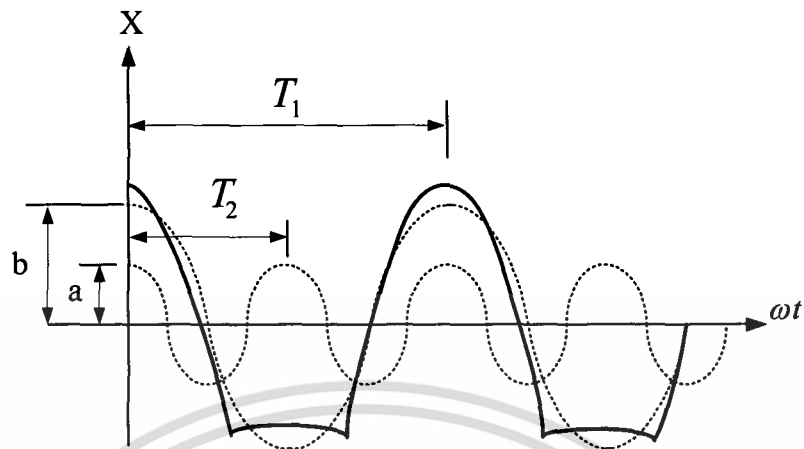
ในทำนองเดียวกัน ความเร่งเป็นอนุพันธ์ลำดับที่ 2 จากสมการที่ (2.5) จะได้สมการใหม่เป็นสมการที่ (2.6)

$$a = \frac{d^2 X}{dt^2} = \ddot{X} = -\omega^2 X_0 \sin(\omega t) \quad (2.6)$$

จากสมการที่ (2.6) จะได้ค่าแอมพลิจูด เท่ากับ $\omega^2 X_0$

2.3.3 การเคลื่อนที่แบบไม่เป็นฮาร์มอนิก (Non-harmonic Motion)

สำหรับเครื่องจักรอุปกรณ์ส่วนใหญ่ ปกติแล้วจะมีแหล่งที่มาของการสั่นสะเทือนหลายแหล่ง ดังนั้นรูปแบบการสั่นเมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างการขจัดและเวลาส่วนใหญ่จึงมีลักษณะแบบไม่เป็นฮาร์มอนิก ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเคลื่อนที่แบบไม่เป็นฮาร์มอนิก (Non-harmonic Motion)

จากรูปที่ 2.4 การเคลื่อนที่แบบไม่เป็นฮาร์มอนิกที่เกิดจากการรวมกันของการเคลื่อนที่ในลักษณะเป็นคลื่นไซน์ (Sine wave) สองคลื่นที่มีความถี่ต่างกัน โดยที่คลื่นแรกคือเส้นประที่มีค่าแอมพลิจูด a และคลื่นที่สองคือเส้นประที่มีค่าแอมพลิจูด b ซึ่งสามารถเขียนด้วยสมการที่ (2.7) และ(2.8)

$$x_1 = a \sin(\omega_1 t) \quad (2.7)$$

$$x_2 = b \sin(\omega_2 t) \quad (2.8)$$

การเคลื่อนที่แบบซ้อนรวมจะแทนด้วยเส้นทึบที่เกิดจากการรวมกันของเส้นประทั้งสอง ซึ่งสามารถแสดงด้วยสมการ (2.9)

$$x = x_1 + x_2 = a \sin(\omega_1 t) + b \sin(\omega_2 t) \quad (2.9)$$

สำหรับฟังก์ชันแบบคาบเวลาใดๆ สามารถเขียนแทนได้ด้วยฟังก์ชันไซน์ในลักษณะอนุกรมกัน โดยมีความถี่ค่า $\omega, 2\omega, 3\omega, \dots$ ตามลำดับ ดังแสดงได้ตามสมการที่ (2.10)

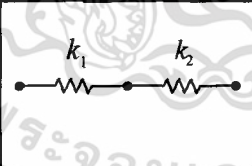
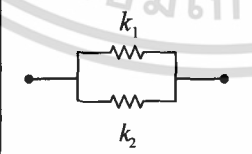
$$f(t) = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \phi_1) + A_2 \sin(2\omega t + \phi_2) + A_3 \sin(3\omega t + \phi_3) + \dots \quad (2.10)$$

จากสมการที่ (2.10) ซึ่งก็คือสมการอนุกรมฟูรีเยร์ (Fourier Series) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา ($f(t)$) โดยที่ค่าแอมพลิจูด และมุมเฟส ของทุกๆค่าการเคลื่อนที่แบบสั่นอย่างต่อเนื่อง สามารถคำนวณหาค่าทางคณิตศาสตร์เมื่อทราบค่าของฟังก์ชัน ส่วนค่า $2\omega, 3\omega, \dots$ จะเป็นการอ้างอิงถึงค่าลำดับที่ฮาร์โมนิกของความถี่หลัก

2.3.4 องค์ประกอบของระบบการสั่นสะเทือน ประกอบด้วย 3 ชั้นส่วนสำคัญคือ

2.3.4.1 สปริง (Spring) มีคุณสมบัติในการเก็บสะสมพลังงานไว้ในรูปพลังงานศักย์ และสามารถที่จะปลดปล่อยพลังงานที่สะสมไว้ภายในออกมาได้ ซึ่งสปริง (spring) ที่ถูกนำมาใช้งานใน 2 ลักษณะคือ รับแรงตามแนวแกน (เชิงเส้น)และแรงบิด หน่วยของสปริง (spring) จะมีความแตกต่างกันคือ สปริง(spring) ที่รับแรงตามแนวแกนจะมีหน่วยเป็น N/m ส่วนสปริง(spring) ที่รับแรงบิดจะมีหน่วยเป็น N.m/rad ในบางระบบอาจจะมีสปริง (spring) อยู่หลายตัว เพื่อความสะดวก จึงมีความจำเป็นที่ต้องรวมสปริง (spring) เป็นสปริง(spring)สมมูล ตัวเดียว ซึ่งมีการต่ออยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ การต่อแบบขนานและการต่อแบบอนุกรม ตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าเสมือนของสปริง (spring) แบบต่าง ๆ [10]

	$k = \frac{1}{1/k_1 + 1/k_2}$
	$k = k_1 + k_2$

2.3.4.2 ตัวหน่วง ทำหน้าที่ช่วยลดการสั่นสะเทือน และทำให้ระบบหยุดการสั่นสะเทือนได้ แรงที่เกิดขึ้นกับตัวหน่วงจะขึ้นอยู่กับความเร็วเท่านั้นไม่ขึ้นอยู่กับระยะทาง

2.3.4.3 มวล ทำหน้าที่ในการสะสมพลังงานจลน์ในขณะที่มวลเคลื่อนที่ สำหรับแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของมวลจะอยู่ในลักษณะของแรงเฉื่อย

รูปแบบของการสั่นสะเทือนดูเพิ่มเติมในภาคผนวกที่ ค.

2.3.5 องศาอิสระของการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน (Degrees of Freedom of Vibration Analysis)

องศาอิสระเป็นตัวบอกให้ทราบว่าเครื่องจักรกลมีทิศทางการเคลื่อนที่ได้มากน้อยเพียงใด ยิ่งมีค่ามากยิ่งสามารถเคลื่อนที่ได้หลายทิศทาง และพบว่าคุณสมบัติของมวล ความมั่นคง แข็งแรง และความหน่วงจะมีความสัมพันธ์แตกต่างกันสำหรับแต่ละทิศทางการเคลื่อนที่ ดังนั้นยังขึ้นส่วนภายในเครื่องจักรกลมีองศาอิสระมากขึ้นเท่าใด ความซับซ้อนในการวิเคราะห์รูปแบบการสั่นสะเทือนจะมีความซับซ้อนมากขึ้นตามไปด้วย รูปแบบของการสั่นสะเทือนและจำนวนองศาอิสระแบ่งเป็นแต่ละแบบดูในภาคผนวกที่ ค. รูปแบบการสั่นที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้เป็นการเกี่ยวเนื่องกับการส่งแรงผ่านฐานโดยไม่มีตัวหน่วง แนวทางการวิเคราะห์นำเสนอได้ดังนี้

2.3.6 การส่งถ่ายแรงไปยังฐาน : ระบบไม่มีตัวหน่วง

ในกรณีที่ระบบไม่มีตัวหน่วงและถูกกระทำด้วยแรงจากภายนอกที่เป็นฟังก์ชันแบบฮาร์มอนิก จะมีการตอบสนองแบบเอกพันธ์มีค่าน้อย จะพิจารณาเฉพาะการตอบสนองแบบสถานะอยู่ตัว ดังนั้นการตอบสนองบริบูรณ์ของระบบเป็น

$$x(t) = \frac{F \sin \omega t}{m(\omega_n^2 - \omega^2)} \quad (2.46)$$

ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบเดียวกันกับการตอบสนองแบบฮาร์มอนิก

$$x(t) = X \sin \Omega t \quad (2.47)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเทียบสมการ และ จะได้แอมพลิจูดของการเคลื่อนที่ของมวล m เป็น

$$X = \frac{F}{m(\omega_n^2 - \omega^2)} ; \omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$= \frac{F}{m\left(\frac{k}{m}\right) - m\omega^2}$$

$$X = \frac{F}{k\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)} \quad (2.48)$$

เมื่อ X เป็นแอมพลิจูดของการเคลื่อนที่ของมวล m ซึ่งก็คือ ระยะยืดหรือหดของสปริง ดังนั้นแรงส่งผ่านสปริงไปยังฐานก็คือ $F_t = kX$ และอัตราส่วนระหว่างแรงที่ส่งผ่านสปริงกับแอมพลิจูดของแรงจากภายนอก F เรียกว่า อัตราส่วนการส่งถ่ายแรง (Transmission Ratio) หาได้จากสมการ

$$TR = \frac{F_t}{F} = \frac{kX}{F} = \frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}} \quad (2.49)$$

บทต่อไปเป็นการนำเสนอการออกแบบและสร้างทัศนจักรเพื่อใช้ในงานโทรทรรศน์อัตโนมัติโดยอาศัยหลักการที่นำเสนอในบทนี้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมและประมวลผล และใช้ตัวกลิ้งในการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงสีของสารเคมีที่ใช้ในการทำไทเทรต โดยใช้โซลินอยด์เป็นตัวควบคุมการปล่อยของสารเคมีและใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมเครื่องสั่นของสารเคมีที่ได้สร้างขึ้น แล้วนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบหาค่าความผิดพลาด เมื่อเทียบกับการทดลองไทเทรตด้วยวิธีธรรมดา บทนี้นำเสนอวิธีการออกแบบและสร้างเครื่องที่คนจักรอัตโนมัติตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

3.1 การไทเทรต

3.1.1 สารตั้งต้นที่ใช้ในการวิจัยนี้

1. NaOH 0.01N ใน IPA (Isopropyl alcohol)	7	ml
2. สารที่นำมาทดลอง (ในงานวิจัยนี้จะใช้น้ำมันที่ใช้แล้ว)	2	ml
3. Phenolphthalein 0.01N ในน้ำ	2	หยด
4. Isopropyl alcohol	70	ml

3.1.2 ขั้นตอนการไทเทรต

ขั้นตอนที่หนึ่ง เตรียมสารตัวอย่างที่ต้องการทำการไทเทรต ในงานวิจัยนี้ได้เลือกสารตัวอย่าง คือ น้ำมันที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว เพื่อทดสอบประสิทธิภาพน้ำมันนั้นว่า สามารถนำไปทำน้ำมันไบโอดีเซลได้หรือไม่ และได้เลือกสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในการทำไทเทรต โดยที่เตรียมสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม ละลายลงในน้ำกลั่น 1 ลิตร จะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้น 0.1%

ขั้นตอนที่สอง หยดสารอินดิเคเตอร์ที่เตรียมมา ลงในสารตัวอย่าง 4-5 หยด (ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน $C_{20}H_{14}O_4$ เป็นสารอินดิเคเตอร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่สาม ค่อยๆหยดสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ละลายจากบิวเรต พร้อมกับเขย่าสารตัวอย่างที่อยู่ในบีกเกอร์ไปเรื่อยๆ ให้เข้ากัน จนกว่าสารละลายที่อยู่ในบีกเกอร์จะเปลี่ยนไปเป็นสีชมพูถาวรไม่เปลี่ยนแปลง จึงหยุด

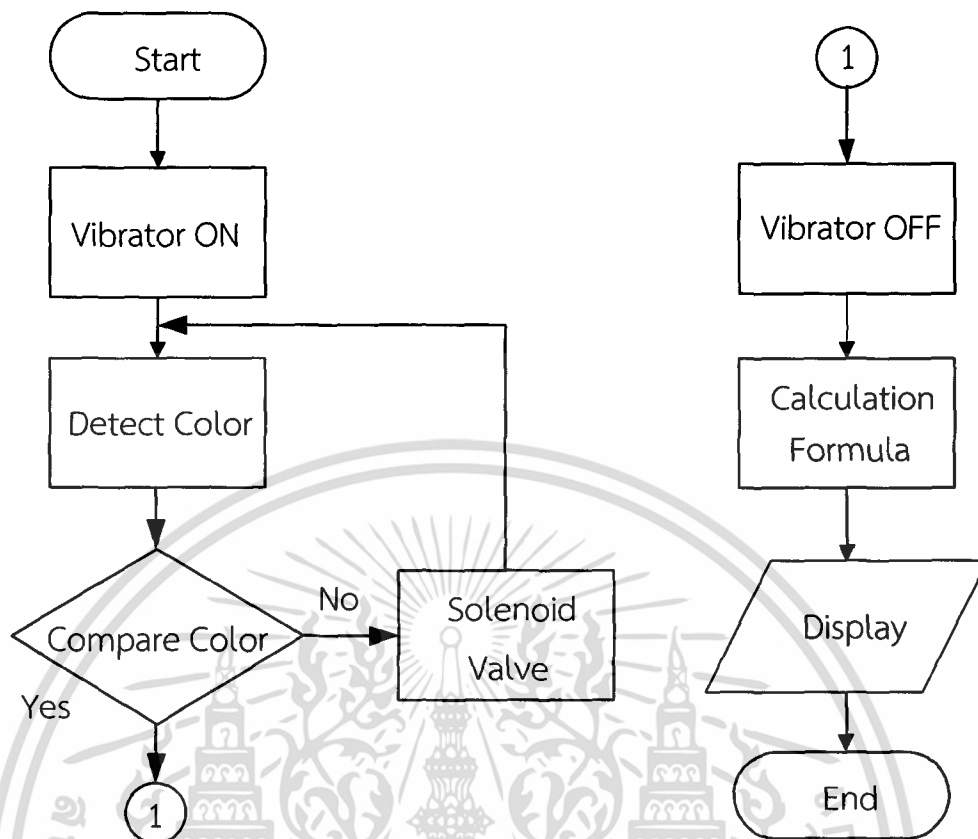
ขั้นตอนที่สี่ นับปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดลงในสารตัวอย่าง จากบิวเรตก็จะได้ปริมาตรของสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไป

3.2 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ

ขั้นตอนที่หนึ่ง เตรียมสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้นที่เราได้เตรียมไว้ใส่ลงในส่วนเก็บสารของตัวเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ แล้วปิดฝาให้สนิท และเตรียมสารตัวอย่างที่ต้องการทำการทดลองใส่ลงในบีกเกอร์แล้วนำไปใส่ลงในช่องของเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ

ขั้นตอนที่สอง ทำการเปิดเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ เครื่องจะเริ่มทำงานโดยเริ่มจากการส่งสารตัวอย่างที่ทำการวิจัย จากนั้นตัวไมโครลิตของเครื่องจะทำการตรวจจับและเปรียบเทียบสีว่าสารตัวอย่างนั้นเป็นสีชมพูหรือถึงจุดยุติหรือยัง ถ้ายังตัวกลิ้งจะทำการส่งไปยังส่วนควบคุมสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ให้ทำการหยดสารลงในบีกเกอร์ เครื่องก็จะทำการส่งสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ให้เข้ากับสารที่ทดลองเสร็จแล้ว ตัวกลิ้งก็จะทำการประมวลเปรียบเทียบสีของสารตัวอย่างที่อยู่ในบีกเกอร์อีกครั้งว่าเป็น สีชมพู หรือถึงจุดยุติหรือยัง ถ้าถึงแล้วเครื่องจะทำการหยุดการส่ง

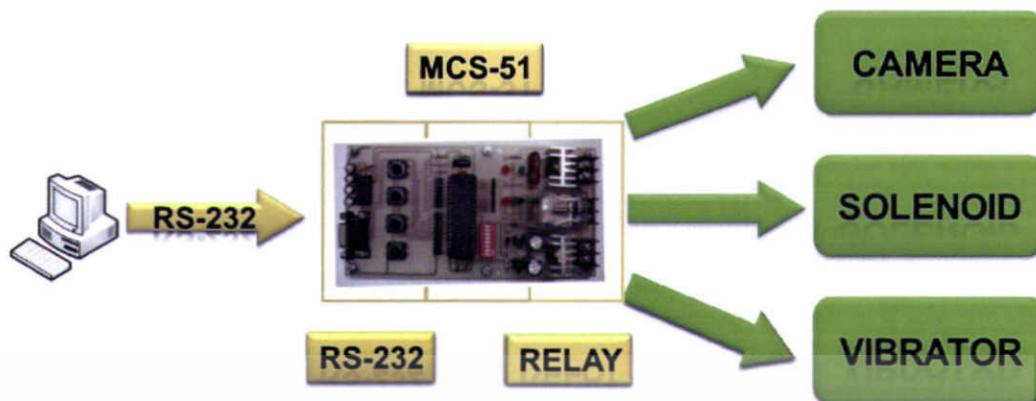
ขั้นตอนที่สาม เครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ จะทำการประมวลรายละเอียดการทดลองทั้งหมด แสดงออกมาทางโปรแกรม โดยจะแสดงผล จำนวนสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ใช้ไปในการทดลอง แสดงค่า FFA (Free Fatty Acids) พร้อมทั้งจะแสดงผล ว่าสารที่นำมาทดลองสามารถนำไปใช้ในกระบวนการต่อไปได้หรือไม่ โดยกระบวนการดังกล่าวแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังกระบวนการขั้นตอนการทำงานของเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ

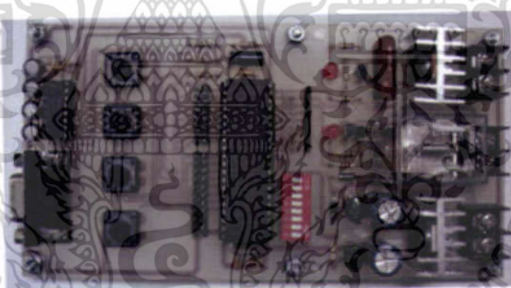
3.2 องค์ประกอบของเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ

เครื่องทัศนจักรอัตโนมัติที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ ควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ผ่านทางช่องทางอนุกรม RS-232 โดยมีบอร์ดควบคุมที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) เป็นตัวทำหน้าที่ในการควบคุมและประมวลผลสั่งการให้กับเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ โดยที่ภายในเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลักคือ



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ

3.2.2.1. บอร์ดควบคุมเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ ภายในบอร์ดประกอบไปด้วย วงจร RS-232 ใช้ในการรับส่งข้อมูลของ port อนุกรมระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ดไมโครโปรเซสเซอร์, วงจร MCS-51 ใช้ในการควบคุมและประมวลผล สุดท้ายเป็นวงจรรีเลย์ใช้ควบคุมตัวโซลินอยด์ ตามรูปที่ 3.2

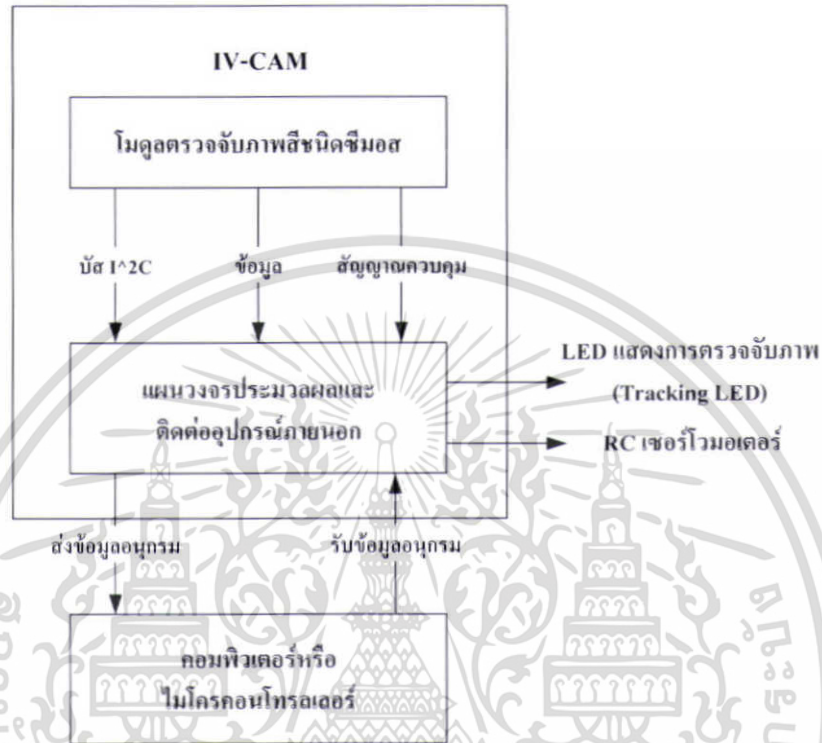


รูปที่ 3.3 บอร์ดควบคุมที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) ประมวลผล

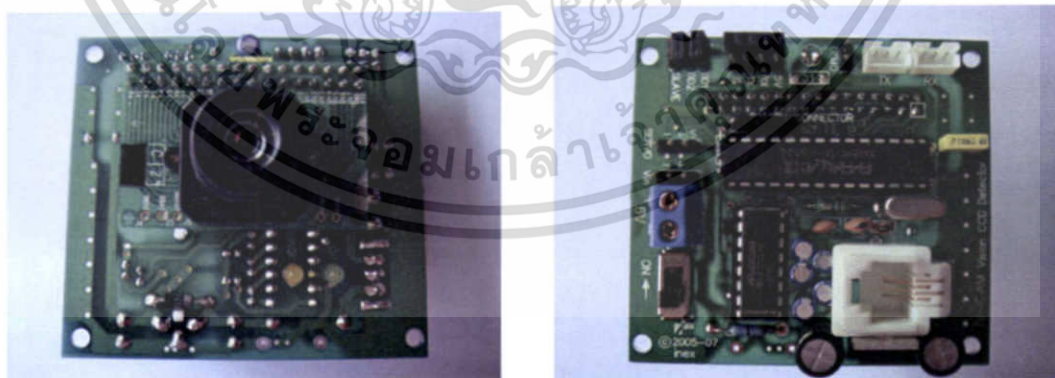
3.2.2.2 ตัวโมดูลกล้อง [10] ทำหน้าที่ในการประมวลผลภาพที่จับได้ ค่าที่กล้องจับได้จะมีค่าออกมาเป็น RGB ซึ่งจะนำค่า RGB ที่ได้นั้นมาส่งให้บอร์ด MCS-51 เพื่อทำการประมวลผลต่อไป ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้โมดูลกล้อง IV-CAM เป็นโมดูลตรวจจับภาพสี ใช้สำหรับตรวจจับและแสดงสี โดยประสิทธิภาพสูงที่สุดในการทำงานจะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุที่ทำการตรวจจับนั้นได้รับแสงสว่างที่เพียงพอ และมีความแตกต่างกับพื้นหลังอย่างชัดเจน นอกจากนั้นโมดูล IV-CAM ยังให้ข้อมูลของภาพที่ตรวจจับได้นั้นเป็นข้อมูลของแม่สีแสงหลักคือ สีแดง (Red: R) สีเขียว (Green: G) และสีน้ำเงิน (Blue: B) โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถให้ข้อมูลละเอียดในแต่ละจุดภาพหรือพิกเซล (pixel) จึงสามารถนำข้อมูลเหล่านั้นมาประกอบกันเพื่อสร้างการจดจำรูปร่างของวัตถุได้ ตามรูปที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ



