

มอเตอร์ขับเคลื่อนย៉ากสูงสำหรับติดตามดาว
HIGH ACCURACY MOTOR DRIVER FOR STAR TRACKER



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไขและต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2560

HIGH ACCURACY MOTOR DRIVER FOR STAR TRACKER



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE

เอกสารนี้ KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาหรือข้อมูลใดๆ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ACADEMIC YEAR 2017

หัวข้อโครงการพิเศษ มอเตอร์ขับเคลื่อนย៉าส่งสำหรับติดตามดาว
 High Accuracy Motor Driver for Star Tracker

ชื่อนักศึกษา นายณัฐเดช อินทะเสน รหัสนักศึกษา 57050963
 นางสาวณิชนน ชังโต รหัสนักศึกษา 57050967

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
 ภาควิชา ฟิสิกส์
 อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุรชาติ กมลติลก

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
 ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ ประธานกรรมการ	
ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข กรรมการ	
อาจารย์ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง กรรมการ	
อาจารย์สุรชาติ กมลติลก กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์ มอนูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาระทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	มอเตอร์ขับเคลื่อนย៉างสูงสำหรับติดตามดาว		
ชื่อนักศึกษา	นายณัฐเดช อินทะเสน	รหัสนักศึกษา	57050963
	นางสาวณิชนน ชั่งโต	รหัสนักศึกษา	57050967
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)		
ภาควิชา	ฟิสิกส์		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2560		
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุรชาติ กมลติลก		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการทำงานของกล้องติดตามดาว (Star Tracker) หรือกล้องสำหรับติดตาม โดยออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์สำหรับกล้องติดตามดาว และสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการตามดาวด้วยตัวเอง โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในออกแบบ และควบคุม Step Motor ในการขับเคลื่อนกล้องติดตามดาว เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของดาวในการใช้งานจริง

คำสำคัญ : กล้องติดตามดาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title High Accuracy Motor Driver for Star Tracker
Student Mr. Natthadetch Inthasen Student ID 57050963
 Miss. Nichamon Changto Student ID 57050967
Degree Bachelor of Science (Applied Physics)
Faculty Science
University King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic 2017
Advisor Mr. Surachart Kamoldilok

Abstract

This special project is a study of the operation of the Star Tracker or camera for tracking. The design of the device used to control the motor for the star camera. And create the device used to follow the stars by themselves. Using a computer program, design and control Step Motor to drive the star tracking camera. To study the motion of stars in real use.

Keywords : Star Tracker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจาก อาจารย์สุรชาติ กมลดีลก อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและ ตรวจแก้ไข ในการดำเนินการจัดโครงการพิเศษ และทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ ความเข้าใจและแนวทางที่จะ นำไปประยุกต์ใช้ในการจัดทำโครงการพิเศษนี้ ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งและถือเป็นพระคุณอย่างยิ่ง จึงขอ กราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณพระคุณคณาจารย์ในภาคพิสิทส์ทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้ความรู้ ให้คำแนะนำ และ ให้ความคิดเห็นเป็นอย่างดีเสมอมา ทำให้ผู้วิจัยได้ข้อมูลโครงการพิเศษอย่างครบถ้วน

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ ภาควิชาพิสิทส์ทุก ๆ คน ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในโครงการ พิเศษนี้จนสำเร็จ

คุณงามความดีอันพึงมีจากโครงการพิเศษฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่ง และคณาจารย์ผู้ประสพวิชาความรู้ ตลอดจนทุก ๆ ท่านที่ให้กำลังใจช่วยเหลือตลอดจนกระทั่ง โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ณัฐเดช อินทเสนา
ณัชมน ชังโต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขั้นตอนกานดำเนินงาน	1
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 กล้องโทรทรรศน์	3
2.2 ประเภทของกล้องโทรทรรศน์	4
2.2.1 กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสง	4
2.2.2 กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง	5
2.2.3 กล้องโทรทรรศน์ชนิดผสม	7
2.3 ฐานตั้งกล้องโทรทรรศน์	8
2.3.1 ฐานระบบขอบฟ้า (Altazimuth Mount)	8
2.3.2 ฐานระบบศูนย์สูตร (Equatorial Mount)	9
2.4 การดูดาวเบื้องต้น	10
2.4.1 การวัดมุมในระบบพิกัดขอบฟ้าประกอบด้วย มุมทิศ และ มุมเงย	11
2.5 เฟือง	12
2.5.1 เฟืองหนอน (Worm Gears)	12
2.5.2 อัตราทดของเฟืองหนอน	12
2.6 Stepping Motor	13
2.6.1 ประเภทของ Stepping Motor	14
2.7 โมเมนต์และคาน	16
2.7.1 ชนิดของโมเมนต์	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	18
3.1 ขั้นตอนการศึกษาและดำเนินการ	18
3.2 วัสดุและอุปกรณ์	19
3.3 วิธีการออกแบบ / วิธีการทดลอง	19
3.3.1 การออกแบบส่วนประกอบชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนย៉าส่งสำหรับติดตามดาว	19
3.3.1.1 การออกแบบตัวล้อยึดคก้องดูดาวด้านบน	20
3.3.1.2 การออกแบบตัวล้อยึดคก้องดูดาวด้านล่าง	21
3.3.1.3 การออกแบบฐานรองแกนเหล็ก	22
3.3.1.4 การออกแบบฐานรองมอเตอร์	23
3.3.1.5 การออกแบบฐานหมุนกล้อยึดดูดาว	24
3.3.1.6 การออกแบบฐานติดตามตั้งกล้อยึด	25
3.3.1.7 การออกแบบแกนหมุนฐานรองกล้อยึด	26
3.3.1.8 การออกแบบฐานติดตามแกนเหล็ก	27
3.3.1.9 การออกแบบฐานรองกล้อยึดดูดาว	28
3.3.1.10 การรวมชิ้นส่วนของชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาว	29
3.3.2 การทำชิ้นงานเพื่อนำมาประกอบกันเป็นชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาว	29
3.3.2.1 การทำชิ้นงานตัวล้อยึดคก้องดูดาวด้านบน	29
3.3.2.2 การทำชิ้นงานตัวล้อยึดคก้องดูดาวด้านล่าง	30
3.3.2.3 การทำชิ้นงานฐานรองแกนเหล็ก	30
3.3.2.4 การทำชิ้นงานฐานรองมอเตอร์	31
3.3.2.5 การทำชิ้นงานฐานหมุนกล้อยึดดูดาว	31
3.3.2.6 การทำชิ้นงานฐานติดตามตั้งกล้อยึด	32
3.3.2.7 การทำชิ้นงานแกนหมุนฐานรองกล้อยึด	32
3.3.2.8 การทำชิ้นงานฐานติดตามแกนเหล็ก	33
3.3.2.9 การทำชิ้นงานฐานรองกล้อยึดดูดาว	33
3.3.2.10 การรวมชิ้นส่วนของชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาว	34
3.3.3 การหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและองศาในการเคลื่อนที่ของดาว	34
3.3.4 การออกแบบวงจรสำหรับควบคุมมอเตอร์สำหรับติดตามดาว	36
3.3.5 การคำนวณค่าสำหรับใช้หน่วงเวลาในโปรแกรมคอมพิวเตอร์	37

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1 การคำนวณหาโมเมนต์	38
4.2 การคำนวณหาโมเมนต์ความเฉื่อย	39
4.3 ผลการทดสอบหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและองศาในการเคลื่อนที่ของดาว	39
4.3.1 การทดสอบชุดมอเตอร์เมื่อเวลาเท่ากับ 0 นาที อยู่ที่ 0 องศา	40
4.3.2 การทดสอบชุดมอเตอร์เมื่อเวลาเท่ากับ 4 นาที อยู่ที่ 1 องศา	40
4.3.3 การทดสอบชุดมอเตอร์เมื่อเวลาเท่ากับ 8 นาที อยู่ที่ 2 องศา	41
4.3.4 การทดสอบชุดมอเตอร์เมื่อเวลาเท่ากับ 12 นาที อยู่ที่ 3 องศา	41
4.3.5 การทดสอบชุดมอเตอร์เมื่อเวลาเท่ากับ 16 นาที อยู่ที่ 4 องศา	42
4.3.6 การทดสอบชุดมอเตอร์เมื่อเวลาเท่ากับ 20 นาที อยู่ที่ 5 องศา	42
4.3.7 การทดสอบชุดมอเตอร์เมื่อเวลาเท่ากับ 40 นาที อยู่ที่ 10 องศา	43
4.3.8 การทดสอบชุดมอเตอร์เมื่อเวลาเท่ากับ 60 นาที อยู่ที่ 15 องศา	43
4.3.9 การทดสอบชุดมอเตอร์เมื่อเวลาเท่ากับ 80 นาที อยู่ที่ 20 องศา	44
4.3.10 การทดสอบชุดมอเตอร์เมื่อเวลาเท่ากับ 100 นาที อยู่ที่ 25 องศา	44
4.3.11 การทดสอบชุดมอเตอร์เมื่อเวลาเท่ากับ 120 นาที อยู่ที่ 30 องศา	45
4.4 ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวขณะติดตามดาวบนท้องฟ้า	45
4.4.1 การทดสอบขณะติดตามดวงจันทร์ เริ่มต้นที่เวลา 18:38	46
4.4.2 การทดสอบขณะติดตามดวงจันทร์ เมื่อผ่านไป 20 นาที ที่เวลา 18:58	46
4.4.3 การทดสอบขณะติดตามดวงจันทร์ เริ่มต้นที่เวลา 19:45	47
4.4.4 การทดสอบขณะติดตามดวงจันทร์ ที่เวลา 19:55	47
4.4.5 การทดสอบขณะติดตามดวงจันทร์ ที่เวลา 20:05	48
4.4.6 การทดสอบขณะติดตามดวงจันทร์ ที่เวลา 20:15	48
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	49
5.1 สรุปผลการทดลอง	49
5.2 ปัญหาที่พบในการวิจัย	49
5.3 ข้อเสนอแนะ	49
5.4 แนวทางพัฒนา	50
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
2.1 ลำดับการป้อนกระแสนแบบเฟสเดียว	15
2.2 ลำดับการป้อนกระแสนแบบสองเฟส	15
2.3 ลำดับการป้อนกระแสนแบบครึ่งเฟส	16
3.1 แสดงค่าการเปรียบเทียบเวลา (นาทิจ) ต่อการเปลี่ยนตำแหน่งของดาว (องศา) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	35
3.1 แสดงค่าการเปรียบเทียบเวลา (นาทิจ) ต่อการเปลี่ยนตำแหน่งของดาว (องศา) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (ต่อ)	36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสง	4
2.2 ตัวอย่างกล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสง	4
2.3 ความคลาดสีซึ่งเกิดขึ้นจากเลนส์เดี่ยว	5
2.4 เลนส์ออร์คช่วยลดความคลาดสี	5
2.5 กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง	6
2.6 ตัวอย่างกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง	6
2.7 กล้องโทรทรรศน์ชนิดผสม	7
2.8 กล้องโทรทรรศน์ชนิดผสม	7
2.9 ฐานระบบขอบฟ้า	8
2.10 ตัวอย่างฐานระบบขอบฟ้า	8
2.11 ฐานระบบศูนย์สูตร	9
2.12 ตัวอย่างฐานระบบศูนย์สูตร	9
2.13 ระบบพิกัดขอบฟ้า	11
2.14 การวัดมุมทิศ-มุมเงย	11
2.15 เฟืองหนอน (Worm Gears)	12
2.16 ภาพโครงสร้าง Stepping Motor	13
2.17 แผงผังการทำงานของ Stepping Motor	13
2.18 โครงสร้างภายในและลักษณะภายนอกของสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ Bipolar	14
2.19 ลักษณะภายนอกและโครงสร้างภายในของสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ Unipolar	14
2.20 ลักษณะโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา	17
2.21 ลักษณะโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา	17
3.1 แผนผังแสดงการทำงาน	18
3.2 ลักษณะภาพถ่ายของตัวล้อยกกล้องดูดาวด้านบน	20
3.3 ลักษณะของตัวล้อยกกล้องดูดาวด้านบน	20
3.4 ลักษณะภาพถ่ายของตัวล้อยกกล้องดูดาวด้านล่าง	21
3.5 ลักษณะของตัวล้อยกกล้องดูดาวด้านล่าง	21
3.6 ลักษณะภาพถ่ายของฐานรองแกนเหล็ก	22
3.7 ลักษณะของฐานรองแกนเหล็ก	22
3.8 ลักษณะภาพถ่ายของฐานรองมอเตอร์	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 3.9 ลักษณะของฐานรองมอเตอร์ 23
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.10	ลักษณะภาพฉายของฐานหมุนกล็องดูดาว	24
3.11	ลักษณะของฐานหมุนกล็องดูดาว	24
3.12	ลักษณะภาพฉายของฐานติดขาตั้งกล็อง	25
3.13	ลักษณะของฐานติดขาตั้งกล็อง	25
3.14	ลักษณะภาพฉายของแกนหมุนฐานรองกล็อง	26
3.15	ลักษณะของแกนหมุนฐานรองกล็อง	26
3.16	ลักษณะภาพฉายของฐานติดแกนเหล็ก	27
3.17	ลักษณะของฐานติดแกนเหล็ก	27
3.18	ลักษณะภาพฉายของฐานรองกล็องดูดาว	28
3.19	ลักษณะของฐานรองกล็องดูดาว	28
3.20	การรวมชิ้นส่วนเข้ากัน โดยใช้ส่วนของการ Assembly	29
3.21	ชิ้นงานตัวล๊อคคก็องดูดาวด้านบน	29
3.22	ชิ้นงานตัวล๊อคคก็องดูดาวด้านล่าง	30
3.23	ชิ้นงานฐานรองแกนเหล็ก	30
3.24	ชิ้นงานฐานรองมอเตอร์	31
3.25	ชิ้นงานฐานหมุนกล็องดูดาว	31
3.26	ชิ้นงานฐานติดขาตั้งกล็อง	32
3.27	ชิ้นงานแกนหมุนฐานรองกล็อง	32
3.28	ชิ้นงานฐานติดแกนเหล็ก	33
3.29	ชิ้นงานฐานรองกล็องดูดาว	33
3.30	ชิ้นงานชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่ประกอบรวมกัน	34
3.31	วงจรสำหรับควบคุมมอเตอร์สำหรับติดตามดาว	36
4.1	ระยะจุดหมุนถึงกล็องดูดาว และน้ำหนักของกล็องดูดาวกับตุ้มถ่วง	38
4.2	ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 0 นาที	40
4.3	ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 4 นาที	40
4.4	ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 8 นาที	41
4.5	ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 12 นาที	41
4.6	ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 16 นาที	42
4.7	ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 20 นาที	42
4.8	ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 40 นาที	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 60 นาที	43
4.10 ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 80 นาที	44
4.11 ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 100 นาที	44
4.12 ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 120 นาที	45
4.13 ดวงจันทร์ขณะเริ่มต้นการทดสอบที่เวลา 18:38	46
4.14 ดวงจันทร์ขณะทดสอบที่เวลา 18:58	46
4.15 ดวงจันทร์ขณะเริ่มต้นการทดสอบที่เวลา 19:45	47
4.16 ดวงจันทร์ขณะทดสอบที่เวลา 19:55	47
4.17 ดวงจันทร์ขณะทดสอบที่เวลา 20:05	48
4.18 ดวงจันทร์ขณะทดสอบที่เวลา 20:15	48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการศึกษาดาวต่าง ๆ บนท้องฟ้า โลกมีการหมุนรอบตัวเองอยู่ตลอดเวลา ทำให้การศึกษาดาวนั้นมีความยากลำบาก หากจะถ่ายรูปให้ดาวหยุดจะต้องหมุนกล้องถ่ายภาพตามดาวให้เร็วเท่ากับดาว ต้องหมุนอย่างช้า ๆ ตามท้องฟ้า อย่างแม่นยำ ไม่เร็วหรือช้าเกินไป ตามความเร็วของดาว

ในการศึกษาฟิสิกส์พื้นฐานและวิชาพื้นฐานเครื่องมือวัด จึงมีการนำทฤษฎีพื้นฐานจากฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องมอเตอร์และการเขียนโปรแกรม นำมาประยุกต์ใช้ในการประดิษฐ์อุปกรณ์ตามดาว

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของดาวและการถ่ายภาพดาว โดยใช้อุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นในการทำให้กล้องสามารถหมุนได้ตามดาวจริง ๆ โดยคาดว่า อุปกรณ์นี้จะสามารถตรวจจับและถ่ายภาพตามดาวได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ประดิษฐ์อุปกรณ์ควบคุมการหมุนของแกนกล้องดูดาว

1.2.2 กล้องดูดาวสามารถติดตามดาวที่ต้องการได้โดยอัตโนมัติ

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

โครงการมีระยะเวลาในการจัดทำรวมทั้งสิ้น 7 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2560 ถึง วันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2561 ซึ่งมีแผนดำเนินงานแบ่งเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังตารางที่ 1.3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินการ	ระยะเวลา						
	ก.ย. 2560 - มี.ค. 2561						
	ก.ย. 2560	ต.ค. 2560	พ.ย. 2560	ธ.ค. 2560	ม.ค. 2561	ก.พ. 2561	มี.ค. 2561
1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับกล้อง ดูดาวและหลักการดูดาว							
2. ออกแบบส่วนติดตั้งกล้อง (Mount) และมอเตอร์ตาม ดาว (Tracking Motor)							
3. ประดิษฐ์ส่วนติดตั้งกล้อง (Mount) และมอเตอร์ตาม ดาว (Tracking Motor)							
4. ศึกษาการเขียน โปรแกรมควบคุมมอเตอร์ ตามดาว (Tracking Motor)							
5. ทดลองและปรับปรุงการ หมุนตามดาว							
6. ทดสอบจริงการหมุนตาม ดาวของกล้องดูดาว							
7. สรุปผลการวิจัยและ นำเสนอ							

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

ประดิษฐ์ชุดมอเตอร์ควบคุมการหมุนของแกนกล้องดูดาว เพื่อให้แกนไรต์แอสเซนชัน (Right Ascension ; RA) ของกล้องดูดาวเคลื่อนที่ตามดาวที่ต้องการ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถสร้างมอเตอร์ควบคุมการหมุนของแกนกล้องดูดาวได้

1.5.2 ชุดมอเตอร์สามารถควบคุมการหมุนของแกนกล้องดูดาว ให้เคลื่อนที่ตามที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล้องโทรทรรศน์

กล้องโทรทรรศน์ หรือ กล้องดูดาว คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการดึงภาพจากระยะไกลให้ปรากฏเหมือนอยู่ใกล้ ๆ หรือ ทำหน้าที่ส่องขยายวัตถุบนท้องฟ้า เช่น ดาวดวงเล็ก ๆ โดยอาศัยหลักของการรวมแสง ซึ่งในปี ค.ศ. 1608 ฮานส์ ลิปเปอร์ฮาย ได้นำเลนส์สองชิ้นมาวางเรียงกันจนได้ระยะที่สามารถขยายภาพที่อยู่ไกล ๆ ได้ จึงถือกำเนิดเป็นกล้องโทรทรรศน์ตัวแรกขึ้นมา ซึ่งเป็นกล้องโทรทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูง แต่ภาพที่ได้ไม่คมชัดและได้ภาพหัวกลับ ต่อมาในปี ค.ศ. 1609 กาลิเลโอ กาลิเลอี ได้สร้างกล้องโทรทรรศน์ขึ้นมาเอง โดยการศึกษาหลักเบื้องต้นแบบจากฮานส์ และได้ทำการสร้างเลนส์ขึ้นมาเองอย่างพิถีพิถัน โดยใช้เลนส์นูนเป็นเลนส์ใกล้วัตถุ และใช้เลนส์เว้าเป็นเลนส์ใกล้ตา แต่ภาพที่ได้นั้นมีกำลังขยายต่ำกว่าที่ควรจะได้ และภาพที่ได้ยังมีความคลาดสีเกิดขึ้นมาก สองปีต่อมา โจฮานเนส เคปเลอร์ ได้ทำการศึกษาหลักของกล้องโทรทรรศน์ของ กาลิเลโอ และได้มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบกล้องโทรทรรศน์โดยใช้เลนส์นูนมาเป็นเลนส์ใกล้ตาแทนเลนส์เว้า โดยภาพที่ได้เป็นภาพหัวกลับ และมีมุมมองภาพที่กว้างขึ้น ในปี ค.ศ. 1655 คริสเตียน ฮอยเกนส์ ได้สร้างกล้องโทรทรรศน์แบบกาลิเลียน และผลิตเลนส์เองอย่างพิถีพิถัน เพื่อแก้ความคลาดสี โดยกล้องโทรทรรศน์ของฮอยเกนส์นั้น มีความยาว 23 ฟุต กำลังขยาย 100 เท่า และฮอยเกนส์นั้น ยังเป็นผู้ที่ค้นพบว่า ส่วนโป่งนูนที่บริเวณข้าง ๆ ดาวเสาร์นั้น คือวงแหวน ไม่ใช่ดาวบริวาร ซึ่งคนที่เจอวงแหวนดาวเสาร์คนแรกนั้น คือกาลิเลโอ แต่กล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอยุคนั้นมีคุณภาพต่ำ ทำให้กาลิเลโอเข้าใจว่านั่นคือดาวบริวารขนาดใหญ่ของดาวเสาร์ แต่เนื่องจากกล้องโทรทรรศน์ของฮอยเกนส์นั้นยังไม่สามารถแก้ปัญหาความคลาดอีกหลายชนิดได้ นิวตันซึ่งทราบถึงปัญหานี้ จึงได้พัฒนา กล้องโทรทรรศน์ขึ้นมาในปี ค.ศ. 1668 เป็นกล้องโทรทรรศน์ชนิดใหม่ นั่นก็คือกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง หรือกล้องโทรทรรศน์แบบนิวตันเนียน โดยใช้กระจกกับเลนส์นูนแทนการใช้เลนส์สองชิ้น ซึ่งข้อดีของกระจกโค้งนั้นทำให้แคสสิเกรน ได้พัฒนา กล้องโทรทรรศน์ขึ้นมาใหม่ โดยใช้กระจกทั้งสองชิ้น เกิดเป็นกล้องโทรทรรศน์แบบแคสสิเกรนหรือกล้องโทรทรรศน์แบบผสม ซึ่งคือการผสมผสานกันระหว่างกล้องโทรทรรศน์แบบกาลิเลียนกับกล้องโทรทรรศน์แบบนิวตันเนียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ประเภทของกล้องโทรทรรศน์

กล้องโทรทรรศน์ โดยทั่ว ๆ ไป แบ่งได้ 3 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่

2.2.1 กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสง

กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสง (Refractor telescope) เป็นกล้องโทรทรรศน์ที่ใช้เลนส์นูนในการรวมแสง มีใช้กันอย่างแพร่หลายสามารถพบเห็นได้ทั่วไป กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงส่วนมากมักมีขนาดเล็กเนื่องจากเลนส์นูนส่วนใหญ่มีโฟกัสยาว (เลนส์โฟกัสสั้นสร้างยากและมีราคาสูงมาก) ดังนั้นถ้าเป็นกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่จะยาวเกะเกะ ลำกล้องมีน้ำหนักมาก เปลืองพื้นที่ในการติดตั้ง จึงไม่เป็นที่นิยมใช้ในหอดูดาว กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงเหมาะสำหรับใช้ศึกษาวัตถุที่สว่างมาก เช่น ดวงจันทร์และดาวเคราะห์ แต่ไม่เหมาะสำหรับการสังเกตวัตถุที่มีขนาดใหญ่แต่สว่างน้อย เช่น เนบิวลาและกาแล็กซี เนื่องจากมีกำลังรวมแสงน้อยและให้กำลังขยายมากเกินไป ภาพที่ได้จึงมีสว่างน้อยและมีขนาดใหญ่จนไม่สามารถมองเห็นภาพรวมของวัตถุ

