สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หุ่นยนต์เคลื่อนไหวตามต้นแบบ

Robo Prototype Moving

โดย

นายพงศกร วุฒิกรวิภาค

นายพิษณุ งามวงศ์วาน

นายอภิชาติ มหารำลึก

นายอัครวุฒิ ตั้งปฏิภาณ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62905
วัน,เดือน,ปี 23 ส.ค. 2549

b.11633499
.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2548

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **หุ่นยนต์เคลื่อนไหวตามต้นแบบ**
(Robo Prototype Moving)

ผู้จัดทำ	**นายพงศกร**	**วุฒิกรวิภาค**	**45010489**
	นายพิษณุ	**งามวงศ์วาน**	**45010547**
	นายอภิชาติ	**มหารำลึก**	**45010915**
	นายอัครวุฒิ	**ตั้งปฏิภาณ**	**45010954**

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ สุเธียร เกียรติสุนทร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์เคลื่อนไหวตามต้นแบบ

Robo Prototype Moving

โดย

นายพงศกร	วุฒิกรวิภาค	45010489
นายพิษณุ	งามวงศ์วาน	45010547
นายอภิชาติ	มหารำลึก	45010915
นายอัครวุฒิ	ตั้งปฏิภาณ	45010954

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สุเธียร เกียรติสุนทร

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับการควบคุมหุ่นยนต์ตัวตาม ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างกลไกและวงจรควบคุมในแต่ละข้อต่อ ซึ่งขับเคลื่อนด้วยเซอร์โวมอเตอร์ ควบคุมและสั่งการโดยหุ่นต้นแบบผ่านอุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Microcontroller ตระกูล PIC) ส่งสัญญาณควบคุมแบบสัญญาณพัลส์ (Pulse Width Modulate Signal, PWM) และติดต่อผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ (Interface)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์เคลื่อนไหวตามต้นแบบ

Robo Prototype Moving

โดย

นายพงศกร	วุฒิกรวิภาค	45010489
นายพิษณุ	งามวงศ์วาน	45010547
นายอภิชาติ	มหารำลึก	45010915
นายอัครวุฒิ	ตั้งปฏิภาณ	45010954

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สุเชียร เกียรติสุนทร

ABSTRACT

This thesis presents the study and development of controlled leading robot which works between mechanism and controlled circuit in each joint. The lagging robot, which is driven by servo motor, is controlled and compelled by the leading robot through electronic devices, Microcontroller PIC. The Pulse Width Modulate Signals are sent to control motors which computer interfaces.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ รศ. สุเธียร เกียรติสุนทร อาจารย์ที่ปรึกษาที่ช่วยให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และติดตามดูแลความก้าวหน้าของงานอย่างสม่ำเสมอ ทางคณะผู้จัดทำจะนำสิ่งที่อาจารย์ได้สอนไปปฏิบัติงานให้ดีที่สุด

ขอขอบพระคุณ อ.มนต์ศักดิ์ พิมสาร สำหรับเรื่องการออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์

ขอขอบพระคุณ อ.ธวัชชัย คำศรี ที่ช่วยให้คำปรึกษาเรื่องการเขียนโปรแกรมภาษา C

ขอขอบพระคุณ ผศ.สุมิตร พนาอุดมทรัพย์ ที่คอยให้คำปรึกษา แก้ไขปัญหาทางด้านวงจรควบคุม

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สำหรับความเอื้อเฟื้อห้องทำงาน อุปกรณ์และเครื่องมือทั้งหมด

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาของคณะผู้จัดทำ ที่ให้ความสนับสนุน และให้กำลังใจมาโดยตลอด จนทำให้คณะผู้จัดทำได้ศึกษาเล่าเรียนจนถึงทุกวันนี้ และขอขอบคุณเพื่อนๆที่คอยให้คำปรึกษาการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

ทุกคนล้วนมีส่วนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอย่างสุดซึ้ง

คณะผู้จัดทำ

นายพงศกร วุฒิกรวิภาค

นายพิษณุ งามวงศ์วาน

นายอภิชาติ มหารำลึก

นายอัครวุฒิ ดั้งปฏิภาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญภาพ VI

สารบัญตาราง VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 บทนำ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.4 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.5 เนื้อหาของรายงาน 3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 บทนำ 4

2.2 ทฤษฎีทางกลศาสตร์ 4

2.2.1 สรีระวิทยาของมนุษย์ 4

2.2.2 จุดศูนย์ถ่วง (C.G.) 5

2.2.3 ทอร์ก (Torque) 5

2.3 ทฤษฎีทางวงจรควบคุม 6

2.3.1 ระบบบัส I^2C 6

2.3.2 ระบบบัส 1 สาย (1-wire bus) 11

2.3.3 พอร์ตอนุกรมแบบ RS-232 15

2.3.4 โปรแกรม Visual Basic สำหรับติดต่อ I/O Serial Port 18

บทที่ 3 การออกแบบ 21

3.1 บทนำ 21

3.2 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) 21

3.2.1 การเลือกใช้มอเตอร์ 21

3.2.2 การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่นำมาทำโครงสร้าง 23

3.2.3 การออกแบบหุ่นยนต์ตัวเลียนแบบ 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การออกแบบหุ่นตัวต้นแบบ 26
3.3 การออกแบบทางด้านซอร์ฟแวร์ (Software)..... 27
3.3.1 วงจรทดลอง 27
3.3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)..... 28
3.3.3 เซอร์โวมอเตอร์ 29
3.3.4 การออกแบบลายวงจรบนแผ่นวงจร 31
บทที่ 4 ผลการทดลอง 35
4.1 แผงผังแสดงการทำงาน 35
4.2 การแสดงผลกราฟฟิคทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ 37
4.3 ผลการทดลองการเคลื่อนไหวของหุ่น 39
บทที่ 5 สรุปผล 42
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 42
5.2 ปัญหาและอุปสรรค 42
5.2.1 ปัญหาทางด้านการออกแบบ 42
5.2.2 ปัญหาทางด้านวงจรควบคุมและโปรแกรม 43
ภาคผนวก 44
เอกสารอ้างอิง 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 อัตราส่วนโดยทั่วไปของมนุษย์ซึ่งเป็นอัตราส่วนกับความสูง (H).....4

2.2 แสดงองศาที่ข้อต่อแต่ละข้อสามารถหมุนได้.....5

2.3 ท่าที่รับโหลดมากที่สุดเมื่อมองจากด้านข้าง.....5

2.4 ภาพขยายชิ้นส่วนจากรูปที่ 2.3.....6

2.5 การเชื่อมต่อด้วยระบบบัสแบบ I^2C.....7

2.6 วงจรทางเอาต์พุตของชิปที่ใช้ระบบบัสแบบ I^2C.....7

2.7 จังหวะเวลาบนระบบบัส.....8

2.8 ไบต์แอดเดรส.....9

2.9 ไดอะแกรมเวลาการส่งไบต์ข้อมูลและสัญญาณตอบรับ.....10

2.10 ไทม์สล็อต (time-slot) การรีเซตและการตอบรับ.....12

2.11 ไทม์สล็อต (time-slot) การอ่านข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์.....13

2.12 ไทม์สล็อต (time-slot) การเขียนข้อมูล"1"ของไมโครคอนโทรลเลอร์.....14

2.13 ไทม์สล็อต (time-slot) การเขียนข้อมูล"0"ของไมโครคอนโทรลเลอร์.....14

2.14 แสดงการจัดวางตำแหน่งขาคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9.....16

2.15 การเชื่อมต่อตัวรับ ตัวส่งแบบทั่วไป.....16

2.16 แสดง โครงสร้างภายใน และตำแหน่งขาของ Max232.....17

3.1 ตัวอย่างเซอร์โวมอเตอร์.....21

3.2 ส่วนประกอบต่างๆของเซอร์โวมอเตอร์.....22

3.3 ชิ้นส่วนต่างๆของเซอร์โวมอเตอร์.....23

3.4 แบบหุ่นเมื่อใช้แผ่นปริ๊นในการทำโครงสร้าง.....24

3.5 แบบหุ่นเมื่อใช้แผ่นอะลูมิเนียมในการทำโครงสร้าง.....24

3.6 แบบส่วนเท้าที่ได้ออกแบบไว้ครั้งแรก.....25

3.7 แบบส่วนเท้าที่ได้ออกแบบแก้ไขใหม่.....25

3.8 หุ่นยนต์ตัวเลียนแบบ.....26

3.9 แบบหุ่นตัวต้นแบบที่ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้.....26

3.10 หุ่นยนต์ตัวต้นแบบ.....27

3.11 โครงสร้างของ PIC 16F877.....28

3.12 PIC16F877 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.13 การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC.....29
3.14 สายไฟ และสัญญาณของเซอร์โวมอเตอร์.....29
3.15 หลักการทำงานของ เซอร์โวมอเตอร์.....30
3.16 โปรแกรม Protel.....31
3.17 ลักษณะโปรแกรม Protel.....32
3.18 Schematic ของวงจรควบคุม.....32
3.19 ลายวงจร.....33
3.20 การวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆบนแผ่นวงจร.....33
3.21 แผ่นวงจรของวงจรควบคุม.....34
4.1 โฟลวชาร์ตแสดง การทำงานของโปรแกรม Visual Basic.....38
4.2 กราฟฟิคแสดงตำแหน่งข้อต่อหุ่น บนหน้าจอคอมพิวเตอร์.....38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 ตารางคุณสมบัติของเซอร์โวมอเตอร์.....22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีของหุ่นยนต์นั้นได้เจริญก้าวหน้าไปมาก ต่างจากเมื่อก่อนที่หุ่นยนต์จะถูกนำไปใช้ ในงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ แต่ปัจจุบันมีการนำมาใช้มากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นหุ่นยนต์ที่ใช้ในทางการแพทย์ หุ่นยนต์สำหรับงานสำรวจ หุ่นยนต์ที่ใช้งานในอวกาศ หรือแม้แต่หุ่นยนต์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องเล่นของมนุษย์ จนกระทั่งในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาให้หุ่นยนต์นั้นมีลักษณะที่คล้ายมนุษย์ เพื่อให้อาศัยอยู่ร่วมกันกับมนุษย์ ให้ได้ในชีวิตประจำวัน

หุ่นยนต์อาจแยกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ หุ่นยนต์ใช้บ้าน (Domestic robot) และหุ่นยนต์อุตสาหกรรม (Industrial robot)

หุ่นยนต์ใช้ในบ้าน เริ่มมีการใช้กันบ้างในต่างประเทศ เช่น ใช้ทำงานดูดฝุ่น ทำความสะอาดบ้าน เปิดประตูต้อนรับแขก และยกอาหารจากครัวมายังโต๊ะอาหาร เป็นต้น เมื่อเทียบกับหุ่นยนต์ใช้ในบ้านแล้ว หุ่นยนต์อุตสาหกรรมมีความสำคัญและมีการใช้แพร่หลายมากกว่า จึงจะขอกล่าวถึงหุ่นยนต์อุตสาหกรรมโดยละเอียด

หุ่นยนต์อุตสาหกรรม เป็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น เพื่อเลียนแบบการทำงานของอวัยวะส่วนบนของมนุษย์ประกอบด้วยระบบที่สำคัญ 2 ระบบ คือ ระบบทางกลของหุ่นยนต์ (Mechanism system) และระบบควบคุมหุ่นยนต์ (Control system)

ระบบทางกลของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ใช้จับ หยิบเคลื่อนย้ายและหมุนได้อย่างอิสระใน 2 มิติ หรือ 3 มิติ ระบบทางกลของหุ่นยนต์ควรมีความมั่นคงและมีน้ำหนักน้อยเพื่อประหยัดพลังงานในการเคลื่อนไหว

ระบบควบคุมหุ่นยนต์ประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมซึ่งควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์โดยอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์นับเป็นส่วนสำคัญที่สุดของหุ่นยนต์ ระบบควบคุมนี้ทำหน้าที่เป็นสมอง เก็บข้อมูล สั่งหุ่นยนต์ให้ทำงานตรวจสอบและควบคุมรายละเอียดของการทำงานให้ถูกต้อง

มนุษย์ได้ประดิษฐ์หุ่นยนต์อุตสาหกรรมขึ้น เพื่อช่วยการทำงานประเภทต่าง ๆ ที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. งานที่ต้องเสี่ยงภัยและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ เช่น งานในโรงงานยาฆ่าแมลง โรงงานสารเคมีต่าง ๆ และโรงงานเชื่อมโลหะที่มีความร้อนสูง เป็นต้น

2. งานที่ต้องการความละเอียด ถูกต้องและรวดเร็ว เช่น โรงงานทำฟันเฟืองนาฬิกา โรงงานทำเลนส์ กล้องถ่ายรูปหรือกล้องจุลทรรศน์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. งานที่ต้องทำซ้ำ ๆ ซาก ๆ และน่าเบื่อหน่าย เช่น โรงงานประกอบรถยนต์ โรงงานประกอบวงจรเบ็ดเสร็จหรือไอซี และโรงงานทำแบตเตอรี่ เป็นต้น

เพื่อความอยู่รอดของมนุษย์ท่ามกลางการพัฒนาและขยายตัวของสังคม ทำให้มนุษย์ต้องพยายามคิดประดิษฐ์และพัฒนาสิ่งอำนวยความสะดวกและเครื่องมือต่าง ๆ เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตให้เพียงพอสำหรับการอุปโภคและบริโภค เป็นต้น จะเห็นได้ว่านับวันเครื่องมือพื้นฐานจะได้รับการปรับปรุงให้มีความสามารถทำงานได้สะดวก ถูกต้องและรวดเร็วยิ่งขึ้น อันเป็นที่มาของการใช้หุ่นยนต์และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ควบคุมอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน

โครงงานนี้จึงได้คิดสร้างหุ่นยนต์ซึ่งสามารถทำตามหุ่นต้นแบบได้โดยใช้หลักการของการหมุนเปลี่ยนค่าความต้านทานแล้วเซอร์โวมอเตอร์จะทำการหมุนปรับค่าตามเพื่อให้ค่าความต้านทานในตัวเซอร์โวมอเตอร์มีค่าเท่ากับค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. สามารถที่จะเป็นชุดทดลองให้กับเยาวชนได้เรียนรู้ในการควบคุมหุ่นยนต์
2. บุคคลที่ไม่มีความรู้ด้านการควบคุมหุ่นยนต์ก็สามารถควบคุมได้โดยไม่ยากโดยอาศัยทักษะการเดินในชีวิตจริงของมนุษย์
3. สามารถสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบ และนำไปประยุกต์ใช้งานด้านอื่นๆ เพื่อให้ได้รับความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นการศึกษาเซอร์โวมอเตอร์ และนำมาประยุกต์ใช้กับหุ่นยนต์
2. เพื่อเป็นการศึกษาการออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ให้มีประสิทธิภาพดี
3. เพื่อเป็นการศึกษาการควบคุมมอเตอร์โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้

1.4 ขอบเขตของโครงงาน

โครงงานนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมหุ่นยนต์ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างกลไกและวงจรควบคุม ในแต่ละข้อต่อซึ่งขับเคลื่อนโดยเซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งถูกควบคุมและสั่งการโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC

โครงงานนี้จะประกอบด้วยหุ่นยนต์จำนวน 2 ตัว คือ

1. หุ่นตัวเลียนแบบที่ขับเคลื่อนด้วยเซอร์โวมอเตอร์
2. หุ่นตัวต้นแบบใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ในส่วนของข้อต่อ เมื่อขยับหุ่นตัวนี้จะทำให้หุ่นตัวเลียนแบบเคลื่อนไหวตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 เนื้อหาของรายงาน

เนื้อหาของรายงานฉบับนี้จะประกอบไปด้วยการออกแบบหุ่น และการทำงานของหุ่นยนต์ โดยอาศัยโครงสร้างหลัก 2 อย่าง คือ

1. ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic) คือ ประกอบด้วย การเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรควบคุม และการเขียนโปรแกรมควบคุม
2. ทางด้านแมคคานิค (Mechanic) คือ ประกอบด้วย โครงสร้างของหุ่นยนต์ การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ การคำนวณทอร์ก (Torque) และจุดศูนย์ถ่วง (C.G.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

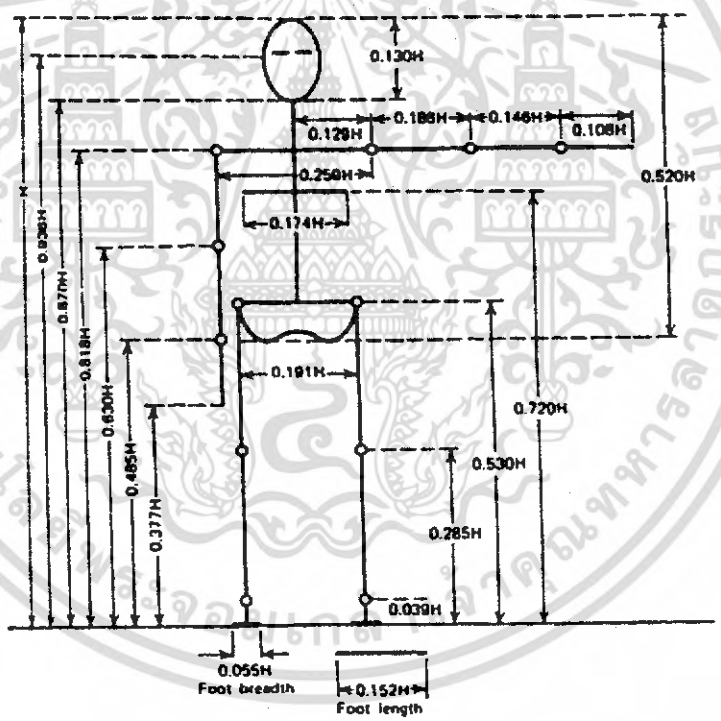
บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงเรื่องของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการทำหุ่นยนต์มีทั้งทฤษฎีเรื่องของสรีระวิทยาของมนุษย์ ทฤษฎีเรื่องของทอร์ก (Torque) และทฤษฎีเรื่องของ จุดศูนย์ถ่วง (C.G.)

2.2 ทฤษฎีทางกลศาสตร์

2.2.1 สรีระวิทยาของมนุษย์



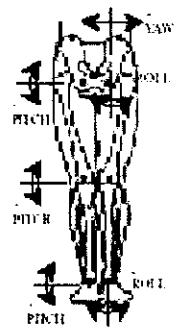
รูปที่ 2.1 อัตราส่วนโดยทั่วไปของมนุษย์ซึ่งเป็นอัตราส่วนกับความสูง (H)

รูปด้านบนได้แสดงอัตราส่วนโดยทั่วไปของมนุษย์ปกติเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนสูงเพื่อเป็นตัวอย่างในการออกแบบสัดส่วนของหุ่นยนต์ให้มีความสมส่วนเสมือนจริง และเมื่อได้ศึกษาการก้าวเท้าของมนุษย์จะพบว่าแรงในแกน Pitch จะเป็นแกนที่ต้องออกแรงมากที่สุดในการก้าวเดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2. Working Angle of Standard Human

Hip	Yaw	-45 deg. to 45 deg.
	Roll	-45 deg. to 20 deg.
	Pitch	-125 deg. to 15 deg.
Knee	Pitch	-0 deg. to 130 deg.
Ankle	Pitch	-45 deg. to 20 deg.
	Roll	-20 deg. to 30 deg.



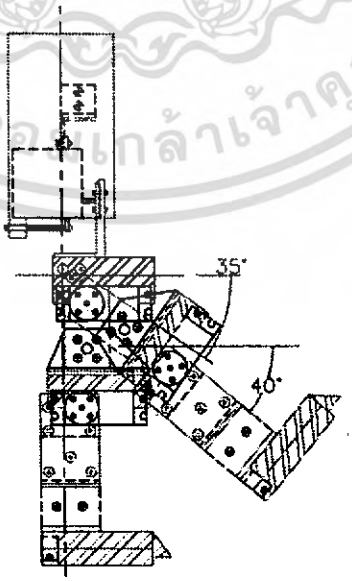
รูปที่ 2.2 แสดงองศาที่ข้อต่อแต่ละข้อสามารถหมุนได้

2.2.2 จุดศูนย์ถ่วง (C.G.)

