

หุ่นยนต์ตัดหญ้าอัตโนมัติ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

Automatic lawn mower robot using solar energy



นาย เฉลิมพงษ์ คำดำ

Mr. Chalermpong khamdam

รหัสนักศึกษา 60010176

Student ID 60010176

นาย นัฐดนัย อักษร

Mr. Nutdanai Aksorn

รหัสนักศึกษา 60010302

Student ID 60010302

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หุ่นยนต์ตัดหญ้าอัตโนมัติ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

Automatic lawn mower robot using solar energy

โดย

นาย เฉลิมพงษ์ คำดำ รหัสนักศึกษา 60010176

นาย ณัฐดนัย อักษร รหัสนักศึกษา 60010302



ปฏิญานีพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หุ่นยนต์ตัดหญ้าอัตโนมัติ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

Automatic lawn mower robot using solar energy

ผู้จัดทำ นาย เฉลิมพงษ์ คำคำ รหัสนักศึกษา 60010176

นาย ณัฐดนัย อักษร รหัสนักศึกษา 60010302

ปริญญานิพนธ์ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



*Seangrawee*

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. แสงระวี บัวแก้ว)

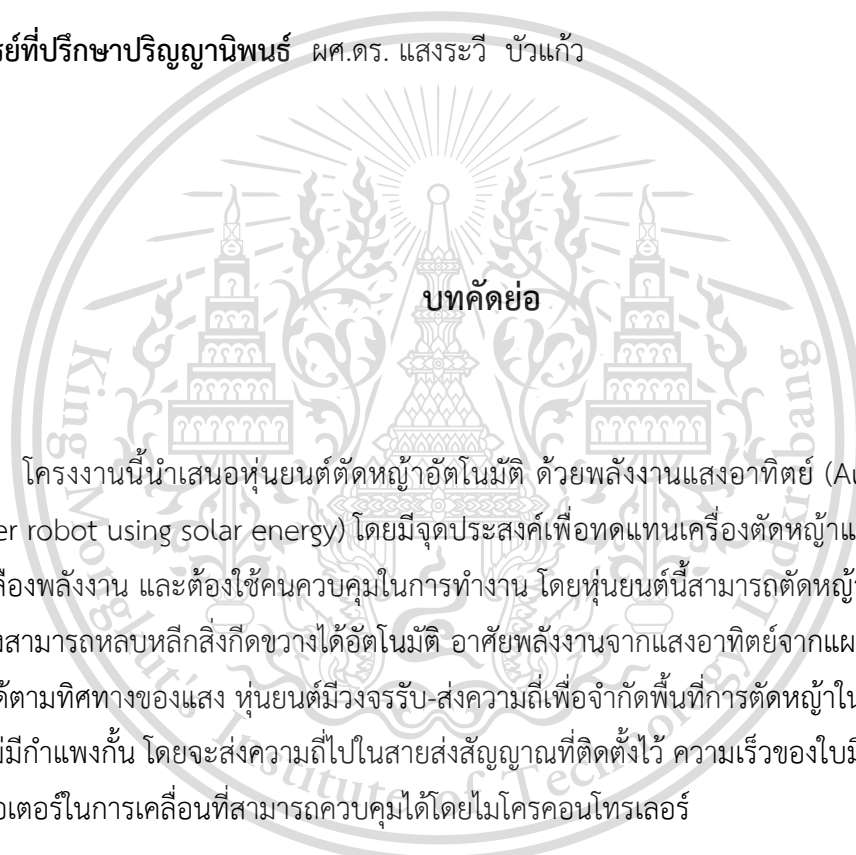
อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หัวข้อปริญญานิพนธ์	หุ่นยนต์ตัดหญ้าอัตโนมัติ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์
นักศึกษา	นาย เฉลิมพงษ์ คำดำ รหัสนักศึกษา 60010176
	นาย ณัฐดนัย อักษร รหัสนักศึกษา 60010302
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2563
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร. แสงระวี บัวแก้ว



### บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอหุ่นยนต์ตัดหญ้าอัตโนมัติ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Automatic lawn mower robot using solar energy) โดยมีจุดประสงค์เพื่อทดแทนเครื่องตัดหญ้าแบบเครื่องยนต์ที่สิ้นเปลืองพลังงาน และต้องใช้คนควบคุมในการทำงาน โดยหุ่นยนต์นี้สามารถตัดหญ้าได้สม่ำเสมอ และยังสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้อัตโนมัติ อาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งหมุนได้ตามทิศทางของแสง หุ่นยนต์มีวงจรรับ-ส่งความถี่เพื่อจำกัดพื้นที่การตัดหญ้าในกรณีที่เป็นพื้นที่โล่ง ไม่มีกำแพงกั้น โดยจะส่งความถี่ไปในสายส่งสัญญาณที่ติดตั้งไว้ ความเร็วของใบมีด และความเร็วของมอเตอร์ในการเคลื่อนที่ที่สามารถควบคุมได้โดยไม่โครคอนโทรลเลอร์

ผลการทดลองหุ่นยนต์ตัดหญ้าอัตโนมัติ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถทำงานได้ตามแผนที่คณะผู้จัดทำวางไว้ ไม่ว่าจะเป็นการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง การจำกัดบริเวณในการตัดหญ้า การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

<b>Thesis Title</b>	Automatic lawn mower robot using solar energy
<b>Student</b>	Mr. Chalermpong khamdam Student ID 60010176 Mr.Nutdanai Aksorn Student ID 60010302
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering
<b>Program</b>	Electronics Engineering
<b>Year</b>	2020
<b>Thesis Advisor</b>	Assist. Prof. Seangrawee Buakaew



## ABSTRACT

This project presents the automatic lawn mowing robot. Solar powered (Automatic lawn mower robot using solar energy) intended to replace energy-consuming motorized lawn mowers. And requires a control person to work This robot can cut grass evenly. And can also automatically avoid obstacles It relies on solar energy from solar panels. Which rotates in the direction of light The robot has a frequency transmission circuit to limit the mowing area in the case of an open area. No barrier It will send the frequency to the installed transmission line. Blade speed And the speed of the motor in motion can be controlled by the microcontroller.

The result of an automatic lawn mowing robot With solar energy Able to work according to the plan of the preparation team Whether it is avoiding obstacles Limiting the mowing area The conversion of solar energy into electrical energy.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการ “หุ่นยนต์ตัดหญ้าอัตโนมัติ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์” สำเร็จได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาจาก ผศ.ดร. แสงระวี บัวแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยช่วยเหลือในการทดลองวงจรและให้ความรู้รวมถึงการแก้ปัญหาต่าง ๆ เมื่อผลิตชิ้นงาน และแนะนำในการออกแบบ รวมถึงเคล็ดลับต่าง ๆ ในการซื้อและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำ “หุ่นยนต์ตัดหญ้าอัตโนมัติ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์” ขอขอบคุณเพื่อนปี 4 ทุก ๆ คนที่ช่วยให้คำแนะนำต่าง ๆ จนกระทั่งวงจรที่ทำออกมานั้นประสบความสำเร็จออกมาได้ตามที่ต้องการ สุดท้ายขอขอบคุณทุก ๆ คนที่ช่วยให้คำแนะนำในการออกแบบวงจรและอยู่ทำงานด้วยกันจนเสร็จสิ้นไปด้วยดี



เฉลิมพงษ์ คำดำ

ณัฐดนัย อักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	3
2.1 หลักการทำงานของ Arduino MEGA 2560.....	3
2.2 โซลาร์เซลล์ Solar cell.....	7
2.3 Ultrasonic sensor module.....	9
2.4 Servo Motor.....	13
2.5 Dc Motor.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.6 แบตเตอรี่ HUAWEI BATTERY model: OT12-12 GEL BATTER.....	20
2.7 LDR ตัวต้านทานไวแสง.....	22
2.8 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor).....	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	27
3.1 การพิจารณาการใช้วงจรแรงดันคงที่.....	27
3.2 การพิจารณาการใช้วงจรชาร์จแบตเตอรี่.....	27
3.3 การคำนวณและการออกแบบโซลาร์เซลล์.....	30
3.4 การคำนวณและการออกแบบวงจรส่งสัญญาณ.....	32
3.5 การคำนวณและการออกแบบวงจรรับสัญญาณ.....	33
3.6 แผนผังโปรแกรมการทำงานของเครื่องตัดหญ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์.....	35
3.7 แผนผังโปรแกรมการทำงานของวงจรวัดค่าแสงอาทิตย์ด้วย LDR .....	36
3.8 แผนผังโปรแกรมการทำงานของเซนเซอร์รับสัญญาณ.....	37
3.9 แผนผังโปรแกรมการทำงานของหุ่นยนต์ตัดหญ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์.....	38
3.10 รูปภาพแบบร่างของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ที่ออกแบบได้.....	39
3.11 รูปภาพแบบร่างของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ออกแบบได้.....	40
3.12 รูปภาพแบบร่างของวงจรวัดความเข้มแสงที่ได้.....	41
3.13 รูปภาพแบบร่างของวงจรจำกัดขอบเขต.....	42
3.14 รูปภาพแบบร่างของวงจรรับสัญญาณ.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.15 รูปภพลายปรินของวงจรถับมอเตอร์.....	44
3.16 รูปภพลายปรินของวงจรวัดความเข้มแสง.....	45
3.17 รูปภพลายปรินของวงจรงแรงดันคงที่.....	46
3.18 รูปภพลายปรินของวงจรถาร์จแบตเตอรี่.....	47
3.19 รูปภพลายปรินของวงจรถักขอบเขต.....	48
3.20 รูปภพลายปรินของวงจรถับสัญญาณ.....	49
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	50
4.1 วงจรถ่ายไฟตรงแบบเชิงเส้น Voltage Regulator.....	50
4.2 วงจรถ้าหรับขั้วมอเตอร์ Motor Drive.....	52
4.3 วงจรถาร์จโซลาร์เซลล์ PWM (Solar charge controller).....	54
4.4 กำลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตามแสงอาทิตย์และแบบขนานกับพื้น.....	55
4.5 วงจรถส่งสัญญาณ.....	57
4.6 วงจรถับสัญญาณ.....	58
4.7 ภาพรวมของหุ่นยนต์ตัดหญ้าอัตโนมัติ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์.....	63
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	66
สรุปผลการทดลอง.....	66
ข้อเสนอแนะ.....	67
บรรณานุกรม.....	68
ภาคผนวก ก คำสั่งโปรแกรมหุ่นยนต์ตัดหญ้าอัตโนมัติ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์.....	69
ภาคผนวก ข ดาต้าชีท.....	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแหล่งอื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.1 กำลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตามแสงอาทิตย์และแบบขนานกับพื้น.....	55
ตารางที่ 4.2 ขนาดสัญญาณที่ Output โดยใช้สายส่งสัญญาณขนาด 16 AWG.....	53
ตารางที่ 4.3 ขนาดสัญญาณที่ Output โดยใช้สายส่งสัญญาณขนาด 18 AWG.....	54
ตารางที่ 4.4 ขนาดสัญญาณที่ Output โดยใช้สายส่งสัญญาณขนาด 20 AWG.....	60
ตารางที่ 4.5 ขนาดสัญญาณที่ Output โดยใช้สายส่งสัญญาณขนาด 22 AWG.....	61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบระหว่าง Arduino UNO กับ Arduino MEGA.....	3
รูปที่ 2.2 ขาและการใช้งาน.....	4
รูปที่ 2.3 Arduino mega 2560 การใช้งานคุณสมบัติ Arduino MEGA.....	4
รูปที่ 2.4 ฟังก์ชันอื่น ๆ.....	5
รูปที่ 2.5 การเลือกใช้งานขาต่าง ๆ ของ Arduino MEGA.....	6
รูปที่ 2.6 เปรียบเทียบโซลาร์เซลล์เสมือนถ่าน 1 ก้อน.....	7
รูปที่ 2.7 โซลาร์เซลล์โพลีคริสตัลไลน์.....	8
รูปที่ 2.8 Ultrasonic module.....	9
รูปที่ 2.9 ค้างคาวใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการตรวจหาเหยื่อ.....	9
รูปที่ 2.10 การทำงานของเซ็นเซอร์วัดระยะด้วยคลื่นอัลตราโซนิก.....	10
รูปที่ 2.11 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทยในแต่ละภาค.....	11
รูปที่ 2.12 ไดอะแกรมการทำงานของเซ็นเซอร์วัดระยะด้วยคลื่นอัลตราโซนิก.....	11
รูปที่ 2.13 Timing Diagram ของเซ็นเซอร์วัดระยะด้วยคลื่นอัลตราโซนิก HC-SR04.....	12
รูปที่ 2.14 Servo Motor.....	13
รูปที่ 2.15 ส่วนประกอบ Servo Motor.....	14
รูปที่ 2.16 Servo Motor Block Diagram.....	14
รูปที่ 2.17 สัญญาณ RC ในรูปแบบ PWM.....	15
รูปที่ 2.18 การหมุนของ Servo Motor.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.19 องศาการหมุนของ Servo Motor.....	16
รูปที่ 2.20 ภายใน DC Motor.....	17
รูปที่ 2.21 การทำงานของ DC Motor.....	19
รูปที่ 2.22 แบตเตอรี่ HUAWEI BATTERY.....	20
รูปที่ 2.23 LDR ตัวต้านทานไวแสง.....	22
รูปที่ 2.24 กราฟคุณสมบัติของ LDR.....	23
รูปที่ 2.25 การวัดค่าความต้านทาน.....	23
รูปที่ 2.26 แสดงตัวเหนี่ยวนำชนิดต่างๆ.....	24
รูปที่ 2.27 แสดงสัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำชนิดต่างๆ.....	25
รูปที่ 2.28 ตัวเหนี่ยวนำแบบค่าคงที่.....	26
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างรูปการต่อวงจรเพื่อให้แรงดันเข้าที่พุด.....	27
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างรูปการต่อวงจรชาร์จแบตเตอรี่รีบนไฟโต้บอร์ด.....	27
รูปที่ 3.3 สัญญาณ PWM .....	29
รูปที่ 3.4 Astable Multivibrator.....	32
รูปที่ 3.5 แอมพลิฟายเออร์ LM324 Op-Amp.....	33
รูปที่ 3.6 การทำงานของเครื่องตัดหญ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์.....	35
รูปที่ 3.7 การทำงานของวัดค่าแสงอาทิตย์ LDR.....	36
รูปที่ 3.8 การทำงานของเซนเซอร์รับสัญญาณ.....	37
รูปที่ 3.9 การทำงานของหุ่นยนต์ตัดหญ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างรูปการต่อวงจรชาร์จแบตเตอรี่.....	39
รูปที่ 3.11 ตัวอย่างรูปการต่อวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์.....	40
รูปที่ 3.12 ตัวอย่างรูปการต่อวงจรวัดความเข้มแสง.....	41
รูปที่ 3.13 รูปภาพแบบร่างของวงจรจำกัดขอบเขต.....	42
รูปที่ 3.14 รูปภาพแบบร่างของวงจรรับสัญญาณ.....	43
รูปที่ 3.15 ลายปรี้นวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์.....	44
รูปที่ 3.16 ลายปรี้นของวงจรวัดความเข้มแสง.....	45
รูปที่ 3.17 ลายปรี้นวงจรแรงดันคงที่.....	46
รูปที่ 3.18 ลายปรี้นวงจรชาร์จแบตเตอรี่.....	47
รูปที่ 3.19 ลายปรี้นวงจรจำกัดขอบเขต.....	48
รูปที่ 3.20 ลายปรี้นวงจรจำกัดขอบเขต.....	49
รูปที่ 4.1 Output 12v ของ LM7812.....	50
รูปที่ 4.2 Output 5v ของ LM7805.....	50
รูปที่ 4.3 Output 5v ของ LM7805 ที่มีโหลดภาระ.....	51
รูปที่ 4.4 Output 12v ของ LM7805 ที่มีโหลดภาระ.....	51
รูปที่ 4.5 วงจร Motor Drive.....	52
รูปที่ 4.6 Duty Cycle 100% ของ Motor Drive.....	52
รูปที่ 4.7 Duty Cycle 75% ของ Motor Drive.....	53
รูปที่ 4.8 Duty Cycle 50% ของ Motor Drive.....	53

เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.9 Duty Cycle 75% ของ Motor Drive..... 54

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.10 Input NMOS ของ Solar charge controller.....	54
รูปที่ 4.11 Input PMOS ของ Solar charge controller.....	55
รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบกำลังงานโซลาร์เซลล์แบบติดตามแสงอาทิตย์และแบบขนานกับพื้น.....	57
รูปที่ 4.13 สัญญาณที่ Output ของวงจรส่งสัญญาณ.....	57
รูปที่ 4.14 ขนาดสัญญาณที่ Output โดยใช้สายส่งสัญญาณขนาด 16 AWG.....	59
รูปที่ 4.15 ขนาดสัญญาณที่ Output โดยใช้สายส่งสัญญาณขนาด 18 AWG.....	60
รูปที่ 4.16 ขนาดสัญญาณที่ Output โดยใช้สายส่งสัญญาณขนาด 20 AWG.....	61
รูปที่ 4.17 ขนาดสัญญาณที่ Output โดยใช้สายส่งสัญญาณขนาด 22 AWG.....	62
รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบขนาดสัญญาณเฉลี่ย โดยใช้สายส่งสัญญาณแต่ละขนาด.....	62
รูปที่ 4.19 ด้านซ้ายของหุ่นยนต์ตัดหญ้าอัตโนมัติ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์.....	63
รูปที่ 4.20 ด้านหน้าของหุ่นยนต์ตัดหญ้าอัตโนมัติ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์.....	64
รูปที่ 4.21 ด้านขวาของหุ่นยนต์ตัดหญ้าอัตโนมัติ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การตัดหญ้าด้วยเครื่องตัดหญ้าในปัจจุบันยังมีปัญหาหลายอย่างมากมาย ต้องใช้คนในการควบคุม การตัดหญ้าตลอดเวลา ทำให้ส่งผลเสียต่อสุขภาพร่างกายเมื่อต้องตัดหญ้าเป็นเวลานาน ปัญหาหญ้าที่ตัดไม่สม่ำเสมอทำให้สนามหญ้าไม่เรียบเนียน และเครื่องตัดหญ้าแบบเครื่องยนต์ยังปล่อยมลพิษสู่อากาศซึ่งส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อม

ในปัจจุบันสำหรับสวนสาธารณะ หรือบ้านที่มีพื้นที่สนามหญ้าภายในบ้านนั้นต้องเผชิญกับปัญหาหญ้าในสวนยาวทำให้ไม่สวยงามและอาจเป็นที่อยู่อาศัยหรือที่หลบซ่อนของสัตว์มีพิษได้ ซึ่งต้องใช้คนในการดูแลสนามหญ้า และหุ่นยนต์ตัดหญ้าในปัจจุบันนั้นมีราคาที่ยังแพงมาก

คณะผู้จัดทำจึงมีความคิดเห็นว่าควรสร้างหุ่นยนต์ตัดหญ้าอัตโนมัติขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหา ค่าใช้จ่ายที่แพงเกินไป หญ้าที่ตัดแล้วไม่สม่ำเสมอ ปัญหาปล่อยมลพิษสู่อากาศด้วยการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดเวลา ไม่ต้องใช้คนในการควบคุมการตัดหญ้า และเพิ่มประสิทธิภาพของรถตัดหญ้าด้วยเซ็นเซอร์ให้หลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติเพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพสูงสุด และให้หุ่นยนต์ตัดหญ้าสามารถตัดหญ้าเฉพาะบริเวณที่กำหนดขอบเขตไว้

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1. สร้างหุ่นยนต์ตัดหญ้าที่สามารถทำงานได้อัตโนมัติ
- 1.2.2. ลดมลภาวะทางอากาศโดยใช้แหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์
- 1.2.3. ประยุกต์การใช้งาน Arduino Mega 2560
- 1.2.4. ประหยัดเวลา แรงงานคน และค่าใช้จ่ายในการตัดหญ้า
- 1.2.5. หุ่นยนต์สามารถตัดหญ้าเฉพาะบริเวณที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

หุ่นยนต์ตัดหญ้าอัตโนมัติสามารถตัดหญ้าได้สม่ำเสมอ หลบหลีกสิ่งกีดขวางได้อัตโนมัติ ไม่ปล่อยมลพิษสู่อากาศด้วยการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ มีแบตเตอรี่ในตัว และแสดงปริมาณแบตเตอรี่คงเหลือผ่านหน้าจอแสดงผล แผงพลังงานแสงอาทิตย์สามารถหมุนเข้าหาแสงตามแนวแสงอาทิตย์ได้อัตโนมัติ และใช้วงจรรับ-ส่งความถี่ในการกำหนดขอบเขตที่กำหนด

### 1.4 ขอบเขตการวิจัย

- 1.4.1 หุ่นยนต์ตัดหญ้าหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้อัตโนมัติ
- 1.4.2. หุ่นยนต์ตัดหญ้าตัดหญ้าได้เรียบเนียนสม่ำเสมอ
- 1.4.3. แผงพลังงานแสงอาทิตย์หมุนหาแสงอาทิตย์ได้อัตโนมัติ
- 1.4.4. แสดงปริมาณแบตเตอรี่คงเหลือผ่านจอแสดงผล
- 1.4.5. หุ่นยนต์ตัดหญ้าสามารถตัดหญ้าในบริเวณที่กำหนด

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1. สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.5.2. สามารถออกแบบวงจร ออกแบบ PCB
- 1.5.3. หุ่นยนต์ตัดหญ้าสามารถใช้งานได้จริง ในราคาที่ถูกลง
- 1.5.4. ประหยัดเวลา อำนวยความสะดวกมากขึ้นในการตัดหญ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎี

#### 2.1 หลักการทำงานของ Arduino MEGA 2560

การใช้งานบอร์ด Arduino MEGA 2560 บอร์ดที่นิยมใช้งานมากที่สุดในบรรดาบอร์ดของ Arduino คงหนีไม่พ้น บอร์ด Arduino UNO แนะนำให้เลือกเป็นบอร์ด Arduino MEGA 2560 ไปเลยดีกว่า เพื่อในอนาคตเมื่อต้องการทำงานโครงการที่ใหญ่ขึ้น จะได้ไม่ต้องกังวลเรื่องความไม่เพียงพอของจำนวนขา ที่ต้องการใช้งาน เช่น ขา อินพุต เอาท์พุต และ ขาแหล่งจ่ายไฟ 5V เป็นต้น

#### เปรียบเทียบระหว่าง Arduino UNO กับ Arduino MEGA

UNO		MEGA	
Microcontroller	ATmega328	Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V	Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V	Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V	Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)	Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	6	Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA	DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA	DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader	Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)	SRAM	8 KB
EEPROM	1 KB (ATmega328)	EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz	Clock Speed	16 MHz

รูปที่ 2.1 : เปรียบเทียบระหว่าง Arduino UNO กับ Arduino MEGA

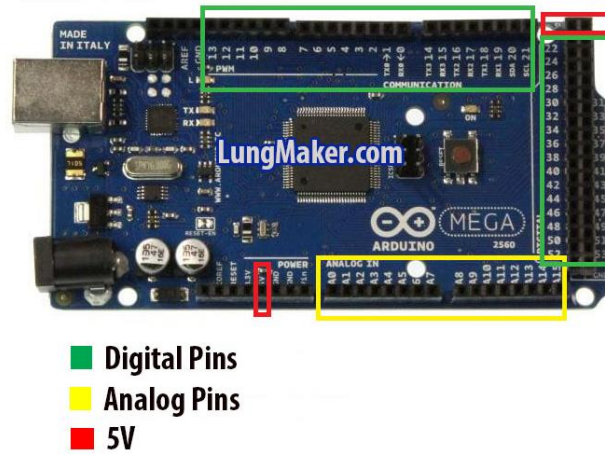
(ข้อมูลจาก: <http://www.lunghmaker.com>)

Arduino MEGA คือ บอร์ดรุ่นใหญ่ในกลุ่มบอร์ด Arduino โดยใช้ Atmega2560 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนี้แตกต่างจาก ATmega328 ที่ใช้อยู่กับบอร์ด Arduino UNO โดย Arduino MEGA มี Digital Pins ขา อินพุต เอาท์พุต ดิจิตอล จำนวน 54 ขา (เป็น PWM ได้ 15 ขา) มี Analog Input 16 ขา Serial UART 4 ชุด I2C 1 ชุด SPI 1 ชุด และขาแหล่งจ่ายไฟ 5V จำนวน 3 ขา สามารถเขียนโปรแกรมบน Arduino IDE และโปรแกรมผ่าน USB เหมาะสำหรับผู้ที่สนใจเริ่มต้นเรียนรู้การพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ต้องการบอร์ด Arduino ที่มีหน่วยความจำและขาสัญญาณต่าง ๆ ให้ต่อใช้งานมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ในวงจำกัด ห้ามเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

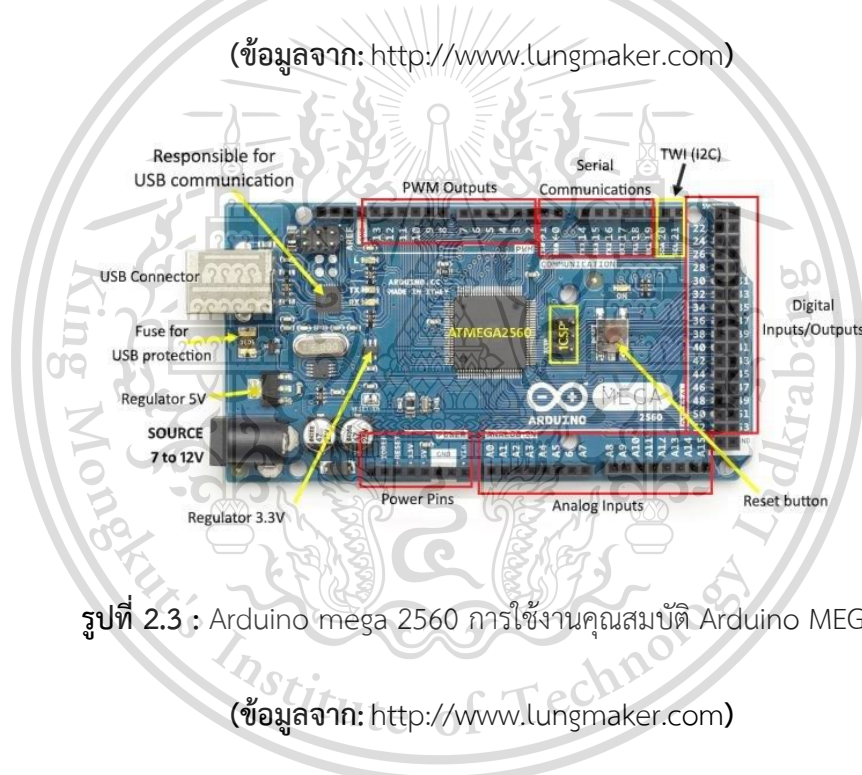
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



- Digital Pins
- Analog Pins
- 5V

รูปที่ 2.2 : ขาและการใช้งาน

(ข้อมูลจาก: <http://www.lungmaker.com>)



รูปที่ 2.3 : Arduino mega 2560 การใช้งานคุณสมบัติ Arduino MEGA

(ข้อมูลจาก: <http://www.lungmaker.com>)

- ไมโครคอนโทรลเลอร์ : Atmega2560
- แรงดันไฟฟ้า: 5 โวลต์
- แรงดันไฟฟ้าอินพุตที่แจ๊ค SOURCE : 7 ถึง 12 โวลต์
- Digital I / O Pins: 54 Pin
- ขาอินพุตแบบอนาล็อก: 16
- กระแส DC ต่อ I / O Pin: 20 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่กระแสดังกล่าวสำหรับ 3.3V Pin: 50 mA การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หน่วยความจำแฟลช: 256 KB และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- SRAM: 8 KB
- EEPROM: 4 KB
- ความเร็วสัญญาณนาฬิกา: 16 MHz

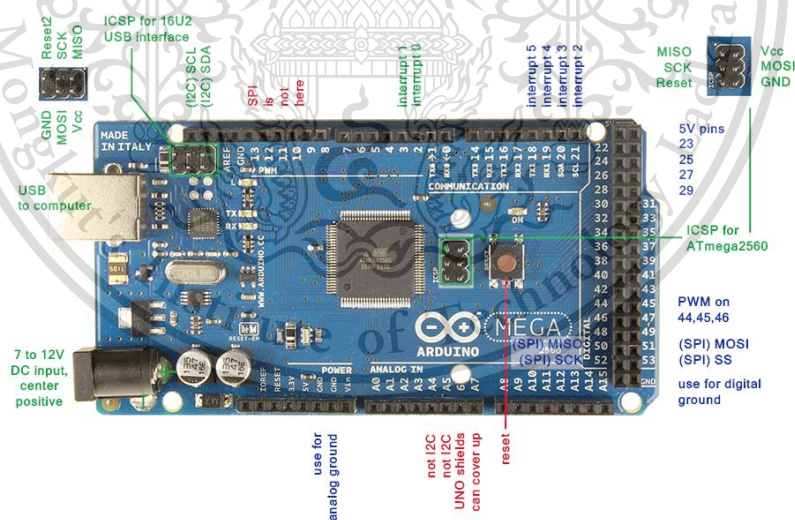
### คุณสมบัติขาอื่น ๆ

- Vin เป็น Input Voltage ของบอร์ด Arduino โดยใช้แหล่งจ่าย 5 โวลต์ จากภายนอก
- 5V เป็นเอาต์พุต ที่ผ่านการควบคุมจากบอร์ด
- 3V3 เป็น 3.3 โวลต์ ที่สร้างขึ้นจาก Regulator บนบอร์ด และให้กระแสได้สูงสุด 50 mA
- IOREF เป็นขาที่ให้ Voltage Reference กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเลือกค่าแรงดันให้กับ Shield ที่มาเชื่อมต่อกับบอร์ด

### หน่วยความจำ

Atmega 2560 มีหน่วยความจำ 256 KB (8 KB ใช้สำหรับ Bootloader) นอกจากนี้ยังมีอีก 8 KB สำหรับ SRAM และ 4 KB สำหรับ EEPROM

### ฟังก์ชันอื่น ๆ



รูปที่ 2.4 : ฟังก์ชันอื่น ๆ

(ข้อมูลจาก: <http://www.lungmaker.com>)

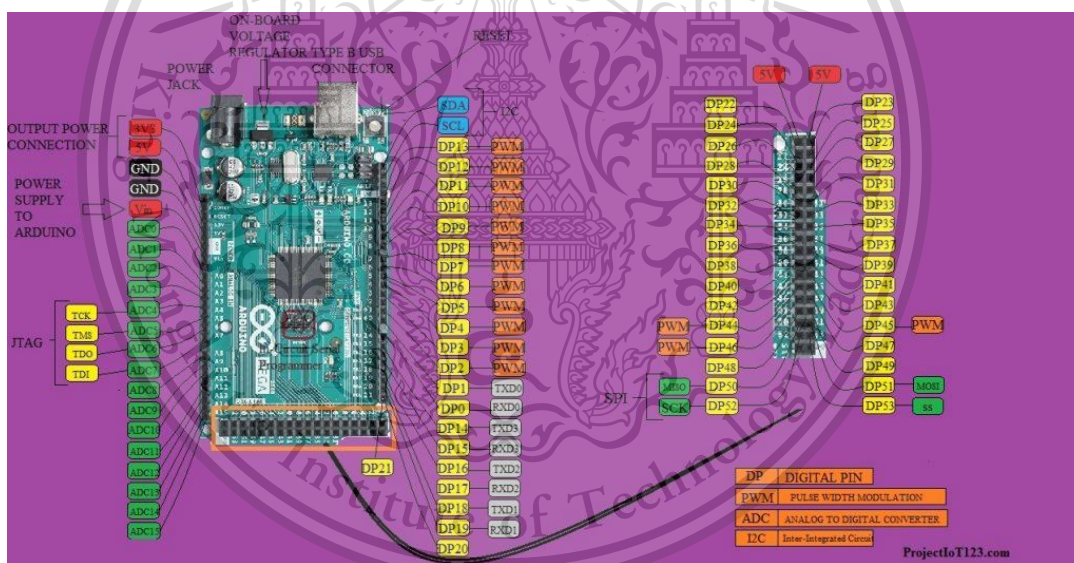
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- External Interrupts: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), 21 (interrupt 2)
- PWM: 2 ถึง 13 และ 44 ถึง 46 ให้ output PWM output 8-bits
- SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS) ใช้สำหรับรองรับการสื่อสารแบบ SPI โดยที่ไม่เกี่ยวข้องกันกับ ICSP header
- LED 13: เป็น build-in LED ที่เชื่อมต่อกับขาดิจิตอล 13 เมื่อมีค่าเป็น HIGH จะทำให้ LED ติด, แต่เมื่อเป็น LOW จะทำให้ LED ดับ
- TWI: 20 (SDA) and 21 (SCL). รองรับการทำงานเชื่อมต่อแบบ TWI (I2C)
- บอร์ด MEGA 2560 มี 16 อินพุตอนาล็อก แต่ละขาให้ความละเอียด 10 bits
- AREF. แรงดันอ้างอิง สำหรับอินพุตอนาล็อก
- Reset ใช้ในการ reset ไมโครคอนโทรลเลอร์

การเลือกใช้งานขาต่าง ๆ ของ Arduino MEGA :



รูปที่ 2.5 : การเลือกใช้งานขาต่าง ๆ ของ Arduino MEGA

(ข้อมูลจาก: <http://www.lungmaker.com>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

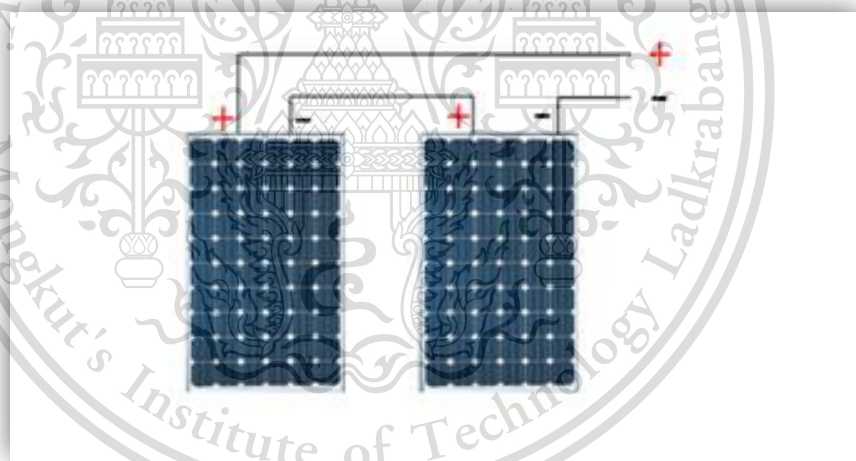
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Arduino MEGA มีขาอินพุต / เอาต์พุตดิจิตอลรวม 54 รายการ ขาอินพุต / เอาต์พุตดิจิตอลสามารถรับสัญญาณดิจิตอลหรือถ่ายโอนสัญญาณดิจิตอล ขา 0 ชื่อ Rx และ ขา 1 ที่ชื่อ Tx คือขาที่รับและส่งของ UART (Universal Asynchronous Receiver และ Transmitter) ตามลำดับขา 14, 16, 18 และขา 15, 17, 19 ก็เป็น Tx และ Rx ตามลำดับดังนั้นจึงมีทั้งหมดสี่ UARTS บนบอร์ด Arduino MEGA และมีขา PWM (การปรับความกว้างพัลส์) ทั้งหมด 15 ขา

## 2.2 โซลาร์เซลล์ Solar cell

แผงโซลาร์เซลล์ ให้นึกถึงถ่านไฟฉาย ถ่านไฟฉายเช่น ถ่าน 2A ที่ใช้ใส่รีโมททีวี จะมีส่วนหัวเป็นขั้วบวก และส่วนท้ายเป็นขั้วลบ แต่ละก้อนของถ่านไฟฉาย ก็จะมีกำลังไฟเลี้ยงว่า โวลต์ ซึ่งถ่านไฟฉายส่วนใหญ่ ก็จะมีกำลังไฟที่ 1.5 โวลต์ ต่อก้อน เมื่อนำมาต่อกัน 2 ก้อน ก็จะได้กำลังไฟ เป็น  $1.5+1.5$  โวลต์ เท่ากับ 3 โวลต์ นั่นหมายถึง ตัวรีโมททีวี หรือไฟฉาย ที่เราใช้กันอยู่ ต้องการกำลังไฟ 3 โวลต์ ถึงจะทำงานได้



รูปที่ 2.6 : เปรียบเทียบโซลาร์เซลล์เสมือนถ่าน 1 ก้อน

(ข้อมูลจาก: <https://www.gump.in.th>)

