

หุ่นยนต์เตะฟุตบอล

ROBOT SOCCER

นายเฉลิมพล	ชิตตระกูล	รหัส 51381085
นายชวลิต	แสงทอง	รหัส 51381092
นายสิทธิพงษ์	พานะ	รหัส 51384062
นายสุรสิทธิ์	ขัดจา	รหัส 51384949

ใบรับลงทะเบียนโครงการแข่งขัน
วันที่ 12 มิ.ย. 2555
เลขที่ใบ 1607 4763
เลขเรื่อง กว.บ. ๑๖๑
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๑๖๑๘

๒๕๕๔

ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ	หุ่นยนต์เตะฟุตบอล
ผู้ดำเนินโครงการ	นายเฉลิมพล ชิตตระกูล รหัส 51381085
	นายชวลิต แสงทอง รหัส 51381092
	นายสิทธิพงษ์ พานะ รหัส 51384062
	นายสุรสิทธิ์ ขัดจา รหัส 51384949
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. มุทิตา สงฆ์จันทร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2554

.....
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....
(ดร. มุทิตา สงฆ์จันทร์) ที่ปรึกษาโครงการ

.....
(ดร. ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย) กรรมการ

.....
(อาจารย์เศรษฐา ตั้งคำวานิช) กรรมการ

ชื่อหัวข้อโครงการงาน	หุ่นยนต์เตะฟุตบอล
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายเฉลิมพล ชิตตระกูล รหัส 51381085
	นายชวลิต แสงทอง รหัส 51381092
	นายสิทธิพงษ์ พานะ รหัส 51384062
	นายสุรสิทธิ์ ชัดจา รหัส 51384949
ที่ปรึกษาโครงการงาน	คร. มุขिता สงฆ์จันทร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นกรออกแบบและสร้างหุ่นยนต์เตะฟุตบอล 2 ตัว ซึ่งควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ หุ่นยนต์ทั้ง 2 ตัว ทำหน้าที่ต่างกันเพราะใช้มอเตอร์ที่แตกต่างกัน โดยหุ่นยนต์ตัวแรกจะใช้มอเตอร์กระแสตรงซึ่งไม่สามารถบอกทิศทางได้ หุ่นยนต์ตัวที่สองมีทิศทางที่แม่นยำเพราะหุ่นยนต์ตัวที่สองใช้เซอร์โวมอเตอร์ซึ่งสามารถบอกทิศทางและความเร็วให้แม่นยำยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม หุ่นยนต์ทั้ง 2 ตัวนี้สามารถเตะลูกฟุตบอลและยิงลูกบอลได้ในระดับที่ต้องการ

ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าหุ่นยนต์ตัวแรกนั้นสามารถยิงลูกบอลได้ที่ความเร็ว 1.420 เมตรต่อวินาที ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าหุ่นยนต์ตัวแรกนั้นสามารถยิงลูกบอลได้ที่ความเร็ว 1.161 เมตรต่อวินาที

Project title Robot Soccer

Name Mr. Chalernpol Chittenkul ID. 51381085
Mr. Chawalit Saengthong ID. 51381092
Mr. Sitipong Pana ID. 51384062
Mr. Surasit Kudja ID. 51384949

Project advisor Ms. Mutita Songjun, Ph.D.

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic year 2011

.....

Abstract

This project is to design and construct two robot soccers which are controlled by microcontroller. These two robots have different functions as they use different motors. The first robot uses DC motor that can not specify the direction. The second robot has the proper direction, it uses servo motor which it can specify a direction and speed more precisely. However, both robots can carry and shoot a ball in a desired level.

The results show that the first robot can shoot a ball at the speed of 1.420 m/s. The results show that the second robot can shoot a ball at the speed of 1.161 m/s.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมเรื่องหุ่นยนต์เตะฟุตบอล สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ คือ ดร. มุทิตา สงฆ์จันทร์ ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และช่วยเหลือตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนให้ความรู้และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการนี้ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดีจนกระทั่งโครงการเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ดร.ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย และ อาจารย์เศรษฐา ตั้งค้ำวานิช ซึ่งเป็นคณะกรรมการโครงการ ที่ให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาในการทำโครงการและท่านที่มีส่วนร่วมในการทำโครงการนี้ จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีมา ณ โอกาสนี้

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้อุปกรณ์และเครื่องมือวัดมาใช้งาน จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้



นายเฉลิมพล	ชิตตระกูล
นายชวลิต	แสงทอง
นายสิทธิพงษ์	พานะ
นายสุรสิทธิ์	ขัณฑ์

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของ โครงการงาน.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการงาน.....	1
1.3 ขอบเขตของ โครงการงาน.....	2
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการงาน.....	3
1.6 งบประมาณ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 โครงสร้างทางกายภาพของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล.....	4
2.1.1 โครงของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล.....	4
2.1.2 แขนขาของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล.....	5
2.1.3 สมอของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล.....	6
2.2 รูปแบบลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล.....	6
2.2.1 การแบ่งประเภทของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลมี 5 ประเภท.....	6
2.2.2 หลักการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล.....	7
2.2.3 หลักการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล.....	8
2.3 ระบบควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์.....	11
2.3.1 คุณสมบัติของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	11
2.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและการควบคุม.....	12
2.4.1 ประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	12

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	14
2.4.3 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหรือดีซีมอเตอร์ (DC motor).....	14
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างหุ่นยนต์เตะฟุตบอล	22
3.1 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์เตะฟุตบอล	22
3.2 การสร้างหุ่นยนต์เตะฟุตบอล.....	24
3.3 วงจรที่ใช้ในหุ่นยนต์เตะฟุตบอล	27
3.3.1 วงจรภาคจ่ายไฟ.....	27
3.3.2 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์	28
3.3.3 วงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์ (Multiplexer: MUX).....	29
3.3.4 วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer)	29
3.3.5 วงจรควบคุมการยิง.....	30
3.3.5 วงจรสวิตซ์.....	31
3.3.7 วงจรคอมพารเตอร์	31
3.4 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์ฟุตบอล	32
บทที่ 4 ผลการทดลองและผลการวิเคราะห์	33
4.1 กระบวนการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลอัตโนมัติ.....	33
4.2 ผลการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลอัตโนมัติ	34
4.2.1 การทดลองการทำงานหุ่นยนต์ตัวที่หนึ่ง.....	34
4.2.2 การทดลองการทำงานหุ่นยนต์ตัวที่สอง	42
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	50
5.1 สรุปผลการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล	50
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	50
5.3 แนวทางในการพัฒนา.....	51
5.3.1 หุ่นยนต์ตัวที่หนึ่ง.....	51
5.3.2 หุ่นยนต์ตัวที่สอง	51
เอกสารอ้างอิง	53

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก รายละเอียดของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC18f4550.....	54
ภาคผนวก ข รายละเอียดของวงจรรวมหมายเลข L298.....	58
ภาคผนวก ค รายละเอียดของวงจรรวมหมายเลข L3232.....	68
ภาคผนวก ง รายละเอียดของวงจรรวมหมายเลข CD4066B	76
ภาคผนวก จ รายละเอียดของวงจรรวมหมายเลข LM393N.....	85
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	91



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเคลื่อนที่ในทิศทางต่างๆ ของระบบขับเคลื่อน 8 ทิศทาง	9
2.2 ลอจิกควบคุมทิศทางมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	15
4.1 ผลการทดลองความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์.....	38
4.2 ผลการทดลองความเร็วในการเคลื่อนที่.....	39
4.3 ผลการทดลองการเตะฟุตบอลของหุ่นยนต์ โดยใช้ตัวเก็บประจุตัวเดียว	42
4.4 ผลการทดลองการเตะฟุตบอลของหุ่นยนต์ โดยใช้ตัวเก็บประจุ 2 ตัว ต่อขนาน	43
4.5 ค่าความเร็วเฉลี่ยในฐานเวลา 200 มิลลิวินาที	47
4.6 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล โดยลักษณะการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า.....	52
4.7 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล โดยลักษณะการเคลื่อนที่ถอยหลัง.....	56



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทางกายภาพของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล.....	4
2.2 โครงของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล.....	5
2.3 โครงสร้างล้อโอมนิ (Omni).....	5
2.4 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	6
2.5 โครงสร้างพื้นฐานของโซลินอยด์ (Solenoid)	8
2.6 มอเตอร์แบบขนาน (Shunt motor)	12
2.7 มอเตอร์แบบอนุกรม (Series motor)	13
2.8 มอเตอร์แบบผสมชนิดขั้นที่ขั้นที่คอมปาต์มอเตอร์	13
2.9 มอเตอร์แบบผสมชนิดลงขั้นที่คอมปาต์มอเตอร์	14
2.10 แสดงวงจรเอชบริดจ์ (H-bridges).....	15
2.11 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม	16
2.12 กราฟแสดงคุณสมบัติของวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทาน อนุกรม.....	17
2.13 กราฟแสดงคุณสมบัติของวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงด้วยวิธีเปลี่ยนค่า แรงดัน	17
2.14 แสดงสัญญาณการมอดูเลชันความกว้างของสัญญาณพัลส์ (Pulse) ซึ่งแสดงค่าความถี่ ที่ต่างกัน	18
2.15 แสดงตัวเข้ารหัสแบบหมุน (Rotary encoder)	19
2.16 การสร้างสัญญาณพัลส์ (Pulse) ของตัวเข้ารหัสแบบหมุน	19
2.17 พัลส์ของตัวเข้ารหัสแบบหมุนแบบสองเฟส	20
2.18 การตรวจเช็คสัญญาณพัลส์ (Pulse) ของตัวเข้ารหัสแบบหมุน	20
2.19 ลักษณะสัญญาณพัลส์ (Pulse) ของตัวเข้ารหัสแบบหมุนทั้งสองเฟส	21
3.1 รูปแบบและขนาดของส่วนฐานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล	22
3.2 รูปแบบชั้น 2 ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล	23
3.3 รูปแบบชั้น 3 ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล	23
3.4 โครงสร้างหุ่นยนต์เตะฟุตบอล.....	24
3.5 การติดตั้งมอเตอร์เข้ากับส่วนล้อ	24
3.6 การติดตั้งมอเตอร์และล้อเข้ากับส่วนฐานชั้นแรกด้านบน	25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 การติดตั้งมอเตอร์และล้อเข้ากับฐานชั้นแรกด้านล่าง	25
3.8 การติดตั้งฐานชั้น 2 และชั้น 3.....	25
3.9 การติดตั้งโซลินอยด์.....	26
3.10 การติดตั้งมอเตอร์เข้ากับส่วนล้อ	26
3.11 การติดตั้งมอเตอร์และล้อเข้ากับส่วนฐานชั้นแรก	26
3.12 การติดตั้งโซลินอยด์.....	27
3.13 การติดตั้งฐานชั้น 2 และชั้น 3.....	27
3.14 วงจรภาคจ่ายไฟ	28
3.15 วงจรขับมอเตอร์ โดยวงจรรวมหมายเลข L298.....	28
3.16 วงจรภายในของวงจรรวมหมายเลข CD4066BE	29
3.17 วงจรภายในของวงจรรวมหมายเลข ICL3232.....	30
3.18 วงจรขับโซลินอยด์ (Solenoid).....	30
3.19 วงจรสวิตซ์ขั้ว	31
3.20 วงจรคอมพารเตอร์	31
3.20 ลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล	32
4.1 หุ่นยนต์ตัวที่ 1.....	33
4.2 หุ่นยนต์ตัวที่ 2.....	33
4.3 ลักษณะการเคลื่อนที่ 8 ทิศทาง.....	34
4.4 ลักษณะการเคลื่อนที่ 0 องศา ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 22 องศา.....	35
4.5 ลักษณะการเคลื่อนที่ 45 องศา ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 8.8 องศา.....	35
4.6 ลักษณะการเคลื่อนที่ 90 องศา ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 9.4 องศา.....	35
4.7 ลักษณะการเคลื่อนที่ 135 องศา ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 4.2 องศา.....	36
4.8 ลักษณะการเคลื่อนที่ 180 องศา ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 23.6 องศา.....	36
4.9 ลักษณะการเคลื่อนที่ 225 องศา ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 9.8 องศา.....	36
4.10 ลักษณะการเคลื่อนที่ 270 องศา ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 22.4 องศา.....	37
4.11 ลักษณะการเคลื่อนที่ 315 องศา ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 12.4 องศา.....	37
4.12 การทดลองความเร็วในการเคลื่อนที่	39
4.13 การทดลองการเตะฟุตบอลของหุ่นยนต์.....	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 การทดลองการใช้ตัวเก็บประจุ 1 ตัว.....	40
4.15 การทดลองการใช้ตัวเก็บประจุ 2 ตัว.....	41
4.16 สัญญาณพัลส์ที่ค่าควิต์ไซเคลิ 25%	42
4.17 สัญญาณพัลส์ที่ค่าควิต์ไซเคลิ 50%	43
4.18 สัญญาณพัลส์ที่ค่าควิต์ไซเคลิ 75%	43
4.19 ช่วงที่ 1 นับจำนวนลูกกลิ้งได้ 132 ลูก.....	43
4.20 ช่วงที่ 1-2 นับจำนวนลูกกลิ้งได้ 282 ลูก.....	44
4.21 ช่วงที่ 1-3 นับจำนวนลูกกลิ้งได้ 432 ลูก.....	44
4.22 ช่วงที่ 1-4 นับจำนวนลูกกลิ้งได้ 632 ลูก.....	44
4.23 การกำหนดล้อยแต่ละล้อย.....	46
4.24 การเคลื่อนที่ที่ค่าควิต์ไซเคลิทั้งสี่ล้อยเท่ากับ 25% 50% และ 75% ตามลำดับในทิส 0 องศา.....	46
4.25 การเคลื่อนที่ที่ค่าควิต์ไซเคลิมีความเร็วต่างกันในทิส 45 องศา.....	47
4.26 การเคลื่อนที่ที่ค่าควิต์ไซเคลิทั้งสี่ล้อยเท่ากับ 25% 50% และ 75% ตามลำดับในทิส 180 องศา.....	48
4.27 การเคลื่อนที่ที่ค่าควิต์ไซเคลิมีความเร็วต่างกันในทิส 225 องศา.....	48

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก ซึ่งนำมาใช้เพื่ออำนวยความสะดวก ลดค่าใช้จ่าย ลดเวลาในการปฏิบัติงานซึ่งระบบจะถูกควบคุมด้วยระบบฝังตัว หรือ สมองกลฝังตัว (Embedded system) ซึ่งเป็นระบบประมวลผล ที่ใช้ ชิพ หรือ ไมโคร โพรเซสเซอร์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ เป็นระบบคอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋วที่ฝังไว้ในอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และเครื่องเล่นอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เพื่อเพิ่มความฉลาด ความสามารถให้กับอุปกรณ์เหล่านั้นผ่านซอฟต์แวร์ซึ่งต่างจากระบบประมวลผลที่เครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป ระบบฝังตัวถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในยานพาหนะ เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านและสำนักงาน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีด้านการสื่อสาร เทคโนโลยีเครื่องกลและของเล่นต่าง ๆ ระบบสมองกลฝังตัวได้มีการพัฒนาขึ้นมาอย่างรวดเร็ว โดยในระบบสมองกลฝังตัวอาจจะประกอบไปด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือ ไมโคร โพรเซสเซอร์ อุปกรณ์ที่ใช้ระบบสมองกลฝังตัวที่เห็นได้ชัด เช่น โทรศัพท์มือถือ และในระบบสมองกลฝังตัวยังมีการใส่ระบบปฏิบัติการต่างๆแตกต่างกันไปอีกด้วย ดังนั้น ระบบสมองกลฝังตัวอาจจะทำงานได้ตั้งแต่ควบคุมหลอดไฟจนไปถึงใช้ในยานอวกาศ และเริ่มมีการใช้ร่วมกับอุปกรณ์ภายนอกกันอย่างกว้างขวาง รวมไปถึงกล้องดิจิตอลที่นำมาต่อใช้งานกับเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วย จนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแข่งขันหุ่นยนต์เตะฟุตบอล (Robot soccer) โดยใช้หลักการการนำภาพที่ได้จากกล้องดิจิตอลมาประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้ความรู้ทางด้านการประมวลผลภาพดิจิตอลและการเขียน โปรแกรมด้วย ซึ่งโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาสามารถค้นหา วัตถุที่อยู่ภายในภาพได้รวมถึงนำไปใช้ในการแข่งขันหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

ดังนั้นจึงจัดทำโครงการหุ่นยนต์เตะฟุตบอล ขึ้นมาเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาการทำงานของระบบสมองกลฝังตัวที่สามารถควบคุมหุ่นยนต์เตะฟุตบอล ร่วมกับอุปกรณ์อื่นที่ใช้ในการค้นหาตำแหน่งของฟุตบอล และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบต่างๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อสร้างตัวหุ่นยนต์เตะฟุตบอล (Robot soccer) โดยใช้โปรแกรมภาษาซีในเขียนควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. สร้างหุ่นยนต์เตะฟุตบอลตัวที่หนึ่งให้สามารถเลี้ยงลูกฟุตบอลและยิงทำประตูได้
2. สร้างหุ่นยนต์เตะฟุตบอลตัวที่สองโดยนำตัวเข้ารหัสแบบหมุน (Rotary encoder) เข้ามาเพื่อตรวจสอบทิศทางและตำแหน่งของการเคลื่อนที่ หุ่นยนต์สามารถเลี้ยงลูกฟุตบอลและยิงทำประตูได้
3. ใช้โปรแกรมภาษาซีในการเขียนคำสั่งควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์
4. หุ่นยนต์เตะฟุตบอลสามารถไปตามตำแหน่งและทิศทางตามการโปรแกรมได้

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	พ.ศ. 2554							พ.ศ. 2555		
	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. รวบรวมข้อมูล										
2. ศึกษาการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล										
3. สร้างตัวหุ่นยนต์เตะฟุตบอล										
4. เขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์และทำการทดสอบการทำงาน										
5. ปรับปรุงแก้ไขโปรแกรมควบคุมการทำงาน										
6. สรุปผลการดำเนินงาน										
7. จัดทำปฏิญานินพนธ์ฉบับสมบูรณ์										

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1. สามารถออกแบบวงจร และลายวงจร ควบคุมการทำงานหุ่นยนต์
2. สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมโดยใช้โปรแกรมภาษาซี
3. สามารถออกแบบโครงสร้าง กลไกการทำงานของหุ่นยนต์และแขนกล
4. สามารถนำตัวเข้ารหัสแบบหมุน (Rotary encoder) ไปควบคุมงานที่ต้องการตำแหน่ง ทิศทางและความแม่นยำ
5. สามารถนำไมโครคอนโทรลเลอร์ไปประยุกต์ควบคุมหุ่นยนต์ประเภทอื่นๆ

1.6 งบประมาณ

1. ค่าแผงวงจรต่างๆ	7,000	บาท
2. ค่าแบตเตอรี่	1,000	บาท
3. ค่าลื้อและมอเตอร์	6,000	บาท
4. ค่าวัสดุอุปกรณ์โครงสร้าง	1,000	บาท
5. ค่าเอกสาร	1,500	บาท
6. ค่าวัสดุอื่นๆ	3,500	บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สองหมื่นบาทถ้วน)	<u>20,000</u>	บาท

หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ



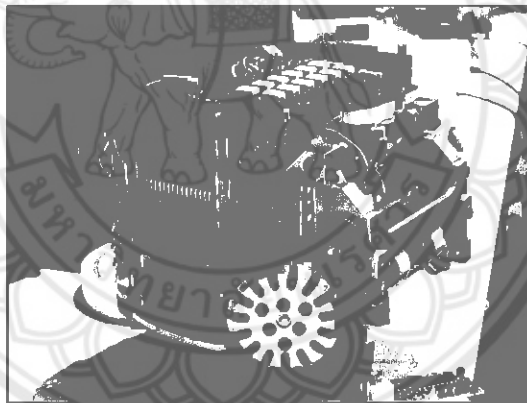
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะรวมหลักการและทฤษฎีขององค์ประกอบต่างๆ ที่มีความจำเป็นต่อการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล ซึ่งในแต่ละองค์ประกอบนั้นจะทำงาน โดยมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ได้แก่ ส่วน โครงสร้างหุ่นยนต์ ระบบขับเคลื่อนหุ่นยนต์ และระบบควบคุมหุ่นยนต์

2.1 โครงสร้างทางกายภาพของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

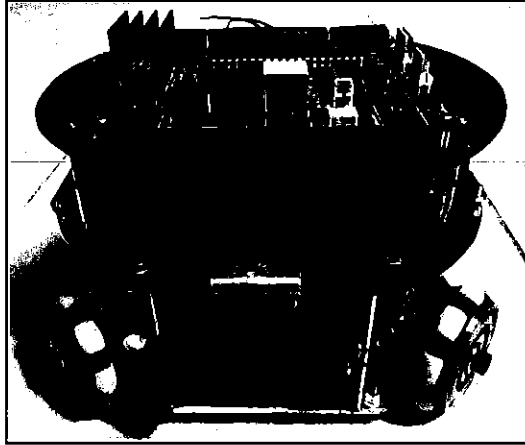
ลักษณะทางกายภาพของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบ่งประเภทตามการเคลื่อนที่ หุ่นยนต์เตะฟุตบอลจัดอยู่ในประเภทหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ทุกทิศทาง โดยหุ่นยนต์เตะฟุตบอลส่วนใหญ่จะมีส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ โครง (Frame) ของหุ่นยนต์ แขนและขา (Arm and leg) ของหุ่นยนต์ คือ ล้อทั้ง 4 และยังมีส่วนสำคัญอีกอย่าง คือ สมอง (Brain) ของหุ่นยนต์ คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางกายภาพของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

2.1.1 โครงของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

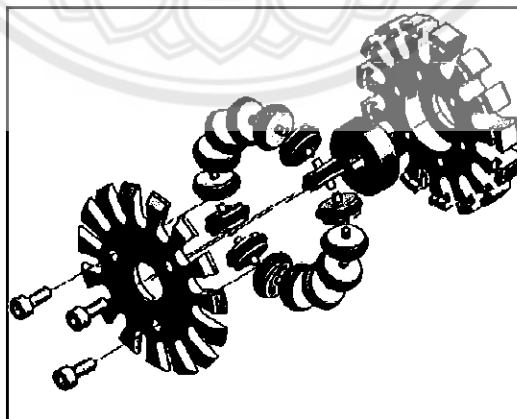
โครงของหุ่นยนต์เปรียบเหมือนร่างกายมนุษย์ ซึ่งโครงของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลทำจากแผ่นอะลูมิเนียม (Aluminium) และแผ่นอะคริลิก (Acrylic) ทั้งหมด 3 ชั้น โดยชั้นแรกทำจากแผ่นอะลูมิเนียม ชั้น 2 และชั้น 3 ทำจากแผ่นอะคริลิก และใช้นี้ออะลูมิเนียมทำเป็นเสาระหว่างชั้น



รูปที่ 2.2 โครงของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

2.1.2 แขนขของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

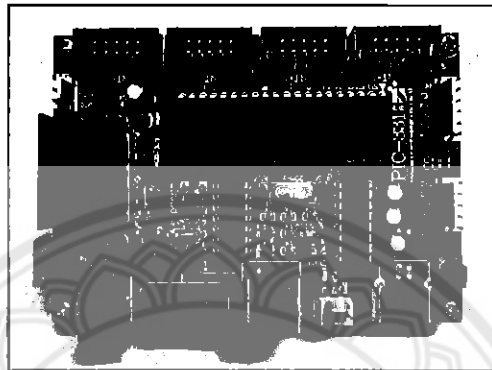
แขนขาเปรียบเหมือนล้อทั้ง 4 แบบ โอมนิ (Omni) แกนของล้อต่อตรงกับแกนของมอเตอร์ กระแสตรงซึ่งความเร็วรอบของมอเตอร์ 300 รอบ/นาที ล้อโอมนิ ทำให้หุ่นยนต์เตะฟุตบอลสามารถเคลื่อนที่ไปได้ทุกทิศทางอย่างอิสระ มอเตอร์แต่ละตัวถูกขับโดยวงจร แบบเอชบริดจ์ (H-bridges) นอกจากนี้ยังมีมอเตอร์สำหรับระบบเลี้ยงลูกติดอยู่ที่ด้านหน้าของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล เพื่อบังคับลูกฟุตบอลวิ่งเข้าหาหุ่นอยู่ตลอดเวลา ทำให้สามารถพาลูกฟุตบอลติดไปกับหุ่นยนต์ในขณะที่เคลื่อนที่หรือหมุนตัวได้ อีกส่วนประกอบที่สำคัญ คือ กลไกการยิงลูกฟุตบอล หุ่นยนต์เตะฟุตบอลมีกลไกการยิง 2 แบบ คือ แบบตรงไปข้างหน้า (Shoot หรือ linear kick) และแบบการเตะลูกข้ามหัวหรือยิงลูกโค้ง (Chip kick) ซึ่งแต่ละส่วนใช้แม่เหล็กไฟฟ้า (Solenoid) ในการส่งแรงทำให้สามารถควบคุมระดับของความแรงในการยิง



รูปที่ 2.3 โครงสร้างล้อโอมนิ (Omni)

2.1.3 สมอของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดเปรียบเสมือนเป็นสมองที่ต้องตอบสนองและควบคุมทุกอย่างในระบบ ตั้งแต่การทำงานพื้นฐาน เช่น การวิ่งของหุ่นในทิศทางต่างๆ การเตะลูกฟุตบอล การเข้าไปเอาลูกฟุตบอล ถ้าเปรียบเทียบกับคนก็คือ จะก้าวเท้าข้างไหน ที่เวลาทำอะไรด้วยความเร็วเท่าไร เพื่อให้สามารถเตะลูกฟุตบอลได้



รูปที่ 2.4 แผงวงจร ไมโครคอนโทรลเลอร์

2.2 รูปแบบลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

2.2.1 การแบ่งประเภทของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลมี 5 ประเภท

1. **Humanoid** ประเภทการแข่งขันเตะฟุตบอลขนาดใกล้เคียงกับคน ในประเภทชีวมานอยด์นี้หุ่นยนต์อัตโนมัติซึ่งมีการออกแบบของร่างกาย และมีการรับรู้ในการเล่นฟุตบอลกับคู่ต่อสู้เหมือนกับมนุษย์นอกจากนั้นยังมีการเดิน การวิ่งและการเตะฟุตบอลแบบพลศาสตร์ในขณะที่รักษาความสมดุลประสาทสัมผัสในการมองเห็นลูกฟุตบอล และสนามฟุตบอล การบอกตำแหน่งเอง และการเล่นเป็นทีม หุ่นยนต์ในประเภทนี้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามขนาดของหุ่นยนต์ ได้แก่ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่เท่าคนจริง

2. **Middle size** ประเภทการแข่งขันเตะฟุตบอลขนาดกลางหุ่นยนต์ขนาดกลางมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 50 เซนติเมตร มีผู้เล่นฟุตบอลในทีมหุ่นยนต์ 6 ตัว โดยใช้ฟุตบอลขนาดปกติตามกฎของ FIFA ในสนามฟุตบอลที่คล้ายกับขนาดของสนามฟุตบอล เช่นเซอร์ทั้งหมดอยู่บนแผงวงจร หุ่นยนต์เหล่านี้สามารถใช้เครือข่ายแบบไร้สาย (Wireless) ในการสื่อสาร การวิจัยนี้จะมุ่งเน้นในเรื่องของการทำงานแบบอัตโนมัติและการทำงานร่วมกันของการวางแผนและระดับการรับรู้

3. **Simulation** ประเภทการแข่งขันเตะฟุตบอลขนาดจำลองการแข่งขันประเภทนี้เป็นหนึ่งในประเภทที่เก่าที่สุดของการแข่งขันหุ่นยนต์เตะฟุตบอล โดยการแข่งขันประเภทจำลองนี้เน้นในเรื่องของปัญญาประดิษฐ์และการใช้กลยุทธ์ของทีม ผู้เล่นจะเคลื่อนไหวอย่างอิสระในการเล่น

ฟุตบอลในสนามฟุตบอลที่เหมือนจริงที่อยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์การแข่งขันประเภทนี้มี 2 ทีม ได้แก่ 2D และ 3D

4. **Small size** ประเภทการแข่งขันเตะฟุตบอลขนาดเล็กประเภทขนาดเล็กหรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าประเภท F180 นั้นเป็นหนึ่งในประเภทที่เก่าที่สุดของการแข่งขันหุ่นยนต์เตะฟุตบอล ซึ่งจะเน้นในเรื่องปัญหาเกี่ยวกับการทำงานร่วมกันของกลไกความคิดของหุ่นยนต์หลายตัวและการควบคุมสภาพแวดล้อมที่เป็นพลวัตที่มีระบบไฮบริดจ์แบบระบบรวมศูนย์และระบบกระจายศูนย์

5. **Standard platform** ประเภทการแข่งขันเตะฟุตบอลขนาดมาตรฐานในประเภทนี้ทุกทีมจะใช้หุ่นยนต์ที่เหมือนกัน (เป็นมาตรฐาน) ดังนั้นทุกทีมจะให้ความสำคัญในเรื่องของการพัฒนาซอฟต์แวร์เท่านั้น ขณะเดียวกันก็ยังคงใช้หุ่นยนต์ที่ล้ำสมัย โดยไม่มีการอนุญาตให้ใช้การมองเห็นทุกทิศทาง แต่จะต้องตัดสินใจแลกเปลี่ยนแหล่งข้อมูลทางวิสัยทัศน์เพื่อใช้หาตำแหน่งด้วยตนเอง และใช้หาตำแหน่งของลูกฟุตบอล ประเภทมาตรฐานนี้ได้แทนที่ประเภทหุ่นยนต์ 4 ขา ที่ประสบความสำเร็จอย่างสูงที่พัฒนาต่อจากหุ่นยนต์สุนัขไอโบของบริษัท โซนี่ และตอนนี้ได้พัฒนาต่อจากหุ่นยนต์อิวามานอยด์นาโอะของบริษัท Aldebaran