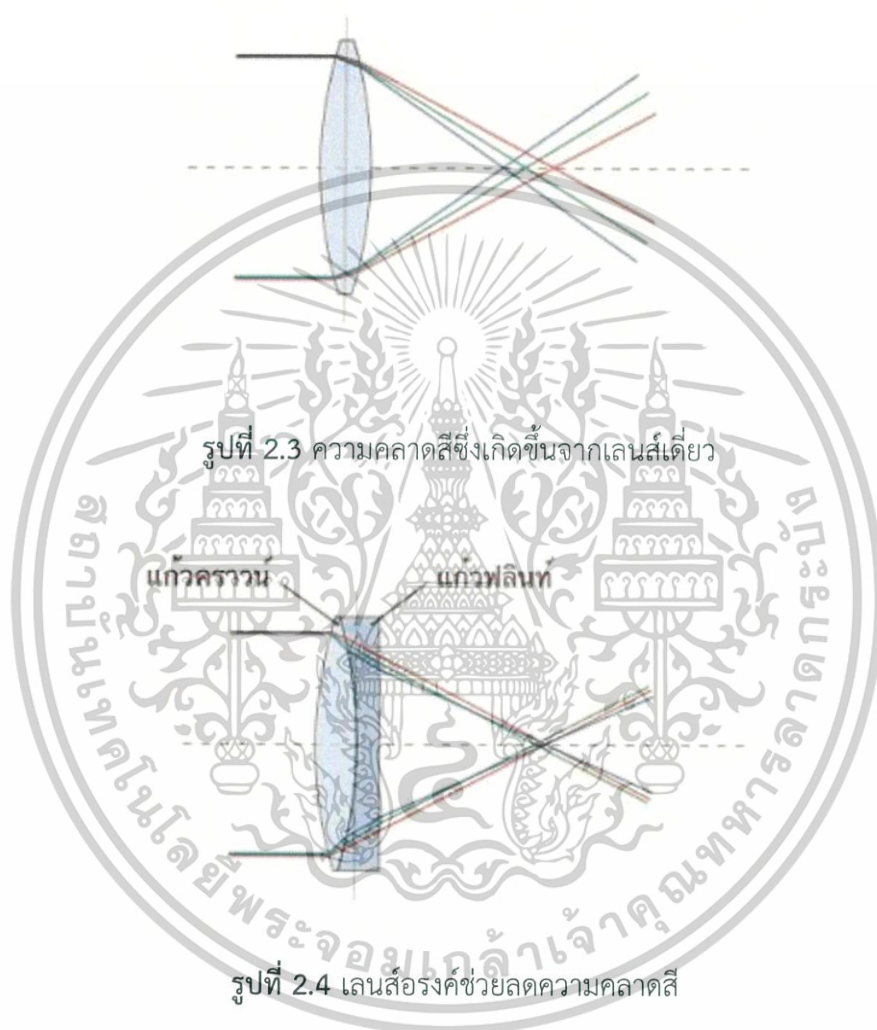


รูปที่ 2.1 กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสง

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างกล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสง

เลนส์ที่ใช้ในกล้องโทรทรรศน์เป็นเลนส์อรงค์ (Achromatic lens) ซึ่งมีสมบัติในการแก้ความคลาดสี แสงที่ตาเห็น (Visible light) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 - 700 นาโนเมตร สีม่วงมีความยาวคลื่นสั้นที่สุด สีแดงมีความยาวคลื่นมากที่สุด เมื่อแสงมีความยาวคลื่นไม่เท่ากันถูกหักเหผ่านเลนส์ จุดโฟกัสที่เกิดขึ้นจึงไม่ใช่จุดเดียวกันทำให้เกิด "ความคลาดสี" (Chromatic aberration) ดังภาพที่ 2.3 เมื่อนำมาส่องก็จะมีมองเห็นขอบวัตถุเป็นสีรุ้ง ดังนั้นหากไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

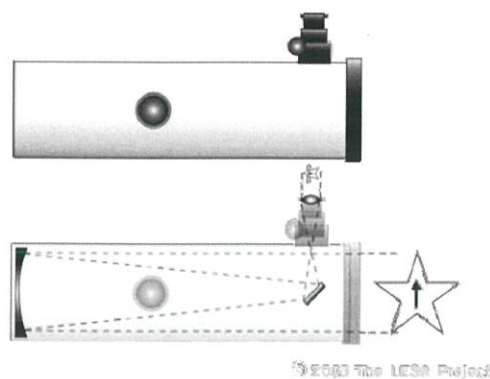
นำมาส่องมองดาวก็จะไม่ทราบเลยว่า ดาวที่อยู่นั้นแท้ที่จริงเป็นสีอะไร ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์จึง ออกแบบเลนส์กระจกขึ้นมาโดยใช้แก้วคราวน์ (Crown) และแก้วฟลินท์ (Flint) ซึ่งมีดัชนีการหักเหแสง ตรงข้ามกัน มาประกบกันเพื่อทำให้แสงทุกความยาวคลื่นหักเหมารวมที่จุดโฟกัสเดียวกันดังภาพที่ 2.4 เลนส์กระจกมีน้ำหนักมากและราคาแพงมาก การประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่จึงเลี่ยงไป ใช้กระจกเว้าแทน



2.2.2 กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง

กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง (Reflector telescope) ถูกคิดค้นโดย เซอร์ ไอแซค นิวตัน บางครั้งจึงถูกเรียกว่า "กล้องโทรทรรศน์แบบนิวโทเนียน" (Newtonian telescope) กล้องโทรทรรศน์แบบนี้ใช้กระจกเว้าทำหน้าที่เลนส์ใกล้วัตถุแทนเลนส์นูน รวบรวมแสงส่งไปยังกระจกทุติยภูมิซึ่งเป็นกระจกเงาระนาบขนาดเล็กติดตั้งอยู่ในลำกล้อง สะท้อนลำแสงให้ตั้งฉากออกมาที่เลนส์ตาที่ติดตั้งอยู่ที่ด้านข้างของลำกล้อง ดังภาพที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง

กล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่ส่วนมากเป็นกล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสง เนื่องจากกระจกเว้ามีน้ำหนักเบาและราคาถูกกว่าเลนส์ทรงค้ นอกจากนั้นกระจกเว้ายังสามารถสร้างให้มีความยาวโฟกัสสั้นได้ง่าย หอดูดาวจึงนิยมติดตั้งกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงขนาดใหญ่ซึ่งมีกำลังรวมแสงสูง ทำให้สามารถสังเกตเห็นวัตถุที่มีความสว่างน้อยและอยู่ไกลมาก เช่น เนบิวลาและกาแล็กซี อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงกับกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงที่มีขนาดเท่ากัน กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงจะให้ภาพสว่างและคมชัดกว่า เนื่องจากกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงมีกระจกหตุยภูมิอยู่ในลำกล้องซึ่งเป็นอุปสรรคขวางทางเดินของแสง ทำให้ความสว่างของภาพลดลง นอกจากนั้นภาพที่เกิดจากหักเหผ่านเลนส์ทรงค้ยังมีความคมชัดและสว่างกว่าภาพที่ได้จากการสะท้อนของกระจกเว้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 กล้องโทรทรรศน์ชนิดผสม

กล้องโทรทรรศน์แบบผสม (Catadioptric Telescope) เป็นกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงที่ใช้การสะท้อนแสงกลับป้อนมาเพื่อให้ลำกล้องมีขนาดสั้นลง โดยใช้กระจกนูนเป็นกระจกหุติยภูมิช่วยบีบลำแสงทำให้ลำกล้องสั้นกระทัดรัด แต่ยังคงกำลังขยายสูงดังภาพที่ 2.7 อย่างไรก็ตามการทำงานของกระจกนูนทำให้ภาพที่เกิดขึ้นบนระนาบโฟกัสมีความโค้ง จึงจำเป็นต้องติดตั้งเลนส์ปรับแก้ (Correction plate) ไว้ที่ปากลำกล้องเพื่อทำงานร่วมกับกระจกหุติยภูมิ ในการชดเชยความโค้งของระนาบโฟกัส โดยที่เลนส์ปรับแก้ไม่ได้มีอิทธิพลต่อกำลังรวมแสงและกำลังขยายเลย



รูปที่ 2.8 กล้องโทรทรรศน์ชนิดผสม

กล้องโทรทรรศน์แบบผสมถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อให้มีลำกล้องสั้นและสะดวกในการติดตั้งอุปกรณ์ เช่น เลนส์ตาหรือกล้องถ่ายภาพไว้ที่ด้านหลังของกล้อง (ดังเช่นกล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสง) กล้องโทรทรรศน์แบบนี้มีความยาวโฟกัสมากเหมาะสำหรับใช้สำรวจวัตถุขนาดเล็ก เช่น ดาวเคราะห์ เนบิวลาและกาแล็กซีที่อยู่ห่างไกล แต่ไม่เหมาะสำหรับการสังเกตวัตถุขนาดใหญ่ เช่น กระจุกดาวเปิด เนบิวลา และกาแล็กซีที่อยู่ใกล้ กล้องโทรทรรศน์แบบผสมเป็นที่นิยมในหมู่นักดูดาวสมัครเล่นเพราะมีขนาดกระทัดรัด ขนย้ายสะดวก แต่ไม่เหมาะสำหรับใช้ในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากเลนส์ปรับแก้ที่อยู่ด้านหน้ากรองรังสีบางช่วงความยาวคลื่นออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ฐานตั้งกล้องโทรทรรศน์

เนื่องจากกล้องโทรทรรศน์มีขนาดใหญ่มีน้ำหนักมากและให้กำลังขยายสูง การเคลื่อนไหวของกล้องโทรทรรศน์เพียงเบาๆ จะทำให้ภาพสั่นเบลอขาดความคมชัด กล้องโทรทรรศน์จึงจำเป็นต้องติดตั้งอยู่บนฐานตั้งกล้อง (Telescope mount) ที่มีน้ำหนักมากและมั่นคง ฐานตั้งกล้องโทรทรรศน์เป็นแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ฐานระบบขอบฟ้า และฐานระบบศูนย์สูตร

2.3.1 ฐานระบบขอบฟ้า (Altazimuth Mount)

มีแกนหมุน 2 แกนตามระบบพิกัดขอบฟ้า คือ แกนหมุนในแนวนอนในแนวระดับสำหรับปรับค่ามุมทิศ (Azimuth) และแกนหมุนในแนวตั้งสำหรับปรับค่ามุมเงย (Altitude) ฐานตั้งกล้องชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้งานทั่วไปที่ไม่ต้องการกำลังขยายสูง สามารถใช้มือหันกล้องไปยังเป้าหมายที่ต้องการ แต่เมื่อใช้กำลังขยายสูงจะมีปัญหา เนื่องจากดาวเคลื่อนที่ไปตามทรงกลมฟ้าด้วยอัตรา 0.25 องศาต่ออนาที ดาวจะเคลื่อนที่หนีกล้อง ทำให้ต้องปรับกล้องหมุนตามดาวทั้งสองแกนพร้อม ๆ กัน ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำได้ไม่สะดวก



รูปที่ 2.9 ฐานระบบขอบฟ้า



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างฐานระบบขอบฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ฐานระบบศูนย์สูตร (Equatorial Mount)

มีแกนหมุน 2 แกนตามระบบศูนย์สูตร การติดตั้งฐานครั้งแรกจะต้องตั้งให้แกนไรท์แอสเซนชัน (RA) ชี้ไปยังจุดขั้วฟ้าเหนือ ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางทรงกลมฟ้า (ใกล้ดาวเหนือ) ส่วนแกนเดคลิเนชัน (Dec) จะติดตั้งกล้องโทรทรรศน์ส่องไปยังเป้าหมายที่ต้องการ เมื่อใช้งานแกน RA จะหมุนด้วยความเร็วเท่ากับโลกหมุนรอบตัวเองเพื่อติดตามดาวให้อยู่กลางภาพตลอดเวลา ป้องกันมิให้ดาวเคลื่อนหนีกล้อง ฐานระบบศูนย์สูตรจึงมีกลไกสลับซับซ้อนกว่าฐานระบบขอบฟ้า ทำให้มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากไม่สะดวกในการเคลื่อนย้าย ฐานระบบศูนย์สูตรเหมาะกับการใช้งานกำลังขยายสูงและงานถ่ายภาพติดตามดาว แต่ไม่เหมาะสมสำหรับส่องดูวิวบนพื้นโลก เนื่องจากไม่สามารถกวาดกล้องในแนวขนานกับพื้นดิน



รูปที่ 2.11 ฐานระบบศูนย์สูตร

รูปที่ 2.12 ตัวอย่างฐานระบบศูนย์สูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การดูดาวเบื้องต้น

ก่อนอื่นมาทำความรู้จักกับเส้นสมมุติต่าง ๆ ที่ทางดาราศาสตร์กำหนดขึ้น เพื่อใช้หาทิศทางและตำแหน่งของวัตถุบนท้องฟ้ากันก่อน ถ้าหากเราออกไปนอกโลกประมาณเดือนธันวาคมเราจะเห็นตำแหน่งของโลกหันขั้วเหนือออกจากดวงอาทิตย์ ดังรูป จะได้เส้นสมมุติขึ้นมา 2 เส้นคือ

1. เส้นศูนย์สูตรฟ้า (Celestial Equator) ซีเรสเซียน อีควเอเตอร์ เป็นเส้นที่ผ่านจุดทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก เกิดขึ้นจากการที่โลกหมุนรอบตัวเอง ฉะนั้นเส้นนี้จะตั้งฉากกับแกนหมุนของโลก และเป็นแนวเดียวกับเส้น ศูนย์สูตรโลกพอดี (Earth Equator) ซึ่งแนวการเคลื่อนที่ของดาวก็จะขนานไปกับเส้นนี้ด้วย

2. เส้นสุริยวิถี (Ecliptic) อีคลิปติก เป็นเส้นแนวการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ผ่านท้องฟ้า เส้นนี้เกิดจาก ระนาบการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ (ไม่ใช่เกิดจากการหมุนรอบตัวเอง) ฉะนั้นแนวเส้นนี้ จะเป็นแนวเส้นเดียวกับ เส้นทางโคจรของดาวเคราะห์รวมทั้งดวงจันทร์ด้วย ซึ่งอาจจะสูงหรือต่ำกว่าเส้นอีคลิปติกเล็กน้อย อีคลิปติก มีความหมายว่า การบังกัน ดังนั้นบนแนวเส้นนี้จะทำให้เกิด สุริยุปราคา จันทรุปราคา หรือ การบังกันของดาวเคราะห์

จากนั้นเมื่อเราพิจารณาเฉพาะจุดที่ผู้สังเกตอยู่บนโลก ณ จุด A บริเวณซีกโลกเหนือ (อยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรโลก) ซึ่งประเทศไทย อยู่ที่ประมาณละติจูด 15 องศาเหนือ (เชียงใหม่ 20 องศาเหนือ ถึง นราธิวาส 3 องศาเหนือ กทม. 13.5 องศาเหนือ) ดังรูป ณ จุดนี้จะมีลักษณะของทรงกลมรัศมีไม่จำกัดรอบผู้สังเกตอยู่เราเรียกทรงกลมรัศมีนี้ว่า ทรงกลมท้องฟ้า (Celestial Sphere) ทำให้เกิดเส้นสมมุติอีก 4 เส้นคือ

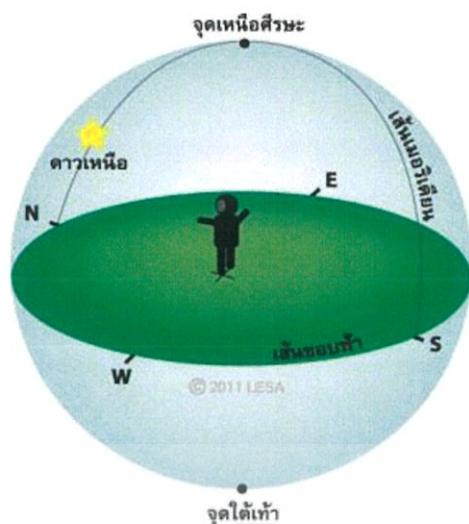
1. เส้นขอบฟ้า (Horizon) คือแนวระดับสายตา บางทีก็เรียกว่าแนวบรรจบของทรงกลมท้องฟ้าส่วนบนกับ ท้องฟ้าส่วนล่าง

2. จุดเหนือศีรษะ หรือ จุดยอดฟ้า (Zenith) เซนิท คือจุดที่ตั้งฉากกับผู้สังเกตชี้ขึ้นไปทางทรงกลมฟ้า ส่วนจุดที่ตรงข้าม 180 องศา เรียกว่า จุดเนเดอร์ (Nadir)

3. เส้นเมริเดียน (Meridian) คือแนวเส้นที่ลากจากจุดทิศเหนือไปจุดทิศใต้ผ่านจุดยอดฟ้า (Zenith) พอดี ส่วนเส้นที่ไม่ได้ผ่านจุดเหนือศีรษะ เราจะเรียกว่า เส้นวงกลมชั่วโมง

4. ขั้วฟ้าเหนือ (North Celestial Poles) เป็นแนวขั้วเหนือของทรงกลมฟ้า ซึ่งจะชี้ไปทางดาวเหนือพอดี ส่วนจุดตรงกันข้าม 180 องศาเราเรียกว่า ขั้วฟ้าใต้ (South Celestial Poles)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

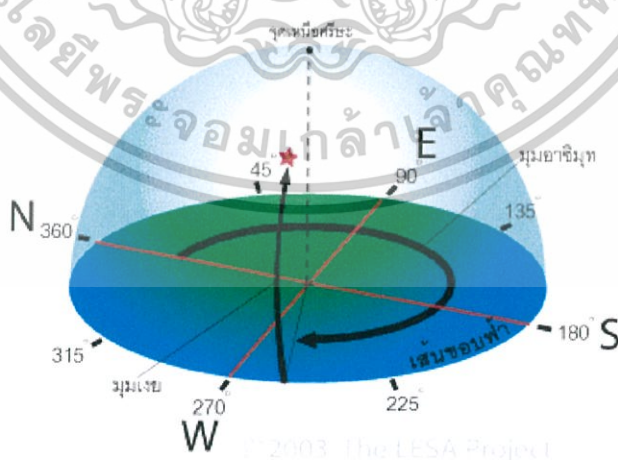


รูปที่ 2.13 ระบบพิกัดขอบฟ้า

2.4.1 การวัดมุมในระบบพิกัดขอบฟ้าประกอบด้วย มุมทิศ และ มุมเงย

มุมทิศ (Azimuth) เป็นมุมในแนวราบ ซึ่งวัดจากทิศเหนือ (0°) ไปตามเส้นขอบฟ้าในทิศตามเข็มนาฬิกา ไปยังทิศตะวันออก (90°) ทิศใต้ (180°) ทิศตะวันตก (270°) และกลับมาที่ทิศเหนือ (360°) อีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นมุมทิศจึงมีค่าระหว่าง ($0^\circ - 360^\circ$)

มุมเงย (Altitude) เป็นมุมในแนวตั้ง ซึ่งนับจากเส้นขอบฟ้า (0°) สูงขึ้นไปจนถึงจุดเหนือศีรษะ (90°) ดังนั้นมุมทิศจึงมีค่าระหว่าง ($0^\circ - 360^\circ$) ดังนั้นมุมเงยจึงมีค่าระหว่าง ($0^\circ - 90^\circ$) เมื่อมองดูตำแหน่งดาวในรูปที่ 2.12 การวัดมุมทิศ-มุมเงย จะเห็นว่า ดาวมีพิกัดขอบฟ้า มุมทิศ 250° มุมเงย 45° ทั้งนี้ในการวัดระยะห่างของดาวบนท้องฟ้าจะเป็นระยะเชิงมุม



รูปที่ 2.14 การวัดมุมทิศ-มุมเงย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เฟือง

เฟือง (Gear) เป็นเครื่องกลที่ทำงานโดยการหมุน ทำขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ในการ ใช้สำหรับการส่งกำลังในลักษณะของแรงบิด (Torque) โดยการหมุนของตัวเฟืองที่มีฟันอยู่ในแนวรัศมี โดยการส่งกำลังจะสามารถเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีฟันเฟืองตั้งแต่สองตัวขึ้นไป

2.5.1 เฟืองหนอน (Worm Gears)

เป็นชุดเฟืองที่ประกอบด้วยเกลียวตัวหนอน (Worm) ซึ่งมีลักษณะของเกลียวที่วางอยู่บนก้านเกลียวตัวหนอน (Shank) เหมือนลักษณะของสกรูและเฟือง (Worm Wheel) ซึ่งมีลักษณะเป็นล้อเฟืองคล้าย ๆ กับเฟืองเฉียง (Helical Gear) แต่จะต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งตรงสันฟันเฟืองจะมีลักษณะเว้าเพื่อให้รับกับความโค้งของเกลียวตัวหนอน ดังรูปที่ 2.15

แนวเพลาคับ (Worm Shaft) และเพลาดาม (Worm Wheel Shaft) ของเฟืองตัวหนอนจะทำมุมกันที่มุมฉาก 90 องศา การทำงานของเฟืองตัวหนอนจะเงียบและมีแรงสั่นสะเทือนเกิดขึ้นน้อย เนื่องจากการส่งถ่ายกำลังจากเฟืองขับไปยังเฟืองตามนั้นการส่งถ่ายกำลังจะเป็นไปในลักษณะของการสไลด์ (Sliding)



รูปที่ 2.15 เฟืองหนอน (Worm Gears)

2.5.2 อัตราทดของเฟืองหนอน

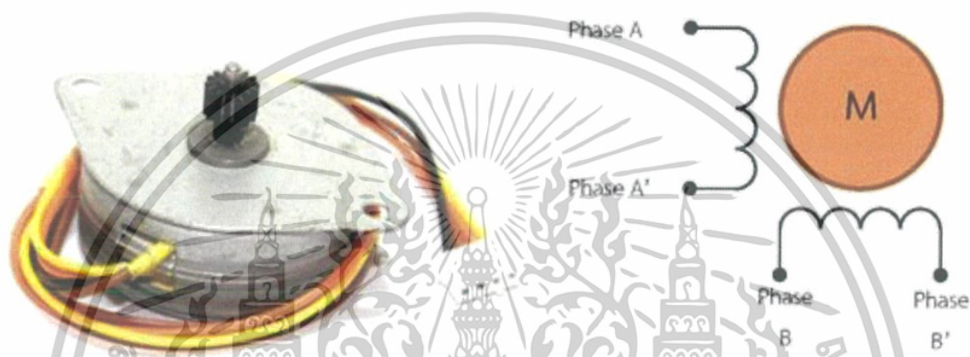
อัตราทดของเฟืองตัวหนอนสามารถทำได้มาก เนื่องจากลักษณะเฉพาะทางรูปแบบของเฟืองโดยอัตราทดสามารถคำนวณได้จากระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของก้านเกลียวตัวหนอน (Shank) ถึงศูนย์กลางของเฟือง (Worm Wheel) หรือที่เรียกว่าระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง (Center Distance) โดยถ้า Center Distance ยิ่งมากแสดงว่าอัตราทดของเฟืองจะยิ่งมาก ซึ่งในบางชุดเฟืองอาจทดมากกว่า 1 ชุด โดยอาจเป็นสองหรือสามชุด ในการส่งถ่ายกำลังของเฟืองตัวหนอนนั้นความเค้นที่เกิดขึ้นบนผิวฟันเฟืองจะมากกว่าเฟืองแบบเฟืองตรงหรือแบบเฟืองเฉียง อัตราทดของเฟืองตัวหนอน (Worm Gear Ratio)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 ประเภทของ Stepping Motor

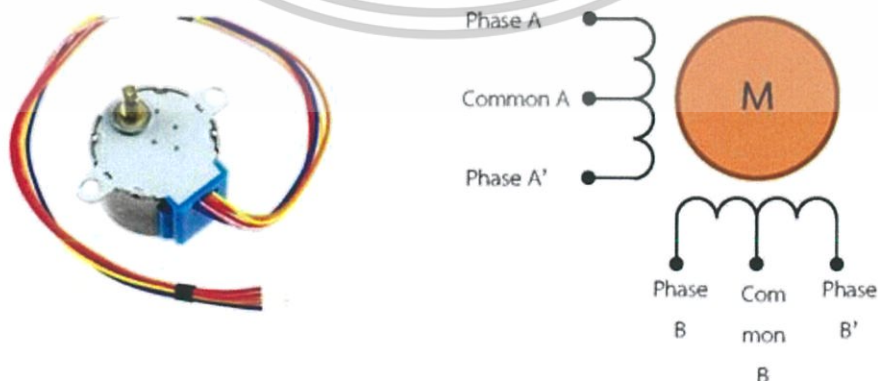
Stepping Motor (สเต็ปป์มอเตอร์) หรือ Stepper Motor (สเต็ปเปอร์มอเตอร์) เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยพัลส์ มีลักษณะการขับเคลื่อนโดยการหมุนรอบแกน 360 องศา ภายในนั้นจะประกอบไปด้วยขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ (Stator) ทำมาจากแผ่นเหล็กวงแหวน จะมีซี่ยื่นออกมาประกอบกันเป็นชั้น ๆ โดยแต่ละซี่ที่ยื่นออกมานั้นจะมีขดลวด (คอยล์) พันอยู่ เมื่อมีกระแสผ่านคอยล์จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น ซึ่งรูปแบบการพันขดลวดบน Stator มีด้วยกัน 2 แบบ คือ