จุดศูนย์ถ่วง (C.G.) เป็นตำแหน่งที่น้ำหนักของวัตถุทั้งก้อนเสมือนมารวมกัน โครงสร้างของหุ่นเป็นแบบที่ได้สร้างขึ้นมาเฉพาะตำแหน่งจึงทำให้จุดศูนย์ถ่วงของแต่ละที่จะไม่อยู่เหมือนกัน จึงต้องหาจุดศูนย์ถ่วงของแต่ละชิ้นเพื่อมาคำนวณหาค่าทอร์ก (Torque) ต่อไป

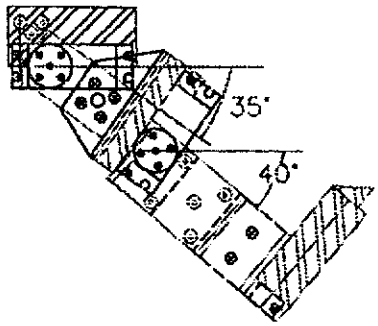
2.2.3 ทอร์ก (Torque)

การออกแบบหุ่นยนต์ต้องมีการคิดคำนวณเรื่องของโหลดซึ่งโหลดนั้นจะมาจาก น้ำหนักของแผ่นอะลูมิเนียม และน้ำหนักของมอเตอร์ โหลดที่มอเตอร์จะรับในแต่ละท่าในการก้าวเดินจึงต้องหาว่าในแต่ละท่านั้นมอเตอร์จะรับโหลดอยู่เท่าไหร่ โหลดที่มากที่สุดจะรับอยู่เมื่อหุ่นยนต์มีท่าทางอย่างไร แล้วจึงนำไปวิเคราะห์เลือกซื้อมอเตอร์ซึ่งจะพบได้ว่าหุ่นยนต์จะมีโหลดมากสุดในแกน Pitch เมื่อได้ก้าวขาไปด้านหน้าดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ท่าที่รับโหลดมากที่สุดเมื่อมองจากด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ภาพขยายชิ้นส่วนจากรูปที่ 2.3

สมการคำนวณหาค่าทอร์ก (Torque) คือ

$$T = \sum_{i=1}^{n} F_i R_i$$

จากรูปที่2.4 จะคำนวณหาค่าได้ดังนี้

T = $28x3.5\cos 35^{\circ} + 46x6\cos 35^{\circ} + 39x\,(6\cos 35^{\circ} + 3.2\cos 40^{\circ}) + 65x\,(6\cos 35^{\circ} + 8\cos 40^{\circ})$

= 80.28 + 226.09 + 287.28 + 711.81

= 1311.46 g .cm

= 1.31146 Kg .cm

ค่าที่ได้ออกมา มีค่าประมาณ 1.31 Kg. cm แต่เมื่อเราทำการเลือกซื้อมอเตอร์นั้นเราจะต้องมีการเผื่อค่าให้มากกว่านี้มากๆ เพราะว่ามีบางค่าที่เราไม่สามารถหาได้เช่นค่าของแรงที่น้ำหนักกดไปยังตัวมอเตอร์จะทำให้เกิดแรงเสียดทานเมื่อมอเตอร์หมุนจะต้องออกแรงเผื่อขึ้น จึงต้องเลือกมอเตอร์ให้มีทอร์ก (Torque) มากกว่า1.31 เลยได้เลือกใช้มอเตอร์ที่มีทอร์ก(Torque) 7.20 Kg. cm แต่มอเตอร์จริงๆแรงบิดจะไม่ถึง 7.20 Kg. cm เนื่องมาจากประสิทธิภาพของ เฟืองภายใน และวงจรที่ใช้ขับมอเตอร์อาจจะเสถียรไม่พอทำให้แรงบิดที่ออกมาน้อยกว่าคุณสมบัติของมอเตอร์จริงๆ

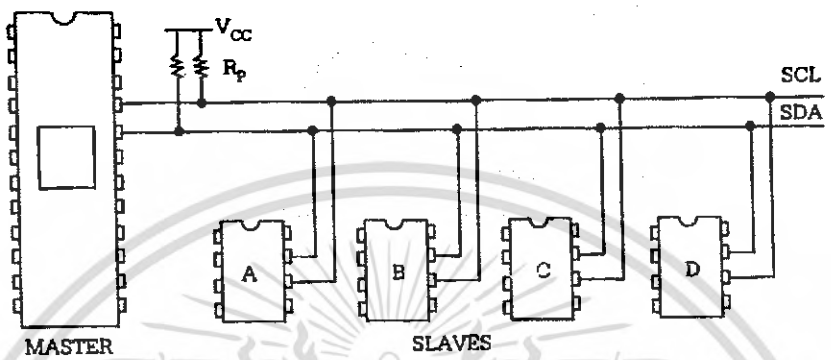
2.3 ทฤษฎีทางวงจรควบคุม

2.3.1 ระบบบัส I^2C

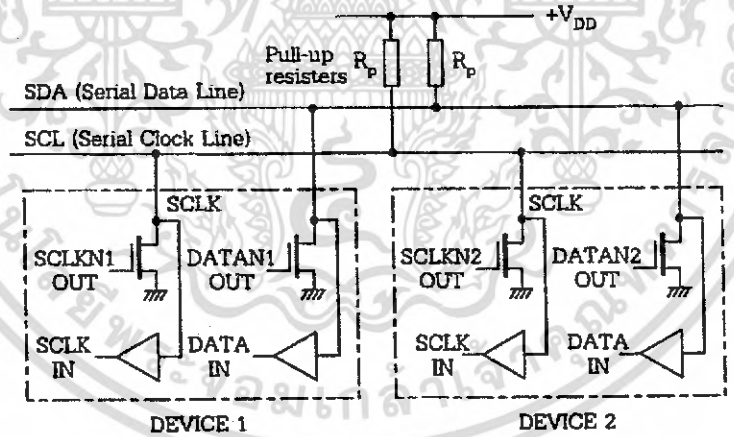
ระบบบัส I^2C ย่อมาจาก Inter-IC Communication พัฒนาโดย Philips เมื่อปี ค.ศ. 1980 สำหรับเชื่อมต่อชิปต่างๆกับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์แบบอนุกรม โดยใช้สายสัญญาณเพียงสองเส้น เส้นหนึ่งเป็นสายข้อมูล อีกเส้นหนึ่งเป็นสายสัญญาณนาฬิกาสำหรับกำหนดจังหวะการสื่อสารข้อมูล ปัจจุบันมีชิปสนับสนุนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์หลายตัวที่ใช้การเชื่อมต่อระบบบัสแบบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายข้อมูลที่ใช้รับส่งข้อมูลแบบอนุกรมมีชื่อว่า Serial Data Line (SDA) ส่วนสายสัญญาณนาฬิกาควบคุมมีชื่อว่า Serial Clock Line (SCL) สายทั้งสองเส้นนี้จะรับส่งข้อมูลได้สองทิศทาง วงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์ที่ใช้บัสแบบนี้จะเป็นแบบวงจรเดรนเปิด หรือคอลเล็กเตอร์เปิด ดังนั้นการต่อบัสแบบนี้จะต้องมีตัวต้านทานต่อพูลอัพกับแรงดันไฟ +5 โวลต์ด้วย ดังรูป



รูปที่ 2.5 การเชื่อมต่อด้วยระบบบัสแบบ I^2C



รูปที่ 2.6 วงจรทางเอาต์พุตของชิปที่ใช้ระบบบัสแบบ I^2C

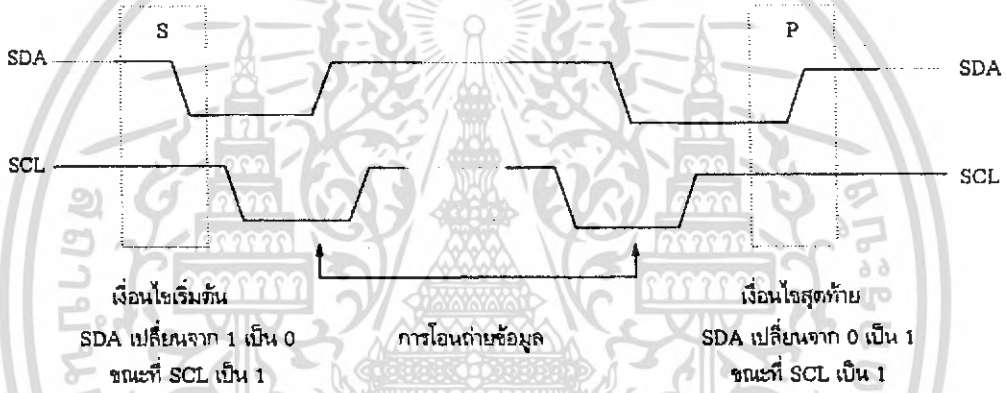
ระบบบัสแบบนี้สามารถรับส่งข้อมูลได้สองทิศทางด้วยความเร็วสูงถึง 100 กิโลบิตต่อวินาที และสามารถใช้กับไอซีที่ใช้แรงดันไฟฟ้าต่างกันได้ บัส I^2C สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ได้หลายตัวโดยที่แต่ละตัวสามารถส่งข้อมูลถึงกันได้ โดยใช้รูปแบบการรับส่งข้อมูลหรือโพรโทคอลที่อุปกรณ์ทุกตัวรู้จัก อุปกรณ์แต่ละชนิดจะมีค่าแอดเดรสประจำตัวของมัน ถ้าหากต้องการให้อุปกรณ์ตัวใดรับข้อมูล ตัวส่งจะส่งแอดเดรสของอุปกรณ์นั้นออกไปก่อน ถ้าหากอุปกรณ์ตัวใดมีแอดเดรส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรงกันก็จะรับข้อมูลนั้นไป สำหรับอุปกรณ์ที่ต้องการส่งข้อมูล อุปกรณ์ตัวนั้นจะเรียกว่ามาสเตอร์ โดยจะเป็นตัวที่สร้างจังหวะสัญญาณต่างๆบนระบบบัส ส่วนอุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรือเป็นตัวรับข้อมูลจะเรียกว่าเสลฟ

ถ้าหากทำการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ที่ใช้บัสแบบ I^2C หลายตัว ถ้าไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการส่งข้อมูล ตัวมันจะทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์ และจะส่งสัญญาณไปบนบัส โดยส่งค่าแอดเดรสออกไปก่อน ถ้าแอดเดรสนี้ตรงกับแอดเดรสของชิปตัวใด ชิปตัวนั้นจะส่งสัญญาณตอบรับ ACK ออกมา และชิปตัวนั้นก็จะถูกไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม แต่ถ้าแอดเดรสไม่ตรงกับชิปตัวใดก็จะไม่เกิดอะไรขึ้น

การส่งข้อมูลต่างๆจะต้องเกิดขึ้นเมื่อระบบบัสว่างเท่านั้น โดยทั่วไปแล้วสภาวะที่มีบนระบบบัสแบบนี้จะมี 5 สภาวะ ดังรูป



รูปที่ 2.7 จังหวะเวลาบนระบบบัส

1. บัสว่าง สภาวะนี้ค่าลอจิกบนสาย SDA และ SCL จะเป็นลอจิกสูงทั้งคู่
2. เริ่มส่งข้อมูล สภาวะนี้สาย SCL จะเป็นลอจิกสูง แต่สาย SDA จะเปลี่ยนจากลอจิกสูงไปเป็นลอจิกต่ำ เรียกว่าสภาวะเริ่มต้น
3. สภาวะหยุด สภาวะนี้สาย SCL จะเป็นลอจิกสูง แต่สาย SDA จะเปลี่ยนจากลอจิกต่ำไปเป็นลอจิกสูง
4. สภาวะมีข้อมูล สภาวะนี้จะอยู่ระหว่างสภาวะเริ่มต้นและสภาวะหยุด โดยการรับส่งข้อมูลต่างๆจะเกิดในสภาวะนี้ การรับส่งข้อมูลแต่ละบิตจะใช้สัญญาณนาฬิกาหนึ่งลูก โดยข้อมูลบน SDA จะต้องคงที่ขณะที่ SCL เป็นลอจิกสูง และบิตข้อมูลใน SDA จะเปลี่ยนแปลงได้ขณะที่ SCL เป็นลอจิกต่ำ ถ้าหากบิดบน SDA มีการเปลี่ยนแปลงขณะที่ SCL เป็นลอจิกสูง ระบบจะตีความว่าเป็นสภาวะเริ่มต้นส่งข้อมูล หรือสภาวะหยุดแทน

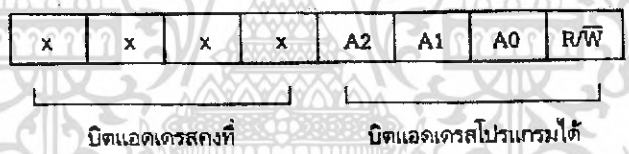
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สภาวะตอบรับ เมื่ออุปกรณ์มาสเตอร์ส่งข้อมูลออกมาครบหนึ่งไบต์แล้ว ในช่วงสัญญาณ SCL ลูปที่ 9 มาสเตอร์จะส่งข้อมูลลอจิกสูงออกมา และถ้าตัวรับได้รับข้อมูลครบแล้วมันจะส่งสัญญาณคอบรับ ACK โดยทำให้ระดับลอจิกสูงบนสัญญาณ SDA ให้กลับเป็นระดับลอจิกต่ำ แต่ถ้าตัวรับได้รับข้อมูลไม่ถูกต้องตัวรับจะบังคับให้ตัวส่งหยุดในสภาวะรอ

ในการโอนถ่ายข้อมูลระหว่างสภาวะเริ่มและสภาวะหยุดสามารถโอนถ่ายข้อมูลได้ไม่จำกัด แต่เมื่อเสลฟได้รับข้อมูลแต่ละไบต์แล้ว มันจะส่งสัญญาณกลับมาทุกครั้ง

การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ระบบบัสแบบ I^2C นั้นเราสามารถใช้อุปกรณ์หลายๆตัวมาต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ แต่ใช้สายสัญญาณทั้งหมดเพียงสองเส้นเท่านั้น ดังนั้นการติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวจะต้องระบุด้วยว่าต้องการติดต่อกับอุปกรณ์ตัวใด ขั้นตอนการเขียนข้อมูลที่ใช้กับระบบบัสแบบ I^2C มีสามขั้นตอนดังนี้

1. เขียนข้อมูลอ้างแอดเดรส ข้อมูลไบต์แรกที่มาสเตอร์จะส่งออกไปคือข้อมูลที่ใช้อ้างแอดเดรสของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ โดยทั่วไปแล้วข้อมูลที่กำหนดแอดเดรสจะมีจำนวน 7 บิต ดังรูป



รูปที่ 2.8 ไบต์แอดเดรส

จากรูปจะเห็นว่าบิตต่ำสุดเป็นตัวระบุว่าอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อนั้นเราจะใช้อ่านหรือเขียนข้อมูลลงไป ถ้าเป็นลอจิก "1" หมายความว่าจะใช้อ่านข้อมูล ส่วน 7 บิตบนจะเป็นบิตแอดเดรส ซึ่งแบ่งออกเป็นบิตแอดเดรสคงที่ จำนวน 4 บิตบน ซึ่งจะถูกโปรแกรมมาจากโรงงานที่ผลิตชิปแต่ละประเภท ส่วนอีก 3 บิตต่อมาจะเป็นบิตแอดเดรสที่ผู้ใช้สามารถโปรแกรมได้

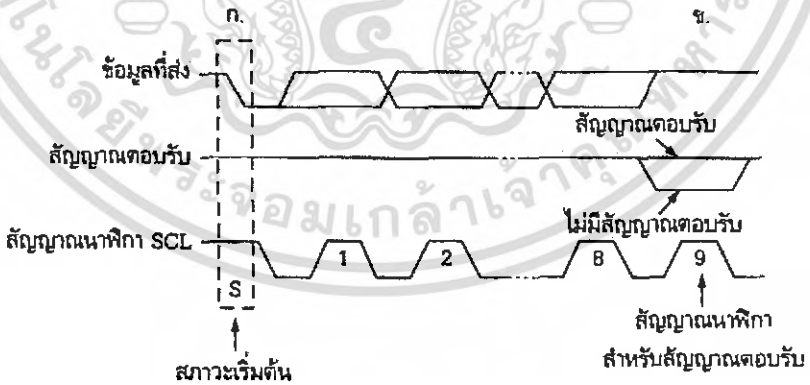
2. การเขียนไบต์ควบคุม ข้อมูลไบต์นี้จะขึ้นกับอุปกรณ์แต่ละประเภท เพื่อกำหนดการทำงานต่างๆของตัวมัน อุปกรณ์บางประเภทอาจจะไม่ต้องมีการเขียนไบต์นี้ก็ได้
3. การเขียนไบต์ข้อมูล เป็นข้อมูลที่จะโอนถ่ายในระบบ ระหว่างสภาวะเริ่มต้นและสภาวะหยุดจะมีการอ่านเขียนข้อมูลจำนวนกี่ไบต์ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการโอนถ่ายข้อมูลจะต้องเกิดขึ้นเมื่อระบบบัสว่างแล้วเท่านั้น และการอ่านเขียนข้อมูลจะต้องมีการสร้างสภาวะต่างๆขึ้นมา การเขียนโปรแกรมสำหรับสภาวะต่างๆ สามารถทำได้ดังนี้

1. การเริ่มส่งข้อมูล
   - ทำให้บัสว่าง โดยให้ขา SCL และ SDA เป็นลอจิก "1"
   - ทำให้ SDA เป็นลอจิก "0" ขณะที่ SCL เป็นลอจิก "1"
   - ทำให้ SCL เป็นลอจิก "0" และเวลาต่อมา SCL และ SDA เป็นลอจิก "0" ทั้งคู่
   - ทำให้ SDA เป็นลอจิก "1" เพื่อเริ่มสภาวะต่อไป
2. การสร้างสภาวะหยุด ใช้ในการหยุดรับส่งข้อมูล หลังจากสภาวะนี้จะทำให้บัสอยู่ในสภาวะว่าง
3. การส่งข้อมูล ในการรับส่งข้อมูลนั้นขา SCL จะเป็นสัญญาณนาฬิกาควบคุม ระหว่างที่ SCL เป็นลอจิก "1" ข้อมูลบน SDA จะต้องไม่เปลี่ยนแปลง ในการส่งข้อมูลจะต้องส่งครั้งละบิต โดยส่งบิตสุดท้ายออกไปก่อน หลังจากส่งครบหนึ่งไบต์จะต้องรอรับสัญญาณตอบรับโดยส่งลอจิก "1" ออกไปทางขา SDA และทำให้ SCL เป็นลอจิก "0" ถ้าการส่งข้อมูลถูกต้อง ตัวเสลฟจะส่งสัญญาณตอบรับออกมา

   สำหรับขั้นตอนการติดต่อกับระบบบัสแบบ I^2C ของชิปทุกตัวจะมีจังหวะเวลาเหมือนกัน เราสามารถสร้างเป็นโปรแกรมย่อยขึ้นมาได้ ถ้าหากใช้ชิปตัวอื่นก็สามารถเรียกมาใช้ได้ การส่งไบต์ข้อมูลและสัญญาณตอบรับแสดงได้ดังไดอะแกรมเวลาต่อไปนี้



รูปที่ 2.9 ไดอะแกรมเวลาการส่งไบต์ข้อมูลและสัญญาณตอบรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ระบบบัส 1 สาย (1-wire bus)

ระบบบัส 1 สาย (1-wire bus) เป็นระบบสื่อสารข้อมูลอนุกรมที่มีชาญฉลาดและใช้จำนวนสายสัญญาณเพียง 1 เส้นเท่านั้น โดยไม่ต้องมีสายสัญญาณนาฬิกามาควบคุมจังหวะการถ่ายทอดข้อมูลเหมือนกับระบบสื่อสารข้อมูลอนุกรม ในแบบอื่นๆ เนื่องจากสายข้อมูลนั้นจะทำหน้าที่เสมือนหนึ่งเป็นสายสัญญาณนาฬิกาในตัว ส่วนค่าของข้อมูลจะพิจารณาจากลักษณะของรูปสัญญาณที่ปรากฏบนสายสัญญาณในแต่ละช่องของเวลา หรือต่อไปนี้ จะขอเรียกว่า ไทม์สล็อต (time-slot) โดยคาบเวลาต่ำสุด และสูงสุดของสถานะต่างๆ ในการสื่อสารข้อมูลในแต่ละไทม์สล็อต (time-slot) มีการกำหนดขอบเขตไว้อย่างชัดเจน การถ่ายทอดข้อมูลจะเกิดขึ้นในแต่ละไทม์สล็อต (time-slot)นั้น รูปแบบการถ่ายทอดข้อมูลเป็นแบบอะซิงโครนัสในระดับบิต ไม่มีการกำหนดความยาวของข้อมูลเป็นระดับไบต์

การสื่อสารข้อมูลแบบนี้ ผู้ค้นคิดคือ ดัลลัสเซมิคอนดักเตอร์ ดังนั้นในบางครั้งจึงเรียกระบบสื่อสารข้อมูลแบบนี้ว่า ระบบสื่อสารข้อมูลดัลลัสหนึ่งสาย *(The Dallas 1-Wire Bus)*

