

การพัฒนาชุดควบคุมของระบบการติดตามดวงอาทิตย์
IMPROVING PERFORMANCE OF CONTROL DEVICES FOR
SOLAR TRACKING SYSTEM



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2560

IMPROVING PERFORMANCE OF CONTROL DEVICES FOR SOLAR TRACKING SYSTEM



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

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงแหล่งที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2017

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาชุดควบคุมของระบบการติดตามดวงอาทิตย์		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวดารารัตน์ หาญบัญชากิจ	รหัสนักศึกษา	57050970
	นางสาวเบญจวรรณ กลิ่นหอม	รหัสนักศึกษา	57050991
	นางสาวศุภมาศ ศรีสุ่ม	รหัสนักศึกษา	57051041
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)		
ภาควิชา	ฟิสิกส์		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2560		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาชุดควบคุมของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ซึ่งมีโมดูลเซนเซอร์ประกอบด้วย LDR ขนาด 7 มิลลิเมตร 8 ตัว มีมุมจัดวางตำแหน่ง LDR รับแสงโดยหลักการบังเงาของแท่งอลูมิเนียม และควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรม Arduino ในการติดตามตำแหน่งมุมอะซิมุท ซึ่งทดสอบการเปรียบเทียบระหว่างมุมอ้างอิงกับมุมที่คำนวณได้จากเอ็นโค้ดเดอร์ แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบโดยใช้เลเซอร์และลูกดิ่งชี้ไปที่มุมอ้างอิง ผลจากการทดสอบพบว่า การทดสอบโดยใช้เลเซอร์ชี้ไปที่มุมอ้างอิงมีค่าความคาดเคลื่อน 2.41° และลูกดิ่งชี้ไปที่มุมอ้างอิงมีค่าความคาดเคลื่อน 1.17° จึงได้ว่าการทดสอบโดยใช้ลูกดิ่งชี้ไปที่มุมอ้างอิง มีความคาดเคลื่อนน้อยกว่าแบบที่ทดสอบโดยใช้เลเซอร์ชี้ไปที่มุมอ้างอิง ดังนั้นจึงถือว่าชุดควบคุมของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์มีความคาดเคลื่อน $\pm 2.5^{\circ}$

คำสำคัญ : มุมอะซิมุท ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ Light Dependent Resistor (LDR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Improving Performance of Control Devices for Solar Tracking System	
Students	Miss Dararat Harnbunchakit	Student ID 57050970
	Miss Benjawan Klinhom	Student ID 57050991
	Miss Supamas Srisum	Student ID 57051041
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)	
Department	Physics	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2017	
Advisor	Associate Professor.Sarai Lekchaum	

Abstract

The purpose of this research is to improve performance of control devices for solar tracking system which control devices consist of 8 LDRs (7 mm). Setting position of LDRs relies on shading theory which is controlled by using Arduino program to tracking the sun along azimuth axis. Calibration between reference angle and calculate angle consists of 2 parts; laser and plumb test are to guide the angle position while parabolic dish is moving. We found that laser and plumb test provide the errors as 2.41° and 1.17° , respectively. These allow us to know that plumb test is more accuracy than laser test. Therefore, control system of solar tracking system give error coefficient as $\pm 2.5^\circ$.

Keywords : Azimuth Angle, Solar Tracking System, Light Dependent Resistor (LDR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 .ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการช่วยเหลือและสนับสนุนจาก รองศาสตราจารย์สาทร่าย เล็กชะอุ่ม ผู้ซึ่งให้คำแนะนำปรึกษาทางด้านวิชาการที่ดีตลอดมา และยังเป็นผู้เสนอแนะข้อสงสัยรวมถึงตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ ตลอดระยะเวลา ทำให้ผู้จัดทำมีความรู้ ความเข้าใจ และแนวทางที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณ นางสาวฐิตาภรณ์ เดชโหมด ที่ให้คำปรึกษา แนะนำในการเลือกใช้อุปกรณ์ และให้การช่วยเหลือในการใช้โปรแกรมที่จะนำมาพัฒนาระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

ขอขอบคุณ นายคณิงชาติ แสนยศ ที่ให้คำปรึกษา และช่วยเหลือในการทดลอง และจัดทำรูปเล่ม

ขอขอบคุณพี่ และเพื่อนคณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกคน ที่ให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจในการทำโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน และให้ความรู้ตลอดมา ทำให้คณะผู้จัดทำสามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้กับโครงการพิเศษจนสำเร็จลุล่วง และกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่คอยให้คำแนะนำ และเป็นแรงผลักดันที่สำคัญที่ทำให้คณะผู้จัดทำมีกำลังใจในการทำโครงการพิเศษจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ดาร์รัตน์ หาญบัญชากิจ

เบญจวรรณ กลิ่นหอม

ศุภมาศ ศรีสุขุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำย่อและสัญลักษณ์	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า	5
2.2 มอเตอร์กระแสตรง	7
2.2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง	7
2.2.2 คุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรง	7
2.2.3 การควบคุม ความเร็ว และ ตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรง	8
2.2.3.1 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ขั้นพื้นฐาน	9
2.2.3.2 การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์	9
2.3 ทฤษฎีทางการควบคุมและทดสอบระบบ	13
2.3.1 Hardware	13
2.3.1.1 Arduino MEGA 2560 board	13
2.3.1.2 L298N Motor Driver Board	17
2.3.1.3 LDR (Light Dependent Resistor)	19
2.3.1.4 Limit Switch	24
2.4 โปรแกรม Proteus	25
2.4.1 ความสามารถในการทำงานของโปรแกรม Proteus	25

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.2 การใช้โปรแกรม	26
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	32
3.1 ศึกษาการทำงานของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	32
3.1.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	32
3.2 การทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	33
3.2.1 มอเตอร์แกนอะซิมุท	33
3.2.2 L298N Motor Driver Board	39
3.2.3 Module Sensor LDR	41
3.2.4 Limit switch	46
3.3 ศึกษาการออกแบบและวิธีทดสอบวัดมุมในการเคลื่อนที่ของเครื่องระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแนวแกนอะซิมุท	46
3.3.1 การทดสอบมุมการเคลื่อนที่โดยใช้เลเซอร์ชี้ไปที่มุมอ้างอิง	46
3.3.2 การทดสอบมุมการเคลื่อนที่โดยใช้ลูกดิ่งชี้ไปที่มุมอ้างอิง	49
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	52
4.1 การทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	52
4.1.1 มอเตอร์แกนอะซิมุท	52
4.1.1.1 การจำลองการทำงานของมอเตอร์โดยใช้โปรแกรม Proteus	
4.1.2 L298N Motor Driver Board	57
4.1.3 Module Sensor (LDR)	58
4.1.4 Limit switch	59
4.2 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของโมดูลเซนเซอร์ (LDR) ทั้ง 8 ตัว	61
4.2.1 โมดูลเซนเซอร์ (LDR) ตัวเก่า	61
4.2.1.1 ทดสอบโดยใช้แสงไฟภายในห้อง	61
4.2.2 โมดูลเซนเซอร์ (LDR) ตัวใหม่	71
4.2.2.1 ทดสอบโดยใช้แสงไฟภายในห้อง	71

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2.2.2 ทดสอบโดยไม่มีแหล่งกำเนิดแสง	80
4.2.2.3 ทดสอบโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์ รุ่น Micron ABS 1500 R7s-15	88
4.3 การทดสอบมุมการเคลื่อนที่ของงานพาราโบลิคในแนวแกนอะซิมุท	97
4.3.1 การทดสอบมุมการเคลื่อนที่โดยใช้เลเซอร์ซีไปที่มุมอ้างอิง	98
4.3.2 การทดสอบมุมการเคลื่อนที่โดยใช้ลูกดิ่งซีไปที่มุมอ้างอิง	105
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัย	
5.1 สรุปผลงานวิจัย	113
5.2 ข้อเสนอแนะ	114
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	3
4.1	55
4.2	62
4.3	64
4.4	67
4.5	71
4.6	74
4.7	76
4.8	80
4.9	83
4.10	85
4.11	89
4.12	92
4.13	94
4.14	99
4.15	101
4.16	103
4.17	106
4.18	108
4.19	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงความสัมพันธ์ของทรงกลมท้องฟ้ากับโลก	5
2.2	แสดงความสัมพันธ์ของมุมอะซิมุท มุมอัลติจูด และมุมเซนิท	6
2.3	วงจรรภายในของมอเตอร์กระแสตรง	7
2.4	วงจรถควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม และกราฟแสดงคุณสมบัติ	9
2.5	การควบคุมความเร็วโดยเปลี่ยนค่าแรงดัน	10
2.6	แสดง Rotary Encoder	11
2.7	แสดงการสร้าง pulse ของ Rotary Encoder	11
2.8	แสดง Pulse ของ Rotary แบบสองเฟส	12
2.9	แสดงการตรวจเช็คสัญญาณ pulse ของ Rotary Encoder	12
2.10	โครงสร้างบอร์ด ET-MEGA2560	14
2.11	แสดงรายละเอียดของบอร์ด L298N Motor Driver Board	18
2.12	ลักษณะของ LDR ทั่วไป	20
2.13	แสดงลักษณะโครงสร้างของ LDR	20
2.14	กราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆของ LDR ทั้ง 2 แบบเมื่อเทียบกับ ความไวของตาคน	21
2.15	แสดงผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR	22
2.16	แสดงวงจรตัวแบ่งแรงดันที่ใช้ LDR	23
2.17	การเชื่อมต่อ LDR เพื่อใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย Arduino MEGA	24
2.18	ลักษณะของ Limit Switch ทั่วไป	
2.19	แผนผังสายไฟของ Limit Switch	24
2.20	แสดงโปรแกรม Proteus	26
2.21	แสดงหน้าต่างของโปรแกรม	27
2.22	รายการคำสั่งย่อยของแถบคำสั่ง	27
2.23	แสดงหน้าจอโปรแกรม Proteus	28
2.24	แสดงแถบเครื่องมือที่ใช้	28
2.25	แสดงคำสั่งเรียกใช้อุปกรณ์	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.26	แสดงขั้นตอนการเรียกใช้อุปกรณ์	30
------	-------------------------------	----

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.1	Block Diagram แสดงการทำงานของเครื่องระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	32
3.2	แผนผังวงจรของเครื่องระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	33
3.3	แสดงขั้นตอนการทำให้เป็น hex code	35
3.4	แสดงโฟลเดอร์เก็บ hex code	36
3.5	แสดงการจำลองมอเตอร์ด้วยโปรแกรม Proteus	36
3.6	แสดงขั้นตอนการอัปโหลดโค้ดลงแบบจำลองมอเตอร์ด้วยโปรแกรม Proteus(1)	37
3.7	แสดงขั้นตอนการอัปโหลดโค้ดลงแบบจำลองมอเตอร์ด้วยโปรแกรม Proteus(2)	37
3.8	แสดงขั้นตอนการอัปโหลดโค้ดลงแบบจำลองมอเตอร์ด้วยโปรแกรม Proteus(3)	38
3.9	แสดงแบบจำลองมอเตอร์ที่ได้รับการอัปโหลดโค้ดแล้ว	38
3.10	L298N Motor Driver Board	39
3.11	ดิจิตอลมัลติมิเตอร์	40
3.12	แบตเตอรี่	40
3.13	Module Sensor (LDR)	41
3.14	แสดง Arduino MEGA 2560 Board	42
3.15	แสดงแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์ รุ่น Micron ABS 1500 R7s-15	43
3.16	แสดงวงจรตัวแบ่งแรงดันที่ใช้ LDR	44
3.17	การต่อสายทดสอบ LDR เพื่อใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย Arduino MEGA	45
3.18	การทดสอบ LDR ทั้ง 4 ทิศทางของระบบติดตามดวงอาทิตย์	45
3.19	limit switch	46
3.20	แสดงระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบงานพาราโบลิค	47
3.21	แสดงครึ่งวงกลมเพื่อใช้ทดสอบมุมการเคลื่อนที่ของงานพาราโบลิค	47
3.22	แสดงเลเซอร์ชี้ขนาดของมุมที่งานพาราโบลิควัดได้	48
3.23	แสดงการทดสอบมุมการเคลื่อนที่ของงานพาราโบลิคโดยใช้เลเซอร์	49
3.24	ลูกดิ่ง	50
3.25	แสดงการทดสอบมุมการเคลื่อนที่ของงานพาราโบลิคโดยใช้ลูกดิ่งชี้ไปที่มุมอ้างอิง	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	การต่อสายทดสอบ Motor กับ L298N Motor Driver Board ควบคุมด้วย Arduino MEGA 2560 Board	52
4.2	ก่อนถอดมอเตอร์แกนอะซิมูทมาตรตรวจสอบประสิทธิภาพ	53
4.3	หลังถอดมอเตอร์แกนอะซิมูทมาตรตรวจสอบประสิทธิภาพ	54
4.4	แสดงแบบจำลองมอเตอร์ก่อนการอัปโหลดโค้ด	55
4.5	แสดงแบบจำลองมอเตอร์หลังการอัปโหลดโค้ด	56
4.6	L298N Motor Driver Board	57
4.7	แสดงการต่อสายไฟจากโมดูลเซ็นเซอร์ LDR เข้ากับบอร์ด Arduino Mega 2560	58
4.8	แสดง ขณะที่ limit switch ทำงาน	60
4.9	แสดง ขณะที่ limit switch ยังไม่ทำงาน	60
4.10	การต่อสายทดสอบ LDR เพื่อใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย Arduino MEGA 2560	61
4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับแรงดันขาออก (V)	64
4.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับแรงดันขาออก (V)	67
4.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับแรงดันขาออก (V)	70
4.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)	70
4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับแรงดันขาออก (V)	73
4.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับแรงดันขาออก (V)	76
4.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับแรงดันขาออก (V)	79
4.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)	79
4.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับ ค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)	82
4.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับ ค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)	85
4.21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับ ค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)	87
4.22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับ ค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)	88
4.23	การทดสอบ LDR ทั้ง 8 ตัวของเครื่องระบบติดตามดวงอาทิตย์ส่องแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์ รุ่น Micron ABS 1500 R7s-15	88
4.24	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับ ค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)	91
4.25	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับ ค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)	94
4.26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับ ค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)	96

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.27	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับ ค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)	97
4.28	แสดงระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบงานพาราโบลิค	97
4.29	แสดงการทดสอบมุมการเคลื่อนที่ของงานพาราโบลิคโดยใช้เลเซอร์ชี้ไปที่มุมอ้างอิง	99
4.30	กราฟแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับมุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ ครั้งที่ 1	101
4.31	กราฟแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับมุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ ครั้งที่ 2	103
4.32	กราฟแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับมุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ ครั้งที่ 3	105
4.33	แสดงการทดสอบมุมการเคลื่อนที่ของงานพาราโบลิคโดยใช้ลูกดิ่งชี้ไปที่มุมอ้างอิง	106
4.34	กราฟแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับมุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ ครั้งที่ 1	108
4.35	กราฟแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับมุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ ครั้งที่ 2	110
4.36	กราฟแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับมุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ ครั้งที่ 3	112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อและสัญลักษณ์	คำอธิบาย
AM	ทางเดินของรังสีอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศ
α	มุมอัลติจูด (Altitude)
A	มุมอะซิมูท (Azimuth)
N	ทิศเหนือ
S	ทิศใต้
E	ทิศตะวันออก
W	ทิศตะวันตก
θ_z	มุมเซนธิ์
V_A	แรงดันที่ทูนโรเตอร์
V_R	แรงดันตกคร่อมความต้านทานขดลวด
R	ความต้านทานขดลวด
M	ทูนโรเตอร์
PWM	เทคนิคสำหรับควบคุมวงจรมอเตอร์โดยใช้สัญญาณเอ๊าท์พุทแบบ ติจิตอลควบคุม (Pulse Width Modulation)
ppr	หน่วยเป็น plus / round

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

พลังงานเป็นสิ่งสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด แต่เนื่องจากประชากรบนโลกเพิ่มขึ้นทุกวัน และพลังงานบนโลกนี้มีเท่าเดิมซึ่งตอบสนองต่อความต้องการได้ไม่เท่าเดิม จึงมีการใช้ “พลังงานทดแทน” หรือเรียกว่า “พลังงานทางเลือก” คือพลังงานที่มีอยู่ตามธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานแบบเดิมได้อย่างไม่จำกัด เพื่อลดผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมและโลก

พลังงานทดแทนที่จะใช้ในงานวิจัยนั้นคือพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ได้จากธรรมชาติ และเป็นพลังงานที่ใช้แล้วไม่หมดไปสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งเป็นพลังงานที่กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นพลังงานที่สามารถแก้ไขการขาดแคลนพลังงานได้ทั้งยังช่วยลดปัญหามลพิษอีกด้วย

ปัจจุบันได้มีการสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์โดยใช้งานพาราโบลิกที่มีการควบคุมด้วยมอเตอร์และนาโมตุลเซนเซอร์ชนิด LDR มาใช้ในการรับแสงและรวมแสงเพื่อให้งานพาราโบลิกหมุนตามทิศทางแสงที่ได้รับ

นายกิตติพงศ์ เจียรวัฒนานุกุล ได้ออกแบบและสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่ประกอบไปด้วย LDR ขนาด 5 mm. 8 ตัว และทำการปรับเทียบระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบงานพาราโบลิกในแนวอะซิมุท

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะพัฒนาระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบงานพาราโบลิกในแนวอะซิมุท เนื่องจากตัวระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ไม่ได้ใช้งานมาเป็นเวลาหลายปี การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมบางส่วนอาจมีการเสื่อมประสิทธิภาพได้ จึงต้องนำระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์มาทดสอบประสิทธิภาพและพัฒนา เพื่อให้ระบบติดตามดวงอาทิตย์นี้มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาการทำงานของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
- 2) เพื่อศึกษาการทำงานของชุดควบคุมในระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
- 3) เพื่อศึกษาการออกแบบและทดสอบมุมในการเคลื่อนที่ของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบงานพาราโบลิกในแนวแกนอะซิมุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 4) เพื่อทดสอบความแม่นยำของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
- 2) ศึกษาชุดควบคุมในระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
- 3) ศึกษาหลักการรับและรวมแสงของรังสีอาทิตย์
- 4) ศึกษาการทำงานของโมดูลเซนเซอร์ (LDR) ทั้ง 8 ตัวของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
- 5) ตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของชุดควบคุมในระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
- 6) ออกแบบและสร้างโมดูลเซนเซอร์ (LDR) ทั้ง 8 ตัวของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
- 7) การออกแบบและทดสอบมุมในการเคลื่อนที่ของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบ
จันพาราโบลิกทั้งในแนวแกนอะซิมุต
- 8) ทดสอบและวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบ
- 9) สรุปผลและเก็บรวบรวมจัดทำรูปเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์

1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและการดำเนินงาน

โครงการมีระยะเวลาในการจัดทำรวมทั้งสิ้น 10 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2560 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561 ซึ่งมีการดำเนินการดังนี้ จากแนวทางการดำเนินการข้างต้นสามารถแสดงระยะเวลาการดำเนินการได้ดังตารางที่ 1 ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- | | |
|--------------|--|
| ขั้นตอนที่ 1 | ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างฐานข้อมูลวิจัยเกี่ยวกับระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบจันพาราโบลิก |
| ขั้นตอนที่ 2 | ตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของชุดควบคุมในระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ |
| ขั้นตอนที่ 3 | ตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของชุดโมดูลเซนเซอร์ตัวเก่า |
| ขั้นตอนที่ 4 | สั่งซื้อวัสดุอุปกรณ์สำหรับการสร้างชุดควบคุมในระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบจันพาราโบลิก |
| ขั้นตอนที่ 5 | ออกแบบและสร้างโมดูลเซนเซอร์ตัวใหม่ |
| ขั้นตอนที่ 6 | ออกแบบและสร้างชุดทดสอบความแม่นยำโมดูลเซนเซอร์ของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์และตอนที่ไม่มีแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีฉุกเฉินเพื่อตรวจสอบเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขั้นตอนที่ 7 ออกแบบและสร้างชุดทดสอบมุมในการเคลื่อนที่ของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบงานพาราโบลาในแนวแกนอะซิมุท
- ขั้นตอนที่ 8 ทดสอบการทำงานเพื่อความแม่นยำโมดูลเซนเซอร์ของระบบการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์และตอนที่ไม่มีแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์
- ขั้นตอนที่ 9 วิเคราะห์หาความแม่นยำโมดูลเซนเซอร์ของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์และตอนที่ไม่มีแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์
- ขั้นตอนที่ 10 ทดสอบการทำงานทดสอบมุมในการเคลื่อนที่ของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแนวแกนอะซิมุท
- ขั้นตอนที่ 11 วิเคราะห์หาความแม่นยำทดสอบมุมในการเคลื่อนที่ของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแนวแกนอะซิมุท
- ขั้นตอนที่ 12 สรุปผลการทดลองและจัดทำสรุปเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์

ตารางที่ 1 แนวทางการดำเนินการ

แผนการดำเนินงาน	พ.ศ. 2560					พ.ศ. 2561				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ขั้นตอนที่ 1										
ขั้นตอนที่ 2										
ขั้นตอนที่ 3										
ขั้นตอนที่ 4										
ขั้นตอนที่ 5										
ขั้นตอนที่ 6										
ขั้นตอนที่ 7										
ขั้นตอนที่ 8										
ขั้นตอนที่ 9										
ขั้นตอนที่ 10										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แนวทางการดำเนินการ (ต่อ)

แผนการดำเนินงาน	พ.ศ. 2560					พ.ศ. 2561				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ขั้นตอนที่ 11										
ขั้นตอนที่ 12										

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

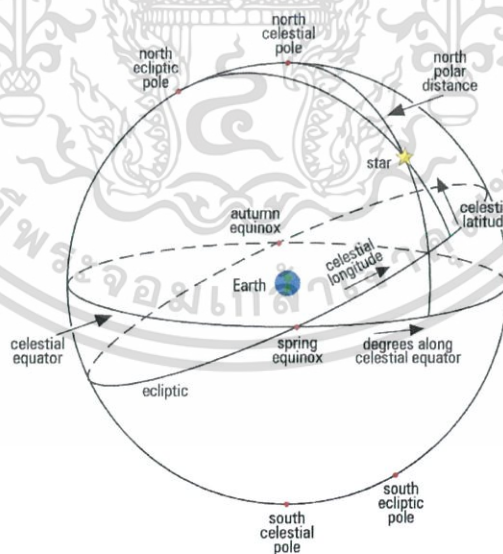
- 1) ได้แนวทางในการพัฒนาระบบการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบจรวดพาราโบลิก
- 2) ได้ความรู้และแนวคิดจากการทำวิจัยสามารถนำไปพัฒนารวมถึงเผยแพร่ให้แก่ผู้ที่มีความสนใจได้
- 3) ได้รับความรู้เรื่องพลังงานทดแทนและนำไปสู่การพัฒนาตนเองและสังคม
- 4) ได้ความรู้เกี่ยวกับเครื่องมือวัดและเครื่องมือทางกลศาสตร์เพื่อนำไปสู่การใช้ประกอบสัมมาอาชีพได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

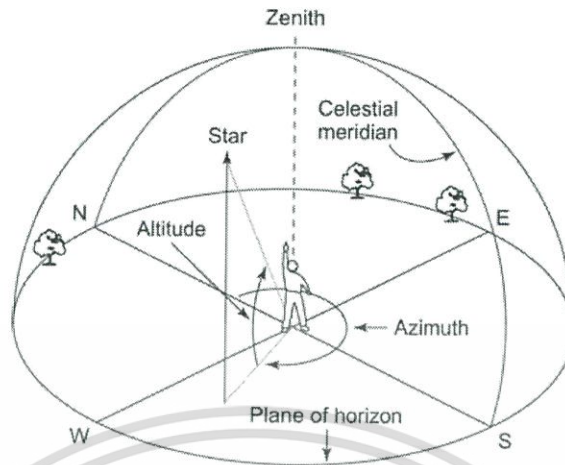
2.1 การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า

ในวิชาดาราศาสตร์ เมื่อต้องการบอกตำแหน่ง ของวัตถุบนท้องฟ้า โดยส่วนมากใช้แนวความคิด เรื่องทรงกลมท้องฟ้า (Celestial Sphere) ซึ่งหมายถึงทรงกลมรัศมีหนึ่งหน่วยมีจุดศูนย์กลางเป็นจุด ออริจิน และวัตถุท้องฟ้าต่างติดอยู่ บนผิวทรงกลมนี้ ถ้าขยายเส้นศูนย์สูตรของโลกออกไปพบทรงกลม ท้องฟ้า วงกลมใหญ่ ที่ปรากฏบนทรงกลมท้องฟ้า เรียกว่า เส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า (Celestial Equator) ถ้าให้ผู้สังเกตเป็นจุดศูนย์กลางของทรงกลมท้องฟ้า วงกลมใหญ่ที่อยู่รอบๆผู้สังเกตเรียกว่า เส้นขอบฟ้า (Horizon) ส่วนการระบุตำแหน่งของวัตถุต่างๆ บนท้องฟ้าสามารถจำแนกได้หลายระบบเช่น ระบบเส้นขอบฟ้า (Horizon System) ระบบเส้นศูนย์สูตร (Equator System) ระบบเส้นอีคลิปติก (Ecliptic System) และระบบแกลเลคติก (Galactic System) ในที่นี้การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะใช้ระบบเส้นขอบฟ้า ซึ่งเป็นระบบที่ใช้บอกตำแหน่ง ของวัตถุบนท้องฟ้าว่าอยู่เหนือขอบฟ้าเป็นระยะตามมุมเท่าใด และอยู่ห่างจากตำแหน่งเทียบบนขอบฟ้ามากน้อยเพียงใด โดยที่ระบบนี้จะมีเส้นขอบฟ้า (Horizon) เป็นวงกลมใหญ่หลักโคออดิเนทของ ระบบนี้เรียกว่า อัลติจูด (Altitude, α) และอะซิมุท (Azimuth, A) [2]



(ที่มา : <http://www.sites.hps.cam.ac.uk/starry/armillmaths.html>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของทรงกลมท้องฟ้ากับโลกที่ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ที่มา : <https://pics-about-space.com/altitude-vs-azimuth-astronomy?p=1>)

รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของมุมอะซิมุท มุมอัลติจูด และมุมเซนิท

นิยามของคำที่สำคัญในการบอกตำแหน่งของวัตถุบนท้องฟ้าในระบบเส้นขอบฟ้า[3]

เมอริเดียนท้องฟ้า (Celestial Meridian) เป็นวงกลมแนวตั้งที่ผ่านเส้นขอบฟ้า ณ จุดทิศเหนือ (N) และจุดทิศใต้ (S) ซึ่งเป็นเส้นสมมติเส้นหนึ่งบนท้องฟ้า เริ่มจากขอบฟ้าทิศเหนือ ลากขึ้นไป จนถึงจุดเหนือศีรษะลากต่อไปจนจรดขอบฟ้าทิศใต้แบ่งครึ่งท้องฟ้าออกเป็น 2 ส่วน คือ ซีกตะวันออกและตะวันตก

มุมอะซิมุท (Azimuth, A) เป็นค่าระยะทางเชิงมุมที่วัดจากจุดทิศเหนือ (N) ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ไปยังทิศตะวันออก (E) จนถึงวงกลมแนวตั้งของดวงอาทิตย์ หรือเงาของดวงอาทิตย์ในแนวราบมุมอะซิมุทมีค่าระหว่าง $0 - 360$ องศา

มุมอัลติจูด (Altitude, α) เป็นค่ามุมเงย วัดจากเส้นขอบฟ้าขึ้นไปตามวงกลมแนวตั้ง จนถึงตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนทรงกลมท้องฟ้า มุมอัลติจูดจะมีค่าระหว่าง $0 - 90$ องศา ถ้าวางอาทิตย์อยู่ที่เส้นขอบฟ้า ค่าอัลติจูด เท่ากับ 0 องศา ถ้าวางอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะพอดีค่าอัลติจูด เท่ากับ 90 องศา

มุมเซนิท (Zenith, θ_z) เป็นมุมระหว่างแนวตั้งเหนือศีรษะจากจุดเซนิท กระทบกับแนวรังสีจากดวงอาทิตย์ มุมเซนิทจะมีค่าระหว่าง $0 - 90$ องศาหรือมีค่าเท่ากับ

$$\theta_z = 90^\circ - \alpha \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอัลติจูดและอะซิมุทของดวงอาทิตย์จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ถ้าผู้สังเกตอยู่ที่ตำแหน่งละติจูดต่างกัน จะสังเกตเห็นดวงอาทิตย์ในขณะเวลาเดียวกันมีค่าอัลติจูดและอะซิมุทแตกต่างกัน ดังนั้นค่าอัลติจูดและอะซิมุทจะขึ้นกับตัวแปรหลายค่า เช่น การเอียงของแกนหมุนของโลก เวลา ตำแหน่งลองจิจูด ตำแหน่งละติจูด

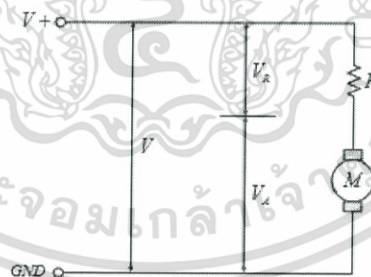
2.2 มอเตอร์กระแสตรง

2.2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

เมื่อมีการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กซึ่งมีสัดส่วนของแรงขึ้นกับกระแสแรงของสนามแม่เหล็ก โดยแรงจะเกิดขึ้นเป็นมุมฉากกับกระแสและสนามแม่เหล็กขณะที่ทิศทางของแรงกลับตรงกันข้ามกัน ถ้าหากกระแสของสนามแม่เหล็กไหลย้อนกลับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแส และ สนามแม่เหล็กเป็นผลทำให้ทิศทางของแรง เปลี่ยนไปด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้มอเตอร์กระแสตรงกลับทิศทางการทำงานได้สนามแม่เหล็กของมอเตอร์ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวรซึ่งจะถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กหรือเหล็กกล้า โดยปกติส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ยึดอยู่กับที่และขดลวดเหนี่ยวนำจะพันอยู่กับส่วนที่เป็นแกนหมุนของมอเตอร์

2.2.2 คุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรง

ในการอธิบายคุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรงให้ละเอียดนั้นต้องพิจารณาแรงดันที่ป้อน และความต้านทานของโรเตอร์ด้วย วงจรภายในของมอเตอร์เขียนได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วงจรภายในของมอเตอร์กระแสตรง

โดยสมมติให้หุ่นโรเตอร์ไม่มีความต้านทานอยู่เลยอนุกรมกับความต้านทานซึ่งในที่นี้ก็คือความต้านทานของขดลวดนั่นเอง แรงดันที่ขั้วต่อสายของมอเตอร์ก็คือผลบวกระหว่างแรงดันที่หุ่นโรเตอร์ V_A และ แรงดันตกคร่อมความต้านทานขดลวด V_R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดัน V_A ถูกเรียกว่า แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ (BACK EMF) ซึ่งเกิดขึ้นในโรเตอร์ ขณะที่หมุนแรงดันที่เกิดขึ้นนี้เป็นไปตามกฎของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็กสัมพันธ์กับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำแม่เหล็กและความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวนำ แรงดันที่เกิดขึ้นจะมีขั้วตรงกันข้ามกับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์และแปรผันตรงกับความเร็วมอเตอร์ ผลบวกของแรงดันที่หมุนโรเตอร์ V_A และแรงดันตกคร่อมขดลวด V_R ต้องเท่ากับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ V

$$V = V_A + V_R \quad (V) \quad (2.2)$$

เมื่อพิจารณาตั้งแต่มอเตอร์หยุดนิ่ง ความเร็วมีค่าเป็นศูนย์ดังนั้น กระแสที่ไหลในมอเตอร์หาได้จาก

$$I = \frac{V_A}{R} \quad (A) \quad (2.3)$$

เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนจะมีความเร็ว และ V_A เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามความเร็ว V_R ซึ่งมีค่าเท่ากับความแตกต่างระหว่าง V_A และ V จะเริ่มลดลงกระแส I ก็จะเริ่มลดลงเช่นกันขณะที่มอเตอร์ ยังมีความเร็วอยู่ ความเร็วจะเพิ่มขึ้น แรงบิดจะลดลงจนกว่าจะถึงจุดซึ่งแรงบิดของมอเตอร์ รับภาระ โหลดได้สมดุลพอดี ขณะที่มอเตอร์ไม่มีโหลดและหมุนอย่างอิสระจะมีเพียงค่าความฝืดของแบร์ริง และแรงต้านอากาศทำให้ V_A เกือบเท่ากับค่า V

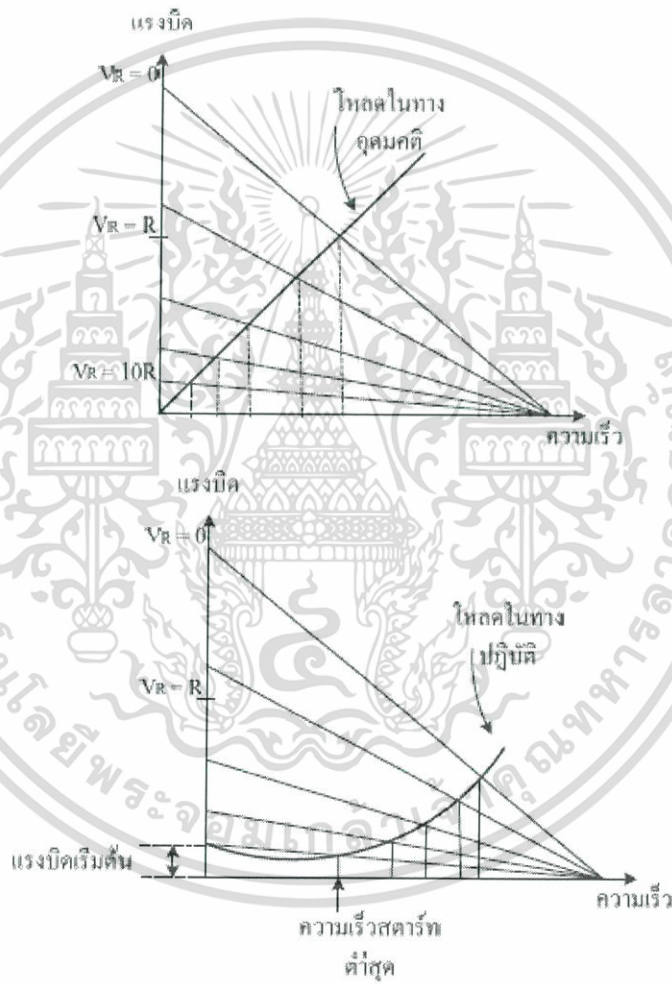
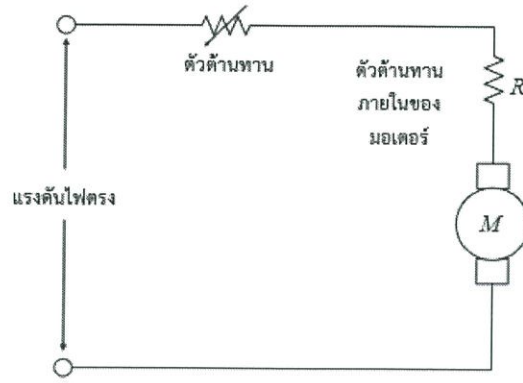
2.2.3 การควบคุม ความเร็ว และ ตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรง

2.2.3.1 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ขั้นพื้นฐาน

1. การควบคุมด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้

เป็นรูปแบบพื้นฐานที่สุดของการควบคุมมอเตอร์คือใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้อนุกรมกับมอเตอร์ โดยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ การบังคับแบบนี้ไม่มีประสิทธิภาพเพราะกำลังไฟสูญเสียไปในตัวความต้านทาน มักนิยมใช้กับมอเตอร์ตัวเล็กๆ การบังคับแบบนี้ให้คุณสมบัติการสตาร์ทดี (ให้แรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ) แต่จะให้ความเร็วสูงมากเมื่อมอเตอร์อยู่ในสถานะที่มีโหลดน้อยๆ ดังนั้นการบังคับแบบนี้มีประโยชน์เฉพาะภาวะที่แรงต้านคงที่ เช่น การบังคับความเร็วของเครื่องจักรเย็บผ้า เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

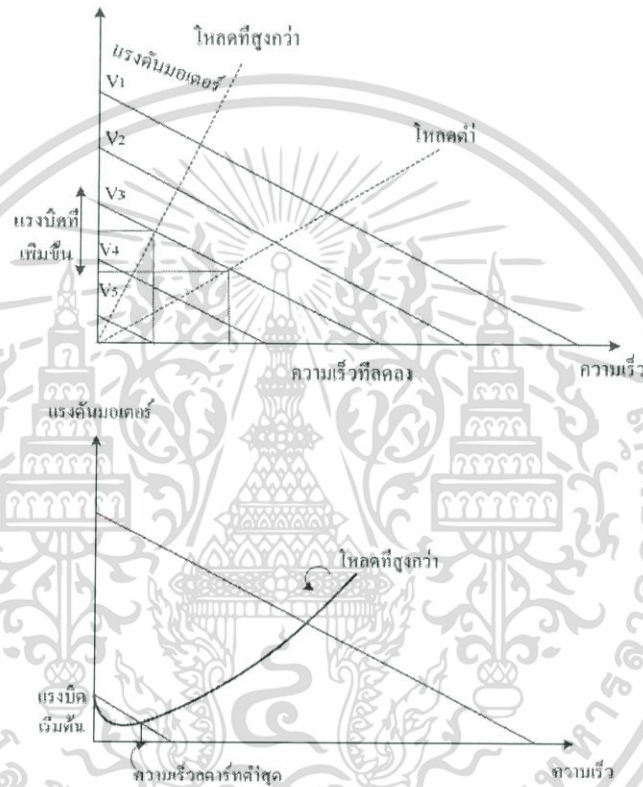


รูปที่ 2.4 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรมและกราฟแสดงคุณสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การควบคุมด้วยวิธีเปลี่ยนค่าแรงดัน

วิธีการนี้ดีกว่าวิธีการแรกแต่จะซับซ้อนกว่าต้องใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีอัตราขยายกำลังสูง และ มอเตอร์จะถูกป้อนด้วยแรงดันที่เปลี่ยนแปลงค่าได้จากแหล่งจ่ายที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำ ข้อดีของการควบคุมวิธีนี้คือ ถ้าความเร็วลดลงจากผลของแรงบิด แรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาระดับความเร็ว ส่วนข้อเสียจากการควบคุมวิธีนี้คือ เมื่อมอเตอร์มีความเร็ว ต่ำแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะมีค่าต่ำเช่นกัน



รูปที่ 2.5 การควบคุมความเร็วโดยเปลี่ยนค่าแรงดัน

3. การควบคุมด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้

การควบคุมแบบนี้สามารถขับเคลื่อนมอเตอร์ได้ความเร็ว 10 : 1 และให้การเรีคูเลทที่ดีกว่า กระแสถูกปล่อยให้ลดลงที่ ผลของคุณสมบัติความเร็วและแรงบิดได้รับการปรับปรุงดีขึ้นกว่าการบังคับด้วยความต้านทานที่ปรับค่าได้และให้การเรีคูเลทความเร็วคงที่ได้ดีขึ้นตลอดช่วงความเร็วที่กว้างกว่า

4. การควบคุมแบบ PWM (Pulse Width Modulation)

Pulse width modulation (PWM) คือ เทคนิคสำหรับควบคุมวงจรทางด้าน ฮาร์ดแวร์

โดยใช้สัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิตอลของไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

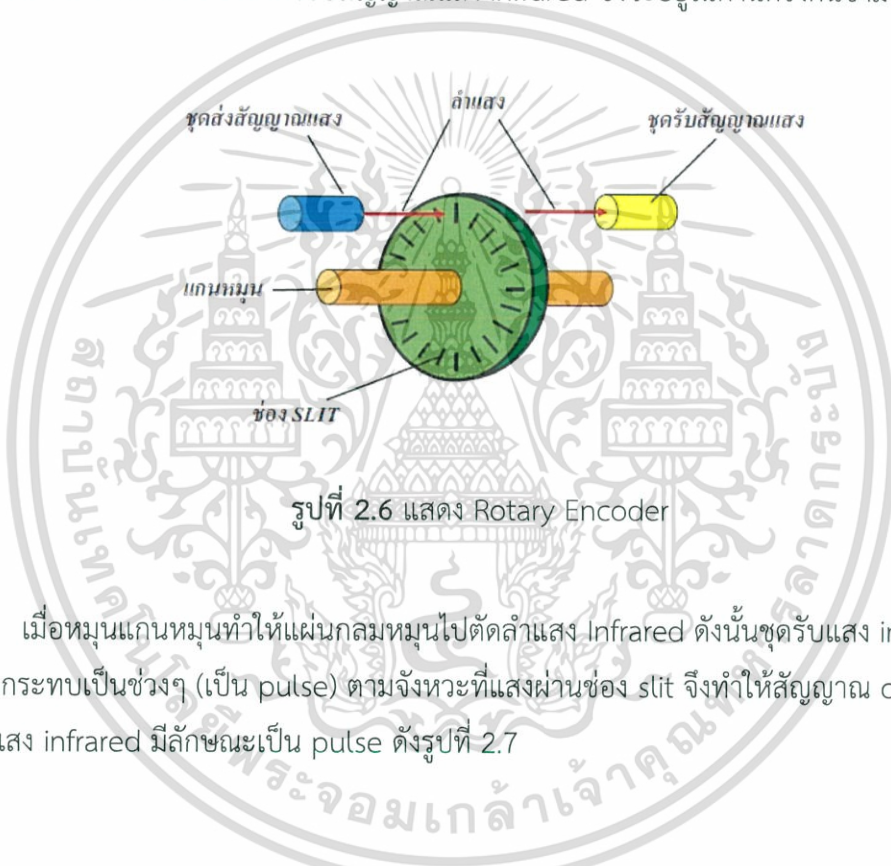
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.2 การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์

มีการนำเอา Rotary Encoder เข้ามาใช้และอ่านค่าออกมาเพื่อตรวจสอบทิศทาง และ ตำแหน่งของการเคลื่อนที่เพื่อนำมาทำการเปรียบเทียบตำแหน่งการเคลื่อนที่กับค่า input โดยหลักการทำงานของ Encoder มีดังนี้

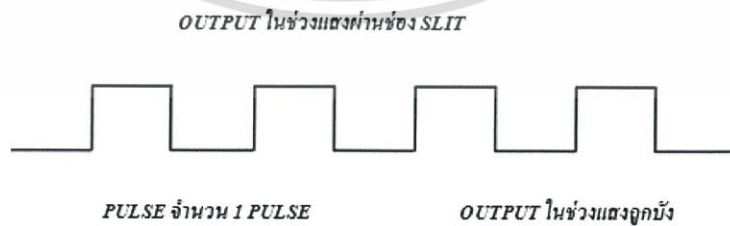
เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder)

Rotary Encoder มีลักษณะเป็นแผ่นกลมมีแกนอยู่ตรงกลาง และที่แผ่นกลมจะมีช่องเล็กที่แสงสามารถส่องผ่านได้เป็นจำนวนมากเราเรียกช่องนี้ว่าช่อง slit ซึ่งที่ด้านหนึ่งของแผ่นกลมนี้จะมีตัวส่งแสง infrared ไปยังตัวรับสัญญาณแสง infrared ซึ่งจะอยู่ในด้านตรงกันข้าม ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดง Rotary Encoder

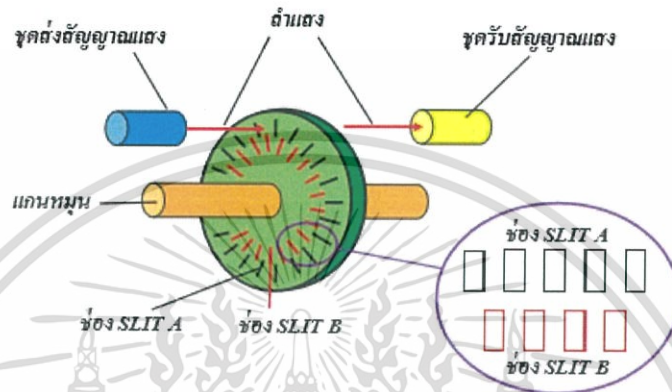
เมื่อหมุนแกนหมุนทำให้แผ่นกลมหมุนไปตัดลำแสง Infrared ดังนั้นชุดรับแสง infrared จึงมีแสงมากระทบเป็นช่วงๆ (เป็น pulse) ตามจังหวะที่แสงผ่านช่อง slit จึงทำให้สัญญาณ out put ของชุดรับแสง infrared มีลักษณะเป็น pulse ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการสร้าง pulse ของ Rotary Encoder

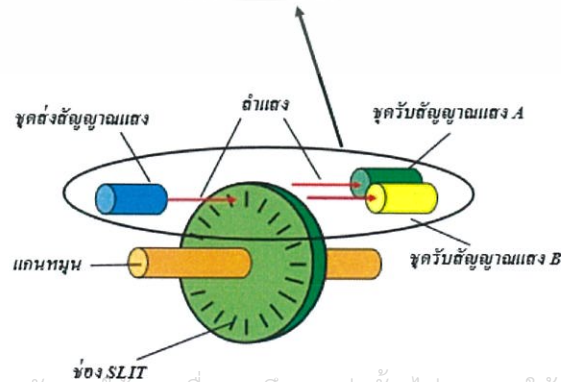
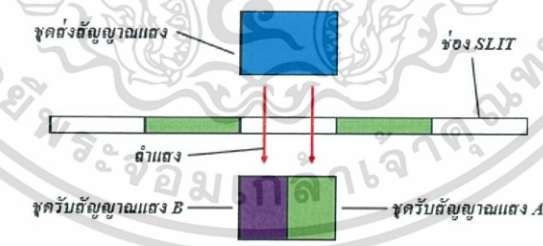
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยผู้จัดทำ ซึ่งจะเป็นตัวที่บ่งชี้ว่า motor หมุนไปกี่องศาหรือกี่รอบ ซึ่งเราไม่สามารถคำนวณได้จากสูตร จำนวนรอบที่ motor หมุนไป = จำนวน pulse ค่าความละเอียดของ

rotary encoder โดยที่ค่าความละเอียดของ rotary encoder นั้นนิยมใช้หน่วยเป็น plus/ round หรือ ppr เช่น 1000 ppr ก็หมายถึงว่าเมื่อ motor หมุนไป 1 รอบจะมี plus ออกมา 1000 plus เป็นต้น ส่วนในเรื่องที่ว่าเราจะทราบได้อย่างไรว่า motor หมุนไปทิศทางใดนั้น ส่วนใหญ่แล้วจะใช้วิธีสร้าง ช่อง slit เป็น 2 ชุดเหลื่อมกัน 90 องศา ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดง Pulse ของ Rotary แบบสองเฟส

หรืออาจจะใช้ช่อง Slit เพียง 1ชุดแต่มีการจัดวางชุดรับสัญญาณแสงดังรูปข้างล่างแต่ข้อสำคัญคือจะต้องมี phase ต่างกัน 90 องศา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 2.9 แสดงการตรวจเช็คสัญญาณ pulse ของ Rotary Encoder ที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีทางการควบคุมและทดสอบระบบ

2.3.1 Hardware

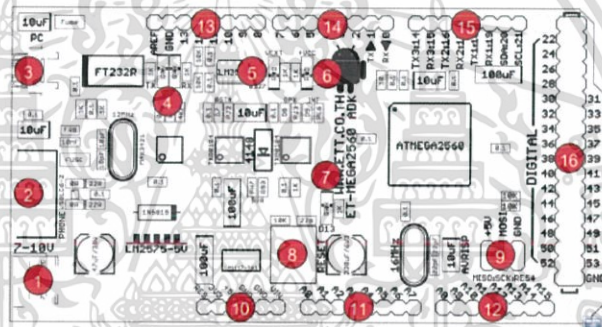
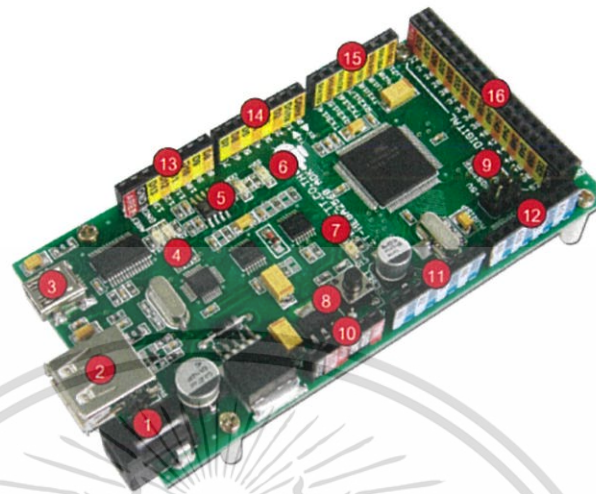
2.3.1.1 Arduino MEGA 2560 board

1. คุณสมบัติของบอร์ด

- ใช้ ATMEGA2560 เป็น MCU ประจําบอร์ด Run ความถี่ 16MHz จาก Crystal Oscillator
- 256KByte Flash (สงวนไว้ 4KByte สำหรับ Bootloader) / 8KByteSRAM / 4KByte EEPROM
- รองรับการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C++ ของ Arduino ตามแบบ Arduino Mega ได้ 100%
- ใช้ USB Bridge ของ FTDI เบอร์ FT232RL พร้อม Over Current Protection สำหรับติดต่อสื่อสาร และ Download Code จากคอมพิวเตอร์ให้บอร์ด โดยไม่ต้องใช้เครื่องโปรแกรมจากภายนอก
- On Board USB Host(MAX3421) สำหรับเชื่อมต่อ USB Device หรืออุปกรณ์ Android ADK
- 54 Pin Digital I/O โดยมี
 - 16 Pin Analog Input
 - 14 PWM outputs
 - 4 UART(Hardware Serial Port) แบบ TTL Logic
 - 1 Hardware TWI (I2C)
 - 1 Hardware SPI (up to 8Mbps)
- ขนาดของ PCB บอร์ด และ ตำแหน่ง Pin Connector ต่างๆ ตรงกันกับ Arduino Mega ทั้งหมด ทำให้สามารถนำไปติดตั้งใช้งานร่วมกับบอร์ด Shield แบบต่างๆที่มีการผลิตขึ้นมาใช้งานร่วมกับ บอร์ด Arduino Mega ได้ทั้งหมด โดยบอร์ดมีขนาด PCB Size 5.3cm x 10.2cm
- รองรับการใช้งานกับ External Supply ทั้งแบบ AC และ DC ขนาด 7-12V โดยเลือกใช้ Regulate แบบ Switching ขนาด 1A (LM2575-5V) ลดปัญหาเรื่องความร้อนเมื่อมีการใช้กระแสสูงๆ สามารถ ใช้แหล่งจ่ายจากพอร์ต USB ได้ในกรณีใช้กระแสไม่เกิน 500mA โดยมีวงจรเลือกแหล่งจ่ายอัตโนมัติ โดยจะตัดการใช้ไฟเลี้ยงจาก USB โดยอัตโนมัติ เมื่อมีการต่อแหล่งจ่ายจากภายนอกให้บอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โครงสร้างบอร์ด ET-MEGA2560-ADK



รูปที่ 2.10 โครงสร้างบอร์ด ET-MEGA2560

- หมายเลข 1 คือ ขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงจากภายนอก สามารถใช้ได้กับแหล่งจ่ายทั้งแบบ AC และ DC พร้อมวงจร Bridge Rectifier และ Regulate แบบ Switching ช่วยลดความร้อนของ IC Regulate เมื่อมีการดึงกระแสมากๆได้เป็นอย่างดี สามารถใช้กับแรงดัน Input 7-12V
- หมายเลข 2 เป็นขั้วต่อ USB Host สำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ USB Device ต่างๆ
- หมายเลข 3 เป็นขั้วต่อ USB Device สำหรับติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ PC โดยใช้ FT232RL เป็น USB Bridge ในการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ PC และ MCU ในบอร์ด และยังสามารถใช้ไฟจากพอร์ต USB เป็นแหล่งจ่ายให้กับบอร์ดได้ด้วย โดยจะมี Poly Fuse ขนาด 500mA สำหรับป้องกันการดึงกระแสเกินจากพอร์ต USB ด้วย และที่พิเศษคือมีวงจรสำหรับตรวจสอบแหล่งจ่าย เพื่อสลับการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การดำเนินงานของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยขอสงวนสิทธิ์ในค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยี่สิบห้าปีนับจากวันที่พิมพ์เอกสารฉบับนี้ไว้ โดยขอสงวนสิทธิ์ในค่า

แต่เมื่อมีการ ต่อ External Supply วงจรจะสลับไปใช้แหล่งจ่ายจาก External Supply เองโดยอัตโนมัติ

- LED +VCC ใช้แสดงสถานะเมื่อมีการจ่ายไฟให้กับบอร์ด
- LED VEXT ใช้แสดงสถานะเมื่อมีการจ่ายไฟจาก External Supply
- หมายเลข 4 เป็น LED VEXT ใช้แสดงสถานะเมื่อมีการจ่ายไฟเลี้ยงจาก External Supply
- หมายเลข 5 เป็น LED +VCC ใช้แสดงสถานะของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง (+VCC) ของบอร์ด โดยเมื่อ บอร์ดใช้แหล่งจ่ายจาก External Supply จะแสดงสถานะโดยการให้ LED VEXT และ LED +VCC ติดสว่างพร้อมกันทั้งคู่ แต่ถ้าบอร์ดใช้แหล่งจ่ายจากพอร์ต USB จะแสดงสถานะโดยการให้ LED +VCC ติดสว่างเพียงดวงเดียว
- หมายเลข 6 เป็น LED แสดงสถานะของ RX และ TX ใช้สำหรับแสดงการรับส่งข้อมูลระหว่าง บอร์ด ET-MEGA2560-ADK กับคอมพิวเตอร์ PC ผ่านทางพอร์ต USB
- หมายเลข 7 เป็น LED D13 ใช้สำหรับทดสอบการทำงานของ Bootloader และ ใช้ทดสอบการทำงานของบอร์ดจากการควบคุมของ Pin Digital-13 ทำงานด้วย Logic “1” และ หยุดทำงานด้วย Logic “0”
- หมายเลข 8 เป็นสวิตช์Reset ใช้สำหรับสั่ง Reset การทำงานของบอร์ด
- หมายเลข 9 เป็นขั้วต่อ AVRISPใช้สำหรับโปรแกรม Bootloader ให้กับ MCU
- หมายเลข 10 เป็นขั้วต่อ Power
- หมายเลข 11,12 เป็นขั้วต่อสัญญาณ Analog A[0..7]และ Analog A[8..15] ตามลำดับ
- หมายเลข 13,14,15 เป็นขั้วต่อสัญญาณ Digital D[0..7],D[8..13]และ D[14..21]
- หมายเลข 16 เป็นขั้วต่อสัญญาณ Digital D[22..53]

3. คุณสมบัติของสัญญาณต่างๆของบอร์ด ET-MEGA2560-ADK

- RESET# เป็นสัญญาณ Input Reset ของ MCU ทำงานเมื่อเป็น Logic Low โดยสัญญาณ #RESET นี้จะถูกควบคุมจาก 2 แหล่ง คือจากสวิตช์ #RESET ภายในบอร์ด และ จากสัญญาณ DTR ของ FT232RL
- +3.3 V เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาด +3.3V ที่ได้จากวงจร Regulate ของ LM1117-3V3 สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 500mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น คือ จากพอร์ต USB และจาก External Supply ซึ่งถ้าต่อแหล่งจ่ายให้บอร์ดจาก

7. D19 สามารถ โปรแกรมหน้าที่เป็น RX1 สำหรับรับข้อมูลให้กับ UART1 ได้ด้วย

8. D20, D21 สามารถ โปรแกรมหน้าที่เป็น SDA,SCL ของ I2C Bus ของ I2C ได้ด้วย

- AREF เป็นสัญญาณ Analog Reference จากภายนอกที่ต้องการป้อนให้กับ MCU ซึ่งตามปรกติ แล้ว ATMEGA2560 สามารถโปรแกรมให้เลือกใช้แรงดันอ้างอิงจากภายในได้อยู่แล้วโดยสามารถเลือกเป็น 1.1V หรือ 2.56V หรือ AVCC(+5V) โดยไม่จำเป็นต้องป้อนแรงดันอ้างอิงจากภายนอกให้กับบอร์ดอีกแต่ถ้าต้องการแรงดันอ้างอิงที่มีความแตกต่างจากที่กล่าวมาแล้วก็สามารถป้อนเป็นแรงดันอ้างอิงจากภายนอกผ่านทางขา AREF นี้เข้าไปเองได้ระหว่าง 0-5V
- USB Host ใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ USB Device หรือ แอนดรอยน์โฟนโดยใช้ชิพ USB Host เบอร์ MAX3421 เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ USB กับ MCU ATMEGA2560 ซึ่งในปัจจุบันมีการ สร้าง Library ขึ้นมาสนับสนุนการเชื่อมต่อให้นำไปประยุกต์ดัดแปลงใช้งานกันได้ฟรีๆทั้งแบบ USB Host และแบบเชื่อมต่อกับอุปกรณ์แอนดรอยน์โฟนซึ่งถ้าใช้แอนดรอยน์โฟนที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการรุ่น V2.3.4 หรือสูงกว่าสามารถใช้การพัฒนาด้วย Google ADK ได้ แต่ถ้าแอนดรอยน์โฟนไม่รองรับ ADK ก็สามารถใช้ ADB ของ Microbridge แทนได้เช่นกัน