1 แบบ Bipolar (ไบโพลาร์) ในแต่ละขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์จะมีการพันขดลวดหนึ่งขด บางครั้งอาจเรียกสเต็ปป์มอเตอร์ประเภทนี้ว่า สเต็ปป์มอเตอร์แบบ 2 เฟส



รูปที่ 2.18 โครงสร้างภายในและลักษณะภายนอกของสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ Bipolar

2 แบบ Unipolar (ยูนิโพลาร์) จะมีการพันขดลวด 2 ขด บนสเตเตอร์ แต่ละขดจะแบ่งเป็น 2 เฟส รวมทั้งตัวมอเตอร์จะมีด้วยกัน 4 เฟส จะมีการต่อสายออกมาจากขดลวดแต่ละขดเพื่อจ่ายไฟเลี้ยง ทำให้สเต็ปป์มอเตอร์แบบนี้มีทั้งแบบ 5 สายและ 6 สาย ถ้าเป็นแบบ 5 สาย จะเป็นการนำสายไฟเลี้ยงของขดลวดทั้งสองมาต่อรวมกันเป็นสายเดียว สเต็ปป์มอเตอร์นี้ยังเป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายอีกด้วย



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 2.19 ลักษณะภายนอกและโครงสร้างภายในของสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ Unipolar ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ Unipolar สามารถทำได้โดย ควบคุมกระแสไฟที่จ่ายให้กับขดลวดในแต่ละเฟส อย่างเป็นลำดับที่แน่นอน โดยถ้าหากเราต้องการให้กระแสไหลในเฟสใด ๆ ก็จะทำให้สถานะของเฟสนั้น ๆ เป็นสถานะลอจิก “1” การควบคุมการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์สามารถทำได้ 3 วิธี

1. การควบคุมการหมุนแบบเฟสเดียว (Single Phase) หรือ Wave Drive

เป็นการป้อนกระแสไฟให้กับขดลวดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ทีละขด โดยจะป้อนกระแสเรียงตามลำดับกันไปตามตาราง 2.1 (ตัวเลข 1 หมายถึง มีการจ่ายแรงดันให้กับขดลวด 0 คือไม่จ่ายแรงดันให้กับขดลวด) ดังนั้นกระแสที่ไหลในขดลวดจะทำการไหลในทิศทางเดียวกันทุกขด ลักษณะเช่นนี้จึงทำให้แรงขับของสเต็ปเปอร์มอเตอร์มีน้อย จึงไม่เป็นที่นิยมใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงลำดับการป้อนกระแสแบบเฟสเดียว

Step	Phase A	Phase B	Phase A'	Phase B'
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1
5	Back to Step 1			

2. การควบคุมการหมุนแบบสองเฟส (Two Phase) หรือ Full Step Drive

เป็นการป้อนกระแสไฟให้กับขดลวดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ทั้ง 2 ขด พร้อม ๆ กันไป และป้อนกระแสเรียงตามลำดับกันไป ตามตาราง 2.2 ดังนั้นจึงมีกระแสไหลในขดลวดของมอเตอร์มากขึ้น และจะทำให้มอเตอร์มีแรงบิดมากขึ้น

ตารางที่ 2.2 แสดงลำดับการป้อนกระแสแบบสองเฟส

Step	Phase A	Phase B	Phase A'	Phase B'
1	1	1	0	0
2	0	1	1	0
3	0	0	1	1
4	1	0	0	1
5	Back to Step 1			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การควบคุมการหมุนแบบครึ่งเฟส (Half Step)

เป็นการป้อนกระแสแบบ Two Phase และ Single Phase สลับกันไป ตามตาราง 2.3 ซึ่งเป็นการเพิ่มความละเอียดของตำแหน่งในการหมุน

ตารางที่ 2.3 แสดงลำดับการป้อนกระแสแบบครึ่งเฟส

Step	Phase A	Phase B	Phase A'	Phase B'
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1
9	Back to Step 1			

ความเร็วการหมุนของแกนสเต็ปเปอร์มอเตอร์ จะขึ้นอยู่กับภาระหน่วงเวลา (Time Delay) ในแต่ละลำดับ ถ้า Time Delay มีค่าน้อย แกนจะหมุนเร็วขึ้น ถ้า Time Delay มีค่ามาก แกนจะหมุนช้าและหมุนไม่สม่ำเสมอ

2.7 โมเมนต์และคาน

โมเมนต์ของแรง (Moment of Force) คือผลของแรงที่ทำให้วัตถุเกิดการหมุนรอบจุดจุดหนึ่ง มีหน่วยเป็นนิวตัน-เมตร (N-m) ขนาดของโมเมนต์มีค่าเท่า แรงคูณระยะตั้งฉากจากจุดหมุนถึงแนวแรง

$$M = F \times L$$

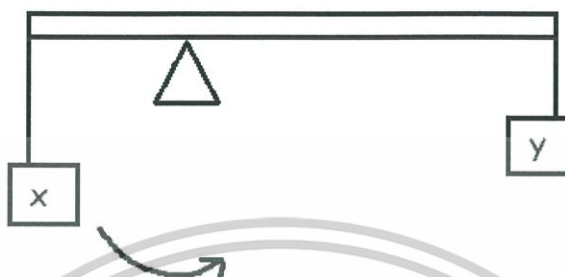
M	แทน	โมเมนต์ของแรง
F	แทน	ขนาดของแรง
L	แทน	ระยะทางที่ตั้งฉากจากแนวการกระทำของแรงถึงจุดหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 ชนิดของโมเมนต์

แบ่งตามทิศทางการหมุนได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา คือผลคูณของแรงที่ทำให้วัตถุหมุนรอบจุดหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา



รูปที่ 2.20 ลักษณะโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา

2. โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา คือผลคูณของแรงที่ทำให้วัตถุหมุนรอบจุดหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา



รูปที่ 2.21 ลักษณะโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา

ถ้ามีแรงหลายแรงมากระทำต่อวัตถุ แล้ววัตถุอยู่ในสภาวะสมดุลแสดงว่า
ผลรวมของโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา = ผลรวมของโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา

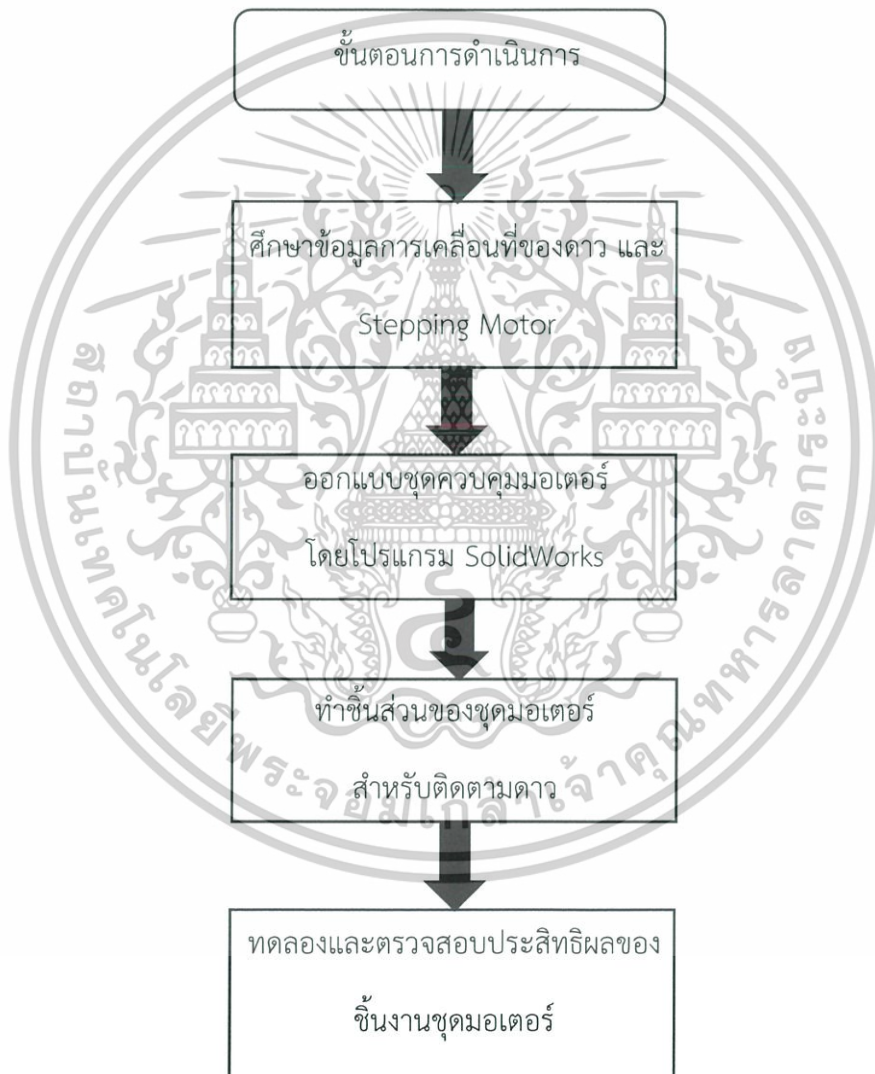
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการสร้างชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนย៉างสูงสำหรับติดตามดาวมีรายละเอียดของวัสดุ อุปกรณ์และการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนการศึกษาและดำเนินการ ดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วัสดุและอุปกรณ์

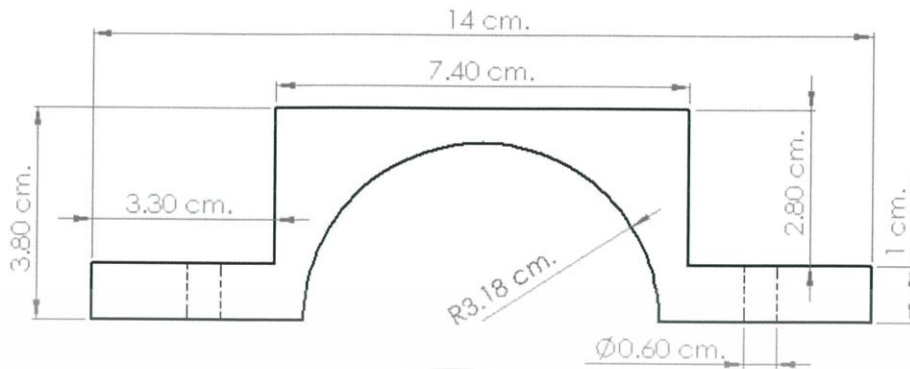
- 3.2.1. เฟืองหนอน ขนาด 10 มิลลิเมตร
- 3.2.2. บอร์ด Arduino R3
- 3.2.3. ตลับลูกปืนตุ๊กตา ขนาด 10 มิลลิเมตร
- 3.2.4. แท่งเหล็ก ขนาด 10 มิลลิเมตร
- 3.2.5. แผ่นอะลูมิเนียม
- 3.2.6. แผ่นอะคริลิคความหนา 1 เซนติเมตร
- 3.2.7. กล้องดูดาว BLUESKY BT600 พร้อมขาตั้งกล้อง
- 3.2.8. ไดรเวอร์ เบอร์ A4989
- 3.2.9. Stepping Motor
- 3.2.10. แหล่งจ่ายไฟ 12 โวลต์
- 3.2.11. แหล่งจ่ายไฟสำหรับบอร์ด Arduino R3 5 โวลต์

3.3 วิธีการออกแบบ / วิธีการทดลอง

- 3.3.1 การออกแบบส่วนประกอบชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนยี่ห้อสูงสำหรับติดตามดาว สำหรับชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนยี่ห้อสูงสำหรับติดตามดาวของงานวิจัยชิ้นนี้นั้น เราได้ทำการออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ ด้วยโปรแกรม SolidWorks โดยวัดขนาดเทียบกับกล้องดูดาวที่เราใช้เป็นกล้องตัวอย่างในการทำวิจัยนี้ และวัดขนาดเทียบกับขาตั้งกล้อง
- โดยในการออกแบบนั้นเราได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นภาพฉายของแต่ละชิ้นส่วน และส่วนของชิ้นส่วนที่นำมาประกอบกันแล้ว ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.1 การออกแบบตัวล๊อคคกึ่งดวงดาวด้านบน



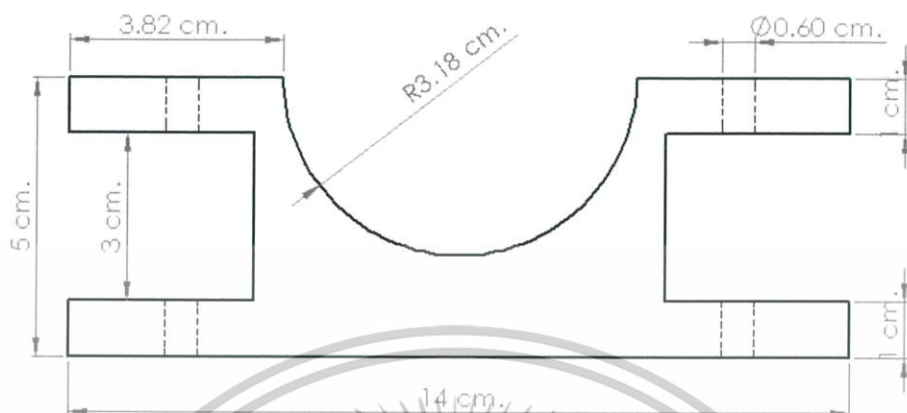
รูปที่ 3.2 ลักษณะภาพถ่ายของตัวล๊อคคกึ่งดวงดาวด้านบน



รูปที่ 3.3 ลักษณะของตัวล๊อคคกึ่งดวงดาวด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2 การออกแบบตัวล้อยกคล้องดูดาวด้านล่าง



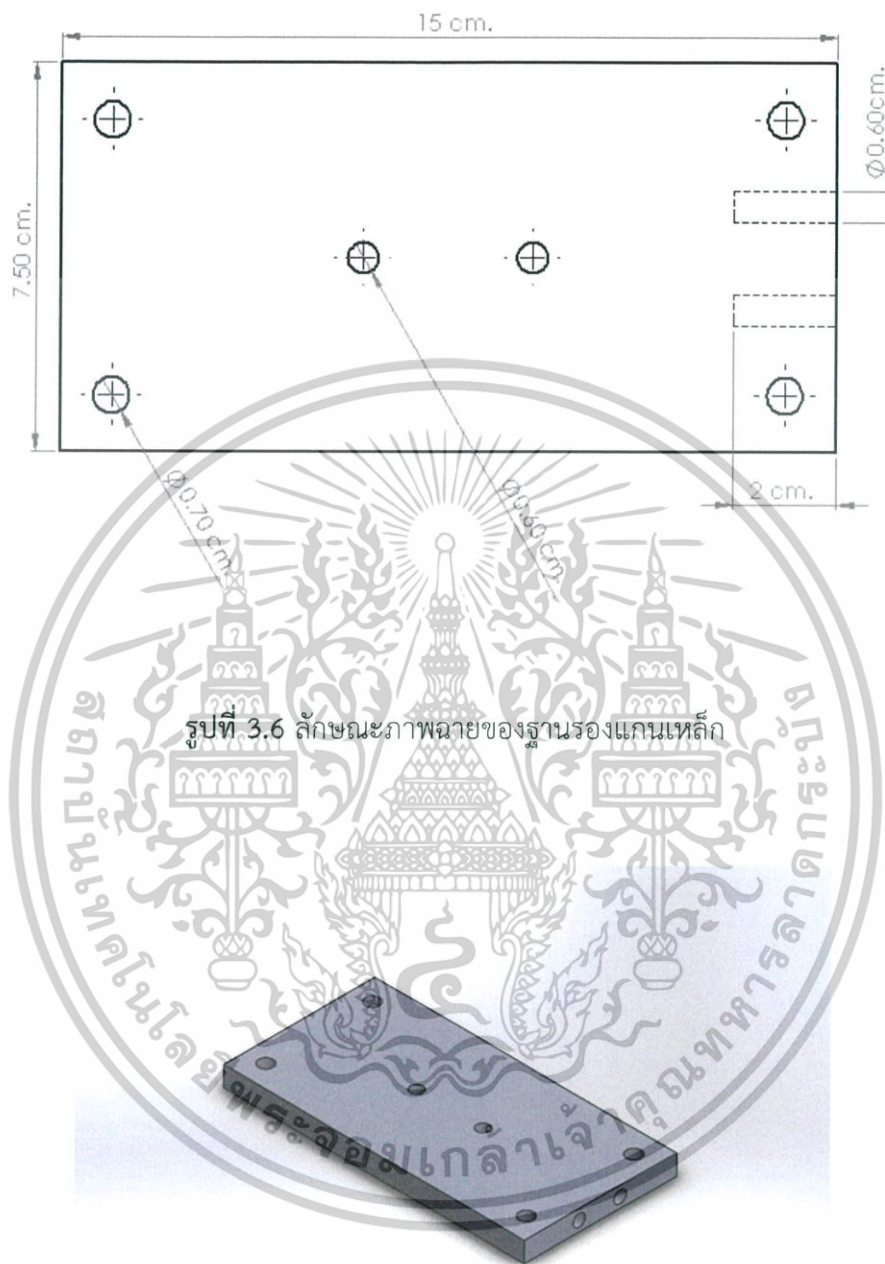
รูปที่ 3.4 ลักษณะภาพฉายของตัวล้อยกคล้องดูดาวด้านล่าง



รูปที่ 3.5 ลักษณะของตัวล้อยกคล้องดูดาวด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

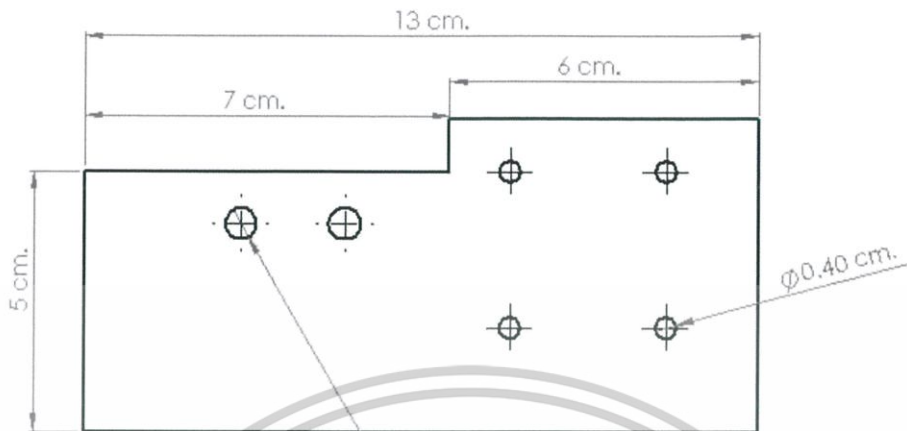
3.3.1.3 การออกแบบฐานรองแกนเหล็ก



รูปที่ 3.7 ลักษณะของฐานรองแกนเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.4 การออกแบบฐานรองมอเตอร์



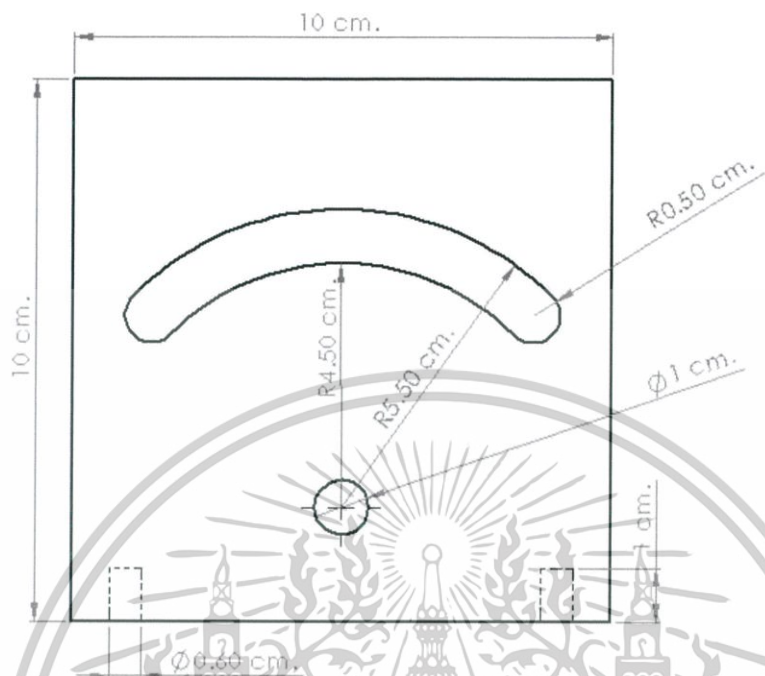
รูปที่ 3.8 ลักษณะภาพฉายของฐานรองมอเตอร์



รูปที่ 3.9 ลักษณะของฐานรองมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.5 การออกแบบฐานหมวกล้องคูดาว



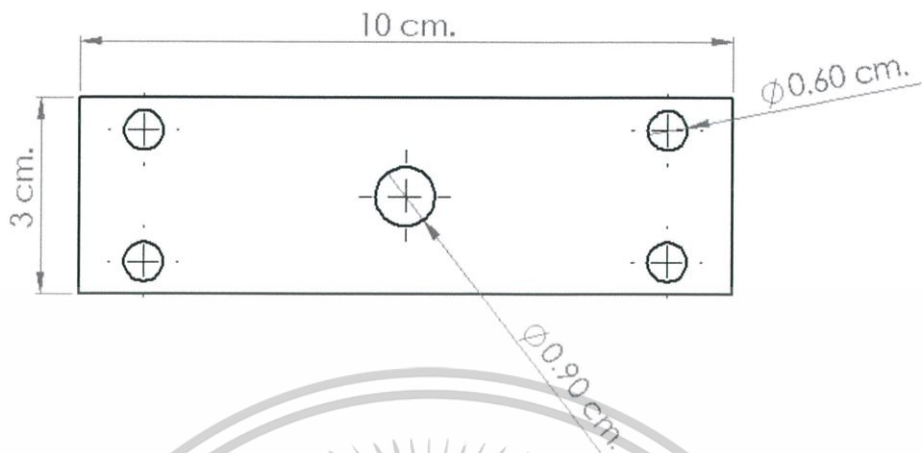
รูปที่ 3.10 ลักษณะภาพฉายของฐานหมวกล้องคูดาว



รูปที่ 3.11 ลักษณะของฐานหมวกล้องคูดาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.6 การออกแบบฐานติดขาตั้งกล้อง



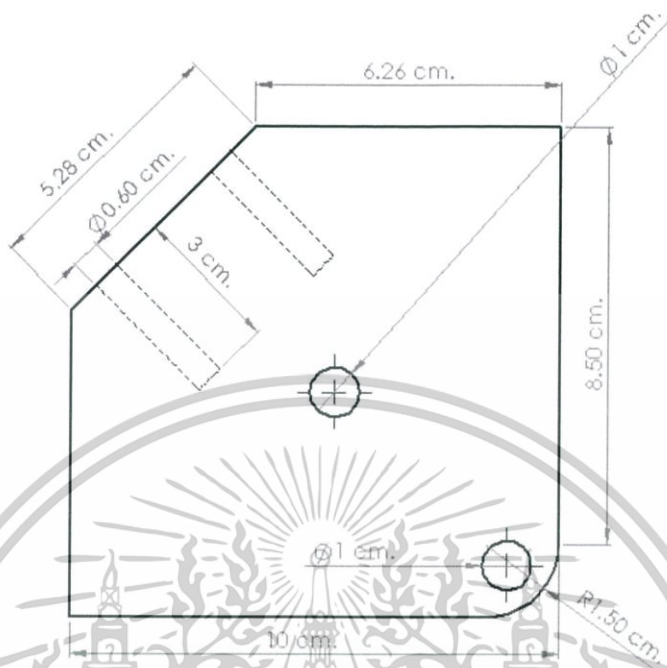
รูปที่ 3.12 ลักษณะภาพฉายของฐานติดขาตั้งกล้อง



รูปที่ 3.13 ลักษณะของฐานติดขาตั้งกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.7 การออกแบบแกนหมุนฐานรองกล้อง