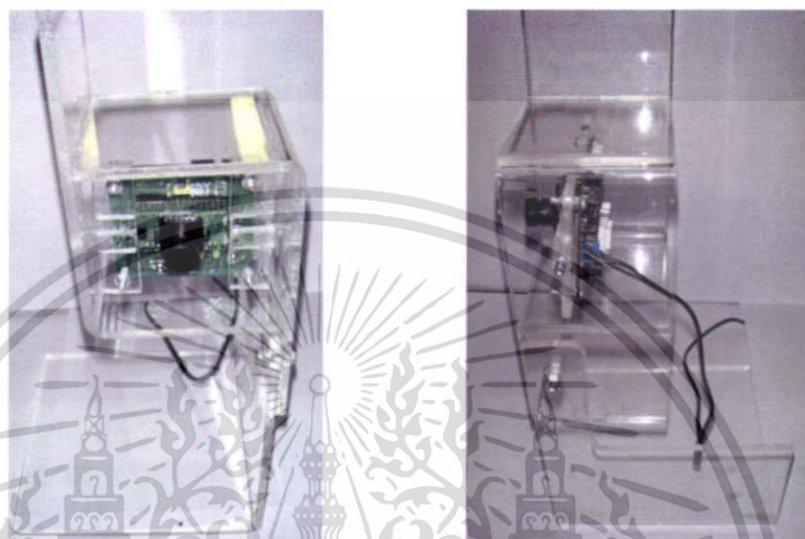
รูปที่ 3.4 ไดอะแกรมการทำงานของโมดูล IV-CAM



รูปที่ 3.5 แผงวงจรของโมดูลกล้อง IV-CAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นนำโมดูลกล้อง IV-CAM มาทำโครงสร้างเครื่องต้นแบบของโมดูลกล้อง โดยใช้แผ่นอะคริลิกใส (Acrylic) เป็นตัวโครงสร้าง โดยสามารถปรับมุมมองขาขึ้นลงของตัวกล้องได้ตามองศาที่ต้องการ ตามรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 โครงสร้างเครื่องต้นแบบของโมดูลกล้อง IV-CAM

3.2.2.3 โซลินอยด์ ประกอบด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับทำหน้าที่ปิดเปิดสวิทช์ เมื่อกระแสไหลผ่านขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะดูดเต็ยวาล์วเพื่อเปิดวาล์ว และเมื่อปิดสวิทช์ตัดกระแสไฟฟ้าเต็ยวาล์วจะกลับไปสู่ตำแหน่งเดิมโดยอัตโนมัติของตัวเองเพื่อปิดวาล์ว โดยที่ในงานวิจัยนี้โซลินอยด์จะทำหน้าที่ในการควบคุมปริมาณสารเคมีให้สามารถหยดสารเคมีให้มีความแม่นยำถูกต้องมากที่สุด ตามรูปที่ 3.7 (ก) จากนั้นนำโซลินอยด์มาทำเป็นเครื่องต้นแบบควบคุมการปล่อยสารเคมีตามรูปที่ 3.7 (ข)



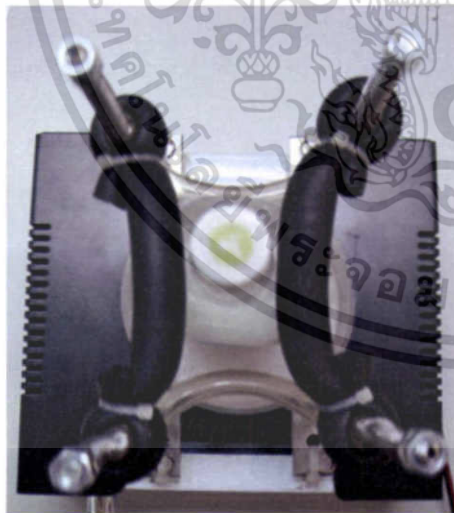
(ก) โซลินอยด์



(ข) เครื่องต้นแบบโซลินอยด์

รูปที่ 3.7 โซลินอยด์และเครื่องต้นแบบโซลินอยด์

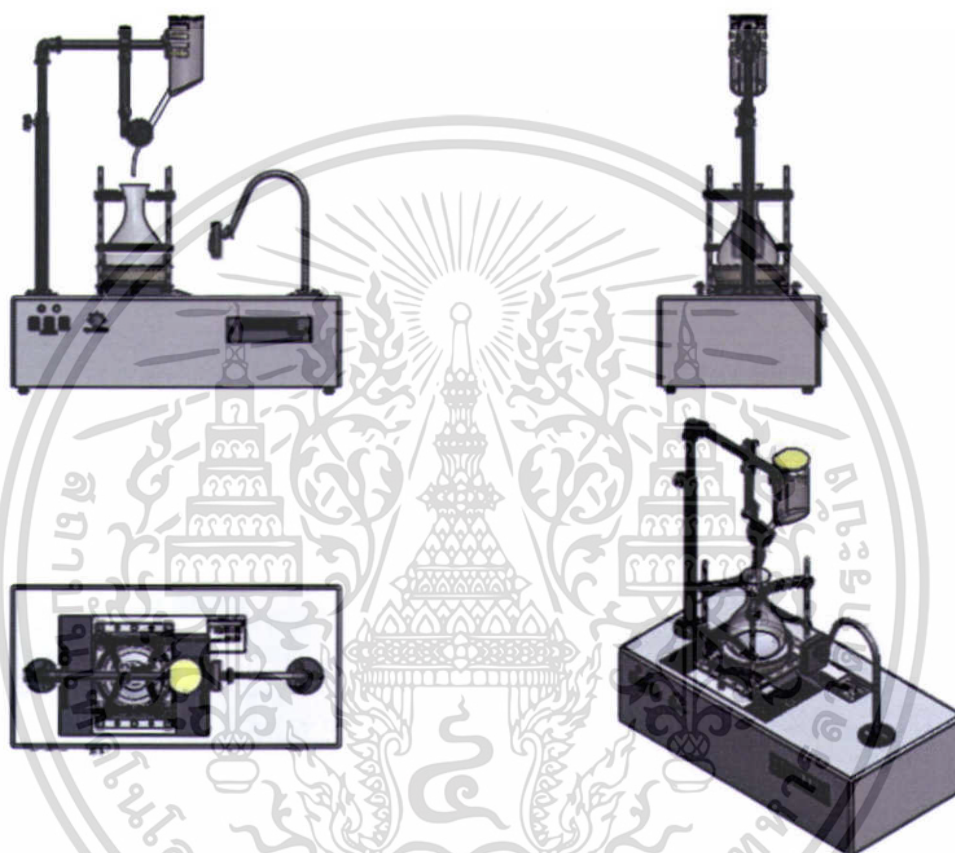
3.2.2.4 เครื่องสูบล้างหน้าทำหน้าที่ย่นยาสารเคมีในบีกเกอร์ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อให้โมดูลกลิ้งทำการจับสีได้อย่างถูกต้อง ซึ่งตัวเครื่องสูบล้างนั้นใช้มอเตอร์ในการทำหน้าที่ในการสูบล้าง โดยที่มีสปริงรองรับแรงกระแทก ตามรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่องต้นแบบของเครื่องสูบล้าง

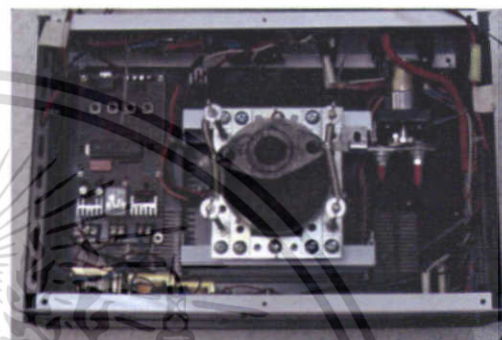
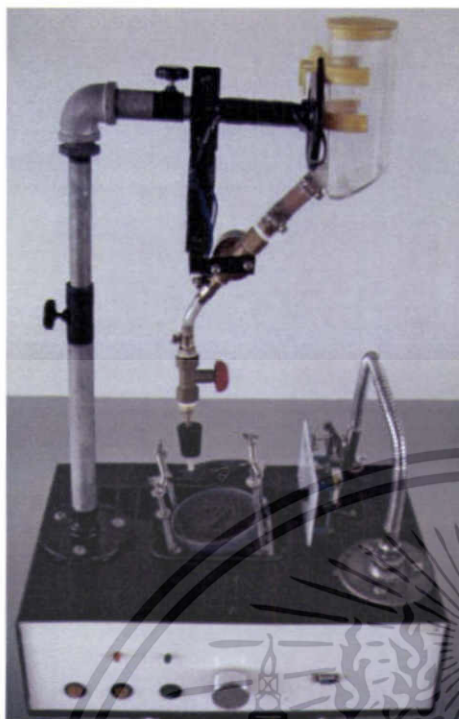
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่ได้ทำเครื่องต้นแบบแต่ละส่วนและได้ทำการทดลองประสิทธิภาพแล้วนั้น ต่อจากนั้นจึงได้ทำการออกแบบโดยที่รวมเครื่องต้นแบบแต่ละส่วนเข้าด้วยกันเป็นเครื่องที่ศนจักรอัตโนมัติแล้ว ดังแสดงรูปที่ 3.9 เมื่อนำมาประกอบขึ้นเป็นเครื่องที่ศนจักรอัตโนมัติแล้ว จะได้ตามรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 แพลนภาพเครื่องที่ศนจักรอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) เครื่องต้นแบบเครื่องที่คนจักรอัตโนมัติ

(ข) ภายในเครื่องต้นแบบที่คนจักรอัตโนมัติ

รูปที่ 3.10 เครื่องต้นแบบเครื่องที่คนจักรอัตโนมัติและการจัดสรรพื้นที่ภายใน

3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความสิ้นสะท้อนของแผ่นระนาบ

หลักการทำงานของวงจรนี้จะใช้ วอลุ่ม คอนโทรล (Volume Control) เป็นตัวจับตำแหน่ง โดยใช้เทคนิคแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) เมื่อแกนของเครื่องกลหมุน ทำให้ วอลุ่ม คอนโทรล (Volume Control) หมุน จะได้ค่าจากการแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) เอาสัญญาณที่ได้ส่งไปยังภาคแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล เมื่อได้สัญญาณดิจิทัลแล้วจะนำค่าที่ได้ส่งไปแปลงเป็นเลขฐาน 10 แล้วนำค่าเลขฐาน 10 มาแสดงผลออกที่หน้าจอ LCD แล้วส่งผลออกมาคอมพิวเตอร์ต่อไป ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

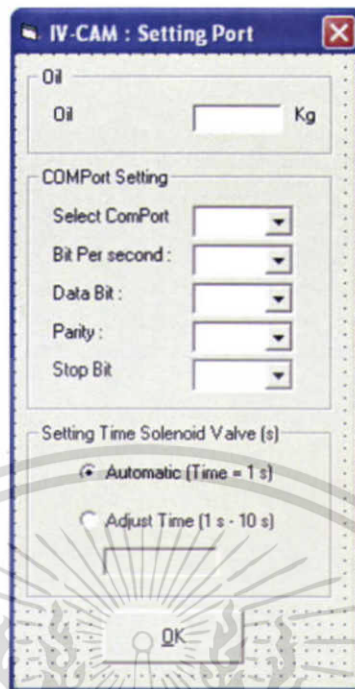


รูปที่ 3.11 อุปกรณ์วัดค่าความสั่นสะเทือนของแผ่นระนาบทั้งสองแผ่น

3.2.4 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมเครื่องที่คนจักรอัตโนมัติ

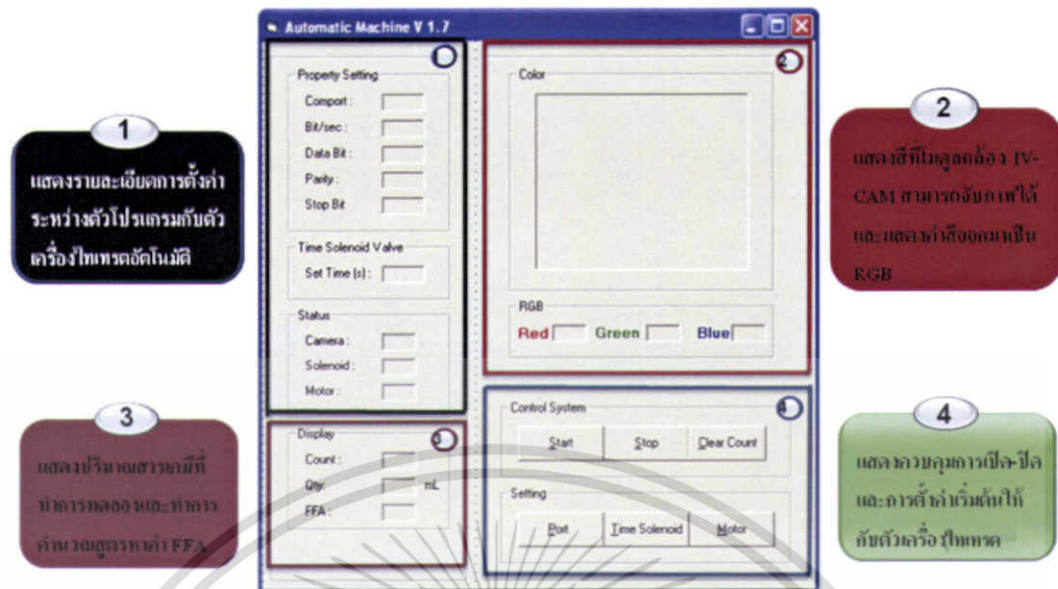
ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้โปรแกรมที่เขียนในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรอัตโนมัติคือ โปรแกรม Visual Basic 6.0

จากรูปที่ 3.12 เป็นหน้าหลักของโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมเครื่องที่คนจักรอัตโนมัติ โดยประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่ง ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของน้ำมัน ส่วนที่สอง เป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อกับตัวเครื่องที่คนจักรอัตโนมัติ ส่วนที่สาม ใช้ในการควบคุมและปรับความเร็วในการปล่อยสารเคมี



รูปที่ 3.12 หน้าแรกของโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องทศนจักรอัตโนมัติ

เมื่อทำการปรับตั้งค่าหน้าแรกของโปรแกรมเสร็จ จะเข้าสู่หน้าจอแสดงผลของเครื่องทศนจักรอัตโนมัติ โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่ง แสดงรายละเอียดการตั้งค่าระหว่างโปรแกรมกับตัวเครื่องทศนจักรอัตโนมัติ ส่วนที่สองจะแสดงสีของน้ำมันที่ตัวกล้องจับได้ ณ เวลาปัจจุบัน แล้วแสดงค่าสีออกมา เป็น สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน ส่วนที่สามจะแสดงจำนวนหยดของสารเคมีและปริมาตรที่ใช้ไป ส่วนที่สี่ เป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมเครื่องทศนจักรอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 หน้าหลักของโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องทวิตเตอร์อัตโนมัติ

ในบทที่ 4 จะเป็นผลการดำเนินการวิจัย ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดลองประสิทธิภาพของเครื่องทวิตเตอร์อัตโนมัติ และ การทดลองเกี่ยวกับข้อมูลใช้ทำแผนที่วิเคราะห์การสั้นแนวแผ่นระนาบฐานรอง

บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

ในการทดลองการสร้างเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการทดลองประสิทธิภาพของเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ ส่วนที่ 2 เป็นการทดลองเกี่ยวกับข้อมูลใช้ทำแผนที่วิเคราะห์การสั้นแนวแผ่นระนาบฐานรอง

4.1 การทดลองประสิทธิภาพของเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ

4.1.1 ผลการทดลองประสิทธิภาพของเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ

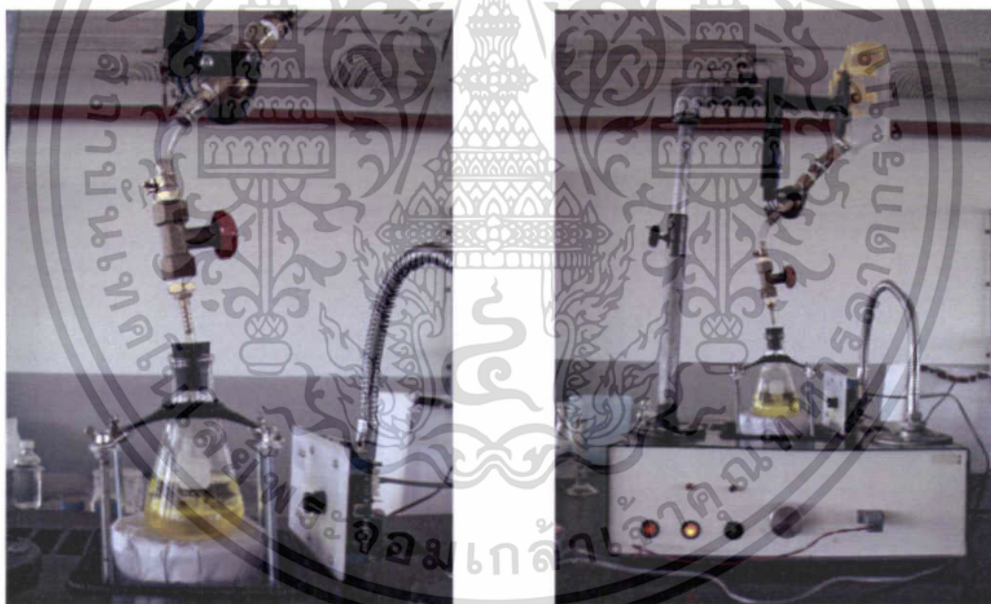
เครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ อาศัยการเปลี่ยนแปลงของสีน้ำมันที่เปลี่ยนไปจากการหยดสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยที่ตัวกล้องเป็นตัวตัดสินใจว่าถึงจุดยุติหรือไม่ แล้วส่งค่าไปยัง บอร์ด MCS-51 ให้ทำการประมวลผล ถ้ายังจะทำการสั่งให้ตัว relay ซึ่งเป็นตัวควบคุมชุดหยดสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หยดทีละหยดต่อไป ถ้าสีของน้ำมันเปลี่ยนไปจนถึงจุดยุติ ตัวบอร์ด MCS-51 จะสั่งให้ชุดควบคุมชุดหยดสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หยุดการหยด แล้วตัวเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ จะทำการประมวลผลว่า น้ำมันที่นำมาทดลองนี้สามารถนำไปใช้ต่อได้หรือไม่ จากการทดลองพบว่าค่าสี RGB ที่ตัวโมดูลกล้องมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดคือ สีเขียว ซึ่งค่าสีของน้ำมันที่จุดยุติอยู่ที่ สีเขียวที่ค่า 16 ซึ่งตัวเครื่องสามารถทำงานได้ถูกต้องเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการทำไทเทรตด้วยมือ ดังแสดงผลตามรูปที่ 4.1 เปรียบเทียบการทำไทเทรตด้วยมือกับเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติ และตารางค่าสีที่ตัวกล้องของเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติสามารถจับน้ำมันได้ก่อนและหลังทำการทดลอง ตามตารางที่ 4.1 และ 4.2



(ก) ผลการไทเทรตที่ทำการทดลองด้วยมือ

(ข) ผลการไทเทรตที่ทำด้วยเครื่อง

รูปที่ 4.1 ผลการไทเทรตที่ทำการทดลองด้วยมือและผลการไทเทรตที่ทำด้วยเครื่อง



รูปที่ 4.2 การไทเทรตด้วยเครื่องที่ศนจกรัตน์มัตติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าสีของน้ำมันก่อนทำการไทเทรตด้วยเครื่อง

การทดลอง / ค่าสี	สีแดง	สีเขียว	สีน้ำเงิน
1	96	110	20
2	100	109	21
3	110	121	24
4	107	131	20
5	96	109	21
6	100	123	25
7	124	103	24
8	106	117	21
9	104	123	27
10	119	127	21

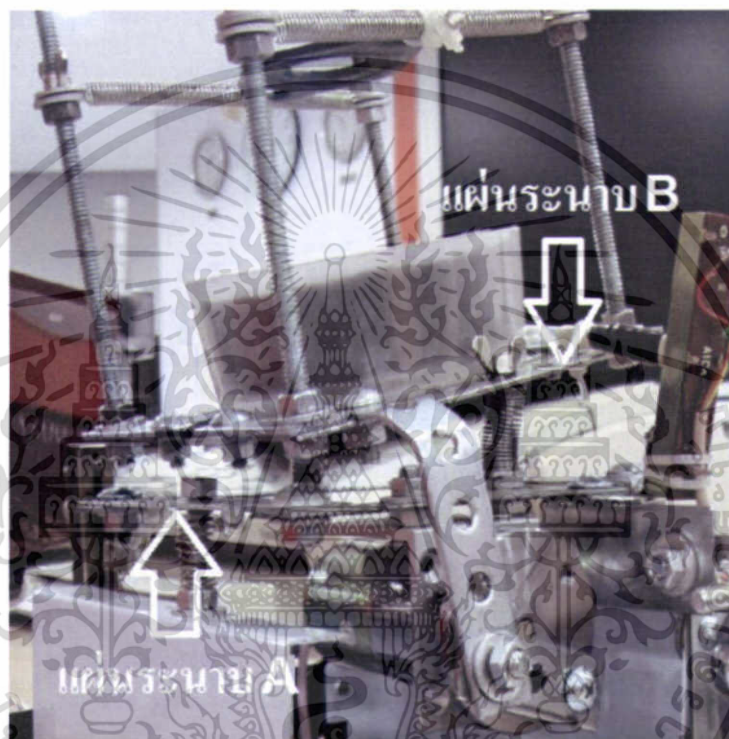
ตารางที่ 4.2 ค่าสีของน้ำมันหลังการทำไทเทรตด้วยเครื่อง

การทดลอง / ค่าสี	สีแดง	สีเขียว	สีน้ำเงิน
1	129	16	29
2	135	16	33
3	140	16	35
4	137	16	31
5	130	16	37
6	132	16	30
7	138	16	31
8	134	16	37
9	137	16	34
10	138	16	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองเกี่ยวกับข้อมูลใช้ทำแผนที่วิเคราะห์การสั้นแนวแผ่นระนาบฐานรอง

การทดลองนี้ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5V , 9V , 12V ในการขับมอเตอร์โดยจะเป็นการขับมอเตอร์ให้หมุนในลักษณะตามเข็มนาฬิกา และทวนเข็มนาฬิกา ให้กับแผ่นระนาบฐานทั้งแผ่นบนและแผ่นล่างสลับกันโดยให้แผ่นล่างเป็นระนาบ A และแผ่นบนเป็นระนาบ B ดังรูปที่ 4.3 แล้วนำผลที่ได้มาพล็อตกราฟ (plot graph) เปรียบเทียบกับผลการวัดมุมองศาที่คำนวณจากสมการ

