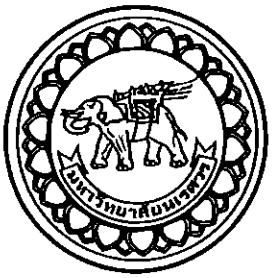
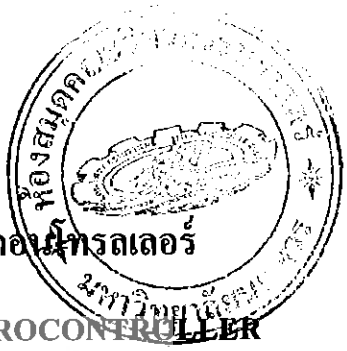




เครื่องคัดแยกวัตถุด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

OBJECT SEPARATOR BY USING MICROCONTROLLER

นายรัฐศักดิ์ ดายี่ รหัส 51361681

นายสิรดนัย ศิริสุนทร รหัส 51361810

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 12 พ.ย. 2555
เลขทะเบียน 1605477
เลขเรียกหนังสือ ว/ร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ร36ก 2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน เครื่องคัดแยกวัตถุด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

ผู้ดำเนินโครงงาน นายรัฐศักดิ์ คายี่ รหัส 51361681

นายสิรดนัย ศิริสุนทร รหัส 51361810

ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ แย้มเม่น

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2554

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ แย้มเม่น)

.....กรรมการ

(ดร. แคทรียา สุวรรณศรี)

.....กรรมการ

(ดร. มุฑิตา สงฆ์จันทร์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	เครื่องคัดแยกวัตถุด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายรัฐศักดิ์ ดายี่ รหัส 51361681
	นายสิรดนัย ศิริสุนทร รหัส 51361810
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ แย้มเม่น
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2554

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้นำเสนอการพัฒนาเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยมวลบนสายพานโดยการประยุกต์ใช้โหลดเซลล์และไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแก้ไขปัญหาความผิดพลาดในการคัดแยกวัตถุอันเนื่องมาจากความเหนื่อยล้าแรงงานคนเมื่อทำงานติดต่อกันเป็นระยะเวลานานในการคัดแยกวัตถุ เครื่องคัดแยกที่พัฒนาขึ้นนี้ ได้ใช้โหลดเซลล์ในการชั่งมวลของวัตถุบนสายพาน ต่อมาส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าไปสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ (30F4011) เพื่อประมวลผลข้อมูลและแสดงค่ามวลเป็นตัวเลขบนจอแอลซีดี พร้อมทั้งส่งสัญญาแรงดันขาออกไปขับมอเตอร์ให้มีทิศทางบังคับประตูคัดแยกวัตถุตามเกณฑ์มวล จากผลการทดสอบเทียบโหลดเซลของเครื่องชั่งบนสายพานกับวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน 10 ระดับ (100, 200, 300, ... , 1000 กรัม) พบว่า เครื่องชั่งที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้เที่ยงตรงอยู่ระดับ ± 0.6 กรัม เมื่อนำวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน 10 ระดับเหล่านี้มาวางบนสายพานที่วิ่งด้วยอัตราเร็ว 5 กรณี คือ อัตราเร็ว 0, 5, 10, 15 และ 20 เมตร/นาที และได้อ่านค่ามวลของวัตถุจากจอแอลซีดี รวมทั้งทดสอบระดับละ 5 ครั้งในแต่ละอัตราเร็วของสายพาน พบว่าได้ค่าสูงสุดของความผิดพลาด MAE เท่ากับ 2.2 กรัม กรณี 300 กรัมด้วยอัตราเร็ว 20 เมตร/นาทีและค่าต่ำสุดของความผิดพลาด MAE เท่ากับ 0.2 กรัม กรณี 800 กรัมเมื่อหยุดเดินสายพาน นอกจากนี้จากผลการทดลองการคัดแยกวัตถุที่มีมวลมาตรฐานขนาด 10, 20, 20, 50, 100, 100 และ 200 กรัม พบว่า เครื่องคัดแยกที่พัฒนาขึ้นสามารถคัดแยกวัตถุขนาดต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยที่มีค่าความความถูกต้องในการคัดแยกร้อยละ 100 และ 85.71 ในกรณีอัตราเร็วของสายพาน 5, 10 เมตร/นาที และอัตราเร็วของสายพาน 15, 20 เมตร/นาที ตามลำดับ

Project title	Object separator by using microcontroller	
Name	Mr. Rattasak Dayee	ID. 51361681
	Mr. Siradanai Sirisunthorn	ID. 51361810
Project advisor	Assistant Professor Suchart Yammen, Ph.D.	
Major	Electrical Engineering	
Department	Electrical and Computer Engineering	
Academic year	2011	

Abstract

This project presents the development of an object separator with a mass on the movable belt by using four load cells and a micro-controller to solve the mistake of separating the object due to the fatigue of labor on the continuously long period of object separation. The developed separation consists of the four load cells used for weighing the mass of the object on the movable belt conveyor. The voltage signal of the mass is next sent to the microcontroller (30F4011) for processing and displaying the mass data on the liquid crystal display (LCD), and also sent the output voltage to drive the motor corresponding to the direction of the door separating objects following as the mass criteria. From the results with the load cell calibration of the weigher on the movable belt conveyer with a criteria mass of 10 levels (100, 200, 300, ..., 1000 g), it was found that the developed weigher can appropriately work out in the accuracy level of 0.6 grams. Furthermore, 10 testing objects were placed on the developed conveyor belt run in the speed of 0, 5, 10, 15 and 20 m/min and read the mass of the objects on the LCD. The test was five times per each speed of the conveyor belt. It was found that the maximum value of the MAE is 2.2 grams in case of 300 grams at the belt speed of 20 meters per minute and the minimum value of the MAE is 0.2 grams in case of 800 grams at the belt speed of 0 meter per minute. Moreover, according to the separation results with testing mass of seven object sizes: 10, 20, 20, 50, 100, 100 and 200 grams, it was found that the developed separator can efficiently grade different sizes of the mass, where the separation accuracy is 100% and 85.71% in case of the conveyor belt speed of 5-10 m/min and 15-20 m/min, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แย้มเม่น ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานและให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญานิพนธ์ คณะผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

ขอขอบพระคุณ ดร.แคทรียา สุวรรณศรี และดร.มุฑิตา สงฆ์จันทร์ ซึ่งเป็นคณะกรรมการในการสอบโครงงานที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทาง และข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ในโครงงานนี้ ทำให้โครงงานออกมาสมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร.นิพัทธ์ จันทรมินทร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้รับผิดชอบรายวิชาโครงงานวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษาในการพิมพ์รูปเล่มปริญญานิพนธ์ รวมถึงแก้ไขปรับปรุงให้รูปเล่มปริญญานิพนธ์ให้ถูกต้องตามหลักการพิมพ์และการเย็บเล่มปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณคุณประทีป สังข์แป้น ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการต่อวงจร และการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์

ขอขอบคุณคุณชลีดล อินยาศรี ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับวงจรขยายสัญญาณและวงจรกรองสัญญาณรบกวน

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ยืมอุปกรณ์และใช้ห้องปฏิบัติการ จนทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้มอบความรักความเมตตา สติปัญญา เป็นที่ปรึกษาปัญหาในทุกๆเรื่อง รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จวบจนถึงปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจทำให้ได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้และขอขอบคุณทุกๆคนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงงานที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายรัฐศักดิ์ คายี่
นายสิรดนัย ศิริสุนทร

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อ ..... ข
Abstract ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญรูป ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน 3
1.6 งบประมาณ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทำงาน 4
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC 4
2.2 การเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ 5
2.3 โหลดเซลล์ 8
2.4 มอเตอร์ 10
2.5 เซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยลำแสง 12
2.6 จอแสดงผลแอลซีดี 14
2.7 ออปแอมป์ 15
2.8 วงจรกรองความถี่ 19

บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกวัตถุ 25
3.1 ส่วนประกอบเครื่อง 25
3.2 ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง 25
3.3 การออกแบบและสร้างวงจรใช้งาน 27

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 การประกอบเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 40

3.5 การพัฒนาซอฟแวร์ 50

3.6 การใช้งานเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 57

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง 62

4.1 ผลการทดสอบเทียบโหลดเซลล์กับวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน 62

4.2 ผลการทดลองการคัดแยกวัตถุที่ความเร็วสายพาน 4 ระดับ 66

4.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการชั่งมวลของวัตถุที่ความเร็วสายพาน 4 ระดับ 76

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 82

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน 82

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข 83

5.3 แนวทางในการพัฒนาโครงงาน 85

เอกสารอ้างอิง 86

ภาคผนวก 88

ภาคผนวก ก รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ หมายเลข 30F4011 88

ภาคผนวก ข รายละเอียดของออปแอมป์หมายเลข TL 074 95

ภาคผนวก ค รายละเอียดของอินชัวเมนต์-ออปแอมป์ หมายเลข114AP 99

ภาคผนวก จ รายละเอียดของไอซีเรกกุเลเตอร์ หมายเลข LM7915 105

ภาคผนวก ฉ รายละเอียดของไอซีเรกกุเลเตอร์ หมายเลข LM317 108

ภาคผนวก ช รายละเอียดของจอแอลซีดี 110

ภาคผนวก ซ รายละเอียดของโหลดเซลล์ 112

ภาคผนวก ฌ รายละเอียดของทรานซิสเตอร์ หมายเลข BC 550 114

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 116

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 รูปแบบการทำงานของขาไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข 30F4011 4

2.2 แผนผังการพัฒนาซอฟต์แวร์ด้วย MPLAB C Compiler 8

2.3 วงจรวีตสโตนบริดจ์ของสเตรนเกจ 10

2.4 วงจรมอเตอร์แบบขนาน 10

2.5 วงจรมอเตอร์แบบอนุกรม 10

2.6 วงจรมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร 11

2.7 การทำงานของมอเตอร์ 11

2.8 แผนภาพทฤษฎีการหมุนแบบกลับทางหมุนของมอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์ 12

2.9 การทำงานของเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยลำแสงชนิดตัวรับ-ตัวส่ง 12

2.10 การทำงานของเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยลำแสงชนิดแผ่นสะท้อน 13

2.11 การทำงานของเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยลำแสงชนิดสะท้อนวัตถุโดยตรง 13

2.12 จอแอลซีดี 14

2.13 สัญลักษณ์ของออปแอมป์ 15

2.14 วงจรเทียบเท่าของออปแอมป์ 15

2.15 การต่อไฟเลี้ยงบวกและลบให้แก่ออปแอมป์ 16

2.16 วงจรภายในของออปแอมป์หมายเลข TL074 17

2.17 การประยุกต์ใช้งานวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) 17

2.18 (a) วงจรขยายสัญญาณในการวัดทางอุตสาหกรรมโดยปรับอัตราขยายด้วยตัวต้านทาน 18

2.19 วงจรภายในอินชัวเมนต์-ออปแอมป์ (Instrument amp) หมายเลข114AP 19

2.20 ตำแหน่งขาอินชัวเมนต์-ออปแอมป์ (Instrument amp) หมายเลข114AP 19

2.21 ค่าสูญเสียในช่วงส่งผ่านที่เพิ่มขึ้น 21

2.22 การตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านชนิดบัตเตอร์เวิร์ท 22

3.1 แผนภาพกรอบขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 26

3.2 แผนภาพกรอบแสดงขั้นตอนการทำงานของส่วนรับมวลวัตถุ 26

3.3 แผนภาพกรอบแสดงขั้นตอนการทำงานของส่วนประมวลผล 27

3.4 แผนภาพกรอบแสดงขั้นตอนการทำงานของส่วนแสดงผลและคัดแยกวัตถุ 27

3.5 แผนภาพวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง +5 +12 +15 และ-15 โวลต์ 28

3.6 การออกแบบลายทองแดงและตำแหน่งอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง +5 +12 -15 และ +15 โวลต์ 29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.7 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง +5 +12 +15 และ-15 โวลต์ 29
3.8 แผนภาพวงจรขยายสัญญาณและวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 30
3.9 กราฟผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ท 31
3.10 การออกแบบลายทองแดงวงจรขยายสัญญาณและกรองผ่านความถี่ต่ำ 31
3.11 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรขยายสัญญาณและกรองผ่านความถี่ต่ำ 32
3.12 แผนภาพวงจรควบคุมความเร็วของสายพาน 32
3.13 การออกแบบลายทองแดงวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ของสายพานลำเลียงวัตถุ 33
3.14 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ของสายพานลำเลียงวัตถุ 33
3.15 แผนภาพวงจรเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยลำแสงชนิดตัวรับ-ตัวส่ง 34
3.16 การออกแบบลายทองแดงวงจรเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุด้วยลำแสงชนิดตัวรับ-ตัวส่ง 35
3.17 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุด้วยลำแสงชนิดตัวรับ-ตัวส่ง 35
3.18 แผนภาพวงจรคัดแยกวัตถุ 36
3.19 การออกแบบลายทองแดงวงจรควบคุมมอเตอร์ในส่วนคัดแยกวัตถุ 36
3.20 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรควบคุมมอเตอร์ในส่วนคัดแยกวัตถุ 37
3.21 แผนภาพวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 38
3.22 ผลการออกแบบลายทองแดงวงจรการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 39
3.23 การออกแบบวงจรการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 40
3.24 เครื่องคัดแยกวัตถุ 40
3.25 ส่วนชั่งมวลของวัตถุและสายพานลำเลียง (ด้านข้าง) 41
3.26 มอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์ 42
3.27 เฟืองแกนขับของสายพานลำเลียงวัตถุ 42
3.28 หลอดแอลอีดีเป็นแหล่งกำเนิดแสงให้กับตัวตรวจจับวัตถุ 43
3.29 ส่วนชั่งมวลของวัตถุและสายพานลำเลียง (ด้านหน้า) 43
3.30 ตัวเชื่อมต่อสายของส่วนชั่งมวลของวัตถุและสายพานลำเลียง 44
3.31 ส่วนควบคุม ประมวลผลและแสดงผล (ด้านบน) 45
3.32 ส่วนควบคุมสายพานลำเลียงวัตถุ 46
3.33 ส่วนแสดงการทำงานของวงจรด้วยแอลอีดี 47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.34 ส่วนแสดงผลและใช้งานโปรแกรม 47
3.35 ส่วนควบคุม ประมวลผลและแสดงผล (ด้านข้างซ้าย) 48
3.36 ส่วนควบคุม ประมวลผลและแสดงผล (ด้านหน้า) 48
3.37 ส่วนควบคุม,ประมวลผลและแสดงผล (ด้านข้างขวา) 48
3.38 วงจรภายในของส่วนควบคุม ประมวลผลและแสดงผล 49
3.39 ส่วนควบคุมการคัดแยกวัตถุ (ด้านหลังและด้านข้าง) 50
3.40 ส่วนควบคุมการคัดแยกวัตถุ(ด้านหน้าและด้านบน) 50
3.41 ผลการแสดงตัวอักษรบนจอแสดงผลแอลซีดี 52
3.42 ผลการแสดงตัวอักษรและตัวเลข 52
3.43 ผลการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล 53
3.44 การประมาณค่ามวล 0 กรัม 54
3.45 การประมาณค่ามวล 400 กรัม 54
3.46 ผลการประมาณค่ามวลของวัตถุ 1000 กรัม 55
3.47 การติดตั้งเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 57
3.48 หน้าจอแสดงผลหลักเมื่อเปิดเครื่อง 58
3.49 หน้าจอแสดงผลเมื่อกดปุ่ม MENU 58
3.50 หน้าจอแสดงผลเมื่อกดปุ่ม 1 Calibrate 58
3.51 หน้าจอแสดงผลเมื่อกดปุ่ม 2 Selector setup 59
3.52 หน้าจอแสดงผลเมื่อกดปุ่ม 1 เลือก Mode1 : Mass > x 59
3.53 หน้าจอแสดงผลเมื่อกดปุ่ม 2 เลือก Mode2 : x1 > Mass < x2 , การตั้งค่ามวล 60
3.54 สวิตช์เปิดการทำงานของสายพาน และสวิตช์หมุนปุ่มปรับระดับความเร็วสายพาน 60
3.55 จำนวนวัตถุทั้งหมดที่นำมาชั่งและการรีเซตค่าให้เป็น 0 61
3.56 มวลวัตถุทั้งหมดที่นำมาชั่งและการรีเซตค่าให้เป็น 0 61
4.1 เมนูจอแอลซีดีสถานะที่พร้อมทำงาน 62
4.2 เมนูฟังก์ชั่นการใช้งาน 64
4.3 การสอบเทียบมวล 0 กรัม 64
4.4 วัตถุมวลมาตรฐาน 1,000 กรัม 64
4.5 การสอบเทียบมวล 1,000 กรัม 65
4.6 วางวัตถุมวลมาตรฐาน 1,000 กรัม บนสายพาน 65

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.7 การสอบเทียบมวล 1,000 กรัมเสร็จสิ้น....65
4.8 วัตถุมวลมาตรฐาน 500 กรัม....66
4.9 การวางวัตถุมวลมาตรฐานในการทดลอง....66
4.10 สถานะที่ระบบระบุว่าวัตถุมีมวลผ่านมาตรฐาน....67
4.11 สถานะที่ระบบระบุว่าวัตถุมีมวลไม่ผ่านมาตรฐาน....68

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 การเปรียบเทียบมวลของวัตถุก่อนและหลังสอบเทียบกับวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน....63

4.2 ผลการคัดแยกวัตถุมวลมาตรฐานสำหรับความเร็วสายพาน 5 เมตร/นาที....69

4.3 ผลการคัดแยกวัตถุมวลมาตรฐานสำหรับความเร็วสายพาน 10 เมตร/นาที....70

4.4 ผลการคัดแยกวัตถุมวลมาตรฐานสำหรับความเร็วสายพาน 15 เมตร/นาที....71

4.5 ผลการคัดแยกวัตถุมวลมาตรฐานสำหรับความเร็วสายพาน 20 เมตร/นาที....72

4.6 ผลการคัดแยกวัตถุมวลมาตรฐานสำหรับความเร็วสายพาน 5 เมตร/นาที....73

4.7 ผลการคัดแยกวัตถุมวลมาตรฐานสำหรับความเร็วสายพาน 10 เมตร/นาที....74

4.8 ผลการคัดแยกวัตถุมวลมาตรฐานสำหรับความเร็วสายพาน 15 เมตร/นาที....75

4.9 ผลการคัดแยกวัตถุมวลมาตรฐานสำหรับความเร็วสายพาน 20 เมตร/นาที....76

4.10 ค่าความผิดพลาดซึ่งเกิดจากความเร็วขณะสายพานหยุดนิ่ง....77

4.11 ค่าความผิดพลาดซึ่งเกิดจากความเร็วสายพานที่ 5 เมตร/นาที....78

4.12 ค่าความผิดพลาดซึ่งเกิดจากความเร็วสายพานที่ 10 เมตร/นาที....79

4.13 ค่าความผิดพลาดซึ่งเกิดจากความเร็วสายพานที่ 15 เมตร/นาที....80

4.14 ค่าความผิดพลาดซึ่งเกิดจากความเร็วสายพานที่ 20 เมตร/นาที....81

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ในสังคมปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้การคัดแยกวัตถุบนสายพานโดยใช้มวลของวัตถุเป็นเกณฑ์การคัดแยกนั้น โดยส่วนมากจะใช้แรงงานคนเป็นหลัก เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกและใช้อุปกรณ์ในการทำงานน้อย แต่การใช้แรงงานคนค่อนข้างที่จะใช้เวลาในการตรวจสอบอยู่พอสมควรจึงจะได้มวลของวัตถุที่ต้องการ เพราะจะต้องหยิบวัตถุที่เคลื่อนที่มาตามสายพานขึ้นมาชั่งบนเครื่องชั่ง แล้วต้องรอให้วัตถุที่นำมาชั่งนั้นนิ่งเสียก่อนจึงจะได้มวลของวัตถุที่ถูกต้อง จากความยุ่งยากที่กล่าวมาข้างต้นอาจทำให้คนเกิดความเหนื่อยล้าเมื่อทำงานติดต่อกันเป็นระยะเวลานานหรืออาจเกิดการอ่านค่ามวลของวัตถุที่ผิดพลาดซึ่งเกิดจากการอ่านค่าที่ไม่ถูกวิธีของผู้ใช้จึงอาจส่งผลต่อคุณภาพของการทำงาน เช่น อาจมีวัตถุที่มีมวลไม่ถึงเกณฑ์หรือมวลเกินเกณฑ์ที่กำหนดปะปนมากับวัตถุที่มีมวลที่ต้องการ

เนื่องจากในปัจจุบันคนอาจเกิดความเหนื่อยล้าจากการทำงานเป็นเวลานาน ทำให้การอ่านค่ามวลที่ผิดพลาด การเสียเวลาในการหยิบวัตถุบนสายพานขึ้นมาชั่งเพื่อหามวลที่ต้องการ เมื่อมีปริมาณงานที่มากๆการใช้เครื่องจักรแทนการทำงานของคนถือเป็นการลดต้นทุนในระยะยาวและอีกทั้งมีความถูกต้องในการทำงานที่สูงกว่ามาก จึงต้องมีการพัฒนาเครื่องจักรเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา

อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการทำงานที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือไมโครคอนโทลเลอร์ (Microcontroller) ซึ่งอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ที่บรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ไว้ภายใน ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้รวมเอาหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) หน่วยความจำชั่วคราว (RAM) หน่วยความจำถาวร (ROM) และพอร์ตอินพุตเอาท์พุต (I/O PORT) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบเข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน มักนิยมนำไปใช้งานในเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป ซึ่งเรียกได้ว่าเป็นระบบสมองกลฝังตัว (Embedded system) ซึ่งระบบมีขนาดเล็ก เปลี่ยนแปลงลักษณะการควบคุมและขยายระบบได้ง่าย ลดเวลาในการออกแบบ มีหน่วยอินพุตและเอาท์พุต ความสามารถต่างๆที่ใช้ในโครงงานมีดังนี้ ติดต่อกับ โหลดเซลล์ (Load Cell) เพื่อนำสัญญาณทางไฟฟ้าผ่านวงจรกรองสัญญาณ และวงจรขยายสัญญาณได้สัญญาณที่เป็นแอนะล็อก (Analog) จากนั้นนำสัญญาณแอนะล็อกที่ได้ผ่านไมโครคอนโทลเลอร์แล้วเขียนโปรแกรมเพื่อแปลงสัญญาณจากสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to digital converter) และประมวลผลข้อมูลเพื่อแปลงเป็น

ค่ามวลของวัตถุ แสดงผลที่จอแอลซีดี (แอลซีดี แบบขาว-ดำ หรือ Monochrome) ควบคุมความเร็วสายพาน รวมถึงสามารถควบคุมกลไกการคัดแยกวัตถุได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

สร้างเครื่องตรวจสอบมวลของวัตถุ บนสายพานขนาดเล็กและสามารถคัดแยกวัตถุได้แบบอัตโนมัติ

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

ประยุกต์ใช้โหลดเซลล์และไมโครคอนโทลเลอร์ หมายเลข dsPIC30F4011 ในการตรวจสอบมวลของวัตถุที่มีความกว้างและความยาวไม่เกิน 8 เซนติเมตร มวลระหว่าง 0-1,000 กรัม โดยสามารถแสดงค่ามวลเป็นตัวเลขบนจอแอลซีดีและคัดแยกวัตถุตามมวลที่กำหนดเองได้ โดยจะคัดแยกออกเป็น 2 กลุ่มคือวัตถุที่มีมวลได้มาตรฐานและวัตถุที่มีมวลไม่ได้มาตรฐาน

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ปี 2554							ปี 2555			
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย
1) ศึกษาทฤษฎีและรวบรวมข้อมูล											
2) ศึกษาและเลือกอุปกรณ์											
3) ออกแบบและสร้างวงจรควบคุม											
4) ทดสอบและปรับปรุงชิ้นงาน											
5) สรุปผลการดำเนินโครงงานและจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์											

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน

เครื่องตรวจสอบมวลของวัตถุบนสายพานขนาดเล็กที่สร้างขึ้นในโครงงานนี้สามารถตรวจสอบมวลของวัตถุในขณะที่วัตถุเคลื่อนที่และคัดแยกวัตถุตามมวลที่ต้องการได้ เป็นการช่วยลดปัญหาความล่าช้าจากการใช้แรงงานคนในการทำงาน การอ่านค่ามวลที่ผิดพลาด ที่อาจส่งผลต่อคุณภาพของการทำงาน รวมถึงการใช้เครื่องจักรแทนแรงงานคนเพื่อเป็นการลดต้นทุนในระยะยาว

1.6 งบประมาณ

1) อุปกรณ์ไมโครคอนโทลเลอร์และอิเล็กทรอนิคส์	400	บาท
2) มอเตอร์ขนาด 20 วัตต์ 220 โวลต์	400	บาท
3) ค่าใช้จ่ายในการสร้างแบบจำลอง	500	บาท
4) ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริญญานิพนธ์	700	บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สองพันบาทถ้วน)	2,000	บาท

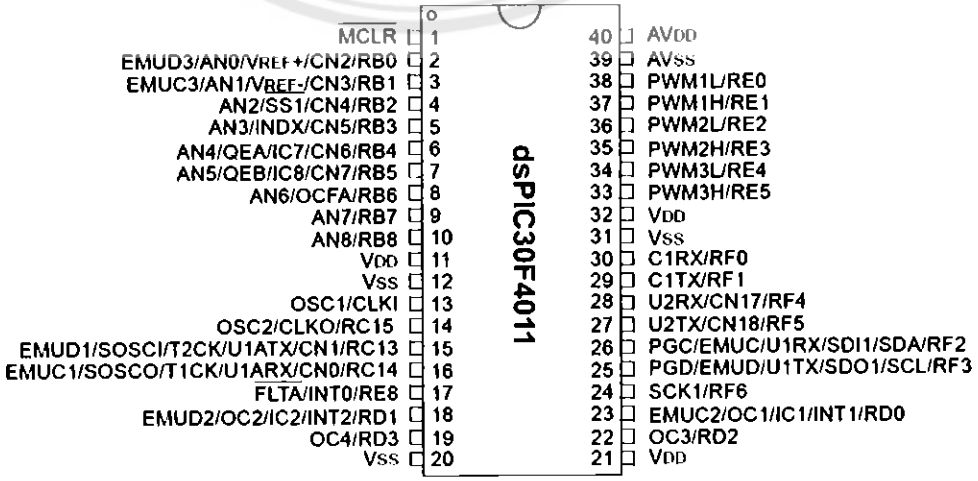
หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการทำงาน

โครงงานนี้เป็นการชั่งมวลของวัตถุบนสายพานโดยใช้โหลดเซลล์เป็นตัวรับมวลของวัตถุ และส่งสัญญาณในรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลและแสดงมวลออกที่จอแอลซีดี พร้องทั้งคัดแยกวัตถุที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานออกจากกัน นำไปใช้ในการออกแบบระบบชั่งมวลและคัดแยกวัตถุบนสายพานดังนี้

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ไอซี (IC: Integrated Circuit) ที่สามารถเขียนโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อนสามารถรับข้อมูลในรูปสัญญาณดิจิตอล เข้าไปทำการประมวลผลแล้วส่งเอาท์พุตข้อมูลดิจิตอลออกมาเพื่อนำไปใช้งานได้ตามที่ต้องการ ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโพรเซสเซอร์ชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนาเพิ่มวงจรที่จำเป็น เช่น หน่วยความจำส่วนอินพุตและส่วนเอาท์พุตบางส่วนเข้าไปในตัวไอซีเดียวกัน และเพิ่มวงจรบางอย่างเข้าไปเพื่อให้มีความสามารถที่เหมาะสมในการใช้ในงานควบคุม เช่น วงจรตั้งเวลา วงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอล เป็นต้น ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหลายยี่ห้อ หลายตระกูล และหลายหมายเลขด้วยกัน ซึ่งแต่ละหมายเลขมีโครงสร้างภายในและความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกัน สำหรับโครงงานนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ของบริษัทไมโครชิฟดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปแบบการทำงานของขาไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข 30F4011

คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ประกอบด้วยด้านต่างๆดังนี้

1) คุณสมบัติของ CPU ประกอบด้วยคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ มีสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ 16 บิต ซีพียูมีความเร็ว 30 MIPS หน่วยความจำโปรแกรม 48 KB แรม 2048 Bytes ช่วงแรงดันไฟฟ้าใช้งาน 2.5-5.5 V I / O 30 ขา, Count 40 ขา การควบคุมมอเตอร์ PWM 6 ช่อง คำสั่งมีความกว้าง 24 บิต, เส้นทางข้อมูลมีความกว้า 16 บิตและสามารถรับข้อมูลเป็นเมทริกซ์ได้ 16x16 บิต

2) คุณสมบัติด้าน DSP ประกอบด้วยคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ มีโหมดกลับบิตที่อยู่ของข้อมูล การคูณสะสมของซิงเกิลไซเคิล มีขั้นตอนการเปลี่ยนบาร์เรล 40 ขั้นตอน และสามารถเรียกข้อมูลแบบคู่ได้

3) คุณสมบัติแอนะล็อก ประกอบด้วยคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ สามารถแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิตด้วยความเร็ว 1Msps แปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลจนกระถึงสถานะ Sleep และ Idle มีช่องสัญญาณ Sample / Hold และมีตัวเลือกการแปลงแบบหลากหลาย

4) หน่วยความจำข้อมูล EEPROM ประกอบด้วยคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ สามารถโปรแกรมได้ 100,000 ครั้งต่อนาทีสำหรับพิกัดอุณหภูมิในอุตสาหกรรม โปรแกรมตัวเองได้หลายๆครั้งภายใต้การควบคุมของซอฟแวร์ มี Watchdog Timer (WDT) แบบยืดหยุ่นกับ RC oscillator แบบ on-chip low power มีการเตือนกับสิ่งที่ไม่ปลอดภัย สามารถตรวจจับสัญญานาฬิกาที่ผิดพลาดและปรับไปสู่ RC oscillator แบบ on-chip low power โปรแกรมการป้องกันรหัสได้และสามารถโปรแกรมการตรวจสอบแบบ Brown-out และรีเซตไปสู่ค่าเริ่มต้น

2.2 การเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

การเขียนโปรแกรมสำหรับใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเขียนได้หลายภาษาตามความถนัดของแต่ละบุคคล ภาษาที่นิยมสำหรับการเขียนโปรแกรมมีดังต่อไปนี้

1) แอสแซมบลี (Assembly) คือ รูปแบบของภาษาเครื่องที่มนุษย์สามารถอ่านออกได้ ภาษาแอสแซมบลีเป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่ในการแปลงจากคำสั่งที่มนุษย์อ่านออกได้ไปเป็นภาษาเครื่อง โปรแกรมที่เขียนโดยภาษาแอสแซมบลีจะทำงานเร็วและมีขนาดเล็ก เพราะว่าสามารถเข้าถึง ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ได้โดยตรง แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการเขียนของผู้เขียนด้วย

2) อินเตอร์พรีทเตอร์ (Interpreters) คือ ภาษาระดับสูงซึ่งใกล้เคียงกับภาษาของมนุษย์ โดยจะฝังตัวอยู่ในหน่วยความจำ และทำหน้าที่อ่านคำสั่งจากโปรแกรมขึ้นมาทีละคำสั่งแล้วปฏิบัติ

ตามคำสั่งนั้นๆ ตัวอย่างของอินเตอร์พรีทเตอร์ที่รู้จักกันดีคือ ภาษาเบสิก ข้อเสียของอินเตอร์พรีท-เตอร์คือ ทำงานได้ช้า เนื่องจากต้องแปลคำสั่งทีละคำสั่ง

3) คอมไพเลอร์ (Compiler) คือ ภาษาระดับสูงซึ่งทำหน้าที่แปลโปรแกรมที่เขียนขึ้นให้เป็นภาษาเครื่อง จากนั้นจึงนำเอาโปรแกรมที่แปลเสร็จแล้วเข้าไปเก็บในหน่วยความจำ ทำให้การทำงานเร็วขึ้น ตัวอย่างเช่น ภาษาซี เป็นต้น

2.2.1 คอมไพเลอร์ ที่ใช้กับเขียน dsPIC

ในปัจจุบันมีหลายบริษัทได้พัฒนา คอมไพเลอร์ อย่างเช่น บริษัทไมโครชิพ (Micro chip) ได้มีการพัฒนา MPLAB C30 Compiler บริษัทซีซีเอส (Custom computer services) ได้มีการพัฒนา Compiler Features บริษัทไมโครอิเล็กโตรนิกา (Mikroelektronika) ได้มีการพัฒนา Mikropascal PRO Mikroc PRO และ Mikrobasic PRO เป็นต้น การพัฒนาทั้งหมดนี้ก็เพื่อต้องการให้มีการใช้งานที่ง่ายขึ้น

1) พื้นฐานภาษาซีใน dsPIC

การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซีใน dsPIC จะมีรูปแบบเดียวกันกับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซีมาตรฐาน และมีส่วนเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับการเขียนโปรแกรมด้วนภาษาซีสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรง ซึ่งประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

1. ชนิดข้อมูลสำหรับใช้งานใน MPLAB C
2. ตัวแปรแบบโครงสร้าง
3. ฟังก์ชั่นอินเตอร์รัปต์ใน dsPIC
4. เฮดเดอร์ไฟล์ เพื่อการใช้งานโมดูลต่างๆใน dsPIC

2) ภาษาซีกับไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC

ไมโครคอนโทรเลอร์ dsPIC สนับสนุนการเขียนโปรแกรมควบคุมได้ทั้งภาษาแอสแซมบลีและภาษาซีโดยเฉพาะเครื่องมือพัฒนาโปรแกรมภาษาซีด้วย MPLAB C30 ได้เตรียมไลบรารีเชื่อมต่อภายนอกให้พร้อมไว้ใช้เพื่อควบคุมการใช้งานโมดูลต่างๆ ใน dsPIC รวมถึงไลบรารีเกี่ยวกับการใช้งานประมวลผลสัญญาณดิจิตอลและไลบรารีมาตรฐานภาษาซีพร้อมฟังก์ชันคณิตศาสตร์ การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC จึงเกี่ยวข้องกับการใช้งานไลบรารีทั้งสามที่กล่าวมา หากเป็นการใช้งานคุณสมบัติในการการประมวลผลทางด้านสัญญาณดิจิตอลจะใช้ DSP และการควบคุมใช้งานคุณสมบัติต่างๆ ใน dsPIC ที่เกี่ยวกับการเชื่อมต่อและ

ควบคุมอุปกรณ์ภายนอกจะใช้งานไลบรารี dsPIC Peripheral ถ้าเป็นการใช้งานทั่วไปพื้นฐานทั่วไป เกี่ยวกับโปรแกรมจะเกี่ยวข้องกับไลบรารี Standard C libraries

3) คุณสมบัติ MPLAB C Compiler

ในการใช้ MPLAB C Compiler ในการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC จะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. เป็นไปตามมาตรฐาน ANSI C ที่ประกอบด้วยไลบรารีมาตรฐาน เช่น ไลบรารีคณิตศาสตร์, หน่วยความจำ, การแปลงข้อมูล เป็นต้น

2. รองรับการสร้างโค้ดในรูปแบบโมดูล เพื่อให้สามารถนำโค้ดนำกลับมาใช้ได้ใหม่

3. สามารถออปติไมซ์โค้ดได้มากกว่า 30 เปอร์เซนต์ ทำให้โค้ดโปรแกรมมีขนาดเล็ก

4. สนับสนุนการเขียนโค้ดโปรแกรมแบบ In-line assembly คือสามารถแทรกคำสั่งภาษาแอสแซม บลีลงไปในโค้ดภาษาซีได้ ตามรูปแบบที่คอมไพเลอร์กำหนดไว้ เมื่อต้องการควบคุมชุดคำสั่งด้วยภาษาแอสแซมบลีโดยตรง

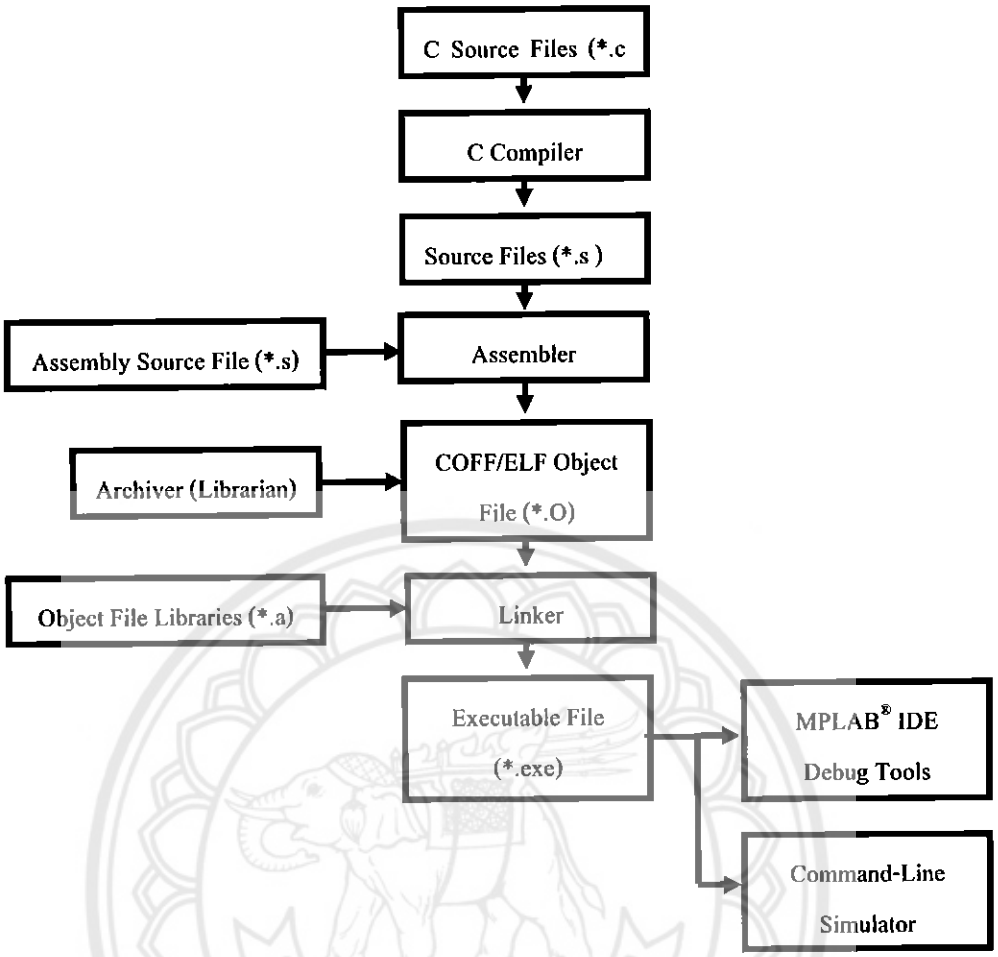
5. มีไลบราบรีสำหรับโมดูลต่าง ๆ ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC เพื่อความเร็วในการพัฒนาโปรแกรม

6. แยกหน่วยความจำโค้ดและข้อมูลออกจากกันในตำแหน่งที่เฉพาะเจาะจงในหน่วยความจำหลัก

7. สนับสนุนรีจิสเตอร์แอกคิวมูเลเตอร์ และมีฟังก์ชัน DSP ที่เขียนด้วยภาษาแอสแซมบลี ซึ่งสามารถเรียกใช้ผ่านทางภาษาซีได้โดยตรง ทำให้ทำงานได้อย่างรวดเร็วเทียบเท่ากับภาษาแอสแซมบลี