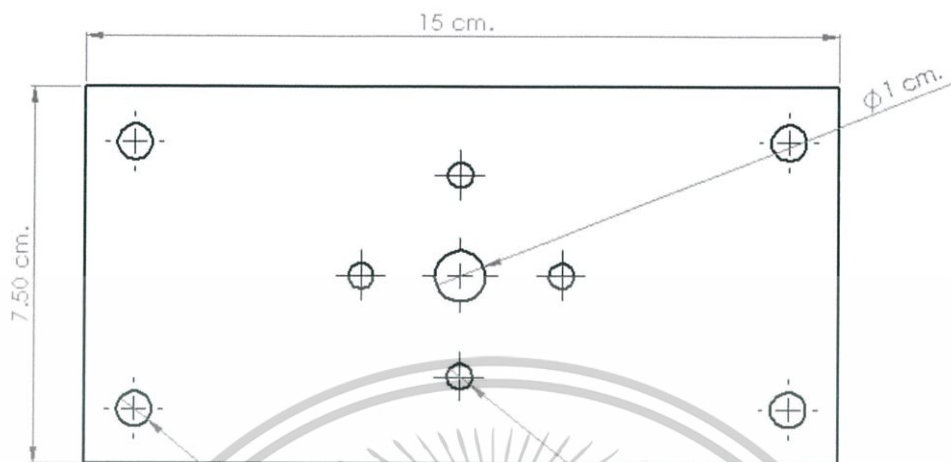
รูปที่ 3.14 ลักษณะภาพฉายของแกนหมุนฐานรองกล้อง



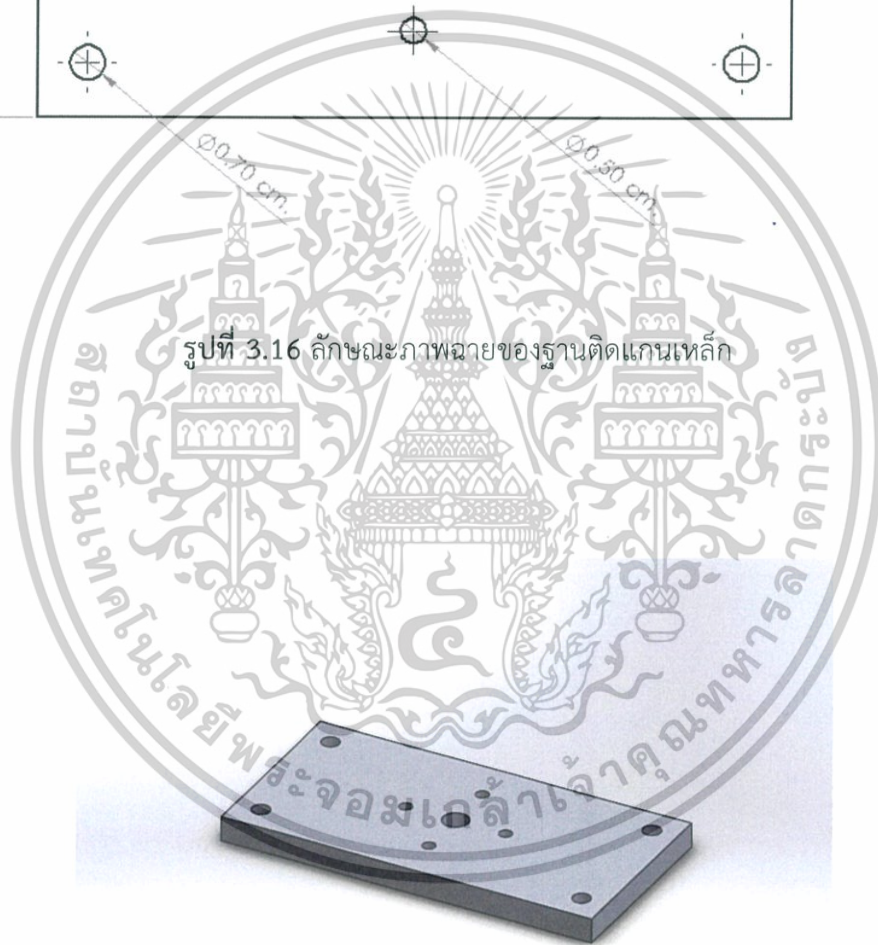
รูปที่ 3.15 ลักษณะของแกนหมุนฐานรองกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.8 การออกแบบฐานติดแกนเหล็ก



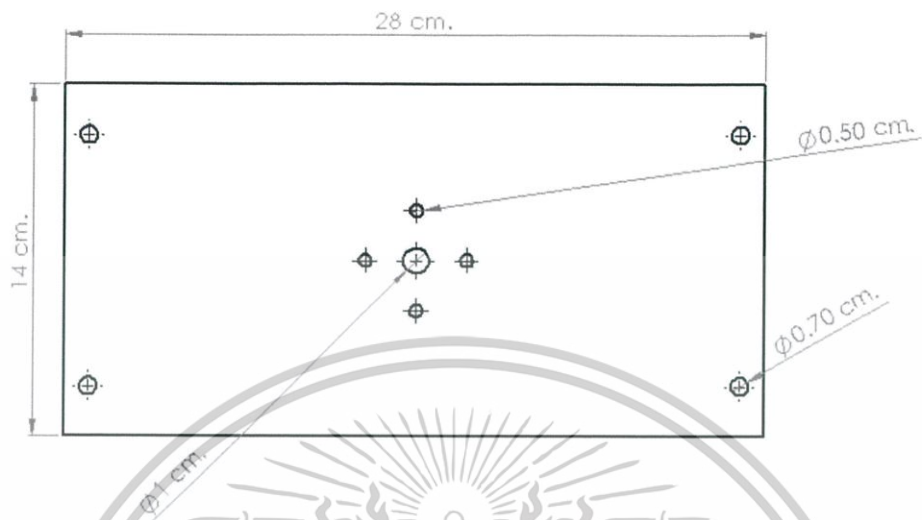
รูปที่ 3.16 ลักษณะภาพฉายของฐานติดแกนเหล็ก



รูปที่ 3.17 ลักษณะของฐานติดแกนเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.9 การออกแบบฐานรองกล้องดูดาว



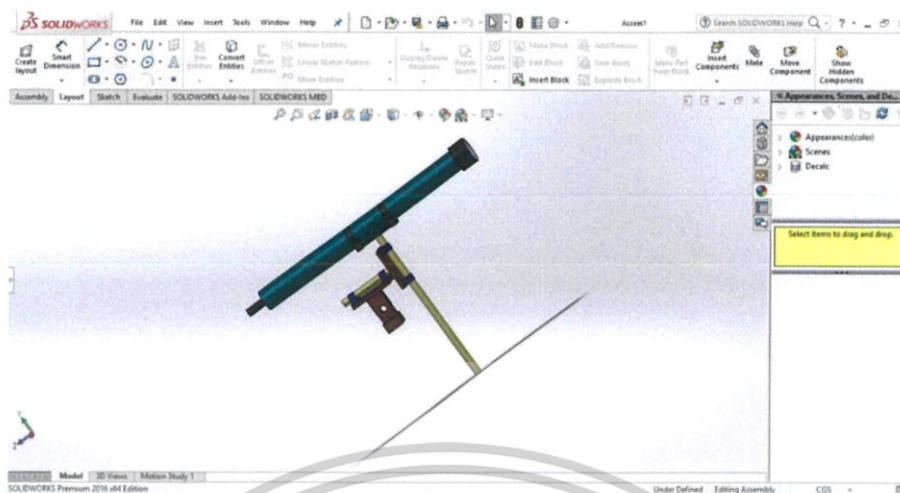
รูปที่ 3.18 ลักษณะภาพฉายของฐานรองกล้องดูดาว



รูปที่ 3.19 ลักษณะของฐานรองกล้องดูดาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.10 การรวมชิ้นส่วนของชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาว



รูปภาพที่ 3.20 การรวมชิ้นส่วนเข้ากัน โดยใช้ส่วนของ การ Assembly

3.3.2 การทำชิ้นงานเพื่อนำมาประกอบกันเป็นชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาว

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบชิ้นส่วนแต่ละชิ้นแล้ว จึงนำไปตัดเป็นชิ้นงานจริงโดยชิ้นส่วนล้อคก๊อกลงดูดาวด้านบน และ ด้านล่าง ใช้วัสดุเป็นอะลูมิเนียม เพื่อความหนาแน่นและมั่นคงในการล้อคก๊อกลงดูดาว และในชิ้นส่วนอื่น ๆ ที่เหลือนั้น จะใช้วัสดุเป็นแผ่นอะคริลิกที่มีความหนา อยู่ที่ 1 เซนติเมตร เนื่องจาก แผ่นอะคริลิกจะทำให้ชุดมอเตอร์ควบคุมสำหรับติดตามดาวนั้นมีน้ำหนักที่เบา สะดวกต่อการใช้งาน โดยชิ้นงานที่ได้ออกมาแล้วจะมีลักษณะดังนี้

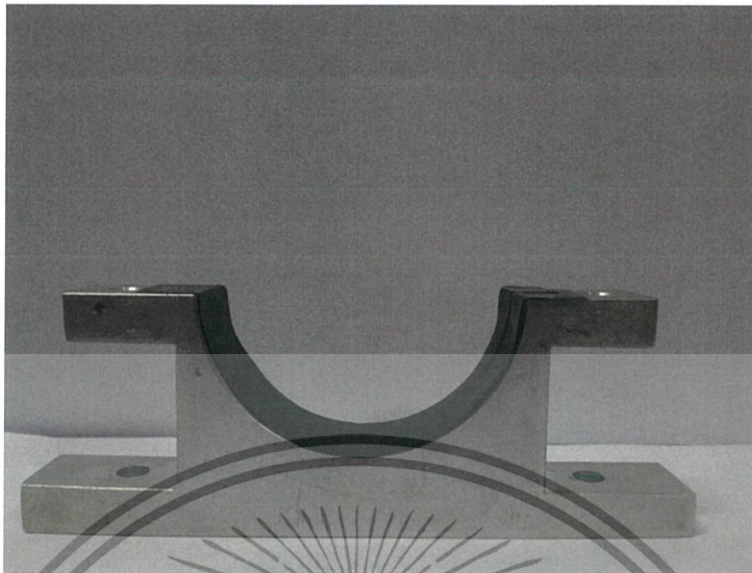
3.3.2.1 การทำชิ้นงานตัวล้อคก๊อกลงดูดาวด้านบน



รูปที่ 3.21 ชิ้นงานตัวล้อคก๊อกลงดูดาวด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2 การทำชิ้นงานตัวล็อกค้ำองดูดาวด้านล่าง



รูปที่ 3.22 ชิ้นงานตัวล็อกค้ำองดูดาวด้านล่าง

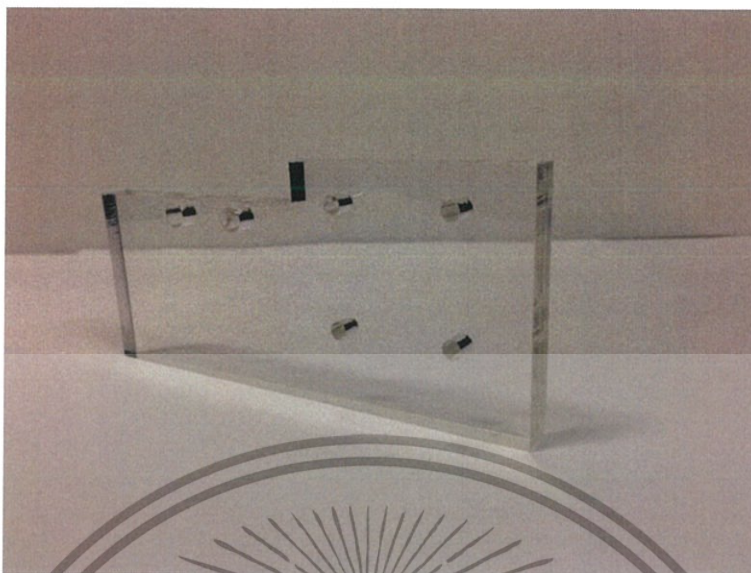
3.3.2.3 การทำชิ้นงานฐานรองแกนเหล็ก



รูปที่ 3.23 ชิ้นงานฐานรองแกนเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.4 การทำชิ้นงานฐานรองมอเตอร์



รูปที่ 3.24 ชิ้นงานฐานรองมอเตอร์

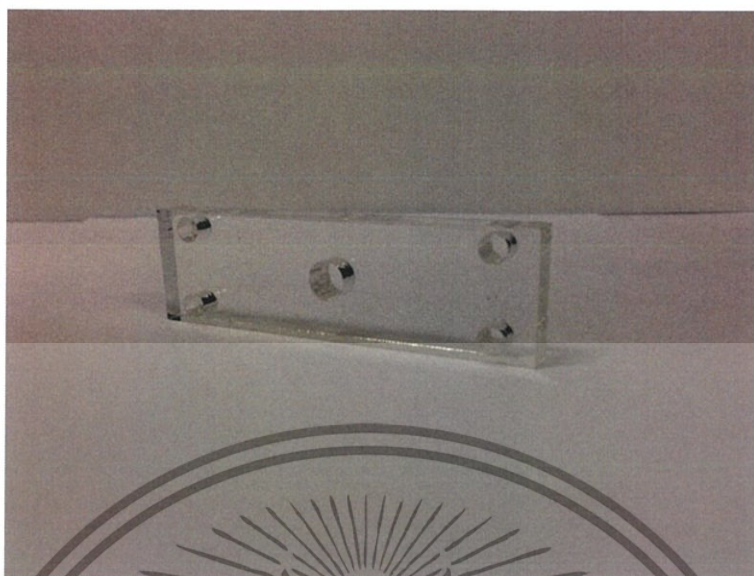
3.3.2.5 การทำชิ้นงานฐานหมวกกล้องดูดาว



รูปที่ 3.25 ชิ้นงานฐานหมวกกล้องดูดาว

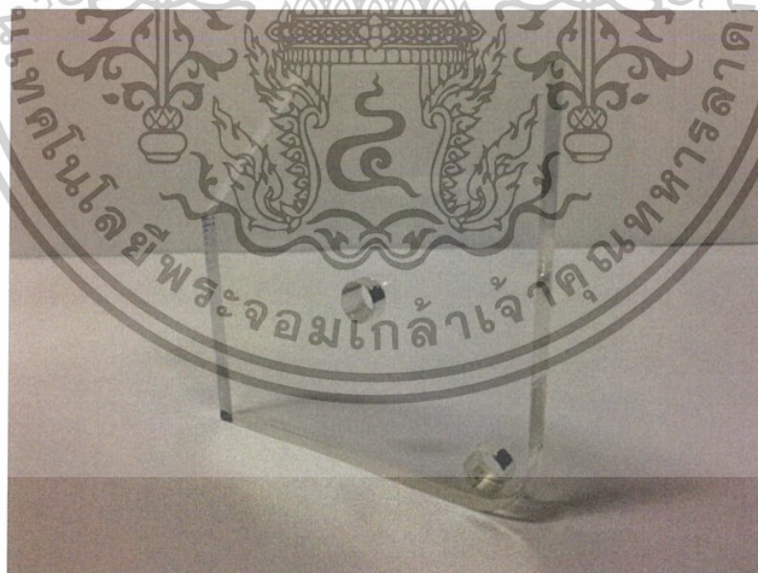
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.6 การทำชิ้นงานฐานติดขาตั้งกล้อง



รูปที่ 3.26 ชิ้นงานฐานติดขาตั้งกล้อง

3.3.2.7 การทำชิ้นงานแกนหมุนฐานรองกล้อง



รูปที่ 3.27 ชิ้นงานแกนหมุนฐานรองกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.8 การทำชิ้นงานฐานติดแกนเหล็ก



รูปที่ 3.28 ชิ้นงานฐานติดแกนเหล็ก

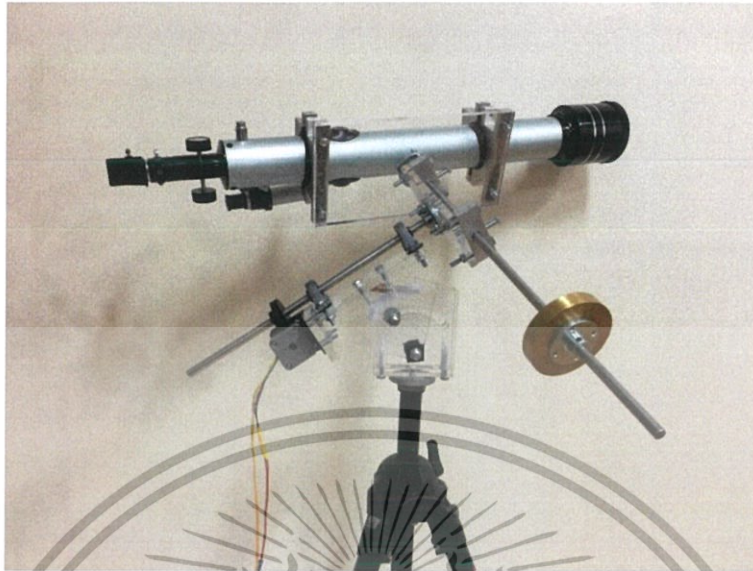
3.3.2.9 การทำชิ้นงานฐานรองกล้องดูดาว



รูปที่ 3.29 ชิ้นงานฐานรองกล้องดูดาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.10 การรวมชิ้นส่วนของชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาว



รูปที่ 3.30 ชิ้นงานชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่ประกอบรวมกัน

3.3.3 การหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและองศาในการเคลื่อนที่ของดาว

การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเอง

โลกหมุนรอบตัวเอง 1 รอบ ใช้เวลา 24 ชั่วโมง

24 ชั่วโมง ตำแหน่งของดาว (มุมที่ทำกับขั้วฟ้า) เปลี่ยนแปลง 360 องศา

1 ชั่วโมง ตำแหน่งของดาวเปลี่ยนแปลง = $360 / 24 = 15$ องศา

1 นาที ตำแหน่งของดาวเปลี่ยนแปลง = $15 / 60 = 0.25$ องศา

เพราะฉะนั้น ใน 4 นาที ดาวจะเปลี่ยนตำแหน่ง = 1 องศา

ดังนั้นจึงได้ทำการเทียบเวลา (นาที) ต่อการเปลี่ยนตำแหน่งของดาว (องศา) ดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าการเปรียบเทียบเวลา (นาที) ต่อการเปลี่ยนตำแหน่งของดาว (องศา) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เวลา (นาที)	องศา
4	1
8	2
12	3
16	4
20	5
24	6
28	7
32	8
36	9
40	10
44	11
48	12
52	13
56	14
60	15
64	16
68	17
72	18
76	19
80	20
84	21
88	22
92	23
96	24

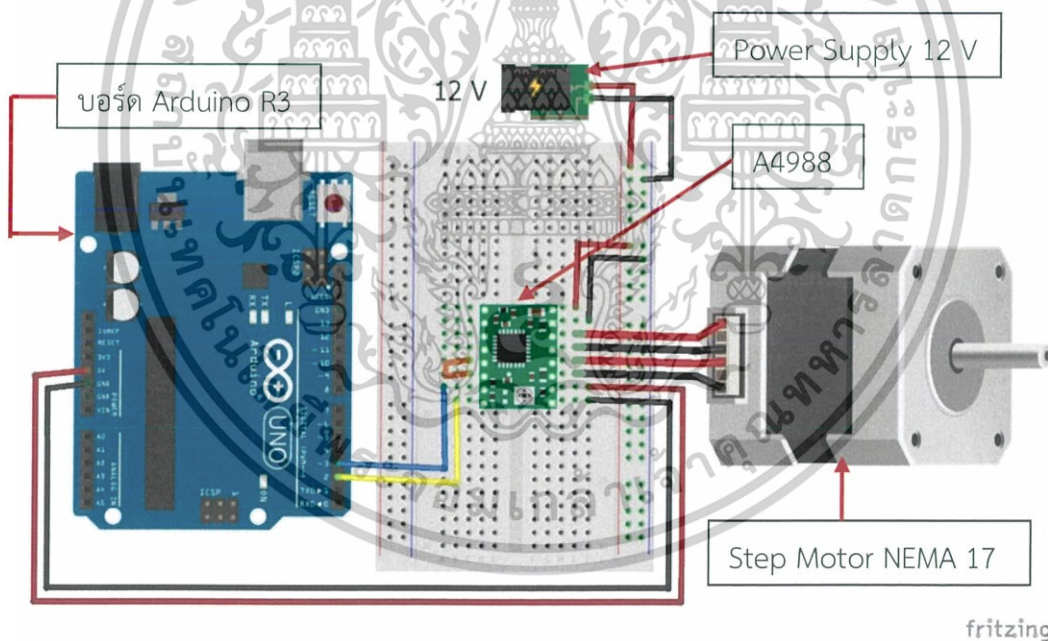
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ 100 ทรัพยากรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาต 25 นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าการเปรียบเทียบเวลา (นาทิจ) ต่อการเปลี่ยนตำแหน่งของดาว (องศา) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (ต่อ)

เวลา (นาทิจ)	องศา
104	26
108	27
112	28
116	29
120	30

3.3.4 การออกแบบวงจรสำหรับควบคุมมอเตอร์สำหรับติดตามดาว

ในการทำชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวนั้น จำเป็นต้องควบคุมมอเตอร์ โดยจะต้องมีการออกแบบวงจรขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับควบคุมมอเตอร์ โดยสามารถออกแบบวงจรได้ดังนี้



รูปที่ 3.31 วงจรสำหรับควบคุมมอเตอร์สำหรับติดตามดาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การคำนวณค่าสำหรับใช้หน่วยเวลาในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในการควบคุมมอเตอร์ของอุปกรณ์สำหรับติดตามดาวนั้น จำเป็นต้องปรับแก้โปรแกรมคำสั่งควบคุมเพื่อให้มอเตอร์นั้นมีความเร็วเทียบเท่ากับความเร็วในการเคลื่อนที่ของดาว โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

เฟืองหนอนมีจำนวนฟันเฟือง 40 ฟัน

อัตราทดของเฟืองหนอน = 40 : 1

1 นาที = 4 องศา

เฟืองตัวล่างหมุน 40 รอบ = เฟืองตัวบนหมุน 1 รอบ

ที่ delay 10 : เฟืองหนอนหมุน 10 รอบ ใช้เวลา 40 s

เฟืองหนอนหมุน 40 รอบ ใช้เวลา 160 s

ที่ delay 100 : เฟืองหนอนหมุน 1 รอบ ใช้เวลา 40 s

เฟืองหนอนหมุน 40 รอบ ใช้เวลา 1,600 s

ที่ delay 1000 : เฟืองหนอนหมุน 0.1 รอบ ใช้เวลา 40 s

เฟืองหนอนหมุน 40 รอบ ใช้เวลา 16,000 s

ดังนั้น เมื่อ delay มีค่าเพิ่ม 10 เท่า เวลา ก็จะเพิ่มขึ้น 10 เท่าเช่นกัน

จาก การเคลื่อนที่ของดาวเทียบกับเวลา คือ 1 องศา = 4 นาที

จะได้ 1 องศา = 4 นาที

$$= 4 \times 60 \text{ s}$$

$$1 \text{ องศา} = 240 \text{ s}$$

ที่ 360 องศา = 240 × 360

$$360 \text{ องศา} = 86,400 \text{ s}$$

ดังนั้น เฟืองหนอนหมุน 40 รอบ ใช้เวลา 86,400 S ค่า delay จึงมีค่าเท่ากับ

$$\text{delay} = \left(\frac{86,400}{16,000} \right) \times 1,000 = 5,400$$

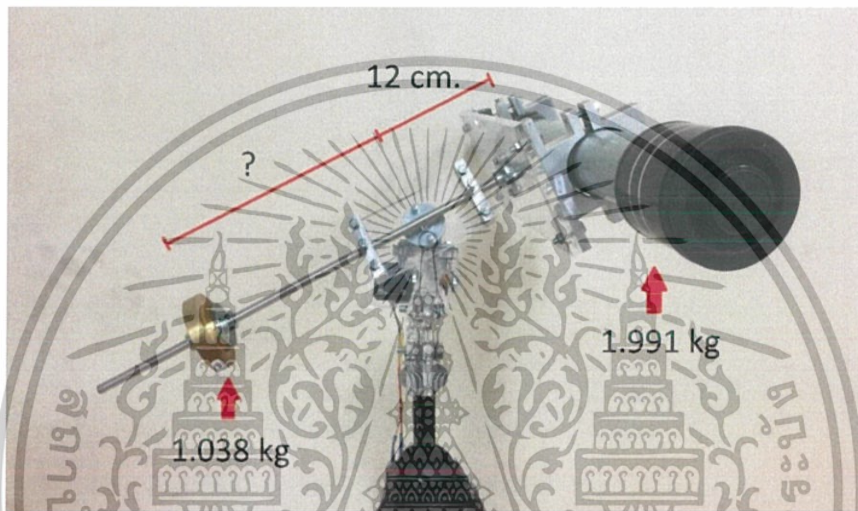
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 การคำนวณหาโมเมนต์

ในการทำชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวนั้นจะต้องมีการคำนวณหาค่าโมเมนต์ เพื่อสร้างความสมดุลให้กับกล้องดูดาว เนื่องจากกล้องดูดาวและชิ้นส่วนอื่น มีน้ำหนักที่ค่อนข้างมาก จึงต้องใช้ตุ้มเพื่อถ่วงน้ำหนักของกล้อง ดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณโมเมนต์เพื่อให้เกิดความสมดุล



