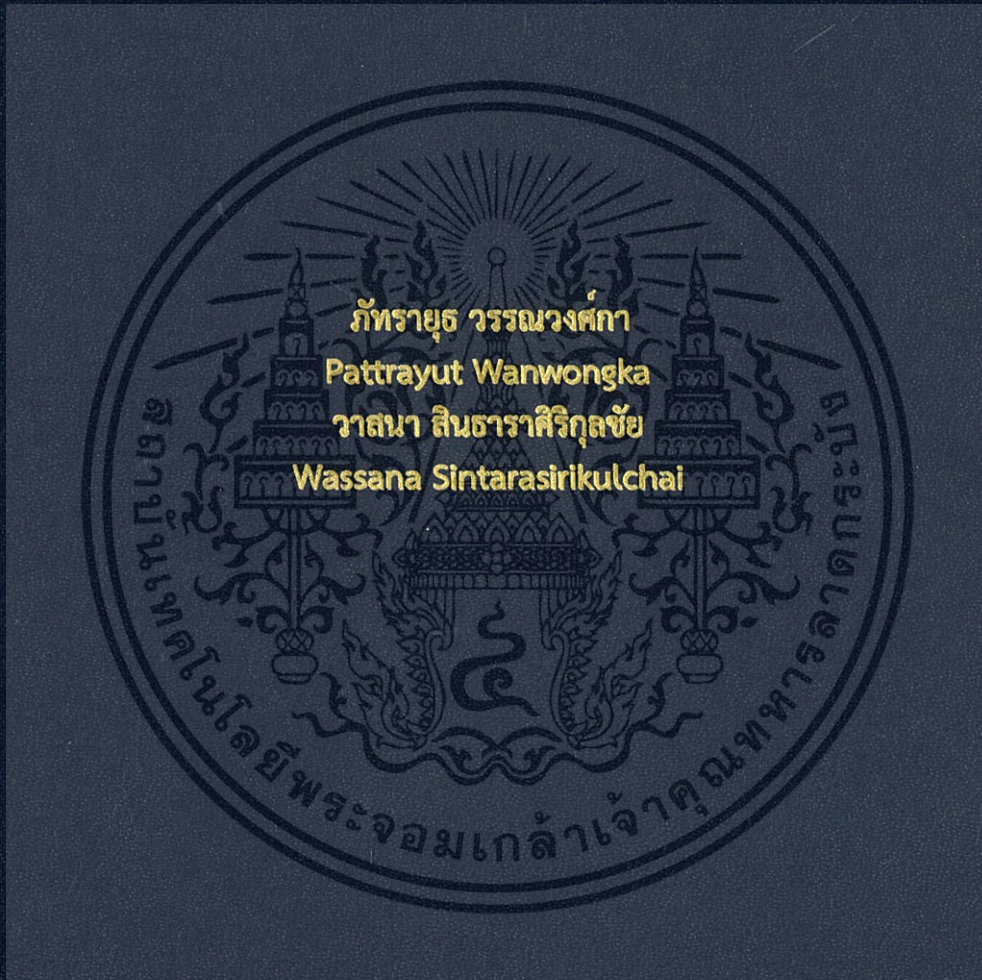


ระบบช่วยลำดับการหยิบชิ้นงานตามสัญญาณไฟ

Pick to light system



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

ระบบช่วยลำดับการหยิบชิ้นงานตามสัญญาณไฟ

Pick to light system



T143960

โดย

นายภัทรายุธ วรรณวงศ์กา รหัส 55010927

นางสาววาสนา สีนธราศิริกุลชัย รหัส 55011133

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ชินภัทร นันทจิวารชัย

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 143960
วันเดือนปี 04 ต.ค. 2558

b. 18801133
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบช่วยลำดับการหยิบชิ้นงานตามสัญญาณไฟ

Pick to light system

ผู้จัดทำ นายภัทรายุธ วรณวงศ์กา รหัส 55010927

นางสาววาสนา สีนธราศิริกุลชัย รหัส 55011133

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(อ.ชินภัทร นันทจิวารชัย)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบยับยั้งงานตามลำดับ
นักศึกษา	นายภัทรายุธ วรรณวงศ์กา รหัส 55010927 นางสาววาสนา สีนธราศิริกุลชัย รหัส 55011133
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	อ.ชินภัทร นันทจิวารัชย์

บทคัดย่อ

แนวทางดำเนินงานด้านการผลิตในปัจจุบัน การประกอบชิ้นงานมีจำนวนและขั้นตอนที่ หลากหลาย พนักงานหนึ่งคนต้องประกอบชิ้นส่วนจำนวนมากต่อผลิตภัณฑ์ ทำให้การปฏิบัติงานเกิด ปัญหาความผิดพลาดในการประกอบ ความล่าช้า และความยุ่งยากในการตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อ ช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้น จึงได้พัฒนาระบบช่วยลำดับการยับยั้งงานตามสัญญาณไฟขึ้นมา โดยใช้ไฟ ส่องสว่างเพื่อแสดงลำดับการยับยั้งงาน เมื่อแสงไฟสว่างขึ้นให้ยับยั้งส่วนนั้นและหลังการยับยั้งเสร็จ ไฟจะดับลง ดวงไฟดวงถัดมาจะสว่างไปตามลำดับการประกอบ การออกแบบวงจรในโครงงานนี้ เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F45K20 เป็นหน่วยประมวลผลหลักเก็บค่าที่ได้จากการโปรแกรม เพื่อนำไปควบคุมการทำงานของ LED มีระบบตรวจจับการยับยั้งงานด้วย LED Infrared และโฟโต้ ทรานซิสเตอร์ โดยสามารถโปรแกรมลำดับการยับยั้งผ่านทางคอมพิวเตอร์ อีกทั้งเครื่องช่วยลำดับ การยับยั้งงานชุดที่ 1 และชุดที่ 2 สามารถทำงานร่วมกันได้

Thesis Title	Pick to light system		
Student	Mr. Patrayut Wanwongka	Student ID.	55010927
	Miss. Wassana Sintarasirikulchai	Student ID.	55011133
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Electronic Engineering		
Year	2015		
Thesis Advisor	Chinnapat Nantajiwakornchai		

Abstract

The guidelines in conducting the current production in the world where there's several steps, methods in composing various piece of work, each employee has to use excessive parts to compose one product which is inefficient way. Furthermore it cause malfunctioning, disorder and slower the rate of production or composition. Moreover it causes the difficulty in scrutinization of authenticity and correctness. In order to reduce or control the occurred problems, the developed system has been implemented to assist the sequence of picking piece according to the raised LED signal. This project use the lighting of LED to represent the sequence of piece picking, when the LED is lighted we have to pick that piece and after finished picking the LED will be off automatically. The next LED will be lighted up according to the sequence of composition. It is conducted by using microcontroller (PIC18F45K20) in circuit designing as a unit to process the stored value which is received by software to protect the functioning of LED. It has system to detect the picking process by using LED infrared and phototransistor. The system has software program which can perform the sequencing of picking directly by computer. In addition unit 1 and unit 2 can be connected to work together as a single system.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณความกรุณาเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก อาจารย์ชินภัทร นันทจิวงกรชัย อาจารย์ที่ปรึกษา คณาจารย์ทุกท่านในภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ผู้ปกครองและเพื่อนๆทุกคน ที่ได้ให้การช่วยเหลือ เป็นที่ปรึกษาและแนะนำแนวทางในการดำเนินงานต่างๆอย่างดีมาโดยตลอด

ภัทรายุธ วรรณวงศ์กา

วาสนา สีนธราศิริกุลชัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 หลักการทำงาน	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 Microcontroller.....	3
2.2 ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode).....	5
2.3 ไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด (LED Infrared).....	6
2.4 โฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor).....	7
2.5 OP-AMP	7
2.6 Serial Peripheral Interface (SPI).....	9
2.7 Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART).....	10
บทที่ 3 หลักการออกแบบและการทำงานของวงจร.....	11
3.1 หลักการออกแบบวงจร.....	11
3.2 Flowchart ระบบการทำงาน	11
3.3 วงจรแสดงผล LED	16
3.4 วงจร Sensor	17
3.5 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	18
3.6 การเชื่อมต่อสายสัญญาณระหว่างเครื่อง Pick to light	20
3.7 การเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์	21
3.8 หลักการทำงานของวงจร	22
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	24
4.1 ผลการทดลองแรงดันเอาต์พุตของเซนเซอร์	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการทดลองกระแสไฟฟ้าของหลอดไฟ LED	25
4.3 ผลการทดลองระบบ Run Program ซ้ำ	26
4.4 ผลการทดสอบระบบตรวจจับหากมีการหยิบผิดช่อง	29
4.5 ผลการทดลองโปรแกรมลำดับไฟด้วยระบบคอมพิวเตอร์ และ Runคำสั่งตามลำดับ.....	31
4.6 ผลการทดลองระยะเวลาที่ใช้ในการโปรแกรมข้อมูลจากคอมพิวเตอร์	35
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	36
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	36
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	36
5.3 แนวทางการพัฒนา	36
เอกสารอ้างอิง	37
ภาคผนวก.....	38



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพแสดงลักษณะของหลอด LED.....	5
2.2 แผนภาพแสดงลักษณะของ Photo Transistor	7
2.3 กราฟคุณสมบัติของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน	8
2.4 การเชื่อมต่อสายสัญญาณสื่อสารแบบ SPI ระหว่างอุปกรณ์ Master – Slave.....	9
2.5 การเชื่อมต่อสายสัญญาณสื่อสารแบบ UART.....	10
3.1 Flowchart การทำงานของระบบ Pick to light system จำนวน 1 unit.....	11
3.2 Flowchart การเชื่อมต่อระบบ Pick to light system จำนวน 2 unit.....	12
3.3 Flowchart การทำงาน Manual mode ของระบบ Pick to light.....	13
3.4 Flowchart การทำงาน Run mode ของระบบ Pick to light	14
3.5 Flowchart การทำงาน Program mode ของระบบ Pick to light	15
3.6 วงจรแสดงผล LED	16
3.7 การต่อตัวต้านทานจำกัดกระแสให้ LED	17
3.8 วงจร LED Infraredและไฟได้ทรานซิสเตอร์	17
3.9 การต่อตัวต้านทานจำกัดกระแสให้ LED Infrared	18
3.10 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	18
3.11 วงจรตรวจจับการหยิบในระบบ Pick to light.....	19
3.12 การเชื่อมต่อสายสัญญาณระหว่างเครื่อง Pick to light	20
3.13 วงจรเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ กับ คอมพิวเตอร์	21
3.14 วงจรทั้งหมดของระบบ Pick to light	23
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนข้อมูลที่บันทึกกับเวลาที่ใช้ในการโปรแกรม	35

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F45K20	4
4.1 ผลการทดลองระดับแรงดันเอาต์พุตของเซนเซอร์ กล้องที่ 1 และกล้องที่ 2.....	24
4.2 ผลการทดลองกระแสไฟฟ้าของหลอดไฟ LED กล้องที่ 1 และ กล้องที่ 2.....	25
4.2 (ต่อ) ผลการทดลองกระแสไฟฟ้าของหลอดไฟ LED กล้องที่ 1 และ กล้องที่ 2	26
4.3 ผลการทดสอบระบบ Run Program ชั่ว ชุดที่1	26
4.4 ผลการทดสอบระบบ Run Program ชั่ว ชุดที่2	27
4.5 ผลการทดสอบระบบ Run Program ชั่ว ชุดที่3	27
4.6 ผลการทดสอบระบบ Run Program ชั่ว ชุดที่4	28
4.7 ผลการทดสอบระบบ Run Program ชั่ว ชุดที่5	28
4.8 ผลการทดสอบไฟและเสียงแจ้งเตือนเมื่อมีการหยิบผิดช่อง	29
4.8 (ต่อ) ผลการทดสอบไฟและเสียงแจ้งเตือนเมื่อมีการหยิบผิดช่อง.....	30
4.9 ผลการทดลองป้อนคำสั่งลำดับไฟ และ Run คำสั่งตามลำดับ	31
4.9 (ต่อ) ผลการทดลองป้อนคำสั่งลำดับไฟ และ Run คำสั่งตามลำดับ.....	32
4.9 (ต่อ) ผลการทดลองป้อนคำสั่งลำดับไฟ และ Run คำสั่งตามลำดับ.....	33
4.9 (ต่อ) ผลการทดลองป้อนคำสั่งลำดับไฟ และ Run คำสั่งตามลำดับ.....	34

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

คลังสินค้าเป็นส่วนสำคัญทางกลยุทธ์ในโซ่อุปทาน นอกเหนือจากเป็นสถานที่เก็บสำรองสินค้า สำหรับการจำหน่ายหรือวัตถุดิบสำหรับการผลิตเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์และอุปทาน ในช่วงเวลาสั้นๆแล้ว คลังสินค้ายังสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าเช่น เป็นสถานที่พักและรวบรวมสินค้าจากหลายแหล่งเพื่อประหยัดค่าขนส่งและเป็นสถานที่ประกอบชิ้นสุดท้ายและบรรจุผลิตภัณฑ์ก่อนส่งสินค้าให้ผู้บริโภคเป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันธุรกิจต่างมุ่งเน้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าที่หลากหลายภายใต้ข้อจำกัดขององค์กร คลังสินค้าจึงเป็นจุดเชื่อมต่อทางกลยุทธ์ระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภค การจัดการคลังสินค้าที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สามารถเพิ่มโอกาสการแข่งขันในตลาด

อุตสาหกรรมการผลิตด้วยระบบสายพานถูกได้รับความนิยมในช่วงเวลาหนึ่ง โดยพนักงานส่วนใหญ่จะทำการประกอบอุปกรณ์เพียงบางส่วน ต่อมาการผลิตแบบญี่ปุ่นต้องการให้พนักงานมีประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น จึงได้ปรับปรุงการประกอบเป็นรูปแบบเซลล์ โดยให้พนักงานหนึ่งคนสามารถทำการประกอบได้ทุกชิ้นส่วนในหนึ่งสถานีงาน แต่พบว่าการทำงานของพนักงานในขั้นตอนการประกอบเกิดความสูญเสียไปโดยเวลาทำงานจริงคือเวลาที่ใช้ในการประกอบ สำหรับเวลาหยุดและวางชิ้นส่วนลงบนสายพานคือความสูญเสีย อีกทั้งการทำงานของคนที่ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานานจึงเกิดความล้า เพราะต้องใช้ความคิดว่าต้องประกอบชิ้นส่วนใดก่อน ข้อจำกัดที่ว่าทำอะไรให้พนักงานไม่ต้องคิดตลอดเวลาว่าต้องหยุดอุปกรณ์ใดก่อนหลัง จึงเกิดการจัดทำโครงการระบบหยิบชิ้นงานตามลำดับ (Pick to Light) หลักการทำงานคือเมื่อแสงไฟสว่างขึ้นให้หยิบชิ้นส่วนนั้นและเมื่อหยิบเสร็จไฟดวงนั้นจะดับลง จากนั้นดวงไฟส่วนถัดมาจะสว่างไปตามลำดับการประกอบ หากมีการหยิบผิดช่องจะมีไฟและเสียงขึ้นแจ้งเตือน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อเป็นการศึกษาอุปกรณ์ที่จะนำมาเป็น sensor ใว้ใช้สำหรับการส่งค่า logic ให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์
2. เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ให้สามารถรับค่า ทำการประมวลผลและแสดงผล อย่างเป็นไปตามลำดับขั้นตอน
3. เพื่อศึกษาทฤษฎีการสื่อสารแบบอนุกรม (serial communication) และนำมาประยุกต์ใช้งานให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์อื่นๆ
4. เพื่อศึกษาการออกแบบโปรแกรมด้วยภาษา visual basic ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 หลักการทำงาน

เมื่อแสงไฟสว่างขึ้นให้หยิบชิ้นส่วนนั้นและหลังการหยิบเสร็จไฟจะดับลง ดวงไฟดวงถัดมาจะสว่างไปตามลำดับการประกอบ ทำการใช้ LED Infrared และโฟโตทรานซิสเตอร์เป็นตัวตรวจจับการหยิบ ซึ่งผ่านการประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F45K20 หากหยิบไม่ตรงตามลำดับจะเกิดไฟและเสียงขึ้นแจ้งเตือน อีกทั้งสามารถสั่งงานเครื่องหยิบชิ้นงานตามลำดับชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ให้สามารถติดต่อสื่อสารระหว่างกันและกันได้

1.4 ขอบเขตของโครงการ

ภาคการศึกษาที่หนึ่ง ศึกษาพิจารณาเลือกใช้ sensor ที่จะนำไปเป็นตัวตรวจจับการหยิบและสามารถเขียนระบบการทำงานควบคุมสั่งการคลอโทรเลอร์ให้แสดงผลลำดับการป้อนโปรแกรมผ่านทาง LED หากหยิบไม่ตรงตามลำดับจะเกิดไฟและเสียงขึ้นแจ้งเตือน

ภาคการศึกษาที่สอง กำหนดการป้อนโปรแกรมลำดับการหยิบด้วยคอมพิวเตอร์ และพัฒนาให้เครื่องหยิบชิ้นงานตามลำดับชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ที่จะนำมาต่อเพิ่มเติม สามารถติดต่อสื่อสารระหว่างกันและกันได้



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 Microcontroller

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน โครงสร้างโดยทั่วไป ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit) ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ทั้งหมด โดยนำข้อมูลจากอุปกรณ์รับข้อมูลมาทำงาน ประมวลผลข้อมูลตามคำสั่งของโปรแกรม และส่งผลลัพธ์ออกไปหน่วยแสดงผล

2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของ เครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือ ข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกระดาษทดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำ (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วๆ ไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุต เพื่อรับสัญญาณ อาจจะใช้การกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น

4. ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus) , บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)

5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับกำหนัดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์จังหวะนั้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) เป็นชื่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบหนึ่งที่บรรจุความสามารถมากมายไม่ว่าจะเป็นหน่วยประมวลผล หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิกวงจรรับสัญญาณอินพุต วงจรรับสัญญาณอินพุต วงจรขับสัญญาณออกทางเอาต์พุต หน่วยความจำวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี โดยช่วยลดจำนวนของอุปกรณ์และขนาดของระบบลงในขณะที่มีขีดความสามารถสูงขึ้นภายใต้งบประมาณที่เหมาะสม โปรเจกต์นี้จะเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 18F45K20 ซึ่งเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC

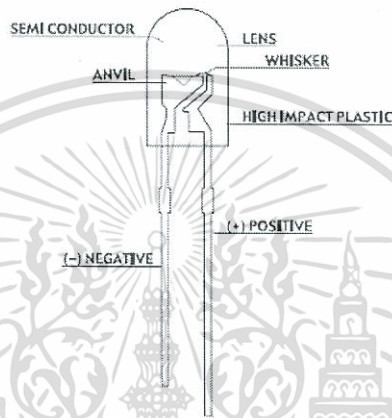
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F45K20

Parameter Name	Value
Program Memory Type	Flash
Program Memory (KB)	32
CPU Speed (MIPS)	16
RAM Bytes	1,536
Data EEPROM (bytes)	256
Digital Communication Peripherals	1-UART, 1-A/E/USART, 1-SPI, 1-I2C1-MSSP(SPI/I2C)
Capture/Compare/PWM Peripherals	1 CCP, 1 ECCP
Timers	1 x 8-bit, 3 x 16-bit
ADC	13 ch, 10-bit
Comparators	2
Temperature Range (C)	-40 to 125
Operating Voltage Range (V)	1.8 to 3.6
Pin Count	40
XLP	Yes
Cap Touch Channels	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode)

หลอด LED หรือไดโอดเปล่งแสง โครงสร้างประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำสองชนิด (สารกึ่งตัวนำชนิด N และสารกึ่งตัวนำชนิด P) ประกบเข้าด้วยกัน มีผิวข้างหนึ่งเรียบคล้ายกระจกเมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงผ่านตัว LED โดยจ่ายไฟบวกให้ขาแอนโนด (A) จ่ายไฟลบให้ขาแคโทด (K) ทำให้อิเล็กตรอนที่สารกึ่งตัวนำชนิด N มีพลังงานสูงขึ้น จนสามารถวิ่งข้ามรอยต่อจากสารชนิด N ไปรวมกับโฮลในสารชนิด P การที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อ PN ทำให้เกิดกระแสไหล เป็นผลให้ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเปลี่ยนไปและคายพลังงานออกมาในรูปคลื่นแสง