4) ภาษาซีกับ MPLAB C

ภาษาซีกับ MPLAB C เป็นซีคอมไพเลอร์ตามมาตรฐาน ANSI C และได้ผนวกคุณสมบัติเพิ่มเติมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC โดยที่ตัวซีคอมไพเลอร์ของ MPLAB นั้นได้พัฒนาปรับปรุงมาจาก GCC คอมไพเลอร์ซึ่งเป็นซีคอมไพเลอร์ของกลุ่มฟรีซอฟต์แวร์ คอมไพเลอร์ MPLAB C จะคอมไพเลอร์โค้ดโปรแกรมภาษาซี (.c) ให้เป็นซอร์สโค้ด (Source code) ภาษาแอสแซมบลี (.s) จากนั้นตัวแอสแซมหมายเลข จะแปลซอร์สโค้ดแอสแซมบลีที่ได้ รวมถึงซอร์สโค้ดแอสแซมบลีที่ผนวกเพิ่มเติมเข้ามาและได้เป็นออบเจ็กต์ไฟล์ (.o) ในขั้นตอนนี้สามารถที่จะสร้างไลบรารีไฟล์เก็บไว้ใช้งานได้ ด้วยการผ่านตัวแปลไลบรารีไฟล์ จากนั้นออบเจ็กต์ไฟล์จะถูกรวมกับไลบรารีไฟล์ (a.) ด้วยตัวลิ้งเกอร์ สร้างเป็นไฟล์พร้อมใช้งาน (.exe) หรือไฟล์สกุล .hex กระบวนการต่างๆดำเนินการดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนผังการพัฒนาซอฟต์แวร์ด้วย MPLAB C Compiler

2.3 โหลดเซลล์

โหลดเซลล์ คือ เซนเซอร์ชนิดหนึ่งที่ใช้สำหรับการทดสอบแรงกดหรือแรงดึงของชิ้นงาน การทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงาน การทดสอบการเข้ารูปชิ้นงานที่ทำงานโดยอาศัยแรงกด (Compression) แรงดึง (Tension) และแรงเฉือน (Shear) แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าเอาท์พุต มิลลิโวลต์/โวลต์ (mV/V) เพื่อให้อุปกรณ์อื่น ๆ รับสัญญาณไปใช้ สำหรับโครงงานนี้ใช้โหลดเซลล์เป็นตัวรับมวล การรับมวลของวัตถุที่นำมาชั่งในขณะที่อยู่บนสายพานลำเลียงวัตถุ คุณสมบัติกับรูปทรงโหลดเซลล์ สามารถแยกย่อยออกไปหลายประเภท เพื่อให้เหมาะกับการใช้งานอุตสาหกรรมต่างๆดังนี้

1) โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ (Strain gauge load cell)

2) โหลดเซลล์แบบไฮดรอลิก (Hydraulic load cell)

3) โหลดเซลล์แบบนิวแมติก (Pneumatic load cell)

4) ไพโซรีซิสทีฟ (Piezoresistive)

5) แมกเนโตสเตร็กทีฟ (Magnetostrictive)

2.3.1 โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ

หลักการของโหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ คือ เมื่อมีมวลมากระทำ ความเครียด(Strain) จะเปลี่ยนเป็นความต้านทานทางไฟฟ้าในสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่มากระทำ ใช้เกจวัดความเครียด 1 ตัว (Bridge circuit) ในการวัดโดยเกจตัวต้านทานทั้งสี่จะเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อใช้แปลงแรงที่กระทำกับตัวโหลดเซลล์ไม่ว่าจะเป็นแรงกดหรือแรงดึง โหลดเซลล์จะส่งสัญญาณออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า

2.3.2 สเตรนเกจแบบโลหะ

ในการอธิบายสเตรนเกจแบบโลหะ สามารถอธิบายได้เป็น 2 ส่วนหลักๆซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) เกจแฟกเตอร์ (Gauge factor) คือความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความเครียดและค่าความต้านทาน จะพบว่าความไม่บริสุทธิ์ของโลหะ ชนิดของโลหะ และตัวแปรอื่น ๆ มีผลให้ความถูกต้องเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย ส่วนการบอกคุณลักษณะจำเพาะของ SG ทั่วไป จะบอกความสัมพันธ์ในรูปแบบของเกทแฟกเตอร์ (GF) เสมอ ซึ่งค่าดังกล่าวกำหนดได้ดังสมการที่ 2.1

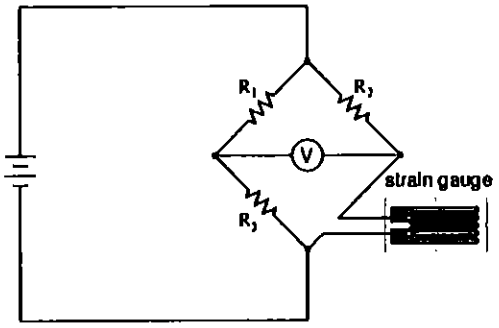
$$G = \frac{\Delta R / R}{strain} = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l} \qquad (2.1)$$

เมื่อ $\Delta R / R =$ เศษส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของเกจจากความเครียด

Strain $\Delta l / l =$ เศษส่วนการเปลี่ยนแปลงของความยาว

สำหรับเกจแบบโลหะ GF จะมีค่าเป็น 2 เสมอ เราต้องการค่า GF ที่มีค่าสูง ๆ เพราะว่าหากเกจแฟกเตอร์มีค่าสูงจะบอกว่าสเตรนเกจมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่อความเครียดสูงกว่าตัวที่มีค่า GF ต่ำๆ ทำให้ได้ต่อการวัด

2) โครงสร้าง (Construction) สเตรนเกจที่นิยมใช้มีอยู่ 2 แบบด้วยกันคือ แบบลวดและแบบฟอยล์ การสร้างสเตรนเกจจะต้องทำให้ตัวมันมีความยาวมาก ๆ เพื่อให้ได้ความต้านทานปกติเริ่มแรกสูงเพียงพอที่จะใช้ในทางปฏิบัติ และทำให้เกจทั้งคู่มีความละเอียดเพียงพอที่จะไม่ต้านทานผลของความเครียด การฝังโลหะทั้งด้านหน้าและด้านหลังจะทำให้ได้ความยาวเพิ่มขึ้นและให้ความต้านทานมากขึ้น ความต้านทานปกติเริ่มแรกโดยทั่วไปจะมีค่าเป็น 60 , 120 , 240 , 350 , 500 , 1000 แต่แบบที่นิยมใช้มากสุดคือ 120 โอห์ม ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วงจรวีตสโตนบริดจ์ของสเตรนเกจ

2.4 มอเตอร์

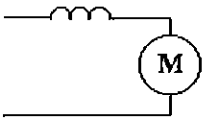
มอเตอร์ (Motor) คือเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกล มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานกลมีทั้งพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับและพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง สำหรับโครงงานนี้ถูกออกแบบให้ใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเพราะสามารถใช้แรงดันต่ำ มีความปลอดภัยและสามารถควบคุมได้ง่าย

มอเตอร์กระแสตรง (DC motor) มีหลายประเภท โดยแบ่งตามลักษณะการวางตำแหน่งของขดลวดกับ แกนของแม่เหล็ก ซึ่งแต่ละประเภทมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) **มอเตอร์แบบขนาน** เป็นแบบการวางตำแหน่งของขดลวดขนานกับแกนแม่เหล็ก เป็นแบบที่สามารถปรับเส้นแรงได้อย่างอิสระ นิยมใช้กับระบบควบคุมการเคลื่อนที่ต้องการแรงบิดสูง

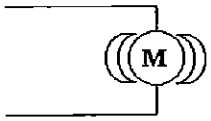
รูปที่ 2.4 วงจรมอเตอร์แบบขนาน

2) มอเตอร์แบบอนุกรม เป็นแบบการวางตำแหน่งของขดลวดอนุกรมกับแกนแม่เหล็ก เป็นแบบเส้นแรงแม่เหล็กเป็นสัดส่วนกับกระแส เหมาะนำไปใช้ในสภาวะเฉพาะคือ เมื่อต้องการแรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ เช่น ใช้ลากรถ



รูปที่ 2.5 วงจรมอเตอร์แบบอนุกรม

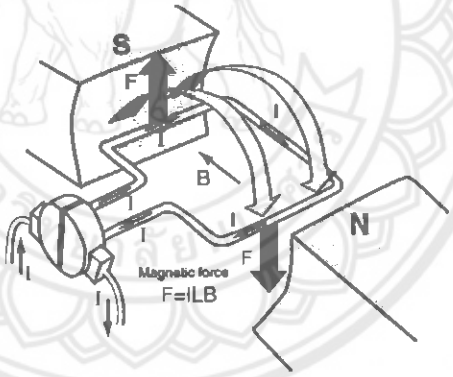
3) มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร คือ มอเตอร์กระแสตรงที่ใช้การกระตุ้นฟิลด์ของมอเตอร์เป็นแบบนิยมใช้เพราะขนาดเล็กกว่า เมื่อใช้แรงม้าเท่ากัน เหมาะกับงานที่ต้องการแรงบิตของ โหลด (Load) สูงๆ



รูปที่ 2.6 วงจรมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

2.4.1 มอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร ประกอบด้วย แม่เหล็กถาวร 2 ขั้ววางอยู่ระหว่างขดลวดตัวนำ ขดลวดตำนำจะได้รับแรงดันไฟตรงป้อนให้ในการทำงาน ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก 2 ชุด มีขั้วแม่เหล็กเหมือนกันวางใกล้กัน เกิดแรงผลักดันทำให้ขดลวดตัวนำหมุนเคลื่อนที่ได้ การทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แสดงดังรูปที่ 2.7

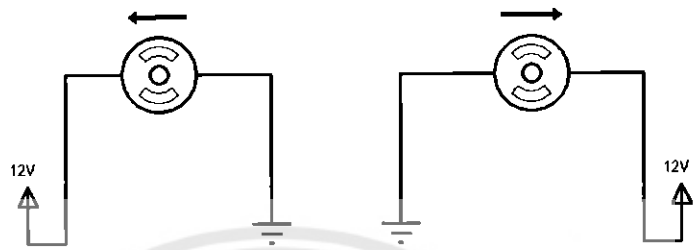


รูปที่ 2.7 การทำงานของมอเตอร์

จากมอเตอร์รูปที่ 2.7 เป็นการทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีแรงดันไฟตรงจ่ายผ่านแปรงถ่านไปคอมมิวเตเตอร์ ผ่านไปให้ขดลวดตัวนำที่อาร์เมเจอร์ ทำให้ขดลวดอาร์เมเจอร์เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมา ทางด้านซ้ายมือเป็นขั้วเหนือ (N) และด้านขวาเป็นขั้วใต้ (S) เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่วางอยู่ใกล้ๆ เกิดอำนาจแม่เหล็กผลักดันกัน อาร์เมเจอร์หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา พร้อมกับคอมมิวเตเตอร์หมุนตามไปด้วย แปรงถ่านสัมผัสกับส่วนของคอมมิวเตเตอร์ เปลี่ยนไปในอีกปลายหนึ่งของขดลวด แต่มีผลทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่อาร์เมเจอร์เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่อยู่ใกล้ๆอีกครั้ง ทำให้อาร์เมเจอร์ยังคงถูกผลักให้หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาตลอดเวลา เกิดการหมุนของอาร์เมเจอร์คือมอเตอร์ไฟฟ้าทำงาน

2.4.1 การหมุนแบบกลับทางหมุนของมอเตอร์กระแสตรง

การหมุนแบบกลับทางหมุนของมอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์ (Universal motor) โดยใช้หลักการจ่ายไฟกระแสตรง 12 โวลต์แล้วทำการสลับไฟ 12โวลต์และกราวด์ของแหล่งจ่ายเพื่อทำให้มอเตอร์กลับทางหมุนซึ่งแสดงการจำลองการหมุนของมอเตอร์ดังรูปที่ 2.12

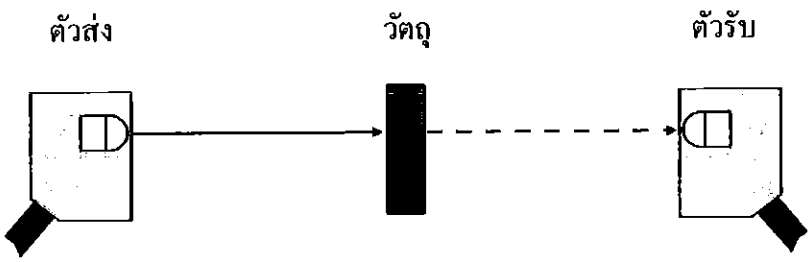


รูปที่ 2.8 แผนภาพทฤษฎีการหมุนแบบกลับทางหมุนของมอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์

2.5 เซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยลำแสง

เซ็นเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับปริมาณของตัวแปรต่าง ๆ ที่เราต้องการทราบค่า เช่น อุณหภูมิ การเคลื่อนที่ แสงสว่างเป็นต้น ในตัวเราเองก็มีเซ็นเซอร์เช่นกัน เช่นในดวงตาของเราสามารถรับความเข้มของแสงได้ หรือกล้ามเนื้อที่รับรู้มวลของวัตถุที่ถือได้ โครงงานนี้ถูกออกแบบให้มีเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยลำแสง เพื่อตรวจจับวัตถุที่วิ่งอยู่บนสายพาน เพื่อส่งสัญญาณไฟประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ คุณสมบัติของเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยลำแสงประกอบด้วยคุณสมบัติต่างๆเช่น สามารถตรวจจับวัตถุแบบไม้ต้องสัมผัสตรวจจับวัตถุมากกว่า 10 เมตร ตรวจจับวัตถุได้ทุกชนิด ตรวจจับ สี ขนาด ความลึก ตำแหน่ง พื้นที่และอื่นๆได้ มีความละเอียดสูง และสามารถแบ่งเป็นประเภทได้ตามลักษณะการใช้งานต่างๆดังนี้

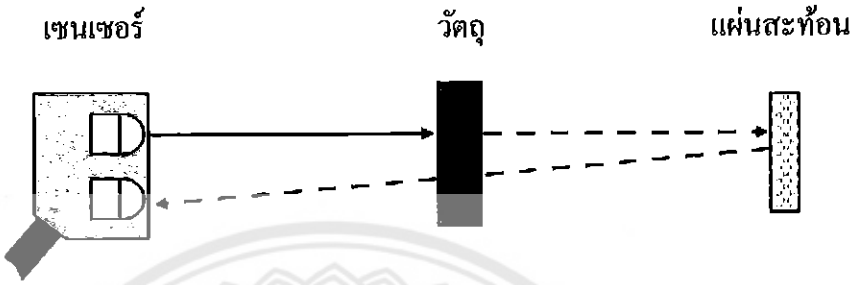
1) ชนิดตัวรับ-ตัวส่ง (Thru type)



รูปที่ 2.9 การทำงานของเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยลำแสงชนิดตัวรับ-ตัวส่ง

คุณสมบัติของเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยลำแสงชนิดตัวรับ-ตัวส่งประกอบด้วยคุณสมบัติดังนี้ สามารถตรวจจับวัตถุได้ไกล ตรวจจับวัตถุได้ทุกชนิด ในความลาดเอียงหรือสีแตกต่างกันซึ่งเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยลำแสงชนิดนี้ถูกเลือกให้ใช้ในโครงงานนี้

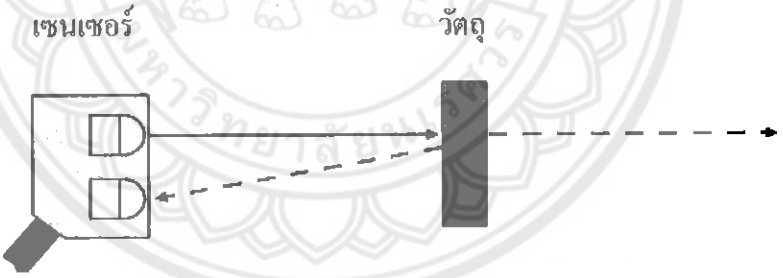
2) ชนิดแผ่นสะท้อน (Retro reflective type)



รูปที่ 2.10 การทำงานของเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยลำแสงชนิดแผ่นสะท้อน

คุณสมบัติของเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยลำแสงชนิดแผ่นสะท้อนประกอบด้วยคุณสมบัติดังนี้ ติดตั้งง่าย สามารถตรวจจับวัตถุใส มีความลาดเอียง มีสีที่แตกต่างกัน วัตถุทึบแสงได้

3) ชนิดสะท้อนวัตถุโดยตรง (Diffuse reflective type)



รูปที่ 2.11 การทำงานของเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยลำแสงชนิดสะท้อนวัตถุโดยตรง

คุณสมบัติของเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยลำแสงชนิดแผ่นสะท้อนชนิดสะท้อนวัตถุโดยตรงประกอบด้วยคุณสมบัติดังนี้ ง่ายในการติดตั้ง ไม่ต้องติดอุปกรณ์อีกข้างหนึ่ง พื้นผิวของวัตถุมีผลกระทบต่อการสะท้อนของลำแสง

2.6 จอแสดงผลแอลซีดี

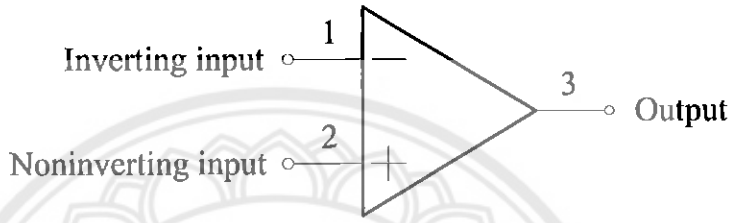
การแสดงค่ามวลของวัตถุที่นำมาชั่งจะใช้จอแสดงผลแอลซีดีในการแสดงผล จอแอลซีดีคือเทคโนโลยีมอนิเตอร์ แอลซีดี ย่อมาจาก Liquid Crystal Display ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงาน (Passive device) โดยแอลซีดีจะไม่สามารถให้กำเนิดพลังงานแสงได้ด้วยตัวของมันเอง แต่จะรวบรวมพลังงานแสงจากรอบๆตัวของมัน Liquid crystal (ผลึกเหลว) ถูกคิดค้นขึ้นมาโดย Austrian botanist fredreich rheinizer ในปี ค.ศ.1888 ซึ่ง Liquid crystal นี้จะมีคุณสมบัติที่ไม่เป็นทั้งของแข็งและของเหลว คล้ายกับน้ำสบู่ ต่อมาราวกลางปี ค.ศ.1960 ได้มีนักวิทยาศาสตร์ได้ทดลองแสดงให้เห็นถึงผลของการเปลี่ยนแปลงของแสงที่วิ่งผ่าน Liquid crystal เมื่อทำการป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไป เมื่อมีการทดลองเช่นนั้น ทำให้ช่วงปลายปี ค.ศ.1960 ก็ได้มีต้นแบบรุ่นแรกของจอแอลซีดี แต่ทว่าก็ยังไม่สามารถที่จะผลิตออกสู่ตลาดได้จริง จนกระทั่งต่อมาสถาบันวิจัย British Research นำเสนอ Liquid crystal ที่มีนามว่า Bipheny1 ซึ่งทำให้สามารถนำมาผลิตหน้าจอแอลซีดีออกสู่ตลาดได้จริงในที่สุด

หลักการพื้นฐานคือการบังคับให้หยดของ Liquid crystal (ผลึกเหลว) ซึ่งมีแผ่นแก้วกักเอาไว้ ให้ไปปิดรูช่องแสง ซึ่งแสงถูกฉายมาจากด้านหลังของหน้าจอ ก่อให้เกิดการแสดงผลเป็นตัวอักษร หรือตัวเลขในรูปแบบต่างๆ ได้ตามต้องการ จุดเด่นของหน้าจอแอลซีดีขาว-ดำหรือเรียกอีกอย่างว่าหน้าจอแบบ Monochrome คือการทำงานที่ไม่ต้องอาศัยปืนยิงอิเล็กตรอน จึงช่วยให้ด้านลึกของจอภาพมีขนาดสั้นกว่ามอนิเตอร์แบบซีดีที (CDT) ถึง 3 เท่าและด้วยรูปร่างที่แบนราบทางด้านหน้าและด้านหลัง ขนาดเล็กกะทัดรัดและน้ำหนักเบาและประหยัดพลังงานไฟฟ้า สำหรับการแสดงผลในโครงงานนี้ถูกออกแบบให้แสดงบนจอแสดงผลแอลซีดีแบบ 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด ซึ่งแสดงรูปตัวอย่างของจอแอลซีดีดังรูปที่ 2.12

รูปที่ 2.12 จอแอลซีดี

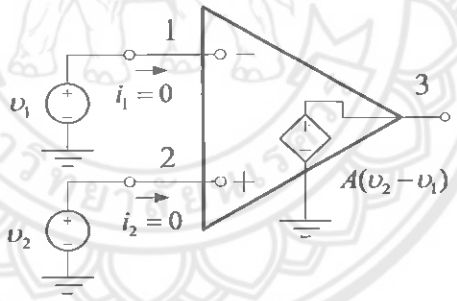
2.7 ออปแอมป์

ตัวขยายสัญญาณเชิงดำเนินการ (Operational amplifier) หรือเรียกสั้นๆว่าออปแอมป์เป็นวงจรขยายสัญญาณที่มีอัตราขยายแรงดันสูง ตอบสนองความถี่ได้กว้างตั้งแต่ กระแสตรง (DC) จนถึงความถี่สูงหลายเมกกะเฮริตซ์ และมีความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวน สัญลักษณ์ของออปแอมป์ แสดงไว้ในรูปที่ 2.13 โดยแรงดันที่ขาเอาท์พุตเทียบกับกราวด์ในวงจรจะขึ้นอยู่กับผลต่างของแรงดันที่ขาลบ (Inverting input) และขาบวก (Non-inverting input)



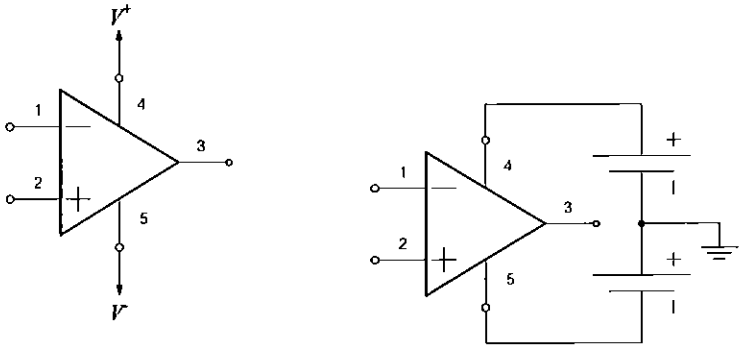
รูปที่ 2.13 สัญลักษณ์ของออปแอมป์

วงจรเทียบเท่าของออปแอมป์แสดงไว้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 วงจรเทียบเท่าของออปแอมป์

เพื่อให้ออปแอมป์สามารถทำงานกับไฟกระแสตรงและไฟกระแสสลับได้จะต้องให้ไฟเลี้ยงบวกและลบ ออปแอมป์ตัวแรกออกแบบโดยนาย C. A. Lovell ในห้องทดลองของ Bell Lab เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนปืนใหญ่ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยที่วงจรภายในสร้างขึ้นจากหลอดสุญญากาศจำนวนมาก ต่อมาในปี ค. ศ. 1948 นาย George Philbrick สามารถออกแบบ ออปแอมป์ให้มีขนาดกะทัดรัด ทำให้ออปแอมป์ได้รับความนิยมใช้ในงานคำนวณโดยเป็นส่วนหนึ่งของอนาลอกคอมพิวเตอร์ (Analog computer) เพื่อใช้ในการบวก, การลบ, การอินทิกรัล และการสเกล ซึ่งเป็นที่มาของชื่อ ออปแอมป์ ซึ่งในรูปที่ 2.15 แสดงการต่อไฟเลี้ยงบวกและลบให้แก่ออปแอมป์



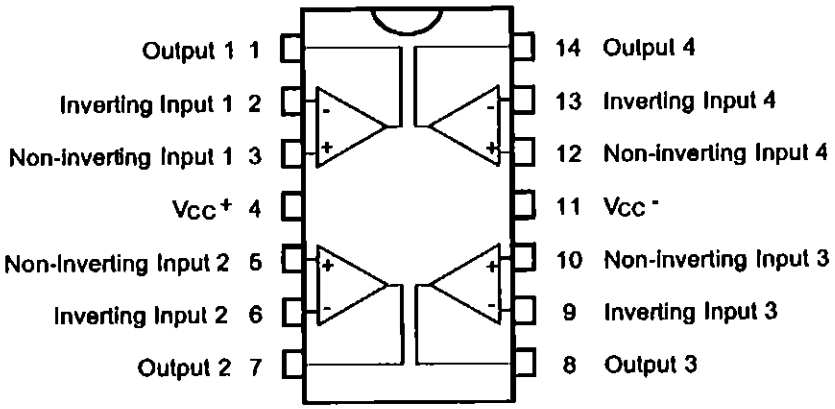
รูปที่ 2.15 การต่อไฟเลี้ยงบวกและลบให้แก่ออปแอมป์

2.7.1 ออปแอมป์หมายเลข TL 074

ในต้นทศวรรษที่ 1960 ได้มีการใช้ทรานซิสเตอร์แทนหลอดสุญญากาศ ทำให้ขนาดของตัว ออปแอมป์ ลดเหลือเพียงแผ่นวงจรพิมพ์เล็กๆ จึงทำให้มีการใช้งานออปแอมป์แพร่หลายมากขึ้น ไม่ว่าจะในงานปรับแต่งสัญญาณ การใช้งานในเครื่องมือวัดและทดสอบ และระบบควบคุมในงานอุตสาหกรรม จากความก้าวหน้าในการผลิตวงจรรวม(Integrated Circuit: IC) วงจรทั้งหมดของออป-แอมป์สามารถผลิตรวมไว้บนแผ่นซิลิกอนขนาดเล็ก ซึ่งจะถูกบรรจุในตัวถังพลาสติกแบบ DIP 8 ขา ไอซีออปแอมป์ยุคแรกคือ หมายเลข 709 ของบริษัท Fairchild ในปี ค. ศ. 1965 และไอซีออปแอมป์ยุคที่สอง คือ หมายเลข TL741 ในปี ค. ศ. 1968 โดยออปแอมป์ TL741 ดังรูปที่ 2.16 ยังคงได้รับความนิยมจนถึงปัจจุบัน

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของออปแอมป์ในอุดมคติกับออปแอมป์ในทางปฏิบัติ

คุณลักษณะ	สัญลักษณ์	อุดมคติ	ออปแอมป์ TL741
1.อัตราขยายแรงดัน	A_{OL}	∞	200,000 V/V
2.ความต้านทานขาออก	R_o	0	75Ω
3.ความต้านทานขาเข้า	R_i	∞	2 MΩ
4.แบนด์วิธ	BW	∞	1 MHz

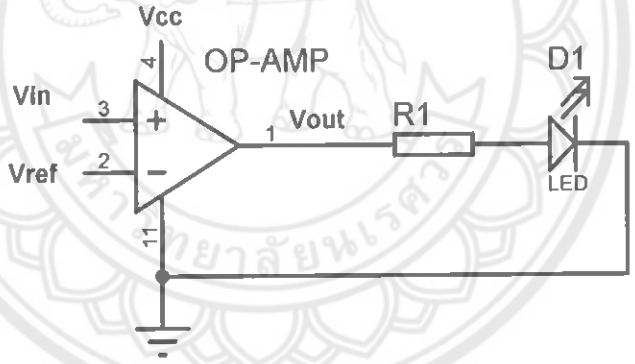


รูปที่ 2.16 วงจรภายในของออปแอมป์หมายเลข TL074

2.7.2 การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์

1) วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator)

เป็นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างอินพุท กับแรงดันอ้างอิงซึ่งแสดงดังรูปที่รูปที่ 2.17

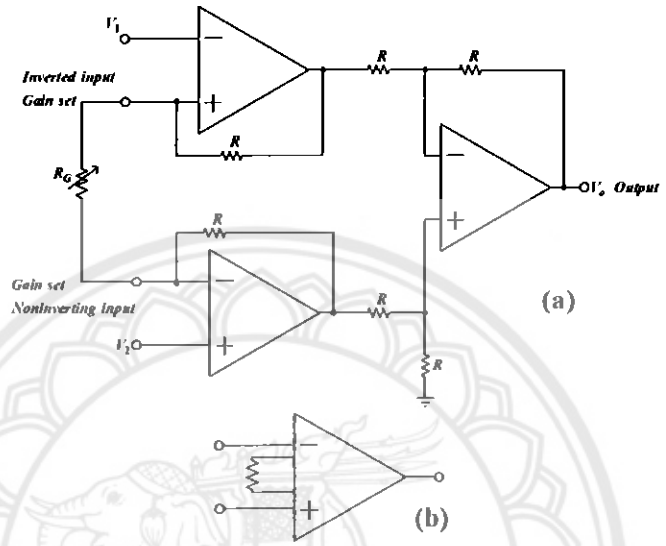


รูปที่ 2.17 การประยุกต์ใช้งานวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator)

จากรูปที่ 2.17 ถ้า Vin > Vref แล้วทำให้ Vout = Vcc กระแสจะไหลจากเอาท์พุต ผ่านตัวต้านทานและแอลอีดี ทำให้แอลอีดีติด ถ้า Vin < Vref แล้วทำให้ Vout = 0 , กระแสไม่ไหลจากเอาท์พุต ผ่านตัวต้านทานและแอลอีดี ทำให้แอลอีดีไม่ติด

2) วงจรขยายสัญญาณในการวัดทางอุตสาหกรรม (Instrumentation Amplifiers)

วงจรขยายสัญญาณในการวัดทางอุตสาหกรรม คือ วงจรออปแอมป์ที่ใช้ในการขยายสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ในการวัดซึ่งใช้ในงานอุตสาหกรรมทั่วๆไป จะมีรูปวงจรดังนี้ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 (a) วงจรขยายสัญญาณในการวัดทางอุตสาหกรรมโดยปรับอัตราขยายด้วยตัวต้านทานภายนอก (b) รูปวงจรรวม

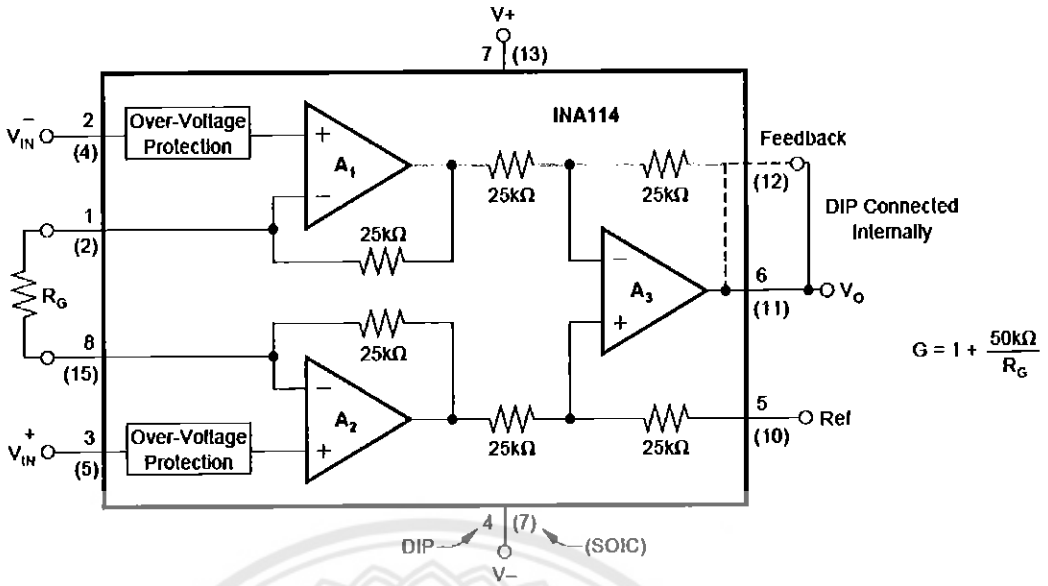
วงจรขยายสัญญาณในการวัดทางอุตสาหกรรมจะมีสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาท์พุตและแรงดันอินพุตเป็น

$$V_0 = A_v(V_2 - V_1) \qquad (2.11)$$

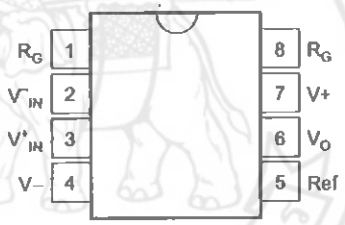
เมื่อค่าอัตราการขยายของแรงดันหาได้จาก

$$A_v = 1 + \frac{2R}{R_G} \qquad (2.12)$$

ซึ่งปัจจุบันมีการสร้างวงจรรวมเพื่อใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น โดยในโครงงานได้เลือกใช้วงจรรวมหมายเลข INA114AP ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.20 มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.19 วงจรภายในอินชัวเมนต์-ออปแอมป์ (Instrument amp) หมายเลข114AP



รูปที่ 2.20 ตำแหน่งขาอินชัวเมนต์-ออปแอมป์ (Instrument amp) หมายเลข114AP

จากสมการ
$$A_v = 1 + \frac{2R}{R_G} \tag{2.13}$$

จะได้อัตราขยายเป็น
$$A_v = 1 + \frac{50k\Omega)}{R_G} \tag{2.14}$$

2.8 วงจรกรองความถี่

2.8.1 ชนิดของวงจรกรองความถี่มี 4 แบบคือ

1) วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Low Pass Filter: LPF) คือวงจรที่จะยอมให้สัญญาณความถี่ตั้งแต่ 0 เฮิรตซ์ ถึงความถี่ที่กำหนดผ่านไปได้ ส่วนความถี่ตั้งแต่ที่กำหนดสูงขึ้นไปเรื่อย ๆ จะลดทอนไปตามลำดับ (ความถี่ต่ำกว่าผ่านได้) บางครั้งอาจจะเรียกว่าวงจรตัดความถี่สูง (high-cut filter) สำหรับ ความถี่วิทยุ และวงจรตัดเสียงซ่า (treble cut filter) สำหรับวงจรขยายเสียง

2) วงจรกรองสัญญาณความถี่สูง (High Pass Filter: HPF) มีคุณสมบัติตรงกันข้ามกับวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ คือการตอบสนองต่อสัญญาณของวงจรจะยอมให้สัญญาณความถี่สูงผ่านและลดทอนสัญญาณความถี่ต่ำ (ความถี่สูงกว่าผ่านได้) บางครั้งอาจจะเรียกว่าวงจรตัดความถี่ต่ำ (Low-cut filter) สำหรับ ความถี่วิทยุ แลวงจรตัดช่วงความถี่ (bass-cut filter) สำหรับวงจรขยายเสียง

3) วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ (Band Pass Filter: BPF) เนื่องจากเป็นวงจรที่มีลักษณะคล้ายกับการนำเอาวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ และความถี่สูง มาต่อร่วมกัน (Cascade) ดังนั้น วงจรกรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วง จะยอมให้สัญญาณผ่านไปได้เฉพาะช่วงที่กำหนดเท่านั้น ความถี่ที่นอกเหนือจากที่กำหนดจะถูกจำกัดโดยการลดทอนให้หมดไป (ช่วงความถี่ที่กำหนดผ่านได้)

4) วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่ (Band Reject Filter: BRF) เป็นวงจรที่กำจัดความถี่บางช่วงออกไป บางครั้งเราเรียกว่า นอตช์ฟิลเตอร์ (Notch filter) Band stop (หรือ notch) filter (ช่วงความถี่ที่กำหนดผ่านไม่ได้) วงจรกรองความถี่แบบนี้จะยอมให้ความถี่อื่น ๆ ผ่านไปได้สะดวก แต่สำหรับความถี่เป้าหมายจะถูกกำจัดออกไป

2.8.2 การทำงานของวงจรกรองความถี่

การทำงานของวงจรกรองความถี่แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ

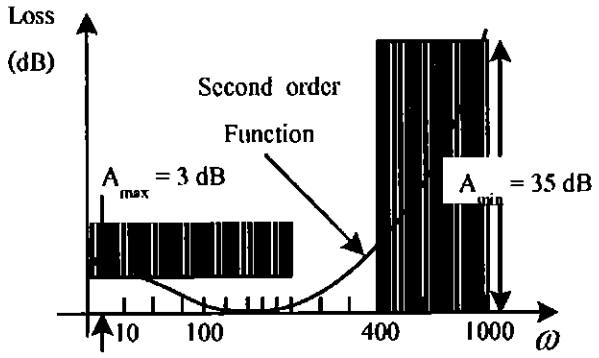
1) แบบพาสซีพฟิลเตอร์ (Passive filter) ลักษณะแบบพาสซีพนั้นหมายถึงวงจรฟิลเตอร์ที่ไม่ต้องการไฟฟ้า ไม่มีการขยาย ใช้อุปกรณ์ที่เป็นพาสซีฟไม่ต้องการแหล่งจ่ายพลังงาน (Unpowered components (R,L,C) มีแต่การลดทอนสัญญาณลง การลดทอนนี้เราจะเรียกว่า Insertion loss

2) แบบแอคทีฟฟิลเตอร์ (Active filter) ลักษณะแบบแอคทีฟนั้นจะมีวงจรขยายสัญญาณอยู่ภายใน จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าต้องการแหล่งจ่ายพลังงาน มักจะใช้กันที่ความถี่ต่ำ ๆ เช่น ในวงจรเครื่องขยายเสียง

2.8.3 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน แบบแอคทีฟฟิลเตอร์

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) แบบแอคทีฟฟิลเตอร์ยังสามารถแบ่งออกได้หลายแบบเช่น วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบใช้การประมาณค่าแบบบัตเตอร์เวิร์ท (Butterworth approximation) วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบใช้การประมาณค่าแบบเชบบี้เชฟ (Chebychev approximation) และวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบเซลเลนคี (Sellen-Key Low-Pass Circuits)

2.8.4 การประมาณค่าวงจรกรองความถี่ (Filter approximations)