อุปกรณ์มาสเตอร์ จะเป็นอุปกรณ์เพียงตัวเดียว บนระบบบัสที่สามารถทำการ อินิเชียลสายสัญญาณได้ โดยอุปกรณ์มาสเตอร์จะกำเนิดจุดเริ่มต้นของไทม์สล็อต (time-slot) ด้วยการทำให้สายสัญญาณเป็นลอจิกต่ำในช่วงเวลาหนึ่ง จากนั้นก็จะทำให้กลับมาเป็นลอจิกสูง ถ้าหากอุปกรณ์สเลฟ ต้องการส่งข้อมูลมายังอุปกรณ์มาสเตอร์ อุปกรณ์สเลฟจะเป็นตัวควบคุมสภาวะของสายสัญญาณต่อไปจนเสร็จสิ้นกระบวนการ แต่ถ้าหากอุปกรณ์มาสเตอร์ต้องการส่งข้อมูลก็จะสามารถดำเนินการต่อไปได้เลย

ฟังก์ชั่นของไทม์สล็อต (time-slot) ที่กำหนดโดยอุปกรณ์มาสเตอร์ มีด้วยกัน 4 ฟังก์ชั่นคือ

1.รีเซต (RESET) ใช้ในการเริ่มต้นติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟ

2.อ่านข้อมูล(READ DATA) ใช้อ่านข้อมูลที่ส่งมาจากอุปกรณ์ สเลฟ

3.เขียนข้อมูล"1" (WRITE ONE) ใช้สำหรับเขียนข้อมูล"1"ไปยังอุปกรณ์สเลฟผ่านสายสัญญาณของระบบ

4.เขียนข้อมูล"0" (WRITE ZERO) ใช้สำหรับเขียนข้อมูล"0"ไปยังอุปกรณ์สเลฟผ่านสายสัญญาณของระบบ

ฟังก์ชั่นของไทม์สล็อต (time-slot) ในอุปกรณ์สเลฟ มี 3 ฟังก์ชั่นคือ

1.ตอบสนอง(PRESENCE) ใช้สำหรับตอบสนองการติดต่อจากอุปกรณ์มาสเตอร์ โดยอุปกรณ์สเลฟตัวที่ถูกเลือกจากอุปกรณ์มาสเตอร์จะต้องส่งสัญญาณตอบสนองลงบนสายสัญญาณเพื่อแจ้งให้อุปกรณ์มาสเตอร์ทราบว่า ขณะนี้สามารถติดต่อกันได้แล้ว

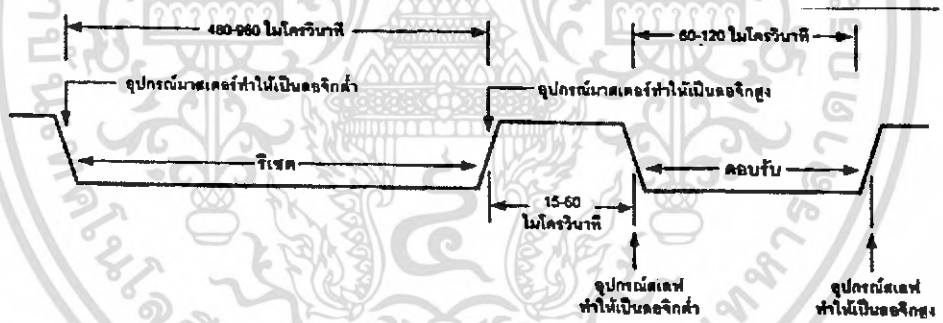
2.เขียนข้อมูล"1" (WRITE ONE) ใช้สำหรับส่งข้อมูล"1"ไปยังอุปกรณ์มาสเตอร์ผ่านสายสัญญาณของระบบ ซึ่งจะสัมพันธ์กับไทม์สล็อต (time-slot) การอ่านข้อมูลของอุปกรณ์มาสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.เขียนข้อมูล"0" (WRITE ZERO) ใช้สำหรับส่งข้อมูล"0"ไปยังอุปกรณ์มาสเตอร์ผ่านสายสัญญาณของระบบ ซึ่งจะสัมพันธ์กับไทม์สล็อต (time-slot) การอ่านข้อมูลของอุปกรณ์มาสเตอร์

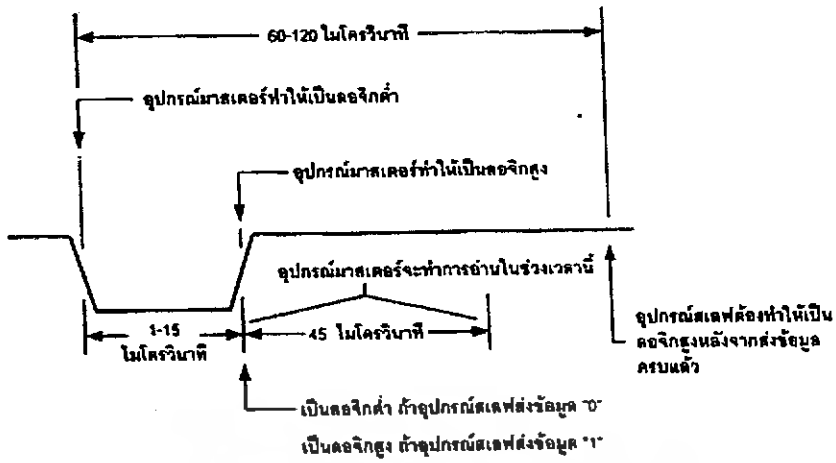
การแยกแยะฟังก์ชั่นของแต่ละไทม์สล็อต (time-slot) จะใช้ความยาวของคาบเวลา และลักษณะของรูปสัญญาณเป็นตัวกำหนด และทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชั่นต้องทำให้สายสัญญาณอยู่ในสภาวะว่างเสมอ ซึ่งก็คือ การทำให้สายสัญญาณเป็นลอจิกสูงอย่างน้อยเป็นเวลา 1 ไมโครวินาที

ไทม์สล็อต (time-slot) การรีเซต และตอบสนอง อุปกรณ์มาสเตอร์ซึ่งในที่นี้คือไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำให้เกิดการรีเซตบนสายสัญญาณเพื่อแจ้งแก่อุปกรณ์สเลฟ ด้วยการทำให้สายสัญญาณเป็นลอจิก"0" ต่อเนื่องอย่างน้อย 480 ไมโครวินาที และจะต้องทำให้สายสัญญาณกลับมาเป็นลอจิก"1" ภายใน 480 ไมโครวินาทีหลังจากนั้น ถ้าหากมีอุปกรณ์สเลฟ ต่ออยู่บนสายสัญญาณ จะมีการตอบสนองสัญญาณรีเซตนั้นด้วยสัญญาณตอบสนอง (PRESENCE) ด้วยการทำให้สายสัญญาณเป็นลอจิก"0"ต่อเนื่องนานประมาณ 60-240 ไมโครวินาที หลังจากที่สัญญาณรีเซตปรากฏขึ้นประมาณ 15-60 ไมโครวินาที



รูปที่ 2.10 ไทม์สล็อต (time-slot) การรีเซตและการตอบรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



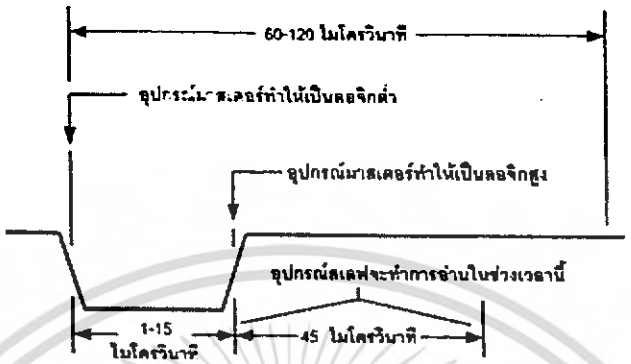
รูปที่ 2.11 ไทม์สล็อต (time-slot) การอ่านข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไทมสล๊อตการอ่านข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ และการเขียนข้อมูลของอุปกรณ์สเลฟ เมื่อต้องการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์สเลฟ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำให้สายสัญญาณเป็นลอจิก"0" ประมาณ 1-15 ไมโครวินาที จากนั้นต้องทำให้สถานะของสายสัญญาณกลับมาเป็นลอจิก"1" อุปกรณ์สเลฟจะส่งข้อมูลกลับมาให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าข้อมูลเป็น"0"อุปกรณ์สเลฟจะทำให้สายสัญญาณเป็นลอจิก"0" นานประมาณ 45 ไมโครวินาที แล้วทำให้สายสัญญาณกลับมาสู่สภาวะลอจิก"1"อีกครั้ง แต่ถ้าเป็นข้อมูล "1"อุปกรณ์สเลฟจะทำให้สายสัญญาณเป็นลอจิก"1"ต่อเนื่องไปอีก 45 ไมโครวินาทีรวมเวลาทั้งหมดประมาณ 60-120 ไมโครวินาที นั่นคือในไทม์สล็อต (time-slot) นี้ต้องใช้เวลารวมไม่เกิน 120 ไมโครวินาที ในขณะที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้เวลาในการอ่านข้อมูลอยู่ระหว่าง 15 และ60 ไมโครวินาทีหลังจากเริ่มต้นไทม์สล็อต (time-slot) นี้ ในรูปที่ 2.11 แสดงรูปของไทม์สล็อต (time-slot) การอ่านข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะตรงกับจังหวะการเขียนข้อมูลของอุปกรณ์สเลฟ และไทม์สล็อต (time-slot) ทั้งสองจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านข้อมูล อุปกรณ์สเลฟก็ต้องทำการเขียนข้อมูล

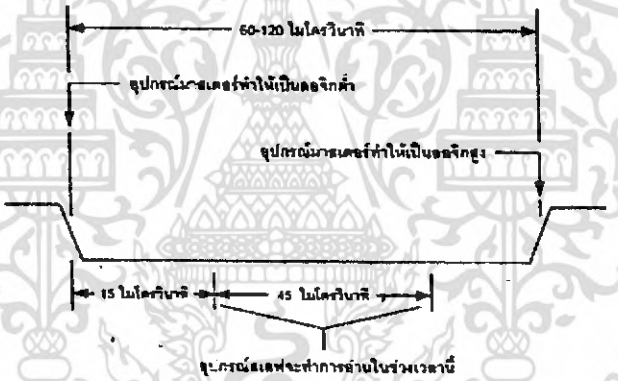
ไทม์สล็อต (time-slot) การเขียนข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการเขียนข้อมูล จะเริ่มต้นกระบวนการด้วยการทำให้สายสัญญาณเป็นลอจิก "0" ประมาณ 1-15 ไมโครวินาที จากนั้นทำให้สถานะของสายกลับมาเป็นลอจิก"1" แล้วดำเนินการเขียนข้อมูลได้ในทันที ถ้าต้องการเขียนข้อมูล 0 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำให้สายสัญญาณเป็นลอจิก "0"นานประมาณ 45 ไมโครวินาที แล้วทำให้สายสัญญาณกลับมาสู่สภาวะลอจิก"1"อีกครั้งแต่ถ้าต้องการเขียนข้อมูล"1"ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำให้สายสัญญาณเป็นลอจิก"1"ต่อเนื่องไปอีก 45 ไมโครวินาที รวมเวลาทั้งหมดในไทม์สล็อต (time-slot) นี้ประมาณ 60-120 ไมโครวินาที ในรูปที่ 2.12 และ 2.13 แสดงรูปสัญญาณของไทม์สล็อต (time-slot) การเขียนข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะตรงกับจังหวะการอ่านข้อมูลของอุปกรณ์สเลฟ และไทม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สล็อต (time-slot) ทั้งสองจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์เขียนข้อมูลอุปกรณ์สเลฟก็ต้องทำการอ่านข้อมูล



รูปที่ 2.12 ไทม์สล๊อต (time-slot) การเขียนข้อมูล"1"ของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.13 ไทม์สล๊อต (time-slot) การเขียนข้อมูล"0"ของไมโครคอนโทรลเลอร์

การสื่อสารข้อมูลในระบบบัสหนึ่งสายไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟได้ครั้งละ 1 ตัวเท่านั้น ดังนั้นอุปกรณ์สเลฟแต่ละตัวต้องมีข้อมูลกำหนดแอดเดรสเฉพาะตัว โดยจะเก็บไว้ในหน่วยความจำรอมภายในอุปกรณ์สเลฟตัวนั้นๆ โดยปกติอุปกรณ์แต่ละตัว ซึ่งประกอบด้วย

1.รหัสของตระกูล จำนวน 8 บิต

2.เลขหมายประจำตัว (serial number) จำนวน 48 บิต

3.รหัสตรวจสอบความผิดพลาด (CRC: Cyclical Redundancy Check) จำนวน 8 บิต

ผู้ใช้งานสามารถอ่านข้อมูลประจำตัวของอุปกรณ์สเลฟได้ด้วยการใช้คำสั่ง Read ROM หรือคำสั่งอ่านหน่วยความจำรอม ในกรณีที่บนสายสัญญาณมีอุปกรณ์ สเลฟเพียงตัวเดียวไม่จำเป็นต้องอ้างแอดเดรสในการติดต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการติดต่อบนระบบบัสหนึ่งสายจะเริ่มต้นขึ้นเมื่ออุปกรณ์มาสเตอร์ทำการรีเซตและกำหนดแอดเดรสอุปกรณ์ที่ทำการติดต่อ ถ้าหากมีอุปกรณ์สเลฟเพียงตัวเดียวสามารถข้ามขั้นตอนการติดต่อกับหน่วยความจำรอมในอุปกรณ์สเลฟได้ เรียกวิธีการดังกล่าว การไม่ติดต่อหน่วยความจำรอม หรือ สคิปรอม(Skip ROM) จากนั้นรอการตอบรับจากอุปกรณ์สเลฟเมื่อการตอบรับสมบูรณ์ก็จะสามารถเริ่มต้นขั้นตอนการอ่านหรือเขียนข้อมูลได้ต่อไป

2.3.3 พอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

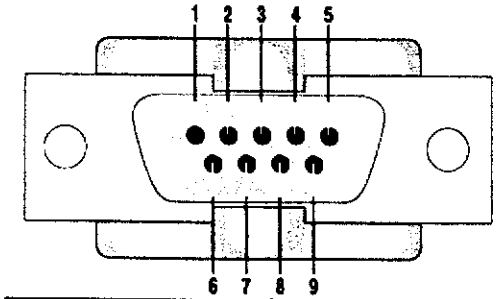
มาตรฐานเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูลอะซิงโครนัสสองทิศทางระหว่างอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment, DTE) กับวงจรรับข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Equipment, DCE) โดยที่อุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัว เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นตัวรับข้อมูลที่ถูกส่งมาจากอุปกรณ์ DTE เท่านั้น

ข้อแตกต่างระหว่างอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่เห็นได้ชัดคือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE (พอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์) จะเป็นแบบตัวผู้ ส่วน คอนเน็กเตอร์ของอุปกรณ์ DCE (อุปกรณ์ปลายทางเช่น โมเด็ม) จะเป็นแบบตัวเมีย สำหรับการใช้งานบนคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรมแบบ RS-232 มักถูกเชื่อมต่อกับโมเด็มหรือ เมาส์ โดยสามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความยาวของสายสัญญาณสูงสุดถึง 20 เมตร

การเชื่อมต่อตัวคอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 ที่ใช้ในโครงงานนี้จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 ตัวผู้ ซึ่งคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 จะมีขาต่อใช้งานเพียง 9 เส้น ส่วนพอร์ตอื่นๆถูกใช้งานไม่มากนัก จึงถูกยกเลิกไปการจัดรูปแบบขาของคอนเน็กเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 แบบ DB-9 แสดงได้ดังรูปที่ 2.14

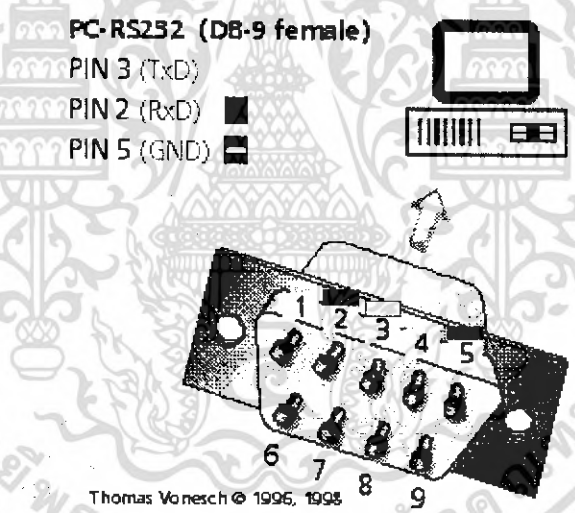
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Pin	Signal	Pin	Signal
1	Data Carrier Detect	6	Data Set Ready
2	Received Data	7	Request to Send
3	Transmitted Data	8	Clear to Send
4	Data Terminal Ready	9	Ring Indicator
5	Signal Ground		

รูปที่ 2.14 แสดงการจัดวางตำแหน่งขาคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9

และการเชื่อมต่อในโครงงานนี้กำหนดให้ตัวรับคือไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ส่วนตัวส่งคือคอมพิวเตอร์ การเชื่อมต่อแสดงได้ดังรูป 2.15



รูปที่ 2.15 การเชื่อมต่อตัวรับ ตัวส่งแบบทั่วไป

รายละเอียดและหน้าที่การทำงานของขาพอร์ตอนุกรมที่เลือกใช้ RS-232 มีดังนี้

1.ขาที่ 2 (Receive Data, RxD) ขานี้มีหน้ารับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูล เก็บไว้ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์

2. ขาที่ 3 (Transmitted Data, TxD) ขานี้มีหน้าที่ส่งข้อมูลที่เก็บในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลออกไปยังตัวรับ

3.ขาที่ 5 (Ground, GND) ขากราวด์

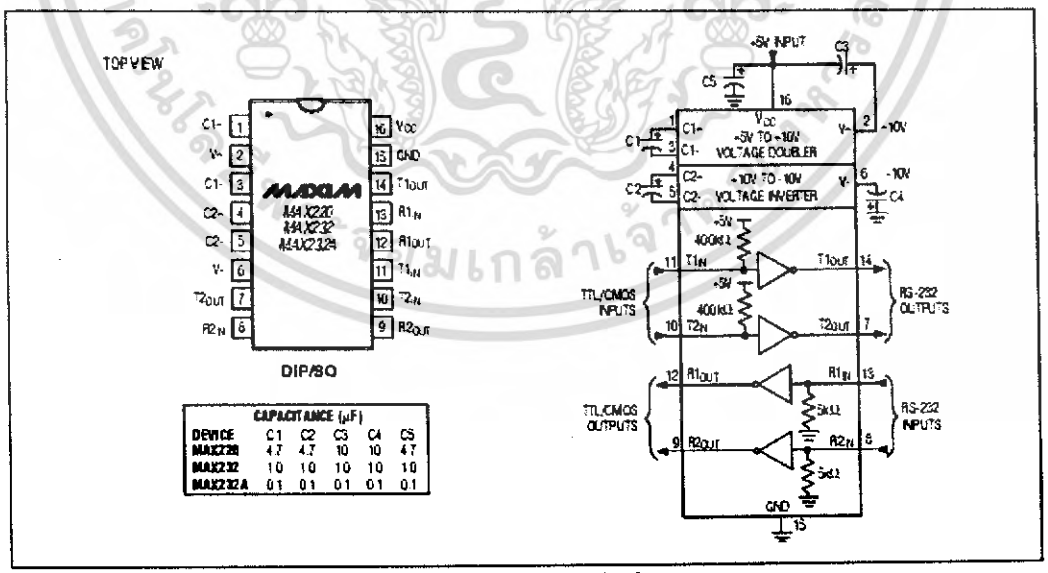
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดต่อระหว่าง DTE และ DCE จะมีการควบคุมการไหลของข้อมูลเพื่อไม่ให้เกิดโอเวอร์โฟลวขึ้นซึ่งมีสองรูปแบบคือ Hard Flow Control และ Software Flow Control

