



การประยุกต์คณิตศาสตร์และระบบฝังตัว กรณีศึกษาเครื่องส่งลูกเทนนิส

โดย

นายภูษิต ภูขำนิ

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาคณิตศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

ภาควิชาคณิตศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การประยุกต์คณิตศาสตร์และระบบฝังตัว กรณีศึกษาเครื่องส่งลูกเทนนิส

โดย

นายภูษิต ภูขำนิ

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาคณิตศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

ภาควิชาคณิตศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**AN APPLICATION OF MATHEMATICS AND EMBEDDED SYSTEM: A CASE STUDY OF
A TENNIS BALL SERVING MACHINE**

**By
Puchit Puchumni**

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Mathematics

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2007

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้การค้นคว้าอิสระเรื่อง “การประยุกต์
คณิตศาสตร์และระบบฝังตัว กรณีสึกษาเครื่องส่งลูกเทนนิส” เสนอโดย นายภูจิต ภูขำนิ เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์และเทคโนโลยี
สารสนเทศ

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตั้งกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันท์นภัส โตอดิเทพย์

คณะกรรมการตรวจสอบการค้นคว้าอิสระ

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สืบสกุล อยู่เย็นง)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราณี นิลกรณ)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันท์นภัส โตอดิเทพย์)

...../...../.....

47308304: สาขาวิชาคณิตศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

คำสำคัญ : เครื่อง ส่งลูก อัตโนมัติ ระบบสมองกลฝังตัว

ภูชิต ภูขำนิ : การประยุกต์คณิตศาสตร์และระบบฝังตัว กรณีศึกษาเครื่องส่งลูกเทนนิส
อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ผศ.นันทน์ภัส โตคติเทพย์. 117 หน้า.

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้เสนอวิธีการสร้างเครื่องส่งลูกเทนนิสที่สามารถส่งลูกอย่าง
อัตโนมัติ การส่งลูกอย่างอัตโนมัติเป็นจุดเด่นข้อแรกของเครื่องจักรนี้ และจุดเด่นข้อที่สองคือการ
แบ่งรูปแบบการส่งลูกสำหรับผู้เล่น 3 ระดับ ระดับผู้เริ่มต้น ระดับทั่วไป และระดับอาชีพ
เครื่องมือนี้ทำงานด้วยซอฟต์แวร์ที่ถูกฝังตัวในไมโครคอนโทรลเลอร์ ซอฟต์แวร์สั่งงานกลไก เช่น
สั่งมอเตอร์ให้เดินไปข้างหน้า เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา หมุนตัว และสั่งให้ปล่อยลูกบอล เครื่องมือนี้
สามารถส่งลูกได้ไกลสุด 18 เมตร จึงทำให้สามารถนำเครื่องมือนี้ไปใช้งานได้ในสนามเทนนิสจริง
จึงเป็นต้นแบบของเครื่องส่งลูกเทนนิสที่ทำงานด้วยระบบสมองกลฝังตัวที่ดีและมีประสิทธิภาพ

ภาควิชาคณิตศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ.....

47308304: MAJOR: MATHEMATICS AND INFORMATION TECHNOLOGY

KEY WORD: MACHINE BALL SERVING ATOMATIC EMBEDDED SYSTEM

PUCHIT PUCHUMNI: AN APPLICATION OF MATHEMATICS AND
EMBEDDED SYSTEM: A CASE STUDY OF A TENNISBALL SERVING MACHINE .

AN INDEPENDENT STUDY ADVISOR: ASST. PROF. NUNNAPAD TOADITHEP. 117 pp.

This Independent Study aimed to build the tennis ball serving machine which can serve the ball automatically. The automatic serving is the first outstanding of this machine and the second one is having 3 levels of serving pattern: beginner, middler and expert.

This machine is controlled by software which is embedded in the microcontroller. The software command the part of mechanics in machine to work, such as the motor to move ahead, turn left, turn right, spin and drop the ball. This machine can project the ball for 18 meters long and it can be used in a real tennis court. It is a prototype of the tennis ball serving machine which worked with embedded system.

Department of Mathematics Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2007

Student's signature

An independent study Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ผู้ควบคุมการค้นคว้าอิสระ ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันทน์ภัส โตอดิเทพย์ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเติมเต็มในจุดอ่อนต่างๆ และแก้ไขในส่วนที่บกพร่องจนทำให้การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ในภาควิชาคณิตศาสตร์ ภาควิชาสถิติ และภาควิชาคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ จนทำให้ศิษย์คนนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. จีวีวรรณ รัตนประเสริฐ ครูผู้เป็นแรงบันดาลใจ ในการประยุกต์ใช้คณิตศาสตร์ในงานประจำและการค้นคว้าอิสระฉบับนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์แผนกอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคนครปฐม ที่ให้คำแนะนำในเรื่องต่าง ๆ และอนุเคราะห์ให้ยืมอุปกรณ์ที่จำเป็นในการสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบจนสำเร็จ

ขอขอบคุณ คุณพรเพ็ญ ภูติพันธ์ทรัพย์ น้องรหัสที่เป็นธุระในการตรวจทานและจัดพิมพ์สารนิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ พ่อ แม่และน้องสาวที่คอยเคียงข้าง และสนับสนุนการศึกษา จนทำให้มีมหาบัณฑิตเพิ่มอีกคน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
ขอบเขตของการศึกษา.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
นิยามศัพท์.....	2
2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
ลักษณะในการทำงานและระบบพิทักษ์ของหุ่นยนต์.....	3
หุ่นยนต์ที่มีพื้นที่ในการทำงานเป็นรูปแบบรูปทรงสี่เหลี่ยม.....	3
หุ่นยนต์ที่มีพื้นที่ในการทำงานเป็นแบบรูปทรงกระบอก.....	4
หุ่นยนต์ที่มีพื้นที่ในการทำงานเป็นแบบทรงกลม.....	5
หุ่นยนต์ที่แขนเป็นข้อต่อ.....	5
หุ่นยนต์สกรู.....	5
ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	7
โหมดการทำงานของบอร์ด.....	12
การขับเคลื่อนของอุปกรณ์ทางกลของหุ่นยนต์.....	15
เฟือง.....	15
สายพานและล้อสายพาน.....	18
ลักษณะการขับเคลื่อนด้วยสายพาน.....	18
วัตถุประสงค์ในการขับเคลื่อนด้วยสายพานแบบต่างๆ.....	18
ชนิดของสายพานและล้อสายพาน.....	19

บทที่	หน้า
โม่และล้อโม่.....	20
มอเตอร์กระแสตรง.....	23
มอเตอร์กระแสสลับ.....	25
จุดประสงค์ของการควบคุมมอเตอร์.....	25
วงจรไครเวอร์โดยใช้รีเลย์.....	27
วงจรไครเวอร์โดยใช้ทรานซิสเตอร์.....	29
วงจรไครเวอร์โดยเพาเวอร์มอสเฟต.....	31
วงจรไครเวอร์โดยใช้ IC.....	32
การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง.....	33
เทคนิค PWM.....	34
การเคลื่อนที่ของลูกเทนนิส.....	35
3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	40
ขั้นตอนที่ 1 กำหนดว่าหุ่นยนต์ทำอะไร.....	40
ขั้นตอนที่ 2 กำหนดเงื่อนไขการทำงานของหุ่นยนต์.....	40
ขั้นตอนที่ 3 การเลือกใช้เครื่องมือและวัสดุ.....	42
ขั้นตอนที่ 4 การดำเนินการสร้างอุปกรณ์ทางกลจากทฤษฎี.....	42
การประกอบอุปกรณ์ในส่วนของกลไก.....	43
การกำหนดค่าการสั่งการอุปกรณ์ต่อพ่วง.....	47
การกำหนดค่าตัวแปรควบคุมต่างๆ ที่ต้องการใช้งาน.....	50
การสั่งงานควบคุมอุปกรณ์ต่อพ่วง.....	51
ชุดคำสั่งต่างๆ ที่ใช้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์แต่ละตัว.....	55
4 ผลการวิจัย.....	60
ส่วนที่ 1 การเคลื่อนที่ตามโปรแกรมอัตโนมัติ.....	60
ผลการทดลองของโปรแกรมอัตโนมัติ.....	62
ส่วนที่ 2 การเคลื่อนที่โดยการควบคุมระยะไกล.....	62
ผลการทดลองการเคลื่อนที่โดยการควบคุมระยะไกล.....	62
ส่วนที่ 3 การเปรียบเทียบระหว่างงานวิจัยกับตัวอย่างผลิตภัณฑ์.....	63
ผลการเปรียบเทียบระหว่างงานวิจัยกับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน.....	65

บทที่	หน้า
5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	66
สรุปผลการวิจัย.....	67
อภิปรายผลการวิจัย.....	67
ข้อเสนอแนะ.....	67
จุดเด่นและจุดด้อยภาคใดเวอร์ที่ใช้ร้อยละ.....	68
จุดเด่นและจุดด้อยภาคใดเวอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์.....	68
จุดเด่นและจุดด้อยภาคใดเวอร์ที่ใช้เพาเวอร์มอสเฟต.....	68
ปัญหาและอุปสรรค.....	69
การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์.....	69
บรรณานุกรม.....	70
ภาคผนวก.....	72
ภาคผนวก ก อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน.....	73
ภาคผนวก ข วงจรการทำงาน.....	90
ภาคผนวก ค Data Sheet.....	93
ภาคผนวก ง หนังสือตอบรับการเสนอผลงานวิจัย.....	98
ภาคผนวก จ เกียรติบัตรรางวัลการนำเสนอผลงานวิจัยรูปแบบโปสเตอร์.....	100
ภาคผนวก ฉ โปสเตอร์งานวิจัย.....	101
ภาคผนวก ช ชุดคำสั่งรวมการทำงานของเครื่องส่งลูกเทนนิส	103
ประวัติผู้วิจัย.....	117

สารบัญรูปลภาพ

รูปภาพที่		หน้า
1	หุ่นยนต์ที่มีพื้นที่ในการทำงานเป็นแบบรูปทรงสี่เหลี่ยม.....	4
2	หุ่นยนต์ที่มีพื้นที่ในการทำงานเป็นแบบรูปทรงกระบอก.....	4
3	หุ่นยนต์ที่มีพื้นที่ในการทำงานเป็นแบบรูปทรงกลม.....	5
4	หุ่นยนต์ที่แขนเป็นข้อต่อ.....	5
5	หุ่นยนต์ศคารา.....	6
6	องศาอิสระของการเคลื่อนที่.....	6
7	แสดงส่วนต่างๆ ของหุ่นยนต์เปรียบเทียบกับสรีระของมนุษย์.....	7
8	ตัวถังไมโครคอนโทรลเลอร์.....	8
9	แสดงลักษณะของบอร์ด CP-PIC V4.0.....	10
10	โครงสร้างของบอร์ด CP-PIC V4.0.....	11
11	สวิตช์เลือกโหมด RUN/PROG.....	12
12	แสดงลักษณะของการจัดเรียงสัญญาณของขั้ว 34 PIN.....	14
13	ตัวอย่างเฟืองตรงขนาดต่างๆ.....	16
14	แสดงตัวอย่างของเฟืองหมุนและเฟืองสะพาน.....	16
15	ตัวอย่างของเฟืองเฉียง.....	17
16	การเอาเฟืองประเภทต่างๆ ประกอบกันเป็นขบวนเฟือง (Gear trains).....	17
17	การขับเคลื่อนด้วยสายพานแบบต่างๆ.....	18
18	ชนิดของสายพานแบ่งตามลักษณะหน้าตัดของสายพาน.....	20
19	โซ่และล้อโซ่.....	21
20	ส่วนประกอบของโซ่.....	22
21	ตัวอย่างล้อโซ่ขนาดต่างๆ.....	22
22	แสดงถึงการเกิดแรงบิดในตัว DC มอเตอร์.....	24
23	แสดงการหมุนของมอเตอร์ในทิศทางเมื่อกลับขั้วไฟฟ้าที่ป้อนให้กับ มอเตอร์.....	24
24	โครงสร้างทั่วไปของมอเตอร์กระแสตรง.....	25
25	วงจรจับโดยใช้ Relay.....	27

รูปภาพที่		หน้า
26	กรณี RY 1 ทำงาน.....	28
27	กรณี RY 2 ทำงาน.....	28
28	การต่อวงจรในลักษณะแบบ H-Bridge.....	29
29	กรณีที่ Q1 และ Q3 ทำงาน.....	30
30	กรณีที่ Q2 และ Q4 ทำงาน.....	31
31	วงจรไครเวอร์โดยเพาเวอร์มอสเฟต.....	32
32	วงจรไครเวอร์โดยใช้ IC.....	32
33	PWM signals of varying duty cycle.....	33
34	แสดงสัญญาณกระตุ้นด้วยเทคนิค PWM.....	34
35	การวัดตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์.....	35
36	เส้นทางการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ของอนุภาคทำมุม θ กับแกน x	36
37	การขจัด r ของโปรเจกไทล์ที่มีความเร็วเริ่มต้น v_0	37
38	โปรเจกไทล์เคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นที่ $t = 0$	38
39	แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของโปรเจกไทล์ที่ทำมุม θ ต่างๆ ที่ $v_i = 50\text{ m/s}$	39
40	การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สำหรับผู้เล่นระดับผู้เริ่มต้น.....	41
41	การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สำหรับผู้เล่นระดับทั่วไป.....	41
42	การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สำหรับผู้เล่นระดับอาชีพ.....	41
43	ชุดขับเคลื่อนล้อหน้าส่งผ่านกำลังจากมอเตอร์.....	43
44	ชุดขับเคลื่อนล้อหลัง.....	43
45	การเชื่อมต่อระหว่างมอเตอร์ยกระกกับมอเตอร์ที่ใช้ส่งลูก.....	44
46	ระบบการปล่อยลูกโดยใช้โซลินอยด์.....	44
47	มอเตอร์คู่หน้าสำหรับการส่งลูกเทนนิส.....	45
48	ชุดควบคุมและสั่งการ.....	45
49	อุปกรณ์ต่อพ่วงที่ใช้ในการควบคุม.....	46
50	เครื่องส่งลูกเทนนิสด้านแบบเมื่อมองจากด้านหน้า.....	46
51	เครื่องส่งลูกเทนนิสด้านแบบเมื่อมองจากด้านซ้ายและขวา.....	47
52	ไฟล์ชาร์ตการพัฒนาโปรแกรม.....	51

รูปภาพที่		หน้า
53	โพลีชาร์ตการทำงาน.....	52
54	โพลีชาร์ตการทำงาน Interrupt.....	53
55	ภาพถ่ายชุดควบคุม.....	53
56	การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สำหรับผู้เล่นระดับเริ่มต้น.....	60
57	การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สำหรับผู้เล่นระดับทั่วไป.....	61
58	การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สำหรับผู้เล่นระดับอาชีพ.....	61
59	เครื่องส่งรุ่น SAMSP - 4.....	63
60	เครื่องส่งรุ่น SAM-COACH.....	63
61	เครื่องส่งรุ่น SAM Robot.....	64
62	เครื่องส่งต้นแบบ.....	64
63	การอ่านค่าความต้านทาน.....	74
64	สัญลักษณ์ตัวต้านทานเมื่อต่อแบบอนุกรม.....	74
65	ลักษณะการต่อตัวต้านทานแบบขนาน 2 ตัว.....	75
66	ลักษณะการต่อตัวต้านทานแบบขนานหลายตัว.....	75
67	โครงสร้างของตัวเก็บประจุ.....	76
68	ลักษณะการต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม 2 ตัว.....	77
69	ลักษณะการต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม N ตัว.....	77
70	ลักษณะการต่อตัวเก็บประจุแบบวงจรแบบขนาน.....	77
71	สัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำ.....	78
72	ลักษณะการต่อตัวเหนี่ยวนำแบบอนุกรมหลายตัว.....	79
73	ลักษณะการต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนาน 2 ตัว.....	79
74	ลักษณะการต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนานหลายตัว.....	79
75	โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอด.....	80
76	กราฟคุณสมบัติการทำงานของไดโอด.....	80
77	โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ (ก) NPN (ข) PNP.....	81
78	การนำกระแสของทรานซิสเตอร์.....	81
79	คุณสมบัติของการจัดวงจรแบบต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์.....	82
80	โครงสร้าง สัญลักษณ์และการไบแอสของเจฟेट.....	84
81	โครงสร้างของมอสเฟต.....	84

รูปภาพที่		หน้า
82	โครงสร้างของมอสเฟตแบบดีฟลิชั้น.....	85
83	โครงสร้างของมอสเฟตแบบเอนฮานซ์เมนต์.....	85
84	สัญลักษณ์ของมอสเฟตแบบต่างๆ.....	86
85	วงจรสมมูลของเฟต.....	86
86	การเกิดสนามแม่เหล็ก.....	87
87	โครงสร้างของรีเลย์.....	88
88	สัญลักษณ์ของรีเลย์ในแบบต่างๆ.....	88
89	โครงสร้างของรีดรีเลย์.....	89
90	โครงสร้างของโซลินอยด์.....	89

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมซอฟต์แวร์และเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ กำลังก้าวเข้าสู่ความเป็นสากล ความรู้พื้นฐานทางด้านคณิตศาสตร์และด้านวิทยาศาสตร์เป็นปัจจัยสำคัญที่นำพาความสำเร็จให้อุตสาหกรรมซอฟต์แวร์และเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะด้านซอฟต์แวร์สมองกลฝังตัว (Embedded software) เป็นซอฟต์แวร์ที่อยู่ในอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้อยู่ในชีวิตประจำวัน เช่น อุปกรณ์ในยานยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่ประเทศไทยมีศักยภาพในการแข่งขันในเวทีโลกและสามารถรองรับการพัฒนาอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้ ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำความรู้หลักการทฤษฎีทางวิชาการ/ความรู้เทคนิคเฉพาะสาขา โดยเน้นการนำความรู้พื้นฐานมาประยุกต์ในการออกแบบและพัฒนากลไกการทำงานของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามเป้าหมายที่กำหนด โดยเริ่มจากการศึกษาการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ (Projectile motion) การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Circuit Design) และซอฟต์แวร์สมองกลฝังตัว โดยคำนึงถึงความเหมาะสมและความเป็นไปได้ในการใช้ทฤษฎีไปสู่การปฏิบัติซึ่งจะเกิดทักษะการคิดอย่างมีระบบและเป็นขั้นเป็นตอนและใช้ในการพัฒนาสินค้าในภาคอุตสาหกรรมที่มีความเป็นไปได้หรือเพิ่มมูลค่าให้กับสิ่งประดิษฐ์ ผู้วิจัยคาดว่าเครื่องส่งลูกเทนนิสหรือในอีกชื่อหนึ่งว่า หุ่นยนต์ส่งลูกเทนนิสเป็นสิ่งประดิษฐ์ต้นแบบที่สามารถชี้ให้เห็นถึงความสำคัญระหว่างทฤษฎีไปสู่การปฏิบัติและการใช้ประโยชน์จากผลงานที่พัฒนาขึ้น

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อสร้างสิ่งประดิษฐ์ใหม่เป็นหุ่นยนต์ต้นแบบที่มีการใช้ซอฟต์แวร์สมองกลฝังตัวในการจัดการการเคลื่อนที่ของตัวหุ่นยนต์ ซึ่งจะเป็นช่องทางการพัฒนานวัตกรรม และสินค้าใหม่ๆ ให้กับภาคอุตสาหกรรมโดยหุ่นยนต์ต้นแบบนี้มีความแตกต่างกับเครื่องส่งลูกเทนนิสที่มีจำหน่ายอยู่ในปัจจุบันที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้และมีราคาสูงโดยมีเป้าหมายให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอัตโนมัติภายในสนามเทนนิสและสามารถส่งลูกเทนนิสได้ต่อเนื่อง

ขอบเขตของการศึกษา

การค้นคว้าอิสระครั้งนี้มุ่งศึกษาถึงการสร้างสิ่งประดิษฐ์ใหม่เป็นหุ่นยนต์ต้นแบบที่มีการใช้ความรู้ หลักการ ทฤษฎีทางวิชาการ/ความรู้เทคนิคเฉพาะสาขา โดยเน้นการนำความรู้พื้นฐานไปจนถึงการใช้ ซอฟต์แวร์สมองกลฝังตัวในการจัดการการเคลื่อนไหวของตัวหุ่นยนต์ โดยหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนไหวส่งลูกเทนนิสได้โดยอัตโนมัติภายในสนาม โดยการแบ่งการเคลื่อนไหวตามการเขียนโปรแกรมฝังตัวเพื่อรองรับผู้เล่นสามระดับคือ

1. ระดับผู้เริ่มต้น
2. ระดับทั่วไป
3. ระดับอาชีพ

และสามารถควบคุมการเคลื่อนส่งลูกในระยะเวลาใกล้เคียงระบบควบคุมไร้สาย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อพัฒนาการเรียนรู้จากทฤษฎีไปสู่การปฏิบัติที่สามารถก่อเกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ ที่มีการใช้ซอฟต์แวร์สมองกลฝังตัวเพื่อเป็นต้นแบบหรือใช้เป็นแนวทางพัฒนาการเรียนรู้ของนักศึกษาที่ส่งผลสืบเนื่องไปถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีหลักทางด้านคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์เป็นตัวนำในการพัฒนาที่ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมของไทยจะลดการนำเข้าและพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศตลอดจนเพื่อพัฒนาบุคลากรให้มีความสามารถทัดเทียมกับนานาชาติ และเป็นที่ยอมรับในระดับสากล

นิยามศัพท์

นิยามของหุ่นยนต์ (Robotics definition) คำจำกัดความของหุ่นยนต์ตามมาตรฐาน ISO 8373 เมื่อปี ค.ศ. 1981 โดยมีคำจำกัดความที่สำคัญดังต่อไปนี้คือ “An industrial robot is a reprogrammable, multifunction manipulator designed to move materials, part, tools or special devices through variable programmed motion for the performance of a variety of tasks” ในความหมายในภาษาไทยก็คือ เครื่องจักรกลที่สามารถตั้งโปรแกรมได้หลายๆ ครั้ง รวมทั้งสามารถปฏิบัติได้ในหลายๆ หน้าที่โดยหุ่นยนต์ถูกได้รับการออกแบบมาเพื่อให้หยิบจับ เคลื่อนย้าย วัตถุ อุปกรณ์ เครื่องมือ หรือเครื่องใช้พิเศษต่างๆ โดยอาศัยการควบคุมโปรแกรมการเคลื่อนที่ให้ทำงานได้หลายอย่างตามต้องการ

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

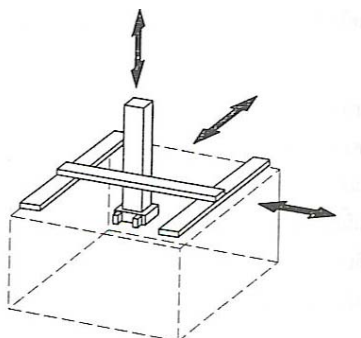
ในการค้นคว้าอิสระนี้ ได้นำความรู้หลักการ ทฤษฎีทางวิชาการ/ความรู้เทคนิคเฉพาะสาขา โดยเน้นการนำความรู้พื้นฐานมาประยุกต์ในการออกแบบและพัฒนากลไก การทำงานของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ในบทนี้จะนำเสนอทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเรียงตามลำดับ ดังนี้

ลักษณะในการทำงานและระบบพิกัดของหุ่นยนต์ (Work Envelopes and Coordinate systems)

พรจิต ประทุมสุวรรณ (2549) อธิบายพฤติกรรมในการทำงานของหุ่นยนต์โดยทั่วไปจะใช้คำว่า Work envelopes มาอธิบายในการทำงาน ซึ่งคำว่า work envelopes ก็หมายถึง พื้นที่ในส่วนที่แขนกล (หุ่นยนต์) สามารถเคลื่อนที่ไปถึงหรือทำงานได้ทุกๆ จุด ในพื้นที่เหล่านั้น และการที่แขนและตัวหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งนี้เอง ในบางครั้งสามารถที่จะนำมาแบ่งประเภทของหุ่นยนต์ได้โดยทางเรขาคณิต ซึ่งรูปทรงเรขาคณิตดังกล่าวจะมีความสอดคล้องกับ work envelopes โดยแบ่งประเภทของหุ่นยนต์ตามการทำงานได้ ดังนี้

1. หุ่นยนต์ที่มีพื้นที่ในการทำงานเป็นรูปแบบรูปทรงสี่เหลี่ยม (Rectilinear or Cartesian robot geometry)

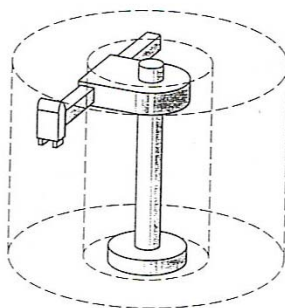
หุ่นยนต์ประเภทแรกเป็นหุ่นยนต์ที่มีพื้นที่ในการทำงานเป็นแบบรูปทรงสี่เหลี่ยม เพื่อความชัดเจนในการอธิบายและทำความเข้าใจสามารถแสดงตัวอย่างด้วยรูป 1 จากรูปเราจะเห็นว่าหุ่นยนต์นั้นสามารถเคลื่อนที่ไปได้ 3 ทิศทางด้วยกันคือ เคลื่อนขึ้นและลง ซ้ายและขวา รวมทั้งหน้าและหลัง หรืออาจเรียกได้ว่าเคลื่อนที่ในแนวแกน x, y และ z ส่วนพื้นที่ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ประเภทอย่างที่เราเห็นในรูปก็คือ จะมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมหรือเป็นรูปกล่องสำหรับการควบคุมหุ่นยนต์ประเภทนี้นั้นค่อนข้างทำได้ง่ายกว่าการควบคุมหุ่นยนต์ประเภทอื่นๆ และส่วนมากจะนำไปใช้ในงานประเภทจับวาง (Pick and place) และงานประกอบชิ้นส่วนต่างๆ



รูป 1 หุ่นยนต์ที่มีพื้นที่ในการทำงานเป็นแบบรูปทรงสี่เหลี่ยม

2. หุ่นยนต์ที่มีพื้นที่ในการทำงานเป็นแบบรูปทรงกระบอก (Cylindrical robot geometry)

หุ่นยนต์ที่มีพื้นที่ในการทำงานเป็นรูปแบบทรงกระบอกนี้นั้นจะมีช่วงหรือระยะของการเคลื่อนที่ได้มากกว่าหุ่นยนต์ที่มีพื้นที่ในการทำงานเป็นรูปแบบรูปทรงสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ก็เพราะว่าแขนของมันสามารถหมุนไปได้รอบฐานรวมทั้งยังสามารถเคลื่อนที่แบบขึ้นลงและไปหน้าหลังได้ เช่นเดียวกับหุ่นยนต์ที่มีพื้นที่ในการทำงานเป็นแบบรูปทรงสี่เหลี่ยมอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าลักษณะพื้นที่ในการทำงานของหุ่นยนต์ประเภทนี้จะป็นแบบทรงกระบอกที่มีแกนอยู่ที่จุดศูนย์กลาง แต่ก็ไม่ได้หมายความว่ามันสามารถที่จะเคลื่อนไปถึงได้ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากขีดจำกัดในเรื่องของโครงสร้างนั่นเอง หุ่นยนต์ประเภทดังกล่าวนี้สามารถแสดงได้ด้วยรูป 2 ต่อไปนี้

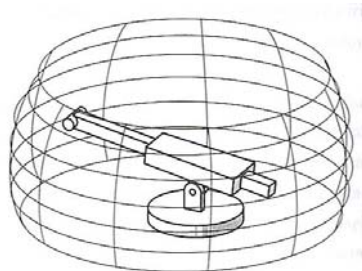


รูป 2 หุ่นยนต์ที่มีพื้นที่ในการทำงานเป็นแบบรูปทรงกระบอก

3. หุ่นยนต์ที่มีพื้นที่ในการทำงานเป็นแบบทรงกลม (Spherical robot geometry)

สำหรับหุ่นยนต์ที่มีพื้นที่ในการทำงานแบบทรงกลมนั้น จะเป็นแบบที่มีความยืดหยุ่นสูงกว่าหุ่นยนต์ทั้งสองแบบที่ผ่านมา ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากช่วงหรือระยะในการเคลื่อนที่ของมัน โดยเฉพาะ

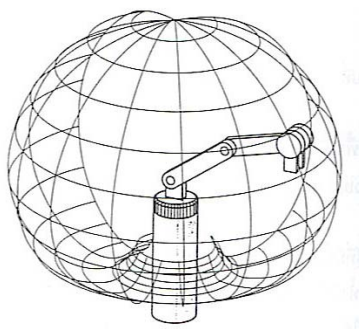
อย่างยิ่งการเคลื่อนที่ขึ้นลงนั้นสามารถปรับลดได้ในลักษณะที่เป็นเชิงมุมจึงทำให้พื้นที่ในการทำงานของหุ่นยนต์ประเภทนี้เป็นแบบทรงกลม



รูป 3 หุ่นยนต์ที่มีพื้นที่ในการทำงานเป็นแบบรูปทรงกลม

4. หุ่นยนต์ที่แขนเป็นข้อต่อ (Joint arm robot)

หุ่นยนต์นี้จะเป็นแบบที่แขนต่อกันด้วยข้อต่อ (Articulated arm) ในรูป 4 เราจะเห็นว่า แขนของหุ่นยนต์ประเภทนี้นั้นจะประกอบด้วยข้อต่อหมุนทั้งหมดซึ่งจะทำให้มีลักษณะคล้ายกับ แขนของคนเรามากที่สุด ดังนั้นความสามารถในการเคลื่อนของมันจึงเหนือกว่าหุ่นยนต์ประเภทอื่นๆ

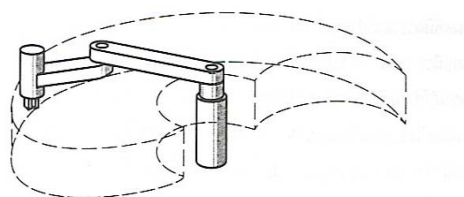


รูป 4 หุ่นยนต์ที่แขนเป็นข้อต่อ

5. หุ่นยนต์สการา (SCARA robot)

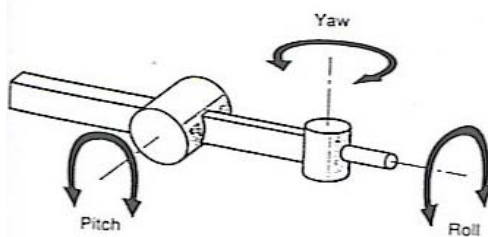
SCARA เป็นคำที่ย่อมาจาก Selective Compliance Assembly Robotic Arm หรือความหมายในภาษาไทยก็คือ การประกอบแขนหุ่นยนต์ที่สามารถเลือก (ตำแหน่งในการทำงาน) ได้ตามความต้องการ หุ่นยนต์ประเภทนี้เป็นหุ่นยนต์ที่แขนเป็นข้อต่อเหมือนกับแบบที่ผ่าน มา แต่แขนจะมีการเคลื่อนที่ในแนวนอนซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของหุ่นยนต์ประเภทนี้ หุ่นยนต์

ประเภทนี้ส่วนใหญ่จะมีแขนสองหรือสามท่อนซึ่งมีการหมุนตัวอยู่ในแนวนอน โดยที่ปลายแขนจะประกอบด้วยอุปกรณ์จับยึด (gripper) ซึ่งสามารถเลื่อนตัวขึ้นลงได้ หุ่นยนต์ประเภทดังกล่าวนี้ถูกคิดค้นขึ้นในประเทศญี่ปุ่นโดยมหาวิทยาลัยยามาซากิ (Yamasaki university) เมื่อปี ค.ศ. 1970

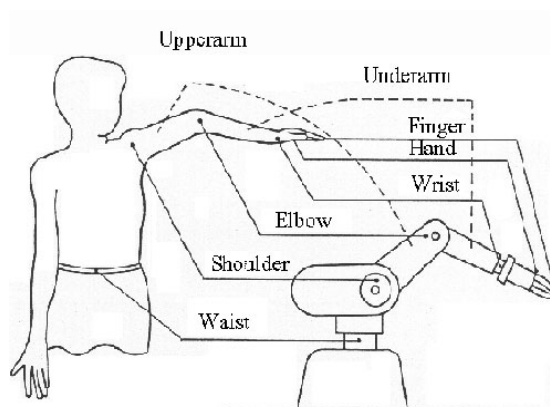


รูป 5 หุ่นยนต์สคารา

หุ่นยนต์หรือแขนกลประเภทต่างๆ ที่ได้กล่าวถึงนั้น เราจะเห็นว่ามีการใช้การเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนขององศาอิสระหรือ DOF (DOF เป็นคำที่ย่อมาจาก Degree Of Freedom) เพื่อความชัดเจนยิ่งขึ้นจึงขอยกตัวอย่างแขนหุ่นยนต์ตัวหนึ่ง ดังรูป 6 จากรูปเราจะเห็นว่ามีองศาอิสระหรือ DOF เท่ากับ 3 กล่าวคือ การเคลื่อนที่ขึ้นลงหรือการตั้ง (pitch) การเคลื่อนที่ออกไปยังด้านข้างหรือการหัน (yaw) และการเคลื่อนที่แบบการหมุน (roll)



