สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมการดูดและหยอดของเหลว

LIQUID DISPENSING AND SUCTION CONTROL

โดย

นายสุทัศน์ ไพพินิจ

นายสุพิทย์ ดาทอง

นายสุรพงษ์ พรมสมบัติ

ปพ.
ส๗๗๘ก
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....72223
วัน,เดือน,ปี.....12 มิ.ย. 2550

.b.....11765306
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมการดูดและหยอดของเหลว

LIQUID DISPENSING AND SUCTION CONTROL

โดย

นายสุทัศน์ ไพพินิจ

นายสุพิทย์ ดาทอง

นายสุรพงษ์ พรมสมบัติ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมการดูดและหยอดของเหลว

LIQUID DISPENSING AND SUCTION CONTROL

คณะผู้จัดทำ นายสุทัศน์ ไพพินิจ 46010853

นายสุพิทย์ ดาทอง 46010857

นายสุรพงษ์ พรมสมบัติ 46010523

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ สองเมือง นันทขว้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมการดูดและหยอดของเหลว

โดย

นาย สุทัศน์ ไพพินิจ 46010853

นาย สุพิทย์ ดาทอง 46010857

นาย สุรพงษ์ พรหมสมบัติ 46010877

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ สองเมือง นันทขว้าง

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการศึกษาและการออกแบบอุปกรณ์เพื่อใช้ควบคุมการดูดและหยอดของเหลวในหลอดทดลอง การดูดและหยอดของเหลวนั้นอาศัยหลักการเพิ่มและลดความดันอากาศที่ได้จากการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบซึ่งถูกขับเคลื่อนด้วยสเตปเปอร์มอเตอร์ โดยการหมุนของสเตปเปอร์มอเตอร์ จะถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม ทำให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการทำงานของระบบโดยรวมผ่านโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นนั้นสามารถทำงานได้ โดยผู้ใช้งานสามารถกำหนดปริมาตรของการดูดและหยอดของเหลวได้อย่างสะดวก ผ่านทางโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIQUID DISPENSING AND SUCTION CONTROL

By

Mr. Suthat Phaiphinit

Mr. Supit Dathong

Mr. Surapong Promsombat

Advisor

Mr. Songmoung Nundrakwang

Academic Year 2006

ABSTRACT

This thesis presents the study and design of the liquid suction and dispensing control tool for test tube. Practically, liquid suction and dispensing can be controlled by increasing and decreasing air pressure by moving piston in cylinder that is connected to a stepper motor. The rotation of the stepper motor is commanded by a microcontroller interfaced with a computer via serial port. Hence, users can control the suction and dispensing via the developed software.

The experimental results show that the implemented system is operated properly. The quantity of liquid suction and dispensing can be controlled easily by the user via the developed software.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์นี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จาก อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำที่ดีมาโดยตลอดตั้งแต่ต้นร่วมถึงเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ต่างๆ และให้ความช่วยเหลืออื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจาย์ธวัชชัย คำศรี ที่ให้คำปรึกษาในการเขียนโปรแกรมและวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. จงกล งามวิวิทย์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ถาวร เบญจนราสุทธิ์ ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์แก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจ สนับสนุนอุปกรณ์ที่ขาด คำแนะนำต่างๆ รวมทั้งกระตุ้นเตือน ถามไถ่ความคืบหน้าของโครงงานอยู่เสมอ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจที่ดีมาโดยตลอด รวมถึงสนับสนุนในงบประมาณที่ขาดเหลือ ตลอดจนสามารถทำให้โครงงานนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้

ผู้จัดทำ
นายสุทัศน์ ไพพินิจ
นายสุพิทย์ ดาทอง
นายสุรพงษ์ พรมสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการทำโครงงาน	2
1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 สเตปเปอร์มอเตอร์	3
2.2 ความดันอากาศ	11
2.3 พื้นฐานการสื่อสารแบบอนุกรมและ RS232	12
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C51	15
2.5 การวิเคราะห์ความถดถอย	27
2.6 ชนิดปิเปต	38
2.7 หลักการใช้งานปิเปต	39
2.8 วงจรรวมที่ใช้งาน	42
2.9 ตัวตรวจจับ	43
บทที่ 3 โครงสร้างและการออกแบบ	45
3.1 คอมพิวเตอร์	46
3.2 วงจรอิเล็กทรอนิกส์	46
3.3 โครงสร้างทางกลของระบบ	50
บทที่ 4 การทดลอง	52
4.1 การทดลองก่อนคาลิเบรท	52
4.2 การทดลองหลังคาลิเบรท	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	59
5.1 สรุปผลการทดลอง	59
5.2 บทวิจารณ์และแนวทางแก้ไข	59
5.3 ปัญหาที่พบ	60
5.4 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อ	60
ภาคผนวก ก โปรแกรมการควบคุม	62
ภาคผนวก ข เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	74
เอกสารอ้างอิง	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ลำดับการสวิตช์สำหรับมอเตอร์แปรค่าความต้านทานแม่เหล็ก	6
2.2 ลำดับการสวิตช์สำหรับสเตปเปอร์มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรแบบขดลวด	8
2.3 รีจิสเตอร์ TMOD	21
2.4 รีจิสเตอร์ TCON	22
2.5 ฮาร์ดแวร์อินเตอร์รัปตะกูล 80C51	23
2.6 อินเตอร์รัปรีจิสเตอร์	24
2.7 รีจิสเตอร์ระดับสิทธิ์อินเตอร์รัป	25
2.8 ค่าคริสตรัลและการกำหนดค่าไทเมอร์สำหรับ 80C51 UARTs	26
2.9 รีจิสเตอร์ควบคุมพอร์ตอนุกรม	26
2.10 รีจิสเตอร์ PCON	27
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรในหน่วยไมโครลิตรกับจำนวนสเตปการหมุนของสเตปเปอร์มอเตอร์	53
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับจำนวนสเตป	53
4.3 ตารางบันทึกผลการทดลองหลังคาลิเบรท	55
4.4 ค่า F-value และ $F\%$ ของการทดลองหลังคาลิเบรท	57
4.5 ค่าความผิดพลาดสูงสุด มาตรฐาน DIN 12650	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ระบบควบคุมการดูดและหยอดของเหลว	1
2.1 หลักการทำงานของสเตปเปอร์มอเตอร์ชนิดแปรค่าความต้านทานแม่เหล็ก	4
2.2 สเตปเปอร์มอเตอร์ชนิดแปรค่าความต้านทานแม่เหล็ก	4
2.3 คลื่นแรงดันเฟสของมอเตอร์แปรค่าความต้านทานแม่เหล็ก	5
2.4 สเตปเปอร์มอเตอร์แบบแม่หล็กถาวร ชนิด 2 เฟส	7
2.5 คลื่นแรงดันที่จ่ายให้แก่ขดลวดทั้ง 2 เฟส ของสเต็ปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	8
2.6 สเตปเปอร์มอเตอร์แบบไฮบริด	9
2.7 คุณลักษณะความเร็ว - แรงบิดของสเตปมอเตอร์	9
2.8 การพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสเตปเปอร์มอเดอร์	10
2.9 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับสเตปเปอร์มอเตอร์ ทั้ง 2 แบบ	11
2.10 ลักษณะการดูด	11
2.11 การส่งสัญญาณแบบ อะซิงโคนัส	13
2.12 พอร์ตอนุกรมมาตรฐาน	14
2.13 ไดอะแกรมขาสัญญาณของ 89C51	16
2.14 โครงสร้างภายในบล็อกไดอะแกรมของ 89C51	17
2.15 การปิเปตไปข้างหน้า	40
2.16 การปิเปตย้อนกลับ	40
2.17 การเจือจาง	41
2.18 การหยดของเหลวแบบลำดับ	41
2.19 การผสมของเหลว	42
2.20 ตัวตรวจจับไฟเบอร์ออฟติกเซนเซอร์	44
3.1 แผนผังรวมของระบบควบคุมการดูดและหยอดของเหลว	45
3.2 แผนผังการทำงานของส่วนคอมพิวเตอร์	46
3.3 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อรับส่งสัญญาณผ่านพอร์ตอนุกรม	47
3.4 โฟลว์ชาร์ตการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์	48
3.5 แผนผังการทำงานของวงจรขับสเตปเปอร์มอเตอร์	49
3.6 วงจรขับสเตปเปอร์มอเตอร์	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.7 การประกอบส่วนหัวดูดและหยอดของเหลว 50

3.8 ชุดควบคุมการดูดและหยอดของเหลว 51

4.1 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับจำนวนสเตป 54

4.2 แผนภูมิการเปรียบเทียบปริมาตร 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีต่างๆ ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น ไม่เว้นแม้แต่เครื่องมือและอุปกรณ์ทางการแพทย์สมัยใหม่ซึ่งส่วนใหญ่ยังจำเป็นที่จะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้อุปกรณ์เหล่านั้นมีราคาแพง อาทิเช่น อุปกรณ์ควบคุมการดูดและหยอดของเหลวในห้องทดลอง

สำหรับอุปกรณ์สำหรับควบคุมการดูดและหยอดของเหลว เช่น น้ำเลือดที่ผู้ตรวจต้องการนำไปตรวจในห้องทดลอง ดังรูปที่ 1.1 มีวัตถุประสงค์การใช้งานคือการแยกปริมาตรของเหลวนั้นลงในหลอดทดลอง (Test Tube) หลายๆ หลอด ตามปริมาตรที่กำหนดซึ่งมักเป็นปริมาณน้อย (หน่วยไมโครลิตร) เพื่อนำไปตรวจเพื่อไปตรวจเชื้อโรคต่างๆ หรือตรวจปริมาณสารต่างๆ ในเลือด ซึ่งต้องใช้จำนวนหลายหลอด ในอดีตที่ผ่านมา ผู้ตรวจเป็นผู้ที่ต้องแยกและประมาณปริมาณของเหลวนั้นเอง ซึ่งถ้าผู้ป่วยมีจำนวนมาก ผู้ตรวจต้องทำเป็นจำนวนมากเช่นกัน ทำให้เกิดความเมื่อยล้า ความสับสนและเกิดความผิดพลาดได้ง่าย ดังนั้นเพื่อให้สะดวกรวดเร็วและลดความผิดพลาดเหล่านี้ลงไป จึงมีการผลิตอุปกรณ์ควบคุมการดูดและหยอดของเหลวขึ้น

ในโครงงานนี้ จึงศึกษาและออกแบบอุปกรณ์เพื่อใช้ควบคุมการดูดและหยอดของเหลว เพื่อลดต้นทุนการผลิต และมีคุณภาพใกล้เคียงกับต่างประเทศ ไม่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ โดยที่สามารถควบคุมโดยผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อให้ควบคุมและกำหนดปริมาณได้แม่นยำและง่ายขึ้น

รูปที่ 1.1 ระบบควบคุมการดูดและหยอดของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างอุปกรณ์การควบคุมการดูดและหยอดปริมาตรของเหลว (Liquid Dispensing and Suction Control) ให้ได้ตามต้องการ และมีราคาต่ำ

2. เพื่อศึกษาการทำงานและวิธีขับเคลื่อนสเตปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor)

3. เพื่อศึกษาวิธีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม (RS232) โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Visual C++) และวิธีการเขียนโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์

4. เพื่อศึกษาการออกแบบส่วนประกอบของโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ (Hardware)

1.3 ขอบเขตการทำโครงงาน

1. ออกแบบและสร้าง โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์และชิ้นส่วนทางกล

2. ออกแบบและสร้าง ส่วนขับเคลื่อนสเตปเปอร์มอเตอร์

3. พัฒนาโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์ และพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดย Visual C++ ซึ่งเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและสามารถสั่งงานไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์

4. เชื่อมต่อส่วนต่างๆ เพื่อสร้างระบบการควบคุมการดูดและหยอดปริมาตรของเหลว

5. ทำการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

6. เพิ่มส่วนปรับตำแหน่งหัวดูดและหยอดให้เคลื่อนที่ตามระดับของเหลวอัตโนมัติ โดยอาศัยตัวตรวจจับ (Sensor)

1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ กล่าวนำถึงวัตถุประสงค์ หลักการ ขั้นตอนการศึกษา และการจัดทำโครงงาน พร้อมทั้งรายละเอียดของปริญญานิพนธ์ของแต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้องซึ่งใช้ในการจัดทำโครงงาน ได้แก่ ทฤษฎีเรื่องความดันอากาศ ไมโครคอนโทรลเลอร์ การใช้งานพอร์ตอนุกรม สเตปเปอร์มอเตอร์ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง หลักการใช้งานปีเปต และการวิเคราะห์ทางสถิติ

บทที่ 3 หลักการออกแบบ นำเสนอการประกอบโครงสร้างของระบบ รวมถึงแนวคิดในการออกแบบระบบควบคุม

บทที่ 4 การทดลอง ผลการทดลอง การวิเคราะห์ผลการทดลองก่อนการทำคาลิเบรทและหลังการคาลิเบรท และนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน DIN 12650

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป จะสรุปผลการดำเนินงาน ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางการปรับปรุงพัฒนาโครงงานนี้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

2.1 สเตปเปอร์มอเตอร์

สเตปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor) มีความแตกต่างจากมอเตอร์โดยทั่วๆ ไป คือเมื่อป้อนไฟฟ้าให้กับสเตปเปอร์มอเตอร์ มันจะหมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุด ซึ่งแตกต่างจากมอเตอร์โดยทั่วไปที่จะหมุนตลอดเวลาที่จ่ายไฟฟ้า สเตปเปอร์มอเตอร์ยังสามารถกำหนดตำแหน่งของการหมุนด้วยตัวเลขได้อย่างละเอียด โดยการใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวกำหนด และจัดเก็บตัวเลขเหล่านั้นไว้

สเตปเปอร์มอเตอร์ทำงานโดยการรับขบวนพัลส์สี่เหลี่ยม (Rectangular Pulse Train) และตอบสนองโดยเพลาของมอเตอร์จะหมุนตามจำนวนพัลส์ที่รับคำสั่งมาให้เคลื่อนไปยังตำแหน่งมุมที่ออกแบบไว้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้มอเตอร์ชนิดนี้มีความเหมาะสมอย่างยิ่งในการควบคุมตัวเองโดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์ตรวจวัด และสามารถอาศัยอุปกรณ์ทางดิจิตอลเช่นไมโครคอมพิวเตอร์ร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบดิจิตอลในการสร้างขบวนพัลส์เพื่อสั่งงานได้

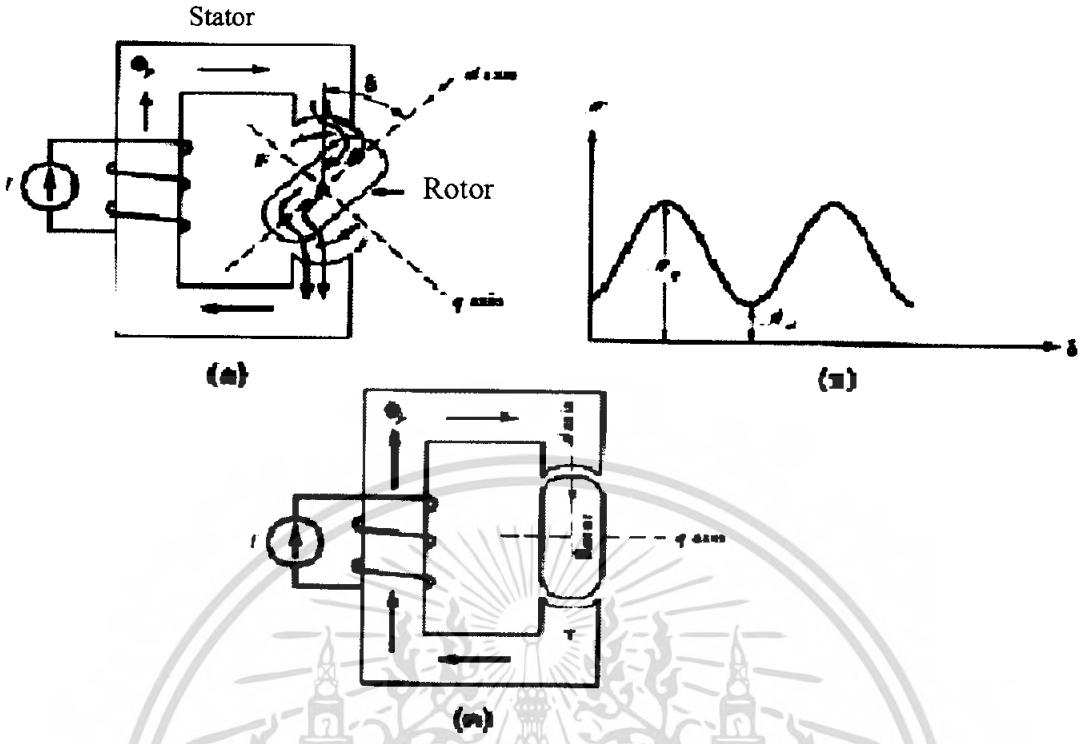
สเตปเปอร์มอเตอร์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ได้แก่ มอเตอร์ชนิดแปรค่าความต้านทานแม่เหล็ก (Variable–Reluctance) มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) และมอเตอร์แบบไฮบริด (Hybrid)

2.1.1. สเตปเปอร์มอเตอร์ชนิดแปรค่าความต้านทานแม่เหล็ก

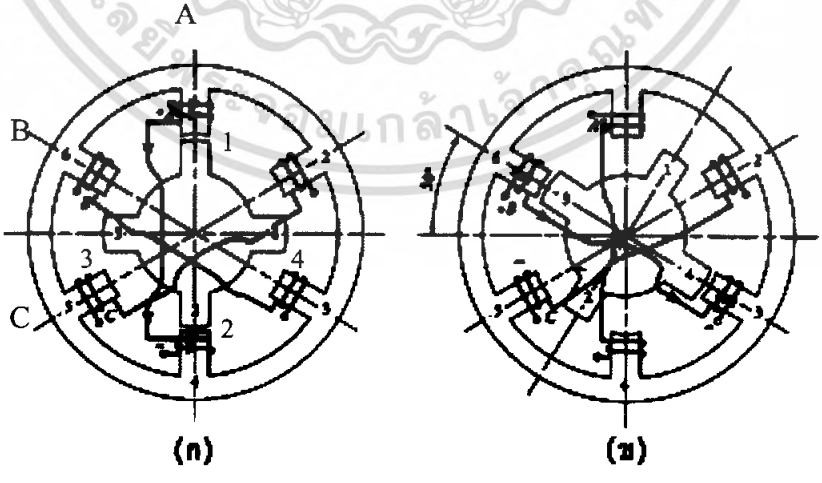
สเตปเปอร์มอเตอร์ชนิดแปรค่าความต้านทานแม่เหล็ก (Variable–Reluctance Step Motor) ช่วยแก้ปัญหาให้ค่าความต้านทานแม่เหล็กตามแนวแกนสนามแม่เหล็ก มีค่าลดน้อยลงได้มากที่สุด

จากรูปที่ 2.1 สเตเตอร์ (Stator) ของสเตปเปอร์มอเตอร์ชนิดแปรค่าความต้านทานแม่เหล็กประกอบด้วยแกนแม่เหล็กที่ทำจากแผ่นเหล็กอัดซ้อนกันเป็นแกน (Stack of Steel Laminations) กับขดลวดเฟสซึ่งพันอยู่รอบฟันสเตเตอร์ (Stator Tooth) และโรเตอร์ (Rotor) ทำจากแผ่นเหล็กอัดซ้อนเป็นแกนแต่ไม่มีขดลวดพันที่ตัวโรเตอร์ โดยที่จำนวนฟันโรเตอร์จะมีจำนวนแตกต่างจากสเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



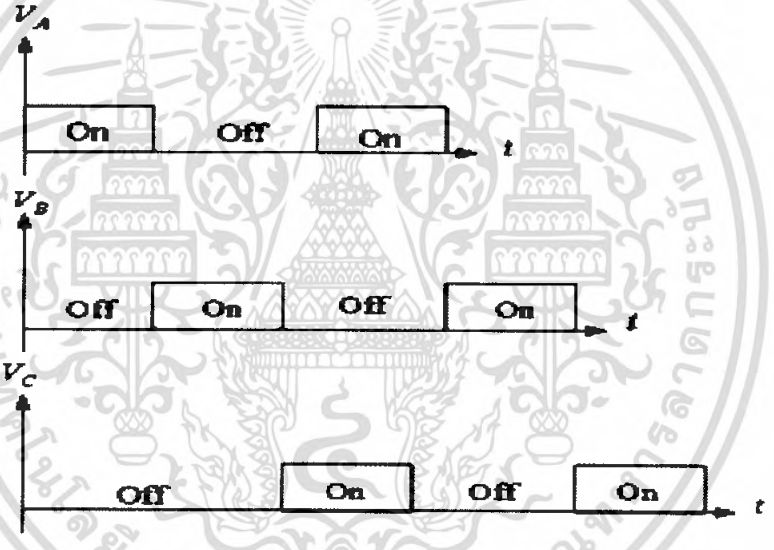
รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของสเตปเปอร์มอเตอร์ชนิดแปรค่าความต้านทานแม่เหล็ก
(ก) วงจรแม่เหล็กที่โรเตอร์หมุนอย่างอิสระ
(ข) ความต้านทานแม่เหล็กที่สัมพันธ์กับตำแหน่งการหมุนโรเตอร์
(ค) ณ จุดที่ความต้านทานแม่เหล็กต่ำสุด เป็นตำแหน่งที่เกิดความสมดุลซึ่งทำให้โรเตอร์อยู่นิ่ง



รูปที่ 2.2 สเตปเปอร์มอเตอร์ชนิดแปรค่าความต้านทานแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทำงานของสเตปเปอร์มอเตอร์ชนิดแปรค่าความต้านทานแม่เหล็กนั้นอธิบายได้จากรูปที่ 2.2 (ก) เมื่อขดลวดเฟส A ถูกกระตุ้นขณะที่เฟสอื่นๆ ไม่ถูกระตุ้นให้ทำงาน ฟันโรเตอร์คู่ 1-2 จะอยู่นิ่งและต่อต้านแรงบิดเนื่องจากโหลดทางกลที่เชื่อมต่ออยู่กับเพลา ซึ่งมุมระหว่างแกนแม่เหล็กของเฟส B หรือ C และแนวแกนฟันโรเตอร์ 3 และ 4 เท่ากับ 30 องศา ถ้าหยุดการกระตุ้นขดลวดเฟส A และกระตุ้นขดลวดเฟส B นั่นคือในช่วงเวลาดังกล่าวนี้คู่ฟันโรเตอร์ 3 และ 4 จะเคลื่อนอยู่ในแนวใต้คู่ฟันสเตเตอร์ 3 และ 6 ดังรูปที่ 2.2 (ข) โดยมีมุมนำหน้า 30 องศา และในช่วงท้ายสุดของวัฏจักรการทำงานเมื่อเฟส C ถูกกระตุ้นภายหลังการหยุดกระตุ้นเฟส B โรเตอร์จะหมุนไปอีก 30 องศาตามแนวแกนเฟส C และในรูปที่ 2.3 อธิบายหลักการทำงานเมื่อจ่ายแรงดันเข้าที่ขดลวดเฟส สำหรับตารางที่ 2.1 แสดงการจัดลำดับการสวิตช์ที่เหมาะสมสำหรับการหมุนของโรเตอร์ ทิศทางการหมุนตามเข็มนาฬิกา



รูปที่ 2.3 คลื่นแรงดันเฟสของมอเตอร์ชนิดแปรค่าความต้านทานแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ลำดับการสวิตช์สำหรับมอเตอร์แปรค่าความต้านทานแม่เหล็ก

วัฏจักร	เฟส			ตำแหน่งมุมสเตป δ
	A	B	C	
1	1	0	0	0
	0	1	0	30
	0	0	1	60
2	1	0	0	90
	0	1	0	120
	0	0	1	150
3	1	0	0	180
	0	1	0	210
	0	0	1	240
4	1	0	0	270
	0	1	0	300
	0	0	1	330
5	1	0	0	360

หมายเหตุ "1" และ "0" หมายถึง ค่าบวกและศูนย์ของกระแสในขดลวดเฟส

สำหรับมุมสเตป (Step Angle : δ) ของมอเตอร์ชนิดดังกล่าวนี้ กำหนดได้ ดังนี้ คือ

$$\delta = \frac{2\pi}{np} \tag{2.1}$$

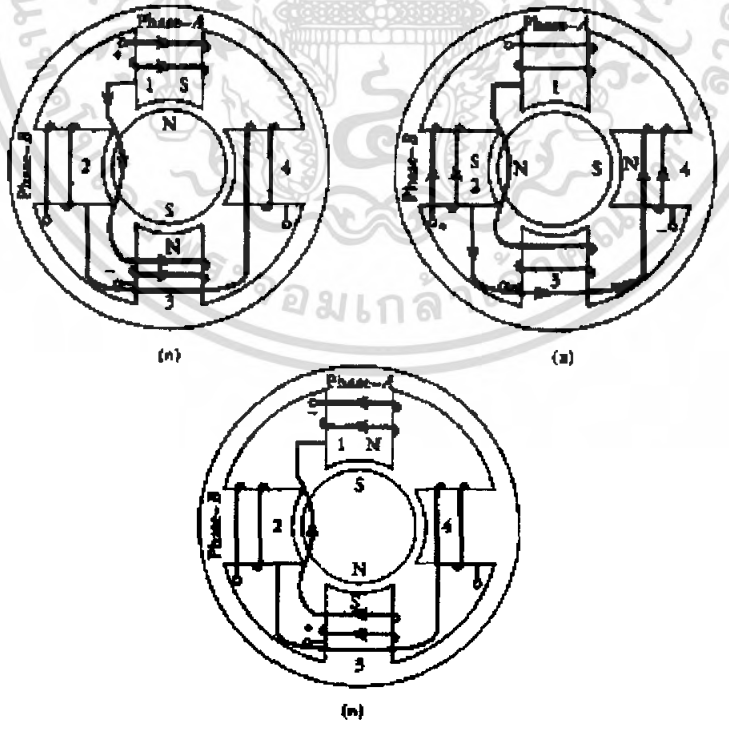
เมื่อ n และ คือ p จำนวนเฟสและจำนวนขั้วโรเตอร์ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 สเตปเปอร์มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร

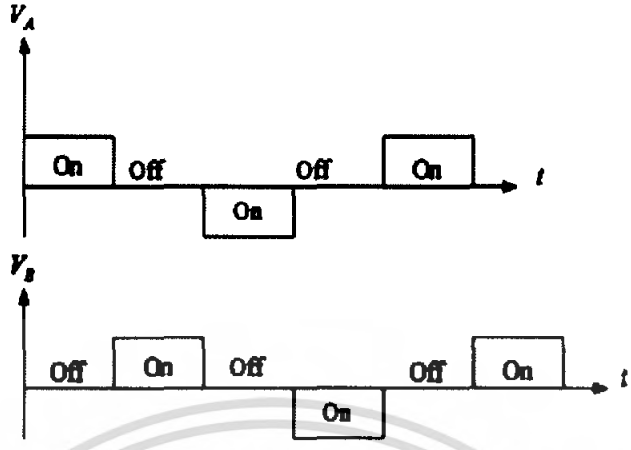
สเตปเปอร์มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent-Magnet Step Motor) ในส่วนของตัวโรเตอร์ซึ่งทำมาจากแม่เหล็กถาวร แต่สำหรับโครงสร้างของสเตเตอร์นั้นเหมือนสเตปเปอร์มอเตอร์แปรค่าความต้านทานแม่เหล็ก รูปที่ 2.4 อธิบายถึงสเตปเปอร์มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร ที่มีขดลวด 2-เฟส และโรเตอร์ 2 ขั้วแม่เหล็ก โดยมอเตอร์ชนิดนี้แนวแกนการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ถูกกำหนดจากส่วนสเตเตอร์

ถ้าพิจารณาขณะขดลวดเฟส A ถูกกระตุ้นโดยป้อนกระแสคงที่ภายใต้ขั้วแม่เหล็กเหนือที่ซฟันสเตเตอร์ 1 (ขั้วใต้ของโรเตอร์อยู่ในแนวแกนขั้วเหนือของสเตเตอร์) และในช่วงเวลาถัดมาเมื่อหยุดจ่ายพลังงานให้แก่ขดลวดเฟส A ขณะเดียวกันจ่ายกระแสกระตุ้นเข้าไปยังขดลวดเฟส B เห็นได้ว่าโรเตอร์จะเคลื่อนตัวไปเป็นมุม 90 องศา ทิศทางตามเข็มนาฬิกา (ตามแนวแกนขั้วใต้ของโรเตอร์ที่ฟันสเตเตอร์ 2) ถ้ากลับขั้วแหล่งจ่ายไฟจากบวกเป็นลบแล้วจ่ายกระแสเข้าไปกระตุ้นขดลวดเฟส A โรเตอร์จะหมุนไป 90 องศาทิศทางตามเข็มนาฬิกา ขณะที่ขั้วใต้ของโรเตอร์อยู่แนวฟันสเตเตอร์ที่ 3 ดังนั้นการหมุนของตัวโรเตอร์อย่างสมบูรณ์ใน 1 รอบจนครบวัฏจักรการทำงานอธิบายได้ดังตาราง 2.2 ซึ่งแสดงลำดับการสวิตช์เพื่อจ่ายกระแสกระตุ้นให้แก่ขดลวดเฟส A และ B สำหรับรูปที่ 2.5 แสดงรูปคลื่นอินพุตที่จ่ายให้แก่ขดลวดทั้งเฟส A และ B ของสเต็ปมอเตอร์ขดลวด 2 เฟส



รูปที่ 2.4 สเตปเปอร์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร ขดลวด 2 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 คลื่นแรงดันที่จ่ายให้แก่ขดลวดทั้ง 2 เฟส ของสเตปเปอร์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

ตารางที่ 2.2 ลำดับการสวิตช์สำหรับสเตปเปอร์มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรแบบขดลวด

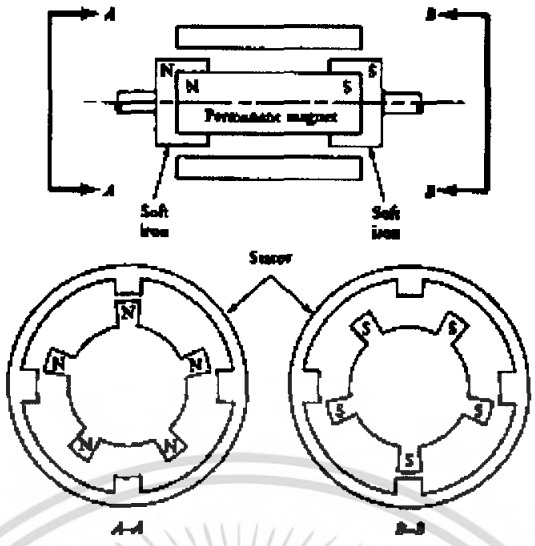
วัฏจักร	เฟส		ตำแหน่งมุมสเตป
	A	B	δ
+	1	0	0
	0	1	90
-	-1	0	180
	0	-1	270
+	1	0	360

หมายเหตุ "1" "-1" และ "0" หมายถึง ค่าบวก ลบ และศูนย์ ของกระแสที่กระตุ้นขดลวดเฟส

2.1.3 สเตปเปอร์มอเตอร์แบบไฮบริด

สเตปเปอร์มอเตอร์แบบไฮบริด (Hybrid Stepper Motor) มีโครงสร้างสเตเตอร์ที่ไม่แตกต่างไปจากสเตปเปอร์มอเตอร์แบบแปรค่าความต้านทานแม่เหล็ก และสเตปเปอร์มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร โดยที่ตัวโรเตอร์ประกอบด้วย เหล็กชนิดอ่อน 2 ส่วน โดยจะยึดอยู่กับขั้วเหนือและใต้ของแม่เหล็กถาวร ดังรูปที่ 2.6

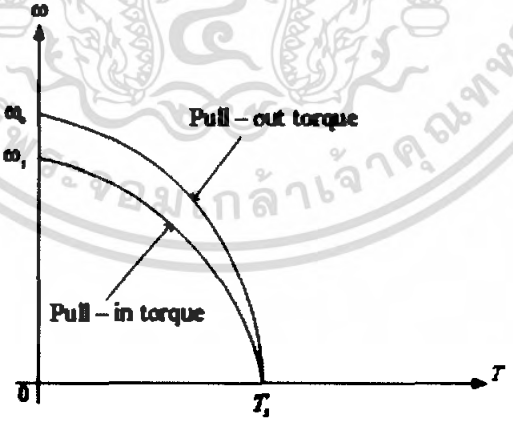
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 สเตปเปอร์มอเตอร์แบบไฮบริด

2.1.4 คุณลักษณะแรงบิด-ความเร็ว

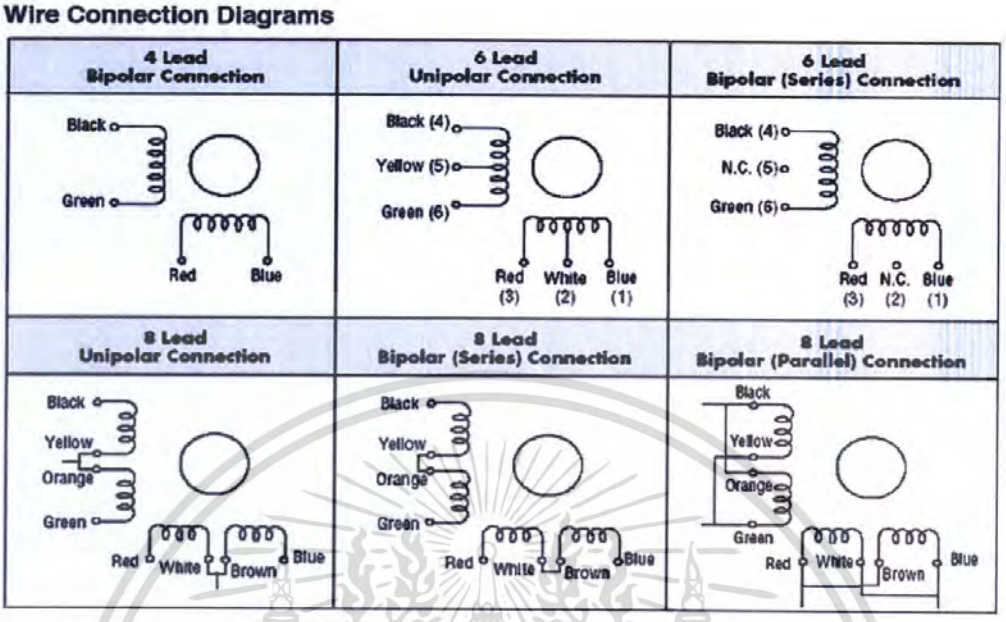
โดยทั่วไปแล้ว สเตปเปอร์มอเตอร์ถูกใช้งานอยู่ในช่วงพิกัดกำลังตั้งแต่ 1 วัตต์ถึงประมาณ 3 แรงม้า และขนาดสเตปมุมการหมุน (Step Sizes) ประมาณ 0.70 องศา ถึง 90 องศา แต่ที่ใช้งานกันอยู่เป็นส่วนใหญ่คือ 1.8 องศา 7.5 องศา และ 15 องศา



รูปที่ 2.7 คุณลักษณะความเร็ว - แรงบิดของสเตปเปอร์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 วงจรขับสเตปเปอร์มอเตอร์



รูปที่ 2.8 การพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสเตปเปอร์มอเตอร์

ในการออกแบบวงจรขับสเตปเปอร์มอเตอร์ (Driver Stepper Motor Circuit) นั้นจะต้องทราบว่ามอเตอร์ชนิดนั้นๆ มีการพันขดลวดแบบใด โดยการพันขดลวดหรือคอยล์บนสเตปเปอร์มอเตอร์ มี 2 วิธีคือ แบบไบโพลาร์ (Bipolar) และแบบ ยูนิโพลาร์ (Unipolar) ดังรูปที่ 2.8