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงลักษณะของหลอด LED

สีของแสงที่เกิดจากรอยต่อจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ในการสร้าง LED ทั้งชนิดที่เป็นของเหลวและก๊าซ เช่น ใช้แกเลียมฟอสไฟด์ (GALLIUM PHOSPHIDE, GaP) ทำให้เกิดแสงสีแดง ใช้แกเลียมอาร์เซไนด์ ฟอสไฟด์ (GALLIUM ARSENIDE PHOSPHIDE, GaAsP) เกิดแสงสีเหลือง และเขี่ยวการควบคุมปริมาณแสงสว่างจะควบคุมกระแสที่ไหลผ่านหลอด LED หากกระแสที่ไหลสูงมากไปจะทำให้หลอดมีความสว่างมาก แต่หากบ่อนกระแสสูงมากไปจะทำให้บริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำเกิดความร้อนปริมาณมากจนทำให้โครงสร้างหลอดเสียหายไม่สามารถใช้งานได้อีก

หากแบ่งแอลอีดีตามลักษณะของ Packet แบ่งได้ 2 แบบคือ

1.แบบ Lamp Type เป็นแอลอีดีชนิดที่พบกันอยู่ทั่วไปมีขายื่นออกมาจากตัว Epoxy 2 ขา หรือมากกว่า โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 3 mm. ขึ้นไป

2.แบบ Surface Mount Type (SMT) มีลักษณะ packet เป็นตัวบางๆ เวลาประกอบต้องใช้เครื่องมือชนิดพิเศษมีขนาดการขับกระแสตั้งแต่ 20 mA-มากกว่า 1 A สำหรับแอลอีดีแบบ SMT

ถ้าขับกระแสได้ตั้งแต่ 300 mA ขึ้นไป จะเรียกว่า power LED การใช้งานส่วนใหญ่จะใช้ภายในเนื่องจากสารเคลือบหน้าหลอดแอลอีดีส่วนใหญ่จะเป็นซิลิโคน ซึ่งละอองน้ำหรือความชื้นสามารถซึมผ่านได้

ปัจจุบันได้มีการนำหลอด LED มาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลายมากขึ้น เช่น ในเครื่องคิดเลข เครื่องพิมพ์ ไฟสัญญาณจราจร ไฟท้ายรถยนต์ ป้ายสัญญาณ ป้ายโฆษณา ไฟฉาย จอวีดีทัศน์ขนาดใหญ่ (Bill - Board ,Score-board) โคม Down light และหลอดไฟประดับตกแต่งภายใน

ข้อดีของหลอด LED

มีประสิทธิภาพการให้แสงสว่างสูง และทิศทางแสงสว่างของ LED จะส่องไปเฉพาะด้านหน้าเท่านั้น ลดการสูญเสียของแสงสว่าง

- ใช้พลังงานน้อย
- ทนต่อการสั่นสะเทือนและแรงกระแทก จึงเหมาะสมสำหรับติดตั้งในเครื่องบินหรือรถยนต์
- สามารถเปิดปิดได้บ่อยครั้ง และเมื่อเปิดจะให้แสงสว่างโดยทันที
- อายุการใช้งานยาวนานถึง 100,000 ชั่วโมง
- สามารถควบคุมคุณภาพของแสงที่ปล่อยออกมาได้จึงสามารถนำไปใช้ให้แสงสว่างในบางสถานที่ได้ เช่น การให้แสงสว่างกับภาพเขียน เนื่องจากสามารถควบคุมแสงสว่างจาก LED ไม่ให้มีส่วนผสมของแสงที่เป็นอันตรายต่อภาพเขียน เช่น แสงอินฟราเรด และแสงอุลตราไวโอเล็ต
- ปล่อยความร้อนออกมาน้อยมาก ทำให้ลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในส่วนเครื่องปรับอากาศ
- การดูแลรักษาต่ำ
- น้ำหนักเบา, ขนาดเล็ก

ข้อจำกัดของหลอด LED

- ในการนำหลอด LED มาใช้งานต้องมีการทดสอบสีว่า แสงที่ออกมาเป็นแสงสีที่ถูกต้องหรือไม่
- ราคาหลอด LED ยังแพงกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์อยู่มาก

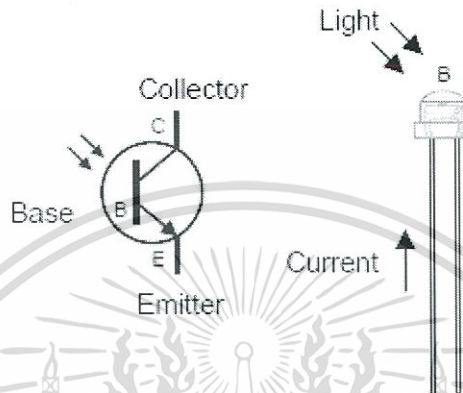
2.3 ไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด (LED Infrared)

ไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด (LED Infrared) เป็นอุปกรณ์ที่ให้แสงในช่วงคลื่นอินฟราเรด (มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า) และให้ความเข้มแสงสูงสุดที่เฉพาะค่าความถี่เท่านั้น LED ประเภทนี้มีลักษณะเหมือน LED ทั่วไป 2 ขา คือ แอนโอด กับ แคโทด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 โฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor)

โฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor) เป็นทรานซิสเตอร์ที่ทำงานโดยใช้แสง โดยจะรวมเอาโฟโตไดโอดมาไว้ภายในวงจรเดียวกัน ซึ่งโฟโตไดโอดจะทำหน้าที่เป็นตัวไบแอสกระแสให้แก่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ ดังนั้นเมื่อมีแสงตกกระทบที่โฟโตไดโอด จะทำให้เกิดการนำกระแสที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์



รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงลักษณะของ Photo Transistor

ข้อดีของโฟโตทรานซิสเตอร์

- สามารถเชื่อมต่อกับโหลดขนาดเล็กได้โดยตรง
- ทำงานได้เร็ว

ข้อเสียโฟโตทรานซิสเตอร์

- ทำงานไม่เป็นเชิงเส้น
- ไวต่ออุณหภูมิ

2.5 OP-AMP

วงจรรขยายสัญญาณออปแอมป์ (Operational Amplifier, OP – AMP) เป็นวงจรรขยายสัญญาณพื้นฐานสำเร็จรูป ซึ่งนิยมนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลายในงานด้านการประมวลผลสัญญาณต่างๆ เช่น ระบบสื่อสาร ระบบการวัดและระบบควบคุมกระบวนการผลิต

การประมวลผลสัญญาณอนาล็อกแบบไม่เป็นเชิงเส้น

การประมวลผลสัญญาณอนาล็อกที่ไม่เป็นเชิงเส้นจะใช้การต่อวงจรให้มีการป้อนกลับแบบบวกหรือจะใช้การต่อวงจรแบบไม่มีการป้อนกลับ ซึ่งเป็นผลให้ออปแอมป์มีการทำงานอยู่ในช่วงอิ่มตัว (saturation) วงจรที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นโดยอาศัยหลักการดังกล่าวนี้ อาทิเช่น วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (voltage comparator) วงจรเทอร์โมสตาท(thermostat) และวงจรชmittริกเกอร์ (Schmitt trigger) เป็นต้น

วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparators)

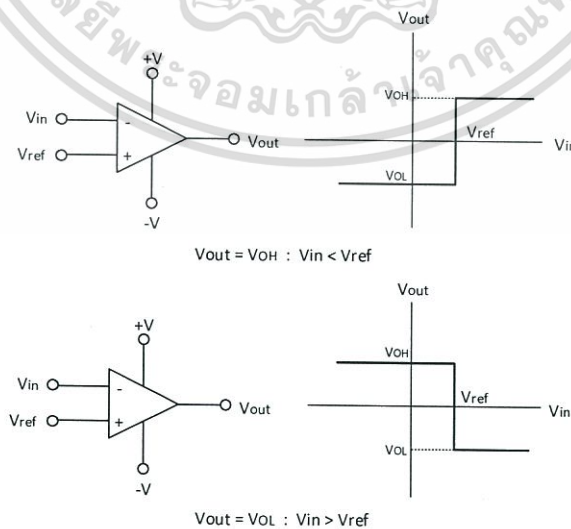
ออปแอมป์ สามารถนำไปใช้งานในสร้างเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันได้ คือ การเปรียบเทียบสัญญาณสองสัญญาณ อินพุตหนึ่งสำหรับรับค่าแรงดันอ้างอิง (Reference voltage, V_{ref}) ส่วนอีกขาหนึ่งสำหรับรับสัญญาณอินพุต(Input voltage, V_{in}) หากแรงดันอินพุตป้อนเข้าขา (+) เรียกว่าวงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบไม่กลับเฟส และถ้าแรงดันอินพุตป้อนเข้าขา(-) เรียกว่าวงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบกลับเฟส

หน้าที่ของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน คือ ทำการเปรียบเทียบแรงดันอินพุตที่ป้อนให้วงจรกับแรงดันอ้างอิงที่ตั้งไว้ ทำให้เกิดแรงดันเอาต์พุตของวงจรเปลี่ยนแปลงอยู่สองสภาวะ คือ สภาวะสูง (high) และสภาวะต่ำ (low) วงจรเปรียบเทียบแรงดันและกราฟคุณสมบัติของวงจรแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งการทำงานของวงจรมีความสัมพันธ์สรุปได้ดังนี้คือ

$$V_{out} = V_{OH} \text{ เมื่อ } V_{in} < V_{REF} \tag{2.1}$$

$$V_{out} = V_{OL} \text{ เมื่อ } V_{in} > V_{REF} \tag{2.2}$$

เมื่อ V_{OH} และ V_{OL} คือแรงดัน เอาต์พุตอิ่มตัวของออปแอมป์ (OP – AMP saturation voltages) ในสภาวะสูงและสภาวะต่ำ ตามลำดับ

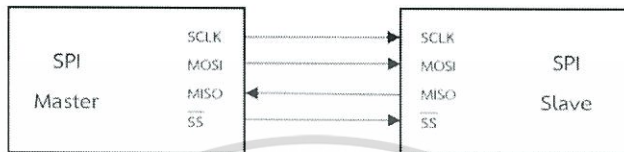


รูปที่ 2.3 กราฟคุณสมบัติของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 Serial Peripheral Interface (SPI)

SPI (Serial Peripheral Interface) เป็นการเชื่อมต่อสื่อสารแบบอนุกรมโดยอาศัยสัญญาณนาฬิกาเป็นตัวกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูล (Synchronous) ที่สามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทางและรับข้อมูลจากปลายทางกลับมาในครั้งเดียวกัน (Full Duplex) แบ่งอุปกรณ์ออกเป็น 2 ฝั่ง คือ Master เป็นตัวควบคุมการรับส่งข้อมูลโดยในที่นี้คือไมโครคอนโทรลเลอร์ กับ Slave ที่เป็นอุปกรณ์รอรับคำสั่งจาก Master โดย Slave สามารถมีได้มากกว่า 1 ตัว



รูปที่ 2.4 การเชื่อมต่อสายสัญญาณสื่อสารแบบ SPI ระหว่างอุปกรณ์ Master – Slave

SPI ใช้สัญญาณ 4 เส้น (ที่เรียกว่า 4-Wire SPI) ได้แก่

1. SCK (Serial Clock) เป็นสัญญาณ CLK ที่ถูกสร้างโดยอุปกรณ์ที่เป็น SPI Master
2. MOSI (Master-Out Slave-In) เป็นสัญญาณสำหรับส่งข้อมูลบิตออกจาก SPI Master ไปยัง SPI Slave
3. MISO (Master-In Slave-Out) เป็นสัญญาณสำหรับส่งข้อมูลบิตออกจาก SPI Slave ไปยัง SPI Master
4. \overline{SS} (Slave Select, Active-Low) เป็นสัญญาณที่สร้างโดย SPI Master เพื่อใช้ระบุว่า ต้องการสื่อสารกับ SPI Slave หรือไม่ ในกรณีที่มีอุปกรณ์ SPI Slave มากกว่าหนึ่งชุด จะต้องใช้สัญญาณ Slave Select มากกว่าหนึ่งเส้น และแยกสำหรับแต่ละอุปกรณ์

เมื่อจะส่ง-รับข้อมูลผ่านบัส SPI (SPI Data Transfer) สัญญาณ Slave Select (\overline{SS}) จะต้องเปลี่ยนจาก HIGH เป็น LOW จากนั้นข้อมูลหนึ่งไบต์จะถูกเลื่อนบิตและส่งออกทีละบิตจาก SPI Master ตามจังหวะของ SCK และสามารถเลือกได้ว่าจะให้บิต MSB (Most-Significant Bit) หรือ LSB (Least-Significant Bit) ถูกส่งออกมาก่อน โดยในขณะเดียวกันก็จะรับข้อมูลที่ละบิตจาก SPI Slave จนได้ครบหนึ่งไบต์ (หรือกล่าวได้ว่า Data Frame = 8 บิต) ดังนั้นเมื่อ SPI Master ส่งข้อมูลจำนวนหนึ่งไบต์ไปยัง SPI Slave ก็จะได้ข้อมูลหนึ่งไบต์จาก SPI Slave เช่นกัน ในช่วงเวลาที่สัญญาณ Slave Select เป็น LOW อาจมีการส่ง-รับข้อมูลได้มากกว่าหนึ่งไบต์ (Multi-byte SPI transfer)

ข้อดีของการสื่อสารแบบ SPI คือ สามารถสื่อสารแบบ Full Duplex กล่าวคือสามารถรับและส่งข้อมูลได้พร้อมๆ กัน เพราะมีสายสัญญาณรับและส่งข้อมูลโดยเฉพาะ รูปแบบการสื่อสารของ SPI ไม่ต้องกำหนด Address เพื่อระบุอุปกรณ์ที่ต้องการสื่อสารเหมือน I2C เนื่องจากใช้สายสัญญาณ SS เป็นตัวควบคุม จึงมีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงกว่า I2C และเหมาะสำหรับการรับส่งข้อมูลแบบต่อเนื่อง หรือ Streaming

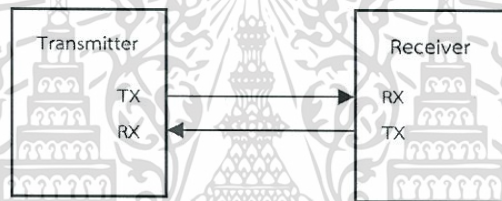
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART)

การสื่อสารระหว่าง Microcontroller กับอุปกรณ์ภายนอกต่างๆ สามารถแบ่งได้สองชนิดคือ

1. การสื่อสารแบบขนาน (Parallel Communication) ทำได้โดยการส่งข้อมูลจากผู้ส่ง (Transmitter) ไปยังผู้รับ (Receiver) ออกมาทีละ 1 Byte หรือ 8 Bits ซึ่งอาจมี Bit เพิ่มเติมสำหรับควบคุมการสื่อสาร ข้อดีคือ อัตราการรับส่งข้อมูลสูง ตัวอย่างการใช้งานการสื่อสารแบบขนาน เช่น การเชื่อมต่อจอแสดงผล LCD การเชื่อมต่อกล้อง และการเชื่อมต่อกับหน่วยความจำเสริม (External RAM Memory) ตัวกลางระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองเครื่องต้องใช้กลุ่มสายส่งเป็นจำนวนมาก จึงไม่เหมาะสำหรับงานที่ต้องใช้อุปกรณ์ภายนอกเป็นจำนวนมาก

2. การสื่อสารแบบอนุกรม (Serial Communication) เป็นการรับส่งออกมาทีละ Bit จึงมีความล่าช้ากว่าการสื่อสารแบบขนาน อย่างไรก็ตาม ตัวกลางสำหรับการสื่อสารอาจจะใช้สายส่งเพียงคู่เดียว จึงมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าและทำให้อุปกรณ์มีขนาดเล็ก นอกจากนี้ การสื่อสารแบบอนุกรมสามารถสื่อสารแบบครึ่งduplexได้ จึงเป็นที่นิยมมากกว่า



รูปที่ 2.5 การเชื่อมต่อสายสัญญาณสื่อสารแบบ UART

Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) เป็นการเชื่อมต่อและสื่อสารข้อมูลอนุกรมกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์, RFID, GPS, GSM Module, Wifi Module เป็นต้น การเชื่อมต่อสัญญาณสื่อสารแบบอนุกรมระหว่างอุปกรณ์ ขา Transmit Data (Tx) ของ Transmitter จะเชื่อมต่อกับขา Receive Data (Rx) ของ Receiver เพื่อส่งข้อมูลไปยัง Receiver ส่วน ขา Rx ของ Transmitter จะเชื่อมต่อกับขา Tx ของ Receiver และสุดท้าย ขา GND ของอุปกรณ์ทั้งสองต้องต่อเข้าด้วยกัน

ข้อดีของการใช้ Asynchronous คือสามารถสื่อสารแบบ Full duplex กล่าวคือสามารถรับและส่งข้อมูลระหว่าง Receiver และ Transmitter ได้ในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้ไม่ต้องใช้สายสัญญาณ Clock เพื่อกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูล แต่มีการกำหนดรูปแบบ Format หรือ Protocol การรับส่งข้อมูลขึ้นมาแทน และอาศัยการกำหนดความเร็วของการรับส่งข้อมูลให้เท่ากัน