รูปที่ 4.1 ระยะจุดหมุนถึงกล้องดูดาว และน้ำหนักของกล้องดูดาวกับตุ้มถ่วง

กล้องดูดาว มีน้ำหนัก 1.991 กิโลกรัม

ตุ้มถ่วง มีน้ำหนัก 1.038 กิโลกรัม

ระยะจากกล้องดูดาวถึงจุดหมุน เท่ากับ 12 เซนติเมตร

ค่าเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) เท่ากับ 10 เมตร/วินาที

ดังนั้น จาก $M_{\text{ตาม}} = M_{\text{ทวน}}$

จะได้

$$M_{\text{ตาม}} = M_{\text{ทวน}}$$

$$F_1 \times L_1 = F_2 \times L_2$$

$$(1.991 \text{ kg}) \times (10 \text{ m/s}) \times (12 \text{ cm}) = (1.038 \text{ kg}) \times (10 \text{ m/s}) \times (23 \text{ cm})$$

$$\frac{(1.991 \text{ kg}) \times (12 \text{ cm})}{(1.038 \text{ kg})} = L_2$$

$$L_2 = 23.01 \text{ cm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การคำนวณหาโมเมนต์ความเฉื่อย

จากหัวข้อที่ 4.1 เมื่อเราทราบค่าโมเมนต์ เราจะสามารถหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยได้จากสมการ $I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2$

เมื่อ กล้องดูดาว มีน้ำหนัก 1.991 กิโลกรัม

ตุ้มถ่วง มีน้ำหนัก 1.038 กิโลกรัม

ระยะจากกล้องดูดาวถึงจุดหมุน เท่ากับ 12 เซนติเมตร

ระยะจากตุ้มถ่วงจุดหมุน เท่ากับ 23 เซนติเมตร

จะได้

$$\begin{aligned}
 I &= m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 \\
 &= (1.991 \text{ kg}) \times (12 \text{ cm})^2 + (1.038 \text{ kg}) \times (23 \text{ cm})^2 \\
 &= (1.991 \text{ kg}) \times (12 \times 10^{-2} \text{ m})^2 + (1.038 \text{ kg}) \times (23 \times 10^{-2} \text{ m})^2 \\
 &= 0.029 + 0.55 \text{ kg} / \text{m}^2 \\
 &= 0.084 \text{ kg} / \text{m}^2
 \end{aligned}$$

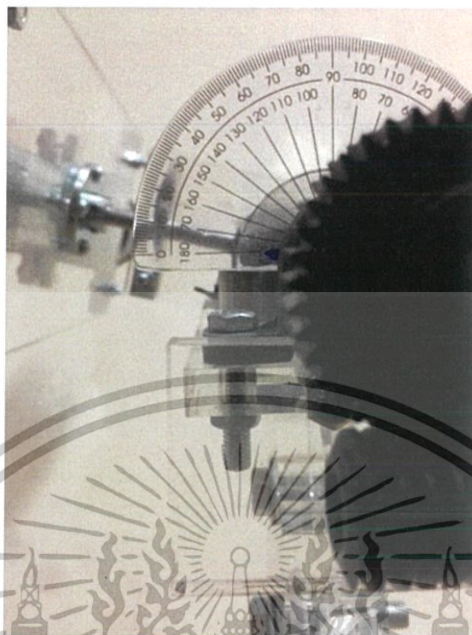
4.3 ผลการทดสอบหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและองศาในการเคลื่อนที่ของดาว

จากบทที่ 3 ในการหาคำนวณหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและองศาในการเคลื่อนที่ของดาว เมื่อทำการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวเทียบกับเวลา โดยทำการทดสอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบครั้งที่ 1 (1 ชั่วโมง)

4.3.1 การทดสอบชุดมอเตอร์เมื่อเวลาเท่ากับ 0 นาที อยู่ที่ 0 องศา



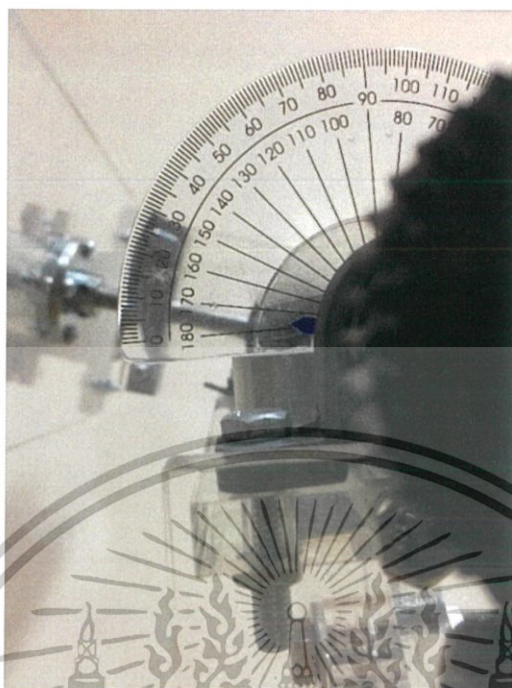
รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 0 นาที

4.3.2 การทดสอบชุดมอเตอร์เมื่อเวลาเท่ากับ 4 นาที อยู่ที่ 1 องศา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 4 นาที
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวเมื่อเวลาเท่ากับ 8 นาที อยู่ที่ 2 องศา



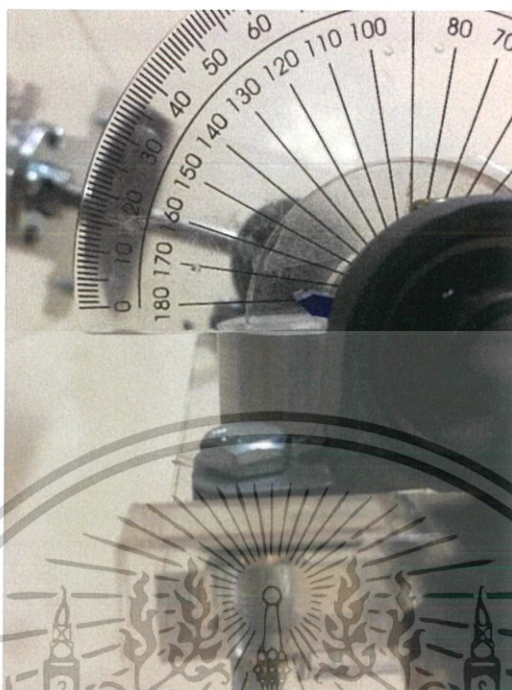
รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 8 นาที

4.3.4 ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวเมื่อเวลาเท่ากับ 12 นาที อยู่ที่ 3 องศา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งรูปที่ 4.5 ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 12 นาที รังที่มีการนำไปใช้

4.3.5 การทดสอบชุดมอเตอร์เมื่อเวลาเท่ากับ 16 นาที อยู่ที่ 4 องศา



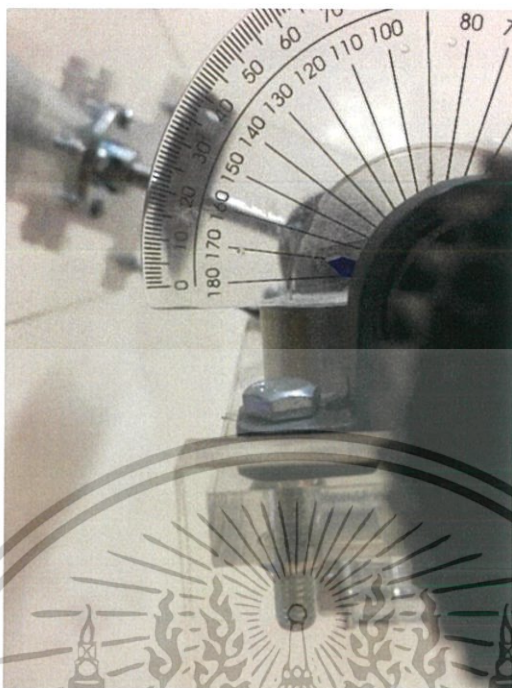
รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 16 นาที

4.3.6 การทดสอบชุดมอเตอร์เมื่อเวลาเท่ากับ 20 นาที อยู่ที่ 5 องศา



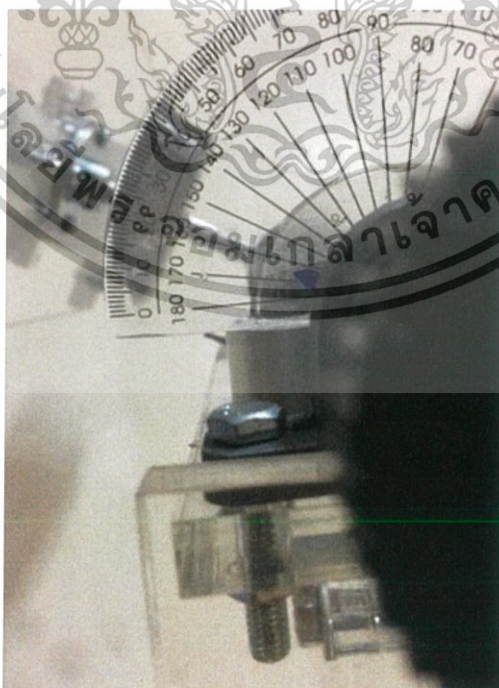
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **รูปที่ 4.7** ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 20 นาที **รูปที่ 4.8** รั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.7 การทดสอบชุดมอเตอร์เมื่อเวลาเท่ากับ 40 นาที อยู่ที่ 10 องศา



รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 40 นาที

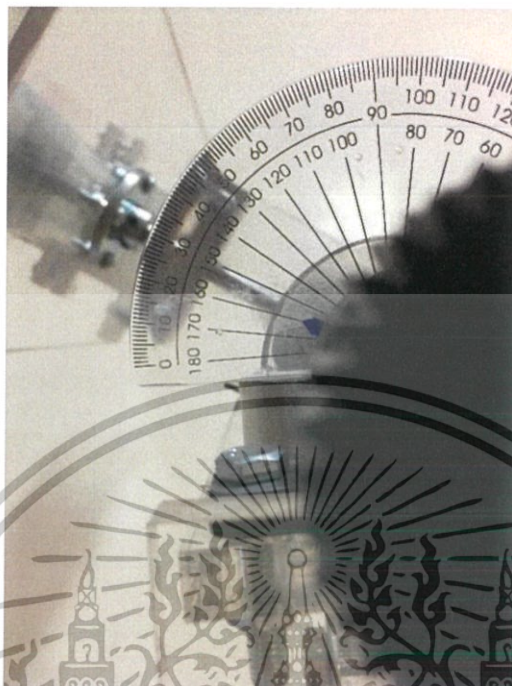
4.3.8 การทดสอบชุดมอเตอร์เมื่อเวลาเท่ากับ 60 นาที อยู่ที่ 15 องศา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 60 นาที

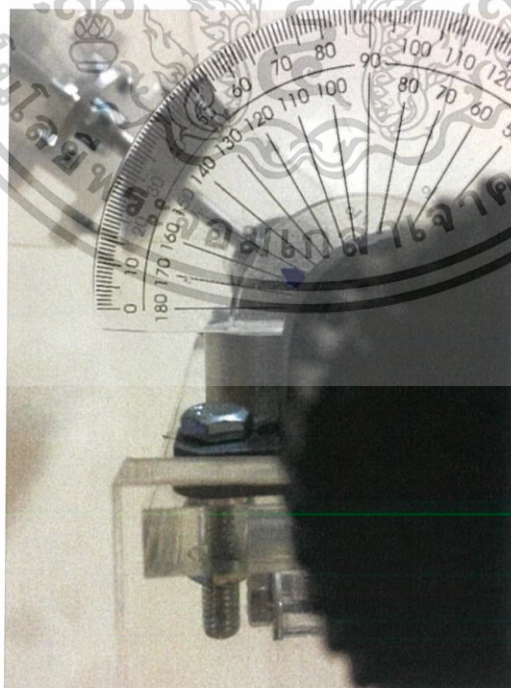
การทดสอบครั้งที่ 2 (1 ชั่วโมง)

4.3.9 การทดสอบชุดมอเตอร์เมื่อเวลาเท่ากับ 80 นาที อยู่ที่ 20 องศา



รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 80 นาที

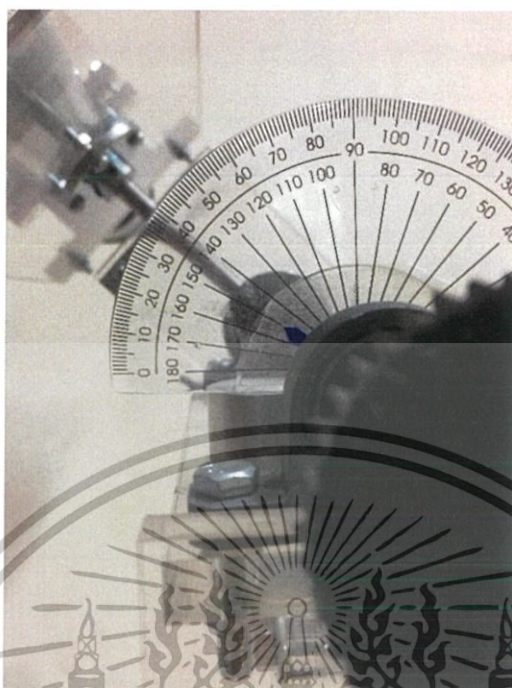
4.3.10 การทดสอบชุดมอเตอร์เมื่อเวลาเท่ากับ 100 นาที อยู่ที่ 25 องศา



รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 100 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งรูปที่ 4.11 ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 100 นาทีที่มีการนำไปใช้

4.3.11 การทดสอบชุดมอเตอร์เมื่อเวลาเท่ากับ 120 นาที อยู่ที่ 30 องศา



รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวที่เวลา 120 นาที

4.4 ผลการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวขณะติดตามดาวบนท้องฟ้า

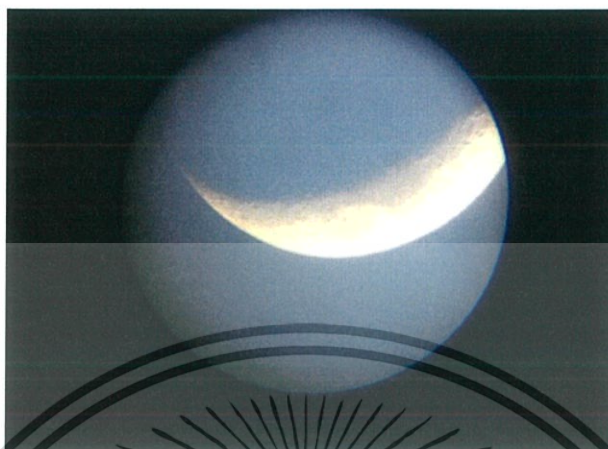
จากหัวข้อที่ 4.3 เมื่อได้ทำการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวเทียบกับเวลาแล้ว จึงนำมาทดสอบกับการติดตามดาวจริงบนท้องฟ้า ซึ่งดาวที่ใช้ในการทดสอบคือดวงจันทร์ โดยทำการทดสอบ 2 ครั้ง ได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบครั้งที่ 1

ทำการทดสอบโดยสังเกตผลการทดสอบทุก 20 นาที

4.4.1 การทดสอบขณะติดตามดวงจันทร์ เริ่มต้นที่เวลา 18:38



รูปที่ 4.13 ดวงจันทร์ขณะเริ่มทำการทดสอบที่เวลา 18:38

4.4.2 การทดสอบขณะติดตามดวงจันทร์ เมื่อผ่านไป 20 นาทีที่เวลา 18:58



รูปที่ 4.14 ดวงจันทร์ขณะทดสอบที่เวลา 18:58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบครั้งที่ 2

ทำการทดสอบโดยสังเกตผลการทดสอบทุก 10 นาที

4.4.3 การทดสอบขณะติดตามดวงจันทร์ เริ่มต้นที่เวลา 19:45



รูปที่ 4.15 ดวงจันทร์ขณะเริ่มต้นการทดสอบที่เวลา 19:45

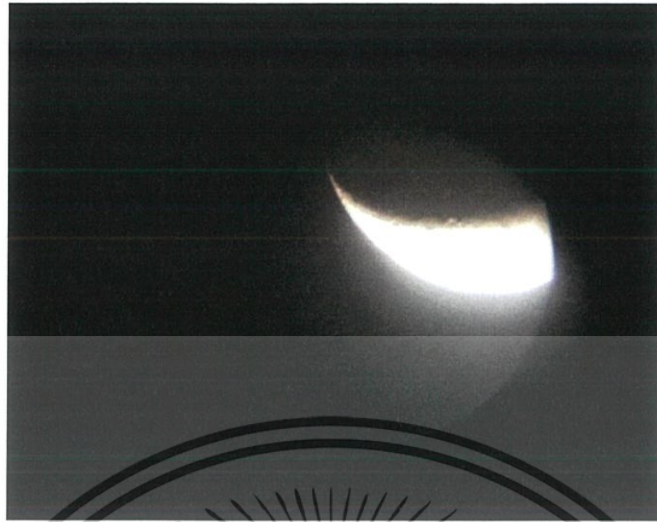
4.4.4 การทดสอบขณะติดตามดวงจันทร์ ที่เวลา 19:55



รูปที่ 4.16 ดวงจันทร์ขณะทดสอบที่เวลา 19:55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5 การทดสอบขณะติดตามดวงจันทร์ ที่เวลา 20:05



รูปที่ 4.17 ดวงจันทร์ขณะทดสอบที่เวลา 20:05

4.4.6 การทดสอบขณะติดตามดวงจันทร์ ที่เวลา 20:15



รูปที่ 4.18 ดวงจันทร์ขณะทดสอบที่เวลา 20:15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการสร้างชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาว โดยทำการออกแบบชิ้นส่วนของชุดมอเตอร์ติดตามดาว สามารถเคลื่อนที่ตามแกนไรต์แอสเซนชัน (Right Ascension; RA) ได้ โดยอุปกรณ์สามารถหมุนได้ประมาณ 180 องศาในแนวราบ ตามเข็มนาฬิกา จึงสรุปผลในการสร้างชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวว่า

จากทฤษฎีการหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและองศาในการเคลื่อนที่ของดาว (จากหัวข้อที่ 3.3.3) พบว่าในทุก ๆ 1 องศา ดาวเคลื่อนที่โดยใช้เวลา 4 นาที จากการทดสอบมอเตอร์สำหรับติดตามดาว โดยทำการทดสอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

ในการทดสอบชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาว เมื่อนำไปทดสอบจริงในการติดตามดวงจันทร์พบว่า ผลการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนทั้งการทดสอบครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 เนื่องจาก ในการทดสอบครั้งที่ 1 นั้น มีการปรับแกนเดคลิเนชัน (Declination; Dec) ที่ไม่ถูกต้อง จึงทำให้ชุดมอเตอร์ไม่สามารถตามดวงจันทร์ได้อย่างต่อเนื่อง และในการทดสอบครั้งที่ 2 นั้น ได้ทำการปรับแกนเดคลิเนชัน (Declination; Dec) ให้ถูกต้อง พบว่าชุดมอเตอร์สามารถติดตามดวงจันทร์ได้จริง แต่ในขณะที่ทำการทดสอบนั้น เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที มีกลุ่มเมฆเคลื่อนตัวมาบังดวงจันทร์ จึงไม่สามารถมองเห็นดวงจันทร์ได้

5.2 ปัญหาที่พบในการวิจัย

5.2.1 เนื่องจากจากอากาศที่แปรปรวน ท้องฟ้ามีเมฆมาก และมีฝนตกจึงทำให้ไม่สามารถทดสอบจริงได้

5.2.2 เฟืองที่ใช้ในงานวิจัยขบกันไม่สนิท ทำให้เกิดช่องว่าง ส่งผลให้เกิดการสั่นของกล่อง

5.2.3 แหล่งกำเนิดไฟ (Power Supply) ที่นำมาใช้ในการทดสอบนั้นมีค่ากระแสไฟมากเกินไป เนื่องจากไม่ได้ทำการวัดค่ากระแสไฟก่อนที่จะนำมาทดสอบ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 แหล่งพลังงานเสริมควรเปลี่ยนจาก แหล่งกำเนิดไฟ (Power Supply) เป็นแบตเตอรี่ (Battery) เพื่อที่จะสามารถพกพาได้ และสะดวกต่อการใช้งานมากขึ้น

5.3.2 วัสดุที่ใช้ทำฐานของชุดมอเตอร์สำหรับติดตามดาวจากอะคริลิก (Acrylic) ควรเปลี่ยนเป็นอะลูมิเนียม (Aluminium) เนื่องจาก วัสดุนี้มีคุณสมบัติที่แข็งแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการแข่งขัน เมื่อผู้จัดทำเห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 แนวทางพัฒนา

ในทางพัฒนาอุปกรณ์และโปรแกรม ซึ่งในตอนนี้นี้เราเก็บผลการทดสอบโดยการสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงการหมุนของมอเตอร์ โดยอนาคตควรพัฒนาระบบให้สามารถควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กฤติไกร ไชยลิก. 2552. Solidwork. [Online]. Available:

<http://solidworkweb.blogspot.com>

Chaiyaporn Silawatchananai. 2557. การขับ Step Motor และ RC Servo Motor.

[Online]. Available: <http://aimagin.com/blog/driving>

LESA. 2017. ประเภทของกล้องโทรทรรศน์. [Online]. Available:

<http://www.lesa.biz/astromy/telescope/telescope-type>

รุ่นต่างๆกัน). [Online]. Available:

<http://www.myarduino.net/article/4/>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
คู่มือการใช้งานของ Stepper Motor NEMA 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stepper Motor NEMA 17

This document describes mechanical and electrical specifications for PBC Linear stepper motors; including standard, hollow, and extended shaft variations.

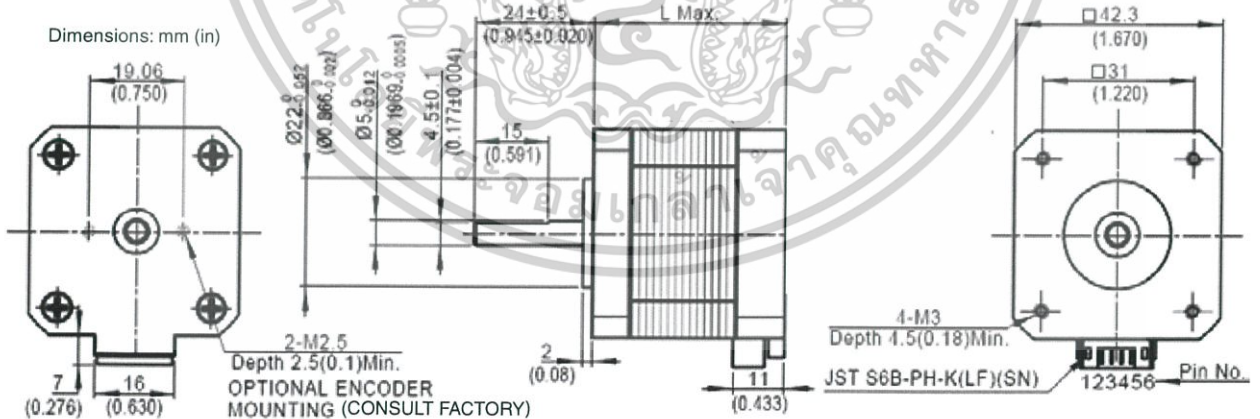


Standard shaft motor shown.

Phases	2
Steps/Revolution	200
Step Accuracy	±5%
Shaft Load	20,000 Hours at 1000 RPM
Axial	25 N (5.6 lbs.) Push 65 N (15 lbs.) Pull
Radial	29 N (6.5 lbs.) At Flat Center
IP Rating	40
Approvals	RoHS
Operating Temp	-20° C to +40° C
Insulation Class	B, 130° C
Insulation Resistance	100 MegOhms

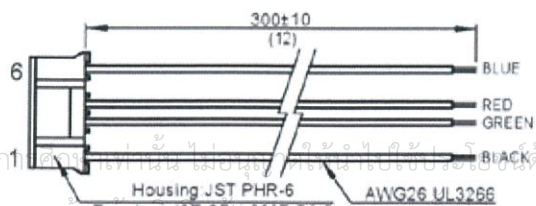
Description	Length	Mounted Rated Current	Mounted Holding Torque		Winding Ohms		Detent Torque		Rotor Inertia		Motor Weight	
			Nm Typ.	oz-in Typ.	±10% @ 20°C	mH typ.	mNm	oz-in	g cm ²	oz-in ²	kg	lbs
(Stack)	"L" Max	Amps										
Single	39.8 mm (1.57 in)	2	0.48	68	1.04	2.2	15	2.1	57	0.31	0.28	0.62
Double	48.3 mm (1.90 in)	2	0.63	89	1.3	2.9	25	3.5	82	0.45	0.36	0.79
Triple	62.8 mm (2.47 in)	2	0.83	120	1.49	3.8	30	4.2	123	0.67	0.6	1.3

*All standard motors have plug connector. Consult factory for other options.