มาถึงตรงนี้ ก็อยากให้นักภาพ แผงโซลาร์เซลล์ ว่าเป็นถ่านไฟฉาย 1 ก้อน ที่มีขั้วบวก และขั้วลบ แบบเดียวกัน เมื่อแผงโซลาร์เซลล์ ถูกแสงแดดกระทบ ก็จะผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ เพียงแต่ กำลังโวลต์ในแต่ละแผง แต่ละชนิด และแต่ละยี่ห้อ ก็จะแตกต่างกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

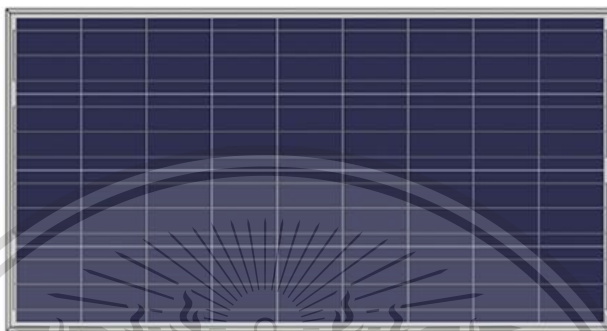
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## แผงโซลาร์เซลล์ (Solar panel หรือ Photovoltaics)

การนำเอา โซลาร์เซลล์ จำนวนหลายๆเซลล์ มาต่อวงจรรวมกัน อยู่ในแผงเดียวกัน เพื่อที่จะ ทำให้สามารถผลิตและจ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น โดยไฟฟ้าที่ได้นั้นเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC)

## โพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Silicon Solar Cells)



รูปที่ 2.7 : โซลาร์เซลล์โพลีคริสตัลไลน์

(ข้อมูลจาก: <https://www.gump.in.th>)

ทำมาจากผลึกซิลิคอน โดยทั่วไปเรียกว่า โพลีคริสตัลไลน์ (polycrystalline, p-Si) แต่บางครั้ง ก็เรียกว่า มัลติ-คริสตัลไลน์ (multi-crystalline, mc-Si) โดยในกระบวนการผลิต สามารถที่จะนำเอา ซิลิคอนเหลว มาเทใส่โมลด์ที่เป็นสี่เหลี่ยมได้เลย ก่อนที่จะนำมาตัดเป็นแผ่นบางอีกที จึงทำให้เซลล์แต่ละเซลล์เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ไม่มีการตัดมุม สีของแผงจะออก น้ำเงิน ไม่เข้มมาก

### ข้อดี

- 1) มีขั้นตอนกระบวนการผลิตที่ง่าย ไม่ซับซ้อน จึง ใช้ปริมาณซิลิคอน ในการผลิตน้อยกว่า เมื่อเทียบกับ ชนิด โมโนคริสตัลไลน์
- 2) มีประสิทธิภาพในการใช้งาน ในที่อุณหภูมิสูง ดีกว่า ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ เล็กน้อย
- 3) มีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับ ชนิด โมโนคริสตัลไลน์

### ข้อเสีย

- 1) มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสง เป็นกระแสไฟฟ้าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 13-16% ซึ่งต่ำกว่า เมื่อเทียบกับชนิด โมโนคริสตัลไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 2) ที่มีประสิทธิภาพต่อพื้นที่ต่ำกว่า ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ ในกรณี ถ้าแสงมีความเข้มข้นน้อย ชนิดการคำนวณการคำนวณ 3) แผงมีสีน้ำเงิน ทำให้บางครั้งอาจดูไม่สวยงาม เมื่อเทียบกับ ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ และชนิด

thin film ที่มีสีเข้ม เข้ากับสิ่งแวดล้อม เช่น หลังคาบ้านได้ดีกว่า

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

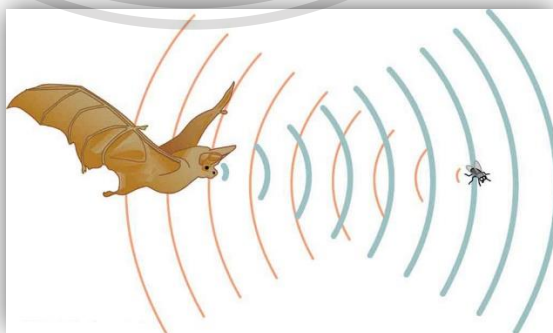
## 2.3 Ultrasonic sensor module



รูปที่ 2.8 : Ultrasonic module

(ข้อมูลจาก: <https://www.ioxhop.com>)

คลื่นอัลตราโซนิก เป็นคลื่นความถี่เหนือความถี่สัญญาณเสียง โดยปกติแล้ว มนุษย์จะสามารถได้ยินเสียง หรือรับรู้ได้ที่ความถี่ 20Hz ถึง 20kHz แต่คลื่นอัลตราโซนิกนั้น ระบุเพียงว่าเป็นคลื่นที่มีความถี่เหนือคลื่นความถี่เสียง แต่ไม่ได้บอกถึงความถี่เท่าใด ความถี่อัลตราโซนิกนั้น ที่นิยมใช้งานในเซ็นเซอร์วัดระยะรุ่นต่าง ๆ จะมีความถี่ที่ประมาณ 40kHz ข้อดีของการใช้ความถี่นี้ คือมีลักษณะของความยาวคลื่นที่สั้น ส่งผลให้คลื่นไม่แตกกระจายออกเป็นวงกว้าง และสามารถยิงคลื่นตรงไปชนวัตถุใด ๆ ก็ได้ และนอกจากนี้ความถี่ 40kHz ยังเป็นความถี่ที่มีระยะเดินทางเพียงพอกับการใช้งาน หากใช้ความถี่สูงขึ้น จะทำให้คลื่นเดินทางได้ในระยะทางที่ลดลง ทำให้เมื่อนำมาใช้งานจริงจะวัดระยะได้ในระยะที่สั้น



รูปที่ 2.9 : ค้างคาวใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการตรวจหาเหยื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

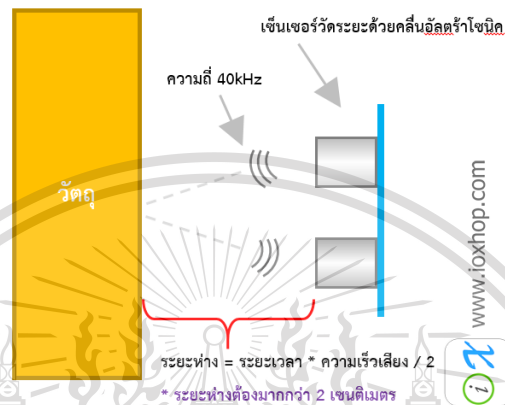
(ข้อมูลจาก: <https://www.ioxhop.com>)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## หลักการวัดระยะด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

หลักการที่สำคัญของการวัดระยะด้วยคลื่นอัลตราโซนิก คือการส่งคลื่นอัลตราโซนิกจำนวนหนึ่งออกไปจากตัวส่ง (Transmitter) เมื่อคลื่นวิ่งไปชนกับวัตถุ คลื่นจะมีการสะท้อนกลับมา แล้ววิ่งกลับไปชนตัวรับ (Receiver) ด้วยการเริ่มนับเวลาที่ส่งคลื่นออกไป จนถึงได้รับคลื่นกลับมาตัวเอง ทำให้สามารถหาระยะห่างระหว่างวัตถุกับเซ็นเซอร์ได้



รูปที่ 2.10 : การทำงานของเซ็นเซอร์วัดระยะด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

(ข้อมูลจาก: <https://www.ioxhop.com>)

ระยะเวลาที่ได้จากการวัดช่วงเวลารound trip และกลับนี้ สามารถนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับอัตราเร็วที่เสียงสามารถเดินทางได้ในอากาศได้เลย โดยอัตราเร็วเสียงที่เดินทางได้ในอากาศสามารถหาได้ตามสูตร

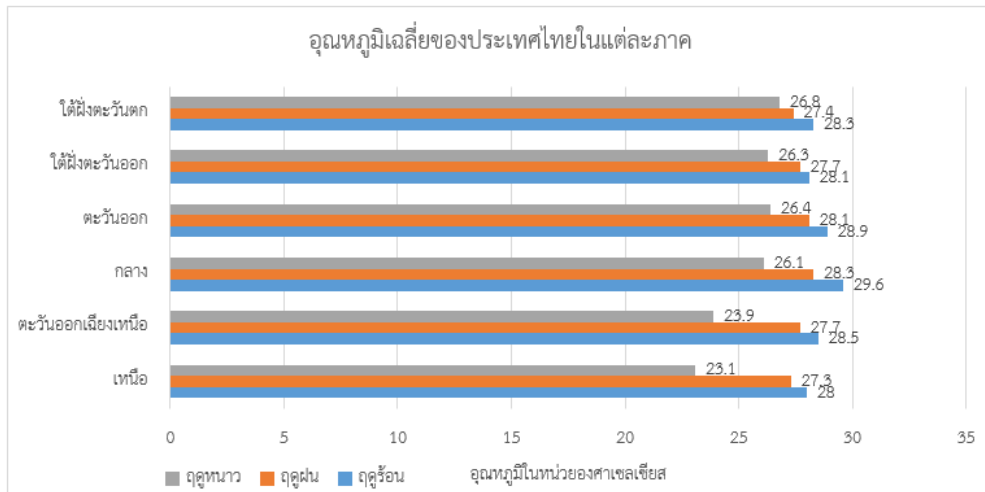
$$\text{อัตราเร็วของเสียงในอากาศ} = 331 + (0.606 * \text{อุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส}) \text{ m/s}$$

สังเกตว่า อัตราเร็วของเสียงที่เดินทางในอากาศนั้น จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ณ ขณะนั้นด้วย ดังนั้นในเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก บางรุ่น จึงมีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิมาด้วย ทำให้สามารถวัดระยะทางได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น สำหรับในรุ่นที่ไม่มีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ สามารถนำเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิมาต่อเพื่อแก้ค่าความผิดพลาดเองได้ หรือใช้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีของประเทศไทยได้ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทยทั้งปีจะอยู่ที่ 27 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

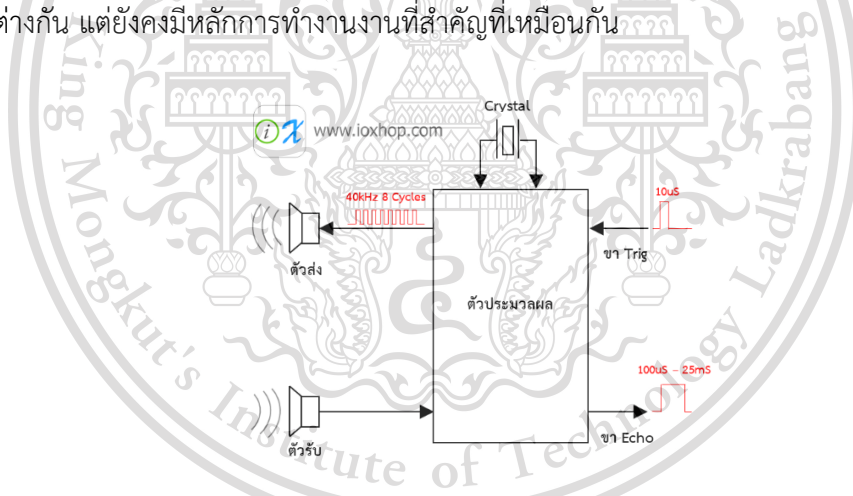


รูปที่ 2.11 : กราฟแสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทยในแต่ละภาค

(ข้อมูลจาก: <https://www.ioxhop.com>)

### หลักการทํางานของเซ็นเซอร์วัดระยะด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

ในโมดูลเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกนั้น จะมีวงจรที่แตกต่างกัน เนื่องจากแต่ละรุ่นมีความสามารถที่แตกต่างกัน แต่ยังคงมีหลักการทํางานงานที่สำคัญที่เหมือนกัน



รูปที่ 2.12 : ไดอะแกรมการทํางานของเซ็นเซอร์วัดระยะด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

(ข้อมูลจาก: <https://www.ioxhop.com>)

จะเห็นว่า เมื่อมีการส่งสัญญาณเข้าไปที่ Trig วงจรภายในจะเริ่มสร้างความถี่ 40kHz จำนวน 8 ลูกคลื่นออกไป โดยใช้ความถี่จากคลิสตอลเป็นตัวอ้างอิง แล้วตัวส่งที่เปรียบเสมือนลำโพง จะส่งสัญญาณออกไป จากนั้นเมื่อคลื่นวิ่งกลับมาที่ตัวรับ ที่เปรียบเสมือนเป็นไมโครโฟน สัญญาณไฟฟ้าจะผ่านตัวประมวลผล แล้วให้ค่าเอาต์พุตออกมาทางขา Echo จะเห็นว่า แกนหลักของเซ็นเซอร์จะเป็นตัวประมวลผล ซึ่งตัวประมวลผลนี้ ในแต่ละรุ่นก็จะแตกต่างกัน อย่างในรุ่น HC-SR04 จะใช้ไอซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

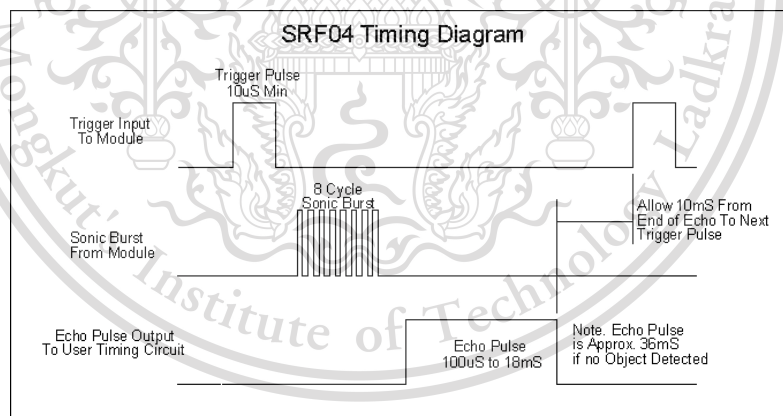
ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ATtiny24 ในรุ่น US-100 ก็จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบเดียวกัน แต่ไม่ทราบเบอร์ เนื่องจากเบอร์ไอซีบนโมดูลโดนลบ

### หลักการใช้งานเซ็นเซอร์วัดระยะด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

หลักการใช้งานจะแบ่งออกได้หลายแบบ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับบัสที่ใช้สื่อสาร สามารถแบ่งได้ดังนี้

#### การทริกสัญญาณ

เซ็นเซอร์หลายรุ่น ใช้วิธีนี้ในการติดต่อสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในแต่ละรุ่นจะใช้จำนวนสายไม่เท่ากัน ในบางรุ่นจะใช้สาย 2 เส้น คือ Trig สำหรับส่งสัญญาณ และ Echo สำหรับรับสัญญาณกลับมา และในบางรุ่นจะใช้เส้นเดียว คือทั้ง Trig และ Echo อยู่เส้นเดียวกันเลย และใช้วิธีแบ่งเวลารับ - ส่งข้อมูล (หลักการเหมือน 1-wire bus) ในการสื่อสารแบบทริกสัญญาณ เริ่มต้นจะต้องให้สัญญาณขา Trig มีสถานะทางลอจิกเป็น LOW เสียก่อน จากนั้นจึงเริ่มทริกสัญญาณ โดยให้ขา Trig มีสถานะเป็น HIGH ค้างไว้อย่างน้อย 10 $\mu$ s แล้วจึงปรับสถานะเป็น LOW จากนั้น ที่ขา Echo ให้เตรียมรับสัญญาณทริก HIGH กลับมา เมื่อมีการส่งสัญญาณ HIGH กลับมา ให้เริ่มนับเวลาที่สัญญาณเป็น HIGH และเมื่อสัญญาณขา Echo กลับเป็น LOW ให้สิ้นสุดการนับเวลา แล้วจึงนำค่าเวลาที่นับได้ ไปคำนวณอีกที ซึ่งในการคำนวณนั้น จะขึ้นอยู่กับรุ่น ในบางรุ่นสามารถใช้ค่าอัตราเร็วเสียงมาคำนวณได้เลย แต่ในบางรุ่น ต้องใช้สูตรคำนวณเฉพาะ



รูปที่ 2.13 : Timing Diagram ของเซ็นเซอร์วัดระยะด้วยคลื่นอัลตราโซนิก HC-SR04

(ข้อมูลจาก: <https://www.ioxhop.com>)

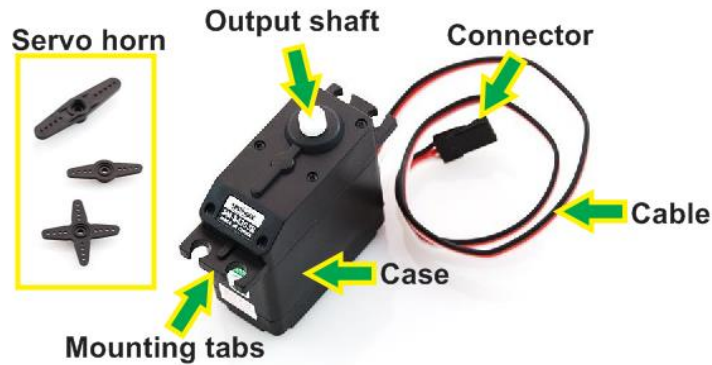
โดยส่วนใหญ่แล้ว จะใช้ค่าอัตราเร็วเสียงหาร 2 ได้เลย ที่นำมาหาร 2 เพราะระยะทางที่วัดได้คือระยะทางทั้งขาไป และขากลับ เมื่อนำมาหาร 2 เราจะได้แค่ระยะห่างตอนขาไป หรือขากลับนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.4 Servo Motor



รูปที่ 2.14 : Servo Motor

(ข้อมูลจาก: <https://blog.thaieasyelec.com/>)

**Servo** เป็นคำศัพท์ที่ใช้กันทั่วไปในระบบควบคุมอัตโนมัติ มาจากภาษาละตินคำว่า Sevus หมายถึง “ทาส” (Slave) ในเชิงความหมายของ Servo Motor ก็คือ Motor ที่เราสามารถสั่งงานหรือตั้งค่า แล้วตัว Motor จะหมุนไปยังตำแหน่งองศาที่เราสั่งได้เองอย่างถูกต้อง โดยใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) ในบทความนี้จะกล่าวถึง RC Servo Motor ซึ่งนิยมนำมาใช้ในเครื่องเล่นที่บังคับด้วยคลื่นวิทยุ (RC = Radio – Controlled) เช่น เรือบังคับวิทยุ รถบังคับวิทยุ เฮลิคอปเตอร์บังคับวิทยุ เป็นต้น

- 1) **Feedback Control** คือ ระบบควบคุมที่มีการวัดค่าเอาต์พุตของระบบนำมาเปรียบเทียบกับค่าอินพุตเพื่อควบคุมและปรับแต่งให้ค่าเอาต์พุตของระบบให้มีค่า เท่ากับ หรือ ใกล้เคียงกับค่าอินพุต

### ส่วนประกอบภายนอก RC Servo Motor

Case ตัวถัง หรือ กรอบของตัว Servo Motor

Mounting Tab ส่วนจับยึดตัว Servo กับชิ้นงาน

Output Shaft เพลาส่งกำลัง

Servo Horns ส่วนเชื่อมต่อกับ Output shaft เพื่อสร้างกลไก

Cable สายเชื่อมต่อเพื่อ จ่ายไฟฟ้า และ ควบคุม Servo Motor จะประกอบด้วย

สายไฟ 3 เส้น และ ใน RC Servo Motor จะมีสีของสายแตกต่างกันไปดังนี้

สายสีแดง คือ ไฟเลี้ยง (4.8-6V)

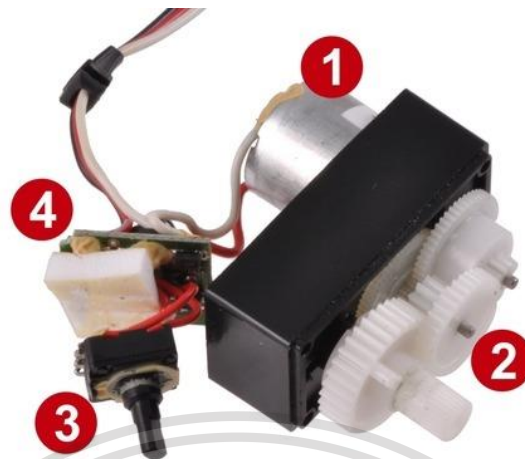
สายสีดำ หรือ น้ำตาล คือ กราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับสายสีเหลือง (ส้ม ขาว หรือฟ้า) คือ สายส่งสัญญาณพัลส์ควบคุม (3-5V) สำหรับการคำนวณการคำนวณ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องอย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

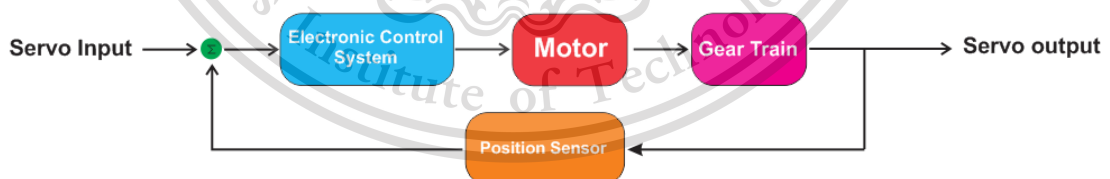
## ส่วนประกอบภายใน RC Servo Motor



รูปที่ 2.15 : ส่วนประกอบ Servo Motor  
(ข้อมูลจาก: <https://blog.thaieasyelec.com/>)

1. Motor เป็นส่วนของตัวมอเตอร์
2. Gear Train หรือ Gearbox เป็นชุดเกียร์ทดแรง
3. Position Sensor เป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับตำแหน่งเพื่อหาค่าองศาในการหมุน
4. Electronic Control System เป็นส่วนที่ควบคุมและประมวลผล

## Servo Motor Block Diagram



รูปที่ 2.16 : Servo Motor Block Diagram

(ข้อมูลจาก: <https://blog.thaieasyelec.com/>)

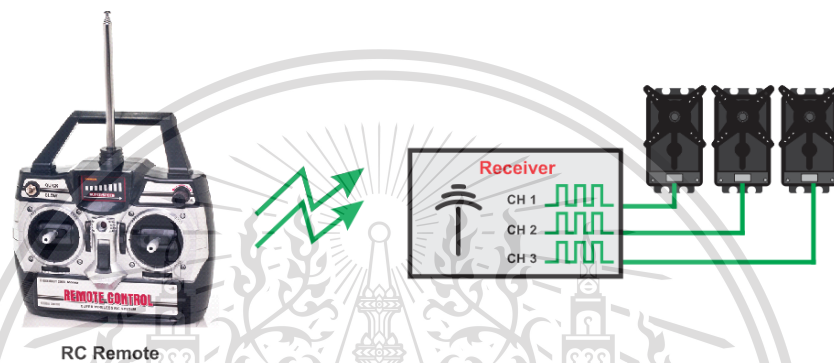
## หลักการทำงานของ RC Servo Motor

เมื่อจ่ายสัญญาณพัลส์เข้ามายัง RC Servo Motor ส่วนวงจรควบคุม (Electronic Control System) ภายใน Servo จะทำการอ่านและประมวลผลค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ส่งเข้ามาเพื่อแปลค่าเป็นตำแหน่งองศาที่ต้องการให้ Motor หมุนเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งนั้น แล้วส่งคำสั่งไปทำการควบคุมให้ Motor หมุนไปยังตำแหน่งที่ต้องการ โดยมี Position Sensor เป็นตัวเซ็นเซอร์

คอยวัดค่ามุมที่ Motor กำลังหมุน เป็น Feedback กลับมาให้อ้างอิงควบคุมเปรียบเทียบกับค่าอินพุต เพื่อควบคุมให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการอย่างถูกต้องแม่นยำ

## สัญญาณ RC ในรูปแบบ PWM

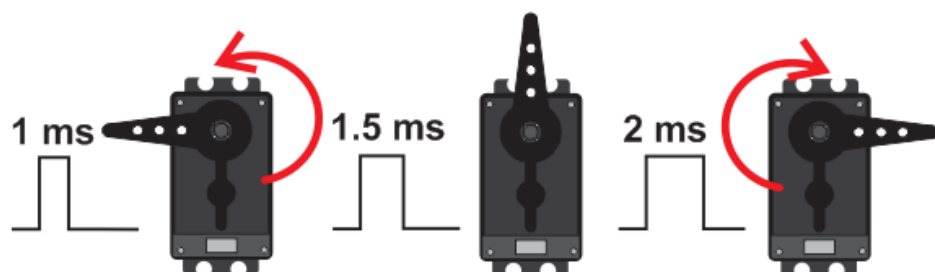
ตัว RC Servo Motor ออกแบบมาใช้สำหรับรับคำสั่งจาก Remote Control ที่ใช้ควบคุมของเล่นด้วยสัญญาณวิทยุต่าง ๆ เช่น เครื่องบินบังคับ รถบังคับ เรือบังคับ เป็นต้น ซึ่ง Remote จำพวกนี้ที่ภาครับจะแปลงความถี่วิทยุออกมาในรูปแบบสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation)



รูปที่ 2.17 : สัญญาณ RC ในรูปแบบ PWM

(ข้อมูลจาก: <https://blog.thaieasyelec.com/>)

มุมหรือองศาจะขึ้นอยู่กับความกว้างของสัญญาณพัลส์ ซึ่งโดยส่วนมากความกว้างของพัลส์ที่ใช้ใน RC Servo Motor จะอยู่ในช่วง 1-2 ms หรือ 0.5-2.5 ms ยกตัวอย่างเช่นหากกำหนดความกว้างของสัญญาณพัลส์ไว้ที่ 1 ms ตัว Servo Motor จะหมุนไปทางซ้ายสุด ในทางกลับกันหากกำหนดความกว้างของสัญญาณพัลส์ไว้ที่ 2 ms ตัว Servo Motor จะหมุนไปยังตำแหน่งขวาสุด แต่หากกำหนดความกว้างของสัญญาณพัลส์ไว้ที่ 1.5 ms ตัว Servo Motor ก็ จะหมุนมาอยู่ที่ตำแหน่งตรงกลางพอดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 2.18 : การหมุนของ Servo Motor

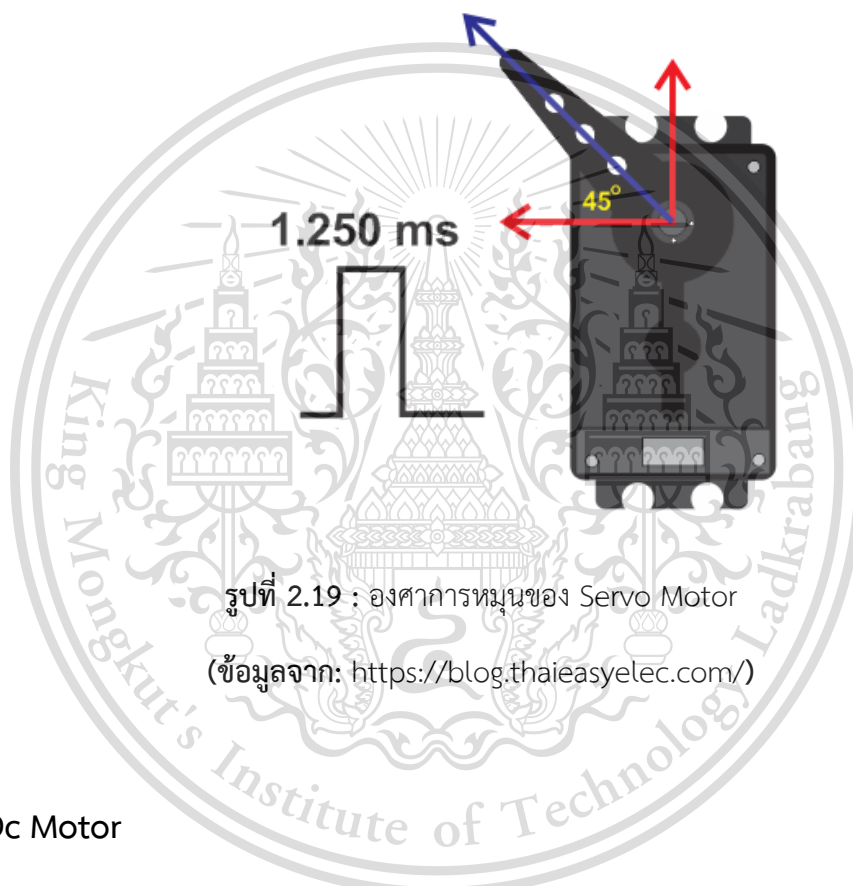
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข้อมูลจาก: <https://blog.thaieasyelec.com/>)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ดังนั้นสามารถกำหนดองศาการหมุนของ RC Servo Motor ได้โดยการเทียบค่า เช่น RC Servo Motor สามารถหมุนได้ 180 องศา โดยที่ 0 องศาใช้ความกว้างพัลส์เท่ากับ 1000 us ที่ 180 องศาความกว้างพัลส์เท่ากับ 2000 us เพราะฉะนั้นค่าที่เปลี่ยนไป 1 องศาจะใช้ความกว้างพัลส์ต่างกัน  $(2000-1000)/180$  เท่ากับ 5.55 us จากการหาค่าความกว้างพัลส์ที่มุม 1 องศาข้างต้น หากต้องการกำหนดให้ RC Servo Motor หมุนไปที่มุม 45 องศาจะหาค่าพัลส์ที่ต้องการได้จาก  $5.55 \times 45$  เท่ากับ 249.75 us แต่ที่มุม 0 องศาเราเริ่มที่ความกว้างพัลส์ 1ms หรือ 1000 us เพราะฉะนั้นความกว้างพัลส์ที่ใช้กำหนดให้ RC Servo Motor หมุนไปที่ 45 องศา คือ  $1000 + 249.75$  เท่ากับประมาณ 1250 us



รูปที่ 2.19 : องศาการหมุนของ Servo Motor  
(ข้อมูลจาก: <https://blog.thaieasyelec.com/>)

## 2.5 Dc Motor

มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล มอเตอร์ที่ใช้งานในปัจจุบัน แต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างออกไปต้องการความเร็ว รอบหรือกำลังงานที่แตกต่างกัน ซึ่งมอเตอร์แต่ละชนิด จะแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะการใช้งานกระแสไฟฟ้า

**มอเตอร์ไฟฟ้าแบ่งออกตามการใช้ของกระแสไฟฟ้าได้ 2 ชนิดดังนี้**

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor) หรือเรียกว่า เอ.ซี. มอเตอร์

(A.C. MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าสลับแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

1.1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส หรือเรียกว่าซิงเกิลเฟสมอเตอร์ (A.C. Sing Phase) จะใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์มีสายไฟ เข้า 2 สาย มีแรงม้าไม่สูง ส่วนใหญ่ตามบ้านเรือน

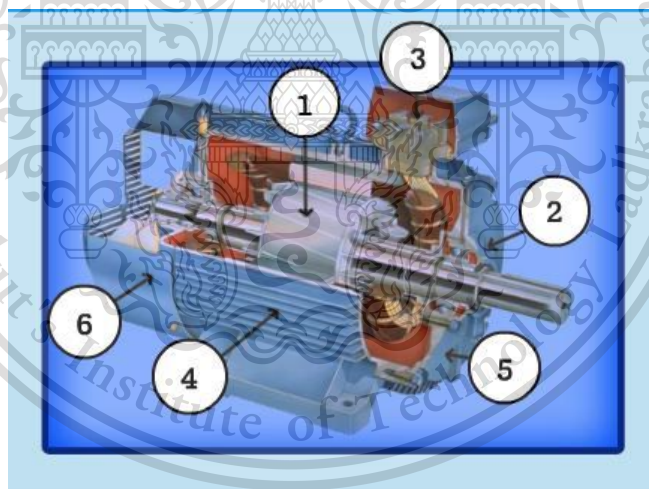
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- 1.1.1 สปลิทเฟส มอเตอร์( Split-Phase motor)
- 1.1.2 คาปาซิเตอร์ มอเตอร์ (Capacitor motor)
- 1.1.3 รีพัลชั่น มอเตอร์ (Repulsion-type motor)
- 1.1.4 ยูนิเวอร์แซล มอเตอร์ (Universal motor)
- 1.1.5 เซ็ดเดดโพล มอเตอร์ (Shaded-pole motor)
- 1.2. มอเตอร์ไฟฟ้าสลับชนิด 2 เฟสหรือเรียกว่าทูเฟสมอเตอร์ (A.C.Two phas Motor)
- 1.3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟสหรือเรียกว่าทีเฟสมอเตอร์ (A.C. Three phase Motor) เป็นมอเตอร์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมต้องใช้ระบบไฟฟ้า 3 เฟส ใช้แรงดัน 380 โวลต์ มีสายไฟเข้ามอเตอร์ 3 สาย
- 2.มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor ) หรือเรียกว่าดี.ซี มอเตอร์ (D.C. MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกได้ดังนี้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

- 2.1.มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่าซีรี่ส์มอเตอร์ (Series Motor)
- 2.2.มอเตอร์แบบอนุขนานหรือเรียกว่าชันท์มอเตอร์ (Shunt Motor)
- 2.3.มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่าคอมเปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)



รูปที่ 2.20 : ภายใน DC Motor

(ข้อมูลจาก: <http://www.psptech.co.th/>)

ส่วนประกอบหลักๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) คือขดลวดที่ถูกพันอยู่กับขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดกับโครงมอเตอร์ ทำหน้าที่กำเนิดขั้วแม่เหล็กขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) แทนแม่เหล็กถาวรขดลวดที่ใช้เป็นขดลวดอาบนํ้ายาคอนว่น สนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นเมื่อกำลังไฟตรงไหลมอเตอร์

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. **ขั้วแม่เหล็ก (Pole Pieces)** คือแกนสำหรับรองรับขดลวดสนามแม่เหล็กถูกยึดติดกับโครงมอเตอร์ด้านใน ขั้วแม่เหล็กทำมาจากแผ่นเหล็กอ่อนบาง ๆ อัดซ้อนกัน (Lamination Sheet Steel) เพื่อลดการเกิดกระแสไหลวน (Edy Current) ที่จะทำให้ความเข้าของสนามแม่เหล็กลดลง ขั้วแม่เหล็กทำหน้าที่ให้กำเนิดขั้วสนามแม่เหล็กมีความเข้มข้นสูงที่สุด แทนขั้วสนามแม่เหล็กถาวร ผิวด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กทำให้โค้งรับกับอาร์เมเจอร์พอดี

3. **โครงมอเตอร์ (Motor Frame)** คือส่วนเปลือกหุ้มภายนอกของมอเตอร์ และยึดส่วนอยู่กับที่ (Stator) ของมอเตอร์ไว้ภายในร่วมกับฝาปิดหัวท้ายของมอเตอร์ โครงมอเตอร์ทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กระหว่างขั้วแม่เหล็กให้เกิดสนามแม่เหล็กครบวงจร

4. **อาร์เมเจอร์ (Armature)** คือส่วนเคลื่อนที่ (Rotor) ถูกยึดติดกับเพลา (Shaft) และรองรับการหมุนด้วยที่รองรับการหมุน (Bearing) ตัวอาร์เมเจอร์ทำจากเหล็กแผ่นบาง ๆ อัดซ้อนกัน ถูกเจาะร่องออกเป็นส่วนๆ เพื่อไว้พันขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) ขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นขดลวดอาน้ำชาขนาน ร่องขดลวดอาร์เมเจอร์จะมีขดลวดพันอยู่และมีลิ้มไฟเบอร์อัดแน่นขดลวดอาร์เมเจอร์ไว้ ปลายขดลวดอาร์เมเจอร์ต่อไว้กับคอมพิวเตอร์ อาร์เมเจอร์ผลัดกันของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนเคลื่อนที่

5. **คอมพิวเตอร์ (Commutator)** คือส่วนเคลื่อนที่อีกส่วนหนึ่ง ถูกยึดติดเข้ากับอาร์เมเจอร์และเพลาร่วมกัน คอมพิวเตอร์ทำจากแท่งทองแดงแข็งประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก แต่ละแท่งทองแดงของคอมพิวเตอร์ถูกแยกออกจากกันด้วยฉนวนไมก้า (Mica) อาร์เมเจอร์ คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่เป็นขั้วรับแรงดันไฟตรงที่จ่ายมาจากแปรงถ่าน เพื่อส่งไปให้ขดลวดอาร์เมเจอร์