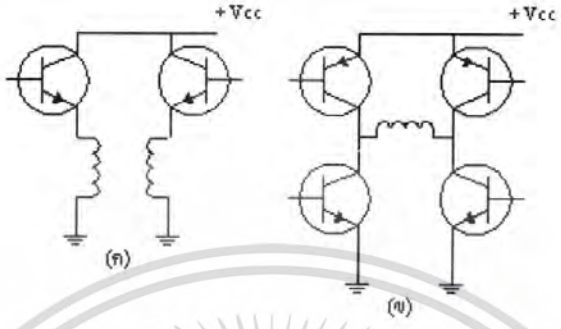
สเตปเปอร์มอเตอร์แบบไบโพลาร์มีการพันขดลวด 1 ขด แต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์จะถูกกำหนดโดยทิศทางของกระแสไฟฟ้า และสามารถทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้ามได้โดยการกำหนดทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า โดยการกลับทิศทางของกระแสไฟฟ้าทำได้โดยการใช้วงจรสวิทช์ชิ่งกลับขั้วไฟฟ้า

สำหรับแบบยูนิโพลาร์จะมีการพันขดลวด 2 ขด บนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ซึ่งแต่ละขดจะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงข้ามกัน การกลับขั้วแม่เหล็กจึงทำได้โดยการสวิทช์ชิ่งกระแสไฟฟ้าจากขดลวดหนึ่งไปยังอีกขดลวดหนึ่งแทน โดยปกติขดลวดทั้งสองจะมีการเชื่อมต่อกัน หรือมีจุดร่วมเพื่อลดจำนวนของสายไฟที่ต่อจากมอเตอร์ วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ทำได้ง่ายกว่าชนิดไบโพลาร์ เพราะต้องการเพียงสวิตช์ธรรมดาในการเปิดและปิดกำลังไฟฟ้าให้กับขดลวดบนสเตเตอร์ในทิศทางที่ต้องการหมุนได้ทันที

รูปที่ 2.9 แสดงวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ชิ่ง ให้กับสเตปเปอร์มอเตอร์ที่มีการพันขดลวดทั้ง 2 แบบจะเห็นได้ว่าในแบบของยูนิโพลาร์ (รูปที่ 2.9 ก.) เป็นวงจรที่ง่ายและจะไม่ซับซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามการพันขดลวดแบบยูนิโพลาร์ ก็มีจุดด้อยตรงที่การพันแบบนี้ จะทำให้เกิดแรงบิดน้อยกว่าแบบไบโพลาร์ (รูปที่ 2.9 ข.) เพราะจะมีเพียงครึ่งหนึ่งของขดลวดที่ถูกกระตุ้นให้ทำงานในระยะเวลาหนึ่ง

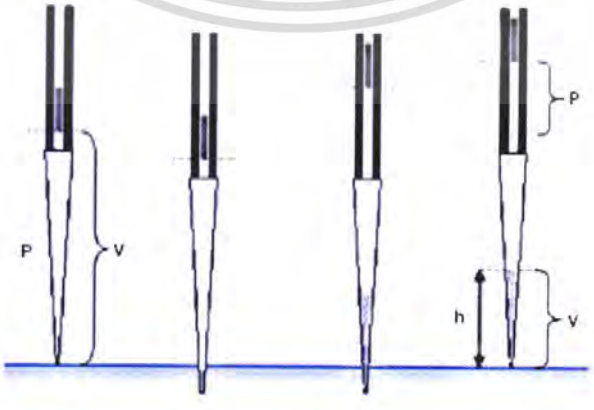


รูปที่ 2.9 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับสเตปเปอร์มอเตอร์ ทั้ง 2 แบบ
ก. สำหรับชนิดยูนิโพลาร์ใช้ทรานซิสเตอร์ตัวเดียว ต่อ 1 คอยล์
ข. สำหรับชนิดไบโพลาร์ใช้ทรานซิสเตอร์สวิตช์ 4 ตัวต่อ 1 คอยล์

2.2 ความดันอากาศ

การดูดของเหลวเข้าไปเก็บไว้ในภาชนะความดันอากาศช่วยในการดันของเหลวโดยทำให้ความดันอากาศภายในภาชนะต่ำกว่าความดันอากาศภายนอก เช่นการดูดอากาศภายในภาชนะออก หรือขยายปริมาตรอากาศภายในภาชนะ

จากรูปที่ 2.10 ผลจากความดันบรรยากาศจะทำให้ความดันอากาศภายในบวกกับความดันสถิตของเหลวในแนวดิ่งให้เท่ากับความดันภายนอก โดยความดันสถิตของเหลวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความสูงของของเหลวในแนวดิ่ง



รูปที่ 2.10 ลักษณะการดูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะเริ่มต้น ความดันอากาศภายใน = ความดันบรรยากาศ = P_a

เวลาทำงาน ความดันอากาศภายใน P

ความดันของเหลว P_l

ถ้าระหว่างการทำงานไม่มีการรั่วไหลของอากาศภายในทิป จะสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

$$P + P_l = P_a \tag{2.2}$$

$$\frac{dP}{dt} + \frac{dP_l}{dt} = 0 \tag{2.3}$$

$$\frac{dP_l}{dt} = -\frac{dP}{dt} \tag{2.4}$$

$$\left(\frac{rg}{A}\right) \cdot \frac{dV_l}{dt} = -\frac{dP}{dt} \tag{2.5}$$

r คือ ความหนาแน่นของของเหลว

g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก $= 9.81\ \mathrm{m/s^2}$

v_l คือ ปริมาตรของเหลว

A คือ พื้นที่หน้าตัดปลายทิป

จากสมการข้างบนแสดงให้เห็นว่าปริมาตรของเหลวภายในจะเปลี่ยนแปลงในทางตรงกันข้ามกับการเปลี่ยนแปลงของความดันอากาศภายใน

2.3 พื้นฐานการสื่อสารแบบอนุกรมและ RS232

ถึงแม้ว่าการสื่อสารแบบอนุกรมในเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นจะมีความเร็วในการสื่อสารช้ากว่าแบบขนาน ทั้งนี้เพราะว่าการเคลื่อนย้ายข้อมูลแบบนั้นเป็นการส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต แต่พอร์ตขนานนั้นสามารถส่งข้อมูลได้ครั้งละหลายๆบิตพร้อมๆกัน ส่งผลให้การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมีความเร็วต่ำกว่าแบบขนาน แต่ว่าการส่งข้อมูลแบบอนุกรมนั้นมีข้อเหนือกว่าแบบขนาน คือ การสามมารถส่งข้อมูลได้ระยะไกลกว่าแบบขนาน อีกทั้งสายสัญญาณที่ใช้ยังน้อยกว่าอีกด้วย

2.3.1 รูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมสามารถแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบคือ

1. ซิมเพลกซ์ (Simplex) สามารถส่งได้อย่างเดียวเป็นการสื่อสารแบบทางเดียว

2. ฮาล์ฟดูเพลกซ์ (Half-Duplex) สามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทาง และสามารถรับข้อมูลจากปลายทางได้ แต่ไม่สามารถทำการส่งและรับข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน

3. ฟูลดูเพลกซ์ (Full-Duplex) สามารถรับและส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน

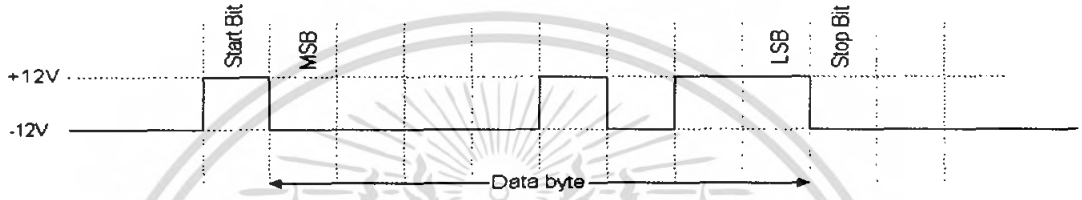
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ลักษณะการสื่อสารแบบอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมแบ่งตามลักษณะในการส่งอีก 2 แบบ

1. การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous) แบบนี้จะใช้สัญญาณนาฬิกาควบคุมการส่งสัญญาณ เช่นสายคีย์บอร์ดคอมพิวเตอร์ โดยจะมีสายสัญญาณเส้นหนึ่งเป็นสายสัญญาณนาฬิกา ส่วนอีกสายหนึ่งเป็นสายข้อมูล (และมักจะมีสายกราวด์ด้วย)

2. การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) จะมีการใช้สายข้อมูลเพียงสายเดียว แต่จะใช้รูปแบบการส่งข้อมูลเป็นตัวกำหนดดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การส่งสัญญาณแบบ อะซิงโครนัส

บิตเริ่มต้น (START BIT) จะมีขนาด 1 บิต จะเป็นระดับ ลอจิกตรงกันข้ามกับระดับลอจิกของสภาวะสายสื่อสารขณะที่ยังไม่มีการส่งข้อมูล

บิตข้อมูล (DATA BIT) จะเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดก่อนหรือ LSB ก่อน โดยข้อมูลที่จะส่งอาจจะมีขนาด 5, 6, 7 หรือ 8 บิตก็ได้

บิตแสดงสภาวะเลขคู่หรือเลขคี่ (PARITY BIT) มีขนาด 1 บิต โดยบิตนี้จะนำไปต่อท้ายบิตข้อมูล ค่าของบิตนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนค่าของข้อมูลที่เป็น1 โดยเลือกการส่งข้อมูลเป็นแบบพาริตี้คู่หรือพาริตี้คี่ ตัวอย่างถ้ากำหนดให้มีการส่งข้อมูลแบบพาริตี้คู่ แต่ข้อมูลมีเลข 1 เป็นจำนวน คี่ ก็จะให้บิตพาริตี้นี้เป็น 1 เพื่อจะได้จำนวนเลข 1 เป็นคู่นั้นเอง ทำนองเดียวกันทางด้านรับเองก็ต้องมีการตรวจสอบจำนวนข้อมูลที่รับเข้ามาที่เป็น 1 ที่รวมบิตพาริตี้ 1 บิตด้วย ถ้ามีค่า 1 เป็นจำนวนคู่แสดงว่าข้อมูลที่รับเข้ามาถูกต้อง อย่างไรก็ตามสามารถรับและส่งข้อมูลเป็นแบบ None โดยไม่ต้องตรวจสอบบิตก็ได้

บิตสุดท้ายหรือบิตหยุด (STOP BIT) เป็นการระบุถึงขอบเขตของการสิ้นสุดข้อมูล โดยจะขาข้อมูลมีสถานะลอจิกเป็น 1

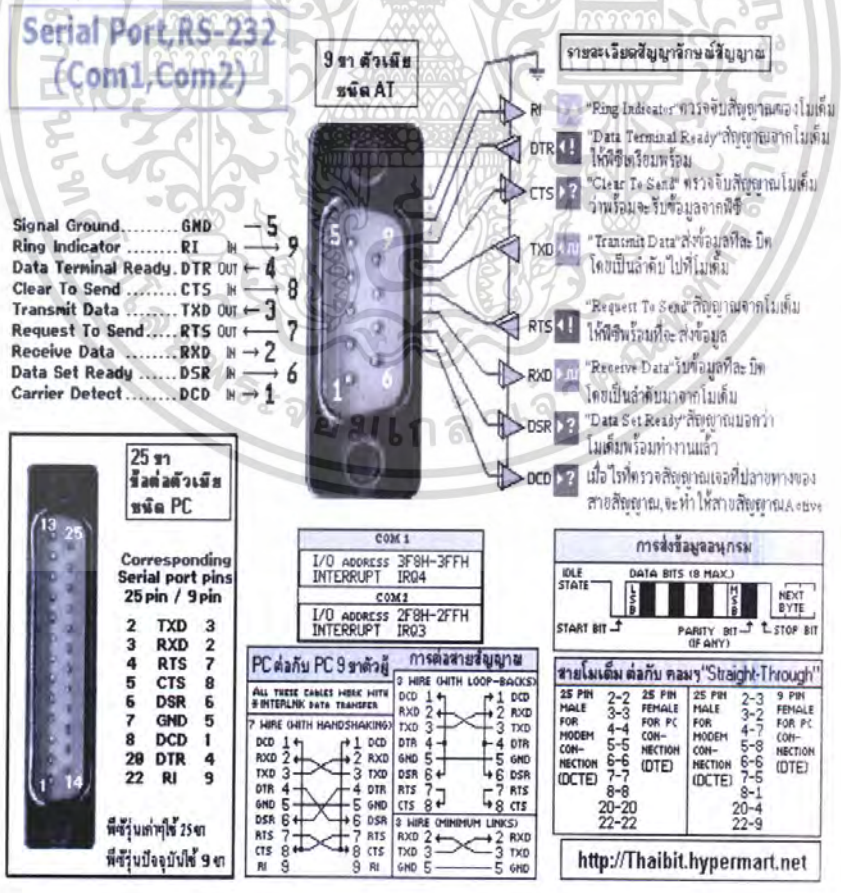
การเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมมาตรฐาน RS232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบ อะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยกำหนดให้มีระดับสัญญาณตั้งแต่ 3-15 โวลต์ สำหรับลอจิก 0 และ (-3) - (-15) โวลต์ สำหรับลอจิก 1 ดังนั้นสังเกตได้ว่าจะมีระดับแรงดันที่ใช้ในสถานะลอจิก 0 และลอจิก 1 แตกต่างออกไปจากระบบไอซีดิจิตอลทั่วไปซึ่งมีระดับแรงดันอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 0-5 โวลต์ การต่อใช้งานจึงต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนระดับแรงดันจาก 0-5 โวลต์ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้เป็นระดับแรงดันที่สูงกว่า (3 โวลต์) หรือต่ำกว่า (-3 โวลต์) โดยจะต่อวงจรจากทรานซิสเตอร์ได้หรือใช้ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ MAX-232 ก็ได้

มาตรฐานการเชื่อมตอแบบอนุกรม RS232 ถูกออกแบบเพื่อใช้ในงานที่มีการเชื่อมต่อข้อมูลที่สอดคล้องกันระหว่างอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่างๆ โดยได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment: DTE) กับข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating: DCE) ไว้ว่าอุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัว เช่นไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างทั้งสองจะกระทำผ่านมาตรฐาน RS232 ข้อแตกต่างอย่างหนึ่งที่เห็นได้ชัดคือคอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย

คอนเน็กเตอร์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันจะเป็นชนิด D-type แบบ 9 ขาและแบบ 25 ขาโดยจะติดตั้งอยู่หลังคอมพิวเตอร์ระดับแรงดันจะมีค่าระหว่าง -3 โวลต์ ถึง -15 โวลต์ สำหรับลอจิก 1 และ 3 โวลต์ ถึง 15 โวลต์ สำหรับลอจิก 0 สามารถรับส่งข้อมูลได้สูงสุด 150 เมตร โดยอธิบายได้ดังรูปที่ 2.12



รูป 2.12 พอร์ตอนุกรมมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3. รายละเอียดของสายสัญญาณ

Data Carrier Detect: DCD หรืออาจเรียกว่า Carrier Detect: CD ขานี้จะแอกทีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณจากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล เช่น โมเด็ม (Modem) สำหรับการใช้งานปกติขานี้จะไม่ได้ถูกใช้งานมากนัก

Receive Data: RD หรือ **RxD** ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่เก็บไว้ในรีจีสเตอร์บัฟเฟอร์

Transmitted Data: TD หรือ **TxD** ใช้เพื่อส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ โดยส่งข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์ออกไป

Data Terminal Ready: DTR เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าต้องการต้องการติดต่อด้วย โดยขา DTR นี้จะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทางและขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางจะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์ ถ้าใช้การเชื่อมต่อแบบ Null Modem ที่ใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น จะต้องเชื่อมต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเข้าด้วยกัน

Signal Ground: GND กราวด์ของระบบ

Data Set Ready: DSR ใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับรับข้อมูลจากภายนอกซึ่งถูกส่งมาจากขา DTR

Request To Send: RTS ใช้สำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์ โดยขาที่รับสัญญาณ RTS ก็คือขา CTS แต่ในกรณีที่ใช้การเชื่อมต่อแบบ Null Modem แบบ 3 สาย จะต้องเชื่อมต่อขา RTS และ CTS เข้าด้วยกัน เพื่อจะให้การรับส่งข้อมูลเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา

Clear To Send: CTS ขานี้จะคอยรับสัญญาณจากขา RTS เมื่อรับสัญญาณได้ข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป ดังนั้นขานี้จึงใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับสัญญาณหรือไม่

Ring Indicator: RI ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติจะไม่ถูกใช้งาน

2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 89C51

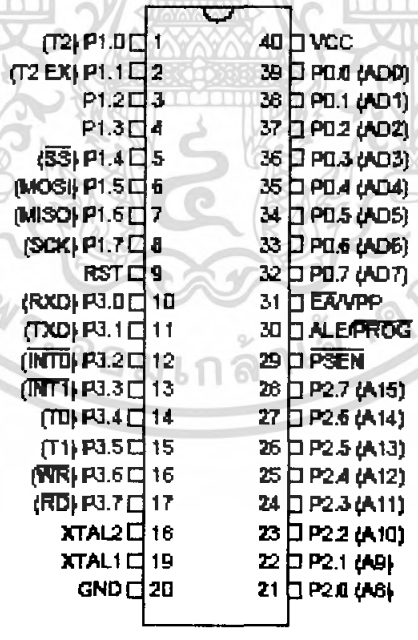
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีหลายเบอร์ โดยแต่ละเบอร์มักจะมีโครงสร้างที่คล้ายกัน แต่มีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป แล้วแต่ชนิดของการใช้งานและความต้องการของโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 คุณสมบัติที่สำคัญของ MCS-51

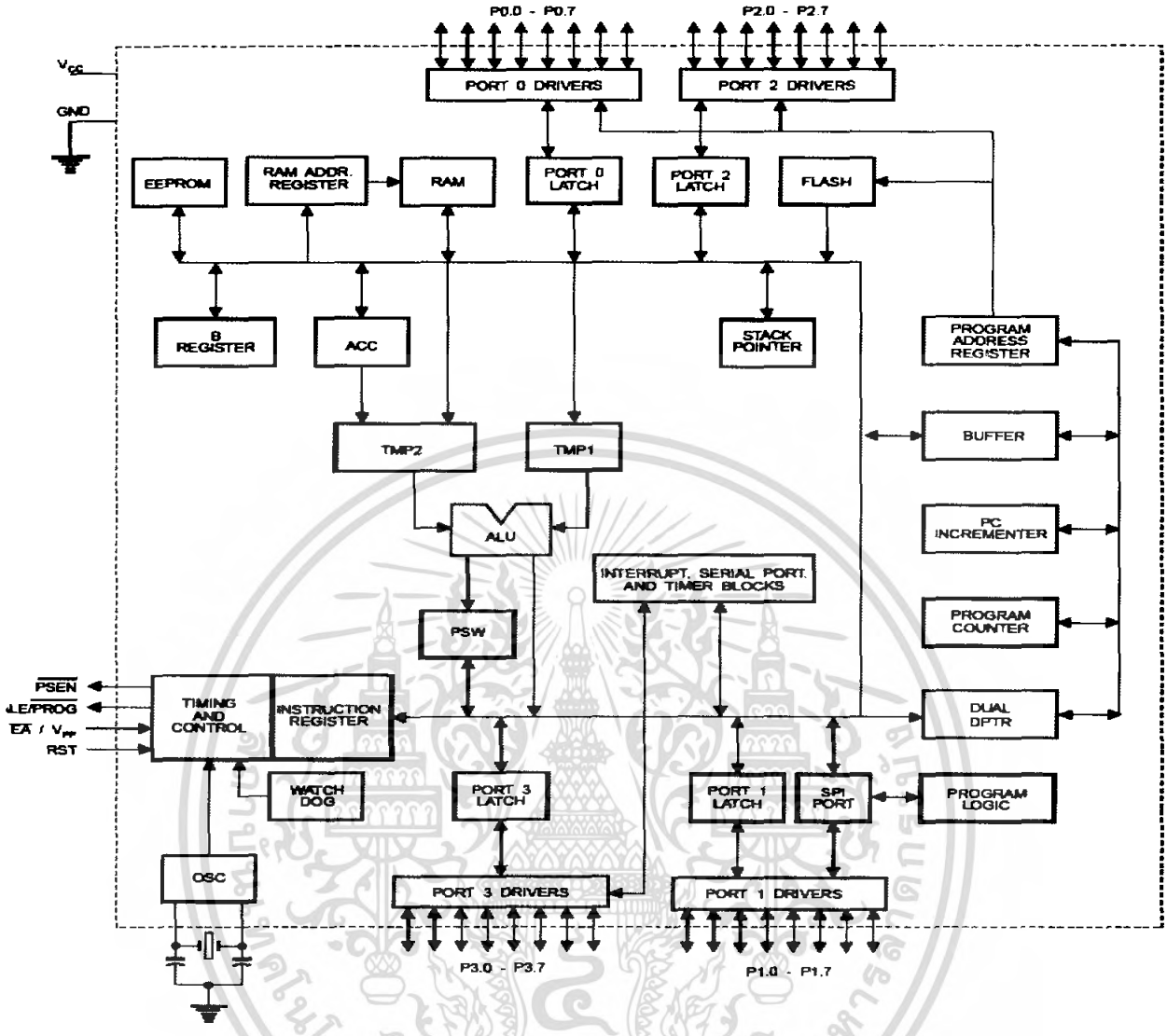
- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ขนาด 8 บิต
- มีวงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาภายในตัวไอซี
- มี ตัวชี้ข้อมูล (Data Pointer หรือ DPTR) ที่ทำงานแบบ 16 บิต
- มี รีจีสเตอร์ สถานะโปรแกรม (Program Status Word หรือ PSW) และ ตัวชี้สแตก (Stack Pointer หรือ SP) ขนาด 8 บิต
- มีหน่วยความจำข้อมูลภายใน (Internal RAM) ขนาด 256 ไบต์
- มีพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้งานได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต 4 พอร์ต
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์
- ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต 3 ตัว
- สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 6 แหล่งกำเนิด
- สามารถขยายหน่วยความจำภายในได้สูงสุด 64 กิโลไบต์

สำหรับเบอร์ 89C51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยว ซึ่งมีขาทั้งหมด 40 ขา ดังแสดงในรูปที่ 2.13 และบล็อกไดอะแกรมโครงสร้างภายใน ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 ไดอะแกรมขาสัญญาณของ 89C51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างภายในของ 89C51

การใช้งานของขาต่างๆ ของ 89C51 มีดังนี้

VCC (ขา 40) เป็นขาอินพุตไฟเลี้ยง +5 โวลต์

GND (ขา 20) เป็นขากราวด์สำหรับต่อกับกราวด์ของระบบ

พอร์ต 0 (P0.0 – P0.7) เป็นพอร์ตขนาด 8 บิต แบบสองทิศทาง สามารถใช้เป็นอินพุตหรือเอาท์พุตพอร์ต นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0 – A7) และขาข้อมูล (D0 – D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วยเพื่อสลับการทำงานเป็นทั้งขาติดต่อแอดเดรสและขาข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
72223

พอร์ต 1 (P1.0 – P1.7) เป็นพอร์ตขนาด 8 บิต แบบสองทิศทาง สามารถใช้เป็นอินพุตหรือเอาท์พุตพอร์ต ขา P1.0 – P1.3 ใช้งานเป็นขา T2, T2EX, RxD1, TxD1 ตามลำดับ

พอร์ต 2 (P2.0 – P2.7) เป็นพอร์ตขนาด 8 บิต แบบสองทิศทาง ใช้เป็นอินพุตหรือเอาท์พุตพอร์ต นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (8 – A15)

พอร์ต 3 (P3.0 – P3.7) เป็นพอร์ตขนาด 8 บิต แบบสองทิศทาง สามารถใช้เป็นอินพุตหรือเอาท์พุตพอร์ต นอกจากนั้นขาพอร์ต 3 ยังเป็นขาที่ที่หน้าที่การใช้งานพิเศษ ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

P3.0	(RxD)	ขารับข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม
P3.1	(TxD)	ขาส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม
P3.2	($\overline{\text{INT0}}$)	ขา อินเตอร์รัป (Interrupt 0) อินพุตจากภายนอก
P3.3	($\overline{\text{INT1}}$)	ขา อินเตอร์รัป (Interrupt 1) อินพุตจากภายนอก
P3.4	(T0)	ขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่อง 0
P3.5	(T1)	ขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่อง 1
P3.6	$\overline{\text{WR}}$	ขาสัญญาณเขียนข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอก
P3.7	$\overline{\text{RD}}$	ขาสัญญาณอ่านข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอก

ขา รีเซ็ท (RESET) ใช้สำหรับรีเซ็ทการรีเซ็ทจะต้องให้สัญญาณขานี้เป็นลอจิก 1 อย่างน้อย 2 วงรอบแมทชีนไซเกิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างปกติ

ขา ALE (Address Latch Enable) เป็นขาที่ใช้ในการควบคุมการแลตช์ค่าแอดเดรสด้านต่ำ (พอร์ต 0) เมื่อต่อกับหน่วยความจำภายนอก ALE จะส่งออกมาสองครั้งทุกแมทชีนไซเคิล หรือความถี่ประมาณ 1/6 เท่าของความถี่ออสซิลเลเตอร์ เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก ยกเว้นในขณะที่แอกเซส (Access) หน่วยความจำภายนอก ALE จะส่งออกมาเพียงพัลส์เดียว

ขา PSEN (Program Store Enable) เป็นสัญญาณเอาท์พุตที่ควบคุมการ เอนาเบิล (Enable) ของ External Program Memory โดยทั่วไปจะต่อกับของ OE ของ อีพีรอม (EPROM)

ขา ALE (Address latch enable) เป็นสัญญาณเอาต์พุต ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการแลตช์ (latch) สัญญาณตำแหน่งที่ออกมาจากพอร์ต 0 เมื่อพอร์ต 0 ถูกใช้ในหน้าที่ที่สอง (เป็นสัญญาณตำแหน่งและข้อมูล มัลติเพลกซ์กันออกมา) ความถี่ของสัญญาณ ALE จะมีค่าเป็น 1/6 เท่าของความถี่ที่เกิดขึ้นภายในชิป เช่น ถ้าใช้คริสตอลความถี่ 12 เมกกะเฮิรตซ์ สัญญาณ ALE จะมีความถี่เป็น 2 เมกกะเฮิรตซ์ นั่นคือ ALE จะใช้ลอจิก 1 สองครั้งใน 1 แมชชีนไซเคิล ยกเว้นการทำคำสั่ง MOVX ซึ่งใช้เวลาสองแมชชีนไซเคิล สัญญาณ ALE จะหายไปหนึ่งลูก ในแมชชีนไซเคิลที่สองของคำสั่งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา EA/Vpp (External Access Enable) เป็นขาอินพุต เมื่อลอจิกเป็น 1 ซีพียูจะเฟตช์และกระทำคำสั่งจากหน่วยความจำที่เก็บโปรแกรมภายใน เมื่อลอจิกเป็น 0 ซีพียูจะเฟตช์และกระทำคำสั่งจากหน่วยความจำที่เก็บโปรแกรมภายนอก

ขา XTAL 1 เป็นขาอินพุตของ อินเวร์ตติง แอมปลิฟายเออร์ (Inverting Amplifier Oscillator) และเป็นอินพุตของวงจรกำเนิด Clock ที่อยู่ภายใน

ขา XTAL 2 เป็นขาเอาท์พุตของอินเวร์ตติง แอมปลิฟายเออร์ (Inverting Amplifier Oscillator)

2.4.2 โครงสร้างของหน่วยความจำ

ขนาดของหน่วยความจำ (Internal RAM) จะประกอบไปด้วย

หน่วยความจำด้านล่าง จำนวน 128 ไบต์ โดยเริ่มจาก ตำแหน่ง 00H ถึง 7FH ในโหมด Directly และ Indirectly

หน่วยความจำด้านบนจำนวน 120 ไบต์ โดยเริ่มจาก ตำแหน่ง 80H ถึง FFH ในโหมด Indirectly เท่านั้น

การใช้งานของฟังก์ชันรีจิสเตอร์พิเศษ (Special Function Register) หรือ SFR โดยเริ่มจากตำแหน่ง 80H ถึง FFH ในโหมด Directly เท่านั้น จะเห็นได้ว่า การใช้ SFR จะเป็นการใช้หน่วยความจำ จำนวน 128 ไบต์ ซึ่งตำแหน่งของหน่วยความจำจะเป็นที่เดียวกับหน่วยความจำด้านบน

2.4.3 การจัดการกับหน่วยความจำภายนอก

มีการจัดการเกี่ยวกับหน่วยความจำภายนอก แบ่งออกเป็น 2 อย่าง คือ การจัดการกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (External Program Memory) และ หน่วยความจำข้อมูลภายนอก (External Data Memory)

หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก จะถูกเลือก หรือ Enable ได้จากสัญญาณ $\overline{\text{PSEN}}$

หน่วยความจำข้อมูลภายนอก จะถูกเลือก หรือ Enable ได้จากสัญญาณ $\overline{\text{RD}}$ กับ $\overline{\text{WR}}$

2.4.4 รีจิสเตอร์ที่มีหน้าที่พิเศษ

การใช้งานของรีจิสเตอร์ที่มีหน้าที่พิเศษ (Special Function Register – SFR) โดยจะอ้างตำแหน่ง ตั้งแต่ 80H จนถึง FFH ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 128 ไบต์ SFR ทุกตัวสามารถอ้างตำแหน่งได้โดยตรง แต่บางตัวจะเป็นการอ้างแบบบิต หน้าที่ของ SFR มีดังนี้

รีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่เก็บสถานะของบิต (Program Status Word) หรือ PSW เป็นรีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่เก็บสถานะของบิตต่าง ๆ เอาไว้ มีตำแหน่ง ที่ D0H ถึง D7H มีรายละเอียดดังนี้

- P แสดง Flag Parity คี่
- 0V แสดง Flag การ Over Flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- RS0 แสดงการเลือกใช้ Register Bank บิต 0
- RS1 แสดงการเลือก Register Bank บิต 1
- F0 Flag ผู้ใช้กำหนดเอง
- AC Flag Auxiliary Carry
- CY Flag ตัวทด

บิตแสดง Parity (P) จะรีเซ็ตหรือ เคลียร์ โดยอัตโนมัติทุกแมชชีนไซเคิลทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับแอกคูมูลาเตอร์ (Accumulator) บิต เช่น ถ้าข้อมูลในแอกคูมูลาเตอร์ เป็น 1 เมื่อนับรวมกับบิต พาริตี้แล้วจะต้องเป็นเลขคู่เสมอ บิต พาริตี้ นี้มักใช้ในการตรวจสอบข้อมูลทางพอร์ต อนุกรมเพื่อตรวจสอบข้อมูลด้านรับว่าถูกต้องหรือไม่

Flag แสดงการ Overflow (OV) จะเป็น 1 ได้โดย เช่น การกระทำทางคณิตศาสตร์ เมื่อมีผลลัพธ์ที่มากกว่า +127 และน้อยกว่า –128

Flag F0 เป็น Flag ที่ผู้ใช้กำหนดบิตที่จะเลือกใช้รีจิสเตอร์แบงค์ (Register Bank) หรือ RS และ RS1 โดยมีการเลือกได้ดังนี้

RS1	RS0	แบงก์ของรีจิสเตอร์
0	0	แบงก์ 0
0	1	แบงก์ 1
1	0	แบงก์ 2
1	1	แบงก์ 3

Flag Auxiliary Carry (AC) เมื่อมีการบวกค่า BCD (Binary Code Decimal) จะถูกเซ็ท ถ้ามีตัวทดมาจากบิต 3 ส่งมายังบิต 4 หรือถ้าผลลัพธ์สี่บิตด้านต่ำอยู่ที่ในช่วง 0AH – 0FH ในกรณีที่ค่าที่ใช้บวกเป็นแบบ BCD หลังจากทำคำสั่งบวกแล้วจะต้องตามด้วยคำสั่ง DAA (Decimal Adjust Accumulator) เพื่อให้ผลลัพธ์ที่เกิน 9 กลับมาอย่างถูกต้อง

แครีแฟก (Carry Flag) ตัวทด (CY) จะถูกใช้ในสองกรณี กรณีแรกจะเป็นการกระทำทางคณิตศาสตร์ โดยแฟล็กตัวทดจะเซ็ทตัวเมื่อมีตัวทดออกมาจากบิต 7 ในขณะทำการบวก และในกรณีที่สองจะเป็นการเซ็ทตัวจากการยืมจากบิต 7

รีจิสเตอร์ B จะมีตำแหน่งที่ 0F0H มักจะใช้คู่กับแอกคูมูลาเตอร์ ในการกระทำทางคณิตศาสตร์ เช่น MUL AB (การคูณค่าในรีจิสเตอร์ A กับ B) ขณะเดียวกัน รีจิสเตอร์ B ยังสามารถใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปได้อีกด้วย รีจิสเตอร์ B สามารถอ้างตำแหน่ง 0F0H ถึง 0F7H

ตัวชี้สแตก (Stack Pointer) หรือ SP เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีตำแหน่งที่ 81H โดยการเก็บตำแหน่งบนสุดของ แรม (RAM) ภายในได้อย่างรวดเร็ว และเรียกออกมาได้อย่างรวดเร็วด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวชี้ข้อมูล (Data Pointer) หรือ DPTR ตัวชี้ข้อมูลเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต ที่ประกอบจากรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต สองตัวรวมกัน ได้แก่ รีจิสเตอร์ DPL ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์ด้านต่ำที่ตำแหน่ง 82H และรีจิสเตอร์ DPH ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์ด้านสูงที่ตำแหน่ง 83H โดยจะใช้รีจิสเตอร์สองตัวในการชี้ข้อมูลเมื่อต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกชิพ

รีจิสเตอร์ของพอร์ต I/O ประกอบด้วย พอร์ต 0 มีตำแหน่งที่ 80H พอร์ต 1 มีตำแหน่งที่ 90H พอร์ต 2 มีตำแหน่งที่ 0A0H และพอร์ต 3 มีตำแหน่งที่ 0B0H

รีจิสเตอร์ไทเมอร์ มีไทเมอร์เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต สองตัว T0 แยกบิตด้านล่าง (TL0) ที่ตำแหน่ง 8AH และ 8 บิต ด้านบน (TH1) ที่ ตำแหน่ง 8DH

รีจิสเตอร์ควบคุมพอร์ตอนุกรม มีพอร์ตอนุกรมภายในตัวใช้สำหรับการสื่อสารกับอุปกรณ์อื่น ๆ รีจิสเตอร์ตัวแรกคือ SBUF ใช้สำหรับเป็นรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ข้อมูลทั้งการรับและการส่ง รีจิสเตอร์ที่ควบคุมการส่งข้อมูล คือ SCON

2.4.5 เคาน์เตอร์และไทเมอร์

ไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูล 8051 จะบรรจุเคาน์เตอร์ (Counter) ไว้อย่างน้อย 2 ตัว โดยการโปรแกรมผ่านทางรีจิสเตอร์ที่มีหน้าที่พิเศษ ซึ่งสามารถกำหนดขาให้เป็นตัวนับสัญญาณจากภายนอกเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะของโลจิก (High-Low Logic Transition) ด้วยการโปรแกรมที่แตกต่างกันทางรีจิสเตอร์ที่มีหน้าที่พิเศษ อินพุตที่ถูกนับจะมาจากแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายใน ทำให้เคาน์เตอร์ประพฤติตัวเป็นไทเมอร์ (Timer)

- เคาน์เตอร์โหมดจะถูกใช้กับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่แน่นอนภายนอก

- ไทเมอร์โหมดจะถูกใช้สำหรับวัดช่วงเวลาในการเกิดเหตุการณ์ หรือกิจกรรมที่ต้องทำเป็นประจำ