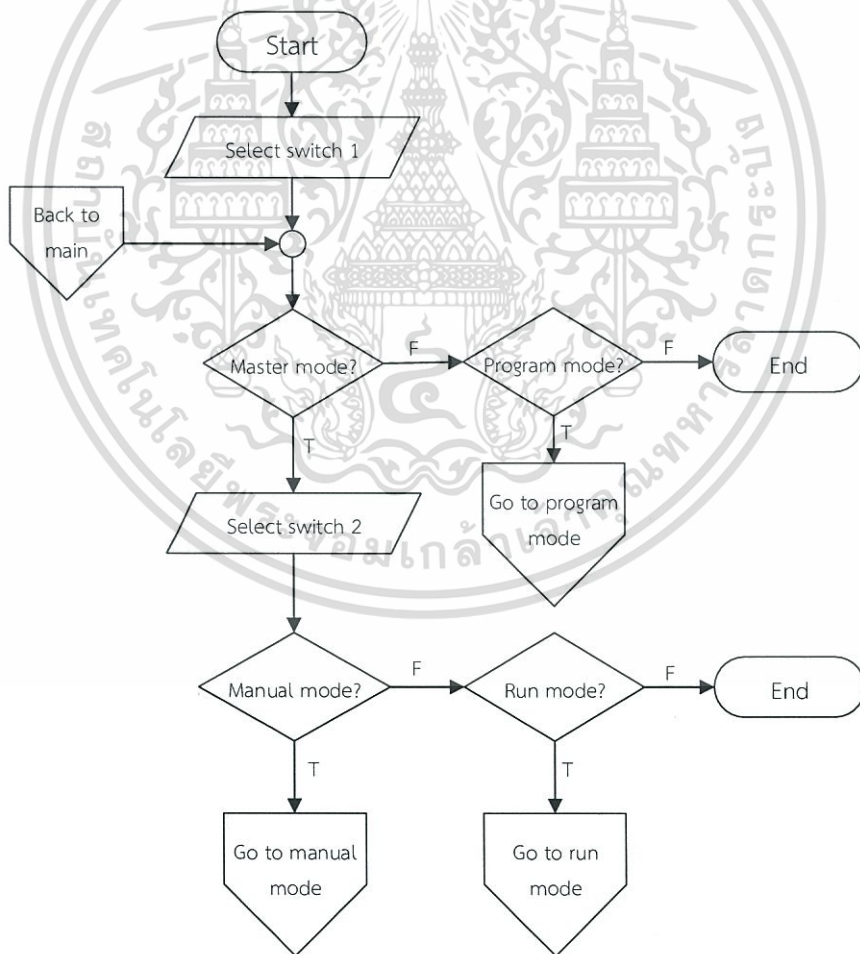
บทที่ 3

หลักการออกแบบและการทำงานของวงจร

3.1 หลักการออกแบบวงจร

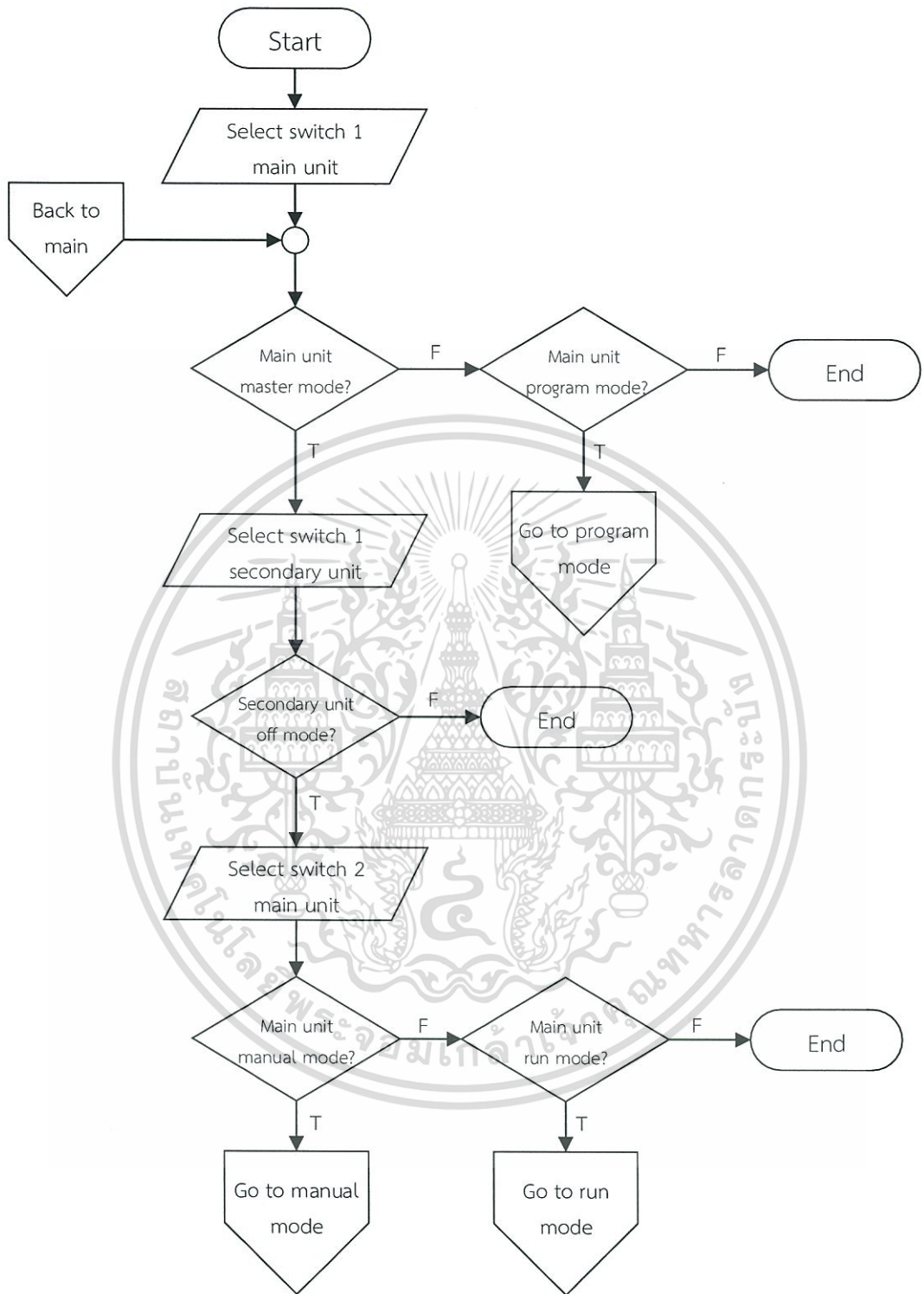
การออกแบบวงจรในโครงการนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F45K20 เป็นหน่วยประมวลผลหลักเก็บค่าที่ได้จากการโปรแกรมเพื่อนำไปควบคุมการทำงานของ LED มีระบบตรวจจับการยับยั้งด้วย LED Infrared และโฟโตทรานซิสเตอร์ เมื่อแสงไฟสว่างขึ้นให้ยับยั้งส่วนนั้น และหลังการยับยั้งเสร็จไฟจะดับลง ดวงไฟดวงถัดมาจะสว่างไปตามลำดับการประกอบ โดยสามารถโปรแกรมลำดับการยับยั้งผ่านทางคอมพิวเตอร์ อีกทั้งเครื่องยับยั้งงานตามลำดับชุดที่ 1 และชุดที่ 2 สามารถติดต่อสื่อสารระหว่างกันและกันได้

3.2 Flowchart ระบบการทำงาน



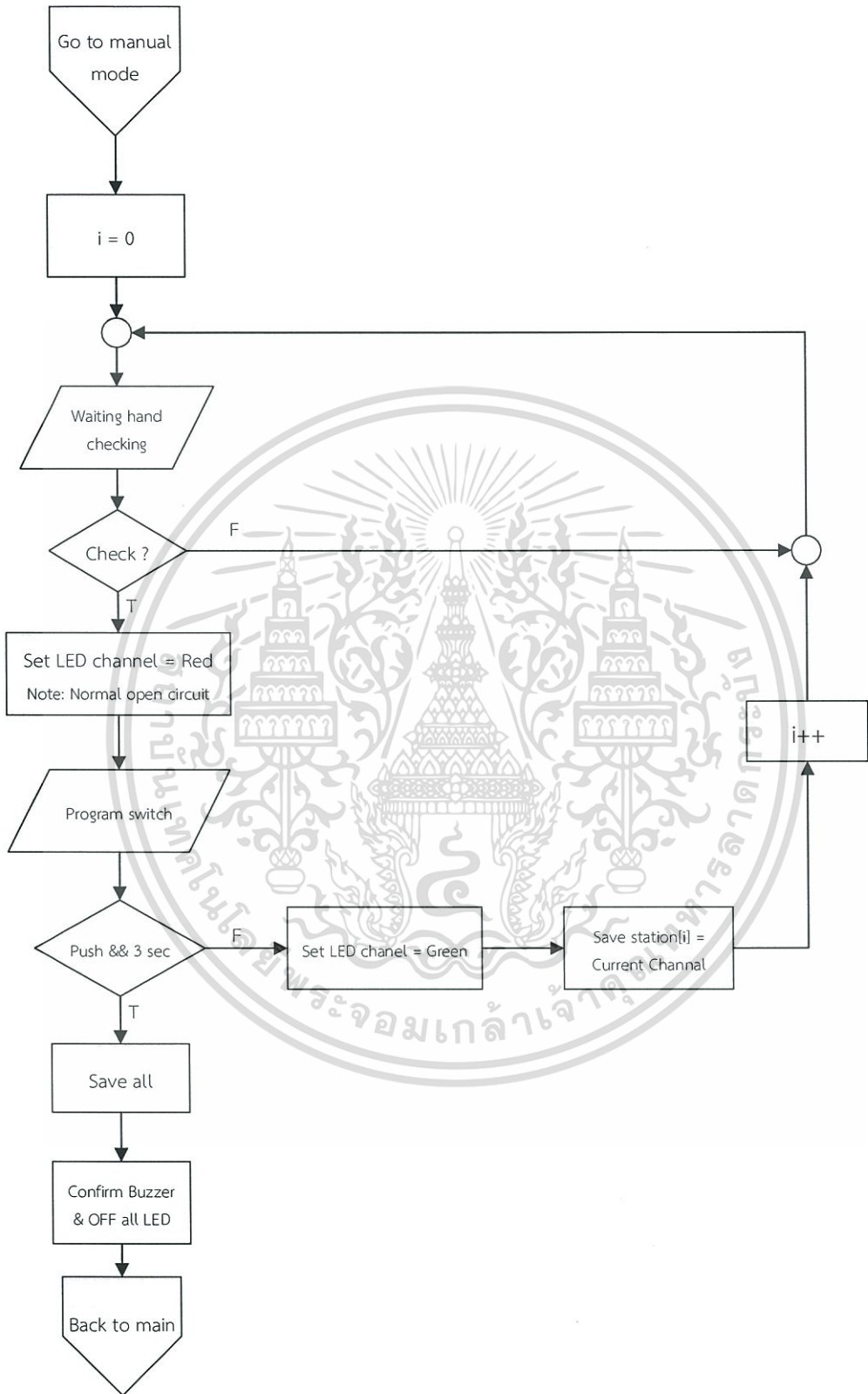
รูปที่ 3.1 Flowchart การทำงานของระบบ Pick to light system จำนวน 1 unit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



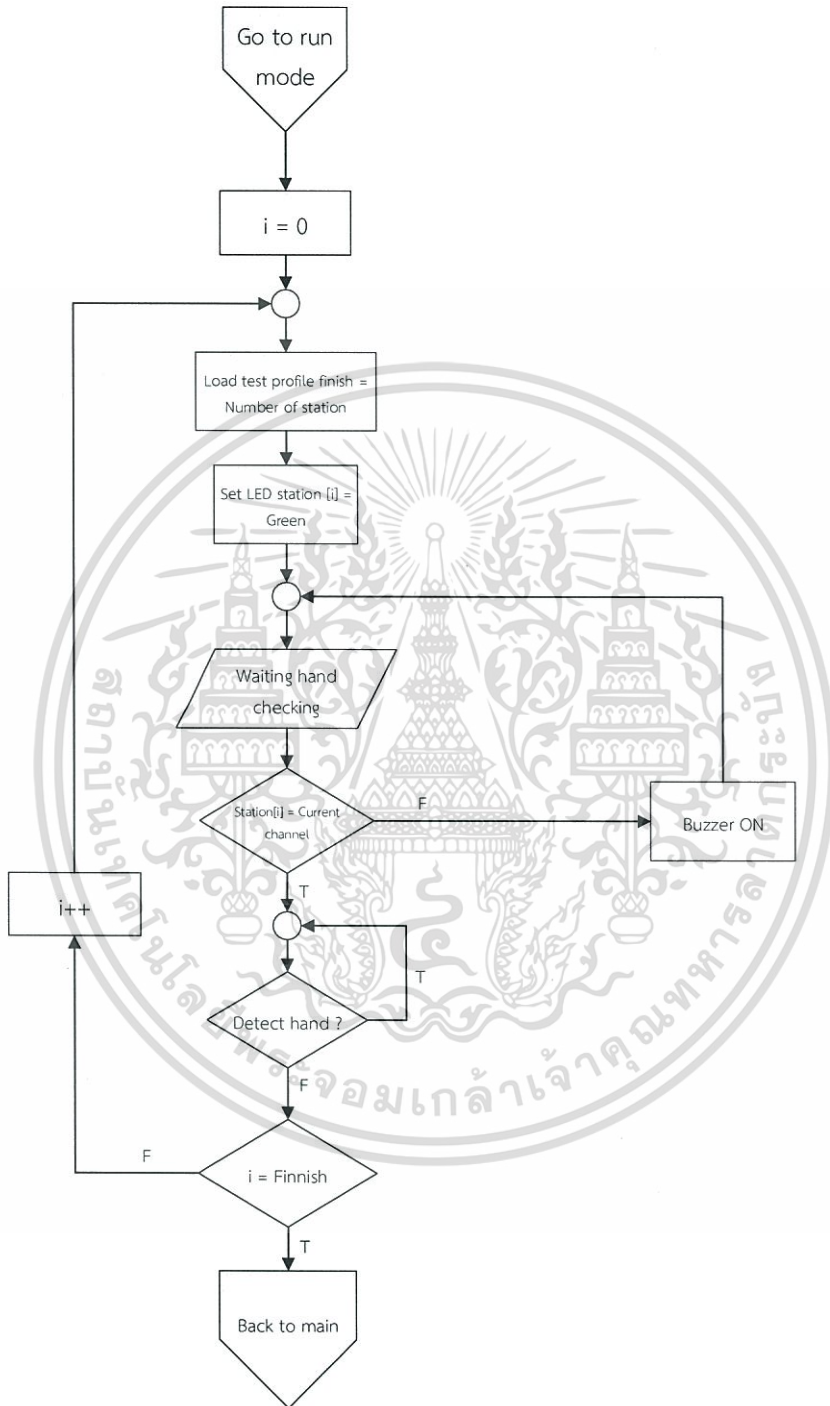
รูปที่ 3.2 Flowchart การเชื่อมต่อระบบ Pick to light system จำนวน 2 unit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

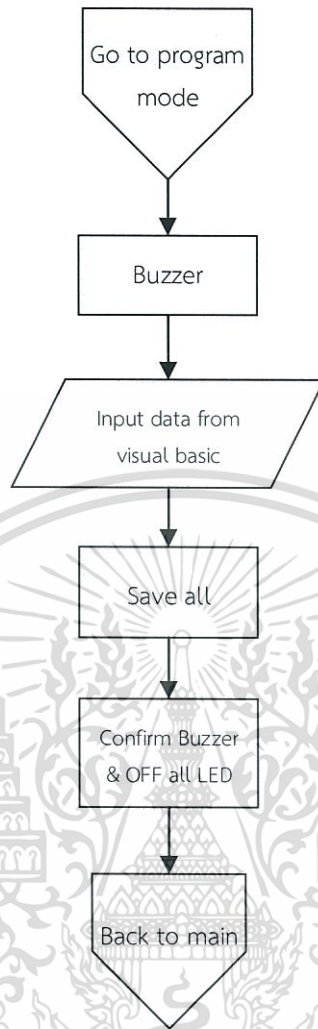


รูปที่ 3.3 Flowchart การทำงาน Manual mode ของระบบ Pick to light

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



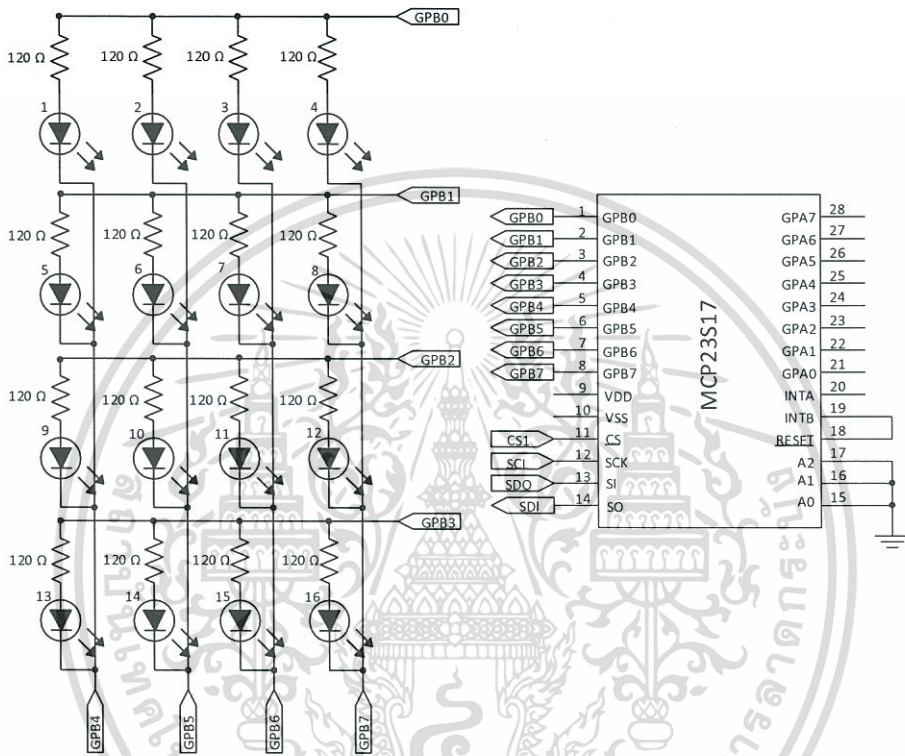
รูปที่ 3.4 Flowchart การทำงาน Run mode ของระบบ Pick to light



รูปที่ 3.5 Flowchart การทำงาน Program mode ของระบบ Pick to light

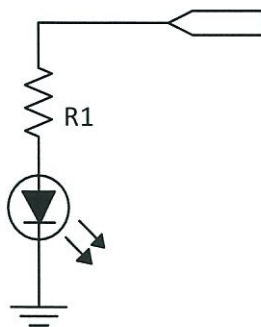
3.3 วงจรแสดงผล LED

โครงการนี้เลือกใช้ MCP23S17 เป็นอุปกรณ์ขยาย I/O port โดยการใช้การติดต่อสื่อสารระหว่างกันแบบ Serial Peripheral Interface (SPI) เข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F45K20 ซึ่งกำหนดให้ port GPB(0-7) ควบคุม LED ทั้งหมด 16 ดวง ที่ต่อกันในลักษณะ MATRIX โดยออกแบบให้ LED ดวงที่ 1-8 แสดงไฟสีแดง และ LED ดวงที่ 9-16 แสดงไฟสีเขียว



รูปที่ 3.6 วงจรแสดงผล LED

เนื่องจาก MCP23S17 มีค่า Maximum output current sunk by any I/O pin 25 mA และ Maximum output current sourced by any I/O pin 25 mA ทำให้กระแสที่ไหลผ่าน LED แต่ละดวงต้องมีค่าไม่เกิน 25 mA ($i_{LED} = 25 \text{ mA}$)



รูปที่ 3.7 การต่อตัวต้านทานจำกัดกระแสให้ LED

คำนวณ หาค่า R_1

$$i_{LED} = \frac{5 - V_{LED}}{R_1} \tag{3.1}$$

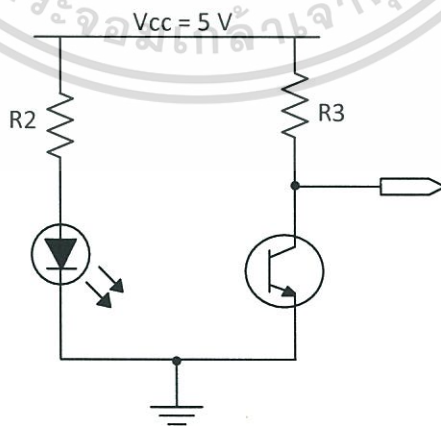
$$25 \text{ mA} = \frac{5 - 2}{R_1}$$

$$R_1 = 120 \Omega$$

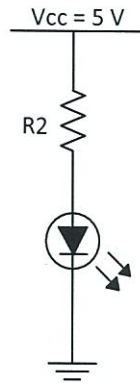
เลือกใช้ค่า R_1 ในวงจรจริงคือ 120 Ω

3.4 วงจร Sensor

เลือกใช้ LED Infrared และโฟโตทรานซิสเตอร์เป็น Sensor ในการตรวจจับการหยิบ อาศัยหลักการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงและเปลี่ยนกลับจากแสงเป็นไฟฟ้า เมื่อมีกระแสไหลผ่าน LED แสงจะถูกส่งไปยังโฟโตทรานซิสเตอร์ ทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์นำกระแสและทำให้แรงดันเอาต์พุตที่ออกจากวงจรส่งค่าแรงดันต่ำ



