



เครื่องติดตามและแสดงสภาวะการทำงานของมอเตอร์

MOTOR MONITORING



โดย

นายเกรียงไกร

กิตติวราวุฒิ

นายเกรียงศักดิ์

บุญมั่ง

นางสาวจงลักษณ์

พาทะชา

วัน เดือน ปี..... 30.ก.พ. 2541
เลขทะเบียน..... ๐๖๘๒๖๖
เลขเรียกหนังสือ..... 139259 กษ๖๗๑.

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์พิชิต ล้ายอง

๐๖๘๒๖๖

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2539

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องติดตามและแสดงสภาวะการทำงานของมอเตอร์

คณะผู้จัดทำ

นายเกรียงไกร กิตติวรารุณี

นายเกรียงศักดิ์ บุญมั่ง

นางสาวจงลักษณ์ พาหะชา



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์พิชิต ล่ายอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องติดตามและแสดงสถานะการทำงานของมอเตอร์

นายเกรียงไกร กิตติวรารุณ
 นายเกรียงศักดิ์ บุญมิ่ง
 นางสาวจงลักษณ์ พาหะชา
 อาจารย์พิชิต ล้ายอง อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการพัฒนาร่างเครื่องต้นแบบเพื่อติดตามและตรวจสอบสถานะการทำงานของมอเตอร์ ซึ่งใช้ตรวจสอบมอเตอร์ที่มีการทำงานอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ โดยเครื่องต้นแบบประกอบด้วยบอร์ดคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยวที่เป็นส่วนประกอบพื้นฐานของมอเตอร์สำหรับมอเตอร์แต่ละตัว โดยแต่ละมอเตอร์จะต่ออยู่กับเซนเซอร์ตรวจจับสถานะของมอเตอร์ และต่ออยู่กับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์หลักผ่านทางพอร์ตมาตรฐาน(RS-232) คอมพิวเตอร์หลักจะสามารถเรียกดูข้อมูลของค่ากระแสโวลท์เตจ , ความเร็วรอบ , อุณหภูมิ และสถานะปิด-เปิด ของมอเตอร์จากแต่ละมอเตอร์ โดยแต่ละมอเตอร์จะคำนวณค่าต่าง ๆ ดังกล่าวแล้วเก็บบันทึกไว้ในหน่วยความจำอย่างสม่ำเสมอทุกครั้งที่ตั้งไว้ เมื่อมีการเรียกจากคอมพิวเตอร์หลัก ก็จะส่งข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์หลัก

หากมอเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งความผิดพลาดทางกระแส ตัวส่งสัญญาณเตือนจะทำงานหากพบว่ากระแสที่เกิดขึ้นนั้นหายไปเฟสใดเฟสหนึ่งพร้อมทั้งยังแสดงกระแสเฟสที่ยังเหลืออยู่ด้วย ในขณะที่มอเตอร์สามารถแสดงค่าปัจจุบันได้แล้วหรือสลับเปลี่ยนไปเลือกดูมอเตอร์ตัวอื่น ยังสามารถที่จะแสดงผลออกทางเครื่องพิมพ์ที่ถูกสั่งให้พิมพ์ด้วยโปรแกรมตรวจสอบสถานะการทำงานของมอเตอร์ ซึ่งมีรูปแบบการแสดงผลเป็น ข้อมูลดิบ , กราฟ หรือ สรุปการทำงาน ได้

MOTOR MONITORING

Kriengkai	Kittiwarawut	
Kriengsak	Boonmung	
Jonglak	Pahasha	
Pichit	Lamyong	Advisor
1996		

ABSTRACT

This project is developed and built a prototype for investigation the early detection of insulation failure in continuous single phase induction motor. This prototype consists of a single-board controller based motor monitor for each motor. The monitor is connected both of the sensor to detecting and serial port of main computer via the standard port (RS232). Main computer can requests a sets of current, voltage, speed, temperature and condition of motor from monitor which calculate all of value and record it in memory. When main computer requests ,the monitor will send data to it.

If some motors has current or power fault, alarm sounds occurred when any value exceed from a present threshold. While the monitor display the present value,it can search and display the history value that is record from database or datafile too. Additional use the printer to print the data, graph and summary of the motor condition.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์มอเตอร์มอเนเตอร์	3
2.1 อุปกรณ์ที่ใช้วัดสภาวะการทำงานของมอเตอร์	4
2.1.1 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ	4
2.1.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์วัดความเร็วรอบของมอเตอร์	6
2.1.3 หม้อแปลงกระแส	11
2.2 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณ	12
2.3 ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล	20
2.4 ในส่วนประมวลผลของบอร์ดคอนโทรลเลอร์	29
2.5 การแบ่งหน่วยความจำ	35
บทที่ 3 วงจรเครื่องติดตามและแสดงสภาวะการทำงานของมอเตอร์	55
3.1 ภาพรวมวงจรเครื่องตรวจสอบและแสดงสภาวะการทำงานของมอเตอร์	55
3.2 การทำงานของตัวเครื่องต้นแบบ	56
3.2.1 ส่วนตรวจจับสัญญาณสภาวะการทำงานของมอเตอร์	56
3.2.1.1 วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้า	56
3.2.1.2 วงจรตรวจจับการทำงานหรือหยุดการทำงานของมอเตอร์	58
3.2.1.3 วงจรตรวจจับอุณหภูมิ	59
3.2.1.4 วงจรตรวจจับความเร็ว	60
3.2.2 ส่วนแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล	62
3.2.3 วงจรบันทึกและส่งข้อมูล	64
3.2.4 ในส่วนของการทำงานบนบอร์ดคอนโทรลเลอร์	64
3.3 การทำงานของซอฟต์แวร์โปรแกรมติดตามสภาวะการทำงานของมอเตอร์	65

	หน้า
3.3.1 ในส่วนการรับข้อมูลจากเครื่องติดตามสถานะ	
การทำงานของมอเตอร์	68
3.3.2 ในการปรับแต่งข้อมูล	70
3.3.3 การแบ่งข้อมูล	70
3.3.4 การแจกจ่ายข้อมูล	71
3.3.5 การจัดเก็บข้อมูล	71
3.3.5.1 การจัดเก็บข้อมูลเป็นโค้ดไฟล์	71
3.3.5.2 การจัดเก็บข้อมูลแบบบันทึกแฟ้มเป็น	71
3.3.5.3 การจัดเก็บข้อมูลเป็นเท็กซ์ไฟล์	71
3.3.6 การเปิดใช้ข้อมูลที่จัดเก็บไว้	72
3.3.7 การสร้างฟอร์มกราฟ	72
3.3.8 ในส่วนของการสรุปผลการทำงานของมอเตอร์	73
3.3.8.1 การคำนวณค่าจำนวนครั้งที่มอเตอร์	
หยุดทำงาน	74
3.3.8.2 ช่วงเวลาที่มอเตอร์หยุดการทำงานใน	
แต่ละครั้ง	74
3.3.8.3 ค่าเฉลี่ยต่างๆ	74
บทที่ 4 การใช้งานเครื่องติดตามและแสดงสถานะการทำงานของมอเตอร์	75
4.1 การใช้งานเครื่องติดตามสถานะการทำงานของมอเตอร์	75
4.2 การใช้งานโปรแกรมแสดงสถานะการทำงานของมอเตอร์	78
บทที่ 5 สรุปผลการทำงานโครงการ	92
ข้อเสนอแนะในการพัฒนาอุปกรณ์และโปรแกรม	92
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

สารบัญรูป

	หน้า
บทที่ 2 รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงภาพโดยรวมของมอเตอร์มอนิเตอร์	3
รูปที่ 2.2 (ก) ตำแหน่งขาสัญญาณของ LMX35	4
(ข) การต่อวงจรใช้งาน	5
รูปที่ 2.3 ระบบเอนโคเดอร์แบบโรตารี	6
รูปที่ 2.4 แสดงรูปลักษณะของอินคริเมนต์เอนโคเดอร์	7
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างกลไกของออฟโตอินคริเมนต์	7
รูปที่ 2.6 แสดงตัวเซนเซอร์แบบมีช่องปิด-เปิดให้แสงผ่านช่องเดียว และแบบมีหลายช่อง	7
รูปที่ 2.7 แสดงถึงผลของแสงที่ผ่านในแนวเดียวกัน และแสงที่แตกกระจาย	8
รูปที่ 2.8 โรตารีเอนโคเดอร์ที่มีเอาท์พุทเป็นแบบไบนารี	
(ก) ลักษณะตัวอย่างแบบหนึ่ง	9
(ข) แผ่นจากภายในที่ประกอบด้วยข้อมูลไบนารี	9
รูปที่ 2.9 (ก) ตัวอย่างลูกคลื่นเอาท์พุทสี่เหลี่ยมของอุปกรณ์เอนโคเดอร์ช่องเดียว (ไบนารี)	10
(ข) ตัวอย่างสัญญาณเอนโคเดอร์ 2 ช่องมีมูฟเฟสต่างกัน 90 องศา (สองทิศทาง)	10
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างคิทของเอนโคเดอร์	10
รูปที่ 2.11 หม้อแปลงกระแสที่ใช้แกนเทอร์รอยด์	11
รูปที่ 2.12 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในออปแอมป์	13
รูปที่ 2.13 แสดงสัญญาณลักษณะทั่วไปของออปแอมป์	14
รูปที่ 2.14 ลักษณะการทำงานของออปแอมป์แบบต่างๆ	15
รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ของขั้วต่างๆ ในออปแอมป์	15
รูปที่ 2.16 วงจรใช้ปรับค่าออฟเซตให้เป็นศูนย์	17
รูปที่ 2.17 สัญญาณลักษณะของตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล	20
รูปที่ 2.18 กราฟระหว่างอนาล็อกอินพุทและจำนวนระดับ	21
รูปที่ 2.19(ก) ข้อผิดพลาดควอนไทซ์ของ q	21
(ข) ข้อผิดพลาดควอนไทซ์ของ $q/2$	21

	หน้า
รูปที่ 2.20 แสดงการตอบสนองของเวลาแปลงสัญญาณ (conversion time) ของตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล	23
รูปที่ 2.21 การเพี้ยนเกิดขึ้นเมื่ออัตราแซมเปิ้ลต่ำเกินไปเมื่อเทียบกับคาบ เวลาของสัญญาณอินพุท	23
รูปที่ 2.22 คอนเวอร์เตอร์ซึ่งใช้เทคนิค SAR	25
รูปที่ 2.23 กราฟของส่วน D/A ระหว่างการแปลงสัญญาณซึ่งใช้ SAR A/D คอนเวอร์เตอร์	25
รูปที่ 2.24 แซมเปิ้ลและเก็บค่าในการแปลงสัญญาณ	26
รูปที่ 2.25 แสดงบล็อกไดอะแกรมของตัวแปลงสัญญาณ อนาล็อกเป็นดิจิทัล	28
รูปที่ 2.26 ภาพแสดงตำแหน่งต่างๆ บนบอร์ด JAZZ-31	29
รูปที่ 2.27 แสดงโครงสร้างหน่วยความจำทั้งหมดของ MCS-51	36
รูปที่ 2.28 แสดงการใช้หน่วยความจำสำหรับโปรแกรมและเก็บข้อมูลรวมกัน	37
รูปที่ 2.29 แสดงตำแหน่งโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ ของสัญญาณ อินเตอร์รัปต์แต่ละชนิด	38
รูปที่ 2.30 แสดงโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ที่มีความยาวเกิน 8 ไบต์ และการใช้หน่วยความจำที่เป็นโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ที่ ไม่ได้ถูกใช้งาน	39
รูปที่ 2.31 แสดงการใช้หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายนอกชิป	40
รูปที่ 2.32 แสดงการใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมภายในชิป กับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอก ชิปจำนวน 2 กิโลไบต์	41
รูปที่ 2.33 แสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั้ง 3 ส่วน	42
รูปที่ 2.34 แสดงการเลือกกลุ่มรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป โดยควบคุมจากบิต RS0, RS1	44
รูปที่ 2.35 การติดต่อกันระหว่างชิปเบอร์ DS-1202 กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 Reset port	45
รูปที่ 2.36 ลักษณะการทำงานของส่วนแสดงผล	47
รูปที่ 2.37 สัญญาณไฟฟ้าแทนสภาวะ 0 และ 1 ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ อาจใช้แรงดันที่ต่างกันได้	47

	หน้า
รูปที่ 2.38 Start bit และ Stop bit จะช่วยให้คอมพิวเตอร์แยกข้อมูล แต่ละตัวออกมาได้อย่างถูกต้อง	48
รูปที่ 2.39 แสดงข้อต่อแบบ DB-25 และขาต่างๆของมัน	50
รูปที่ 2.40 การใช้งานรับส่งข้อมูลอนุกรม เราใช้สัญญาณเพียง 9 ขาเท่านั้น	51
รูปที่ 2.41 การต่อสายตรงของ RS-232C	52
รูปที่ 2.42 การต่อสายสลับของ RS-232C หรือ Null Modem Cable	53
รูปที่ 2.43 การต่อสายตรงจาก DB-25 ไปยัง DB-9	53
รูปที่ 2.44 การต่อสายสลับจาก DB-9 ไปยัง DB-25	54
บทที่ 3 รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมเครื่องติดตามและแสดงสภาวะการทำงานของ มอเตอร์	55
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้า	56
รูปที่ 3.3 แสดงการทำงานของวงจรตรวจจับกระแสในส่วนของไดโอด	57
รูปที่ 3.4 แสดงรายละเอียดในส่วนของวงจรที่เพิ่มเติมมาจากวงจร ตรวจจับกระแส	58
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรตรวจจับอุณหภูมิ	60
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรตรวจจับความเร็ว	61
รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเร็วยรอบ	61
รูปที่ 3.8 แสดงการปรับค่าเพื่อหาความถี่ที่ใช้งาน	63
รูปที่ 3.9 แสดงวงจรรับข้อมูล	63
รูปที่ 3.10 (a) แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของอุปกรณ์มอเตอร์ มอนิเตอร์	65
รูปที่ 3.10 (b) แสดงบล็อกการทำงานต่อจากภาพแรก	66
รูปที่ 3.11 แสดงรหัสมาตรฐานของข้อมูลที่รับส่งกันระหว่างเครื่องตรวจสอบ กับคอมพิวเตอร์	67
รูปที่ 3.12 แสดงรูปแบบการแสดงผลบนเท็กซ์บ็อกซ์ที่รับข้อมูลจากเครื่อง ติดตามสภาวะการทำงาน	69
รูปที่ 3.13 แสดงข้อมูลที่พิมพ์ออกมาจากโปรแกรม	72
รูปที่ 3.15 ตัวอย่างการพิมพ์ข้อมูลสรุปผลการท	73
บทที่ 4 รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการใช้งานเครื่องติดตามสภาวะการทำงาน ของมอเตอร์	77

	หน้า
รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ในการใช้งานเครื่องติดตามสถานะการทำงานของมอเตอร์	80
รูปที่ 4.3 แสดงการติดตั้งอินคริเมนต์โรตารีเอนโคเดอร์กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ	81
รูปที่ 4.4 การติดตั้งบอร์ดคอนโทรลกับตัวอุปกรณ์	81
รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะของสัญญาณที่ออกจากอินคริเมนต์เอนโคเดอร์	85
รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะรูปร่างสัญญาณของกระแสจากหม้อแปลงกระแส	85
รูปที่ 4.7 แสดงภาพของหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อเข้าสู่การทำงาน	86
รูปที่ 4.8 แสดงภาพหน้าจอแบบฟอร์มของหน้าจอสรุปผลการทำงานของมอเตอร์	86
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงสถานะการเปิด-ปิดของมอเตอร์ในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ	87
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงสถานะทางความเร็วรอบของมอเตอร์ในช่วงเวลาทำการทดสอบ	88
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงสถานะทางกระแสของมอเตอร์ในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ	89
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงสถานะทางอุณหภูมิของมอเตอร์ในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ	90

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิหน่วย $^{\circ}\text{C}$, K และ V_{out}	5
ตารางที่ 2 แสดงกระแสเข้ามอเตอร์และศักดาไฟฟ้าที่ต้องการทางด้านเอาต์พุท ของวงจรเรียงกระแส	12
ตารางที่ 3 แสดงค่าคอนโทรลไบต์ของ 8255	46



บทที่ 1

บทนำ

หลายปีที่ผ่านมา ผู้ผลิตอินดักชันมอเตอร์(Induction Motor) มีความพยายามที่จะผลิตเครื่องมือที่ทำให้มอเตอร์มีความเชื่อถือ จึงทำให้ระบบมอเตอร์เข้ามามีส่วนสำคัญในการตรวจสอบสถานะการทำงานของมอเตอร์ทั้งในขณะที่มอเตอร์กำลังทำงานและก่อนที่มอเตอร์จะเกิดความเสียหายขึ้น โดยระบบมอเตอร์จะถูกใช้กับมอเตอร์ที่ทำงานอย่างต่อเนื่อง เช่น ชิลเลอร์(Chiller) สำหรับระบบแอร์คอนดิชัน(Air-Condition) ในอาคารของโรงแรมขนาดใหญ่ หรือมอเตอร์ในเหมืองแร่ที่มีการทำงานตลอดเวลาซึ่งส่วนใหญ่ไม่ค่อยมีคนดูแลซ่อมแซม และบางทีก็อยู่ในเหมืองใต้ดินด้วย

ด้วยเหตุนี้แนวความคิดของการทำปริญญานิพนธ์นี้ คือ จากกรณีดังกล่าวหากเราสามารถที่จะตรวจสอบได้ว่ามอเตอร์ที่เรา กำลังตรวจสอบอยู่มีแนวโน้มที่จะเกิดความเสียหาย เราจะสามารถส่งคนเข้าไปตรวจสอบหรือเตรียมมอเตอร์สำหรับเปลี่ยนได้ทันเวลาที่ก่อนที่จะเกิดความเสียหายขึ้น ซึ่งช่วยทำให้ลดค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากความเสียหายที่จะเกิดขึ้นหากปล่อยให้มอเตอร์ทำงานต่อไป โดยในการตรวจสอบข้อมูลนี้เราได้นำคอมพิวเตอร์และบอร์ดคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยวเข้ามาช่วยในงานดังกล่าวเนื่องจากปัจจุบันคอมพิวเตอร์และบอร์ดคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยวมีใช้กันอย่างแพร่หลายกับงานหลายประเภท จึงเป็นการง่ายที่นำอุปกรณ์ติดตามและแสดงสถานะการทำงานของมอเตอร์ไปประยุกต์ใช้งานกับในสถานที่ต่าง ๆ

คณะผู้จัดทำได้ทำการออกแบบและทดลองสร้างมอเตอร์ต้นแบบในการติดตามและแสดงสถานะการทำงานของมอเตอร์ โดยมอเตอร์ที่ออกแบบนี้มีลักษณะการทำงานหลัก ๆ คือ ในส่วนจอแสดงผลการทำงานของมอเตอร์จากบอร์ดคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยวจะมีการแสดงชื่อของมอเตอร์หลังจากนั้นจะแสดงให้เห็นให้ผู้ใช้รู้ว่ามอเตอร์จะทำการรองรับการตั้งค่าเวลาในการบันทึกจากผู้ใช้ เมื่อผู้ใช้ป้อนค่าเวลาในการรับข้อมูลและสั่งให้บอร์ดคอนโทรลทำงาน ตัวบอร์ดคอนโทรลจะเป็นตัวไปเรียกข้อมูลของสถานะการทำงานต่าง ๆ มาจากตัวอุปกรณ์ตรวจจับสถานะทุก ๆ ช่วงเวลาที่ตั้งไว้และทำการคำนวณค่าต่าง ๆ พร้อมทั้งบันทึกค่าต่าง ๆ ไว้ในหน่วยความจำของมอเตอร์ หากมีการเรียกขอข้อมูลมาจากตัวคอมพิวเตอร์หลักโดยทำการส่งค่าตำแหน่งของบอร์ดที่ต้องการดูข้อมูลไปตามพอร์ตอนุกรม เมื่อตัวบอร์ดคอนโทรลรับรู้ว่าเป็นตำแหน่งของตัวเองก็จะทำการส่งข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำขึ้นไปยังคอมพิวเตอร์หลัก จากนั้นโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลสัญญาณและจัดเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการตรวจสอบขั้นต่อไป

ดังนั้นคณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าเนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะมีประโยชน์สำหรับผู้ที่มีความสนใจ ในเครื่องติดตามและแสดงสถานะการทำงานของมอเตอร์ เพื่ออาจนำเอาตัวอุปกรณ์นี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ติดตามและแสดงสถานะการทำงานของมอเตอร์ โดยจะกล่าวถึงทฤษฎีในการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับเครื่องมือที่ออกแบบขึ้น รวมไปถึงรูปแบบในการจัดข้อมูลและทฤษฎีในการส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรม

บทที่ 3 จะกล่าวถึงวงจรทั้งหมด ตั้งแต่ภาพรวมของเครื่องมอเตอร์มอเนเตอร์ ประกอบด้วยอะไรบ้าง รวมไปถึง การประมวลผลข้อมูลเพื่อทำการจัดเก็บ การติดต่อกับผู้ใช้ การติดต่อส่งข้อมูลให้คอมพิวเตอร์ และ โปรแกรมในคอมพิวเตอร์หลักนำข้อมูลที่ได้ไปทำอย่างไรบ้าง