ถ้าตัวเคาน์เตอร์นับสัญญาณนาฬิกาภายในมันจะทำงานในโหมดไทเมอร์ ถ้านับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณทางขาอินพุตของไมโครโปรเซสเซอร์มันจะทำงานในเคาน์เตอร์โหมด ซึ่งสามารถเลือกกำหนดได้ใน รีจิสเตอร์ TMOD นอกจากนี้ยังมีรีจิสเตอร์เพิ่มเติม คือ TH1/TH0 และ TL1/TL0 ใช้ในการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับไทเมอร์

ตารางที่ 2.3 รีจิสเตอร์ TMOD

(msb)							(lsb)
GATE	C/T	M1	M0	GATE	C/T	M1	M0
Timer1				Timer0			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทเมอร์พื้นฐานของไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูล 8051 ทั้งสองตัวคือ T0 และ T1 เป็น 16 บิต ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ซึ่งสามารถทำงานได้หลายโหมด โดยการควบคุมผ่านฟังก์ชันรีจิสเตอร์พิเศษ TMOD และ TCON

GATE

0 ไทเมอร์เริ่มทำงานเมื่อบิต TR0 (TR1) ถูกเซต

1 ไทเมอร์เริ่มทำงานเมื่อ INT0 (INT1) มีสถานะโลจิกเป็น High ขณะเดียวกับ TR0 (TR1)

C/T เลือกโหมดไทเมอร์/เคาน์เตอร์

0 อินพุตจากสัญญาณนาฬิกาของระบบ

1 อินพุตจากขา TX0 (TX1)

MODE 00 ตัวนับขนาด 13 บิต ใช้ 5 บิตล่างของ TL0 (TL1) และ 8 บิตของ TH0 (TH1)

MODE 01 ตัวนับขนาด 16 บิต

MODE 10 8 บิตออโต้รีโหลด จะนำค่าในรีจิสเตอร์ TH0 (TH1) ไปใส่ใน TL0 (TL1) เมื่อเกิดโอเวอร์โฟล์

MODE 11 เป็นการหยุดการทำงานของไทเมอร์ 1 เหมือนการเซตบิต TR1=0 (ส่วนมากใช้กำหนดโหมด 3 ให้กับไทเมอร์ 1 เป็นตัวสร้างสัญญาณบอด (Baud Rate) และยังคงใช้ 8 บิตไทเมอร์ทั้งสองตัวในการสร้างสัญญาณอินเตอร์รัป

ตารางที่ 2.4 รีจิสเตอร์ TCON

(msb)							(lsb)
TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0

รีจิสเตอร์ TCON ใช้ควบคุมสถานะต่างๆ ของไทเมอร์ นอกจากนี้ยังควบคุมการเกิดอินเตอร์รัป

TF0,TF1 โอเวอร์โฟล์แฟลก ถูกเซตโดยฮาร์แวร์เมื่อไท-เมอร์เกิดโอเวอร์โฟล์ขึ้น เคลียร์โดยฮาร์ดแวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TR0,TR1 บิตเริ่มการทำงาน ถูกเซตด้วยซอฟแวร์

1 ไทเมอร์ทำงาน

0 ไทเมอร์หยุดทำงาน

IE0,IE1 อินเตอร์รัปแฟลก ถูกเซตด้วยฮาร์แวร์เมื่อสัญญาณอินเตอร์รัปภายนอกเป็นขอบขาลงหรือตรวจจับสัญญาณโลจิก Low ได้ เคลียร์เมื่ออินเตอร์รัปถูกดำเนินการ

IT0,IT1 ลักษณะการอินเตอร์รัปถูกเซตด้วยซอฟแวร์

1 อินเตอร์รัปสัญญาณขอบขาลง

0 อินเตอร์รัปสัญญาณ โลจิก Low

2.4.6 อินเตอร์รัป (Interrupts)

อินเตอร์รัปเป็นเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับฮาร์ดแวร์ซึ่งจะหยุดโปรเซสเซอร์ไว้ ณ ตำแหน่งที่โปรแกรมกำลังทำงานอยู่แล้วไปทำงานในโปรแกรมส่วนอื่น

ฮาร์ดแวร์ภายในทำให้เกิดอินเตอร์รัปได้โดยการบังคับใส่คำสั่ง CALL ลงไปในสายคำสั่ง ทำให้เกิดการพุช (push) ตัวชี้โปรแกรมลงไปในสแตก (stack) และแทนที่ด้วยจุดเริ่มต้นของฟังก์ชัน นอกจากนี้ยังมีการเซตบิตจำนวนหนึ่งซึ่งสัมพันธ์กับอินเตอร์รัป และย้อนกลับด้วยคำสั่ง RETI แทนที่จะเป็น RET ซึ่งจะรีเซตบิตกลับในเวลาเดียวกัน

ลักษณะการอินเตอร์รัปในตระกูล 8051 เป็นแบบเวกเตอร์ - เหตุการณ์อินเตอร์รัปที่แตกต่างกันจะเรียกฟังก์ชันแตกต่างกันขึ้นกับลักษณะของเหตุการณ์ที่ถูกกำหนดตำแหน่งของฟังก์ชันไว้แน่นอน ซึ่งผู้ใช้ต้องใช้คำสั่งกระโดด (jump) ไปยังตำแหน่งของโปรแกรมจริงที่ต้องการประมวลผล ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ฮาร์ดแวร์อินเตอร์รัปตระกูล 8051

ชื่อการอินเตอร์รัป		ตำแหน่งเวกเตอร์
EX0	External 0	03H
ET0	Timer 0	0BH
EX1	External 1	13H
ET1	Timer 1	1BH
ES	Serial	23H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเตอร์รัปเวกเตอร์เกี่ยวข้องกับการพุช (push) ตัวชี้โปรแกรมลงบนสแตก (stack) และการจบอินเตอร์รัปโปรแกรม เมื่อเกิดการอินเตอร์รัปขึ้นในตระกูล 8051 ฮาร์ดแวร์จะยกเลิกการยอมให้เกิดอินเตอร์รัปทั้งหมด และทำการเคลียร์บิตที่ระบุถึงแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปเช่นไทเมอร์ภายในหรือสัญญาณจากภายนอก เมื่อจบฟังก์ชันการอินเตอร์รัป คำสั่ง RETI จะทำการอนุญาตระบบให้รับรู้การอินเตอร์รัปอื่นๆ ได้อีกครั้ง

เมื่อแอพพลิเคชันไม่จำเป็นต้องการใช้อินเตอร์รัปบางตัว สามารถปิดได้จากอินเตอร์รัปรีจิสเตอร์ (Interrupt Enable Register – IE) ซึ่งมีรูปแบบตามตารางที่ 2.6 ทำให้สัญญาณเหล่านั้นไม่ก่อให้เกิดการอินเตอร์รัปขึ้น กับขาอินเตอร์รัปภายนอกจะทำงานเป็นขาธรรมดา

ตารางที่ 2.6 อินเตอร์รัปรีจิสเตอร์

(msb)							(lsb)
EA	-	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0

อินเตอร์รัปรีจิสเตอร์ใช้เปิดปิดอินเตอร์รัปที่ต้องการ สามารถกำหนดได้ในระดับบิต

EA

0 ยกเลิกอินเตอร์รัปทั้งหมด

1 อนุญาตอินเตอร์รัปทั้งหมด

ET2

0 ยกเลิกอินเตอร์รัปจากไทเมอร์ 2

1 อนุญาตอินเตอร์รัปจากไทเมอร์ 2

ES

0 ยกเลิกอินเตอร์รัปจากพอร์ตอนุกรม

1 อนุญาตอินเตอร์รัปจากพอร์ตอนุกรม

ET0, ET1

0 ยกเลิกอินเตอร์รัปจากโอเวอร์โฟลของไทเมอร์

1 อนุญาตอินเตอร์รัปจากโอเวอร์โฟลของไทเมอร์

EX0, EX1

0 ยกเลิกอินเตอร์รัปจากสัญญาณภายนอก

1 อนุญาตอินเตอร์รัปจากขาสัญญาณอินเตอร์รัปภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูล 8051 สนับสนุนระดับสิทธิ์การอินเตอร์รัป 2 ระดับ (High และ Low) ในรีจิสเตอร์ระดับสิทธิ์อินเตอร์รัป (IP) ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2.7 พร้อมทั้งระดับไม่มีการอินเตอร์รัป เมื่อเกิดการอินเตอร์รัปขึ้นฮาร์แวร์จะปฏิเสธอินเตอร์รัปอื่นที่มีระดับสิทธิ์เหมือนกันหรือต่ำกว่า โดยปกติฮาร์แวร์จะกำหนดสิทธิ์ระดับต่ำเมื่อรูทีน (Routine) ที่มีสิทธิ์ระดับสูงหรือระดับต่ำอื่นกำลังทำงานอยู่ รวมทั้งสิทธิ์การอินเตอร์รัประดับสูงเมื่อรูทีนที่มีสิทธิ์ระดับสูงอื่นกำลังทำงานอยู่

ตารางที่ 2.7 รีจิสเตอร์ระดับสิทธิ์อินเตอร์รัป

(msb)							(lsb)
-	-	PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0

ใช้กำหนดระดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปแต่ละชนิด สามารถกำหนดได้ในระดับบิต

PT2 ระดับสิทธิ์การอินเตอร์รัปของไทเมอร์ 2

0 ระดับ Low

1 ระดับ High

PS ระดับสิทธิ์การอินเตอร์รัปของการสื่อสารอนุกรม

0 ระดับ Low

1 ระดับ High

PT1 ระดับสิทธิ์การอินเตอร์รัปของไทเมอร์ 1

0 ระดับ Low

1 ระดับ High

PX1 ระดับสิทธิ์การอินเตอร์รัปภายนอก 1

0 ระดับ Low

1 ระดับ High

PT0 ระดับสิทธิ์การอินเตอร์รัปของไทเมอร์ 0

0 ระดับ Low

1 ระดับ High

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PX0 ระดับสิทธิ์การอินเตอร์รัปภายนอก 0

0 ระดับ Low

1 ระดับ High

2.4.7 การสื่อสารแบบอนุกรม

ไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูล 8051 ส่วนใหญ่จะมีวงจรสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Universal Asynchronous Receiver/Transmitters - UART) อยู่ภายในตัวสำหรับการสื่อสารแบบอนุกรม ซึ่งสามารถเปลี่ยนระดับสัญญาณเป็น RS-232 โดยใช้วงจรภายนอกแยกต่างหาก ดังนั้นจึงสามารถเลือกใช้ค่าคริสตรัลตามตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ค่าคริสตรัลและการกำหนดค่าไทเมอร์สำหรับ 8051 UARTs

อัตราบอด (Baud Rate)	Fosc	SMOD	Timer 1 mode	Timer 1 reload value
19.2 K	11.059 MHz	1	2	FD_{16}
9.6 K	11.059 MHz	0	2	FD_{16}
4.8 K	11.059 MHz	0	2	FA_{16}
2.4 K	11.059 MHz	0	2	$F4_{16}$
1.2 K	11.059 MHz	0	2	$E8_{16}$
137.5 K	11.059 MHz	0	2	$1D_{16}$
110 K	6 MHz	0	2	72_{16}
110 K	12 MHz	0	1	$FFEB_{16}$

ตารางที่ 2.9 รีจิสเตอร์ควบคุมพอร์ตอนุกรม

(msb)							(lsb)
SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

รีจิสเตอร์ควบคุมพอร์ตอนุกรม (SCON) ตามตารางที่ 2.9 ใช้กำหนดการการส่งและรับข้อมูลในรูปแบบอนุกรมรวมทั้งระบุสถานการณ์ส่งและรับข้อมูล สามารถกำหนดได้ในระดับบิต

SM0, SM1

00 โหมด 0 ข้อมูลเข้าทางขา RXD และส่งออกทางขา TXD ด้วยการเลื่อนของสัญญาณนาฬิกาโดยส่งบิตที่มีนัยสำคัญต่ำที่สุดก่อนด้วยอัตราเลื่อน 1/12 ของความถี่คริสตัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

01 โหมด 1 8-บิต UART ด้วยอัตราบอดที่กำหนดโดยไทเมอร์ 1 หรือ ไทเมอร์ 2 เป็นการส่งข้อมูล 10 บิต บิตเริ่มต้นมีค่าเป็น 0 แล้วจึงส่งข้อมูลขนาด 8 บิต (เริ่มจากบิตที่นัยสำคัญต่ำสุด) และบิตหยุดมีค่าเป็น 1

10 โหมด 2 9-บิต UART ด้วยอัตราบอดคงที่ รับส่งข้อมูลขนาด 11 บิต ซึ่งมีบิตที่ 9 ก่อนบิตหยุด อัตราบอดมีค่า fosc/64, fosc/32 ขึ้นกับบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดในริจิสเตอร์ PCON บิตที่ 9 ที่ถูกส่งออกไปมาจากบิต TB8ในรีจิสเตอร์ SCON บิตที่ 9 ที่รับมาจะถูกเก็บในบิต RB8 ในริจิสเตอร์ SCON

11 โหมด 3 9-บิต UART สามารถเปลี่ยนอัตราบอดได้เหมือนกับโหมด 1 บิตที่ 9 มีลักษณะเหมือนโหมด 2

SM2 การสื่อสารแบบมัลติโปรเซสเซอร์ (Multiprocessor) (ใช้กับโหมด 2, 3)

0 บิต RI ทำงานแบบปกติ

1 บิต RI ทำงานเมื่อบิต RB8 เข้ามาเป็นค่าโลจิกสูง

REN

1 อนุญาตให้มีการรับข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม ในโหมด 0 จะตั้งเป็นโหมดเลื่อนเข้า

0 ไม่อนุญาตให้มีการรับข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม ในโหมด 0 จะตั้งเป็นโหมดเลื่อนออก

TB8 บิตข้อมูลที่ 9 ในโหมด 2, 3

RB8 บิตข้อมูลที่ 9 ที่รับเข้ามาในโหมด 2, 3 ในโหมดที่ 1 จะเป็นบิตหยุด

TI แฟลกอินเตอร์รัปการส่งข้อมูล ถูกเซตเมื่อจบบิตที่ 8 ในโหมด 0 ถูกเคลียร์ด้วยซอฟแวร์

RI แฟลกอินเตอร์รัปการรับข้อมูล ถูกเซตเมื่อจบบิตที่ 8 ในโหมด 0 หรือเมื่อผ่านไปครึ่งหนึ่งของบิตจบในโหมดอื่น (ยกเว้นโหมด 2 หรือ 3, SM2 = 1 และ RB8 = 0) ถูกเคลียร์ด้วยซอฟแวร์

ตารางที่ 2.10 รีจิสเตอร์ PCON

(msb)							(lsb)
SMOD	-	-	-	GF1	GF0	PD	IDL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์นี้ใช้กำหนดอัตราบอดของพอร์ตอนุกรม รวมทั้งควบคุมการประหยัดพลังงาน

SMOD	
1	โหมด 1, 3 อัตราบอด = อัตราโอเวอร์โฟลไทเมอร์ 1/32
	โหมด 2 อัตราบอด = fosc/64
0	โหมด 1, 3 อัตราบอด = อัตราโอเวอร์โฟลไทเมอร์ 1/16
	โหมด 2 อัตราบอด = fosc/32
GF0, GF1	บิตใช้งานทั่วไป
PD, IDL	ใช้ในโหมดประหยัดพลังงาน

2.5 การวิเคราะห์ความถดถอย

การวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป โดยเป็นการพยากรณ์ค่าของตัวแปรหนึ่ง (Y) จากตัวแปรอื่นๆ (X) ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์ โดยจะต้องมีการกำหนดหรือทราบค่าตัวแปรอื่นๆ ก่อนล่วงหน้า

2.5.1 การวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่าย

การวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression Analysis) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว โดยที่ต้องกำหนดหรือทราบค่าของตัวแปรตัวหนึ่งล่วงหน้า เราเรียกตัวแปรที่ต้องกำหนดค่าไว้ล่วงหน้าว่า ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) หรือ ตัวแปรที่ควบคุมได้ (Controlled Variable) หรือ ตัวแปรทำนาย (Predictor Variable) ใช้สัญลักษณ์ X และเรียกตัวแปรที่ต้องการประมาณหรือพยากรณ์ว่า ตัวแปรตาม (Dependent Variable) หรือตัวแปรกระทบ (Effect Variable) หรือตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ใช้สัญลักษณ์ Y

การหารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y นั้น ขั้นแรกเราจะนำข้อมูลของตัวแปรทั้งสองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ซึ่งเรียกกราฟนี้ว่า แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) จากแผนภาพการกระจายที่ได้ ความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองอาจอยู่ในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง เช่น เส้นตรง พาราโบล่า เอ็กซ์โปเนนเชียล เป็นต้น

การวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่ายที่ความสัมพันธ์ของ X และ Y อยู่ในรูปเชิงเส้นตรงนี้ เรียกว่า การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis)

การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis)

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว โดยที่ความสัมพันธ์อยู่ในรูปเชิงเส้นตรงเราสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในรูปสมการเชิงเส้นตรงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแบบเส้นถดถอยของประชากร

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_i \quad ; \ i = 1,\ldots,N \tag{2.7}$$

โดยที่ X คือ ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

Y คือ ตัวแปรตาม (Dependent Variable)

β_0 คือ ระยะห่างจากจุดกำเนิดถึงจุดตัดบนแกน Y (Y-Intercept) หรือคือค่าของ Y เมื่อ X มีค่าเป็นศูนย์

β_1 คือ ความชัน (Slope) ของเส้นตรง เป็นค่าที่แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของ Y เมื่อ X เปลี่ยนไป 1 หน่วย เรียก β_1 ว่า สัมประสิทธิ์ความถดถอย (Regression Coefficient) โดยที่ค่าของ β_1 อาจมีค่าเป็นบวก ลบ หรือศูนย์

e_i คือ ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสุ่ม (Random Error)

ข้อสมมติของการวิเคราะห์ความถดถอย

1. ค่าของ X จะต้องเป็นค่าที่กำหนดไว้ล่วงหน้าหรือทราบค่าและจะต้องมีค่าแน่นอนเพียงค่าเดียว
2. ความคลาดเคลื่อน e_i มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนของ e_i มีค่าเท่ากันทุกค่าของ i และมีค่าเท่ากับค่าความแปรปรวนของ Y

   นั่นคือ $E(e_i) = 0$

   และ $V(e_i) = V(Y) = \sigma^2$
3. e_i และ e_j เป็นอิสระต่อกัน นั่นคือ

   $$Conv(e_i, e_j) = E(e_i, e_j) = 0 \quad ; i \neq j$$
4. e_i มีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 นั่นคือ

   $$e_i \sim N(0, \sigma^2)$$

2.5.2 การประมาณค่าพารามิเตอร์ของสมการความถดถอย

จากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y ถ้าพิจารณาแล้วพบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้นตรงจะต้องหาค่า β_0 และ β_1 ซึ่งจะทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่า β_0 และ β_1 ได้นั้นจะต้องทราบค่า X และ Y ทุกค่า ซึ่งกระทำได้ยาก เราจึงสุ่มตัวอย่างขนาด n จากประชากรที่มีขนาด N เพื่อประมาณค่า β_0 และ β_1 ดังนั้น ค่าประมาณของ Y คือ

ตัวแบบเส้นถดถอยอย่างง่าย

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_i \tag{2.8}$$

หรือ $$\hat{Y}_i = a + bX_i \tag{2.9}$$

โดยที่ $$\hat{\beta}_0 = a \tag{2.10}$$

และ $$\hat{\beta}_1 = b \tag{2.12}$$

การประมาณค่า β_0 และ β_1 โดยวิกำลังสองน้อยที่สุด

การประมาณค่า β_0 ด้วย a และประมาณค่า β_1 ด้วย b นั้น เพื่อทำให้ความคาดเคลื่อนในการประมาณค่า Y_i ด้วย $\hat{Y}_i$ มีค่าต่ำสุด โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) ซึ่งเป็นวิธีการหาค่า a และ b ที่ทำให้ผลบวกกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยที่สุด หรือเป็นการหาค่า a และ b ที่ทำให้ $\sum_{i=1}^{n} e_i^2$ มีค่าน้อยที่สุด โดยการใช้อนุพันธ์บางส่วน (Partial Derivative) เทียบกับ a และ b แล้วให้เท่ากับ 0 หลังจากนั้นแก้สมการหาค่า a และ b ดังนี้

จาก $$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_i$$

และ $$\hat{Y}_i = a + bX_i$$

จะได้ $$e_i = Y_i - \hat{Y}_i$$

$$\sum_{i=1}^{n} e_i^2 = \sum_{i=1}^{n} (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

ดังนั้น $$\frac{\partial \sum_{i=1}^{n} (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\partial a} = \frac{\partial \sum_{i=1}^{n} (Y_i - a - bX_i)^2}{\partial a} = 0$$

$$-2\sum_{i=1}^{n} (Y_i - a - bX_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^{n} Y_i - an - b\sum_{i=1}^{n} X_i = 0$$

$$an + b\sum_{i=1}^{n} X_i = \sum_{i=1}^{n} Y_i \tag{2.13}$$

และ $$\frac{\partial \sum_{i=1}^{n} (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\partial b} = \frac{\partial \sum_{i=1}^{n} (Y_i - a - bX_i)^2}{\partial b} = 0$$

$$-2\sum_{i=1}^{n} (Y_i - a - bX_i)(X_i) = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - a\sum_{i=1}^{n} X_i - b\sum_{i=1}^{n} X_i^2 = 0$$

$$a\sum_{i=1}^{n} X_i + b\sum_{i=1}^{n} X_i^2 = \sum_{i=1}^{n} X_i Y_i \qquad (2.14)$$

สมการที่ (2.13) และ (2.14) เรียกว่า สมการปกติ (Normal Equation)

จากสมการปกติทั้ง 2 สมการ สามารถแก้สมการหาค่า a และ b ได้ดังนี้

นำสมการ (2.13) $\times \sum_{i=1}^{n} X_i$ จะได้

$$an\sum_{i=1}^{n} X_i + b\left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2 = \sum_{i=1}^{n} X_i \sum_{i=1}^{n} Y_i \qquad (2.15)$$

นำสมการ (2.14)$\times n$ จะได้

$$an\sum_{i=1}^{n} X_i + bn\sum_{i=1}^{n} X_i^2 = n\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i \qquad (2.16)$$

นำสมการ (2.16) ลบกับสมการ (2.15) จะได้

$$bn\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - b\left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2 = n\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - \sum_{i=1}^{n} X_i \sum_{i=1}^{n} Y_i$$

$$b\left[n\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2\right] = n\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - \sum_{i=1}^{n} X_i \sum_{i=1}^{n} Y_i$$

$$b = \frac{n\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - \sum_{i=1}^{n} X_i \sum_{i=1}^{n} Y_i}{n\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i \sum_{i=1}^{n} Y_i}{n}}{\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2}{n}}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i \sum_{i=1}^{n} Y_i}{n}}{\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - n\overline{X}^2}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y})}{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^2} \qquad (2.17)$$

จากสมการที่ (2.13) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$an = \sum_{i=1}^{n} Y_i - b\sum_{i=1}^{n} X_i$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i}{n} - b\frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n} = \overline{Y} - b\overline{X} \qquad (2.18)$$

นั่นคือ

$$b = \hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i \sum_{i=1}^{n} Y_i}{n}}{\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2}{n}}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i \sum_{i=1}^{n} Y_i}{n}}{\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - n\overline{X}^2}$$

$$= \frac{S_{XY}^2}{S_X^2}$$

และ

$$a = \hat{\beta}_0 = \overline{Y} - b\overline{X}$$

โดยที่

$$S_X^2 = \sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \overline{X}\right)^2 = \sum_{i=1}^{n} X_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2}{n} = \sum_{i=1}^{n} X_i^2 - n\overline{X}^2 \qquad (2.19)$$

$$S_Y^2 = \sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - \overline{Y}\right)^2 = \sum_{i=1}^{n} Y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} Y_i\right)^2}{n} = \sum_{i=1}^{n} Y_i^2 - n\overline{Y}^2 \qquad (2.20)$$

$$S_{XY}^2 = \sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \overline{X}\right)\left(Y_i - \overline{Y}\right) = \sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i \sum_{i=1}^{n} Y_i}{n} \qquad (2.21)$$

2.5.3 ประชากร

ประชากร (Population) หมายถึง หน่วยทุกๆ หน่วยในเรื่องที่สนใจศึกษา หน่วยต่างๆ ใน ประชากรอาจหมายถึง บุคคล กลุ่มบุคคล องค์กรต่างๆ สัตว์ สิ่งของ

2.5.4 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง (Sample) หมายถึง เซทย่อยของประชากร หรืออาจหมายถึง ส่วนหนึ่งของ ประชากร

2.5.5 การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง (Central Tendency) เป็นการหาค่ากลางของข้อมูลทั้งหมดว่าอยู่ที่ใด โดยใช้ค่ากลางบอกลักษณะของข้อมูล ทำให้ผู้ใช้ทราบถึงการแจกแจงของข้อมูลได้ว่าเป็นอย่างไร

การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางสามารถทำได้ 3 วิธีดังนี้

1. ค่าเฉลี่ย (Mean)
   - ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean)
   - ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric Mean)
   - ค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิค (Harmonic Mean)
   - รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square)
   - ค่าเฉลี่ยตัวอย่างแบบทำให้เรียบ (Trimmed Sample Mean)
   - ค่าเฉลี่ยตัวอย่างแบบวินโสไรซน์ (Winsorized Sample Mean)
2. มัธยฐาน (Median)
3. ฐานนิยม (Mode)

ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean)

เป็นการนำเอาค่าสังเกตทุกค่าที่ได้มารวมกัน แล้วหารด้วยจำนวนค่าสังเกตทั้งหมด การหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบ่งเป็น 2 กรณี

1. กรณีที่ทราบค่าข้อมูลทุกหน่วยในประชากร (เป็นการหา Population Mean)

ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของประชากร $\mu = \frac{\sum_{i=1}^{N} X_i}{N}$

โดยที่ X_i แทนค่าของประชากรตัวที่ i

N แทนขนาดของประชากร

2. กรณีที่ทราบค่าข้อมูลบางหน่วยในประชากร (เป็นการหา Sample Mean)

ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของตัวอย่าง $\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}$

โดยที่ X_i แทนค่าของข้อมูลตัวที่ i

n แทนขนาดของตัวอย่าง

ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric Mean)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือค่ากลางของข้อมูลที่เกิดจากการถอดรากที่ N ของข้อมูล N ค่า กรณีที่ทราบค่าประชากรหรือ คือค่ากลางของข้อมูลที่เกิดจากการถอดรากที่ n ของข้อมูล n ค่า กรณีที่ทราบค่าตัวอย่าง

ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตมักใช้กับข้อมูลเชิงปริมาณและการกระจายของข้อมูลเป็นแบบอนุกรมเรขาคณิตหรือใกล้เคียงเรขาคณิต ข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาทางเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น

การหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิตแบ่งเป็น 2 กรณี คือ

1. กรณีที่ทราบค่าข้อมูลทุกหน่วยในประชากร (เป็นการหา Population Geometric Mean)

ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของประชากร $G = \sqrt[N]{X_1 X_2 ... X_N}$

$$G = \text{Antilog}\left(\frac{\sum_{i=1}^{N} \log X_i}{N}\right)$$

โดยที่ X_i แทนค่าของข้อมูลตัวที่ i

N แทนขนาดของประชากร

2. กรณีที่ทราบค่าข้อมูลบางหน่วยในประชากร (เป็นการหา Sample Geometric Mean)

ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของตัวอย่าง $G = \sqrt[n]{X_1 X_2 ... X_n}$

$$G = \text{Antilog}\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} \log X_i}{n}\right)$$

โดยที่ X_i แทนค่าของข้อมูลตัวที่ i

n แทนขนาดของตัวอย่าง

ค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิค (Harmonic Mean)

คือส่วนกลับของค่าเฉลี่ยเลขคณิตของส่วนกลับของค่าข้อมูล ค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิคมักจะใช้กับข้อมูลเชิงปริมาณและการกระจายของข้อมูลเป็นแบบอนุกรมฮาร์โมนิคหรือใกล้เคียงอนุกรมฮาร์โมนิค เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับความเร็ว อัตราเร็ว อัตราขยาย อัตราการใช้ เป็นต้น

การหาค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิคแบ่งเป็น 2 กรณี

1. กรณีทราบค่าข้อมูลทุกหน่วยประชากร (เป็นการหา Population Harmonic Mean)

ค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิคของประชากร

$$H = \frac{1}{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{1}{X_i}} = \frac{N}{\sum_{i=1}^{N}\frac{1}{X_i}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กรณีทราบค่าข้อมูลบางหน่วยในประชากร (เป็นการหา Sample Harmonic Mean)

ค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิคของตัวอย่าง

$$H = \frac{1}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{X_i}} = \frac{n}{\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{X_i}}$$

รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square)

รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของข้อมูลชุดหนึ่งๆ เขียนเป็นสัญลักษณ์แทนด้วย $\sqrt{\overline{X}^2}$ นิยามได้ดังนี้

$$R.M.S. = \sqrt{\overline{X}^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}X_i^2}{n}}$$

ค่าเฉลี่ยตัวอย่างแบบทำให้เรียบ (Trimmed Sample Mean)

หาได้โดยการตัดค่าสังเกตที่มีค่าน้อยกว่าควอไทล์ที่ 1 (Q_1) และค่าสังเกตที่มีค่ามากกว่าควอไทล์ที่ 3 (Q_3) ทิ้งไป แล้วคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตที่เหลือ

ค่าเฉลี่ยตัวอย่างแบบวินโสไรซน์ (Winsorized Sample Mean)

หาได้โดยการแทนค่าสังเกตทุกค่าที่มีค่าน้อยกว่าควอไทล์ที่ 1 (Q_1) ด้วยค่าของควอไทล์ที่ 1 และแทนค่าสังเกตทุกค่าที่มีค่ามากกว่าควอไทล์ที่ 3 (Q_3) ด้วยค่าของควอไทล์ที่ 3 ส่วนค่าสังเกตอื่นๆ ที่เหลือจะไม่เปลี่ยนแปลง แล้วคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตที่ปรับค่าแล้ว

ข้อดีของค่าเฉลี่ยเลขคณิต

- มีความสะดวกในการคำนวณ
- ง่ายแก่การเข้าใจ เชื่อถือได้
- นิยมใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตในการเปรียบเทียบข้อมูลเชิงปริมาณหลายๆ ชุด
- มีได้ค่าเดียวสำหรับข้อมูลชุดหนึ่งๆ

ข้อเสียของค่าเฉลี่ยเลขคณิต

- ใช้กับข้อมูลเชิงปริมาณเท่านั้น
- ถ้าข้อมูลมีค่าผิดปกติ นั่นคือ ข้อมูลมีค่าที่สูงเกินไป หรือค่าต่ำเกินไป ค่าเฉลี่ยจะไม่ใช่ค่ากลางที่ดี
- ถ้าการแจกแจงความถี่ของข้อมูลเป็นอันตรภาคชั้นเปิด ซึ่งอาจจะเป็นชั้นต่ำสุดหรือชั้นสูงสุดชั้นใดชั้นหนึ่งหรือทั้งสองชั้น จะไม่สามารถหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต

2.5.6 การแบ่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแบ่งข้อมูล (Partition Value) คือการจำแนกข้อมูลออกเป็นกลุ่มๆ ละเท่าๆ กัน หลังจากเรียงลำดับคะแนนในกลุ่มจากน้อยไปหามาก หรือจากมากไปหาน้อย

การแบ่งข้อมูลกระทำได้ 3 วิธี คือ

1. ควอไทล์ (Quartile)
2. เดไซล์ (Decile)
3. เปอร์เซนต์ไทล์ (Percentile)

โดยในปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการแบ่งข้อมูลแบบควอไทล์เท่านั้น

ควอไทล์ (Quartile)

เป็นการแบ่งข้อมูลออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆ กัน ส่วนละ 25% หรือ ¼ ของข้อมูลทั้งหมด $\left(\frac{n}{4}\right)$ จำนวน 3 ค่า คือ Q_1, Q_2, Q_3

ค่าควอไทล์ล่างหรือค่า Q_1 หรือ Q_L คือค่าของข้อมูลที่มีจำนานข้อมูลที่น้อยกว่าค่า Q_1 อยู่ 25 % หรือมีจำนวนข้อมูลที่มากกว่าค่า Q_1 อยู่ 75%

ค่าควอไทล์กลางหรือค่ามัธยฐานหรือค่า Q_2 หรือ Q_M คือค่าของข้อมูลที่แบ่งข้อมูลเป็น 2 ส่วน เท่าๆ กัน คือมีจำนวนข้อมูลที่น้อยกว่าค่า Q_2 อยู่ 50% และมีจำนวนข้อมูลที่มากกว่าค่า Q_2 อยู่ 50%

ค่าควอไทล์บนหรือค่า Q_3 หรือ Q_U คือค่าของข้อมูลที่มีจำนวนข้อมูลน้อยกว่าค่า Q_3 อยู่ 75% หรือมีจำนวนข้อมูลที่มากกว่าค่า Q_3 อยู่ 25%

การหาควอไทล์

1. เรียงลำดับข้อมูลทั้งหมดจากน้อยไปหามาก
2. หาค่า $Q_1 = \frac{n+1}{4}$ ถ้าผลลัพธ์เป็นเลขไม่ลงตัวให้เป็นเลขจำนวนเต็มที่มีค่าใกล้เคียงมากที่สุด (ถ้าผลลัพธ์เป็น 0.5 ให้ปัดขึ้น)

$Q_2 = \frac{n+1}{2}$ ถ้าผลลัพธ์เป็นเลขไม่ลงตัว ให้ปัดเป็นเลขจำนวนเต็มที่มีค่าใกล้เคียงมากที่สุด (ถ้าผลลัพธ์เป็น 0.5 ให้นำค่าที่อยู่ระหว่าง Q_2 มาบวกกันแล้วหารด้วย 2)

$Q_3 = \frac{3(n+1)}{4}$ ถ้าผลลัพธ์เป็นเลขไม่ลงตัว ให้ปัดเป็นเลขจำนวนเต็มที่มีค่าใกล้เคียงมากที่สุด (ถ้าผลลัพธ์เป็น 0.5 ให้ปัดลง)

2.5.7 การวัดการกระจาย

การวัดการกระจาย (Measure of Variation) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การวัดการกระจายสัมบูรณ์ (Absolute Variation)

เป็นการวัดการกระจายของข้อมูลชุดหนึ่ง เพื่อศึกษาว่าข้อมูลชุดนั้นมีค่าใกล้เคียงกันหรือแตกต่างกันมากน้อยเพียงไร

ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย (Mean Deviation หรือ Average Deviation : M.D. หรือ A.D.)