2.3.1.2 L298N Motor Driver Board[4]

L298N เป็นชุดขับมอเตอร์ชนิด H-Bridge ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการควบคุมทิศทางและความเร็วของมอเตอร์ ซึ่งสามารถควบคุมมอเตอร์ได้ทั้งหมด 2 Channel

หลักการทำงาน

วงจร H-Bridge ของ L298N จะขับกระแสเข้ามอเตอร์ ตามขั้วที่กำหนดด้วยลอจิกเพื่อควบคุมทิศทาง ส่วนความเร็วของมอเตอร์นั้นจะถูกควบคุมด้วย สัญญาณ (PWM Pulse Width Modulation)

PWM หมายถึง การควบคุมช่วงจังหวะการทำงานของอิเล็กทรอนิกส์

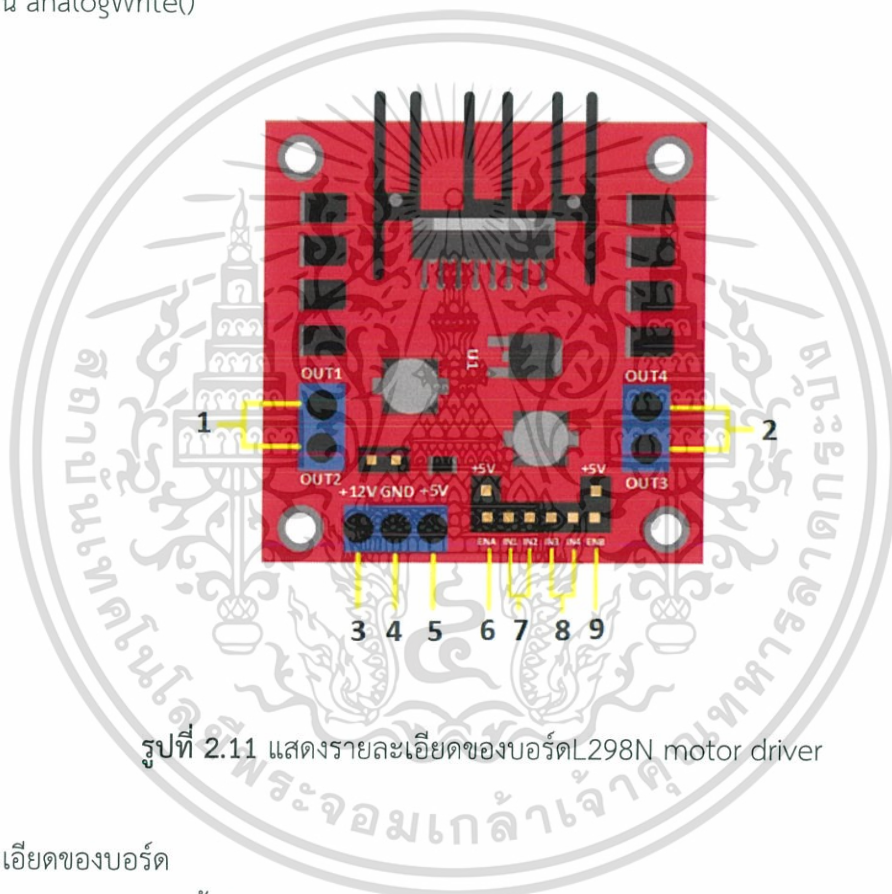
พิจารณาโครงสร้างโค้ดของ Arduino

โค้ดการทำงานของ Arduino มีการพัฒนาขึ้นเรื่อยๆ แต่ยังไม่มีการสร้าง library ที่เกี่ยวกับตัว L298N Dual H-Bridge เพื่อควบคุมมอเตอร์ดังนั้นผู้ใช้งานจึงต้องประกาศ pin เพื่อใช้งานขึ้นมาเอง

สามารถใช้โค้ด `int dir(number)Pin(letter)` ต่อเข้ากับพินดิจิตอลที่เลือกใช้ แค่นี้ก็สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและช่วยให้ตัว L298N Dual H-Bridge ควบคุมมอเตอร์ได้อย่างอนเนกประสงค์ถ้าบอร์ด Arduino ที่เลือกใช้งานมีพินหลายตัว และถ้าต้องการปรับความเร็วของมอเตอร์ด้วย PWM สามารถใช้คำสั่ง `int speedPin(letter)` แล้วต่อเข้ากับพินที่เลือกใช้ หากต้องการวิธีลัดเพื่อใช้งาน PWM อย่างรวดเร็วสามารถเลือกพินใช้งานได้ตามรายการด้านล่าง

AT MEGA -PWM 2-13 และ 44-46 ตั้งค่าเอาต์พุตของ PWM ให้เป็น 8 bit ด้วยฟังก์ชัน `analogWrite()`

UNO-PWM 3, 5, 6, 9, 10 และ 11 ตั้งค่าเอาต์พุตของ PWM ให้เป็น 8 bit ด้วยฟังก์ชัน `analogWrite()`



รูปที่ 2.11 แสดงรายละเอียดของบอร์ด L298N motor driver

รายละเอียดของบอร์ด

1. Out 1: ช่องต่อขั้วไฟของมอเตอร์ A
Out 2: ช่องต่อขั้วไฟของมอเตอร์ A
2. Out 3: ช่องต่อขั้วไฟของมอเตอร์ B
Out 4: ช่องต่อขั้วไฟของมอเตอร์ B
3. 12V: ช่องจ่ายไฟเลี้ยงมอเตอร์ 12V (ต่อได้ตั้งแต่ 5V ถึง 35V)
4. GND: ช่องต่อไฟลบ (Ground)

5. 5V: ช่องจ่ายไฟเลี้ยงมอเตอร์ 5V หากมีการต่อไฟเลี้ยงที่ช่อง 12V แล้ว ช่องนี้จะทำหน้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 กระจายไฟออกเป็น 5V Output สามารถต่อไฟจากช่องนี้ไปเลี้ยงบอร์ด Arduino ได้
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ENA: ช่องต่อสัญญาณ PWM สำหรับมอเตอร์ A
7. IN1: ช่องต่อสัญญาณลอจิกเพื่อควบคุมทิศทางของมอเตอร์ A
IN2: ช่องต่อสัญญาณลอจิกเพื่อควบคุมทิศทางของมอเตอร์ A
8. IN3: ช่องต่อสัญญาณลอจิกเพื่อควบคุมทิศทางของมอเตอร์ B
IN4: ช่องต่อสัญญาณลอจิกเพื่อควบคุมทิศทางของมอเตอร์ B
9. ENB: ช่องต่อสัญญาณ PWM สำหรับมอเตอร์ B

รายละเอียดทางเทคนิค

- Dual H bridge Drive Chip : L298N
- แรงดันสัญญาณลอจิก : 5V Drive voltage: 5V-35V
- กระแสของสัญญาณลอจิก : 0-36mA
- กระแสขับมอเตอร์ : สูงสุดที่ 2A (เมื่อใช้มอเตอร์เดี่ยว)
- กำลังไฟฟ้าสูงสุด : 25W
- ขนาด : 43 x 43 x 26 มิลลิเมตร
- น้ำหนัก : 26 กรัม

* มี Power Supply 5V ในตัว สามารถจ่ายไฟออกจากช่อง 5V (เพื่อจ่ายให้บอร์ด Arduino) ได้ เมื่อต่อไฟเลี้ยงเข้าที่ช่อง 12V

2.3.1.3 LDR (Light Dependent Resistor) [5]

คือตัวต้านทานปรับค่าตามแสงซึ่งสามารถเปลี่ยนสภาพทางความนำไฟฟ้าได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบ บางครั้งเรียกว่าโฟโตริซิสเตอร์ (Photo Resistor) หรือ โฟโตคอนดักเตอร์ (Photo Conductor) เป็นตัวต้านทานที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ประเภทแคดเมียม-ซัลไฟด์ (Cds : Cadmium Sulfide) หรือแคดเมียมซีลีไนด์ (CdSe : Cadmium Selenide) ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำ เอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบ ไว้ออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ที่มา : <https://dir.indiamart.com/impcat/ldr-sensor.html?biz=10>)

รูปที่ 2.12 ลักษณะของ LDR ทั่วไป

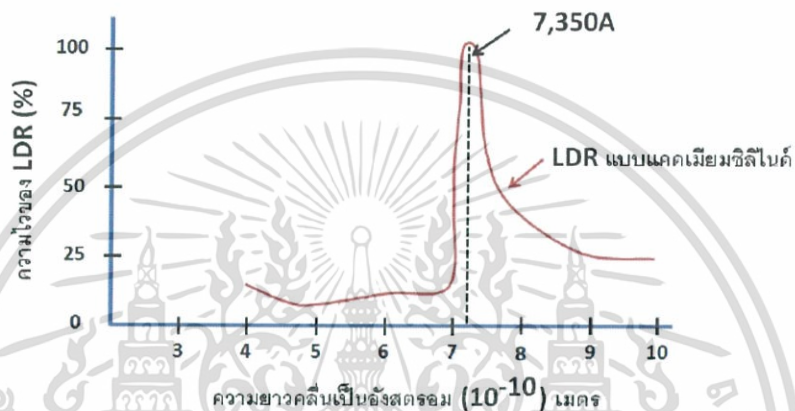
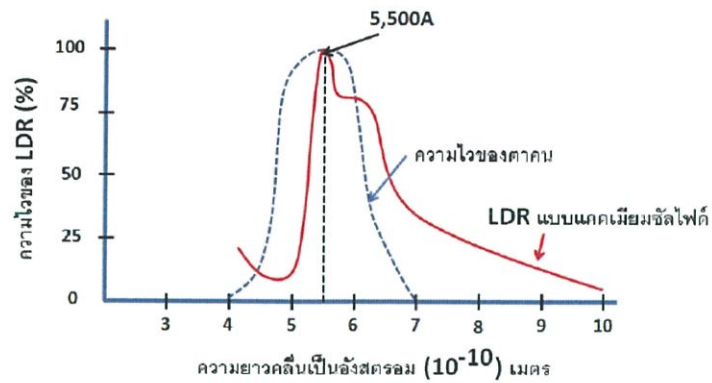


(ที่มา : <https://www.thitiblog.com/blog/6796>)

รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะโครงสร้างของ LDR

จากรูปที่ 2.13 ส่วนที่ขีดเป็นแนวเล็กลงสีดำทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสงและแนวสีดำนั้นจะแบ่งพื้นที่ของตัวมันออกเป็น 2 ข้าง ซึ่งของจริงจะเห็นว่าออกสีทองนั้น เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ทำหน้าที่สัมผัสกับตัวต้านทานไวแสง เป็นที่สำหรับต่อขาออกมาภายนอกหรือเรียกว่าอิเล็กโทรดที่เหล็ก็จะเป็นฐานเซรามิกและอุปกรณ์สำหรับห่อหุ้มซึ่งมีได้หลายแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 กราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆของ LDR ทั้ง 2 แบบเมื่อเทียบกับความไวของตาคน

1. สมบัติทางแสง

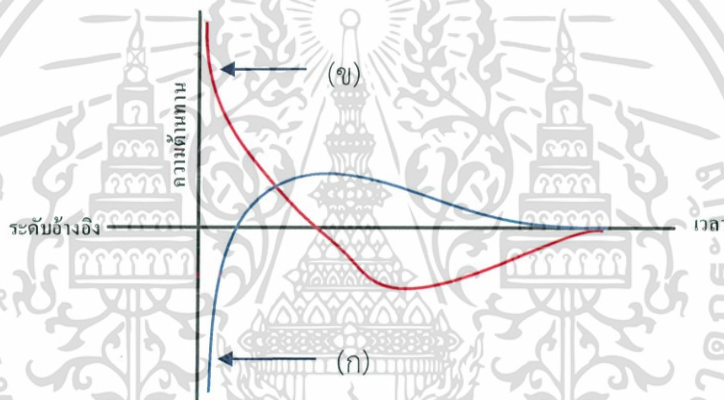
การทำงานของ LDR เนื่องจากเป็นสารกึ่งตัวนำ เวลาที่มีแสงตกกระทบลงไปก็จะถ่ายทอดพลังงานให้กับสารที่ฉาบอยู่ทำให้เกิดโฮลกับอิเล็กตรอนวิ่งกันพล่าน การที่โฮลกับอิเล็กตรอนอิสระนี้ มากก็เท่ากับความต้านทานภายในจะลดลง ยิ่งความเข้มของแสงที่ตกกระทบมากเท่าไร ความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น แต่ถ้าไม่มีแสงมาตกกระทบลงบน LDR ความต้านทานภายในของ LDR ก็จะมีค่าสูงกล่าวโดยสรุปคือ ค่าความต้านทานภายในของ LDR จะเป็นสัดส่วนผกผันกับค่าความเข้มของแสงที่มาตกกระทบ

ในส่วนของแสงตกกระทบนั้นเฉพาะแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 4,000 อังสตรอม (1 อังสตรอม เท่ากับ 10^{-10} เมตร) ถึงประมาณ 10,000 อังสตรอม เท่านั้นที่จะใช้ได้ (สายตาคนจะเห็นได้ ในช่วงประมาณ 4,000 อังสตรอม ถึง 7,000 อังสตรอม) ซึ่งคิดแล้วก็เป็นช่วงคลื่นเพียงแคบ ๆ เมื่อเทียบกับการทำงานของอุปกรณ์ไวแสง ประเภทอื่น ๆ แสงในช่วงคลื่นนี้มีอยู่ในแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟแบบไส้ และ แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วย หรือ ถ้าจะคิดถึงความยาวคลื่น ที่ LDR จะตอบสนองไวที่สุดแล้ว ก็มีอยู่หลายความยาวคลื่นโดยทั่วไป LDR ที่ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์จะไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 5,000 กว่า อังสตรอม ซึ่งจะเป็นสีเขียวไปจนถึงสีเหลือง สำหรับไม่จำกัดแล้วความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของมันใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของตาคนมาก (ตาคน

ไวต่อความยาวคลื่น ประมาณ 5,550 อังสตรอม) จึงมักจะทำเป็นเครื่องวัดแสง ในกล้องถ่ายรูป ถ้า LDR ทำจาก แคดเมียมซีลีไนด์ก็จะไวต่อความยาวคลื่นในช่วง 7,000 กว่า อังสตรอม ซึ่งไปอยู่ในช่วงอินฟราเรดแล้ว

2. สมบัติทางไฟฟ้า

อัตราส่วนระหว่างความต้านทานของ LDR ในขณะที่ไม่มีแสง กับขณะที่มีแสง อาจจะเป็นได้ตั้งแต่ 100 เท่า , 1,000 เท่า หรือ 10,000 เท่า แล้วแต่รุ่น แต่โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานในขณะที่ไม่มีแสงจะอยู่ในช่วง ประมาณ 0.5 MW ขึ้นไป ในที่มีดสนิทอาจขึ้นไปได้มากกว่า 2 MW และในขณะที่มีแสงจะเป็นประมาณ 10 – 20 kW ลง ไป อาจจะเหลือเพียงไม่กี่โอห์ม หรือไม่ถึงโอห์มก็ได้ ทนแรงดันสูงสุดได้ไม่ต่ำกว่า 100 V และ กำลังสูญเสียอย่างต่ำประมาณ 50 mW



รูปที่ 2.15 แสดงผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR

(ก) การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นทันทีทันใด

(ข) การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเมื่อความเข้มแสงลดลงทันทีทันใด

นอกเหนือจากลักษณะสมบัติต่างๆ เหล่านี้แล้วยังมีอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญ คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ซึ่งจะดูตัวอย่างได้ในรูปที่ 2.15 ถ้า LDR ได้รับแสงที่มีความเข้มสูงดังเส้น (ก) ความต้านทานจะมีค่าต่ำและในทันทีที่ความเข้มของแสงถูกลดลงเหลือเพียงระดับอ้างอิง ความต้านทานก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าความต้านทานที่มันควรจะเป็นในระดับอ้างอิง แต่แทนที่มันจะไปหยุดอยู่ระดับอ้างอิงมันกลับเพิ่มเลยขึ้นไปอีกแล้วจึงจะลดลงมาอยู่ในระดับอ้างอิง เหมือนกับว่าเบรกมันไม่ค่อยดีและในทำนองเดียวกันถ้าเก็บมันไว้ในที่ความเข้มแสงน้อยๆ แล้วเปลี่ยนความเข้มเป็นระดับ อังอิงทันที ดังในรูป (ข) ความต้านทานก็จะลดลงต่ำกว่ามาจากระดับอ้างอิงแล้วจึงขึ้นไปใหม่ ยิ่งความเข้มของแสงเท่ากัน LDR แบบแคดเมียมซีลีไนด์จะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะที่มันควรจะเป็นน้อยกว่าแบบแคดเมียมซีลีไฟต์แต่ก็จะมีวงเลยไปไกลกว่าด้วยและอีก

อย่างหนึ่งความเร็วในการเปลี่ยนระดับความต้านทานจากค่าหนึ่งไปอีกค่าหนึ่งช้ามาก ซึ่งจะอยู่ในช่วงของมิลลิวินาทีหรือบางทีก็เป็นวินาทีเลยดังนั้นการนำเอา LDR ไปใช้งานจึงเหมาะกับงานประเภทความถี่ต่ำ ๆ เช่น การต่อใช้เป็นวงจรตัวแบ่งแรงดันดังแสดงในรูปที่ 2.16

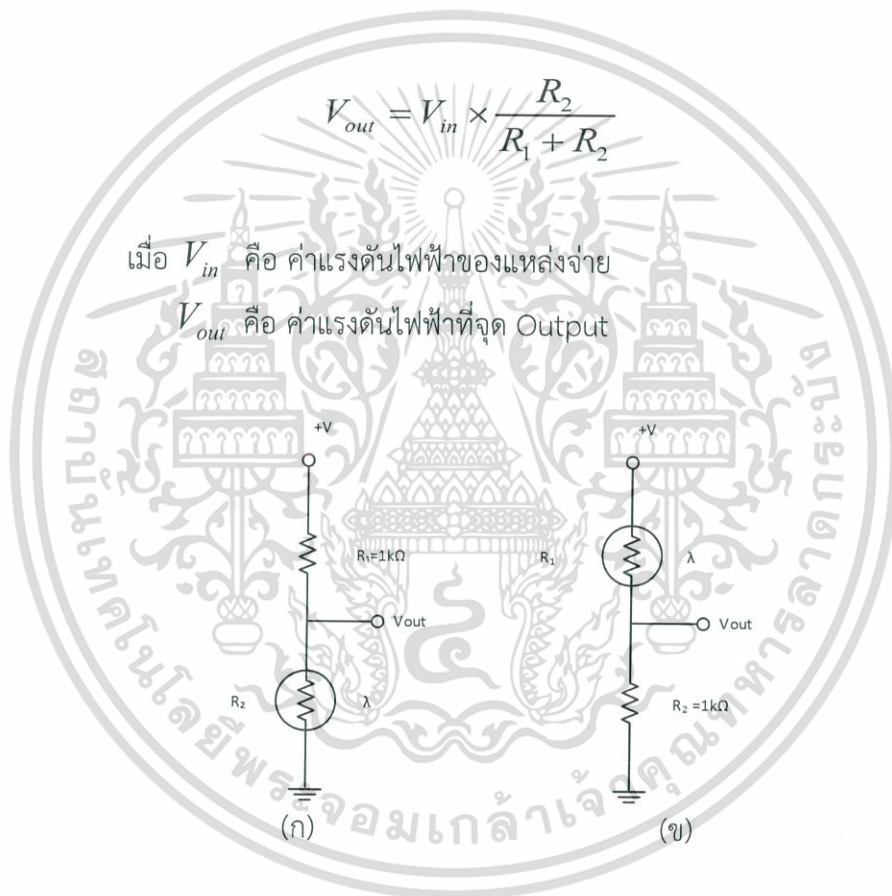
Voltage Divider

วงจรแบ่งแรงดันคือวงจรอนุกรมซึ่งประกอบไปด้วยตัวต้านทานทำหน้าที่แบ่งแรงดันหลักออกเป็นอัตราส่วนขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของตัวต้านทานแต่ละตัวโดยมีสูตรการหาค่าแรงดันขาออก (Output) ดังนี้

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.4)$$

เมื่อ V_{in} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย

V_{out} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุด Output

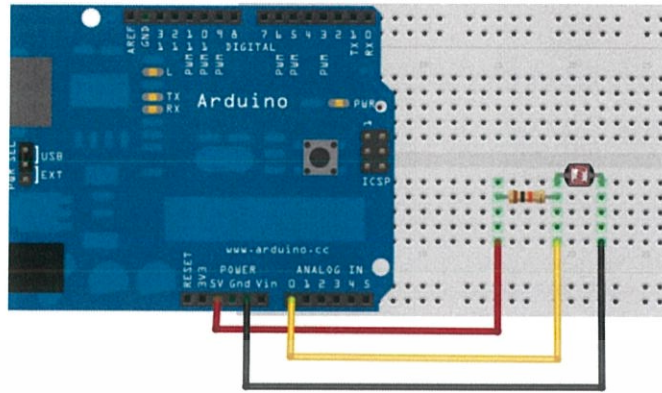


รูปที่ 2.16 แสดงวงจรตัวแบ่งแรงดันที่ใช้ LDR

(ก) แรงดันเอาต์พุตจะลดลงเมื่อมีแสงมาตกกระทบ LDR

(ข) แรงดันเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีแสงมาตกกระทบ LDR

การเชื่อมต่อ LDR เพื่อใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดันโดยต่ออนุกรมกับตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานประมาณ 10 กิโลโห์มซึ่งหากต่อกับ Arduino จะต้องต่อขา Analog Input ที่ขา A0, A1, A2, A3, A4 หรือ A5 ดังแสดงในรูปที่ 2.16 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ที่มา : <http://noppol.edsup.org/wordpress/wp-content/uploads/2013/10/Robot3ldr.pdf>)

รูปที่ 2.17 การเชื่อมต่อ LDR เพื่อใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย Arduino MEGA

2.3.1.4 Limit Switch

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมระยะทางหรือจำกัดระยะ จะใช้ร่วมกับคอนแทคเตอร์โดยลิมิตสวิตช์ (Limit Switch) จะติดตั้งในวงจรควบคุมเพื่อทำหน้าที่ตัดหรือต่อวงจรไฟฟ้าที่ป้อนให้ขดลวดของคอนแทคเตอร์เพื่อให้มอเตอร์ทำงานหรือหยุดทำงาน

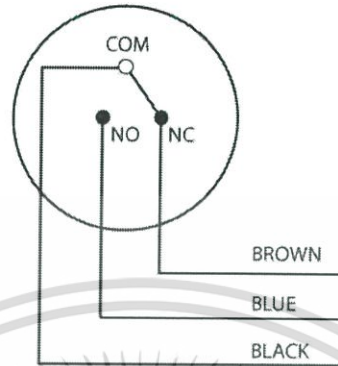


(ที่มา : <http://www.conrad.com/ce/en/product/707243/Microswitch----250-Vac---5-A---1-x-OnOn---Hartmann---MBB1>)

รูปที่ 2.18 ลักษณะของ Limit Switch ทั่วไป

หลักการการทำงานของลิมิตสวิตช์โดยปกติแบ่งออกเป็น 2 คือ ปกติเปิด (NO) และ ปกติปิด เอกสาร (NC) จากโครงสร้างภายในตำแหน่งเปิดหน้าสัมผัสจะไม่ต้อถึงกัน ทำให้กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านได้ ตำแหน่งทำงาน เมื่อมีแรงภายนอกมากกระทำ เช่น ลูกสูบเคลื่อนที่ออกมาทุกดลิมิตสวิตช์ทำให้

สภาวะการทำงานเปลี่ยนจากปกติเปิด เป็น ปกติปิด มีผลทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้ และเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่กลับจะทำให้ลิมิตสวิทช์กลับสู่สภาวะเดิมทำให้ตัดวงจรการทำงาน



(ที่มา : <http://www.kasetporpeang.com/forums/index.php?topic=109938.0>)

รูปที่ 2.19 แผนผังสายไฟของ Limit Switch

2.4 โปรแกรม Proteus

โปรแกรม Proteus เป็นโปรแกรมที่มีความสามารถมากอีกโปรแกรมหนึ่ง ในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ เพราะสามารถออกแบบวงจรไฟฟ้า พร้อมทั้งจำลองการทำงานของวงจรได้ ทั้งยังสามารถออกแบบลายวงจรพิมพ์ได้อีกด้วย ความสามารถที่โดดเด่นของ Proteus นั้น จะกล่าวได้ว่าเป็นโปรแกรมที่สามารถจำลองพฤติกรรม (Simulator) การทำงานของวงจรที่ใช้ Microcontroller เบอร์ต่าง ๆ ได้มากมาย โดยไม่ต้องประกอบวงจรให้เสียเวลา เพื่อพิสูจน์ว่าโปรแกรมที่เขียนขึ้นใช้งานได้หรือไม่ โดยวงจรและโปรแกรม (Source code) ที่ตรวจสอบด้วยโปรแกรม Proteus เป็นที่เรียบร้อยแล้วว่าถูกต้อง เราก็สามารถสร้างวงจรจริงได้ตามต้องการ

2.4.1 ความสามารถในการทำงานของโปรแกรม Proteus

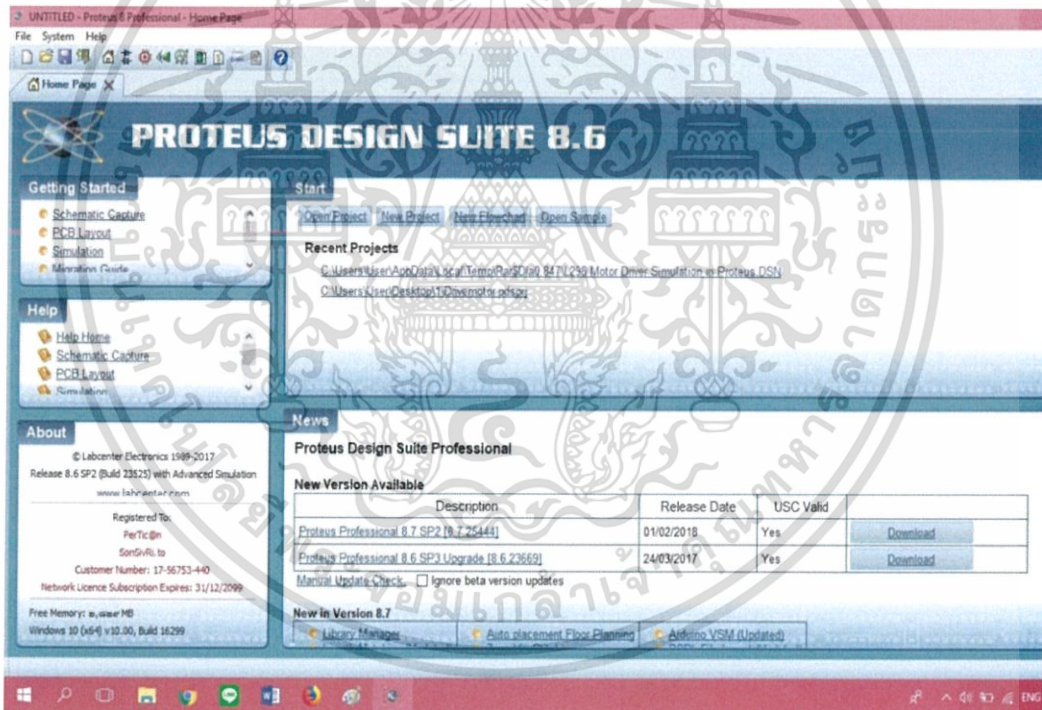
สามารถจำลองการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้หลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นแบบอนาล็อกและแบบดิจิทัล หรือทั้งแบบอนาล็อกและดิจิทัลผสมกัน นอกจากนี้ Proteus ยังสามารถออกแบบลายวงจรพิมพ์ (PCB) ได้อีกด้วย จุดเด่นของโปรแกรม Proteus ที่เป็นที่ยอมรับและชื่นชอบก็คือ การจำลองการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น PIC, MCS-51, AVR และ ARM เป็นต้น ทำให้นักเขียนโปรแกรมหรือโปรแกรมเมอร์สามารถตรวจสอบได้ว่าโปรแกรม หรือซอสโค้ด (Source Code) ที่เขียนขึ้นมานั้น สามารถสนับสนุนกับวงจรฮาร์ดแวร์ที่ต่อได้หรือไม่ ถ้าโปรแกรม (Source Code) ที่เขียนขึ้น ไม่สนับสนุนกับวงจรฮาร์ดแวร์ที่ต่อโปรแกรมเมอร์ก็จะทำการพัฒนาโปรแกรม (Source Code) ที่เขียนขึ้นใหม่ หรือปรับปรุงวงจรไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮาร์ดแวร์ใน Proteus จนกว่าโปรแกรมที่เขียนขึ้นและฮาร์ดแวร์ที่ต่อ สามารถสนับสนุนซึ่งกันและกัน ทำให้การสร้างโครงการต่าง ๆ สามารถประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายเป็นอย่างมาก

2.4.2 การใช้โปรแกรม

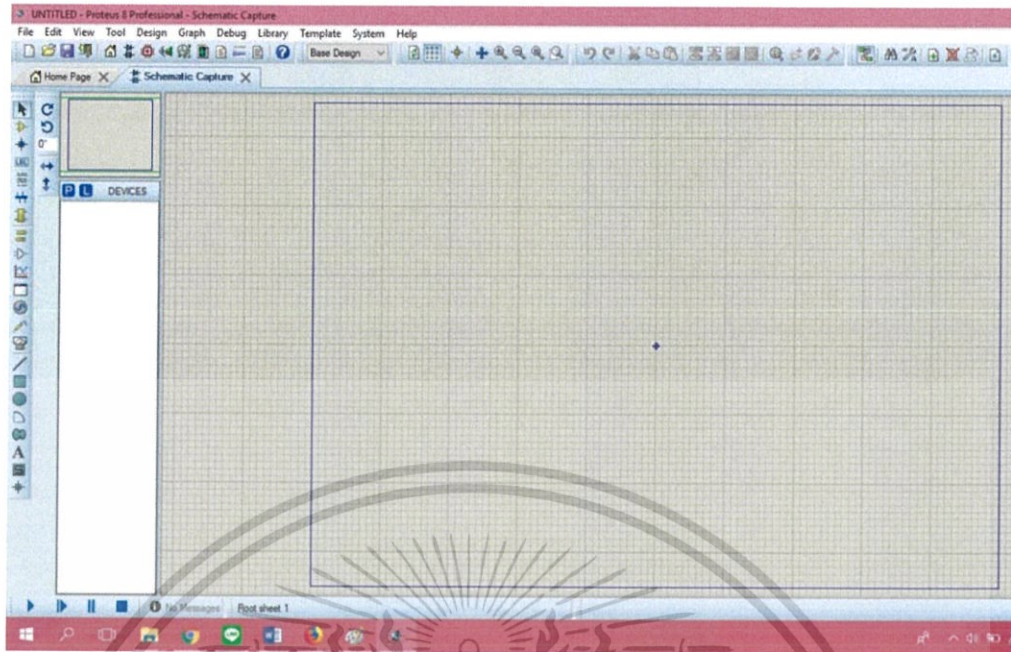
การใช้โปรแกรม โปรแกรมโปรโตอุมมี โปรแกรมย่อย 2 โปรแกรม คือ ISIS ใช้เขียนวงจรและจำลองการทำงานอีกโปรแกรมหนึ่ง คือ ARES ใช้ออกแบบลายแผ่นวงจรพิมพ์ ในการใช้โปรแกรมจำเป็นต้องทราบคำสั่งที่มีอยู่บนแถบคำสั่ง (Menu bar) และแถบเครื่องมือ (Toolbar) ต่อจากนั้นจะต้องทราบขั้นตอนในการเขียนวงจร ซึ่งต้องเริ่มจากการเลือก การวาง การเคลื่อนย้าย การโยงสาย การเปลี่ยนค่าอุปกรณ์ การเลือกใช้เครื่องมือวัดและการจำลองการทำงาน

การใช้โปรแกรม ISIS มีขั้นตอนดังนี้

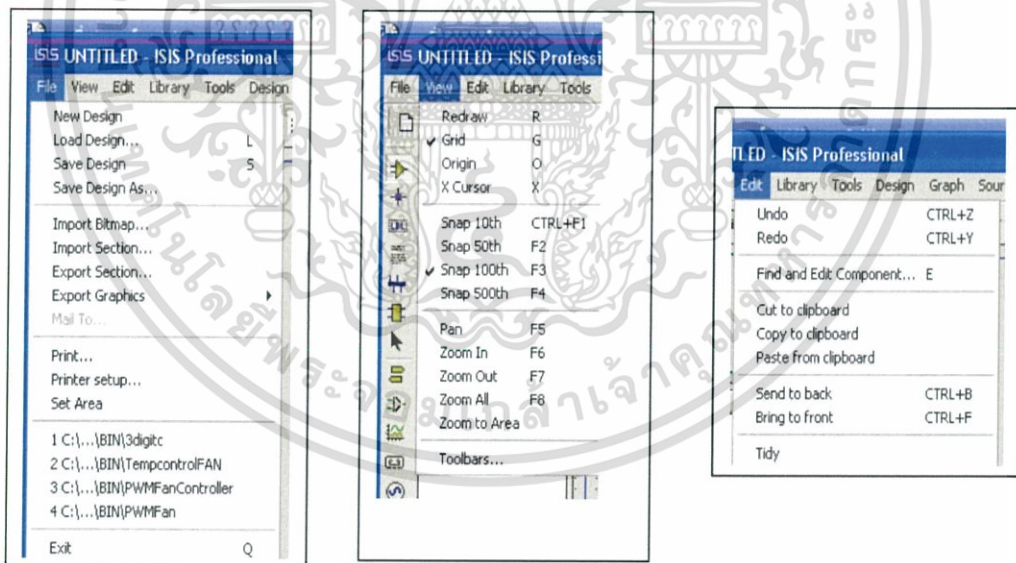


รูปที่ 2.20 แสดงโปรแกรม Proteus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



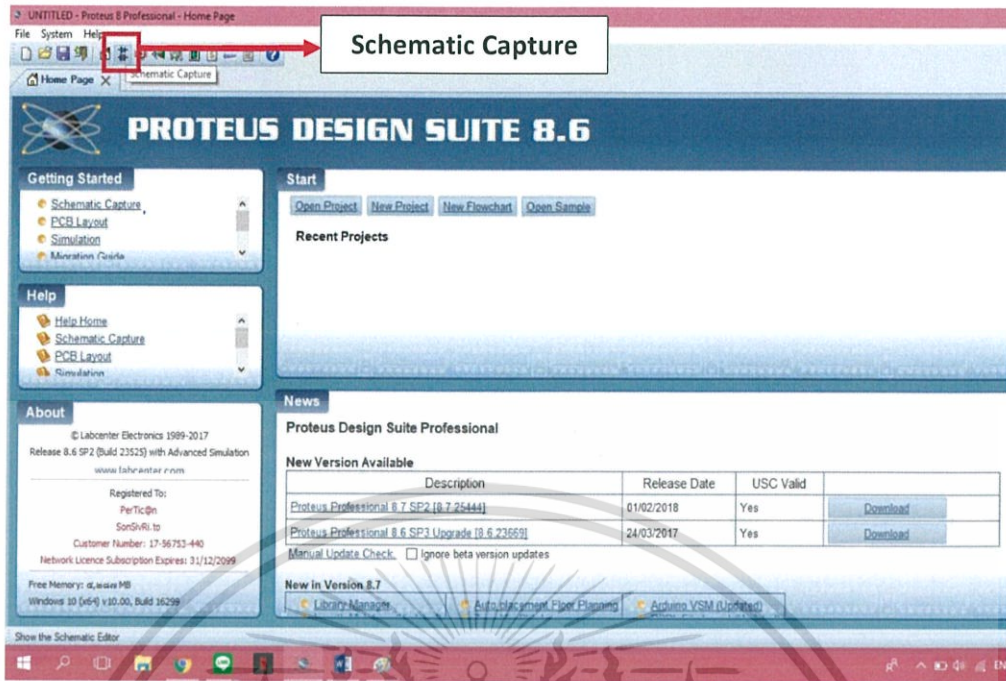
รูปที่ 2.21 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม



รูปที่ 2.22 รายการคำสั่งย่อยของแถบคำสั่ง

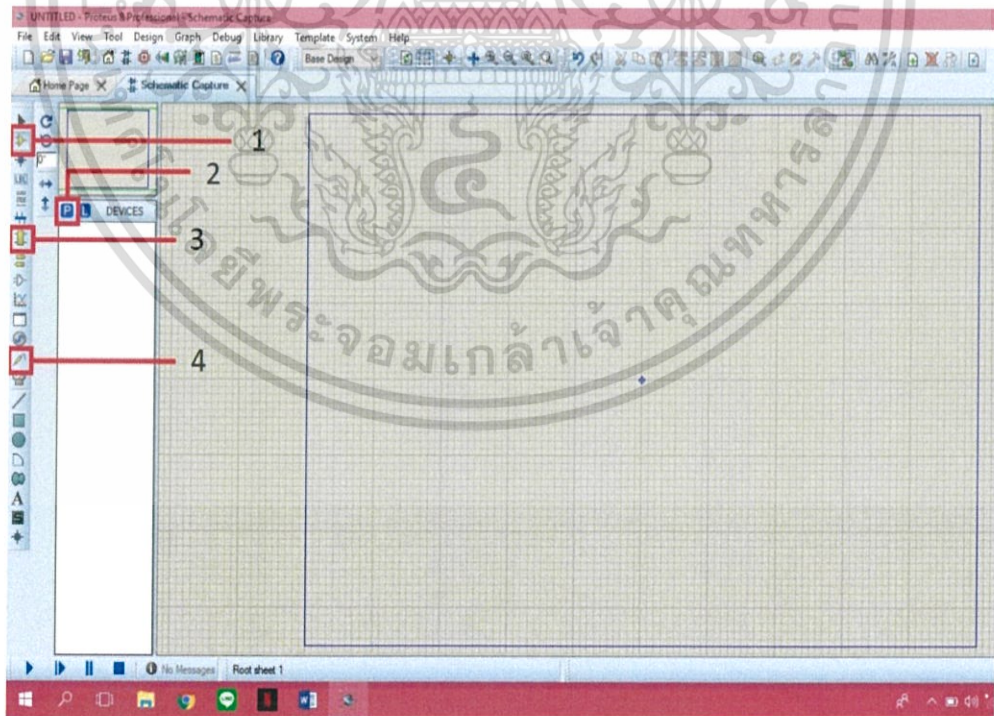
เริ่มขึ้นงานโดยเลือกที่เครื่องมือ Schematic Capture ดังรูปที่ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 แสดงหน้าจอโปรแกรม Proteus

เครื่องมือที่ใช้ในการวาด



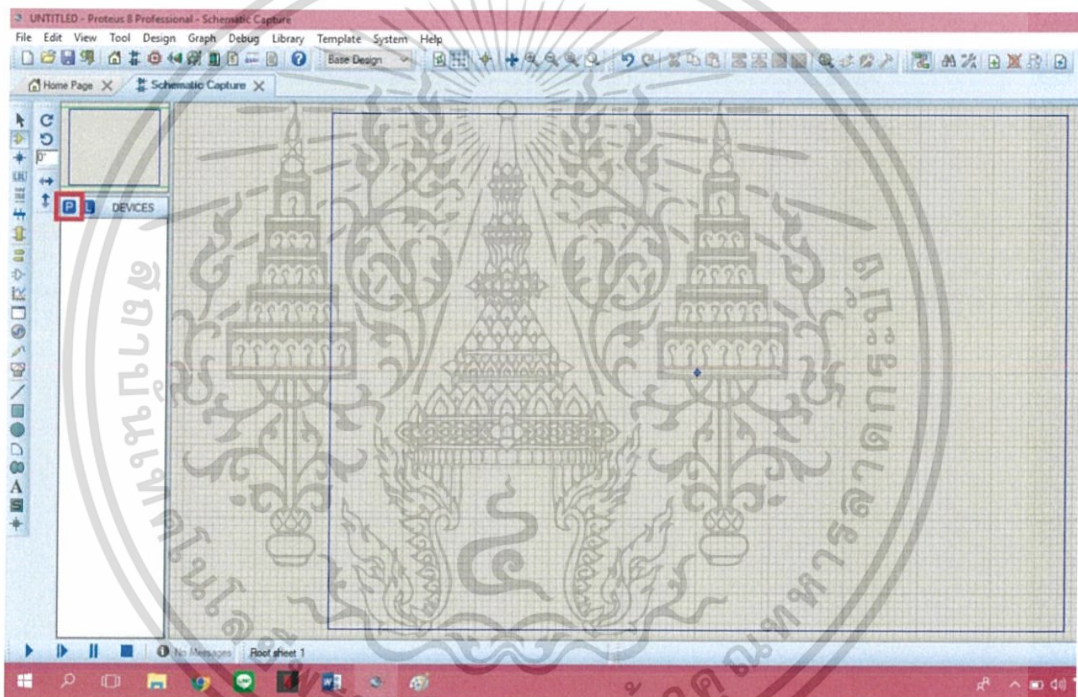
รูปที่ 2.24 แสดงแถบเครื่องมือที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Component mode คือคำสั่งที่ใช้ในการเรียกใช้อุปกรณ์ต่างๆ
2. กดตัว P เพื่อค้นหาอุปกรณ์ที่เราจะใช้
3. Terminals mode คือคำสั่งที่ใช้กำหนด input output หรือเรียกใช้ ground เป็นต้น
4. Probe mode คือคำสั่งที่นำมามิเตอร์มาวัดค่ากระแสหรือวัดโวลต์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวงจร

วิธีการเรียกใช้อุปกรณ์

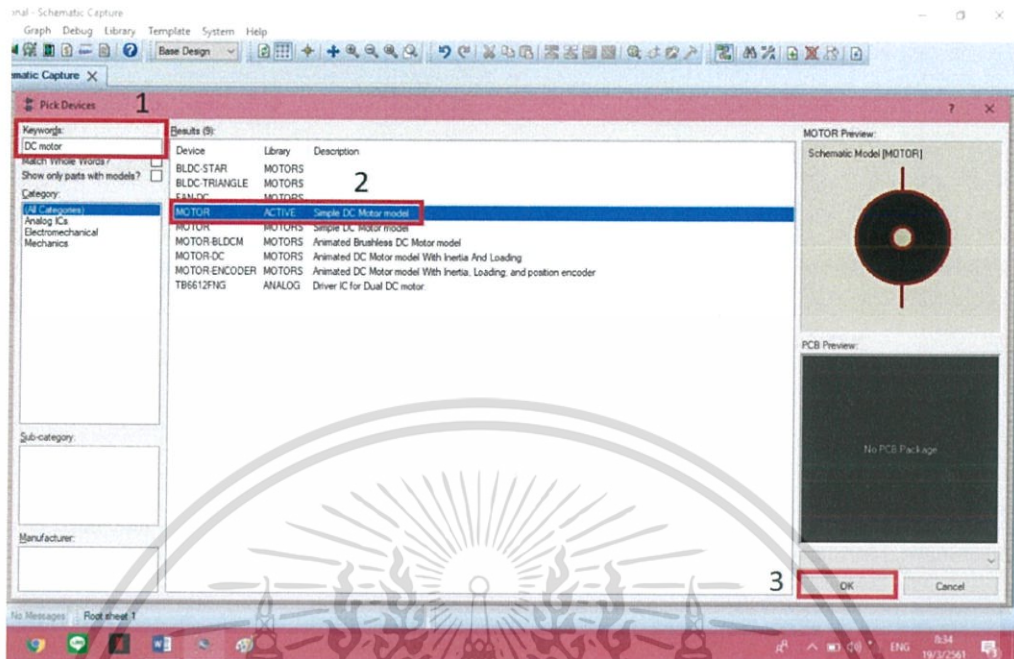
ขั้นที่ 1 กดที่คำสั่งตัว P ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 แสดงคำสั่งเรียกใช้อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจะปรากฏหน้าต่าง ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แสดงขั้นตอนการเรียกใช้อุปกรณ์

1. พิมพ์ค้นหาชื่ออุปกรณ์ที่ช่อง keywords ยกตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการใช้ DC motor
2. ให้กดเลือกอุปกรณ์ที่เราต้องการใช้
3. กด OK

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Parthipan. Ja, Nagalingeswara Raju. Bb และ Senthilkumar Sa.[6] ได้ออกแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์ซึ่งในปัจจุบันมีความซับซ้อนมากและมีราคาสูง ระบบการติดตามแสงอาทิตย์นั้นมีน้ำหนักมากและดูยากในการติดตั้งมีแนวโน้มที่จะพังได้ง่าย โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบการติดตามแสงอาทิตย์ ในขั้นตอนนี้ 1 แกนที่มี LDR 3 ตำแหน่งได้มีการพัฒนาเพื่อลดความซับซ้อนและยังลดค่าใช้จ่าย การพิจารณาถึงการมีประสิทธิภาพที่สูงด้วยงบประมาณที่ไม่สูง LDR ถูกนำมาใช้เพื่อติดตามแสงแดด LDR 2 ตัว หันหน้าไปทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตกของแสงแดด แล้วนำผลมาเปรียบเทียบกัน ความแตกต่างของความเข้มแสงสามารถคำนวณได้จาก Pic Controller ได้รับการแก้ไขภายใต้งานพาราโบลา หากมีค่าที่แตกต่าง ตัวคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณไปยังมอเตอร์กระแสตรงที่ไหลผ่านเครื่องขยายสัญญาณ หันที่ที่ได้รับสัญญาณมันจะเอียงหาแสงอาทิตย์ จากขั้นตอนข้างต้นจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ได้รับจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เช่น เซอร์ทิง 2 ตัวจะเท่ากัน เช่นนั้น งานพาราโบลาจะเก็บรวบรวมพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งจะพอดีกับไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวรับสัญญาณสีสำหรับการผลิตความร้อนสูงสุด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า 1 แกน ที่ 3 ตำแหน่งของอุปกรณ์การติดตามสามารถที่จะติดตามและไปตามความเข้มของแสงอาทิตย์ได้เพื่อให้ได้พลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดในรูปของความร้อนโดยไม่คำนึงถึงความเร็วของมอเตอร์

Fábio Moacir Hoffmann , Rolf Fredi Molz, João Victor Kothe , Elpidio Oscar Benitez Nara และ Leonel Pablo Carvalho Tedesco.[7] ได้พัฒนาการติดตามดวงอาทิตย์ทั้ง 2 แกน และประเมินประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเปรียบเทียบกับระบบคงที่ ในการติดตามดวงอาทิตย์ใช้ LDR ในการติดตามเส้นทางการเคลื่อนที่ของแสงอาทิตย์ และเครื่องยนต์ในการปรับตำแหน่งของแผงตามการควบคุมด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แต่ละระบบจะประกอบไปด้วยโครงสร้างทางเครื่องกล แผงเซลล์แสงอาทิตย์และตัวต้านทาน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ควบคุมเครื่องยนต์จะทำการวัดและจัดเก็บข้อมูลของความส่องสว่างและผลการฉายรังสีผ่านแผงควบคุม การประเมินผลของ 2 ระบบเกิดขึ้นภายใน 152 วัน ระหว่างเดือนมิถุนายน – พฤศจิกายน 2016 ในประเทศบราซิล แผงการติดตามแสงอาทิตย์แสดงให้เห็นถึงค่าเฉลี่ยในเดือนแตกต่างจากเดิม 17.20 % เป็น 31.1 % แสดงให้เห็นว่าเป็นทางเลือกทำให้พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์เป็นที่น่าสนใจขึ้นไปอีก

นายกิตติพิศ เจียรวัฒนานุกูล[1] ได้ออกแบบและสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยโมดูลเซ็นเซอร์ประกอบด้วย LDR ขนาด 5 มิลลิเมตร 8 ตัว มีมุมจัดวางตำแหน่ง LDR รับรังสีโดยอาศัยหลักการบังเงาของแท่งอลูมิเนียม และควบคุมการทำงานด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ในการติดตามตำแหน่งมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูด การทดสอบระบบที่ออกแบบและสร้าง ณ สถาบันเทคโนโลยี- พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ที่ตำแหน่งละติจูด 13.72812° และลองจิจูด 100.780125° แล้วทำการเปรียบเทียบที่ระบบติดตามด้วยเข็มทิศโดยให้หันโมดูลเซ็นเซอร์ไปทางทิศเหนือทุกครั้ง และหาค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดจากการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยสมการ NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration) ผลการทดสอบพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดจากระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่ควบคุมด้วยโมดูลเซ็นเซอร์เมื่อเทียบกับสมการ NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration) มีค่าไม่เกิน $\pm 2^{\circ}$ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสมการ NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration) ดังนั้นจึงถือว่าระบบมีความแม่นยำในการติดตามดวงอาทิตย์สูง และการนำระบบนี้ไปใช้งานในการรวมความร้อนเราจะต้องกำหนด ตำแหน่งละติจูด และลองจิจูด ณ ตำแหน่งนั้นๆ เพื่อให้ได้ความแม่นยำของระบบติดตามสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

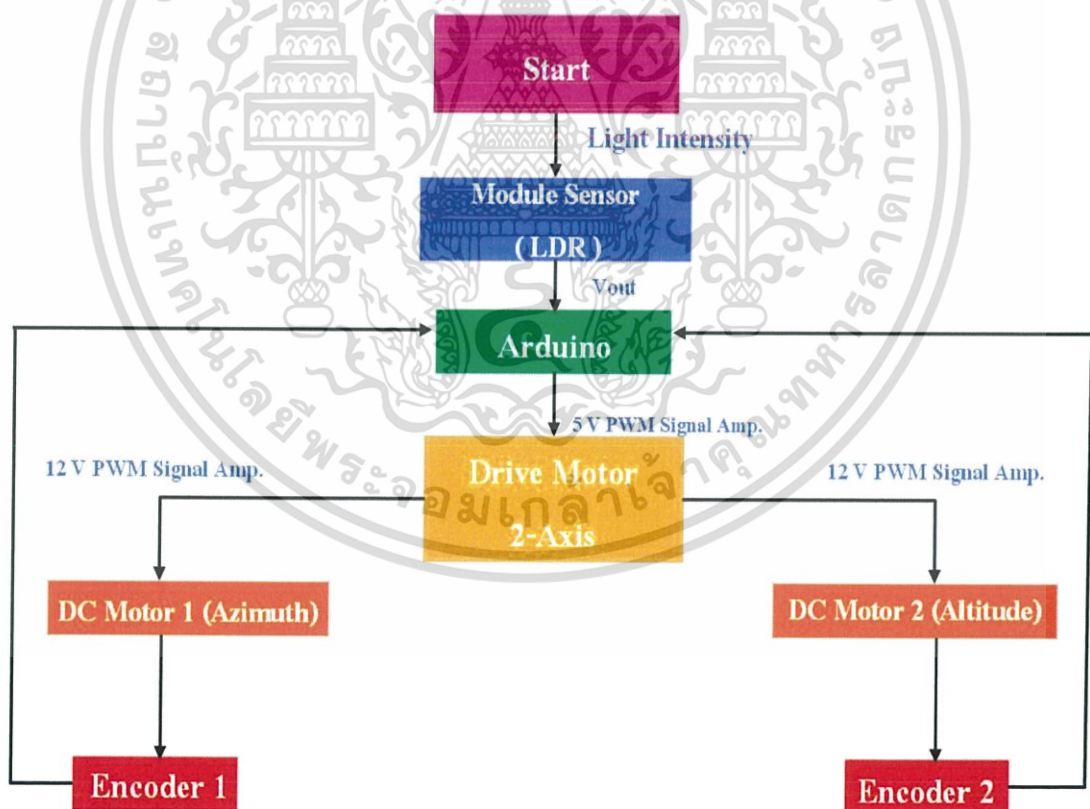
วิธีการดำเนินงานวิจัย

การพัฒนาชุดควบคุมของระบบการติดตามดวงอาทิตย์แบบงานพาราโบลิคในแนวแกน
อะซิมุท มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

- 3.1 ศึกษาการทำงานของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
- 3.2 การทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
- 3.3 ศึกษาการออกแบบและวิธีทดสอบวัดมุมในการเคลื่อนที่ของระบบติดตามการ
เคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแนวแกนอะซิมุท

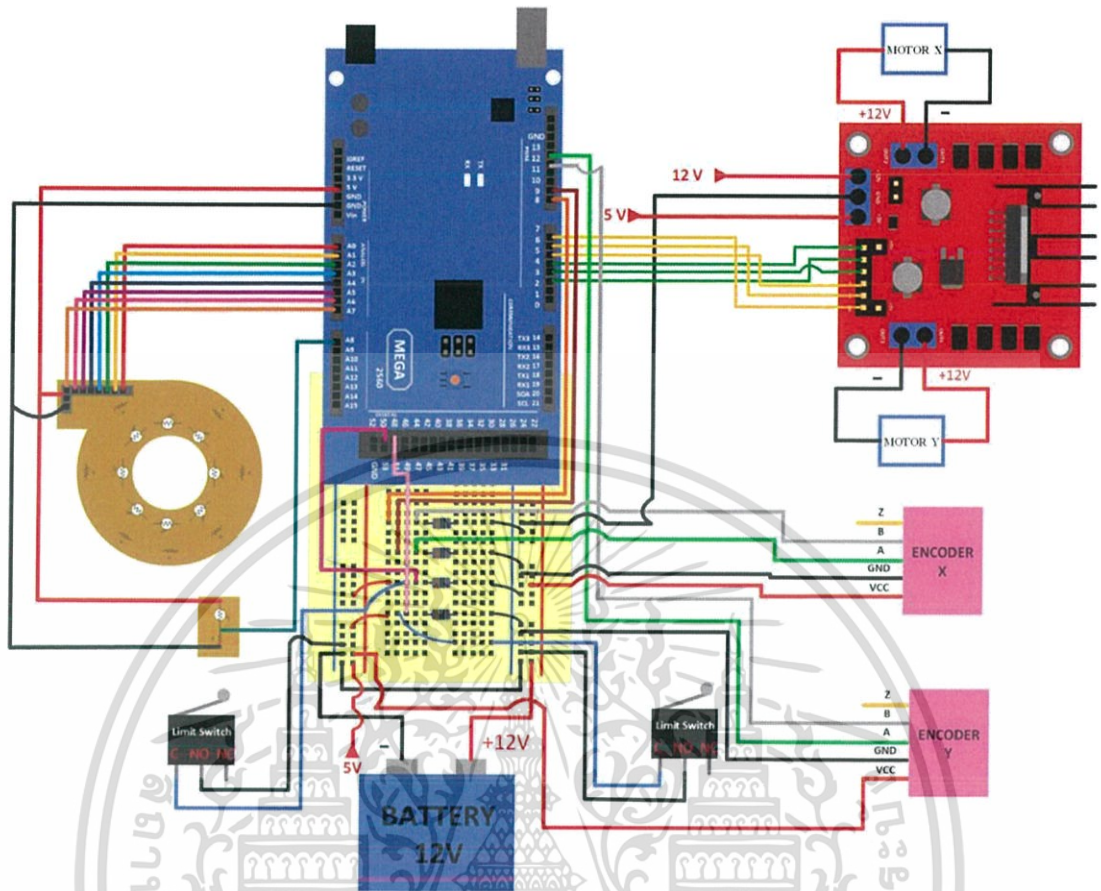
3.1 ศึกษาการทำงานของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

3.1.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์



รูปที่ 3.1 Block Diagram แสดงการทำงานของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนผังวงจรของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

3.2 การทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

3.2.1 มอเตอร์แกนอะซิมุต

การจำลองการทำงานของมอเตอร์โดยใช้โปรแกรม Proteus

ขั้นตอนการจำลองการทำงานของมอเตอร์ มีดังนี้

1. เขียนโค้ดคำสั่งในโปรแกรม Arduino สำหรับสั่งการให้มอเตอร์ทั้ง 2 ตัวหมุนพร้อมกัน ซึ่งมีโค้ดดังนี้

// การกำหนดขาของ Motor X และ Motor Y ที่ต่อเข้ากับขาของบอร์ด Arduino

```
int IN1 = 2;
```

```
int IN2 = 3;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

```
int ENA = 4; // เพื่อให้ PWM สามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์
```

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// Motor Y
int IN3 = 5;
int IN4 = 6;
int ENB = 7; // เพื่อให้ PWM สามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  //กำหนด ขา เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของ Motor ผ่านทาง L298N
  pinMode(IN1,OUTPUT);
  pinMode(IN2,OUTPUT);
  pinMode(ENA,OUTPUT);
  pinMode(IN3,OUTPUT);
  pinMode(IN4,OUTPUT);
  pinMode(ENB,OUTPUT);
}
void loop()
{
  // Motor X
  analogWrite(ENA,50); //ตั้งค่าความเร็ว PWM ผ่านตัวแปร ค่าต่ำลง มอเตอร์จะหมุนช้าลง (มีค่า
  ตั้งแต่ 0-255)
  digitalWrite(IN1, LOW);
  digitalWrite(IN2, HIGH);
  // Motor Y
  analogWrite(ENB,50); //ตั้งค่าความเร็ว PWM ผ่านตัวแปร ค่าต่ำลง มอเตอร์จะหมุนช้าลง (มีค่า
  ตั้งแต่ 0-255)
  digitalWrite(IN3, LOW);
  digitalWrite(IN4, HIGH);
  //ให้ Motor X ถอยหลัง (Reverse)
  analogWrite(ENA, 50);
  digitalWrite(IN1, HIGH);
  digitalWrite(IN2, LOW);

```

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ analogWrite(ENB, 50); แปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