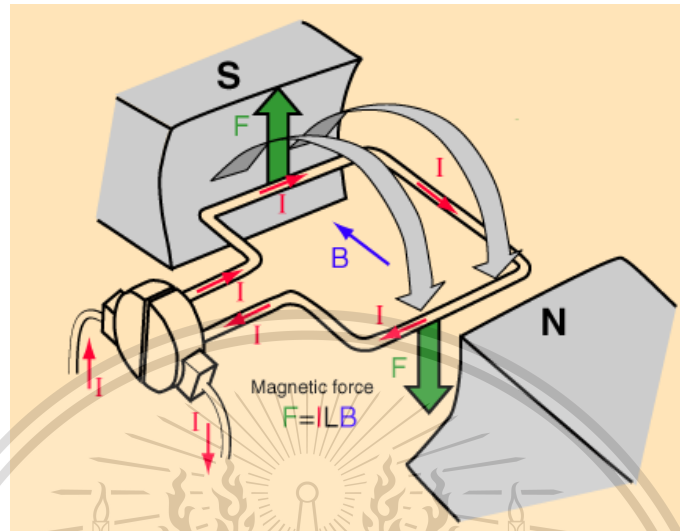
6. **แปรงถ่าน (Brush)** คือ ตัวสัมผัสกับคอมพิวเตอร์ ทำเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผลิตมาจากคาร์บอนหรือแกรไฟต์ผสมผงทองแดง เพื่อให้แข็งและนำไฟฟ้าได้ดี มีสายตัวนำต่อร่วมกับแปรงถ่านเพื่อไปรับแรงดันไฟตรงที่จ่ายเข้ามา แปรงถ่านทำหน้าที่รับแรงดันไฟตรงจากแหล่งจ่าย จ่ายผ่านไปที่คอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## การทำงานของมอเตอร์



รูปที่ 2.21 : การทำงานของ DC Motor

(ข้อมูลจาก: <http://www.pspstech.co.th/>)

การทำงานของเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีแรงดันไฟตรงจ่ายผ่านแปรงถ่านไปคอมพิวเตอร์ ผ่านไปให้ขดลวดตัวนำที่อาร์เมเจอร์ ทำให้ขดลวดอาร์เมเจอร์เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมา ทางด้านซ้ายมือเป็นขั้วเหนือ (N) และด้านขวาเป็นขั้วใต้ (S) เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่วางอยู่ใกล้ๆ เกิดอำนาจแม่เหล็กผลัดกันกัน อาร์เมเจอร์หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา พร้อมกับคอมพิวเตอร์หมุนตามไปด้วย แปรงถ่านสัมผัสกับส่วนของคอมพิวเตอร์ เปลี่ยนไปในอีกปลายหนึ่งของขดลวด แต่มีผลทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่อาร์เมเจอร์เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่อยู่ใกล้ๆ อีกครั้ง ทำให้อาร์เมเจอร์ยังคงถูกผลักให้หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาตลอดเวลา เกิดการหมุนของอาร์เมเจอร์คือมอเตอร์ไฟฟ้าทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.6 แบตเตอรี่ HUAWEI BATTERY model: OT12-12 GEL BATTER

แบตเตอรี่ Gel และ AGM (absorbent glass mat) เป็นแบตเตอรี่ในกลุ่มควบคุมแรงดันแก๊ส VRLA (Valve Regulated Lead Acid) โดยอาศัยหลักการควบคุมแรงดันก๊าซในเซลล์ปิดผนึก เพื่อป้องกันการสูญเสียสารสื่อไฟฟ้า (Electrolyte) ส่งผลให้แบตเตอรี่ประเภทนี้ ปล่อยแก๊สสู่บรรยากาศภายนอกน้อยมาก เราจึงสามารถใช้งานแบตเตอรี่ชนิดนี้ในสถานที่ปิด ไม่มีการถ่ายเทอากาศ และไม่ต้องการการดูแลหรือการเติมน้ำกลั่น ซึ่งช่วยให้เกิดความสะดวกในการใช้งาน



รูปที่ 2.22 : แบตเตอรี่ HUAWEI BATTERY

(ข้อมูลจาก: <https://auviras.lt>)

แบตเตอรี่ Gel และ AGM ทั้งสองประเภทนี้จะมีวิธีการผลิตที่ใกล้เคียงกัน โดยแบตเตอรี่ทั้งสองจะถูก สร้างจากแผ่นธาตุเคลือบชนิดเดียวกัน แต่แตกต่างกันที่ AGM จะใช้แผ่นกั้นฉนวนทำ การซึมซับ น้ำกรดเอาไว้ แต่แบตเตอรี่ Gel จะให้น้ำกรด หรือเรียกอีกอย่างว่าสารสื่อไฟฟ้าภายใน (Electrolyte) เป็นในรูปของกึ่งแข็ง ที่มีช่องทางธรรมชาติขนาดจิ๋ว ที่จะช่วยกระบวนการการ ควบคุมแก๊ส ด้วยคุณสมบัติของซัลฟูริกเจล จึงส่งผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดภายในเซลล์ เท่ากันทั้งหมด ซึ่งช่วยลดปัญหาการตกตะกอนของกรดในแบตเตอรี่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบตเตอรี่ทรง สูง อีกทั้งซัลฟูริกเจล ยังช่วยเติมเต็มช่องว่างเซลล์แผ่นธาตุ ทำให้แผ่นธาตุไม่เคลื่อนไหว ช่วยชะลอการ เสื่อมสลายของแผ่นธาตุภายใน แต่อย่างไรก็ตาม หากเทียบการทำปฏิกิริยาเคมีเพื่อให้เกิดพลังงาน ไฟฟ้าระหว่างแบตเตอรี่ Gel และ AGM การทำปฏิกิริยาเคมีในแบตเตอรี่ AGM ที่ใช้แผ่นกั้นฉนวนซึม ซับจะมีความไวและให้พลังงานไฟฟ้าต่อเนื้อกว่าแบตเตอรี่ Gel ในสถานะเงื่อนไขวัสดุการผลิต ทั้งหมดที่เหมือนกัน สมรรถนะและลักษณะการใช้งานของแบตเตอรี่ กลุ่ม VRLA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### สมรรถนะของแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ

1. การออกแบบลักษณะของแผ่นธาตุ
2. จำนวนแผ่นธาตุในแบตเตอรี่
3. ปริมาณ Electrolyte ภายใน

ด้วยเหตุผลที่ว่าแบตเตอรี่กลุ่ม VRLA นี้ จะมีปริมาณน้ำกรดในเซลล์แบตเตอรี่ค่อนข้างจำกัด จึงเป็นเหตุที่ทำให้ค่าความจุไฟฟ้า (Battery capacity) ของแบตเตอรี่กลุ่มนี้ลดลงอย่างมากในแผ่นธาตุขนาดเดียวกัน เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดแช่อยู่ในน้ำกรด (Flood battery) ที่จะให้พลังงานได้สูงและมีประสิทธิภาพกว่า แต่เพราะแบตเตอรี่กลุ่ม VRLA เป็นแบตเตอรี่ชนิดปิดผนึกและไม่ต้องการการรักษาระดับของน้ำกรดที่ต้องให้ท่วมแผ่นธาตุตลอดเวลา ทางผู้ผลิตจึงแก้ปัญหาความจุไฟฟ้าที่ไม่เพียงพอ โดยการขยายแผ่นธาตุให้มีขนาดใหญ่ขึ้นพิเศษ เพื่อชดเชยพลังงานที่ขาดไป ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น และเป็นสาเหตุหลักของน้ำหนักแบตเตอรี่ที่เพิ่มขึ้น ราคาแบตเตอรี่กลุ่ม VRLA จึงมีราคาสูงขึ้น เพราะขนาดแผ่นธาตุที่ใหญ่ขึ้น ลักษณะการใช้งานของแบตเตอรี่ Gel และ AGM นี้ มักถูกใช้งานในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ อากาศไม่ร้อน เพราะตัวแบตเตอรี่มีน้ำกรดภายในน้อย และระบบแบตเตอรี่ไม่ได้เอื้อต่อการถ่ายเทความร้อนทางการระเหยของแก๊ส ทำให้แบตเตอรี่กลุ่มนี้มีการระบายความร้อนไม่ดี การ Regeneration (การฟื้นฟูโดยการทำให้ Equalize charge โดยการประจุไฟสูงเพื่อสลายซัลเฟต และกระตุ้นแบตเตอรี่) ในแบตเตอรี่ทั้ง 2 ประเภททำได้ยาก ซึ่งอาจทำให้ Gel สลายหรือน้ำกรดภายในแห้ง และอาจทำให้แบตเตอรี่บวม หากมีการชาร์จด้วยกระแสสูง ด้วยเหตุผลดังกล่าวแบตเตอรี่กลุ่ม VRLA (Valve Regulated Lead Acid) จะมีความเปราะบางเรื่องการชาร์จไฟฟ้า เครื่องชาร์จจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่ออายุการใช้งาน โดยแบตเตอรี่กลุ่มนี้ทำงานได้ดีในระบบ Standby แบบ Power Backup หรือการทำงานในลักษณะ Deep discharge แบบ UPS โดยการจ่ายกระแสต่อเนื่องชั่วคราวไม่เป็นประจำ เนื่องจากแผ่นธาตุโครงสร้างแคลเซียมค่อนข้างสลายตัวง่าย ดังนั้นถ้าหากต้องใช้แบตเตอรี่ทำงานแบบวงจรที่ต้องคายและอัดประจุต่อเนื่องทุกวัน การใช้แบตเตอรี่ชนิดแช่น้ำกรด (Flood Battery) ที่มีโครงสร้างแผ่นธาตุผสมพลวงจะมีความเหมาะสมมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.7 LDR ตัวต้านทานไวแสง

ตัวต้านทานไวแสง LDR (Light Dependent Resistor) เป็นตัวต้านทานที่ค่าความต้านทานจะเปลี่ยนไปตามความเข้มของแสงที่ตกกระทบ ลงบนตัวต้านทาน บางครั้งเรียกว่า โฟโตรีซิสเตอร์ (Photo Resistor) หรือโฟโตคอนดักเตอร์ (Photo Conductor) เป็นตัวต้านทานที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ประเภทแคดเมียมซัลไฟด์ (Cds : Cadmium Sulfide) หรือแคดเมียมซีลีไนด์ (CdSe : Cadmium Selenide) ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำ เอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบไว้ออกมาใช้งานลักษณะโครงสร้างของลักษณะของตัวต้านทานไวแสงแสดงดังรูป



รูปที่ 2.23 : LDR ตัวต้านทานไวแสง

(ข้อมูลจาก: <https://sites.google.com/>)

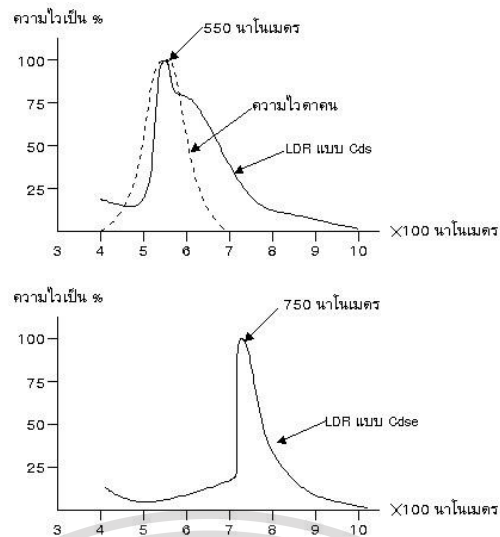
### 2.7.1 คุณสมบัติทางแสงของLDR

ไวต่อแสงในช่วงคลื่น 400-1000 นาโนเมตร (1 นาโนเมตร =  $10^{-9}$  เมตร) ซึ่งครอบคลุมช่วงคลื่นที่ไวต่อตาคน (400-700 นาโนเมตร) นั่นคือ LDR ไวต่อแสงอาทิตย์ และแสงจากหลอดไส้ หรือ หลอดเรืองแสง และยังไวต่อแสงอินฟราเรดที่ตามองไม่เห็นอีกด้วย (ช่วงคลื่นตั้งแต่ 700 นาโนเมตรขึ้นไป)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.24 : กราฟคุณสมบัติของ LDR

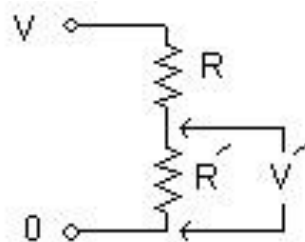
(ข้อมูลจาก: <https://sites.google.com/>)

### 2.7.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้า

อัตราส่วนของความต้านทาน LDR ขณะที่ไม่มีความสว่างกับในขณะที่มีแสง อาจมีค่าต่างกัน 100, 1,000, 10,000 เท่า แล้วแต่แบบหรือรุ่นความต้านทานในขณะไม่มีแสงจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.5 MW ขึ้นไป และความต้านทานขณะที่มีแสงจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 10 KW ลงมาทนแรงดันสูงสุดได้มากกว่า 100 โวลต์ และทนกำลังไฟได้ประมาณ 50 mW

### 2.7.3 การวัดความต้านทานของ LDR

เนื่องจาก LDR ทนกำลังไฟฟ้าได้เพียงประมาณ 50 mW ดังนั้นถ้าเราใช้โอมมิเตอร์สเกล R<sub>1</sub> วัดความต้านทานของ LDR อาจทำความเสียหายให้กับ LDR ได้ เราอาจวัดความต้านทานของ LDR ได้โดยอ้อมดังนี้โดยอาศัยวงจรแบ่งแรงดัน เราได้ความสัมพันธ์ระหว่าง V และ V' ดังนี้



$$V' = (R'/R+R).V$$

ดังนั้นค่า R จึงเป็น

$$R = R'[(V/V') - 1]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้วงเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 2.25 : การวัดค่าความต้านทาน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข้อมูลจาก: <https://sites.google.com/>)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## การนำ LDR ไปใช้งาน

จากหลักการดังกล่าวแล้วจะเห็นว่าเมื่อมีแสงสว่างมาตกที่ตัว LDR กระแสที่ไหลผ่านตัว LDR จะสูง เนื่องจากมีความต้านทานต่ำ และเมื่อไม่มีแสงความต้านทานของ LDR มีค่าสูง ทำให้กระแสไหลได้น้อย เราจึงอาจนำ LDR ไปเป็นส่วนประกอบของมิเตอร์วัดความเข้มแสงได้

## 2.8 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)

ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) คือ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเหนี่ยวนำไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการสนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด จะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวด ซึ่งจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้น ตัวเหนี่ยวนำแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ แบบค่าคงที่และแบบปรับค่าได้ ตัวเหนี่ยวนำเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อินดักเตอร์หรือเรียกย่อ ๆ ว่าตัวแอล (L) หน่วยของการเหนี่ยวนำคือ เฮนรี (Henry)

### หลักการเบื้องต้นของตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)

ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) เป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการปรับความถี่ของเครื่องรับวิทยุและโทรทัศน์โดยอาศัยหลักการของลวดทองแดงนำมาขดหลาย ๆ รอบที่เรียกว่าคอย (Coil) แล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไป เพื่อให้แสดงคุณสมบัติของตัวเหนี่ยวนำ โครงสร้างประกอบด้วยขดลวด (Coil) พันรอบแกน (Core) ซึ่งแกนนี้อาจจะเป็นแกนอากาศ, แกนเหล็ก, หรือแกนเฟอร์ไรท์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของการเหนี่ยวนำไฟฟ้าตัวเหนี่ยวนำชนิดต่าง ๆ แสดงดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.26 : แสดงตัวเหนี่ยวนำชนิดต่างๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข้อมูลจาก: [thunyakorn-young.blogspot.com](http://thunyakorn-young.blogspot.com))

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำ

สัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำเขียนได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับแกนที่ใช้ รูปที่ 33 ก. แสดงสัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำแบบแกนอากาศ มีลักษณะเป็นขดลวดและมีขาต่อใช้งานสองขา ภาพ ข. แสดงสัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำแบบที่ใช้แกนเหล็ก มีลักษณะเป็นขดลวดมีขาต่อใช้งาน และมีเส้นตรงอยู่ด้านบนขดลวด 2 เส้น ภาพ ค. แสดงสัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำแบบที่ใช้แกนเฟอร์ไรท์ มีลักษณะเป็นขดลวดมีขาต่อใช้งาน และมีเส้นประอยู่ด้านบนขดลวด 2 เส้น ภาพ ง. แสดงสัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำแบบปรับค่าได้ มีลักษณะคล้ายกับแบบที่ใช้แกนเฟอร์ไรท์ แต่ต่างกันตรงที่มีลูกศรพาดหมายถึงสามารถปรับค่าได้



รูปที่ 2.27 : แสดงสัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำชนิดต่างๆ

(ข้อมูลจาก: [thunyakorn-young.blogspot.com](http://thunyakorn-young.blogspot.com))

## ชนิดของตัวเหนี่ยวนำ

ตัวเหนี่ยวนำที่ผลิตออกมาในปัจจุบันมีหลายแบบหลายขนาด วัสดุที่ใช้ทำแกนที่นิยมก็คือ แกนอากาศ , แกนเหล็ก และแกนเฟอร์ไรท์ เราสามารถแบ่งตัวเหนี่ยวนำได้ 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ตัวเหนี่ยวนำแบบค่าคงที่ (Fixed Inductors) และตัวเหนี่ยวนำแบบปรับค่าได้ (Variable Inductors)

### ตัวเหนี่ยวนำแบบค่าคงที่ (Fixed Inductors)

ตัวเหนี่ยวนำแบบค่าคงที่ (Fixed Inductors) คือตัวเหนี่ยวนำที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ โดยปกติตัวเหนี่ยวนำประเภทนี้ ทำมาจากขดลวดทองแดง แกนที่ใช้พันขดลวดจะมีปลายลวดยื่นออกมาทั้งสองข้าง รูปร่างโดยทั่วไปจะเป็นแกนยาวแบบทรงกระบอก มีชื่อเรียกแตกต่างกัน เช่น โซลินอยด์, เซอร์เฟสเมาส์, โซค, ทอร์รอยด์ และแบบแถบสี ฯลฯ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.28 : ตัวเหนี่ยวนำแบบค่าคงที่

(ข้อมูลจาก: [thunyakorn-young.blogspot.com](http://thunyakorn-young.blogspot.com))



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



### การพิจารณาความต้านทานที่แบ่งแรงดัน

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าขาเข้าอนาล็อกของ ARDUINO ถูก จำกัด ไว้ที่ 5V จึงออกแบบตัวแบ่งแรงดันไฟฟ้าในลักษณะที่แรงดันขาออกควรน้อยกว่า 12 V ใช้แผงโซลาร์เซลล์ 20W ( $V_{oc} = 21.5v$ ) และ แบตเตอรี่ 12 V และ 12 Ah สำหรับเก็บพลังงาน จึงต้องลดแรงดันไฟฟ้าทั้งสองให้ต่ำกว่า 5 V

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_2+R_1} V \quad \text{สมการที่ (3.1)}$$

ให้แรงดันไฟฟ้าของแผง = 20 V ในช่วงที่มีแสงแดดจ้า และกำหนดค่า  $R_1 = 20 \text{ k}$ ,  $R_2 = 4.7 \text{ k}$

$$V_{out}(\text{Solar}) = \frac{4.7k}{4.7k + 20k} (20)$$

$$V_{out}(\text{Solar}) = 3.806 \text{ V}$$

แรงดันแบตเตอรี่เมื่อเต็มเป็น 13.6 V

$$V_{out}(\text{Bat}) = \frac{4.7k}{4.7k + 20k} (13.6)$$

$$V_{out}(\text{Bat}) = 2.255 \text{ V}$$

ใช้  $R_1 = 20 \text{ k}$  และ  $R_2 = 4.7 \text{ k}$  ในการตรวจจับทั้งแรงดันไฟฟ้า (แรงดันแผงโซลาร์เซลล์และแรงดันแบตเตอรี่) ค่าของ  $R_1$  และ  $R_2$  อาจต่ำกว่าค่าหนึ่ง แต่ปัญหาคือเมื่อความต้านทานต่ำ กระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นจะไหลผ่านเป็นผลให้พลังงานจำนวนมาก ( $P = I^2R$ ) กระจายไปในรูปของความร้อน

### การแปลงสัญญาณ ADC สำหรับ Arduino

เนื่องจากข้อสัญญาณของ Arduino สามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้เพียง 5 V ซึ่งอ่านค่าแสงจากโซลาร์เซลล์ไม่ได้ จึงต้องใช้การแปลงสัญญาณอนาล็อกเพื่อแสดงค่าของแสง ณ เวลานั้นๆ

ให้แรงดันไฟฟ้าของแผง = 20 V ในช่วงที่มีแสงแดดจ้า และกำหนดค่า  $R_1 = 20k$   $R_2 = 4.7k$

$$V_{out}(\text{Solar}) = \frac{4.7k}{4.7k + 20k} (20)$$

$$V_{out}(\text{Solar}) = 3.806 \text{ V}$$

$$\text{นำค่า } V_{out}(\text{solar}) \text{ แปลงเป็นค่าอนาล็อกจะได้ } \frac{3.806}{5} \times 1023 = 779$$

$$\text{ค่าความละเอียด } \frac{3.806}{779} = 4.886 \text{ m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น จะได้สมการที่ใช้ในเขียนโปรแกรมดังนี้ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

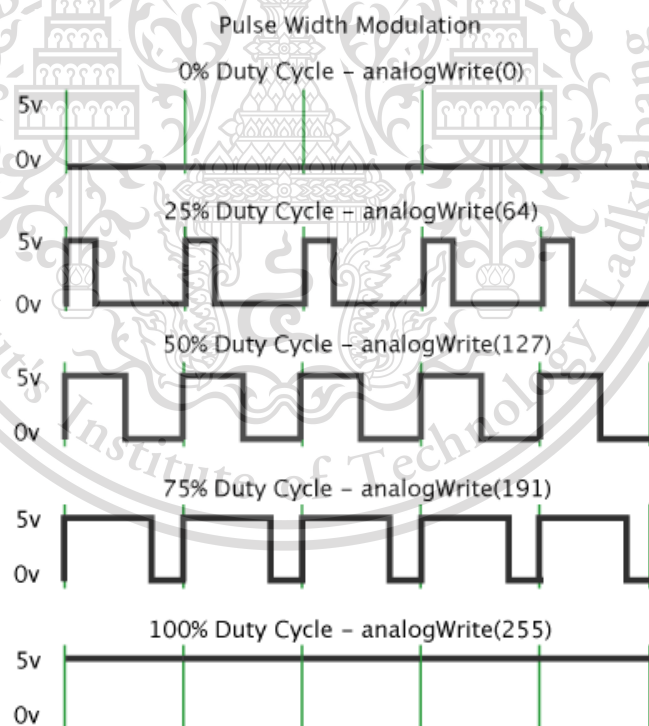
$$\text{Solar} = (4.886\text{m}) \times (5.255) \times (\text{ADC}) \quad \text{สมการที่ (3.2)}$$

### การสร้างสัญญาณ PWM

PWM คือเทคนิคการส่งสัญญาณแบบสวิตช์ หรือ ส่งค่าดิจิทัล 0-1 โดยให้สัญญาณความถี่คงที่ การควบคุมระยะเวลาสัญญาณสูงและสัญญาณต่ำ ที่ต่างกัน ก็จะทำให้ค่าแรงดันเฉลี่ยของสัญญาณสวิต ต่างกันด้วย สำหรับโมดูล PWM ของ Arduino มีความละเอียด 8 bit หรือ ปรับได้ 255 ระดับ ดังนั้นค่าสัญญาณ 0 โวลต์ถึง 5 โวลต์ จะถูกแสดงเป็นสัญญาณแบบดิจิทัล จะได้ 0 ถึง 255 ซึ่งเราสามารถเทียบสัดส่วนคำนวณจากเลขจริง เป็น เลขทางดิจิทัลได้

$$\text{ถ้า } 5\text{V} = 255 \text{ แล้ว } 1.0\text{v} \text{ จะเท่ากับค่าเท่าไร} = 255 / (5.0\text{V} * 1.0\text{V}) = 51$$

ดังนั้น  $V_{\text{out}} = 1.0\text{ V}$  เราสั่งให้ค่า PWM = 51



รูปที่ 3.3 : สัญญาณ PWM

(ข้อมูลจาก: [www.robotshop.com](http://www.robotshop.com))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.3 การคำนวณและการออกแบบโซลาร์เซลล์

การเลือกขนาดของแผงโซลาร์เซลล์

$$\text{ขนาดของแผงโซลาร์เซลล์} = \frac{(\text{กำลังงานที่ใช้} \times \text{ชั่วโมงที่ใช้})}{\text{จำนวนชั่วโมงที่ได้รับแสง } 1\text{-sun}} \quad \text{สมการที่ (3.3)}$$

กำลังงานทั้งหมดที่ใช้ในเครื่องตัดหญ้า

มอเตอร์สำหรับตัดหญ้า 12v ใช้กระแส 300 mA ใช้กำลังงานทั้งสิ้น 3.6W

มอเตอร์สำหรับขับล้อ 12v ใช้กระแส 385 mA ใช้กำลังงานทั้งสิ้น 4.62W ใช้มอเตอร์สองตัว  
ดังนั้นจึงใช้กำลังงานทั้งสิ้น 9.24W

Arduino Mega 2560 5V ใช้กระแส 300 mA ใช้กำลังงานทั้งสิ้น 1.5W

LCD จอแสดงผล Arduino 5v ใช้กระแส 2.5 mA ใช้กำลังงานทั้งสิ้น 0.0125W

เซ็นเซอร์ Ultrasonic module 5v ใช้กระแส 15 mA ใช้กำลังงานทั้งสิ้น 0.075W ใช้  
เซ็นเซอร์ทั้งหมด 4 ตัว จึงใช้กำลังงานทั้งสิ้น 0.3W

จำนวนชั่วโมงที่ได้รับแสง 1-sun (PSH (Peak sun Hour)) =  $\frac{5(\text{kWh}/\text{m}^2/\text{day})}{1(\text{kWh}/\text{m}^2)}$   
= 5h/day

ดังนั้น

$$\frac{[(0.3 \times 5) + (0.0125 \times 5) + (1.5 \times 5) + (9.24 \times 5) + (3.6 \times 5)]}{5}$$

ขนาดแผงโซลาร์เซลล์ = 14.65W

จึงทำการเผื่อ safety margin 40% แผงโซลาร์เซลล์ =  $14.65 \times 1.4 = 20.51 \sim 20W$

ทำการเผื่อขนาดของแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้เป็น 20W จึงเลือกใช้โซลาร์เซลล์ขนาด 12v 20W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### การเลือกขนาดของแบตเตอรี่

เลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 12v แต่กระแสต้องหาจากการคำนวณ

เป็นการคำนวณหากระแสของแบตเตอรี่ที่ใช้จาก

$$\text{กระแสของแบตเตอรี่} = \frac{(\text{กำลังงานที่ใช้} \times \text{ชั่วโมง})}{12 \times 0.6} \quad \text{สมการที่ (3.4)}$$

แบตเตอรี่ที่ใช้ คือ 12v กระแสที่ใช้ภายในแบตเตอรี่ คือ 0.6A

$$\frac{[(0.3 \times 5) + (0.0125 \times 5) + (1.5 \times 5) + (9.24 \times 5) + (3.6 \times 5)]}{12 \times 0.6}$$

$$\text{กระแสแบตเตอรี่} = 10.175\text{Ah}$$

จึงทำการเผื่อ safety margin 20% กระแสของแบตเตอรี่ =  $10.175 \times 1.2 = 12.21 \sim 12\text{Ah}$

ทำการเผื่อขนาดของกระแสของแบตเตอรี่ที่ใช้เป็น 12Ah จึงเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 12v 12Ah

### คำนวณเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่

เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12v 12Ah

$$\text{เวลาที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่} = \frac{\text{กระแสของแบตเตอรี่}}{\text{กระแสจากโซลาร์เซลล์}} \quad \text{สมการที่ (3.5)}$$

เนื่องจากใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 12v 20W กระแสที่ได้จากโซลาร์เซลล์คือ  $20\text{W}/12\text{v} = 1.6667\text{A}$

$$\text{เวลาที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่} = \frac{12\text{A}}{1.6667\text{A}}$$

$$\text{เวลาที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่} = 7\text{h}$$

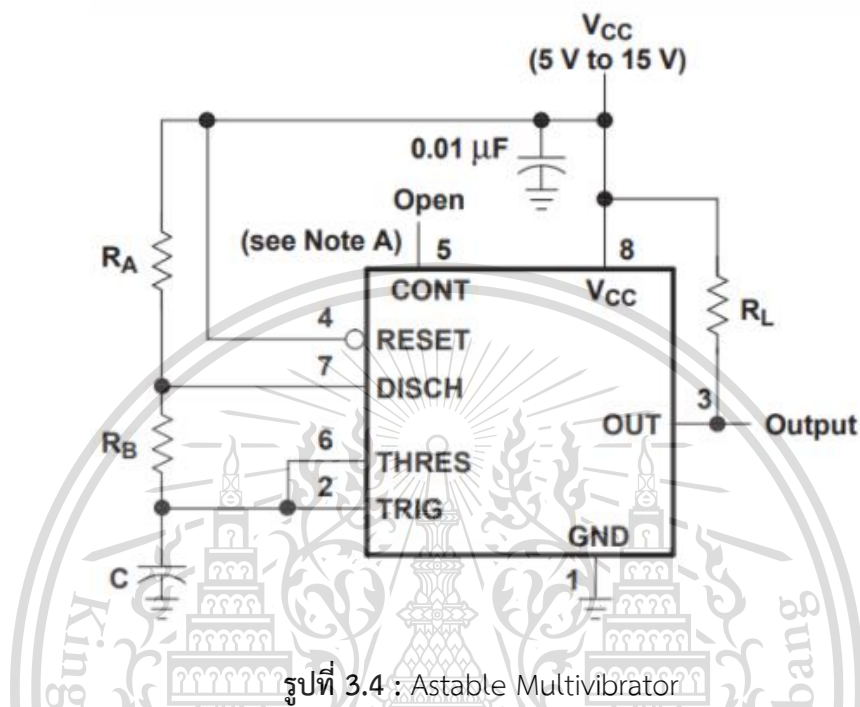
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.4 การคำนวณและการออกแบบวงจรส่งสัญญาณ

ในการออกแบบนี้คณะผู้จัดทำได้เลือกใช้ NE555 ซึ่งเป็นไอซีวงจรมีทำหน้าที่เป็นอสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ (Astable Multivibrator) ซึ่งเหมือนกับเครื่องให้จังหวะ



รูปที่ 3.4 : Astable Multivibrator

(ข้อมูลจาก: Data sheet NE555)

สูตรในการคำนวณค่าความถี่ในสายส่งสัญญาณ

$$f = 1.44 / ((R_a + 2 \times R_b) \times C) \quad \text{สมการที่ (3.6)}$$

ช่วงความถี่ของคลื่นที่สร้างขึ้นจะอยู่ระหว่าง 32KHz ถึง 44KHz ซึ่งเป็นความถี่เฉพาะที่ไม่รบกวน อุปกรณ์ใกล้เคียงอื่น ๆ เราได้เลือก  $R_a = 3.3\text{K}\Omega$ ,  $R_b = 12\text{K}\Omega + 4.7\text{K}\Omega$  Potentiometer และ  $C = 1.2\text{nF}$

Lowest frequency value :

$$f_L = 1.44 / ((3.3 + 2 \times (12 + 4.7)) \times 1.2 \times 10^{-9})$$

$$f_L \approx 32\,698\text{ KHz}$$

Highest frequency value :

$$f_H = 1.44 / ((3.3 + 2 \times (12 + 0)) \times 1.2 \times 10^{-9})$$

$$f_H \approx 43.956\text{ KHz}$$

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.5 การคำนวณและการออกแบบวงจรรับสัญญาณ

วิธีตรวจจับสัญญาณที่ผ่านสายไฟ ใช้วงจร LC เป็นวงจรไฟฟ้าที่ใช้ตัวเหนี่ยวนำหรือขดลวด (L) และตัวเก็บประจุ (C) ที่เชื่อมต่อแบบขนาน วงจรนี้ใช้ในตัวกรองเครื่องรับสัญญาณและเครื่องผสมความถี่ สูตรการคำนวณความถี่เรโซแนนซ์ของวงจร LC ซึ่งจะมีลักษณะดังนี้:

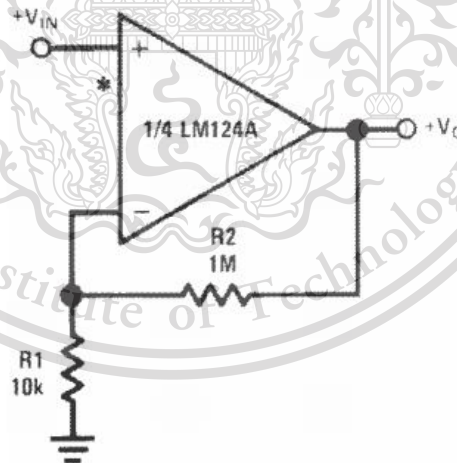
$$f_0 = 1 / (2 \times \pi \times \sqrt{L \times C}) \quad \text{สมการที่ (3.7)}$$

สำหรับเซ็นเซอร์ตรวจจับสัญญาณ ใช้ควมถี่เรโซแนนซ์ในช่วง 34KHz-40KHz เราจึงเลือกค่า

L = 1mH และ C = 22nF:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(1m)(22n)}} \\ = 33.932 \text{ KHz}$$

เพื่อให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์ที่ 33.932 kHz ความกว้างของสัญญาณที่ตรวจพบโดยค่อนข้างเล็ก (สูงสุด 80mV เมื่อเราทดสอบวงจรเซ็นเซอร์ของเรา) เมื่อตัวเหนี่ยวนำอยู่ที่ประมาณ 10 ซม. จากสาย ดังนั้นจึงต้องมีการขยาย ในการทำเช่นนั้นเราได้ใช้แอมพลิฟายเออร์ LM324 Op-Amp ในการขยายสัญญาณด้วยอัตราขยาย 100 เท่า



รูปที่ 3.5 : แอมพลิฟายเออร์ LM324 Op-Amp

(ข้อมูลจาก: Data sheet LM324)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากกฎของแอมพลีฟายเออร์จะได้

$$\frac{V_a - V_o}{R_2} + \frac{V_a}{R_1} = 0 \quad \text{สมการที่ (3.8)}$$

เพื่อคำนวณหาค่าตัวต้านทาน  $R_1, R_2$  ที่ให้ค่าอัตราขยาย 100 เท่า จะได้ค่า  $R_2 = 1\text{M}\Omega$  และ  $R_1 = 100\text{K}\Omega$