เป็นค่าที่ใช้วัดการกระจายที่ต่างไปจากค่าเฉลี่ย หรือเป็นการวัดส่วนเบี่ยงเบนของข้อมูลแต่ละตัวจากค่าเฉลี่ยเลขคณิต ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ยจะมีค่าน้อย ถ้าข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ยจะมีค่ามาก ถ้าข้อมูลมีค่าต่างไปจากค่าเฉลี่ยมาก

การหาส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ยทำได้ 2 แบบ

1. กรณีที่ทราบค่าทุกหน่วยในประชากร (เป็นการหา Population Mean Deviation)

$$M.D. = \frac{\sum_{i=1}^{N}|X_i - \mu|}{N}$$

2. กรณีที่ทราบค่าข้อมูลบางหน่วยในประชากร

$$M.D. = \frac{\sum_{i=1}^{n}|X_i - \overline{X}|}{n}$$

ความแปรปรวน (Variance)

เป็นผลรวมของค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลแต่ละค่ากับค่าเฉลี่ยเลขคณิตยกกำลังสอง แล้วการด้วย N หรือ $n-1$

ความแปรปรวนของประชากร (Variance of Population : σ^2)

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(X_i - \mu)^2}{N}$$

โดยที่ X_i แทนค่าของข้อมูลตัวที่ i

ความแปรปรวนของตัวอย่าง (Variance of Sample : S^2)

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})^2}{n-1}$$

โดยที่ X_i แทนค่าของข้อมูลตัวที่ i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าตัวหารของความแปรปรวนของตัวอย่างเป็น $n-1$ แทนที่จะเป็น n เพื่อให้ S^2 เป็นค่าประมาณที่ไม่เอนเอียง (Unbiased Estimator) ของ σ^2

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : SD)

คือรากที่สองของความแปรปรวน โดยคิดเฉพาะรากที่สองที่เป็นค่าบวกเท่านั้น

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร (Standard Deviation of Population : σ)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(X_i-\mu)^2}{N}}$$

โดยที่ X_i แทนค่าของข้อมูลตัวที่ i

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง (Standard Deviation of Sample : S)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i-\bar{X})^2}{n-1}}$$

2. การวัดการกระจายสัมพัทธ์ (Relative Variation)

เป็นการวัดการกระจายของข้อมูลแต่ละชุด แล้วปรับเพื่อให้สามารถนำไปเปรียบเทียบกับการกระจายของข้อมูลชุดอื่นๆ ได้

2.6 ชนิดของปิเปต

ปิเปตชนิดพื้นฐานที่ใช้อยู่ในห้องทดลองทุกวันนี้แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

ปิเปตแก้ว (Glass Pipettes) เป็นปิเปตที่ถูกสร้างขึ้นจากการวัดปริมาตรของชิ้นแก้วที่ถูกปรับแต่งสำหรับการเคลื่อนย้ายค่าปริมาตรของเหลวค่าหนึ่ง การวัดจะถูกระบุที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ปิเปตแก้วส่วนใหญ่ที่ถูกระบุว่า "to deliver" หมายความว่าตัวอย่างที่เหลืออยู่ต้องไม่พุ่งออกมาเมื่อหยอดสารทำปฏิกิริยา

ปิเปตที่ถูกระบุว่า "to contain" สารควรจะพุ่งออกมาเมื่อใช้กับกระเปาะปิเปตชนิดอื่น

เครื่องมือชนิดนี้ควรถูกใช้เพียงเพื่อขนย้ายสารทำปฏิกิริยาไปสู่สารตัวอย่าง ไม่ค่อยใช้เพื่อการวิเคราะห์ในขวดแก้วทดลองสำหรับการเจือจาง

ปิเปตชนิดนี้โดยทั่วไปถูกสร้างจากแก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate Glass) และถูกทิ้งทุกครั้งหลังการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปิเปตชนิดใช้การกระจัดของอากาศ (Air Displacement) จะมีลูกสูบอยู่ภายในกระบอกหรือหลอดคาปิลลารี (Capillary Tube) ซึ่งเมื่อเคลื่อนลูกสูบด้วยค่าที่เหมาะสมจะทำให้ได้ปริมาตรที่ต้องการ เมื่อกดปุ่มทำงาน ลูกสูบจะไล่ปริมาตรออกไปด้วยค่าเดียวกันซึ่งถูกระบุบนไมโครมิเตอร์ เมื่อทิป (Tip) ถูกจุ่มลงไปในของเหลวแล้วปุ่มถูกปล่อย จะสร้างสุญญากาศขึ้นส่วนหนึ่งทำให้เกิดการดูดของเหลวเข้าไปในทิป เมื่อกดปุ่มอีกครั้งอากาศจะดันของเหลวออกไปจากทิป การกดปุ่มครั้งที่ 2 หรือการฉีด แล้วหยุด เป็นคุณลักษณะที่สำคัญอย่างหนึ่งของปิเปตชนิดนี้ ซึ่งในความเป็นจริงจะมีอากาศหลงเหลืออยู่ระหว่างลูกสูบกับของเหลว

ปิเปตชนิดเพิ่มการกระจัด (Positive Displacement Pipettes) ปิเปตชนิดนี้จะมีลูกสูบอยู่ในกระบอกหรือหลอดคาปิลลารี ด้วยการเคลื่อนตำแหน่งที่เหมาะสมจะทำให้ได้ปริมาตรที่กำหนด อย่างไรก็ตามปิเปตชนิดนี้ลูกสูบจะสัมผัสโดยตรงกับของเหลว ผู้ใช้ปิเปตชนิดนี้เพราะของเหลวที่ถูกปิเปตมีลักษณะเฉพาะตัวแตกต่างจากน้ำ ของเหลวมีความดันไอสูงจะระเหยภายในปิเปต และของเหลวที่มีความหนาแน่นหรือความหนืดสูงจะขยายตัวภายในปิเปต โดยการใช้ปิเปตชนิดนี้จะได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำกว่าการใช้ปิเปตชนิดใช้การกระจัดของอากาศ การใช้งานจะคล้ายคลึงกับปิเปตชนิดการกระจัดของอากาศ ยกเว้นลูกสูบจะเคลื่อนตัวไปสู่ตำแหน่งที่เหมาะสมเมื่อปริมาตรถูกกำหนด ดังนั้นเมื่อปุ่มทำงานถูกกดครั้งแรก ลูกสูบจะเคลื่อนลงมาที่ทิป เมื่อทิปจุ่มลงไปในของเหลวและปุ่มทำงานถูกปล่อย ตัวดึงจะสร้างสุญญากาศบางส่วนขึ้น เป็นเหตุทำให้ของเหลวเข้าไปสู่ในทิป สุดท้ายเมื่อปุ่มทำงานถูกกดอีกครั้ง ลูกสูบเคลื่อนที่ลงดันของเหลวออกไปจากทิป ปิเปตชนิดนี้จะไม่ถูกใช้บ่อยเพราะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายของทิป ซีล (Seal) และความไม่สะดวกในการเปลี่ยนทั้งทิปและซีล

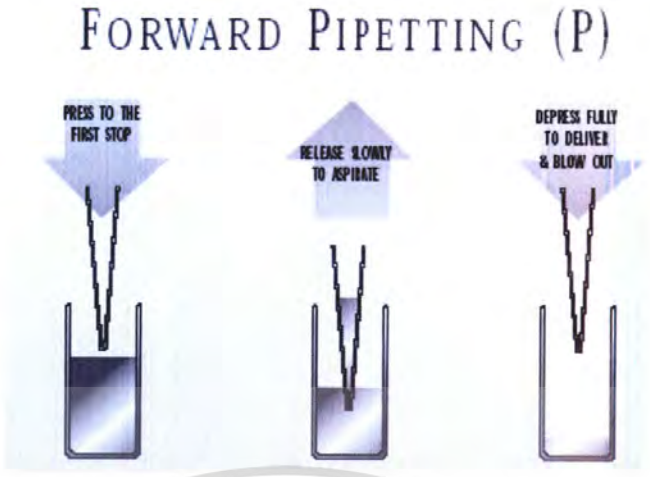
2.7. หลักการใช้งานปิเปต

หลักการใช้งานปิเปต (Pipetting Operation) มีการใช้งานกันใน 5 ลักษณะด้วยกัน

2.7.1 การปิเปตไปข้างหน้า

การปิเปตไปข้างหน้า (Forward Pipetting) การเลื่อนอย่างเต็มที่ของลูกสูบ ทำให้ของเหลวในทิปถูกปล่อยออกจนหมดเทคนิคนี้ทำให้แน่ใจได้ว่าไม่มีของเหลวเหลืออยู่ในทิปหลังจากปิเปต การแตะทิปเข้ากับด้านข้างของผนังภาชนะก็ทำให้ไม่มีของเหลวหลงเหลืออยู่ในทิปเช่นกัน เทคนิคนี้ได้ถูกนำไปใช้กับปิเปตอิเล็กทรอนิกส์และปิเปตเชิงกลดังรูปที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 การปิเปตไปข้างหน้า

2.7.2 การปิเปตย้อนกลับ

การปิเปตย้อนกลับ (Reverse Pipetting) ใช้กับของเหลวที่มีความหนืดสูง ชีววิทยาของเหลวที่มีลักษณะเป็นฟอง หรือของเหลวปริมาตรน้อยมาก เทคนิคนี้จะดูดของเหลวเกินปริมาตรที่ต้องการ หลังจากใช้งานแล้วของเหลวที่เหลือสามารถนำกลับใส่ภาชนะหรือทิ้งไปก่อนการถอดทิป เทคนิคนี้ได้ถูกนำไปใช้กับปิเปตอิเล็กทรอนิกส์และปิเปตเชิงกลดังรูปที่ 2.16

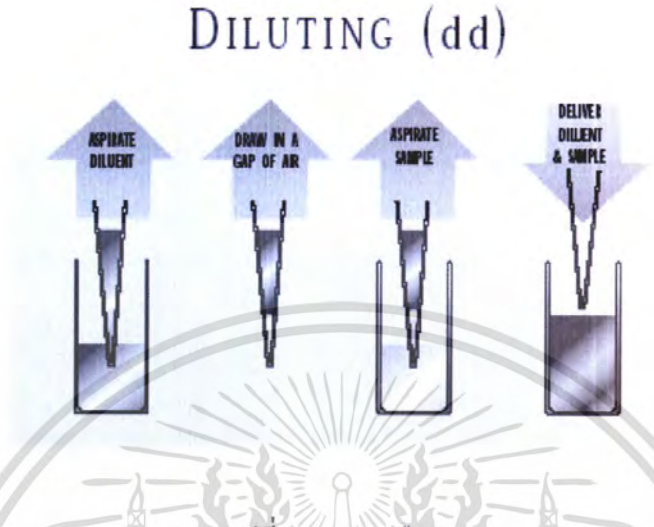
รูปที่ 2.16 การปิเปตย้อนกลับ

2.7.3 การเจือจาง (Diluting)

การเจือจาง (Diluting) เป็นการหยอดของเหลวสองชนิดในปริมาตรที่ต่างกันพร้อมๆ กัน โดยทั่วไปใช้กับปิเปตอิเล็กทรอนิกส์ เทคนิคนี้จะเพิ่มปริมาณงานที่ทำได้และลดความอ่อนล้า เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

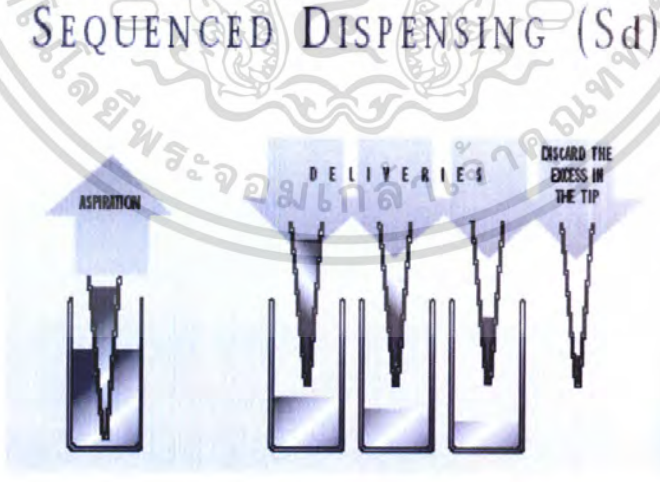
ต้องปฏิบัติการกับของเหลวปริมาณมากหรือใช้ปิเปตแบบหลายช่อง ปริมาตรที่ชุดแรกจะถูกแยกกับปริมาตรชุดที่สองด้วยช่องว่างของอากาศ ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การเจือจาง

2.7.4 การหยอดของเหลวแบบลำดับ

การหยดของเหลวแบบลำดับ (Sequenced Pipetting) เป็นการหยอดของเหลวซ้ำๆ ในปริมาตรที่ต่างกัน เป็นการลดจำนวนการสุ่มตัวอย่างจากภาชนะรวมทั้งความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของตัวอย่างและการใช้ทิป ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การหยอดของเหลวแบบลำดับลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.5 การผสมของเหลว

การผสมของเหลว (Mixing) ที่ใช้ในกระบวนการไดลูชั่น การปิเปตต้องใช้ความระมัดระวังไม่ให้ปริมาตรของเหลวที่ถูกดูดกับความดันจะทำให้เกิดฟองขึ้น ดังรูปที่ 2.19

รูปที่ 2.19 การผสมของเหลว

ข้อแนะนำในการปิเปต

- ใช้ทิปที่ถูกระบุโดยผู้ผลิต
- แน่ใจว่าอุปกรณ์ปิเปตถูกคาลิเบรทอย่างถูกต้อง
- ตรวจสอบอุปกรณ์ปิเปต ทิป และของเหลว ทั้งหมดอยู่ในอุณหภูมิเดียวกัน
- ถ้าผู้ปฏิบัติเกี่ยวข้องกับการติดเชื้อหรือกัมมันตภาพรังสี ให้แน่ใจว่าถูกปกป้องด้วยอุปกรณ์ที่เหมาะสม
- หลีกเลี่ยงไม่ให้อุปกรณ์ปิเปตสัมผัสกับสิ่งสกปรกหรือน้ำมัน
- ควรตั้งปิเปตในแนวดิ่ง การเอียงปิเปตจะทำให้ได้ปริมาตรมากกว่าที่กำหนด
- หลีกเลี่ยงการว่างปิเปตในแนวนอนขณะที่มีของเหลวในอยู่ทิป
- ขณะที่ทำการดูดของเหลว ทิปควรแช่อยู่ในของเหลว 2 -3 มิลลิเมตร
- ขณะใช้ปิเปตเชิงกล ควรดึงลูกสูบอย่างนิ่มนวลและสอดคล้องกับนิ้วหัวแม่มือโดยไม่เกิดฟองขึ้น

2.8 วงจรรวมที่ใช้งาน

โครงงานนี้ได้นำวงจรรวม (IC) มาใช้งาน เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 วงจรรวม L297

มีการทำงานหลัก 2 ส่วน คือ การสร้างลำดับการขับมอเตอร์ และควบคุมกระแสในขดลวดของมอเตอร์

การสร้างลำดับพัลส์สามารถสร้างได้ 3 รูปแบบ คือ

- แบบธรรมดา (Normal) จะเป็นการกระตุ้นขดลวด 2 เฟสพร้อมกัน
- แบบเวฟไดรฟ์ (Wave Drive) กระตุ้นขดลวด 1 เฟส
- แบบฮาล์ฟสเต็ป (Half Step) กระตุ้น 1 เฟสและ 2 เฟส สลับกัน

สัญญาณยับยั้ง (Inhibit) จะถูกสร้างในการขับแบบที่ 2 และ 3 สัญญาณนี้จะถูกต่อตรงเข้ากับขา เอนเอเบิล (Enable) ของ L298 รวมทั้งใช้ในการเร่งการคายกระแสในขดลวดของมอเตอร์เมื่อไม่ถูกกระตุ้น

วงจรออสซิเลเตอร์ในตัวชิปเป็นแหล่งพัลส์ให้ฟลิปฟลอป เมื่อกระแสในขดลวดถึงค่าที่ตั้งไว้โดยการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่ขา 13 (SENS2) หรือขา 14 (SENSE1) กับแรงดันไฟฟ้าที่ขา 15 (Vref) แล้วจึงรีเซต ฟลิปฟลอป จนกว่าถึงสัญญาณพัลส์อันต่อไป

2.8.2 วงจรรวม L298

L298 เป็นไอซีไดรฟ์เวอร์ ภายในประกอบด้วยวงจร H บริดจ์ 2 ชุด อิสระต่อกัน สามารถใช้ร่วมกันหรือแตกต่างกันก็ได้ ขึ้นกับลักษณะของอินพุต กระแสที่ไหลผ่านโหลดจะไหลผ่านบริดจ์ออกทางขาที่ 1 (SENSE A) หรือขา 15 (SENSE B) สามารถนำไปใช้เพื่อการตรวจจับกระแสได้

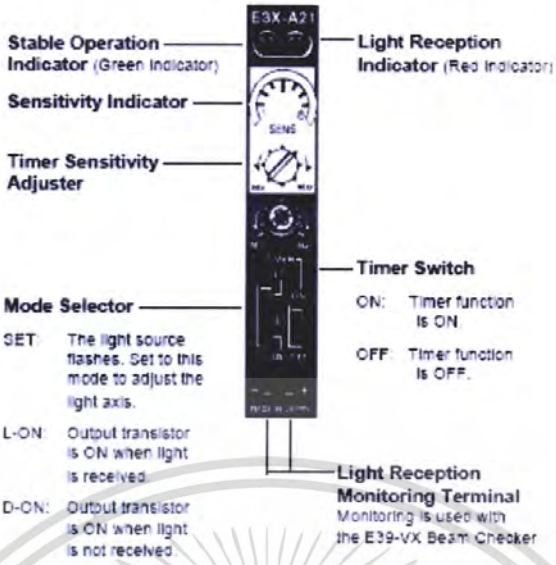
2.9 ตัวตรวจจับ

ตัวตรวจจับ (Sensor) ที่ใช้ตรวจจับระดับของเหลว คือ ไฟเบอร์ออฟติกเซนเซอร์ (Fiber-Optic Photoelectric Sensor) เบอร์ E3X-A21 ดังรูปที่ 2.20

ไฟเบอร์ออฟติกเซนเซอร์ E3X-A21 อาศัยไฟเลี้ยง 12 โวลต์ โดยหลักการทำงานจะใช้แสงส่งผ่านเส้นใยนำแสงในการตรวจจับวัตถุต่างๆ แล้วสะท้อนแสงกลับสู่ตัวรับแสง ซึ่งสามารถปรับระยะการตรวจจับได้โดยการปรับภาคขยาย (Amplifier) ไฟเบอร์ออฟติกเซนเซอร์ E3X-A21 มีสายไฟ 5 เส้น คือ ดำ น้ำเงิน น้ำตาล ส้ม ชมพู แต่การใช้งานในโครงงานนี้จะใช้เพียง 3 เส้น คือ

- ดำ คือ สัญญาณเอาท์พุต
- น้ำตาล คือ ไฟเลี้ยง 12 โวลต์
- น้ำเงิน คือ กราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



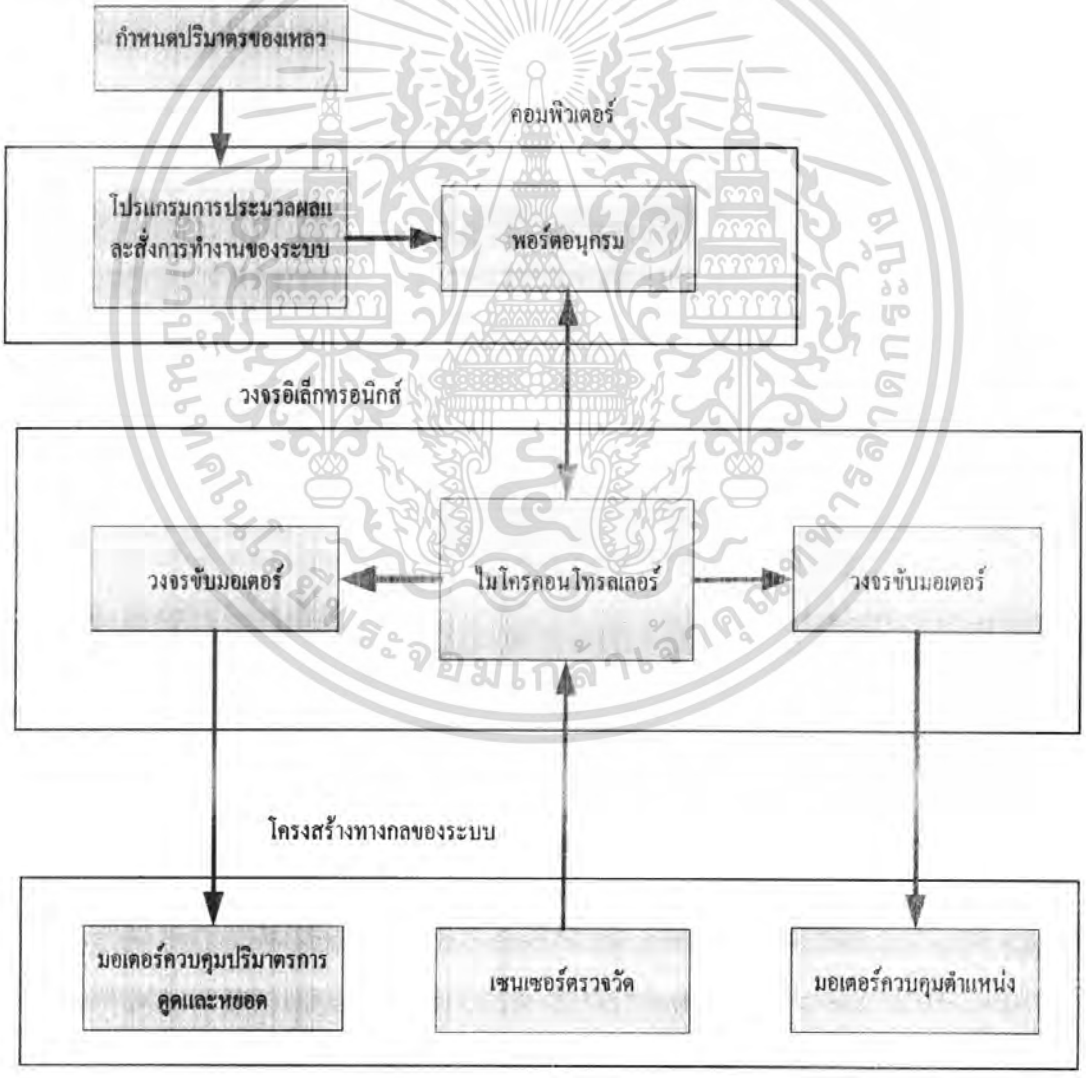
รูปที่ 2.20 ตัวตรวจจับไฟเบอร์ออฟติกเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
โครงสร้างและการออกแบบ

การออกแบบระบบควบคุมการดูดและหยอดของเหลวนั้น ในเบื้องต้นต้องเข้าใจจุดประสงค์การทำงานในภาพรวมของระบบก่อนว่ามีหลักการทำงานอย่างไร แล้วพิจารณาเป็นส่วนย่อยต่างๆ ทั้งในส่วนที่เป็นโครงสร้างทางกลของระบบ ส่วนที่เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และส่วนของโปรแกรมควบคุมการทำงาน

หลังการการทำงานโดยภาพรวมของระบบควบคุมการดูดและหยอดของเหลว สามารถแสดงดังแผนผังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังรวมของระบบควบคุมการดูดและหยอดของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าระบบควบคุมการดูดและหยอดของเหลวประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ดังนี้

- คอมพิวเตอร์ในส่วนสั่งการทำงาน
- วงจรอิเล็กทรอนิกส์
- โครงสร้างทางกลของระบบ

3.1 คอมพิวเตอร์ในส่วนสั่งการทำงาน

คอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับข้อมูลจากผู้ใช้งาน โดยที่ผู้ใช้สามารถกำหนดปริมาตรในการดูดและหยอดของเหลวด้วยการใส่ค่าต่างๆ ในโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา โดยคอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสม และส่งสัญญาณนั้นผ่านการเชื่อมต่อแบบอนุกรมไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเชื่อมต่อกับวงจรขับเพื่อไปควบคุมโครงสร้างทางกลต่อไป ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับโครงงานนี้ เลือกใช้โปรแกรมวิชวลซีพลัสพลัส (Visual C++)

รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของส่วนคอมพิวเตอร์

หลักการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.2 โดยเริ่มจากเขียนโปรแกรมการรับค่าข้อมูลจากผู้ใช้ แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้รับนั้นไปประมวลผล ซึ่งการประมวลผลใช้สมการที่ได้จากการทดลองและคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างการหมุนของสเตปเปอร์มอเตอร์เป็นสเตปกับปริมาตรของเหลว โดยกำหนดจำนวนสเตปการหมุนของสเตปเปอร์มอเตอร์ แล้ววัดค่าปริมาตรที่ของเหลวถูกดูดขึ้นมาได้ จากนั้นนำไปคำนวณหาสมการความสัมพันธ์ด้วยวิธีวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายตามที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 ซึ่งกำหนดให้ปริมาตรเป็นตัวแปรอิสระและจำนวนสเตปการหมุนของมอเตอร์เป็นตัวแปรตาม โดยใช้โปรแกรมแมทแลป (Matlab) ช่วยในการคำนวณ

เมื่อทำการประมวลผลเป็นที่เรียบร้อย คอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณควบคุมผ่านพอร์ตอนุกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทราบว่าจะต้องส่งสัญญาณไปยังวงจรขับสเตปเปอร์มอเตอร์อย่างไรจึงจะให้ผลลัพธ์การดูดและหยอดของเหลวตามความต้องการของผู้ใช้

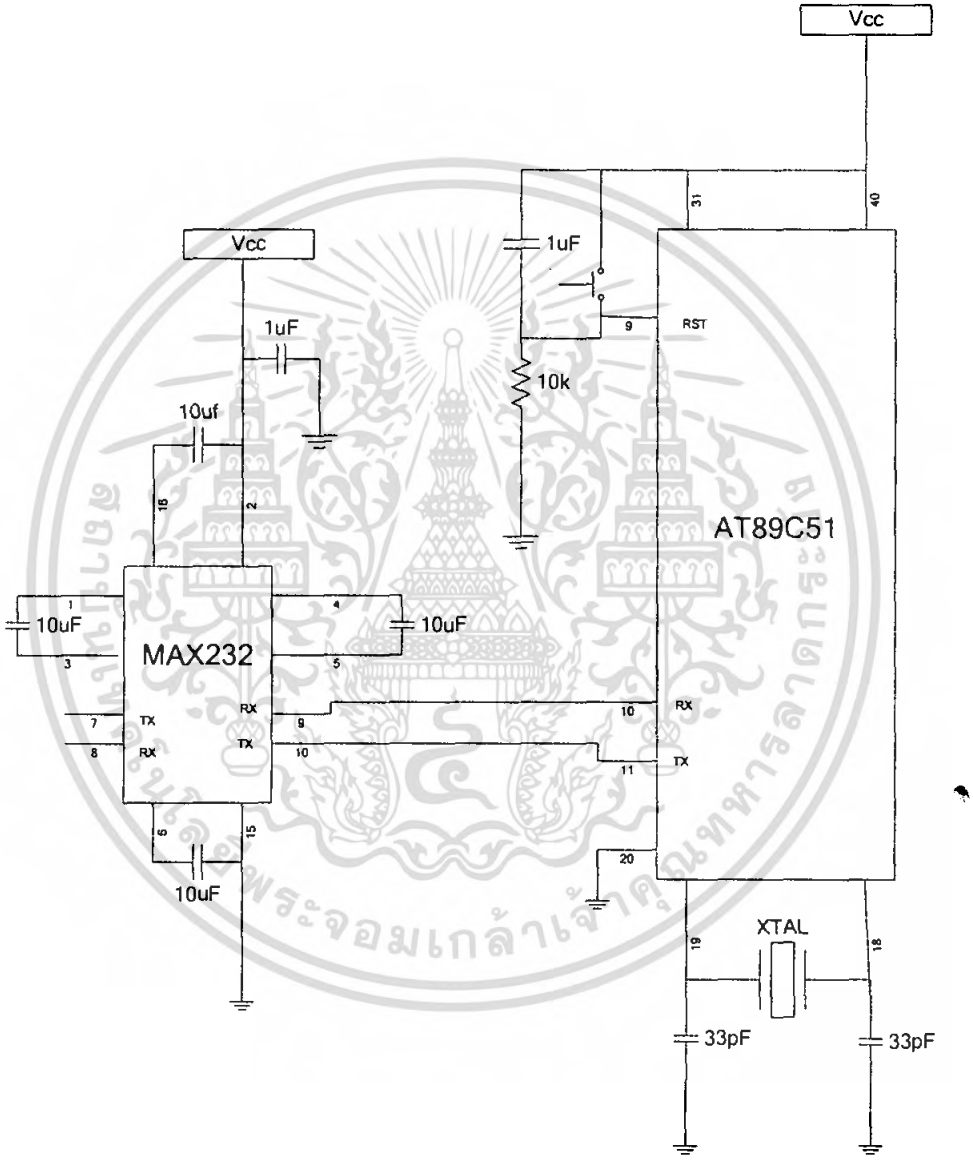
3.2 วงจรอิเล็กทรอนิกส์

ส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนที่รับสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ ซึ่งแบ่งได้ 2 ส่วนคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และ วงจรขับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

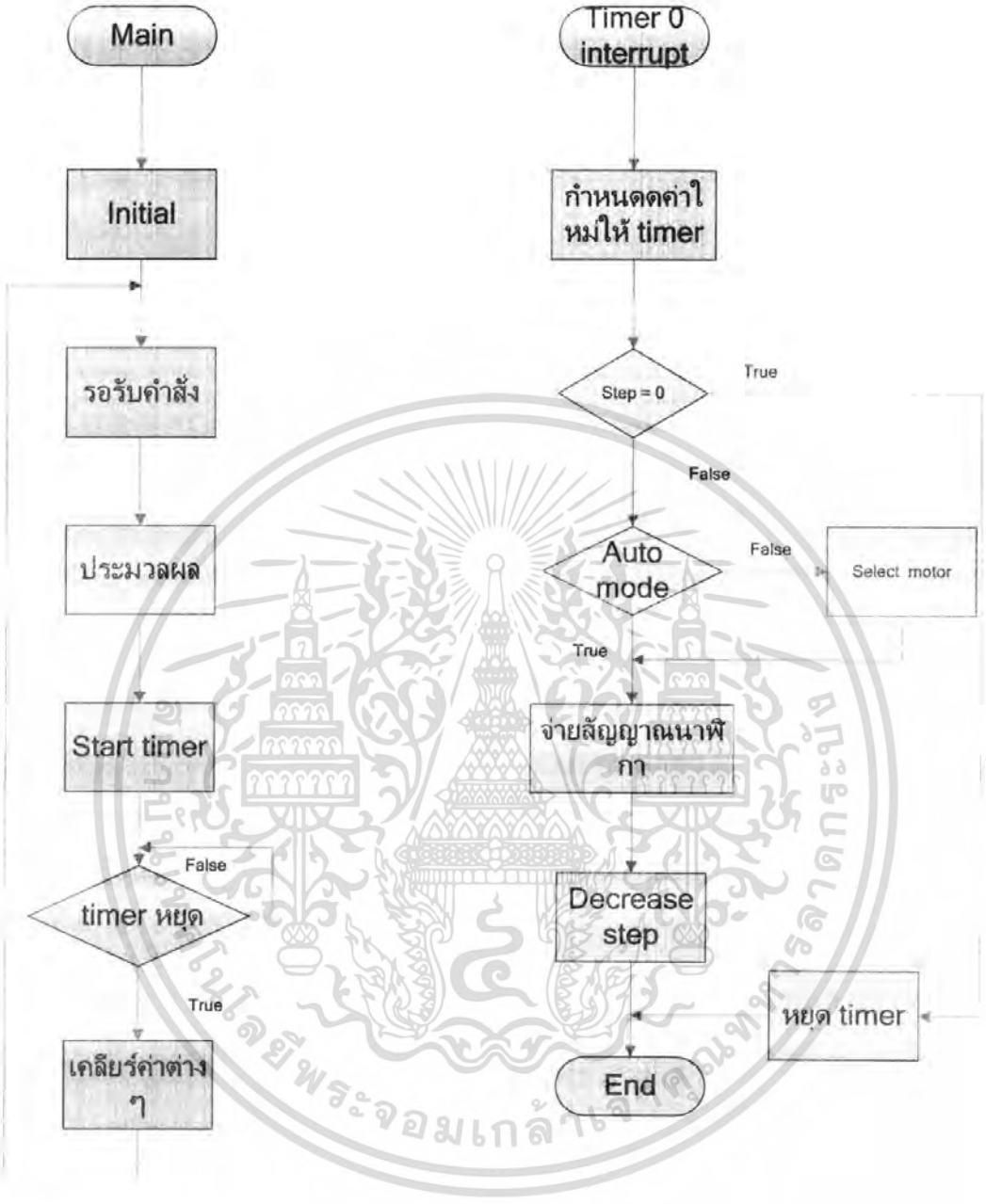
ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวรับสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม แล้วจึงสร้างสัญญาณพัลส์ให้กับวงจรขับมอเตอร์ในจำนวนที่เหมาะสม เพื่อควบคุมปริมาตรและตำแหน่งในการดูดและหยอดของเหลว โดยวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้งานมีลักษณะดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อรับส่งสัญญาณผ่านพอร์ตอนุกรม

โปรแกรมการทำงานในไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไปตามลำดับการทำงาน ซึ่งอธิบายได้ดังโฟลว์ชาร์ตในรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 โฟลว์ชาร์ตการทำงานในไมโครคอนโทรลเลอร์

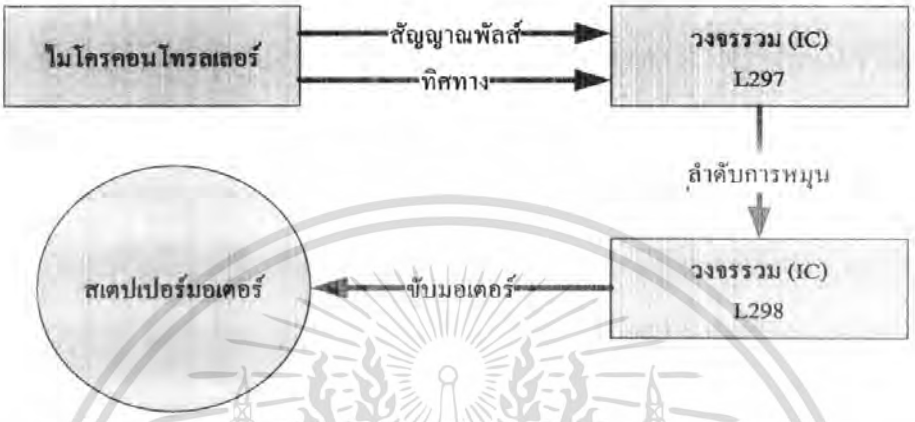
3.2.2 วงจรขับสเตปเปอร์มอเตอร์

ในส่วนของวงจรขับสเตปเปอร์มอเตอร์ จะต่อวงจรแยกเป็น 2 ชุด เพื่อใช้กับสเตปเปอร์มอเตอร์ควบคุมปริมาตรการดูดและหยอด และสเตปเปอร์มอเตอร์ควบคุมตำแหน่ง

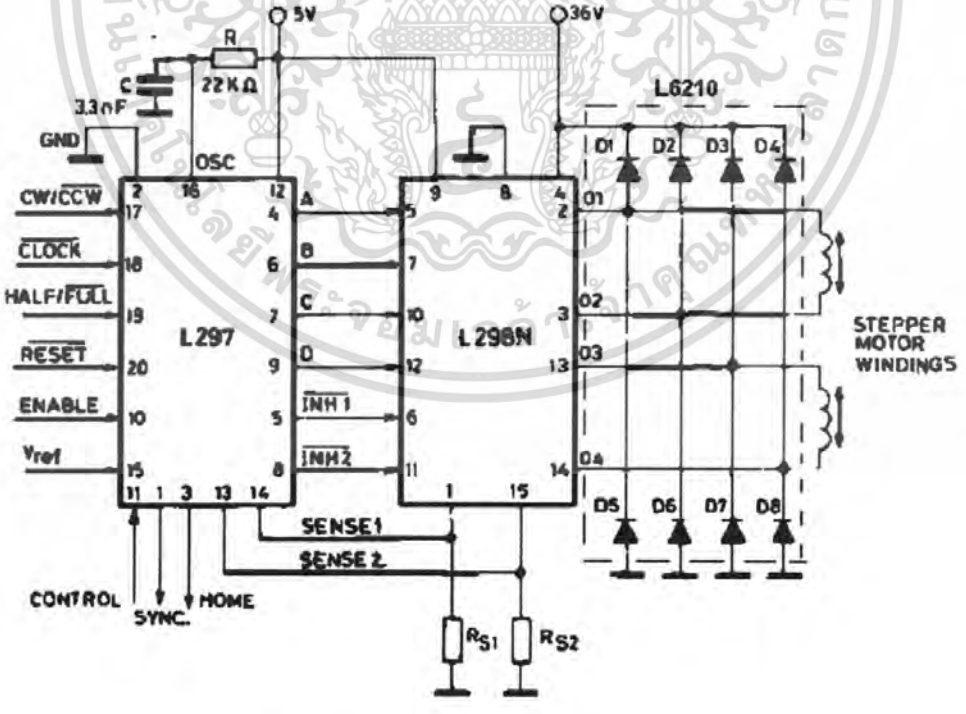
โดยในวงจรขับสเตปเปอร์มอเตอร์แต่ละตัว ได้ใช้วงจรรวมด้วยกัน 2 ตัว คือ L297 และ L298 โดยไมโครคอนโทรลเลอร์มีหน้าที่สร้างและส่งสัญญาณพัลส์และสัญญาณกำหนดทิศทางการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมุนให้กับ L297 และ L297 จะสร้างสัญญาณลำดับการหมุนของสเตปเปอร์มอเตอร์ส่งให้กับ L298 ซึ่งเป็นตัวขับกระแสให้สเตปเปอร์มอเตอร์ต่อไป ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.5 และสามารถต่อวงจรขับสเตปเปอร์มอเตอร์ได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 แผนผังการทำงานของวงจรขับสเตปเปอร์มอเตอร์