รูป 6 องศาอิสระของการเคลื่อนที่



รูป 7 แสดงส่วนต่างๆ ของหุ่นยนต์เปรียบเทียบกับสรีระของมนุษย์

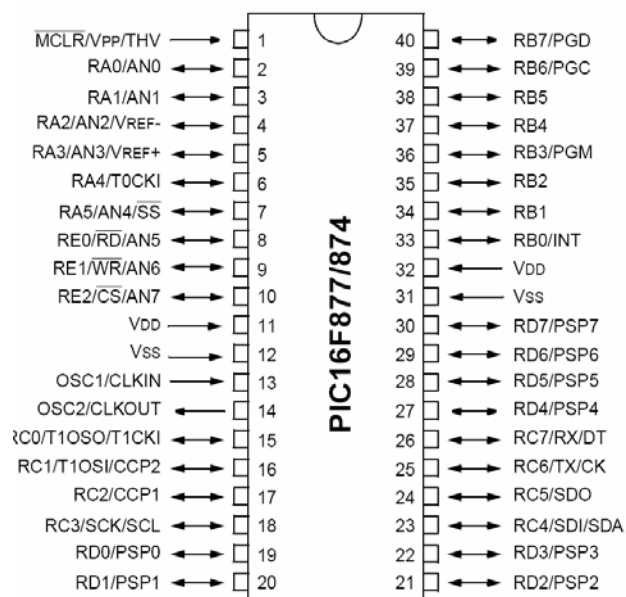
ไมโครคอนโทรลเลอร์

วัชรินทร์ เคารพ(2546) อธิบายว่าไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่มีความสามารถในการใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมที่สามารถโปรแกรมได้ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายเนื่องจาก ใช้งานง่ายและสามารถประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย

ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์

1. หน่วยประมวลผล (Central Processing Unit) เป็นส่วนที่ตัดสินใจเกี่ยวกับการทำงานต่างๆ
2. หน่วยความจำ (Memory) เป็นตัวที่จะเก็บข้อมูลต่างๆ ที่ต้องใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ ไม่ว่าจะเป็นหน่วยความจำโปรแกรมหรือหน่วยความจำข้อมูล โดยหน่วยความจำที่ใช้ได้แก่ ROM, EPROM, EEPROM, RAM รวมทั้งหน่วยความจำแบบ FLASH
3. พอร์ตสัญญาณเข้าและสัญญาณออก (Input / output port) เป็นส่วนที่ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก
4. คุณสมบัติอื่นๆ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีฟังก์ชันพิเศษเพิ่มเติม เช่น Timer counter, Analog to Digital Converter, PWM, Analog Comparator, UART/USART สามารถทำงานได้กว้างและใช้อุปกรณ์ต่อร่วมกับภายนอกน้อยมากและสามารถประมวลคำสั่งได้ใน 1 Clock

ในการค้นคว้าอิสระนี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC (Peripheral Interface Controller) รุ่น CP-PIC16F877 โดยโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นนี้มีขาสัญญาณจะมีทั้งหมด 40 ขา โดยมีการจัดวางตำแหน่งขาสัญญาณต่างๆ ดังรูป 8 (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ค)



รูป 8 ตัวถังไมโครคอนโทรลเลอร์

โดยมีขาสัญญาณที่สามารถนำมาใช้งานเป็น I/O Port รวมทั้งสิ้น 33 เส้นสัญญาณ แบ่งเป็น 5 พอร์ต ได้แก่ พอร์ต A, B, C, D และ E ประกอบด้วยเส้นสัญญาณ

- RA0 – RA5 จำนวน 6 เส้นสัญญาณ
- RB0 – RB7 จำนวน 8 เส้นสัญญาณ
- RC0 – RC7 จำนวน 8 เส้นสัญญาณ
- RD0 – RD7 จำนวน 8 เส้นสัญญาณ
- RE0 – RE2 จำนวน 3 เส้นสัญญาณ

และสรุปคุณสมบัติการทำงานได้ดังตาราง 1

ตาราง 1 คุณสมบัติไมโครคอนโทรลเลอร์ 16F877

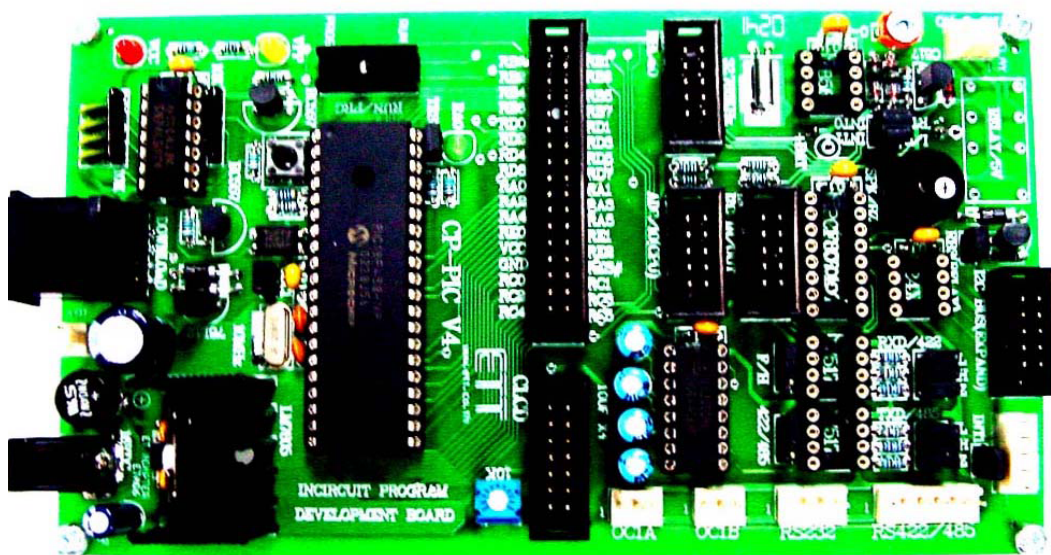
Key Features PICmicro TM Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz
RESETS (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	8K
Data memory (bytes)	368
EEPROM Data Memory	256
Interrupts	14
I/O Ports	Ports A, B, C, D, E
Timers	3
Capture/Compare/PWM Modules	2
Serial Communications	MSSP, USART
Parallel Communications	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	8 input channels
Instruction Set	35 instructions

ลักษณะโดยทั่วไปของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ CP-PIC มีการออกแบบวงจรสำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ I/O ภายนอกอื่นๆ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

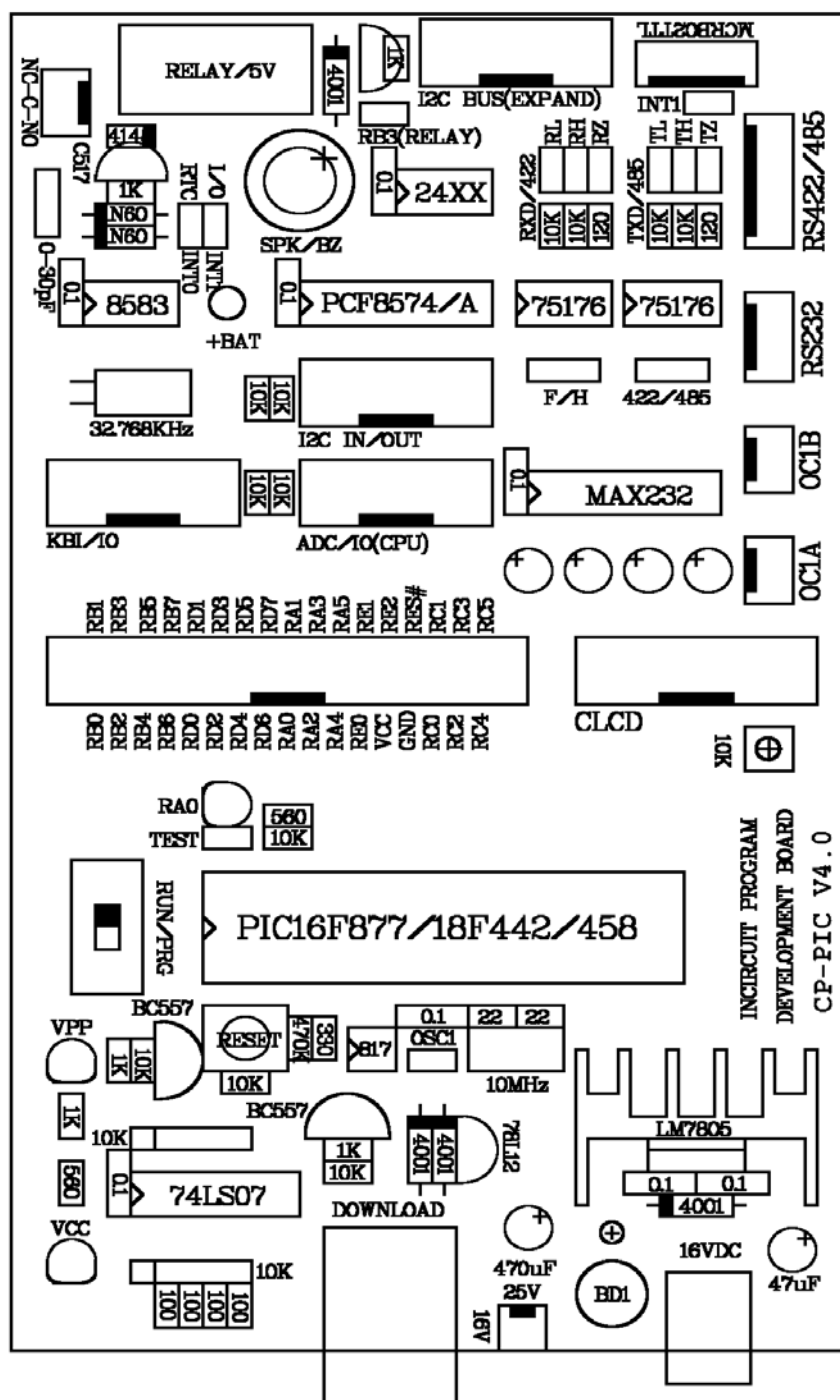
- RS – 232 1 แชนเนล
- RS – 422/458 1 แชนเนล (IC 75176)
- ETT CON 34PIN (ET BUS I/O 34PIN)
- 5 Volt Regulator on Board
- วงจรโปรแกรมแบบ High Voltage ภายในบอร์ด
- ใช้ Adaptor 16VDC
- ADC/DIO (CPU) พอร์ตสำหรับต่ออินพุตอนาลอก 8 Channel
- CLCD 14PIN พอร์ตสำหรับต่อ LCD (4 Bit Data)
- EEPROM ตั้งค่าเบอร์ #2432 ขึ้นไป
- I2C IN/OUT เป็น IC ขยายพอร์ต I/O #PCF8574AP
- KBI/O 10 Pin สำหรับต่อกับ Keyboard หรือใช้เป็น Input/Output Port

- Relay Onboard 5V 1ตัว
- Mini Speaker/Buzzer
- PWM1 ขั้วต่อสำหรับใช้งาน Capture/Compare/PWM ตัวที่หนึ่ง
- PWM2 ขั้วต่อสำหรับใช้งาน Capture/Compare/PWM ตัวที่สอง

(ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ข)



รูป 9 แสดงลักษณะของบอร์ด CP-PIC V4.0



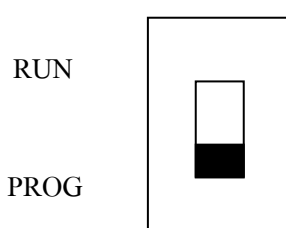
รูป 10 โครงสร้างของบอร์ด CP-PIC V4.0

โหมดการทำงานของบอร์ด

การทำงานของบอร์ด CP-PIC V4.0 นั้น สามารถกำหนดโหมดการทำงานของบอร์ดได้ 2 โหมดการทำงานด้วยกัน คือ โหมดการโปรแกรม (PROG) และโหมดการทำงานปกติ (RUN)

1. การทำงานในโหมดการโปรแกรม (PROG)

ในโหมดนี้จะใช้สำหรับในกรณีที่ต้องการโปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ ในบอร์ด CP-PIC V4.0 นี้ ได้มีการออกแบบในส่วนของการโปรแกรมเป็นแบบ High Voltage Programming ใช้แรงดันในการโปรแกรม 13 โวลต์ ข้อดีของการโปรแกรมแบบนี้คือสามารถใช้งาน I/O Port ได้ครบทุกขา และในการออกแบบได้ใช้ SLIDE SWITCH เพื่อตัดต่อขาสัญญาณที่ใช้ในการโปรแกรม ดังนั้นเมื่อทำงานในโหมดปกติขาสัญญาณต่างๆ ก็จะถูกแยกออกจากวงจรส่วนของการโปรแกรม ดังนั้นจึงสามารถใช้งานขาสัญญาณต่างๆ ได้ครบทั้งหมดการเข้าสู่โหมดของการโปรแกรมทำได้โดยการเลือกตำแหน่ง SLIDE SWITCH (PROG/RUN) มาที่ตำแหน่ง PROG



รูป 11 สวิตช์เลือกโหมด RUN/PROG

2. การทำงานในโหมดทำงาน (RUN MODE)

การทำงานในโหมดนี้ คือ การทำให้ CPU กระทำตามคำสั่งต่างๆ ตามโปรแกรมที่เราได้ออกแบบไว้ซึ่งการเข้าสู่โหมดนี้ ทำได้โดยการเลือกตำแหน่ง SLIDE SWITCH (PROG/RUN) มาที่ตำแหน่ง RUN สวิตช์ Slide ก็จะทำการแยกขาสัญญาณต่างๆ ออกจากวงจรในส่วนของการโปรแกรม ดังนั้นในการใช้งาน I/O Port จึงสามารถนำมาใช้งานได้ครบทั้งหมด

3. ตำแหน่งการทำงานของขาสัญญาณที่สามารถนำมาใช้งานเป็น I/O Port

บอร์ด CP-PIC V4.0 จะใช้ได้กับ CPU เบอร์ 16F877, 18F442 และ 18F458 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การเลือกใช้งาน โดยตัว CPU เหล่านี้จะมีขาสัญญาณที่สามารถนำมาใช้งานเป็น I/O Port ซึ่งในเบอร์ 18F442 และ 18F458 จะมี I/O รวมทั้งสิ้น 34 เส้น ส่วน 16F877 มี 33 เส้น

CPU ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มีหน้าที่ในการทำงานดังนี้

RA0-RA3 และ RA5 ขาสัญญานี้นอกจากจะใช้งานเป็น I/O ปกติได้แล้วยังทำหน้าที่เป็นขาอินพุตของสัญญาณอนาล็อก (AN0-AN4) อีกด้วย ดังนั้นสามารถต่อสายสัญญาณเหล่านี้เข้ากับขั้วต่อ ADC/IO (CPU)

RA4 จะใช้งานในส่วนของแอลซีดี ซึ่งจะต่อเข้ากับขา 6 ของคอนเนคเตอร์ CLCD โดยทำหน้าที่เป็นขา Enable ให้กับแอลซีดี

RA6/OSC2/CLKO เป็นขาสัญญาณที่ทำหน้าที่ในหลายส่วน คือ เป็นขา OSC2 และ CLKO จะนำมาใช้เป็นขาสัญญาณ I/O ได้ก็ต่อเมื่อใช้คริสตัลอสซิลเลเตอร์แบบที่เป็นโมดูลสำเร็จสามารถต่อเข้ากับขา OSC1/CLKIN ได้เลยโดยไม่ต้องต่อกับขา RA6/OSC2 ทำให้ขา RA6 วางและนำไปใช้เป็น I/O ได้ แต่ในงานวิจัยจะใช้งานขา RA6/OSC2 ร่วมกับ OSC1 ในการรับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก ดังนั้นขา RA6 นี้จึงไม่สามารถต่อออกไปใช้งานได้

RB0-RB7 สำหรับขาสัญญาณเหล่านี้จะสามารถใช้งานเป็น I/O ได้ปกติ แต่จะมีคุณสมบัติพิเศษคือ จะมีวงจรพูลอัพ (Pull-Up) ภายในและยังเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัพท์ต่างๆ ดังนี้

- RB0/INT0 เป็นขาสัญญาณอินเทอร์รัพท์ภายนอก 0
- RB1/INT1 เป็นขาสัญญาณอินเทอร์รัพท์ภายนอก 1
- RB2/INT2 เป็นขาสัญญาณอินเทอร์รัพท์ภายนอก 2
- RB3/INT3 เป็นขาสัญญาณอินเทอร์รัพท์ภายนอก 3 (เฉพาะเบอร์ 18F442)
- RB4-RB7 เป็นขาที่สามารถกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัพท์ได้หากมีการเปลี่ยนแปลง

RC0 ขาสัญญาณนี้จะต่อเข้ากับขั้วต่อแอลซีดี (CLCD) โดยจะต่อเข้ากับขา 4 ของคอนเนคเตอร์เพื่อทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณ RS เพื่อควบคุมการทำงานของ LCD

RC1 เป็นขาสัญญาณที่ต่อเข้ากับขั้วต่อ OC1B เพื่อใช้งานในส่วนของขาสัญญาณอินพุตของ Timer 1 หรือใช้เป็นขาสัญญาณในส่วนของ Capture2 input /Compare2 Output/PWM2

RC2 เป็นขาสัญญาณที่ต่อเข้ากับขั้วต่อ OC1A เพื่อใช้เป็นขาสัญญาณในส่วนของ Capture1 input/Compare1 Output/PWM1

RC3 สำหรับขาสัญญาณ RC3 จะใช้ทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณ SCL ในการติดต่อกับอุปกรณ์ I2C Bus และจะต่อเข้ากับขั้วต่อ I2C EXPAND เพื่อขยายพอร์ต I2C BUS

RC4 สำหรับขาสัญญาณ RC4 จะใช้ทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณ SDA ในการติดต่อกับอุปกรณ์ I2C Bus และจะต่อเข้ากับขั้วต่อ I2C EXPAND เพื่อขยายพอร์ต I2C BUS

RC5 จะใช้เป็นสัญญาณควบคุมการรับส่งข้อมูลในการใช้งาน RS485 โดยจะควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่เป็น Line Driver ก็คือ IC 75176

RC6 เป็นขาสัญญาณที่ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูล (TX) ในโหมดการสื่อสารอนุกรม RS232, RS422 และ RS485 โดยจะต่อเข้ากับ IC ที่เป็น Line Driver คือ Max 232 และ 75176

RC7 เป็นขาสัญญาณที่ทำหน้าที่ในการรับข้อมูล (Rx) ในโหมดการสื่อสารอนุกรม RS232, RS422 และ RS485 โดยจะต่อเข้ากับ IC ที่เป็น Line Driver คือ Max 232 และ 75176

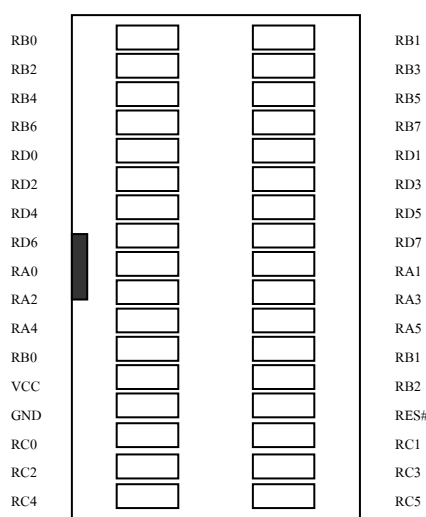
RD0-RD3 สำหรับขาสัญญาณเหล่านี้จะต่อเข้ากับขั้วต่อ KBI/IO เพื่อใช้งานสำหรับการต่อคีย์สวิตช์ 4x4 หรือ 4x3 ซึ่งเมื่อใช้งานเป็นคีย์บอร์ดดังกล่าวจะทำงานร่วมกับพอร์ต RB4-RB7 หรือจะใช้งานเป็น I/O

RD4-RD7 ขาสัญญาณเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณ Data ที่ใช้ติดต่อกับ LCD โดยจะถูกต่อไปที่คอนเน็คเตอร์ CLCD ซึ่งขั้วต่อ LCD ที่ได้ออกแบบนี้จะเป็นแบบ 4 Bit Data ดังนั้นในการรับส่งข้อมูลจะทำผ่านสายสัญญาณทั้ง 4 เส้น คือ RD4-RD7

RE0-RE2 ขาสัญญาณเหล่านี้สามารถใช้งานเป็น I/O ได้ตามปกติ แต่จะมีคุณสมบัติพิเศษคือขาสัญญาณดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นขาอินพุตอนาล็อก (AN5-AN7) เมื่ออยู่ในโหมดของ Analog to Digital โดยสามารถนำไปต่อกับขั้วต่อ ADC/IO (CPU)

4. การใช้งานขั้วต่อ 34PIN (72IOZ80)

ขั้วต่อ Connector ขนาด 34 PIN ของบอร์ด CP-PIC V4.0 นั้น จะมีขั้วแบบ IDE ขนาด 34 PIN ตัวผู้ ซึ่งขั้วต่อนี้ถูกออกแบบไว้สำหรับให้เชื่อมต่อสัญญาณต่างๆ ของ CPU ออกไปใช้งานกับบอร์ดอื่นๆ โดยลักษณะการจัดเรียงสัญญาณเป็นดังนี้



รูป 12 แสดงลักษณะของการจัดเรียงสัญญาณของขั้ว 34 PIN

การขับเคลื่อนของอุปกรณ์ทางกลของหุ่นยนต์

สถาพร ลักษณะเจริญ(2548) กล่าวว่ากลไก (mechanism) ของเครื่องจักรกลหรือแม้กระทั่งหุ่นยนต์ เกิดจากการรวมเอาวัตถุแข็ง (rigid body) หลายๆ ชิ้นเข้าด้วยกัน โดยที่วัตถุเหล่านั้นจะถูกต่อโยงด้วยกันไว้และเคลื่อนที่โดยมีรูปแบบเฉพาะ ทั้งนี้การเคลื่อนที่ของวัตถุหนึ่งจะเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของวัตถุอีกชิ้นหนึ่งเสมอ ซึ่งลักษณะการเคลื่อนที่ของกลไกที่พบเห็นอยู่ทั่วไปมักจะมียู่ 3 ลักษณะด้วยกันกล่าวคือ การเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง (continuous) การเคลื่อนที่ที่มีการหยุดในช่วงระยะเวลาหนึ่งระหว่างรอบของการเคลื่อนที่แล้วมีการเคลื่อนที่ต่อไป (intermittent) และการเคลื่อนที่ที่มีการย้อนกลับในระหว่างรอบของการเคลื่อนที่ (reciprocating) อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนที่ในลักษณะใดก็แล้วแต่ย่อมจะมีการส่งผ่านการเคลื่อนที่ในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งต่อไปนี้เสมอ คือ

- การส่งผ่านการเคลื่อนที่แบบสัมผัสกันโดยตรงระหว่างชิ้นต่อโยงสองชิ้น (Direct contact) ตัวอย่าง เช่น เฟืองกับเฟือง ลูกเบี้ยวกับตัวตาม เป็นต้น
- การส่งผ่านโดยอาศัยชิ้นต่อโยงตัวกลางที่เพิ่มขึ้นมา (Intermediate link) ตัวอย่างเช่น ก้านต่อ (connecting rod) คัปปลิง (coupling) แบบต่างๆ เป็นต้น
- การส่งผ่านโดยอาศัยต่อโยงที่ยืดหดตัวได้ (Flexible connector) ตัวอย่างเช่น สปริงแบบต่างๆ สายพาน เป็นต้น

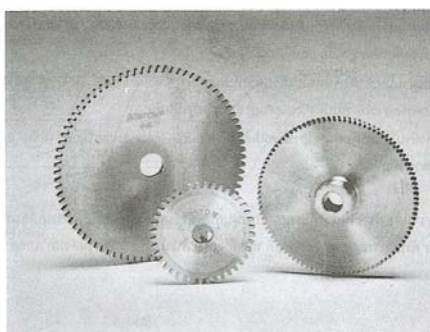
เมื่อความต้องการในการที่จะออกแบบหุ่นยนต์หรือเครื่องจักรกลให้มีการเคลื่อนที่ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ดังนั้นการศึกษาถึงคุณสมบัติ หน้าที่ และการนำไปใช้งานของชิ้นส่วนทางกลต่างๆ จึงเป็นพื้นฐานที่สำคัญโดยแบ่งตามประเภทได้ดังนี้

1. เฟือง (GEARS)

เฟือง ใช้ทำหน้าที่ถ่ายเทโมเมนต์ระหว่างเพลาสองเพลามีระยะระหว่างแกนเพลาน้อยมากจนกว่าโดยการถ่ายเทโมเมนต์ดังกล่าวจะอยู่ในรูปแบบของแรง ด้วยเหตุผลที่ไม่มีการสูญเสียอันเนื่องมาจากสลิป (Slip) จึงมีอัตราทดที่คงที่ เฟืองเหมาะแก่การหมุนตั้งแต่ความเร็วรอบต่ำๆ จนถึงความเร็วรอบค่อนข้างสูงซึ่งทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับว่าเป็นเฟืองชนิดไหนเช่น

1.1 เฟืองตรง (Spur gears)

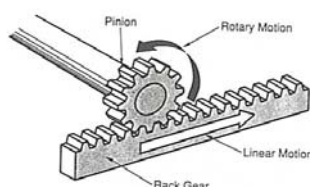
เป็นเฟือง ทำหน้าที่ส่งกำลังและการหมุนจากเพลาก็อีกอันหนึ่งมีขนาดกันและโดยส่วนมากเฟืองขับจะมีขนาดเล็กกว่าเฟืองตามซึ่งมีชื่อเรียกเป็นพิเศษว่า พินิออน (Pinion) ส่วนเฟืองตัวใหญ่จะเรียกว่า เฟือง (gear) แต่อย่างไรก็ตามในการใช้งานในบางโอกาสก็อาจจะใช้เฟืองตัวใหญ่เป็นตัวขับเคลื่อนก็ได้



รูป 13 ตัวอย่างเฟืองตรงขนาดต่างๆ

1.2 เฟืองสะพานและเฟืองหมุน (Rack & Pinion gear)

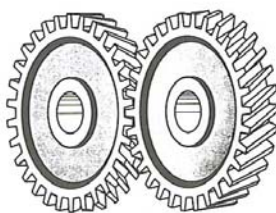
เฟืองสะพานและเฟืองหมุน เป็นชุดเฟืองที่ใช้ในการเปลี่ยนการหมุนให้เป็นการเคลื่อนที่แนวเส้นตรงหรือจากการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงเป็นการหมุน ในกรณีที่เปลี่ยนการหมุนเป็นการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงระยะทางที่ได้จากการเคลื่อนที่สามารถคำนวณได้จากความกว้างและจำนวนฟันของเฟืองที่หมุน (Pinion) ซึ่งในหนึ่งรอบของการหมุนที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงมีค่าเท่ากับ π คูณด้วยเส้นผ่าศูนย์กลางของเฟือง



รูป 14 แสดงตัวอย่างของเฟืองหมุนและเฟืองสะพาน

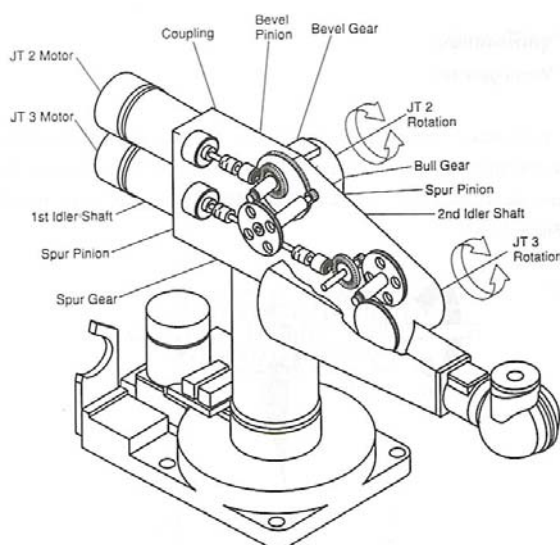
1.3 เฟืองเฉียง (Helical gear)

ในกรณีของเฟืองเฉียง ฟันเฟืองไม่ขนานกับแกนหมุนของเฟืองแต่จะเอียงทำมุมกับเฟือง ดังนั้นแรงที่กระทำต่อฟันเฟืองจึงเป็นแบบสามมิติ มุมที่ฟันเฟืองกับแกนหมุนของเฟืองนี้มีชื่อเรียกว่า มุมฮีลิคซ์ (Helix angle) มุมเฟืองแบบนี้สามารถใช้ส่งกำลังระหว่างเพลาที่ขนานกันหรือที่ทำมุมกันก็ได้ เนื่องจากลักษณะของการสัมผัสของฟันเฟืองนุ่มนวลกว่าของเฟืองฟันตรง จึงทำให้มีเสียงในการทำงานน้อยลง และแรงกระแทกก็ลดลงด้วย ดังนั้นเฟืองฟันเฉียงจึงเหมาะสำหรับการใช้งานที่ความเร็วสูงและส่งกำลังได้มากกว่าเฟืองตรง ความเร็วพิตช์ที่เหมาะสมกับการใช้งานก็คือ ตั้งแต่ 25 m/sec ขึ้นไป



รูป 15 ตัวอย่างของเฟืองเกียร์

จากตัวอย่างของเฟืองที่กล่าวมาจะพบว่าการใช้งานของเฟืองแต่ละประเภทจะขึ้นอยู่กับงานที่ใช้และก่อนจะกล่าวถึงหัวข้อต่อไปเพื่อให้ได้ภาพที่ชัดเจนถึงการเอาเฟืองประเภทต่างๆ ที่ได้กล่าวถึงมาแล้วนั้นไปใช้ประกอบกันเป็นขบวนเฟือง (Gear trains) เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนและส่งกำลังดังตัวอย่างในรูป 16



รูป 16 การเอาเฟืองประเภทต่างๆ ประกอบกันเป็นขบวนเฟือง (Gear trains)

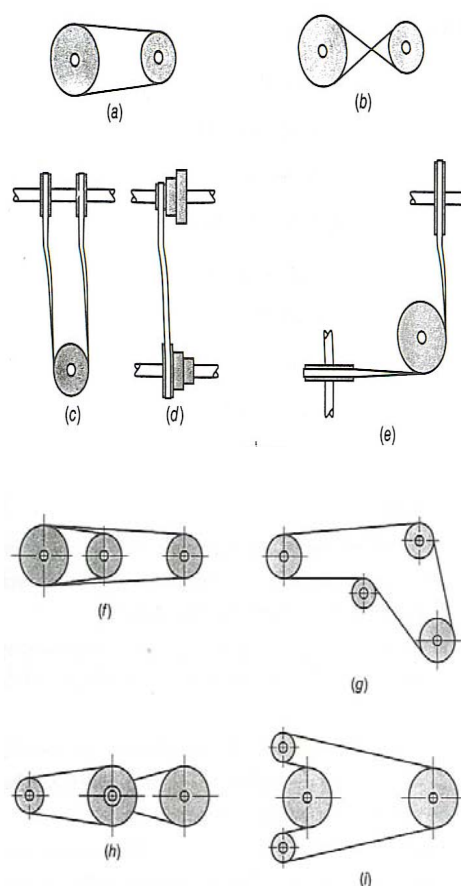
2. สายพานและล้อสายพาน (BELTS AND PULLEYS)

การส่งกำลังทางกลจากเพลานหนึ่งไปยังเพลานี้อีกหนึ่งอาจทำได้ 3 วิธีคือ โดยใช้เฟืองใช้สายพานหรือใช้โซ่ การส่งกำลังโดยใช้สายพานนั้นเป็นการส่งกำลังแบบอ่อนตัวได้ (flexible) ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียหลายประการด้วยกันเมื่อเปรียบเทียบกับ การส่งกำลังโดยใช้เฟือง ข้อดีก็คือ มีราคาถูกและใช้งานง่าย รับแรงกระตุกและสั่นสะเทือนได้ดี ขณะใช้งานไม่มีเสียงดัง ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาค่าต่ำ และที่สำคัญก็คือเหมาะกับการส่งกำลังระหว่างเพลานที่อยู่ห่างกันมากๆ ได้ แต่ถึงอย่างไรการส่ง

กำลังด้วยสายพานก็มีข้อเสียเหมือนกัน กล่าวคือ อัตราทดไม่แน่นอนเนื่องจากการลื่นไหล (slip) และการครีพ (creep) ของสายพานและจะต้องมีการปรับระยะห่างระหว่างเพลาหรือปรับแรงตึงในสายพานระหว่างใช้งาน นอกจากนี้ยังไม่อาจใช้งานกับอัตราทดที่สูงมากได้ โดยทั่วไปมักใช้กับอัตราทดไม่เกิน 1:5

2.1 ลักษณะการขับด้วยสายพาน (Various belt drive configuration)

เนื่องจากคุณสมบัติในการอ่อนตัวของสายพานจึงอาจจัดลักษณะการขับของสายพานได้ต่างๆ กันลักษณะโดยทั่วไปที่นิยมใช้ในการขับด้วยสายพานแสดงได้ด้วยรูป 17 ต่อไปนี้