รูปที่ 2.21 ค่าสูญเสียในช่วงส่งผ่านที่เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 2.21 แสดงค่าสูญเสียในช่วงส่งผ่านที่เพิ่มขึ้นโดยที่ต่ำที่สุด 35เดซิเบล (dB) เหมือนกับค่า โอเมก้า (ω) เพิ่มขึ้นจาก 100 ไป 400 เรเดียนต่อวินาที (rad/s) อย่างไรก็ตามวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านกับฟังก์ชั่นถ่ายโอนยังมีปัญหาอยู่คือ สามารถเพิ่มค่าสูญเสียได้เพียง 40 เดซิเบลต่อเดคเดค(dB/decade) เท่านั้น ดังนั้นวงจรกรองอันดับที่สองเมื่อเราพิจารณาแล้วจะไม่สามารถเชื่อมั่นในข้อกำหนดสิ่งที่จำเป็นนี้ได้ การจัดการกับปัญหานี้คือการใช้ฟังก์ชั่นวงจรกรองความถี่แบบประมาณของอันดับสูงกว่า สำหรับฟังก์ชั่นวงจรกรองความถี่ที่ต้องการมีอัตราการลดทอนที่ 17.5 เดซิเบลต่ออ็อคเทด(dB/octave) ซึ่งฟังก์ชั่นถ่ายโอนอันดับที่สองแสดงให้เห็นเพียง 12 เดซิเบลต่ออ็อคเทดเท่านั้น ฟังก์ชั่นถ่ายโอนอันดับที่สามจะถูกใช้เมื่อ ต้องการอัตราการเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 18 เดซิเบลต่ออ็อคเทด ในการออกแบบจะใช้ โบดพล็อต (Bode plot) และข้อมูลจากความต้องการค่าสูญเสียของวงจรกรองความถี่ (ซึ่งหาค่าประมาณได้จากตำแหน่งของจุดโพลและศูนย์) ฟังก์ชั่นค่าประมาณสามารถหาได้ สำหรับการประมาณฟังก์ชั่นวงจรกรองความถี่พื้นฐานบนโบดพล็อตโดยใช้เทคนิคนี้จะใช้สำหรับ อันดับต่ำ เพื่อง่ายต่อการออกแบบวงจรกรองความถี่ คุณลักษณะของวงจรกรองความถี่ที่ซับซ้อนกว่า จะประมาณง่ายกว่าโดยใช้ ฟังก์ชันถ่ายโอน การบรรยายที่ดีมีเหตุผลกว่ารากฐานของมันซึ่งทำออกมาเป็นรูปตาราง ค่าประมาณเหล่านี้ถูกใช้โดยตรงในวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอย่างไรก็ตามพวกมันสามารถ ใช้ออกแบบวงจรกรองความถี่สูงผ่านได้ด้วยและใช้กับวงจรกรองย่านความถี่และวงจรกำจัดย่านความถี่ด้วย ซึ่งพิจารณาฟังก์ชั่นพิเศษและตารางที่สามารถใช้ประมาณค่าการทำงานปกติ (Normalize) ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ค่าประมาณของฟังก์ชั่นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่มีเหตุผลที่เราจะพิจารณามีรูปแบบ โดยทั่วไปคือ

$$|H(j\omega)|^2 = 1 + |K(j\omega)|^2 = 1 + \left|\frac{N(j\omega)}{D(j\omega)}\right|^2 \qquad (2.15)$$

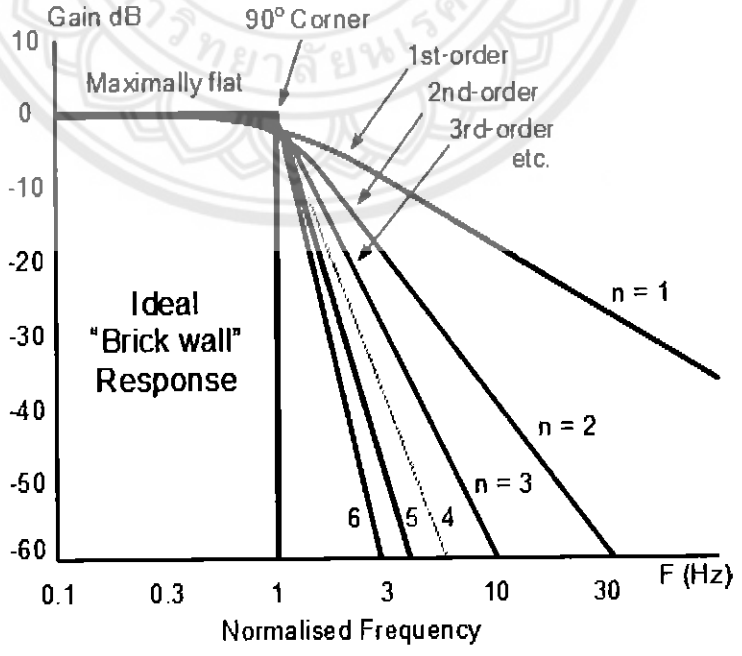
เมื่อ H(s) คือค่าสูญเสียที่ต้องการและ K(s) คือฟังก์ชั่นที่แปรตาม S(S = jΩ) สำหรับวงจร กรองความถี่ต่ำผ่านต้องเลือกค่า K(s) ดังนั้น H(s) ค่าที่รวมอยู่ในแถบความถี่ผ่านและมีค่ามากในแถบความถี่ที่ถูกกำจัด K(s) สามารถเลือกได้โดย ฟังก์ชันโพลิโนเมียลอินดับ n สำหรับ

$$K(s) = a_0 + a_1 s + a_2 s^2 + a_3 s^3 + \ldots + a_n s^n \qquad (2.16)$$

เมื่อค่าประสิทธิภาพที่เลือกมีค่าตรงกับฟังก์ชันสูญเสีย H(s) ก็จะชดเชยค่าที่วงจรกรองความถี่กำหนดไว้

2.8.5 การประมาณแบบบัตเตอร์เวิร์ท (Butterworth approximation)

ในการใช้งานวงจรฟิลเตอร์ บางครั้งก็จำเป็นที่จะต้องให้เส้นกราฟในช่วงความถี่คัตออฟมีความชันสูงมาก ๆ เพื่อให้ความถี่ที่สูงกว่า f_c ถูกกรองให้หมดไปอย่างแท้จริงและมีคุณภาพ สำหรับวงจรที่มีคุณสมบัติดังกล่าวและนิยมใช้กันมากวงจรหนึ่ง คือ วงจรบัตเตอร์เวิร์ท (butterworth filter) การออกแบบวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำนั้น นอกจากจะต้องให้ได้จุดคัตออฟที่ถูกต้องแล้วยังต้องทำให้อัตราการขยายแบบลูปปิดมีค่าเท่ากับ 1 ในช่วงความถี่ต่ำผ่าน บัตเตอร์เวิร์ทฟิลเตอร์ เป็นวงจรที่มีคุณสมบัติเด่นในเรื่องของอัตราขยายของวงจร โดยจะให้ค่า A_{CL} ที่คงที่ตลอดในสัญญาณช่วงผ่าน บางครั้งจึงเรียกวงจรแบบนี้ว่า แม็กซิมอล์ลีแฟลท (Maximally flat) หรือ แฟลท-แฟลท ฟิลเตอร์ flat-flat filter ในรูปที่ 2.22 แสดงถึงผลตอบสนองทางความถี่ เส้นดำแสดงถึงผลในทางอุดมคติ ส่วนเส้นอื่นๆ แสดง ความสัมพันธ์ของอันดับที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.22 การตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านชนิดบัตเตอร์เวิร์ท

การประมาณแบบบัตเตอร์เวิร์ทซึ่งมีคุณลักษณะโดย

$$K(s) = \varepsilon\left(\frac{s}{\omega_p}\right)^n \tag{2.17}$$

เมื่อ ε คือค่าคงที่ n คืออันดับของโพลิโนเมียลและ ω_p คือขอบแถบความถี่ผ่านที่ต้องการฟังก์ชันค่าสูญเสียคือ

$$|H(j\omega)| = \left|\frac{V_{in}(j\omega)}{V_{out}(j\omega)}\right| = \sqrt{1+\omega^2\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{2n}} \tag{2.18}$$

ค่าสูญเสียในหน่วย dB ที่กำหนดคือ

$$A(\omega) = 10\log\left|+1+\omega^2\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{2n}\right| \text{dB} \tag{2.19}$$

จากที่แสดงด้านบนคือค่าสูญเสียในหน่วย dB ของฟังก์ชั่นที่ประมาณของวงจรกรองความถี่ ต่ำผ่าน หรืออันดับ n กับขอบแถบความถี่ผ่านของ ω_p สำหรับวัตถุประสงค์ของการออกแบบ จะสะดวกในการทำให้ฟังก์ชันวงจรกรองความถี่ต่ำ ผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ทนี้โดยการใช้การปรับความถี่เพื่อให้มีสภาวะปกติ

$$\Omega = \varepsilon^{1/n}\frac{\omega}{\omega_p} \tag{2.20}$$

การทำให้มีสภาวะปกตินี้หมายความว่า การตั้งฟังก์ชั่นหนึ่งของอันดับที่ n ให้มีจัดไว้ในตารางเท่านั้น(สำหรับ $\omega_p = 1$) มากกว่าสำหรับค่าที่เป็นไปได้ทุกค่าของ ω_p การหาอัตราส่วนค่าที่ ต้องการของ ω_p สามารถหาได้ภายหลัง เมื่อมองที่ฟังก์ชั่นการประมาณแบบบัตเตอร์เวิร์ทเราสามารถสังเกตคุณลักษณะทั่วไปบางอย่างคือ

1) เมื่อ $\omega = \omega_p; A(\omega) = 10\log(1+\varepsilon^2)$ และค่าสูญเสียของวงจรกรองความถี่นี้จะมีค่า A_{max}dB

ดังนั้น ε ก็จะมีค่าสัมพันธ์กับ A_{max} โดย

$$\varepsilon = \sqrt{10^{0.1A_{max}} - 1} \tag{2.21}$$

2) ที่ความถี่สูง ค่าสูญเสียมีค่าเข้าใกล้

$$A(\omega) = 20\log\varepsilon\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right) \text{dB} \tag{2.22}$$

ความชันถูกกำหนดโดย 6 เดซิเบลต่ออ็อบเทด หรือ 20 เดซิเบลต่อเดคเคด ด้วยเหตุนี้ช่วงความถี่ที่ถูกกำจัดจะมีค่าสูญเสียเพิ่มขึ้นกับค่าอันดับของ n

3) ที่ค่าใกล้กับ $\omega = 0, \varepsilon^2(\omega/\omega_p)^{2n} << 1$ ดังนั้น

$$\sqrt{1+\varepsilon^2\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{2n}} = 1+\frac{1}{2}\varepsilon^2\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{2n} - \frac{1}{8}\varepsilon^2\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{4n} + \frac{1}{16}\varepsilon^6\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{6n} + \ldots \quad (2.23)$$

ถ้าเรารู้ความแตกต่างของความสัมพันธ์นี้กับค่า ω เพื่อหาค่าความชันของ H(ωj) ที่ใกล้กับ ω = 0 เราหาค่าที่ ω = 0 การค้นหาอันดับแรก 2n-1 คือศูนย์ ด้วยเหตุนี้ค่าความชัน ของฟังก์ชั่นวงจรกรองความถี่ในช่วงความถี่ผ่านจะเรียบด้วยเหตุผลนี้ การประมาณแบบบัตเตอร์เวิร์ท จึงรู้จักกันว่าเป็นการประมาณที่เรียบที่สุด (Maximally flat approximation)

ตารางที่ 2.2 การกำหนดฟังก์ชันบัตเตอร์เวิร์ท

n	*H(S)*
1	$S+1$
2	$S^2 + 1.414\,S + 1$
3	$(S^2 + S + 1)(S + 1)$
4	$(S^2 + 0.76537S + 1)(S^2 + 1.84776S + 1)$
5	$(S^2 + 0.61803S + 1)(S^2 + 1.61803S + 1)(S + 1)$

การกำหนดฟังก์ชั่นบัตเตอร์เวิร์ทสำหรับความถี่คัตออฟของวงจรกรองความถี่คือ ω และ ค่าสูญเสียสูงสุดในช่วงความถี่ผ่านคือ A_{max} dB สมการโพลีโนเมียลในตารางข้างบนต้องทำให้ เป็นค่าปกติโดยการแทนที่ S โดย

$$S\left(\frac{\varepsilon^{1/n}}{\omega_P}\right) \quad (2.24)$$

บทที่ 3
การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกวัตถุ

3.1 ส่วนประกอบเครื่อง

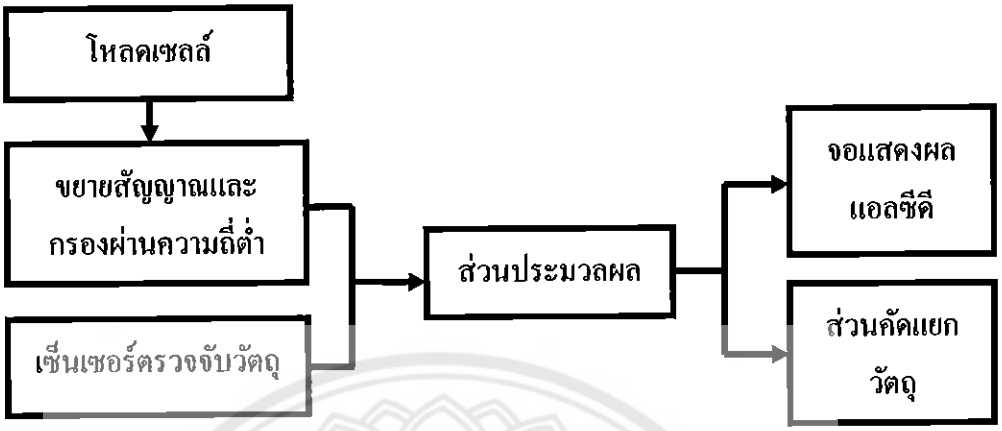
การออกแบบเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกออกแบบมีส่วนประกอบทั้งหมด 3 ส่วน ที่สามารถแยกออกจากกันได้และเชื่อมต่อการทำงานโดยใช้สายเชื่อมต่อเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย จำเป็นต้องมีวัสดุอุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ซึ่งจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1) วงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011
2) โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ
3) วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง +5 +12 +15 และ-15 โวลต์
4) วงจรเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยลำแสงชนิดตัวรับ-ตัวส่ง
5) วงจรขยายสัญญาณอินชัวเมนต์-ออปแอมป์
6) วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ท
7) วงจรคัดแยกวัตถุ
8) วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ของสายพาน
9) วงจรแสดงผลสถานะการทำงานแอลอีดี
10) จอแอลซีดี
11) มอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์
12) มอเตอร์กระแสตรง 24 โวลต์

3.2 ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง

โครงงานเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเริ่มจากการกำหนดมวลของวัตถุที่ต้องการไว้ก่อน เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ตามสายพานผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยลำแสง โปรแกรมการคัดแยกเริ่มทำงาน โดยรับสัญญาณจากโหลดเซลล์ที่ผ่านการขยายและกรองสัญญาณเรียบร้อยแล้วเข้าไปประมวลผลที่วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงมวลเป็นตัวเลขออกที่จอแสดงผลแอลซีดี และทำการพิจารณามวลของวัตถุมีค่าเท่ากับมวลที่กำหนดไว้ตั้งแต่ต้นหรือไม่ ถ้าตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้วงจรคัดแยกคัดทำการคัดแยกวัตถุไปอยู่ในช่องได้มาตรฐาน แต่ถ้าไม่ตรงตามเงื่อนไขวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้วงจร

คัดแยกคัดทำการคัดแยกวัตถุไปอยู่ในช่องไม่ผ่านมาตรฐาน สามารถแสดงขั้นตอนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพกรอบขั้นตอนการทำงานทั้งหมด

3.2.1 ขั้นตอนการทำงานของส่วนชั่งมวลและสายพานลำเลียงวัตถุ

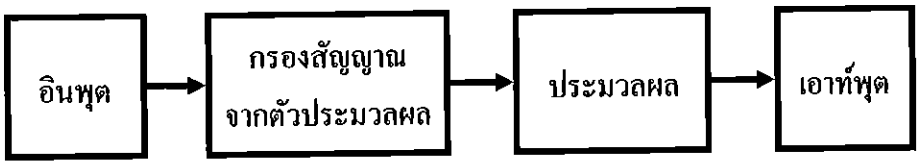
การทำงานของส่วนชั่งมวลและสายพานลำเลียงวัตถุแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 การทำงานในส่วนรับมวลของวัตถุ เริ่มเมื่อโหลดเซลล์ได้รับมวลจากวัตถุจะทำให้ความต้านทานในวงจรบริดจ์ไม่เท่ากันส่งผลให้แรงดันเอาท์พุตมีค่าต่างกันจากนั้นนำสัญญาณขยายให้ได้อยู่ในพิกัด 0 ถึง 5 โวลต์ แล้วทำการกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านเพื่อตัดสัญญาณรบกวนจากนั้นเมื่อวัตถุตัดผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุด้วยแสงจะทำการประมวลผลและแสดงออกมาทางจอแสดงผลแอลซีดีต่อไป

รูปที่ 3.2 แผนภาพกรอบแสดงขั้นตอนการทำงานของส่วนรับมวลวัตถุ

3.2.2 ขั้นตอนการทำงานของส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์

ขั้นตอนการทำงานของส่วนประมวลผลสามารถเขียนเป็นแผนภาพกรอบแสดงขั้นตอนการทำงานได้ดังรูปที่ 3.3 โดยเมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่อินพุตสัญญาณจะถูกกรองเอาสัญญาณรบกวน

ออกอีกหนึ่งรอบเพื่อให้ได้สัญญาณที่เรียบและไม่แกว่ง จากนั้นหน่วยประมวลผลจะนำสัญญาณที่ได้มาประมวลผลเพื่อที่จะแสดงเป็นตัวเลขออกทางเอาท์พุตและควบคุมการคัดแยกวัตถุ



รูปที่ 3.3 แผนภาพกรอบแสดงขั้นตอนการทำงานของส่วนประมวลผล

3.2.3 ขั้นตอนการทำงานของส่วนแสดงผลและคัดแยกวัตถุ

ในส่วนของขั้นตอนการแสดงผล มีแผนภาพกรอบแสดงขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.4 เมื่อมีสัญญาณเอาท์พุตส่งออกมาจากส่วนประมวลผลจะถูกนำมาแสดงผลเป็นตัวเลขค่ามวลของวัตถุบนจอแอลซีดี 16x2 โดยส่งสัญญาณเป็นแบบ 4 บิต และจะคัดแยกวัตถุตามมาตรฐานที่เรากำหนดไว้

รูปที่ 3.4 แผนภาพกรอบแสดงขั้นตอนการทำงานของส่วนแสดงผลและคัดแยกวัตถุ

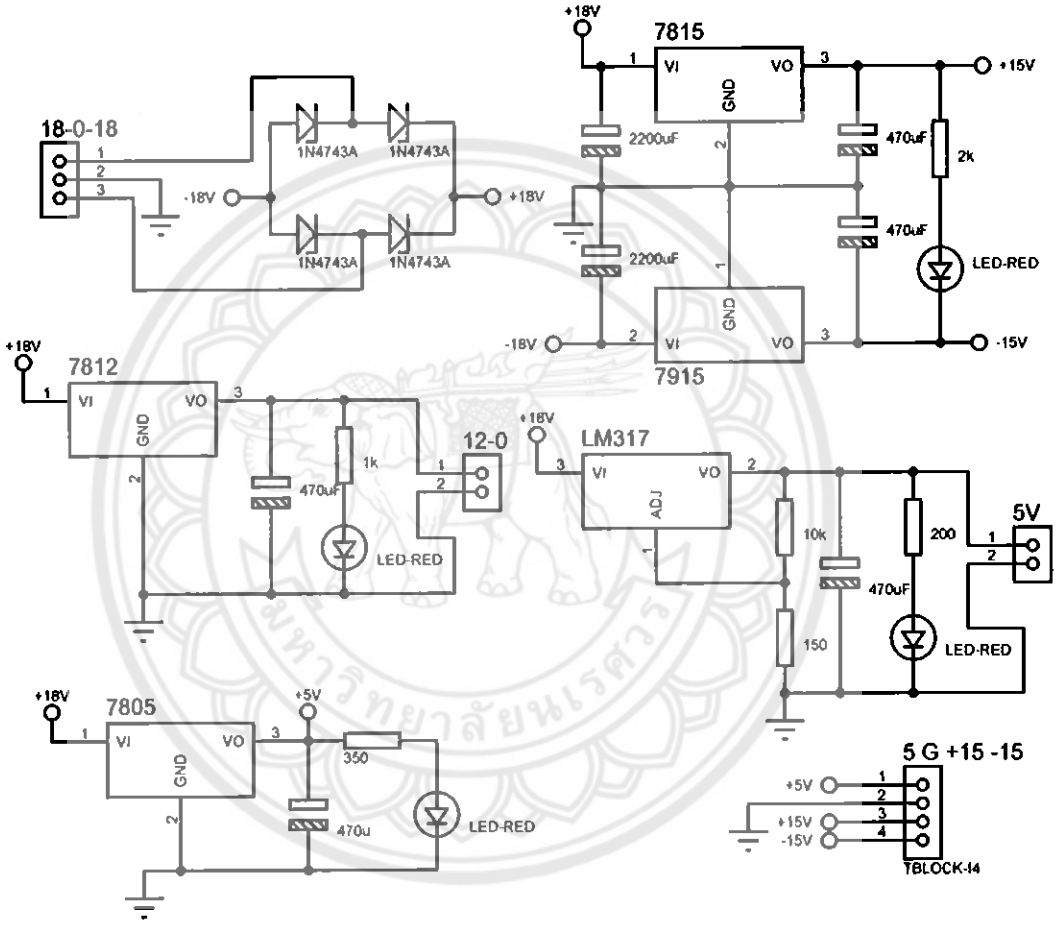
3.3 การออกแบบและสร้างวงจรใช้งาน

จากการออกแบบกระบวนการการทำงานของระบบในเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ถูกออกแบบให้มีวงจรเพื่อใช้งาน ซึ่งประกอบด้วยวงจรต่างๆเช่น วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง +5 +12 +15 และ-15 โวลต์ วงจรขยายสัญญาณและกรองผ่านความถี่ต่ำ วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ของสายพาน วงจรเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุด้วยลำแสง วงจรคัดแยกวัตถุ และวงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 วงจรต่างๆ สามารถออกแบบ สร้างวงจรและประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ดังต่อไปนี้

3.3.1 การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง +5 +12 +15 และ-15 โวลต์

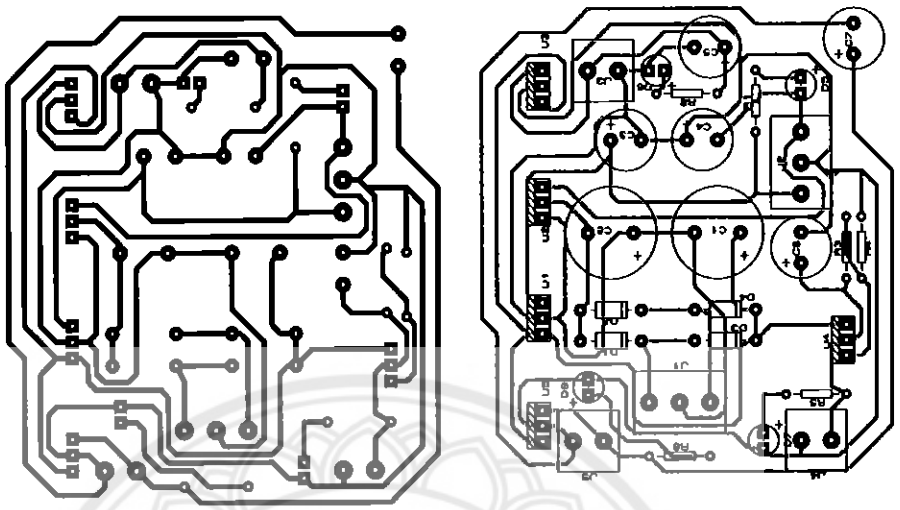
วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง +5 +12 +15 และ-15 โวลต์ มีหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรต่างๆวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง +5 +12 +15 และ-15 โวลต์ ใช้หม้อแปลงไฟฟ้า

กระแสสลับขนาด 220/18 โวลต์ ต่อกับวงจรเรียงกระแสตรงแบบบริดจ์ ใช้ไอซี LM7805 รักษาระดับแรงดัน 5 โวลต์ เพื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรบริดจ์ในโหลดเซลล์ ใช้ไอซี LM317 รักษาระดับแรงดัน 5 โวลต์ เพื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ใช้ไอซี LM7812 รักษาระดับแรงดัน 12 โวลต์ เพื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้กับพัดลมระบายความร้อน ใช้ไอซี LM 7815 และไอซี LM 7915 รักษาระดับแรงดัน +15 และ-15 โวลต์ เพื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์ในวงจรขยายสัญญาณและวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน สามารถออกแบบวงจรได้ดังรูปที่ 3.5



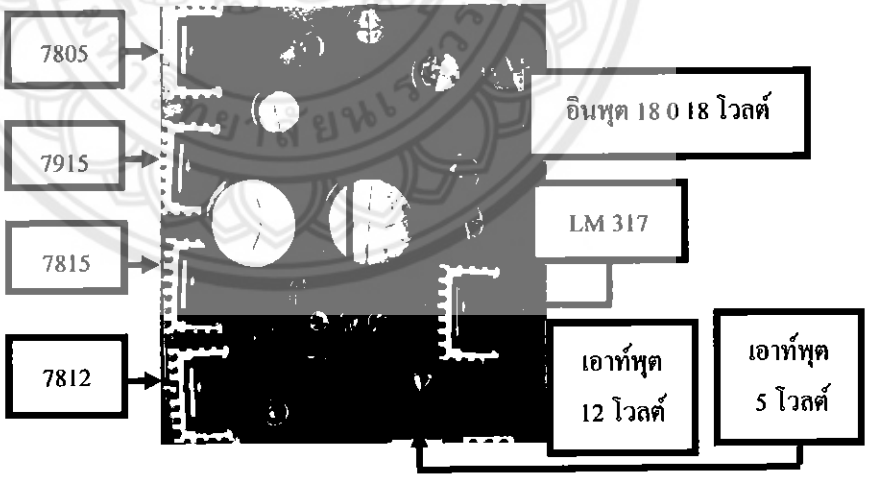
รูปที่ 3.5 แผนภาพวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง +5 +12 +15 และ-15 โวลต์

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง +5 +12 +15 และ-15 โวลต์ ถูกออกแบบลายวงจรและจัดวางอุปกรณ์ได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การออกแบบลายทองแดงและตำแหน่งอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง +5 +12 +15 และ-15 โวลต์

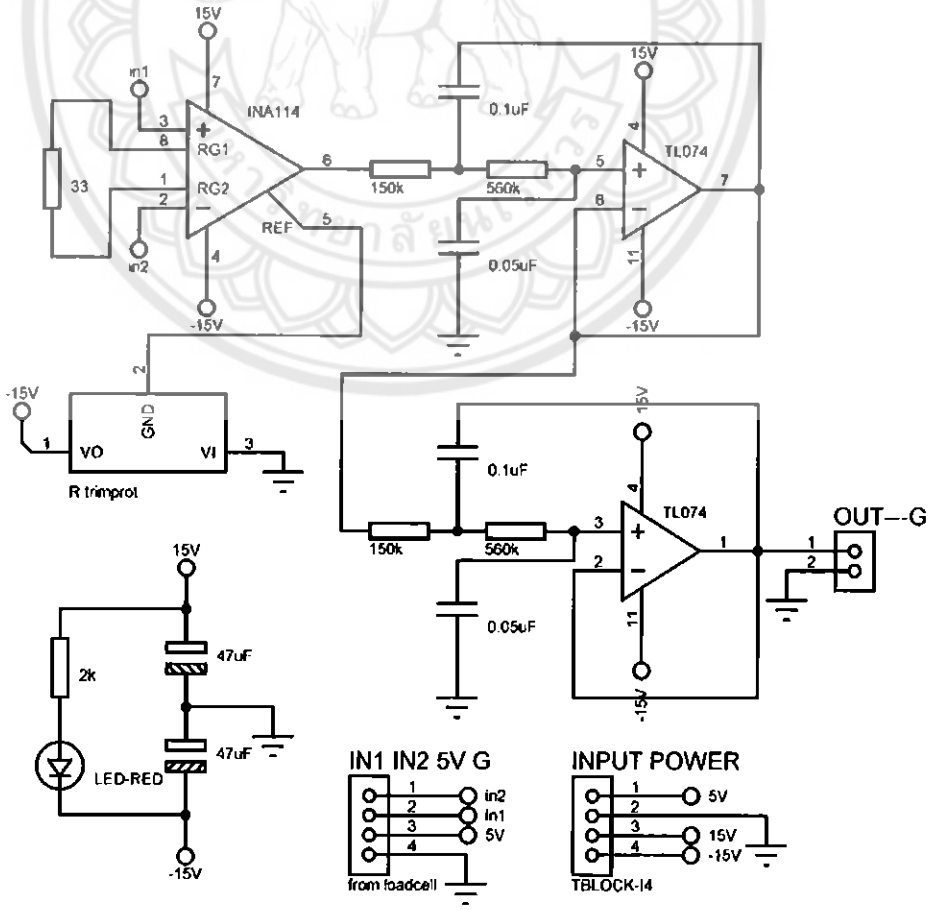
จากนั้นทำการสร้างวงจรใช้งานได้จากลายทองแดงวงจรข้างต้นและประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจรได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง +5 +12 +15 และ-15 โวลต์

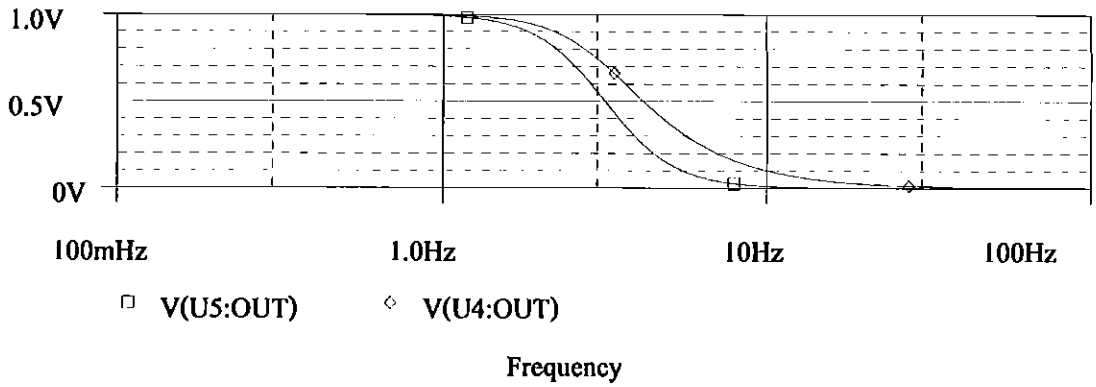
3.3.2 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณและวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

วงจรขยายสัญญาณและกรองผ่านความถี่ต่ำ มีหน้าที่ในการนำสัญญาณแอนะล็อกจากโหลดเซลล์เข้าไปประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 สัญญาณของโหลดเซลล์ที่มาจาก อินพุต1และอินพุต2 จะผ่านวงจรขยายสัญญาณเพราะแรงดันที่วัดได้จากโหลดเซลล์นั้นมีขนาดแอมปลิจูดของสัญญาณที่ต้องการวัดเพียง 3 ถึง 8 มิลลิโวลต์ จึงถูกออกแบบให้ใช้วงจรอินชัวเมนต์-ออปแอมป์เพื่อขยายสัญญาณให้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นเพื่อให้สามารถใช้งานกับ dsPIC ได้ และต้องขยายขนาดให้มีแอมปลิจูดของสัญญาณที่ 5 โวลต์เมื่อได้รับมวล 1,000 กรัม และเท่ากับ 0 โวลต์เมื่อไม่ได้รับมวลของวัตถุ โดยการต่อสัญญาณอินพุตทั้งสองข้างเข้ากับอินชัวเมนต์-ออปแอมป์หมายเลข INA114AP และนำสัญญาณผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เพราะระดับของสัญญาณรบกวนมีมาก นำสัญญาณที่ขยายเสร็จแล้วไปทำการกรองสัญญาณรบกวนออกไปโดยใช้วงจรกรองผ่านความถี่ต่ำแบบบัตเตอร์เวิร์ท ฟิลเตอร์ (2 รอบ) เนื่องจากฟิลเตอร์ชนิดนี้ ในช่วงความถี่ต่ำที่ผ่านได้ สัญญาณจะเป็นเชิงเส้น มีการลดทอนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับฟิลเตอร์ชนิดอื่นๆจากนั้นจึงนำสัญญาณเอาท์พุตไปประมวลผลที่วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 แสดงแผนภาพวงจรขยายสัญญาณและวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านดังรูปที่ 3.8



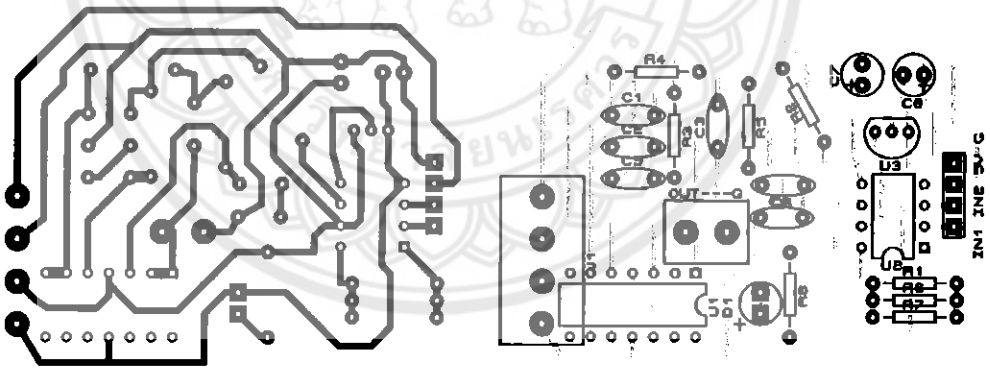
รูปที่ 3.8 แผนภาพวงจรขยายสัญญาณและวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

จากการออกแบบวงจรจึงทำการจำลองวงจรเพื่อหาผลตอบสนองทางความถี่ดังรูปที่ 3.9



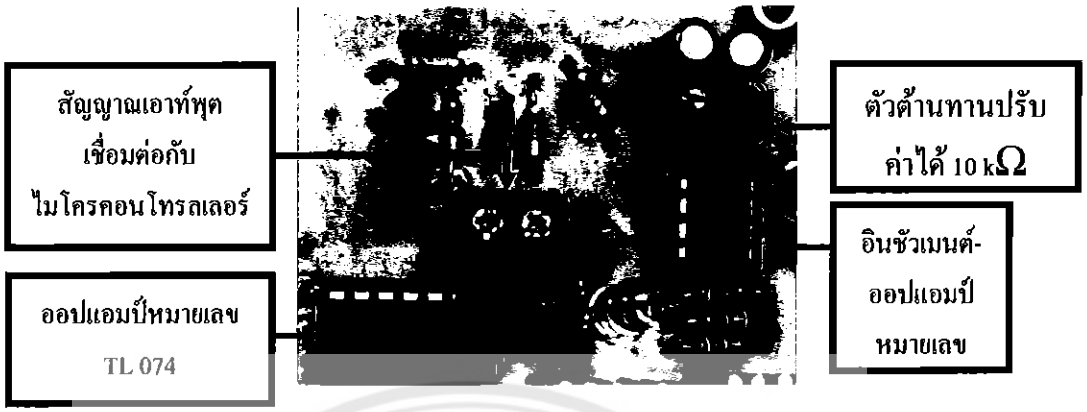
รูปที่ 3.9 กราฟผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ท

จากรูปที่ 3.9 เส้นกราฟ V(U4:OUT) คือ ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำแบบบัตเตอร์เวิร์ทครั้งที่ 1 เส้นกราฟ V(U5:OUT) คือ ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำแบบบัตเตอร์เวิร์ทครั้งที่ 2 ซึ่งทำให้การกรองผ่านความถี่ต่ำที่ต้องการมีการกรองสัญญาณรบกวนที่มีความถี่สูงได้ดีขึ้น ลดปัญหาของสัญญาณรบกวนได้ วงจรขยายสัญญาณและวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านออกแบบลายวงจรและการจัดวางอุปกรณ์ได้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การออกแบบลายทองแดงวงจรขยายสัญญาณและกรองผ่านความถี่ต่ำ

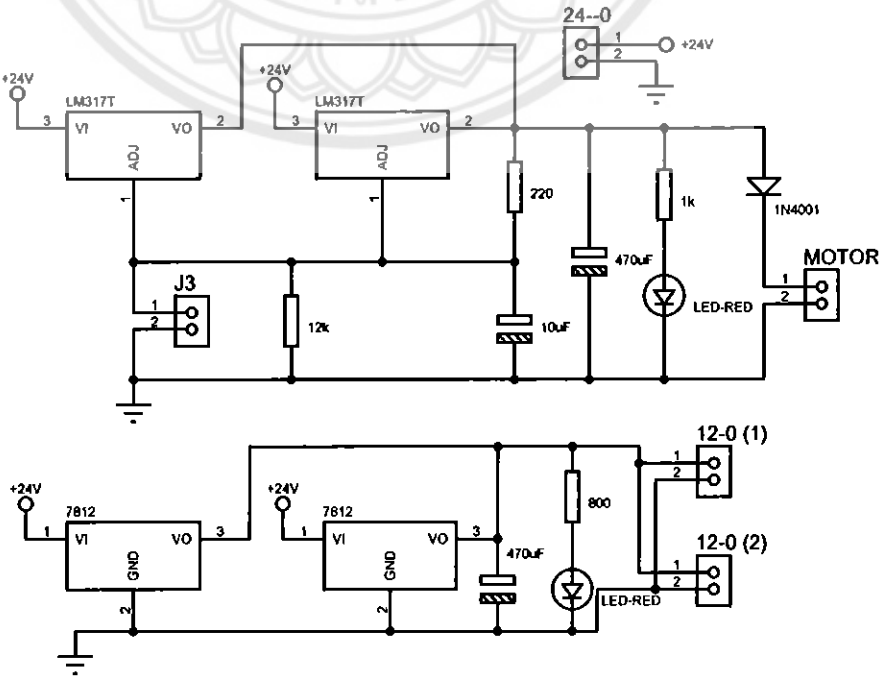
จากนั้นทำการสร้างวงจรใช้งานได้จากลายทองแดงวงจรข้างต้นและประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจรได้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรขยายสัญญาณและกรองผ่านความถี่ต่ำ

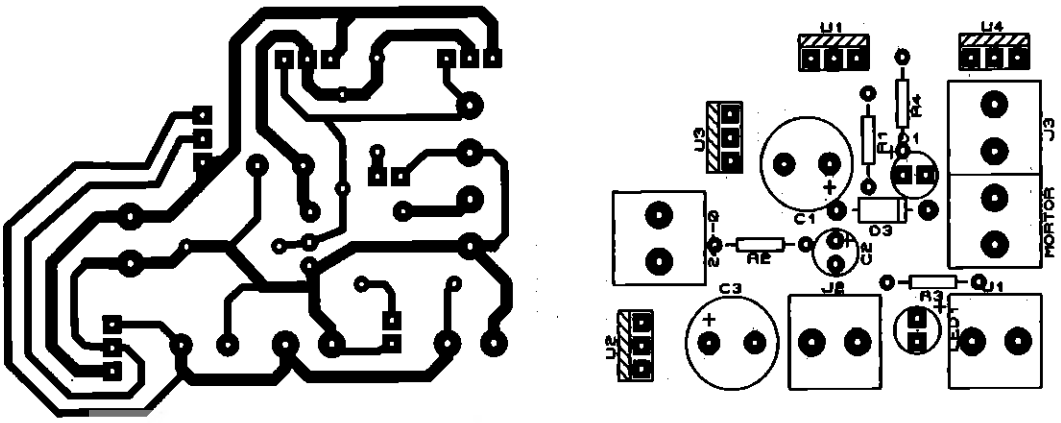
3.3.3 การออกแบบวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ของสายพานลำเลียงวัตถุ

วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ของสายพานลำเลียงวัตถุ มีหน้าที่ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ของสายพานลำเลียงวัตถุเพื่อเป็นการควบคุมความเร็วของสายพานลำเลียง โดยการประยุกต์ใช้การปรับระดับแรงดันตั้งแต่ 0 ถึง 24 โวลต์ด้วยการใช้ไอซีหมายเลข LM317 และวงมีการลดแรงดันอินพุตจาก 24 โวลต์ ให้เป็นเอาต์พุต 12 โวลต์เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรควบคุมส่วนคัดแยกวัตถุ และวงจรเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุด้วยลำแสง สามารถออกแบบวงจรได้ดังรูปที่ 3.12



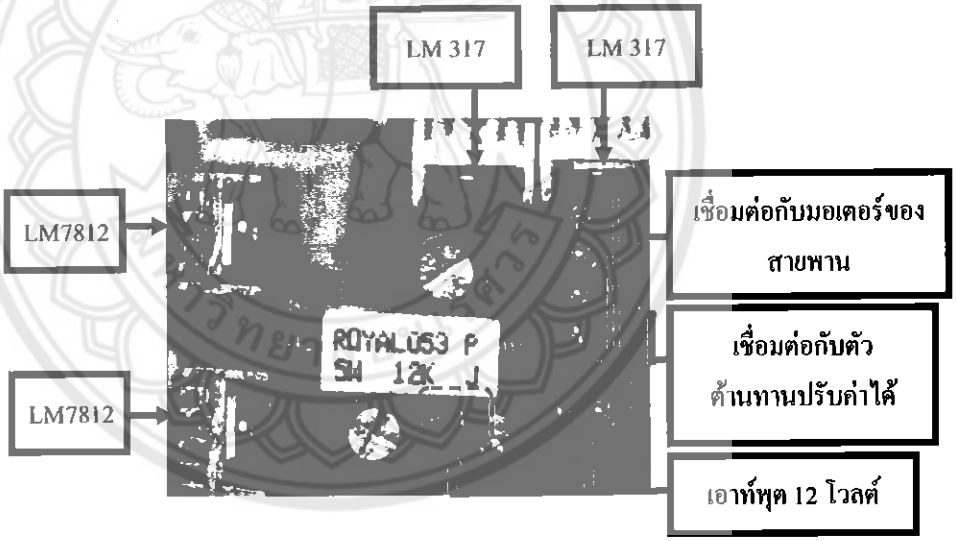
รูปที่ 3.12 แผนภาพวงจรควบคุมความเร็วของสายพาน

โดยออกแบบลายวงจรและการจัดวางอุปกรณ์ได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การออกแบบลายทองแดงวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ของสายพานลำเลียงวัตถุ

จากนั้นทำการสร้างวงจรใช้งานได้จากลายทองแดงวงจรข้างต้นและประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจรได้ดังรูปที่ 3.14

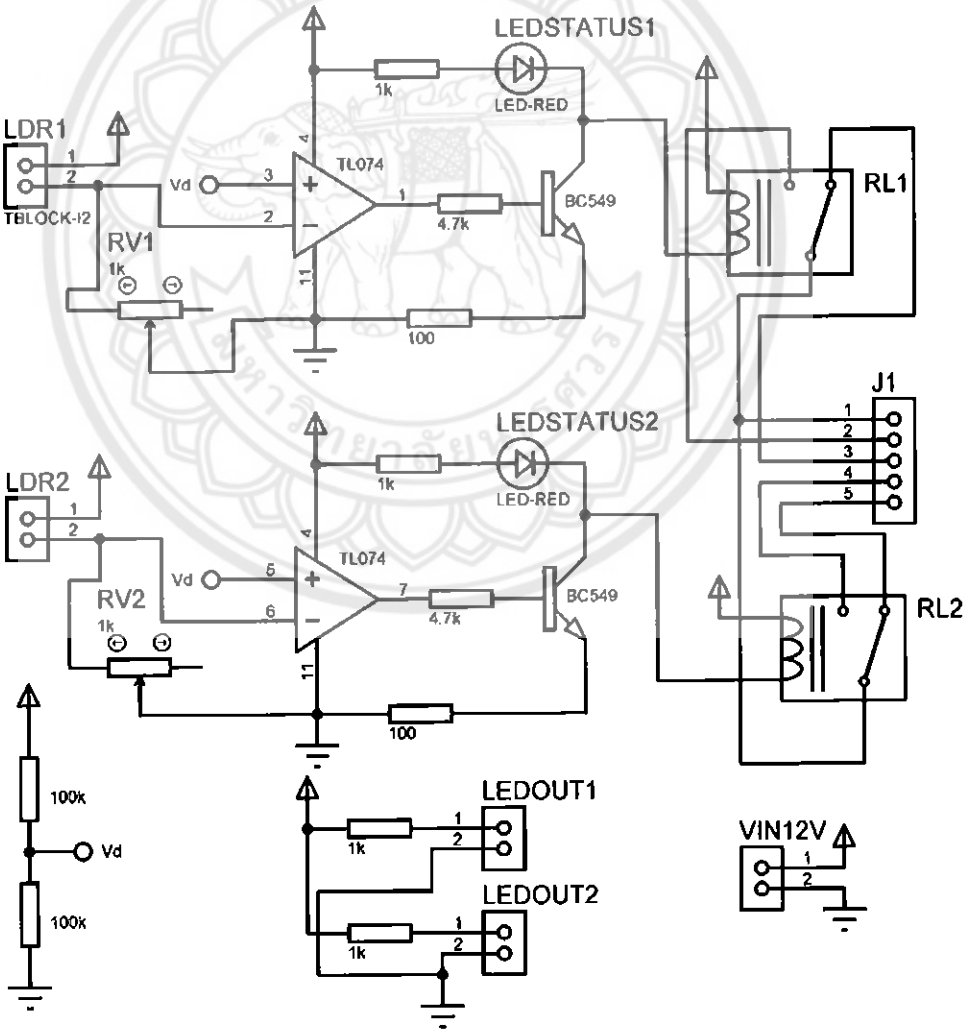


รูปที่ 3.14 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ของสายพานลำเลียงวัตถุ

3.3.4 การออกแบบวงจรเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยลำแสงชนิดตัวรับ-ตัวส่ง

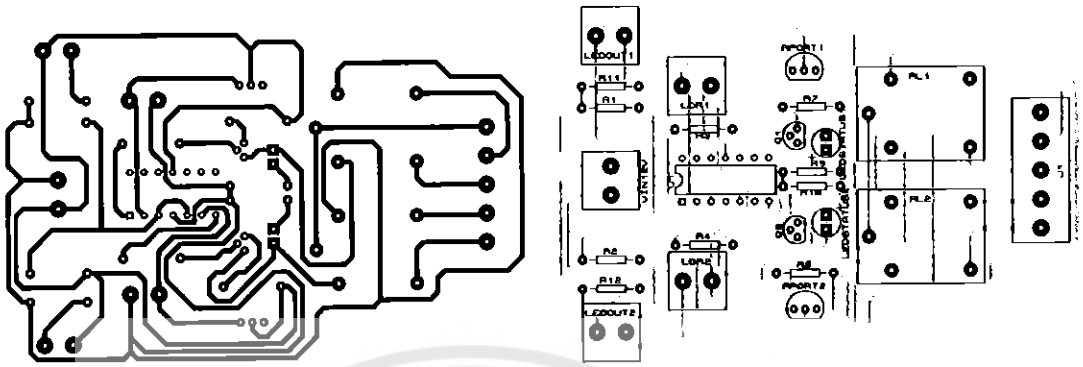
เซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยลำแสงชนิดตัวรับ-ตัวส่งถูกออกแบบโดย การใช้ตัวต้านทานปรับค่าตามแสงแอลดีอาร์ (LDR) รับแสงและใช้หลอดแอลอีดีเป็นตัวส่งแสง เมื่อตัวต้านทานปรับค่าตามแสงได้รับความเข้มแสงสูงจะทำให้มีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าต่ำ จึงทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวต้านทานทำให้มีแรงดันสูงขึ้นและสูงมากกว่าแรงดันที่ใช้วิธีการแบ่งแรงดัน แล้วนำมา

เปรียบเทียบกันโดยใช้ออปแอมป์ ทำให้ออปแอมป์มีแรงดันออกทางเอาท์พุตเท่ากับแรงดันไฟเลี้ยงต่อผ่านตัวต้านทานไปที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ กระแสไหลเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์เพียงพอทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแส จึงมีกระแสไหลผ่านรีเลย์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เป็นเสมือนสวิทช์ปิดเปิดเมื่อรีเลย์ทำงานจะทำให้ขาของคอมมอน (C) เชื่อมต่อกับขา ปกติเปิด (NO) สามารถนำไปใช้เป็นเสมือนสวิตช์เพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันของขาที่ต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นอินเตอร์รัปซึ่งจะทำให้โปรแกรมคัดแยกวัตถุเริ่มทำงาน แต่เมื่อได้รับความเข้มแสงน้อยจะทำให้มีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าสูงจึงทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวตานทานน้อยมาก เป็นผลให้มีแรงดันต่ำและต่ำกว่าแรงดันที่ใช้เปรียบเทียบ ออปแอมป์จึงจ่ายไฟต่ำสุดที่ 0 โวลต์ทำให้ไม่มีกระแสที่ไหลเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ ทำให้ทรานซิสเตอร์ไม่นำกระแส จึงไม่มีกระแสไหลผ่านรีเลย์รีเลย์ไม่ทำงาน แสดงแผนภาพวงจรเซนเซอร์ตรวจจับด้วยลำแสงชนิดตัวรับ-ตัวส่งได้ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แผนภาพวงจรเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยลำแสงชนิดตัวรับ-ตัวส่ง

วงจรเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุด้วยลำแสงชนิดตัวรับ-ตัวส่ง ออกแบบลายวงจรและการจัดวางอุปกรณ์ได้ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การออกแบบลายทองแดงวงจรเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุด้วยลำแสงชนิดตัวรับ-ตัวส่ง

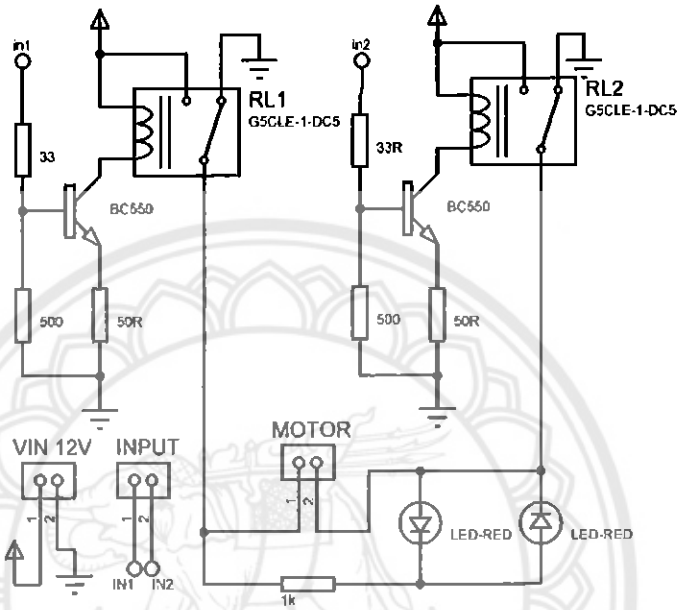
จากนั้นทำการสร้างวงจรใช้งานได้จากลายทองแดงวงจรข้างต้นและประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจรได้ดังรูปที่ 3.17

รูปที่ 3.17 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุด้วยลำแสงชนิดตัวรับ-ตัวส่ง

3.3.5 การออกแบบวงจรวงจรคัดแยกวัตถุ

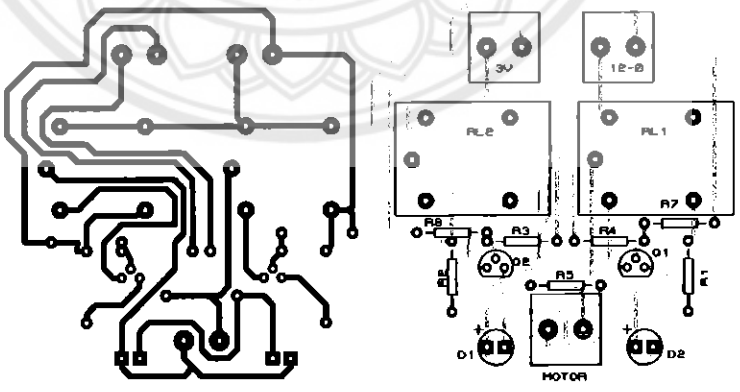
วงจรควบคุมมอเตอร์ในส่วนการคัดแยกวัตถุ มีหน้าที่รับสัญญาณควบคุมซึ่งสัญญาณควบคุมเป็นสัญญาณที่มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์จากนั้นสัญญาณควบคุมจะผ่านตัวต้านทานผ่านมาขับทรานซิสเตอร์เมื่อทรานซิสเตอร์ทำงานจะนำกระแสทำให้รีเลย์ทำงานซึ่งแต่ละขั้วของ

มอเตอร์ต่อกับขาคอมมอนของรีเลย์ ซึ่งเป็นตัวเลือกแรงดัน เนื่องจาก ใช้ขาปกติเปิดต่อเข้าไว้กับไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ และขาปกติปิดต่อเข้าไว้กับกราวด์ สามารถสั่งให้มอเตอร์สามารถทำงานได้ 2 ทิศทาง จะจ่ายกระแสให้มอเตอร์หมุนวนซ้ายเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลว่ามวลไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานและหมุนวนขวาเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลว่ามวลผ่านเกณฑ์มาตรฐานสามารถออกแบบวงจรได้ดังรูปที่ 3.18



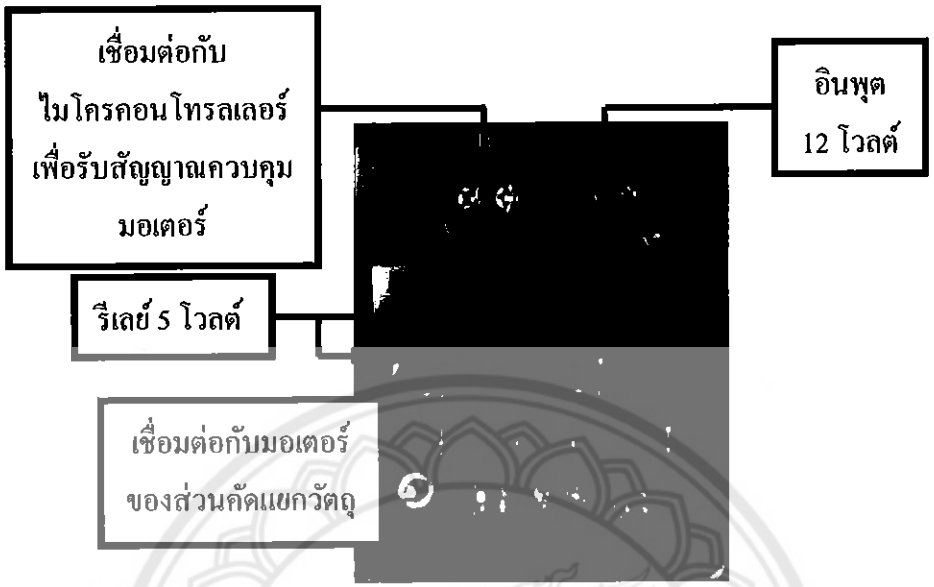
รูปที่ 3.18 แผนภาพวงจรคัดแยกวัตถุ

วงจรควบคุมมอเตอร์ในส่วนคัดแยกวัตถุ ออกแบบลายทองแดงของวงจรและได้ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 การออกแบบลายทองแดงวงจรควบคุมมอเตอร์ในส่วนคัดแยกวัตถุ

จากนั้นทำการสร้างวงจรใช้งานได้จากลายทองแดงวงจรข้างต้นและประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจรได้ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรควบคุมมอเตอร์ในส่วนคัดแยกวัตถุ

3.3.6 การออกแบบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

วงจรการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ของเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ มีหน้าที่ต่างๆดังนี้

1) รับสัญญาณแอนะล็อกจากวงจรขยายสัญญาณและกรองผ่านความถี่ต่ำจากโหลดเซลล์เพื่อประมวลผลและประมาณค่ามวลของวัตถุ

2) รับสัญญาณจากวงจรเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุด้วยลำแสงชนิดตัวรับ-ตัวส่ง เพื่อนับจำนวนวัตถุและให้โปรแกรมทำการประมวลผลคัดแยกวัตถุ

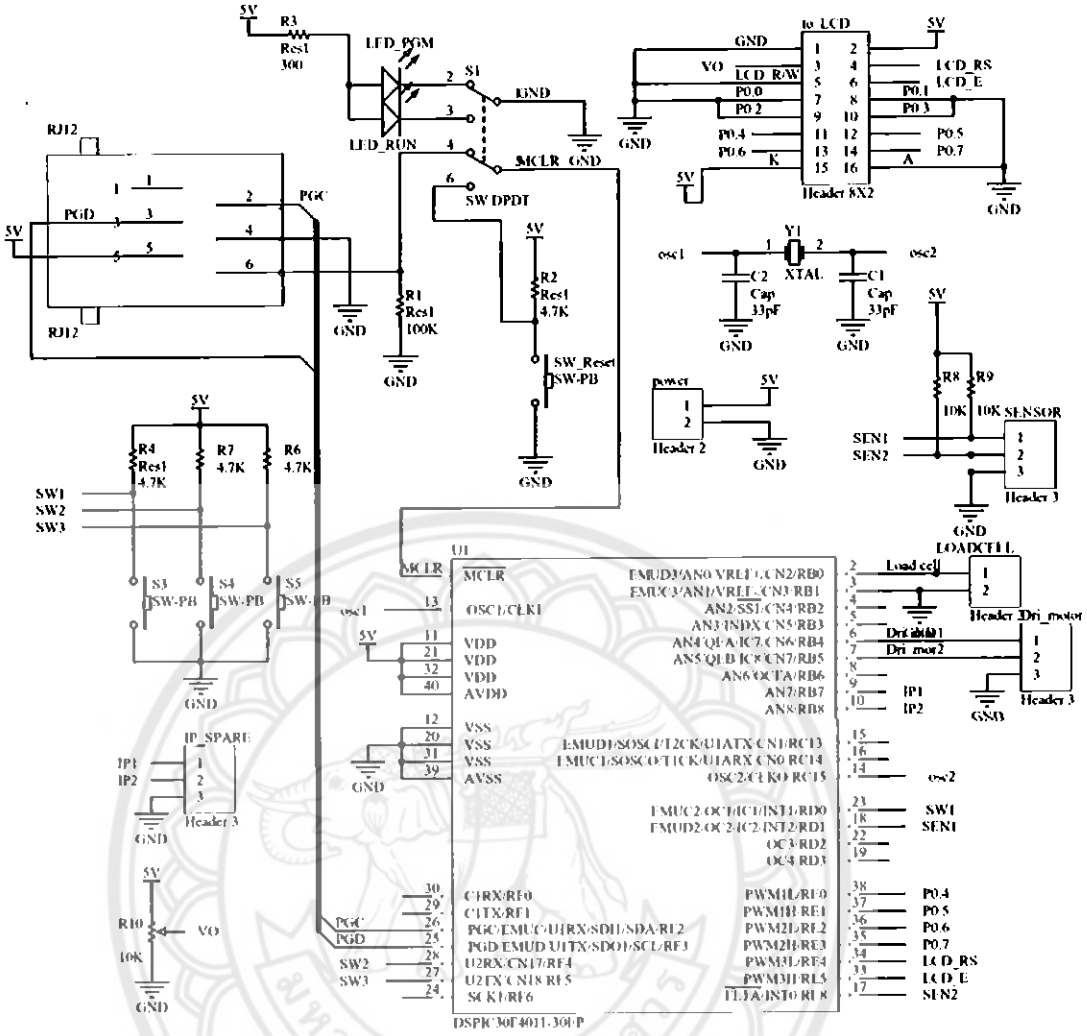
3) รับสัญญาณจากสวิตช์ปุ่มกด เพื่อใช้งานเมนูต่างๆของโปรแกรม

4) ส่งสัญญาณไปที่วงจรควบคุมส่วนคัดแยกวัตถุเพื่อควบคุมทิศทางการหมุนมอเตอร์ในส่วนคัดแยกวัตถุ

5) ส่งสัญญาณเพื่อแสดงผลไปที่จอแอลซีดีเพื่อแสดงค่ามวล จำนวน การคัดแยก และการใช้งานเมนูต่างๆ

6) ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลโปรแกรมและหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ผ่านตัวเชื่อมต่อ RJ-12 เพื่อติดต่อกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านโปรแกรม PICkit 2

สามารถออกแบบวงจรการใช้งานดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แผนภาพวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

จากหน้าที่ของไมโครคอนโทรเลอร์ที่กล่าวมาข้างต้นสามารถนำมาเลือกการใช้งานขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ได้ดังนี้

ขาที่ 1 มีหน้าที่รีเซ็ตโปรแกรม ต่อกับสวิตช์รีเซ็ตที่อยู่บนแผ่นวงจร

ขาที่ 2 มีหน้าที่รับสัญญาณแอนะล็อก ต่อกับช่องต่อสายสัญญาณอินพุตจากโหลดเซลล์ (Terminal)

ขาที่ 9 มีหน้าที่อินพุตและเอาต์พุต ต่อกับช่องต่อสัญญาณสำหรับสำรองการใช้งาน1

ขาที่ 10 มีหน้าที่อินพุตและเอาต์พุต ต่อกับช่องต่อสัญญาณสำหรับสำรองการใช้งาน2

ขาที่ 11, 21, 32, 40 มีหน้าที่รับไฟเลี้ยงไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ต่อกับไฟ +5 โวลต์

ขาที่ 12, 20, 31, 39 มีหน้าที่เป็นกราวด์ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

ขาที่ 13, 14 มีหน้าที่รับสัญญาณนาฬิกาจากคริสตัล ต่อกับคริสตัล 4 Mhz

ขาที่ 17 มีหน้าที่รับสัญญาณอินเตอร์รัป INT0 ต่อกับวงจรเซ็นเซอร์2

ขาที่ 18 มีหน้าที่รับสัญญาณอินเตอร์รัป INT2 ต่อกับวงจรเซ็นเซอร์1

ขาที่ 23 มีหน้าที่รับสัญญาณอินพุต ต่อแบบพูลอัพใช้กับสวิตช์1

ขาที่ 25 มีหน้าที่เป็น PGD ใช่สื่อสารกับ Pickit2 เพื่อดาวโหลดโปรแกรม

ขาที่ 26 มีหน้าที่เป็น PGC ใช่สื่อสารกับ Pickit2 เพื่อดาวโหลดโปรแกรม

ขาที่ 27 มีหน้าที่รับสัญญาณอินพุต ต่อแบบพูลอัพใช้กับสวิตช์ 2

ขาที่ 28 มีหน้าที่รับสัญญาณอินพุต ต่อแบบพูลอัพใช้กับสวิตช์ 3

ขาที่ 33 มีหน้าที่เอาต์พุต ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลแอลซีดี ต่อขา LCD_E ของแอลซีดี

ขาที่ 34 มีหน้าที่เอาต์พุต ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลแอลซีดี ต่อขา LCD_RS ของแอลซีดี

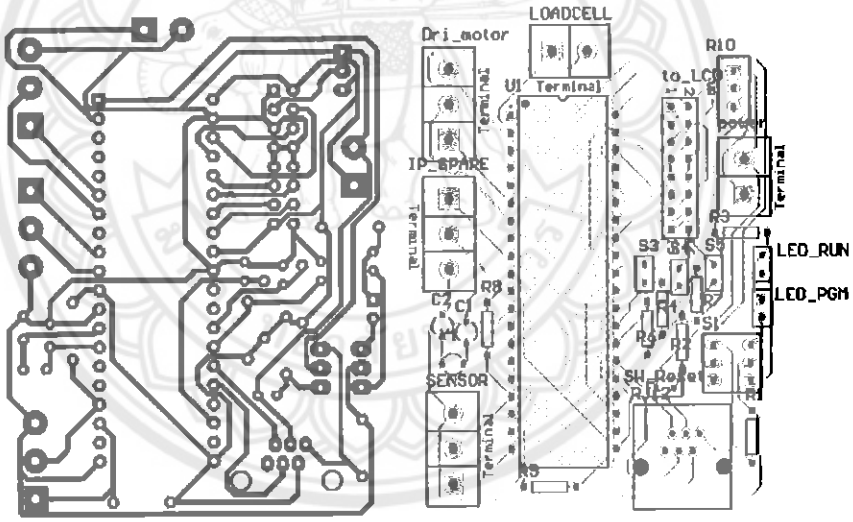
ขาที่ 35 มีหน้าที่เอาต์พุต ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลแอลซีดี ต่อขา D4 ของแอลซีดี

ขาที่ 36 มีหน้าที่เอาต์พุต ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลแอลซีดี ต่อขา D5 ของแอลซีดี

ขาที่ 37 มีหน้าที่เอาต์พุต ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลแอลซีดี ต่อขา D6 ของแอลซีดี

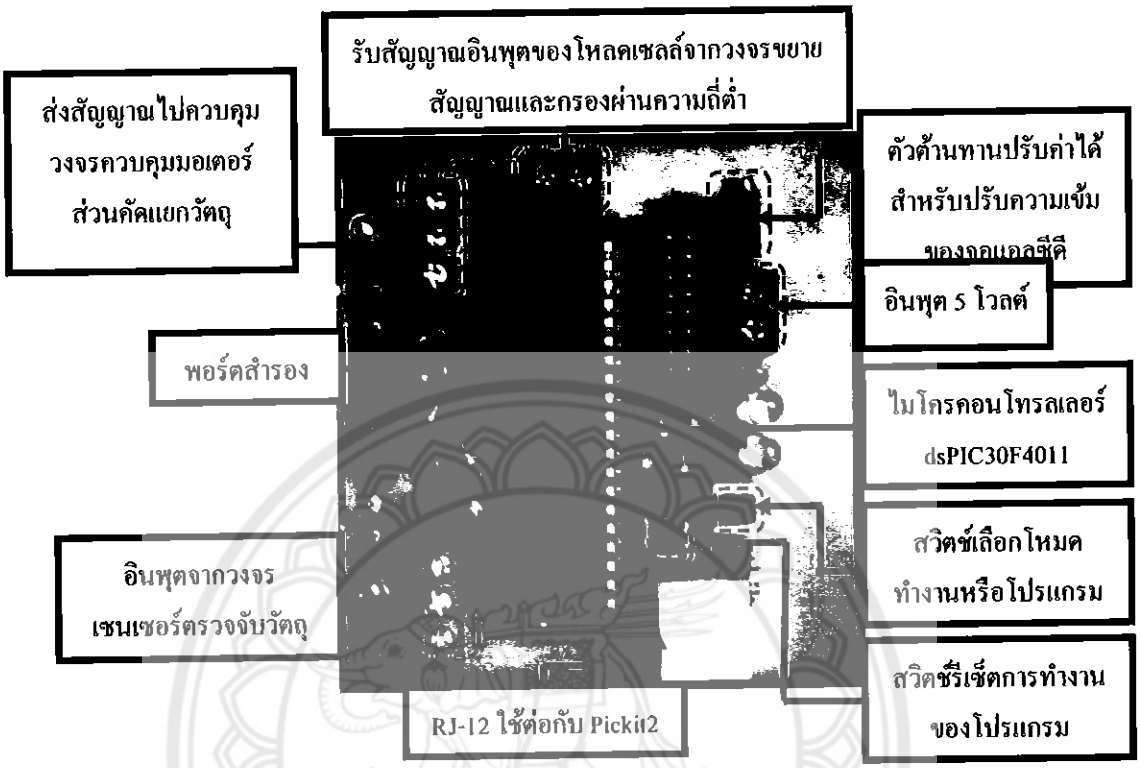
ขาที่ 38 มีหน้าที่เอาต์พุต ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลแอลซีดี ต่อขา D7 ของแอลซีดี

โดยสามารถออกแบบลายวงจรและการจัดวางอุปกรณ์ได้ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ผลการออกแบบลายทองแดงวงจรการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

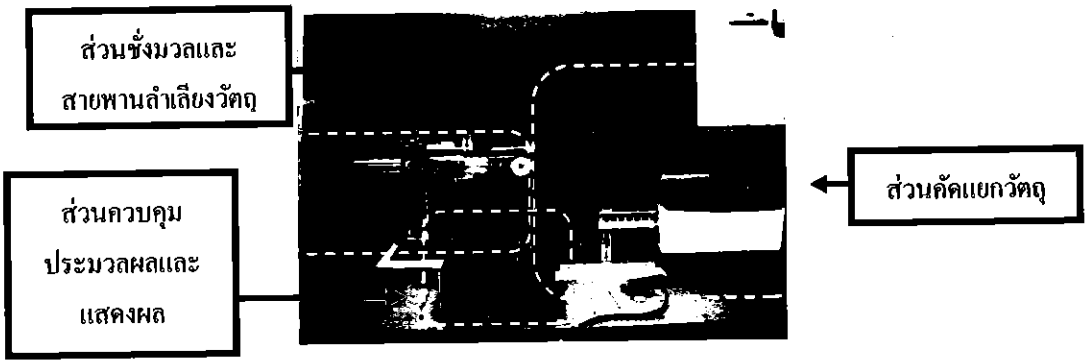
จากนั้นทำการสร้างวงจรใช้งานได้จากลายทองแดงวงจรข้างต้นและประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจรได้ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 การออกแบบวงจรการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

3.4 การประกอบเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

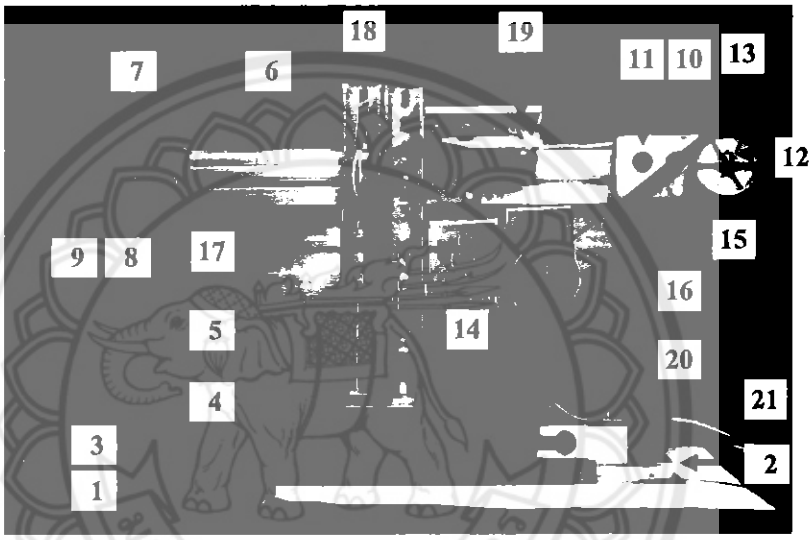
เครื่องคัดแยกวัตถุดังรูปที่ 3.24 ถูกออกแบบให้ประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนชั่งมวลของวัตถุและสายพานลำเลียง ส่วนควบคุม ประมวลผลและแสดงผล และส่วนคัดแยกวัตถุ ซึ่งรายละเอียด หลักการทำงานมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.24 เครื่องคัดแยกวัตถุ

3.4.1 ส่วนชั่งมวลและสายพานลำเลียงวัตถุ

ส่วนชั่งมวลและสายพานลำเลียงวัตถุมีหน้าที่รับมวลของวัตถุและเคลื่อนย้ายวัตถุผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ แล้วส่งสัญญาณไปที่ส่วนควบคุม ประมวลผลและแสดงผล แล้วเคลื่อนย้ายวัตถุออกไปยังส่วนคัดแยกวัตถุต่อไป ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆคือ โหลดเซลล์ แกนหมุนสายพานลำเลียงด้านหน้าและหลัง เซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ เฟืองแกนขับสายพานลำเลียง มอเตอร์ 12 โวลต์ ชุดเฟืองทด สายพานขับเฟือง สายไฟสำหรับเชื่อมต่อกับส่วนควบคุม แท่นรองโหลดเซลล์ โดยโครงสร้างทั้งหมดใช้วัสดุอะลูมิเนียม เนื่องจากการสร้างชิ้นงานสามารถทำได้ง่ายและมีน้ำหนักเบา



รูปที่ 3.25 ส่วนชั่งมวลของวัตถุและสายพานลำเลียง (ด้านข้าง)

จากรูปที่ 3.25 เริ่มต้นการประกอบชิ้นงานโดยการสร้างแผ่นฐานส่วนชั่งมวลและสายพานลำเลียง (หมายเลข 1) ยึดกับแผ่นรองโหลดเซลล์ (หมายเลข 2) เพื่อให้มีระยะห่างเผื่อการโค้งงอและยืดหยุ่นตัวของโหลดเซลล์ขณะชั่งมวล ยึดโหลดเซลล์ (หมายเลข 3) เข้ากับแผ่นรองโหลดเซลล์สร้างแผ่นฐานรองน้ำหนัก (หมายเลข 4) เพื่อรองรับน้ำหนักจากส่วนขับเคลื่อนและส่วนสายพานลำเลียงวัตถุยึดติดกับโหลดเซลล์ จากนั้นสร้างแผ่นเหล็กตัวยึด (หมายเลข 5) เพื่อใช้ยึดรางรองรับสายพาน (หมายเลข 6) กับฐานรับน้ำหนักโดยมีจำนวนทั้งหมด 3 ตัว ประกอบชุดลูกกลิ้งหมุนสายพานอิสระด้านหน้า (หมายเลข 7) ให้ติดกับรางรองรับสายพานโดยใช้ นอตสกรู (หมายเลข 8) ประกอบแกนลูกกลิ้ง (หมายเลข 9) เข้ากับชุดลูกกลิ้งหมุนสายพาน ประกอบชุดลูกกลิ้งขับสายพานด้านหลัง (หมายเลข 10) ให้ติดกับรางรองรับสายพานโดยใช้ นอตสกรู (หมายเลข 11) ประกอบแกนลูกกลิ้งขับสายพาน (หมายเลข 12) เข้ากับชุดลูกกลิ้งขับสายพาน ประกอบเฟืองแกนลูกกลิ้งขับสายพาน (หมายเลข 13) เข้ากับแกนลูกกลิ้งขับสายพาน ประกอบชุดมอเตอร์และเฟือง (หมายเลข 14) ติดกับรางรองสายพาน ใส่สายพานขับเฟือง (หมายเลข 15) เพื่อใช้ส่งกำลังกับชุดเฟืองทด

(หมายเลข 16) ใส่สายพานจากชุดเฟืองทดไปยังเฟืองจากมอเตอร์ (หมายเลข 17) จะสังเกตเห็นว่าเฟืองทดถูกนำมาใช้เพื่อให้ได้แรงในการขับสายพานมีแรงมากขึ้น หลังจากนั้นติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุด้วยลำแสง (หมายเลข 18 และหมายเลข 19) เข้าไว้กับตัวยึดรางรองรับสายพาน เพื่อใช้ตรวจจับวัตถุ จากนั้นรวบสายไฟไว้ด้วยกันให้เป็นระเบียบ (หมายเลข 20) ยึดสายไฟให้เข้ากับด้านท้ายของโหลดเซลล์ (หมายเลข 21) เพื่อลดผลที่เกิดจากน้ำหนักของสายไฟจะทำให้การประมาณค่ามวลของวัตถุคลาดเคลื่อนได้ แล้วจึงนำสายไฟทั้งหมดต่อกับตัวเชื่อมต่อดังรูปที่ 3.30 เพื่อเชื่อมต่อกับส่วนควบคุม เพื่อทำการประมวลผลสัญญาณที่ได้มาทั้งหมดแล้วทำการแสดงผลและการคัดแยกวัตถุต่อไป

ส่วนชั่งมวลของวัตถุและสายพานลำเลียงวัตถุถูกออกแบบโดยใช้โหลดเซลล์เพื่อรับน้ำหนักทั้งชุดสายพานลำเลียงและวัตถุที่นำมาคัดแยก ชุดสายพานขับเคลื่อนโดยใช้มอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์ใช้สายพานส่งกำลังมายังชุดเฟืองสำหรับทดรอบดังรูปที่ 3.26 ทำให้สายพานเคลื่อนที่

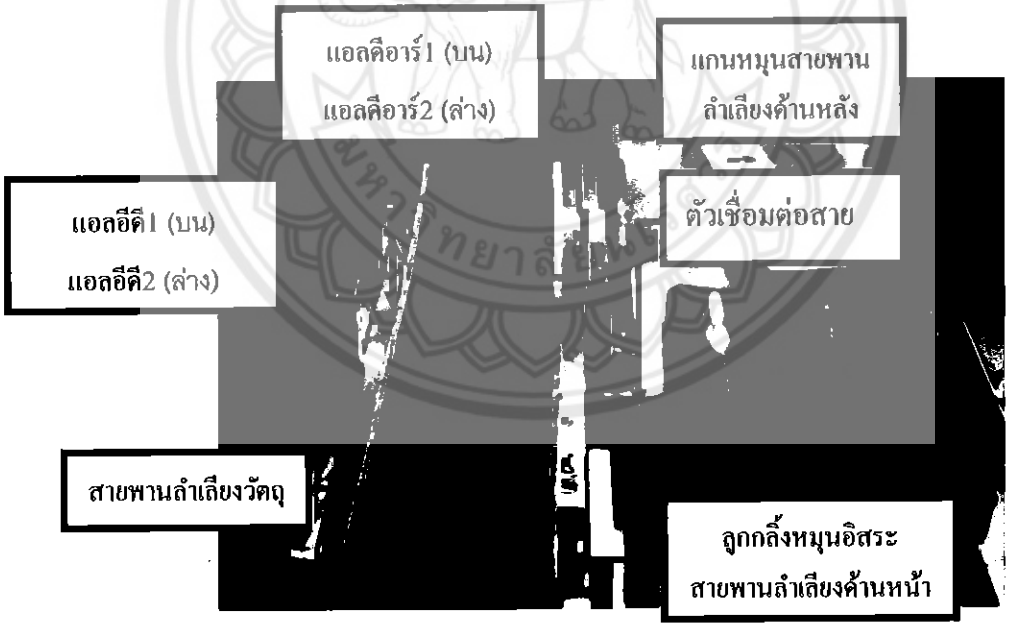
รูปที่ 3.26 มอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์

ใช้วิธีการส่งกำลังจากมอเตอร์โดยใช้สายพานขับเฟืองแกนขับลูกกลิ้งขับสายพานลำเลียงดังรูปที่ 3.27 ซึ่งสายพานลำเลียงวัตถุสร้างมาจากสายพานผ้าสีแดงด้านที่ใช้รองรับวัตถุเป็นผ้าสีแดงด้านล่างเป็นพลาสติก คล้องไว้ระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองด้าน สามารถปรับสายให้ตึงได้โดยการคลายนอตยึดทั้งสองข้างของชุดลูกกลิ้งด้านหน้าแล้วดึงให้ตึงจากนั้นขันนอตให้แน่น แต่ไม่ควรให้สายพานตึงเกินไปเพราะจะทำให้ฝืดเคลื่อนที่ติดขัดได้