รูปที่ 3.6 วงจรขับสเตปเปอร์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 โครงสร้างทางกลของระบบ

ในการออกแบบโครงสร้างทางกลของระบบควบคุมการดูดและหยอดของเหลวนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงสองส่วน คือ ความสามารถในการปรับปริมาตร และความสามารถในการปรับตำแหน่ง ดังนั้นในการออกแบบจึงแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนหัวดูดและหยอดของเหลว และส่วนควบคุมตำแหน่งในการเคลื่อนที่

3.3.1 ส่วนหัวดูดและหยอดของเหลว

ในการออกแบบได้ใช้อุปกรณ์ 2 อย่าง คือ ชุดขับสเตปเปอร์มอเตอร์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง (Linear Guide) และ (Cylinder) มาประกอบเข้าด้วยกันดังรูปที่ 3.7 โดยตัวยึดที่ทำจาก อะคิลิก จำนวน 3 ชิ้น ซึ่งง่ายต่อการตัดโดยได้ทำการออกแบบให้มีขนาดพอเหมาะในยึดชิ้นงานทั้งสองเข้าด้วยกัน

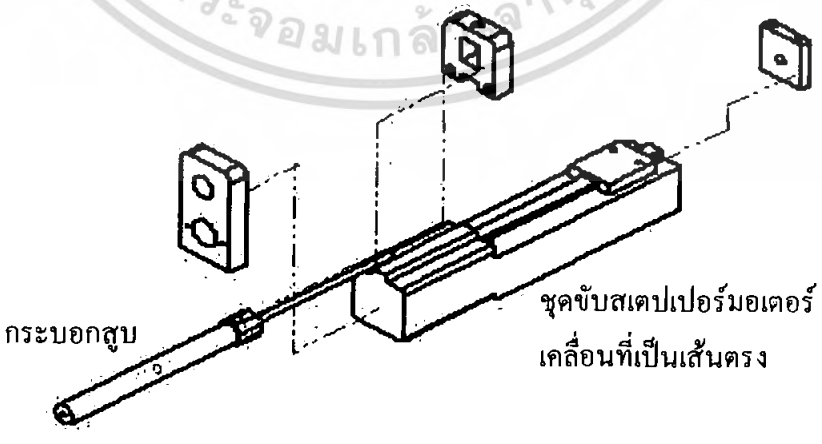
<u>รายละเอียดชุดขับมอเตอร์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง</u>

ใช้สเตปเปอร์มอเตอร์ แบบ 2 เฟส ไบโพลาร์ (Bipolar) ความละเอียด 1.8 องศา ต่อสเตป

ระยะเลื่อน (Stroke)	50	มิลลิเมตร
ความละเอียดสูงสุด	0.005	มิลลิเมตร
ระยะ Lead	2	มิลลิเมตร

<u>รายละเอียดกระบอกสูบ</u>

เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ	4	มิลลิเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบภายนอก	12	มิลลิเมตร
ระยะชัก	75	มิลลิเมตร

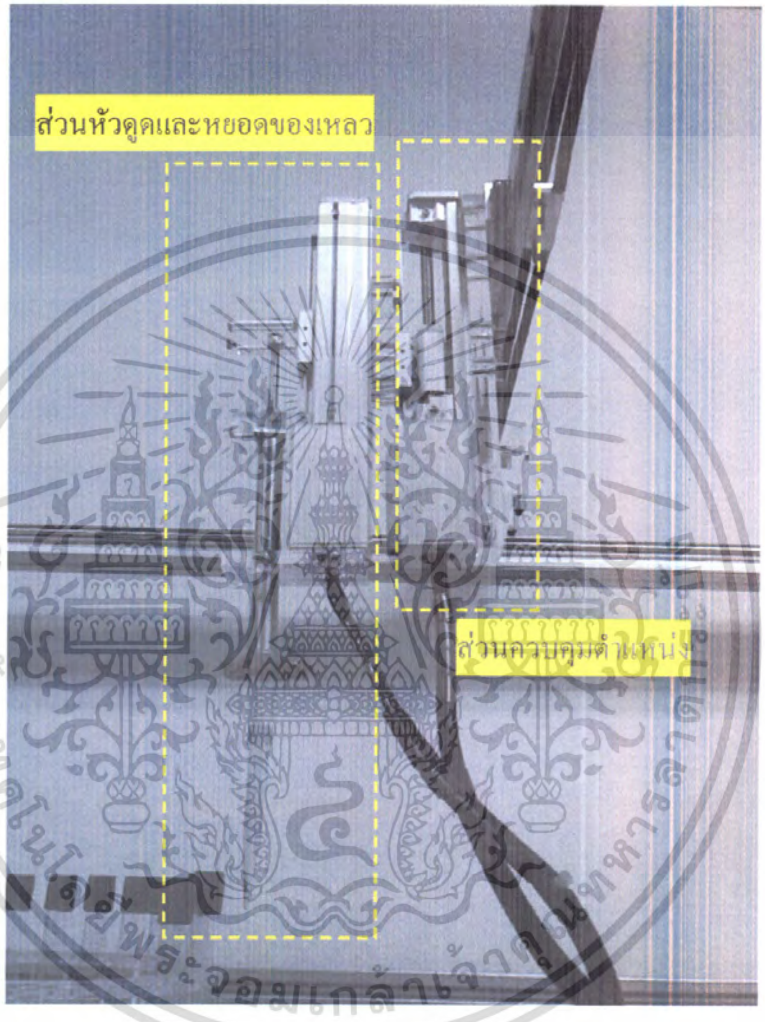


รูปที่ 3.7 การประกอบส่วนหัวดูดและหยอดของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ส่วนควบคุมตำแหน่ง

ส่วนควบคุมตำแหน่ง คือส่วนที่ทำการควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวดูดและหยอดของเหลว ในโครงงานนี้จะควบคุมตำแหน่งเฉพาะแนวแกนดิ่ง โดยการใช้ชุดขับสเตปเปอร์มอเตอร์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงอีกหนึ่งตัว ยึดติดกับส่วนหัวดูดและหยอดของเหลว ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ชุดควบคุมการดูดและหยอดของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลอง ในส่วนที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 ของระบบควบคุมการดูดและหยอดของเหลว โดยมีรายละเอียดต่างๆ ของการทดลองดังนี้

การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับจำนวนสเตปเปอร์การหมุนของมอเตอร์

เนื่องจากระบบควบคุมที่ออกแบบ เป็นการใช้สเตปเปอร์มอเตอร์ในการดึงกระบอกสูบเพื่อดูดและหยอดของเหลว อีกทั้งยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อจำนวนปริมาตรดูดและหยอดของเหลว จึงต้องทำการทดลองเพื่อหาสมการที่ใช้งานให้เป็นมาตรฐานของอุปกรณ์ และปรับแต่งโปรแกรมในการสั่งงานให้ได้ปริมาตรที่แม่นยำ

4.1 การทดลองก่อนคาลิเบรท

ในส่วนการทดลองก่อนคาลิเบรท (Calibrate) นี้ ทำโดยการสั่งงานผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้นเพื่อส่งสัญญาณให้สเตปเปอร์มอเตอร์ทำงานตามจำนวนสเตปที่ต้องการเพื่อดูดของเหลวในหลอดทดลองแล้วนำมาวัดปริมาตร และทำซ้ำผล ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรในหน่วยไมโครลิตรกับจำนวนสเตปการหมุนของสเตปเปอร์มอเตอร์

การทดลองครั้งที่	จำนวนสเตป					
	200	300	400	600	800	1000
1	90	160	270	430	550	720
2	120	200	250	400	590	740
3	130	200	290	430	570	700
4	130	200	280	430	600	750
5	130	200	280	400	590	740
6	90	200	250	430	600	750
7	130	170	270	430	570	700
8	130	200	270	430	590	740

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

การทดลองครั้งที่	จำนวนสเตป					
	200	**300**	**400**	**600**	**800**	**1000**
9	130	200	240	400	570	710
10	130	200	280	450	590	720
11	120	190	240	420	560	750
12	130	210	280	430	590	720
13	130	200	290	430	560	750
14	130	200	240	400	590	700
15	120	170	280	430	560	740
16	110	200	280	430	590	710
17	120	200	280	430	560	700
18	120	170	240	400	590	720
19	130	200	270	400	580	750
20	100	170	280	400	600	710
ค่า Q_1	120	185	250	400	567.5	710
ค่า Q_3	130	200	280	430	590	742.5
ค่าเฉลี่ย	126.875	200	272.8571	418.3333	584.5455	724.5455

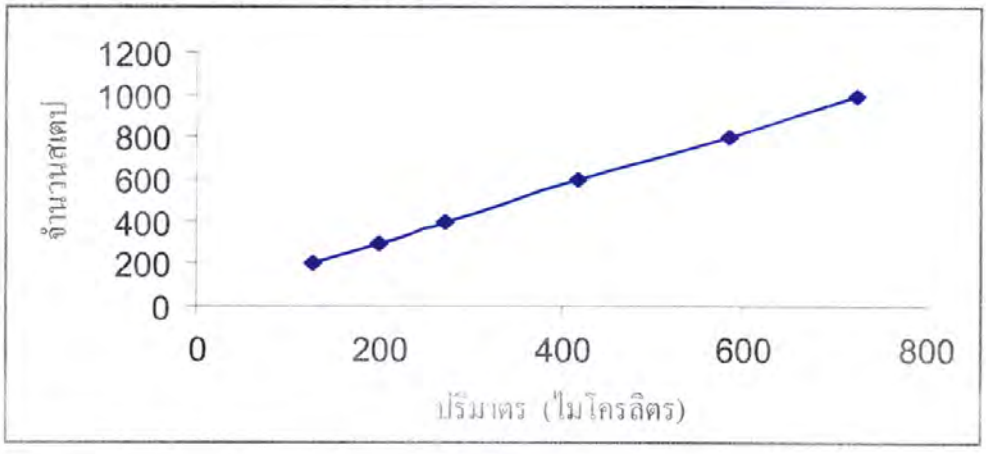
*หมายเหตุ ค่าในช่องที่แรเงาขึ้นมาที่ใช้ในการคำนวณหาสมการ

จากนั้นทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสเตปและปริมาตรได้ผลดังตารางที่ 4.2 และเมื่อนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ที่ได้ จะได้ดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับจำนวนสเตป

ปริมาตร (ไมโครลิตร)	126.875	200	272.8571	418.3333	584.5455	724.5455
จำนวนสเตป	200	300	400	600	800	1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับจำนวนสเตป

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับจำนวนสเตปนั้น สามารถอธิบายได้ด้วยสมการเส้นตรง จึงนำไปคำนวณหาสมการโดยวิธีวิเคราะห์ความความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย เพื่อนำสมการที่ได้นี้ ไปปรับแต่งในการเขียนโปรแกรม เพื่อให้ผู้ใช้สามารถสั่งงานเป็นปริมาตรที่ต้องการ แทนการสั่งงานด้วยจำนวนสเตปได้ในการใช้งานจริง

โดยในการคำนวณอาศัยโปรแกรม Matlab ช่วยในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย โดยใช้คำสั่ง polyfit

กำหนดให้ X คือ ตัวแปรเวกเตอร์ปริมาตร

Y คือ ตัวแปรเวกเตอร์จำนวนสเตป

และใช้คำสั่ง P = polyfit(X, Y, 1) เมื่อ P คือ ตัวแปรเวกเตอร์สัมประสิทธิ์ของพหุนาม

จะได้ P = [1.327 35.3063]

$$y = 1.327x + 35.3063 \quad (4.1)$$

แล้วจึงนำสมการที่ (4.1) ไปปรับแต่งโปรแกรมในคอมพิวเตอร์

4.2 การทดลองหลังคาลิเบรท

หลังจากปรับแต่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยสมการที่ (4.1) แล้ว ทำการทดลองใหม่โดยใส่ค่าคำสั่งเป็นปริมาตรของเหลวที่ต้องการให้กับโปรแกรม แล้วทำการวัดปริมาตรของเหลวที่ได้จริง บันทึกผลลงในตารางที่ 4.3

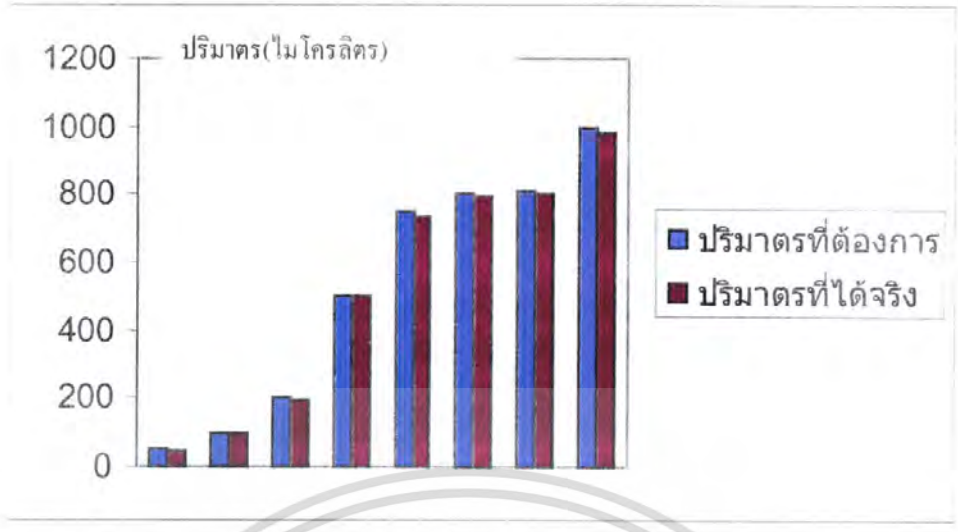
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลการทดลองหลังคาลิเบรท

การทดลองครั้งที่	คำสั่งปริมาตร (ไมโครลิตร)							
	50	**100**	**200**	**500**	**750**	**800**	**810**	**1000**
1	30	100	170	520	760	780	810	980
2	60	100	200	510	720	800	810	1000
3	60	90	200	500	730	810	820	990
4	50	100	190	490	740	800	810	990
5	50	100	200	510	740	800	800	990
6	50	100	200	510	740	790	800	980
7	50	90	200	520	730	790	810	990
8	50	100	190	500	730	800	800	980
9	50	100	170	510	730	790	810	980
10	50	90	200	480	730	790	820	990
11	50	100	200	510	730	790	820	990
12	50	100	210	510	730	790	810	980
13	50	100	200	490	730	790	800	970
14	50	100	200	520	740	800	780	990
15	20	100	180	500	740	790	790	990
16	60	80	200	500	740	780	790	990
17	40	90	160	510	740	800	790	980
18	50	100	200	490	740	800	790	980
19	50	110	190	490	730	800	800	990
20	50	100	200	520	730	810	800	990
ค่าเฉลี่ย	48.5	97.5	193	504.5	735	795	803	986
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	9.3330	6.3867	13.018	11.910	8.2717	8.2717	11.286	6.8056

จากผลการทดลอง ถึงแม้จะนำค่าที่คำนวณได้มาทำการปรับแต่งโปรแกรมแล้วก็ตามค่าที่ได้ก็ยังคงมีความผิดพลาดอยู่สามารถเปรียบเทียบให้เห็นได้ดังกราฟในรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แผนภูมิการเปรียบเทียบปริมาตร

ค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้กับอุปกรณ์ (F_{max}) ประกอบด้วยความผิดพลาดของระบบ (Systematic Error = Inaccuracy) กับความผิดพลาดเชิงสุ่ม (Random Error = Imprecision) ของตัวปิเปต ความผิดพลาดของระบบคือค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของการวัด 10 ครั้งกับค่าที่แท้จริง ค่าความผิดพลาดเชิงสุ่มคือค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัด 10 ครั้ง ในการทดสอบประสิทธิภาพค่า F (F-value) ที่คำนวณได้จะต้องไม่เกินค่าความผิดพลาดสูงสุดที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน เช่น DIN 12650

-ค่า F-value คำนวณได้ดังนี้

$$F = |A| + 2S \tag{4.2}$$

โดยที่ A คือ ค่าความผิดพลาดของระบบ

S คือ ค่าความผิดพลาดเชิงสุ่ม

$$A = \overline{V} - V_0 \tag{4.3}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(V_i - \overline{V}\right)^2}{n-1}} \tag{4.4}$$

โดยที่ $\overline{V}$ คือ ปริมาตรเฉลี่ย

V_0 คือ ปริมาตรที่กำหนด

V_i คือ ปริมาตรการวัดแต่ละครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ส่วนใหญ่ผู้ผลิตจะระบุประสิทธิภาพในรูปของความไม่เที่ยงตรง (Inaccuracy $A\%$) และความไม่แม่นยำ (Imprecision $CV\%$) ซึ่งคำนวณได้โดย

$$A\% = \frac{|A|}{V_0} \times 100\% \tag{4.5}$$

$$CV\% = \frac{s}{V_0} \times 100\% \tag{4.6}$$

ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ $(F\%)$ คำนวณโดย

$$F\% = |A\%| + 2CV\% \tag{4.7}$$

จากตารางที่ 4.3 ทำการคำนวณหาค่า F-value และ $F\%$ โดยสมการที่ (4.2) และ (4.7) ของการทดลองหลังคาลิเบรท เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่า $F_{\max}$ และ $F_{\max}\%$ มาตรฐาน DIN12650 ในตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าค่าความผิดพลาดมีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานค่อนข้างมากเนื่องจากปัจจัยหลายๆ อย่าง ดังจะกล่าวต่อไปในบทสรุป

ตารางที่ 4.4 ค่า F-value และ $F\%$ ของการทดลองหลังคาลิเบรท

ปริมาตร(µl)	50	100	200	500	750	800	810	1000
ค่าเฉลี่ย	48.5	97.5	193	504.5	735	795	803	986
ค่าเบี่ยงเบน	9.33	6.38	13.01	11.90	8.27	8.27	11.28	6.80
F-value	20.16	15.27	33.65	28.31	31.54	21.5	29.57	27.61
A%	3	2.5	3.5	0.9	2	0.62	0.86	1.4
CV%	18.66	6.38	6.50	2.38	1.10	1.03	1.39	0.68
F%	40.33	15.27	16.51	5.66	4.20	2.69	3.655	2.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่าความผิดพลาดสูงสุด มาตรฐาน DIN 12650

SINGLE CHANNEL PIPETTORS		
Nominal volume	Maximum error (F_{max})	Relative Maximum Error (F_{max} %)
1µl	±0.15µl	15.0 %
2µl	±0.20µl	10.0 %
5µl	±0.30µl	6.0 %
10µl	±0.30µl	3.0 %
20µl	±0.40µl	2.0 %
50µl	±0.80µl	1.6 %
100µl	±1.50µl	1.5 %
200µl	±2.00µl	1.0 %
500µl	±5.00µl	1.0 %
1ml	±10.0µl	1.0 %
2ml	±20.0µl	1.0 %
5ml	±50.0µl	1.0 %
10ml	±100.0µl	1.0 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองระบบควบคุมการดูดและหยอดของเหลว เมื่อทำการดูดและหยอดของเหลวสามารถทำได้จริงตามปริมาตรที่ต้องการ แต่ยังมีความคลาดเคลื่อนสูง โดยเฉพาะเมื่อต้องการทำการดูดปริมาตรที่น้อย แต่ค่าความคลาดเลื่อนจะลดลงเมื่อดูดในปริมาตรที่สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากระบบได้ถูกออกแบบด้วยสมการที่ (4.1) ทำให้การดูดปริมาตรน้อยมีความผิดพลาด ที่เป็นเช่นนั้นเพราะอุปกรณ์ในการวัดปริมาตรไม่สามารถวัดปริมาตรที่น้อยได้เที่ยงตรง จึงไม่สามารถนำมาหาสมการในช่วงการดูดปริมาตรน้อยๆ ได้ ดังนั้นสมการที่ (4.1) จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการดูดและคายปริมาตรช่วง 500 - 1000 ไมโครลิตร

5.2 บทวิจารณ์และแนวทางในการแก้ไข

จากการทดลองที่ผ่านในบทที่ 4 เมื่อเรานำค่าที่ได้จากการทดลอง มาทำการคาลิเบรท โดยใช้หลักการทางสถิติช่วยในการคำนวณสมการถดถอย เพื่อแก้ไขค่าความผิดพลาด มาช่วยทำให้เป็นมาตรฐาน โดยการปรับแต่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด แต่ผลการทดลองที่ได้ก็ยังมีความผิดพลาดอยู่ เมื่อนำมาคำนวณหาค่าความผิดพลาด ผลที่ได้ออกมาก็ยังเกินกว่ามาตรฐาน DIN 12650 อยู่ค่อนข้างมาก อาจเนื่องจากสาเหตุดังนี้

1. เครื่องมือที่ใช้การวัดปริมาตร ได้ใช้หลอดฉีดยาขนาดเล็ก 1 มิลลิลิตร ซึ่งไม่ใช่อุปกรณ์วัดที่เหมาะสม เพราะมันมีความสามารถวัดความละเอียดได้สูงสุดเพียง 10 ไมโครลิตร เท่านั้น ซึ่งยังไม่ละเอียดพอที่จะวัดในปริมาตรน้อยๆ จึงจะสังเกตเห็นว่ายิ่งปริมาตรน้อยความผิดพลาดก็ยิ่งสูงขึ้น

2. ยังต้องใช้การประมาณค่าจากสายตาของผู้ทำการวัด ซึ่งอาจไม่แม่นยำ เพราะที่บริเวณขอบของของเหลวมีแรงตึงผิวอยู่

3. สภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น ความดันอากาศ การสั่นสะเทือน การเคลื่อนที่ของอากาศ และการระเหย ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองเช่นกัน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ไม่สามารถควบคุมได้

4. การทำการคาลิเบรท จะต้องใช้หลักการของสถิติมาช่วยในการหาสมการเพื่อนำไปแก้ไขโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งการคาลิเบรทแต่ละครั้งอาจได้ผลของสมการที่ได้ไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ปัญหาที่พบ

1. ในการทำชิ้นงานยังมีการลองผิดลองถูกอยู่ต้องเปลี่ยนและออกแบบชิ้นงานอยู่หลายรอบ ทำให้เกิดความล่าช้าในการออกแบบและพัฒนา

2. วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไม่มีเสถียรภาพ ยังเกิดการสะดุด ต้องทำการแก้ไขหลายครั้ง จนสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. ตัวตรวจจับระดับของเหลวที่มีขนาดเล็กที่จะสามารถนำเข้าไปใส่ในหลอดทดลองนั้นหาซื้อได้ยากและมีราคาแพง ต้องใช้เวลาในการเลือกซื้อให้เหมาะสมกับงานที่ใช้

5.4 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อ

1. ให้ใช้เครื่องมือวัดที่มีความเหมาะสมและความละเอียดสูงๆ ให้การวัดที่ได้มาตรฐาน เป็นที่ยอมรับในห้องทดลอง เพื่อจะให้ค่าที่วัดได้จะละเอียดแม่นยำและเชื่อถือได้ยิ่งขึ้น

2. ทำการวิเคราะห์สมการถดถอยในอันดับที่สูงขึ้น จะทำให้ค่าที่ได้แม่นยำมากขึ้น

3. ทำการพัฒนาโปรแกรมให้สามารถประยุกต์ใช้งานได้มากขึ้นและการใช้งานที่สะดวกขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] มนัส สังวรศิลป์, วรรัตน์ ภัทรอมรกุล. **คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์.** กรุงเทพมหานคร : อินโฟเพรส. 2543

[2] สายชล สินสมบูรณ์ทอง. **สถิติเบื้องต้น = Elementary Statistics.** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546

[3] ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล. **MCS-51 Microcontroller Theory & Practical Approach : Atmel AT89C5x.** กรุงเทพมหานคร : บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด

[4] ยุทธนา ลีลาศวัฒนกุล. **คู่มือการเขียนโปรแกรมและใช้งาน Visual C++ .NET ฉบับสมบูรณ์.** นนทบุรี : อินโฟเพรส. 2546

[5] กรภัทร์ สุทธิคารา. **Basic & Advance Excel 2003.** พิมพ์ครั้งที่ 2. นนทบุรี : ไอดีซี. 2547

[6] Thomus W. Schultz. **C AND THE 8051 : Hardware, Modular Programming, and Multitasking.** Second Edition Volume I. : Prentice Hall. 1998

[7] ThaiIO.com. **"Visual C++ 6 เขียนโปรแกรมติดต่อผ่าน I/O Serial Port ตอนที่1."** [Online]. Available : http://thaiio.com/prog-cgi/programing.cgi?0023. 2007

[8] ONTRAK CONTROL SYSTEM. **"Sending Commands in Visual C++ (With MFC) to ADR Interfaces."** [Online]. Available : http://www.ontrak.net/mfc.htm. 2002

[9] Oriental Motor. **"Wire Connection Diagram."** [Online]. Available : http://www.orientalmotor.com/support/Unipolar_connection.htm.

[10] BIOHIT. **"THE ART OF LIQUID HANDLING."** [Online]. Available : http://www.fisher.co.uk/techzone/life/hints/TheArtofLiquidHandling.pdf

[11] Troemner. **"Pipette Standards Handbook."** [Online]. Available : http://www.troemner.com/pdf/PipetteStandardsHandbook.pdf

[12] BIOHIT. **"Reducing sources of error in pipetting."** [Online]. Available : http://www.biohit.com/upload/lh/literature/app3.pdf

[13] BIOHIT. **"Major sources of error of air displacement pipettors."** [Online]. Available : http://www.biohit.com/upload/lh/literature/app12.pdf

[14] สุธาเดช บุญฤทธิ์. **"STEPPER MOTOR."** [Online]. Available : http://www.geocities.com/sutadet/step/index.html

[15] Oriental Motor. **"Motion Control 101 - 2-Phase and 5-Phase Step Motor**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Comparison." [Online]. Available : http://www.orientalmotor.com/MotionControl101/2phase-vs-5phase-intro.htm. 2006

[16] Adisak Chinawong. **"สเตปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor)."** [Online]. Availabel : http://202.8.85.164/~adisak51/page22.html. 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

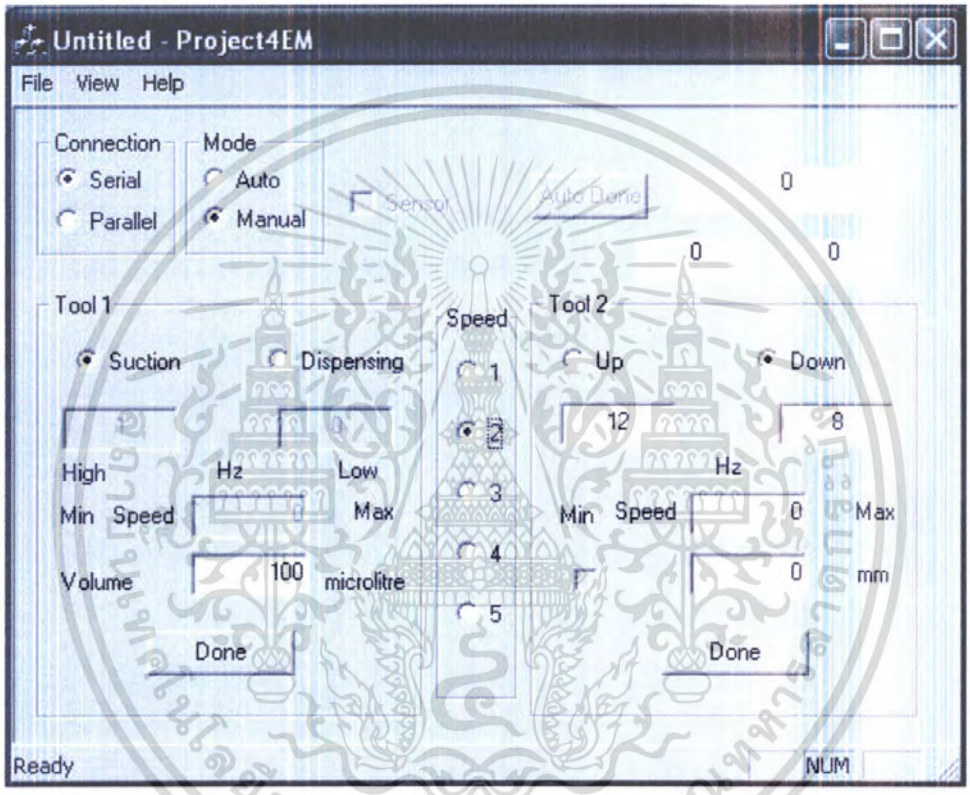
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โปรแกรมการควบคุม

โปรแกรมวิชชวลซีพลัสพลัส ซึ่งเขียนใช้ในการควบคุมการทำงาน โดยผู้ใช้งานสามารถสั่งงานผ่านโปรแกรม ซึ่งจะมีฟังก์ชันการใช้ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 โปรแกรมการควบคุมการทำงาน

ฟังก์ชันการทำงาน

การเชื่อมต่อ (Connection) สามารถเลือกการเชื่อต่อได้ทั้งพอร์ตอนุกรมและพอร์ตขนาน

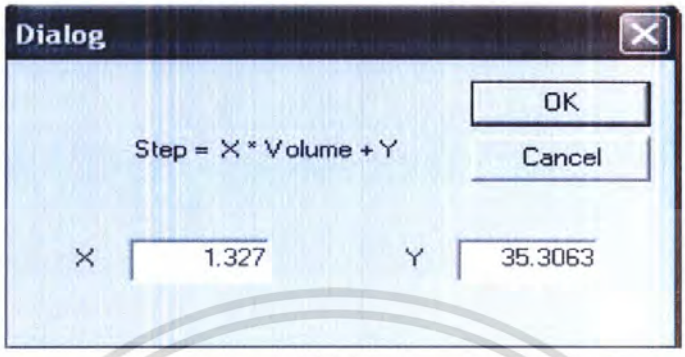
โหมด (Mode) สามารถเลือกได้ว่าจะให้ทำงานแบบแมนนวล (Manual) หรือ ทำงานอัตโนมัติ (Auto)

ทูลที่ 1 (Tool 1) เป็นส่วนในการควบคุมหัวดูดและหยอดของเหลว ซึ่งสามรถกำหนดค่าการดูด (Suction) หรือ การหยอด (Dispensing) ตรงช่องปริมาตร (Volume)

ทูลที่ 2 (Tool 2) เป็นส่วนในการควบคุมตำแหน่งการขึ้นลงของหัวดูดและหยอดของเหลวซึ่งสามารถกำหนดค่าขึ้น (up) ลง (Down)ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้สามรถคาลิเบรท ได้โดยการปรับสมการในโปรแกรมดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 หน้าต่างการคาลิเบรท

ค่าสมการได้จากการหาตามบทที่ 4

การโปรแกรมติดต่อผ่านซีเรียลพอร์ต (Visual C++)

1. กำหนดตัวแปรสำหรับเก็บ file names,data read (Buffer),file handles,ค่าของการรับ/ส่งข้อมูล

```
HANDLE hComm;          // Handle สำหรับ Com Port
DCB deb;               // Data Structure ที่เก็บค่าสำหรับติดต่อ Serial Port
char * chCommPort = "COM1"; // ในที่นี้เราใช้ Com Port 1
int valReturn;         // ใช้เก็บคืนค่ากลับในบ้างฟังก์ชั่น
char chBuffer;         // ไว้เก็บตัวอักษรในการรับและส่งข้อมูล
unsigned long nReadPort;   // ใช้เก็บคืนค่ากลับในฟังก์ชั่น ReadFile
unsigned long nWrittenPort; // ใช้เก็บคืนค่ากลับในฟังก์ชั่น WriteFile
```

2. ใช้คำสั่ง CreateFile ในการอ้างอิงไฟล์ข้อมูลขึ้นใหม่

```
hComm = CreateFile( chCommPort,
                    GENERIC_READ | GENERIC_WRITE,
                    // กำหนดแบบอ่านและเขียนไฟล์
                    0,
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    NULL,                   // ไม่กำหนดการป้องกัน
Attributes
                    OPEN_EXISTING, // เพื่อเปิดช่องติดต่อสื่อสาร
                    0,                      // ไม่ใช้ Overlapped I/O
                    NULL        // เราจะใช้ NULL สำหรับติดต่อช่องทาง
สื่อสาร
                    );

if (hComm == INVALID_HANDLE_VALUE) {
  // ตรวจสอบข้อผิดผลาดของโปรแกรม
  m_text1="การสร้างไฟล์ใหม่ผิดผลาด ";      //แสดงข้อความออกที่หน้าจอ
Edit Box
  UpdateData(FALSE);
  exit(1);
  }
// ตรวจสอบสถานะที่จะใช้ Communicate
valReturn = GetCommState(hComm, &dcb);

 if (!valReturn) {
  //แสดงข้อความออกที่หน้าจอใน Edit Box
  m_text1="การตรวจสอบสถานะ Com port ผิดผลาด ";
  UpdateData(FALSE);
  exit (2);
 }
```

3. กำหนดค่าสำหรับติดต่อกับ Seiral Port โดยใช้ Data Structure ชื่อ DCB

```
// ในส่วนนนี้จะเป็นการตั้งค่าการติดต่อกับCom Port
// DCB เป็น Structure สำหรับใช้ควบคุม การติดต่อผ่าน Serial Port

// ค่าคงที่ใน DCB ของ Baudrate
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// CBR_110 CBR_19200
// CBR_300 CBR_38400
// CBR_600 CBR_56000
// CBR_1200 CBR_57600
// CBR_2400 CBR_115200
// CBR_4800 CBR_128000
// CBR_9600 CBR_256000
// CBR_14400
// 9,600 bps เราจะใช้ ,
// 8 data bits, no parity, and 1 stop bit.

  dcb.BaudRate = CBR_9600;          // กำหนดค่า Baud Rate
  dcb.ByteSize = 8;                 // ขนาดของจำนวนข้อมูล
  dcb.Parity = NOPARITY;            // กำหนดให้ไม่มี Parity Bit //มี
รายละเอียดของค่าคงที่ดังนี้
// ค่าคงที่          รายละเอียด
// EVENPARITY       Even
// MARKPARITY       Mark
// NOPARITY         No parity
// ODDPARITY        Odd
// SPACEPARITY      Space

 dcb.StopBits = ONESTOPBIT;     // 1 Stop Bit มีรายละเอียดของค่าคงที่
//ค่าคงที่                  รายละเอียด
//ONESTOPBIT       1 Stop Bit
//ONE5STOPBITS  1.5 Stop Bits
//TWOSTOPBITS     2 Stop Bits

//กำหนดค่าในการ Communcate
valReturn = SetCommState(hCom, &dcb);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if (!valReturn) {
// เงื่อนไขตรวจสอบความผิดผลาด แสดงข้อความออกที่หน้าจอใน Edit Box
  m_text1="การตั้งค่าของ Com Port ผิดผลาด";
  exit (3);
  UpdateData(FALSE);
  }

}
```

