

เครื่องคัดแยกมะนาวด้วยอิมเมจโพรเซสซิ่ง

Lime Sorting Machine with Image Processing

นายธนัฐพงษ์ รัมแก้ว	รหัสนักศึกษา 60010420
Mr.Tanutpong Ramkaow	Student ID 60010420
นายสุพรหม อชันะพรกุล	รหัสนักศึกษา 60011099
Mr.Suphom Achanapornkul	Student ID 60011099
นางสาวไอศวรรย์ ศรีนาง	รหัสนักศึกษา 60011203
Miss Isawan Srinang	Student ID 60011203

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

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.

เครื่องคัดแยกมะนาวด้วยอิมเมจโพรเซสซิง

Lime Sorting Machine with Image Processing

โดย

นายธนัฐพงษ์ รามแก้ว รหัสนักศึกษา 60010420

นายสุพรหม อังชนะพรกุล รหัสนักศึกษา 60011099

นางสาวไอศวรรย์ ศรีนาง รหัสนักศึกษา 60011203

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.แสงระวี บัวแก้ว

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

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.

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องคัดแยกมะนาวด้วยอิมเมจโพรเซสซิง

Lime Sorting Machine with Image Processing

ผู้จัดทำ นายธนัฐพงษ์ งามแก้ว รหัสนักศึกษา 60010420

นายสุพรหม อชันนะพรกุล รหัสนักศึกษา 60011099

นางสาวไอศวรรย์ ศรีนาง รหัสนักศึกษา 60011203

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. แสงระวี บัวแก้ว)
อาจารย์ที่ปรึกษา

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.

หัวข้อโครงการ	เครื่องตัดแยกมะนาวด้วยอิมเมจโปรเซสซิ่ง	
นักศึกษา	นายธนัฐพงษ์ งามแก้ว	รหัสนักศึกษา 60010420
	นายสุพรหม อังชนะพรกุล	รหัสนักศึกษา 60011099
	นางสาวไอศวรรย์ ศรีนาง	รหัสนักศึกษา 60011203
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	
ปีการศึกษา	2563	
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	ผศ.ดร.แสงระวี บัวแก้ว	

บทคัดย่อ

โครงการเครื่องตัดแยกมะนาวด้วยอิมเมจโปรเซสซิ่ง ทางคณะผู้จัดทำมีแนวคิดการทำเครื่องตัดแยกมะนาวเพื่อให้สามารถตัดแยกระหว่างมะนาวผลสีเขียวและผลสีอื่น ๆ ด้วยอิมเมจโปรเซสซิ่ง โดยใช้กล้องในการตรวจจับสีของผลมะนาว รวมถึงการนำผลมะนาวสีเขียวมาตัดแยกขนาด โดยใช้รางที่มีความกว้างขึ้นตามความยาว ในการตัดแยกขนาดของผลมะนาวแบ่งออกเป็น 5 ขนาด ตามเส้นผ่านศูนย์กลาง ขนาดที่ 1 เส้นผ่านศูนย์กลาง ระหว่าง 4.8 ถึง 5.1 เซนติเมตร ขนาดที่ 2 เส้นผ่านศูนย์กลาง ระหว่าง 4.5 ถึง 4.8 เซนติเมตร ขนาดที่ 3 เส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 4.2 ถึง 4.5 เซนติเมตร ขนาดที่ 4 เส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 3.9 ถึง 4.2 เซนติเมตร และขนาดที่ 5 เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 3.9 เซนติเมตร

จากที่กล่าวมาข้างต้นทำให้สามารถลดการใช้แรงงานคน รวมถึงทำให้มีความแม่นยำในการตัดแยกผลของมะนาวมากขึ้น นอกจากนี้เครื่องตัดแยกมะนาวยังมีเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นแหล่งจ่ายไฟอีกทางหนึ่งของเครื่อง ทำให้ประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้แหล่งจ่ายไฟเพียงแหล่งเดียว

ผลการทดลองที่ได้ คือ เครื่องตัดแยกมะนาวมีค่าความแม่นยำ 96% ในการแยกสีของผลมะนาว รวมถึงสามารถตัดแยกขนาดของผลมะนาวได้ตามขนาดที่กำหนดไว้ และเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้ตามเป้าหมายที่คาดหวังไว้

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.

Project Title	Lime Sorting Machine with Image Processing	
Student	Mr.Tanutpong Ramkaow	Student ID 60010420
	Mr.Suphom Achanapornkul	Student ID 60011099
	Miss Isawan Srinang	Student ID 60011203
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Electronics Engineering	
Year	2020	
Thesis Advisor	Assistant Professor Seangrawee Buakaew	

ABSTRACT

Project of Lime Sorter with Image Processing. The organizing team had the idea of a lime sorter to be able to sort between green lime and other colored lime by image processing. This work employs a camera to detect the color of the lime including sorting the size of green lime by a rail. The size of the lime sorting was divided into 5 sizes according to the diameter, size 1, diameter 4.8 to 5.1 cm, size 2, diameter between 4.5 to 4.8 cm, size 3, diameter between 4.2 to 4.5 cm, size 4, diameter between 3.9 to 4.2 cm and size 5, diameter less than 3.9 cm.

The benefit of this project is that it can reduce human labor and more accuracy in separating the fruit of limes. The lime sorting machine also has a solar cell as an alternative power source. This makes it more energy-efficient than using a source of power supply.

The lime sorting machine results were obtained with an accuracy of 96% in the color separation of the limes. As well as, it can able to sort the size of the limes according to the specified size and solar cells can produce energy as expected.

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 “เครื่องคัดแยกมะนาวด้วยอิมเมจโปรเซสซิ่ง” สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือ และการให้คำปรึกษาจาก ผศ.ดร.แสงระวี บัวแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยช่วยเหลือทั้งด้านความรู้ และช่วยแก้ปัญหาในระหว่างการทำโครงการ นอกจากนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณคณาจารย์จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ สาขาอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่าน และนายธีรภัทร์ อันทะชัย นักศึกษาปริญญาโทคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาอิเล็กทรอนิกส์ ที่คอยให้ความรู้ และตอบข้อสงสัยของคณะผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณบิดา และมารดาของคณะผู้จัดทำที่คอยสนับสนุนเป็นกำลังใจ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ทุนในการทำโครงการครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำหวังว่าโครงการนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจ และผู้ที่นำผลงานนี้ไปใช้งานจริง



ธนัฐพงษ์
สุพรหม
ไอศวรรย์

รามแก้ว
อัครนะพรกุล
ศรีนาง

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.....	IX
สารบัญรูป.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานการศึกษา.....	1
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	3
2.1 เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ (Image processing).....	3
2.1.1 ข้อดีของเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ.....	3
2.1.2 ข้อเสียของเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ.....	4
2.2 OpenCV.....	4
2.2.1 การใช้ประโยชน์.....	4
2.2.2 ภาษาการเขียนโปรแกรม.....	4
2.2.3 ระบบสี RGB.....	5
2.2.4 ระบบสี HSV.....	8
2.3 เว็บแคม (Webcam).....	9
2.3.1 ประเภทของเว็บแคม.....	9
2.3.2 การเลือกซื้อกล้องเว็บแคม.....	10
2.4 ราสเบอร์รี่พายสี่ (Raspberry Pi 4).....	12
2.4.1 คุณสมบัติ.....	12
2.4.2 ความต้องการทางพลังงาน (Power Requirements).....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนของภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกจำหน่าย หรือแจกจ่ายให้ผู้อื่นได้โดยไม่ได้รับอนุญาต
 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
2.4.3 ขา GPIO ของ Raspberry Pi.....	13
2.4.4 ช่วงอุณหภูมิและความร้อน (Temperature Range and Thermals).....	14
2.5 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell).....	14
2.5.1 หลักการทำงาน.....	14
2.5.2 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญ.....	16
2.5.3 ประเภท.....	17
2.5.4 โซลาร์เซลล์แทรคเกอร์ (Solar Tracker).....	19
2.6 เครื่องควบคุมการชาร์จประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ (Solar Charger).....	19
2.6.1 โซล่าชาร์จเจอร์แบบ PWM (Pulse Width Module).....	19
2.6.2 โซล่าชาร์จเจอร์แบบ MPPT (Maximum Power Point Tracking).....	20
2.7 พาวเวอร์ซัพพลาย (Power Supply).....	20
2.7.1 ลิเนียร์ เรกูเลเตอร์ (Linear regulator).....	21
2.7.2 สวิตชิงพาวเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply).....	22
2.7.3 บัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck converter).....	23
2.8 แบตเตอรี่ (Battery).....	24
2.8.1 หลักการทำงาน.....	25
2.8.2 ประเภท.....	25
2.9 วงจรขับมอเตอร์ (Driver circuit).....	26
2.9.1 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงอย่างง่ายด้วยสวิตช์.....	26
2.9.2 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงอย่างง่ายด้วยรีเลย์.....	26
2.9.3 วงจรขับมอเตอร์แบบ H-Bridge.....	27
2.9.4 ควบคุมความเร็วของมอเตอร์.....	29
2.9.5 วงจรกำเนิดสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมความเร็วมอเตอร์.....	30
2.10 วงจรเปรียบเทียบ (Comparator circuit).....	33
2.10.1 วงจรเปรียบเทียบแบบกลับเฟส (Inverting Comparator).....	33
2.10.2 วงจรเปรียบเทียบแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Comparator).....	34
2.11 รีเลย์ (Relay).....	35
2.11.1 โครงสร้างภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า	35
2.11.2 หลักการทำงานเบื้องต้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีโอกาสนำไปใช้	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีโอกาสนำไปใช้

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
2.12 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล (ADC).....	36
2.12.1 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบ Parallel Comparator.....	38
2.12.2 วงจรการแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบ Ramp	39
2.13 ตัวนับเวลา (Real Time Clock (RTC))	39
2.14 ตัวต้านทานไวแสง (Light Dependent Resistor (LDR)).....	40
2.14.1 หลักการทำงาน.....	40
2.15 พร็อกซิมีตี้เซนเซอร์หรือพร็อกซิมีตี้สวิตช์ (Proximity Sensor or Proximity Switch).....	41
2.15.1 เซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ (Inductive Sensor).....	41
2.15.2 เซนเซอร์ชนิดเก็บประจุ (Capacitive Sensor)	41
2.16 ไจโรสโคปเซ็นเซอร์หรือไจโรเซ็นเซอร์ (Gyroscope sensor or Gyro sensor).....	42
2.16.1 หลักการทำงาน.....	42
2.16.2 ประเภท.....	44
2.17 มอเตอร์ (Motor).....	46
2.17.1 โครงสร้างมอเตอร์.....	46
2.17.2 ประเภทของมอเตอร์.....	48
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	50
3.1 กระบวนการทำงานของเครื่อง.....	50
3.2 การออกแบบ code	51
3.2.1 ส่วนของ Image processing.....	51
3.2.2 ส่วนของ Solar Tracker	52
3.2.3 ส่วนของ Shadow Escaper.....	53
3.3 การออกแบบ Buck converter	54
3.3.1 แบบร่างของวงจร.....	54
3.3.2 การเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจร.....	55
3.4 การออกแบบ Driver circuit.....	55
3.4.1 แบบร่างของวงจร.....	55
3.4.2 การเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจร	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานั้น 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
3.5 การออกแบบวงจร Relay.....	55
3.5.1 แบบร่างของวงจร.....	56
3.5.2 การเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจร	56
3.6 การออกแบบ Comparator circuit.....	56
3.6.1 แบบร่างของวงจร.....	57
3.6.2 การเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจร	57
3.7 การออกแบบวงจร ADC	57
3.7.1 แบบร่างของวงจร.....	58
3.7.2 การเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจร	58
3.8 โครงของเครื่อง.....	58
3.9 การตัดขนาดมะนาวของเครื่อง	59
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	60
4.1 คุณสมบัติของเครื่องตัดแยกมะนาวด้วยอิมเมจโปรเซสซิ่ง.....	60
4.2 ผลการทดลอง	60
4.2.1 การทดลองการตรวจจับสีด้วย Image processing.....	60
4.2.2 การทดลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์	61
4.2.3 การทดลองการหาค่ามุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับแสงสูงสุด ที่เวลาต่าง ๆ.....	63
4.2.4 การทดลองการใช้มอเตอร์เพื่อควบคุมการตกของมะนาว	71
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	77
5.1 สรุปผลการทดลอง	77
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	77
บรรณานุกรม.....	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นจากคำสั่งโปรแกรมตัดแยกมะนาวศึกษาเท่านั้น 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
ภาคผนวก ข คำสั่งโปรแกรมการทำงานของมอเตอร์ในการคัดแยกมะนาว	85
ภาคผนวก ค คำสั่งโปรแกรมโซลาร์เซลล์แทรกเกอร์	88
ภาคผนวก ง คำสั่งโปรแกรมรับข้อมูลค่าความต้านทานไวแสง	104
ภาคผนวก จ ดาต้าชีท	107



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.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการตรวจจับสีด้วย Image processing.....	60
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการหาค่ากำลังสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้.....	61
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการหาค่ามุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับแสงสูงสุด ที่เวลา 09.00 น.....	63
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการหาค่ามุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับแสงสูงสุด ที่เวลา 10.00 น.....	64
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการหาค่ามุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับแสงสูงสุด ที่เวลา 11.00 น.....	65
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการหาค่ามุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับแสงสูงสุด ที่เวลา 12.00 น.....	66
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการหาค่ามุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับแสงสูงสุด ที่เวลา 13.00 น.....	67
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการหาค่ามุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับแสงสูงสุด ที่เวลา 14.00 น.....	68
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองการหาค่ามุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับแสงสูงสุด ที่เวลา 15.00 น.....	69
ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองการหาค่ามุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับแสงสูงสุด ที่เวลา 16.00 น.....	70
ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองการใช้มอเตอร์เพื่อควบคุมการตกของมะนาว 3 ลูก โดยใช้ขนาดที่ 1 (เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดระหว่าง 4.8 ถึง 5.1 เซนติเมตร).....	72
ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองการใช้มอเตอร์เพื่อควบคุมการตกของมะนาว 3 ลูก โดยใช้ขนาดที่ 2 (เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดระหว่าง 4.5 ถึง 4.8 เซนติเมตร).....	73
ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองการใช้มอเตอร์เพื่อควบคุมการตกของมะนาว 3 ลูก โดยใช้ขนาดที่ 3 (เส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 4.2 ถึง 4.5 เซนติเมตร).....	74
ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองการใช้มอเตอร์เพื่อควบคุมการตกของมะนาว 3 ลูก โดยใช้ขนาดที่ 4 (เส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 3.9 ถึง 4.2 เซนติเมตร).....	75

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.

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองการใช้มอเตอร์เพื่อควบคุมการตกของมะนาว 3 ลูก โดยใช้ขนาดที่ 5 (เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 3.9 เซนติเมตร).....	76



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.

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 ตารางสี RGB 1	5
รูปที่ 2.2 ตารางสี RGB 2	5
รูปที่ 2.3 ตารางสี RGB 3	6
รูปที่ 2.4 ตารางสี RGB 4	6
รูปที่ 2.5 ตารางสี RGB 5	7
รูปที่ 2.6 ตารางสี RGB 6	7
รูปที่ 2.7 ตารางสี RGB 7	8
รูปที่ 2.8 ตารางสี HSV	8
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างเว็บแคม 1	10
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างเว็บแคม 2	11
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างเว็บแคม 3	11
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างเว็บแคม 4	11
รูปที่ 2.13 GPIO pins ของ Raspberry Pi	13
รูปที่ 2.14 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	14
รูปที่ 2.15 โครงสร้างภายในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 1	15
รูปที่ 2.16 โครงสร้างภายในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 2	15
รูปที่ 2.17 โครงสร้างภายในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 3	16
รูปที่ 2.18 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว	17
รูปที่ 2.19 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม	18
รูปที่ 2.20 เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง	18
รูปที่ 2.21 การทำงานของ Solar Tracker	19
รูปที่ 2.22 โซล่าชาร์จเจอร์แบบ PWM (Pulse Width Module)	20
รูปที่ 2.23 โซล่าชาร์จเจอร์แบบ MPPT (Maximum Power Point Tracking)	20
รูปที่ 2.24 Linear regulator diagram	21
รูปที่ 2.25 Linear regulator ทั่วไป	21
รูปที่ 2.26 Switching power supply	22
รูปที่ 2.27 แอสตริงเจอร์ Bulk Converter	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น 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.

สารบัญรูปรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.28 Buck converter schematic	24
รูปที่ 2.29 แผนภาพเปรียบเทียบพลังงานกับขนาดและน้ำหนักของเซลล์ทุติยภูมิชนิดต่าง ๆ	25
รูปที่ 2.30 หลักการของวงจรขับมอเตอร์ไฟตรงที่ใช้สวิตช์ 4 ตัว	26
รูปที่ 2.31 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงที่ใช้รีเลย์ 2 ตัวแทนสวิตช์ 4 ตัว	27
รูปที่ 2.32 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงแบบ H-Bridge ใช้ทรานซิสเตอร์ 4 ตัว ทำงานแทนสวิตช์และรีเลย์	28
รูปที่ 2.33 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงโดยใช้ไอซี L293D	28
รูปที่ 2.34 การเปรียบเทียบค่าแรงดันที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ PWM	29
รูปที่ 2.35 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงด้วยสัญญาณ PWM อย่างง่าย	30
รูปที่ 2.36 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟตรงที่ใช้ไอซีออปแอมป์	31
รูปที่ 2.37 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟตรงที่สามารถปรับค่าด้วยตัวเซเคิล ได้เต็มย่าน 0 -100%	32
รูปที่ 2.38 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟตรงที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการสร้างสัญญาณ PWM	32
รูปที่ 2.39 วงจรเปรียบเทียบอย่างง่าย	33
รูปที่ 2.40 วงจรเปรียบเทียบแบบกลับเฟส	34
รูปที่ 2.41 วงจรเปรียบเทียบแบบไม่กลับเฟส	35
รูปที่ 2.42 โครงสร้างภายในของรีเลย์	36
รูปที่ 2.43 การทำงานของในรีเลย์	36
รูปที่ 2.44 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมที่ประกอบด้วยวง ADC ตัวประมวลผล และวงจร DAC	38
รูปที่ 2.45 แสดงวงจร Parallel Comparator ADC	38
รูปที่ 2.46 แสดงวงจรพื้นฐานขนาด 4 บิต ADC	39
รูปที่ 2.47 โมดูลตัวนับเวลา DS3231	39
รูปที่ 2.48 ตัวต้านทานไวแสง (LDR)	40
รูปที่ 2.49 สัญลักษณ์ของตัวต้านทานไวแสง	40
รูปที่ 2.50 เซ็นเซอร์แบบเหนี่ยวนำ (Inductive Sensor)	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น 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.

สารบัญรูปรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.51 เซนเซอร์ชนิดเก็บประจุ (Capacitive Sensor)	42
รูปที่ 2.52 โครงสร้างตัวที่คู่ (double-T-structure) ในสภาวะปกติไม่มีแรงกระทำ.....	43
รูปที่ 2.53 แรงหมุนจากภายนอกที่มากระทำในแนวตั้งของเซ็นเซอร์.....	43
รูปที่ 2.54 การสั่นสะเทือนในแกนตรวจจับ.....	44
รูปที่ 2.55 โครงสร้างตัวที่คู่.....	44
รูปที่ 2.56 โครงสร้างส้อมเสียง.....	45
รูปที่ 2.57 โครงสร้างส้อมเสียงรูปตัวเอช.....	45
รูปที่ 2.58 โครงสร้างทรงปริซึม.....	45
รูปที่ 2.59 โครงสร้างแบบเป็นลำเสา.....	46
รูปที่ 2.60 โรเตอร์ (Rotor).....	47
รูปที่ 2.61 สเตเตอร์ (Stator).....	47
รูปที่ 2.62 ขดลวด (Windings).....	48
รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของเครื่อง.....	50
รูปที่ 3.2 แผนภาพการทำงานของ code ในส่วนของ Image processing.....	51
รูปที่ 3.3 แผนภาพการทำงานของ code ในส่วนของ Solar Tracker.....	52
รูปที่ 3.4 แผนภาพการทำงานของ code ในส่วนของ Shadow Escaper.....	53
รูปที่ 3.5 วงจร Buck converter จาก datasheet.....	54
รูปที่ 3.6 แบบร่างวงจร Buck converter.....	54
รูปที่ 3.7 แบบร่างวงจร Driver circuit.....	55
รูปที่ 3.8 แบบร่างวงจร Relay.....	56
รูปที่ 3.9 แบบร่างวงจร Comparator circuit.....	57
รูปที่ 3.10 แบบร่างวงจร ADC.....	58
รูปที่ 3.11 โครงเครื่อง Side view.....	58
รูปที่ 3.12 โครงเครื่อง Front view.....	59
รูปที่ 3.13 โครงเครื่อง Top view.....	59
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแม่นยำ (%) กับจำนวนครั้งในการทดลอง.....	61
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (A) กับ แรงดันไฟฟ้า (V).....	62
รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (W) กับ แรงดันไฟฟ้า (V).....	62

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) กับมุม (องศา) ที่เวลา 09.00 น.	64
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) กับมุม (องศา) ที่เวลา 10.00 น.	65
รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) กับมุม (องศา) ที่เวลา 11.00 น.	66
รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) กับมุม (องศา) ที่เวลา 12.00 น.	67
รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) กับมุม (องศา) ที่เวลา 13.00 น.	68
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) กับมุม (องศา) ที่เวลา 14.00 น.	69
รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) กับมุม (องศา) ที่เวลา 15.00 น.	70
รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) กับมุม (องศา) ที่เวลา 16.00 น.	71



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.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศแห่งเกษตรกรรม ประชากรส่วนมากเป็นเกษตรกร โดยพืชเกษตรกรรมที่ใกล้ตัวของเรามากที่สุด คือ มะนาว ในการคัดแยกมะนาวนั้นเกษตรกรจะต้องคัดแยกสีและขนาดของมะนาวเพื่อนำไปขายในตลาด ซึ่งต้องใช้เวลานาน และมีความผิดพลาดค่อนข้างสูง เนื่องจากใช้มนุษย์เป็นผู้คัดแยก คณะผู้จัดทำจึงได้เล็งเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ จึงมีแนวคิดที่จะสร้างเครื่องที่สามารถคัดแยกมะนาวที่มีสี และขนาดแตกต่างกัน โดยเครื่องคัดแยกของเราจะต้องใช้พลังงานได้อย่างประหยัด จึงมีแนวคิดในการใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองเพื่อประหยัดพลังงาน

1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในการทำโครงงานครั้งนี้จัดทำขึ้นเพื่อ

- 1.2.1 เป็นการลงมือปฏิบัติ และศึกษาค้นคว้าการทำงานของ Image processing
- 1.2.2 เป็นการลงมือปฏิบัติ และศึกษาค้นคว้าการทำงานของ Raspberry Pi
- 1.2.3 เป็นการลงมือปฏิบัติ และศึกษาค้นคว้าการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์
- 1.2.4 บูรณาการความรู้ที่ได้จากการเรียนการสอน และได้รับความรู้จากการศึกษาของนักศึกษาเพื่อนำมาใช้ปฏิบัติงาน
- 1.2.5 เป็นการศึกษา และสร้างเครื่องที่สามารถคัดแยกมะนาวได้

1.3 สมมติฐานการศึกษา

สามารถเข้าใจถึงหลักการทำงานของ Image processing การทำงานของ Raspberry Pi หลักการของเซลล์แสงอาทิตย์ และสามารถนำเอาความรู้ที่ได้จากการเรียนการสอน และความรู้ที่ได้จากศึกษาเอง นำมาใช้ในการปฏิบัติจริงเพื่อทำให้เกิดชิ้นงาน

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

ทำการศึกษา และออกแบบเครื่องคัดแยกมะนาวอัตโนมัติ

- 1.4.1 เครื่องสามารถแยกสีของมะนาวได้อย่างแม่นยำ
- 1.4.2 เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานสำรอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 เรียนรู้เกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา python
- 1.5.2 เรียนรู้การใช้งาน raspberry pi
- 1.5.3 เรียนรู้ และศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างทางแมคคานิค
- 1.5.4 เรียนรู้เกี่ยวกับการออกแบบวงจรต่าง ๆ เช่น วงจร Buck converter วงจร Driver circuit วงจร Relay วงจร comparator และวงจร ADC



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 เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ (Image processing)

การประมวลผลภาพ (Image Processing) หมายถึง การนำภาพมาประมวลผล หรือคิดคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เราต้องการทั้งในเชิงคุณภาพ และปริมาณ

โดยมีขั้นตอนต่าง ๆ ที่สำคัญ คือ การทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ การแบ่งส่วนของวัตถุที่เราสนใจออกมาจากภาพ เพื่อนำภาพวัตถุที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาด รูปร่าง และทิศทางการเคลื่อนของวัตถุในภาพ จากนั้นเราสามารถนำข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ไปวิเคราะห์ และสร้างเป็นระบบ เพื่อใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ เช่น ระบบรู้จำลายนิ้วมือเพื่อตรวจสอบว่าภาพลายนิ้วมือที่มีอยู่นั้นเป็นของผู้ใด ระบบตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ระบบคัดแยกเกรดหรือคุณภาพของพืชผลทางการเกษตร ระบบอ่านรหัสไปรษณีย์อัตโนมัติ เพื่อคัดแยกปลายทางของจดหมายที่มีจำนวนมากในแต่ละวันโดยใช้ภาพถ่ายของรหัสไปรษณีย์ที่อยู่บนซอง ระบบเก็บข้อมูลรถที่เข้า และออกอาคารโดยใช้ภาพถ่ายของป้ายทะเบียนรถเพื่อประโยชน์ในด้านความปลอดภัย ระบบดูแล และตรวจสอบสภาพการจราจรบนท้องถนนโดยการนับจำนวนรถบนท้องถนนในภาพถ่ายด้วยกล้องวงจรปิดในแต่ละช่วงเวลา ระบบรู้จำใบหน้าเพื่อเฝ้าระวังผู้ก่อการร้ายในอาคารสถานที่สำคัญ ๆ หรือในเขตคนเข้าเมือง เป็นต้น จะเห็นได้ว่าระบบเหล่านี้จำเป็นต้องมีการประมวลผลภาพจำนวนมาก และเป็นกระบวนการที่ต้องทำซ้ำ ๆ กันในรูปแบบเดิมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งงานในลักษณะเหล่านี้ หากให้มนุษย์วิเคราะห์เอง มักต้องใช้เวลามาก และใช้แรงงานสูง อีกทั้งหากจำเป็นต้องวิเคราะห์ภาพเป็นจำนวนมาก ผู้วิเคราะห์ภาพเองอาจเกิดอาการล้า ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นคอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เหล่านี้แทนมนุษย์ อีกทั้ง เป็นที่ทราบโดยทั่วกันว่า คอมพิวเตอร์มีความสามารถในการคำนวณ และประมวลผลข้อมูลจำนวนมากในเวลาอันสั้น จึงมีประโยชน์อย่างมากในการเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลภาพ และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาพในระบบต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น

2.1.1 ข้อดีของเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ

1. ความแม่นยำสูง
2. ความสามารถในการทำซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 3.3 ความทนทานต่อความเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิ และอายุการใช้งาน 4.3 ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และเผยแพร่ไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.1.2 ข้อเสียของเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ

1. ความเร็วในการทำงานต่ำ
2. ราคาสูง
3. เวลาที่ใช้ในการออกแบบมาก
4. ปัญหาของความยาวการเก็บข้อมูลที่จำกัด

2.2 OpenCV

OpenCV คือ ไลบรารีฟังก์ชันการเขียนโปรแกรมการแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์แบบเรียลไทม์ OpenCV (Open source Computer Vision) เป็นไลบรารีฟังก์ชันการเขียนโปรแกรม (Library of Programming Functions) โดยส่วนใหญ่จะมุ่งเข้าไปที่การแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์แบบเรียลไทม์ (Real-Time Computer Vision) เดิมทีแล้วถูกพัฒนาโดย Intel แต่ภายหลังได้รับการสนับสนุนโดย Willow Garage ตามมาด้วย Itseez (ซึ่งต่อมาถูกเข้าซื้อโดย Intel) OpenCV เป็นไลบรารีแบบข้ามแพลตฟอร์ม (Cross-Platform) และใช้งานได้ฟรีภายใต้ลิขสิทธิ์ของ BSD แบบโอเพ่นซอร์ส (Open-Source BSD License)

OpenCV ยังสนับสนุนเฟรมเวิร์กการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning Frameworks) ได้แก่ TensorFlow, Torch/PyTorch และ Caffe

2.2.1 การใช้ประโยชน์

1. ชุดเครื่องมือคุณลักษณะ 2 มิติและ 3 มิติ (2D and 3D feature toolkits)
2. การประมาณระยะในขณะเคลื่อนที่ (Egomotion Estimation)
3. ระบบรู้จำใบหน้า (Facial recognition system)
4. การจดจำท่าทาง (Gesture recognition)
5. ปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ (Human-Computer interaction; HCI)

2.2.2 ภาษาการเขียนโปรแกรม

OpenCV ถูกเขียนขึ้นด้วยภาษา C++ มีการรองรับ Python, Java และ MATLAB/OCTAVE—API สำหรับอินเทอร์เน็ตเหล่านี้สามารถพบได้ในเอกสารออนไลน์ ซึ่งมีการรวมไว้หลากหลายภาษา เช่น C#, Perl, Ch, Haskell และ Ruby ได้รับการพัฒนาเพื่อส่งเสริมการนำมาใช้งานโดยผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้น

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.

2.2.3 ระบบสี RGB

ในการแสดงผลและแสดงสีในคอมพิวเตอร์นั้นโดยทั่วไปเราจะคุ้นเคยกับระบบ RGB คือ แดง, เขียว, น้ำเงิน ในขณะที่ opencv จะสลับลำดับของสีแดงกับน้ำเงิน กลายเป็น BGR ซึ่งก็คือ น้ำเงิน, เขียว, แดง

Color	Color Name	Hex Code #RRGGBB	Decimal Code R,G,B
	maroon	#800000	(128,0,0)
	dark red	#8B0000	(139,0,0)
	brown	#A52A2A	(165,42,42)
	firebrick	#B22222	(178,34,34)
	crimson	#DC143C	(220,20,60)
	red	#FF0000	(255,0,0)
	tomato	#FF6347	(255,99,71)
	coral	#FF7F50	(255,127,80)
	indian red	#CD5C5C	(205,92,92)
	light coral	#F08080	(240,128,128)
	dark salmon	#E9967A	(233,150,122)
	salmon	#FA8072	(250,128,114)
	light salmon	#FFA07A	(255,160,122)
	orange red	#FF4500	(255,69,0)
	dark orange	#FF8C00	(255,140,0)
	orange	#FFA500	(255,165,0)
	gold	#FFD700	(255,215,0)
	dark golden rod	#B8860B	(184,134,11)
	golden rod	#DAA520	(218,165,32)
	pale golden rod	#EEE8AA	(238,232,170)

รูปที่ 2.1 ตารางสี RGB 1

(ที่มา : https://www.rapidtables.com/web/color/RGB_Color.html)





















Color	Color Name	Hex Code #RRGGBB	Decimal Code R,G,B
	pale golden rod	#EEE8AA	(238,232,170)
	dark khaki	#BDB76B	(189,183,107)
	khaki	#F0E68C	(240,230,140)
	olive	#808000	(128,128,0)
	yellow	#FFFF00	(255,255,0)
	yellow green	#9ACD32	(154,205,50)
	dark olive green	#556B2F	(85,107,47)
	olive drab	#6B8E23	(107,142,35)
	lawn green	#7CFC00	(124,252,0)
	chartreuse	#7FFF00	(127,255,0)
	green yellow	#ADFF2F	(173,255,47)
	dark green	#006400	(0,100,0)
	green	#008000	(0,128,0)
	forest green	#228B22	(34,139,34)
	lime	#00FF00	(0,255,0)
	lime green	#32CD32	(50,205,50)
	light green	#90EE90	(144,238,144)
	pale green	#98FB98	(152,251,152)
	dark sea green	#8FBC8F	(143,188,143)
	medium spring green	#00FA9A	(0,250,154)

รูปที่ 2.2 ตารางสี RGB 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ 2.2 ตารางสี RGB 2 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น (ที่มา : https://www.rapidtables.com/web/color/RGB_Color.html)

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

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

Color	Color Name	Hex Code #RRGGBB	Decimal Code R,G,B
	spring green	#00FF7F	(0,255,127)
	sea green	#2E8B57	(46,139,87)
	medium aqua marine	#66CDAA	(102,205,170)
	medium sea green	#3CB371	(60,179,113)
	light sea green	#20B2AA	(32,178,170)
	dark slate gray	#2F4F4F	(47,79,79)
	teal	#008080	(0,128,128)
	dark cyan	#008B8B	(0,139,139)
	aqua	#00FFFF	(0,255,255)
	cyan	#00FFFF	(0,255,255)
	light cyan	#E0FFFF	(224,255,255)
	dark turquoise	#00CED1	(0,206,209)
	turquoise	#40E0D0	(64,224,208)
	medium turquoise	#48D1CC	(72,209,204)
	pale turquoise	#AFEEEE	(175,238,238)
	aqua marine	#7FFFD4	(127,255,212)
	powder blue	#B0E0E6	(176,224,230)
	cadet blue	#5F9EA0	(95,158,160)
	steel blue	#4682B4	(70,130,180)
	corn flower blue	#6495ED	(100,149,237)

รูปที่ 2.3 ตารางสี RGB 3

(ที่มา : https://www.rapidtables.com/web/color/RGB_Color.html)

Color	Color Name	Hex Code #RRGGBB	Decimal Code R,G,B
	deep sky blue	#00BFFF	(0,191,255)
	dodger blue	#1E90FF	(30,144,255)
	light blue	#ADD8E6	(173,216,230)
	sky blue	#87CEEB	(135,206,235)
	light sky blue	#87CEFA	(135,206,250)
	midnight blue	#191970	(25,25,112)
	navy	#000080	(0,0,128)
	dark blue	#00008B	(0,0,139)
	medium blue	#0000CD	(0,0,205)
	blue	#0000FF	(0,0,255)
	royal blue	#4169E1	(65,105,225)
	blue violet	#8A2BE2	(138,43,226)
	indigo	#4B0082	(75,0,130)
	dark slate blue	#483D8B	(72,61,139)
	slate blue	#6A5ACD	(106,90,205)
	medium slate blue	#7B68EE	(123,104,238)
	medium purple	#9370DB	(147,112,219)
	dark magenta	#8B008B	(139,0,139)
	dark violet	#9400D3	(148,0,211)
	dark orchid	#9932CC	(153,50,204)

รูปที่ 2.4 ตารางสี RGB 4

(ที่มา : https://www.rapidtables.com/web/color/RGB_Color.html)

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.

Color	Color Name	Hex Code #RRGGBB	Decimal Code R,G,B
	medium orchid	#BA55D3	(186,85,211)
	purple	#800080	(128,0,128)
	thistle	#D8BFD8	(216,191,216)
	plum	#DDA0DD	(221,160,221)
	violet	#EE82EE	(238,130,238)
	magenta / fuchsia	#FF00FF	(255,0,255)
	orchid	#DA70D6	(218,112,214)
	medium violet red	#C71585	(199,21,133)
	pale violet red	#DB7093	(219,112,147)
	deep pink	#FF1493	(255,20,147)
	hot pink	#FF69B4	(255,105,180)
	light pink	#FFB6C1	(255,182,193)
	pink	#FFC0CB	(255,192,203)
	antique white	#FAEBD7	(250,235,215)
	beige	#F5F5DC	(245,245,220)
	bisque	#FFE4C4	(255,228,196)
	blanched almond	#FFEBCD	(255,235,205)
	wheat	#F5DEB3	(245,222,179)
	corn silk	#FFF8DC	(255,248,220)
	lemon chiffon	#FFFACD	(255,250,205)

รูปที่ 2.5 ตารางสี RGB 5

(ที่มา : https://www.rapidtables.com/web/color/RGB_Color.html)

Color	Color Name	Hex Code #RRGGBB	Decimal Code R,G,B
	light golden rod yellow	#FADFAD	(250,250,210)
	light yellow	#FFFFE0	(255,255,224)
	saddle brown	#8B4513	(139,69,19)
	sienna	#A0522D	(160,82,45)
	chocolate	#D2691E	(210,105,30)
	peru	#CD853F	(205,133,63)
	sandy brown	#F4A460	(244,164,96)
	burly wood	#DEB887	(222,184,135)
	tan	#D2B48C	(210,180,140)
	rosy brown	#BC8F8F	(188,143,143)
	moccasin	#FFE4B5	(255,228,181)
	navajo white	#FFDEAD	(255,222,173)
	peach puff	#FFDAB9	(255,218,185)
	misty rose	#FFE4E1	(255,228,225)
	lavender blush	#FFF0F5	(255,240,245)
	linen	#FAF0E6	(250,240,230)
	old lace	#FDF5E6	(253,245,230)
	papaya whip	#FFEFD5	(255,239,213)
	sea shell	#FFF5EE	(255,245,238)
	mint cream	#F5FFFA	(245,255,250)

รูปที่ 2.6 ตารางสี RGB 6

(ที่มา : https://www.rapidtables.com/web/color/RGB_Color.html)

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.

Color	Color Name	Hex Code #RRGGBB	Decimal Code R,G,B
	slate gray	#708090	(112,128,144)
	light slate gray	#778899	(119,136,153)
	light steel blue	#B0C4DE	(176,196,222)
	lavender	#E6E6FA	(230,230,250)
	floral white	#FFFAF0	(255,250,240)
	alice blue	#F0F8FF	(240,248,255)
	ghost white	#F8F8FF	(248,248,255)
	honeydew	#F0FFF0	(240,255,240)
	ivory	#FFFFF0	(255,255,240)
	azure	#F0FFFF	(240,255,255)
	snow	#FFFAFA	(255,250,250)
	black	#000000	(0,0,0)
	dim gray / dim grey	#696969	(105,105,105)
	gray / grey	#808080	(128,128,128)
	dark gray / dark grey	#A9A9A9	(169,169,169)
	silver	#C0C0C0	(192,192,192)
	light gray / light grey	#D3D3D3	(211,211,211)
	gainsboro	#DCDCDC	(220,220,220)
	white smoke	#F5F5F5	(245,245,245)
	white	#FFFFFF	(255,255,255)

รูปที่ 2.7 ตารางสี RGB 7

(ที่มา : https://www.rapidtables.com/web/color/RGB_Color.html)

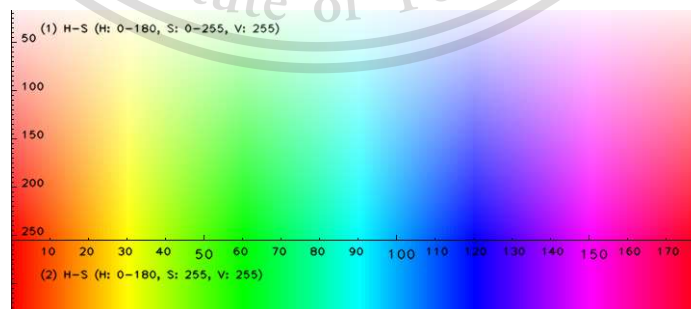
2.2.4 ระบบสี HSV

ในขณะที่ระบบ RGB หรือ BGR ใช้เลข 3 ตัวแทน 3 สีที่เป็นส่วนผสม ระบบสี HSV เองก็ประกอบไปด้วยค่า 3 ค่า แต่ไม่ได้แทนค่าสีต่าง ๆ แต่ 3 ค่านั้นมีความหมายดังนี้

H (hue) ค่าเฉดสี มีค่าตั้งแต่ 0-179 เป็นค่าที่บอกว่ายูอยู่ในช่วงไหน สีแดงเป็น 0 สีเขียวเป็น 60 สีน้ำเงินเป็น 120

S (saturation) ค่าความอิ่มตัว หรือความสดของสี มีค่าตั้งแต่ 0-255 ยิ่งค่าสูงสียิ่งสด

V (value) ค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0-255 ยิ่งสูงยิ่งสว่าง



รูปที่ 2.8 ตารางสี HSV

(ที่มา: <https://stackoverflow.com/questions/10948589/choosing-the-correct-upper-and-lower-hsv-boundaries-for-color-detection-withcv>)

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.

2.3 เว็บแคม (Webcam)

เว็บแคม (Webcam) หรือ ชื่อเรียกเต็ม ๆ ว่า Web Camera แต่ในบางครั้งก็มักมีคนเรียกว่า Video Camera หรือ Video Conference ก็แล้วแต่ความเข้าใจแต่ละคน เว็บแคมเป็นอุปกรณ์อินพุตที่สามารถจับภาพเคลื่อนไหวของเราไปปรากฏในหน้าจอคอมพิวเตอร์ และสามารถส่งภาพเคลื่อนไหวนี้ผ่านระบบเครือข่ายเพื่อให้คนอื่นอีกฟากหนึ่งสามารถเห็นตัวเราเคลื่อนไหว ได้เหมือนอยู่ต่อหน้า ถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีประโยชน์อีกตัวหนึ่ง และเริ่มมีความจำเป็นมากขึ้นเรื่อย ๆ

2.3.1 ประเภทของเว็บแคม

อุปกรณ์อย่างกล้องเว็บแคมไม่ใช่ว่าจะเหมือนกันหมดทุกตัว แต่ละรุ่น แต่ละยี่ห้อจะมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปตามแต่ผู้ผลิตจะคิดค้นและออกแบบมาให้เหมาะสมกับการใช้งานอย่างไร ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของเว็บแคมได้ดังนี้

1. แบ่งตามรูปทรงของกล้อง

โดยปกติกล้องเว็บแคมส่วนใหญ่จะเป็นทรงกลม เนื่องจากเป็นรูปทรงต้นแบบที่ทำกันมานานและก็ทำให้รู้ได้ทันทีว่านี่คืออุปกรณ์ เว็บแคม แต่ไม่จำเป็นที่กล้องเว็บแคมต้องเป็นทรงกลมเสมอไป เพราะบางครั้ง กล้องเว็บแคม ก็จำเป็นต้องมีรูปทรงอื่น ๆ เพื่อให้เข้ากับการใช้งานในบางลักษณะ ดังนั้น การเลือกรูปทรงให้เหมาะสมนั้น ก็จะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของเรามากกว่า

2. แบ่งตามประเภทของขาตั้งกล้อง

โดยส่วนใหญ่ลักษณะของฐานตั้งกล้องจะเป็นแบบตั้งพื้นเสียส่วนใหญ่ โดยแบบแรกคือแบบมีขาสำหรับวางบนพื้น อาจจะมีขา 3 ขา หรือ 4 ขา ก็แล้วแต่การออกแบบ แต่ฐานแบบ 3 ขาจะมี ปัญหาตรงที่ วางแล้วยังไม่มั่นคงดีนัก และไม่สามารถหมุนตัวกล้องได้สะดวกนัก ดังนั้น ถ้าต้องการเว็บแคมที่มีฐานมั่นคงและสามารถหมุนได้ง่าย ๆ ก็ต้องเลือกแบบฐานทรงกลมขนาดใหญ่ ซึ่งแบบนี้จะมีข้อดีตรงที่ วางได้มั่นคงและยังสามารถหมุนแกน ของตัวกล้องได้ไม่จำเป็นต้องยกตัวกล้องหมุนไปมาให้เสียเวลา

3. แบ่งตามชนิดของเซ็นเซอร์

สำหรับเซ็นเซอร์ที่กล้องเว็บแคมใช้นั้นจะมีหลัก ๆ อยู่ 2 ชนิด คือ CCD และ CMOS แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในตอนนี้ก็คือ CMOS เนื่องจากเหตุผลหลาย ๆ ประการและตัวเซ็นเซอร์แบบ CMOS เองก็สามารถแบ่งออกได้ถึง 2 ชนิดด้วยกันคือ CLF Color CMOS Censor ที่มีความละเอียดของพิกเซลแค่ 110,000 พิกเซล (367 x 291) เท่านั้น ในขณะที่ VGA Color CMOS Censor ให้ความละเอียดที่สูงกว่าที่ 350,000พิกเซล (655 x 493) ดังนั้น เวลาเลือกซื้อกล้องเว็บแคมก็ดูได้ทั้งความละเอียดที่ระบุไว้ หรือชนิดของ CMOS สำหรับเซ็นเซอร์แบบ CCD จะเป็นเซ็นเซอร์ที่นิยมใช้ในกล้องดิจิตอล เพราะให้ความละเอียดที่สูงกว่าและก็มี noise ไม่มากเหมือนกับเซ็นเซอร์แบบ CMOS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น 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.

4. แบ่งตามรูปแบบการเชื่อมต่อ

สำหรับการเชื่อมต่อของกล้องเว็บแคมในปัจจุบันส่วนใหญ่ จะเป็นอินเทอร์เน็ตเพชแบบ USB แทบทั้งสิ้นโดย USB ที่ใช้ก็เป็นเวอร์ชัน 1.1 เสียส่วนมาก แต่ก็จะมีเวอร์ชัน 2.0 ในบางรุ่น กล้องเว็บแคมแบบไร้สายจะใช้การเชื่อมต่อในแบบ WiFi หรือ Wireless lan นั่นเองทำให้สามารถเคลื่อนย้ายไปได้ทุกที่โดยไม่ต้องคำนึงถึงสายให้วุ่นวาย แต่เว็บแคมที่เป็น Wireless ตอนนี้ก็ยังมีราคาค่อนข้างแพงอยู่

2.3.2 การเลือกซื้อกล้องเว็บแคม

ขั้นตอนแรกเราต้องรู้ว่าจะนำกล้องเว็บแคม มาใช้งานกับเครื่องคอมพิวเตอร์ประเภทใด ถ้าเป็นโน้ตบุ๊กก็ต้องเป็นกล้องเว็บแคมขนาดเล็กกะทัดรัด และสามารถติดตั้งบนจอแอลซีดีของโน้ตบุ๊กได้ แต่ถ้าใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์เดสก์ทอปก็แนะนำรุ่นที่มีขาตั้งที่มั่นคงสามารถวางบนจอมอนิเตอร์

เมื่อเลือกรูปแบบของกล้องได้แล้ว ก็มาเลือกตามคุณสมบัติภายในของกล้องเว็บแคม โดยเลือกจากชนิดของเซ็นเซอร์ที่ใช้กับภาพ โดยจะมีให้เลือกเป็น CMOS ในแบบ CIF และ VGA ซึ่งแนะนำว่าเป็นแบบ VGA จะให้ความละเอียดที่สูงกว่า หรือถ้าต้องการความละเอียดที่มากกว่านี้ ก็เลือกเซ็นเซอร์แบบ CCD จะดีกว่าแต่ทั้งนี้ราคาก็จะเพิ่มสูงขึ้น ตามชนิดของเซ็นเซอร์ และความละเอียดของตัวกล้องเว็บแคม



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างเว็บแคม 1

(ที่มา : <http://thailandgaming.com/web/ลจitechเปิดตัวกล้องวี/3456>)

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 2.10 ตัวอย่างเว็บแคม 2

(ที่มา : <https://bestreview.asia/best-webcams-pc/>)

รูปที่ 2.11 ตัวอย่างเว็บแคม 3

(ที่มา : <https://bestreview.asia/best-webcams-pc/>)

รูปที่ 2.12 ตัวอย่างเว็บแคม 4

(ที่มา : <https://sites.google.com/site/computerserviceno08/home/camera>)

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.

2.4 ราชเบอร์รี่พายสี่ (Raspberry Pi 4)

เป็นบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Single-Board Computer หรือ SBC) ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Raspberry Pi Foundation มีคุณสมบัติเด่น คือ ติดต่อ และความคมชัดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ ซึ่ง Raspberry Pi 4 นี้เป็นคอมพิวเตอร์ Raspberry Pi รุ่นใหม่รุ่นแรกที่รองรับแรม (ram) มากขึ้นและมีประสิทธิภาพของ CPU GPU และ I/O ดีกว่ารุ่นเก่า ๆ ที่ผ่านมา

2.4.1 คุณสมบัติ

1. ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

- Quad core 64-bit ARM-Cortex A72 ทำงานที่ 1.5 กิกะเฮิรตซ์ (GHz)
- 1 2 และ 4 กิกะไบต์ (Gigabyte) LPDDR4 RAM
- ตัวถอดรหัสฮาร์ดแวร์ H.265 (HEVC) และ H.264
- VideoCore VI 3D Graphics
- รองรับเอาต์พุตการแสดงผล HDMI

2. อินเทอร์เฟซ (Interfaces)

- ระบบเชื่อมโยงไร้สาย 802.11 b/g/n/ac
- บลูทูธ 5.0 ที่มี BLE
- SD Card
- พอร์ต micro-HDMI
- พอร์ต USB2 และ USB3
- พอร์ต Gigabit Ethernet
- พอร์ต camera และ แสตรังผล
- พอร์ต GPIO

3. ซอฟต์แวร์ (Software)

- ชุดคำสั่ง ARMv8
- Linux

4. เป็นคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถในการสื่อสาร และควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ เช่น สามารถรับรู้สถานะของเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ว่ากำลังทำงานอยู่ หรือไม่ และยังสามารถสั่งงานให้เครื่องใช้ไฟฟ้าทำงาน หรือหยุดทำงานก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

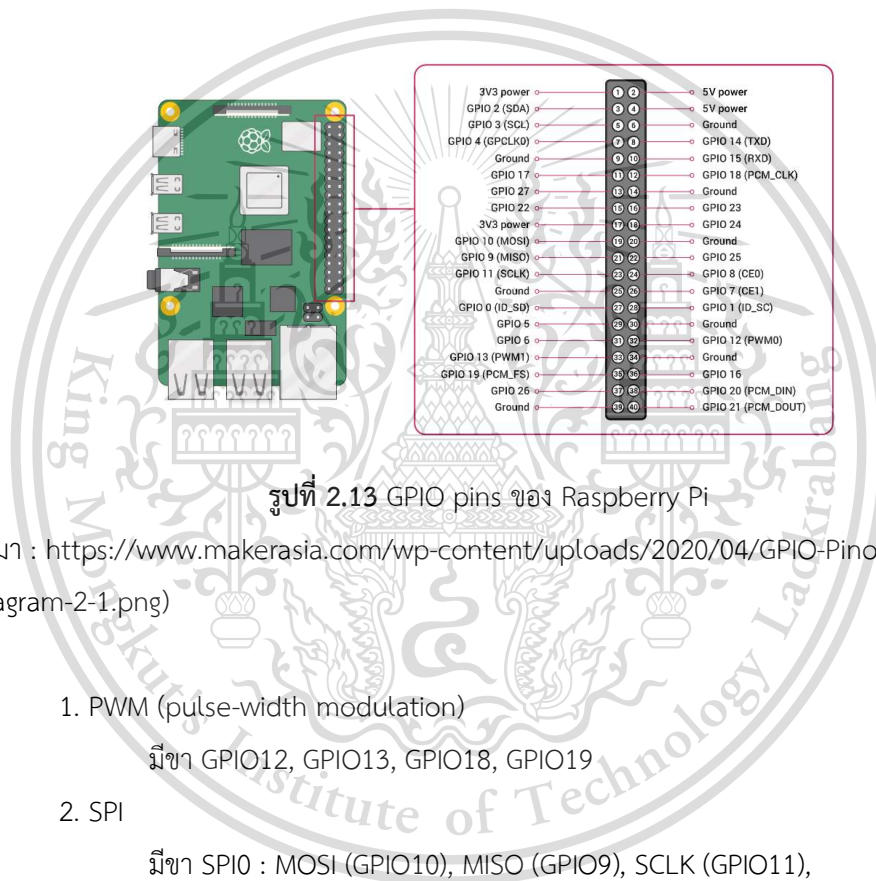
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

2.4.2 ความต้องการทางพลังงาน (Power Requirements)

Raspberry Pi 4 ต้องการแหล่งจ่ายไฟที่สามารถจ่ายไฟ 5 โวลต์ ที่ 3 แอมป์ หรือ หากอุปกรณ์ที่ต่อกับ Raspberry Pi 4 ใช้พลังงานน้อยกว่า 500 มิลลิแอมป์ สามารถใช้แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ ที่ 2.5 แอมป์ แทนได้

2.4.3 ขา GPIO ของ Raspberry Pi



รูปที่ 2.13 GPIO pins ของ Raspberry Pi

(ที่มา : <https://www.makerasia.com/wp-content/uploads/2020/04/GPIO-Pinout-Diagram-2-1.png>)

1. PWM (pulse-width modulation)

มีขา GPIO12, GPIO13, GPIO18, GPIO19

2. SPI

มีขา SPI0 : MOSI (GPIO10), MISO (GPIO9), SCLK (GPIO11),

CE0 (GPIO8), CE1 (GPIO7)

SPI1 : MOSI (GPIO20); MISO (GPIO19), SCLK (GPIO21),

CE0 (GPIO18), CE1 (GPIO17), CE2 (GPIO16)

3. I2C

มีขา Data : (GPIO2), Clock (GPIO3)

EEPROM Data : (GPIO0), EEPROM Clock (GPIO1)

4. Serial

มีขา TX (GPIO14), RX (GPIO15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตอย่างอภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.4.4 ช่วงอุณหภูมิและความร้อน (Temperature Range and Thermals)

ช่วงอุณหภูมิการทำงานที่แนะนำคือ 0 ถึง 50 องศาเซลเซียส เพื่อลดเอาต์พุตความร้อนเมื่อไม่ทำงานหรืออยู่ภายใต้แสงไฟ Raspberry Pi 4 จะลดความเร็วสัญญาณนาฬิกาและแรงดันไฟฟ้าของ CPU ในระหว่างการโหลดที่หนักขึ้นความเร็วและแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น ตัวควบคุมภายในจะเร่งความเร็วและแรงดันของ CPU กลับเพื่อให้แน่ใจว่าอุณหภูมิของ CPU ไม่เกิน 85 องศาเซลเซียส

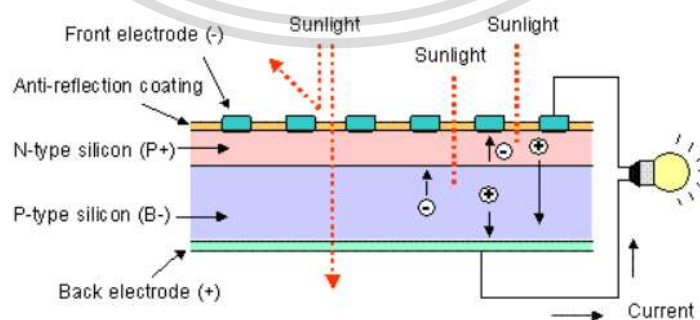
2.5 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดพิเศษ ที่มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซลาร์เซลล์นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) ซึ่งเราสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทันที รวมทั้งสามารถเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อใช้งานภายหลังได้

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานสะอาดและไม่สร้างมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อมและไม่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Co2) เหมือนกับแหล่งพลังงานอื่น ๆ เช่น น้ำมัน, โรงไฟฟ้าที่มีกระบวนการผลิตจากก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) เป็นพลังงาน ที่ใช้แล้วไม่มีวันหมดไป

2.5.1 หลักการทำงาน

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าง่ายๆได้ดังแสดงในรูปที่ 2.14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ **รูปที่ 2.14** การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น (ที่มา : <https://sites.google.com/site/rebirthgroupen/hlak-kar-thangan>) 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.