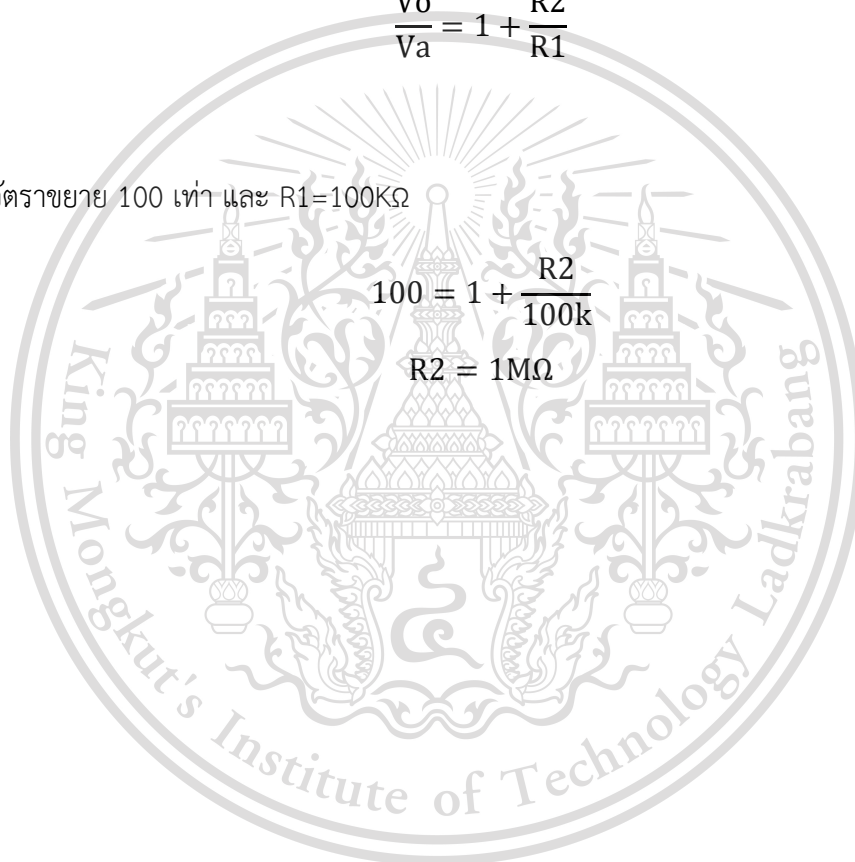
$$V_a \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right) = \frac{V_o}{R_2}$$

$$\frac{V_o}{V_a} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

ให้ค่าอัตราขยาย 100 เท่า และ  $R_1 = 100\text{K}\Omega$

$$100 = 1 + \frac{R_2}{100\text{k}}$$

$$R_2 = 1\text{M}\Omega$$

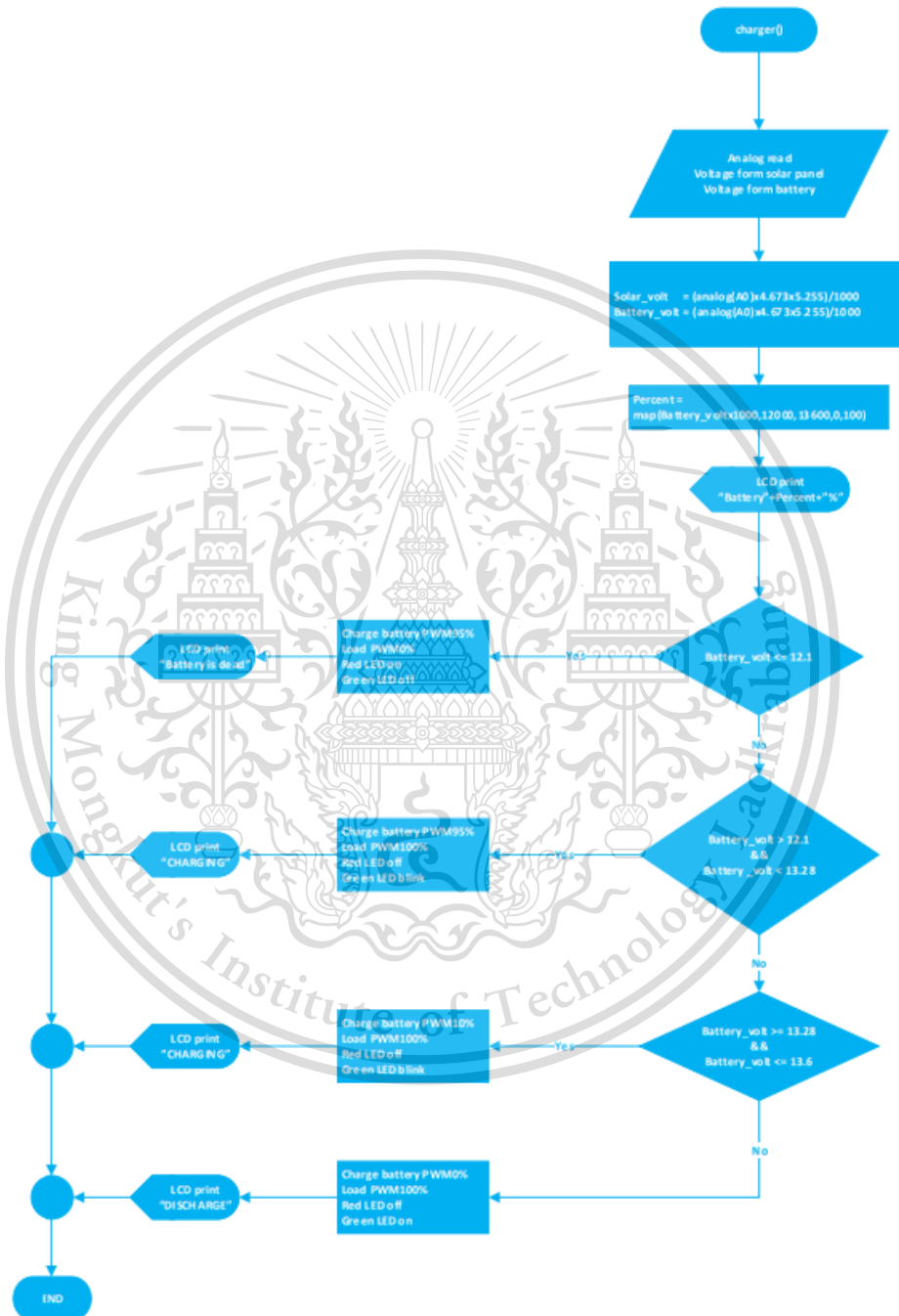


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.6 แผนผังโปรแกรมการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

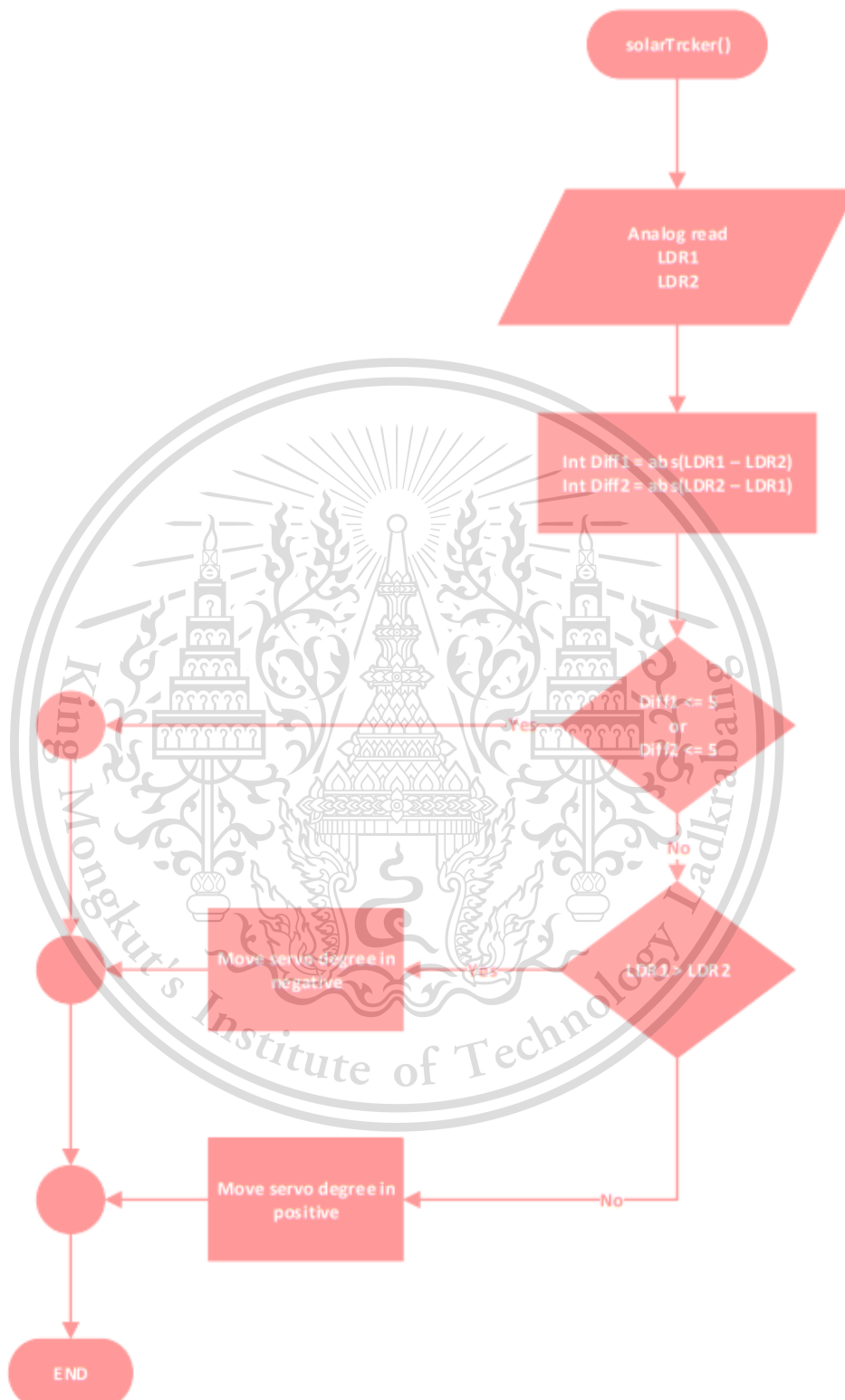


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 3.6** : การทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.7 แผนผังโปรแกรมการทำงานของวงจรวัดค่าแสงอาทิตย์ด้วย LDR



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

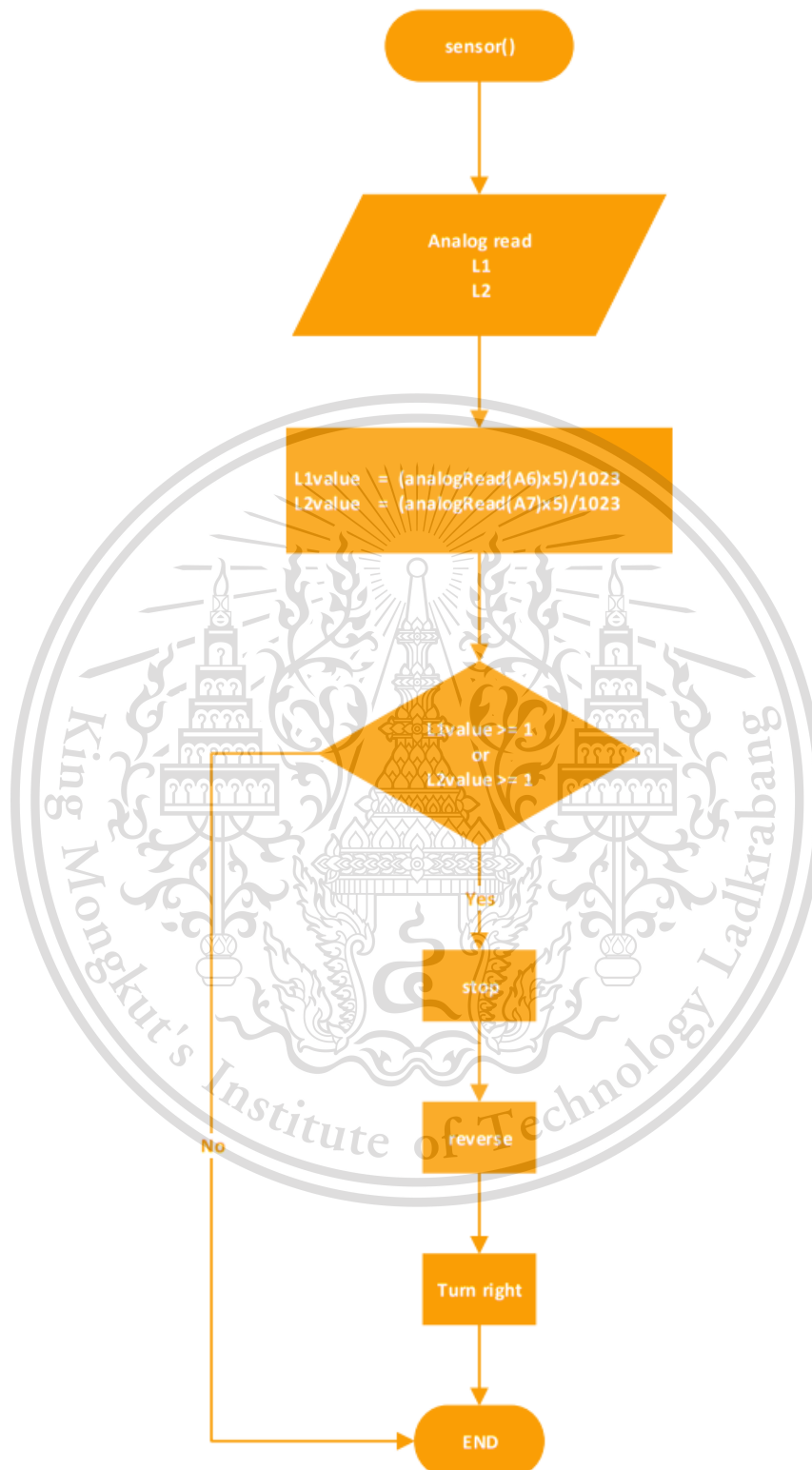
รูปที่ 3.7 : การทำงานของวงจรวัดค่าแสงอาทิตย์ด้วย LDR

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.8 แผนผังโปรแกรมการทำงานของเซนเซอร์รับสัญญาณ



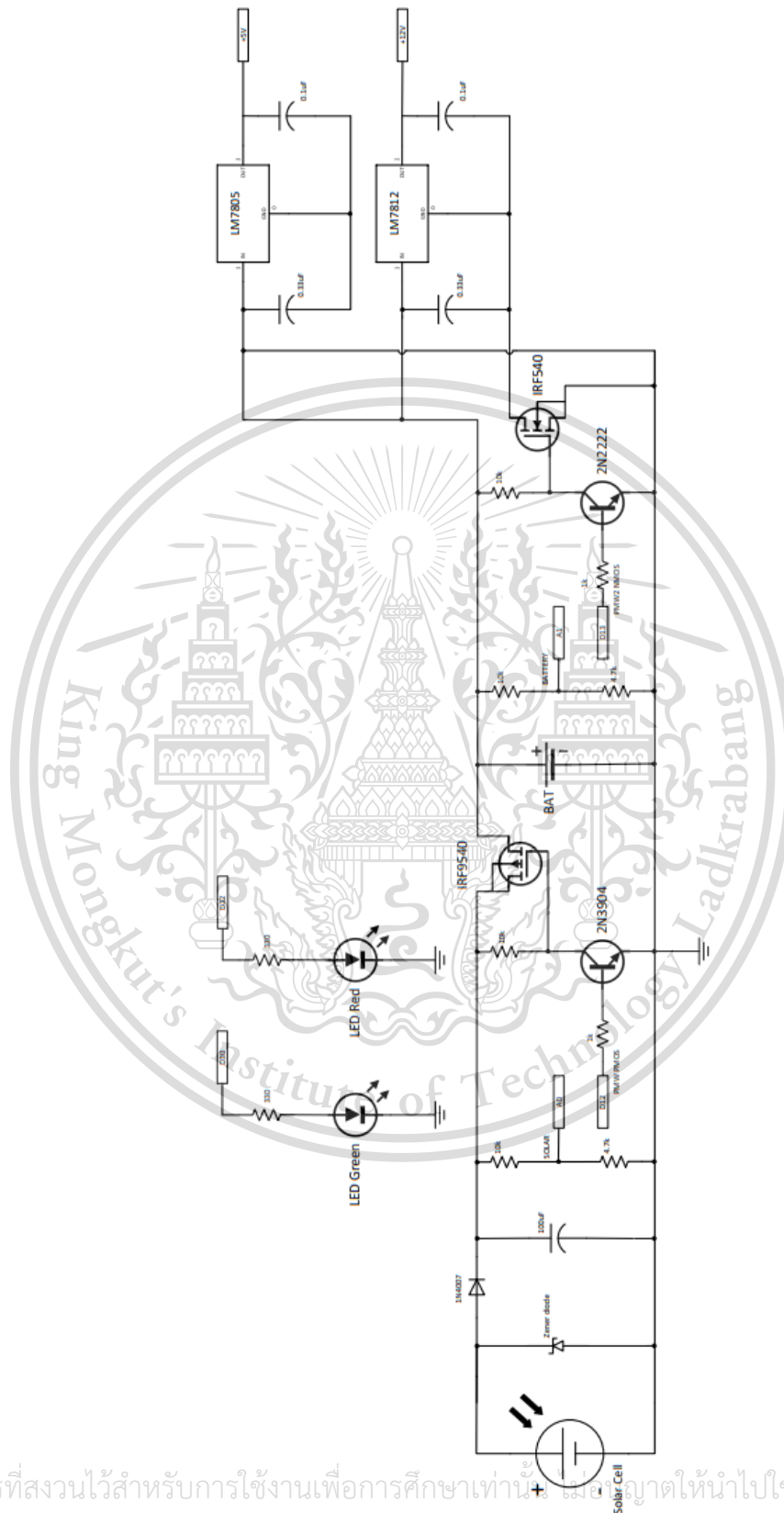
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **รูปที่ 3.8**: การทำงานของเซนเซอร์รับสัญญาณ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



### 3.10 รูปภาพแบบร่างของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ที่ออกแบบได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น + เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

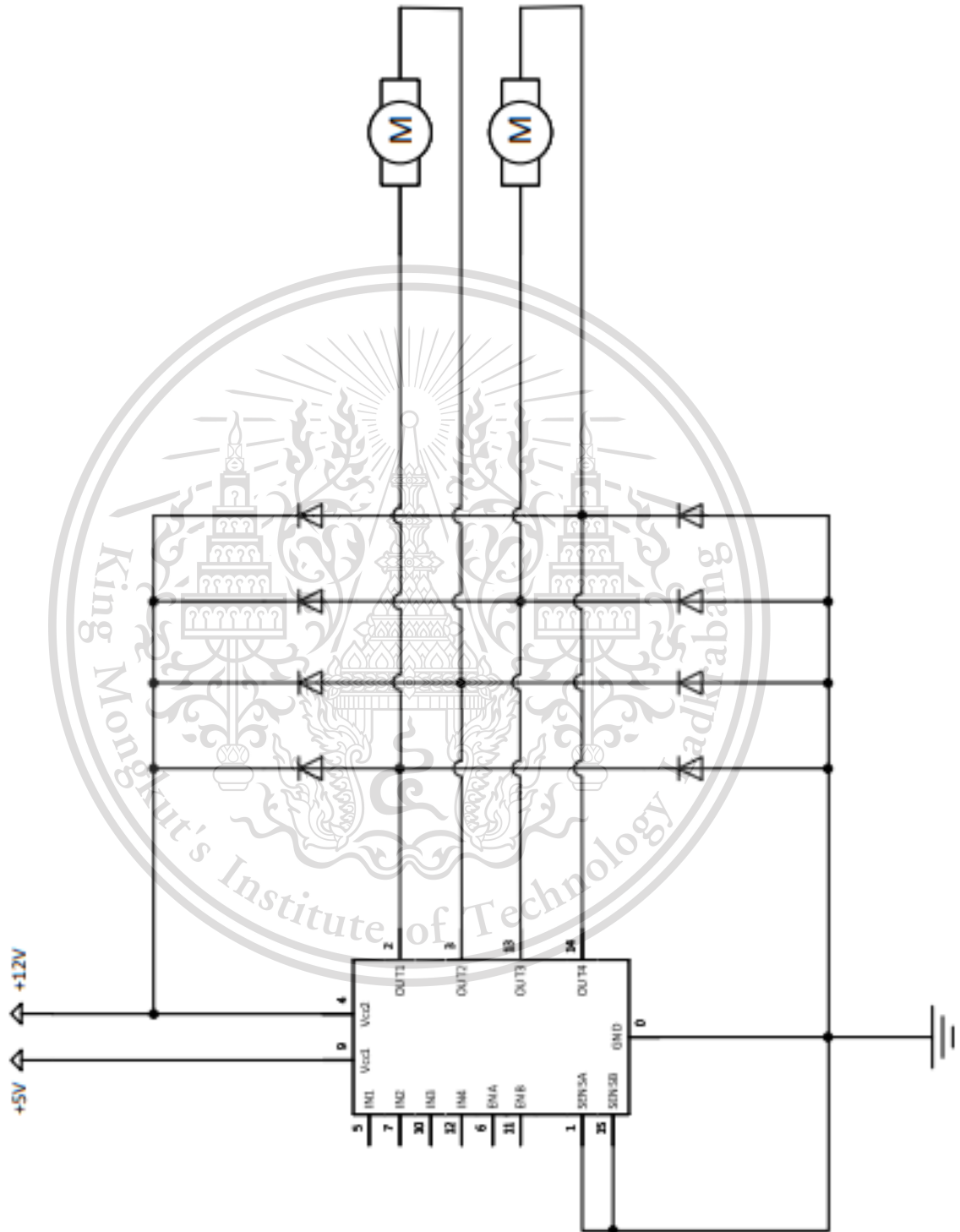
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 : ตัวอย่างรูปการต่อวงจรชาร์จแบตเตอรี่

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.11 รูปภาพแบบร่างของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ออกแบบได้



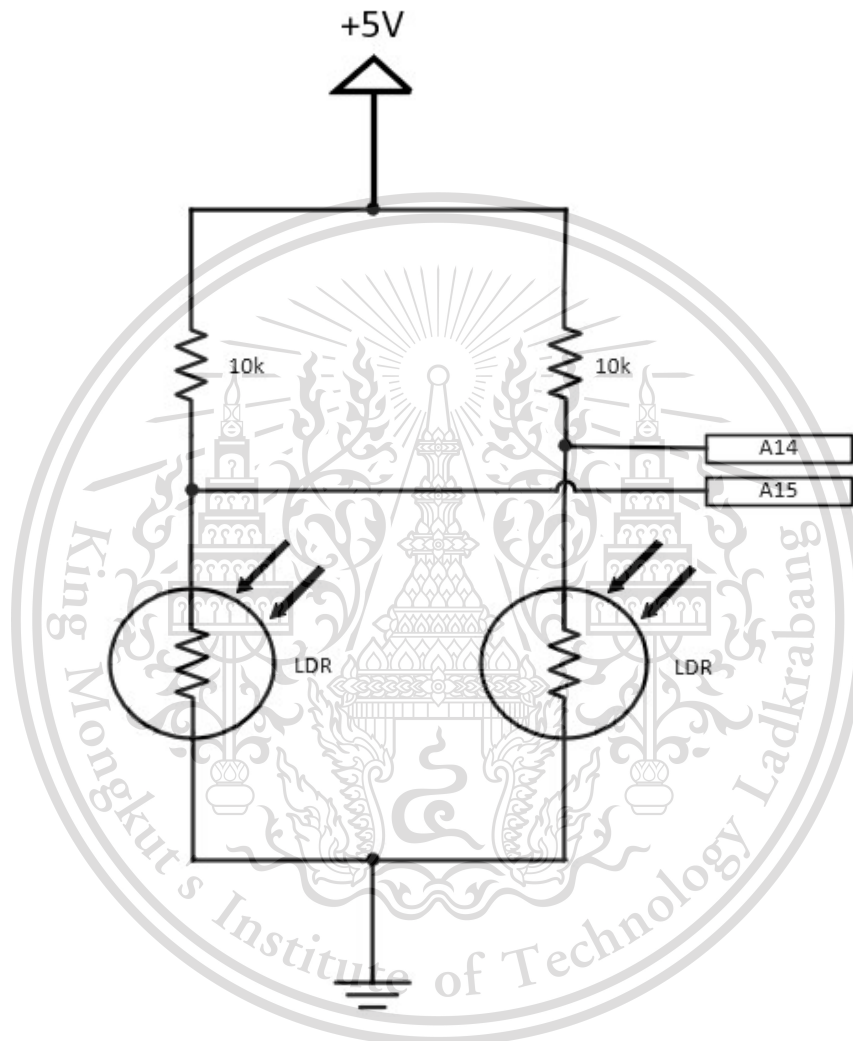
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 : ตัวอย่างรูปการต่อวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.12 รูปภาพแบบร่างของวงจรวัดความเข้มแสงที่ได้



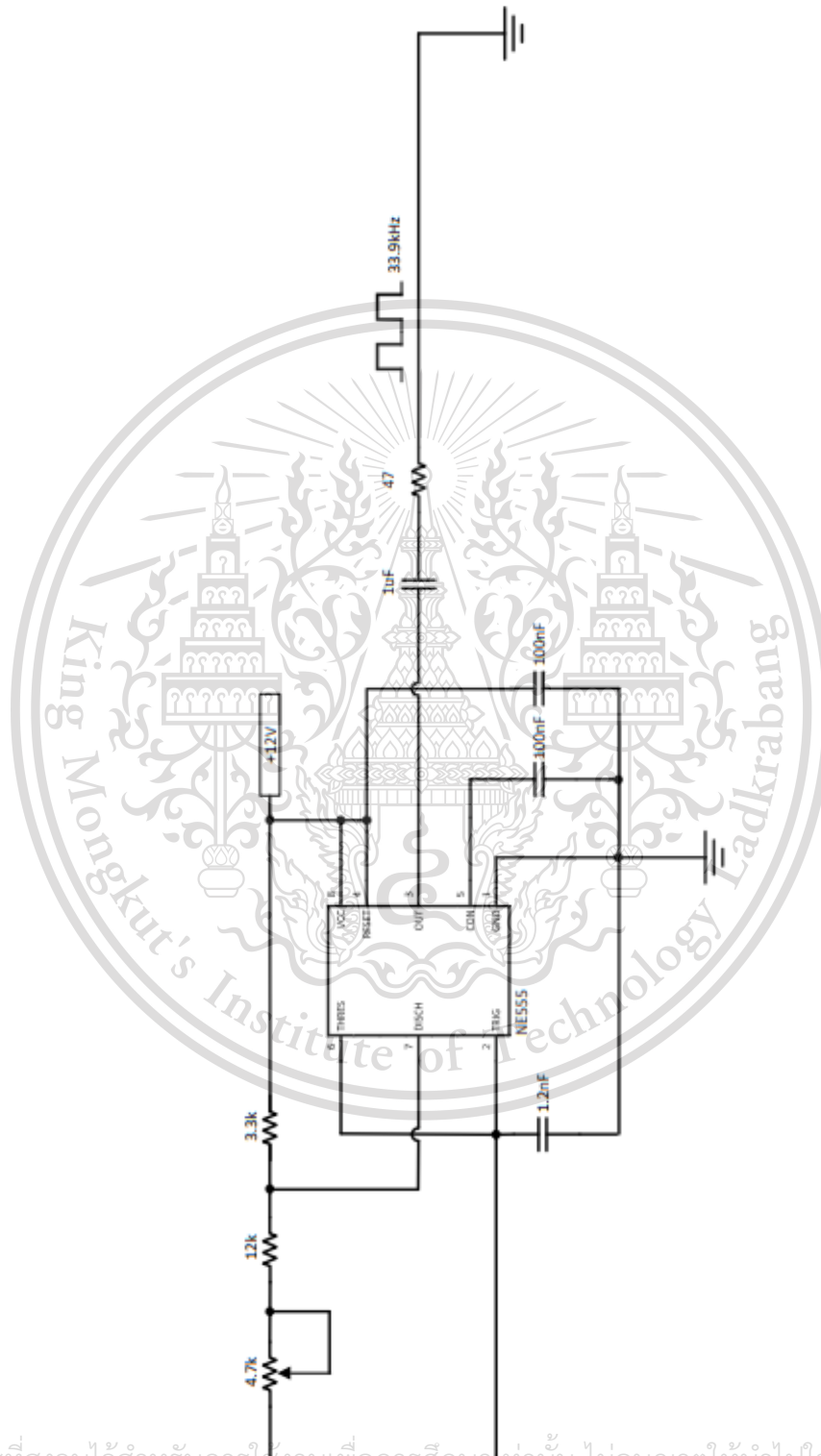
รูปที่ 3.12 : ตัวอย่างรูปการต่อวงจรวัดความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.13 รูปภาพแบบร่างของวงจรจำกัดขอบเขต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

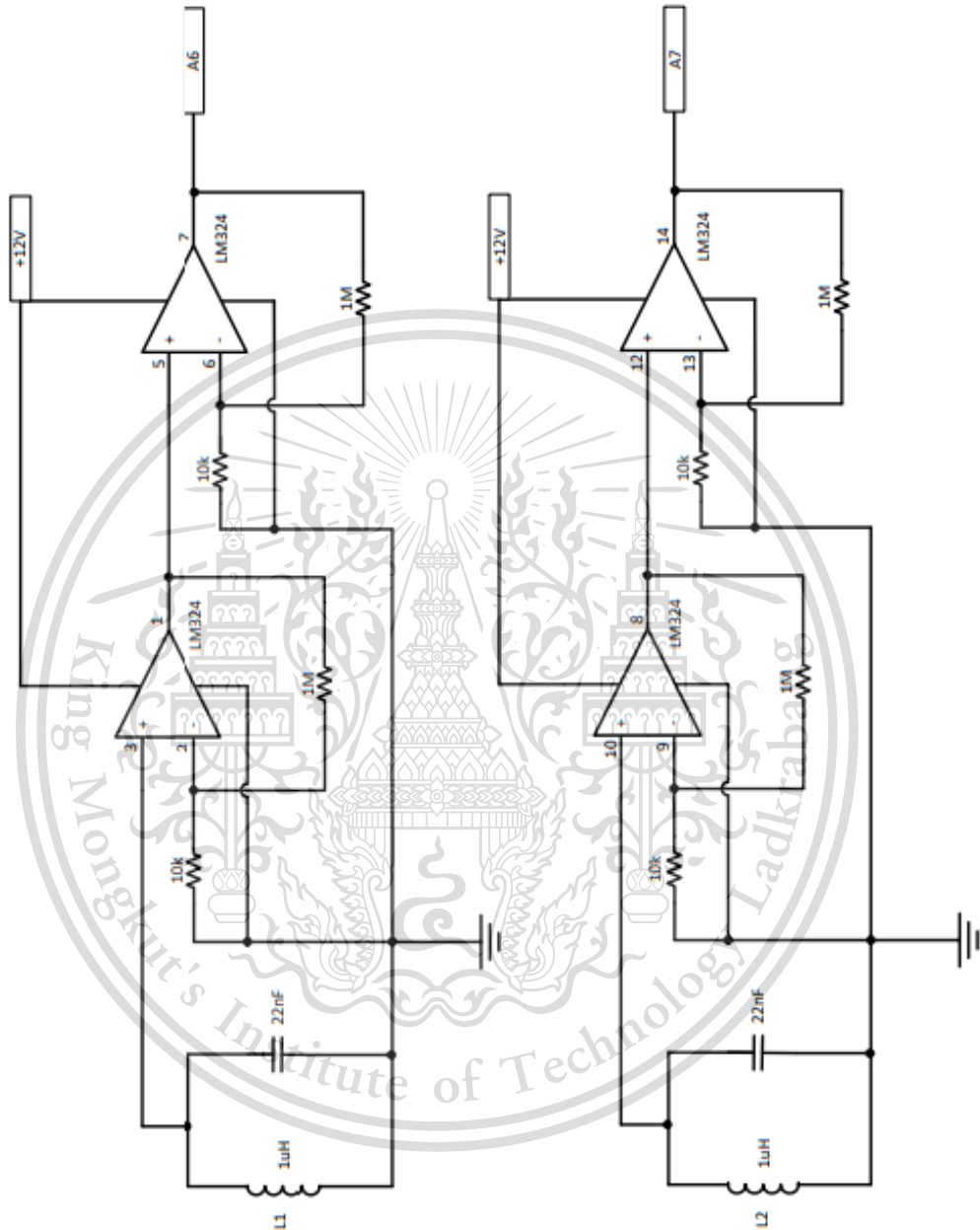
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.13 : รูปภาพแบบร่างของวงจรจำกัดขอบเขต

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.14 รูปภาพแบบร่างของวงจรรับสัญญาณ



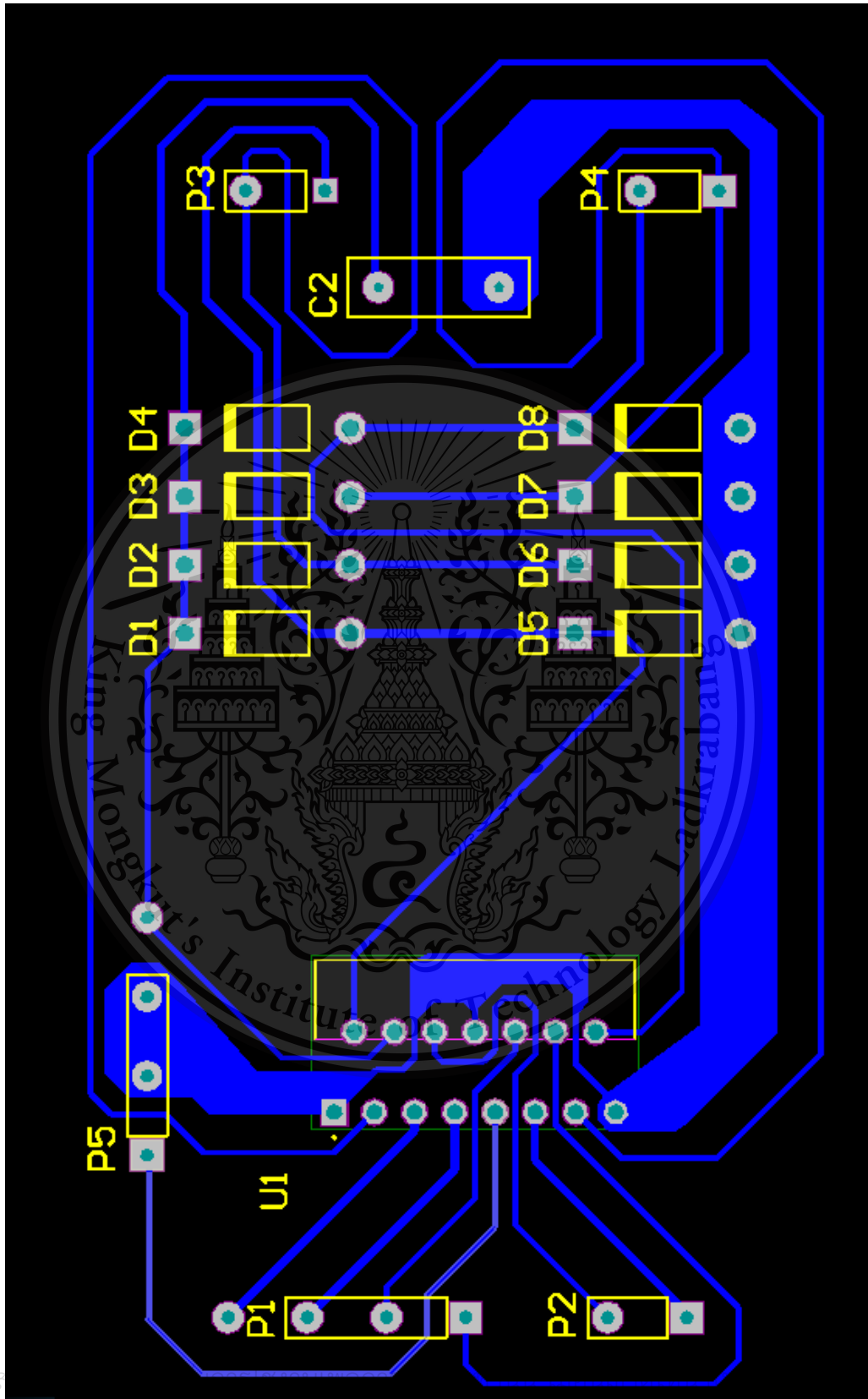
รูปที่ 3.14 : รูปภาพแบบร่างของวงจรรับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.15 รูปภาพลายปรีนของวงจรขับมอเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสาร

ด้านการค้า

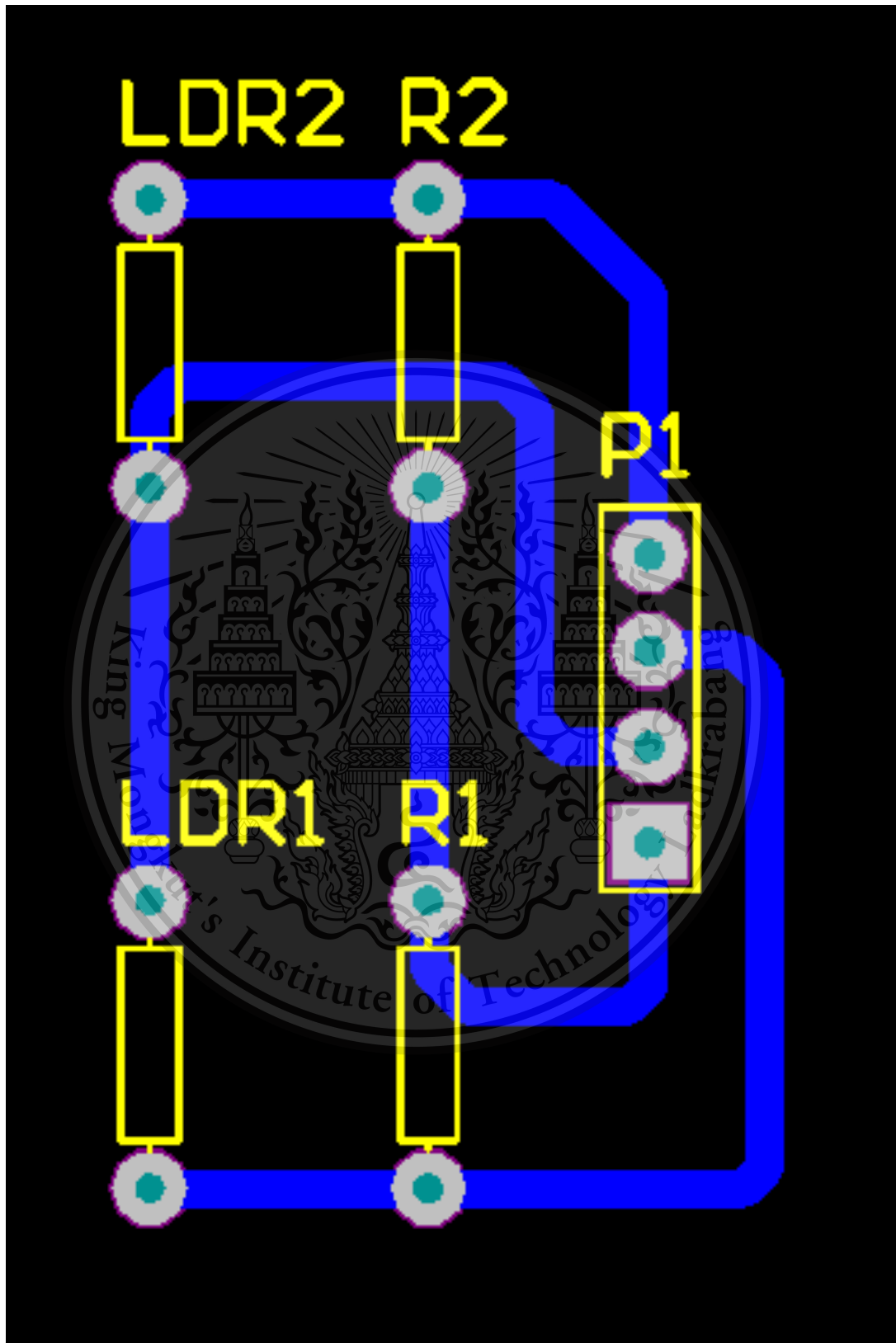
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งชื่ออื่นถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.15 : ลายปรีนวงจรขับมอเตอร์