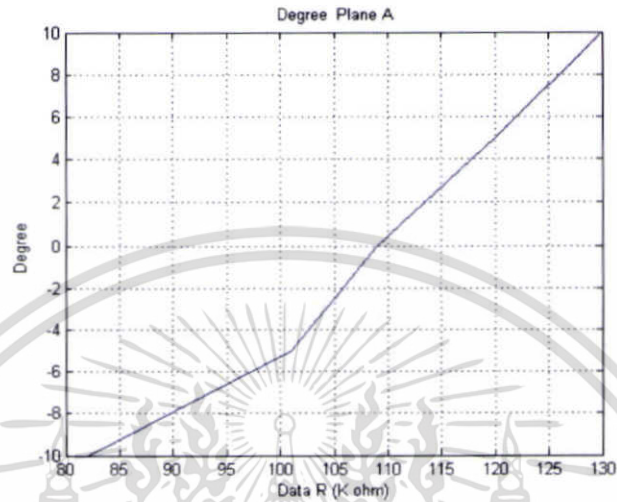


รูปที่ 4.3 แผ่นระนาบ A และแผ่นระนาบ B

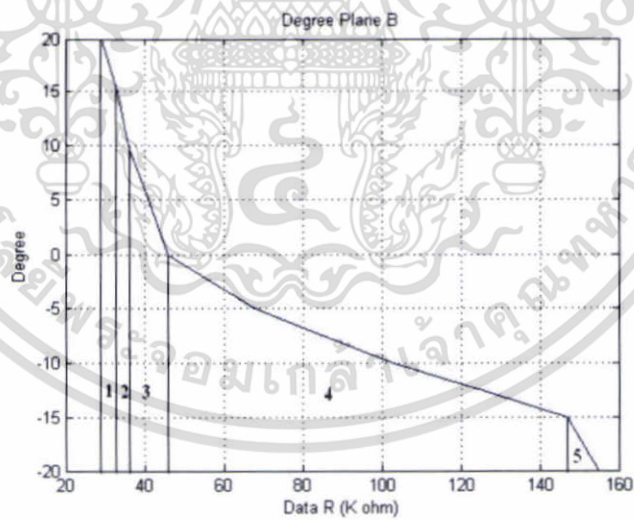
ก่อนทำการทดลองได้ทำการวัดมุมองศาของแผ่นระนาบ A และ ระนาบ B เพื่อนำผลมุมองศาที่วัดได้นั้นมาวิเคราะห์ต่อไป ผลที่ได้จากการวัดมุมระนาบคือ แผ่นระนาบ A เมื่อนำมาวัดมุมแล้วค่าที่ได้มีลักษณะแนวโน้มเป็นเชิงเส้น ซึ่งสามารถนำมาเขียนเป็นสมการ คือ $x = (110 - y) / 2$ ส่วนแผ่นระนาบ B เมื่อนำมาวัดมุมแล้วค่าที่ได้มีลักษณะเป็นไม่เชิงเส้น โดยที่แบ่งออกเป็น 5 ช่วงนำไปหาสมการเส้นตรง ได้สมการทั้ง 5 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ระหว่าง (29,20) – (33,15) สมการที่ได้คือ $y = -1.25x + 56.25$ ช่วงที่ 2 ระหว่าง (33,15) – (36,10) สมการที่ได้คือ $y = -1.66x + 69.76$ ช่วงที่ 3 ระหว่าง (36,10) – (46,0) สมการที่ได้คือ $y = -x + 46$ ช่วงที่ 4 ระหว่าง (46,10) –

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(147,-15) สมการที่ได้คือ $y = -0.148x + 6.83$ ช่วงที่ 5 ระหว่าง (147,-15) – (155,-20) สมการที่ได้คือ $y = -0.625x + 76.87$ ดังรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 มุมของแผ่นระนาบ A



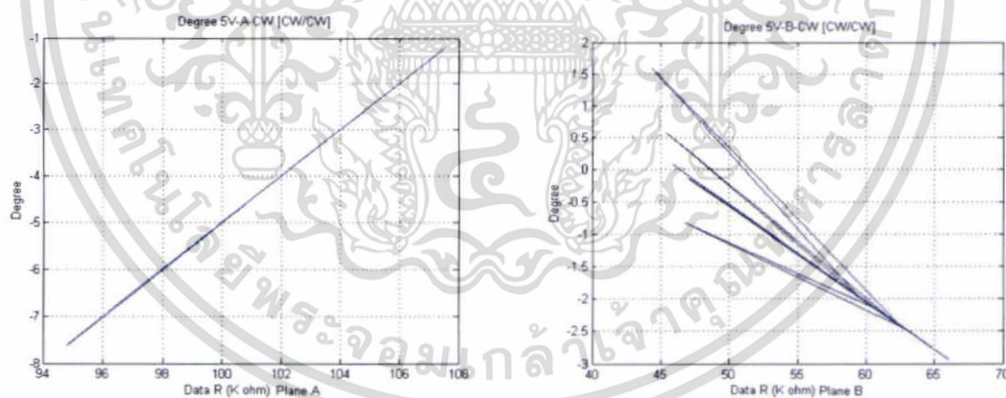
รูปที่ 4.5 มุมของแผ่นระนาบ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ผลการทดลองแผนที่วิเคราะห์การสั้นแนวแผ่นระนาบฐานรอง

จากผลการทดลองโดยการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5V,9V,12V ในการขับมอเตอร์ให้หมุนในลักษณะตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาให้กับแผ่นระนาบ A และแผ่นระนาบ B สลับกันไปจะได้ออกมา 4 วิธี (ตาม-ตาม, ตาม-ทวน,ทวน-ตาม,ทวน-ทวน) ดั้งขั้นตอนการทดลองจะได้ผลออกมาทั้งหมด 12 ชุด ซึ่งผลการทดลองที่ได้นำมาเขียนกราฟปรากฏว่า ลักษณะของกราฟของแผ่นระนาบ A ทั้ง 4 วิธีมีลักษณะค่าเกาะกลุ่มกัน โดยที่เมื่อมีการป้อนแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น ค่าความต้านทานและค่ามุมของแผ่นระนาบเพิ่มขึ้นเช่นกัน ส่วนระนาบ B มีลักษณะค่าเกาะกลุ่มกันอยู่ที่ชุดที่ 3 และ 4 และกราฟที่ได้จากการทดลองเมื่อนำมาพล็อตกราฟ (plot graph) แล้ว กราฟที่ได้นั้นจะมีความใกล้เคียงกับค่าที่ทำการวัดมุมก่อนที่จะทำการทดลอง ส่วนกราฟอนุกรมเวลา (Time Series) ที่ได้จะแสดงให้เห็นได้ว่ากราฟของระนาบ A จะมีลักษณะเป็นเชิงเส้น (linear) ส่วนระนาบ B จะมีลักษณะเป็นไม่เชิงเส้น (nonlinear)

จากรูปที่ 4.6 (ก) ค่าของมุมแผ่นระนาบ A และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ A จะเกาะกลุ่มกันอยู่ระหว่าง -7 ถึง -5 องศา และ 96 k Ω - 100 k Ω ส่วนรูป 4.6 (ข) ค่าแผ่นระนาบ B จะอยู่ในช่วงที่ 4 ส่วนค่าของมุมแผ่นระนาบ B และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ B จะอยู่ระหว่าง -3 ถึง -1.5 องศา และ 44 k Ω - 65 k Ω



(ก) มุมของแผ่นระนาบ A

(ข) มุมของแผ่นระนาบ B

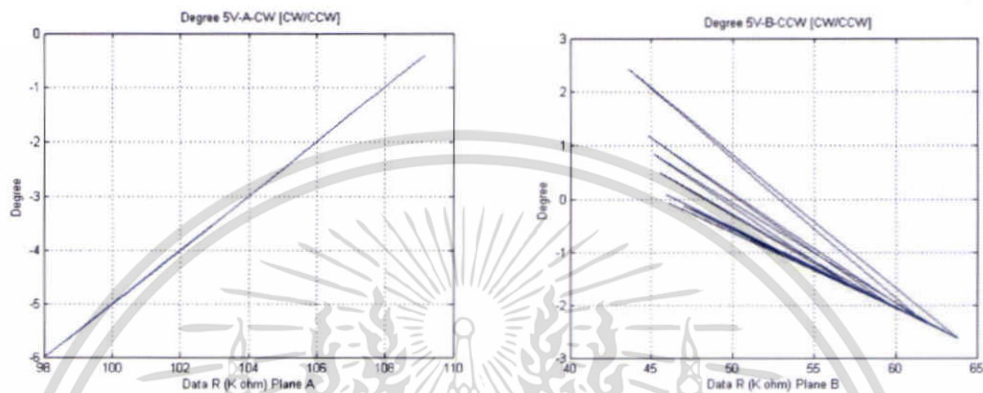
หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 5 V

หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 5 V

รูปที่ 4.6 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอร์ 5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 (ก) ค่าของมุมแผ่นระนาบ A และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ A จะเกาะกลุ่มกันอยู่ระหว่าง -6 ถึง -3.5 องศา และ 99 k Ω - 103 k Ω ส่วนรูป 4.7 (ข) ค่าแผ่นระนาบ B จะอยู่ในช่วงที่ 4 ส่วนค่าของมุมแผ่นระนาบ B และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ B จะอยู่ระหว่าง 0 ถึง -2.5 องศา และ 45 k Ω - 65 k Ω



(ก) มุมของแผ่นระนาบ A

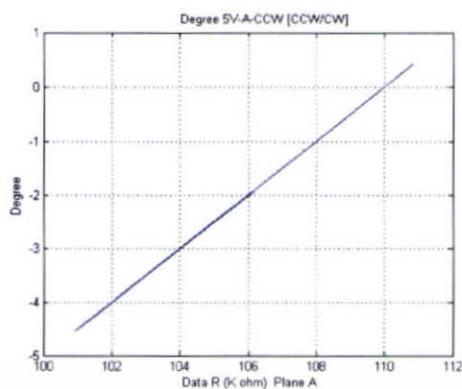
(ข) มุมของแผ่นระนาบ B

หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 5 V

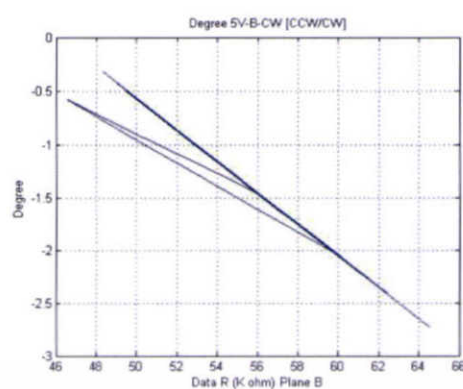
หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 5 V

รูปที่ 4.7 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 5 V

จากรูปที่ 4.8 (ก) ค่าของมุมแผ่นระนาบ A และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ A จะเกาะกลุ่มกันอยู่ระหว่าง -3.5 ถึง -2 องศา และ 103 k Ω - 106 k Ω ส่วนรูป 4.8 (ข) ค่าแผ่นระนาบ B จะอยู่ในช่วงที่ 4 ส่วนค่าของมุมแผ่นระนาบ B และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ B จะอยู่ระหว่าง -0.6 ถึง -2.6 องศา และ 47 k Ω - 64 k Ω



(ก) มุมของแผ่นระนาบ A



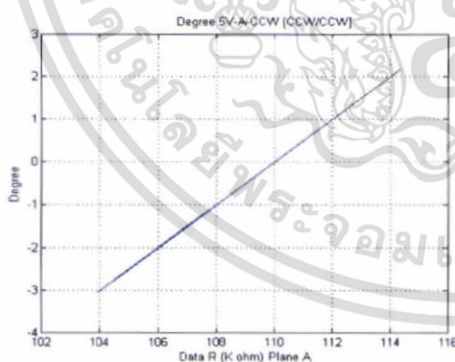
(ข) มุมของแผ่นระนาบ B

หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 5 V

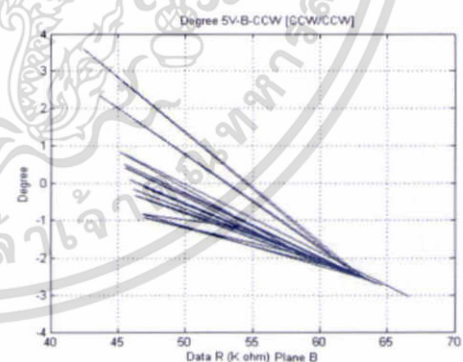
หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 5 V

รูปที่ 4.8 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 5 V

จากรูปที่ 4.9 (ก) ค่าของมุมแผ่นระนาบ A และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ A จะเกาะกลุ่มกันอยู่ระหว่าง -3 ถึง -1 องศา และ 105 k Ω - 108 k Ω ส่วนรูป 4.9 (ข) ค่าแผ่นระนาบ B จะอยู่ในช่วงที่ 4 ส่วนค่าของมุมแผ่นระนาบ B และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ B จะอยู่ระหว่าง -1 ถึง -3.5 องศา และ 43 k Ω - 65 k Ω



(ก) มุมของแผ่นระนาบ A



(ข) มุมของแผ่นระนาบ B

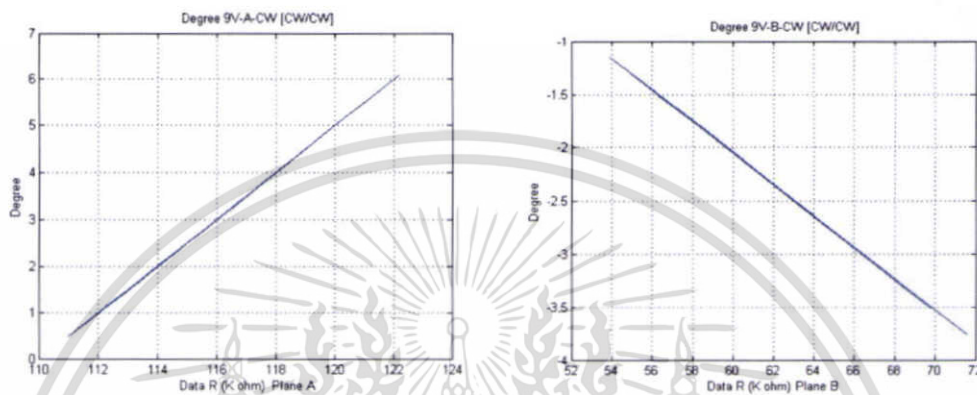
หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 5 V

หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 5 V

รูปที่ 4.9 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอร์ 5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 (ก) ค่าของมุมแผ่นระนาบ A และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ A จะเกาะกลุ่มกันอยู่ระหว่าง 1.5 ถึง 2.5 องศา และ $112\text{ k}\Omega$ - $115\text{ k}\Omega$ ส่วนรูป 4.10 (ข) ค่าแผ่นระนาบ B จะอยู่ในช่วงที่ 4 ส่วนค่าของมุมแผ่นระนาบ B และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ B จะอยู่ระหว่าง -1.5 ถึง -3.5 องศา และ $57\text{ k}\Omega$ - $63\text{ k}\Omega$



(ก) มุมของแผ่นระนาบ A

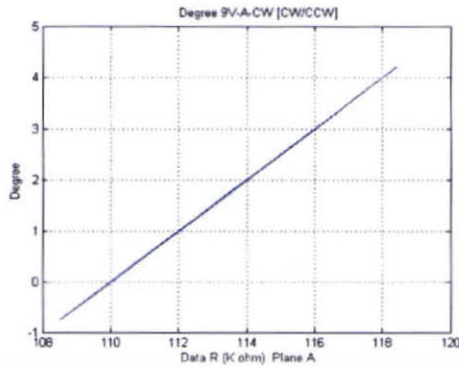
(ข) มุมของแผ่นระนาบ B

หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอดเตอร์ 9 V

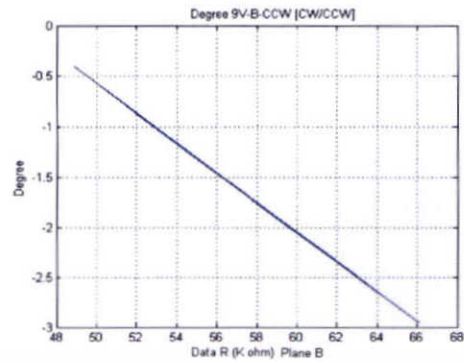
หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอดเตอร์ 9 V

รูปที่ 4.10 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอดเตอร์ 9 V

จากรูปที่ 4.11 (ก) ค่าของมุมแผ่นระนาบ A และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ A จะเกาะกลุ่มกันอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 2 องศา และ $110\text{ k}\Omega$ - $115\text{ k}\Omega$ ส่วนรูป 4.11 (ข) ค่าแผ่นระนาบ B จะอยู่ในช่วงที่ 4 ส่วนค่าของมุมแผ่นระนาบ B และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ B จะอยู่ระหว่าง -1.5 ถึง -2.5 องศา และ $49\text{ k}\Omega$ - $66\text{ k}\Omega$



(ก) มุมของแผ่นระนาบ A



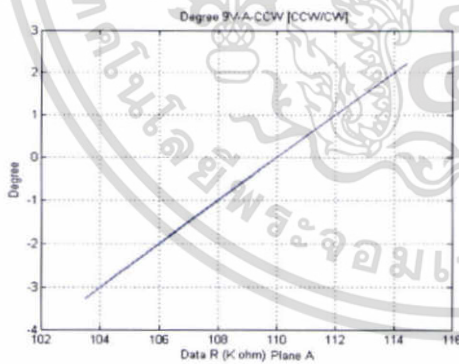
(ข) มุมของแผ่นระนาบ B

หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 9 V

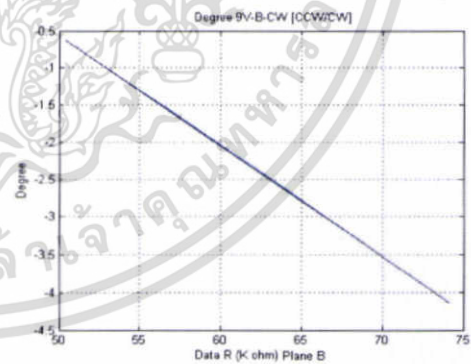
หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 9 V

รูปที่ 4.11 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 9 V

จากรูปที่ 4.12 (ก) ค่าของมุมแผ่นระนาบ A และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ A จะเกาะกลุ่มกันอยู่ระหว่าง -2 ถึง -0.5 องศา และ 106 kΩ - 109 kΩ ส่วนรูป 4.12 (ข) ค่าแผ่นระนาบ B จะอยู่ในช่วงที่ 4 ส่วนค่าของมุมแผ่นระนาบ B และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ B จะอยู่ระหว่าง -1.5 ถึง -3 องศา และ 55 kΩ - 65 kΩ



(ก) มุมของแผ่นระนาบ A



(ข) มุมของแผ่นระนาบ B

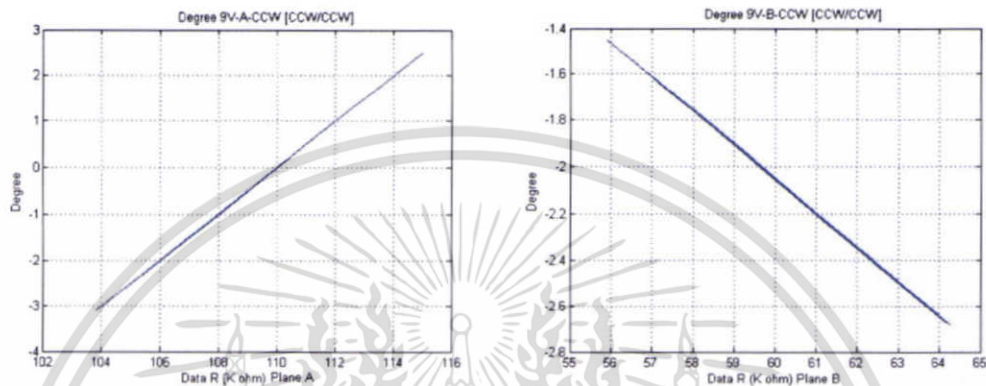
หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 9 V

หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 9 V

รูปที่ 4.12 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 9 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 (ก) ค่าของมุมแผ่นระนาบ A และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ A จะเกาะกลุ่มกันอยู่ระหว่าง -2 ถึง -0.5 องศา และ 107 k Ω - 109 k Ω ส่วนรูป 4.13 (ข) ค่าแผ่นระนาบ B จะอยู่ในช่วงที่ 4 ส่วนค่าของมุมแผ่นระนาบ B และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ B จะอยู่ระหว่าง -1.6 ถึง -2.7 องศา และ 57 k Ω - 64 k Ω



(ก) มุมของแผ่นระนาบ A

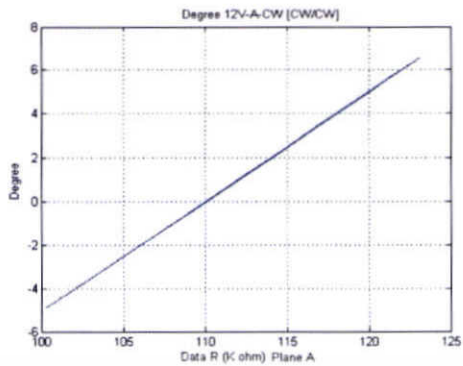
(ข) มุมของแผ่นระนาบ B

หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอรื 9 V

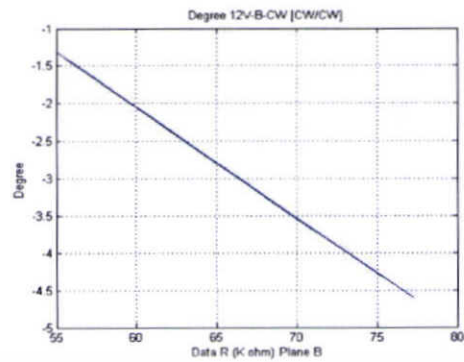
หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอรื 9 V

รูปที่ 4.13 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอรื 9 V

จากรูปที่ 4.14 (ก) ค่าของมุมแผ่นระนาบ A และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ A จะเกาะกลุ่มกันอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 2.5 องศา และ 110 k Ω - 115 k Ω ส่วนรูป 4.14 (ข) ค่าแผ่นระนาบ B จะอยู่ในช่วงที่ 4 ส่วนค่าของมุมแผ่นระนาบ B และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ B จะอยู่ระหว่าง -1.6 ถึง -4.5 องศา และ 55 k Ω - 77 k Ω



(ก) มุมของแผ่นระนาบ A



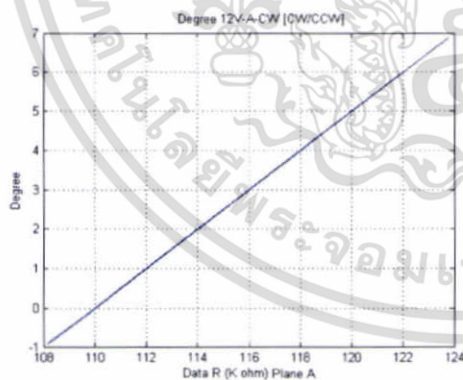
(ข) มุมของแผ่นระนาบ B

หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 12 V

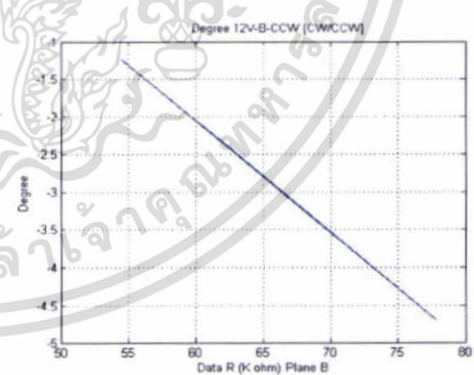
หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 12 V

รูปที่ 4.14 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอร์ 12 V

จากรูปที่ 4.15 (ก) ค่าของมุมแผ่นระนาบ A และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ A จะเกาะกลุ่มกันอยู่ระหว่าง -0.5 ถึง 2 องศา และ 112 kΩ - 119 kΩ ส่วนรูป 4.15 (ข) ค่าแผ่นระนาบ B จะอยู่ในช่วงที่ 4 ส่วนค่าของมุมแผ่นระนาบ B และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ B จะอยู่ระหว่าง -1.25 ถึง -4.7 องศา และ 55 kΩ - 78 kΩ



(ก) มุมของแผ่นระนาบ A



(ข) มุมของแผ่นระนาบ B

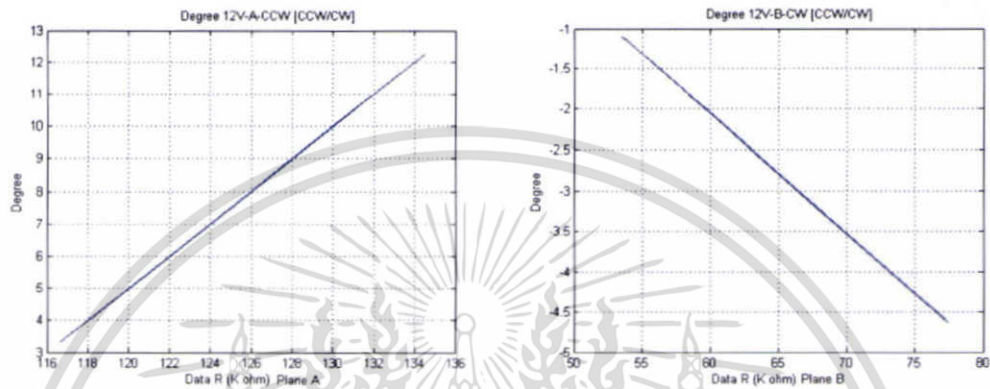
หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 12 V

หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 12 V

รูปที่ 4.15 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 12 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.16 (ก) ค่าของมุมแผ่นระนาบ A และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ A จะเกาะกลุ่มกันอยู่ระหว่าง 4 ถึง 10 องศา และ $120\text{ k}\Omega$ - $130\text{ k}\Omega$ ส่วนรูป 4.16 (ข) ค่าแผ่นระนาบ B จะอยู่ในช่วงที่ 4 ส่วนค่าของมุมแผ่นระนาบ B และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ B จะอยู่ระหว่าง -1.25 ถึง -4.6 องศา และ $53\text{ k}\Omega$ - $76\text{ k}\Omega$



(ก) มุมของแผ่นระนาบ A

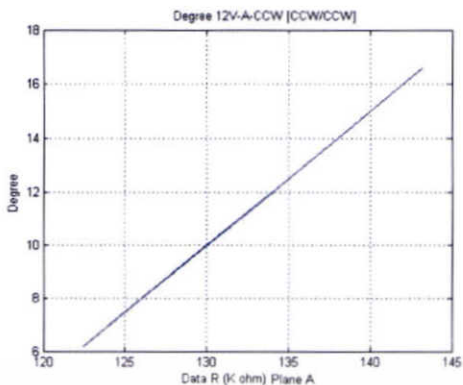
(ข) มุมของแผ่นระนาบ B

หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 12 V

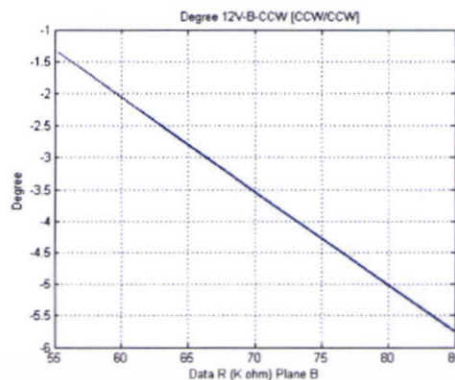
หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 12 V

รูปที่ 4.16 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 12 V

จากรูปที่ 4.17 (ก) ค่าของมุมแผ่นระนาบ A และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ A จะเกาะกลุ่มกันอยู่ระหว่าง 8 ถึง 12 องศา และ $126\text{ k}\Omega$ - $133\text{ k}\Omega$ ส่วนรูป 4.17 (ข) ค่าแผ่นระนาบ B จะอยู่ในช่วงที่ 4 ส่วนค่าของมุมแผ่นระนาบ B และค่าความต้านทานของแผ่นระนาบ B จะอยู่ระหว่าง -1.4 ถึง -5.6 องศา และ $65\text{ k}\Omega$ - $85\text{ k}\Omega$



(ก) มุมของแผ่นระนาบ A



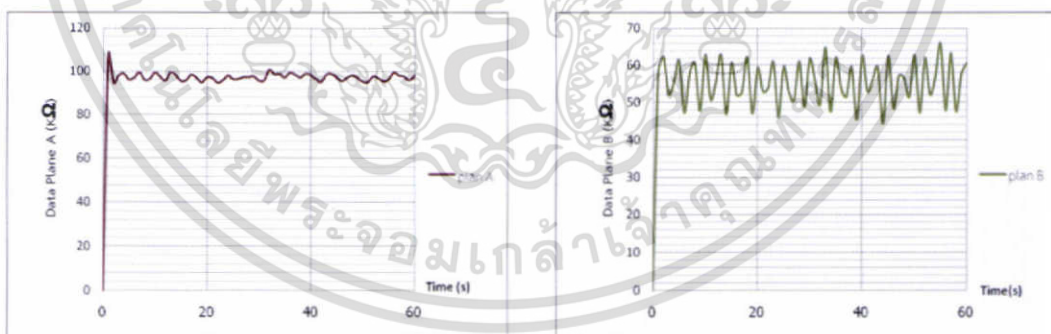
(ข) มุมของแผ่นระนาบ B

หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 12 V

หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 12 V

รูปที่ 4.17 มุมของแผ่นระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอร์ 12 V

จากรูป 4.18 (ก) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ A มีลักษณะเป็นเชิงเส้น (linear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ A อยู่ระหว่าง 94 kΩ - 100 kΩ ส่วนรูปที่ 4.18 (ข) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ B มีลักษณะไม่เชิงเส้น (nonlinear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ B อยู่ระหว่าง 45 kΩ - 65 kΩ



(ก) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ A

(ข) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ B

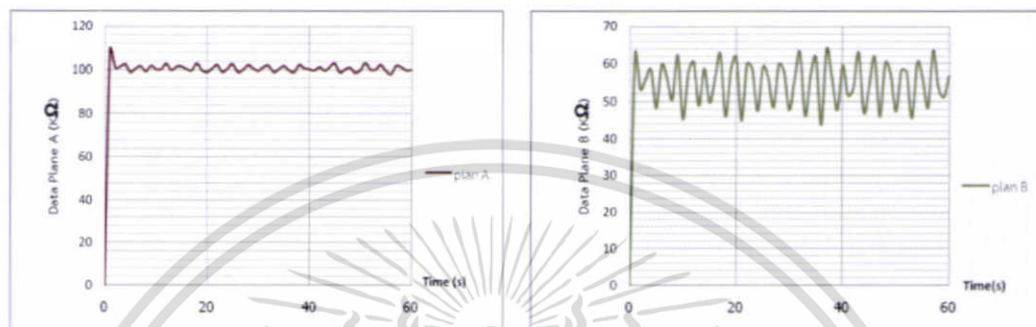
หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 5 V

หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 5 V

รูปที่ 4.18 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอร์ 5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

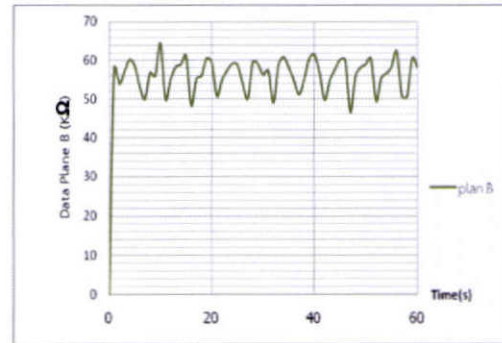
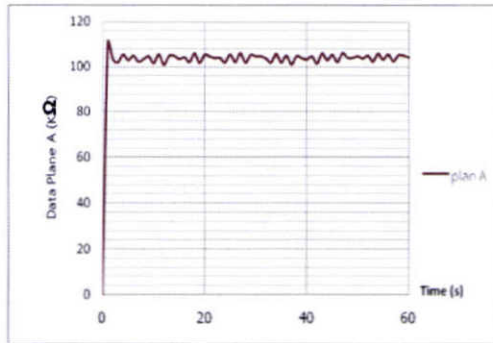
จากรูป 4.19 (ก) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ A มีลักษณะเป็นเชิงเส้น (linear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ A อยู่ระหว่าง $98 \text{ k}\Omega$ - $102 \text{ k}\Omega$ ส่วนรูปที่ 4.19 (ข) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ B มีลักษณะไม่เชิงเส้น (nonlinear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ B อยู่ระหว่าง $45 \text{ k}\Omega$ - $63 \text{ k}\Omega$



(ก) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ A (ข) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ B
 หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอดูเลเตอร์ 5 V หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอดูเลเตอร์ 5 V

รูปที่ 4.19 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาที่มอดูเลเตอร์ 5 V

จากรูป 4.20 (ก) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ A มีลักษณะเป็นเชิงเส้น (linear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ A อยู่ระหว่าง $101 \text{ k}\Omega$ - $105 \text{ k}\Omega$ ส่วนรูปที่ 4.19 (ข) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ B มีลักษณะไม่เชิงเส้น (nonlinear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ B อยู่ระหว่าง $49 \text{ k}\Omega$ - $62 \text{ k}\Omega$



(ก) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ A

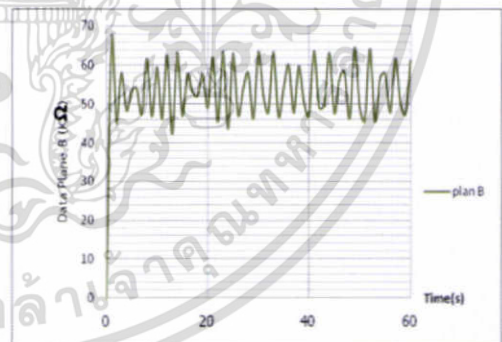
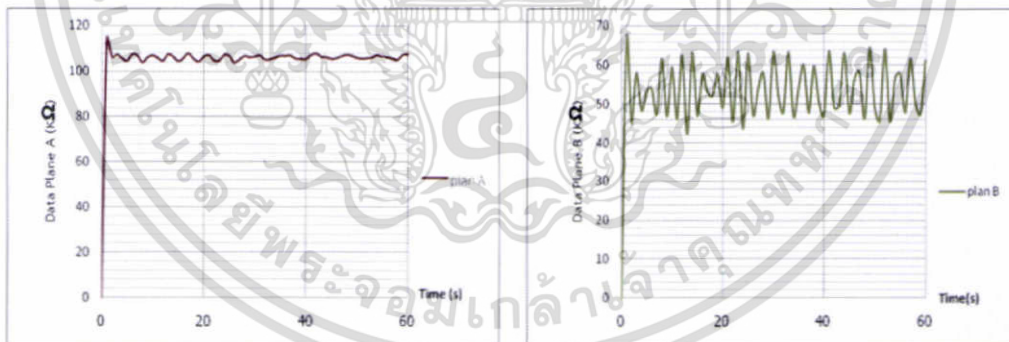
(ข) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ B

หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 5 V

หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 5 V

รูปที่ 4.20 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกาที่มอเตอร์ 5 V

จากรูป 4.21 (ก) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ A มีลักษณะเป็นเชิงเส้น (linear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ A อยู่ระหว่าง $103 \text{ k}\Omega$ - $107 \text{ k}\Omega$ ส่วนรูปที่ 4.21 (ข) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ B มีลักษณะไม่เชิงเส้น (nonlinear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ B อยู่ระหว่าง $45 \text{ k}\Omega$ - $63 \text{ k}\Omega$



(ก) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ A

(ข) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ B

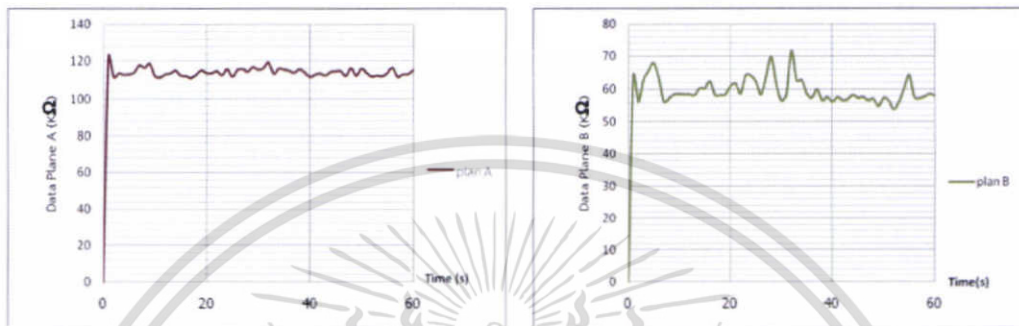
หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 5 V

หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 5 V

รูปที่ 4.21 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอร์ 5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.22 (ก) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ A มีลักษณะเป็นเชิงเส้น (linear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ A อยู่ระหว่าง 111 k Ω - 116 k Ω ส่วนรูปที่ 4.22 (ข) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ B มีลักษณะไม่เชิงเส้น (nonlinear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ B อยู่ระหว่าง 56 k Ω - 64 k Ω



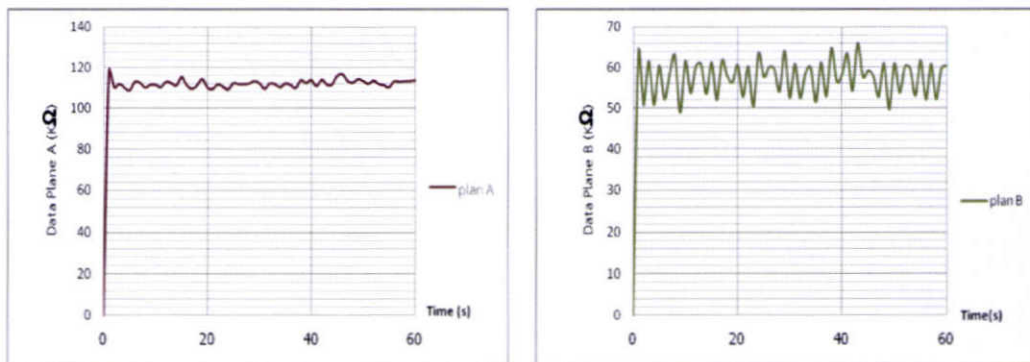
(ก) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ A (ข) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ B

หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 9 V

หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 9 V

รูปที่ 4.22 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอร์ 9 V

จากรูป 4.23 (ก) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ A มีลักษณะเป็นเชิงเส้น (linear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ A อยู่ระหว่าง 110 k Ω - 113 k Ω ส่วนรูปที่ 4.23 (ข) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ B มีลักษณะไม่เชิงเส้น (nonlinear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ B อยู่ระหว่าง 52 k Ω - 63 k Ω



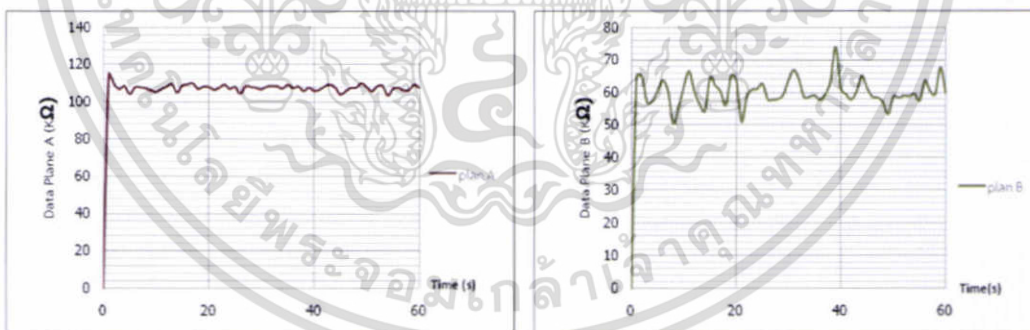
(ก) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ A (ข) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ B

หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 9 V

หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 9 V

รูปที่ 4.23 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาที่มอเตอร์ 9 V

จากรูป 4.24 (ก) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ A มีลักษณะเป็นเชิงเส้น (linear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ A อยู่ระหว่าง $105 \text{ k}\Omega \sim 109 \text{ k}\Omega$ ส่วนรูปที่ 4.24 (ข) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ B มีลักษณะไม่เชิงเส้น (nonlinear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ B อยู่ระหว่าง $51 \text{ k}\Omega - 67 \text{ k}\Omega$



(ก) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ A (ข) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ B

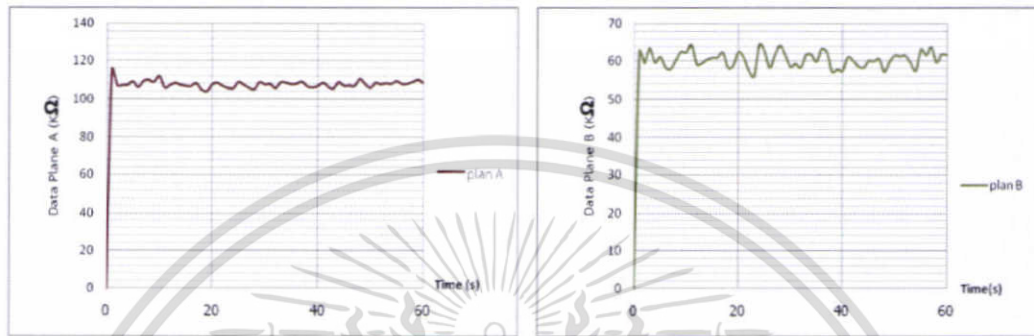
หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 9 V

หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 9 V

รูปที่ 4.24 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกาที่มอเตอร์ 9 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.25 (ก) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ A มีลักษณะเป็นเชิงเส้น (linear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ A อยู่ระหว่าง $105 \text{ k}\Omega$ - $110 \text{ k}\Omega$ ส่วนรูปที่ 4.25 (ข) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ B มีลักษณะไม่เชิงเส้น (nonlinear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ B อยู่ระหว่าง $56 \text{ k}\Omega$ - $64 \text{ k}\Omega$



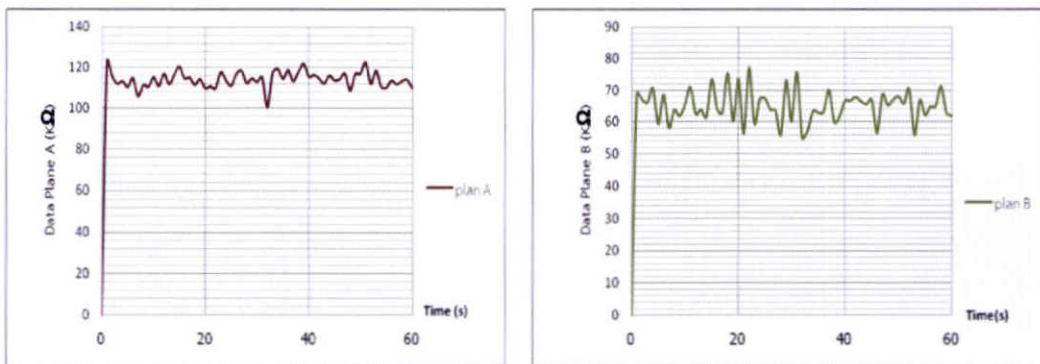
(ก) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ A (ข) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ B

หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 9 V

หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 9 V

รูปที่ 4.25 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอร์ 9 V

จากรูป 4.26 (ก) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ A มีลักษณะเป็นเชิงเส้น (linear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ A อยู่ระหว่าง $109 \text{ k}\Omega$ - $119 \text{ k}\Omega$ ส่วนรูปที่ 4.26 (ข) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ B มีลักษณะไม่เชิงเส้น (nonlinear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ B อยู่ระหว่าง $56 \text{ k}\Omega$ - $71 \text{ k}\Omega$



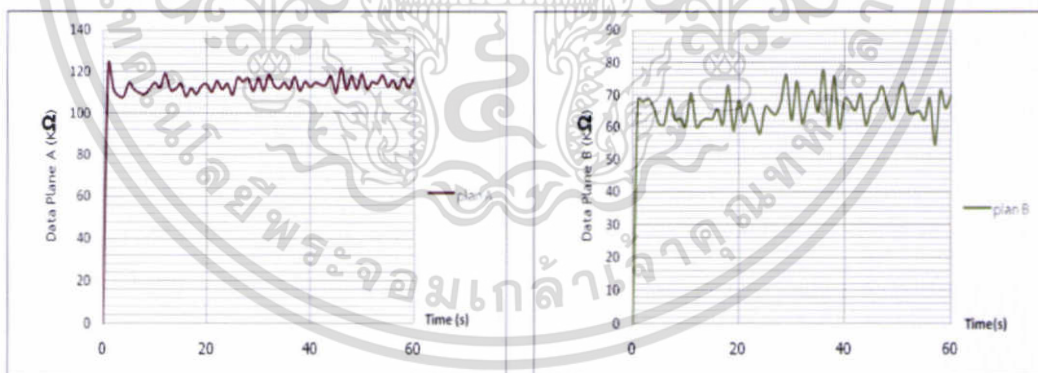
(ก) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ A (ข) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ B

หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 12 V

หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 12 V

รูปที่ 4.26 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอร์ 12 V

จากรูป 4.27 (ก) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ A มีลักษณะเป็นเชิงเส้น (linear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ A อยู่ระหว่าง 110 kΩ ~ 119 kΩ ส่วนรูปที่ 4.27 (ข) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ B มีลักษณะไม่เชิงเส้น (nonlinear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ B อยู่ระหว่าง 60 kΩ - 73 kΩ



(ก) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ A (ข) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ B

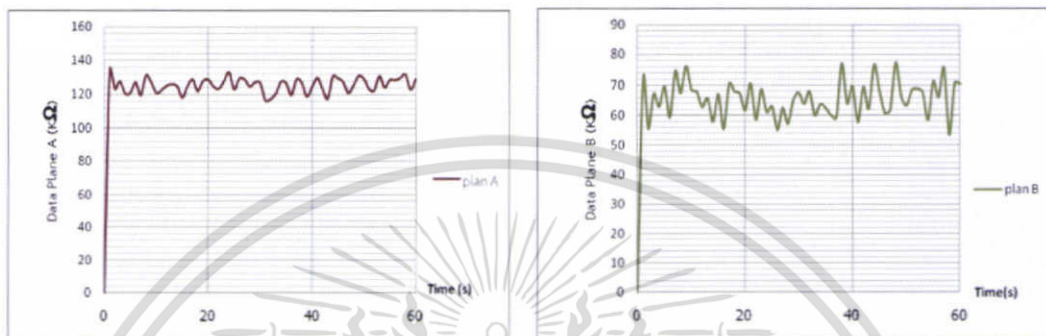
หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 12 V

หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 12 V

รูปที่ 4.27 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนตามเข็มนาฬิกาที่มอเตอร์ 12 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.28 (ก) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ A มีลักษณะเป็นเชิงเส้น (linear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ A อยู่ระหว่าง $118 \text{ k}\Omega$ - $133 \text{ k}\Omega$ ส่วนรูปที่ 4.28 (ข) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ B มีลักษณะไม่เชิงเส้น (nonlinear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ B อยู่ระหว่าง $55 \text{ k}\Omega$ - $77 \text{ k}\Omega$



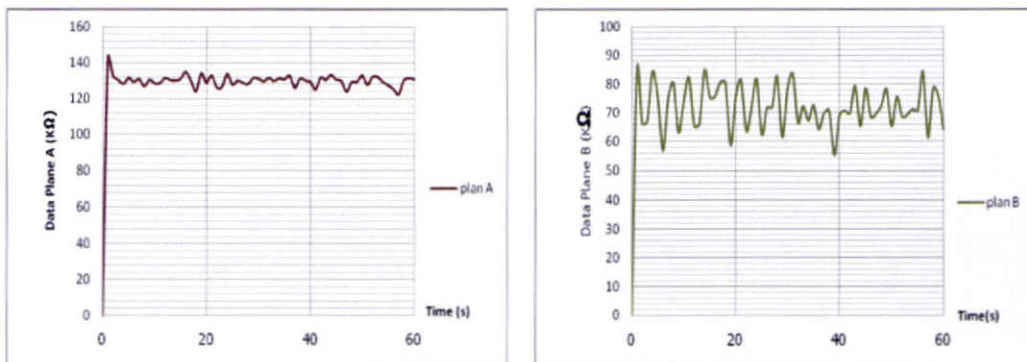
(ก) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ A (ข) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ B

หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 12 V

หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 12 V

รูปที่ 4.28 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาที่มอเตอร์ 12 V

จากรูป 4.29 (ก) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ A มีลักษณะเป็นเชิงเส้น (linear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ A อยู่ระหว่าง $127 \text{ k}\Omega$ - $133 \text{ k}\Omega$ ส่วนรูปที่ 4.29 (ข) กราฟอนุกรมเวลาของระนาบ B มีลักษณะไม่เชิงเส้น (nonlinear) โดยที่ค่าความต้านทานระนาบ B อยู่ระหว่าง $61 \text{ k}\Omega$ - $82 \text{ k}\Omega$



(ก) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ A (ข) อนุกรมเวลา (Time series) ของระนาบ B

หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 12 V

หมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่มอเตอร์ 12 V

รูปที่ 4.29 อนุกรมเวลาของระนาบ A และ B หมุนทวนเข็มนาฬิกาทั้ง 2 ระนาบ ที่มอเตอร์ 12 V



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 สรุปผลการทดลองประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องทศนจักรอัตโนมัติ