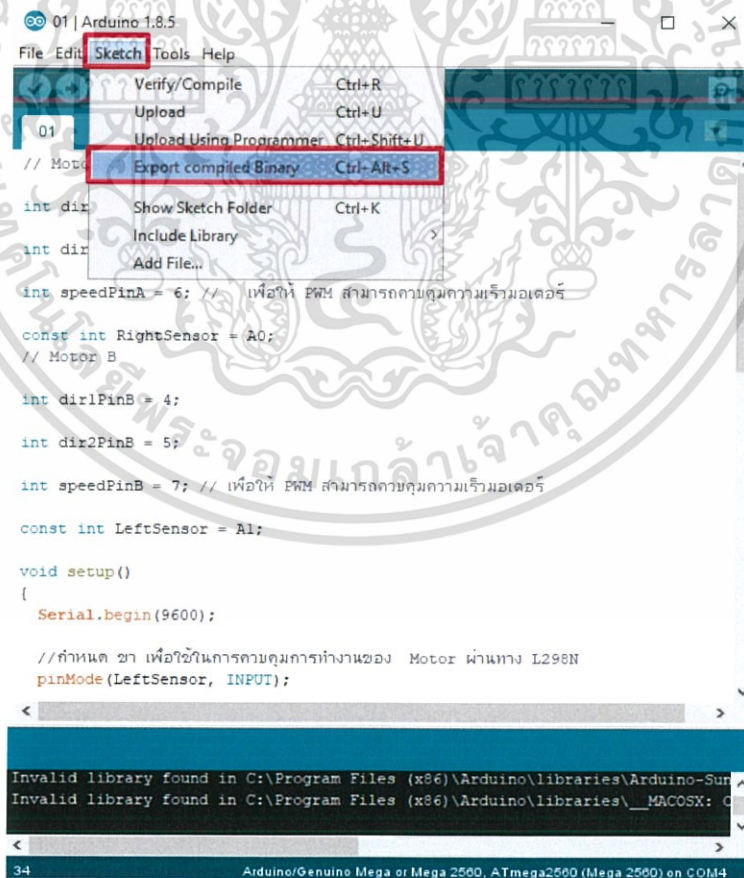
```

digitalWrite(IN3, HIGH);
digitalWrite(IN4, LOW);
//ให้ Motor X หยุดหมุน (Freespin)
analogWrite(ENA, 0);
digitalWrite(IN1, LOW);
digitalWrite(IN2, HIGH);
//ให้ Motor Y หยุดหมุน(Freespin)
analogWrite(ENB, 0);
digitalWrite(IN3, LOW);
digitalWrite(IN4, HIGH);
}

```

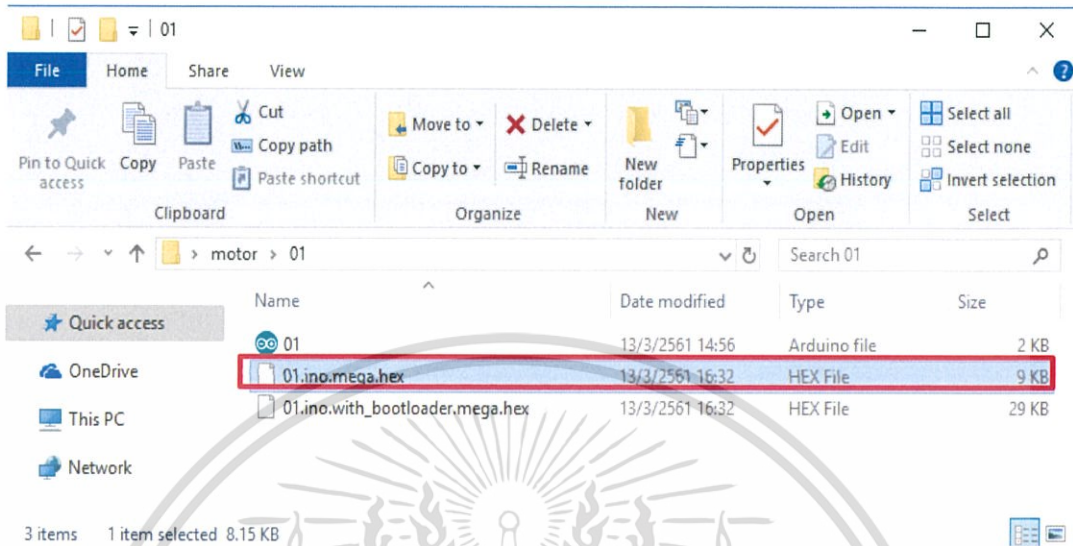
2. วิธีทำไฟล์โปรแกรมให้เป็นไฟล์ hex code

2.1 คลิก Sketch และ Export compiled Binary ตามลำดับ



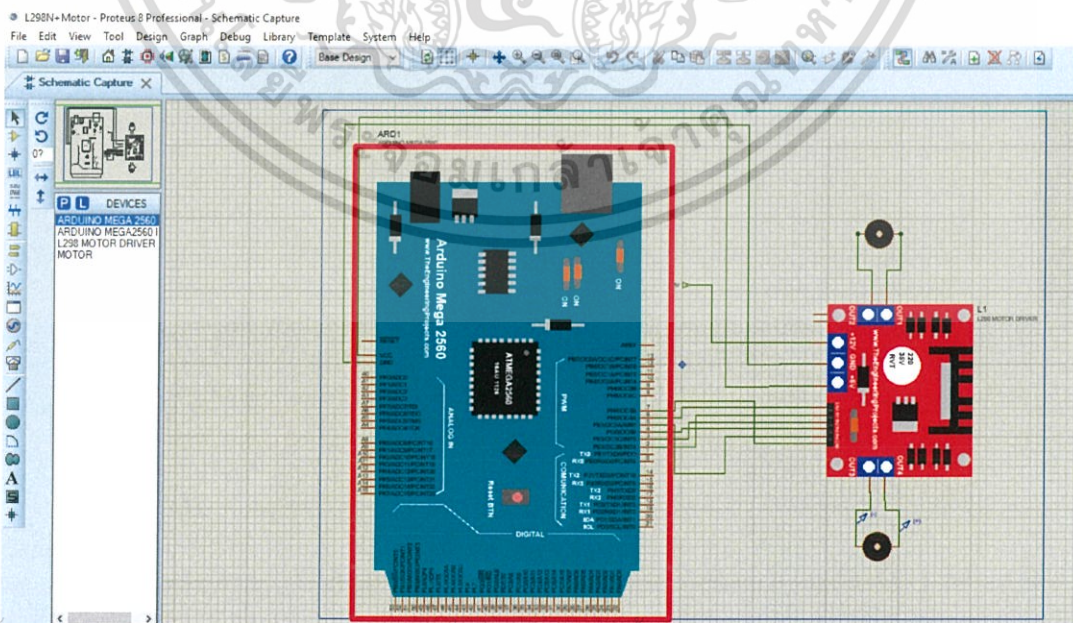
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการทำให้เป็น hex code นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 โปรแกรมจะสร้างไฟล์เดอร์ที่เก็บ hex code



รูปที่ 3.4 แสดงไฟล์เดอร์เก็บ hexcode

3. เปิดโปรแกรม Proteus สร้างดังรูปที่ 3.5
4. อัปโหลดโค้ดลงบอร์ด Aduino mega 2560
 - 4.1 ดับเบิ้ลคลิกที่บอร์ด Aduino mega 2560

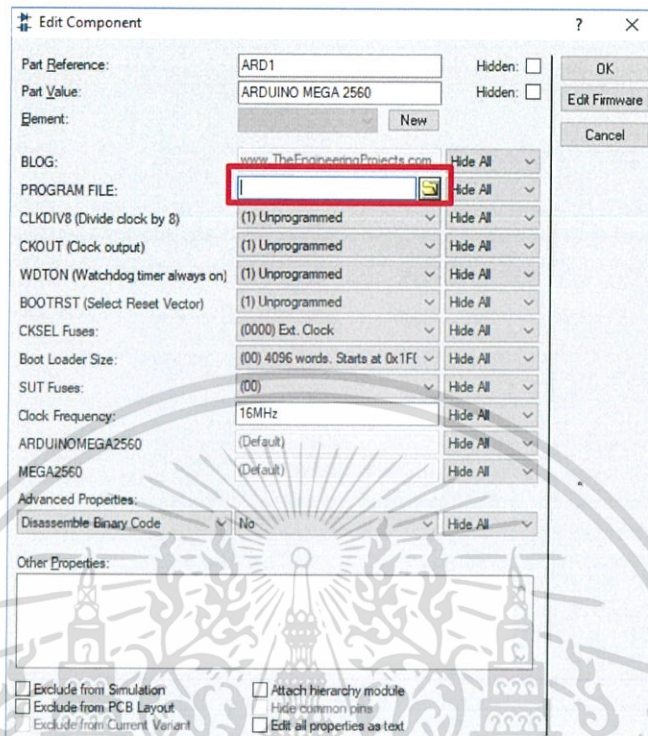


เอกสารนี้เป็นเอกสารประกอบการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำข้อมูลไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางโครงการที่มีการนำไปใช้

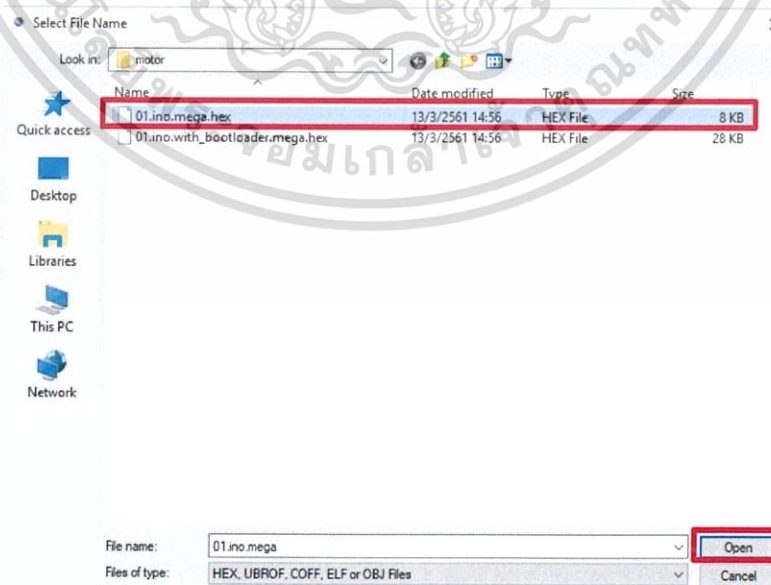
รูปที่ 3.5 แสดงการจำลองมอเตอร์ด้วยโปรแกรม Proteus

4.2 คลิกที่โฟลเดอร์ เพื่อเปิดโฟลเดอร์ที่เก็บไฟล์ hex code



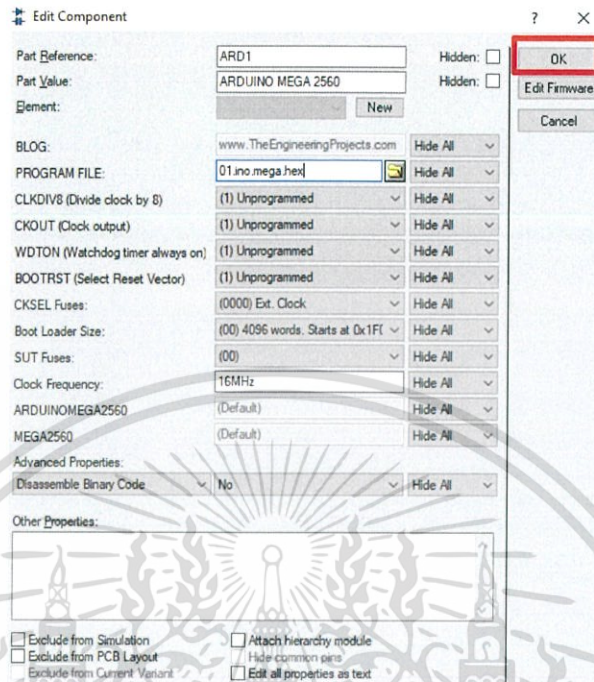
รูปที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการอัปโหลดโค้ดลงแบบจำลองมอเตอร์ด้วยโปรแกรม Proteus

4.3 เลือกโค้ด คลิก Open เพื่อเลือกไฟล์ที่ต้องการอัปโหลดเข้าไปในบอร์ด Arduino



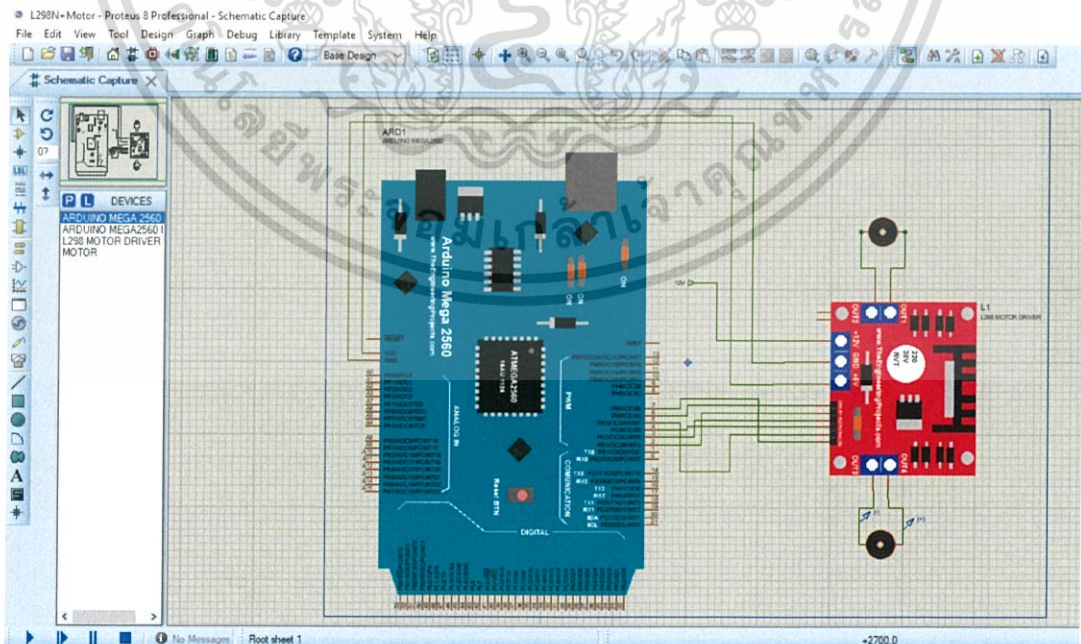
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.7 แสดงขั้นตอนการอัปโหลดโค้ดลงแบบจำลองมอเตอร์ด้วยโปรแกรม Proteus
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 คลิก OK เพื่อทำการอัปโหลดโค้ดเข้าไปในบอร์ด Arduino

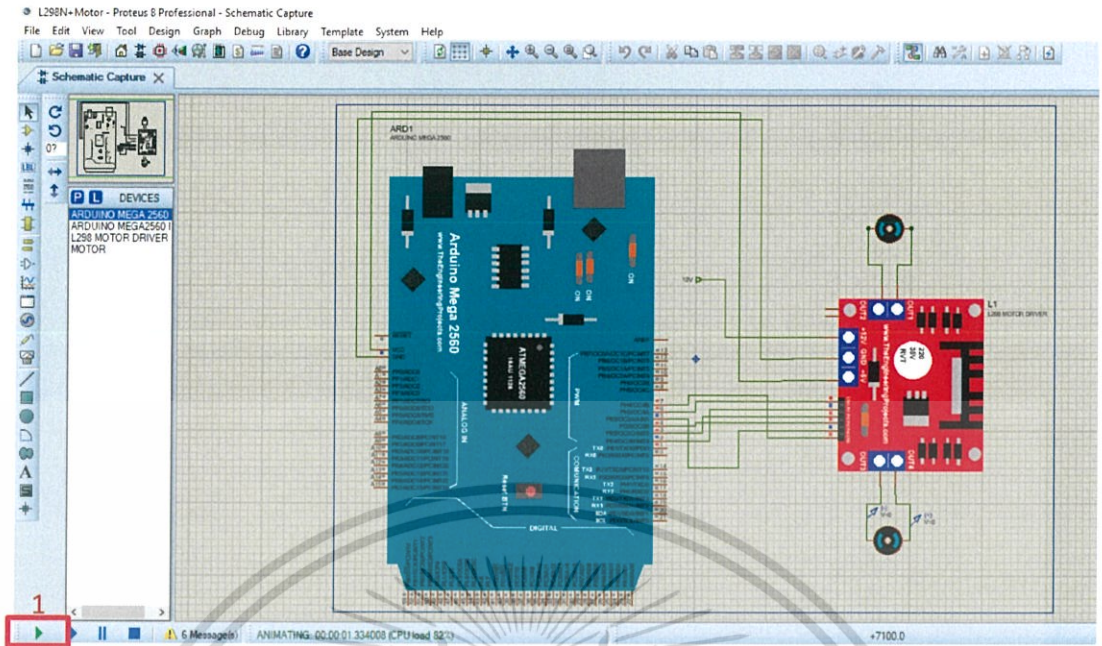


รูปที่ 3.8 แสดงขั้นตอนการอัปโหลดโค้ดลงแบบจำลองมอเตอร์ด้วยโปรแกรม Proteus

5. เมื่ออัปโหลดโค้ดแล้ว คลิกที่หมายเลข 1 มอเตอร์จะหมุนดังรูปที่ 3.9 (ข)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ(ก)ษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



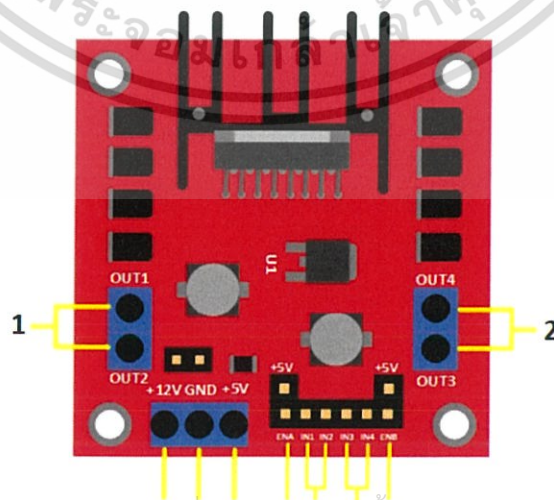
(ข)
รูปที่ 3.9 แสดงแบบจำลองมอเตอร์ที่ได้รับการอัปเดตโค้ด และมอเตอร์ได้หมุนแล้ว

- (ก) มอเตอร์ก่อนหมุน
- (ข) มอเตอร์ขณะหมุน

3.2.2 L298N Motor Driver Board

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1. L298N Motor Driver Board



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือเผยแพร่ข้อมูลใดๆ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 L298N Motor Driver Board

2. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์



รูปที่ 3.11 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

3. แบตเตอรี่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ 3.12 แบตเตอรี่ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียด

ชนิดแบตเตอรี่	แบบ Maintenance Free (แบตเตอรี่แห้ง)
แรงดัน	12 V
กระแส	35 Ah

4. สายไฟ

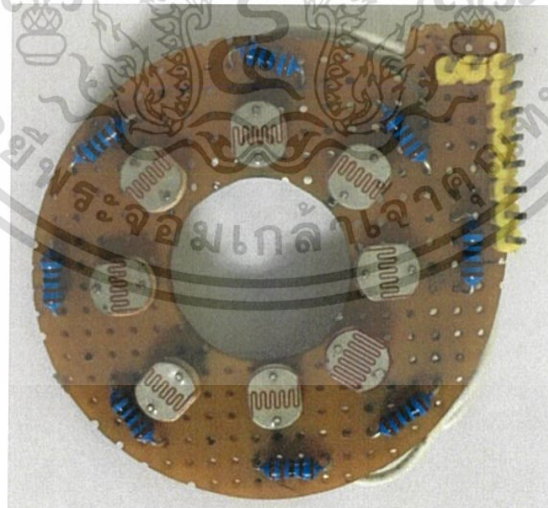
ขั้นตอนการทดสอบ

1. จ่ายแรงดันให้ L298N Motor Driver Board จากแบตเตอรี่ 12 V ที่ช่อง +12 V
2. นำดิจิตอลมิเตอร์มาวัดที่ขา 1, 2, 3, 4 กระแสที่ออกมาจะต้องมีค่า 12 V สำหรับต่อกับมอเตอร์ A, B และวัดที่ขา +5V กระแสที่ออกมาจะต้องมีค่า 5 V สำหรับต่อกับบอร์ด Arduino Mega 2560
3. ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของ L298N Motor Driver Board

3.2.3 Module Sensor LDR

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1. Module Sensor LDR



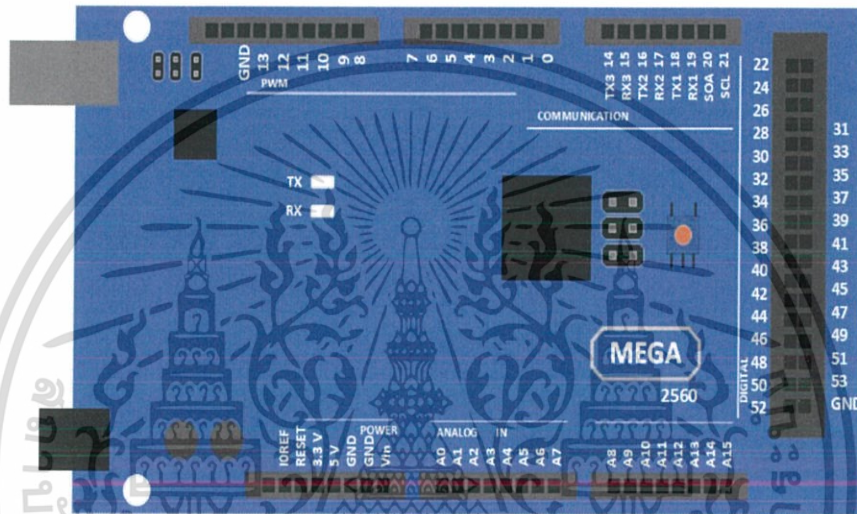
รูปที่ 3.13 Module Sensor LDR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียด

แรงดันไฟฟ้าสูงสุด	160V
ทนกำลังไฟฟ้า	100mW
ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ	-30 ถึง 70 องศาเซลเซียส
ค่าความต้านทาน	10 - 20KΩ

2. Arduino MEGA 2560 Board



รูปที่ 3.14 แสดง Arduino MEGA 2560 Board

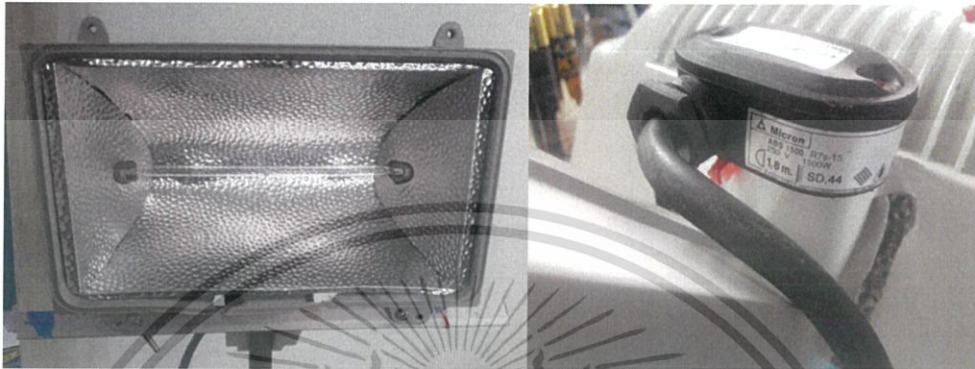
รายละเอียด

ไมโครคอนโทรลเลอร์	ATmega328
แหล่งจ่ายไฟ	5V
ไฟเข้า (แนะนำ)	7-12V
ไฟเข้า (จำกัดไว้ที่)	6-20V
ขาดิจิตอล I/O	54 ขา (of which 14 provide PWM output, 4 UART TTL)
ขานาล็อกอินพุต	16 ขา
กระแสไฟฟ้า DC ต่อขา I/O	40 mA
กระแสไฟฟ้าออก DC สำหรับขา 3.3V	50 mA
Flash Memory	226 KB (of which 8 KB used by

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น SRAM 8 KB ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

3. แหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์ รุ่น Micron ABS 1500 R7s-15



รูปที่ 3.15 แสดงแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์ รุ่น Micron ABS 1500 R7s-15

รายละเอียด

รูปทรง	Linear
โคมไฟ	โคมแสงสี่เหลี่ยม
ขนาดวัตต์	1500 วัตต์
วิธีการติดตั้ง	R7s
แรงดันไฟฟ้า	250 V
อายุการใช้งาน	2000 ชั่วโมง
อายุการใช้งาน	2 ปี

ขั้นตอนการทดสอบ

1. จ่ายไฟ 5V จากบอร์ด Arduino ให้แก่มอดูลเซนเซอร์
2. ต่อบอร์ด Arduino Mega 2560 ขาฝั่ง analog ขาที่ A0-A7 เข้ากับ Module Sensor LDR ดังรูปที่ 3.17
3. เปิดโปรแกรม Arduino เพื่ออัปโหลดโค้ดใส่บอร์ด Arduino Mega 2560
4. เลือกคำสั่ง Serial monitor เพื่ออ่านค่าดิจิตอลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 รับค่าได้จาก LDR ทั้ง 8 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทำงานของ LDR เมื่อมีแสงมาตกกระทบบที่ตัว LDR จะทำให้ LDR ทำงานและให้ค่าเอาต์พุตออกมาเป็นค่าความต้านทาน จากนั้นนำค่าความต้านทานที่ได้มาแปลงเป็นค่าแรงดันเอาต์พุตจากสมการที่ 3.1

$$V_{out} = LDR \times \frac{V_{in}}{1023} \quad (3.1)$$

เมื่อ V_{in} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย มีค่า 5 โวลต์

V_{out} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุด Output

LDR คือ ค่าดิจิตอลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้



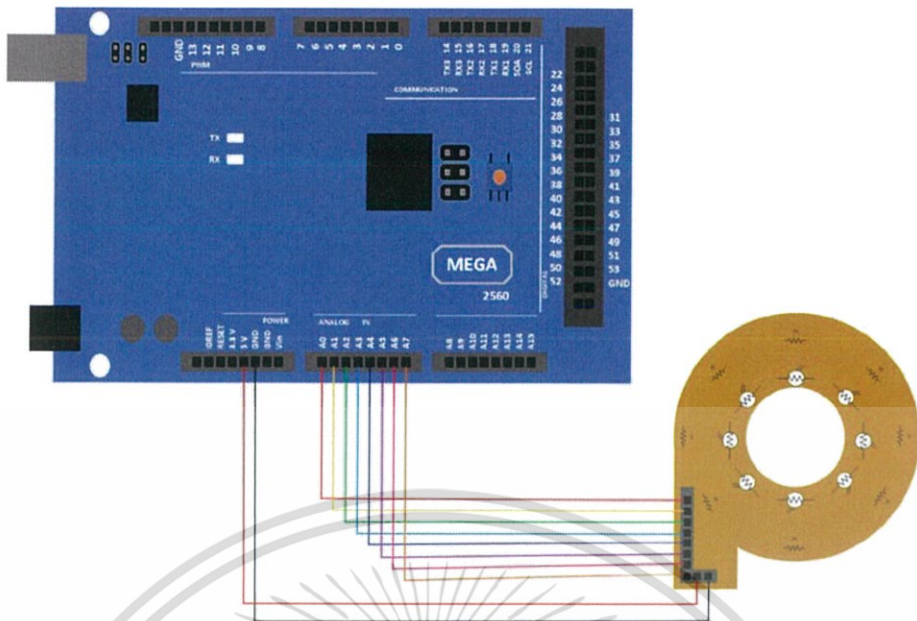
รูปที่ 3.16 แสดงวงจรตัวแบ่งแรงดันที่ใช้ LDR

(ก) แรงดันเอาต์พุตจะลดลงเมื่อมีแสงมาตกกระทบบ LDR

(ข) แรงดันเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีแสงมาตกกระทบบ LDR

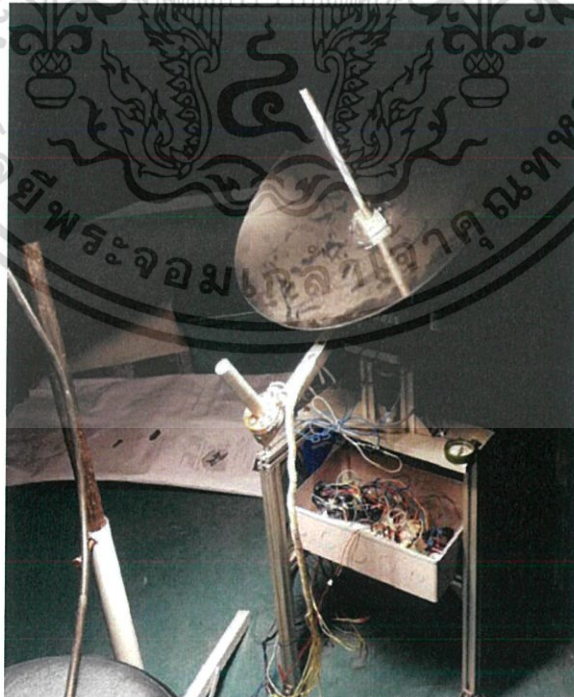
การเชื่อมต่อ LDR เพื่อใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดันโดยต่ออนุกรมกับตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานประมาณ 1 กิโลโห์มซึ่งหากต่อกับ Arduino จะต้องต่อขา Analog Input ที่ขา A0, A1, A2, A3, A4 หรือ A5 ดังแสดงในรูปที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 การต่อสายทดสอบ LDR เพื่อใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย Arduino MEGA

ใช้สปอร์ตไลท์เพื่อเป็นแหล่งให้กำเนิดแสงไฟแล้วส่องไฟลงไปที่ LDR ที่ต่อร่วมกับตัวต้านทาน 1 กิโลโห์ม เพื่อทดสอบว่า LDR ทั้ง 4 ทิศทางของเครื่องระบบติดตามดวงอาทิตย์นั้นสามารถทำงานได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.18

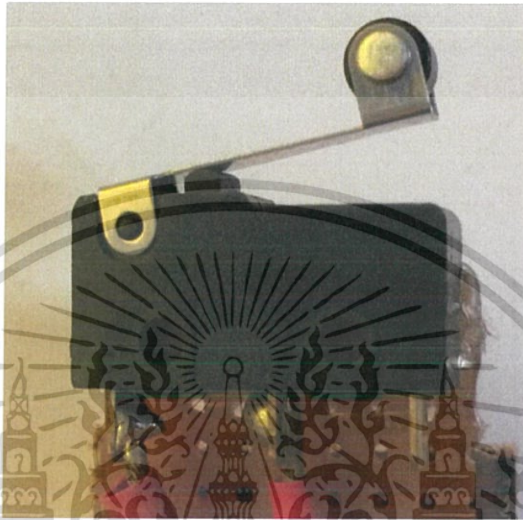


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับออร์ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์ด้านการค้า
รูปที่ 3.18 การทดสอบ LDR ทั้ง 4 ทิศทางของเครื่องระบบติดตามดวงอาทิตย์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 Limit switch

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1. Limit switch



รูปที่ 3.19 limit switch

2. บอร์ด Arduino Mega 2560
3. ดิจิตอลมิเตอร์

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ต่อขา C ของ limit switch เข้ากับตัวต้านทาน 1K ohm
2. ต่อขา NO ของ limit switch ลง GROUND
3. ปลอยขา NC ลอย
4. จ่ายไฟเข้าบอร์ด Arduino Mega 2560 เพื่อให้ limit switch ทำงาน
5. ใช้มือกดที่ limit switch เพื่อดูว่า limit switch ทำงานได้หรือไม่

3.3 ศึกษาการออกแบบและวิธีทดสอบวัตต์มูมในการเคลื่อนที่ของเครื่องระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแนวแกนอะซิมุต

3.3.1 การทดสอบมูมการเคลื่อนที่โดยใช้เลเซอร์ชี้ไปที่มุมอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ผู้ใช้ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1. ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบจานพาราโบลิก



รูปที่ 3.20 แสดงระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบจานพาราโบลิก

2. อุปกรณ์วัดมุมองศา



รูปที่ 3.21 แสดงเครื่องวงกลมเพื่อใช้ทดสอบมุมการเคลื่อนที่ของจานพาราโบลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เลเซอร์



รูปที่ 3.22 แสดงเลเซอร์ขนาดของมุมที่งานพาราโบลิค

ขั้นตอนการทดสอบ

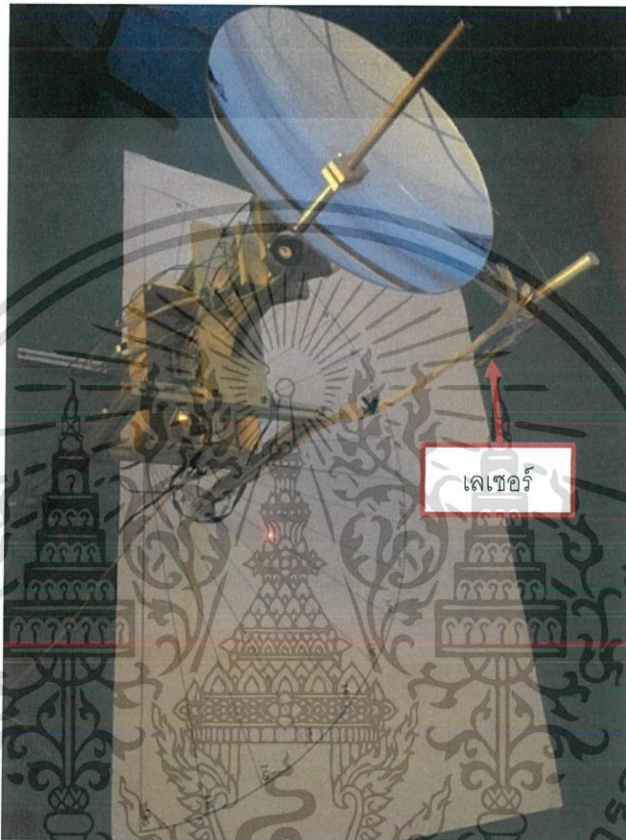
1. สร้างเครื่องวงกลมขนาดรัศมี 70 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องมือวัดองศาเป็นจุดศูนย์กลางในการสร้างเครื่องวงกลม ซึ่งภายในเครื่องวงกลมให้สร้างเส้นโดยเริ่มจาก 0 องศา ห่างกันเส้นละ 10 องศา จนครบ 180 องศา
2. นำเครื่องระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์มาติดตั้งตรงจุดศูนย์กลางของเครื่องวงกลมที่สร้างขึ้น ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ที่ละ 10 องศา โดยสังเกตมุมการเคลื่อนที่จากเลเซอร์
3. อ่านค่าจำนวนพัลส์ของเอ็นโค้ดเดอร์ที่อ่านได้จากโปรแกรม Arduino และนำค่าจำนวนพัลส์ไปคำนวณหาค่ามุมดังสมการที่ 3.2

$$\alpha = \frac{P}{PPR} \times 180 \quad (3.2)$$

โดย α คือ มุมการหมุนของมอเตอร์
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้าม P หารค่าจำนวนพัลส์ของเอ็นโค้ดเดอร์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PPR คือ Pulse Per Resolution จำนวนพัลส์ที่ Rotary encoder สามารถจ่ายได้

5. บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง



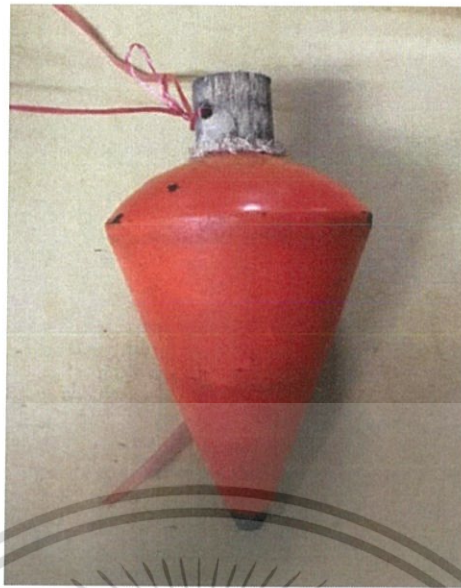
รูปที่ 3.23 แสดงการทดสอบมุมการเคลื่อนที่ของงานพาราโบลาโดยใช้เลเซอร์ชี้ไปที่มุมอ้างอิง

3.3.2 การทดสอบมุมการเคลื่อนที่โดยใช้ลูกดิ่งชี้ไปที่มุมอ้างอิง

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1. เครื่องระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบงานพาราโบลา
2. อุปกรณ์วัดมุมองศา
3. ลูกดิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 ลูกดิ่ง

ขั้นตอนการทดสอบ

1. สร้างเครื่องวงกลมขนาดรัศมี 70 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องมือวัดองศาเป็นจุดศูนย์กลางในการสร้างเครื่องวงกลม ซึ่งภายในเครื่องวงกลมให้สร้างเส้นโดยเริ่มจาก 0 องศา ห่างกันเส้นละ 10 องศา จนครบ 180 องศา
2. นำเครื่องระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์มาตั้งตรงจุดศูนย์กลางของเครื่องวงกลมที่สร้างขึ้น ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ที่ละ 10 องศาโดยสังเกตมุมการเคลื่อนที่จากลูกดิ่ง
3. อ่านค่าจำนวนพัลส์ของเอ็นโค้ดเดอร์ที่อ่านได้จากโปรแกรม Arduino และนำค่าจำนวนพัลส์ไปคำนวณหาค่ามุมดังสมการที่ 3.3

$$\alpha = \frac{P}{PPR} \times 180 \quad (3.3)$$

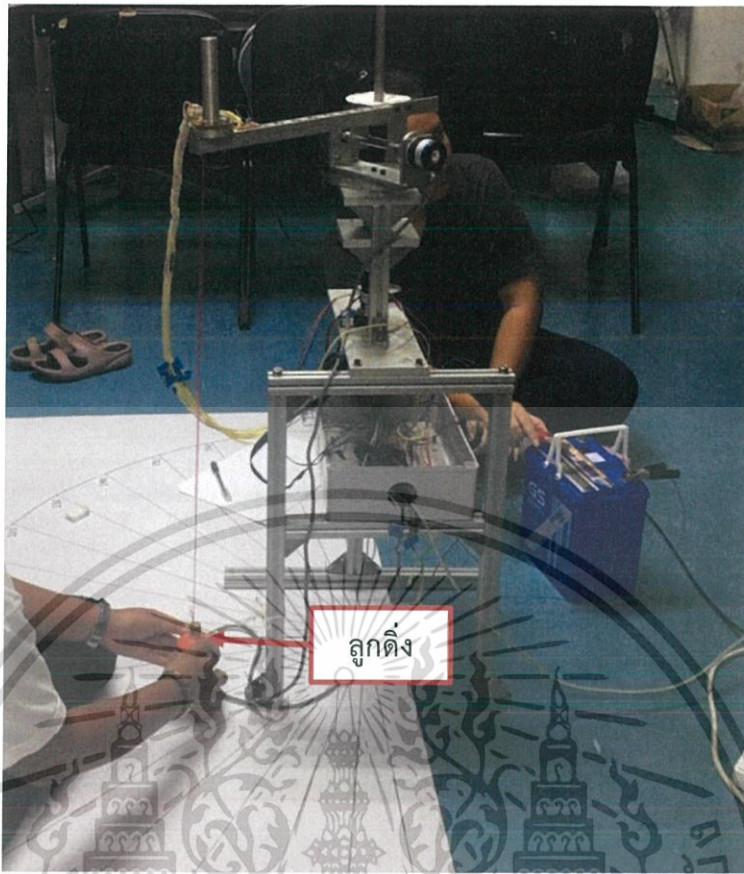
โดย α คือ มุมการหมุนของมอเตอร์

P คือ จำนวนพัลส์ของเอ็นโค้ดเดอร์

PPR คือ Pulse Per Resolution จำนวนพัลส์ที่ Rotary encoder สามารถจ่ายได้

4. บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 แสดงการทดสอบมุมการเคลื่อนที่ของงานพาราโบลิคโดยใช้ลูกดิ่งซีไปที่มีมออ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

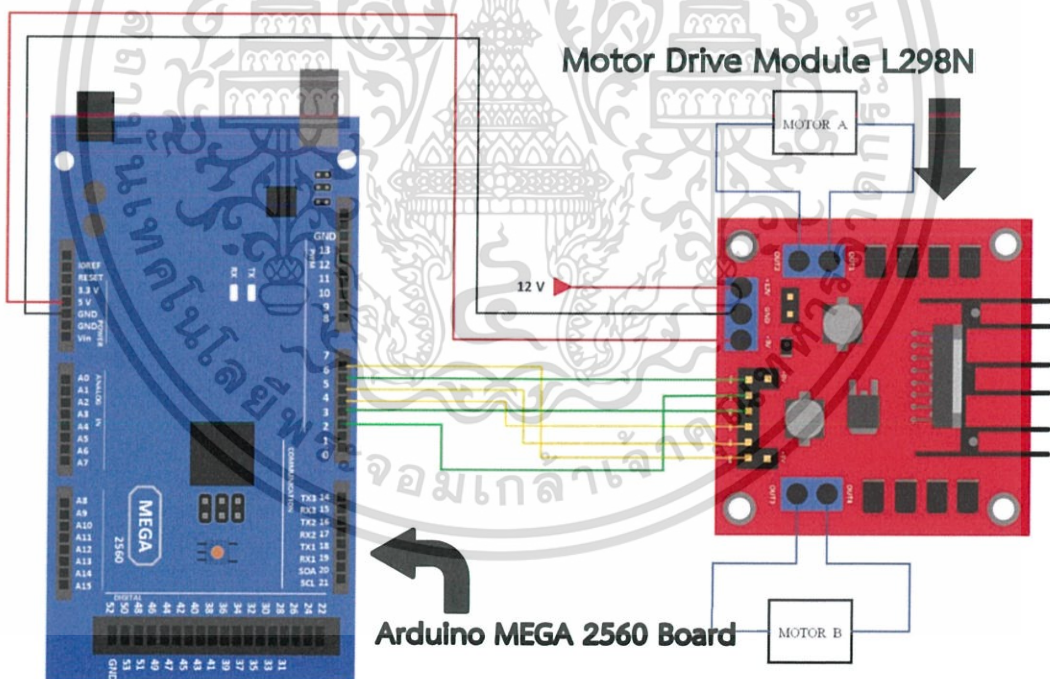
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การทดสอบระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบงานพาราโบลาในแนวอะซิมุต มีขั้นตอน 3 ตอนดังนี้

- 4.1 การทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
- 4.2 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของโมดูลเซนเซอร์ (LDR) ทั้ง 8 ตัว
- 4.3 การทดสอบมุมการเคลื่อนที่ของงานพาราโบลาในแนวแกนอะซิมุต

4.1 การทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

4.1.1 มอเตอร์แกนอะซิมุต



รูปที่ 4.1 การต่อสายทดสอบ Motor กับ Motor Drive Module L298N ควบคุมด้วย Arduino MEGA 2560 Board

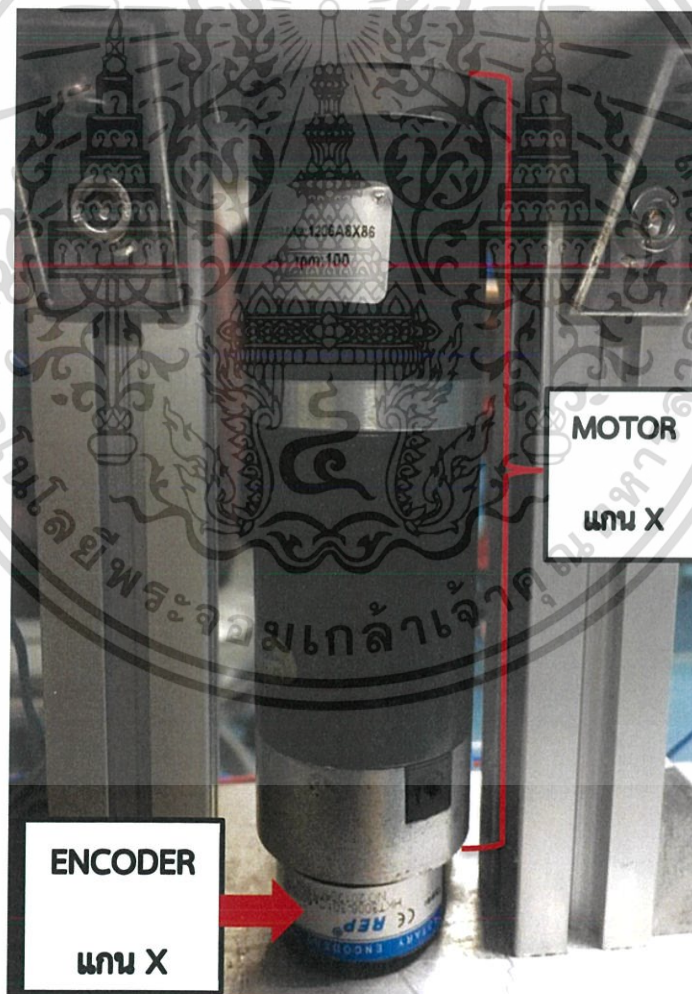
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1. มอเตอร์แกนอะซิมุต
2. Motor Drive Module L298N
3. Arduino MEGA 2560 Board

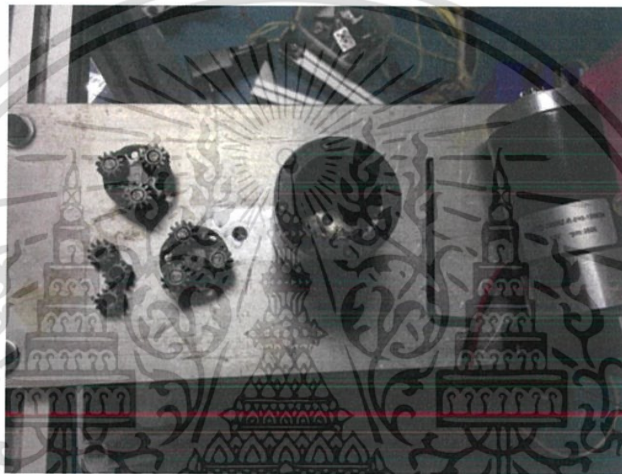
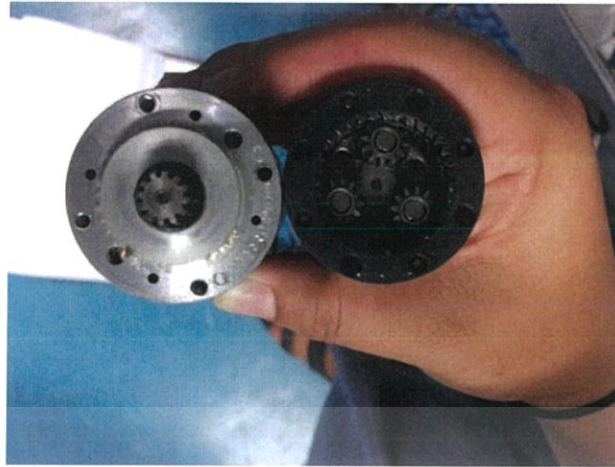
ขั้นตอนการทดสอบ

1. เขียนโค้ดและอัปโหลดโค้ดลงไปบนบอร์ด Arduino MEGA 2560
2. ต่อสายไฟมอเตอร์แกนอะซิมุตเข้ากับ Motor Drive Module L298N และ Arduino MEGA 2560 Board ดังแสดงในรูปที่ 4.1
3. ทำการจ่ายไฟ 12 V จากแบตเตอรี่เข้า Motor Drive Module L298N
4. ตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์



รูปที่ 4.2 ก่อนถอดมอเตอร์แกนอะซิมุตมาตรวจสอบประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 หลังถอดมอเตอร์แกนอะซิมทรีมาตรวจสอบประสิทธิภาพ

ก่อนถอดมอเตอร์มาตรวจสอบประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่าเมื่อสั่งให้มอเตอร์ทำงาน มอเตอร์จะหมุนไปข้างหน้าและตีกลับด้วยทุกครั้งที่มีการหมุนอีกทั้งมอเตอร์หมุนฝืดมากจึงทำให้มอเตอร์ร้อนเวลาที่มอเตอร์ทำงาน เมื่อถอดมอเตอร์มาตรวจสอบประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 พบว่าส่วนที่เป็นเฟืองไม่มีจารบีเลย จึงทำการใส่จารบีเข้าไปใหม่เมื่อนำกลับมาทดลองหลังจากใส่จารบีแล้วพบว่ามอเตอร์ทำงานดีขึ้น หมุนแล้วไม่ฝืดและตัวมอเตอร์ตอนทำงานไม่ร้อนเหมือนตอนก่อนถอดมอเตอร์มาตรวจเช็ค มอเตอร์จึงนำกลับมาใช้ทดสอบได้

4.1.1.1 การจำลองการทำงานของมอเตอร์โดยใช้โปรแกรม Proteus

การทดสอบโค้ดที่เขียนในโปรแกรม Arduino จะทำการทดสอบโดยใช้โปรแกรม Proteus เพื่อดูว่าโค้ดสามารถนำมาใช้กับมอเตอร์ได้และเป็นการจำลองการทำงานของมอเตอร์โดยใช้โปรแกรม Proteus ซึ่งจะใช้ L298N Motor Driver Board เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์และควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ซึ่งการใส่คำสั่งจะให้ผลการจำลองดังแสดงใน

เอกสารที่แนบมาซึ่งสามารถใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องมีการแก้ไขเพิ่มเติมในโปรแกรมที่ใช้โปรเจกต์นี้เป็นการคำนวณค่าไม่ว่าตารางที่ 4.1

อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การตั้งค่าคำสั่งและผลการจำลองการทำงานของ Motor

ENA, ENB	IN1, IN3	IN2, IN4	Simulation results
0	LOW	LOW	มอเตอร์จะหยุดหมุน
	LOW	HIGH	
0-255	LOW	HIGH	มอเตอร์จะทำงานโดยหมุนทวน เข็มนาฬิกาด้วยระดับสัญญาณดิจิทัล 0-255 ตามที่กำหนด (0-5 โวลต์)
	HIGH	LOW	มอเตอร์จะทำงานโดยหมุนตาม เข็มนาฬิกาด้วยระดับสัญญาณดิจิทัล 0-255 ตามที่กำหนด (0-5 โวลต์)

เมื่อ

ENA คือ ช่องต่อสัญญาณ PWM สำหรับมอเตอร์ A

IN1 คือ ช่องต่อสัญญาณลอจิกเพื่อควบคุมทิศทางของมอเตอร์ A

IN2 คือ ช่องต่อสัญญาณลอจิกเพื่อควบคุมทิศทางของมอเตอร์ A

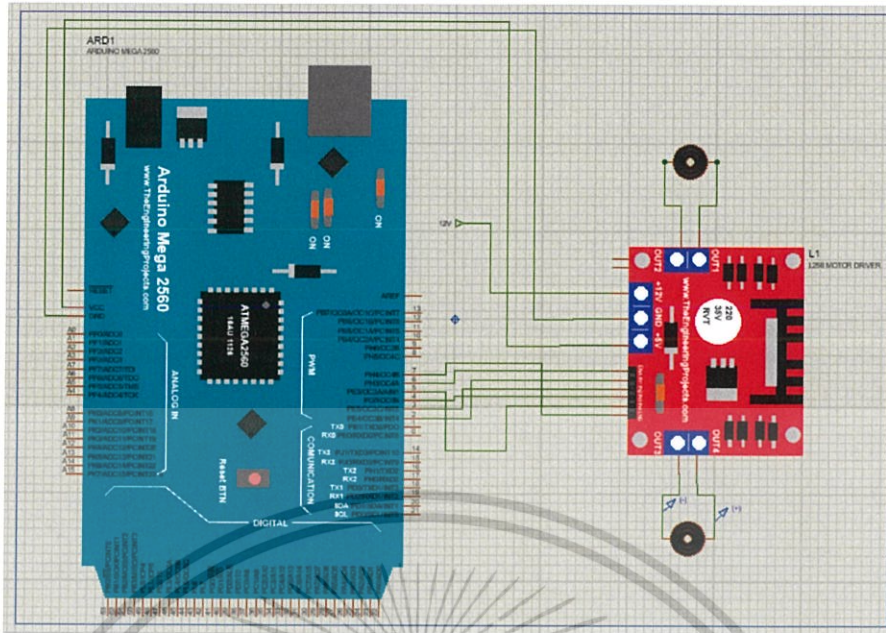
IN3 คือ ช่องต่อสัญญาณลอจิกเพื่อควบคุมทิศทางของมอเตอร์ B

IN4 คือ ช่องต่อสัญญาณลอจิกเพื่อควบคุมทิศทางของมอเตอร์ B

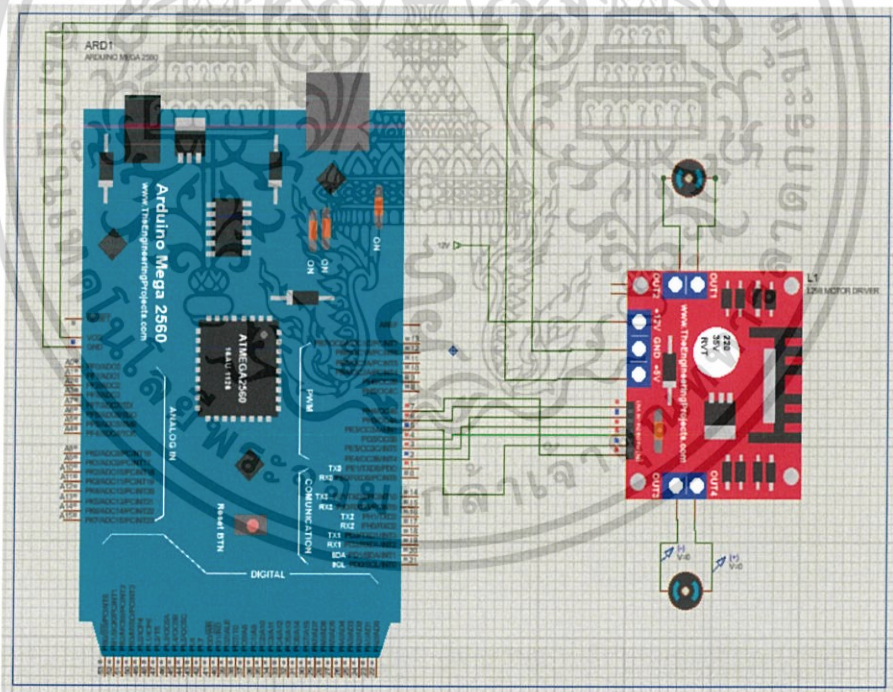
ENB คือ ช่องต่อสัญญาณ PWM สำหรับมอเตอร์ B

ดังนั้นจากผลการจำลองการทำงานของมอเตอร์จะเห็นว่ามอเตอร์จะหมุนช้าหรือหมุนเร็วขึ้นอยู่กับ
กับการกำหนดคำสั่งของช่องต่อสัญญาณ PWM ที่ขา ENA และขา ENB ของบอร์ด
L298N Motor Driver Board ซึ่งสัญญาณ PWM ของบอร์ดนี้สามารถจ่ายได้ในช่วง 0-255 (แปลง
เป็นโวลต์คือ 0-5 V) โดยขา ENA และขา ENB ของบอร์ด L298N Motor Driver Board ทำหน้าที่
ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ถ้ากำหนดค่า PWM น้อยมอเตอร์ก็จะหมุนช้า แต่ถ้ากำหนดค่า
PWM มากมอเตอร์ก็จะหมุนเร็ว ซึ่งจากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าก่อนการอัปโหลดโค้ดมอเตอร์จะมีสีแดง
คือมอเตอร์ยังไม่ทำงาน แต่เมื่อหลังอัปโหลดโค้ดจะเห็นว่ามอเตอร์มีการทำงานโดยจากสีแดงตรง
มอเตอร์จะเปลี่ยนเป็นสีฟ้าและหมุนไปอีกทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



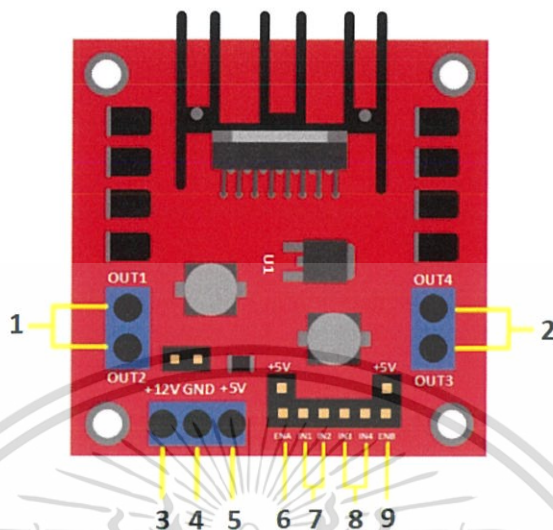
รูปที่ 4.4 แสดงแบบจำลองมอเตอร์ก่อนการอัปโหลดโค้ด



รูปที่ 4.5 แสดงแบบจำลองมอเตอร์หลังการอัปโหลดโค้ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 L298N Motor Driver Board



รูปที่ 4.6 L298N Motor Driver Board

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1. L298N Motor Driver Board
2. ดิจิตอลมิเตอร์
3. แบตเตอรี่
4. สายไฟ

ขั้นตอนการทดสอบ

1. จ่ายแรงดันให้ L298N Motor Driver Board จากแบตเตอรี่ 12 V ที่ช่อง +12 V
2. นำดิจิตอลมิเตอร์มาวัดที่ขา 1, 2, 3, 4 กระแสที่ออกมาจะต้องมีค่า 12 V สำหรับต่อกับมอเตอร์ A, B และวัดที่ขา +5V กระแสที่ออกมาจะต้องมีค่า 5 V สำหรับต่อกับบอร์ด Arduino Mega 2560
3. ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของ L298N Motor Driver Board