รูป 17 การขับเคลื่อนด้วยสายพานแบบต่างๆ

2.2 วัตถุประสงค์ในการขับเคลื่อนด้วยสายพานแบบต่างๆ

2.2.1 การขับแบบเปิด (Open drive) ในรูป 17 (a): ใช้เมื่อต้องการขับเพลาที่อยู่ขนานกันและต้องการให้เพลาทั้งสองหมุนไปในทิศทางเดียวกัน และถ้าเพลาอยู่ห่างกันมากควรจะใช้สายพานด้านล่างตึงและด้านบนหย่อน

2.2.2 การขับแบบไขว้ (Crossed drive) ในรูป 17 (b): ใช้เมื่อต้องการให้เพลาททั้งสอง หมุนสวนทางกันแต่การขับในลักษณะนี้จุดที่สายพานไขว้กันจะทำให้สายพานเสียดสีกันทำให้สายพานเกิดการสึกหรอมากจึงควรให้จุดศูนย์กลางของล้อสายพานอยู่ห่างกันไม่น้อยกว่า 20 เท่าของความกว้างสายพานและทำงานที่ความเร็วสายพานไม่เกิน 15m/sec

2.2.3 การขับแบบกึ่งไขว้ (Quarter turn drive) ดังรูป 17 (c): ใช้เมื่อเพลาททั้งสองตั้งฉากกัน และเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้สายพานหลุดออกจากล้อสายพานในขณะใช้งานจึงต้องใช้ล้อสายพานที่กว้างเพียงพอ โดยทั่วไปจะต้องกว้างกว่าความกว้างของสายพานไม่น้อยกว่า 1.4 เท่า และก่อนใช้งานจะต้องทดสอบก่อนเสมอ

2.2.4 การขับแบบกรวยชั้น (Stepped cone drive) ดังรูป 17 (d): ใช้เมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการใช้งาน ซึ่งสามารถกระทำได้โดยการเปลี่ยนสายพานไปยังชุดล้อสายพานที่มีอัตราทดตามที่ต้องการ

2.2.5 การขับหักมุมโดยมีลูกกลิ้งเบนทิศทาง (Mule drive) ดังรูป 17(e): ใช้เมื่อเพลาททั้งสองตั้งฉากกัน การขับแบบนี้จะต่างกับการขับแบบกึ่งไขว้ในรูป 17 (c) คือ เพลาทที่ตั้งฉากกันนั้นไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกัน

2.2.6 การขับแบบตามกันไป (Tandem drive) ดังรูป 17 (f): จะมีลักษณะเหมือนกับการขับแบบเปิดแต่การขับแบบนี้ล้อขับที่อยู่แกนเดียวกัน (หรือล้อขับที่มีหลายร่อง) สามารถต่อสายพานขับล้อสายพานที่อยู่ในแนวเดียวกันแต่ระยะต่างกันให้หมุนตามไปด้วยกันได้

2.2.7 การขับหลายเพลาท (Multiple drives) ในรูป 17 (g): ใช้เมื่อต้องการขับเพลาทหลายๆ แกน นอกจากนั้นยังอาจนำมาใช้เมื่อไม่สามารถที่จำทำให้สายพานดึงด้วยวิธีการอย่างอื่นซึ่งทั้งนี้อาจทำได้โดยใช้ล้อช่วย (idler)

2.2.8 การขับแบบอนุกรม (Series drive) ดังรูป 17 (h): ลักษณะของการขับจะเหมือนกับการขับแบบเปิดมาต่ออนุกรมกันกล่าวคือ ล้อขับในแกนที่หนึ่งจะเป็นต้นกำลังให้ล้อขับในแกนที่สองและล้อขับในแกนที่สองก็เป็นต้นกำลังให้ล้อขับในแกนที่สาม เป็นต้น

2.2.9 การขับแบบกลับทาง (Reverse drive) ในรูป 17 (i): ใช้เมื่อต้องการกลับทางหมุนเพลาทที่อยู่ในแกนเดียวกันโดยไม่ต้องไขว้สายพาน หรืออาจนำไปใช้ในการส่งกำลังไปยังเพลาทหลายๆ อันพร้อมกันก็ได้

2.3 ชนิดของสายพานและล้อสายพาน (Types of belt and pulley)

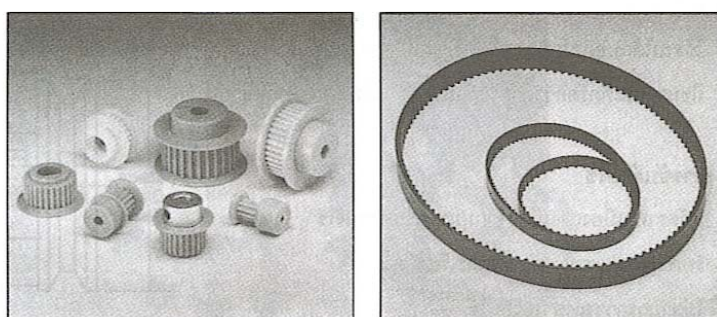
สายพานสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิดด้วยกันตามลักษณะหน้าตัดของสายพาน คือ สายพานแบน (Flat belt) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สายพานลิ้ม (V-belt) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สายพานกลม (ropes) มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม และสายพานไทม์มิ่ง (timing belt) มี

หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูแต่จะทำเป็นร่องคล้ายฟันเพื่อลดความยาวของสายพาน ทั้งนี้สายพานแต่ละชนิดจะมีลักษณะในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป

2.3.1 สายพานแบนและล้อสายพาน : สายพานแบนจะผลิตจากหนัง สิ่งทอ หรือทำจากชั้นต่างๆ ของหนังและเส้นใยหลายๆ ชั้น สายพานแบนสามารถนำมาใช้งานในลักษณะไขว้หรือกึ่งไขว้ได้ แต่การสึกหรอของสายพานดังกล่าวจะเกิดขึ้นมากกว่าการใช้สายพานขับในลักษณะแบบเปิด (open drive)

2.3.2 สายพานลิ่มและล้อสายพาน : สายพานลิ่มส่วนใหญ่จะผลิตแบบไม่มีปลาย (เป็นวง) เป็นสายพานที่ทำจากยางโดยจะมีฝ้ายหรือผ้าใบเป็นไส้ภายในและมียางหุ้มอยู่ภายนอก ยางที่ใช้หุ้มจะเป็นยางที่อบด้วยกำมะถันในอุณหภูมิสูง (vulcanized) สายพานแบบนี้ใช้ส่งกำลังได้ค่อนข้างมากทั้งนี้ก็เพราะผลจากการเกาะยึดตัวกันระหว่างด้านข้างของสายพานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดีเหมาะกับการใช้งานในกรณีที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางน้อย

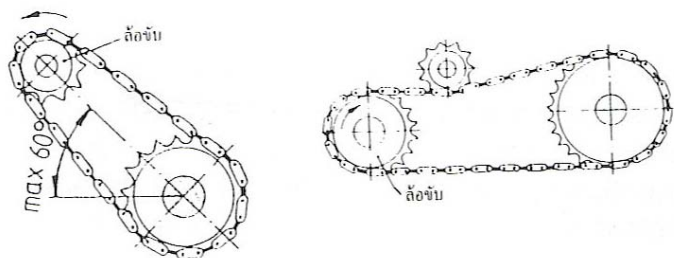
2.3.3 สายพานไทม์มิ่งและล้อสายพาน : ในการส่งถ่ายโมเมนต์การหมุนจะเกิดจากการขบของฟันขับของสายพานเข้าไปในฟันล้อเพื่อทำให้ไม่มีการลื่นไถลในขณะส่งกำลังอัตราทดจึงคงที่สม่ำเสมอจึงนิยมนำมาใช้ในเครื่องจักรกลหรือหุ่นยนต์ที่ต้องการความแม่นยำในการควบคุมตำแหน่ง สายพานฟันขับนี้จะผลิตแบบไม่มีปลาย (เป็นวง) ใช้พลาสติกยูเรเทนหรือยางคุณภาพสูงหล่อขึ้นรูปโดยเสริมด้วยเส้นลวดเกลียวเหล็กกล้าที่ทำหน้าที่รับแรงดึงได้ดี เนื่องจากสายพานฟันขับใช้แรงในการดึงสายพานน้อยจึงทำให้เพลารับภาระน้อยไปด้วย



รูป 18 ชนิดของสายพานแบ่งตามลักษณะหน้าตัดของสายพาน

3. โซ่และล้อโซ่ (CHAIN AND SPROCKET)

การขับเคลื่อนที่เป็นที่นิยมอย่างมากแบบหนึ่ง ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากมีลักษณะคล้ายกับการขับเคลื่อนด้วยสายพาน โซ่จะคล้องอยู่กับเฟืองโซ่หรือล้อโซ่ (Sprocket) ซึ่งติดอยู่บนเพลารับและเพลาดำเนินการทดของการขับเคลื่อนขึ้นอยู่กับขนาดของล้อโซ่ทั้งสอง และการขับเคลื่อนโซ่จะไม่มีการลื่นไถลเกิดขึ้นระหว่างโซ่กับล้อโซ่



รูป 19 โซ่และล๊อคซ์

ข้อดีของการขับด้วยโซ่

- ไม่มีการลื่นไถลในขณะส่งกำลังเหมือนสายพานทำให้ได้อัตราทดที่แน่นอน
- ไม่จำเป็นต้องมีแรงดึงขึ้นต้นในโซ่ด้านดึงเหมือนกับสายพานทำให้อายุการใช้งานของรองเพลาหรือแบร็งเพิ่มมากขึ้น
- ใช้งานได้กับอุณหภูมิสูง หรือบริเวณที่มีความชื้นฝุ่นละออง
- มีขนาดกะทัดรัดกว่าสายพานเมื่อใช้งานด้วยอัตราทดที่เท่ากัน

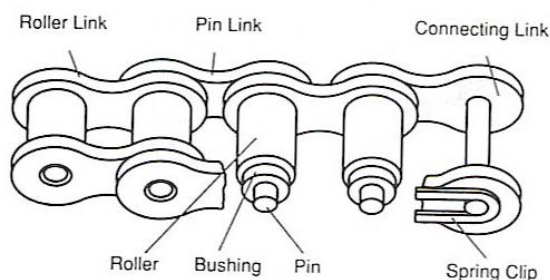
ข้อเสียของการขับด้วยโซ่

- มีอัตราทดที่เป็ยเบนเนื่องจากมุมของข้อต่อของโซ่
- รับภาระกระแทกและการสั่นสะเทือนได้น้อย
- ไม่สามารถวางเพลาไขว้กันได้
- ต้องมีการหล่อลื่นและเสียงดัง
- มีราคาสูงกว่าการขับด้วยสายพาน

สิ่งจำกัดในการส่งกำลังด้วยโซ่เมื่อใช้งานด้วยความเร็วปานกลางจนถึงความเร็วสูงก็คือ การสึกหรอของข้อต่อและความต้านแรงล้า (Fatigue strength) ของวัสดุชิ้นส่วนโซ่ นอกจากนี้แล้วถ้าใช้งานด้วยความเร็วสูงจะต้องคำนึงถึงแรงที่จะเกิดขึ้นในโซ่ด้วย และหากการหล่อลื่นไม่ดีพอก็จะเป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้โซ่สึกหรอได้มาก

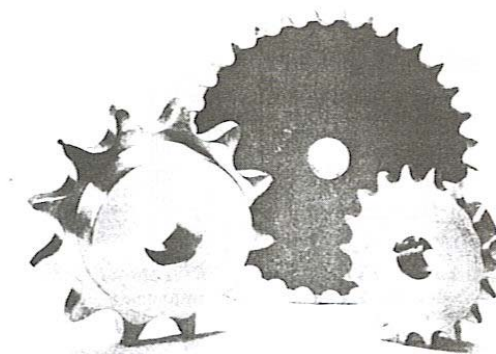
โซ่มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน แต่ในที่นี้จะขอกล่าวถึงแบบที่ธรรมดาและพบเห็นกันบ่อยมากที่สุดก็คือ โซ่ลูกกลิ้งและโซ่บุช (Roller and bushed chain) โซ่ดังกล่าวจะประกอบด้วยแผ่นปิดข้างโซ่ด้านนอกและด้านในที่ยึดด้วยบุชเข้าด้วยกันดังรูป 20 โซ่ลูกกลิ้งที่มีใช้งานส่วนใหญ่จะมีลูกกลิ้งที่ชุบแข็ง

รื้ออยู่ในนุซ (หมุนได้) ลูกกลิ้งนี้จะช่วยลดแรงเสียดทานและการสึกหรอของด้านข้างของล้อยโซ่ในขณะที่ยล้อยโซ่ขับเคลื่อนและมีเสียงดังน้อยเมื่อความเร็วโซ่สูง โซ่ลูกกลิ้งตามมาตรฐานจะนำมาใช้งานได้ถึงความเร็ว 30m/sec



รูป 20 ส่วนประกอบของโซ่

ล้อยโซ่จะมีขนาดเล็กและใหญ่แตกต่างกันออกไปโดยจะสัมพันธ์กับภาระที่ใช้งาน ดังนั้นล้อยโซ่จึงผลิตจากวัสดุและวิธีการที่ต่างกัน เช่น ล้อยโซ่ขนาดเล็กจะผลิตโดยการกลึงเหล็กกล้ารีดขึ้นรูป ส่วนล้อยโซ่ขนาดใหญ่จะนิยมทำการยึดคูล้อย (Hub) กับแผ่นล้อยด้วยสกรูหรือการเชื่อมประสานสำหรับล้อยโซ่ขนาดใหญ่มากๆ จะใช้วิธีการหล่อขึ้นรูป



รูป 21 ตัวอย่างล้อยโซ่ขนาดต่างๆ

4. มอเตอร์

มอเตอร์เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้ไปเป็นพลังงานกลได้ ประกอบด้วยขดลวดที่พันรอบแกนโลหะที่วางอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กโดยเมื่อกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดที่อยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กจะทำให้ขดลวดหมุนไปรอบแกนและเมื่อสลับขั้วไฟฟ้า การหมุนของ

ขดลวดจะหมุนกลับทิศทางเดิมมอเตอร์ มี 2 ประเภท คือ มอเตอร์กระแสตรงและมอเตอร์กระแสสลับ

4.1 มอเตอร์กระแสตรง (DC MOTOR)

DC มอเตอร์เป็นทรานสดิวเซอร์แรงบิดซึ่งมีคุณลักษณะพิเศษคือแรงบิดของเพลลาของ DC มอเตอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสอาร์มาเจอร์ แรงบิดของเพลลาของ DC มอเตอร์จะได้จากผลระหว่างสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ หลักการนี้แสดงได้ในรูป ในที่นี้กระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำจะสร้างสนามที่ประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก Φ และขดลวดตัวนำเหล่านี้อยู่ห่างจากศูนย์กลางการหมุนเท่ากับ r ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลลาและกระแสเท่ากับ

$$T = K\Phi I \quad (1)$$

เมื่อ T คือ แรงบิดของเพลลา มีหน่วยเป็นนิวตัน-เมตร

Φ คือ เส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเวเบอร์

I คือ กระแสเป็นแอมแปร์

K คือ ค่าคงตัว

ดังนั้นแรงบิดของเพลลาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็กและกระแส เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดโวลต์เตจตกคร่อมตัวมันเอง โวลต์เตจนี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของเพลลาของมอเตอร์และด้านการไหลของกระแส ความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์เตจ ข้อนกลับนี้และความเร็วของเพลลามอเตอร์ คือ

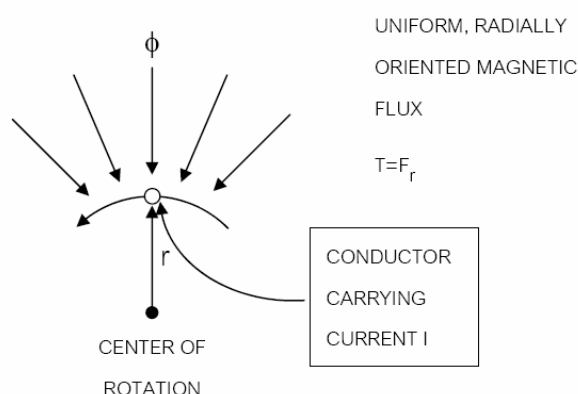
$$E = K\Phi\omega \quad (2)$$

เมื่อ E คือ โวลต์เตจข้อนกลับ emf มีหน่วยเป็นโวลต์

Φ คือ เส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเวเบอร์

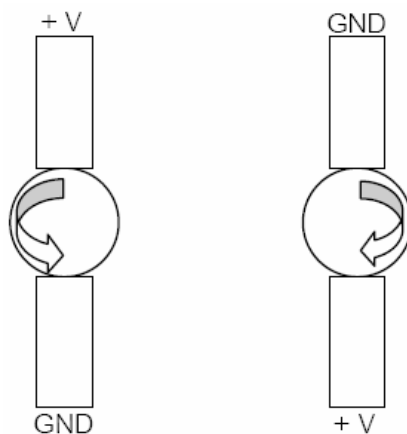
ω คือ ความเร็วของมอเตอร์ มีหน่วยเป็นเรเดียน/วินาที

สมการ (1) – (2) เป็นสมการที่แสดงถึงหลักการทำงานพื้นฐานของ DC มอเตอร์



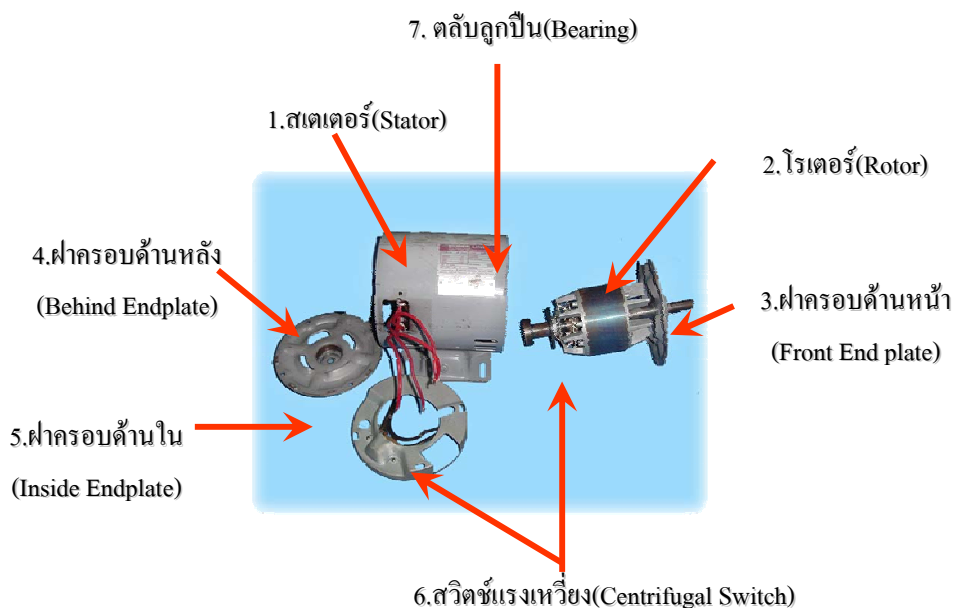
รูปที่ 22 แสดงถึงการเกิดแรงบิดในตัว DC มอเตอร์

การทำให้มอเตอร์กระแสตรงทำงานสามารถทำได้โดยป้อนความต่างศักย์แล้วทำให้กระแสไหลผ่าน มอเตอร์กระแสตรง โดยการหมุนจะหมุนเป็น C.W. หรือ C.C.W. ก็จะเป็นขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ที่เป็นบวกให้กับขั้วไหน



รูปที่ 23 แสดงการหมุนของมอเตอร์ในทิศทางเมื่อกลับขั้วไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์

ในการควบคุมสามารถใช้วงจรสวิตช์โดยใช้ Power BJT หรือ Power MOSFET เป็นตัวสวิตช์เพื่อสั่งให้มอเตอร์ทำงาน



รูป 24 โครงสร้างทั่วไปของมอเตอร์กระแสตรง

4.2 มอเตอร์กระแสสลับ (AC MOTOR)

โดยใช้หลักการทำงานหรือโครงสร้างโดยทั่วไปนั้นจะอาศัยการวิธีการผ่านกระแสให้กับขดลวดในสนามแม่เหล็กซึ่งคล้ายคลึงกันกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แต่จะแตกต่างกันที่แรงดันไฟที่ใช้กล่าวคือ เป็นมอเตอร์ที่ต้องใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้หลักการดูดและผลักกันของแม่เหล็กถาวรกับแม่เหล็กไฟฟ้าจากขดลวดมาทำให้เกิดการหมุนของมอเตอร์ข้อควรระวังในการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีมอเตอร์เป็นส่วนประกอบ คือ ห้ามใช้เครื่องใช้ประเภทนี้ในช่วงที่ไฟตกหรือแรงดันไฟฟ้าไม่ถึง 220 โวลต์ เนื่องจากมอเตอร์จะไม่หมุนและทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าดันกลับจะทำให้ขดลวดร้อนจัดจนเกิดไหม้เสียหายได้ ขณะที่มอเตอร์กำลังหมุนจะเกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้าขึ้นทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าช้อนขึ้นภายในขดลวดแต่มีทิศทางตรงกันข้ามกับกระแสไฟฟ้าที่มาจากแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าเดิม ทำให้ขดลวดของมอเตอร์ไม่ร้อนจนเกิดไฟไหม้ได้ ในการควบคุมการหมุนของ AC MOTOR สามารถศึกษาได้จากตำราการควบคุมมอเตอร์กระแสสลับโดยทั่วไป

4.3 จุดประสงค์ของการควบคุมมอเตอร์

ความรู้ทางเทคนิคเฉพาะสาขาเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการจัดทำโครงสร้างทางกายภาพของหุ่นยนต์ ซึ่งส่งผลสืบเนื่องไปยังระบบฝังตัวโดยจุดประสงค์หลักของการควบคุมมอเตอร์มีดังนี้

- เพื่อเริ่มเดินมอเตอร์ (Starting)

- เพื่อหยุดมอเตอร์ (Stopping)
- เพื่อกลับทางหมุน (Reversing)
- เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ (Control)
- เพื่อควบคุมความเร็ว (Speed Control)
- เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน (Safety of Operator)

การควบคุมมอเตอร์แบ่งตามลักษณะอุปกรณ์ควบคุมให้มอเตอร์ทำงานแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ

1. การควบคุมด้วยมือ (Manual Control) เป็นการสั่งงานให้อุปกรณ์ควบคุมทำงานโดยใช้ผู้ปฏิบัติงานควบคุมให้ระบบกลไกทางกลการทำงาน ซึ่งการสั่งงานให้ระบบกลไกทำงานนี้โดยส่วนมากจะใช้คนเป็นผู้สั่งงานแทบทั้งสิ้น ซึ่งมอเตอร์จะถูกควบคุมจากการสั่งงานด้วยมือโดยการควบคุมผ่านอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ท็อกเกิ้ลสวิทช์ (Toggle Switch) เซฟตี้สวิทช์ (Safety Switch) ทรัมสวิทช์ (Drum Switch) ตัวควบคุมแบบหน้างาน (Faceplate control) เป็นต้น

2. การควบคุมกึ่งอัตโนมัติ (Semi Automatic Control) โดยการใช้สวิทช์ปุ่มกด (Push Button) ที่สามารถควบคุมระยะไกล (Remote Control) ได้ ซึ่งมักจะต่อร่วมกับสวิทช์แม่เหล็ก (Magnetic Switch) ที่ใช้จ่ายกระแสจำนวนมากๆ ให้กับมอเตอร์แทนสวิทช์ธรรมดาซึ่งสวิทช์แม่เหล็กนี้อาศัยผลการทำงานของแม่เหล็กไฟฟ้า วงจรการควบคุมมอเตอร์กึ่งอัตโนมัตินี้ต้องให้คนคอยกดสวิทช์จ่ายไฟให้กับสวิทช์แม่เหล็กสวิทช์ แม่เหล็กจะดูดให้หน้าสัมผัสมาแตะกันและจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ ถ้าต้องการหยุดมอเตอร์ก็ต้องให้คนคอยกดสวิทช์ปุ่มกดอีกเช่นเดิมจึงเรียกการควบคุมแบบนี้ว่า การควบคุมกึ่งอัตโนมัติ

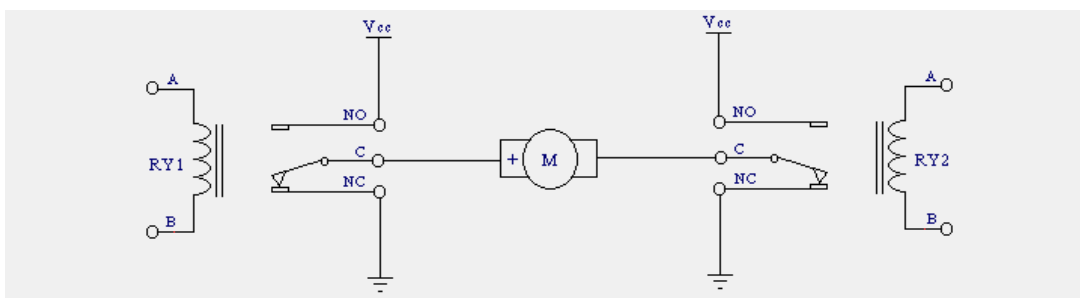
3. การควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Control) การควบคุมแบบนี้จะให้อุปกรณ์ชี้นำ (Pilot Device) คอยตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งต่างๆ เช่น สวิตช์ที่ถูกกดทำหน้าที่ตรวจวัดระดับน้ำในถัง คอยสั่งให้มอเตอร์ปั๊มทำงานเมื่อน้ำหมดถึง และสั่งให้มอเตอร์หยุดเมื่อน้ำเต็มถึง สวิตช์ความดัน (Pressure Switch) จะทำหน้าที่ตรวจจับความดันลมเพื่อสั่งให้ปั๊มลมทำงาน เทอร์โมสแตท ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรไฟฟ้าตามอุณหภูมิสูงหรือต่ำ เป็นต้น วงจรการควบคุมมอเตอร์แบบนี้เพียงแต่ใช้คนกดปุ่มเริ่มต้นมอเตอร์ในครั้งแรกหรือใช้วงจรตั้งเวลาการทำงาน วงจรก็จะทำงานเองโดยอัตโนมัติ

ในงานบังคับให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยอัตโนมัติ ต้องให้ภาคไครเวอร์ที่ใช้ DC Motor ทำงาน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้ระบบแมคคานิกเกิดการเคลื่อนไหวตามคำสั่งของภาคควบคุมในการบังคับให้ DC Motor ทำงานนั้นมีอยู่หลายแนวทางในเบื้องต้นสามารถใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ก) มีอยู่ 4 แนวทางที่นิยมใช้กันคือ การใช้ Relay, Transistor, Power MOSFET ต่อกันเป็น H-Bridge (เรียกตามรูปทรงการเชื่อมต่อเป็นสะพานรูปตัว H) โดยทั้ง 3 วิธีมี

แนวทางการทำงานคล้ายคลึงกันเหมือนการทำงานของสวิทช์ ที่ปิด-เปิด ตามสัญญาณของภาคควบคุมที่ส่งออกมาและในแบบที่ 4 เป็นการใช้ IC ในการควบคุมมอเตอร์ โดยแต่ละแบบสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. วงจรไครเวอร์โดยใช้รีเลย์

เป็นพื้นฐานที่สำคัญที่ทำให้ระบบแมคคานิคเกิดการเคลื่อนไหว โดยโครงสร้างภายในของรีเลย์จะประกอบด้วยขดลวดรีเลย์ ซึ่งเมื่อป้อนแรงดันและกระแสให้ขดลวดแล้ว ตัวขดลวดจะกลายเป็นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจะดูดหน้าสัมผัสซี (C: Common) และหน้าสัมผัสเอ็นโอ (NO: Normal Open) ที่เป็นเหล็กให้หน้าสัมผัสเชื่อมต่อกัน ซึ่งจะทำให้เกิดการนำกระแสที่ขาซีและขาเอ็นโอ แต่เมื่อหยุดป้อนแรงดันและกระแสต่อขดลวดตัวขดลวดจะหยุดกลายเป็นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้หน้าสัมผัสซีดึงกลับไปติดกับหน้าสัมผัสเอ็นซี (NC: Normal Close) ด้วยแรงสปริงที่ติดอยู่ทำให้เกิดการนำกระแสที่ขาซีและขาเอ็นซี โดยมีลักษณะการวางวงจรดังรูป 25

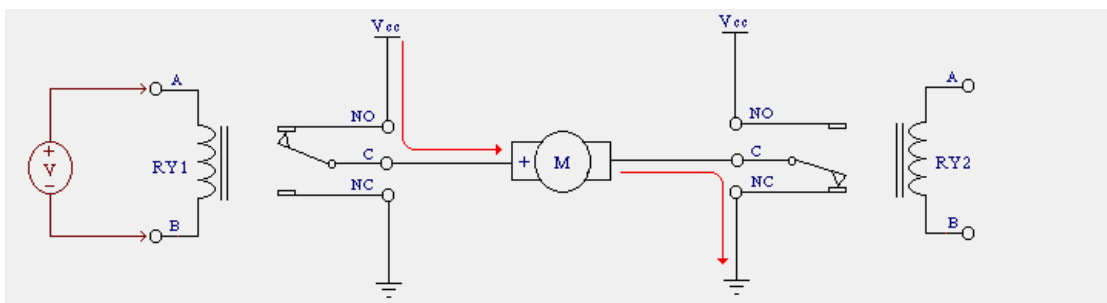


รูป 25 วงจรขับโดยใช้ Relay

ที่มา : การควบคุมการหมุนของมอเตอร์ [Online]. Accessed 22 August 2007. Available from http://www.mut.ac.th/~c_micro/knowledge/circuit/dc_con02.html

สามารถแบ่งการทำงานได้ดังนี้

กรณีที่ RY1 ทำงาน

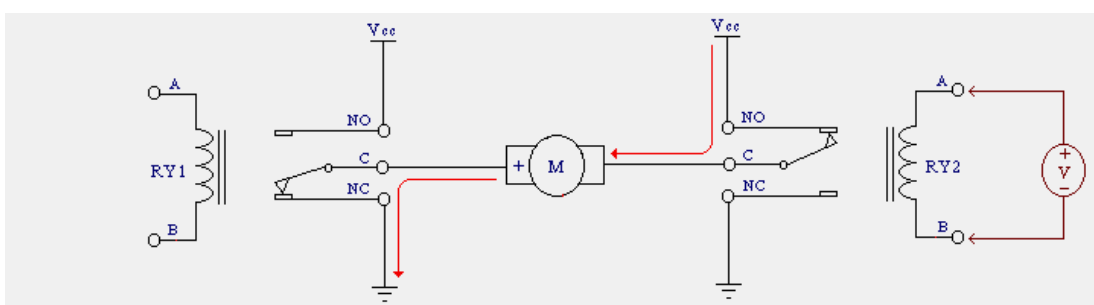


รูป 26 กรณี RY 1 ทำงาน

ที่มา : การควบคุมการหมุนของมอเตอร์ [Online]. Accessed 22 August 2007. Available from http://www.mut.ac.th/~c_micro/knowledge/circuit/dc_con02.html

เมื่อ RY1 ทำงาน (มีกระแสไหลผ่านขดลวดในปริมาณที่เพียงพอ) จะทำให้เกิดอำนาจสนามแม่เหล็กไฟฟ้าดึงดูดให้ขา NO และขา C ของ RY1 ติดกัน ส่งผลให้เกิดมีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย (V_{cc}) ผ่านเข้าสู่ขั้วบวก (+) ของมอเตอร์ ผ่านไปยังขา C ของ RY2 ซึ่งต่ออยู่ที่ NC และลงกราวด์ ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางบวกและครบวงจรจึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนในทิศทางตรงได้

กรณีที่ RY2 ทำงาน



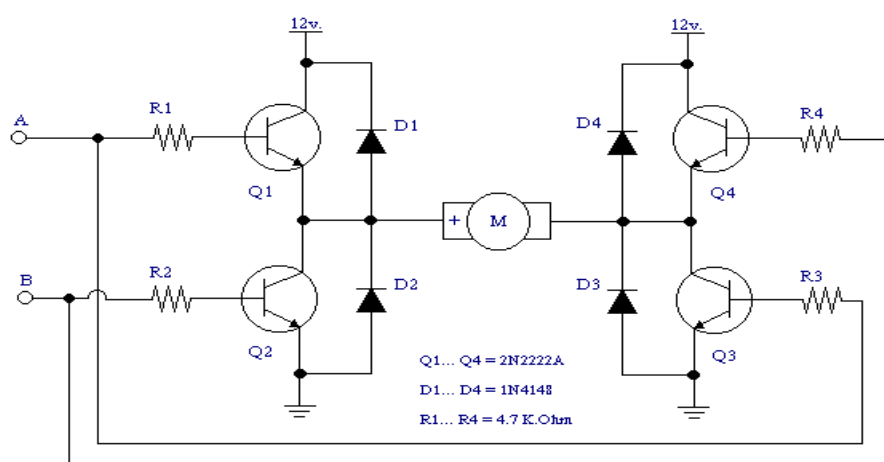
รูป 27 กรณี RY 2 ทำงาน

ที่มา : การควบคุมการหมุนของมอเตอร์ [Online]. Accessed 22 August 2007. Available from http://www.mut.ac.th/~c_micro/knowledge/circuit/dc_con02.html