รูปที่ 3.8 วงจร LED Infraredและโฟโตทรานซิสเตอร์



รูปที่ 3.9 การต่อตัวต้านทานจำกัดกระแสให้ LED Infrared

คำนวณ หาค่า R_2

$$i_{LED} = \frac{5 - V_{LED}}{R_2} \quad (3.2)$$

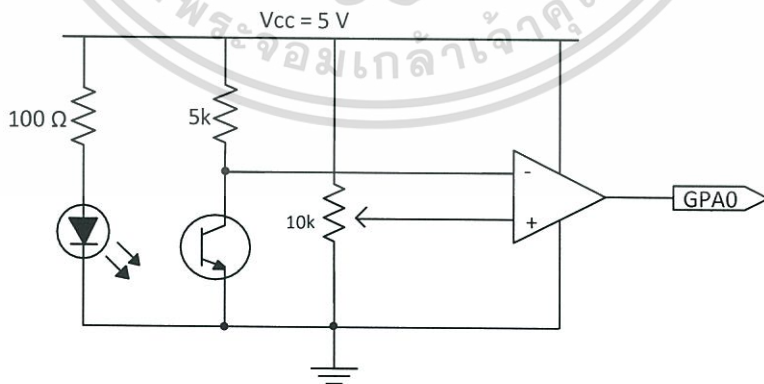
$$30 \text{ mA} = \frac{5 - 2}{R_2}$$

$$R_2 = 100 \Omega$$

เลือกใช้ค่า R_1 ในวงจรจริงคือ 100Ω

3.5 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

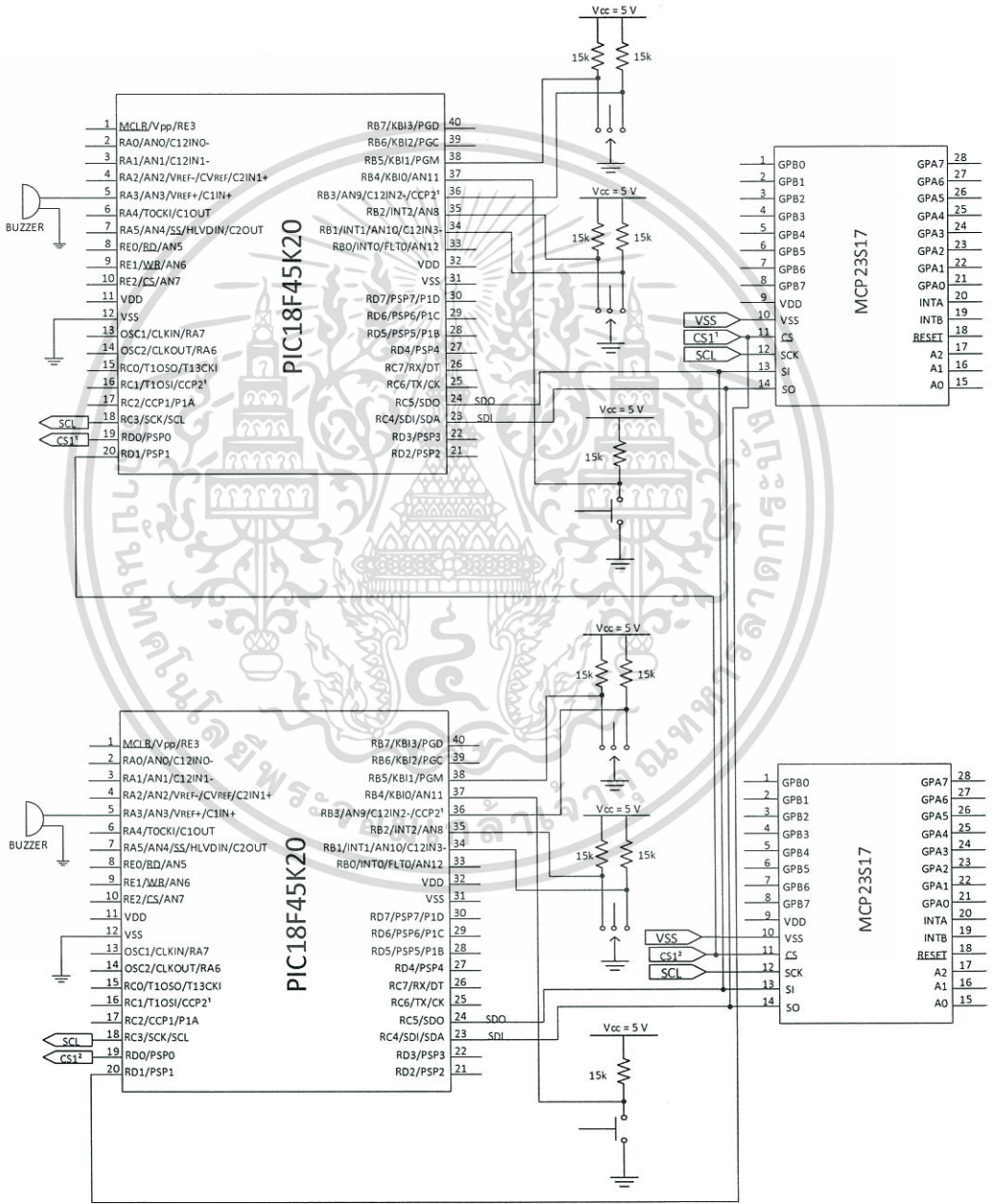
เมื่อวงจรเซ็นเซอร์ส่งระดับแรงดันเอาต์พุตออกมา เราจะนำค่าเหล่านี้เข้าสู่วงจรเปรียบเทียบแรงดันอีกชั้นหนึ่ง เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการประมวลผลมากยิ่งขึ้น โดยในโครงงานนี้เลือกใช้ LM324 ซึ่งเป็นไอซีที่ประกอบด้วยออปแอมป์ทั้งหมด 4 ตัว เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการออกแบบและลดพื้นที่ของ Microcontroller board



รูปที่ 3.10 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

3.6 การเชื่อมต่อสายสัญญาณระหว่างเครื่อง Pick to light

นำทฤษฎีการเชื่อมต่อสื่อสารแบบอนุกรมที่เรียกว่า SPI (Serial Peripheral Interface) ซึ่งอาศัยสัญญาณนาฬิกาเป็นตัวกำหนดจังหวะในการรับส่งข้อมูล โดยใช้สายสัญญาณเชื่อมต่อทั้งหมด 5 เส้น ได้แก่ MOSI (Master Out Slave In), MISO (Master In Slave Out), SCLK (Clock), CS (Chip Select) และ GND สำหรับ controller ทั้งสองเครื่อง หากตัวใดถูกกำหนดให้ทำงานเป็น Master จะทำให้ตัวที่เหลือถูกกำหนดเป็น slave

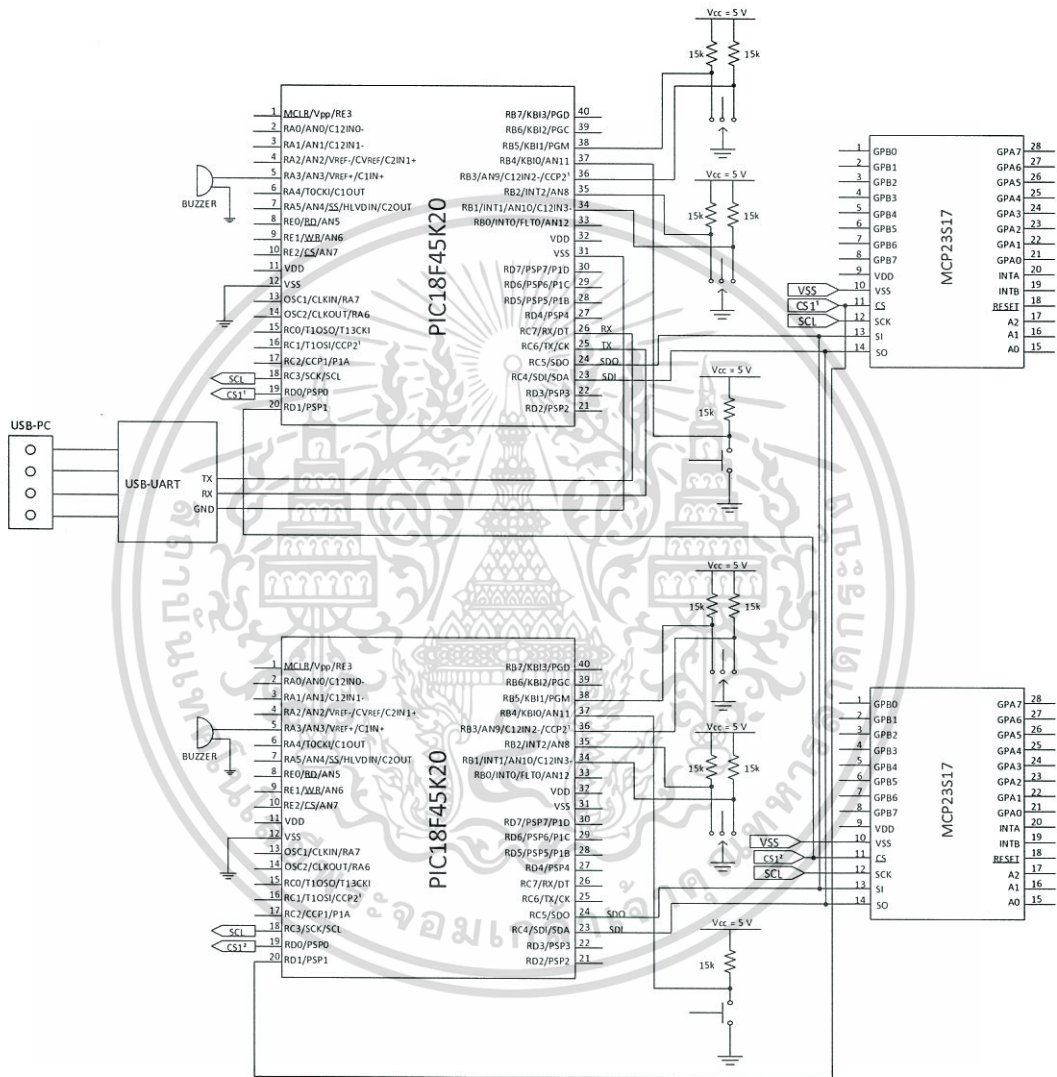


รูปที่ 3.12 การเชื่อมต่อสายสัญญาณระหว่างเครื่อง Pick to light

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์

การเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ ได้เลือกใช้การสื่อสารแบบอนุกรม (Serial Communication) เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อให้คอมพิวเตอร์สามารถส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้สายสัญญาณ 3 เส้น คือ Transmit Data, Receive Data และ GND



รูปที่ 3.13 วงจรเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ กับ คอมพิวเตอร์

ขา Transmit Data ของตัวส่ง จะเชื่อมต่อกับ ขา Receive Data ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตัวที่ทำงานอยู่ใน Master Mode เพื่อเป็นช่องทางการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนในการรับข้อมูลนั้นจะต่อ ขา Receive Data ของตัวส่งเชื่อมที่ขา Transmit Data ของไมโครคอนโทรลเลอร์

3.8 หลักการทำงานของวงจร

เมื่อแสงไฟสว่างขึ้นให้หยิบขึ้นส่วนนั้นและหลังการหยิบเสร็จไฟจะดับลง ดวงไฟดวงถัดมาจะสว่างไปตามลำดับการประกอบ มีระบบตรวจจับการหยิบผิห้องด้วย LED Infrared และโฟโตทรานซิสเตอร์ เมื่อแสงไฟสว่างขึ้นให้หยิบขึ้นส่วนนั้นและหลังการหยิบเสร็จไฟจะดับลง ดวงไฟดวงถัดมาจะสว่างไปตามลำดับการประกอบ โดยสามารถโปรแกรมลำดับการหยิบผ่านทางคอมพิวเตอร์ อีกทั้งเครื่องหยิบขึ้นงานตามลำดับชุดที่ 1 และชุดที่ 2 สามารถติดต่อสื่อสารระหว่างกันและกันได้



บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองแรงดันเอาต์พุตของเซนเซอร์

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองระดับแรงดันเอาต์พุตของเซนเซอร์ กลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2

ชื่อเซนเซอร์		แรงดันเอาต์พุตต่ำสุด (mV)	แรงดันเอาต์พุตสูงสุด (mV)
กลุ่มที่ 1	เซนเซอร์ช่องที่ 1	167	203
	เซนเซอร์ช่องที่ 2	151	197
	เซนเซอร์ช่องที่ 3	155	188
	เซนเซอร์ช่องที่ 4	161	191
	เซนเซอร์ช่องที่ 5	154	187
	เซนเซอร์ช่องที่ 6	159	191
	เซนเซอร์ช่องที่ 7	152	182
	เซนเซอร์ช่องที่ 8	160	194
กลุ่มที่ 2	เซนเซอร์ช่องที่ 1	153	195
	เซนเซอร์ช่องที่ 2	163	193
	เซนเซอร์ช่องที่ 3	163	219
	เซนเซอร์ช่องที่ 4	168	202
	เซนเซอร์ช่องที่ 5	163	217
	เซนเซอร์ช่องที่ 6	165	198
	เซนเซอร์ช่องที่ 7	159	195
	เซนเซอร์ช่องที่ 8	168	203

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าในสภาวะปกติเมื่อไม่มีแสงสะท้อนไปยังเซนเซอร์ แรงดันขาออกของเซนเซอร์กลุ่มที่ 1 มีค่าสูงสุดประมาณ 203 มิลลิโวลต์ และแรงดันขาออกของเซนเซอร์กลุ่มที่ 2 มีค่าสูงสุดประมาณ 219 มิลลิโวลต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่าจากเซนเซอร์ได้เป็นลอจิก 0

หากในสภาวะที่เซนเซอร์ได้รับแสงสะท้อนแรงดันขาออกของเซนเซอร์กลุ่มที่ 1 มีค่าต่ำสุดประมาณ 151 มิลลิโวลต์ และแรงดันขาออกของเซนเซอร์กลุ่มที่ 2 มีค่าต่ำสุดประมาณ 153 มิลลิโวลต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่าจากเซนเซอร์ได้เป็นลอจิก 1

4.2 ผลการทดลองกระแสไฟฟ้าของหลอดไฟ LED

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองกระแสไฟฟ้าของหลอดไฟ LED กล่องที่ 1 และ กล่องที่ 2

ชื่อหลอดไฟ		สีหลอดไฟ	กระแสที่คำนวณ (mA)	กระแสที่ใช้จริง (mA)	ความคลาดเคลื่อน (%)
กล่องที่ 1	หลอดไฟช่องที่ 1	แดง	19.17	18.00	6.09
		เขียว	19.17	20.33	6.09
	หลอดไฟช่องที่ 2	แดง	19.17	18.00	6.09
		เขียว	19.17	20.92	9.13
	หลอดไฟช่องที่ 3	แดง	19.17	18.08	5.65
		เขียว	19.17	21.00	9.57
	หลอดไฟช่องที่ 4	แดง	19.17	17.75	7.39
		เขียว	19.17	20.42	6.52
	หลอดไฟช่องที่ 5	แดง	19.17	18.08	5.65
		เขียว	19.17	21.00	9.57
	หลอดไฟช่องที่ 6	แดง	19.17	18.00	6.09
		เขียว	19.17	21.00	9.57
	หลอดไฟช่องที่ 7	แดง	19.17	17.83	6.96
		เขียว	19.17	21.00	9.57
	หลอดไฟช่องที่ 8	แดง	19.17	17.92	6.52
		เขียว	19.17	21.00	9.57
กล่องที่ 2	หลอดไฟช่องที่ 1	แดง	19.17	19.50	1.74
		เขียว	19.17	17.50	8.70
	หลอดไฟช่องที่ 2	แดง	19.17	19.50	1.74
		เขียว	19.17	18.17	5.22
	หลอดไฟช่องที่ 3	แดง	19.17	19.58	2.17
		เขียว	19.17	17.67	7.83
	หลอดไฟช่องที่ 4	แดง	19.17	19.42	1.30
		เขียว	19.17	17.92	6.52
	หลอดไฟช่องที่ 5	แดง	19.17	19.50	1.74
		เขียว	19.17	17.75	7.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ผลการทดลองกระแสไฟฟ้าของหลอดไฟ LED กล้องที่ 1 และ กล้องที่ 2

ชื่อหลอดไฟ		สีหลอดไฟ	กระแสที่คำนวณ (mA)	กระแสที่ใช้จริง (mA)	ความคลาดเคลื่อน (%)
กล้องที่ 2	หลอดไฟช่องที่ 6	แดง	19.17	19.50	1.74
		เขียว	19.17	17.75	7.39
	หลอดไฟช่องที่ 7	แดง	19.17	19.50	1.74
		เขียว	19.17	17.67	7.83
	หลอดไฟช่องที่ 8	แดง	19.17	19.50	1.74
		เขียว	19.17	17.75	7.39

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า LED สีแดงแต่ละดวงใช้กระแสไฟฟ้ามีค่าประมาณ 18.73 mA และกระแสไฟฟ้าที่ LED สีเขียวแต่ละดวงใช้มีค่าประมาณ 19.30 mA ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ย 2.77%

4.3 ผลการทดลองระบบ Run Program ซ้ำ

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบระบบ Run Program ซ้ำ ชุดที่ 1

Program ชุดที่ 1								
ค่าที่ Program	ดวงที่1	ดวงที่2	ดวงที่3	ดวงที่4	ดวงที่5	ดวงที่6	ดวงที่7	ดวงที่8
รอบที่1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบระบบ Run Program ชั้น ชุดที่2

Program ชุดที่ 2								
ค่าที่ Program	ดวงที่3	ดวงที่2	ดวงที่3	ดวงที่8	ดวงที่5	ดวงที่6	ดวงที่1	ดวงที่4
รอบที่1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบระบบ Run Program ชั้น ชุดที่3

Program ชุดที่ 3								
ค่าที่ Program	ดวงที่4	ดวงที่8	ดวงที่1	ดวงที่7	ดวงที่7	ดวงที่7	ดวงที่2	ดวงที่3
รอบที่1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรรมใดทุกสิ่งอื่น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบระบบ Run Program ชั่ว ชุดที่4

Program ชุดที่ 4								
ค่าที่ Program	ดวงที่3	ดวงที่6	ดวงที่7	ดวงที่2	ดวงที่3	ดวงที่4	ดวงที่1	ดวงที่8
รอบที่1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบระบบ Run Program ชั่ว ชุดที่5

Program ชุดที่ 5								
ค่าที่ Program	ดวงที่1	ดวงที่1	ดวงที่3	ดวงที่3	ดวงที่5	ดวงที่5	ดวงที่7	ดวงที่7
รอบที่1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รอบที่10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

สัญลักษณ์ ✓ คือ ไฟใน channel นั้นๆติด

สรุปผลการทดลอง

ผลการทดสอบระบบ Run Program ชั่วทั้งหมด 5 ชุด ชุดละ 10 ครั้ง ในระบบ Pick to light system พบว่าสามารถทำงานครบถ้วนตามคำสั่งที่ได้กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดสอบระบบตรวจจับหากมีการหยิบผิดช่อง

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบไฟและเสียงแจ้งเตือนเมื่อมีการหยิบผิดช่อง

ช่องที่ต้องหยิบ	ช่องที่หยิบผิด			ไฟ Status
	ช่อง	ไฟสีแดง	เสียงแจ้งเตือน	ไฟสีแดง
1	2	✓	✓	✓
	3	✓	✓	✓
	4	✓	✓	✓
	5	✓	✓	✓
	6	✓	✓	✓
	7	✓	✓	✓
	8	✓	✓	✓
	2	1	✓	✓
3		✓	✓	✓
4		✓	✓	✓
5		✓	✓	✓
6		✓	✓	✓
7		✓	✓	✓
8		✓	✓	✓
3		1	✓	✓
	2	✓	✓	✓
	4	✓	✓	✓
	5	✓	✓	✓
	6	✓	✓	✓
	7	✓	✓	✓
	8	✓	✓	✓
	4	1	✓	✓
2		✓	✓	✓
3		✓	✓	✓
5		✓	✓	✓
6		✓	✓	✓
7		✓	✓	✓
8		✓	✓	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ผลการทดสอบไฟและเสียงแจ้งเตือนเมื่อมีการหยิบผิดช่อง

ช่องที่ต้องหยิบ	ช่องที่หยิบผิด			ไฟ Status
	ช่อง	ไฟสีแดง	เสียงแจ้งเตือน	ไฟสีแดง
5	1	✓	✓	✓
	2	✓	✓	✓
	3	✓	✓	✓
	4	✓	✓	✓
	6	✓	✓	✓
	7	✓	✓	✓
	8	✓	✓	✓
	6	1	✓	✓
2		✓	✓	✓
3		✓	✓	✓
4		✓	✓	✓
5		✓	✓	✓
7		✓	✓	✓
8		✓	✓	✓
7		1	✓	✓
	2	✓	✓	✓
	3	✓	✓	✓
	4	✓	✓	✓
	5	✓	✓	✓
	6	✓	✓	✓
	8	✓	✓	✓
	8	1	✓	✓
2		✓	✓	✓
3		✓	✓	✓
4		✓	✓	✓
5		✓	✓	✓
6		✓	✓	✓
7		✓	✓	✓

สัญลักษณ์ ✓ คือ ไฟใน channel นั้นๆติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

ผลการทดสอบระบบตรวจจับหากมีการหยิบผิดช่อง ตรวจสอบไฟแสดงสถานะและเสียงแจ้งเตือน ตั้งแต่ช่องที่ 1 ถึงช่องที่ 8 พบว่าระบบ Pick to light system สามารถตรวจสอบได้ตามคำสั่งที่ได้กำหนดไว้และทำงานได้อย่างครบถ้วน