จากผลการทดลองพบว่าเครื่องทศนจักรอัตโนมัติต้นแบบ ซึ่งตัวเครื่องประกอบไปด้วย ตัวโมดูลกลิ้ง โซลินอยด์ เครื่องสั่น แผงวงจรควบคุมบอร์ด เมื่อนำทุกส่วนมาประกอบรวมกัน สามารถทำงานร่วมกันโดยประมวลผลได้อย่างถูกต้อง โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมัน ก่อนและหลังการทำไทรเทรต เป็นตัวกำหนดการทำงานของตัวเครื่องว่าถึงจุดยุติหรือยัง ถ้ายังไม่ถึงเครื่องก็ยังคงทำงานอยู่ แต่หากว่าถึงจุดยุติแล้วเครื่องก็จะหยุดทำงาน แล้วจะทำการประมวลผลว่าน้ำมันที่นำมาทำการไทรเทรต สามารถนำไปใช้ต่อได้หรือไม่ จากการทดลองพบว่าค่าสีจากตัวกลิ้งที่จับได้และมีการเปลี่ยนแปลงสีได้เห็นอย่างชัดเจนคือ สีเขียว ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 16 จึงทำให้เครื่องทศนจักรอัตโนมัติต้นแบบสามารถทำการไทรเทรตออกมาได้ผลมีความถูกต้องแม่นยำเหมือนกับการไทรเทรตด้วยมือ

5.1.2 สรุปผลการทดลองเกี่ยวกับข้อมูลใช้ทำแผนทวิเคราะห์การสั่นแนวแผ่นระนาบฐานรอง

จากผลการทดลองพบว่ากราฟของแผ่นระนาบ A กราฟที่ได้จากการวัดมุมองศา จะมีลักษณะเป็นเชิงเส้น (linear) โดยที่ค่าของแผ่นระนาบ A นั้นจะอยู่เกาะกันอยู่ในช่วงระหว่าง 98 kΩ - 132 kΩ ส่วนค่าของแผ่นระนาบ B กราฟที่ได้จะมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear) โดยที่ค่าของแผ่นระนาบ B จากการทดลองนั้น จะอยู่ในช่วงที่ 3 กับ ช่วงที่ 4 ได้จากสมการที่หาจากการวัดมุม ค่ามุมของระนาบ B ที่ได้จากการทดลองจะเกาะกลุ่มกันอยู่ในช่วงระหว่าง 36 kΩ -147 kΩ ส่วนกราฟอนุกรมเวลา (Time Series) จะพบว่า ระนาบ A กราฟที่ได้จากการทดลองมีลักษณะเป็นเชิงเส้น (linear) โดยที่ค่าอยู่ 94 kΩ -133 kΩ ส่วนระนาบ B กราฟที่ได้จากการทดลองมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear) โดยที่ค่าอยู่ 40 kΩ - 85 kΩ จากกราฟจะพบว่า ที่ระนาบ A ค่าระหว่าง 90 kΩ - 108 kΩ และระนาบ B ค่าอยู่ระหว่าง 40 kΩ - 60 kΩ ซึ่งค่าของระนาบทั้งสองนั้นได้จากการป้อนไฟ 5 V จะทำให้เครื่องทศนจักรอัตโนมัติจะทำงานได้มีประสิทธิภาพดีที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองพบว่าเครื่องทัศนจักรอัตโนมัติต้นแบบ สามารถทำงานได้ถูกต้องมีความแม่นยำ ซึ่งถ้าหากจะนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์หรือใช้งานในระดับใหญ่ขึ้น คงต้องทำการปรับปรุงตัวโครงสร้างวัสดุอุปกรณ์ให้มีความแข็งแรงมากขึ้นมากเดิมรวมถึงตัวโปรแกรมให้มีการรองรับในปริมาณที่สูงขึ้น และความต้องการที่เพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jim Surjaatmadja, Clyde Lee. "Apparatus for automatic titration." U.S patent no. 5,192,509, Mar 9 1993.
- [2] ประเสริฐ ศรีไพโรจน์. **เทคนิคทางเคมี**. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร. 2544.
- [3] ประพีร์ ผลอนันต์. **เคมีวิเคราะห์**. เชียงใหม่ : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2528.
- [4] ศุภชัย ไข่เทียมวงศ์. **เคมีวิเคราะห์**. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์. 2550.
- [5] ธนวัช ดรงค์ภินันท์. "การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมปิโตรเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547.
- [6] ศัลยเดช เกตุแก้ว. "การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อที่มีสารบรรจุอยู่บางส่วน." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2549.
- [7] United States Environmental Protection Agency. June 2006. "SPECIFICATION FOR BIODIESEL (B100) – ASTM D6751-06." [Online]. Available : <http://www.epa.gov/region9/waste/biodiesel/docs/ASTMD6751.pdf>. 2011.
- [8] ประดิษฐ์ หมุ่มเมืองสอง, สุขญาณ หรรษสุข. **การวิเคราะห์การสันตะเทียน**. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2550.
- [9] ธนู อุษฉาย. **การสันตะเทียนเชิงกล**. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2541.
- [10] Innovative Experiment. "คู่มือ iV-CAM โมดูลตรวจจับภาพสี." กรุงเทพมหานคร : อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์. 2008.
- [11] Holger Kabtz, Thomas Sxhreiber. **NONLINEAR TIME SERIES ANALYSIS**. 2nd ED. Cambridge university press. 2004.
- [12] Michael Small. **APPLIED NONLINEAR TIME SERIES ANALYSIS**. World Scientific Publishing. 2005.
- [13] พรชัย จงจิตรไพศาล. **กลศาสตร์การสันตะเทียน**. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2547.
- [14] สุวัฒน์ กุลธนปรีดา. **การควบคุมไม่เชิงเส้นเบื้องต้น**. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์ผลิตตำราเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (มจพ). 2544.
- [15] ฤทธิ จีระโกเมน. "โซลินอยด์." [Online]. Available : http://electronics.se-ed.com/contents/046s061/046s061_p01.asp. 2011.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

- [16] อรรถพล บุญยะโกคาม, วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. “เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม.” อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์. 2546.
- [17] อภิชาติ ภูพลับ. “เริ่มต้นเขียนโปรแกรมติดต่อและควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic.” กรุงเทพมหานคร : Info press Developer Book. 2546.
- [18] สุวิไล อารีจิตต์. “ระบบสื่อสารและควบคุมสำหรับระบบการจัดการขยะ.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2551.
- [19] ศักดา สาครตานันท์. “การสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยวิธีการผสมแบบสัญญาณอววน” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2550.
- [20] กุลวรรธน์ ลิ้มรัตน์พันธ์, ชลิต ฐปสุวรรณ. “การสร้างสัญญาณแรนด้อม โดยใช้สัญญาณรบกวนและสัญญาณเคออส.” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2548.
- [21] ณัฐพงศ์ เสนาธิบตี, วิชาน เกียรติอุบลไพบูล. “การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [22] ชัชรี ไทยสุชาติ. “การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์กวนผสมแบบต่อเนื่อง.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมปิโตรเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547.

ภาคผนวก ก.

หลักการเลือกและปัจจัยที่มีผลต่อการไทเทรต เมื่อใช้กรด-เบส อินดิเคเตอร์

ก.1. หลักการเลือก กรด-เบส อินดิเคเตอร์ มีหลักการเลือกดังนี้

ก.1.1. อินดิเคเตอร์ที่เลือกต้องมีค่า pK_a เท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่า pH ที่จุดสมมูลของการไทเทรตนั้นหรืออินดิเคเตอร์ที่เลือกต้องมีช่วง pH ทับกันกับค่า pH ที่จุดสมมูลของการไทเทรต เช่น การไทเทรตหนึ่งค่า pH ที่จุดสมมูลเท่ากับ 8 ดังนั้นอินดิเคเตอร์ที่เลือกจะต้องมีค่า pK_a เท่ากับ 8 หรือใกล้เคียงกับ 8 มากที่สุดหรืออินดิเคเตอร์ที่เลือกต้องมีช่วง pH อยู่ระหว่าง 7-9, 6-8 , 8-10 เป็นต้น

ก.1.2 อินดิเคเตอร์ที่เลือก ควรจะมีสีของทั้งสองรูปได้แก่ รูป un-ionized และรูป ionized แตกต่างกันในกรณีที่มีสีของทั้งสองรูปใกล้เคียงกันมาก จะเห็นสีที่เปลี่ยนที่จุดยุติได้ยาก แก้ไขโดยนำอินดิเคเตอร์อีกชนิดหนึ่งผสมลงไปอินดิเคเตอร์ที่มีสีของทั้งสองรูปใกล้เคียงกัน จะได้เป็นอินดิเคเตอร์ผสม (mix-indicator) ที่มีสีก่อนถึงจุดยุติและหลังจุดยุติต่างกัน

ก.2. ปัจจัยที่มีผลต่อการไทเทรต เมื่อใช้กรด-เบสอินดิเคเตอร์

การไทเทรตจะมีความถูกต้อง นอกจากจะต้องเลือกอินดิเคเตอร์ให้ถูกต้องแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงสิ่งเหล่านี้ได้แก่ปริมาณของอินดิเคเตอร์อุณหภูมิขณะทำการไทเทรตและปัจจัยอื่นๆ

ก.2.1. ปริมาณของอินดิเคเตอร์

ในการไทเทรตโดยทั่วไป นิยมใช้อินดิเคเตอร์ที่มีความเข้มข้นต่ำๆจะให้ผลการวิเคราะห์ได้ถูกต้องกว่า การใช้อินดิเคเตอร์ที่มีความเข้มข้นสูงๆทั้งนี้เพราะอินดิเคเตอร์ที่มีความเข้มข้นต่ำนั้นจะให้สีที่จุดยุติที่เรามองเห็นได้ง่าย นอกจากนี้อินดิเคเตอร์มีสมบัติเป็นกรดหรือเบสอยู่แล้ว ถ้าเราใส่อินดิเคเตอร์ที่เป็นกรดอ่อนที่มีความเข้มข้นสูงๆลงในสารละลายกรด ก็จะมีผลทำให้ความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นอีก เมื่อนำสารละลายนี้ไปไทเทรตจะได้ผลการวิเคราะห์สูงกว่าที่เป็นจริง นับว่าเป็นความผิดพลาดที่เกิดจากการใส่อินดิเคเตอร์ที่มีปริมาณมากเกินไป

ก.2.2 อุณหภูมิขณะทำการไทเทรต

อุณหภูมิจะมีผลทำให้การแตกตัวของอินดิเคเตอร์เปลี่ยนแปลง จึงเป็นสาเหตุทำให้ช่วง pH ของอินดิเคเตอร์เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย เมื่อช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ได้เปลี่ยนแปลงไป การเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์อาจจะเปลี่ยนสีได้เร็วกว่าหรือช้ากว่าที่ควรจะเป็น เมื่อเกิดกรณีเช่นนี้ขึ้นมา การไทเทรตนั้น ก็จะทำให้ผลการทดลองที่ไม่ถูกต้อง

ภาคผนวก ข.

ความคลาดเคลื่อนและประโยชน์ในการไทเทรต

ข.1. ความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวกับการไทเทรตกรด-เบส เนื่องจากการใช้อินดิเคเตอร์

ข.1.1 ความคลาดเคลื่อนอันดับแรกเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของความคลาดเคลื่อนชนิดแก้ไขได้

เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากค่า pH ที่สีของอินดิเคเตอร์เปลี่ยนแตกต่างไปจาก pH ที่จุดสมมูล ซึ่งเป็นจุดที่สารทำปฏิกิริยาพอดีกันจริง ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้อาจทำให้ลดน้อยลงได้โดยการเลือกชนิดของอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม ที่มีช่วง pH ของการเปลี่ยนสีใกล้เคียงกับจุดสมมูลมากที่สุด

สาเหตุที่ไม่นิยมใช้อินดิเคเตอร์ที่มีการเปลี่ยนสีในช่วง pH ที่กว้าง เพราะทำให้ได้จุดยุติที่แตกต่างไปจากจุดสมมูลมาก ไม่ใช่เป็นเพราะสายตามนุษย์ไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์ช่วง pH ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์ คือค่า pH ของสารละลายที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์ค่านี้จะขึ้นอยู่กับค่าคงที่ของการแตกตัวของอินดิเคเตอร์

ข.1.2 ความคลาดเคลื่อนอีกชนิดหนึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนแบบแก้ไขไม่ได้

ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการใช้สายตาของผู้ทดลอง ในการหาจุดยุติที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์ได้ใกล้เคียงเหมือนกันทุกครั้งหรือไม่ ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่า pH ที่เปลี่ยนไปของสารละลายต่อปริมาตรของไทแทรนด์ ณ บริเวณจุดสมมูล และยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่เป็นอินดิเคเตอร์และความไวของตามนุษย์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์ ความคลาดเคลื่อนแบบนี้อาจทำให้น้อยลงได้โดยใช้วิธีเทียบสีโดยการนำสีของสารละลายขณะที่ทำการไทเทรต มาเทียบสีกับสารละลายมาตรฐานที่มี pH เท่ากับ pH ที่จุดสมมูลซึ่งได้จากการคำนวณและใช้ปริมาณอินดิเคเตอร์เท่ากัน ข้อที่น่าสังเกตความคลาดเคลื่อนแบบนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของอินดิเคเตอร์ที่ใช้และยังขึ้นอยู่กับผู้ทดลองแต่ละคนไม่เหมือนกัน

ข.2. ประโยชน์ของการไทเทรต กรด-เบส

การไทเทรตระหว่างกรดกับเบส มีประโยชน์อย่างกว้างขวางเพื่อใช้วิเคราะห์กรดหรือเบสที่มีอยู่ในตัวอย่างต่างๆหรือวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรดหรือเบสที่เกิดจากตัวอย่างทำปฏิกิริยาเคมี กับสารบางชนิด วิธีนี้จึงถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเคมี (ได้แก่ โรงงานผลิตโซดาไฟ โรงงานทำปุ๋ย และโรงงานทำผงซักฟอก เป็นต้น) ชีวเคมี และเภสัชกรรม เป็นต้น

ภาคผนวก ค.

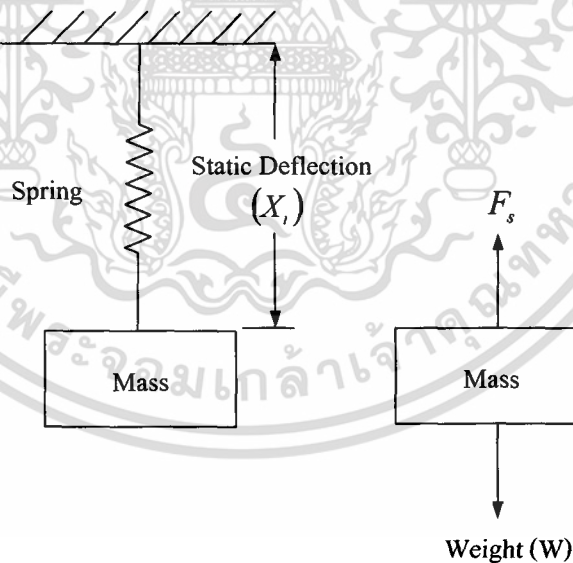
ชนิดของการสั่นสะเทือน

ค.1 ชนิดของการสั่นสะเทือน

ชนิดของการสั่นสะเทือน สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 แบบหลักๆ ดังต่อไปนี้

ค.1.1 การสั่นแบบอิสระโดยไม่มี ความหน่วง (Free Vibration - Undamped)

จากรูปที่ ค.1 เป็นตัวอย่างของการสั่นของมวล (M) ที่ผูกติดกับสปริงที่มีค่าความมั่นคงแข็งแรงค่าหนึ่ง (K เป็นค่าคงที่ของสปริง) และปล่อยให้มีการเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในแนวแกนตั้ง แรง (F_s) ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวในแนวแกนตั้งอันเนื่องมาจากน้ำหนักของมวล M จะเห็นได้ว่ามีแรงมากระทำอยู่ 2 แรงที่กระทำกับมวล M คือ แรงจากน้ำหนักแทนด้วย W และแรงจากสปริงแทนด้วย (F_s) ซึ่งจะมีค่าเท่ากัน แต่อยู่ในทิศตรงกันข้าม ตามหลักของความสมดุลของระบบ



รูปที่ ค.1 Undamped Spring-Mass System

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก (W) และมวล (M) และค่าการยึดตำแหน่งของสปริง X , (Static Deflection) สามารถแสดงด้วยสมการ (ค.1)

$$W = KX, \quad (\text{ค.1})$$

ถ้าสปริงถูกยืดออกมาเป็นระยะ X จากตำแหน่งเดิมที่ X , และปล่อยให้เคลื่อนที่โดยอิสระ จะทำให้เกิดมวลเกิดการสั่นขึ้นลงด้วยความเร่ง a และแรงดึงดูด g_c . ดังนั้นแรงที่เกิดจากสปริงจะสามารถเขียนได้เป็นสมการที่ (ค.2)

$$F_s = -KX = \frac{Ma}{g_c} \quad (\text{ค.2})$$

หากแทนค่าความเร่ง a ด้วยอนุพันธ์อันดับที่ 2 ของการขจัดเทียบกับเวลา และแทนการขจัด X ด้วยสมการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก ($X = X_0 \cos(\omega t)$) จะสามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็นดังนี้

$$\frac{M}{g_c} \frac{d^2 X}{dt^2} + KX = 0 \quad (\text{ค.3})$$

$$-\frac{M}{g_c} \omega^2 X_0 \cos(\omega t) + KX = 0 \quad (\text{ค.4})$$

$$-\frac{M}{g_c} \omega^2 + KX = -\frac{M}{g_c} \omega^2 + K = 0 \quad (\text{ค.5})$$

$$\omega = \sqrt{\frac{Kg_c}{M}} \quad (\text{ค.6})$$

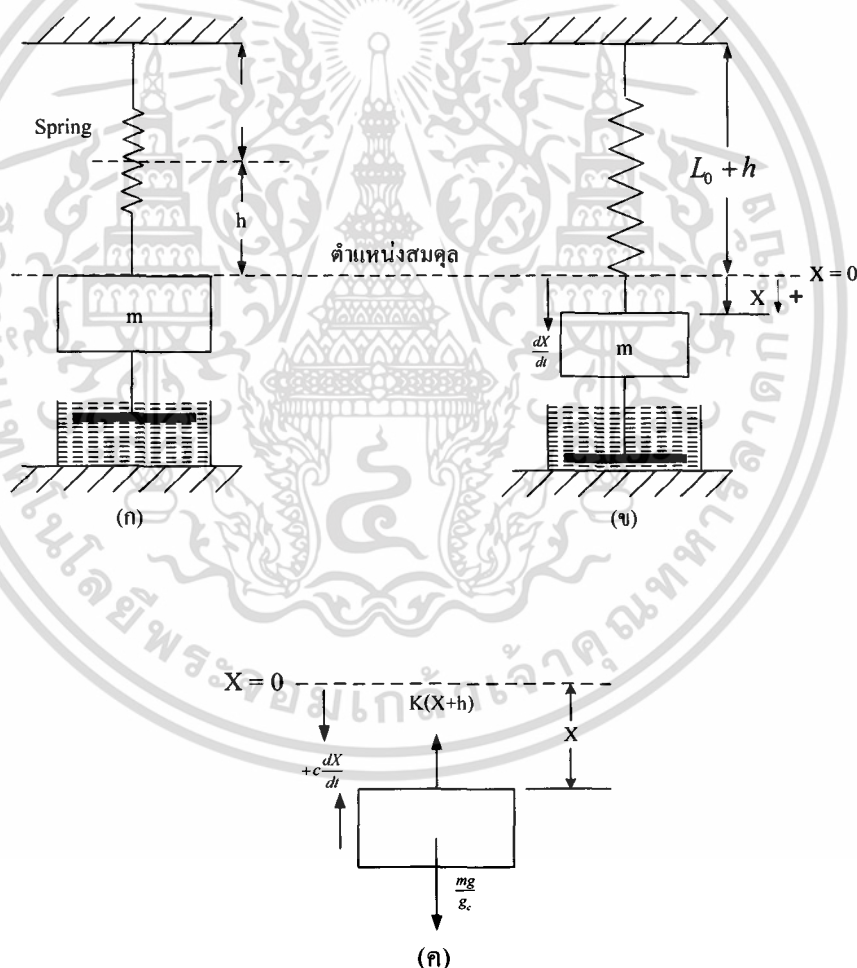
เมื่อ ω คือ ความถี่ธรรมชาติของมวล (Natural Frequency of Mass)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K คือ ค่าคงที่ของสปริง (Spring Constants) , M คือ มวล (Mass)

ค.1.2 การสั่นแบบอิสระโดยมีความหน่วง (Free Vibration - Damped)

การสั่นแบบนี้จะมีความซับซ้อนของระบบที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลทำให้วัตถุต่างๆไปเกิดความหน่วงขึ้นตามรูปที่ โดยที่ลักษณะความหน่วงนี้จะเรียกว่า การหน่วงจากความหนืด (Viscous Damping) ซึ่งจะคล้ายกับรูปที่ ค.2 แต่ในกรณีนี้จะมีความหน่วงจากการเคลื่อนที่ของมวลผ่านของไหลที่มีแรงต้านการเคลื่อนที่ เช่น น้ำมันหรืออากาศ เป็นต้น ความหน่วงจะทำให้ความเร็วของมวลลดลง ส่งผลทำให้เกิดพลังงานจากการสั่นขึ้นมา



รูปที่ ค.2 Damped Spring-Mass System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ ค.2 ระยะสมดุลเดิมของสปริงคือ L_0 และระยะยืดของสปริงที่ถูกน้ำหนัก W ของมวล m ดึงลงคือ h จะเห็นได้ว่าน้ำหนักของมวล m มีค่าเท่ากับ Kh ตามรูปที่ ค.2 (ก) แสดงตำแหน่งสมดุลของมวล m รูปที่ ค.2 (ข) แสดงตำแหน่งมวล m ที่ถูกดึงลงมาเป็นระยะทางเท่ากับ X จากตำแหน่งสมดุล ทั้งนี้พิจารณาให้ค่า X เป็นบวกในทิศทางดึงลงตามรูปที่ ค.2 (ค) เป็นแผนภาพอย่างง่ายของมวลและแรงที่กระทำในระบบ ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าแรงความหน่วงมีค่าเท่ากับ c (dX/dt) เมื่อ c คือค่าคงที่ของความหน่วง สามารถเขียนได้เป็นสมการดังนี้

$$\frac{M}{g_c} \frac{d^2 X}{dt^2} = \frac{Mg}{g_c} - c \frac{dX}{dt} - K(X+h) \quad (\text{ค.7})$$

$$\frac{M}{g_c} \frac{d^2 X}{dt^2} = Kh - c \frac{dX}{dt} - KX - Xh \quad (\text{ค.8})$$

$$\frac{M}{g_c} \frac{d^2 X}{dt^2} = -c \frac{dX}{dt} - KX \quad (\text{ค.9})$$

$$\frac{d^2 X}{dt^2} = \frac{-cg_c}{M} \frac{dX}{dt} - \frac{Kg_c X}{M} \quad (\text{ค.10})$$

เมื่อแทนค่า $cg_c/M = 2\mu$ และ $Kg_c/M = \omega^2$ ในสมการที่ (ค.10)

$$\frac{d^2 X}{dt^2} = -2\mu \frac{dX}{dt} - \omega^2 X \quad (\text{ค.11})$$

$$\frac{d^2 X}{dt^2} + 2\mu \frac{dX}{dt} + \omega^2 X = 0 \quad (\text{ค.12})$$

จากสมการที่ (ค.12) ทำการแก้สมการอนุพันธ์อันดับที่ 2 จะได้สมการที่ (ค.13)

$$X = Ae^{d_1 t} + Be^{d_2 t} \quad (\text{ค.13})$$

เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d_1 = -\mu + \sqrt{\mu^2 - \omega^2} \quad (\text{ค.14})$$

$$d_2 = -\mu - \sqrt{\mu^2 - \omega^2} \quad (\text{ค.15})$$

จะพบว่ามีเงื่อนไขที่ต้องพิจารณาเกี่ยวกับความหน่วง เช่น ความหน่วงวิกฤต (Critical Damping) ความหน่วงมากเกินไป (Over damping) และความหน่วงต่ำกว่าปกติ (Under damping) โดยสรุปได้ดังนี้

ความหน่วงวิกฤต (Critical Damping) จะเกิดเมื่อ $\mu = \omega$

ความหน่วงมากเกินไป (Over damping) จะเกิดเมื่อ $\mu > \omega$

ความหน่วงต่ำกว่าปกติ (Under damping) จะเกิดเมื่อ $\mu < \omega$

สำหรับความหน่วงที่ต่ำกว่าค่าวิกฤต ($\mu < \omega$) จะสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$X = \frac{X_0}{\alpha_1} e^{-\mu t} (\alpha_1 \cos \alpha_1 t + \mu \sin \alpha_1 t) \quad (\text{ค.16})$$