บทที่ 4 จะกล่าวถึงการใช้งานตัวอุปกรณ์ ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งนำข้อมูลที่ได้ส่งเข้าไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์หลัก และจากคอมพิวเตอร์หลักมีวิธีในการใช้โปรแกรมตรวจสอบสถานะการทำงานของมอเตอร์อย่างไรบ้าง สุดท้ายจะเป็นข้อมูลการทดสอบอุปกรณ์นี้กับอินดักชันมอเตอร์ ที่ชนิดโหลดต่าง ๆ กัน และขณะมอเตอร์หยุดการทำงาน

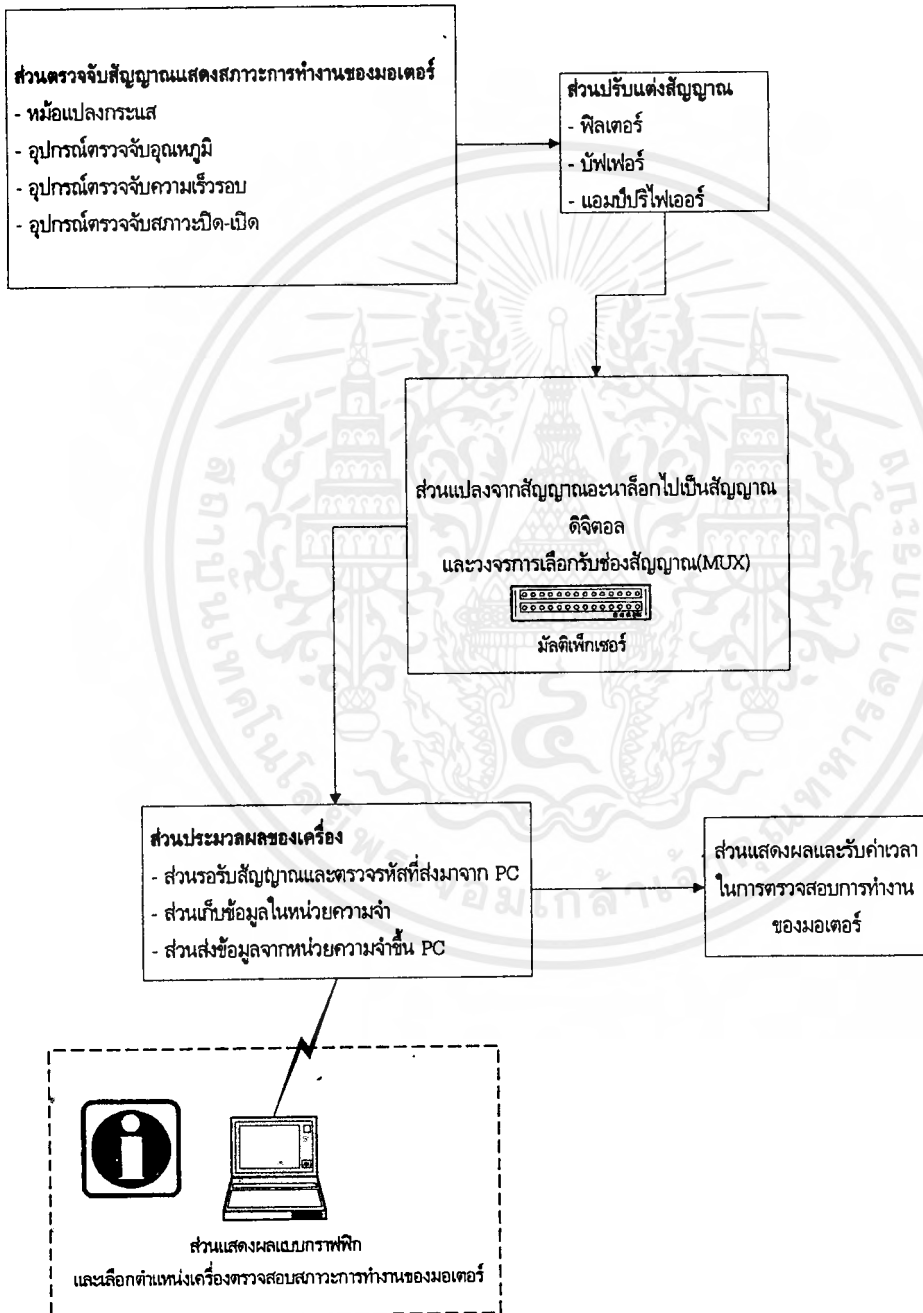
บทที่ 5 จะเป็นสรุปผลการทำโครงการ

ภาคผนวกจะเป็นรายละเอียดเพิ่มเติมบางส่วน ที่มีได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 เช่นรายละเอียดเฉพาะของอุปกรณ์บางตัวที่ไม่ค่อยได้พบเห็น , โปรแกรมในส่วนของตัวมอเนเตอร์ และ โปรแกรมในส่วนของเครื่องคอมพิวเตอร์หลัก

บทที่ 2

ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์มอเตอร์มอนิเตอร์

ในหลักการทำงานคร่าว ๆ ในบทนี้เราจะสามารถแบ่งลักษณะการทำงานดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงภาพโดยรวมของมอเตอร์มอนิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดสำคัญในการออกแบบอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการออกแบบสร้างเครื่องติดตามและแสดงสภาวะการทำงานของมอเตอร์ ดังนี้

2.1 อุปกรณ์ที่วัดสภาวะการทำงานของมอเตอร์

อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการสร้างอุปกรณ์ติดตามสภาวะการทำงานของมอเตอร์นี้มีอยู่ทั้งหมด 4 ชนิดคือ หม้อแปลงกระแส วงจรตรวจจับการปิด-เปิดของมอเตอร์ อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ และอุปกรณ์ตัววัดความเร็วรอบของมอเตอร์ ซึ่งจะต้องมีนำอุปกรณ์มาใช้งานเพื่อเชื่อมต่อเข้ากับตัวแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล ดังนี้

2.1.1 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิสามารถใช้ตัวแปลงสัญญาณ ที่เป็นโซลิตสเตทอิเล็คทรอนิกส์ LM135 , LM235 และ LM335 ซึ่งแปลงเปลี่ยนค่าอุณหภูมิเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้ โดยมีช่วงจำกัดอุณหภูมิของตัวแปลงสัญญาณดังนี้ คือ

LM135 (H)	วัดอุณหภูมิได้ในช่วง	-55	ถึง	+150 องศาเซลเซียส
LM235 (H)	วัดอุณหภูมิได้ในช่วง	-40	ถึง	+125 องศาเซลเซียส
LM335 (H)	วัดอุณหภูมิได้ในช่วง	-10	ถึง	+100 องศาเซลเซียส

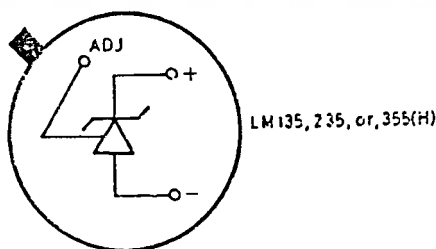
ตัวอักษร H และ A ที่ตามหลังหมายถึง โซลิตสเตทอิเล็คทรอนิกส์ที่ทำมาจากโลหะเซรามิก และที่ทำมาจากโลหะและเซรามิกตามลำดับ ตำแหน่งขาสัญญาณต่าง ๆ และการต่อวงจร LMX35 แสดงดังรูปที่ 2.2 (ก) และ (ข) โดยที่ V_{OUT} นำเข้าสู่วงจรแปลงผันสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล(A/D) โดยมีความสัมพันธ์ระหว่าง V_{OUT} กับค่าอุณหภูมิเป็นไปตามสมการ ดังนี้

$$T \text{ (เคลวิน) } / 100 = V_{OUT}$$

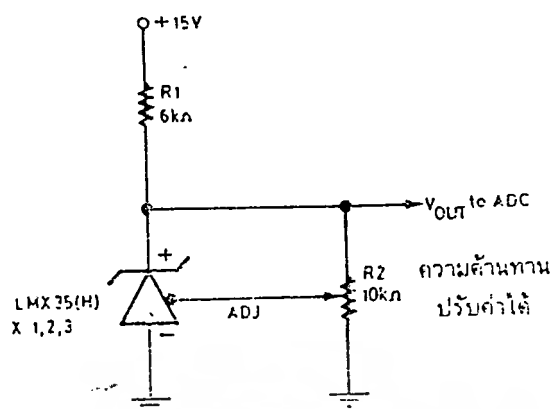
และเมื่อเปลี่ยนเป็นองศาเซลเซียสได้ ดังนี้

$$\text{องศาเซลเซียส } (^{\circ}\text{C}) = \text{เคลวิน (K)} - 273.2$$

ซึ่งทำให้ทราบค่าอุณหภูมิได้ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส เคลวิน กับ V_{OUT} แสดงค่าไว้ให้ดังตารางที่ 2.1



(ก) ตำแหน่งขาสัญญาณของ LMX35



(ข) การต่อวงจรใช้งาน

รูปที่ 2.2

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิหน่วย °C , K และ V_{OUT}

อุณหภูมิ		
องศาเซลเซียส	องศาเคลวิน	V_{OUT}
0	273.2	2.73
25	298.2	2.98
50	323.2	3.23
75	348.2	3.48
100	373.2	3.73

ค่าที่อ่านจากวงจร ADC หรือ A/D เป็นค่าตัวเลขอยู่ในช่วง 0 ถึง 255 เข้าสู่คอมพิวเตอร์ การตีความ V_{OUT} สามารถกระทำได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\text{จาก} \quad 273.2 + \text{องศาเซลเซียส}/100 = V_{OUT}$$

$$100 \times V_{OUT} = 273.2 + \text{องศาเซลเซียส}$$

$$(100 \times V_{OUT}) - 273.2 = \text{องศาเซลเซียส}$$

เมื่อ V_{OUT} คือ (ค่าตัวเลขที่อ่านได้) $\times (10 / 25)$

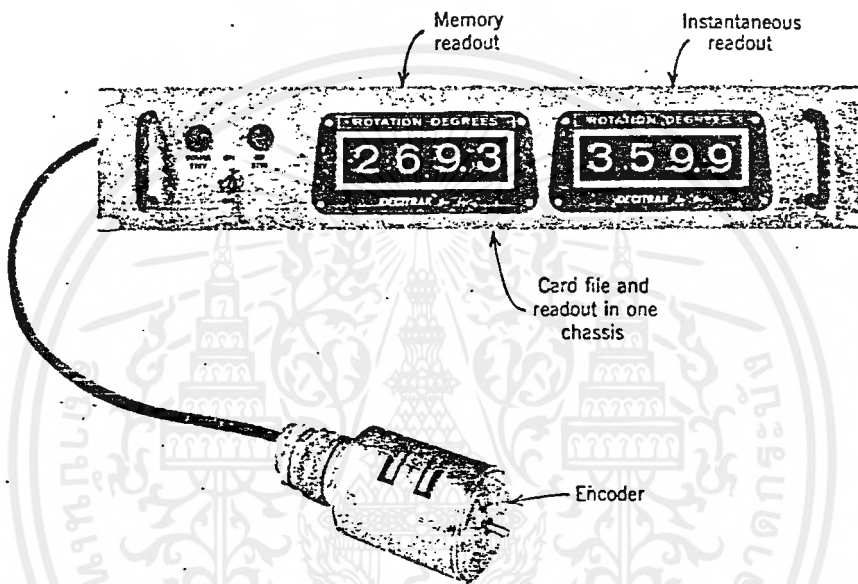
จะได้ว่า $\text{องศาเซลเซียส} = (100 \times \text{ค่าตัวเลขที่อ่านได้} \times (10/255)) - 273.2$

2.1.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์วัดความเร็วรอบของมอเตอร์

อุปกรณ์ที่ใช้

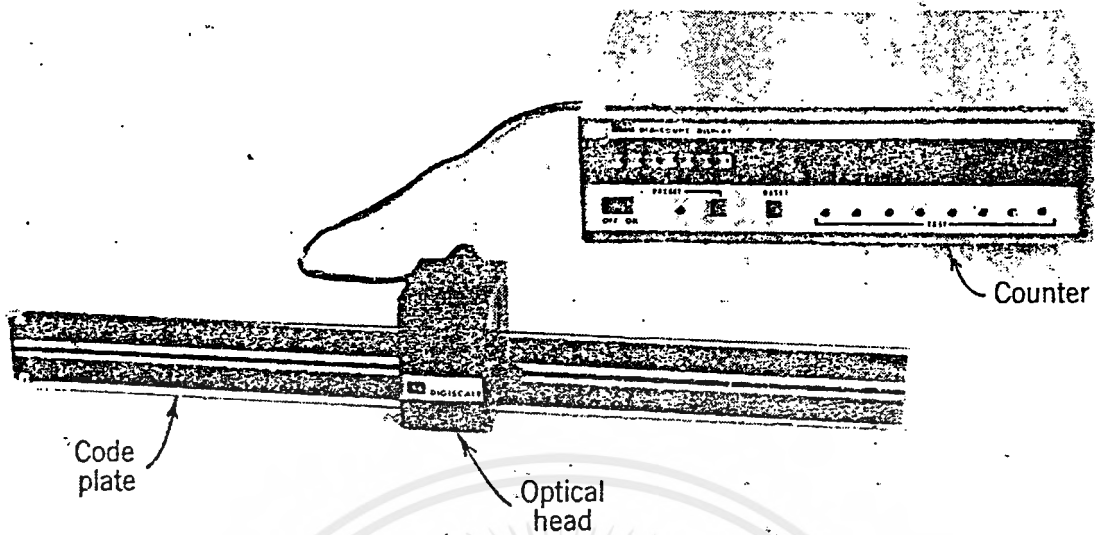
- อินคริเมนต์เอ็นโคดเดอร์ (Increment encoder)

เป็นเอ็นโคดเดอร์ที่สร้างสัญญาณพัลส์แปรผันตรงกับการหมุนของเพล (ความถี่ของพัลส์เปลี่ยนตามความเร็ว) โดยพัลส์ที่ได้สามารถนำไปหาความเร็วในการหมุนได้

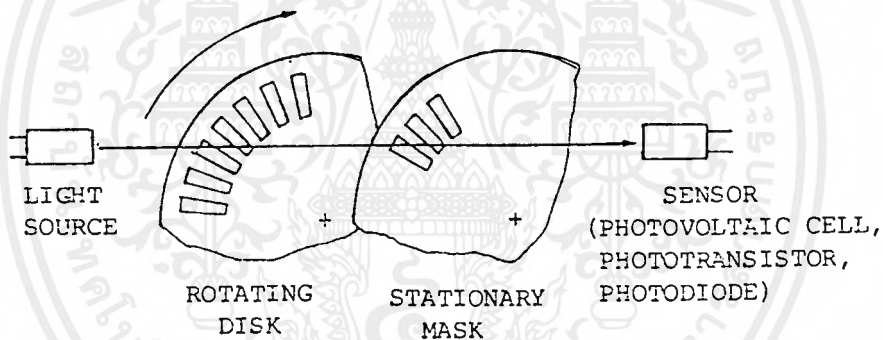


รูปที่ 2.3 ระบบเอ็นโคดเดอร์แบบโรตารี

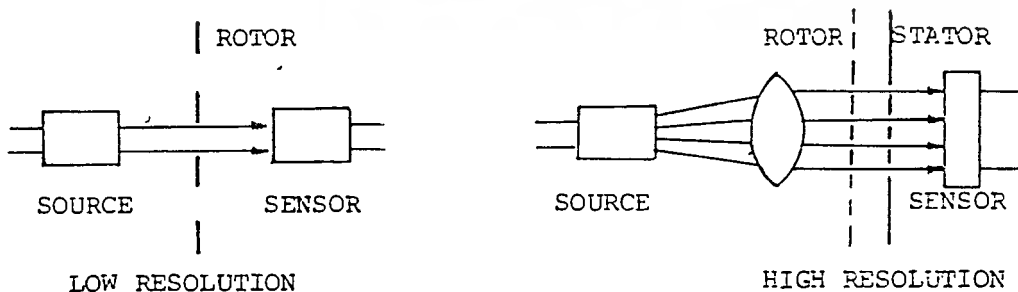
อินคริเมนต์เอ็นโคดเดอร์ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ คือตัวกำเนิดแสง จานหมุน (rotary disk) จานอยู่กับที่ และตัวเซนเซอร์ บนแผ่นจากหมุนทำเป็นช่องโดยรอบดังแสดงในรูป 2.5 และแผ่นอยู่กับที่จะมีช่องสำหรับให้แสงผ่านตรงเข้าไปยังตัวเซนเซอร์ ถ้าเป็นเอ็นโคดเดอร์ที่ใช้วัดความเร็วต่ำไม่ต้องมีแผ่นอยู่กับที่ก็ได้ ส่วนตัวกำเนิดแสงอาจจะเป็นหลอดไฟฟ้า หรือตัวแสดงผล (LED) ก็ได้



รูปที่ 2.4 แสดงรูปลักษณะของอินคริเมนทเอนโคดเดอร์แบบลิเนียร์



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างกลไกของออฟโตอินคริเมนท

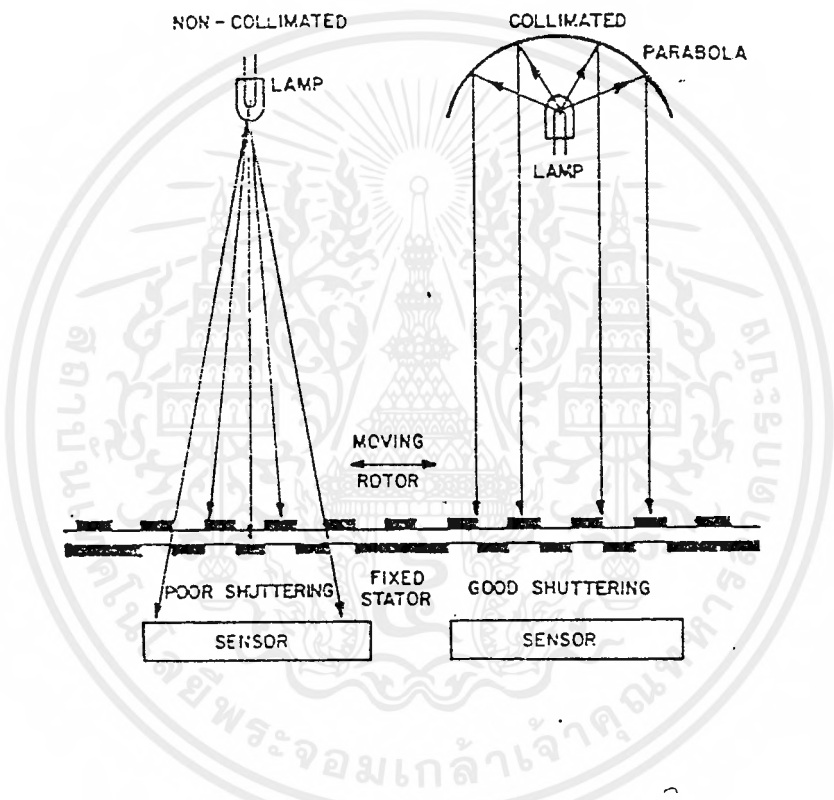


รูปที่ 2.6 แสดงตัวเซนเซอร์แบบมีช่องปิดเปิดให้แสงผ่านช่องเดียวและแบบมีหลายช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความละเอียดของอินคริเมนต์เอนโคดเดอร์

เป็นจำนวนตามเวลาของสัญญาณเอาร์ทพุตต่อการหมุนของเพลลา 1 รอบ ซึ่งบอกเป็นจำนวนพัลส์ต่อรอบหรือจำนวนไซเคิลต่อ 360 องศา มุมทางกลหรือไซเคิลต่อองศาที่ใช้ทั่วไปมีความละเอียดตั้งแต่ 15 ถึง 10000 พัลส์ต่อรอบ โดยจำนวนพัลส์จะเท่ากับจำนวนช่องของแผ่นจานหมุน ในทางปฏิบัติถ้าต้องการให้แสงผ่านช่องเป็นเส้นตรงพร้อมๆกัน อาจจะใช้เลนส์ หรือพาราโบลิกรีเฟลคเตอร์ ดังรูปที่ 2.7

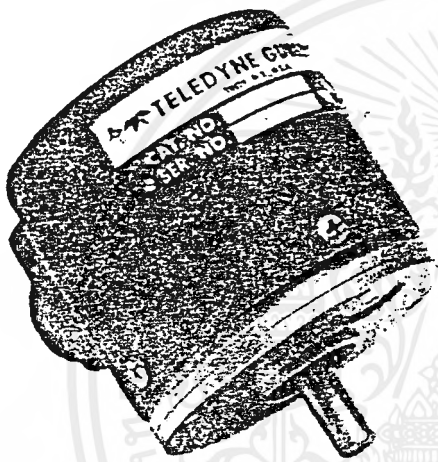


รูปที่ 2.7 แสดงถึงผลของแสงที่ผ่านในแนวเดียวกันและแสงที่แตกกระจาย

เอาร์ทพุทของเอนโคดเดอร์

โดยทั่วไป แล้วสัญญาณเอาร์ทพุทที่ออกจากเอนโคดเดอร์โดยตรง จะมีระดับไม่เพียงพอในการควบคุมหรือสำหรับการประมวลสัญญาณ ดังนั้นจึงต้องมีการขยายและแปลงรูปร่างลูกคลื่นต่อไว้ในตัวเอนโคดเดอร์ด้วยเสมอ สัญญาณลูกคลื่นที่ได้จากตัวเซนเซอร์ปกติแล้วจะเป็นรูปสัญญาณสามเหลี่ยมหรือรูปสัญญาณซายน์ขึ้นอยู่กับความละเอียดที่ต้องการ รูปสัญญาณเหล่านี้สามารถทำให้เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมได้โดยการต่อตัวคอมพาราเตอร์เข้ากับลิเนียร์แอมพลิไฟของเอนโคดเดอร์ก็จะได้เอาร์ทพุทเป็นลูกคลื่นสี่เหลี่ยมตามต้องการ