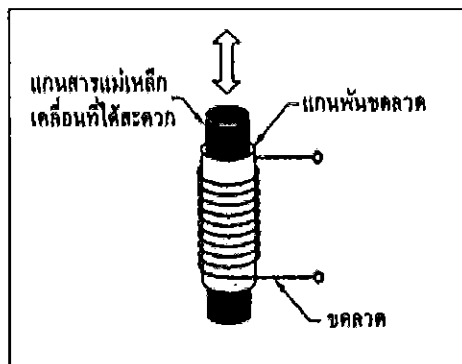
2.2.2 หลักการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

การทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ได้แก่ ระบบทางกลของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลและระบบควบคุมหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

2.2.2.1 ระบบทางกลของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล หมายถึง ส่วนที่ให้กำลังขับเคลื่อนหุ่นยนต์ ซึ่งระบบทางกลของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลที่สำคัญมี 2 ประการ คือ อุปกรณ์ให้กำลังขับเคลื่อนหุ่นยนต์เตะฟุตบอลและ โซลินอยด์ (Solenoid)

อุปกรณ์ให้กำลังขับเคลื่อนของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล มอเตอร์ไฟฟ้า คือ อุปกรณ์ขับเคลื่อนที่แปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานงานกลซึ่งหมุนรอบตัวเองได้ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สะดวกต่อการควบคุมและให้ตำแหน่งที่แม่นยำ ปัญหาสำคัญ คือ มีกำลังจำกัดและมีปัญหาในการนำหุ่นยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไปใกล้ที่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวน แสงวามจร เป็นต้น

โซลินอยด์ (Solenoid) นำโซลินอยด์ มาประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องการเชื่อมโยงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกลโดยตรง โดยสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามาทางขดลวดจะทำให้แกนสารแม่เหล็กของโซลินอยด์ เกิดการเคลื่อนที่ขึ้น การเคลื่อนที่นี้เองสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ชักกลอนประตู ถีบกระเบื้องทำให้กลไกทำงาน หรือหยุดทำงาน ฯลฯ



รูปที่ 2.5 โครงสร้างพื้นฐานของ โซลินอยด์ (Solenoid)

2.2.2.2 ระบบควบคุมหุ่นยนต์เตะฟุตบอล ประกอบด้วยระบบบังคับการทำงานหุ่นยนต์ ระบบป้อนข้อมูลกลับ ตลอดจนการสอนหุ่นยนต์ให้ทำงานตามคำสั่ง

ระบบควบคุมเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของหุ่นยนต์ ทำหน้าที่เป็นสมองเก็บข้อมูลสั่งหุ่นยนต์ให้ทำงาน ตรวจสอบและควบคุมตำแหน่งการทำงาน ซึ่งในบางเครื่องสามารถตรวจสอบความคิดปกติของอุปกรณ์ภายในได้ หุ่นยนต์จะทำงานได้ด้วยการควบคุมแบบอัตโนมัติ โดยมีการกำหนดเป้าหมาย และมีการควบคุมอุปกรณ์ให้ทำงานตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ด้วยอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมมี 2 แบบ คือ

การควบคุมแบบวงจรมัด (Close loop) เป็นระบบควบคุมแบบหนึ่งซึ่งสัญญาณเอาต์พุตจะมีผลโดยตรงต่อการควบคุม ดังนั้นระบบควบคุมแบบวงจรมัดก็คือ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control) ซึ่งสัญญาณป้อนกลับนี้อาจจะเป็นสัญญาณเอาต์พุตโดยตรงหรือเป็นสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณเอาต์พุตก็ได้ โดยการควบคุมหุ่นยนต์แบบวงจรมัดนั้นอุปกรณ์ควบคุมจะคอยตรวจสอบเปรียบเทียบกับเป้าหมาย และควบคุมให้ได้ผลที่ถูกต้องตลอดเวลาหุ่นยนต์แบบนี้จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ตรวจสอบเป้าหมายด้วย

การควบคุมแบบวงจรมัดเปิด (Open loop) เป็นระบบควบคุมที่เอาต์พุตของระบบไม่มีผลต่อการควบคุมเลย นั่น คือ ในกรณีของระบบควบคุมแบบวงจรมัดเปิดนั้น เอาต์พุตของระบบจะไม่ถูกวัดหรือถูกป้อนกลับมาเพื่อเปรียบเทียบกับอินพุต โดยการควบคุมแบบวงจรมัดเปิดนั้นอุปกรณ์ควบคุมจะดำเนินการโดยมิได้ตรวจสอบเป้าหมาย

2.2.3 หลักการการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลจะมีลักษณะการเคลื่อนที่ 8 ทิศทาง อาศัยการเคลื่อนที่โดยใช้มอเตอร์กระแสตรง จำนวน 4 ชุด เพื่อกำหนดทิศทางการหมุนของหุ่นยนต์ ซึ่งทิศทางของหุ่นยนต์ที่วิ่งไป จะขึ้นอยู่กับผลรวมของเวกเตอร์ทิศทางของมอเตอร์ในแต่ละตัว ยกตัวอย่าง เช่น เมื่อต้องการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (ทิศเหนือ) จะต้องสั่งมอเตอร์ทั้ง 4 หมุนพร้อมๆ กัน ในทิศทางดังรูป ก ในตารางที่ 2.1 การเคลื่อนที่แบบ 2 ล้อ กรณีนี้จะเกิดแรงกระทำต่อล้อทั้ง 4 มีทิศทางแสดง

ได้เป็นแวกเตอร์ 4 ตัว ในที่นี้แวกเตอร์ทั้ง 4 มีขนาดเท่ากัน เมื่อนำแวกเตอร์ทั้ง 4 มารวมกันก็จะเกิดแรงลัพธ์ขึ้น แรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นนี้จะแสดงทิศทางการที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปในตัวเอง ในทำนองเดียวกันเมื่อต้องการที่จะให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปในทิศทางอื่นๆ อีก 3 ทิศ (ถอยหลัง, ด้านข้างทางขวาและด้านข้างทางซ้าย) ก็สามารถทำได้โดยการสั่งให้มอเตอร์หมุนล้อไปในทิศทางต่างๆ ตามที่แสดงในรูป ข, ค และ ง ในตารางที่ 2.1 ตามลำดับ

สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวทแยงอีก 4 ทิศที่เหลือสามารถทำได้โดยอาศัยหลักการรวมแรงทางแวกเตอร์ เช่น ต้องการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ในแนวทแยงมุมในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ สั่งให้มอเตอร์หมุนเฉพาะล้อ A กับ D ในทิศทางดังรูป จ ในตารางที่ 2.1 ส่วนมอเตอร์ B กับ C ไม่ต้องทำงาน ในกรณีนี้จะเกิดขึ้นเฉพาะแวกเตอร์ A กับ D ในทิศทางเดียวกัน เมื่อนำมารวมกันจะเกิดแรงลัพธ์ทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปในทิศตะวันออกเฉียงเหนือตามที่ต้องการได้ ในส่วนล้อ B กับ C เนื่องจากเป็นล้อ 2 ชั้น จะมีชั้นหนึ่งของล้อที่สัมผัสพื้นดินที่เป็นล้ออิสระที่สามารถหมุนในแนวทแยงมุม (NE และ S) ได้ จึงทำให้การเคลื่อนที่ได้สะดวก ส่วนในแนวทแยงมุมอื่นๆ สามารถทำได้โดยการสั่งให้มอเตอร์หมุนในทิศต่างๆ ดังรูป ฉ, ช และ ซ ในตารางที่ 2.1 เช่นกัน นอกเหนือจากการเคลื่อนที่ทั้ง 8 ทิศ ที่กล่าวมาแล้ว ยังมีการเคลื่อนที่ได้อีก 2 แบบที่หุ่นยนต์สามารถทำได้คือการหมุนรอบตัวเอง ในทิศทางการหมุนรอบเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งอาศัยการรวมแรงทางแวกเตอร์อีกเหมือนกัน โดยการสั่งให้มอเตอร์หมุนทั้ง 4 ล้อ ในทิศทางดังรูป ฅ และรูป ฌ ในตารางที่ 2.1 ตามลำดับ

การหมุนตัวของหุ่นยนต์แบบนี้อาจมีปัญหาบ้าง เนื่องจากล้อทั้ง 4 ของหุ่นยนต์จะสร้างแรงแต่ละแรงออกมาไม่เท่ากัน ดังนั้นแนวเส้นทางที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปจะไม่ตรงกับแนวเส้นทางที่กล่าวไว้ อาจเบนจากทิศทางเดิมที่ต้องการไปบ้างเล็กน้อยสามารถใช้การหมุนตัวช่วยปรับให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่อยู่ในแนวที่ต้องการได้

ตารางที่ 2.1 การเคลื่อนที่ในทิศทางต่างๆ ของระบบขับเคลื่อน 8 ทิศทาง

ทิศทางการเคลื่อนที่	ทิศทางการหมุนของล้อ	แวกเตอร์ที่เกิดขึ้น	การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์
ก. เดินหน้า (N)			
ข. ถอยหลัง (S)			

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) การเคลื่อนที่ในทิศทางต่างๆ ของระบบขับเคลื่อน 8 ทิศทาง

ทิศทางการเคลื่อนที่	ทิศทางการหมุนของล้อ	เวกเตอร์ที่เกิดขึ้น	การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์
ก. ด้านข้างทางซ้าย (E)			
ง. ด้านข้างทางขวา (W)			
จ. ตะวันออกเฉียงเหนือ (NE)			
ฉ. ตะวันออกเฉียงใต้ (SE)			
ช. ตะวันตกออกเฉียงเหนือ (NW)			
ซ. ตะวันตกออกเฉียงใต้ (SW)			
ณ. หมุนตัวตามเข็มนาฬิกา (CW)			
ญ. หมุนตัวทวนเข็มนาฬิกา (CCW)			

2.3 ระบบควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

ในเรื่องของการควบคุมระบบการทำงานของหุ่นยนต์เพื่อให้หุ่นยนต์ทำงานเป็นระบบและเป็นขั้นเป็นตอนตามที่ต้องการ ระบบควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ โดยจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ในตระกูล PIC-331 หมายเลข 18F4550 ของบริษัท Microchip technology, Inc. ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นนี้มีจุดเด่นคือ เรื่องความเร็วในการประมวลผลซึ่งสามารถทำงานได้ด้วยความถี่สูงสุด 20 เมกะเฮิร์ตซ์ที่ 12 สัญญาณนาฬิกา (Clock) ต่อ 1 แมชชีน ไซเคิล (Machine cycle) นอกจากนี้แล้วยังมีความเพียบพร้อมด้วยอุปกรณ์พื้นฐานต่างๆ ที่จำเป็นต่อการใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลแบบ EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) ขนาด 256 ไบต์ หรือหน่วยความจำใช้งานแบบแรม (RAM) ซึ่งมีมากถึง 2304 ไบต์ (2048+256) ส่วนในด้านของอุปกรณ์ติดต่อภายนอกนับว่าครบถ้วนเหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมและประมวลผลต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

2.3.1 คุณสมบัติของแผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

- 2.3.1.1 รองรับการใช้งานร่วมกับ PIC ขนาด 40 ขา
- 2.3.1.2 XTAL 20.0 MHz
- 2.3.1.3 อินเตอร์เฟซพอร์ตแบบ IDC-10 (PORT-A และ PORT-D) และพอร์ตแบบ 6 Pin (PORT-E)
- 2.3.1.4 มีวงจรอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ควบคุมโหมดการโปรแกรมแบบอัตโนมัติโดยไม่ต้องกดปุ่มใด ๆ ให้ยุ่งยาก โดยการโปรแกรมผ่านพอร์ต MRT-ICSP 10P
- 2.3.1.5 การโปรแกรมแบบแรงดันสูง (High voltage programming) สามารถใช้พอร์ตต่างๆ ของ MCU ได้อย่างครบถ้วน
- 2.3.1.6 พอร์ตสำหรับการโปรแกรม MRT-ICSP 10P และ ICD-6 Pin สามารถใช้ร่วมกับชุดโปรแกรมต่าง ๆ ดังนี้
 - MRT-PIC LOADER: สำหรับการโปรแกรมผ่านพอร์ตขนาน
 - PIC-PK2: สำหรับการโปรแกรมผ่านพอร์ต USB
 - ICD2: ชุดโปรแกรมและดีบัก รุ่น ICD2 จาก Microchip
- 2.3.1.7 พอร์ตสื่อสารข้อมูลอนุกรม UART ทั้งแบบ RS-232 พร้อมทั้ง LED แสดงสถานะของการรับส่งข้อมูล
- 2.3.1.8 สามารถเลือกแรงดันการทำงานที่ 3.3 โวลต์ และ 5 โวลต์ ได้ด้วยจัมป์เปอร์

2.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและการควบคุม

มอเตอร์ไฟฟ้าคือเครื่องกลไฟฟ้า (Electromechanical energy) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า (Electric energy) ให้เป็นพลังงานกล (Mechanical energy) ในรูปของการเคลื่อนที่แบบหมุน มอเตอร์ไฟฟ้ามีโครงสร้างเบื้องต้นที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนแม่เหล็กถาวร และส่วนของขดลวดตัวนำ ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าอาศัยสนามแม่เหล็ก 2 ชุดที่เกิดขึ้น ได้แก่ สนามแม่เหล็กถาวร และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของขดลวดตัวนำ ส่งผลให้เกิดการผลักดันกันขึ้นของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ทำให้ขดลวดตัวนำที่วางอยู่กลางแม่เหล็กถาวรเกิดการหมุนเคลื่อน

2.4.1 ประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์กระแสตรง (DC motor) มีหลายประเภท โดยแบ่งตามลักษณะการวางตำแหน่งของขดลวดกับแกนของแม่เหล็ก ซึ่งแต่ละประเภทมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน ดังนี้

2.4.1.1 มอเตอร์แบบขนาน (Shunt motor)

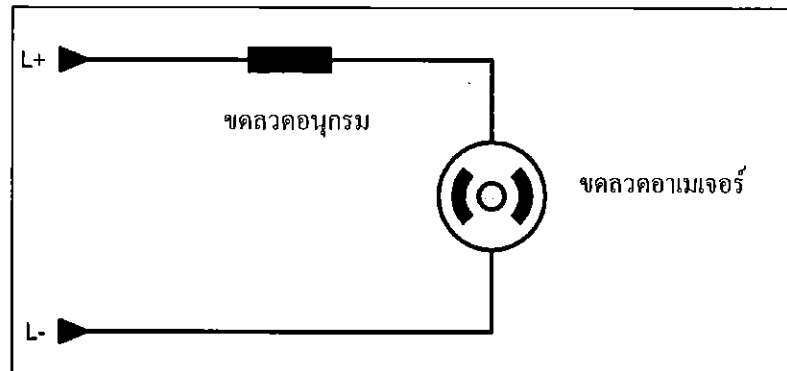
เป็นมอเตอร์ที่มีแบบการวางตำแหน่งของขดลวดขนานกับแกนแม่เหล็ก ซึ่งเป็นแบบสามารถปรับเส้นแรงได้อย่างอิสระ นิยมใช้กับระบบควบคุมการเคลื่อนที่ต้องการแรงบิดสูง



รูปที่ 2.6 มอเตอร์แบบขนาน (Shunt motor)

2.4.1.2 มอเตอร์แบบอนุกรม (Series motor)

เป็นมอเตอร์ที่มีแบบการวางตำแหน่งของขดลวดอนุกรมกับแกนแม่เหล็ก ซึ่งเป็นแบบที่เส้นแม่เหล็กเป็นสัดส่วนกับกระแสไฟฟ้า เหมาะนำไปใช้ในสภาวะเฉพาะคือ เมื่อต้องการแรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ เช่น ใช้ลากรถ



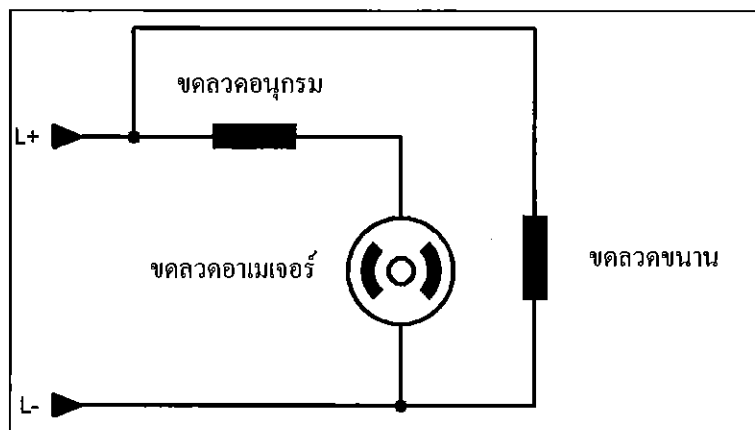
รูปที่ 2.7 มอเตอร์แบบอนุกรม (Series motor)

2.4.1.3 มอเตอร์แบบผสม

เป็นมอเตอร์กระแสตรงแบบผสม จะนำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน และมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์กระแสตรงแบบผสมมีคุณลักษณะพิเศษ คือ มีแรงบิดสูง ความเร็วรอบคงที่ตั้งแต่ยังไม่มีโหลด จนกระทั่งมีโหลดเต็มที่ วิธีการต่อขดลวดชั้นที่ 2 วิธี คือ วิธีการต่อขดลวดแบบชั้นที่ชั้นที่คอมปาวัตต์มอเตอร์และการต่อขดลวดแบบสองชั้นที่คอมปาวัตต์มอเตอร์



รูปที่ 2.8 มอเตอร์แบบผสมชนิดชั้นที่ชั้นที่คอมปาวัตต์มอเตอร์



รูปที่ 2.9 มอเตอร์แบบผสมชนิดลวงชั้นที่คอมปาวด์มอเตอร์

2.4.2 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วยแม่เหล็กถาวร 2 ขั้ววางอยู่ระหว่างขดลวดตัวนำเมื่อมีการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กซึ่งมีสัดส่วนของแรงขึ้นกับกระแสแรง โดยแรงเกิดขึ้นเป็นมุมจากกับกระแสและสนามแม่เหล็ก ขณะที่ทิศทางของแรงกลับตรงกันข้ามกัน ถ้าหากกระแสและสนามแม่เหล็กไหลย้อนกลับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสและสนามแม่เหล็กเป็นผลทำให้ทิศทางของแรงเปลี่ยนไป ด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้มอเตอร์กระแสตรงกลับทิศทางการทำงานได้ ซึ่งสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวรซึ่งจะถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กหรือเหล็กกล้าโดยปกติส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ยึดอยู่กับที่และขดลวดเหนี่ยวนำจะพันอยู่กับส่วนที่เป็นแกนหมุนมอเตอร์

2.4.3 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหรือดีซีมอเตอร์ (DC motor)

ในปัจจุบันการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงหรือดีซีมอเตอร์ (DC motor) จะพบได้โดยทั่วไป โดยเฉพาะในงานอุตสาหกรรมสมัยใหม่ด้วยความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีทางไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (Microelectronic) และไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) ทำให้การออกแบบระบบคอนโทรลมอเตอร์กระแสตรงและการวิเคราะห์ปัญหาเป็นสิ่งที่น่าสนใจและมีความสำคัญมาก มอเตอร์กระแสตรงมีผลการทำงานที่ไม่มีตำแหน่งหยุดที่แน่นอน ดังนั้นระบบคอนโทรลมอเตอร์กระแสตรงจึงเป็นแบบวงรอบปิด ตำแหน่งเอาต์พุตหรือความเร็วเอาต์พุตจะถูกป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับอินพุตอ้างอิงเพื่อให้ได้ผลการทำงานตามที่ต้องการ เช่น การบังคับหุ่นยนต์เตะฟุตบอลเคลื่อนที่จากจุดไปอีกจุดหนึ่ง เป็นต้น

ซึ่งโครงการนี้จะเป็นการออกแบบและสร้างระบบควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC-331 โดยความเร็วและตำแหน่งที่ต้องการจะถูกป้อนเข้าไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ทางพอร์ตอนุกรม โดยจะใช้โปรแกรมอินเทอร์เฟสเป็นตัวติดต่อรับส่งค่า และในการควบคุมให้มอเตอร์หมุนตามความเร็วไปยังตำแหน่งที่ต้องการนั้นจะผ่านวงจรขับมอเตอร์อีกวงจร ซึ่งจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวสร้างมอดูเลชันความกว้างของ

สัญญาณพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM) ในการขับมอเตอร์และในส่วนการตรวจสอบตำแหน่งจะใช้ตัวเข้ารหัส (Encoder) ส่งค่ากลับมายัง ไมโครคอนโทรลเลอร์จากนั้นจะส่งค่ามาแสดงยังโปรแกรมอินเทอร์เฟซทางคอมพิวเตอร์

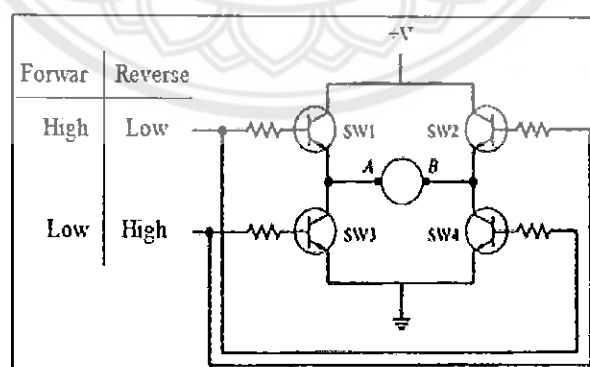
2.4.3.1 การควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

หลักในการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงนั้นคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมทิศทางของมอเตอร์จะใช้ข้อมูลเป็นลอจิก "0" และลอจิก "1" จากพอร์ตของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจากตารางที่ 2.2 จะเขียนคำสั่งโดยใช้พอร์ต PORT-D ให้ PD0 เป็นลอจิก "1" และ PD1 เป็นลอจิก "0" ทำให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา และเมื่อสลับพอร์ต PD0 และ PD1 ให้เป็นลอจิก "0" และลอจิก "1" ตามลำดับจะทำให้มอเตอร์หมุนกลับทิศเป็นหมุนทวนเข็มนาฬิกา และถ้าให้ทั้งสองพอร์ตเป็นลอจิก "0" จะทำให้มอเตอร์หยุดหมุน

ตารางที่ 2.2 ลอจิกควบคุมทิศทางมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ไมโครคอนโทรลเลอร์	PD 7	PD 6	PD 5	PD 4	PD 3	PD 2	PD 1	PD 0	รหัสฐานสิบหก
หมุนตามเข็มนาฬิกา	0	0	0	0	0	0	0	1	H01
หมุนทวนเข็มนาฬิกา	0	0	0	0	0	0	1	0	H02
หยุดหมุน	0	0	0	0	0	0	0	0	H00

เราสามารถควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ได้โดยการใช้วงจรที่เรียกว่า เฮชบริดจ์ (H-bridges) ซึ่งวงจรจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงวงจรเฮชบริดจ์ (H-bridges)

จากวงจรรูปที่ 2.11 การควบคุมให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกาโดยจะส่งลอจิก "1" ให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 ส่งลอจิก "0" ให้ทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 ที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 นำกระแส ส่วนทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 ไม่นำกระแส และถ้า

ต้องการทำให้มอเตอร์หมุนกลับทิศเป็นหมุนทวนเข็มนาฬิกา จะต้องส่งลอจิก “1” ให้ทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 ส่งลอจิก “0” ให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 ที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 นำกระแสส่วนทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 ไม่นำกระแส ส่วนไดโอดทั้ง 4 ตัวมีหน้าที่ควบคุมทิศทางการไหลของกระแสขณะที่ทรานซิสเตอร์นำและไม่นำกระแส

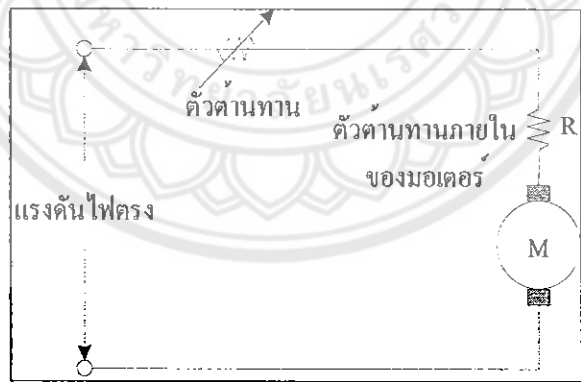
นอกจากวงจรบริดจ์แล้วปัจจุบันได้มีการนำเอาวงจรควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของมอเตอร์มาไว้ในไอซีเพียงตัวเดียวได้แก่ ไอซีหมายเลข L298, L293D และ TA7279P เป็นต้น ซึ่งทำให้มีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น

2.4.3.2 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

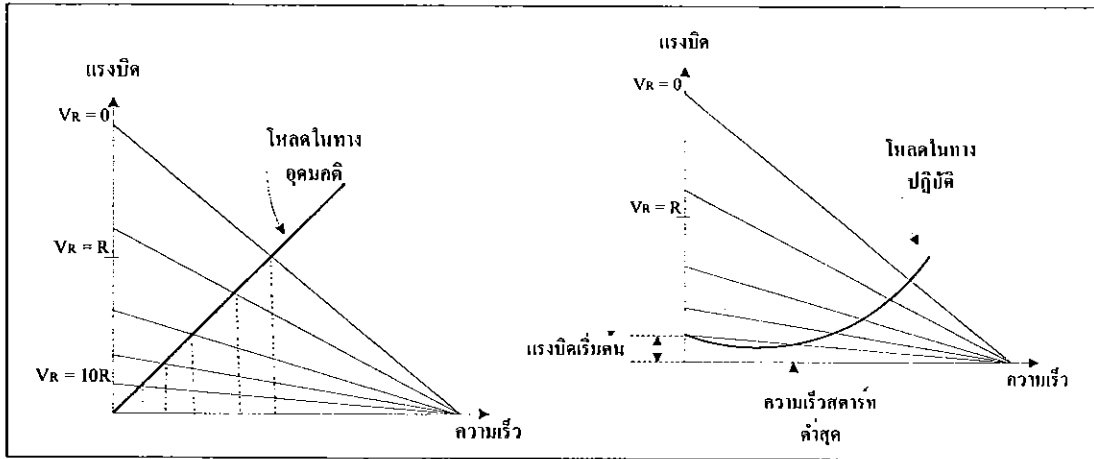
ระบบการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขั้นพื้นฐานสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 แบบได้แก่

1. การควบคุมด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้

เป็นรูปแบบพื้นฐานที่สุดของการควบคุมมอเตอร์ คือ ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ออนุกรมกับมอเตอร์ โดยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ การบังคับแบบนี้ไม่มีประสิทธิภาพเพราะกำลังไฟสูญเสียไปในตัวความต้านทาน มักนิยมใช้กับมอเตอร์ตัวเล็กๆ การบังคับแบบนี้ให้คุณสมบัติการสตาร์ทที่ดี (ให้แรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ) แต่จะให้ความเร็วสูงมากเมื่อมอเตอร์อยู่ในภาวะที่มีโหลดน้อยๆ ดังนั้นการบังคับแบบนี้มีประโยชน์เฉพาะภาวะที่แรงต้านคงที่ เช่น การบังคับความเร็วของเครื่องจักรเย็บผ้า เป็นต้น



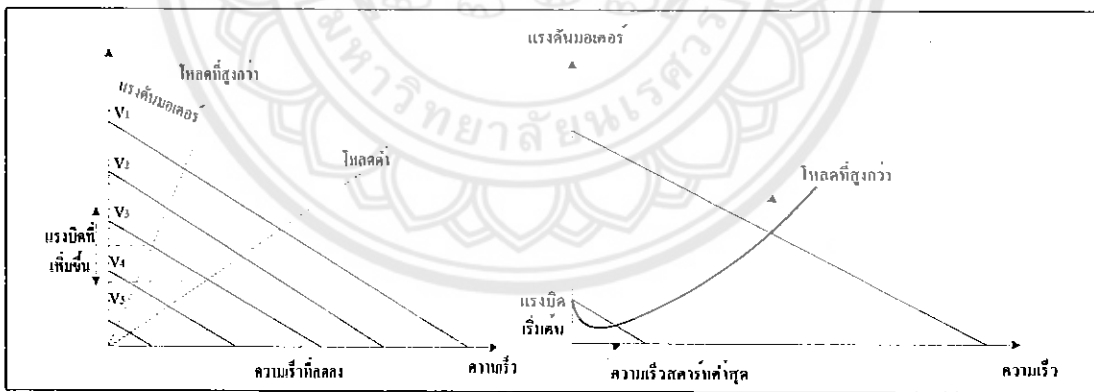
รูปที่ 2.11 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม



รูปที่ 2.12 กราฟแสดงคุณสมบัติของวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม

2. การควบคุมด้วยวิธีเปลี่ยนค่าแรงดัน

วิธีการนี้ดีกว่าวิธีการแรกแต่จะซับซ้อนกว่าต้องใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อัตราขยายกำลังสูง และ มอเตอร์จะถูกป้อนด้วยแรงดันที่เปลี่ยนแปลงค่าได้ จากแหล่งจ่ายที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำ ข้อดีของการควบคุมวิธีนี้คือ ถ้าความเร็วลดลงจากผลของแรงบิด แรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาระดับความเร็ว ส่วนข้อเสียจากการควบคุมวิธีนี้คือ เมื่อมอเตอร์มีความเร็วต่ำ แรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะมีค่าต่ำเช่นกัน



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงคุณสมบัติของวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงด้วยวิธีเปลี่ยนค่าแรงดัน

3. การควบคุมด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าไม่ได้

การควบคุมแบบนี้สามารถขับเคลื่อนมอเตอร์ได้ความเร็ว 10 : 1 และรักษาแรงดันที่เอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟที่ดีกว่ากระแสถูกปล่อยให้ฟิลต์คั้งที่ ผลของคุณสมบัติ ความเร็วและแรงบิดได้รับการปรับปรุงดีขึ้นกว่าการบังคับด้วยความต้านทานที่ปรับค่าได้ และรักษาแรงดันที่เอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟคงที่ได้ดีขึ้นตลอดช่วงความเร็วที่กว้างกว่า

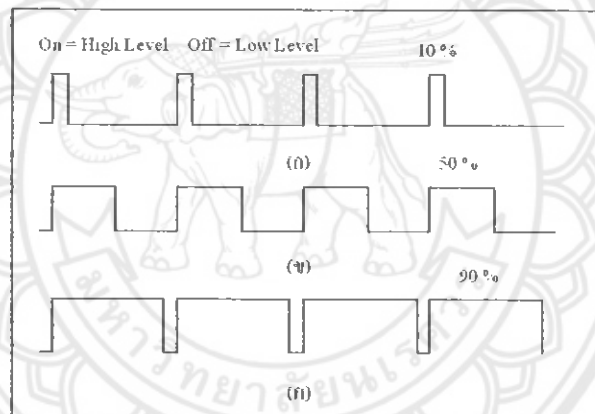
4. การควบคุมแบบมอดูเลชันความกว้างของสัญญาณพัลส์ (PWM)

การมอดูเลชันความกว้างของสัญญาณพัลส์ คือ เทคนิคสำหรับควบคุมวงจรทางด้านฮาร์ดแวร์โดยใช้สัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิทัลของไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุม การทำงานของสัญญาณการมอดูเลชันความกว้างของสัญญาณพัลส์ ดังรูปที่ 2.14 จะแสดงสัญญาณการมอดูเลชันความกว้างของสัญญาณพัลส์ ที่แตกต่างกัน 3 สัญญาณ ซึ่งมีลักษณะการทำงานคือ

รูปที่ 2.14 (ก) แสดงสัญญาณการมอดูเลชันความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ 10% คิวต์ไซเคิล คือ สัญญาณในการเปิดจะเป็น 10% ของคาบสัญญาณและจะปิดเป็น 90% ของคาบสัญญาณ

รูปที่ 2.14 (ข) แสดงสัญญาณการมอดูเลชันความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ 50% คิวต์ไซเคิล คือ สัญญาณในการเปิดจะเป็น 50% ของคาบสัญญาณและจะปิดเป็น 50% ของคาบสัญญาณ

รูปที่ 2.14 (ค) แสดงสัญญาณการมอดูเลชันความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ 90% คิวต์ไซเคิล คือ สัญญาณในการเปิดจะเป็น 90% ของคาบสัญญาณและจะปิดเป็น 10% ของคาบสัญญาณ เช่น ถ้าแหล่งจ่ายไฟ มี 9 โวลต์ และ คิวต์ไซเคิล เป็น 10% จะได้เอาต์พุต 0.9 โวลต์

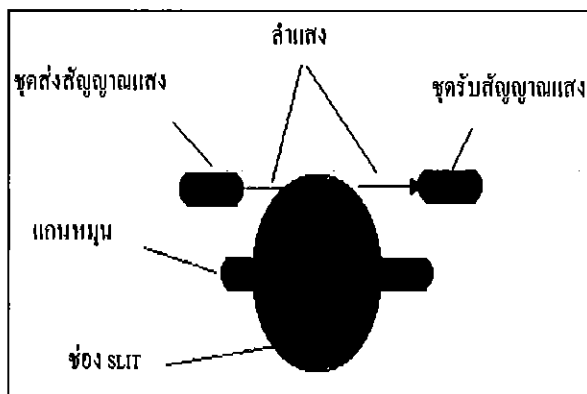


รูปที่ 2.14 แสดงสัญญาณการมอดูเลชันความกว้างของสัญญาณพัลส์ (Pulse) ซึ่งแสดงค่าคิวต์ไซเคิลที่ต่างกัน

2.4.3.3 การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

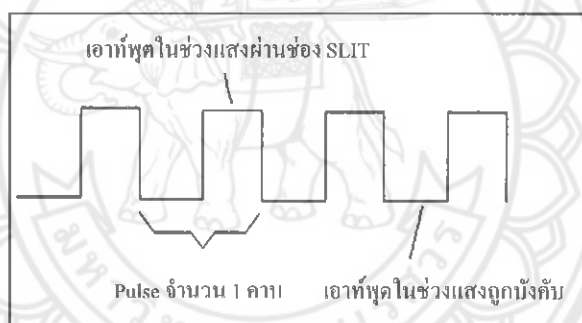
ในการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์นั้น เนื่องจากการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เป็นการเคลื่อนที่แบบหมุนดังนั้นเราจึงนำเอาตัวเข้ารหัสแบบหมุน (Rotary encoder) เข้ามาใช้และอ่านค่าออกมาเพื่อตรวจสอบทิศทางและตำแหน่งของการเคลื่อนที่ เพื่อนำมาทำการเปรียบเทียบตำแหน่งการเคลื่อนที่กับค่าอินพุต โดยการทำงานของตัวเข้ารหัสแบบหมุนมีดังนี้

ตัวเข้ารหัสแบบหมุน มีลักษณะเป็นแผ่นกลมมีแกนอยู่ตรงกลางและที่แผ่นกลมจะมีช่องเล็กที่แสงสามารถส่องผ่านได้เป็นจำนวนมากเรียกช่องนี้ว่า ช่องสลิต (Slot) ซึ่งด้านหนึ่งของแผ่นกลมนี้จะมีตัวส่งแสงอินฟราเรด (Infrared) ไปยังตัวรับสัญญาณแสงอินฟราเรด (Infrared) ซึ่งจะอยู่ในด้านตรงกันข้ามดังรูปที่ 2.15



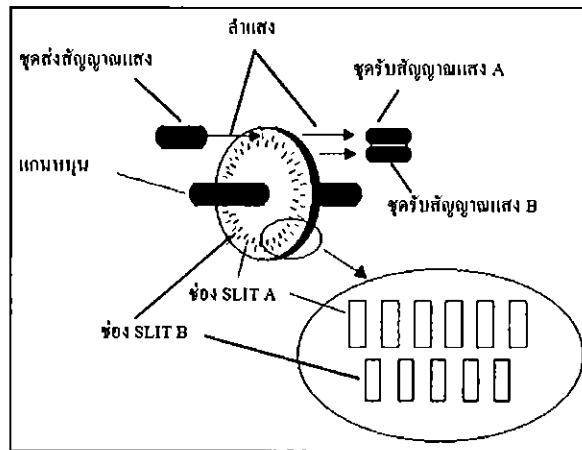
รูปที่ 2.15 แสดงตัวเข้ารหัสแบบหมุน (Rotary encoder)

เมื่อหมุนแกนหมุนทำให้แผ่นกลมหมุนไปตัดลำแสงอินฟราเรด (Infrared) ดังนั้นชุดรับแสงอินฟราเรด (Infrared) จึงมีแสงมากระทบเป็นช่วงๆ ตามจังหวะที่แสงผ่านช่องสลิต (Slit) จึงทำให้สัญญาณเอาต์พุตของชุดรับแสงอินฟราเรด (Infrared) มีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse) ดังรูปที่ 2.16



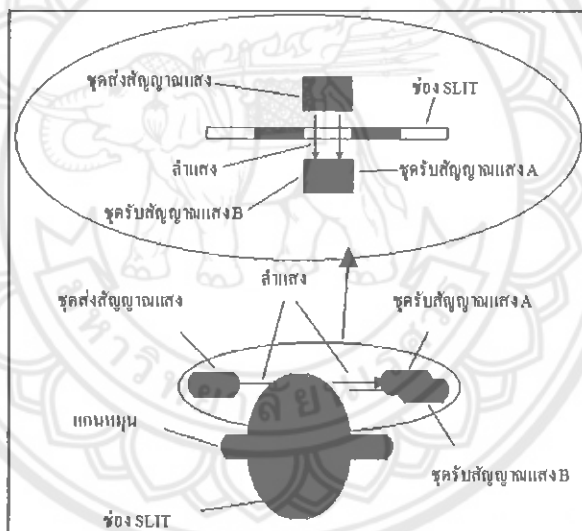
รูปที่ 2.16 การสร้างสัญญาณพัลส์ (Pulse) ของตัวเข้ารหัสแบบหมุน

จำนวนพัลส์ที่ได้ออกมา จะเป็นตัวที่บ่งชี้ว่ามอเตอร์หมุนไปกี่องศาหรือกี่รอบซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร จำนวนรอบที่มอเตอร์หมุนไปเท่ากับจำนวนพัลส์ โดยที่ค่าความละเอียดของตัวเข้ารหัสแบบหมุนนั้นนิยมใช้หน่วยเป็น (Pulse/round หรือ ppr) เช่น 1000 พัลส์หมายถึงเมื่อมอเตอร์หมุนไป 1 รอบจะมีสัญญาณพัลส์ออกมา 1000 พัลส์ เป็นต้น การที่จะทราบว่ามีมอเตอร์หมุนไปทิศทางใดนั้น ส่วนใหญ่แล้วจะใช้วิธีสร้างช่องสลิต (Slit) สองชุดเหลื่อมกัน 90 องศา ดังรูปที่ 2.17



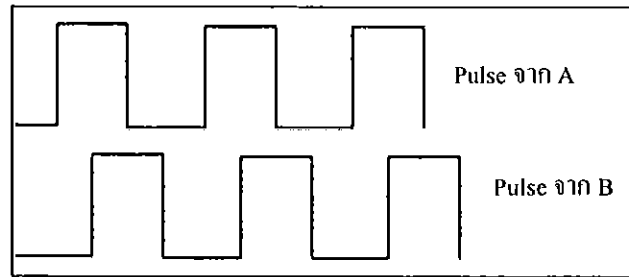
รูปที่ 2.17 พัลส์ของตัวเข้ารหัสแบบหมุนแบบสองเฟส

หรืออาจจะใช้ช่องสลิต (Slit) เพียง 1 ชุด แต่มีการจัดวางจุดรับสัญญาณแสงดังรูปที่ 2.18 แต่ข้อสำคัญ คือ ต้องมีมุมเฟส (Phase) ต่างกัน 90 องศา



รูปที่ 2.18 การตรวจเช็คสัญญาณพัลส์ (Pulse) ของตัวเข้ารหัสแบบหมุน

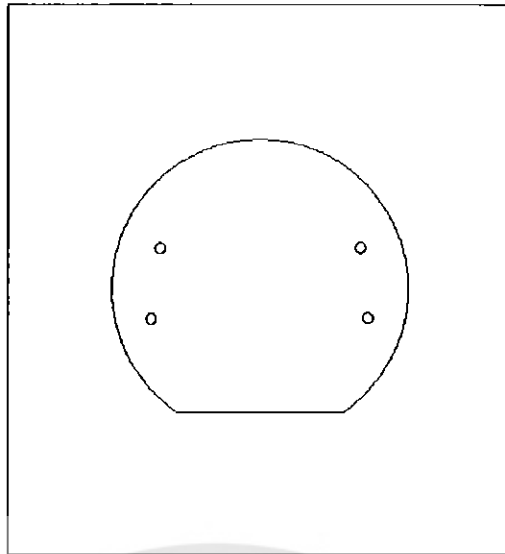
ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตจากมอเตอร์จึงมี 2 ชุด คือ A และ B โดยที่สัญญาณพัลส์ (Pulse) จาก A และ B ก็จะเลื่อนกัน 90 องศาด้วย อาจกล่าวได้ว่าสัญญาณเอาต์พุตจากมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 2 บิต คือหนึ่งบิตมาจาก A และอีกหนึ่งบิต มาจาก B ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ลักษณะสัญญาณพัลส์ (Pulse) ของตัวเข้ารหัสแบบหมุนทั้งสองเฟส

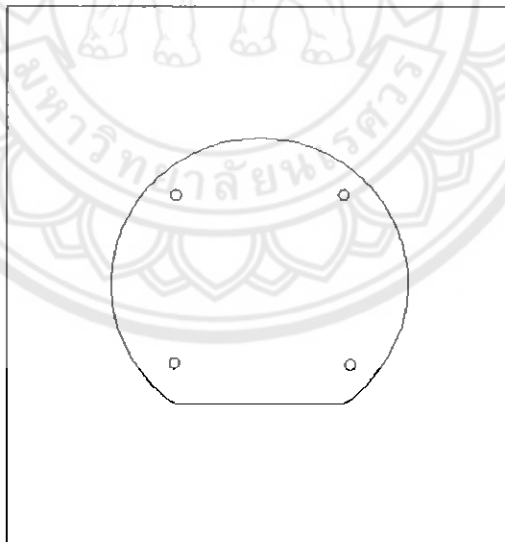
ถ้าเราให้พัลส์ (Pulse) ในช่วงขาขึ้น (High) มีค่าเป็น “1” และพัลส์ในช่วงขาลง (Low) มีค่าเป็น “0” เราสามารถใช้ค่าดังกล่าวมาคำนวณหาทิศทางที่มอเตอร์หมุนได้ด้วยใช้วิธีการทางดิจิทัล คือ การนำค่าที่อ่านได้มาทำการเอ็กคลูซีฟออร์ (Exclusive OR: XOR) กัน โดยการนำบิตทางขวาของค่าเก่ามาเอ็กคลูซีฟออร์ (Exclusive OR: XOR) กับบิตทางซ้ายของค่าใหม่ที่อ่านได้





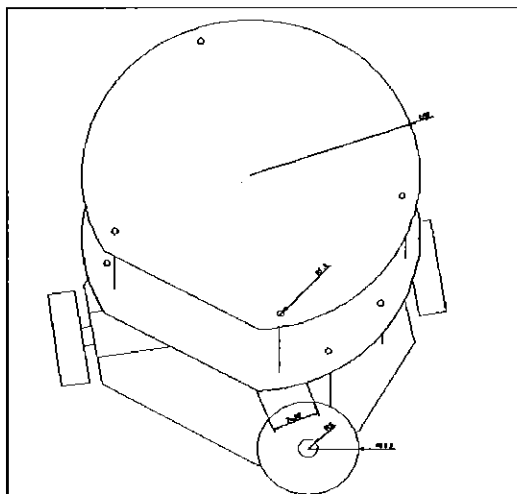
รูปที่ 3.2 รูปแบบชั้น 2 ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

รูปที่ 3.2 รูปแบบชั้น 2 ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลจะใช้แผ่นอะคริลิกตัดลักษณะเป็นวงกลม มีรัศมีเท่ากับ 85 มิลลิเมตร และตัดด้านหน้าวงกลมเป็นเส้นตรงยาว 90 มิลลิเมตร พร้อมทั้งเจาะรูเพื่อยึดเสาระหว่างชั้นแรกกับชั้น 2 ซึ่งใช้เป็นพื้นที่สำหรับวางแบตเตอรี่ (Battery) และวงจรขับมอเตอร์



รูปที่ 3.3 รูปแบบชั้น 3 ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

รูปที่ 3.3 รูปแบบชั้น 3 ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลจะใช้แผ่นอะคริลิกตัดเป็นลักษณะวงกลม มีรัศมีเท่ากับ 85 มิลลิเมตร และตัดด้านหน้าวงกลมเป็นเส้นตรงยาว 90 มิลลิเมตร พร้อมทั้งเจาะรูเพื่อยึดเสาระหว่างชั้น 2 กับชั้น 3 ซึ่งใช้เป็นพื้นที่สำหรับวางแผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรขับโซลินอยด์ (Solenoid)



รูปที่ 3.4 โครงสร้างหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

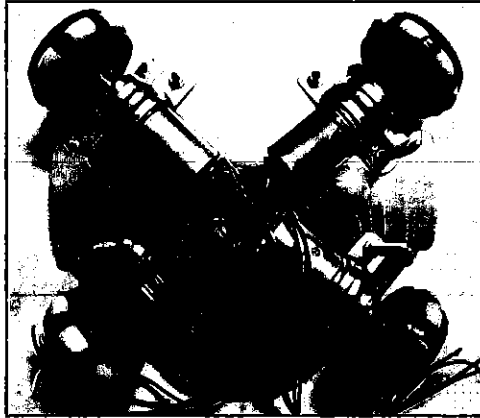
3.2 การสร้างหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

การสร้างหุ่นยนต์เตะฟุตบอลจะสร้างให้ได้ขนาดตามที่ออกแบบไว้ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างหุ่นยนต์เตะฟุตบอล คือ แผ่นอลูมิเนียมและแผ่นอะคริลิกขนาดความหนา 2 และ 3 มิลลิเมตร ตามลำดับ ตัดและประกอบให้ได้ตามที่ออกแบบไว้เป็นส่วนๆ

หุ่นยนต์ตัวที่หนึ่งทำการติดตั้งมอเตอร์เข้ากับส่วนล้อ ดังรูปที่ 3.5 การติดตั้งมอเตอร์และล้อเข้ากับส่วนฐานชั้นแรก ดังรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7 ตามลำดับ และการติดตั้งฐานชั้น 2 และชั้น 3 ดังรูปที่ 3.8 การติดตั้งโซลินอยด์ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.5 การติดตั้งมอเตอร์เข้ากับส่วนล้อ



รูปที่ 3.6 การติดตั้งมอเตอร์และล้อเข้ากับส่วนฐานชั้นแรกด้านบน



รูปที่ 3.7 การติดตั้งมอเตอร์และล้อเข้ากับฐานชั้นแรกด้านล่าง



รูปที่ 3.8 การติดตั้งฐานชั้น 2 และชั้น 3

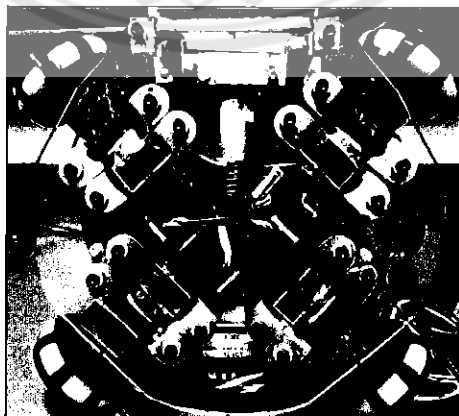


รูปที่ 3.9 การติดตั้งโซลินอยด์

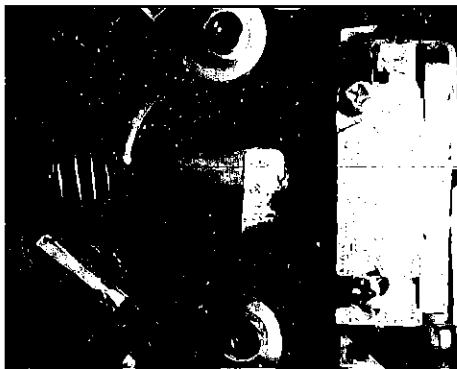
หุ่นยนต์ตัวที่สองทำการติดตั้งมอเตอร์เข้ากับส่วนล้อ ดังรูปที่ 3.10 และการติดตั้งมอเตอร์กับล้อเข้ากับส่วนฐานชั้นแรก ดังรูปที่ 3.11 และการติดตั้งฐานชั้น 2 และชั้น 3 ดังรูปที่ 3.12 และการติดตั้งโซลินอยด์ ดังรูปที่ 3.13



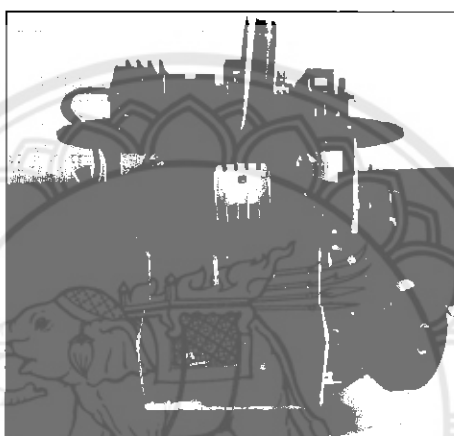
รูปที่ 3.10 การติดตั้งมอเตอร์เข้ากับส่วนล้อ



รูปที่ 3.11 การติดตั้งมอเตอร์และล้อเข้ากับส่วนฐานชั้นแรก



รูปที่ 3.12 การติดตั้งโซลินอยด์



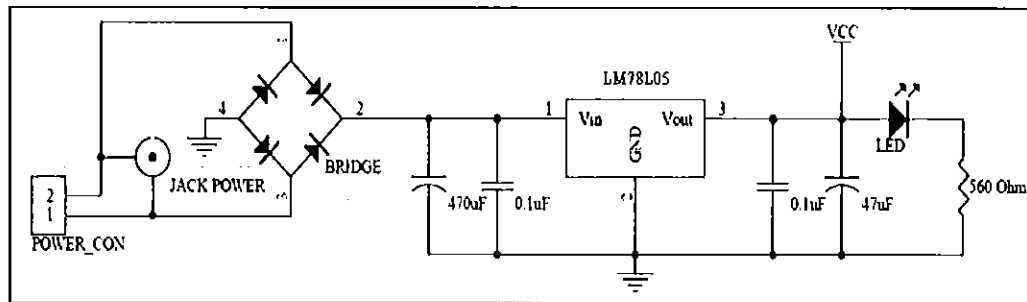
รูปที่ 3.13 การติดตั้งฐานชั้น 2 และชั้น 3

3.3 วงจรที่ใช้ในหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

วงจรที่ใช้ในการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบ่งออกเป็น วงจรภาคจ่ายไฟ วงจรควบคุม การเคลื่อนที่ วงจรควบคุมสัญญาณป้อนกลับ วงจรควบคุมการยิง วงจรสวิทซ์ชิ่ง และวงจร คอมพิวเตอร์ โดยวงจรที่ใช้งานทั้งหมดมีดังนี้

3.3.1 วงจรภาคจ่ายไฟ

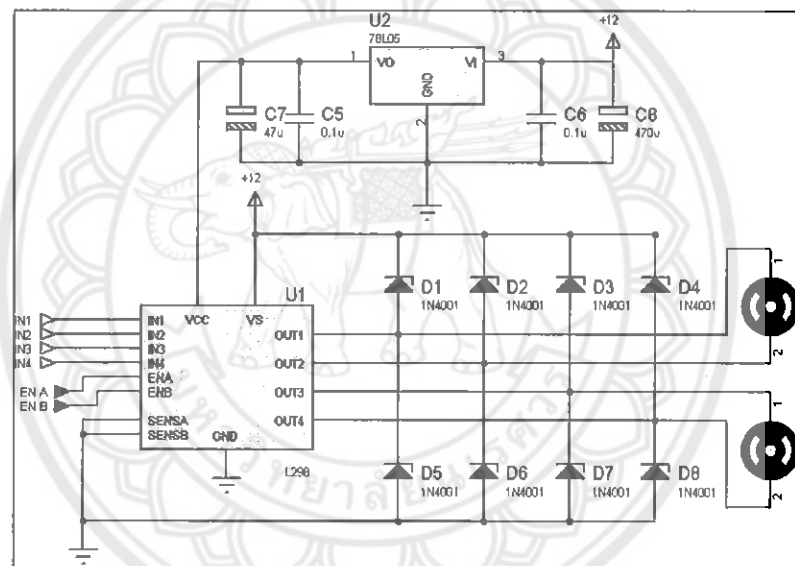
ในส่วนของวงจรภาคจ่ายไฟใช้ไอซีเร็กกูเลเตอร์ (IC regulator) หมายเลข LM78L05 ซึ่งทำหน้าที่ปรับแรงดันไฟฟ้าจาก 9-12 โวลต์ ให้เป็นแรงดันไฟคงที่ 5 โวลต์ สามารถจ่ายกระแสได้ สูงสุด 1 แอมป์ เป็นภาคจ่ายไฟเลี้ยงให้กับแผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรขับเคลื่อนโดย ลักษณะการต่อของวงจรเป็นดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 วงจรภาคจ่ายไฟ

3.3.2 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์จะใช้วงจรรวมหมายเลข L298 ซึ่งในวงจรรวมหนึ่งตัวสามารถขับมอเตอร์ได้ 2 ตัวโดยวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.15

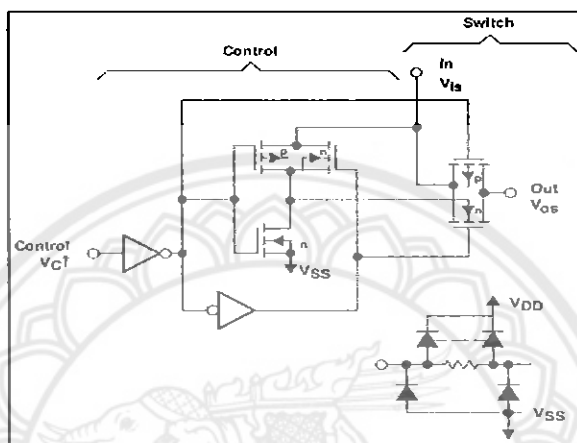


รูปที่ 3.15 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์โดยวงจรรวมหมายเลข L298

จากรูปที่ 3.10 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์โดยใช้วงจรรวมหมายเลข L298 ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแรงดัน 12 โวลต์ จ่ายไฟให้มอเตอร์ทั้ง 2 ตัวและใช้วงจรรวมหมายเลข LM78L05 เพื่อรักษาระดับแรงดัน 5 โวลต์ จ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรรวมขับเคลื่อนมอเตอร์หมายเลข L298 โดยป้อนอินพุตที่ IN1, IN2, IN3 และ IN4 เพื่อกำหนดทิศทางการหมุนของมอเตอร์ทั้งสองตัวและให้ขา EN A และ EN B เป็นลอจิก "1" เพื่อให้มอเตอร์ทำงาน

3.3.3 วงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์ (Multiplexer: MUX)

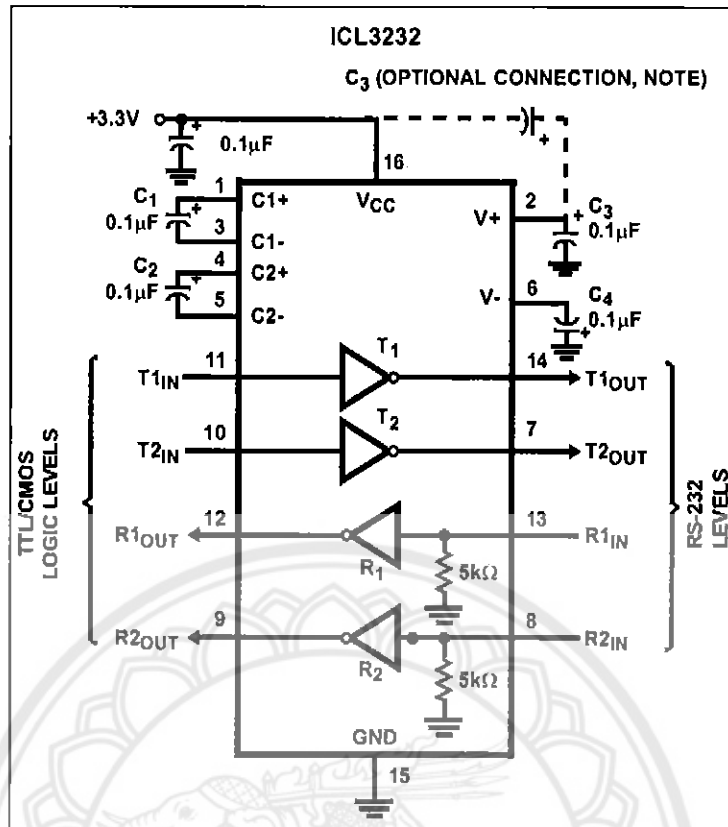
วงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์เป็นส่วนที่ใช้สำหรับเลือกสัญญาณจาก ตัวเข้ารหัสเพื่อป้อนสัญญาณให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ไม่สามารถรับสัญญาณจากภายนอกพร้อมกันหลายๆ สัญญาณได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์ เป็นตัวเลือกสัญญาณเพื่อป้อนให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ละสัญญาณ โดยวงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์ที่ใช้นั้นจะเป็นวงจรรวมสำเร็จรูปหมายเลข CD4066BE ซึ่งมีลักษณะของวงจรภายในดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 วงจรภายในของวงจรรวมหมายเลข CD4066BE

3.3.4 วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer)