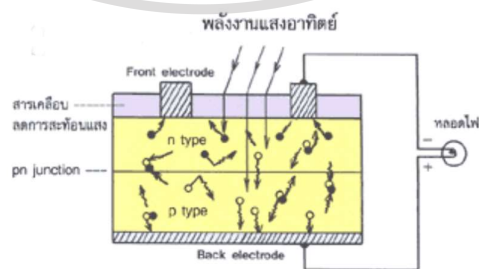
n - type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปปิ้งด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ p - type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปปิ้งด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงาน จากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย p - n junction จึงทำให้เกิดเป็น “เซลล์แสงอาทิตย์” ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n - type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p - type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮลดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 โครงสร้างภายในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 1

(ที่มา : <https://sites.google.com/site/rebirthgroupen/hlak-kar-thangan>)

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n - type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้นดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 โครงสร้างภายในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้เฉพาะที่โรงเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

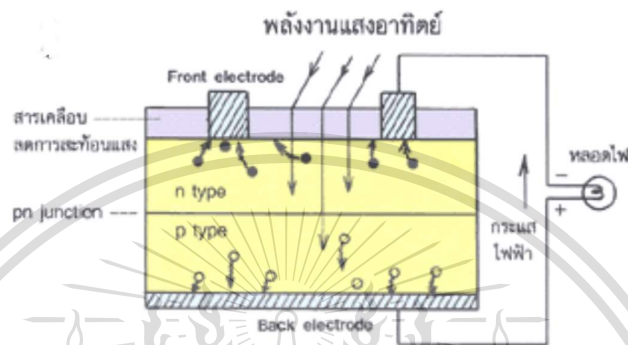
(ที่มา : <https://sites.google.com/site/rebirthgroupen/hlak-kar-thangan>)

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.

จากนั้นอิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจร ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กันดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 โครงสร้างภายในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 3 (ที่มา : <https://sites.google.com/site/rebirthgroupen/hlak-kar-thangan>)

2.5.2 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญ

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

1. ความเข้มของแสง กระแสไฟจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้ม ของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซ็นติเมตร หรือ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศา กับพื้นโลกความเข้มของแสง จะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซ็นติเมตร หรือ 750 วัตต์ต่อตารางเมตร กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

2. อุณหภูมิ กระแสไฟจะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุก ๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้า

ลดลง 0.5 % และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เช่น กำหนดไว้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้า

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.

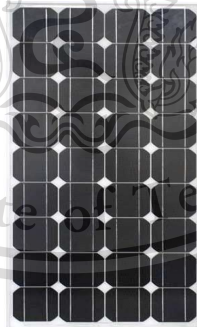
ที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ V_{OC}) ที่ 21 โวลต์ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะเท่ากับ 21 โวลต์ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส เช่น อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงเซลล์อาทิตย์ลดลง 2.5 % ($0.5 \% \times 5$ องศาเซลเซียส) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ V_{OC} จะลดลง 0.525 โวลต์ ($21 \text{ โวลต์} \times 2.5 \%$) เหลือเพียง 20.475 โวลต์

2.5.3 ประเภท

เซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารกึ่งตัวนำซิลิคอน (Silicon Semiconductor) และเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารกึ่งตัวนำแบบผสม (Compound Semiconductor) ทว่าประเภทที่มักจะพบเห็นกันทั่วไปและนิยมใช้กันเป็นส่วนใหญ่คือ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารกึ่งตัวนำซิลิคอน ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารกึ่งตัวนำซิลิคอนที่นิยมใช้มีทั้งหมด 3 ชนิดดังนี้

1. เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว

เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว โมโนคริสตัลไลน์ หรือซิงเกิลคริสตัลไลน์ (Mono Crystalline/Single Crystalline) มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสวางเรียงกันในแนวราบคล้ายการปูกระเบื้อง โดยมีเส้นสีเงินทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้า ซึ่งถือเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแรกที่ถูกสร้างขึ้น แม้จะมีราคาแพงแต่ก็มีประสิทธิภาพสูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่น



รูปที่ 2.18 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว

(ที่มา : <https://www.jmtpneumatic.com/article/4/ชนิดของแผงโซลาร์เซลล์>)

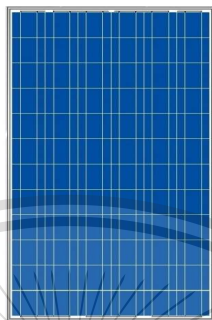
2. เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม

เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม โพลีคริสตัลไลน์ หรือมัลติคริสตัลไลน์ (Poly Crystalline/Multi Crystalline) มีลักษณะเป็นสีน้ำเงิน พร้อมคริสตัลสี่เหลี่ยม เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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.

สร้างขึ้นต่อยอดจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว ทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และลดการใช้วัตถุดิบ Mono-Silicon ลง ก่อนที่จะนำมาตัดเป็นแผ่นอีกที



รูปที่ 2.19 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม

(ที่มา : <https://www.jmtpneumatic.com/article/4/ชนิดของแผงโซลาร์เซลล์>)

3. เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง

เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางซิลิคอน (Thin film) หรืออะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous) มีลักษณะเป็นสีดำ อาจจะมีเส้นราง ๆ เป็นบางอุปกรณ์ เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ค่อยได้รับความนิยมเท่าไร ส่วนมากจะใช้ในฟาร์มขนาดใหญ่ หรือไม่ก็นำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็กต่าง ๆ เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกา



รูปที่ 2.20 เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง

(ที่มา : <https://www.irradiance.co.th/th/newsdetail-18-แผงโซลาร์เซลล์%20มีกี่ชนิด%20ต่างกันอย่างไร>)

ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารกึ่งตัวนำแบบผสม หรือทำมาจากสารประกอบอื่น ๆ (Compound Semiconductor) เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ค่อยนิยมใช้ เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้มีประสิทธิภาพสูงมาก อย่างน้อยก็ 25% ขึ้นไป จึงทำให้มีราคาแพง ฉะนั้นการใช้งานหลักจึงเป็นบนอวกาศ ดาวเทียม และระบบรวมแสง อีกทั้งยังหมาะกับพื้นที่ที่มีขนาดจำกัดและมีปัญหาการดำเนินงานเรื่องารรองรับน้ำหนักที่ตัดแปลงเนื้อหา 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.

2.5.4 โซลาร์เซลล์แทรคเกอร์ (Solar Tracker)

เป็นอุปกรณ์ทางกลไฟฟ้าสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้ติดตามแสงจากดวงอาทิตย์ โดยใช้กับงานที่ต้องการความแม่นยำสูง เพื่อให้ได้ความเข้มแสงสูงสุด เมื่อได้ความเข้มแสงสูงสุดส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด

โดยประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 4 ตัว คือ 1.เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cell) 2.ตัวชาร์จ (Charger) 3.แบตเตอรี่ (Battery) และ 4.ตัวแทรคเกอร์ (Tracker)

มีหลักการทำงานโดยเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงอาทิตย์ แสงอาทิตย์จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า จากนั้นพลังงานไฟฟ้าจะถูกส่งต่อมายังตัวชาร์จเพื่อนำไปชาร์จพลังงานที่ตัวแบตเตอรี่ ในขณะที่ตัวแทรคเกอร์ก็จะปรับตำแหน่งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ได้รับความเข้มแสงสูงสุด



รูปที่ 2.21 การทำงานของ Solar Tracker

(ที่มา : https://www.researchgate.net/publication/224243299_A_microcontroller-based_multi-function_solar_tracking_system)

2.6 เครื่องควบคุมการชาร์จประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ (Solar Charger)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการชาร์จไฟจากแผงโซลาร์เซลล์ลงแบตเตอรี่ จ่ายกระแสไฟเมื่อแรงดันแบตเตอรี่อยู่ในระดับต่ำตามที่แต่ละยี่ห้อตั้งค่ามา และทำการตัดการจ่ายกระแสไฟเพื่อไปประจุยังแบตเตอรี่เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่อยู่ในระดับที่สูงตามที่ได้กำหนดไว้เหมือนกัน เพื่อป้องกันการชาร์จเกินค่าที่กำหนด ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายและทำให้อายุการใช้งานสั้นลง ชาร์จเจอร์นั้นมีหลายแบบขึ้นอยู่กับประเภทและลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้วเครื่องควบคุมการชาร์จประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1.PWM (Pulse Width Module) และ 2.MPPT (Max Power Point Tracking)

2.6.1 โซลาร์ชาร์จเจอร์แบบ PWM (Pulse Width Module)

จะมีหลักการทำงานก็คือ ควบคุมความถี่ของคลื่นไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ให้คงที่ด้วยระบบดิจิทัล เพื่อให้ประหยัดพลังงาน โดยมีขนาดตั้งแต่ 10 ถึง 60 แอมป์ และแรงดันอินพุตตั้งแต่ 12 ถึง 96 โวลต์



รูปที่ 2.22 โซล่าชาร์จเจอร์แบบ PWM (Pulse Width Module)

(ที่มา : <https://www.thaisolarsystem.com/product/10/wincong-โซล่า-ชาร์จเจอร์-solar-charger-30a-12v-24v-auto-switch>)

2.6.2 โซล่าชาร์จเจอร์แบบ MPPT (Maximum Power Point Tracking)

หลักการทำงานคือ มีระบบไมโครโพรเซสเซอร์ หรือตัวจับสัญญาณ คอยควบคุมดูแลสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซล่าเซลล์ เปรียบเทียบกับแรงดันกระแสในแบตเตอรี่ และเลือกสัญญาณที่สูงที่สุดจากแผงเพื่อประจุลงในแบตเตอรี่ให้เต็มตลอดเวลา



รูปที่ 2.23 โซล่าชาร์จเจอร์แบบ MPPT (Maximum Power Point Tracking)

(ที่มา : <https://www.thaisolarsystem.com/product/202/fungpusan-bluesolar-mppt-100-30-12-24-volt>)

2.7 พาวเวอร์ซัพพลาย (Power Supply)

เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับตัวอุปกรณ์ที่เราใช้งาน ซึ่งก็มีหลากหลายประเภท มีแบบที่เป็น linear Power Supply ก็คือพวก Transformer กับ Non-linear Power Supply หรือ Switching Power Supply โดยเฉพาะ Switching Power Supply เป็นอุปกรณ์ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้า

ให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ โดยจะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เป็นแรงดันไฟฟ้า
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

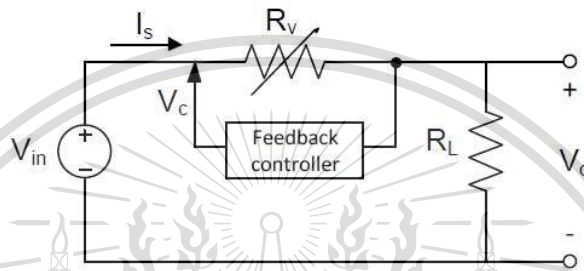
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

กระแสตรง (DC) เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้ฟังก์ชันในอุปกรณ์ทำงานได้

2.7.1 ลิเนียร์ เรกูเลเตอร์ (Linear regulator)

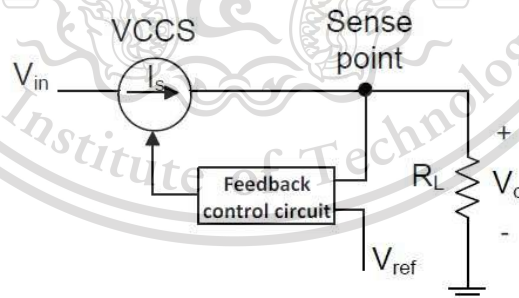
Linear regulator เป็นประเภทของแหล่งจ่ายไฟซึ่งแทนที่การใช้แบบสวิตช์ การปรับแรงดันเอาต์พุตในรูปแบบที่ 2.24 แสดงแผนภาพบล็อกของ Linear ที่มีการควบคุมโดยสองส่วนหลัก



รูปที่ 2.24 Linear regulator diagram

(ที่มา : <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:546843/FULLTEXT01.pdf>)

ในรูปที่ 2.25 ส่วนควบคุมคือ VCCS (กระแสควบคุมแรงดันไฟฟ้า) ซึ่งให้แรงดันเอาต์พุตและควบคุมแหล่งจ่ายกระแส รักษาแรงดันเอาต์พุตให้เท่ากับแรงดันอ้างอิง (Voltage reference)



รูปที่ 2.25 Linear regulator ทั่วไป

(ที่มา : <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:546843/FULLTEXT01.pdf>)

ซึ่งแตกต่างจากโหมดแหล่งจ่ายไฟ switching โหมด linear regulator จะมีการทำงานแบบต่อเนื่อง

แต่มีประสิทธิภาพน้อยกว่าแบบการควบคุม switching และให้ความร้อนมากกว่าแบบ SMPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครู/ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ตัวอย่างเช่น สมมติว่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและกระแสของ linear regulator ตามลำดับ 5 โวลต์ และไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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.

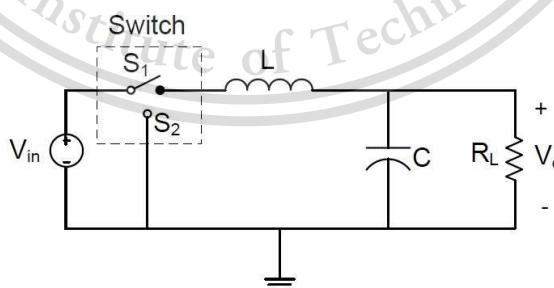
5 แอมป์ และเราต้องการแรงดันเอาต์พุต 2 โวลต์ linear regulator จะมีการกระจายพลังงานความร้อน 3 โวลต์ คูณ 5 แอมป์ เท่ากับ 15 วัตต์ ที่ความต้านทานปรับค่าได้เพื่อควบคุมแรงดันเอาต์พุตและด้วยเหตุนี้จึงต้องมี heat – sink ที่ใหญ่เพื่อลดความร้อนในวงจร เมื่อใดก็ตามที่ความแตกต่างระหว่างไฟฟ้าอินพุตและเอาต์พุตมีค่ามากขึ้น จะมีการสร้างความร้อนที่มากขึ้นตามจะต้องมี heat – sink ระบายความร้อนที่ใหญ่ขึ้นและจะมีราคาแพงขึ้น

2.7.2 สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply)

แหล่งจ่ายไฟแบบ Switching เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Switching – mode DC to DC Converter คือเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าประเภทหนึ่งที่ใช้การสวิตซ์ (มักอยู่ในรูปของทรานซิสเตอร์) และการสูญเสียกำลังงานต่ำโดยประกอบด้วย เช่นตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุและส่วนควบคุมแรงดันเอาต์พุต วงจร SMPS ประกอบด้วยสองส่วนหลักคือส่วนกำลังงาน (Power stage) และส่วนควบคุม (Control stage) จะเป็นการควบคุมแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตให้คงที่ ในขณะที่ส่วนพลังงานไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงมากมาย

มักจะใช้ MOSFET เป็นสวิตซ์ไฟฟ้าใน SMPS เพื่อรักษาแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ สวิตซ์จะไม่ทำงานแบบต่อเนื่องและการทำงานภายใต้เงื่อนไขเฉพาะ ดังนั้นจึงมีประโยชน์สำหรับการรักษาวงจร ลดการสูญเสียประสิทธิภาพจากความร้อนและลดการสูญเสียพลังงานในวงจร

โครงสร้างของ SMPS สามารถใช้ในขณะที่มีการกระเพื่อมของแรงดันอินพุต แหล่งจ่ายไฟโหมด switching มักประกอบด้วยตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำที่เอาต์พุตเนื่องจากการสลับการทำงานของ MOSFET จะทำให้เกิดแรงดันกระเพื่อม หากไม่มีการกรองแรงดันการกระเพื่อมอาจจะไปปรากฏที่เอาต์พุต ทั้งแรงดันขาออกและกระแส รูปที่ 2.26 แสดงแผนภาพบล็อกโหมดแหล่งจ่ายไฟสลับ



รูปที่ 2.26 Switching power supply

(ที่มา : <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:546843/FULLTEXT01.pdf>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

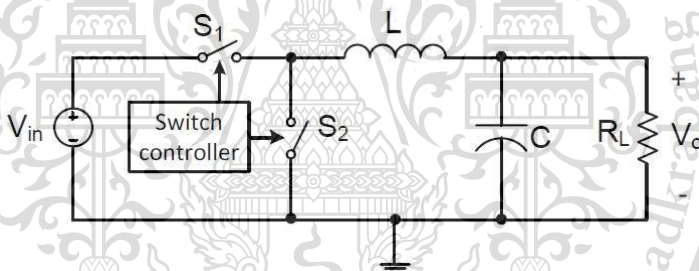
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

2.7.3 บัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck converter)

เป็นแหล่งจ่ายไฟโหมด Switching ที่ใช้สำหรับการลดระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (stepping - down) โดยมีส่วน Switch controller block และ power block 2 ส่วนหลักของวงจร Bulk converter มันสามารถทำงานในโหมดต่อเนื่อง (Continuous Conduction Mode=CCM) หรือในโหมดการนำไฟฟ้าไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Conduction Mode=DCM) ขึ้นอยู่กับรูปแบบของการนำกระแส Voltage Mode Control (VMC) และ Current Mode Control (CMC) 2 แบบ วิธีการหลักในการควบคุม switch ทั้งสองวิธีนี้สามารถใช้ได้กับ เทคนิค PWM (pulse width modulation) และ เทคนิค PFM (pulse frequency modulation) PFM มีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อกระแสไหลต่ำมาก

ในรูปที่ 2.27 แสดงวงจร DC/DC converter ที่รวม switch controller block , high side power switch S_1 , low side power switch S_2 , inductor L , output capacitor , and load resistance R_L



รูปที่ 2.27 แสดงวงจร Bulk Converter

(ที่มา : <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:546843/FULLTEXT01.pdf>)

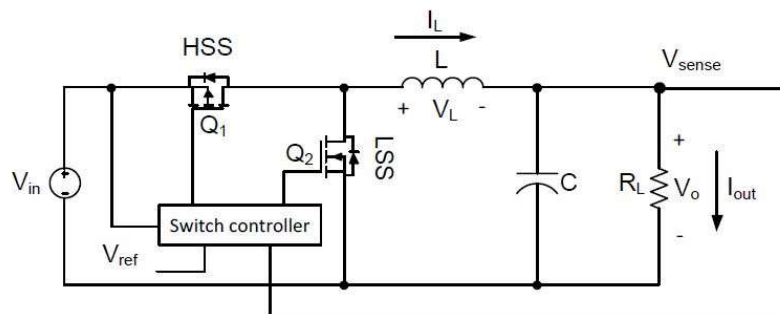
มักนิยมใช้ P-channel MOSFET (PMOS) เพื่อใช้เป็น high side switch แทน NMOS เพราะถ้าใช้ NMOS เป็น high side switch ทั้งสองgate และแหล่งกำเนิดนั้นเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้างั้นมันจึงยากที่จะขับgate

ไดโอด (ซึ่งใช้ใน Bulk converter) มักจะถูกแทนที่ด้วย N channel MOSFET (NMOS) เป็น low side switch เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการสูญเสียพลังงานของตัว Converter เนื่องจากแรงดันตกคร่อมใน MOSFET เปรียบเทียบกับไดโอดมีค่าต่ำกว่า (แม้ว่า Schottky Diode จะมีแรงตกคร่อม forward bias ต่ำ) การสูญเสียพลังงานทั้งหมดใน DC/DC buck converter จะลดลงอย่างมากจากการเปลี่ยนรูปแบบ ในรูปที่ 2.28 อธิบายแบบจำลองแผนผังของ Bulk converter

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.



รูปที่ 2.28 Buck converter schematic

(ที่มา : <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:546843/FULLTEXT01.pdf>)

ขั้นตอน :

เมื่อ high side switch (Q1) เปิดจะมีการกำหนดเส้นทางสำหรับแรงดันไฟฟ้าอินพุต DC เพื่อชาร์จตัวเหนี่ยวนำและป้อนให้กับโหลดเอาต์พุต การชาร์จจะดำเนินต่อไปจนแรงดันเอาต์พุต มีค่าถึงแรงดันอ้างอิง (Voltage reference) จากนั้นส่วนควบคุมจะปิดสวิตช์ของ high side switch เพื่อให้แรงดันเอาต์พุต ไกลกับแรงดันอ้างอิง ดังนั้นจึงไม่มีเส้นทางที่จะไปชาร์จตัวเหนี่ยวนำ ตัวเหนี่ยวนำจึงเริ่มคายกระแสออกมาโดยตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงชั่วแรงดันไฟฟ้าและกระแสไหลในทิศทางในทิศทางเดียวกัน low side switch (Q2) ซึ่งเปิดใช้งานโดยส่วนควบคุมการทำงานของสวิตช์ แล้วตัวเก็บประจุจะการทำงานร่วมโดยการคายประจุมาช่วยกระแสจากตัวเหนี่ยวนำไปยังโหลดเอาต์พุต จนกระทั่งแรงดันเอาต์พุตถึงแรงดันอ้างอิงจากการควบคุมจะมีการเปลี่ยนการทำงานของ switch อีกครั้ง

กระบวนการนี้สามารถทำการดูเอาต์พุตของวงจรโดยใช้ลูปป้อนกลับเชิงลบหรือที่เรียกว่า negative feedback ซึ่งจะมีรอบการทำงานตามสมการ 2.1 เพื่อควบคุมการเปิดและปิดของ MOSFET ภายใต้ความถี่สวิตช์ frequency switch (f_{sw})

$$D = \frac{t_{on}}{T} = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = f_{sw} \cdot t_{on} \quad (2.1)$$

โดยที่ t_{on} คือช่วงเวลาที่มี MOSFET Q1 ทำงาน (On - State) , t_{off} คือช่วงเวลาที่มี MOSFET Q1 ปิดการทำงาน (Off - State) , T คือคาบการทำงาน และ f_{sw} คือความถี่การสวิตช์

2.8 แบตเตอรี่ (Battery)

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานเพื่อไว้ใช้ต่อไป ถือเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงาน

เคมีให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยการใช้เซลล์กัลวานิก (galvanic cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 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.

ขั้วลบพร้อมกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte solution) แบตเตอรี่อาจประกอบด้วย เซลล์กัลวานิกเพียง 1 เซลล์ หรือมากกว่าก็ได้

2.8.1 หลักการทำงาน

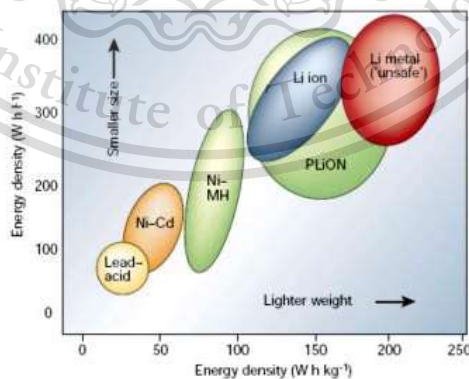
ขั้วบวก (anode) ของแบตเตอรี่จะผลิตอิเล็กตรอนไปยังวงจรภายนอกที่แบตเตอรี่ เชื่อมต่ออยู่ ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง จากนั้นอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วลบ (cathode) ซึ่งจะทำให้อิทธิพลไฟฟ้าครบวงจร

2.8.2 ประเภท

สามารถแบ่งแบตเตอรี่แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1.เซลล์ปฐมภูมิ และ 2.เซลล์ทุติยภูมิ

1. เซลล์ปฐมภูมิ คือ แบตเตอรี่ใช้แล้วทิ้งหรือใช้ได้ครั้งเดียวเนื่องจากไฟฟ้าที่ได้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารเคมีเมื่อสารเคมีเปลี่ยนแปลงหมดไฟฟ้าก็จะหมดจากแบตเตอรี่ แบตเตอรี่เหล่านี้เหมาะสำหรับใช้ในอุปกรณ์ขนาดเล็กและสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ใช้ไฟน้อย หรือในที่ที่ห่างไกลจากพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ

2. เซลล์ทุติยภูมิ คือ แบตเตอรี่ที่สามารถชาร์จประจุไฟฟ้าใหม่ได้หลังจากพลังงานหมดเนื่องจากสารเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถทำให้กลับไปอยู่ในสภาพเดิมได้โดยการชาร์จประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ชาร์จประจุไฟฟ้านี้เรียกว่า ชาร์จเจอร์ หรือ รีชาร์จเจอร์ โดยเซลล์ทุติยภูมินี้เป็นที่นิยมใช้ในการทำงานมากกว่า ซึ่งเซลล์ทุติยภูมิที่นิยมใช้งานมีอยู่ 4 ชนิด คือ ลิเทียมไอออน (Lithium-ion(Li-ion)) นิกเกิลแคดเมียม (Nickel Cadmium(Ni-Cd)) นิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Nickel-Metal Hydride(Ni-MH)) และตะกั่ว-กรด (Lead-Acid)



รูปที่ 2.29 แผนภาพเปรียบเทียบพลังงานกับขนาดและน้ำหนักของเซลล์ทุติยภูมิชนิดต่าง ๆ

(ที่มา : <https://www.semanticscholar.org/paper/Structured-Silicon-Macropore-as-Anode-in-Lithium-Sun/1bc542262801335a3c68a60ea7849f4bf36bb795>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

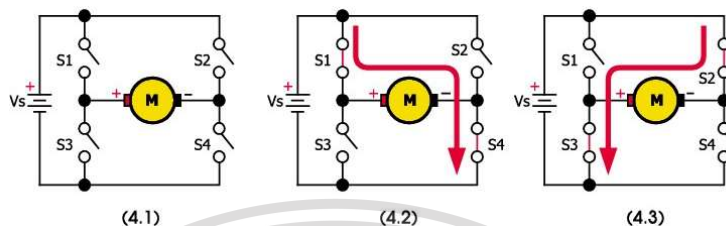
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.9 วงจรขับมอเตอร์ (Driver circuit)

2.9.1 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงอย่างง่ายด้วยสวิตช์



รูปที่ 2.30 หลักการของวงจรขับมอเตอร์ไฟตรงที่ใช้สวิตช์ 4 ตัว

(ที่มา : <https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน/>)

แสดงวงจรในรูปที่ 2.30 ประกอบไปด้วย สวิตช์ 4 ตัว นั่นก็คือ S1, S2, S3 และ S4 ซึ่งในรูปตัวอย่างมอเตอร์จะเคลื่อนที่ทิศทางใด ขึ้นอยู่กับการต่อสวิตช์ทั้ง 4 ตัว ในสถานะเริ่มต้น ยังไม่มีการเปิดสวิตช์ที่ตัวใดเลย มอเตอร์จึงไม่ทำงาน

เมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา (CW : Clock wise) ให้ทำการต่อวงจร S1 และ S4 ตามรูปที่ 2.30 (4.2) จะเห็นว่า แรงดัน +V จากแหล่งจ่ายไฟจะถูกต่อเข้ากับขั้วบวกของมอเตอร์ และขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟต่อเข้ากับขั้วลบของมอเตอร์ ทำให้เกิดกระแสไหลผ่านมอเตอร์ มอเตอร์จึงหมุนตามเข็มนาฬิกา

เมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนกลับทิศทางหรือหมุนทวนเข็มนาฬิกา (CCW : Counterclockwise) ให้ทำการต่อสวิตช์ S2 และ S3 แทน ในขณะที่ S1 และ S4 เปิดวงจร มอเตอร์ก็จะได้รับแรงดันกลับขั้ว ทำให้กระแสไหลในทิศทางตรงข้าม มอเตอร์จึงหมุนกลับทิศทางกับในตอนแรก

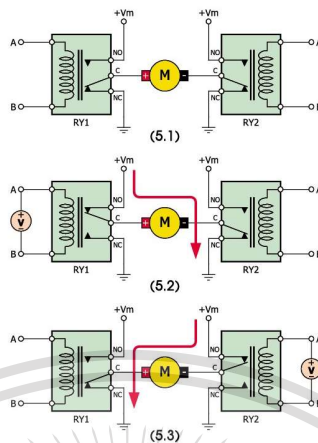
2.9.2 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงอย่างง่ายด้วยรีเลย์

จากวงจรในรูปที่ 2.30 เปลี่ยนสวิตช์เป็นรีเลย์ 2 ตัว คือ RY1 และ RY2 โดยขั้วบวก (+) ของมอเตอร์ต่อกับขาร่วมของรีเลย์ RY1 และขั้วลบ (-) ของมอเตอร์ต่อกับขาร่วมของรีเลย์ RY2 ส่วนที่ขา NO ของทั้งรีเลย์ RY1 และ RY2 ต่ออยู่กับขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟ +Vm ที่จะจ่ายให้มอเตอร์ และขา NC ของทั้งรีเลย์ RY1 และ RY2 ต่อลงกราวด์ จะได้เป็นวงจรขับมอเตอร์ตามรูปที่ 2.31 (5.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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 2.31 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงที่ใช้รีเลย์ 2 ตัวแทนสวิทช์ 4 ตัว

(ที่มา : <https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน/>)

เมื่อจ่ายไฟเพื่อกระตุ้นให้รีเลย์ RY1 ทำงาน จะทำให้หน้าสัมผัสที่ขา NO และ C ของรีเลย์ RY1 ต่อกัน เกิดกระแสไฟฟ้าไหลจาก +Vm เข้าสู่ขั้วบวก (+) ของมอเตอร์ผ่านไปยังขาร่วม (C) ของรีเลย์ RY2 ต่อกับขา NC และลงกราวด์ ทำให้ครบวงจร มอเตอร์จึงทำงานและหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกา ดังในรูปที่ 2.31 (5.2)

พิจารณารูปที่ 2.31 (5.3) เมื่อจ่ายไฟเพื่อกระตุ้นให้รีเลย์ RY2 ทำงาน จะทำให้หน้าสัมผัสที่ขา NO และ C ของรีเลย์ RY2 ต่อกัน เกิดกระแสไฟฟ้าไหลจาก +Vm เข้าสู่ขั้วลบ (-) ของมอเตอร์ผ่านไปยังขาร่วม (C) ของรีเลย์ RY1 ซึ่งต่อกับขา NC และลงกราวด์ ทำให้ครบวงจร มอเตอร์จึงทำงานและหมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกา

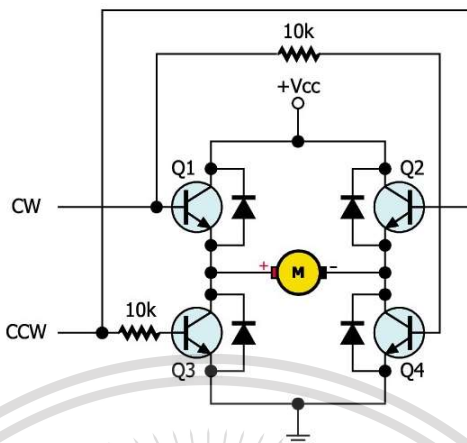
2.9.3 วงจรขับมอเตอร์แบบ H-Bridge

ลักษณะของวงจรขับมอเตอร์ทั้งในรูปที่ 2.30 และ 2.31 มีชื่อเรียกว่า วงจรขับแบบ H-Bridge เนื่องจากลักษณะของวงจรคล้ายกับตัวอักษร H ในภาษาอังกฤษ และมีการใช้อุปกรณ์ควบคุม 4 ตัว นอกจากนั้นยังสามารถใช้ อุปกรณ์ที่เรียกว่า ทรานซิสเตอร์ มาทดแทนรีเลย์ ดังแสดงวงจรในรูปที่ 2.32 ด้วย การใช้ทรานซิสเตอร์จะทำให้ขนาดของวงจรเล็กลง

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.

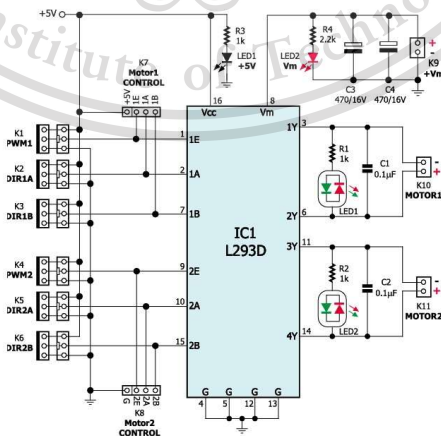


รูปที่ 2.32 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงแบบ H-Bridge ใช้ทรานซิสเตอร์ 4 ตัว ทำงานแทนสวิตช์และรีเลย์ (ที่มา : <https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน/>)

เมื่อส่งสัญญาณลอจิก “1” มาที่อินพุต CW จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 ทำงาน เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

ถ้าหากส่งสัญญาณลอจิก “1” มาที่อินพุต CCW จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 ทำงานแทน เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์ในอีกทิศทางหนึ่ง ทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

นอกจากนั้นยังมีการใช้ไอซีขับมอเตอร์โดยเฉพาะ นั่นคือ ไอซีเบอร์ L293D ซึ่งภายในบรรจุวงจรขับแบบ H-Bridge 2 ชุด จึงทำให้สามารถขับมอเตอร์ไฟตรงได้ 2 ตัว ในรูปที่ 2.33 เป็นวงจรขับมอเตอร์ที่ใช้ไอซี L293D



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.33 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงโดยใช้ไอซี L293D (ที่มา : <https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน/>)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีมติที่เปลี่ยนแปลงได้ และต้องอ้างอิงแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขับมอเตอร์แต่ละตัวใช้สายสัญญาณ 3 เส้น เนื่องจากต้องการ ควบคุมทิศทางของมอเตอร์ไปพร้อม ๆ กับการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยสัญญาณ PWM สำหรับมอเตอร์ช่องที่ 1 จะใช้อินพุต DIR1A และ DIR1B ในการกำหนดทิศทางการหมุน ส่วนอินพุตรับสัญญาณเพื่อควบคุมความเร็วจะเป็นขา 1E ส่วนมอเตอร์ช่องที่ 2 ใช้อินพุต DIR2A และ DIR2B ส่วนอินพุตควบคุมความเร็วคือขา 2E

การกำหนดเงื่อนไขในการขับมอเตอร์ของ L293D เป็นดังนี้

DIRxA = 0, DIRxB = 1 มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา

DIRxA = 1, DIRxB = 0 มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา

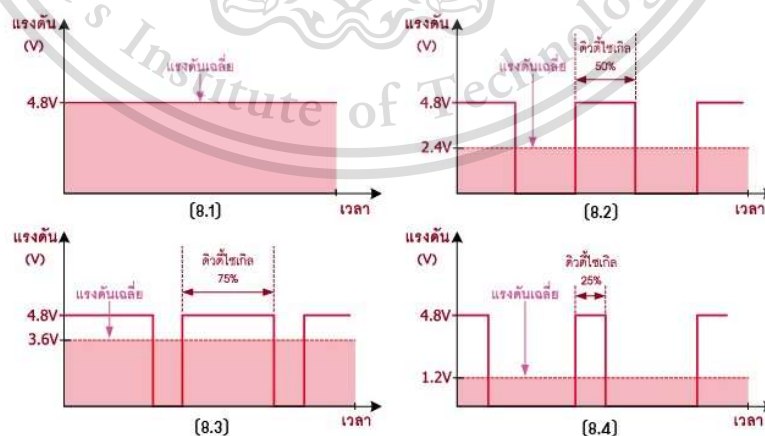
x คือ 1 หรือ 2

โดยไอซี L293D จะสามารถทำงานได้เมื่อมีสัญญาณลอจิก “1” ส่งมาที่อินพุต 1E สำหรับมอเตอร์ช่อง 1 และ 2E สำหรับมอเตอร์ช่อง 2

ที่เอาต์พุตของวงจรขับมอเตอร์มี LED สองสีแสดงขีดแรงดันที่จ่าย ให้กับมอเตอร์ ถ้า LED ติดเป็นสีเขียว หมายถึงการจ่ายแรงดันตรงขั้วให้กับมอเตอร์ ถ้าแรงดันที่จ่ายให้กลับขั้ว LED จะติดเป็นสีแดง

2.9.4 ควบคุมความเร็วของมอเตอร์

ในการขับมอเตอร์โดยปกติจะป้อนแรงดันไฟตรงให้โดยตรง มอเตอร์จะทำงานเต็มกำลัง ซึ่งอาจมีความเร็วมากเกินไป ดังนั้นการปรับความเร็วของมอเตอร์จึงใช้วิธีลดแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ วิธีที่นิยมคือ การป้อนพัลส์ไปขับมอเตอร์แทน แล้วปรับความกว้างพัลส์ช่วงบวก เพื่อให้ได้ค่าแรงดันเฉลี่ยตามต้องการ วิธีการนี้เรียกว่า พัลส์วิตซ์มอดูเลเตอร์ (PWM)



รูปที่ 2.34 การเปรียบเทียบค่าแรงดันที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจท.) อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น การทำซ้ำหรือการเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย (ที่มา : <https://www.inventor.in.th/home/การทำงานขงมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน>)

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.

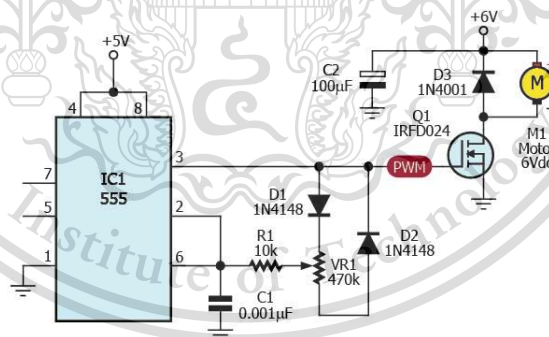
รูปที่ 2.34 (8.1) ป้อนสัญญาณไฟตรง รูปที่ 2.34 (8.2) PWM มีดิวตี้ไซเคิล 50%

รูปที่ 2.34 (8.3) PWM มีดิวตี้ไซเคิล 75% รูปที่ 2.34 (8.4) PWM มีดิวตี้ไซเคิล 25%

โดยความกว้างพัลส์ช่วงบวกเมื่อเทียบกับความกว้างพัลส์ทั้งหมดเรียกว่า ดิวตี้ไซเคิล (duty cycle) โดยจะคิดค่าดิวตี้ไซเคิลเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความกว้างพัลส์ทั้งหมด ตัวอย่างจากรูปที่ 8.2 มีค่าดิวตี้ไซเคิล 50% หมายถึง ความกว้างของพัลส์ช่วงบวกมีความกว้างเป็น 50% ของความกว้างทั้งหมด ดังนั้นแรงดันเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ $(50 \times 4.8) / 100 = 2.4V$ สำหรับรูปที่ 2.34 (8.3) และรูปที่ 2.34 (8.4) เป็นการกำหนดค่าดิวตี้ไซเคิล 75% และ 25% ตามลำดับ

2.9.5 วงจรกำเนิดสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมความเร็วมอเตอร์

วงจรสำหรับสร้างสัญญาณพัลส์ PWM เพื่อนำไปขับมอเตอร์ไฟตรงขนาดเล็กนั้นมีตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.35, 2.36 และ 2.37 โดยในรูปที่ 2.35 เป็นวงจรถูกกำเนิดสัญญาณพัลส์ PWM ที่ง่ายที่สุดใช้ไอซี 555 โดยความถี่ของสัญญาณ PWM จะถูกกำหนดด้วยค่าของตัวเก็บประจุ C1 สามารถเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลหรือความกว้างของพัลส์ได้ด้วยการปรับ VR1 สัญญาณ PWM จะถูกส่งไปยังมอสเฟต Q1 เพื่อขับให้มอเตอร์ไฟตรงหมุน ด้วยการปรับค่าของ VR1 ทำให้แรงดันที่ขับมอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลง ถ้าพัลส์มีความกว้างมาก แรงดันที่ส่งไปขับมอเตอร์ก็จะมากตาม ส่งผลให้ความเร็วของมอเตอร์เพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามถ้าพัลส์มีความกว้างน้อยลง แรงดันเฉลี่ยที่เอาต์พุตก็จะลดลง ความเร็วของมอเตอร์ก็ลดลงตาม



รูปที่ 2.35 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงด้วยสัญญาณ PWM อย่างง่าย

(ที่มา : <https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน>)

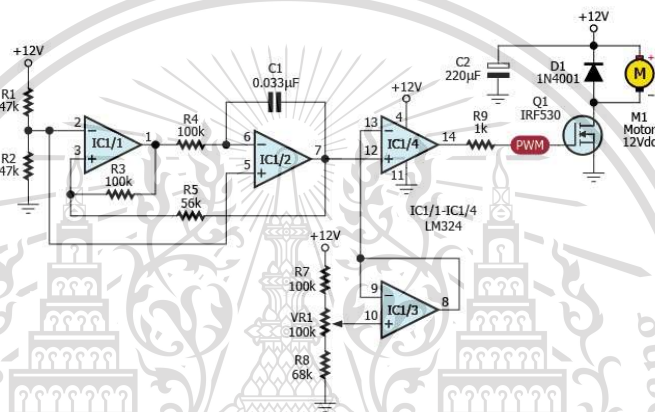
รูปที่ 2.36 เป็นวงจรถวลความเร็วของมอเตอร์ไฟตรง ซึ่งใช้วงจรถวลพัลส์ PWM ที่สร้างขึ้นจากไอซีออปแอมป์ โดย IC1/1 และ IC1/2 ต่อร่วมกับตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ เพื่อทำงานเป็นวงจรถวลสัญญาณสามเหลี่ยม แล้วส่งมาเปรียบเทียบกับแรงดันที่ได้จากการปรับค่า VR1 ที่ IC1/4 โดยแรงดันจาก VR1 จะผ่านวงจรถวลเฟออร์ IC1/3 แล้วส่งไปยังอินพุตกลับเฟสของ

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.

IC1/4 ส่วนอินพุตไม่กลับเฟสได้รับสัญญาณรูปสามเหลี่ยมมาจาก IC1/2 สัญญาณ PWM จะเกิดจากการเปรียบเทียบแรงดันระหว่างสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับแรงดันที่กำหนดโดยค่า VR1 นั่นคือความกว้างของสัญญาณหรือ ดิวตี้ไซเคิลจะขึ้นการปรับแรงดันที่ VR1 ส่วนความถี่ของสัญญาณจะขึ้นกับค่าของตัวเก็บประจุ C1 สัญญาณ PWM เอาต์พุตจะถูกส่งไปยังมอสเฟต Q1 เพื่อขับมอเตอร์ไฟตรงต่อไป ด้วยวงจร นี้สามารถปรับความเร็วของมอเตอร์ได้จากการปรับค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ VR1



รูปที่ 2.36 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟตรงที่ใช้ไอซีออปแอมป์

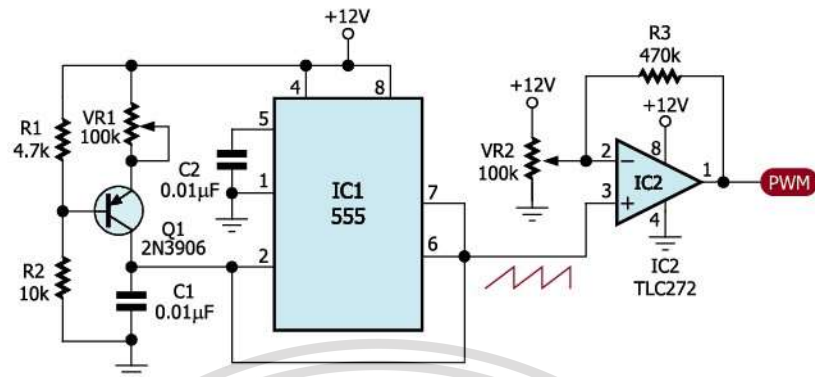
(ที่มา : <https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน>)

จากวงจรกำเนิดสัญญาณ PWM ในรูปที่ 2.35 และ 2.36 จะมีข้อจำกัดที่คล้ายกันข้อหนึ่งคือ ไม่สามารถปรับค่าดิวตี้ไซเคิลได้เต็มย่าน 0 ถึง 100% แต่นั่นไม่ได้หมายความว่า วงจรนั้นไม่ดี หากแต่การนำวงจรดังกล่าวไปใช้งานไม่มีความจำเป็นต้องปรับค่าดิวตี้ไซเคิลให้ได้เต็มย่าน ยกตัวอย่างวงจรในรูปที่ 2.36 เป็นวงจรที่ใช้ปรับความเร็วของมอเตอร์ในรถสกู๊ตเตอร์ ซึ่งในการใช้งานจริงค่าดิวตี้ไซเคิลต่ำมาก ๆ ไม่มีความจำเป็นต้องใช้ วงจรในรูปที่ 2.37 เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณ PWM ที่สามารถปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์หรือค่าดิวตี้ไซเคิลได้เต็มย่าน 0 ถึง 100% หัวใจหลักคือ วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยหรือ Sawtooth generator ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ LM555 สัญญาณรูปฟันเลื่อยจะถูกส่งไปเปรียบเทียบที่ออปแอมป์คล้ายกับวงจรในรูปที่ 2.36 ด้วยการใช้สัญญาณรูปฟันเลื่อยเป็นสัญญาณอ้างอิงทำให้ สามารถปรับค่าดิวตี้ไซเคิลได้ 0 ถึง 100% ความถี่ของสัญญาณได้รับการกำหนดจากการปรับค่า VR1 ร่วมกับค่าของตัวเก็บประจุ C2 ส่วนการปรับค่าดิวตี้ไซเคิลปรับได้ที่ VR2 สัญญาณ PWM เอาต์พุตสามารถนำไปต่อเข้ากับมอสเฟตเหมือนกับวงจรในรูปที่ 2.35 และ 2.36 หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารต่อเข้ากับขา EN ของไอซี L293 เพื่อใช้กับวงจรขับมอเตอร์แบบ H-Bridge ตีให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

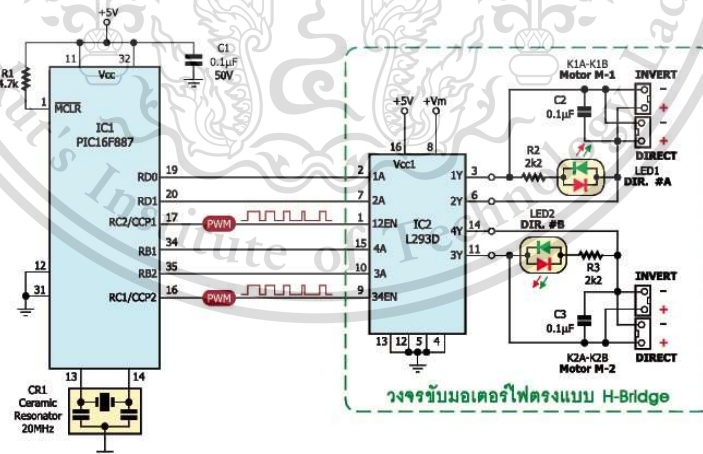
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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



รูปที่ 2.37 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟตรงที่สามารถปรับค่าดีวตีไซเคิลได้เต็มย่าน 0 -100%
(ที่มา : <https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน>)

นอกจากนั้นในวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟตรงสมัยใหม่จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างสัญญาณ PWM เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ และใช้ขาพอร์ตอีก 1 ถึง 2 ขาในการควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ดังแสดงวงจรตัวอย่างในรูปที่ 2.38 ด้วยการใชไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์มีขนาดเล็กและลดความซับซ้อนลงอย่างมาก ทั้งยังสามารถกำหนดความกว้างและความถี่ของสัญญาณ PWM ได้ละเอียดมากขึ้น



รูปที่ 2.38 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟตรงที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการสร้างสัญญาณ PWM

(ที่มา : <https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 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.