สำหรับ Software Flow Control มักจะเรียกว่า Xon/Xoff flow control ซึ่งใช้รหัส แอสกี้ 17 เป็นสัญญาณ Xon และใช้รหัส แอสกี้ 19 เป็นสัญญาณ Xoff จะมีหลักการทำงาน คือ โมเด็ม มีบัฟเฟอร์ ซึ่งรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์อยู่ ถ้าข้อมูลใกล้เต็มเมื่อไร สัญญาณ Xoff จะถูกส่งออกไปเพื่อให้คอมพิวเตอร์หยุดส่งข้อมูลชั่วคราว หลังจากนั้นถ้าบัฟเฟอร์ว่างเมื่อไร สัญญาณ Xon ก็จะถูกส่งให้แก่คอมพิวเตอร์ เพื่อให้คอมพิวเตอร์ ส่งข้อมูลต่อ การควบคุมวิธีนี้ ประหยัดสายสัญญาณเพราะข้อมูลถูกส่งผ่าน TxD และ RxD แต่อาจทำให้เกิดความล่าช้าในกรณีที่การสื่อสารมีความเร็วต่ำ เพราะแต่ละตัวอักษร (ASCII Code) มีขนาด 10 บิต

สัญญาณลอจิก 0 ของ RS-232 จะมีค่า +3 ถึง +25 โวลต์ และสัญญาณลอจิก 1 ของ RS-232 มีค่า -3 ถึง -25 โวลต์ ช่วง -3 ถึง +3 โวลต์ จะไม่สามารถใช้งานได้ ระดับสัญญาณนี้ใช้ได้กับทุกสัญญาณที่ไม่ใช่เฉพาะสัญญาณรับส่งเท่านั้น แต่ยังรวมถึงสัญญาณควบคุมต่างๆ เช่น DTR, RTS, CTS เป็นต้น

ไอซีที่ใช้ในตัวรับส่งมักเป็นเบอร์ 1489(RS-232 Driver) และ 1489(RS-232 Receiver) โดยแต่ละตัวประกอบด้วยอินเวอร์เตอร์ 4 ตัว และต้องการไฟเลี้ยง 2 ชุด คือ +7.5 ถึง +15 โวลต์ เพียงชุดเดียว แต่ก็ยังมี IC อีกตัวหนึ่งคือ IC ตระกูล Max232 ซึ่งมีวงจรเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นจาก +5 โวลต์ ได้เป็น +10 โวลต์ และ –10 โวลต์ พร้อมทั้งมีขา TxD และRxD สองชุดอยู่ในชุด IC เดียวกัน และรองรับอัตราบอดได้ถึง 120 Kbps จึงสะดวกมากกว่า เพราะใช้ไอซีเพียงตัวเดียว



CAPACITANCE (µF)					
DEVICE	C1	C2	C3	C4	C5
MAX220	4.7	4.7	10	10	4.7
MAX232	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
MAX232A	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Figure 5. MAX220/MAX232/MAX232A Pin Configuration and Typical Operating Circuit

รูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างภายใน และตำแหน่งขาของ Max232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62905

ส่วนการที่เราจะนำข้อมูลใช้ก็ต้องแปลงเป็นรูปแบบขนานก่อน ซึ่งเป็นหน้าที่หลักของ Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปอนุกรมแบบอะซิงโครนัส ไปยังอุปกรณ์ปลายทาง นอกจากนั้นแล้ว UART ยังแจ้งข้อมูลอื่นๆให้คอมพิวเตอร์รับทราบด้วย เช่น ค่าอัตราเร็วการรับส่งข้อมูล (Baud Rate) รูปแบบการส่งข้อมูล ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล (เช่น พารีตี้ เฟรมข้อมูล โอเวอร์รัน เป็นต้น)

2.3.4 โปรแกรม Visual Basic สำหรับติดต่อ I/O Serial Port

การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ตอนุกรมสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1. การติดต่อแบบอินเตอร์รัพต์ ขบวบการอินเตอร์รัพต์ อุปกรณ์รอบข้างเกือบทุกชิ้นจะต้องปฏิบัติงานอยู่เพื่อส่งสัญญาณไปให้แก่ซีพียูเสมอ ถ้าอุปกรณ์นั้นพร้อมที่จะรับส่ง ที่เคยเจอจากการทำโครงงานอุปกรณ์ จะส่งเป็นรหัสแอสกี้ เราจะเขียนโปรแกรมอินเตอร์รัพต์ โดยเมื่อที่ข้อมูลเข้ามาก็จะทำให้มี Comm Event กับ OnComm Event

2. การติดต่อแบบโพลลิ่ง ในระบบพีซี การโพลมีบ้างที่ใช้การส่งผ่านข้อมูลระหว่างเทอร์มินอล กับ ซีพียูกรณีข้อมูลเป็นประเภทไบท์ที่ส่งจากคีย์บอร์ด โดยวิธีการนี้จะตรวจสอบคีย์บอร์ดว่ามีข้อมูลส่งมาหรือเปล่า โดยจะตรวจสอบตลอดเวลา การทำงานกับข้อมูลที่รับเข้ามาจะตรวจสอบด้วยความเร็วที่สูงกว่าอัตราความเร็วข้อมูลที่ส่งเข้ามาทาง คีย์บอร์ด การที่ ซีพียู ส่งสัญญาณออกไปตรวจสอบพบว่ามีข้อมูลที่ต้องส่งเข้ามา เรียกว่า"Wet Poll" ซึ่งจะเสียช่วงเวลา 90 เปอร์เซ็นต์ คาบเวลาที่เสียไปนั้น เราเลี่ยงไปใช้เทคนิค การ โพลแบบ "Round Robin" แทน แต่ใน Visual Basic เราจะใช้การตรวจสอบข้อมูลที่มาจาก พอร์ตอนุกรมตลอด โดยจะใช้ Control Timer เข้ามาช่วยในการเขียนโปรแกรมซึ่งสามารถตรวจสอบได้ถึงระดับ 1 มิลลิวินาที (ms)

ในตัวคอนโทรล MSComm มี Event ที่ใช้เพียง Event เดียวเท่านั้นเอง ก็คือ OnComm Event ซึ่งจะใช้ในการติดต่อแบบอินเตอร์รัพต์ การเขียนโปรแกรมติดต่อ พอร์ตอนุกรมแบบธรรมดาจะใช้ comEvent เพียง comEvReceive, comEvSend ถ้าเป็นภารติดต่อสื่อสารแบบ โมเด็มจะใช้หลายตัวในการตรวจสอบสัญญาณ ผมไม่อยากแจ้งรายละเอียดเยอะเพราะมีใน Help ของVisual Basic อยู่แล้ว

องค์ประกอบในการใช้ MSComm การตั้งค่าติดต่อกับพอร์ต

- Comport คือ เราต้องกำหนดหมายเลข Port ที่ใช้ต่อRS-232 (Com1,Com2)รายละเอียดดูในเมนูด้านซ้าย Serial Port Dctail
- Setting คือ เราต้องกำหนดอัตราบอด,พารีตี้,ดาต้า(จำนวนบิต),Stop ตัวอย่าง 1200,n,8,1 เป็นต้น
- Handshaking คือ เราจะกำหนดได้ 4 แบบ 1.comNone 2.comXonXoff 3.comRTS 4.comTRSXonXoff

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ Buffer ในการรับส่งข้อมูล

-InBuffersize คือ การกำหนดบัฟเฟอร์ในการรับข้อมูลเข้ามา

-OutBuffersize คือ การกำหนดบัฟเฟอร์ในการส่งข้อมูลออกไป

- Rthreshold คือ การที่เรากำหนดการเกิด Event-driven ในการรับข้อมูลเข้ามา

- Sthreshold คือ การที่เรากำหนดการเกิด Event-driven ในการรับข้อมูลออกไป

- Inputlen คือ จำนวนของข้อมูลที่ไปอ่านในบัฟเฟอร์ รับข้อมูล

- EOFEnable คือ การที่บอกว่าสิ้นสุดของไฟล์(EOF) End of File

ด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware)

- ParityReplace คือ ค่าของคาเลกเตอร์ที่จะแทนในเมื่อเกิด Parity Error

- NullDiscard คือ การกำหนดให้รับหรือไม่รับ NULL CHARACTER

- RTSEnable คือ ทำให้มีสัญญาณ RTS (Request To Send)

- DTSEnable คือ ทำให้มีสัญญาณ DTR(Data Terminal Ready)

การกำหนดคุณสมบัติของ MSComm _Control ให้สามารถติดต่อกับพอร์ตได้

1. Property ชื่อ CommPort คือ เลือกคอมพอร์ตที่เราจะต่อใช้งาน

ตัวอย่าง MSComm1.CommPort=1

ในที่นี้เลือกจะใช้ Com1อยู่ที่ด้านหลังเครื่องคอมฯ

2. Property ชื่อ Settings คือ การตั้งค่าของการรับส่งข้อมูล ซึ่งจะต้องรู้ด้วยว่าอัตราบอด ของอุปกรณ์ที่จะติดต่อด้วยเป็นเท่าไร โดยมีรายละเอียดการใส่ค่างๆค่าดังนี้

MSComm1.Settings="Baud(อัตราการรับส่งข้อมูล),Parity(ถ้าไม่ใช้ใส่ N,จำนวนบิตข้อมูล, บิตสต๊อป"

ตัวอย่าง MSComm1.Settings="1200,N,8,1"

3.Property ชื่อ InputLen คือ กำหนดขนาดขณะที่มีข้อมูลเข้ามาให้ไปอ่านข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ในบัพเฟอร์

ตัวอย่าง MSComm1.InputLen=1

4. Property ชื่อ PortOpen คือ จะเปิดให้พอร์ตใช้งานหรือไม่ ถ้าเปิด =True ถ้าปิด =False

ตัวอย่าง MSComm1.PortOpen=True

5. Property ชื่อ Rthreshold คือ ทำให้เกิดการกระตุ้นด้วย Event-driven เมื่อมีข้อมูลในบัฟเฟอร์รับข้อมูล (Comport) มันทำให้เกิด CommEvent ใน OnComm Event