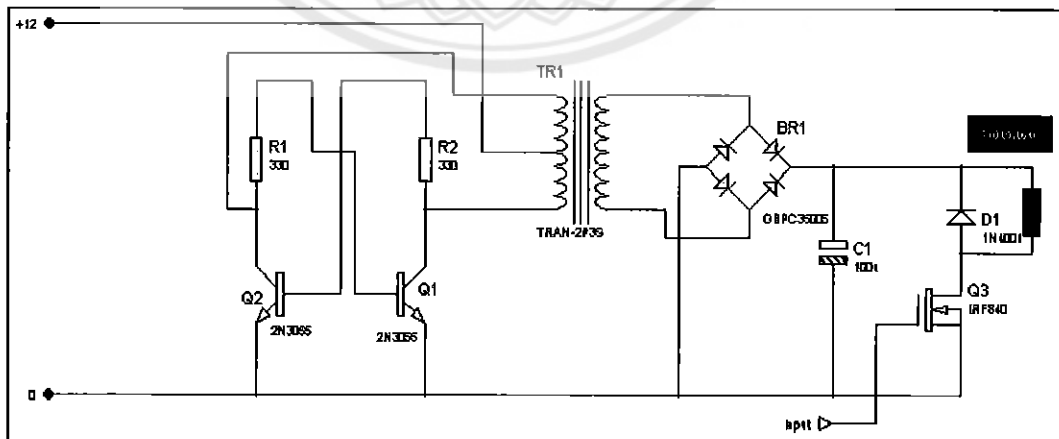
วงจบบัฟเฟอร์หรือวงจรกันชนเป็นวงจรที่ใช้เชื่อม 2 วงจรเข้าด้วยกัน เนื่องจากเป็นวงจรที่จำเป็นต้องใช้บัฟเฟอร์ เพราะคุณสมบัติของออปแอมป์ทางเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำ เมื่อเชื่อมต่อกับวงจรอื่นแล้วจะทำให้วงจรอื่นไม่มีผลแตกต่างไปจากเดิม วงจบบัฟเฟอร์นั้นจะมีอัตราขยายเท่ากับ 1 หรือเอาต์พุตเท่ากับอินพุต ในที่นี้จะนำวงจบบัฟเฟอร์ มาเชื่อมต่อระหว่างพอร์ตของแผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์กับวงจรที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณไปให้ เช่น วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และยังช่วยเพิ่มกระแสด้านเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์เนื่องจากถ้าใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณออกโดยตรงนั้นจะมีกระแสต่ำและถ้าส่งสัญญาณออกมากๆ จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานหนักเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องใช้วงจบบัฟเฟอร์ เพื่อช่วยขยายสัญญาณขาออกของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยวงจบบัฟเฟอร์ที่ใช้จะเป็นวงจรรวมสำเร็จรูปหมายเลข ICL3232 ซึ่งมีลักษณะของวงจรภายในดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 วงจรภายในของวงจรรวมหมายเลข ICL3232

3.3.5 วงจรควบคุมการยิง

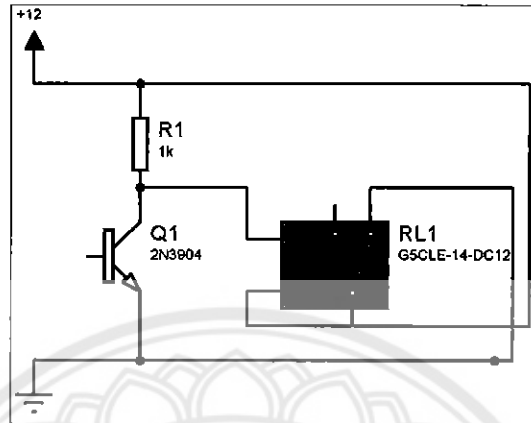
วงจรถวลคุมการยิงหรือวงจรถับโซลินอยด์ (Solenoid) จะใช้แหล่งจ่าย 12 โวลต์ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อแปลงแรงดันให้ได้ 220 โวลต์ และผ่านวงจรรีจกระแสเพื่อจะนำมาขับโซลินอยด์ ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 วงจรถับโซลินอยด์ (Solenoid)

3.3.6 วงจรสวิตซ์

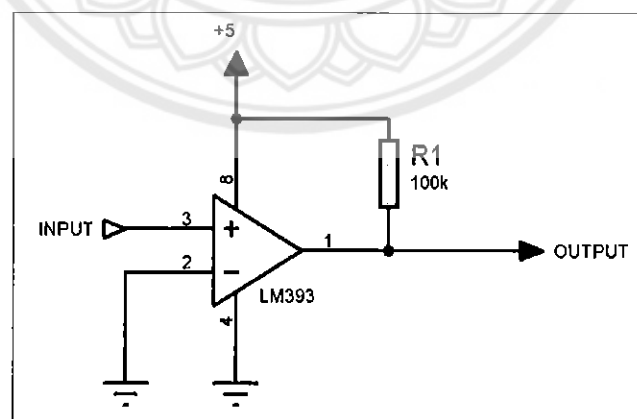
การควบคุมวงจรสวิตซ์ โดยใช้แหล่งจ่าย 12 โวลต์ จ่ายให้รีเลย์และให้อินพุต 5 โวลต์ จ่ายเข้าที่ทรานซิสเตอร์ 2N3904 เป็นตัวขับแรงดัน ให้นำสัมผัสของรีเลย์เปลี่ยนสถานะ ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 วงจรสวิตซ์

3.3.7 วงจรคอมพารเตอร

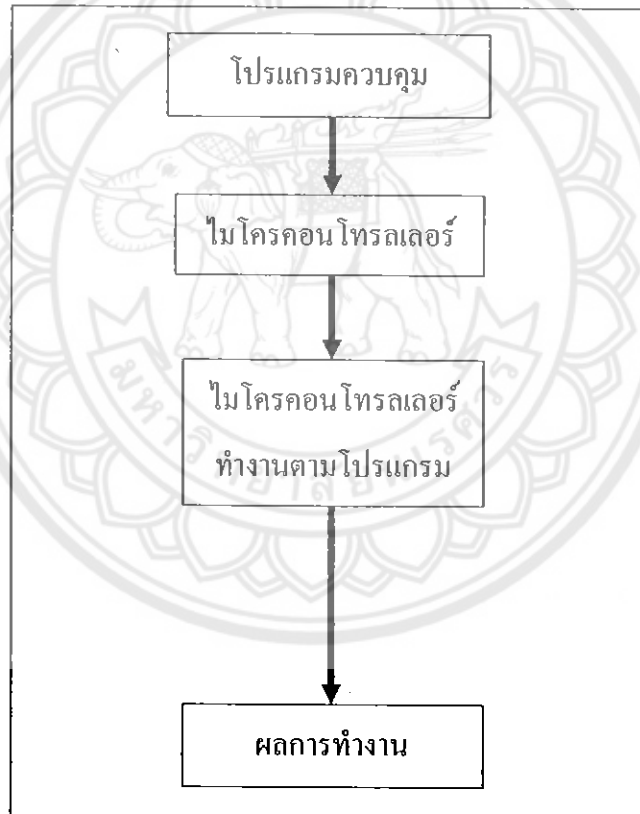
การแปลงสัญญาณจะใช้โอปแอมป์ (Op-Amp) มาเป็นตัวแสดงผลซึ่งสภาวะเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณจะสามารถบอกได้ว่าสัญญาณอินพุตสองสัญญาณ สัญญาณใดมีค่ามากหรือน้อยกว่ากัน ดังนั้นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณจึงเป็นวงจรที่มีอินพุตเป็นสัญญาณอนาล็อก (Analog) และมีเอาต์พุตเป็นสัญญาณดิจิทัล (Digital) ลักษณะของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 วงจรคอมพารเตอร

3.4 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์ฟุตบอล

ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลจะให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งให้ถูกต้องและแม่นยำโดยให้หุ่นยนต์เตะฟุตบอลทำงานตามโปรแกรมที่เขียนไว้ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยขณะที่หุ่นยนต์เตะฟุตบอลกำลังทำงานจะมีการตรวจระยะเวลาเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลตลอดเวลาว่าเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ถูกตั้งหรือไม่ โดยจะนำสัญญาณพัลส์ที่ได้จากชุดตัวเข้ารหัสแบบหมุน (Rotary encoder) ส่งผ่านวงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์ (Multiplexer: MUX) เพื่อเลือกสัญญาณทีละหนึ่งสัญญาณส่งกลับให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อตรวจสอบระยะเวลาเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลจะให้มอเตอร์ทำงานทีละ 2 หรือ 4 ตัว ขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนที่และทิศทางตามการ โปรแกรมไว้ และมีระบบเลี้ยงลูกฟุตบอลติดอยู่ที่ด้านหน้าของหุ่นยนต์ ให้มอเตอร์ทำงานตลอดเวลาเพื่อป้อนให้ลูกฟุตบอลวิ่งเข้าหาหุ่น และลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลดังรูปที่ 3.20



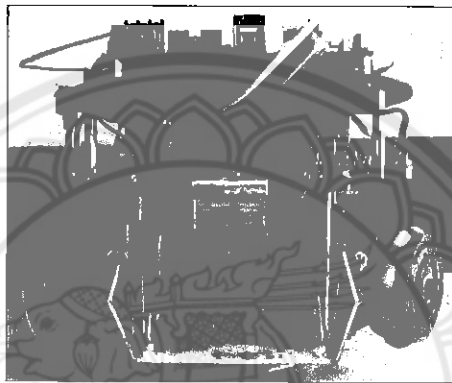
รูปที่ 3.21 ลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

บทที่ 4

ผลการทดลองและผลการวิเคราะห์

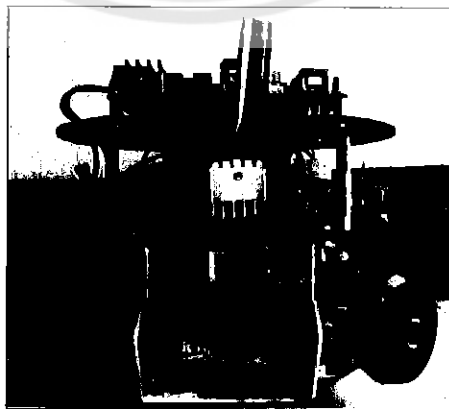
4.1 กระบวนการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลตัวที่ 1 คือ การโปรแกรมควบคุมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำงานตามโปรแกรมที่การโปรแกรมไว้ ลักษณะของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลตัวที่ 1 ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 หุ่นยนต์ตัวที่ 1

ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลตัวที่ 2 คือขณะการทำงานจะมีการตรวจจับความเร็วการเคลื่อนที่ของตัวหุ่นยนต์ด้วยชุดเข้ารหัสแบบหมุน แล้วส่งสัญญาณพัลส์ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการนับรอบ และคำนวณความเร็ว ลักษณะของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลตัวที่ 2 ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 หุ่นยนต์ตัวที่ 2

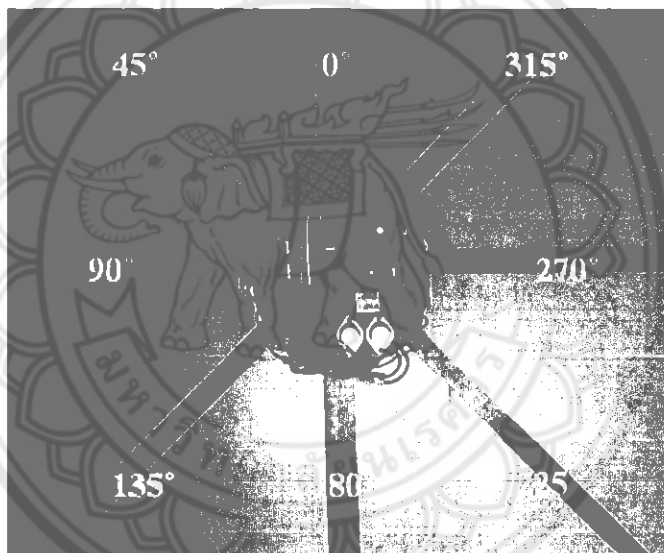
4.2 ผลการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

4.2.1 การทดลองการทำงานของหุ่นยนต์ตัวที่หนึ่ง

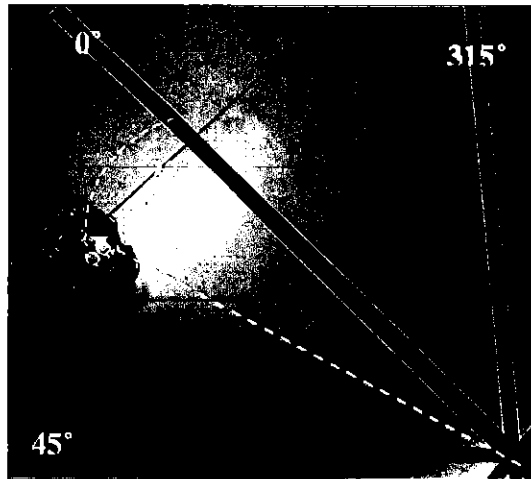
ซึ่งเกณฑ์ในการวัดความสามารถของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล โดยมีการทดลองดังนี้การทดลองการเคลื่อนที่ 8 ทิศทาง การทดลองความเร็วในการเคลื่อนที่ และการทดสอบเตะฟุตบอลของหุ่นยนต์

4.2.1.1 การทดลองการเคลื่อนที่ 8 ทิศทาง

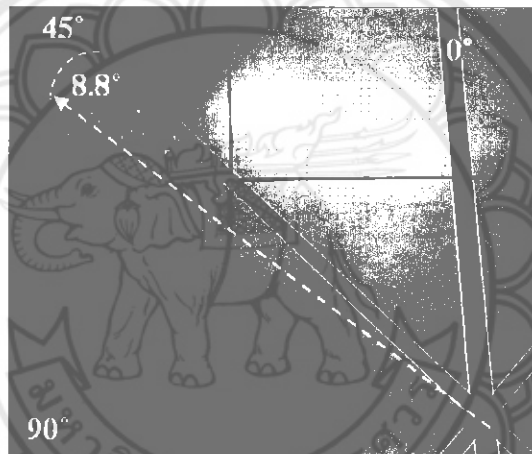
การทดลองการเคลื่อนที่ 8 ทิศทาง โดยวัดจากการตามทิศทางองศาที่กำหนดในการทดลอง และทิศที่กำหนดในการทดลองคือ 0 องศา 45 องศา 90 องศา 135 องศา 180 องศา 225 องศา 270 องศา และ 315 องศา ให้ทำงานซ้ำกัน 5 รอบ โดยลักษณะการเคลื่อนที่แสดงดังรูปที่ 4.3 ถึง รูปที่ 4.11 และ ผลการทดลองในตารางที่ 4.1



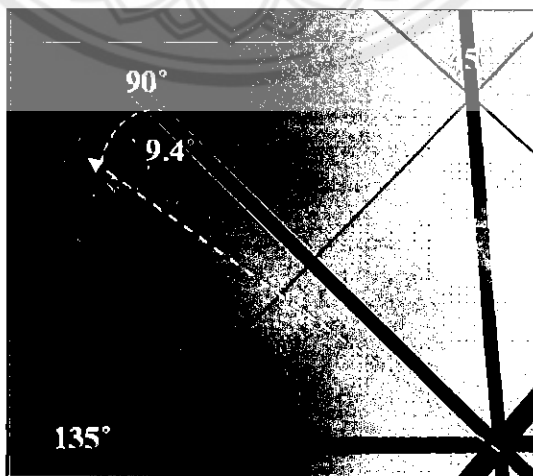
รูปที่ 4.3 ลักษณะการเคลื่อนที่ 8 ทิศทาง



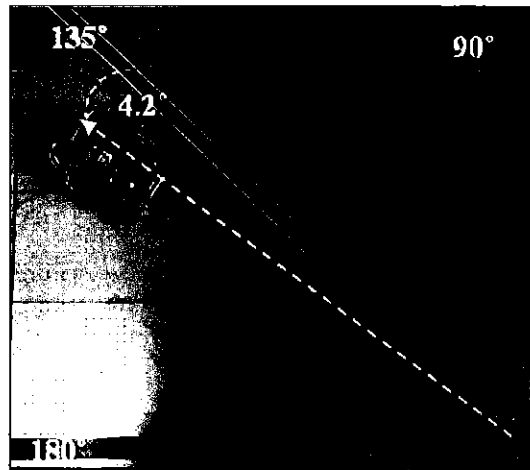
รูปที่ 4.4 ลักษณะการเคลื่อนที่ 0 องศา ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 22 องศา



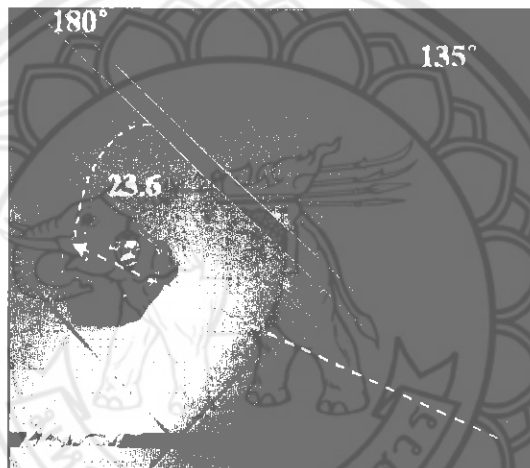
รูปที่ 4.5 ลักษณะการเคลื่อนที่ 45 องศา ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 8.8 องศา



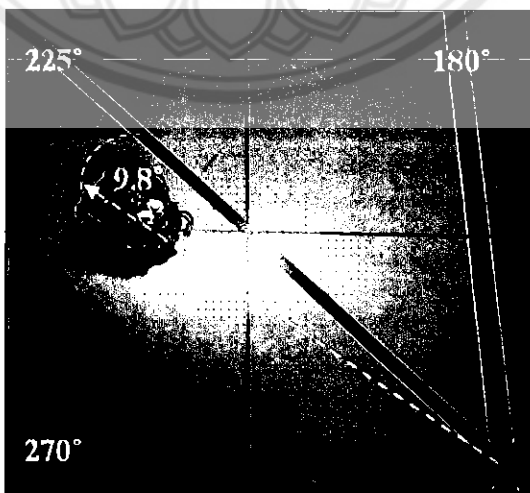
รูปที่ 4.6 ลักษณะการเคลื่อนที่ 90 องศา ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 9.4 องศา



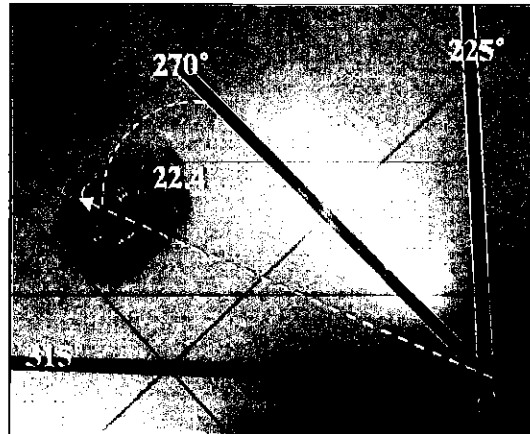
รูปที่ 4.7 ลักษณะการเคลื่อนที่ 135 องศา ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 4.2 องศา



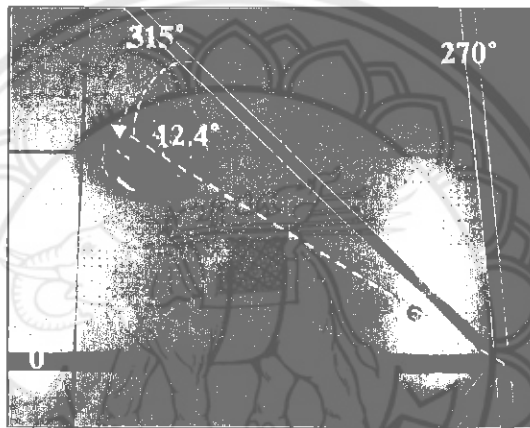
รูปที่ 4.8 ลักษณะการเคลื่อนที่ 180 องศา ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 23.6 องศา



รูปที่ 4.9 ลักษณะการเคลื่อนที่ 225 องศา ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 9.8 องศา



รูปที่ 4.10 ลักษณะการเคลื่อนที่ 270 องศา ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 22.4 องศา



รูปที่ 4.11 ลักษณะการเคลื่อนที่ 315 องศา ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 12.4 องศา

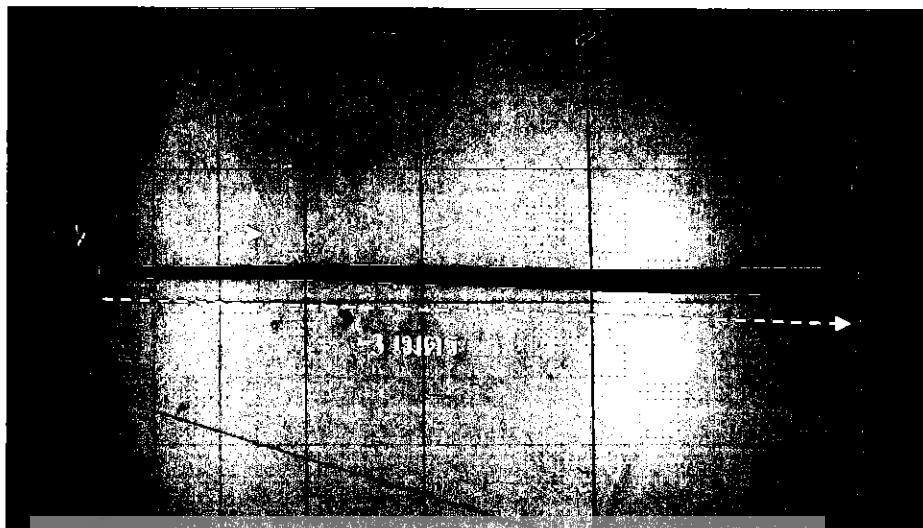
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

ทิศทาง (องศา)	แบริเตอร์ (โวลต์)	ความคลาดเคลื่อนของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่หนึ่ง					
		ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)	ค่าเฉลี่ย (องศา)
0	12	18	22	20	23	27	22
45	12	5	8	8	13	10	8.8
90	12	10	8	9	9	11	9.4
135	12	3	3	5	3	7	4.2
180	12	22	21	30	25	20	23.6
225	12	10	7	9	12	11	9.8
270	12	21	18	24	23	26	22.4
315	12	8	14	15	15	10	12.4

จากผลการทดลองการเคลื่อนที่ 8 ทิศทาง ของหุ่นยนต์ปรากฏว่าในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ไม่สามารถทำงานได้ตรงกับค่าในโปรแกรมควบคุม ซึ่งผลการทดลองในตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์มีความคลาดเคลื่อนโดยคิดค่าเฉลี่ยจากการวัดค่าองศาที่เคลื่อนที่เกินไปจากทิศทางที่กำหนดมากที่สุดที่ทิศทาง 180 องศา มีค่าเฉลี่ย 23.6 องศาที่เคลื่อนเกินไปจาก 180 องศา ซึ่งเหตุผลที่มีความคลาดเคลื่อนมากเพราะการตั้งองศาของล้อทั้งสี่มีองศาไม่เท่ากัน และระดับของพื้นที่การทดลองไม่เท่ากัน จึงทำให้การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์มีความคลาดเคลื่อน

4.2.1.2 การทดลองความเร็วในการเคลื่อนที่

การทดลองความเร็วในการเคลื่อนที่ ทำการทดลอง โดยให้หุ่นเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเป็นทางตรงระยะทาง 3 เมตร และทำการจับเวลาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในแต่ละระดับแรงดันที่ต่างกัน ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง เพื่อที่จะหาเวลาเฉลี่ยและความเร็วเฉลี่ยซึ่งแสดงการทดลองดังรูปที่ 4.12 และผลการทดลองในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.12 การทดลองความเร็วในการเคลื่อนที่

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองความเร็วในการเคลื่อนที่

แรงดัน แบตเตอรี่ (v)	ระยะ ทางการ เคลื่อนที่ (m)	เวลาการเคลื่อนที่ (s)					เวลา เฉลี่ย (s)	ความเร็ว เฉลี่ย (m/s)
		ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่		
		1 (s)	2 (s)	3 (s)	4 (s)	5 (s)		
12	3	4.4	4.7	5.1	4.7	4.1	4.6	0.65
11.5	3	4.7	5.1	5.1	5.4	4.9	5.0	0.6
11	3	5.2	4.8	5.0	4.6	5.3	4.9	0.612
10.5	3	5.1	5.4	5.6	5.4	5.8	5.4	0.55
10	3	5.0	5.4	5.3	5.3	5.3	5.2	0.576
9.5	3	5.5	5.1	5.6	5.5	5.7	5.4	0.55
9	3	5.6	5.4	5.4	6.3	5.9	5.7	0.526
8.5	3	6.4	5.9	6.0	6.2	6.5	6.2	0.48
8	3	5.9	6.3	6.6	6.4	6.1	6.2	0.48

จากการทดลองความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะเห็นได้ว่าที่แรงดันสูงสุด 12 โวลต์ หุ่นยนต์จะมีความเร็วสูงสุดคือ 0.65 เมตร/วินาที สรุปได้ว่าแรงดันแปรผันตรงกับความเร็ว เมื่อแรงดันลดลงก็จะทำให้ความเร็วของหุ่นยนต์ลดลงไปด้วย และปัญหาที่พบจากการทดลองคือ

ความเร็วการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล เมื่อถึงขีดจำกัดแรงดันต่ำสุดจะทำให้หุ่นยนต์ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้

4.2.1.3 การทดสอบการเตะฟุตบอลของหุ่นยนต์

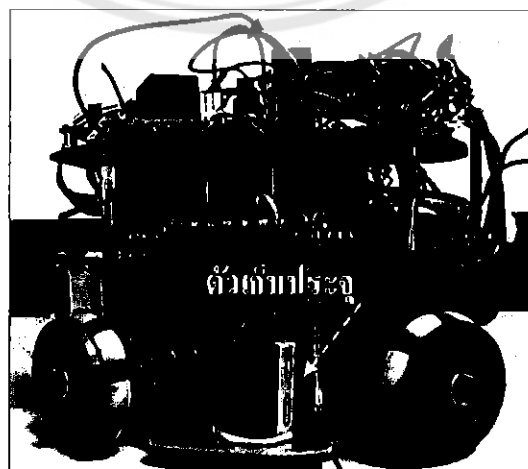
การทดสอบเตะฟุตบอลของหุ่นยนต์โดยให้หุ่นยนต์ทำการเตะฟุตบอลเคลื่อนที่ในระยะทางตรงจนกว่าลูกฟุตบอลจะหยุดเคลื่อนที่และทำการวิเคราะห์ทางจากจุดเริ่มต้นถึงจุดที่ลูกฟุตบอลหยุดเคลื่อนที่ และจับเวลาเพื่อหาความเร็วการเตะฟุตบอลในการยิงทำประตู การทดลองแรกจะใช้ตัวเก็บประจุตัวเดียว การทดลองที่สองใช้ตัวเก็บประจุ 2 ตัว นำมาต่อแบบขนานกันเพื่อเพิ่มแรงดัน ซึ่งแสดงการทดลองดังรูปที่ 4.13 ถึง รูปที่ 4.15 และผลการทดลองในตารางที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.4

1. ลักษณะการทดลองการเตะฟุตบอล



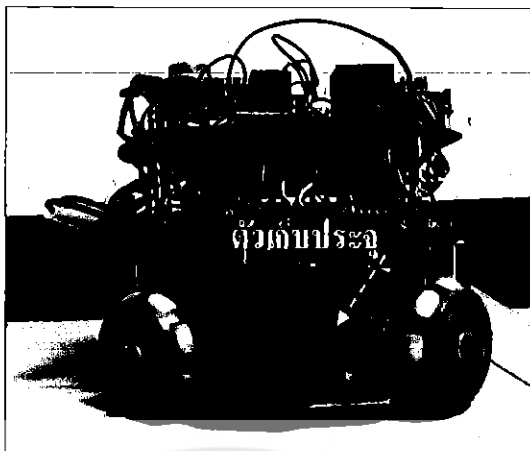
รูปที่ 4.13 การทดลองการเตะฟุตบอลของหุ่นยนต์

2. ลักษณะการทดลองเตะฟุตบอล โดยใช้ตัวเก็บประจุ 1 ตัว



รูปที่ 4.14 การทดลองการใช้ตัวเก็บประจุ 1 ตัว

3. ลักษณะการทดลองเตะฟุตบอล โดยใช้ตัวเก็บประจุ 2 ตัว ต่อแบบขนาน



รูปที่ 4.15 การทดลองการใช้ตัวเก็บประจุ 2 ตัว

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการเตะฟุตบอลของหุ่นยนต์ โดยใช้ตัวเก็บประจุ 1 ตัว

ครั้งที่	ระยะทางการเคลื่อนที่ (เมตร)	เวลาการเคลื่อนที่ (วินาที)	ความเร็วการเคลื่อนที่ (เมตร/วินาที)
1	6.25	11.4	1.096
2	7.09	10.9	1.301
3	6.58	11.7	1.125
4	7.31	12.2	1.198
5	6.24	11.5	1.085
ความเร็วเฉลี่ย			1.161

จากการทดลองการเตะฟุตบอลของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล โดยใช้ตัวเก็บประจุ 1 ตัว จะได้ค่าจากการทดลองเป็นค่าความเร็วเฉลี่ยในการเตะฟุตบอลของหุ่นยนต์โดยทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง หุ่นยนต์สามารถเตะฟุตบอลได้ค่าความเร็วเฉลี่ย 1.161 เมตร/วินาที

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการเตะฟุตบอลของหุ่นยนต์ โดยใช้ตัวเก็บประจุ 2 ตัว ต่อแบบขนาน

ครั้งที่	ระยะทางการเคลื่อนที่ (เมตร)	เวลาการเคลื่อนที่ (วินาที)	ความเร็วการเคลื่อนที่ (เมตร/วินาที)
1	7.18	11.3	1.271
2	7.84	10.2	1.537
3	7.63	10.7	1.426
4	8.05	10.9	1.477
5	7.71	11.1	1.389
ความเร็วเฉลี่ย			1.420

จากการทดลองการเตะฟุตบอลของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล โดยใช้ตัวเก็บประจุ 2 ตัว ต่อแบบขนาน จะได้ค่าจากการทดลองเป็นค่าความเร็วเฉลี่ยในการเตะฟุตบอลของหุ่นยนต์โดยทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง หุ่นยนต์สามารถเตะฟุตบอลได้ค่าความเร็วเฉลี่ย 1.420 เมตร/วินาที

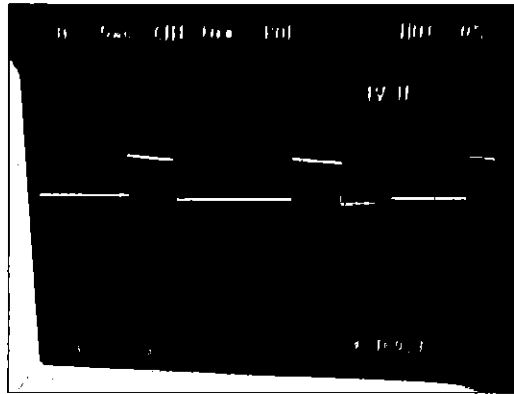
ในการทดลองการเตะฟุตบอลของหุ่นยนต์ เมื่อตัวเก็บประจุที่มีแรงดันมากจะทำให้เตะฟุตบอลได้แรงกว่า ซึ่งเปรียบเทียบจากการทดลองจะเห็นได้ชัดเจนว่าการใช้ตัวเก็บประจุ 2 ตัว ต่อขนานกันทำให้การเตะฟุตบอลของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลได้แรงกว่าการใช้ตัวเก็บประจุเพียงตัวเดียว

4.2.2 การทดลองการทำงานหุ่นยนต์ตัวที่สอง

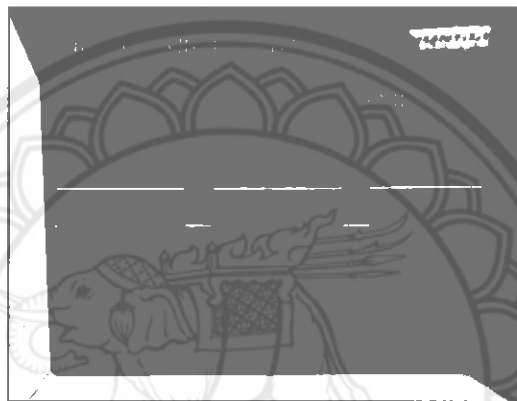
สัญญาณที่ได้จากเอ็น โค้ดเดอร์จะนำมาแปลงสัญญาณ โดยผ่านวงจรคอมพิวเตอร์ให้เกิดสัญญาณพัลส์ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนับลูกกลิ้งได้ตามรูปที่ 4.16 ถึง รูปที่ 4.18



รูปที่ 4.16 สัญญาณพัลส์ที่ค่าควิต์ไซเคิล 25%



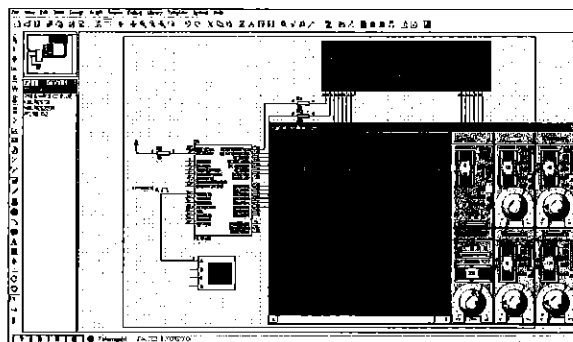
รูปที่ 4.17 สัญญาณพัลส์ที่ค่าควิตีไซเคิล 50%



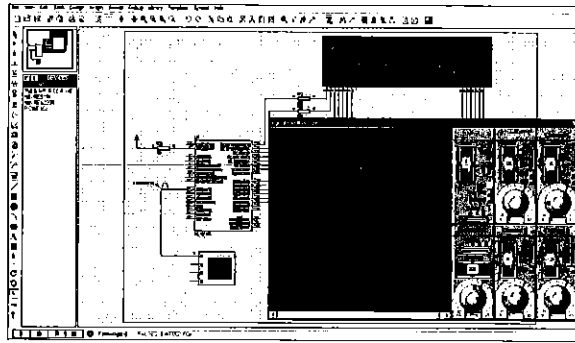
รูปที่ 4.18 สัญญาณพัลส์ที่ค่าควิตีไซเคิล 75%

การวัดความสามารถของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล มีการทดลองดังนี้ การทดลองความเร็วของล้อ และการทดลองการเคลื่อนที่

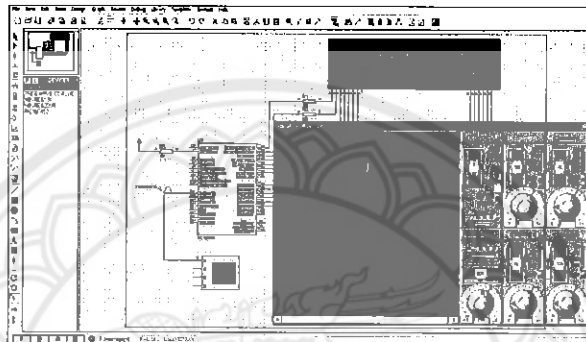
4.2.2.1 การทดลองความเร็วของล้อด้วยการจำลองการทำงานวงจรด้วยโปรแกรมโปรเตอุส (Proteus) โดยทำการโหลด โปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์และตั้งให้นับจำนวนลูกเคลื่อนโดยแบ่งค่าฐานเวลาเป็น 4 ช่วง ช่วงละ 200 มิลลิวินาที และมีค่าควิตีไซเคิลที่แตกต่างกันตามตารางที่ 4.5 เช่น การจำลองการทำงานที่ค่าควิตีไซเคิล 75% ในช่วงที่ 1 ถึง 4 ตามรูปที่ 4.19 ถึง รูปที่ 4.22



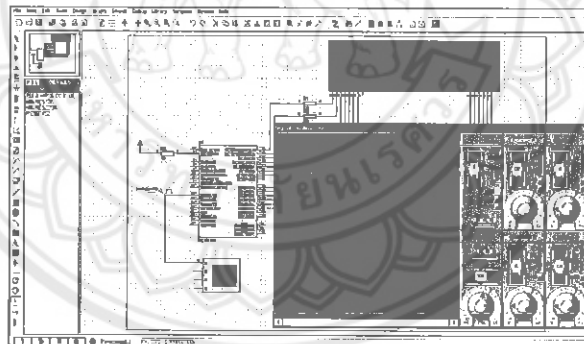
รูปที่ 4.19 ช่วงที่ 1 นับจำนวนลูกเคลื่อนได้ 132 ลูก



รูปที่ 4.20 ช่วงที่ 1-2 นับจำนวนลูกคลื่นได้ 282 ลูก



รูปที่ 4.21 ช่วงที่ 1-3 นับจำนวนลูกคลื่นได้ 432 ลูก



รูปที่ 4.22 ช่วงที่ 1-4 นับจำนวนลูกคลื่นได้ 632 ลูก

ตารางที่ 4.5 ค่าความเร็วเฉลี่ยในฐานเวลา 200 มิลลิวินาที

ค่าควิตซ์ไซเกลิล (%)	ช่วงเวลาที	จำนวนลูกคลื่น (ลูก)	ความเร็ว (m/s)	ความเร็วเฉลี่ย (m/s)
25	1	72	0.3	0.378
	2	97	0.405	
	3	117	0.49	
	4	75	0.315	
50	1	110	0.46	0.556
	2	137	0.571	
	3	150	0.625	
	4	136	0.567	
75	1	132	0.55	0.659
	2	150	0.625	
	3	150	0.625	
	4	200	0.835	

หมายเหตุ: คำนวณหาความเร็วของลือได้จาก เช่น ค่าควิตซ์ไซเกลิล 25% ในช่วงที่ 1

180 ลูกคลื่น จะมีค่าเท่ากับ 1 รอบมอเตอร์

69 ลูกคลื่น จะมีค่าเท่ากับ 0.38 รอบมอเตอร์

1 รอบมอเตอร์ จะมีค่าเท่ากับ 0.15 เมตร

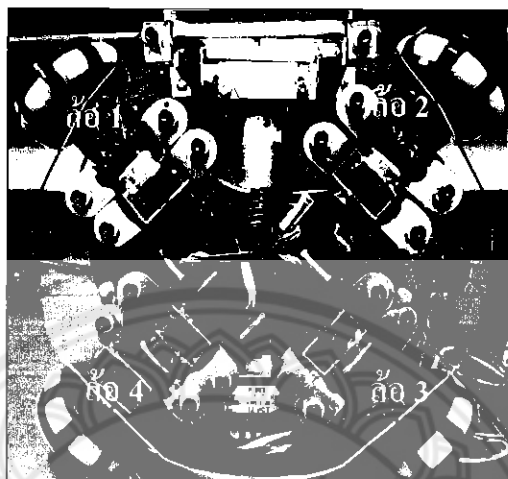
0.38 รอบมอเตอร์ จะมีค่าเท่ากับ 0.057 เมตร

ดังนั้น ความเร็วลือ (m/s) = ระยะทาง / ค่าฐานเวลา

$$\text{ความเร็วลือ} = 0.057 / 0.2 = 0.285 \text{ (m/s)}$$

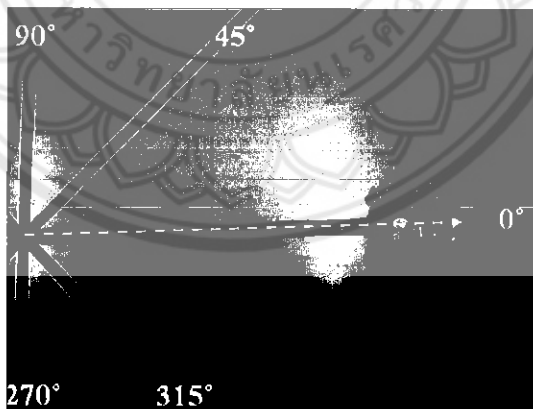
จากการทดลองการจำลองการทำงานวงจรด้วยโปรแกรม โปรติอุส (Proteus) เพื่อหาค่าความเร็วของหุ่นยนต์จะบ่งบอกให้รู้ว่าค่าควิตซ์ไซเกลิลที่มีค่ามากทำให้ค่าความเร็วมีค่ามาก และส่งผลให้จำนวนลูกคลื่นเพิ่มขึ้นในฐานเวลาที่เท่ากัน

4.2.2.2 การทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลโดยการปรับเปลี่ยนค่า
 คิวตี้ไซเคิลซึ่งค่าคิวตี้ไซเคิลจะทำให้ความเร็วของล้อแตกต่างกัน โดยที่กำหนดล้อแต่ละล้อ
 ดังรูปที่ 4.23

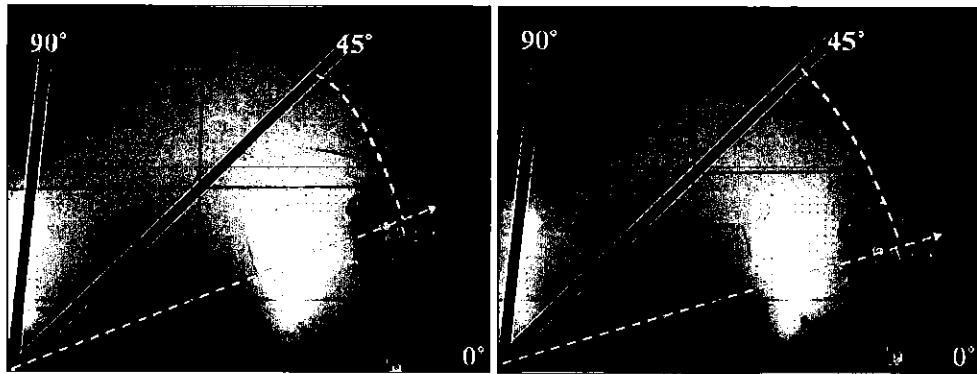


รูปที่ 4.23 การกำหนดล้อแต่ละล้อ

4.2.2.2.1 ลักษณะการเคลื่อนที่ที่เดินไปข้างหน้าจะแสดงดังรูปที่ 4.24 และรูปที่
 4.25 และผลการทดลองในตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.24 การเคลื่อนที่ที่ค่าคิวตี้ไซเคิลทั้งสี่ล้อเท่ากับ 25% 50% และ 75% ตามลำดับในทิศ 0 องศา



ก.

ข.

รูปที่ 4.25 การเคลื่อนที่ที่ค่าควิตซ์ไซเคิลมีความเร็วต่างกันในทิศ 45 องศา

ก. ล้อ 1 ล้อ 3 เท่ากับ 25 % ล้อ 2 ล้อ 4 เท่ากับ 50%

ข. ล้อ 1 ล้อ 3 เท่ากับ 25% ล้อ 2 ล้อ 4 เท่ากับ 75%

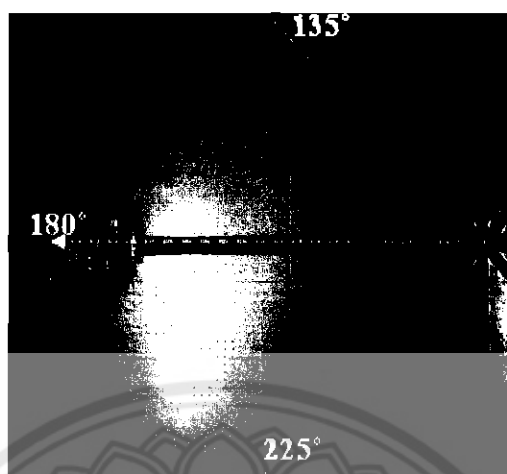
ตารางที่ 4.6 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลโดยลักษณะการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

ค่าควิตซ์ไซเคิล (%)				ความเร็วเฉลี่ยของล้อ			
ล้อ 1	ล้อ 2	ล้อ 3	ล้อ 4	ล้อ 1	ล้อ 2	ล้อ 3	ล้อ 4
25	25	25	25	0.378	0.378	0.378	0.378
50	50	50	50	0.556	0.556	0.556	0.556
75	75	75	75	0.659	0.659	0.659	0.659
25	50	25	50	0.378	0.556	0.378	0.556
25	75	25	75	0.378	0.659	0.378	0.659

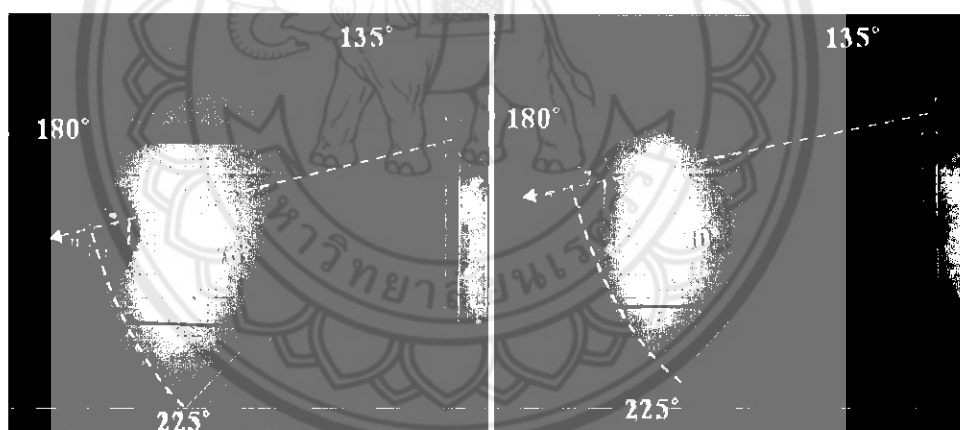
หมายเหตุ: ความเร็วเฉลี่ยของล้อจากตารางที่ 4.5

จากการทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลเดินไปข้างหน้าโดยป้อนค่าควิตซ์ไซเคิลที่เท่ากันจะทำให้ความเร็วมีค่าเท่ากัน จึงทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าในทิศ 0 องศา ถ้าให้ล้อ 2 และล้อ 4 มีค่าควิตซ์ไซเคิลมากกว่าล้อ 1 และล้อ 3 จะได้ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในทิศทางการเคลื่อนที่ออกจากทิศ 45 องศา ยิ่งล้อ 2 และล้อ 4 มีค่าควิตซ์ไซเคิลมากกว่า จะทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าใกล้ทิศ 0 องศา จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าถ้าต้องการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ในทิศที่มากกว่าหรือน้อยกว่าทิศ 45 องศา สามารถปรับค่าควิตซ์ไซเคิลให้มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าในตารางที่ 4.6

4.2.2.2.2 ลักษณะการเคลื่อนการเดินถอยหลังจะแสดง ดังรูปที่ 4.26 และรูปที่ 4.27 และผลการทดลองในตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.26 การเคลื่อนที่ที่ค่าควิตีไซเคิลทั้งสี่ล้อเท่ากับ 25% 50% และ 75% ตามลำดับ ในทิศ 180 องศา



ก.

ข.

รูปที่ 4.27 การเคลื่อนที่ที่ค่าควิตีไซเคิลมีความเร็วต่างกัน ในทิศ 225 องศา

ก. ล้อ 1 ล้อ 3 เท่ากับ 25% ล้อ 2 และล้อ 4 เท่ากับ 50%

ข. ล้อ 1 ล้อ 3 เท่ากับ 25% ล้อ 2 และล้อ 4 เท่ากับ 75%

ตารางที่ 4.7 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลโดยลักษณะการเคลื่อนที่ถอยหลัง

ค่าควิต์ไซเคิล (%)				ความเร็วเฉลี่ยของล้อ			
ล้อ 1	ล้อ 2	ล้อ 3	ล้อ 4	ล้อ 1	ล้อ 2	ล้อ 3	ล้อ 4
25	25	25	25	0.378	0.378	0.378	0.378
50	25	50	25	0.556	0.378	0.556	0.378
75	25	75	25	0.659	0.378	0.659	0.378
25	50	25	50	0.378	0.556	0.378	0.556
25	75	25	75	0.378	0.659	0.378	0.659

หมายเหตุ: ความเร็วเฉลี่ยของล้อจากตารางที่ 4.5

จากการทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลเดินถอยหลังในทิศ 180 องศาโดยป้อนค่าควิต์ไซเคิลที่เท่ากันจะทำให้ความเร็วมีค่าเท่ากัน จึงทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าในทิศ 180 องศา ถ้าให้ล้อ 2 และล้อ 4 มีค่าควิต์ไซเคิลมากกว่าล้อ 1 และล้อ 3 จะได้ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในทิศทางการเคลื่อนที่ออกจากทิศ 225 องศา ยิ่งล้อ 2 และล้อ 4 มีค่าควิต์ไซเคิลมากกว่าจะทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าใกล้ทิศ 180 องศา จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าถ้าต้องการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ในทิศที่มากกว่าหรือน้อยกว่าทิศ 225 องศา สามารถปรับค่าควิต์ไซเคิลให้มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าในตารางที่ 4.7

ในการทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล โดยการปรับเปลี่ยนค่าควิต์ไซเคิลซึ่งค่าควิต์ไซเคิลจะทำให้ความเร็วของล้อแตกต่างกัน ที่ค่าควิต์ไซเคิลเท่ากันลักษณะการเดินไปข้างหน้าและการเดินถอยหลังจะมีทิศตรงข้ามกัน

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษา ออกแบบ ทดสอบ และทำการปรับปรุงชิ้นงานขึ้นเป็นหุ่นยนต์เตะฟุตบอล โดยใช้ระยะเวลาดำเนิน โครงการงาน 2 ภาคการศึกษาทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในบทนี้จะเป็นการสรุปผลได้จากการทดลองในโครงการ พร้อมเสนอแนะแนวทางในการนำโครงการนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไป

5.1 สรุปผลการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

ในการทำโครงการหุ่นยนต์เตะฟุตบอลอัตโนมัติเป็นการสร้างโครงการเพื่อการศึกษาและแนวทางการพัฒนาของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลอัตโนมัติ ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น สามารถสรุปการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลได้ดังนี้

1. การทดลองการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลตัวที่ 1 หุ่นยนต์สามารถทำงานตามโปรแกรมได้จริง แต่ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์มีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงเนื่องจากล้อที่ใช้มีความคลาดเคลื่อนอยู่มากและการติดตั้งของ โครงสร้างล้อยังไม่สมดุลทำให้การเคลื่อนที่ไม่สม่ำเสมอ ในการควบคุมการเตะฟุตบอลของหุ่นยนต์สามารถทำงานตาม โปรแกรมได้อย่างถูกต้องและสามารถปรับแรงดันในการเตะฟุตบอลได้โดยการเพิ่มหรือลดค่าตัวเก็บประจุได้
2. การทดลองการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลตัวที่ 2 หุ่นยนต์สามารถควบคุมความเร็วได้สองล้อ และการควบคุมการเคลื่อนที่เป็นไปตามความเร็วของล้อจากการโปรแกรมที่เขียนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ และสามารถปรับเปลี่ยนความเร็วการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ได้โดยการโปรแกรม

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

จากการเริ่มออกแบบ โครงสร้างและทำการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

1. วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างของหุ่นยนต์ไม่สามารถหาวัสดุที่มีน้ำหนักเบาแข็งแรงได้จึงจำเป็นต้องใช้อะคริลิกมาประยุกต์ใช้งานทำให้โครงสร้างของหุ่นยนต์มีน้ำหนักมากขึ้นพอสมควร
2. ใช้เซอร์โวมอเตอร์ที่มีขนาดสั้นกว่าตัวที่ติดตั้งภายในหุ่นยนต์เตะฟุตบอล เพื่อง่ายต่อการติดตั้งและลดพื้นที่ใช้งาน เพื่อจะให้พื้นที่ว่างในการติดตั้ง โซลินอยด์ที่มีขนาดยาว
3. แบตเตอรี่ใช้งานมีประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากมีราคาถูกทำให้หุ่นยนต์สามารถใช้งานได้เวลาน้อย
4. การทำตัวยิงด้วยโซลินอยด์เนื่องจาก โซลินอยด์มีขนาดเล็กก้านสั้นทำให้การยิงลูกบอลมีความแรงของการยิงลูกบอลน้อยกว่าที่ควรจะเป็น

5. ปัญหาการยิงสองระดับสองวงจร (ยิงเบาและยิงแรง)

5.1 การตัดต่อวงจรโดยการตัดโซลินอยด์

เมื่อทำการตัดต่อวงจรที่โซลินอยด์หนึ่งเส้น ทำให้แรงดันที่ตัวเก็บประจุทั้งสองวงจรมารวมกันแล้วรอคำสั่งเพื่อที่จะให้โซลินอยด์ทำงาน แต่แรงดันที่ออกมาในการยิงสองระดับ มีระดับการยิงที่เท่ากันอยู่

เมื่อทำการตัดต่อวงจรที่โซลินอยด์ทั้งสองเส้น การทำงานเป็นเช่นเดียวกับการตัดต่อวงจรที่โซลินอยด์หนึ่งเส้น

5.2 การตัดต่อกราวด์ตัวเก็บประจุ โดยวงจรสวิตซ์

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรยิงที่ 1 วงจรสวิตซ์ทำงานเพื่อตัดกราวด์ในวงจรยิงที่ 2 เพื่อไม่ให้วงจรยิงที่ 2 อัดประจุเข้าไปในตัวเก็บประจุ แต่ยังเกิดการอัดประจุของตัวเก็บประจุในวงจรยิงที่ 2 ทำให้การยิงในระดับที่ต่างกัน ยังมีความแรงเท่ากัน

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรยิงที่ 2 วงจรสวิตซ์ทำงานเพื่อตัดกราวด์ในวงจรยิงที่ 1 เพื่อไม่ให้วงจรยิงที่ 1 อัดประจุเข้าไปในตัวเก็บประจุ แต่ยังเกิดการอัดประจุของตัวเก็บประจุในวงจรยิงที่ 1 ทำให้การยิงในระดับที่ต่างกัน ยังมีความแรงเท่ากัน

5.3 การตัดต่อวงจรโดยตัดหม้อแปลงกับโซลินอยด์

ทำการตัดต่อที่หม้อแปลงสองเส้น จะทำให้การยิงสองระดับได้อย่างที่ต้องการแต่ต้องมีวงจรสวิตซ์สองวงจรใช้ในการตัดต่อ จึงจะทำให้การยิงสองระดับได้ผลตามที่ต้องการ

6. วงจรสวิตซ์สองตัว เพื่อจะสั่งให้วงจรยิงที่ 1 หรือวงจรยิงที่ 2

การใช้ล้อในการเคลื่อนที่ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ทุกทิศทุกทางจะต้องมีประสิทธิภาพการเคลื่อนที่สูงเพื่อการเคลื่อนที่ถูกต้องและแม่นยำ

5.4 แนวทางในการพัฒนา

จากปัญหาที่พบในการทำหุ่นยนต์เตะฟุตบอลส่งผลให้ศักยภาพการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลน้อยลง จึงต้องมีการศึกษาแนวทางวิธีในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อการพัฒนาของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล ซึ่งจะเป็นการพัฒนาในลักษณะดังต่อไปนี้

5.3.1 หุ่นยนต์ตัวที่หนึ่ง

หุ่นยนต์เตะฟุตบอลตัวที่หนึ่ง สามารถพัฒนาได้โดยการเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนที่ให้แม่นยำโดยการติดตั้งตัวเข้ารหัสแบบหมุนหรือตัวเอ็นโค้ดเดอร์ เพื่อให้การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้อย่างแม่นยำมากยิ่งขึ้น และพัฒนาการยิงฟุตบอลให้เป็นการยิงที่มีระดับการยิงสามระดับ เช่น ยิงเบา ยิงแรง และการยิงลูกโค้ง

5.3.2 หุ่นยนต์ตัวที่สอง

หุ่นยนต์เตะฟุตบอลตัวที่สองพัฒนาได้โดยการใช้คอมพิวเตอร์ชั้นสูงหรืออิมเมจโปรเซสซึ่งในการควบคุมเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เพื่อให้หุ่นยนต์มีความแม่นยำและถูกต้องในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ การพัฒนาโปรแกรมควบคุมให้สมบูรณ์แบบมากที่สุด และพัฒนาการยิงให้เป็นสามระดับของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล คือ ยิงเบา ยิงแรง และการยิงลูกโค้ง



เอกสารอ้างอิง

- [1] ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง. (2537). *Advance PIC Microcontroller in C*. กรุงเทพฯ ฯ: จัดพิมพ์โดยห้างหุ้นส่วนสามัญสมาร์ทเลิร์นนิ่ง
- [2] สตงบัว. 2 กันยายน 2554. จากความฝันวัยเยาว์สู่งานวิจัยหุ่นยนต์เตะฟุตบอล. สืบค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2554, จาก <http://www.vcharkarn.com>.
- [3] นักประดิษฐ์. 15 สิงหาคม 2553. การเคลื่อนแบบเวกเตอร์. สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2554, จาก <http://www.nawattakam.com>.
- [4] จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 8 มีนาคม 2553. หุ่นยนต์เตะฟุตบอล. สืบค้นเมื่อ 20 กันยายน 2554, จาก <http://www.eng.chula.ac.th>.
- [5] สุชิน เตือซ้อย. 18 มีนาคม 2555. อุปกรณ์ป้อนกลับ. สืบค้นเมื่อ 3 มีนาคม 2555, จาก <http://www.9engineer.com>.
- [6] กุทธิ ธีระโกเมน. 19 ธันวาคม 2552. โซลินอยด์. สืบค้นเมื่อ 5 มกราคม 2555, จาก <http://electronics.se-ed.com>.
- [7] Premier. 13 March 2009. Control servo motor. Retrieved 8 January 2012, from <http://www.premier-ac.co.th>.
- [8] ผศ. ดร. มานพ วงศ์สายสุวรรณ. 8 สิงหาคม 2552. ขำแหละหุ่นยนต์เตะฟุตบอล Plasma-Z. สืบค้นเมื่อ 20 กันยายน 2554, จาก <http://www.eng.chula.ac.th>.
- [9] ภาณุวัฒน์ ดินสรานนท์. 14 มิถุนายน 2553. เบื้องหลังชัยชนะของหุ่นยนต์เตะบอลแห่งทีม KMUTT. สืบค้นเมื่อ 11 ธันวาคม 2554, <http://www.sarakadee.com>.