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.16 รูปภาพลายปริ้นของวงจรวัดความเข้มแสง



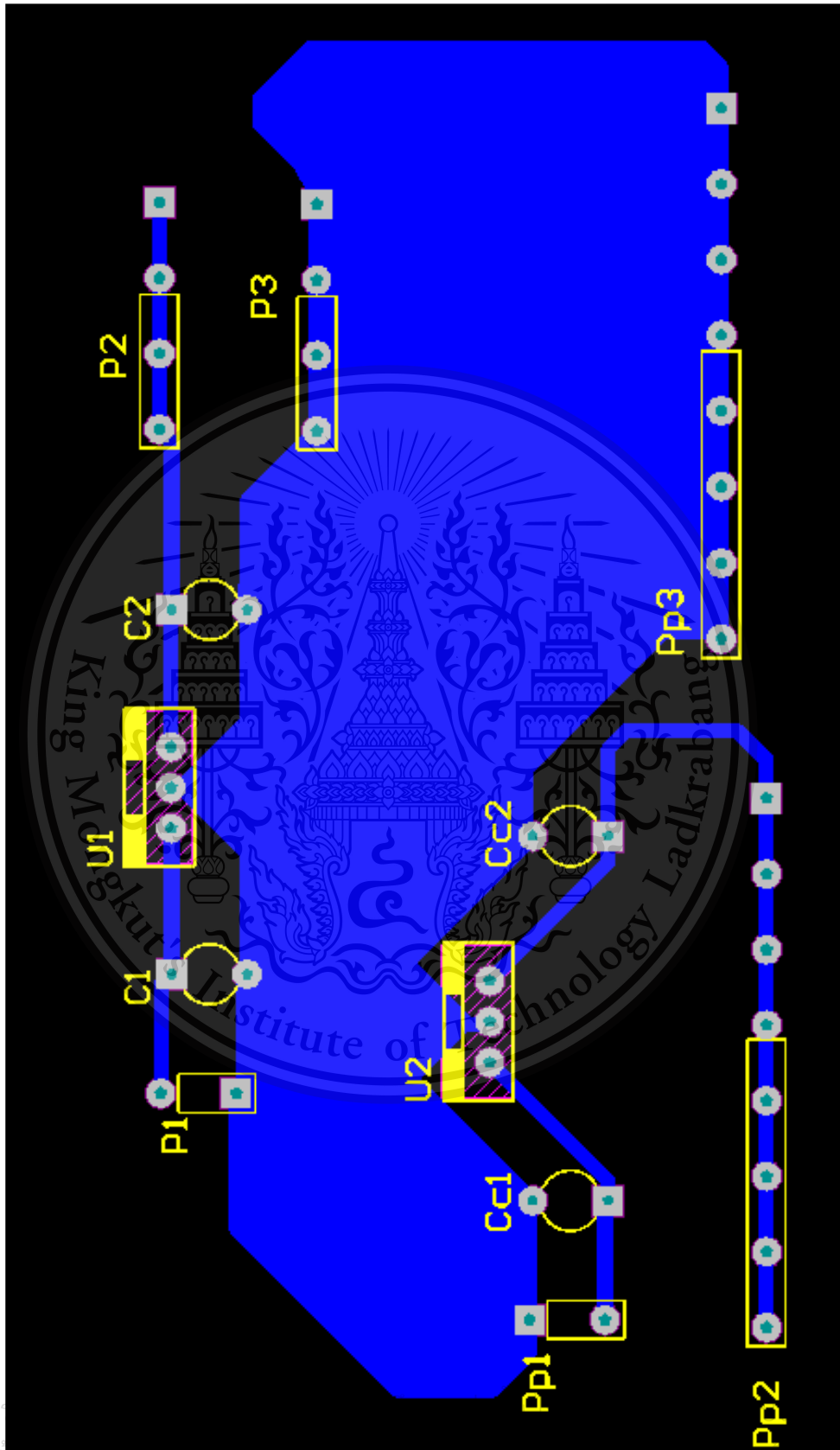
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ซื้อได้เห็นใบเสร็จรับเงินการซื้อ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เนื้อหา และข้อมูลไปยังเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.16: ลายปริ้นของวงจรวัดความเข้มแสง

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.17 รูปภาพลายปริ้นของวงจรคงแรงดันคงที่



เอกสารนี้เป็นเอกสาร

นี้ด้านการค้า

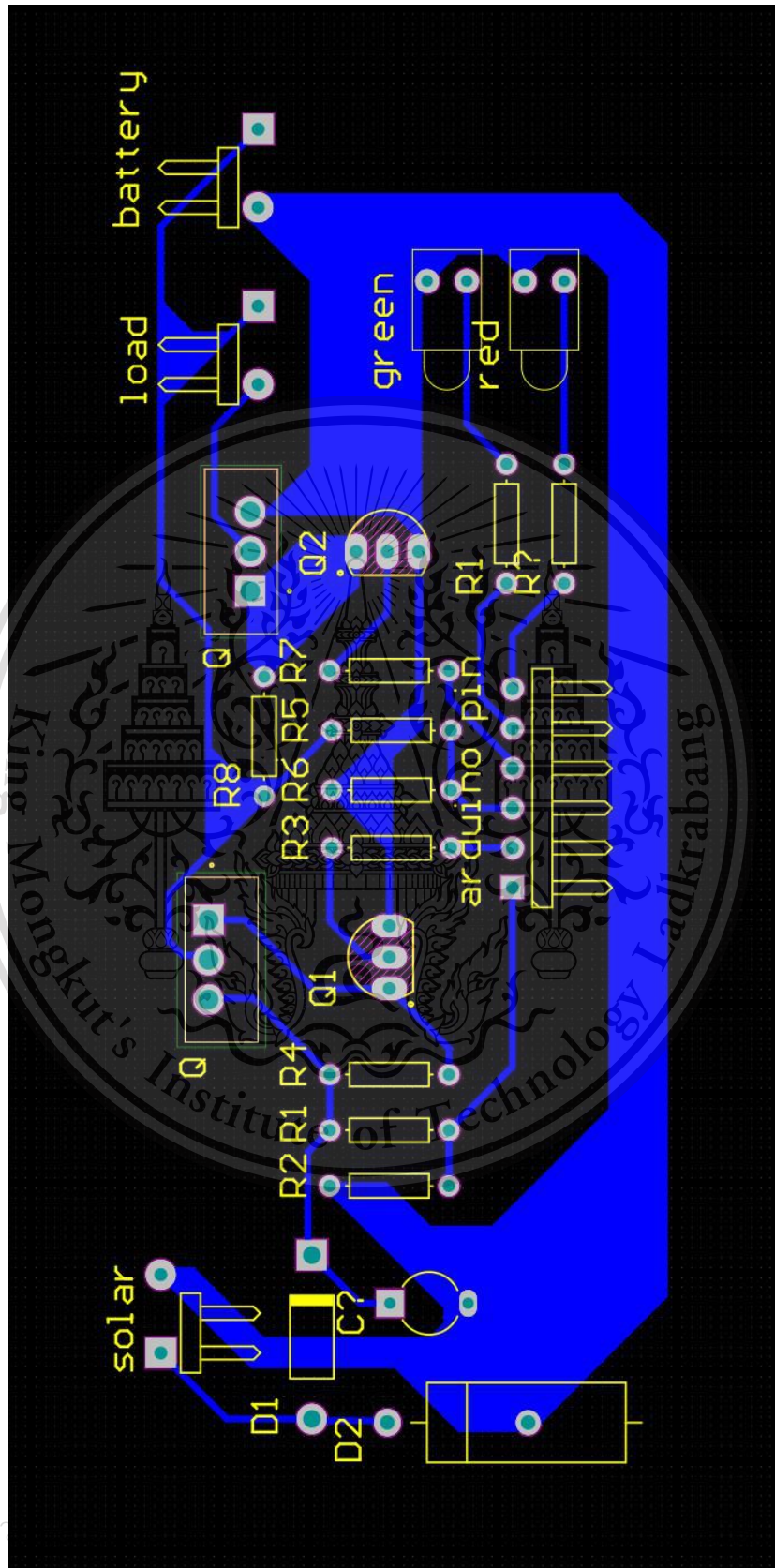
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ออกทั้งหมดมเหตุดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.17 : ลายปริ้นวงจรคงแรงดันคงที่

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.18 รูปภาพลายปริ้นของวงจรชาร์จแบตเตอรี่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สง

ระโยชน์ด้านการค้า

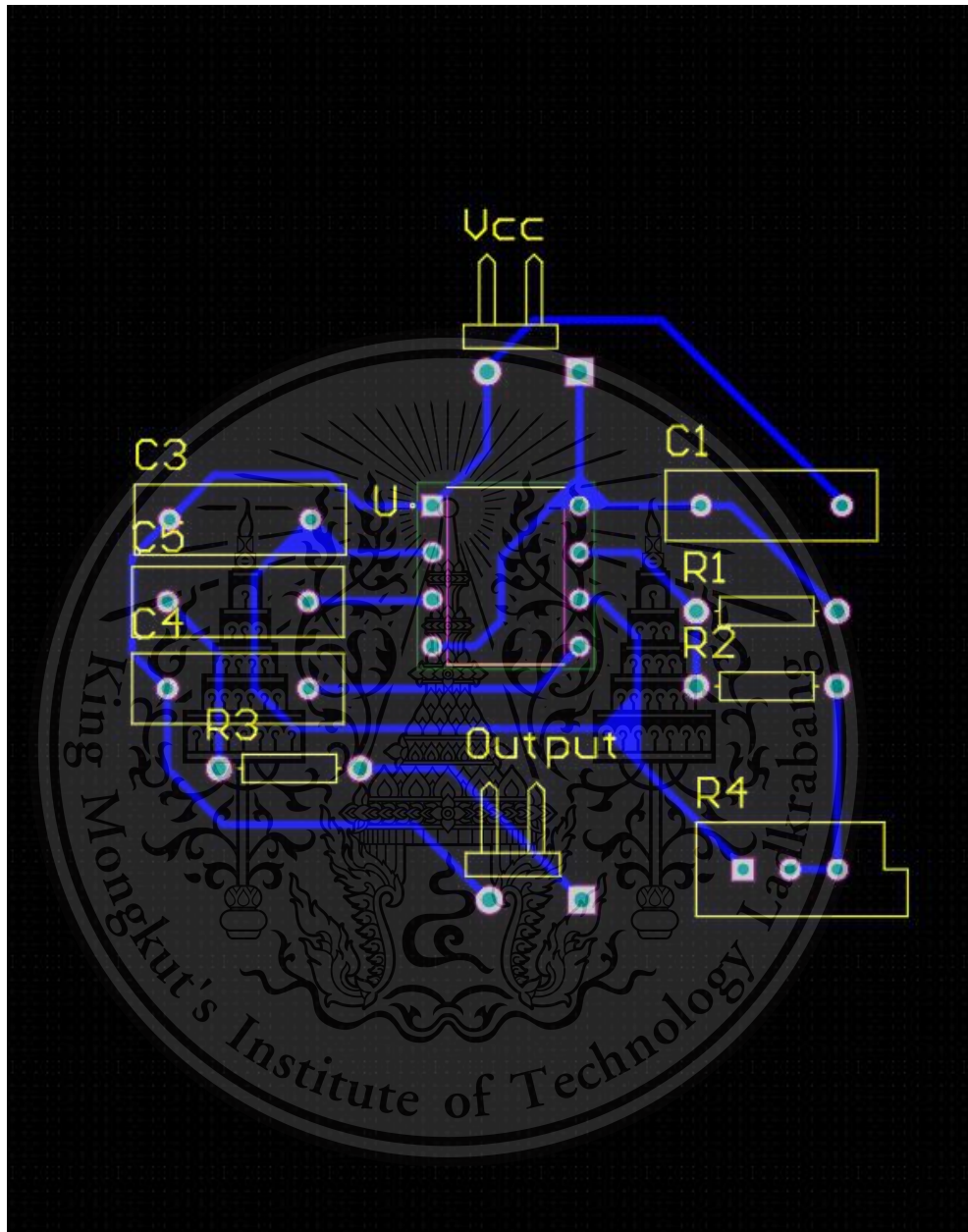
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.18 : ลายปริ้นวงจรชาร์จแบตเตอรี่

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.19 รูปภาพลายปริ้นของวงจรจำกัดขอบเขต



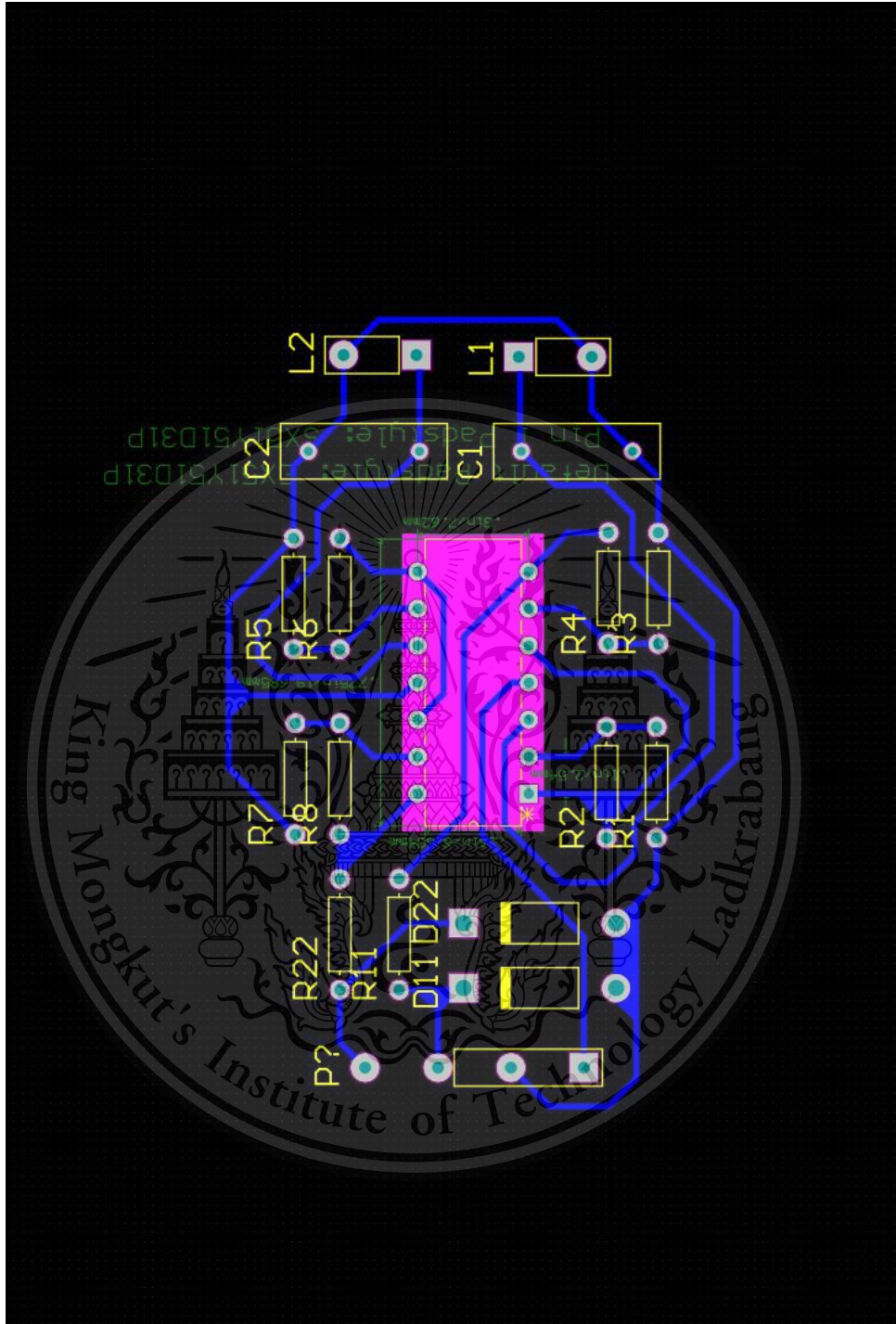
รูปที่ 3.19 : ลายปริ้นวงจรจำกัดขอบเขต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.20 รูปภาพลายปริ้นของวงจรรับสัญญาณ



รูปที่ 3.20 : ลายปริ้นวงจรจำกัดขอบเขต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# บทที่ 4

## ผลการทดลอง

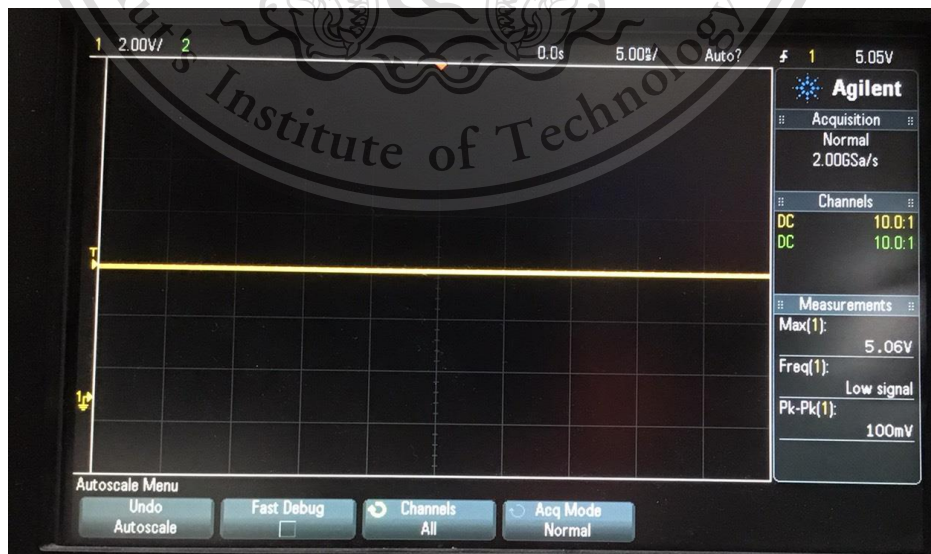
### 4.1 วงจรจ่ายไฟตรงแบบเชิงเส้น Voltage Regulator

LM7812 วัตต์แรงดันที่ทางออกของวงจรตอนที่ไม่มีโหลดภาระได้



รูปที่ 4.1 : Output 12v ของ LM7812

LM7805 วัตต์แรงดันที่ทางออกของวงจรตอนที่ไม่มีโหลดภาระได้



รูปที่ 4.2 : Output 5v ของ LM7805

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

LM7805 วัดแรงดันที่ทางออกของวงจรตอนที่มิโหลดภาระได้



รูปที่ 4.3 : Output 5v ของ LM7805 ที่มีโหลดภาระ

LM7812 วัดแรงดันที่ทางออกของวงจรตอนที่มิโหลดภาระได้



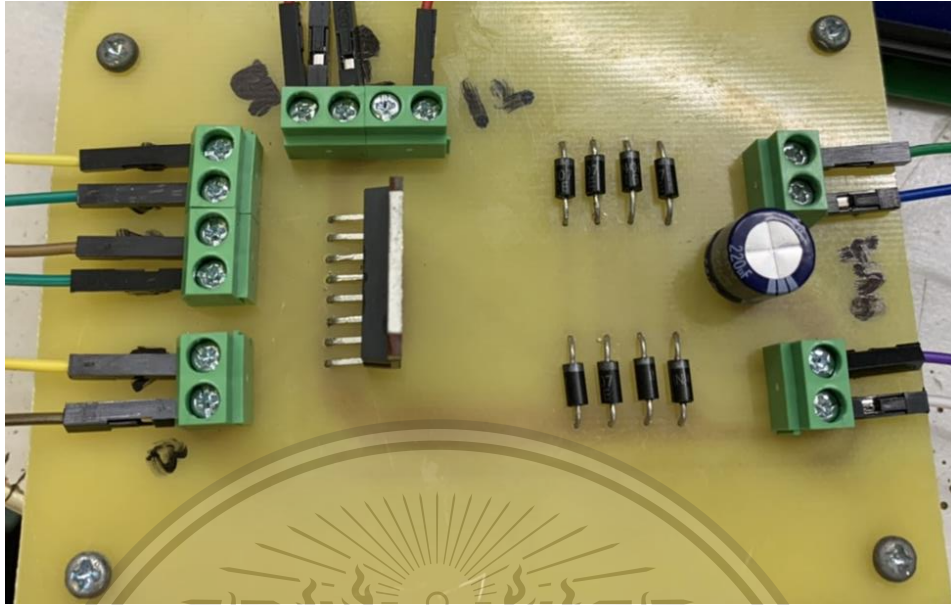
รูปที่ 4.4 : Output 12v ของ LM7805 ที่มีโหลดภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

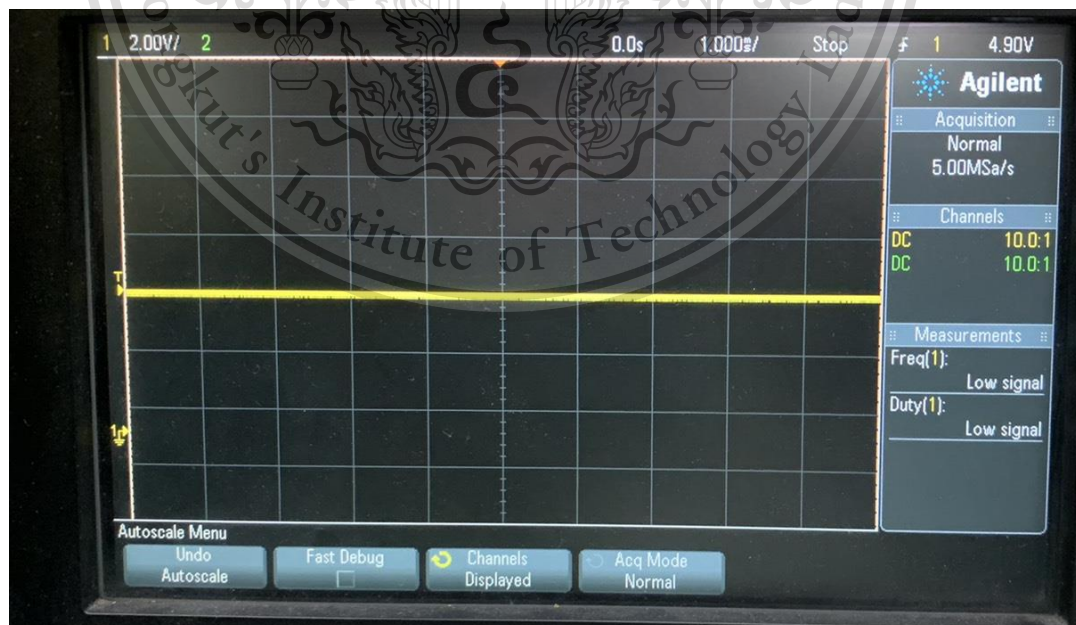
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 4.2 วงจรสำหรับขับมอเตอร์ Motor Drive



รูปที่ 4.5 : วงจร Motor Drive

สัญญาณแรงดันที่ขาเข้าสำหรับขับมอเตอร์



รูปที่ 4.6 : Duty Cycle 100% ของ Motor Drive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

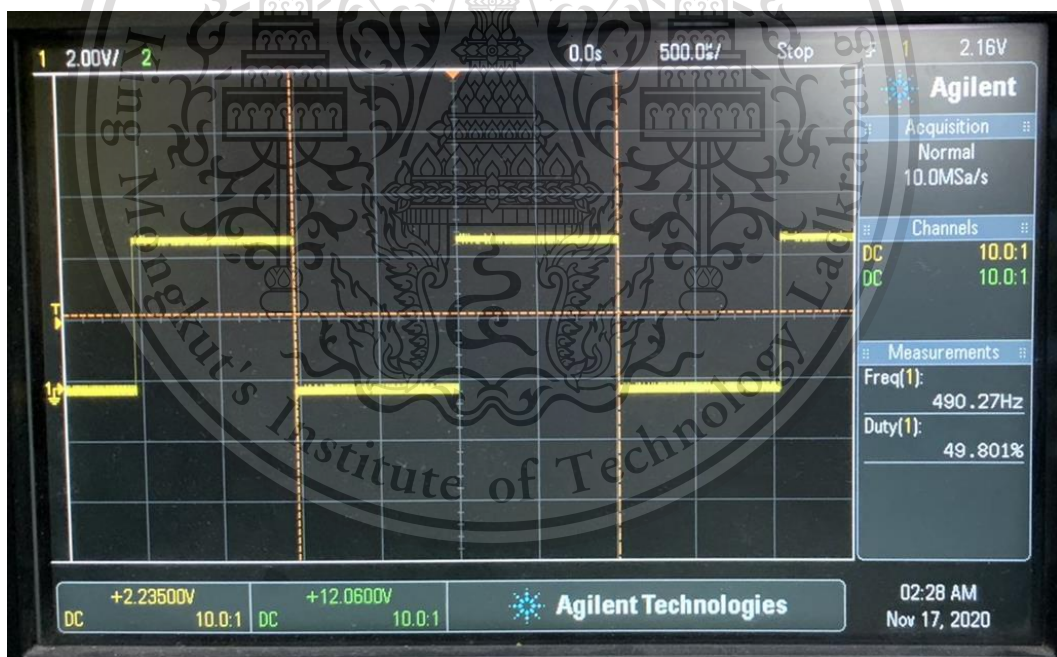
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.7 : Duty Cycle 75% ของ Motor Drive



รูปที่ 4.8 : Duty Cycle 50% ของ Motor Drive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.9 : Duty Cycle 25% ของ Motor Drive

### 4.3 วงจรชาร์จโซล่าเซลล์ PWM (Solar charge controller)

แรงดันที่ทางเข้า (ขา G ) ของ NMOS



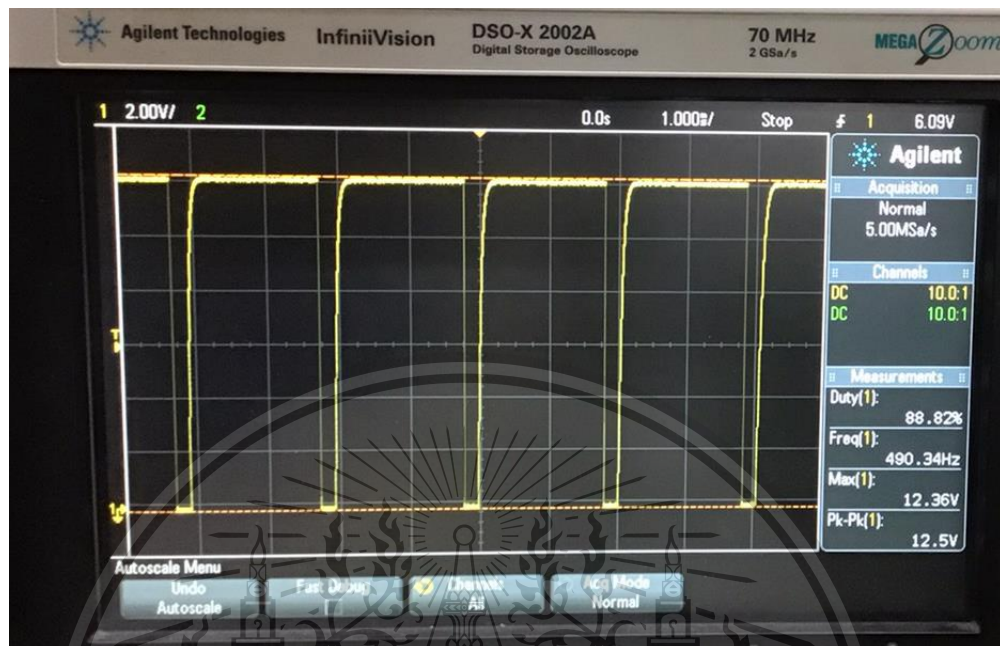
รูปที่ 4.10 : Input NMOS ของ Solar charge controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แรงดันที่ทางเข้า (ขา G ) ของ PMOS แบบ PWM 242.5 (90%)



รูปที่ 4.11 : Input PMOS ของ Solar charge controller

#### 4.4 กำลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตามแสงอาทิตย์และแบบขนานกับพื้น

เวลา	กำลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตามแสงอาทิตย์และแบบขนานกับพื้น					
	แบบติดตามแสงอาทิตย์			แบบขนานกับพื้น		
	แรงดัน(V)	กระแส(I)	กำลังงาน(W)	แรงดัน(V)	กระแส(I)	กำลังงาน(W)
07:00	19.8	0.82	16.236	19.3	0.76	14.668
07:20	20.2	0.84	16.968	19.5	0.80	15.600
07:40	20.8	0.84	17.472	19.5	0.81	15.795
08:00	20.7	0.84	17.388	20.1	0.81	16.281
08:20	20.8	0.84	17.472	20.0	0.78	15.600
08:40	20.7	0.84	17.388	20.0	0.80	16.000
09:00	20.2	0.81	16.362	20.4	0.82	16.728
09:20	20.1	0.81	16.281	20.2	0.82	16.564
09:40	20.2	0.82	16.564	20.4	0.82	16.728
10:00	20.7	0.84	17.388	20.4	0.83	16.932

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยและการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เวลา	กำลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตามแสงอาทิตย์และแบบขนานกับพื้น					
	แบบติดตามแสงอาทิตย์			แบบขนานกับพื้น		
	แรงดัน(V)	กระแส(I)	กำลังงาน(W)	แรงดัน(V)	กระแส(I)	กำลังงาน(W)
10:20	20.4	0.83	16.932	20.3	0.82	16.646
10:40	20.5	0.82	16.810	18.8	0.76	14.356
11:00	20.4	0.79	16.116	19.9	0.78	15.522
11:20	20.5	0.83	17.015	20.4	0.83	16.932
11:40	20.4	0.83	16.932	20.3	0.82	16.646
12:00	20.4	0.83	16.932	20.2	0.83	16.766
12:20	20.5	0.83	17.015	20.3	0.81	16.443
12:40	20.6	0.83	17.098	20.2	0.83	16.766
13:00	20.5	0.83	17.015	20.5	0.83	17.015
13:20	20.6	0.83	17.098	20.4	0.82	16.728
13:40	20.8	0.84	17.472	20.2	0.84	16.968
14:00	20.3	0.82	16.646	20.2	0.81	16.362
14:20	20.6	0.83	17.098	20.3	0.81	16.443
14:40	20.7	0.83	17.181	20.6	0.83	17.098
15:00	20.5	0.83	17.015	20.3	0.82	16.646
15:20	20.8	0.84	17.472	20.6	0.84	17.304
15:40	20.7	0.83	17.181	20.5	0.83	17.015
16:00	20.4	0.82	16.728	20.2	0.82	16.564
16:20	20.4	0.82	16.728	20.0	0.80	16.000
16:40	20.4	0.83	16.932	19.6	0.78	15.288
17:00	20.5	0.83	17.015	19.6	0.79	15.484
รวม			525.950			505.888

ตารางที่ 4.1 กำลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตามแสงอาทิตย์และแบบขนานกับพื้น

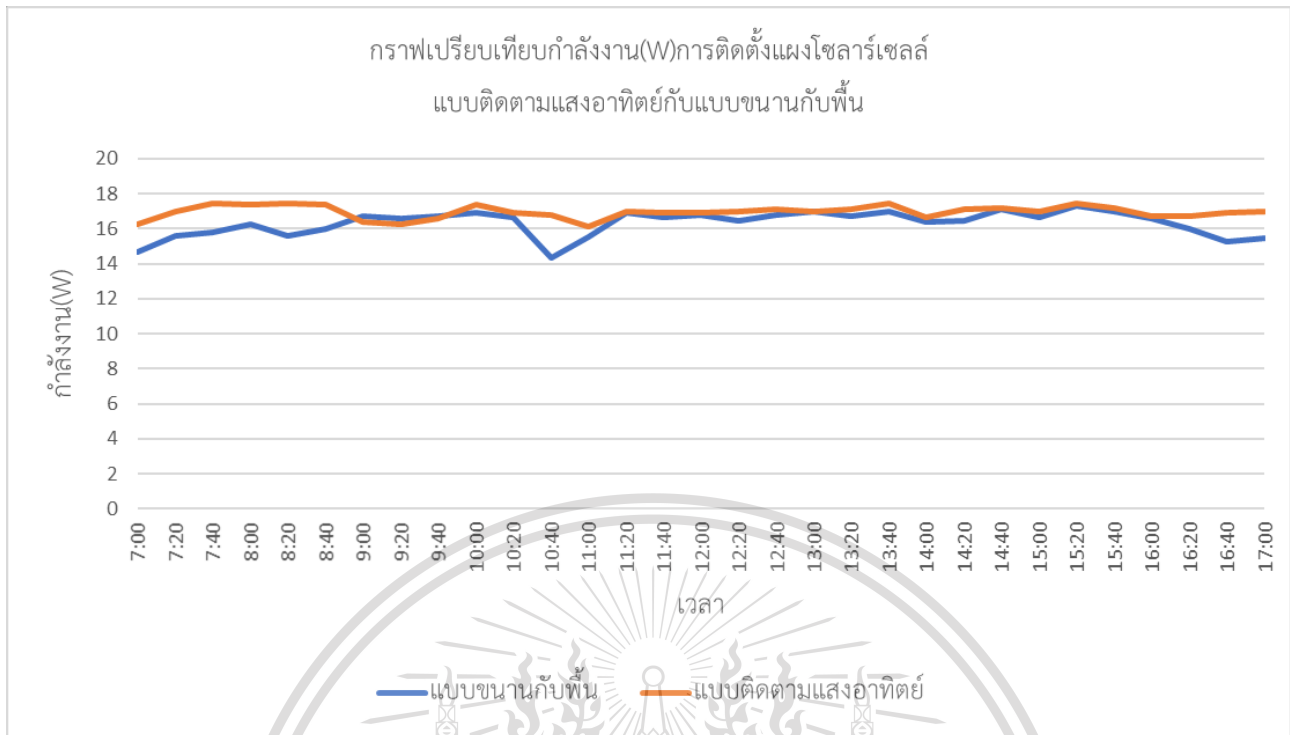
แบบติดตามแสงอาทิตย์ กำลังงานรวม 525.950 วัตต์

แบบขนานกับพื้น กำลังงานรวม 505.888 วัตต์

ดังนั้นสรุปได้ว่าแบบติดตามแสงอาทิตย์ให้กำลังงานมากกว่าแบบขนานกับพื้น  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

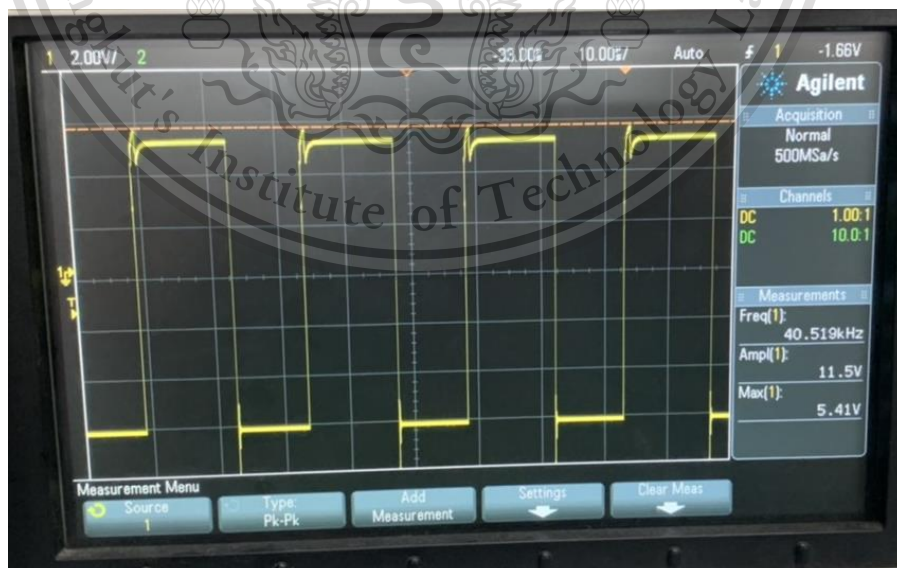
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.12 : เปรียบเทียบกำลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตามแสงอาทิตย์และแบบขนานกับพื้น