เมื่อ
$$\alpha_1 = \sqrt{\omega^2 - \mu^2} \quad (\text{ค.17})$$

ค.1.3 การสั่นแบบมีแรงกระทำโดยไม่มี ความหน่วง (Forced Vibration - Undamped)

หลักการของการวิเคราะห์การสั่นสะท้อนจะให้ความสำคัญกับความถี่ธรรมชาติ หรือความถี่สั่นพ้อง (Natural or Resonance Frequency) ที่เป็นผลมาจากลักษณะเฉพาะของมวล (Mass) ความมั่นคงแข็งแรง (Stiffness) และความหน่วง (Damping) ของวัตถุที่พิจารณาเป็นหลัก การสั่นเนื่องจากปัจจัยทั้ง 3 นั้นสามารถถูกรบกวนทำให้รูปแบบการสั่นของวัตถุผิดแปลกไปได้อีกมาจากการกระทำของแรงภายนอกในระบบที่มีต่อวัตถุนั้น โดยเพิ่มแรงกระทำจากภายนอกกับมวล ขนาดเท่ากับ F_0 ในทิศทางตั้งลงและแทนค่า $F_0 \sin(\omega t)$ ลงในสมการที่ (ค.3)

$$\frac{M}{g_c} \frac{d^2 X}{dt^2} + KX = F_0 \sin(\omega t) \quad (\text{ค.18})$$

เนื่องจากสปริงจะเคลื่อนที่ตามแรง $F_0 \sin(\omega t)$ ดังนั้นค่า X จะเท่ากับ $X_0 \sin(\omega t)$ และเมื่อแทนค่าในสมการที่ (ค.18) จะได้สมการเป็น

$$X = C_1 \sin(\omega_n t) + C_2 \cos(\omega_n t) + \frac{X_{st}}{1 - (\omega/\omega_n)^2} \sin(\omega t) \quad (\text{ค.19})$$

เมื่อ X คือ การขจัดของสปริงที่เวลา t

X_{st} คือ การขจัดคงที่ของสปริงเมื่อรับแรงคงที่ F_0

ω คือ ความถี่ที่เกิดจากแรงภายนอก

ω_n คือ ความถี่ธรรมชาติของการสั่น

t คือ เวลา

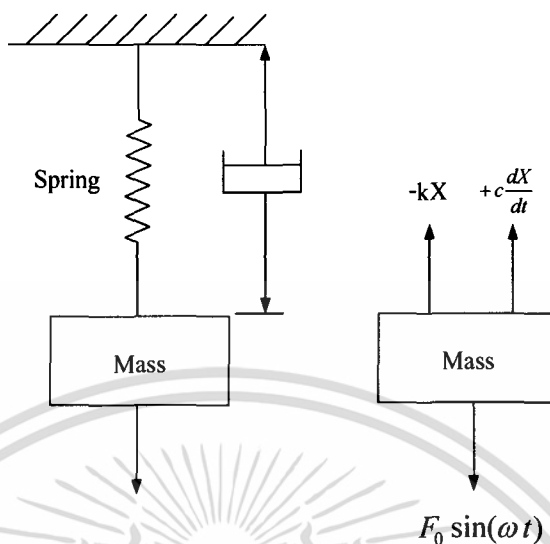
C_1, C_2 คือ ค่าคงที่

จากสมการที่ (ค.19) ในเทอมที่ 1 และ 2 จะแสดงถึงการสั่นแบบอิสระโดยไม่มี ความหน่วง และในเทอมที่ 3 จะแสดงถึงการสั่นที่มีแรงกระทำจากภายนอกโดยไม่มี ความหน่วง คำตอบจะเป็น การรวมกันของคลื่นรูปไซน์ 2 คลื่นที่มีความถี่ต่างกัน การสั่นแบบนี้จะเป็นการเคลื่อนที่แบบคาบเวลา แต่ไม่ใช่การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก

ค.1.4 การสั่นแบบมีแรงกระทำโดยมีความหน่วง (Forced Vibration –Damped)

จากรูปที่ ค.3 การเคลื่อนที่ของมวล M (Mass) ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญคือ 1. การสั่นแบบอิสระที่มีการหน่วงที่ความถี่ธรรมชาติ 2.การเคลื่อนที่แบบคงตัวในรูปแบบฮาร์มอนิกที่ความถี่ตามการกระทำของแรง ความถี่ธรรมชาติของวัตถุที่เกิดจากการหน่วงจะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่สำหรับกรณีความถี่แบบฮาร์มอนิกคงตัว (Steady-state Harmonic) ที่เกิดจากแรงกระทำจากภายนอกจะดำเนินต่อไปตราบเท่าที่ยังคงมีพลังงานจากแรงกระทำอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.3 การสั่นภายใต้แรงหน่วง

สำหรับสมการของการสั่นแบบที่มีแรงกระทำจากภายนอกและมีความหน่วงด้วยนั้น ให้พิจารณาจากสมการของการสั่นแบบอิสระที่มีความหน่วงได้เลย โดยเปลี่ยนเทอมด้านขวามือจากค่า 0 เป็นฟังก์ชันของแรงคือ $F_0 \sin(\omega t)$ ของสมการที่ (ค.3) จะได้สมการที่ (ค.20)

$$\frac{M}{g_c} \frac{d^2 X}{dt^2} + C \frac{dX}{dt} + KX = F_0 \sin(\omega t) \quad (\text{ค.20})$$

ด้วยการสั่นที่มีความหน่วง ดังนั้นจึงทำให้ค่าคงที่ของความหน่วง c มีค่าไม่เท่ากับ 0 ซึ่งส่งผลให้คำตอบของสมการมีความซับซ้อนยิ่งขึ้น

สมมติให้ $X = X_0 \sin(\omega t - \varphi)$ โดยที่ φ คือค่ามุมเฟส(Phase Angle)หรือเป็นค่ามุมที่แรงกระทำจากภายนอก $F_0 \sin(\omega t)$ กระทำกับการขจัด $X_0 \sin(\omega t - \varphi)$ โดยใช้หลักการของเวกเตอร์เพื่อหาคำตอบของสมการดังนี้

เวกเตอร์ของแรงในแนวแกนตั้ง :

$$KX_0 - \frac{M}{g_c} \omega^2 X_0 - F_0 \cos \phi = 0 \quad (\text{ค.21})$$

เวกเตอร์ของแรงในแนวแกนนอน :

$$c\omega X_0 - F_0 \sin \phi = 0 \quad (\text{ค.22})$$

จากสมการที่ (ค.21) และ (ค.22) สมการใหม่ดังนี้

$$\begin{aligned} X_0 &= \frac{F_0}{\sqrt{(c\omega)^2 + \left(K - \frac{M}{g_c} \omega^2\right)^2}} \\ &= \frac{F_0 / K}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + \left(2 \frac{c}{c_c} \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \end{aligned} \quad (\text{ค.23})$$

$$\tan \phi = \frac{c\omega}{K - \frac{M}{g_c} \omega^2} = \frac{2 \frac{c}{c_c} \frac{\omega}{\omega_n}}{1 - \left(\frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)} \quad (\text{ค.24})$$

เมื่อ c คือ ค่าคงที่ของการหน่วง (Damping Constant)

c_c คือ การหน่วงวิกฤต (Critical Damping) $= 2(M/g_c)\omega_n$

c/c_c คือ อัตราส่วนการหน่วง (Damping Ratio)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F_0 คือ แรงกระทำจากภายนอก (External Force)

F_0/K คือ การเสียรูปของสปริงภายใต้ภาระ F_0 หรือค่าการเสียรูปคงที่ (Static Deflection; X_{st})

ω คือ ความถี่จากแรงภายนอก (Forced Frequency)

ω_n คือ ความถี่ธรรมชาติของการสั่น (Natural Frequency)

ω/ω_n คือ อัตราส่วนความถี่ (Frequency Ratio)

สำหรับการสั่นแบบมีแรงกระทำจากภายนอกนั้น พบว่ามีความถี่ที่แตกต่างกันแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบดังนี้คือ

1. ความถี่ธรรมชาติโดยไม่มี ความหน่วง (Undamped Natural Frequency)

$$\omega = \sqrt{\frac{Kg_c}{M}} \quad (\text{ค.25})$$

2. ความถี่ธรรมชาติโดยมี ความหน่วง (Damped Natural Frequency)

$$q = \sqrt{\frac{Kg_c}{M} - \left(\frac{cg_c}{2M}\right)^2} \quad (\text{ค.26})$$

3. ความถี่สั่นพ้อง (Resonant Frequency)

ภาคผนวก ง.

ข้อมูลมอเตอร์ DC

maxon DC motor

A-max 32
 Ø32 mm, Escobillas de grafito, 20 Vatios

HIGH Power

Datos del motor:	Número de Referencia:
1. Potencia nominal asignada	W 20 20 20 20 20 20 20
2. Tensión nominal	Volt 8.0 8.0 12.0 24.0 30.0 36.0 42.0
3. Velocidad en vacío	rpm 4790 4620 4610 8420 8120 5820 5620
4. Par de arranque	mNm 121 130 131 206 194 187 178
5. Relación velocidad/par	rpm/mNm 41.0 39.0 36.0 31.7 32.1 31.6 32.1
6. Corriente en vacío	mA 242 165 115 81 62 49 40
7. Corriente de arranque	mA 10500 7670 5430 6860 4220 3920 2530
8. Resistencia en bornes	Ohm 0.573 1.17 2.21 4.09 7.11 11.2 16.6
9. Máx. velocidad permitida	rpm 6000 6000 6000 6000 6000 6000 6000
10. Máx. corriente en continuo	mA 3610 2520 1840 1360 1020 817 671
11. Máx. par permanente	mNm 41.7 42.7 44.5 47.3 47.1 47.5 47.1
12. Máx. potencia útil a tensión nominal	mW 14100 10000 15300 33900 30500 28000 25700
13. Máx. rendimiento	% 69 71 72 77 77 77 76
14. Constante de par	rpm/A 827 563 394 272 206 164 138
15. Constante de velocidad	rpm/V 42.7 42.7 42.7 42.7 42.7 42.7 42.7
16. Constante de tiempo mecánica	ms 18 16 15 14 14 14 14
17. Inercia del rotor	gcm ² 42.4 36.0 39.7 49.0 41.9 42.2 41.3
18. Inductancia en bornes	mH 0.06 0.13 0.26 0.55 0.95 1.52 2.21
19. Resistencia térmica carcasa/ambiente	K/W 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5
20. Resistencia térmica zócalo/carcasa	K/W 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1
21. Constante de tiempo térmica del bobinado	s 17 16 16 17 17 17 17

Rango de funcionamiento

20 Watt

Funcionamiento continuo
 Teniendo en cuenta los valores de resistencia térmica antes mencionados (líneas 19 y 20). El rotor alcanzará la máxima temperatura durante funcionamiento continuo a 25°C de temperatura ambiente = límite térmico.

Funcionamiento intermitente:
 El motor puede ser sobrecargado durante cortos períodos (cíclicamente).

Leyenda

■ Programa Stock
 □ Programa Estándar
 ▨ Programa Especial (¡previo encargo!)

● Juego axial 0.12 - 0.22 mm

● Carga máx. en el **rodamiento a bolas**
 axial (dinámica) 7.6 N
 radial (a 5 mm de la brida) 32.0 N
 Máx. fuerza montaje a presión (estática) 110 N
 ídem, con eje sostenido 2000 N

● Carga máx. en el **cojinete sinterizado**
 axial (dinámica) 5 N
 radial (a 5 mm de la brida) 10.5 N
 Máx. fuerza montaje a presión (estática) 110 N
 ídem, con eje sostenido 2000 N

● Juego radial en **rodamiento a bolas** en cojinete sinterizado 0.025 mm / 0.012 mm

● Rango de temperatura ambiente -20/+85°C

● Máx. temperatura del rotor +125°C

● Número de delgas del colector 13

● Peso del motor 242 g

● Los datos de la tabla son valores nominales. Para las tolerancias aplicativas (ver página 33) y para detalles adicionales, por favor solicite nuestra impresión por ordenador.

● Opciones: Cojinetes sinterizados en lugar de rodamientos a bolas y cablecillos en vez de terminales.

Sistema Modular maxon

Encoder Digital HP HEDS 5540 500 ppp., 3 canales Detalles página 177

Encoder Digital HP HEDL 5540 500 ppp., 3 canales Detalles página 179

Reductor Planetario Ø32 mm 0.75-4.5 Nm Detalles página 161

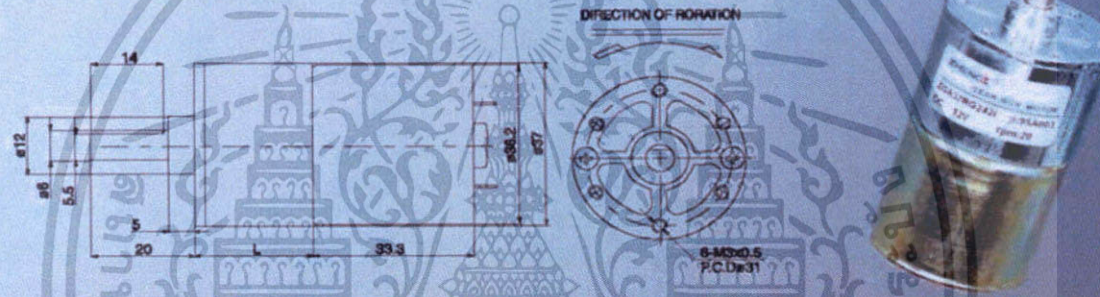
Reductor engranaje recto Ø36 mm 0.1-0.6 Nm Detalles página 164

120 maxon DC motor

Edición de Abril de 2000 / Sujeto a modificaciones

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

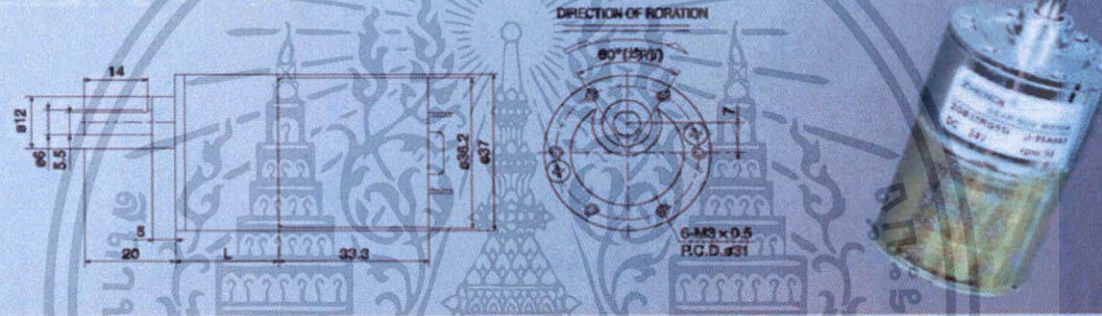
ZGA37RG



■技术参数 Technical Data

电压 Voltage(VDC)	12V	12V	12V	12V	12V	24V	24V	24V	24V	24V
马达型号 Motor Model	17G	50G	50G	50G	35G	35G	50G	50G	50G	50G
减速比 Reduction Ratio	1/267	1/242	1/188	1/104	1/345	1/686	1/242	1/188	1/104	1/40
齿轮箱长度 Gearbox Length(mm)	29.5	29.5	29.5	26.5	24.5	30.5	29.5	29.5	26.5	24.5
空载转速 No-Load Speed(Rpm)	5	20	30	50	100	5	20	30	50	120
额定转速 Rated Speed(Rpm)	3.5	14	21	35	70	3.5	14	21	35	84
额定力矩 Rated Torque(Kg.cm)	7.18	15	14	8.8	4.5	15	15	10.5	6.3	3.95
额定电流 Rated Current(Amp)	0.16	1.1	1.1	1.1	1.1	0.25	0.36	0.36	0.36	0.36

ZGB37RG



■技术参数 Technical Data

电压 Voltage(VDC)	12V	12V	12V	12V	12V	24V	24V	24V	24V	24V
马达型号 Motor Model	25G	50G	50G	50G	50G	35G	50G	50G	50G	50G
减速比 Reduction Ratio	1/516	1/227	1/148	1/95	1/47.5	1/516	1/227	1/148	1/95	1/47.5
齿轮箱长度 Gearbox Length(mm)	30.5	29.5	26.5	26.5	24.5	30.5	29.5	26.5	26.5	24.5
空载转速 No-Load Speed(Rpm)	5	20	30	50	100	6	20	30	50	100
额定转速 Rated Speed(Rpm)	3.5	14	21	35	70	4.2	14	21	35	70
额定力矩 Rated Torque(Kg.cm)	15	15	12	7.2	3.6	15	13	8.6	4.8	2.6
额定电流 Rated Current(Amp)	0.18	0.92	0.92	0.92	0.92	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33

ภาคผนวก จ.

ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง X และระนาบฐานรอง Y

ตารางที่ จ.1 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนตามเข็ม และระนาบฐานรอง B หมุนตามเข็มที่ 5V

5 V -11						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
0	0.00	0.00	107.58	58.17	-55.00	0.00
1	107.58	58.17	-12.83	4.25	-1.21	-1.78
2	94.75	62.42	3.42	-10.09	-7.63	-2.41
3	98.17	52.33	0.91	3.17	-5.92	-0.91
4	99.08	55.50	-2.83	-5.83	-5.46	-1.38
5	96.25	61.33	0.92	-14.16	-6.88	-2.25
6	97.17	47.17	2.41	10.58	-6.42	-0.15
7	99.58	57.75	-3.50	2.92	-5.21	-1.72
8	96.08	60.67	0.50	-13.00	-6.96	-2.15
9	96.58	47.67	3.00	15.25	-6.71	-0.23
10	99.58	62.92	-2.08	-12.09	-5.21	-2.48
11	97.50	50.83	-1.75	4.67	-6.25	-0.69
12	95.75	55.50	3.83	7.33	-7.13	-1.38
13	99.58	62.83	-1.33	-16.00	-5.21	-2.47
14	98.25	46.83	-2.67	13.92	-5.88	-0.83
15	95.58	60.75	0.34	-8.75	-7.21	-2.16
16	95.92	52.00	2.66	0.83	-7.04	-0.87
17	98.58	52.83	-1.41	9.42	-5.71	-0.99
18	97.17	62.25	-2.25	-15.25	-6.42	-2.38
19	94.92	47.00	2.41	12.33	-7.54	-0.13
20	97.33	59.33	-0.16	-6.25	-6.34	-1.95
21	97.17	53.08	-2.34	0.75	-6.42	-1.03
22	94.83	53.83	0.92	7.09	-7.59	-1.14
23	95.75	60.92	2.42	-15.00	-7.13	-2.19
24	98.17	45.92	-1.59	13.66	-5.92	0.08
25	96.58	59.58	-0.08	-6.58	-6.71	-1.99
26	96.50	53.00	0.92	-2.42	-6.75	-1.01
27	97.42	50.58	0.00	10.50	-6.29	-0.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.1 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนตามเข็มนาฬิกา และระนาบฐานรอง B หมุนตามเข็มนาฬิกา 5V

(ต่อ)

5 V - 11						
Time (s)	x	y	Dx	Dy	Degree x	Degree y
28	97.42	61.08	0.41	-12.25	-6.29	-2.21
29	97.83	48.83	-2.00	12.92	-6.09	-0.40
30	95.83	61.75	0.00	-5.67	-7.09	-2.31
31	95.83	56.08	4.92	-6.58	-7.09	-1.47
32	100.75	49.50	-2.00	15.25	-4.63	-0.50
33	98.75	64.75	0.08	-17.25	-5.63	-2.75
34	98.83	47.50	-1.58	14.58	-5.59	-0.20
35	97.25	62.08	2.25	-8.16	-6.38	-2.36
36	99.50	53.92	-1.00	-2.34	-5.25	-1.15
37	98.50	51.58	-1.25	8.00	-5.75	-0.80
38	97.25	59.58	1.75	-14.16	-6.38	-1.99
39	99.00	45.42	-0.75	17.25	-5.50	0.58
40	98.25	62.67	-1.75	-9.59	-5.88	-2.45
41	96.50	53.08	-1.33	3.00	-6.75	-1.03
42	95.17	56.08	3.41	3.42	-7.42	-1.47
43	98.58	59.50	0.34	-15.08	-5.71	-1.98
44	98.92	44.42	-1.59	18.16	-5.54	1.58
45	97.33	62.58	-1.75	-14.25	-6.34	-2.43
46	95.58	48.33	1.59	8.84	-7.21	-0.32
47	97.17	57.17	1.08	-0.42	-6.42	-1.63
48	98.25	56.75	-1.00	-5.25	-5.88	-1.57
49	97.25	51.50	-1.83	11.33	-6.38	-0.79
50	95.42	62.83	-0.34	-15.58	-7.29	-2.47
51	95.08	47.25	2.75	14.75	-7.46	-0.16
52	97.83	62.00	-0.83	-9.83	-6.09	-2.35
53	97.00	52.17	-1.58	4.66	-6.50	-0.89
54	95.42	56.83	1.00	9.17	-7.29	-1.58
55	96.42	66.00	3.16	-18.17	-6.79	-2.94
56	99.58	47.83	-1.33	15.50	-5.21	-0.25
57	98.25	63.33	-0.58	-15.75	-5.88	-2.54
58	97.67	47.58	-1.67	10.17	-6.17	-0.21
59	96.00	57.75	2.17	2.75	-7.00	-1.72
60	98.17	60.50	-98.17	-60.50	-5.92	-2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.2 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนตามเข็มนาฬิกา และระนาบฐานรอง B หมุนทวนเข็มนาฬิกาที่ 5V

5 V -12						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
0	0.00	0.00	109.17	62.25	-55.00	0.00
1	109.17	62.25	-8.08	-9.08	-0.42	-2.38
2	101.08	53.17	0.25	2.67	-4.46	-1.04
3	101.33	55.83	1.17	2.58	-4.33	-1.43
4	102.50	58.42	-3.67	-10.25	-3.75	-1.82
5	98.83	48.17	1.67	11.50	-5.58	-0.30
6	100.50	59.67	1.08	-3.42	-4.75	-2.00
7	101.58	56.25	-2.33	-5.75	-4.21	-1.50
8	99.25	50.50	2.50	11.75	-5.38	-0.64
9	101.75	62.25	-1.50	-17.08	-4.13	-2.38
10	100.25	45.17	-0.08	12.33	-4.88	0.83
11	100.17	57.50	2.50	2.92	-4.92	-1.68
12	102.67	60.42	-2.92	-11.58	-3.67	-2.11
13	99.75	48.83	1.58	9.83	-5.13	-0.40
14	101.33	58.67	0.17	-9.00	-4.33	-1.85
15	101.50	49.67	-1.25	6.17	-4.25	-0.52
16	100.25	55.83	-0.58	6.75	-4.88	-1.43
17	99.67	62.58	3.17	-16.67	-5.17	-2.43
18	102.83	45.92	-3.00	12.50	-3.58	0.08
19	99.83	58.42	-0.92	3.25	-5.08	-1.82
20	98.92	61.67	1.58	-16.83	-5.54	-2.30
21	100.50	44.83	1.67	15.08	-4.75	1.17
22	102.17	59.92	-3.17	-1.33	-3.92	-2.04
23	99.00	58.58	1.50	-11.17	-5.50	-1.84
24	100.50	47.42	2.17	11.58	-4.75	-0.19
25	102.67	59.00	-3.67	-2.75	-3.67	-1.90
26	99.00	56.25	0.83	-7.75	-5.50	-1.50
27	99.83	48.50	2.25	11.25	-5.08	-0.35
28	102.08	59.75	-1.33	-1.75	-3.96	-2.01
29	100.75	58.00	-1.33	-10.25	-4.63	-1.75
30	99.42	47.75	1.75	7.92	-5.29	-0.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.2 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนตามเข็มนาฬิกา และระนาบฐานรอง B หมุนทวนเข็มนาฬิกาที่ 5V

(ต่อ)