ภาคผนวก ก
รายละเอียดของวงจรมicrocontroller PIC18f4550





MICROCHIP PIC18F2455/2550/4455/4550

28/40/44-Pin High-Performance, Enhanced Flash USB Microcontrollers with nanoWatt Technology

Universal Serial Bus Features:

- USB V2.0 Compliant SIE
- Low-speed (1.5 Mb/s) and full-speed (12 Mb/s)
- Supports control, interrupt, isochronous and bulk transfers
- Supports up to 32 endpoints (16 bidirectional)
- 1-Kbyte dual access RAM for USB
- On-board USB transceiver with on-chip voltage regulator
- Interface for off-chip USB transceiver
- Streaming Parallel Port (SPP) for USB streaming transfers (40/44-pin devices only)

Power Managed Modes:

- Run: CPU on, peripherals on
- Idle: CPU off, peripherals on
- Sleep: CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 5.8 μ A typical
- Sleep current down to 0.1 μ A typical
- Timer1 oscillator: 1.1 μ A typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1 μ A typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

Flexible Oscillator Structure:

- Five Crystal modes, including High-Precision PLL for USB
- Two External RC modes, up to 4 MHz
- Two External Clock modes, up to 40 MHz
- Internal oscillator block:
 - 8 user selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
 - User tunable to compensate for frequency drift
- Secondary oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Fail-Safe Clock Monitor
 - Allows for safe shutdown if any clock stops

Peripheral Highlights:

- High current sink/source: 25 mA/25 mA
- Three external interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
 - Capture is 16-bit, max. resolution 6.25 ns (TCV/16)
 - Compare is 16-bit, max. resolution 100 ns (TCY)
 - PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
 - Multiple output modes
 - Selectable polarity
 - Programmable dead-time
 - Auto-Shutdown and Auto-Restart
- Addressable USART module:
 - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI™ (all 4 modes) and I²C™ Master and Slave modes
- 10-bit, up to 13-channels Analog-to-Digital Converter module (A/D) with programmable acquisition time
- Dual analog comparators with input multiplexing

Special Microcontroller Features:

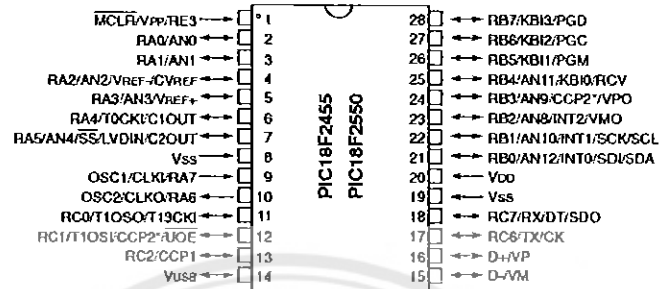
- C compiler optimized architecture with optional extended instruction set
- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle data EEPROM memory typical
- Flash/data EEPROM retention: > 40 years
- Self-programmable under software control
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 41 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-bit A/D (ch)	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EUSART	Comparators	Timers & 16-bit
	FLASH (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI	Master I ² C			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

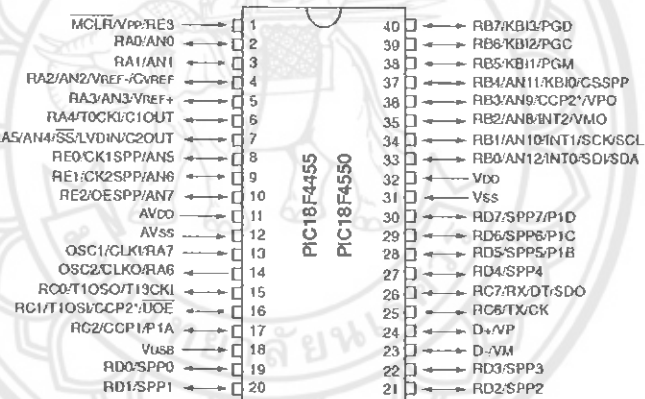
PIC18F2455/2550/4455/4550

Pin Diagrams

28-Pin SDIP, SOIC



40-Pin PDIP

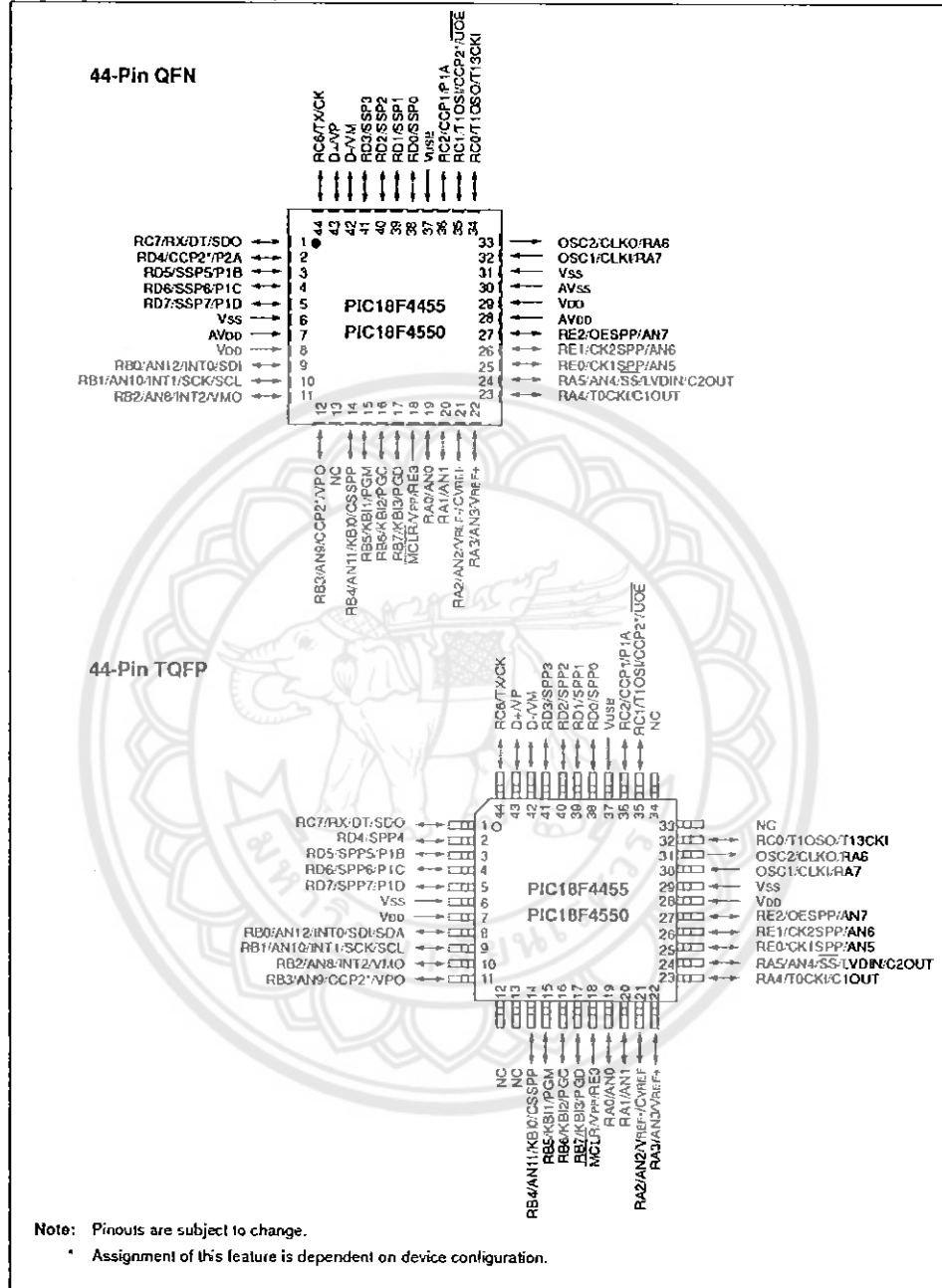


Note: Pinouts are subject to change.

* Assignment of this feature is dependent on device configuration.

PIC18F2455/2550/4455/4550

Pin Diagrams (Continued)







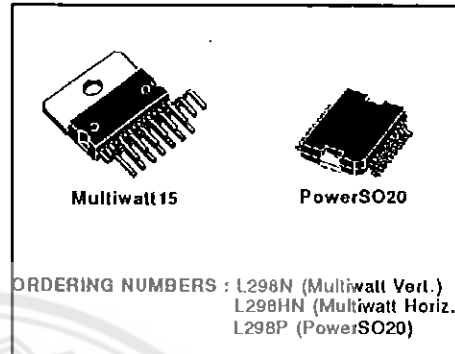
L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

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

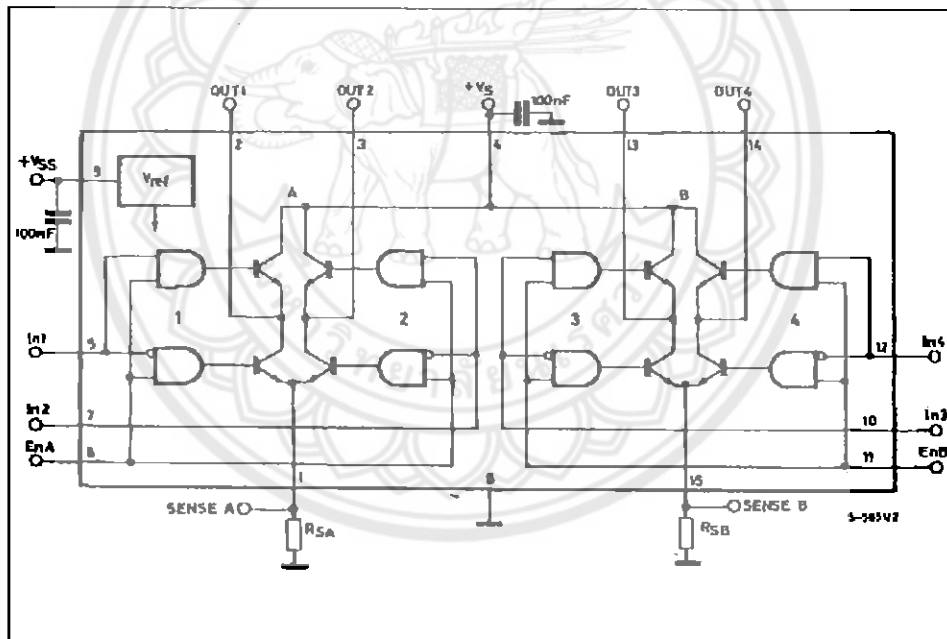
DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

BLOCK DIAGRAM

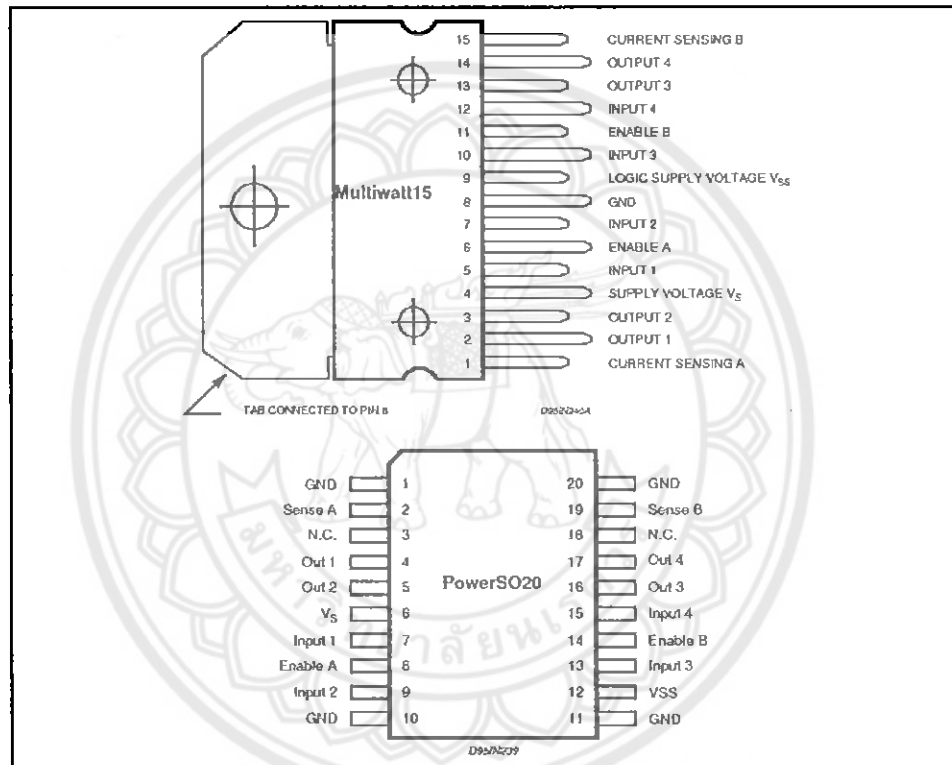


L298

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_i, V_{en}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I_O	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ($t = 100\mu s$)	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$)	2.5	A
	-DC Operation	2	A
V_{sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter	PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{thj-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max. -	3	$^\circ C/W$
$R_{thj-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max. 13 (*)	35	$^\circ C/W$

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V _S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	V _{SS}	Supply Voltage for the Logic Blocks. A 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
-	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_J = 25°C; unless otherwise specified)

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

L298

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

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

- 1) Sensing voltage can be -1 V for t ≤ 50 μsec; in steady state V_{sens min} ≥ -0.5 V.
- 2) See fig. 2.
- 3) See fig. 4.
- 4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

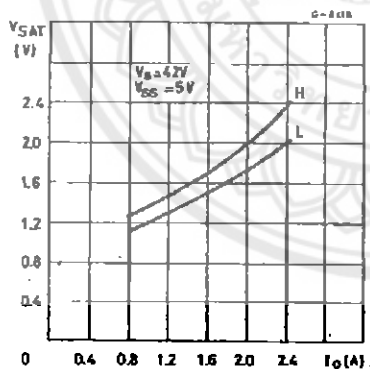
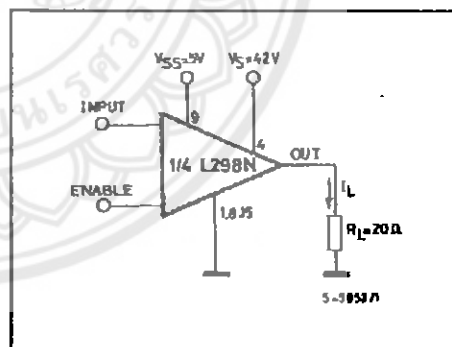


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



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

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

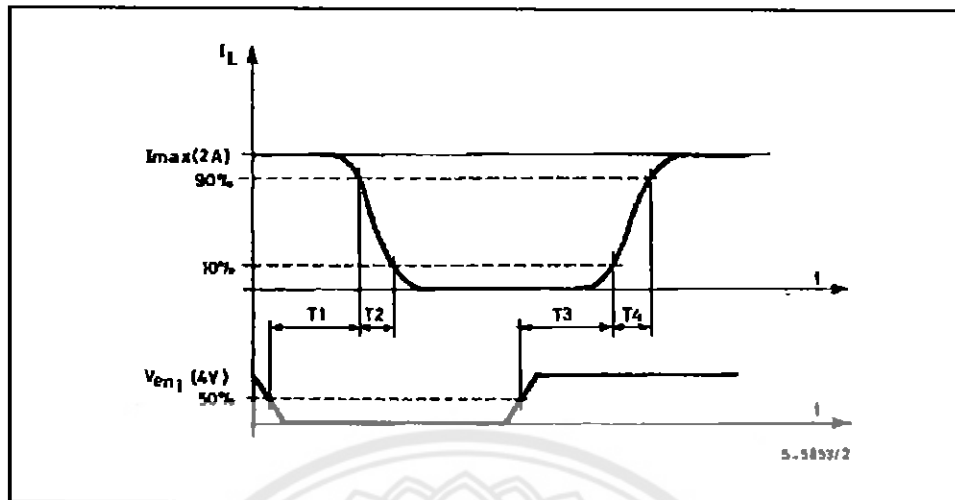
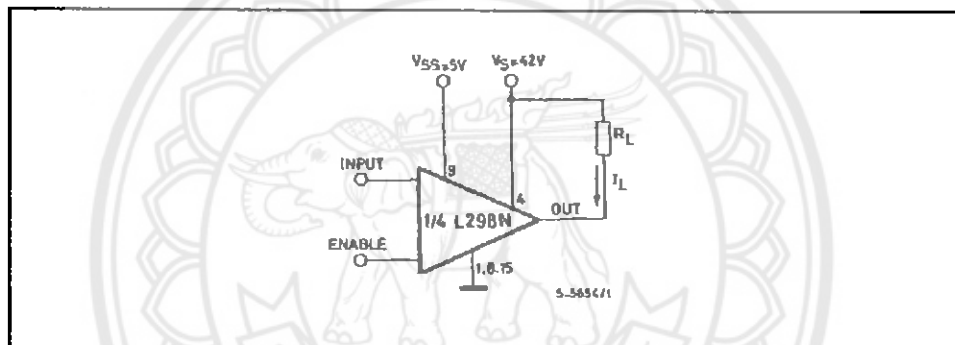


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



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

L298

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

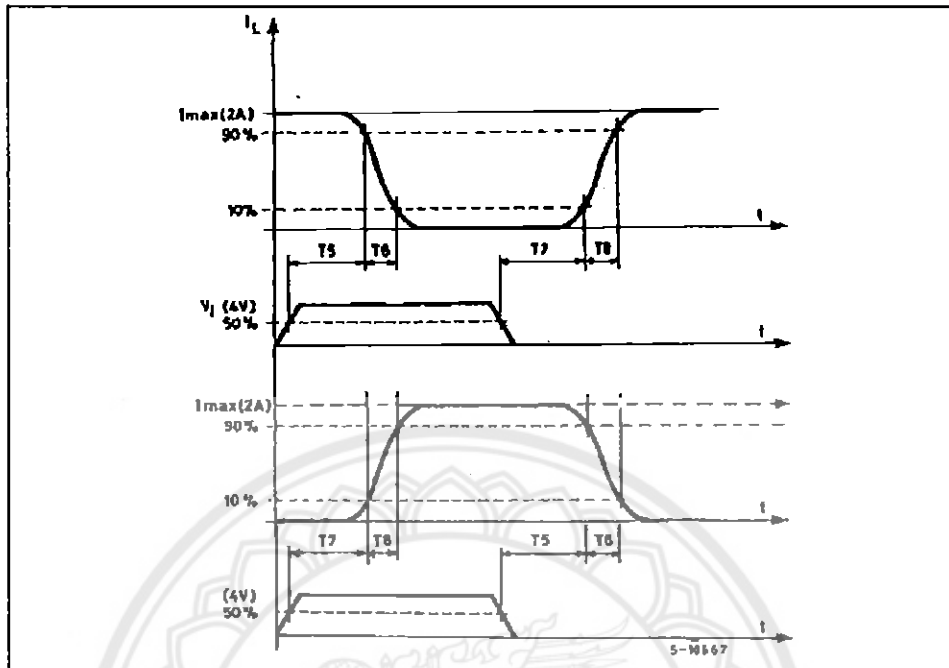


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.

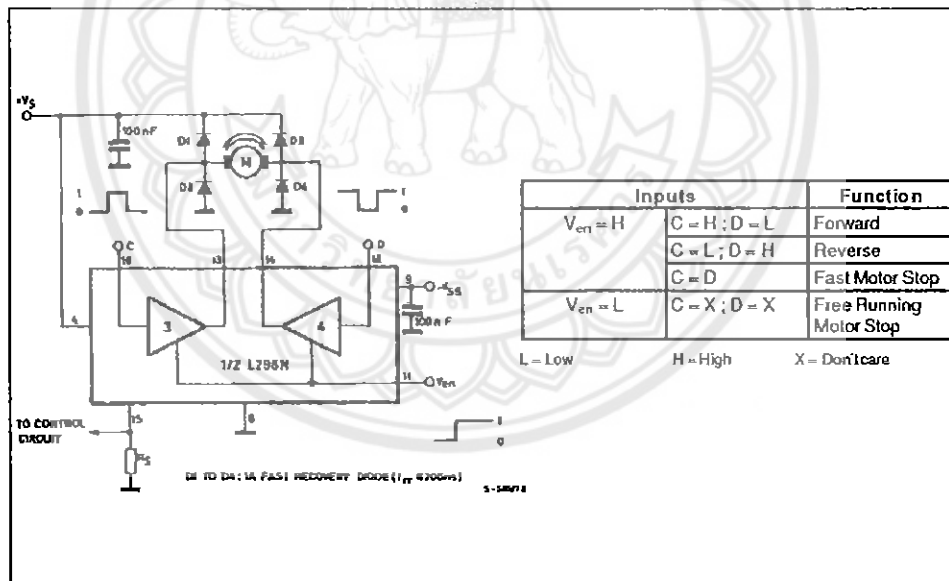
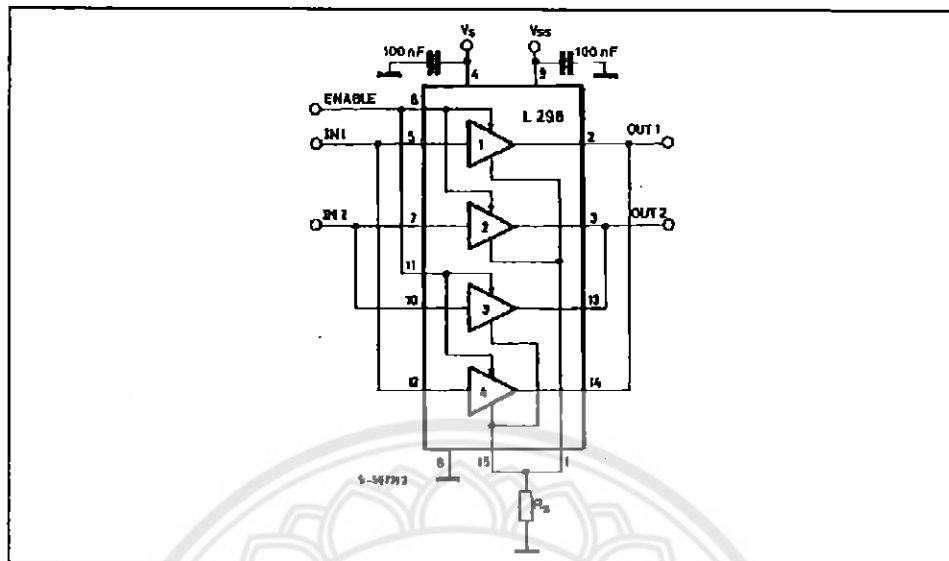


Figure 7 : For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

1.1. POWER OUTPUT STAGE

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

1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are In_1 ; In_2 ; EnA and In_3 ; In_4 ; EnB . The In inputs set the bridge state when the En input is high; a low state of the En input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

2. SUGGESTIONS

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

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

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

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

3. APPLICATIONS

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

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

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

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

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

L298

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

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

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

Figure 8 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

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

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

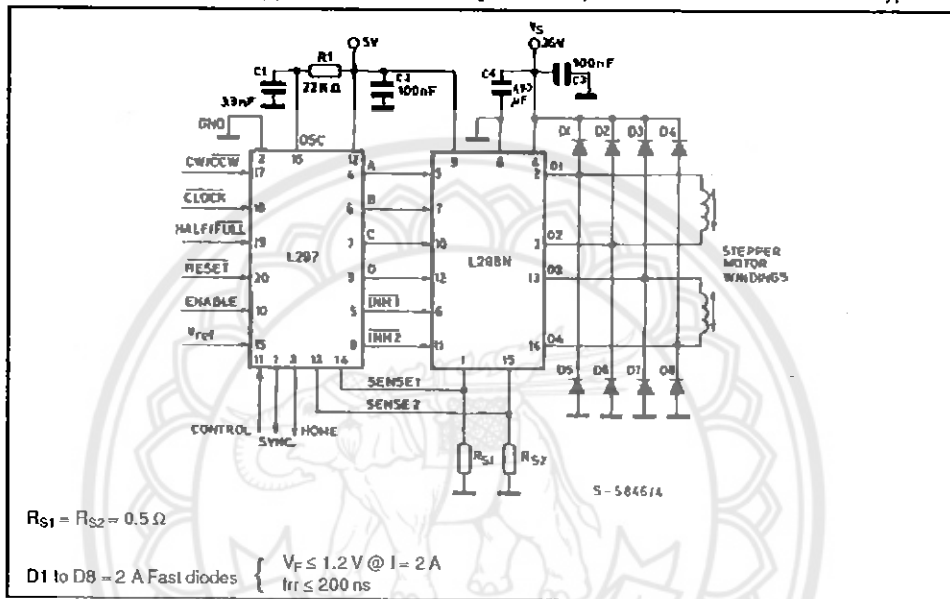


Figure 9 : Suggested Printed Circuit Board Layout for the Circuit of fig. 8 (1:1 scale).

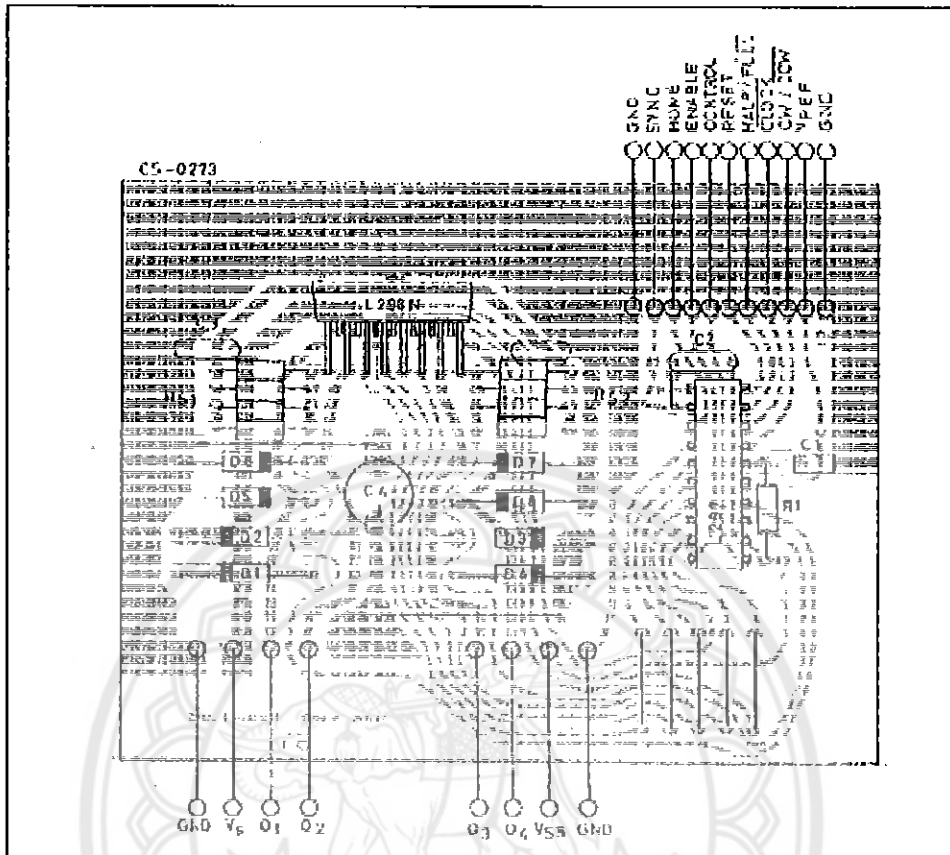
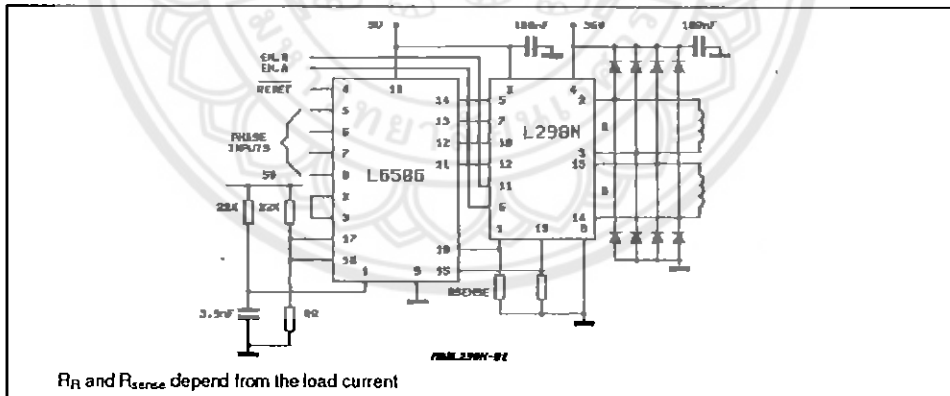


Figure 10 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Control Circuit by Using the Current Controller L6506.





**One Microamp Supply-Current, +3V to +5.5V,
250kbps, RS-232 Transmitters/Receivers**

The Intersil ICL32XX devices are 3.0V to 5.5V powered RS-232 transmitters/receivers which meet EIA/TIA-232 and V.28/V.24 specifications, even at $V_{CC} = 3.0V$. Targeted applications are PDAs, Palmtops, and notebook and laptop computers where the low operational, and even lower standby, power consumption is critical. Efficient on-chip charge pumps, coupled with manual and automatic powerdown functions (except for the ICL3232), reduce the standby supply current to a $1\mu A$ trickle. Small footprint packaging, and the use of small, low value capacitors ensure board space savings as well. Data rates greater than 250kbps are guaranteed at worst case load conditions. This family is fully compatible with 3.3V only systems, mixed 3.3V and 5.0V systems, and 5.0V only systems.

The ICL324X are 3-driver, 5-receiver devices that provide a complete serial port suitable for laptop or notebook computers. Both devices also include noninverting always-active receivers for "wake-up" capability.

The ICL3221, ICL3223 and ICL3243, feature an **automatic powerdown** function which powers down the on-chip power-supply and driver circuits. This occurs when an attached peripheral device is shut off or the RS-232 cable is removed, conserving system power automatically without changes to the hardware or operating system. These devices power up again when a valid RS-232 voltage is applied to any receiver input.

Table 1 summarizes the features of the devices represented by this data sheet, while Application Note AN9863 summarizes the features of each device comprising the ICL32XX 3V family.