เมื่อ RY2 ทำงาน (มีกระแสไหลผ่านขดลวดในปริมาณที่เพียงพอ) ก็จะทำให้เกิดอำนาจสนามแม่เหล็กไฟฟ้าดึงดูดทำให้ขา NO และขา C ของ RY2 ติดกัน ส่งผลให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย (Vcc) ผ่านเข้าสู่ขั้วลบ (-) ของมอเตอร์ผ่านไปยังขา C ของ RY1 ซึ่งต่ออยู่ที่ NC และลงกราวด์ ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางลบและครบวงจร จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนในทิศทางกลับกันได้

2. วงจรไดรเวอร์โดยใช้ทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor device) ที่สร้างมาจากสารกึ่งตัวนำ 3 ชั้นมาเชื่อมต่อกัน คือ อิมิตเตอร์ (Emitter), เบส (Base) และคอลเล็กเตอร์ (Collector) โดยแบ่งได้ 2 ชนิด คือ NPN และ PNP โดยหลักการไดรเวอร์ของทรานซิสเตอร์ จะนำเอาคุณสมบัติของการ cut off และการ saturation มาประยุกต์ใช้งานเป็นสวิตช์ โดยการต่อวงจรในลักษณะแบบ H-Bridge ดังรูป 28

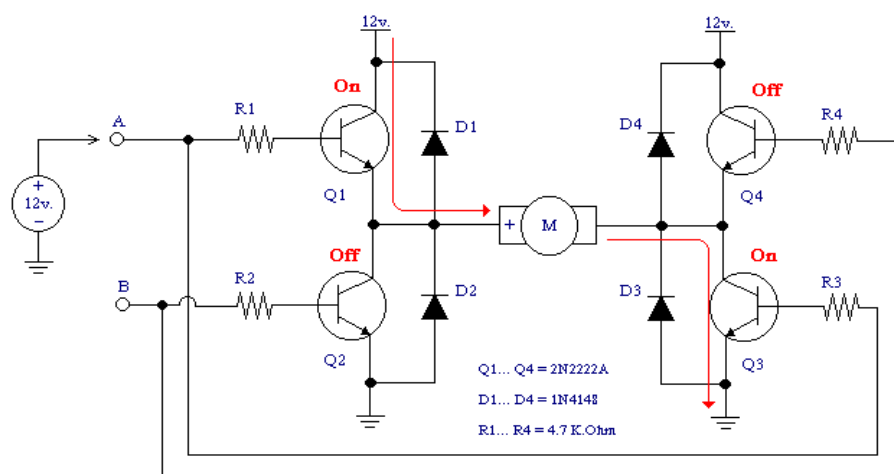


รูป 28 การต่อวงจรในลักษณะแบบ H-Bridge

ที่มา : การควบคุมการหมุนของมอเตอร์ [Online]. Accessed 22 August 2007. Available from http://www.mut.ac.th/~c_micro/knowledge/circuit/dc_con02.html

โดยแบ่งการทำงานได้ดังนี้

- กรณีที่ Q1 และ Q3 ทำงาน

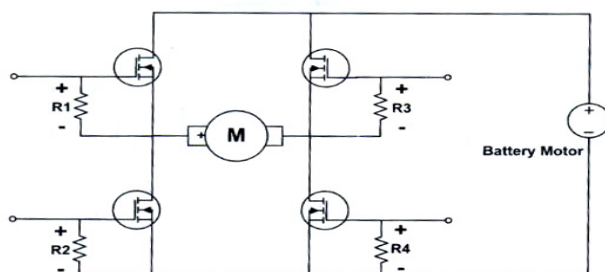


รูป 29 กรณีที่ Q1 และ Q3 ทำงาน

ที่มา : การควบคุมการหมุนของมอเตอร์ [Online]. Accessed 22 August 2007. Available from

http://www.mut.ac.th/~c_micro/knowledge/circuit/dc_con02.html

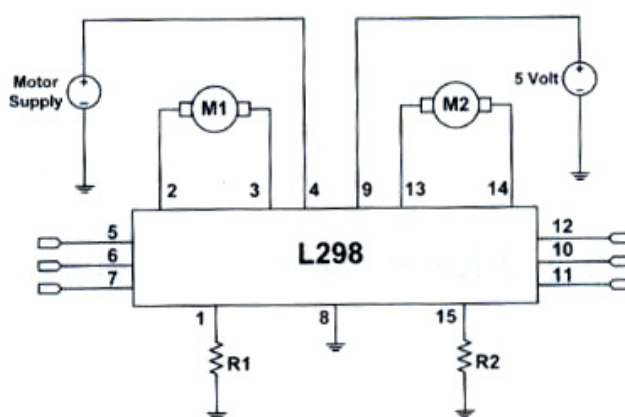
เมื่อมีการจ่ายแรงดัน 12v. เข้าที่จุด A ทำให้มีกระแสไหลผ่าน R1 เข้าสู่ base ของ Q1 และมีกระแสไหลผ่าน R3 เข้าสู่ base ของ Q3 ทำให้ Q1 และ Q3 ทำงาน (On) เปรียบเสมือนสวิตช์ปิดวงจร ส่งผลให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย (12v.) ผ่านขา Collector และ Emitter ของ Q1 ผ่านเข้าสู่ขั้วบวก (+) ของมอเตอร์ ผ่านไปยังขา Collector และ Emitter ของ Q3 ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางบวกและครบวงจร จึงทำให้ออเตอร์สามารถหมุนในทิศทางเดินหน้าได้



รูป 31 วงจรไครเวอร์โดยเพาเวอร์มอสเฟต

4. วงจรไครเวอร์โดยใช้ IC (Integrated circuit)

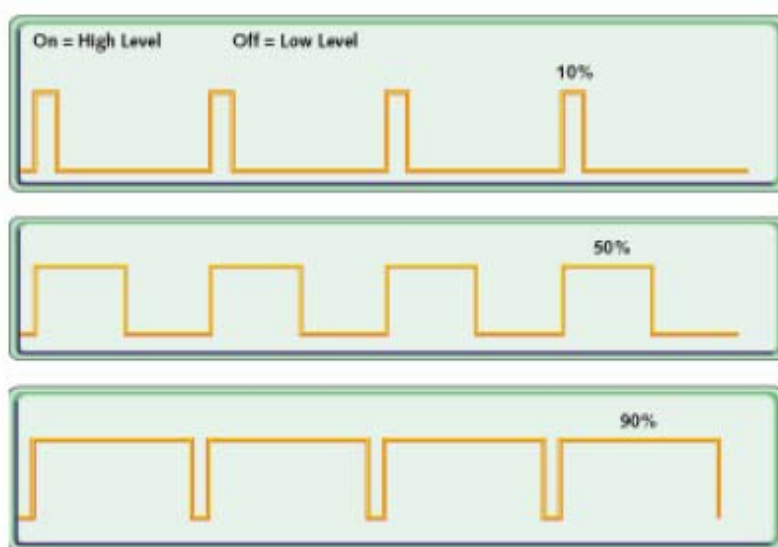
ไอซีไครเวอร์โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีโครงสร้างภายในเป็นทรานซิสเตอร์ซึ่งหลักการทำงาน การเปิด – ปิดมอเตอร์ จะเหมือนกับทรานซิสเตอร์ในการประกอบเป็นวงจรขับเคลื่อนนั้น ใช้อุปกรณ์ ต่อพ่วงจากตัวไอซีไม่มากนักทำให้สะดวกในการใช้เป็นวงจรขับเคลื่อน ดังตัวอย่างการเชื่อมต่อ ดังรูป 32



รูป 32 วงจรไครเวอร์โดยใช้ IC

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง

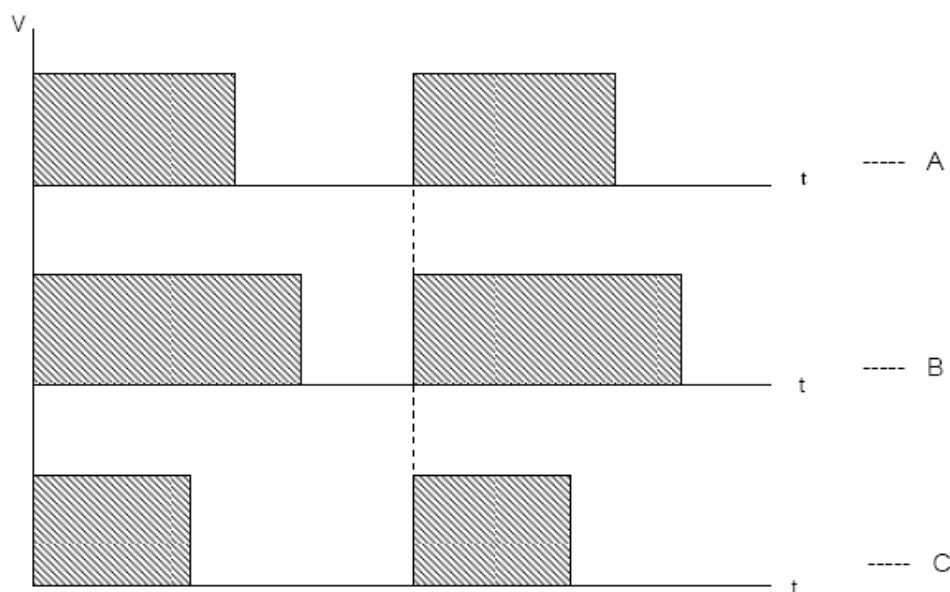
เนื่องจากส่วนของ Stator เป็นแม่เหล็กถาวร การควบคุมความเร็วจึงทำได้โดยการเปลี่ยนค่า armature voltage ซึ่งค่าความต่างศักย์นี้จะแปรผันตรงกับความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ วิธีที่จะเปลี่ยนระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าจะใช้คลื่นรูปสี่เหลี่ยมที่สามารถเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาในการเปิดและปิดแหล่งจ่ายได้ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของแรงดัน เรียกว่า Pulse Width Modulation ซึ่งจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม % duty cycle ของ Pulse Width ถ้า % duty cycle มาก ก็จะทำให้ค่าเฉลี่ยของแรงดันมากหรือทำให้มอเตอร์หมุนเร็ว หรือถ้า % duty cycle น้อย ก็จะทำให้ค่าเฉลี่ยของแรงดันน้อยหรือทำให้มอเตอร์หมุนช้านั่นเอง



รูปที่ 33 PWM signals of varying duty cycles

เทคนิค PWM (Pulse Width Modulations)

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นเราควบคุมได้เพียงทิศทางการหมุนเท่านั้น แต่ถ้าเราต้องการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง ในที่นี้เราจะใช้เทคนิค PWM (Pulse Width Modulations) โดยเราจะป้อนสัญญาณกระตุ้นให้มอเตอร์หมุนเป็น Pulse ที่มีความถี่ค่าหนึ่งแล้วเราปรับความกว้าง Pulse ให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงก็จะเป็นการปรับความเร็วมอเตอร์ให้เพิ่มหรือลดตามความกว้าง Pulse โดยการใช้เทคนิค PWM นี้ต้องกำหนดความถี่ที่เราป้อนให้กับมอเตอร์ให้เหมาะสมถ้าเรากำหนดมากไปการใช้เทคนิค PWM จะไม่ได้ผล แต่ถ้าเรากำหนดน้อยไปมอเตอร์อาจจะหมุนไม่สม่ำเสมอ



รูปที่ 34 แสดงสัญญาณกระตุ้นด้วยเทคนิค PWM

โดยที่

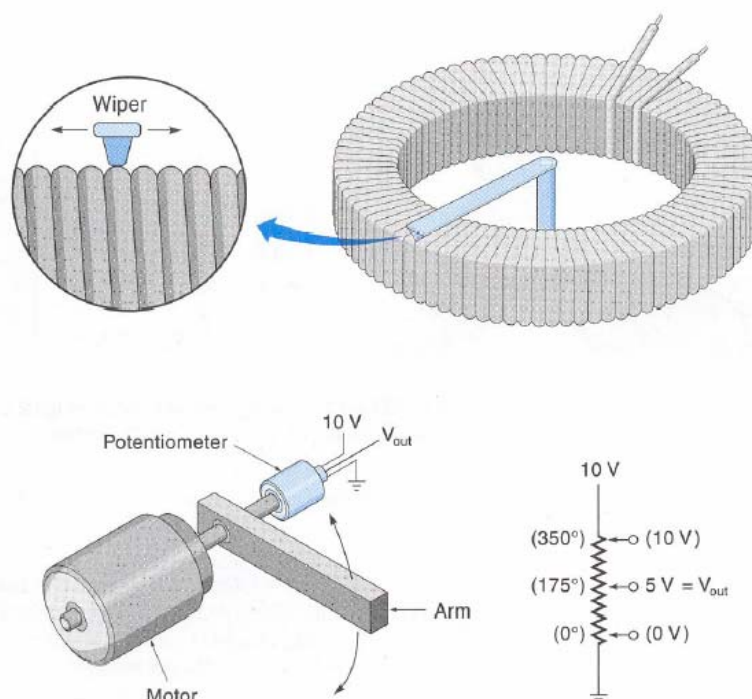
A แสดงระดับสัญญาณปกติ

B แสดงระดับสัญญาณเมื่อต้องการเพิ่มความเร็วมอเตอร์

C แสดงระดับสัญญาณเมื่อต้องการลดความเร็วมอเตอร์

การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรง

การควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ (Position Control) มีหลักการคือจะทำการเปลี่ยนจากตำแหน่งการหมุนเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้หลักการของการแบ่งแรงดัน (Voltage divider) มีชื่อเรียกว่า Potentiometer (Pot) โดยที่ตัว Pot จะต่อกับเพลลาของมอเตอร์และตัวถังจะยึดอยู่กับที่ เมื่อมีการหมุนก็คือเปลี่ยนค่าความต้านทานเปลี่ยนเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า ค่าแรงดันที่ได้นี้จะนำไปแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลโดยผ่านวงจร (Analog Digital Converter) ซึ่งข้อมูลดิจิตอลที่ได้จะเรียกว่าข้อมูลตำแหน่ง Data position และจะนำไปประมวลผลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไปตัว Pot จะใช้เป็นชนิด Wire-wound potentiometer ดังรูปที่ 35 เพราะมีการเปลี่ยนค่าความต้านทานเป็นเชิงเส้นและมีขอบเขตการหมุน 350 องศา



รูปที่ 35 การวัดตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์

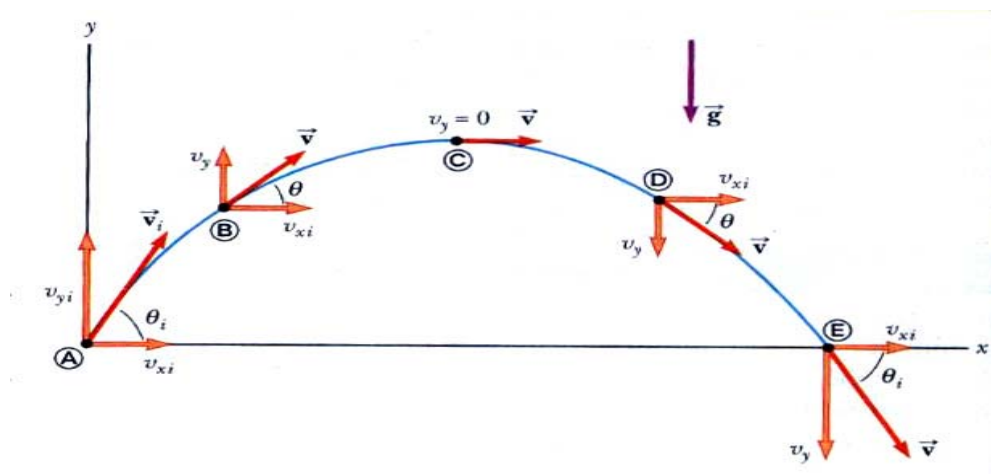
การเคลื่อนที่ของลูกเทนนิส

จากการศึกษาทฤษฎีทางวิชาการที่เกี่ยวข้องในการออกแบบและกำหนดเงื่อนไขการทำงาน ได้พบว่าการเคลื่อนที่ของลูกเทนนิสเป็นเส้นโค้ง ทั้งนี้ลูกเทนนิสที่ถูกลูกเทนนิสทำมุมกับผิวโลก การเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งนี้เรียกว่า เคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ (Projectile motion) สุรพล รักวิชัย (2542) อธิบายว่าการวิเคราะห์การศึกษการเคลื่อนที่แบบนี้จะพบว่าการเคลื่อนที่ประกอบด้วย

1. การเคลื่อนที่ในแนวดิ่งโดยมีความเร่งเป็น $-g$
2. การเคลื่อนที่ในแนวราบด้วยความเร็วที่คงที่

กรณีดังกล่าวนี้จะไม่พิจารณาแรงต้านอากาศ (Air resistance)

ถ้าเลือกกรอบอ้างอิงที่ถือว่า y เป็นแกนในแนวดิ่ง จะได้ว่า $a_y = -g$ และ x เป็นแกนในแนวราบ ดังนั้น $a_x = 0$ และเลือกให้ $t = 0$ การเคลื่อนที่เริ่มต้นที่จุดเริ่มต้น (Origin) ด้วยความเร็ว v_i ดังแสดงในรูป ถ้าเวกเตอร์ v_i ทำมุม θ_i



รูป 36 เส้นทางการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ของอนุภาคทำมุม θ กับแกน x โดยนิยามของค่าไซน์ (Sine) และค่าของโคไซน์ (Cosine) จะได้ว่า

$$\cos \theta_i = \frac{v_{xi}}{v_i} \text{ และ } \sin \theta_i = \frac{v_{yi}}{v_i}$$

ดังนั้นองค์ประกอบย่อยของความเร็วจะมีค่าเป็น

$$v_{xi} = v_i \cos \theta_i \text{ และ } v_{yi} = v_i \sin \theta_i$$

แทนค่า v_{xi} และ v_{yi} ลงในสมการ $\vec{v}_f = \vec{v}_i + \vec{a}t$ และ $\vec{r}_f = \vec{r}_i + \vec{v}t + \frac{1}{2}\vec{a}t^2$ โดยที่ $a_x = 0$ และ $a_y = -g$ จะทำให้ได้องค์ประกอบย่อยของความเร็วและโคออร์ดิเนตของอนุภาคที่เวลา t ใดๆ ดังนี้

$$v_{xf} = v_{xi} = v_i \cos \theta_i = \text{ค่าคงที่} \quad (3)$$

$$v_{yf} = v_{yi} - gt = v_i \sin \theta_i - gt \quad (4)$$

$$x_f = v_i + v_{xi}t = (v_i \cos \theta_i)t \quad (5)$$

$$y_f = v_i + v_{yi}t - \frac{1}{2}gt^2 = (v_i \sin \theta_i)t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (6)$$

จากสมการ (3) เราพบว่า v_i มีค่าคงที่ตลอดเวลา ซึ่งเท่ากับ v_{xi} ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีความเร่งในแนว x ส่วนการเคลื่อนที่ในแนว y จะเป็นการเคลื่อนที่คล้ายกับการตกโดยเสรีของอนุภาคการเคลื่อนที่ในหนึ่งมิติ ดังที่นำมาประยุกต์ใช้ศึกษากรณีของการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ได้ ถ้าหาค่า t นี้ ลงในสมการ (6) จะได้ว่า

$$y_f = (\tan \theta_i)x_f - \left(\frac{g}{2v_i^2 \cos^2 \theta_i} \right)x_f^2 \quad (7)$$

สมการ (7) นี้จะใช้ได้ในช่วงมุม θ ที่ $0 < \theta_i < \frac{\pi}{2}$ เมื่อพิจารณาสมการ (7) มีฟอร์มเป็น $y = ax - bx^2$ ซึ่งเป็นสมการเส้นโค้งพาราโบลาที่ผ่านจุดเริ่มต้น แสดงว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคเป็นเส้นโค้งพาราโบลาและจะเขียนเส้นทางการเคลื่อนที่ได้ เมื่อทราบค่า v_i และ θ_i

สามารถหาอัตราเร็ว (Speed) v ของการเคลื่อนที่จากสมการ (3) และ (4) ให้ค่า v_x และ v_y ดังนั้นอัตราเร็วหาได้จาก

$$|\vec{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (8)$$

นอกจากนี้ยังหามุม θ ที่ความเร็ว v ทำกับแกน x ได้จาก

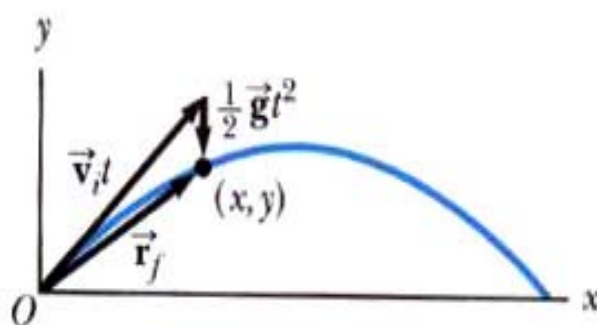
$$\theta = \tan^{-1} \frac{v_y}{v_x} \quad (9)$$

สามารถเขียนเวกเตอร์บอกตำแหน่ง r ของอนุภาคที่เคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ได้จาก

สมการ $\vec{r}_f = \vec{r}_i + \vec{v}_i t + \frac{1}{2} \vec{g} t^2$ โดยกำหนด $\vec{a} = \vec{g}$ กล่าวคือ

$$\vec{r}_f = \vec{r}_i + \vec{v}_i t + \frac{1}{2} \vec{g} t^2$$

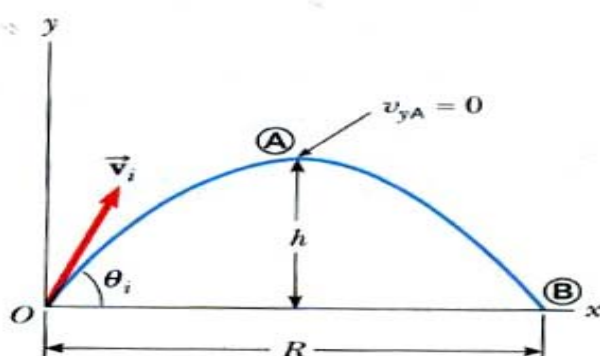
กราฟแสดงเวกเตอร์บอกตำแหน่งแสดงไว้ดังรูป 37



รูป 37 การจัด r ของโปรเจกไทล์ที่มีความเร็วเริ่มต้น v_0

พิสัยในแนวนอนและระยะสูงสุดของโปรเจกไทล์

กำหนดให้การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ ณ จุดเริ่มต้นที่เวลา $t=0$ โดยความเร็ว v_i เป็นบวก ดังแสดงในรูปที่ 38 ในกรณีนี้ มีจุดที่น่าสนใจเป็นพิเศษ คือ จุดสูงสุด $\left(\frac{R}{2}, h\right)$ และจุดไกลสุด $(R, 0)$ ระยะ R นี้คือ พิสัยในแนวนอน (Horizontal Range) ของโปรเจกไทล์ และ h คือระยะสูงสุดของโปรเจกไทล์ ต้องการหา R และ h ในเทอมของ v_i , θ_i และ g



รูป 38 โพรเจกไทล์เคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นที่ $t = 0$

สามารถหาค่า h ได้ทั้งนี้ที่จุดสูงสุด $v_{yA} = 0$ จากสมการ (2) เราหาค่า t_A ซึ่งเป็นเวลาที่อนุภาคเคลื่อนที่ได้สูงสุด

$$t_A = \frac{v_i \sin \theta_i}{g}$$

แทนค่า t_A ลงในสมการ (6) จะได้

$$h = (v_i \sin \theta_i) \left(\frac{v_i \sin \theta_i}{g} \right) - \frac{1}{2} g \left(\frac{v_i \sin \theta_i}{g} \right)^2$$

$$h = \frac{v_i^2 \sin^2 \theta_i}{2g} \quad (10)$$

พิสัยในแนวราบ R ของอนุภาคนั้นอนุภาคจะใช้เวลาการเคลื่อนที่เท่ากับ $2t_A$ และใช้สมการ (5) จะได้

$$R = (v_i \cos \theta_i)(2t_A)$$

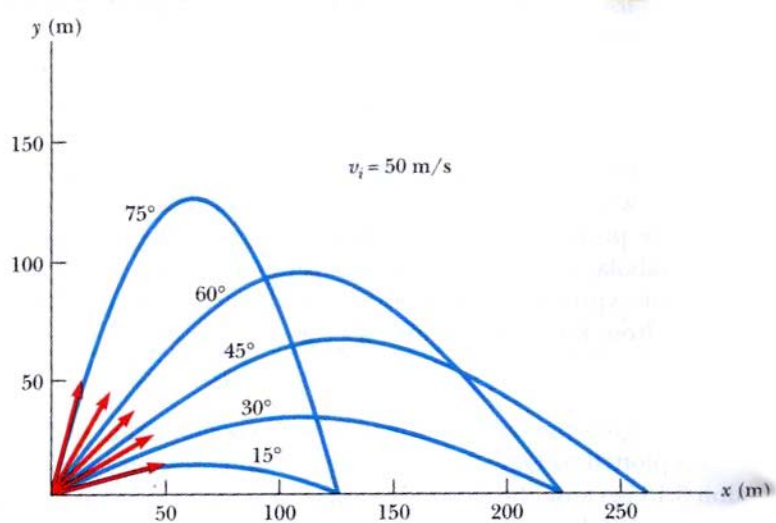
แทนค่า t_A ลงไปจะได้

$$R = \frac{v_i^2 \sin 2\theta_i}{g} \quad (11)$$

จากสมการ (11) นี้จะพบว่าพิสัยในแนวราบจะมีค่ามากที่สุด $R = \frac{v_i^2}{g}$ ก็ต่อเมื่อ

$\sin 2\theta_i = 1$ กล่าวคือ $\theta_i = \frac{90^\circ}{2} = 45^\circ$ สรุปว่าอนุภาคจะต้องถูกยิงในทิศทางมุม 45° จึงจะได้ R

สูงสุด รูป 42 แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของโปรเจกไทล์ที่ทำมุม θ ต่างๆ จะพบว่าโปรเจกไทล์ที่ทำมุม 45° กับแกน x ให้พิสัยในแนวราบ R สูงสุด



รูป 39 แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของโปรเจกไทล์ที่ทำมุม θ ต่างๆที่ $v_i = 50 \text{ m/s}$

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในการค้นคว้าอิสระและสร้างสิ่งประดิษฐ์ใหม่นั้น สิ่งที่ต้องคำนึงก่อนการออกแบบคือ การตั้งคำถาม เช่น คำถามว่าจะให้หุ่นยนต์ทำงานอะไร จะให้หุ่นยนต์ทำงานอย่างไร จะใช้วัสดุและเครื่องมืออะไรบ้างในงานวิจัยนี้ เมื่อสามารถกำหนดรายละเอียดและขอบเขตของงานได้แล้ว จึงเริ่มออกแบบและประกอบอุปกรณ์ทางกลจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานในแต่ละภาคของหุ่นยนต์ โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับการดำเนินงาน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดว่าหุ่นยนต์ทำอะไร

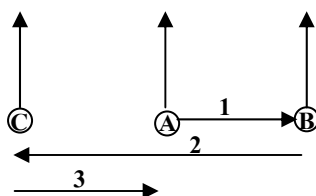
การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์เมื่อพิจารณาในอีกมุมมองหนึ่งจะพบว่า มีส่วนสัมพันธ์กับการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยโจทย์จะต้องกำหนดว่าจะให้หุ่นยนต์ทำอะไร เช่น ต้องการให้หุ่นยนต์เดินเมื่อมีแสงสว่างและหยุดเดินเมื่อไม่มีแสงสว่างหรือต้องการให้หุ่นยนต์เดินตามเส้นสีขาวบนพื้นสีดำ ในการค้นคว้าอิสระนี้ผู้วิจัยได้กำหนดเงื่อนไขหรือโจทย์ปัญหาเป็นการผสมผสานระหว่างการใช้คณิตศาสตร์ ระบบอิเล็กทรอนิกส์และระบบฝังตัว โดยมีการสร้างเครื่องส่งลูกเทนนิสขึ้นมา โดยตัวหุ่นยนต์ต้นแบบนี้มีการเคลื่อนไหวและส่งลูกโดยอัตโนมัติในสนามเทนนิส การที่กำหนดเป้าหมายที่ได้ชัดเจนว่าจะให้หุ่นยนต์ทำอะไรจะทำให้สามารถออกแบบหุ่นยนต์ได้ตรงกับการใช้งานหรืออีกในมุมมองหนึ่งก็เหมือนกับที่เข้าใจโจทย์ทางคณิตศาสตร์ ซึ่งถ้าเข้าใจว่าโจทย์ต้องการอะไรก็สามารถหาวิธีแก้โจทย์

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดเงื่อนไขการทำงานของหุ่นยนต์

เมื่อกำหนดเงื่อนไขว่าจะให้หุ่นยนต์ทำอะไรในการค้นคว้าอิสระแล้ว ในขั้นตอนนี้ก็เหมือนกับจะแก้โจทย์ปัญหาอย่างไร ยกตัวอย่างเช่น ต้องการให้หุ่นยนต์เดินเมื่อมีแสงสว่างและหยุดเดินเมื่อไม่มีแสงสว่าง โดยต้องกำหนดว่าจะให้หุ่นยนต์เดินด้วยล้อหรือเดินด้วยขา และกำหนดว่าจะใช้อะไรในการตรวจจับ เป็นต้น ในงานวิจัยนี้จะกำหนดว่าให้หุ่นยนต์ต้นแบบ มีการเคลื่อนไหวและส่งลูกโดยอัตโนมัติในสนามเทนนิส โดยมีการใช้ซอฟต์แวร์สมองกลฝังตัวในการ

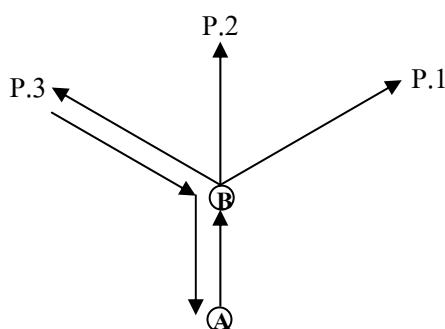
จัดการ การเคลื่อนไหวของตัวหุ่นยนต์และสามารถที่จะประยุกต์ควบคุมการเคลื่อนส่งลูกในระยยะไกล ด้วยระบบควบคุมไร้สายในการเคลื่อนไหวกและส่งลูกโดยอัตโนมัติจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ

1. ระดับผู้เริ่มต้น เป็นการไ้ระบบฝังตัวสมองกลฝังตัวโปรแกรมให้หุ่นเคลื่อนที่ตามรูป



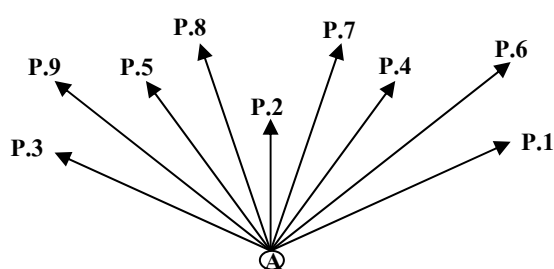
รูป 40 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สำหรับผู้เล่นระดับผู้เริ่มต้น

2. ระดับทั่วไป เป็นการไ้ระบบฝังตัวสมองกลฝังตัวโปรแกรมให้หุ่นเคลื่อนที่ตามรูป



รูป 41 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สำหรับผู้เล่นระดับทั่วไป

3. ระดับอาชีพ เป็นการไ้ระบบฝังตัวสมองกลฝังตัวโปรแกรมให้หุ่นยนต์ส่งลูกเทนนิสแบบสุ่ม (Random)



รูป 42 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สำหรับผู้เล่นระดับอาชีพ