#### 4.5 วงจรส่งสัญญาณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.13 : สัญญาณที่ Output ของวงจรส่งสัญญาณนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.6 วงจรรับสัญญาณ

เปรียบเทียบขนาดสัญญาณที่ Output ของวงจรรับสัญญาณตามระยะห่างของ L1,L2 กับ สายส่งสัญญาณ โดยใช้สายส่งสัญญาณแต่ละขนาดตามตาราง ดังนี้

ตารางแสดงขนาดสัญญาณที่ Output โดยใช้สายส่งสัญญาณขนาด 16 AWG

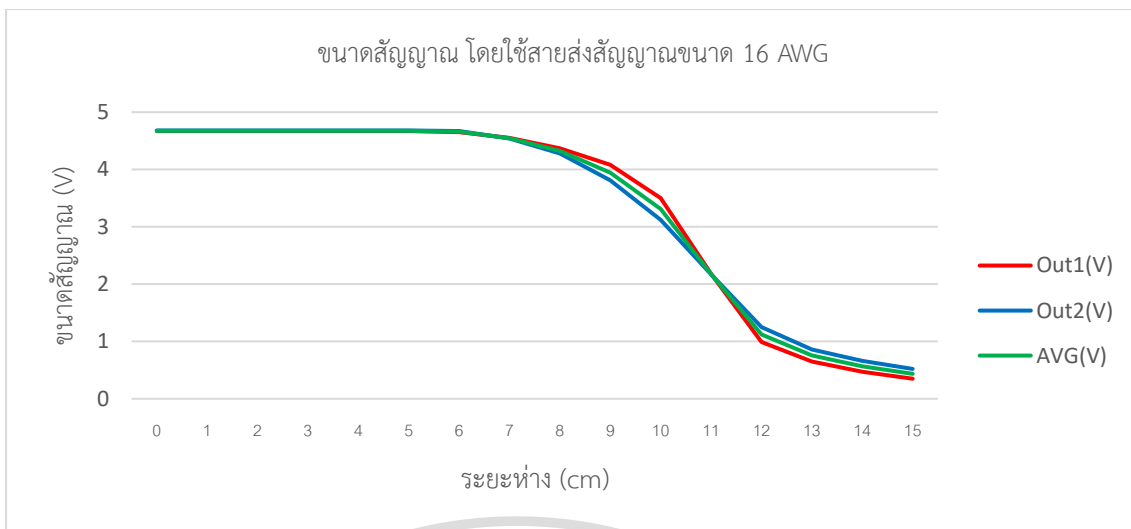
สายส่งสัญญาณ ขนาด 16 AWG			
Distance(cm)	Out1(V)	Out2(V)	AVG(V)
0	4.67	4.68	4.675
1	4.67	4.68	4.675
2	4.67	4.68	4.675
3	4.67	4.68	4.675
4	4.67	4.68	4.675
5	4.67	4.68	4.675
6	4.65	4.67	4.66
7	4.55	4.54	4.545
8	4.37	4.28	4.325
9	4.08	3.81	3.945
10	3.5	3.12	3.31
11	2.18	2.17	2.175
12	0.99	1.25	1.12
13	0.65	0.86	0.755
14	0.47	0.66	0.565
15	0.35	0.52	0.435

ตารางที่ 4.2 ขนาดสัญญาณที่ Output โดยใช้สายส่งสัญญาณขนาด 16 AWG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.14 : ขนาดสัญญาณที่ Output โดยใช้สายส่งสัญญาณขนาด 16 AWG

ตารางแสดงขนาดสัญญาณที่ Output โดยใช้สายส่งสัญญาณขนาด 18 AWG

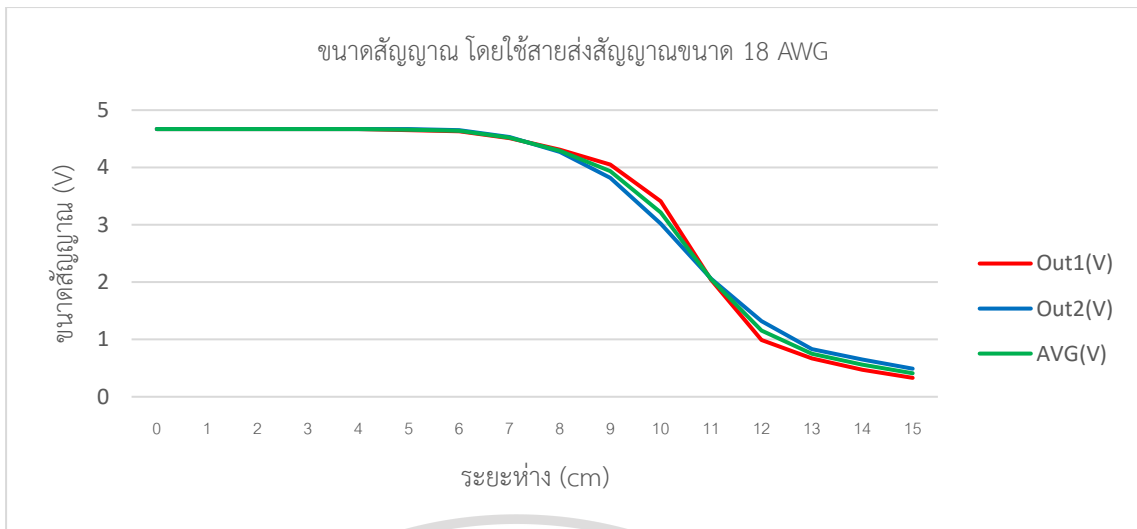
Distance(cm)	Out1(V)	Out2(V)	AVG(V)
0	4.67	4.67	4.67
1	4.67	4.67	4.67
2	4.67	4.67	4.67
3	4.67	4.67	4.67
4	4.67	4.67	4.67
5	4.65	4.67	4.66
6	4.63	4.65	4.64
7	4.51	4.53	4.52
8	4.31	4.27	4.29
9	4.05	3.82	3.935
10	3.41	3.02	3.215
11	2.04	2.06	2.05
12	0.99	1.32	1.155
13	0.67	0.83	0.75
14	0.47	0.65	0.56
15	0.33	0.49	0.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น **ตารางที่ 4.3** ขนาดสัญญาณที่ Output โดยใช้สายส่งสัญญาณขนาด 18 AWG ที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.15 : ขนาดสัญญาณที่ Output โดยใช้สายส่งสัญญาณขนาด 18 AWG

ตารางแสดงขนาดสัญญาณที่ Output โดยใช้สายส่งสัญญาณขนาด 20 AWG

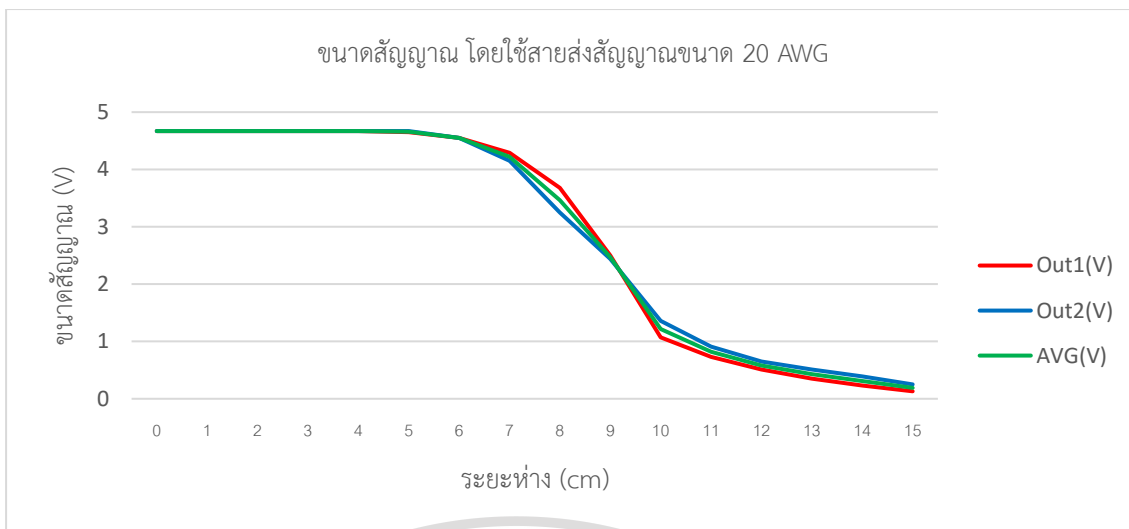
สายส่งสัญญาณ ขนาด 20 AWG			
Distance(cm)	Out1(V)	Out2(V)	AVG(V)
0	4.67	4.67	4.67
1	4.67	4.67	4.67
2	4.67	4.67	4.67
3	4.67	4.67	4.67
4	4.67	4.67	4.67
5	4.65	4.67	4.66
6	4.55	4.55	4.55
7	4.29	4.15	4.22
8	3.68	3.25	3.465
9	2.5	2.44	2.47
10	1.07	1.36	1.215
11	0.73	0.91	0.82
12	0.51	0.65	0.58
13	0.35	0.51	0.43
14	0.23	0.39	0.31
15	0.13	0.25	0.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น **ตารางที่ 4.4** ขนาดสัญญาณที่ Output โดยใช้สายส่งสัญญาณขนาด 20 AWG ที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.16 : ขนาดสัญญาณที่ Output โดยใช้สายส่งสัญญาณขนาด 20 AWG

ตารางแสดงขนาดสัญญาณที่ Output โดยใช้สายส่งสัญญาณขนาด 22 AWG (solid conductor)

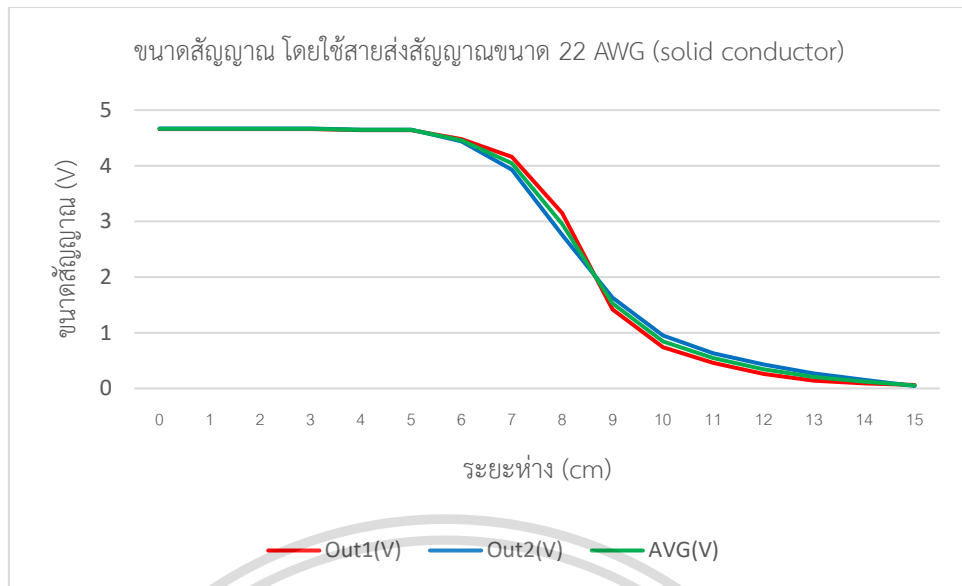
สายส่งสัญญาณ ขนาด 22 AWG (solid conductor)			
Distance(cm)	Out1(V)	Out2(V)	AVG(V)
0	4.66	4.67	4.665
1	4.66	4.67	4.665
2	4.66	4.67	4.665
3	4.66	4.67	4.665
4	4.64	4.65	4.645
5	4.64	4.65	4.645
6	4.48	4.44	4.46
7	4.16	3.93	4.045
8	3.15	2.76	2.955
9	1.42	1.63	1.525
10	0.74	0.95	0.845
11	0.46	0.63	0.545
12	0.26	0.43	0.345
13	0.14	0.27	0.205
14	0.09	0.153	0.1215
15	0.062	0.044	0.053

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ตารางที่ 4.5 ขนาดสัญญาณที่ Output โดยใช้สายส่งสัญญาณขนาด 22 AWG ที่มีการนำไปใช้

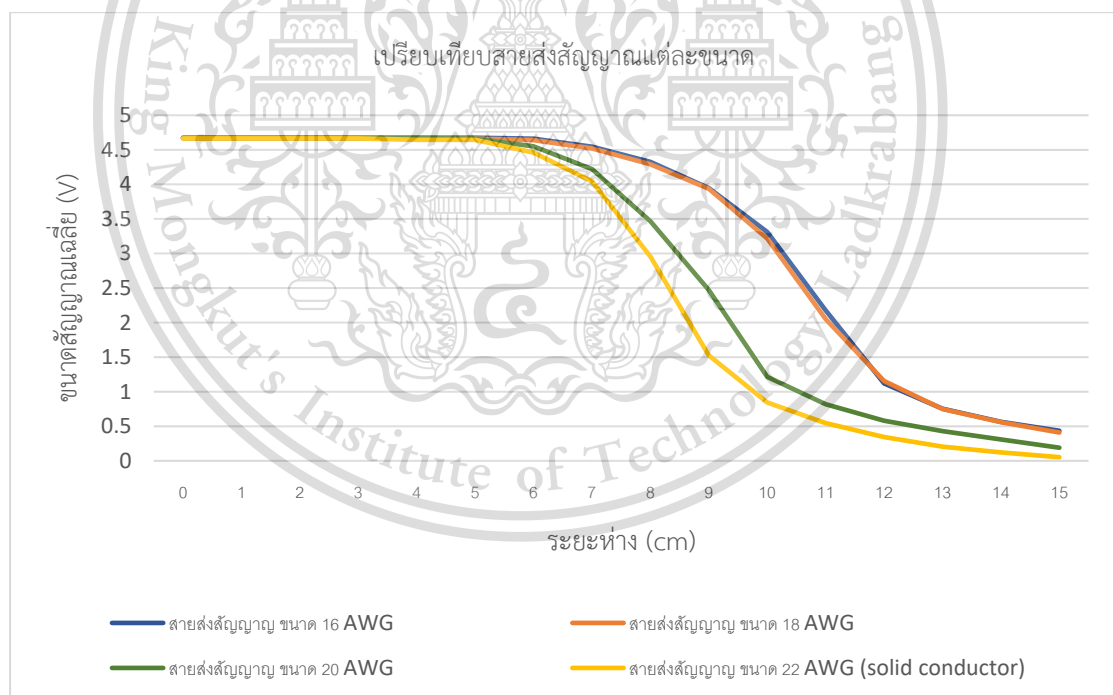
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.17 : ขนาดสัญญาณที่ Output โดยใช้สายส่งสัญญาณขนาด 22 AWG (solid conductor)

กราฟแสดงการเปรียบเทียบขนาดคของสัญญาณเฉลี่ย โดยใช้สายส่งสัญญาณขนาด 16, 18, 20 และ 22 AWG



รูปที่ 4.18 : เปรียบเทียบขนาดสัญญาณเฉลี่ย โดยใช้สายส่งสัญญาณแต่ละขนาด

ถ้าให้วงจรรับสัญญาณที่ 1 V สายส่งสัญญาณขนาด 16 AWG และ 18 AWG สามารถส่ง

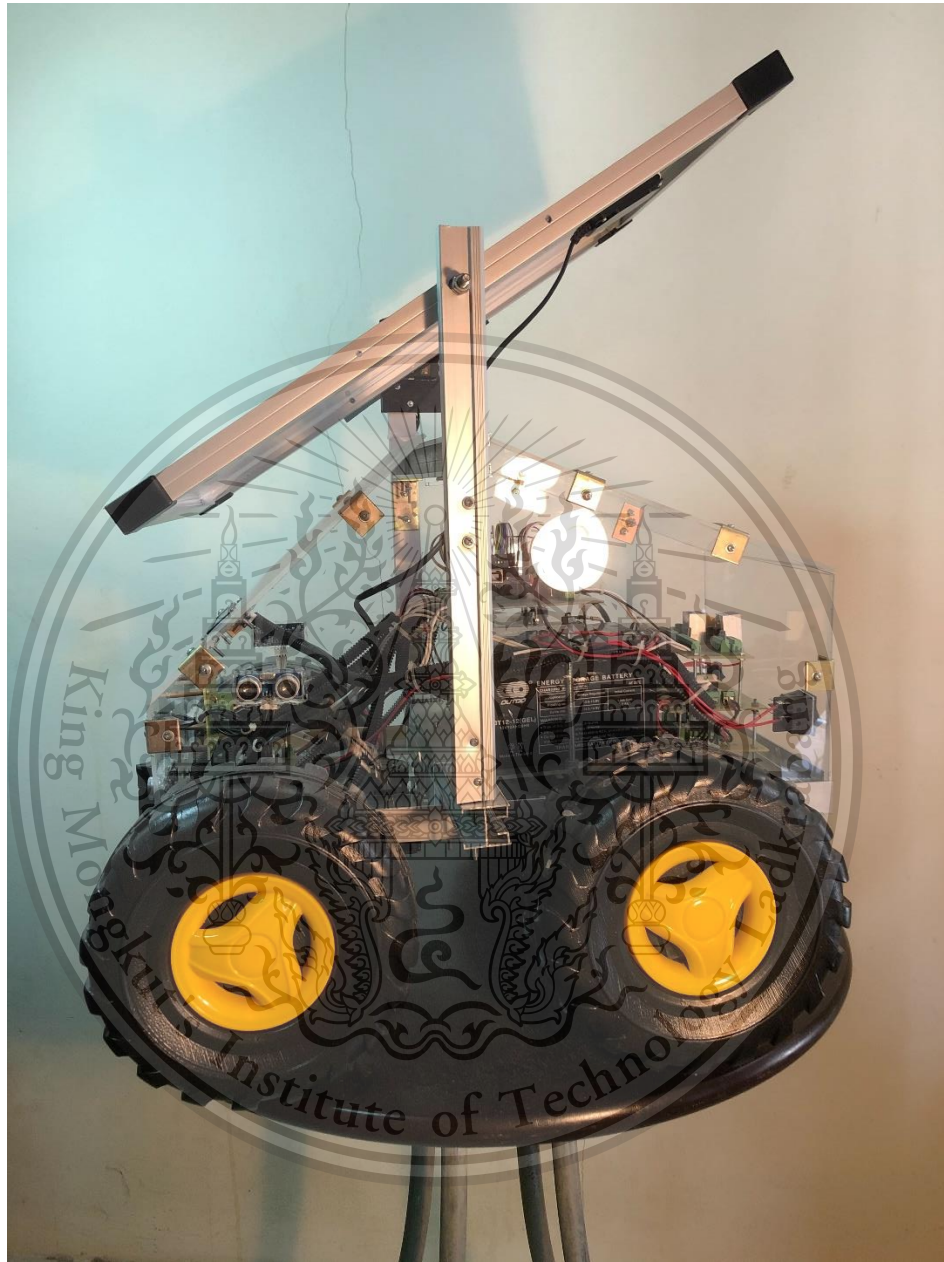
เอกสารนี้เป็นสัญญาณให้วงจรรับสัญญาณได้ระยะห่างที่มากกว่าสายส่งสัญญาณขนาด 20 AWG และ 22 AWG ด้านการค้ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.7 ภาพรวมของหุ่นยนต์ตัดหญ้าอัตโนมัติ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

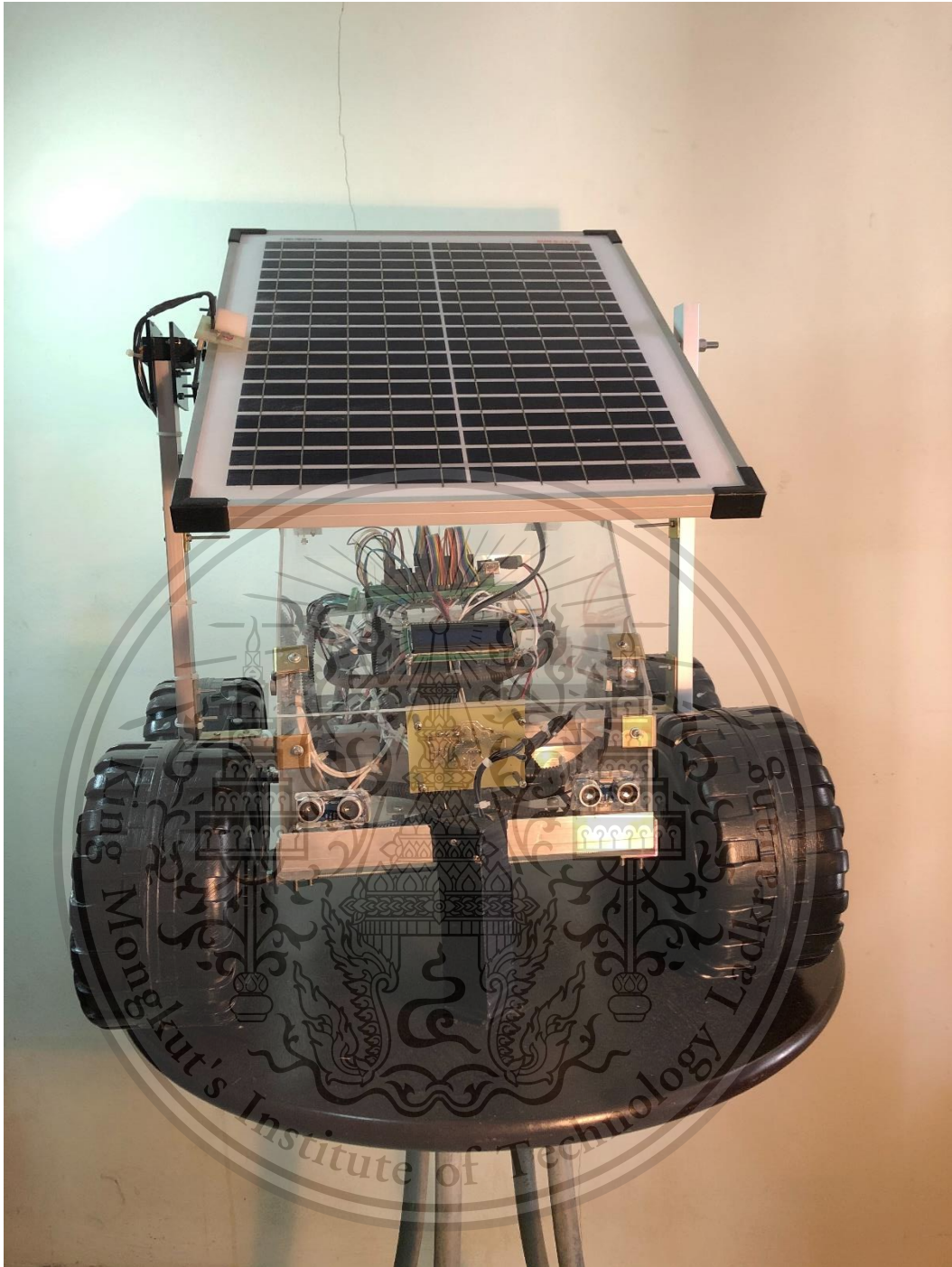


รูปที่ 4.19 : ด้านซ้ายของหุ่นยนต์ตัดหญ้าอัตโนมัติ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.20 : ด้านหน้าของหุ่นยนต์ตัดหญ้าอัตโนมัติ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.21 : ด้านขวาของหุ่นยนต์ตัดหญ้าอัตโนมัติ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการทดลอง

ก่อนที่เราจะเริ่มเปิดสวิตช์เครื่องตัดหญ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ จะต้องสำรวจพื้นที่ในการตัดหญ้าเพื่อที่จะติดตั้งวงจรจำกัดขอบเขตหรือวงจรส่งสัญญาณในการตัดหญ้าเมื่อติดตั้งเสร็จ เปิดสวิตช์เครื่องตัดหญ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พร้อมทั้งวงจรรับสัญญาณทำงาน เริ่มต้นด้วย Arduino Mega 2560 วัดปริมาณของแบตเตอรี่และวัดปริมาณของโซลาร์เซลล์ในช่วงเวลาดังกล่าวและพร้อมสำหรับการทำงานในขั้นตอนถัดไป

ถ้าปริมาณของแบตเตอรี่มากกว่าหรือเท่ากับ 12v Arduino ส่งคำสั่งไปยังวงจรขับมอเตอร์เพื่อให้รถเคลื่อนที่และเริ่มตัดหญ้าพร้อมทั้งวัดค่าปริมาณแบตเตอรี่ และปริมาณของแรงดันที่โซลาร์เซลล์ส่งมาเพื่อชาร์จแบตเตอรี่ ในการชาร์จแบตเตอรี่ Arduino จะเช็คปริมาณของแบตเตอรี่ ถ้าโซลาร์เซลล์มากกว่าแบตเตอรี่และแบตเตอรี่น้อยกว่าเท่ากับ 12v Arduino จ่าย PWM 95% ในการชาร์จแบตเตอรี่ ถ้าโซลาร์เซลล์มากกว่าแบตเตอรี่และแบตเตอรี่มากกว่า 12v และแบตเตอรี่น้อยกว่าเท่ากับ 13.6v Arduino จ่าย PWM 10% ถ้าแบตเตอรี่มากกว่า 13.6v หรือ โซลาร์เซลล์น้อยกว่าแบตเตอรี่ Arduino จ่าย PWM 0% เนื่องจากแสงไม่เพียงพอต่อการชาร์จโซลาร์เซลล์ ในส่วนโซลาร์เซลล์ใช้เซอร์โวมอเตอร์ในการปรับทิศทางของแผงโซลาร์เซลล์ด้วยการวัดปริมาณของแสงผ่าน LDR เพื่อปรับตามทิศทางที่มีแสงเข้ม

เมื่อเครื่องตัดหญ้าทำการตัดหญ้าและเคลื่อนที่ไปเรื่อย ๆ เมื่อพบสิ่งกีดขวาง เช่นเซอร์ Ultrasonic ทำการวัดระยะห่างของสิ่งกีดขวางเพื่อหลบหลีกในการเคลื่อนที่เพิ่มทำการตัดหญ้าต่อไป และเมื่อถึงขอบเขตที่วางไว้เครื่องตัดหญ้าก็จะหมุนกลับตัดหญ้าภายในบริเวณต่อไป ส่วน Arduino ยังคงทำการวัดปริมาณของแบตเตอรี่และโซลาร์เซลล์ตลอดเวลาเพื่อควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ ถ้าหากค่าของแบตเตอรี่น้อยกว่า 12v Arduino สั่งหยุดการทำงานทั้งหมดเพื่อชาร์จแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว ค่าของแบตเตอรี่มากกว่า 12v เครื่องตัดหญ้าก็จะทำงานตามระบบข้างต้นที่กล่าวมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ข้อเสนอแนะ

จากการที่ได้ศึกษาเครื่องตัดหญ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ผู้ศึกษามีแนวคิดที่สามารถนำมาศึกษาเพิ่มเติมเพื่อต่อยอดเพื่อให้ชิ้นงานมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

1. ศึกษาวงจรชาร์จเจอร์แบบ PWM เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการชาร์จ
2. วัดปริมาณแสงอาทิตย์เพื่อหาช่วงที่มีแสงเข้มเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการชาร์จ
3. ศึกษาระบบควบคุมและแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน เพื่อควบคุมเครื่องตัดหญ้า
4. ศึกษาวงจรจำกัดขอบเขต เพื่อที่จะสามารถวางขอบเขตได้ทุกพื้นผิวทุกสภาพอากาศ
5. ศึกษาวงจรส่งสัญญาณในสถานการณ์ที่สภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลง จะเกิดผลอย่างไรกับสัญญาณบ้าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บรรณานุกรม

- [1] ปริญญาพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และระบบคอมพิวเตอร์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
- [2] The Authors. Energy Science & Engineering published by the Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons Ltd.
- [3] AUTOMATED MOWER ROBO, Department of Mechanical Engineering, KIT's college of Engineering, Kolhapur, Maharashtra, India
- [4] Automatic Lawn Mower using Green Energy Sources, Department of Electrical and Electronics Engineering Saveetha Engineering College Chennai, India
- [5] AUTOMATICLAWNMOWER, Olawale O.E., Ajibola and Sunkanmi Olajide, Member, IAENG
- [6] design-and-implementation-of-autonomous-lawn-mower, Associate Professor and head, 2 Associate professor, 3 Student Department of Electrical and Electronics Engineering, Kathir college of Engineering, Coimbatore
- [7] Posted on 11/12/2017 by bdaouas in Lawn Mower, Robotics Projects & Kits, Electronics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาคผนวก ก

คำสั่งโปรแกรมหุ่นยนต์ตัดหญ้าอัตโนมัติ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

#include <LCDI2C.h>
#include <EasyScheduler.h>
#include <Servo.h>

Scheduler Task1;
Scheduler Task2;
Scheduler Task3;

LCDI2C lcd(0x27); // Set i2c address

float sample1= 0; // reading from Arduino pin A0
float sample2= 0; // reading from Arduino pin A1
float sample3= 0; // reading from Arduino pin A6
float sample4= 0; // reading from Arduino pin A7

int pwm=12; //solar charger
int load=13; //load charger
int RED=32; // To indicate discharged condition of battery
int GREEN=30; // for charging and battery fully charged

int percent =0;
float solar_volt =0, bat_volt=0;

//Solar tracker
Servo servoverti;
int initial_position = 30;
int LDR1 = A14; //solar tracker
int LDR2 = A15; //solar tracker
int error = 5; //initializing variable for error
int servovLimitHigh = 60;
int servovLimitLow = 0;
//SW input on/off

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

//SW input on/off

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
int SW = 7;
int SWstate=0;
int Bat_dead=0;
```

```
//sensor
```

```
int L1 = A6;
int L2 = A7;
float L1value = 0;
float L2value = 0;
```

```
//Ultrasonic
```

```
int Echo1 = 22; //left
int Trig1 = 8;
int Echo2 = 24; //middle1
int Trig2 = 9;
int Echo3 = 26; //middle2
int Trig3 = 10;
int Echo4 = 28; //right
int Trig4 = 11;
```

```
//drive wheel motor
```

```
int in1 = 53;
int in2 = 51;
int in3 = 49;
int in4 = 47;
int ENA = 2;
int ENB = 3;
```

```
//drive cutter motor
```

```
int in5 = 45;
```

```
int in6 = 43;
```

```
int in7 = 41;
```

```
int in8 = 39;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

int ENA2 = 4; //motor cutter
int ENB2 = 5; //motor cutter

int ABS = 255;
int Left_Distance = 0, Right_Distance = 0, Middle_Distance1 = 0, Middle_Distance2 =
0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Task1.start();
  Task2.start();
  Task3.start();

  lcd.begin(16, 2); // Set display screen size is 16x2
  lcd.setCursor(0,0); // Set cursor to column 1 , line 1
  lcd.print("  START "); // Print Hello World! to LCD
  delay(3000);
  pinMode(pwm,OUTPUT);
  pinMode(load,OUTPUT);
  pinMode(RED,OUTPUT);
  pinMode(GREEN,OUTPUT);
  digitalWrite(pwm,LOW);
  digitalWrite(load,LOW);
  digitalWrite(RED,LOW);
  digitalWrite(GREEN,LOW);

  servoverti.attach(6);
  servoverti.write(initial_position); //Move servo at 90 degree
  pinMode(LDR1, INPUT); //Making the LDR pin as input
  pinMode(LDR2, INPUT);
  pinMode(Echo1, INPUT);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

pinMode(Trig1, OUTPUT);
pinMode(Echo2, INPUT);
pinMode(Trig2, OUTPUT);
pinMode(Echo3, INPUT);
pinMode(Trig3, OUTPUT);
pinMode(Echo4, INPUT);
pinMode(Trig4, OUTPUT);
//motor wheel
pinMode(in1, OUTPUT);
pinMode(in2, OUTPUT);
pinMode(in3, OUTPUT);
pinMode(in4, OUTPUT);
pinMode(ENA, OUTPUT);
pinMode(ENB, OUTPUT);
//motor cutter
pinMode(in5, OUTPUT);
pinMode(in6, OUTPUT);
pinMode(in7, OUTPUT);
pinMode(in8, OUTPUT);
pinMode(ENA2, OUTPUT);
pinMode(ENB2, OUTPUT);

pinMode(SW, INPUT_PULLUP);
_mStop();
_mStop_cutter();
charge();
}
void loop()
{
  Task1.check(charge,10000);
  SWstate = digitalRead(SW);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นหากมีเหตุพิเศษเป็นอย่างอื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

Task2.check(solarTrcker,100);
_mStop();
_mStop_cutter();
}
else
{
Task3.check(sensor,100); //Perimeter Wire Sensor
mWork_cutter(); //cutter motor
work//////////////////////////////////////*****
*****

```

```

Left_Distance = Left_Distance_test();
delay(10);
Middle_Distance1 = Middle_Distance_test1();
delay(10);
Middle_Distance2 = Middle_Distance_test2();
delay(10);
Right_Distance = Right_Distance_test();
delay(10);
//////////////////////////////////////
if((Middle_Distance1 <= 30) or (Middle_Distance2 <= 30)){
if(Right_Distance > Left_Distance){
if((Right_Distance <= 20) && (Left_Distance <= 20)){
_mStop();
delay(200);
_mBack();
delay(5000);
_mrigh();
delay(2000);
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นผู้มีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delay(2000);

```

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

    }
}

else if(Right_Distance < Left_Distance){
    if((Right_Distance <= 20) && (Left_Distance <= 20)){
        _mStop();
        delay(200);
        _mBack();
        delay(5000);
        _mleft();
        delay(2000);
    }
    else{
        _mleft();
        delay(2000);
    }
}
}
}
////////////////////////////////////
else if(Right_Distance <= 20){
    _mleft();
    delay(2000);
}

else if(Left_Distance <= 20){
    _mright();
    delay(2000);
}

else{
    _mForward();
    Task2.check(solarTrcker,100);
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่มีเหตุตบแต่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

}
}

void charge()
{
  for(int i=0;i<150;i++)
  {
    sample1+=analogRead(A0); //read the input voltage from solar panel
    sample2+=analogRead(A1); //read the battery voltage
    delay(2);
  }
  sample1=(sample1/150);
  sample2=(sample2/150);

  solar_volt=(sample1*4.673* 5.255)/1000 ; //calculate Solar voltage
  bat_volt=(sample2*4.673* 5.255)/1000 ; //calculate Battery voltage

  percent = map(bat_volt*1000,12000,13600,0,100); //calculate %
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("BAT(" + String(percent) + "%)");
  lcd.setCursor(8,0);
  lcd.print("=" + String(bat_volt));

  Serial.println();
  Serial.print("solar input voltage :");
  Serial.println(solar_volt);
  Serial.print("battery voltage :");
  Serial.println(bat_volt);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

analogWrite(pwm,242.25); // @ 95% duty // boost charging// most of the charging  
done here

```
Serial.print("pwm duty cycle is :");
```

```
Serial.println("95%");
```

```
lcd.setCursor(0,1);
```

```
lcd.print("Battery is dead");
```

```
digitalWrite(load,HIGH); // not power supply to load
```

```
digitalWrite(RED,HIGH);
```

```
digitalWrite(GREEN,LOW);
```

```
Bat_dead = 0;
```

```
}
```

```
else if((bat_volt > 12.1)&&(bat_volt < 13.28 )) //battery 10% to 80%
```

```
{
```

analogWrite(pwm,242.25); // @ 95% duty // boost charging// most of the charging  
done here