ผลการตรวจเช็คเมื่อทำการทดสอบพบว่าเมื่อจ่ายแรงดัน 12 V จากแบตเตอรี่เข้า L298N Motor Driver Board แล้วนำดิจิตอลมิเตอร์มาวัดที่ขา 1, 2, 3, 4 จะมีแรงดันขาออก 12 V และวัดที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา +5 V จะมีแรงดันขาออก 5 V ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของ L298N Motor Driver Board จึงสามารถนำ L298N Motor Driver Board มาใช้ทดสอบได้

4.1.3 Module Sensor LDR

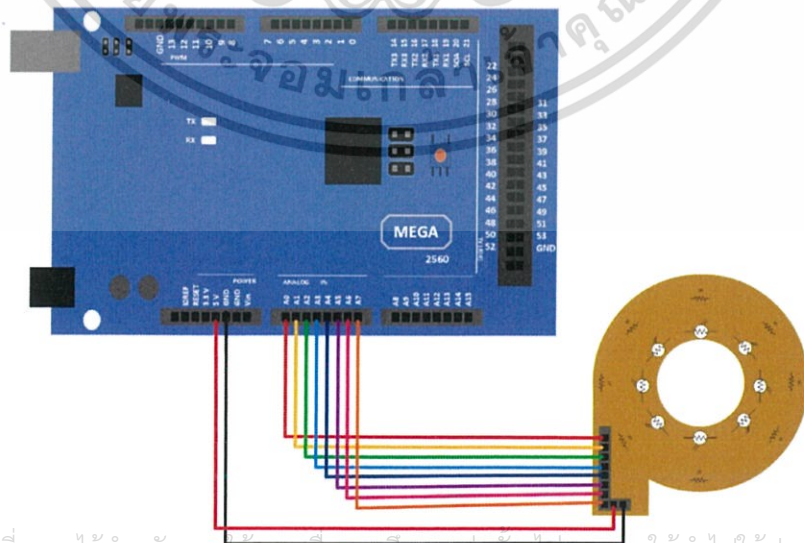
LDR เป็นตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ตามความเข้มของแสง LDR เราสามารถใช้ Arduino อ่านค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มของแสงเพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้ โดยค่าที่อ่านได้เป็นแบบ Analog

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1. Module Sensor LDR
2. บอร์ด Arduino Mega 2560
3. แบตเตอรี่
4. สายไฟ

ขั้นตอนการทดสอบ

1. จ่ายไฟ 5V จากบอร์ด Arduino ให้แก่มอดูล
2. ต่อบอร์ด Arduino Mega 2560 ขาฝั่ง analog ขาที่ A0-A7 เข้ากับ Module Sensor LDR ดังรูปที่ 4.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีรูปที่ 4.7 แสดงการต่อสายไฟจากโมดูลเซ็นเซอร์ LDR เข้ากับบอร์ด Arduino Mega 2560 ไปใช้

3. เปิดโปรแกรม Arduino เพื่ออัปโหลดโค้ดใส่บอร์ด Arduino Mega 2560
4. เลือกคำสั่ง Serial monitor เพื่ออ่านค่าดิจิตอลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 รับค่าได้จาก LDR ทั้ง 8 ตัว

เมื่อทำการทดสอบโมดูลเซ็นเซอร์ LDR จะมีค่าดิจิตอลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 รับค่าได้จาก LDR ทั้ง 8 ตัว ใกล้เคียงกันแต่ถ้าตัวที่มีค่าแตกต่างจากตัวอื่นมากแสดงว่า LDR ตัวนั้นจะใช้งานไม่ได้ และเมื่อทำการทดสอบพบว่าโมดูลเซ็นเซอร์ LDR ตัวเก่าที่เราใช้ทุกตัวมีค่าดิจิตอลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 รับค่าได้จาก LDR ทั้ง 8 ตัว มีบางตัวที่รับค่าไม่เท่ากัน จึงทำการเปลี่ยนโมดูลเซ็นเซอร์ LDR ตัวใหม่ พบว่าค่าดิจิตอลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 รับค่าได้จาก LDR ทั้ง 8 ตัว นั้นมีค่าดิจิตอลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 รับค่าได้จาก LDR ทั้ง 8 ตัวเท่ากันในสภาพแวดล้อมเดียวกันจึงนำมาใช้ทดสอบได้

4.1.4 Limit switch

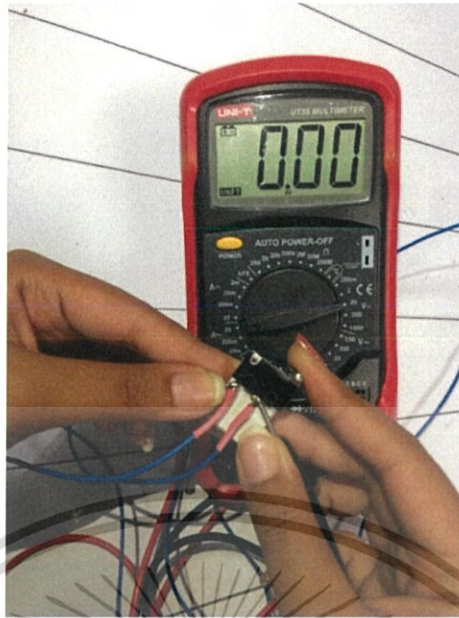
อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1. Limit switch
2. บอร์ด Arduino Mega 2560
3. ดิจิตอลมิเตอร์

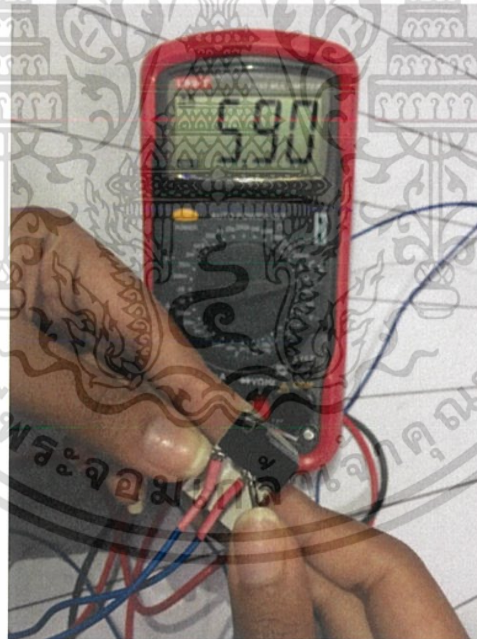
ขั้นตอนการทดสอบ

1. ต่อขา C ของ limit switch เข้ากับตัวต้านทาน 1K ohm
2. ต่อขา NO ของ limit switch ลง GROUND
3. ปลั๊กขา NC ลอย
4. จ่ายไฟเข้าบอร์ด Arduino Mega 2560 เพื่อให้ limit switch ทำงาน
5. ใช้มือกดที่ limit switch เพื่อดูว่า limit switch ทำงานได้หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดง ขณะที่ limit switch ทำงาน



รูปที่ 4.9 แสดง ขณะที่ limit switch ยังไม่ทำงาน

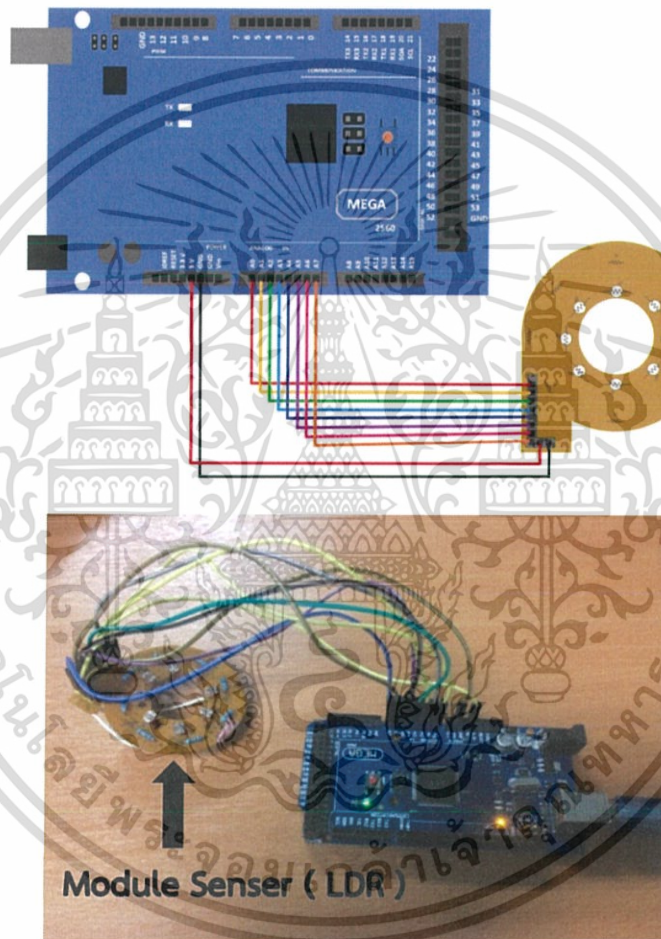
เมื่อทำการทดสอบพบว่าเมื่อจ่ายไฟ 5 V ให้กับ limit switch แล้วใช้มือกดที่ limit switch ดังแสดงในรูปที่ 4.7 เพื่อให้ limit switch ทำงานแล้วอ่านค่าจากดิจิตอลมิเตอร์แรงดันเอาท์พุทที่ได้จะมีค่าเป็น 0 V แต่ถ้าปล่อยไม่กด limit switch ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ค่าแรงดันเอาท์พุทที่อ่านได้จากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดิจิตอลมิเตอร์จะมีค่าเป็น 5 V ดังนั้น limit switch จึงสามารถนำไปใช้ในการทดสอบได้เนื่องจากมีการต่อ limit switch เป็นแบบ Active Low ค่าที่ได้จึงเป็นไปตามผลที่ทดสอบ

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของโมดูลเซนเซอร์ (LDR) ทั้ง 8 ตัว

4.2.1 โมดูลเซนเซอร์ (LDR) ตัวเก่า

4.2.1.1 ทดสอบโดยใช้แสงไฟภายในห้อง



รูปที่ 4.10 การต่อสายทดสอบ LDR เพื่อใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย Arduino MEGA 2560

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1. Module Sensor (LDR)
2. Arduino MEGA 2560 Board

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดสอบ

1. เขียนโค้ดและอัปโหลดโค้ดลงไปในบอร์ด Arduino MEGA 2560
2. ต่อสายไฟจากโมดูลเซนเซอร์เข้ากับบอร์ด Arduino MEGA 2560 ดังแสดงในรูปที่ 4.9
3. วางไวร์ตรงกลางห้องที่แสงไฟส่องทั่วถึงทุกตัวและบันทึกผลลงในตารางที่ 4.2
4. นำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลพร้อมพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับ ค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)

ตารางที่ 4.2 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ทดสอบด้วยแสงไฟภายในห้องครั้งที่ 1

จำนวนครั้งที่ (N)	V _{out} (v)								V _{out} เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่ 1	LDR ตัวที่ 2	LDR ตัวที่ 3	LDR ตัวที่ 4	LDR ตัวที่ 5	LDR ตัวที่ 6	LDR ตัวที่ 7	LDR ตัวที่ 8	
1	4.65	4.05	4.11	4.64	4.21	4.10	3.63	4.46	4.23
2	4.66	4.07	4.11	4.64	4.22	4.11	3.65	4.46	4.24
3	4.66	4.06	4.11	4.64	4.21	4.11	3.63	4.46	4.23
4	4.66	4.04	4.09	4.64	4.20	4.10	3.62	4.45	4.22
5	4.65	4.04	4.09	4.65	4.21	4.09	3.62	4.45	4.23
6	4.65	4.05	4.10	4.65	4.21	4.10	3.62	4.45	4.23
7	4.65	4.05	4.10	4.65	4.21	4.10	3.62	4.46	4.23
8	4.65	4.05	4.11	4.64	4.21	4.11	3.63	4.46	4.23
9	4.65	4.06	4.10	4.64	4.21	4.11	3.63	4.46	4.23
10	4.66	4.07	4.13	4.66	4.23	4.13	3.64	4.46	4.25
11	4.65	4.04	4.10	4.64	4.21	4.10	3.62	4.45	4.23
12	4.64	4.04	4.09	4.64	4.20	4.09	3.61	4.45	4.22
13	4.65	4.05	4.10	4.64	4.20	4.09	3.62	4.45	4.22
14	4.65	4.05	4.10	4.65	4.20	4.10	3.62	4.46	4.23
15	4.66	4.05	4.10	4.65	4.20	4.11	3.62	4.46	4.23
16	4.64	4.04	4.10	4.64	4.20	4.10	3.62	4.45	4.22
17	4.66	4.05	4.10	4.64	4.21	4.10	3.62	4.46	4.23
18	4.65	4.05	4.10	4.64	4.21	4.10	3.62	4.46	4.23
19	4.66	4.06	4.10	4.65	4.21	4.10	3.62	4.45	4.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีใช้งานเพื่อการศึกษานำไปเป็น เปรียบเทียบเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ ละเอียดขึ้นด้วยการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ทดสอบด้วยแสงไฟภายในห้องครั้งที่ 1 (ต่อ)

จำนวนครั้งที่ (N)	V_{out} (v)								V_{out} เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่ 1	LDR ตัวที่ 2	LDR ตัวที่ 3	LDR ตัวที่ 4	LDR ตัวที่ 5	LDR ตัวที่ 6	LDR ตัวที่ 7	LDR ตัวที่ 8	
20	4.65	4.05	4.10	4.64	4.21	4.10	3.63	4.45	4.23
21	4.65	4.05	4.10	4.64	4.20	4.10	3.62	4.46	4.23
22	4.65	4.05	4.11	4.65	4.22	4.11	3.62	4.46	4.23
23	4.65	4.06	4.10	4.65	4.21	4.10	3.62	4.46	4.23
24	4.65	4.06	4.10	4.65	4.22	4.11	3.62	4.46	4.23
25	4.66	4.06	4.12	4.65	4.22	4.11	3.63	4.46	4.24
26	4.66	4.06	4.12	4.65	4.22	4.11	3.63	4.46	4.24
27	4.66	4.06	4.11	4.65	4.22	4.11	3.63	4.46	4.24
28	4.65	4.06	4.11	4.64	4.21	4.11	3.62	4.46	4.23
29	4.66	4.07	4.12	4.65	4.22	4.11	3.63	4.46	4.24
30	4.66	4.06	4.11	4.64	4.22	4.11	3.63	4.46	4.24
เฉลี่ย	4.65	4.05	4.10	4.65	4.21	4.10	3.62	4.46	4.23

การวิเคราะห์ผล

จากการทำงานของ LDR เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ตัว LDR จะทำให้ LDR ทำงานและให้ค่าเอาต์พุตออกมาเป็นค่าดิจิตอลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้ จากนั้นนำค่าที่ได้มาแปลงเป็นค่าแรงดันเอาต์พุตจากสมการที่ 4.1

$$V_{out} = LDR \times \frac{V_{in}}{1023} \quad (4.1)$$

จะได้

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023} \quad (4.2)$$

เมื่อ

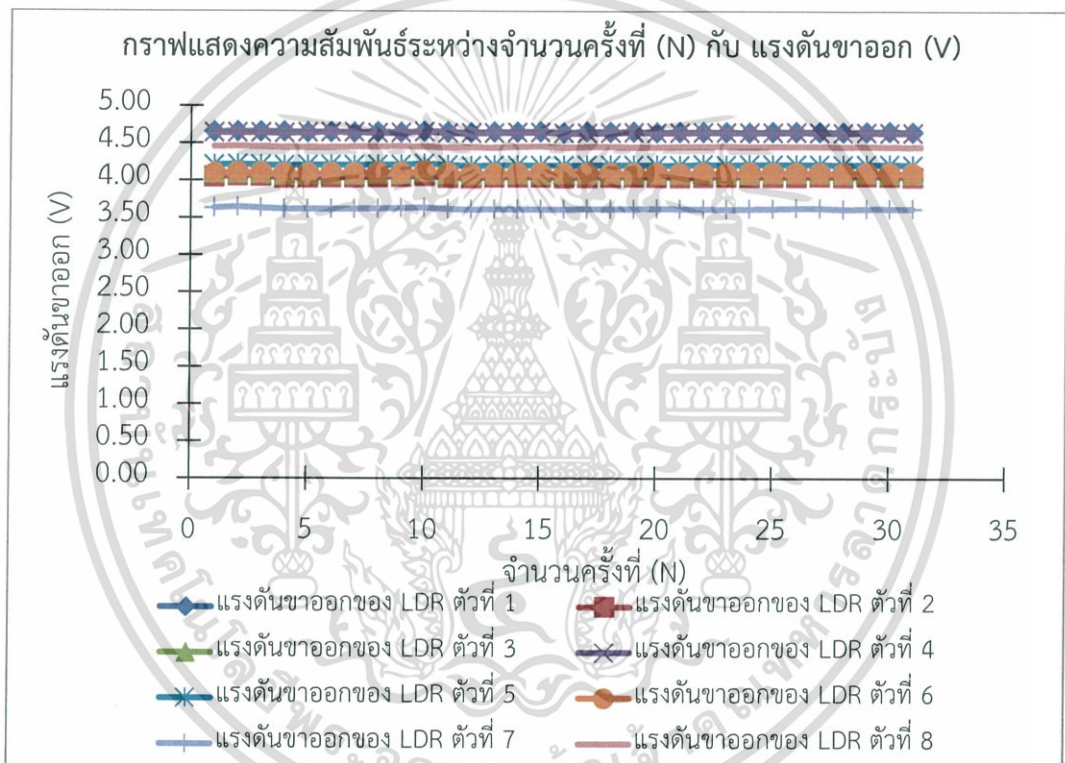
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ซ้ำที่ห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณจากสมการที่ 4.2

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023}$$

$$V_{out} = 952 \times \frac{5V}{1023}$$

$$V_{out} = 4.65 \text{ V}$$



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับแรงดันขาออก (V)

ตารางที่ 4.3 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ทดสอบด้วยแสงไฟในห้องครั้งที่ 2

จำนวนครั้งที่ (N)	V _{out} (v)								V _{out} เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่ 1	LDR ตัวที่ 2	LDR ตัวที่ 3	LDR ตัวที่ 4	LDR ตัวที่ 5	LDR ตัวที่ 6	LDR ตัวที่ 7	LDR ตัวที่ 8	
1	4.78	4.33	4.24	4.69	4.28	4.16	3.70	4.59	4.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น เมื่อพิมพ์ออกมาให้นำไปใช้ ระบุชื่อต้นฉบับการค้นคว้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ทดสอบด้วยแสงไฟในห้องครั้งที่ 2 (ต่อ)

จำนวนครั้งที่ (N)	V_{out} (v)								V_{out} เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่ 1	LDR ตัวที่ 2	LDR ตัวที่ 3	LDR ตัวที่ 4	LDR ตัวที่ 5	LDR ตัวที่ 6	LDR ตัวที่ 7	LDR ตัวที่ 8	
2	4.77	4.33	4.23	4.69	4.28	4.14	3.70	4.57	4.34
3	4.77	4.33	4.24	4.69	4.28	4.15	3.70	4.58	4.34
4	4.76	4.30	4.22	4.68	4.27	4.13	3.68	4.57	4.32
5	4.77	4.31	4.22	4.68	4.27	4.14	3.70	4.57	4.33
6	4.76	4.31	4.21	4.69	4.26	4.13	3.68	4.57	4.32
7	4.77	4.32	4.23	4.69	4.27	4.14	3.69	4.58	4.34
8	4.77	4.34	4.24	4.70	4.29	4.15	3.70	4.58	4.35
9	4.77	4.30	4.21	4.69	4.27	4.13	3.68	4.57	4.33
10	4.76	4.30	4.21	4.68	4.26	4.13	3.68	4.57	4.32
11	4.76	4.31	4.22	4.68	4.27	4.13	3.68	4.57	4.33
12	4.76	4.31	4.22	4.69	4.27	4.14	3.69	4.57	4.33
13	4.76	4.31	4.22	4.69	4.26	4.13	3.68	4.56	4.33
14	4.75	4.30	4.21	4.68	4.26	4.12	3.66	4.56	4.32
15	4.75	4.29	4.21	4.68	4.26	4.13	3.67	4.56	4.32
16	4.75	4.29	4.21	4.68	4.26	4.12	3.67	4.56	4.32
17	4.75	4.31	4.22	4.68	4.26	4.13	3.67	4.56	4.32
18	4.76	4.30	4.22	4.68	4.27	4.13	3.67	4.57	4.32
19	4.75	4.30	4.21	4.68	4.27	4.13	3.67	4.56	4.32
20	4.76	4.29	4.21	4.69	4.25	4.12	3.64	4.55	4.31
21	4.76	4.30	4.21	4.68	4.27	4.13	3.67	4.56	4.32
22	4.75	4.29	4.20	4.67	4.25	4.12	3.66	4.56	4.31
23	4.75	4.29	4.20	4.68	4.25	4.12	3.66	4.55	4.31
24	4.76	4.30	4.21	4.68	4.26	4.13	3.67	4.56	4.32
25	4.75	4.30	4.21	4.69	4.26	4.13	3.67	4.56	4.32
26	4.75	4.30	4.22	4.69	4.27	4.13	3.68	4.57	4.32
27	4.80	4.45	4.46	4.82	4.54	4.49	4.06	4.68	4.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิฉะนั้นการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ทดสอบด้วยแสงไฟในห้องครั้งที่ 2 (ต่อ)

จำนวนครั้งที่ (N)	V_{out} (v)								V_{out} เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่ 1	LDR ตัวที่ 2	LDR ตัวที่ 3	LDR ตัวที่ 4	LDR ตัวที่ 5	LDR ตัวที่ 6	LDR ตัวที่ 7	LDR ตัวที่ 8	
28	4.77	4.31	4.22	4.69	4.26	4.13	3.68	4.57	4.33
29	4.76	4.32	4.22	4.69	4.27	4.14	3.69	4.57	4.33
30	4.76	4.31	4.22	4.69	4.27	4.14	3.69	4.57	4.33
เฉลี่ย	4.76	4.31	4.23	4.69	4.28	4.14	3.69	4.57	4.33

การวิเคราะห์ผล

จากการทำงานของ LDR เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ตัว LDR จะทำให้ LDR ทำงานและให้ค่าเอาต์พุตออกมาเป็นค่าดิจิตอลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้ จากนั้นนำค่าที่ได้มาแปลงเป็นค่าแรงดันเอาต์พุตจากสมการที่ 4.3

$$V_{out} = LDR \times \frac{V_{in}}{1023} \quad (4.3)$$

จะได้

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023} \quad (4.4)$$

เมื่อ

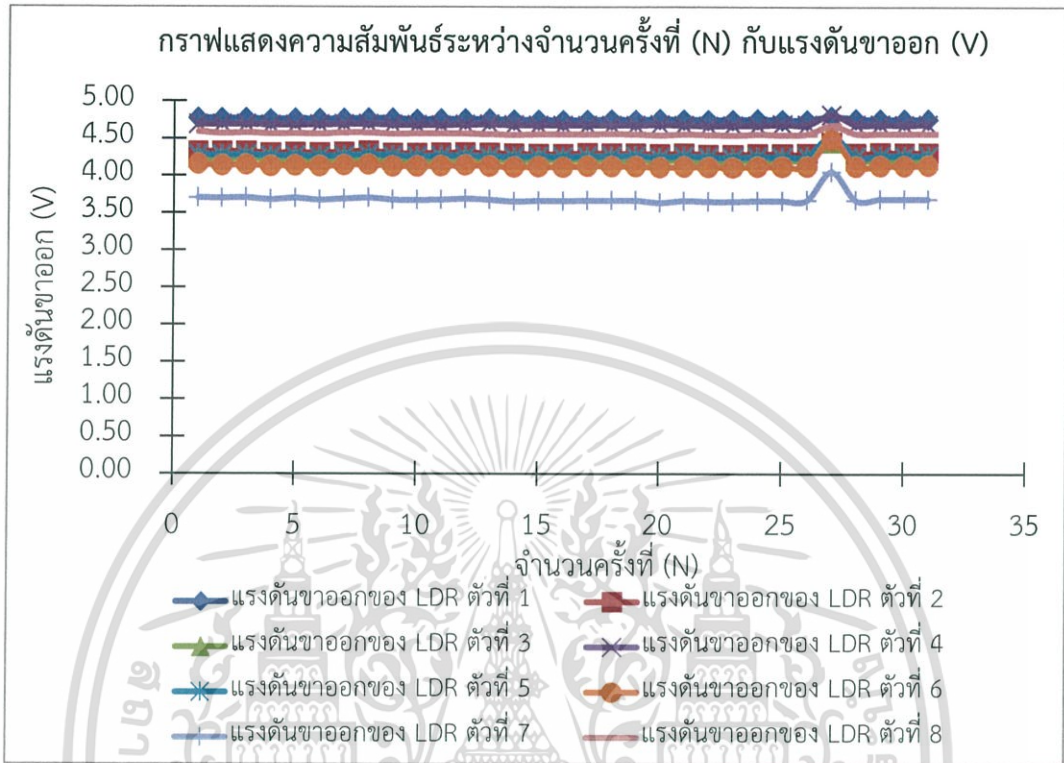
LDR = ค่าดิจิตอลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้

ตัวอย่างการคำนวณจากสมการที่ 4.4

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต่อ $V_{out} = 977 \times \frac{5V}{1023}$ ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{out} = 4.78 \text{ V}$$



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับแรงดันขาออก (V)

ตารางที่ 4.4 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ทดสอบด้วยแสงไฟในห้องครั้งที่ 3

จำนวนครั้งที่ (N)	V_{out} (v)								V_{out} เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่ 1	LDR ตัวที่ 2	LDR ตัวที่ 3	LDR ตัวที่ 4	LDR ตัวที่ 5	LDR ตัวที่ 6	LDR ตัวที่ 7	LDR ตัวที่ 8	
1	4.85	4.45	4.38	4.78	4.37	4.23	3.80	4.70	4.45
2	4.85	4.44	4.37	4.77	4.36	4.22	3.78	4.70	4.44
3	4.84	4.44	4.37	4.78	4.36	4.23	3.79	4.70	4.44
4	4.77	4.26	4.24	4.69	4.29	4.18	3.70	4.55	4.33
5	4.76	4.23	4.23	4.69	4.28	4.16	3.69	4.52	4.32
6	4.74	4.22	4.20	4.68	4.27	4.15	3.67	4.51	4.30
7	4.74	4.21	4.20	4.68	4.27	4.15	3.68	4.51	4.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ทดสอบด้วยแสงไฟในห้องครั้งที่ 3 (ต่อ)

จำนวนครั้งที่ (N)	V _{out} (v)								V _{out} เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่ 1	LDR ตัวที่ 2	LDR ตัวที่ 3	LDR ตัวที่ 4	LDR ตัวที่ 5	LDR ตัวที่ 6	LDR ตัวที่ 7	LDR ตัวที่ 8	
8	4.75	4.20	4.20	4.67	4.27	4.15	3.68	4.51	4.30
9	4.75	4.20	4.19	4.68	4.27	4.15	3.68	4.51	4.30
10	4.74	4.20	4.19	4.68	4.27	4.14	3.67	4.50	4.30
11	4.74	4.20	4.19	4.69	4.27	4.15	3.67	4.52	4.30
12	4.74	4.21	4.20	4.68	4.28	4.15	3.68	4.51	4.31
13	4.73	4.19	4.19	4.67	4.27	4.14	3.66	4.51	4.30
14	4.73	4.18	4.19	4.67	4.27	4.14	3.66	4.50	4.29
15	4.74	4.20	4.19	4.69	4.27	4.15	3.68	4.50	4.30
16	4.74	4.19	4.19	4.68	4.27	4.15	3.68	4.50	4.30
17	4.74	4.20	4.19	4.69	4.27	4.14	3.68	4.50	4.30
18	4.74	4.20	4.19	4.68	4.27	4.15	3.68	4.51	4.30
19	4.73	4.19	4.18	4.68	4.27	4.14	3.67	4.50	4.29
20	4.72	4.18	4.17	4.67	4.26	4.13	3.66	4.50	4.29
21	4.73	4.18	4.18	4.67	4.25	4.13	3.65	4.49	4.28
22	4.73	4.19	4.19	4.67	4.27	4.14	3.68	4.50	4.30
23	4.74	4.18	4.19	4.67	4.27	4.14	3.66	4.50	4.29
24	4.73	4.17	4.17	4.67	4.26	4.14	3.66	4.49	4.29
25	4.74	4.18	4.17	4.67	4.27	4.14	3.67	4.50	4.29
26	4.73	4.18	4.18	4.68	4.27	4.14	3.67	4.50	4.29
27	4.73	4.18	4.17	4.67	4.26	4.14	3.66	4.49	4.29
28	4.72	4.17	4.17	4.67	4.26	4.13	3.65	4.49	4.28
29	4.72	4.18	4.17	4.67	4.26	4.13	3.66	4.49	4.29
30	4.72	4.18	4.18	4.68	4.27	4.14	3.66	4.49	4.29
เฉลี่ย	4.75	4.22	4.21	4.69	4.28	4.15	3.68	4.52	4.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ผล

จากการทำงานของ LDR เมื่อมีแสงมาตกกระทบบที่ตัว LDR จะทำให้ LDR ทำงานและให้ค่าเอาต์พุตออกมาเป็นค่าดิจิตอลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้ จากนั้นนำค่าที่ได้มาแปลงเป็นค่าแรงดันเอาต์พุตจากสมการที่ 4.5

$$V_{out} = LDR \times \frac{V_{in}}{1023} \quad (4.5)$$

จะได้

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023} \quad (4.6)$$

เมื่อ

$LDR =$ ค่าดิจิตอลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้

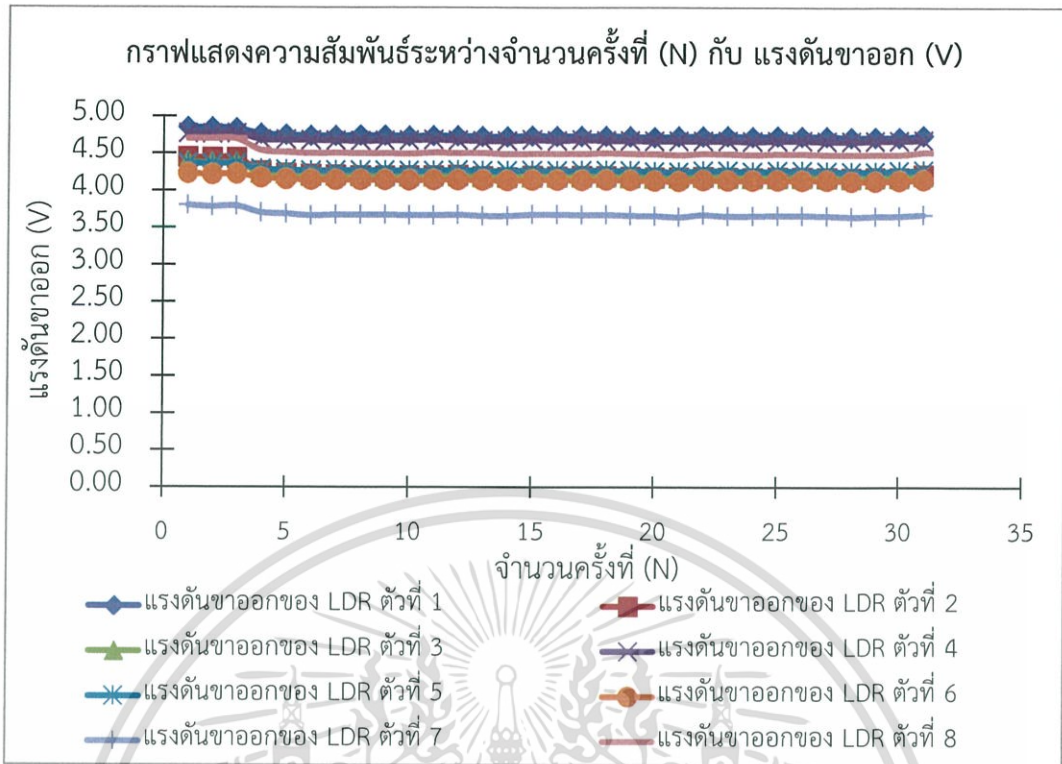
ตัวอย่างการคำนวณจากสมการที่ 4.6

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023}$$

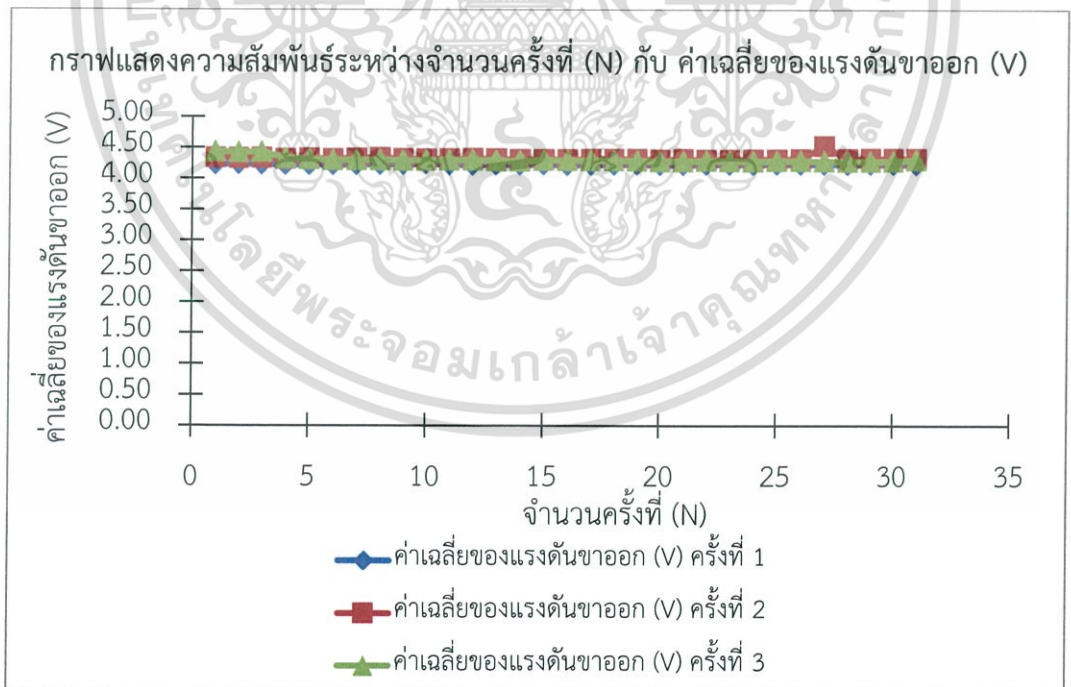
$$V_{out} = 993 \times \frac{5V}{1023}$$

$$V_{out} = 4.85 \text{ V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับแรงดันขาออก (V)



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 โมดูลเซนเซอร์ (LDR) ตัวใหม่

4.2.2.1 ทดสอบโดยใช้แสงไฟภายในห้อง

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1. Module Sensor (LDR)
2. Arduino MEGA 2560 Board

ขั้นตอนการทดสอบ

1. เขียนโค้ดและอัปโหลดโค้ดลงไปบนบอร์ด Arduino MEGA 2560
2. ต่อสายไฟจากโมดูลเซนเซอร์เข้ากับบอร์ด Arduino MEGA 2560 ดังแสดงในรูปที่ 4.9
3. วางไว้ตรงที่แสงไฟในห้องส่องทั่วถึงทุกตัวและบันทึกผลลงในตารางที่ 4.5
6. นำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลพร้อมพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับ ค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)

ตารางที่ 4.5 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ทดสอบด้วยแสงไฟในห้องครั้งที่ 1

จำนวนครั้งที่ (N)	V_{out} (v)									V_{out} เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่ 1	LDR ตัวที่ 2	LDR ตัวที่ 3	LDR ตัวที่ 4	LDR ตัวที่ 5	LDR ตัวที่ 6	LDR ตัวที่ 7	LDR ตัวที่ 8	LDR ตัวที่ 9	
1	3.21	4.03	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
2	3.22	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
3	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
4	3.22	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
5	3.22	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
6	3.22	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
7	3.22	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
8	3.22	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
9	3.22	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
10	3.21	4.04	3.03	3.52	3.74	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
11	3.22	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
12	3.21	4.03	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ทดสอบด้วยแสงไฟในห้องครั้งที่ 1 (ต่อ)

จำนวนครั้งที่ (N)	V_{out} (v)									V_{out} เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่ 1	LDR ตัวที่ 2	LDR ตัวที่ 3	LDR ตัวที่ 4	LDR ตัวที่ 5	LDR ตัวที่ 6	LDR ตัวที่ 7	LDR ตัวที่ 8	LDR ตัวที่ 9	
13	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
14	3.21	4.04	3.03	3.52	3.74	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
15	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
16	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
17	3.21	4.03	3.02	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
18	3.22	4.03	3.03	3.52	3.73	3.77	3.46	3.82	3.02	3.51
19	3.21	4.03	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
20	3.21	4.03	3.02	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
21	3.21	4.03	3.03	3.52	3.73	3.77	3.46	3.82	3.02	3.51
22	3.21	4.03	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
23	3.21	4.03	3.02	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
24	3.21	4.03	3.02	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
25	3.21	4.03	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
26	3.21	4.03	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
27	3.21	4.03	3.03	3.52	3.73	3.77	3.45	3.82	3.02	3.51
28	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
29	3.21	4.03	3.02	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
30	3.21	4.03	3.03	3.52	3.73	3.77	3.46	3.82	3.02	3.51
เฉลี่ย	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51

การวิเคราะห์ผล

จากการทำงานของ LDR เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ตัว LDR จะทำให้ LDR ทำงานและให้ค่าเอาต์พุตออกมาเป็นค่าดิจิทัลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้ จากนั้นนำค่าที่ได้มาแปลงเป็นค่าแรงดันเอาต์พุตจากสมการที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$V_{out} = LDR \times \frac{V_{in}}{1023}$$
 (4.7)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต่อ 1023 ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

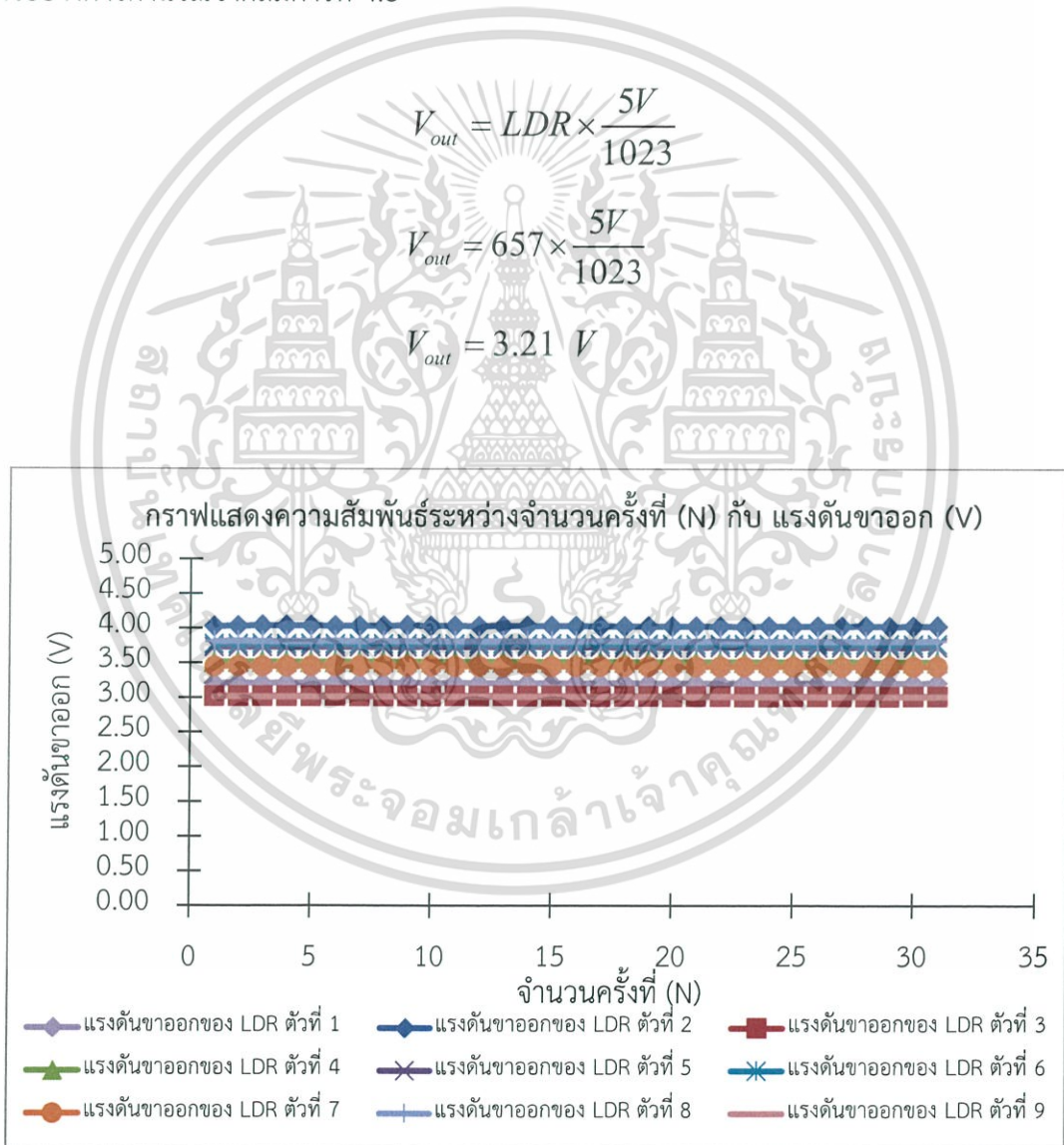
จะได้

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023} \quad (4.8)$$

เมื่อ

LDR = ค่าดิจิตอลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้

ตัวอย่างการคำนวณจากสมการที่ 4.8



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับแรงดันขาออก (V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ทดสอบด้วยแสงไฟในห้องครั้งที่ 2

จำนวนครั้งที่ (N)	V _{out} (v)									V _{out} เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่ 1	LDR ตัวที่ 2	LDR ตัวที่ 3	LDR ตัวที่ 4	LDR ตัวที่ 5	LDR ตัวที่ 6	LDR ตัวที่ 7	LDR ตัวที่ 8	LDR ตัวที่ 9	
1	3.22	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
2	3.21	4.03	3.02	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
3	3.21	4.03	3.02	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
4	3.21	4.03	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
5	3.21	4.04	3.02	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
6	3.21	4.03	3.03	3.52	3.73	3.77	3.46	3.82	3.02	3.51
7	3.21	4.03	3.03	3.52	3.73	3.77	3.46	3.82	3.02	3.51
8	3.21	4.03	3.02	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
9	3.21	4.03	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
10	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
11	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
12	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
13	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
14	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
15	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
16	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
17	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
18	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
19	3.22	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
20	3.21	4.03	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
21	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
22	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
23	3.21	4.04	3.02	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
24	3.21	4.04	3.02	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
25	3.21	4.04	3.02	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
26	3.22	4.03	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับทำรายงานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ทดสอบด้วยแสงไฟในห้องครั้งที่ 2 (ต่อ)

จำนวนครั้งที่ (N)	V_{out} (v)									V_{out} เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่ 1	LDR ตัวที่ 2	LDR ตัวที่ 3	LDR ตัวที่ 4	LDR ตัวที่ 5	LDR ตัวที่ 6	LDR ตัวที่ 7	LDR ตัวที่ 8	LDR ตัวที่ 9	
27	3.21	4.04	3.02	3.52	3.73	3.78	3.45	3.82	3.02	3.51
28	3.21	4.03	3.03	3.52	3.73	3.77	3.46	3.82	3.02	3.51
29	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.77	3.45	3.82	3.02	3.51
30	3.21	4.03	3.02	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
เฉลี่ย	3.21	4.04	3.02	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51

การวิเคราะห์ผล

จากการทำงานของ LDR เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ตัว LDR จะทำให้ LDR ทำงานและให้ค่าเอาต์พุตออกมาเป็นค่าดิจิทัลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้ จากนั้นนำค่าที่ได้มาแปลงเป็นค่าแรงดันเอาต์พุตจากสมการที่ 4.9

$$V_{out} = LDR \times \frac{V_{in}}{1023} \quad (4.9)$$

จะได้

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023} \quad (4.10)$$

เมื่อ

LDR = ค่าดิจิทัลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้

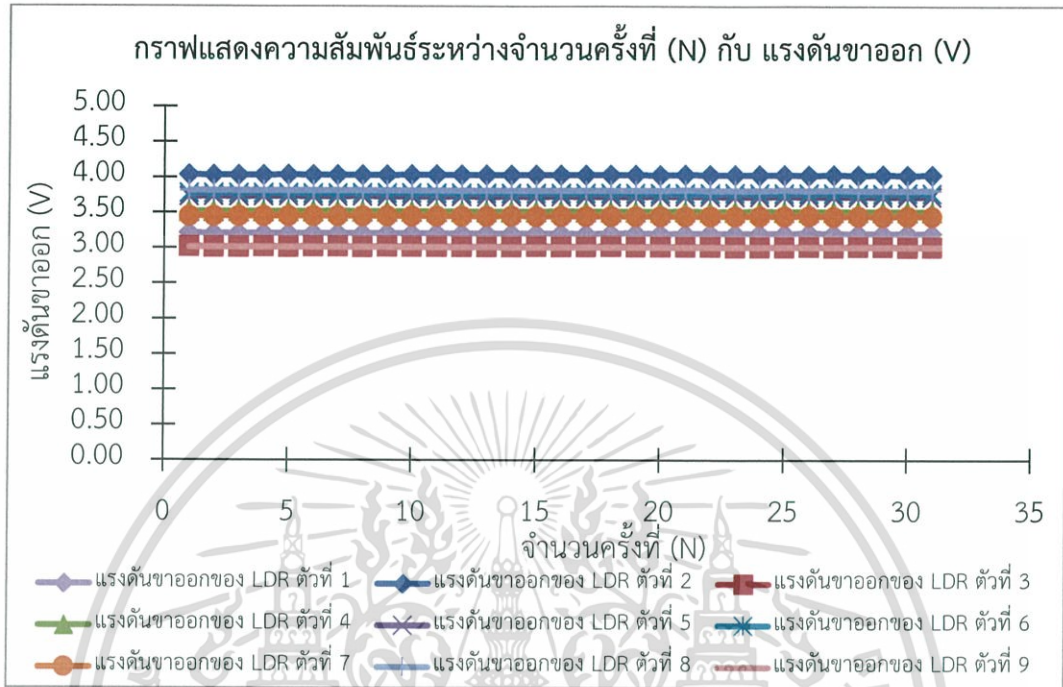
ตัวอย่างการคำนวณจากสมการที่ 4.10

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{out} = 658 \times \frac{5V}{1023}$$

$$V_{out} = 3.22 \text{ V}$$



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับแรงดันขาออก (V)

ตารางที่ 4.7 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ทดสอบด้วยแสงไฟในห้องครั้งที่ 3

จำนวนครั้งที่ (N)	V _{out} (v)									V _{out} เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่ 1	LDR ตัวที่ 2	LDR ตัวที่ 3	LDR ตัวที่ 4	LDR ตัวที่ 5	LDR ตัวที่ 6	LDR ตัวที่ 7	LDR ตัวที่ 8	LDR ตัวที่ 9	
1	3.21	4.04	3.02	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
2	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
3	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.77	3.46	3.82	3.02	3.51
4	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
5	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
6	3.22	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
7	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
8	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ทดสอบด้วยแสงไฟในห้องครั้งที่ 3 (ต่อ)

จำนวนครั้งที่ (N)	V_{out} (v)									V_{out} เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่ 1	LDR ตัวที่ 2	LDR ตัวที่ 3	LDR ตัวที่ 4	LDR ตัวที่ 5	LDR ตัวที่ 6	LDR ตัวที่ 7	LDR ตัวที่ 8	LDR ตัวที่ 9	
9	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
10	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
11	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
12	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
13	3.22	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
14	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
15	3.21	4.05	3.03	3.52	3.74	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
16	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
17	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
18	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
19	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
20	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
21	3.22	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
22	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
23	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
24	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
25	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
26	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
27	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.45	3.82	3.02	3.51
28	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
29	3.21	4.05	3.02	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51
30	3.21	4.04	3.02	3.52	3.73	3.78	3.46	3.83	3.02	3.51
เฉลี่ย	3.21	4.04	3.03	3.52	3.73	3.78	3.46	3.82	3.02	3.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ผล

จากการทำงานของ LDR เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ตัว LDR จะทำให้ LDR ทำงานและให้ค่าเอาต์พุตออกมาเป็นค่าดิจิตอลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้ จากนั้นนำค่าที่ได้มาแปลงเป็นค่าแรงดันเอาต์พุตจากสมการที่ 4.11

$$V_{out} = LDR \times \frac{V_{in}}{1023} \quad (4.11)$$

จะได้

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023} \quad (4.12)$$

เมื่อ

$LDR =$ ค่าดิจิตอลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้

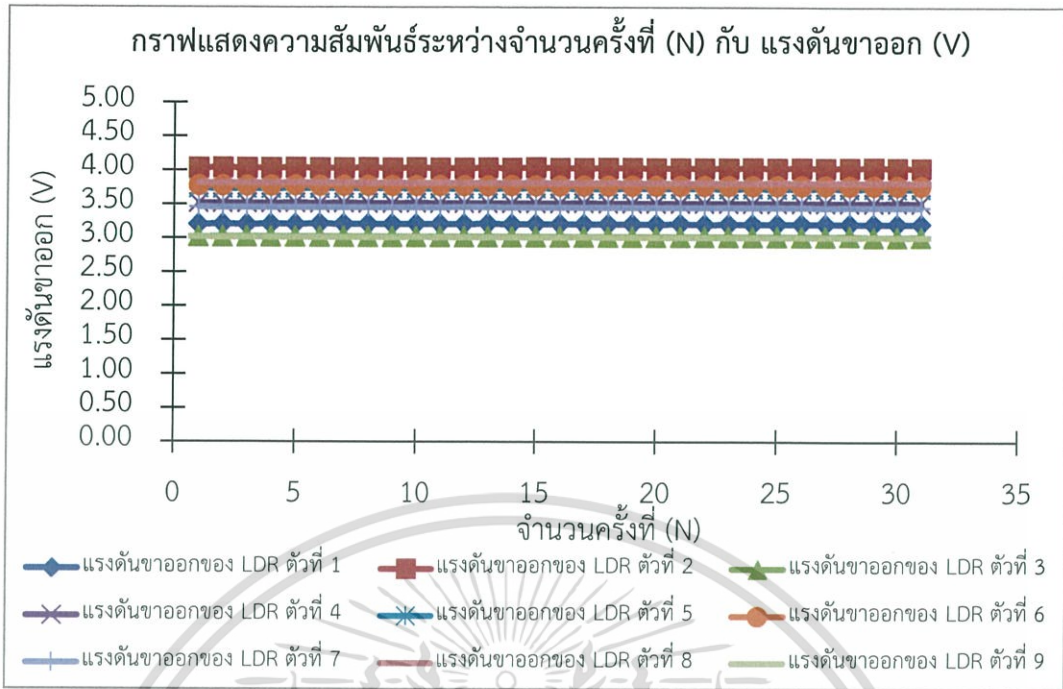
ตัวอย่างการคำนวณจากสมการที่ 4.12

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023}$$

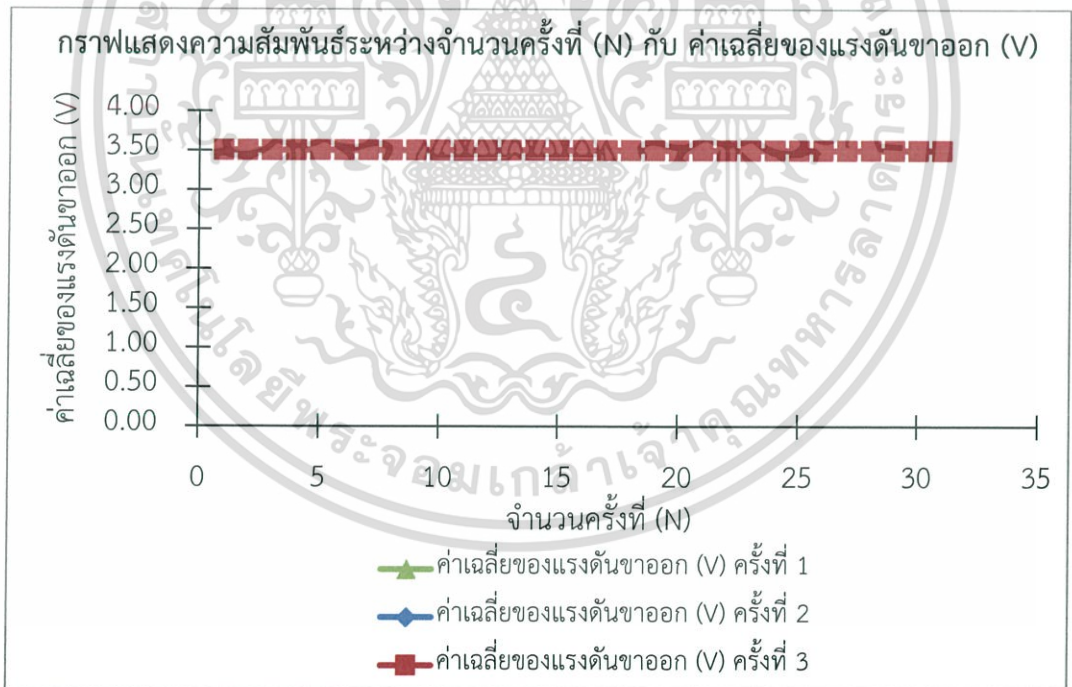
$$V_{out} = 656 \times \frac{5V}{1023}$$

$$V_{out} = 3.21 \text{ V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับแรงดันขาออก (V)



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2 ทดสอบโดยไม่มีแหล่งกำเนิดแสง

ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของโมดูลเซนเซอร์ (LDR) โดยการปิดไฟ

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1. Module Sensor (LDR)
2. Arduino MEGA 2560 Board

ขั้นตอนการทดสอบ

1. เขียนโค้ดและอัปโหลดโค้ดลงไปในบอร์ด Arduino MEGA 2560
2. ต่อสายไฟจากโมดูลเซนเซอร์เข้ากับบอร์ด Arduino MEGA 2560 ดังแสดงในรูปที่ 4.1
3. ทดสอบในห้องที่มีดสนิทและปิดไฟเพื่อไม่ให้แสงสว่างเข้ามาที่โมดูลเซนเซอร์
4. ทำการทดสอบแล้วบันทึกผลลงในตารางที่ 4.1
5. นำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลพร้อมพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับ ค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)

ตารางที่ 4.8 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการปิดไฟครั้งที่ 1

จำนวนครั้งที่ (N)	V _{out} (V)									V _{out} เฉลี่ย (V)
	LDR ตัวที่1	LDR ตัวที่2	LDR ตัวที่3	LDR ตัวที่4	LDR ตัวที่5	LDR ตัวที่6	LDR ตัวที่7	LDR ตัวที่8	LDR ตัวที่9	
1	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.93	4.98	4.98	4.98	4.97
2	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98
3	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.93	4.98	4.98	4.98	4.97
4	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	5.00	4.98	4.98	4.98	4.98
5	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.92	4.98	4.98	4.98	4.97
6	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.99	4.98	4.98	4.98	4.98
7	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	5.00	4.98	4.98	4.98	4.98
8	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.99	4.98	4.98	4.98	4.98
9	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.99	4.98	4.98	4.98	4.98
10	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.99	4.98	4.98	4.98	4.98
11	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.99	4.98	4.98	4.98	4.98
12	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.99	4.98	4.98	4.98	4.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญเตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการปิดไฟครั้งที่ 1 (ต่อ)

จำนวนครั้งที่ (N)	V_{out} (v)									V_{out} เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่1	LDR ตัวที่2	LDR ตัวที่3	LDR ตัวที่4	LDR ตัวที่5	LDR ตัวที่6	LDR ตัวที่7	LDR ตัวที่8	LDR ตัวที่9	
13	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.97	4.98	4.98	4.98	4.97
14	4.97	4.98	4.98	4.98	4.98	4.94	4.97	4.98	4.98	4.97
15	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.94	4.98	4.98	4.97	4.97
16	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.96	4.98	4.98	4.98	4.97
17	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	5.00	4.98	4.98	4.98	4.98
18	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.93	4.98	4.98	4.98	4.97
19	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.96	4.98	4.98	4.98	4.97
20	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98
21	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.97	4.98	4.98	4.98	4.97
22	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.94	4.98	4.98	4.98	4.97
23	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.95	4.98	4.98	4.98	4.97
24	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	5.00	4.98	4.98	4.98	4.98
25	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.99	4.98	4.98	4.98	4.98
26	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.97	4.98	4.98	4.98	4.98
27	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98
28	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98
29	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.95	4.98	4.98	4.98	4.97
30	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	5.00	4.98	4.98	4.98	4.98
เฉลี่ย	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.97	4.98	4.98	4.98	4.97

การวิเคราะห์ผล

จากการทำงานของ LDR เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ตัว LDR จะทำให้ LDR ทำงานและให้ค่าเอาต์พุตออกมาเป็นค่าดิจิตอลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้ จากนั้นนำค่าที่ได้มาแปลงเป็นค่าแรงดันเอาต์พุตจากสมการที่ 4.13

$$V_{out} = LDR \times \frac{V_{in}}{1023} \quad (4.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