4.5 ผลการทดลองโปรแกรมลำดับไฟด้วยระบบคอมพิวเตอร์ และ Run คำสั่งตามลำดับ ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองป้อนคำสั่งลำดับไฟ และ Run คำสั่งตามลำดับ

ครั้งที่	ตั้งค่า Program ลำดับไฟ	ทดลอง Program ลำดับไฟ	ทดลอง Run Program
1	ดวงที่1	ดวงที่1	✓
2	ดวงที่1	ดวงที่1	✓
	ดวงที่2	ดวงที่2	✓
3	ดวงที่1	ดวงที่1	✓
	ดวงที่2	ดวงที่2	✓
	ดวงที่3	ดวงที่3	✓
4	ดวงที่1	ดวงที่1	✓
	ดวงที่2	ดวงที่2	✓
	ดวงที่3	ดวงที่3	✓
	ดวงที่4	ดวงที่4	✓
5	ดวงที่1	ดวงที่1	✓
	ดวงที่2	ดวงที่2	✓
	ดวงที่3	ดวงที่3	✓
	ดวงที่4	ดวงที่4	✓
	ดวงที่5	ดวงที่5	✓
6	ดวงที่1	ดวงที่1	✓
	ดวงที่2	ดวงที่2	✓
	ดวงที่3	ดวงที่3	✓
	ดวงที่4	ดวงที่4	✓
	ดวงที่5	ดวงที่5	✓
	ดวงที่6	ดวงที่6	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) ผลการทดลองป้อนคำสั่งลำดับไฟ และ Run คำสั่งตามลำดับ

ครั้งที่	ตั้งค่า Program ลำดับไฟ	ทดลอง Program ลำดับไฟ	ทดลอง Run Program
7	ดวงที่1	ดวงที่1	✓
	ดวงที่2	ดวงที่2	✓
	ดวงที่3	ดวงที่3	✓
	ดวงที่4	ดวงที่4	✓
	ดวงที่5	ดวงที่5	✓
	ดวงที่6	ดวงที่6	✓
	ดวงที่7	ดวงที่7	✓
8	ดวงที่1	ดวงที่1	✓
	ดวงที่2	ดวงที่2	✓
	ดวงที่3	ดวงที่3	✓
	ดวงที่4	ดวงที่4	✓
	ดวงที่5	ดวงที่5	✓
	ดวงที่6	ดวงที่6	✓
	ดวงที่7	ดวงที่7	✓
	ดวงที่8	ดวงที่8	✓
9	ดวงที่4	ดวงที่4	✓
	ดวงที่5	ดวงที่5	✓
	ดวงที่1	ดวงที่1	✓
	ดวงที่1	ดวงที่1	✓
	ดวงที่8	ดวงที่8	✓
	ดวงที่3	ดวงที่3	✓
	ดวงที่2	ดวงที่2	✓
	ดวงที่1	ดวงที่1	✓
10	ดวงที่4	ดวงที่4	✓
	ดวงที่4	ดวงที่4	✓
	ดวงที่4	ดวงที่4	✓
	ดวงที่6	ดวงที่6	✓
	ดวงที่8	ดวงที่8	✓
	ดวงที่2	ดวงที่2	✓
	ดวงที่1	ดวงที่1	✓
	ดวงที่3	ดวงที่3	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) ผลการทดลองป้อนคำสั่งลำดับไฟ และ Run คำสั่งตามลำดับ

ครั้งที่	ตั้งค่า Program ลำดับไฟ	ทดลอง Program ลำดับไฟ	ทดลอง Run Program	
11	ดวงที่3	ดวงที่3	✓	
	ดวงที่2	ดวงที่2	✓	
	ดวงที่1	ดวงที่1	✓	
	ดวงที่4	ดวงที่4	✓	
	ดวงที่4	ดวงที่4	✓	
	ดวงที่4	ดวงที่4	✓	
	ดวงที่2	ดวงที่2	✓	
	ดวงที่3	ดวงที่3	✓	
	ดวงที่4	ดวงที่4	✓	
	ดวงที่5	ดวงที่5	✓	
	ดวงที่6	ดวงที่6	✓	
	ดวงที่7	ดวงที่7	✓	
	12	ดวงที่3	ดวงที่3	✓
		ดวงที่2	ดวงที่2	✓
ดวงที่3		ดวงที่3	✓	
ดวงที่1		ดวงที่1	✓	
ดวงที่3		ดวงที่3	✓	
ดวงที่2		ดวงที่2	✓	
ดวงที่3		ดวงที่3	✓	
ดวงที่4		ดวงที่4	✓	
ดวงที่5		ดวงที่5	✓	
ดวงที่6		ดวงที่6	✓	
ดวงที่2		ดวงที่2	✓	
ดวงที่1		ดวงที่1	✓	
ดวงที่4		ดวงที่4	✓	
ดวงที่8		ดวงที่8	✓	
ดวงที่3		ดวงที่3	✓	
ดวงที่2		ดวงที่2	✓	
ดวงที่4		ดวงที่4	✓	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) ผลการทดลองป้อนคำสั่งลำดับไฟ และ Run คำสั่งตามลำดับ

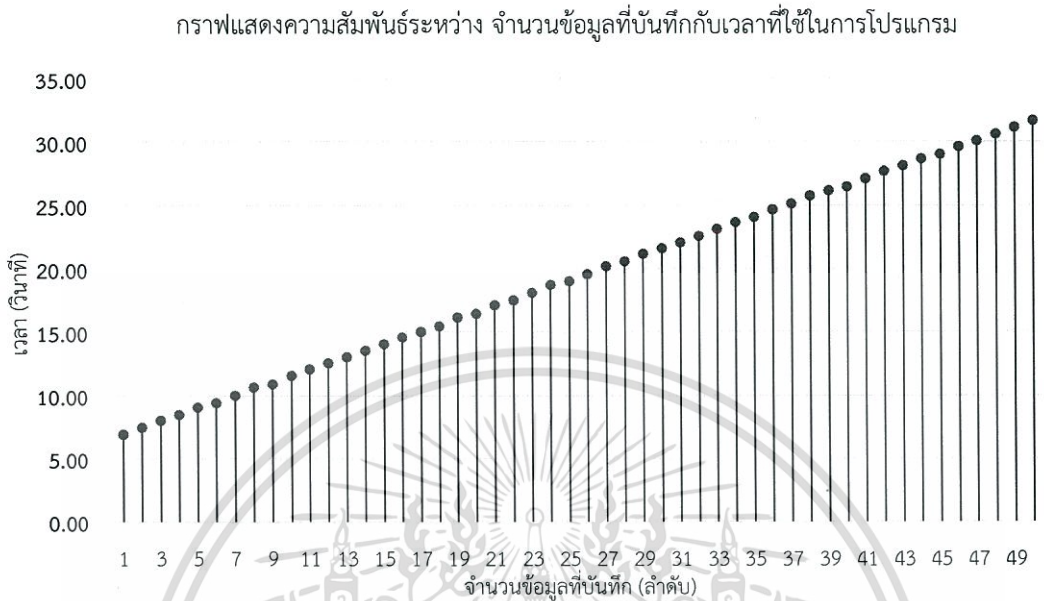
ครั้งที่	ตั้งค่า Program ลำดับไฟ	ทดลอง Program ลำดับไฟ	ทดลอง Run Program
13	ดวงที่7	ดวงที่7	✓
	ดวงที่2	ดวงที่2	✓
	ดวงที่8	ดวงที่8	✓
	ดวงที่5	ดวงที่5	✓
	ดวงที่7	ดวงที่7	✓
	ดวงที่3	ดวงที่3	✓
	ดวงที่5	ดวงที่5	✓
	ดวงที่7	ดวงที่7	✓
	ดวงที่7	ดวงที่7	✓
	ดวงที่4	ดวงที่4	✓
	ดวงที่1	ดวงที่1	✓
	ดวงที่3	ดวงที่3	✓
	ดวงที่2	ดวงที่2	✓
	ดวงที่4	ดวงที่4	✓
	ดวงที่1	ดวงที่1	✓
	ดวงที่6	ดวงที่6	✓
	ดวงที่5	ดวงที่5	✓
	ดวงที่3	ดวงที่3	✓
ดวงที่1	ดวงที่1	✓	
ดวงที่8	ดวงที่8	✓	

สัญลักษณ์ ✓ คือ ไฟใน channel นั้นๆติด

สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองสั่งควบคุมลำดับไฟจากคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Visual basic ทั้งหมด 13 ครั้ง พบว่าสามารถตั้งค่า Program ลำดับไฟ และ ทดลอง Run Program ได้ตามลำดับขั้นตอนที่ได้ตั้งไว้

4.6 ผลการทดลองระยะเวลาที่ใช้ในการโปรแกรมข้อมูลจากคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนข้อมูลที่บันทึกกับเวลาที่ใช้ในการโปรแกรม

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า ในการโปรแกรมข้อมูล 1 ลำดับใช้เวลาโดยประมาณ 6.90 วินาที และมีอัตราการเพิ่มขึ้นของเวลาที่ใช้โดยเฉลี่ย 0.50 วินาทีต่อการโปรแกรมข้อมูลเพิ่มขึ้น 1 ลำดับ

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทำงานของระบบหีบขึ้นงานตามลำดับมีขั้นตอนและกระบวนการทำงานของเครื่องเป็นไปตามจุดประสงค์ที่ได้มีการออกแบบ คือ สามารถโปรแกรมลำดับการหีบขึ้นงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อควบคุมสั่งงาน ให้เครื่องชุดที่ 1 และชุดที่ 2 เชื่อมต่อสื่อสารระหว่างกัน อีกทั้งยังสามารถ Run Program ซ้ำ ซึ่งให้ผลออกมาอย่างเที่ยงตรงในทุกๆครั้งของการทำงาน และหากหีบไม่ตรงตามลำดับจะเกิดไฟและเสียงขึ้นแจ้งเตือน

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

1. ในส่วนตรวจจับการหีบ หากมืออยู่ห่างจาก sensor มากเกินที่ลำแสงอินฟราเรดส่องถึง จะไม่สามารถสะท้อนไปยังโฟโตทรานซิสเตอร์ ส่งผลให้ไม่สามารถตรวจจับการหีบได้ การแก้ไขคือปรับระยะเซนเซอร์ให้ครอบคลุมระยะการหีบให้มากขึ้น เพื่อประสิทธิภาพในการตรวจจับ

2. ในการออกแบบวงจร เนื่องจากในโปรเจกต์นี้ได้ใช้ แผ่นปริ้นนอกประสงค์ (Universal board) จึงต้องเชื่อมต่อสายสัญญาณผ่านสายขนาดเล็ก ทำให้เกิดการหลุดอยู่บ่อยครั้ง การแก้ไขคือควรออกแบบวงจรโดยใช้แผ่นทองแดง เพื่อทำให้สายสัญญาณที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์มีขนาดใหญ่ขึ้น

5.3 แนวทางการพัฒนา

สำหรับการพัฒนาวงจรและรูปแบบการทำงานของเครื่องหีบขึ้นงานตามลำดับ มีแนวทางเพิ่มการนับจำนวนสินค้าคงเหลือ สามารถแจ้งเตือนเมื่อของหมดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพราะในอุตสาหกรรมจริงการหีบ part ในแต่วันนั้นมีจำนวนชุดคำสั่งมากมาย การโปรแกรมผ่านทางคอมพิวเตอร์เป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยลดระยะเวลาในการทำงานให้สะดวกรวดเร็วมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังคิดและพัฒนาให้เครื่องหีบขึ้นงานตามลำดับสามารถสั่งงานด้วยระบบไร้สาย

เอกสารอ้างอิง

- [1] โอปาร กิตติธีรพรชัย และ นระเกณท์ พุ่มชูศรี (2556) “ระบบการจัดการคลังสินค้า”
- [2] ณัฐสิริ พิธกิจ (2554) “การออกแบบระบบหยิบตามแสง สำหรับโต๊ะประกอบหลอดฟลูออเรสเซนต์ในการปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหกรรม”
- [3] นภัทร วจนเทพินทร อีเล็กทรอนิกส์วิศวกรรม
- [4] Bodeburg, P. (2007) : “Pick-to-light revitalizes”
- [5] Patzke, Randall L. (2008) : “Key Attributes Used to Compare Pick-to-Light and Put-to-Light”
- [6] Russell D. Meller, Chair, Deborah F. Cook, Kimberly P. Ellis, Michael R. Taaffe, G. Don Taylor (2006) : “Designing Order Picking Systems for Distribution Centers”



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MICROCHIP

MCP23017/MCP23S17

16-Bit I/O Expander with Serial Interface

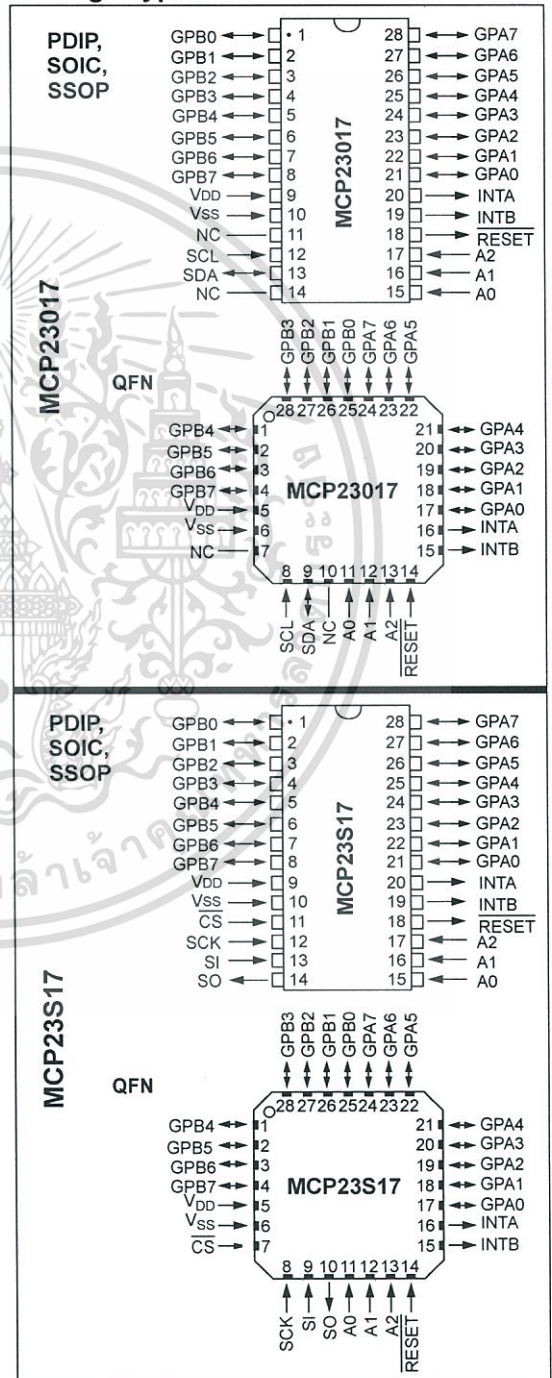
Features

- 16-bit remote bidirectional I/O port
 - I/O pins default to input
- High-speed I²C™ interface (**MCP23017**)
 - 100 kHz
 - 400 kHz
 - 1.7 MHz
- High-speed SPI interface (**MCP23S17**)
 - 10 MHz (max.)
- Three hardware address pins to allow up to eight devices on the bus
- Configurable interrupt output pins
 - Configurable as active-high, active-low or open-drain
- INTA and INTB can be configured to operate independently or together
- Configurable interrupt source
 - Interrupt-on-change from configured register defaults or pin changes
- Polarity Inversion register to configure the polarity of the input port data
- External Reset input
- Low standby current: 1 µA (max.)
- Operating voltage:
 - 1.8V to 5.5V @ -40°C to +85°C
 - 2.7V to 5.5V @ -40°C to +85°C
 - 4.5V to 5.5V @ -40°C to +125°C

Packages

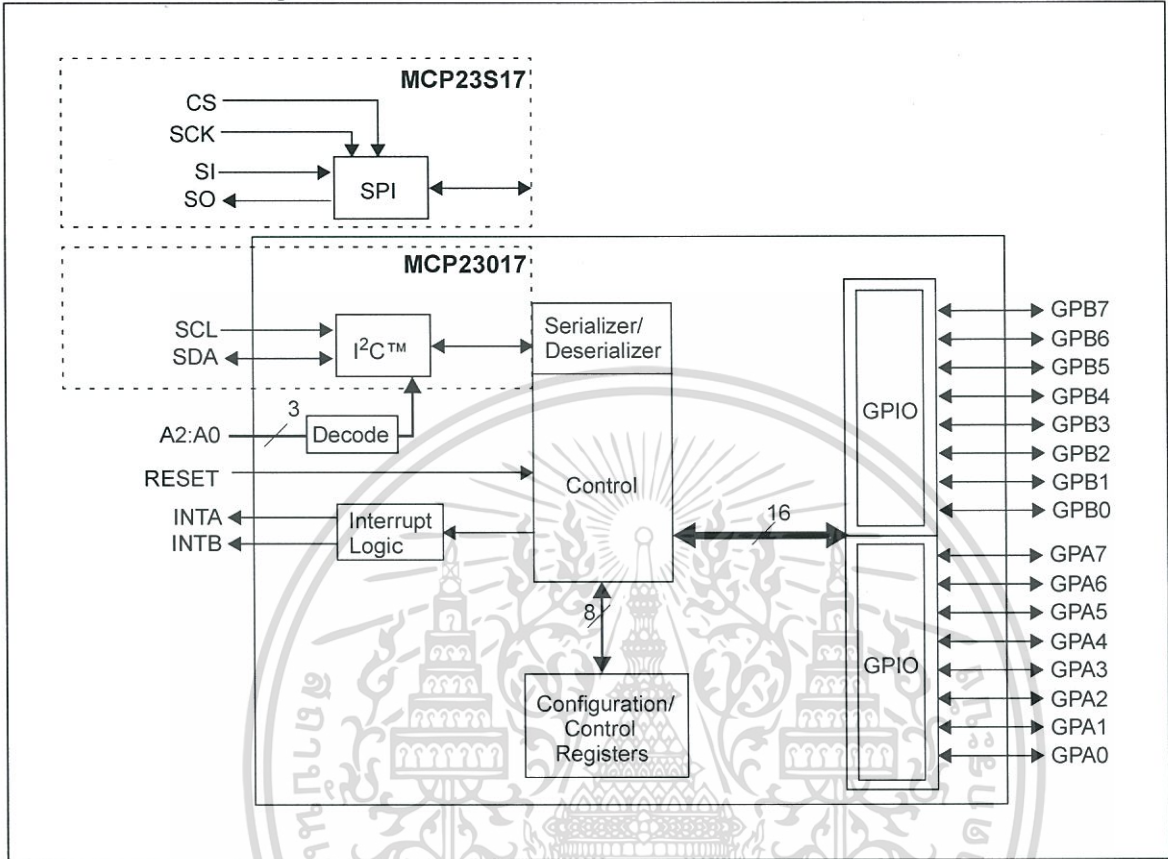
- 28-pin PDIP (300 mil)
- 28-pin SOIC (300 mil)
- 28-pin SSOP
- 28-pin QFN

Package Types



MCP23017/MCP23S17

Functional Block Diagram



MCP23017/MCP23S17

1.0 DEVICE OVERVIEW

The MCP23017/MCP23S17 (MCP23X17) device family provides 16-bit, general purpose parallel I/O expansion for I²C bus or SPI applications. The two devices differ only in the serial interface.

- MCP23017 – I²C interface
- MCP23S17 – SPI interface

The MCP23X17 consists of multiple 8-bit configuration registers for input, output and polarity selection. The system master can enable the I/Os as either inputs or outputs by writing the I/O configuration bits (IODIRA/B). The data for each input or output is kept in the corresponding input or output register. The polarity of the Input Port register can be inverted with the Polarity Inversion register. All registers can be read by the system master.

The 16-bit I/O port functionally consists of two 8-bit ports (PORTA and PORTB). The MCP23X17 can be configured to operate in the 8-bit or 16-bit modes via IOCON.BANK.