```
Serial.print("pwm duty cycle is :");
```

```
Serial.println("95%");
```

```
lcd.setCursor(0,1);
```

```
lcd.print("CHARGING");
```

```
digitalWrite(load,LOW); //supply power to load
```

```
digitalWrite(GREEN,HIGH);
```

```
delay(5);
```

```
digitalWrite(GREEN,LOW);
```

```
delay(5);
```

```
digitalWrite(RED,LOW);
```

```
Bat_dead = 1;
```

```
}
```

```
else if((bat_volt >= 13.28)&&(bat_volt <= 13.6 )) //battery 80% to 100%
```

```
{
```

```
analogWrite(pwm,25.5); // 10% duty // float charging
```

```
Serial.print("pwm duty cycle is :");
```

```
Serial.println("10%");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่มีเหตุตบแต่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("CHARGING");
digitalWrite(load,LOW); //supply power to load
digitalWrite(GREEN,HIGH);
delay(5);
digitalWrite(GREEN,LOW);
delay(5);
digitalWrite(RED,LOW);
Bat_dead = 1;
}
else
{
  analogWrite(pwm,0); //Discharge
  Serial.print("pwm duty cycle is :");
  Serial.println("0%");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("DISCHARGE");
  digitalWrite(load,LOW); //supply power to load
  digitalWrite(GREEN,HIGH);
  digitalWrite(RED,LOW);
  Bat_dead = 1;
}
}

void solarTrcker(){
  int R1 = analogRead(LDR1); // reading value from LDR 1
  int R2 = analogRead(LDR2); // reading value from LDR 2
  int diff1= abs(R1 - R2); // Calculating the difference between the LDR's
  int diff2= abs(R2 - R1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

if(R1 > R2)
{
  initial_position = --initial_position; //Move the servo towards 0 degree
  if (initial_position < servovLimitLow)
  {
    initial_position = servovLimitLow;
  }
}

if(R1 < R2)
{
  initial_position = ++initial_position; //Move the servo towards 180 degree
  if (initial_position > servovLimitHigh)
  {
    initial_position = servovLimitHigh;
  }
}
servoverti.write(initial_position); // write the position to servo
delay(5);
}

void sensor(){
  for(int i=0;i<150;i++)
  {
    sample3+=analogRead(L1); //read the input voltage from solar panel
    sample4+=analogRead(L2); //read the battery voltage
    delay(2);
  }
  sample3=(sample3/150);
  sample4=(sample4/150);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L1value = sample3\*5.00/1023.0;

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

L2value = sample4*5.00/1023.0;

if((L1value >= 1) or (L2value >= 1)){
  _mStop();
  delay(200);
  _mBack();
  delay(1000);
  _mright();
  delay(5000); // delay u-turn
}
}

void _mForward(){
  digitalWrite(in1, LOW);
  digitalWrite(in2, HIGH);
  digitalWrite(in3, LOW);
  digitalWrite(in4, HIGH);
  analogWrite(ENA, ABS);
  analogWrite(ENB, ABS);
  Serial.println("ROBOT MOVING FORWARD");
}

void _mBack(){
  digitalWrite(in1, HIGH);
  digitalWrite(in2, LOW);
  digitalWrite(in3, HIGH);
  digitalWrite(in4, LOW);
  analogWrite(ENA, ABS);
  analogWrite(ENB, ABS);
  Serial.println("ROBOT MOVING BACKWARD");
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void _mleft(){
```

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

digitalWrite(in1, HIGH);
digitalWrite(in2, LOW);
digitalWrite(in3, LOW);
digitalWrite(in4, HIGH);
analogWrite(ENA, ABS);
analogWrite(ENB, ABS);
Serial.println("ROBOT_MOVING_LEFT");
}

```

```

void _mright(){
digitalWrite(in1, LOW);
digitalWrite(in2, HIGH);
digitalWrite(in3, HIGH);
digitalWrite(in4, LOW);
analogWrite(ENA, ABS);
analogWrite(ENB, ABS);
Serial.println("ROBOT_MOVING_RIGHT");
}

```

```

void _mStop(){
digitalWrite(in1, LOW);
digitalWrite(in2, LOW);
digitalWrite(in3, LOW);
digitalWrite(in4, LOW);
analogWrite(ENA, LOW);
analogWrite(ENB, LOW);
Serial.println("ROBOT_STOP");
}

```

```

void _mStop_cutter(){

```

```

digitalWrite(in5, LOW);

```

```

digitalWrite(in6, LOW);

```

```

digitalWrite(in7, LOW);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีลาดกระบัง ห้ามใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

digitalWrite(in8, LOW);
analogWrite(ENA2, LOW);
analogWrite(ENB2, LOW);
}

```

```

void _mWork_cutter(){
digitalWrite(in5, LOW);
digitalWrite(in6, HIGH);
digitalWrite(in7, LOW);
digitalWrite(in8, HIGH);
analogWrite(ENA2, 127);
analogWrite(ENB2, LOW);
}

```

//Ultrasonic distance measurement:

```

int Left_Distance_test(){
digitalWrite(Trig1, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(Trig1, HIGH);
delayMicroseconds(20);
digitalWrite(Trig1, LOW);
float Fdistance = pulseIn(Echo1, HIGH);
delay(10);

```

```

Fdistance = Fdistance / 29 / 2;

```

```

Serial.print("left");

```

```

Serial.println(Fdistance);

```

```

return (int)Fdistance;

```

```

}

```

```

int Middle_Distance_test1(){

```

```

digitalWrite(Trig2, LOW);

```

```

delayMicroseconds(2);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่มีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

digitalWrite(Trig2, HIGH);
delayMicroseconds(20);
digitalWrite(Trig2, LOW);
float Fdistance = pulseIn(Echo2, HIGH);
delay(10);

Fdistance = Fdistance / 29 / 2;
Serial.print("middle1");
Serial.println(Fdistance);
return (int)Fdistance;
}

```

```

int Middle_Distance_test2(){
digitalWrite(Trig3, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(Trig3, HIGH);
delayMicroseconds(20);
digitalWrite(Trig3, LOW);
float Fdistance = pulseIn(Echo3, HIGH);
delay(10);

Fdistance = Fdistance / 29 / 2;
Serial.print("middle2");
Serial.println(Fdistance);
return (int)Fdistance;
}