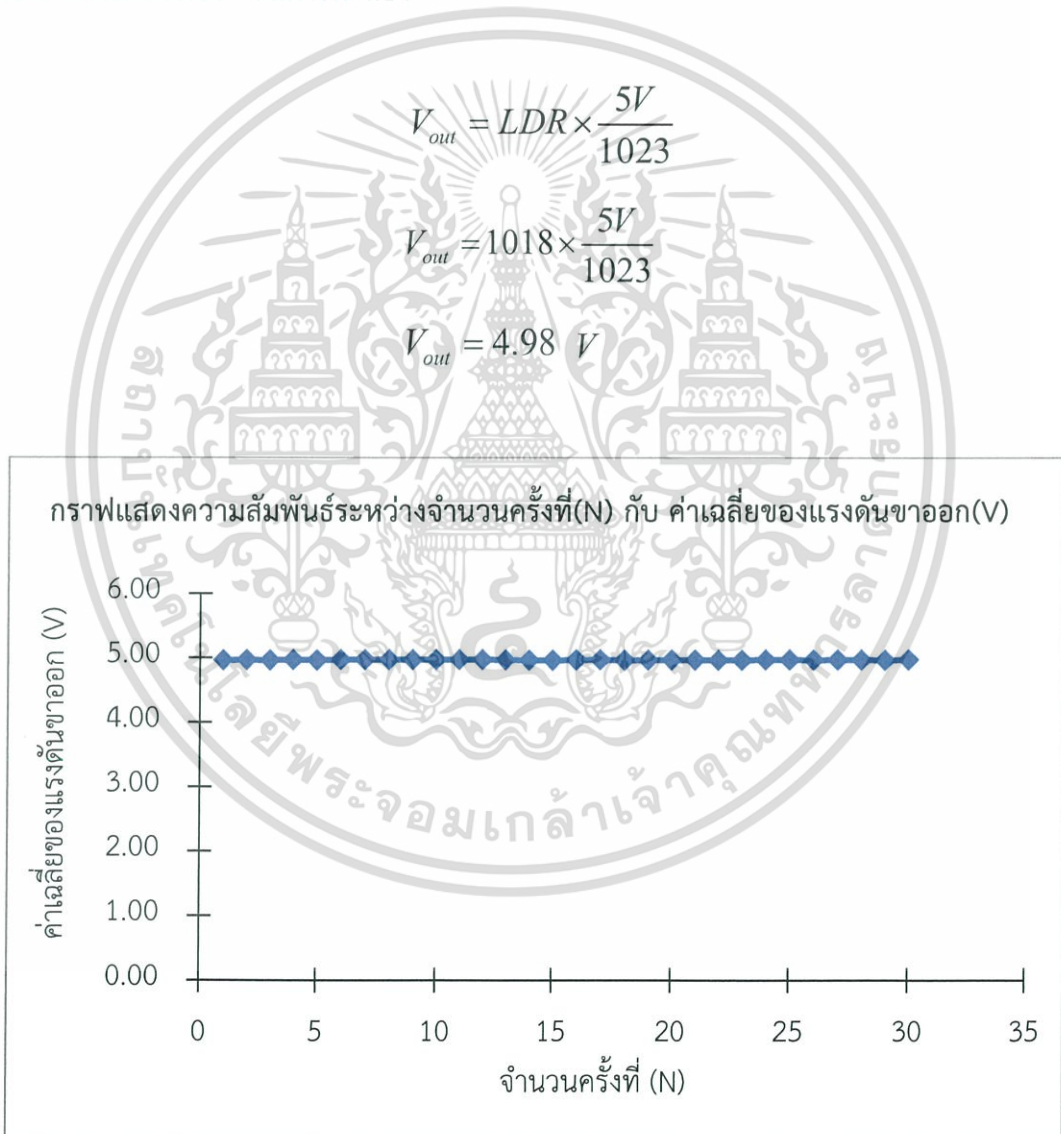
จะได้

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023} \quad (4.14)$$

เมื่อ

LDR = ค่าดิจิตอลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้

ตัวอย่างการคำนวณจากสมการที่ 4.14



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับ ค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการปิดไฟครั้งที่ 2

จำนวนครั้งที่ (N)	V _{out} (v)									เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่1	LDR ตัวที่2	LDR ตัวที่3	LDR ตัวที่4	LDR ตัวที่5	LDR ตัวที่6	LDR ตัวที่7	LDR ตัวที่8	LDR ตัวที่9	
1	4.98	4.98	4.97	4.97	4.98	4.95	4.98	4.98	4.98	4.97
2	4.98	4.97	4.97	4.98	4.98	4.95	4.98	4.98	4.98	4.97
3	4.98	4.98	4.97	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98
4	4.98	4.98	4.98	4.98	4.97	4.96	4.98	4.97	4.97	4.97
5	4.98	4.97	4.98	4.98	4.98	4.97	4.98	4.98	4.98	4.97
6	4.97	4.98	4.98	4.98	4.97	4.99	4.97	4.98	4.98	4.98
7	4.98	4.98	4.97	4.98	4.97	4.93	4.98	4.98	4.98	4.97
8	4.98	4.98	4.97	4.98	4.97	4.94	4.98	4.98	4.97	4.97
9	4.98	4.98	4.98	4.98	4.97	4.95	4.98	4.97	4.98	4.97
10	4.98	4.98	4.98	4.98	4.97	5.00	4.98	4.98	4.98	4.98
11	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.94	4.98	4.98	4.98	4.97
12	4.97	4.98	4.98	4.97	4.97	4.96	4.97	4.98	4.98	4.97
13	4.98	4.98	4.97	4.97	4.98	5.00	4.98	4.98	4.98	4.98
14	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.99	4.98	4.98	4.97	4.98
15	4.98	4.98	4.98	4.97	4.98	4.97	4.98	4.98	4.98	4.97
16	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.95	4.98	4.98	4.97	4.97
17	4.98	4.98	4.98	4.97	4.98	4.94	4.98	4.98	4.98	4.97
18	4.98	4.98	4.97	4.98	4.98	4.94	4.98	4.98	4.98	4.97
19	4.98	4.98	4.97	4.98	4.98	4.94	4.98	4.98	4.98	4.97
20	4.98	4.98	4.97	4.98	4.98	4.93	4.98	4.98	4.98	4.97
21	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.97	4.98	4.97	4.98
22	4.98	4.98	4.98	4.98	4.97	5.00	4.97	4.98	4.98	4.98
23	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.99	4.98	4.98	4.98	4.98
24	4.98	4.98	4.98	4.97	4.98	4.93	4.98	4.98	4.98	4.97
25	4.98	4.98	4.98	4.97	4.98	5.00	4.98	4.98	4.98	4.98
26	4.98	4.97	4.97	4.97	4.98	4.95	4.98	4.98	4.98	4.97
27	4.97	4.98	4.98	4.98	4.98	4.96	4.98	4.98	4.98	4.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังเว็บไซต์อื่นที่มีการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการปิดไฟครั้งที่ 2 (ต่อ)

จำนวนครั้งที่ (N)	V _{out} (v)									เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่1	LDR ตัวที่2	LDR ตัวที่3	LDR ตัวที่4	LDR ตัวที่5	LDR ตัวที่6	LDR ตัวที่7	LDR ตัวที่8	LDR ตัวที่9	
28	4.98	4.97	4.98	4.97	4.98	5.00	4.98	4.98	4.98	4.98
29	4.98	4.97	4.98	4.98	4.97	4.96	4.97	4.98	4.98	4.97
30	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.94	4.98	4.98	4.97	4.97
เฉลี่ย	4.98	4.97	4.97	4.97	4.97	4.96	4.97	4.98	4.97	4.97

การวิเคราะห์ผล

จากการทำงานของ LDR เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ตัว LDR จะทำให้ LDR ทำงานและให้ค่าเอาต์พุตออกมาเป็นค่าดิจิทัลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้ จากนั้นนำค่าที่ได้มาแปลงเป็นค่าแรงดันเอาต์พุตจากสมการที่ 4.15

$$V_{out} = LDR \times \frac{V_{in}}{1023} \quad (4.15)$$

จะได้

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023} \quad (4.16)$$

เมื่อ

$LDR =$ ค่าดิจิทัลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้

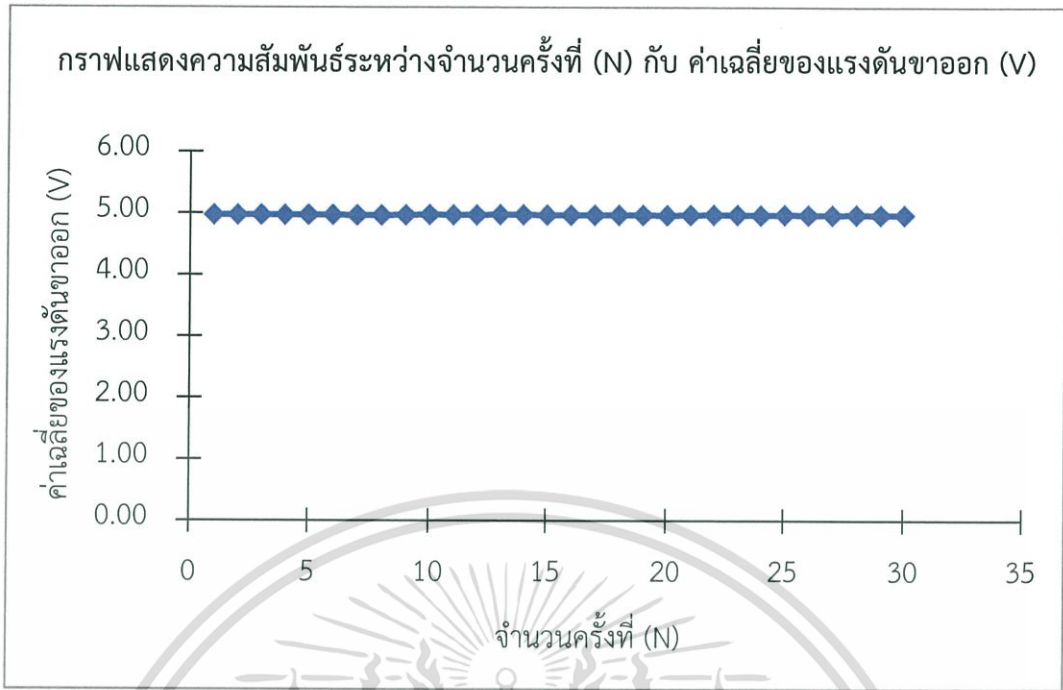
ตัวอย่างการคำนวณจากสมการที่ 4.16

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023}$$

$$V_{out} = 1018 \times \frac{5V}{1023}$$

$$V_{out} = 4.98 \text{ V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับ ค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)

ตารางที่ 4.10 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการปิดไฟครั้งที่ 3

จำนวนครั้งที่ (N)	V_{out} (V)									V_{out} เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่1	LDR ตัวที่2	LDR ตัวที่3	LDR ตัวที่4	LDR ตัวที่5	LDR ตัวที่6	LDR ตัวที่7	LDR ตัวที่8	LDR ตัวที่9	
1	4.97	4.97	4.98	4.98	4.98	4.99	4.98	4.98	4.98	4.98
2	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98
3	4.97	4.98	4.97	4.98	4.98	5.00	4.98	4.98	4.98	4.98
4	4.97	4.97	4.98	4.98	4.98	4.97	4.98	4.98	4.98	4.97
5	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.94	4.98	4.98	4.98	4.97
6	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.99	4.98	4.98	4.98	4.98
7	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.94	4.98	4.98	4.98	4.97
8	4.98	4.98	4.97	4.98	4.98	5.00	4.98	4.98	4.98	4.98
9	4.98	4.98	4.97	4.98	4.98	4.94	4.98	4.97	4.98	4.97
10	4.98	4.98	4.98	4.97	4.98	5.00	4.98	4.98	4.98	4.98
11	4.98	4.98	4.97	4.98	4.98	4.96	4.98	4.98	4.98	4.97
12	4.98	4.98	4.98	4.98	4.97	4.94	4.98	4.98	4.98	4.97
13	4.98	4.97	4.98	4.98	4.98	4.96	4.98	4.98	4.97	4.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการปิดไฟครั้งที่ 3 (ต่อ)

จำนวน ครั้งที่ (N)	V _{out} (v)									เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่1	LDR ตัวที่2	LDR ตัวที่3	LDR ตัวที่4	LDR ตัวที่5	LDR ตัวที่6	LDR ตัวที่7	LDR ตัวที่8	LDR ตัวที่9	
14	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	5.00	4.98	4.98	4.98	4.98
15	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.94	4.97	4.98	4.98	4.97
16	4.97	4.98	4.98	4.98	4.98	4.99	4.98	4.97	4.98	4.98
17	4.98	4.98	4.97	4.97	4.98	4.99	4.98	4.98	4.97	4.98
18	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.94	4.98	4.98	4.98	4.97
19	4.98	4.98	4.97	4.98	4.98	4.94	4.98	4.98	4.98	4.97
20	4.98	4.98	4.98	4.97	4.98	5.00	4.98	4.98	4.98	4.98
21	4.98	4.98	4.97	4.98	4.98	4.98	4.97	4.97	4.97	4.97
22	4.98	4.98	4.97	4.98	4.97	4.95	4.97	4.99	4.98	4.97
23	4.98	4.98	4.98	4.98	4.97	4.93	4.98	4.98	4.98	4.97
24	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.94	4.97	4.98	4.98	4.97
25	4.98	4.98	4.97	4.97	4.98	4.96	4.98	4.98	4.98	4.97
26	4.97	4.98	4.97	4.98	4.98	4.99	4.98	4.98	4.98	4.98
27	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.94	4.98	4.98	4.98	4.97
28	4.98	4.98	4.97	4.97	4.98	4.97	4.98	4.98	4.98	4.97
29	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.99	4.98	4.98	4.98	4.98
30	4.98	4.98	4.98	4.98	4.98	4.99	4.98	4.98	4.98	4.98
เฉลี่ย	4.97	4.98	4.97	4.97	4.98	4.97	4.97	4.98	4.98	4.97

การวิเคราะห์ผล

จากการทำงานของ LDR เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ตัว LDR จะทำให้ LDR ทำงานและให้ค่าเอาต์พุตออกมาเป็นค่าดิจิทัลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้ จากนั้นนำค่าที่ได้มาแปลงเป็นค่าแรงดันเอาต์พุตจากสมการที่ 4.17

$$V_{out} = LDR \times \frac{V_{in}}{1023} \quad (4.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 จะได้
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023} \quad (4.18)$$

เมื่อ

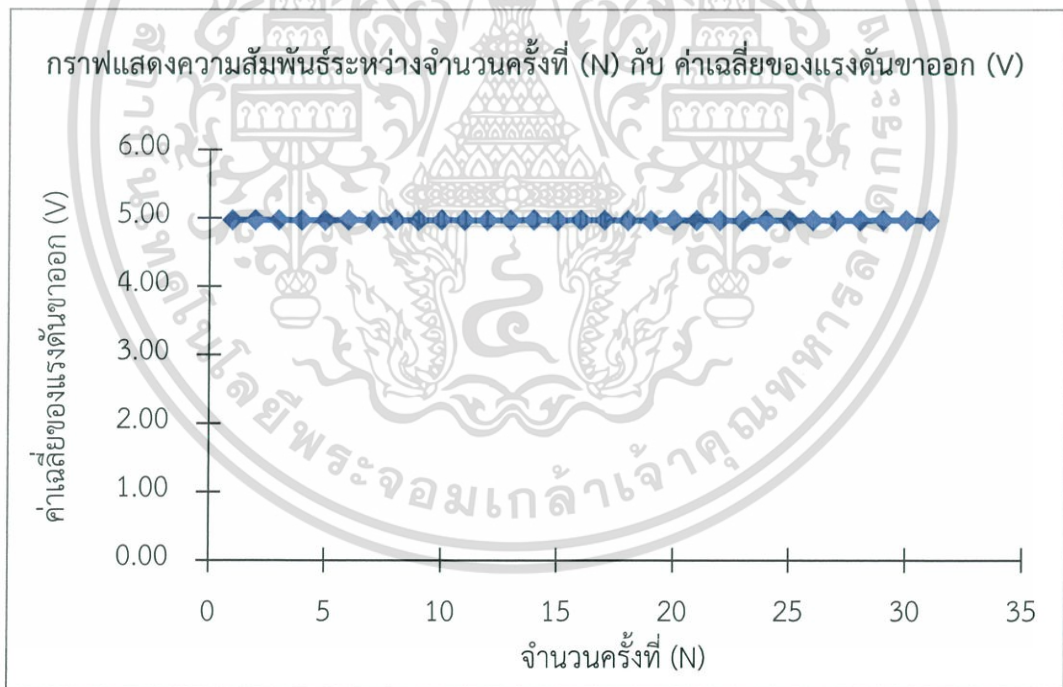
LDR = ค่าดิจิตอลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้

ตัวอย่างการคำนวณจากสมการที่ 4.18

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023}$$

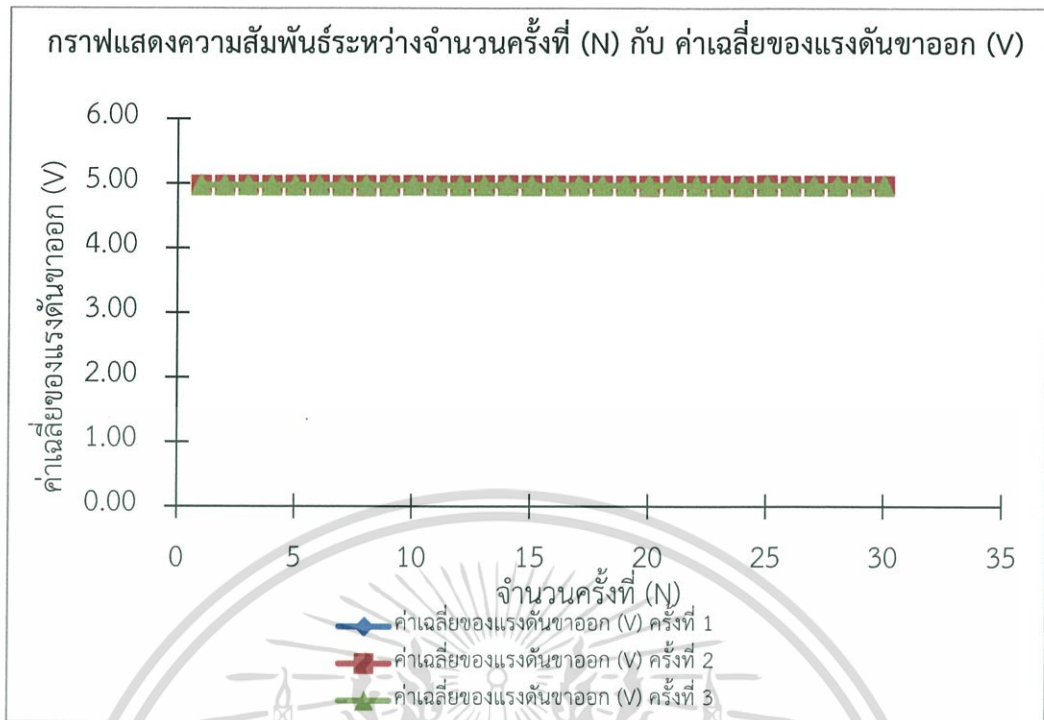
$$V_{out} = 1017 \times \frac{5V}{1023}$$

$$V_{out} = 4.97 \text{ V}$$



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่(N) กับ ค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับ ค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)

4.2.2.3 ทดสอบโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์ รุ่น Micron ABS 1500 R7s-15

ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของโมดูลเซนเซอร์ (LDR) ส่องด้วย แหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์ รุ่น Micron ABS 1500 R7s-15



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.23 การทดสอบ LDR ทั้ง 8 ตัวของเครื่องระบบติดตามดวงอาทิตย์ส่องแหล่งกำเนิดแสง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น บริษัทฯ จะไม่รับผิดชอบต่อการใช้งานและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 สปอร์ตไลท์ รุ่น Micron ABS 1500 R7s-15

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1. Module Sensor (LDR)
2. Arduino MEGA 2560 Board
3. สปอร์ตไลท์ รุ่น Micron ABS 1500 R7s-15

ขั้นตอนการทดสอบ

1. เขียนโค้ดและอัปโหลดโค้ดลงไปในบอร์ด Arduino MEGA 2560
2. ต่อสายไฟจากโมดูลเซนเซอร์เข้ากับบอร์ด Arduino MEGA 2560 ดังแสดงในรูปที่ 4.22
3. เสียบปลั๊กสปอร์ตไลท์ รุ่น Micron ABS 1500 R7s-15 เพื่อให้เป็นแหล่งกำเนิดแสง
4. ทำการเซ็ตตำแหน่งสปอร์ตไลท์ให้อยู่เหนือโมดูลเซนเซอร์ LDR ตรงกึ่งกลางของโมดูลเซนเซอร์ให้ลำแสงส่องมากระทบกับ LDR ซึ่งจะทำให้แสงส่องถึง LDR ทุกตัว
5. ส่องไฟสปอร์ตไลท์แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ 4.11
6. นำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลพร้อมพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับ ค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)

ตารางที่ 4.11 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการส่องไฟด้วยสปอร์ตไลท์ครั้งที่ 1

จำนวนครั้งที่ (N)	V_{out} (V)									V_{out} เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่1	LDR ตัวที่2	LDR ตัวที่3	LDR ตัวที่4	LDR ตัวที่5	LDR ตัวที่6	LDR ตัวที่7	LDR ตัวที่8	LDR ตัวที่9	
1	0.50	0.72	0.55	1.27	1.36	1.19	0.73	1.06	0.55	0.88
2	0.52	0.74	0.56	1.29	1.38	1.24	0.74	1.07	0.55	0.90
3	0.50	0.73	0.55	1.27	1.36	1.18	0.73	1.05	0.55	0.88
4	0.50	0.73	0.55	1.28	1.35	1.12	0.73	1.05	0.55	0.88
5	0.51	0.75	0.56	1.28	1.37	1.12	0.74	1.06	0.55	0.88
6	0.51	0.75	0.56	1.28	1.36	1.11	0.74	1.06	0.55	0.88
7	0.51	0.75	0.56	1.28	1.36	1.10	0.74	1.05	0.55	0.88
8	0.50	0.75	0.56	1.27	1.36	1.09	0.73	1.05	0.55	0.87
9	0.51	0.75	0.56	1.27	1.35	1.09	0.73	1.05	0.55	0.87
10	0.51	0.75	0.56	1.27	1.36	1.09	0.73	1.05	0.55	0.87
11	0.51	0.75	0.56	1.27	1.35	1.10	0.73	1.05	0.55	0.87
12	0.50	0.74	0.55	1.26	1.34	1.13	0.72	1.04	0.54	0.87
13	0.50	0.74	0.55	1.26	1.34	1.15	0.72	1.04	0.55	0.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการส่องไฟด้วยสปรตไลท์ครั้งที่ 1 (ต่อ)

จำนวนครั้งที่ (N)	V _{out} (v)									เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่1	LDR ตัวที่2	LDR ตัวที่3	LDR ตัวที่4	LDR ตัวที่5	LDR ตัวที่6	LDR ตัวที่7	LDR ตัวที่8	LDR ตัวที่9	
14	0.50	0.75	0.55	1.26	1.34	1.18	0.73	1.04	0.55	0.88
15	0.51	0.76	0.56	1.27	1.35	1.21	0.73	1.05	0.55	0.89
16	0.51	0.76	0.55	1.27	1.35	1.19	0.73	1.04	0.55	0.88
17	0.49	0.75	0.55	1.25	1.33	1.09	0.72	1.03	0.55	0.86
18	0.51	0.77	0.56	1.27	1.35	1.09	0.73	1.04	0.55	0.87
19	0.50	0.75	0.55	1.26	1.33	1.16	0.72	1.03	0.55	0.87
20	0.50	0.76	0.55	1.26	1.34	1.16	0.72	1.02	0.54	0.87
21	0.50	0.77	0.56	1.27	1.34	1.07	0.73	1.03	0.55	0.87
22	0.49	0.75	0.55	1.25	1.33	1.13	0.72	1.02	0.54	0.86
23	0.50	0.76	0.55	1.26	1.34	1.18	0.72	1.02	0.54	0.87
24	0.50	0.77	0.55	1.26	1.34	1.06	0.72	1.02	0.55	0.86
25	0.50	0.77	0.55	1.26	1.34	1.20	0.72	1.02	0.55	0.88
26	0.50	0.77	0.55	1.26	1.34	1.05	0.72	1.02	0.55	0.86
27	0.50	0.76	0.55	1.25	1.33	1.17	0.72	1.02	0.54	0.87
28	0.50	0.77	0.55	1.26	1.33	1.07	0.72	1.02	0.55	0.86
29	0.50	0.77	0.55	1.26	1.34	1.20	0.72	1.02	0.55	0.88
30	0.49	0.76	0.54	1.24	1.32	1.08	0.71	1.01	0.54	0.86
เฉลี่ย	0.50	0.75	0.55	1.26	1.35	1.13	0.73	1.04	0.55	0.87

การวิเคราะห์ผล

จากการทำงานของ LDR เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ตัว LDR จะทำให้ LDR ทำงานและให้ค่าเอาต์พุตออกมาเป็นค่าดิจิทัลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้ จากนั้นนำค่าที่ได้มาแปลงเป็นค่าแรงดันเอาต์พุตจากสมการที่ 4.19

$$V_{out} = LDR \times \frac{V_{in}}{1023} \quad (4.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 จะได้
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023} \quad (4.20)$$

เมื่อ

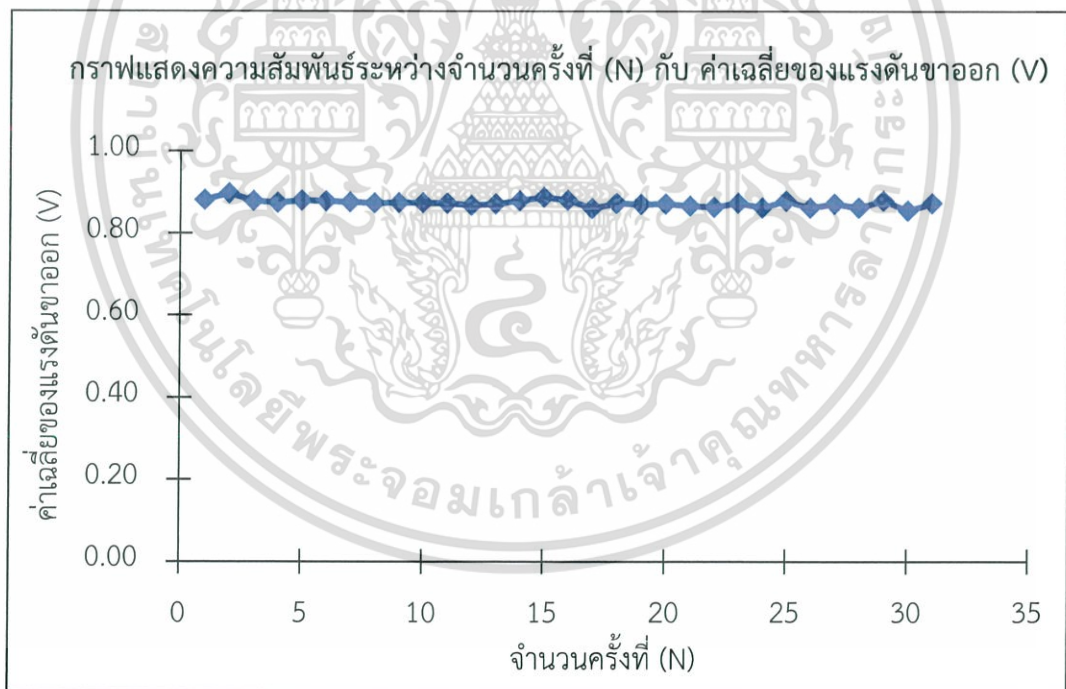
LDR = ค่าดิจิตอลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้

ตัวอย่างการคำนวณจากสมการที่ 4.20

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023}$$

$$V_{out} = 103 \times \frac{5V}{1023}$$

$$V_{out} = 0.50 \text{ V}$$



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับ ค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการส่องไฟด้วยสปอร์ตไลท์ครั้งที่ 2

จำนวนครั้งที่ (N)	V _{out} (v)									V _{out} เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่1	LDR ตัวที่2	LDR ตัวที่3	LDR ตัวที่4	LDR ตัวที่5	LDR ตัวที่6	LDR ตัวที่7	LDR ตัวที่8	LDR ตัวที่9	
1	0.50	0.77	0.55	1.25	1.32	1.04	0.72	1.02	0.54	0.86
2	0.50	0.77	0.55	1.25	1.33	1.14	0.72	1.02	0.55	0.87
3	0.50	0.78	0.55	1.25	1.33	1.18	0.72	1.02	0.54	0.88
4	0.50	0.77	0.55	1.25	1.32	1.06	0.71	1.02	0.54	0.86
5	0.49	0.77	0.54	1.24	1.32	1.05	0.71	1.02	0.54	0.85
6	0.50	0.77	0.55	1.25	1.32	1.12	0.71	1.02	0.54	0.87
7	0.50	0.78	0.55	1.25	1.33	1.14	0.72	1.03	0.54	0.87
8	0.50	0.78	0.55	1.25	1.33	1.05	0.72	1.03	0.54	0.86
9	0.49	0.77	0.54	1.24	1.32	1.05	0.71	1.02	0.54	0.85
10	0.50	0.77	0.54	1.24	1.32	1.11	0.72	1.03	0.54	0.86
11	0.50	0.77	0.54	1.24	1.32	1.09	0.71	1.02	0.54	0.86
12	0.50	0.77	0.55	1.25	1.32	1.04	0.72	1.03	0.54	0.86
13	0.50	0.78	0.55	1.25	1.33	1.04	0.72	1.03	0.54	0.86
14	0.50	0.78	0.55	1.25	1.33	1.15	0.72	1.04	0.55	0.88
15	0.50	0.78	0.55	1.26	1.34	1.04	0.72	1.04	0.55	0.86
16	0.49	0.77	0.54	1.24	1.32	1.08	0.71	1.02	0.54	0.86
17	0.50	0.78	0.55	1.26	1.34	1.17	0.72	1.04	0.54	0.88
18	0.50	0.78	0.55	1.25	1.33	1.15	0.72	1.04	0.55	0.87
19	0.50	0.77	0.55	1.25	1.33	1.10	0.72	1.03	0.54	0.87
20	0.51	0.79	0.55	1.26	1.34	1.05	0.73	1.05	0.55	0.87
21	0.50	0.78	0.55	1.26	1.34	1.13	0.73	1.04	0.55	0.88
22	0.51	0.80	0.56	1.27	1.35	1.18	0.73	1.04	0.55	0.89
23	0.50	0.78	0.55	1.25	1.33	1.07	0.72	1.03	0.54	0.86
24	0.51	0.79	0.56	1.27	1.35	1.04	0.73	1.05	0.55	0.87
25	0.50	0.79	0.55	1.26	1.34	1.16	0.73	1.04	0.55	0.88
26	0.50	0.79	0.55	1.26	1.33	1.05	0.71	1.04	0.55	0.86
27	0.50	0.78	0.55	1.26	1.34	1.04	0.73	1.04	0.55	0.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานาน นอนญาติพี่น้องไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการส่องไฟด้วยสเปคโตรไลท์ครั้งที่ 2 (ต่อ)

จำนวนครั้งที่ (N)	V_{out} (v)									V_{out} เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่1	LDR ตัวที่2	LDR ตัวที่3	LDR ตัวที่4	LDR ตัวที่5	LDR ตัวที่6	LDR ตัวที่7	LDR ตัวที่8	LDR ตัวที่9	
28	0.50	0.77	0.55	1.25	1.33	1.10	0.72	1.03	0.54	0.86
29	0.51	0.79	0.55	1.26	1.34	1.19	0.73	1.04	0.55	0.88
30	0.50	0.78	0.55	1.25	1.33	1.07	0.72	1.03	0.54	0.86
เฉลี่ย	0.50	0.78	0.55	1.25	1.33	1.10	0.72	1.03	0.54	0.87

การวิเคราะห์ผล

จากการทำงานของ LDR เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ตัว LDR จะทำให้ LDR ทำงานและให้ค่าเอาต์พุตออกมาเป็นค่าดิจิทัลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้ จากนั้นนำค่าที่ได้มาแปลงเป็นค่าแรงดันเอาต์พุตจากสมการที่ 4.21

$$V_{out} = LDR \times \frac{V_{in}}{1023} \quad (4.21)$$

จะได้

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023} \quad (4.22)$$

เมื่อ

$$LDR = \text{ค่าดิจิทัลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้}$$

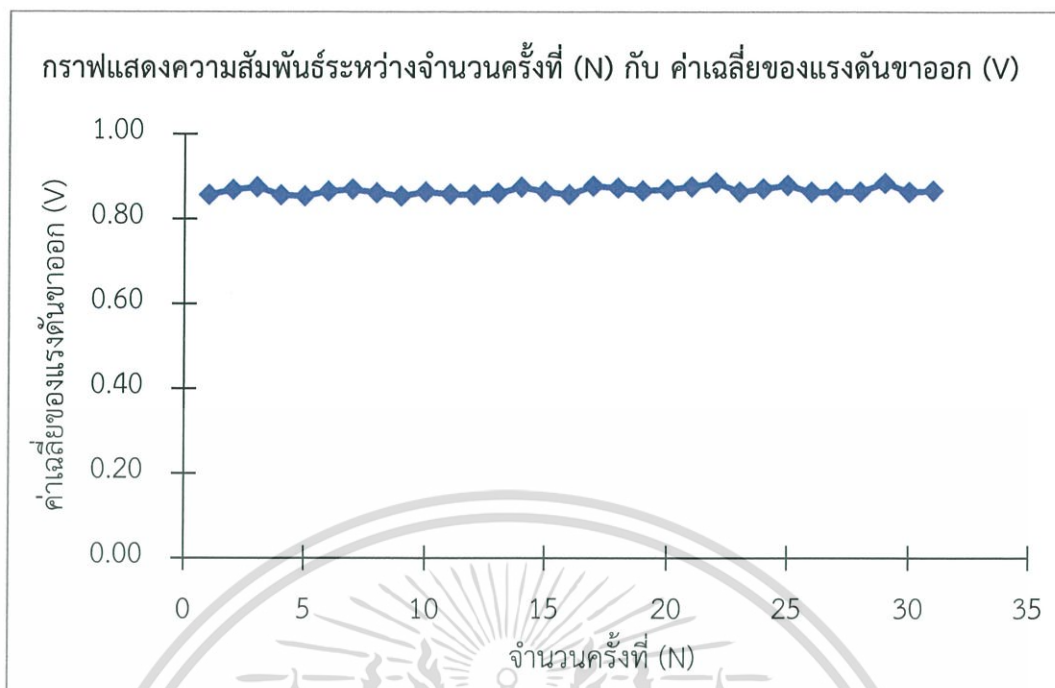
ตัวอย่างการคำนวณจากสมการที่ 4.22

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023}$$

$$V_{out} = 102 \times \frac{5V}{1023}$$

$$V_{out} = 0.50 \text{ V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับ ค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)

ตารางที่ 4.13 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการส่องไฟด้วยสเปกโตรไลท์ครั้งที่ 3

จำนวนครั้งที่ (N)	V_{out} (V)									V_{out} เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่1	LDR ตัวที่2	LDR ตัวที่3	LDR ตัวที่4	LDR ตัวที่5	LDR ตัวที่6	LDR ตัวที่7	LDR ตัวที่8	LDR ตัวที่9	
1	0.51	0.79	0.55	1.26	1.34	1.16	0.73	1.05	0.55	0.88
2	0.50	0.78	0.54	1.25	1.33	1.05	0.72	1.03	0.54	0.86
3	0.50	0.78	0.55	1.25	1.33	1.05	0.72	1.03	0.54	0.86
4	0.51	0.80	0.56	1.27	1.34	1.01	0.73	1.05	0.55	0.87
5	0.50	0.79	0.55	1.25	1.33	1.03	0.72	1.04	0.55	0.86
6	0.50	0.79	0.55	1.26	1.34	1.13	0.73	1.04	0.55	0.88
7	0.51	0.80	0.55	1.27	1.34	1.01	0.73	1.05	0.55	0.87
8	0.51	0.79	0.55	1.26	1.34	1.15	0.72	1.04	0.55	0.88
9	0.50	0.78	0.55	1.25	1.33	1.11	0.72	1.04	0.55	0.87
10	0.51	0.80	0.55	1.26	1.34	1.01	0.73	1.04	0.55	0.87
11	0.50	0.79	0.54	1.26	1.33	1.14	0.72	1.03	0.54	0.87
12	0.50	0.78	0.55	1.25	1.32	1.09	0.72	1.03	0.54	0.86
13	0.50	0.80	0.55	1.26	1.34	1.01	0.73	1.04	0.55	0.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการส่องไฟด้วยสเปกโตรไลท์ครั้งที่ 3 (ต่อ)

จำนวนครั้งที่ (N)	V _{out} (v)									เฉลี่ย (v)
	LDR ตัวที่1	LDR ตัวที่2	LDR ตัวที่3	LDR ตัวที่4	LDR ตัวที่5	LDR ตัวที่6	LDR ตัวที่7	LDR ตัวที่8	LDR ตัวที่9	
14	0.50	0.80	0.55	1.26	1.34	1.17	0.73	1.04	0.55	0.88
15	0.50	0.78	0.55	1.25	1.32	1.07	0.72	1.03	0.54	0.86
16	0.50	0.78	0.55	1.25	1.33	1.06	0.72	1.03	0.54	0.86
17	0.50	0.78	0.55	1.25	1.33	1.03	0.72	1.04	0.55	0.86
18	0.51	0.80	0.56	1.27	1.35	1.01	0.73	1.04	0.55	0.87
19	0.50	0.78	0.55	1.25	1.33	1.09	0.72	1.03	0.55	0.87
20	0.50	0.78	0.55	1.25	1.33	1.04	0.72	1.03	0.55	0.86
21	0.50	0.80	0.55	1.26	1.34	1.17	0.73	1.04	0.55	0.88
22	0.50	0.79	0.55	1.25	1.33	1.10	0.72	1.03	0.55	0.87
23	0.50	0.78	0.55	1.25	1.32	1.05	0.71	1.03	0.54	0.86
24	0.51	0.80	0.55	1.26	1.33	1.02	0.71	1.04	0.55	0.86
25	0.50	0.79	0.55	1.25	1.33	1.03	0.72	1.04	0.55	0.86
26	0.51	0.80	0.56	1.27	1.34	1.17	0.73	1.05	0.55	0.89
27	0.51	0.80	0.56	1.27	1.34	1.01	0.73	1.05	0.55	0.87
28	0.50	0.79	0.55	1.26	1.34	1.03	0.72	1.04	0.55	0.86
29	0.50	0.80	0.55	1.26	1.34	1.13	0.73	1.04	0.55	0.88
30	0.50	0.78	0.55	1.25	1.33	1.07	0.72	1.03	0.54	0.86
เฉลี่ย	0.50	0.79	0.55	1.26	1.34	1.07	0.72	1.04	0.55	0.87

การวิเคราะห์ผล

จากการทำงานของ LDR เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ตัว LDR จะทำให้ LDR ทำงานและให้ค่าเอาต์พุตออกมาเป็นค่าดิจิตอลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้ จากนั้นนำค่าที่ได้มาแปลงเป็นค่าแรงดันเอาต์พุตจากสมการที่ 4.23

$$V_{out} = LDR \times \frac{V_{in}}{1023} \quad (4.23)$$

จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการ (4.24)

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023}$$

เมื่อ

LDR = ค่าดิจิตอลที่บอร์ด Arduino MEGA 2560 อ่านได้

ตัวอย่างการคำนวณจากสมการที่ 4.24

$$V_{out} = LDR \times \frac{5V}{1023}$$

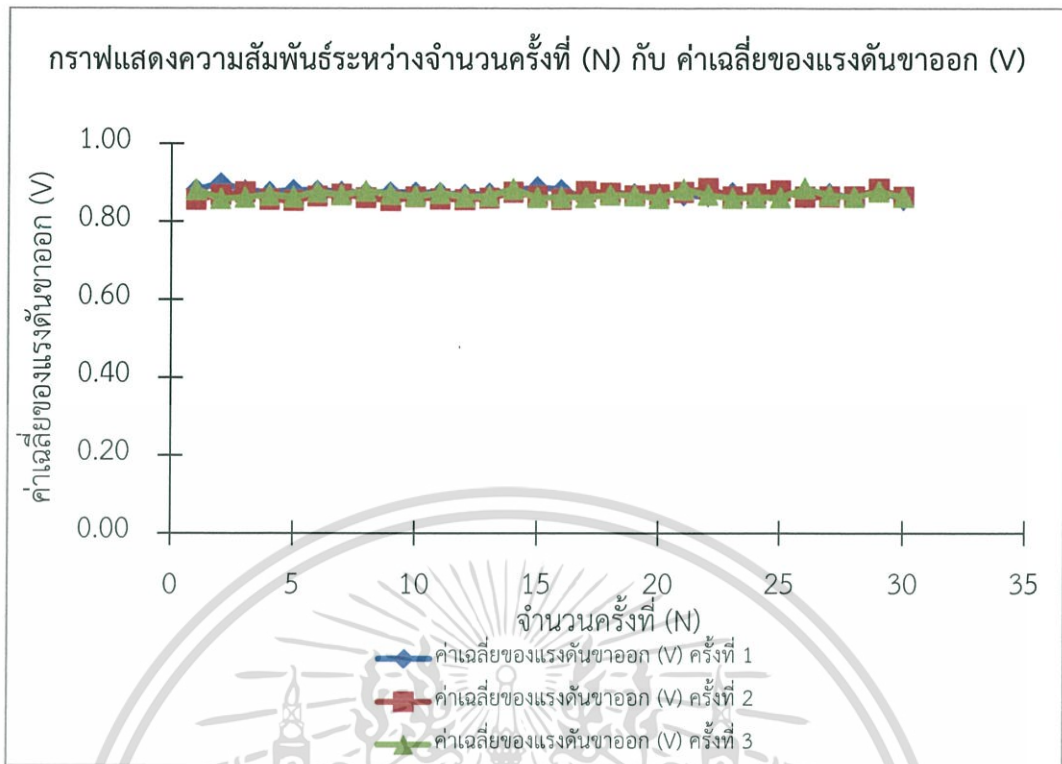
$$V_{out} = 104 \times \frac{5V}{1023}$$

$$V_{out} = 0.51 V$$



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับ ค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)

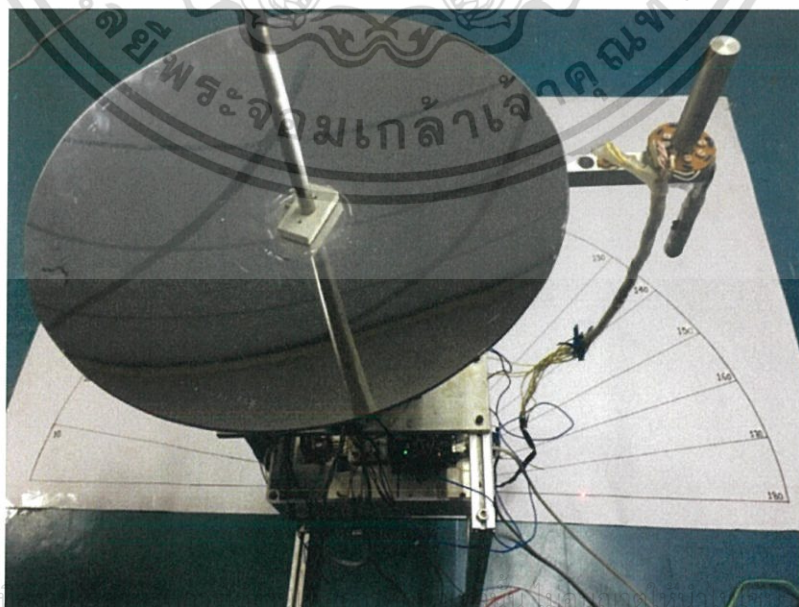
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ (N) กับ ค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออก (V)

4.3 การทดสอบมุมการเคลื่อนที่ในแนวแกนอะซิมุต

การทดสอบมุมการเคลื่อนที่ในแนวแกนอะซิมุตเป็นการทดสอบมุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ในแนวแกนอะซิมุต



เอกสารนี้เป็นเอกสาร

โยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงเนื้อหาและต้องแจ้งถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งเพื่อการนำไปใช้

รูปที่ 4.28 แสดงเครื่องระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบจานพาราโบลา

4.3.1 การทดสอบมุมการเคลื่อนที่โดยใช้เลเซอร์ซีไปที่มีมุมอ้างอิง

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1. เครื่องระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบจางาพาราโบลิก
2. อุปกรณ์วัดมุมองศา
3. เลเซอร์

ขั้นตอนการทดสอบ

1. สร้างเครื่องวงกลมขนาดรัศมี 70 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องมือวัดองศาเป็นจุดศูนย์กลางในการสร้างเครื่องวงกลม ซึ่งภายในเครื่องวงกลมให้สร้างเส้นโดยเริ่มจาก 0 องศา ห่างกันเส้นละ 10 องศา จนครบ 180 องศา
2. นำเครื่องระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์มาตั้งตรงจุดศูนย์กลางของเครื่องวงกลมที่สร้างขึ้น ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ที่ละ 10 องศา โดยสังเกตมุมการเคลื่อนที่จากเลเซอร์
3. อ่านค่าจำนวนพัลส์ของเอ็นโค้ดเดอร์ที่อ่านได้จากโปรแกรม Arduino และนำค่าจำนวนพัลส์ไปคำนวณหาค่ามุมดังสมการที่ 4.25

$$\alpha = \frac{P}{PPR} \times 180 \quad (4.25)$$

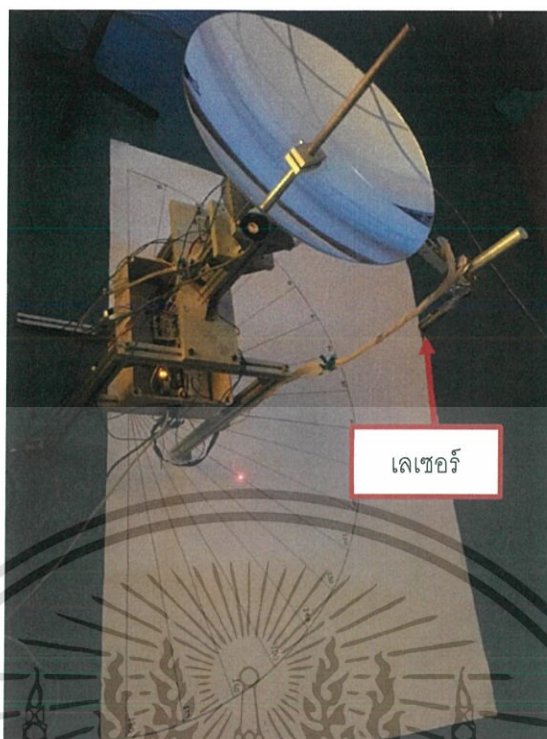
โดย α คือ มุมการหมุนของมอเตอร์

P คือ จำนวนพัลส์ของเอ็นโค้ดเดอร์

PPR คือ Pulse Per Resolution จำนวนพัลส์ที่ Rotary encoder สามารถจ่ายได้

4. บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 แสดงการทดสอบมุมการเคลื่อนที่ของงานพาราโบลาโดยใช้เลเซอร์ชี้ไปที่มุมอ้างอิง

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงผลมุมการเคลื่อนที่ในแนวแกนอะซิมุต ครั้งที่ 1

มุม (x)	Pulse	Error	มุมที่วัดจากเอ็นโค๊ดเตอร์ (y)
0	0	0	0
10	5	1	9
20	4	2.8	17.2
30	7	2.6	32.6
40	4	2.8	37.2
50	4	2.8	47.2
60	5	1	59
70	6	0.8	70.8
80	3	4.6	75.4
90	4	2.8	87.2
100	8	4.4	104.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ 110 ทรัพยากร 5 งาน เพื่อ 1 ศึกษานั่น ไม่ 109 ชาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงผลมุมการเคลื่อนที่ในแนวแกนอะซิมุท ครั้งที่ 1 (ต่อ)

มุม (x)	Pulse	Error	มุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ (y)
120	5	1	119
130	7	2.6	132.6
140	4	2.8	137.2
150	6	0.8	150.8
160	7	2.6	162.6
170	8	4.4	174.4
180	9	6.2	186.2

การวิเคราะห์ผล

จากการทำงานของมอเตอร์เมื่อได้รับแรงดัน 12 V จากแบตเตอรี่ จะทำให้มอเตอร์ของระบบเครื่องติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแนวแกนอะซิมุททำงาน และให้ค่าแรงดันขาออกเป็นจำนวนพัลส์ที่เอ็นโค้ดเดอร์นับได้ เพื่อนำมาหาค่ามุมจากสมการที่ 4.26

$$\alpha = \frac{P}{PPR} \times 180 \quad (4.26)$$

จะได้

$$\alpha = \frac{P}{100} \times 180 \quad (4.27)$$

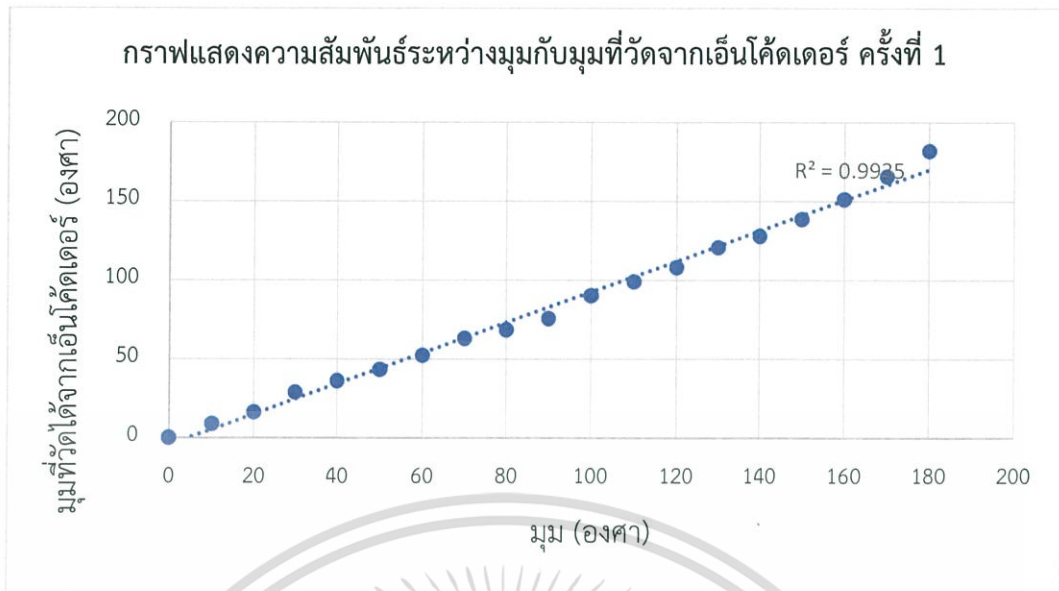
เมื่อ P คือ จำนวนพัลส์ของเอ็นโค้ดเดอร์

ตัวอย่างการคำนวณจากสมการที่ 4.27

$$\alpha = \frac{P}{100} \times 180$$

$$\alpha = \frac{5}{100} \times 180$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $\alpha = 9$ องศา
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับมุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ ครั้งที่ 1

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงผลมุมการเคลื่อนที่ในแนวแกนอะซิมุต ครั้งที่ 2

มุม (x)	Pulse	Error	มุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ (y)
0	0	0	0
10	6	0.8	10.8
20	5	1	19
30	8	4.4	34.4
40	6	0.8	40.8
50	4	2.8	47.2
60	7	2.6	62.6
70	4	2.8	67.2
80	5	1	79
90	5	1	89
100	6	0.8	100.8
110	6	0.8	110.8
120	6	0.8	120.8
130	7	2.6	132.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงผลมุมการเคลื่อนที่ในแนวแกนอะซิมุต ครั้งที่ 2 (ต่อ)

มุม (x)	Pulse	Error	มุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ (y)
140	8	4.4	144.4
150	5	1	149
160	6	0.8	160.8
170	7	2.6	172.6
180	10	8	188

การวิเคราะห์ผล

จากการทำงานของมอเตอร์เมื่อได้รับแรงดัน 12 V จากแบตเตอรี่ จะทำให้มอเตอร์ของระบบเครื่องติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแนวแกน X ทำงาน และให้ค่าแรงดันขาออกเป็นจำนวนพัลส์ที่เอ็นโค้ดเดอร์นับได้ เพื่อนำมาหาค่ามุมจากสมการที่ 4.28

$$\alpha = \frac{P}{PPR} \times 180 \quad (4.28)$$

จะได้

$$\alpha = \frac{P}{100} \times 180 \quad (4.29)$$

เมื่อ P คือ จำนวนพัลส์ของเอ็นโค้ดเดอร์

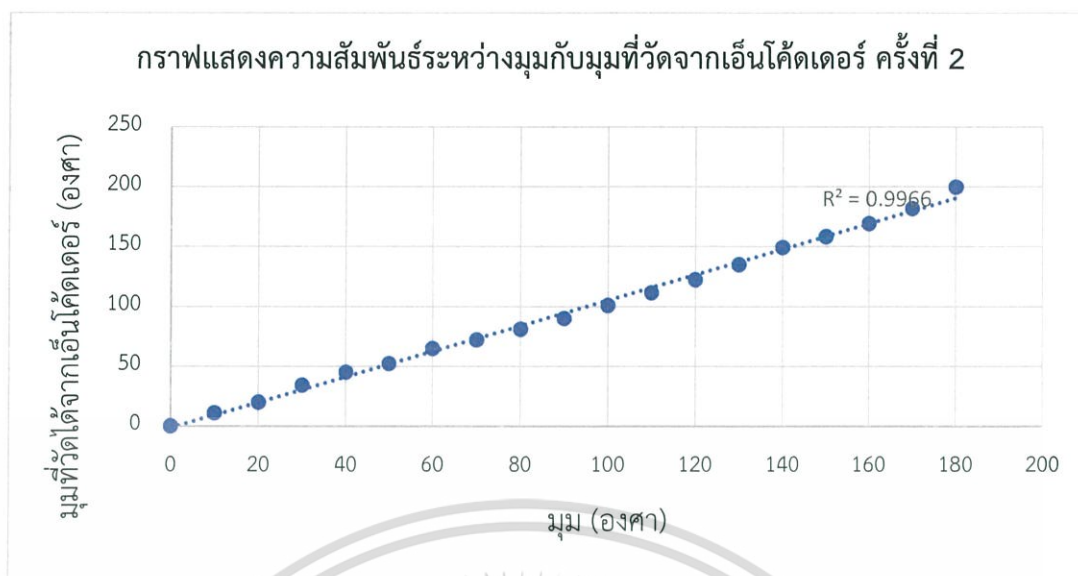
ตัวอย่างการคำนวณจากสมการที่ 4.29

$$\alpha = \frac{P}{100} \times 180$$

$$\alpha = \frac{6}{100} \times 180$$

$$\alpha = 10.8 \text{ องศา}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับมุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ ครั้งที่ 2

ตารางที่ 4.16 ตารางแสดงผลมุมการเคลื่อนที่ในแนวแกนอะซิมุต ครั้งที่ 3

มุม (x)	Pulse	Error	มุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ (y)
0	0	0	0
10	5	1	9
20	8	4.4	24.4
30	7	2.6	32.6
40	5	1	39
50	6	0.8	50.8
60	3	4.6	55.4
70	6	0.8	70.8
80	6	0.8	80.8
90	4	2.8	87.2
100	7	2.6	102.6
110	5	1	109
120	7	2.6	122.6
130	6	0.8	130.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ตารางแสดงผลมุมการเคลื่อนที่ในแนวแกนอะซิมุต ครั้งที่ 3 (ต่อ)

มุม (x)	Pulse	Error	มุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ (y)
140	5	1	139
150	7	2.6	152.6
160	9	6.2	166.2
170	6	0.8	170.8
180	10	8	188

การวิเคราะห์ผล

จากการทำงานของมอเตอร์เมื่อได้รับแรงดัน 12 V จากแบตเตอรี่ จะทำให้มอเตอร์ของระบบเครื่องติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแนวแกนอะซิมุตทำงาน และให้ค่าแรงดันขาออกเป็นจำนวนพัลส์ที่เอ็นโค้ดเดอร์นับได้ เพื่อนำมาหาค่ามุมจากสมการที่ 4.30

$$\alpha = \frac{P}{PPR} \times 180 \quad (4.30)$$

จะได้

$$\alpha = \frac{P}{100} \times 180 \quad (4.31)$$

เมื่อ P คือ จำนวนพัลส์ของเอ็นโค้ดเดอร์

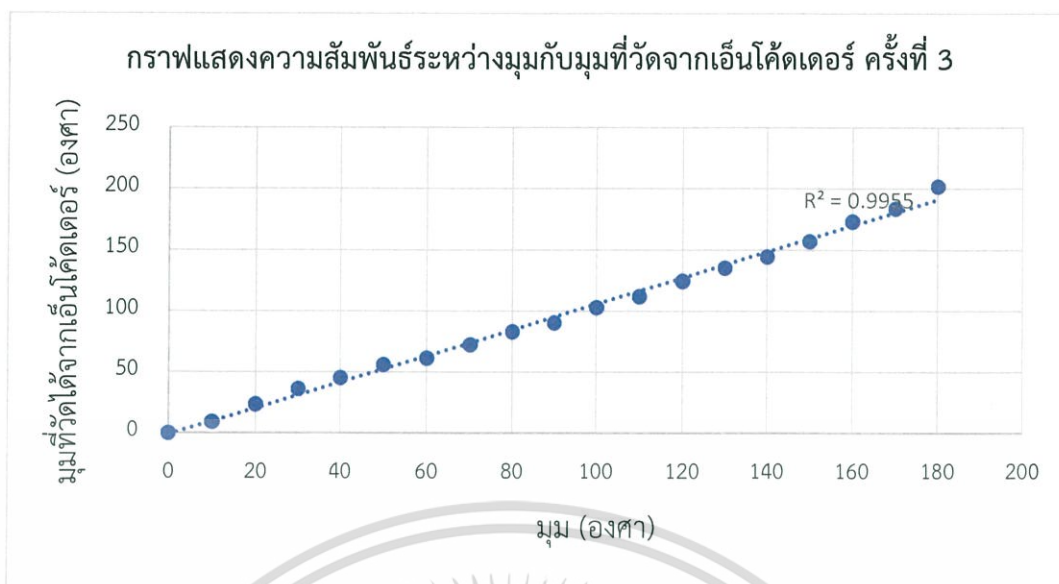
ตัวอย่างการคำนวณจากสมการที่ 4.31

$$\alpha = \frac{P}{100} \times 180$$

$$\alpha = \frac{5}{100} \times 180$$

$$\alpha = 9 \text{ องศา}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับมุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ ครั้งที่ 3