รูปที่ 3.27 เฟืองแกนขับของสายพานลำเลียงวัตถุ

ทำการติดตั้งแอลดีอาร์และแอลอีดีเพื่อใช้เป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุด้วยแสงดังรูปที่ 3.28 และรูปที่ 3.29 สำหรับตรวจจับวัตถุที่วิ่งเข้ามาบนสายพานลำเลียง หลักการทำงานของเซนเซอร์คือจะให้ลำแสงของแอลอีดีกระทบที่ด้านหน้าของแอลดีอาร์ที่อยู่ฝั่งตรงข้ามอยู่ตลอดเวลาและเมื่อใดก็ตามที่มีวัตถุวิ่งผ่านเซ็นเซอร์จะทำให้ลำแสงของแอลอีดีถูกบดบังไม่สามารถเดินทางไปถึงแอลดีอาร์ได้ ทำให้ความต้านทานของแอลดีอาร์มีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมทำให้วงจรเซ็นเซอร์ตรวจพบและทำงานส่งสัญญาณไปทำการประมวลผลที่ส่วนควบคุมได้

รูปที่ 3.28 หลอดแอลอีดีเป็นแหล่งกำเนิดแสงให้กับตัวตรวจจับวัตถุ



รูปที่ 3.29 ส่วนชั่งมวลของวัตถุและสายพานลำเลียง (ด้านหน้า)

เชื่อมสายทั้งหมดของส่วนชั่งมวลของวัตถุและสายพานลำเลียง เข้ากับตัวเชื่อมต่อสาย (Connector) ดังรูปที่ 3.30 เพื่อเชื่อมต่อกับส่วนของชุดควบคุม ประมวลผลและแสดงผล

รูปที่ 3.30 ตัวเชื่อมต่อสายของส่วนชั่งมวลของวัตถุและสายพานลำเลียง

ตัวเชื่อมต่อสายของส่วนชั่งมวลของวัตถุและสายพานลำเลียงมีหน้าที่เชื่อมต่อสายระหว่างส่วนชั่งมวลและสายพานลำเลียงเข้ากับ ส่วนควบคุม ประมวลผลและแสดงผล ตำแหน่งการเชื่อมต่อของตัวเชื่อมต่อ มีรายละเอียดดังนี้

1. ขาแอโนดของแอลอีดี1
2. ขาแอโนดของแอลอีดี2
3. ขาแคโทดของแอลอีดี1และแอลอีดี2 (กราวด์แอลอีดี)
4. ขาที่ 1 ของแอลดีอาร์1
5. ขาที่ 1 ของแอลดีอาร์2
6. ขาที่ 2 ของแอลดีอาร์1 และขาที่ 2 ของแอลดีอาร์2 (ไฟเลี้ยง 12 โวลต์)

ตำแหน่งที่ 1 ถึง 6 คืออุปกรณ์ แอลอีดีและแอลดีอาร์ที่ใช้งานของวงจรเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุด้วยแสงและเมื่อมีวัตถุผ่านทำให้วงจรทำงาน วงจรจะส่งสัญญาณไปประมวลผล ในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 เพื่อเริ่มโปรแกรมการคัดแยกวัตถุ ซึ่งวงจรอยู่ภายในกล่องควบคุม ประมวลผลและแสดงผล

7. สายกราวด์ของมอเตอร์ขับเคลื่อนสายพาน
8. สายจ่ายกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ขับเคลื่อนสายพาน

ตำแหน่งที่ 7 ถึง 8 คืออุปกรณ์มอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนสายพานลำเลียงวัตถุ เชื่อมต่อกับวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ขับสายพานลำเลียงวัตถุซึ่งวงจรอยู่ภายในกล่องควบคุม ประมวลผลและแสดงผล

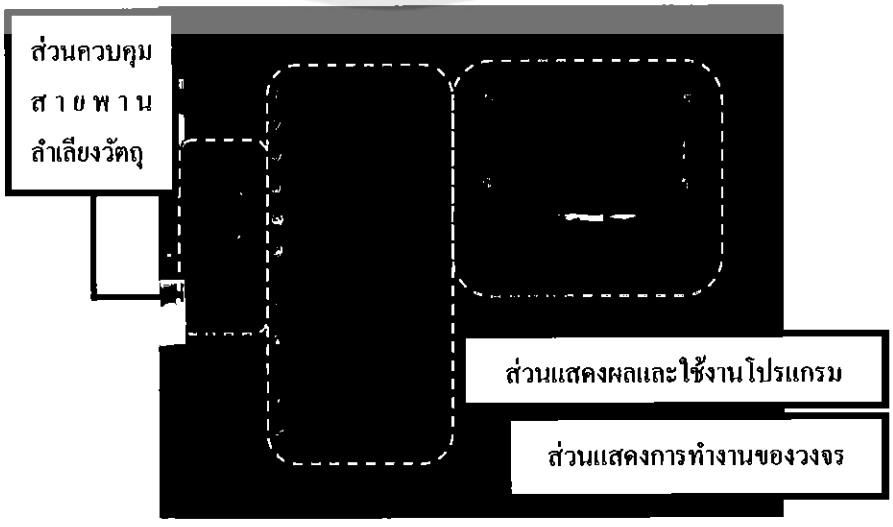
9. สัญญาณด้านบวกจากโหลดเซลล์
10. สัญญาณด้านลบจากโหลดเซลล์
11. ไฟเลี้ยงโหลดเซลล์ (5 โวลต์)
12. กราวด์โหลดเซลล์

ตำแหน่งที่ 9 ถึง 12 คืออุปกรณ์โหลดเซลล์ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญในการรับมวลของวัตถุแล้วแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เชื่อมต่อกับวงจรขยายและกรองผ่านความถี่ต่ำเพื่อนำสัญญาณนำไปประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 แสดงออกออกมาเป็นค่ามวลและประมวลผลการคัดแยกวัตถุ ซึ่งวงจรอยู่ภายในกล่องควบคุม ประมวลผลและแสดงผล

3.4.2 ส่วนควบคุม ประมวลผลและแสดงผล

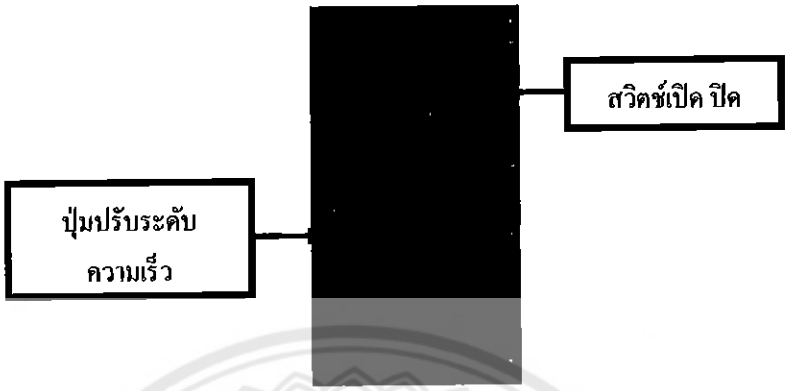
ส่วนควบคุม ประมวลผลและแสดงผลดังรูปที่ 3.31 ส่วนนี้มีหน้าที่ 3 ส่วนที่สำคัญดังนี้

1. ควบคุมการทำงานของเครื่องได้แก่ การปรับระดับความของสายพานลำเลียงวัตถุ ควบคุมการคัดแยกวัตถุ
2. ประมวลผลสัญญาณได้แก่สัญญาณจากโหลดเซลล์และสัญญาณจากเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ
3. แสดงผลได้แก่ สถานะการทำงานของวงจรต่างๆ แสดงค่ามวล จำนวนวัตถุบนจอแอลซีดี สถานการณ์คัดแยกวัตถุและแสดงโหมดการใช้งาน



รูปที่ 3.31 ส่วนควบคุม ประมวลผลและแสดงผล (ด้านบน)

ส่วนควบคุมสายพานลำเลียงวัตถุ มีหน้าที่การควบคุมการทำงานของสายพานลำเลียงวัตถุ ควบคุมการปิดหรือเปิด ควบคุมความเร็วของสายพานลำเลียงโดยมีปุ่มปรับระดับความเร็วสายพานลำเลียงมีหน่วยเป็นเมตร/นาทีดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 ส่วนควบคุมสายพานลำเลียงวัตถุ

ส่วนแสดงการทำงานของวงจรด้วยแอลอีดีถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วงดังนี้

1. สถานะแหล่งจ่ายไฟฟ้าของวงจรเพื่อสังเกตความผิดปกติของเครื่อง แอลอีดีจะสว่างเมื่อสถานะแหล่งจ่ายไฟฟ้าของวงจรเป็นปกติ ประกอบด้วย

- สถานะแหล่งจ่ายไฟฟ้าของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011
- สถานะแหล่งจ่ายไฟฟ้าของวงจรเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุด้วยลำแสง
- สถานะแหล่งจ่ายไฟฟ้าของวงจรควบคุมส่วนคัดแยก
- สถานะแหล่งจ่ายไฟฟ้าของวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ของสายพานลำเลียงวัตถุ
- สถานะแหล่งจ่ายไฟฟ้าของวงจรขยายสัญญาณและกรองผ่านความถี่ต่ำ
- สถานะแหล่งจ่ายไฟฟ้าของวงจรโหลดเซลล์

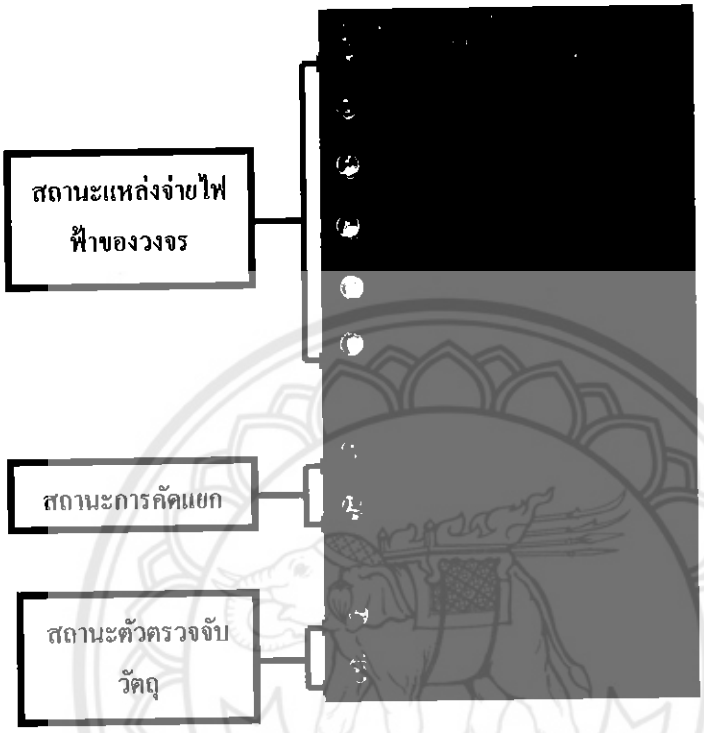
2. สถานการณ์คัดแยกเพื่อแสดงการคัดแยกวัตถุ แอลอีดีจะสว่างเมื่อมีการประมวลผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ว่ามวลของวัตถุผ่านเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่ ประกอบด้วย

- สถานะวัตถุมีมวลไม่ผ่านมาตรฐาน
- สถานะวัตถุมีมวลผ่านมาตรฐาน

3. สถานะตัวตรวจจับวัตถุ เพื่อแสดงการทำงานของวงจรเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุด้วยลำแสง แอลอีดีจะสว่างเมื่อมีวัตถุเคลื่อนที่บังลำแสงของเซนเซอร์ ประกอบด้วย

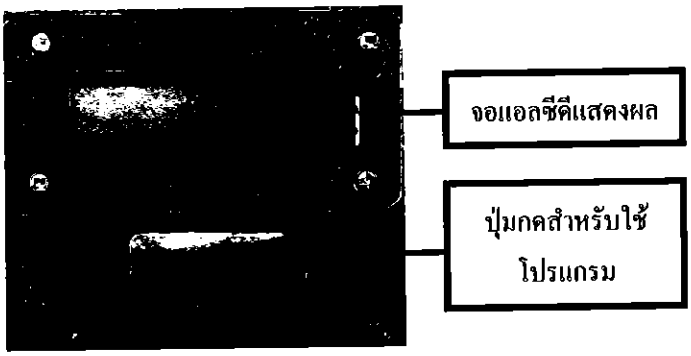
- สถานะวัตถุผ่านเซนเซอร์ตัวที่ 1
- สถานะวัตถุผ่านเซนเซอร์ตัวที่ 2

ทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 3.33



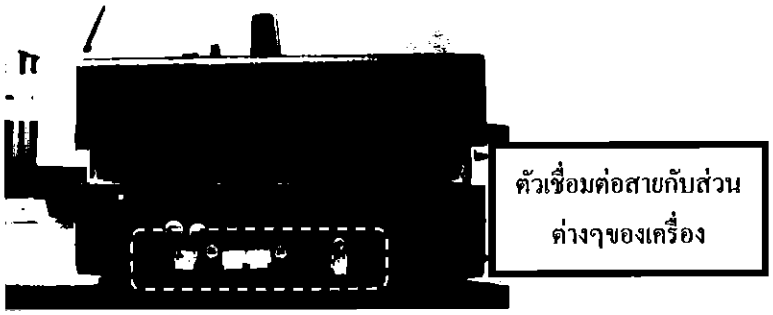
รูปที่ 3.33 ส่วนแสดงการทำงานของวงจรด้วยแอลอีดี

ส่วนแสดงผลและใช้งานโปรแกรม ประกอบไปด้วยจอแอลซีดีแสดงผลและปุ่มกดสำหรับใช้งานโปรแกรม ดังรูปที่ 3.34 โดยจอแอลซีดีแสดงผลขนาด 2 บรรทัด บรรทัดละ 16 ตัวอักษร สามารถแสดงค่ามวล จำนวนวัตถุ โหมดใช้งาน มวลที่ผ่านการคัดแยก สถานะการคัดแยก และการใช้งานร่วมกับปุ่มกดในการใช้งานเมนูต่างๆควบคุมการทำงานโดยการเขียนโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011



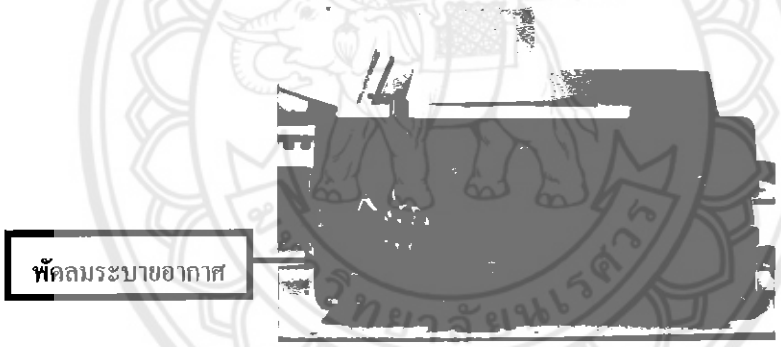
รูปที่ 3.34 ส่วนแสดงผลและใช้งานโปรแกรม

ด้านข้างซ้ายของกล่องมีตัวเชื่อมต่อสาย (Connector) ดังรูปที่ 3.35 สำหรับเชื่อมต่อส่วนชั่งมวลและสายพานลำเลียง และส่วนคัดแยกวัตถุ เข้ากับวงจรต่างๆ



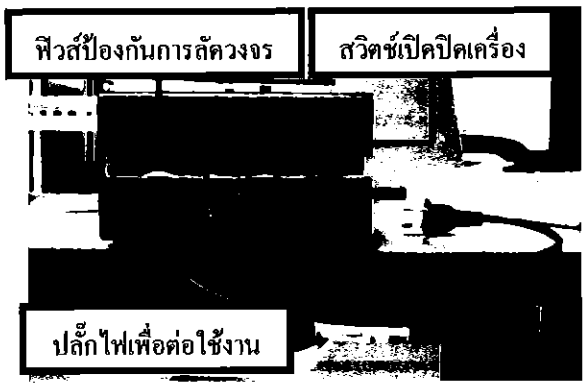
รูปที่ 3.35 ส่วนควบคุม ประมวลผลและแสดงผล (ด้านข้างซ้าย)

ด้านหน้าของกล่องติดตั้งพัดลมระบายความร้อนที่เกิดจากการทำงานของไอซี ตัวต้านทาน ไมโครคอนโทรลเลอร์และหม้อแปลงไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.36



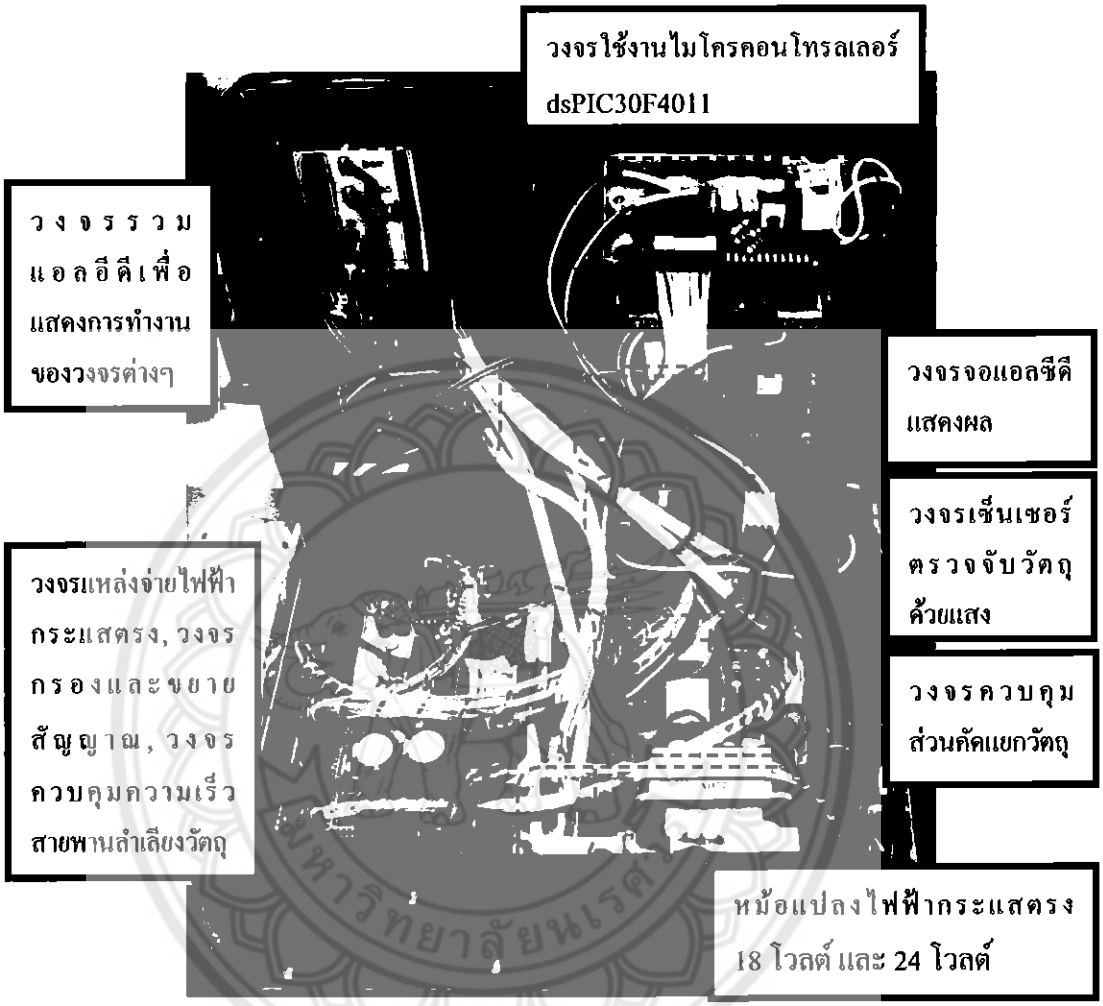
รูปที่ 3.36 ส่วนควบคุม ประมวลผลและแสดงผล (ด้านหน้า)

ด้านข้างขวาของกล่องติดตั้งฟิวส์เพื่อป้องกันการลัดวงจร สวิตช์เปิดปิดเครื่องและมีปลั๊กไฟเพื่อต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ดังรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 ส่วนควบคุม,ประมวลผลและแสดงผล (ด้านข้างขวา)

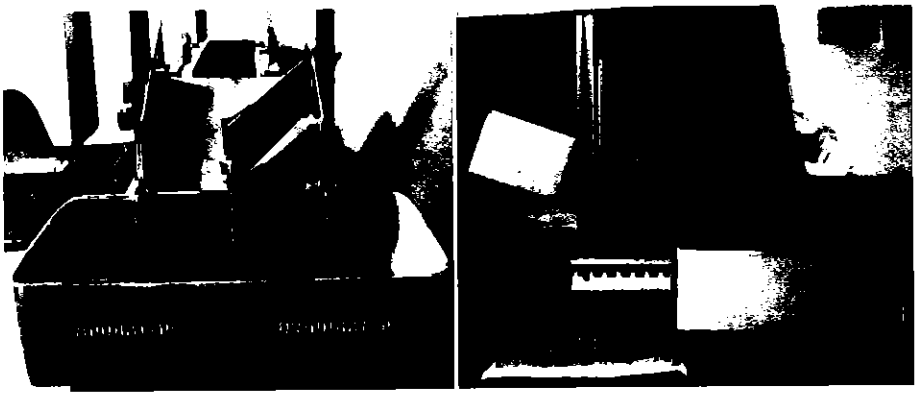
จากการออกแบบและสร้างวงจรใช้งานของวงจรต่างๆ สามารถออกแบบและสร้างวงจรเพื่อใช้งานแล้วติดตั้งรวมเข้าไว้ด้วยกันภายในกล่องส่วนควบคุม ประมวลผลและแสดงผลได้ดังรูปที่ 3.38



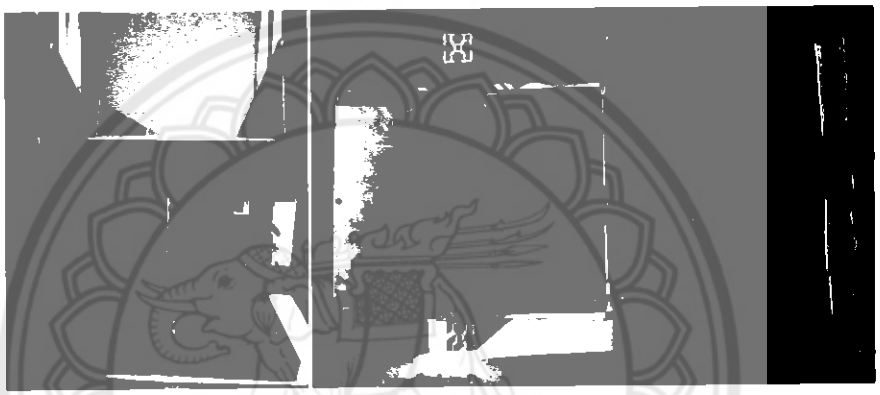
รูปที่ 3.38 วงจรภายในของส่วนควบคุม ประมวลผลและแสดงผล

3.4.3 ส่วนควบคุมการคัดแยกวัตถุ

ส่วนควบคุมการคัดแยกวัตถุมีหน้าที่คัดแยกวัตถุที่เคลื่อนมาจากสายพานให้ออกเป็นสองทาง เป็นรางสแตนเลสด้านท้ายติดตั้งมอเตอร์ขนาด 12 โวลต์ แล้วยึดกับแผ่นพลาสติกให้แน่น สามารถหมุนไปมาได้ จะอาศัยความชันให้วัตถุเคลื่อนที่ สามารถแยกทางให้วัตถุผ่านได้ระหว่างซ้ายกับขวา แล้ววัตถุจะไหลลงสู่ช่องเก็บวัตถุ ดังรูปที่ 3.39 และรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.39 ส่วนควบคุมการคัดแยกวัตถุ (ด้านหลังและด้านข้าง)



รูปที่ 3.40 ส่วนควบคุมการคัดแยกวัตถุ(ด้านหน้าและด้านบน)

3.5 การพัฒนาซอฟแวร์

การพัฒนาซอฟแวร์ คือการเขียนโปรแกรมภาษาซีสำหรับการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 เพื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับ สัญญาณจากโหลดเซลล์ สวิตช์กดติดปล่อยดับและจอแอลซีดีแสดงผล 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด เช่น ผลการเขียนโปรแกรมแสดงผลออกทางจอแสดงผลแอลซีดี ผลการเขียนโปรแกรมแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล 10 บิต ผลการเขียนโปรแกรมประมวลผลสัญญาณเพื่อการประมาณค่ามวลของวัตถุ ผลการเขียนโปรแกรมเพื่อสอบเทียบมวลที่ถูกต้อง ผลการเขียนโปรแกรมสร้างเงื่อนไขเพื่อคัดแยกวัตถุ ผลการเขียนโปรแกรมเมนูเพื่อใช้งาน โฟลวชาร์ตโปรแกรม เป็นต้นซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

3.5.1 การเขียนโปรแกรมแสดงผลออกทางจอแสดงผลแอลซีดี

ในการใช้งานจอแสดงผลแอลซีดีจำเป็นต้องมีไฟล์ไลบรารีของจอแสดงผลแบบ 16 ตัวอักษรแบบ 2 บรรทัด เพื่อใช้งานฟังก์ชันต่างของจอแสดงผลแอลซีดี ในโครงงานนี้ใช้

ไฟล์เฮดเดอร์ที่ชื่อ "lcd1.h" สามารถดูได้จากภาคผนวก ซึ่งในการใช้งานต้องมีการระบุตำแหน่งการแสดงผลของจอแสดงผลแอลซีดีถูกระบุเป็นตัวเลขฐาน 16 โดยแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การระบุตำแหน่งของจอแอลซีดีแสดงผล

ตำแหน่งที่	การระบุตำแหน่งของบรรทัดที่ 1	การระบุตำแหน่งของบรรทัดที่ 2
1	0x80	0xC0
2	0x81	0xC1
3	0x82	0xC2
4	0x83	0xC3
5	0x84	0xC4
6	0x85	0xC5
7	0x86	0xC6
8	0x87	0xC7
9	0x88	0xC8
10	0x89	0xC9
11	0x8A	0xCA
12	0x8B	0xCB
13	0x8C	0xCC
14	0x8D	0xCD
15	0x8E	0xCE
16	0x8F	0xCF

การใช้ฟังก์ชันสำหรับโครงงานนี้มี 2 ฟังก์ชันคือ lcd_puts และ inttolcd การทดลองใช้งานฟังก์ชัน lcd_puts สามารถเรียกใช้งานโดยมีรูปแบบดังนี้

- lcd_puts (ตำแหน่งเริ่มต้นข้อความ," ข้อความ ", หน่วงเวลาแสดงทีละตัวอักษร (มิลลิวินาที));

เป็นฟังก์ชันที่ใช้แสดงข้อความบนจอแสดงผลแอลซีดีโดยสามารถเขียนรหัสโปรแกรมได้ดังนี้

- lcd_puts(0x80,"1.Calibrate",30);
- lcd_puts(0xC0,"2.Selector setup",30);

หน้าจอแสดงผลแอลซีดีจะแสดงผลทีละตัวอักษรเริ่มจากบรรทัดที่ 1 ตำแหน่งที่ 1 แล้วหน่วงเวลา

แสดงผลตัวถัดไป 30 มิลลิวินาที เมื่อแสดงผลครบทุกตัวแล้วจะแสดงดังรูปที่ 3.41

รูปที่ 3.41 ผลการแสดงตัวอักษรบนจอแสดงผลแอลซีดี

การทดลองใช้ฟังก์ชัน inttolcd สามารถเรียกใช้งานโดยมีรูปแบบดังนี้

- Inttolcd (ตำแหน่งเริ่มต้นข้อความ,ค่าตัวเลขเพื่อแสดงจำนวน);

เป็นฟังก์ชันที่ใช้แสดงค่าจำนวนแปลงเป็นอักขระบนจอแสดงผลแอลซีดีเขียนรหัสโปรแกรมได้ดังนี้

```
- lcd_puts(0x80,"Selector setup",0);
- lcd_puts(0xC0,"Mass >    g",0);
- inttolcd(0xC8,95);
```

หน้าจอแสดงผลแอลซีดีจะแสดงผลทีละตัวอักษรเริ่มจากบรรทัดที่ 1 **ตำแหน่งที่ 1 เมื่อแสดงผลครบทุกตัวแล้วจะแสดงค่าเป็นตัวเลขเริ่มต้น ณ บรรทัดที่ 2 ตำแหน่งที่ 9 ดังรูปที่** 3.42

รูปที่ 3.42 ผลการแสดงตัวอักษรและตัวเลข

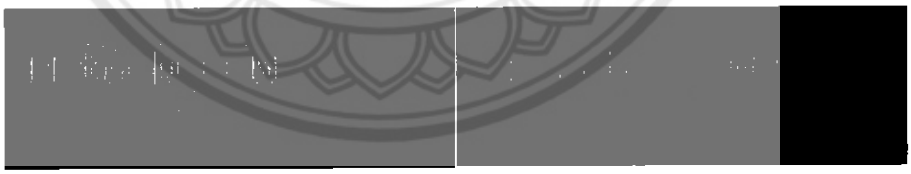
3.5.2 การเขียนโปรแกรมแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล 10 บิต

ในการใช้งานโมดูลแปลงแอนาล็อกเป็นดิจิตอลจำเป็นต้องเรียกไฟล์ไลบรารีของโมดูลแปลงแอนาล็อกเป็นดิจิตอลเพื่อใช้งานฟังก์ชันต่างๆ ในโครงงานนี้ใช้ไฟล์เฮดเดอร์ที่ชื่อ "adc10.h" โดย ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 สามารถรับสัญญาณอินพุตได้ตั้งแต่ 0 ถึง 5 โวลต์และจะแปลผลออกมาเป็นค่าตัวเลขจำนวนเต็ม 0 ถึง 1023 ตามสัดส่วนกับแรงดันอินพุต ซึ่งใช้งานอินพุตที่ขา 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC20F4011 โดยสามารถเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

```
int ADCset()     //สร้างฟังก์ชันเพื่อบันทึกค่าแอมปลิจูดของการแซมปลิ้งสัญญาณจากอินพุต
```

```
{       unsigned int count, *adcptr;
        adcptr = &ADCBUF0;   // Initialize ADCBUF pointer
        _DONE = 0;           // Clear covert done
        while (!_DONE);      // Convert done?
        for (count=0; count<4; count++)
{       ADC_Value[count] = *adcptr++;          }
        return ADC_Value[1];   }
ADC10_Init();  // เตรียมการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล 10 บิตพร้อมที่จะทำงานได้
_ADON = 1;   // เปิดการใช้งานการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล 10 บิต
lcd_puts(0x80,"A to D = ",0);              //แสดงข้อความ "A to D = " บรรทัดที่ 1
int main(void)
{       for (;;)                           //วนลูปไม่รู้จบ
{       inttolcd(0x89, ADCset());          //แสดงค่าดิจิตอลที่แปลงมาจากแอนะล็อกที่บรรทัด 1
ตำแหน่งที่ 10
        }
}
```

หน้าจอแสดงผลแอลซีดีจะแสดงผลตัวอักษรเริ่มจากบรรทัดที่ 1 ตำแหน่งที่ 1 แล้วจะแสดงค่าเป็นตัวเลขเริ่มต้น ณ บรรทัดที่ 1 ตำแหน่งที่ 10 ตามแรงดันที่เข้ามาทางด้านอินพุต โดยทดลองป้อนแรงดันอินพุต 0 โวลต์และ 5 โวลต์แสดงผลดังรูปที่ 3.43



รูปที่ 3.43 ผลการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล

3.5.3 การเขียนโปรแกรมประมวลผลสัญญาณเพื่อการประมาณค่ามวลของวัตถุ

จากการทำงานของวงจรขยายสัญญาณและกรองผ่านความถี่ต่ำซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณจากโหลดเซลล์ปรับค่าให้ เมื่อไม่มีวัตถุอยู่บนสายพานลำเลียงให้มีแรงดันอยู่ที่ ประมาณ 0.35 โวลต์ เพื่อเผื่อไม่ให้วงจรจ่ายแรงดันด้านลบออกมา ทำให้เมื่อแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลจะแสดงผลค่าเท่ากับ 73 และเมื่อนำมวลหนัก 1000 กรัมขึ้นชั่งบนสายพานผลการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลจะแสดงผลค่าเท่ากับ 974 ดังนั้นจึงต้องเขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณเป็นสัดส่วน

ค่าของผลการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลให้เป็นค่ามวลซึ่งสามารถเขียนรหัสโปรแกรมได้ดังนี้

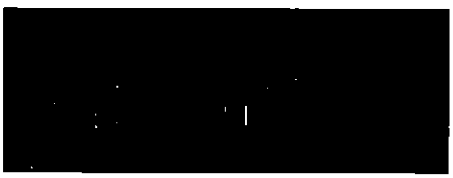
```
Ratio = 1000/974;
lcd_puts(0x80,"A to D = ",0);
lcd_puts(0xC0,"Mass = ",0);
int main(void)
{       for(;;)
        {       inttolcd(0x89, ADCset());
                Mass= (ADCset()-73)*Ratio;
                inttolcd(0xC9, Mass);
        }
}
```

หน้าจอแสดงผลแอลซีดีจะแสดงผลตัวอักษรเริ่มจากบรรทัดที่ 1 **ตำแหน่งที่ 1 แล้วจะ**แสดงค่าเป็นตัวเลขจากการแปลงค่าอินพุตแอนะล็อกเป็นดิจิตอล เริ่มต้น ณ **บรรทัดที่** 1 **ตำแหน่งที่** 10 และผลการประมาณค่ามวลของวัตถุเป็นตัวเลข เริ่มต้น ณ บรรทัดที่ 2 ตำแห**น่งที่** 10 **โดยทดลองวางวัตถุที่มีมวลต่างๆบนเครื่องชั่งดังนี้**

ไม่มีวัตถุวางลงบนสายพาน(มวลวัตถุ 0 กรัม) ผลของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 3.44 **สัญญาณจากการแปลงแ**อนะล็อกเป็นดิจิตอลเป็น 73 สามารถประมาณค่าได้เท่ากับ 0 กรัม

รูปที่ 3.44 การประมาณค่ามวล 0 กรัม

วางวัตถุที่มีมวล 400 กรัม ผลของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 3.45 สัญญาณจากการแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลเป็น 360 สามารถประมาณค่าได้เท่ากับ 400 กรัม



รูปที่ 3.45 การประมาณค่ามวล 400 กรัม

วางวัตถุที่มีมวล 1,000 กรัม ผลของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 3.46 สัญญาณจากการแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลเป็น 974 สามารถประมาณค่าได้เท่ากับ 1000 กรัม

รูปที่ 3.46 ผลการประมาณค่ามวลของวัตถุ 1000 กรัม

3.5.4 การเขียนโปรแกรมเพื่อสอบเทียบมวลของวัตถุที่ถูกต้อง

เพื่อให้ผลของการประมาณมวลของวัตถุถูกต้องมากยิ่งขึ้น จึงสร้างฟังก์ชันไว้สำหรับการสอบเทียบมวลที่ถูกต้อง โดยมีหลักการทำงานของฟังก์ชันคือ ทำการหาค่าของสัญญาณจากการแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลเมื่อไม่มีวัตถุวางลงบนสายพานโดยตั้งชื่อค่านี้ว่า cal จากนั้นจึงหาค่าจากการแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลโดยต้องวางวัตถุมวล 1,000 กรัมลงบนสายพาน โดยนำค่า cal มาลบออก จะได้ตัวเลขค่าหนึ่ง ตั้งชื่อให้เป็น cal1000 จากนั้นทุกครั้งที่มีการแสดงค่ามวลจะใช้อัตราส่วนหรือค่า ratio มาคูณทุกครั้ง จะทำให้ผลของการประมาณค่ามวลมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยสามารถเขียนรหัสโปรแกรมได้ดังนี้

```
//-------------------------------calibrate 0 g-----------------------------------//
float calib()                   //สร้างฟังก์ชันเพื่อส่งกลับค่า cal
{
        cal= ADCset();          // ให้ cal เท่ากับค่าการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล
        return cal;             //ส่งกลับค่า cal
}
//-------------------------------calibrate 1000 g----------------------------------//
float calib1000()               //สร้างฟังก์ชันเพื่อส่งกลับค่า cal1000
{
        cal1000=(ADCset()-cal); //กำหนดค่า cal1000
        return cal1000;         //ส่งกลับค่า cal1000
}
int main(void)
{
calib();                        //เรียกใช้งานฟังก์ชัน calib เพื่อเก็บค่า cal
```

```
calib1000();                    //เรียกใช้งานฟังก์ชัน calib1000 เพื่อเก็บค่า cal1000
ratio=1000/cal1000;             //หาอัตราส่วนเพื่อกำหนดเป็นค่า ratio
        for(;;)                 //วนลูปไม่รู้จบ
                {
                inttolcd(0x89, ADCset());//แสดงค่าที่วัดได้จากการแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอล
                Mass= (ADCset()-cal)*ratio; //ทำการประมาณค่ามวลของวัตถุ
                inttolcd(0xC9, Mass);    //แสดงค่ามวลบนจอแสดงผลแอลซีดี
                }
}
```

ผลที่ได้จากการสอบเทียบมวลของวัตถุให้ถูกต้องพบว่าค่าการประมาณมวลมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นจากเดิม

3.5.5 การเขียนโปรแกรมสร้างเงื่อนไขเพื่อคัดแยกวัตถุ

ในโครงงานนี้สามารถคัดแยกวัตถุได้ ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดเงื่อนไขการคัดแยกโดยใช้ค่ามวลที่ได้จากการประมาณค่ามวลมาเปรียบเทียบกับมวลตามเกณฑ์ซึ่งเราสามารถปรับเปลี่ยนเองได้ โดยสามารถเขียนรหัสโปรแกรมโดยใช้คำสั่งเงื่อนไขพื้นฐานและการกำหนดเอาต์พุตพอร์ตเพื่อควบคุมตัวคัดแยกได้ดังนี้ดังนี้

```
if (Mass >=150)          //ถ้ามวลมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับทำคำสั่งในวงเล็บ
{
        _LATB4 = 0;              //เอาต์พุตพอร์ต B4 ให้เป็น 0
        _LATB5 = 1;              //เอาต์พุตพอร์ต B5 ให้เป็น 1
        delay_ms(350);           //หน่วงเวลา 350 มิลลิวินาที
        _LATB5 = 0;              //เอาต์พุตพอร์ต B5 ให้เป็น 0
}
         Else                    //นอกจากนั้นทำคำสั่งในวงเล็บ
{
        _LATB4 = 1;              //เอาต์พุตพอร์ต B4 ให้เป็น 1
        _LATB5 = 0;              //เอาต์พุตพอร์ต B5 ให้เป็น 0
        delay_ms(350);           //หน่วงเวลา 350 มิลลิวินาที
        _LATB4 = 0;              //เอาต์พุตพอร์ต B4 ให้เป็น 0
}
```

จากผลการโปรแกรมเมื่อวัตถุมีมวลมากกว่าหรือเท่ากับ 150 กรัม จะทำให้ เอาต์พุตพอร์ต B4 ให้เป็น 0 เอาต์พุตพอร์ต B5 ให้เป็น 1 แล้วหน่วงเวลาไว้ 350 มิลลิวินาที เพื่อควบคุมให้มอเตอร์หมุนวนตามเข็มนาฬิกา และเมื่อวัตถุมีมวลน้อยกว่า 150 กรัม จะทำให้ เอาต์พุตพอร์ต B4 ให้เป็น 1 เอาต์พุตพอร์ต B5 ให้เป็น 0 แล้วหน่วงเวลาไว้ 350 มิลลิวินาที เพื่อควบคุมให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา

3.6 การใช้งานเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

การเริ่มต้นการใช้งานเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ให้กระทำตามขั้นตอนและวิธีการดังต่อไปนี้

1) การวางตำแหน่ง นำส่วนเครื่องชั่งมวลของวัตถุและสายพานลำเลียงวัตถุมาวางตำแหน่งที่ต้องการ โดยหันด้านที่มีเฟืองเข้าหาผู้ใช้งาน วางส่วนคัดแยกวัตถุวางต่อกับเครื่องชั่งมวล โดยหันด้านที่มีความชันกว่าอีกด้านหนึ่งใกล้สายพานระวังอย่าให้ติดกันเพราะจะทำให้มวลที่ประมาณออกมามีค่าคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

2) การเชื่อมต่อสายใช้งาน ต่อตัวเชื่อมสายไฟ (connector) ที่ตำแหน่ง 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.47

รูปที่ 3.47 การติดตั้งเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

3) การเปิดเครื่อง เสียบปลั๊กไฟแล้วกดปุ่มเปิดเครื่องตามรูปที่ 3.47 จะได้หน้าจอแสดงผลหลักดังรูปที่ 3.48

รูปที่ 3.48 หน้าจอแสดงผลหลักเมื่อเปิดเครื่อง

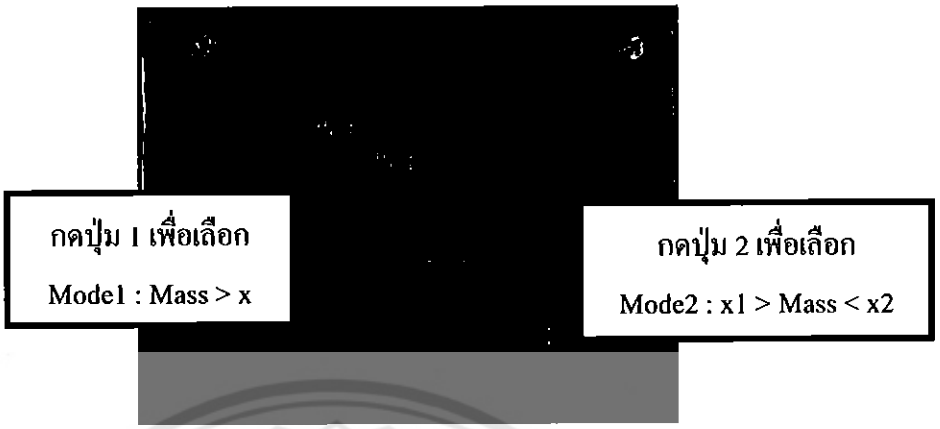
4) การเลือกฟังก์ชั่นใช้งาน กดปุ่ม MENU เพื่อเลือกฟังก์ชันการทำงาน

รูปที่ 3.49 หน้าจอแสดงผลเมื่อกดปุ่ม MENU

5) ฟังก์ชัน Calibrate เมื่อผู้ใช้งานสังเกตได้ว่าค่ามวลที่แสดงผลกับค่ามวลจริงไม่สัมพันธ์กันให้ดำเนินการในข้อนี้ (แต่ถ้ามวลการชั่งถูกต้องแล้วให้ข้ามไปทำในข้อ 6) กดปุ่ม 1 Calibrate เพื่อสอบเทียบมวลที่ถูกต้องโดยวางวัตถุที่มีมวล 1000 กรัม บนสายพาน แต่ต้องรอให้หน้าจอแสดงผลคำว่า Please Input 1000 กรัม ดังรูป 3.50 เมื่อทำการสอบเทียบมวล เสร็จแล้วให้กดปุ่ม OK อีกครั้งหนึ่งเพื่อกลับสู่หน้าจอแสดงผลหลักในรูปที่ 3.48 และเอาวัตถุที่นำมาสอบเทียบออกจากสายพาน เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนนี้สามารถลองชั่งมวลของวัตถุได้ เพื่อตรวจสอบว่าการสอบเทียบมวลของวัตถุ สมบูรณ์หรือไม่ ถ้าการสอบเทียบมวล สมบูรณ์จะสามารถชั่งมวลของวัตถุได้ใกล้เคียงกับมวลจริงของวัตถุ

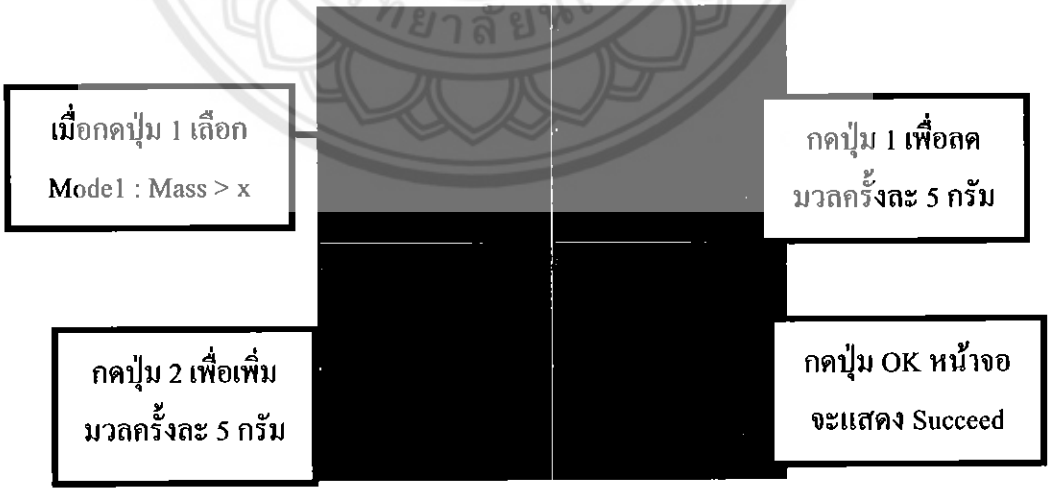
รูปที่ 3.50 หน้าจอแสดงผลเมื่อกดปุ่ม 1 Calibrate

6) ฟังก์ชัน Selector setup สำหรับการตั้งค่ามวลของเครื่องคัดแยก กดปุ่ม 2 Selector setup ตามรูปที่ 3.49 จะพบหน้าจอแสดง ดังรูปที่ 3.51 แล้วเลือกโหมดการคัดแยกวัตถุ



รูปที่ 3.51 หน้าจอแสดงผลเมื่อกดปุ่ม 2 Selector setup

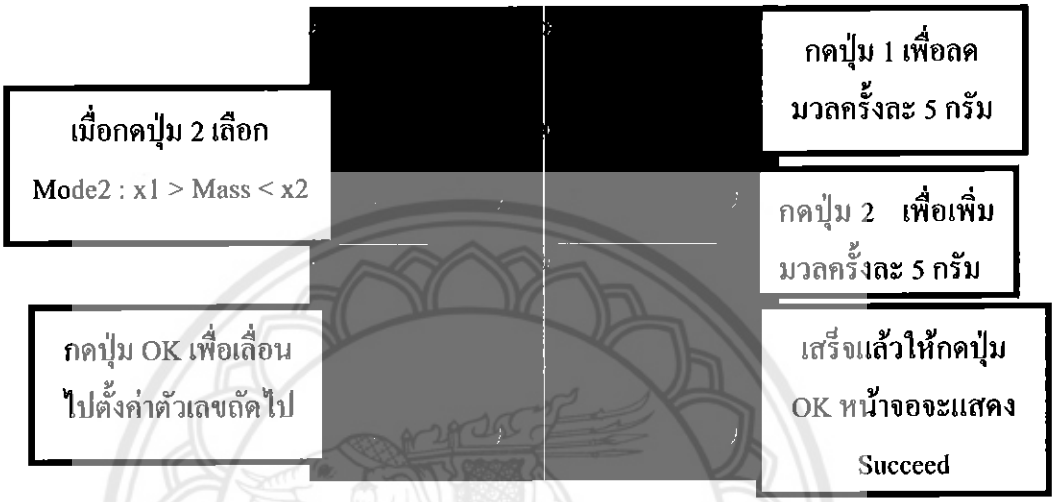
ก) โหมดการใช้งานที่ 1 กดปุ่ม 1 Mode1 : Mass > x คือ เป็นการตั้งค่ามวลให้วัตถุที่มีมวลมากกว่าค่าที่ตั้งไว้ผ่าน สำหรับวัตถุที่มีมวลน้อยกว่าที่ตั้งไว้จะไม่ผ่าน โดยการตั้งค่ามวลจะต้องกด 1 เพื่อลดมวลครั้งละ 5 กรัม กด 2 เพื่อเพิ่มมวลครั้งละ 5 กรัมดังรูปที่ 3.52 เมื่อตั้งค่ามวลที่ต้องการแล้วให้กดปุ่ม OK หน้าจอจะแสดง ดังรูปที่ 3.49 เมื่อตั้งค่ามวลเสร็จแล้วให้กดปุ่ม OK อีกครั้งหนึ่งเพื่อกลับสู่หน้าจอแสดงผลหลักในรูปที่ 3.48 ถ้าต้องการใช้งานใน Mode ที่ 1 ให้ข้ามไปทำในขั้นตอนที่ 7



รูปที่ 3.52 หน้าจอแสดงผลเมื่อกดปุ่ม 1 เลือก Mode1 : Mass > x

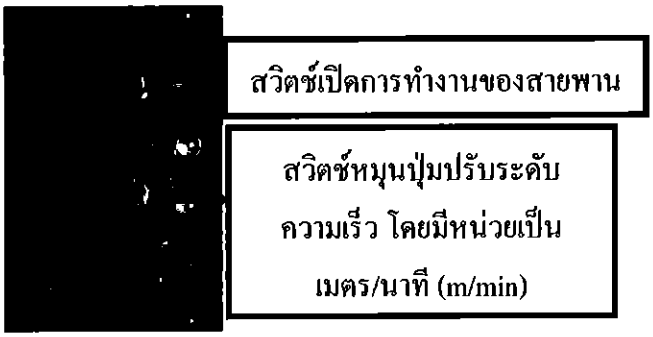
ข) โหมดการใช้งานที่ 2 กดปุ่ม 2 Mode2 : x1 > Mass < x2 คือ เป็นการตั้งค่ามวลให้อยู่ระหว่างค่าที่ตั้งไว้ ถ้าหากวัตถุมีมวลมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้จะไม่ผ่าน ถ้าอยู่ระหว่าง

ที่ตั้งไว้จึงจะผ่าน โดยการตั้งค่ามวล จะต้องกด 1 เพื่อลดมวลครั้งละ 5 กรัม กด 2 เพื่อเพิ่มมวลครั้งละ 5 กรัม ดังรูปที่ 3.53 เมื่อตั้งค่ามวลของวัตถุที่ต้องการแล้วให้กดปุ่ม OK เพื่อเลื่อนไปตั้งค่าตัวเลขถัดไป โดยการตั้งค่ามวลจะทำเหมือนกับที่กล่าวไว้ข้างต้น เมื่อตั้งค่าตัวเลขเสร็จให้กดปุ่ม OK หน้าจอจะแสดง ดังรูป 3.49 และให้กดปุ่ม OK อีกครั้งหนึ่งเพื่อกลับสู่หน้าจอแสดงผลหลักในรูปที่ 3.48



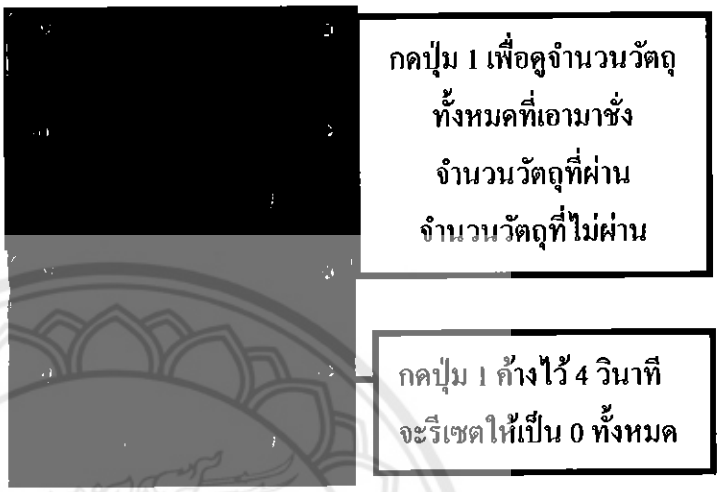
รูปที่ 3.53 หน้าจอแสดงผลเมื่อกดปุ่ม 2 เลือก Mode2 : x1 > Mass < x2 , การตั้งค่ามวล

7) **การเริ่มเดินสายพานลำเลียงวัตถุ** ผลักสวิตช์เปิดการทำงานของสายพานไปที่ ON CONVEYOR แล้วหมุนปุ่มปรับระดับความเร็วไปในระดับความเร็วที่ต้องการ จากนั้นให้วางวัตถุที่ต้องการชั่งบนสายพานที่กำลังเคลื่อนที่ ระบบจะทำการ ชั่งมวลของวัตถุ -> ประมวลผล -> แสดงผล -> คัดแยกวัตถุได้แบบอัตโนมัติ เมื่อชั่งมวลและคัดแยกวัตถุใน Mode1 เสร็จ แล้วต้องการที่จะทำการชั่งมวลของวัตถุและคัดแยกวัตถุใน Mode2 ให้กดปุ่ม MENU อีกครั้งแล้ว กดปุ่ม 2 Selector setup ตามรูปที่ 3.51จากนั้นให้กลับไปทำในรูปที่ 5.53 แต่ถ้าไม่ต้องการที่จะทำการชั่งมวลและคัดแยกวัตถุใน Mode ใดอีกให้ไปทำในขั้นตอนที่ 7 ต่อไป



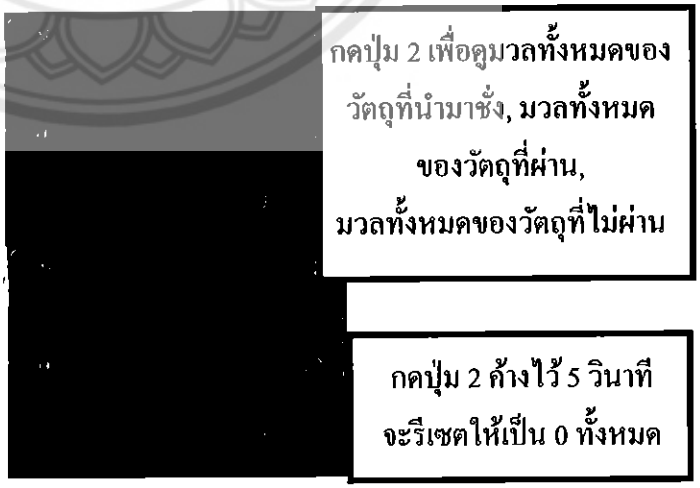
รูปที่ 3.54 สวิตช์เปิดการทำงานของสายพาน และสวิตช์หมุนปุ่มปรับระดับความเร็วสายพาน

8) ระบบแสดงจำนวนวัตถุหลังคัดแยก หลังจากทำการชั่งมวลและคัดแยกวัตถุเสร็จแล้ว สามารถดูจำนวนวัตถุทั้งหมดที่นำมาชั่งได้ โดยการกดปุ่ม 1 จะแบ่งเป็น จำนวนทั้งหมดวัตถุที่เอามาชั่ง จำนวนวัตถุที่ผ่าน และจำนวนวัตถุที่ไม่ผ่าน แต่ถ้าต้องการรีเซตให้เป็น 0 ทั้งหมด ให้กดปุ่ม 1 ค้างไว้ 4 วินาที ดังรูปที่ 3.55



รูปที่ 3.55 จำนวนวัตถุทั้งหมดที่นำมาชั่งและการรีเซตค่าให้เป็น 0

9) ระบบแสดงมวลของวัตถุหลังคัดแยก นอกจากดูจำนวนวัตถุได้แล้วยังสามารถดูมวลของวัตถุทั้งหมดที่นำมาชั่งได้ด้วย โดยการกดปุ่ม 2 จะแบ่งเป็น มวลทั้งหมดของวัตถุที่นำมาชั่ง, มวลทั้งหมดของวัตถุที่ผ่าน, มวลทั้งหมดของวัตถุที่ไม่ผ่าน แต่ถ้าต้องการรีเซตให้เป็น 0 ให้กดปุ่ม 2 ค้างไว้ 5 วินาทีดังรูปที่ 3.56



รูปที่ 3.56 มวลวัตถุทั้งหมดที่นำมาชั่งและการรีเซตค่าให้เป็น 0

10) การปิดเครื่อง เมื่อเลิกใช้งานให้กดสวิตช์เปิดปิด เพื่อปิดเครื่อง

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

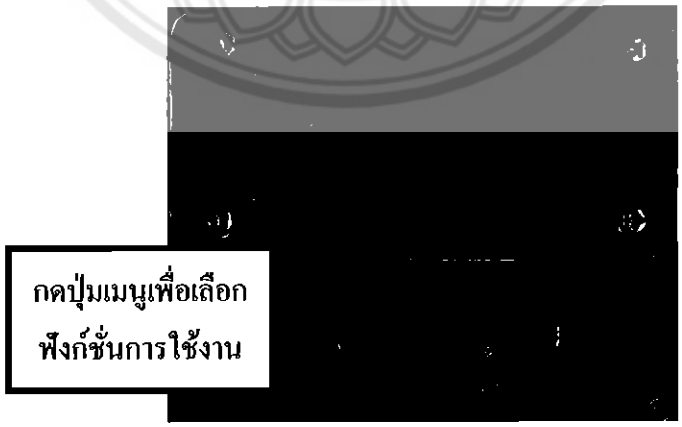
ในบทที่ 4 จะกล่าวถึงการทดสอบการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องคัดแยกวัตถุที่พัฒนาขึ้นด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในรูปแบบผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง ดังนี้

ในการทดสอบการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องคัดแยกวัตถุที่พัฒนาขึ้น ได้แบ่งออกเป็น 3 ผลการทดลอง คือ ผลการทดสอบเปรียบเทียบโหลดเซลล์กับวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน ผลการทดลองการทำงานของเครื่องคัดแยกวัตถุที่พัฒนาขึ้น และผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องคัดแยกวัตถุที่พัฒนาขึ้น

4.1 ผลการทดสอบเทียบโหลดเซลล์กับวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน

ในการทดสอบเทียบโหลดเซลล์กับวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน มีขั้นตอนดำเนินการ 8 ขั้นตอน ตามลำดับ ดังนี้

1) เมื่อปิดสวิตช์วงจรไฟฟ้าทำงาน จนกระทั่งอยู่ในสถานะที่เครื่องคัดแยกพร้อมทำงานที่แสดงเมนูไว้ในหน้าจอแอลซีดีดังรูปที่ 4.1 ซึ่งจะเห็นว่ามวลของวัตถุที่อยู่บนสายพานมีค่าศูนย์กรัม (Mass = 0 g) จำนวนของวัตถุทั้งหมดศูนย์ชิ้น (T.0) จำนวนของวัตถุที่มีมวลผ่านเกณฑ์ที่กำหนดศูนย์ชิ้น (P.0) และวัตถุที่มีมวลไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดศูนย์ชิ้น (F.0)



รูปที่ 4.1 เมนูจอแอลซีดีสถานะที่พร้อมทำงาน

2) นำวัตถุที่มีมวลมาตรฐานวางบนสายพานลำเลียงวัตถุ ด้วยมวลที่ต่างกัน 10 ระดับ ได้แก่ 100 กรัม (วัตถุที่มีมวลมาตรฐาน 100 กรัม จำนวน 1 ชิ้น) 200 กรัม (วัตถุที่มีมวลมาตรฐาน

200 กรัม จำนวน 1 ชิ้น) 300 กรัม (วัตถุที่มีมวลมาตรฐาน 100 กรัม จำนวน 1 ชิ้น และ200 กรัม จำนวน 1 ชิ้น) 400 กรัม (วัตถุที่มีมวลมาตรฐาน 200 กรัม จำนวน 2 ชิ้น) 500 กรัม (วัตถุที่มีมวลมาตรฐาน 100 กรัม จำนวน 1 ชิ้น และ200 กรัม จำนวน 2 ชิ้น) 600 กรัม (มาตรฐาน 100 กรัม) 700 กรัม (ประกอบด้วยวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน 100 กรัม จำนวน 3 ชิ้นและ200 กรัม จำนวน 2 ชิ้น) 800 กรัม (ประกอบด้วยวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน 100 กรัม จำนวน 4 ชิ้นและ200 กรัม จำนวน 2 ชิ้น) 900 (ประกอบด้วยวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน 50 กรัม 2 ชิ้น 100 กรัม จำนวน 4 ชิ้นและ200 กรัม จำนวน 2 ชิ้น) และ1000 กรัม (ประกอบด้วยวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน 10 กรัม จำนวน 2 ชิ้น 20 กรัม จำนวน 4 ชิ้น 50 กรัม จำนวน 2 ชิ้น 100 กรัม จำนวน 4 ชิ้น และ 200 กรัม จำนวน 2 ชิ้น) ตามลำดับแล้วบันทึกค่าน้ำหนักที่แสดงบนจอแอลซีดีลงในตารางผลการทดลองที่ 4.1 ช่อง มวลของวัตถุที่อ่านจากหน้าจอแอลซีดีก่อนการสอบเทียบ

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบมวลของวัตถุก่อนและหลังสอบเทียบกับวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน

มวลของวัตถุที่อ่านจากค่ามาตรฐาน (กรัม)	มวลของวัตถุที่อ่านจากหน้าจอแอลซีดี (กรัม)	
	ก่อนสอบเทียบ	หลังสอบเทียบ
100	105	100
200	204	200
300	305	301
400	405	400
500	507	499
600	604	601
700	705	701
800	805	801
900	904	900
1000	1006	999

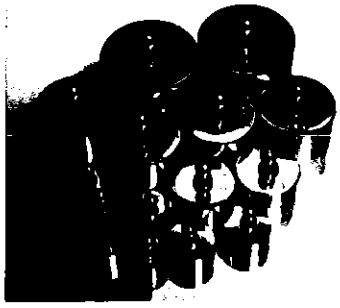
3) กดปุ่มเมนู (MENU/OK) ดังรูปที่ 4.1 จอแอลซีดีจะแสดงตัวเลือกฟังก์ชั่นการใช้งาน 2 ฟังก์ชั่น คือ ฟังก์ชั่นสอบเทียบโหลดเซลล์กับมวลของวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน (1.Calibrate) และฟังก์ชั่นเลือกโหมดของการคัดแยกวัตถุ (2.Selector setup) ดังรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.2 เมนูฟังก์ชั่นการใช้งาน

4) กดปุ่ม 1 (1/↓) ดังรูปที่ 4.2 เพื่อเลือกฟังก์ชั่นสอบเทียบโหลดเซลล์กับมวลของวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน จากนั้นโปรแกรมจะทำงานอัตโนมัติโดยเริ่มจากการสอบเทียบมวล 0 กรัม จอแอลซีดีจะแสดงผลดังรูปที่ 4.3 (ในขณะที่สอบเทียบมวล 0 กรัม ต้องไม่มีวัตถุใดๆวางบนสายพานลำเลียง)

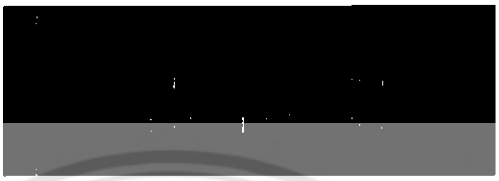
รูปที่ 4.3 การสอบเทียบมวล 0 กรัม

5) ทำการเตรียมวัตถุมวลมาตรฐานทั้งหมด 14 ลูกดังรูปที่ 4.4 โดยสามารถแจกแจงมวลของวัตถุมวลมาตรฐานได้ดังนี้ 10 กรัม (2 ลูก), 20 กรัม (4 ลูก), 50 กรัม (2 ลูก), 100 กรัม (4 ลูก) และ 200 กรัม (2 ลูก) รวมมวลของวัตถุมวลมาตรฐานทั้งหมด 1000 กรัม



รูปที่ 4.4 วัตถุมวลมาตรฐาน 1,000 กรัม

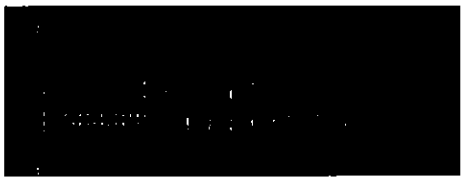
6) หลังจากการสอบเทียบมวล 0 กรัม เสร็จสิ้น จะเริ่มโปรแกรมสอบเทียบวัตถุที่มีมวลมาตรฐานมวล 1,000 กรัมโดยอัตโนมัติ เมื่อจอแอลซีดีแสดงคำว่า Please input 1000 กรัม ดังรูปที่ 4.5 ให้นำวัตถุที่มีมวลมาตรฐานที่มีมวล 1,000 กรัม ซึ่งประกอบด้วยวัตถุจำนวน 14 ชิ้น โดยสามารถแจกแจงมวลของวัตถุได้ดังนี้ คือ 10 กรัม จำนวน 2 ชิ้น 20 กรัม จำนวน 4 ชิ้น 50 กรัม จำนวน 2 ชิ้น 100 กรัม จำนวน 4 ชิ้น และ 200 กรัม จำนวน 2 ชิ้น รวมมวลของวัตถุทั้งหมด 1000 กรัม วางลงบนสายพานลำเลียงโดยที่สายพานลำเลียงหยุดนิ่งดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 การสอบเทียบมวล 1,000 กรัม

รูปที่ 4.6 วางวัตถุมวลมาตรฐาน 1,000 กรัม บนสายพาน

7) เมื่อทำการสอบเทียบสำเร็จจอแอลซีดีจะแสดงคำว่า Succeed ดังรูปที่ 4.7 แล้วจะกลับเข้าสู่หน้าเมนูหลักดังรูปที่ 4.2 โดยอัตโนมัติ กดปุ่ม OK (MENU/OK) ดังรูปที่ 4.1 เพื่อกลับเข้าสู่การทำงานปกติ โดยที่สะภาวะปกติจอแอลซีดีจะแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.7 การสอบเทียบมวล 1,000 กรัมเสร็จสิ้น

8) ทำการชั่งวัตถุอีกครั้งดังข้อ 2) อ่านค่ามวลแต่ละระดับจากจอแอลซีดีแล้วบันทึกผลลงในตารางที่ 4.1 ช่อง มวลของวัตถุที่อ่านจากหน้าจอแอลซีดีหลังสอบเทียบ ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

จากผลการสอบเทียบมวลในตารางที่ 4.1 พบว่า มวลของวัตถุก่อนและหลังสอบเทียบกับมวลมาตรฐานมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) เท่ากับ 5.0 กรัม และ 0.6 กรัม ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าความถูกต้องของมวลของวัตถุที่อ่านได้จากโหลดเซลล์มีระดับความผิดพลาดเพียง 0.6 กรัม

4.2 ผลการทดลองการคัดแยกวัตถุที่ความเร็วสายพาน 4 ระดับ

สำหรับการทดลองการทำงาน ใช้วัตถุมวลมาตรฐานซึ่งมีมวลรวม 500 กรัม ประกอบไปด้วย วัตถุมวลมาตรฐานขนาด 10 กรัม 20 กรัม (จำนวน 2 ลูก) 50 กรัม 100 กรัม (จำนวน 2 ลูก) และ 200 กรัม รวมทั้งสิ้น 7 ลูก ดังรูปที่ 4.8

รูปที่ 4.8 วัตถุมวลมาตรฐาน 500 กรัม

จากนั้นนำวัตถุมวลมาตรฐานวางบนสายพานลำเลียงดังรูปที่ 4.9 เพื่อทำการทดลองระบบตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้

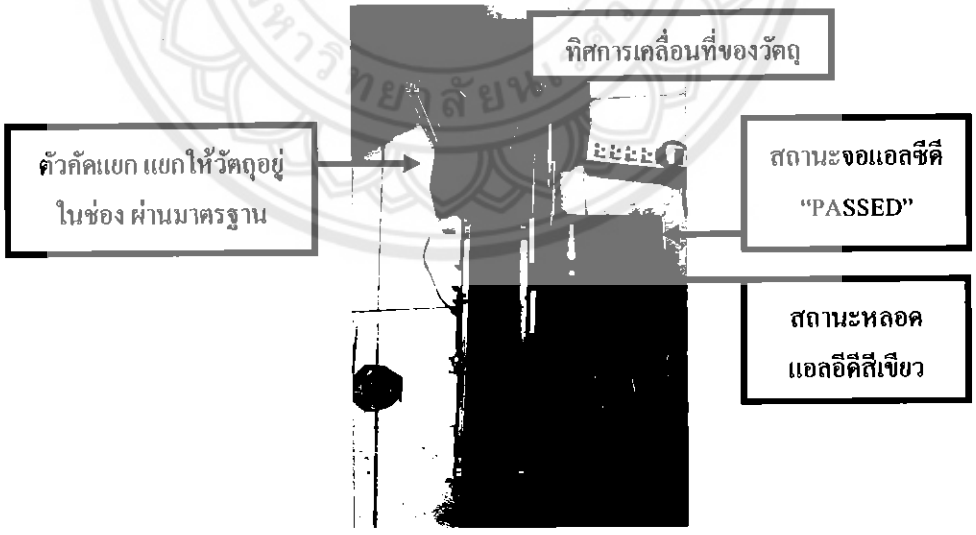
รูปที่ 4.9 การวางวัตถุมวลมาตรฐานในการทดลอง

ในการทดลองเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยมวลบนสายพานนี้แบ่งออกเป็น 2 การทดลองโดยแบ่งตามโหมดการใช้งานประกอบไปด้วย

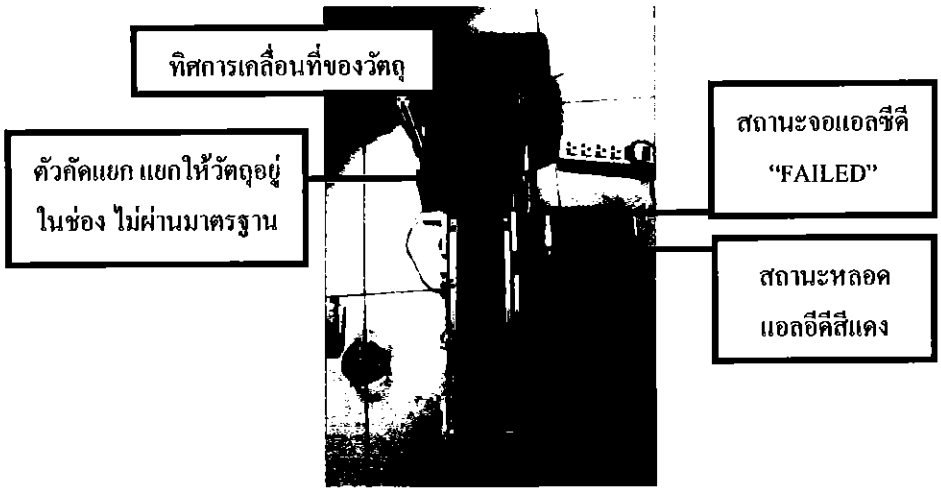
1) Mass > X คือ มวลของวัตถุที่มีมากกว่าหรือเท่ากับค่า X จะผ่านมาตรฐาน และมวลของวัตถุที่มีน้อยกว่าค่า X จะไม่ผ่านมาตรฐาน

2) โหมดที่ 2 X1<Mass<X2 คือ มวลของวัตถุที่มีค่ามากกว่าค่า X1 และมีค่าน้อยกว่า X2 จะผ่านมาตรฐาน ถ้ามวลของวัตถุที่มีค่านอกช่วงที่กำหนดจะไม่ผ่านมาตรฐาน

จากรูปที่ 4.10 แสดงถึงสถานการคัดแยกวัตถุที่มีมวลผ่านมาตรฐาน เมื่อสายพานลำเลียงวัตถุผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยแสง ไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลค่ามวลของวัตถุแล้วแสดงเป็นตัวเลขที่จอแอลซีดีและสั่งให้ตัวคัดแยกทำการคัดแยะวัตถุที่มีมวลได้มาตรฐานลงไปอยู่ในช่องขวามือพร้อมทั้งมีไฟแอลอีดี (สีเขียว) แสดงสถานะว่าวัตถุชิ้นนี้ผ่านมาตรฐาน และในรูปที่ 4.11 แสดงถึงสถานการณ์คัดแยกวัตถุที่มีมวลไม่ผ่านมาตรฐาน เมื่อสายพานลำเลียงวัตถุผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยแสง ไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลค่ามวลของวัตถุแล้วแสดงเป็นตัวเลขที่จอแอลซีดีและสั่งให้ตัวคัดแยกทำการคัดแยะวัตถุที่มีมวลไม่ได้มาตรฐานลงไปอยู่ในช่องซ้ายมือพร้อมทั้งมีไฟแอลอีดี (สีแดง) แสดงสถานะว่าวัตถุชิ้นนี้ไม่ผ่านมาตรฐาน และในการทดลองของโหมดที่ 1 กับโหมดที่ 2 จะแบ่งการทดลองออกตามความเร็วของสายพานซึ่งมี 4 ระดับได้แก่ความเร็วของสายพาน 5 10 15 และ20 เมตร/นาที ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 สถานะที่ระบบระบุว่าวัตถุมีมวลผ่านมาตรฐาน



รูปที่ 4.11 สถานะที่ระบบระบุว่าวัตถุมีมวลไม่ผ่านมาตรฐาน

4.2.1 ผลการทดลองการทำงานในโหมดที่ 1 (Mass > 20)

เริ่มจากการตั้งค่าโหมดการใช้งานคือโหมดที่ 1 โดยตั้งค่าให้มวลของวัตถุที่มีมากกว่าหรือเท่ากับ 20 กรัม จะผ่านมาตรฐาน และมวลของวัตถุที่มีน้อยกว่าค่า 20 กรัม จะไม่ผ่านมาตรฐาน ซึ่งการตั้งค่ามวลของวัตถุจะอยู่ในบทที่ 3 ในหัวข้อที่ 3.6 การใช้งานเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นเปิดสวิทช์เริ่มการทำงานสายพานและหมุนปุ่มปรับความเร็วสายพานไปที่ความเร็วระดับ 5 เมตร/นาที แล้วนำวัตถุมวลมาตรฐานมาทดลองชั่งบนสายพานครั้งละ1 ชิ้น โดยวางวัตถุมวลขนาด 10 กรัม 20 กรัม (ชิ้นที่ 1) 20 กรัม (ชิ้นที่ 2) 50 กรัม 100 กรัม (ชิ้นที่ 1) 100 กรัม (ชิ้นที่ 2) และ200 กรัม ตามลำดับ รวมทั้งสิ้น 7 ชิ้น แล้วสังเกตค่าของมวลบนจอแสดงผลแอลซีดี ไฟแอลอีดีสถานะคัดแยก และช่องที่รองรับวัตถุได้มาตรฐานหรือไม่ได้มาตรฐาน แล้วทำการบันทึกผล 4.2 เมื่อทดลองผลการคัดแยกวัตถุที่ระดับความเร็วสายพาน 5 เมตร/นาทีและบันทึกผลเสร็จแล้ว ให้ทำการทดลองในการนำวัตถุมวลมาตรฐานมาทดลองชั่งบนสายพานครั้งละ1 ชิ้น เช่นเดิมแต่ให้ปรับความเร็วสายพานไปที่ความเร็วระดับ 10 15 20 เมตร/นาที แล้วสังเกตค่าของมวลบนจอแสดงผลแอลซีดี ไฟแอลอีดีสถานะคัดแยก และช่องที่รองรับวัตถุได้มาตรฐานหรือไม่ได้มาตรฐาน แล้วทำการบันทึกผลในตารางที่ 4.3 4.4 และ4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ผลการคัดแยกวัตถุมวลมาตรฐานสำหรับความเร็วสายพาน 5 เมตร/นาที

หมายเลขวัตถุมวลมาตรฐาน	มวลจริงของวัตถุ (กรัม)	มวลจากเครื่องชั่ง (กรัม)	ไฟสถานะคัดแยก	ช่องรับวัตถุ	การคัดแยก
1	10	10	สีแดง	ไม่ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
2	20	21	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
3	20	21	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
4	50	51	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
5	100	100	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
6	100	101	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
7	200	200	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง

หมายเหตุ ไฟสถานะคัดแยก เมื่อสีเขียวสว่างแสดงว่า มวลของวัตถุผ่านมาตรฐาน ถ้าสีแดงสว่างแสดงว่า มวลของวัตถุไม่ผ่านมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.2 เมื่อเดินสายพานด้วยความเร็วสายพานที่ 5 เมตร/นาทีและนำวัตถุมวลมาตรฐาน 7 ชิ้น (10 กรัม 20 กรัม 20 กรัม 50 กรัม 100 กรัม 100 กรัม และ200 กรัม) มาวางบนสายพาน ดำเนินการอ่านค่ามวลจากจอแอลซีดีและสังเกตการคัดแยกวัตถุ โดยใช้งานในโหมดที่ 1 ตั้งค่า X ให้เท่ากับ 20 กรัม แล้วทดสอบพบว่า วัตถุมวลมาตรฐานทั้งหมด 7 ชิ้น คัดแยกได้ถูกต้อง 7 ชิ้น ความถูกต้องเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.3 ผลการคัดแยกวัตถุมวลมาตรฐานสำหรับความเร็วสายพาน 10 เมตร/นาที

หมายเลขวัตถุมวลมาตรฐาน	มวลจริงของวัตถุ (กรัม)	มวลจากเครื่องชั่ง (กรัม)	ไฟสถานะคัดแยก	ช่องรับวัตถุ	การคัดแยก
1	10	9	สีแดง	ไม่ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
2	20	20	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
3	20	20	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
4	50	49	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
5	100	100	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
6	100	101	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
7	200	201	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง

หมายเหตุ ไฟสถานะคัดแยก เมื่อสีเขียวสว่างแสดงว่า มวลของวัตถุผ่านมาตรฐาน ถ้าสีแดงสว่างแสดงว่า มวลของวัตถุไม่ผ่านมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.3 เมื่อเดินสายพานด้วยความเร็วสายพานที่ 10 เมตร/นาทีและนำวัตถุมวลมาตรฐาน 7 ชิ้น (10 กรัม 20 กรัม 20 กรัม 50 กรัม 100 กรัม 100 กรัม และ200 กรัม) มาวางบนสายพาน ดำเนินการอ่านค่ามวลจากจอแอลซีดีและสังเกตการคัดแยกวัตถุ โดยใช้งานในโหมดที่ 1 ตั้งค่า X ให้เท่ากับ 20 กรัม แล้วทดสอบพบว่า วัตถุมวลมาตรฐานทั้งหมด 7 ชิ้น คัดแยกได้ถูกต้อง 7 ชิ้น ความถูกต้องเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.4 ผลการคัดแยกวัตถุมวลมาตรฐานสำหรับความเร็วสายพาน 15 เมตร/นาที

หมายเลขวัตถุมวลมาตรฐาน	มวลจริงของวัตถุ (กรัม)	มวลจากเครื่องชั่ง (กรัม)	ไฟสถานะคัดแยก	ช่องรับวัตถุ	การคัดแยก
1	10	10	สีแดง	ไม่ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
2	20	19	สีแดง	ไม่ผ่านมาตรฐาน	ผิดพลาด
3	20	20	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
4	50	49	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
5	100	100	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
6	100	99	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
7	200	199	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง

หมายเหตุ ไฟสถานะคัดแยก เมื่อสีเขียวสว่างแสดงว่า มวลของวัตถุผ่านมาตรฐาน ถ้าสีแดงสว่างแสดงว่า มวลของวัตถุไม่ผ่านมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.4 เมื่อเดินสายพานด้วยความเร็วสายพานที่ 15 เมตร/นาทีและนำวัตถุมวลมาตรฐาน 7 ชิ้น (10 กรัม 20 กรัม 20 กรัม 50 กรัม 100 กรัม 100 กรัม และ200 กรัม) มาวางบนสายพาน ดำเนินการอ่านค่ามวลจากจอแอลซีดีและสังเกตการคัดแยกวัตถุ โดยใช้งานในโหมดที่ 1 ตั้งค่า X ให้เท่ากับ 20 กรัม แล้วทดสอบพบว่า วัตถุมวลมาตรฐานทั้งหมด 7 ชิ้น คัดแยกได้ถูกต้อง 6 ชิ้น ความถูกต้องเท่ากับ 85.71 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.5 ผลการคัดแยกวัตถุมวลมาตรฐานสำหรับความเร็วสายพาน 20 เมตร/นาที

หมายเลขวัตถุมวลมาตรฐาน	มวลจริงของวัตถุ (กรัม)	มวลจากเครื่องชั่ง (กรัม)	ไฟสถานะคัดแยก	ช่องรับวัตถุ	การคัดแยก
1	10	9	สีแดง	ไม่ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
2	20	20	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
3	20	18	สีแดง	ไม่ผ่านมาตรฐาน	ผิดพลาด
4	50	49	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
5	100	99	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
6	100	98	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
7	200	197	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง

หมายเหตุ ไฟสถานะคัดแยก เมื่อสีเขียวสว่างแสดงว่า มวลของวัตถุผ่านมาตรฐาน ถ้าสีแดงสว่างแสดงว่า มวลของวัตถุไม่ผ่านมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.5 เมื่อเดินสายพานด้วยความเร็วสายพานที่ 20 เมตร/นาทีและนำวัตถุมวลมาตรฐาน 7 ชิ้น (10 กรัม 20 กรัม 20 กรัม 50 กรัม 100 กรัม 100 กรัม และ200 กรัม) มาวางบนสายพาน ดำเนินการอ่านค่ามวลจากจอแอลซีดีและสังเกตการคัดแยกวัตถุ โดยใช้งานในโหมดที่ 1 ตั้งค่า X ให้เท่ากับ 20 กรัม แล้วทดสอบพบว่า วัตถุมวลมาตรฐานทั้งหมด 7 ชิ้น คัดแยกได้ถูกต้อง 6 ชิ้น ความถูกต้องเท่ากับ 85.71 เปอร์เซ็นต์

4.2.2 ผลการทดลองการทำงานในโหมดที่ 2 (20<Mass < 100)

เริ่มจากการตั้งค่าโหมดการใช้งานคือโหมดที่ 2 โดยตั้งค่าให้มวลของวัตถุที่มีมากกว่าหรือเท่ากับ 20 กรัมและต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 กรัม จะผ่านมาตรฐาน มวลของวัตถุที่นอกเหนือจากช่วงที่กำหนดจะไม่ผ่านมาตรฐาน ซึ่งการตั้งค่ามวลของวัตถุจะอยู่ในบทที่ 3 ในหัวข้อที่ 3.6 การใช้งานเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นเปิดสวิทช์เริ่มการทำงานสายพานและหมุนปุ่มปรับความเร็วสายพานไปที่ความเร็วระดับ 5 เมตร/นาที แล้วนำวัตถุมวลมาตรฐานมาทดลองชั่งบนสายพานครั้งละ1 ชิ้น โดยวางวัตถุมวลขนาด 10 กรัม 20 กรัม (ชิ้นที่ 1) 20 กรัม (ชิ้นที่ 2) 50 กรัม 100 กรัม (ชิ้นที่ 1) 100 กรัม (ชิ้นที่ 2) และ200 กรัม ตามลำดับ รวมทั้งสิ้น 7 ชิ้น แล้วสังเกตค่าของมวลบนจอแสดงผลแอลซีดี ไฟแอลอีดีสถานะคัดแยก และช่องที่รองรับวัตถุได้มาตรฐานหรือไม่ได้มาตรฐาน แล้วทำการบันทึกผล 4.6 เมื่อทดลองผลการคัดแยกวัตถุที่ระดับความเร็วสายพาน 5 เมตร/นาทีและบันทึกผลเสร็จแล้ว ให้ทำการทดลองในการนำวัตถุ

มวลมาตรฐานมาทดลองชั่งบนสายพานครั้งละ1 ชิ้นเช่นเดิมแต่ให้ปรับความเร็วสายพานไปที่ความเร็วระดับ 10 15 20 เมตร/นาที แล้วสังเกตค่าของมวลบนจอแสดงผลแอลซีดี ไฟแอลอีดีสถานะคัดแยก และช่องที่รองรับวัตถุได้มาตรฐานหรือไม่ได้มาตรฐาน แล้วทำการบันทึกผลในตารางที่ 4.7 4.8 และ4.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 ผลการคัดแยกวัตถุมวลมาตรฐานสำหรับความเร็วสายพาน 5 เมตร/นาที

หมายเลขวัตถุมวลมาตรฐาน	มวลจริงของวัตถุ (กรัม)	มวลจากเครื่องชั่ง (กรัม)	ไฟสถานะคัดแยก	ช่องรับวัตถุ	การคัดแยก
1	10	10	สีแดง	ไม่ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
2	20	20	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
3	20	20	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
4	50	51	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
5	100	99	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
6	100	100	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
7	200	201	สีแดง	ไม่ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง

หมายเหตุ ไฟสถานะคัดแยก เมื่อสีเขียวสว่างแสดงว่า มวลของวัตถุผ่านมาตรฐาน ถ้าสีแดงสว่างแสดงว่า มวลของวัตถุไม่ผ่านมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.6 เมื่อเดินสายพานด้วยความเร็วสายพานที่ 5 เมตร/นาทีและนำวัตถุมวลมาตรฐาน 7 ชิ้น (10 กรัม 20 กรัม 20 กรัม 50 กรัม 100 กรัม 100 กรัม และ200 กรัม) มาวางบนสายพาน ดำเนินการอ่านค่ามวลจากจอแอลซีดีและสังเกตการคัดแยกวัตถุ โดยใช้งานในโหมดที่ 2 ตั้งค่า X1 เท่ากับ 20 กรัมและ X2 เท่ากับ 100 แล้วทดสอบพบว่าวัตถุมวลมาตรฐานทั้งหมด 7 ชิ้น คัดแยกได้ถูกต้อง 7 ชิ้น ความถูกต้องเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.7 ผลการคัดแยกวัตถุมวลมาตรฐานสำหรับความเร็วสายพาน 10 เมตร/นาที

หมายเลขวัตถุมวลมาตรฐาน	มวลจริงของวัตถุ (กรัม)	มวลจากเครื่องชั่ง (กรัม)	ไฟสถานะคัดแยก	ช่องรับวัตถุ	การคัดแยก
1	10	10	สีแดง	ไม่ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
2	20	20	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
3	20	21	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
4	50	50	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
5	100	99	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
6	100	100	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
7	200	199	สีแดง	ไม่ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง

หมายเหตุ ไฟสถานะคัดแยก เมื่อสีเขียวสว่างแสดงว่า มวลของวัตถุผ่านมาตรฐาน ถ้าสีแดงสว่างแสดงว่า มวลของวัตถุไม่ผ่านมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.7 เมื่อเดินสายพานด้วยความเร็วสายพานที่ 10 เมตร/นาทีและนำวัตถุมวลมาตรฐาน 7 ชิ้น (10 กรัม 20 กรัม 20 กรัม 50 กรัม 100 กรัม 100 กรัม และ200 กรัม) มาวางบนสายพาน ดำเนินการอ่านค่ามวลจากจอแอลซีดีและสังเกตการคัดแยกวัตถุ โดยใช้งานในโหมดที่ 2 ตั้งค่า X1 เท่ากับ 20 กรัมและ X2 เท่ากับ 100 แล้วทดสอบพบว่าวัตถุมวลมาตรฐานทั้งหมด 7 ชิ้น คัดแยกได้ถูกต้อง 7 ชิ้น ความถูกต้องเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.8 ผลการคัดแยกวัตถุมวลมาตรฐานสำหรับความเร็วสายพาน 15 เมตร/นาที

หมายเลขวัตถุมวลมาตรฐาน	มวลจริงของวัตถุ (กรัม)	มวลจากเครื่องชั่ง (กรัม)	ไฟสถานะคัดแยก	ช่องรับวัตถุ	การคัดแยก
1	10	10	สีแดง	ไม่ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
2	20	20	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
3	20	21	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
4	50	51	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
5	100	100	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
6	100	101	สีแดง	ไม่ผ่านมาตรฐาน	ผิดพลาด
7	200	201	สีแดง	ไม่ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง

หมายเหตุ ไฟสถานะคัดแยก เมื่อสีเขียวสว่างแสดงว่า มวลของวัตถุผ่านมาตรฐาน ถ้าสีแดงสว่างแสดงว่า มวลของวัตถุไม่ผ่านมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.8 เมื่อเดินสายพานด้วยความเร็วสายพานที่ 15 เมตร/นาทีและนำวัตถุมวลมาตรฐาน 7 ชิ้น (10 กรัม 20 กรัม 20 กรัม 50 กรัม 100 กรัม 100 กรัม และ200 กรัม) มาวางบนสายพาน ดำเนินการอ่านค่ามวลจากจอแอลซีดีและสังเกตการคัดแยกวัตถุ โดยใช้งานในโหมดที่ 2 ตั้งค่า X1 เท่ากับ 20 กรัมและ X2 เท่ากับ 100 แล้วทดสอบพบว่าวัตถุมวลมาตรฐานทั้งหมด 7 ชิ้น คัดแยกได้ถูกต้อง 6 ชิ้น เนื่องจากมวลของวัตถุมาตรฐานขนาด 100 กรัม เครื่องคัดแยกอ่านได้ 101 กรัม ทำให้ได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 85.71 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.9 ผลการคัดแยกวัตถุมวลมาตรฐานสำหรับความเร็วสายพาน 20 เมตร/นาที

หมายเลขวัตถุมวลมาตรฐาน	มวลจริงของวัตถุ (กรัม)	มวลจากเครื่องชั่ง (กรัม)	ไฟสถานะคัดแยก	ช่องรับวัตถุ	การคัดแยก
1	10	9	สีแดง	ไม่ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
2	20	20	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
3	20	19	สีแดง	ไม่ผ่านมาตรฐาน	ผิดพลาด
4	50	50	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
5	100	100	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
6	100	99	สีเขียว	ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง
7	200	199	สีแดง	ไม่ผ่านมาตรฐาน	ถูกต้อง

หมายเหตุ ไฟสถานะคัดแยก เมื่อสีเขียวสว่างแสดงว่า มวลของวัตถุผ่านมาตรฐาน ถ้าสีแดงสว่างแสดงว่า มวลของวัตถุไม่ผ่านมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.9 เมื่อเดินสายพานด้วยความเร็วสายพานที่ 20 เมตร/นาทีและนำวัตถุมวลมาตรฐาน 7 ชิ้น(10 กรัม 20 กรัม 20 กรัม 50 กรัม 100 กรัม 100 กรัม และ200 กรัม) มาวางบนสายพาน ดำเนินการอ่านค่ามวลจากจอแอลซีดีและสังเกตการคัดแยกวัตถุ โดยใช้งานในโหมดที่ 2 ตั้งค่า X1 เท่ากับ 20 กรัมและ X2 เท่ากับ 100 แล้วทดสอบพบว่าวัตถุมวลมาตรฐานทั้งหมด 7 ชิ้น คัดแยกได้ถูกต้อง 6 ชิ้น เนื่องจากมวลของวัตถุมาตรฐานขนาด 20 กรัม เครื่องคัดแยกอ่านได้ 19 กรัม ทำให้ได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 85.71 เปอร์เซ็นต์

4.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการชั่งมวลของวัตถุที่ความเร็วสายพาน 4 ระดับ

จากการใช้งานเครื่องคัดแยกวัตถุ จากการสังเกตพบว่าเมื่อปรับให้ความเร็วสายพานมากขึ้นจะส่งผลให้การประมาณค่ามวลของวัตถุ มีความเที่ยงตรงน้อยลงคือชั่งวัตถุเดิมซ้ำกันแต่ผลของการประมาณค่ามวลแตกต่างกัน ทำให้เกิดความผิดพลาดมากขึ้นจึงทำการทดลองเพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้น โดยการสังเกตการประมาณค่าของมวลวัตถุซึ่งอยู่บนสายพานที่ความเร็วต่างๆ และพิจารณาความผิดพลาดของการประมาณค่ามวลของวัตถุด้วยการวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAE) ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.10 ค่าความผิดพลาดซึ่งเกิดจากความเร็วขณะสายพานหยุดนิ่ง

มวลของวัตถุ(กรัม)	ครั้งที่					MAE
	1	2	3	4	5	
100	100	101	100	99	100	0.4
200	200	200	199	199	201	0.6
300	301	301	299	300	299	0.8
400	400	399	401	400	400	0.4
500	499	500	500	501	501	0.6
600	601	600	599	598	600	0.8
700	701	701	700	700	701	0.6
800	800	801	800	800	800	0.2
900	901	900	9300	899	901	0.6
1000	1000	999	1000	1001	1001	0.6

จากตารางที่ 4.10 เมื่อไม่เดินสายพานและนำวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน 10 ระดับ (100 กรัม 200 กรัม 300 กรัม ... 1000 กรัม) มาวางบนสายพานและดำเนินการอ่านจากจอแอลซีดี และทดสอบระดับละ 5 ครั้ง พบว่า ค่าสูงสุดของ MAE คือ 0.8 ที่มวล 300 กรัม และค่าต่ำสุดของ MAE คือ 0.2 ที่มวล 800 กรัม

ตารางที่ 4.11 ค่าความผิดพลาดซึ่งเกิดจากความเร็วสายพานที่ 5 เมตร/นาที

มวลของวัตถุ(กรัม)	ครั้งที่					MAE
	1	2	3	4	5	
100	100	99	101	100	100	0.4
200	200	200	201	203	200	0.8
300	299	301	300	301	298	1.0
400	399	398	400	399	398	1.2
500	498	500	499	498	500	1.0
600	597	597	600	599	600	1.4
700	698	699	700	701	700	0.8
800	799	797	799	799	801	1.4
900	899	897	900	901	902	1.4
1000	998	1001	1000	997	1000	1.2

จากตารางที่ 4.11 เมื่อเดินสายพานด้วยความเร็วสายพานที่ 5 เมตร/นาทีและนำวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน 10 ระดับ (100 กรัม 200 กรัม 300 กรัม ... 1000 กรัม) มาวางบนสายพานและดำเนินการอ่านจากจอแอลซีดี และทดสอบระดับละ 5 ครั้ง พบว่า ค่าสูงสุดของ MAE คือ 1.4 ที่มวล 800 กรัมและ900 กรัม และค่าต่ำสุดของ MAE คือ 0.4 ที่มวล 100 กรัม

ตารางที่ 4.12 ค่าความผิดพลาดซึ่งเกิดจากความเร็วสายพานที่ 10 เมตร/นาที

มวลของวัตถุ(กรัม)	ครั้งที่					MAE
	1	2	3	4	5	
100	100	102	101	99	101	1.0
200	201	203	202	201	202	1.8
300	301	302	301	300	299	1.0
400	402	401	402	398	399	1.6
500	501	502	501	501	500	1.0
600	600	603	599	599	599	1.2
700	701	702	700	701	702	1.2
800	802	801	798	801	803	1.8
900	902	900	899	902	900	1.0
1000	1000	1003	999	998	1001	1.4

จากตารางที่ 4.12 เมื่อเดินสายพานด้วยความเร็วสายพานที่ 10 เมตร/นาทีและนำวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน 10 ระดับ (100 กรัม 200 กรัม 300 กรัม ... 1000 กรัม) มาวางบนสายพานและดำเนินการอ่านจากจอแอลซีดี และทดสอบระดับละ 5 ครั้ง พบว่า ค่าสูงสุดของ MAE คือ 1.8 ที่มวล 200 กรัมและ 800 กรัม และค่าต่ำสุดของ MAE คือ 1.0 ที่มวล 100 กรัม 300 กรัม 500 กรัม และ 900 กรัม

ตารางที่ 4.13 ค่าความผิดพลาดซึ่งเกิดจากความเร็วสายพานที่ 15 เมตร/นาที

มวลของวัตถุ(กรัม)	ครั้งที่					MAE
	1	2	3	4	5	
100	100	98	100	100	99	0.6
200	202	198	201	202	200	1.4
300	301	301	299	301	301	1.0
400	398	401	401	401	401	1.2
500	501	497	498	500	498	1.6
600	600	599	598	602	599	1.2
700	699	702	700	701	699	1.0
800	802	800	798	800	801	1.0
900	900	903	901	902	902	1.6
1000	997	1002	1002	1000	1003	2.0

จากตารางที่ 4.13 เมื่อเดินสายพานด้วยความเร็วสายพานที่ 15 เมตร/นาทีและนำวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน 10 ระดับ (100 กรัม 200 กรัม 300 กรัม ... 1000 กรัม) มาวางบนสายพานและดำเนินการอ่านจากจอแอลซีดี และทดสอบระดับละ 5 ครั้ง พบว่า ค่าสูงสุดของ MAE คือ 2.0 ที่มวล 1,000 กรัม และค่าต่ำสุดของ MAE คือ 0.6 ที่มวล 100 กรัม

ตารางที่ 4.14 ค่าความผิดพลาดซึ่งเกิดจากความเร็วสายพานที่ 20 เมตร/นาที

มวลของวัตถุ(กรัม)	ครั้งที่					MAE
	1	2	3	4	5	
100	101	101	99	101	100	0.8
200	199	201	201	199	201	1.0
300	298	298	303	298	298	2.2
400	399	400	398	401	399	1.0
500	501	500	498	498	498	1.4
600	599	602	598	602	602	1.8
700	699	701	699	703	701	1.4
800	801	798	798	798	799	1.6
900	900	899	899	901	899	0.8
1000	1001	999	999	1002	1002	1.4

จากตารางที่ 4.14 เมื่อเดินสายพานด้วยความเร็วสายพานที่ 20 เมตร/นาทีและนำวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน 10 ระดับ (100 กรัม 200 กรัม 300 กรัม ... 1000 กรัม) มาวางบนสายพานและดำเนินการอ่านจากจอแอลซีดี และทดสอบระดับละ 5 ครั้ง พบว่า ค่าสูงสุดของ MAE คือ 2.2 ที่มวล 300 กรัม และค่าต่ำสุดของ MAE คือ 0.8 ที่มวล 100 กรัม และ 900 กรัม

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินโครงงานสามารถสรุปผล ชี้แจงปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินงาน รวมทั้งเสนอแนวทางแก้ปัญหา พร้อมให้ข้อเสนอแนะในการนำโครงงานไปพัฒนาต่อไป

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

ในโครงงานนี้ได้นำโหลดเซลล์และไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้งานเพื่อตรวจสอบมวลของวัตถุในขณะที่วัตถุเคลื่อนที่อยู่บนสายพาน ซึ่งใช้โหลดเซลล์เป็นตัวรับมวลของวัตถุและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลสัญญาณจากโหลดเซลล์เป็นค่ามวลของวัตถุที่เป็นตัวเลข และยังทำการคัดแยกวัตถุตามค่ามวลที่เราสามารถกำหนดเองได้ รูปแบบการทำงานของเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยมวลบนสายพานโดยการประยุกต์ใช้โหลดเซลล์และไมโครคอนโทรลเลอร์ของโครงงานนี้คือ เปิดเครื่องแล้วทำการเลือกโหมดการใช้งานซึ่งมีอยู่ 2 โหมด เปิด (ON) สวิตช์มอเตอร์ควบคุมความเร็วสายพานลำเลียง จากนั้นหมุนปรับความเร็วสายพานแล้วนำวัตถุที่ต้องการชั่งมาวางบนสายพานที่กำลังเคลื่อนที่อยู่ ในขณะนี้โหลดเซลล์จะส่งสัญญาณออกมาเป็นแรงดันเพราะในสภาวะปกติโหลดเซลล์จะมีสัญญาณความแรงดันเป็น 0 โวลต์แต่เมื่อได้รับการกดทับจากวัตถุที่นำมาชั่งจะทำให้สัญญาณแรงดันมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณมวลของวัตถุที่มากขึ้น เมื่อวัตถุที่เคลื่อนที่ตามสายพานผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยแสงซึ่งใช้เป็นตัวตรวจจับวัตถุ เซ็นเซอร์จะสั่งการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลสัญญาณที่ได้รับจากโหลดเซลล์ซึ่งเปลี่ยนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นที่เป็นสัญญาณแอนะล็อกแปลงไปเป็นดิจิตอลจะได้ตัวเลขค่าหนึ่ง ต่อมาประมาณค่ามวลพร้อมทั้งแสดงสถานะการคัดแยกวัตถุบนหน้าจอแอลซีดี และไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้ระบบคัดแยกวัตถุทำการคัดแยกวัตถุลงช่องใส่วัตถุตามสถานะที่แสดงบนจอแอลซีดีในเวลาเดียวกัน ทำให้ผู้ใช้งานไม่ต้องเสียเวลาในการตรวจสอบมวลของวัตถุโดยการชั่งแล้วต้องรอให้วัตถุนิ่งเสียก่อนจริงจะรู้มวลที่แท้จริง เพราะเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยมวลบนสายพานโดยการประยุกต์ใช้โหลดเซลล์และไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถตรวจสอบมวลและคัดแยกวัตถุได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำในขณะที่วัตถุกำลังเคลื่อนที่

จากผลการสอบเทียบโหลดเซลล์ในตารางที่ 4.1 พบว่า กรณีก่อนสอบเทียบมวลของวัตถุมาตรฐานขนาด 100, 200, 300, ..., 1000 กรัม ได้อ่านค่าจากเครื่องชั่งบนสายพานที่พัฒนาขึ้นซึ่งมีระดับค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) เท่ากับ 5.0 กรัม หลังจากได้มีการสอบเทียบโหลด

เซลล์แล้วได้อ่านค่าของมวลของวัตถุมาตรฐานดังกล่าวบนสายพานที่พัฒนาขึ้นซึ่งมีค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 0.6 กรัม ทำให้เครื่องชั่งมีความถูกต้องแม่นยำมากเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองการคัดแยกวัตถุที่มีมวลมากกว่า 20 กรัม ดังผลการบันทึกในตารางที่ 4.2 – 4.5 พบว่า เมื่อนำวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน 7 ระดับ (10, 20, 20, 50, 100, 100, 200 กรัม) มาวางบนสายพานที่วิ่งด้วยอัตราเร็ว 4 กรณี คือ 5, 10, 15 และ 20 เมตร/นาที พบว่า ผลการคัดแยกวัตถุได้ถูกต้องทั้ง 7 ชิ้น ในกรณีอัตราเร็วของสายพาน 5 เมตร/นาที และ 10 เมตร/นาที และผลการคัดแยกวัตถุได้ถูกต้องเพียง 6 ชิ้น หรือค่าความถูกต้องร้อยละ 85.71 ในกรณีอัตราเร็วของสายพาน 15 เมตร/นาที และ 20 เมตร/นาที จะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากมวลของวัตถุมาตรฐานขนาด 20 กรัม เครื่องคัดแยกอ่านได้ต่ำกว่า 20 กรัมเพียง 1 กรัม และ 2 กรัม

จากผลการทดลองการคัดแยกวัตถุที่มีมวลอยู่ระหว่าง 20 กรัมถึง 100 กรัม ดังผลการบันทึกในตารางที่ 4.6 – 4.9 พบว่า เมื่อนำวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน 7 ระดับ (10, 20, 20, 50, 100, 100, 200 กรัม) มาวางบนสายพานที่วิ่งด้วยอัตราเร็ว 4 กรณี คือ 5, 10, 15 และ 20 เมตร/นาที พบว่า ผลการคัดแยกวัตถุได้ถูกต้องทั้ง 7 ชิ้น ในกรณีอัตราเร็วของสายพาน 5 เมตร/นาที และ 10 เมตร/นาที และผลการคัดแยกวัตถุได้ถูกต้องเพียง 6 ชิ้น หรือค่าความถูกต้องร้อยละ 85.71 ในกรณีอัตราเร็วของสายพาน 15 เมตร/นาที และ 20 เมตร/นาที จะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากมวลของวัตถุมาตรฐานขนาด 20 กรัม และขนาด 100 กรัม เครื่องคัดแยกอ่านได้ต่ำกว่า 20 กรัมเพียง 1 กรัม และอ่านได้สูงกว่า 100 กรัมเพียง 1 กรัม

จากผลการทดลองตารางที่ 4.10 – 4.14 เมื่อนำวัตถุที่มีมวลมาตรฐาน 10 ระดับ (100, 200, 300, ... , 1000 กรัม) มาวางบนสายพานที่วิ่งด้วย 5 กรณี คือ อัตราเร็ว 0, 5, 10, 15 และ 20 เมตร/นาที แต่ละอัตราเร็วของสายพาน ผู้วิจัยได้อ่านค่ามวลของวัตถุจากจอแอลซีดี ทดสอบระดับละ 5 ครั้ง พบว่า ค่าสูงสุดของ MAE คือ 2.2 กรณี 300 กรัมด้วยอัตราเร็ว 20 เมตร/นาทีและค่าต่ำสุดของ MAE คือ 0.2 กรณี 800 กรัมเมื่อหยุดสายพาน

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

ในการทดสอบการใช้งานเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยมวลบนสายพานโดยการประยุกต์ใช้โหลดเซลล์และไมโครคอนโทรลเลอร์ ผู้ดำเนินโครงงานได้สังเกตและพบปัญหาดังต่อไปนี้

1) ในการคัดแยกวัตถุโดยใช้มวลที่กำหนดเป็นเกณฑ์ในการคัดแยกนั้น จะมีการคัดแยกผิดพลาดก็ต่อเมื่อเรากำหนดมวลที่ต้องการใกล้เคียงกับมวลของวัตถุมากเกินไป เช่น กำหนดมวลที่ผ่านมาตรฐานท่ากับ 200 กรัม เมื่อนำวัตถุที่มีมวล 200 กรัมค่ามวลที่ได้จากเครื่องชั่งนั้นจะมีความผิดพลาดเล็กน้อย เครื่องชั่งมวลอาจชั่งได้ 198 กรัมซึ่งจะส่งผลต่อการคัดแยกทำให้การคัดแยก

วัตถุผิดพลาดโดยเครื่องชั่งจะคัดแยกไปอยู่ในช่องของวัตถุที่มีมวลไม่ได้มาตรฐานแต่ที่จริงแล้ววัตถุที่นำมาชั่งมีมวลที่ได้มาตรฐาน เนื่องจากเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยมวลบนสายพานใช้การประมาณค่าน้ำนักของวัตถุในการชั่งมวลของวัตถุจึงทำให้ค่ามวลมีความผิดพลาดได้

แนวทางแก้ไขคือ ในการกำหนดมวลที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดแยกนั้น ควรกำหนดมวลให้มีค่าเกินมวลที่เราต้องการประมาณ 5 กรัมเพื่อป้องการคัดแยกวัตถุที่ผิดพลาด

2) ในการตรวจสอบมวลนั้นจะต้องมีการวางวัตถุบนสายพานที่กำลังเคลื่อนที่ และในการทดสอบมีการวางวัตถุที่มีระยะห่างจากเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุด้วยแสงประมาณ 5 เซนติเมตรและระยะเวลาในการวางวัตถุแต่ละชิ้นห่างกันประมาณ 2.7 วินาทีที่ความเร็วสงสุดของสายพานลำเลียงวัตถุ (20 m/min) จึงทำให้เครื่องคัดแยกวัตถุด้วยมวลบนสายพานนั้นสามารถตรวจสอบมวลของวัตถุและคัดแยกวัตถุได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ อย่างไรก็ตามในสถานการณ์จริงนั้นผู้ใช้งานอาจวางวัตถุไว้ใกล้เซนเซอร์ตรวจจับด้วยแสงมากเกินไปอาจทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลผิดพลาดได้ ซึ่งจะส่งผลต่อค่ามวลและการคัดแยกวัตถุที่ผิดพลาดเช่นกัน ต่อมาคือการวางวัตถุในระยะเวลาที่ใกล้กันมากเกินไปอาจทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลค่ามวลของวัตถุชิ้นถัดไปไม่ทัน ซึ่งจะส่งผลต่อค่ามวลและการคัดแยกวัตถุที่ผิดพลาดอีกเช่นกัน

แนวทางแก้ไขคือการสร้างเครื่องป้อนชิ้นงานให้กับเครื่องเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยมวลบนสายพานที่มีระยะห่างจากเซนเซอร์ตรวจจับด้วยแสงประมาณ 5 เซนติเมตร และสามารถปรับความเร็วในการป้อนวัตถุลงบนสายพานลำเลียงวัตถุใช้สอดคล้องกับความเร็วของสายพานลำเลียงวัตถุ

3) ในโครงงานนี้ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประกอบเป็นวงจรควบคุม ซึ่งอุปการเหล่านี้จะมีอุณหภูมิการใช้งานที่ไม่เท่ากัน ส่งผลให้ตอนเปิดเครื่องใช้งานครั้งแรกการตรวจสอบค่ามวลและการคัดแยกวัตถุนั้นเกิดความผิดพลาดในระดับหนึ่ง และเมื่อใช้งานไปนานๆการตรวจสอบค่ามวลและการคัดแยกวัตถุนั้นจะเกิดความผิดพลาดย่างมาก ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อเปิดเครื่องใช้งานครั้งแรกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีการเปลี่ยนอุณหภูมิที่สูงขึ้นอย่างฉับพลัน ส่งผลให้การทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แต่ละตัวยังไม่เต็มประสิทธิภาพ จึงทำให้วงจรควบคุมต่างทำงานผิดพลาดไปด้วย และมีผลต่อการตรวจสอบค่ามวลและการคัดแยกวัตถุเกิดความผิดพลาด

แนวทางการแก้ไขคือในการเปิดเครื่องใช้งานครั้งแรกให้เปิดเครื่องทิ้งไว้ประมาณ 2-3 นาที (เฉพาะส่วนควบคุม, ประมวลผลและแสดงผล) เพื่อรอให้อุณหภูมิของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์คงที่แล้วทำการสอบเทียบมวล 1000 กรัม จะทำให้การการตรวจสอบค่ามวลและการคัดแยกวัตถุถูกต้องและแม่นยำ

4) ในการวางเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยมวลบนสายพานเพื่อใช้งานในสถานที่ต่างๆ ผู้ดำเนินโครงงานได้สังเกตและพบว่าเมื่อวางส่วนชั่งมวลและสายพานลำเลียงวัตถุลงบนพื้นผิวที่เป็นโลหะหรือพื้นผิวที่สามารถนำไฟฟ้าได้ จะส่งผลให้การประมาณค่ามวลมีความผิดพลาดไม่สอดคล้องกับมวลที่แท้จริงของวัตถุ เนื่องจากเกิดสัญญาณรบกวนในระบบเพราะฐานของส่วนชั่งมวลและสายพานลำเลียงวัตถุที่ยึดติดกับโหลดเซลล์สามารถนำไฟฟ้าได้ ส่งผลให้สัญญาณรบกวนเข้าสู่ระบบผ่านทางโหลดเซลล์

แนวทางแก้ไขคือนำวัสดุที่เป็นฉนวนมาติดใต้ฐานของส่วนชั่งมวลและสายพานลำเลียงวัตถุเพื่อป้องกันการสัมผัสระหว่างฐานของส่วนชั่งมวลและสายพานลำเลียงวัตถุกับพื้นผิวที่เป็นโลหะหรือพื้นผิวที่สามารถนำไฟฟ้าได้

5.3 แนวทางในการพัฒนาโครงงาน

จากการทดสอบการใช้งานจริงโดยการนำวัตถุหลากหลายชนิดมาทำการการตรวจสอบค่ามวลและการคัดแยกวัตถุ จากการสังเกตพบว่าเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยมวลบนสายพานโดยการประยุกต์ใช้โหลดเซลล์และไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำการตรวจสอบค่ามวลและการคัดแยกวัตถุได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ดังนั้นจึงได้คิดพัฒนาเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยมวลบนสายพานให้สามารถนำไปใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมได้จริง โดยการเพิ่มช่องการคัดแยกวัตถุให้มากขึ้นเพื่อเพิ่มการคัดแยกวัตถุให้ได้หลายขนาด ออกแบบโครงสร้างฐานของส่วนชั่งมวลและสายพานลำเลียงวัตถุเพื่อใช้ในการตรวจสอบค่ามวลและการคัดแยกวัตถุของวัตถุที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เปลี่ยนจอแสดงผลเป็นจอแบบระบบสัมผัส (Touch Screen) เพื่อความสะดวกในการใช้งาน สร้างเครื่องป้อนชิ้นงานให้กับเครื่องคัดแยกวัตถุด้วยมวลบนสายพานเพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการทำงาน

เอกสารอ้างอิง

[1] ประจิน พลังสันติกุล. (2551). การขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ด้วยคอมไพเลอร์ MPLAB C. กรุงเทพฯ: บริษัท แอพซอฟต์เทค จำกัด.

[2] นภัทร วัจนเทพินทร์. (2547). วงจรไอซีและการประยุกต์ใช้งาน. กรุงเทพฯ: สกายบุ๊กส์

[3] นคร ภักดีชาติ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. (2551). คู่มือการทดลองเบื้องต้น dsPIC Microcontroller ด้วยโปรแกรมภาษา C กับ MPLAB C30. กรุงเทพฯ: (C) Innovative Experiment Co.,Ltd.

[4] dsPIC30F Family. (2003). Reference Manual High Performance Digital Signal Controllers : Microship Technology Inc.,.

[5] ประภาพร ช่างไม้. (2551). คู่มือเขียนโปรแกรมภาษา C ฉบับผู้เริ่มต้น. นนทบุรี: ไอซีดีฯ.

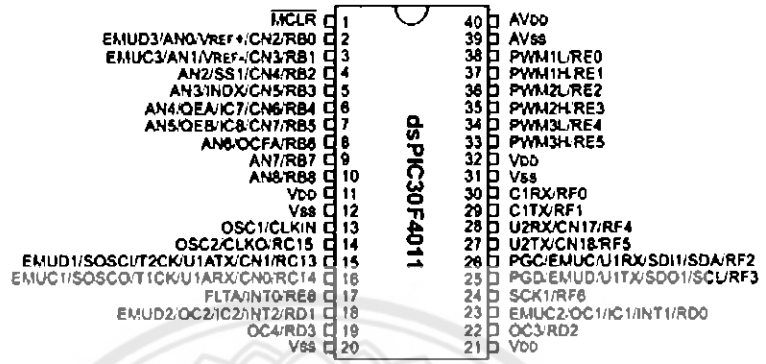
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ หมายเลข 30F4011

Pin Diagrams

40-Pin PDIP



44-Pin TQFP

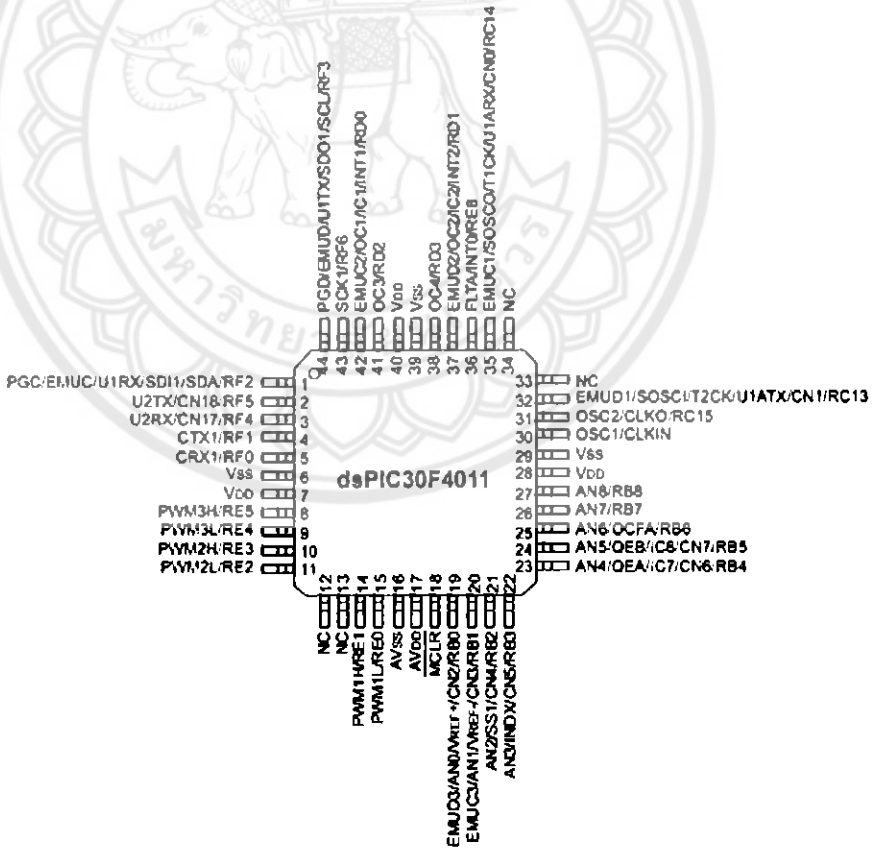
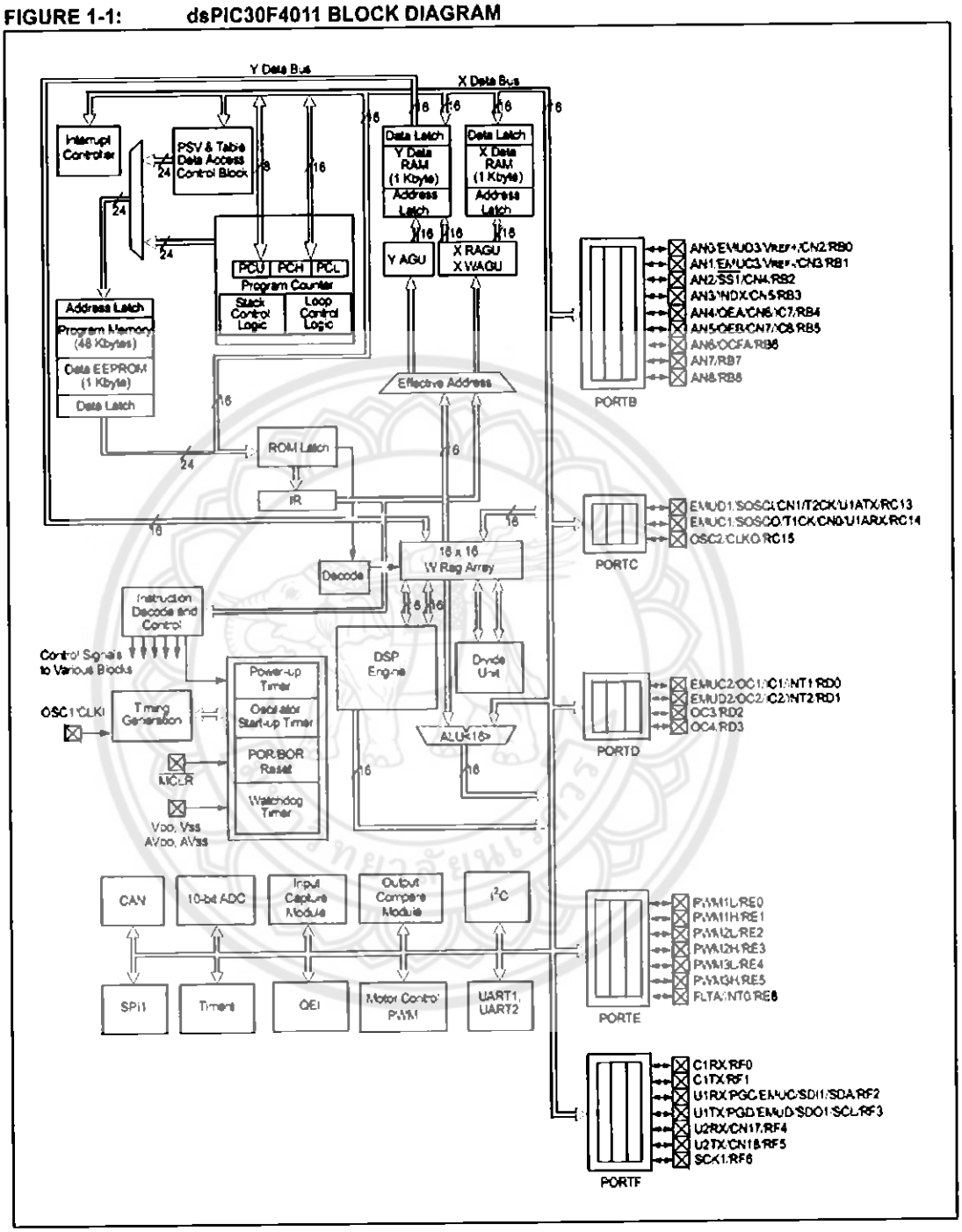


FIGURE 1-1: dsPIC30F4011 BLOCK DIAGRAM



MICROCHIP

dsPIC30F4011/4012

dsPIC30F4011/4012 Enhanced Flash 16-bit Digital Signal Controller

Note: This data sheet summarizes features of this group of dsPIC30F devices and is not intended to be a complete reference source. For more information on the CPU, peripherals, register descriptions and general device functionality, refer to the *dsPIC30F Family Reference Manual* (DS70046). For more information on the device instruction set and programming, refer to the *dsPIC30F Programmer's Reference Manual* (DS70030).