There are two interrupt pins, INTA and INTB, that can be associated with their respective ports, or can be logically OR'ed together so that both pins will activate if either port causes an interrupt.

The interrupt output can be configured to activate under two conditions (mutually exclusive):

1. When any input state differs from its corresponding Input Port register state. This is used to indicate to the system master that an input state has changed.
2. When an input state differs from a preconfigured register value (DEFVAL register).

The Interrupt Capture register captures port values at the time of the interrupt, thereby saving the condition that caused the interrupt.

The Power-on Reset (POR) sets the registers to their default values and initializes the device state machine.

The hardware address pins are used to determine the device address.



MCP23017/MCP23S17

1.1 Pin Descriptions

TABLE 1-1: PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	PDIP/ SOIC/ SSOP	QFN	Pin Type	Function
GPB0	1	25	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPB1	2	26	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPB2	3	27	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPB3	4	28	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPB4	5	1	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPB5	6	2	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPB6	7	3	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPB7	8	4	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
V _{DD}	9	5	P	Power
V _{SS}	10	6	P	Ground
NC/CS	11	7	I	NC (MCP23017), Chip Select (MCP23S17)
SCL/SCK	12	8	I	Serial clock input
SDA/SI	13	9	I/O	Serial data I/O (MCP23017), Serial data input (MCP23S17)
NC/SO	14	10	O	NC (MCP23017), Serial data out (MCP23S17)
A0	15	11	I	Hardware address pin. Must be externally biased.
A1	16	12	I	Hardware address pin. Must be externally biased.
A2	17	13	I	Hardware address pin. Must be externally biased.
RESET	18	14	I	Hardware reset. Must be externally biased.
INTB	19	15	O	Interrupt output for PORTB. Can be configured as active-high, active-low or open-drain.
INTA	20	16	O	Interrupt output for PORTA. Can be configured as active-high, active-low or open-drain.
GPA0	21	17	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPA1	22	18	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPA2	23	19	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPA3	24	20	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPA4	25	21	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPA5	26	22	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPA6	27	23	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPA7	28	24	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.

MCP23017/MCP23S17

1.2 Power-on Reset (POR)

The on-chip POR circuit holds the device in reset until VDD has reached a high enough voltage to deactivate the POR circuit (i.e., release the device from reset). The maximum VDD rise time is specified in **Section 2.0 “Electrical Characteristics”**.

When the device exits the POR condition (releases reset), device operating parameters (i.e., voltage, temperature, serial bus frequency, etc.) must be met to ensure proper operation.

1.3 Serial Interface

This block handles the functionality of the I²C (MCP23017) or SPI (MCP23S17) interface protocol. The MCP23X17 contains 22 individual registers (11 register pairs) that can be addressed through the Serial Interface block, as shown in Table 1-2.

TABLE 1-2: REGISTER ADDRESSES

Address IOCON.BANK = 1	Address IOCON.BANK = 0	Access to:
00h	00h	IODIRA
10h	01h	IODIRB
01h	02h	IPOLA
11h	03h	IPOLB
02h	04h	GPINTENA
12h	05h	GPINTENB
03h	06h	DEFVALA
13h	07h	DEFVALB
04h	08h	INTCONA
14h	09h	INTCONB
05h	0Ah	IOCON
15h	0Bh	IOCON
06h	0Ch	GPPUA
16h	0Dh	GPPUB
07h	0Eh	INTFA
17h	0Fh	INTFB
08h	10h	INTCAPA
18h	11h	INTCAPB
09h	12h	GPIOA
19h	13h	GPIOB
0Ah	14h	OLATA
1Ah	15h	OLATB

1.3.1 BYTE MODE AND SEQUENTIAL MODE

The MCP23X17 family has the ability to operate in Byte mode or Sequential mode (IOCON.SEQOP).

Byte Mode disables automatic Address Pointer incrementing. When operating in Byte mode, the MCP23X17 family does not increment its internal address counter after each byte during the data transfer. This gives the ability to continually access the same address by providing extra clocks (without additional control bytes). This is useful for polling the GPIO register for data changes or for continually writing to the output latches.

A special mode (**Byte mode with IOCON.BANK = 0**) causes the address pointer to toggle between associated A/B register pairs. For example, if the BANK bit is cleared and the Address Pointer is initially set to address 12h (GPIOA) or 13h (GPIOB), the pointer will toggle between GPIOA and GPIOB. Note that the Address Pointer can initially point to either address in the register pair.

Sequential mode enables automatic address pointer incrementing. When operating in Sequential mode, the MCP23X17 family increments its address counter after each byte during the data transfer. The Address Pointer automatically rolls over to address 00h after accessing the last register.

These two modes are not to be confused with single writes/reads and continuous writes/reads that are serial protocol sequences. For example, the device may be configured for Byte mode and the master may perform a continuous read. In this case, the MCP23X17 would not increment the Address Pointer and would repeatedly drive data from the same location.

1.3.2 I²C INTERFACE

1.3.2.1 I²C Write Operation

The I²C write operation includes the control byte and register address sequence, as shown in the bottom of Figure 1-1. This sequence is followed by eight bits of data from the master and an Acknowledge (ACK) from the MCP23017. The operation is ended with a Stop (P) or Restart (SR) condition being generated by the master.

Data is written to the MCP23017 after every byte transfer. If a Stop or Restart condition is generated during a data transfer, the data will not be written to the MCP23017.

Both “byte writes” and “sequential writes” are supported by the MCP23017. If Sequential mode is enabled (IOCON, SEQOP = 0) (default), the MCP23017 increments its address counter after each ACK during the data transfer.

MCP23017/MCP23S17

1.3.2.2 I²C Read Operation

I²C Read operations include the control byte sequence, as shown in the bottom of Figure 1-1. This sequence is followed by another control byte (including the Start condition and ACK) with the R/W bit set (R/W = 1). The MCP23017 then transmits the data contained in the addressed register. The sequence is ended with the master generating a Stop or Restart condition.

1.3.2.3 I²C Sequential Write/Read

For sequential operations (Write or Read), instead of transmitting a Stop or Restart condition after the data transfer, the master clocks the next byte pointed to by the address pointer (see **Section 1.3.1 “Byte Mode and Sequential Mode”** for details regarding sequential operation control).

The sequence ends with the master sending a Stop or Restart condition.

The MCP23017 Address Pointer will roll over to address zero after reaching the last register address.

Refer to Figure 1-1.

1.3.3 SPI INTERFACE

1.3.3.1 SPI Write Operation

The SPI write operation is started by lowering \overline{CS} . The Write command (slave address with R/W bit cleared) is then clocked into the device. The opcode is followed by an address and at least one data byte.

1.3.3.2 SPI Read Operation

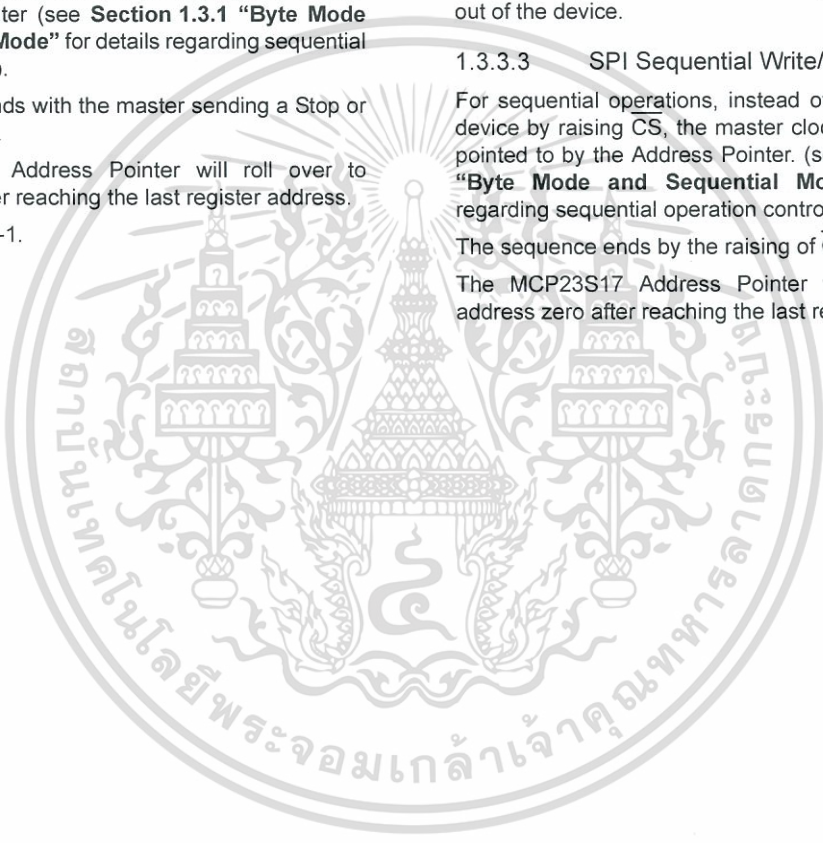
The SPI read operation is started by lowering \overline{CS} . The SPI read command (slave address with R/W bit set) is then clocked into the device. The opcode is followed by an address, with at least one data byte being clocked out of the device.

1.3.3.3 SPI Sequential Write/Read

For sequential operations, instead of deselecting the device by raising \overline{CS} , the master clocks the next byte pointed to by the Address Pointer. (see **Section 1.3.1 “Byte Mode and Sequential Mode”** for details regarding sequential operation control).

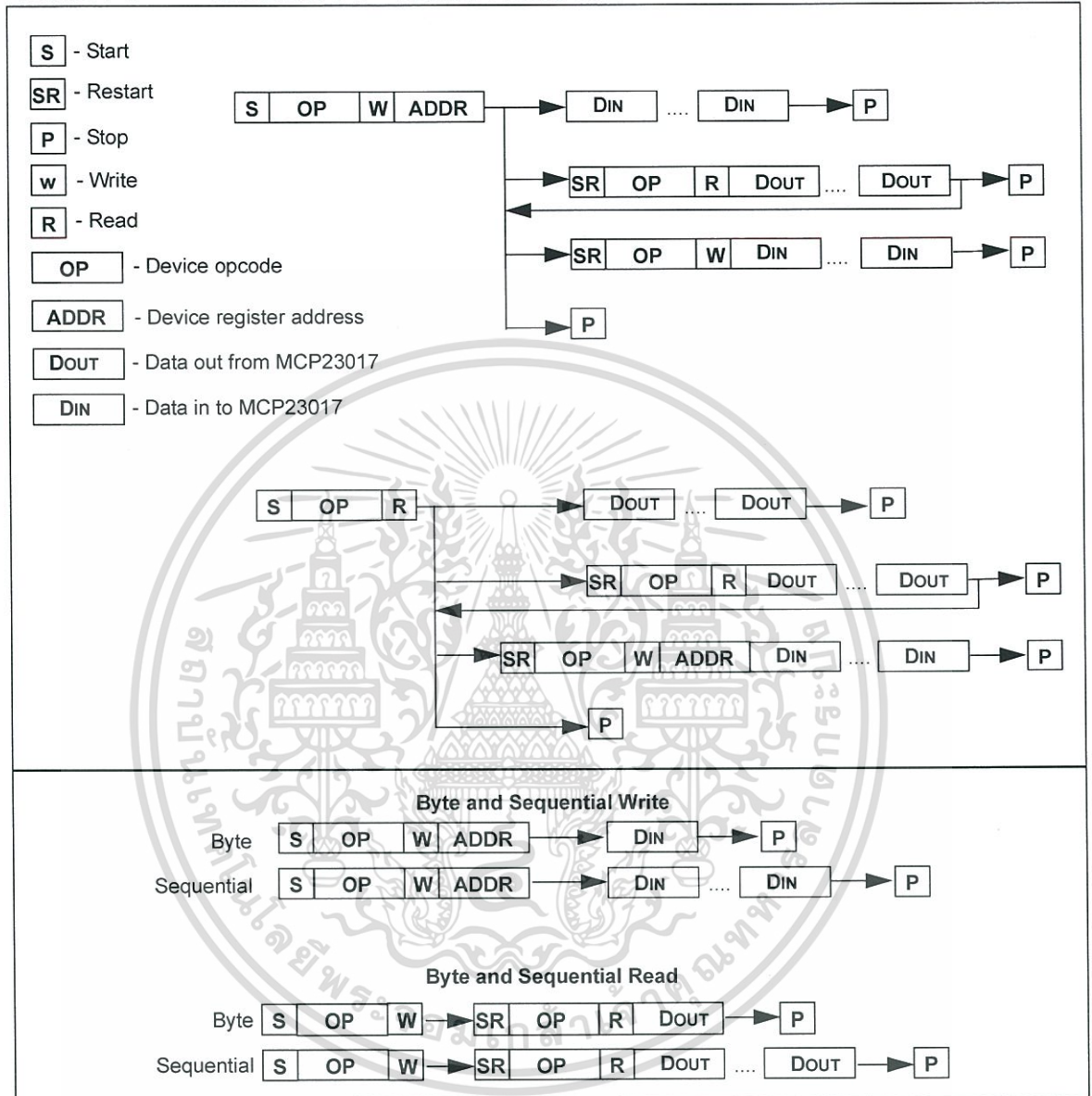
The sequence ends by the raising of \overline{CS} .

The MCP23S17 Address Pointer will roll over to address zero after reaching the last register address.



MCP23017/MCP23S17

FIGURE 1-1: MCP23017 I²C™ DEVICE PROTOCOL



MCP23017/MCP23S17

1.4 Hardware Address Decoder

The hardware address pins are used to determine the device address. To address a device, the corresponding address bits in the control byte must match the pin state. The pins must be biased externally.

1.4.1 ADDRESSING I²C DEVICES (MCP23017)

The MCP23017 is a slave I²C interface device that supports 7-bit slave addressing, with the read/write bit filling out the control byte. The slave address contains four fixed bits and three user-defined hardware address bits (pins A2, A1 and A0). Figure 1-2 shows the control byte format.

1.4.2 ADDRESSING SPI DEVICES (MCP23S17)

The MCP23S17 is a slave SPI device. The slave address contains four fixed bits and three user-defined hardware address bits (if enabled via IOCON.HAEN) with the read/write bit filling out the control byte. Figure 1-3 shows the control byte format. The address pins should be externally biased even if disabled (IOCON.HAEN = 0).

FIGURE 1-2: I²C™ CONTROL BYTE FORMAT

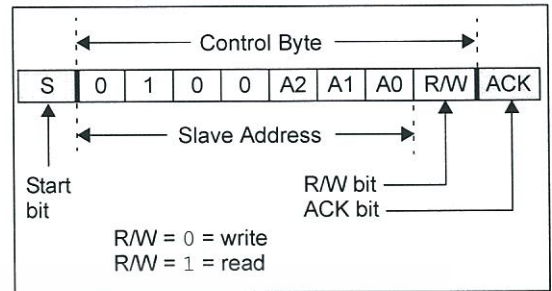


FIGURE 1-3: SPI CONTROL BYTE FORMAT

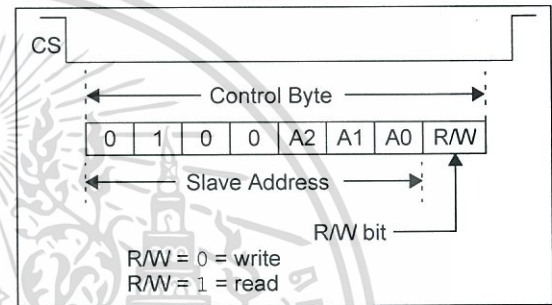


FIGURE 1-4: I²C™ ADDRESSING REGISTERS

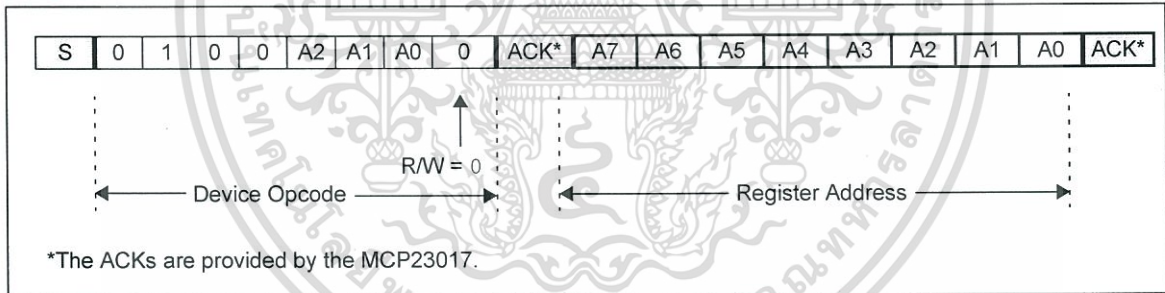
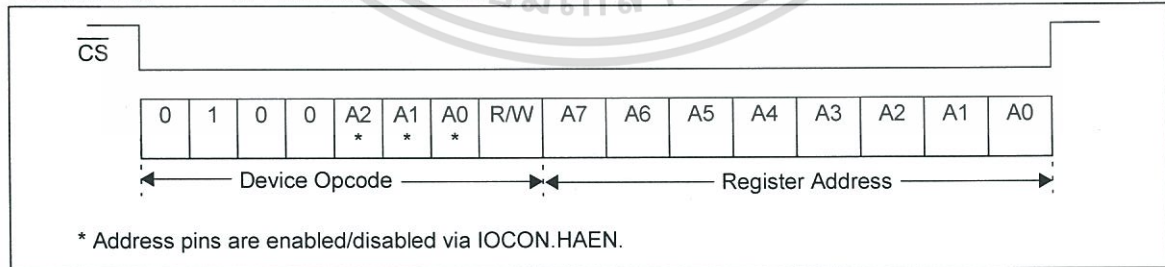


FIGURE 1-5: SPI ADDRESSING REGISTERS



MCP23017/MCP23S17

1.5 GPIO Port

The GPIO module is a general purpose, 16-bit wide, bidirectional port that is functionally split into two 8-bit wide ports.

The GPIO module contains the data ports (GPIO_n), internal pull-up resistors and the output latches (OLAT_n).

Reading the GPIO_n register reads the value on the port. Reading the OLAT_n register only reads the latches, not the actual value on the port.

Writing to the GPIO_n register actually causes a write to the latches (OLAT_n). Writing to the OLAT_n register forces the associated output drivers to drive to the level in OLAT_n. Pins configured as inputs turn off the associated output driver and put it in high-impedance.

TABLE 1-3: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH THE GPIO PORTS (BANK = 1)

Register Name	Address (hex)	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0	POR/RST value
IODIRA	00	IO7	IO6	IO5	IO4	IO3	IO2	IO1	IO0	1111 1111
IPOLA	01	IP7	IP6	IP5	IP4	IP3	IP2	IP1	IP0	0000 0000
GPINTENA	02	GPINT7	GPINT6	GPINT5	GPINT4	GPINT3	GPINT2	GPINT1	GPINT0	0000 0000
GPPUA	06	PU7	PU6	PU5	PU4	PU3	PU2	PU1	PU0	0000 0000
GPIOA	09	GP7	GP6	GP5	GP4	GP3	GP2	GP1	GP0	0000 0000
OLATA	0A	OL7	OL6	OL5	OL4	OL3	OL2	OL1	OL0	0000 0000
IODIRB	10	IO7	IO6	IO5	IO4	IO3	IO2	IO1	IO0	1111 1111
IPOLB	11	IP7	IP6	IP5	IP4	IP3	IP2	IP1	IP0	0000 0000
GPINTENB	12	GPINT7	GPINT6	GPINT5	GPINT4	GPINT3	GPINT2	GPINT1	GPINT0	0000 0000
GPPUB	16	PU7	PU6	PU5	PU4	PU3	PU2	PU1	PU0	0000 0000
GPIOB	19	GP7	GP6	GP5	GP4	GP3	GP2	GP1	GP0	0000 0000
OLATB	1A	OL7	OL6	OL5	OL4	OL3	OL2	OL1	OL0	0000 0000

TABLE 1-4: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH THE GPIO PORTS (BANK = 0)

Register Name	Address (hex)	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0	POR/RST value
IODIRA	00	IO7	IO6	IO5	IO4	IO3	IO2	IO1	IO0	1111 1111
IODIRB	01	IO7	IO6	IO5	IO4	IO3	IO2	IO1	IO0	1111 1111
IPOLA	02	IP7	IP6	IP5	IP4	IP3	IP2	IP1	IP0	0000 0000
IPOLB	03	IP7	IP6	IP5	IP4	IP3	IP2	IP1	IP0	0000 0000
GPINTENA	04	GPINT7	GPINT6	GPINT5	GPINT4	GPINT3	GPINT2	GPINT1	GPINT0	0000 0000
GPINTENB	05	GPINT7	GPINT6	GPINT5	GPINT4	GPINT3	GPINT2	GPINT1	GPINT0	0000 0000
GPPUA	0C	PU7	PU6	PU5	PU4	PU3	PU2	PU1	PU0	0000 0000
GPPUB	0D	PU7	PU6	PU5	PU4	PU3	PU2	PU1	PU0	0000 0000
GPIOA	12	GP7	GP6	GP5	GP4	GP3	GP2	GP1	GP0	0000 0000
GPIOB	13	GP7	GP6	GP5	GP4	GP3	GP2	GP1	GP0	0000 0000
OLATA	14	OL7	OL6	OL5	OL4	OL3	OL2	OL1	OL0	0000 0000
OLATB	15	OL7	OL6	OL5	OL4	OL3	OL2	OL1	OL0	0000 0000

MCP23017/MCP23S17

1.6 Configuration and Control Registers

There are 21 registers associated with the MCP23X17, as shown in Table 1-5 and Table 1-6. The two tables show the register mapping with the two BANK bit values. Ten registers are associated with PortA and ten

are associated with PortB. One register (IOCON) is shared between the two ports. The PortA registers are identical to the PortB registers, therefore, they will be referred to without differentiating between the port designation (i.e., they will not have the “A” or “B” designator assigned) in the register tables.