ขั้นตอนที่ 3 การเลือกใช้เครื่องมือและวัสดุ

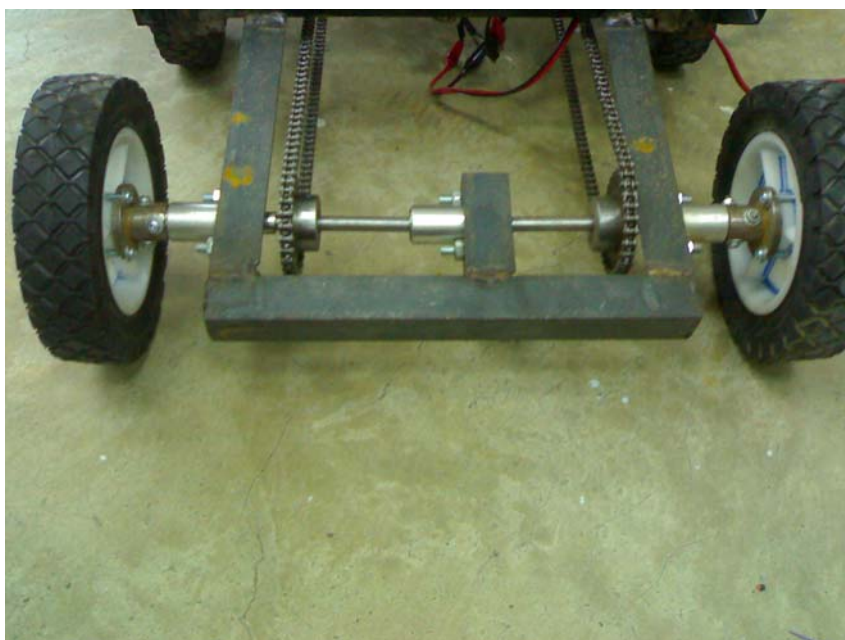
เมื่อทราบเงื่อนไขและข้อกำหนดที่งานวิจัยต้องการและรู้ว่าจะดำเนินการค้นคว้าอิสระอย่างไร คำถามที่สำคัญที่ตามมาคือจะใช้อะไรในการประกอบโครงสร้างเพื่อใช้ในการค้นคว้าอิสระนี้นั้นคือการเลือกใช้เครื่องมือและวัสดุ เนื่องจากเครื่องส่งลูกเทนนิสที่ใช้ในงานวิจัยในปัจจุบันยังไม่มี การสร้างหรือมีผลิตภัณฑ์ในลักษณะเดียวกันวางจำหน่ายในท้องตลาด การเลือกใช้วัสดุและเครื่องมือที่ดีเยี่ยมจะช่วยให้งบประมาณในการค้นคว้าอิสระสูงขึ้น ในงานวิจัยนี้เลือกที่จะใช้วัสดุและเครื่องมือที่หาได้โดยทั่วไป โดยมีงบประมาณในการสร้างไม่สูงนัก

ขั้นตอนที่ 4 การดำเนินการสร้างอุปกรณ์ทางกลจากทฤษฎี

จากเงื่อนไขที่มีจะส่งผลโดยตรงต่อการสร้างอุปกรณ์ทางกลและการออกแบบหุ่นยนต์ โดยการสร้างจะประกอบจากเหล็กขนาดต่างๆ เป็นหลักเพื่อให้มีความแข็งแรง โดยมีขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร ทำการขับเคลื่อนด้วยล้อหลังโดยจะทำการส่งลูกและปรับมุมส่งลูกโดยใช้มอเตอร์ โดยยังไม่กำหนดขนาดน้ำหนักเนื่องจากการดำเนินการสร้างครั้งแรกในการประกอบตัวโครงสร้างหุ่นยนต์ส่งลูกเทนนิส ประกอบไปด้วยวัสดุและอุปกรณ์ทางกล ดังรายการต่อไปนี้

- เหล็กฉาก ขนาด 6 เมตร	6	ท่อน
- เหล็กเส้น ขนาด 1.2 เมตร	12	ท่อน
- ตัวประกอบลูกปืน	10	ตัว
- คู่มือล้อ	4	อัน
- เฟลาขนาด 8 มิลลิเมตร ยาว 40 เซนติเมตร	1	ท่อน
- สวิตช์	18	ตัว
- ล้อรถ ขนาด 4 นิ้ว	4	ล้อ
- มอเตอร์ 12 Volt D.C. (ปรับมุม)	1	ลูก
- มอเตอร์ 24 Volt D.C. (ส่งลูก)	2	ลูก
- มอเตอร์ 24 Volt D.C. (ขับเคลื่อน)	2	ลูก
- โซลินอยด์ 12 Volt (ปล่อยลูก)	1	ลูก
- เฟืองขนาดต่างๆ	8	อัน
- ไฟแสดงผล	22	ดวง
- รีเลย์	22	ตัว
- บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ CP – PIC16F877	1	บอร์ด
- บอร์ด H-BRIDGE POWER MOSFET DRIVE	6	บอร์ด

การประกอบอุปกรณ์ในส่วนของกลไกแสดงได้ดังนี้



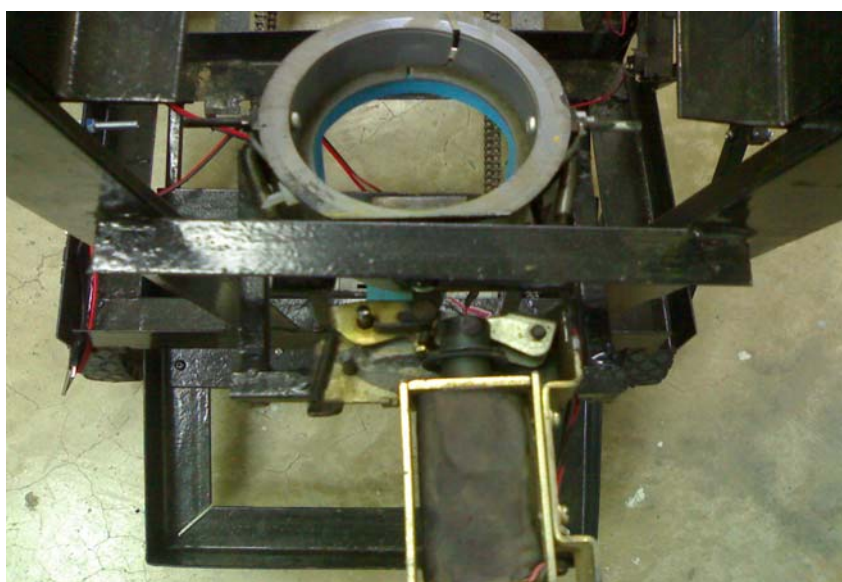
รูป 43 ชุดขับเคลื่อนล้อหน้าส่งผ่านกำลังจากมอเตอร์



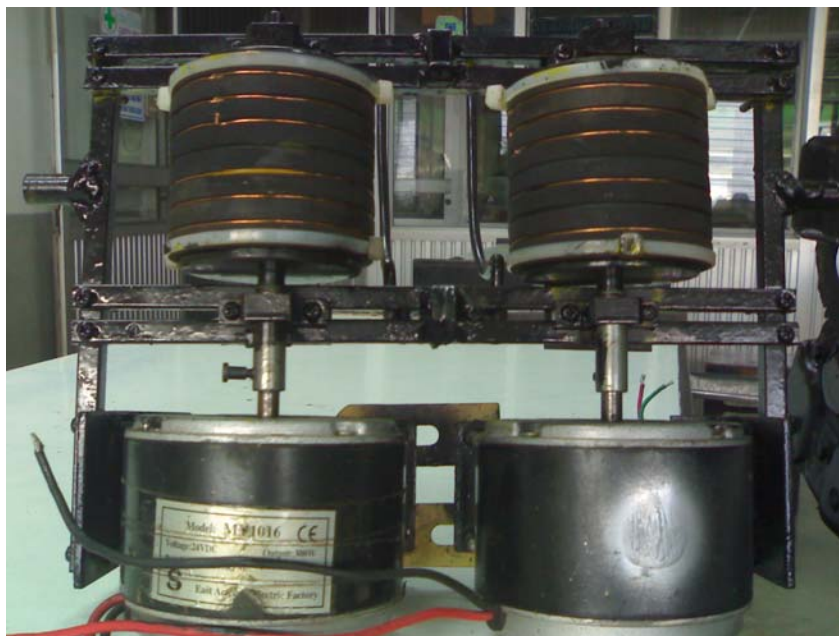
รูป 44 ชุดขับเคลื่อนล้อหลัง



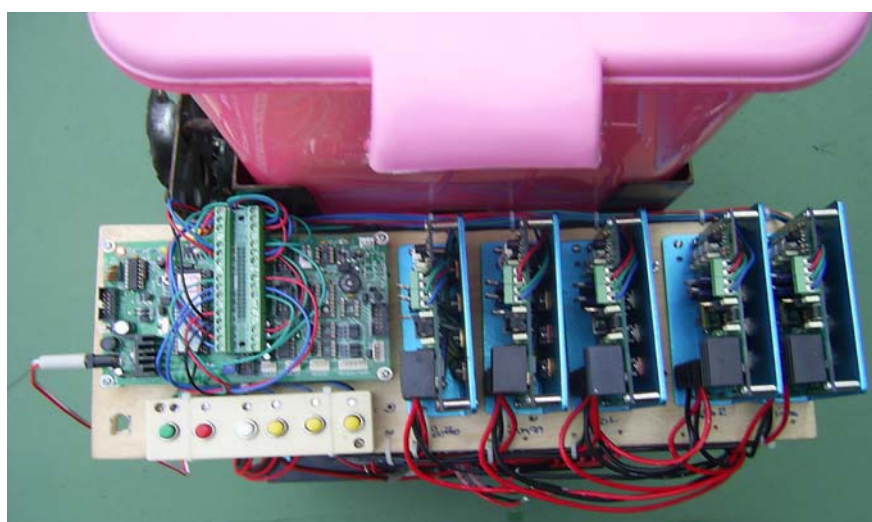
รูป 45 การเชื่อมต่อระหว่างมอเตอร์ยกรจากกับมอเตอร์ที่ใช้ส่งลูก



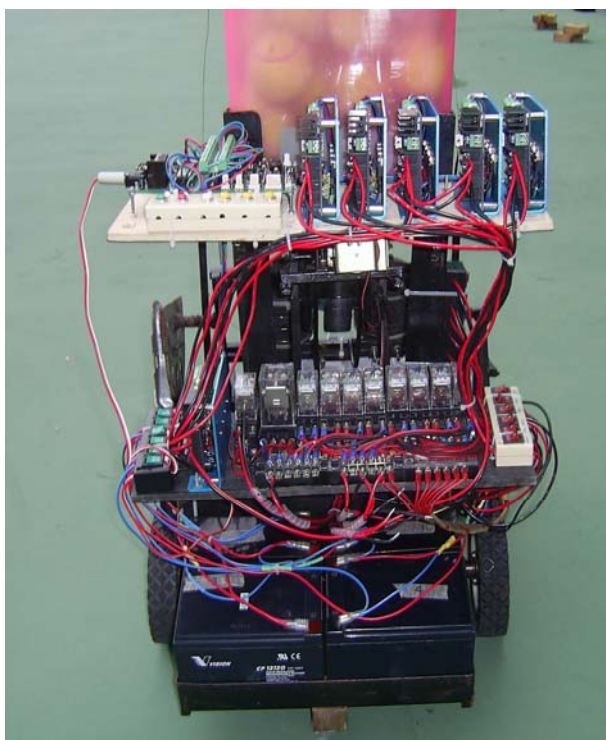
รูป 46 ระบบการปล่อยลูกโดยใช้โซลินอยด์



รูป 47 มอเตอร์คู่หน้าสำหรับการส่งลูกเทนนิส



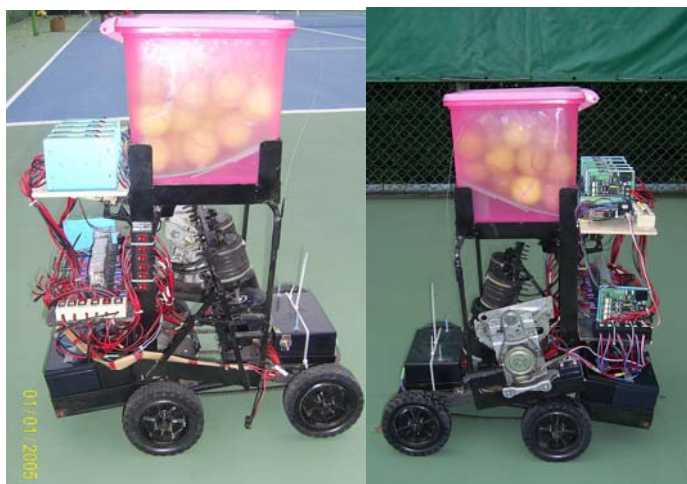
รูป 48 ชุดควบคุมและสั่งการ



รูป 49 อุปกรณ์ต่อพ่วงที่ใช้ในการควบคุม



รูป 50 เครื่องส่งลูกเทนนิสต้นแบบเมื่อมองจากด้านหน้า



รูป 51 เครื่องส่งลูกเทนนิสต้นแบบเมื่อมองจากด้านซ้ายและขวา

หลังจากการประกอบตัวโครงสร้างหุ่นยนต์ส่งลูกเทนนิสเสร็จสมบูรณ์แล้ว ในส่วนของซอฟต์แวร์สมองกลฝังตัวจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 เป็นตัวการสั่งการอุปกรณ์ต่อพ่วงทั้งหมดโดยชุดคำสั่งที่ใช้จะประกอบไปด้วย

การกำหนดค่าการสั่งการอุปกรณ์ต่อพ่วง

1. การกำหนดค่า PINS

เช่น LED VAR PORTA.0 ‘กำหนด ขา 0 ของ PORTA มีชื่อเป็น LED

2. การกำหนดให้ PORT เป็น OUTPUT หรือ INPUT

สามารถกำหนดได้โดยการกำหนด Tri-state Register (TRIS) ของ Port เช่นเดียวกับการใช้ภาษา Assembly โดย ถ้ากำหนด TRIS มีค่าเป็น 0 จะทำให้ Port นั้น เป็น OUTPUT ถ้ากำหนด TRIS มีค่าเป็น 1 จะทำให้ Port นั้น เป็น INPUT

เช่น TRISA = %00000000 ‘กำหนดให้ Port A เป็น Output ทุกขา

TRISB = %11110000 ‘กำหนดให้ 4 บิต บนของ Port B เป็น INPUT

ส่วน 4 บิตล่างเป็น OUTPUT

TRISA.0 = 0 ‘กำหนด Pin0 ของ Port A เป็น Output

3. คำสั่ง GOSUB. . RETURN

เป็นคำสั่งให้โปรแกรมกระโดดไปทำงานที่ Subroutine เสร็จแล้วกลับมายังโปรแกรมหลักด้วยคำสั่ง RETURN

รูปแบบ GOSUB ชื่อ Label

```

เช่น      MAIN: B = 4
          GOSUB DELAY
          B = B >> 1
          PORTB = B
          GOTO MAIN
          DELAY: PAUSE 500
          RETURN
          END

```

4. คำสั่ง HIGH

เป็นคำสั่งให้ขาของ Port มีสถานะลอจิก “1” เมื่อใช้คำสั่งนี้ที่ขา Pin ใด ขานั้นจะมีสถานะเป็น OUTPUT โดยอัตโนมัติ

รูปแบบ HIGH PIN

Pin อาจเป็นชื่อขาของ Port หรือตัวแปรแทนขานั้นๆ ก็ได้

เช่น HIGH PORTA.0 ‘ทำให้ขา 0 ของ Port A เป็นลอจิก “1”

```
L1 VAR PORTB.0
```

```
HIGH L1
```

หรือในทำนองเดียวกันสามารถใช้คำสั่งอีกแบบหนึ่งได้ดังนี้ คือ

```
PORTB.0 = 1
```

```
หรือ L1 VAR PORTB.0
```

```
L1 = 1
```

5. คำสั่ง HPWM

เป็นคำสั่งส่งรูปคลื่น PWM ออกอย่างต่อเนื่องโดยฮาร์ดแวร์ของ CPU โดยสามารถส่งรูปคลื่นต่อเนื่องตามค่าฟังก์ชันต่อเนื่องได้ในขณะที่ยัง Execute คำสั่งอื่นอยู่

รูปแบบ HPWM Channels, Duty cycle, Frequency

Channels คือขา Pin ที่ฮาร์ดแวร์กำหนดให้เป็นขา PWM

Duty cycle คิดเป็นความละเอียดของ binary digit เช่น ถ้า 8 bit จะมีค่าระหว่าง (0 ~ 255)

โดยที่ 0 = 0% และ 255 = 100%

Freq คือ ความถี่ของรูปคลื่น PWM มีค่าระหว่าง 245 ~ 32767 Hz

ค่าต่ำสุดของ Freq จะขึ้นอยู่กับวงจร OSC. ที่ใช้ เช่น ถ้าใช้ OSC. 4 MHz

ความถี่ต่ำสุด = 245 Hz ถ้าใช้ OSC. 20 MHz ความถี่ต่ำสุด = 1221 Hz

ตัวอย่าง 1 ต้องการส่ง PWM 50 x duty cycle ที่ 1 KHz ต่อเนื่อง

HPWM 1, 127, 1000

ตัวอย่าง 2 ต้องการส่ง PWM 25% duty cycle ที่ 20 KHz ต่อเนื่อง

HPWM 1, 64, 20000

หมายเหตุ คำสั่ง HPWM นี้ใช้ได้เฉพาะไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่มีขา Pin ที่มีโครงสร้างงานในตัวชิพ Support PWM เท่านั้น เช่น PIC 16F877, PIC 16F874

6. คำสั่ง IF . . THEN

เป็นคำสั่งสำหรับตรวจสอบเงื่อนไขเพื่อกำหนดทิศทางการทำงานของโปรแกรม รูปแบบ IF <เงื่อนไขที่ตรวจสอบ> THEN <งานที่ทำ เมื่อเงื่อนไขเป็นจริงเงื่อนไขที่ตรวจสอบเป็นสมการ (Expression) ที่เป็นปริมาณหรือ Logic งานที่ทำ เมื่อเงื่อนไขเป็นจริง เป็นคำสั่งเมื่อการทดสอบเงื่อนไขเป็นจริง ถ้าไม่เป็นจริงโปรแกรมจะผ่านไปทำคำสั่งถัดไป

เช่น B = B + 1
IF B? = 25 THEN PORTB = 1
PORTB = 4

(จากตัวอย่างการตรวจสอบ ถ้า B มากกว่าหรือเท่ากับ 25 ค่า PORTB = 1 แต่ถ้าไม่ใช่ PORTB = 4)

7. คำสั่ง LOW

เป็นคำสั่งทำให้ขาของ Port มีสถานะลอจิก “0” และเป็น Output โดยอัตโนมัติ รูปแบบ LOW Pin Pin อาจเป็นชื่อขา Port หรือตัวแปรแทนขานั้นๆ ก็ได้

เช่น LOW PortA.0
หรือ PORTA.0 = 0

ตัวอย่าง 3 L1 VAR PORTB.2
LOW L1

8. คำสั่ง PAUSE

เป็นคำสั่งหน่วงเวลามีหน่วยควบเป็นมิลลิวินาที (ms)

รูปแบบ PAUSE Period

Period มีหน่วยเป็น ms มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ~ 65535 ms

เช่น HIGH PORTB.0
PAUSE 1000 ‘หน่วงเวลา 1 วินาที
END

9. คำสั่ง PWM

เป็นคำสั่งสำหรับส่ง PULSE WIDTH MODULATION (PWM) ออกที่ขา Pin ตามจำนวน Cycle ที่ระบุ

รูปแบบ PWM Pin, Duty, Cycle

Pin เป็นขาของ Port

Duty เป็นค่า % ของ duty cycle

เช่น ต้องการสร้าง Pulse width 50% ออกที่ขา 5 Port B จำนวน 100 ลูก

PWM PORTB.5, 127,100

ในการสั่งงานจะแบ่งส่วนการทำงาน ออกเป็น 3 ส่วน คือ

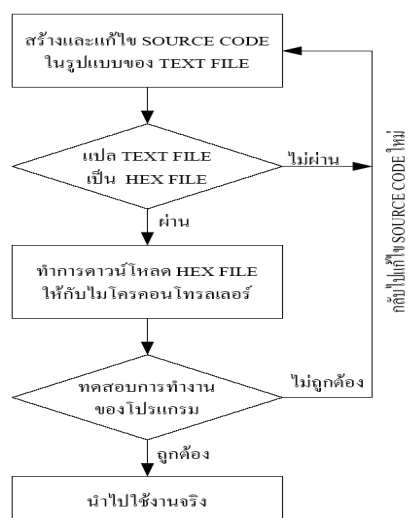
1. การกำหนดค่าตัวแปรควบคุมต่างๆ ที่ต้องการใช้งาน

- การควบคุมมอเตอร์ขาที่ใช้ในการวิ่ง
 - RB0 เป็นขาสัญญาณที่ต่อเข้ากับขา INA ของ H – BRIDGE ตัวที่ 1
 - RB1 เป็นขาสัญญาณที่ต่อเข้ากับขา INB ของ H – BRIDGE ตัวที่ 1
 - RB2 เป็นขาสัญญาณที่ต่อเข้ากับขา PWM ของ H – BRIDGE ตัวที่ 1
- การควบคุมมอเตอร์ซ้ายที่ใช้ในการวิ่ง
 - RB3 เป็นขาสัญญาณที่ต่อเข้ากับขา INA ของ H – BRIDGE ตัวที่ 2
 - RB4 เป็นขาสัญญาณที่ต่อเข้ากับขา INB ของ H – BRIDGE ตัวที่ 2
 - RB5 เป็นขาสัญญาณที่ต่อเข้ากับขา PWM ของ H – BRIDGE ตัวที่ 2
- การควบคุมมอเตอร์ขวาที่ใช้ในการวิ่ง
 - RC0 เป็นขาสัญญาณที่ต่อเข้ากับขา INA ของ H – BRIDGE ตัวที่ 3
 - RC3 เป็นขาสัญญาณที่ต่อเข้ากับขา INB ของ H – BRIDGE ตัวที่ 3
 - RC1 เป็นขาสัญญาณที่ต่อเข้ากับขา EN ของ H – BRIDGE ตัวที่ 3
- การควบคุมมอเตอร์ซ้ายที่ใช้ในการวิ่ง
 - RC4 เป็นขาสัญญาณที่ต่อเข้ากับขา INA ของ H – BRIDGE ตัวที่ 4
 - RC5 เป็นขาสัญญาณที่ต่อเข้ากับขา INB ของ H – BRIDGE ตัวที่ 4
 - RC2 เป็นขาสัญญาณที่ต่อเข้ากับขา EN ของ H – BRIDGE ตัวที่ 4
- การควบคุมมอเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมองศาการส่งลูกเทนนิส
 - RD0 เป็นขาสัญญาณที่ต่อเข้ากับขา INA ของ H – BRIDGE ตัวที่ 5
 - RD1 เป็นขาสัญญาณที่ต่อเข้ากับขา INB ของ H – BRIDGE ตัวที่ 5
 - RD2 เป็นขาสัญญาณที่ต่อเข้ากับขา EN ของ H – BRIDGE ตัวที่ 5

- การควบคุม Solenoid ในการปล่อยลูกเทนนิส
RD3 เป็นขาสัญญาณที่ต่อเข้ากับขา INA ของ H – BRIDGE ตัวที่ 6
RD4 เป็นขาสัญญาณที่ต่อเข้ากับขา INB ของ H – BRIDGE ตัวที่ 6
RD5 เป็นขาสัญญาณที่ต่อเข้ากับขา EN ของ H – BRIDGE ตัวที่ 6
- การควบคุมในการรับอินพุต
RA0 เป็นขาสัญญาณที่ใช้ในการรับอินพุตของโปรแกรม start
RA1 เป็นขาสัญญาณที่ใช้ในการรับอินพุตของโปรแกรม stop
RA2 เป็นขาสัญญาณที่ใช้ในการรับอินพุตของโปรแกรม beginner
RA3 เป็นขาสัญญาณที่ใช้ในการรับอินพุตของโปรแกรม middle
RA4 เป็นขาสัญญาณที่ใช้ในการรับอินพุตของโปรแกรม expert
RA5 เป็นขาสัญญาณที่ใช้ในการรับอินพุตของโปรแกรม go
- กำหนดให้ port a ทั้งหมดเป็น port รับ input และ port b, port c, port d เป็น port output
Adcon1 = 7
TRISA = %11111111
TRISB = %00000000
TRISC = %00000000
TRISD = %00000000

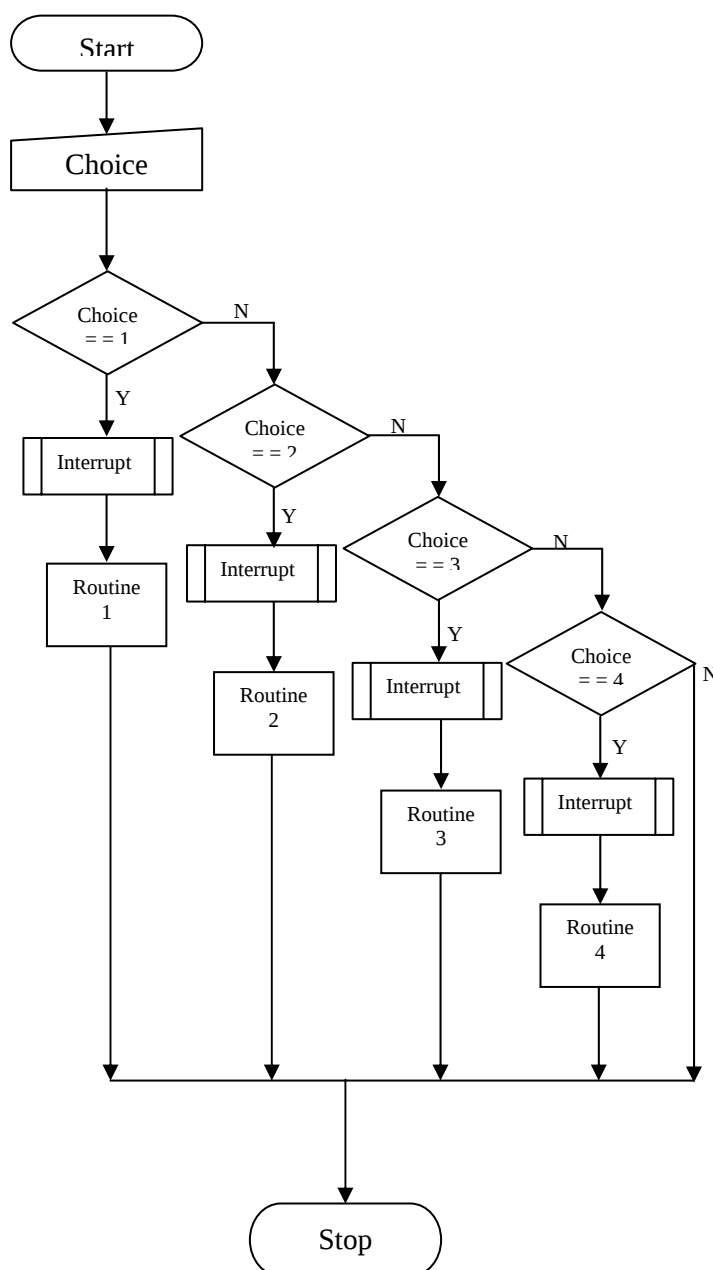
2. การสั่งงานควบคุมอุปกรณ์ต่อพ่วง

2.1 การออกแบบโปรแกรมให้สามารถทำการโปรแกรมข้อมูลลง CPU ได้ภายในบอร์ดโดยในขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมนั้นสามารถสรุปเป็นโฟลว์ชาร์ต ดังนี้

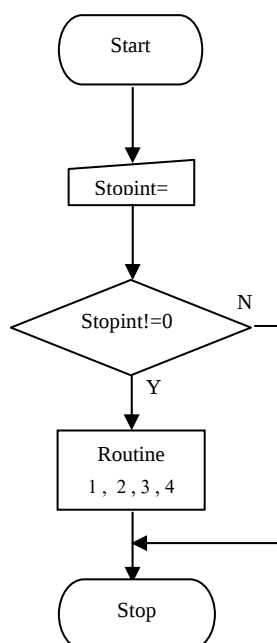


รูป 52 โฟลว์ชาร์ตการพัฒนาโปรแกรม

2.2 ในส่วนของการสั่งงาน ซึ่งจะใช้ชุดคำสั่งมาควบคุมอุปกรณ์ต่อพ่วงให้เกิดการเคลื่อนไหวตามที่ต้องการ โดยมีขั้นตอนสรุปเป็นโฟลว์ชาร์ต การทำงานดังนี้

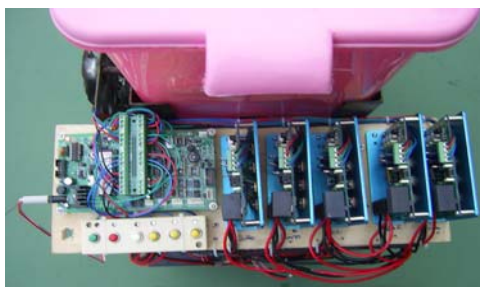


รูป 53 โฟลว์ชาร์ตการทำงาน



รูป 54 โฟลว์ชาร์ตการทำงาน Interrupt

สามารถกำหนดพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตในการรับข้อมูลและการส่งข้อมูล ดังรูป 55



รูป 55 ภาพถ่ายชุดควบคุม

โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

- เมื่อเริ่มการทำงานเมื่อเปิดเครื่องจะรอรับคำสั่งเพื่อเริ่มทำงานต่อไปใน begin1

begin:

gosub stand

pause 500

if start = 1 then begin

pause 50

if start = 0 then begin1

pause 300

- การตรวจสอบว่าจะทำงานในชุดคำสั่งใด ซึ่งได้แก่ loop, loop1, loop2, go1, stopp

begin1:

if lo = 0 then loop

if mi = 0 then loop1

if hi = 0 then loop2

if go = 0 then go1

if sto = 0 then stopp

go to begin1

- ชุดคำสั่งให้หุ่นยนต์วิ่งไปด้านหน้า

go1:

pause 100

gosub forward

if sto = 0 then stopp

goto go1

- ชุดคำสั่งในการสั่งให้หุ่นยนต์หยุดวิ่งและหยุดการหมุนของเครื่องยิง

stopp:

pause 100

gosub stand

gosub fire_off

pause 500

goto begin1

- ชุดคำสั่งในการสั่งให้ปรับองศาการยิงให้ต่ำลงมา

stopp1:

gosub moter_off

pause 100

gosub stand

gosub fire_off

```

pause 100
gosub moter_down
pause 200
gosub moter_off
pause 100
goto begin1

```

- ชุดคำสั่งในการสั่งให้ปรับองศาการยิงให้ต่ำลงมา (มุมที่ปรับไม่เท่ากันกับ stopp1)

stopp2:

```

gosub moter_off
pause 100
gosub stand
gosub fire_off
pause 100
gosub moter_down
pause 400
gosub moter_off
pause 100
goto begin1

```

3.ชุดคำสั่งต่างๆ ที่ใช้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์แต่ละตัว

- ชุดคำสั่งหยุดการทำงานของมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว ที่ควบคุมการวิ่งเพื่อให้รถหยุด

stand:

```

low mora
low morb
low moren
low mola
low molb
low molen
pause 300
Return

```

- ชุดคำสั่งการทำงานของมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว ที่ควบคุมการวิ่งเพื่อให้วิ่งไปด้านหน้า

forward:

high mora

low morb

high moren

high mola

low molb

high molen

pause 300

Return

- ชุดคำสั่งการทำงานของมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว ที่ควบคุมการวิ่งเพื่อให้วิ่งถอยหลัง

backward:

low mora

high morb

high moren

low mola

high molb

high molen

pause 300

Return

- ชุดคำสั่งการทำงานของมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว เพื่อให้รถเลี้ยวไปทางขวา(หมุนไปทางขวา)

turn_right:

high mora

low morb

high moren

low mola

high moib

high molen

pause 300

Return

- ชุดคำสั่งการทำงานของมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว เพื่อให้รถเลี้ยวไปทางซ้าย (หมุนไปทางซ้าย)

turn_left:

low mora

high morb

high moren

high mola

low moib

high molen

pause 300

Return

- ชุดคำสั่งการทำงานของมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว เพื่อเปิดการทำงานของระบบยิงลูกเทนนิส

fire_on:

low mmra

high mmrb

hpwm 1,225,1000

low mmla

high mmlb

hpwm 2,225,1000

pause 300

Return

- ชุดคำสั่งหยุดการทำงานของมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว เพื่อปิดการทำงานของระบบยิงลูกเทนนิส

fire_off:

low mmra

low mmrb

hpwm 1,200,1000

pause 300

low mmla

low mmlb

hpwm 2,75,1000

pause 3000

Return

- ชุดคำสั่งการทำงานของมอเตอร์ทำการปรับองศาการยิงให้เพิ่มขึ้น

moter_up:

high muda

low mudb

high muden

pause 300

Return

- ชุดคำสั่งการทำงานของมอเตอร์ทำการปรับองศาการยิงให้ต่ำลง

moter_down:

low muda

high mudb

high muden

pause 300

Return

- ชุดคำสั่งหยุดการทำงานของมอเตอร์ที่ใช้ปรับองศาการยิง

moter_off:

low muda

low mudb

low muden

pause 300

Return

- ชุดคำสั่งการทำงานของมอเตอร์ให้ทำการปล่อยลูกเทนนิสเข้าสู่ระบบยิง

solli_on:

high mosa

low mosb

high mosen

pause 300

Return

- ชุดคำสั่งหยุดการทำงานของมอเตอร์ ให้หยุดทำการปล่อยลูกเทนนิสเข้าสู่ระบบยิง

soli_off:

low mosa

low mosb

low mosen

pause 300 Return

ดูรายละเอียดชุดคำสั่งรวมเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ข

บทที่ 4

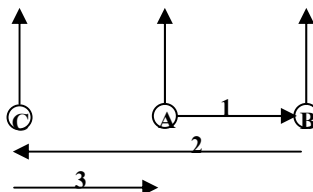
ผลการวิจัย

ในบทนี้จะนำเสนอผลการค้นคว้าอิสระที่ได้รับจากการทดสอบเครื่องส่งลูกเทนนิสที่ทำการเคลื่อนที่ส่งลูกเทนนิสภายในสนามเทนนิส โดยการแบ่งการนำเสนอผลการทดสอบตามลำดับของการทดลองเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นการเคลื่อนที่ตามโปรแกรมอัตโนมัติ ส่วนที่สองเป็นการเคลื่อนที่โดยการควบคุมระยะไกล และส่วนที่สามเป็นการเปรียบเทียบระหว่างงานวิจัยกับผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน

ส่วนที่ 1 การเคลื่อนที่ตามโปรแกรมอัตโนมัติ

ในการเคลื่อนที่โดยอัตโนมัติจะทำการโปรแกรมข้อมูลแบ่งการเคลื่อนไหวและส่งลูกโดยอัตโนมัติออกเป็น 3 ระดับ คือ

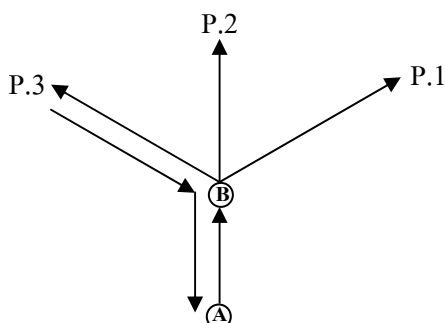
1. ระดับผู้เริ่มต้น



รูป 56 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สำหรับผู้เล่นระดับผู้เริ่มต้น

โดยหุ่นยนต์จะทำการส่งลูกในแนวเส้นตรงจากจุด A จำนวน 10 ลูก แล้วเคลื่อนที่ไปยังจุด B และจะทำการส่งลูกในแนวเส้นตรงจากจุด B จำนวน 10 ลูก และทำการเคลื่อนที่ไปยังจุด C และจะทำการส่งลูกในแนวเส้นตรงจากจุด C จำนวน 10 ลูก เป็นการสิ้นสุดโปรแกรมและเมื่อสิ้นสุดโปรแกรมหุ่นยนต์จะทำการรีเซ็ตตัวเองกลับมายังจุดเริ่มต้น

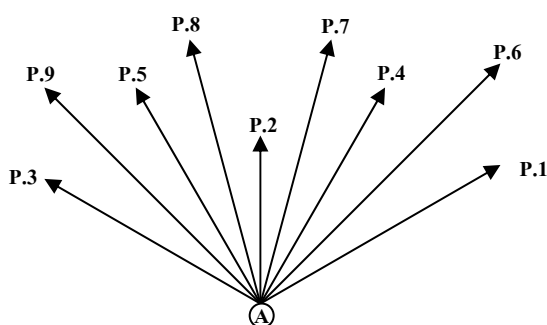
2. ระดับทั่วไป



รูป 57 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สำหรับผู้เล่นระดับทั่วไป

หุ่นยนต์จะทำการเคลื่อนที่ จากจุด A ไปยังจุด B โดยขณะที่เคลื่อนที่จะทำการส่งลูกไปเป็นแนวเส้นตรงเป็นจำนวน 10 ลูก เมื่อถึงจุด B ตัวหุ่นยนต์จะทำการหมุนขวาเป็นมุม 45 องศา แล้วทำการส่งลูกออกไปเป็นจำนวน 3 ลูก หลังจากนั้นจะทำการหมุนซ้ายกลับมาเป็นมุม 45 องศา แล้วทำการส่งลูกออกไปเป็นจำนวน 3 ลูก และทำการหมุนซ้ายทำมุม 45 องศาอีกครั้ง แล้วทำการส่งลูกออกไปเป็นจำนวน 3 ลูก เมื่อสิ้นสุดโปรแกรมหุ่นยนต์จะทำการรีเซ็ตตัวเองกลับมายังจุดเริ่มต้น

3. ระดับอาชีพ



รูป 58 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สำหรับผู้เล่นระดับอาชีพ

หุ่นยนต์จะทำการเคลื่อนที่แบบสุ่มส่งลูกออกไปครั้งละ 1 - 3 ลูกอย่างสุ่มเช่นกัน ลูกเทนนิสจะถูกส่งออกไปยังจุดต่างๆ ตามที่ตั้งโปรแกรมเอาไว้ โดยจะทำการปรับระดับของมุมในการส่งลูกทุกครั้งที่มีการส่งลูกออกไปและจะทำการปรับระดับความเร็วของมอเตอร์ที่ทำการส่งลูก ทำให้ผู้เล่น

ไม่สามารถคาดเดาได้ว่าลูกเทนนิสจะไปตกยังจุดใดของสนาม ซึ่งนับว่าเป็นจุดเด่นของงานวิจัยหุ่นยนต์ส่งลูกเทนนิสนี้

ผลการทดลองของโปรแกรมอัตโนมัติ

ซอฟต์แวร์สมองกลฝังตัวที่ถูกบันทึกลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ ควบคุมการทำงานของตัวหุ่นยนต์ คือ ภาษาเบสิก (BASIC) การทดลองเป็นไปตามที่วางแผนไว้กล่าวคือ หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่และส่งลูกไปได้ระยะไกลสุด 18 เมตร

ส่วนที่ 2 การเคลื่อนที่โดยการควบคุมระยะไกล

ตาราง 2 ระยะการบังคับการส่งลูกเทนนิสด้วยเครื่องควบคุมระยะไกล

ระยะของการบังคับ	ผลที่ได้
ระยะการบังคับ 1 เมตร	บังคับและส่งลูกได้ตามปกติ
ระยะการบังคับ 2 เมตร	บังคับและส่งลูกได้ตามปกติ
ระยะการบังคับ 3 เมตร	บังคับและส่งลูกได้ตามปกติ
ระยะการบังคับ 4 เมตร	บังคับและส่งลูกได้ตามปกติ
⋮	⋮
ระยะการบังคับ 14 เมตร	บังคับและส่งลูกได้ตามปกติ
ระยะการบังคับ 15 เมตร	การควบคุมติดขัด
ระยะการบังคับ 16 เมตร	การควบคุมติดขัด
ระยะการบังคับ 17 เมตร	การควบคุมติดขัด
ระยะการบังคับ 18 เมตร	ไม่สามารถควบคุมเครื่องส่งได้

ผลการทดลองการเคลื่อนที่โดยการควบคุมระยะไกล

จากการทดลอง จะเห็นว่าระยะที่เหมาะสมในการควบคุมเครื่องส่งลูกเทนนิสด้วยเครื่องควบคุมระยะไกล จะอยู่ระหว่าง 1 – 14 เมตร เมื่อพ้นระยะ 14 เมตรไป การควบคุมจะติดขัด และประสิทธิภาพการควบคุมเมื่อระยะ 18 เมตร

ส่วนที่ 3 การเปรียบเทียบระหว่างงานวิจัยกับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน



รูป 59 เครื่องส่งรูน SAMSP - 4

ที่มา : Robot Tennis Ball Machine [Online]. Accessed 9 August 2007.

<http://www.samsports.com.au/iSAM-Model-1-Portable-Tennis-Ball-Machine-p-67.html>



รูป 60 เครื่องส่งรูน SAM-COACH

ที่มา : Robot Tennis Ball Machine [Online]. Accessed 9 August 2007.

<http://www.samsports.com.au/SAM-Coach-Tennis-Ball-Machine-p-16142.html>



รูป 61 เครื่องส่งรูน SAM Robot

ที่มา : [Robot Tennis Ball Machine](http://www.samsports.com.au/Big-SAM-Robot-Tennis-Ball-Machine-p-16148.html) [Online]. Accessed 9 August 2007.

<http://www.samsports.com.au/Big-SAM-Robot-Tennis-Ball-Machine-p-16148.html>



รูป 62 เครื่องส่งดันแบบ

ตาราง 3 การเปรียบเทียบระหว่างงานวิจัยกับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน

คุณสมบัติ	เครื่องส่งต้นแบบ	SAMSP - 4	SAM-COACH	SAM Robot
• ปรับเพิ่ม - ลดความเร็ว	/	/	/	/
• ปรับระยะเวลาในการส่ง	/	/	/	/
• ปรับการหมุนลูกเทนนิส	/	/	/	/
• ส่งลูกโดยการสุม	/	/	/	/
• เคลื่อนที่โดยอัตโนมัติ	/	x	x	x
• ปรับมุมการส่งลูกเทนนิส	/	/	/	/
• ปรับการส่งลูกอัตโนมัติ	/	/	/	/
• การควบคุมระยะไกล	/	x	x	x
• การควบคุมอัตโนมัติ	/	/	/	/
ราคา	12,000 B.	* 95,723 B.	* 201,596 B.	* 1,982,695 B.

* อัตราแลกเปลี่ยนเงินดอลลาร์ สรอ./บาท ระหว่างธนาคารเท่ากับ 33.605 บาท ต่อ

1 ดอลลาร์ สรอ. ณ วันที่ 13 ธันวาคม 2550

จากผลการเปรียบเทียบระหว่างงานวิจัยกับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในปัจจุบันพบว่า เครื่องส่งต้นแบบสามารถปรับเพิ่ม – ลดความเร็ว ปรับระยะเวลาในการส่ง ปรับการหมุนลูกเทนนิส ส่งลูก โดยการสุม เคลื่อนที่โดยอัตโนมัติ ปรับมุมการส่งลูกเทนนิส ปรับการส่งลูกอัตโนมัติ มีการควบคุม ระยะไกล และมีการควบคุมอัตโนมัติ

เครื่องส่งรุ่น SAMSP – 4 สามารถทำได้เช่นเดียวกับเครื่องต้นแบบยกเว้นการเคลื่อนที่โดย อัตโนมัติและการควบคุมระยะไกล

เครื่องส่งรุ่น SAM-COACH และเครื่องส่งรุ่น SAM Robot สามารถทำได้เช่นเดียวกับ เครื่องต้นแบบยกเว้นการเคลื่อนที่โดยอัตโนมัติและการควบคุมระยะไกล

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การค้นคว้าอิสระครั้งนี้เป็นค้นคว้าที่มุ่งศึกษาทฤษฎีทางวิชาการ/ความรู้พื้นฐาน เทคนิคเฉพาะส่วน โดยเน้นการนำความรู้พื้นฐานมาประยุกต์ในการออกแบบและพัฒนากลไกการทำงาน โดยใช้ซอฟต์แวร์สมองกลฝังตัวในการควบคุมการเคลื่อนไหวยของสิ่งประดิษฐ์ต้นแบบ เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามเป้าหมายที่กำหนด ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์กันระหว่างทฤษฎีไปสู่การปฏิบัติและการใช้ประโยชน์จากงานที่พัฒนาขึ้น

สิ่งประดิษฐ์ตัวอย่างที่ใช้ในการค้นคว้าอิสระนี้ คือ เครื่องส่งลูกเทนนิสที่ทางผู้วิจัยได้จัดสร้างขึ้นตามแนวคิดการซื้อเทคโนโลยีพัฒนารากฐานจากวิทยาศาสตร์ เพื่อนำผลการวิจัยไปพัฒนานวัตกรรมที่มีแนวคิดทางด้านคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์เป็นตัวนำในการพัฒนาและสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ให้กับภาคอุตสาหกรรม ซึ่งจะลดการนำเข้าและพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ

สรุปผลการวิจัย

ในการค้นคว้าครั้งนี้สามารถสร้างสิ่งประดิษฐ์ต้นแบบ เป็นหุ่นยนต์ส่งลูกเทนนิสที่มีการควบคุม 2 ระบบ คือ ระบบอัตโนมัติที่มีการใช้ซอฟต์แวร์สมองกลฝังตัวในการควบคุมการเคลื่อนไหวยสั่งการจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 ด้วยโปรแกรมภาษาเบสิก มีขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร และมีน้ำหนัก 50 กิโลกรัม ใช้แหล่งไฟจากแบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 7 ลูก ทำการต่อวงจรแบบผสม ผลจากการทดสอบสรุปได้ดังนี้

1. การเคลื่อนที่ตามโปรแกรมอัตโนมัติ หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่และส่งลูกตามที่วางแผนไว้ได้ทั้ง 3 ระดับ
2. การเคลื่อนที่โดยการควบคุมระยะไกล พบว่าระยะที่เหมาะสมในการควบคุมเครื่องส่งลูกเทนนิสด้วยเครื่องควบคุมระยะไกล จะอยู่ระหว่าง 1 – 14 เมตร เมื่อพ้นระยะ 14 เมตร การควบคุมจะติดขัดและพ้นสภาพการควบคุมเมื่อระยะ 18 เมตร
3. ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ต้นแบบกับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในปัจจุบันพบว่า ผลิตภัณฑ์ต้นแบบสามารถทำงานได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทั้ง 3 รุ่น

ทั้งในด้านคุณสมบัติ การเคลื่อนที่โดยอัตโนมัติ และการควบคุมระยะไกลและราคาถูกกว่าอย่างเห็นได้ชัด

อภิปรายผลการวิจัย

จากการทดลองสิ่งประดิษฐ์ต้นแบบ พบว่าการเคลื่อนที่ของลูกเทนนิสมีการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งทำมุมกับผิวโลก โดยเรียกการเคลื่อนที่แบบนี้ว่า การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ ซึ่งการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ ประกอบด้วย

1. การเคลื่อนที่ในแนวดิ่งโดยมีการเร่งเป็น $-g$
2. การเคลื่อนที่ในแนวราบด้วยความเร็วคงที่

โดยทั้ง 2 กรณีจะไม่พิจารณาแรงต้านของอากาศและสามารถหาพิสัยของลูกเทนนิสในแนวราบและระยะสูงสุดของลูกเทนนิสได้จาก

$$\text{ความสูง} \quad h = \frac{v_i^2 \sin^2 \theta_i}{2g}$$

$$\text{ระยะทาง} \quad R = \frac{v_i^2 \sin 2\theta_i}{2g}$$

ซึ่งลูกเทนนิสที่ถูกยิงในทิศทำมุม 45° จะได้ระยะทางมากที่สุด

ในเรื่องของรูปลักษณะผลิตภัณฑ์ ความแรงของลูกเทนนิสและระยะทางยังเป็นรองผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน ถ้าหากมีการพัฒนาโครงการวิจัยนี้ในเชิงพาณิชย์ก็สามารถปรับปรุงข้อด้อยเหล่านี้ให้สามารถพัฒนาทัดเทียมกับผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน แต่จะมีราคาถูกกว่าในคุณภาพที่เท่ากันหรือสูงกว่า

ข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์โครงสร้างโดยรวมและระบบการถ่ายทอดโปรแกรมคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงที่ใช้ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ ได้ข้อค้นพบจากหุ่นยนต์ต้นแบบที่ส่งผลต่อการทำงาน โดยมีข้อเสนอแนะเพื่อการค้นคว้าวิจัยต่อไปดังนี้

1. จุดเด่นและจุดด้อยภาคไคเวอร์ที่ใช้ได้เลย

จุดเด่นของวงจรรีเลย์ก็คือ สามารถนำกระแสได้สูงตามความต้องการของการใช้งาน เช่น รีเลย์ขนาดเล็กบางรุ่นสามารถทนกระแสได้สูง 5 แอมแปร์ เมื่อเทียบกับทรานซิสเตอร์ขนาดเล็กจะนำกระแสได้มาเพียง 0.8 แอมแปร์ หน้าสัมผัสของรีเลย์ยังมีความทนทานต่อความร้อนได้สูง เมื่อ

นำรีเลย์มาใช้ในการเปิด-ปิดมอเตอร์ที่ใช้กระแสสูง นอกจากนี้ยังสามารถนำรีเลย์แบบ 2 หน้าสัมผัสมาทำเป็นวงจรกลับทางหมุนของมอเตอร์ ซึ่งทำให้ง่ายต่อการใช้งานและมีความทนทานสูง

จุดด้อยของการนำรีเลย์คือเมื่อนำรีเลย์มาใช้ในวงจรหลายๆ ตัวและเมื่อรีเลย์ทำงานพร้อมกันจะทำให้วงจรควบคุมใช้กระแสที่สูงมากขึ้นในการจ่ายให้รีเลย์ ทำให้ต้องออกแบบแหล่งจ่ายไฟให้เหมาะสม นอกจากนี้การตัดต่อหน้าสัมผัสจะเป็นระบบกลไกจะทำให้มอเตอร์หมุนเกิดการกระชาก ทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไม่มั่นคง จึงไม่เหมาะถ้าจะนำมาใช้ควบคุมการเปิด-ปิดมอเตอร์สำหรับหุ่นยนต์ที่ต้องการเคลื่อนที่แบบไม่สะดุด นอกจากการที่รีเลย์นำกระแสต้องอาศัยเวลาในการเชื่อมหน้าสัมผัสจึงไม่สามารถนำกระแสในช่วงเวลาแบบความเร็วสูงได้ จึงทำให้ไม่สามารถใช้วงจรขั้วรีเลย์มาปรับความเร็วของมอเตอร์ได้

2. จุดเด่นและจุดด้อยภาคไครเวอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์

จุดเด่นของวงจรภาคไครเวอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ก็คือ สามารถเปิด-ปิดมอเตอร์ได้นิ่งนวล นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยการป้อนสัญญาณแบบพิสัยกวัด (PWM : Pulse Width Modulation)

จุดด้อยของวงจรทรานซิสเตอร์คือ ทรานซิสเตอร์เบอร์ที่สามารถนำกระแสได้สูงๆ ก็จะมีราคาที่สูง นอกจากนี้เมื่อป้อนสัญญาณแบบพิสัยกวัดที่ความถี่สูงๆ หรือการนำทรานซิสเตอร์ไปเปิด-ปิดวงจรด้วยความเร็วสูงจะเกิดความร้อนที่ตัวทรานซิสเตอร์ และส่งผลกระทบต่อการทำงานของทรานซิสเตอร์ ซึ่งสามารถแก้ไขด้วยการติดแผ่นระบายความร้อนที่ตัวทรานซิสเตอร์ซึ่งส่งผลให้ส่วนประกอบของวงจรมีขนาดใหญ่

3. จุดเด่นและจุดด้อยภาคไครเวอร์ที่ใช้เฟาเวอร์มอสเฟต

จุดเด่นของวงจรภาคไครเวอร์ที่ใช้เฟาเวอร์มอสเฟตต่อเป็นวงจร H-bridge ในหุ่นยนต์ต้นแบบนี้ใช้โครงสร้างแบบ H-bridge ประกอบด้วยเฟาเวอร์มอสเฟตแบบ N Channel 4 ตัวสามารถขับกระแสได้สูงและความต้านทานช่วงนำกระแสของมอสเฟตมีค่าต่ำมาก โดยสัญญาณควบคุมใช้ 3 เส้น คือ PWM, VCC, DIR ซึ่งสัญญาณภาคควบคุมจะแยกเค็ดขาดทางไฟฟ้าด้วย OPTOISOLATOR กับวงจรภาคกำลัง สามารถควบคุมการทำงานได้ในโหมดของ Pulse Width Modulation (PWM) เช่นเดียวกับวงจรภาคไครเวอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์และในโหมดของ ON – OFF

จุดด้อยของวงจรภาคไครเวอร์ที่ใช้เฟาเวอร์มอสเฟตต่อวงจร H-bridge คือ การลัดวงจรหากป้อนสัญญาณเข้าสู่มอสเฟตตัวที่ 1 และมอสเฟตตัวที่ 2 ให้ ON พร้อมกันจะลัดวงจร ทำให้เฟาเวอร์มอสเฟตเกิดการเสียหายและส่งผลกระทบต่อฟ่วง ขณะเดียวกับจังหวะที่เปลี่ยนทิศทางการหมุนจากเดินหน้าเป็นถอยหลังแบบทันทีทันใดก็อาจทำให้ลัดวงจรจากสนามไฟฟ้าตกค้างในตัวอุปกรณ์ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งของเฟาเวอร์มอสเฟต ปัญหาลักษณะนี้โดยทั่วไป

จะแก้ไขโดยใช้ IC ในการบังคับมอเตอร์ แต่ก็ไม่ใช่ที่ยืนยันถึงผลกระทบเนื่องจากความเร็วของเพาเวอร์มอสเฟตไม่สามารถสับสวิชช์ (switching) ได้ทันทีทันใด ต้องใช้เวลาชั่วขณะหนึ่ง ดังนั้นถ้าไม่พิจารณาใช้วิธีการขับเคลื่อนที่เหมาะสมแล้วก็อาจจะพบปัญหาในการใช้งานวงจรขับเคลื่อน

ปัญหาและอุปสรรค

1. โครงสร้างของตัวหุ่นยนต์ประกอบขึ้นมาจากเหล็กหลายขนาด ทำให้หุ่นยนต์ขาดความสวยงาม
2. ระบบการจ่ายกำลังไฟ ในที่นี่ใช้แบตเตอรี่แห้งขนาด 12 โวลต์ 12 แอมป์ 2 ลูก และขนาด 12 โวลต์ 7.5 แอมป์ 2 ลูก เป็นแบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก ในการจ่ายไฟให้ระบบอิเล็กทรอนิกส์จำเป็นต้องใช้สายไฟจำนวนมากและวงจรควบคุมมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ ทำให้หุ่นยนต์ดูแล้วไม่คล่องตัว
3. ระบบการขับเคลื่อน มีการใช้เฟือง ล้อ และเพลลา ผิดสัดส่วน ทำให้การเคลื่อนที่ของหุ่นยังไม่สมบูรณ์นัก
4. มอเตอร์ที่ใช้ส่งลูก เป็นมอเตอร์ที่มีความเร็วรอบ 2500 รอบ 300 วัตต์ ทำให้ความแรงในการส่งลูกถือน้อยเมื่อเทียบกับมอเตอร์ของเครื่องส่งลูกเทนนิสที่ต่างประเทศใช้อยู่ และน้ำหนักรวมมากถึง 50 กิโลกรัม ทำให้ไม่สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย
5. การทดสอบในสนามจริง การเลี้ยวโดยใช้เทคนิคการเดินหน้าถอยหลัง (Forward and Reward) นั้น จะสร้างรอยเลี้ยวให้กับพื้นสนามเทนนิส
6. ในงานวิจัยนี้ไม่มีเครื่องตรวจจับความเร็วของลูกเทนนิส ทำให้ไม่ทราบถึงความเร็วต้นของลูกเทนนิส

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ในการค้นคว้าอิสระนี้ หุ่นยนต์ส่งลูกเทนนิสถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นสิ่งประดิษฐ์ต้นแบบ ที่สามารถชี้ให้เห็นถึงความสำคัญระหว่างทฤษฎีไปสู่การปฏิบัติ และการใช้ประโยชน์จากผลงานที่พัฒนาขึ้น ซึ่งเป็นการบุกเบิกงานวิจัยด้านหุ่นยนต์ในเชิงพาณิชย์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางด้านอื่นๆ เช่น หุ่นยนต์ของเล่น หุ่นยนต์ใช้ในงานการแพทย์ หุ่นยนต์รักษาความปลอดภัย หุ่นยนต์สำรวจหุ่นยนต์อุตสาหกรรม ซึ่งจะสร้างความปลอดภัยให้กับบุคลากรที่ต้องทำงานในพื้นที่เสี่ยง

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

คิวดะ, คัทสุฮิโตะ. เปิดโลกหุ่นยนต์. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี, 2548.

ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง. เรียนรู้การสร้างหุ่นยนต์ Step by Step. กรุงเทพมหานคร:

ด้านสุทธากรพิมพ์, 2549.

พรจิต ประทุมสุวรรณ. พื้นฐานหุ่นยนต์และเครื่องจักรกลอัตโนมัติ. กรุงเทพมหานคร:

เรือนแก้วการพิมพ์, 2548.

วัชรินทร์ เคารพ. เรียนรู้และเข้าใจสถาปัตยกรรมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877.

กรุงเทพมหานคร: อีทีที, 2546.

วัชรินทร์ เคารพ. คู่มือการทดลอง PIC16F877 และ PIC18F458. กรุงเทพมหานคร: อีทีที, 2546.

วัชรินทร์ เคารพ. 2547. เรียนรู้และเข้าใจไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ด้วยภาษาเบสิก.

กรุงเทพมหานคร: อีทีที.

สุรพล รักวิจัย. ฟิสิกส์ 1 สำหรับวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์. กรุงเทพมหานคร:

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542.

สถาพร ถักณะเจริญ. วิศวกรรมหุ่นยนต์. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี, 2548.

มงคล ทองสงคราม. อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร: วี.เจ.พรินติ้ง, 2536.

การเคลื่อนที่โดยอาศัยสัญญาณนำภาพของหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ [Online]. Accessed 20 April

2007. Available from <http://www.kmutt.ac.th/rippc/pntec31.htm>

การเคลื่อนที่ในแนวโค้ง [Online]. Accessed 20 April 2007. Available from

<http://www.kmutt.ac.th/organization/Research/Intellect/best55e.htm>

การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ [Online]. Accessed 9 August 2007.

Available from <http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/circular-motion/projectile/pro2.htm>

การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ [Online]. Accessed 9 August 2007.

Available from <http://www.student.chula.ac.th/~47837613/images/2.htm>

การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ [Online]. Accessed 9 August 2007.

Available from [http://www.electron.rmutphysics.com/physics-](http://www.electron.rmutphysics.com/physics-glossary/index.php?option=com_content&task=view&id=618&Itemid=60)

[glossary/index.php?option=com_content&task=view&id=618&Itemid=60](http://www.electron.rmutphysics.com/physics-glossary/index.php?option=com_content&task=view&id=618&Itemid=60)

การควบคุมการหมุนของมอเตอร์ [Online]. Accessed 22 August 2007. Available from

http://www.mut.ac.th/~c_micro/knowledge/circuit/dc_con02.html

การควบคุมทิศทางการหมุนของ DC Motor [Online]. Accessed 22 August 2007. Available from

http://www.mut.ac.th/~c_micro/knowledge/circuit/dc_con03.html

วงจรควบคุมมอเตอร์ [Online]. Accessed 29 August 2007. Available from

http://www.eanic.com/print.php?type=A&item_id=126 [Online].

ภาคไดรเวอร์ควบคุมทิศทาง DC Motor [Online]. Accessed 29 August 2007. Available from

http://www.geocities.com/mce_engineer/Robot_driver.htm

หุ่นยนต์โครงสร้างเจ็ดขา [Online]. Accessed 9 August 2007.

Available from http://schoolnet.nectec.or.th/library/webcontest2003/100team/dlnes137/am/frame_walker.html

อัตราแลกเปลี่ยน [Online]. Accessed 13 December 2007.

http://www.bot.or.th/bothomepage/databank/FinMarkets/ExchangeRate/exchange_t.asp

ภาษาต่างประเทศ

Iovine, John. PICMICROCONTROLLER PROJECT BOOK New York: McGraw – Hill, 2004.

Jewtt, John W. , Jr. and Raymond A. Serway.

SERWAY'S PRINCIPLES OF PHYSICS, A CALCULUS-BASED TEXT, 4th ed.

CA: Thomson Learning, 2006.

David Lincoln. PROGRAMMING AND CUSTOMIZING THE PICAXE Microcontroller.

New York: McGraw–Hill, 2006.

Balancing Robot Project [Online]. Accessed 9 August 2007.

<http://www.tedlarson.com/robots/balancingbot.htm>

Robot Tennis Ball Machine [Online]. Accessed 9 August 2007.

<http://www.samsports.com.au/SAM-Coach-Tennis-Ball-Machine-p-16142.html>

Robot Tennis Ball Machine [Online]. Accessed 9 August 2007.

<http://www.samsports.com.au/iSAM-Model-1-Portable-Tennis-Ball-Machine-p-67.html>

Robot Tennis Ball Machine [Online]. Accessed 9 August 2007.

<http://www.samsports.com.au/Big-SAM-Robot-Tennis-Ball-Machine-p-16148.html>

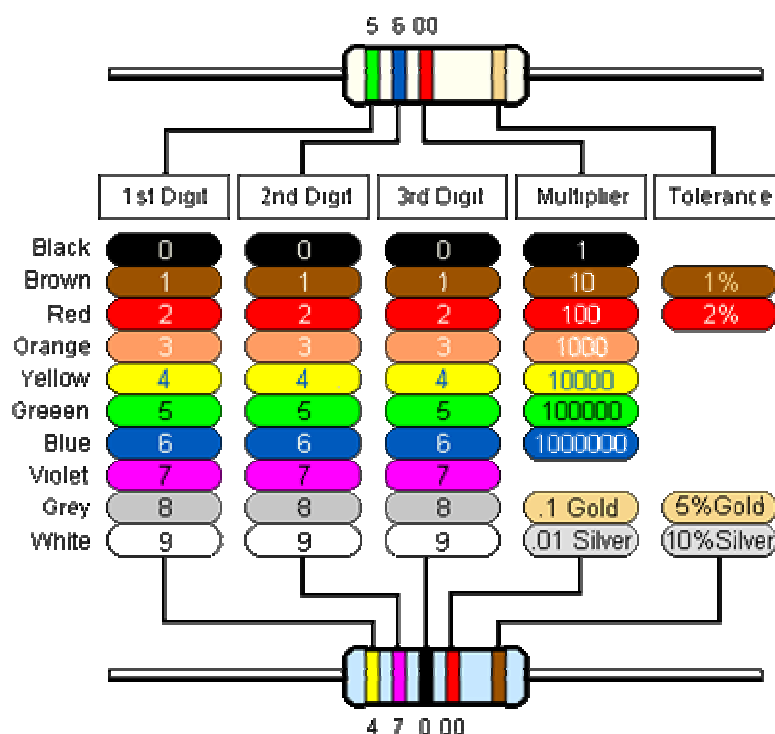
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน

ตัวต้านทาน (Resistor)

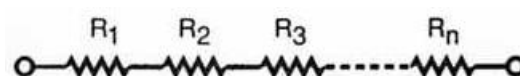
เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้า โดยในตัวของมันจะมีค่าเรียกว่า ค่าความต้านทาน (resistance) มีหน่วยเป็นโอห์ม (ohm : Ω) ถ้าหากตัวต้านทานมีค่ามาก กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวมันได้น้อย ในทางตรงข้ามถ้าหากมีค่าความต้านทานน้อย กระแสไฟฟ้าจะสามารถไหลผ่านได้มาก ตัวต้านทานมีหลายขนาดให้เลือกใช้ ตั้งแต่ 1/8 วัตต์ ไปจนถึงหลายสิบลวัตต์ ในการอ่านค่าตัวต้านทาน ถ้าหากเป็นแบบวัตต์สูงๆ จะมีตัวเลขค่าความต้านทานพิมพ์บนตัวต้านทานนั้น แต่หากเป็นขนาดวัตต์ต่ำตั้งแต่ 1/8 – 2 วัตต์ จะมีรหัสสีเป็นตัวบอกค่าความต้านทาน ซึ่งรหัสสีแต่ละแถบจะมีความหมายเป็นค่าตัวเลข, ตัวคูณและค่าความผิดพลาด ดังสรุปไว้ในรูป



รูปที่ 63 การอ่านค่าความต้านทาน

การคำนวณเกี่ยวกับตัวต้านทาน

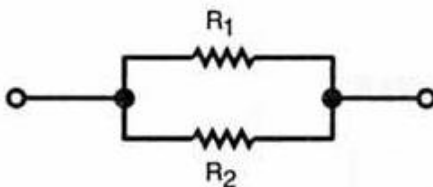
(ก) ค่าความต้านทานรวม เมื่อต่อวงจรแบบอนุกรม



รูป 64 สัญลักษณ์ตัวต้านทานเมื่อต่อแบบอนุกรม

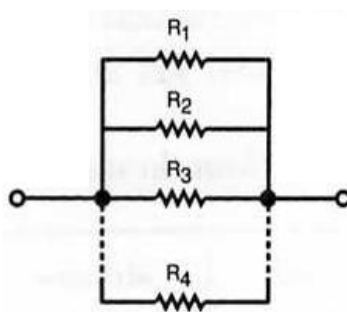
โดยหาค่าความต้านทานรวมได้จาก $R_t = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$

(จ) ค่าความต้านทานรวม เมื่อต่อวงจรขนาน



รูป 65 ลักษณะการต่อตัวต้านทานแบบขนาน 2 ตัว

โดยหาค่าความต้านทานรวมเมื่อต่อขนานกัน 2 ตัว $R_t = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$



รูป 66 ลักษณะการต่อตัวต้านทานแบบขนานหลายตัว

โดยหาค่าความต้านทานรวมเมื่อต่อขนานกันหลายตัวได้จาก

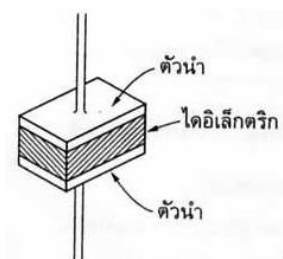
$$R_t = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

ตัวเก็บประจุ (Capacitor หรือ Condenser)

เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้ มีการไปใช้ในวงจรกรองแรงดัน วงจรกรองความถี่, ใช้ในการถ่ายทอดสัญญาณ (coupling) เป็นต้น ภายในตัวเก็บประจุจะประกอบด้วยแผ่นโลหะตัวนำ 2 แผ่น วางห่างกันโดยมีสารไดอิเล็กตริกกั้นอยู่ระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง ดังรูปที่ 67 ชนิดของตัวเก็บประจุขึ้นอยู่กับสารไดอิเล็กตริกที่ใช้ อันได้แก่ เซรามิก, ไมลาร์, อิเล็กโทรไลต์, โพลีเอสเตอร์, แทนทาลัม, แก้ว เป็นต้น