2.10 วงจรเปรียบเทียบ (Comparator circuit)

วงจรเปรียบเทียบ คือ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตสองตัว และสร้างสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งค่าเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบจะระบุว่าอินพุตใดมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่ากัน โดยจะใช้ ออปแอมป์ (op-amp) เป็นวงจรเปรียบเทียบ

ในการใช้งานวงจรเปรียบเทียบจะมีการต่อแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1.วงจรเปรียบเทียบแบบกลับเฟส (Inverting Comparator) และ 2.วงจรเปรียบเทียบแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Comparator)



รูปที่ 2.39 วงจรเปรียบเทียบอย่างง่าย

(ที่มา : <https://electronics.stackexchange.com/questions/158994/replacing-a-tactile-switch-with-an-ultrasonic-ranger>)

2.10.1 วงจรเปรียบเทียบแบบกลับเฟส (Inverting Comparator)

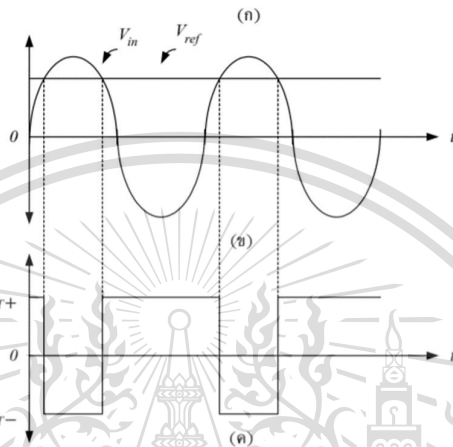
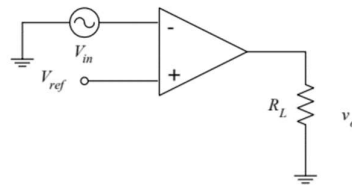
ลักษณะของวงจรเปรียบเทียบกลับเฟสดังแสดงในรูปที่ 2.40(ก) ซึ่งเป็นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่ใช้แรงดันอ้างอิง V_{ref} ป้อนเข้าที่อินพุตขั้วบวก ส่วนสัญญาณที่มาจากแหล่งกำเนิด V_{in} ป้อนเข้าที่อินพุตขั้วลบ ถ้าสมมติให้สัญญาณอินพุต และสัญญาณ V_{ref} มีลักษณะดังรูปที่ 2.40(ข) จะทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.40(ค)

จากรูปนี้จะพบว่าแรงดันเอาต์พุตมีการเปลี่ยนสถานะจาก V_{sat+} ไปเป็น V_{sat-} หรือจาก V_{sat-} ไปเป็น V_{sat+} ตรงจุดที่แรงดันอินพุต V_{in} มีค่าเท่ากับสัญญาณแรงดัน V_{ref} และเมื่อสังเกตสัญญาณเอาต์พุตจะพบว่าเมื่อ $V_{in} > V_{ref}$ จะให้ค่าเอาต์พุตเป็น V_{sat-} และเมื่อ $V_{in} < V_{ref}$ จะให้ค่าเอาต์พุตเป็น V_{sat+}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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 2.40 วงจรเปรียบเทียบแบบกลับเฟส

(ที่มา : <http://www.te.kmutnb.ac.th/~msn/trigen.pdf>)

2.10.2 วงจรเปรียบเทียบแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Comparator)

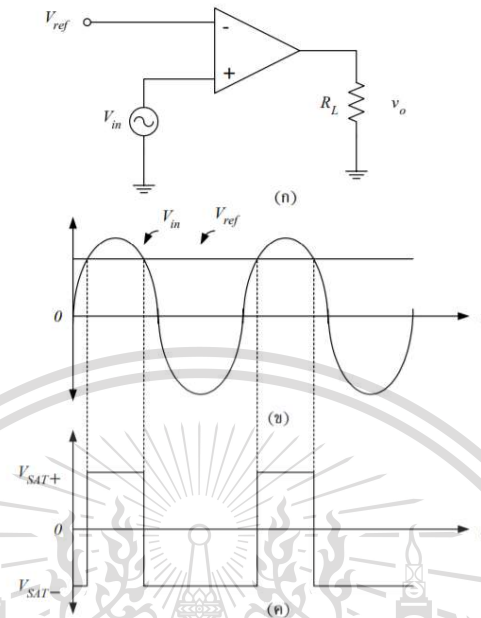
ลักษณะของวงจรเปรียบเทียบไม่กลับเฟส แสดงดังในรูปที่ 2.41(ก) ซึ่งเป็นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่ใช้แรงดันอ้างอิง (V_{ref}) ป้อนเข้าที่อินพุตขั้วลบ ส่วนสัญญาณที่มาจากแหล่งกำเนิด (V_{in}) ป้อนเข้าที่อินพุตขั้วบวก ถ้าสมมุติให้สัญญาณอินพุต และสัญญาณ V_{ref} มีลักษณะดังรูปที่ 2.41(ข) จะทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.41(ค)

จากรูปนี้จะพบว่าแรงดันเอาต์พุตมีการเปลี่ยนสถานะจาก V_{sat-} ไปเป็น V_{sat+} หรือจาก V_{sat+} เป็น V_{sat-} ตรงจุดที่แรงดันอินพุต V_{in} มีค่าเท่ากับสัญญาณแรงดัน V_{ref} และเมื่อสังเกตสัญญาณเอาต์พุตจะ พบว่าเมื่อ $V_{in} > V_{ref}$ จะให้ค่าเอาต์พุตเป็น V_{sat+} และเมื่อ $V_{in} < V_{ref}$ จะให้ค่าเอาต์พุตเป็น V_{sat-}

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 2.41 วงจรเปรียบเทียบแบบไม่กลับเฟส

(ที่มา : <http://www.te.kmutnb.ac.th/~msn/trigen.pdf>)

2.11 รีเลย์ (Relay)

เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแม่เหล็ก เพื่อใช้ในการดึงดูดหน้าสัมผัสให้เปลี่ยนสถานะ โดยการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด เพื่อทำการปิดหรือเปิดหน้าสัมผัสคล้ายกับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเราสามารถนำรีเลย์ไปประยุกต์ใช้ ในการควบคุมวงจรต่าง ๆ ในงานช่างอิเล็กทรอนิกส์มากมาย

2.11.1 โครงสร้างภายใน

ภายใน Relay จะประกอบไปด้วยขดลวดและหน้าสัมผัส หน้าสัมผัส NC (Normally Close) เป็นหน้าสัมผัสปกติปิด โดยในสถานะปกติหน้าสัมผัสนี้จะต่อเข้ากับขา COM (Common) และจะลดยหรือไม่สัมผัสกัน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด

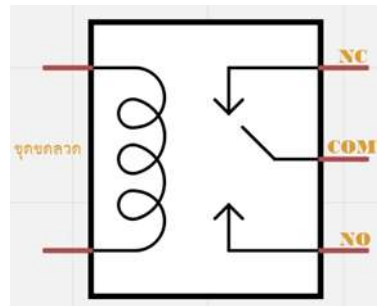
หน้าสัมผัส NO (Normally Open) เป็นหน้าสัมผัสปกติเปิด โดยในสถานะปกติจะลดยอยู่ ไม่ถูกต่อกับขา COM (Common) แต่จะเชื่อมต่อกันเมื่อมีกระแสไฟไหลผ่านขดลวด

ขา COM (Common) เป็นขาที่ถูกใช้งานร่วมกันระหว่าง NC และ NO ขึ้นอยู่กับว่าขณะนั้นมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดหรือไม่ หน้าสัมผัสใน Relay 1 ตัวอาจมีมากกว่า 1 ชุด ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตและลักษณะของงานที่ถูกนำไปใช้

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.

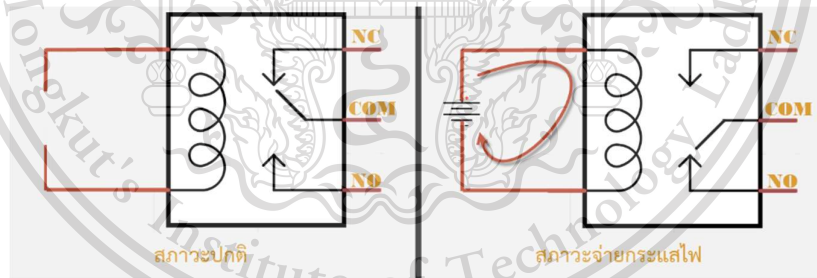


รูปที่ 2.42 โครงสร้างภายในของรีเลย์

(ที่มา : <https://blog.thaieasyelec.com/example-project-for-control-electrical-device-using-arduino-and-relay-module/>)

2.11.2 หลักการทำงาน

ในส่วนของขดลวด เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จะทำให้ขดลวดเกิดการเหนี่ยวนำ และทำหน้าที่เสมือนแม่เหล็กไฟฟ้า ส่งผลให้ขา COM ที่เชื่อมต่ออยู่กับหน้าสัมผัส NC (ในสภาวะที่ยังไม่เกิดการเหนี่ยวนำ) ย้ายกลับเชื่อมต่อกับหน้าสัมผัส NO แทน และปล่อยให้ขา NC ลอย เมื่อมองที่ขา NC กับ COM และ NO กับ COM แล้วจะเห็นว่ามีการทำงานติด-ดับลักษณะคล้ายการทำงานของสวิตช์



รูปที่ 2.43 การทำงานของรีเลย์

(ที่มา : <https://blog.thaieasyelec.com/example-project-for-control-electrical-device-using-arduino-and-relay-module/>)

2.12 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (ADC)

ในการรับสัญญาณจากตัวตรวจจับ (Sensor) เป็นสัญญาณแอนะล็อกในรูปของแรงดันหรือกระแสที่เปลี่ยนแปลง เช่น ตัวตรวจจับอุณหภูมิความดัน แสง ฯลฯ มาประมวลผลด้วยตัวประมวลผล

ที่เป็นวงจรดิจิทัล ไมโครโปรเซสเซอร์ หรือไมโครคอมพิวเตอร์ จะต้องมีการเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกจากตัวตรวจจับเหล่านั้นให้เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้วงจรที่เรียกว่า วงจร Analog to

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.

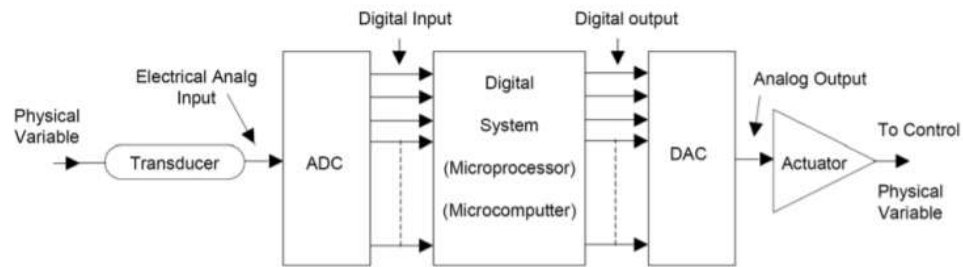
Digital Converter (ADC) ซึ่งวิธีการในการแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัลมีหลายวิธีด้วยกันตั้งแต่ใช้วงจรแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็น Counter Ramp ADC, แบบ Linear Ramp ADC, แบบ Dual Slope ADC หรือแบบ Successive Approximation ADC ซึ่งวงจรดังกล่าวนี้อาจอยู่ในรูปของวงจรที่ประกอบจากวงจรเปรียบเทียบแรงดัน และวงจรเข้ารหัส หรือวงจรที่ประกอบจากวงจรเปรียบเทียบแรงดันวงจรนับ วงจรเปลี่ยนสัญญาณจากดิจิทัลเป็นแอนะล็อกรวมทั้งที่สร้างเป็นไอซีสำเร็จรูปที่ใช้สำหรับแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลโดยเฉพาะ ในการทดลองนี้จะเป็นการทดลองเพื่อทดสอบคุณสมบัติของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบ Parallel Comparator ADC และไอซีสำเร็จรูปเบอร์ ADC0804 ซึ่งเป็นไอซีในการแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 8 บิต วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลเป็นวงจรที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแอนะล็อกที่อยู่ในรูปของแรงดันหรือกระแสที่เปลี่ยนแปลง ให้เป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อส่งไปยังส่วนประมวลผลที่ใช้วงจรดิจิทัลไมโครโปรเซสเซอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 2.44 ทรานสดิวเซอร์จะตรวจจับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (Physical Variable) เช่นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ, ความเข้มของแสง, อัตราการไหล, ความดัน และความเร็วแล้วทำการเปลี่ยนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเหล่านั้นให้เป็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้าในรูปของแรงดันหรือกระแสที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพนั้น ๆ อุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ที่สามารถตรวจจับสัญญาณดังกล่าวได้แก่ เทอร์มิสเตอร์ (Thermister), โฟโตไดโอด (Photo Diode), โฟโตเซลล์ (Photo cell), Flow Meter, Pressure Transducer หรือ Tachometer ตามลำดับ หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ไปยังวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อทำการแปลงสัญญาณไฟฟ้าง่ายๆ ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วส่งต่อไปยังส่วนควบคุมหรือส่วนประมวลผลที่เป็นวงจรดิจิทัลไมโครโปรเซสเซอร์ หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณดิจิทัลที่อินพุต ตามเงื่อนไขของโปรแกรมที่กำหนดไว้ จากนั้นส่งผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในรูปของสัญญาณดิจิทัลไปที่เอาต์พุตซึ่งมีวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกที่ทำการแปลงสัญญาณดิจิทัลให้เป็นแอนะล็อกส่งไปยัง Actuator ที่ใช้ควบคุมการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น ควบคุมการเปิดปิดของวาล์ว ควบคุมการทำงานของ Heater หรือ ควบคุมทิศทางความเร็ว หรือตำแหน่งของมอเตอร์ เป็นต้น

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.

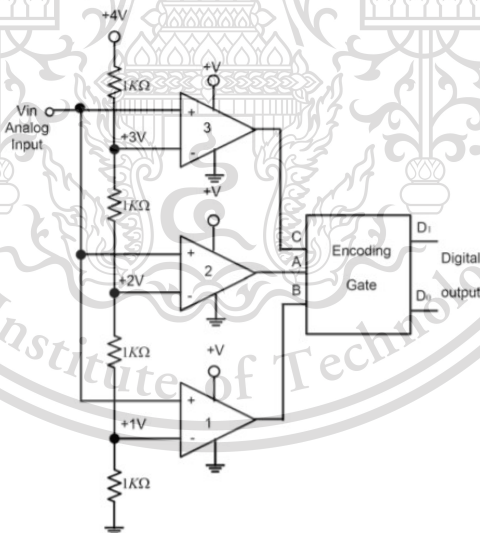


รูปที่ 2.44 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมที่ประกอบด้วยวง ADC ตัวประมวลผล และวงจรร DAC

(ที่มา : http://pws.npru.ac.th/thawatchait/data/files/Chapter%207_ADC%20and%20DAC%20circuits%2001.pdf)

2.12.1 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบ Parallel Comparator

วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ง่ายที่สุดได้แก่ วงจรแบบ Parallel Comparator หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Simultaneous หรือ Flash ADC แสดงวงจรงี้รูปที่ 2.45



รูปที่ 2.45 แสดงวงจร Parallel Comparator ADC

(ที่มา : http://pws.npru.ac.th/thawatchait/data/files/Chapter%207_ADC%20and%20DAC%20circuits%2001.pdf)

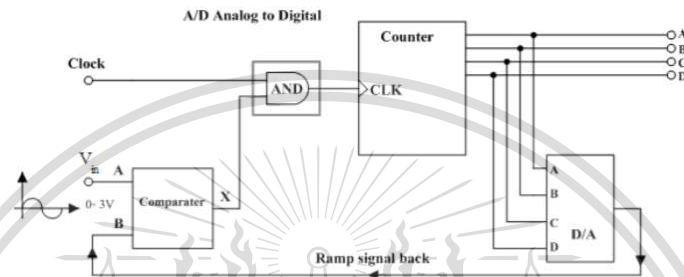
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.12.2 วงจรการแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบ Ramp

วงจรการแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบ Ramp แสดงวงจรพื้นฐานขนาด 4 บิต โดยกำหนดค่าแรงดันต่ำสุดคือ 0 V วงจรจะให้รหัสดิจิตอลออกมาทางเอาต์พุต 0000 และแรงดันสูงสุดคือ +3V วงจรจะให้รหัสดิจิตอลออกมาทางเอาต์พุต 1111



รูปที่ 2.46 แสดงวงจรพื้นฐานขนาด 4 บิต ADC

(ที่มา : http://pws.npru.ac.th/thawatchait/data/files/Chapter%207_ADC%20and%20DAC%20circuits%2001.pdf)

2.13 ตัวนับเวลา (Real Time Clock (RTC))

เป็นโมดูลส่วนที่ทำหน้าที่แบบเดียวกับนาฬิกา เมื่อกำหนดเวลาปัจจุบันลงไป เวลาจะถูกนับต่อไปเรื่อย ๆ สามารถนำเวลาที่ได้ไปเขียนเงื่อนไขสั่งงานอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ทำงานตามเวลาได้

อุปกรณ์ที่ให้ค่าเวลาตามจริง ทำงานโดยการจับสัญญาณนาฬิกาที่ได้มาจาก Crystal ให้ทำงานตามเวลาได้ หรือสามารถกำหนดเวลาปัจจุบันลงไปให้อุปกรณ์ จากนั้นเวลาจะถูกนับต่อไปเรื่อย ๆ สามารถนำเวลาที่ได้ไปเขียนเงื่อนไขสั่งงานอุปกรณ์ต่าง ๆ บางรุ่นอาจจะมีถ่านสำรองมาให้ เพื่อให้สามารถบันทึกเวลาได้ถึงแม้ว่าจะไม่มีไฟเลี้ยงมาที่ตัวบอร์ด ทำให้ไม่ต้องตั้งเวลาใหม่ทุกครั้งเมื่อใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 2.47 โมดูลตัวนับเวลา DS3231 กรุณาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น (ที่มา : <https://www.fabtolab.com/accessories/RTC-modules/rtc-ds3231-module>)

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

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

2.14 ตัวต้านทานไวแสง (Light Dependent Resistor (LDR))

เป็นตัวต้านทานที่ค่าความต้านทานจะเปลี่ยนไปตามความเข้มของแสงที่ตกกระทบลงบนตัวต้านทาน บางครั้งเรียกว่า โฟโตริซิสเตอร์ (Photo Resistor) หรือโฟโตคอนดักเตอร์ (Photo Conductor) เป็นตัวต้านทานที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ประเภทแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS : Cadmium Sulfide) หรือแคดเมียมซีลีไนด์ (CdSe : Cadmium Selenide) ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำ เอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบไว้ออกมาใช้งาน



2.14.1 หลักการทำงาน

เมื่อมีแสงตกกระทบลงบนหน้าสัมผัสก็จะถ่ายทอดพลังงานให้กับสารที่ฉาบอยู่ ทำให้เกิดคูโฮลกับอิเล็กตรอนอิสระ โดยการเกิดคูโฮลกับอิเล็กตรอนอิสระนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่ตกกระทบ ถ้าความเข้มแสงมากก็จะทำให้เกิดคูโฮลกับอิเล็กตรอนอิสระมาก ส่งผลให้ความต้านทานมีค่าน้อยลง

เมื่อเทียบกับการทำงานของ LDR กับอุปกรณ์ไวแสงประเภทอื่น LDR จะมีความไวแสงมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

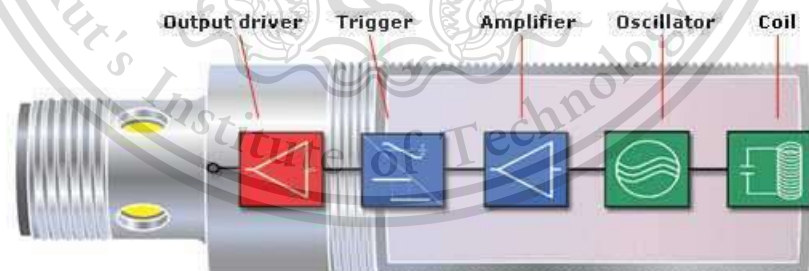
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.15 พร็อกซิมีตีเซนเซอร์หรือพร็อกซิมีตีสวิทช์ (Proximity Sensor or Proximity Switch)

เป็นเซนเซอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถทำงานโดยไม่ต้องสัมผัสกับชิ้นงานหรือวัตถุภายนอก โดยลักษณะของการทำงานอาจจะส่งหรือรับพลังงานรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งดังต่อไปนี้ คือ สนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า แสง เสียง และ สัญญาณลม ส่วนการนำเซนเซอร์ประเภทนี้ไปใช้งานนั้น ส่วนใหญ่จะใช้กับงานตรวจจับ ตำแหน่ง ระดับ ขนาด และรูปร่าง ซึ่งโดยปกติแล้วนำมาใช้แทนลิมิตสวิทช์ (Limit Switch) เนื่องด้วยสาเหตุของอายุการใช้งานและความเร็วในการตรวจจับวัตถุเป้าหมาย ทำได้ดีกว่าอุปกรณ์ประเภทสวิทช์ซึ่งอาศัยหน้าสัมผัส ทางกล โดยแบ่งเป็นประเภทได้เป็น 2 ประเภท คือ 1.เซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ (Inductive Sensor) และ 2.เซนเซอร์ชนิดเก็บประจุ (Capacitive Sensor)

2.15.1 เซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ (Inductive Sensor)

จะใช้หลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในการทำงาน โดยที่มาของสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้นเกิดจากบริเวณส่วนหัวของเซ็นเซอร์ ซึ่งภายในจะมีขดลวด (Coil) ที่คอยทำหน้าที่ปล่อยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงซึ่งขดลวดนั้นจะได้รับสัญญาณไฟฟ้าจากวงจรกำเนิดความถี่ (Oscillator) เพื่อคอยตรวจจับโลหะที่เคลื่อนที่ผ่านเข้ามา และเมื่อชิ้นงานอยู่ในระยะที่เซ็นเซอร์สามารถตรวจจับได้ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำ ซึ่งจะทำให้เกิดการหน่วงออสซิลเลท (Oscillate) หรือ ในบางครั้งอาจถึงจุดการหยุดออสซิลเลท ในขณะที่เกิดการหน่วงหรือการหยุดออสซิลเลทนั้นวงจรขยาย (Amplifier) จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณเพื่อส่งต่อไปยัง วงจรทริกเกอร์ (Trigger) ซึ่งวงจรนี้จะมีหน้าที่เปลี่ยนแปลงสถานะของวงจรเอาต์พุตว่าให้มีการทำงานหรือหยุดการทำงาน



รูปที่ 2.50 เซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ (Inductive Sensor)

(ที่มา : <https://mall.factomart.com/inductive-proximity-sensor-working-principle/>)

2.15.2 เซนเซอร์ชนิดเก็บประจุ (Capacitive Sensor)

หลักการทำงานจะอิงกับสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามพื้นที่ระหว่างวัตถุกับหน้าของเซ็นเซอร์และเมื่อมีการเคลื่อนที่เข้ามาของวัตถุก็จะให้สนามไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงของไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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.

สนามไฟฟ้า ส่งผลให้วงจรภายในเซ็นเซอร์รับรู้ได้ว่า ขณะนี้มีวัตถุอยู่ด้านหน้าและสั่งให้สัญญาณเอาต์พุต มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ



รูปที่ 2.51 เซ็นเซอร์ชนิดเก็บประจุ (Capacitive Sensor)
(ที่มา : <https://th.aliexpress.com/i/32864269582.html>)

2.16 ไจโรสโคปเซ็นเซอร์หรือไจโรเซ็นเซอร์ (Gyroscope sensor or Gyro sensor)

ไจโรเซ็นเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถวัดทิศทางและความเร็วเชิงมุมของวัตถุได้ ซึ่งทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่าเครื่องวัดความเร็ว นอกจากนั้นยังสามารถวัดความเอียงและการวางแนวด้านข้างของวัตถุ ในขณะที่เครื่องวัดความเร็วสามารถวัดการเคลื่อนที่เป็นเชิงเส้นได้เท่านั้น

โดยหน่วยการวัดจะวัดเป็นองศาต่อวินาที และความเร็วเชิงมุมคือ การเปลี่ยนแปลงของมุมการหมุนของวัตถุต่อหน่วยเวลา

2.16.1 หลักการทำงาน

แนวคิดของแรงคอริโอลิส (Coriolis force) ถูกนำมาใช้ในไจโรเซ็นเซอร์เพื่อวัดอัตราเชิงมุมโดยอัตราการหมุนของเซ็นเซอร์จะถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า หลักการทำงานของไจโรเซ็นเซอร์ สามารถเข้าใจได้โดยการสังเกตการสั่นของไจโรเซ็นเซอร์

ในไจโรเซ็นเซอร์นี้ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนสี่เหลี่ยมภายในซึ่งประกอบด้วยวัสดุคริสตัลในรูปโครงสร้างตัวทีคู่ (double-T-structure) โครงสร้างนี้ประกอบด้วยส่วนที่หยุดนิ่งอยู่ตรงกลางโดยมี แขนตรวจจับและแขนขับเคลื่อนติดอยู่ทั้งสองข้าง

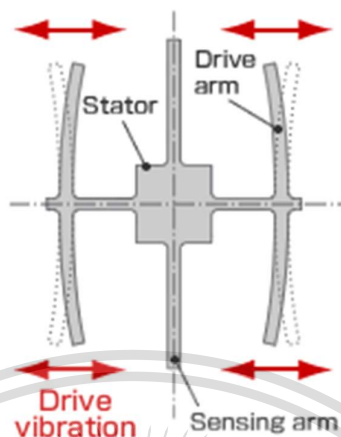
โครงสร้างตัวทีคู่นี้สมมาตร เนื่องจากเมื่อมีสนามไฟฟ้าสั่นสะเทือนแบบสลับเกิดขึ้นที่แขนขับเคลื่อนจะเกิดการสั่นด้านข้างอย่างต่อเนื่อง และจากที่แขนขับเคลื่อนมีความสมมาตรเมื่อแขนข้างหนึ่งเลื่อนไปทางซ้ายอีกข้างหนึ่งจะเลื่อนไปทางขวาจึงหักล้างการสั่นสะเทือนให้หมดไป ซึ่งทำให้ส่วนของสเตเตอร์ (stator) อยู่ตรงกลาง และแขนตรวจจับยังคงนิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

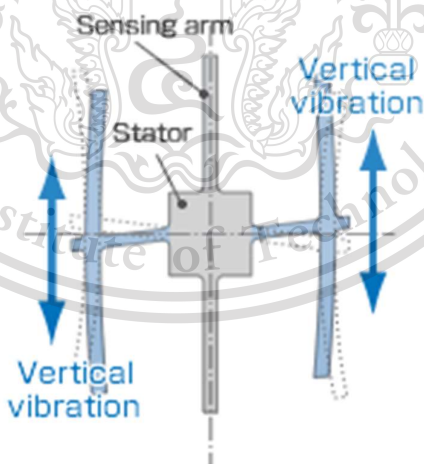
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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



รูปที่ 2.52 โครงสร้างตัวทึ่คู่ (double-T-structure) ในสภาวะปกติไม่มีแรงกระทำ
(ที่มา : https://www5.epsondevice.com/en/information/technical_info/gyro/)

เมื่อมีแรงหมุนจากภายนอกที่มากระทำในแนวตั้งของเซ็นเซอร์ การสั่นจะเกิดขึ้นที่แขนขับเคลื่อน ซึ่งนำไปสู่การสั่นสะเทือนของแขนขับเคลื่อนในทิศทางขึ้นและลงเนื่องจากแรงหมุนกระทำกับส่วนที่หยุดนิ่งตรงกลาง ส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนในแขนตรวจจับ การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในแขนตรวจจับสามารถวัดได้จากการเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงนี้ใช้เพื่อวัดแรงหมุนภายนอกที่ใช้กับเซ็นเซอร์เป็นการหมุนเชิงมุม

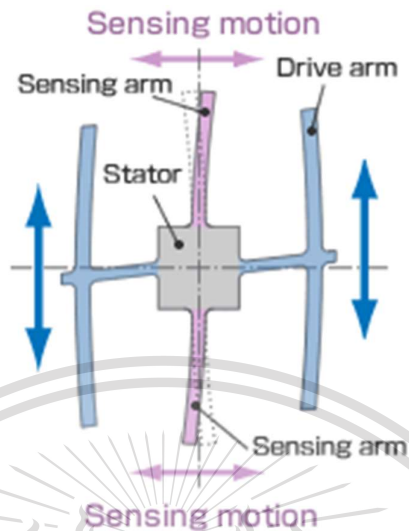


รูปที่ 2.53 แรงหมุนจากภายนอกที่มากระทำในแนวตั้งของเซ็นเซอร์
(ที่มา : https://www5.epsondevice.com/en/information/technical_info/gyro/)

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.



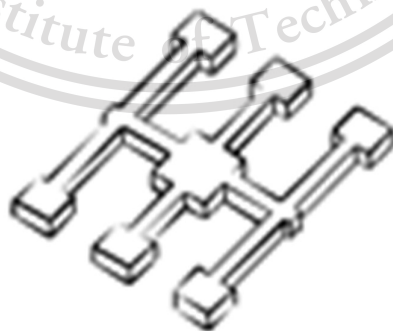
รูปที่ 2.54 การสั้นสะท้อนในแกนตรวจจับ

(ที่มา : https://www5.epsondevice.com/en/information/technical_info/gyro/)

2.16.2 ประเภท

ภายในไจโรเซนเซอร์นั้นจะประกอบด้วยเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ (Piezoelectric Transducers) และ ซิลิกอนทรานสดิวเซอร์ (Silicon transducer) ซึ่งตัวเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สามารถแบ่งชนิดตามวัสดุที่สร้างได้เป็น 2 ประเภท คือ 1. คริสตัล (crystal) 2. เซรามิก (Ceramic) และในแต่ละวัสดุยังสามารถแบ่งประเภทย่อยได้จากโครงสร้างของวัสดุ

1. คริสตัลสามารถแบ่งตามประเภทโครงสร้างได้ 3 แบบ คือ โครงสร้างตัวที่คู่ โครงสร้างสี่เหลี่ยม และ โครงสร้างสี่เหลี่ยมรูปตัวเอช



รูปที่ 2.55 โครงสร้างตัวที่คู่

(ที่มา : https://www5.epsondevice.com/en/information/technical_info/gyro/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่นิยมนำไปเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์ด้านการค้า
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 2.56 โครงสร้างส้อมเสียง

(ที่มา : https://www5.epsondevice.com/en/information/technical_info/gyro/)



รูปที่ 2.57 โครงสร้างส้อมเสียงรูปตัวเอส

(ที่มา : https://www5.epsondevice.com/en/information/technical_info/gyro/)

2. เซรามิกสามารถแบ่งตามประเภทโครงสร้างได้ 2 แบบ คือ โครงสร้างทรงปริซึม และโครงสร้างแบบเป็นลำเสา



รูปที่ 2.58 โครงสร้างทรงปริซึม

(ที่มา : https://www5.epsondevice.com/en/information/technical_info/gyro/)

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 2.59 โครงสร้างแบบเป็นลำเสา

(ที่มา : https://www5.epsondevice.com/en/information/technical_info/gyro/)

2.17 มอเตอร์ (Motor)

มอเตอร์ เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล การทำงานปกติของมอเตอร์ไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กในตัวมอเตอร์ และสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในขดลวดทำให้เกิดแรงดูด และแรงผลักของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ในการใช้งานตัวอย่าง เช่น ในอุตสาหกรรมการขนส่งใช้มอเตอร์ชุดลาก เป็นต้น นอกจากนั้นแล้วมอเตอร์ไฟฟ้ายังสามารถทำงานได้ถึงสองแบบ ได้แก่ การสร้างพลังงานกล และการผลิตพลังงานไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าถูกนำไปใช้งานที่หลากหลาย เช่น พัดลมอุตสาหกรรม เครื่องเป่า บีม เครื่องมือเครื่องใช้ในครัวเรือน และดิสก์ไดรฟ์ มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถขับเคลื่อนโดยแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC) เช่น จากแบตเตอรี่, ยานยนต์หรือวงจรเรียงกระแส หรือจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ (AC) เช่น จากไฟบ้าน อินเวอร์เตอร์ หรือเครื่องปั่นไฟ มอเตอร์ขนาดเล็กอาจพบในนาฬิกาไฟฟ้า มอเตอร์ทั่วไปที่มีขนาด และคุณลักษณะมาตรฐานสูงจะให้พลังงานกลที่สะดวกสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดใช้สำหรับการใช้งานลากจูงเรือ และการบีบอัดท่อส่งน้ำมัน และปั๊มสูบน้ำอัดเก็บน้ำมันซึ่งมีกำลังถึง 100 เมกะวัตต์ มอเตอร์ไฟฟ้าอาจจำแนกตามประเภทของแหล่งที่มาของพลังงานไฟฟ้า หรือตามโครงสร้างภายใน หรือตามการใช้งาน หรือตามการเคลื่อนไหวของเอาต์พุตและอื่น ๆ

อุปกรณ์ เช่น ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า และลำโพงที่แปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นการเคลื่อนไหว แต่ไม่ได้สร้างพลังงานกลที่ใช้งานได้ จะเรียกรวมว่า actuator และ transducer ตามลำดับ คำว่ามอเตอร์ไฟฟ้านั้น ต้องใช้สร้างแรงเชิงเส้น (linear force) หรือแรงบิด (torque) หรือเรียกอีกอย่างว่า หมุน (rotary) เท่านั้น

2.17.1 โครงสร้างมอเตอร์

1. โรเตอร์ (Rotor)

ในมอเตอร์ไฟฟ้า ส่วนที่เคลื่อนที่ คือ โรเตอร์ ซึ่งจะหมุนเพื่อจ่ายพลังงานกล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต โรเตอร์มักจะมี ขดลวดตัวนำพันอยู่โดยรอบ ซึ่งเมื่อมีกระแสไหลผ่าน จะเกิดอำนาจแม่เหล็กที่จะไปทำไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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.

ปฏิกิริยากับ สนามแม่เหล็กถาวรของสเตเตอร์ ขับเพลลาให้หมุนได้ อย่างไรก็ตามโรเตอร์บางตัวจะเป็นแม่เหล็กถาวร และสเตเตอร์จะมีขดลวดตัวนำสลัที่กัน



รูปที่ 2.60 โรเตอร์ (Rotor)

(ที่มา : <https://www.dragonwinch.com/en/rotor,84,465.html>)

2. สเตเตอร์ (Stator)

สเตเตอร์ จะเป็นส่วนที่อยู่กับที่ซึ่งจะประกอบด้วยโครงของมอเตอร์ แกนเหล็ก สเตเตอร์ และขดลวด



รูปที่ 2.61 สเตเตอร์ (Stator)

(ที่มา : https://mtp-racing24.com/Stator-Alternator_2)

3. ช่องว่างอากาศ (air-gap)

ระหว่างโรเตอร์ และสเตเตอร์จะเป็นช่องว่างอากาศ ซึ่งจะต้องมีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ช่องว่างขนาดใหญ่จะมีผลกระทบทางลบอย่างมากต่อประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า

4. ขดลวด (Windings)

ขดลวดจะพันโดยรอบเป็นคอยล์ ปกติจะพันรอบแกนแม่เหล็กอ่อนที่เคลือบฉนวน เพื่อให้เป็นขั้วแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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.

มอเตอร์ไฟฟ้ามีขั้วสนามแม่เหล็กในสองรูปแบบ ได้แก่ แบบขั้วที่เห็นได้ชัดเจน และแบบขั้วที่เห็นได้ไม่ชัดเจนในขั้วที่ชัดเจนสนามแม่เหล็กของขั้วจะถูกผลิตโดยขดลวดพันรอบแกนด้านล่าง ในขั้วที่ไม่ชัดเจน หรือเรียกว่าแบบสนามแม่เหล็กกระจาย หรือแบบรอบ ๆ โรเตอร์ ขดลวดจะกระจายอยู่ในช่องบนแกนรอบโรเตอร์ มอเตอร์แบบขั้วแฝงมีขดลวดรอบส่วนหนึ่งของขั้วเพื่อหน่วงเฟสของสนามแม่เหล็กของขั้วนั้นให้ช้าลง

มอเตอร์บางตัวขดลวดเป็นโลหะหนากว่า เช่น แท่งหรือแผ่นโลหะที่มักจะเป็นทองแดง บางทีก็เป็นอะลูมิเนียม มอเตอร์เหล่านี้โดยปกติจะถูกขับเคลื่อนโดยการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 2.62 ขดลวด (Windings)

(ที่มา : <https://sites.google.com/site/suksamxtexrfifa/sara-kar-reiyn-ru-sukhsuksa-laephlsuksa>)

2.17.2 ประเภทของมอเตอร์

แบ่งออกตามการใช้ของกระแสไฟฟ้าได้ 2 ชนิดดังนี้

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor) หรือเรียกว่าเอ.ซี.มอเตอร์ (A.C. MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าสลับแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส หรือเรียกว่าซิงเกิลเฟสมอเตอร์ (A.C. Sing Phase) จะใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ซึ่งเป็นกระแสไฟที่ใช้ตามบ้านเรือนทั่วไป มีสายไฟ เข้า 2 สาย มีแรงม้าไม่สูง ส่วนใหญ่ตามบ้านเรือน เช่น Split-Phase motor, Capacitor motor, Repulsion-type motor, Universal motor และ Shaded-pole motor

1.2 มอเตอร์ไฟฟ้าสลับชนิด 2 เฟส หรือเรียกว่าทูเฟสมอเตอร์ (A.C. Two phas Motor)

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 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟส หรือเรียกว่าที่เฟสมอเตอร์ (A.C. Three phase Motor) เป็นมอเตอร์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมต้องใช้ระบบไฟฟ้า 3 เฟส ใช้แรงดัน 380 โวลต์ ซึ่งเป็นกระแสไฟที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ขนาดเล็ก จนถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ มีสายไฟเข้ามอเตอร์ 3 สาย

2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor) หรือเรียกว่าดี.ซี มอเตอร์ (D.C. MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

2.1 มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่า ซีรีส์มอเตอร์ (Series Motor)

2.2 มอเตอร์แบบอนุขนานหรือเรียกว่า ชันท์มอเตอร์ (Shunt Motor)

2.3 มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่า คอมเปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

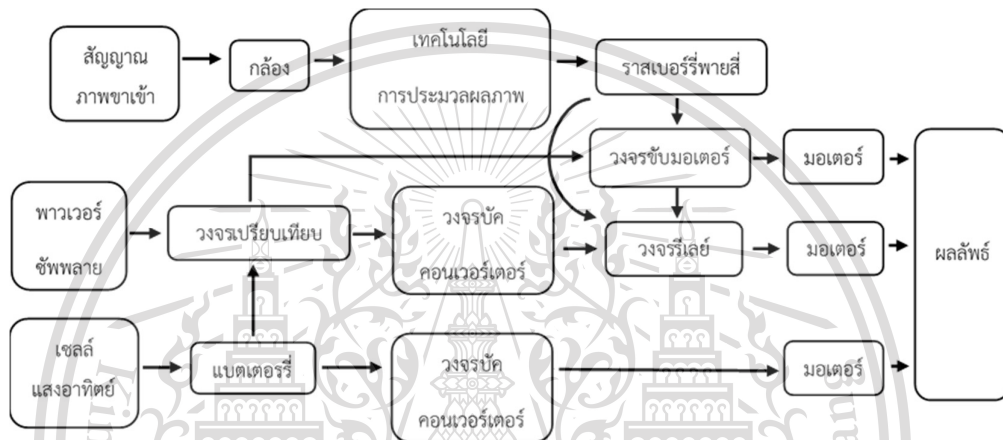
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กระบวนการทำงานของเครื่อง



รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของเครื่อง

การทำงานของเครื่องจะเริ่มทำงานโดยเริ่มจากนำภาพที่ได้จากกล้องมาตรวจสอบว่ามีสีเขียว หรือสีเหลืองด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพกล่าวคือ ตัวโปรแกรม Python จะสั่งตัว library OpenCV ให้ทำการแปลงสี RGB ที่ได้จากกล้อง แปลงมาเป็นสี HSV จากนั้นข้อมูลจะถูกจัดเก็บที่ Raspberry Pi เมื่อ Raspberry Pi ได้รับข้อมูลจากการตรวจจับภาพแล้ว ตัวโปรแกรม Python จะทำการสั่ง GPIO ของ Raspberry Pi ให้วงจรรีเลย์ทำงานตามคำสั่ง และสั่งให้วงจรขับมอเตอร์ทำงาน โดยถ้าตรวจได้เป็นสีเขียววงจรขับมอเตอร์จะสั่งมอเตอร์ให้หมุนตามเข็มนาฬิกา ส่วนถ้าตรวจได้เป็นสีที่ไม่ใช่สีเขียววงจรขับมอเตอร์จะสั่งมอเตอร์ให้หมุนทวนเข็มนาฬิกา จากนั้นถ้ามะนาวเป็นสีเขียวจะถูกส่งไปยังรางคัตขนาด โดยคัตขนาดเป็น 5 ขนาด คือ ขนาดที่ 1 เส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 4.8 ถึง 5.1 เซนติเมตร ขนาดที่ 2 เส้นผ่านศูนย์กลาง ระหว่าง 4.5 ถึง 4.8 เซนติเมตร ขนาดที่ 3 เส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 4.2 ถึง 4.5 เซนติเมตร ขนาดที่ 4 เส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 3.9 ถึง 4.2 เซนติเมตร และขนาดที่ 5 เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 3.9 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

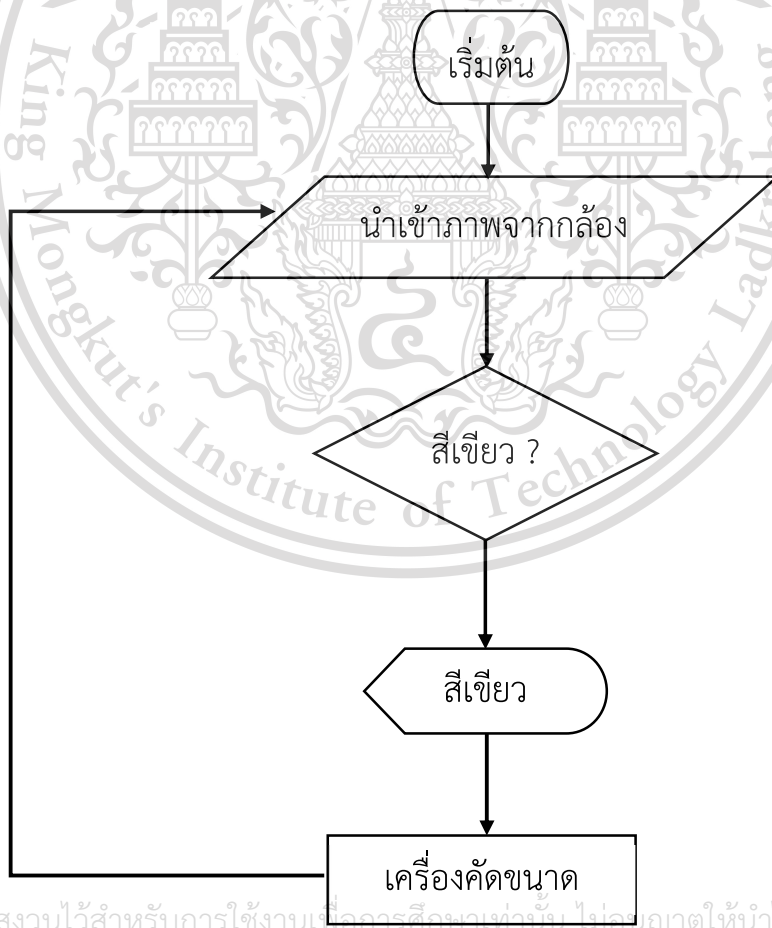
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยแหล่งจ่ายไฟในระบบนั้นแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ 1. จากโซลาร์เซลล์เป็นแหล่งจ่ายไฟสำรอง และ 2. แหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดัน 12 โวลต์ และกระแส 5 แอมป์ โดยใช้วงจรเปรียบเทียบควบคุมการจ่ายไฟให้กับวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ 2 ตัว และวงจรขับมอเตอร์ 1 ตัว

การทำงานของวงจรเปรียบเทียบนั้นจะเทียบแรงดันจากแบตเตอรี่กับแหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดัน 12 โวลต์ และกระแส 5 แอมป์ โดยถ้าแรงดันในแบตเตอรี่เต็ม วงจรเปรียบเทียบจะเลือกใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟในระบบ ในทางกลับกันถ้าแรงดันในแบตเตอรี่ไม่เต็ม วงจรเปรียบเทียบจะเลือกใช้แหล่งจ่ายไฟ 12 โวลต์ และกระแส 5 แอมป์ เป็นแหล่งจ่ายไฟในระบบ

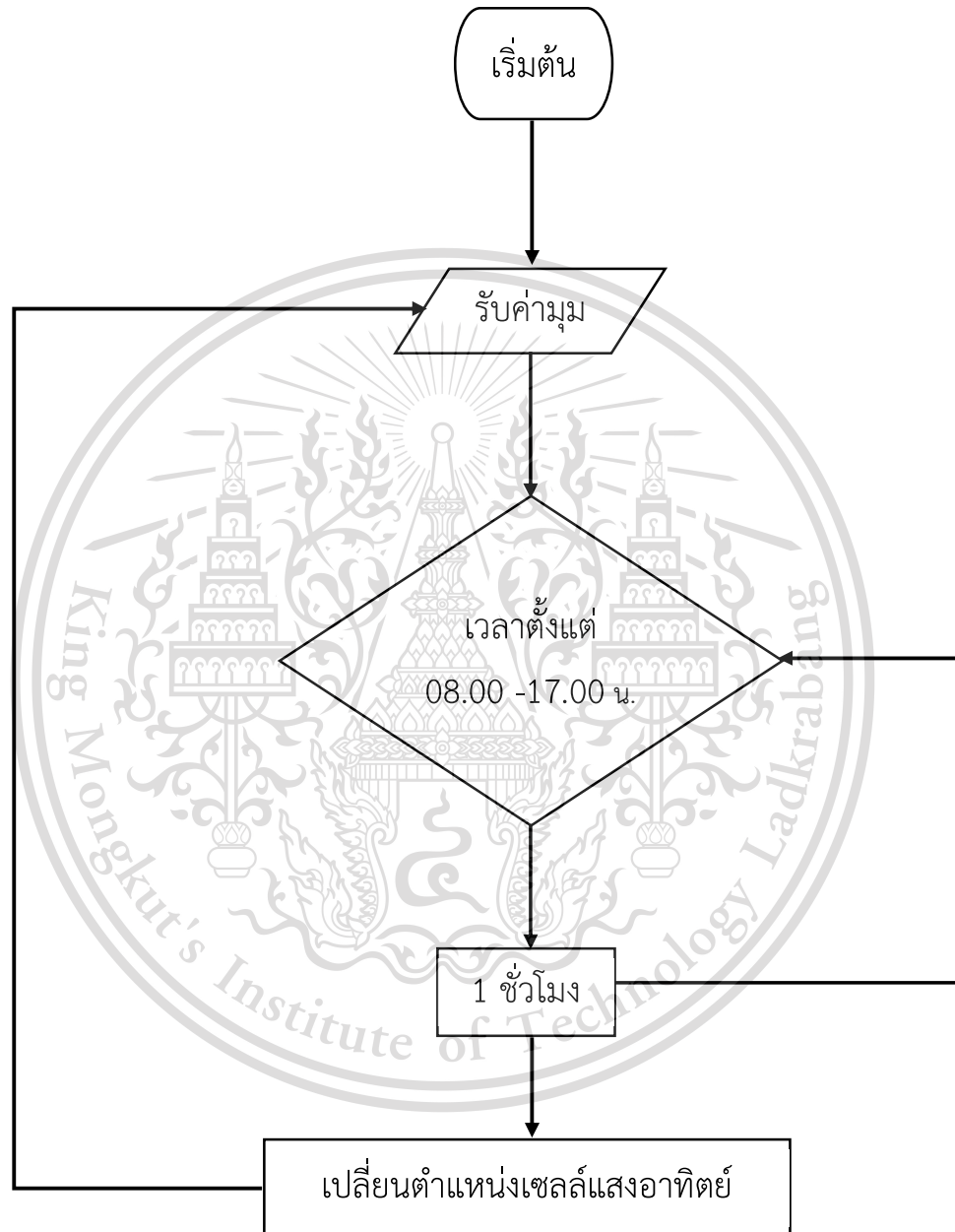
3.2 การออกแบบ code

3.2.1 ส่วนของ Image processing



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั่นเอง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.2 แผนภาพการทำงานของ code ในส่วนของ Image processing

3.2.2 ส่วนของ Solar Tracker



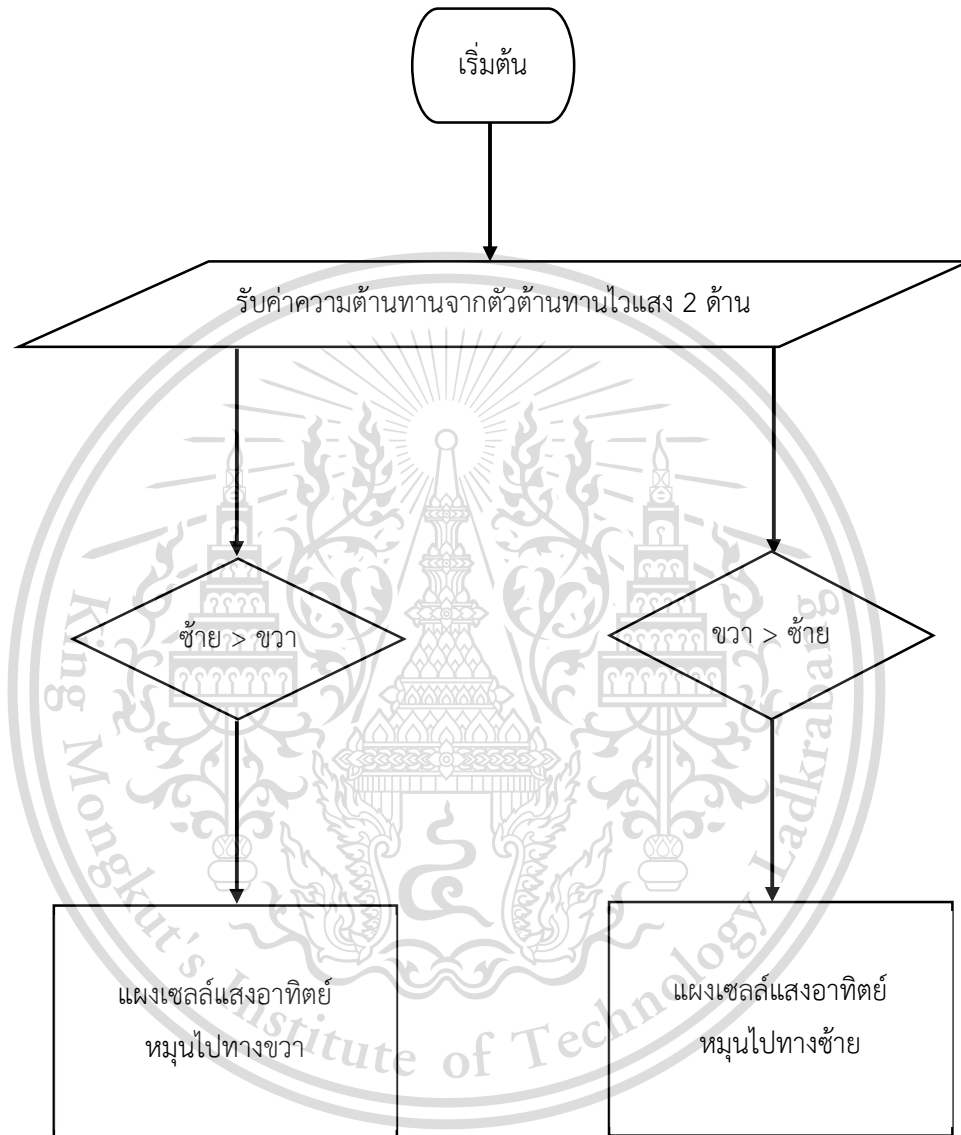
รูปที่ 3.3 แผนภาพการทำงานของ code ในส่วนของ Solar Tracker

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.