4. ใช้คำสั่ง ReadFile และ WriteFile เพื่ออ่านหรือเขียนตัวอักษรผ่าน Serial Port

```
// รูปแบบการอ่านหรือรับข้อมูลผ่านทาง Com Port
// ในส่วนของ &ch คือตัวแปรที่หน้าที่เป็น Buffer เก็บตัวอักษร //และเลขแปด
คือจำนวนของตัวอักษรที่รับเข้ามาแต่ละครั้ง

ReadFile(hCom,&ch,8,&nReadPort,NULL);
m_text1=ch; // แสดงค่าตัวแปรที่รับข้อมูลได้
UpdateData(FALSE);

// รูปแบบการเขียนข้อมูลเพื่อส่งผ่านทาง Com Port
// ซึ่งจะนำตัวอักษรใน Edit Box ที่จะส่งออกไปเก็บไว้ในตัวแปร m_text2

UpdateData(TRUE);
WriteFile(hCom,m_text2,8,&nWrittenPort, NULL);
```

โปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ (89C51)

```
#include <AT89X52.H>
#include <stdio.h>

#define CW1     P3_4
#define CLK1    P3_3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define CW2     P3_7
#define CLK2    P3_6

#define IND2    P3_5
#define IND1    P3_2

#define SEN1    P2_0
#define SEN2    P2_2
#define ON      1

enum time_speed {
        _500us  = 461,   /*5 round / second period 1 ms*/
        _625us  = 576,   /*4 round / second period 1.25 ms*/
        _833us  = 768,  /*3 round / second period 1.66 ms*/
        _1250us= 1152, /*2 round / second period 2.5 ms*/
        _2500us = 2304, /*1 round / second period 5 ms*/
        _5000us = 4608,
        _10ms   = 9217
        } time;

enum HALF_FULL{
        Half = 400,
        Full = 200
        } h_f;

#define cmd_size 16
char data buffer[cmd_size];
bdata bit recv,trans;

unsigned char data c_step,round;
unsigned int data step;
bdata bit pulse,cw,automode,sensor;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
unsigned char data idx = 0;
char data* data motor = &buffer[1];

void clear(void);

void init_timer0(void)
{
        TMOD |= 0x01;
        time = _500us;
        TH0 = -(time) >> 8;
        TL0 = -(time) & 0xff;
        ET0 = 1;
}

void init_serial(void)
{
        SCON = 0x50;
        PCON = 0x00;
        TMOD |= 0x20;
        TH1 = 0xFD;/*9600 bps*/
        TL1 = 0xFD;
        RI = 0;recv=1;
        TI = 1;trans=1;
//      ES = 1;
        TR1 = 1;
}

void init_system(void){

        c_step = 0;
        pulse = 0;
        round = 0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        h_f = Full;

        init_timer0();
        init_serial();

        EA=1;

        sensor = 0;
        CW1 = 1;
        CW2 = 1;
        automode = 0;
        *motor = 3;

        while(SEN1 != ON || SEN2 != ON)
        {
                if(SEN1 == ON)
                        *motor = 2;
                if(SEN2 == ON)
                        *motor = 1;

                step = 1;
                TR0 = 1;
        }
        TR0 = 0;

        for(idx=0;idx<cmd_size;idx++)
                        buffer[idx]=0;
        clear();
}

void process_cmd(void)
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
sensor = (buffer[0] == 3)?1:0;
cw = (buffer[2])?1:0;

switch(buffer[1])
{
        case 1 : CW1 = cw;
                        IND1 = 0;
                        break;
        case 2 : CW2 = cw;
                        IND2 = 0;
                        break;
};

automode = (buffer[0] > 1)?1:0;

if(automode)
        CW2 = ~cw;

switch(buffer[3])
{
        case 1 : time = _2500us;
                        break;
        case 2 : time = _1250us;
                        break;
        case 3 : time = _833us;
                        break;
        case 4 : time = _625us;
                        break;
        case 5 : time = _500us;
                        break;

        default : time = _5000us;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                        break;
        };
        round = buffer[4];
        c_step = buffer[5];

        step = round * h_f + c_step;
}

void clear(void)
{
        round = c_step = step = 0;
        pulse = cw = 0;
}
void main(void){

        init_system();


        for(;;){

                TR1=1;

                for(idx=0;idx < cmd_size;idx++)
                        buffer[idx]=getchar();

                TR1=0;

                process_cmd();
                TR0=1;
                while(TR0==1)
                        ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                IND2=IND1=1;

                for(idx=0;idx<cmd_size;idx++)
                        buffer[idx]=0;
                clear();

        }
}

void timer0_isr(void) interrupt 1 using 1
{

        TH0 = -(time) >> 8;
        TL0 = -(time) & 0xff;

        if(step == 0)
        {
                TR0 = 0;
        }
        else{

                pulse = ~pulse;

                if(automode){
                        CLK1 = pulse;
                        CLK2 = !pulse;
                }else{
                /*select motor in manual mode*/
                        switch(*motor)
                        {
                        case 1 : CLK1 = pulse;break;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                case 2 : CLK2 = pulse;break;
                case 3 : CLK2 = CLK1 = pulse;break;/*init mode*/
                }/*end else*/
        }/*end select mode*/

        if(pulse == 1)
                step--;
    }
}
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SGS-THOMSON MICROELECTRONICS

L297
L297D

STEPPER MOTOR CONTROLLERS

- NORMAL/WAWE DRIVE
- HALF/FULL STEP MODES
- CLOCKWISE/ANTICLOCKWISE DIRECTION
- SWITCHMODE LOAD CURRENT REGULATION
- PROGRAMMABLE LOAD CURRENT
- FEW EXTERNAL COMPONENTS
- RESET INPUT & HOME OUTPUT
- ENABLE INPUT

DIP20

SO20

ORDERING NUMBERS : L297 (DIP20)
L297D (SO20)

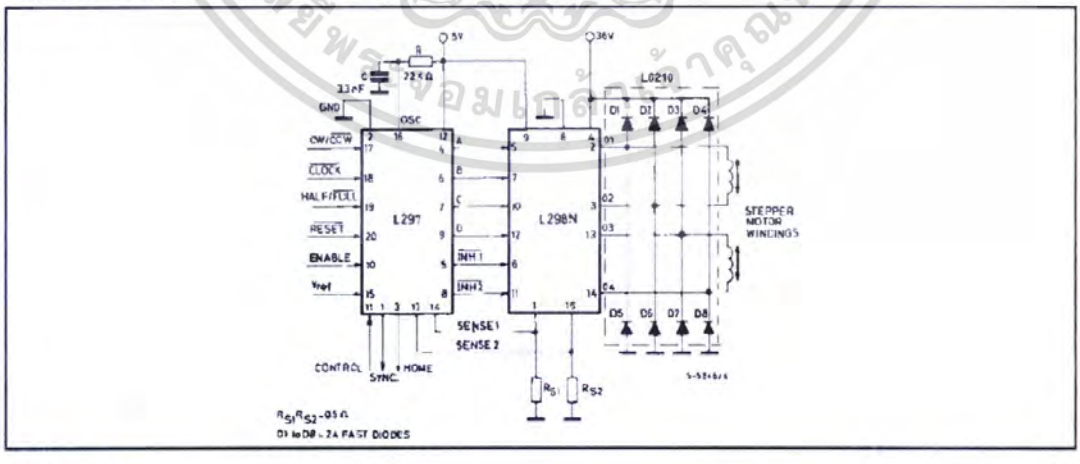
DESCRIPTION

The L297/A/D Stepper Motor Controller IC generates four phase drive signals for two phase bipolar and four phase unipolar step motors in microcomputer-controlled applications. The motor can be driven in half step, normal and wave drive modes and on-chip PWM chopper circuits permit switchmode control of the current in the windings. A feature of this device is that it requires only clock, direction and mode input signals. Since the phase are generated internally the burden on the microprocessor, and the programmer, is greatly reduced. Mounted in DIP20 and SO20 packages, the L297 can be used with monolithic bridge drives such as the L298N or L293E, or with discrete transistors and darlingtons.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

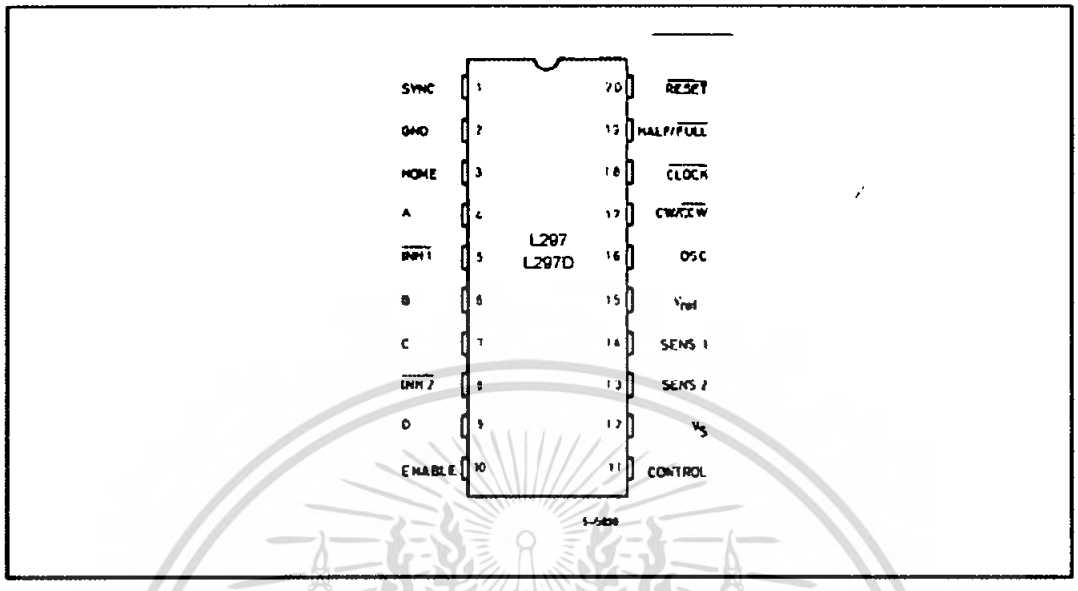
Symbol	Parameter	Value	Unit
V_s	Supply voltage	10	V
V_i	Input signals	7	V
P_{tot}	Total power dissipation (T_{amb} = 70°C)	1	W
T_{stg}, T_j	Storage and junction temperature	-40 to + 150	°C

TWO PHASE BIPOLAR STEPPER MOTOR CONTROL CIRCUIT

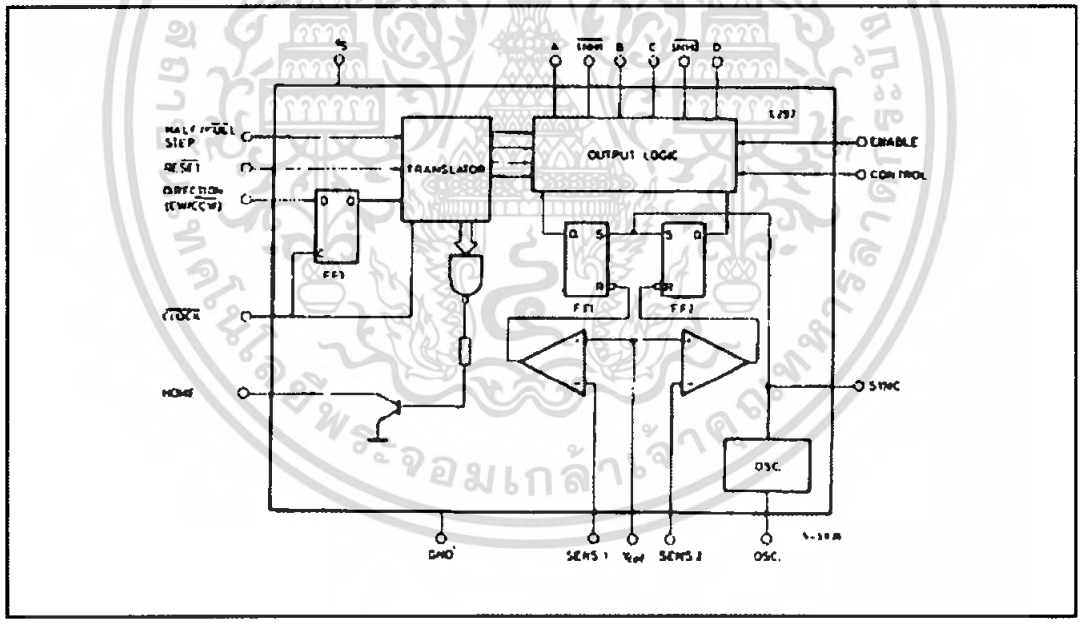


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN CONNECTION (Top view)



BLOCK DIAGRAM (L297/L297D)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN FUNCTIONS - L297/L297D

N°	NAME	FUNCTION
1	SYNC	Output of the on-chip chopper oscillator. The SYNC connections The SYNC connections of all L297s to be synchronized are connected together and the oscillator components are omitted on all but one. If an external clock source is used it is injected at this terminal.
2	GND	Ground connection.
3	HOME	Open collector output that indicates when the L297 is in its initial state (ABCD = 0101). The transistor is open when this signal is active.
4	A	Motor phase A drive signal for power stage.
5	$\overline{INH1}$	Active low inhibit control for driver stage of A and B phases. When a bipolar bridge is used this signal can be used to ensure fast decay of load current when a winding is de-energized. Also used by chopper to regulate load current if CONTROL input is low.
6	B	Motor phase B drive signal for power stage.
7	C	Motor phase C drive signal for power stage.
8	$\overline{INH2}$	Active low inhibit control for drive stages of C and D phases. Same functions as INH1.
9	D	Motor phase D drive signal for power stage.
10	ENABLE	Chip enable input. When low (inactive) INH1, INH2, A, B, C and D are brought low.
11	CONTROL	Control input that defines action of chopper. When low chopper acts on INH1 and INH2; when high chopper acts on phase lines ABCD.
12	V_s	5V supply input.
13	$SENS_2$	Input for load current sense voltage from power stages of phases C and D.
14	$SENS_1$	Input for load current sense voltage from power stages of phases A and B.
15	V_{ref}	Reference voltage for chopper circuit. A voltage applied to this pin determines the peak load current.
16	OSC	An RC network (R to V_{CC}, C to ground) connected to this terminal determines the chopper rate. This terminal is connected to ground on all but one device in synchronized multi - L297 configurations. f ≅ 1/0.69 RC
17	CW/$\overline{CCW}$	Clockwise/counterclockwise direction control input. Physical direction of motor rotation also depends on connection of windings. Synchronized internally therefore direction can be changed at any time.
18	$\overline{CLOCK}$	Step clock. An active low pulse on this input advances the motor one increment. The step occurs on the rising edge of this signal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN FUNCTIONS - L297/L297D (continued)

N°	NAME	FUNCTION
19	HALF/$\overline{\text{FULL}}$	Half/full step select input. When high selects half step operation, when low selects full step operation. One-phase-on full step mode is obtained by selecting FULL when the L297's translator is at an even-numbered state. Two-phase-on full step mode is set by selecting FULL when the translator is at an odd numbered position. (The home position is designate state 1).
20	$\overline{\text{RESET}}$	Reset input. An active low pulse on this input restores the translator to the home position (state 1, ABCD = 0101).

THERMAL DATA

Symbol	Parameter		DIP20	SO20	Unit
$R_{th\text{-}amb}$	Thermal resistance junction-ambient	max	80	100	°C/W

CIRCUIT OPERATION

The L297 is intended for use with a dual bridge driver, quad darlington array or discrete power devices in step motor driving applications. It receives step clock, direction and mode signals from the systems controller (usually a microcomputer chip) and generates control signals for the power stage.

The principal functions are a translator, which generates the motor phase sequences, and a dual PWM chopper circuit which regulates the current in the motor windings. The translator generates three different sequences, selected by the HALF/FULL input. These are normal (two phases energised), wave drive (one phase energised) and half-step (alternately one phase energised/two phases energised). Two inhibit signals are also generated by the L297 in half step and wave drive modes. These signals, which connect directly to the L298's enable inputs, are intended to speed current decay when a winding is de-energised. When the L297 is used to drive a unipolar motor the chopper acts on these lines.

An input called CONTROL determines whether the chopper will act on the phase lines ABCD or the inhibit lines INH1 and INH2. When the phase lines are chopped the non-active phase line of each pair (AB or CD) is activated (rather than interrupting the line then active). In L297 + L298 configurations this technique reduces dissipation in the load current sense resistors.

A common on-chip oscillator drives the dual chopper. It supplies pulses at the chopper rate which set the two flip-flops FF1 and FF2. When the current in a winding reaches the programmed peak value the voltage across the sense resistor (connected to one of the sense inputs $SENS_1$ or $SENS_2$) equals V_{ref} and the corresponding comparator resets its flip flop, interrupting the drive current until the next oscillator pulse arrives. The peak current for both windings is programmed by a voltage divider on the V_{ref} input.

Ground noise problems in multiple configurations can be avoided by synchronising the chopper oscillators. This is done by connecting all the SYNC pins together, mounting the oscillator RC network on one device only and grounding the OSC pin on all other devices.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

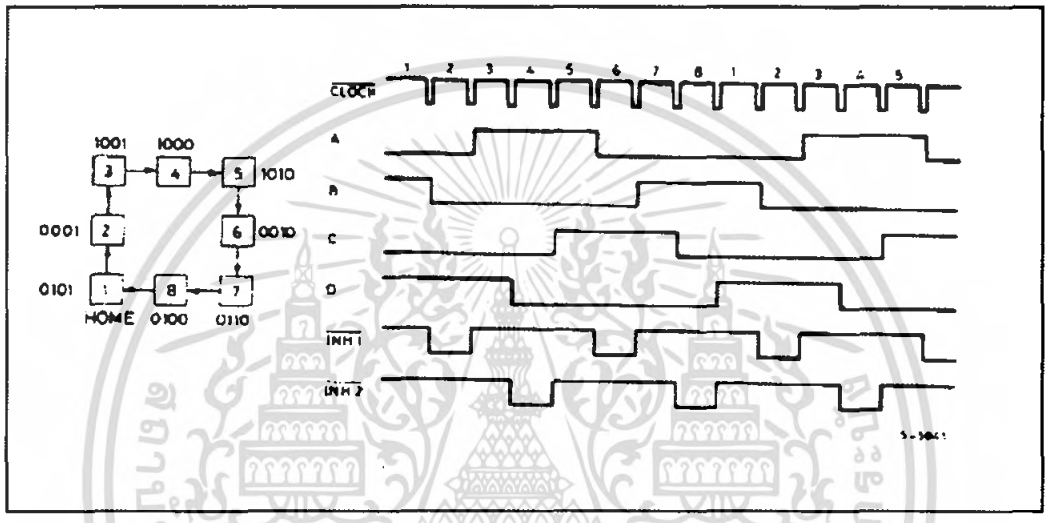
MOTOR DRIVING PHASE SEQUENCES

The L297's translator generates phase sequences for normal drive, wave drive and half step modes. The state sequences and output waveforms for these three modes are shown below. In all cases the translator advances on the low to high transistion of $\overline{CLOCK}$.

Clockwise rotation is indicate; for anticlockwise rotation the sequences are simply reversed $\overline{RESET}$ restores the translator to state 1, where ABCD = 0101.

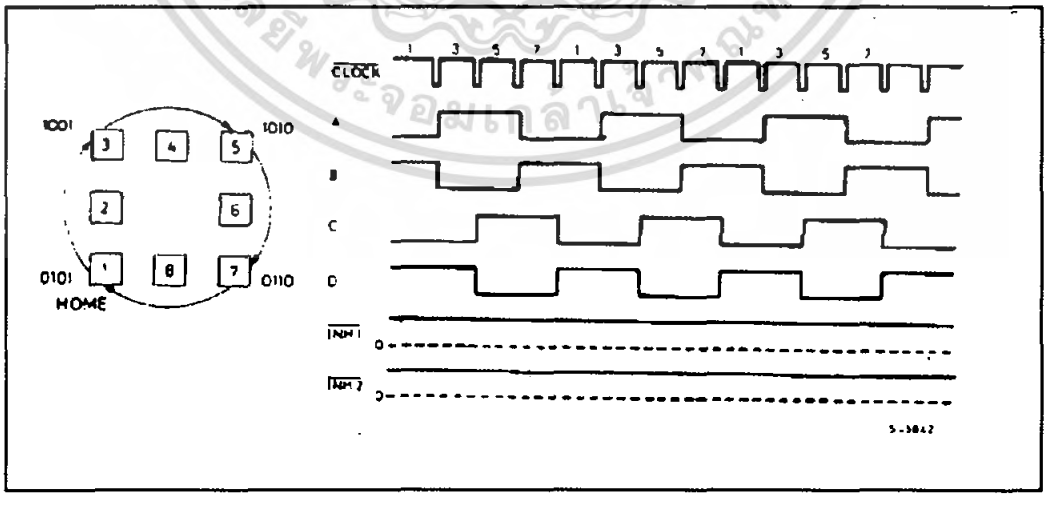
HALF STEP MODE

Half step mode is selected by a high level on the HALF/$\overline{FULL}$ input.



NORMAL DRIVE MODE

Normal drive mode (also called "two-phase-on" drive) is selected by a low level on the HALF/$\overline{FULL}$ input when the translator is at an odd numbered state (1, 3, 5 or 7). In this mode the $\overline{INH1}$ and $\overline{INH2}$ outputs remain high throughout.

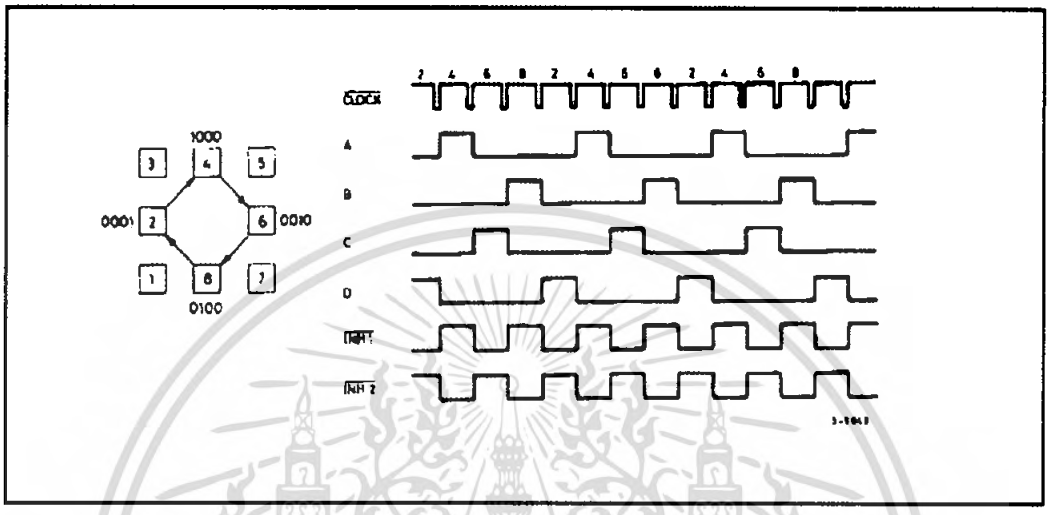


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOR DRIVING PHASE SEQUENCES (continued)

WAVE DRIVE MODE

Wave drive mode (also called "one-phase-on" drive) is selected by a low level on the HALF/$\overline{\text{FULL}}$ input when the translator is at an even numbered state (2, 4, 6 or 8).



ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Refer to the block diagram T_{amb} = 25°C, V_s = 5V unless otherwise specified)

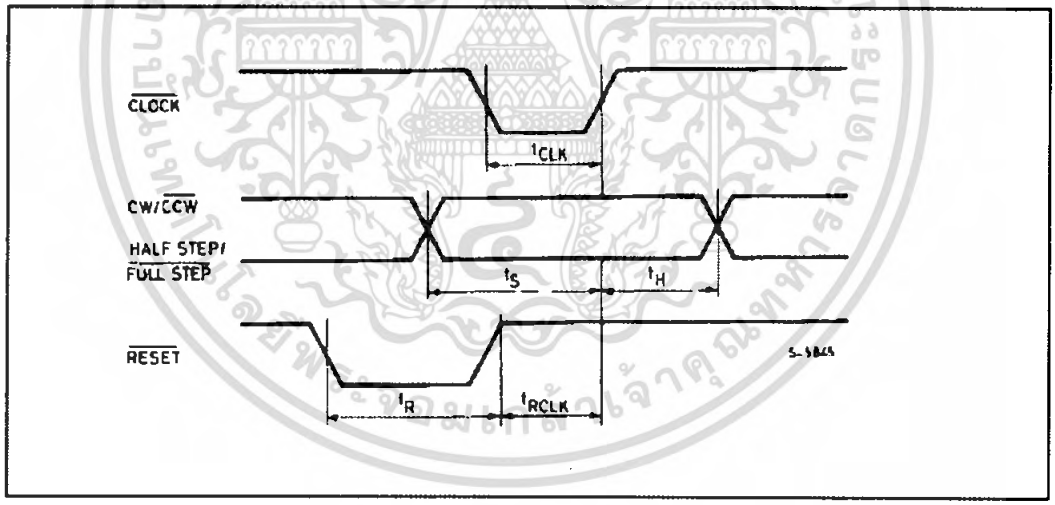