ตัวอย่าง MSComm1.Rthreshold =1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรายละเอียดที่กล่าวมา เราจะมาเขียนใน โพรซีเดอร์ VB ซึ่งจะไว้ที่ Sub Form_Load() หรือจะสร้าง Sub ขึ้นใหม่ในกรณีที่จะเรียกใช้ภายหลัง

```
Private Sub Form_Load()
    MSComm1.Settings="1200,N,8,1"
    MSComm1.CommPort=1
    MSComm1.InputLen=1
    MSComm1.PortOpen=True
    MSComm1.Rthreshold =1
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) คือ ส่วนของการออกแบบหุ่นยนต์ในส่วนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการเลือกใช้อุปกรณ์ การเลือกใช้มอเตอร์ การออกแบบหุ่นยนต์ทั้งตัวต้นแบบและตัวเลียนแบบ และการออกแบบทางด้านซอร์ฟแวร์ (Software) คือ ส่วนของวงจรควบคุมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการสร้างวงจรควบคุม และ การเขียนโปรแกรมควบคุม

3.2 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware)

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างเซอร์โวมอเตอร์

3.2.1 การเลือกใช้มอเตอร์

โครงงานนี้ได้มีการเลือกใช้งานเซอร์โวมอเตอร์ เพราะว่าเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดเล็กและ น้ำหนักเบา โดยเมื่อเทียบกับสเต็ปมอเตอร์ ที่ขนาดเท่ากันแล้วเซอร์โวมอเตอร์ จะมีแรงบิด ที่สูงกว่ามาก อีกทั้งยังใช้สายสัญญาณเพียงเส้นเดียวในการควบคุมและไม่จำเป็นต้องมีวงจรขับกระแส (Driver) อื่นๆ เนื่องจาก เซอร์โวมอเตอร์นี้จะมีวงจรบอร์ดควบคุม บรรจุไว้ภายในอยู่แล้ว ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน จากข้อดีต่างๆของ เซอร์โวมอเตอร์ทำให้มอเตอร์ประเภทนี้เป็นที่นิยมและ มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวาง

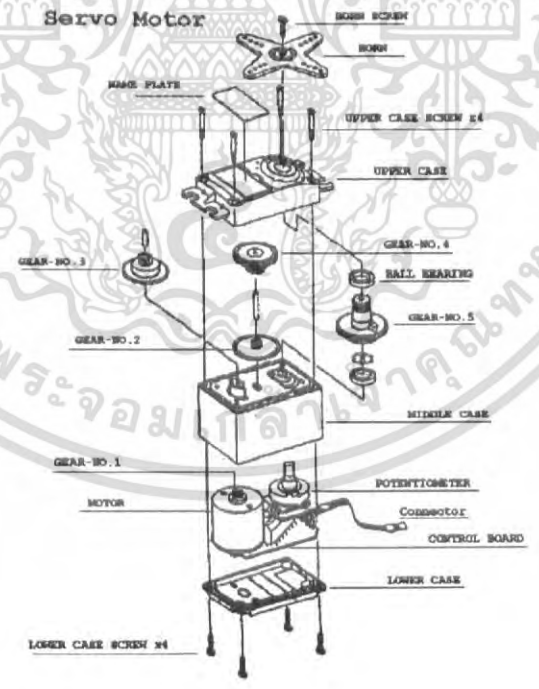
โครงงานนี้ได้เลือกใช้ เซอร์โวมอเตอร์ของETT รุ่นS03T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตารางคุณสมบัติของเซอร์โวมอเตอร์

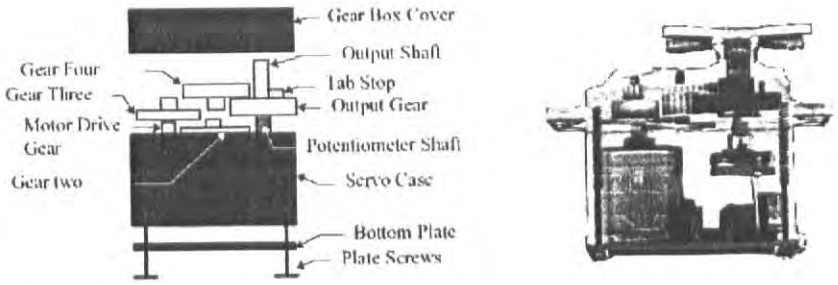
Model	STD	BBM	Size (L x W x H) Mm/in	Weight		4.8V			6V			Modify 360°
				g	oz	SPEED (sec / 60°)	Torque		SPEED (sec / 60°)	Torque		
							Kg-cm	Oz-in		Kg-cm	Oz-in	
Micro	✓		28 x 14 x 29.8 1.1 x 0.55 x 1.17	18	0.63	0.16	1.8	25	0.13	2.30	32	✓
S03N	✓		39.5 x 20.0 x 35.6 1.56 x 0.79 x 1.40	41	1.44	0.23	2.40	47	0.18	4	56	✓
S03NXF	✓		39.5 x 20.0 x 35.6 1.56 x 0.79 x 1.40	41	1.45	0.15	2.20	31	0.12	2.45	34	✓
S03T	✓		39.5 x 20.0 x 39.6 1.56 x 0.79 x 1.56	46	1.62	0.33	7.20	100	0.27	8	111	✓
S03TXF	✓		39.5 x 20.0 x 39.6 1.56 x 0.79 x 1.56	46	1.62	0.21	5	69	0.17	6.20	86	✓
S04		✓	54.4 x 26.5 x 51.5 2.14 x 1.04 x 2.03	114	4	0.26	10	138.88	0.20	13	180.5	
S666	✓		63.0 x 32.0 x 61.6 2.48 x 1.26 x 2.43	142.4	5.02	0.28	13	181	0.22	15	208	✓
PICO	✓		22.8 x 9.5 x 15.5 0.90 x 0.37 x 0.61	5.40	0.19	0.12	0.70	10	0.09	0.84	12	✓
MICRO/ 2BBM		✓	28 x 14 x 29.8 1.1 x 0.55 x 1.17	18	0.63	0.16	1.80	25	0.13	2.30	32	✓
HS-322	✓		40 x 20 x 36.5 1.57 x 0.78 x 1.43	43	1.51	0.19	3	41.66	0.15	3.5	48.6	✓
S3003	✓		41 x 20 x 36 1.6 x 0.8 x 1.4	37.2	1.3	0.23	3.2	44	0.19	4.1	56.8	✓
S03T/ 2BB/J		✓	39.5 x 20.0 x 39.6 1.56 x 0.79 x 1.56	46.0	1.62	0.33	7.2	100	0.27	8	111	✓
S03T/2B BMG/J		✓	40.6 x20.0 x 42.8 1.60 x 0.79 x 1.70	73	2.57	0.33	7.4	103	0.27	8.6	119	✓
S666/ NMG/J		✓	63.0 x 32.0 x 61.6 2.48 x 1.26 x 2.43	180	6.35	0.24	24	333	0.2	28.8	400	✓

● STD = Oilmass Bearing 2BB = 2 Ball Bearings MG = Metal Gear With Ball Bearings NMG = 2BBMG

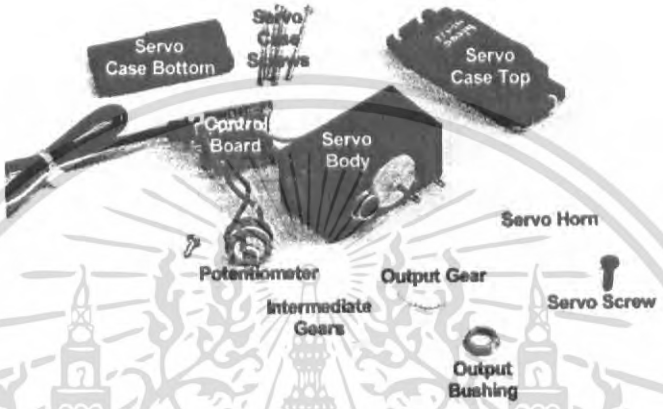


รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบต่างๆของเซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ส่วนประกอบต่างๆของ Servo Motor

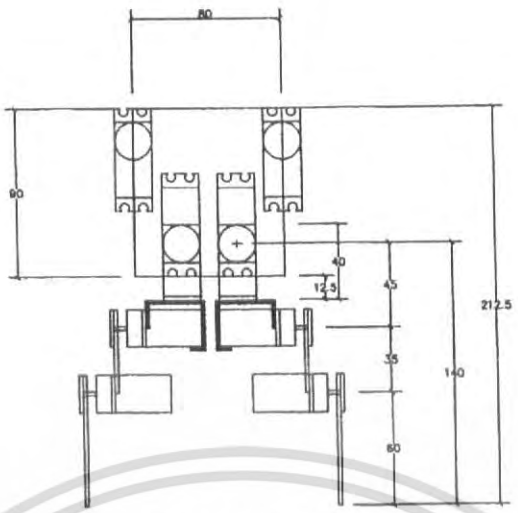


รูปที่ 3.3 ชิ้นส่วนต่างๆของเซอร์โวมอเตอร์

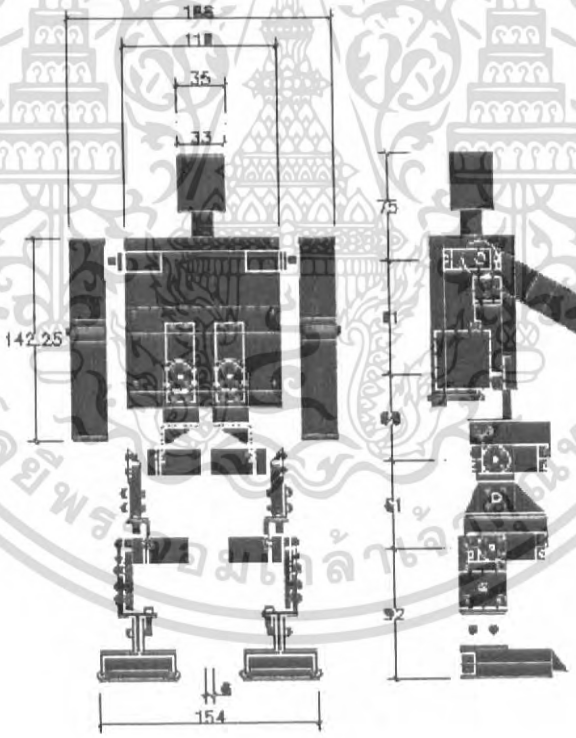
3.2.2 การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่นำมาทำโครงสร้าง

อุปกรณ์ที่ได้นำมาพิจารณาในตอนเริ่มทำโครงงานนั้นมี แผ่นปริ้นท์ แผ่นอะคลีลิก แผ่นอะลูมิเนียม แต่เมื่อได้ทำการออกแบบแผ่นปริ้นท์ แล้วทำให้เราได้เห็นถึงปัญหาในหลายๆจุดเช่น เนื่องจากแผ่นปริ้นท์ ไม่สามารถทำการงอและทำการต่อเชื่อมได้ยาก ไม่มีความแข็งแรงในการต่อเชื่อมจึงทำให้ต้องออกแบบเป็นในลักษณะแผ่นตรงๆทำให้ระยะระหว่างขาทั้งสองข้างมีความกว้างเกินไป ทำให้เวลาก้าวเดินต้องมีการเอียงตัวหุ่นมากทำให้เคลื่อนที่ได้ยากมากจึงต้องเปลี่ยนวัสดุในการทำโครงสร้าง จึงได้นำเอา แผ่นอลูมิเนียมมาออกแบบถึงจะมีน้ำหนักมากกว่าแผ่นปริ้นท์และแผ่นอะคลีลิกแต่มีความคนทนแข็งแรงมากกว่า และสามารถงอได้และสามารถหาชิ้นส่วนที่เป็นรูปทรงต่างๆได้ง่ายตามที่เราต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แบบหุ่นเมื่อใช้แผ่นปริ้นท์ ในการทำโครงสร้าง



รูปที่ 3.5 แบบหุ่นเมื่อใช้แผ่นอะลูมิเนียมในการทำโครงสร้าง

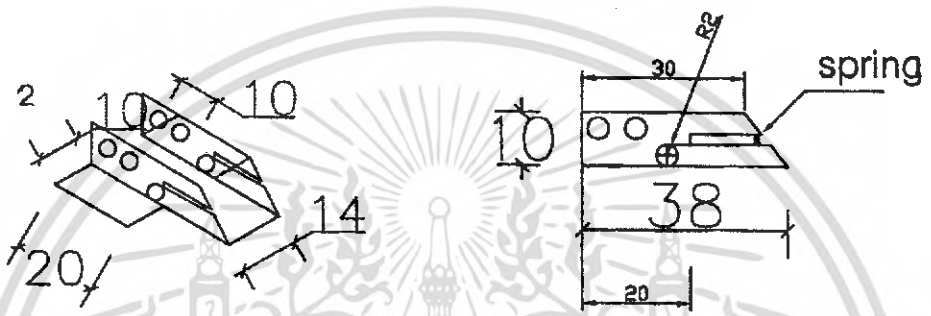
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การออกแบบหุ่นยนต์ตัวเลียนแบบ

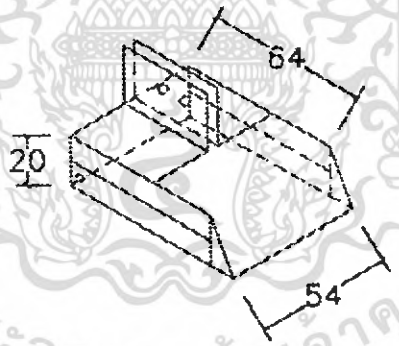
การออกแบบหุ่นยนต์ได้คำนึงถึงเรื่องของงบประมาณที่มีอยู่จำกัด เรื่องของความแข็งแรงของโครงสร้าง เรื่องของความสามารถในการเดิน

ส่วนของข้อเท้าได้ใช้เป็นแผ่นอะลูมิเนียมและใช้สปริงเป็นตัวดันทำแทนการใช้มอเตอร์เพื่อประหยัดทางด้านงบประมาณ ครั้งแรกที่ได้ออกแบบได้พบปัญหาเรื่องของความแข็งแรงทำให้ต้องออกแบบใหม่ให้มีความแข็งแรงขึ้น

ส่วนโครงสร้างช่วงตัวและขาได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.4



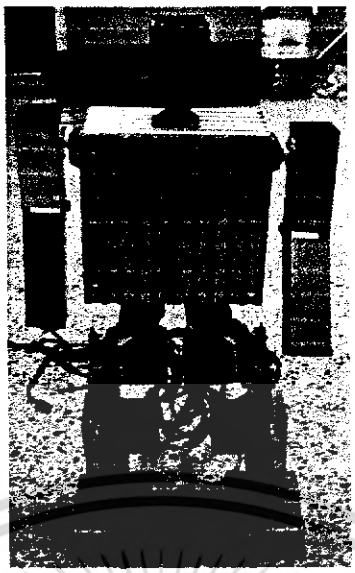
รูปที่ 3.6 แบบส่วนเท้าที่ได้ออกแบบไว้ครั้งแรก



รูปที่ 3.7 แบบส่วนเท้าที่ได้ออกแบบแก้ไขใหม่

หุ่นยนต์ตัวเลียนแบบมีขนาดโดยประมาณ 87 mm. x 188 mm. x 369 mm. (หนา x กว้าง x สูง) น้ำหนักปัจจุบันประมาณ 1100 กรัม

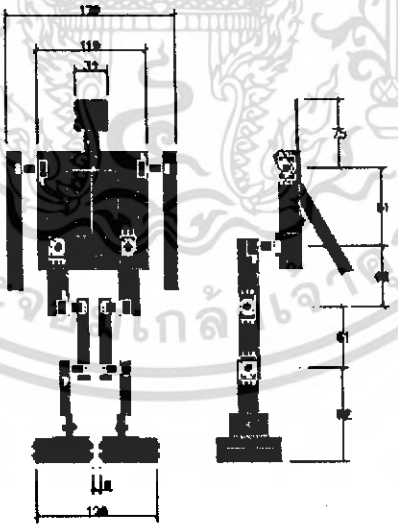
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 หุ่นยนต์ตัวเลียนแบบ

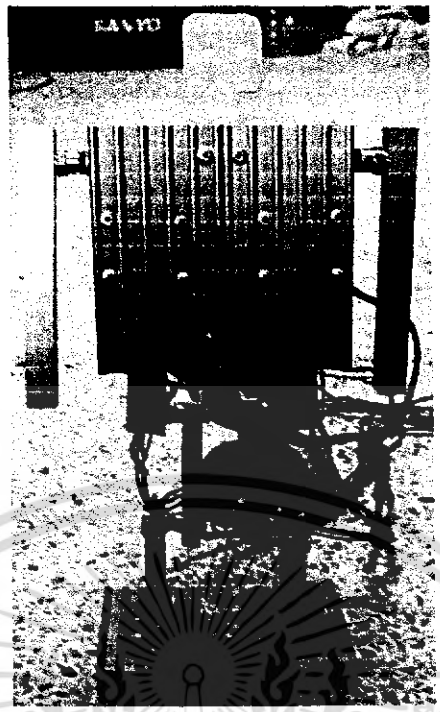
3.2.4 การออกแบบหุ่นตัวต้นแบบ

หุ่นตัวต้นแบบได้มีการออกแบบให้ได้สัดส่วนระหว่างจุดหมุนเหมือนกับหุ่นยนต์ตัวเลียนแบบทุกประการ



รูปที่ 3.9 แบบหุ่นตัวต้นแบบที่ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 หุ่นยนต์ตัวต้นแบบ

จะเห็นได้ว่าหุ่นตัวต้นแบบ รูปที่ 3.8 และหุ่นตัวเลียนแบบในรูปที่ 3.4 มีระยะระหว่างจุดหมุนเท่ากันทุกประการ

3.3 การออกแบบทางด้านซอร์ฟแวร์ (Software)

3.3.1 วงจรทดลอง

วงจรทดลองของโครงงานนี้ประกอบด้วย

1. ไมโครคอนโทรเลอร์ PIC16F877
2. ตัวต้านทานปรับค่า (Variable Resistance) และเซอร์โวมอเตอร์ จำนวนเท่ากับข้อต่อของหุ่นยนต์ตัวหลัก สายสัญญาณต่อเข้ากับ PIC โดยสัญญาณจากตัวต้านทานปรับค่า ต่อเข้า PIC มาเป็นอินพุต และเอาท์พุต ต่อกับสายสัญญาณของเซอร์โวมอเตอร์
3. ชุดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232 ประกอบด้วย IC MAX232 และ พอร์ตอนุกรม

หลักการทำงานเบื้อต้น เริ่มจากไมโครคอนโทรเลอร์ รับค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (Analog) จากตัวต้านทานปรับค่า เพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล ด้วย ADC Module ภายใน ก่อนส่งออกไป

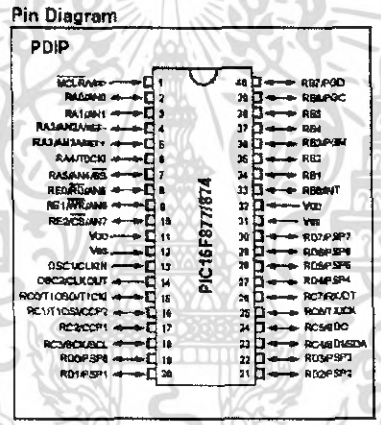
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสัญญาณควบคุม เพื่อสั่งการให้เซอร์โวมอเตอร์ขยับไปตามตำแหน่งที่ตรงกับตัวต้นแบบ ซึ่งตัวต้านทานปรับค่าแต่ละตัวจะควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ในตำแหน่งข้อต่อเดียวกัน

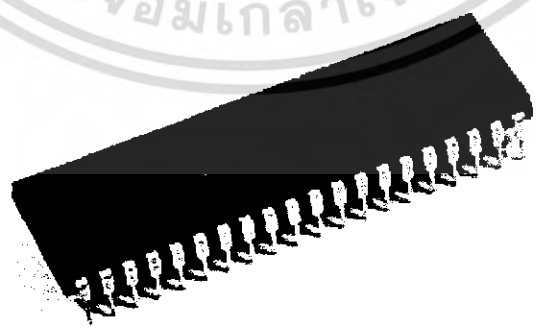
3.3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ คือ ไมโครคอนโทรเลอร์โดยเลือกใช้ตระกูล PIC รหัส 16F877 เนื่องจากข้อดี และความพร้อมของเครื่องมือภายใน PIC มีมากพอสมควร เช่น

1. ทำงานแบบ Pipe-line (มี 2 ท่อ) ทำให้ในเวลาเดียวกันสามารถทำงานได้ 2 อย่างพร้อมกัน
2. มี ไทเมอร์ / เคาน์เตอร์ 3 ตัว
3. มี Analog to Digital Converter (ADC) แบบ 10 บิท จำนวน 8 ช่องนำเข้า ในตัวเอง
4. มี I/O พอร์ต ทั้งหมดจำนวน 5 พอร์ต
5. ตอบสนองอินเตอร์รัพต์ ได้ทั้งหมด 14 แหล่ง



รูปที่ 3.11 โครงสร้างของ PIC 16F877



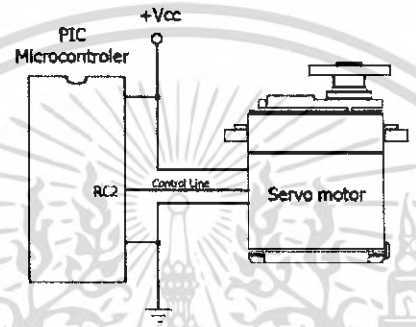
รูปที่ 3.12 PIC16F877 ไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

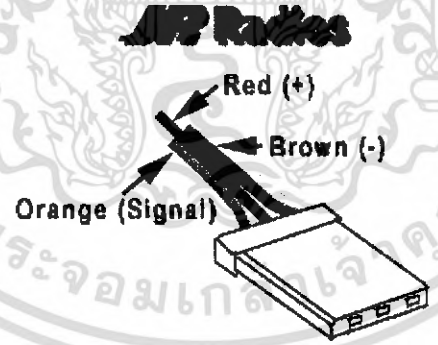
และคุณสมบัติอื่นๆอีกมากมาย เช่น หน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบ Flash, สัญญาณนาฬิกามีหลายโหมด อาจใช้คริสตอล (XTAL) หรือ วงจร RC ก็ได้, ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2V ถึง 5.5V DC, มีโมดูล Capture/Compare/PWM เป็นต้น

ซึ่งถือว่าเป็นข้อดีของการใช้ PIC เนื่องจากทำงานได้รวดเร็ว และมีตัวช่วยการใช้งานเพียงพอ ไม่ต้องใช้ไอซีภายนอกมาต่อเพิ่ม เช่น ไอซีแปลง อะนาลอกเป็นดิจิตอล

3.3.3 เซอร์โวมอเตอร์



รูปที่ 3.13 การควบคุม เซอร์โวมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC



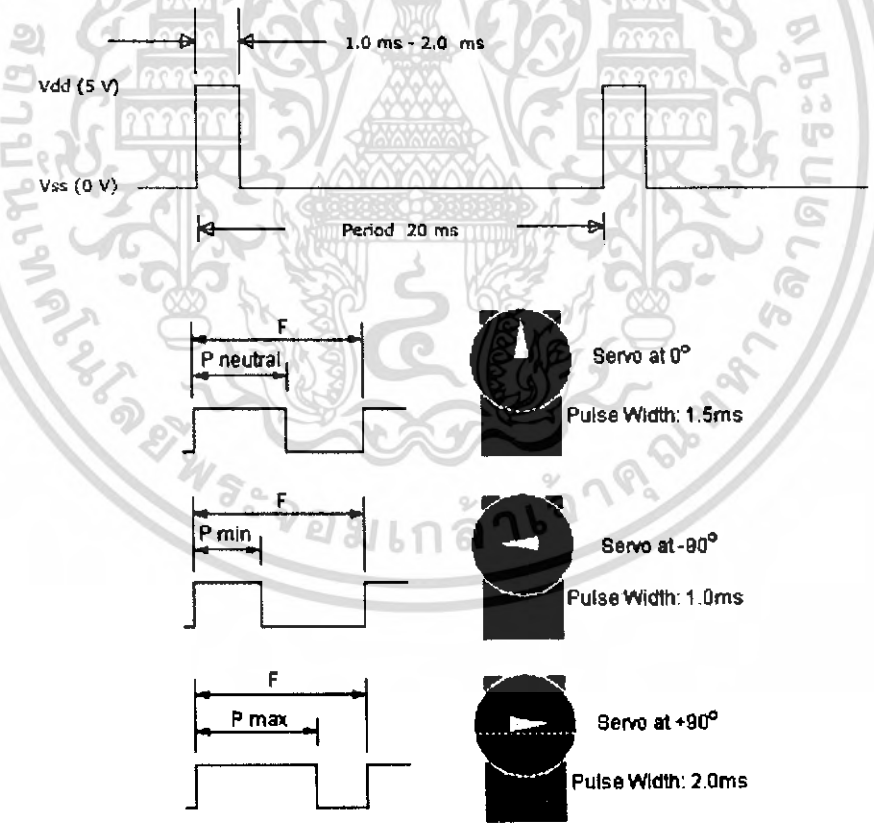
รูปที่ 3.14 สายไฟ และสัญญาณของเซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์ คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC motor) ที่ถูกประกอบรวมกับ ชุดเกียร์ และ ส่วนควบคุม ต่างๆ ไว้ด้วยกัน โดยมอเตอร์ชนิดนี้จะมีสายต่อใช้งานเพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ VCC, GND และ สายสัญญาณควบคุม (Control Line) ซึ่งสามารถควบคุมให้มอเตอร์หมุนไปตำแหน่งซ้าย หรือ ขวาได้จากสายสัญญาณเพียงเส้นเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสัญญาณที่ใช้ควบคุมนี้จะเป็นสัญญาณ Pulse Width Modulate (PWM) แบบ TTL Level ระดับแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์นี้จะอยู่ในช่วงประมาณ 4 ถึง 6 โวลท์ ข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้ก็คือ จะมีขนาดเล็กน้ำหนักเบา , ให้แรงบิดสูง , กินพลังงานน้อย และ สามารถควบคุม ด้วยแรงดันลอจิกที่เป็น TTL ได้โดยตรง ไม่จำเป็นต้องต่อวงจรขับ(Driver) อื่นๆ เพราะมอเตอร์ชนิดนี้จะมีวงจรควบคุมบรรจุไว้ภายในอยู่แล้ว ซึ่งสามารถควบคุมให้หมุนไปในตำแหน่ง หรือ ทิศทาง องศาที่ต้องการได้ โดยอาศัยสัญญาณความกว้างพัลส์ ที่ป้อนให้มอเตอร์ แต่จะหมุนได้เพียงในช่วงประมาณ 180° (ถือว่าเพียงพอเมื่อพิจารณาใช้กับการเคลื่อนไหวของข้อต่อหุ่นยนต์) เนื่องจากโครงสร้างภายในจะประกอบด้วย ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ (Variable Resistance) ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ และ ตัวต้านทานนี้จะถูกยึดติดกับแกนหมุนของมอเตอร์

การควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ ทำได้โดยป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ให้กับมอเตอร์ ซึ่งตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมอเตอร์นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของความกว้างของพัลส์นั้นๆ โดยทั่วไปแล้วความกว้างของสัญญาณพัลส์ จะมีจุดให้อ้างอิง 3 จุด (ถ้าต้องการตำแหน่งองศาอื่นๆต้องใช้การเทียบบัญญัติไตรยางค์) ดังรูป คือ

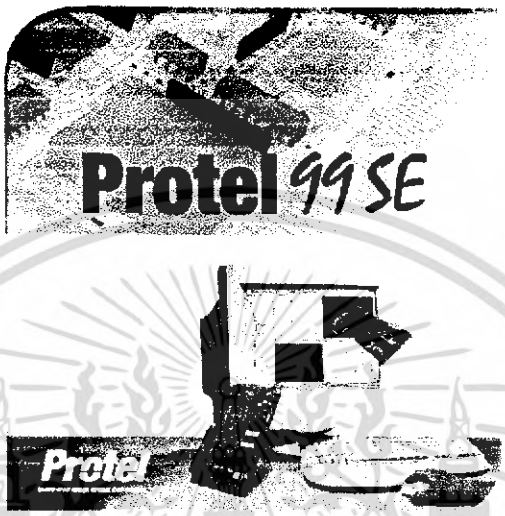


รูปที่ 3.15 หลักการทำงานของ เซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจ่ายพัลส์ต้องคำนึงถึงความถี่สัญญาณที่จ่ายออกไปด้วย เพราะความถี่เหมาะสมสำหรับขับเซอร์โวมอเตอร์ คือ 50 เฮิรตซ์ (Hz) หรือคาบละ 20 มิลลิวินาที (ms)

3.3.4 การออกแบบลายวงจรบนแผ่นวงจร

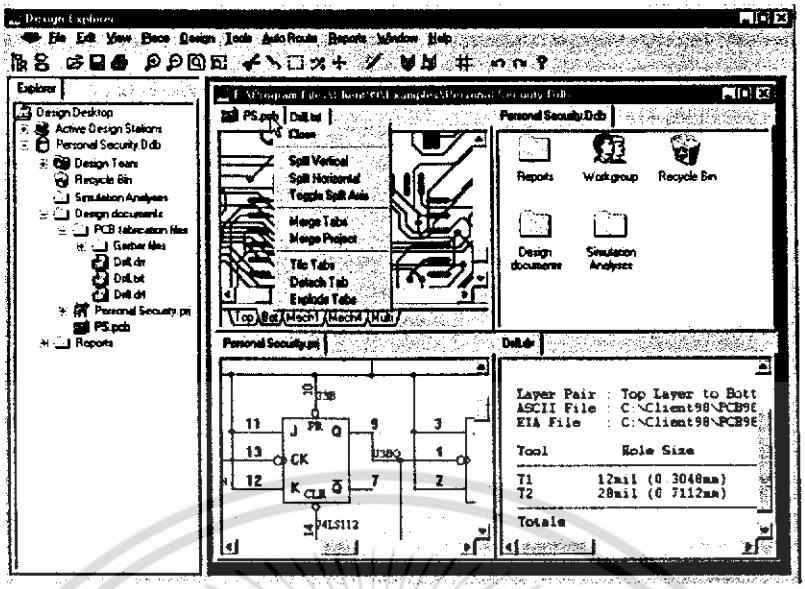


รูปที่ 3.16 โปรแกรม Protel

โปรแกรม Protel ใช้ออกแบบ PCB (Printed Circuit Board) ซึ่งเป็นแผ่นปริ้นท์ที่เรามักเห็นภายในวงจรวิทยุ หรือวงจรโทรทัศน์ทั่วไป เทคโนโลยีการผลิตด้านนี้เป็นศาสตร์ชั้นสูง ปกติแล้วอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทุกชนิดต้องมีสัญลักษณ์ซึ่งแสดงถึงตัวตนของอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านั้น เช่น เมื่อเราวาดสัญลักษณ์ของตัวต้านทานและสัญลักษณ์ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ลงไปในพื้นที่ทำงานของโปรแกรม Protel จากนั้นเชื่อมต่อสายสัญญาณ ระหว่างอุปกรณ์เหล่านั้น สิ่งที่เราต้องการที่แท้จริงคือ ต้องการให้โปรแกรม Protel ช่วยคำนวณหาเส้นทางในการเชื่อมสายสัญญาณเหล่านั้นโดยไม่ทำให้เกิดการลัดวงจร วิธีการดังกล่าวเรียกว่า "Auto-Routing" หรือการค้นหาเส้นทางอัตโนมัติ และเมื่อค้นหาเส้นทางให้เสร็จแล้วช่วยทำการเปลี่ยนรูปจากสัญลักษณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ให้เป็นรูปแบบทางกายภาพของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านั้นด้วย การเปลี่ยนจากสัญลักษณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์เป็นรูปตำแหน่งต่าง ๆ ทางกายภาพนี้เรียกว่า "การทำ Foot-Print" ดังนั้นผลลัพธ์สุดท้ายของการออกแบบวงจรจะให้ผลเป็นแผ่นปริ้นท์ของวงจรที่ได้ออกแบบไปแล้ว เรียกแผ่นปริ้นท์เหล่านี้ว่า "PCB (Printed Circuit Board)"

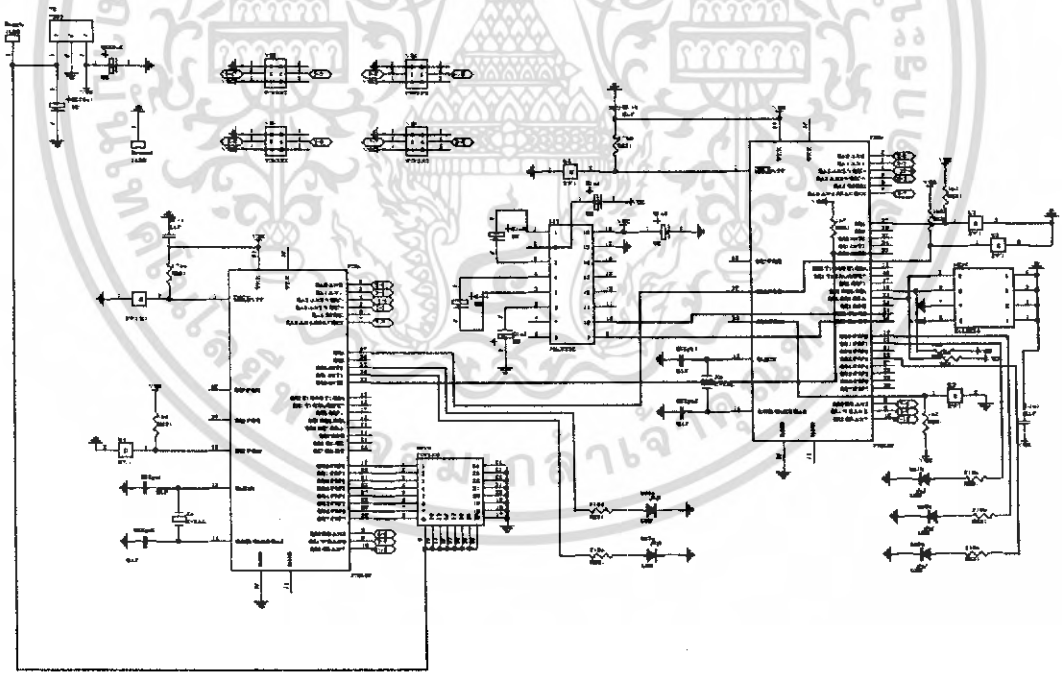
นอกจากโปรแกรม Protel ซึ่งใช้สำหรับการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์และออกแบบแผ่นวงจร แล้ว ยังมีโปรแกรมอีกหลายตัวที่ทำงานลักษณะเดียวกัน ได้แก่ OrCAD และ Eagle เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 ลักษณะโปรแกรม Protel

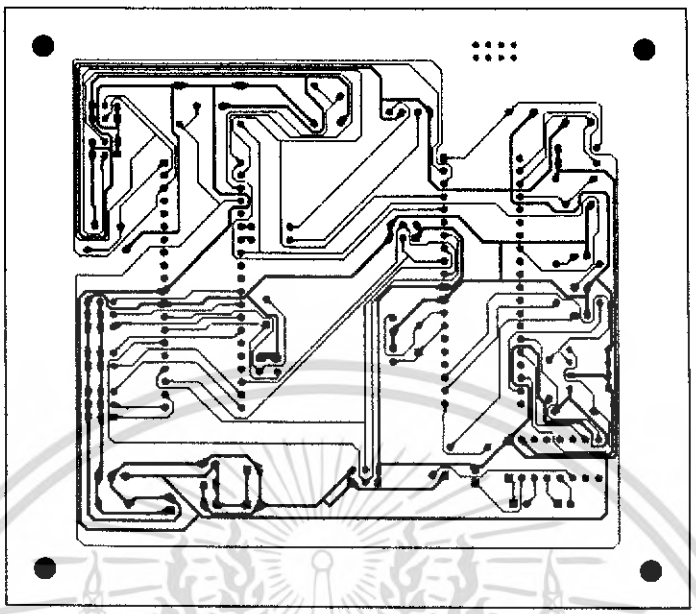
การออกแบบ Schemetic ของวงจร



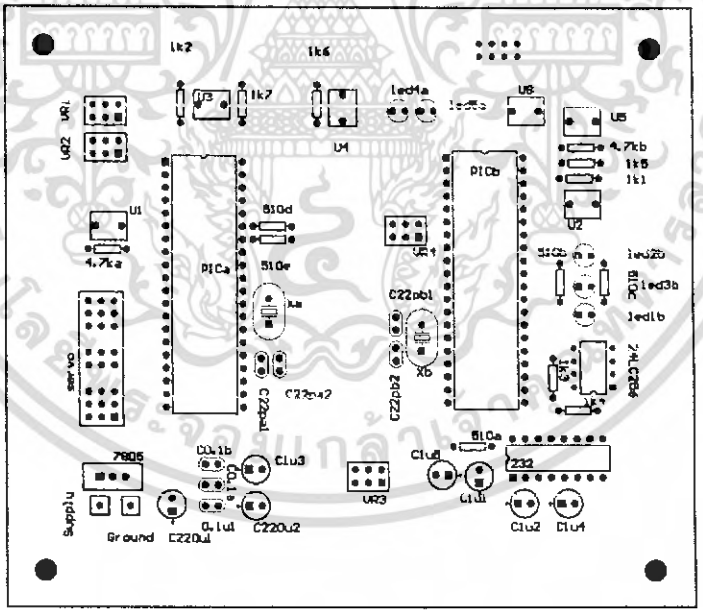
รูปที่ 3.18 Schemetic ของวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบลายวงจรบนแผ่นวงจร



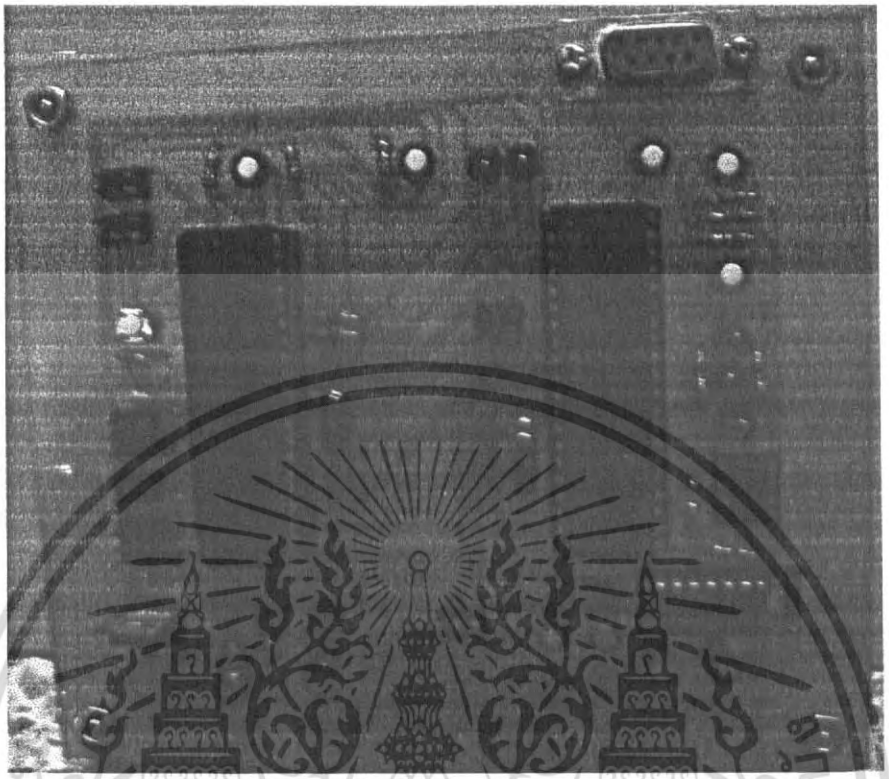
รูปที่ 3.19 ลายวงจร



รูปที่ 3.20 การวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆบนแผ่นวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นวงจรของวงจรควบคุม



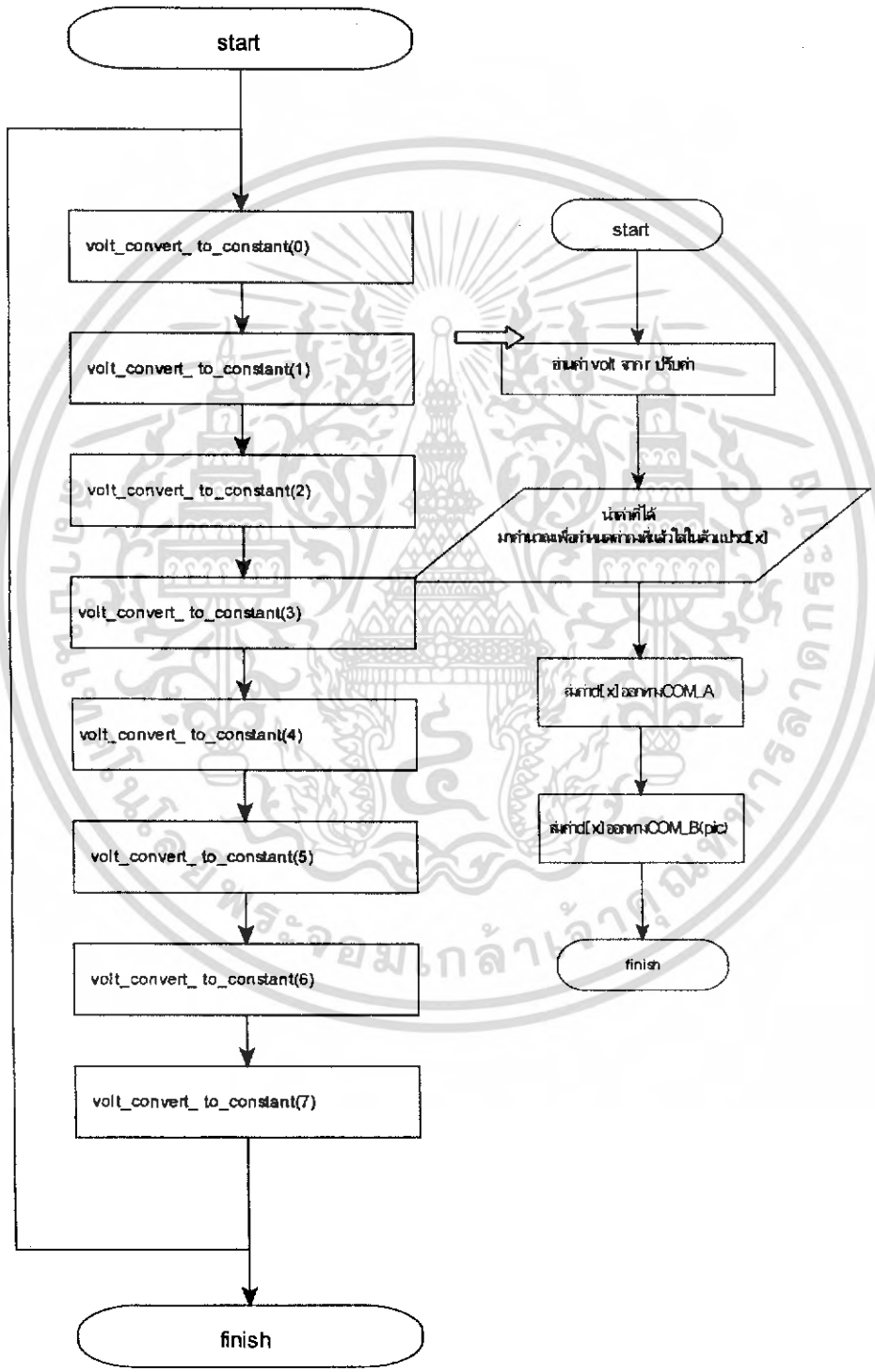
รูปที่ 3.21 แผ่นวงจรของวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

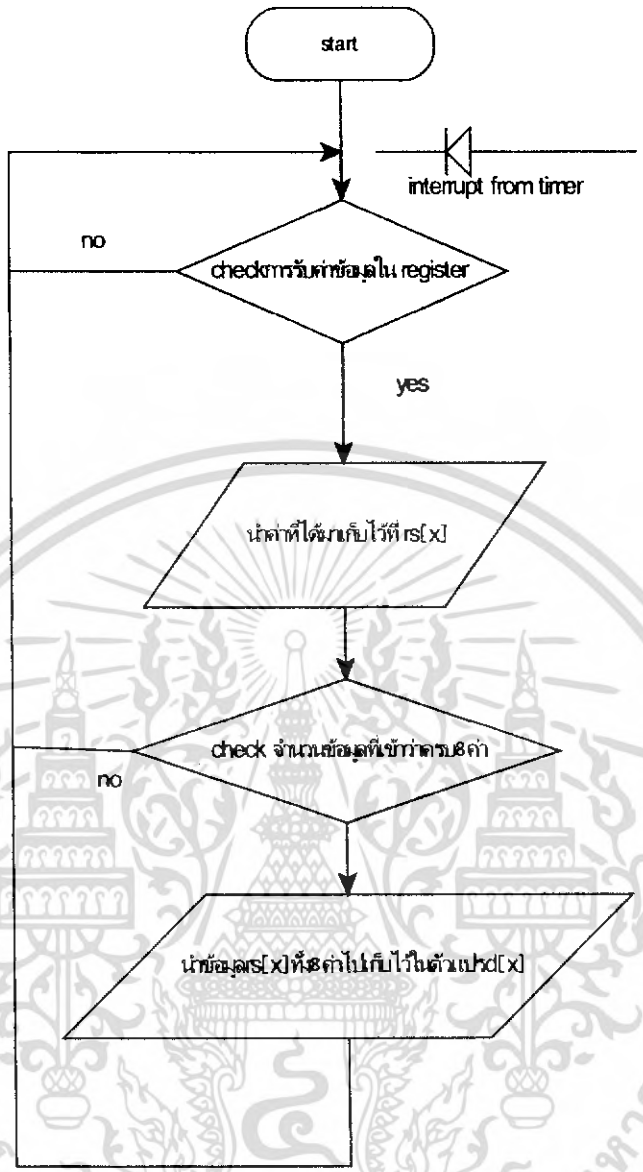
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 แผงผังแสดงการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Timer ^{1}

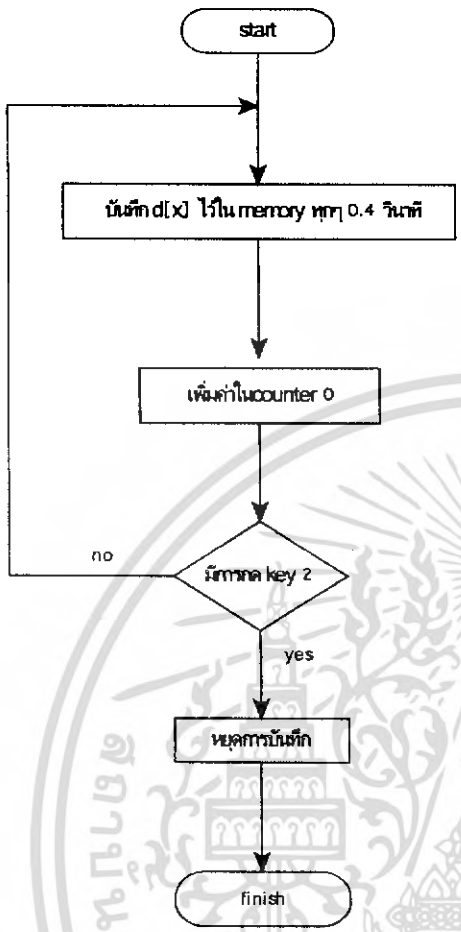
เอาท์พุตแต่ละขาของคอนโทรลเลอร์ เป็น High

Timer ^{0}

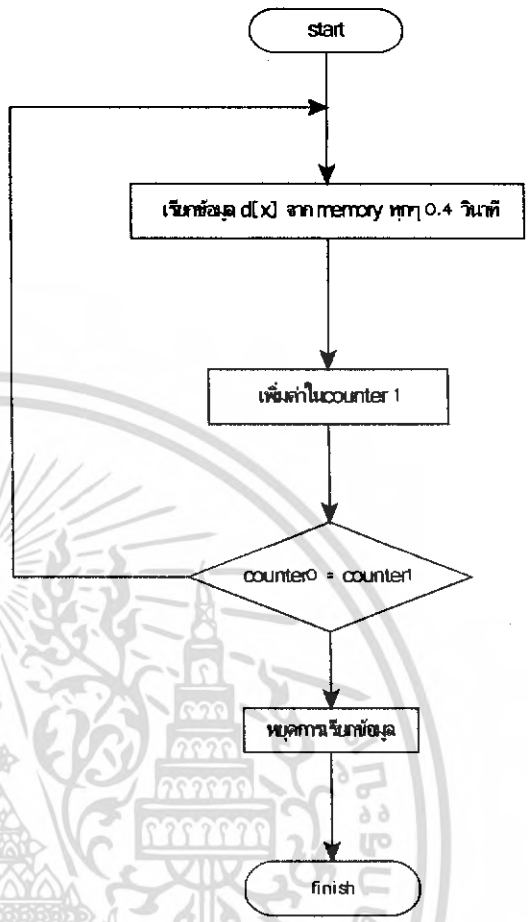
เอาท์พุตแต่ละขาของคอนโทรลเลอร์เป็น Low

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการบันทึกข้อมูล



ขั้นตอนการเรียกข้อมูล



4.2 การแสดงผลกราฟฟิกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

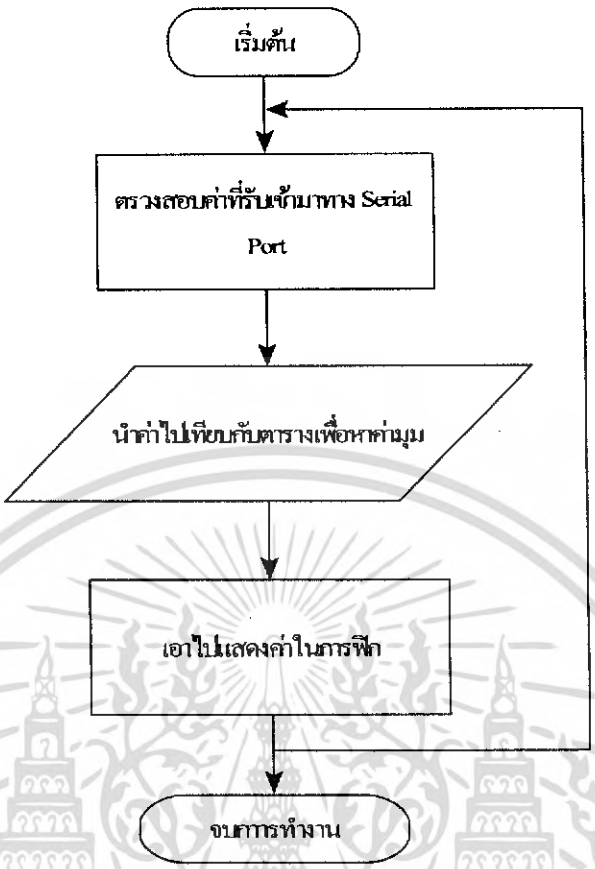
จากวิธีเขียนโค๊ดด้านบนเป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับคอมพอร์ตและเปิดใช้การรับและส่งของพอร์ต RS-232 ดังนั้นก็สามารถจะรับและส่งข้อมูลทางพอร์ตได้ โดยใช้ Property ดังนี้

Output = ซึ่งจะเป็นการส่งข้อมูลไปที่พอร์ต

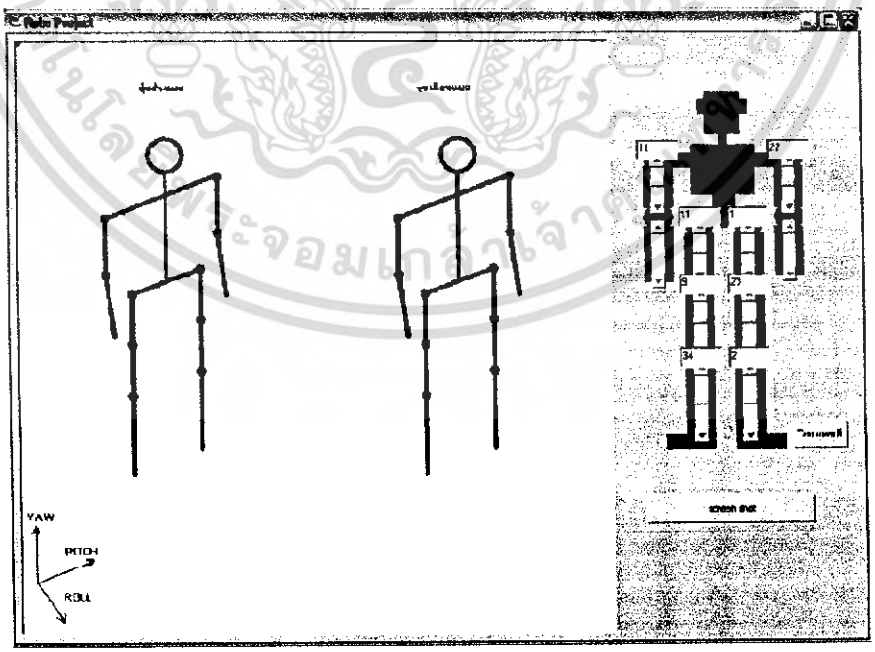
Input = เป็นส่วนของการรับข้อมูลจากพอร์ต

แต่ในส่วนนี้จะต้องนำคำสั่งไปเขียนที่ Event Property OnComm จะอยู่ใน Sub MSComm_OnComm ซึ่ง จะอ่านข้อมูลเข้ามาจากทางพอร์ต RS232 นั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 โฟลวชาร์ตแสดง การทำงานของโปรแกรม Visual Basic



รูปที่ 4.2 กราฟฟิกแสดงตำแหน่งข้อต่อหุ่น บนหน้าจอคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองการเคลื่อนไหวของหุ่น

ในการควบคุมการเดินของหุ่นยนต์ตัวตามนั้นพบว่าไม่สามารถสั่งงานให้เซอร์โวมอเตอร์ทำงานพร้อมกันทั้งหมดได้ เนื่องจากโปรแกรมอินเตอร์เฟสมีลักษณะ การส่งข้อมูลแบบอนุกรม เซอร์โวมอเตอร์จึงทำงานทีละตัวเป็นผลให้การเดินของหุ่นยนต์ไม่เป็นไปตามรูปแบบการเดินของมนุษย์เท่าที่ควร เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นนั้น ทำให้มีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ จึงสามารถขยับเซอร์โวมอเตอร์ได้ไม่ครบตามเป้าหมาย

1. เอียงเอวซ้าย

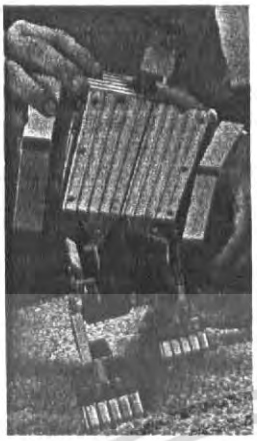
มอเตอร์	โวลต์
1	2.537
2	2.727
3	2.879
4	1.422
5	2.16
6	1.500
7	2.620
8	2.444

2. ก้าวเท้าขวา

มอเตอร์	โวลต์
1	1.730
2	2.130
3	2.971
4	1.378
5	2.179
6	1.642
7	2.629
8	2.434

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ย่อหัวเข่าซ้าย



มอเตอร์	โวลต์
1	1.461
2	1.417
3	3.260
4	1.397
5	2.209
6	1.700
7	3.465
8	5.000

4. ขยับแขนขวา และเอวซ้าย

มอเตอร์	โวลต์
1	1.847
2	1.857
3	4.203
4	1.505
5	2.121
6	2.038
7	3.260
8	3.020

5. ยืดขาซ้าย

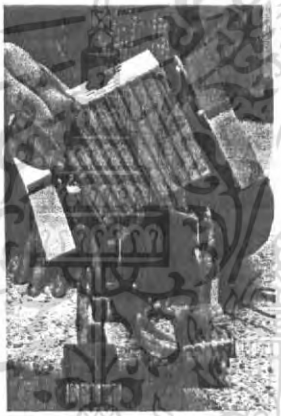
มอเตอร์	โวลต์
1	2.199
2	2.541
3	4.237
4	1.539
5	2.082
6	1.979
7	2.448
8	5.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ยืดขาขวา

มอเตอร์	โวลต์
1	2.487
2	2.761
3	3.988
4	1.441
5	2.404
6	1.930
7	2.385
8	2.517

7. เอียงเอวขวา



มอเตอร์	โวลต์
1	2.673
2	2.922
3	4.208
4	1.476
5	2.390
6	1.735
7	2.482
8	2.399

8. ก้าวเท้าซ้าย

มอเตอร์	โวลต์
1	2.668
2	2.952
3	3.597
4	1.617
5	2.248
6	1.891
7	3.372
8	3.020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผล

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

สรุปด้านการออกแบบหุ่นยนต์ การทำงานในส่วนของตัวหุ่นเราออกแบบใช้ อะลูมิเนียมทั้งตัว เพื่อให้มีคุณสมบัติเบาและสวยงาม อีกทั้งในการประกอบ แต่ละข้อต่อของหุ่นยนต์นั้น เราประกอบหุ่นยนต์ โดยใช้แผ่นอะลูมิเนียม กับ น็อตสเตนเลส เพื่อไม่ให้เป็นสนิม การออกแบบลักษณะของหุ่นยนต์ก็ได้อ้างอิงจากสัดส่วนเหมือนคนจริงๆ เพื่อให้มีลักษณะสมจริงมากที่สุด และสามารถควบคุมได้เลยโดยไม่ต้องมี เซ็นเซอร์เป็น การป้อนกลับเพื่อคอย ตรวจสอบตำแหน่ง จึงสามารถควบคุมท่วงท่า และเห็นภาพได้ชัดเจนมากกว่า การป้อนข้อมูลจากแหล่งใดแหล่งหนึ่ง

หุ่นยนต์ตัวต้นแบบ จะมีหน้าที่ ควบคุมองศา การเคลื่อนที่ ของหุ่นยนต์ตัวตามให้ตำแหน่งที่ได้นั้นจะมีค่าเท่ากัน และ เราก็สามารถ ทำให้หุ่นยนต์ดังกล่าวเดินได้เสมือนจริง

สรุปด้านวงจรควบคุม วงจรที่ออกแบบครั้งแรกโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 1 ตัว ปรากฏว่า ไม่สามารถสร้างสัญญาณ PWM เพื่อไปขับมอเตอร์หลายตัวได้ และยังต้องมีการส่งค่าออกไปแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ด้วย ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงการออกแบบวงจรใหม่ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 2 ตัว ดังนี้

ตัวที่ 1 - ทำหน้าที่รับสัญญาณอะนาลอก จากตัวต้านทานปรับค่าได้แต่ละตัว ที่ติดอยู่บนข้อต่อของหุ่นต้นแบบ เพื่อมาแปลงเป็นสัญญาณควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ (PWM) แต่ละตัว ที่ติดอยู่บนหุ่นตัวตาม

ตัวที่ 2 – ทำหน้าที่รับค่าสัญญาณ และส่งออกทางพอร์ตอนุกรม เพื่อไปแสดงผลเป็นกราฟฟิก แสดงตำแหน่งการเคลื่อนไหวข้อต่อต่างๆของหุ่นบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ และมีหน่วยความจำเพื่อบันทึกท่าทาง เปรียบเหมือนการสอนหุ่นในครั้งแรก และสามารถสั่งให้เคลื่อนไหวตามท่าทางตามที่บันทึกไว้ได้

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 ปัญหาทางด้านการออกแบบ

ปัญหาต่างๆ ขณะการออกแบบหุ่นยนต์นั้นเพื่อให้มีขนาดตรงตามสัดส่วนจึงต้องใช้ ความชำนาญเฉพาะ เพื่อให้ซีกขวา และซ้ายนั้น เท่ากันให้มากที่สุด โดยให้มีความผิดพลาด แต่ละจุด น้อยที่สุดเพื่อในการออกท่วงท่าต่างๆได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก สัดส่วนของหุ่นทำให้เกิดปัญหาการออกแบบ แขนเพื่อทำให้หุ่นยนต์มีลักษณะสมส่วน และสามารถนำมาเพิ่มน้ำหนักในการทรงตัว ซึ่งต้องใช้มอเตอร์ที่มีลักษณะเล็กกว่าปกติเล็กน้อยอีกทั้งยังมีแรงที่ได้จากมอเตอร์นั้นน้อยลงไปมาก และยังมีราคาสูง เพิ่มมากขึ้น ทำให้การลงทุนในงานทางด้านอื่นๆนั้นลดน้อยลงไป จึงมีขีดจำกัดของทางด้านประสิทธิภาพ โดยปัญหาที่เกิดขึ้นนั้น จะมีมาแบบต่อเนื่อง โดยเกิดจาก ราคาของมอเตอร์นั้นสูงเกินไป ในส่วนอื่นๆ จึงต้องพยายามลดต้นทุน และประหยัดให้มากที่สุด

5.2.2 ปัญหาทางด้านวงจรควบคุมและโปรแกรม

1. การขยับ เคลื่อนที่ของมอเตอร์ยังไม่นิ่มนวล อาจมีกระตุกบ้าง จึงทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนไหวได้ไม่ดีเท่าที่ควร
2. เมื่อสั่งให้มอเตอร์ทำงานพร้อมกันจะเกิดข้อผิดพลาดขึ้น คือ มอเตอร์จะรวน ไม่สามารถขยับตามตัวต้นแบบได้