TABLE 1-5: CONTROL REGISTER SUMMARY (IOCON.BANK = 1)

Register Name	Address (hex)	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0	POR/RST value
IODIRA	00	IO7	IO6	IO5	IO4	IO3	IO2	IO1	IO0	1111 1111
IPOLA	01	IP7	IP6	IP5	IP4	IP3	IP2	IP1	IP0	0000 0000
GPINTENA	02	GPINT7	GPINT6	GPINT5	GPINT4	GPINT3	GPINT2	GPINT1	GPINT0	0000 0000
DEFVALA	03	DEF7	DEF6	DEF5	DEF4	DEF3	DEF2	DEF1	DEF0	0000 0000
INTCONA	04	IOC7	IOC6	IOC5	IOC4	IOC3	IOC2	IOC1	IOC0	0000 0000
IOCON	05	BANK	MIRROR	SEQOP	DISSLW	HAEN	ODR	INTPOL	—	0000 0000
GPPUA	06	PU7	PU6	PU5	PU4	PU3	PU2	PU1	PU0	0000 0000
INTFA	07	INT7	INT6	INT5	INT4	INT3	INT2	INT1	INT0	0000 0000
INTCAPA	08	ICP7	ICP6	ICP5	ICP4	ICP3	ICP2	ICP1	ICP0	0000 0000
GPIOA	09	GP7	GP6	GP5	GP4	GP3	GP2	GP1	GP0	0000 0000
OLATA	0A	OL7	OL6	OL5	OL4	OL3	OL2	OL1	OL0	0000 0000
IODIRB	10	IO7	IO6	IO5	IO4	IO3	IO2	IO1	IO0	1111 1111
IPOLB	11	IP7	IP6	IP5	IP4	IP3	IP2	IP1	IP0	0000 0000
GPINTENB	12	GPINT7	GPINT6	GPINT5	GPINT4	GPINT3	GPINT2	GPINT1	GPINT0	0000 0000
DEFVALB	13	DEF7	DEF6	DEF5	DEF4	DEF3	DEF2	DEF1	DEF0	0000 0000
INTCONB	14	IOC7	IOC6	IOC5	IOC4	IOC3	IOC2	IOC1	IOC0	0000 0000
IOCON	15	BANK	MIRROR	SEQOP	DISSLW	HAEN	ODR	INTPOL	—	0000 0000
GPPUB	16	PU7	PU6	PU5	PU4	PU3	PU2	PU1	PU0	0000 0000
INTFB	17	INT7	INT6	INT5	INT4	INT3	INT2	INT1	INT0	0000 0000
INTCAPB	18	ICP7	ICP6	ICP5	ICP4	ICP3	ICP2	ICP1	ICP0	0000 0000
GPIOB	19	GP7	GP6	GP5	GP4	GP3	GP2	GP1	GP0	0000 0000
OLATB	1A	OL7	OL6	OL5	OL4	OL3	OL2	OL1	OL0	0000 0000

MCP23017/MCP23S17

TABLE 1-6: CONTROL REGISTER SUMMARY (IOCON.BANK = 0)

Register Name	Address (hex)	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0	POR/RST value
IODIRA	00	IO7	IO6	IO5	IO4	IO3	IO2	IO1	IO0	1111 1111
IODIRB	01	IO7	IO6	IO5	IO4	IO3	IO2	IO1	IO0	1111 1111
IPOLA	02	IP7	IP6	IP5	IP4	IP3	IP2	IP1	IP0	0000 0000
IPOLB	03	IP7	IP6	IP5	IP4	IP3	IP2	IP1	IP0	0000 0000
GPINTENA	04	GPINT7	GPINT6	GPINT5	GPINT4	GPINT3	GPINT2	GPINT1	GPINT0	0000 0000
GPINTENB	05	GPINT7	GPINT6	GPINT5	GPINT4	GPINT3	GPINT2	GPINT1	GPINT0	0000 0000
DEFVALA	06	DEF7	DEF6	DEF5	DEF4	DEF3	DEF2	DEF1	DEF0	0000 0000
DEFVALB	07	DEF7	DEF6	DEF5	DEF4	DEF3	DEF2	DEF1	DEF0	0000 0000
INTCONA	08	IOC7	IOC6	IOC5	IOC4	IOC3	IOC2	IOC1	IOC0	0000 0000
INTCONB	09	IOC7	IOC6	IOC5	IOC4	IOC3	IOC2	IOC1	IOC0	0000 0000
IOCON	0A	BANK	MIRROR	SEQOP	DISSLW	HAEN	ODR	INTPOL	—	0000 0000
IOCON	0B	BANK	MIRROR	SEQOP	DISSLW	HAEN	ODR	INTPOL	—	0000 0000
GPPUA	0C	PU7	PU6	PU5	PU4	PU3	PU2	PU1	PU0	0000 0000
GPPUB	0D	PU7	PU6	PU5	PU4	PU3	PU2	PU1	PU0	0000 0000
INTFA	0E	INT7	INT6	INT5	INT4	INT3	INT2	INT1	INT0	0000 0000
INTFB	0F	INT7	INT6	INT5	INT4	INT3	INT2	INT1	INT0	0000 0000
INTCAPA	10	ICP7	ICP6	ICP5	ICP4	ICP3	ICP2	ICP1	ICP0	0000 0000
INTCAPB	11	ICP7	ICP6	ICP5	ICP4	ICP3	ICP2	ICP1	ICP0	0000 0000
GPIOA	12	GP7	GP6	GP5	GP4	GP3	GP2	GP1	GP0	0000 0000
GPIOB	13	GP7	GP6	GP5	GP4	GP3	GP2	GP1	GP0	0000 0000
OLATA	14	OL7	OL6	OL5	OL4	OL3	OL2	OL1	OL0	0000 0000
OLATB	15	OL7	OL6	OL5	OL4	OL3	OL2	OL1	OL0	0000 0000

LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902



ON Semiconductor®

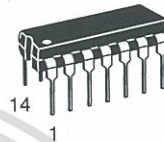
www.onsemi.com

Single Supply Quad Operational Amplifiers

The LM324 series are low-cost, quad operational amplifiers with true differential inputs. They have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. The quad amplifier 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.

Features

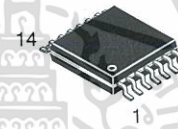
- Short Circuited Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V
- Low Input Bias Currents: 100 nA Maximum (LM324A)
- Four Amplifiers Per Package
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Industry Standard Pinouts
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness without Affecting Device Operation
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Unique Site and Control Change Requirements; AEC-Q100 Qualified and PPAP Capable
- These Devices are Pb-Free, Halogen Free/BFR Free and are RoHS Compliant



PDIP-14
N SUFFIX
CASE 648

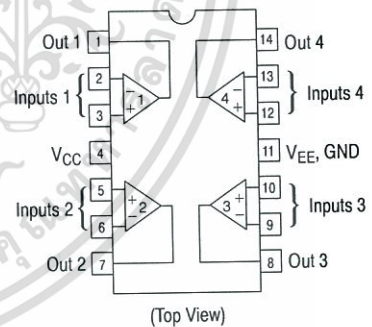


SOIC-14
D SUFFIX
CASE 751A



TSSOP-14
DTB SUFFIX
CASE 948G

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.

LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902

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

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltages Single Supply Split Supplies	V_{CC} V_{CC}, V_{EE}	32 ± 16	Vdc
Input Differential Voltage Range (Note 1)	V_{IDR}	± 32	Vdc
Input Common Mode Voltage Range (Note 2)	V_{ICR}	-0.3 to 32	Vdc
Output Short Circuit Duration	t_{SC}	Continuous	
Junction Temperature	T_J	150	$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction-to-Air (Note 3)	Case 646 Case 751A Case 948G $R_{\theta JA}$	118 156 190	$^\circ\text{C/W}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$
Operating Ambient Temperature Range	T_A	-25 to +85 0 to +70 -40 to +105 -40 to +125	$^\circ\text{C}$

Stresses exceeding those listed in the Maximum Ratings table may damage the device. If any of these limits are exceeded, device functionality should not be assumed, damage may occur and reliability may be affected.

1. Split Power Supplies.
2. For supply voltages less than 32 V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
3. All $R_{\theta JA}$ measurements made on evaluation board with 1 oz. copper traces of minimum pad size. All device outputs were active.
4. NCV2902 is qualified for automotive use.

ESD RATINGS

Rating	HBM	MM	Unit
ESD Protection at any Pin (Human Body Model – HBM, Machine Model – MM)			
NCV2902 (Note 4)	2000	200	V
LM324E, LM2902E	2000	200	V
LM324DR2G, LM2902DR2G	200	100	V
All Other Devices	2000	200	V

LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902

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

Characteristics	Symbol	LM224			LM324A			LM324, LM324E			LM2902, LM2902E			LM2902V/NCV2902			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ to 30 V $V_{ICR} = 0\text{ V}$ 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 5) $T_A = T_{\text{low}}$ (Note 5)	V_{IO}	-	2.0	5.0	-	2.0	3.0	-	2.0	7.0	-	2.0	7.0	-	2.0	7.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Notes 5 and 7)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	7.0	-	-	7.0	30	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 5)	I_{IO}	-	3.0	30	-	5.0	30	-	5.0	50	-	5.0	50	-	5.0	50	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Notes 5 and 7)	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	10	-	-	10	300	-	10	-	-	10	-	-	10	-	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 5)	I_{IB}	-	-90	-150	-	-45	-100	-	-90	-250	-	-90	-250	-	-90	-250	nA
Input Common Mode Voltage Range (Note 6) $V_{CC} = 30\text{ V}$ $T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 5)	V_{ICR}	0	-	28.3	0	-	28.3	0	-	28.3	0	-	28.3	0	-	28.3	V
Differential Input Voltage Range	V_{IDR}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	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 5)	A_{VOL}	50	100	-	25	100	-	25	100	-	25	100	-	25	100	-	V/mV
Channel Separation $10\text{ kHz} \leq f \leq 20\text{ kHz}$, Input Referenced	CS	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	dB
Common Mode Rejection, $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	CMR	70	85	-	65	70	-	65	70	-	50	70	-	50	70	-	dB
Power Supply Rejection	PSR	65	100	-	65	100	-	65	100	-	50	100	-	50	100	-	dB

5. LM224: $T_{\text{low}} = -25^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +85^\circ\text{C}$
 LM324/LM324A/LM324E: $T_{\text{low}} = 0^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +70^\circ\text{C}$
 LM2902/LM2902E: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +105^\circ\text{C}$
 LM2902V & NCV2902: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +125^\circ\text{C}$
 NCV2902 is qualified for automotive use.

6. 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 $V_{CC} - 1.7\text{ V}$, but either or both inputs can go to +32 V without damage, independent of the magnitude of V_{CC} .
7. Guaranteed by design.

LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = 5.0 V, V_{EE} = GND, T_A = 25°C, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	LM224			LM324A			LM324, LM324E			LM2902, LM2902E			LM2902V/NCV2902			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage – High Limit V _{CC} = 5.0 V, R _L = 2.0 kΩ, T _A = 25°C V _{CC} = 30 V R _L = 2.0 kΩ (T _A = T _{high} to T _{low}) (Note 8) V _{CC} = 30 V R _L = 10 kΩ (T _A = T _{high} to T _{low}) (Note 8)	V _{OH}	3.3	3.5	–	3.3	3.5	–	3.3	3.5	–	3.3	3.5	–	3.3	3.5	–	V
Output Voltage – Low Limit, V _{CC} = 5.0 V, R _L = 10 kΩ, T _A = T _{high} to T _{low} (Note 8)	V _{OL}	–	5.0	20	–	5.0	20	–	5.0	20	–	5.0	100	–	5.0	100	mV
Output Source Current (V _{ID} = +1.0 V, V _{CC} = 15 V) T _A = 25°C T _A = T _{high} to T _{low} (Note 8)	I _{O+}	20	40	–	20	40	–	20	40	–	20	40	–	20	40	–	mA
Output Sink Current (V _{ID} = –1.0 V, V _{CC} = 15 V) T _A = 25°C T _A = T _{high} to T _{low} (Note 8) (V _{ID} = –1.0 V, V _O = 200 mV, T _A = 25°C)	I _{O–}	10	20	–	10	20	–	10	20	–	10	20	–	10	20	–	mA
Output Short Circuit to Ground (Note 9)	I _{SC}	–	40	60	–	40	60	–	40	60	–	40	60	–	40	60	mA
Power Supply Current (T _A = T _{high} to T _{low}) (Note 8) V _{CC} = 30 V V _O = 0 V, R _L = ∞ V _{CC} = 5.0 V, V _O = 0 V, R _L = ∞	I _{CC}	–	–	3.0	–	1.4	3.0	–	–	3.0	–	–	3.0	–	–	3.0	mA

8. LM224: T_{low} = –25°C, T_{high} = +85°C
 LM324/LM324A/LM324E: T_{low} = 0°C, T_{high} = +70°C
 LM2902/LM2902E: T_{low} = –40°C, T_{high} = +105°C
 LM2902V & NCV2902: T_{low} = –40°C, T_{high} = +125°C
 NCV2902 is qualified for automotive use.

9. 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 V, but either or both inputs can go to +32 V without damage, independent of the magnitude of V_{CC}.

LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902

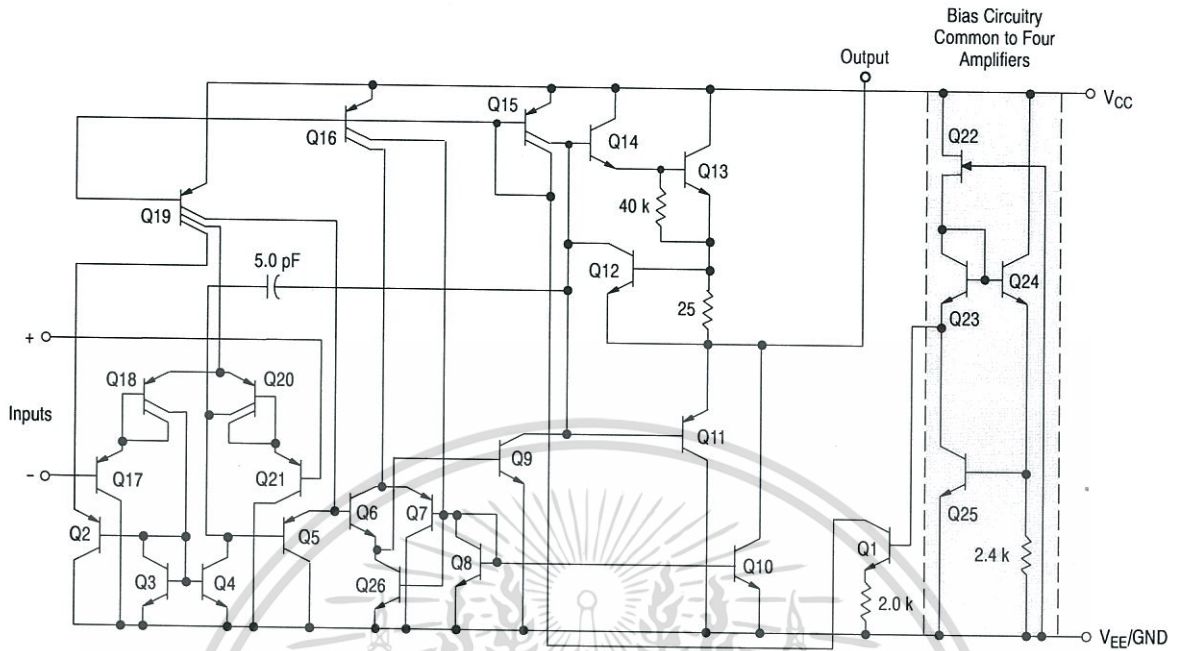


Figure 1. Representative Circuit Diagram
(One-Fourth of Circuit Shown)

CIRCUIT DESCRIPTION

The LM324 series is made using four 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.

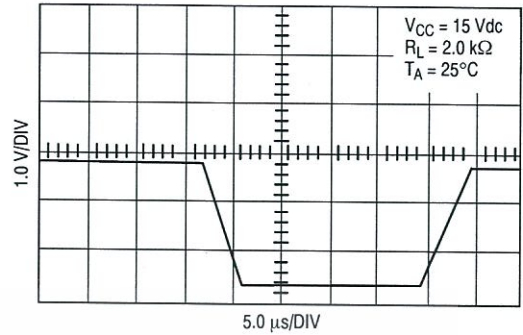


Figure 2. Large Signal Voltage Follower Response

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.