High Performance Modified RISC CPU:

- Modified Harvard architecture
- C compiler optimized instruction set architecture with flexible addressing modes
- 84 base instructions
- 24-bit wide instructions, 16-bit wide data path
- 48 Kbytes on-chip Flash program space (16K instruction words)
- 2 Kbytes of on-chip data RAM
- 1 Kbytes of non-volatile data EEPROM
- Up to 30 MIPs operation:
  - DC to 40 MHz external clock input
  - 4 MHz-10 MHz oscillator input with PLL active (4x, 8x, 16x)
- 30 interrupt sources
  - 3 external interrupt sources
  - 8 user selectable priority levels for each interrupt source
  - 4 processor trap sources
- 16 x 16-bit working register array

DSP Engine Features:

- Dual data fetch
- Accumulator write back for DSP operations
- Modulo and Bit-Reversed Addressing modes
- Two, 40-bit wide accumulators with optional saturation logic
- 17-bit x 17-bit single cycle hardware fractional/ integer multiplier
- All DSP instructions single cycle
- ± 16-bit single cycle shift

Peripheral Features:

- High current sink/source I/O pins: 25 mA/25 mA
- Timer module with programmable prescaler:
  - Five 16-bit timers/counters; optionally pair 16-bit timers into 32-bit timer modules
- 16-bit Capture input functions
- 16-bit Compare/PWM output functions
- 3-wire SPI™ modules (supports 4 Frame modes)
- I^2C™ module supports Multi-Master/Slave mode and 7-bit/10-bit addressing
- 2 UART modules with FIFO Buffers
- 1 CAN modules, 2.0B compliant

Motor Control PWM Module Features:

- 6 PWM output channels
  - Complementary or Independent Output modes
  - Edge and Center Aligned modes
- 3 duty cycle generators
- Dedicated time base
- Programmable output polarity
- Dead-time control for Complementary mode
- Manual output control
- Trigger for A/D conversions

Quadrature Encoder Interface Module Features:

- Phase A, Phase B and Index Pulse Input
- 16-bit up/down position counter
- Count direction status
- Position Measurement (x2 and x4) mode
- Programmable digital noise filters on inputs
- Alternate 16-bit Timer/Counter mode
- Interrupt on position counter rollover/underflow

dsPIC30F4011/4012

Analog Features:

- 10-bit Analog-to-Digital Converter (A/D) with 4 S/H Inputs:
  - 500 Ksps conversion rate
  - 9 Input channels
  - Conversion available during Sleep and Idle
- Programmable Brown-out Detection and Reset generation

Special Microcontroller Features:

- Enhanced Flash program memory:
  - 10,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 100K (typical)
- Data EEPROM memory:
  - 100,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 1M (typical)
- Self-reprogrammable under software control
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Flexible Watchdog Timer (WDT) with on-chip low power RC oscillator for reliable operation
- Fail-Safe clock monitor operation detects clock failure and switches to on-chip low power RC oscillator
- Programmable code protection
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)
- Selectable Power Management modes
  - Sleep, Idle and Alternate Clock modes

CMOS Technology:

- Low power, high speed Flash technology
- Wide operating voltage range (2.5V to 5.5V)
- Industrial and Extended temperature ranges
- Low power consumption

dsPIC30F Motor Control and Power Conversion Family*

Device	Pins	Program Mem. Bytes/ Instructions	SRAM Bytes	EEPROM Bytes	Timer 16-bit	Input Cap	Output Comp/Std PWM	Moto Control PWM	A/D 10-bit 500 Ksps	Quad Enc	UART	SPI™	I²C™	CAN
dsPIC30F2010	28	12K/4K	512	1024	3	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	-
dsPIC30F3010	28	24K/8K	1024	1024	5	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	-
dsPIC30F4012	28	48K/16K	2048	1024	5	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	1
dsPIC30F3011	40/44	24K/8K	1024	1024	5	4	4	6 ch	9 ch	Yes	2	1	1	-
dsPIC30F4011	40/44	48K/16K	2048	1024	5	4	4	6 ch	9 ch	Yes	2	1	1	1
dsPIC30F5015	64	66K/22K	2048	1024	5	4	4	8 ch	16 ch	Yes	1	2	1	1
dsPIC30F6010	80	144K/48K	8192	4096	5	8	8	8 ch	16 ch	Yes	2	2	1	2

* This table provides a summary of the dsPIC30F6010 peripheral features. Other available devices in the dsPIC30F Motor Control and Power Conversion Family are shown for feature comparison.

dsPIC30F4011/4012

Table 1-1 provides a brief description of the device I/O pinout and the functions that are multiplexed to a port pin. Multiple functions may exist on one port pin. When multiplexing occurs, the peripheral module's functional requirements may force an override of the data direction of the port pin.

TABLE 1-1: dsPIC30F4011 I/O PIN DESCRIPTIONS

Pin Name	Pin Type	Buffer Type	Description
AN0-AN8	I	Analog	Analog input channels. AN0 and AN1 are also used for device programming data and clock inputs, respectively.
AVDD	P	P	Positive supply for analog module.
AVSS	P	P	Ground reference for analog module.
CLKI CLKO	I O	ST/CMOS —	External clock source input. Always associated with OSC1 pin function. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. Optionally functions as CLKO in RC and EC modes. Always associated with OSC2 pin function.
CN0-CN7 CN17-CN18	I	ST	Input change notification inputs. Can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs.
C1RX C1TX	I O	ST —	CAN1 bus receive pin. CAN1 bus transmit pin.
EMUD EMUC EMUD1 EMUC1 EMUD2 EMUC2 EMUD3 EMUC3	I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O	ST ST ST ST ST ST ST ST	ICD Primary Communication Channel data input/output pin. ICD Primary Communication Channel clock input/output pin. ICD Secondary Communication Channel data input/output pin. ICD Secondary Communication Channel clock input/output pin. ICD Tertiary Communication Channel data input/output pin. ICD Tertiary Communication Channel clock input/output pin. ICD Quaternary Communication Channel data input/output pin. ICD Quaternary Communication Channel clock input/output pin.
IC1, IC2, IC7, IC8	I	ST	Capture inputs 1, 2, 7 and 8.
INDX QEA QEB	I I I	ST ST ST	Quadrature Encoder Index Pulse input. Quadrature Encoder Phase A input in QEI mode. Auxiliary Timer External Clock/Gate input in Timer mode. Quadrature Encoder Phase A input in QEI mode. Auxiliary Timer External Clock/Gate input in Timer mode.
INT0 INT1 INT2	I I I	ST ST ST	External interrupt 0. External interrupt 1. External interrupt 2.
FLTA PWM1L PWM1H PWM2L PWM2H PWM3L PWM3H	I O O O O O O	ST — — — — — —	PWM Fault A input. PWM 1 Low output. PWM 1 High output. PWM 2 Low output. PWM 2 High output. PWM 3 Low output. PWM 3 High output.
MCLR	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low Reset to the device.
OCFA OC1-OC4	I O	ST —	Compare Fault A input (for Compare channels 1, 2, 3 and 4). Compare outputs 1 through 4.

Legend: CMOS = CMOS compatible input or output; Analog = Analog input
ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels; O = Output
I = Input; P = Power

TABLE 1-1: dsPIC30F4011 I/O PIN DESCRIPTIONS (CONTINUED)

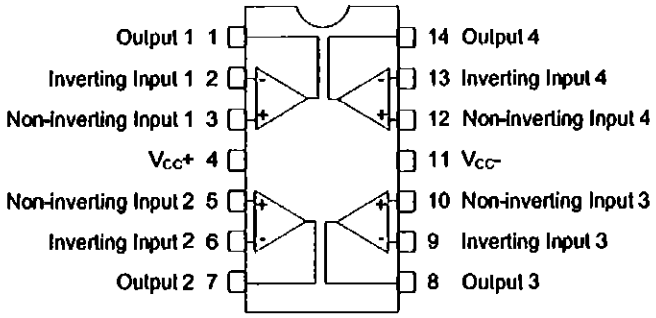
Pin Name	Pin Type	Buffer Type	Description
OSC1 OSC2	I I/O	ST/CMOS —	Oscillator crystal input. ST buffer when configured in RC mode; CMOS otherwise. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. Optionally functions as CLKO in RC and EC modes.
PGD PGC	I/O I	ST ST	In-Circuit Serial Programming data input/output pin. In-Circuit Serial Programming clock input pin.
RB0-RB8	I/O	ST	PORTB is a bidirectional I/O port.
8RC13-RC15	8I/O	8ST	PORTC is a bidirectional I/O port.
RD0-RD3	I/O	ST	PORTD is a bidirectional I/O port.
RE0-RE5, RE8	I/O	ST	PORTE is a bidirectional I/O port.
RF0-RF6	I/O	ST	PORTF is a bidirectional I/O port.
SCK1 SDI1 SDO1 SS1	I/O I O I	ST ST — ST	Synchronous serial clock input/output for SPI™ 1. SPI 1 Data In. SPI 1 Data Out. SPI 1 Slave Synchronization.
SCL SDA	I/O I/O	ST ST	Synchronous serial clock input/output for I^2C. Synchronous serial data input/output for I^2C.
SOSCO SOSCI	O I	— ST/CMOS	32 kHz low power oscillator crystal output. 32 kHz low power oscillator crystal input. ST buffer when configured in RC mode; CMOS otherwise.
T1CK T2CK	I I	ST ST	Timer1 external clock input. Timer2 external clock input.
U1RX U1TX U1ARX U1ATX U2RX U2TX	I O I O I O	ST — ST — ST —	UART1 Receive. UART1 Transmit. UART1 Alternate Receive. UART1 Alternate Transmit. UART2 Receive. UART2 Transmit.
VDD	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
VSS	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VREF+	I	Analog	Analog Voltage Reference (High) input.
VREF-	I	Analog	Analog Voltage Reference (Low) input.

Legend: CMOS = CMOS compatible input or output Analog = Analog input
ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels O = Output
I = Input P = Power

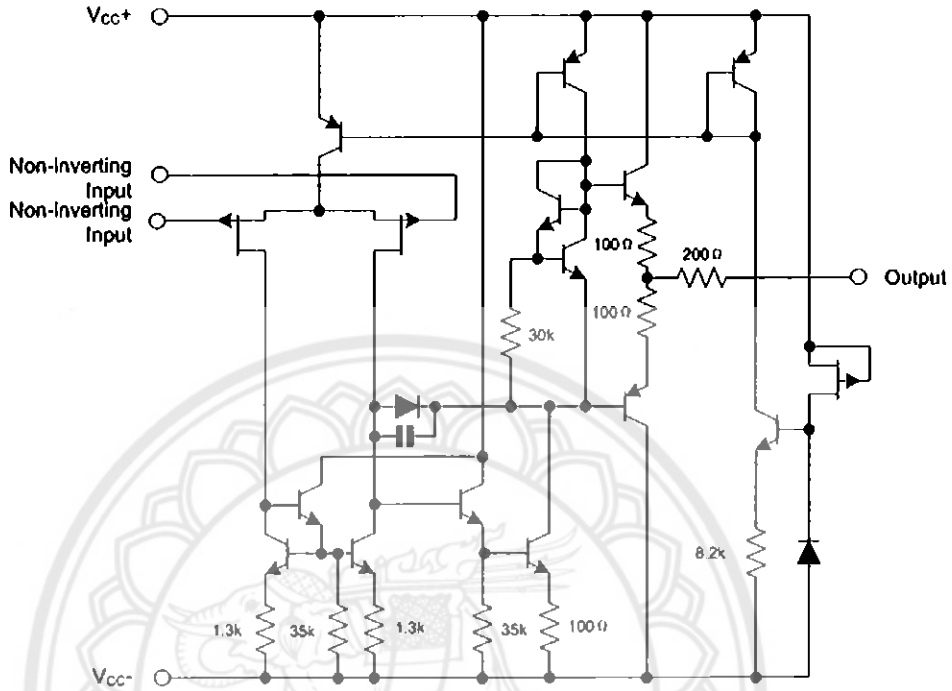
ภาคผนวก ข

รายละเอียดของออปแอมป์หมายเลข TL 074

■ **PIN CONFIGURATIONS**



■ SCHEMATIC DIAGRAM



■ ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Ta=25°C)

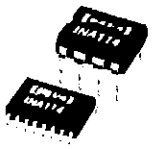
PARAMETER	SYMBOL	RATING	UNIT
Supply Voltage (Note 1)	V_{CC}	±18	V
Input Voltage (Note 2)	V_{IN}	±15	V
Differential Input Voltage (Note 3)	$V_{I(DIFF)}$	±30	V
Power Dissipation	P_D	680	mW
Output Short-Circuit Duration (Note 4)		Infinite	
Operating Temperature	T_{OPR}	0 ~ 70	°C
Storage Temperature	T_{STG}	-65 ~ 150	°C

Notes:
1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between Vcc- and Vcc+.
2. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
3. Differential voltages are at the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.
5. 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.

ภาคผนวก ค

รายละเอียดของอินชัวเมนต์-ออปแอมป์ หมายเลข114AP

BURR-BROWN®



INA114

Precision INSTRUMENTATION AMPLIFIER

FEATURES

- LOW OFFSET VOLTAGE: 50µV max
- LOW DRIFT: 0.25µV/°C max
- LOW INPUT BIAS CURRENT: 2nA max
- HIGH COMMON-MODE REJECTION: 115dB min
- INPUT OVER-VOLTAGE PROTECTION: ±40V
- WIDE SUPPLY RANGE: ±2.25 to ±18V
- LOW QUIESCENT CURRENT: 3mA max
- 8-PIN PLASTIC AND SOL-16

APPLICATIONS

- BRIDGE AMPLIFIER
- THERMOCOUPLE AMPLIFIER
- RTD SENSOR AMPLIFIER
- MEDICAL INSTRUMENTATION
- DATA ACQUISITION

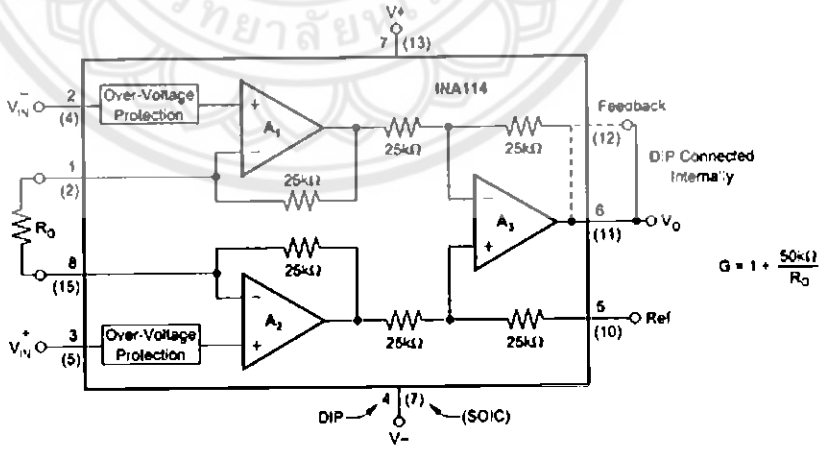
DESCRIPTION

The INA114 is a low cost, general purpose instrumentation amplifier offering excellent accuracy. Its versatile 3-op amp design and small size make it ideal for a wide range of applications.

A single external resistor sets any gain from 1 to 10,000. Internal input protection can withstand up to ±40V without damage.

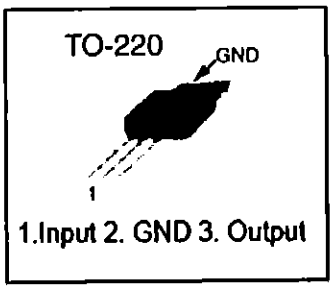
The INA114 is laser trimmed for very low offset voltage (50µV), drift (0.25µV/°C) and high common-mode rejection (115dB at G = 1000). It operates with power supplies as low as ±2.25V, allowing use in battery operated and single 5V supply systems. Quiescent current is 3mA maximum.

The INA114 is available in 8-pin plastic and SOL-16 surface-mount packages. Both are specified for the –40°C to +85°C temperature range.

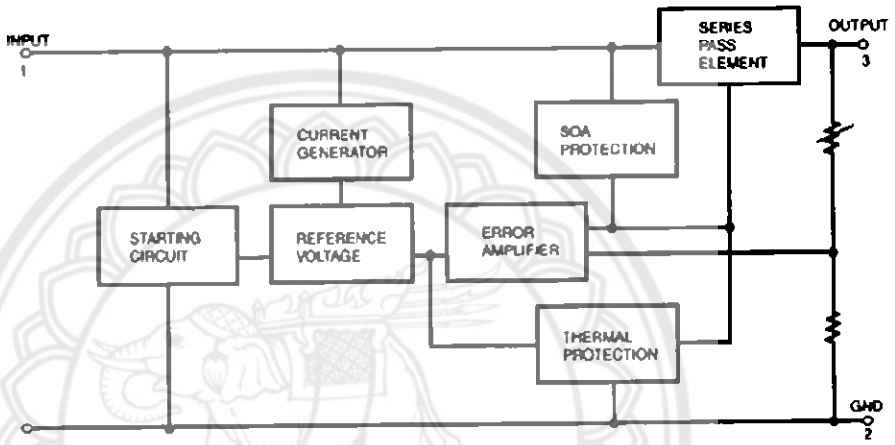


ภาคผนวก ง

รายละเอียดของไอซีเรกกุเลเตอร์ หมายเลข LM7805, 7812, 7815



Internal Block Diagram



Absolute Maximum Ratings(Note 1)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for V_O = 5V to 18V)	V_I	35	V
(for V_O = 24V)	V_I	40	V
Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	$R_{\theta JC}$	5	°C/W
Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	$R_{\theta JA}$	65	°C/W
Operating Temperature Range	T_{OPR}	0 ~ +125	°C
LM78xx		-40 ~ +125	°C
LM78xxA		0 ~ +125	°C
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 ~ +150	°C

Note 1: Absolute maximum ratings are those values beyond which damage to the device may occur. The datasheet specifications should be met, without exception, to ensure that the system design is reliable over its power supply, temperature, and output/input loading variables. Fairchild does not recommend operation outside datasheet specifications.

Electrical Characteristics (LM7805)

(Refer to the test circuits. -40°C < T_J < 125°C, I_O = 500mA, V_I = 10V, C_I = 0.1μF, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions		Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage	V_O	T_J = +25°C		4.8	5.0	5.2	V
		5mA < I_O < 1A, P_O < 15W, V_I = 7V to 20V		4.75	5.0	5.25	
Line Regulation	Regline	T_J = +25°C	V_O = 7V to 25V	-	4.0	100	mV
(Note 2)			V_I = 8V to 12V	-	1.6	50.0	
Load Regulation	Regload	T_J = +25°C	I_O = 5mA to 1.5mA	-	9.0	100	mV
			I_O = 250mA to 750mA	-	4.0	50.0	
Quiescent Current	I_Q	T_J = +25°C		-	5.0	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	I_O = 5mA to 1A		-	0.03	0.5	mA
		V_I = 7V to 25V		-	0.3	1.3	
Output Voltage Drift (Note 3)	$\Delta V_O/\Delta T$	I_O = 5mA		-	-0.8	-	mV/°C
Output Noise Voltage	V_N	f = 10Hz to 100KHz, T_A = +25°C		-	42.0	-	μV/V_O
Ripple Rejection (Note 3)	RR	f = 120Hz, V_O = 8V to 18V		62.0	73.0	-	dB
Dropout Voltage	V_{DROP}	I_O = 1A, T_J = +25°C		-	2.0	-	V
Output Resistance (Note 3)	rO	f = 1KHz		-	15.0	-	mΩ
Short Circuit Current	I_{SC}	V_I = 35V, T_A = +25°C		-	230	-	mA
Peak Current (Note 3)	I_{PK}	T_J = +25°C		-	2.2	-	A

Note 2: Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account seperately. Pulse testing with low duty is used.

Note 3: These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7812)

(Refer to the test circuits. –40°C < T_J < 125°C, I_O = 500mA, V_I = 19V, C_I = 0.33μF, C_O = 0.1μF, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions		Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage	V_O	T_J = +25°C		11.5	12.0	12.5	V
		5mA ≤ I_O ≤ 1A, P_O ≤ 15W, V_I = 14.5V to 27V		11.4	12.0	12.6	
Line Regulation (Note 12)	Regline	T_J = +25°C	V_I = 14.5V to 30V	–	10.0	240	mV
			V_I = 16V to 22V	–	3.0	120	
Load Regulation (Note 12)	Regload	T_J = +25°C	I_O = 5mA to 1.5mA	–	11.0	240	mV
			I_O = 250mA to 750mA	–	5.0	120	
Quiescent Current	I_D	T_J = +25°C		–	6.1	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_D	I_O = 5mA to 1A		–	0.1	0.5	mA
		V_I = 14.5V to 30V		–	0.5	1.0	
Output Voltage Drift (Note 13)	$\Delta V_O/\Delta T$	I_O = 5mA		–	–1.0	–	mV/°C
Output Noise Voltage	V_N	f = 10Hz to 100KHz, T_A = +25°C		–	76.0	–	μV/V_O
Ripple Rejection (Note 13)	RR	f = 120Hz, V_I = 15V to 25V		55.0	71.0	–	dB
Dropout Voltage	V_{DROP}	I_O = 1A, T_J = +25°C		–	2.0	–	V
Output Resistance (Note 13)	rO	f = 1KHz		–	18.0	–	mΩ
Short Circuit Current	I_{SC}	V_I = 35V, T_A = +25°C		–	230	–	mA
Peak Current (Note 13)	I_{PK}	T_J = +25°C		–	2.2	–	A

Note 12: Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Note 13: These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7815)

(Refer to the test circuits. –40°C < T_J < 125°C, I_O = 500mA, V_I = 23V, C_I = 0.33μF, C_O = 0.1μF, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions		Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage	V_O	T_J = +25°C		14.4	15.0	15.6	V
		5mA ≤ I_O ≤ 1A, P_O ≤ 15W, V_I = 17.5V to 30V		14.25	15.0	15.75	
Line Regulation (Note 14)	Regline	T_J = +25°C	V_I = 17.5V to 30V	–	11.0	300	mV
			V_I = 20V to 26V	–	3.0	150	
Load Regulation (Note 14)	Regload	T_J = +25°C	I_O = 5mA to 1.5mA	–	12.0	300	mV
			I_O = 250mA to 750mA	–	4.0	150	
Quiescent Current	I_D	T_J = +25°C		–	5.2	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_D	I_O = 5mA to 1A		–	–	0.5	mA
		V_I = 17.5V to 30V		–	–	1.0	
Output Voltage Drift (Note 15)	$\Delta V_O/\Delta T$	I_O = 5mA		–	–1.0	–	mV/°C
Output Noise Voltage	V_N	f = 10Hz to 100KHz, T_A = +25°C		–	90.0	–	μV/V_O
Ripple Rejection (Note 15)	RR	f = 120Hz, V_I = 18.5V to 28.5V		54.0	70.0	–	dB
Dropout Voltage	V_{DROP}	I_O = 1A, T_J = +25°C		–	2.0	–	V
Output Resistance (Note 15)	rO	f = 1KHz		–	19.0	–	mΩ
Short Circuit Current	I_{SC}	V_I = 35V, T_A = +25°C		–	250	–	mA
Peak Current (Note 15)	I_{PK}	T_J = +25°C		–	2.2	–	A

Note 14: Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Note 15: These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

ภาคผนวก จ

รายละเอียดของไอซีเรกกุเลเตอร์ หมายเลข LM7915

LM79XX

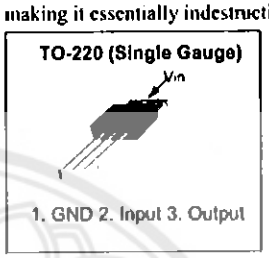
3-Terminal 1A Negative Voltage Regulator

Features

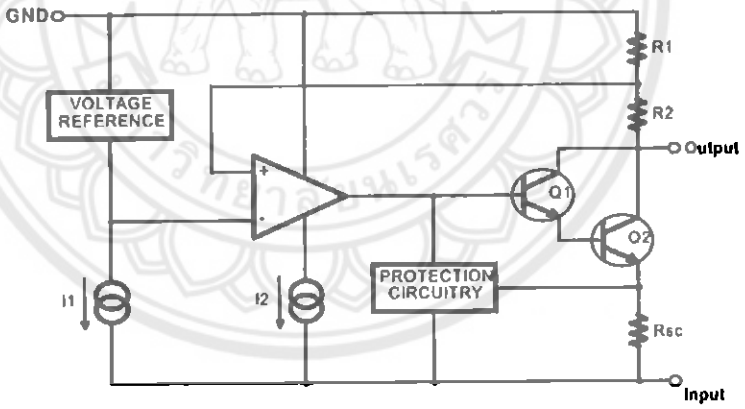
- Output Current in Excess of 1A
- Output Voltages of -5, -6, -8 , -9, -10, -12, -15, -18 and -24V
- Internal Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Compensation

Description

The LM79XX series of three terminal negative regulators are available in TO-220 package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible.



Internal Block Digram



Electrical Characteristics (LM7915) (Continued)

(V_I = -23V, I_O = 500mA, 0°C ≤T_J ≤ +125°C, C_I =2.2μF, C_O =1μF, unless otherwise specified.)

Parameter	Symbol	Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
Output Voltage	V_O	T_J = +25°C		-14.4	-15	-15.6	V
		I_O = 5mA to 1A, P_O ≤ 15W V_I = -18V to -30V		-14.25	-15	-15.75	
Line Regulation (Note1)	ΔV_O	T_J = +25°C	V_I = -17.5V to -30V	-	12	300	mV
			V_I = -20V to -26V	-	6	150	
Load Regulation (Note1)	ΔV_O	T_J = +25°C I_O = 5mA to 1.5A		-	12	300	mV
		T_J = +25°C I_O = 250mA to 750mA		-	4	150	
Quiescent Current	I_Q	T_J = +25°C		-	3	6	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	I_O = 5mA to 1A		-	0.05	0.5	mA
		V_I = -17.5V to -30V		-	0.1	1	
Temperature Coefficient of V_O	$\Delta V_O/\Delta T$	I_O = 5mA		-	-0.9	-	mV/°C
Output Noise Voltage	V_N	f = 10Hz to 100kHz T_A =+25°C		-	250	-	μV
Ripple Rejection	RR	f = 120Hz ΔV_I = 10V		54	60	-	dB
Dropout Voltage	V_D	T_J = +25°C I_O = 1A		-	2	-	V
Short Circuit Current	I_{SC}	T_J = +25°C, V_I = -35V		-	300	-	mA
Peak Current	I_{PK}	T_J = +25°C		-	2.2	-	A

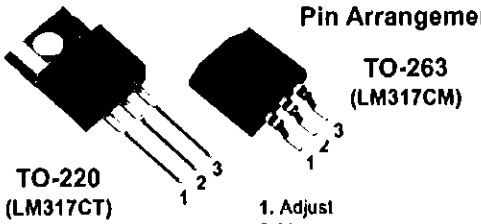
Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

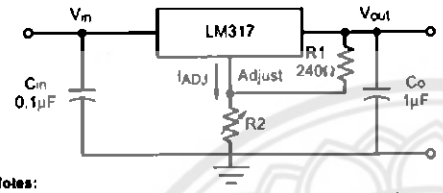
ภาคผนวก ฉ

รายละเอียดของไอซีเรกกุเลเตอร์ หมายเลข LM317

3-Terminal Adjustable Output Positive Voltage Regulators



Standard Application



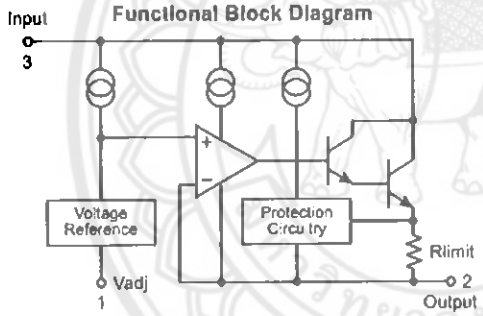
Notes:
Cin is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.

Co is not needed for stability, however, it does improve transient response.

$V_{out} = 1.25V\ (1 + R_2/R_1) + I_{Adj} R2$

Since I_{Adj} is controlled to less than 100μA, the error associated with this term is negligible in most applications.

Functional Block Diagram



Description

The LM317 is an adjustable 3-terminal positive voltage regulator capable of supplying in excess of 1.5A over an output voltage range of 1.2V to 37V. This voltage regulator is exceptionally easy to use and requires only two external resistors to set the output voltage. Further, it employs internal current limiting, thermal shutdown and safe area compensation, making it essentially blow-out proof.

Features

- Output current in excess of 1.5 ampere
- Output adjustable between 1.2V and 37V
- Internal thermal overload protection
- Internal short-circuit current limiting constant with temperature
- Output transistor safe-area compensation
- Floating operation for high voltage applications
- Eliminates stocking many fixed voltages

Mechanical Data

Case: TO-220 and TO-263 packages

Weight: approx. 1.35g

Case outlines are on the back page.

Maximum Ratings

Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.

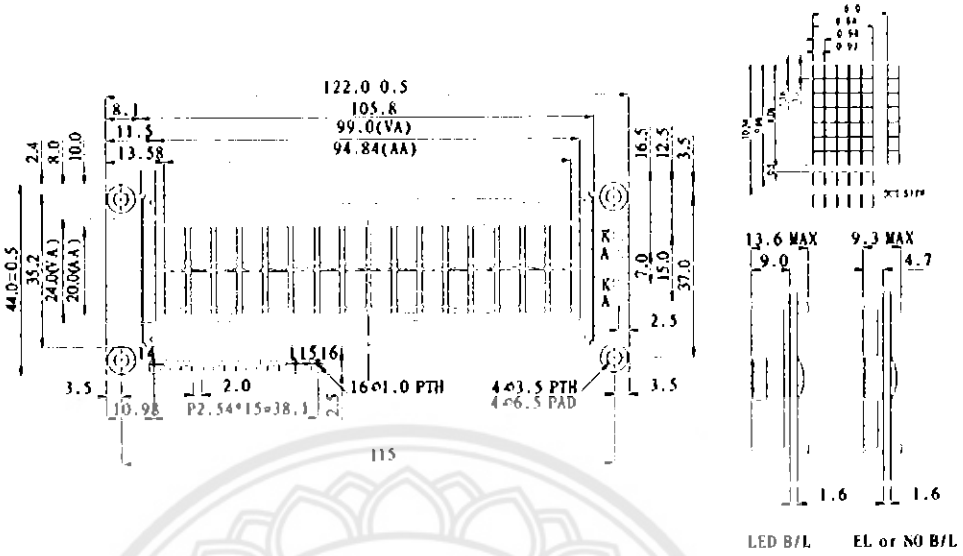
Parameter		Symbol	Value	Unit
Input-Output Voltage Differential		V_I-V_O	40	Vdc
Junction-to-Case Thermal Resistance	TO-220 TO-263	$R_{\theta JC}$	3.0 3.0	°C
Power Dissipation, 25°C Case Temperature		P_D	15	W
Operating Junction Temperature Range		T_J	0 to +125	°C
Storage Junction Temperature Range		T_{stg}	−65 to +150	°C

ภาคผนวก ช

รายละเอียดของจอแอลซีดี

Character 16x2 **WH1602**L

Dimension drawing



Feature

1. 5x8 dots includes cursor
2. Built- in controller (KS 0066 or Equivalent)
3. +5V power supply (Also available for +3V)
4. 1/16 duty cycle
5. LED can be driven by pin1,pin2, or pin15,pin16 or A and K
6. N.V. optional for +3V power supply

Pin NO.	Symbol	Function
1	Vss	GND
2	Vdd	+3V or + 5V
3	Vo	Contrast Adjustment
4	RS	H/L Register select signal
5	R/W	H/L Read / write signal
6	E	H >L Enable signal
7	DB0	H/L Data bus line
8	DB1	H/L Data bus line
9	DB2	H/L Data bus line
10	DB3	H/L Data bus line
11	DB4	H/L Data bus line
12	DB5	H/L Data bus line
13	DB6	H/L Data bus line
14	DB7	H/L Data bus line
15	A/Vee	+4.2V for LED(RA=0Ω)/Negative Voltage output
16	K	Power supply for B/L (0V)

Mechanical Data

Item	Standard Value	Unit
Module Dimension	122.0x44.0	mm
Viewing Area	99.0x24.0	mm
Mounting hole	115x 37.0	mm
Character Size	4.84x9.66	mm

Absolute Maximum Rating

Item	Symbol	Standard Value			Unit
		min.	typ.	max.	
Power Supply	VDD-VSS	-0.3	---	7.0	V
Input Voltage	VI	-0.3	---	VDD	V

Note : VSS=0 Volt, VDD=5.0 Volt.

Electronical Characteristics

Item	Symbol	Condition		Standard Value			Unit
				min.	typ.	max.	
Input Voltage	VDD	VDD=+5V		4.7	5.0	5.3	V
Supply Current	IDD	VDD=5V		---	1.8	1.5	mA
Recommended LC Driving Voltage for Normal Temp Version module	VDD-V0	-20°C		---	---	5.2	V
		0°C		---	---	4.6	
		25°C		4.2	4.2	---	
		50°C		3.8	---	---	
		70°C		3.5	---	---	
LED Forward Voltage	VF	25°C		---	4.2	4.6	V
LED Forward Current	IF	25°C	Array	---	260	520	mA
			Edge	---	20	40	
EL Power Supply Current	IEL	Vo=115VAC,400Hz		---	---	5.0	mA

Display Character Address Code :

Display position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DD RAM Address	00	01														0F,
DD RAM Address	40	41														4F,

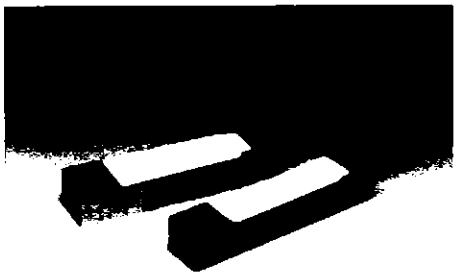
ภาคผนวก ซ

รายละเอียดของโหลดเซลล์

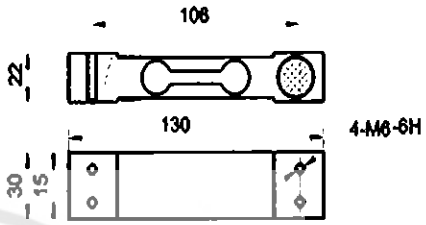
GUANG CE

Single Point Load Cell

Model : YZC-1B



DIMENSIONS



CABLE CONNECTION:
INPUT + : RED, - : BLACK
OUTPUT +: GREEN, - : WHITE

FEATURES

- Low Cost
- Off Center Compensated
- Material : Aluminum
- Mounting : Socket-head cap screw M6 x 1.0
- Cable : Braided Shield 4-wire round cable with PVC-Jacket

SPECIFICATIONS

Capacity	Kg	3, 5, 8,10, 20, 35, 50
Sensitivity	mV/V	2.0 ± 0.1
NON-Linearity	%F.S	0.02
Repeatability	%F.S	0.01
Hyteresis	%F.S	0.02
Creep (30min)	%F.S	0.02
Recommended Voltage	V	10
Maximum Voltage	V	15
Zero Balance	%F.S	1
Input Resistance	Ω (ohms)	406 ± 10
Output Resistance	Ω (ohms)	350 ± 3
Insulation Resistance (DC 50V)	Ω (ohms)	5000M
Compensated Temperature Range	°C	-10 ~ +40
Operating Temperature Range	°C	-20 ~ +80
Zero Temperature Coefficient	%F.S/10°C	0.02
Sensitivity Temperature Coefficient	%F.S/10°C	0.02
Safe Overload	%F.S	150
Limit Overload	%F.S	200

ภาคผนวก ฌ

รายละเอียดของทรานซิสเตอร์ หมายเลข BC 550

NPN general purpose transistors — BC549; BC550

FEATURES

- Low current (max. 100 mA)
- Low voltage (max. 45 V).

APPLICATIONS

- Low noise stages in audio frequency equipment.

DESCRIPTION

NPN transistor in a TO-92; SOT54 plastic package.
PNP complements: BC559 and BC560.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector

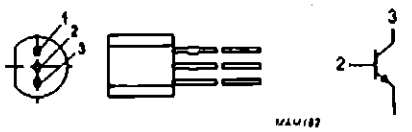


Fig.1 Simplified outline (TO-92; SOT54) and symbol.

ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
BC549C	SC-43A	plastic single-ended leaded (through hole) package; 3 leads	SOT54
BC550C			

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CBO}	collector-base voltage	open emitter			
	BC549		–	30	V
	BC550		–	50	V
V_{CEO}	collector-emitter voltage	open base			
	BC549		–	30	V
	BC550		–	45	V
V_{EBO}	emitter-base voltage	open collector	–	5	V
I_C	collector current (DC)		–	100	mA
I_{CM}	peak collector current		–	200	mA
I_{BM}	peak base current		–	200	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25$ °C; note 1	–	500	mW
T_{stg}	storage temperature		–65	+150	°C
T_j	junction temperature		–	150	°C
T_{amb}	ambient temperature		–65	+150	°C

Note

1. Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board.