4.3.2 การทดสอบมุมการเคลื่อนที่โดยใช้ลูกดิ่งชี้ไปที่มุมอ้างอิง

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1. เครื่องระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบจางานพาราโบลิก
2. อุปกรณ์วัดมุมองศา
3. ลูกดิ่ง

ขั้นตอนการทดสอบ

1. สร้างเครื่องวงกลมขนาดรัศมี 70 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องมือวัดองศาเป็นจุดศูนย์กลางในการสร้างเครื่องวงกลม ซึ่งภายในเครื่องวงกลมให้สร้างเส้นโดยเริ่มจาก 0 องศา ห่างกันเส้นละ 10 องศา จนครบ 180 องศา
2. นำเครื่องระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์มาตั้งตรงจุดศูนย์กลางของเครื่องวงกลมที่สร้างขึ้น ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ที่ละ 10 องศาโดยสังเกตมุมการเคลื่อนที่จากลูกดิ่ง
3. อ่านค่าจำนวนพัลส์ของเอ็นโค้ดเดอร์ที่อ่านได้จากโปรแกรม Arduino และนำค่าจำนวนพัลส์ไปคำนวณหาค่ามุมดังสมการที่ 4.32

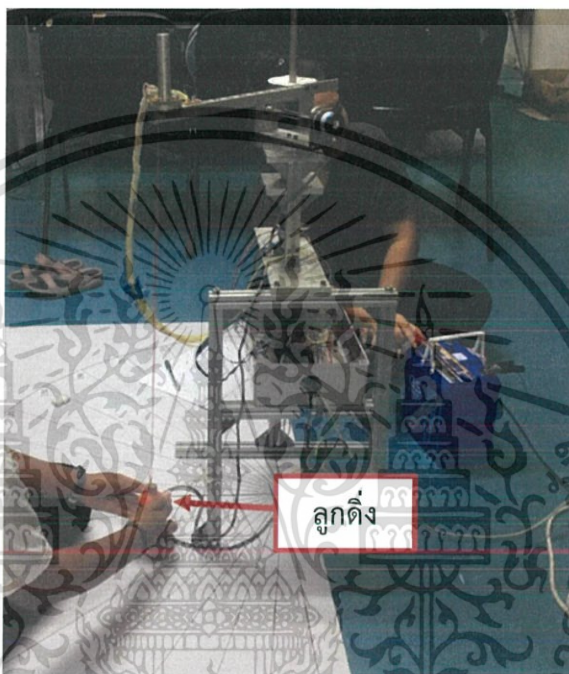
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ได้ (4.32) ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย α คือ มุมการหมุนของมอเตอร์

P คือ จำนวนพัลส์ของเอ็นโค้ดเดอร์

PPR คือ Pulse Per Resolution จำนวนพัลส์ที่ Rotary encoder สามารถจ่ายได้

4. บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง



รูปที่ 4.33 แสดงการทดสอบมุมการเคลื่อนที่ของจานพาราโบลาโดยใช้ลูกดึงขึ้นไปที่มีมุมอ้างอิง

ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงผลมุมการเคลื่อนที่ในแนวแกนอะซิมุต ครั้งที่ 1

มุม (x)	Pulse	Error	มุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ (y)
0	0	0	0
10	5	1	9
20	6	0.8	20.8
30	7	2.6	32.6
40	6	0.8	40.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงผลมุมการเคลื่อนที่ในแนวแกนอะซิมุท ครั้งที่ 1 (ต่อ)

มุม (x)	Pulse	Error	มุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ (y)
50	7	2.6	52.6
60	7	2.6	62.6
70	7	2.6	72.6
80	6	0.8	80.8
90	6	0.8	90.8
100	6	0.8	100.8
110	6	0.8	110.8
120	7	2.6	122.6
130	6	0.8	130.8
140	6	0.8	140.8
150	6	0.8	150.8
160	6	0.8	160.8
170	6	0.8	170.8
180	7	2.6	182.6

การวิเคราะห์ผล

จากการทำงานของมอเตอร์เมื่อได้รับแรงดัน 12 V จากแบตเตอรี่ จะทำให้มอเตอร์ของระบบเครื่องติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแนวแกนอะซิมุททำงาน และให้ค่าแรงดันขาออกเป็นจำนวนพัลส์ที่เอ็นโค้ดเดอร์นับได้ เพื่อนำมาหาค่ามุมจากสมการที่ 4.33

$$\alpha = \frac{P}{PPR} \times 180 \quad (4.33)$$

จะได้

$$\alpha = \frac{P}{100} \times 180 \quad (4.34)$$

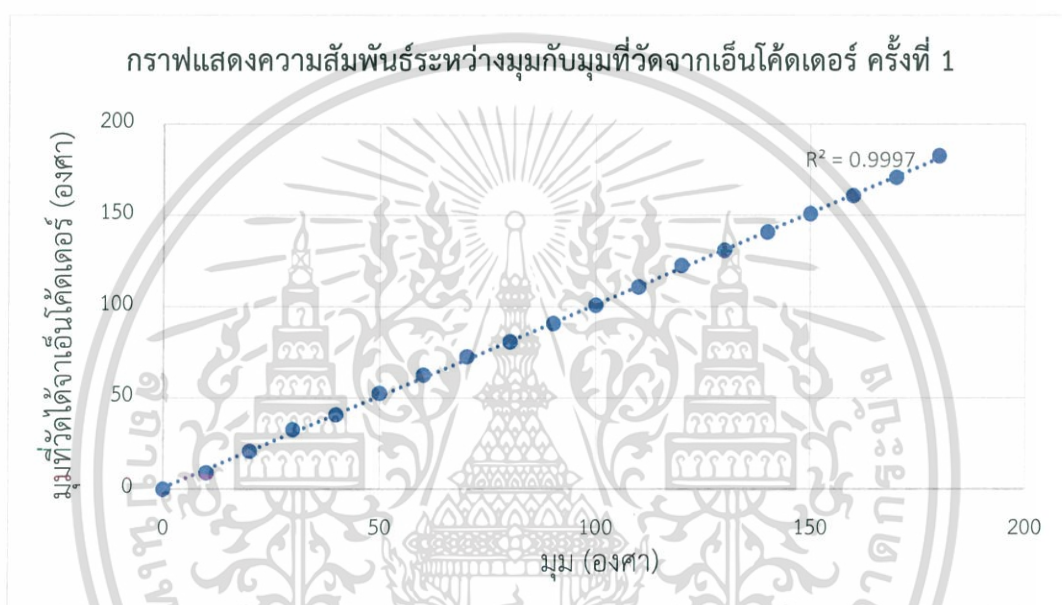
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เมื่อ P คือ จำนวนพัลส์ของเอ็นโค้ดเดอร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณจากสมการที่ 4.34

$$\alpha = \frac{P}{100} \times 180$$

$$\alpha = \frac{5}{100} \times 180$$

$$\alpha = 9 \text{ องศา}$$



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับมุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ ครั้งที่ 1

ตารางที่ 4.18 ตารางแสดงผลมุมการเคลื่อนที่ในแนวแกนอะซิมุต ครั้งที่ 2

มุม (x)	Pulse	Error	มุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ (y)
0	0	0	0
10	6	0.8	10.8
20	7	2.6	22.6
30	5	1	29
40	5	1	39
50	6	0.8	50.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 ตารางแสดงผลมุมการเคลื่อนที่ในแนวแกนอะซิมุต ครั้งที่ 2 (ต่อ)

มุม (x)	Pulse	Error	มุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ (y)
60	6	0.8	60.8
70	6	0.8	70.8
80	5	1	79
90	5	1	89
100	5	1	99
110	6	0.8	110.8
120	6	0.8	120.8
130	6	0.8	130.8
140	6	0.8	140.8
150	6	0.8	150.8
160	6	0.8	160.8
170	6	0.8	170.8
180	6	0.8	180.8

การวิเคราะห์ผล

จากการทำงานของมอเตอร์เมื่อได้รับแรงดัน 12 V จากแบตเตอรี่ จะทำให้มอเตอร์ของระบบเครื่องติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแนวแกนอะซิมุตทำงาน และให้ค่าแรงดันขาออกเป็นจำนวนพัลส์ที่เอ็นโค้ดเดอร์นับได้ เพื่อนำมาหาค่ามุมจากสมการที่ 4.35

$$\alpha = \frac{P}{PPR} \times 180 \quad (4.35)$$

จะได้

$$\alpha = \frac{P}{100} \times 180 \quad (4.36)$$

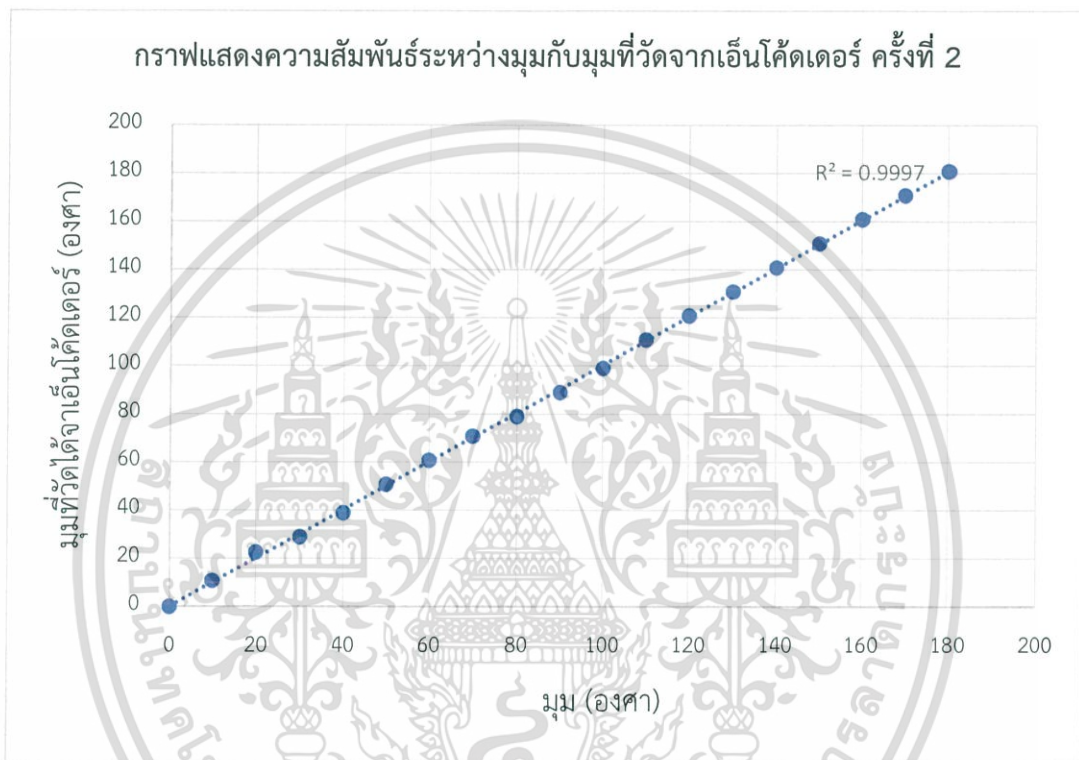
เมื่อ P คือ จำนวนพัลส์ของเอ็นโค้ดเดอร์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณจากสมการที่ 4.36

$$\alpha = \frac{P}{100} \times 180$$

$$\alpha = \frac{6}{100} \times 180$$

$$\alpha = 10.8 \text{ องศา}$$



รูปที่ 4.35 กราฟแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับมุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ ครั้งที่ 2

ตารางที่ 4.19 ตารางแสดงผลมุมการเคลื่อนที่ในแนวแกนอะซิมุต ครั้งที่ 3

มุม (x)	Pulse	Error	มุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ (y)
0	0	0	0
10	6	0.8	10.8
20	6	0.8	20.8
30	7	2.6	32.6
40	6	0.8	40.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 ตารางแสดงผลมุมการเคลื่อนที่ในแนวแกนอะซิมุต ครั้งที่ 3 (ต่อ)

มุม (x)	Pulse	Error	มุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ (y)
50	6	0.8	50.8
60	5	1	59
70	5	1	69
80	6	0.8	80.8
90	6	0.8	90.8
100	6	0.8	100.8
110	7	2.6	112.6
120	5	1	119
130	6	0.8	130.8
140	7	2.6	142.6
150	6	0.8	150.8
160	6	0.8	160.8
170	6	0.8	170.8
180	6	0.8	180.8

การวิเคราะห์ผล

จากการทำงานของมอเตอร์เมื่อได้รับแรงดัน 12 V จากแบตเตอรี่ จะทำให้มอเตอร์ของระบบเครื่องติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแนวแกนอะซิมุต ทำงาน และให้ค่าแรงดันขาออกเป็นจำนวนพัลส์ที่เอ็นโค้ดเดอร์นับได้ เพื่อนำมาหาค่ามุมจากสมการที่ 4.37

$$\alpha = \frac{P}{PPR} \times 180 \quad (4.37)$$

จะได้

$$\alpha = \frac{P}{100} \times 180 \quad (4.38)$$

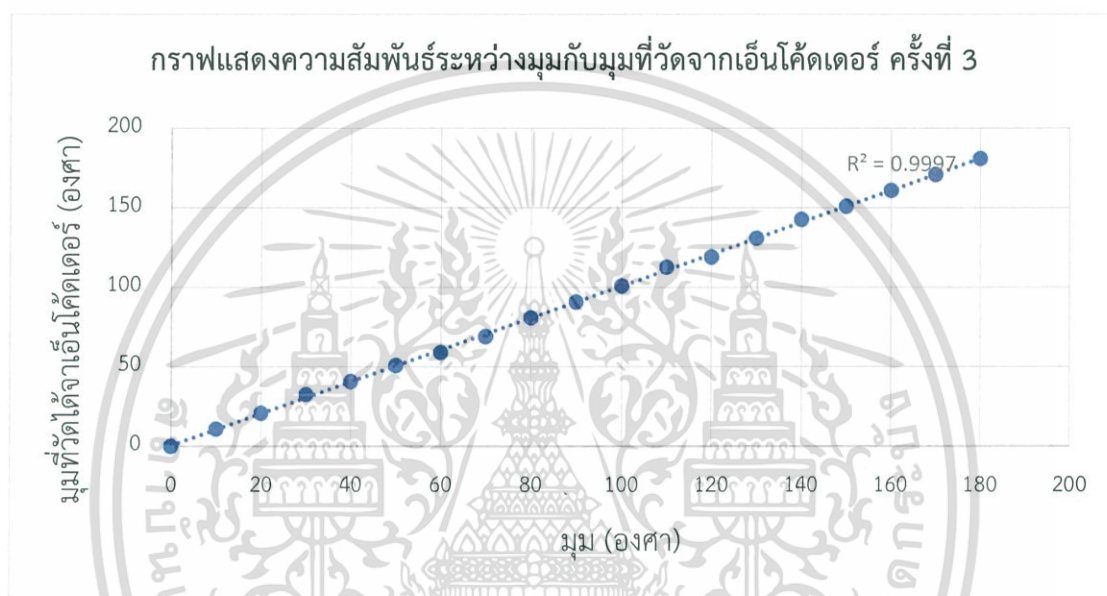
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เมื่อ P คือ จำนวนพัลส์ของเอ็นโค้ดเดอร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณจากสมการที่ 4.38

$$\alpha = \frac{P}{100} \times 180$$

$$\alpha = \frac{6}{100} \times 180$$

$$\alpha = 10.8 \text{ องศา}$$



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับมุมที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัย

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาชุดควบคุมของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบงานพาราโบลิก ซึ่งการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 ตอนด้วยกันคือ การทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของโมดูลเซนเซอร์ (LDR) ทั้ง 8 ตัว การทดสอบมุมการเคลื่อนที่ของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบงานพาราโบลิกในแนวแกนอะซิมุต จากผลการทดลองสรุปได้ว่า

การทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ เป็นการทดสอบชุดอุปกรณ์ควบคุมก่อนนำมาใช้งานกับระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ซึ่งพบว่ามอเตอร์ที่ใช้ได้มีประสิทธิภาพลดลงเนื่องจากไม่ได้ใช้มาเป็นเวลานานส่งผลให้มอเตอร์ร้อนในขณะทำงาน จึงแก้ปัญหาให้มอเตอร์ไม่ร้อนในขณะทำงานโดยการใส่จาระบีเข้าไปในเฟืองของมอเตอร์ อุปกรณ์ตัวต่อมาได้ทดสอบบอร์ด Drive Motor L298N ซึ่งพบว่าบอร์ด Drive Motor L298N ใช้งานได้ปกติตามคุณสมบัติของบอร์ด Drive Motor L298N ตัวต่อมา Module Sensor LDR ทั้ง 8 ตัว ซึ่งพบว่า Module Sensor LDR บางตัวรับค่าแสงได้ไม่เท่ากันในบริเวณที่มีแหล่งกำเนิดแสงเดียวกัน จึงแก้ปัญหาโดยการสร้าง Module Sensor LDR ขึ้นใหม่ ทำให้ Module Sensor LDR รับแสงได้ใกล้เคียงกันมากขึ้นกว่าเดิม ตัวต่อมาได้ทดสอบ Limit Switch พบว่ามี Limit Switch 1 ตัวที่ใช้งานไม่ได้จึงต้องทำการเปลี่ยนตัวใหม่

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของโมดูลเซนเซอร์ (LDR) ทั้ง 8 ตัว เป็นการทดสอบแรงดันของเซนเซอร์แต่ละตัวในโมดูลเซนเซอร์ ซึ่งการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ทดสอบโดยไม่มีแหล่งกำเนิดแสง ทดสอบโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์ พบว่าทดสอบทั้ง 2 แบบนี้ เมื่อเซนเซอร์แสงแต่ละตัวไม่ได้รับแสงค่าความต้านทานจะเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้แรงดันเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันเมื่อได้รับแสงค่าความต้านทานจะลดลงส่งผลให้แรงดันลดลง จากการทดสอบในขณะไม่มีแสงแรงดันขาออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.97 V และในขณะที่ได้รับแสงสปอร์ตไลท์แรงดันขาออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.87 V

การทดสอบมุมการเคลื่อนที่ของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบงานพาราโบลิกในแนวแกนอะซิมุต แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ทดสอบมุมการเคลื่อนที่โดยใช้เลเซอร์และลูกดิ่งชี้ไปที่มุมอ้างอิง ผลการทดสอบพบว่า การทดสอบมุมการเคลื่อนที่โดยใช้เลเซอร์ชี้ไปที่มุมอ้างอิงมีค่าความคลาดเคลื่อน 2.41° การทดสอบมุมการเคลื่อนที่โดยใช้ลูกดิ่งชี้ไปที่มุมอ้างอิงมีค่าความคลาดเคลื่อน 1.17° ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

° ซึ่งการทดสอบมุมการเคลื่อนที่โดยใช้ลูกดิ่งชี้ไปที่มุมอ้างอิงมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าแบบที่ทดสอบมุมการเคลื่อนที่โดยใช้เลเซอร์ชี้ไปที่มุมอ้างอิง เนื่องจากลูกดิ่งมีน้ำหนักทำให้แกว่งน้อยกว่าเลเซอร์เมื่อแกนมอเตอร์มีการเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงถือว่าชุดควบคุมของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์มีความคลาดเคลื่อน $\pm 2.5^\circ$

ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบงานพาราโบลิกนี้ยังมีข้อบกพร่องของอุปกรณ์ทำให้ระบบไม่มีความแม่นยำจึงยังไม่สามารถนำไปใช้งานจริงได้ ดังนั้นระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบงานพาราโบลิกนี้ต้องมีการพัฒนาระบบต่อไปในอนาคตเพื่อให้ระบบมีความแม่นยำสูงขึ้นและสามารถนำไปใช้งานจริงได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเปลี่ยนชุดควบคุมของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เนื่องจากอุปกรณ์นี้ใช้งานมานานทำให้มีประสิทธิภาพการทำงานลดลง
2. ควรเปลี่ยนมอเตอร์ที่ใช้งานจาก DC Motor เป็น Servo Motor เพราะ Servo Motor สามารถควบคุมความเร็ว แรงบิด และการหมุนของมอเตอร์ได้ ซึ่งมีความแม่นยำสูงกว่า DC Motor
3. การติดตั้ง LDR จะต้องติดตั้งให้เท่ากันและต้องทำให้เอียงน้อยที่สุดเพื่อให้มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตติพิศ เจียรวัฒนากุล. 2559. “ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบงานพาราโบลิคไฮบริดโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA2560.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] ภาพิมล ตั้งทอง และ วัชร ศรีสมวงษ์. 2556. “การศึกษาและสร้างระบบงานรวมแสงพาราโบลิค.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] กมลชนก ดีเมฆ, กิตติพิศ เจียรวัฒนากุล และ ชยุต เบี้ยแก้วกระจ่าง. 2556. “การศึกษา ระบบติดตามดวงอาทิตย์.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] Tawun Chuaychucru. 2559. การใช้งาน L298N motor drive. [Online]. Available : <http://gamerbloggerport.blogspot.com/2017/09/l298n-motor-drive.html>
- [5] วิศรุต ศรีรัตน์. 2554. เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ในงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : ซี-เอ็ดดูเคชั่น.
- [6] Parthipan. Ja, Nagalingeswara Raju. B, Senthilkumar S. 2016. “Design of One Axis Three Position Solar Tracking System for Paraboloidal Dish Solar Collector.”—Department of Mechanical Engineering, Sathyabama University, Chennai, 600119, Tamilnadu, India. and VelTech Engineering College, Avadi, Chennai, Tamilnadu, India.
- [7] Fábio Moacir Hoffmann, Rolf-Fredi Molz, João Victor Kothe, Elpidio Oscar Benitez Nara, Leonel Pablo Carvalho Tedesco. 2018. “Monthly Profile Analysis Based on a Two-Axis Solar Tracker Proposal for Photovoltaic Panels” Post Graduate Program in Systems and Industrial Processes, University of Santa Cruz do Sul, Brazil.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยระบบควบคุมโมดูลเซ็นเซอร์แบบใหม่

Solar Tracking to Control with New Sensor Module System

ผู้วิจัย นาย กิตติพิศ เจียรวัฒนานุกุล, รศ. สาหรัย เล็กชะอุ่ม

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้พวกเราได้ออกแบบและสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยโมดูลเซ็นเซอร์แบบใหม่ที่สร้างด้วยตัวต้านทานไวแสง (LDR) ขนาด 5 มิลลิเมตร 8 ตัว เพื่อติดตามตำแหน่งมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดโดยทำการปรับเทียบตำแหน่งด้วยเข็มทิศสำหรับระบบติดตามเคลื่อนที่ไปทางทิศเหนือทุกครั้ง และใช้สมการ NOAA คำนวณตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ มุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดที่ตำแหน่งละติจูด 13.72812° และลองจิจูด 100.780125° ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพฯ เพื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดจากการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

ผลการทดสอบพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดจากระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่ควบคุมด้วยโมดูลเซ็นเซอร์แบบใหม่เมื่อเทียบกับสมการคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์ (NOAA) มีค่าไม่เกิน ± 2 องศา ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสมการ NOAA ดังนั้นจึงถือว่าระบบมีความแม่นยำในการติดตามดวงอาทิตย์สูง และการนำระบบนี้ไปใช้งานในการรวมความร้อนจะต้องกำหนดตำแหน่งละติจูดและ ลองจิจูด ณ ตำแหน่งนั้นๆ เพื่อให้ได้ความแม่นยำของระบบติดตามสูงสุด

คำสำคัญ : ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์, มุมอะซิมุท, มุมอัลติจูด, สมการ NOAA

Abstract

In this article, we design and construct the solar tracking system with new sensor module. We made it from 8 LDR sensor has a scale of 5 millimeter for tracking the azimuth and altitude angle. We use the compass for checking the default setting for solar tracking system by setting at the North and we use the NOAA eq. to calculate of the azimuth and altitude angle of the sun movement at latitude 13.72812° and longitude 100.780125° of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok. We compare the tolerance of the azimuth and altitude from the solar motion. Our experimental result is tolerance of the azimuth and altitude angle from our solar tracking to control with a new sensor module and compare with NOAA eq. will be less than $\pm 2^\circ$ that is acceptable for NOAA eq. Therefore, this system is high

accuracy for tracking the sun and we can apply this system to collect heat so that will use latitude and longitude to these identify for a high accuracy of solar tracking.

Key Word (s): Solar tracking system, azimuth angle, altitude angle, NOAA equation.

บทนำ

เนื่องจากการรวมความร้อนจากรังสีอาทิตย์ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบจานพาราโบลาในปัจจุบันนิยมใช้ระบบโมดูลเซ็นเซอร์ในการควบคุมการหาตำแหน่งดวงอาทิตย์[1-3] ซึ่งใช้เซ็นเซอร์แสง 1 ตัว ต่อ 1 ทิศทาง รวมทั้งหมด 4 ทิศทาง ดังนั้น หากเซ็นเซอร์เกิดชำรุดเสียหายจะทำให้ระบบไม่สามารถติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ต่อไปได้หรือขีดจำกัดของมุมการรับแสงของเซ็นเซอร์ 1 ตัว มีช่วงมุมการรับแสงไม่เกิน 60 องศา ที่กระแส 100 มิลลิแอมป์ ขนาด 5 มิลลิเมตร จึงเกิดความไม่ต่อเนื่องในการติดตามดวงอาทิตย์และส่งผลให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนของมุมอะซิมุทและอัลติจูดของระบบสูงขึ้น นอกจากนี้หากนำเซ็นเซอร์แสง LDR ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร จะทำให้ใช้พลังงานสูงขึ้น

หลักการการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จะอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าของแต่ละวันด้วยวิธีการระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในระบบเส้นขอบฟ้า (Horizon System) จากค่ามุมอัลติจูด และมุมอะซิมุทที่ดวงอาทิตย์กระทำต่อผิวโลก [4-6] ในขณะเวลาเดียวกันการหาค่ามุมอัลติจูด และมุมอะซิมุทจะแตกต่างกันตามตำแหน่งเส้นละติจูดของผู้สังเกตเห็นดวงอาทิตย์ในงานวิจัยนี้มีความสนใจหาค่ามุมอัลติจูด และมุมอะซิมุท ณ ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพฯ โดยจะมีการออกแบบและสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยระบบควบคุมโมดูลเซ็นเซอร์แบบใหม่ซึ่งใช้เซ็นเซอร์แสง 3 ตัวขนาด 5 มิลลิเมตร ต่อ 1 ทิศทาง รวมทั้งหมด 4 ทิศทาง จะทำให้ประหยัดพลังงานมากกว่าการนำเซ็นเซอร์ LDR ขนาดใหญ่มากกว่า 5 มิลลิเมตร มาใช้งาน หากเซ็นเซอร์แสงตัวใดชำรุดระบบก็ยังสามารถติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ต่อไปได้ และการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยอาศัยสมการ NOAA[7] ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรที่สำคัญคือ เวลา มุมชั่วโมง การเอียงของแกนหมุนของโลก ตำแหน่งเส้นลองจิจูด และตำแหน่งเส้นละติจูด ซึ่งการทดสอบหาค่าความคลาดของมุมอะซิมุทและ มุมอัลติจูดจากระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เมื่อเปรียบเทียบกับโมดูลเซ็นเซอร์แบบใหม่กับสมการ NOAA จะต้องมีค่ามุมอะซิมุทและ มุมอัลติจูดไม่ควรเกิน ± 2 องศา จึงจะเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ในการรวมความร้อน[8] หรือ ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการหาตำแหน่งและเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์บนผิวโลกแต่ละวันใน 1 ปี
2. เพื่อศึกษาออกแบบและสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยระบบเซ็นเซอร์แนวใหม่
3. เพื่อทดสอบและวิเคราะห์หาค่าความแม่นยำของระบบการติดตามตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยระบบเซ็นเซอร์แนวใหม่โดยเปรียบเทียบค่ามุมอะซิมุทและ มุมอัลติจูดของระบบด้วยสมการ NOAA

วิธีการวิจัย

การออกแบบและสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยระบบโมดูลเซ็นเซอร์แบบใหม่นี้ ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้ 1. ส่วนโครงสร้างทางกลของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ 2. ส่วนระบบโมดูลเซ็นเซอร์ ซึ่งในส่วนที่สองนี้จะกล่าวรวมถึงการควบคุมการทำงานของระบบ โดยในการทดสอบระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยระบบโมดูลเซ็นเซอร์แบบใหม่นี้ จะใช้สมการคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์ของ NOAA เป็นทฤษฎีในการอ้างอิงค่ามุมอะซิมุทและมุมอัลติจูด เพื่อนำค่ามุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดที่วัดจากระบบติดตามการเคลื่อนที่ดวงอาทิตย์เปรียบเทียบบหาความแม่นยำของระบบติดตามการเคลื่อนที่ดวงอาทิตย์ด้วยโมดูลเซ็นเซอร์แบบใหม่

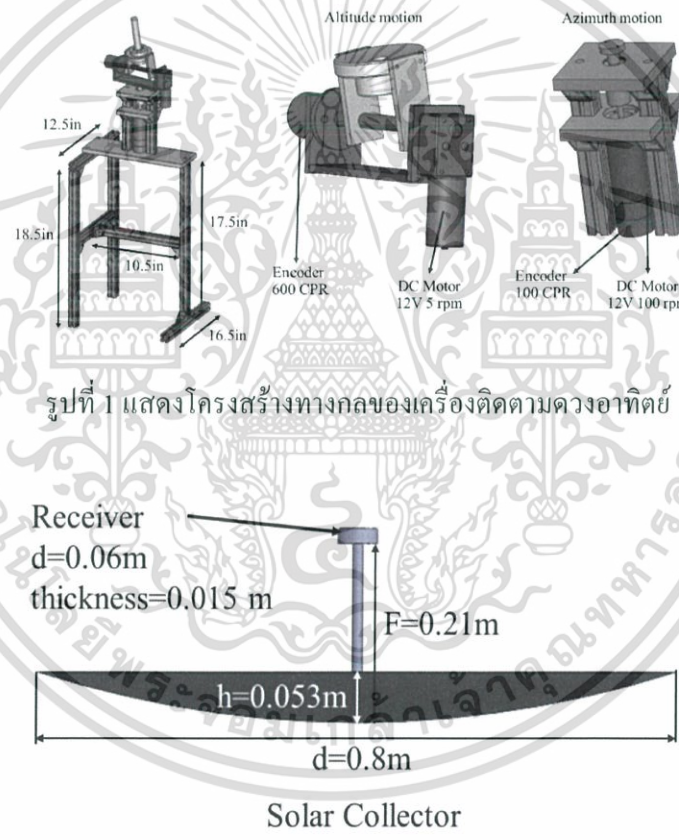
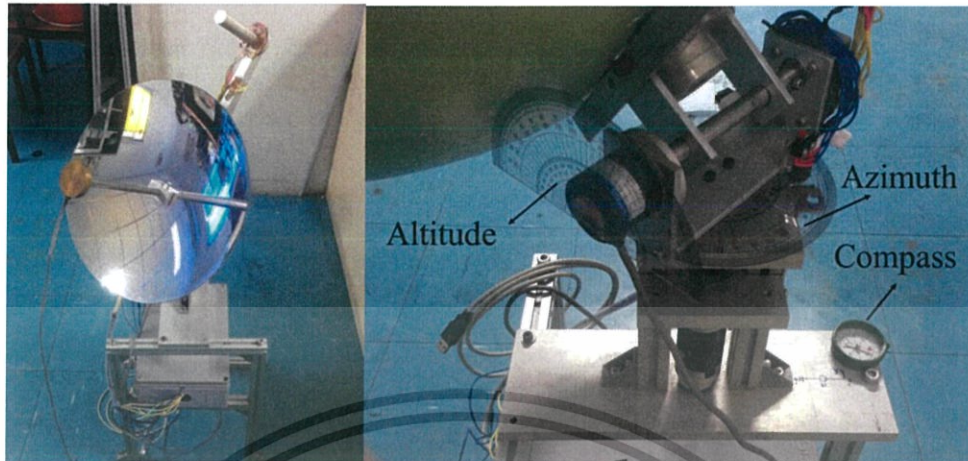
1. โครงสร้างทางกลของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์

โครงสร้างทางกลของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์หมายถึงอุปกรณ์ที่ประกอบขึ้นเป็นระบบของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ 1. ส่วนเคลื่อนที่แนวอะซิมุท 2. ส่วนเคลื่อนที่แนวอัลติจูด ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 1 และตารางที่ 1 ในการออกแบบและสร้างชุดตัวรับและตัวรวมความร้อนของระบบติดตามดวงอาทิตย์มีรายละเอียดดังรูปที่ 2 ซึ่งตัวรับความร้อนนี้ทำจากวัสดุทองเหลืองและตัวรวมความร้อนทำจากพลาสติกที่เคลือบผิวหน้าการสะท้อนด้วยปรอท

ตารางที่ 1 แสดงโครงสร้างทางกลของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์

ส่วนเคลื่อนที่แนวมุม	รายละเอียดของมอเตอร์	รายละเอียดของเอ็นโค้ดเดอร์
อัลติจูด	12 Volt 5 rpm	12 Volt 600 CPR
อะซิมุท	12 Volt 100 rpm	12 Volt 100 CPR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างทางกลของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์

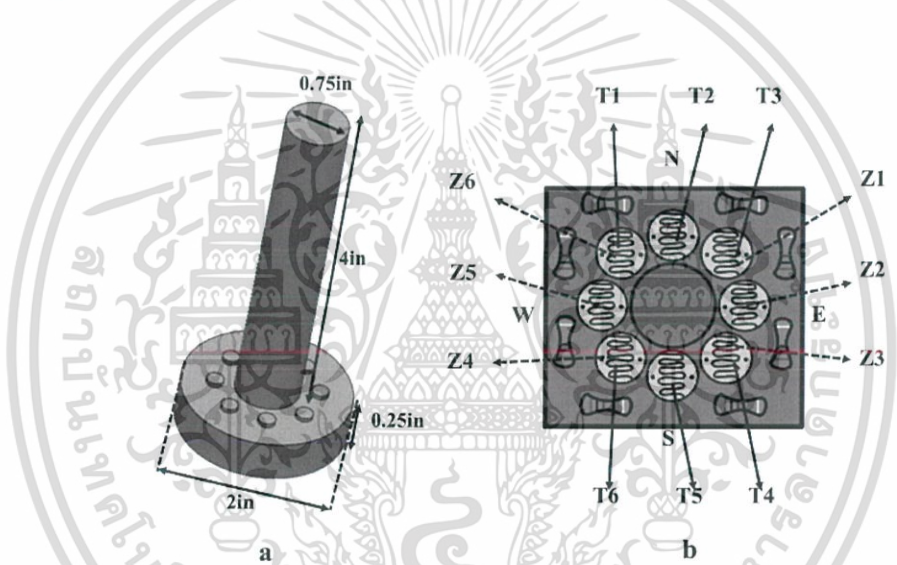
รูปที่ 2 แสดงชุดตัวรับและตัวรวมความร้อน

2. ระบบโมดูลเซ็นเซอร์ (SM)

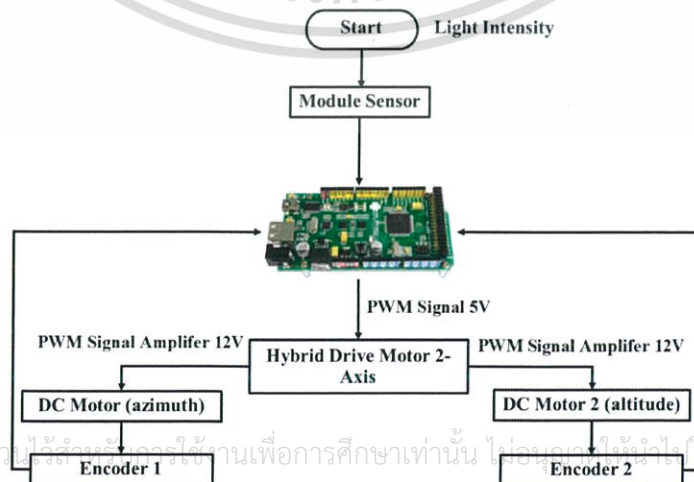
งานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวต้านทานไวแสง (Light Dependent Resistor : LDR) เป็นอุปกรณ์ตรวจจับความเข้มแสงสูงสุดมีมุมรับแสงประมาณ 60 องศา ซึ่งการจัดวางตำแหน่งในลักษณะนี้จะช่วยเพิ่มมุมในการรับแสงของทุกตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ไปตามมุมอัลติจูด และมุมอะซิมูทได้อย่างแม่นยำ LDR จะออกแบบอาศัยหลักการบังเงาแบ่ง ดังรูปที่ 3a กล่าวคือ เมื่อรังสีดวงขนานกับแท่งลูมิเนียม LDR ทั้ง 6 ในแนวอัลติจูด $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$ จะได้รับความเข้มแสงสูงสุดทั้งหมดจะกำหนดเป็นสภาวะ ON และให้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดได้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

ลอจิกเป็น 1 ส่วน LDR ตัว $Z_1Z_2Z_3Z_4Z_5Z_6$ ไม่ได้รับแสงจะกำหนดเป็นสถานะ OFF และเป็นลอจิก 0 ในทำนองเดียวกันในแนวอะซิมุท LDR ตัว $Z_1Z_2Z_3Z_4Z_5Z_6$ จะเป็นสถานะ ON แต่ $T_1T_2T_3T_4T_5T_6$ จะเป็นสถานะ OFF ดังรูปที่ 3b แล้วป้อนเข้าสู่ไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อใช้ในการประมวลผลค่าแรงดันจากแอนะล็อก 0-5 V เป็นตัวเลขดิจิทัล 0-1023 หรือ ขนาด 10 bit ดังนั้น ค่าความเข้มแสงสูงสุดที่แปลงเป็นตัวเลขดิจิทัล ณ เวลาต่างๆตลอดวัน (ขณะสภาพอากาศปลอดโปร่ง) อยู่ที่ 700-980 ซึ่งตัวเลขนี้จะใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวอะซิมุทและการเคลื่อนที่แนวอัลติจูดด้วยดีซีเซอร์โวมอเตอร์ 2 ตัว โดยใช้เอ็นโค้ดเดอร์เป็นตัวตรวจสอบตำแหน่งการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ของทั้งสองแนวการเคลื่อนที่ ทั้งนี้เพื่อเป็นระบบป้อนกลับของตำแหน่งมอเตอร์ ดังรูปที่ 4 และอ่านค่ามุมอะซิมุทและอัลติจูดได้จากเครื่องมือวัดองศาที่ติดอยู่กับแกนมอเตอร์ของทั้งสองแนวการเคลื่อนที่



รูปที่ 3a. แสดงอุปกรณ์ตรวจจับรังสีอาทิตย์, 3b. แสดงอุปกรณ์ตรวจจับรังสีอาทิตย์แนวอัลติจูดและอะซิมุท

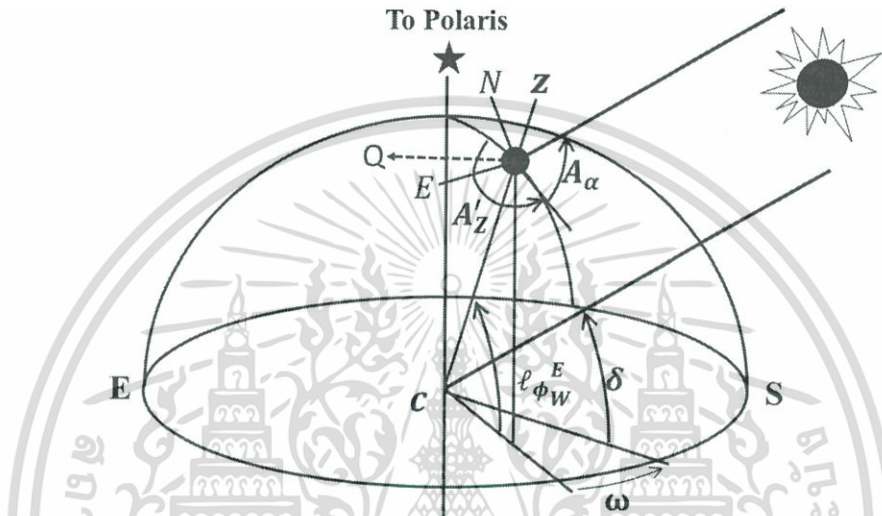


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังห้ามเผยแพร่ข้อมูลของงานวิจัยนี้แก่บุคคลภายนอกโดยไม่แจ้งชื่อผู้วิจัย
 รูปที่ 4 แสดงแผนภาพการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์

3. สมการคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์ [7]

3.1 สมการตำแหน่งอัลติจูด และตำแหน่งอะซิมุท

การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในระบบพิกัดเส้นขอบฟ้า ซึ่งอยู่ในเทอมของมุมอะซิมุท และมุมอัลติจูด จำเป็นต้องอาศัย ความสัมพันธ์ของเวลา มุมชั่วโมง (ω) มุมเดคลิเนชัน (δ) และ ตำแหน่งละติจูด ($\ell_{\phi W}^E$) ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงตำแหน่งอัลติจูด และตำแหน่งอะซิมุท

Latitude Angle ($\ell_{\phi W}^E$) คือ ค่าของมุมที่วัดเป็นองศาไปทางเหนือและทางใต้ของเส้นศูนย์สูตรข้างละ 90 องศา ดังรูปที่ 5

Altitude Angle (A_α) คือ มุมระหว่างพื้นราบกับแนวเส้นแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 5 สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ (1)

$$A_\alpha = \sin^{-1}(\sin \delta \sin \ell_{\phi W}^E + \cos \delta \cos \omega \cos \ell_{\phi W}^E) \quad (1)$$

A_α คือ Altitude Angle (องศา)

δ คือ Declination Angle (องศา)

$\ell_{\phi W}^E$ คือ Latitude Angle (องศา)

ω คือ Hour Angle (องศา)

Azimuth Angle (A_z) คือ มุมระหว่างระนาบแนวตั้งของดวงอาทิตย์และระนาบของเมอริเดียนท้องถิ่น มีค่าอยู่ในช่วง 0 องศา ถึง 180 องศา โดยกำหนดให้วัดจากทิศใต้ของระนาบแนวตั้งดวงอาทิตย์ไปทาง

ตะวันตกมีค่าเป็นบวกวัดไปทางตะวันออกมีค่าเป็นลบ และมีค่าเป็นศูนย์ที่ทิศใต้ ดังรูปที่ 5 สามารถ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
คำนวณได้จากสมการที่ (2)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_z' = \sin^{-1} \left(\frac{-\cos \delta \sin \omega}{\cos A_\alpha} \right) \quad (2)$$

โดยมีเงื่อนไขว่า ถ้า

$$\cos \omega \geq \left(\frac{\tan \delta}{\tan \phi} \right), \quad A_z = 180^\circ + A_z'$$

$$\cos \omega < \left(\frac{\tan \delta}{\tan \phi} \right), \quad A_z = 360^\circ + A_z'$$

3.2 สมการเวลา

การคำนวณเวลาในชีวิตประจำวัน และเหตุการณ์ต่างๆนั้นสามารถกำหนดได้จากเวลาสุริยคติ หรือดวงอาทิตย์เป็นจุดกำหนดเวลา เรียกสมการ (3) ว่าสมการเวลา

$$t_{EQT} = 60 \sum_{k=0}^5 \left[A_k \cos \left(\frac{360kn}{365.25} \right) + B_k \sin \left(\frac{360kn}{365.25} \right) \right] \quad (3)$$

t_{EQT} คือ Equation of time (minutes) สมการเวลาคำนวณได้จากสมการที่ (3)

เมื่อ n คือ จำนวนวันในรอบปี โดยที่ $n = 1$ ในวันที่ 1 มกราคม ค่าสัมประสิทธิ์ k

A_k และ B_k แสดงดังตารางที่ 2 [9]

ตารางที่ 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของ k A_k และ B_k

k	0	1	2	3	4	5
$A_k (hr) \times 10^{-3}$	0.20870	9.2869	-52.258	-1.3077	-2.1867	-0.15100
$B_k (hr) \times 10^{-3}$	0	-122.4	-156.98	-5.1602	-2.9823	-0.23463

3.3 มุมเดคลิเนชัน

มุมเดคลิเนชันเป็นผลกระทบจากการเอียงของแกนหมุนของโลก หาได้จากระยะทางเชิงมุมทางเหนือหรือใต้เส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าขึ้นหรือลงไปตามเส้นแนวรังสีจากดวงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 5 ขวา และหาค่ามุมเดคลิเนชันได้จากสมการที่ (4)

$$\sin \delta = \cos \left[(n-173) \frac{180^\circ}{182.6} \right] \sin(23.45^\circ) \quad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้ n เป็นจำนวนวันในรอบปี โดย $n = 1$ ในวันที่ 1 มกราคม

3.4 เวลาสุริยคติปรากฏ

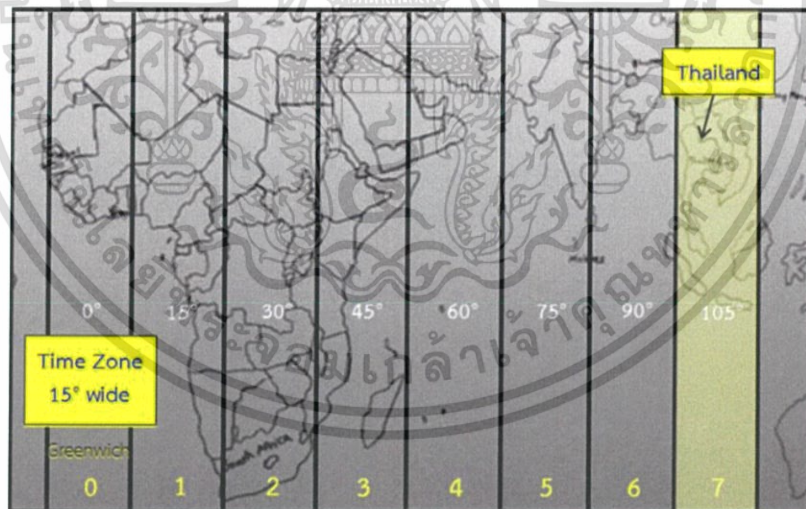
ในส่วนของการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะใช้เวลาสุริยคติปรากฏซึ่งก่อนนำไปคำนวณ จะต้องเปลี่ยนเวลาที่ท้องถิ่น (Local Clock Time, t_{LCT}) เป็นเวลาสุริยคติปรากฏและบวกด้วยค่าสมการเวลาก่อน ซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์ของสมการที่ (5)

$$T_{AST} = \frac{t_{EQT}}{60} + t_{LCT} - D_S \pm \frac{t_{ZW}^E \pm l_{\lambda_w}^E}{15} \quad (5)$$

T_{AST} คือ เวลาสุริยคติปรากฏ (ชั่วโมง)

t_{LCT} คือ เวลาท้องถิ่น (ชั่วโมง)

t_{ZW}^E คือ เขตเวลา (Time Zone) มีค่าเป็นบวกและลบที่เส้นลองจิจูดตะวันตก และเส้นลองจิจูดตะวันออกตามลำดับ โดยกำหนดจากเส้นลองจิจูดซึ่งอยู่ห่างกันช่องละ 15° เป็น 1 สำหรับงานวิจัยนี้เขตเวลาของประเทศไทยเป็น 7 ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงเขตเวลาของประเทศไทย

$l_{\lambda_w}^E$ คือ ตำแหน่งเส้นลองจิจูดของผู้สังเกต (องศา)

D_S คือ ค่าคงที่ ถ้าในท้องถิ่นที่มีผลจาก Daylight saving time ให้มีค่าเป็น 1 แต่ถ้าไม่มีผลให้มีค่าเป็น 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 มุมชั่วโมง

มุมชั่วโมงใช้บอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ โดยวัดจากเส้นเมริเดียนท้องฟ้าในทิศตามเข็มนาฬิกาไปตามเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าจนถึงวงกลมชั่วโมงที่ผ่านตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 5 เมื่อ Q เป็นตำแหน่งของผู้สังเกต และ $\ell_{\phi W}^E$ เป็นตำแหน่งละติจูด

$$\omega = 15(T_{AST} - 12) \quad (6)$$

T_{AST} คือ เวลาสุริยคติปรากฏ (ชั่วโมง)

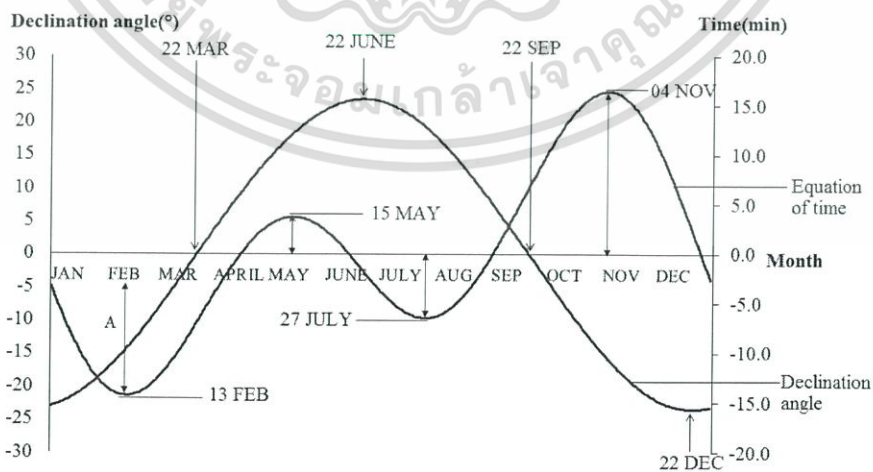
ω คือ มุมชั่วโมง (ชั่วโมง)

$\ell_{\phi W}^E$ คือ ตำแหน่งละติจูด (องศา)

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความสัมพันธ์การเคลื่อนที่ของโลกกับดวงอาทิตย์ และการวิเคราะห์หาตำแหน่งมุมอะซิมุม และมุมอัลติจูด มีผลการทดลองในงานวิจัยดังนี้

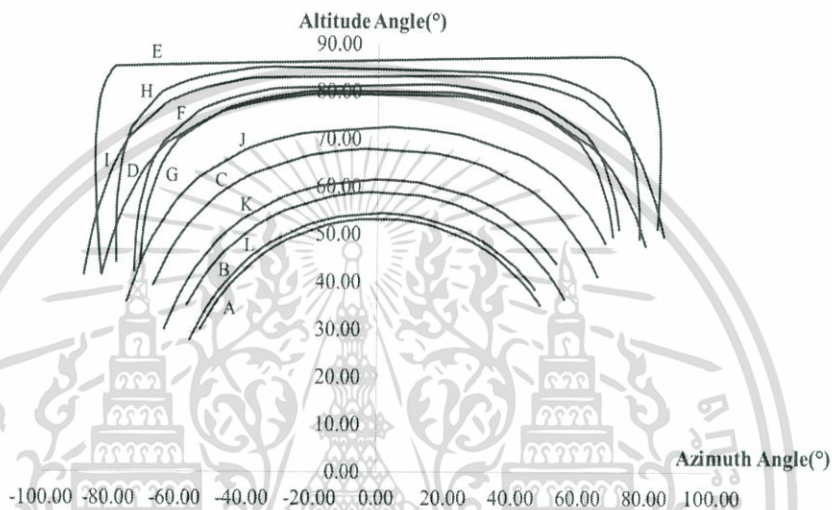
ความสัมพันธ์ของโลกกับดวงอาทิตย์ ณ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร ที่ละติจูด ($\ell_{\phi W}^E$) 13.72812° และลองจิจูด ($\ell_{\lambda W}^E$) 100.780125° ผลจากความสัมพันธ์ของ Declination Angle และ Equation of Time แต่ละเดือนในหนึ่งปี ดังรูปที่ 7 สามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ (3) และสมการที่ (4) ตามลำดับ เส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แต่ละเดือนใน 1 ปีที่ทำให้เกิดตำแหน่งมุมอะซิมุม และมุมอัลติจูด สามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ (1-6) ดังรูปที่ 8



รูปที่ 7 กราฟแสดงค่า Equation of Time and Declination Angle ใน 1 ปี

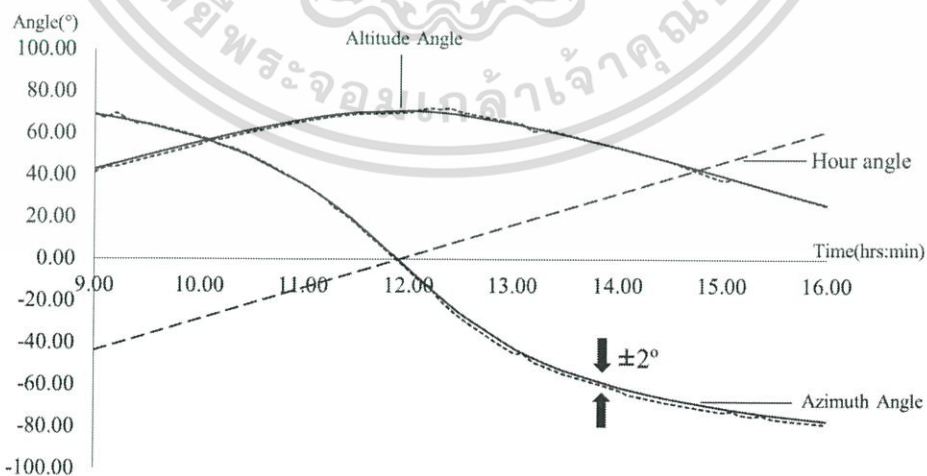
เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันฯ เป็นความผิดทางวินัยและทางกฎหมาย
 ไม่ว่าท้องถื่นในรัอบปี สังเกตได้จากการ์นำแอมป์ลิจูดในกราฟมีบววกกัน เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คั้งนี้ $-14.2639 + 3.7364 + (-6.4501) + 16.4143 = -0.5633$ (minutes) และแสดงถึงผลกระทบที่เกิดจากแกนโลกเอียงซึ่งเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์ 1 รอบ จึงทำให้เกิด Declination Angle ขึ้นในรอบปี ซึ่งวันที่ 22 Mar, 22 Sep มีค่า Declination Angle เท่ากับ -0.2515° , -0.2515° ตามลำดับ แสดงถึงแกนโลกตั้งฉากกับรังสีดวงอาทิตย์ และ 22 June, 22 Dec มีค่า Declination Angle เท่ากับ 23.4464° , -23.4498° ตามลำดับ แสดงถึงแกนโลกเข้าหาดวงอาทิตย์ และ แกนโลกออกห่างจากดวงอาทิตย์



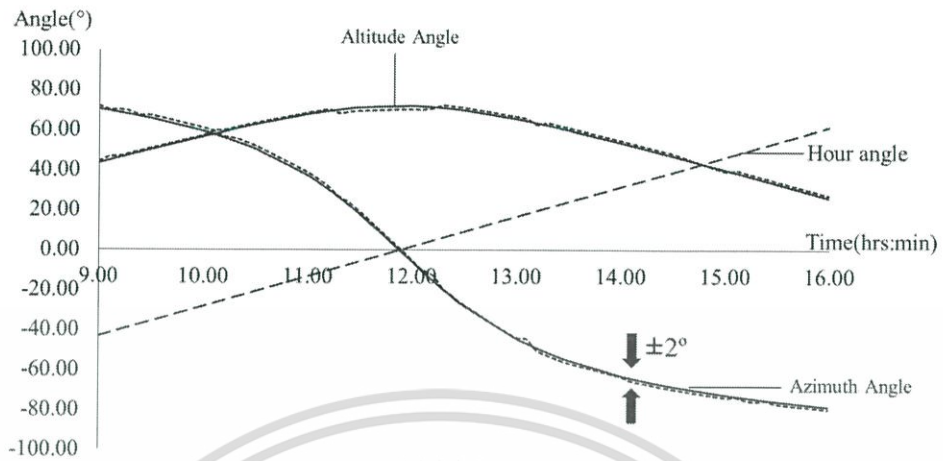
รูปที่ 8 กราฟแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แต่ละเดือนใน 1 ปี ด้วยมุมอะซิมูทและ มุมอัลติจูด

รูปที่ 8 เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แต่ละเดือนใน 1 ปี โดยที่ A-L แทน เดือนมกราคม-เดือนธันวาคม ตามลำดับ

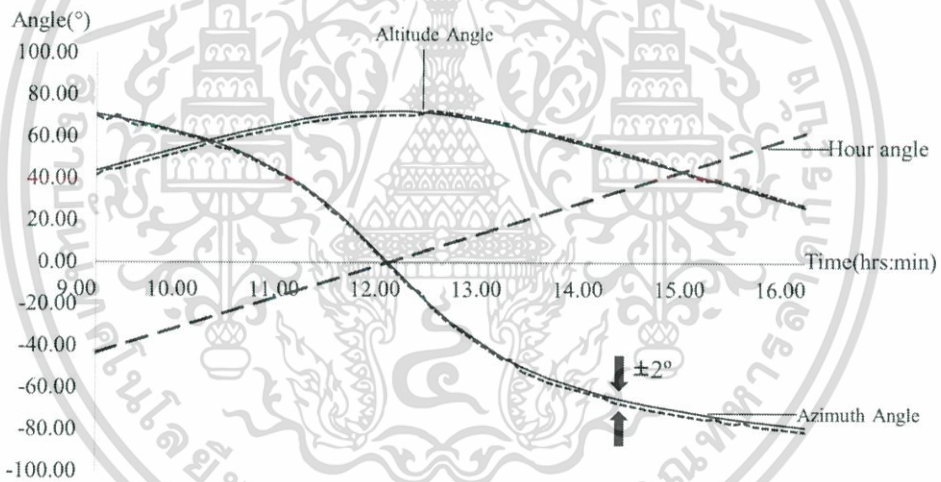


รูปที่ 9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบตำแหน่ง Altitude Angle, Azimuth Angle จากสมการ NOAA กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการค้า
 ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์และ Hour Angle เวลา 9.00-16.00 น. ในวันที่ 09/03/59
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบตำแหน่ง Altitude Angle, Azimuth Angle จากสมการ NOAA กับ ระบบติดตามการเคลื่อนที่ดวงอาทิตย์และ Hour Angle เวลา 9.00-16.00 น. ในวันที่ 12/03/59



รูปที่ 11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบตำแหน่ง Altitude Angle, Azimuth Angle จากสมการ NOAA กับ ระบบติดตามการเคลื่อนที่ดวงอาทิตย์และ Hour Angle เวลา 9.00-16.00 น. ในวันที่ 13/03/59

จากผลการทดลองดังรูปที่ 9 10 และ 11 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จากจุดศูนย์กลางของโลก หรือมุมชั่วโมง (Hour angle) แสดงด้วยเส้นประยาวและ การทดสอบความคลาดเคลื่อนของการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแนวการเคลื่อนที่อะซิมุทและอัลติจูดในวันที่ 9/03/59 12/03/59 และ 13/03/59

ตามลำดับ โดยใช้ค่ามุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ NOAA เป็นค่ามุมอ้างอิง แสดงด้วยเส้นสีดำดังรูปที่ 9 10 และ 11 มุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดที่ได้จากเครื่องติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แสดงด้วยเส้นประสั้นสีดำดังรูปที่ 9 10 และ 11

ดังนั้น การหาค่าความคลาดเคลื่อนของมุมอะซิมุทและ มุมอัลติจูดดังรูปที่ 9 10 และ 11 สามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ (8) อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Azimuth Angle Error} = \text{NOAA}_{AZ} - \text{SM}_{AZ}$$

$$\text{Altitude Angle Error} = \text{NOAA}_{AL} - \text{SM}_{AL}$$

(8)

โดยที่ NOAA_{AZ} และ NOAA_{AL} คือ มุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดที่คำนวณจากสมการ NOAA
 SM_{AZ} และ SM_{AL} คือ มุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดที่วัดได้จากระบบติดตามดวงอาทิตย์

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการคำนวณตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่ใช้สมการของ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) มาวิเคราะห์หาค่าตำแหน่งละติจูดที่ 13.72812° และ ลองจิจูดที่ 100.780125° ของประเทศไทย ซึ่งนำไปสู่ปรากฏการณ์ต่างๆซึ่งสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์

ผลการคำนวณ Declination Angle จากสมการของ NOAA มีค่าใกล้เคียงกับ (Duffie JA, Beckman WA.) ที่ได้กล่าวไว้ ดังนี้ ตามลำดับ (-0.2515° at 22 Mar , -0.2515° at 22 Sep , 23.4464° at 22 June , -23.4498° at 22 Dec) , (0° at 21 Mar and 21 Sep , 23.45° at 21 June , -23.45° at 21 Dec) และจากการทดลองวัดตำแหน่งอัลติจูด และอะซิมุทที่ได้จากการคำนวณเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งอัลติจูด และอะซิมุทที่ได้จากระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ควบคุมด้วยระบบเซ็นเซอร์แบบใหม่นี้ พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูด ไม่เกิน ± 2 องศา ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของฐานข้อมูลสมการ NOAA

ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ควรจะต้องมีการปรับเทียบอุปกรณ์ในระบบออกเป็นส่วนๆ เช่น ส่วนของ โมดูลเซ็นเซอร์ ส่วนของอินทิเกรเตอร์ที่ใช้ระบุตำแหน่งให้กับมอเตอร์ เพื่อให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละส่วนน้อยที่สุด และส่งผลให้ความแม่นยำของระบบติดตามดวงอาทิตย์สูงขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] P. Saha, S. Goswami. (2014). "Light sensor based automatic solar tracking system using parabolic reflector and lens focusing action for maximum". International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering 4, pp. 286-293.
- [2] A. Sarhan, A.E. Wakeel and A.B. Kotb. (2009). "Analysis and control of hybrid Stepper motor for automatic sun-tracking system". Aerospace Science & Aviation Technology 13, pp. 1-12.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [3] A.J. Alzubaidi. (2015). "Heat collection tracker system for solar thermal applications". International Journal Computer Technology & Applications 6, pp. 295-302.
- [4] G. Prinsloo and R. Dobson. (2014) **Solar Tracking**. South Africa: Prinsloo.
- [5] S.Ray. (2012). "Calculation of sun position and tracking the path of sun for a particular geographical location". International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering 2, pp. 81-84.
- [6] M. Mirdanies. (2015). "Astronomy algorithm simulation for two degrees of freedom of solar tracking mechanism using clanguage". International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application 68, pp. 60-67.
- [7] Chris Cornwall. (2016). **Solar Position Calculator**. Accessed January 1 Available from <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/azel.html>
- [8] S. Lekchaum and K. Locharoenrat. (2016). "Recent trend of solar tracking system for electric power conversion". Applied Mechanics and Materials 835, pp. 731-736.
- [9] W.B. Stine, R.W. Harrigan. (1985) **Solar Energy Fundamentals and Design: With Computer Applications**. New York: John Wiley & Sons.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

ผู้วิจัย นายกิตติพิศ เกียรติวัฒนากุล, รศ.สาหร่าย เต็กชะอุ่ม
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เบอร์โทรศัพท์ 086-546-2251 e-mail kittiphotgun@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Recent Advances In Nano Science And Technology 2015 (RAINSAT2015)

Design of one axis three position solar tracking system for paraboloidal dish solar collector

Parthipan. J^{a*}, Nagalingeswara Raju. B^b, Senthilkumar S^a.