3.2.3 ส่วนของ Shadow Escaper



รูปที่ 3.4 แผนภาพการทำงานของ code ในส่วนของ Shadow Escaper

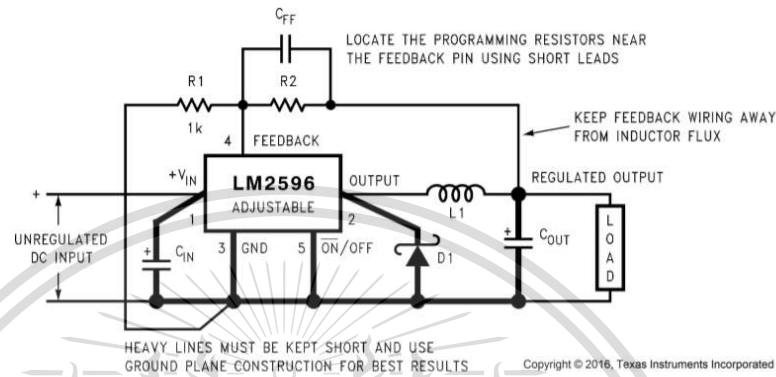
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.3 การออกแบบ Buck converter

ใช้ IC เบอร์ LM2596 เป็น Buck converter



$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

where $V_{REF} = 1.23 \text{ V}$

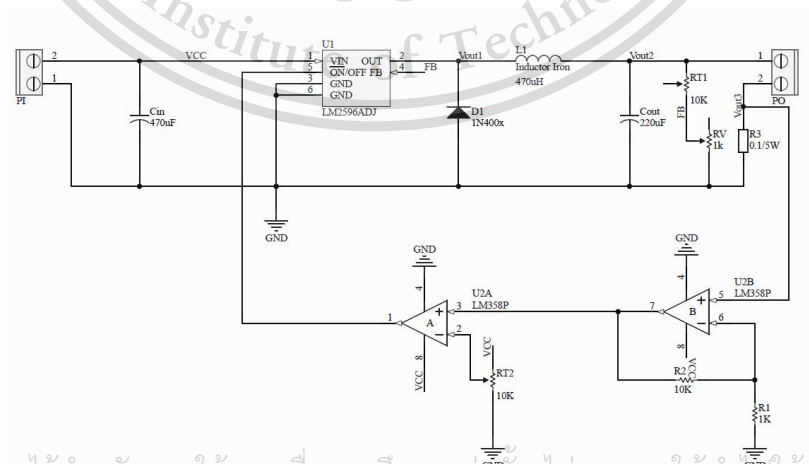
$$R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right)$$

Select R_1 to be approximately 1 kΩ, use a 1% resistor for best stability.

- C_{IN} — 470-μF, 50-V, Aluminum Electrolytic, Nichicon PL Series
- C_{OUT} — 220-μF, 35-V Aluminum Electrolytic, Nichicon PL Series
- D1 — 5-A, 40-V Schottky Rectifier, 1N5825
- L1 — 68 μH, L38
- R1 — 1 kΩ, 1%

รูปที่ 3.5 วงจร Buck converter จาก datasheet

3.3.1 แบบร่างของวงจร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.6 แบบร่างวงจร Buck converter
 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.

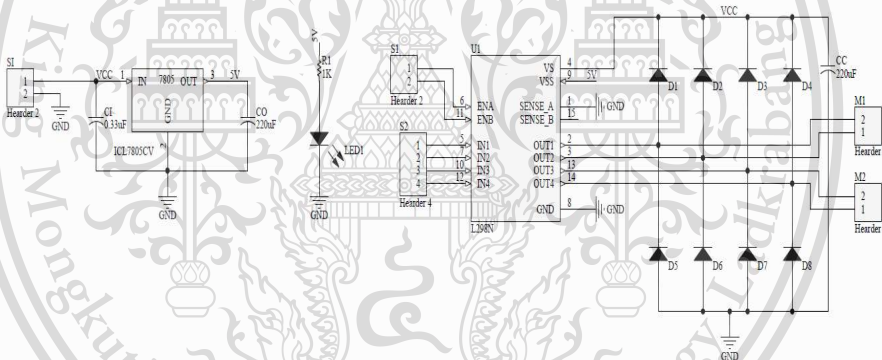
3.3.2 การเลือกใช้ค่าอุปกรณ์ในวงจร

1. ใช้ $C_{IN} = 470$ ไมโครฟารัด ดังแสดงในรูปที่ 3.5
2. ใช้ $C_{OUT} = 220$ ไมโครฟารัด ดังแสดงในรูปที่ 3.5
3. ใช้ R_1, R_2 จากสมการ $V_{OUT} = V_{REF}(1 + \frac{R_2}{R_1})$ โดย $V_{REF} = 1.23$ โวลต์
4. ใช้ Diode เบอร์ 1N5822
5. ใช้ $L = 68$ ไมโครเฮนรี่ ดังแสดงในรูปที่ 3.5
6. ใช้ LM358 เป็นวงจรจำกัดกระแส

3.4 การออกแบบ Driver circuit

ใช้ IC เบอร์ L298 เป็น Driver circuit

3.4.1 แบบร่างของวงจร



รูปที่ 3.7 แบบร่างวงจร Driver circuit

3.4.2 การเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจร

เลือกใช้ LM7805 เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับ IC เบอร์ L298 เนื่องจาก IC เบอร์ L298 นิยมใช้แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ ตาม datasheet

3.5 การออกแบบวงจร Relay

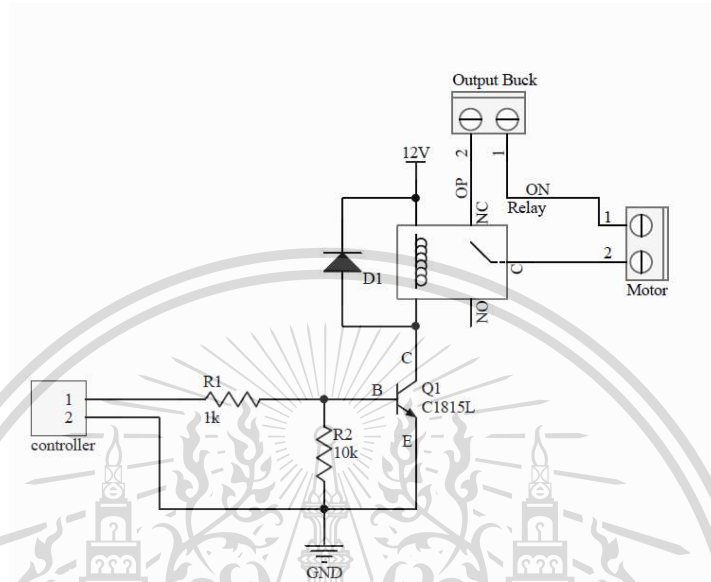
ใช้ Relay เบอร์ SRD-12VDC-SL-C เป็นวงจร Relay

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.

3.5.1 แบบร่างของวงจร



รูปที่ 3.8 แบบร่างวงจร Relay

3.5.2 การเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจร

1. ใช้ SRD-12VDC-SL-C เป็น Relay เนื่องจากทนแรงดันไฟฟ้าได้ 12 โวลต์ และกระแส 10 แอมป์
2. ใช้ C1815L เป็นสวิตช์ เนื่องจากเป็นทรานซิสเตอร์แบบ NPN ใช้กระแส turn on ต่ำ และมีค่า β สูงอยู่ในช่วง 70 ถึง 700 เท่า
3. ใช้ 1N4007 เป็นไดโอด เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวไดโอดที่ forward bias ต่ำ

3.6 การออกแบบ Comparator circuit

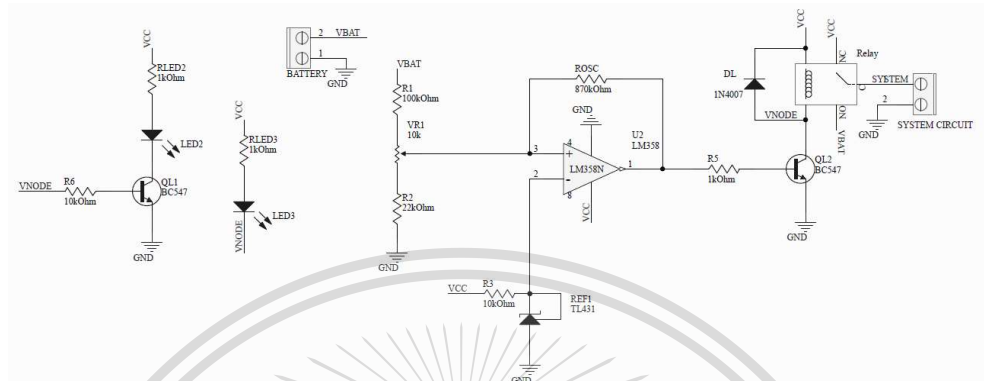
ใช้ IC เบอร์ LM358 เป็น Comparator circuit

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.

3.6.1 แบบร่างของวงจร



รูปที่ 3.9 แบบร่างวงจร Comparator circuit

3.6.2 การเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจร

1. ใช้ TL431 เป็นแรงดันอ้างอิง เนื่องจากเป็นซีเนอร์ไดโอดที่มีค่าสัญญาณรบกวนที่เอาต์พุตน้อย
2. ใช้ SRD-12VDC-SL-C เป็น Relay เนื่องจากทนแรงดันไฟฟ้าได้ 12 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 10 แอมป์
3. ใช้ BC547 เป็นสวิตช์ เนื่องจากเป็นทรานซิสเตอร์แบบ NPN ใช้กระแส turn on ต่ำ และมีค่า β สูงอยู่ในช่วง 110 ถึง 800 เท่า
4. ใช้ 1N4007 เป็นไดโอด เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวไดโอดที่ forward bias ต่ำ

3.7 การออกแบบวงจร ADC

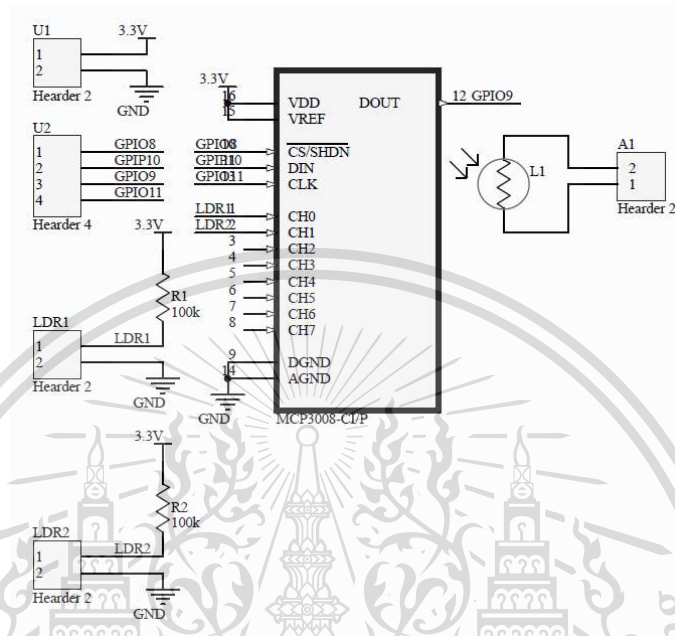
ใช้ IC เบอร์ MCP3008 เป็นวงจร ADC

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.

3.7.1 แบบร่างของวงจร



รูปที่ 3.10 แบบร่างวงจร ADC

3.7.2 การเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจร

เลือกใช้ IC เบอร์ MCP3008 เป็นวงจร ADC เนื่องจากต้องการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่คร่อมตัวต้านทานไวแสงอย่างละเอียด ซึ่ง IC เบอร์ MCP3008 มีความละเอียดถึง 10 บิต

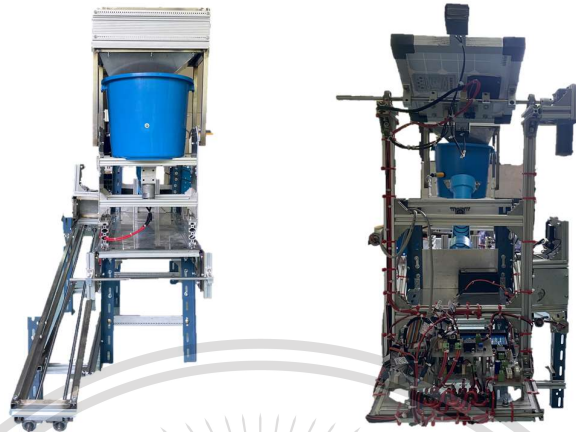
3.8 โครงของเครื่อง



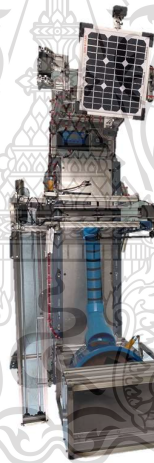
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.11 โครงเครื่อง Side view
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 3.12 โครงเครื่อง Front view



รูปที่ 3.13 โครงเครื่อง Top view

3.9 การคัดขนาดมะนาวของเครื่อง

ขนาดที่ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 4.8-5.1 เซนติเมตร

ขนาดที่ 2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 4.5-4.8 เซนติเมตร

ขนาดที่ 3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 4.2-4.5 เซนติเมตร

ขนาดที่ 4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 3.9-4.2 เซนติเมตร

ขนาดที่ 5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 3.9 เซนติเมตร

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.

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 คุณสมบัติของเครื่องคัดแยกมะนาวด้วยอิมเมจโปรเซสซิ่ง

4.1.1 สามารถตรวจจับสีของมะนาวได้อย่างแม่นยำ

4.1.2 เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานสำรอง

4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 การทดลองการตรวจจับสีด้วย Image processing

ทำการทดลองโดยการใช้มะนาว 20 ลูกแบ่งออกเป็นมะนาวผลสีเขียวและสีเหลือง นำมาเข้ากระบวนการอิมเมจโปรเซสซิ่ง จากนั้นวัดค่าความแม่นยำของเครื่อง

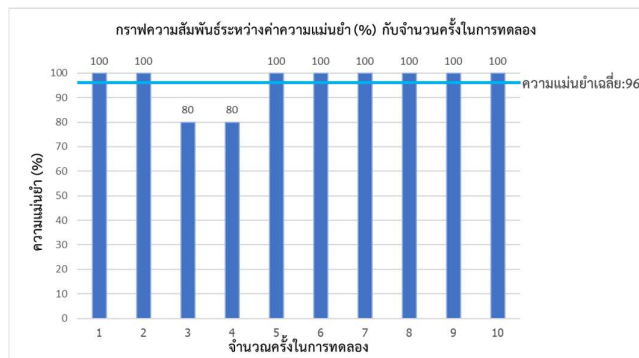
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการตรวจจับสีด้วย Image processing

ครั้งที่	สีและจำนวนมะนาว (ลูก)	ผลของสีที่ได้ (ลูก)	ความแม่นยำ(%)
1	สีเขียว 10	สีเขียว 10	100
2	สีเหลือง 10	สีเหลือง 10	100
3	สีเขียว 2, สีเหลือง 8	สีเขียว 3, สีเหลือง 7	80
4	สีเขียว 3, สีเหลือง 7	สีเขียว 4, สีเหลือง 6	80
5	สีเขียว 4, สีเหลือง 6	สีเขียว 4, สีเหลือง 6	100
6	สีเขียว 5, สีเหลือง 5	สีเขียว 5, สีเหลือง 5	100
7	สีเขียว 6, สีเหลือง 4	สีเขียว 6, สีเหลือง 4	100
8	สีเขียว 7, สีเหลือง 3	สีเขียว 7, สีเหลือง 3	100
9	สีเขียว 8, สีเหลือง 2	สีเขียว 8, สีเหลือง 2	100
10	สีเขียว 9, สีเหลือง 1	สีเขียว 9, สีเหลือง 1	100
ค่าความแม่นยำเฉลี่ย(%)			96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เฉพาะในสถาบันการศึกษาเท่านั้น 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 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแม่นยำ (%) กับจำนวนครั้งในการทดลอง

4.2.2 การทดลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์

ทำการทดลองโดยการต่อโหลดปรับค่าได้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วทำการปรับโหลดจากค่าสูงไปค่าต่ำ จากนั้นทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแส เพื่อนำไปวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้า และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้า ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการหาค่ากำลังสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้

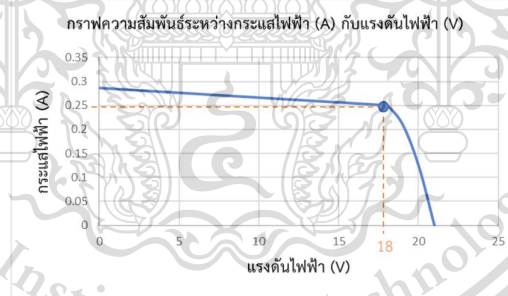
แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
0	0.286	0.000
1	0.284	0.284
2	0.282	0.564
3	0.280	0.840
4	0.278	1.112
5	0.276	1.380
6	0.274	1.644
7	0.272	1.904
8	0.270	2.160
9	0.268	2.412
10	0.266	2.660

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการรักษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

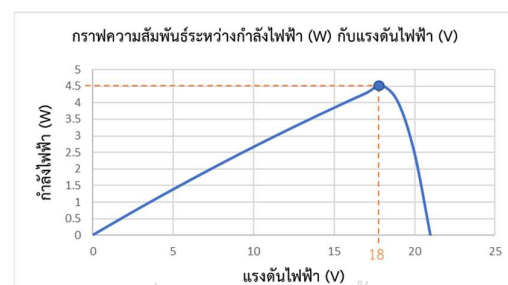
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

11	0.264	2.904
12	0.262	3.144
13	0.260	3.380
14	0.258	3.612
15	0.256	3.840
16	0.254	4.064
17	0.252	4.284
18	0.250	4.500
19	0.210	0.210
20	0.125	0.125
21	0	0



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (A) กับ แรงดันไฟฟ้า (V)



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (W) กับ แรงดันไฟฟ้า (V)

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.

4.2.3 การทดลองการหาค่ามุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับแสงสูงสุดที่เวลาต่าง ๆ

ทำการทดลองโดยการปรับค่ามุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ 0 องศา ถึง 180 องศา โดยปรับค่ามุมขึ้นครั้งละ 10 องศา จากนั้นทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยไม่ต่อโหลดที่มุมแต่ละค่า เพื่อนำไปวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับมุม

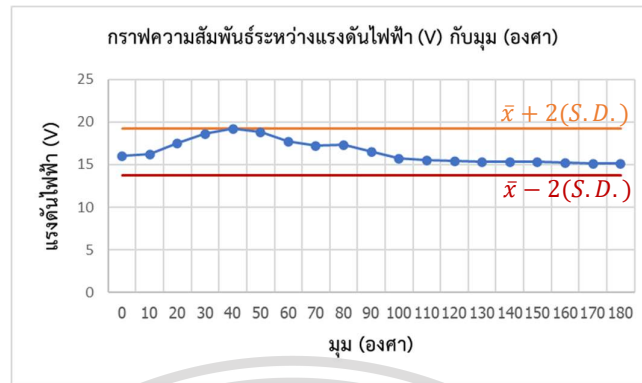
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการหาค่ามุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับแสงสูงสุดที่เวลา 09.00 น.

ค่ามุม (องศา)	แรงดันไฟฟ้า (V)
0	16.0
10	16.2
20	17.5
30	18.6
40	19.2
50	18.8
60	17.7
70	17.2
80	17.3
90	16.5
100	15.7
110	15.5
120	15.4
130	15.3
140	15.3
150	15.3
160	15.2
170	15.1
180	15.1

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 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) กับมม (องศา) ที่เวลา 09.00 น.

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการหาค่ามมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับแสงสูงสุดที่เวลา 10.00 น.

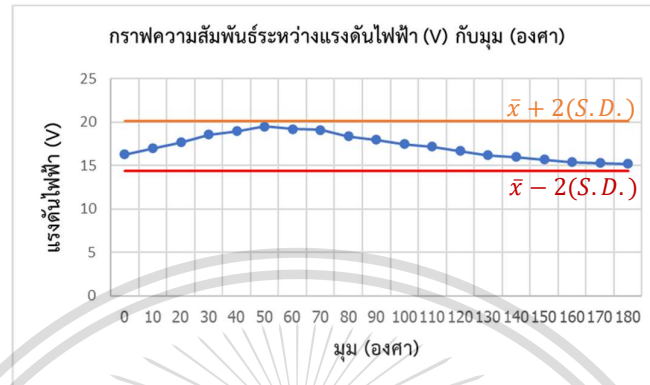
ค่ามม (องศา)	แรงดันไฟฟ้า (V)
0	16.3
10	17.0
20	17.7
30	18.6
40	19.0
50	19.5
60	19.2
70	19.1
80	18.4
90	18.0
100	17.5
110	17.2
120	16.7
130	16.2
140	16.0
150	15.7
160	15.4
170	15.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนบุคคลเพื่อการศึกษาเท่านั้น 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.

180	15.2
-----	------



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) กับมุม (องศา) ที่เวลา 10.00 น.

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการหาค่ามุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับแสงสูงสุดที่เวลา 11.00 น.

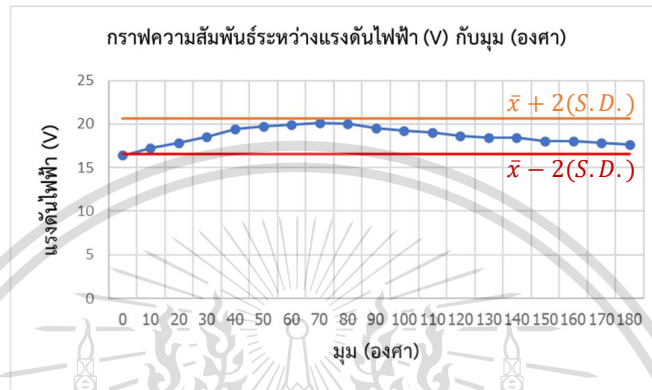
ค่ามุม (องศา)	แรงดันไฟฟ้า (V)
0	16.4
10	17.2
20	17.8
30	18.5
40	19.4
50	19.7
60	19.9
70	20.1
80	20.0
90	19.5
100	19.2
110	19.0
120	18.6
130	18.4
140	18.4
150	18.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
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.

160	18.0
170	17.8
180	17.6



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) กับมุม (องศา) ที่เวลา 11.00 น.

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการหาค่ามุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับแสงสูงสุดที่เวลา 12.00 น.

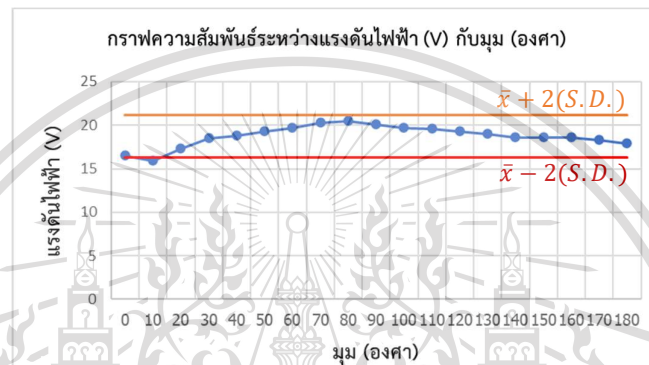
ค่ามุม (องศา)	แรงดันไฟฟ้า (V)
0	16.5
10	15.9
20	17.3
30	18.5
40	18.8
50	19.3
60	19.7
70	20.3
80	20.5
90	20.1
100	19.7
110	19.6
120	19.3
130	19.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น 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.

140	18.6
150	18.6
160	18.6
170	18.3
180	17.9



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) กับมอม (องศา) ที่เวลา 12.00 น.

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการหาค่ามอมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับแสงสูงสุดที่เวลา 13.00 น.

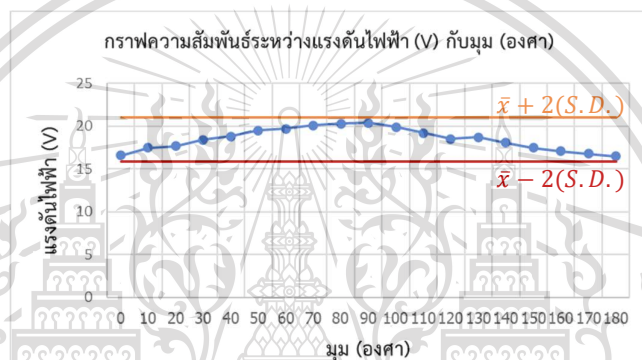
ค่ามอม (องศา)	แรงดันไฟฟ้า (V)
0	16.6
10	17.5
20	17.7
30	18.4
40	18.8
50	19.5
60	19.7
70	20.1
80	20.3
90	20.4
100	19.9
110	19.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
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.

120	18.5
130	18.7
140	18.1
150	17.5
160	17.1
170	16.8
180	16.5



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) กับมุม (องศา) ที่เวลา 13.00 น.

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการหาค่ามุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับแสงสูงสุดที่เวลา 14.00 น.

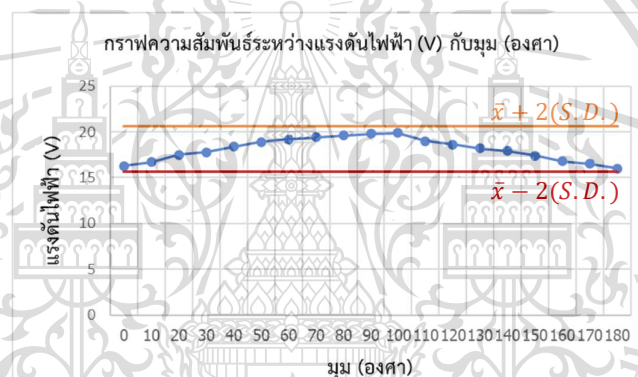
ค่ามุม (องศา)	แรงดันไฟฟ้า (V)
0	16.3
10	16.7
20	17.5
30	17.8
40	18.4
50	18.9
60	19.2
70	19.4
80	19.6
90	19.8

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.

100	19.9
110	19.0
120	18.6
130	18.2
140	17.9
150	17.4
160	16.8
170	16.5
180	16.0



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) กับมอม (องศา) ที่เวลา 14.00 น.

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองการหาค่ามอมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับแสงสูงสุดที่เวลา 15.00 น.

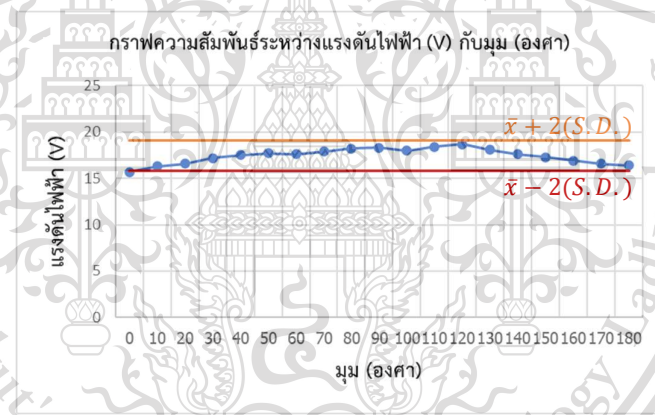
ค่ามอม (องศา)	แรงดันไฟฟ้า (V)
0	15.7
10	16.3
20	16.6
30	17.2
40	17.5
50	17.7
60	17.6
70	17.9

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.

80	18.2
90	18.3
100	18.0
110	18.4
120	18.7
130	18.1
140	17.6
150	17.3
160	16.9
170	16.6
180	16.4



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) กับมุม (องศา) ที่เวลา 15.00 น.

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองการหาค่ามุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับแสงสูงสุดที่เวลา 16.00 น.

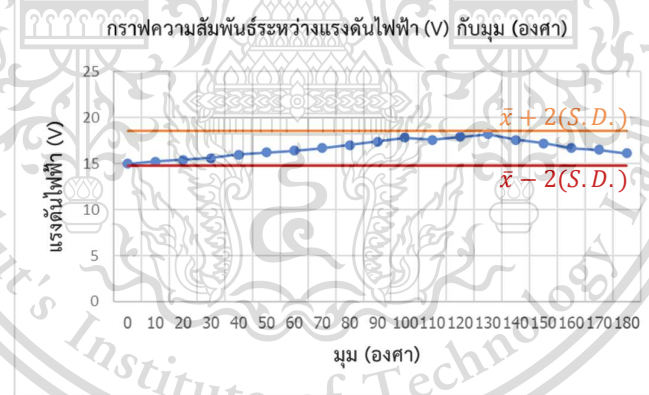
ค่ามุม (องศา)	แรงดันไฟฟ้า (V)
0	16.5
10	15.9
20	17.3
30	18.5
40	18.8
50	19.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น 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.

60	19.7
70	20.3
80	20.5
90	20.1
100	19.7
110	19.6
120	19.3
130	19
140	18.6
150	18.6
160	18.6
170	18.3
180	17.9



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) กับมุม (องศา) ที่เวลา 16.00 น.

4.2.4 การทดลองการใช้มอเตอร์เพื่อควบคุมการตกของมะนาว

ทำการทดลองโดยการนำมะนาวทั้ง 5 ขนาดมาทดลอง โดยแบ่งการทดลองที่ละ 3 ลูก จากนั้นวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแส และดูลักษณะการตกของผลมะนาวที่ส่วนปลายผลมะนาว

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.

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองการใช้ออเตอร์เพื่อควบคุมการตกของมะนาว 3 ลูก โดยใช้ขนาดที่ 1 (เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดระหว่าง 4.8 ถึง 5.1 เซนติเมตร)

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟ (A)	หมายเหตุ
1	2.5	1.53	มอเตอร์ทำงาน
2	3.0	0.92	ตก 2 ลูกพร้อมกัน
3	3.5	0.99	ตก 2 ลูกพร้อมกัน
4	4.0	1.02	ตก 2 ลูกพร้อมกัน
5	4.5	1.05	ลูกมะนาวค้ำ
6	5.0	1.07	ลูกมะนาวค้ำ
7	5.5	0.97	-
8	6.0	1.00	-
9	6.5	1.00	-
10	7.0	1.02	-
11	7.5	1.05	ลูกมะนาวค้ำ
12	8.0	1.05	ลูกมะนาวค้ำ
13	8.5	1.07	ลูกมะนาวค้ำ
14	9.0	1.07	ลูกมะนาวค้ำ
15	9.5	1.10	ลูกมะนาวค้ำ
16	10.0	1.10	ลูกมะนาวค้ำ
17	10.5	1.10	ลูกมะนาวค้ำ
18	11.0	1.10	ลูกมะนาวค้ำ

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.

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองการใช้ออเตอร์เพื่อควบคุมการตกของมะนาว 3 ลูก โดยใช้ขนาดที่ 2 (เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดระหว่าง 4.5 ถึง 4.8 เซนติเมตร)

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟ (A)	หมายเหตุ
1	2.5	1.50	มอเตอร์ทำงาน
2	3.0	0.90	ตก 2 ลูกพร้อมกัน
3	3.5	0.97	ตก 2 ลูกพร้อมกัน
4	4.0	1.00	ตก 2 ลูกพร้อมกัน
5	4.5	1.03	ลูกมะนาวค้ำ
6	5.0	1.05	ลูกมะนาวค้ำ
7	5.5	0.95	-
8	6.0	0.96	-
9	6.5	0.96	-
10	7.0	0.97	-
11	7.5	1.00	-
12	8.0	1.00	ลูกมะนาวค้ำ
13	8.5	1.02	ลูกมะนาวค้ำ
14	9.0	1.02	ลูกมะนาวค้ำ
15	9.5	1.06	ลูกมะนาวค้ำ
16	10.0	1.06	ลูกมะนาวค้ำ
17	10.5	1.06	ลูกมะนาวค้ำ
18	11.0	1.06	ลูกมะนาวค้ำ

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.

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองการใช้ออเตอร์เพื่อควบคุมการตกของมะนาว 3 ลูก โดยใช้ขนาดที่ 3 (เส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 4.2 ถึง 4.5 เซนติเมตร)

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟ (A)	หมายเหตุ
1	2.5	1.47	มอเตอร์ทำงาน
2	3.0	0.87	ตก 2 ลูกพร้อมกัน
3	3.5	0.95	ตก 2 ลูกพร้อมกัน
4	4.0	0.96	ตก 2 ลูกพร้อมกัน
5	4.5	0.99	ลูกมะนาวค้ำ
6	5.0	1.00	ลูกมะนาวค้ำ
7	5.5	0.96	-
8	6.0	0.96	-
9	6.5	0.97	-
10	7.0	0.97	-
11	7.5	0.99	-
12	8.0	0.99	-
13	8.5	1.00	ลูกมะนาวค้ำ
14	9.0	1.00	ลูกมะนาวค้ำ
15	9.5	1.01	ลูกมะนาวค้ำ
16	10.0	1.02	ลูกมะนาวค้ำ
17	10.5	1.03	ลูกมะนาวค้ำ
18	11.0	1.03	ลูกมะนาวค้ำ

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.

ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองการใช้ออเตอร์เพื่อควบคุมการตกของมะนาว 3 ลูก โดยใช้ขนาดที่ 4 (เส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 3.9 ถึง 4.2 เซนติเมตร)

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟ (A)	หมายเหตุ
1	2.5	1.45	มอเตอร์ทำงาน
2	3.0	0.86	ตก 2 ลูกพร้อมกัน
3	3.5	0.92	ตก 2 ลูกพร้อมกัน
4	4.0	0.99	ตก 2 ลูกพร้อมกัน
5	4.5	1.00	ลูกมะนาวค้าง
6	5.0	1.02	ลูกมะนาวค้าง
7	5.5	0.95	-
8	6.0	0.95	-
9	6.5	0.96	-
10	7.0	0.96	-
11	7.5	0.99	-
12	8.0	1.00	-
13	8.5	1.00	-
14	9.0	1.01	ลูกมะนาวค้าง
15	9.5	1.01	ลูกมะนาวค้าง
16	10.0	1.02	ลูกมะนาวค้าง
17	10.5	1.02	ลูกมะนาวค้าง
18	11.0	1.02	ลูกมะนาวค้าง

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.

ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองการใช้ออเตอร์เพื่อควบคุมการตกของมะนาว 3 ลูก โดยใช้ขนาดที่ 5 (เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 3.9 เซนติเมตร)

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟ (A)	หมายเหตุ
1	2.5	1.42	มอเตอร์ทำงาน
2	3.0	0.83	ตก 2 ลูกพร้อมกัน
3	3.5	0.90	ตก 2 ลูกพร้อมกัน
4	4.0	0.91	ตก 2 ลูกพร้อมกัน
5	4.5	0.95	ลูกมะนาวค้ำ
6	5.0	0.97	ลูกมะนาวค้ำ
7	5.5	0.92	-
8	6.0	0.92	-
9	6.5	0.92	-
10	7.0	0.92	-
11	7.5	0.93	-
12	8.0	0.93	-
13	8.5	0.93	-
14	9.0	0.93	-
15	9.5	0.96	ลูกมะนาวค้ำ
16	10.0	0.99	ลูกมะนาวค้ำ
17	10.5	1.00	ลูกมะนาวค้ำ
18	11.0	1.00	ลูกมะนาวค้ำ

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.

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเครื่องคัดแยกมะนาวด้วยอิมเมจโพรเซสซิ่ง จะแบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลองดังนี้ 1.การทดลองการตรวจจับสีด้วย Image processing 2.การทดลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ 3.การทดลองการหาค่ามุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับแสงสูงสุดที่เวลาต่าง ๆ และ 4.การทดลองการใช้มอเตอร์เพื่อควบคุมการตกของมะนาว

การทดลองที่ 1 การทดลองการตรวจจับสีด้วย Image processing ผลที่ได้จากการทดลองนี้คือ เครื่องสามารถตรวจจับสีของมะนาวมีค่าความแม่นยำเฉลี่ย 96%

การทดลองที่ 2 การทดลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ ผลที่ได้จากการทดลองนี้คือ เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้สูงสุด 4.5 วัตต์

การทดลองที่ 3 การทดลองการหาค่ามุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับแสงสูงสุดที่เวลาต่าง ๆ ผลที่ได้จากการทดลองนี้คือ ที่เวลา 09.00 จะต้องให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 40 องศา ที่เวลา 10.00 จะต้องให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 50 องศา ที่เวลา 11.00 จะต้องให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 70 องศา ที่เวลา 12.00 จะต้องให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 80 องศา ที่เวลา 13.00 จะต้องให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 90 องศา ที่เวลา 14.00 จะต้องให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 100 องศา ที่เวลา 15.00 จะต้องให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 120 องศา และสุดท้ายที่เวลา 16.00 จะต้องให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 130 องศา

การทดลองที่ 4 การทดลองการใช้มอเตอร์เพื่อควบคุมการตกของมะนาว ผลที่ได้จากการทดลองนี้คือ ต้องใช้แรงดันไฟฟ้า 7.00 โวลต์ และกระแส 0.97 แอมป์ เพื่อควบคุมมอเตอร์

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองการทำงานของเครื่องคัดแยกมะนาวด้วยอิมเมจโพรเซสซิ่งนั้น ประสิทธิภาพของเครื่องเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของคณะผู้จัดทำ แต่สามารถพัฒนาเครื่องให้มีความหลากหลายในการใช้งานมากขึ้น เช่น การส่งข้อมูลการเก็บลูกมะนาวในเซิร์ฟเวอร์ หรือจะพัฒนาให้รองรับการคัดแยกผักและผลไม้ชนิดต่าง ๆ มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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.

บรรณานุกรม

- [1] การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน. (2561). สืบค้น 3 กันยายน 2563, จาก <https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน/>
- [2] เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell). (2556). สืบค้น 4 กุมภาพันธ์ 2564, จาก <https://guru.sanook.com/6613/>
- [3] โซล่าชาร์จเจอร์คืออะไร? MPPT และแบบ PWM แล้วทำไมต้องใช้. (2563). สืบค้น 4 กุมภาพันธ์ 2564, จาก <http://www.sunpro-solar.net/article/51/โซล่าชาร์จเจอร์คืออะไร-mppt-และแบบ-pwm-แล้วทำไมต้องใช้>
- [4] พันธกาล ยศอ่อน. (2556). LDR ตัวต้านทานไวแสง. สืบค้น 10 กุมภาพันธ์ 2564, จาก <https://sites.google.com/site/electso25/menu/8>.
- [5] พิริยุตม์ วรณพฤกษ์. (2562). 6 เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับโซลาร์เซลล์ผลิตไฟฟ้าใช้เองได้ยังไง ?. สืบค้น 6 กุมภาพันธ์ 2564, จาก <https://erc.kapook.com/article22.php>
- [6] มอเตอร์. (2564). สืบค้น 3 กันยายน 2563, จาก <https://th.wikipedia.org/wiki/มอเตอร์>
- [7] รีเลย์ (Relay) คืออะไร ?. (2557). สืบค้น 8 กุมภาพันธ์ 2564, จาก <http://www.psptech.co.th/รีเลย์relayคืออะไร-15696.page>
- [8] วงจร ADC. (2563). สืบค้น 3 กันยายน 2563, จาก http://pws.npru.ac.th/thawatchait/data/files/Chapter%207_ADC%20and%20DAC%20circuits%2001.pdf
- [9] เว็บแคม คืออะไร ?. (2553). สืบค้น 3 กันยายน 2563, จาก <http://www.webcam2home.com/webcam-knowledge-th.htm>
- [10] สยามออโตเมชัน. (2562). Switching Power Supply คืออะไร ?. สืบค้น 5 กันยายน 2563, จาก <http://www.siam-automation.com/article/14/switching-power-supply-คืออะไร/>
- [11] สานมะนาวแป้นศุภเดช จังหวัดกำแพงเพชร. (2557). การคัดเกรดมะนาว. สืบค้น 15 กันยายน 2563, จาก <https://www.facebook.com/manowpansuppadet/posts/649377311844194/>

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.

- [12] bit9. (2555). **มารู้จักพร็อกซิมีตี้เซนเซอร์ (PROXIMITY SENSOR) กันเถอะ.** สืบค้น 8 กุมภาพันธ์ 2564, จาก <http://www.amda.co.th/2011/technical-skill/มารู้จักพร็อกซิมีตี้/>
- [13] **Comparators.** (2564). สืบค้น 10 กุมภาพันธ์ 2564, จาก https://www.tutorialspoint.com/linear_integrated_circuits_applications/linear_integrated_circuits_applications_comparators.htm
- [14] Emmanuel Odunlade. (2561). **Different Types of Batteries and their Applications.** สืบค้น 10 กุมภาพันธ์ 2564, จาก <https://circuitdigest.com/article/different-types-of-batteries>
- [15] gunn-p. (2554). **Solar Cell.** สืบค้น 15 กันยายน 2563, จาก <https://sites.google.com/site/rebirthgroupen/hlak-kar-thangan>
- [16] **Gyroscope Sensor Working and Its Applications.** (2564). สืบค้น 1 กุมภาพันธ์ 2564, จาก <https://www.elprocus.com/gyroscope-sensor/>
- [17] janechom. (2558). **หลักการทํางานของ Relay.** สืบค้น 8 กุมภาพันธ์ 2564, จาก <https://cgproject111.wordpress.com/2015/11/15/หลักการทํางานของ-relay/>
- [18] jarat. (2552). **Image processing เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ.** สืบค้น 1 กันยายน 2563, จาก <http://jaratcyberu.blogspot.com/2009/10/image-processing.html>
- [19] kho_hi. (2551). **อิมเมจโปรเซสซิ่งเบื้องต้น.** สืบค้น 1 กันยายน 2563, จาก <https://www.bloggang.com/mainblog.php?id=it-mixs>
- [20] Max. (2563). **การใช้ตัวนับเวลา (RTC).** สืบค้น 10 กุมภาพันธ์ 2564, จาก <https://docs.ioxgd.com/arduino/ioxgd-library/rtc>
- [21] Nuttakan Chuntra. (2561). **OpenCV คืออะไร ?.** สืบค้น 1 กันยายน 2563, จาก <https://medium.com/@nut.ch40/opencv-คืออะไร-8771e2a4c414>
- [22] **opencv-python เบื้องต้น.** (2563). สืบค้น 1 กันยายน 2563, จาก <https://phyblas.hinaboshi.com/oshi04>
- [23] PoundXI. (2560). **Raspberry Pi คืออะไร ?.** สืบค้น 3 กันยายน 2563, จาก <https://poundxi.com/raspberry-pi-คืออะไร/>
- [24] Sittidet Chooduang. (2561). **Real Time Clock (RTC) Module + LCD I2C.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ สืบค้น 10 กุมภาพันธ์ 2564, จาก <http://sittinfo.blogspot.com/2018/05/real-time-clock-rtc-module-lcd-i2c.html> เป็นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีมติให้เผยแพร่เอกสารนี้ 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.

- [25] sohailansaari. (2559). LDR ตัวต้านทานปรับค่าตามแสง. สืบค้น 10 กุมภาพันธ์ 2564, จาก <https://thiti.dev/blog/6796/>



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.



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.

```

import cv2
import numpy as np
import imutils
import time
import RPi.GPIO as GPIO
import board

cap = cv2.VideoCapture(0)
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(17,GPIO.OUT)
GPIO.setup(27,GPIO.OUT)
GPIO.setup(12,GPIO.OUT)
GPIO.setup(25,GPIO.IN,pull_up_down=GPIO.PUD_DOWN)
GPIO.setup(16,GPIO.OUT)
GPIO.output(12,0)
GPIO.output(16,0)
GPIO.output(17,0)
GPIO.output(27,0)
while True:
    _, frame = cap.read()
    hsv = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2HSV)
    lower_notgreen = np.array([20,70,120])
    upper_notgreen = np.array([33,255,255])
    lower_green = np.array([34,80,100])
    upper_green = np.array([70,255,255])
    mask1 = cv2.inRange(hsv, lower_notgreen,upper_notgreen)
    mask2 = cv2.inRange(hsv, lower_green,upper_green)
    cnts1 = cv2.findContours(mask1, cv2.RETR_TREE,cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
    cnts1 = imutils.grab_contours(cnts1)
    cnts2 = cv2.findContours(mask2, cv2.RETR_TREE,cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
    cnts2 = imutils.grab_contours(cnts2)
    GPIO.output(12,0)

```

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.

```

for c in cnts1:
    areal = cv2.contourArea(c)
    if areal > 6000:
        cv2.drawContours(frame,[c],-1,(0,255,0),3)
        M = cv2.moments(c)
        cx = int(M["m10"]/M["m00"])
        cy = int(M["m01"]/M["m00"])
        cv2.circle(frame,(cx,cy),7,(255,255,255),-1)
        cv2.putText(frame,"Yellow", (cx-20,cy-20), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,2.5,
(255,255,255), 3)
        GPIO.output(17,1)
        GPIO.output(27,0)
        GPIO.output(12,1)
        break
for c in cnts2:
    areal = cv2.contourArea(c)
    if areal > 4000:
        cv2.drawContours(frame,[c],-1,(0,255,0),3)
        M = cv2.moments(c)
        cx = int(M["m10"]/M["m00"])
        cy = int(M["m01"]/M["m00"])
        cv2.circle(frame,(cx,cy),7,(255,255,255),-1)
        cv2.putText(frame,"Green", (cx-20,cy-20), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,2.5,
(255,255,255), 3)
        cv2.imshow("result",frame)
        GPIO.output(17,0)
        GPIO.output(27,1)
        GPIO.output(12,1)
        break
cv2.imshow("result",frame)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 k = cv2.waitKey(5)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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.

```
if k == 27:  
    break  
cap.release()  
cv2.destroyAllWindows()
```



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.



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.

```

import time
import RPi.GPIO as GPIO
import board

GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(16,GPIO.OUT)
GPIO.setup(17,GPIO.IN,pull_up_down=GPIO.PUD_DOWN)
GPIO.setup(27,GPIO.IN,pull_up_down=GPIO.PUD_DOWN)
GPIO.setup(12,GPIO.IN,pull_up_down=GPIO.PUD_DOWN)
GPIO.setup(17,GPIO.OUT)
GPIO.setup(27,GPIO.OUT)
GPIO.setup(25,GPIO.IN,pull_up_down=GPIO.PUD_DOWN)
pwm = GPIO.PWM(16,17)
pwm.start(0)
while True:
    if GPIO.input(17)==1:
        time.sleep(0.05)
        pwm.ChangeDutyCycle(22)
        #GPIO.output(16,1)
        print("1")
    if GPIO.input(25)==0:
        pwm.ChangeDutyCycle(0)
        GPIO.output(17,0)
        GPIO.output(27,0)
        "a=1
        while a==1:
            if GPIO.input(12)==1:
                a=0"
        #GPIO.output(16,0)
        print("2")
    if GPIO.input(27)==1:
        pwm.ChangeDutyCycle(22)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา 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.

```
time.sleep(0.05)
print("3")
if GPIO.input(25)==0:
    pwm.ChangeDutyCycle(0)
    GPIO.output(17,0)
    GPIO.output(27,0)
```



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.



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.

```

from Kalman import KalmanAngle
import smbus
import time
import math
import board
import RPi.GPIO as GPIO
import busio as io
import adafruit_ds3231

kalmanX = KalmanAngle()
kalmanY = KalmanAngle()
RestrictPitch = True
radToDeg = 57.2957786
kalAngleX = 0
kalAngleY = 0
PWR_MGMT_1 = 0x6B
SMPLRT_DIV = 0x19
CONFIG = 0x1A
GYRO_CONFIG = 0x1B
INT_ENABLE = 0x38
ACCEL_XOUT_H = 0x3B
ACCEL_YOUT_H = 0x3D
ACCEL_ZOUT_H = 0x3F
GYRO_XOUT_H = 0x43
GYRO_YOUT_H = 0x45
GYRO_ZOUT_H = 0x47
def MPU_Init():
    bus.write_byte_data(DeviceAddress, SMPLRT_DIV, 7)
    bus.write_byte_data(DeviceAddress, PWR_MGMT_1, 1)
    bus.write_byte_data(DeviceAddress, CONFIG, int('0000110',2))
    bus.write_byte_data(DeviceAddress, GYRO_CONFIG, 24)
    bus.write_byte_data(DeviceAddress, INT_ENABLE, 1)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น 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.

```

def read_raw_data(addr):
    high = bus.read_byte_data(DeviceAddress, addr)
    low = bus.read_byte_data(DeviceAddress, addr+1)
    value = ((high << 8) | low)
    if(value > 32768):
        value = value - 65536
    return value

bus = smbus.SMBus(1)
DeviceAddress = 0x69
MPU_Init()
time.sleep(1)
accX = read_raw_data(ACCEL_XOUT_H)
accY = read_raw_data(ACCEL_YOUT_H)
accZ = read_raw_data(ACCEL_ZOUT_H)
if (RestrictPitch):
    roll = math.atan2(accY,accZ) * radToDeg
    pitch = math.atan(-accX/math.sqrt((accY**2)+(accZ**2))) * radToDeg
else:
    roll = math.atan(accY/math.sqrt((accX**2)+(accZ**2))) * radToDeg
    pitch = math.atan2(-accX,accZ) * radToDeg
print(pitch)
kalmanX.setAngle(roll)
kalmanY.setAngle(pitch)
flag = 0
i2c = io.I2C(board.SCL, board.SDA)
rtc = adafruit_ds3231.DS3231(i2c)
days = ("Sunday", "Monday", "Tuesday", "Wednesday", "Thursday", "Friday", "Saturday")
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(5,GPIO.OUT)
GPIO.setup(6,GPIO.OUT)
GPIO.setup(13,GPIO.OUT)

```

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.