ค่าของตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุมีค่าที่เรียกว่า ความจุไฟฟ้า (Capacitance) มีหน่วยเป็น ฟารัด (Farad)



รูปที่ 67 โครงสร้างของตัวเก็บประจุ

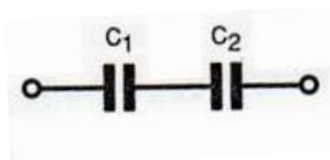
แต่ว่าหน่วยฟารัดนี้ใหญ่มาก จึงต้องทอนลงมาเป็นหน่วยย่อย โดยหน่วยของความจุไฟฟ้าที่นิยมใช้คือ ไมโครฟารัด (Microfarad: μF) นาโนฟารัด (nanofarad : nF) และพิโกฟารัด (pico-farad : pF) ซึ่งจะถูกพิมพ์ไว้บนตัวเก็บประจุด้วย ความสัมพันธ์ของหน่วยตัวเก็บประจุและค่าที่พิมพ์ลงบนตัวเก็บประจุตามมาตรฐาน EIA (Electronic Industry Association) สรุปดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงหน่วยของค่าของตัวเก็บประจุตามมาตรฐาน EIA

ไมโครฟารัด (μF)	นาโนฟารัด (nF)	พิโกฟารัด (pF)	รหัสค่าความจุที่พิมพ์บนตัวเก็บประจุ ตามมาตรฐาน EIA
0.0001	0.10	100	101
0.00022	0.22 (n22)	220	221
0.001	1.00 (1n0)	1,000	102
0.0033	3.30 (3n3)	3,300	332
0.01	10.00	10,000	103
0.047	47.00	47,000	473
0.1 ($\mu 1$)	100.00	100,000	104
0.82 ($\mu 82$)	820.00	820,000	824
1.0 ($1\mu 0$)	1,000.00*	1,000,000	105

การคำนวณตัวเก็บประจุ

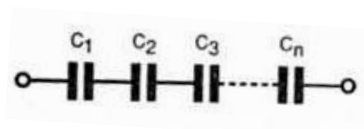
(ก) การหาค่าความจุรวม เมื่อต่อวงจรแบบอนุกรม เมื่อต่ออนุกรม 2 ตัว



รูป 68 ลักษณะการต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม 2 ตัว

โดยหาค่าความจุรวมได้จาก $C_t = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$

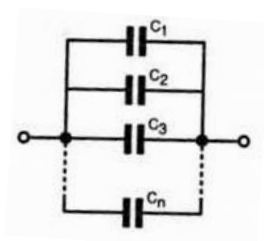
เมื่อต่ออนุกรมหลายตัว



รูป 69 ลักษณะการต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม N ตัว

โดยหาค่าความจุรวมได้จาก $C_t = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}}$

(ข) การหาค่าความจุรวม เมื่อต่อวงจรแบบขนาน



รูป 70 ลักษณะการต่อตัวเก็บประจุแบบวงจรแบบขนาน

โดยหาค่าความจุรวมได้จาก $C_t = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$

ตัวเหนี่ยวนำ

ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) นี้มีสัญลักษณ์ดังรูป 71 ภายในตัวเหนี่ยวนำมีค่าที่เรียกว่า “ค่าความเหนี่ยวนำ (inductance)” มีหน่วยเป็นเฮนรี (Henry: H) ปกติแล้วค่าเฮนรีจะใหญ่มาก การใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์จึงมักใช้หน่วยเล็กลงมาคือ เป็นมิลลิเฮนรี (milli Henry : mH) และ ไมโครเฮนรี (Micro Henry: μH)



รูปที่ 71 สัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำ

การอ่านค่าความเหนี่ยวนำ

ในการอ่านค่าความเหนี่ยวนำ บางครั้งผู้ผลิตจะพิมพ์ค่าลงไปบนตัวเหนี่ยวนำนั้น โดยใช้ตัวเลข 3 หลัก หรือใช้รหัสสีเป็นตัวบอกค่า ส่วนค่าความผิดพลาดก็เช่นเดียวกันมีทั้งแสดงโดยใช้รหัสตัวอักษรหรือรหัสสี

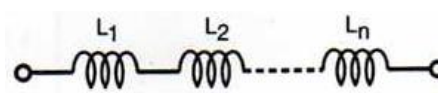
ในกรณีที่เป็นตัวเลข 3 หลัก แสดงค่าความเหนี่ยวนำ หน่วยของมันจะเป็นไมโครเฮนรี โดย 2 หลักแรกจะเป็นค่าตัวเลข หลักที่สามจะเป็นตัวคูณหรือจำนวนเลขศูนย์ เช่น ถ้าพิมพ์ตัวเลขไว้ว่า 472 จะหมายถึง 4,700 ไมโครเฮนรี ($4700 \mu H$) หรือ 4.7 (4.7 mH) ในกรณีเดียวกัน ถ้าพิมพ์ 103 ก็คือ 10 มิลลิเฮนรี ส่วนค่าความผิดพลาดจะใช้รหัสอักษรแทนดังนี้

M แทนค่าความผิดพลาด $\pm 20\%$, K แทน $\pm 10\%$ และ J แทน $\pm 5\%$

สำหรับกรณีใช้รหัสสี จะมีลักษณะเช่นเดียวกับการอ่านค่าความต้านทานด้วยรหัสสี แต่ค่าที่อ่านได้จะมีหน่วยเป็นไมโครเฮนรี ส่วนรหัสสีของค่าความผิดพลาดจะอยู่ถัดจากรหัสสีของค่าความเหนี่ยวนำ โดยสีเงินแทนค่าความผิดพลาด $\pm 10\%$ และสีทองแทนค่าความผิดพลาด $\pm 5\%$

การคำนวณเกี่ยวกับตัวเหนี่ยวนำ

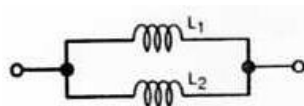
(ก) การหาค่าความเหนี่ยวนำรวม เมื่อต่อวงจรแบบอนุกรม



รูป 72 ลักษณะการต่อตัวเหนี่ยวนำแบบอนุกรมหลายตัว

โดยหาค่าความเหนี่ยวนำรวมได้จาก $L_t = L_1 + L_2 + \dots + L_n$

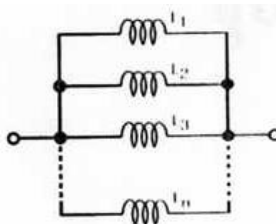
(ข) การหาค่าความเหนี่ยวนำรวม เมื่อต่อวงจรแบบขนาน
ในกรณีที่ต่อขนาน 2 ตัว



รูป 73 ลักษณะการต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนาน 2 ตัว

โดยหาค่าความเหนี่ยวนำรวมได้จาก $L_t = \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_2}$

ในกรณีที่ต่อขนานหลายตัว



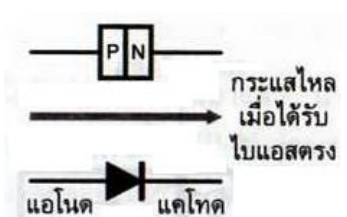
รูป 74 ลักษณะการต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนานหลายตัว

โดยหาค่าความเหนี่ยวนำรวมได้จาก $L_t = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}}$

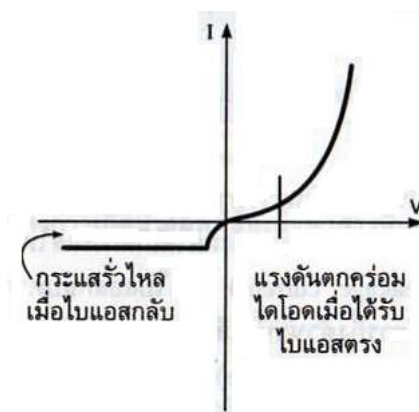
ไดโอด(Diode)

เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำตัวแรกที่ถูกสร้างขึ้น มีโครงสร้างและสัญลักษณ์ดังรูปที่ 75 ไดโอดสามารถนำกระแสได้ ถ้าให้แรงดันบวกที่ขั้วแอโนด และแรงดันลบที่ขั้วแคโทด เรียกว่า ให้แรงดันไบแอสตรง ไดโอดจะนำกระแสเมื่อเกิดแรงดันตกคร่อมตัวมันประมาณ 0.2-0.3 โวลต์ สำหรับไดโอดแบบเยอรมันเนียม และ 0.6-0.7 โวลต์ สำหรับไดโอดแบบซิลิกอน ในรูปที่ 76 เป็นกราฟแสดงการนำกระแสของไดโอด จะเห็นว่าในช่วงแรกที่แรงดันตกคร่อม (หรือแรงดันไบแอส) ตัวไดโอดยังไม่ถึงจุดทำงานของมัน จะมีกระแสไหลผ่านตัวมันน้อยมาก เรียกว่า เป็นกระแสรั่วไหล (leakage current) แต่เมื่อแรงดันไบแอสตรงถึงจุดทำงาน กระแสจะไหลอย่างมากในทันที

ไดโอดมักถูกใช้ในวงจรเรกติไฟร์ (วงจรแปลงกระแสไฟสลับเป็นไปตรง), วงจรดีเท็กเตอร์, วงจรตัดยอดคลื่น (clipper) เป็นต้น ไดโอดที่ใช้ในวงจรเรกติไฟร์จะต้องมีอัตราทอนแรงดัน และ กระแสที่ค่อนข้างสูง คือ มีขนาดตั้งแต่ 1 แอมป์ 50 โวลต์ ไปจนถึงหลายสิบบแมมปี หลายร้อยโวลต์ ส่วนไดโอดที่ใช้ในการจัดการกับสัญญาณขนาดเล็กเช่น ในวงจรดีเท็กเตอร์นั้น จะมีขนาดเล็กกว่ามาก แต่จะมีความเร็วในการทำงานสูงกว่า



รูปที่ 75 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอด

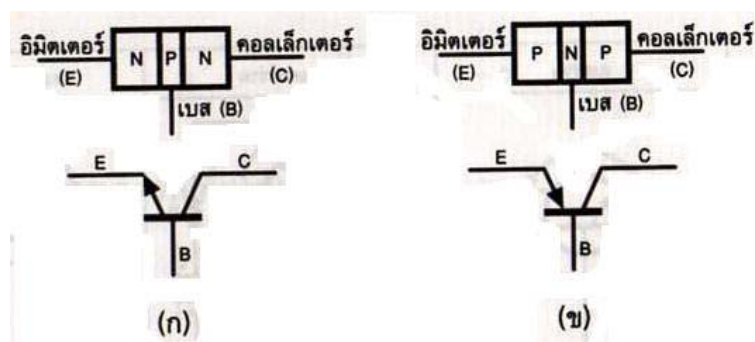


รูปที่ 76 กราฟคุณสมบัติการทำงานของไดโอด

ทรานซิสเตอร์ (Transistor)

เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่พัฒนาการมาจากไดโอด สามารถที่จะขยายสัญญาณให้มีขนาดโตขึ้นได้ ทรานซิสเตอร์แบ่งออกได้ 2 ชนิดตามลักษณะโครงสร้างคือ แบบNPN และ แบบPNP ในรูปที่ 77 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ชนิด

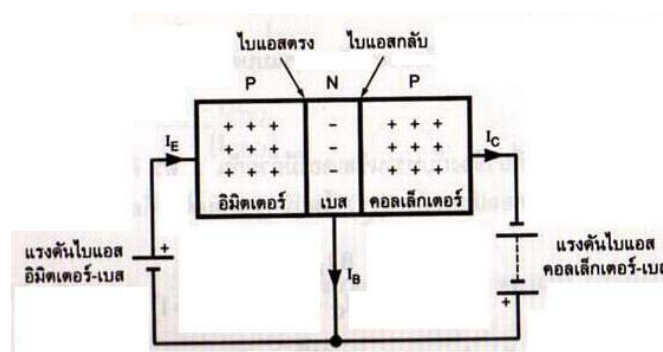
ทรานซิสเตอร์มีขาสัญญาณ 3 ขา คือ เบส (Base), คอลเล็กเตอร์ (collector) และอิมิตเตอร์ (emitter)



รูปที่ 77 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ (ก) NPN (ข) PNP

การทำงานของทรานซิสเตอร์

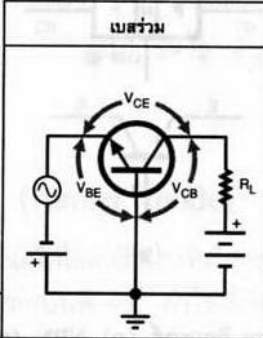
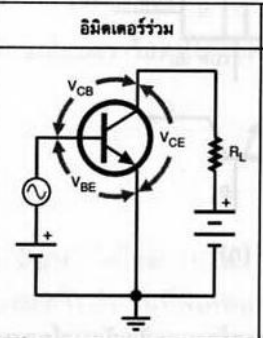
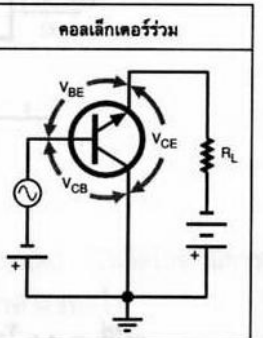
เนื่องจากทรานซิสเตอร์มี 3 ขา การไบแอสให้ทำงานจึงต้องมีวิธีการที่แตกต่างจากไดโอด จึงขอยกตัวอย่างทรานซิสเตอร์ชนิด PNP จะต้องให้ไบแอสตรงทางอินพุตคือ ให้ไฟบวกที่ขา อิมิตเตอร์ และไฟลบที่ขาเบส ส่วนทางเอาต์พุตจะให้ไบแอสกลับไว้ คือ ให้ไฟบวกที่ขาเบส และไฟลบที่ขาคอลเล็กเตอร์ ดังรูปที่ 78



รูปที่ 78 การนำกระแสของทรานซิสเตอร์

จากรูป พิจารณาจะเห็นว่า ที่เบสกับอิมิตเตอร์เสมือนเป็นไดโอดตัวหนึ่ง เมื่อแรงดันที่ขาเบสกับอิมิตเตอร์สูงถึงจุดทำงาน (~ 0.7 โวลต์ สำหรับชนิดซิลิกอน) จะทำให้ช่วงของสาร N แคบลง กระแสจึงสามารถไหลผ่านจากอิมิตเตอร์ไปยังคอลเล็กเตอร์ ก็จะทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแส

ทรานซิสเตอร์สามารถจัดวงจรได้ 3 แบบคือ วงจรเบสร่วม (common base), วงจรอิมิตเตอร์ร่วม (common emitter) และวงจรคอลเล็กเตอร์ร่วม (common collector) โดยมีลักษณะวงจรและคุณสมบัติดังรูปที่ 79

	เบสร่วม	อิมิตเตอร์ร่วม	คอลเล็กเตอร์ร่วม
คุณสมบัติ			
การขยายกำลัง	ขยายได้	ขยายได้	ขยายได้
การขยายแรงดัน	ขยายได้	ขยายได้	ไม่ขยาย (มีอัตราขยายน้อยกว่า 1)
การขยายกระแส	ไม่ขยาย (มีอัตราขยายน้อยกว่า 1)	ขยายได้	ขยายได้
อินพุตอิมพีแดนซ์	ต่ำสุด (~50 โอห์ม)	ปานกลาง (~1 กิโลโอห์ม)	สูงสุด (~300 กิโลโอห์ม)
เอาต์พุตอิมพีแดนซ์	สูงสุด (~1 เมกะโอห์ม)	ปานกลาง (~50 กิโลโอห์ม)	ต่ำสุด (~300 โอห์ม)
การกลับเฟสเอาต์พุต	ไม่มี	มี	ไม่มี

รูปที่ 79 คุณสมบัติของการจัดวงจรแบบต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์

กระแสที่เกี่ยวข้องกับทรานซิสเตอร์มีด้วยกัน 3 ตัว คือ กระแสเบส (I_B), กระแสอิมิตเตอร์ (I_E) และกระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) โดยมีความสัมพันธ์คือ

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = I_C + I_B = I_B (\beta + 1)$$

โดยที่ β คือ อัตราการขยายกระแสของตัวทรานซิสเตอร์

ตามปกติกระแส I_B จะมีค่าน้อยมาก มีหน่วยเป็นไมโครแอมป์หรือมิลลิแอมป์ ในขณะที่กระแสคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์จะมีค่าสูงกว่ามาก คือ ตั้งแต่เป็นมิลลิแอมป์ไปจนถึงหลาย ๆ สิบแอมป์ในกรณีที่เป็นทรานซิสเตอร์กำลัง (power transistor)

สรุปความสัมพันธ์ของ β และ α ของทรานซิสเตอร์

$$1. I_C = \beta I_B$$

$$2. I_E = I_C + I_B = I_B (\beta + 1)$$

$$3. \beta = \frac{I_C}{I_B}$$

4. $\alpha = \frac{I_c}{I_E}$
5. $\gamma = \frac{I_E}{I_B}$ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างกระแส IE กับ IB
6. $I_C = \alpha E + I_{CO} : I_{CO}$ คือกระแสรั่วไหลของคอลเล็กเตอร์
7. $I_{CEO} = \beta I_{CO} : I_{CO}$ คือกระแสรั่วไหลของคอลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์
8. $I_C = \alpha I_E + \beta I_{CO}$
9. $I_C = \frac{I_{CO}}{1-\alpha} + \frac{I_{CBO}}{1-\alpha}$
10. $\beta = \frac{I_C - I_{CBO}}{I_B - (I_{CBO})}$
11. $\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B} = h_{FE}$ เป็นอัตราขยายไฟตรง
12. $h_{fe} =$ เป็นอัตราขยายไฟสลับ : Θ หมายถึง การเปลี่ยนแปลง
13. $h_{fe} = h_{FE} / (1 - (I_{CBO} + I_B) (\Theta h_{FE} / I_C))$
14. อัตราขยายรวมของคาร์ลิงตัน Ai = $(\beta_1 + 1)(\beta_2 + 1) \approx \beta$ กำลัง 2
ถ้าหาก $\beta_1 = \beta_2$

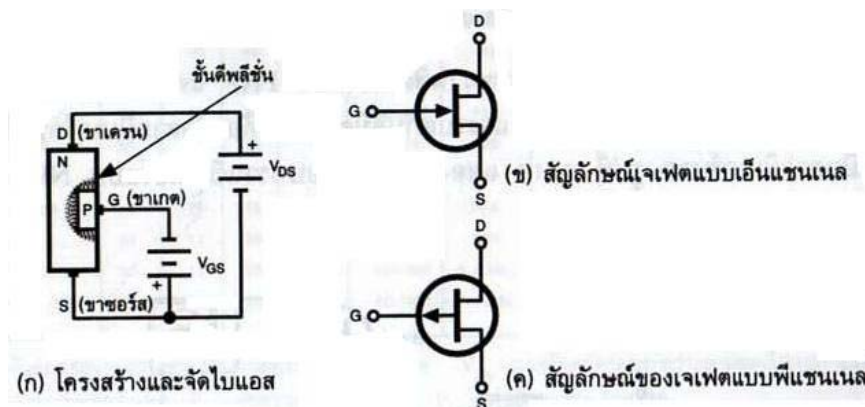
เฟต(FET)

เฟตมาจากคำว่า Field Effect Transistor เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำอีกตัวหนึ่งที่มีประโยชน์และมีการนำมาใช้งานอย่างมาก ถ้าจะมองเฟตก็คือ ทรานซิสเตอร์แบบหนึ่ง ทรานซิสเตอร์ปกติจะมีข้อด้อยในด้านอินพุตอิมพีแดนซ์สูง ๆ จะต้องออกแบบวงจรค่อนข้างซับซ้อน แต่ปัญหาสามารถแก้ไขได้ถ้าหากใช้เฟตแทนทรานซิสเตอร์ เนื่องจากว่าโดยตัวเฟตมีอินพุตอิมพีแดนซ์ที่สูงมาก ทรานซิสเตอร์ธรรมดาจะทำงานด้วยกระแสไฟฟ้า แต่สำหรับเฟตแล้วจะใช้สนามไฟฟ้าควบคุมการทำงานจึงได้ชื่อว่า Field Effect Transistor ซึ่งมีด้วยกัน 2 แบบคือ แบบพีและเอ็นแชนเนล เฟตมีด้วยกัน 2 ชนิดคือ เจเฟต(JFET) และมอสเฟต(MOSFET) โดยจะแตกต่างกันที่ลักษณะของโครงสร้าง

เจเฟต(JFET)

เจเฟต(JFET) มาจากคำว่า Junction Field Effect Transistor ลักษณะโครงสร้าง, สัญลักษณ์ และการจัดไปแอสของเจเฟต แสดงดังรูปที่ 80 เฟตจะประกอบด้วยชั้นสารซิลิกอน N ซึ่งได้รับการแพร่ลงบนรอยต่อของชั้นสารพีและเอ็นเฟตมีขาต่อใช้งาน 3 ขา คือ ขาเกต (gate), เดรน (drain) และ

ซอร์ส (source) ระหว่างขาเดรนกับซอร์สจะได้รับไบแอสตรง ดังนั้นกระแสจะไหลจากขาเดรนไปยังขาซอร์ส

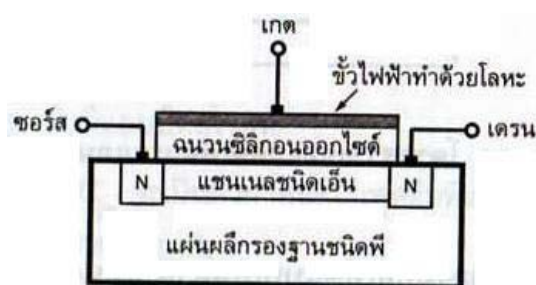


รูปที่ 80 โครงสร้าง, สัญลักษณ์และการไบแอสของเจฟfet

ความสามารถในการนำกระแสของเฟตจะขึ้นอยู่กับแรงดันที่ขาเกต ถ้าหากแรงดันที่เกตเป็นลบมากกระแสก็จะไหลน้อย และถ้าหากแรงดันที่ขาเกตเป็นลบถึงค่าหนึ่ง ก็จะทำให้ไม่มีกระแสเดรนไหล แรงดันเกตที่ค่านี้เรียกว่า แรงดันพิตช์ออฟ (Pitch off voltage) โดยปกติมีค่าประมาณ -5 โวลต์

มอสเฟต (MOSFET)

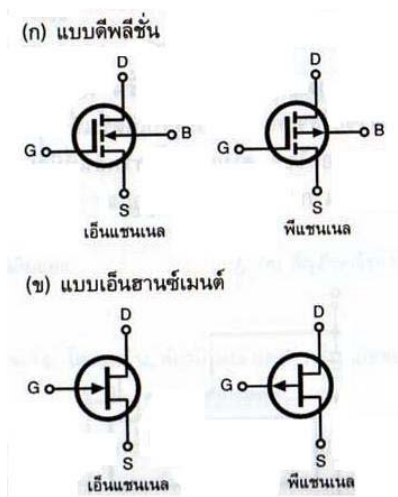
มอสเฟต มาจากคำว่า Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor เป็นเฟตที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำซึ่งได้รับการเคลือบผิวบางส่วนด้วยโลหะออกไซด์ขั้วต่อของเฟตชนิดนี้คือ มีค่าความต้านทานอินพุต (หมายถึงค่าความต้านทานที่เกต) สูงมาก โครงสร้างและสัญลักษณ์ของมอสเฟตแสดงดังรูปที่ 81



รูปที่ 81 โครงสร้างของมอสเฟต

แรงดันบวกเข้าที่ขาเกต จะเกิดประจุบวขึ้นทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากสารเอ็นที่ขาซอร์สมายังเดรนได้ จึงทำให้มอสเฟตทำงานได้ ดังนั้นมอสเฟตแบบนี้จะทำงานได้ต้องป้อนแรงดันที่ขาเกตเป็นแรงดันบวกเท่านั้น และแรงดันระหว่างขาเกตและซอร์ส (VGS) ที่ป้อนให้นี้ต้องมีค่ามากกว่า $V_{GS(TH)}$ (Gate Source Threshold voltage)

สัญลักษณ์ของมอสเฟตทั้งสองแบบแสดงดังในรูปที่ 84



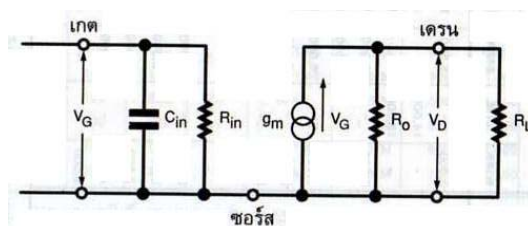
รูปที่ 84 สัญลักษณ์ของมอสเฟตแบบต่างๆ

วงจรสมมูลของเฟต

เฟตมีวงจรสมมูลที่ง่ายและธรรมดาตามาก ดังแสดงในรูปที่ 85 ซึ่งประกอบด้วย ความต้านทานอินพุต และความจุอินพุต (R_{in} และ C_{in}), แหล่งกำเนิดกระแส ($g_m V_G$) และตัวต้านทานเอาต์พุต (R_o) อุปกรณ์แต่ละตัวมีค่าโดยประมาณดังนี้

$$\begin{aligned} R_{in} &= 1,000 \text{ เมกะโอห์ม} \\ C_{in} &= 30 \text{ พิโกฟารัด} \\ R_o &= 250 \text{ กิโลโอห์ม} \\ G_m &= 2 \text{ มิลลิแอมป์ต่อโวลต์} \end{aligned}$$

ในทางปฏิบัติแล้ว C_{in} จะเป็นตัวกำหนดอินพุตอิมพีแดนซ์ และเมื่อต่อ R_L เข้าไปอัตราขยายแรงดันของเฟตจะมีค่าเท่ากับ $g_m R_L$



รูปที่ 85 วงจรสมมูลของเฟต

ข้อมูลคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเฟต

ตัวอย่างข้อมูลคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเฟต แสดงดังตารางที่ 5 พารามิเตอร์ที่สำคัญ ได้แก่

BVGSS	คือ	ค่าแรงดันพังทลายของแรงดันระหว่างขาเกิดกับซอร์ส
VGS	คือ	แรงดันระหว่างขาเกิดกับซอร์สสูงสุดและต่ำสุดที่ยังคงทำให้เฟตทำงาน
IDSS	คือ	ค่ากระแสเดรนอิ่มตัว
YFS	คือ	ค่าความนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้น
Ptot	คือ	ค่ากำลังงานความร้อนสูญเสียของเฟต

อุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้า

อุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้า หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำงานได้โดยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้มีความแตกต่างกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบอื่นๆ ที่ได้กล่าวมา

การเกิดสนามแม่เหล็ก

เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวด จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆ ขดลวด ดังรูปที่ 86 โดยที่ความเข้มของสนามแม่เหล็กจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของกระแสกับจำนวนรอบของขดลวดตามความสัมพันธ์

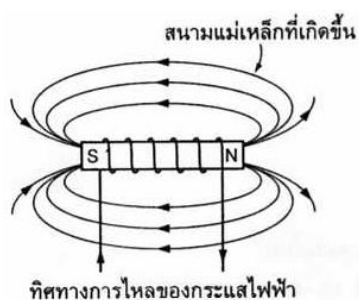
$$\phi \propto IN$$

โดยที่ ϕ คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก

I คือ กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็นแอมแปร์

N คือ จำนวนรอบของขดลวด

โดยมีแบบจำลองการไหลของกระแสไฟฟ้าได้ดังนี้

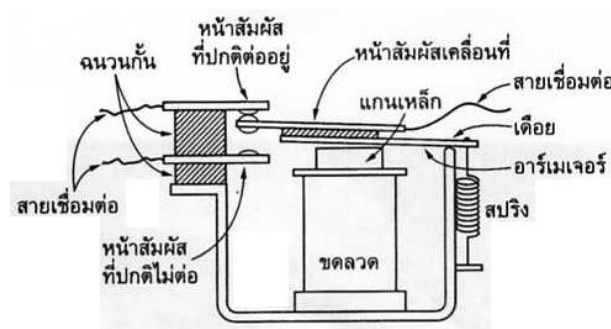


รูปที่ 86 การเกิดสนามแม่เหล็ก

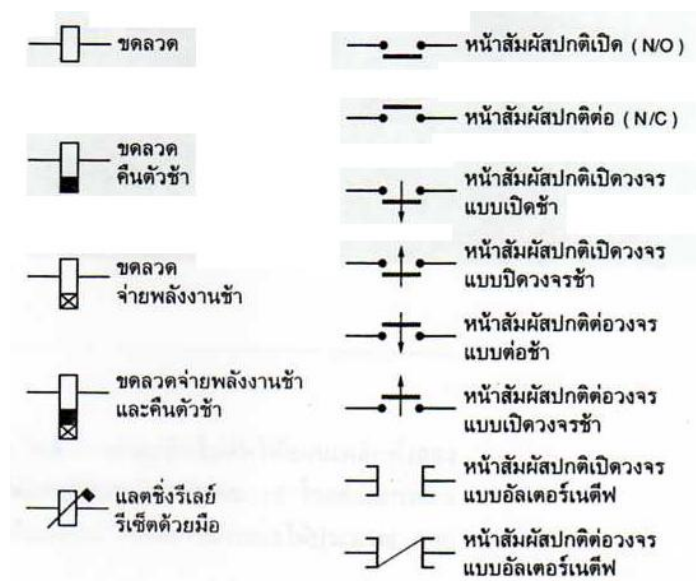
รีเลย์ (Relay)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กระแสต่ำๆ เพื่อควบคุมสวิตช์ให้ตัดต่อโหลดที่มีกระแสสูงๆ โครงสร้างส่วนประกอบของรีเลย์ แสดงดังรูปที่ 87 การทำงานของรีเลย์คือ เมื่อมีแรงดันตกคร่อมขดลวดจะ

ทำให้เกิดกระแสไหลผ่านขดลวด ซึ่งจะทำให้หน้าสัมผัสเคลื่อนที่ (moving contact) เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าดูดหน้าสัมผัส NO (ปกติเปิดวงจร : normally open) ให้ต่อวงจร และเมื่อปลดแรงดันออก สนามแม่เหล็กก็จะหมดลง หน้าสัมผัสเคลื่อนที่ก็จะดีดกลับมาต่อยังหน้าสัมผัส NC (ปกติต่อวงจร: normally close) สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของรีเลย์มีหลายแบบ แสดงดังรูปที่ 88



รูปที่ 87 โครงสร้างของรีเลย์

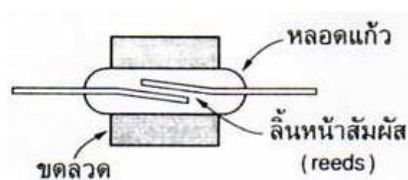


รูปที่ 88 สัญลักษณ์ของรีเลย์ในแบบต่างๆ

รีเลย์เป็นอุปกรณ์ที่มีความเร็วในการทำงานต่ำ ดังนั้นในรีเลย์ชนิดแรงดันต่ำจะใช้เวลาในการทำงานราวๆ 15-30 มิลลิวินาที และใช้เวลามากกว่า 100 มิลลิวินาที สำหรับรีเลย์ขนาดใหญ่ที่ใช้ในวงจรมอเตอร์

รีดรีเลย์ (Reed relay)

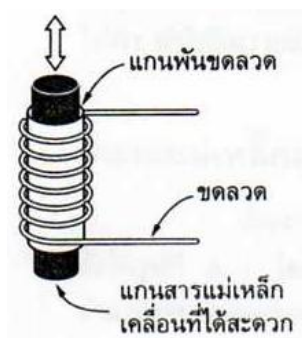
เป็นรีเลย์ที่นิยมใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์และวงจรแม่เหล็กไฟฟ้า ตัวรีดรีเลย์ประกอบด้วยแผ่นเหล็กบาง 2 แผ่น บรรจุอยู่ในหลอดแก้วและมีขดลวดพันอยู่รอบๆ หลอดแก้วนั้น ดังรูป 89



รูปที่ 89 โครงสร้างของรีดรีเลย์

โซลินอยด์ (Solenoid)

เป็นอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โซลินอยด์จะมีลักษณะเป็นขดลวดพันบนแกนทรงกระบอก ภายในแกนจะมีแกนเหล็กที่สามารถเคลื่อนที่ได้ อิสระ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด ทำให้มีสภาพเสมือนเป็นแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้การดึงแกนเหล็กนี้ให้เคลื่อนที่ได้ ดังรูปที่ 90



รูปที่ 90 โครงสร้างของโซลินอยด์

โซลินอยด์มีทั้งแบบไฟตรงและไฟสลับ โดยมีข้อแตกต่างกันดังนี้ ในโซลินอยด์ไฟตรง กระแสที่ไหลในขดลวดจะค่อนข้างคงที่ ไม่ว่าแกนเหล็กเคลื่อนที่นั้นจะอยู่ที่ตำแหน่งใดก็ตาม แต่ในโซลินอยด์ไฟสลับ เมื่อแกนเหล็กเคลื่อนที่อยู่นิ่งตำแหน่งนอกขดลวดกระแสจะมีค่าสูง และจะลดลงเมื่อแกนเหล็กเคลื่อนที่เข้ามาจนสุดขดลวด ดังนั้นโซลินอยด์ไฟสลับจึงต้องระมัดระวังอย่าให้แกนเคลื่อนเกิดการติดขัด ขณะที่มีการเคลื่อนที่ มิฉะนั้นจะทำให้เกิดกระแสจำนวนมากไหลค้างอยู่ ทำให้ขดลวดร้อนขึ้นและอาจไหม้เสียหายได้