รูปที่ 2.9 (ก) แสดงถึงลูกคลื่นเอาร์ทพุทสี่เหลี่ยมของเอนโคดเดอร์ชนิด 1 ช่องไม่ว่าเพลลาจะหมุนในทิศทางใดก็ได้สัญญาณออกมาเหมือนกัน จึงเหมาะที่จะใช้กับงานที่ไม่กำหนดทิศทางเท่านั้น ส่วนในรูป 2.9 (ข) แสดงสัญญาณ 2 ชุดที่ได้จากเอนโคดเดอร์ชนิด 2 ช่อง เฟสของสัญญาณ 2 ช่องนี้จะต่างกัน 90 องศาทางไฟฟ้าเราเรียกสัญญาณ 2 ช่องนี้ว่าเป็นควอดราเจอร์ (quadrature) กันซึ่งเหมาะที่จะใช้ในการรับรู้ทิศทางการหมุนของเพลลาหรือใช้ควบคุมระบบที่ซับซ้อนอื่นๆ จากสัญญาณในรูป 2.9 (ข) จะเห็นได้ว่าสัญญาณทั้ง 2 ช่องจะเริ่มจาก 0 ถึง 1 และ 1 ถึง 0 ขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุนของแผ่นหมุนของเอนโคดเดอร์



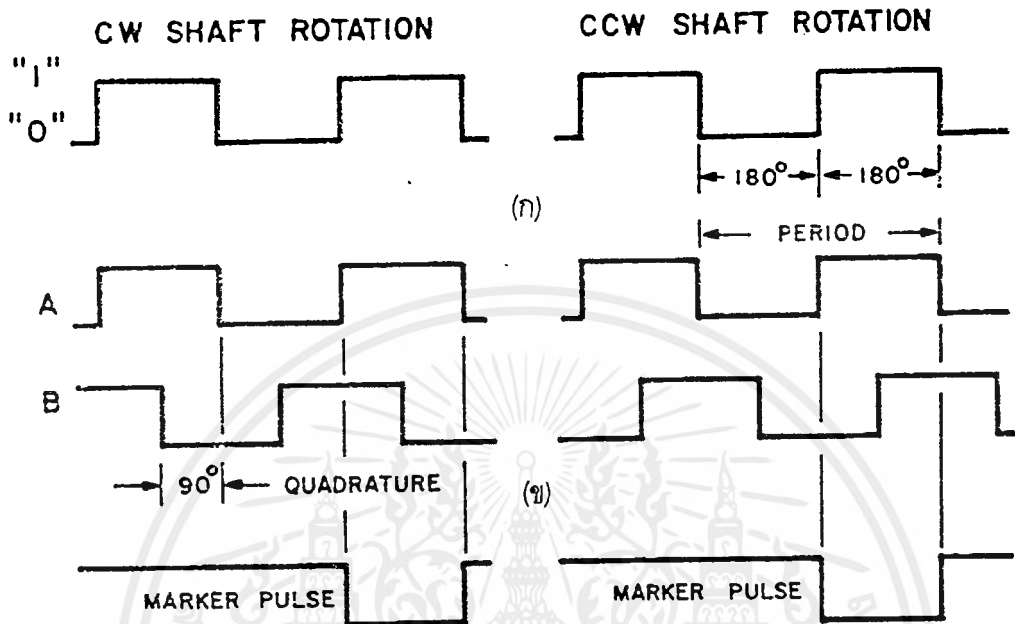
(ก)



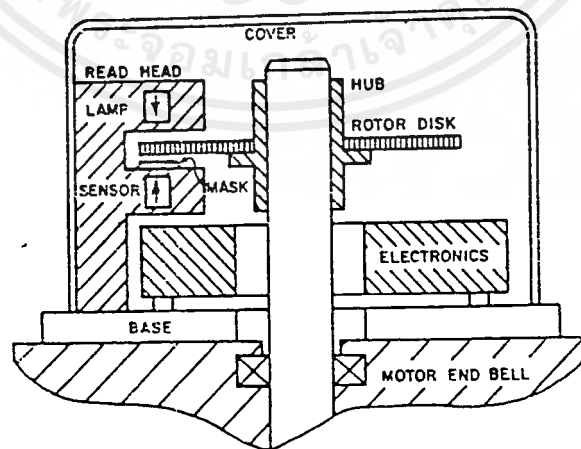
(ข)

รูปที่ 2.8 โรตารีเอนโคดเดอร์ที่มีเอาร์ทพุทเป็นไบนารี (ก) ลักษณะตัวอย่างแบบหนึ่ง
(ข) แผ่นจานภายในที่ประกอบด้วยข้อมูลไบนารี

ในอินคริเมนท์เอนโคดเดอร์บางชนิดจะมีพัลส์ที่แสดงถึงจำนวนรอบของการหมุนสำหรับใช้เป็นศูนย์ในการอ้างอิงพัลส์ที่ใช้แสดงจำนวนรอบนี้จะเกิดขึ้น 1 พัลส์ต่อ 1 รอบ โดยทั่วไปแล้วใช้บอกถึงตำแหน่งเชิงกลหรือใช้เป็นสัญญาณเคลียร์จำนวนที่นับไว้ในหน่วยเก็บข้อมูล



รูปที่ 2.9 (ก) ตัวอย่างลูกคลื่นเอาต์พุตสี่เหลี่ยมของอุปกรณ์เอนโคเดอร์ช่องเดียว(ไบไดเรกชัน)
 (ข) ตัวอย่างสัญญาณเอนโคเดอร์ 2 ช่องที่มีมุมเฟสต่างกัน 90 องศา (สองทิศทาง)

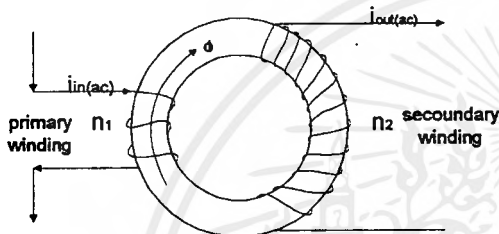


รูปที่ 2.10 ตัวอย่างคิทของเอนโคเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 หม้อแปลงกระแส

จะกล่าวถึงลักษณะการใช้งานอย่างคร่าว ๆ คือ หม้อแปลงกระแสเป็นอุปกรณ์ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าเหมือนกับหม้อแปลงแรงดัน โดยกระแสที่ไหลเข้าทางฝั่งปฐมภูมิ(Primary) จะทำให้เกิดฟลักซ์(Flux) ไหลในแกนเหล็กผ่านขดลวดทุติยภูมิ(Secondary) ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดทุติยภูมิเกิดศักดาไฟฟ้าขึ้นแต่ข้อแตกต่างจากหม้อแปลงแรงดัน คือค่าของกระแสไฟฟ้าฝั่งปฐมภูมิขณะที่ฝั่งทุติยภูมิไม่มีไหลจะสูงกว่าค่ากระแสกระตุ้น



- เมื่อ I_A = กระแสไหลในเฟส A
- I_A' = กระแสในขดลวดทุติยภูมิ
- n_1 = จำนวนรอบของขดลวดฝั่งปฐมภูมิ
- n_2 = จำนวนรอบของขดลวดฝั่งทุติยภูมิ
- \varnothing = ฟลักซ์ที่สร้างขึ้นมาจาก I_A
- V_A' = ศักดาไฟฟ้าของขดลวดฝั่งทุติยภูมิ

รูปที่ 2.11 หม้อแปลงกระแสที่ใช้แกนเทอร์รอยด์

จากรูปจะเป็นหม้อแปลงกระแสที่ใช้แกนเทอร์รอยด์(Toroid) ซึ่งจะเหมาะสมในการวัดกระแสสลับที่มีความถี่สูง ถ้านำมาใช้งานที่ความถี่ต่ำจะทำให้เกิดการอิ่มตัวของแกนเหล็กขึ้นรูปคลื่น I_A ที่วัดได้จะไม่เป็นรูป sinusoidal แต่จะเป็นรูปกรวยของการอิ่มตัวแทน นอกจากแกนเทอร์รอยด์แล้วยังมี แกนซีไอ แกนอีไอ ที่ใช้ในความถี่ทั่ว ๆ ไป (50-60 Hz) จะทำมาจากแผ่นลามิเนต(Laminate) ซึ่งมีค่าซึมซาบแม่เหล็กต่ำกว่าแกนเฟอร์ไรต์ทำให้เกิดการอิ่มตัวช้ากว่าที่ความถี่ต่ำ พิกัดการใช้งานทั่วไป (ที่ 50-60 Hz) ในการออกแบบใช้งานหม้อแปลงกระแสของปริยญาณิพนธ์นี้จะเลือกใช้หม้อแปลงกระแสที่ใช้วัดกระแสในช่วง 50 A มาประยุกต์ใช้ โดยมีการปรับเปลี่ยนจำนวนรอบทางด้านปฐมภูมิให้เหมาะสม โดยพันจำนวนรอบเพิ่มขึ้นเพื่อให้อัตราส่วนทรานส์ฟอร์มเมอร์เพิ่มขึ้น

ในการออกแบบเครื่องมือชิ้นนี้ เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้ในทดลองมีพิกัดอยู่ในช่วง 0-10A แต่หม้อแปลงกระแสที่มีขายอยู่ในท้องตลาดจะใช้งานในช่วงกระแสสูงกว่ามากจึงมีการดัดแปลงดังที่กล่าวข้างต้น โดยดูจากค่ากระแสเอาท์พุทที่ต้องการซึ่งสัมพันธ์กับค่าศักดาไฟฟ้าที่ขดทุติยภูมิที่คงที่กับกระแสอินพุทแต่ละค่า

เนื่องจากวงจรรับข้อมูลจะใช้ IC 0809 ซึ่งมี $V_{REF(+)} = 5 V$ และ $V_{REF(-)} = 0 V$ ดังนั้นสัญญาณกระแสที่ต้องแปลงส่งไปยังวงจรรับข้อมูลต้องสัมพันธ์กับศักดาไฟฟ้าตามตาราง

ตารางที่ 2 แสดงกระแสเข้ามอเตอร์และศักดาไฟฟ้าที่ต้องการทางด้านเอาต์พุทของวงจรเรียงกระแส

กระแสเข้ามอเตอร์ (A_{RMS})	ศักดาไฟฟ้าที่ต้องการแปลง
1	0.5
2	1.0
3	1.5
4	2.0
5	2.5
6	3.0
7	3.5
8	4.0
9	4.5
10	5.0

สำหรับวงจรแปลงกระแสเป็นโวลต์เตจ (I/V Converter) จากสมการทั่ว ๆ ไป $V=IR$ ดังนั้นเราจะต่อ R โดยตรงทางด้านหุติยภูมิซึ่งจะใช้ R ที่มีความต้านทานไม่มากนัก เพื่อป้องกันการอ้อมตัวของแกนเหล็ก เนื่องจากฟลักซ์ที่ไหลในแกนเหล็กมากกว่าฟลักซ์ ณ จุดอ้อมตัวของแกนเหล็ก

2.2 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier Circuit Design)

การออกแบบวงจรที่ใช้ขยายสัญญาณนั้นโดยทั่วไปจะใช้อุปกรณ์ ไอซีออปเปอเรชั่นแนล แอมพลิฟาย์ หรือที่มักเรียกสั้นๆว่า "ออปแอมป์" (op-amp) คือวงจรรวม(integrated circuit) โซลิด-สเตท แบบหนึ่งที่ใช้การป้อนกลับภายนอกควบคุมฟังก์ชันหรือทำงานของมัน ออปแอมป์สามารถนำไปใช้ในวงจรต่างๆ ได้มากมายหลายอย่างด้วยกัน เป็นต้นว่า วงจรขยาย วงจรอินทิเกรเตอร์ วงจรดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ วงจรโวลต์เตจ-ฟอลโลเวอร์ วงจรออสซิลเลเตอร์ และวงจรทางคณิตศาสตร์อื่นๆ ซึ่งคุณลักษณะที่สำคัญมากของมันก็คือมันทำงานได้ง่ายๆ

ออปแอมป์แต่ละตัวต่างมีคุณสมบัติอันหนึ่งซึ่งสามารถทราบได้จากสเปค(spec) ของโรงงานผู้ผลิต ออปแอมป์นั้นๆ เช่น บางตัวมีอัตราขยายแรงดันและกระแสสูง ย่านความถี่กว้าง มีการป้องกันการลัดวงจร การชดเชยความถี่ภายใน กินกำลังต่ำ การป้องกันการ "ลัด" วงจรภายในและเสถียรภาพทางอุณหภูมิ (stability) ดี เป็นต้น

คุณสมบัติทั่วไป

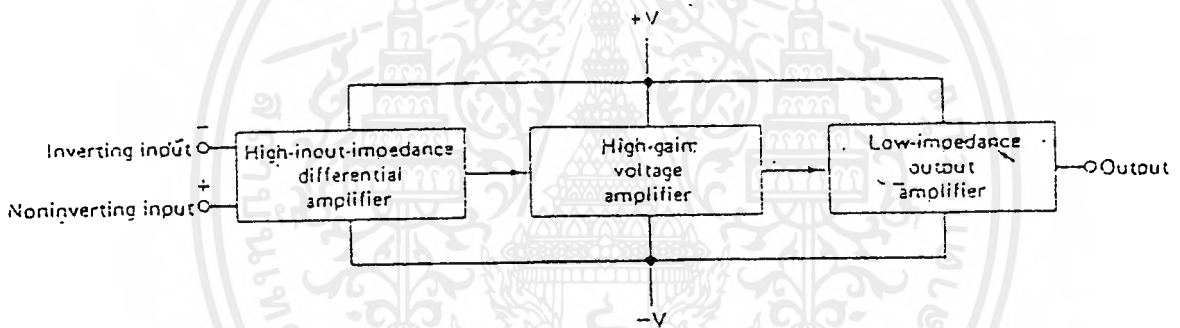
โดยทั่วไปแล้ว เราสามารถกล่าวได้ว่า ไอซีออปแอมป์ คือ อุปกรณ์โซลิดสเตท (SOLID STATE) ชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถตรวจวัดระดับสัญญาณไฟตรง และ โฟลต์ได้ และยังสามารถนำไปใช้ขยายสัญญาณได้อีกด้วย ไอซีออปแอมป์พื้นฐานจะต้องประกอบด้วยวงจรภายในภาคต่างๆ ดังนี้ คือ:

1. ดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ หรือ วงจรขยายผลต่าง (DIFFERENTIAL AMPLIFIER) ที่มีอินพุทอิมพีแดนซ์สูงมาก

2. วงจรขยายแรงดันซึ่งมีอัตราขยายสูงมาก

3. วงจรขยายภาคเอาต์พุทที่มี เอาต์พุทอิมพีแดนซ์ต่ำมาก

รูป 2.12 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในภาคต่างๆ ของออปแอมป์ดังกล่าว และจากรูปจะสังเกตเห็นว่า แรงดันไฟตรงที่จ่ายให้แก่ออปแอมป์มักประกอบด้วยไฟบวกและลบ เพื่อให้เอาต์พุทสามารถสวิงได้ทั้งซีกบวกและลบเทียบกับกราวด์



รูปที่ 2.12 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในออปแอมป์

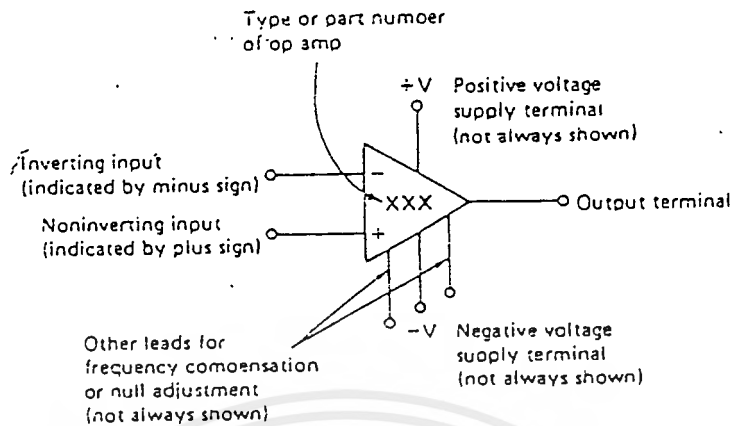
จากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่กล่าวมา ทำให้สามารถสรุปคุณสมบัติที่สำคัญบางประการของออปแอมป์ในอุดมคติ ดังนี้

1. เนื่องจากอินพุทอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์มีค่าสูงเป็นอนันต์ กระแสเข้าที่อินพุทจะต่ำจนเกือบเท่ากับศูนย์ หรืออีกนัยหนึ่ง ไม่มีกระแสอินพุทเข้าสู่ออปแอมป์เลย

2. อัตราขยายขณะเปิดลูป A (ขณะที่ยังไม่มีกร็อบกลับ) จะมีค่าสูงมาก ซึ่งหมายความว่า แรงดันระหว่างขั้วอินพุทควรมีค่าใกล้ศูนย์

3. เอาต์พุทอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำมากจนไม่ทำตัวเป็นโหลดต่อภาคเอาต์พุทของวงจรขยาย

รูป 2.13 แสดงสัญลักษณ์ชนิดทั่วไปของออปแอมป์ ซึ่งประกอบด้วยขั้วอินพุท 2 ขั้ว ขั้วสำหรับแหล่งจ่ายไฟ 2 ขั้ว ขั้วเอาต์พุท 1 ขั้ว และขั้วสำหรับปรับออฟเซต หรือการชดเชยความถี่ อีก 2 ขั้ว



รูปที่ 2.13 แสดงสัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์

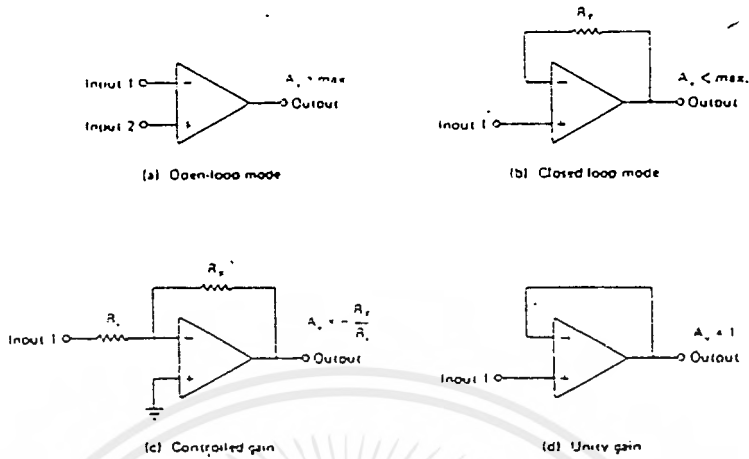
ขั้วอินพุตทั้งสองของออปแอมป์มีลักษณะต่างกัันดังนี้ คือ สำหรับขั้วลบ เมื่อป้อนไฟตรงหรือไฟสลับเข้าไป ในขณะที่ขั้วบวกต่อกับจุดอ้างอิงจุดหนึ่ง สัญญาณที่ออกมาที่เอาต์พุตจะกลับเฟสกับอินพุต 180 องศา ส่วนการป้อนสัญญาณที่ขั้วบวก เอาต์พุตจะมีเฟสตรงกับอินพุต ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าเครื่องหมายที่อินพุต คือ การแสดงเฟสของเอาต์พุตเทียบกับอินพุต ส่วนขั้วสำหรับปรับออฟเซต หรือชดเชยความถี่นั้นโดยมากมักจะไม่ถูกแสดง ในวงจรทั่วไป

ลักษณะการทำงาน

ออปแอมป์ในอุดมคติจะมีอัตราขยายเป็นอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติ อัตราขยายอาจมีค่าสูงสุดเพียง 10000 หรือ 1000000 เท่า นั้น ซึ่งเรียกว่า อัตราขยายขณะเปิดลูป (A_v) ดังรูป 2.14(a) ในขณะที่เกิดความแตกต่างของแรงดันเพียงเล็กน้อยระหว่างขั้วอินพุตทั้งสอง เอาต์พุตจะสามารถให้สัญญาณสูงขึ้นหลายเท่า (ตามค่าของอัตราขยาย A_v) หากแต่จะถูกจำกัดด้วยขนาดของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่เราป้อนให้แก่ออปแอมป์ด้วย แต่ถึงเช่นนั้นก็ดี เอาต์พุตก็ไม่สามารถมีค่าสูงสุดเท่ากับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงได้จริง ทำให้แรงดันเอาต์พุตสูงสุดอาจมีค่าประมาณ 90เปอร์เซ็นต์ ของแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงเท่านั้น