3. แหล่งจ่ายไม่สามารถจ่ายกระแสไฟได้เพียงพอ และเรียบพอ ทำให้เกิดความผิดพลาดในการควบคุมมอเตอร์ จึงต้องทำการเพิ่มแหล่งจ่ายไฟ โดยแยกเป็น 2 แหล่ง คือ จ่ายไฟให้มอเตอร์ และจ่ายให้ไฟเลี้ยงวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] D.J. Paluska. **Design of a Humanoid Biped for Walking Research**. Master Thesis MIT. 2000

[2] ผศ. ธีรวัฒน์ ประกอบผล. **การพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยภาษาซี** : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). มกราคม 2547

[3] อภิชาติ ภู่พลับ. **เริ่มต้นเขียนโปรแกรมติดต่อ และควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic**. Infopress Developer Book

[4] D.A. Winter. **Biomechanics and Motor Control of Human Movement.** New York : John Wiley and Sons Inc. 1990

[5] กฤษฎา ใจเย็น. **PIC Theory & Practical Approach .** Innovative Experiment. 2543

[6] ฉัททวุฒิ พืชผล. **คู่มือเรียน Visual Basic 6.** พิมพ์ครั้งที่5 : Provision. สิงหาคม 2542

[7] วัชรินทร์ เดารพ. **คู่มือการใช้งาน SERVO MOTOR.** พิมพ์ครั้งที่ 1 : บริษัทอีทีทีจำกัด. 2546

[8] ณัฏฐพล วงศ์สุนทรชัย. **เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์PIC16F87X.** Innovative Experiment

[9] T. Mcgeer. "Passive Dynamic Walking" **The International Journal of Robotics Research**, Vol9, No2, April 1990

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

19-4323; Rev 11; 2/03

MAXIM

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

General Description

The MAX220–MAX249 family of line drivers/receivers is intended for all EIA/TIA-232E and V.28/V.24 communications interfaces, particularly applications where ±12V is not available.

These parts are especially useful in battery-powered systems, since their low-power shutdown mode reduces power dissipation to less than 5µW. The MAX225, MAX233, MAX235, and MAX245/MAX246/MAX247 use no external components and are recommended for applications where printed circuit board space is critical.

Applications

Portable Computers
Low-Power Modems
Interface Translation
Battery-Powered RS-232 Systems
Multidrop RS-232 Networks

Features

Superior to Bipolar

- **Operate from Single +5V Power Supply (+5V and +12V—MAX231/MAX239)**
- **Low-Power Receive Mode in Shutdown (MAX223/MAX242)**
- **Meet All EIA/TIA-232E and V.28 Specifications**
- **Multiple Drivers and Receivers**
- **3-State Driver and Receiver Outputs**
- **Open-Line Detection (MAX243)**

Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX220CPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX220CSE	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX220CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX220C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX220EPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX220ESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO
MAX220EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX220EJE	-40°C to +85°C	16 CERDIP
MAX220MJE	-55°C to +125°C	16 CERDIP

Ordering information continued at end of data sheet.
**Contact factory for dice specifications.*

Selection Table

Part Number	Power Supply (V)	No. of RS-232 Drivers/Rx	No. of Ext. Caps	Nominal Cap. Value (µF)	SHDN & Three-State	Rx Active in SHDN	Data Rate (kbps)	Features
MAX220	+5	2/2	4	0.1	No	—	120	Ultra-low-power, industry-standard pinout
MAX222	+5	2/2	4	0.1	Yes	—	200	Low-power shutdown
MAX223 (MAX213)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	✔	120	MAX241 and receivers active in shutdown
MAX225	+5	5/5	0	—	Yes	✔	120	Available in SO
MAX230 (MAX200)	+5	5/0	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	5 drivers with shutdown
MAX231 (MAX201)	+5 and +7.5 to +13.2	2/2	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; same functions as MAX232
MAX232 (MAX202)	+5	2/2	4	1.0 (0.1)	No	—	120 (64)	Industry standard
MAX232A	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Higher slew rate, small caps
MAX233 (MAX203)	+5	2/2	0	—	No	—	120	No external caps
MAX233A	+5	2/2	0	—	No	—	200	No external caps, high slew rate
MAX234 (MAX204)	+5	4/0	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488
MAX235 (MAX205)	+5	5/5	0	—	Yes	—	120	No external caps
MAX236 (MAX208)	+5	4/3	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Shutdown, three state
MAX237 (MAX207)	+5	5/3	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Complements IBM PC serial port
MAX238 (MAX206)	+5	4/4	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488 and 1489
MAX239 (MAX209)	+5 and +7.5 to +13.2	3/5	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; single-package solution for IBM PC serial port
MAX240	+5	5/5	4	1.0	Yes	—	120	DIP or flatpack package
MAX241 (MAX211)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Complete IBM PC serial port
MAX242	+5	2/2	4	0.1	Yes	✔	200	Separate shutdown and enable
MAX243	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Open-line detection simplifies cabling
MAX244	+5	8/10	4	1.0	No	—	120	High slew rate
MAX245	+5	8/10	0	—	Yes	✔	120	High slew rate, int. caps, two shutdown modes
MAX246	+5	8/10	0	—	Yes	✔	120	High slew rate, int. caps, three shutdown modes
MAX247	+5	8/9	0	—	Yes	✔	120	High slew rate, int. caps, nine operating modes
MAX248	+5	8/8	4	1.0	Yes	✔	120	High slew rate, selective half-chip enables
MAX249	+5	6/10	4	1.0	Yes	✔	120	Available in quad flatpack package

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX220/222/232A/233A/242/243

Supply Voltage (V_{CC}) ..... -0.3V to +6V
Input Voltages
T_{IN} ..... -0.3V to (V_{CC} + 0.3V)
R_{IN} (Except MAX220) ..... ±30V
R_{IN} (MAX220) ..... ±25V
T_{OUT} (Except MAX220) (Note 1) ..... ±15V
T_{OUT} (MAX220) ..... ±13.2V
Output Voltages
T_{OUT} ..... ±15V
R_{OUT} ..... -0.3V to (V_{CC} + 0.3V)
Driver/Receiver Output Short Circuited to GND ..... Continuous
Continuous Power Dissipation (T_A = +70°C)
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C) ... 842mW
16-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C) ... 889mW
20-Pin Plastic DIP (derate 8.00mW/°C above +70°C) .. 440mW
16-Pin Narrow SO (derate 8.70mW/°C above +70°C) ... 696mW
16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C) 762mW
16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C) 762mW
20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C) 800mW
20-Pin SSOP (derate 8.00mW/°C above +70°C) 640mW
16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C) 800mW
16-Pin CERDIP (derate 10.53mW/°C above +70°C) 842mW
Operating Temperature Ranges
MAX2_ _AC_ _, MAX2_ _C_ _ ..... 0°C to +70°C
MAX2_ _AE_ _, MAX2_ _E_ _ ..... -40°C to +85°C
MAX2_ _AM_ _, MAX2_ _M_ _ ..... -55°C to +125°C
Storage Temperature Range ..... -65°C to +160°C
Lead Temperature (soldering, 10s) ..... +300°C

Note 1: Input voltage measured with T_{OUT} in high-impedance state, $\overline{SHDN}$ or V_{CC} = 0V.
Note 2: For the MAX220, V+ and V- can have a maximum magnitude of 7V, but their absolute difference cannot exceed 13V.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

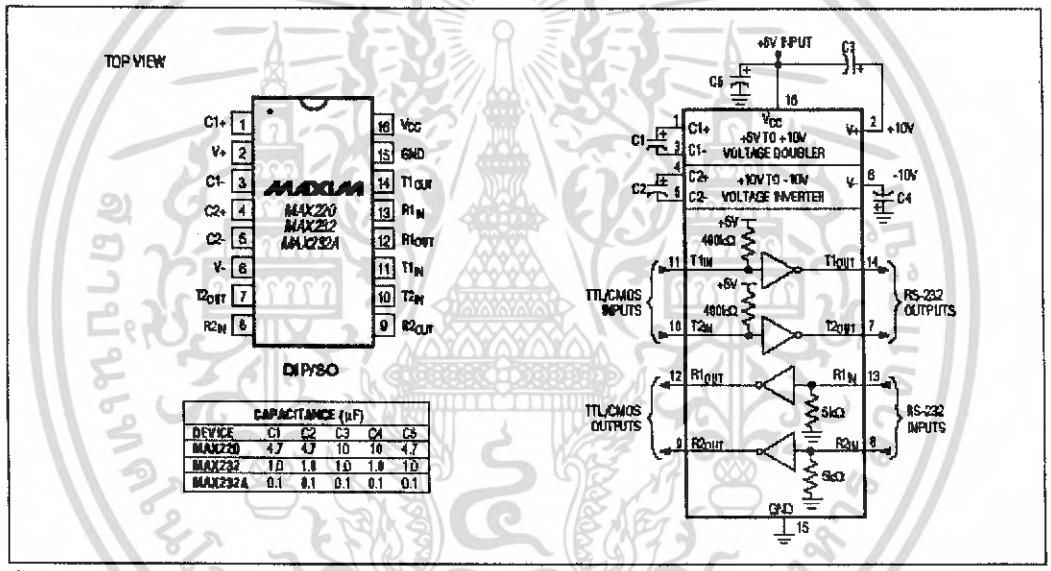


Figure 5. MAX220/MAX232/MAX232A Pin Configuration and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MICROCHIP

PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

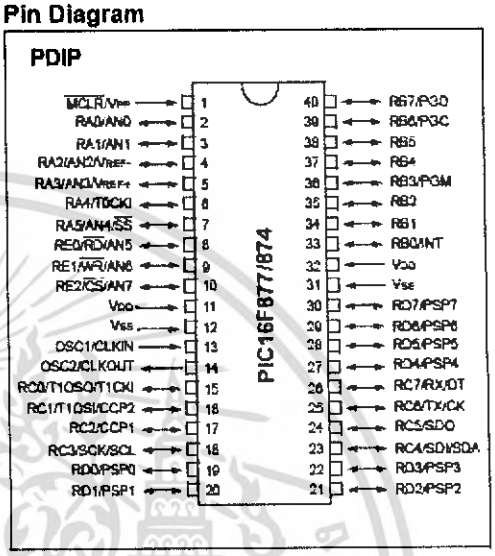
- PIC16F873
- PIC16F874
- PIC16F876
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
  DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
  Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
  Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature ranges
- Low-power consumption:
  - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
  - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
  - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram

PDIP



Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during SLEEP via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

© 2001 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.0 DEVICE OVERVIEW

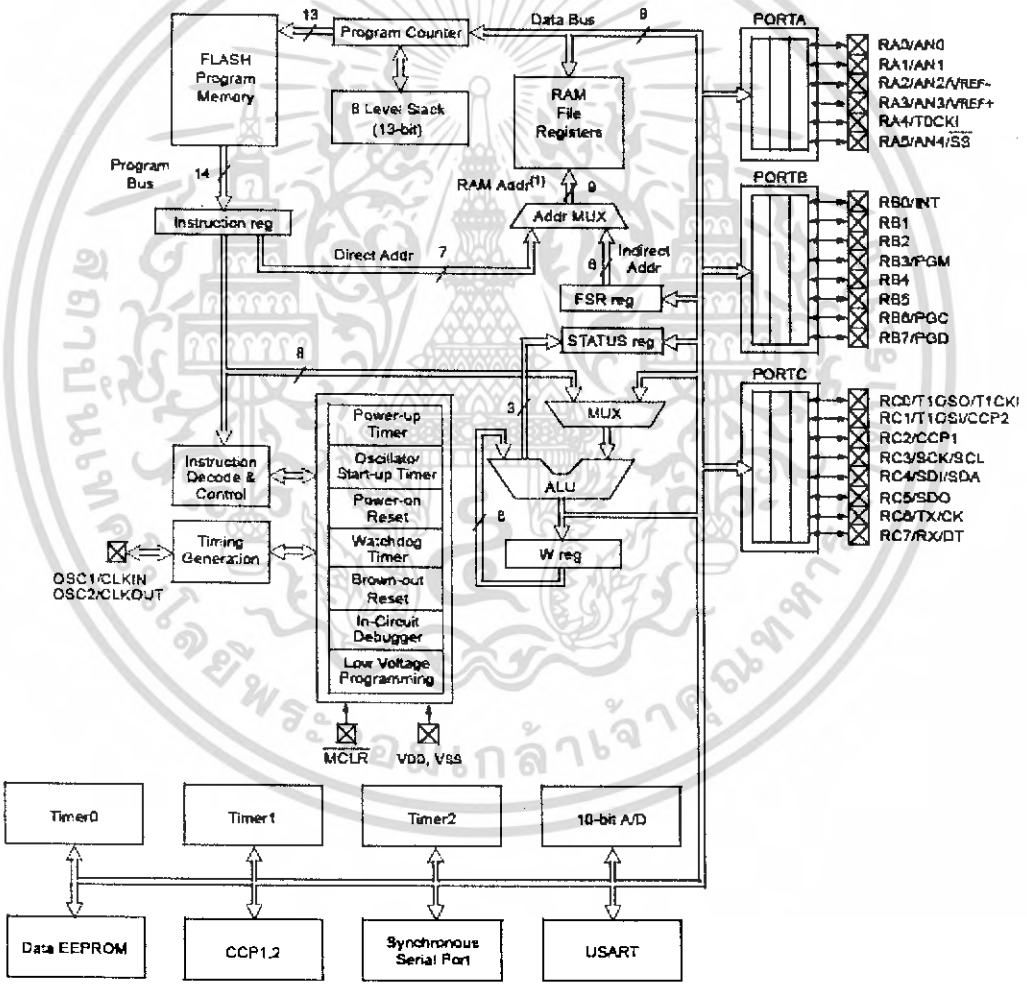
This document contains device specific information. Additional information may be found in the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023), which may be obtained from your local Microchip Sales Representative or downloaded from the Microchip website. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet, and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

There are four devices (PIC16F873, PIC16F874, PIC16F876 and PIC16F877) covered by this data sheet. The PIC16F876/873 devices come in 28-pin packages and the PIC16F877/874 devices come in 40-pin packages. The Parallel Slave Port is not implemented on the 28-pin devices.

The following device block diagrams are sorted by pin number; 28-pin for Figure 1-1 and 40-pin for Figure 1-2. The 28-pin and 40-pin pinouts are listed in Table 1-1 and Table 1-2, respectively.

FIGURE 1-1: PIC16F873 AND PIC16F876 BLOCK DIAGRAM

Device	Program FLASH	Data Memory	Data EEPROM