^aDepartment of Mechanical Engineering, Sathyabama University, Chennai, 600119, Tamilnadu, India.

^bVelTech Engineering College, Avadi, Chennai, Tamilnadu, India.

Abstract

Solar Tracking System plays a vital role in the maximum generation of solar energy. However, the design of the sun tracker which was currently in use is very complicated and expensive. Those sun tracker units are heavy and seems to be difficult to install and prone to breakdown. This project aims to design an automatic Solar Tracking system which overcomes the above mentioned problems. In this process one axis three position solar tracking system was developed, to reduce the complexity and to shut down the cost and the same has been tested. Taking into consideration, the high efficiency with the lower cost, Light Dependent Resistor (LDR) sensors have been used in this project to track the sunlight position. Two LDR sensors one facing East and other facing West senses the intensity of sunlight and the result will be compared. The difference in the intensity will be calculated by the Programmable Interface Controller (PIC controller) which was fixed below the paraboloidal dish solar collector. If there is any difference in values, the controller sent the signal to the DC geared motor that passes through the amplifier which amplifies the signal according to that of DC geared motor. At once the motor receives the signal it tilts the solar collector. The above process will continue till the intensity of sunlight received by both the sensors is same. In this way, paraboloidal dish solar collector collects the maximum sunlight which will be converging to a black receiver for the maximum heat production. The test result shows that, the one axis three position tracking device is able to track and follow the Sunlight intensity in order to get maximum solar energy in the form of heat irrespective of the motor speed.

© 2015 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Selection and Peer-review under responsibility of [Conference Committee Members of Recent Advances In Nano Science and Technology 2015].

Keywords: Solar Tracking; One axis Three Position Solar Tracker; PIC Controller; LDR Sensor; Paraboloidal Dish Solar Collector

* Corresponding author. Tel.: +91-9952137381;

E-mail address: magnaparthi@gmail.com

2214-7853 © 2015 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Selection and Peer-review under responsibility of [Conference Committee Members of Recent Advances In Nano Science and Technology 2015].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Introduction

The basic principle of solar thermal collection is that when solar radiation is incident on a surface (such as black body) a section of this radiation is absorbed and causes to extend the temperature of the surface [1]. The standard solar flux concentration ratio typically obtained is at the level of 30–100, 100–1000, and 1000–10000 for trough, tower and dish systems, respectively [2]. The parabolic dish system employ a parabolic mirror-shaped dish, or a modular mirror system that alike parabola, and integrate two-axis tracking to hub the sunlight onto cavity receivers which is placed at the focal point of the dish[3,4]. The receiver may absorb the energy and converts it into thermal energy. This could be either used directly in thermal applications or for power generation purposes. The operation of any solar thermal energy collector may be represented as an energy balance between the solar energy absorbed by the collector and also the thermal energy removed or lost from the collector [5, 6].

In order to generate assured maximum power output from concentrating collector, sunlight's angle of incidence has to be perpetually perpendicular to the solar collector. This requires continuous tracking of the sun's apparent daytime motion, and thus develops an automated sun tracking system that brings the solar collector and locates it in such a way that direct sunlight is usually targeted on the concentrating dish parabolic solar collector. This paper is regard moving a solar concentrating parabolic dish collector [26] towards the direction of sunlight; it uses a gear motor to manage the position of the solar collector, which obtains its data from a PIC16F84A microcontroller. The main principle objective is to design and implement an automated, double-axis solar-tracking mechanism using embedded system design so as to optimize the efficiency of overall solar energy output [9]. Two light dependent resistors (LDR) are used for every degree of freedom. LDRs are primary a photocells that are sensitive to light. Software developed permits the PIC to detect and obtain its data from the two LDRs and then compare their resistance. The two LDRs are located in such a way that if one among the two comes under the shadow, the MCU will ascertain the change in resistance and thus trigger the motor to maneuver the solar collector at a position where the light upon each LDRs is equal. Two identical circuits that placed separately will operate for each axis [9, 10, 25].

2. Light Detector Theory

A light detector is the most typical electronic component which is easily found. The simplest optical sensor is a photoresistor or photocell that could be a light sensitive resistor made of two varieties, cadmium sulfide (CdS) and gallium arsenide (GaAs) [10]. The sun tracker system designed here uses the cadmium sulphide (CdS) photocell for sensing the light. This photocell, an inert component is connected in asynchronous with capacitor whose resistance is inversely proportional to the amount of light intensity received by it and is based on the parameters such as its dark resistance and light saturation resistance. The term light saturation implies that any rise in light intensity to the CdS cells won't decrease its resistance any more [10, 11], Figure 1 shows the scale of the light dependent resistor. Light intensity is measured in Lux (Symbol: lx), the illumination of sunlight is approximately 30,000 lx. From the graph shown in fig 1 it could be clearly seen that the resistance of the LDR is reciprocally proportional to the light intensity that as the light intensity will increases the resistance of the LDR decreases [11].

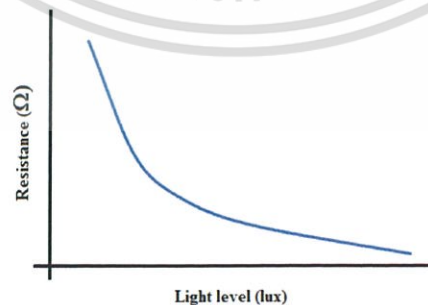


Fig. 1 Light Resistance characteristics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. PIC16F84A Architecture Design Detail

There are three types of PIC16F84A packaging designs available in the market: PDIP (18-Lead Plastic Dual In-line), SOIP (18-Lead Plastic Small Outline), and SSOP (20-Lead Plastic Shrink Small Outline). PDIP type packagings are used for the solar tracker embedded design. Figure 3 illustrates the PIC16F84A PDIP [17] and shows the name and pin positions [13, 14, 18]. The PDIP has three key options that satisfy the objective. These are [23, 24]: 8 bit multi-channel analog-to-digital converter, 13 input/output pins, 64 bytes of data EEPROM memory. The internal hardware architecture design of PIC16F84A is represented by the block diagram shown in fig 2.

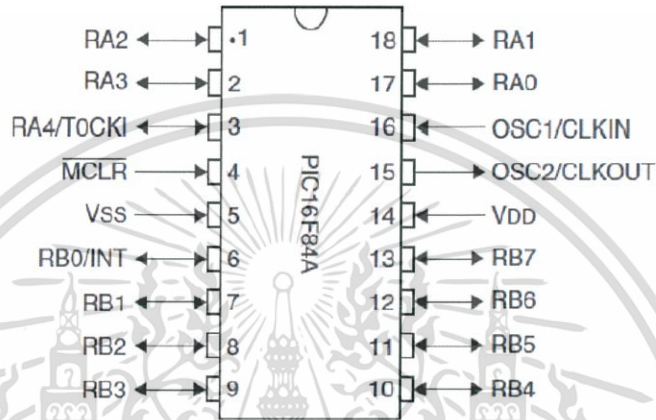


Fig. 2 PIC16F84A Pin Positions

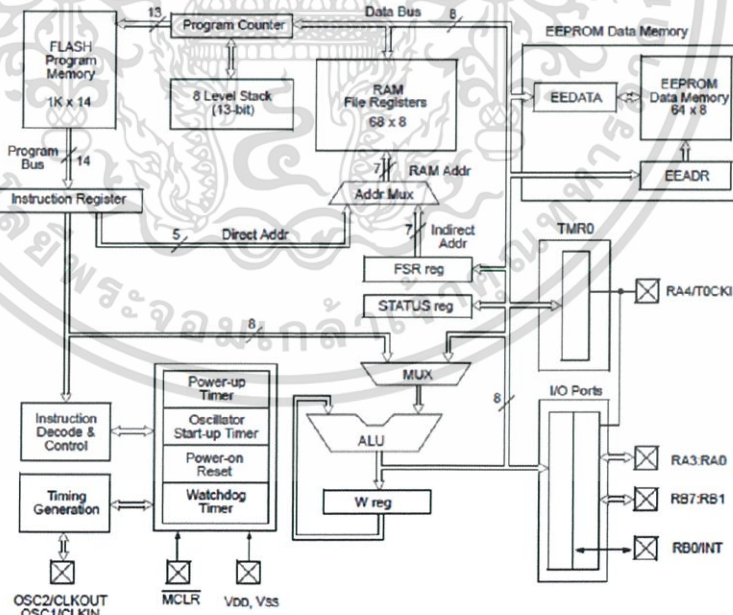


Fig. 3 Block Diagram of Internal Architecture of PIC16F84A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

All the blocks of fig 3 are main bits of hardware and also the lines that connect them are referred to as buses. These buses are basically small parallel lines along which data can be passed at the same time from one hardware block to the other. The number besides each bus indicates the number of lines present at intervals in that bus, denoting the bits that can be sent on these buses.

4. Motor Driver

Fig 4 shows the H-bridge that is used to control the motor [20, 21, 22]. The PIC16F84A controls the H-bridge which consists of four transistors 2N2222, Four Diodes 1N4148 and two 10K Ω resistors. Although any NPN transistor can be used, it was decided to use CS9103 NPN transistor for tracker circuit as it is capable of handling high current up to 500mA as compared with 2N2222 which is sufficient to power up the motor. On first trial run of the H bridge it was known that the speed of motor was not controlled and was moving very fast, to solve this problem a variable resistor bank was connected and a resistance of about 6 Ohm was set. This enabled the motor to move slowly producing the same amount of torque [12, 15, 16].

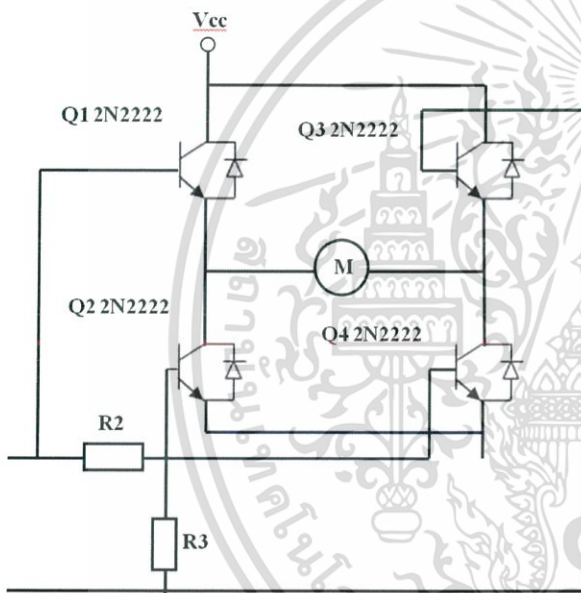


Fig. 4 H- Bridge Motor Control

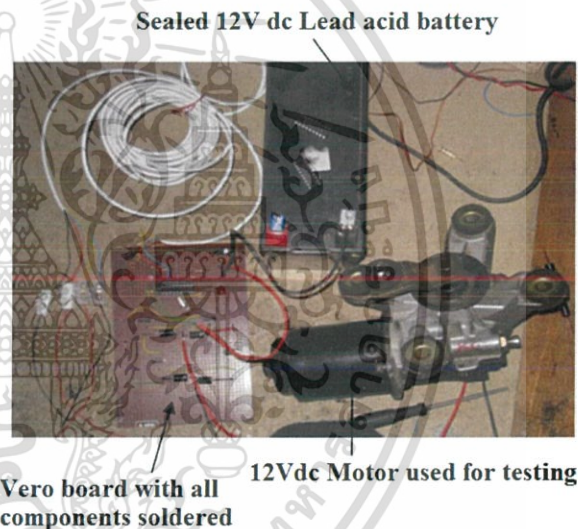


Fig. 5 Model equipments

The 1N4148 diodes were preferred to mount on all four transistors because the PIC microcontroller is very sensitive to electrical spear (which may be the reason to a reset or lockup); the diodes are coupled transversely the collector-emitter junction of each transistor. Their purpose is to stop any electrical spear caused by switching the motor's winding on and off.

5. Voltage Regulation

The PIC16F84A requires a synchronized supply of D.C voltage of 5 Volts, the 7805 voltage Regulator is used to supply the voltage required by the microcontroller.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Assembly of Printed circuit board

Before the illustration diagram was designed for the program a model was prepared onto a Vero board and tested, all errors were resolved prior to final plan be prepared, and fig 5 gives an idea about the model. The schematic figure was designed part by part on a program called Easy PIC professional, which is used to build layouts of any circuit. An ultimate project was formed with each one of the components were selected and carefully positioned onto the grid, each pad and hole were added according to the size of the various parts used. Fig 6 shows a complete schema of the program. Once the designing step was completed, the circuit diagram was printed on a special translucent paper using a plotter, and the subsequent steps were taken: Cut the printed circuit board (PCB) according to the dimension of the design. Clean with any abrasive material. Add photo defy film to PCB. Positive photocopying polish was used. The PCB was sprayed from a distance of about 20cm. Let polish layer to smoothen for at least 2 min. The photo defy film was dried out using hot air gun for about 1 min. The pad hole film paper was placed onto PCB (copper side) and stick with bonding agents.

- The PCB was placed into the ultraviolet (UV) exposure unit and exposed to UV-light for about 2 to 3 min.
- The PCB was etched in Sodium Hydroxide NaOH (5,8g/l) solvent, to eliminate all the photo defy film and then it was washed in water.
- The PCB was then etched using one more compound called ferric chloride, which eliminates all the unnecessary copper.
- The last step was to bore holes on the PCB by means of a high speed precision drill tool.
- Once PCB has been pierced, the various parts were placed into the board and soldered by a soldering gun.

7. Programming PIC16F84A

WinPic800 is an open application and its executable file can be downloaded from www.winpic800.com. With a few uncomplicated steps the executable can be set up within the PC at any desired place. After the installation is successful the program can be started through the Program Files menu on Windows. Once WinPic has been started the initial step is to connect the program to the CPU's COM via serial cable. The subsequent step is to choose the type of programmer which the WinPic800 will be using and also specify which COM port is connected to the PC. This is done by clicking the Hardware button under the settings tab situated in the main toolbar.

8. Assembly of the solar tracker model

The solar tracker model contains both degrees of freedom: azimuth and altitude. Two LDR sensors module and two control circuits are employed in both degrees of freedom. The crucial perception is that two CDS cells will be attached to port RB2 and RB3 of the PIC. As shown in figure 6, the two photocells will be placed on a small straight member of steel dish collector in east and west track. The concept is that if both the photocells are equally illuminated by the sun, their resistance level will be the same. As long as the resistance is the same with an error margin of ± 10 points, the PIC will analyze this data and thus will not create any signal to start the motor. Whereas in the case of figure 7, if one of the sensors move towards underneath a shadow, in that case the PIC will sense this change and thus it will start the motor to shift the sensor unit to a position where equal light is being illuminated on both of them. The PIC is programmed to acquire its resistance data from the two LDRs and to trigger the motor in either clock wise or anti clock wise motion depending on the LDR which is under shadow. The basic layout of the software design is illustrated in the flowchart (figure 8). Figure 9 shows the complete flowchart which illustrates in detail how the code for the PIC will be printed and what functions it will perform.

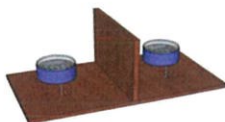


Fig. 6 Sensor unit

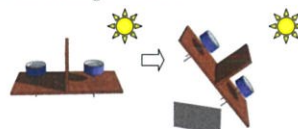


Fig 7 Operation of Sensor unit once an LDR comes under shadow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. Process of the solar tracker circuit

The process of the solar tracker is easy to understand, as it works by using a PIC16F84A which contrast the light intensity illuminated onto the LDRs. The logic that works on the Microcontroller to sense the signal is based on a resistance capacitor timing circuit,(RC constant), this is essential in order to rest the pre-scalars on the program that will be stored within the microcontroller. Once the signal is supplied into the input for RB2 and RB3, the program judges the two input values and then the difference is noticed and transmits an output signal from port RB0 and RB1 to allow the motor rotates clockwise and anti-clock wise respectively.

The signal that transmits from output port RB0 and RB1 is of logic level 1 and 0, logic 1 indicates the higher level and 0 is to indicates lower level, when a logic high transmits to the base of the transistor, it rejuvenates and creates a closed circuit, hence a current flows through the motor, only two transistors can be toggled on and off at a time.

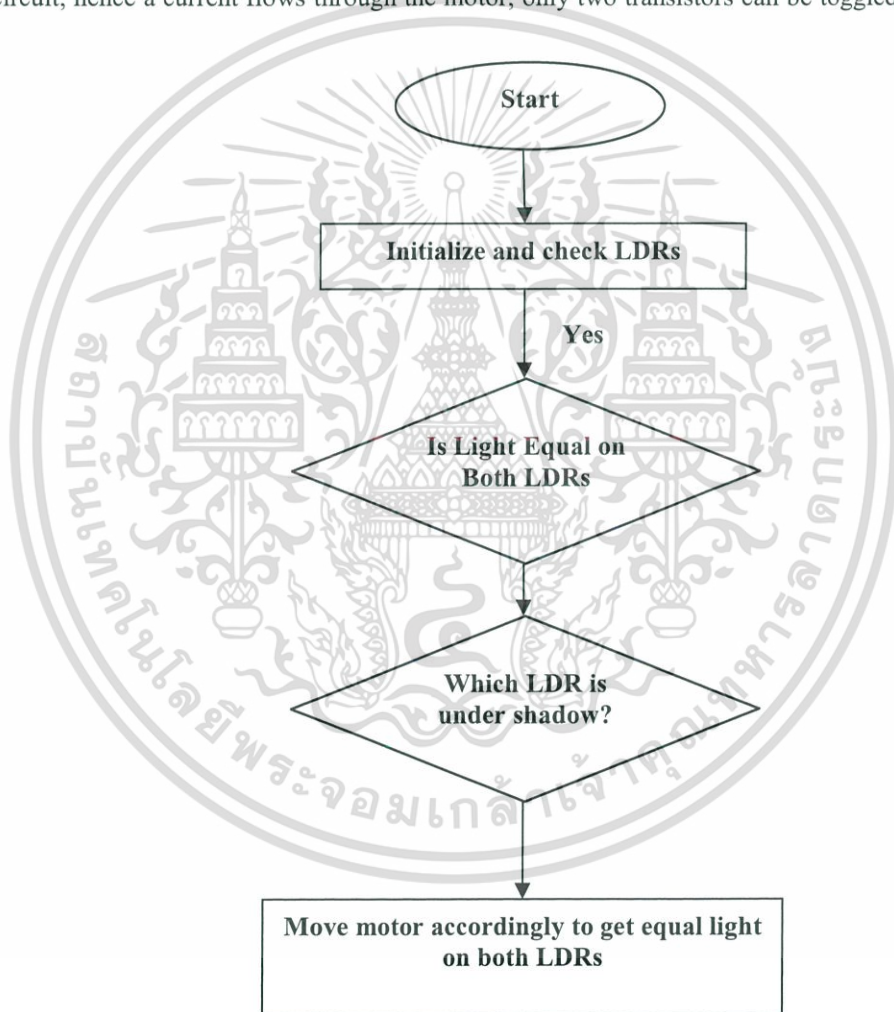


Fig. 8: Basic Software propose Flowchart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

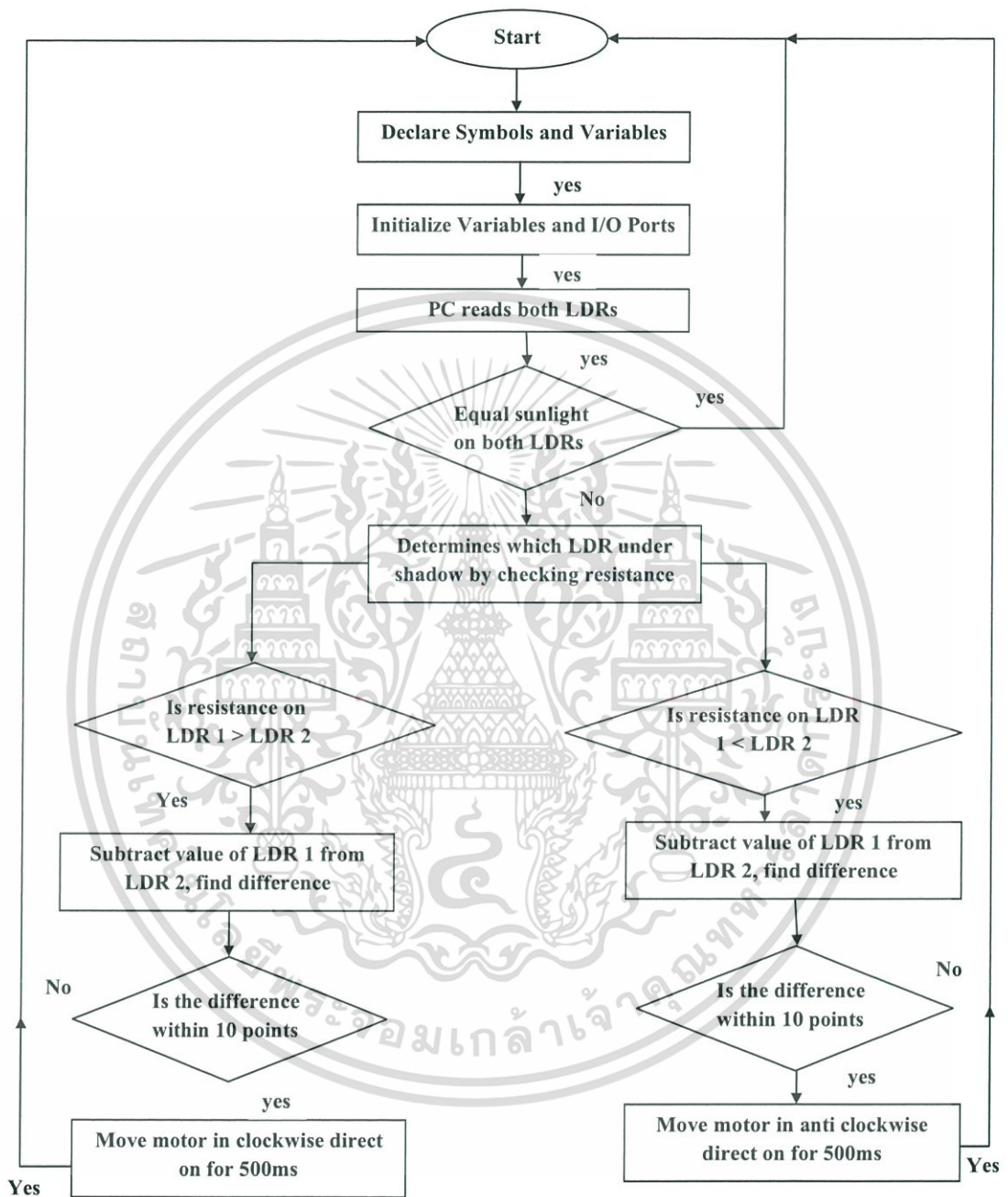


Fig. 9: Exhaustive Software propose Flowchart

10. Conclusion

It has been established through research that solar tracking system with single-axis freedom can amplify energy output by approximately 20%, whereas the tracking system with double axis freedom can amplify the output by

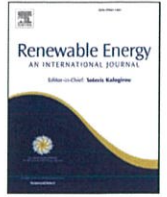
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

more than 40%. Thus this work was to develop and put into practice a solar tracking system with both degree of freedom and which sense the sunlight using sensors. The control circuit for the solar tracker was based on a PIC16F84A microcontroller. This PIC was the intellect of the complete tracking system, and it was programmed to sense the sunlight through the sensors and then trigger the motor to position where maximum sunlight could be elucidated onto the surface of the solar panel After many hindrance in testing of the solar tracker, a lot of time was required to be set sideways for verification and testing due to the volatility of the weather and sort out of errors. The tracking functioning is successfully attained with complete design of two degree of freedom using the PIC microcontroller. Appropriate parts and gear dc motors are used for the sample model, which reveal a understandable, unwavering and clear-cut movement to face the sun.

References

- [1] A.D.John, W. A.Beckman, "Solar Engineering of Thermal Processes", 2nd edition, Wiley, New York, 1991.
- [2] C.Philibert, "The Present and Future Use of Solar Thermal Energy as a Primary Source of Energy", InterAcademy Council, 2005.
- [3] L. F. Li, A. KecsKemethy, A. F. M. Arif, S.Dubowsky, IDETC, Washington D.C. 2011
- [4] O. Ali man, I. Daut, A J. of App. Sc.4 (3), (2007) 171-175.
- [5] W.B.Stine and R.W.Harrigan,"Solar Energy System and design", (1985). Available :<http://www.powerfromthesun.net/html/>
- [6] C.Christopher Newton," A Concentration solar Thermal system", Msc.thesis,Florida State, University,2007
- [7] Steve Heckerth. Solar is the Solution, 2008 <http://www.motherearthnews.com/Renewable-Energy/2007-12-01/Solar-is-the-solution.aspx>
- [8] J. Rizk, and Y. Chaiko. Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, 2008, 2-3.
- [9] Gay, CF and Wilson, JH and Yerkes, JW, Conf. Rec. IEEE Photovoltaic Spec., 1982, 25-28
- [10] Iovine, John, PIC Microcontroller Project Book, 1st edition. Ch. 3, McGraw-Hill, (2000), pg 35.
- [11] Ibrahim, Dogan, Elsevier ,Ch. 2, (2006), pg 14-16..
- [12] Inoue, Seiichi. Hardware of the PIC16F84A, 2008.http://www.interq.or.jp/japan/se-inoue/e_pic2.htm
- [13] Wilmshurst, Tim, Elsevier, Ch.2, . (2007), pg 25-30
- [14] Stevens, Fred., Ch. 1, (1997), pg 4.
- [15] Wilmshurst, Tim, Elsevier ,Ch. 2, . (2007), pg 32.
- [16] Stevens, Fred..Elsevier, Ch. 1, (1997), pg 5-6.
- [17] Microchip Technology Incorporated. PIC16F84A, 18-pin Enhanced FLASH/EEPROM 8-Bit Microcontroller, 2001.
- [18] Wilmshurst, Tim, Elsevier ,Ch. 3, (2007), pg 62.
- [19] Matic, Nebojsa. MikroElektronika, Ch. 2, (2000), pg 45.
- [20] Condit, R. and Jones D. W , Stepping motor fundamentals, Microchip Inc, 2004.
- [21] Mohan, N Electronics Converters, Applications and Design, 2nd Edition, John Wiley, 1995.
- [22] Daniel W. Hart. Introduction to Power Electronics, Prentice Hall, 1997.
- [23] Inoue, Seiichi. Hardware of the PIC16F84A, 2008. http://www.interq.or.jp/japan/se-inoue/e_pic2.htm.
- [24] Wilmshurst, Tim, Elsevier, Ch. 6, (2007), 137.
- [25] Lane, B (2008). 'Solar tracker', Degree Thesis, Cleveland State University
- [26] Parthipan J, Nagalingeswara Raju B, Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences, 7,(2015), 203 - 207

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Monthly profile analysis based on a two-axis solar tracker proposal for photovoltaic panels



Fábio Moacir Hoffmann, Rolf Fredi Molz, João Victor Kothe, Elpidio Oscar Benitez Nara*, Leonel Pablo Carvalho Tedesco

Post Graduate Program in Systems and Industrial Processes, University of Santa Cruz do Sul, Brazil

ARTICLE INFO

Article history:

Received 26 May 2017

Received in revised form

31 July 2017

Accepted 26 August 2017

Available online 31 August 2017

Keywords:

Renewable energy

Solar energy

Photovoltaic

Sun tracker

Tracking strategy

ABSTRACT

The concerns due to pollution and depletion of traditional energy sources and increasing consumption motivates the use of renewable energies. Photovoltaic energy presents advantages like low cost for maintenance, installation in remote locations, besides not generating environment impacts during operation. However, the cost of photovoltaic energy sources is greater than traditional ones due to, among other reasons, irradiation losses. The objective of this work is the development of a two-axis solar tracker and performance evaluation of a solar panel, compared to a fixed system. The tracker uses LDRs to identify sun movement direction and engines adjust the panel position, according to the control performed by an electronic device. Each system is composed by a mechanical structure, a solar panel and a resistive load. The electronic device, besides engines controlling, performs the measurement and storage of luminosity and irradiation information over the panel. The evaluation of the two systems occurred for 152 days, between 2016's June and November, in southern Brazil. The panel with tracking system presented average monthly gains varying from 17,20% and 31,1%, indicating that this is an alternative to make photovoltaic energy more attractive.

© 2017 Universidade de Santa Cruz Do Sul. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introduction

Energy has been essential for the development of society over time. The increase of energy consumption since the industrial revolution has led to concerns associated with environmental impacts and resource depletion, particularly because most of the energy originates from fossil fuels such as oil and coal. Fossil fuel depletion and global warming are the two most important concerns for the sustainability of energy systems in the future [1]. Energy dependence, the limitation of fossil energy sources, and the negative environmental impacts of fossil fuels have directed researchers towards renewable energy sources [2]. The efforts to reduce the use of fossil fuels and greenhouse gases emissions, related to electricity generation, have been leading to a fast increase in the development of renewable generation [3].

Nevertheless, the renewable energies account for only 13.20% of the worldwide energy consumption in 2012 [4]. Photovoltaic (PV) energy is an alternative energy source for the future due to the

world's limited energy resources [5]. Photovoltaic technologies have been highlighted as an ideal source of energy due to its non-pollution performance in the way it produces electricity by harvesting the energy available from the sun, which is free source of energy, once the facility of has been built [6]. Among the renewable energies, photovoltaic energy has drawn considerable attention for being a renewable, inexhaustible, and nonpolluting source [7]. This energy has positive advantages when compared to hydraulic energy, which is also renewable but criticized in terms of its social and environmental impacts caused by the flooding of lands [8]. However, photovoltaic energy is more expensive than the traditional sources [9] and considerably expensive than hydraulic [8]. Moreover, the photovoltaic panels are typically mounted on fixed holders, i.e., they do not follow the variation of the solar position, resulting in less efficient systems [8]. Therefore, enhancing this energy to be more competitive is an important step to increase its participation in the energy matrices.

A photovoltaic panel receives maximum solar radiation when it is perpendicular to the rays of sunlight, which is a factor of direct relation to the yield of system [10]. As the solar position varies during the day, the solar tracker is considered to be one of the main approaches to increase the energy generation efficiency [11,12]. A

* Corresponding author.

E-mail address: elpidio@unisc.br (E.O.B. Nara).

promising solution to cope with these problems is the use a solar concentrator in conjunction with a solar tracker [13]. The tracking mechanism is expensive because it requires high cost for installation and maintenance of the generation system. Moreover, it consumes energy, which requires the evaluation of the viability of its use [14]. The trackers can be passive, when the panel moves owing to the difference of fluid density, or active, when motors position the panel. The most common active trackers are as follows [11]:

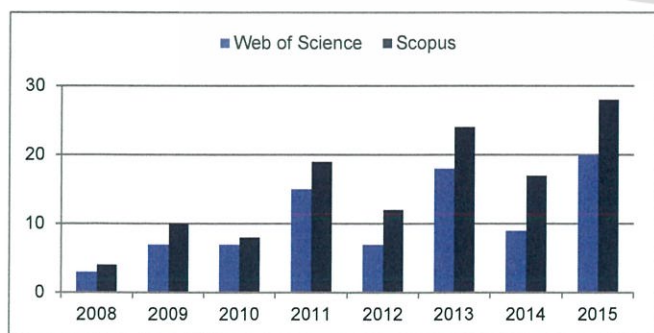
- Trackers based on optical sensors and microprocessor: the trackers have at least two optical sensors with an angle difference. When there is a difference in the received light, the motor is activated using a microprocessor until both of them receive the same light intensity and are electrically balanced, indicating a position perpendicular to the rays of sunlight.
- Trackers based on date and time: a computer calculates the solar position based on date and time, and it controls the motors for achieving the desired position.

In terms of worldwide research in photovoltaic based energy generation, it is possible to observe in last few years (Graph 1) an increase in the number of publications on solar tracking systems, particularly in Asian countries and in the United States. Some of the mechanisms described in publications of journals and congresses are presented in this study [15,16].

The authors in Ref. [10] compared the yield of a system with fixed photovoltaic panel and another panel, which is equipped with single-axis solar tracker. In this study, the systems were evaluated in clear sky days during the summer of the year 2000, from 5:00 to 19:30. The system used two light sensors separated by a barrier, which generates shadow according to its position. The mechanism consisted in the pursuit of balance in the reading of the light sensors. The authors observed that the average increase was higher than 20% when the system was used with the tracker.

A similar study performed in Ref. [9] considered the consumption of the motion mechanism. The tracker panel was positioned on the basis of the measurements of two sensors. The fixed and mobile systems operated simultaneously for 30 days, in 2014, with a data acquisition system recording the data every 15 min, from 8:00 to 19:00. The authors classified the climate conditions as clear sky (15 days), partly cloudy (9 days), and cloudy (6 days). The daily average registered a 12–20% increase in the yield.

The authors in Ref. [8] developed a dual-axis tracker and compared it with a fixed system. The sensor technique was similar to that presented by Ref. [10], however, with three light sensors.



Source: [15][16].

Graph 1. Evolution of the number of studies and reviews on solar tracking systems in the Web of Science and Scopus databases since 2008. Searched terms: Title: ((solar or sun) and track*) AND Topic: (photovoltaic not MPP* not "Maximum Power Point Tracking").

Some aspects defined in the algorithm were the correction of the position through the shortest path, the return to vertical and hibernation during the night, and the use of one motor at a time. The experiment was performed on November 18, 19, and 20 and on December 11, 12, and 21 of 2010 in the city of Viçosa, MG, Brazil. Two days had clear skies, two days had cloudy skies, and the other two had clear skies during most of the day, with summer rain. Subtracting the energy consumed by the mechanism, the energy increase ranged from 34% to 56%.

The dual-axis tracking system, developed by Ref. [17], also applies the photosensor balance technique for tracking the solar position. Two are used for the north/south motion, and another two are used for the east/west motion. At the end of the day, the panel is stationary, facing west, and this blocks the photosensors from receiving light in the next morning. To enable the return of the panel to the origin, two east-facing photosensors were added to the fixed structure. The yield increase of the fixed panel ranged from 20% to 28% according to the climatic conditions.

A single-axis tracker was developed in Ref. [12]. The primary axis covers the variation of solar inclination from one day to the other, while the secondary axis, which is perpendicular to the primary, follows the solar motion during the day. In this project, the use of the sensor was dismissed, provided that the axis was fixed for constant rotation of 15°/h. The tests were performed on July 17 and September 12, in the city of Weihai, Shenzhen, China. The data were collected every 10 min, from 8:00 to 19:00. The average increase in power was 31.80%.

Table 1 presents the main points of the related studies. It is possible to note the maximum period of test adopted, varying from 3 days to one season. This work discusses the development and performance of a dual-axis solar tracker, considering its monthly behavior profile along 152 days, comprising winter and spring seasons of southern Brazil. Also, in contrast to the cited references, this work evaluates the movement cost of the PV system, according to the energy generated in periods of reduced irradiation, typically found in winter season. The PV system embedded algorithm considers the minimum luminosity conditions and has the purpose of rationing the motors, by saving energy. In addition to the tracker, an holder was constructed for the fixed panel, which served as a reference. The two sets were compared for six months, including the winter and spring months, to identify the difference in the results of the average irradiation.

To study the alternatives for the enhancement of the photovoltaic energy yield, this paper presents the development of a dual-axis solar tracker. The main contributions of this work are: (i) the conceptual design of the solar tracker, characterized by its movement based on two independent perpendicular axis and (ii) the activation embedded algorithm for the solar tracker engines, with optimizes the movement during the solar tracking process. During a period of 152 days, from June to November 2016, irradiation data were collected about the tracking panel and one fixed panel, which was used as reference. The aim is to obtain the difference between the yields of the systems, considering the consumption of the tracking mechanism.

2. Methodological procedures and application of a proposed solar tracker

2.1. Electronic panel

The electronic panel was developed for reading the signals of the sensors, storing and processing the information, and controlling the movement of the motors. The panel is fed by an external source connected to the electrical grid; therefore, it is independent

Table 1
Summary of related studies.

Method	Period of test	Latitude	Parameter of comparison	Earn	Author	
2 photosensors with balance of shade	Summer of 2000	Damascus, Syria	33° N	Fixed, inclination 33°	>20%	Al-mohamad [10]
2 photosensors	30 days, from May to June of 2014	—	—	Fixed, inclination 30°	12–20%	Lazaroiu et al. [9]
3 photosensors with balance of shade	3 days of November and 3 days of December 2010	Viçosa, Brazil	21° S	Fixed, inclination 21°	52,70%	Carvalho et al. [8]
Hour and Date	17 of July and 12 of September	Harbin, China	45° N	Fixed, with 42,4° and 43,5°	31,80%	Yao et al. [12]
2 photosensors (N/S) + 2 photosensors (Dawn)	—	Lybia	33° N	Fixed, with 33°	20–28%	Serhan e El-Chaar [17]
2 photosensors inclination (N/S) + 2 photosensors inclination (L/O)	152 days, from June to November	Santa Cruz do Sul, Brazil	29,7° S	Fixed, inclination 29,7°	17,20%-31,1%	This work

Source: The Authors.

of power generation by the photovoltaic panel or battery. This option was provided for avoiding interferences from the battery or the power consumption of the motors for reading the data collected by the panels.

The nucleus of the panel is fabricated using the PIC18F452 microcontroller from the company Microchip Technology Inc., including eight A/D (analog-to-digital) converter inputs with 10-bit resolution and an operating voltage of 0–5.5 V. This allows the microcontroller to read an input voltage of 0–5 V in the port and convert the result to a digital value from 0 to 1023 (2^{10}).

The analog inputs perform the reading of the values of LDR1, LDR2, LDR3, and LDR4, current from the fixed and mobile panels. The digital inputs read an encoder present in each motor and the east and west limit switch. This information is not stored and is only used for assisting the motor control. According to the climatic conditions and the time, the outputs activate relays that, in turn, activate motors 1 and 2.

2.2. Photovoltaic panel

The units used for converting solar energy into electric energy are of Solaris brand, model S30P, which is fabricated using polycrystalline silicon and has 520 mm × 510 mm dimensions (an image of the two mechanisms will be provided). The short-circuit current and open-circuit tension values are, respectively, 1.84 A and 21.56 V, whereas the current and tension in the maximum power point are 1.74 A and 21.56 V. To obtain the reading of irradiation, each panel was connected to a set of three 5R6 resistors in parallel, generating the equivalent resistance of 1R866. From this, the tension of the photovoltaic panel was measured in the A/D input of the microcontroller. From the measurements acquirement, the panel generates a current of 1.84 A in short circuit, which is exposed to the irradiation of 1000 W/m², according to manufacturer specification document [18]. Thus:

$$\begin{aligned} V &= R \times I \\ V &= 1.866 \times 1.84 \\ V &= 3.433 \text{ V} \end{aligned} \quad (1)$$

This tension is measured by the A/D input of the panel and converted to digital values, where 0 V is equivalent to 0, and 5 V is equivalent to 1023. Considering the linear proportion between variables, the tension of 3.433 V results in the digital value of 702. Therefore, when the panel reads the equivalent tension of 702, the panel is exposed to the irradiation of 1000 W/m².

2.3. Motion mechanism

The tracker system is composed of a base, north/south motion set and sensors, east/west motion set and sensors, and a photovoltaic panel. The base and the pole (Fig. 1 – position A) support the rest of the components and allow the orientation angle of the panel. The system presented in this paper can be classified as pseudo-equatorial, according to [19], once daily orientation (Motor 2, Fig. 1 – position D) occurs relative to seasonal inclination (Motor 1, Fig. 1 – position B).

The engine Motor 1, from the north/south mechanism (Fig. 1 – position B), follows the solar inclination caused by the translational north/south movement of the Sun throughout the year. This mechanism works as a response to the readings recorded by the set of light sensors (Fig. 1 – position C) of this axis, named LDR1 (north) and LDR2 (south). The engine Motor 2, from the east/west mechanism (Fig. 1 – position D), comprises the variation of the east/west azimuth angle, such movement covers the effect of the Earth's rotation. The set of sensors (Fig. 1 – position E) that directs this axis is produced by LDR3 (east) and LDR4 (west). Finally, the photovoltaic panel (Fig. 1 – position F) was attached to the motion mechanisms.

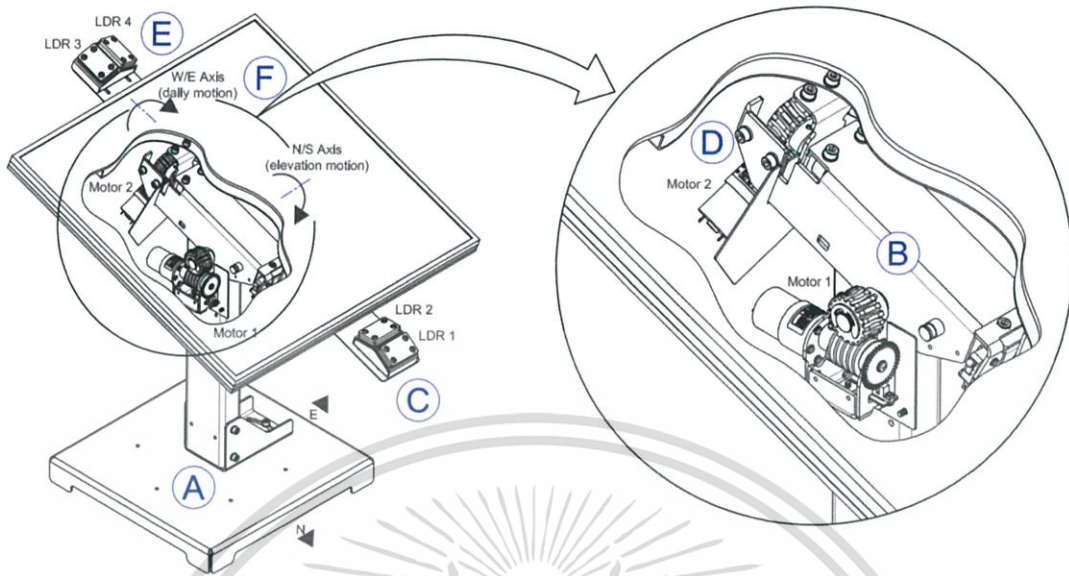
The angular amplitude is supposed to cover the majority of the possible solar positions. In the north/south direction (Fig. 2a), the variation from 0° to 60° covers the entire variation of the solar inclination throughout the year. In the east/west direction (Fig. 2b), the variation of the azimuth angle from 60° to –60° does not cover the early-morning and late-afternoon positions. However, this variation was considered sufficient for this study, considering the geographic conditions of the environment, the solar intensity in the uncovered periods, and the possibility of increase of motor consumption.

2.4. Motor and sensors

Each motion set has one DC motor and one set of worm gears. The motor has a gearbox, which guarantees lower speed and increases in torque. The axis rotation of the motor is transferred to a worm drive that, in turns, moves a worm gear. The 60° amplitude of the north/south motion was achieved in 13.8 s, whereas the east/west motion required 27.7 s. In practice, this time can vary according to the load and climatic conditions, such as wind and rain.

The signals from the sensors are part of the stored information and are used by the electronic panel for its motion control. The activation of the motors is based on climatic conditions, such as the

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Source: The Authors.

Fig. 1. Solar tracking system.

luminous intensity and direction, which are captured by light-dependent resistors (LDRs) or photoresistors. In this type of component, the resistance varies according to the luminosity on the sensitive side. Each LDR integrated a voltage divider, whose output is proportional to the variation of resistance, and the output was read using the microcontroller. Two LDRs, set up on a support whose faces form an angle between them, constitute a set or modulus of light sensors (Fig. 3).

The direction of the Sun is provided by the comparison between the light on the two LDRs that form a set. When one of them indicates greater luminosity, the rays of sunlight are more aligned with this sensor. Therefore, the motor should be activated for this side until there is no difference between the values from the LDRs, indicating the perpendicularity of the panel in relation to the rays of sunlight.

The solar tracker is equipped with two sets of light sensors. The first, composed of LDR1 and LDR2, is oriented towards the north/south axis, to follow the slow variation of the solar elevation

throughout the year. Meanwhile, the set equipped with LDR3 and LDR4 reads the variations of the solar azimuth angle, i.e., they are responsible for the daily motion.

To avoid structural damages to the tracker and to help the positioning of the panel, limited switches were mounted in the east (sunrise) position and west (sunset) positions. With the activation of any of the switches, the mechanism stops. Additionally, an encoder was mounted in each motor with the purpose of evaluating the possible unexpected treatments. Knowing the rotation of the motor, it is possible to evaluate whether the axis rotates slower and turn off the motor before it is eventually damaged.

2.5. Daily climate profile

The atmosphere produces a considerable interference for the incoming irradiation on the surface, provided that clouds and rainfall block or decrease the passage of the rays of sunlight. If most days in a month are sunny, the irradiation at the end of the month is expected to be higher in relation to a month with mostly rainy days.

To help explain the monthly results, the days were separated according to the climatic profile. The parameter used for classifying the days was the average irradiation value achieved using the fixed panel. The irradiation values from the fixed panel, measured every minute, were added, and the result was divided by the number of daily sunlight minutes in the location, also called the photoperiod. The photoperiod is the range between the sunrise and sunset in a specific location and date [20]. The ranges for values used to classify the daily profiles were established based on the irradiation measure of days with well defined climatic characteristics. For example, it has been observed that sunny days with few clouds exceed the average irradiation of 560 W/m² per hour. On the other side, a rainy day can reach an average irradiation of 350 W/m² per hour. Therefore, three profiles were defined:

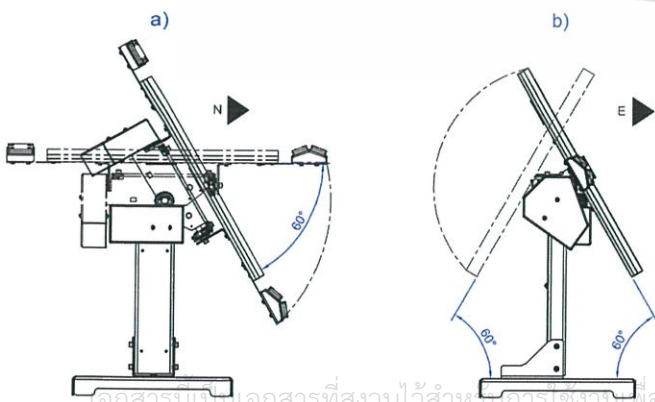


Fig. 2. Amplitude of the movements of the tracking mechanism. (a) North/south direction (for solar inclination). (b) East/west direction (for azimuth angle variation). Source: The Authors.

- **sunny:** average irradiation that is equal to or higher than 560 W/m², representing the days of full sun;

- *sunny with clouds*: the presence of sparse clouds or clouds that allow the passage of most of the sunlight, showing average daily irradiation between 370 W/m^2 and 560 W/m^2 ;
- *cloudy or rainy*: average irradiation that is equal to or lower than 370 W/m^2 . This profile includes days with predominance from clouds that allow the partial passage of sunlight to rainy periods.

Despite the arbitrary definition of ranges, the average irradiation standardizes the criterion and decreases the chances of subjective classification. This classification does not identify the partial periods of climatic situations, provided that the used parameter was the average daily irradiation.

2.6. Algorithm

The code used by the microcontroller for executing the tasks started from the algorithm is shown in Fig. 4. The configurable parameters can be changed for examining the function of the mechanism in different configurations.

Within the operational schedule, the values from LDR1 to LDR4 and the current from the fixed and mobile panels were measured every 6 s and stored in buffer. After 10 (1 min) readings, the values were averaged. The effect of fast and temporary transitions, such as clouds, was minimized using the averages, by increasing the chances of efficacy in the motion. The averages were the parameters used for decision making and constitute the information stored in the memory. Therefore, every hour, approximately 60 records were generated and stored in the memory.

The solar elevation angle changes slowly, day after day, throughout the year. Hence, the north/south axis can move only in the schedule from 11:45 to 12:30. Therefore, this set only analyzes the solar angle variation day after day, rationing the consumption of the motor. The east/west axis, in turn, has the purpose of following the variation of 15° per hour of the azimuth angle. The set generated by LDR3 and LDR4 produces readings and, after averaging, the microcontroller performs the necessary action. If there was a difference between the LDRs, motor 2 was activated for correcting the position.

Nevertheless, in the conception phase of the algorithm, it is essential to have a safety margin in the difference between LDRs for activating a motor. Therefore, to execute a movement, there should be a minimum value of difference between the luminosity of the LDRs. Additionally, to ration the number of movements of the motor, the ideal position was slightly exceeded, thereby increasing the time between activations.

The tensions read by the microcontroller in the voltage dividers of the LDRs were converted to digital values. To guarantee the movement of the motors in favorable climatic conditions for the use of the tracker, the minimum luminosity parameter was used. This limit avoids the movement of the mechanism in cloudy or rainy periods, provided that the lack of a limit can cause unnecessary movements and consumption higher than the return.

The minimum arbitrary digital value for luminosity was 700, which is equivalent to the tension of 3.42 V in the input of the microcontroller. As shown in Graph 2, this value is close to the maximum, limiting the mechanism to movements only in conditions approaching full sun.

3. Results

This chapter presents the compilation of the data considered relevant to understand this study in a descriptive manner and in graphic representations. The results were analyzed and related to the references of other authors for comparison.

Irradiation data on the tracking and fixed panels was collected

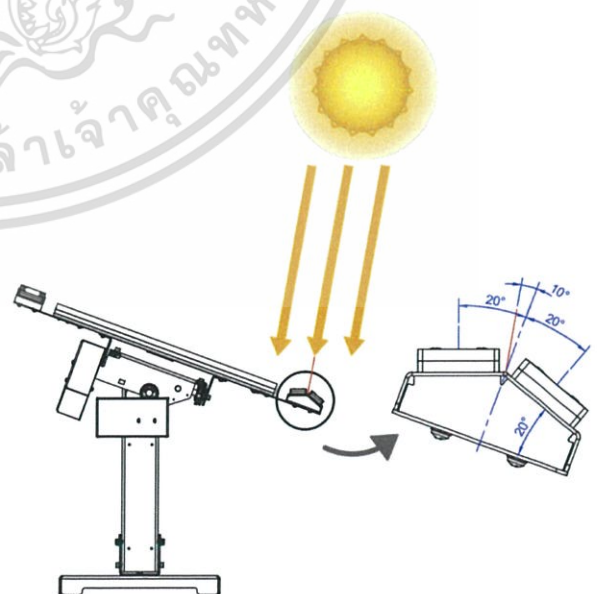
for 152 days, between June and November 2016. Some days were not considered for different reasons, including the malfunctioning of the equipment, energy shortage, unequal conditions between panels, and maintenance shutdowns. The tests were performed in Santa Cruz do Sul, a city located in southern Brazil. The latitude and longitude geographic coordinates are, respectively, -29.7° and -52.4° . The fixed panel, the reference used for comparison with the solar tracker, was oriented to the geographic north, as recommended by other studies [21,22]. The inclination angle of the panel was fixated in $29.70^\circ \pm 1.5^\circ$. For fixed systems, the inclination angle of the panel similar to the latitude has the best yield during the year [21,23–26].

3.1. Results for motor consumption

The consumption of the motors from the tracker mechanism was measured with Arduino Mega 2560 and the current sensor model ACS 712. With this information data, it was possible to plot curves of instantaneous consumption and cumulative consumption. From the curves, it was possible to estimate the consumption by each activation, according to the time of permanence with the activated motor. This procedure eliminated the need of directly measurement of motors consumption, during the comparative tests. The consumption per second is in the order of 2 mW.