จากคุณสมบัติข้างต้น เราสามารถนำออปแอมป์ในขณะเปิดลูปไปใช้งานเป็นคอมพาราเตอร์ (COMPARATOR) หรือวงจรเปรียบเทียบแรงดันได้ โดยเอาต์พุตจะเปลี่ยนทันทีเมื่อมีความดันแตกต่างกัน แรงดันที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วอินพุตของออปแอมป์

แต่ทว่า การทำงานของออปแอมป์ยังไม่สิ้นสุดเพียงเท่านั้น นอกจากนี้ จะพบว่าการใช้งานออปแอมป์ในลักษณะของลูปปิด (มีการป้อนกลับ) จะทำให้ออปแอมป์มีประโยชน์สูงมากขึ้น ดังรูป 2.14(b) การป้อนกลับในรูปใช้ตัวต้าน R_f เพียงตัวเดียว ซึ่งมีผลให้วงจรมีเสถียรภาพสูงขึ้น และมีสัญญาณรบกวนน้อยลง ในขณะที่เดียวกัน อัตราขยายแรงดันจะลดลงด้วย

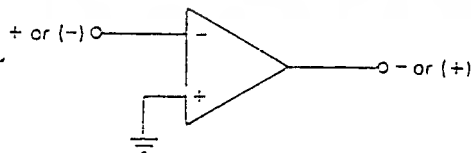


รูปที่ 2.14 ลักษณะการทำงานของออปแอมป์แบบต่าง ๆ

วงจรในรูป 2.14(c) แสดงการใช้ออปแอมป์โดยมีการป้อนสัญญาณเอาต์พุทกลับมายังอินพุทนอก จากนี้ยังสามารถควบคุมอัตราการขยายแรงดัน (ในขณะปิดลูป) ได้โดยอาศัยตัวต้านทาน 2 ตัวเท่านั้นทำให้ อัตราการขยายแรงดัน A_v มีค่าดังสมการ:

$$A_v = -\frac{R_f}{R_i}$$

โดยที่เครื่องหมายลบแสดงถึงการกลับเฟสของเอาต์พุทเทียบกับอินพุท ส่วนวงจร 2.14(d) แสดงการ ป้อนกลับในกรณีที่ $A_v = 1$ คุณสมบัติที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้ คือ คุณสมบัติทั่วไปของออปแอมป์ที่จะนำไปใช้ ในบทต่อไป และนอกจากนี้ คุณสมบัติอีกประการที่ควรศึกษาคือ เรื่องความสัมพันธ์ของขั้วต่างๆ ระหว่างอิน พุทของออปแอมป์ ซึ่งสรุปไว้แล้วในรูป 2.15



รูป 2.15 ความสัมพันธ์ของขั้วต่าง ๆ ในออปแอมป์

1. ถ้าขั้ว - มีศักดาเป็นบวกสูงกว่าขั้ว + , เอาต์พุทเป็น -
2. ถ้าขั้ว + มีศักดาเป็นบวกต่ำกว่าขั้ว + , เอาต์พุทเป็น +

คุณสมบัติและพารามิเตอร์บางชนิดของออปแอมป์

1. อินพุทอิมพีแดนซ์

ในทางอุดมคติควรมีค่าเท่ากับอนันต์ แต่ในความจริง อินพุทอิมพีแดนซ์จะมีค่าประมาณ 1 เมกะโอห์ม (1×10^6 โอห์ม) ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์นี้ยังมีค่ามากขึ้นเท่าใด ออปแอมป์ตัวนั้นก็ทำงานได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ เมื่อนำออปแอมป์ไปใช้งานในย่านความถี่สูง ควรระวังผลจากอินพุทคาปาซิแตนซ์ของวงจรด้วย ซึ่งมักมีค่าประมาณ 2 พิโคฟารัด (2×10^{-12} ฟารัด) เมื่อขั้วอินพุทขั้วหนึ่งต่อกับกราวด์

2. เอาท์พุทอิมพีแดนซ์

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ออปแอมป์ในอุดมคติจะมีเอาท์พุทอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์ แต่ในความเป็นจริง ค่านี้อาจมีได้ตั้งแต่ 25 ถึงหลายพันโอห์มขึ้นไป แต่อย่างไรก็ตาม เรามักสมมติให้เอาท์พุทอิมพีแดนซ์ในวงจรมีค่าเป็นศูนย์ เพื่อง่ายต่อการคำนวณ และวิเคราะห์

จากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่มีอินพุทอิมพีแดนซ์สูง และมีเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ต่ำออปแอมป์จึงเปรียบเสมือนเป็นอุปกรณ์ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นอิมพีแดนซ์แมตชิ่ง (IMPEDANCE MATCHING) ที่ดีตัวหนึ่ง

3. กระแสไบอัสต้านอินพุท

เนื่องจากอินพุทอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์ไม่เป็นอนันต์ ดังนั้น จึงมีกระแสค่าน้อยๆ (มีหน่วยเป็นนาโน (10^{-9}) ถึง ไมโคร (10^{-6}) แอมแปร์) ไหลผ่านขั้วอินพุททั้งสอง ซึ่งค่าเฉลี่ยของกระแสดังกล่าวถูกเรียกว่า เป็น กระแสไบอัสต้านอินพุท กระแสจะก่อให้เกิดความไม่สมดุลในวงจรภายใน ซึ่งจะเป็นผลกระทบต่อภาคเอาท์พุทด้วย ดังนั้น กระแสนี้ควรถูกกำจัดให้มีค่าต่ำสุด (อาจทำได้โดยการใช้ออปแอมป์ที่มีอินพุทเป็น FET)

4. แรงดันออฟเซ็ท (OFFSET) ที่เอาท์พุท

แรงดันออฟเซ็ทที่เอาท์พุทเกิดขึ้นจากกระแสไบอัสต้านอินพุท ซึ่งในทางอุดมคติ เมื่อแรงดันอินพุทระหว่างขั้วทั้งสองมีค่าเท่ากัน แรงดันที่เอาท์พุทควรเป็นศูนย์ แต่โดยทั่วไปมักไม่เป็นเช่นนั้นคือ มักมีแรงดันค่าหนึ่งปรากฏที่เอาท์พุทขณะที่อินพุทเป็นศูนย์ ซึ่งเราสามารถแก้ไขได้โดย การป้อนแรงดัน หรือ กระแสออฟเซ็ทที่อินพุท แล้วปรับจนได้ $V_{out} = 0$ โวลท์

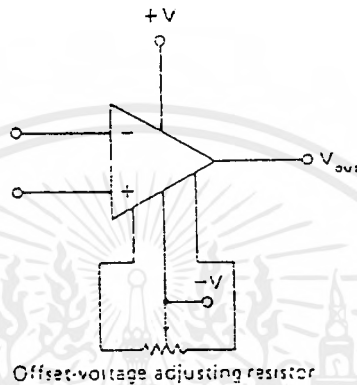
5. กระแสออฟเซ็ทที่อินพุท

ในการปรับแรงดันออฟเซ็ทที่เอาท์พุทให้มีค่าเป็นศูนย์ กระแสอินพุททั้งสองขั้วควรมีค่าเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติ จะพบว่า เราต้องจ่ายกระแสให้แก่อินพุทขั้วหนึ่งมากกว่าอีกขั้วหนึ่งเสมอ เพื่อให้แรงดันเอาท์พุทมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งกระแสออฟเซ็ทนี้อาจมีค่าประมาณ 20 มิลลิแอมป์

6. แรงดันออฟเซ็ทที่อินพุท

ในอุดมคติ แรงดันเอาต์พุทจะเท่ากับศูนย์ก็ต่อเมื่อแรงดันระหว่างขั้วอินพุทมีค่าเป็นศูนย์เช่นกัน แต่ในทางปฏิบัติ ความไม่สมดุลภายในวงจรมักทำให้เราต้องป้อนแรงดันค่าหนึ่งแก่อินพุทใดๆ เสมอเพื่อทำให้แรงดันเอาต์พุทเป็นศูนย์

7. การปรับออฟเซ็ทให้เป็นศูนย์



รูปที่ 2.16 วงจรใช้ปรับค่าออฟเซ็ทให้เป็นศูนย์

ในการปรับแรงดันเอาต์พุทให้เป็นศูนย์ หรือ การปรับแรงดันออฟเซ็ทที่อินพุทให้เป็นศูนย์นั้น เราอาจใช้ชื่อ OFFSET NULLING ที่ผู้ผลิตได้เตรียมไว้ให้แล้ว โดยให้ศึกษาข้อมูลรายละเอียดของออปแอมป์เบอร์นั้นๆ รูป 2.16 แสดงวงจรที่ใช้ในการตั้งค่าศูนย์ให้แก่ออปแอมป์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ตรวจสอบวงจรให้เรียบร้อยและเช็ควงจรที่ต่อนำมาต่อ
2. ลดระดับสัญญาณอินพุทจนเหลือศูนย์ ถ้ามีตัวต้านทานต่ออนุกรมกับอินพุทอยู่ ให้ตรวจสอบดังนี้

ก) ถ้าตัวต้านทานนั้นมีค่าสูงกว่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิดสัญญาณอินพุทตั้งแต่ 1 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป ปลดตัวต้านทานไว้เช่นเดิม

ข) หากตัวต้านทานดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับให้นำแหล่งกำเนิดสัญญาณอินพุทนั้นออก แล้วต่อตัวต้านทานที่มีขนาดเท่ากับอินพุทอิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิดอินพุทเข้าแทน

ค) ต่อโพลดเข้าไปยังขั้วเอาต์พุท

ง) ป้อนไฟตรงให้วงจร

จ) วัดแรงดันที่เอาต์พุทด้วย โวลท์มิเตอร์ หรือ ออสซิลโลสโคป (แรงดันเอาต์พุทอาจมีค่าต่ำเพียงไม่กี่มิลลิโวลต์ ดังนั้น ควรใช้อุปกรณ์สำหรับวัดที่เหมาะสม

ฉ) ปรับตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้จน V_{out} มีค่าเป็นศูนย์

ช) ถอดอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้าไป แล้วต่อวงจรดังเดิม แต่ห้ามแตะต้องตัวต้านทานปรับค่าได้

8. ผลของอณูหภูมิ

อณูหภูมิมีผลต่ออุปกรณ์โซลิตสเตททุกชนิด รวมทั้งออปแอมป์ ดังนั้น ผลกระทบจากอณูหภูมิจะทำให้กระแสและแรงดันออฟเซ็ทเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเราเรียกการเปลี่ยนแปลงอันเกิดขึ้นจากอณูหภูมิว่า “ดริฟท์” ดังนั้นในขณะที่ทำงาน ควรตรวจสอบด้วยว่าออปแอมป์จะมีเปอร์เซ็นต์การผิดพลาดมากน้อยเพียงใด หากอณูหภูมิเปลี่ยนไป

9. การชดเชยความถี่

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับออปแอมป์ที่ใช้ในย่านความถี่สูงก็คือ การออสซิลเลท (OSCILLATION) ซึ่งเกิดจากอัตราขยายที่มีค่าค่อนข้างสูงของออปแอมป์เอง และยังเกิดจากการเลื่อนเฟส (PHASE SHIFT) ณ จุดต่างๆ ภายในวงจร เป็นผลให้เราไม่สามารถควบคุมอัตราขยายของสัญญาณป้อนกลับได้ วิธีแก้ปัญหาก็คือ ต่อตัวเก็บประจุชดเชยให้แก่วงจร ซึ่งจะทำให้อัตราการขยายของออปแอมป์มีขนาดลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น

10. อัตราสลัว (SLEW RATE)

อัตราสลัว คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแรงดันเอาต์พุทเทียบกับเวลา เมื่ออัตราสลัวมีค่าต่ำจะเป็นผลให้แรงดันที่เอาต์พุทมีการตอบสนองเปลี่ยนแปลงช้าลงเมื่อเทียบกับอินพุท เมื่อสัญญาณอินพุทมีความถี่สูงมากขึ้นเท่าใด อัตราสลัวจะมีบทบาทต่อการตอบสนอง ณ เอาต์พุทอย่างเด่นชัดยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากเอาต์พุทที่จะเพี้ยนมากขึ้น หากอัตราสลัวมีค่าน้อย หรืออีกนัยหนึ่ง ออปแอมป์ที่มีอัตราสลัวสูงจะมีแบนด์วิดท์กว้างกว่านั่นเอง

11. การตอบสนองความถี่

อัตราขยายของออปแอมป์จะลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้นจะพบว่าอัตราขยายที่ผู้ผลิตแสดงไว้ในดาต้าชีท (DATA SHEET) จะเป็นอัตราขยายที่ความถี่ 0 เฮิรท์ หรือไฟตรง (ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความถี่สูงสุดของออปแอมป์) ในการทำงานแบบลูปเปิด จะเห็นได้ว่า วงจรมีเสถียรภาพต่ำมาก นั่นคือเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นสิบเท่า อัตราขยายจะลดลง 10 เท่าทันที

โดยทั่วไป แบนด์วิดท์ของวงจรมักจะหมายถึงช่วงความถี่อัตราขยายมีค่า 70.7 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราขยายสูงสุด จากตัวอย่างในรูปแบนด์วิดท์ของออปแอมป์ขณะเปิดลูป จะมีค่าประมาณ 10 เฮิรท์ซ ดังนั้น หากต้องการให้วงจรถูกออกแบบขึ้นสามารถทำงานได้ที่ความถี่อินพุทสูงๆ จะต้องป้อนสัญญาณจากเอาต์พุทกลับมายังอินพุท (การป้อนกลับแบบลบ) ซึ่งจะทำให้อัตราขยายของลูปปิดลดลง แต่ในขณะที่เดียวกัน ความถี่ที่อัตราขยายเท่ากับ 70.7 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราขยายสูงสุดก็จะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราเท่ากัน ส่วนจุดที่มีอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง (UNITY-GAIN POINT) จะแสดงความถี่สูงสุดของออปแอมป์เมื่ออัตราขยายมีค่าเป็นหนึ่ง



12. ผลคูณของอัตราขยายและแบนด์วิดท์

จากที่ได้อธิบายมาในหัวข้อที่แล้วว่า เมื่ออัตราขยายลดลงเท่าใด ความถี่ก็จะสูงขึ้นด้วยจำนวนเท่าของค่านั้นด้วย ซึ่งแสดงว่า ผลคูณระหว่างอัตราขยายและแบนด์วิดท์จะมีค่าคงที่เสมอไป และเราสามารถหาค่านั้นได้จากจุดซึ่งมีอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง (ค่านี้จะหาได้จากตาต้าซีท) ผลคูณนี้มีประโยชน์อย่างมากในการประมาณความถี่สูงสุดที่วงจรสามารถทำงานได้

13. อัตราการลดสัญญาณชนิดคอมมอนโหมด (CMRR)

อัตราการลดสัญญาณชนิดคอมมอนโหมด (CMRR) เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของออปแอมป์ที่ได้มาจากภาคอินพุทที่เป็นดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ หมายความว่า หากสัญญาณที่เข้ามายังขั้วอินพุททั้งสองมีเฟสตรงกัน และยังมีขนาดเท่ากัน (สัญญาณแบบนี้เรียกว่าอยู่ในคอมมอนโหมด) สัญญาณทั้งสองนี้จะถูกกำจัดทิ้งไป ดังนั้น เอาท์พุทจะเป็นศูนย์ ส่วนสัญญาณที่มีขนาดต่างกันและมีเฟสต่างกันจะเรียกว่าอยู่ในดิฟเฟอเรนเชียลโหมด

14. หน่วยเดซิเบล (dB)

การคำนวณอัตราขยายของวงจรใดๆ สามารถทำได้จากสมการ

$$A_x = \frac{X_{out}}{X_{in}}$$

โดยที่ x อาจเป็นแรงดัน หรือ กระแสก็ได้ และโดยทั่วไปนิยมอัตราขยายจากสมการ

$$dB = 20 \log A_x$$

2.3 ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล(ADC convertor)

การแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล โดยการใช้ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (analog to digital converter ADC) หรือ เป็นอุปกรณ์ที่เมื่อใส่แรงดันหรือกระแสให้มันอย่างต่อเนื่องแล้ว มันจะเปลี่ยนปริมาณของกระแสหรือแรงดันทำให้เกิดเอาต์พุต เป็นรหัสออกมา ซึ่งรหัสนี้จะเป็นสัดส่วนกับสัญญาณอินพุต โดยอุปกรณ์นี้จะเป็นระบบดิจิตอล และมีสัญญาณในการแฮนด์เซคคิง (handshaking) กับอุปกรณ์ภายนอกอยู่ 2 สัญญาณ โดยสัญญาณแรกจะเป็นสัญญาณที่บอกเริ่มการแปลงค่า และเมื่อการแปลงค่าเสร็จสิ้นแล้วจะมีการส่งสัญญาณที่สอง เพื่อบอกการสิ้นสุดการแปลงค่า โดยลักษณะการทำงานจะมีเอาต์พุตอินเบิลเป็นตัวบอกสถานะเอาต์พุตที่ปรากฏอยู่ ถ้าเอาต์พุตอินเบิลไม่ทำงาน สัญญาณเอาต์พุต จะอยู่ในสถานะอิมพีแดนซ์สูง (high-impedance) โดยคล็อก จะเป็นตัวให้เวลาอ้างอิงกับตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล จากรูปที่ 2.17 แสดงบล็อกไดอะแกรมของ ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล วงจรนี้จะผลิตเอาต์พุตแบบไบนารี n บิต ซึ่งจะเป็นอัตราส่วนกับแรงดันอินพุต



รูปที่ 2.17 สัญญลักษณ์ของ ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

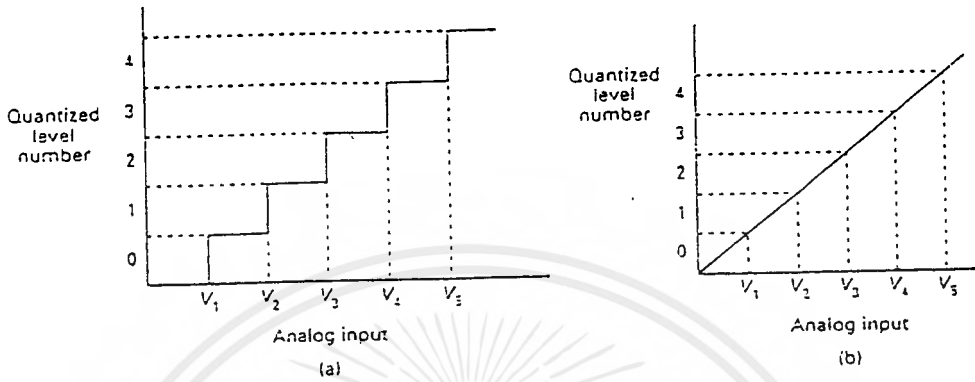
การเลือกตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ที่สำคัญจะต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดในการแปลง และวิธีการแปลงสัญญาณอนาลอก เพื่อที่จะทำให้เกิดค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

องค์ประกอบในการทำงานและค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

ความยาวของสัญญาณอนาลอก ที่ต้องการเปลี่ยนเป็นรหัสดิจิตอลนั้นมีได้ไม่จำกัด โดยความยาวของรหัสดิจิตอลจะแสดงอยู่ในระดับ(level) ซึ่งแต่ละระดับก็จะมีจำนวนรหัสดิจิตอลได้จำกัด และจำนวนระดับ เองก็จะมีได้จำกัดเช่นกัน เราจะเปลี่ยนจากอนาลอกเป็นรหัสดิจิตอลโดยการแบ่งสัญญาณอนาลอกลงในแต่ละระดับ โดยช่วงของอนาลอกที่ใส่ลงในแต่ละ ระดับ นี้เราเรียกว่า “ควอนไทเซชัน”(quantization)

จากรูปที่ 2.18 จะแสดงให้เห็นถึง ควอนไทเซชัน โดยถ้า อินพุต มีค่าตั้งแต่ $0-V_1$ แล้วสัญญาณนี้จะอยู่ที่ ระดับ 0 และถ้าสัญญาณอยู่ระหว่าง V_1 และ V_2 แล้วสัญญาณจะอยู่ที่ ระดับ 1 ถ้าความกว้างในแต่ละระดับ เท่ากันดังรูปที่ 2.18(b) จะสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุต และจำนวนระดับ ได้