Symbol	Parameter	Test conditions		Min.	Typ	Max.	Unit
V_s	Supply voltage (pin 12)			4.75		7	V
I_s	Quiescent supply current (pin 12)	Outputs floating			50	80	mA
V_i	Input voltage (pin 11, 17, 18, 19, 20)		Low			0.6	V
			High	2		V_s	V
I_i	Input current (pin 11, 17, 18, 19, 20)		V_i = L		100	µA	
			V_i = H			10	µA
V_{en}	Enable input voltage (pin 10)		Low			1.3	V
			High	2		V_s	V
I_{en}	Enable input current (pin 10)		V_{en} = L			100	µA
			V_{en} = H			10	µA
V_o	Phase output voltage (pins 4, 6, 7, 9)	I_o = 10mA	V_{OL}			0.4	V
		I_o = 5mA	V_{OH}	3.9			V
V_{inh}	Inhibit output voltage (pins 5, 8)	I_o = 10mA	$V_{inh\ L}$			0.4	V
		I_o = 5mA	$V_{inh\ H}$	3.9			V
V_{SYNC}	Sync Output Voltage	I_o = 5mA	$V_{SYNC\ H}$	3.3			V
		I_o = 5mA	$V_{SYNC\ V}$			0.8	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ	Max.	Unit
I_{leak}	Leakage current (pin 3)	V_{CE} = 7 V			1	µA
V_{sat}	Saturation voltage (pin 3)	I = 5 mA			0.4	V
V_{off}	Comparators offset voltage (pins 13, 14, 15)	V_{ref} = 1 V			5	mV
I_b	Comparator bias current (pins 13, 14, 15)		-100		10	µA
V_{ref}	Input reference voltage (pin 15)		0		3	V
t_{CLK}	Clock time		0.5			µs
t_S	Set up time		1			µs
t_H	Hold time		4			µs
t_R	Reset time		1			µs
t_{RCLK}	Reset to clock delay		1			µs

Figure 1.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

TWO PHASE BIPOLAR STEPPER MOTOR CONTROL CIRCUIT

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

Figure 2.

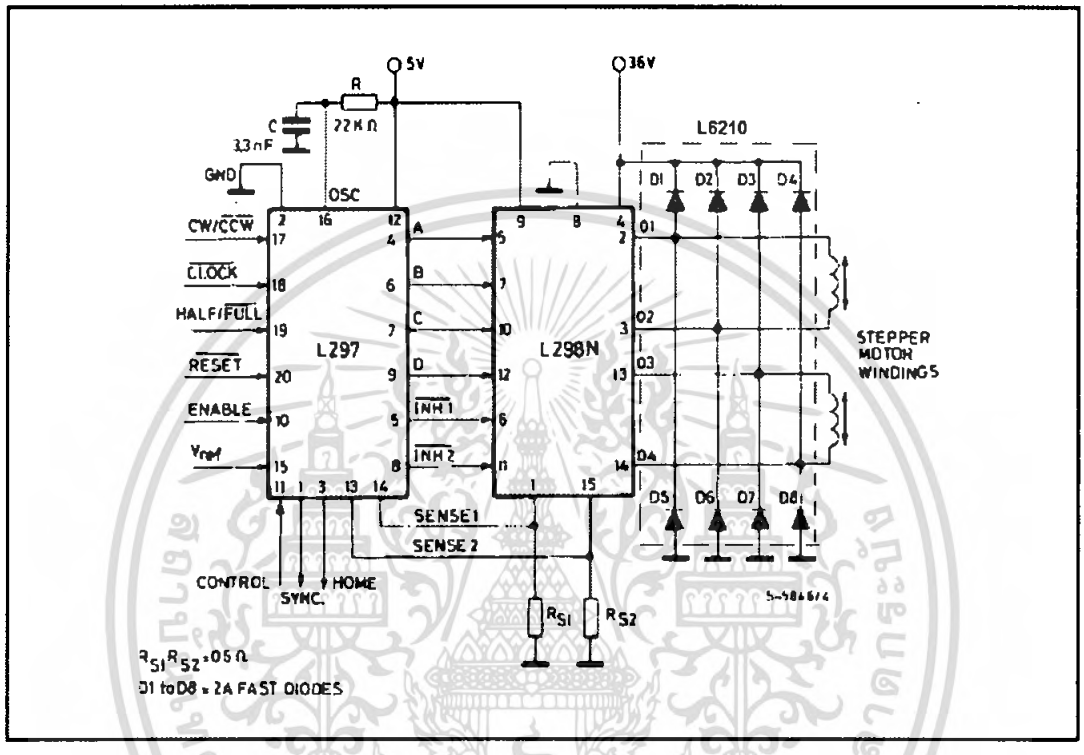
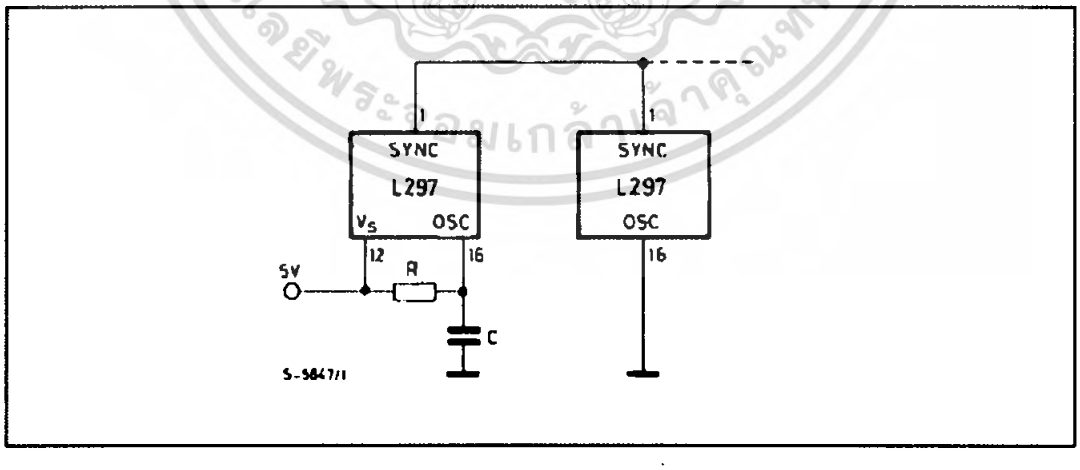


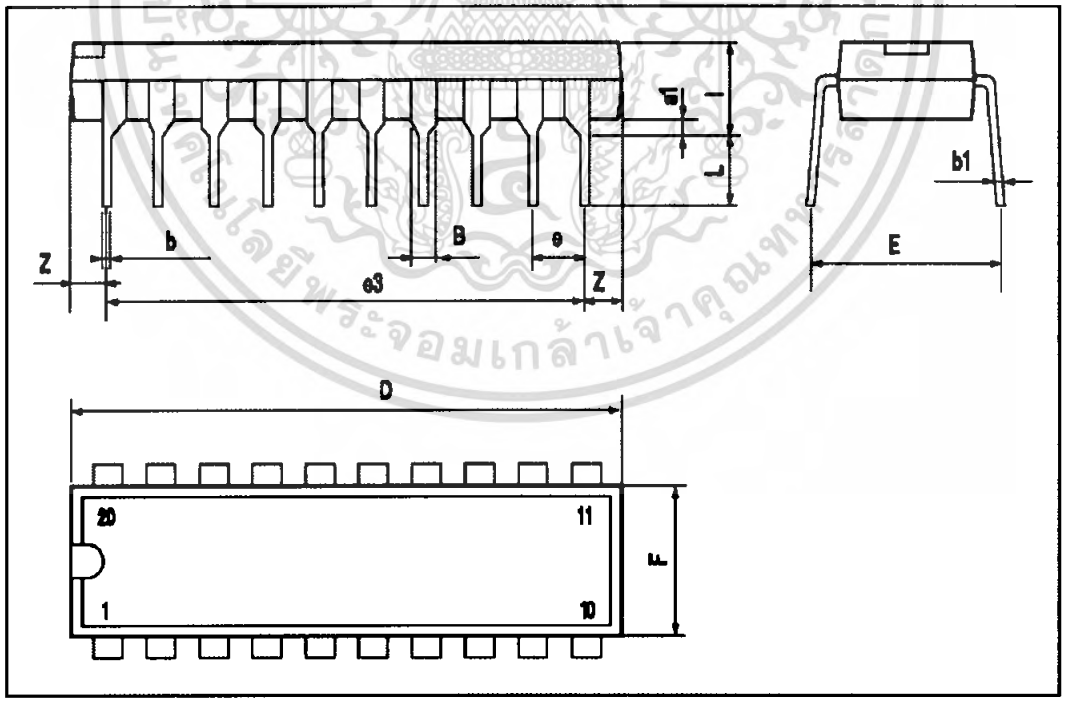
Figure 3 : Synchronising L297s



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIP20 PACKAGE MECHANICAL DATA

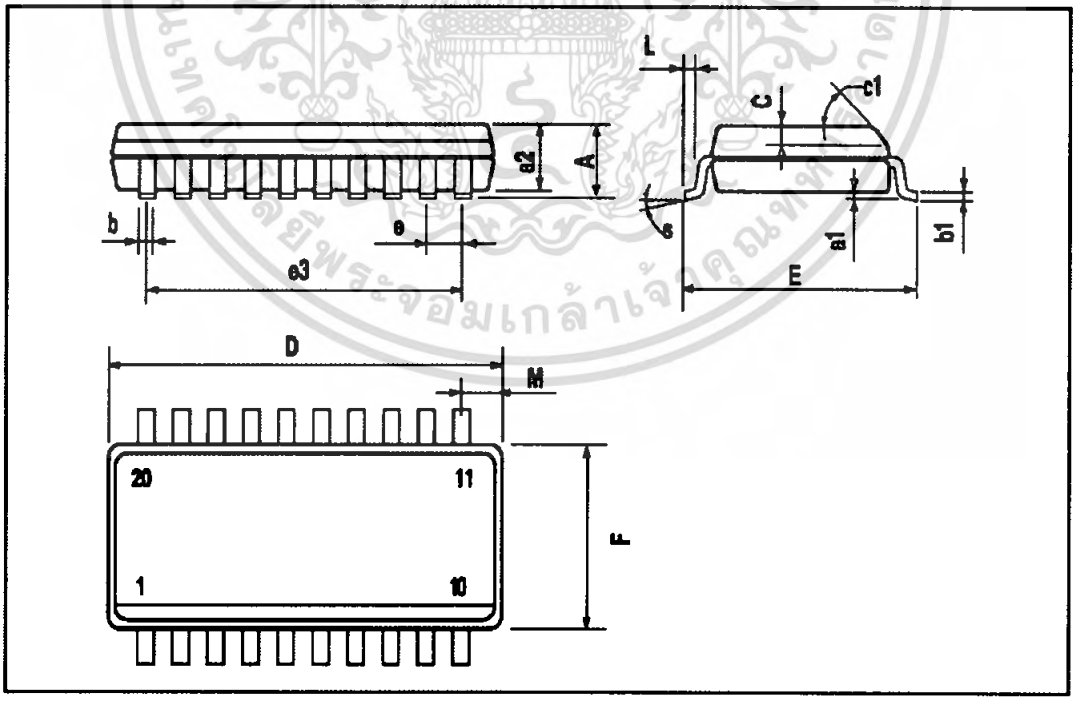
DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.254			0.010		
B	1.39		1.65	0.055		0.065
b		0.45			0.018	
b1		0.25			0.010	
D			25.4			1.000
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		22.86			0.900	
F			7.1			0.280
I			3.93			0.155
L		3.3			0.130	
Z			1.34			0.053



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SO20 PACKAGE MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			2.65			0.104
a1	0.1		0.3	0.004		0.012
a2			2.45			0.096
b	0.35		0.49	0.014		0.019
b1	0.23		0.32	0.009		0.013
C		0.5			0.020	
c1	45 (typ.)					
D	12.6		13.0	0.496		0.512
E	10		10.65	0.394		0.419
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
F	7.4		7.6	0.291		0.299
L	0.5		1.27	0.020		0.050
M			0.75			0.030
S	8 (max.)					



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, SGS-THOMSON Microelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of SGS-THOMSON Microelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. SGS-THOMSON Microelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of SGS-THOMSON Microelectronics.

© 1996 SGS-THOMSON Microelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved

SGS-THOMSON Microelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - France - Germany - Hong Kong - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Morocco - The Netherlands - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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)

Multiwatt15

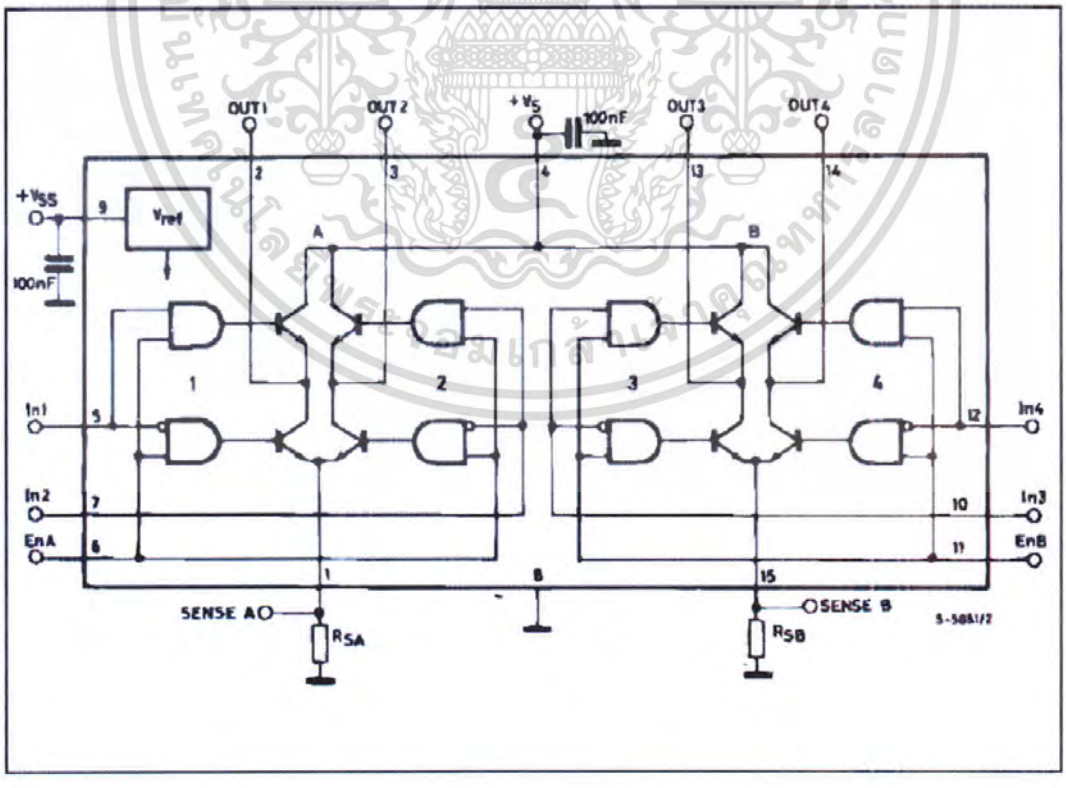
PowerSO20

ORDERING NUMBERS : L298N (Multiwatt Vert.)
L298HN (Multiwatt Horiz.)
L298P (PowerSO20)

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

BLOCK DIAGRAM

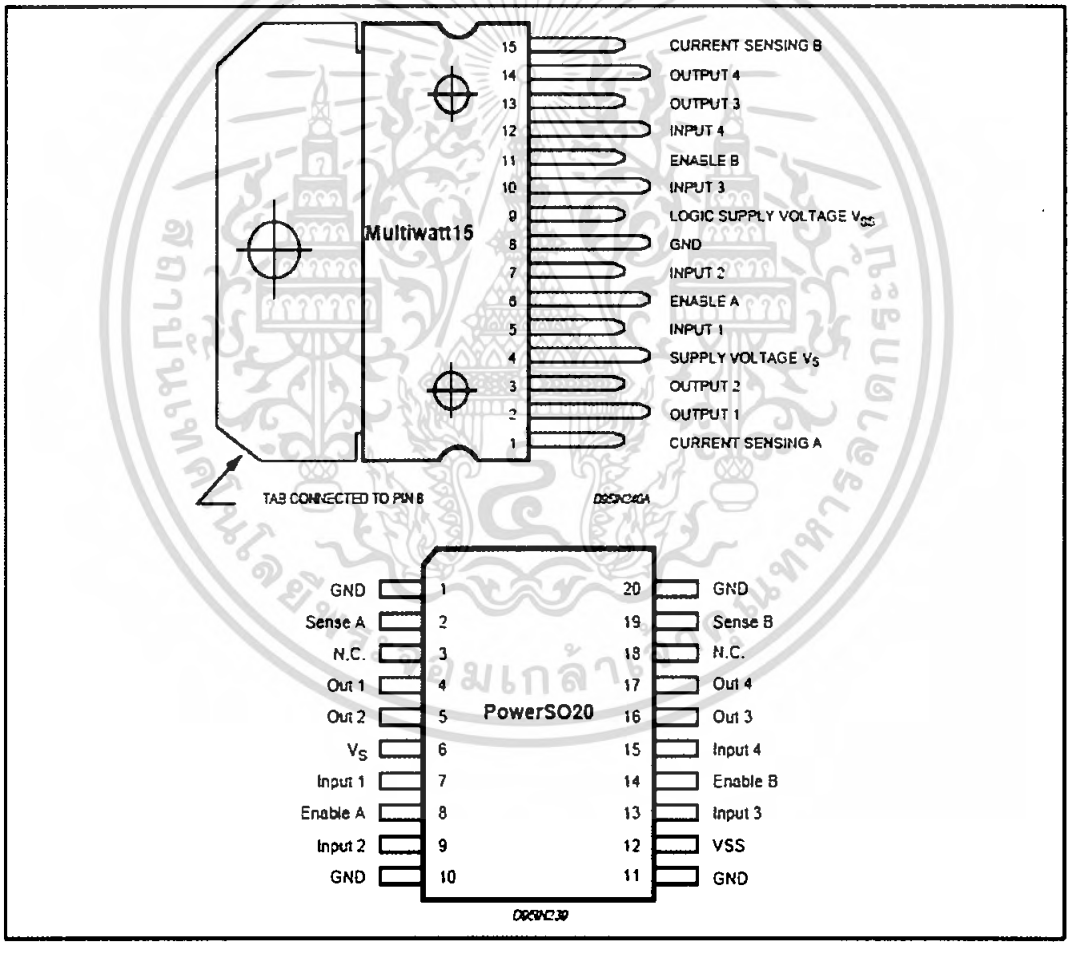


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 = 100µs) –Repetitive (80% on –20% off; t_{on} = 10ms) –DC Operation	 3 2.5 2	 A A A
V_{sens}	Sensing Voltage	–1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation (T_{case} = 75°C)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	–25 to 130	°C
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	–40 to 150	°C

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter		PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{th\ j\text{-}case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	–	3	°C/W
$R_{th\ j\text{-}amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	35	°C/W

(*) Mounted on aluminum substrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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	VSS	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF 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	V_i = L		13	22	mA
			V_i = H		50	70	mA
		V_{en} = L	V_i = X			4	mA
I_{SS}	Quiescent Current from V_{SS} (pin 9)	V_{en} = H; I_L = 0	V_i = L		24	36	mA
			V_i = H		7	12	mA
		V_{en} = L	V_i = X			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		VSS	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)	Vi = 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		0.95	1.35	1.7	V
		I_L = 2A			2	2.7	V
$V_{CEsat(L)}$	Sink Saturation Voltage	I_L = 1A (5)		0.85	1.2	1.6	V
		I_L = 2A (5)			1.7	2.3	V
V_{CEsat}	Total Drop	I_L = 1A (5)		1.80		3.2	V
		I_L = 2A (5)				4.9	V
V_{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)			–1 (1)		2	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
T_1 (V_i)	Source Current Turn-off Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (2); (4)		1.5		µs
T_2 (V_i)	Source Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (2); (4)		0.2		µs
T_3 (V_i)	Source Current Turn-on Delay	0.5 V_i to 0.1 I_L (2); (4)		2		µs
T_4 (V_i)	Source Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (2); (4)		0.7		µs
T_5 (V_i)	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (3); (4)		0.7		µs
T_6 (V_i)	Sink Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (3); (4)		0.25		µs
T_7 (V_i)	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (3); (4)		1.6		µs
T_8 (V_i)	Sink Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (3); (4)		0.2		µs
fc (V_i)	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) 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.

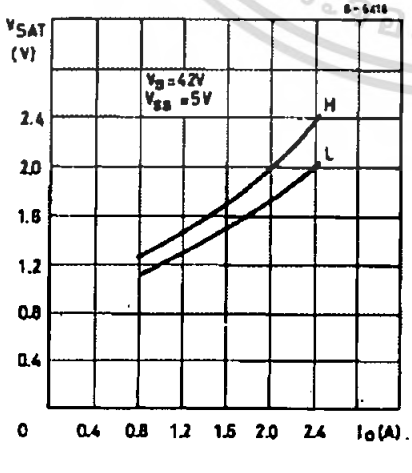
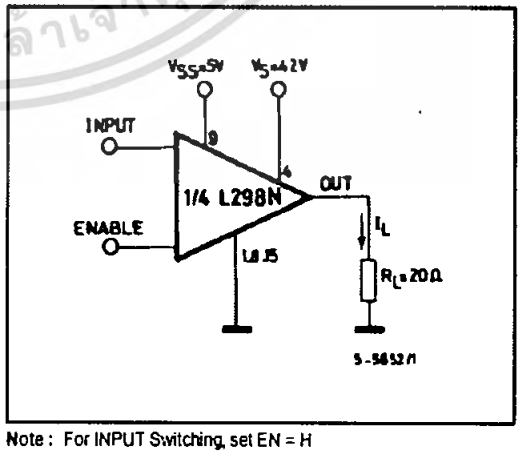


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

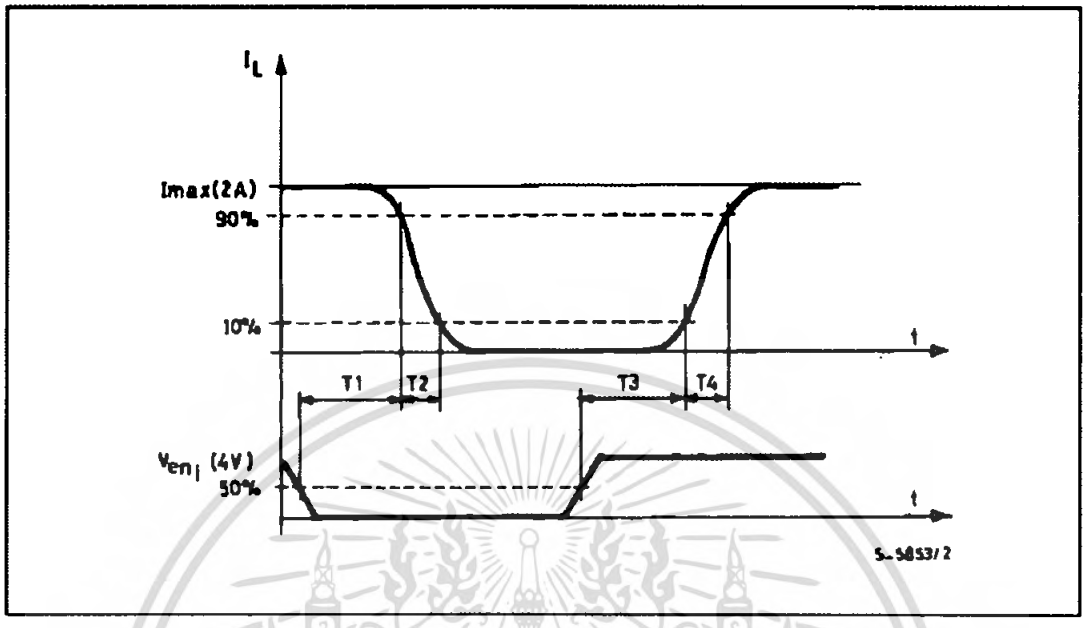
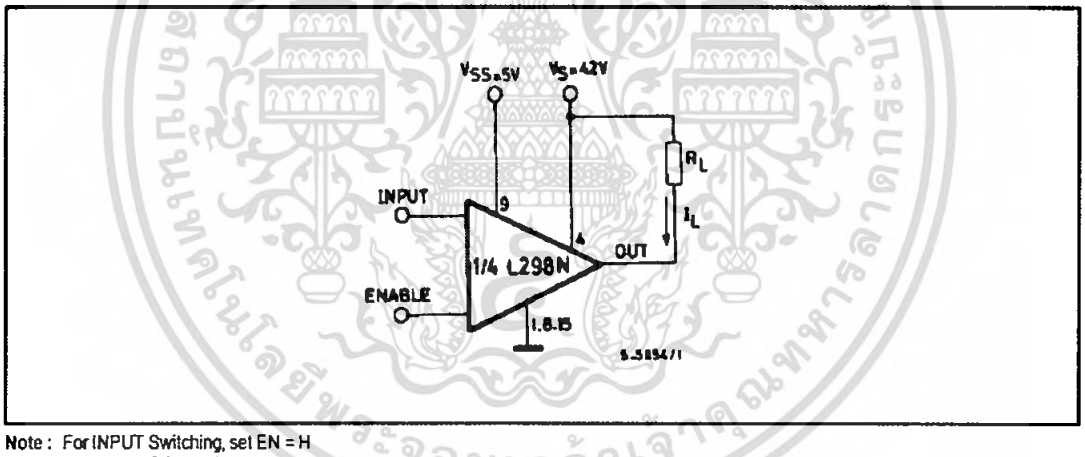


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

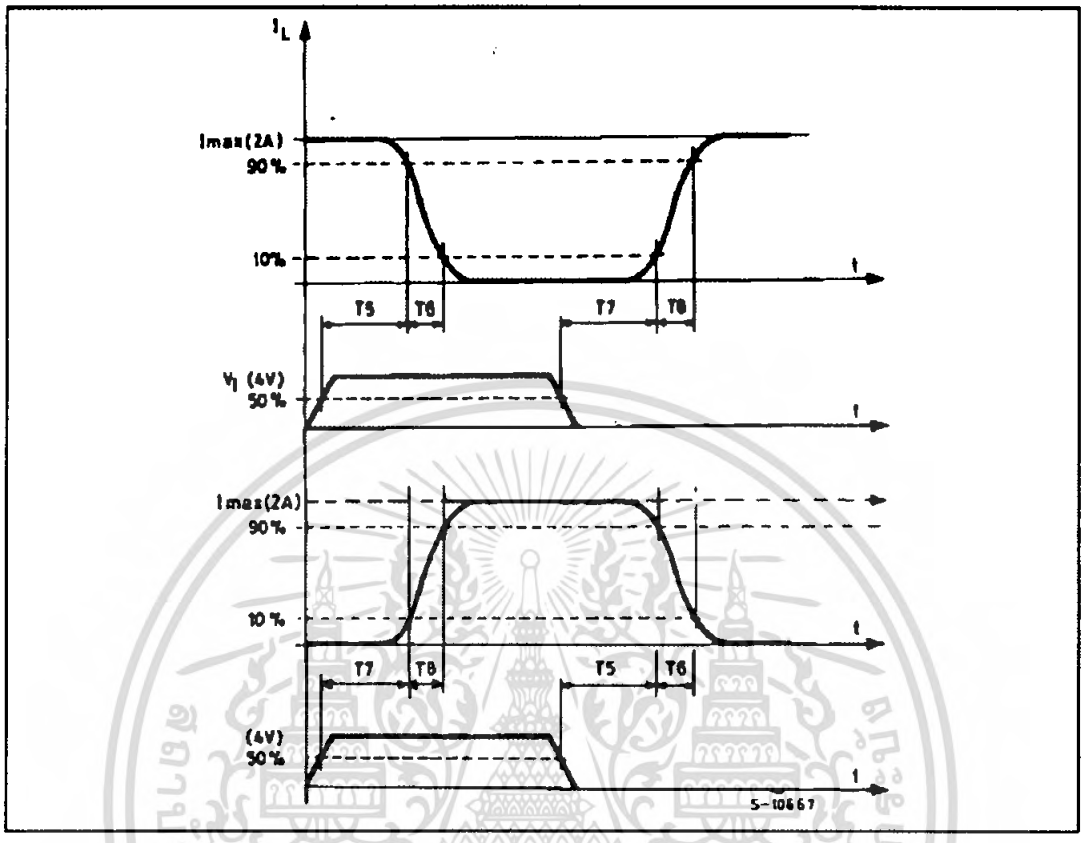
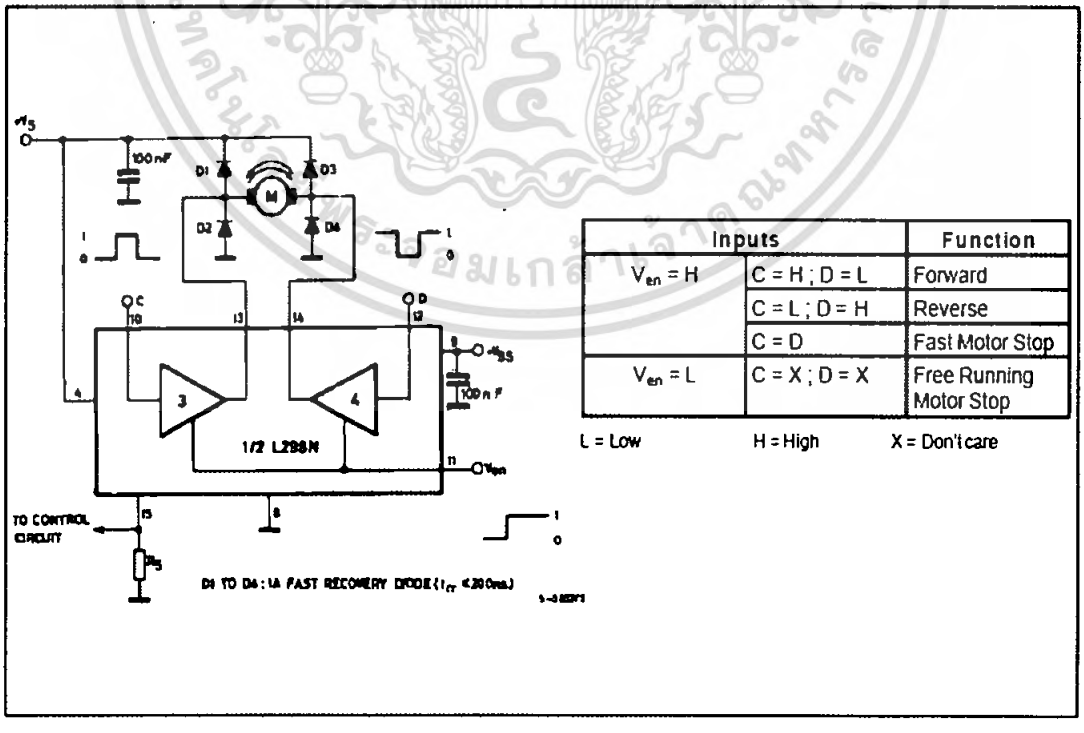


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.

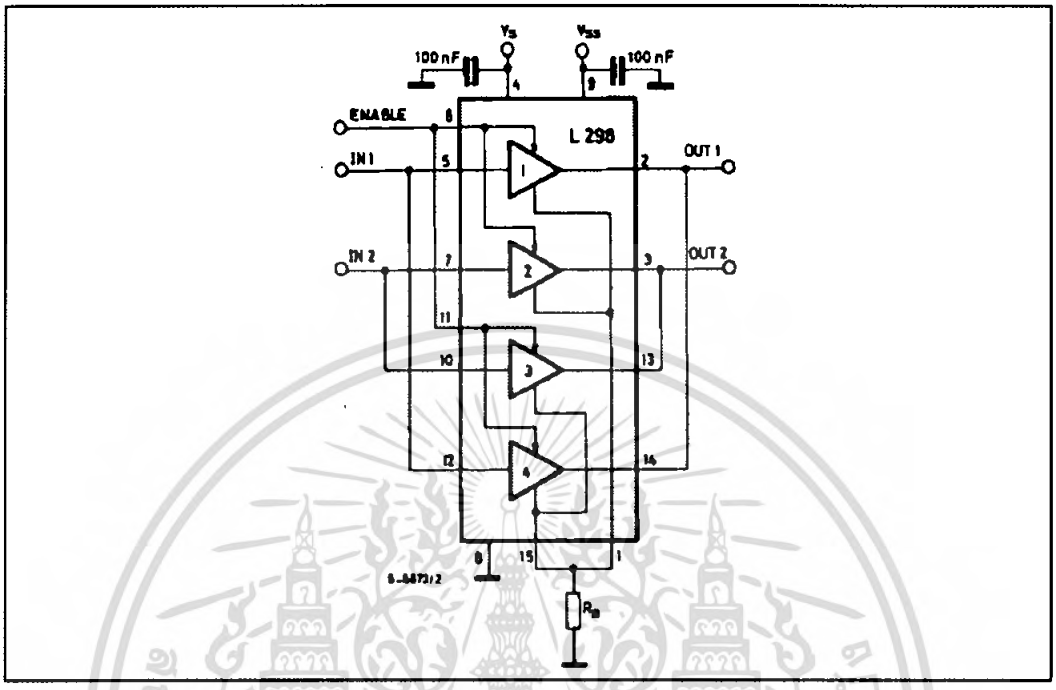


Inputs		Function
V_{en} = H	C = H ; D = L	Forward
	C = L ; D = H	Reverse
	C = D	Fast Motor Stop
V_{en} = L	C = X ; D = X	Free Running Motor Stop

L = Low H = High X = Don't care

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 differenzial mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at 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 In1 ; In2 ; EnA and In3 ; In4 ; 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 Vs and Vss, 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 Vs 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 it 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 VF 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; Shottky diodes would be preferred.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

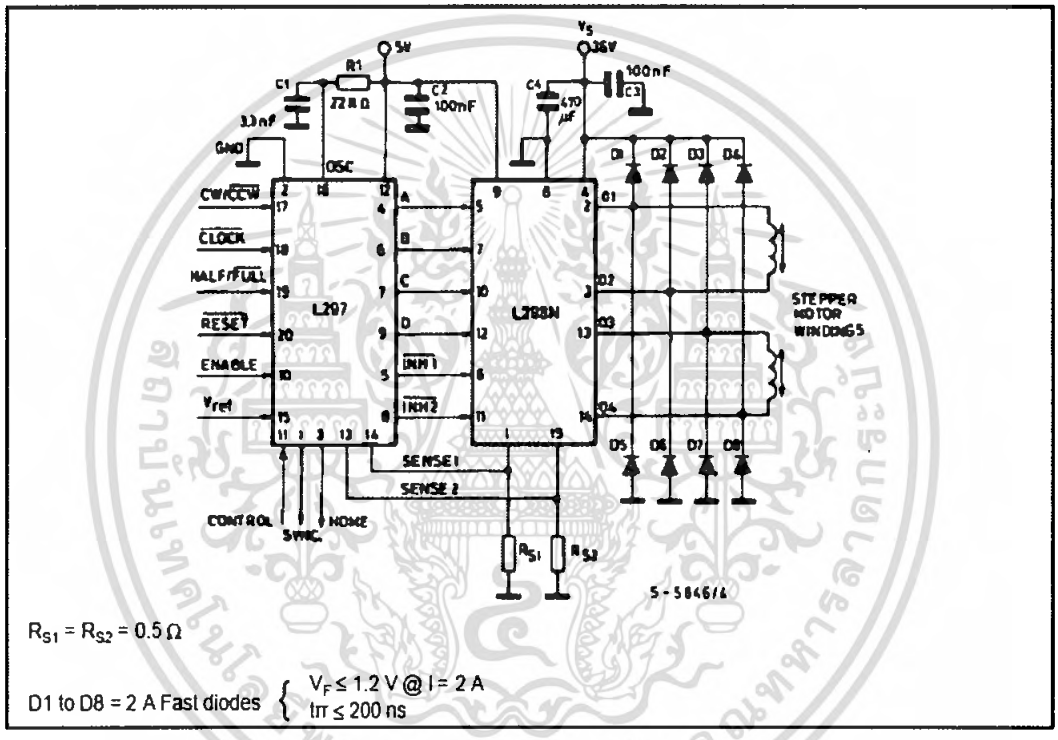
On Fig 8 it is shown the driving of a two phase bipolar stepper motor ; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

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

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

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.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

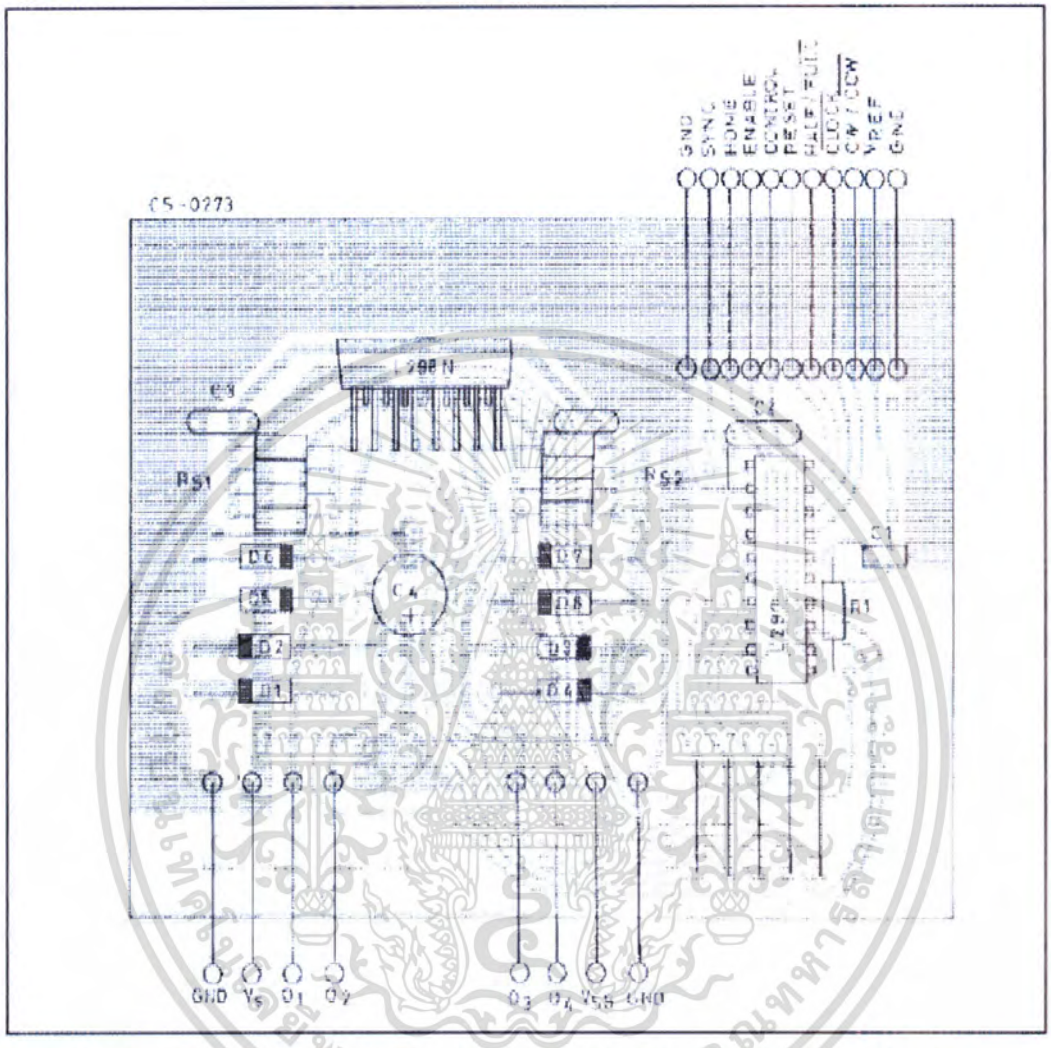
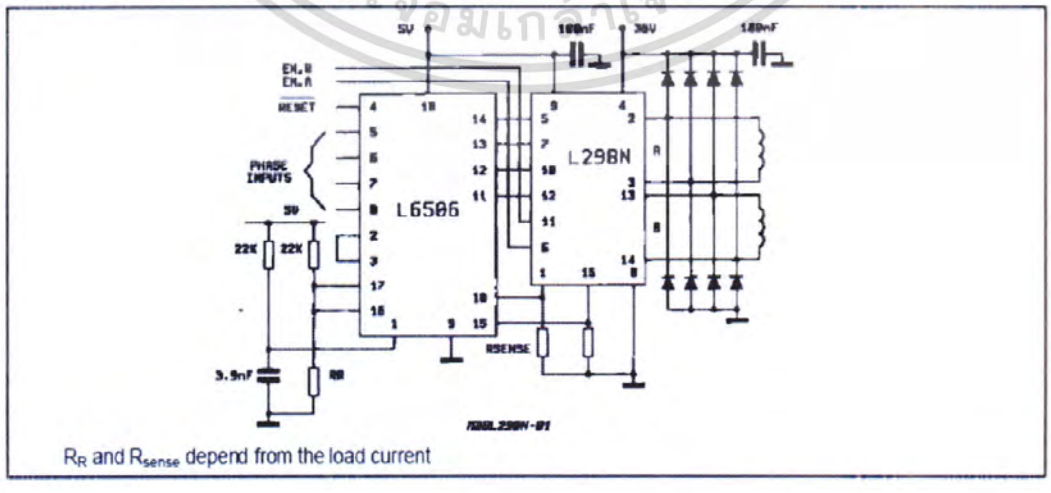


Figure 10 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Control Circuit by Using the Current Controller L6506.

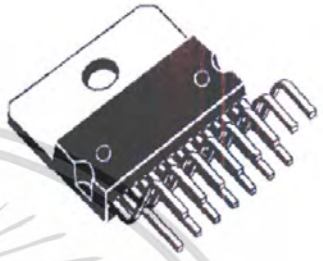


R_R and R_{sense} depend from the load current

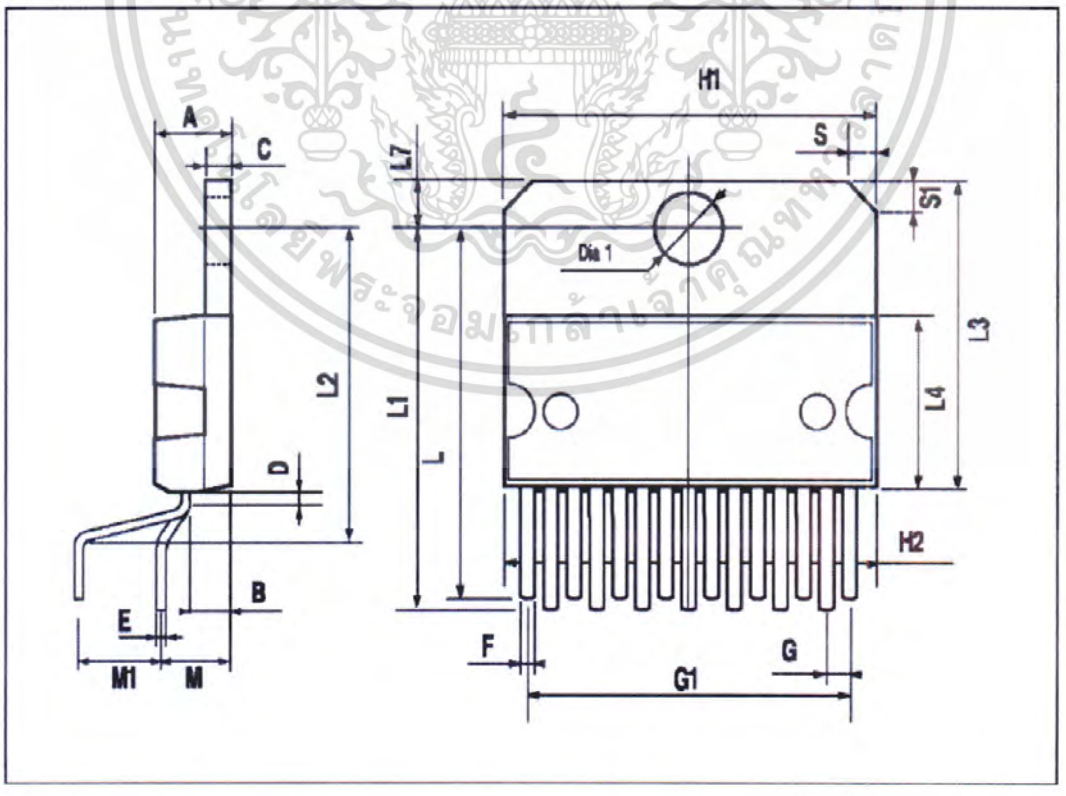
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
D		1			0.039	
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.02	1.27	1.52	0.040	0.050	0.060
G1	17.53	17.78	18.03	0.690	0.700	0.710
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L	21.9	22.2	22.5	0.862	0.874	0.886
L1	21.7	22.1	22.5	0.854	0.870	0.886
L2	17.65		18.1	0.695		0.713
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
M	4.25	4.55	4.85	0.167	0.179	0.191
M1	4.63	5.08	5.53	0.182	0.200	0.218
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



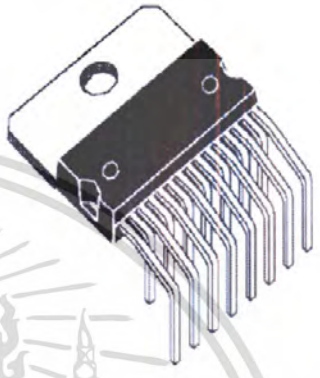
Multiwatt15 V



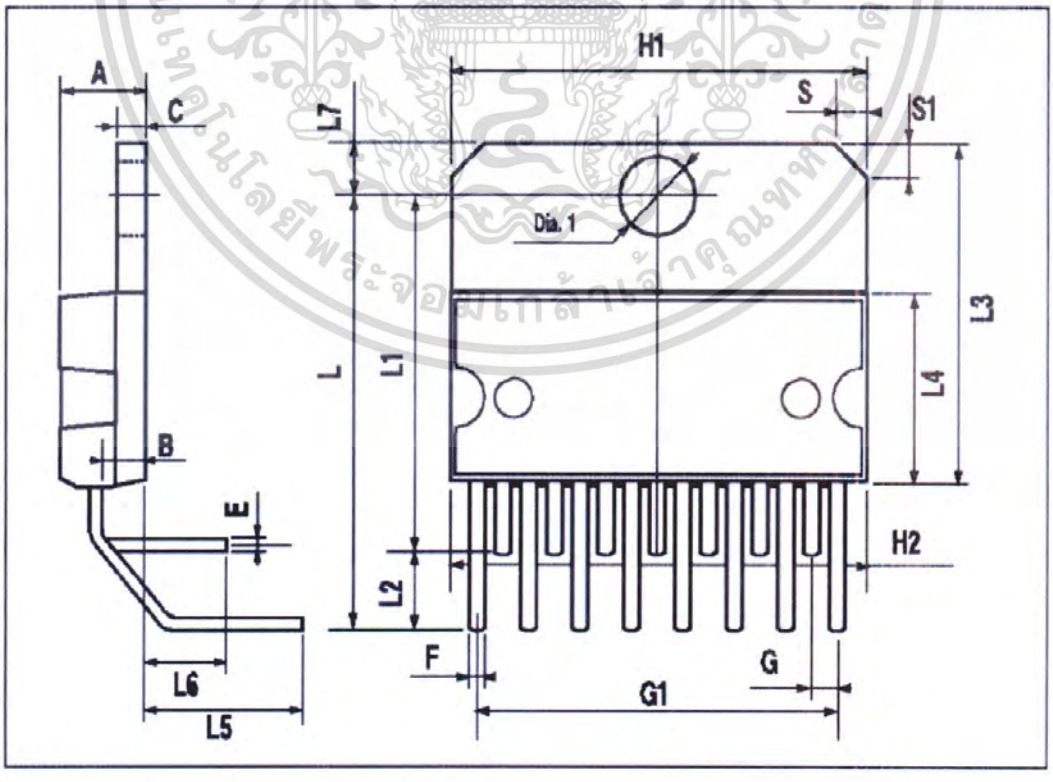
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.14	1.27	1.4	0.045	0.050	0.055
G1	17.57	17.78	17.91	0.692	0.700	0.705
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L		20.57			0.810	
L1		18.03			0.710	
L2		2.54			0.100	
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L5		5.28			0.208	
L6		2.38			0.094	
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



Multiwatt15 H

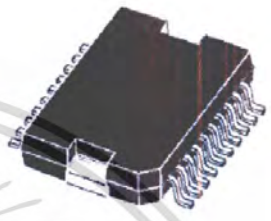


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			3.6			0.142
a1	0.1		0.3	0.004		0.012
a2			3.3			0.130
a3	0		0.1	0.000		0.004
b	0.4		0.53	0.016		0.021
c	0.23		0.32	0.009		0.013
D (1)	15.8		16	0.622		0.630
D1	9.4		9.8	0.370		0.386
E	13.9		14.5	0.547		0.570
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
E1 (1)	10.9		11.1	0.429		0.437
E2			2.9			0.114
E3	5.8		6.2	0.228		0.244
G	0		0.1	0.000		0.004
H	15.5		15.9	0.610		0.626
h			1.1			0.043
L	0.8		1.1	0.031		0.043
N	10° (max.)					
S	8° (max.)					
T		10			0.394	

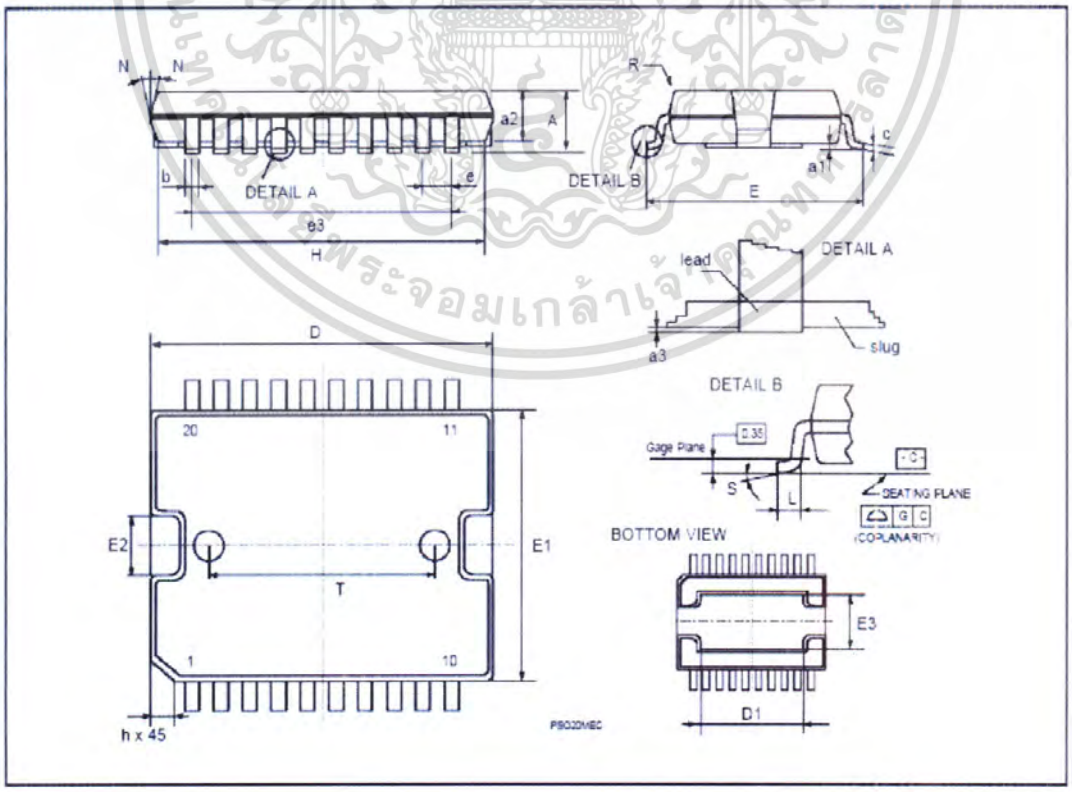
(1) "D and F" do not include mold flash or protrusions
- Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm (0.006")
- Critical dimensions: "E", "G" and "a3"

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



JEDEC MO-166

PowerSO20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2000 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.

http://www.st.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19-0175; Rev 2; 5/98

MAXIM

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

General Description

The MAX202E–MAX213E, MAX232E/MAX241E line drivers/receivers are designed for RS-232 and V.28 communications in harsh environments. Each transmitter output and receiver input is protected against ±15kV electrostatic discharge (ESD) shocks, without latchup. The various combinations of features are outlined in the *Selection Guide*. The drivers and receivers for all ten devices meet all EIA/TIA-232E and CCITT V.28 specifications at data rates up to 120kbps, when loaded in accordance with the EIA/TIA-232E specification.

The MAX211E/MAX213E/MAX241E are available in 28-pin SO packages, as well as a 28-pin SSOP that uses 60% less board space. The MAX202E/MAX232E come in 16-pin narrow SO, wide SO, and DIP packages. The MAX203E comes in a 20-pin DIP/SO package, and needs no external charge-pump capacitors. The MAX205E comes in a 24-pin wide DIP package, and also eliminates external charge-pump capacitors. The MAX206E/MAX207E/MAX208E come in 24-pin SO, SSOP, and narrow DIP packages. The MAX232E/MAX241E operate with four 1µF capacitors, while the MAX202E/MAX206E/MAX207E/MAX208E/MAX211E/MAX213E operate with four 0.1µF capacitors, further reducing cost and board space.

Applications

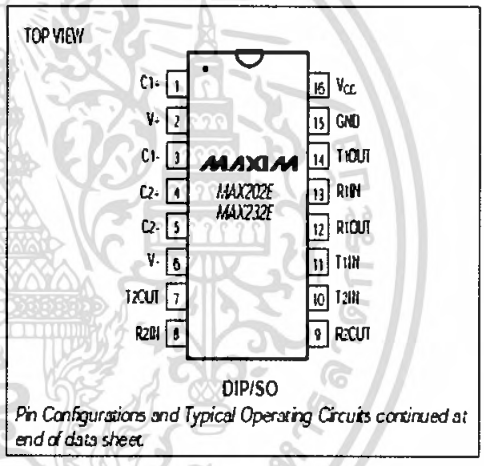
Notebook, Subnotebook, and Palmtop Computers
Battery-Powered Equipment
Hand-Held Equipment

Ordering Information appears at end of data sheet.

Features

- ESD Protection for RS-232 I/O Pins:
  ±15kV—Human Body Model
  ±8kV—IEC1000-4-2, Contact Discharge
  ±15kV—IEC1000-4-2, Air-Gap Discharge
- Latchup Free (unlike bipolar equivalents)
- Guaranteed 120kbps Data Rate—LapLink™ Compatible
- Guaranteed 3V/µs Min Slew Rate
- Operate from a Single +5V Power Supply

Pin Configurations



Pin Configurations and Typical Operating Circuits continued at end of data sheet.

Selection Guide

PART	No. of RS-232 DRIVERS	No. of RS-232 RECEIVERS	RECEIVERS ACTIVE IN SHUTDOWN	No. of EXTERNAL CAPACITORS	LOW-POWER SHUTDOWN	TTL THREE-STATE
MAX202E	2	2	0	4 (0.1µF)	No	No
MAX203E	2	2	0	None	No	No
MAX205E	5	5	0	None	Yes	Yes
MAX206E	4	3	0	4 (0.1µF)	Yes	Yes
MAX207E	5	3	0	4 (0.1µF)	No	No
MAX208E	4	4	0	4 (0.1µF)	No	No
MAX211E	4	5	0	4 (0.1µF)	Yes	Yes
MAX213E	4	5	2	4 (0.1µF)	Yes	Yes
MAX232E	2	2	0	4 (1µF)	No	No
MAX241E	4	5	0	4 (1µF)	Yes	Yes

LapLink is a registered trademark of Traveling Software, Inc.

For free samples & the latest literature: http://www.maxim-ic.com, or phone 1-800-998-8800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

V_{CC} ..... -0.3V to +6V
V+ ..... (V_{CC} - 0.3V) to +14V
V- ..... -14V to +0.3V
Input Voltages
T_IN ..... -0.3V to (V+ + 0.3V)
R_IN ..... ±30V
Output Voltages
T_OUT ..... (V- - 0.3V) to (V+ + 0.3V)
R_OUT ..... -0.3V to (V_{CC} + 0.3V)
Short-Circuit Duration, T_OUT ..... Continuous
Continuous Power Dissipation (T_A = +70°C)
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C) 842mW
16-Pin Narrow SO (derate 8.70mW/°C above +70°C) 696mW
16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C) 762mW
20-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C) 889mW
20-Pin SO (derate 10.00mW/°C above +70°C) 800mW
24-Pin Narrow Plastic DIP
(derate 13.33mW/°C above +70°C) 1.07W
24-Pin Wide Plastic DIP
(derate 14.29mW/°C above +70°C) 1.14W
24-Pin SO (derate 11.76mW/°C above +70°C) 941mW
24-Pin SSOP (derate 8.00mW/°C above +70°C) 640mW
28-Pin SO (derate 12.50mW/°C above +70°C) 1W
28-Pin SSOP (derate 9.52mW/°C above +70°C) 762mW
Operating Temperature Ranges
MAX2__EC__ ..... 0°C to +70°C
MAX2__EE__ ..... -40°C to +85°C
Storage Temperature Range ..... -65°C to +165°C