```

GPIO.setup(24,GPIO.IN,pull_up_down=GPIO.PUD_UP)
GPIO.setup(26,GPIO.IN,pull_up_down=GPIO.PUD_UP)
pwm = GPIO.PWM(13,300)
pwm.start(0)
GPIO.output(5,0)
GPIO.output(6,0)
i=2
while True:
    t = rtc.datetime
    th_hour = t.tm_hour+7
    if GPIO.input(24) == 0:
        b=1
    if GPIO.input(26) == 0:
        c=1
    if GPIO.input(24) == 1:
        b=0
    if GPIO.input(26) == 1:
        c=0
    while i>1:
        if(flag >100):
            print("There is a problem with the connection")
            flag=0
            continue
        try:
            accX = read_raw_data(ACCEL_XOUT_H)
            accY = read_raw_data(ACCEL_YOUT_H)
            accZ = read_raw_data(ACCEL_ZOUT_H)
            gyroX = read_raw_data(GYRO_XOUT_H)
            gyroY = read_raw_data(GYRO_YOUT_H)
            gyroZ = read_raw_data(GYRO_ZOUT_H)
            if (RestrictPitch):

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการรศกษาเท่านั้น 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.

```

roll = math.atan2(accY,accZ) * radToDeg
pitch = math.atan(-accX/math.sqrt((accY**2)+(accZ**2))) * radToDeg
else:
roll = math.atan(accY/math.sqrt((accX**2)+(accZ**2))) * radToDeg
pitch = math.atan2(-accX,accZ) * radToDeg
print("The date is {} {}/{} {}".format(days[int(t.tm_wday)], t.tm_mday,
t.tm_mon, t.tm_year))
i=0
time.sleep(0.005)
except Exception as exc:
flag += 1
while i<1:
y = int(kalAngleY)
print("Angle Y: "+ str(y))
print("The time is {}:{:02}:{:02}".format(th_hour, t.tm_min, t.tm_sec))
a=0
if th_hour == 9:
if 47 < y < 53 and a==0:
pwm.ChangeDutyCycle(0)
if y < 47 and a==0:
GPIO.output(5,1)
GPIO.output(6,0)
pwm.ChangeDutyCycle(100)
if y > 53 and a==0:
GPIO.output(5,0)
GPIO.output(6,1)
pwm.ChangeDutyCycle(100)
if b==1 and c==0:
GPIO.output(5,1)
GPIO.output(6,0)
pwm.ChangeDutyCycle(100)

```

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.

```

print("1")
if y > 55:
    GPIO.output(5,0)
    GPIO.output(6,0)
    pwm.ChangeDutyCycle(0)
    b=0
    c=0
    print("stop")
b=0
c=0
if c==1 and b==0:
    GPIO.output(5,0)
    GPIO.output(6,1)
    pwm.ChangeDutyCycle(100)
    print("2")
    if y < -55:
        GPIO.output(5,0)
        GPIO.output(6,0)
        pwm.ChangeDutyCycle(0)
        b=0
        c=0
        print("stop")
b=0
c=0
if th_hour == 10:
    if 37 < y < 43 and a==0:
        pwm.ChangeDutyCycle(0)
    if y < 37 and a==0:
        GPIO.output(5,1)
        GPIO.output(6,0)
        pwm.ChangeDutyCycle(100)

```

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.

```

if y > 43 and a==0:
    GPIO.output(5,0)
    GPIO.output(6,1)
    pwm.ChangeDutyCycle(100)
if b==1 and c==0:
    GPIO.output(5,1)
    GPIO.output(6,0)
    pwm.ChangeDutyCycle(100)
print("1")
if y > 55:
    GPIO.output(5,0)
    GPIO.output(6,0)
    pwm.ChangeDutyCycle(0)
    b=0
    c=0
    print("stop")
    b=0
    c=0
if c==1 and b==0:
    GPIO.output(5,0)
    GPIO.output(6,1)
    pwm.ChangeDutyCycle(100)
    print("2")
if y < -55:
    GPIO.output(5,0)
    GPIO.output(6,0)
    pwm.ChangeDutyCycle(0)
    b=0
    c=0
    print("stop")

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อการศึกษาเท่านั้น 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.

```

c=0
if th_hour == 11:
    if 17 < y < 23 and a==0:
        pwm.ChangeDutyCycle(0)
    if y < 17 and a==0:
        GPIO.output(5,1)
        GPIO.output(6,0)
        pwm.ChangeDutyCycle(100)
    if y > 23 and a==0:
        GPIO.output(5,0)
        GPIO.output(6,1)
        pwm.ChangeDutyCycle(100)
    if b==1 and c==0:
        GPIO.output(5,1)
        GPIO.output(6,0)
        pwm.ChangeDutyCycle(100)
    print("1")
    if y > 55:
        GPIO.output(5,0)
        GPIO.output(6,0)
        pwm.ChangeDutyCycle(0)
        b=0
        c=0
        print("stop")
    b=0
    c=0
    if c==1 and b==0:
        GPIO.output(5,0)
        GPIO.output(6,1)
        pwm.ChangeDutyCycle(100)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น 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 y < -55:
    GPIO.output(5,0)
    GPIO.output(6,0)
    pwm.ChangeDutyCycle(0)
    b=0
    c=0
    print("stop")

b=0
c=0
if th_hour == 12:
    if 7 < y < 13 and a==0:
        pwm.ChangeDutyCycle(0)
    if y < 7 and a==0:
        GPIO.output(5,1)
        GPIO.output(6,0)
        pwm.ChangeDutyCycle(100)
    if y > 13 and a==0:
        GPIO.output(5,0)
        GPIO.output(6,1)
        pwm.ChangeDutyCycle(100)
    if b==1 and c==0:
        GPIO.output(5,1)
        GPIO.output(6,0)
        pwm.ChangeDutyCycle(100)
    print("1")
    if y > 55:
        GPIO.output(5,0)
        GPIO.output(6,0)
        pwm.ChangeDutyCycle(0)

```

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.

```

    print("stop")
    b=0
    c=0
if c==1 and b==0:
    GPIO.output(5,0)
    GPIO.output(6,1)
    pwm.ChangeDutyCycle(100)
    print("2")
if y < -55:
    GPIO.output(5,0)
    GPIO.output(6,0)
    pwm.ChangeDutyCycle(0)
    b=0
    c=0
    print("stop")
    b=0
    c=0
if th_hour == 13:
    if -3 < y < 3 and a==0:
        pwm.ChangeDutyCycle(0)
    if y < -3 and a==0:
        GPIO.output(5,1)
        GPIO.output(6,0)
        pwm.ChangeDutyCycle(100)
    if y > 3 and a==0:
        GPIO.output(5,0)
        GPIO.output(6,1)
        pwm.ChangeDutyCycle(100)
if b==1 and c==0:

```

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.

```

pwm.ChangeDutyCycle(100)
print("1")
if y > 55:
    GPIO.output(5,0)
    GPIO.output(6,0)
    pwm.ChangeDutyCycle(0)
    b=0
    c=0
    print("stop")
b=0
c=0
if c==1 and b==0:
    GPIO.output(5,0)
    GPIO.output(6,1)
    pwm.ChangeDutyCycle(100)
    print("2")
if y < -55:
    GPIO.output(5,0)
    GPIO.output(6,0)
    pwm.ChangeDutyCycle(0)
    b=0
    c=0
    print("stop")
b=0
c=0
if th_hour == 14:
    if -13 < y < -7 and a==0:
        pwm.ChangeDutyCycle(0)
    if y < -13 and a==0:

```

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.

```

    pwm.ChangeDutyCycle(100)
if y > -7 and a==0:
    GPIO.output(5,0)
    GPIO.output(6,1)
    pwm.ChangeDutyCycle(100)
if b==1 and c==0:
    GPIO.output(5,1)
    GPIO.output(6,0)
    pwm.ChangeDutyCycle(100)
print("1")
if y > 55:
    GPIO.output(5,0)
    GPIO.output(6,0)
    pwm.ChangeDutyCycle(0)
    b=0
    c=0
    print("stop")
    b=0
    c=0
if c==1 and b==0:
    GPIO.output(5,0)
    GPIO.output(6,1)
    pwm.ChangeDutyCycle(100)
print("2")
if y < -55:
    GPIO.output(5,0)
    GPIO.output(6,0)
    pwm.ChangeDutyCycle(0)
    b=0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 print("stop")
 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=0
c=0
if th_hour == 15:
    if -33 < y < -27 and a==0:
        pwm.ChangeDutyCycle(0)
    if y < -33 and a==0:
        GPIO.output(5,1)
        GPIO.output(6,0)
        pwm.ChangeDutyCycle(100)
    if y > -27 and a==0:
        GPIO.output(5,0)
        GPIO.output(6,1)
        pwm.ChangeDutyCycle(100)
    if b==1 and c==0:
        GPIO.output(5,1)
        GPIO.output(6,0)
        pwm.ChangeDutyCycle(100)
    print("1")
    if y > 55:
        GPIO.output(5,0)
        GPIO.output(6,0)
        pwm.ChangeDutyCycle(0)
        b=0
        c=0
        print("stop")
    b=0
    c=0
    if c==1 and b==0:
        GPIO.output(5,0)
        GPIO.output(6,1)
        pwm.ChangeDutyCycle(100)

```

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.

```

print("2")
if y < -55:
    GPIO.output(5,0)
    GPIO.output(6,0)
    pwm.ChangeDutyCycle(0)
    b=0
    c=0
    print("stop")
b=0
c=0
if th_hour == 16:
    if -43 < y < -37 and a==0:
        pwm.ChangeDutyCycle(0)
    if y < -43 and a==0:
        GPIO.output(5,1)
        GPIO.output(6,0)
        pwm.ChangeDutyCycle(100)
    if y > -37 and a==0:
        GPIO.output(5,0)
        GPIO.output(6,1)
        pwm.ChangeDutyCycle(100)
if b==1 and c==0:
    GPIO.output(5,1)
    GPIO.output(6,0)
    pwm.ChangeDutyCycle(100)
    print("1")
if y > 55:
    GPIO.output(5,0)
    GPIO.output(6,0)
    pwm.ChangeDutyCycle(0)
b=0

```

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.

```

        c=0
        print("stop")
    b=0
    c=0
if c==1 and b==0:
    GPIO.output(5,0)
    GPIO.output(6,1)
    pwm.ChangeDutyCycle(100)
    print("2")
    if y < -55:
        GPIO.output(5,0)
        GPIO.output(6,0)
        pwm.ChangeDutyCycle(0)
        b=0
        c=0
        print("stop")
        b=0
        c=0
if th_hour >= 17:
    if 47 < y < 53 and a==0:
        pwm.ChangeDutyCycle(0)
    if y < 47 and a==0:
        GPIO.output(5,1)
        GPIO.output(6,0)
        pwm.ChangeDutyCycle(100)
    if y > 53 and a==0:
        GPIO.output(5,0)
        GPIO.output(6,1)
        pwm.ChangeDutyCycle(100)
    if b==1 and c==0:
        GPIO.output(5,1)

```

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.

```

GPIO.output(6,0)
pwm.ChangeDutyCycle(100)
print("1")
if y > 55:
    GPIO.output(5,0)
    GPIO.output(6,0)
    pwm.ChangeDutyCycle(0)
    b=0
    c=0
    print("stop")
b=0
c=0
if c==1 and b==0:
    GPIO.output(5,0)
    GPIO.output(6,1)
    pwm.ChangeDutyCycle(100)
    print("2")
    if y < -55:
        GPIO.output(5,0)
        GPIO.output(6,0)
        pwm.ChangeDutyCycle(0)
        b=0
        c=0
        print("stop")
b=0
c=0
i=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.



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.

```

import spidev
import time
import RPi.GPIO as GPIO
import math
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(24,GPIO.OUT)
GPIO.setup(26,GPIO.OUT)
#GPIO.setup(36,GPIO.OUT)
spi = spidev.SpiDev()
spi.open(0,0)
spi.max_speed_hz=1350000
GPIO.output(24,0)
GPIO.output(26,0)
def motor1():
    if(data2-data1 > 200):
        GPIO.output(24,1)
        GPIO.output(26,0)
        print("Left")
    if(data2-data1 < -200):
        GPIO.output(26,1)
        GPIO.output(24,0)
        print("Right")
def motor0():
    if(abs(data2-data1) <= 200):
        GPIO.output(26,0)
        GPIO.output(24,0)
        print("zero0")
        time.sleep(0.001)
while True:

```

```

    rasp1 = spi.xfer2([0x01, 0x80, 0])

```

```

    data1 = ((rasp1[1]&3) << 8) + rasp1[2]

```

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.

```
rasp2 = spi.xfer2([0x01 , 0x90 , 0])  
data2 = ((rasp2[1]&3) << 8 ) + rasp2[2]  
print("out1 "+ str(data1))  
print("out2 "+ str(data2))  
motor0()  
motor1()  
time.sleep(0)
```



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.



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.



LM2596

3A Step-Down Voltage Regulator

GENERAL DESCRIPTION

The LM2596 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving a 3A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3V, 5V, 12V, and an adjustable output version.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation, and a fixed-frequency oscillator.

The LM2596 series operates at a switching frequency of 150 kHz thus allowing smaller sized filter components than what would be needed with lower frequency switching regulators. Available in a standard 5-lead TO-220 package with several different lead bend options, and a 5-lead TO-263 surface mount package.

A standard series of inductors are available from several different manufacturers optimized for use with the LM2596 series. This feature greatly simplifies the design of switch-mode power supplies.

Other features include a guaranteed $\pm 4\%$ tolerance on output voltage under specified input voltage and output load conditions, and $\pm 15\%$ on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring typically 80 μ A standby current. Self protection features include a two stage frequency reducing current limit for the output switch and an over temperature shutdown for complete protection under fault conditions.

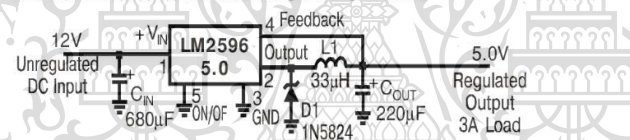
FEATURES

- 3.3V, 5V, 12V, and adjustable output versions
- Adjustable version output voltage range, 1.2V to 37V
- $\pm 4\%$ max over line and load conditions
- Available in TO-220 and TO-263 packages
- Guaranteed 3A output load current
- Input voltage range up to 40V
- Requires only 4 external components
- Excellent line and load regulation specifications
- 150 kHz fixed frequency internal oscillator
- TTL shutdown capability
- Low power standby mode, I_O typically 80 μ A
- High efficiency
- Uses readily available standard inductors
- Thermal shutdown and current limit protection

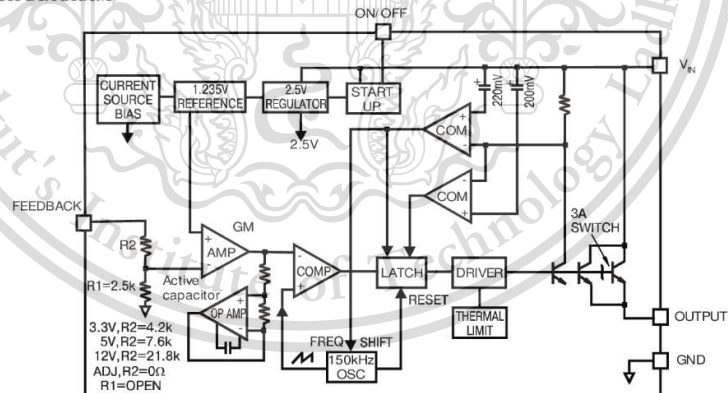
APPLICATIONS

- Simple high-efficiency step-down (buck) regulator
- On-card switching regulators
- Positive to negative converter

TYPICAL APPLICATION (Fixed Output Voltage Versions)



BLOCK DIAGRAM



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.



LM2596

3A Step-Down Voltage Regulator

PIN FUNCTIONS

+V_{IN} - This is the positive input supply for the IC switching regulator. A suitable input bypass capacitor must be present at this pin to minimize voltage transients and to supply the switching currents needed by the regulator.

Ground - Circuit ground.

Output - Internal switch. The voltage at this pin switches between (+V_{IN} - V_{SAT}) and approximately -0.5V, with a duty cycle of approximately V_{OUT}/V_{IN}. To minimize coupling to sensitive circuitry, the PC board copper area connected to this pin should be kept to a minimum.

Feedback - Senses the regulated output voltage to complete the feedback loop.

ON/OFF - Allows the switching regulator circuit to be shut down using logic level signals thus dropping the total input supply current to approximately 80 μ A. Pulling this pin below a threshold voltage of approximately 1.3V turns the regulator on, and pulling this pin above 1.3V (up to a maximum of 25V) shuts the regulator down. If this shutdown feature is not needed, the ON/OFF pin can be wired to the ground pin or it can be left open, in either case the regulator will be in the ON condition.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Note 1)

Maximum Supply Voltage	-45V
ON/OFF Pin Input Voltage	$-0.3 \leq V \leq +25V$
Feedback Pin Voltage	$-0.3 \leq V \leq +25V$
Output Voltage to Ground (Steady State)	-1V
Power Dissipation	Internally limited
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
ESD Susceptibility	
Human Body Model (Note 2)	2 kV
Lead Temperature S Package	
Vapor Phase (60 sec.)	+215°C
Infrared (10 sec.)	+245°C
T Package (Soldering, 10 sec.)	+260°C
Maximum Junction Temperature	+150°C

OPERATING CONDITIONS

Temperature Range	$-40^\circ\text{C} \leq T_j \leq +125^\circ\text{C}$
Supply Voltage	4.5V to 40V

LM2596-3.3

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Specifications with standard type face are for T_j = 25°C, and those with **boldface** type apply over full Operating Temperature Range

Symbol	Parameter	Conditions	LM2596-3.3		Units (Limits)
			Typ (Note 3)	Limit (Note 4)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 5) Test Circuit Figure 1					
V _{OUT}	Output Voltage	4.7V ≤ V _{IN} ≤ 40V, 0.2A ≤ I _{LOAD} ≤ 3A	3.3	3.168/ 3.135 3.432/ 3.465	V V(min) V(max)
η	Efficiency	V _{IN} =12V, I _{LOAD} =3A	73		%

LM2596-5.0

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Specifications with standard type face are for T_j = 25°C, and those with **boldface** type apply over full Operating Temperature Range

Symbol	Parameter	Conditions	LM2596-5.0		Units (Limits)
			Typ (Note 3)	Limit (Note 4)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 5) Test Circuit Figure 1					
V _{OUT}	Output Voltage	7V ≤ V _{IN} ≤ 40V, 0.2A ≤ I _{LOAD} ≤ 3A	5.0	4.800/ 4.750 5.200/ 5.250	V V(min) V(max)
η	Efficiency	V _{IN} =12V, I _{LOAD} =3A	80		%

LM2596-12

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Specifications with standard type face are for T_j = 25°C, and those with **boldface** type apply over full Operating Temperature Range

Symbol	Parameter	Conditions	LM2596-12		Units (Limits)
			Typ (Note 3)	Limit (Note 4)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 5) Test Circuit Figure 1					
V _{OUT}	Output Voltage	15V ≤ V _{IN} ≤ 40V, 0.2A ≤ I _{LOAD} ≤ 3A	12.0	11.52/ 11.40 12.48/ 12.60	V V(min) V(max)
η	Efficiency	V _{IN} =12V, I _{LOAD} =3A	90		%

LM2596-ADJ

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

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.



LM2596

3A Step-Down Voltage Regulator

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **boldface type** apply over **full Operating Temperature Range**

Symbol	Parameter	Conditions	LM2596-ADJ		Units (Limits)
			Typ (Note 3)	Limit (Note 4)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 5) Test Circuit Figure 1					
V_{OUT}	Output Voltage	$4.5\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$, $0.2\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$ V_{OUT} programmed for 3V. Circuit of Figure 1.	1.230	1.193/ 1.180 1.267/ 1.280	V V(min) V(max)
η	Efficiency	$V_{IN}=12\text{V}$, $V_{OUT}=3\text{V}$, $I_{LOAD}=3\text{A}$	73		%

ALL OUTPUT VOLTAGE VERSIONS

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **boldface type** apply over **full Operating Temperature Range**. Unless otherwise specified, $V_{IN} = 12\text{V}$ for the 3.3V, 5V, and Adjustable version and $V_{IN} = 24\text{V}$ for the 12V version. $I_{LOAD} = 500\text{mA}$

Symbol	Parameter	Conditions	LM2596-XX		Units (Limits)
			Typ (Note 3)	Limit (Note 4)	
DEVICE PARAMETERS					
I_b	Feedback Bias Current	Adjustable Version Only, $V_{FB}=1.3\text{V}$	10	50/ 100	nA nA (max)
f_o	Oscillator Frequency	(Note 6)	150	127/ 110 173/ 173	kHz kHz (min) kHz (max)
V_{SAT}	Saturation Voltage	$I_{OUT}=3\text{A}$ (Notes 7, 8)	1.16	1.4/ 1.5	V V (max)
DC	Max Duty Cycle (ON) Min Duty Cycle (OFF)	(Note 8) (Note 9)	100 0		%
I_{CL}	Current Limit	Peak Current (Notes 7, 8)	4.5	3.6/ 3.4 6.9/ 7.5	A A (min) A (max)
I_L	Output Leakage Current	Output=0V (Notes 7, 9) Output=-0.9V (Note 10)	10	50 30	μA (max) mA (max)
I_Q	Quiescent Current	(Note 9)	5	10	mA mA (max)
I_{STBY}	Standby Quiescent Current	ON/OFF pin=5V (OFF) (Note 10)	80	200/ 250	μA μA (max)
θ_{JC} θ_{JA} θ_{JA} θ_{JA} θ_{JA}	Thermal Resistance	TO-220 or TO-263 Package, Junction to Case TO-220 Package, Junction to Ambient (Note 11) TO-263 Package, Junction to Ambient (Note 12) TO-263 Package, Junction to Ambient (Note 13) TO-263 Package, Junction to Ambient (Note 14)	2 50 50 30 20		$^\circ\text{C}/\text{W}$ $^\circ\text{C}/\text{W}$ $^\circ\text{C}/\text{W}$ $^\circ\text{C}/\text{W}$ $^\circ\text{C}/\text{W}$
ON/OFF CONTROL Test Circuit Figure 1					
V_{IH} V_{IL}	ON/OFF Pin Logic Input Threshold Voltage	Low (Regulator ON) High (Regulator OFF)	1.3	0.6 2.0	V (max) V (min)
I_H	ON/OFF Pin Input Current	$V_{LOGIC}=2.5\text{V}$ (Regulator OFF)	5	15	μA μA (max)
I_L		$V_{LOGIC}=0.5\text{V}$ (Regulator ON)	0.02	5	μA μA (max)

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.

Note 2: The human body model is a 100 pF capacitor discharged through a 1.5k resistor into each pin.

Note 3: Typical numbers are at 25°C and represent the most likely norm.

Note 4: All limits guaranteed at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are guaranteed via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).

Note 5: External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors, and voltage programming resistors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in the Figure 1 test circuit, system performance will be as shown in system parameters section of Electrical Characteristics.

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.



LM2596 3A Step-Down Voltage Regulator

Note 6: The switching frequency is reduced when the second stage current limit is activated. The amount of reduction is determined by the severity of current over-load.

Note 7: No diode, inductor or capacitor connected to output pin.

Note 8: Feedback pin removed from output and connected to 0V to force the output transistor switch ON.

Note 9: Feedback pin removed from output and connected to 12V for the 3.3V, 5V, and the ADJ. version, and 15V for the 12V version, to force the output transistor switch OFF.

Note 10: $V_{IN} = 40V$.

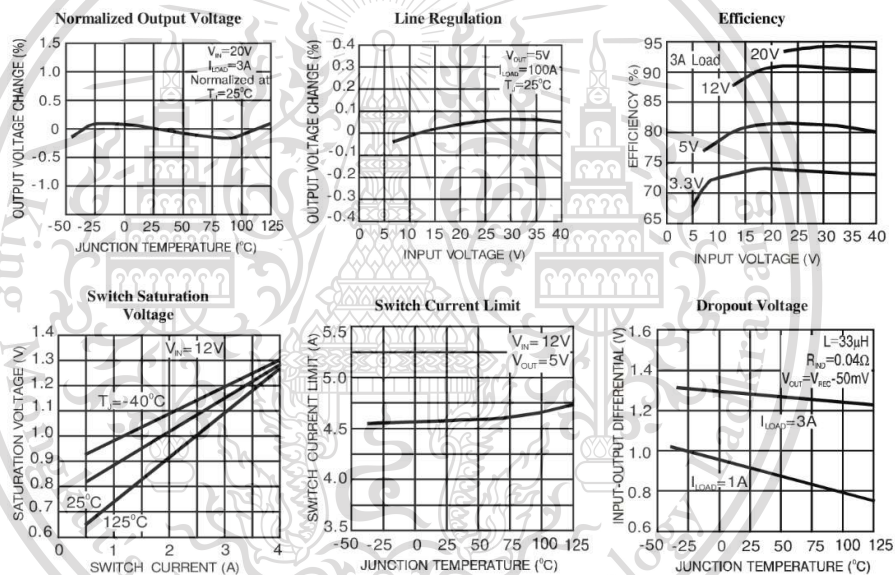
Note 11: Junction to ambient thermal resistance (no external heat sink) for the TO-220 package mounted vertically, with the leads soldered to a printed circuit board with (1 oz.) copper area of approximately 1 in²

Note 12: Junction to ambient thermal resistance with the TO-263 package tab soldered to a single printed circuit board with 0.5 in² of (1 oz.) copper area.

Note 13: Junction to ambient thermal resistance with the TO-263 package tab soldered to a single sided printed circuit board with 2.5 in² of (1 oz.) copper area.

Note 14: Junction to ambient thermal resistance with the TO-263 package tab soldered to a double sided printed circuit board with 3 in² of (1 oz.) copper area on the LM2596S side of the board, and approximately 16 in² of copper on the other side of the p-c board.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Circuit of Figure 1)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

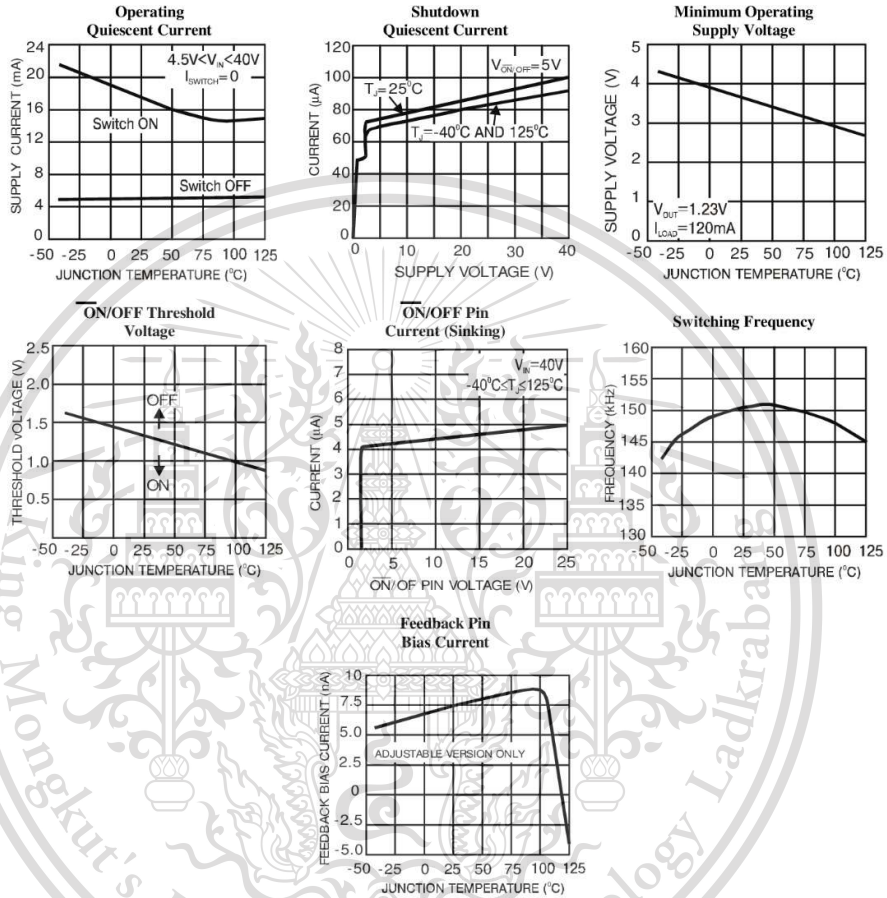
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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



LM2596
3A Step-Down Voltage Regulator

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Circuit of Figure 1) (Continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

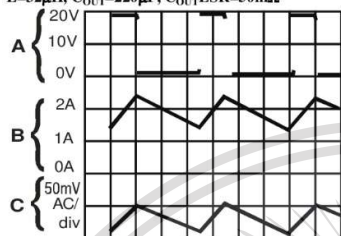
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



LM2596
3A Step-Down Voltage Regulator

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

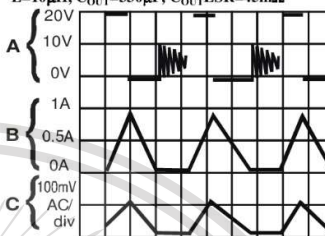
Continuous Mode Switching Waveforms
 $V_{IN}=20V, V_{OUT}=5V, I_{LOAD}=2A$
 $L=32\mu H, C_{OUT}=220\mu F, C_{OUTESR}=50m\Omega$



A: Output Pin Voltage, 10V/div
 B: Inductor Current 1A/div
 C: Output Ripple Voltage, 50mV/div

Horizontal Time Base: 2 μs /div

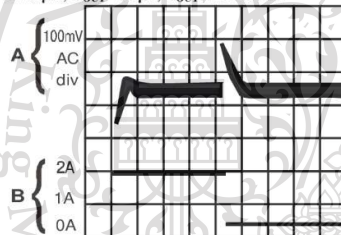
Discontinuous Mode Switching Waveforms
 $V_{IN}=20V, V_{OUT}=5V, I_{LOAD}=500mA$
 $L=10\mu H, C_{OUT}=330\mu F, C_{OUTESR}=45m\Omega$



A: Output Pin Voltage, 10V/div
 B: Inductor Current 1A/div
 C: Output Ripple Voltage, 100mV/div

Horizontal Time Base: 2 μs /div

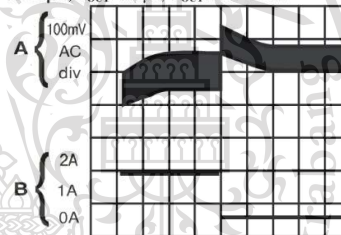
Load Transient Response for Continuous Mode
 $V_{IN}=20V, V_{OUT}=5V, I_{LOAD}=500mA \text{ to } 2A$
 $L=32\mu H, C_{OUT}=220\mu F, C_{OUTESR}=50m\Omega$



A: Output Voltage, 100mV/div. (AC)
 B: 500mA to 2A Load Pulse

Horizontal Time Base: 100 μs /div

Load Transient Response for Discontinuous Mode
 $V_{IN}=20V, V_{OUT}=5V, I_{LOAD}=500mA \text{ to } 2A$
 $L=10\mu H, C_{OUT}=330\mu F, C_{OUTESR}=45m\Omega$



A: Output Voltage, 100mV/div. (AC)
 B: 500mA to 2A Load Pulse

Horizontal Time Base: 200 μs /div

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.



LM2596 3A Step-Down Voltage Regulator

TEST CIRCUIT AND LAYOUT GUIDELINES

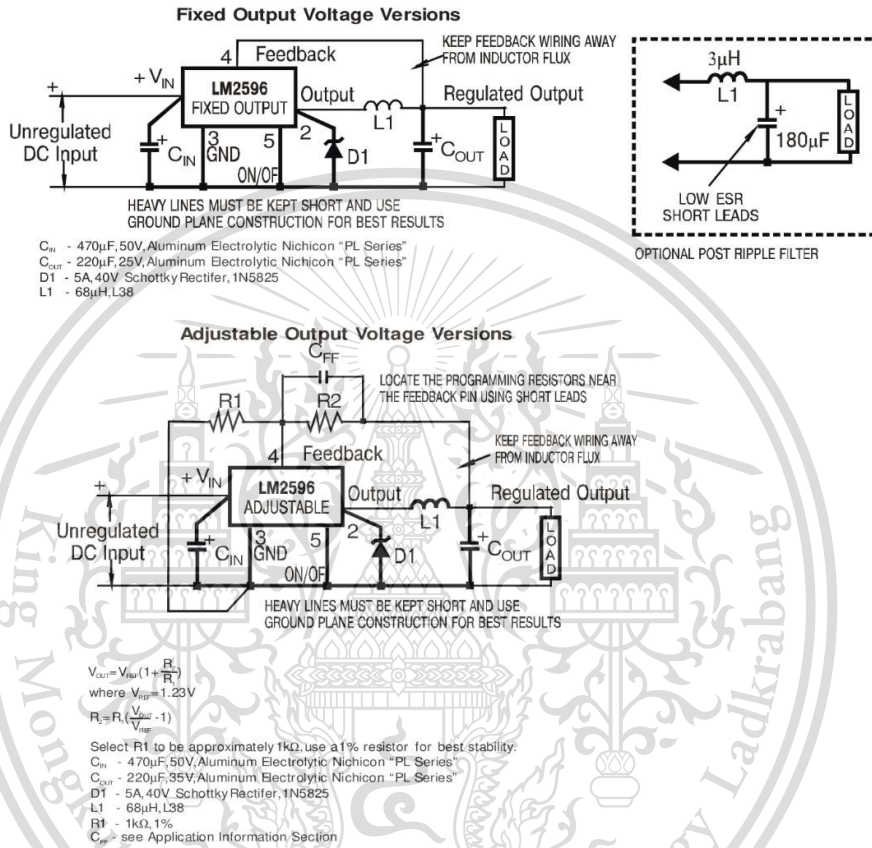


Figure 1. Standard Test Circuits and Layout Guides

As in any switching regulator, layout is very important. Rapidly switching currents associated with wiring inductance can generate voltage transients which can cause problems. For minimal inductance and ground loops, the wires indicated by **heavy lines should be wide printed circuit traces and should be kept as short as possible**. For best results, external components should be located as close to the switcher IC as possible using ground plane construction or single point grounding.

If **open core inductors are used**, special care must be taken as to the location and positioning of this type of inductor. Allowing the inductor flux to intersect sensitive feedback, IC groundpath and C_{OUT} wiring can cause problems.

When using the adjustable version, special care must be taken as to the location of the feedback resistors and the associated wiring. Physically locate both resistors near the IC, and route the wiring away from the inductor, especially an open core type of inductor.

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.



LM2596

3A Step-Down Voltage Regulator

LM2596 SERIES BUCK REGULATOR DESIGN PROCEDURE (FIXED OUTPUT)

PROCEDURE (Fixed Output Voltage Version)	EXAMPLE (Fixed Output Voltage Version)
<p>Given: V_{OUT} = Regulated Output Voltage (3.3V, 5V or 12V) $V_{IN}(\max)$ = Maximum DC Input Voltage $I_{LOAD}(\max)$ = Maximum Load Current</p> <p>1. Inductor Selection (L1) A. Select the correct inductor value selection guide from Figures Figure 4, Figure 5, or Figure 6. (Output voltages of 3.3V, 5V, or 12V respectively.) For all other voltages, see the design procedure for the adjustable version. B. From the inductor value selection guide, identify the inductance region intersected by the Maximum Input Voltage line and the Maximum Load Current line. Each region is identified by an inductance value and an inductor code (LXX). C. Select an appropriate inductor from the four manufacturer's part numbers listed in Figure 8.</p> <p>2. Output Capacitor Selection (C_{OUT}) A. In the majority of applications, low ESR (Equivalent Series Resistance) electrolytic capacitors between 82 μF and 820 μF and low ESR solid tantalum capacitors between 10 μF and 470 μF provide the best results. This capacitor should be located close to the IC using short capacitor leads and short copper traces. Do not use capacitors larger than 820 μF. B. To simplify the capacitor selection procedure, refer to the quick design component selection table shown in Figure 2. This table contains different input voltages, output voltages, and load currents, and lists various inductors and output capacitors that will provide the best design solutions. C. The capacitor voltage rating for electrolytic capacitors should be at least 1.5 times greater than the output voltage, and often much higher voltage ratings are needed to satisfy the low ESR requirements for low output ripple voltage.</p> <p>3. Catch Diode Selection (D1) A. The catch diode current rating must be at least 1.3 times greater than the maximum load current. Also, if the power supply design must withstand a continuous output short, the diode should have a current rating equal to the maximum current limit of the LM2596. The most stressful condition for this diode is an overload or shorted output condition. B. The reverse voltage rating of the diode should be at least 1.25 times the maximum input voltage. C. This diode must be fast (short reverse recovery time) and must be located close to the LM2596 using short leads and short printed circuit traces. Because of their fast switching speed and low forward voltage drop, Schottky diodes provide the best performance and efficiency, and should be the first choice, especially in low output voltage applications. Ultra-fast recovery, or High-Efficiency rectifiers also provide good results. Ultra-fast recovery diodes typically have reverse recovery times of 50 ns or less. Rectifiers such as the 1N5400 series are much too slow and should not be used.</p>	<p>Given: V_{OUT} = 5V $V_{IN}(\max)$ = 12V $I_{LOAD}(\max)$ = 3A</p> <p>1. Inductor Selection (L1) A. Use the inductor selection guide for the 5V version shown in Figure 5. B. From the inductor value selection guide shown in Figure 5, the inductance region intersected by the 12V horizontal line and the 3A vertical line is 33 μH, and the inductor code is L40. C. The inductance value required is 33 μH. From the table in Figure 8, go to the L40 line and choose an inductor part number from any of the four manufacturers shown. (In most in-stance, both through hole and surface mount inductors are available.)</p> <p>2. Output Capacitor Selection (C_{OUT}) A. See section on output capacitors in application information section. B. From the quick design component selection table shown in Figure 2, locate the 5V output voltage section. In the load current column, choose the load current line that is closest to the current needed in your application, for this example, use the 3A line. In the maximum input voltage column, select the line that covers the input voltage needed in your application, in this example, use the 15V line. Continuing on this line are recommended inductors and capacitors that will provide the best overall performance. The capacitor list contains both through hole electrolytic and surface mount tantalum capacitors from four different capacitor manufacturers. It is recommended that both the manufacturers and the manufacturer's series that are listed in the table be used. In this example aluminum electrolytic capacitors from several different manufacturers are available with the range of ESR numbers needed. 330 μF 35V Panasonic HFQ Series 330 μF 35V Nichicon PL Series C. For a 5V output, a capacitor voltage rating at least 7.5V or more is needed. But even a low ESR, switching grade, 220μF 10V aluminum electrolytic capacitor would exhibit approximately 225 mW of ESR (see the curve in Figure 14 for the ESR vs voltage rating). This amount of ESR would result in relatively high output ripple voltage. To reduce the ripple to 1% of the output voltage, or less, a capacitor with a higher value or with a higher voltage rating (lower ESR) should be selected. A 16V or 25V capacitor will reduce the ripple voltage by approximately half.</p> <p>3. Catch Diode Selection (D1) A. Refer to the table shown in Figure 11. In this example, a 5A, 20V, 1N5823 Schottky diode will provide the best performance, and will not be overstressed even for a shorted output.</p>

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.



LM2596 3A Step-Down Voltage Regulator

PROCEDURE (Fixed Output Voltage Version)	EXAMPLE (Fixed Output Voltage Version)
<p>4. Input Capacitor (C_{IN}) A low ESR aluminum or tantalum bypass capacitor is needed between the input pin and ground pin to prevent large volt-age transients from appearing at the input. This capacitor should be located close to the IC using short leads. In addition, the RMS current rating of the input capacitor should be selected to be at least 1/2 the DC load current. The capacitor manufacturers data sheet must be checked to assure that this current rating is not exceeded. The curve shown in Figure 9 shows typical RMS current ratings for several different aluminum electrolytic capacitor values. For an aluminum electrolytic, the capacitor voltage rating should be approximately 1.5 times the maximum input voltage. The tantalum capacitor voltage rating should be 2 times the maximum input voltage and it is recommended that they be surge current tested by the manufacturer. Use caution when using ceramic capacitors for input bypassing, because it may cause severe ringing at the V_{IN} pin.</p>	<p>4. Input Capacitor (C_{IN}) The important parameters for the Input capacitor are the input voltage rating and the RMS current rating. With a nominal input voltage of 12V, an aluminum electrolytic capacitor with a voltage rating greater than 18V (1.5 x V_{IN}) would be needed. The next higher capacitor voltage rating is 25V. The RMS current rating requirement for the input capacitor in a buck regulator is approximately 1/2 the DC load current. In this example, with a 3A load, a capacitor with a RMS current rating of at least 1.5A is needed. The curves shown in Figure 9 can be used to select an appropriate input capacitor. From the curves, locate the 35V line and note which capacitor values have RMS current ratings greater than 1.5A. A 680µF/35V capacitor could be used. For a through hole design, a 680µF/35V electrolytic capacitor (Panasonic HFQ series or Nichicon PL series or equivalent) would be adequate, other types or other manufacturers capacitors can be used provided the RMS ripple current ratings are adequate. For surface mount designs, solid tantalum capacitors can be used, but caution must be exercised with regard to the capacitor surge current rating. The TPS series available from AVX, and the 593D series from Sprague are both surge current tested.</p>

LM2596 SERIES BUCK REGULATOR DESIGN PROCEDURE (FIXED OUTPUT) (Continued)

Conditions			Inductor		Output Capacitor			
Output Voltage (V)	Load Current (A)	Max Input Voltage (V)	Inductance (µH)	Inductor (#)	Through Hole Electrolytic		Surface Mount Tantalum	
					Panasonic HFQ Series (µF/V)	Nichicon PL Series (µF/V)	AVX TPS Series (µF/V)	Sprague 595D Series (µF/V)
3.3	3	5	22	L41	470/25	560/16	330/6.3	390/6.3
		7	22	L41	560/35	560/35	330/6.3	390/6.3
		10	22	L41	680/35	680/35	330/6.3	390/6.3
		40	33	L40	560/35	470/35	330/6.3	390/6.3
		40	22	L33	470/25	470/35	330/6.3	390/6.3
	2	10	33	L32	330/35	330/35	330/6.3	390/6.3
		40	47	L39	330/35	270/50	220/10	330/10
		8	22	L41	470/25	560/16	220/10	330/10
		10	22	L41	560/25	560/25	220/10	330/10
		15	33	L40	330/35	330/35	220/10	330/10
5	3	40	47	L39	330/35	270/55	220/10	330/10
		9	22	L33	470/25	560/16	220/10	330/10
		20	68	L38	180/35	180/35	100/10	270/10
		40	68	L38	180/35	180/35	100/10	270/10
		22	22	L41	470/25	470/25	100/16	180/16
	2	18	33	L40	330/25	330/25	100/16	180/16
		30	68	L44	180/25	180/25	100/16	120/20
		40	68	L44	180/35	180/35	100/16	120/20
		15	33	L32	330/25	330/25	100/16	180/16
		20	68	L38	180/25	180/25	100/16	120/20
12	3	40	150	L42	82/25	82/25	68/20	68/25

Figure 2. LM2596 Fixed Voltage Quick Design Component Selection Table

LM2596 SERIES BUCK REGULATOR DESIGN PROCEDURE (ADJUSTABLE OUTPUT)

PROCEDURE (Adjustable Output Voltage Version)	EXAMPLE (Adjustable Output Voltage Version)
<p>Given: V_{OUT} = Regulated Output Voltage V_{IN(max)} = Maximum Input Voltage I_{LOAD(max)} = Maximum Load Current F = Switching Frequency (Fixed at a nominal 150 kHz).</p> <p>1. Programming Output Voltage (Selecting R₁ and R₂, as shown in Figure 1) Use the following formula to select the appropriate resistor values.</p> $V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad \text{where } V_{REF} = 1.23 \text{ V}$ <p>Select a value for R₁ between 240Ω and 1.5kΩ. The lower resistor values minimize noise pickup in the sensitive feedback pin. (For the lowest temperature coefficient and the best stability with time, use 1% metal film resistors.)</p>	<p>Given: V_{OUT} = 20V V_{IN(max)} = 28V I_{LOAD(max)} = 3A F = Switching Frequency (Fixed at a nominal 150 kHz).</p> <p>1. Programming Output Voltage (Selecting R₁ and R₂, as shown in Figure 1) Select R₁ to be 1 kΩ, 1%. Solve for R₂.</p> $R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right) = 1k \left(\frac{20 \text{ V}}{1.23 \text{ V}} - 1 \right)$ <p>R₂ = 1k (16.26 - 1) = 15.26k, closest 1% value is 15.4kΩ R₂ = 15.4 kΩ.</p>

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.



LM2596

3A Step-Down Voltage Regulator

PROCEDURE (Adjustable Output Voltage Version)	EXAMPLE (Adjustable Output Voltage Version)
$R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right)$ <p>2. Inductor Selection (L1) A. Calculate the inductor Volt • microsecond constant E•T (V•μs), from the following formula:</p> $E \bullet T = (V_{IN} - V_{OUT} - V_{SAT}) \bullet \frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN} - V_{SAT} + V_D} \bullet \frac{1000}{150 \text{ kHz}} (V \bullet \mu s)$ <p>where V_{SAT} = internal switch saturation voltage = 1.16V and V_D = diode forward voltage drop = 0.5V</p> <p>B. Use the E•T value from the previous formula and match it with the E•T number on the vertical axis of the Inductor Value Selection Guide shown in Figure 7.</p> <p>C. on the horizontal axis, select the maximum load current.</p> <p>D. Identify the inductance region intersected by the E•T value and the Maximum Load Current value. Each region is identified by an inductance value and an inductor code (LXX).</p> <p>E. Select an appropriate inductor from the four manufacturer's part numbers listed in Figure 8.</p> <p>3. Output Capacitor Selection (C_{OUT}) A. In the majority of applications, low ESR electrolytic or solid tantalum capacitors between 82 μF and 820 μF provide the best results. This capacitor should be located close to the IC using short capacitor leads and short copper traces. Do not use capacitors larger than 820 μF. B. To simplify the capacitor selection procedure, refer to the quick design table shown in Figure 3. This table contains different output voltages, and lists various output capacitors that will provide the best design solutions.</p> <p>C. The capacitor voltage rating should be at least 1.5 times greater than the output voltage, and often much higher voltage ratings are needed to satisfy the low ESR requirements needed for low output ripple voltage.</p> <p>4. Feedforward Capacitor (C_{FF}) (See Figure 1) For output voltages greater than approximately 10V, an additional capacitor is required. The compensation capacitor is typically between 100 pF and 33 nF, and is wired in parallel with the output voltage setting resistor, R2. It provides additional stability for high output voltages, low input-output voltages, and/or very low ESR output capacitors, such as solid tantalum capacitors.</p> $C_{FF} = \frac{1}{31 \times 10^3 \times R_2}$ <p>This capacitor type can be ceramic, plastic, silver mica, etc. (Because of the unstable characteristics of ceramic capacitors made with Z5U material, they are not recommended.)</p>	<p>2. Inductor Selection (L1) A. Calculate the inductor Volt • microsecond constant (E•T),</p> $E \bullet T = (28 - 20 - 1.16) \bullet \frac{20 + 0.5}{28 - 1.16 + 0.5} \bullet \frac{1000}{150} (V \bullet \mu s)$ $E \bullet T = (6.84) \bullet \frac{20.5}{27.34} \bullet 6.67 (V \bullet \mu s) = 34.2 (V \bullet \mu s)$ <p>B. E•T=34.2 (V•μs)</p> <p>C. I_{LOAD} (max) = 3A</p> <p>D. From the inductor value selection guide shown in Figure 7, the inductance region intersected by the 34 (V•μs) horizontal line and the 3A vertical line is 47 μH, and the inductor code is L39.</p> <p>E. From the table in Figure 8, locate line L39, and select an inductor part number from the list of manufacturers part numbers.</p> <p>3. Output Capacitor Selection (C_{OUT}) B. From the quick design table shown in Figure 3, locate the output voltage column. From that column, locate the output voltage closest to the output voltage in your application. In this example, select the 24V line. Under the output capacitor section, select a capacitor from the list of through hole electrolytic or surface mount tantalum types from four different capacitor manufacturers. It is recommended that both the manufacturers and the manufacturers series that are listed in the table be used. In this example, through hole aluminum electrolytic capacitors from several different manufacturers are available. 220 μF/35V Panasonic HFQ Series 150 μF/35V Nichicon PL Series</p> <p>C. For a 20V output, a capacitor rating of at least 30V or more is needed. In this example, either a 35V or 50V capacitor would work. A 35V rating was chosen, although a 50V rating could also be used if a lower output ripple voltage is needed. Other manufacturers or other types of capacitors may also be used, provided the capacitor specifications (especially the 100 kHz ESR) closely match the types listed in the table. Refer to the capacitor manufacturers data sheet for this information.</p> <p>4. Feedforward Capacitor (C_{FF}) The table shown in Figure 3 contains feed forward capacitor values for various output voltages. In this example, a 560 pF capacitor is needed.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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.



LM2596
3A Step-Down Voltage Regulator

LM2596 SERIES BUCK REGULATOR DESIGN PROCEDURE (ADJUSTABLE OUTPUT)

Output Voltage (V)	Through Hole Output Capacitor			Surface Mount Output Capacitor		
	Panasonic HFQ Series (µF/V)	Nichicon PL Series (µF/V)	Feedforward capacitor	AVX TPS Series (µF/V)	Sprague 595D Series (µF/V)	Feedforward Capacitor
2	820/35	820/35	33 nF	330/6.3	470/4	33 nF
4	560/35	470/35	10 nF	330/6.3	390/6.3	10 nF
6	470/25	470/25	3.3 nF	220/10	330/10	3.3 nF
9	330/25	330/25	1.5 nF	100/16	180/16	1.5 nF
12	330/25	330/25	1 nF	100/16	180/16	1 nF
15	220/35	220/35	680 pF	68/20	120/20	680 pF
24	220/35	150/35	560 pF	33/25	33/25	220 pF
28	100/50	100/50	390 pF	10/35	15/50	220 pF

Figure 3. Output Capacitor and Feedforward Capacitor Selection Table

LM2596 SERIES BUCK REGULATOR DESIGN PROCEDURE
Inductor Value Selection Guides (For Continuous Mode Operation)

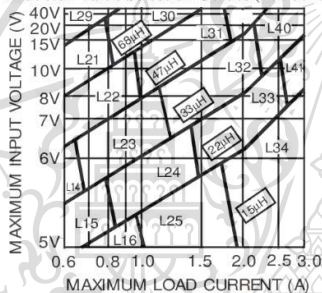


Figure 4. LM2596-3.3

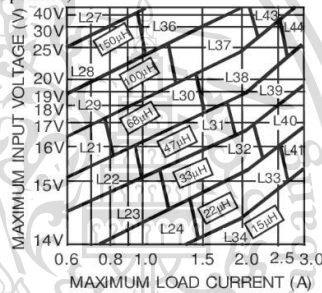


Figure 6. LM2596-12

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.