```

```

int Right_Distance_test(){
digitalWrite(Trig4, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(Trig4, HIGH);
delayMicroseconds(20);
digitalWrite(Trig4, LOW);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่มีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
float Fdistance = pulseIn(Echo4, HIGH);  
delay(10);  
  
Fdistance = Fdistance / 29 / 2;  
Serial.print("right");  
Serial.println(Fdistance);  
return (int)Fdistance;  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาคผนวก ข

ดาต้าชีท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

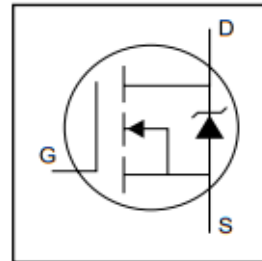
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

**IRF540N**

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



$V_{DS} = 100V$

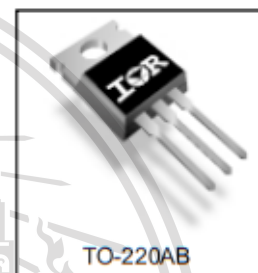
$R_{DS(on)} = 44m\Omega$

$I_D = 33A$

**Description**

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



TO-220AB

**Absolute Maximum Ratings**

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	33	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	23	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current ①	110	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	130	W
	Linear Derating Factor	0.87	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V
$I_{AR}$	Avalanche Current ①	16	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy ①	13	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ②	7.0	V/ns
$T_J$	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds		
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)	

**Thermal Resistance**

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.15	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

www.irf.com

1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## IRF540N

International  
IR RectifierElectrical Characteristics @  $T_J = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.12	—	V/ $^\circ\text{C}$	Reference to $25^\circ\text{C}$ , $I_D = 1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	44	m $\Omega$	$V_{GS} = 10V, I_D = 16A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
$g_{fs}$	Forward Transconductance	21	—	—	S	$V_{DS} = 50V, I_b = 16A$ ④
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	$\mu A$	$V_{DS} = 100V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250	$\mu A$	$V_{DS} = 80V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	$V_{GS} = -20V$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	71	nC	$I_b = 16A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	14	nC	$V_{DS} = 80V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	21	nC	$V_{GS} = 10V$ , See Fig. 6 and 13
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	11	—	ns	$V_{DD} = 50V$
$t_r$	Rise Time	—	35	—	ns	$I_b = 16A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	39	—	ns	$R_G = 5.1\Omega$
$t_f$	Fall Time	—	35	—	ns	$V_{GS} = 10V$ , See Fig. 10 ④
$L_D$	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
$L_S$	Internal Source Inductance	—	7.5	—	nH	
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	1960	—	pF	$V_{DS} = 0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	250	—	pF	$V_{DS} = 25V$
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	40	—	pF	$f = 1.0\text{MHz}$ , See Fig. 5
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy ②	—	700 ③	185 ③	mJ	$I_{AS} = 16A, L = 1.5\text{mH}$

## Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	33	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	110	A	
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	1.2	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 16A, V_{GS} = 0V$ ④
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	115	170	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 16A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	505	760	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ④
$t_{on}$	Forward Turn-On Time	—	—	—	ns	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S+L_D$ )

## Notes:

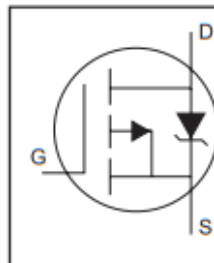
- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)
- ② Starting  $T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $L = 1.5\text{mH}$ ,  $R_G = 25\Omega$ ,  $I_{AS} = 16A$ . (See Figure 12)
- ③  $I_{SD} \leq 16A$ ,  $di/dt \leq 340A/\mu s$ ,  $V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$ ,  $T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width  $\leq 400\mu s$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .
- ⑤ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.
- ⑥ This is a calculated value limited to  $T_J = 175^\circ\text{C}$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- P-Channel
- Fully Avalanche Rated



$$V_{DS} = -100V$$

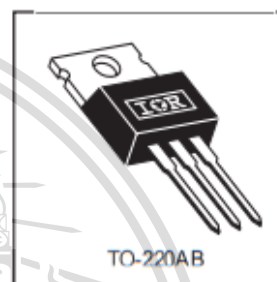
$$R_{DS(on)} = 0.117\Omega$$

$$I_D = -23A$$

### Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



TO-220AB

### Absolute Maximum Ratings

Parameter	Max.	Units
$I_D$ @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-23
$I_D$ @ $T_C = 100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-16
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current $\text{\textcircled{1}}$	-76
$P_D$ @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	Power Dissipation	140
	Linear Derating Factor	0.91
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy $\text{\textcircled{2}}$	430
$I_{AR}$	Avalanche Current $\text{\textcircled{3}}$	-11
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy $\text{\textcircled{1}}$	14
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt $\text{\textcircled{4}}$	-5.0
$T_J$	Operating Junction and	-55 to +175
$T_{STG}$	Storage Temperature Range	
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)

### Thermal Resistance

Parameter	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.1	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# IRF9540N



## Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	-100	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = -250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	-0.11	—	V/ $^\circ\text{C}$	Reference to $25^\circ\text{C}$ , $I_D = -1mA$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.117	$\Omega$	$V_{GS} = -10V, I_D = -11A$ ①
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	-2.0	—	-4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = -250\mu A$
$g_{fs}$	Forward Transconductance	5.3	—	—	S	$V_{DS} = -50V, I_D = -11A$
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	-25	$\mu A$	$V_{DS} = -100V, V_{GS} = 0V$
		—	—	-250		$V_{DS} = -80V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{DS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	97	nC	$I_D = -11A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	15		$V_{DS} = -80V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	51		$V_{GS} = -10V$ , See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	15	—	ns	$V_{DD} = -50V$
$t_r$	Rise Time	—	67	—		$I_D = -11A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	51	—		$R_G = 5.1\Omega$
$t_f$	Fall Time	—	51	—		$R_D = 4.2\Omega$ , See Fig. 10 ④
$L_D$	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
$L_S$	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	1300	—	pF	$V_{GS} = 0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	400	—		$V_{DS} = -25V$
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	240	—		$f = 1.0MHz$ , See Fig. 5

## Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	-23	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	-76		
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	-1.6	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = -11A, V_{GS} = 0V$ ②
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	150	220	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = -11A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	830	1200	nC	$di/dt = -100A/\mu s$ ③
$t_{on}$	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S + L_D$ )				

### Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. ( See fig. 11 )
- ② Starting  $T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $L = 7.1mH$ ,  $R_G = 25\Omega$ ,  $I_{AS} = -11A$ . (See Figure 12)
- ③  $I_{SD} \leq -11A$ ,  $di/dt \leq -470A/\mu s$ ,  $V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$ ,  $T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width  $\leq 300\mu s$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



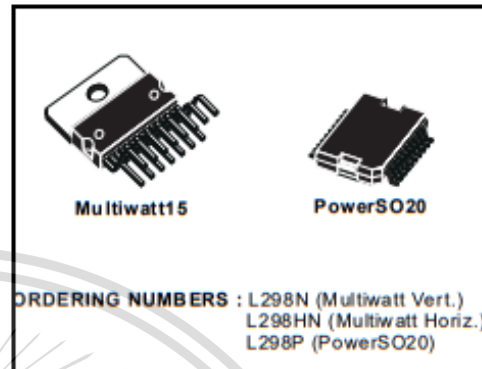
# L298

## DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

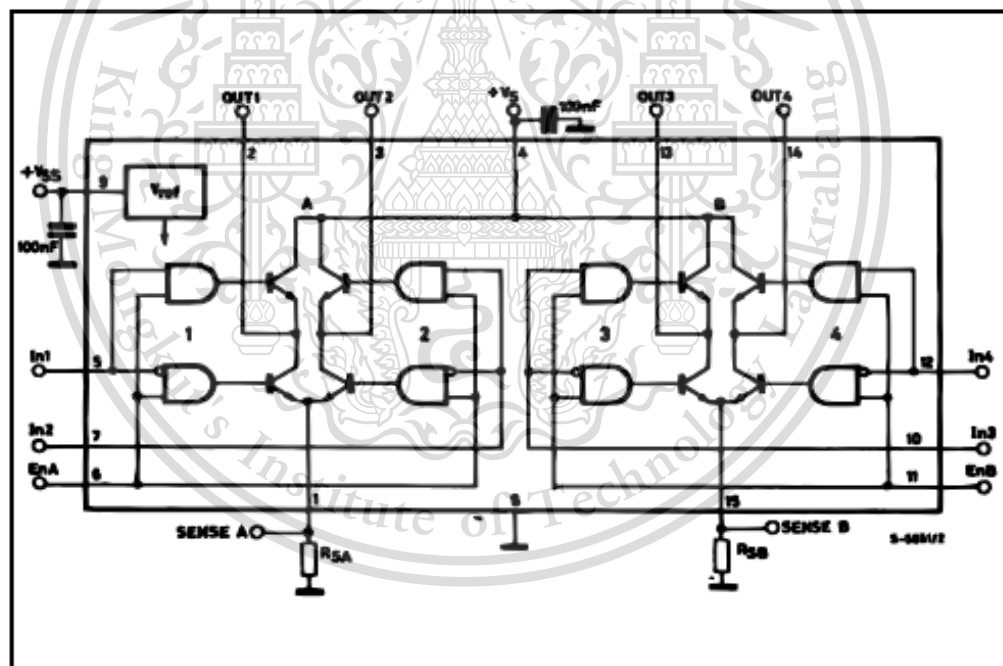
### DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

### BLOCK DIAGRAM



January 2000

1/13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

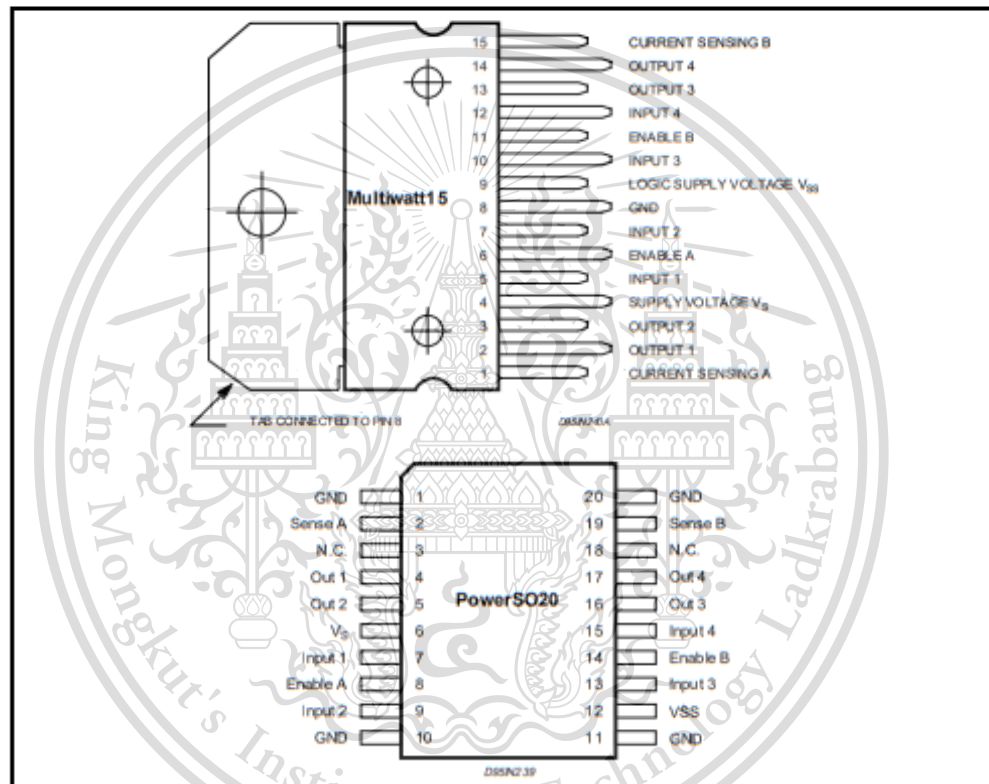
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## L298

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_S$	Power Supply	50	V
$V_{SS}$	Logic Supply Voltage	7	V
$V_i, V_{en}$	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
$I_o$	Peak Output Current (each Channel) - Non Repetitive ( $t = 100\mu s$ ) - Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$ ) - DC Operation	3 2.5 2	A A A
$V_{s,ens}$	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
$P_{tot}$	Total Power Dissipation ( $T_{case} = 75^\circ C$ )	25	W
$T_{cp}$	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
$T_{stg}, T_j$	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

## PIN CONNECTIONS (top view)



## THERMAL DATA

Symbol	Parameter	PowerSO20	Multiwatt 15	Unit
$R_{th(j-case)}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	3	$^\circ C/W$
$R_{th(j-amb)}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	$^\circ C/W$

(\*) Mounted on aluminum substrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out1; Out2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V <sub>S</sub>	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input1; Input2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	VSS	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input3; Input4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out3; Out4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
-	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V<sub>S</sub> = 42V; V<sub>SS</sub> = 5V; T<sub>J</sub> = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V <sub>S</sub>	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V <sub>IH</sub> +2.5		46	V
V <sub>SS</sub>	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I <sub>S</sub>	Quiescent Supply Current (pin 4)	V <sub>en</sub> = H; L = 0 V <sub>I</sub> = L V <sub>I</sub> = H		13 50	22 70	mA mA
I <sub>SS</sub>	Quiescent Current from V <sub>SS</sub> (pin 9)	V <sub>en</sub> = H; L = 0 V <sub>I</sub> = L V <sub>I</sub> = H V <sub>en</sub> = L V <sub>I</sub> = X		24 7	36 12 6	mA mA mA
V <sub>L</sub>	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		-0.3		1.5	V
V <sub>IH</sub>	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V <sub>SS</sub>	V
I <sub>L</sub>	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V <sub>I</sub> = L			-10	μA
I <sub>IH</sub>	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V <sub>I</sub> = H ≤ V <sub>SS</sub> - 0.6V		30	100	μA
V <sub>en</sub> = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		-0.3		1.5	V
V <sub>en</sub> = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V <sub>SS</sub>	V
I <sub>en</sub> = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V <sub>en</sub> = L			-10	μA
I <sub>en</sub> = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V <sub>en</sub> = H ≤ V <sub>SS</sub> - 0.6V		30	100	μA
V <sub>CEsat (H)</sub>	Source Saturation Voltage	I <sub>L</sub> = 1A I <sub>L</sub> = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V V
V <sub>CEsat (L)</sub>	Sink Saturation Voltage	I <sub>L</sub> = 1A (5) I <sub>L</sub> = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V V
V <sub>CEsat</sub>	Total Drop	I <sub>L</sub> = 1A (5) I <sub>L</sub> = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V V
V <sub>sens</sub>	Sensing Voltage (pins 1, 15)		-1 (1)		2	V



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

L298

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
T <sub>1</sub> (V <sub>I</sub> )	Source Current Turn-off Delay	0.5 V <sub>I</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (2) (4)		1.5		μs
T <sub>2</sub> (V <sub>I</sub> )	Source Current Fall Time	0.9 I <sub>L</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (2) (4)		0.2		μs
T <sub>3</sub> (V <sub>I</sub> )	Source Current Turn-on Delay	0.5 V <sub>I</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (2) (4)		2		μs
T <sub>4</sub> (V <sub>I</sub> )	Source Current Rise Time	0.1 I <sub>L</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (2) (4)		0.7		μs
T <sub>5</sub> (V <sub>I</sub> )	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V <sub>I</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3) (4)		0.7		μs
T <sub>6</sub> (V <sub>I</sub> )	Sink Current Fall Time	0.9 I <sub>L</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (3) (4)		0.25		μs
T <sub>7</sub> (V <sub>I</sub> )	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V <sub>I</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3) (4)		1.6		μs
T <sub>8</sub> (V <sub>I</sub> )	Sink Current Rise Time	0.1 I <sub>L</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3) (4)		0.2		μs
f <sub>c</sub> (V <sub>I</sub> )	Commutation Frequency	I <sub>L</sub> = 2A		25	40	KHz
T <sub>1</sub> (V <sub>en</sub> )	Source Current Turn-off Delay	0.5 V <sub>en</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (2) (4)		3		μs
T <sub>2</sub> (V <sub>en</sub> )	Source Current Fall Time	0.9 I <sub>L</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (2) (4)		1		μs
T <sub>3</sub> (V <sub>en</sub> )	Source Current Turn-on Delay	0.5 V <sub>en</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (2) (4)		0.3		μs
T <sub>4</sub> (V <sub>en</sub> )	Source Current Rise Time	0.1 I <sub>L</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (2) (4)		0.4		μs
T <sub>5</sub> (V <sub>en</sub> )	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V <sub>en</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3) (4)		2.2		μs
T <sub>6</sub> (V <sub>en</sub> )	Sink Current Fall Time	0.9 I <sub>L</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (3) (4)		0.35		μs
T <sub>7</sub> (V <sub>en</sub> )	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V <sub>en</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3) (4)		0.25		μs
T <sub>8</sub> (V <sub>en</sub> )	Sink Current Rise Time	0.1 I <sub>L</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3) (4)		0.1		μs

- 1) Sensing voltage can be -1 V for t ≤ 50 μsec; in steady state V<sub>en</sub> min ≥ -0.5 V
- 2) See fig. 2.
- 3) See fig. 4.
- 4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

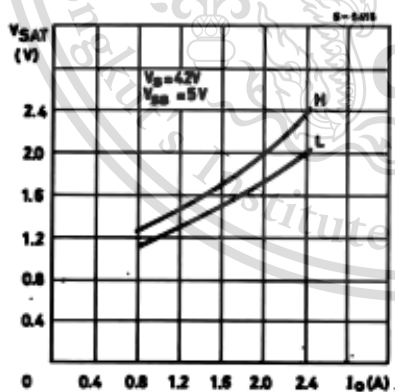
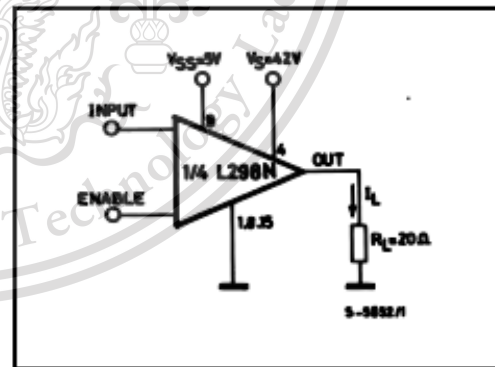


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H  
For ENABLE Switching, set IN = H



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3-TERMINAL 0.1A POSITIVE VOLTAGE REGULATOR LM78LXX

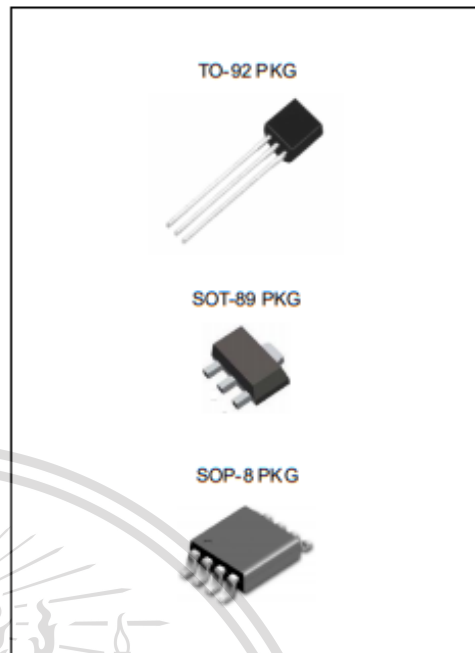
#### FEATURES

- Output Current Up to 100mA
- No External Components
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short-Circuit Limiting
- Output Voltage of 5V, 6V, 8V, 9V, 10V, 12V, 15V, 18V and 24V
- Moisture Sensitivity Level 3

#### DESCRIPTION

This series of fixed-voltage monolithic integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These applications include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. In addition, they can be used with power-pass elements to make high current voltage regulators.

Each of these regulators can deliver up to 100mA of output current. The internal limiting and thermal shutdown features of these regulators make them essentially immune to overload. Current limiting is included to limit the peak output current (250mA ~ 300mA) to a safe value. When used as a replacement for a zener diode-resistor combination, an effective improvement in output impedance can be obtained together with lower bias current.



#### ORDERING INFORMATION

Device	Package
LM78LXX	TO-92 (Bulk)
LM78LXXTA	TO-92 (Taping)
LM78LXXF	SOT-89
LM78LXXD	SOP-8

XX: Output Voltage = 05, 06, 08, 09, 10, 12, 15, 18, 24

#### Absolute Maximum Ratings

CHARACTERISTIC		SYMBOL	MIN.	MAX.	UNIT
Input Voltage	LM78L05 ~ LM78L10	$V_{IN}$	-	30	V
	LM78L12 ~ LM78L18		-	35	
	LM78L24		-	40	
Maximum Power Dissipation at $T_A = 25^\circ\text{C}$ / TO-92		$P_{DMAX}$	-	0.770	W
Thermal Resistance Junction-To-Ambient / TO-92		$\theta_{JA}$	-	162	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)		$T_{SOL}$	-	260	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range		$T_{STG}$	-65	150	$^\circ\text{C}$
Operating Junction Temperature Range		$T_{JOPR}$	-40	150	$^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3-TERMINAL 0.1A POSITIVE VOLTAGE REGULATOR LM78LXX

#### Recommended Operating Conditions

CHARACTERISTIC		SYMBOL	MIN.	MAX.	UNIT
Input Voltage	LM78L05 / A	$V_{IN}$	7	20	V
	LM78L06		8	20	
	LM78L08		10.5	23	
	LM78L09		11.5	24	
	LM78L10		12.5	25	
	LM78L12		14.5	27	
	LM78L15		17.5	30	
	LM78L18		20.5	33	
	LM78L24		26.5	39	
Output Current		$I_O$	100	100	mA
Operating Virtual Junction Temperature		$T_J$	-40	125	°C

#### Ordering Information

Vout	Package	Order No.	Description	Supplied As	Status
5.0V	TO-92	LM78L05	0.1A, Positive	Bulk	Active
		LM78L05A	0.1A, Positive	Bulk	Active
		LM78L05TA	0.1A, Positive	Taping	Active
		LM78L05ATA	0.1A, Positive	Taping	Active
	SOT-89	LM78L05F	0.1A, Positive	Reel	Active
	SOP-8	LM78L05D	0.1A, Positive	Reel	Active
6.0V	TO-92	LM78L06	0.1A, Positive	Bulk	Active
		LM78L06TA	0.1A, Positive	Taping	Active
	SOT-89	LM78L06F	0.1A, Positive	Reel	Active
8.0V	TO-92	LM78L08	0.1A, Positive	Bulk	Active
		LM78L08TA	0.1A, Positive	Taping	Active
	SOT-89	LM78L08F	0.1A, Positive	Reel	Active
9.0V	TO-92	LM78L09	0.1A, Positive	Bulk	Active
		LM78L09TA	0.1A, Positive	Taping	Active
	SOT-89	LM78L09F	0.1A, Positive	Reel	Active

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

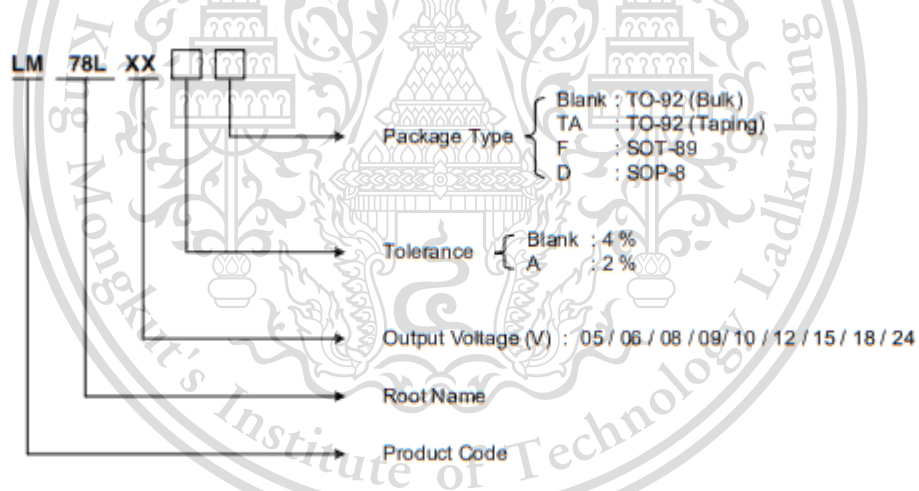
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3-TERMINAL 0.1A POSITIVE VOLTAGE REGULATOR LM78LXX

#### Ordering Information (Continued)

Vout	Package	Order No.	Description	Supplied As	Status
10V	TO-92	LM78L10	0.1A, Positive	Bulk	Active
		LM78L10TA	0.1A, Positive	Taping	Active
	SOT-89	LM78L10F	0.1A, Positive	Reel	Active
12V	TO-92	LM78L12	0.1A, Positive	Bulk	Active
		LM78L12TA	0.1A, Positive	Taping	Active
	SOT-89	LM78L12F	0.1A, Positive	Reel	Active
15V	TO-92	LM78L15	0.1A, Positive	Bulk	Active
		LM78L15TA	0.1A, Positive	Taping	Active
	SOT-89	LM78L15F	0.1A, Positive	Reel	Active
18V	TO-92	LM78L18	0.1A, Positive	Bulk	Active
		LM78L18TA	0.1A, Positive	Taping	Active
	SOT-89	LM78L18F	0.1A, Positive	Reel	Active
24V	TO-92	LM78L24	0.1A, Positive	Bulk	Active
		LM78L24TA	0.1A, Positive	Taping	Active
	SOT-89	LM78L24F	0.1A, Positive	Reel	Active



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## NPN switching transistors

## 2N2222; 2N2222A

## FEATURES

- High current (max. 800 mA)
- Low voltage (max. 40 V).

## APPLICATIONS

- Linear amplification and switching.

## DESCRIPTION

NPN switching transistor in a TO-18 metal package.  
PNP complement: 2N2907A.

## PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector, connected to case

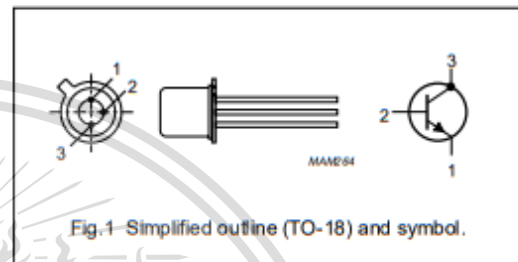


Fig.1 Simplified outline (TO-18) and symbol.

## QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_{CB0}$	collector-base voltage	open emitter	-	60	V
	2N2222 2N2222A		-	75	V
$V_{CE0}$	collector-emitter voltage	open base	-	30	V
	2N2222 2N2222A		-	40	V
$I_C$	collector current (DC)			800	mA
$P_{tot}$	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$		500	mW
$h_{FE}$	DC current gain	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	75	-	
$f_T$	transition frequency	$I_C = 20\text{ mA}; V_{CE} = 20\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$			
	2N2222 2N2222A		250 300	-	MHz MHz
$t_{off}$	turn-off time	$I_{Con} = 150\text{ mA}; I_{Bon} = 15\text{ mA}; I_{Boff} = -15\text{ mA}$		250	ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

**LIMITING VALUES**

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V <sub>CBO</sub>	collector-base voltage	open emitter			
	2N2222		–	60	V
	2N2222A		–	75	V
V <sub>CEO</sub>	collector-emitter voltage	open base			
	2N2222		–	30	V
	2N2222A		–	40	V
V <sub>EBO</sub>	emitter-base voltage	open collector			
	2N2222		–	5	V
	2N2222A		–	6	V
I <sub>C</sub>	collector current (DC)		–	800	mA
I <sub>CM</sub>	peak collector current		–	800	mA
I <sub>BM</sub>	peak base current		–	200	mA
P <sub>tot</sub>	total power dissipation	T <sub>amb</sub> ≤ 25 °C	–	500	mW
		T <sub>case</sub> ≤ 25 °C	–	1.2	W
T <sub>stg</sub>	storage temperature		–65	+150	°C
T <sub>J</sub>	junction temperature			200	°C
T <sub>amb</sub>	operating ambient temperature		–65	+150	°C

**THERMAL CHARACTERISTICS**

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
R <sub>th j-a</sub>	thermal resistance from junction to ambient	in free air	350	K/W
R <sub>th j-c</sub>	thermal resistance from junction to case		146	K/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## NPN switching transistors

## 2N2222; 2N2222A

## CHARACTERISTICS

$T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$I_{CBO}$	collector cut-off current 2N2222	$I_E = 0; V_{CB} = 50\text{ V}$	–	10	nA
		$I_E = 0; V_{CB} = 50\text{ V}; T_{amb} = 150\text{ }^\circ\text{C}$	–	10	$\mu\text{A}$
$I_{CBO}$	collector cut-off current 2N2222A	$I_E = 0; V_{CB} = 60\text{ V}$	–	10	nA
		$I_E = 0; V_{CB} = 60\text{ V}; T_{amb} = 150\text{ }^\circ\text{C}$	–	10	$\mu\text{A}$
$I_{EBO}$	emitter cut-off current	$I_C = 0; V_{EB} = 3\text{ V}$	–	10	nA
$h_{FE}$	DC current gain	$I_C = 0.1\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	35	–	
		$I_C = 1\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	50	–	
		$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	75	–	
		$I_C = 150\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V}; \text{note 1}$	50	–	
		$I_C = 150\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}; \text{note 1}$	100	300	
$h_{FE}$	DC current gain 2N2222A	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}; T_{amb} = -55\text{ }^\circ\text{C}$	35	–	
$h_{FE}$	DC current gain 2N2222 2N2222A	$I_C = 500\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}; \text{note 1}$	30	–	
			40	–	
$V_{CEsat}$	collector-emitter saturation voltage 2N2222	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}; \text{note 1}$	–	400	mV
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}; \text{note 1}$	–	1.6	V
$V_{CEsat}$	collector-emitter saturation voltage 2N2222A	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}; \text{note 1}$	–	300	mV
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}; \text{note 1}$	–	1	V
$V_{BEsat}$	base-emitter saturation voltage 2N2222	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}; \text{note 1}$	–	1.3	V
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}; \text{note 1}$	–	2.6	V
$V_{BEsat}$	base-emitter saturation voltage 2N2222A	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}; \text{note 1}$	0.6	1.2	V
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}; \text{note 1}$	–	2	V
$C_c$	collector capacitance	$I_E = I_B = 0; V_{CB} = 10\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	–	8	pF
$C_e$	emitter capacitance 2N2222A	$I_C = I_B = 0; V_{EB} = 500\text{ mV}; f = 1\text{ MHz}$	–	25	pF
$f_T$	transition frequency 2N2222 2N2222A	$I_C = 20\text{ mA}; V_{CE} = 20\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	250	–	MHz
			300	–	MHz
F	noise figure 2N2222A	$I_C = 200\text{ }\mu\text{A}; V_{CE} = 5\text{ V}; R_S = 2\text{ k}\Omega;$ $f = 1\text{ kHz}; B = 200\text{ Hz}$	–	4	dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

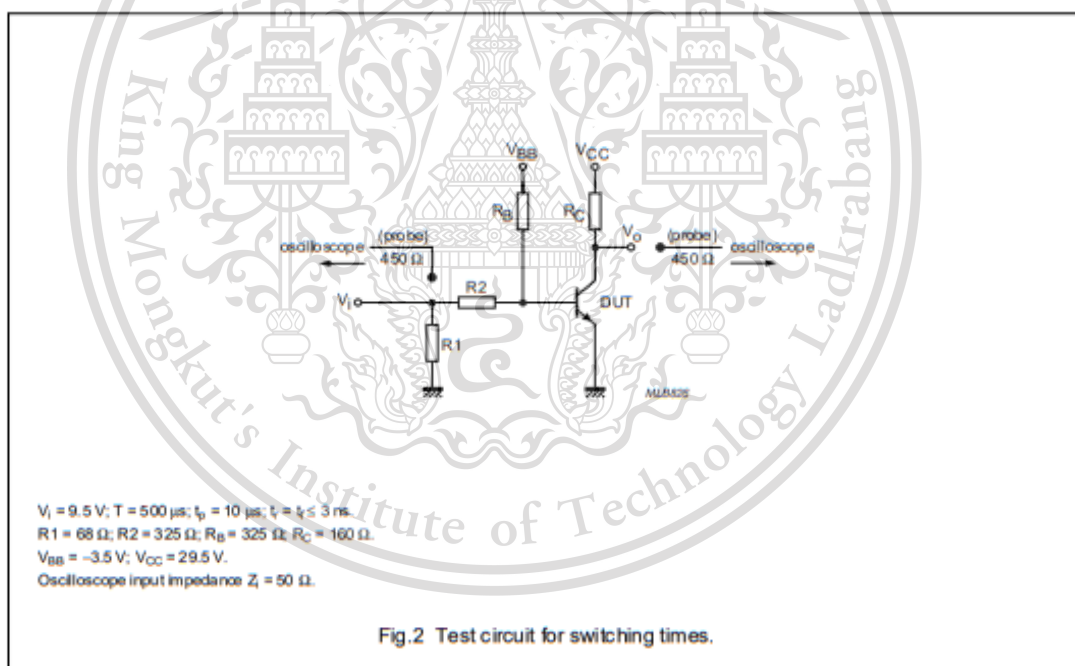
## NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
<b>Switching times (between 10% and 90% levels); see Fig.2</b>					
$t_{on}$	turn-on time	$I_{C(on)} = 150 \text{ mA}; I_{B(on)} = 15 \text{ mA}; I_{B(off)} = -15 \text{ mA}$	–	35	ns
$t_d$	delay time		–	10	ns
$t_r$	rise time		–	25	ns
$t_{off}$	turn-off time		–	250	ns
$t_s$	storage time		–	200	ns
$t_f$	fall time		–	60	ns

**Note**

1. Pulse test:  $t_p \leq 300 \mu\text{s}; \delta \leq 0.02$ .



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2N3903, 2N3904

### General Purpose Transistors

#### NPN Silicon

##### Features

- Pb-Free Packages are Available\*

##### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	40	Vdc
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	60	Vdc
Emitter-Base Voltage	$V_{EBO}$	6.0	Vdc
Collector Current - Continuous	$I_C$	200	mA dc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	625 5.0	mW mW/°C
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	1.5 12	W mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-55 to +150	°C

##### THERMAL CHARACTERISTICS (Note 1)

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	83.3	°C/W

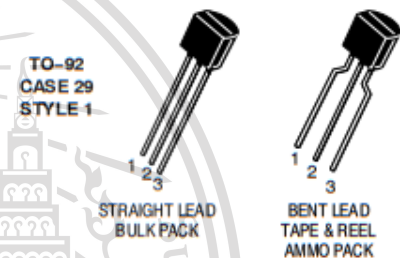
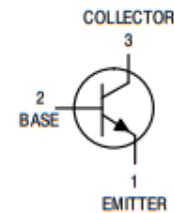
Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

1. Indicates Data in addition to JEDEC Requirements.

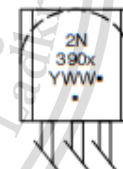


ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



##### MARKING DIAGRAMS



x = 3 or 4  
Y = Year  
WW = Work Week  
• = Pb-Free Package

(Note: Microdot may be in either location)

##### ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 3 of this data sheet.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>					
Collector-Emitter Breakdown Voltage (Note 2) ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $I_B = 0$ )	$V_{(BR)CEO}$	40	-	Vdc	
Collector-Base Breakdown Voltage ( $I_C = 10\ \mu\text{Adc}$ , $I_E = 0$ )	$V_{(BR)CBO}$	60	-	Vdc	
Emitter-Base Breakdown Voltage ( $I_E = 10\ \mu\text{Adc}$ , $I_C = 0$ )	$V_{(BR)EBO}$	6.0	-	Vdc	
Base Cutoff Current ( $V_{CE} = 30\text{ Vdc}$ , $V_{EB} = 3.0\text{ Vdc}$ )	$I_{BL}$	-	50	nAdc	
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 30\text{ Vdc}$ , $V_{EB} = 3.0\text{ Vdc}$ )	$I_{CEX}$	-	50	nAdc	
<b>ON CHARACTERISTICS</b>					
DC Current Gain (Note 2) ( $I_C = 0.1\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 1.0\text{ Vdc}$ )  ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 1.0\text{ Vdc}$ )  ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 1.0\text{ Vdc}$ )  ( $I_C = 50\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 1.0\text{ Vdc}$ )  ( $I_C = 100\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 1.0\text{ Vdc}$ )	2N3903	$h_{FE}$	20	-	-
	2N3904		40	-	
	2N3903		35	-	
	2N3904		70	-	
	2N3903		50	150	
	2N3904		100	300	
Collector-Emitter Saturation Voltage (Note 2) ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $I_B = 1.0\text{ mAdc}$ ) ( $I_C = 50\text{ mAdc}$ , $I_B = 5.0\text{ mAdc}$ )	$V_{CE(sat)}$	-	0.2 0.3		Vdc
Base-Emitter Saturation Voltage (Note 2) ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $I_B = 1.0\text{ mAdc}$ ) ( $I_C = 50\text{ mAdc}$ , $I_B = 5.0\text{ mAdc}$ )	$V_{BE(sat)}$	0.65	0.85 0.95		Vdc
<b>SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS</b>					
Current-Gain-Bandwidth Product ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 20\text{ Vdc}$ , $f = 100\text{ MHz}$ )	2N3903 2N3904	$f_T$	250 300	-	MHz
Output Capacitance ( $V_{CB} = 5.0\text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ , $f = 1.0\text{ MHz}$ )		$C_{ob}$	-	4.0	pF
Input Capacitance ( $V_{EB} = 0.5\text{ Vdc}$ , $I_C = 0$ , $f = 1.0\text{ MHz}$ )		$C_{ib}$	-	8.0	pF
Input Impedance ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	2N3903 2N3904	$h_{ie}$	1.0 1.0	8.0 10	k $\Omega$
Voltage Feedback Ratio ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	2N3903 2N3904	$h_{fe}$	0.1 0.5	5.0 8.0	$\times 10^{-4}$
Small-Signal Current Gain ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	2N3903 2N3904	$h_{\beta}$	50 100	200 400	-
Output Admittance ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ MHz}$ )		$h_{oe}$	1.0	40	$\mu\text{mhos}$
Noise Figure ( $I_C = 100\ \mu\text{Adc}$ , $V_{CE} = 5.0\text{ Vdc}$ , $R_S = 1.0\text{ k}\Omega$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	2N3903 2N3904	NF	-	6.0 5.0	dB
<b>SWITCHING CHARACTERISTICS</b>					
Delay Time ( $V_{CC} = 3.0\text{ Vdc}$ , $V_{BE} = 0.5\text{ Vdc}$ , $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $I_{B1} = 1.0\text{ mAdc}$ )		$t_d$	-	35	ns
Rise Time ( $V_{CC} = 3.0\text{ Vdc}$ , $V_{BE} = 0.5\text{ Vdc}$ , $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $I_{B1} = 1.0\text{ mAdc}$ )		$t_r$	-	35	ns
Storage Time ( $V_{CC} = 3.0\text{ Vdc}$ , $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $I_{B1} = I_{B2} = 1.0\text{ mAdc}$ )	2N3903 2N3904	$t_s$	-	175 200	ns
Fall Time ( $V_{CC} = 3.0\text{ Vdc}$ , $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $I_{B1} = I_{B2} = 1.0\text{ mAdc}$ )		$t_f$	-	50	ns

2. Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300\ \mu\text{s}$ ; Duty Cycle  $\leq 2\%$ 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2N3903, 2N3904

## ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping <sup>†</sup>
2N3903RLRM	TO-92	2000 / Ammo Pack
2N3904	TO-92	5000 Units / Bulk
2N3904G	TO-92 (Pb-Free)	5000 Units / Bulk
2N3904RLRA	TO-92	2000 / Tape & Reel
2N3904RLRAG	TO-92 (Pb-Free)	2000 / Tape & Reel
2N3904RLRM	TO-92	2000 / Ammo Pack
2N3904RLRMG	TO-92 (Pb-Free)	2000 / Ammo Pack
2N3904RLRP	TO-92	2000 / Ammo Pack
2N3904RLRPG	TO-92 (Pb-Free)	2000 / Ammo Pack
2N3904RL1G	TO-92 (Pb-Free)	2000 / Tape & Reel
2N3904ZL1	TO-92	2000 / Ammo Pack
2N3904ZL1G	TO-92 (Pb-Free)	2000 / Ammo Pack

<sup>†</sup>For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D.

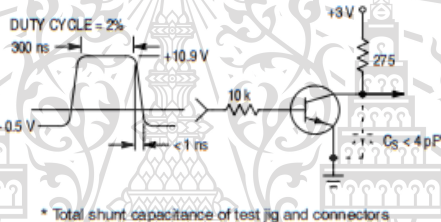


Figure 1. Delay and Rise Time Equivalent Test Circuit

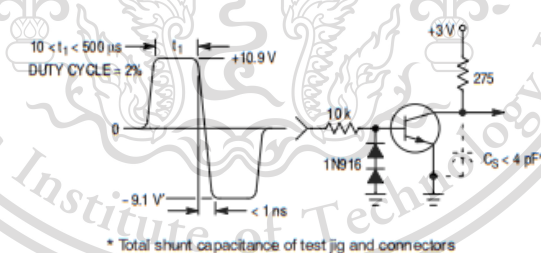


Figure 2. Storage and Fall Time Equivalent Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



## 2 Absolute maximum ratings

Table 1. Absolute maximum ratings

Symbol	Parameter	LM124	LM224	LM324	Unit
$V_{CC}$	Supply voltage	±16 or 32			V
$V_{in}$	Input voltage <sup>(1)</sup>	-0.3 to 32			V
$V_{id}$	Differential input voltage <sup>(2)</sup>	32			V
	Output short-circuit duration <sup>(3)</sup>	Infinite			
$I_{in}$	Input current <sup>(4)</sup> : $V_{in}$ driven negative Input current <sup>(5)</sup> : $V_{in}$ driven positive above AMR value	5 mA in DC or 50 mA in AC (duty cycle = 10%, T=1s) 0.4			mA
$T_{oper}$	Operating free-air temperature range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
$T_{stg}$	Storage temperature range	-65 to +150			°C
$T_J$	Maximum junction temperature	150			°C
$R_{thja}$	Thermal resistance junction to ambient <sup>(6)</sup> SO14 TSOP14 DIP14 QFN16 3x3	103 100 83 45			°C/W
$R_{thjc}$	Thermal resistance junction to case SO14 TSOP14 DIP14 QFN16	31 32 33 14			°C/W
ESD	HBM: human body model <sup>(7)</sup>	250			V
	MM: machine model <sup>(8)</sup>	150			
	CDM: charged device model <sup>(9)</sup>	1500			

1. Either or both input voltages must not exceed the magnitude of  $V_{CC}^+$  or  $V_{CC}^-$ . All voltage values, except differential voltages are with respect to ground terminal.
2. Differential voltages are the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
3. Short-circuits from the output to  $V_{CC}$  can cause excessive heating if  $V_{CC} > 15$  V. The maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of  $V_{CC}$ . Destructive dissipation can result from simultaneous short-circuits on all amplifiers.
4. This input current only exists when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistor becoming forward-biased and thereby acting as input diode clamp. In addition to this diode action, there is NPN parasitic action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op-amps to go to the  $V_{CC}$  voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time during which an input is driven negative. This is not destructive and normal output is restored for input voltages above -0.3 V.
5. The junction base/substrate of the input PNP transistor polarized in reverse must be protected by a resistor in series with the inputs to limit the input current to 400  $\mu$ A max ( $R = (V_{in} - 32 V)/400 \mu A$ ).
6. Short-circuits can cause excessive heating. Destructive dissipation can result from simultaneous short-circuits on all amplifiers. These are typical values given for a single layer board (except for TSOP, a two-layer board).
7. Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k $\Omega$  resistor into pin of device.
8. Machine model ESD: a 200 pF capacitor is charged to the specified voltage, then discharged directly into the IC with no external series resistor (internal resistor < 5  $\Omega$ ), into pin-to-pin of device.
9. Charged device model: all pins plus package are charged together to the specified voltage and then discharged directly to ground.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3 Electrical characteristics

Table 2.  $V_{CC}^+ = +5\text{ V}$ ,  $V_{CC}^- = \text{ground}$ ,  $V_o = 1.4\text{ V}$ ,  $T_{\text{amb}} = +25^\circ\text{ C}$  (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{io}$	Input offset voltage <sup>(1)</sup> $T_{\text{amb}} = +25^\circ\text{ C}$ LM124-LM224 LM324		2	5 7	mV
	$T_{\text{min}} \leq T_{\text{amb}} \leq T_{\text{max}}$ LM124-LM224 LM324			7 9	
$I_o$	Input offset current $T_{\text{amb}} = +25^\circ\text{ C}$ $T_{\text{min}} \leq T_{\text{amb}} \leq T_{\text{max}}$		2	30 100	nA
$I_b$	Input bias current <sup>(2)</sup> $T_{\text{amb}} = +25^\circ\text{ C}$ $T_{\text{min}} \leq T_{\text{amb}} \leq T_{\text{max}}$		20	150 300	nA
$A_{vd}$	Large signal voltage gain $V_{CC}^+ = +15\text{ V}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$ , $V_o = 1.4\text{ V to } 11.4\text{ V}$ $T_{\text{amb}} = +25^\circ\text{ C}$ $T_{\text{min}} \leq T_{\text{amb}} \leq T_{\text{max}}$	50 25	100		V/mV
SVR	Supply voltage rejection ratio ( $R_s \leq 10\text{ k}\Omega$ ) $V_{CC}^+ = 5\text{ V to } 30\text{ V}$ $T_{\text{amb}} = +25^\circ\text{ C}$ $T_{\text{min}} \leq T_{\text{amb}} \leq T_{\text{max}}$	65 65	110		dB
$I_{cc}$	Supply current, all Amp, no load $T_{\text{amb}} = +25^\circ\text{ C}$ $V_{CC} = +5\text{ V}$ $V_{CC} = +30\text{ V}$		0.7 1.5	1.2 3	mA
	$T_{\text{min}} \leq T_{\text{amb}} \leq T_{\text{max}}$ $V_{CC} = +5\text{ V}$ $V_{CC} = +30\text{ V}$		0.8 1.5	1.2 3	
$V_{icm}$	Input common mode voltage range $V_{CC} = +30\text{ V}$ <sup>(3)</sup> $T_{\text{amb}} = +25^\circ\text{ C}$ $T_{\text{min}} \leq T_{\text{amb}} \leq T_{\text{max}}$	0 0		$V_{CC} - 1.5$ $V_{CC} - 2$	V
CMR	Common mode rejection ratio ( $R_s \leq 10\text{ k}\Omega$ ) $T_{\text{amb}} = +25^\circ\text{ C}$ $T_{\text{min}} \leq T_{\text{amb}} \leq T_{\text{max}}$	70 60	80		dB
$I_{\text{source}}$	Output current source ( $V_{id} = +1\text{ V}$ ) $V_{CC} = +15\text{ V}$ , $V_o = +2\text{ V}$	20	40	70	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Table 2.  $V_{CC}^+ = +5\text{ V}$ ,  $V_{CC}^- = \text{ground}$ ,  $V_o = 1.4\text{ V}$ ,  $T_{\text{amb}} = +25^\circ\text{ C}$  (unless otherwise specified) (continued)

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
$I_{\text{sink}}$	Output sink current ( $V_{\text{id}} = -1\text{ V}$ )	10	20		mA
	$V_{CC} = +15\text{ V}$ , $V_o = +2\text{ V}$ $V_{CC} = +15\text{ V}$ , $V_o = +0.2\text{ V}$	12	50		$\mu\text{A}$
$V_{\text{OH}}$	High level output voltage				
	$V_{CC} = +30\text{ V}$ $T_{\text{amb}} = +25^\circ\text{ C}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$ $T_{\text{min}} \leq T_{\text{amb}} \leq T_{\text{max}}$ $T_{\text{amb}} = +25^\circ\text{ C}$ , $R_L = 10\text{ k}\Omega$ $T_{\text{min}} \leq T_{\text{amb}} \leq T_{\text{max}}$	26 26 27 27	27 28		V
	$V_{CC} = +5\text{ V}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$ $T_{\text{amb}} = +25^\circ\text{ C}$ $T_{\text{min}} \leq T_{\text{amb}} \leq T_{\text{max}}$	3.5 3			
$V_{\text{OL}}$	Low level output voltage ( $R_L = 10\text{ k}\Omega$ ) $T_{\text{amb}} = +25^\circ\text{ C}$ $T_{\text{min}} \leq T_{\text{amb}} \leq T_{\text{max}}$		5	20 20	mV
SR	Slew rate $V_{CC} = 15\text{ V}$ , $V_i = 0.5$ to $3\text{ V}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$ , $C_L = 100\text{ pF}$ , unity gain		0.4		V/ $\mu\text{s}$
GBP	Gain bandwidth product $V_{CC} = 30\text{ V}$ , $f = 100\text{ kHz}$ , $V_{\text{in}} = 10\text{ mV}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$ , $C_L = 100\text{ pF}$		1.3		MHz
THD	Total harmonic distortion $f = 1\text{ kHz}$ , $A_v = 20\text{ dB}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$ , $V_o = 2\text{ V}_{\text{pp}}$ , $C_L = 100\text{ pF}$ , $V_{CC} = 30\text{ V}$		0.015		%
$e_n$	Equivalent input noise voltage $f = 1\text{ kHz}$ , $R_s = 100\Omega$ , $V_{CC} = 30\text{ V}$		40		$\frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}$
$DV_{\text{io}}$	Input offset voltage drift		7	30	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
$DI_{\text{io}}$	Input offset current drift		10	200	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
$V_{\text{oi}}/V_{\text{o2}}$	Channel separation <sup>(4)</sup> $1\text{ kHz} \leq f \leq 20\text{ kHz}$		120		dB

1.  $V_o = 1.4\text{ V}$ ,  $R_s = 0\Omega$ ,  $5\text{ V} < V_{CC}^- < 30\text{ V}$ ,  $0 < V_{CC}^+ < V_{CC}^- - 1.5\text{ V}$ .

2. The direction of the input current is out of the IC. This current is essentially constant, independent of the state of the output so there is no change in the load on the input lines.

3. The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than  $0\text{ V}$ . The upper end of the common-mode voltage range is  $V_{CC}^+ - 1.5\text{ V}$ , but either or both inputs can go to  $+32\text{ V}$  without damage.

4. Due to the proximity of the external components, ensure that stray capacitance between these external parts does not cause coupling. Coupling can be detected because this type of capacitance increases at higher frequencies.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 4 Typical single-supply applications

Figure 19. AC coupled inverting amplifier

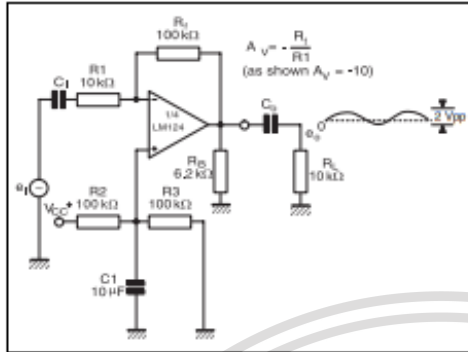


Figure 20. High input Z adjustable gain DC instrumentation amplifier

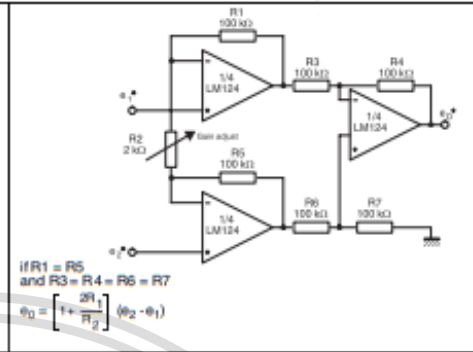


Figure 21. AC coupled non inverting amplifier

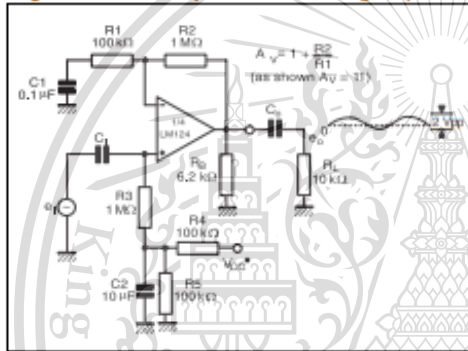


Figure 22. DC summing amplifier

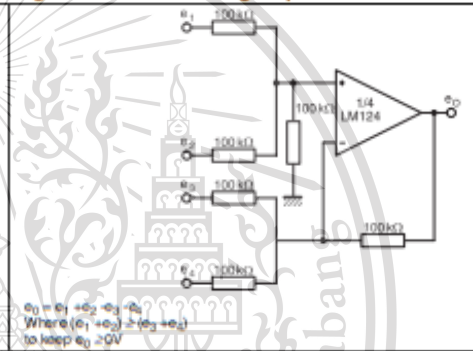


Figure 23. Non-inverting DC gain

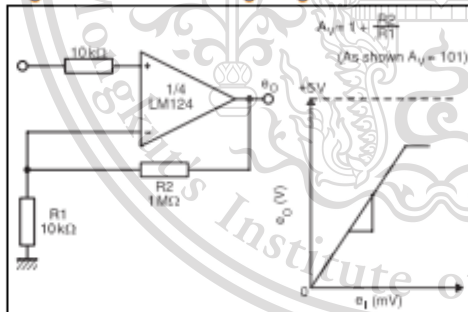
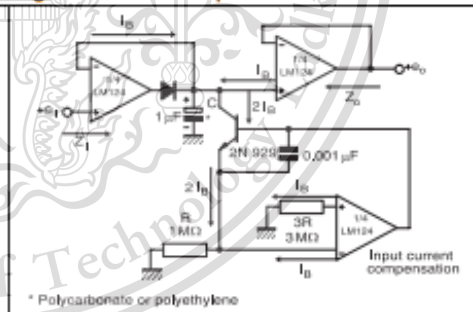


Figure 24. Low drift peak detector



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Figure 25. Active bandpass filter

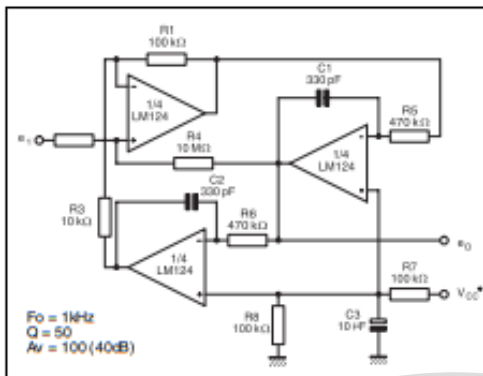


Figure 26. High input Z, DC differential amplifier

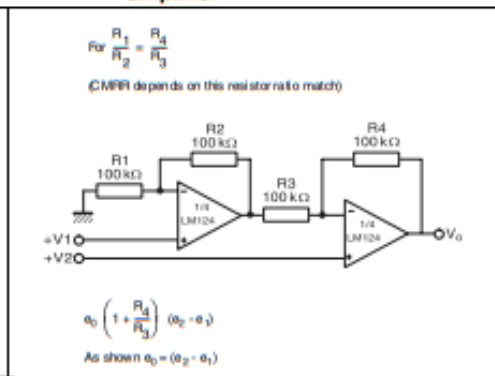
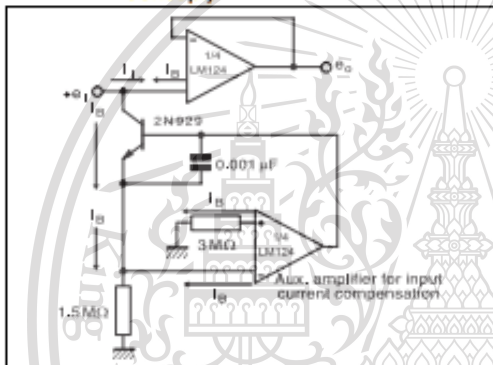


Figure 27. Using symmetrical amplifiers to reduce input current (general concept)



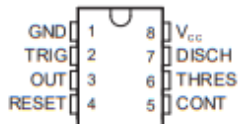
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

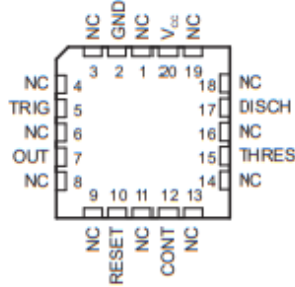
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6 Pin Configuration and Functions

NA555...D OR P PACKAGE  
NE555...D, P, PS, OR PW PACKAGE  
SA555...D OR P PACKAGE  
SE555...D, JG, OR P PACKAGE  
(TOP VIEW)



SE555...FK PACKAGE  
(TOP VIEW)



NC – No internal connector

Pin Functions

NAME	PIN		I/O	DESCRIPTION
	D, P, PS, PW, JG	FK		
CONT	5	12	I/O	Controls comparator thresholds, Outputs 2/3 VCC, allows bypass capacitor connection
DISCH	7	17	O	Open collector output to discharge timing capacitor
GND	1	2	–	Ground
NC		1, 3, 4, 6, 8, 9, 11, 13, 14, 16, 18, 19	–	No internal connection
OUT	3	7	O	High current timer output signal
RESET	4	10	I	Active low reset input forces output and discharge low.
THRES	6	15	I	End of timing input. THRES > CONT sets output low and discharge low
TRIG	2	5	I	Start of timing input. TRIG < 1/2 CONT sets output high and discharge open
V <sub>CC</sub>	8	20	–	Input supply voltage. 4.5 V to 16 V. (SE555 maximum is 18 V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## NA555, NE555, SA555, SE555

SLF80221 – SEPTEMBER 1973 – REVISED SEPTEMBER 2014

www.ti.com

## 7 Specifications

7.1 Absolute Maximum Ratings<sup>(1)</sup>

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

		MIN	MAX	UNIT
V <sub>CC</sub>	Supply voltage <sup>(2)</sup>		1E	V
V <sub>I</sub>	Input voltage		V <sub>CC</sub>	V
I <sub>O</sub>	Output current		±20E	mA
θ <sub>JA</sub>	Package thermal impedance <sup>(3)(4)</sup>	D package	97	°C/W
		P package	8E	
		PS package	9E	
		PW package	1.4E	
θ <sub>JC</sub>	Package thermal impedance <sup>(5)(6)</sup>	FK package	5.81	°C/W
		JG package	14.5	
T <sub>J</sub>	Operating virtual junction temperature		15E	°C
	Case temperature for 50 s		20E	°C
	Lead temperature 1.6 mm (1/16 in) from case for 60 s		30E	°C

(1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions* is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

(2) All voltage values are with respect to GND.

(3) Maximum power dissipation is a function of T<sub>J(max)</sub>, θ<sub>JA</sub>, and T<sub>A</sub>. The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is P<sub>D</sub> = (T<sub>J(max)</sub> - T<sub>A</sub>) / θ<sub>JA</sub>. Operating at the absolute maximum T<sub>J</sub> of 150°C can affect reliability.

(4) The package thermal impedance is calculated in accordance with JEDEC 51-7.

(5) Maximum power dissipation is a function of T<sub>J(max)</sub>, θ<sub>JC</sub>, and T<sub>C</sub>. The maximum allowable power dissipation at any allowable case temperature is P<sub>D</sub> = (T<sub>J(max)</sub> - T<sub>C</sub>) / θ<sub>JC</sub>. Operating at the absolute maximum T<sub>J</sub> of 150°C can affect reliability.

(6) The package thermal impedance is calculated in accordance with MIL-STD-883.

## 7.2 Handling Ratings

PARAMETER	DEFINITION	MIN	MAX	UNIT
T <sub>stg</sub>	Storage temperature range	-65	150	°C

## 7.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

			MIN	MAX	UNIT
V <sub>CC</sub>	Supply voltage	NA555, NE555, SA555	4.5	1E	V
		SE555	4.5	1E	
V <sub>I</sub>	Input voltage	CONT., RESET, THRES., and TRIG		V <sub>CC</sub>	V
I <sub>O</sub>	Output current			±20E	mA
T <sub>A</sub>	Operating free-air temperature	NA555	-40	10E	°C
		NE555	0	7E	
		SA555	-40	8E	
		SE555	-55	12E	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 7.4 Electrical Characteristics

$V_{CC} = 5\text{ V to }15\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE555			NA555 NE555 SA555			UNIT	
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
THRES voltage level	$V_{CC} = 15\text{ V}$	9.4	10	10.6	8.8	10	11.2	V	
	$V_{CC} = 5\text{ V}$	2.7	3.3	4	2.4	3.3	4.2		
THRES current <sup>(1)</sup>			30	250		30	250	nA	
TRIG voltage level	$V_{CC} = 15\text{ V}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	4.5	5	5.6	V
			3		6				
	$V_{CC} = 5\text{ V}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	1.45	1.67	1.9	1.1	1.67	2.2	
TRIG current	TRIG at 0 V		0.5	0.9		0.5	2	$\mu\text{A}$	
RESET voltage level	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		0.3	0.7	1	0.3	0.7	1	V
RESET current	RESET at $V_{CC}$		0.1	0.4		0.1	0.4	mA	
	RESET at 0 V		-0.4	-1		-0.4	-1.5		
DISCH switch off-state current			20	100		20	100	nA	
DISCH switch on-state voltage	$V_{CC} = 5\text{ V}$ , $I_D = 8\text{ mA}$					0.15	0.4	V	
CONT voltage (open circuit)	$V_{CC} = 15\text{ V}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	9.6	10	10.4	9	10	11	V
			9.6		10.4				
	$V_{CC} = 5\text{ V}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	2.9	3.3	3.8	2.6	3.3	4	
Low-level output voltage	$V_{CC} = 15\text{ V}$ , $I_{OL} = 10\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		0.1	0.15		0.1	0.25	V
					0.2		0.4	0.75	
	$V_{CC} = 15\text{ V}$ , $I_{OL} = 50\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		2	2.2		2	2.5	
					2.7				
	$V_{CC} = 15\text{ V}$ , $I_{OL} = 200\text{ mA}$			2.5		2.5			
	$V_{CC} = 5\text{ V}$ , $I_{OL} = 3.5\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			0.35				
				0.1	0.2		0.1	0.35	
	$V_{CC} = 5\text{ V}$ , $I_{OL} = 5\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			0.8				
				0.15	0.25		0.15	0.4	
	High-level output voltage	$V_{CC} = 15\text{ V}$ , $I_{OH} = -100\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	13	13.3		12.75	13.3	
			12						
$V_{CC} = 15\text{ V}$ , $I_{OH} = -200\text{ mA}$		$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		12.5			12.5		
			3	3.3		2.75	3.3		
Supply current	Output low, No load	$V_{CC} = 15\text{ V}$		10	12		10	15	mA
		$V_{CC} = 5\text{ V}$		3	5		3	6	
	Output high, No load	$V_{CC} = 15\text{ V}$		9	10		9	13	
		$V_{CC} = 5\text{ V}$		2	4		2	5	

(1) This parameter influences the maximum value of the timing resistors  $R_A$  and  $R_B$  in the circuit of Figure 12. For example, when  $V_{CC} = 5\text{ V}$ , the maximum value is  $R = R_A + R_B \leq 3.4\text{ M}\Omega$ , and for  $V_{CC} = 15\text{ V}$ , the maximum value is  $10\text{ M}\Omega$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 7.5 Operating Characteristics

$V_{CC} = 5\text{ V to }15\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS <sup>(1)</sup>	SE555			NA555 NE555 SA555			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Initial error of timing interval <sup>(2)</sup>	Each timer, monostable <sup>(3)</sup>	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.5	1.5 <sup>(4)</sup>		1	3	%	
	Each timer, astable <sup>(5)</sup>		1.5		2.25				
Temperature coefficient of timing interval	Each timer, monostable <sup>(3)</sup>	$T_A = \text{MIN to MAX}$	30	100 <sup>(4)</sup>		50		ppm/ °C	
	Each timer, astable <sup>(5)</sup>		90		150				
Supply-voltage sensitivity of timing interval	Each timer, monostable <sup>(3)</sup>	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.05	0.2 <sup>(4)</sup>		0.1	0.5	%/V	
	Each timer, astable <sup>(5)</sup>		0.15		0.3				
Output-pulse rise time		$C_L = 15\text{ pF}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	100	200 <sup>(4)</sup>		100	300	ns	
Output-pulse fall time		$C_L = 15\text{ pF}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	100	200 <sup>(4)</sup>		100	300	ns	

(1) For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

(2) Timing interval error is defined as the difference between the measured value and the average value of a random sample from each process run.

(3) Values specified are for a device in a monostable circuit similar to Figure 9, with the following component values:  $R_A = 2\text{ k}\Omega$  to  $100\text{ k}\Omega$ ,  $C = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ .

(4) On products compliant to MIL-PRF-38535, this parameter is not production tested.

(5) Values specified are for a device in an astable circuit similar to Figure 12, with the following component values:  $R_A = 1\text{ k}\Omega$  to  $100\text{ k}\Omega$ ,  $C = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ .



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

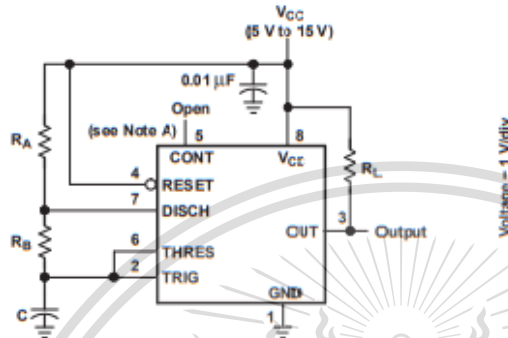
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Feature Description (continued)

8.3.2 A-stable Operation

As shown in Figure 12, adding a second resistor,  $R_B$ , to the circuit of Figure 9 and connecting the trigger input to the threshold input causes the timer to self-trigger and run as a multi-vibrator. The capacitor C charges through  $R_A$  and  $R_B$  and then discharges through  $R_B$  only. Therefore, the duty cycle is controlled by the values of  $R_A$  and  $R_B$ .

This astable connection results in capacitor C charging and discharging between the threshold-voltage level ( $= 0.67 \times V_{CC}$ ) and the trigger-voltage level ( $= 0.33 \times V_{CC}$ ). As in the mono-stable circuit, charge and discharge times (and, therefore, the frequency and duty cycle) are independent of the supply voltage.



Pin numbers shown are for the D, JG, P, PS, and PW packages.  
NOTE A: Decoupling CONT voltage to ground with a capacitor can improve operation. This should be evaluated for individual applications.

Figure 12. Circuit for Astable Operation

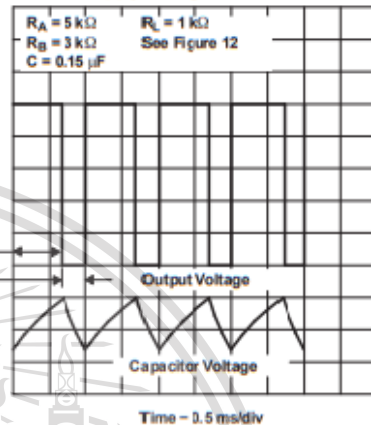


Figure 13. Typical Astable Waveforms

Figure 12 shows typical waveforms generated during astable operation. The output high-level duration  $t_H$  and low-level duration  $t_L$  can be calculated as follows:

$$t_H = 0.693 (R_A + R_B) C \tag{1}$$

$$t_L = 0.693 (R_B) C \tag{2}$$

Other useful relationships are shown below:

$$\text{period} = t_H + t_L = 0.693 (R_A + 2R_B) C \tag{3}$$

$$\text{frequency} \approx \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) C} \tag{4}$$

$$\text{Output driver duty cycle} = \frac{t_L}{t_H + t_L} = \frac{R_B}{R_A + 2R_B} \tag{5}$$

$$\text{Output waveform duty cycle} = \frac{t_H}{t_H + t_L} = 1 - \frac{R_B}{R_A + 2R_B} \tag{6}$$

$$\text{Low-to-high ratio} = \frac{t_L}{t_H} = \frac{R_B}{R_A + R_B} \tag{7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.