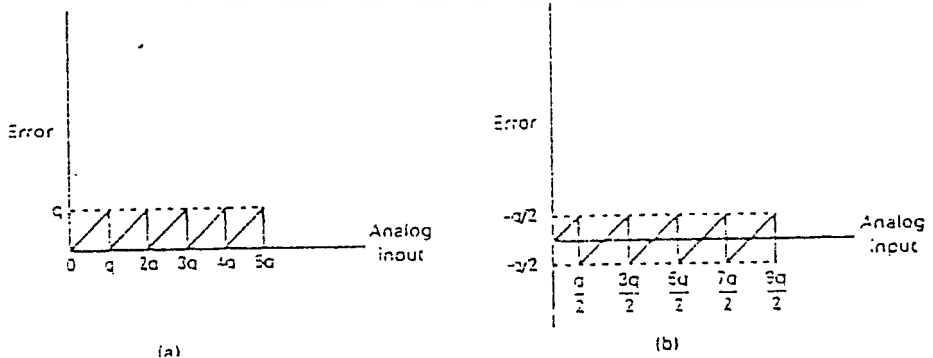
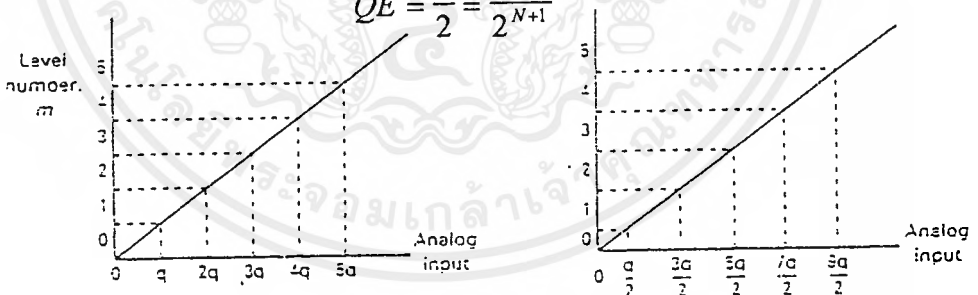
โดยความกว้างของระดับ เราจะให้เป็นช่วงกว้างควอนไทเซชัน (quantization interval) หรือ q ซึ่งค่านี้เรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่าเป็นค่าที่น้อยที่สุดที่จะพบความแตกต่าง (LSB value) จากรูปที่ 2.18(a) และ 2.18(b) ค่าช่วงกว้างควอนไทเซชัน หรือ q จะเท่ากับ V_1



รูปที่ 2.18 กราฟระหว่างอะนาล็อกอินพุตและจำนวนระดับ

ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นรหัสดิจิทัลอนั้น รหัสดิจิทัลจะบอกระดับ ที่อนาล็อกนั้นอยู่ เช่น ถ้าการแปลงสัญญาณอนาล็อกนั้นอยู่ระหว่าง ระดับ 3 และ ระดับ 4 แล้ว เอาท์พุท ของรหัสดิจิทัลคือเลข 3 แต่ในการใช้หมายเลขระดับนี้จะทำให้เกิดค่าที่ไม่ถูกต้องขึ้นได้เรียกว่า การเกิดข้อผิดพลาดควอนไทซ์ (quantization error) โดยค่าความผิดพลาดนี้ดูได้จากรูปที่ 2.19 และการเกิด ข้อผิดพลาดควอนไทซ์ หรือ QE ที่มีขนาด N บิต คือ

$$QE = \frac{q}{2} = \frac{V_{max}}{2^{N+1}}$$



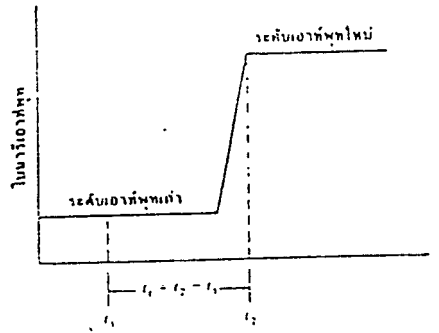
รูปที่ 2.19(a) ข้อผิดพลาดควอนไทซ์ของ q รูปที่ 2.19(b) ข้อผิดพลาดควอนไทซ์ของ $q/2$

ค่าความผิดพลาด สามารถคำนวณได้จากความแตกต่างของค่าสัญญาณอนาลอกที่แท้จริง และค่าที่แสดงจากเลขระดับ โดยเลขระดับ m จะให้เป็น $m\Delta$ ในรูปที่ 2.19(a) ซึ่ง ระดับ 0 จะแสดงค่าอนาลอกที่ 0 และค่าความผิดพลาดจะเพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง Δ เมื่อสัญญาณอนาลอกเพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง Δ แล้วเลขระดับจะเท่ากับ 1 โดยค่าความผิดพลาดที่จุดนี้จะตกลงมาที่ศูนย์ แต่มันจะเพิ่มขึ้นจนถึง Δ เมื่ออินพุทเพิ่มขึ้นจาก Δ ถึง 2Δ เพราะฉะนั้นค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่เกิดขึ้นจะเท่ากับ Δ

แต่ถ้าช่วง ควอนไทเซชัน ลดลงมาเป็น $\Delta/2$ หรือ $1/2$ LSB แล้วจะได้ค่าความผิดพลาดมากที่สุดจะเท่ากับ $\Delta/2$ ดังรูปที่ 2.19(b) เพราะฉะนั้นถ้าเราต้องการให้มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดเราจะต้องพยายามทำให้มี ควอนไทเซชัน interval น้อยที่สุด ส่วนในกรณีที่ตัวแปลงมีเรโซลูชันสูงๆ (อินพุทบิตมาก) ความกว้างสูงสุดของข้อผิดพลาดจะลดลงตามทฤษฎีแล้ว ถ้าเป็น ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ในอุดมคติ จากรูปที่ 2.19(a) จะแสดงให้เห็นถึง ควอนไทเซชัน โดยถ้า อินพุท มีค่าตั้งแต่ $0-V_1$ แล้วสัญญาณนี้จะอยู่ที่ ระดับ 0 และถ้าสัญญาณอยู่ระหว่าง V_1 และ V_2 แล้วสัญญาณจะอยู่ที่ ระดับ 1 ถ้าความกว้างในแต่ละระดับ เท่ากันดังรูปที่ 2.19(a) จะสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุท และจำนวนระดับ ได้ โดยความกว้างของระดับ เราจะให้เป็นช่วงกว้างควอนไทเซชัน (quantization interval) หรือ Δ ซึ่งค่านี้เรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่าเป็นค่าที่น้อยที่สุดที่จะพบความแตกต่าง (LSB value) จากรูปที่ 2.19(a) และ 2.19(b) ค่า ช่วงกว้างควอนไทเซชัน หรือ Δ จะเท่ากับ V_1 จะต้องมีเอาร์ทพุทมากจนนับไม่ได้ (ถึงอินฟินิตี้) ดังนั้นจะมีค่าเรโซลูชันถึงอินฟินิตี้ จะทำให้กราฟรูปที่ 2.19(b) แทนตั้งเป็น 0 แต่ไม่มีทางเกิดขึ้นได้ในทางปฏิบัติ ข้อผิดพลาดที่เกิดจากเรโซลูชันที่จำกัดเราเรียกว่า ข้อผิดพลาดควอนไทซ์ ข้อผิดพลาดนี้ไม่สามารถจำกัดได้

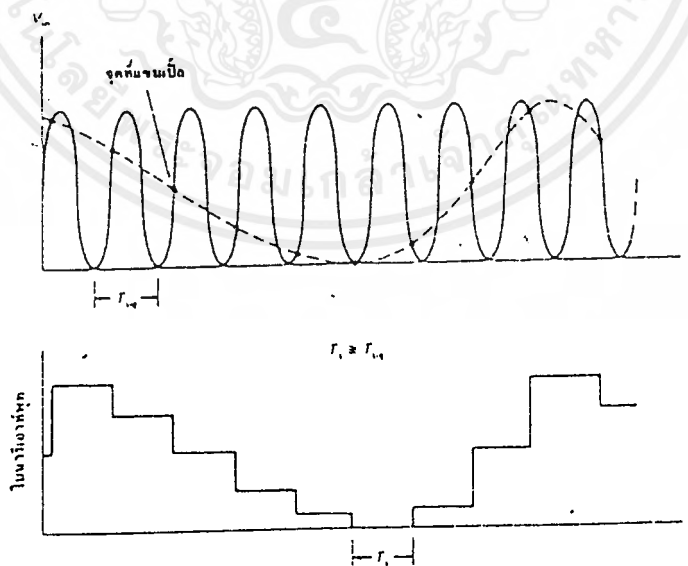
เอาร์ทพุทของตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ก็คือระดับอินพุทซึ่งจะคงที่ในเวลาหนึ่ง สิ่งนี้ให้เห็นว่า ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลทำงานโดยการแซมเปิลปริมาณของสัญญาณอนาลอกและต้องแน่ใจว่าสัญญาณจะคงที่ ณ ช่วงเวลานั้น เราจึงต้องมีวงจรสำหรับค้างค่า (hold) ของสัญญาณ จึงทำให้เรา นิยมใช้วงจรแซมเปิล และโฮลด์ (แซมเปิลและเก็บค่า circuit) เพื่อแน่ใจว่าปริมาณของอินพุทจะไม่เปลี่ยนแปลงที่กำลังทำการแปลงสัญญาณ เวลาในการแปลงสัญญาณและอัตราการแซมเปิล (sample) เป็นปัจจัยในการพิจารณาอย่างมาก เวลาในการแปลงสัญญาณ (conversion time) t_c คือเวลาที่เข้าไประหว่างที่อินพุทเข้ามาจนถึงการแสดงผลของไบนารีเอาร์ทพุท ในกรณีที่เอาร์ทพุทจะเริ่มเปลี่ยนจาก 0 ไปถึงค่าที่มากที่สุด ในรูปที่ 2.20 เป็นตัวอย่างของเวลาหน่วง (time delay)

อินพุทที่เข้าในคอนเวอร์เตอร์จะอยู่ ณ เวลา t_1 และสัญญาณตอบสนอง ณ t_2 ผลต่างของเวลาทั้งสองก็คือ เวลาแปลงสัญญาณ t_c เวลาแปลงสัญญาณเป็นอัตราที่มากที่สุดซึ่งสัญญาณถูกแซมเปิลช่วงเวลาของการแซมเปิล เรียกว่า เวลาแซมเปิล (sample time) อัตราแซมเปิลใช้ช่วงในการบอกเวลาแซมเปิล เพื่อให้ทราบถึงผลของการแซมเปิลบนสัญญาณอินพุทอนาลอกไปเป็นปริมาณดิจิตอล โดยถ้าเราเพิ่มอัตราการแซมเปิลและเพิ่มเรโซลูชัน (จำนวนเอาร์ทพุทบิต) ให้มากขึ้นก็จะได้เอาร์ทพุทที่ใกล้เคียงกับสัญญาณอนาลอกจากอินพุทมากขึ้น



รูปที่ 2.20 แสดงการตอบสนองของเวลาแปลงสัญญาณ (conversion time) ของตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

ปัญหาอีกอย่างหนึ่งก็คือ ถ้าอินพุตเปลี่ยนแปลงระดับอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับอัตราแซมเปิ้ล ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล ไม่สามารถแปลงสัญญาณได้ถูกต้องและจะเกิดการเพี้ยนของสัญญาณ ปัญหาเช่นนี้สามารถแสดงให้เห็นจากระบบเวลาแซมเปิ้ล (time sample system) เช่น ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล อัตราความถี่ของการแซมเปิ้ลต้องอย่างน้อย 2 ครั้งต่อหนึ่งลูกคลื่นของสัญญาณอินพุต การกำหนดความถี่ในการแซมเปิ้ลแบบนี้ก็คือทฤษฎีไนควิสต์แซมเปิ้ล (nyquist sampling theorem) แต่ถ้าเราไม่ทำตามทฤษฎีไนควิสต์แล้วเอาต์พุตของ ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล จะผิดเพี้ยนตามรูป



รูปที่ 2.21 การเพี้ยนเกิดขึ้นเมื่ออัตราแซมเปิ้ลต่ำเกินไปเมื่อเทียบกับคาบเวลาของสัญญาณอินพุต

เพราะฉะนั้นในการหลีกเลี่ยงความผิดพลาด (alias) ของเอาท์พุทที่ได้จาก ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล แล้วในการใช้งานที่มีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอินพุทเร็วๆ เราควรที่จะใช้การแซมเปิ้ลแบบความเร็วสูง เพื่อจะให้ได้ความถูกต้องมากขึ้น

วิธีการเลือก ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล มีดังนี้

1. จำนวนบิต

จำนวนบิตที่ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลให้เอาท์พุท ออกมานั้นเป็นสิ่งสำคัญที่เราจะเลือกใช้ ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล โดยจำนวนบิตหรือ N เป็นตัวบอกถึงข้อผิดพลาดควอนไทซ์ (โดยทั่วไปควรเลือกให้มีจำนวนบิต มากกว่าความละเอียดที่เราต้องการ 1 หรือ 2 บิต)

2. เวลาในการแปลงค่า

ช่วงเวลาในการแปลงค่า คือช่วงเวลาที่เริ่มการแปลงข้อมูล (start conversion pulse, SC) จนถึงจุดสิ้นสุดการแปลงข้อมูล (EOC) โดยส่วนใหญ่แล้วช่วงเวลาในการแปลงค่าจะดูจาก 50 เปอร์เซ็นต์ ของการเริ่มเปลี่ยนสถานะ และ 50 เปอร์เซ็นต์ ของจุดสิ้นสุดการแปลงค่า

3. ขนาดของอนาลอกน้อยที่สุดที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง (Quantum interval หรือ LSB value)

ช่วงกว้างควอนตัม (Quantum interval หรือ LSB value) คือขนาดอินพุทของอนาลอกที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นรหัสทางดิจิตอล ซึ่งค่านี้จะมีผลต่อข้อผิดพลาดควอนไทซ์ คือถ้าจะทำให้มีการเกิดการผิดพลาดน้อย ก็ต้องพยายามทำให้ช่วงกว้างควอนตัม มีค่าน้อยด้วย

4. ความถูกต้อง

ถ้ารวมข้อผิดพลาดควอนไทซ์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\pm q/2$ และค่าความผิดพลาดอื่นๆ ที่เกิดเนื่องมาจากความเป็นเชิงเส้น (linearity), ออฟเซต (offset), หลายชั้น (multilayer) และ เต็มสเกล (full-scale) แล้ว โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ $\pm 1\text{LSB}$ หรือ $\pm q$

ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบซัสเซสซีฟแอฟพล็อกซิเมชัน

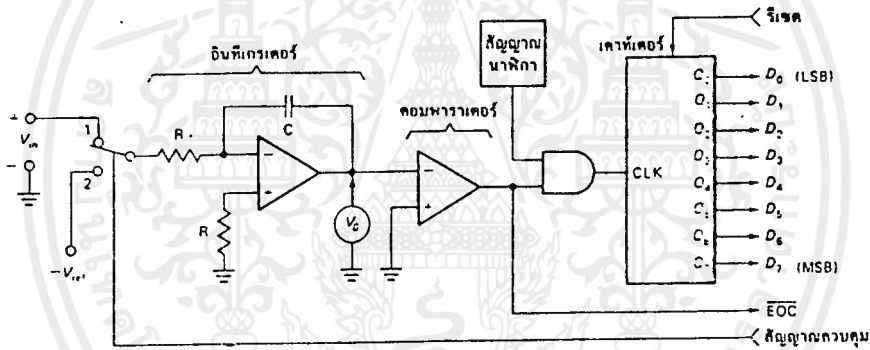
ในปัจจุบันมีวิธีการและเทคนิคมากมายเกี่ยวกับการแปลงสัญญาณแต่ละวิธีการหลักๆ เช่น แรมป์คอนเวอร์เตอร์ (Ramp A/D Converter), ซัสเซสซีฟแอฟพล็อกซิเมชันคอนเวอร์เตอร์ (Successive Approximation A/D converter) และดูออสโลปคอนเวอร์เตอร์ (Dual Slope A/D converter) แต่ละชนิดก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป

ซึ่งในโครงการนี้เราได้ใช้ ตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิทัล ชนิด ADC0809 ซึ่งเป็น อุปกรณ์ประเภทซีมอส (CMOS) ขนาด 8 บิต ที่มีมัลติเพล็กซ์เซอร์ 8 ช่องสัญญาณ และสามารถต่อเข้ากับ ไมโครโปรเซสเซอร์ได้ โดยใช้เทคนิคการแปลงแบบซัสเซสซีฟคอนเวอร์เตอร์

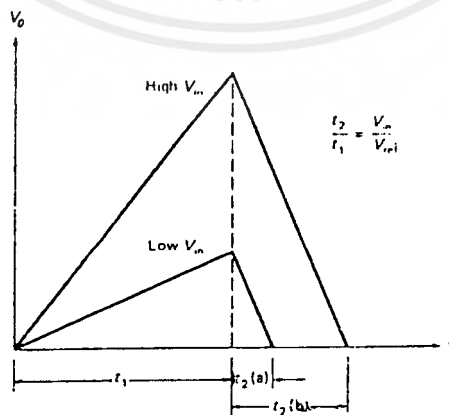
ซึ่งมีวิธีการแปลงสัญญาณดังนี้

ซัสเซสซีฟแอมพลีฟายเออร์เป็นตัวแปลงสัญญาณที่มีขนาดของจำนวนบิตไม่สูงหรือ ต่ำมากจนเกินไปประมาณ 8 บิต และมีค่าเรสซูลูชันหรือค่าความละเอียดของข้อมูลไม่ต่ำหรือสูงมากจนเกินไป ทำให้ในด้านวิทยาศาสตร์หรือด้านการวัดต่างๆ จึงนิยมใช้ตัวแปลงสัญญาณประเภทนี้กันมาก

โดยตัวแปลงสัญญาณประเภทนี้จะมีเทคนิคซึ่งเรียกว่า ซักเซสซีฟแอมพลีฟายเออร์รีจิสเตอร์ (Successive Approximation Register, SAR) โดยมีบล็อกไดอะแกรมสำหรับตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็น ดิจิทัลแบบ SAR ดังนี้



รูป 2.22 คอนเวอร์เตอร์ซึ่งใช้เทคนิค SAR



รูปที่ 2.23 กราฟของส่วน D/A ระหว่างการแปลงสัญญาณซึ่งใช้ SAR A/D คอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งวิธีการทำงานของ SAR จะใช้อธิบายจากรูปที่ 2.22 และ 2.23

ณ จุดเริ่มต้นของสัญญาณนาฬิกาการส่วนควมลอจิก จะส่งพัลส์หนึ่งลูกให้กับ SAR เพื่อเซตค่าให้เป็นค่าของ MSB และลบค่าเอาต์พุตที่ยังเหลืออยู่ ซึ่งจะทำให้ค่าของ V_0 เท่ากับค่า $V_{in/2}$ ในรูปที่ 2.23 ซึ่งจะน้อยกว่า V_{in} และเอาต์พุตของคอมพาราเตอร์จะยังคงอยู่ในระดับ '1' (high) ส่วนควมลอจิกจะตรวจสอบว่าตัวคอมพาราเตอร์ยังคงเป็น '1' อยู่ก็จะส่งสัญญาณไปที่ SAR ซึ่งจะค้างค่าของ MSB เป็นลอจิก '1'

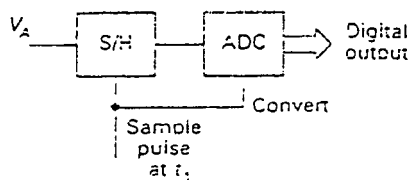
2. เมื่อมีสัญญาณนาฬิกาถูกตัดไป MSB ตัวใหม่จะอยู่ที่ Q_6 ของ SAR จะถูกเซตค่าเป็น 1 ดังรูปที่ 5.24 เอาต์พุตของ D/A จะเกินค่าของ V_{in} ทำให้ค่าเอาต์พุตของคอมพาราเตอร์เป็นระดับ 10 วัตต์ ส่วนควมลอจิกตรวจสอบทราบก็ไม่ทำการค้างค่า Q_6 ในส่วนสัญญาณนาฬิกาถูกตัดมา Q_6 จะถูกเคลียร์และ Q_6 จะถูกเซตและอีกครั้งที่เอาต์พุตของคอมพาราเตอร์เป็นระดับลอจิก '1' (high) ส่วนควมลอจิกก็ไม่ทำการค้างค่า Q_6 เอาไว้เพราะค่ายังสูงเกินค่าของ V_{in}

โดยปกติแล้ววงจรจะทดสอบเอาต์พุตโดยเริ่มต้นที่ MSB ของ SAR และถ้าเอาต์พุตของ D/A คอนเวอร์เตอร์เกินค่า V_{in} บิตนั้นก็จะไม่ค้างค่า แต่ถ้าไม่เกินค่า V_{in} แล้วบิตนั้นจะค้างค่า '1' (high) ไว้หลังจากตรวจสอบหมดแล้ว ไบนารีเอาต์พุตจะเป็นสัดส่วนกับ V_{in} ข้อดีของวิธีนี้คือเวลาในการแปลงสัญญาณเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนบิตของเคอร์เตอร์ ทำให้วิธีนี้จึงเป็นที่นิยม แต่วิธีนี้ก็มีข้อผิดพลาดในส่วนอื่นๆ อีกเหมือนกัน เช่น ค่าขยาย (gain), ออฟเซต (offset) และค่าที่ไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinearity) ส่วนจะกล่าวถึงต่อไป

เมื่อแรงดันอินพุตมีการเปลี่ยนระดับแล้ว รหัสเอาต์พุตที่เกิดขึ้น จะตอบสนองต่ออินพุตที่เข้ามาเมื่อเวลาผ่านไปช่วงสั้นๆ โดยเวลาที่เกิดขึ้นก่อนการตอบสนองนี้เรียกว่าเวลาหน่วงของคอมพาราเตอร์ สัญญาณการแปลงข้อมูลหรือสัญญาณการเริ่มต้นแปลงข้อมูลก็ต่องนำมาใช้ในการหาช่วงเวลาในการแปลงข้อมูลที่ต้องด้วย เพราะเหตุนี้เนื่องจากต้องใช้เวลาในการแปลงข้อมูลแล้วอาจจะทำให้เกิดรหัสเอาต์พุตมีความผิดพลาดขึ้นได้ ช่วงเวลาที่เกิดการผิดพลาดนี้เรียกว่าทรานเซียนท์