LM2596

3A Step-Down Voltage Regulator

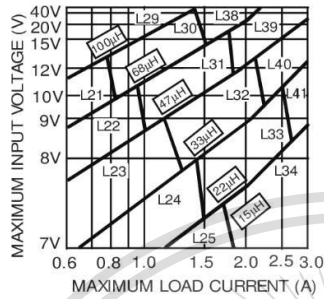
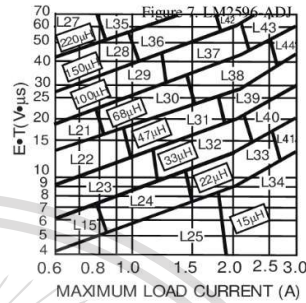


Figure 5. LM2596-5.0



LM2596 SERIES BUCK REGULATOR DESIGN PROCEDURE (Continued)

Inductance (µH)	Current (A)	Schott		Renco		Pulse Engineering		Coilcraft	
		Through Hole	Surface Mount	Through Hole	Surface Mount	Through Hole	Surface Mount		
L15	22	0.99	67148350	67148460	RL-1284-22-43	RL1500-22	PE-53815	PE-53815-S	DO3308-223
L21	68	0.99	67144070	67144450	RL-5471-5	RL1500-68	PE-53821	PE-53821-S	DO3316-683
L22	47	1.17	67144080	67144460	RL-5471-6	-	PE-53822	PE-53822-S	DO3316-473
L23	33	1.40	67144090	67144470	RL-5471-7	-	PE-53823	PE-53823-S	DO3316-333
L24	22	1.70	67148370	67148480	RL-1283-22-43	-	PE-53824	PE-53825-S	DO3316-223
L25	15	2.10	67148380	67148490	RL-1283-15-43	-	PE-53825	PE-53824-S	DO3316-153
L26	330	0.80	67144100	67144480	RL-5471-1	-	PE-53826	PE-53826-S	DO5022P-334
L27	220	1.00	67144110	67144490	RL-5471-2	-	PE-53827	PE-53827-S	DO5022P-224
L28	150	1.20	67144120	67144500	RL-5471-3	-	PE-53828	PE-53828-S	DO5022P-154
L29	100	1.47	67144130	67144510	RL-5471-4	-	PE-53829	PE-53829-S	DO5022P-104
L30	68	1.78	67144140	67144520	RL-5471-5	-	PE-53830	PE-53830-S	DO5022P-683
L31	47	2.20	67144150	67144530	RL-5471-6	-	PE-53831	PE-53831-S	DO5022P-473
L32	33	2.50	67144160	67144540	RL-5471-7	-	PE-53932	PE-53932-S	DO5022P-333
L33	22	3.10	67148390	67148500	RL-1283-22-43	-	PE-53933	PE-53933-S	DO5022P-223
L34	15	3.40	67148400	67148790	RL-1283-15-43	-	PE-53934	PE-53934-S	DO5022P-153
L35	220	1.70	67144170	-	RL-5473-1	-	PE-53935	PE-53935-S	-
L36	150	2.10	67144180	-	RL-5473-4	-	PE-54036	PE-54036-S	-
L37	100	2.50	67144190	-	RL-5472-1	-	PE-54037	PE-54037-S	-
L38	68	3.10	67144200	-	RL-5472-2	-	PE-54038	PE-54038-S	-
L39	47	3.50	67144210	-	RL-5472-3	-	PE-54039	PE-54039-S	-
L40	33	3.50	67144220	67148290	RL-5472-4	-	PE-54040	PE-54040-S	-
L41	22	3.50	67144230	67148300	RL-5472-5	-	PE-54041	PE-54041-S	-
L42	150	2.70	67148410	-	RL-5473-4	-	PE-54042	PE-54042-S	-
L43	100	3.40	67144240	-	RL-5473-2	-	PE-54043	-	-
L44	68	3.40	67144250	-	RL-5473-3	-	PE-54044	-	-

Figure 8. Inductor Manufacturers Part Numbers

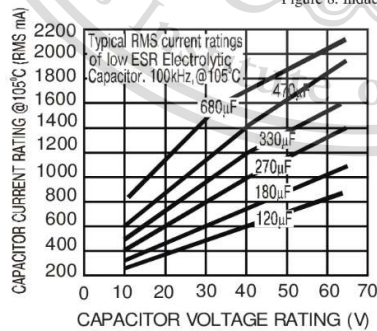


Figure 9. RMS Current Ratings for Low ESR Electrolytic Capacitors (typical)

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.

LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904

Single Supply Dual Operational Amplifiers

Utilizing the circuit designs perfected for Quad Operational Amplifiers, these dual operational amplifiers feature low power drain, a common mode input voltage range extending to ground/ V_{EE} , and single supply or split supply operation. The LM358 series is equivalent to one-half of an LM324.

These amplifiers have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. They can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V, with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

- Short Circuit Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V (LM258/LM358)
3.0 V to 26 V (LM2904, A, V)
- Low Input Bias Currents
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Single and Split Supply Operation
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness of the Device without Affecting Operation



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



PDIP-8
N, AN, VN SUFFIX
CASE 626

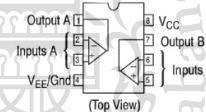


SO-8
D, VD SUFFIX
CASE 751



Micro8™
DMR2 SUFFIX
CASE 846A

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 10 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 11 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.

LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904



Figure 1.

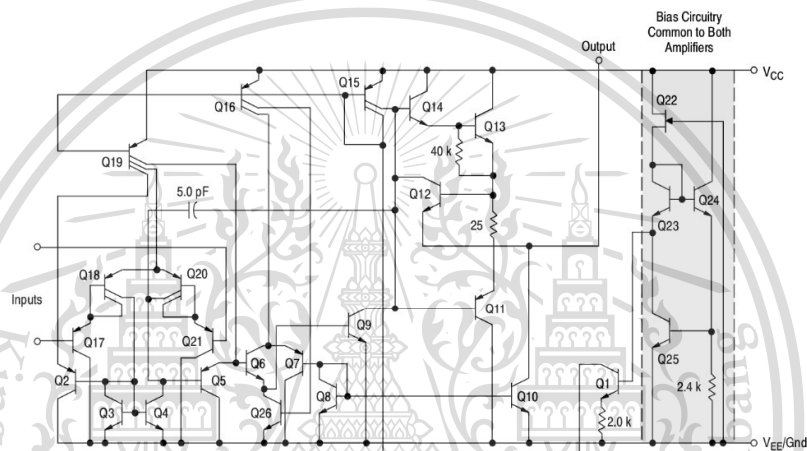


Figure 2. Representative Schematic Diagram
(One-Half of Circuit Shown)

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.

LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904

MAXIMUM RATINGS ($T_A = +25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	LM258 LM358	LM2904, LM2904A LM2904V, NCV2904	Unit
Power Supply Voltages Single Supply Split Supplies	V_{CC} V_{CC}, V_{EE}	32 ± 16	26 ± 13	Vdc
Input Differential Voltage Range (Note 1)	V_{IDR}	± 32	± 26	Vdc
Input Common Mode Voltage Range (Note 2)	V_{ICR}	-0.3 to 32	-0.3 to 26	Vdc
Output Short Circuit Duration	I_{SC}	Continuous		
Junction Temperature	T_J	150		$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction-to-Air (Note 3)	$R_{\theta JA}$	238		$^\circ\text{C/W}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55 to +125		$^\circ\text{C}$
ESD Tolerance – Human Body Model (Note 4)	–	2000		V
Operating Ambient Temperature Range	T_A			$^\circ\text{C}$
LM258		-25 to +85	–	
LM358		0 to +70	–	
LM2904/LM2904A		–	-40 to +105	
LM2904V, NCV2904 (Note 5)		–	-40 to +125	

1. Split Power Supplies.
2. For Supply Voltages less than 32 V for the LM258/358 and 26 V for the LM2904, A, V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
3. $R_{\theta JA}$ for Case 846A.
4. ESD data available upon request.
5. NCV2904 is qualified for automotive use.

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.

LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_{EE} = \text{Gnd}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	LM258			LM358			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ to 30 V (26 V for LM2904, V), $V_{IC} = 0\text{ V}$ to $V_{CC} - 1.7\text{ V}$, $V_O = 1.4\text{ V}$, $R_S = 0\ \Omega$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ (Note 6) $T_A = T_{\text{low}}$ (Note 6)	V_{IO}	–	2.0	5.0	–	2.0	7.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 6)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	–	7.0	–	–	7.0	–	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 6)	I_{IO}	–	3.0	30	–	5.0	50	nA
Input Bias Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 6)	I_{IB}	–	–45	–150	–	–45	–250	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 6)	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	–	10	–	–	10	–	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Common Mode Voltage Range (Note 7), $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V) $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V), $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low}	V_{ICR}	0	–	28.3	0	–	28.3	V
Differential Input Voltage Range	V_{IDR}	–	–	V_{CC}	–	–	V_{CC}	V
Large Signal Open Loop Voltage Gain $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 15\text{ V}$, For Large V_O Swing, $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 6)	A_{VOL}	50	100	–	25	100	–	V/mV
Channel Separation $1.0\text{ kHz} \leq f \leq 20\text{ kHz}$, Input Referenced	CS	–	–120	–	–	–120	–	dB
Common Mode Rejection $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	CMR	70	85	–	65	70	–	dB
Power Supply Rejection	PSR	65	100	–	65	100	–	dB
Output Voltage—High Limit $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 6) $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V), $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V), $R_L = 10\text{ k}\Omega$	V_{OH}	3.3	3.5	–	3.3	3.5	–	V
Output Voltage—Low Limit $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$, $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 6)	V_{OL}	–	5.0	20	–	5.0	20	mV
Output Source Current $V_{ID} = +1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$	I_{O+}	20	40	–	20	40	–	mA
Output Sink Current $V_{ID} = -1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{ID} = -1.0\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$	I_{O-}	10	20	–	10	20	–	mA
Output Short-Circuit to Ground (Note 8)	I_{SC}	–	40	60	–	40	60	mA
Power Supply Current (Total Device) $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 6) $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V), $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$ $V_{CC} = 5\text{ V}$, $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$	I_{CC}	–	1.5	3.0	–	1.5	3.0	mA

6. LM258: $T_{\text{low}} = -25^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +85^\circ\text{C}$ LM358: $T_{\text{low}} = 0^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +70^\circ\text{C}$
 LM2904/LM2904A: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +105^\circ\text{C}$ LM2904V & NCV2904: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +125^\circ\text{C}$
 NCV2904 is qualified for automotive use.

7. The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is $V_{CC} - 1.7\text{ V}$.
 8. Short circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

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.

LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_{EE} = \text{Gnd}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	LM2904			LM2904A			LM2904V, NCV2904			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ to 30 V (26 V for LM2904, V), $V_{IC} = 0\text{ V}$ to $V_{CC} - 1.7\text{ V}$, $V_O = 1.4\text{ V}$, $R_S = 0\ \Omega$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ (Note 9) $T_A = T_{\text{low}}$ (Note 9)	V_{IO}	–	2.0	7.0	–	2.0	7.0	–	–	7.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 9)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	–	7.0	–	–	7.0	–	–	7.0	–	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 9)	I_{IO}	–	5.0	50	–	5.0	50	–	5.0	50	nA
Input Bias Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 9)	I_{IB}	–	–45	–250	–	–45	–100	–	–45	–250	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 9)	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	–	10	–	–	10	–	–	10	–	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Common Mode Voltage Range (Note 10), $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V) $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V), $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low}	V_{ICR}	0	–	24.3	0	–	24.3	0	–	24.3	V
Differential Input Voltage Range	V_{IDR}	–	–	V_{CC}	–	–	V_{CC}	–	–	V_{CC}	V
Large Signal Open Loop Voltage Gain $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 15\text{ V}$, For Large V_O Swing, $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 9)	A_{VOL}	25	100	–	25	100	–	25	100	–	V/mV
Channel Separation $1.0\text{ kHz} \leq f \leq 20\text{ kHz}$, Input Referenced	CS	–	–120	–	–	–120	–	–	–120	–	dB
Common Mode Rejection $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	CMR	50	70	–	50	70	–	50	70	–	dB
Power Supply Rejection	PSR	50	100	–	50	100	–	50	100	–	dB
Output Voltage—High Limit $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 9) $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V), $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V), $R_L = 10\text{ k}\Omega$	V_{OH}	3.3	3.5	–	3.3	3.5	–	3.3	3.5	–	V
Output Voltage—Low Limit $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$ $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 9)	V_{OL}	–	5.0	20	–	5.0	20	–	5.0	20	mV
Output Source Current $V_{ID} = +1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$	I_{O+}	20	40	–	20	40	–	20	40	–	mA
Output Sink Current $V_{ID} = -1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$ $V_{ID} = -1.0\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$	I_{O-}	10	20	–	10	20	–	10	20	–	mA
Output Short Circuit to Ground (Note 11)	I_{SC}	–	40	60	–	40	60	–	40	60	mA
Power Supply Current (Total Device) $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 9) $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V), $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$ $V_{CC} = 5\text{ V}$, $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$	I_{CC}	–	1.5	3.0	–	1.5	3.0	–	1.5	3.0	mA

9. LM258: $T_{\text{low}} = -25^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +85^\circ\text{C}$
LM2904/LM2904A: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +105^\circ\text{C}$
NCV2904 is qualified for automotive use.

LM358: $T_{\text{low}} = 0^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +70^\circ\text{C}$
LM2904V & NCV2904: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +125^\circ\text{C}$

10. The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is $V_{CC} - 1.7\text{ V}$.
11. Short circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

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.

LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904

CIRCUIT DESCRIPTION

The LM358 series is made using two internally compensated, two-stage operational amplifiers. The first stage of each consists of differential input devices Q20 and Q18 with input buffer transistors Q21 and Q17 and the differential to single ended converter Q3 and Q4. The first stage performs not only the first stage gain function but also performs the level shifting and transconductance reduction functions. By reducing the transconductance, a smaller compensation capacitor (only 5.0 pF) can be employed, thus saving chip area. The transconductance reduction is accomplished by splitting the collectors of Q20 and Q18. Another feature of this input stage is that the input common mode range can include the negative supply or ground, in single supply operation, without saturating either the input devices or the differential to single-ended converter. The second stage consists of a standard current source load amplifier stage.

Each amplifier is biased from an internal-voltage regulator which has a low temperature coefficient thus giving each amplifier good temperature characteristics as well as excellent power supply rejection.

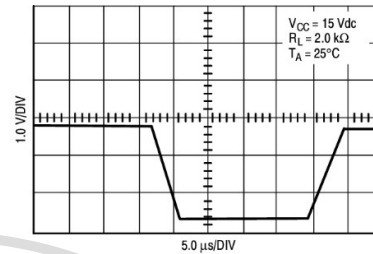


Figure 3. Large Signal Voltage Follower Response

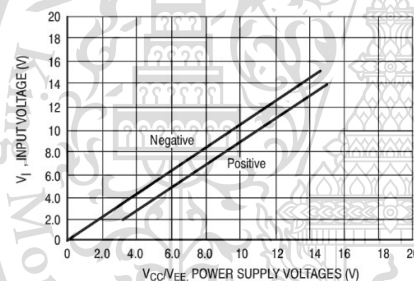


Figure 4. Input Voltage Range

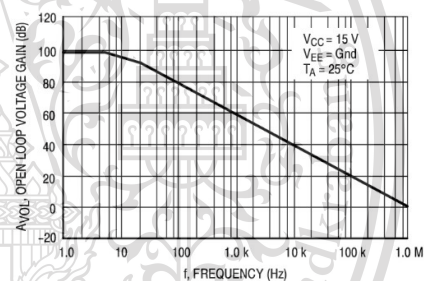


Figure 5. Large-Signal Open Loop Voltage Gain

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.

LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904

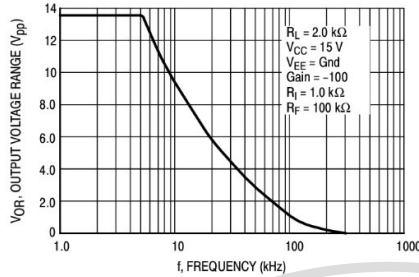


Figure 6. Large-Signal Frequency Response

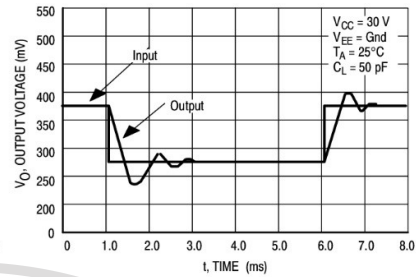


Figure 7. Small Signal Voltage Follower Pulse Response (Noninverting)

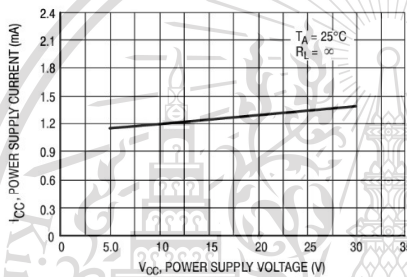


Figure 8. Power Supply Current versus Power Supply Voltage

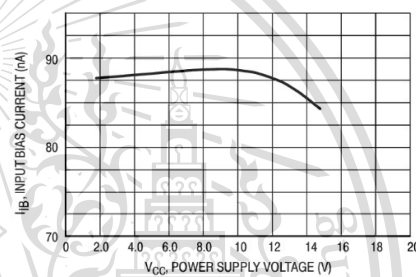


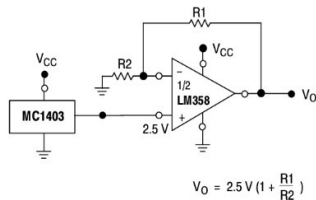
Figure 9. Input Bias Current versus Supply Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

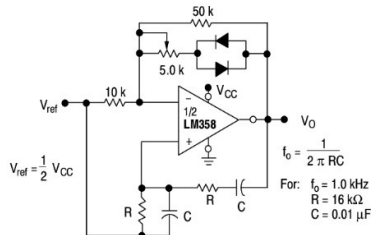
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904



$$V_O = 2.5V \left(1 + \frac{R1}{R2}\right)$$

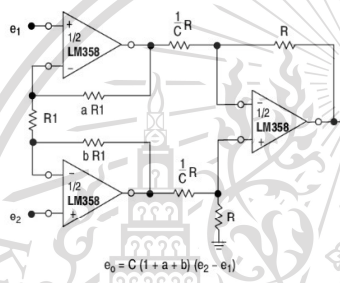
Figure 10. Voltage Reference



$$f_o = \frac{1}{2\pi RC}$$

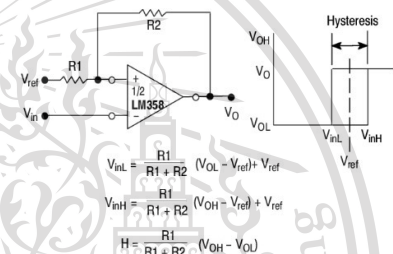
For: $f_o = 1.0 \text{ kHz}$
 $R = 16 \text{ k}\Omega$
 $C = 0.01 \mu\text{F}$

Figure 11. Wien Bridge Oscillator



$$e_o = C(1 + a + b)(e_2 - e_1)$$

Figure 12. High Impedance Differential Amplifier

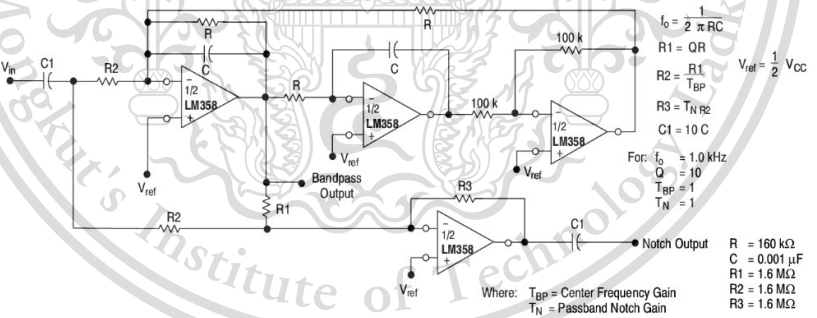


$$V_{inL} = \frac{R1}{R1 + R2} (V_{OL} - V_{ref}) + V_{ref}$$

$$V_{inH} = \frac{R1}{R1 + R2} (V_{OH} - V_{ref}) + V_{ref}$$

$$H = \frac{R1}{R1 + R2} (V_{OH} - V_{OL})$$

Figure 13. Comparator with Hysteresis



$$f_o = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$R1 = QR$$

$$R2 = \frac{R1}{T_{BP}}$$

$$R3 = \frac{R1}{T_N}$$

$$C1 = 10C$$

For: $f_o = 1.0 \text{ kHz}$
 $Q = 10$
 $T_{BP} = 1$
 $T_N = 1$

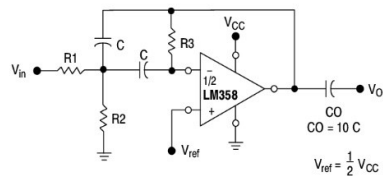
Where: T_{BP} = Center Frequency Gain
 T_N = Passband Notch Gain

$R = 160 \text{ k}\Omega$
 $C = 0.001 \mu\text{F}$
 $R1 = 1.6 \text{ M}\Omega$
 $R2 = 1.6 \text{ M}\Omega$
 $R3 = 1.6 \text{ M}\Omega$

Figure 14. BI-Quad Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904



Given: f_0 = center frequency
 $A(f_0)$ = gain at center frequency

Choose value f_0, C

Then: $R_3 = \frac{Q}{\pi f_0 C}$

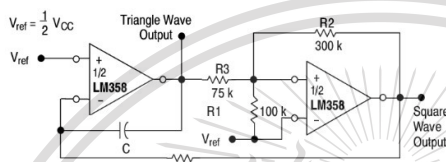
$R_1 = \frac{R_3}{2 A(f_0)}$

$R_2 = \frac{R_1 R_3}{4Q^2 R_1 - R_3}$

For less than 10% error from operational amplifier, $\frac{Q_0 f_0}{BW} < 0.1$

Where f_0 and BW are expressed in Hz.

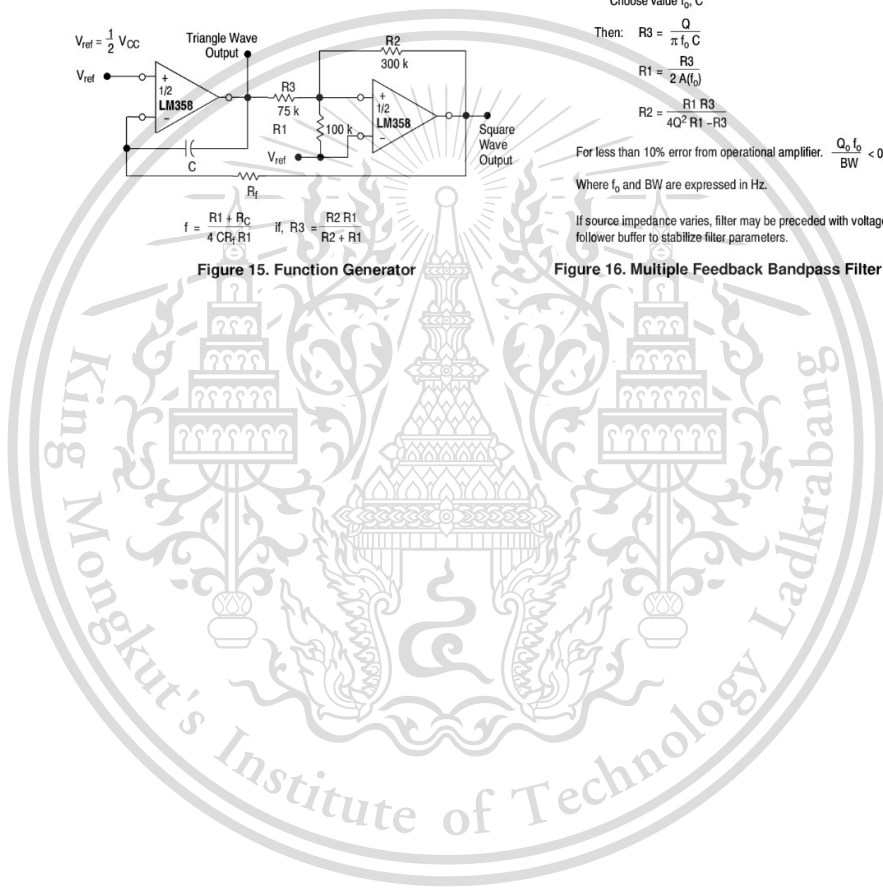
If source impedance varies, filter may be preceded with voltage follower buffer to stabilize filter parameters.



$f = \frac{R_1 + R_C}{4 C R_f R_1}$ if, $R_3 = \frac{R_2 R_1}{R_2 + R_1}$

Figure 15. Function Generator

Figure 16. Multiple Feedback Bandpass Filter



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.

LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Operating Temperature Range	Shipping
LM358D	SO-8	0° to +70°C	98 Units/Rail
LM358DR2	SO-8		2500 Tape & Reel
LM358DMR2	Micro8		4000 Tape & Reel
LM358N	PDIP-8	-25° to +85°C	50 Units/Rail
LM258D	SO-8		98 Units/Rail
LM258DR2	SO-8		2500 Tape & Reel
LM258DMR2	Micro8	-40° to +105°C	4000 Tape & Reel
LM258N	PDIP-8		50 Units/Rail
LM2904D	SO-8		98 Units/Rail
LM2904DR2	SO-8	-40° to +125°C	2500 Tape & Reel
LM2904DMR2	Micro8		2500 Tape & Reel
LM2904N	PDIP-8		50 Units/Rail
LM2904ADM2	Micro8	-40° to +125°C	4000 Tape & Reel
LM2904AN	PDIP-8		50 Units/Rail
LM2904VD	SO-8		98 Units/Rail
LM2904VDR2	SO-8	-40° to +125°C	2500 Tape & Reel
LM2904VDMR2	Micro8		4000 Tape & Reel
LM2904VN	PDIP-8		50 Units/Rail
NCV2904DR2*	SO-8		2500 Tape & Reel

*NCV2904 is qualified for automotive use.

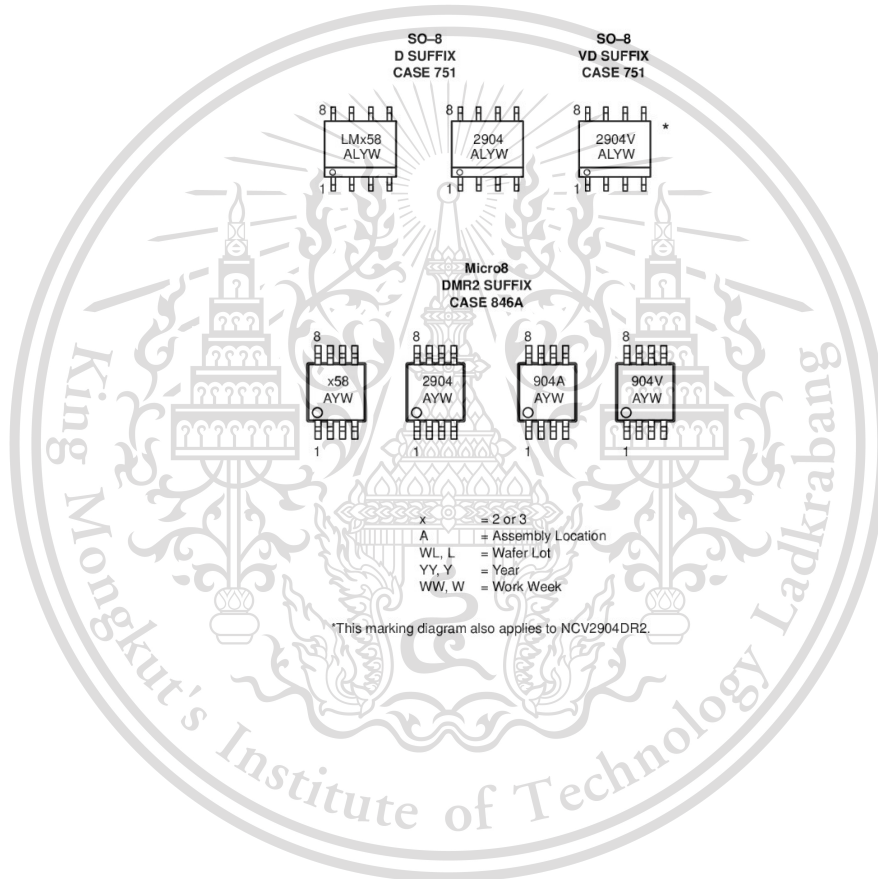
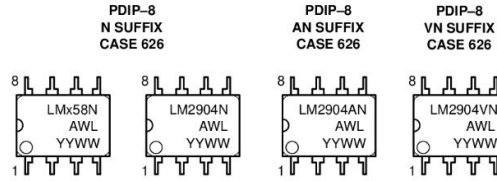
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904

MARKING DIAGRAMS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

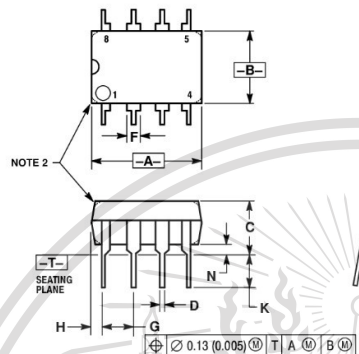
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904

PACKAGE DIMENSIONS

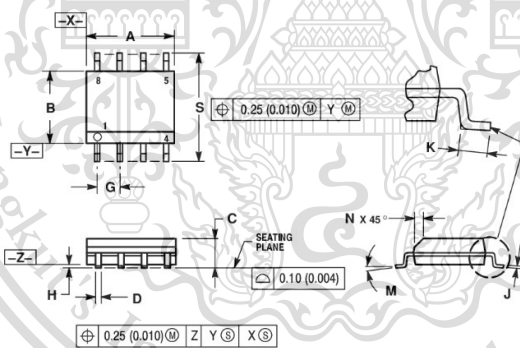
PDIP-8
N, AN, VN SUFFIX
CASE 626-05
ISSUE L



- NOTES:
1. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.
2. PACKAGE CONTOUR OPTIONAL (ROUND OR SQUARE CORNERS).
3. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.3M, 1982.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	9.40	10.16	0.370	0.400
B	6.10	6.60	0.240	0.260
C	3.94	4.45	0.155	0.175
D	0.38	0.51	0.015	0.020
F	1.02	1.78	0.040	0.070
G	2.54 BSC		0.100 BSC	
H	0.76	1.27	0.030	0.050
J	0.20	0.30	0.008	0.012
K	2.92	3.43	0.115	0.135
L	7.62 BSC		0.300 BSC	
M	10°		10°	
N	0.76	1.01	0.030	0.040

SO-8
D, VD SUFFIX
CASE 751-07
ISSUE AA



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.3M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
3. DIMENSION A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006) PER SIDE.
5. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION; ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF THE D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.
6. 751-01 THRU 751-06 ARE OBSOLETE. NEW STANDARD IS 751-07.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	4.80	5.00	0.189	0.197
B	3.80	4.00	0.150	0.157
C	1.35	1.75	0.053	0.069
D	0.33	0.51	0.013	0.020
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
H	0.19	0.25	0.004	0.010
J	0.19	0.25	0.007	0.010
K	0.49	1.27	0.019	0.050
M	0.2	0.3	0.008	0.012
N	0.25	0.50	0.010	0.020
S	5.80	6.20	0.228	0.244

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

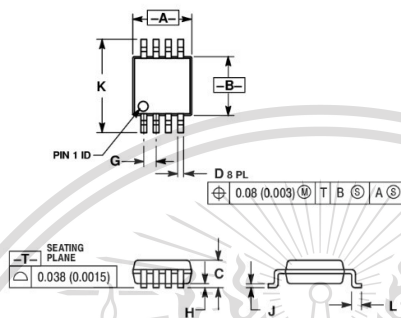
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904

PACKAGE DIMENSIONS

Micro8
DMR2 SUFFIX
CASE 846A-02
ISSUE F



NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
3. DIMENSION A DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH, PROTRUSIONS OR GATE BURRS. MOLD FLASH, PROTRUSIONS OR GATE BURRS SHALL NOT EXCEED 0.15 (0.006) PER SIDE.
4. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE INTERLEAD FLASH OR PROTRUSION. INTERLEAD FLASH OR PROTRUSION SHALL NOT EXCEED 0.25 (0.010) PER SIDE.
5. 846A-01 OBSOLETE. NEW STANDARD 846A-02.

	MILLIMETERS		INCHES	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	2.90	3.10	0.114	0.122
B	2.90	3.10	0.114	0.122
C	—	1.10	—	0.043
D	0.25	0.40	0.010	0.016
G	0.65 BSC		0.026 BSC	
H	0.05	0.15	0.002	0.006
J	0.13	0.23	0.005	0.009
K	4.75	5.05	0.187	0.199
L	0.40	0.70	0.016	0.028

<http://onsemi.com>
13


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.

LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904



ON Semiconductor and  are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

Literature Fulfillment:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: ONlit@hibbertco.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free USA/Canada

JAPAN: ON Semiconductor, Japan Customer Focus Center
2-9-1 Kamimeguro, Meguro-ku, Tokyo, Japan 153-0051
Phone: 81-3-5779-3850
Email: r14525@onsemi.com

ON Semiconductor Website: <http://onsemi.com>

For additional information, please contact your local Sales Representative.

LM358/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

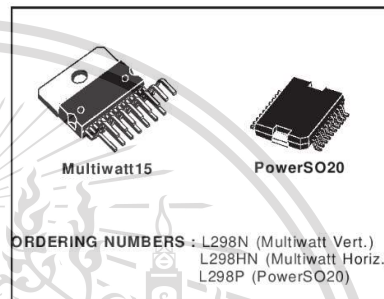
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.


L298
DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

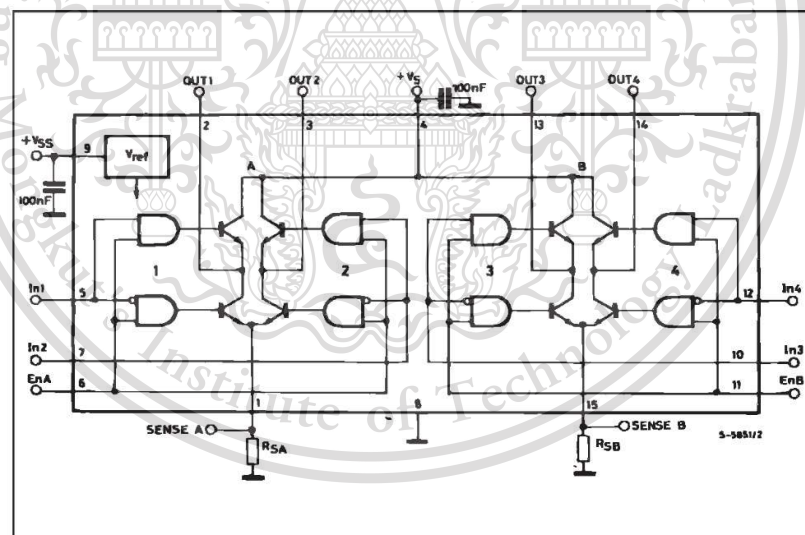
- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

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.

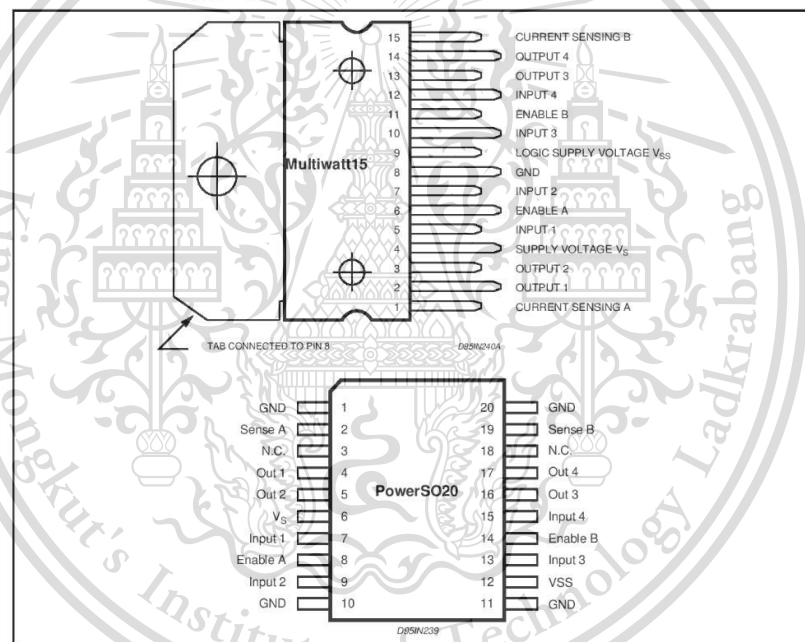
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

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 ($t = 100\mu s$)	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$)	2.5	A
	- DC Operation	2	A
V_{sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$)	25	W
T_{op}	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	Multiwatt15	Unit
$R_{th(j-case)}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	-	3	$^\circ C/W$
$R_{th(j-amb)}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	35	$^\circ C/W$

(*) Mounted on aluminum substrate

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.

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	Out 1; Out 2	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 _S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	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	V _{SS}	Supply Voltage for the Logic Blocks. A 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10;12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13;14	16;17	Out 3; Out 4	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_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_J = 25°C; unless otherwise specified)

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



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.

L298

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

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

- 1) Sensing voltage can be -1 V for t ≤ 50 μsec; in steady state V_{en} 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.

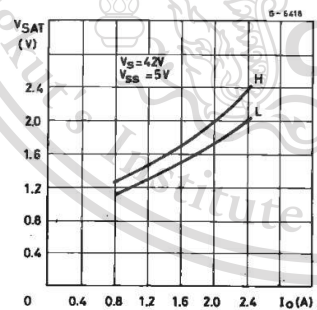
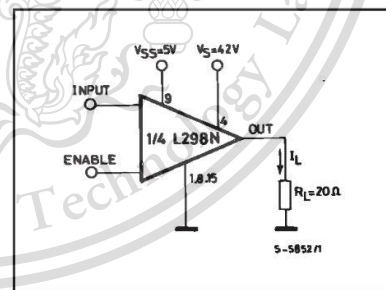


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



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.

Figure 3 : Source Current Delay Times vs. Input or Enable Switching.

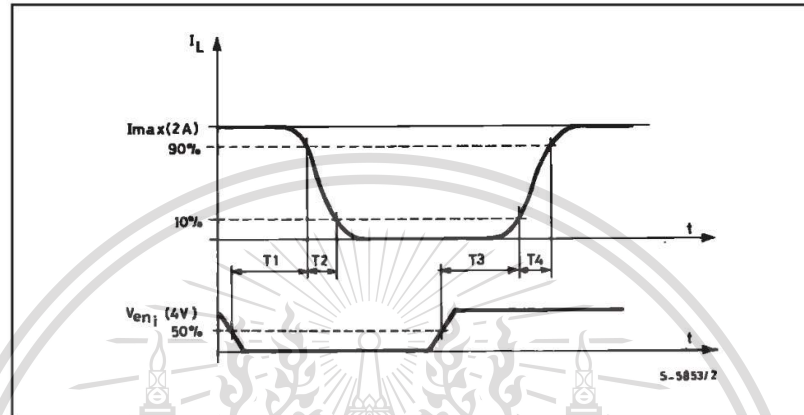
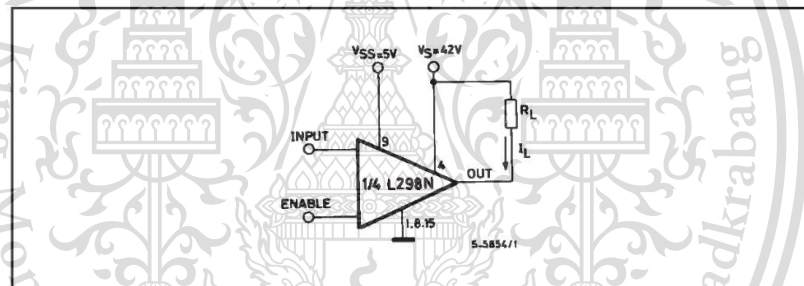


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



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

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.

L298

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

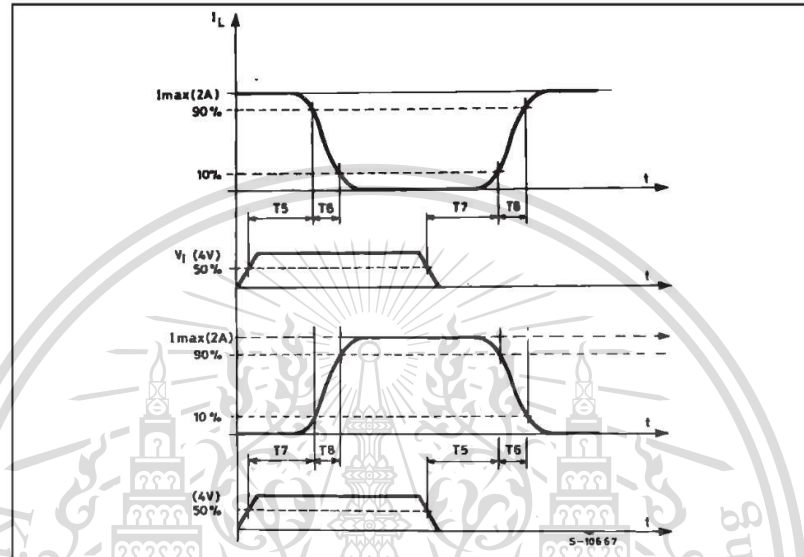
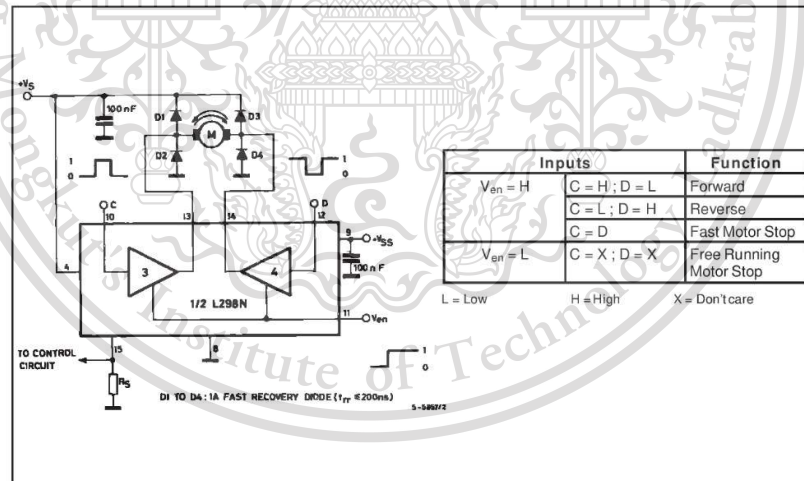


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.



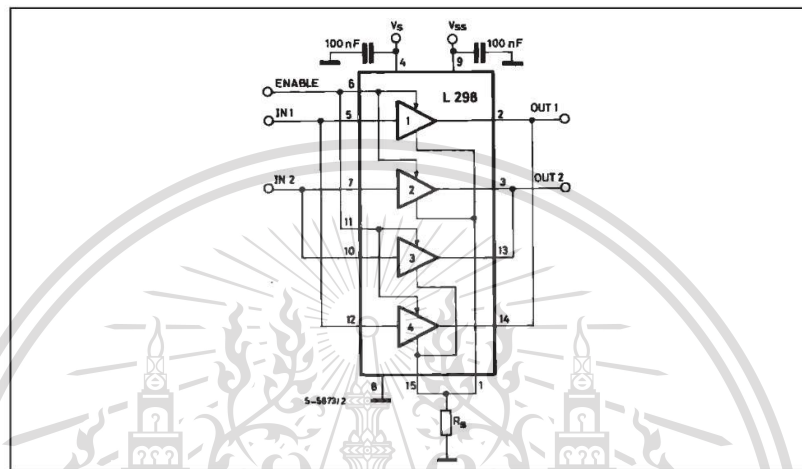
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Figure 7 : For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differential mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output: an external resistor (R_{SA} ; R_{SB}) allows to detect the intensity of this current.

1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are $In1$; $In2$; EnA and $In3$; $In4$; EnB . The In inputs set the bridge state when The En input is high; a low state of the En input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both V_s and V_{ss} , to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of V_s that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off : Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turnit OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D1 to D4 is made by four fast recovery elements ($t_{tr} \leq 200$ nsec) that must be chosen of a VF as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped; Shottky diodes would be preferred.



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.

L298

This solution can drive until 3 Amps In DC operation and until 3.5 Amps of a repetitive peak current.

On Fig 8 it is shown the driving of a two phase bipolar stepper motor ; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

Fig 9 shows an example of P.C.B. designed for the application of Fig 8.

Figure 8 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2 A. The diodes are fast 2 A types.

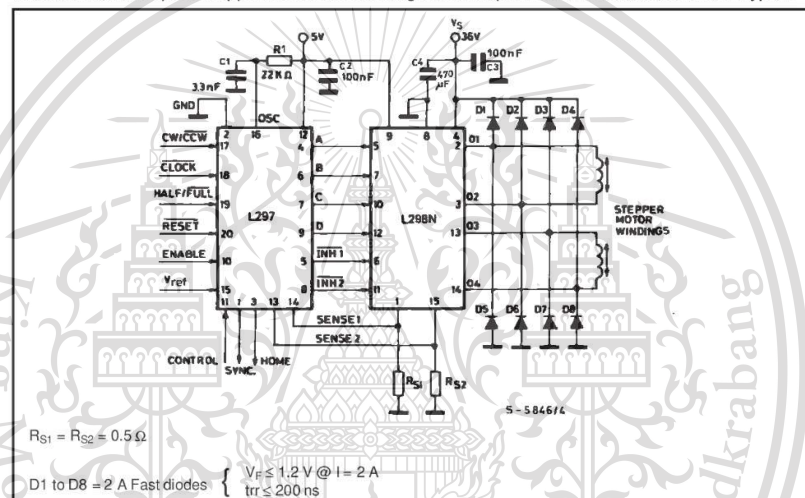


Fig 10 shows a second two phase bipolar stepper motor control circuit where the current is controlled by the I.C. L6506.

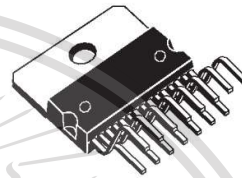
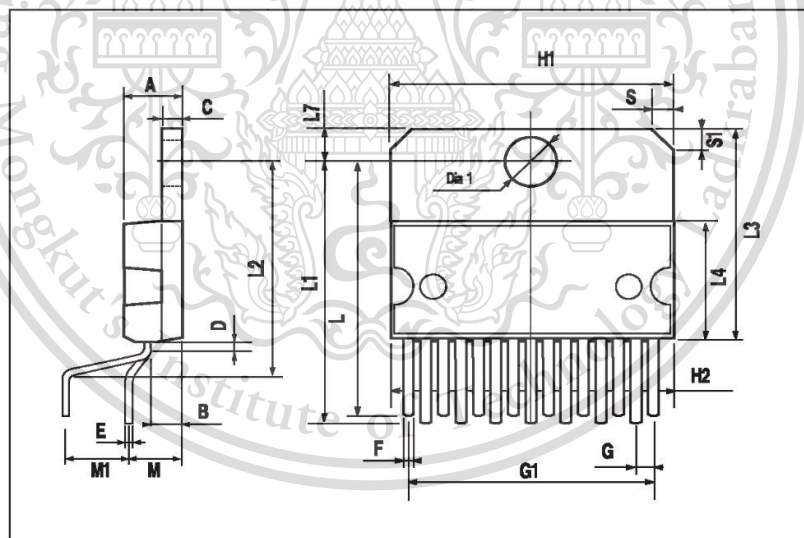
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

L298

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
D		1			0.039	
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.02	1.27	1.52	0.040	0.050	0.060
G1	17.53	17.78	18.03	0.690	0.700	0.710
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L	21.9	22.2	22.5	0.862	0.874	0.886
L1	21.7	22.1	22.5	0.854	0.870	0.886
L2	17.65		18.1	0.695		0.713
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
M	4.25	4.55	4.85	0.167	0.179	0.191
M1	4.63	5.08	5.53	0.182	0.200	0.218
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

**OUTLINE AND
MECHANICAL DATA**

Multiwatt15 V


10/13

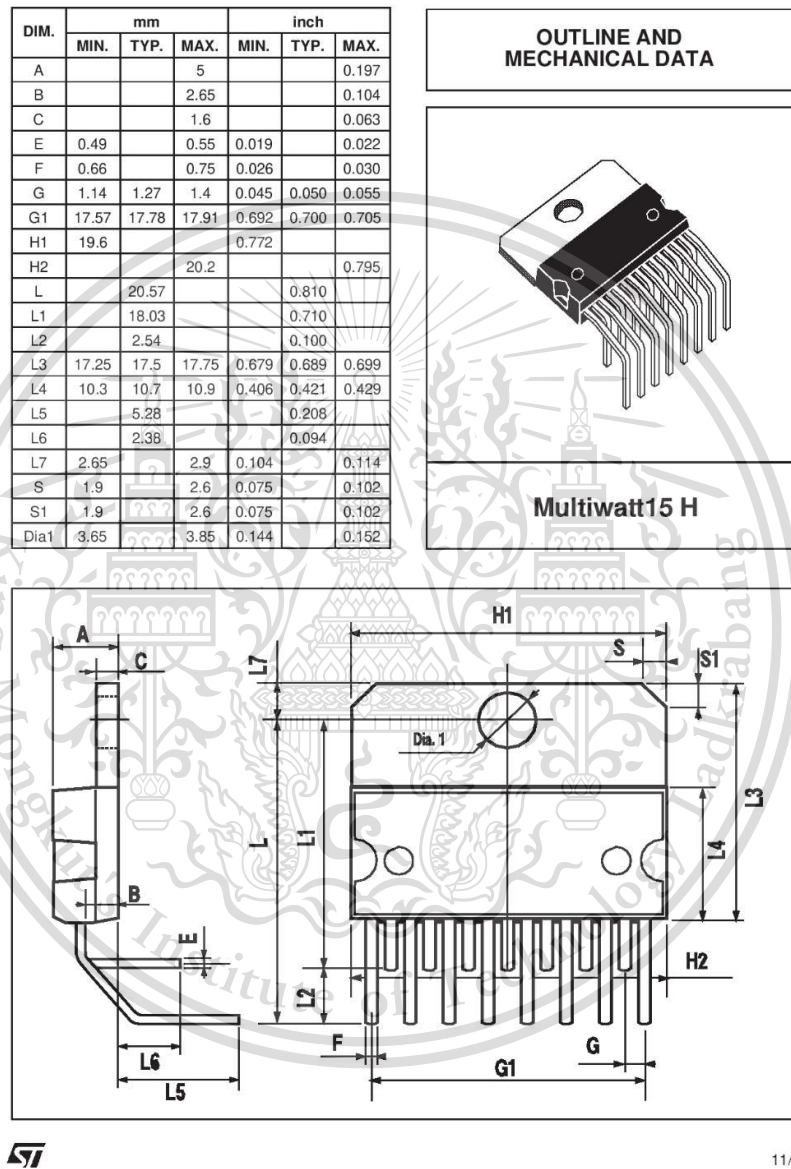


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

L298



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

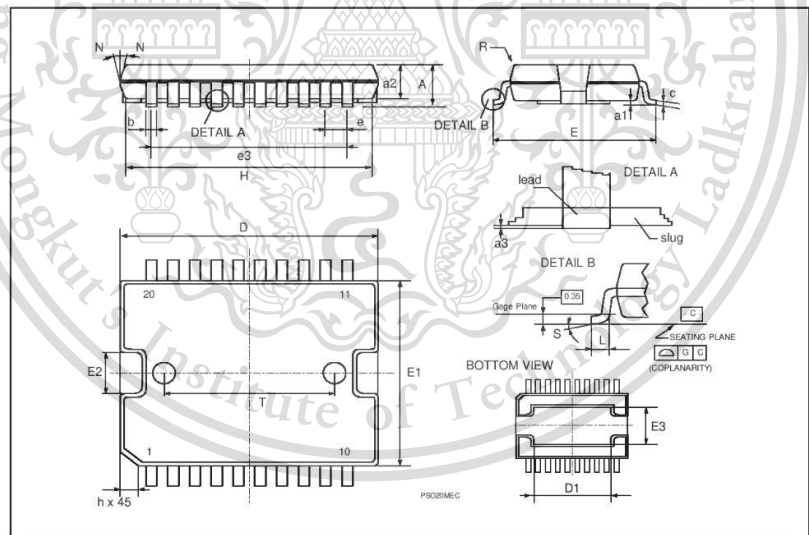
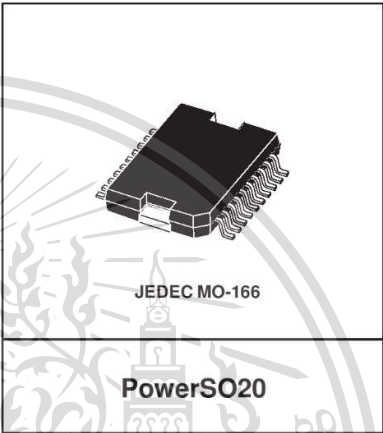
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

L298

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			3.6			0.142
a1	0.1		0.3	0.004		0.012
a2			3.3			0.130
a3	0		0.1	0.000		0.004
b	0.4		0.53	0.016		0.021
c	0.23		0.32	0.009		0.013
D (1)	15.8		16	0.622		0.630
D1	9.4		9.8	0.370		0.386
E	13.9		14.5	0.547		0.570
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
E1 (1)	10.9		11.1	0.429		0.437
E2			2.9			0.114
E3	5.8		6.2	0.228		0.244
G	0		0.1	0.000		0.004
H	15.5		15.9	0.610		0.626
h			1.1			0.043
L	0.8		1.1	0.031		0.043
N			10° (max.)			
S			8° (max.)			
T		10			0.394	

(1) 'D and 'E' do not include mold flash or protrusions.
 - Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm (0.006").
 - Critical dimensions: 'E', 'G' and 'a3'

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



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.