Features

- Pb-Free Plus Anneal Available as an Option (RoHS Compliant) (See Ordering Info)
- 15kV ESD Protected (Human Body Model)
- Drop in Replacements for MAX3221, MAX3222, MAX3223, MAX3232, MAX3241, MAX3243, SP3243
- ICL3221 is Low Power, Pin Compatible Upgrade for 5V MAX221
- ICL3222 is Low Power, Pin Compatible Upgrade for 5V MAX242, and SP312A
- ICL3232 is Low Power Upgrade for HIN232/ICL232 and Pin Compatible Competitor Devices
- RS-232 Compatible with $V_{CC} = 2.7V$
- Meets EIA/TIA-232 and V.28/V.24 Specifications at 3V
- Latch-Up Free
- On-Chip Voltage Converters Require Only Four External $0.1\mu F$ Capacitors
- Manual and Automatic Powerdown Features (Except ICL3232)
- Guaranteed Mouse Driveability (ICL324X Only)
- Receiver Hysteresis For Improved Noise Immunity
- Guaranteed Minimum Data Rate 250kbps
- Guaranteed Minimum Slew Rate $6V/\mu s$
- Wide Power Supply Range Single +3V to +5.5V
- Low Supply Current in Powerdown State $1\mu A$

Applications

- Any System Requiring RS-232 Communication Ports
 - Battery Powered, Hand-Held, and Portable Equipment
 - Laptop Computers, Notebooks, Palmtops
 - Modems, Printers and other Peripherals
 - Digital Cameras
 - Cellular/Mobile Phones

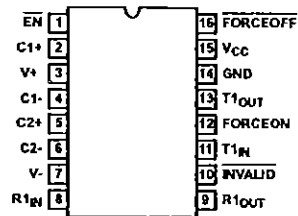
TABLE 1. SUMMARY OF FEATURES

PART NUMBER	NO. OF Tx.	NO. OF Rx.	NO. OF MONITOR Rx. (Route)	DATA RATE (kbps)	Rx. ENABLE FUNCTION?	READY OUTPUT?	MANUAL POWER-DOWN?	AUTOMATIC POWERDOWN FUNCTION?
ICL3221	1	1	0	250	Yes	No	Yes	Yes
ICL3222	2	2	0	250	Yes	No	Yes	No
ICL3223	2	2	0	250	Yes	No	Yes	Yes
ICL3232	2	2	0	250	No	No	No	No
ICL3241	3	5	2	250	Yes	No	Yes	No
ICL3243	3	5	1	250	No	No	Yes	Yes

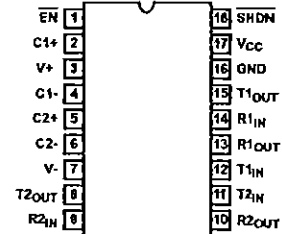
ICL3221, ICL3222, ICL3223, ICL3232, ICL3241, ICL3243

Pinouts

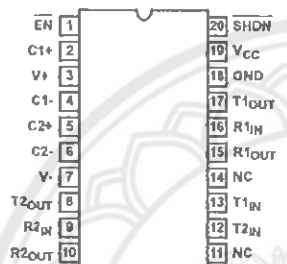
**ICL3221 (SSOP, TSSOP)
TOP VIEW**



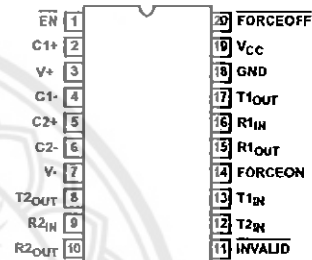
**ICL3222 (PDIP, SOIC)
TOP VIEW**



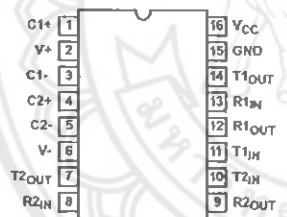
**ICL3222 (SSOP, TSSOP)
TOP VIEW**



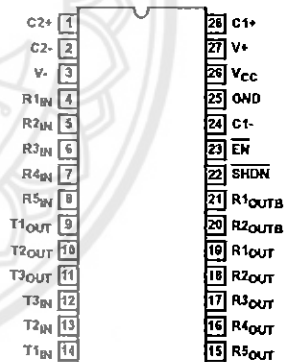
**ICL3223 (PDIP, SSOP, TSSOP)
TOP VIEW**



**ICL3232 (PDIP, SOIC, SSOP, TSSOP)
TOP VIEW**

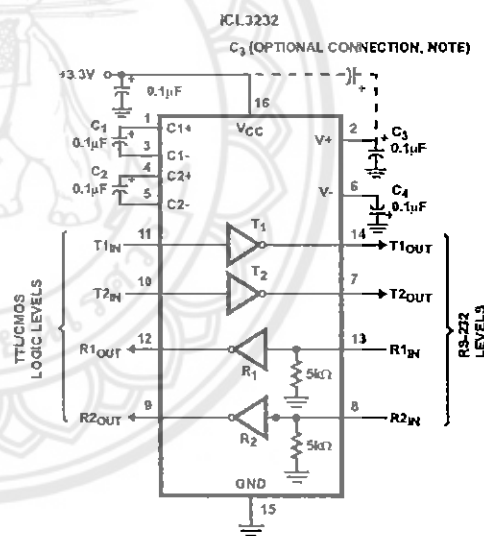
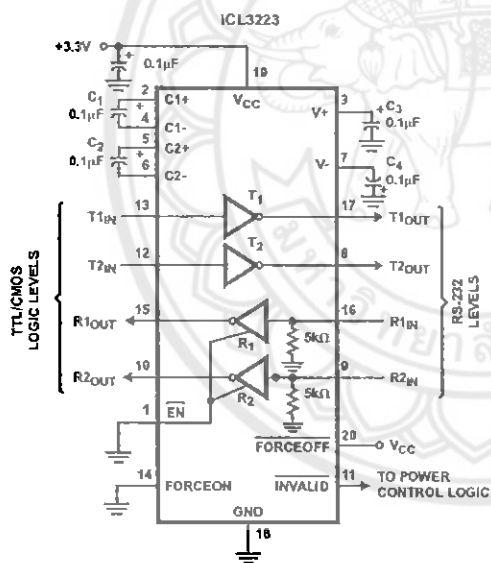
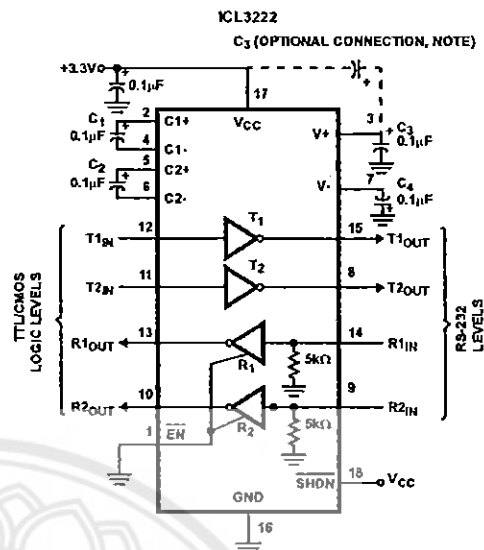
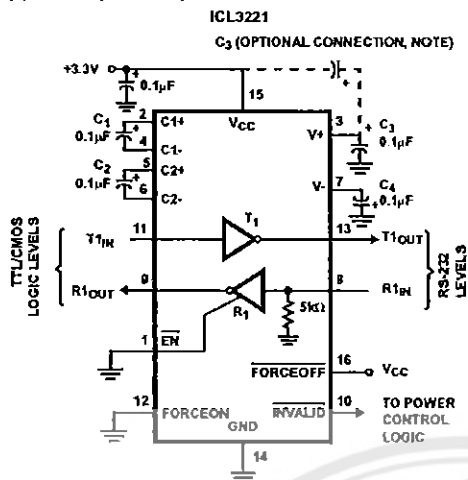


**ICL3241 (SOIC, SSOP, TSSOP)
TOP VIEW**



ICL3221, ICL3222, ICL3223, ICL3232, ICL3241, ICL3243

Typical Operating Circuits



ICL3221, ICL3222, ICL3223, ICL3232, ICL3241, ICL3243

Absolute Maximum Ratings

V _{CC} to Ground	-0.3V to 6V
V+ to Ground	-0.3V to 7V
V- to Ground	+0.3V to -7V
V+ to V-	14V
Input Voltages	
T _{IN} , FORCEOFF, FORCEON, EN, SHDN	-0.3V to 6V
R _{IN}	±25V
Output Voltages	
T _{OUT}	±13.2V
R _{OUT} , INVALID	-0.3V to V _{CC} +0.3V
Short Circuit Duration	
T _{OUT}	Continuous
ESD Rating See Specification Table	

Operating Conditions

Temperature Range	
ICL32XXCX	0°C to 70°C
ICL32XXIX	-40°C to 85°C

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 3)	θ _{JA} (°C/W)
16 Ld PDIP Package*	90
18 Ld PDIP Package*	80
20 Ld PDIP Package*	77
16 Ld Wide SOIC Package	100
16 Ld Narrow SOIC Package	115
18 Ld SOIC Package	75
28 Ld SOIC Package	75
16 Ld SSOP Package	135
20 Ld SSOP Package	122
16 Ld TSSOP Package	145
20 Ld TSSOP Package	140
28 Ld SSOP and TSSOP Packages	100
Maximum Junction Temperature (Plastic Package)	150°C
Maximum Storage Temperature Range	-65°C to 150°C
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s)	300°C
(SOIC, SSOP, TSSOP - Lead Tips Only)	
*Pb-free PDIPs can be used for through hole wave solder processing only. They are not intended for use in Reflow solder processing applications.	

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

3. θ_{JA} is measured with the component mounted on a low effective thermal conductivity test board in free air. See Tech Brief TB379 for details.

Electrical Specifications

Test Conditions: V_{CC} = 3V to 5.5V, C1 - C4 = 0.1µF; Unless Otherwise Specified.
Typicals are at TA = 25°C

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TEMP (°C)	MIN	TYP	MAX	UNITS
DC CHARACTERISTICS						
Supply Current, Automatic Powerdown	All R _{IN} Open, FORCEON = GND, FORCEOFF = V _{CC} (ICL3221, ICL3223, ICL3243 Only)	25	-	1.0	10	µA
Supply Current, Powerdown	FORCEOFF = SHDN = GND (Except ICL3232)	25	-	1.0	10	µA
Supply Current, Automatic Powerdown Disabled	All Outputs Unloaded, FORCEON = FORCEOFF = SHDN = V _{CC}	25	-	0.3	1.0	mA
	V _{CC} = 3.15V, ICL3221-32					
	V _{CC} = 3.0V, ICL3241-43	25	-	0.3	1.0	mA
LOGIC AND TRANSMITTER INPUTS AND RECEIVER OUTPUTS						
Input Logic Threshold Low	T _{IN} , FORCEON, FORCEOFF, EN, SHDN	Full	-	-	0.8	V
Input Logic Threshold High	T _{IN} , FORCEON, FORCEOFF, EN, SHDN	Full	2.0	-	-	V
	V _{CC} = 3.3V	Full	2.4	-	-	V
	V _{CC} = 5.0V	Full	-	-	-	V
Input Leakage Current	T _{IN} , FORCEON, FORCEOFF, EN, SHDN	Full	-	±0.01	±1.0	µA
Output Leakage Current (Except ICL3232)	FORCEOFF = GND or EN = V _{CC}	Full	-	±0.05	±10	µA
Output Voltage Low	I _{OUT} = 1.6mA	Full	-	-	0.4	V
Output Voltage High	I _{OUT} = -1.0mA	Full	V _{CC} -0.6	V _{CC} -0.1	-	V
AUTOMATIC POWERDOWN (ICL3221, ICL3223, ICL3243 Only, FORCEON = GND, FORCEOFF = V_{CC})						
Receiver Input Thresholds to Enable Transmitters	ICL32XX Powers Up (See Figure 6)	Full	-2.7	-	2.7	V
Receiver Input Thresholds to Disable Transmitters	ICL32XX Powers Down (See Figure 6)	Full	-0.3	-	0.3	V
INVALID Output Voltage Low	I _{OUT} = 1.6mA	Full	-	-	0.4	V
INVALID Output Voltage High	I _{OUT} = -1.0mA	Full	V _{CC} -0.6	-	-	V

ICL3221, ICL3222, ICL3223, ICL3232, ICL3241, ICL3243

Electrical Specifications Test Conditions: $V_{CC} = 3V$ to $5.5V$, $C_1 - C_4 = 0.1\mu F$, Unless Otherwise Specified.
Typicals are at $T_A = 25^\circ C$ (Continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TEMP (°C)	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Receiver Threshold to Transmitters Enabled Delay (t_{WU})		25	-	100	-	μs	
Receiver Positive or Negative Threshold to INVALID High Delay (t_{INVH})		25	-	1	-	μs	
Receiver Positive or Negative Threshold to INVALID Low Delay (t_{INVL})		25	-	30	-	μs	
RECEIVER INPUTS							
Input Voltage Range		Full	-25	-	25	V	
Input Threshold Low	$V_{CC} = 3.3V$	25	0.6	1.2	-	V	
	$V_{CC} = 5.0V$	25	0.8	1.5	-	V	
Input Threshold High	$V_{CC} = 3.3V$	25	-	1.5	2.4	V	
	$V_{CC} = 5.0V$	25	-	1.8	2.4	V	
Input Hysteresis		25	-	0.3	-	V	
Input Resistance		25	3	5	7	k Ω	
TRANSMITTER OUTPUTS							
Output Voltage Swing	All Transmitter Outputs Loaded with $3k\Omega$ to Ground	Full	± 5.0	± 5.4	-	V	
Output Resistance	$V_{CC} = V^+ = V^- = 0V$, Transmitter Output = $\pm 2V$	Full	300	10M	-	Ω	
Output Short-Circuit Current		Full	-	± 35	± 60	mA	
Output Leakage Current	$V_{OUT} = \pm 12V$, $V_{CC} = 0V$ or $3V$ to $5.5V$ Automatic Powerdown or FORCEOFF = SHDN = GND	Full	-	-	± 25	μA	
MOUSE DRIVEABILITY (ICL324X Only)							
Transmitter Output Voltage (See Figure 9)	$T_{1IN} = T_{2IN} = GND$, $T_{3IN} = V_{CC}$, T_{3OUT} Loaded with $3k\Omega$ to GND, T_{1OUT} and T_{2OUT} Loaded with $2.5mA$ Each	Full	± 5	-	-	V	
TIMING CHARACTERISTICS							
Maximum Data Rate	$R_L = 3k\Omega$, $C_L = 1000pF$, One Transmitter Switching	Full	250	500	-	kbps	
Receiver Propagation Delay	Receiver Input to Receiver Output, $C_L = 150pF$	t_{PHL}	25	-	0.3	-	μs
		t_{PLH}	25	-	0.3	-	μs
Receiver Output Enable Time	Normal Operation (Except ICL3232)	25	-	200	-	ns	
Receiver Output Disable Time	Normal Operation (Except ICL3232)	25	-	200	-	ns	
Transmitter Skew	$t_{PHL} - t_{PLH}$	Full	-	200	1000	ns	
Receiver Skew	$t_{PHL} - t_{PLH}$	Full	-	100	500	ns	
Transition Region Slew Rate	$V_{CC} = 3.3V$, $R_L = 3k\Omega$ to $7k\Omega$, Measured From $3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $3V$	$C_L = 200pF$ to $2500pF$	25	4	8.0	30	V/ μs
		$C_L = 200pF$ to $1000pF$	25	6	-	30	V/ μs
ESD PERFORMANCE							
RS-232 Pins (T_{OUT} , R_{IN})	Human Body Model	ICL3221 - ICL3243	25	-	± 15	-	kV
	IEC61000-4-2 Contact Discharge	ICL3221 - ICL3243	25	-	± 8	-	kV
	IEC61000-4-2 Air Gap Discharge	ICL3221 - ICL3232	25	-	± 8	-	kV
		ICL3241 - ICL3243	25	-	± 6	-	kV
All Other Pins	Human Body Model	ICL3221 - ICL3243	25	-	± 2	-	kV

ICL3221, ICL3222, ICL3223, ICL3232, ICL3241, ICL3243

Detailed Description

ICL32XX interface ICs operate from a single +3V to +5.5V supply, guarantee a 250kbps minimum data rate, require only four small external 0.1 μ F capacitors, feature low power consumption, and meet all EIA RS-232C and V28 specifications. The circuit is divided into three sections: charge pump, transmitters and receivers.

Charge-Pump

Intersil's new ICL32XX family utilizes regulated on-chip dual charge pumps as voltage doublers, and voltage inverters to generate $\pm 5.5V$ transmitter supplies from a V_{CC} supply as low as 3.0V. This allows these devices to maintain RS-232 compliant output levels over the $\pm 10\%$ tolerance range of 3.3V powered systems. The efficient on-chip power supplies require only four small, external 0.1 μ F capacitors for the voltage doubler and inverter functions at $V_{CC} = 3.3V$. See the *Capacitor Selection* section, and Table 3 for capacitor recommendations for other operating conditions. The charge pumps operate discontinuously (i.e., they turn off as soon as the V+ and V- supplies are pumped up to the nominal values), resulting in significant power savings.

Transmitters

The transmitters are proprietary, low dropout, inverting drivers that translate TTL/CMOS inputs to EIA/TIA-232 output levels. Coupled with the on-chip $\pm 5.5V$ supplies, these transmitters deliver true RS-232 levels over a wide range of single supply system voltages.

Except for the ICL3232, all transmitter outputs disable and assume a high impedance state when the device enters the powerdown mode (See Table 2). These outputs may be driven to $\pm 12V$ when disabled.

All devices guarantee a 250kbps data rate for full load conditions (3k Ω and 1000pF), $V_{CC} \geq 3.0V$, with one transmitter operating at full speed. Under more typical conditions of $V_{CC} \geq 3.3V$, $R_L = 3k\Omega$, and $C_L = 250pF$, one transmitter easily operates at 900kbps.

Transmitter inputs float if left unconnected, and may cause I_{CC} increases. Connect unused inputs to GND for the best performance.

Receivers

All the ICL32XX devices contain standard inverting receivers that three-state (except for the ICL3232) via the EN or FORCEOFF control lines. Additionally, the two ICL324X products include noninverting (monitor) receivers (denoted by the R_{OUTB} label) that are always active, regardless of the state of any control lines. All the receivers convert RS-232 signals to CMOS output levels and accept inputs up to $\pm 25V$ while presenting the required 3k Ω to 7k Ω input impedance (See Figure 1) even if the power is off ($V_{CC} = 0V$). The receivers' Schmitt trigger input stage uses hysteresis to increase noise immunity and decrease errors due to slow input signal transitions.

The ICL3221/22/23/41 inverting receivers disable only when EN is driven high. ICL3243 receivers disable during forced (manual) powerdown, but not during automatic powerdown (See Table 2).

ICL324X monitor receivers remain active even during manual powerdown and forced receiver disable, making them extremely useful for Ring Indicator monitoring. Standard receivers driving powered down peripherals must be disabled to prevent current flow through the peripheral's protection diodes (See Figures 2 and 3). This renders them useless for wake up functions, but the corresponding monitor receiver can be dedicated to this task as shown in Figure 3.

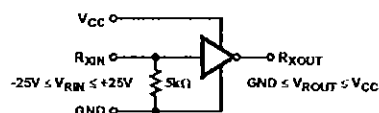


FIGURE 1. INVERTING RECEIVER CONNECTIONS

Low Power Operation

These 3V devices require a nominal supply current of 0.3mA, even at $V_{CC} = 5.5V$, during normal operation (not in powerdown mode). This is considerably less than the 5mA to 11mA current required by comparable 5V RS-232 devices, allowing users to reduce system power simply by switching to this new family.

Pin Compatible Replacements For 5V Devices

The ICL3221/22/32 are pin compatible with existing 5V RS-232 transceivers - see the *Features* section on the front page for details.

This pin compatibility coupled with the low I_{CC} and wide operating supply range, make the ICL32XX potential lower power, higher performance drop-in replacements for existing 5V applications. As long as the $\pm 5V$ RS-232 output swings are acceptable, and transmitter input pull-up resistors aren't required, the ICL32XX should work in most 5V applications.

When replacing a device in an existing 5V application, it is acceptable to terminate C_3 to V_{CC} as shown on the *Typical Operating Circuit*. Nevertheless, terminate C_3 to GND if possible, as slightly better performance results from this configuration.

Powerdown Functionality (Except ICL3232)

The already low current requirement drops significantly when the device enters powerdown mode. In powerdown, supply current drops to 1 μ A, because the on-chip charge pump turns off (V+ collapses to V_{CC} , V- collapses to GND), and the transmitter outputs three-state. Inverting receiver outputs may or may not disable in powerdown; refer to Table 2 for details. This micro-power mode makes these devices ideal for battery powered and portable applications.

ICL3221, ICL3222, ICL3223, ICL3232, ICL3241, ICL3243

The **INVALID** output always indicates whether or not a valid RS-232 signal is present at any of the receiver inputs (See Table 2), giving the user an easy way to determine when the interface block should power down. In the case of a disconnected interface cable where all the receiver inputs are floating (but pulled to GND by the internal receiver pull down resistors), the **INVALID** logic detects the invalid levels and drives the output low. The power management logic then uses this indicator to power down the interface block. Reconnecting the cable restores valid levels at the receiver inputs, **INVALID** switches high, and the power management logic wakes up the interface block. **INVALID** can also be used to indicate the DTR or RING INDICATOR signal, as long as the other receiver inputs are floating, or driven to GND (as in the case of a powered down driver). Connecting **FORCEOFF** and **FORCEON** together disables the automatic powerdown feature, enabling them to function as a manual **SHUTDOWN** input (See Figure 4).

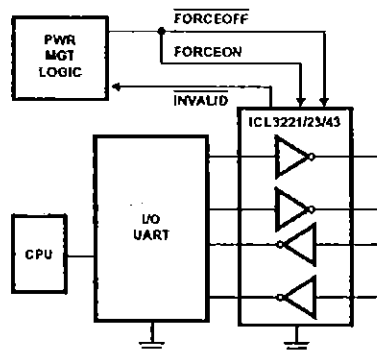


FIGURE 4. CONNECTIONS FOR MANUAL POWERDOWN WHEN NO VALID RECEIVER SIGNALS ARE PRESENT

With any of the above control schemes, the time required to exit powerdown, and resume transmission is only 100µs. A mouse, or other application, may need more time to wake up from shutdown. If automatic powerdown is being utilized, the RS-232 device will reenter powerdown if valid receiver levels aren't reestablished within 30µs of the ICL32XX powering up. Figure 5 illustrates a circuit that keeps the ICL32XX from initiating automatic powerdown for 100ms after powering up. This gives the slow-to-wake peripheral circuit time to reestablish valid RS-232 output levels.

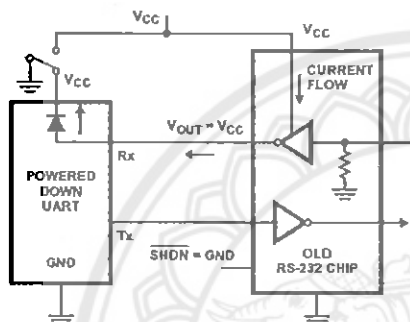


FIGURE 2. POWER DRAIN THROUGH POWERED DOWN PERIPHERAL

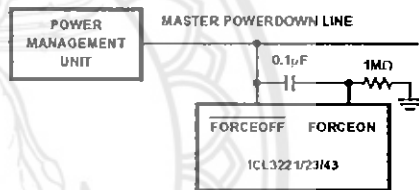


FIGURE 5. CIRCUIT TO PREVENT AUTO POWERDOWN FOR 100ms AFTER FORCED POWERUP

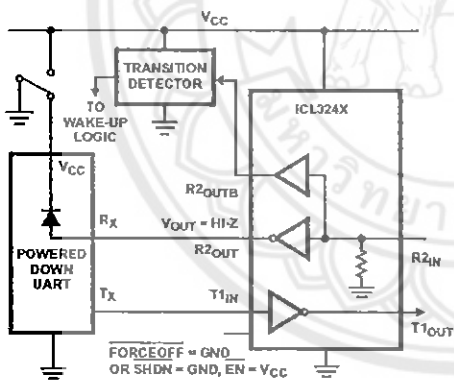


FIGURE 3. DISABLED RECEIVERS PREVENT POWER DRAIN

Automatic Powerdown (ICL3221/23/43 Only)

Even greater power savings is available by using the devices which feature an automatic powerdown function. When no valid RS-232 voltages (See Figure 6) are sensed on any receiver input for 30µs, the charge pump and transmitters powerdown, thereby reducing supply current to 1µA. Invalid receiver levels occur whenever the driving peripheral's outputs are shut off (powered down) or when the RS-232 interface cable is disconnected. The ICL32XX powers back up whenever it detects a valid RS-232 voltage level on any receiver input. This automatic powerdown feature provides additional system power savings without changes to the existing operating system.

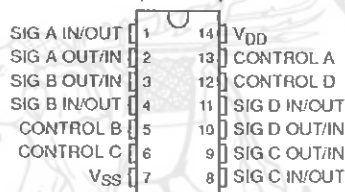


CD4066B CMOS QUAD BILATERAL SWITCH

SCHS051D – NOVEMBER 1998 – REVISED SEPTEMBER 2003

- 15-V Digital or ± 7.5 -V Peak-to-Peak Switching
- 125- Ω Typical On-State Resistance for 15-V Operation
- Switch On-State Resistance Matched to Within 5 Ω Over 15-V Signal-Input Range
- On-State Resistance Flat Over Full Peak-to-Peak Signal Range
- High On/Off Output-Voltage Ratio: 80 dB Typical at $f_{IS} = 10$ kHz, $R_L = 1$ k Ω
- High Degree of Linearity: $<0.5\%$ Distortion Typical at $f_{IS} = 1$ kHz, $V_{IS} = 5$ V p-p, $V_{DD} - V_{SS} \geq 10$ V, $R_L = 10$ k Ω
- Extremely Low Off-State Switch Leakage, Resulting in Very Low Offset Current and High Effective Off-State Resistance: 10 pA Typical at $V_{DD} - V_{SS} = 10$ V, $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Extremely High Control Input Impedance (Control Circuit Isolated From Signal Circuit): 10^{12} Ω Typical
- Low Crosstalk Between Switches: -50 dB Typical at $f_{IS} = 8$ MHz, $R_L = 1$ k Ω
- Matched Control-Input to Signal-Output Capacitance: Reduces Output Signal Transients
- Frequency Response, Switch On = 40 MHz Typical
- 100% Tested for Quiescent Current at 20 V
- 5-V, 10-V, and 15-V Parametric Ratings
- Meets All Requirements of JEDEC Tentative Standard No. 13-B, *Standard Specifications for Description of "B" Series CMOS Devices*
- Applications:
 - Analog Signal Switching/Multiplexing: Signal Gating, Modulator, Squelch Control, Demodulator, Chopper, Commutating Switch
 - Digital Signal Switching/Multiplexing
 - Transmission-Gate Logic Implementation
 - Analog-to-Digital and Digital-to-Analog Conversion
 - Digital Control of Frequency, Impedance, Phase, and Analog-Signal Gain

E, F, M, NS, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



description/ordering information

The CD4066B is a quad bilateral switch intended for the transmission or multiplexing of analog or digital signals. It is pin-for-pin compatible with the CD4016B, but exhibits a much lower on-state resistance. In addition, the on-state resistance is relatively constant over the full signal-input range.

The CD4066B consists of four bilateral switches, each with independent controls. Both the p and the n devices in a given switch are biased on or off simultaneously by the control signal. As shown in Figure 1, the well of the n-channel device on each switch is tied to either the input (when the switch is on) or to V_{SS} (when the switch is off). This configuration eliminates the variation of the switch-transistor threshold voltage with input signal and, thus, keeps the on-state resistance low over the full operating-signal range.

The advantages over single-channel switches include peak input-signal voltage swings equal to the full supply voltage and more constant on-state impedance over the input-signal range. However, for sample-and-hold applications, the CD4016B is recommended.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

1

CD4066B
CMOS QUAD BILATERAL SWITCH

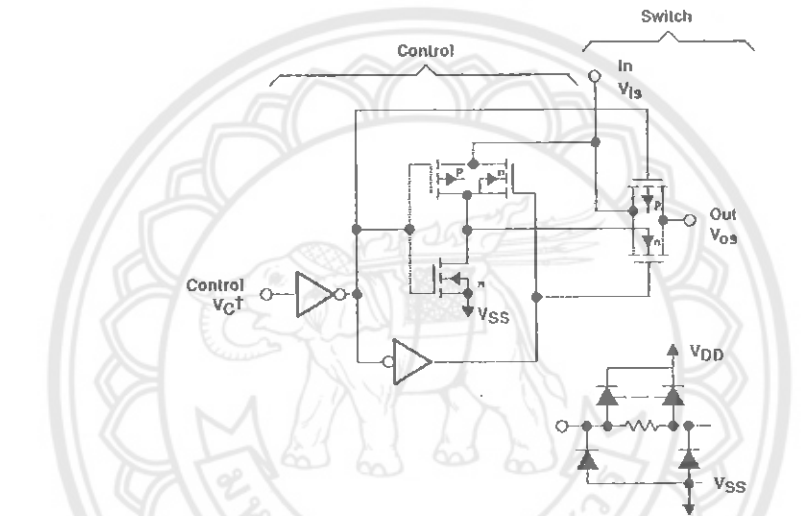
SCHS051D – NOVEMBER 1988 – REVISED SEPTEMBER 2003

description/ordering information (continued)

ORDERING INFORMATION

T _A	PACKAGE†	ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING	
-55°C to 125°C	CDIP – F	Tube of 25	CD4066BF3A	
	PDIP – E	Tube of 25	CD4066BE	
	SOIC – M	Tube of 50	CD4066BM	CD4066BM
		Reel of 2500	CD4066BM96	
		Reel of 250	CD4066BMT	
	SOP – NS	Reel of 2000	CD4066BNSR	CD4066B
	TSSOP – PW	Tube of 90	CD4066BPW	CM066B
Reel of 2000		CD4066BPWR		

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.



† All control inputs are protected by the CMOS protection network.