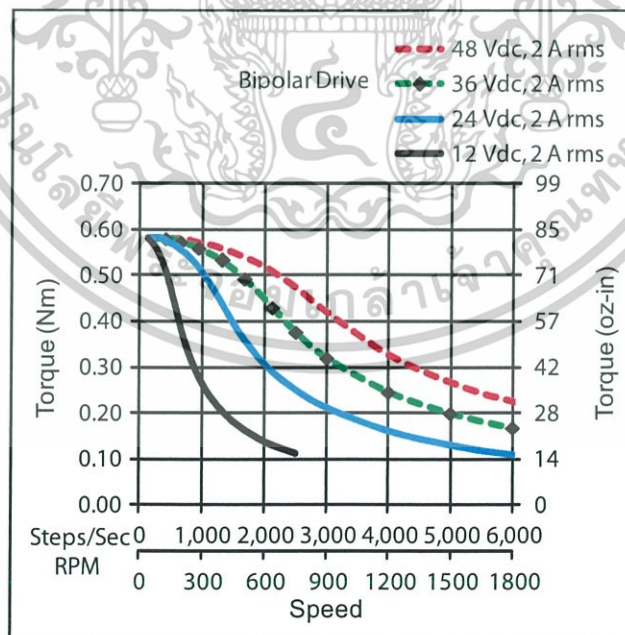
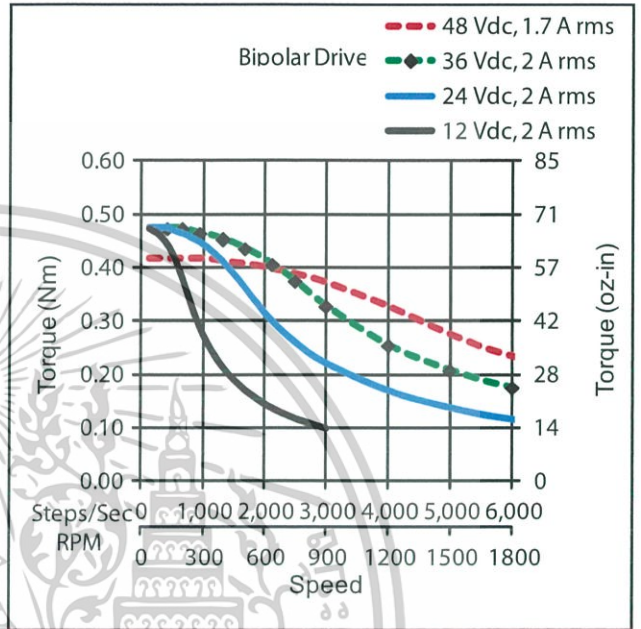
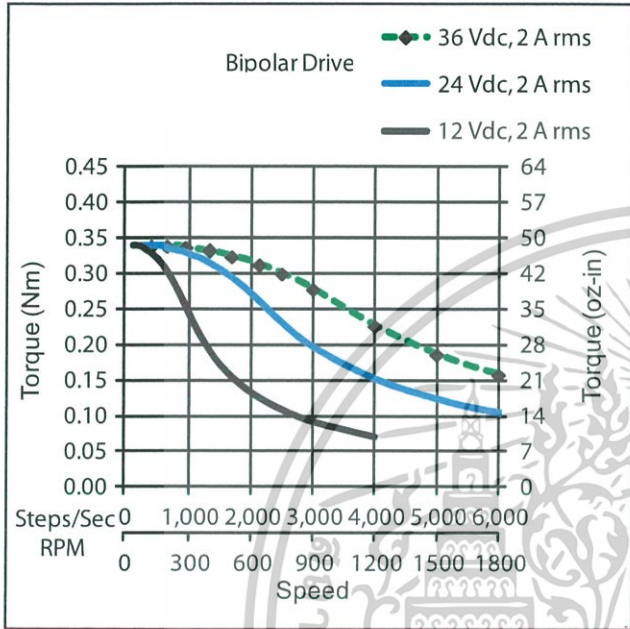
Standard shaft dimensions shown. All other dimensions apply to hollow and extended shaft options.

Dimensions: mm (in)
4 Lead Connector, PBC Part#6200490
(Consult factory for optional motor connectors)



NEMA 17 Stepper Motor

*Performance curves apply to continuous duty cycles.
Consult factory for intermittent cycles or other voltages.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

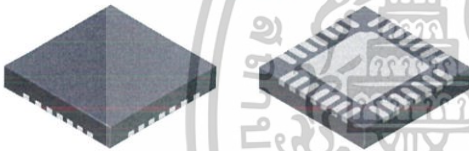
DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection

Features and Benefits

- Low $R_{DS(ON)}$ outputs
- Automatic current decay mode detection/selection
- Mixed and Slow current decay modes
- Synchronous rectification for low power dissipation
- Internal UVLO
- Crossover-current protection
- 3.3 and 5 V compatible logic supply
- Thermal shutdown circuitry
- Short-to-ground protection
- Shorted load protection
- Five selectable step modes: full, $1/2$, $1/4$, $1/8$, and $1/16$

Package:

28-contact QFN
with exposed thermal pad
5 mm × 5 mm × 0.90 mm
(ET package)



Approximate size

Description

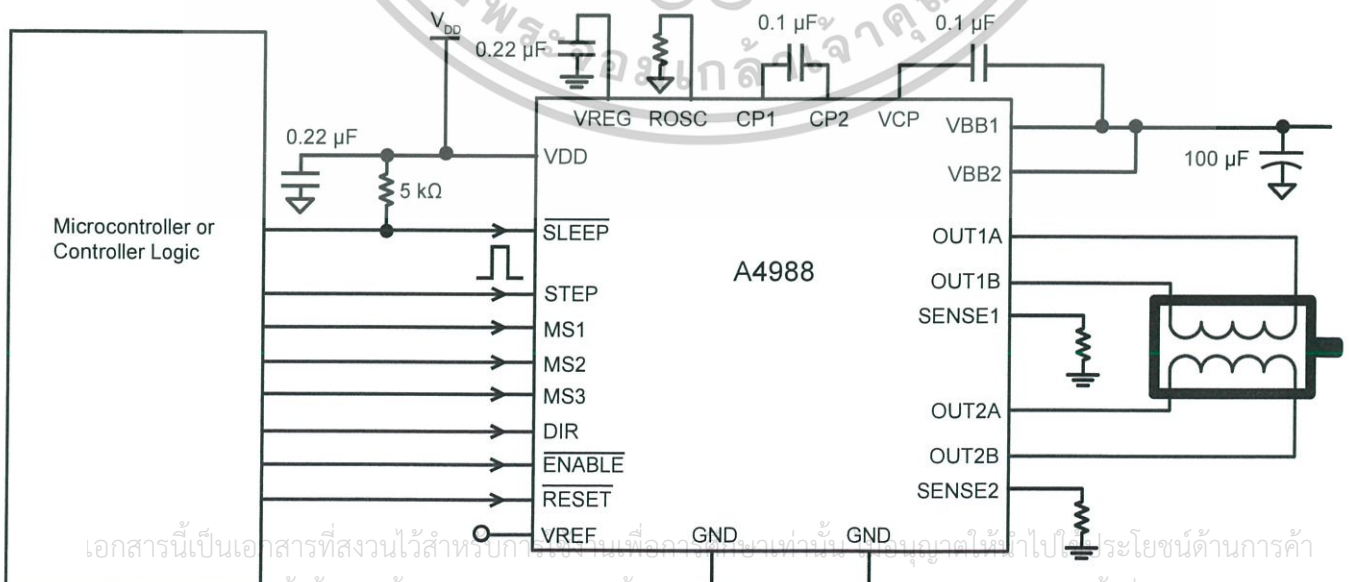
The A4988 is a complete microstepping motor driver with built-in translator for easy operation. It is designed to operate bipolar stepper motors in full-, half-, quarter-, eighth-, and sixteenth-step modes, with an output drive capacity of up to 35 V and ± 2 A. The A4988 includes a fixed off-time current regulator which has the ability to operate in Slow or Mixed decay modes.

The translator is the key to the easy implementation of the A4988. Simply inputting one pulse on the STEP input drives the motor one microstep. There are no phase sequence tables, high frequency control lines, or complex interfaces to program. The A4988 interface is an ideal fit for applications where a complex microprocessor is unavailable or is overburdened.

During stepping operation, the chopping control in the A4988 automatically selects the current decay mode, Slow or Mixed. In Mixed decay mode, the device is set initially to a fast decay for a proportion of the fixed off-time, then to a slow decay for the remainder of the off-time. Mixed decay current control results in reduced audible motor noise, increased step accuracy, and reduced power dissipation.

Continued on the next page...

Typical Application Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A4988

DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection

Description (continued)

Internal synchronous rectification control circuitry is provided to improve power dissipation during PWM operation. Internal circuit protection includes: thermal shutdown with hysteresis, undervoltage lockout (UVLO), and crossover-current protection. Special power-on sequencing is not required.

The A4988 is supplied in a surface mount QFN package (ES), 5 mm × 5 mm, with a nominal overall package height of 0.90 mm and an exposed pad for enhanced thermal dissipation. It is lead (Pb) free (suffix -T), with 100% matte tin plated leadframes.

Selection Guide

Part Number	Package	Packing
A4988SETTR-T	28-contact QFN with exposed thermal pad	1500 pieces per 7-in. reel

Absolute Maximum Ratings

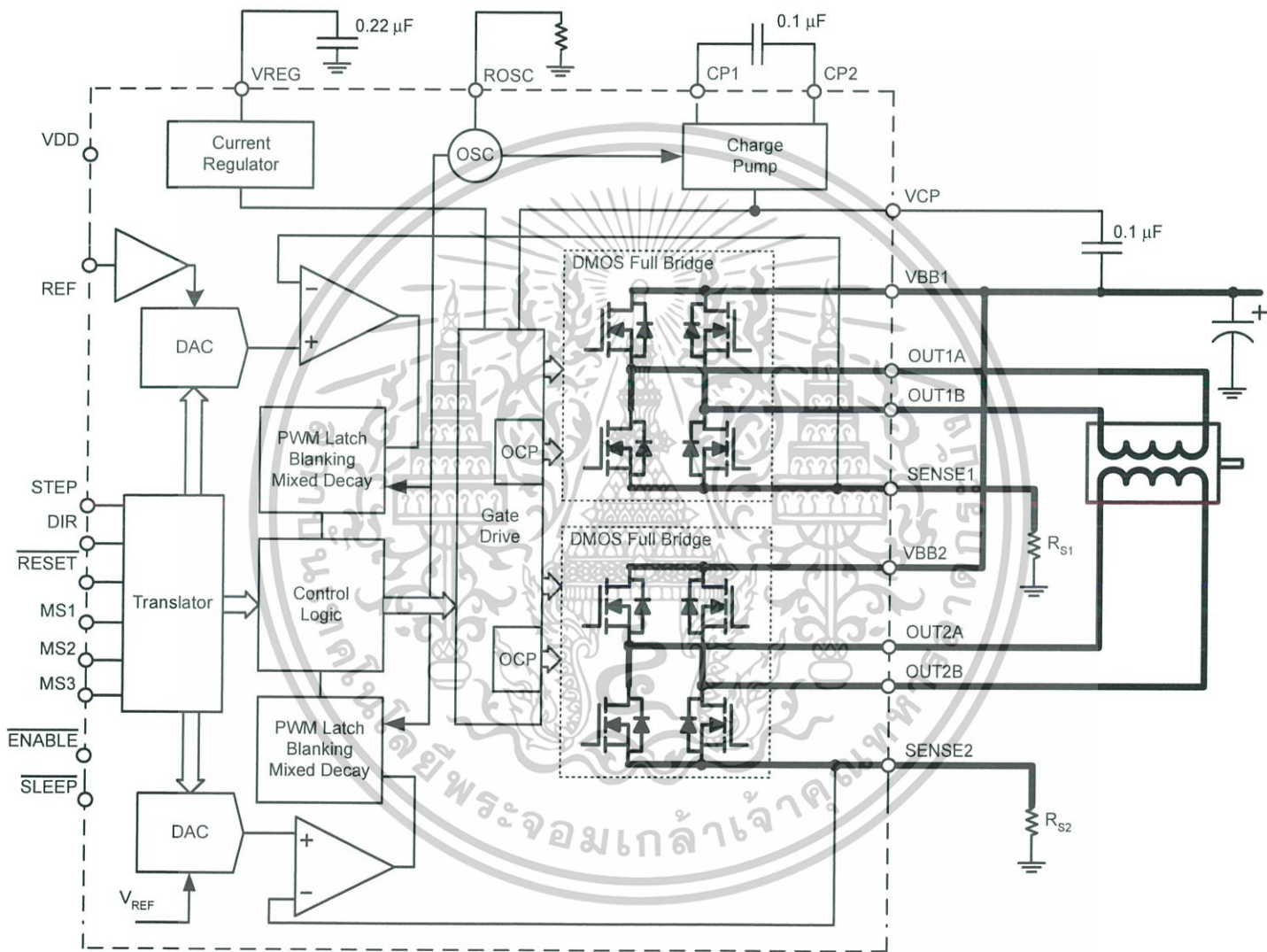
Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Load Supply Voltage	V_{BB}		35	V
Output Current	I_{OUT}		±2	A
Logic Input Voltage	V_{IN}		-0.3 to 5.5	V
Logic Supply Voltage	V_{DD}		-0.3 to 5.5	V
Motor Outputs Voltage			-2.0 to 37	V
Sense Voltage	V_{SENSE}		-0.5 to 0.5	V
Reference Voltage	V_{REF}		5.5	V
Operating Ambient Temperature	T_A	Range S	-20 to 85	°C
Maximum Junction	$T_J(max)$		150	°C
Storage Temperature	T_{stg}		-55 to 150	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Allegro MicroSystems, LLC
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

Functional Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS¹ at $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{BB} = 35\text{ V}$ (unless otherwise noted)

Characteristics	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ. ²	Max.	Units
Output Drivers						
Load Supply Voltage Range	V_{BB}	Operating	8	–	35	V
Logic Supply Voltage Range	V_{DD}	Operating	3.0	–	5.5	V
Output On Resistance	$R_{\text{DS(on)}}$	Source Driver, $I_{\text{OUT}} = -1.5\text{ A}$	–	320	430	m Ω
		Sink Driver, $I_{\text{OUT}} = 1.5\text{ A}$	–	320	430	m Ω
Body Diode Forward Voltage	V_F	Source Diode, $I_F = -1.5\text{ A}$	–	–	1.2	V
		Sink Diode, $I_F = 1.5\text{ A}$	–	–	1.2	V
Motor Supply Current	I_{BB}	$f_{\text{PWM}} < 50\text{ kHz}$	–	–	4	mA
		Operating, outputs disabled	–	–	2	mA
Logic Supply Current	I_{DD}	$f_{\text{PWM}} < 50\text{ kHz}$	–	–	8	mA
		Outputs off	–	–	5	mA
Control Logic						
Logic Input Voltage	$V_{\text{IN}(1)}$		$V_{\text{DD}} \times 0.7$	–	–	V
	$V_{\text{IN}(0)}$		–	–	$V_{\text{DD}} \times 0.3$	V
Logic Input Current	$I_{\text{IN}(1)}$	$V_{\text{IN}} = V_{\text{DD}} \times 0.7$	–20	<1.0	20	μA
	$I_{\text{IN}(0)}$	$V_{\text{IN}} = V_{\text{DD}} \times 0.3$	–20	<1.0	20	μA
Microstep Select	R_{MS1}	MS1 pin	–	100	–	k Ω
	R_{MS2}	MS2 pin	–	50	–	k Ω
	R_{MS3}	MS3 pin	–	100	–	k Ω
Logic Input Hysteresis	$V_{\text{HYS(IN)}}$	As a % of V_{DD}	5	11	19	%
Blank Time	t_{BLANK}		0.7	1	1.3	μs
Fixed Off-Time	t_{OFF}	OSC = VDD or GND	20	30	40	μs
		$R_{\text{OSC}} = 25\text{ k}\Omega$	23	30	37	μs
Reference Input Voltage Range	V_{REF}		0	–	4	V
Reference Input Current	I_{REF}		–3	0	3	μA
Current Trip-Level Error ³	err _I	$V_{\text{REF}} = 2\text{ V}$, % $I_{\text{TripMAX}} = 38.27\%$	–	–	± 15	%
		$V_{\text{REF}} = 2\text{ V}$, % $I_{\text{TripMAX}} = 70.71\%$	–	–	± 5	%
		$V_{\text{REF}} = 2\text{ V}$, % $I_{\text{TripMAX}} = 100.00\%$	–	–	± 5	%
Crossover Dead Time	t_{DT}		100	475	800	ns
Protection						
Overcurrent Protection Threshold ⁴	I_{OCPST}		2.1	–	–	A
Thermal Shutdown Temperature	T_{TSD}		–	165	–	$^\circ\text{C}$
Thermal Shutdown Hysteresis	T_{TSDHYS}		–	15	–	$^\circ\text{C}$
VDD Undervoltage Lockout	V_{DDUVLO}	V_{DD} rising	2.7	2.8	2.9	V
VDD Undervoltage Hysteresis	$V_{\text{DDUVLOHYS}}$		–	90	–	mV

¹For input and output current specifications, negative current is defined as coming out of (sourcing) the specified device pin.

²Typical data are for initial design estimations only, and assume optimum manufacturing and application conditions. Performance may vary for individual units, within the specified maximum and minimum limits.

³ $I_{\text{ERR}} = [(V_{\text{REF}}/8) - V_{\text{SENSE}}] / (V_{\text{REF}}/8)$.

⁴Overcurrent protection (OCP) is tested at $T_A = 25^\circ\text{C}$ in a restricted range and guaranteed by characterization.

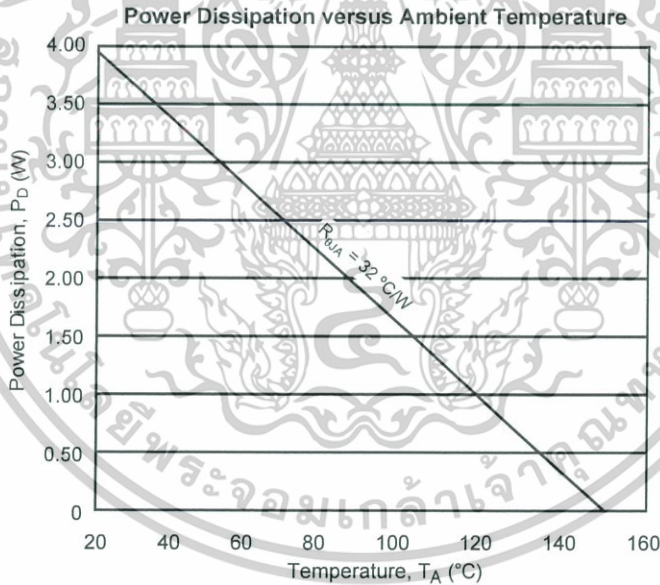
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ลีซิ่ง ลีซิ่ง ให้จัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Test Conditions*	Value	Units
Package Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Four-layer PCB, based on JEDEC standard	32	$^{\circ}C/W$

*Additional thermal information available on Allegro Web site.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

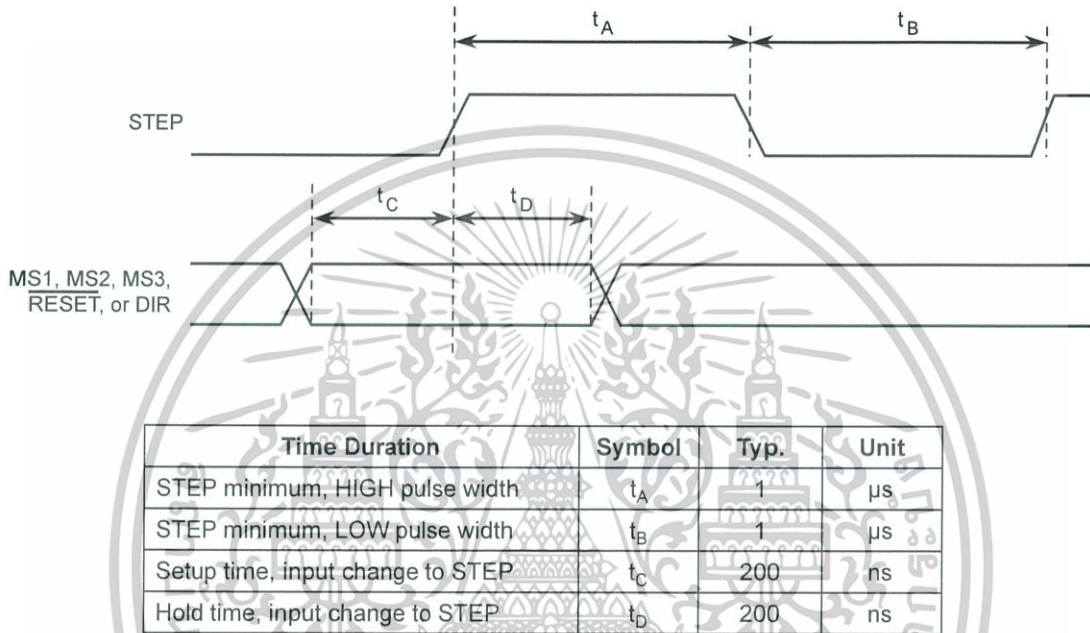


Figure 1: Logic Interface Timing Diagram

Table 1: Microstepping Resolution Truth Table

MS1	MS2	MS3	Microstep Resolution	Excitation Mode
L	L	L	Full Step	2 Phase
H	L	L	Half Step	1-2 Phase
L	H	L	Quarter Step	W1-2 Phase
H	H	L	Eighth Step	2W1-2 Phase
H	H	H	Sixteenth Step	4W1-2 Phase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขข้อมูลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Description

Device Operation. The A4988 is a complete microstepping motor driver with a built-in translator for easy operation with minimal control lines. It is designed to operate bipolar stepper motors in full-, half-, quarter-, eighth-, and sixteenth-step modes. The currents in each of the two output full-bridges and all of the N-channel DMOS FETs are regulated with fixed off-time PWM (pulse width modulated) control circuitry. At each step, the current for each full-bridge is set by the value of its external current-sense resistor (R_{S1} and R_{S2}), a reference voltage (V_{REF}), and the output voltage of its DAC (which in turn is controlled by the output of the translator).

At power-on or reset, the translator sets the DACs and the phase current polarity to the initial Home state (shown in Figures 9 through 13), and the current regulator to Mixed Decay Mode for both phases. When a step command signal occurs on the STEP input, the translator automatically sequences the DACs to the next level and current polarity. (See Table 2 for the current-level sequence.) The microstep resolution is set by the combined effect of the MSx inputs, as shown in Table 1.

When stepping, if the new output levels of the DACs are lower than their previous output levels, then the decay mode for the active full-bridge is set to Mixed. If the new output levels of the DACs are higher than or equal to their previous levels, then the decay mode for the active full-bridge is set to Slow. This automatic current decay selection improves microstepping performance by reducing the distortion of the current waveform that results from the back EMF of the motor.

Microstep Select (MSx). The microstep resolution is set by the voltage on logic inputs MSx, as shown in Table 1. The MS1 and MS3 pins have a 100 k Ω pull-down resistance, and the MS2 pin has a 50 k Ω pull-down resistance. When changing the step mode the change does not take effect until the next STEP rising edge.

If the step mode is changed without a translator reset, and absolute position must be maintained, it is important to change the step mode at a step position that is common to both step modes in order to avoid missing steps. When the device is powered down, or reset due to TSD or an over current event the translator is set to

the home position which is by default common to all step modes.

Mixed Decay Operation. The bridge operates in Mixed decay mode, at power-on and reset, and during normal running according to the ROSC configuration and the step sequence, as shown in Figures 9 through 13. During Mixed decay, when the trip point is reached, the A4988 initially goes into a fast decay mode for 31.25% of the off-time, t_{OFF} . After that, it switches to Slow decay mode for the remainder of t_{OFF} . A timing diagram for this feature appears on the next page.