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics
 © 2000 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved
 STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco -
 Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.
<http://www.st.com>




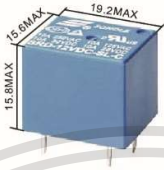
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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


SRD Series SUBMINATURE HIGH POWER RELAY 7A/10A/15A





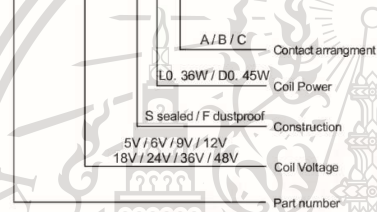
Features

- Miniature volume, PCB usage
- Contact rating: 7A/10A/15A
- Temperature range: +85°C/+105°C



Ordering Information

SRD-12VDC-S L-C



Contact Rating

Contact arrangement	1A (spstno) / 1B (Spstnc) / 1C (Spdt)
Contact resistance	100mΩ (1A 6VDC)
Contact material	Silver alloy: AgCdO, AgSnO ₂ , AgNi
Contact rating	7A/250VAC 10A/250VAC 15A/250VAC
Max switching voltage	250VAC
Max switching current	15A
Max switching power	3750VA
Electrical endurance (frequency: 1800 ops/h)	1x10 ⁵ ops / 1x10 ⁴ ops
Mechanical endurance (frequency: 1800 ops/h)	1x10 ⁵ ops

Characteristics

Insulation system	Class B / Class F	
Insulation resistance	100MΩ (500VDC)	
Dielectric Strength	Between contacts and coil	1500VAC 1 minute
	Between open contacts	1000VAC 1 minute
Leakage current (mA)		
Operate time (Under nominal voltage)		≤10ms
Release time (Under nominal voltage)		≤10ms
Humidity		85% RH (20°C)
Ambient Temperature		-40°C~85°C / -40°C~+105°C
Shock resistance	Functional	98m/s ²
	Destructive	980m/s ²
Vibration resistance (Double amplitude)		10Hz~55Hz 1.5mm
Weight		Approx 9g
Construction		Sealed

Coil Data

(at 20°C)

Power dissipation W	Voltage VDC	Current mA	Resistance Ω ± 10%	Pick-up voltage	Drop-out voltage	Max allowable
0.36W (L)	05	71.4	70	75%Max	10%Min	130%
	06	60	100			
	09	40	225			
	12	30	400			
	18	20	900			
	24	15	1600			
	36	10	3600			
	48	7.5	6400			
0.45W (D)	05	89.3	55	75%Max	10%Min	130%
	06	75	80			
	09	50	180			
	12	37.5	320			
	18	25	720			
	24	18.7	1280			
	36	12.5	2880			
	48	10	4500			

Remark: 1) All above data is initial value

This product specification only for your reference. we will not notify if we do any improvement. We reserve all the right for the final explanation



Web: www.songle.com www.songlerelay.com
 Add: CW7, Zone A, Far East Industrial Park, Yuyao City, Zhejiang, China Zip Code: 315400




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

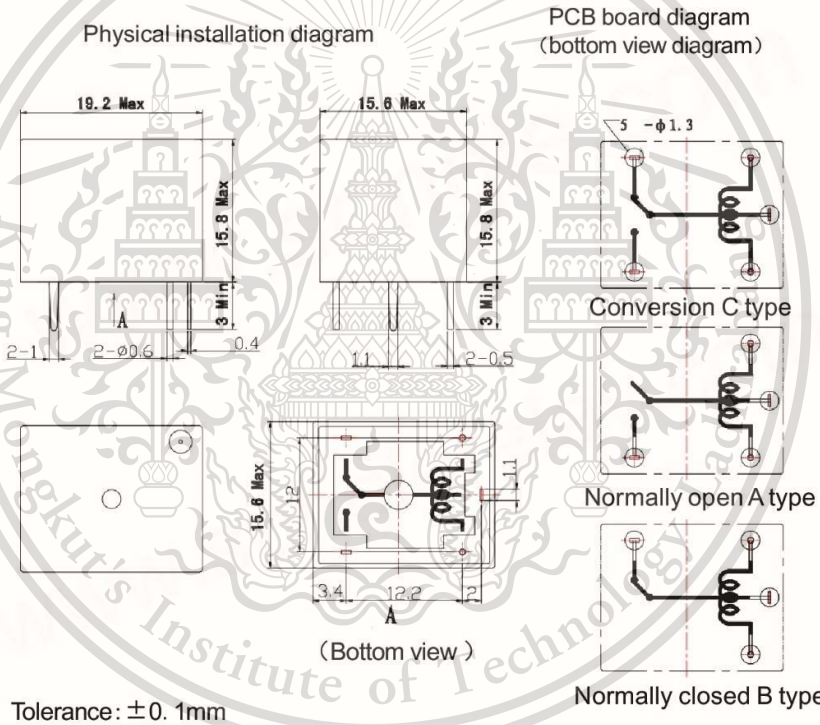
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

SRD Series SUBMINATURE HIGH POWER RELAY 7A/10A/15A

Safety Approval Ratings

 CQC08002027667 7A 250VAC 10A 250VAC	 R50056114 R50137084 7A 250VAC 10A 250VAC 15A 250VAC NO	 us E167996 3A 125VAC inductive 10A 125VAC 15A 125VAC NO
---	--	--

OUTLINE DIMENSIONS , WIRING DIAGRAM AND PC BOARD LAYOUT Unit:mm



This product specification only for your reference. we will not notify you if we do any improvement. We reserve all the right for the final explanation

 松榮继电器 SONGLE RELAY	Web : www.songle.com www.songlerelay.com Add : CW7, Zone A, Far East Industrial Park, Yuyao City, Zhejiang, China Zip Code : 315400
---	---

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

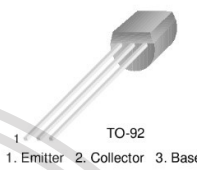
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

KSC1815

Audio Frequency Amplifier & High Frequency OSC

- Complement to KSA1015
- Collector-Base Voltage : $V_{CB0} = 50V$



TO-92
1. Emitter 2. Collector 3. Base

NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_a = 25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CB0}	Collector-Base Voltage	60	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	50	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current	150	mA
I_B	Base Current	50	mA
P_C	Collector Power Dissipation	400	mW
T_J	Junction Temperature	125	$^\circ C$
T_{STG}	Storage Temperature	-55 ~ 150	$^\circ C$

Electrical Characteristics $T_a = 25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB} = 60V, I_E = 0$			0.1	μA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = 5V, I_C = 0$			0.1	μA
h_{FE1}	DC Current Gain	$V_{CE} = 6V, I_C = 2mA$	70		700	
h_{FE2}	DC Current Gain	$V_{CE} = 6V, I_C = 150mA$	25			
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 100mA, I_B = 10mA$		0.1	0.25	V
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 100mA, I_B = 10mA$			1.0	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = 10V, I_C = 1mA$	80			MHz
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB} = 10V, I_E = 0, f = 1MHz$		2.0	3.0	pF
NF	Noise Figure	$V_{CE} = 6V, I_C = 0.1mA, R_S = 10k\Omega, f = 1kHz$		1.0	1.0	dB

h_{FE} Classification

Classification	O	Y	GR	L
h_{FE1}	70 ~ 140	120 ~ 240	200 ~ 400	350 ~ 700

KSC1815

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.

KSC1815

Typical Characteristics

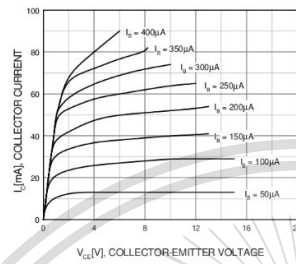


Figure 1. Static Characteristic

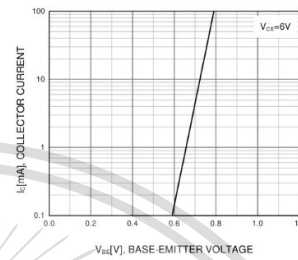


Figure 2. Transfer Characteristic

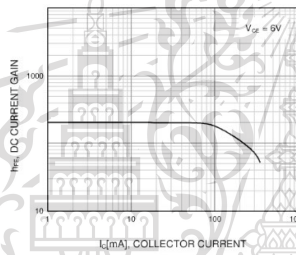
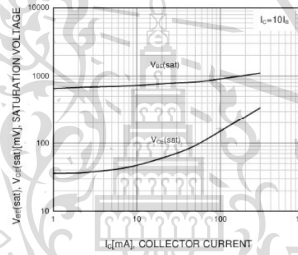


Figure 3. DC current Gain



**Figure 4. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage**

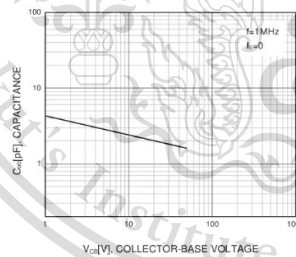


Figure 5. Output Capacitance

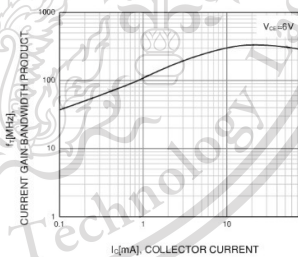


Figure 6. Current Gain Bandwidth Product

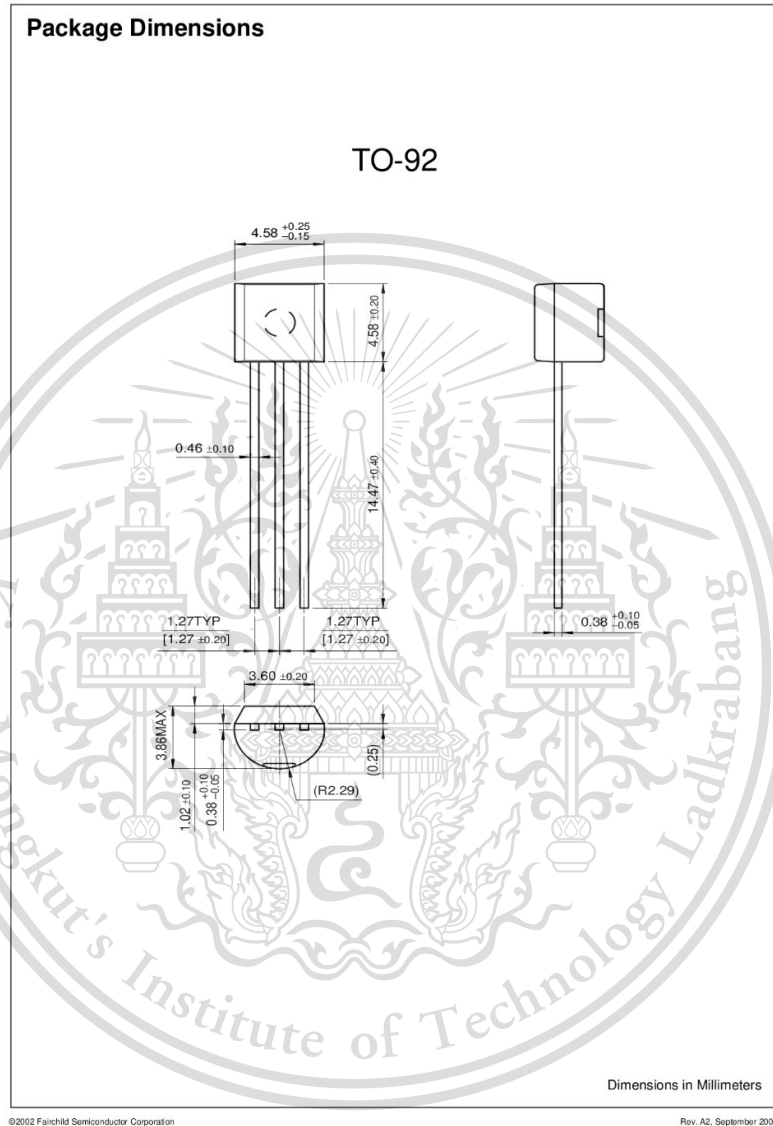
©2002 Fairchild Semiconductor Corporation

Rev. A2, September 2002

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.



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.

TRADEMARKS				
The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.				
ACE _x TM	FACT TM	ImpliedDisconnect TM	PACMAN TM	SPM TM
ActiveArray TM	FACT Quiet series TM	ISOPLANAR TM	POP TM	Stealth TM
Bottomless TM	FAST [®]	LittleFET TM	Power247 TM	SuperSOT TM -3
CoolFET TM	FAST _r TM	MicroFET TM	PowerTrench [®]	SuperSOT TM -6
CROSSVOLT TM	FRFET TM	MicroPak TM	QFET TM	SuperSOT TM -8
DOME TM	GlobalOptoisolator TM	MICROWIRE TM	QS TM	SyncFET TM
EcoSPARK TM	GTO TM	MSX TM	QT Optoelectronics TM	TinyLogic TM
E ² CMOS TM	HiSeC TM	MSXPro TM	Quiet Series TM	TruTranslation TM
EnSigna TM	i ² C TM	OCX TM	RapidConfigure TM	UHC TM
Across the board. Around the world. TM		OCXPro TM	RapidConnect TM	UltraFET [®]
The Power Franchise TM		OPTOLOGIC [®]	SILENT SWITCHER [®]	VCX TM
Programmable Active Droop TM		OPTOPLANAR TM	SMART START TM	
DISCLAIMER				
FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.				
LIFE SUPPORT POLICY				
FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.				
As used herein:				
1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.		2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.		
PRODUCT STATUS DEFINITIONS				
Definition of Terms				
Datasheet Identification	Product Status	Definition		
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.		
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.		
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.		
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.		

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation

Rev. 11

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.

WEJ[®]

RoHS

1N4001-1N4007

GENERAL PURPOSE SILICON RECTIFIER

FEATURES		VOLTAGE RANGE								
<ul style="list-style-type: none"> • Low cost construction • Low forward voltage drop • Low reverse leakage • High forward surge current capability • High temperature soldering guaranteed: 260°C/10 seconds/0.375" (9.5mm) lead length at 5 lbs (2,3kg) tension 		50 to 1000 Volts 1.0 Ampere								
MECHANICAL DATA		DO-41								
<ul style="list-style-type: none"> • Case: Transfer molded plastic • Epoxy: UL94V-0 rate flame retardant • Polarity: Color band denotes cathode end • Lead: Plated axial lead, solderable per MIL-STD-202E method 208C • Mounting position: Any • Weight: 0.012 ounce, 0.33 gram 		<p>Dimensions in inches and (millimeters)</p>								
MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS										
Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified. Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load. For capacitive load derate current by 20%.										
	SYMBOLS	4001	4002	4003	4004	4005	4006	4007	UNITS	
Maximum Repetitive Peak Reverse Voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	Volts	
Maximum RMS Voltage	V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	Volts	
Maximum DC Blocking Voltage	V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	Volts	
Maximum Average Forward Rectified Current 0.375" (9.5mm) lead length at $T_A=75^\circ\text{C}$	$I_{(AV)}$	1.0							Amp	
Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	I_{FSM}	30							Amps	
Maximum Instantaneous Forward Voltage at 1.0A	V_F	1.1							Volts	
Maximum DC Reverse Current at rated DC blocking voltage	I_R	$T_A=25^\circ\text{C}$							5.0	μAmps
		$T_A=100^\circ\text{C}$							50	
Maximum Full Load Reverse Current, full cycle average 0.375" (9.5mm) lead length at $T_L=75^\circ\text{C}$	$I_{R(AV)}$	30							μAmps	
Typical Junction Capacitance(NOTE1)	C_J	15							pF	
Typical Thermal Resistance(NOTE2)	$R_{\theta JA}$	50							$^\circ\text{C/W}$	
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{STG}	-65 to +175							$^\circ\text{C}$	
NOTES:										
1. Measured at 1.0 MHz and applied reverse voltage of 4.0 Volts.										
2. Thermal Resistance from Junction to Ambient at 0.375" (9.5mm) lead length, P.C. board mounted with 0.2" X 0.2" (5.0X5.0mm) copper pads.										

WEJ ELECTRONIC CO. [Http:// www.wej.cn](http://www.wej.cn) E-mail: wej@yongerjia.com

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.

FIG.1-TYPICAL FORWARD CURRENT DERATING CURVE

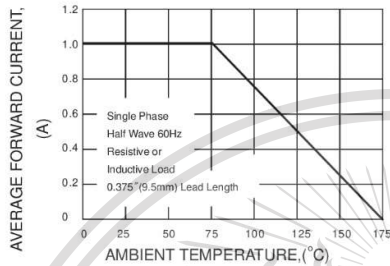


FIG.2-MAXIMUM NON-REPETITIVE PEAK FORWARD SURGE CURRENT

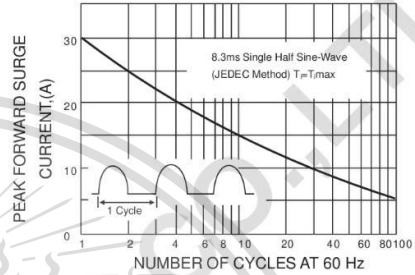


FIG.3-TYPICAL INSTANTANEOUS FORWARD CHARACTERISTICS

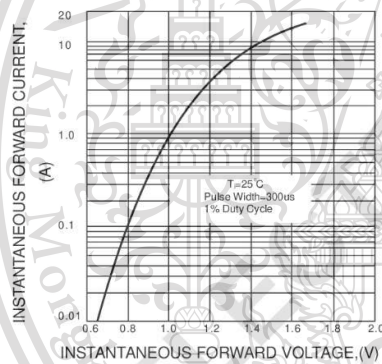


FIG.4-TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS

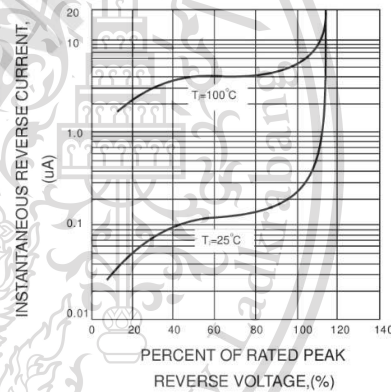
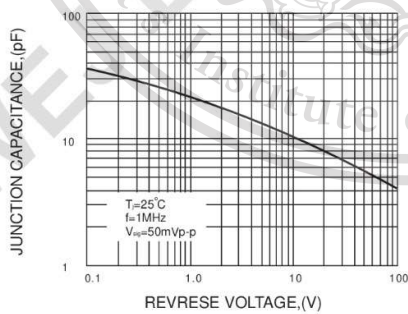


FIG.5-TYPICAL JUNCTION CAPACITANCE



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.



UNISONIC TECHNOLOGIES CO., LTD

TL431

LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

PROGRAMMABLE PRECISION REFERENCE

■ **DESCRIPTION**

The UTC **TL431** is a three-terminal adjustable regulator with a guaranteed thermal stability over applicable temperature ranges. The output voltage may be set to any value between V_{REF} (approximately 2.5V) and 36V with two external resistors. It provides very wide applications, including shunt regulator, series regulator, switching regulator, voltage reference and others.

■ **FEATURES**

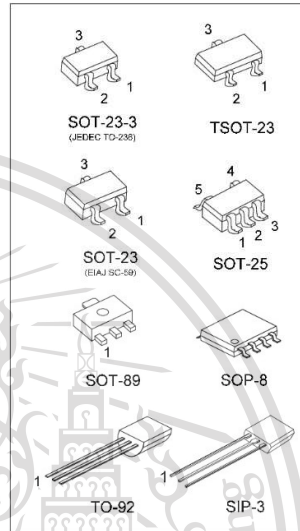
- * Programmable output Voltage to 36V.
- * Low dynamic output impedance 0.2Ω.
- * Sink current capability of 1.0 to 100mA.
- * Equivalent full-range temperature coefficient of 50ppm/°C typical for operation over full rated operating temperature range.

■ **ORDERING INFORMATION**

Ordering Number		Package	Pin Assignment								Packing
Lead Free	Halogen Free		1	2	3	4	5	6	7	8	
TL431K-AB3-R	TL431G-AB3-R	SOT-89	R	A	K	-	-	-	-	-	Tape Reel
TL431K-AE2-R	TL431G-AE2-R	SOT-23-3	K	R	A	-	-	-	-	-	Tape Reel
TL431K-AE3-R	TL431G-AE3-R	SOT-23	K	R	A	-	-	-	-	-	Tape Reel
TL431NSL-AE3-R	TL431NSG-AE3-R	SOT-23	R	K	A	-	-	-	-	-	Tape Reel
TL431NSL-AE2-R	TL431NSG-AE2-R	SOT-23-3	R	K	A	-	-	-	-	-	Tape Reel
TL431NSL-AH3-R	TL431NSG-AH3-R	TSOT-23	R	K	A	-	-	-	-	-	Tape Reel
TL431K-AF5-R	TL431G-AF5-R	SOT-25	X	X	K	R	A	-	-	-	Tape Reel
TL431K-AF5-B-R	TL431G-AF5-B-R	SOT-25	X	A	X	K	R	-	-	-	Tape Reel
TL431K-AF5-C-R	TL431G-AF5-C-R	SOT-25	R	A	K	X	X	-	-	-	Tape Reel
TL431K-S08-R	TL431G-S08-R	SOP-8	K	A	A	X	X	A	A	R	Tape Reel
TL431K-K03-K	TL431G-G03-K	SIP-3	R	A	K	-	-	-	-	-	Bulk
TL431K-T92-B	TL431G-T92-B	TO-92	R	A	K	-	-	-	-	-	Tape Box
TL431K-T92-K	TL431G-T92-K	TO-92	R	A	K	-	-	-	-	-	Bulk

Note: Pin Code: K: Cathode A: Anode R: Reference X: No Connection

TL431G-AF5-B-R	(1)Packing Type	(1) B: Tape Box, K: Bulk, R: Tape Reel, T: Tube
	(2)Pin Assignment	(2) refer to Pin Assignment
	(3)Package Type	(3) AB3: SOT-89, AE2: SOT-23-3, AE3: SOT-23, AH3: TSOT-23, AF5: SOT-25, S08: SOP-8, G03: SIP-3, T92: TO-92
	(4)Green Package	(4) G: Halogen Free and Lead Free, K: Lead Free L: Lead Free (For TL431NS)



www.unisonic.com.tw

Copyright © 2018 Unisonic Technologies Co., Ltd

1 of 6

QW-R103-003.AP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

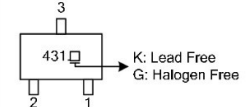
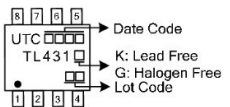
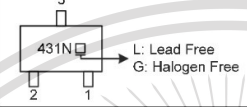
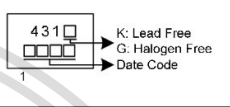
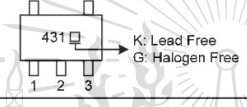
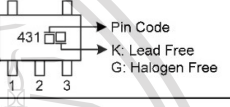


This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

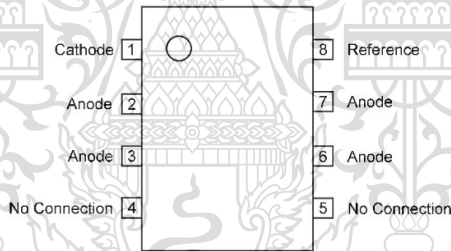
TL431

LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

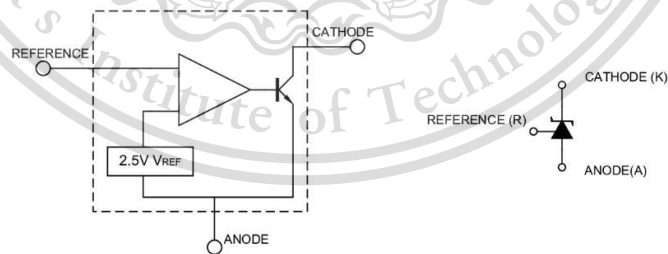
■ **MARKING**

PACKAGE	MARKING	PACKAGE	MARKING
SOT-23-3 SOT-23 (TL431)		SOP-8	
SOT-23-3 SOT-23 TSOT-23 (TL431NS)		SIP-3	
SOT-25		SOT-25 (Pin B, C)	
SOT-89		TO-92	

■ **PIN CONFIGURATION (For SOP-8)**



■ **BLOCK DIAGRAM**



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.

TL431

LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

■ **ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS** (Operating temperature range applies, unless otherwise specified)

PARAMETER	SYMBOL	RATINGS	UNIT
Cathode Voltage	V_{KA}	37	V
Cathode Current Range(Continuous)	I_{KA}	-100 ~ +150	mA
Reference Input Current Range	I_{REF}	-0.05 ~ +10	mA
Power Dissipation	TO-92	770	mW
	SOT-89	800	mW
	SOT-23/SOT-23-3	300	mW
	TSOT-23/SOT-25	400	mW
	SIP-3	600	mW
Operating Junction	T_J	+150	°C
Operating Ambient (Note 2)	T_{OPR}	-40 ~ +125	°C
Storage Temperature	T_{STG}	-65 ~ +150	°C

Notes: 1. Absolute maximum ratings are those values beyond which the device could be permanently damaged. Absolute maximum ratings are stress ratings only and functional device operation is not implied.
2. It is guarantee by design, not 100% be tested.

■ **RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS**

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNIT
Cathode Voltage	V_{KA}	V_{REF}		36	V
Cathode Current	I_{KA}	1		100	mA

■ **ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ($T_C = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified.)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT	
Reference Input Voltage	V_{REF}	$V_{KA}=V_{REF}, I_{KA}=10\text{mA}$	TL431-A ($\pm 0.5\%$)	2.483	2.495	2.507	V
			TL431-1 ($\pm 1\%$)	2.470	2.495	2.520	V
			TL431-2 (+2%)	2.520	-	2.545	V
			TL431-3 (-2%)	2.445	-	2.470	V
Deviation of reference Input Voltage Over temperature	$\frac{\Delta V_{REF}}{\Delta T}$	$V_{KA}=V_{REF}, I_{KA}=10\text{mA}, 0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$		4.5	17	mV	
Ratio of Change in Reference Input Voltage to the Change in Cathode Voltage	$\frac{\Delta V_{REF}}{\Delta V_{KA}}$	$I_{KA}=10\text{mA}$		-1.0	-2.7	mV/V	
Reference Input Current	I_{REF}	$I_{KA}=10\text{mA}, R1=10\text{k}\Omega, R2=\infty$		1.5	4	μA	
Deviation of Reference Input Current Over Full Temperature Range	$\frac{\Delta I_{REF}}{\Delta T}$	$I_{KA}=10\text{mA}, R1=10\text{k}\Omega, R2=\infty, T_A = \text{full Temperature}$		0.4	1.2	μA	
Minimum Cathode Current for Regulation	$I_{KA(MIN)}$	$V_{KA}=V_{REF}$		0.3	0.5	mA	
Off-State Cathode Current	$I_{KA(OFF)}$	$V_{KA}=36\text{V}, V_{REF}=0$		0.05	1.0	μA	
Dynamic Impedance	Z_{KA}	$V_{KA}=V_{REF}, I_{KA}=1 \sim 100\text{mA}, f \leq 1.0\text{kHz}$		0.15	0.5	Ω	



UNISONIC TECHNOLOGIES CO., LTD
www.unisonic.com.tw

3 of 6
QW-R103-003.AP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

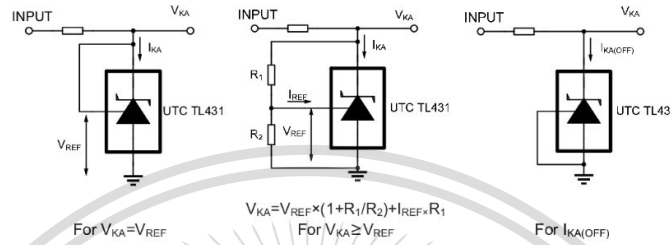
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

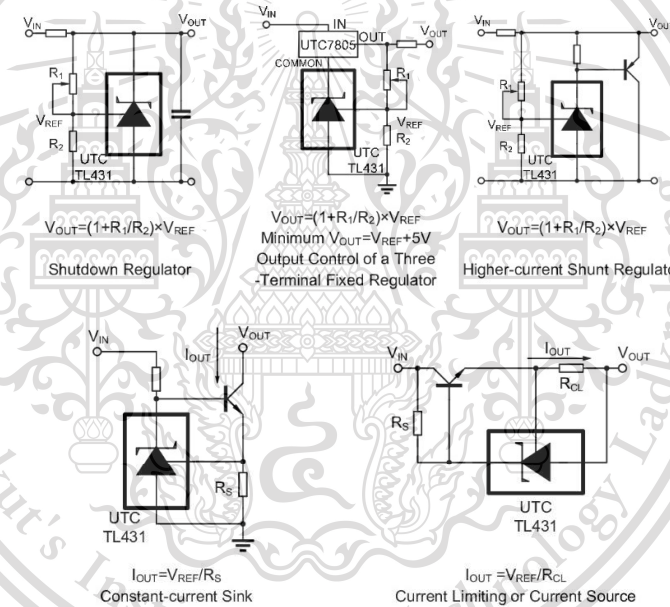
TL431

LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

■ **TEST CIRCUIT**



■ **APPLICATION CIRCUIT**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

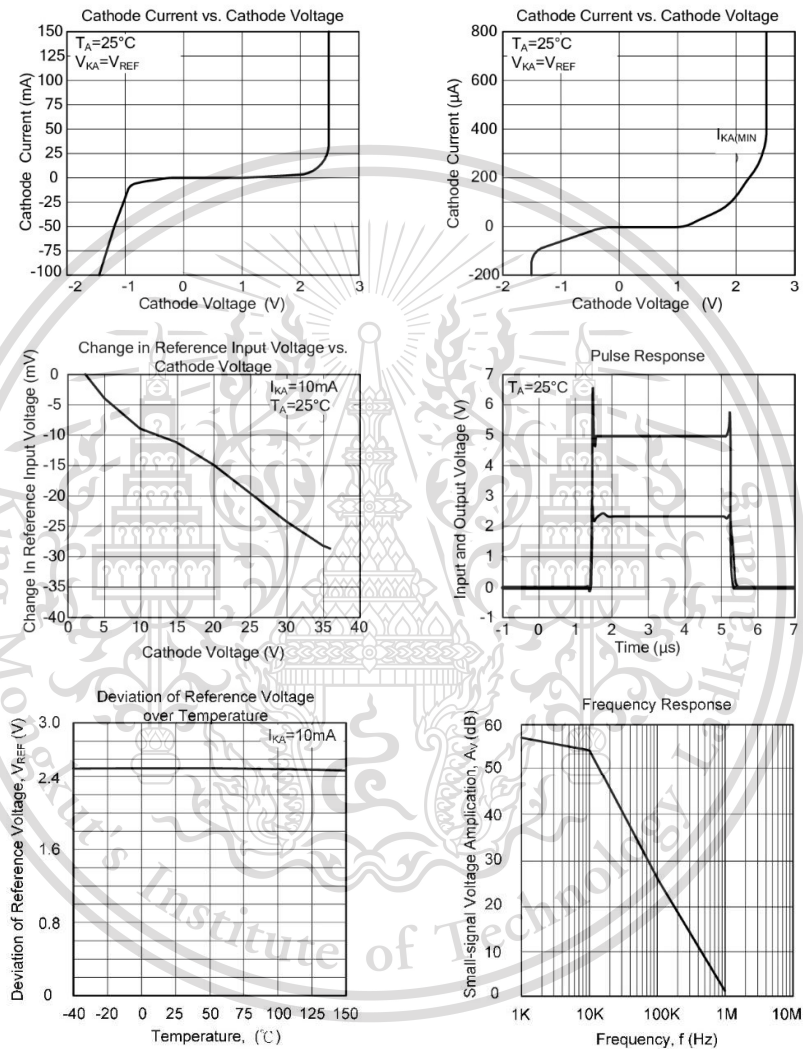
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

TL431

LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

■ TYPICAL CHARACTERISTICS



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.

TL431

LINEAR INTEGRATED CIRCUIT



UTC assumes no responsibility for equipment failures that result from using products at values that exceed, even momentarily, rated values (such as maximum ratings, operating condition ranges, or other parameters) listed in products specifications of any and all UTC products described or contained herein. UTC products are not designed for use in life support appliances, devices or systems where malfunction of these products can be reasonably expected to result in personal injury. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner. UTC reserves the right to make changes to information published in this document, including without limitation specifications and product descriptions, at any time and without notice. This document supersedes and replaces all information supplied prior to the publication hereof.

UTC UNISONIC TECHNOLOGIES CO., LTD
www.unisonic.com.tw

6 of 6
 QW-R103-003.AP

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.

KEC**SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA****BC546/7/8****EPITAXIAL PLANAR NPN TRANSISTOR**

GENERAL PURPOSE APPLICATION.
SWITCHING APPLICATION .

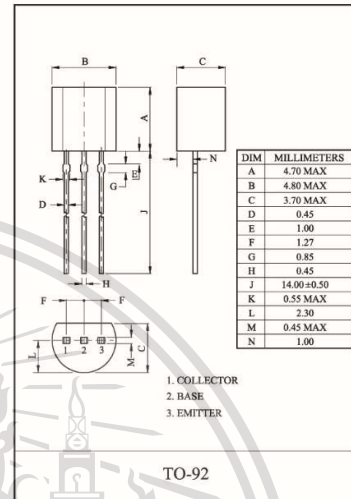
FEATURES

- High Voltage : BC546 $V_{CE0}=65V$.
- For Complementary With PNP Type BC556/557/558.

MAXIMUM RATING (Ta=25°C)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	RATING	UNIT
Collector-Base Voltage	BC546	80	V
	BC547	50	
	BC548	30	
Collector-Emitter Voltage	BC546	65	V
	BC547	45	
	BC548	30	
Emitter-Base Voltage	BC546	6	V
	BC547	6	
	BC548	5	
Collector Current	BC546	100	mA
	BC547	100	
	BC548	100	
Base Current	BC546	20	mA
	BC547	20	
	BC548	20	
Emitter Current	BC546	-100	mA
	BC547	-100	
	BC548	-100	
Collector Power Dissipation	*P _C	625	mW
		400	
Junction Temperature	T _J	150	°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	-55 ~ 150	°C

*Cu Lead-Frame : 625mW
Fe Lead-Frame : 400mW



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.

BC546/7/8

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta=25°C)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Collector Cut-off Current	I_{CBO}	$V_{CB}=30V, I_E=0$	-	-	15	nA
DC Current Gain (Note)	BC546	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	110	-	450	
	BC547		110	-	800	
	BC548		110	-	800	
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C=100mA, I_B=5mA$	-	-	0.6	V
Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{BE(sat)}$	$I_C=100mA, I_B=5mA$	-	0.9	1.1	V
Base-Emitter Voltage	$V_{BE(ON)1}$	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	0.58	-	0.7	V
	$V_{BE(ON)2}$	$V_{CE}=5V, I_C=10mA$	-	-	0.75	V
Transition Frequency	f_T	$V_{CE}=5V, I_C=10mA, f=100MHz$	-	150	-	MHz
Collector Output Capacitance	C_{ob}	$V_{CB}=10V, f=1MHz, I_E=0$	-	-	4.5	pF
Noise Figure	NF	$V_{CE}=6V, I_C=0.1mA$ $R_g=10k\Omega, f=1kHz$	-	1.0	10	dB

NOTE : According to the value of h_{FE} the BC546, BC547, BC548 are classified as follows.

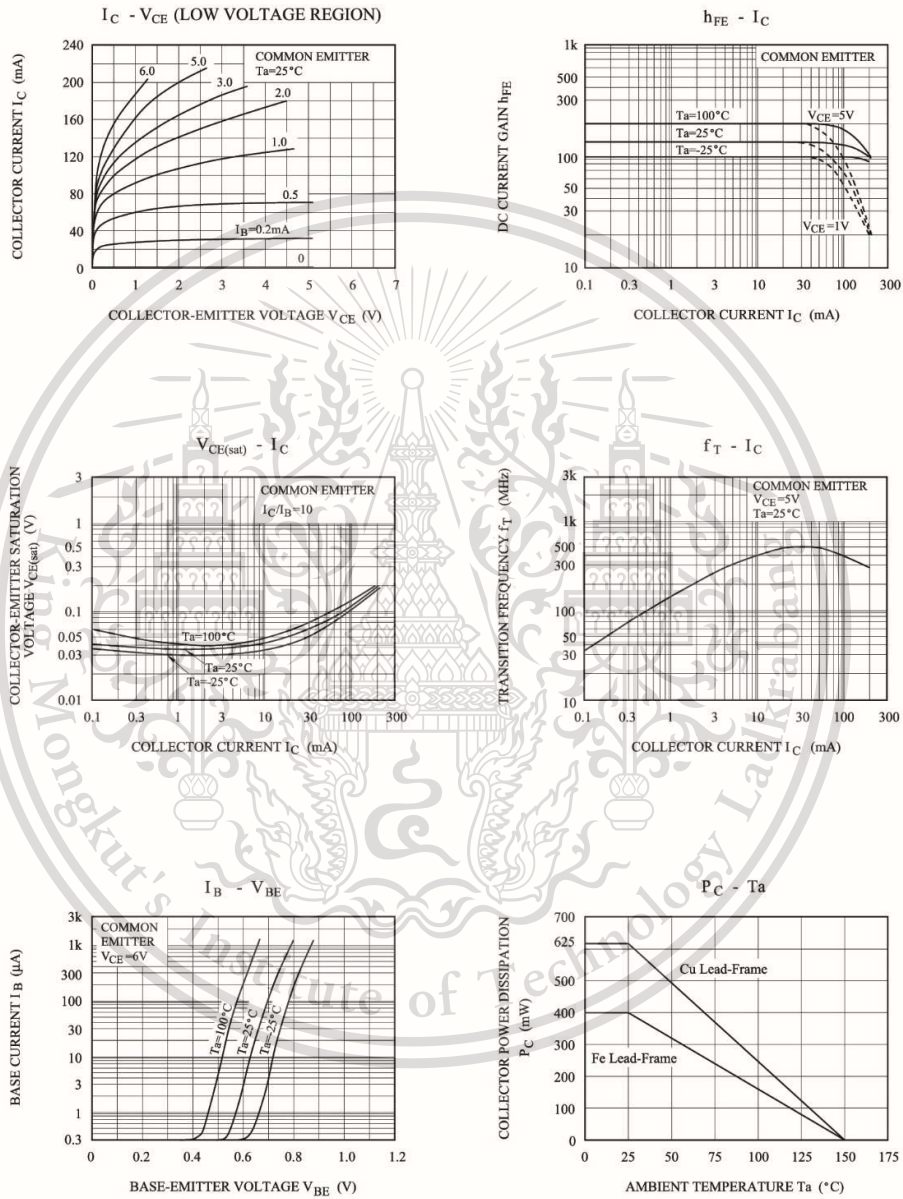
CLASSIFICATION	none	A	B	C	
h_{FE}	BC546	110 ~ 450	110 ~ 220	200 ~ 450	-
	BC547	110 ~ 800	110 ~ 220	200 ~ 450	420 ~ 800
	BC548	110 ~ 800	110 ~ 220	200 ~ 450	420 ~ 800

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.

BC546/7/8



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.

MCP300X 10-Bit Analog-to-Digital Converters

Product Information



The Microchip MCP300X family of 10-bit analog-to-digital converters (ADCs) combines high performance and low power consumption in a small package – making it ideal for embedded control applications.

Consisting of the MCP3001, MCP3002, MCP3004 and MCP3008, the MCP300X family features a successive approximation register (SAR) architecture and an industry standard SPI™ serial interface. Devices are available with 1, 2, 4 or 8 input channels and in PDIP, SOIC and TSSOP packages.

The MCP300X family offers existing Microchip customers added flexibility when incorporating analog inputs into their designs. The industry standard SPI interface allows 10-bit ADC capability to be added to any PICmicro® microcontroller. In addition, new customers will find the performance and price of the MCP300X family very attractive.

Applications for the MCP300X family include data acquisition, instrumentation and measurement, multi-channel data loggers, industrial PCs, motor control, robotics, industrial automation, smart sensors, portable instrumentation and home medical appliances.



Features:

- 200k samples/second
- 1, 2, 4 or 8 channels
- Low Power: 5 nA typical standby, 425 µA typical active
- ±1 LSB INL, ±1 LSB DNL
- No missing codes
- Industrial temperature range: -40°C to +85°C
- Single supply operation: -2.7V to 5.5V
- SPI serial interface
- PDIP and SOIC packages

Related Application Notes:

- AN679 Temperature Sensing Technologies
- AN684 Single Supply Temperature Sensing with Thermocouples
- AN685 Thermistors in Single Supply Temperature Sensing Circuits
- AN687 Precision Temperature Sensing with RTD Circuits
- AN699 Anti-Aliasing Analog Filters for Data Acquisition Systems

Microchip Technology Inc. • The Embedded Control Solutions Company®

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.

MCP300X 10-Bit Analog-to-Digital Converters *Continued*

Additional Information:

- Microchip's web site: www.microchip.com
- Microchip's *Technical Library CD-ROM*, Order No. DS00161
- More than 112 Application Notes available:
 - *Embedded Control Handbook*, Order No. DS00092
 - *Embedded Control Handbook, Volume 2, Math Library*, Order No. DS00167
- Microchip's *Overview, Quality Systems and Customer Interface System*, Order No. DS00169
- Third party software and hardware support:
 - Emulators
 - Programmers
 - Gang Programmers
 - Software Tools
 - Development Boards and Accessories
 - Design Consultants
 - *Third Party Guide*, Order No. DS00104

MCP300X High Performance 10-Bit Analog-to-Digital Converters										
Product	Resolution (Bits)	No. of Channels	Sampling Rate (kps)	INL (±LSB)	DNL (±LSB)	Supply Voltage	Temperature Range	Standby Current @ 5V (typical, µA)	Operating Current @ 5V (typical, µA)	Packages
MCP3001	10	1	200	1	1	2.7 - 5.5	-40° to +85°C	0.005	400	8P 8SO, 8TSSOP
MCP3002	10	2	200	1	1	2.7 - 5.5	-40° to +85°C	0.005	525	8P 8SO, 8TSSOP
MCP3004	10	4	200	1	1	2.7 - 5.5	-40° to +85°C	0.005	425	14P 14SO, 14TSSOP
MCP3008	10	8	200	1	1	2.7 - 5.5	-40° to +85°C	0.005	425	16P 16SO

Microchip is offering a comprehensive set of support tools including application notes and the Analog Evaluation System. The evaluation system consists of the analog evaluation driver board, incorporating a PICmicro microcontroller, coupled with an MCP300X device-specific evaluation board. Windows®-based software features powerful data collection and analysis

Americas	Asia/Pacific	Europe
Atlanta (770) 640-0034	Australia 61 2 9868 6733	Denmark 45 4420 9895
Austin-Analog (512) 345-2030	China-Beijing 86 10 85282100	France 33 1 69 53 63 20
Boston (978) 692-3848	China-Shanghai 86 21 6275 5700	Germany 49 89 627 144 0
Boston-Analog (978) 371-6400	Hong Kong 852 2401 1200	Germany-Analog 49 89 895650 0
Chicago (630) 285-0071	India 91 80 2290061	Italy 39 039 65791 1
Dallas (972) 818-7423	Japan 81 45 471 6166	United Kingdom 44 118 921 5869
Dayton (937) 291-1654	Korea 82 2 554 7200	
Detroit (248) 538-2250	Singapore 65 334 8870	
Los Angeles (949) 263-1888	Taiwan 886 2 2717 7175	
Mountain View-Analog (650) 968-9241		
New York (631) 273-5305		
San Jose (408) 436-7950		
Toronto (905) 673-0699		

As of 02/01/01



Microchip Technology Inc. • 2355 W. Chandler Blvd. • Chandler, AZ 85224-6199 • (480) 792-7200 • Fax (480) 792-9210

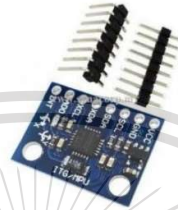
The Microchip name, logo, PIC, PICmicro, PICMASTER, PICSTART, PRO MATE, KsLo, SEEVAL, MPLAB and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries. Total Endurance, ICS® In-Circuit Serial Programming, FilterLab, MXDEV, microID, FlexROM, fuzzyLAB, MPASM, MPLINK, MPLIB, PICDEM, ICEPIC, Migestable Memory, FirSens, ECONOMICMONITOR, SelectMode and microPort are trademarks and SQTP is a service mark of Microchip Technology Inc. All other trademarks mentioned herein are the property of their respective companies. Information subject to change. © 2001 Microchip Technology Inc. All rights reserved. Printed in the U.S.A. DS20044B 2/01

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.

MPU 6050 GY-521 3 Axis Gyro Accelerometer Sensor Module Arduino



The MPU-6050 sensor module contains an accelerometer and a gyro in a single chip. It is very accurate, as it contains 16-bits analog to digital conversion hardware for each channel. Therefore it captures the x, y, and z channel at the same time. The sensor uses the I2C-bus to interface with the Arduino.

Application:

- Motion-enabled game and application framework
- Location based services, points of interest
- Handset and portable gaming
- Motion-based game controllers
- Wearable sensors for health, fitness and sports
- Toys

Features:

- Use the chip: MPU-6050.
- Power supply: 3-5v (internal low dropout regulator).
- Communication modes: standard IIC communications protocol.
- Chip built-in 16bit AD converter, 16-bit data output.
- Immersion Gold PCB machine welding process to ensure quality.
- Tri-Axis angular rate sensor (gyro) with a sensitivity up to 131 LSBs/dps and a full-scale range of ± 250 , ± 500 , ± 1000 , and ± 2000 dps
- Tri-Axis accelerometer with a programmable full scale range of $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ and $\pm 16g$

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.

19-5170; Rev 8; 7/10



Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

DS3231

General Description

The DS3231 is a low-cost, extremely accurate I²C real-time clock (RTC) with an integrated temperature-compensated crystal oscillator (TCXO) and crystal. The device incorporates a battery input, and maintains accurate timekeeping when main power to the device is interrupted. The integration of the crystal resonator enhances the long-term accuracy of the device as well as reduces the piece-part count in a manufacturing line. The DS3231 is available in commercial and industrial temperature ranges, and is offered in a 16-pin, 300-mil SQ package.

The RTC maintains seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The date at the end of the month is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with an AM/PM indicator. Two programmable time-of-day alarms and a programmable square-wave output are provided. Address and data are transferred serially through an I²C bidirectional bus.

A precision temperature-compensated voltage reference and comparator circuit monitors the status of V_{CC} to detect power failures; to provide a reset output, and to automatically switch to the backup supply when necessary. Additionally, the RST pin is monitored as a pushbutton input for generating a μ P reset.

Applications

- Servers
- Utility Power Meters
- Telematics
- GPS

Pin Configuration appears at end of data sheet.

Features

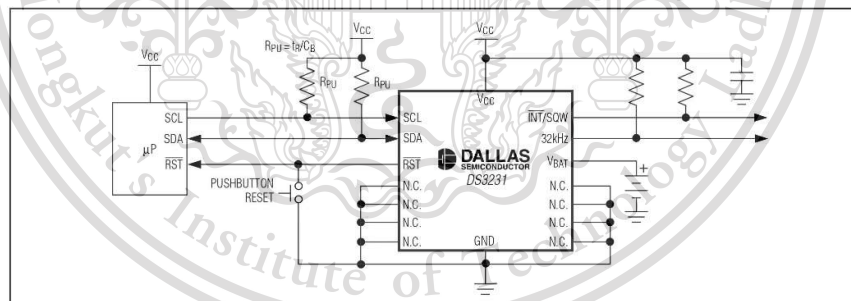
- ◆ Accuracy ± 2 ppm from 0°C to +40°C
- ◆ Accuracy ± 3.5 ppm from -40°C to +85°C
- ◆ Battery Backup Input for Continuous Timekeeping
- ◆ Operating Temperature Ranges
Commercial: 0°C to +70°C
Industrial: -40°C to +85°C
- ◆ Low-Power Consumption
- ◆ Real-Time Clock Counts Seconds, Minutes, Hours, Day, Date, Month, and Year with Leap Year Compensation Valid Up to 2100
- ◆ Two Time-of-Day Alarms
- ◆ Programmable Square-Wave Output
- ◆ Fast (400kHz) I²C Interface
- ◆ 3.3V Operation
- ◆ Digital Temp Sensor Output: ± 3 °C Accuracy
- ◆ Register for Aging Trim
- ◆ RST Output/Pushbutton Reset Debounce Input
- ◆ Underwriters Laboratories (UL) Recognized

Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
DS3231S#	0°C to +70°C	16 SQ
DS3231SN#	-40°C to +85°C	16 SQ

#Denotes a RoHS-compliant device that may include lead that is exempt under RoHS requirements. The lead finish is JEDEC category e3, and is compatible with both lead-based and lead-free soldering processes. A "#" anywhere on the top mark denotes a RoHS-compliant device.

Typical Operating Circuit



Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim Direct at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-ic.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.

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

DS3231

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Voltage Range on V _{CC} , V _{BAT} , 32kHz, SCL, SDA, RST, INT/SQW Relative to Ground.....	-0.3V to +6.0V	Storage Temperature Range	-40°C to +85°C
Junction-to-Ambient Thermal Resistance (θ _{JA}) (Note 1).....	73°C/W	Lead Temperature (soldering, 10s)	+260°C
Junction-to-Case Thermal Resistance (θ _{JC}) (Note 1).....	23°C/W	Soldering Temperature (reflow, 2 times max)	
Operating Temperature Range (noncondensing)	-40°C to +85°C	Lead(Pb)-free.....	+260°C
Junction Temperature	+125°C	Containing lead(Pb).....	+240°C
		(See the <i>Handling, PC Board Layout, and Assembly</i> section.)	

Note 1: Package thermal resistances were obtained using the method described in JEDEC specification JESD51-7, using a four-layer board. For detailed information on package thermal considerations, refer to www.maxim-ic.com/thermal-tutorial.

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 in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

(T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V _{CC}		2.3	3.3	5.5	V
	V _{BAT}		2.3	3.0	5.5	V
Logic 1 Input SDA, SCL	V _{IH}		0.7 x V _{CC}		V _{CC} + 0.3	V
Logic 0 Input SDA, SCL	V _{IL}		-0.3		0.3 x V _{CC}	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = 2.3V to 5.5V, V_{CC} = Active Supply (see Table 1), T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Typical values are at V_{CC} = 3.3V, V_{BAT} = 3.0V, and T_A = +25°C, unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Active Supply Current	I _{CCA}	(Notes 4, 5)	V _{CC} = 3.63V		200	μA
			V _{CC} = 5.5V		300	
Standby Supply Current	I _{CCS}	I ² C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off (Note 5)	V _{CC} = 3.63V		110	μA
			V _{CC} = 5.5V		170	
Temperature Conversion Current	I _{CCCONV}	I ² C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off	V _{CC} = 3.63V		575	μA
			V _{CC} = 5.5V		650	
Power-Fail Voltage	V _{PF}		2.45	2.575	2.70	V
Logic 0 Output, 32kHz, INT/SQW, SDA	V _{OL}	I _{OL} = 3mA			0.4	V
Logic 0 Output, RST	V _{OL}	I _{OL} = 1mA			0.4	V
Output Leakage Current 32kHz, INT/SQW, SDA	I _{LO}	Output high impedance	-1	0	+1	μA
Input Leakage SCL	I _{LI}		-1		+1	μA
RST Pin I/O Leakage	I _{OL}	RST high impedance (Note 6)	-200		+10	μA
V _{BAT} Leakage Current (V _{CC} Active)	I _{BATLKG}			25	100	nA

2

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.