- NOTES: A. All p substrates are connected to V_{DD}.
 B. Normal operation control-line biasing: switch on (logic 1), V_C = V_{DD}; switch off (logic 0), V_C = V_{SS}.
 C. Signal-level range: V_{SS} ≤ V_{IS} ≤ V_{DD}

92CS-20113

Figure 1. Schematic Diagram of One-of-Four Identical Switches and Associated Control Circuitry

CD4066B
CMOS QUAD BILATERAL SWITCH

SCHS051D – NOVEMBER 1998 – REVISED SEPTEMBER 2003

absolute maximum ratings over operating free-air temperature (unless otherwise noted)†

DC supply-voltage range, V_{DD} (voltages referenced to V_{SS} terminal)	-0.5 V to 20 V
Input voltage range, V_{is} (all inputs)	-0.5 V to $V_{DD} + 0.5$ V
DC input current, I_{IN} (any one input)	± 10 mA
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 1): E package	80°C/W
M package	86°C/W
NS package	76°C/W
PW package	113°C/W

Lead temperature (during soldering):

At distance $1/16 \pm 1/32$ inch ($1,59 \pm 0,79$ mm) from case for 10 s max 265°C

Storage temperature range, T_{stg} -65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

recommended operating conditions

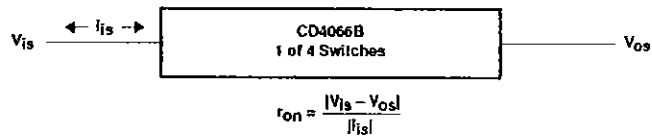
		MIN	MAX	UNIT
V_{DD}	Supply voltage	3	18	V
T_A	Operating free-air temperature	-55	125	°C



**CD4066B
CMOS QUAD BILATERAL SWITCH**

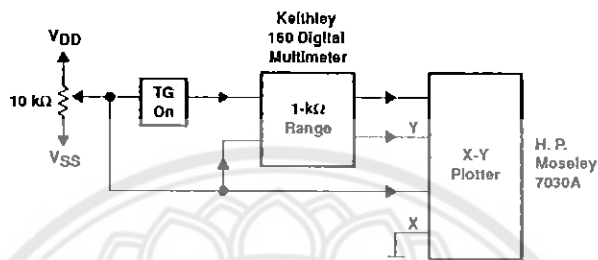
SCHS051D – NOVEMBER 1998 – REVISED SEPTEMBER 2003

TYPICAL CHARACTERISTICS



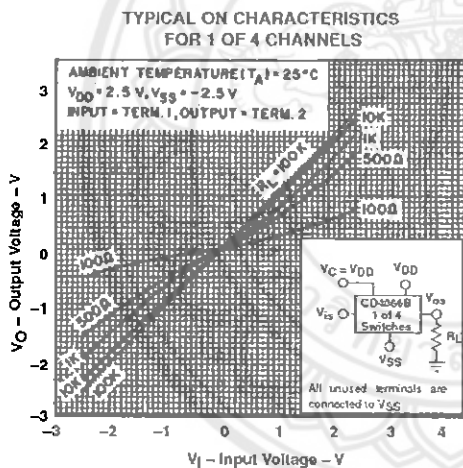
92CS-30966

Figure 6. Determination of r_{on} as a Test Condition for Control-Input High-Voltage (V_{IHc}) Specification



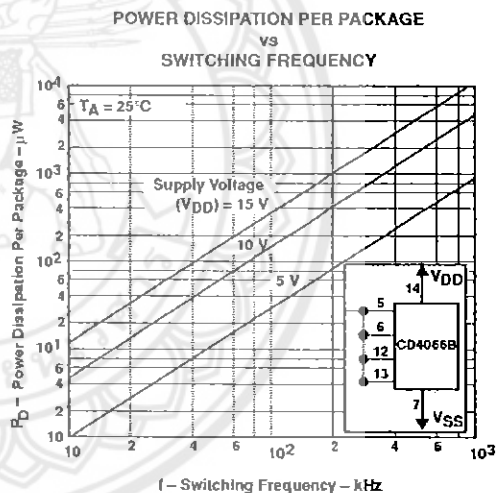
92CS-22716

Figure 7. Channel On-State Resistance Measurement Circuit



92CS-30919

Figure 8



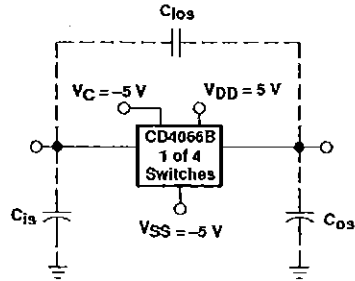
92C-30920

Figure 9

**CD4066B
CMOS QUAD BILATERAL SWITCH**

SCHS051D – NOVEMBER 1998 – REVISED SEPTEMBER 2003

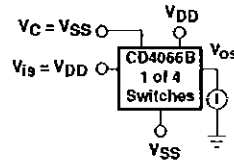
TYPICAL CHARACTERISTICS



92CS-30921

Measured on Boonton capacitance bridge, model 75a (1 MHz); test-fixture capacitance nulled out.

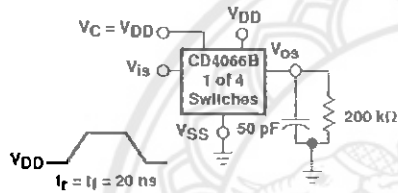
Figure 10. Typical On Characteristics for One of Four Channels



92CS-30922

All unused terminals are connected to V_{SS}.

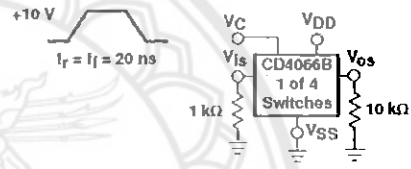
Figure 11. Off-Switch Input or Output Leakage



92CS-30923

All unused terminals are connected to V_{SS}.

Figure 12. Propagation Delay Time Signal Input (V_{is}) to Signal Output (V_{os})



92CS-30924

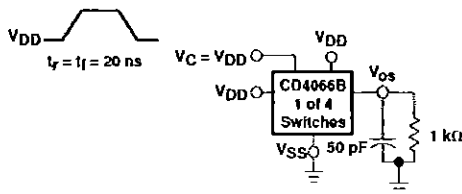
All unused terminals are connected to V_{SS}.

Figure 13. Crosstalk-Control Input to Signal Output

**CD4066B
CMOS QUAD BILATERAL SWITCH**

SCHS051D – NOVEMBER 1998 – REVISED SEPTEMBER 2003

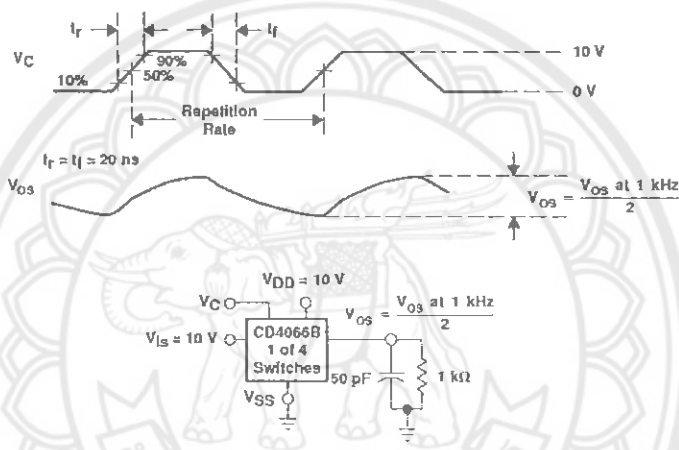
TYPICAL CHARACTERISTICS



- NOTES: A. All unused terminals are connected to V_{SS} .
 B. Delay is measured at V_{O3} level of +10% from ground (turn-on) or on-state output level (turn-off).

92CS-30925

Figure 14. Propagation Delay, t_{PLH} , t_{PHL} Control-Signal Output



All unused terminals are connected to V_{SS} .

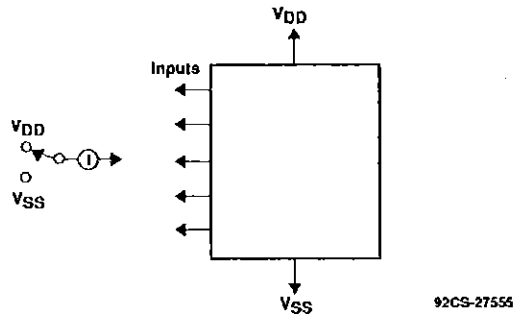
92CS-30925

Figure 15. Maximum Allowable Control-Input Repetition Rate

CD4066B
CMOS QUAD BILATERAL SWITCH

SCHS051D – NOVEMBER 1998 – REVISED SEPTEMBER 2003

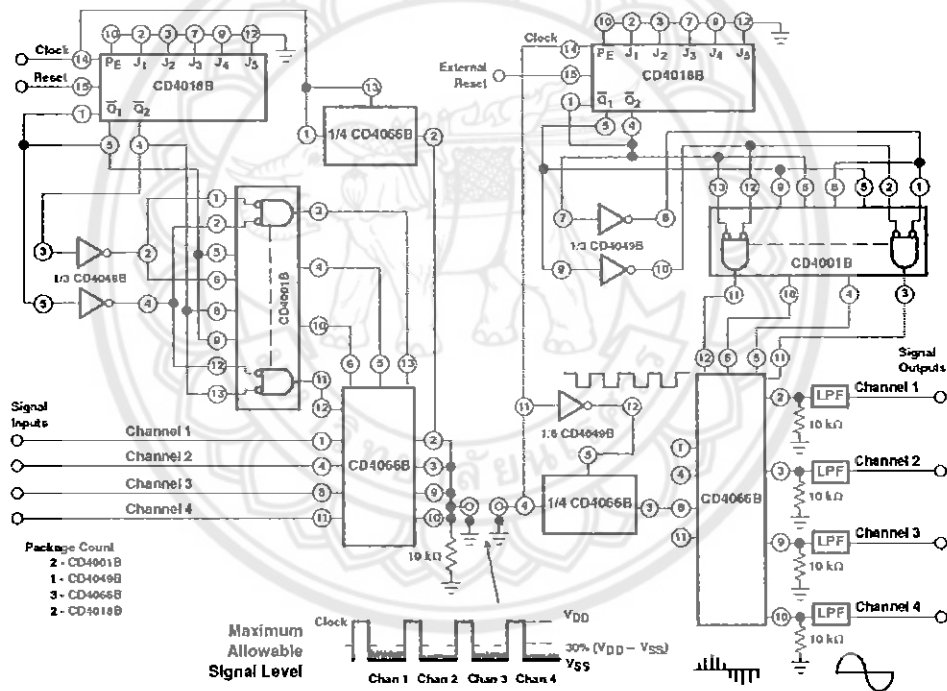
TYPICAL CHARACTERISTICS



92CS-27555

Measure inputs sequentially to both V_{DD} and V_{SS}. Connect all unused inputs to either V_{DD} or V_{SS}. Measure control inputs only.

Figure 16. Input Leakage-Current Test Circuit



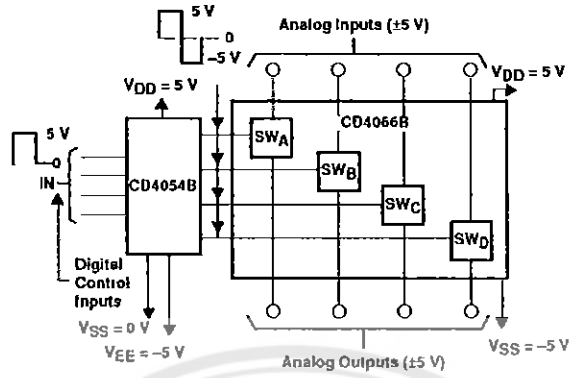
92CM-30928

Figure 17. Four-Channel PAM Multiplex System Diagram

CD4066B
CMOS QUAD BILATERAL SWITCH

SCHS051D—NOVEMBER 1998—REVISED SEPTEMBER 2003

TYPICAL CHARACTERISTICS



92CS-30927

Figure 18. Bidirectional Signal Transmission Via Digital Control Logic





Low power dual voltage comparator

LM193/A/293/A/393/A/2903

DESCRIPTION

The LM193 series consists of two independent precision voltage comparators with an offset voltage specification as low as 2.0mV max. for two comparators which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. These comparators also have a unique characteristic in that the input common-mode voltage range includes ground, even though operated from a single power supply voltage.

The LM193 series was designed to directly interface with TTL and CMOS. When operated from both plus and minus power supplies, the LM193 series will directly interface with MOS logic where their low power drain is a distinct advantage over standard comparators.

FEATURES

- Wide single supply voltage range 2.0VDC to 36VDC or dual supplies ± 1.0 VDC, to ± 18 VDC
- Very low supply current drain (0.8mA) independent of supply voltage (2.0mW/comparator at 5.0VDC)
- Low input biasing current 25nA
- Low input offset current ± 5 nA and offset voltage ± 2 mV
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Low output 250mV at 4mA saturation voltage
- Output voltage compatible with TTL, DTL, ECL, MOS and CMOS logic systems

APPLICATIONS

- A/D converters
- Wide range VCO
- MOS clock generator
- High voltage logic gate
- Multivibrators

ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
8-Pin Ceramic Dual In-Line Package (Cerdip)	-55°C to +125°C	LM193FE	0580A
8-Pin Ceramic Dual In-Line Package (Cerdip)	-25°C to +85°C	LM293FE	0580A
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-25°C to +85°C	LM293N	SOT97-1
8-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	-25°C to +85°C	LM293D	SOT96-1
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-25°C to +85°C	LM293AN	SOT97-1
8-Pin Ceramic Dual In-Line Package (Cerdip)	0 to +70°C	LM393AFE	0580A
8-Pin Ceramic Dual In-Line Package (Cerdip)	0 to +70°C	LM393FE	0580A
8-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	0 to +70°C	LM393D	SOT96-1
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 to +70°C	LM393N	SOT97-1
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 to +70°C	LM393AN	SOT97-1
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-40°C to +125°C	LM2903N	SOT97-1
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-40°C to +125°C	LM2903D	SOT97-1

PIN CONFIGURATION

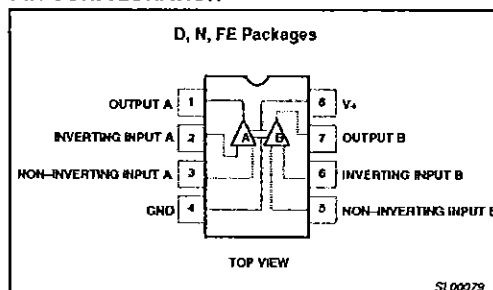


Figure 1. Pin Configuration

EQUIVALENT CIRCUIT

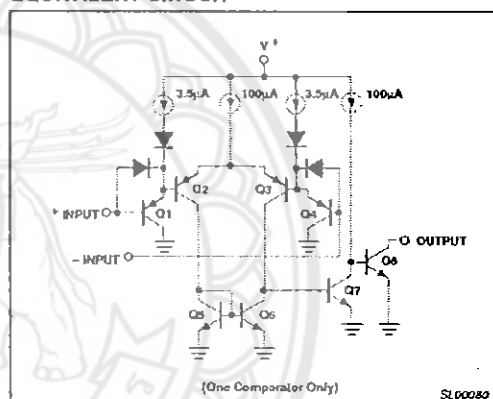


Figure 2. Equivalent Circuit

Low power dual voltage comparator

LM193/A/293/A/393/A/2903

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNIT
V_{CC}	Supply voltage	36 or ± 18	V_{DC}
	Differential input voltage	36	V_{DC}
V_{IN}	Input voltage	-0.3 to +36	V_{DC}
P_D	Maximum power dissipation, $T_A=25^\circ\text{C}$ (still-air) ¹		
	F package	780	mW
	N package	1160	mW
	D package	780	mW
	Output short-circuit to ground ²	Continuous	
I_{IN}	Input current ($V_{IN} < 0.3V_{DC}$) ³	50	mA
T_A	Operating temperature range		
	LM193/193A	-55 to +125	$^\circ\text{C}$
	LM293/293A	-25 to +85	$^\circ\text{C}$
	LM393/393A	0 to +70	$^\circ\text{C}$
	LM2903	-40 to +125	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage temperature range		$^\circ\text{C}$
T_{SOLD}	Lead soldering temperature (10sec max)	300	$^\circ\text{C}$

NOTES:

- Derate above 25°C , at the following rates:
F package at $6.2\text{mW}/^\circ\text{C}$
N package at $9.3\text{mW}/^\circ\text{C}$
D package at $6.2\text{mW}/^\circ\text{C}$
- Short circuits from the output to V_+ can cause excessive heating and eventual destruction. The maximum output current is approximately 20mA independent of the magnitude of V_+ .
- This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the comparators to go to the V_+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than $-0.3V_{DC}$.

Low power dual voltage comparator

LM193/A/293/A/393/A/2903

DC AND AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_+ = 5V_{DC}$, LM193/193A: $-55^{\circ}C \leq T_A \leq +125^{\circ}C$, unless otherwise specified. LM293/293A: $-25^{\circ}C \leq T_A \leq +85^{\circ}C$, unless otherwise specified.
LM393/393A: $0^{\circ}C \leq T_A \leq +70^{\circ}C$, unless otherwise specified. LM2903: $-40^{\circ}C \leq T_A \leq +125^{\circ}C$, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM193A			LM293A/393A			LM2903			UNIT
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V_{OS}	Input offset voltage ²	$T_A = 25^{\circ}C$ Over temp.		± 1.0	± 2.0 ± 4.0		± 1.0	± 2.0 ± 4.0		± 2.0 ± 9	± 7.0 ± 15	mV mV
V_{CM}	Input common-mode voltage range ^{3, 6}	$T_A = 25^{\circ}C$ Over temp.	0		$V_+ - 1.5$ $V_+ - 2.0$	0		$V_+ - 1.5$ $V_+ - 2.0$	0		$V_+ - 1.5$ $V_+ - 2.0$	V V
V_{IDR}	Differential input voltage ¹	Keep all $V_{INs} \geq 0V_{DC}$ (or V_- if need)			V_+			V_+			V_+	V
I_{BIAS}	Input bias current ⁴	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}$ with output in linear range $T_A = 25^{\circ}C$ Over temp.		25	100 300		25	250 400		25	250 500	nA nA
I_{OS}	Input offset current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$ $T_A = 25^{\circ}C$ Over temp.		± 3.0	± 25 ± 100		± 5.0	± 50 ± 150		± 5 ± 50	± 50 ± 200	nA nA
I_{OL}	Output sink current	$V_{IN(+)} \geq 1V_{DC}$, $V_{IN(+)} = 0$, $V_O \leq 1.5V_{DC}$ $T_A = 25^{\circ}C$	6.0	16		6.0	16		6.0	16		mA
	Output leakage current	$V_O = 5V_{DC}$, $T_A = 25^{\circ}C$ $V_{IN(+)} \geq 1V_{DC}$, $V_{IN(-)} = 0$ $V_O = 30V_{DC}$ Over temp.		0.1	1.0		0.1	1.0		0.1	1.0	nA μA
I_{CC}	Supply current	$R_L = \infty$ on both comparators, $T_A = 25^{\circ}C$		0.8	1		0.8	1		0.8	1	mA
		$R_L = \infty$ on both comparators, $V_+ = 30V$		1	2.5		1	2.5		1	2.5	mA
A_V	Voltage gain	$R_L \geq 15k\Omega$, $V_+ = 15V_{DC}$, $T_A = 25^{\circ}C$	50	200		50	200		25	100		V/mV
V_{OL}	Saturation voltage	$V_{IN(+)} \geq 1V_{DC}$, $V_{IN(+)} = 0$, $I_{SINK} \leq 4mA$ $T_A = 25^{\circ}C$ Over temp.		250	400 700		250	400 700		400	400 700	mV mV
t_{LSR}	Large-signal response time	$V_{IN} = TTL$ logic swing, $V_{REF} = 1.4V_{DC}$ $V_{RL} = 5V_{DC}$, $R_L = 5.1k\Omega$, $T_A = 25^{\circ}C$		300			300			300		ns
t_R	Response time ⁵	$V_{RL} = 5V_{DC}$, $R_L = 5.1k\Omega$, $T_A = 25^{\circ}C$		1.3			1.3			1.3		μs

Low power dual voltage comparator

LM193/A/293/A/393/A/2903

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Continued)

$V_{+}=5V_{DC}$, LM193/193A: $-55^{\circ}C \leq T_A \leq +125^{\circ}C$, unless otherwise specified. LM293/293A: $-25^{\circ}C \leq T_A \leq +85^{\circ}C$, unless otherwise specified. LM393/393A: $0^{\circ}C \leq T_A \leq +70^{\circ}C$, unless otherwise specified. LM2903: $-40^{\circ}C \leq T_A \leq +125^{\circ}C$, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM193			LM293/393			UNIT
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V_{OS}	Input offset voltage ²	$T_A=25^{\circ}C$ Over temp.		± 2.0	± 5.0 ± 9.0		± 2.0	± 5.0 ± 9.0	mV mV
V_{CM}	Input common-mode voltage range ^{3, 6}	$T_A=25^{\circ}C$ Over temp.	0		$V_{+}-1.5$ $V_{+}-2.0$	0		$V_{+}-1.5$ $V_{+}-2.0$	V V
V_{ION}	Differential input voltage ¹	Keep all V_{IN} s $\geq 0V_{DC}$ (or V_{-} if need)			V_{+}			V_{+}	V
I_{BIAS}	Input bias current ⁴	$I_{IN(1)}$ or $I_{IN(2)}$ with output in linear range $T_A=25^{\circ}C$ Over temp.		25	100 300		25	250 400	nA nA
I_{OS}	Input offset current	$I_{IN(1)} - I_{IN(2)}$ $T_A=25^{\circ}C$ Over temp.		± 3.0	± 25 ± 100		± 5.0	± 50 ± 150	nA nA
I_{OL}	Output sink current	$V_{IN(1)} \geq 1V_{DC}$, $V_{IN(2)} = 0$, $V_O = 1.5V_{DC}$ $T_A=25^{\circ}C$	6.0	16		6.0	16		mA
	Output leakage current	$V_{IN(1)} \geq 1V_{DC}$, $V_{IN(2)} = 0$, $V_O = 5V_{DC}$ $T_A=25^{\circ}C$ $V_O = 30V_{DC}$ over temp.		0.1	1.0		0.1	1.0	nA μA
I_{CC}	Supply current	$R_L = \infty$ on both comparators, $T_A=25^{\circ}C$ $R_L = \infty$ on both comparators, $V_{+} = 30V$		0.8	1		0.8	1	mA mA
A_v	Voltage gain	$R_L \geq 15k\Omega$, $V_{+} = 15V_{DC}$	50	200		50	200		V/mV
V_{OL}	Saturation voltage	$V_{IN(1)} \geq 1V_{DC}$, $V_{IN(2)} = 0$, $I_{SNK} \leq 4mA$ $T_A=25^{\circ}C$ Over temp.		250	400 700		250	400 700	mV mV
t_{LSR}	Large signal response time	V_{IN} = TTL logic swing, $V_{REF} = 1.4V_{DC}$, $V_{RL} = 5V_{DC}$ $R_L = 5.1k\Omega$ $T_A=25^{\circ}C$		300			300		ns
t_R	Response time ⁵	$V_{PL} = 5V_{DC}$, $R_L = 5.1k\Omega$ $T_A=25^{\circ}C$		1.3			1.3		μs

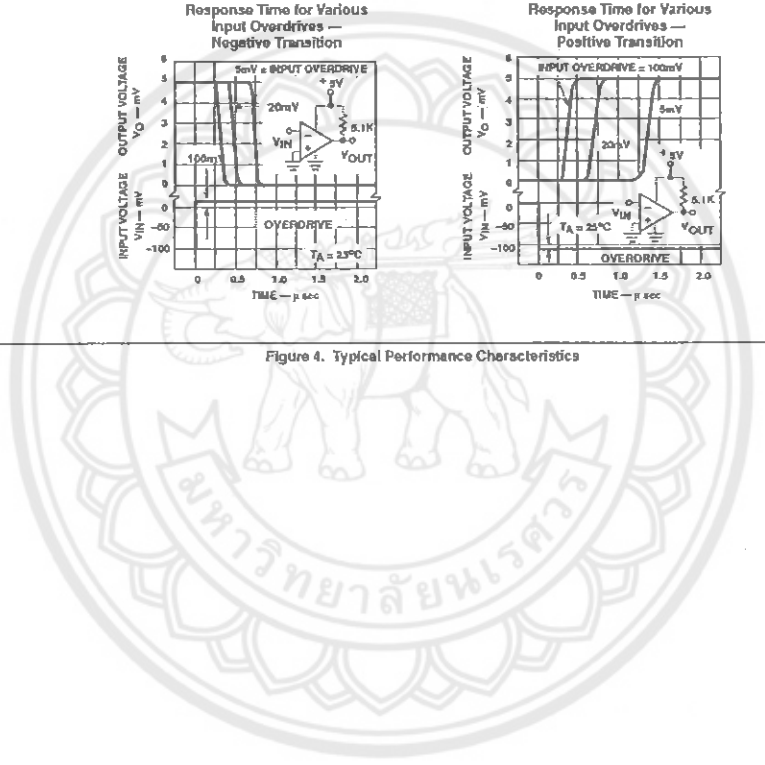
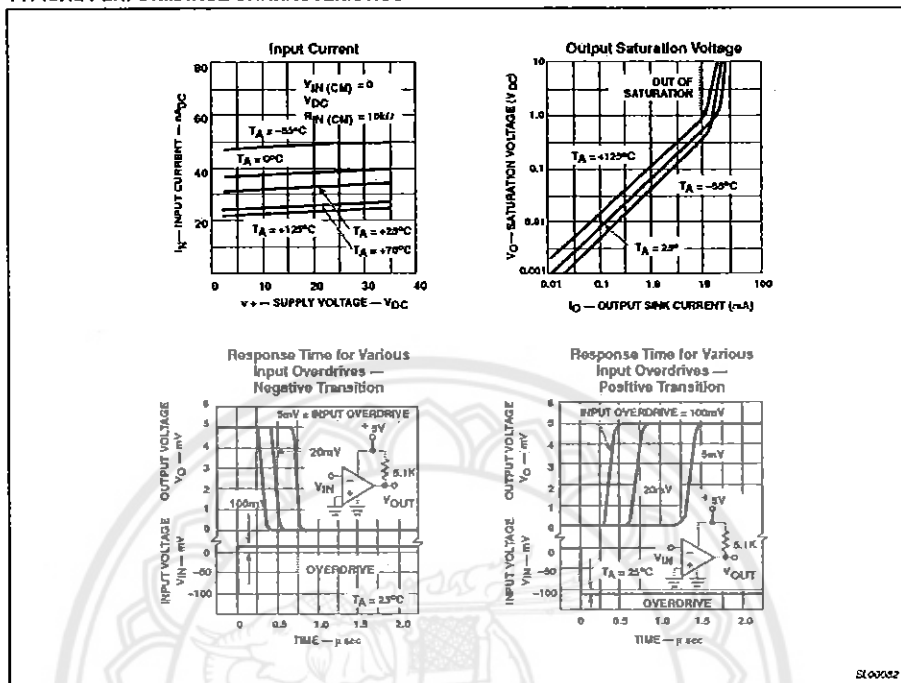
NOTES:

- Positive excursions of input voltage may exceed the power supply level by 17V. As long as the other voltage remains within the common-mode range, the comparator will provide a proper output state. The low input voltage state must not be less than $-0.3V_{DC}$ (V_{DC} below the magnitude of the negative power supply, if used).
- At output switch point, $V_O = 1.4V_{DC}$, $R_L = 0\Omega$ with V_{+} from $5V_{DC}$ to $30V_{DC}$, and over the full input common-mode range ($0V_{DC}$ to $V_{+}-1.5V_{DC}$).
- The input common-mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is $V_{+}-1.5V$, but either or both inputs can go to $30V_{DC}$ without damage.
- The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the reference or input lines.
- The response time specified is for a 100mV input step with a 5mV overdrive.
- For input signals that exceed V_{CC} , only the over-driven comparator is affected. With a 5V supply, V_{IN} should be limited to 25V maximum, and a limiting resistor should be used on all inputs that might exceed the positive supply.

Low power dual voltage comparator

LM193/A/293/A/393/A/2903

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS



ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



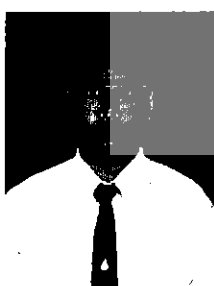
ชื่อ นายเฉลิมพล ชิตตระกูล
 ภูมิลำเนา 333/53 ต.ปากน้ำโพ อ.เมือง จ.นครสวรรค์
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนนครสวรรค์
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: ch_tee@hotmail.com



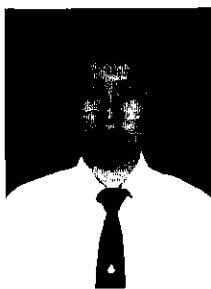
ชื่อ นายชวลิต แสงทอง
 ภูมิลำเนา 8 หมู่ 4 ต.รวมไทยรวมพัฒนา อ.พพบพระ จ.ตาก
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนพพบพระวิทยาคม
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: Pooh_Sangthong@hotmail.com



ชื่อ นายสิทธิพงษ์ พานะ
 ภูมิลำเนา 19 หมู่ 1 ต.แม่ต๋น อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนแม่ต๋นวิทยาคม
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: siti_play@hotmail.com



ชื่อ นายสุรสิทธิ์ ชัดจา

ภูมิลำเนา 130 หมู่ 19 ต.เจริญเมือง อ.พาน จ.เชียงราย

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนดำรงราษฎร์สงเคราะห์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: surasit_k32@hotmail.com