PIC16F873	4K	192 Bytes	128 Bytes
PIC16F876	8K	368 Bytes	256 Bytes



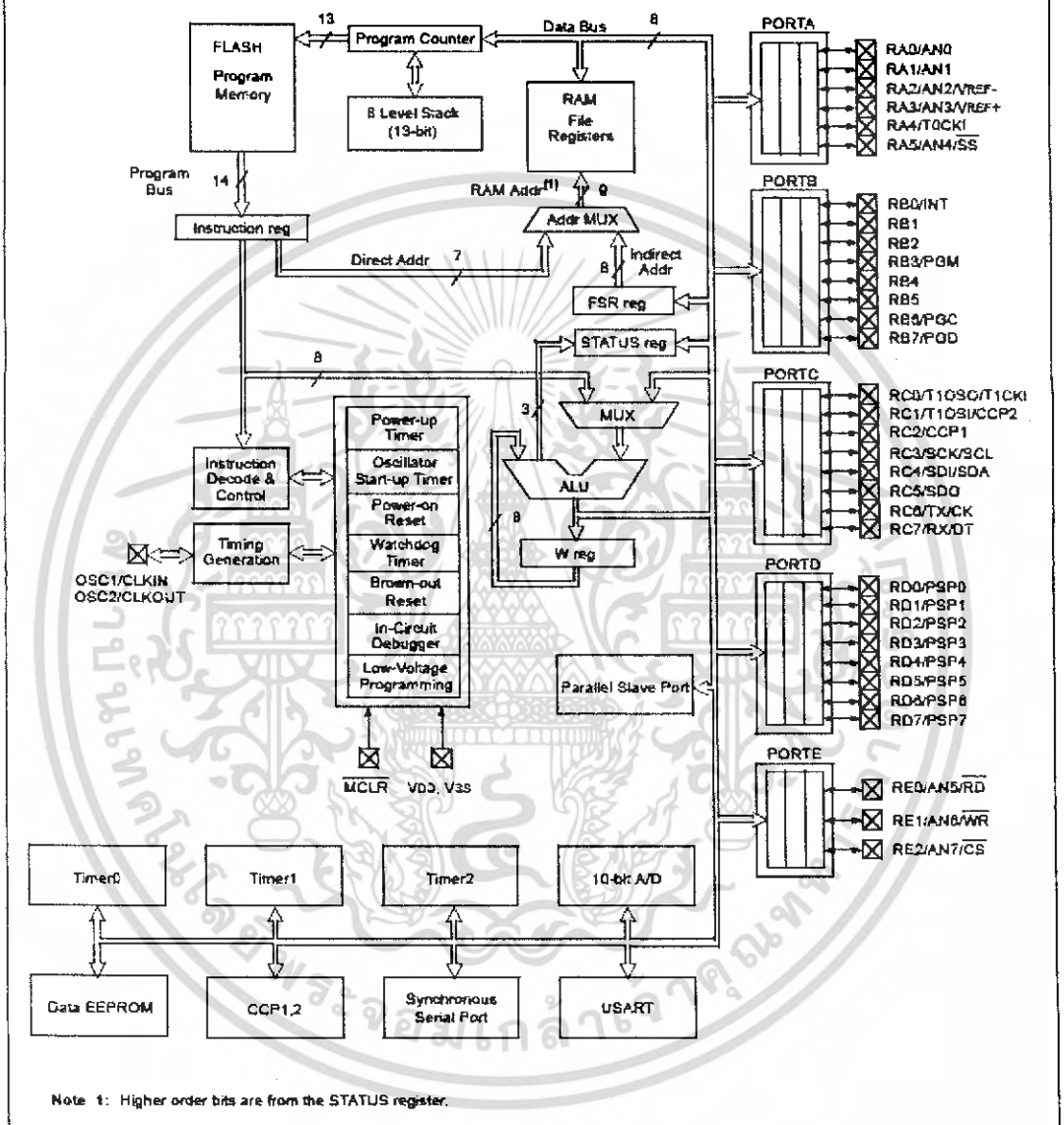
Note 1: Higher order bits are from the STATUS register.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87X

FIGURE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 BLOCK DIAGRAM

Device	Program FLASH	Data Memory	Data EEPROM
PIC16F874	4K	192 Bytes	128 Bytes
PIC16F877	8K	368 Bytes	256 Bytes



Note 1: Higher order bits are from the STATUS register.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	13	14	30	I	ST/CMOS(4)	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	14	15	31	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
$\overline{MCLR}$/VPP	1	2	18	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device.
						PORTA is a bi-directional I/O port.
RA0/AN0	2	3	19	I/O	TTL	RA0 can also be analog input0.
RA1/AN1	3	4	20	I/O	TTL	RA1 can also be analog input1.
RA2/AN2/VREF-	4	5	21	I/O	TTL	RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage.
RA3/AN3/VREF+	5	6	22	I/O	TTL	RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage.
RA4/T0CKI	6	7	23	I/O	ST	RA4 can also be the clock input to the Timer0 timer/ counter. Output is open drain type.
RA5/$\overline{SS}$/AN4	7	8	24	I/O	TTL	RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.
						PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs.
RB0/INT	33	36	8	I/O	TTL/ST(1)	RB0 can also be the external interrupt pin.
RB1	34	37	9	I/O	TTL	
RB2	35	38	10	I/O	TTL	
RB3/PGM	36	39	11	I/O	TTL	RB3 can also be the low voltage programming input.
RB4	37	41	14	I/O	TTL	Interrupt-on-change pin.
RB5	38	42	15	I/O	TTL	Interrupt-on-change pin.
RB6/PGC	39	43	16	I/O	TTL/ST(2)	Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock.
RB7/PGD	40	44	17	I/O	TTL/ST(2)	Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
— = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.
2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).
4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

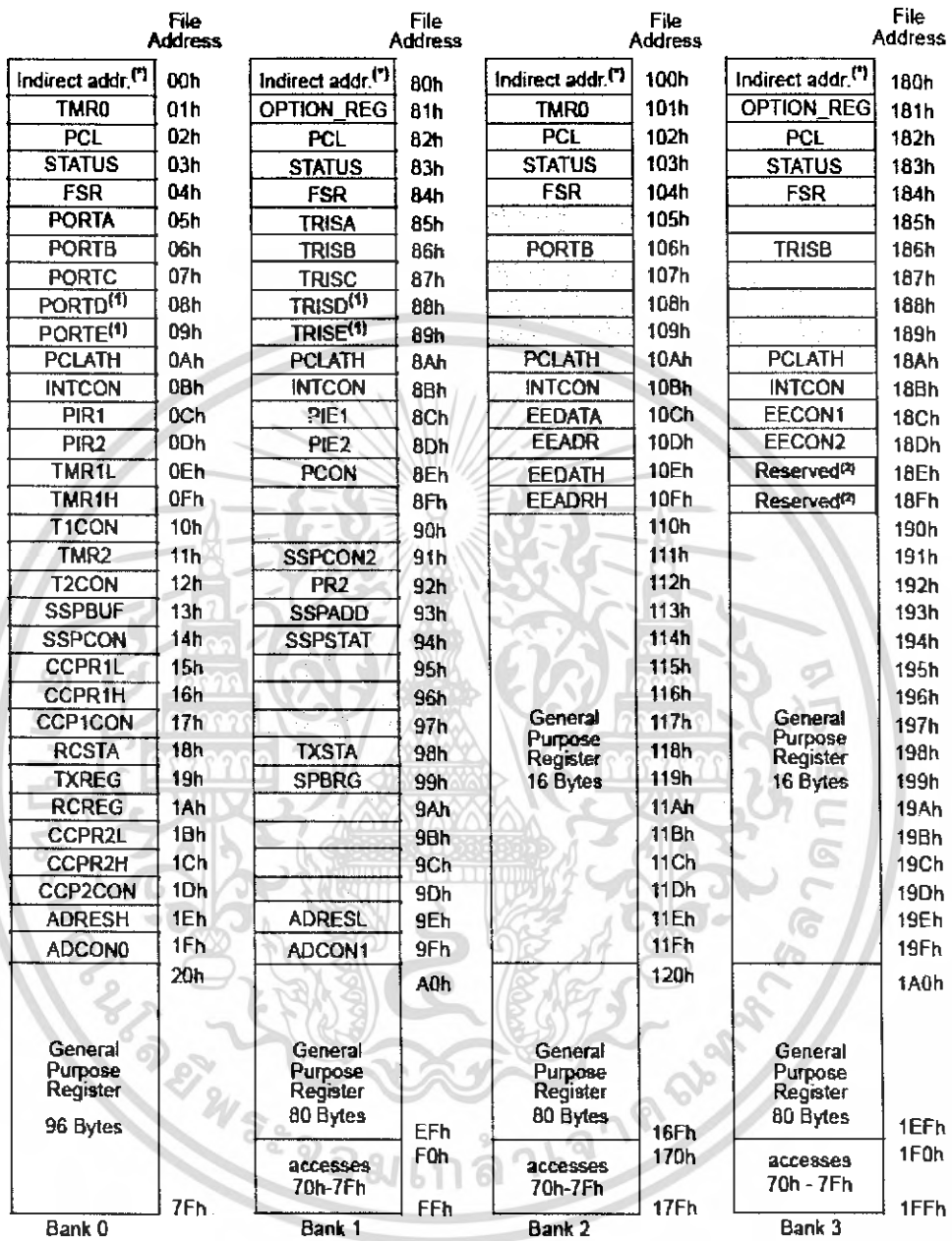
Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
						PORTC is a bi-directional I/O port.
RC0/T1OSO/T1CKI	15	16	32	I/O	ST	RC0 can also be the Timer1 oscillator output or a Timer1 clock input.
RC1/T1OSI/CCP2	16	18	35	I/O	ST	RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output.
RC2/CCP1	17	19	36	I/O	ST	RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.
RC3/SCK/SCL	18	20	37	I/O	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock input/ output for both SPI and I^2C modes.
RC4/SDI/SDA	23	25	42	I/O	ST	RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I^2C mode).
RC5/SDO	24	26	43	I/O	ST	RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode).
RC6/TX/CK	25	27	44	I/O	ST	RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock.
RC7/RX/DT	26	29	1	I/O	ST	RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.
						PORTD is a bi-directional I/O port or parallel slave port when interfacing to a microprocessor bus.
RD0/PSP0	19	21	38	I/O	ST/TTL(3)	
RD1/PSP1	20	22	39	I/O	ST/TTL(3)	
RD2/PSP2	21	23	40	I/O	ST/TTL(3)	
RD3/PSP3	22	24	41	I/O	ST/TTL(3)	
RD4/PSP4	27	30	2	I/O	ST/TTL(3)	
RD5/PSP5	28	31	3	I/O	ST/TTL(3)	
RD6/PSP6	29	32	4	I/O	ST/TTL(3)	
RD7/PSP7	30	33	5	I/O	ST/TTL(3)	
						PORTE is a bi-directional I/O port.
RE0/$\overline{RD}$/AN5	8	9	25	I/O	ST/TTL(3)	RE0 can also be read control for the parallel slave port, or analog input5.
RE1/$\overline{WR}$/AN6	9	10	26	I/O	ST/TTL(3)	RE1 can also be write control for the parallel slave port, or analog input6.
RE2/$\overline{CS}$/AN7	10	11	27	I/O	ST/TTL(3)	RE2 can also be select control for the parallel slave port, or analog input7.
Vss	12,31	13,34	6,29	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	11,32	12,35	7,28	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	1,17,28, 40	12,13, 33,34		—	These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
— = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.
2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).
4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 2-3: PIC16F877/876 REGISTER FILE MAP



Unimplemented data memory locations, read as '0'.
* Not a physical register.

Note 1: These registers are not implemented on the PIC16F876.
2: These registers are reserved, maintain these registers clear.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

March 2000

LM2940/LM2940C
1A Low Dropout Regulator

General Description

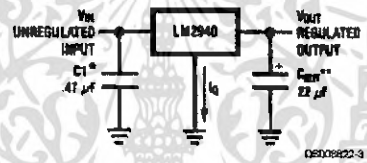
The LM2940/LM2940C positive voltage regulator features the ability to source 1A of output current with a dropout voltage of typically 0.5V and a maximum of 1V over the entire temperature range. Furthermore, a quiescent current reduction circuit has been included which reduces the ground current when the differential between the input voltage and the output voltage exceeds approximately 3V. The quiescent current with 1A of output current and an input-output differential of 5V is therefore only 30 mA. Higher quiescent currents only exist when the regulator is in the dropout mode ($V_{IN} - V_{OUT} \leq 3V$).

Designed also for vehicular applications, the LM2940/LM2940C and all regulated circuitry are protected from reverse battery installations or 2-battery jumps. During line transients, such as load dump when the input voltage can momentarily exceed the specified maximum operating voltage, the regulator will automatically shut down to protect both the internal circuits and the load. The LM2940/LM2940C cannot be harmed by temporary mirror-image insertion. Familiar regulator features such as short circuit and thermal overload protection are also provided.

Features

- Dropout voltage typically 0.5V @I_O = 1A
- Output current in excess of 1A
- Output voltage trimmed before assembly
- Reverse battery protection
- Internal short circuit current limit
- Mirror image insertion protection
- P+ Product Enhancement tested

Typical Application



*Required if regulator is located far from power supply filter.

**C_{OUT} must be at least 22 µF to maintain stability. May be increased without bound to maintain regulation during transients. Locate as close as possible to the regulator. This capacitor must be rated over the same operating temperature range as the regulator and the ESR is critical; see curve.

Ordering Information

Temperature Range	Output Voltage						Package
	5.0	8.0	9.0	10	12	15	
0°C ≤ T_J ≤ 125°C	LM2940CT-5.0		LM2940CT-9.0		LM2940CT-12	LM2940CT-15	TO-220
	LM2940CS-5.0		LM2940CS-9.0		LM2940CS-12	LM2940CS-15	TO-263
−40°C ≤ T_J ≤ 125°C	LM2940T-5.0	LM2940T-8.0	LM2940T-9.0	LM2940T-10	LM2940T-12		TO-220
	LM2940S-5.0	LM2940S-8.0	LM2940S-9.0	LM2940S-10	LM2940S-12		TO-263
−40°C ≤ T_J ≤ 85°C	LM2940IMP-5.0	LM2940IMP-8.0	LM2940IMP-9.0	LM2940IMP-10	LM2940IMP-12	LM2940IMP-15	SOT-223
	LM2940IMPX-5.0	LM2940IMPX-8.0	LM2940IMPX-9.0	LM2940IMPX-10	LM2940IMPX-12	LM2940IMPX-15	SOT-223 in Tape and Reel
SOT-223 Package Marking	L53B	L54B	L0EB	L55B	L56B	L70B	

The physical size of the SOT-223 is too small to contain the full device part number. The package markings indicated are what will appear on the actual device.

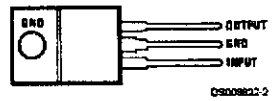
Temperature Range	Output Voltage				Package
	5.0	8.0	12	15	
−55°C ≤ T_J ≤ 125°C	LM2940J-5.0/883 5962-8958701EA	LM2940J-8.0/883 5962-9088301QEA	LM2940J-12/883 5962-9088401QEA	LM2940J-15/883 5962-9088501QEA	J16A
	LM2940WG5.0/883 5962-8958701XA				WG16A

For information on military temperature range products, please go to the Mil/Aero Web Site at http://www.national.com/appinfo/milaero/index.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

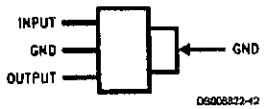
Connection Diagrams

(TO-220) Plastic Package



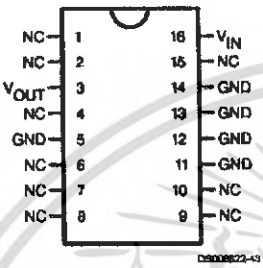
Front View
Order Number LM2940CT-5.0, LM2940CT-9.0, LM2940CT-12, LM2940CT-15, LM2940T-5.0, LM2940T-8.0, LM2940T-9.0, LM2940T-10 or LM2940T-12
See NS Package Number TO3B

3-Lead SOT-223



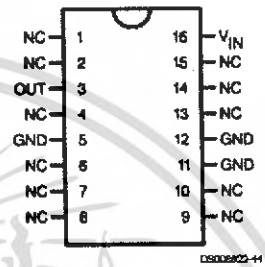
Front View
Order Part Number LM2940IMP-5.0, LM2940IMP-8.0, LM2940IMP-9.0, LM2940IMP-10, LM2940IMP-12 or LM2940IMP-15
See NS Package Number MP04A

16-Lead Dual-In-Line Package (J)



Top View
Order Number LM2940J-5.0/883 (5962-8958701EA), LM2940J-8.0/883 (5962-9088301QEA), LM2940J-12/883 (5962-9088401QEA), LM2940J-15/883 (5962-9088501QEA)
See NS Package Number J16A

16-Lead Ceramic Surface-Mount Package (WG)



Top View
Order Number LM2940WG5.0/883 (5962-8958701XA)
See NS Package Number WG16A

(TO-263) Surface-Mount Package

Top View

Side View
Order Number LM2940CS-5.0, LM2940CS-9.0, LM2940CS-12, LM2940CS-15, LM2940S-5.0, LM2940S-8.0, LM2940S-9.0, LM2940S-10 or LM2940S-12
See NS Package Number TS3B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้