ในการกำจัดปัญหาเนื่องจากทรานเซียนท์ ของเอาต์พุตจะมีวิธีแก้ไขอยู่ 2 วิธี คือ

1. เพิ่มส่วนของวงจรแซมเปิลและเก็บค่า (sample and hold circuit) ระหว่างสัญญาณอนาล็อก V_A และอินพุต ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 แซมเปิลและเก็บค่า ในการแปลงสัญญาณ

เมื่อ แชมเบิ้ลพัลส์ ถูกป้อนเข้าไปในวงจรแชมเบิ้ลและเก็บค่าแล้ว ค่าเอาต์พุตที่เกิดขึ้นจะต้องให้ค่าแรงดันเหมือนกับแรงดันอินพุต เมื่อแรงดันอินพุตเปลี่ยนเอาต์พุตจะต้องคงที่เช่นเดิม จนกว่า แชมเบิ้ลพัลส์ ลูกใหม่จะมาป้อนให้กับวงจรแล้ว เอาต์พุตที่เกิดขึ้นจึงจะเปลี่ยนตามแรงดันอินพุต ถ้าแชมเบิ้ลพัลส์ถูกป้อนเข้าไปในวงจรแชมเบิ้ลและเก็บค่า แล้วเอาต์พุตของวงจรนี้จะกลายเป็นอินพุตให้กับตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ซึ่งมีค่าคงที่ รหัสเอาต์พุตจะไม่เปลี่ยนแปลงจนกว่าจะมีแชมเบิ้ลพัลส์ใหม่เกิดขึ้น ทำให้แน่ใจได้ว่าปริมาณของอินพุตจะไม่เปลี่ยนขณะที่กำลังทำการแปลงสัญญาณ เพื่อประกันถึงความถูกต้องของรหัสเอาต์พุตที่ได้

2. ใช้ตัวคอมพาราเตอร์ ในการพักข้อมูล โดยขอขานขึ้นของการเริ่มต้นการแปลงข้อมูลอินพุต จะทำการพักข้อมูลของคอมพาราเตอร์ ในเวลานั้นรหัสของอินพุตจะไม่มีเปลี่ยนแปลงจนกว่าจะมีสัญญาณเริ่มต้นแปลงอินพุตอีกครั้ง รหัสเอาต์พุตจะยังคงที่ในช่วงการรอรับสัญญาณเริ่มต้นการแปลงข้อมูล ยกเว้นช่วงเวลาสั้นๆ ที่ใช้ในการแปลง ซึ่งก็คือช่วงหน่วง (delay) ของการเข้ารหัสนั่นเอง

โดยวิธีนี้จะเหมือนกับวิธีของวงจรแชมเบิ้ลและเก็บค่า ยกเว้นเอาต์พุตของคอมพาราเตอร์ จะถูกแชมเบิ้ลและเก็บค่าไว้ได้หลายค่า ไม่เหมือนกับวิธีของวงจร แชมเบิ้ลและเก็บค่า ซึ่งมีเอาต์พุตของคอมพาราเตอร์ ได้เพียงค่าเดียว

ตัวอ้างอิง

ในการออกแบบตัวอ้างอิงสำหรับตัวแปลงสัญญาณ ที่ถูกต้องนั้นต้องดูที่ช่วงกว้างของอุณหภูมิของตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล และการเกิดสัญญาณรบกวน สำหรับตัวแปลงสัญญาณแบบแฟรช นั้นแรงดันอ้างอิงมีไว้เพื่อเกิดกระแสทรานเซียนท์ระหว่างการแปลงสัญญาณ ดังนั้นการขับขอ้างอิงของตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ระหว่าง V_{REF+} และ V_{REF-} จึงสำคัญมาก

สำหรับในตัว ADC0809 นั้นมีค่าซีเนอร์ (zener) ภายใน 6.2 V ซึ่งสามารถใช้เป็นแรงดันอ้างอิงได้ อย่างไรก็ตาม เทคนิคนี้ใช้สำหรับตัวแปลงสัญญาณที่มีเรโซลูชันมากกว่า 6 บิต เพราะซีเนอร์ไดโอดอาจจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวน(สัญญาณรบกวน) ขึ้นได้

ส่วนวิธีอื่นๆ ในการพิจารณาการเลือกตัวขยาย (amplifier) เพื่อขับ ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล นั้น วิธีแรกคือไฟกระแสตรงของตัวขยายจะต้องเข้ากันกับระบบได้อย่างถูกต้อง

การเพิ่มค่าความถูกต้อง

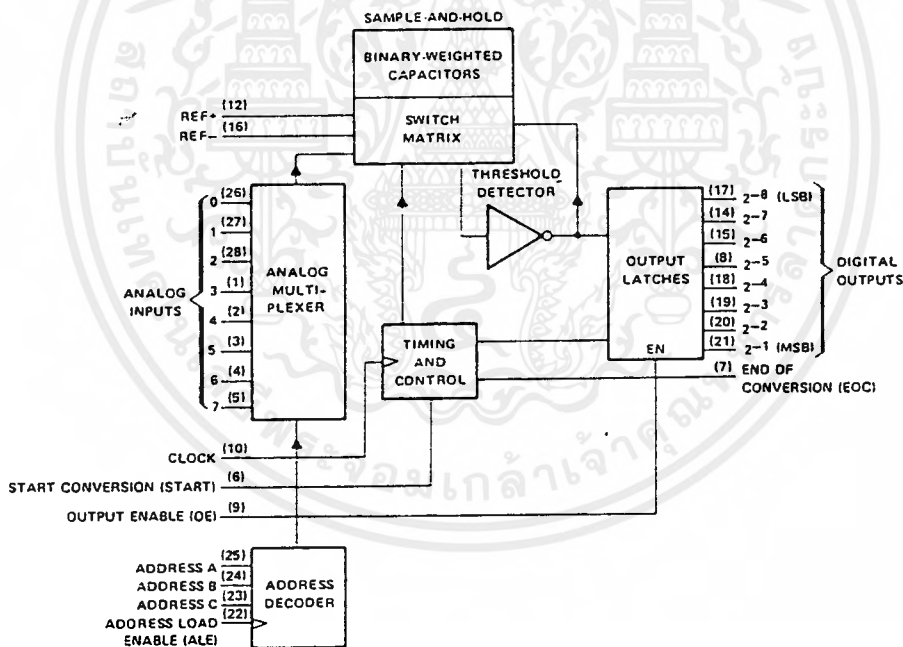
เทคนิคสำหรับซิมอสในการปรับค่าต่างๆ ของตัวแปลงสัญญาณนั้น ค่าออฟเซต, ส่วนขยาย และความ เป็นเส้นตรง ที่ถูกต้องนั้นสำคัญมาก

พยายามทำให้เกิดค่าขนาดของออฟเซตน้อยที่สุด โดยการใช้แรงดันอ้างอิงน้อยสุด (V_{REF-}) ค่าออฟเซตนั้น ควรจะต้องจัดให้เป็นระเบียบเรียบร้อยก่อนแล้วจึงทำการขับตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าจาก 0 ถึง 1 ได้อย่างราบเรียบ

ส่วนขยายที่ถูกต้องก็ควรจัดให้มีความเป็นระเบียบก่อนเหมือนกัน โดยสามารถทำในวงจรก่อนก็ได้ แต่ทางที่ดีคือควรปรับค่าของแรงดันอ้างอิงให้เต็มสเกล (V_{REF+})

ค่าความผิดพลาดที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรง(linearity) ในตัวแปลงสัญญาณแบบแฟรช หลายๆ ครั้งนั้น เนื่องมาจากว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เป็นเส้นโค้งมากกว่าที่เป็นเส้นตรง สามารถแก้ไขได้โดยการใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้มาทำการปรับ ค่านี้ควรทำหลังจากที่ปรับค่าของออฟเซต และส่วนขยายให้เป็นระเบียบแล้ว

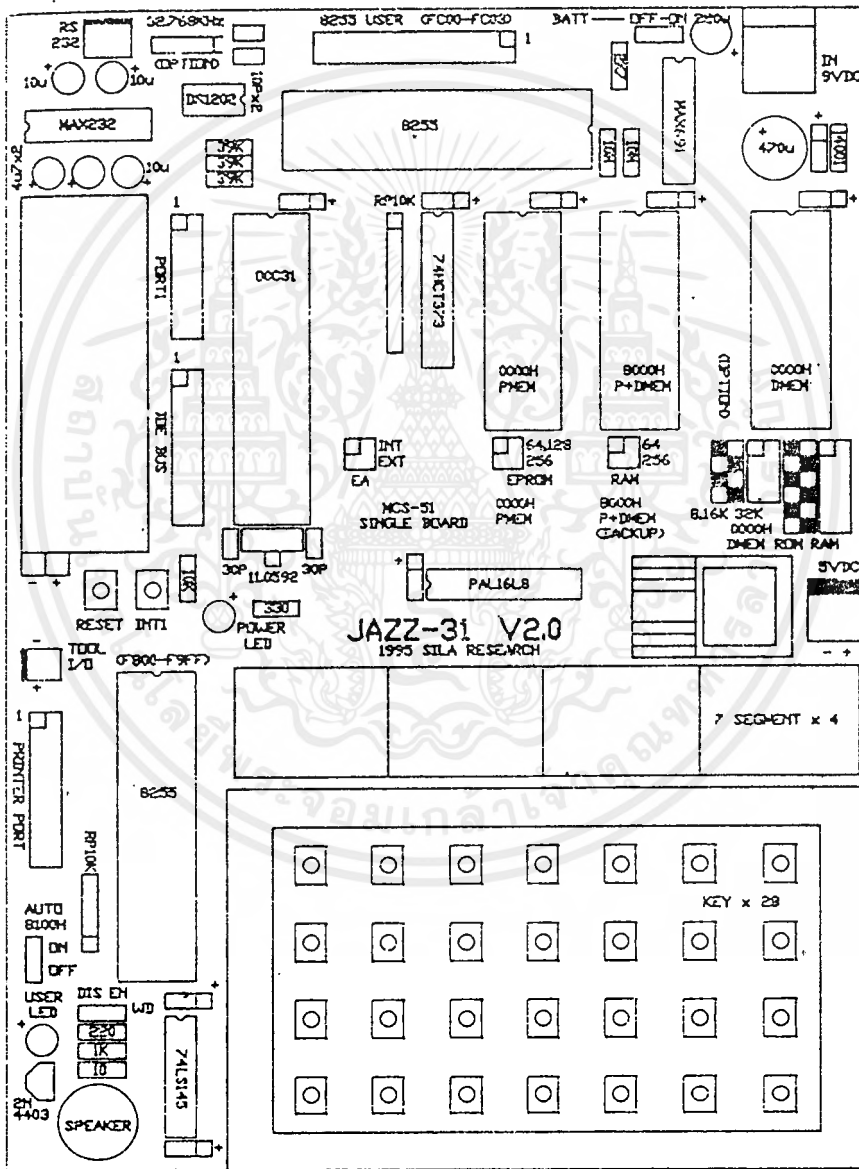
ในตัว ADC0809 จะสามารถทำงานได้ในช่วงจาก -40°C - 85°C ซึ่งมีบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานดังนี้



รูปที่ 2.25 แสดงบล็อกไดอะแกรมของตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นดิจิทัล

2.4 ในส่วนการประมวลผลของบอร์ดคอนโทรล

บอร์ดคอนโทรลที่นำมาใช้ในการออกแบบเครื่องมือชิ้นนี้ได้นำบอร์ดคอนโทรลเลอร์ของบริษัทซิลารุ่น JAZZ-31 ซึ่งเป็นบอร์ดคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 80C31 มีส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์ของบอร์ดคอนโทรลเลอร์โดยภาพรวม คือ



รูปที่ 2.26 ภาพแสดงตำแหน่งต่าง ๆ บนบอร์ด JAZZ-31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยประมวลผลข้อมูล	คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 80C31 ขนาด 40 ขา ซึ่งเป็นหัวใจหลักของ JAZZ-31 ทั้งหมด 80C31 ถูกออกแบบโดยบริษัท INTEL ซึ่งเป็นผู้ผลิตชิพระดับแนวหน้า ผู้ใช้จะสามารถใช้เบอร์อื่น ๆ ได้อีกหลายเบอร์ที่มีลักษณะโครงสร้างในตระกูล MCS-51 เหมือนกัน เช่น เบอร์ 80C32 87C51 89C51 เป็นต้น
หน่วยความจำ	คือส่วนที่เป็นหน่วยความจำทั้งหมด อยู่บนซอกเก็ต(SOCKET) ขนาด 25 ขา จำนวน 3 ตัว โดยปกติจะมีอีพรอม(EPROM) เบอร์ 27C256 และแรม(RAM) เบอร์ 6264 เสียบมาให้กับบอร์ดแล้ว ส่วนอีกซอกเก็ตที่เหลือใช้สำหรับขยายหน่วยความจำให้มากขึ้น แต่ละซอกเก็ตสามารถเลือกเบอร์ต่าง ๆ ได้ โดยตั้งที่ตัวจัมป์เปอร์(JUMPER)บนบอร์ด ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้
อีพรอม	อยู่ที่ซอกเก็ตซ้ายสุด โดยเป็นส่วนหนึ่งของหน่วยความจำเพื่อเก็บโปรแกรม(Program Memory)เท่านั้น สามารถใช้ได้สูงสุด 32K และมีตำแหน่ง(ADDRESS) ที่ 0000-F7FFH ใช้กับอีพรอมเบอร์ 2764, 27128, 27256 ปกติจะเป็นที่เสียบตัวอีพรอมที่เป็นของ JAZZ-31 ไว้
แรม	อยู่ที่ซอกเก็ตตรงกลางเป็นส่วนของโปรแกรมและข้อมูล สามารถใช้ได้สูงสุด 30K และมีตำแหน่งที่ 8000-F7FFH ใช้กับแรมเบอร์ 6264 , 62256 เหตุที่ใช้ได้ 30K นั้น เพราะต้องใช้ส่วน 2K เพื่อเป็นไอโอดีโค้ด (I/O DECODE)) ปกติจะเสียบเป็นแรม 6264 เอาไว้ สำหรับเป็นพื้นที่ใช้งาน(WORKING AREA) และให้ผู้ใช้พัฒนาโปรแกรม หนึ่งซอกเก็ตส่วนนี้จะมระบบแบ็คอัพ(BACKUP) อยู่ด้วย โดยข้อมูลจะคงอยู่ ถึงแม้ว่าไม่มีไฟเลี้ยงจะดับก็ตาม (ต้องตั้งตัวจัมป์เปอร์บนบอร์ดให้อยู่ตำแหน่งเปิดด้วย)
หน่วยความจำเพิ่ม	อยู่ที่ซอกเก็ตขวาสุด เป็นส่วนหน่วยความจำเก็บข้อมูล(DATA MEMORY) สามารถใช้ได้สูงสุด 32K และมีตำแหน่งที่ 0000-7FFFH ใช้ได้ทั้ง แรม, อีพรอม, อีอีพรอม เบอร์ 6264, 62256, 2764, 27128, 27256 ปกติจะเป็นซอกเก็ตว่างสำหรับให้ผู้ใช้ขยายหน่วยความจำ หรือใช้เพื่อการอ่านและเขียนกับหน่วยความจำอื่น ๆ การตั้งเบอร์ของจัมป์เปอร์ ทำได้ด้วยการใส่ตัวจัมป์เปอร์ให้ตรงกับส่วนที่ระบายสีขาว เช่นถ้าต้องการเลือกใช้กับขนาด 8K, 16K ให้ใส่ตัวจัมป์เปอร์ตัวบนสุดและตัวที่ 3 นับจากบน ในกรณีการเลือก(แรม, แรม) นั้นรวมก็หมายถึงอีพรอมนั่นเอง ส่วน แรม ก็หมายถึงทั้ง แรมและอีอีพรอมด้วย

- แบ็คอัฟ** คือระบบสำรองไฟ เพื่อการเก็บข้อมูลในหน่วยความจำแรม (8000-F7FFH) โดยใช้ไฟสำรองจากแบตเตอรี่ลิเทียม ขนาดเล็กใส่อยู่ด้านใต้ของบอร์ด และทำงานผ่านชิพเบอร์ MAX691 อีกที่ ระบบแบ็คอัฟ จะสามารถตั้งให้เปิดหรือปิด ได้ด้วยจัมป์เปอร์ที่ด้านบนสุดของเครื่อง(BATT) ระบบแบ็คอัฟจะกินกระแสไฟน้อยมาก โดยแบตเตอรี่หนึ่งก้อนสามารถเก็บข้อมูลในแรมได้นานถึง 3 ปี นอกจากนี้ยังมีระบบตรวจสอบแบตเตอรี่อ่อนด้วย โดยจะอ่านค่าได้จาก PC7 ของ 8255 ตัวที่ใช้งานบนบอร์ด โดยถ้ามีค่าเป็น 0 ก็หมายถึงแบตเตอรี่อ่อน
- แหล่งจ่ายไฟ** คือภาคจ่ายไฟของบอร์ด โดยจะมี 2 ลักษณะ คือ แบบ 9 โวลต์ดีซี ซึ่งจะใช้กับอะแดปเตอร์ (ADAPTER)ที่มีมาให้พร้อม โดยจะเป็นขั้วเสียบแบบดีซี ส่วนอีกแบบหนึ่งคือ 5 โวลต์ดีซี ซึ่งใช้ในกรณีที่ต่อร่วมกับระบบอื่น ๆ เป็นขั้วแบบ 2 ขา โดยเป็นได้ทั้งภาคจ่ายไฟหรือภาครับไฟ ได้ตามต้องการ
- คีย์บอร์ด** ประกอบด้วย 28 คีย์บนแผงคีย์ และอีก 2 คีย์ทางด้านซ้ายมือ คือคีย์รีเซ็ต และ อินเทอร์รัปต์ คีย์เหล่านี้ใช้เพื่อการป้อนข้อมูลต่าง ๆ รวมทั้งการใช้งานทั้งหมดของบอร์ด คีย์ทั้ง 28 คีย์ จะต่อเข้าโดยตรงกับพอร์ต 8255 ส่วนคีย์รีเซ็ตจะต่อเข้ากับระบบรีเซ็ตของ MAX691 และคีย์อินเทอร์รัปต์จะต่อเข้ากับขา INT1 ของ 80C31
- คีย์หลักโดยตรง** คือคีย์ทางด้านซ้าย (ส่วนระบายสีฟ้า) ใช้สำหรับเรียกฟังก์ชันหลักซึ่งจะเรียกได้ทันทีเมื่อต้องการ
- คีย์ตัวเลข** คือคีย์ 16 คีย์ตรงกลาง (ตัวเลข 0 -F) ใช้เพื่อการป้อนข้อมูล พร้อมทั้งการเรียกใช้ฟังก์ชันย่อยด้วย
- คีย์แก้ไข** คือคีย์ 4 คีย์ทางด้านขวา ใช้เพื่อการแก้ไขข้อมูล และการทำงานตามโหมดต่าง ๆ
- จอแสดงผล** คือหน่วยแสดงผล เป็นแผงแสดงตัวเลข 7-SEGMENT จำนวน 8 หลัก ใช้เพื่อการแสดงข้อมูลและการทำงานทั้งหมดของบอร์ด โดยจะต่อโดยตรงกับพอร์ต 8255 ร่วมกับการดีโค้ด(DECODE) จากชิพเบอร์ 74LS145 ด้วย การแสดงผลจะกระทำในลักษณะตรวจไล่คีย์ ซึ่งกระทำโดยโปรแกรม ทำให้ประหยัดการใช้พอร์ต และเป็นการประหยัดกระแสไฟฟ้า

เสียง คือระบบเสียงของ JAZZ-31 จะมาจากลำโพงเล็ก ๆ อยู่ด้านล่าง ระบบเสียงจะทำงานด้วยการสังเคราะห์จากโปรแกรม และมีตัวขยายเพื่อให้เสียงดังขึ้นด้วยทรานซิสเตอร์ 2N4403 ระดับความดังจะคงที่ ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานทั่ว ๆ ไป

จัมป์เปอร์ โดยจะมีตัวจัมป์เปอร์เพื่อกำหนดการใช้งานต่าง ๆ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

<u>จัมป์เปอร์</u>	<u>ตัวเลือก</u>	<u>คำอธิบาย</u>
EA	INT	สำหรับเลือกให้ทำงานตามโปรแกรม ซึ่งอยู่ภายในตัวชิพประมวลผลเลย โดยใช้กับเบอร์ 87C51,89C51 เป็นต้น
	EXT	สำหรับเลือกให้ทำงานตามโปรแกรมจากหน่วยความจำภายนอก อีพროมที่อยู่บนซอกเกิดนั่นเอง ปกติจะตั้งไว้ที่จุดนี้
AUTO 8100H	ON	สำหรับให้เครื่องไปทำงานที่ตำแหน่ง 8100H แทนที่ที่เปิดเครื่องหรือกดรีเซ็ตซึ่งเป็นตำแหน่งที่ผู้ใช้ได้พัฒนาโปรแกรมไว้ ช่วยให้มีความสะดวกในขณะที่น่าเครื่องไปประยุกต์ใช้งาน
	OFF	สำหรับใช้งานปกติ โดยเข้าสู่การทำงานของโปรแกรมสำเร็จรูป
WD	DIS	ไม่ใช้งานระบบ WATCH DOG (การใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูปของ JAZZ-31 จะต้องคำนึงถึงตำแหน่งนี้เสมอ)
	EN	กำหนดให้ระบบ WATCH DOG ทำงาน กรณีนี้ โปรแกรมที่ใช้งานจะต้องส่งสัญญาณมากระตุ้นระบบ WATCH DOG อย่างสม่ำเสมอ ถ้าสัญญาณขาดหายไปนาน 1.6 วินาที ระบบ WATCH DOG จะทำการรีเซ็ตระบบทันที