ภาคผนวก ข
วาระการทำงานของบอร์ด

ภาคผนวก ค

Data sheet

โครงสร้างทางสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC



PIC16F87X

28/40-pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

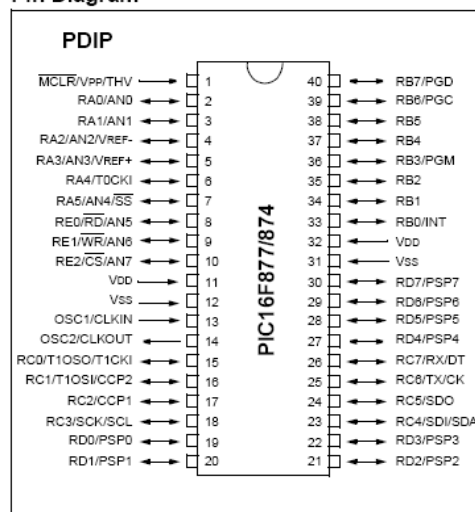
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F876
- PIC16F874
- 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 and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption:
 - < 2 mA typical @ 5V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

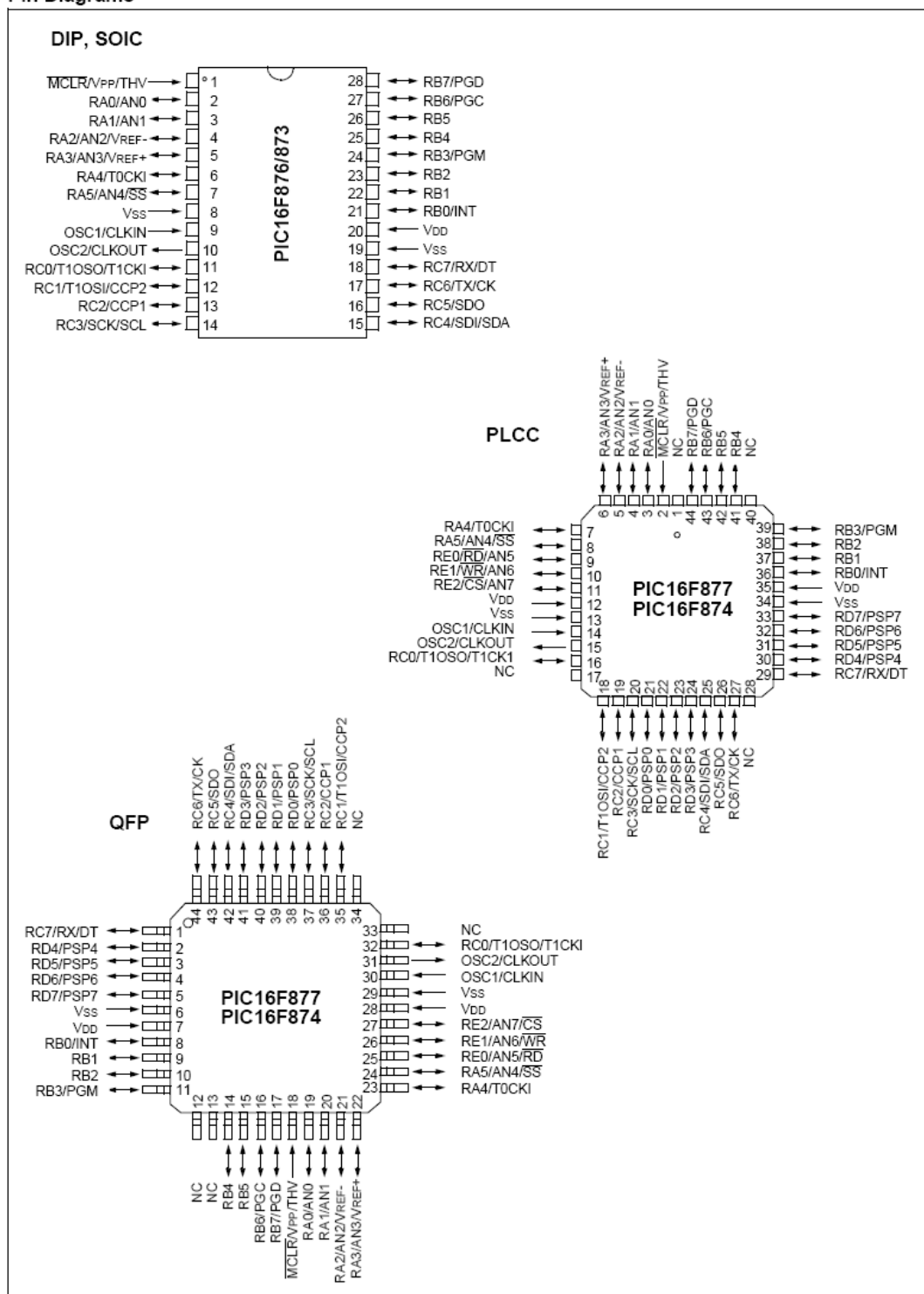
Pin Diagram



Peripheral Features:

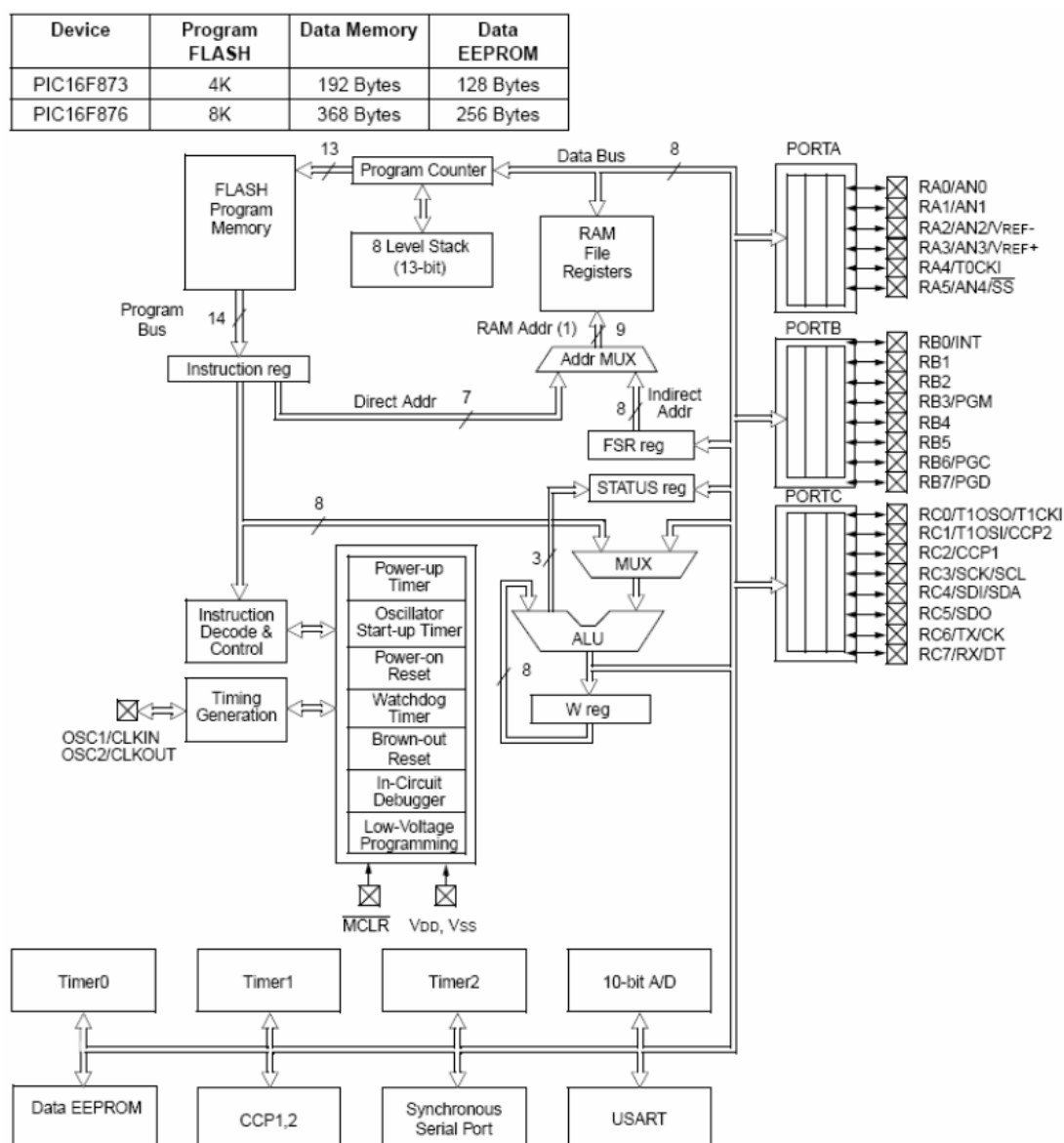
- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during sleep via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. 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)

Pin Diagrams

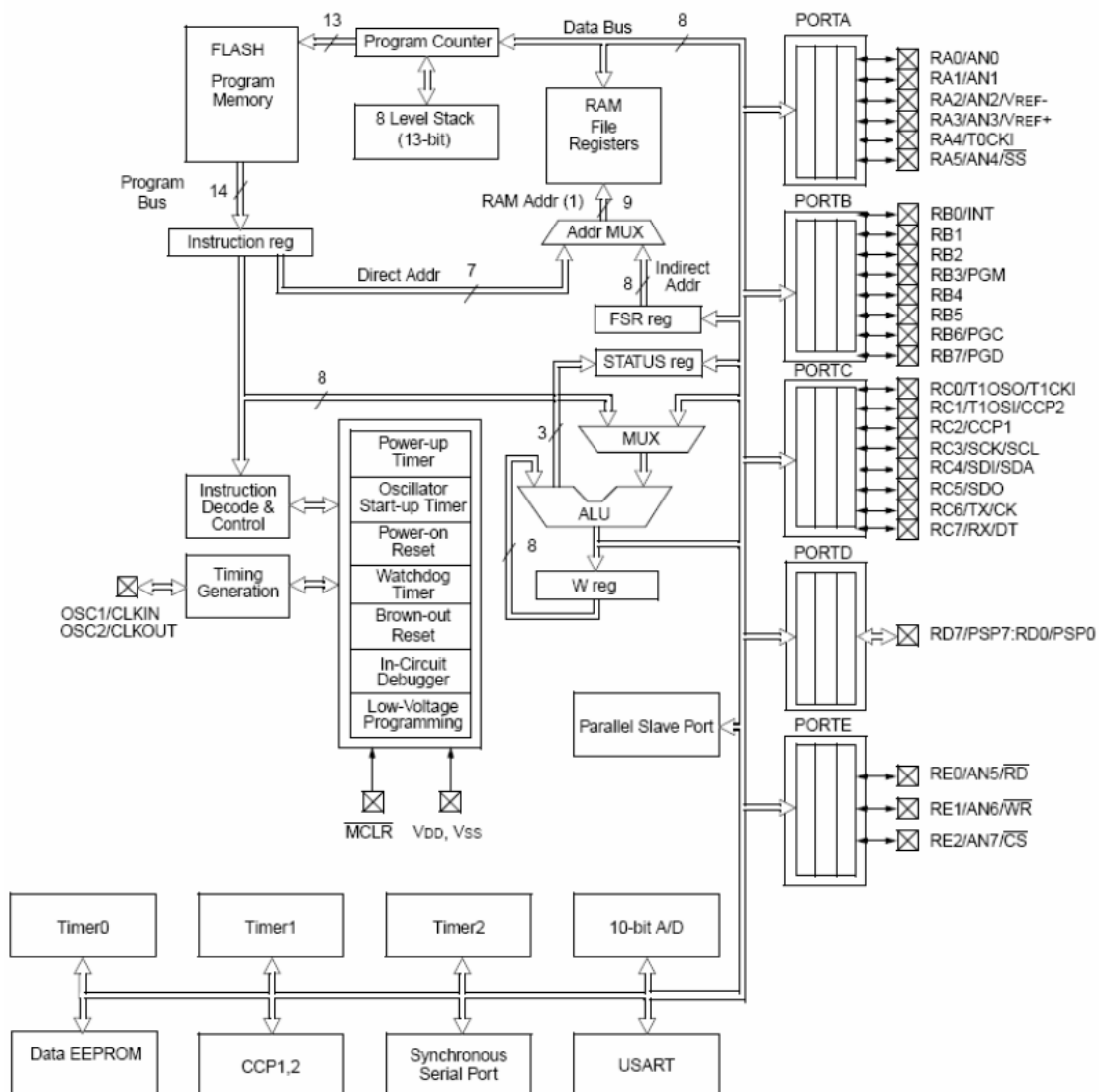


Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions

PIC16F877 BLOCKDIAGRAM



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



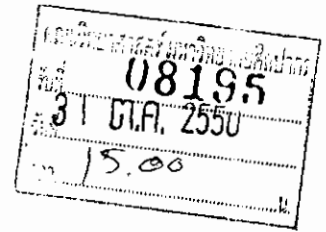
ภาคผนวก ง

หนังสือตอบรับการเสนอผลงานวิจัย



ด่วนที่สุด

บันทึกข้อความ



ส่วนราชการ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร โทร. 0-3425-4066 ภายใน 2202

ที่ ศธ 0520.208/ 2671

วันที่ 30 ตุลาคม 2550

เรื่อง ผลการพิจารณาผลงานทางวิชาการ

เรียน อาจารย์ ภูชิต ภูชานี (คณะวิทยาศาสตร์)

ตามที่ท่านได้ส่งผลงานวิชาการ เรื่อง “การประยุกต์ทางคณิตศาสตร์และระบบฝังตัว กรณีศึกษาเครื่องส่งลูกเทนนิส” เพื่อพิจารณานำเสนอในการประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัย “ศิลปากรวิจัย” ครั้งที่ 1 ในวันที่ 22 พฤศจิกายน 2550 ณ ห้องประชุมอาคารศิลป์ พีระศรี 3 คณะมัณฑนศิลป์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม และท่านได้ปรับปรุงแก้ไขผลงานวิชาการตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิเรียบร้อยแล้วนั้น บัดนี้กระบวนการพิจารณาได้สิ้นสุดลงแล้ว และขอเรียนให้ท่านทราบว่าผลงานของท่านได้ผ่านการพิจารณา โดยเห็นชอบให้นำเสนอด้วยวาจา ระหว่างเวลา 13.20-13.40 น. (ห้องที่ 3) ในวันและสถานที่ดังกล่าว รายละเอียดกำหนดการตั้งเอกสารที่แนบมาพร้อมบันทึกนี้

อนึ่ง หากท่านนำเสนอผลงานทางวิชาการโดยโปสเตอร์ด้วย หรือประสงค์จะนำเสนอผลงานทางวิชาการโดยโปสเตอร์เพิ่มเติม โปรดจัดทำโปสเตอร์ส่งให้สถาบันวิจัยและพัฒนาภายในวันที่ 16 พฤศจิกายน 2550 และสำหรับท่านที่ประสงค์เสนอผลงานทางวิชาการเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร ฉบับพิเศษ “ศิลปากรวิจัย” โปรดส่งผลงานทางวิชาการฉบับเต็มภายในวันที่ 22 พฤศจิกายน 2550 เพื่อสถาบันวิจัยและพัฒนาจะได้ดำเนินการต่อไป ทั้งนี้โปรดดูรายละเอียดการนำเสนอโปสเตอร์ได้จากเว็บไซต์ www.surf.surdi.su.ac.th และวารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร ฉบับภาษาอังกฤษได้จากเว็บไซต์ www.journal.su.ac.th

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิ ฉายะบุตร)

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

ภาคผนวก จ

เกียรติบัตรรางวัลการนำเสนอผลงานวิจัยรูปแบบโปสเตอร์



มหาวิทยาลัยศิลปากร

มอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้แก่

อาจารย์ภูษิต ภู่วานี

เพื่อแสดงว่า

ได้รับรางวัลการนำเสนอผลงานวิจัยรูปแบบไปสเตอร์
ประเภทรางวัลดี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์

ในการประชุมวิชาการและการแสดงผลงานวิจัย "ศิลปากรวิจัย" ครั้งที่ 1
เนื่องในโอกาสมหามงคลเฉลิมพระชนมพรรษา 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550

จากการพิจารณาตัดสินเลือกของมหาวิทยาลัยศิลปากร

ให้ไว้ ณ วันที่ 22 พฤศจิกายน 2550

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิ ภาชนะบุตร)

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

(นายกรมเดช พันธ์วิเชียร)

รักษาราชการแทนอธิการบดีมหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก จ
โปสเตอร์งานวิจัย



การประยุกต์ทางคณิตศาสตร์และระบบฝังตัว กรณีศึกษาเครื่องส่งลูกเทนนิส

APPLICATION IN MATHEMATICS AND EMBEDDED SYSTEM : CASE STUDY TENNIS BALL SERVING MACHINE

ภูษิต ภูษานันท์^{1/} และนันนภัต โตดีเทพย์^{2/}
Puchit Puchumni^{1/} and Nunnapat Toaditthep^{2/}

¹ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย
Department of Mathematics, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand.
² ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000 ประเทศไทย
Department of Computing, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

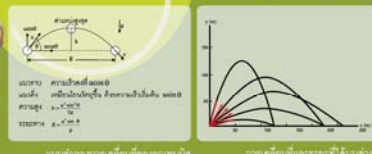
บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมซอฟต์แวร์และเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์กำลังก้าวสู่ความเป็นสากล ความรู้พื้นฐานด้าน คณิตศาสตร์ และด้านวิทยาศาสตร์เป็นปัจจัยสำคัญที่นำพาความสำเร็จไปสู่อุตสาหกรรมซอฟต์แวร์ และ เทคโนโลยี อิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะด้านซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ (Embedded software) เป็นซอฟต์แวร์ที่อยู่ในอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้อยู่ในชีวิตประจำวัน เช่น อุปกรณ์ในรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่ประเทศไทย มีศักยภาพในการแข่งขันในเวทีโลก และสามารถรองรับการพัฒนาอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้ในวงกว้างขึ้นได้ไม่ ความรู้ พลังการ ทักษะวิชาการ/ความรู้คณิตศาสตร์เฉพาะสาขา โดยเน้นการนำความรู้พื้นฐานมาประยุกต์ในการ ออกแบบและพัฒนาภาคการคำนวณของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ เพื่อใช้มาทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modeling) การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Circuit Design) และซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ (Embedded Software) โดยคำนึงถึงความเหมาะสม และความเป็นไปได้ในการใช้จริง ไม่ใช่มุ่งเน้นแต่การพัฒนาระบบ

ในภาคอุตสาหกรรมที่มีความเป็นไปไม่ได้ หรือเป็นไปไม่ได้ในเชิงคณิตศาสตร์ ผู้ใช้คิดว่า เครื่องส่งลูกเทนนิส ที่ไม่มีข้อผิดพลาดที่แน่นอนที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ จะเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่สามารถใช้ได้ด้วยความสำคัญระหว่างทฤษฎีไปสู่ การปฏิบัติและการใช้ประโยชน์จากผลงานที่พัฒนาขึ้น

หลักการทดลอง

ในการทดลองใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ในการสั่งการอุปกรณ์ต่อพ่วงทั้งหมด โดยในภาคการคำนวณ ใช้คอมพิวเตอร์ประมวลผลขนาด 24 บิตในการคำนวณ ค่าการเคลื่อนที่ของลูกเทนนิส 12 บิตเพื่อคำนวณวิถีพาราโบลาในการเคลื่อนที่ การโยนลูกเทนนิสด้วยแรงเหวี่ยง ให้ลูกเทนนิสในการโยนที่เรียกว่าเฟรตฟอร์เวิร์ด (Forward and Reward) จะทำให้ลูกเทนนิสโยนในแนวเส้นตรง ใช้คอมพิวเตอร์ประมวลผลขนาด 24 บิตในการส่งลูกเทนนิส ส่วนในการโยนลูกเทนนิสในแนวเส้นตรง ใช้คอมพิวเตอร์ประมวลผลขนาด 12 บิต ในการคำนวณวิถีพาราโบลา ลูกเทนนิสจะเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง และใช้วิถีพาราโบลาขนาด 12 บิต ในการโยนลูกเทนนิสในแนวเส้นตรง ซึ่งมีความแม่นยำสูง ไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถคำนวณค่าพิกัดของลูกเทนนิส (SABC) การทดลองเป็นไปตามที่วางแผนไว้ ผลการทดลองสามารถใช้งานได้ ลูกเทนนิสโยนในแนวเส้นตรง และสามารถส่งลูกเทนนิสได้อย่างแม่นยำตามขนาดระบุ โดยลูกเทนนิสโยนได้ระยะได้ไกลสุดระหว่าง 15-18 เมตร (สามารถโยนลูกเทนนิสในแนวเส้นตรงได้) ลูกเทนนิสโยนในแนวเส้นตรง ระยะการเคลื่อนที่ของลูกเทนนิสในแนวเส้นตรง จะสามารถคำนวณค่าพิกัดของลูกเทนนิสได้ และสามารถพัฒนาให้มีความแม่นยำได้ และสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของลูกเทนนิสในแนวเส้นตรงด้วยระบบควบคุมระยะไกล (Remote control)



แบบจำลองการเคลื่อนที่ของลูกเทนนิส

การเคลื่อนที่และระยะที่ลูกเทนนิสโยน

สรุปและวิจารณ์

เป็นงานวิจัยที่สามารถพัฒนาการเขียนโปรแกรมได้ ไม่สามารถปฏิบัติได้ และสามารถต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพสูงและแม่นยำได้ เพื่อเป็นต้นแบบเชิงปฏิบัติในการพัฒนา การเรียนรู้ของ นักศึกษาที่สนใจเรียนคณิตศาสตร์ การพัฒนาระบบอัตโนมัติ ที่มีศักยภาพด้าน คณิตศาสตร์ และวิทยาศาสตร์เป็นความรู้ในการพัฒนาสู่ภาคการผลิตของประเทศไทย

รองศาสตราจารย์ และพิเศษศาสตราจารย์จากต่างประเทศเพื่อพัฒนาระบบการผลิตที่มีความ

สามารถคิดค้นแบบ นวัตกรรม และเป็นที่ยอมรับในระดับสากล

เอกสารอ้างอิง

1. ปิยะ ธรรม 2566, คู่มือการเขียน PIC16F877 และ PIC18F4550, กรุงเทพมหานคร: EEE.
2. ปิยะ ธรรม 2566, อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น, กรุงเทพมหานคร: โอเอซี.
3. Jewett, John W., 2003 Raymond A.Serway, 2006, SERWAY'S PRINCIPLES OF PHYSICS: A CALCULUS-BASED TEXT, 4th ed. CA: Thomson Learning.
4. Ulrich David, 2000, PROGRAMMING AND CUSTOMIZING THE PIC16C Microcontroller, New York: McGraw-Hill.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องส่งลูกเทนนิส ที่สามารถส่งลูกเทนนิสได้อย่างอัตโนมัติ การส่งลูกเทนนิสอัตโนมัติเป็นลูกเทนนิส 3 ระดับ คือ ยาก, ง่าย และปานกลาง ซึ่งมีความแม่นยำสูง เครื่องนี้ทำงานด้วยระบบฝังตัวใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซอฟต์แวร์ที่ใช้งานคือ ภาษาซี และภาษาแอสเซมบลี เครื่องนี้สามารถส่งลูกเทนนิสได้ไกล 15-18 เมตร และสามารถส่งลูกเทนนิสในแนวเส้นตรงได้ ลูกเทนนิสโยนในแนวเส้นตรง และสามารถส่งลูกเทนนิสได้อย่างแม่นยำตามขนาดระบุ โดยลูกเทนนิสโยนได้ระยะได้ไกลสุดระหว่าง 15-18 เมตร (สามารถโยนลูกเทนนิสในแนวเส้นตรงได้) ลูกเทนนิสโยนในแนวเส้นตรง ระยะการเคลื่อนที่ของลูกเทนนิสในแนวเส้นตรง จะสามารถคำนวณค่าพิกัดของลูกเทนนิสได้ และสามารถพัฒนาให้มีความแม่นยำได้ และสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของลูกเทนนิสในแนวเส้นตรงด้วยระบบควบคุมระยะไกล (Remote control)

คำสำคัญ : เครื่องส่งลูกเทนนิสอัตโนมัติ ระบบฝังตัว

Abstract

This project aimed to build the tennis ball serving machine which can serve the ball automatically. The automatic serving is the first outstanding and the second one is having the pattern of serving in 3 levels: the easy, fair and hard. This machine can do its work with software embedded in microcontroller, the software command the part of mechanics in machine to work, such as the motor to move ahead, turn left, turn right, spin and the solenoid to drop the ball. This machine can project the ball in 15-18 meters long, saying that it can serve in real tennis court. It is a prototype of the tennis ball serving machine which worked with embedded system.

Keyword : machine, ball serving, automatic, embedded system



Machine Model (1/2000 3-)

Machine Model (1/2000 3-)

ภาคผนวก ข

ชุดคำสั่งรวมการทำงานของเครื่องส่งลูกเทนนิส

ชุดคำสั่งรวมการทำงานของเครื่องส่งลูกเทนนิส Program ที่ 1, 2 และ 3

Name	: MATH-IT 3.BAS
Author	: [select VIEW...EDITOR OPTIONS]
Notice	: Copyright (c) 2007 [select VIEW...EDITOR OPTIONS]
	: All Rights Reserved
Date	: 23/2/2007
Version	: 1.0
Notes	:

```

mola  var PORTB.0
molb  VAR PORTB.1
molen VAR PORTB.2
mora  var PORTB.3
morb  var PORTB.4
moren VAR PORTB.5
mmra  var PORTC.0
mmrb  var PORTC.3
mmren VAr PORTC.1
mmla  var PORTC.4
mmlb  var PORTC.5
mmlen var PORTC.2
muda  var PORTD.0
mudb  var PORTD.1
muden var PORTD.2
mosa  var PORTD.3
mosb  var PORTD.4
mosen VAR PORTD.5
start VAR PORTA.0
sto    VAR PORTA.1
lo     VAR PORTA.2

```

```

mi    VAR PORTA.3
hi    VAR PORTA.4
go    VAR PORTA.5

adcon1 = 7

TRISA = %11111111
TRISB = %00000000
TRISC = %00000000
TRISD = %00000000

begin:
    gosub stand
    pause 500
    if start = 1 then begin
        pause 50
    if start = 0 then begin1
        pause 300
begin1:
    if lo = 0 then loop
    if mi = 0 then loop1
    if hi = 0 then loop2
    if go = 0 then go1
    if sto = 0 then stopp
    goto begin1

loop:
    gosub stand
    pause 500
    gosub forward      ' forward 3 m
    if sto = 0 then stopp
    gosub fire
    gosub stand
    pause 2000

```

```

gosub turn_left
if sto = 0 then stopp
pause 500
gosub stand
gosub fire
pause 3000      ' loop 1
gosub turn_right '
if sto = 0 then stopp
pause 480
gosub stand
gosub fire
pause 3000
gosub turn_right
if sto = 0 then stopp
pause 500
gosub stand
gosub fire
pause 3000
gosub turn_left
if sto = 0 then stopp
pause 550
gosub stand
gosub fire
pause 3000
gosub backward '
if sto = 0 then stopp
pause 10000     '
gosub stand     '
goto begin1

```

```

loop1:
    gosub stand
    pause 500
    gosub forward      ' forward 3 m
    if sto = 0 then stopp
    gosub fire
    pause 500
    gosub stand
    pause 2000
    gosub turn_left
    if sto = 0 then stopp
    pause 700
    gosub stand
    gosub fire
    pause 3000      ' loop 1
    gosub turn_right  '
    if sto = 0 then stopp
    pause 680
    gosub stand
    gosub fire
    pause 3000
    gosub turn_right
    if sto = 0 then stopp
    pause 700
    gosub stand
    gosub fire
    pause 3000
    gosub turn_left
    if sto = 0 then stopp
    pause 680

```

```

    gosub stand
    gosub fire
    pause 3000
    gosub backward      '
    if sto = 0 then stopp
    pause 10000         '
    gosub stand         '
    goto begin1
loop2:
    gosub stand
    pause 500
    gosub forward      ' forward 3 m
    if sto = 0 then stopp
    pause 4000
    gosub stand
    gosub fire
    pause 2000
    gosub turn_left
    if sto = 0 then stopp
    pause 500
    gosub stand
    pause 1500         ' loop 1
    gosub forward
    if sto = 0 then stopp
    pause 4000
    gosub stand
    pause 1500
    gosub turn_right   '
    if sto = 0 then stopp
    pause 500

```

```
gosub stand
gosub fire
pause 1000
gosub turn_right
if sto = 0 then stopp
pause 300
gosub stand
gosub fire
pause 1000
gosub turn_left
if sto = 0 then stopp
pause 300
gosub stand
gosub fire
pause 1000
gosub turn_right
if sto = 0 then stopp
pause 500
gosub stand
pause 1000
gosub forward
if sto = 0 then stopp
pause 8000
gosub stand
pause 1000
gosub turn_left
if sto = 0 then stopp
pause 500
gosub stand
pause 1000
```

```

gosub fire
pause 1000
gosub turn_left
if sto = 0 then stopp
pause 300
gosub stand
gosub fire
pause 1000
gosub turn_right
if sto = 0 then stopp
pause 280
gosub stand
pause 1000
gosub backward      '
if sto = 0 then stopp
pause 8000          '
gosub stand          '
goto begin1

```

fire:

```

if sto = 0 then stopp
gosub moter_up
pause 200
gosub moter_off
if sto = 0 then stopp1
pause 200
gosub fire_on
if sto = 0 then stopp1
pause 100
gosub soli_on
if sto = 0 then stopp1

```

```
pause 1000
gosub soli_off
if sto = 0 then stopp1
pause 100
gosub moter_up
pause 200
gosub moter_off
if sto = 0 then stopp2
pause 100
gosub soli_on
if sto = 0 then stopp2
pause 1000
gosub soli_off
if sto = 0 then stopp2
pause 100
gosub soli_on
if sto = 0 then stopp2
pause 1000
gosub soli_off
if sto = 0 then stopp2
pause 100
gosub fire_off
if sto = 0 then stopp2
pause 100
gosub moter_down
pause 600
gosub moter_off
return
```

```
gol:
    pause 100
    gosub forward
    if sto = 0 then stopp
    goto gol
```

```
stopp:
    pause 100
    gosub stand
    gosub fire_off
    pause 500
    goto begin1
```

```
stopp1:
    gosub moter_off
    pause 100
    gosub stand
    gosub fire_off
    pause 100
    gosub moter_down
    pause 200
    gosub moter_off
    pause 100
    goto begin1
```

```
stopp2:
    gosub moter_off
    pause 100
    gosub stand
    gosub fire_off
    pause 100
    gosub moter_down
    pause 400
```

```
        gosub moter_off
        pause 100
        goto begin1
stand:
```

```
        Low mora
        Low morb
        low moren
        low mola
        low molb
        low molen
        pause 300
        Return
```

```
forward:
```

```
        high mora
        low morb
        high moren
        high mola
        low molb
        high molen
        pause 300
        Return
```

```
backward:
```

```
        low mora
        high morb
        high moren
        low mola
        high molb
        high molen
        pause 300
        Return
```

turn_right:

high mora
low morb
high moren
low mola
high molb
high molen
pause 300
Return

turn_left:

low mora
high morb
high moren
High mola
low molb
high molen
pause 300
Return

fire_on:

low mmra
high mmrb
'high mmren
hpwm 1,225,1000
low mmla
high mmlb
hpwm 2,225,1000
'high mmlen
pause 300
Return

```
fire_off:
    low mmra
    low mmrb
    'low mmren
    hpwm 1,200,1000
    pause 300
    low mmla
    low mmlb
    hpwm 2,75,1000
    'low mmlen
    pause 3000
    Return
```

```
moter_up:
    high muda
    low mudb
    high muden
    pause 300
    Return
```

```
moter_down:
    low muda
    high mudb
    high muden
    pause 300
    Return
```

```
moter_off:
    low muda
    low mudb
    low muden
    pause 300
    Return
```

sol_i_on:

high mosa

low mosb

high mosen

pause 300

Return

sol_i_off:

low mosa

low mosb

low mosen

pause 300

Return

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นายภูษิต ภูขำนิ
ที่อยู่	81 หมู่ 11 ตำบลหาดคำ อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย 43000
ที่ทำงาน	แผนกวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคนครปฐม ตำบลพระประโทน อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2545	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต แผนกวิชา อิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพฯ
พ.ศ. 2547	ศึกษาต่อระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา คณิตศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2545-2548	หัวหน้าส่วนการผลิต (PREFORM) บริษัทสยามพลาสติก ผลิตภัณฑ์จำกัด อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม
พ.ศ. 2548-ปัจจุบัน	ครูพิเศษสอนประจำแผนกวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิค นครปฐม