5 V - 12						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
31	101.17	55.67	0.67	7.33	-4.42	-1.41
32	101.83	63.00	-2.92	-16.92	-4.08	-2.49
33	98.92	46.08	1.25	10.75	-5.54	-0.08
34	100.17	56.83	1.50	4.75	-4.92	-1.58
35	101.67	61.58	-1.92	-18.00	-4.17	-2.28
36	99.75	43.58	-0.92	20.25	-5.13	2.42
37	98.83	63.83	3.33	-7.50	-5.58	-2.62
38	102.17	56.33	-1.42	-8.67	-3.92	-1.51
39	100.75	47.67	-0.50	11.75	-4.63	-0.22
40	100.25	59.42	-0.58	-7.83	-4.88	-1.96
41	99.67	51.58	1.58	1.67	-5.17	-0.80
42	101.25	53.25	-1.75	9.67	-4.38	-1.05
43	99.50	62.92	1.75	-15.92	-5.25	-2.48
44	101.25	47.00	1.67	7.17	-4.38	-0.13
45	102.92	54.17	-4.08	7.67	-3.54	-1.19
46	98.83	61.83	1.25	-15.92	-5.58	-2.32
47	100.08	45.92	0.92	14.25	-4.96	0.08
48	101.00	60.17	-2.33	-2.92	-4.50	-2.07
49	98.67	57.25	1.17	-9.92	-5.67	-1.64
50	99.83	47.33	3.17	10.83	-5.08	-0.18
51	103.00	58.17	-2.83	-0.50	-3.50	-1.78
52	100.17	57.67	-0.08	-12.17	-4.92	-1.70
53	100.08	45.50	2.17	14.75	-4.96	0.50
54	102.25	60.25	-2.58	-4.25	-3.88	-2.09
55	99.67	56.00	-1.67	-7.67	-5.17	-1.46
56	98.00	48.33	3.75	15.08	-6.00	-0.32
57	101.75	63.42	-0.50	-9.83	-4.13	-2.56
58	101.25	53.58	-1.58	-2.50	-4.38	-1.10
59	99.67	51.08	0.33	5.58	-5.17	-0.73
60	100.00	56.67	1.41	-4.00	-5.00	-1.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.3 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนทวนเข็มนาฬิกา และระนาบฐานรอง B หมุนตามเข็มนาฬิกา 5V

5 V -21						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
0	0.00	0.00	110.83	110.83	-55.00	0.00
1	110.83	58.08	-7.50	-7.50	0.42	-1.77
2	103.33	53.92	-1.33	-1.33	-3.33	-1.15
3	102.00	57.17	3.58	3.58	-4.00	-1.63
4	105.58	60.25	-2.75	-2.75	-2.21	-2.09
5	102.83	58.67	2.17	2.17	-3.58	-1.85
6	105.00	53.33	-2.67	-2.67	-2.50	-1.06
7	102.33	50.00	1.08	1.08	-3.83	-0.57
8	103.42	56.83	1.42	1.42	-3.29	-1.58
9	104.83	56.00	-3.33	-3.33	-2.58	-1.46
10	101.50	64.50	4.17	4.17	-4.25	-2.72
11	105.67	50.00	-4.75	-4.75	-2.17	-0.57
12	100.92	55.08	4.00	4.00	-4.54	-1.32
13	104.92	58.33	0.00	0.00	-2.54	-1.80
14	104.92	59.00	-1.42	-1.42	-2.54	-1.90
15	103.50	61.25	0.75	0.75	-3.25	-2.24
16	104.25	48.33	-2.08	-2.08	-2.88	-0.32
17	102.17	55.17	3.92	3.92	-3.92	-1.33
18	106.08	56.00	-4.33	-4.33	-1.96	-1.46
19	101.75	60.58	3.75	3.75	-4.13	-2.14
20	105.50	59.42	-0.83	-0.83	-2.25	-1.96
21	104.67	50.75	-0.67	-0.67	-2.67	-0.68
22	104.00	55.00	0.08	0.08	-3.00	-1.31
23	104.08	57.42	-2.17	-2.17	-2.96	-1.67
24	101.92	59.17	3.75	3.75	-4.04	-1.93
25	105.67	58.83	-3.58	-3.58	-2.17	-1.88
26	102.08	54.08	4.08	4.08	-3.96	-1.17
27	106.17	50.08	-4.33	-4.33	-1.92	-0.58
28	101.83	59.67	3.58	3.58	-4.08	-2.00
29	105.42	59.00	-0.67	-0.67	-2.29	-1.90
30	104.75	56.25	0.00	1.08	-2.63	-1.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.3 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนทวนเข็มนาฬิกา และระนาบฐานรอง B หมุนตามเข็มนาฬิกาที่ 5V

(ต่อ)

5 V - 21						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
31	104.75	57.33	-1.00	-8.25	-2.63	-1.66
32	103.75	49.08	-1.83	9.83	-3.13	-0.43
33	101.92	58.92	4.00	2.00	-4.04	-1.89
34	105.92	60.92	-4.08	-2.67	-2.04	-2.19
35	101.83	58.25	3.25	-3.33	-4.08	-1.79
36	105.08	54.92	-4.00	-3.75	-2.46	-1.30
37	101.08	51.17	3.67	3.75	-4.46	-0.74
38	104.75	54.92	-0.75	5.50	-2.63	-1.30
39	104.00	60.42	-0.75	1.08	-3.00	-2.11
40	103.25	61.50	1.50	-4.50	-3.38	-2.27
41	104.75	57.00	-3.33	-7.25	-2.63	-1.61
42	101.42	49.75	4.67	5.00	-4.29	-0.53
43	106.08	54.75	-3.25	2.92	-1.96	-1.27
44	102.83	57.67	2.67	2.50	-3.58	-1.70
45	105.50	60.17	-3.33	0.00	-2.25	-2.07
46	102.17	60.17	4.00	-13.58	-3.92	-2.07
47	106.17	46.58	-2.00	9.33	-1.92	-0.58
48	104.17	55.92	-0.08	2.25	-2.92	-1.45
49	104.08	58.17	0.75	0.83	-2.96	-1.78
50	104.83	59.00	-1.00	1.58	-2.58	-1.90
51	103.83	60.58	1.25	-11.08	-3.08	-2.14
52	105.08	49.50	-2.75	5.92	-2.46	-0.50
53	102.33	55.42	3.75	1.25	-3.83	-1.37
54	106.08	56.67	-2.83	1.67	-1.96	-1.56
55	103.25	58.33	2.42	4.08	-3.38	-1.80
56	105.67	62.42	-3.17	-11.58	-2.17	-2.41
57	102.50	50.83	2.83	-0.17	-3.75	-0.69
58	105.33	50.67	-0.25	9.83	-2.33	-0.67
59	105.08	60.50	-0.83	-2.25	-2.46	-2.12
60	104.25	58.25	0.83	-1.00	-2.88	-1.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.4 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนทวนเข็มนาฬิกา และระนาบฐานรอง B หมุนทวนเข็มนาฬิกาที่ 5V

5 V -22						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
0	0.00	0.00	114.33	66.58	-55.00	0.00
1	114.33	66.58	-7.92	-21.42	2.17	-3.02
2	106.42	45.17	1.00	13.00	-1.79	0.83
3	107.42	58.17	-1.67	-9.75	-1.29	-1.78
4	105.75	48.42	-1.25	4.92	-2.13	-0.34
5	104.50	53.33	3.08	0.83	-2.75	-1.06
6	107.58	54.17	-0.58	-6.67	-1.21	-1.19
7	107.00	47.50	-3.08	14.17	-1.50	-0.20
8	103.92	61.67	2.33	-14.75	-3.04	-2.30
9	106.25	46.92	0.75	12.58	-1.88	-0.92
10	107.00	59.50	-1.08	-13.33	-1.50	-1.98
11	105.92	46.17	-1.33	16.42	-2.04	-0.17
12	104.58	62.58	3.00	-20.17	-2.71	-2.43
13	107.58	42.42	-1.08	20.83	-1.21	3.58
14	106.50	63.25	-2.08	-16.25	-1.75	-2.53
15	104.42	47.00	1.42	10.83	-2.79	-0.13
16	105.83	57.83	2.17	-4.67	-2.08	-1.73
17	108.00	53.17	-2.33	-0.92	-1.00	-1.04
18	105.67	52.25	-1.42	5.58	-2.17	-0.90
19	104.25	57.83	2.25	-8.83	-2.88	-1.73
20	106.50	49.00	0.67	13.08	-1.75	-0.42
21	107.17	62.08	-2.25	-16.58	-1.42	-2.36
22	104.92	45.50	-0.25	18.00	-2.54	0.50
23	104.67	63.50	2.58	-19.83	-2.67	-2.57
24	107.25	43.67	-0.33	19.42	-1.38	2.33
25	106.92	63.08	-3.00	-15.92	-1.54	-2.51
26	103.92	47.17	1.33	6.92	-3.04	-0.15
27	105.25	54.08	1.58	4.00	-2.38	-1.17
28	106.83	58.08	-0.50	-11.75	-1.58	-1.77
29	106.33	46.33	0.25	17.17	-1.83	-0.33
30	106.58	63.50	0.42	-11.50	-1.71	-2.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.4 ข้อมูลแผ่นรนาฐานรอง A หมุนทวนเข็มนาฬิกา และรนาฐานรอง B หมุนทวนเข็มนาฬิกาที่ 5V

(ต่อ)

5 V - 22						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
31	107.00	52.00	-1.75	-4.00	-1.50	-0.87
32	105.25	48.00	0.08	15.42	-2.38	-0.27
33	105.33	63.42	0.83	-16.58	-2.33	-2.56
34	106.17	46.83	0.67	7.25	-1.92	-0.83
35	106.83	54.08	0.00	6.08	-1.58	-1.17
36	106.83	60.17	0.17	-12.33	-1.58	-2.07
37	107.00	47.83	-1.33	12.00	-1.50	-0.25
38	105.67	59.83	-0.17	-9.17	-2.17	-2.03
39	105.50	50.67	-0.08	-3.33	-2.25	-0.67
40	105.42	47.33	1.83	16.33	-2.29	-0.18
41	107.25	63.67	0.75	-14.42	-1.38	-2.59
42	108.00	49.25	-1.42	0.50	-1.00	-0.46
43	106.58	49.75	-0.25	13.42	-1.71	-0.53
44	106.33	63.17	-0.83	-15.42	-1.83	-2.52
45	105.50	47.75	0.42	8.67	-2.25	-0.24
46	105.92	56.42	0.83	1.92	-2.04	-1.52
47	106.75	58.33	0.67	-12.00	-1.63	-1.80
48	107.42	46.33	-0.42	18.25	-1.29	-0.33
49	107.00	64.58	-0.92	-15.33	-1.50	-2.73
50	106.08	49.25	-0.42	-3.33	-1.96	-0.46
51	105.67	45.92	0.25	18.25	-2.17	0.08
52	105.92	64.17	0.33	-18.58	-2.04	-2.67
53	106.25	45.58	1.00	11.17	-1.88	0.42
54	107.25	56.75	-0.58	1.25	-1.38	-1.57
55	106.67	58.00	-0.33	-10.08	-1.67	-1.75
56	106.33	47.92	-0.58	13.83	-1.83	-0.26
57	105.75	61.75	-0.58	-11.33	-2.13	-2.31
58	105.17	50.42	2.25	-2.92	-2.42	-0.63
59	107.42	47.50	0.25	13.83	-1.29	-0.20
60	107.67	61.33	0.50	-13.33	-1.17	-2.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.5 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนตามเข็มนาฬิกา และระนาบฐานรอง B หมุนตามเข็มนาฬิกาที่ 9V

9 V -11						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
0	0.00	0.00	122.17	63.92	-55.00	0.00
1	122.17	63.92	-10.50	-7.67	6.08	-2.63
2	111.67	56.25	1.83	6.50	0.83	-1.50
3	113.50	62.75	-0.67	2.75	1.75	-2.46
4	112.83	65.50	0.25	2.42	1.42	-2.86
5	113.08	67.92	0.92	-4.50	1.54	-3.22
6	114.00	63.42	3.83	-7.08	2.00	-2.56
7	117.83	56.33	-1.42	0.92	3.92	-1.51
8	116.42	57.25	2.17	1.25	3.21	-1.64
9	118.58	58.50	-6.50	0.08	4.29	-1.83
10	112.08	58.58	-0.75	-0.08	1.04	-1.84
11	111.33	58.50	1.67	0.00	0.67	-1.83
12	113.00	58.50	0.50	-0.25	1.50	-1.83
13	113.50	58.25	1.42	2.00	1.75	-1.79
14	114.92	60.25	-2.58	0.00	2.46	-2.09
15	112.33	60.25	-0.25	2.08	1.17	-2.09
16	112.08	62.33	-1.08	-4.00	1.04	-2.40
17	111.00	58.33	1.83	-0.08	0.50	-1.80
18	112.83	58.25	2.33	0.17	1.42	-1.79
19	115.17	58.42	-1.42	2.42	2.58	-1.82
20	113.75	60.83	-0.17	0.83	1.88	-2.17
21	113.58	61.67	1.17	-2.92	1.79	-2.30
22	114.75	58.75	-2.25	5.42	2.38	-1.87
23	112.50	64.17	3.25	-0.17	1.25	-2.67
24	115.75	64.00	-3.92	-1.75	2.88	-2.64
25	111.83	62.25	3.50	-3.83	0.92	-2.38
26	115.33	58.42	0.50	5.42	2.67	-1.82
27	115.83	63.83	-1.42	6.00	2.92	-2.62
28	114.42	69.83	2.42	-8.58	2.21	-3.51
29	116.83	61.25	-1.42	-4.67	3.42	-2.24
30	115.42	56.58	0.92	1.67	2.71	-1.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.5 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนตามเข็ม และระนาบฐานรอง B หมุนตามเข็มที่ 9V

(ต่อ)

9 V - 11						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
31	116.33	58.25	2.75	13.33	3.17	-1.79
32	119.08	71.58	-5.75	-8.92	4.54	-3.76
33	113.33	62.67	2.67	0.08	1.67	-2.44
34	116.00	62.75	-0.50	-4.08	3.00	-2.46
35	115.50	58.67	-0.75	-1.25	2.75	-1.85
36	114.75	57.42	-0.83	2.50	2.38	-1.67
37	113.92	59.92	1.75	-3.25	1.96	-2.04
38	115.67	56.67	-1.75	0.92	2.83	-1.56
39	113.92	57.58	-2.33	-1.33	1.96	-1.69
40	111.58	56.25	1.25	1.33	0.79	-1.50
41	112.83	57.58	0.58	-0.92	1.42	-1.69
42	113.42	56.67	-1.00	0.33	1.71	-1.56
43	112.42	57.00	1.83	1.25	1.21	-1.61
44	114.25	58.25	0.33	-0.92	2.13	-1.79
45	114.58	57.33	0.08	0.25	2.29	-1.66
46	114.67	57.58	-2.50	-0.92	2.33	-1.69
47	112.17	56.67	4.17	0.42	1.08	-1.56
48	116.33	57.08	-4.08	-2.17	3.17	-1.62
49	112.25	54.92	3.83	2.42	1.13	-1.30
50	116.08	57.33	-2.33	-0.75	3.04	-1.66
51	113.75	56.58	-1.92	-2.67	1.88	-1.54
52	111.83	53.92	0.50	2.25	0.92	-1.15
53	112.33	56.17	-0.33	3.92	1.17	-1.48
54	112.00	60.08	1.67	4.17	1.00	-2.06
55	113.67	64.25	2.83	-6.67	1.83	-2.68
56	116.50	57.58	-4.83	-0.33	3.25	-1.69
57	111.67	57.25	1.25	0.50	0.83	-1.64
58	112.92	57.75	0.17	0.83	1.46	-1.72
59	113.08	58.58	2.08	-0.58	1.54	-1.84
60	115.17	58.00	4.33	2.16	2.58	-1.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.6 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนตามเข็มนาฬิกา และระนาบฐานรอง B หมุนทวนเข็มนาฬิกาที่ 9V

9 V -12						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
0	0.00	0.00	118.42	63.42	-55.00	0.00
1	118.42	63.42	-8.25	-12.58	4.21	-2.56
2	110.17	50.83	1.58	10.83	0.08	-0.69
3	111.75	61.67	-1.75	-10.75	0.88	-2.30
4	110.00	50.92	-1.50	9.67	0.00	-0.71
5	108.50	60.58	4.33	-8.42	-0.75	-2.14
6	112.83	52.17	-0.50	6.33	1.42	-0.89
7	112.33	58.50	-2.33	4.50	1.17	-1.83
8	110.00	63.00	1.33	-14.08	0.00	-2.49
9	111.33	48.92	0.00	12.83	0.67	-0.41
10	111.33	61.75	-1.17	-8.08	0.67	-2.31
11	110.17	53.67	2.67	6.75	0.08	-1.11
12	112.83	60.42	-0.67	0.50	1.42	-2.11
13	112.17	60.92	-1.25	-7.42	1.08	-2.19
14	110.92	53.50	4.33	7.83	0.46	-1.09
15	115.25	61.33	-4.00	-9.33	2.63	-2.25
16	111.25	52.00	-1.83	9.92	0.63	-0.87
17	109.42	61.92	1.58	-3.92	-0.29	-2.33
18	111.00	58.00	3.33	-1.58	0.50	-1.75
19	114.33	56.42	-4.25	4.33	2.17	-1.52
20	110.08	60.75	-0.75	-8.00	0.04	-2.16
21	109.33	52.75	2.25	7.67	-0.33	-0.98
22	111.58	60.42	-1.17	-10.00	0.79	-2.11
23	110.42	50.42	-1.33	13.17	0.21	-0.63
24	109.08	63.58	3.08	-5.83	-0.46	-2.58
25	112.17	57.75	-0.50	2.42	1.08	-1.72
26	111.67	60.17	0.00	-0.42	0.83	-2.07
27	111.67	59.75	0.25	-5.67	0.83	-2.01
28	111.92	54.08	1.25	10.08	0.96	-1.17
29	113.17	64.17	-1.00	-11.58	1.58	-2.67
30	112.17	52.58	-2.75	8.42	1.08	-0.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.6 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนตามเข็มนาฬิกา และระนาบฐานรอง B หมุนทวนเข็มนาฬิกาที่ 9V

(ต่อ)

9 V - 12						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
31	109.42	61.00	2.50	-8.58	-0.29	-2.20
32	111.92	52.42	-0.25	6.25	0.96	-0.93
33	111.67	58.67	-1.58	1.42	0.83	-1.85
34	110.08	60.08	1.92	-8.58	0.04	-2.06
35	112.00	51.50	-0.75	9.83	1.00	-0.79
36	111.25	61.33	-1.50	-8.50	0.63	-2.25
37	109.75	52.83	3.92	12.00	-0.13	-0.99
38	113.67	64.83	-1.50	-8.25	1.83	-2.77
39	112.17	56.58	1.58	1.75	1.08	-1.54
40	113.75	58.33	-3.08	5.17	1.88	-1.80
41	110.67	63.50	3.25	-9.25	0.33	-2.57
42	113.92	54.25	-2.50	11.83	1.96	-1.20
43	111.42	66.08	0.08	-8.33	0.71	-2.95
44	111.50	57.75	4.25	1.58	0.75	-1.72
45	115.75	59.33	0.92	-1.42	2.88	-1.95
46	116.67	57.92	-3.25	-5.17	3.33	-1.74
47	113.42	52.75	-1.08	8.42	1.71	-0.98
48	112.33	61.17	1.83	-11.50	1.17	-2.22
49	114.17	49.67	-0.92	11.42	2.08	-0.52
50	113.25	61.08	-1.42	-7.33	1.63	-2.21
51	111.83	53.75	1.67	6.58	0.92	-1.13
52	113.50	60.33	-1.75	-0.50	1.75	-2.10
53	111.75	59.83	-0.58	-6.83	0.88	-2.03
54	111.17	53.00	-1.08	8.83	0.58	-1.01
55	110.08	61.83	3.00	-9.75	0.04	-2.32
56	113.08	52.08	-0.25	8.92	1.54	-0.88
57	112.83	61.00	0.25	-8.83	1.42	-2.20
58	113.08	52.17	0.08	7.67	1.54	-0.89
59	113.17	59.83	0.42	0.67	1.58	-2.03
60	113.58	60.50	-1.75	-7.92	1.79	-2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.7 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนทวนเข็มนาฬิกา และระนาบฐานรอง B หมุนตามเข็มนาฬิกา 9V

9 V -21						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
0	0.00	0.00	114.42	65.25	-55.00	0.00
1	114.42	65.25	-4.92	-0.17	2.21	-2.83
2	109.50	65.08	-2.75	-8.00	-0.25	-2.80
3	106.75	57.08	1.58	0.42	-1.63	-1.62
4	108.33	57.50	-4.25	3.17	-0.83	-1.68
5	104.08	60.67	3.58	3.17	-2.96	-2.15
6	107.67	63.83	0.00	-3.42	-1.17	-2.62
7	107.67	60.42	-0.42	-10.00	-1.17	-2.11
8	107.25	50.42	-1.17	5.00	-1.38	-0.63
9	106.08	55.42	-0.83	6.50	-1.96	-1.37
10	105.25	61.92	1.50	4.67	-2.38	-2.33
11	106.75	66.58	1.25	-6.17	-1.63	-3.02
12	108.00	60.42	1.42	-3.83	-1.00	-2.11
13	109.42	56.58	-4.42	-2.17	-0.29	-1.54
14	105.00	54.42	3.58	10.17	-2.50	-1.22
15	108.58	64.58	0.75	-2.42	-0.71	-2.73
16	109.33	62.17	0.50	-1.83	-0.33	-2.37
17	109.83	60.33	-2.92	-4.17	-0.08	-2.10
18	106.92	56.17	1.17	9.08	-1.54	-1.48
19	108.08	65.25	-0.17	-1.42	-0.96	-2.83
20	107.92	63.83	-1.50	-12.83	-1.04	-2.62
21	106.42	51.00	1.08	7.75	-1.79	-0.72
22	107.50	58.75	1.67	2.17	-1.25	-1.87
23	109.17	60.92	-2.25	0.25	-0.42	-2.19
24	106.92	61.17	1.08	1.58	-1.54	-2.22
25	108.00	62.75	-3.67	-4.75	-1.00	-2.46
26	104.33	58.00	3.92	-0.08	-2.83	-1.75
27	108.25	57.92	-0.33	0.17	-0.88	-1.74
28	107.92	58.08	-0.42	1.25	-1.04	-1.77
29	107.50	59.33	-0.83	4.42	-1.25	-1.95
30	106.67	63.75	1.42	3.17	-1.67	-2.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.7 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนทวนเข็ม และระนาบฐานรอง B หมุนตามเข็มที่ 9V

(ต่อ)

9 V - 21						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
31	108.08	66.92	0.25	-2.92	-0.96	-3.07
32	108.33	64.00	-0.08	-5.33	-0.83	-2.64
33	108.25	58.67	-1.25	0.08	-0.88	-1.85
34	107.00	58.75	2.08	0.42	-1.50	-1.87
35	109.08	59.17	-1.75	-1.33	-0.46	-1.93
36	107.33	57.83	0.83	1.58	-1.33	-1.73
37	108.17	59.42	-2.33	3.92	-0.92	-1.96
38	105.83	63.33	1.75	10.75	-2.08	-2.54
39	107.58	74.08	-1.67	-12.75	-1.21	-4.13
40	105.92	61.33	0.50	-1.83	-2.04	-2.25
41	106.42	59.50	1.83	-1.58	-1.79	-1.98
42	108.25	57.92	1.00	2.58	-0.88	-1.74
43	109.25	60.50	-1.50	4.67	-0.38	-2.12
44	107.75	65.17	-3.75	-3.75	-1.13	-2.81
45	104.00	61.42	1.67	-2.67	-3.00	-2.26
46	105.67	58.75	1.83	-0.25	-2.17	-1.87
47	107.50	58.50	0.08	-1.33	-1.25	-1.83
48	107.58	57.17	2.33	-3.75	-1.21	-1.63
49	109.92	53.42	-2.00	5.42	-0.04	-1.08
50	107.92	58.83	-2.33	-0.42	-1.04	-1.88
51	105.58	58.42	2.67	0.67	-2.21	-1.82
52	108.25	59.08	0.33	-0.17	-0.88	-1.91
53	108.58	58.92	-5.08	0.75	-0.71	-1.89
54	103.50	59.67	3.42	-2.08	-3.25	-2.00
55	106.92	57.58	0.67	6.17	-1.54	-1.69
56	107.58	63.75	-1.42	-3.17	-1.21	-2.61
57	106.17	60.58	0.17	-1.00	-1.92	-2.14
58	106.33	59.58	2.83	8.08	-1.83	-1.99
59	109.17	67.67	-1.58	-7.58	-0.42	-3.18
60	107.58	60.08	-0.50	-2.75	-1.21	-2.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.8 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนทวนเข็มนาฬิกา และระนาบฐานรอง B หมุนทวนเข็มนาฬิกาที่ 9V