เครื่องมือ คือขั้วต่อใช้งานพิเศษ โดยจะทำให้สามารถใช้บอร์ดในลักษณะของเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีฟังก์ชันย่อย ที่เกี่ยวข้องกับขั้วนี้อยู่ 5 ฟังก์ชัน คือ STPW,TIMER, COUNT,PGEN และ OSCK ขั้วต่อ TOOL I/O จะมีขนาด 2 ขา (ใช้ P1.7) อยู่ทางด้านซ้ายของบอร์ด โดยจะมีสายมาให้พร้อม (สีดำคือกราวด์ สีแดงคืออินพุท,เอาท์พุท)

พอร์ตอนุกรม คือพอร์ตการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม ซึ่งจะอยู่ทางด้านซ้ายบนของบอร์ด JAZZ-31 พอร์ตนี้จะต่อกับขา RXD และ TXD ของ 80C31 โดยผ่านชิพ MAX232 เพื่อปรับระดับแรงไฟ การใช้งานจะเป็นการสื่อสารข้อมูลกับเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือระหว่าง JAZZ-31 เครื่องมืออื่น ๆ ก็ได้และเป็นการใช้คุณสมบัติภายในของ 80C31 ในด้าน UART ได้

- ไอโออี บัส** คือบัสขนาด 20 ขา เพื่อการขยายระบบโดยจะอยู่ทางด้านซ้ายของตัว 80C31 ไอโออีบัส (INPUT/OUTPUT EXPANSION) นี้ จะมีไว้สำหรับการขยายอินพุท/เอาต์พุตต่าง ๆ โดยมีขาสัญญาณต่าง ๆ ให้พร้อม คือ D0-D7 A0-A7 /RD /WR RESET /RESET +5V GND รวมทั้งมีไอโอดีโค้ด ให้พร้อมคือ /CS1 /CS2 การขยายอาจจะใช้วิธีต่อสายโดยตรงไปยังส่วนทำงานพีซีบี(PCB WORKING AREA) เลย หรือจะต่อไปยังบอร์ดอื่นด้วยขั้วต่อแบบ 20 ขาก็ได้ อนึ่งผู้ใช้สามารถใช้ขั้วต่อขนาด 40 ขา เพื่อต่อควบคู่ไปกับพอร์ต 1 ที่อยู่เหนือขึ้นไปก็ได้
- พอร์ต 1** คือพอร์ตขนาด 16 ขาที่ต่อโดยตรงจากพอร์ต 1 ของ 80C31 และยังมีขาต่าง ๆ เพิ่มเติมให้คือ INTO , T0 , INT1 , T1 , +5V และ GND ใช้สำหรับการขยายระบบหรือการทดลองต่าง ๆ
- 8255 พอร์ตของผู้ใช้** คือพอร์ตขนาด 26 ขาที่ต่อจาก 8255 พอร์ตของผู้ใช้โดยตรง ใช้เพื่อการขยายระบบและการทดลองต่าง ๆ โดยพอร์ตนี้จะไม่ถูกใช้งานจากตัวเครื่องเลย ผู้ใช้จะสามารถใช้งานได้อย่างอิสระ โดยมีจำนวนอินพุท/เอาต์พุท ให้ใช้ได้ถึง 24 บิตพอร์ตผู้ใช้ 8255 นี้จะเหมือนกันหมด อีกทั้งยังใช้บอร์ดขยายในตระกูล EX-SERIES ได้อีกด้วย ซึ่งมีอยู่หลายพอร์ตให้เลือกใช้ได้ตามความต้องการ
- พอร์ตเครื่องพิมพ์** คือพอร์ตการสื่อสารแบบขนาน โดยใช้สำหรับการต่อกับเครื่องพิมพ์ทั่วไป พอร์ตเครื่องพิมพ์นี้จะใช้ขั้วต่อแบบ 20 ขา (สายเครื่องพิมพ์สามารถซื้อเพิ่มเติมได้) และปลายสายจะเป็นขั้วต่อแบบ CENTRONICS 36 ขา ซึ่งจะต่อเข้ากับเครื่องพิมพ์ได้ทันที ผู้ใช้อาจจะใช้เพื่อการพิมพ์ข้อความต่าง ๆ ได้ตามต้องการ ในขณะที่เดียวกันก็สามารถนำพอร์ตนี้ไปใช้งานในอื่น ๆ อยู่บนบอร์ดด้วย เช่นการแสดงผลทางแผงเพราะฉะนั้นเวลาใช้งาน จำเป็นต้องคำนึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้ด้วย
- หลอด LED ของผู้ใช้** คือหลอด LED สีเขียวที่ต่อมาจาก 8255 ตัวที่ใช้งานบนบอร์ด โดยต่ออยู่ที่ PB4 และจะทำให้หลอดสว่างได้ด้วยการส่งสัญญาณ 1 ออกไป สำหรับการทดลองโปรแกรมต่าง ๆ
- WATCH DOG** คือวงจรส่วนหนึ่งของชิพ MAX691 โดยจะช่วยให้การทำงานของระบบไมโครมีความแน่นอนมากขึ้น ถ้ามีการเลือกจัมป์เปอร์ ของ WD ไปที่ตำแหน่งเปิด โปรแกรมจะต้องส่งสัญญาณมากะตุ้นที่ PA6 ของ 8255 ตัวที่ใช้งานบนบอร์ดอย่างสม่ำเสมอ และถ้าการ

กระตุ้นนี้ขาดหายไปในช่วง 1.6 วินาที ซึ่งหมายถึงโปรแกรมอยู่ในสภาพแฮงค์(HANG) ไปแล้วตัว MAX691 ก็จะทำกรรีเซ็ตในทันที เป็นการช่วยให้ระบบกลับเข้าสู่การทำงานใหม่

เรียวยุทม์คร็อก คือชิพนาฬิกาการเบอร์ DS1202 เป็นเรียวยุทม์คร็อก(REAL TIME CLOCK) ที่มีระบบ วัน, เดือน,ปี ให้พร้อม ต่อเข้ากับ 80C31 โดยตรงด้วยขา P1.4 P1.5 และ P1.6 การอ่านและเขียนข้อมูลจะกระทำแบบอนุกรม และมีระบบแบ็คอัพพ่วงอยู่กับระบบแบ็คอัพของแรม ทำให้เวลายังคงเดิมอยู่แม้ในขณะที่ไม่มีไฟเลี้ยง รายละเอียดการใช้งานของชิพตัวนี้ ให้ อ่านได้จาก DATA SHEET ของ DS1202 อีกที

โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดคร่าว ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ผู้อ่านทำความเข้าใจและมองเห็นภาพกว้าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนาการใช้งาน

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีสมาชิกในตระกูลหลายเบอร์ด้วยกัน แต่ละเบอร์จะมีคุณสมบัติพิเศษบางอย่างแตกต่างกัน เช่น มีหน่วยความจำภายในสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายในชิปเพิ่มขึ้น มีวงจรเปลี่ยนค่าสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลในตัว สามารถรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์ได้หลายชนิด ทำกระบวนการ DMA(Direct Memory Access) ได้ในตัว มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้เป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์เพิ่มขึ้น

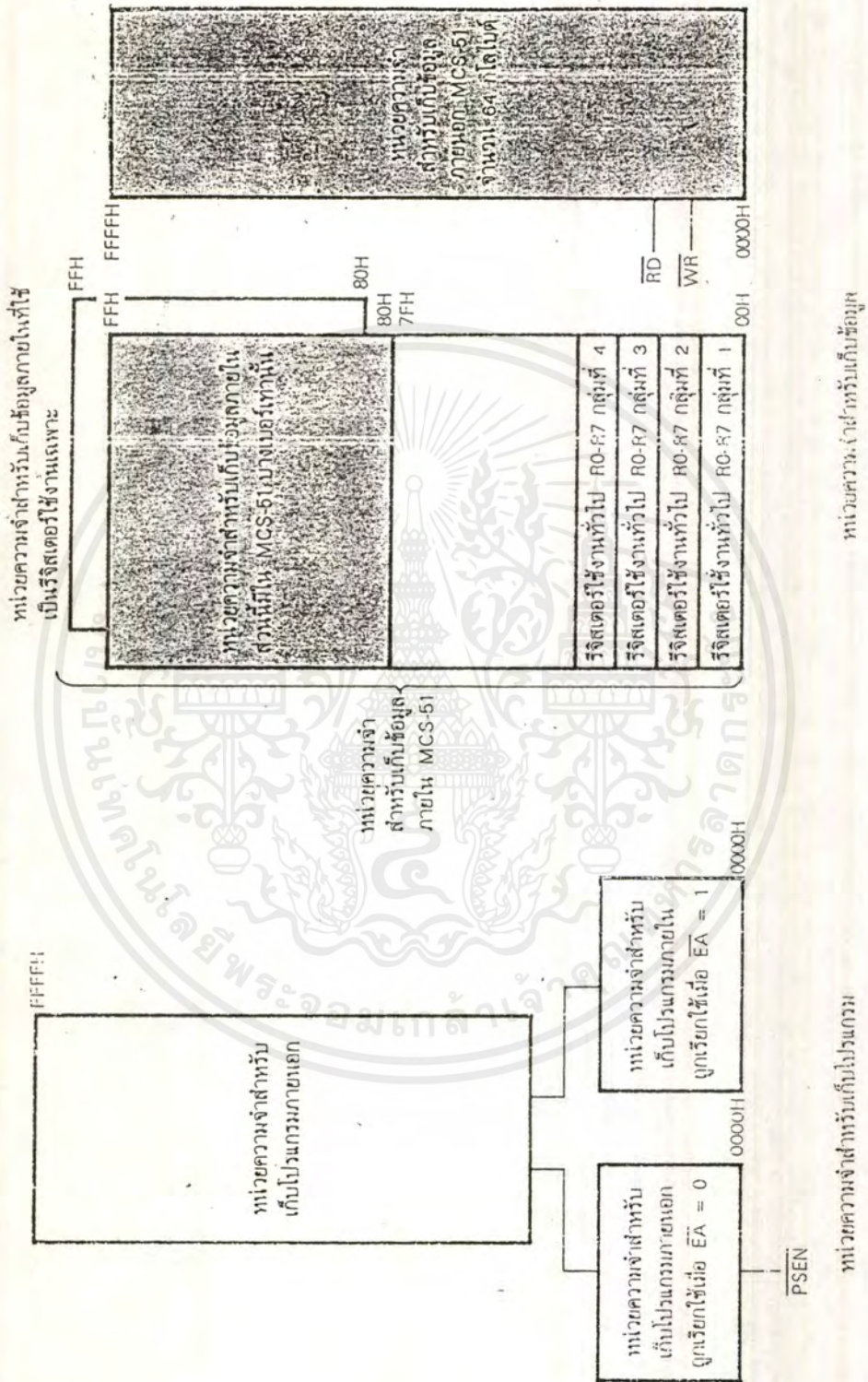
ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ที่นับได้ว่าเป็นเบอร์พื้นฐานสำหรับตระกูล MCS-51 นี้ได้แก่เบอร์ 8051, 8061, 8751 โดยเบอร์ 8051 จัดเป็นสมาชิกตัวแรกในตระกูล ซึ่งมีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายในชิปเป็นรอม (ROM) ขนาด 4 กิโลไบต์ และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายใน MCS-51 (RAM) เองจำนวน 128 ไบต์ มีพอร์ตขนาด 8 บิต 4 พอร์ต มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้เป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตรวม 2 ตัว รับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกได้ 2 ชนิด สามารถรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมผ่านทางพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมิวจวออสซิลเลเตอร์เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาควบคุมการทำงานในตัวเอง ส่วนเบอร์ 8751 จะมีคุณสมบัติเหมือนเบอร์ 8051 ทุกอย่าง ต่างกันเพียงชนิดของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปของเบอร์ 8751 จะเป็นอีพรอมแทนที่จะเป็นรอม ส่วนเบอร์ 8031 จะเหมือนกับเบอร์ 8051 ต่างกันเพียงในเบอร์ 8031 ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเท่านั้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์ใช้แรงดันไฟเพียง 5 โวลต์ในการทำงานส่วนกระแสไฟฟ้าที่ใช้จะแตกต่างกันไปตามชนิดของเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต เบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้มีอักษร C อยู่ตรงกลางเบอร์ เช่น 80C31, 80C51 จะเป็นเบอร์ของชิปที่ผลิตโดยอาศัยเทคโนโลยี CMOS ซึ่งใช้พลังงานในการทำงานน้อยกว่าและสามารถควบคุมการรั่วพลังงานของตัวชิปได้จากโปรแกรมเพื่อการประหยัดพลังงานในระบบ

MCS-51 เป็นตระกูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากตระกูล MCS-48 ดังนั้นจึงมีความสามารถเหนือกว่าหลายอย่าง เช่น ความเร็วในการประมวลผลของ MCS-51 สามารถใช้ความถี่ได้ถึง 12 เมกกะเฮิร์ตซ์ หรือสำหรับบางเบอร์ในตระกูลสามารถใช้ได้ถึง 16 เมกกะเฮิร์ตซ์ คำสั่งที่ใช้เวลาน้อยที่สุดจะใช้เวลาเพียง 1 ไมโครวินาที ส่วนคำสั่งที่ใช้เวลามากที่สุดจะใช้เวลาเพียง 4 ไมโครวินาทีเท่านั้น

2.5 การแบ่งหน่วยความจำ

ชิปทุกตัวในตระกูล MSC-51 มีตำแหน่งหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลแยกจากกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.28 การแบ่งตำแหน่งของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลแยกจากกันนี้จะทำให้การอ้างแอดเดรสสามารถกระทำได้โดยใช้ค่าเพียง 8 บิตในการติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลได้ ช่วยให้สามารถเก็บและจัดการข้อมูลได้เร็วขึ้น แต่ในการติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ต้องใช้แอดเดรสขนาด 16 บิตก็สามารถใช้การอ้างแอดเดรสผ่านรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR ได้

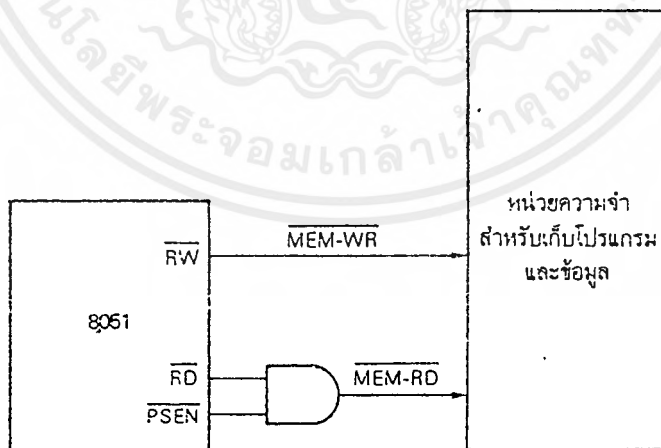


รูปที่ 2.27 แสดงโครงสร้างหน่วยความจำทั้งหมดของ MCS-51

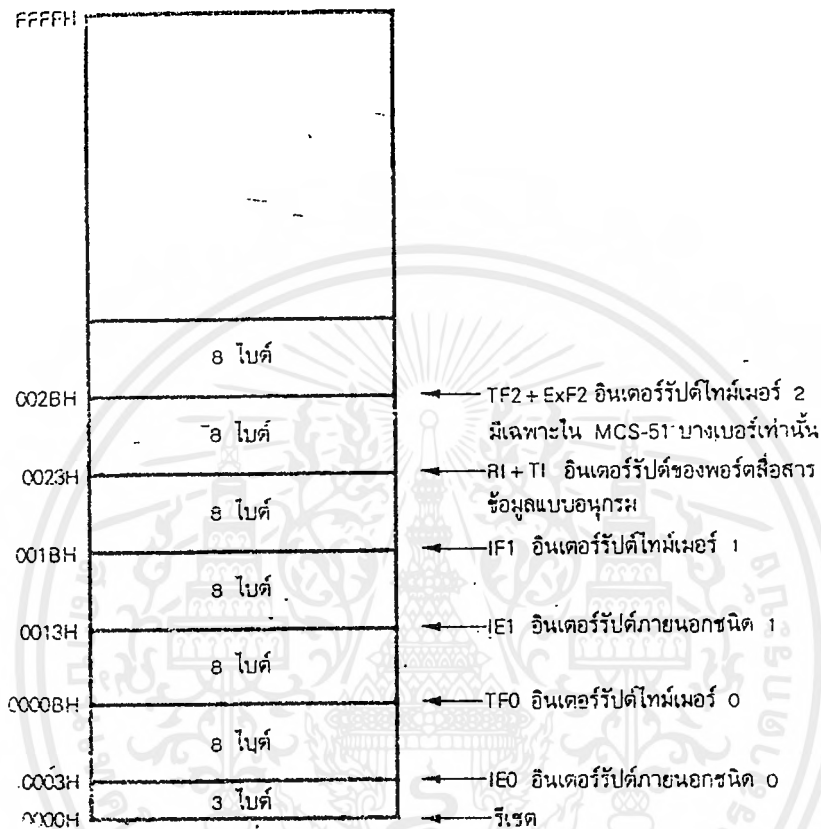
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีพียูสามารถอ่านข้อมูลที่เป็นคำสั่งจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมได้อย่างเดียว กระบวนการที่ซีพียูอ่านคำสั่งจากหน่วยความจำทำงานมีชื่อเรียกกันว่า กระบวนการเฟตช์ (fetch) คำสั่ง และเราไม่สามารถเขียนข้อมูลลงไปหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมได้ ขนาดของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมสูงสุดของ MCS-51 จะเป็น 64 กิโลไบต์ และใน MCS-51 ที่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเป็นรอม (ROM) หรือเป็น (EPROM) ขนาดต่างๆ ขึ้นอยู่กับเบอร์ชิป จะมีค่าตำแหน่งหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเริ่มจาก 0000H เป็นต้นไป (ในกรณีที่ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป) ใน MCS-51 ที่ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมทั้งหมดจะอยู่นอกสัญญาณ อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายนอก (read strobe) คือสัญญาณ PSEN (Program Strobe Enable) ที่ได้จากขา PSEN (ขา 29) หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลจะใช้เนื้อที่แยกต่างหากจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม และมีขนาดได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลส่วนหนึ่งจะอยู่ในชิป MCS-51 ทุกเบอร์ ส่วนในการติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิปจะใช้สัญญาณ READ และ WRITE จากขา 17 (P3.7) และขา 16 (P3.6)

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายนอกชิปสามารถใช้รวมกันได้ถ้าหากต้องการ โดยใช้สัญญาณ PSEN และ READ เป็นอินพุตให้กับเกตแอนด์ และใช้เอาต์พุตที่ได้เป็นสัญญาณ MEM-RD ให้กับหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมหรือเก็บข้อมูลภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 แสดงการใช้หน่วยความจำสำหรับโปรแกรมและเก็บข้อมูลรวมกัน



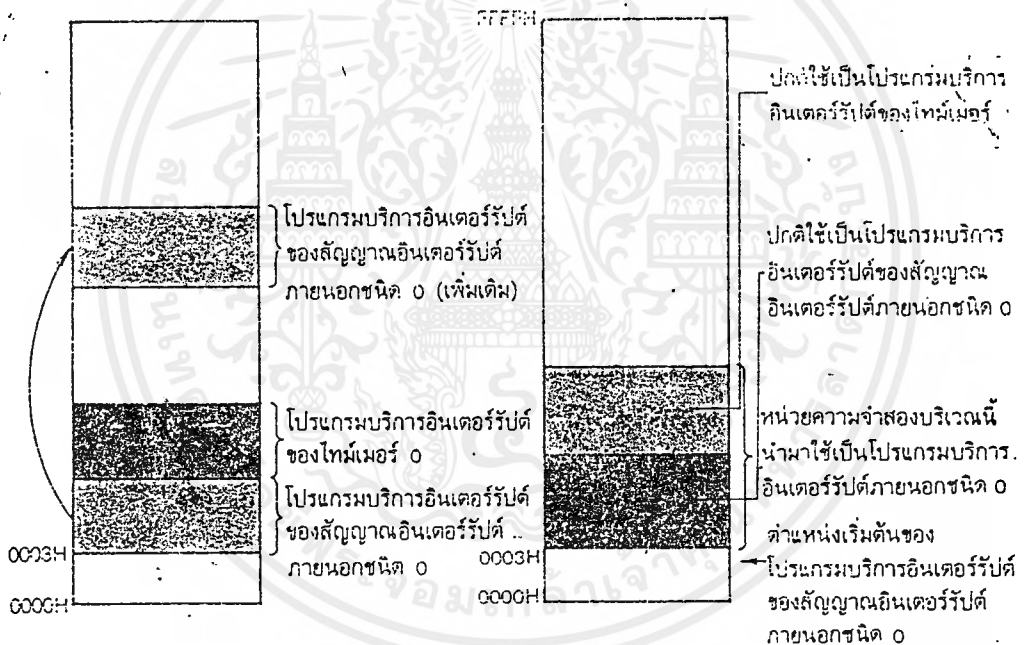
รูปที่ 2.29 แสดงตำแหน่งโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ของสัญญาณอินเตอร์รัปต์แต่ละชนิด