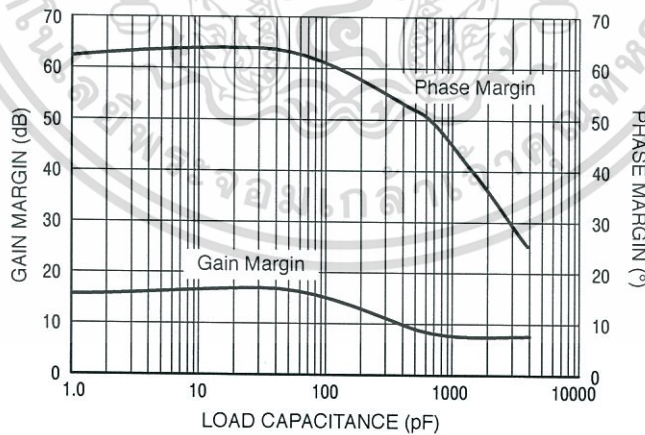


Figure 4. Gain and Phase Margin

LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902

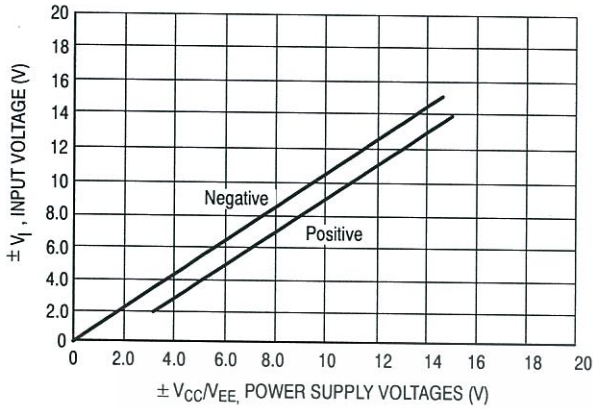


Figure 5. Input Voltage Range

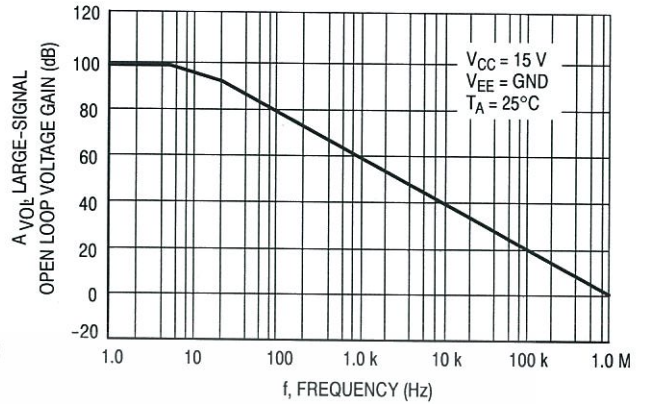


Figure 6. Open Loop Frequency

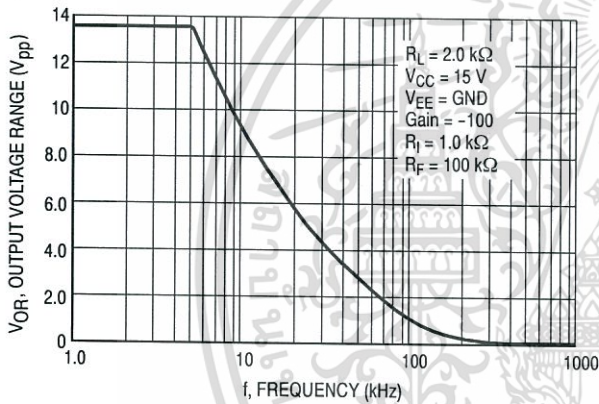


Figure 7. Large-Signal Frequency Response

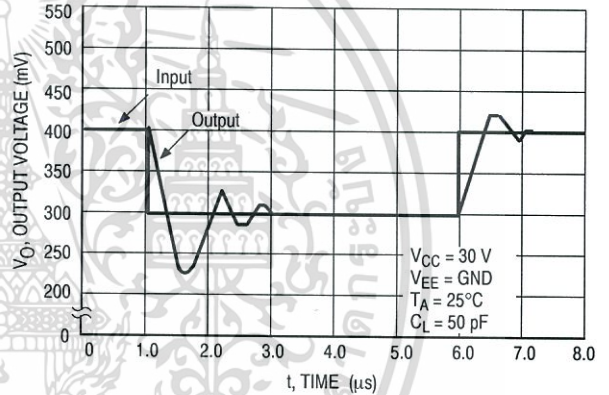


Figure 8. Small-Signal Voltage Follower Pulse Response (Noninverting)

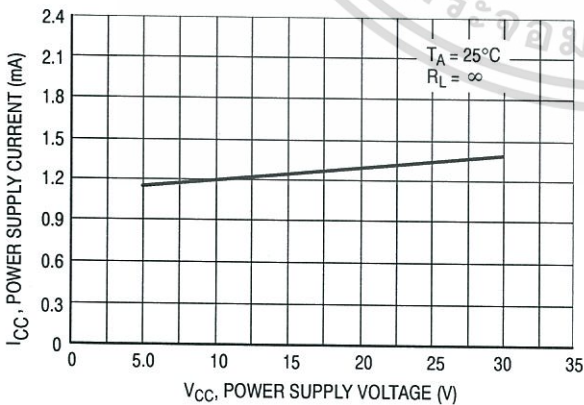


Figure 9. Power Supply Current versus Power Supply Voltage

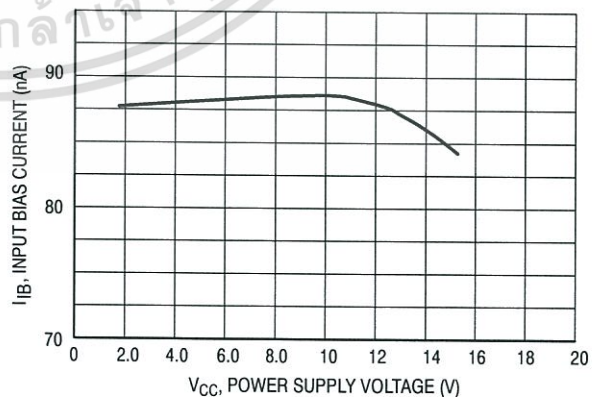


Figure 10. Input Bias Current versus Power Supply Voltage

LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902

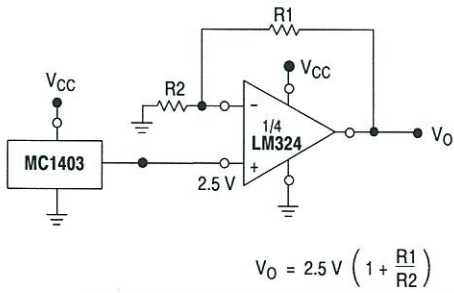


Figure 11. Voltage Reference

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

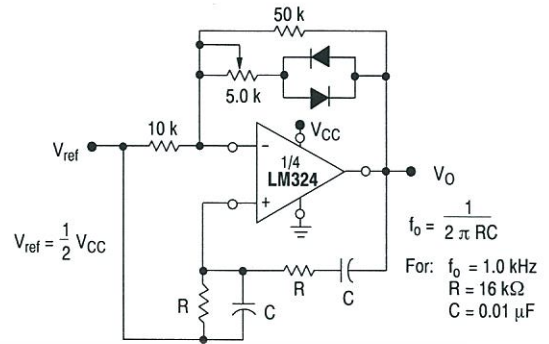


Figure 12. Wien Bridge Oscillator

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

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

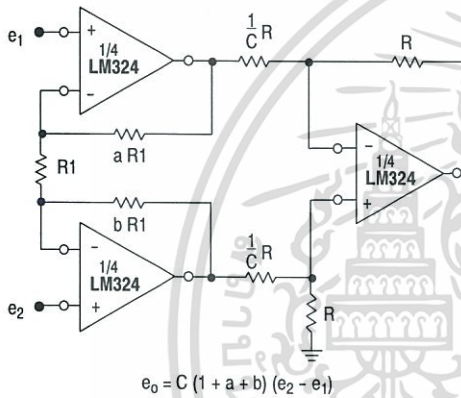


Figure 13. High Impedance Differential Amplifier

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

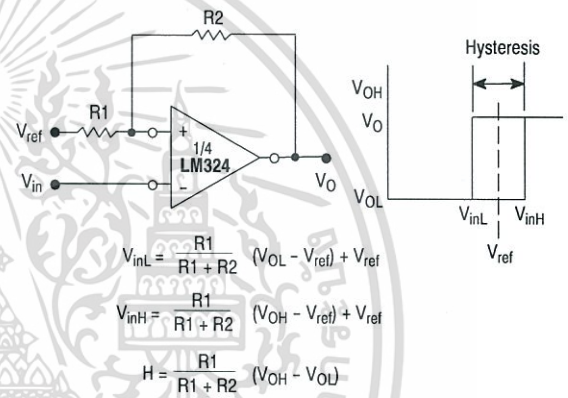


Figure 14. Comparator with Hysteresis

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

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

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

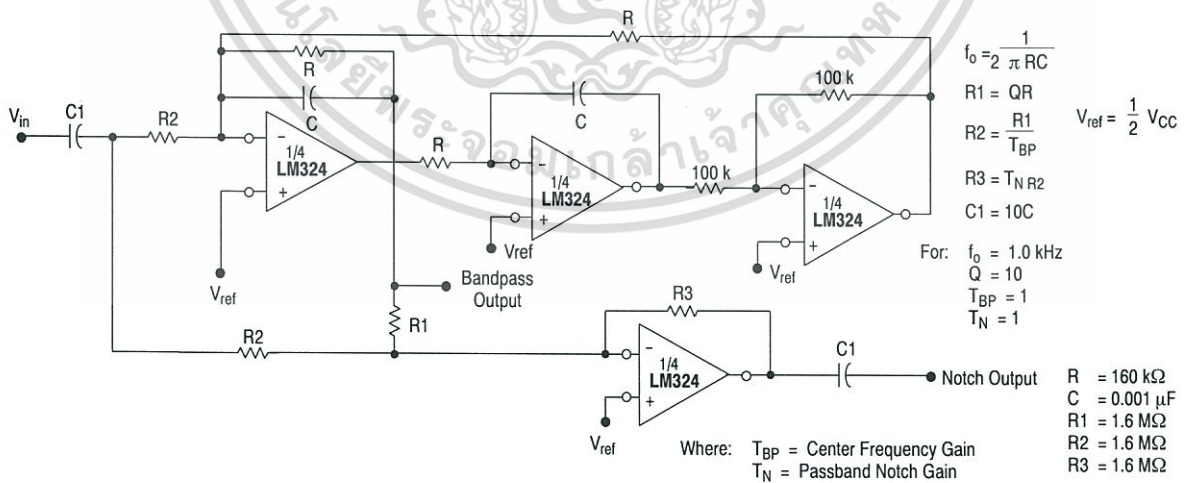


Figure 15. Bi-Quad Filter

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

$$R1 = QR$$

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

$$R3 = T_N R2$$

$$C1 = 10C$$

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

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

LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902

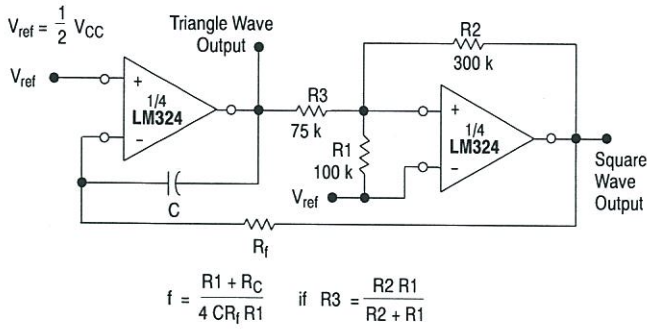


Figure 16. Function Generator

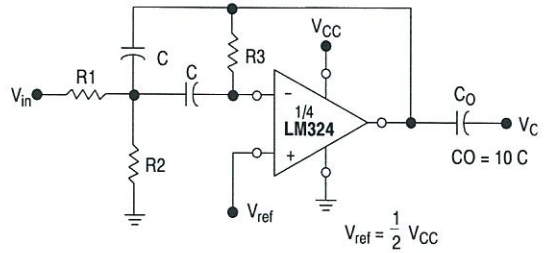


Figure 17. Multiple Feedback Bandpass Filter

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

Choose value f_0, C

Then: $R3 = \frac{Q}{\pi f_0 C}$

$R1 = \frac{R3}{2 A(f_0)}$

$R2 = \frac{R1 R3}{4Q^2 R1 - R3}$

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.





深圳市昱申科技有限公司

CHINA YOUNG SUN LED TECHNOLOGY CO., LTD.

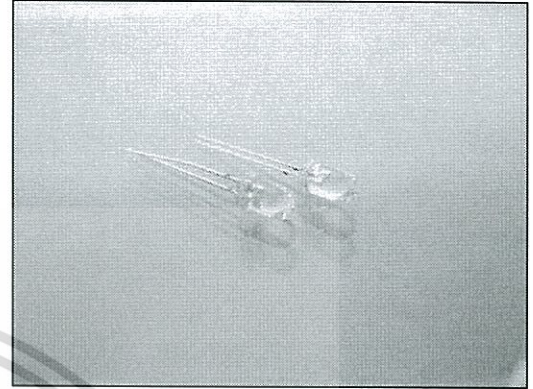
TEL: (86) 755-28079401 28079402 28079403 28079404 28079405

FAX: (86) 755-28079407 E-mail: info@100LED.com Web: www.100LED.com

Model No.: YSL-R542G5C-A14

Applications:

- Decorations
- Advertising Sign
- Indicators
- Illuminations
- Traffic Lights
- Flashlights



Absolute Maximum Ratings: (Ta=25 °C) .

ITEMS	Symbol	Absolute Maximum Rating	Unit
Forward Current	I _F	20	mA
Peak Forward Current	I _{FP}	30	mA
Suggestion Using Current	I _{SU}	16-18	mA
Reverse Current (V _R =5V)	I _R	10	uA
Power Dissipation	P _D	105	mW
Operation Temperature	T _{OPR}	-40 ~ 85	°C
Storage Temperature	T _{STG}	-40 ~ 100	°C
Lead Soldering Temperature	T _{SOL}	Max. 260°C for 3 Sec. Max. (3mm from the base of the epoxy bulb)	

Absolute Maximum Ratings: (Ta=25 °C)

ITEMS	Symbol	Test condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Forward Voltage	V _F	I _F =20mA	3.2	---	3.4	V
Wavelength (nm) or TC(k)	Δλ	I _F =20mA	520	---	525	nm
*Luminous intensity	I _v	I _F =20mA	10000	---	13000	mcd
50% Viewing Angle	2θ 1/2	I _F =20mA	---	---	10	deg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Address: 5/F, Building B, Anzhihong Indl., Qinghua East Road, Longhua Town, Shenzhen, CHINA. 518109

ONE HUNDRED LED

PERFECT LED

www.100LED.com



深圳市昱申科技有限公司

CHINA YOUNG SUN LED TECHNOLOGY CO., LTD.

TEL: (86) 755-28079401 28079402 28079403 28079404 28079405
 FAX: (86) 755-28079407 E-mail: info@100LED.com Web: www.100LED.com

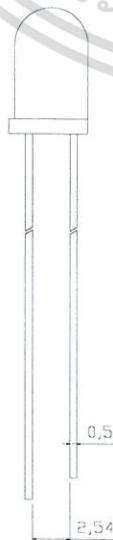
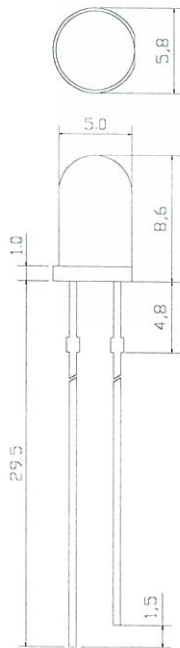
Light Degradation in mcd: (I_F=20mA)

Hours Colors	Light Degradation in mcd after Different Hours					
	216 Hrs	360 Hrs	792 Hrs	1104 Hrs	1992 Hrs	2328 Hrs
Red	1.52%	-1.22%	-3.10%	-4.68%	-5.72%	-8.27%
Yellow	-1.71%	-2.97%	-5.93%	-8.13%	-8.90%	-11.10%
Blue	3.13%	-0.33%	-3.84%	-8.23%	-21.32%	-24.92%
Green	-8.02%	-9.78%	-14.25%	-17.37%	-20.79%	-22.30%
Hours	48 Hrs	168 Hrs	336 Hrs	360Hrs	720 Hrs	1008 Hrs
Cool White	10.56%	6.72%	-2.29%	-7.68%	-17.32%	-22.48%
Pure White	13.66%	8.22%	-1.45%	-8.50%	-19.52%	-25.26%
Warm White	3.02%	-4.38%	-15.18%	-21.15%	-27.19%	-29.97%

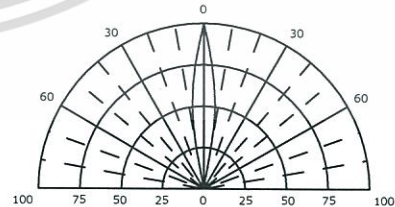
Mechanical Dimensions:

- ☐ All dimension are in mm, tolerance is ±0.2mm unless otherwise noted
- ☐ An epoxy meniscus may extend about 1.5mm down the leads.
- ☐ Burr around bottom of epoxy may be 0.5mm Maximum

Unit: mm



☐ Viewing Angle Drawing



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Address: 5/F, Building B, Anzhilong Indl., Qinghua East Road, Longhua Town, Shenzhen, CHINA. 518109



深圳市昱申科技有限公司

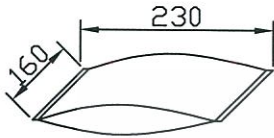
CHINA YOUNG SUN LED TECHNOLOGY CO., LTD.

TEL: (86) 755-28079401 28079402 28079403 28079404 28079405

FAX: (86) 755-28079407 E-mail: info@100LED.com Web: www.100LED.com

Packing Information:

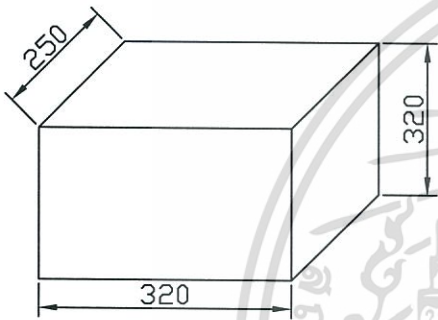
1. Anti-static bag



Unit: mm

200 - 500pcs per bag

With 1 little bag of drier inside



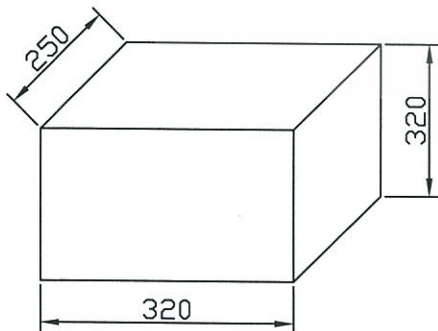
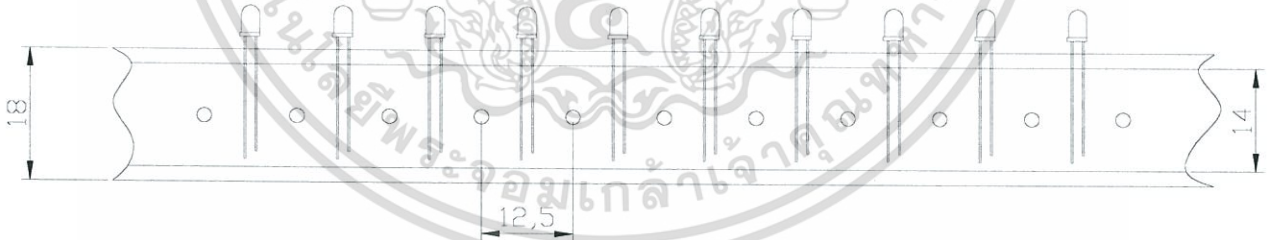
Middle Box

30 - 40 bags per box

15-20K pcs per box

Anti-static Tube Packaging Information:

Unit: mm



Middle Box

Taping dimension can be adjusted to customer's requirements.

8-10 Layers per box

16K-20K pcs per box

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Address: 5/F, Building B, Anzhihong Indl., Qinghua East Road, Longhua Town, Shenzhen, CHINA. 518109

www.100LED.com

ONE HUNDRED LED

PERFECT LED



深圳市昱申科技有限公司

CHINA YOUNG SUN LED TECHNOLOGY CO., LTD.

TEL: (86) 755-28079401 28079402 28079403 28079404 28079405

FAX: (86) 755-28079407 E-mail: info@100LED.com Web: www.100LED.com

Code System:

YSL-R542G5C-A14



1. Company Code, short for Young Sun

2. Code for LED series.

3. Code for LED Type.

R: Round B: Bullet C: Columnar O: Oval
 H: Helmet Q: Square V: Concave P: Pagoda
 S: Strawhat D: Special

4. Code for LED Lens Type.

5. Code for Lead Frame of LED

6. Code for Lead Frame Code of LED

7. Code for Wavelength Color

8. Code for Lens color

C: Water Clear W: White Diffused D: Color Diffused T: Color Transparent

9. Code for Viewing Angle

A: 1-10 B: 10-20 C: 20-30 D: 30-40 E: 40-60 F: 60-90 G: 90-120 H: >120

10. Luminous Intensity Grade:

1: 1-50mcd	4: 200-300mcd	7: 800-1000mcd	10: 2000-3000mcd	14: 10000-13000mcd
2: 50-100mcd	5: 300-500mcd	8: 1000-1500mcd	11: 3000-5000mcd	15: 13000-15000mcd
3: 100-200mcd	6: 500-800mcd	9: 1500-2000mcd	12: 5000-8000mcd	16: 15000-20000mcd
			13: 8000-10000mcd	17: 20000~mcd

Warrantee:

In order to make the LEDs lifespan longer, please set the input current below 20mA.

Electrical & Optical Characteristics consistency of same items all shipments.

Notes:

Please use LEDs based on our datasheet.

LED is sensitive to statics, be sure your equipments are anti-static when you use our LEDs.

Pay more attention to your heat dissipation system when you use it, the better heat dissipation, the longer LED lifespan.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Address: 5/F, Building B, AnzhiLong Indl., Qinghua East Road, Longhua Town, Shenzhen, CHINA. 518109

ONE HUNDRED LED

www.100LED.com

PERFECT LED