Lead Temperature (soldering, 10sec) ..... +300°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 in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = +5V ±10% for MAX202E/206E/208E/211E/213E/232E/241E; V_{CC} = +5V ±5% for MAX203E/205E/207E; C1–C4 = 0.1µF for MAX202E/206E/207E/208E/211E/213E; C1–C4 = 1µF for MAX232E/241E; T_A = T_{MIN} to T_{MAX}; unless otherwise noted. Typical values are at T_A = +25°C.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
DC CHARACTERISTICS							
V_{CC} Supply Current	I_{CC}	No load, T_A = +25°C	MAX202E/203E		8	15	mA
			MAX205E–208E		11	20	
			MAX211E/213E		14	20	
			MAX232E		5	10	
			MAX241E		7	15	
Shutdown Supply Current		T_A = +25°C, Figure 1	MAX205E/206E		1	10	µA
			MAX211E/241E		1	10	
			MAX213E		15	50	
LOGIC							
Input Pull-Up Current		T_IN = 0V (MAX205E–208E/211E/213E/241E)			15	200	µA
Input Leakage Current		T_IN = 0V to V_{CC} (MAX202E/203E/232E)				±10	µA
Input Threshold Low	V_{IL}	T_IN; EN, $\overline{SHDN}$ (MAX213E) or $\overline{EN}$, SHDN (MAX205E–208E/211E/241E)				0.8	V
Input Threshold High	V_{IH}	T_IN		2.0			V
		EN, $\overline{SHDN}$ (MAX213E) or $\overline{EN}$, SHDN (MAX205E–208E/211E/241E)		2.4			
Output Voltage Low	V_{OL}	R_OUT; I_{OUT} = 3.2mA (MAX202E/203E/232E) or I_{OUT} = 1.6mA (MAX205E/208E/211E/213E/241E)				0.4	V
Output Voltage High	V_{OH}	R_OUT; I_{OUT} = -1.0mA		3.5	V_{CC} - 0.4		V
Output Leakage Current		$\overline{EN}$ = V_{CC}, EN = 0V, 0V ≤ R_{OUT} ≤ V_{CC}, MAX205E–208E/211E/213E/241E outputs disabled			±0.05	±10	µA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(V_{CC} = +5V ±10% for MAX202E/206E/208E/211E/213E/232E/241E; V_{CC} = +5V ±5% for MAX203E/205E/207E; C1–C4 = 0.1µF for MAX202E/206E/207E/208E/211E/213E; C1–C4 = 1µF for MAX232E/241E; T_A = T_{MIN} to T_{MAX}; unless otherwise noted. Typical values are at T_A = +25°C.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
EIA/TIA-232E RECEIVER INPUTS							
Input Voltage Range				-30		30	V
Input Threshold Low		T_A = +25°C, V_{CC} = 5V	All parts, normal operation	0.8	1.2		V
			MAX213E, $\overline{SHDN}$ = 0V, EN = V_{CC}	0.6	1.5		
Input Threshold High		T_A = +25°C, V_{CC} = 5V	All parts, normal operation		1.7	2.4	V
			MAX213E (R4, R5), $\overline{SHDN}$ = 0V, EN = V_{CC}		1.5	2.4	
Input Hysteresis		V_{CC} = 5V, no hysteresis in shutdown		0.2	0.5	1.0	V
Input Resistance		T_A = +25°C, V_{CC} = 5V		3	5	7	kΩ
EIA/TIA-232E TRANSMITTER OUTPUTS							
Output Voltage Swing		All drivers loaded with 3kΩ to ground (Note 1)		±5	±9		V
Output Resistance		V_{CC} = V+ = V- = 0V, V_{OUT} = ±2V		300			Ω
Output Short-Circuit Current					±10	±60	mA
TIMING CHARACTERISTICS							
Maximum Data Rate		R_L = 3kΩ to 7kΩ, C_L = 50pF to 1000pF, one transmitter switching		120			kbps
Receiver Propagation Delay	t_{PLHR}, t_{PHLR}	C_L = 150pF	All parts, normal operation		0.5	10	µs
			MAX213E (R4, R5), $\overline{SHDN}$ = 0V, EN = V_{CC}		4	40	
Receiver Output Enable Time		MAX205E/206E/211E/213E/241E normal operation, Figure 2			600		ns
Receiver Output Disable Time		MAX205E/206E/211E/213E/241E normal operation, Figure 2			200		ns
Transmitter Propagation Delay	t_{PLHT}, t_{PHLT}	R_L = 3kΩ, C_L = 2500pF, all transmitters loaded			2		µs
Transition-Region Slew Rate		T_A = +25°C, V_{CC} = 5V, R_L = 3kΩ to 7kΩ, C_L = 50pF to 1000pF, measured from -3V to +3V or +3V to -3V, Figure 3		3	6	30	V/µs
ESD PERFORMANCE: TRANSMITTER OUTPUTS, RECEIVER INPUTS							
ESD-Protection Voltage		Human Body Model			±15		kV
		IEC1000-4-2, Contact Discharge			±8		
		IEC1000-4-2, Air-Gap Discharge			±15		

Note 1: MAX211EE_ _ tested with V_{CC} = +5V ±5%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

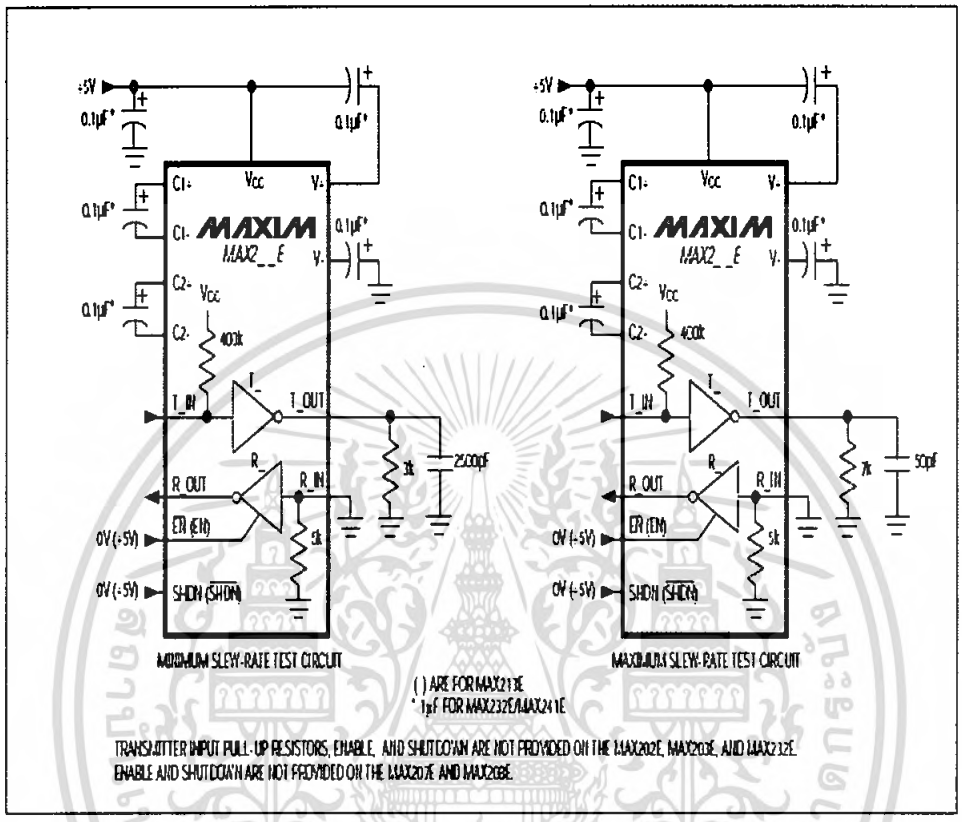


Figure 3. Transition Slew-Rate Circuit

Detailed Description

The MAX202E–MAX213E, MAX232E/MAX241E consist of three sections: charge-pump voltage converters, drivers (transmitters), and receivers. These E versions provide extra protection against ESD. They survive ±15kV discharges to the RS-232 inputs and outputs, tested using the Human Body Model. When tested according to IEC1000-4-2, they survive ±8kV contact-discharges and ±15kV air-gap discharges. The rugged E versions are intended for use in harsh environments or applications where the RS-232 connection is frequently changed (such as notebook computers). The standard (non-"E") MAX202, MAX203, MAX205–MAX208, MAX211, MAX213, MAX232, and MAX241 are recommended for applications where cost is critical.

+5V to ±10V Dual Charge-Pump Voltage Converter

The +5V to ±10V conversion is performed by dual charge-pump voltage converters (Figure 4). The first charge-pump converter uses capacitor C1 to double the +5V into +10V, storing the +10V on the output filter capacitor, C3. The second uses C2 to invert the +10V into -10V, storing the -10V on the V- output filter capacitor, C4.

In shutdown mode, V+ is internally connected to V_{CC} by a 1kΩ pull-down resistor, and V- is internally connected to ground by a 1kΩ pull-up resistor.

RS-232 Drivers

With V_{CC} = 5V, the typical driver output voltage swing is ±8V when loaded with a nominal 5kΩ RS-232 receiver. The output swing is guaranteed to meet EIA/TIA-232E and V.28 specifications that call for ±5V minimum output levels under worst-case conditions. These include a 3kΩ load, minimum V_{CC}, and maximum operating temperature. The open-circuit output voltage swings from (V+ - 0.6V) to V-.

Input thresholds are CMOS/TTL compatible. The unused drivers' inputs on the MAX205E–MAX208E, MAX211E, MAX213E, and MAX241E can be left unconnected because 400kΩ pull-up resistors to V_{CC} are included on-chip. Since all drivers invert, the pull-up resistors force the unused drivers' outputs low. The MAX202E, MAX203E, and MAX232E do not have pull-up resistors on the transmitter inputs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

When in low-power shutdown mode, the MAX205E/MAX206E/MAX211E/MAX213E/MAX241E driver outputs are turned off and draw only leakage currents—even if they are back-driven with voltages between 0V and 12V. Below -0.5V in shutdown, the transmitter output is diode-clamped to ground with a 1kΩ series impedance.

RS-232 Receivers

The receivers convert the RS-232 signals to CMOS-logic output levels. The guaranteed 0.8V and 2.4V receiver input thresholds are significantly tighter than the ±3V thresholds required by the EIA/TIA-232E specification. This allows the receiver inputs to respond to TTL/CMOS-logic levels, as well as RS-232 levels.

The guaranteed 0.8V input low threshold ensures that receivers shorted to ground have a logic 1 output. The 5kΩ input resistance to ground ensures that a receiver with its input left open will also have a logic 1 output.

Receiver inputs have approximately 0.5V hysteresis. This provides clean output transitions, even with slow rise/fall-time signals with moderate amounts of noise and ringing.

In shutdown, the MAX213E's R4 and R5 receivers have no hysteresis.

Shutdown and Enable Control (MAX205E/MAX206E/MAX211E/MAX213E/MAX241E)

In shutdown mode, the charge pumps are turned off, V+ is pulled down to V_{CC}, V- is pulled to ground, and the transmitter outputs are disabled. This reduces supply current typically to 1µA (15µA for the MAX213E). The time required to exit shutdown is under 1ms, as shown in Figure 5.

Receivers

All MAX213E receivers, except R4 and R5, are put into a high-impedance state in shutdown mode (see Tables 1a and 1b). The MAX213E's R4 and R5 receivers still function in shutdown mode. These two awake-in-shutdown receivers can monitor external activity while maintaining minimal power consumption.

The enable control is used to put the receiver outputs into a high-impedance state, to allow wire-OR connection of two EIA/TIA-232E ports (or ports of different types) at the UART. It has no effect on the RS-232 drivers or the charge pumps.

Note: The enable control pin is active low for the MAX211E/MAX241E ($\overline{EN}$), but is active high for the MAX213E (EN). The shutdown control pin is active high for the MAX205E/MAX206E/MAX211E/MAX241E (SHDN), but is active low for the MAX213E ($\overline{SHDN}$).

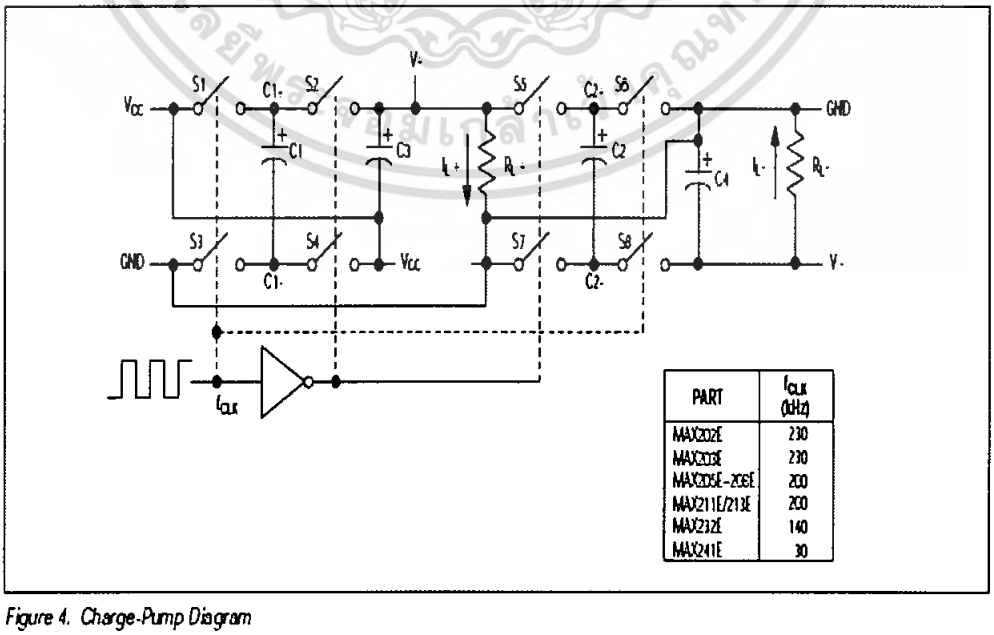


Figure 4. Charge-Pump Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

The MAX213E's receiver propagation delay is typically 0.5µs in normal operation. In shutdown mode, propagation delay increases to 4µs for both rising and falling transitions. The MAX213E's receiver inputs have approximately 0.5V hysteresis, except in shutdown, when receivers R4 and R5 have no hysteresis.

When entering shutdown with receivers active, R4 and R5 are not valid until 80µs after $\overline{SHDN}$ is driven low. When coming out of shutdown, all receiver outputs are invalid until the charge pumps reach nominal voltage levels (less than 2ms when using 0.1µF capacitors).

±15kV ESD Protection

As with all Maxim devices, ESD-protection structures are incorporated on all pins to protect against electrostatic discharges encountered during handling and assembly. The driver outputs and receiver inputs have extra protection against static electricity. Maxim's engineers developed state-of-the-art structures to protect these pins against ESD of ±15kV without damage. The ESD structures withstand high ESD in all states: normal operation, shutdown, and powered down. After an ESD event, Maxim's E versions keep working without latchup, whereas competing RS-232 products can latch and must be powered down to remove latchup.

ESD protection can be tested in various ways; the transmitter outputs and receiver inputs of this product family are characterized for protection to the following limits:

1) ±15kV using the Human Body Model
2) ±8kV using the contact-discharge method specified in IEC1000-4-2
3) ±15kV using IEC1000-4-2's air-gap method.

ESD Test Conditions

ESD performance depends on a variety of conditions. Contact Maxim for a reliability report that documents test set-up, test methodology, and test results.

Human Body Model

Figure 6a shows the Human Body Model, and Figure 6b shows the current waveform it generates when discharged into a low impedance. This model consists of a 100pF capacitor charged to the ESD voltage of interest, which is then discharged into the test device through a 1.5kΩ resistor.

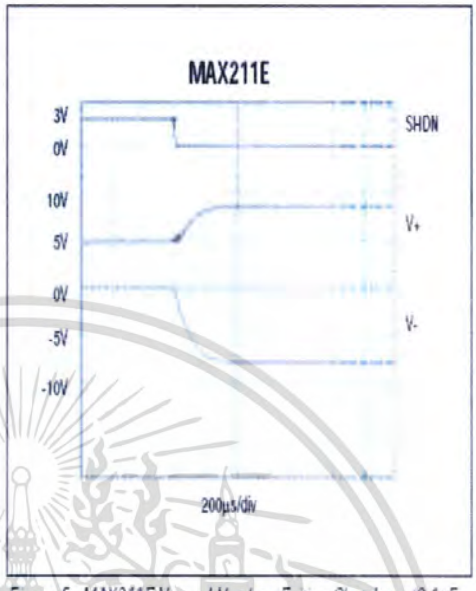


Figure 5. MAX211E V+ and V- when Exiting Shutdown (0.1µF capacitors)

Table 1a. MAX205E/MAX206E/MAX211E/MAX241E Control Pin Configurations

SHDN	EN	OPERATION STATUS	Tx	Rx
0	0	Normal Operation	All Active	All Active
0	1	Normal Operation	All Active	All High-Z
1	X	Shutdown	All High-Z	All High-Z

X = Don't Care

Table 1b. MAX213E Control Pin Configurations

SHDN	EN	OPERATION STATUS	Tx 1–4	Rx	
				1–3	4, 5
0	0	Shutdown	All High-Z	High-Z	High-Z
0	1	Shutdown	All High-Z	High-Z	Active*
1	0	Normal Operation	All Active	High-Z	High-Z
1	1	Normal Operation	All Active	Active	Active

**Active = active with reduced performance*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

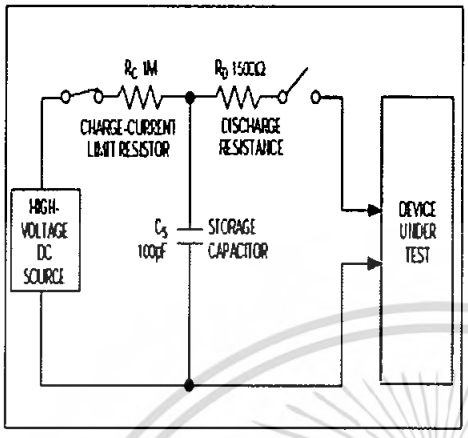


Figure 6a. Human Body ESD Test Model

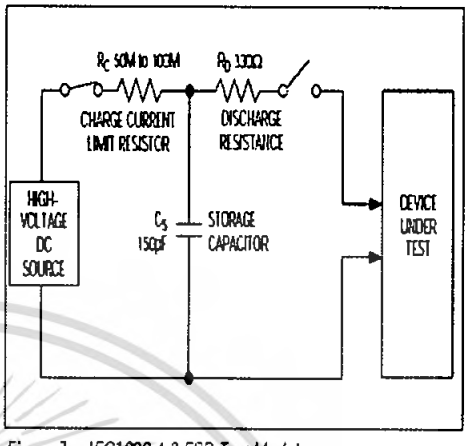


Figure 7a. IEC1000-4-2 ESD Test Model

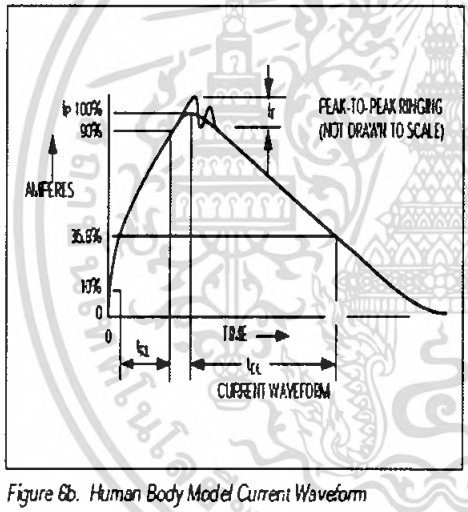


Figure 6b. Human Body Model Current Waveform

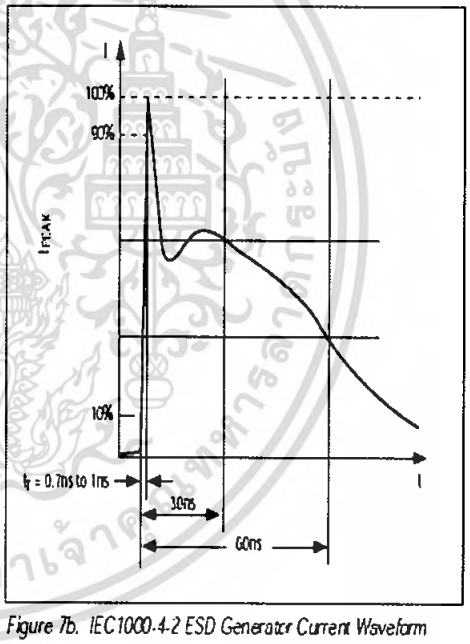


Figure 7b. IEC1000-4-2 ESD Generator Current Waveform

IEC1000-4-2

The IEC1000-4-2 standard covers ESD testing and performance of finished equipment; it does not specifically refer to integrated circuits. The MAX202E/MAX203E–MAX213E, MAX232E/MAX241E help you design equipment that meets level 4 (the highest level) of IEC1000-4-2, without the need for additional ESD-protection components.

The major difference between tests done using the Human Body Model and IEC1000-4-2 is higher peak current in IEC1000-4-2, because series resistance is lower in the IEC1000-4-2 model. Hence, the ESD withstand voltage measured to IEC1000-4-2 is generally lower than that measured using the Human Body Model. Figure 7b shows the current waveform for the 8kV IEC1000-4-2 level-four ESD contact-discharge test.

The air-gap test involves approaching the device with a charged probe. The contact-discharge method connects the probe to the device before the probe is energized.

Machine Model

The Machine Model for ESD tests all pins using a 200pF storage capacitor and zero discharge resistance. Its objective is to emulate the stress caused by contact that occurs with handling and assembly during manufacturing. Of course, all pins require this protection during manufacturing, not just RS-232 inputs and outputs. Therefore, after PC board assembly, the Machine Model is less relevant to I/O ports.

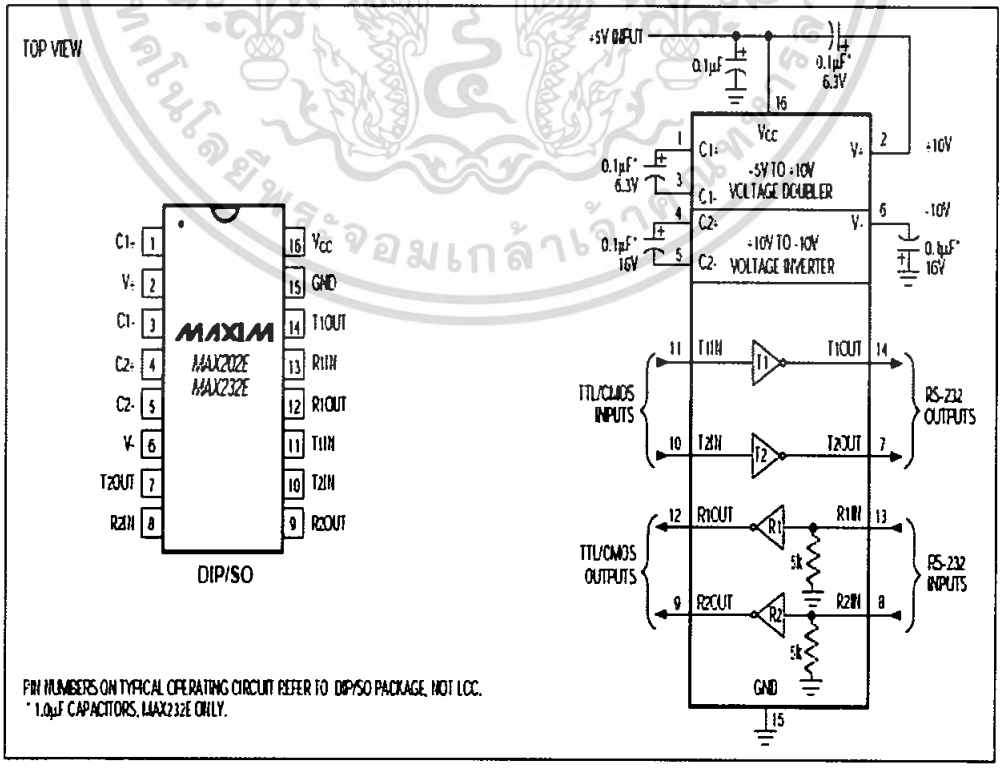
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

Table 3. DB9 Cable Connections Commonly Used for EIA/TIAE-232E and V.24 Asynchronous Interfaces

PIN	CONNECTION	
1	Received Line Signal Detector (sometimes called Carrier Detect, DCD)	Handshake from DCE
2	Receive Data (RD)	Data from DCE
3	Transmit Data (TD)	Data from DTE
4	Data Terminal Ready	Handshake from DTE
5	Signal Ground	Reference point for signals
6	Data Set Ready (DSR)	Handshake from DCE
7	Request to Send (RTS)	Handshake from DTE
8	Clear to Send (CTS)	Handshake from DCE
9	Ring Indicator	Handshake from DCE

Pin Configurations and Typical Operating Circuits (continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้