Typically, mixed decay is only necessary when the current in the winding is going from a higher value to a lower value as determined by the state of the translator. For most loads automatically-selected mixed decay is convenient because it minimizes ripple when the current is rising and prevents missed steps when the current is falling. For some applications where microstepping at very low speeds is necessary, the lack of back EMF in the winding causes the current to increase in the load quickly, resulting in missed steps. This is shown in Figure 2. By pulling the ROSC pin to ground, mixed decay is set to be active 100% of the time, for both rising and falling currents, and prevents missed steps as shown in Figure 3. If this is not an issue, it is recommended that automatically-selected mixed decay be used, because it will produce reduced ripple currents. Refer to the Fixed Off-Time section for details.

Low Current Microstepping. Intended for applications where the minimum on-time prevents the output current from regulating to the programmed current level at low current steps. To prevent this, the device can be set to operate in Mixed decay mode on both rising and falling portions of the current waveform. This feature is implemented by shorting the ROSC pin to ground. In this state, the off-time is internally set to 30 μ s.

Reset Input (\overline{RESET}). The \overline{RESET} input sets the translator to a predefined Home state (shown in Figures 9 through 13), and turns off all of the FET outputs. All STEP inputs are ignored until the \overline{RESET} input is set to high.

Step Input (STEP). A low-to-high transition on the STEP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ลึกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

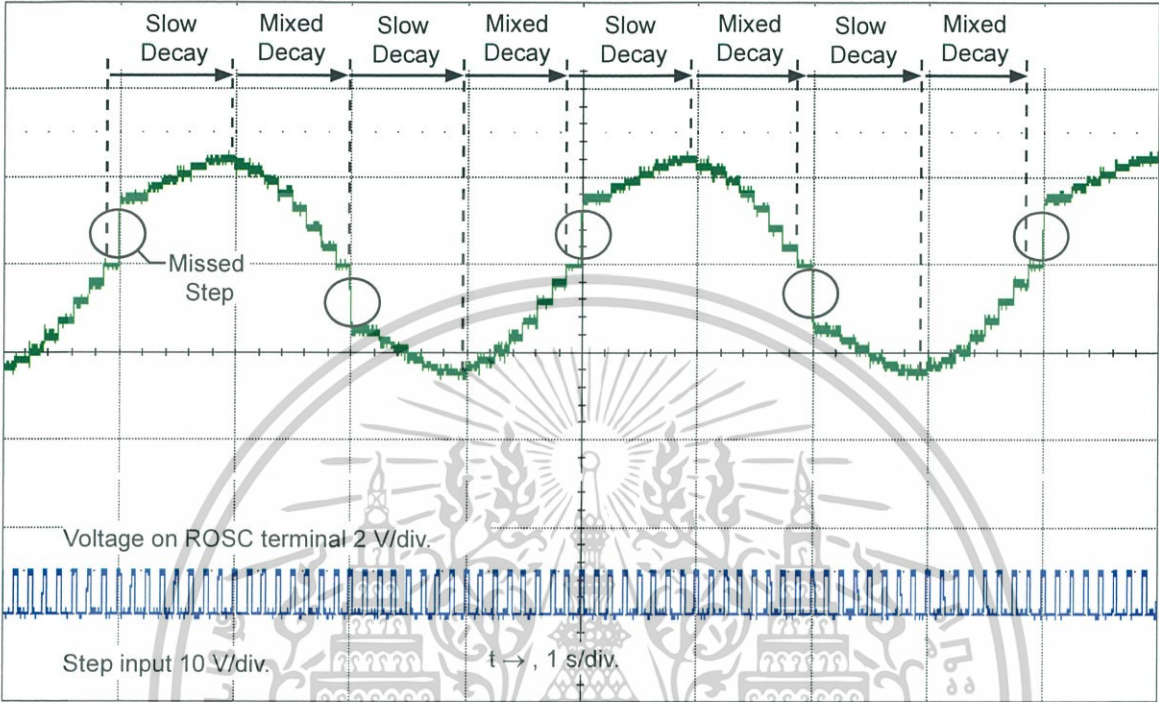


Figure 2: Missed Steps in Low-Speed Microstepping

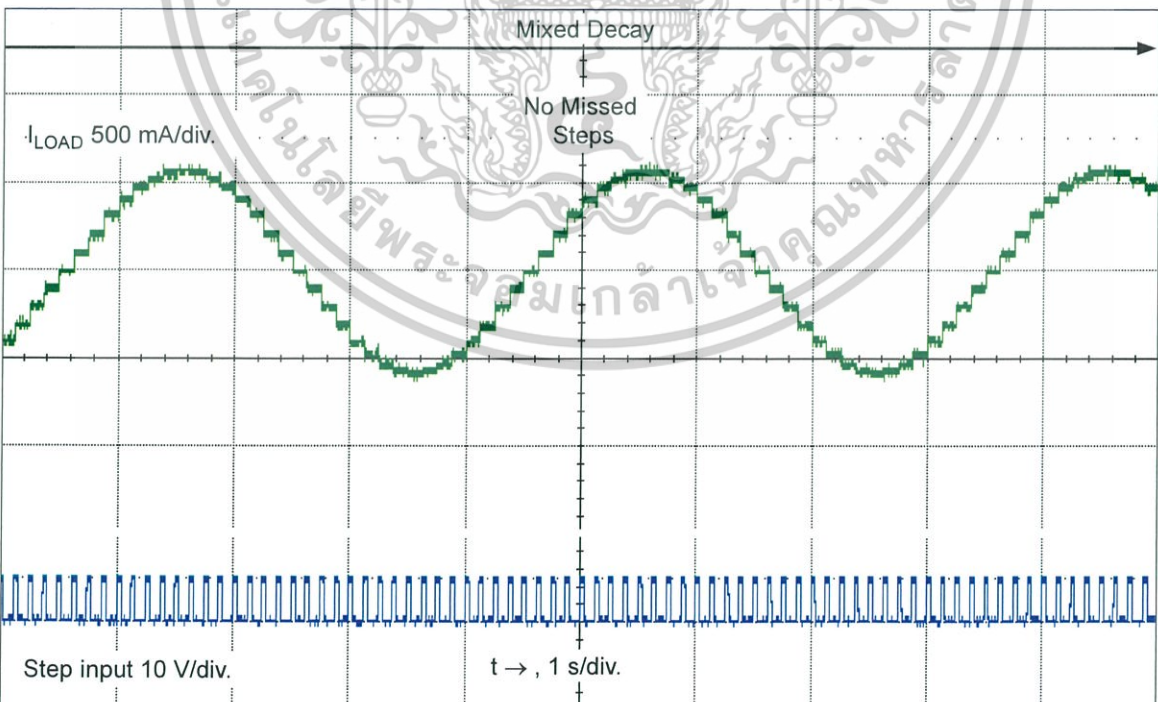


Figure 3: Continuous Stepping Using Automatically-Selected Mixed Stepping (ROSC pin grounded)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับว่าเห็นว่าเป็นประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Allegro MicroSystems, LLC
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

input sequences the translator and advances the motor one increment. The translator controls the input to the DACs and the direction of current flow in each winding. The size of the increment is determined by the combined state of the MSx inputs.

Direction Input (DIR). This determines the direction of rotation of the motor. Changes to this input do not take effect until the next STEP rising edge.

Internal PWM Current Control. Each full-bridge is controlled by a fixed off-time PWM current control circuit that limits the load current to a desired value, I_{TRIP} . Initially, a diagonal pair of source and sink FET outputs are enabled and current flows through the motor winding and the current sense resistor, R_{Sx} . When the voltage across R_{Sx} equals the DAC output voltage, the current sense comparator resets the PWM latch. The latch then turns off the appropriate source driver and initiates a fixed off time decay mode

The maximum value of current limiting is set by the selection of R_{Sx} and the voltage at the VREF pin. The transconductance function is approximated by the maximum value of current limiting, $I_{TripMAX}$ (A), which is set by

$$I_{TripMAX} = V_{REF} / (8 \times R_S)$$

where R_S is the resistance of the sense resistor (Ω) and V_{REF} is the input voltage on the REF pin (V).

The DAC output reduces the V_{REF} output to the current sense comparator in precise steps, such that

$$I_{trip} = (\%I_{TripMAX} / 100) \times I_{TripMAX}$$

(See Table 2 for $\%I_{TripMAX}$ at each step.)

It is critical that the maximum rating (0.5 V) on the SENSE1 and SENSE2 pins is not exceeded.

Fixed Off-Time. The internal PWM current control circuitry uses a one-shot circuit to control the duration of time that the DMOS FETs remain off. The off-time, t_{OFF} , is determined by the ROSC terminal. The ROSC terminal has three settings:

- ROSC tied to VDD — off-time internally set to 30 μ s, decay mode is automatic Mixed decay except when in full step where decay mode is set to Slow decay
- ROSC tied directly to ground — off-time internally set to 30 μ s, current decay is set to Mixed decay for both increasing and decreasing currents for all step modes.

- ROSC through a resistor to ground — off-time is determined by the following formula, the decay mode is automatic Mixed decay for all step modes except full step which is set to slow decay.

$$t_{OFF} \approx R_{OSC} / 825$$

Where t_{OFF} is in μ s.

Blanking. This function blanks the output of the current sense comparators when the outputs are switched by the internal current control circuitry. The comparator outputs are blanked to prevent false overcurrent detection due to reverse recovery currents of the clamp diodes, and switching transients related to the capacitance of the load. The blank time, t_{BLANK} (μ s), is approximately

$$t_{BLANK} \approx 1 \mu s$$

Shorted-Load and Short-to-Ground Protection.

If the motor leads are shorted together, or if one of the leads is shorted to ground, the driver will protect itself by sensing the overcurrent event and disabling the driver that is shorted, protecting the device from damage. In the case of a short-to-ground, the device will remain disabled (latched) until the SLEEP input goes high or VDD power is removed. A short-to-ground overcurrent event is shown in Figure 4.

When the two outputs are shorted together, the current path is through the sense resistor. After the blanking time ($\approx 1 \mu$ s) expires, the sense resistor voltage is exceeding its trip value, due to the overcurrent condition that exists. This causes the driver to go into a fixed off-time cycle. After the fixed off-time expires the driver turns on again and the process repeats. In this condition the driver is completely protected against overcurrent events, but the short is repetitive with a period equal to the fixed off-time of the driver. This condition is shown in Figure 5.

During a shorted load event it is normal to observe both a positive and negative current spike as shown in Figure 3, due to the direction change implemented by the Mixed decay feature. This is shown in Figure 6. In both instances the overcurrent circuitry is protecting the driver and prevents damage to the device.

Charge Pump (CP1 and CP2). The charge pump is used to generate a gate supply greater than that of VBB for driving the source-side FET gates. A 0.1 μ F ceramic capacitor, should be connected between CP1 and CP2. In addition, a 0.1 μ F ceramic capacitor is required between VCP and VBB, to act as a reservoir for operating the high-side FET gates.

Capacitor values should be Class 2 dielectric $\pm 15\%$ maximum, or tolerance R, according to EIA (Electronic Industries Alliance) specifications.

V_{REG} (VREG). This internally-generated voltage is used to operate the sink-side FET outputs. The nominal output voltage of the VREG terminal is 7 V. The VREG pin must be decoupled with a 0.22 μ F ceramic capacitor to ground. V_{REG} is internally monitored. In the case of a fault condition, the FET outputs of the A4988 are disabled.

Capacitor values should be Class 2 dielectric \pm 15% maximum, or tolerance R, according to EIA (Electronic Industries Alliance) specifications.

Enable Input (ENABLE). This input turns on or off all of the FET outputs. When set to a logic high, the outputs are disabled. When set to a logic low, the internal control enables the outputs as required. The translator inputs STEP, DIR, and MSx, as well as the internal sequencing logic, all remain active, independent of the ENABLE input state.

Shutdown. In the event of a fault, overtemperature (excess T_J) or an undervoltage (on VCP), the FET outputs of the A4988 are disabled until the fault condition is removed. At power-on, the UVLO (undervoltage lockout) circuit disables the FET outputs and resets the translator to the Home state.

Sleep Mode (SLEEP). To minimize power consumption when the motor is not in use, this input disables much of the internal circuitry including the output FETs, current regulator, and charge pump. A logic low on the SLEEP pin puts the A4988 into Sleep mode. A logic high allows normal operation, as well as start-up (at which time the A4988 drives the motor to the Home microstep position). When emerging from Sleep mode, in order to allow the charge pump to stabilize, provide a delay of 1 ms before issuing a Step command.

Mixed Decay Operation. The bridge operates in Mixed Decay mode, depending on the step sequence, as shown in Figures 9 through 13. As the trip point is reached, the A4988 initially goes into a fast decay mode for 31.25% of the off-time, t_{OFF}. After that, it switches to Slow Decay mode for the remainder of t_{OFF}. A timing diagram for this feature appears in Figure 7.

Synchronous Rectification. When a PWM-off cycle is triggered by an internal fixed-off time cycle, load current recirculates according to the decay mode selected by the control logic. This synchronous rectification feature turns on the appropriate FETs during current decay, and effectively shorts out the body diodes with the low FET R_{DS(ON)}. This reduces power dissipation significantly, and can eliminate the need for external Schottky diodes in many applications. Synchronous rectification turns off when the load current approaches zero (0 A), preventing reversal of the load current.

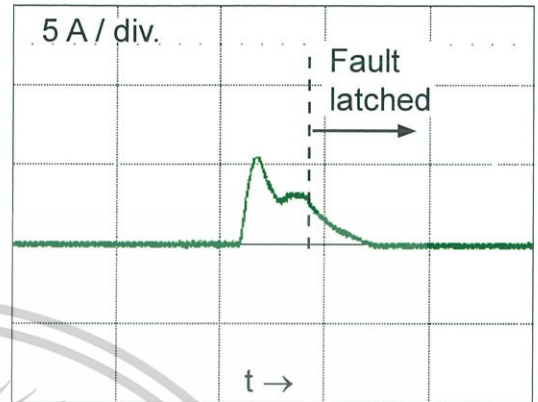


Figure 4: Short-to-Ground Event

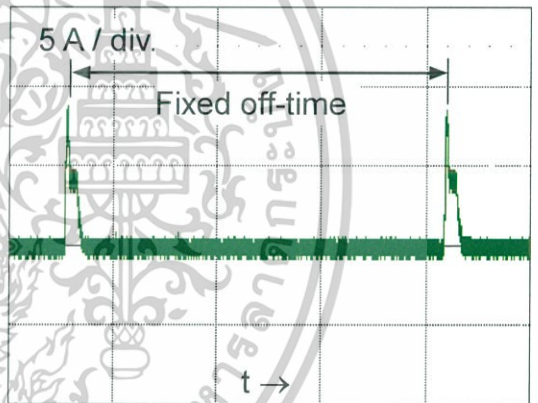


Figure 5: Shorted Load (OUTxA \rightarrow OUTxB) in Slow Decay Mode

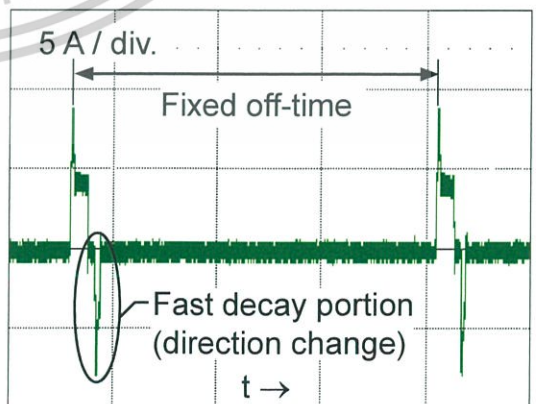
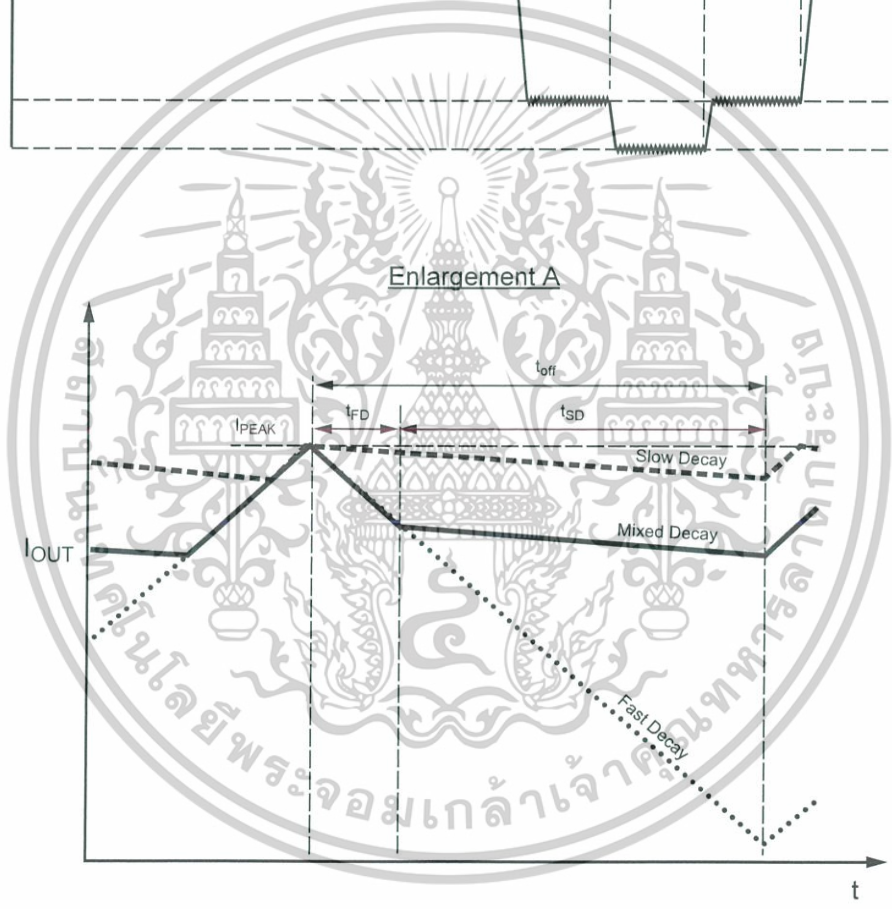
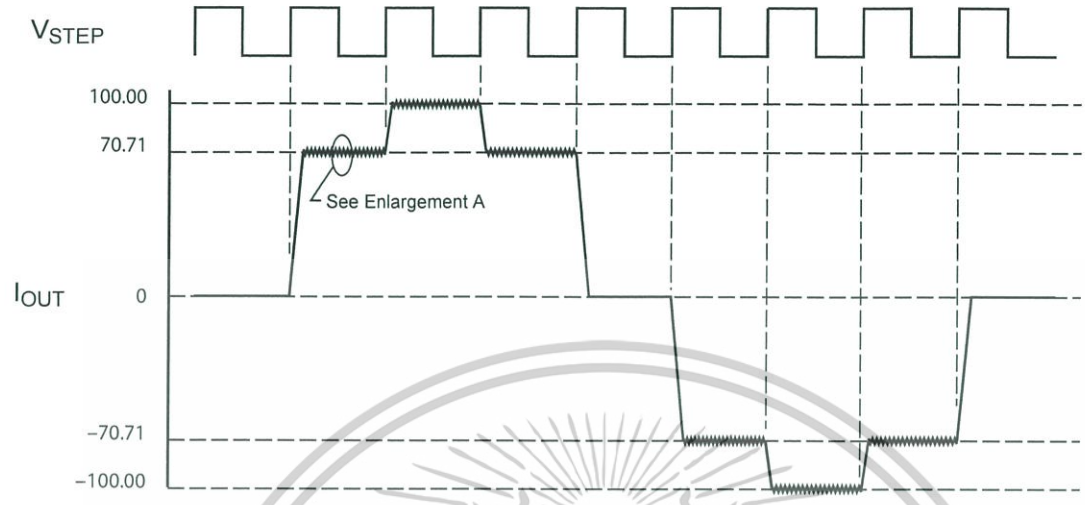


Figure 6: Shorted Load (OUTxA \rightarrow OUTxB) in Mixed Decay Mode



Symbol	Characteristic
t_{off}	Device fixed off-time
I_{PEAK}	Maximum output current
t_{SD}	Slow decay interval
t_{FD}	Fast decay interval
I_{OUT}	Device output current

Figure 7: Current Decay Modes Timing Chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น ลีททั้งหมดให้เด็ดขาดและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Application Layout

Layout. The printed circuit board should use a heavy ground-plane. For optimum electrical and thermal performance, the A4988 must be soldered directly onto the board. Pins 3 and 18 are internally fused, which provides a path for enhanced thermal dissipation. These pins should be soldered directly to an exposed surface on the PCB that connects to thermal vias are used to transfer heat to other layers of the PCB.

In order to minimize the effects of ground bounce and offset issues, it is important to have a low impedance single-point ground, known as a *star ground*, located very close to the device. By making the connection between the pad and the ground plane directly under the A4988, that area becomes an ideal location for a star ground point. A low impedance ground will prevent ground bounce during high current operation and ensure that the supply voltage remains stable at the input terminal.

The two input capacitors should be placed in parallel, and as close to the device supply pins as possible. The ceramic capacitor (CIN1) should be closer to the pins than the bulk capacitor (CIN2). This is necessary because the ceramic capacitor will be responsible for delivering the high frequency current components. The sense resistors, RSx, should have a very low impedance path to ground, because they must carry a large current while supporting very accurate voltage measurements by the current sense comparators. Long ground traces will cause additional voltage drops, adversely affecting the ability of the comparators to accurately measure the current in the windings. The SENSEx pins have very short traces to the RSx resistors and very thick, low impedance traces directly to the star ground underneath the device. If possible, there should be no other components on the sense circuits.