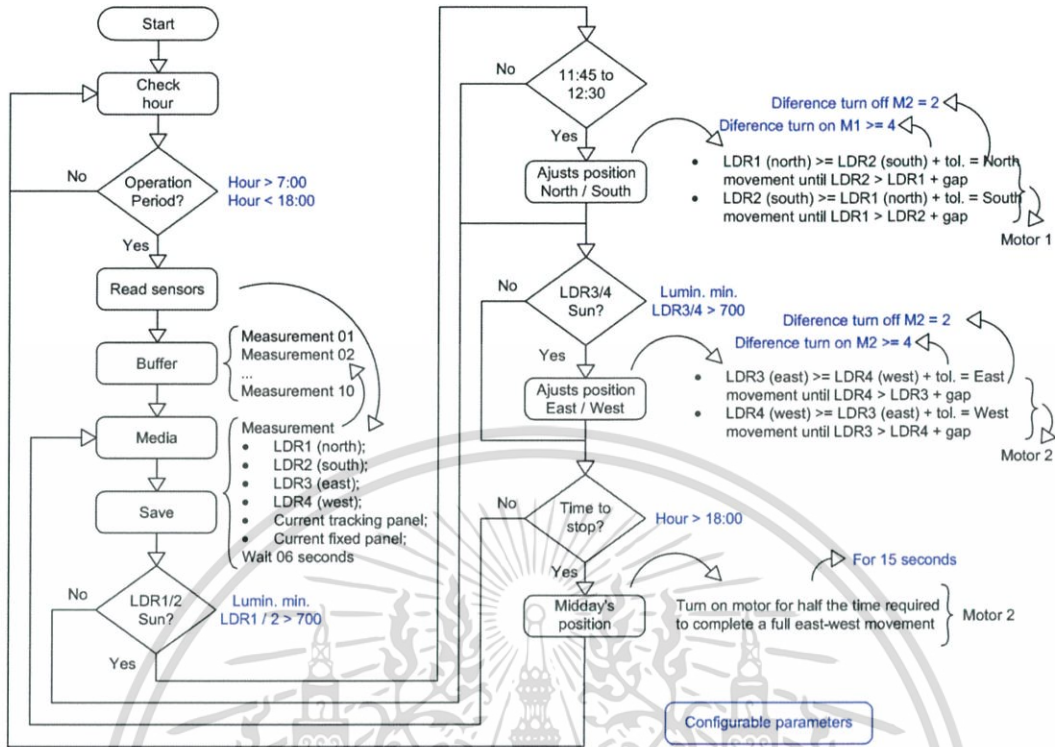
Graph 3(a) presents the obtained curve of instantaneous consumption for Motor 1 and Motor 2. Regarding Motor 1, it is shown a peak in the initial time period (before 1 s), being stable after the first second. This is right, once the load over the motor is almost the same along the north/south movement. A similar initial peak is presented for the curve regarding Motor 2. However, a sudden drop is observed, and consumption does not stabilize, which is different from the situation presented for Motor 1. When the east/west movement (performed by Motor 2) occurs, the motor load varies along its course, and reduces as it approaches to the position parallel to the ground (0° angle).

Graph 3(b) presents the accumulated consumption for both Motor 1 and Motor 2, according to the activation time. It is possible



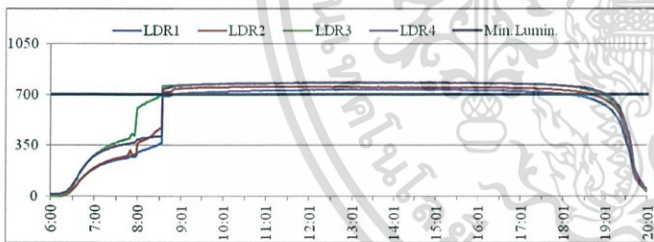
Source: The Authors.

Fig. 3. Disposition of LDRs to capture the direction of light.



Source: The Authors.

Fig. 4. Flowchart for the proposed algorithm.



Graph 2. LDRs capture levels. Referring to October 30, 2016. Source: The Authors.

to observe for Motor 1 a linear behavior, resulting in an approximated accumulated consumption value of 13 mW after 8 s. On the other side, the characteristic movement of Motor 2 makes its curve larger, in terms of area, compared to the one obtained for Motor 1. The accumulated consumption resulted in this case an approximated value of 19 mW in 8 s.

3.2. Results of the fixed and tracking panels

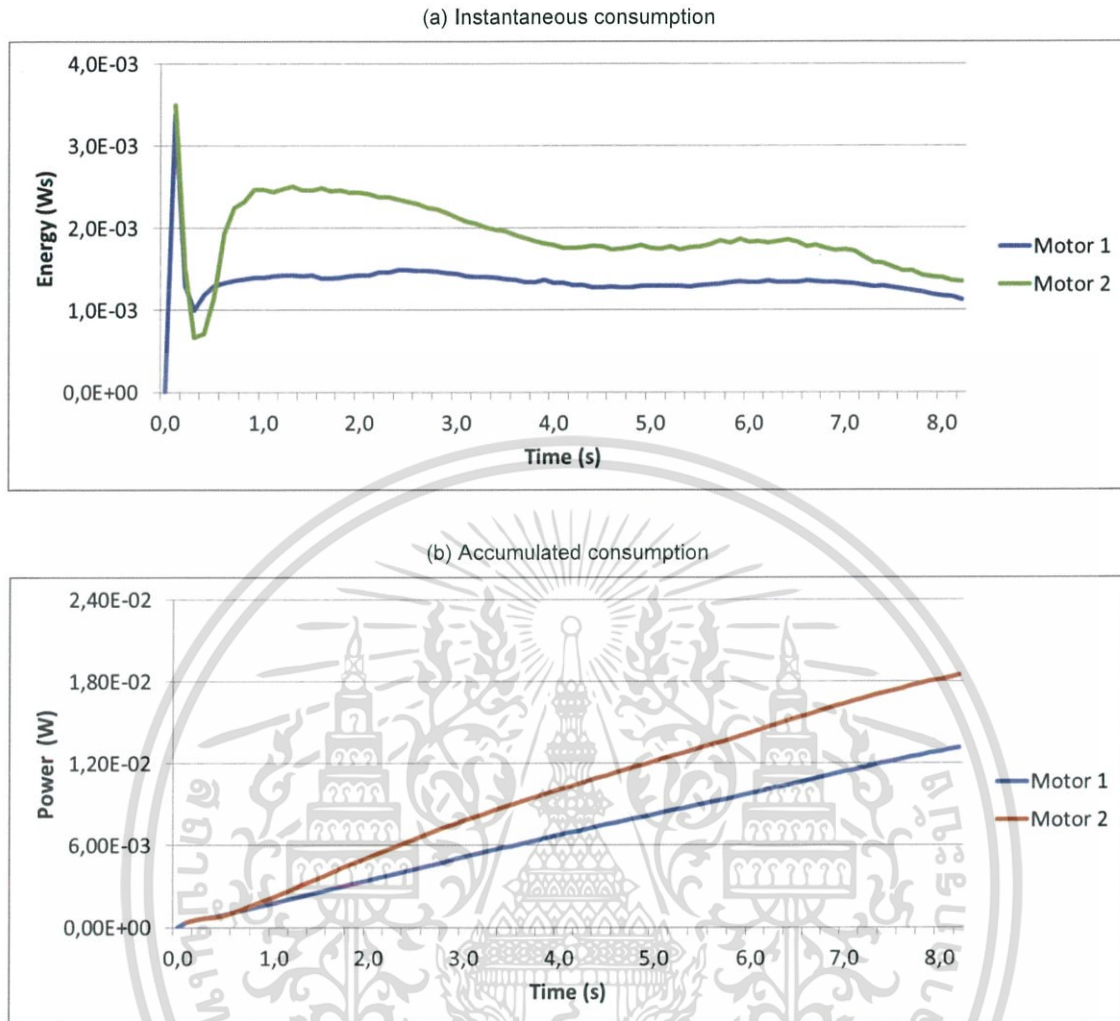
At the end of each day and month, the amount of energy generated by the panels was compiled. Obtained values were used to match the days and correspondent profiles, and to obtain the irradiation averages as well as the difference between the tracking and fixed panels.

Graph 4 shows the comparison of irradiation on the fixed and tracking panels and the proportion of valid days classified as each climate profile in the month.

There is a relation between the gain of the mechanism and the

average irradiation (Graph 4a). Considering the climate profile for the days (Graph 4b), the result with the use of the mechanism was least expressive in June, most likely owing to the predominance of rainy or cloudy days, achieving 17.2%. Throughout the months, the averages and the gains tend to increase. This tendency was not observed in October. In relation to September, this month had more rainy and cloudy days and few sunny days. In November, when the irradiation on the panels was the highest and the proportion of rainy and cloudy days was the smallest in the analyzed period, the gain reached 31.1%. The proportion of sunny cloudy reached 60% and the average gain was 23.4%, in the whole period.

There is also a tendency of increase in the power generation of the two panels as well as in the gain of the panel with the tracker, when compared to the fixed, with the approach of the summer solstice. Despite the influence of the climatic conditions, this is justified by the increase in the duration of the days and the change in solar inclination. Approaching the summer solstice in southern Brazil, the days become longer and the nights shorter, allowing the exposure of the panels to longer periods of sunlight. Similarly, the period where the mobile panel has advantage over the fixed panel also becomes longer. The average daily power generation and consumption for the fixed and tracking panels, according to the months, is presented in Graph 5. The white bar indicates consumption referred to the tracker, once there is no motor coupled to the fixed panel. In this case, it is possible to observe the highest values for both power generation and consumption in November, caused by the average profile for days in this month. Another important behavior verified in the experiments was the acquirement of similar results of energy capturing for both type of panels when approaching midday. However, the solar tracking presented a higher level of energy capturing, once its movement feature made it



Graph 3. Results for motor consumption.
Source: The Authors.

work in the morning and afternoon periods, which are longer than midday period, especially in periods closer to the summer solstice.

The increase of solar inclination, as the months approach the summer, is another factor that contributes to this gain. Fig. 5 shows the trajectory of the Sun in the setup point of the panels in the two annual extremes: the winter and summer solstices. During the winter solstice (Figs. 5a and 6a), the azimuth angle at sunrise and sunset are considerably smaller, i.e., during this period, the fixed panel is less misaligned in relation to the Sun than during the summer. During the summer solstice (Figs. 5b and 6b), however, the azimuth angles at sunrise and sunset are larger than 90° . Therefore, in addition to the more significant misalignment, the fixed panel does not capture part of the direct irradiation, provided that, during part of the day, the rays of sunlight incise at the back of the panel. Although the mobile panel is misaligned, its loss is smaller because it is better aligned with the sun than the fixed one.

4. Conclusions and future work

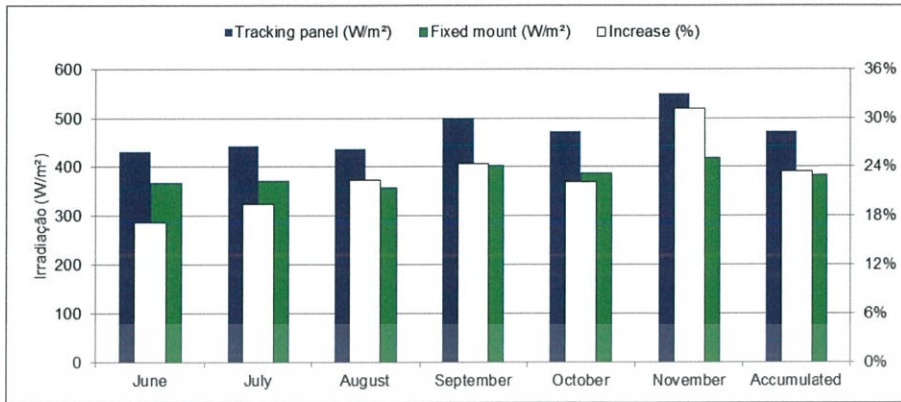
This work presented as a first contribution the structural design for a solar tracker, which is characterized by the independent rotational movement of two perpendicular set of engines, being one for north/south direction (for solar inclination) and the other for east/west direction (for azimuth angle variation). The angular

amplitude achieved with this approach covered the majority of the possible solar positions. The obtained results validated the proposed design, considering different climate profiles for days.

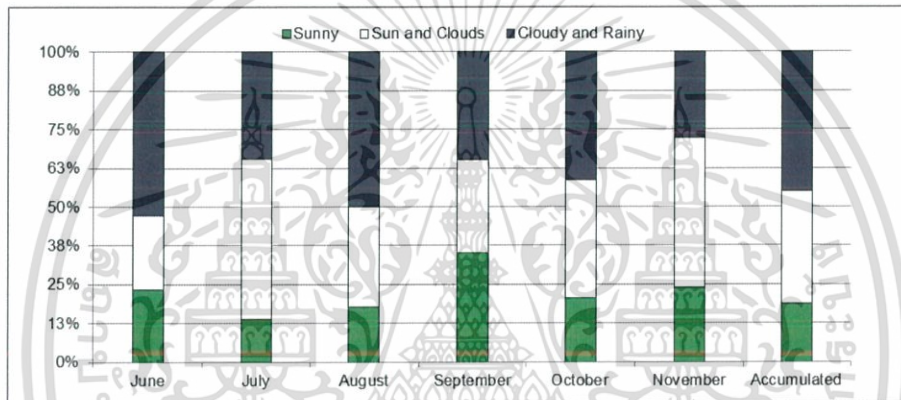
Considering the period from June to November, the irradiation data were collected on a panel mounted on a fixed structure and another one equipped with tracker mechanism. During all months, the tracking panel presented irradiation gain over the fixed panel, ranging from 17.2%, in June, to 31.1%, in November. At the end of the period of analysis, the period being a total of 152 days, the tracking panel obtained an average gain of 23.4%, considering the proportion of rainy or cloudy days as 40%.

The gains generated by the tracking mechanism were more substantial on sunny days or on days with few clouds. On cloudy or rainy days, this gain was observed to be reduced and sometimes slightly negative in cases when the panel was stationary owing to the luminosity below the limit. During the period of one day, this increase is less than or equal to zero at midday, increasing as the time distances from this period, during the morning as well as in the afternoon. Furthermore, the tracking panel reduces the losses caused by the curve trajectory of the Sun, which starts and ends at the back of the fixed panel. This type of losses in the fixed panel can be observed in the months of October and November, when the average daily irradiations are lower than those in the previous months.

(a) Average monthly irradiation



(b) Climatic profile of the days

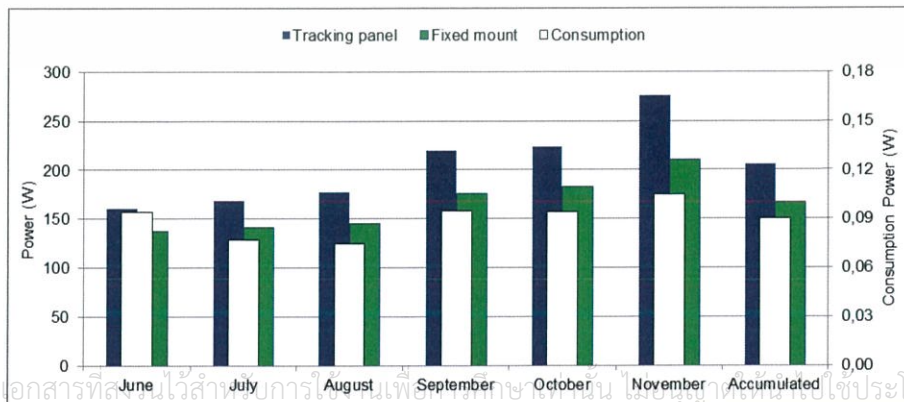


Source: The Authors.

Graph 4. Monthly irradiation analysis.

This way, the gains achieved by the tracking panel are due to the adopted strategies in the embedded algorithm that try to, at least, achieve the obtained results for energy capturing using the fixed panel. This computational method applied to the motion mechanism of the tracker is the second contribution of this work. Light Dependent Resistors are placed in strategic positions of the solar tracker to obtain luminosity values for the entire day, which will be used as reference for energy capture efficiency. Specially at

the end of the day, the tracker returns the panel to the midday position and not to the east origin, and is activated on the next day only when the luminosity is higher than the minimum value. Hence, the panel is stationary in this position on cloudy or rainy days, stopping it from receiving less irradiation than the fixed panel. Similarly, it causes the panel to move when the Sun appears, i.e., when there is a possibility of gain. The strategy is valid in days when the Sun appears only while approaching midday,



Source: The Authors.

Graph 5. Average daily power generation and consumption.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

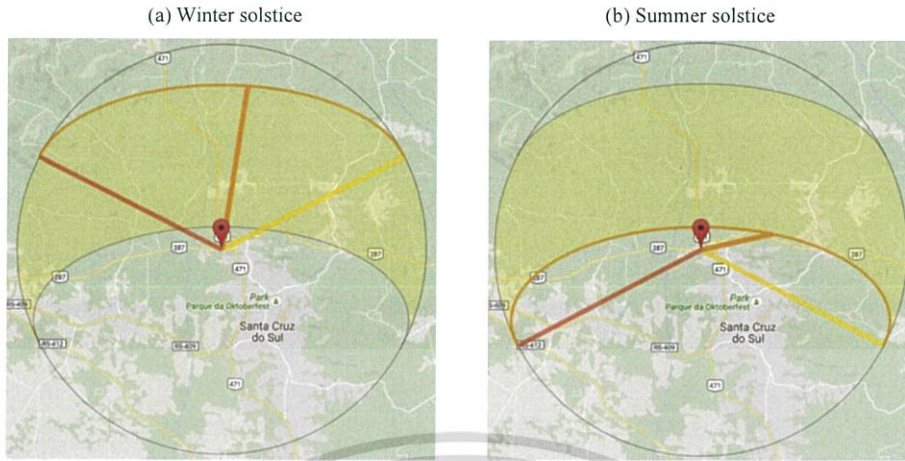


Fig. 5. Sun trajectories in the winter and summer solstices in relation to the setup location.



Fig. 6. –Periods of the day. Source: [27]

due to bad weather or fog. This is more frequent in the winter of the region.

Moreover, such strategies were responsible for assisting in energy saving, consumed by the execution of the movements, whose value remained below 1 W per day. Considering the panel capacity of 37 W/h with the irradiation of 1000 W/m², the consumption is low. Moreover, the conception of the tracker ignores the requirement of daily updates in the north/south axis, helping the energy saving.

Based on the performance results, the proposed solar tracker presented advantages over the fixed panel, being a future work the enhancement of the physical structure built herein as well as the computational steps of the algorithm. The adoption of Artificial Intelligence techniques to configure solar tracker movements, based on a historical energy capture database, can be used to optimize the benefits of the energy capture process and increase the energy efficiency gains.

References

[1] S. Ozlu, I. Dincer, Analysis and evaluation of a new solar energy-based multigeneration system, *Int. J. Energy Res.* 40 (2016).
 [2] S. Seme, G. Stumberger, J. Vrsic, Maximum efficiency trajectories of a two-axis sun tracking system determined considering tracking system consumption, *IEEE Trans. Power Electron.* (2011) 1280–1290.
 [3] F.M. Vieira, P.S. Moura, A.T. de Almeida, Energy storage system for self-consumption of photovoltaic energy in residential zero-energy buildings, *Renew. Energy* (2017) 308–320.
 [4] Empresa de Pesquisa Energética, EPE (BRASIL), Balanço Energético Nacional

2016, Ano base 2015; relatório final [National Energy Balance 2016 – Base year 2015; final report], 2016.
 [5] F.Z. Zerhouni, M. Zegrar, M.T. Benmessaoud, A. Boudghene stambouli, A. Midoun, A novel method to optimize photovoltaic generator operation, *Int. J. energy Res.* (2008) 1444–1453.
 [6] L. Serrano-Luján, N. Espinosa, J. Abad, A. Urbina, The greenest decision on photovoltaic system allocation, *Renew. Energy* (2017) 1348–1356.
 [7] A. Zegaoui, M. Aillerie, P. Petit, J.P. Sawicki, J.P. Charles, A.W. Belarbi, Dynamic behaviour of PV generator trackers under irradiation and temperature changes, *Sol. Energy* (2011) 2953–2964.
 [8] D.R. Carvalho, A.F. Lacerda Filho, R.C. Resende, M.A. Possi, J.P. Kruckeberg, An economical, two axes solar tracking system for implementation in Brazil, *Appl. Eng. Agric.* (2013) 123–128.
 [9] G.C. Lazaroiu, M. Longo, M. Roscia, M. Pagano, Comparative analysis of fixed and sun tracking low power PV systems considering energy consumption, *Energy Convers. Manag.* (2015) 143–148.
 [10] A. Al-Mohamad, Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a Sun-tracking system, *Appl. Energy* (2004) 345–354.
 [11] H. Mousazadeh, A. Keyhani, A. Javadi, H. Mobli, A.K. Abrinia, Sharifi, A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output, *Renew. Sustain. Energy Rev.* (2009) 1800–1818.
 [12] Y. Yao, Y. Hu, S. Gao, G. Yang, J. Du, A multipurpose dual-axis solar tracker with two tracking strategies, *Renew. Energy* (2014) 88–98.
 [13] S.J. Oh, M. Burhan, K.C. Ng, Y. Kim, W. Chun, Development and performance analysis of a two-axis solar tracker for concentrated photovoltaics, *Int. J. Energy Res.* (2015) 965–976.
 [14] H. Bentaher, H. Kaich, N. Ayadi, M. Ben hmouda, A. Maalej, U. Lemmer, A simple tracking system to monitor solar PV panels, *Energy Convers. Manag.* (2014) 872–875.
 [15] WEB OF SCIENCE. Available at: <https://webofknowledge.com/>. Accessed 24 August 2016.
 [16] SCOPUS. Available at: <https://www.scopus.com/>. Accessed 24 August 2016.
 [17] M. Serhan, L. El-chaar, Two axes sun tracking system: comparison with a fixed system, *Int. Conf. Renew. Energies Power Qual.* 10 (2010).
 [18] INMENTRO, http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela_fotovoltaico_

- modulo.pdf, 2017 (Accessed 17 November 16).
- [19] C. Alexandru, A novel open-loop tracking strategy for photovoltaic systems, *Sci. World J.* 2013 (2013).
- [20] M.A. Varejão-Silva, *Meteorologia e Climatologia*, 2006.
- [21] M.J. Ahmad, G.N. Tiwari, Optimization of tilt angle for solar collector to receive maximum radiation, *Open Renew. Energy J.* (2009) 19–24.
- [22] S.A. Keshavarz, P. Talebizadeh, S. Adalatia, M.A. Mehrabian, M. Abdolzadeh, Optimal slope-angles to determine maximum solar energy gain for solar collectors used in Iran, *Int. J. Renew. Energy Resour.* (2012) 665–673.
- [23] D.H.W. Li, T.N.T. Lam, Determining the optimum tilt angle and orientation for solar energy collection based on measured solar radiance data, *Int. J. Photoenergy* 2007 (2007).
- [24] A.A. El-sebaili, F.S. Al-hazmi, A.A. Al-ghamdi, S.J. Yagmour, Global, direct and diffuse solar radiation on horizontal and tilted surfaces in Jeddah, Saudi Arabia, *Appl. Energy* (2010) 568–576.
- [25] B. Jamil, A.T. Siddiqui, N. Akhtar, Estimation of solar radiation and optimum tilt angles for south-facing surfaces in Humid Subtropical Climatic Region of India, *Eng. Sci. Technol. Int. J.* 19 (2016).
- [26] W.G. Le Roux, Optimum tilt and azimuth angles for fixed solar collectors in South Africa using measured data, *Renew. Energy* (2016) 603–612.
- [27] Suncalc. Available at: <<http://www.suncalc.net>>. Accessed 17 November 2016.



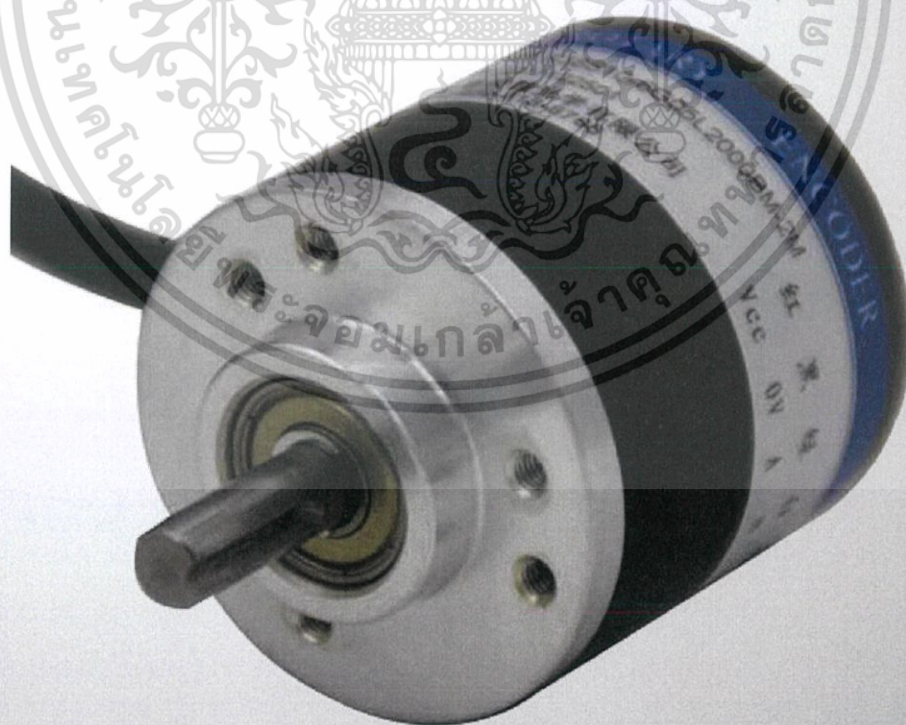
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

产品选型手册

Product selection guide



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

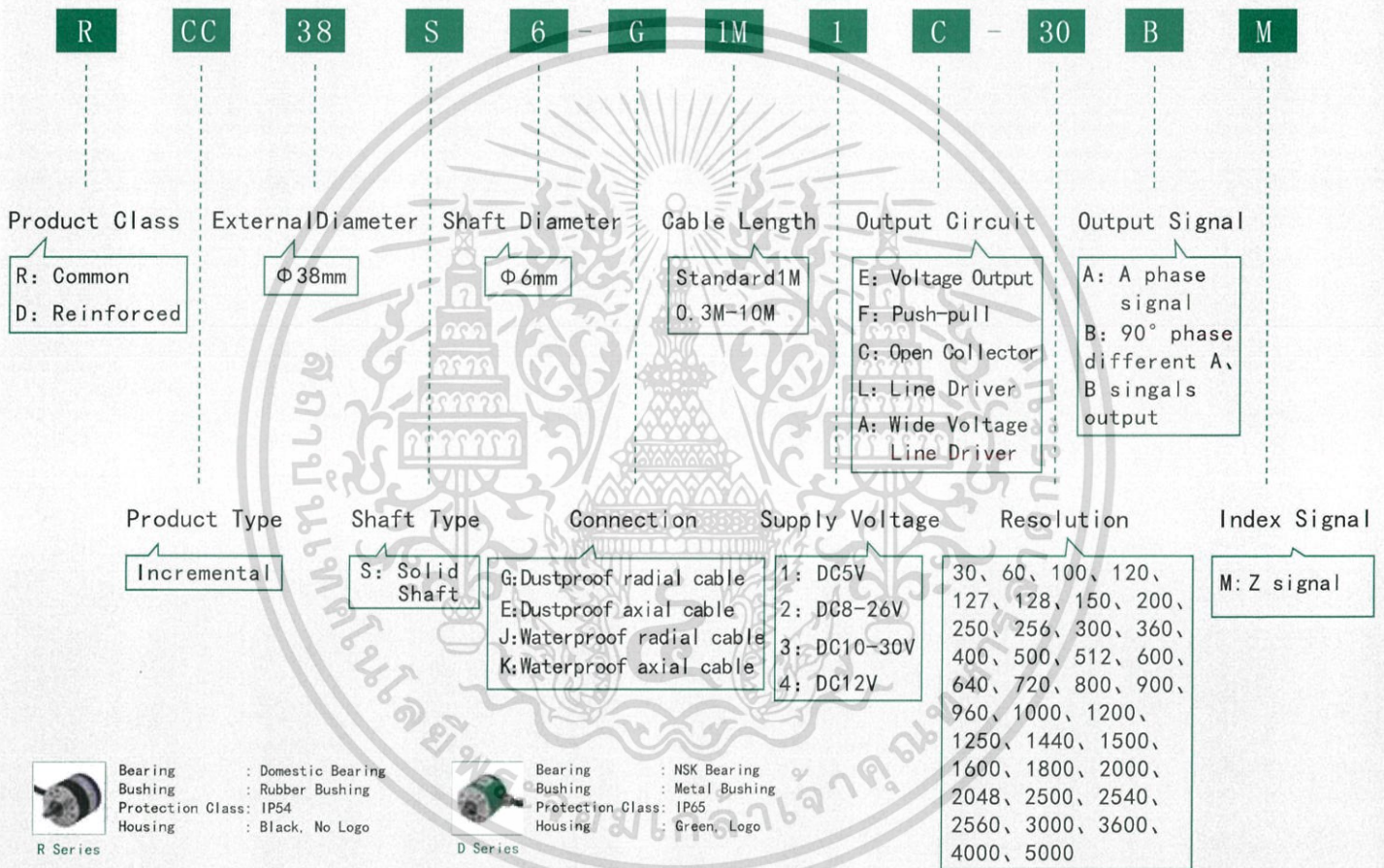
RCC 38S6 · Series

Applications & Features



RCC38S is widely used in various mechanical industrial control, especially in the printing and packing industry. Resolution up to 5000 P/R. Small size, light weight and high precision. Through the axial length changes, the encoder can be adapted to the more different environment, is the preferred higher quality and low cost product.

Part Number

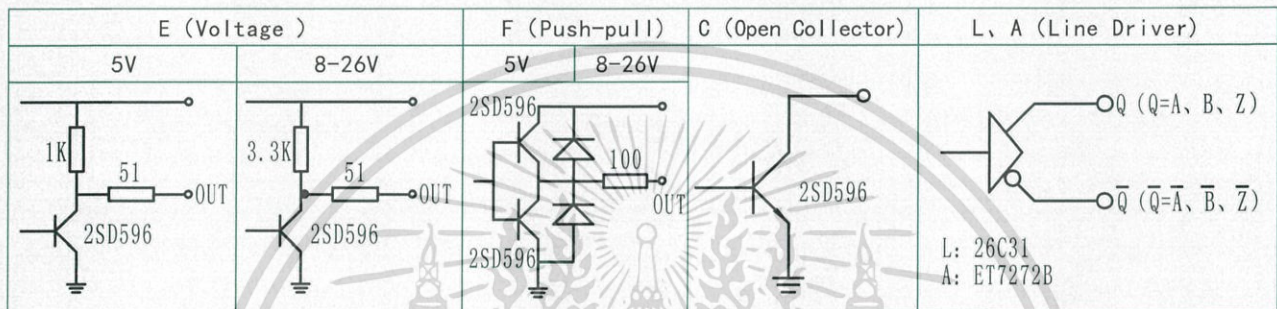


Electrical Specifications

Output Circuit	Supply Voltate DC (V)	Current Requirement (mA)	(Output Voltage V)		Rise Time (ns)	Fall Time (ns)	Frequency Response (kHz)
			V _H	V _L			
E (Voltage)	5 ± 0.25	≤ 80	> 3.5	≤ 0.7	≤ 500	≤ 100	0-300
	8-26	≤ 120	> VCC-2.5	≤ 0.7	≤ 500	≤ 100	0-300
	10-30						
F (Push-pull)	12	≤ 120	> VCC-2.5	≤ 0.7	≤ 500	≤ 100	0-300
	5 ± 0.25						
	8-26						
	10-30						
	12						

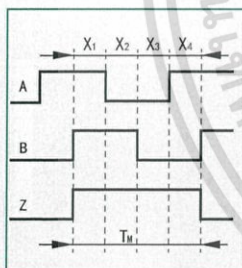
C (Open Collector)	5±0.25	≤60	>VCC-2.5	≤0.7	≤500	≤100	0-300
	8-26						
	10-30						
	12						
L (Line Driver)	5±0.25	≤100	>3.5	≤0.7	≤200	≤200	0-300
A (Wide Voltage Line Driver)	8-26	≤60	>VCC-2.5	≤0.7	≤500	≤100	0-300
	10-30						
	12						

Output Circuit

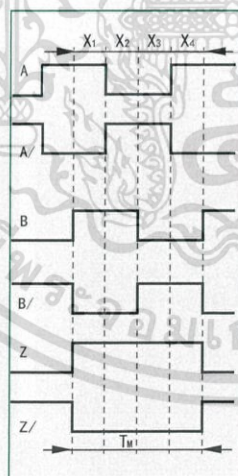


Note: C, F output is shorted to ground protection diode.

Output Waveform



Waveform for C, E, F output



Waveform for L, A output

Wave Ratio : $X_1+X_2=0.5T \pm 0.1T$
 $X_2+X_3=0.5T \pm 0.1T$
Phase Different : $X_n \geq 0.125T$ ($n=1, 2, 3, 4$)
Absolute Angle Error: $\leq 0.2T$
Cycle Error : $\leq 0.05T$

$T=360^\circ / N$ (N =lines count per revolution)

Width of Z signal

1、 $T_m=1T \pm 0.5T$

$T_m=nT \pm 0.1T$ ($n \geq 2$)

The phase relationship of Z signal and A, B signal is not stipulated.

2、 $T_m=0.5T \pm 0.25T$

$T_m=0.25T \pm 0.125T$

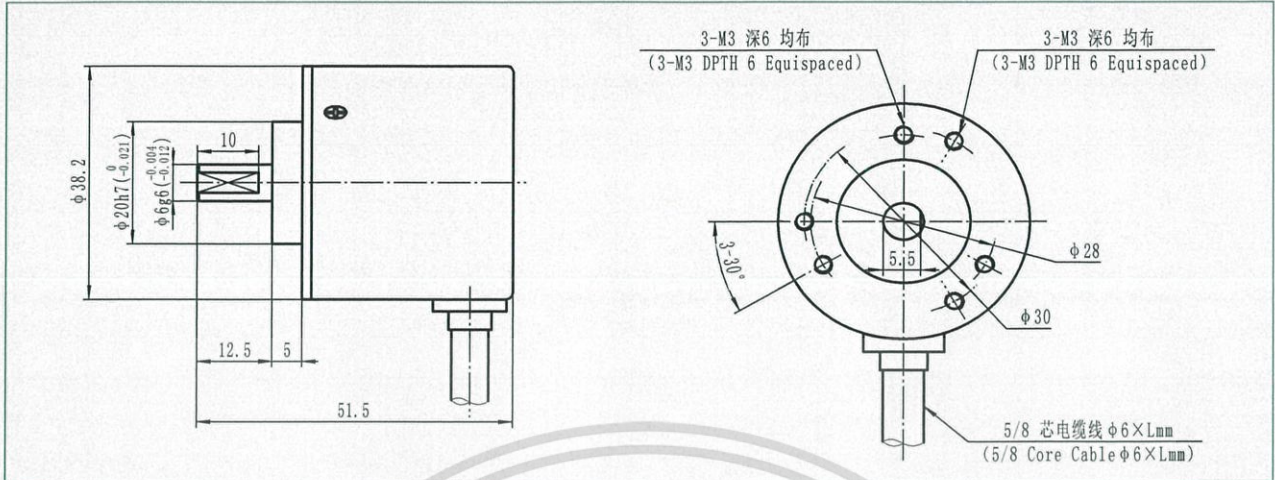
$T_m=0.25T \pm 0.125T$

The picture shows the clockwise (CW) waveform from the shaft side.

Mechanical Specifications

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Max Speed (r/min)	Starting Torque (N. M)	Max Load (N)		Rotary Inertia (kgm ²)	Weight (kg)
		Radial	Axial		
6000	$1 \cdot 10^{-3}$	30	20	$4 \cdot 10^{-6}$	≈0.135



Environmental Specifications

Operating Temperature (°C)	-20 ~ +85	
Storage Temperature (°C)	-30 ~ +90	
Relative Humidity	35% ~ 85%RH no condensation	
Impact Resistance (m/s ²)	50 (Three times each on x, y, z directions, each time lasts 6ms)	
Vibration Resistance (m/s ²)	20 (10 ~ 200Hz, 2h on x, y, z directions)	
Protection Class	Common IP54	Reinforced IP65

Connections

Cable Color	Red	Black	Green	Brown	White	Grey	Yellow	Orange	Shield
E (Voltage)	Vcc	0V	A	/	B	/	Z	/	G
F (Push Pull)	Vcc	0V	A	/	B	/	Z	/	G
C (Open Collector)	Vcc	0V	A	/	B	/	Z	/	G
L, A (Line Driver)	Vcc	0V	A	A/	B	B/	Z	Z/	G



Light Dependent Resistor - LDR

Two cadmium sulphide(cds) photoconductive cells with spectral responses similar to that of the human eye. The cell resistance falls with increasing light intensity. Applications include smoke detection, automatic lighting control, batch counting and burglar alarm systems.



Applications

Photoconductive cells are used in many different types of circuits and applications.

Analog Applications

- Camera Exposure Control
- Auto Slide Focus - dual cell
- Photocopy Machines - density of toner
- Colorimetric Test Equipment
- Densitometer
- Electronic Scales - dual cell
- Automatic Gain Control – modulated light source
- Automated Rear View Mirror

Digital Applications

- Automatic Headlight Dimmer
- Night Light Control
- Oil Burner Flame Out
- Street Light Control
- Absence / Presence (beam breaker)
- Position Sensor

Electrical Characteristics

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Cell resistance	1000 LUX	-	400	-	Ohm
	10 LUX	-	9	-	K Ohm
Dark Resistance	-	-	1	-	M Ohm
Dark Capacitance	-	-	3.5	-	pF
Rise Time	1000 LUX	-	2.8	-	ms
	10 LUX	-	18	-	ms
Fall Time	1000 LUX	-	48	-	ms
	10 LUX	-	120	-	ms
Voltage AC/DC Peak		-	-	320	V max
Current		-	-	75	mA max
Power Dissipation				100	mW max
Operating Temperature		-60	-	+75	Deg. C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Guide to source illuminations

Light source Illumination	LUX
Moonlight	0.1
60W Bulb at 1m	50
1W MES Bulb at 0.1m	100
Fluorescent Lighting	500
Bright Sunlight	30,000

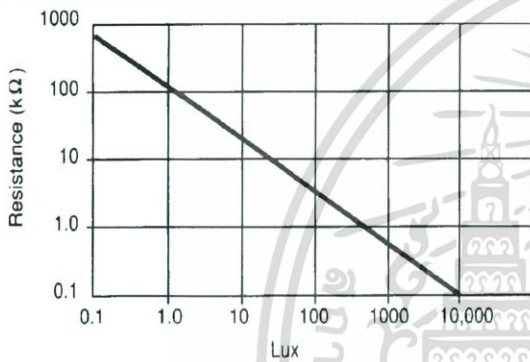
FIGURE 1 CIRCUIT SYMBOL



Sensitivity

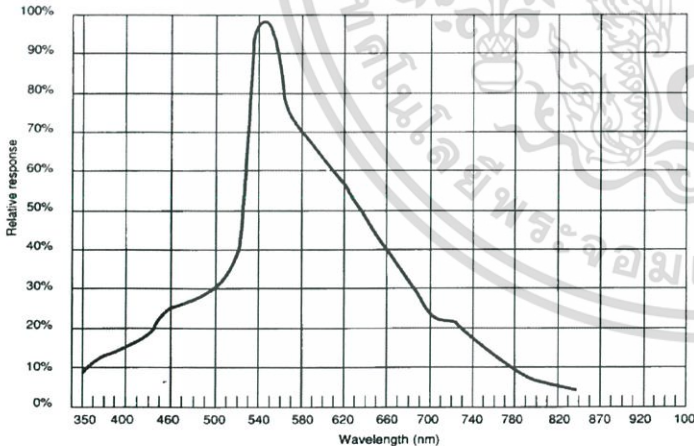
The sensitivity of a photodetector is the relationship between the light falling on the device and the resulting output signal. In the case of a photocell, one is dealing with the relationship between the incident light and the corresponding resistance of the cell.

FIGURE 2 RESISTANCE AS FUNCTION OF ILLUMINATION



Spectral Response

Figure 3 Spectral response



Like the human eye, the relative sensitivity of a photoconductive cell is dependent on the wavelength (color) of the incident light. Each photoconductor material type has its own unique spectral response curve or plot of the relative response of the photocell versus wavelength of light.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dimensions

.144 (3.66)
.164 (4.17)

.070 (1.78)
.090 (2.29)

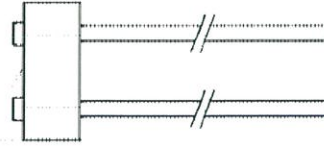
1.38 (35.05)
1.62 (41.15)

AWG 24 TINNED
COPPER LEADS

5



.172 (4.37)
.192 (4.88)



2

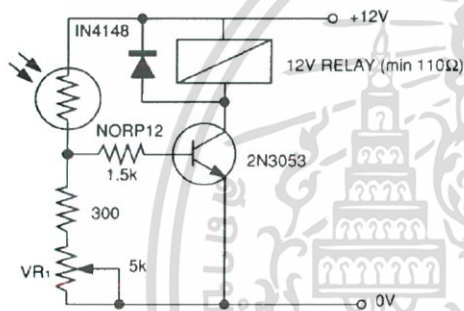
.090 (2.29)
.110 (2.79)

PLASTIC COATED TO
PROTECT ACTIVE SURFACE

LEAD DIA. & PLASTIC COATING
NOT CONTROLLED WITHIN .10 (2.5)
OF CERAMIC SUBSTRATE

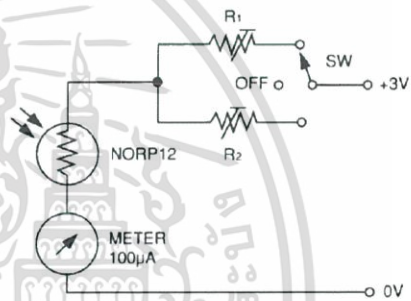
Typical Application Circuits

Figure 6 Sensitive light operated relay



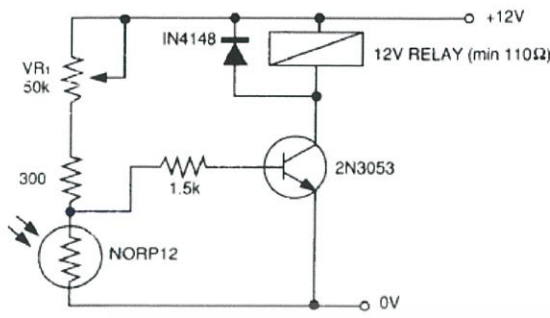
Relay energised when light level increases above the level set by VR₁

Figure 9 Logarithmic law photographic light meter



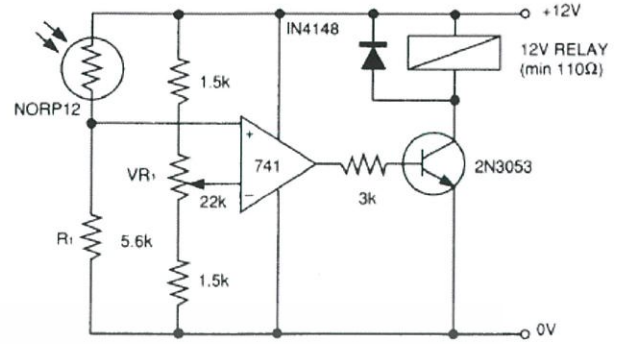
Typical value R¹ = 100kΩ
R² = 200kΩ preset to give two overlapping ranges.
(Calibration should be made against an accurate meter.)

Figure 7 Light interruption detector



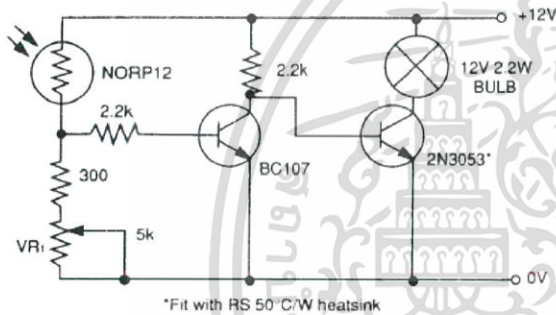
As Figure 6 relay energised when light level drops below the level set by VR₁

Figure 10 Extremely sensitive light operated relay



(Relay energised when light exceeds preset level.)
Incorporates a balancing bridge and op-amp. R₁ and NORP12 may be interchanged for the reverse function.

Figure 8 Automatic light circuit



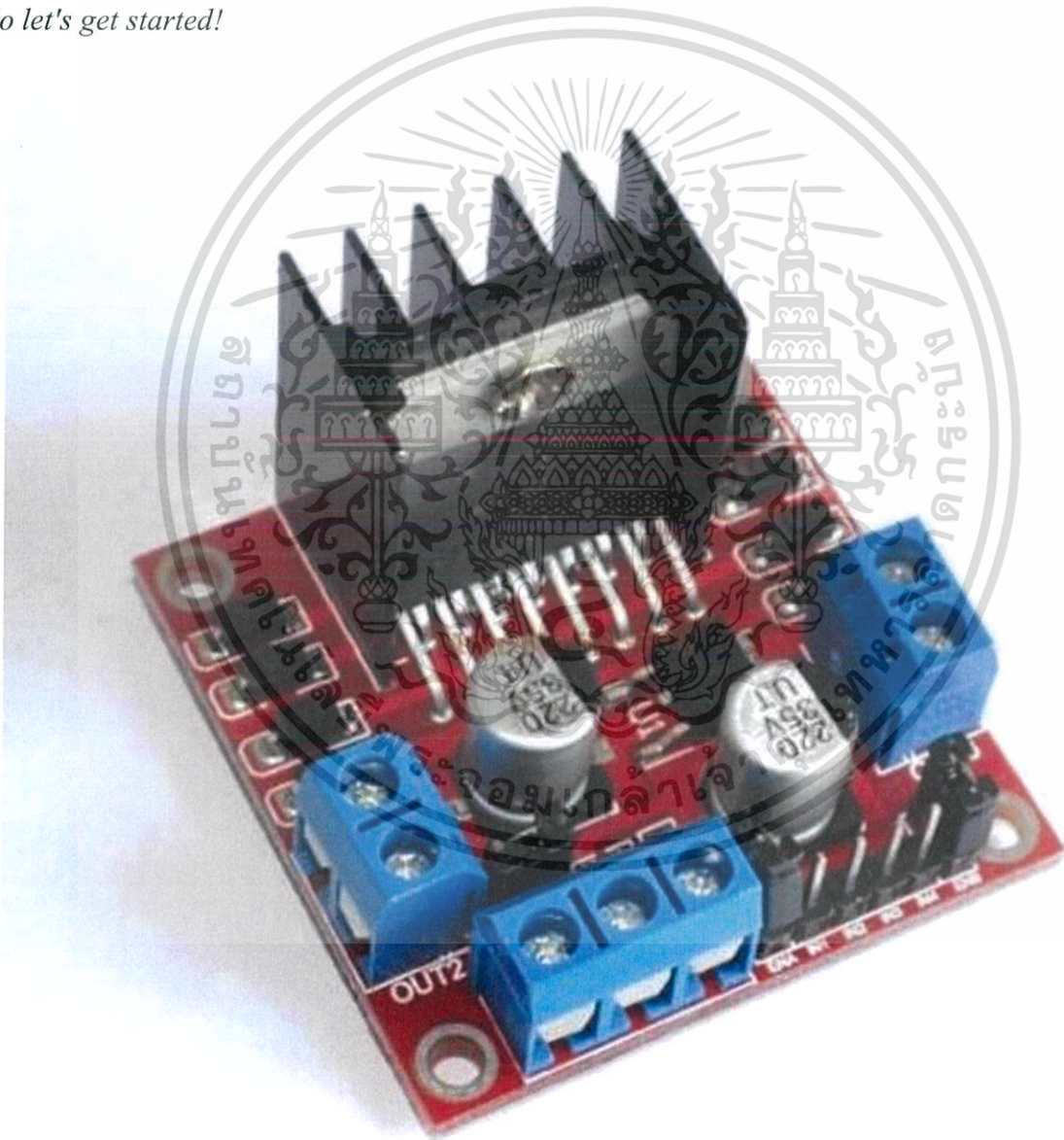
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tutorial - L298N Dual Motor Controller Module 2A and Arduino

In this tutorial we'll explain how to use our L298N H-bridge Dual Motor Controller Module 2A with Arduino. This allows you to control the speed and direction of two DC motors, or control one bipolar stepper motor with ease. The L298N H-bridge module can be used with motors that have a voltage of between 5 and 35V DC.

There is also an onboard 5V regulator, so if your supply voltage is up to 12V you can also source 5V from the board.

So let's get started!

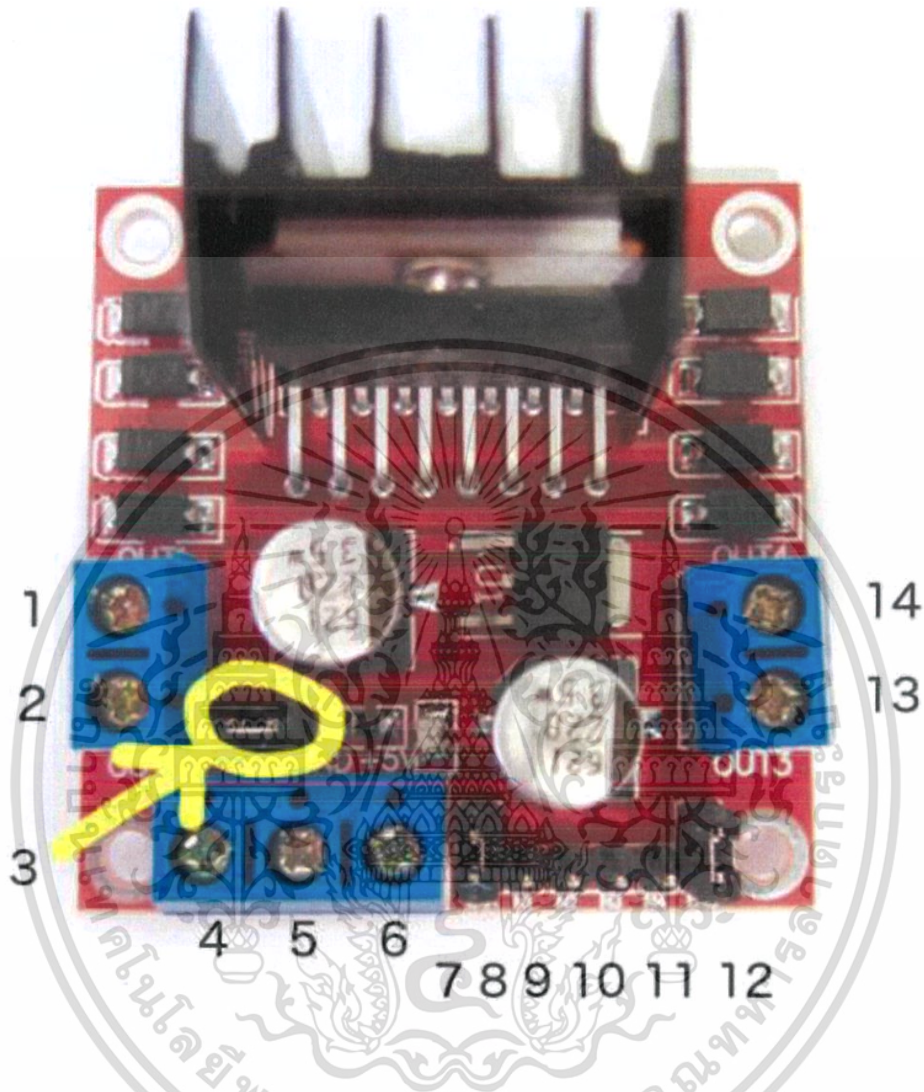


First we'll run through the connections, then explain how to control DC motors then a stepper motor.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Module pinouts

Consider the following image - match the numbers against the list below the image:



1. DC motor 1 "+" or stepper motor A+
2. DC motor 1 "-" or stepper motor A-
3. 12V jumper - remove this if using a supply voltage greater than 12V DC. This enables power to the onboard 5V regulator
4. Connect your motor supply voltage here, maximum of 35V DC. Remove 12V jumper if >12V DC
5. GND
6. 5V output if 12V jumper in place, ideal for powering your Arduino (etc)
7. DC motor 1 enable jumper. Leave this in place when using a stepper motor. Connect to PWM output for DC motor speed control.
8. IN1
9. IN2
10. IN3
11. IN4
12. DC motor 2 enable jumper. Leave this in place when using a stepper motor. Connect to PWM output for DC motor speed control.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 13. DC motor 2 "+" or stepper motor B+
- 14. DC motor 2 "-" or stepper motor B-

Controlling DC Motors

To control one or two DC motors is quite easy. First connect each motor to the A and B connections on the L298N module. If you're using two motors for a robot (etc) ensure that the polarity of the motors is the same on both inputs. Otherwise you may need to swap them over when you set both motors to forward and one goes backwards!

Next, connect your power supply - the positive to pin 4 on the module and negative/GND to pin 5. If your supply is up to 12V you can leave in the 12V jumper (point 3 in the image above) and 5V will be available from pin 6 on the module. This can be fed to your Arduino's 5V pin to power it from the motors' power supply. Don't forget to connect Arduino GND to pin 5 on the module as well to complete the circuit.

Now you will need six digital output pins on your Arduino, two of which need to be PWM (pulse-width modulation) pins. PWM pins are denoted by the tilde ("~") next to the pin number, for example:



Finally, connect the Arduino digital output pins to the driver module. In our example we have two DC motors, so digital pins D9, D8, D7 and D6 will be connected to pins IN1, IN2, IN3 and IN4 respectively. Then connect D10 to module pin 7 (remove the jumper first) and D5 to module pin 12 (again, remove the jumper).

The motor direction is controlled by sending a HIGH or LOW signal to the drive for each motor (or channel). For example for motor one, a HIGH to IN1 and a LOW to IN2 will cause it to turn in one direction, and a LOW and HIGH will cause it to turn in the other direction.

However the motors will not turn until a HIGH is set to the enable pin (7 for motor one, 12 for motor two). And they can be turned off with a LOW to the same pin(s). However if you need to control the speed of the motors, the PWM signal from the digital pin connected to the enable pin can take care of it.

This is what we've done with the DC motor demonstration sketch. Two DC motors and an Arduino Uno are connected as described above, along with an external power supply. Then enter and upload the following sketch:

```
// connect motor controller pins to Arduino digital pins
// motor one
int enA = 10;
int in1 = 9;
int in2 = 8;
// motor two
int enB = 5;
int in3 = 7;
int in4 = 6;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่รับสินไหมชดเชยใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void setup()
{
  // set all the motor control pins to outputs
  pinMode(enA, OUTPUT);
  pinMode(enB, OUTPUT);
  pinMode(in1, OUTPUT);
  pinMode(in2, OUTPUT);
  pinMode(in3, OUTPUT);
  pinMode(in4, OUTPUT);
}
void demoOne()
{
  // this function will run the motors in both directions at a fixed speed
  // turn on motor A
  digitalWrite(in1, HIGH);
  digitalWrite(in2, LOW);
  // set speed to 200 out of possible range 0~255
  analogWrite(enA, 200);
  // turn on motor B
  digitalWrite(in3, HIGH);
  digitalWrite(in4, LOW);
  // set speed to 200 out of possible range 0~255
  analogWrite(enB, 200);
  delay(2000);
  // now change motor directions
  digitalWrite(in1, LOW);
  digitalWrite(in2, HIGH);
  digitalWrite(in3, LOW);
  digitalWrite(in4, HIGH);
  delay(2000);
  // now turn off motors
  digitalWrite(in1, LOW);
  digitalWrite(in2, LOW);
  digitalWrite(in3, LOW);
  digitalWrite(in4, LOW);
}
void demoTwo()
{
  // this function will run the motors across the range of possible speeds
  // note that maximum speed is determined by the motor itself and the
operating voltage
  // the PWM values sent by analogWrite() are fractions of the maximum
speed possible
  // by your hardware
  // turn on motors
  digitalWrite(in1, LOW);
  digitalWrite(in2, HIGH);
  digitalWrite(in3, LOW);
  digitalWrite(in4, HIGH);
  // accelerate from zero to maximum speed
  for (int i = 0; i < 256; i++)
  {
    analogWrite(enA, i);
    analogWrite(enB, i);
    delay(20);
  }
  // decelerate from maximum speed to zero
  for (int i = 255; i >= 0; --i)
  {
    analogWrite(enA, i);
    analogWrite(enB, i);
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปทำซ้ำหรือดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    delay(20);
}
// now turn off motors
digitalWrite(in1, LOW);
digitalWrite(in2, LOW);
digitalWrite(in3, LOW);
digitalWrite(in4, LOW);
}
void loop()
{
    demoOne();
    delay(1000);
    demoTwo();
    delay(1000);
}

```

So what's happening in that sketch? In the function *demoOne()* we turn the motors on and run them at a PWM value of 200. This is not a speed value, instead power is applied for 200/255 of an amount of time at once.

Then after a moment the motors operate in the reverse direction (see how we changed the HIGHS and LOWs in the *digitalWrite()* functions?).

To get an idea of the range of speed possible of your hardware, we run through the entire PWM range in the function *demoTwo()* which turns the motors on and then runs through PWM values zero to 255 and back to zero with the two *for* loops.

Finally this is demonstrated in the following video - using a well-worn tank chassis with two DC motors:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้