9 V -22						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
0	0.00	0.00	115.00	62.42	-55.00	0.00
1	115.00	62.42	-7.75	-3.08	2.50	-2.41
2	107.25	59.33	-0.17	3.92	-1.38	-1.95
3	107.08	63.25	0.17	-3.75	-1.46	-2.53
4	107.25	59.50	1.83	1.50	-1.38	-1.98
5	109.08	61.00	-3.00	-2.67	-0.46	-2.20
6	106.08	58.33	3.17	-0.50	-1.96	-1.80
7	109.25	57.83	0.58	2.25	-0.38	-1.73
8	109.83	60.08	-1.08	2.25	-0.08	-2.06
9	108.75	62.33	3.17	-0.25	-0.63	-2.40
10	111.92	62.08	-6.00	2.17	0.96	-2.36
11	105.92	64.25	1.25	-5.17	-2.04	-2.68
12	107.17	59.08	1.17	0.25	-1.42	-1.91
13	108.33	59.33	-1.00	0.92	-0.83	-1.95
14	107.33	60.25	-0.42	0.50	-1.33	-2.09
15	106.92	60.75	-0.25	0.08	-1.54	-2.16
16	106.67	60.83	1.58	1.33	-1.67	-2.17
17	108.25	62.17	-3.33	-4.00	-0.88	-2.37
18	104.92	58.17	-1.08	0.58	-2.54	-1.78
19	103.83	58.75	3.58	3.50	-3.08	-1.87
20	107.42	62.25	1.00	-1.42	-1.29	-2.38
21	108.42	60.83	-1.67	-3.50	-0.79	-2.17
22	106.75	57.33	-0.92	-1.42	-1.63	-1.66
23	105.83	55.92	-0.25	8.25	-2.08	-1.45
24	105.58	64.17	3.25	-1.75	-2.21	-2.67
25	108.83	62.42	-1.42	-4.33	-0.58	-2.41
26	107.42	58.08	-1.58	3.50	-1.29	-1.77
27	105.83	61.58	-0.83	2.42	-2.08	-2.28
28	105.00	64.00	3.67	-2.50	-2.50	-2.64
29	108.67	61.50	-1.17	-3.08	-0.67	-2.27
30	107.50	58.42	0.33	0.83	-1.25	-1.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.8 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนทวนเข็มนาฬิกา และระนาบฐานรอง B หมุนทวนเข็มนาฬิกาที่ 9V

(ต่อ)

9 V - 22						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
31	107.83	59.25	-2.25	-1.08	-1.08	-1.94
32	105.58	58.17	3.08	3.33	-2.21	-1.78
33	108.67	61.50	-0.25	0.08	-0.67	-2.27
34	108.42	61.58	-0.75	-1.92	-0.79	-2.28
35	107.67	59.67	0.33	3.42	-1.17	-2.00
36	108.00	63.08	1.00	-0.92	-1.00	-2.51
37	109.00	62.17	-2.33	-5.08	-0.50	-2.37
38	106.67	57.08	-0.58	0.67	-1.67	-1.62
39	106.08	57.75	0.67	-0.42	-1.96	-1.72
40	106.75	57.33	1.75	3.58	-1.63	-1.66
41	108.50	60.92	-2.00	-0.92	-0.75	-2.19
42	106.50	60.00	-1.08	-1.42	-1.75	-2.05
43	105.42	58.58	3.42	-0.42	-2.29	-1.84
44	108.83	58.17	-1.92	1.75	-0.58	-1.78
45	106.92	59.92	0.17	-0.08	-1.54	-2.04
46	107.08	59.83	-0.25	0.58	-1.46	-2.03
47	106.83	60.42	3.58	-3.33	-1.58	-2.11
48	110.42	57.08	-2.50	2.67	0.21	-1.62
49	107.92	59.75	-2.08	1.58	-1.04	-2.01
50	105.83	61.33	2.58	-0.25	-2.08	-2.25
51	108.42	61.08	-0.67	0.25	-0.79	-2.21
52	107.75	61.33	0.50	-1.92	-1.13	-2.25
53	108.25	59.42	-0.33	-2.00	-0.88	-1.96
54	107.92	57.42	1.50	5.50	-1.04	-1.67
55	109.42	62.92	-1.58	-1.50	-0.29	-2.48
56	107.83	61.42	0.17	2.25	-1.08	-2.26
57	108.00	63.67	0.92	-4.08	-1.00	-2.59
58	108.92	59.58	1.08	2.08	-0.54	-1.99
59	110.00	61.67	-1.50	-0.17	0.00	-2.30
60	108.50	61.50	-0.25	-0.17	-0.75	-2.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.9 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนตามเข็มนาฬิกา และระนาบฐานรอง B หมุนตามเข็มนาฬิกาที่ 12V

12 V -11						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
0	0.00	0.00	123.08	68.92	-55.00	0.00
1	123.08	68.92	-7.25	-1.92	6.54	-3.37
2	115.83	67.00	-3.75	-0.92	2.92	-3.09
3	112.08	66.08	1.42	4.58	1.04	-2.95
4	113.50	70.67	-3.08	-11.42	1.75	-3.63
5	110.42	59.25	4.50	9.33	0.21	-1.94
6	114.92	68.58	-9.00	-10.50	2.46	-3.32
7	105.92	58.08	5.50	5.67	-2.04	-1.77
8	111.42	63.75	-0.83	-2.00	0.71	-2.61
9	110.58	61.75	4.75	3.67	0.29	-2.31
10	115.33	65.42	-4.42	5.58	2.67	-2.85
11	110.92	71.00	6.17	-8.58	0.46	-3.68
12	117.08	62.42	-5.25	1.42	3.54	-2.41
13	111.83	63.83	4.67	-2.33	0.92	-2.62
14	116.50	61.50	4.08	12.00	3.25	-2.27
15	120.58	73.50	-5.75	-9.50	5.29	-4.05
16	114.83	64.00	0.33	-1.08	2.42	-2.64
17	115.17	62.92	-3.58	12.42	2.58	-2.48
18	111.58	75.33	2.92	-15.25	0.79	-4.32
19	114.50	60.08	-4.58	13.50	2.25	-2.06
20	109.92	73.58	1.00	-17.42	-0.04	-4.06
21	110.92	56.17	-1.00	21.08	0.46	-1.48
22	109.92	77.25	8.08	-17.92	-0.04	-4.60
23	118.00	59.33	-4.17	7.83	4.00	-1.95
24	113.83	67.17	-2.75	0.17	1.92	-3.11
25	111.08	67.33	5.83	-3.58	0.54	-3.14
26	116.92	63.75	1.67	-0.25	3.46	-2.61
27	118.58	63.50	-6.17	-7.67	4.29	-2.57
28	112.42	55.83	2.33	17.33	1.21	-1.43
29	114.75	73.17	-1.75	-13.17	2.38	-4.00
30	113.00	60.00	2.25	15.75	1.50	-2.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.9 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนตามเข็มนาฬิกา และระนาบฐานรอง B หมุนตามเข็มนาฬิกาที่ 12V

(ต่อ)

12 V - 11						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
31	115.25	75.75	-15.00	-20.67	2.63	-4.38
32	100.25	55.08	17.33	2.00	-4.88	-1.32
33	117.58	57.08	1.83	6.17	3.79	-1.62
34	119.42	63.25	-4.92	-0.42	4.71	-2.53
35	114.50	62.83	4.42	0.25	2.25	-2.47
36	118.92	63.08	-5.58	7.08	4.46	-2.51
37	113.33	70.17	4.75	-10.17	1.67	-3.55
38	118.08	60.00	3.92	1.67	4.04	-2.05
39	122.00	61.67	-6.42	5.00	6.00	-2.30
40	115.58	66.67	1.00	-0.08	2.79	-3.04
41	116.58	66.58	-2.00	1.25	3.29	-3.02
42	114.58	67.83	-2.33	-1.42	2.29	-3.21
43	112.25	66.42	3.92	-0.92	1.13	-3.00
44	116.17	65.50	-2.33	1.58	3.08	-2.86
45	113.83	67.08	0.67	-10.67	1.92	-3.10
46	114.50	56.42	2.67	12.17	2.25	-1.52
47	117.17	68.58	-8.42	-3.42	3.58	-3.32
48	108.75	65.17	8.25	1.83	-0.63	-2.81
49	117.00	67.00	0.17	1.08	3.50	-3.09
50	117.17	68.08	5.50	-2.42	3.58	-3.25
51	122.67	65.67	-10.58	4.83	6.33	-2.89
52	112.08	70.50	6.58	-14.83	1.04	-3.60
53	118.67	55.67	-7.83	11.25	4.33	-1.41
54	110.83	66.92	-0.58	-4.92	0.42	-3.07
55	110.25	62.00	3.50	2.75	0.13	-2.35
56	113.75	64.75	-1.83	0.17	1.88	-2.75
57	111.92	64.92	1.58	6.42	0.96	-2.78
58	113.50	71.33	0.67	-8.50	1.75	-3.73
59	114.17	62.83	-4.17	-0.92	2.08	-2.47
60	110.00	61.92	2.17	4.33	0.00	-2.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.10 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนตามเข็มนาฬิกา และระนาบฐานรอง B หมุนทวนเข็มนาฬิกาที่ 12V

12 V -12						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
0	0.00	0.00	123.75	68.75	-55.00	0.00
1	123.75	68.75	-12.17	-0.75	6.88	-3.35
2	111.58	68.00	-3.17	0.92	0.79	-3.23
3	108.42	68.92	-0.17	-2.83	-0.79	-3.37
4	108.25	66.08	6.58	-5.08	-0.88	-2.95
5	114.83	61.00	-3.33	0.08	2.42	-2.20
6	111.50	61.08	-1.67	7.83	0.75	-2.21
7	109.83	68.92	-0.58	-6.50	-0.08	-3.37
8	109.25	62.42	2.58	0.25	-0.38	-2.41
9	111.83	62.67	3.00	-2.33	0.92	-2.44
10	114.83	60.33	-2.42	10.25	2.42	-2.10
11	112.42	70.58	6.92	-10.50	1.21	-3.62
12	119.33	60.08	-8.00	1.83	4.67	-2.06
13	111.33	61.92	0.50	0.75	0.67	-2.33
14	111.83	62.67	2.50	-0.08	0.92	-2.44
15	114.33	62.58	-6.17	3.08	2.17	-2.43
16	108.17	65.67	4.08	-5.00	-0.92	-2.89
17	112.25	60.67	-3.00	12.25	1.13	-2.15
18	109.25	72.92	4.00	-14.00	-0.38	-3.96
19	113.25	58.92	0.92	9.33	1.63	-1.89
20	114.17	68.25	-3.83	-6.75	2.08	-3.27
21	110.33	61.50	5.50	5.92	0.17	-2.27
22	115.83	67.42	-4.33	-4.50	2.92	-3.15
23	111.50	62.92	2.92	-4.92	0.75	-2.48
24	114.42	58.00	-5.42	8.33	2.21	-1.75
25	109.00	66.33	8.42	-1.25	-0.50	-2.99
26	117.42	65.08	-2.08	-1.08	3.71	-2.80
27	115.33	64.00	1.75	4.25	2.67	-2.64
28	117.08	68.25	-6.33	8.08	3.54	-3.27
29	110.75	76.33	6.42	-14.17	0.38	-4.47
30	117.17	62.17	-6.25	12.08	3.58	-2.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.10 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนตามเข็มนาฬิกา และระนาบฐานรอง B หมุนทวนเข็มนาฬิกา

12V (ต่อ)

12 V - 12						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
31	110.92	74.25	7.92	-13.08	0.46	-4.16
32	118.83	61.17	-5.33	6.75	4.42	-2.22
33	113.50	67.92	-1.50	3.42	1.75	-3.22
34	112.00	71.33	3.00	-6.50	1.00	-3.73
35	115.00	64.83	-3.42	13.00	2.50	-2.77
36	111.58	77.83	6.17	-17.67	0.79	-4.69
37	117.75	60.17	-6.83	15.50	3.88	-2.07
38	110.92	75.67	4.42	-16.25	0.46	-4.37
39	115.33	59.42	-2.67	9.58	2.67	-1.96
40	112.67	69.00	2.33	-1.25	1.33	-3.38
41	115.00	67.75	-1.08	-2.50	2.50	-3.20
42	113.92	65.25	-0.08	5.08	1.96	-2.83
43	113.83	70.33	4.25	-9.83	1.92	-3.58
44	118.08	60.50	-8.42	6.00	4.04	-2.12
45	109.67	66.50	12.33	2.08	-0.17	-3.01
46	122.00	68.58	-10.50	4.08	6.00	-3.32
47	111.50	72.67	6.67	-5.67	0.75	-3.92
48	118.17	67.00	-6.58	-4.75	4.08	-3.09
49	111.58	62.25	7.58	6.92	0.79	-2.38
50	119.17	69.17	-7.42	4.25	4.58	-3.41
51	111.75	73.42	3.50	-8.58	0.88	-4.04
52	115.25	64.83	-0.83	-0.50	2.63	-2.77
53	114.42	64.33	4.25	0.67	2.21	-2.69
54	118.67	65.00	-5.83	-2.83	4.33	-2.79
55	112.83	62.17	3.33	6.75	1.42	-2.37
56	116.17	68.92	-4.33	-14.42	3.08	-3.37
57	111.83	54.50	5.33	16.75	0.92	-1.24
58	117.17	71.25	-4.92	-5.33	3.58	-3.72
59	112.25	65.92	4.83	3.67	1.13	-2.93
60	117.08	69.58	-7.00	0.00	3.54	-3.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.11 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนทวนเข็มนาฬิกา และระนาบฐานรอง B หมุนตามเข็มนาฬิกา ที่ 12V

12 V -21						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
0	0.00	0.00	134.50	71.83	-55.00	0.00
1	134.50	71.83	-11.33	-16.42	12.25	-3.80
2	123.17	55.42	4.67	11.75	6.58	-1.37
3	127.83	67.17	-7.08	-4.33	8.92	-3.11
4	120.75	62.83	0.33	6.83	5.38	-2.47
5	121.08	69.67	6.25	-10.50	5.54	-3.48
6	127.33	59.17	-7.75	15.58	8.67	-1.93
7	119.58	74.75	11.75	-7.42	4.79	-4.23
8	131.33	67.33	-4.17	8.92	10.67	-3.14
9	127.17	76.25	-6.17	-7.75	8.58	-4.46
10	121.00	68.50	1.67	-0.58	5.50	-3.31
11	122.67	67.92	2.67	-5.17	6.33	-3.22
12	125.33	62.75	0.75	3.00	7.67	-2.46
13	126.08	65.75	-1.17	-7.92	8.04	-2.90
14	124.92	57.83	-6.75	9.25	7.46	-1.73
15	118.17	67.08	6.50	-11.75	4.08	-3.10
16	124.67	55.33	4.33	15.17	7.33	-1.36
17	129.00	70.50	-6.83	-2.58	9.50	-3.60
18	122.17	67.92	5.83	-0.67	6.08	-3.22
19	128.00	67.25	0.92	-5.67	9.00	-3.12
20	128.92	61.58	-4.00	9.08	9.46	-2.28
21	124.92	70.67	-1.58	-12.25	7.46	-3.63
22	123.33	58.42	4.42	10.25	6.67	-1.82
23	127.75	68.67	5.50	-7.58	8.88	-3.33
24	133.25	61.08	-10.17	1.92	11.63	-2.21
25	123.08	63.00	6.42	-7.92	6.54	-2.49
26	129.50	55.08	-0.50	7.50	9.75	-1.32
27	129.00	62.58	-4.17	-5.42	9.50	-2.43
28	124.83	57.17	2.42	8.08	7.42	-1.63
29	127.25	65.25	-0.25	2.25	8.63	-2.83
30	127.00	67.50	-10.33	-3.67	8.50	-3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.11 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนทวนเข็มนาฬิกา และระนาบฐานรอง B หมุนตามเข็มนาฬิกา

12V (ต่อ)

12 V - 21						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
31	116.67	63.83	0.75	4.25	3.33	-2.62
32	117.42	68.08	3.17	-8.17	3.71	-3.25
33	120.58	59.92	7.00	3.83	5.29	-2.04
34	127.58	63.75	-0.83	-1.33	8.79	-2.61
35	126.75	62.42	-6.92	-2.33	8.38	-2.41
36	119.83	60.08	9.25	-0.92	4.92	-2.06
37	129.08	59.17	-2.17	18.00	9.54	-1.93
38	126.92	77.17	-7.92	-13.25	8.46	-4.59
39	119.00	63.92	5.58	5.83	4.50	-2.63
40	124.58	69.75	5.33	-12.08	7.29	-3.49
41	129.92	57.67	-6.42	11.83	9.96	-1.70
42	123.50	69.50	-5.83	-7.42	6.75	-3.46
43	117.67	62.08	13.08	14.67	3.83	-2.36
44	130.75	76.75	-1.08	-8.58	10.38	-4.53
45	129.67	68.17	-2.08	-7.33	9.83	-3.26
46	127.58	60.83	-6.42	0.92	8.79	-2.17
47	121.17	61.75	4.25	15.67	5.58	-2.31
48	125.42	77.42	5.67	-10.92	7.71	-4.63
49	131.08	66.50	-1.67	-3.25	10.54	-3.01
50	129.42	63.25	-5.92	5.08	9.71	-2.53
51	123.50	68.33	-0.83	0.50	6.75	-3.28
52	122.67	68.83	8.42	-1.17	6.33	-3.36
53	131.08	67.67	-6.75	-9.25	10.54	-3.18
54	124.33	58.42	4.42	12.83	7.17	-1.82
55	128.75	71.25	-0.17	-5.25	9.38	-3.72
56	128.58	66.00	1.33	9.83	9.29	-2.94
57	129.92	75.83	2.00	-22.25	9.96	-4.39
58	131.92	53.58	-8.83	17.17	10.96	-1.10
59	123.08	70.75	6.08	-0.25	6.54	-3.64
60	129.17	70.50	-2.58	4.08	9.58	-3.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.12 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนทวนเข็มนาฬิกา และระนาบฐานรอง B หมุนทวนเข็มนาฬิกาที่ 12V

12 V -22						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
0	0.00	0.00	143.17	85.00	-55.00	0.00
1	143.17	85.00	-10.25	-18.58	16.58	-5.75
2	132.92	66.42	-2.33	0.83	11.46	-3.00
3	130.58	67.25	-2.25	17.25	10.29	-3.12
4	128.33	84.50	3.50	-8.92	9.17	-5.68
5	131.83	75.58	-2.42	-18.75	10.92	-4.36
6	129.42	56.83	1.75	18.25	9.71	-1.58
7	131.17	75.08	-4.17	5.42	10.58	-4.28
8	127.00	80.50	3.67	-17.42	8.50	-5.08
9	130.67	63.08	-2.00	10.92	10.33	-2.51
10	128.67	74.00	0.08	8.42	9.33	-4.12
11	128.75	82.42	2.92	-16.92	9.38	-5.37
12	131.67	65.50	-1.17	0.67	10.83	-2.86
13	130.50	66.17	-0.17	18.75	10.25	-2.96
14	130.33	84.92	0.75	-9.33	10.17	-5.74
15	131.08	75.58	4.08	0.17	10.54	-4.36
16	135.17	75.75	-4.92	5.00	12.58	-4.38
17	130.25	80.75	-6.17	-0.25	10.13	-5.12
18	124.08	80.50	10.33	-21.75	7.04	-5.08
19	134.42	58.75	-5.50	17.08	12.21	-1.87
20	128.92	75.83	4.25	5.58	9.46	-4.39
21	133.17	81.42	-6.83	-17.83	11.58	-5.22
22	126.33	63.58	0.42	7.83	8.17	-2.58
23	126.75	71.42	7.33	10.42	8.38	-3.74
24	134.08	81.83	-6.17	-19.50	12.04	-5.28
25	127.92	62.33	2.25	9.33	8.96	-2.40
26	130.17	71.67	-1.17	0.42	10.08	-3.78
27	129.00	72.08	-0.83	10.67	9.50	-3.84
28	128.17	82.75	3.42	-21.25	9.08	-5.42
29	131.58	61.50	-0.25	16.67	10.79	-2.27
30	131.33	78.17	-1.58	5.58	10.67	-4.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.12 ข้อมูลแผ่นระนาบฐานรอง A หมุนทวนเข็มนาฬิกา และระนาบฐานรอง B หมุนทวนเข็มนาฬิกา

12V (ต่อ)

12 V - 22						
Time (s)	A	B	DA	DB	Degree A	Degree B
31	129.75	83.75	1.92	-17.25	9.88	-5.57
32	131.67	66.50	-1.75	5.83	10.83	-3.01
33	129.92	72.33	1.67	-5.08	9.96	-3.88
34	131.58	67.25	-0.83	5.42	10.79	-3.12
35	130.75	72.67	2.25	-8.50	10.38	-3.92
36	133.00	64.17	-6.92	5.67	11.50	-2.67
37	126.08	69.83	5.25	0.92	8.04	-3.51
38	131.33	70.75	-1.08	-15.42	10.67	-3.64
39	130.25	55.33	-0.83	13.92	10.13	-1.36
40	129.42	69.25	-4.08	1.42	9.71	-3.42
41	125.33	70.67	6.67	-0.75	7.67	-3.63
42	132.00	69.92	-1.50	9.42	11.00	-3.52
43	130.50	79.33	3.00	-14.00	10.25	-4.91
44	133.50	65.33	-2.67	13.25	11.75	-2.84
45	130.83	78.58	-0.92	-10.08	10.42	-4.80
46	129.92	68.50	-5.92	1.17	9.96	-3.31
47	124.00	69.67	5.50	2.75	7.00	-3.48
48	129.50	72.42	-0.06	5.92	9.75	-3.89
49	129.44	78.33	3.78	-13.08	9.72	-4.76
50	133.22	65.25	-5.33	10.42	11.61	-2.83
51	127.89	75.67	4.44	-7.00	8.95	-4.37
52	132.33	68.67	-0.11	0.58	11.17	-3.33
53	132.22	69.25	-2.77	2.00	11.11	-3.42
54	129.45	71.25	-1.89	-0.42	9.72	-3.72
55	127.56	70.83	-2.01	13.75	8.78	-3.65
56	125.55	84.58	-3.13	-23.25	7.78	-5.69
57	122.42	61.33	7.80	17.25	6.21	-2.25
58	130.22	78.58	1.34	-2.75	10.11	-4.80
59	131.56	75.83	-0.57	-11.50	10.78	-4.39
60	130.99	64.33	1.66	3.83	10.50	-2.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] P. Kruepetch, S. Areejit, P. Sooraksa . “Automatic Titration and CHUA’s Controller for Waste Management System” **The 5th Asia-Pacific Workshop on Chaos and Synchronization**, Kunming, Yunnan, China, 2010. Pp.21-25.
- [2] P. Kreuepetch, P. Sooraksa. “Implement on Automatic Machine Vision for Titration” **โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ครั้งที่ 5, 30 มีนาคม – 1 เมษายน 2554. หน้า 297.**



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	ปรัชญา	เครือเพชร
วัน เดือน ปีเกิด	18 ตุลาคม	2526
ที่อยู่	21/4 หมู่ 7 ถ.ประชาราษฎร์ ต.ตลาดขวัญ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000	
ประวัติการศึกษา	2546 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
ประสบการณ์การทำงาน	<p>พศ.2549-2550 ตำแหน่งเจ้าหน้าที่วิเคราะห์ กรมโยธาธิการและผังเมือง</p> <p>2551-ปัจจุบัน ตำแหน่ง ช่างโทรคมนาคม 3 ส่วนชุมสายสื่อสารข้อมูลบางรัก ฝ่ายวิศวกรรมสื่อสารข้อมูล บริษัท กสท.โทรคมนาคม จำกัด(มหาชน)</p>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้