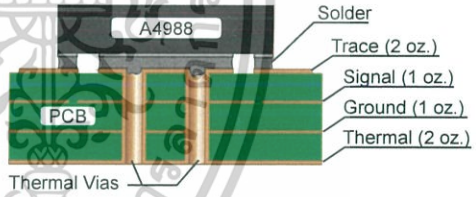
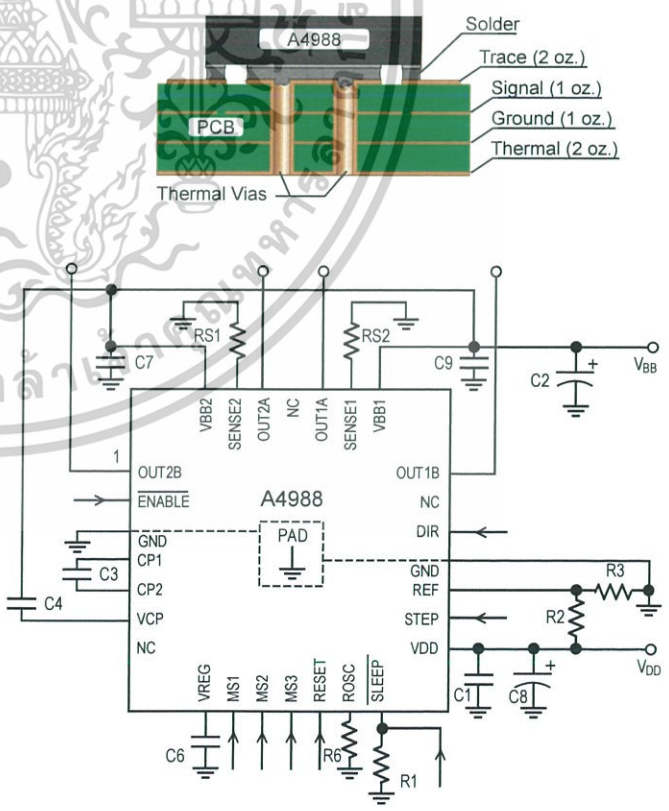
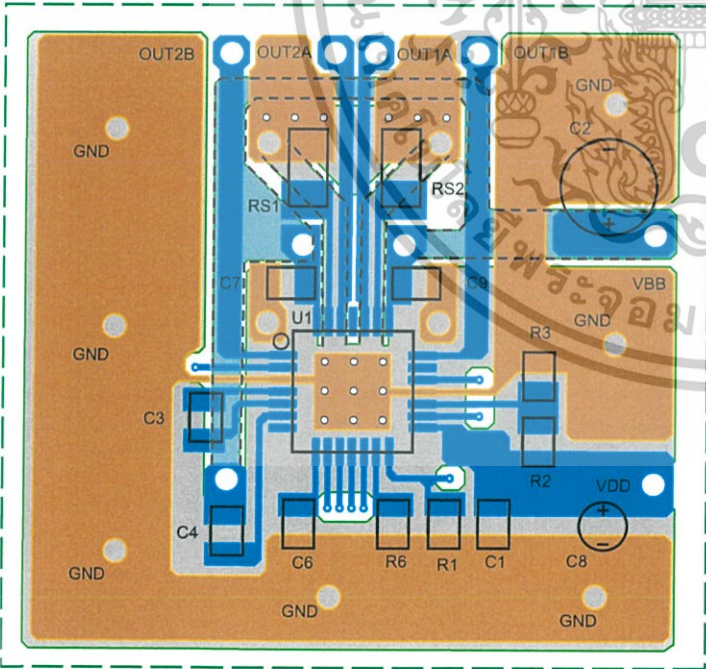
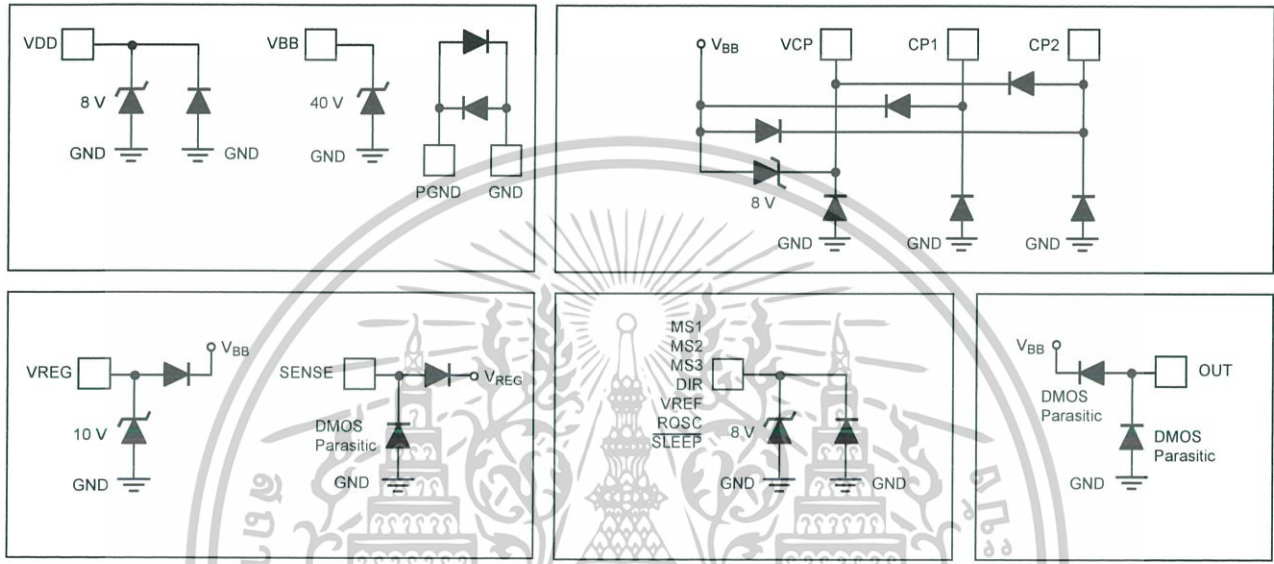


Figure 8: Typical Application and Circuit Layout

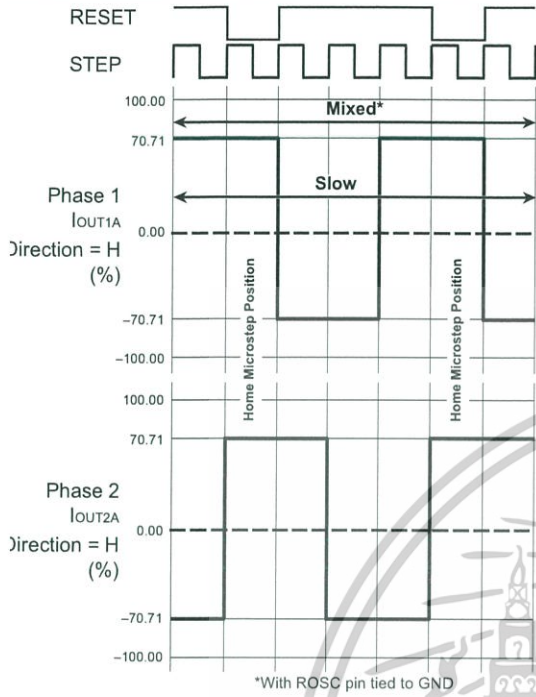
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขข้อมูลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Circuit Diagrams



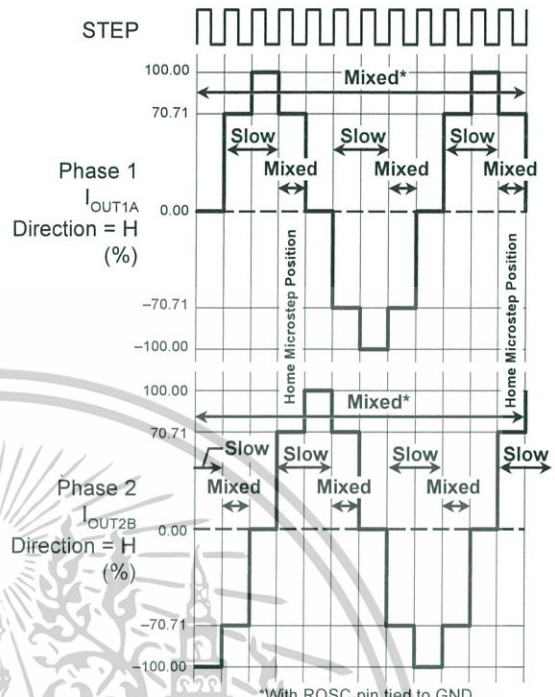
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขข้อมูลและต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





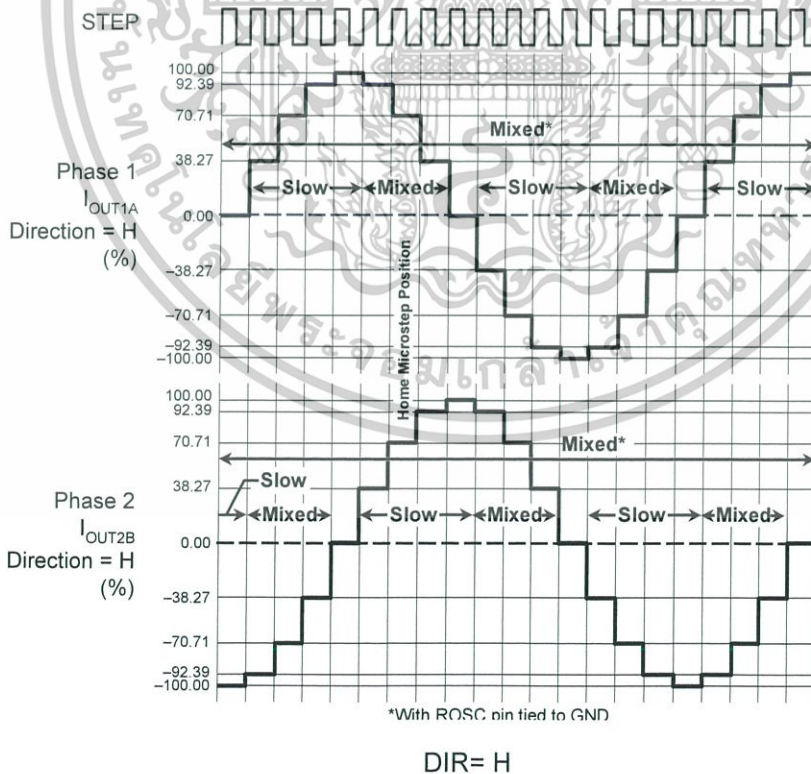
DIR=H

Figure 9: Decay Mode for Full-Step Increments



DIR=H

Figure 10: Decay Modes for Half-Step Increments



DIR=H

Figure 11: Decay Modes for Quarter-Step Increments

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้าสิ่ง อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

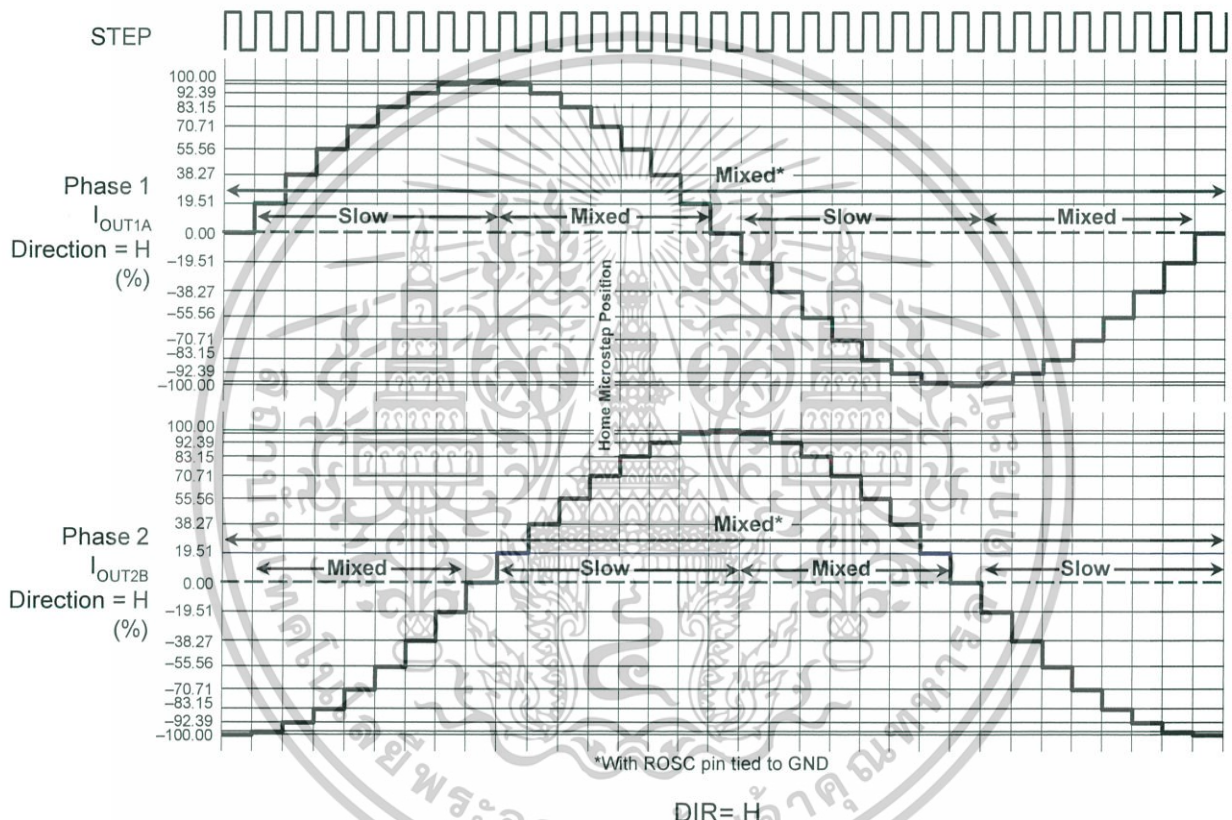


Figure 12: Decay Modes for Eighth-Step Increments

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

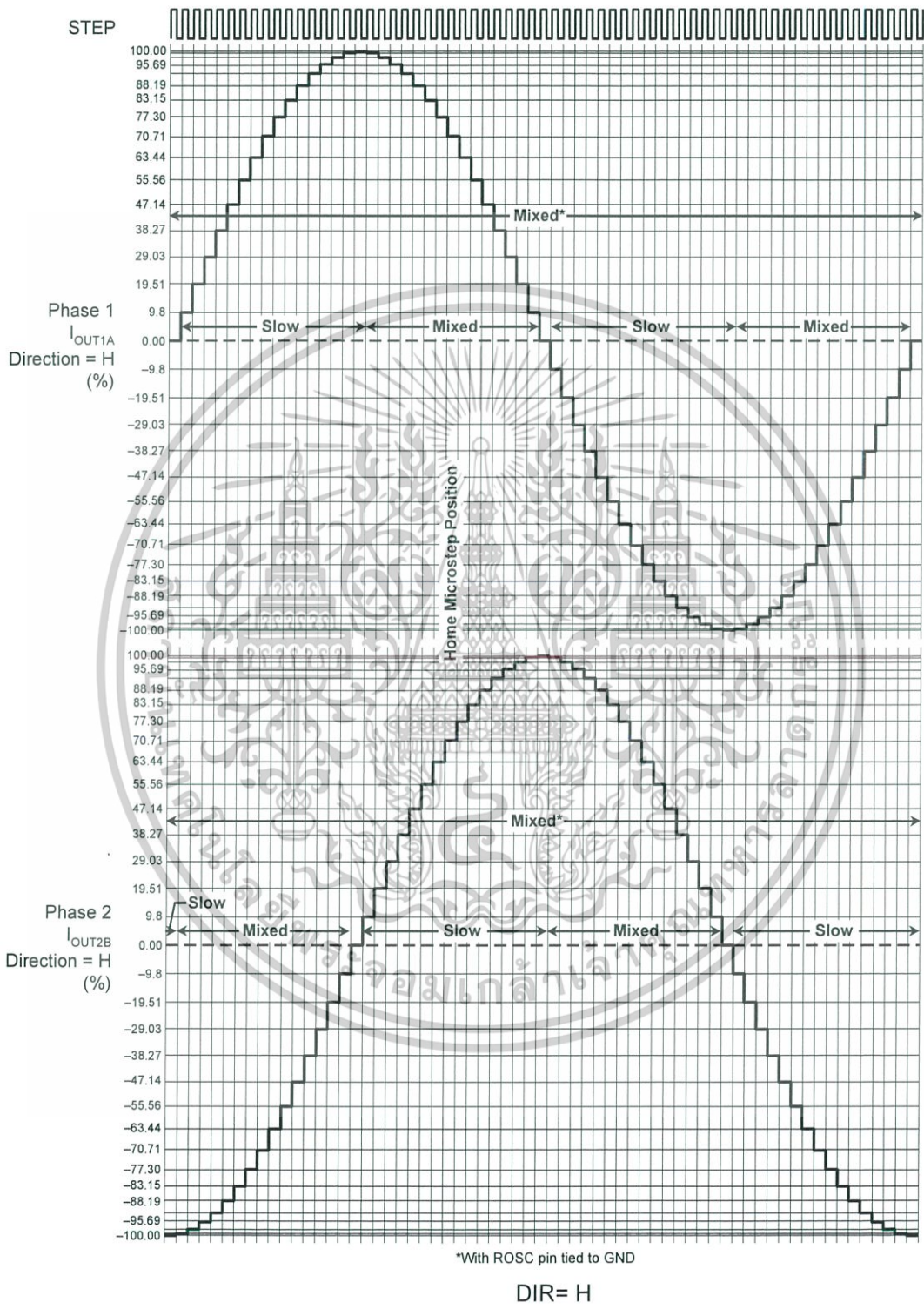


Figure 13: Decay Modes for Sixteenth-Step Increments

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ลึกทั้งหน้าเพื่อให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A4988

DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection

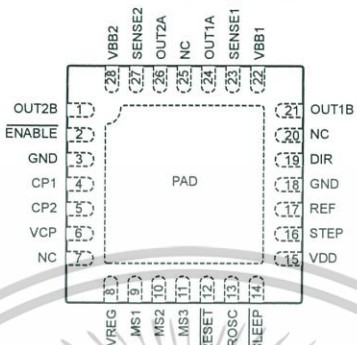
Table 2: Step Sequencing Settings
Home microstep position at Step Angle 45°; DIR = H

Full Step #	Half Step #	1/4 Step #	1/8 Step #	1/16 Step #	Phase 1 Current [% I _{tripMax}] (%)	Phase 2 Current [% I _{tripMax}] (%)	Step Angle (°)	Full Step #	Half Step #	1/4 Step #	1/8 Step #	1/16 Step #	Phase 1 Current [% I _{tripMax}] (%)	Phase 2 Current [% I _{tripMax}] (%)	Step Angle (°)	
	1	1	1	1	100.00	0.00	0.0									
				2	99.52	9.80	5.6					33	-100.00	0.00	180.0	
			2	3	98.08	19.51	11.3					34	-99.52	-9.80	185.6	
				4	95.69	29.03	16.9					35	-98.08	-19.51	191.3	
				5	92.39	38.27	22.5					36	-95.69	-29.03	196.9	
		2	3	6	88.19	47.14	28.1			10	19	37	-92.39	-38.27	202.5	
				7	83.15	55.56	33.8					38	-88.19	-47.14	208.1	
			4	8	77.30	63.44	39.4				20	39	-83.15	-55.56	213.8	
				9	70.71	70.71	45.0					40	-77.30	-63.44	219.4	
1	2	3	5	10	63.44	77.30	50.6	3	6	11	21	41	-70.71	-70.71	225.0	
				11	55.56	83.15	56.3					42	-63.44	-77.30	230.6	
				12	47.14	88.19	61.9					22	43	-55.56	-83.15	236.3
				13	38.27	92.39	67.5					44	-47.14	-88.19	241.9	
		4	7	14	29.03	95.69	73.1			12	23	45	-38.27	-92.39	247.5	
				15	19.51	98.08	78.8					46	-29.03	-95.69	253.1	
				16	9.80	99.52	84.4				24	47	-19.51	-98.08	258.8	
				17	0.00	100.00	90.0		7	13	25	49	0.00	-100.00	270.0	
				18	-9.80	99.52	95.6					50	9.80	-99.52	275.6	
				19	-19.51	98.08	101.3					26	51	19.51	-98.08	281.3
				20	-29.03	95.69	106.9					52	29.03	-95.69	286.9	
		6	11	21	-38.27	92.39	112.5			14	27	53	38.27	-92.39	292.5	
				22	-47.14	88.19	118.1					54	47.14	-88.19	298.1	
				23	-55.56	83.15	123.8					28	55	55.56	-83.15	303.8
				24	-63.44	77.30	129.4					56	63.44	-77.30	309.4	
2	4	7	13	25	-70.71	70.71	135.0	4	8	15	29	57	70.71	-70.71	315.0	
				26	-77.30	63.44	140.6					58	77.30	-63.44	320.6	
				27	-83.15	55.56	146.3					30	59	83.15	-55.56	326.3
				28	-88.19	47.14	151.9					60	88.19	-47.14	331.9	
		8	15	29	-92.39	38.27	157.5			16	31	61	92.39	-38.27	337.5	
				30	-95.69	29.03	163.1					62	95.69	-29.03	343.1	
				31	-98.08	19.51	168.8					32	63	98.08	-19.51	348.8
				32	-99.52	9.80	174.4					64	99.52	-9.80	354.4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ลึกทั้งห้าเป็นให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Pin-out Diagram



Terminal List Table

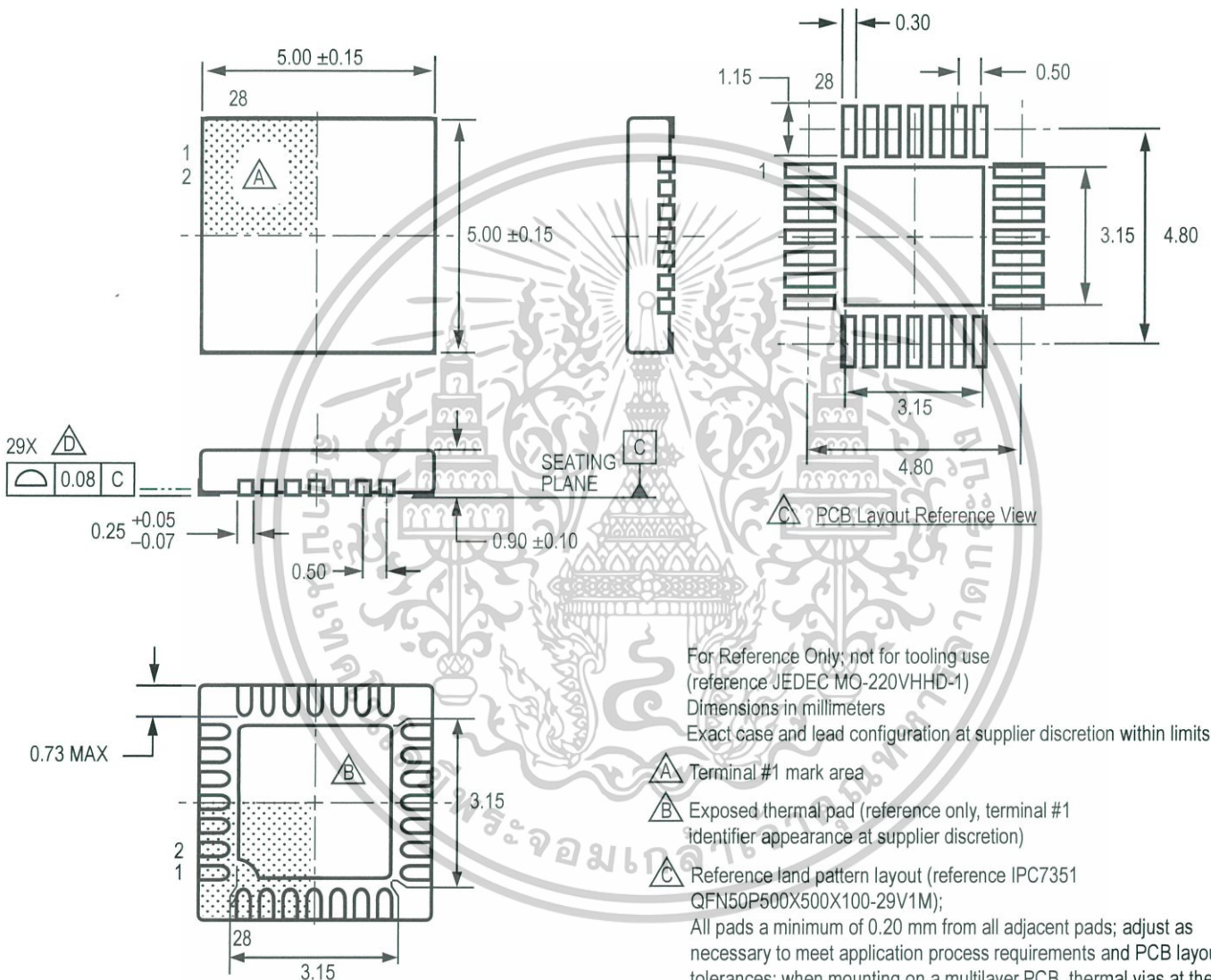
Name	Number	Description
CP1	4	Charge pump capacitor terminal
CP2	5	Charge pump capacitor terminal
VCP	6	Reservoir capacitor terminal
VREG	8	Regulator decoupling terminal
MS1	9	Logic input
MS2	10	Logic input
MS3	11	Logic input
RESET	12	Logic input
ROOSC	13	Timing set
SLEEP	14	Logic input
VDD	15	Logic supply
STEP	16	Logic input
REF	17	G _m reference voltage input
GND	3, 18	Ground*
DIR	19	Logic input
OUT1B	21	DMOS Full Bridge 1 Output B
VBB1	22	Load supply
SENSE1	23	Sense resistor terminal for Bridge 1
OUT1A	24	DMOS Full Bridge 1 Output A
OUT2A	26	DMOS Full Bridge 2 Output A
SENSE2	27	Sense resistor terminal for Bridge 2
VBB2	28	Load supply
OUT2B	1	DMOS Full Bridge 2 Output B
ENABLE	2	Logic input
NC	7, 20, 25	No connection
PAD	-	Exposed pad for enhanced thermal dissipation*

*The GND pins must be tied together externally by connecting to the PAD ground plane under the device.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ET Package, 28-Pin QFN with Exposed Thermal Pad



For Reference Only, not for tooling use
(reference JEDEC MO-220VHHD-1)
Dimensions in millimeters
Exact case and lead configuration at supplier discretion within limits shown

- △ A Terminal #1 mark area
- △ B Exposed thermal pad (reference only, terminal #1 identifier appearance at supplier discretion)
- △ C Reference land pattern layout (reference IPC7351 QFN50P500X500X100-29V1M); All pads a minimum of 0.20 mm from all adjacent pads; adjust as necessary to meet application process requirements and PCB layout tolerances; when mounting on a multilayer PCB, thermal vias at the exposed thermal pad land can improve thermal dissipation (reference EIA/JEDEC Standard JESD51-5)
- △ D Coplanarity includes exposed thermal pad and terminals

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้าสิบ ลิขสิทธิ์นี้เป็นให้ด้วยเงื่อนไขและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Revision History

Revision	Revision Date	Description of Revision
4	January 27, 2012	Update I _{OCPST}
5	May 7, 2014	Revised text on pg. 9; revised Figure 8 and Table 2



Copyright ©2009-2014, Allegro MicroSystems, LLC
 Allegro MicroSystems, LLC reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.
Allegro’s products are not to be used in any devices or systems, including but not limited to life support devices or systems, in which a failure of Allegro’s product can reasonably be expected to cause bodily harm.
 The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, LLC assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 For the latest version of this document, visit our website: www.allegromicro.com
 โปรดอ่านคู่มือฉบับนี้ ลึกซึ้งขึ้น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