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(V_{CC} = 2.3V to 5.5V, V_{CC} = Active Supply (see Table 1), T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Typical values are at V_{CC} = 3.3V, V_{BAT} = 3.0V, and T_A = +25°C, unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Frequency	f _{OUT}	V _{CC} = 3.3V or V _{BAT} = 3.3V		32.768		kHz
Frequency Stability vs. Temperature (Commercial)	Δf/f _{OUT}	V _{CC} = 3.3V or V _{BAT} = 3.3V, aging offset = 00h	0°C to +40°C		±2	ppm
			>40°C to +70°C		±3.5	
Frequency Stability vs. Temperature (Industrial)	Δf/f _{OUT}	V _{CC} = 3.3V or V _{BAT} = 3.3V, aging offset = 00h	-40°C to <0°C		±3.5	ppm
			0°C to +40°C		±2	
			>40°C to +85°C		±3.5	
Frequency Stability vs. Voltage	Δf/V			1		ppm/V
Trim Register Frequency Sensitivity per LSB	Δf/LSB	Specified at:	-40°C		0.7	ppm
			+25°C		0.1	
			+70°C		0.4	
			+85°C		0.8	
Temperature Accuracy	Temp	V _{CC} = 3.3V or V _{BAT} = 3.3V	-3		+3	°C
Crystal Aging	Δf/f ₀	After reflow, not production tested	First year		±1.0	ppm
			0-10 years		±5.0	

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = 0V, V_{BAT} = 2.3V to 5.5V, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Note 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Active Battery Current	I _{BATA}	E _{OSC} = 0, BBSQW = 0, SCL = 400kHz (Note 5)	V _{BAT} = 3.63V		70	μA
			V _{BAT} = 5.5V		150	
Timekeeping Battery Current	I _{BATT}	E _{OSC} = 0, BBSQW = 0, EN32kHz = 1, SCL = SDA = 0V or SCL = SDA = V _{BAT} (Note 5)	V _{BAT} = 3.63V	0.84	3.0	μA
			V _{BAT} = 5.5V	1.0	3.5	
Temperature Conversion Current	I _{BATTc}	E _{OSC} = 0, BBSQW = 0, SCL = SDA = 0V or SCL = SDA = V _{BAT}	V _{BAT} = 3.63V		575	μA
			V _{BAT} = 5.5V		650	
Data-Retention Current	I _{BATTDR}	E _{OSC} = 1, SCL = SDA = 0V, +25°C			100	nA

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.

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

DS3231

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = V_{CC(MIN)} to V_{CC(MAX)} or V_{BAT} = V_{BAT(MIN)} to V_{BAT(MAX)}, V_{BAT} > V_{CC}, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Note 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
SCL Clock Frequency	f _{SCL}	Fast mode	100		400	kHz
		Standard mode	0		100	
Bus Free Time Between STOP and START Conditions	t _{BUF}	Fast mode	1.3			μs
		Standard mode	4.7			
Hold Time (Repeated) START Condition (Note 7)	t _{HD:STA}	Fast mode	0.6			μs
		Standard mode	4.0			
Low Period of SCL Clock	t _{LOW}	Fast mode	1.3			μs
		Standard mode	4.7			
High Period of SCL Clock	t _{HIGH}	Fast mode	0.6			μs
		Standard mode	4.0			
Data Hold Time (Notes 8, 9)	t _{HD:DAT}	Fast mode	0		0.9	μs
		Standard mode	0		0.9	
Data Setup Time (Note 10)	t _{SU:DAT}	Fast mode	100			ns
		Standard mode	250			
START Setup Time	t _{SU:STA}	Fast mode	0.6			μs
		Standard mode	4.7			
Rise Time of Both SDA and SCL Signals (Note 11)	t _R	Fast mode	20 +		300	ns
		Standard mode	0.1C _B		1000	
Fall Time of Both SDA and SCL Signals (Note 11)	t _F	Fast mode	20 +		300	ns
		Standard mode	0.1C _B		300	
Setup Time for STOP Condition	t _{SU:STO}	Fast mode	0.6			μs
		Standard mode	4.7			
Capacitive Load for Each Bus Line	C _B	(Note 11)			400	pF
Capacitance for SDA, SCL	C _{I/O}			10		pF
Pulse Width of Spikes That Must Be Suppressed by the Input Filter	t _{SP}			30		ns
Pushbutton Debounce	PBDB			250		ms
Reset Active Time	t _{RST}			250		ms
Oscillator Stop Flag (OSF) Delay	t _{OSF}	(Note 12)		100		ms
Temperature Conversion Time	t _{CONV}			125	200	ms

POWER-SWITCH CHARACTERISTICS

(T_A = T_{MIN} to T_{MAX})

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
V _{CC} Fall Time; V _{PF(MAX)} to V _{PF(MIN)}	t _{VCCF}		300			μs
V _{CC} Rise Time; V _{PF(MIN)} to V _{PF(MAX)}	t _{VCCR}		0			μs
Recovery at Power-Up	t _{REC}	(Note 13)		250	300	ms

4

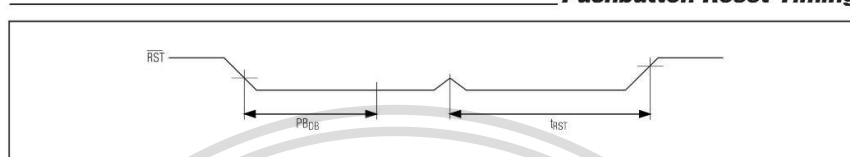
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

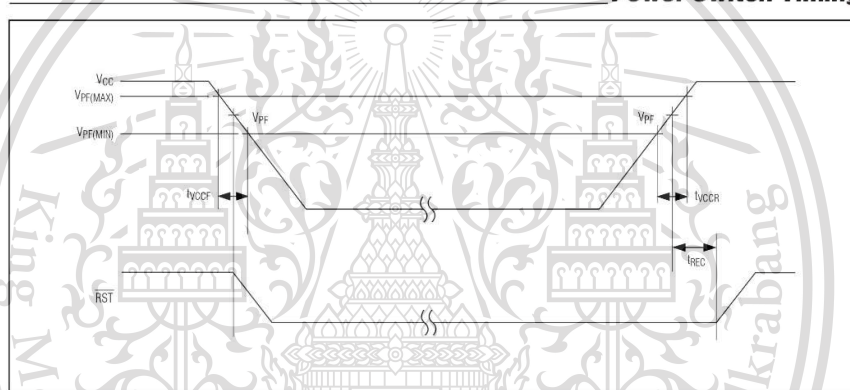
Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

Pushbutton Reset Timing



DS3231

Power-Switch Timing



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

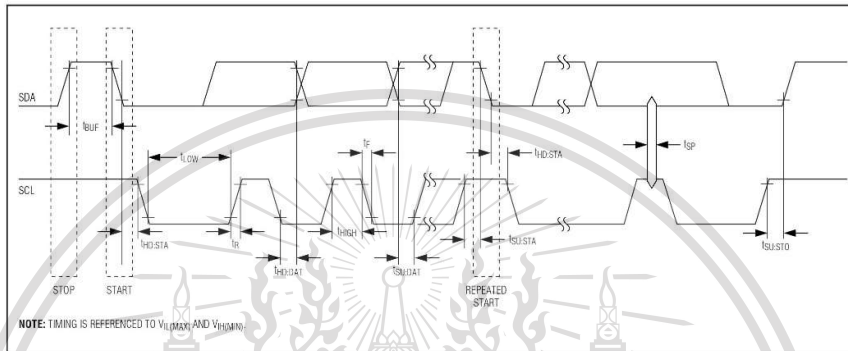
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

DS3231

Data Transfer on I²C Serial Bus



WARNING: Negative undershoots below -0.3V while the part is in battery-backed mode may cause loss of data.

- Note 2:** Limits at -40°C are guaranteed by design and not production tested.
- Note 3:** All voltages are referenced to ground.
- Note 4:** I_{CCA}—SCL clocking at max frequency = 400kHz.
- Note 5:** Current is the averaged input current, which includes the temperature conversion current.
- Note 6:** The RST pin has an internal 50kΩ (nominal) pullup resistor to V_{CC}.
- Note 7:** After this period, the first clock pulse is generated.
- Note 8:** A device must internally provide a hold time of at least 300ns for the SDA signal (referred to the V_{IH(MIN)} of the SCL signal) to bridge the undefined region of the falling edge of SCL.
- Note 9:** The maximum t_{HD,DATA} needs only to be met if the device does not stretch the low period (t_{LOW}) of the SCL signal.
- Note 10:** A fast-mode device can be used in a standard-mode system, but the requirement t_{SU,DATA} ≥ 250ns must then be met. This is automatically the case if the device does not stretch the low period of the SCL signal. If such a device does stretch the low period of the SCL signal, it must output the next data bit to the SDA line t_{R(MAX)} + t_{SU,DATA} = 1000 + 250 = 1250ns before the SCL line is released.
- Note 11:** C_B—total capacitance of one bus line in pF.
- Note 12:** The parameter t_{OSF} is the period of time the oscillator must be stopped for the OSF flag to be set over the voltage range of 0.0V ≤ V_{CC} ≤ V_{CC(MAX)} and 2.3V ≤ V_{BAT} ≤ 3.4V.
- Note 13:** This delay applies only if the oscillator is enabled and running. If the EOSC bit is a 1, t_{PRE} is bypassed and RST immediately goes high. The state of RST does not affect the I²C interface, RTC, or TCXO.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

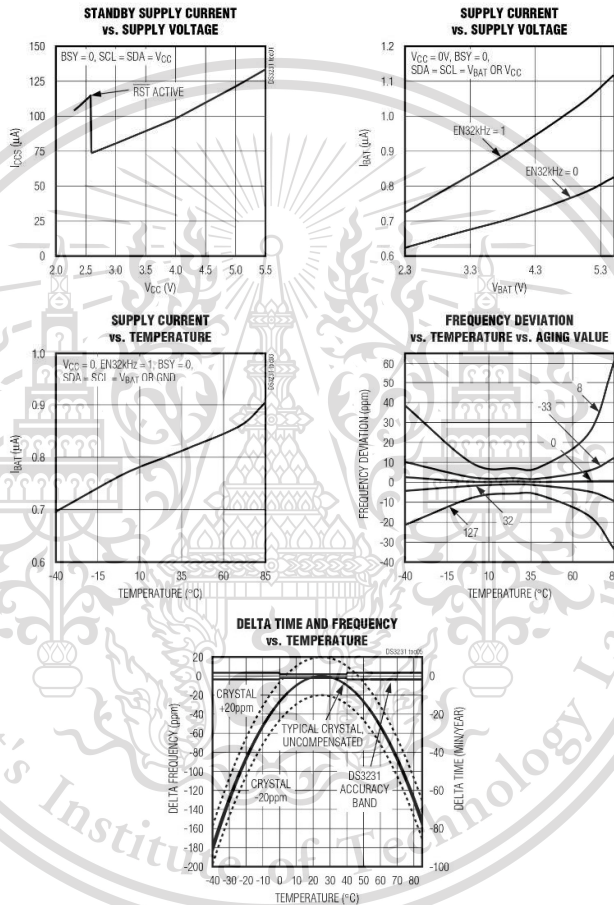
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

Typical Operating Characteristics

(V_{CC} = +3.3V, T_A = +25°C, unless otherwise noted.)

DS3231



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

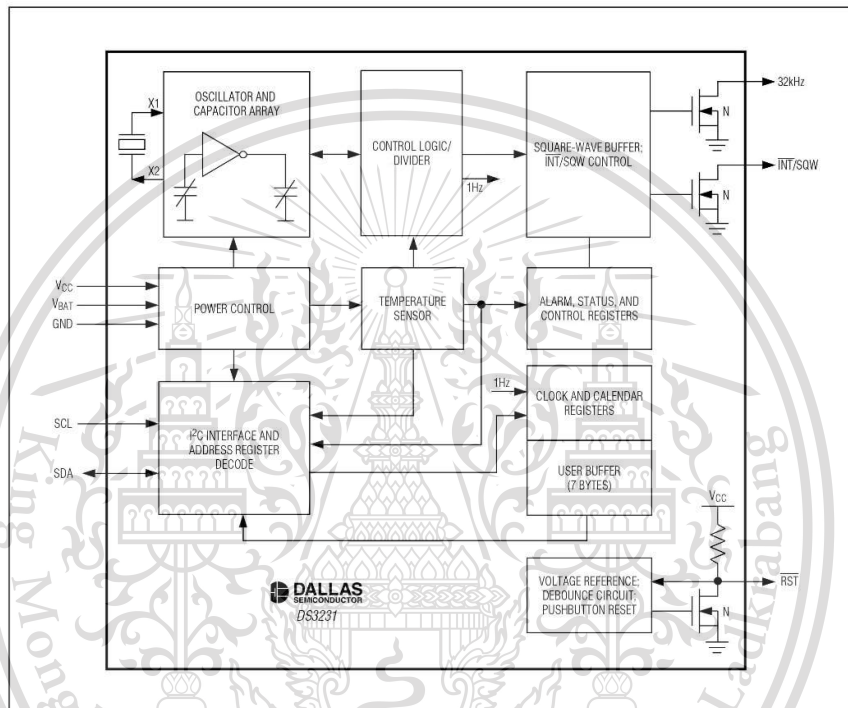
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

DS3231

Block Diagram



8

DALLAS
SEMICONDUCTOR MAXIM

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.

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1	32kHz	32kHz Output. This open-drain pin requires an external pullup resistor. When enabled, the output operates on either power supply. It may be left open if not used.
2	V _{CC}	DC Power Pin for Primary Power Supply. This pin should be decoupled using a 0.1μF to 1.0μF capacitor. If not used, connect to ground.
3	INT/SQW	Active-Low Interrupt or Square-Wave Output. This open-drain pin requires an external pullup resistor connected to a supply at 5.5V or less. This multifunction pin is determined by the state of the INTCN bit in the Control Register (0Eh). When INTCN is set to logic 0, this pin outputs a square wave and its frequency is determined by RS2 and RS1 bits. When INTCN is set to logic 1, then a match between the timekeeping registers and either of the alarm registers activates the INT/SQW pin (if the alarm is enabled). Because the INTCN bit is set to logic 1 when power is first applied, the pin defaults to an interrupt output with alarms disabled. The pullup voltage can be up to 5.5V, regardless of the voltage on V _{CC} . If not used, this pin can be left unconnected.
4	RST	Active-Low Reset. This pin is an open-drain input/output. It indicates the status of V _{CC} relative to the V _{PF} specification. As V _{CC} falls below V _{PF} , the RST pin is driven low. When V _{CC} exceeds V _{PF} , for t _{RST} , the RST pin is pulled high by the internal pullup resistor. The active-low, open-drain output is combined with a debounced pushbutton input function. This pin can be activated by a pushbutton reset request. It has an internal 50kΩ nominal value pullup resistor to V _{CC} . No external pullup resistors should be connected. If the oscillator is disabled, t _{RST} is bypassed and RST immediately goes high.
5–12	N.C.	No Connection. Must be connected to ground.
13	GND	Ground.
14	V _{BAT}	Backup Power-Supply Input. When using the device with the V _{BAT} input as the primary power source, this pin should be decoupled using a 0.1μF to 1.0μF low-leakage capacitor. When using the device with the V _{BAT} input as the backup power source, the capacitor is not required. If V _{BAT} is not used, connect to ground. The device is UL recognized to ensure against reverse charging when used with a primary lithium battery. Go to www.maxim-ic.com/qa/info/ul .
15	SDA	Serial Data Input/Output. This pin is the data input/output for the I ² C serial interface. This open-drain pin requires an external pullup resistor. The pullup voltage can be up to 5.5V, regardless of the voltage on V _{CC} .
16	SCL	Serial Clock Input. This pin is the clock input for the I ² C serial interface and is used to synchronize data movement on the serial interface. Up to 5.5V can be used for this pin, regardless of the voltage on V _{CC} .

Detailed Description

The DS3231 is a serial RTC driven by a temperature-compensated 32kHz crystal oscillator. The TCXO provides a stable and accurate reference clock, and maintains the RTC to within ±2 minutes per year accuracy from -40°C to +85°C. The TCXO frequency output is available at the 32kHz pin. The RTC is a low-power clock/calendar with two programmable time-of-day alarms and a programmable square-wave output. The INT/SQW provides either an interrupt signal due to alarm conditions or a square-wave output. The clock/calendar provides seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The date at the end of the month is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The

clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with an AM/PM indicator. The internal registers are accessible through an I²C bus interface.

A temperature-compensated voltage reference and comparator circuit monitors the level of V_{CC} to detect power failures and to automatically switch to the backup supply when necessary. The RST pin provides an external pushbutton function and acts as an indicator of a power-fail event.

Operation

The block diagram shows the main elements of the DS3231. The eight blocks can be grouped into four functional groups: TCXO, power control, pushbutton function, and RTC. Their operations are described separately in the following sections.

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.

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

DS3231

32kHz TCXO

The temperature sensor, oscillator, and control logic form the TCXO. The controller reads the output of the on-chip temperature sensor and uses a lookup table to determine the capacitance required, adds the aging correction in AGE register, and then sets the capacitance selection registers. New values, including changes to the AGE register, are loaded only when a change in the temperature value occurs, or when a user-initiated temperature conversion is completed. Temperature conversion occurs on initial application of V_{CC} and once every 64 seconds afterwards.

Power Control

This function is provided by a temperature-compensated voltage reference and a comparator circuit that monitors the V_{CC} level. When V_{CC} is greater than V_{PF}, the part is powered by V_{CC}. When V_{CC} is less than V_{PF} but greater than V_{BAT}, the DS3231 is powered by V_{CC}. If V_{CC} is less than V_{PF} and is less than V_{BAT}, the device is powered by V_{BAT}. See Table 1.

Table 1. Power Control

SUPPLY CONDITION	ACTIVE SUPPLY
$V_{CC} < V_{PF}, V_{CC} \leq V_{BAT}$	V _{BAT}
$V_{CC} < V_{PF}, V_{CC} > V_{BAT}$	V _{CC}
$V_{CC} > V_{PF}, V_{CC} \leq V_{BAT}$	V _{CC}
$V_{CC} > V_{PF}, V_{CC} > V_{BAT}$	V _{CC}

To preserve the battery, the first time V_{BAT} is applied to the device, the oscillator will not start up until V_{CC} exceeds V_{PF}, or until a valid I²C address is written to the part. Typical oscillator startup time is less than one second. Approximately 2 seconds after V_{CC} is applied, or a valid I²C address is written, the device makes a temperature measurement and applies the calculated correction to the oscillator. Once the oscillator is running, it continues to run as long as a valid power source is available (V_{CC} or V_{BAT}), and the device continues to measure the temperature and correct the oscillator frequency every 64 seconds.

On the first application of power (V_{CC}) or when a valid I²C address is written to the part (V_{BAT}), the time and date registers are reset to 01/01/00 01:00:00:00 (MM/DD/YY DOW HH:MM:SS).

V_{BAT} Operation

There are several modes of operation that affect the amount of V_{BAT} current that is drawn. While the device is powered by V_{BAT} and the serial interface is active,

active battery current, I_{BATA}, is drawn. When the serial interface is inactive, timekeeping current (I_{BATT}), which includes the averaged temperature conversion current, I_{BATTC}, is used (refer to Application Note 3644: *Power Considerations for Accurate Real-Time Clocks* for details). Temperature conversion current, I_{BATTC}, is specified since the system must be able to support the periodic higher current pulse and still maintain a valid voltage level. Data retention current, I_{BATTDR}, is the current drawn by the part when the oscillator is stopped (EOSC = 1). This mode can be used to minimize battery requirements for times when maintaining time and date information is not necessary, e.g., while the end system is waiting to be shipped to a customer.

Pushbutton Reset Function

The DS3231 provides for a pushbutton switch to be connected to the RST output pin. When the DS3231 is not in a reset cycle, it continuously monitors the RST signal for a low going edge. If an edge transition is detected, the DS3231 debounces the switch by pulling the RST low. After the internal timer has expired (P_{DB}), the DS3231 continues to monitor the RST line. If the line is still low, the DS3231 continuously monitors the line looking for a rising edge. Upon detecting release, the DS3231 forces the RST pin low and holds it low for t_{RST}.

RST is also used to indicate a power-fail condition. When V_{CC} is lower than V_{PF}, an internal power-fail signal is generated, which forces the RST pin low. When V_{CC} returns to a level above V_{PF}, the RST pin is held low for approximately 250ms (t_{REC}) to allow the power supply to stabilize. If the oscillator is not running (see the *Power Control* section) when V_{CC} is applied, t_{REC} is bypassed and RST immediately goes high. Assertion of the RST output, whether by pushbutton or power-fail detection, does not affect the internal operation of the DS3231.

Real-Time Clock

With the clock source from the TCXO, the RTC provides seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The date at the end of the month is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with an AM/PM indicator.

The clock provides two programmable time-of-day alarms and a programmable square-wave output. The INT/SQW pin either generates an interrupt due to alarm condition or outputs a square-wave signal and the selection is controlled by the bit INTCN.

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.

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

Figure 1. Timekeeping Registers

ADDRESS	BIT 7 MSB	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0 LSB	FUNCTION	RANGE
00h	0	10 Seconds			Seconds			Seconds	00-59	
01h	0	10 Minutes			Minutes			Minutes	00-59	
02h	0	12/24	AM/PM 20 Hour	10 Hour	Hour			Hours	1-12 + AM/PM 00-23	
03h	0	0	0	0	Day			Day	1-7	
04h	0	10 Date			Date			Date	01-31	
05h	Century	0	0	10 Month	Month			Month/ Century	01-12 + Century	
06h	10 Year			Year			Year	00-99		
07h	A1M1	10 Seconds			Seconds			Alarm 1 Seconds	00-59	
08h	A1M2	10 Minutes			Minutes			Alarm 1 Minutes	00-59	
09h	A1M3	12/24	AM/PM 20 Hour	10 Hour	Hour			Alarm 1 Hours	1-12 + AM/PM 00-23	
0Ah	A1M4	DY/DT	10 Date			Day Date			Alarm 1 Day Alarm 1 Date	1-7 1-31
0Bh	A2M2	10 Minutes			Minutes			Alarm 2 Minutes	00-59	
0Ch	A2M3	12/24	AM/PM 20 Hour	10 Hour	Hour			Alarm 2 Hours	1-12 + AM/PM 00-23	
0Dh	A2M4	DY/DT	10 Date			Day Date			Alarm 2 Day Alarm 2 Date	1-7 1-31
0Eh	EQSC	BBSQW	CONV	RS2	RS1	INTCN	A2IE	A1IE	Control	—
0Fh	OSF	0	0	0	EN32kHz	BSY	A2F	A1F	Control/Status	—
10h	SIGN	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	Aging Offset	—
11h	SIGN	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	MSB of Temp	—
12h	DATA	DATA	0	0	0	0	0	0	LSB of Temp	—

Note: Unless otherwise specified, the registers' state is not defined when power is first applied.

Address Map

Figure 1 shows the address map for the DS3231 timekeeping registers. During a multibyte access, when the address pointer reaches the end of the register space (12h), it wraps around to location 00h. On an I²C START or address pointer incrementing to location 00h, the current time is transferred to a second set of registers. The time information is read from these secondary registers, while the clock may continue to run. This eliminates the need to reread the registers in case the main registers update during a read.

I²C Interface

The I²C interface is accessible whenever either V_{CC} or V_{BAT} is at a valid level. If a microcontroller connected to the DS3231 resets because of a loss of V_{CC} or other

event, it is possible that the microcontroller and DS3231 I²C communications could become unsynchronized, e.g., the microcontroller resets while reading data from the DS3231. When the microcontroller resets, the DS3231 I²C interface may be placed into a known state by toggling SCL until SDA is observed to be at a high level. At that point the microcontroller should pull SDA low while SCL is high, generating a START condition.

Clock and Calendar

The time and calendar information is obtained by reading the appropriate register bytes. Figure 1 illustrates the RTC registers. The time and calendar data are set or initialized by writing the appropriate register bytes. The contents of the time and calendar registers are in

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.

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

DS3231

the binary-coded decimal (BCD) format. The DS3231 can be run in either 12-hour or 24-hour mode. Bit 6 of the hours register is defined as the 12- or 24-hour mode select bit. When high, the 12-hour mode is selected. In the 12-hour mode, bit 5 is the AM/PM bit with logic-high being PM. In the 24-hour mode, bit 5 is the 20-hour bit (20–23 hours). The century bit (bit 7 of the month register) is toggled when the years register overflows from 99 to 00.

The day-of-week register increments at midnight. Values that correspond to the day of week are user-defined but must be sequential (i.e., if 1 equals Sunday, then 2 equals Monday, and so on). Illogical time and date entries result in undefined operation.

When reading or writing the time and date registers, secondary (user) buffers are used to prevent errors when the internal registers update. When reading the time and date registers, the user buffers are synchronized to the internal registers on any START and when the register pointer rolls over to zero. The time information is read from these secondary registers, while the clock continues to run. This eliminates the need to reread the registers in case the main registers update during a read.

The countdown chain is reset whenever the seconds register is written. Write transfers occur on the acknowledge from the DS3231. Once the countdown chain is reset, to avoid rollover issues the remaining time and date registers must be written within 1 second. The 1-Hz square-wave output, if enabled, transitions high 500ms after the seconds data transfer, provided the oscillator is already running.

Alarms

The DS3231 contains two time-of-day/date alarms. Alarm 1 can be set by writing to registers 07h to 0Ah. Alarm 2 can be set by writing to registers 0Bh to 0Dh. The alarms can be programmed (by the alarm enable and INTCN bits of the control register) to activate the INT/SQW output on an alarm match condition. Bit 7 of each of the time-of-day/date alarm registers are mask bits (Table 2). When all the mask bits for each alarm are logic 0, an alarm only occurs when the values in the timekeeping registers match the corresponding values stored in the time-of-day/date alarm registers. The alarms can also be programmed to repeat every second, minute, hour, day, or date. Table 2 shows the possible settings. Configurations not listed in the table will result in illogical operation.

The DY/DT bits (bit 6 of the alarm day/date registers) control whether the alarm value stored in bits 0 to 5 of that register reflects the day of the week or the date of the month. If DY/DT is written to logic 0, the alarm will be the result of a match with date of the month. If DY/DT is written to logic 1, the alarm will be the result of a match with day of the week.

When the RTC register values match alarm register settings, the corresponding Alarm Flag 'A1F' or 'A2F' bit is set to logic 1. If the corresponding Alarm Interrupt Enable 'A1IE' or 'A2IE' is also set to logic 1 and the INTCN bit is set to logic 1, the alarm condition will activate the INT/SQW signal. The match is tested on the once-per-second update of the time and date registers.

Table 2. Alarm Mask Bits

DY/DT	ALARM 1 REGISTER MASK BITS (BIT 7)				ALARM RATE
	A1M4	A1M3	A1M2	A1M1	
X	1	1	1	1	Alarm once per second
X	1	1	1	0	Alarm when seconds match
X	1	1	0	0	Alarm when minutes and seconds match
X	1	0	0	0	Alarm when hours, minutes, and seconds match
0	0	0	0	0	Alarm when date, hours, minutes, and seconds match
1	0	0	0	0	Alarm when day, hours, minutes, and seconds match
DY/DT	ALARM 2 REGISTER MASK BITS (BIT 7)			ALARM RATE	
	A2M4	A2M3	A2M2		
X	1	1	1	Alarm once per minute (00 seconds of every minute)	
X	1	1	0	Alarm when minutes match	
X	1	0	0	Alarm when hours and minutes match	
0	0	0	0	Alarm when date, hours, and minutes match	
1	0	0	0	Alarm when day, hours, and minutes match	

12

DALLAS SEMICONDUCTOR **MAXIM**

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.

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

Control Register (0Eh)

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
NAME:	EOSC	BBSQW	CONV	RS2	RS1	INTCN	A2IE	A1IE
POR:	0	0	0	1	1	1	0	0

DS3231

Special-Purpose Registers

The DS3231 has two additional registers (control and status) that control the real-time clock, alarms, and square-wave output.

Control Register (0Eh)

Bit 7: Enable Oscillator (EOSC). When set to logic 0, the oscillator is started. When set to logic 1, the oscillator is stopped when the DS3231 switches to VBAT. This bit is clear (logic 0) when power is first applied. When the DS3231 is powered by VCC, the oscillator is always on regardless of the status of the EOSC bit. When EOSC is disabled, all register data is static.

Bit 6: Battery-Backed Square-Wave Enable (BBSQW). When set to logic 1 with INTCN = 0 and VCC < VPF, this bit enables the square wave. When BBSQW is logic 0, the INT/SQW pin goes high impedance when VCC < VPF. This bit is disabled (logic 0) when power is first applied.

Bit 5: Convert Temperature (CONV). Setting this bit to 1 forces the temperature sensor to convert the temperature into digital code and execute the TCXO algorithm to update the capacitance array to the oscillator. This can only happen when a conversion is not already in progress. The user should check the status bit BSY before forcing the controller to start a new TCXO execution. A user-initiated temperature conversion does not affect the internal 64-second update cycle.

A user-initiated temperature conversion does not affect the BSY bit for approximately 2ms. The CONV bit remains at a 1 from the time it is written until the conversion is finished, at which time both CONV and BSY go to 0. The CONV bit should be used when monitoring the status of a user-initiated conversion.

Bits 4 and 3: Rate Select (RS2 and RS1). These bits control the frequency of the square-wave output when the square wave has been enabled. The following table

shows the square-wave frequencies that can be selected with the RS bits. These bits are both set to logic 1 (8.192kHz) when power is first applied.

SQUARE-WAVE OUTPUT FREQUENCY

RS2	RS1	SQUARE-WAVE OUTPUT FREQUENCY
0	0	1Hz
0	1	1.024kHz
1	0	4.096kHz
1	1	8.192kHz

Bit 2: Interrupt Control (INTCN). This bit controls the INT/SQW signal. When the INTCN bit is set to logic 0, a square wave is output on the INT/SQW pin. When the INTCN bit is set to logic 1, then a match between the timekeeping registers and either of the alarm registers activates the INT/SQW output (if the alarm is also enabled). The corresponding alarm flag is always set regardless of the state of the INTCN bit. The INTCN bit is set to logic 1 when power is first applied.

Bit 1: Alarm 2 Interrupt Enable (A2IE). When set to logic 1, this bit permits the alarm 2 flag (A2F) bit in the status register to assert INT/SQW (when INTCN = 1). When the A2IE bit is set to logic 0 or INTCN is set to logic 0, the A2F bit does not initiate an interrupt signal. The A2IE bit is disabled (logic 0) when power is first applied.

Bit 0: Alarm 1 Interrupt Enable (A1IE). When set to logic 1, this bit permits the alarm 1 flag (A1F) bit in the status register to assert INT/SQW (when INTCN = 1). When the A1IE bit is set to logic 0 or INTCN is set to logic 0, the A1F bit does not initiate the INT/SQW signal. The A1IE bit is disabled (logic 0) when power is first applied.

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.

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

DS3231

Status Register (0Fh)

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
NAME:	OSF	0	0	0	EN32kHz	BSY	A2F	A1F
POR:	1	0	0	0	1	X	X	X

Status Register (0Fh)

Bit 7: Oscillator Stop Flag (OSF). A logic 1 in this bit indicates that the oscillator either is stopped or was stopped for some period and may be used to judge the validity of the timekeeping data. This bit is set to logic 1 any time that the oscillator stops. The following are examples of conditions that can cause the OSF bit to be set:

- 1) The first time power is applied.
- 2) The voltages present on both V_{CC} and V_{BAT} are insufficient to support oscillation.
- 3) The E_{OSC} bit is turned off in battery-backed mode.
- 4) External influences on the crystal (i.e., noise, leakage, etc.).

This bit remains at logic 1 until written to logic 0.

Bit 3: Enable 32kHz Output (EN32kHz). This bit controls the status of the 32kHz pin. When set to logic 1, the 32kHz pin is enabled and outputs a 32.768kHz square-wave signal. When set to logic 0, the 32kHz pin goes to a high-impedance state. The initial power-up state of this bit is logic 1, and a 32.768kHz square-wave signal appears at the 32kHz pin after a power source is applied to the DS3231 (if the oscillator is running).

Bit 2: Busy (BSY). This bit indicates the device is busy executing TCXO functions. It goes to logic 1 when the conversion signal to the temperature sensor is asserted and then is cleared when the device is in the 1-minute idle state.

Bit 1: Alarm 2 Flag (A2F). A logic 1 in the alarm 2 flag bit indicates that the time matched the alarm 2 registers. If the A2IE bit is logic 1 and the INTCN bit is set to logic 1, the INT/SQW pin is also asserted. A2F is cleared when written to logic 0. This bit can only be written to logic 0. Attempting to write to logic 1 leaves the value unchanged.

Bit 0: Alarm 1 Flag (A1F). A logic 1 in the alarm 1 flag bit indicates that the time matched the alarm 1 regis-

ters. If the A1IE bit is logic 1 and the INTCN bit is set to logic 1, the INT/SQW pin is also asserted. A1F is cleared when written to logic 0. This bit can only be written to logic 0. Attempting to write to logic 1 leaves the value unchanged.

Aging Offset

The aging offset register takes a user-provided value to add to or subtract from the codes in the capacitance array registers. The code is encoded in two's complement, with bit 7 representing the sign bit. One LSB represents one small capacitor to be switched in or out of the capacitance array at the crystal pins. The aging offset register capacitance value is added or subtracted from the capacitance value that the device calculates for each temperature compensation. The offset register is added to the capacitance array during a normal temperature conversion, if the temperature changes from the previous conversion, or during a manual user conversion (setting the CONV bit). To see the effects of the aging register on the 32kHz output frequency immediately, a manual conversion should be started after each aging register change.

Positive aging values add capacitance to the array, slowing the oscillator frequency. Negative values remove capacitance from the array, increasing the oscillator frequency.

The change in ppm per LSB is different at different temperatures. The frequency vs. temperature curve is shifted by the values used in this register. At +25°C, one LSB typically provides about 0.1ppm change in frequency.

Use of the aging register is not needed to achieve the accuracy as defined in the EC tables, but could be used to help compensate for aging at a given temperature. See the *Typical Operating Characteristics* section for a graph showing the effect of the register on accuracy over temperature.

Aging Offset (10h)

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
NAME:	Sign	Data	Data	Data	Data	Data	Data	Data
POR:	0	0	0	0	0	0	0	0

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.

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

Temperature Register (Upper Byte) (11h)

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
NAME:	Sign	Data	Data	Data	Data	Data	Data	Data
POR:	0	0	0	0	0	0	0	0

Temperature Register (Lower Byte) (12h)

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
NAME:	Data	Data	0	0	0	0	0	0
POR:	0	0	0	0	0	0	0	0

Temperature Registers (11h-12h)

Temperature is represented as a 10-bit code with a resolution of 0.25°C and is accessible at location 11h and 12h. The temperature is encoded in two's complement format. The upper 8 bits, the integer portion, are at location 11h and the lower 2 bits, the fractional portion, are in the upper nibble at location 12h. For example, 00011001 01b = +25.25°C. Upon power reset, the registers are set to a default temperature of 0°C and the controller starts a temperature conversion. The temperature is read on initial application of V_{CC} or I²C access on V_{BAT} and once every 64 seconds afterwards. The temperature registers are updated after each user-initiated conversion and on every 64-second conversion. The temperature registers are read-only.

I²C Serial Data Bus

The DS3231 supports a bidirectional I²C bus and data transmission protocol. A device that sends data onto the bus is defined as a transmitter and a device receiving data is defined as a receiver. The device that controls the message is called a master. The devices that are controlled by the master are slaves. The bus must be controlled by a master device that generates the serial clock (SCL), controls the bus access, and generates the START and STOP conditions. The DS3231 operates as a slave on the I²C bus. Connections to the bus are made through the SCL input and open-drain SDA I/O lines. Within the bus specifications, a standard mode (100kHz maximum clock rate) and a fast mode (400kHz maximum clock rate) are defined. The DS3231 works in both modes.

The following bus protocol has been defined (Figure 2):

- Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.
- During data transfer, the data line must remain stable whenever the clock line is high. Changes in the data

line while the clock line is high are interpreted as control signals.

Accordingly, the following bus conditions have been defined:

Bus not busy: Both data and clock lines remain high.

START data transfer: A change in the state of the data line from high to low, while the clock line is high, defines a START condition.

STOP data transfer: A change in the state of the data line from low to high, while the clock line is high, defines a STOP condition.

Data valid: The state of the data line represents valid data when, after a START condition, the data line is stable for the duration of the high period of the clock signal. The data on the line must be changed during the low period of the clock signal. There is one clock pulse per bit of data.

Each data transfer is initiated with a START condition and terminated with a STOP condition. The number of data bytes transferred between the START and the STOP conditions is not limited, and is determined by the master device. The information is transferred byte-wise and each receiver acknowledges with a ninth bit.

Acknowledge: Each receiving device, when addressed, is obliged to generate an acknowledge after the reception of each byte. The master device must generate an extra clock pulse, which is associated with this acknowledge bit.

A device that acknowledges must pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse in such a way that the SDA line is stable low during the high period of the acknowledge-related clock pulse. Of course, setup and hold times must be taken into account. A master must signal an end of data to the

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.

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

DS3231

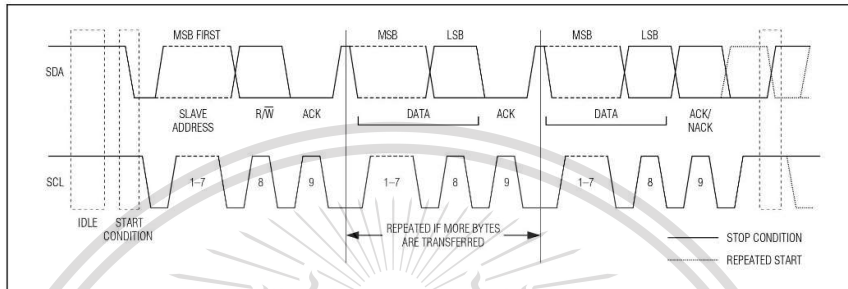


Figure 2. I²C Data Transfer Overview

slave by not generating an acknowledge bit on the last byte that has been clocked out of the slave. In this case, the slave must leave the data line high to enable the master to generate the STOP condition.

Figures 3 and 4 detail how data transfer is accomplished on the I²C bus. Depending upon the state of the R/W bit, two types of data transfer are possible:

Data transfer from a master transmitter to a slave receiver. The first byte transmitted by the master is

the slave address. Next follows a number of data bytes. The slave returns an acknowledge bit after each received byte. Data is transferred with the most significant bit (MSB) first.

Data transfer from a slave transmitter to a master receiver. The first byte (the slave address) is transmitted by the master. The slave then returns an acknowledge bit. Next follows a number of data bytes transmitted by the slave to the master. The

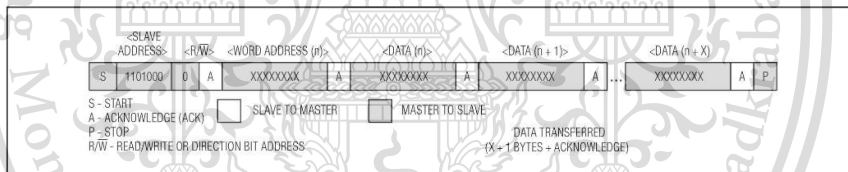


Figure 3. Data Write—Slave Receiver Mode

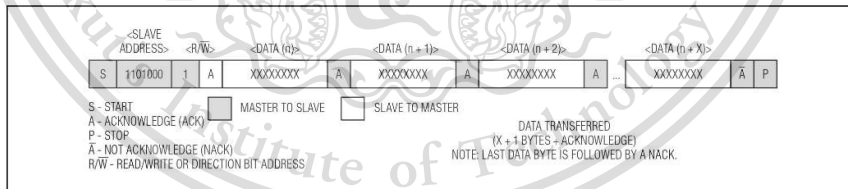


Figure 4. Data Read—Slave Transmitter Mode

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.

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

DS3231

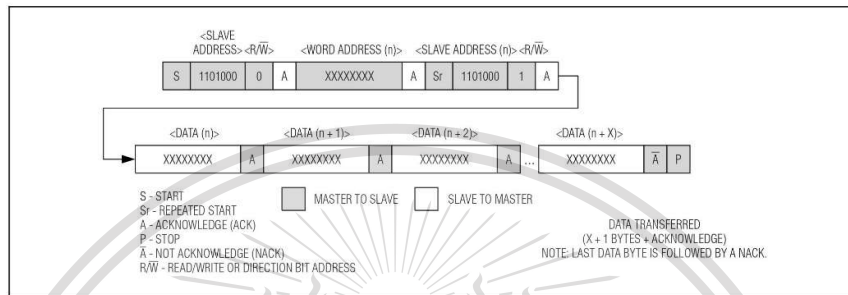


Figure 5. Data Write/Read (Write Pointer, Then Read)—Slave Receive and Transmit

master returns an acknowledge bit after all received bytes other than the last byte. At the end of the last received byte, a not acknowledge is returned.

The master device generates all the serial clock pulses and the START and STOP conditions. A transfer is ended with a STOP condition or with a repeated START condition. Since a repeated START condition is also the beginning of the next serial transfer, the bus will not be released. Data is transferred with the most significant bit (MSB) first.

The DS3231 can operate in the following two modes:

Slave receiver mode (DS3231 write mode): Serial data and clock are received through SDA and SCL. After each byte is received, an acknowledge bit is transmitted. START and STOP conditions are recognized as the beginning and end of a serial transfer. Address recognition is performed by hardware after reception of the slave address and direction bit. The slave address byte is the first byte received after the master generates the START condition. The slave address byte contains the 7-bit DS3231 address, which is 1101000, followed by the direction bit (R/W), which is 0 for a write. After receiving and decoding the slave address byte, the DS3231 outputs an acknowledge on SDA. After the DS3231 acknowledges the slave address + write bit, the master transmits a word address to the DS3231. This sets the register pointer on the DS3231, with the DS3231

acknowledging the transfer. The master may then transmit zero or more bytes of data, with the DS3231 acknowledging each byte received. The register pointer increments after each data byte is transferred. The master generates a STOP condition to terminate the data write.

Slave transmitter mode (DS3231 read mode): The first byte is received and handled as in the slave receiver mode. However, in this mode, the direction bit indicates that the transfer direction is reversed. Serial data is transmitted on SDA by the DS3231 while the serial clock is input on SCL. START and STOP conditions are recognized as the beginning and end of a serial transfer. Address recognition is performed by hardware after reception of the slave address and direction bit. The slave address byte is the first byte received after the master generates a START condition. The slave address byte contains the 7-bit DS3231 address, which is 1101000, followed by the direction bit (R/W), which is 1 for a read. After receiving and decoding the slave address byte, the DS3231 outputs an acknowledge on SDA. The DS3231 then begins to transmit data starting with the register address pointed to by the register pointer. If the register pointer is not written to before the initiation of a read mode, the first address that is read is the last one stored in the register pointer. The DS3231 must receive a not acknowledge to end a read.

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.

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

DS3231

Handling, PC Board Layout, and Assembly

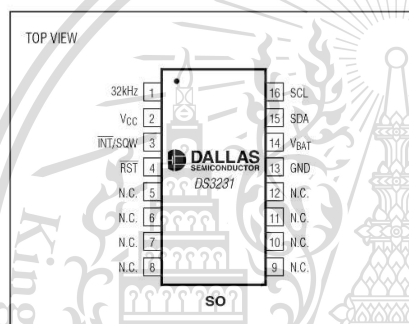
The DS3231 package contains a quartz tuning-fork crystal. Pick-and-place equipment can be used, but precautions should be taken to ensure that excessive shocks are avoided. Ultrasonic cleaning should be avoided to prevent damage to the crystal.

Avoid running signal traces under the package, unless a ground plane is placed between the package and the

signal line. All N.C. (no connect) pins must be connected to ground.

Moisture-sensitive packages are shipped from the factory dry packed. Handling instructions listed on the package label must be followed to prevent damage during reflow. Refer to the IPC/JEDEC J-STD-020 standard for moisture-sensitive device (MSD) classifications and reflow profiles. Exposure to reflow is limited to 2 times maximum.

Pin Configuration



Chip Information

SUBSTRATE CONNECTED TO GROUND
PROCESS: CMOS

Package Information

For the latest package outline information and land patterns, go to www.maxim-ic.com/packages. Note that a "+", "#", or "-" in the package code indicates RoHS status only. Package drawings may show a different suffix character, but the drawing pertains to the package regardless of RoHS status.

PACKAGE TYPE	PACKAGE CODE	OUTLINE NO.	LAND PATTERN NO.
16 SO	W16#H2	21-0042	90-0107

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.

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

Revision History

DS3231

REVISION NUMBER	REVISION DATE	DESCRIPTION	PAGES CHANGED
0	1/05	Initial release.	—
1	2/05	Changed Digital Temp Sensor Output from $\pm 2^{\circ}\text{C}$ to $\pm 3^{\circ}\text{C}$.	1, 3
		Updated <i>Typical Operating Circuit</i> .	1
		Changed $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$ to $T_A = T_{\text{MIN}}$ to T_{MAX} .	2, 3, 4
		Updated <i>Block Diagram</i> .	8
2	6/05	Added "UL Recognized" to <i>Features</i> ; added lead-free packages, and removed S from top mark info in <i>Ordering Information</i> table; added ground connections to the N.C. pin in the <i>Typical Operating Circuit</i> .	1
		Added "noncondensing" to operating temperature range; changed V_{PF} MIN from 2.35V to 2.45V.	2
		Added aging offset specification.	3
		Relabeled TOC4.	7
		Added arrow showing input on X1 in the <i>Block Diagram</i> .	8
		Updated pin descriptions for V_{CC} and V_{BAT} .	9
		Added the <i>I²C Interface</i> section.	10
		<i>Figure 1</i> : Added sign bit to aging and temperature registers; added MSB and LSB.	11
		Corrected title for rate select bits frequency table.	13
		Added note that frequency stability over temperature spec is with aging offset register = 00h; changed bit 7 from Data to Sign (Crystal Aging Offset Register).	14
		Changed bit 7 from Data to Sign (Temperature Register); correct pin definitions in <i>I²C Serial Data Bus</i> section.	15
		Modified the <i>Handling, PC Board Layout, and Assembly</i> section to refer to J-STD-020 for reflow profiles for lead-free and leaded packages.	17
		Changed lead-free packages to RoHS-compliant packages.	1
		Changed RST and UL bullets in <i>Features</i> .	1
Changed EC condition " $V_{\text{CC}} > V_{\text{BAT}}$ " to " $V_{\text{CC}} = \text{Active Supply}$ (see Table 1)."	2, 3		
Modified Note 12 to correct t_{REC} operation.	6		
Added various conditions text to TOCs 1, 2, and 3.	7		
Added text to pin descriptions for 32kHz, V_{CC} , and RST.	9		
Table 1: Changed column heading "Powered By" to "Active Supply"; changed "applied" to "exceeds V_{PF} " in the <i>Power Control</i> section.	10		
Indicated BBSQW applies to both SQW and interrupts; simplified temp convert description (bit 5); added "output" to INT/SQW (bit 2).	13		
Changed the <i>Crystal Aging</i> section to the <i>Aging Offset</i> section; changed "this bit indicates" to "this bit controls" for the enable 32kHz output bit.	14		
Added Warning note to EC table notes; updated Note 12.	6		
Updated the <i>Typical Operating Characteristics</i> graphs.	7		
5	4/08	In the <i>Power Control</i> section, added information about the POR state of the time and date registers; in the <i>Real-Time Clock</i> section; added to the description of the RST function.	10
		In Figure 1, corrected the months date range for 04h from 00-31 to 01-31.	11

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.

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

DS3231

Revision History (continued)

REVISION NUMBER	REVISION DATE	DESCRIPTION	PAGES CHANGED
6	10/08	Updated the <i>Typical Operating Circuit</i> .	1
		Removed the V_{PU} parameter from the <i>Recommended DC Operating Conditions</i> table and added verbiage about the pullup to the <i>Pin Description</i> table for INT/SQW, SDA, and SCL.	2, 9
		Added the Delta Time and Frequency vs. Temperature graph in the <i>Typical Operating Characteristics</i> section.	7
		Updated the <i>Block Diagram</i> .	8
		Added the V_{BAT} Operation section, improved some sections of text for the <i>32kHz TCXO</i> and <i>Pushbutton Reset Function</i> sections.	10
		Added the register bit POR values to the register tables.	13, 14, 15
		Updated the <i>Aging Offset</i> and <i>Temperature Registers (11h–12h)</i> sections.	14, 15
7	3/10	Updated the <i>I²C</i> timing diagrams (Figures 3, 4, and 5).	16, 17
		Removed the "S" from the top mark in the <i>Ordering Information</i> table and the <i>Pin Configuration</i> to match the packaging engineering marking specification.	1, 18
8	7/10	Updated the <i>Typical Operating Circuit</i> ; removed the "Top Mark" column from the <i>Ordering Information</i> ; in the <i>Absolute Maximum Ratings</i> section, added the θ_{JA} and θ_{JC} thermal resistances and Note 1, and changed the soldering temperature to +260°C (lead(Pb)-free) and +240°C (lead); updated the functional description of the V_{BAT} pin in the <i>Pin Description</i> ; changed the timekeeping registers 02h, 09h, and 0Ch to "20 Hour" in Bit 5 of Figure 1; updated the BBSQW bit description in the <i>Control Register (0Eh)</i> section; added the land pattern no. to the <i>Package Information</i> table.	1, 2, 3, 4, 6, 9, 11, 12, 13, 18

Maxim cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim product. No circuit patent licenses are implied. Maxim reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time.

20 _____ Maxim Integrated Products, 120 San Gabriel Drive, Sunnyvale, CA 94086 408-737-7600

© 2010 Maxim Integrated Products

Maxim is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

DALLAS is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

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.

Proximity Sensor/Switch E18-D80NK



Description

A very cheap, easy to assemble, easy to use Infrared sensor with a long detection distance and has less interference by visible light. The implementations of modulated IR signal immune the sensor to the interferences caused by the normal light of a light bulb or the sun light. This sensor has a screwdriver adjustment to set the appropriate detected distance to make it useful in many applications, and then gives a digital output when it senses something within that

Page 1 of 5 pages



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.

range. This sensor does not measure a distance value. It can be used for collision avoidance robot and machine automation. The sensor provides a non-contact detection.

Specifications

- Input voltage : +5V DC
- Current consumption : > 25mA (min) ~ 100mA (max)
- Dimension : 1.7cm (diameter) x 4.5cm (length)
- Cable length : 45cm
- Detection of objects : transparent or opaque
- Diffuse reflective type
- Sensing range : 3cm to 80cm (depends on obstacle surface)
- NPN output (normally high)
- Environment temperature : -25 °C ~ 55 °C

Pin Configuration

- Red wire : +5V
- Green wire : GND
- Yellow wire : DIGITAL OUTPUT

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.