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม

หลังจากกรีเซตเมื่อเริ่มจ่ายพลังงาน ซีพียูจะเริ่มเฟตซ์คำสั่งที่หน่วยความจำตำแหน่ง 0000H บริเวณหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมของ MCS-51 ส่วนหนึ่งจะถูกกำหนดไว้ใช้เป็นโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ของสัญญาณอินเตอร์รัปต์แต่ละชนิด โดยจะถูกกำหนดตำแหน่งที่แน่นอนในหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรกดังแสดงในรูปที่ 2.29 สัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่เกิดขึ้นจะทำให้ซีพียูย้ายการทำงานไปทำคำสั่งในโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ ตามแต่ชนิดของสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่เกิดขึ้น เช่น โปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ของสัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกชนิด 0 (external interrupt 0) จะอยู่ที่ตำแหน่ง 0003H ถ้ามีสัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกชนิด 0 เกิดขึ้น MCS-51 จะย้ายไปทำงาน ณ หน่วยความจำตำแหน่งที่เป็น

โปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ของสัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกชนิด 0 ซึ่งเริ่มต้นที่ตำแหน่ง 0003H หากอินเตอร์รัปต์ชนิดใดไม่ถูกใช้งาน บริเวณของหน่วยความจำที่ใช้เป็นโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ของสัญญาณอินเตอร์รัปต์ชนิดนั้นจะสามารถนำมาใช้เป็นหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมทั่วไปได้

ช่วงห่างระหว่างโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ที่ติดกันจะเท่ากับ 8 ไบต์ ซึ่งเพียงพอที่จะบรรจุคำสั่งของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ไว้ได้ทั้งหมด (ในงานควบคุมทั่วไปโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์มักยาวไม่เกิน 8 ไบต์) แต่หากโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ยาวกว่า 8 ไบต์ สามารถใช้คำสั่ง JMP เพื่อข้ามตำแหน่งของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ถัดไป แต่หากบริเวณโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ของสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่อยู่ถัดไปไม่ได้ถูกกำหนดการใช้งาน เราสามารถนำหน่วยความจำบริเวณนี้มาใช้เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ที่มีความยาวเกิน 8 ไบต์ได้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.30



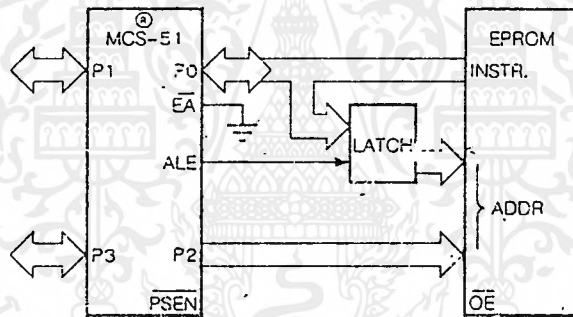
รูปที่ 2.30 แสดงโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ที่มีความยาวเกิน 8 ไบต์ และการใช้หน่วยความจำที่เป็นโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ที่ไม่ได้ถูกใช้งาน

ในกรณี MCS-51 เบอร์ที่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป 4 กิโลไบต์ (อาจจะเป็น 8 กิโลไบต์ หรือ 16 กิโลไบต์ ขึ้นกับเบอร์ของชิปในตระกูล) ผู้ใช้สามารถเลือกได้ว่าจะให้ชิพทำงานจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายในชิปหรือภายนอกชิปได้ โดยการควบคุมจากขา EA (External Access) ให้ต่อลง Vcc หรือ Vss (ground)

หากเลือกให้ชิปที่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมเป็น ROM หรือ EPROM ขนาด 16 กิโลไบต์ อยู่ภายใน และขา EA ต่อกับ Vcc ซีพียูจะเฟลซ์คำสั่งในโปรแกรมตั้งแต่ตำแหน่ง 0000H -3FFFFH จาก หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมที่อยู่ภายในชิป ส่วนคำสั่งในโปรแกรมตั้งแต่ตำแหน่ง 4000H-0FFFFH จะ ถูกเฟลซ์จากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมที่อยู่ภายนอกชิป

หากขา EA ต่อลงกราวด์ ซีพียูจะเฟลซ์คำสั่งในโปรแกรมทั้งหมดจากหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมที่อยู่ภายนอกชิป และสำหรับ MCS-51 ที่ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปจะต้อง ให้ขา EA ต่อลงกราวด์เสมอ เพื่อให้ MCS-51 ทำงานได้อย่างถูกต้อง

สัญญาณควบคุมการเฟลซ์คำสั่งกับโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมภายนอกชิป (read strobe) คือสัญญาณ PSEN ซึ่งนำไปใช้ต่อกับขา RD ของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายนอก สัญญาณ PSEN จะไม่ถูกใช้งานเมื่อ MCS-51 ทำงานจากโปรแกรม ซึ่งอยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมที่อยู่ภายในชิป การใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายนอกชิป มีดังแสดงในรูป ที่ 2.31



รูปที่ 2.31 แสดงการใช้หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายนอกชิป

ในรูปที่ 2.31 แสดงการใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมที่อยู่ภายนอกชิป MCS-51 โดยใช้พอร์ต 0 สำหรับส่งค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ (ส่งค่าแอดเดรส A0-A7 หรือ PCL) และพอร์ต 2 สำหรับส่งค่าแอดเดรสไบต์สูง (A8-A15 หรือ PCH) รวมทั้งสิ้น 16 เส้น

พอร์ต 0 จะทำหน้าที่ในการส่งค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ (A0-A7) และใช้เป็นดาต้าบัส (D0-D7) ด้วย โดยหน้าที่ทั้งสองถูกใช้คนละช่วงเวลา (time multiplex) ในตอนแรกพอร์ต 0 จะส่งค่าแอดเดรสไบต์ต่ำออกมา จากนั้นขาที่ใช้ส่งแอดเดรสจะมีสถานะมีค่าอิมพีแดนซ์สูง (high impedance) เพื่อรอรับข้อมูลที่ส่งมาจาก หน่วยความจำภายนอก

ขณะที่พอร์ต 0 ส่งค่าแอดเดรสไบต์ต่ำออกมา ขา ALE (Address Latch Enable) จะแอกทีฟโดยการส่งสัญญาณไปยังชิปที่มีหน้าที่แลตซ์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ เพื่อให้เริ่มแลตซ์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำไว้ ชิปที่ทำหน้าที่แลตซ์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำจะใช้ชิปเบอร์ 74LS373 หรือเบอร์ที่มีคุณสมบัติเดียวกันได้

ในขณะที่สัญญาณ ALE แอกทีฟ พอร์ต 2 จะเริ่มส่งค่าแอดเดรสไบต์สูงไปยังหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายนอก (PCH) จากนั้นสัญญาณ PSEN จะเริ่มแอกทีฟ โดยการส่งสัญญาณสไตรบของโปรแกรมจะยาวไม่ถึง 64 กิโลไบต์ โดยค่าแอดเดรสจะส่งผ่านพอร์ต 0 และพอร์ต 2 ของ MCS-51

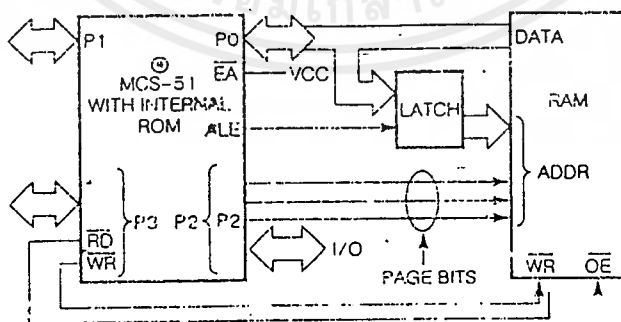
หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่ใช้ในระหว่างการทำงานของ MCS-51 เช่น ใช้เก็บข้อมูลที่ได้รับเข้ามาจากวงจรภายนอก หรือใช้เก็บผลการคำนวณที่ได้จากการประมวลผล หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล MCS-51 รู้จักมีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภทคือ

- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายในชิป

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ประเภทแรกที่เราจะศึกษาคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป ซึ่งมีขนาดได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ แต่อาจใช้ไม่ครบทั้งหมด หรือใช้เป็นบางช่วงของทั้งหมดขึ้นอยู่กับระบบและความสะดวกในการออกแบบ รูปที่ 2.32 แสดงภาพการใช้หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกเพียง 2 กิโลไบต์ และใช้หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมจากภายในชิป MSC-51



รูปที่ 2.32 แสดงการใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิปจำนวน 2 กิโลไบต์

ในการใช้หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอก (ดังแสดงในรูปที่ 2.32) พอร์ต 0 จะถูกใช้เป็นแอดเดรสบัสและดาต้าบัสเสมือนที่ใช้ในหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายนอกชิปที่กล่าวมาแล้ว ส่วนพอร์ต 2 จะถูกใช้เพียง 3 เส้นเพื่อเป็นตัวเลือกช่วงหน่วยความจำที่ต้องการติดต่อ เนื่องจากแอดเดรสที่ต้องการสำหรับหน่วยความจำขนาด 2 กิโลไบต์ คือ 11 เส้น (8 เส้นจากพอร์ต 0 รวมกับ 3 เส้นจากพอร์ต 2) ดังนั้น พอร์ต 2 ที่เหลือจากการใช้การติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลสามารถนำไปใช้เป็นพอร์ตอินพุตหรือพอร์ตเอาต์พุตทั่วไปได้

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป จำเป็นต้องมีสัญญาณควบคุมการอ่าน และเขียนข้อมูล สัญญาณควบคุมการอ่านและเขียนข้อมูล (สัญญาณ RD, WR ตามลำดับ) จะถูกส่งจาก MCS-51 ผ่านทางขา P3.7 และ P3.6 ตามลำดับ

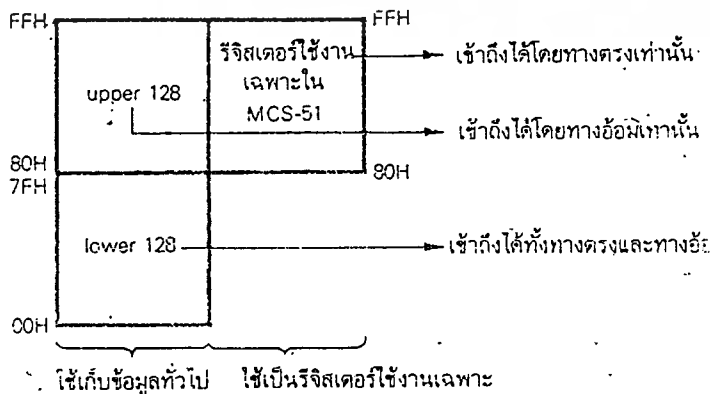
ขนาดของหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกมีได้ไม่เกิน 64 กิโลไบต์ และเราอาจใช้เพียงบางส่วนดังแสดงในตัวอย่างที่ผ่านมาแล้ว หากใช้หน่วยความจำที่ต้องการแอดเดรสมากกว่า 8 บิต แอดเดรสส่วนที่เกิน 8 บิตจะได้จากพอร์ต 2 เพื่อเป็นตัวเลือกช่วงของหน่วยความจำที่ต้องการติดต่อและพอร์ต 2 ที่เหลือจากการติดต่อหน่วยความจำสามารถนำไปใช้งานอย่างอื่นได้ โครงสร้างเช่นนี้ ทำให้เกิดความคล่องตัวสูงในการนำไปประยุกต์ใช้งาน

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายในชิป

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลประเภทต่อไปที่จะศึกษาคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายใน MCS-51 เอง หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลส่วนนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนย่อยดังนี้

- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปบริเวณ 128 ไบต์ล่าง (lower 128)
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปบริเวณ 128 ไบต์บน (upper 128)
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (SFB)

แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปทั้ง 3 บริเวณมีดังแสดงในรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 แสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั้ง 3 ส่วน

ค่าตำแหน่งหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายใน MCS-51 จะมีขนาด 8 บิตทำให้สามารถติดต่อหน่วยความจำได้เพียง 256 ไบต์ (ตำแหน่ง 00H-0FFH) แต่จากโครงสร้างหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายใน MCS-51 จะเห็นว่ามีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในรวมทั้งสิ้น $256+128 = 384$ ดังรูปที่ 2.33

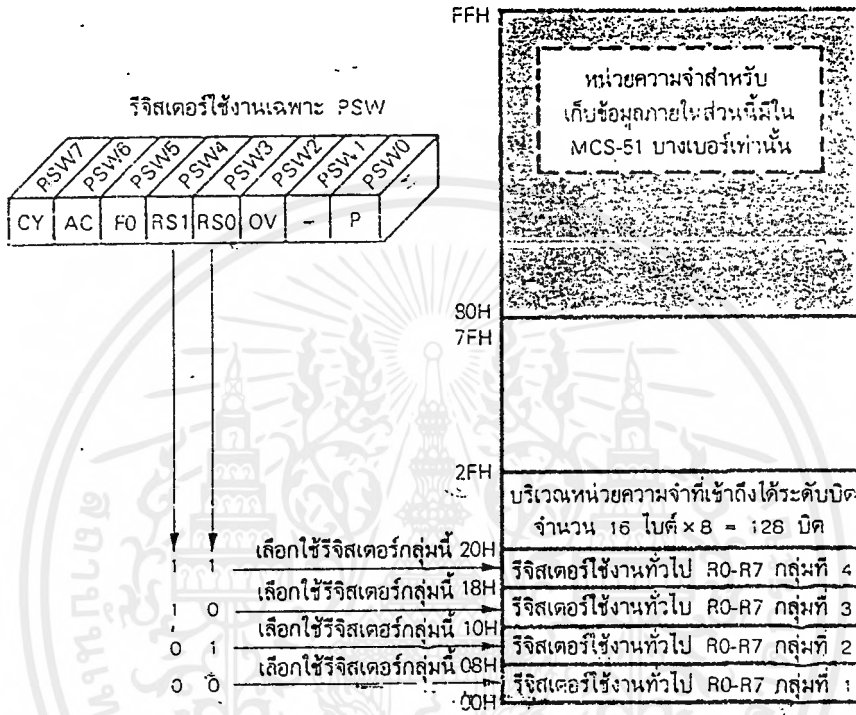
สาเหตุที่ทำให้หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลใน MCS-51 มีได้ถึง 384 ไบต์เป็นเพราะหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ในบริเวณ 128 ไบต์บน(ตำแหน่ง 7FH-0FFH) จะใช้วิธีเข้าถึงข้อมูลได้โดยทางอ้อมเท่านั้น แต่สำหรับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (ตำแหน่ง 7FH-0FFH เช่นเดียวกัน) จะใช้วิธีเข้าถึงข้อมูลแบบโดยตรงเท่านั้น ดังนั้นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลใน MCS-51 ทั้งสองบริเวณจึงสามารถมีตำแหน่งที่ซ้ำกันได้ โดยในระหว่างการทำงาน MCS-51 จะตรวจสอบจากรหัสคำสั่งเองว่าคำสั่งที่ต้องการทำงานมีการเข้าถึงข้อมูลในหน่วยความจำตำแหน่งใด และโดยวิธีไหน

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลใน MCS-51 บริเวณ 128 ไบต์ล่าง และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะจะมีอยู่ในชิป MCS-51 ทุกตัวในตระกูล ส่วนหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลบริเวณ 128 ไบต์บน จะมีในชิป MCS-51 บางเบอร์เท่านั้น (เช่น 8052/8053)

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลใน MCS-51 บริเวณ 128 ไบต์ล่าง ตำแหน่ง 00H-1FH รวม 32 ไบต์ จะถูกกำหนดให้เป็นกลุ่มของรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป 4 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ตัว (R0-R7) ดังแสดงในรูปที่ 2.34 กลุ่มรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปจะถูกเลือกใช้งานเพียงกลุ่มเดียวในขณะใดขณะหนึ่ง เมื่อคำสั่งที่ระบุให้ใช้ข้อมูลใน R0-R7 ซึ่พียูใน MCS-51 จะตรวจสอบเองว่า ในขณะที่รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปกลุ่มใดที่ถูกเลือกใช้งาน โดยดูจากบิต RS0, RS1 ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW

ด้วยวิธีการเลือกกลุ่มรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปเช่นนี้ ทำให้รหัสคำสั่งที่ระบุการใช้รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 มีขนาดเล็ก เพราะใช้ข้อมูลเพียง 3 บิต เพื่อเลือกรีจิสเตอร์ R0-R7 แทนที่จะต้องใช้ 8 บิตเพื่อระบุตำแหน่งของรีจิสเตอร์ R0-R7

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลใน MCS-51 ที่อยู่ถัดจากกลุ่มรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปทั้ง 4 กลุ่ม ตั้งแต่ตำแหน่ง 20H-2FH รวม 16 ไบต์ได้ถูกออกแบบให้มีลักษณะโครงสร้างพิเศษกว่าหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลบริเวณอื่น โดยแต่ละบิตของหน่วยความจำบริเวณนี้ (แสดงในรูปที่ 2.34) มีหมายเลขตำแหน่งกำหนดไว้แน่นอน เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลขนาด 1 บิตในการทำงานของกลุ่มคำสั่งประมวลผลแบบบูลีนได้ หรือนำมาใช้เป็นบิตบอกสถานะของระบบตามความต้องการของผู้ใช้ได้ แต่ละบิตของหน่วยความจำบริเวณนี้มีหมายเลขตำแหน่งเริ่มต้นตั้งแต่ 00H-7FH รวม 128 ตำแหน่ง หรือ 128 บิต

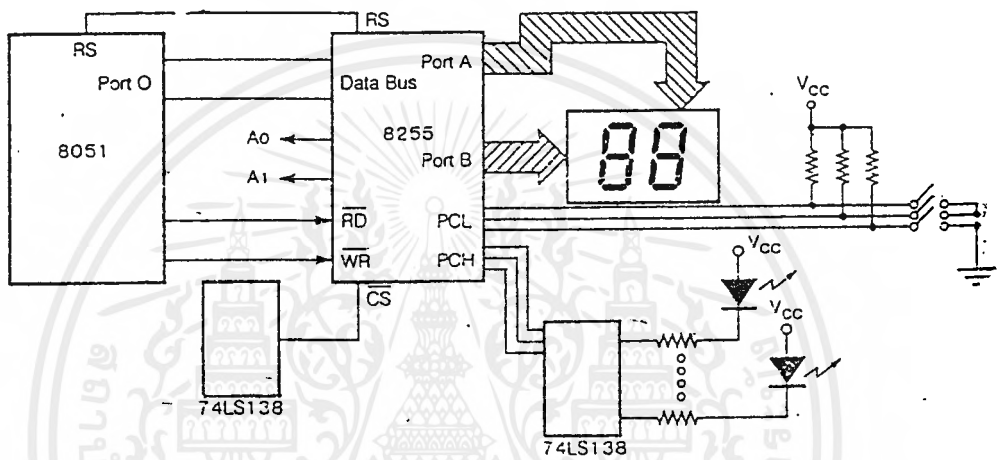


รูปที่ 2.34 แสดงการเลือกกลุ่มรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป โดยควบคุมจากบิต RS0,RS1

MCS-51 มีไว้เพื่อใช้ควบคุมการทำงานและรายงานผลการทำงานของวงจรมายในชิปที่ทำหน้าที่เฉพาะต่างๆ เช่นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ TCON ใช้ควบคุมการทำงานไทม์เมอร์ 0 และไทม์เมอร์ 1รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SCON ใช้ควบคุมและรายงานการทำงานของพอร์ตสื่อสารอนุกรม

การเขียนโปรแกรมการใช้งานชิป MCS51 เบอร์ DS1012

เราจะประยุกต์ใช้ชิป RTC เบอร์ DS1012 เป็นตัวเก็บค่าเวลาจริง (real time) ซึ่งได้ศึกษาผ่านมาแล้ว และจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ 8051 เป็นตัวติดต่อกับชิปเบอร์ DS1012 โดยจะแสดงผลเป็นเวลาค่าจริงผ่านทางส่วนแสดงผลเจ็ดส่วน (seven segment LED) ซึ่งมีบล็อกไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.35 การติดต่อกันระหว่างชิปเบอร์ DS1202 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 Reset Port

เนื่องจากว่าเราใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 ซึ่งมีความจำเป็นต้องใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (external program memory) จึงทำให้พอร์ต 0 และพอร์ต 2 ถูกใช้เป็นแอดเดรสและดาต้าบัส จึงจำเป็นต้องใช้ชิปเบอร์ 8255 เพื่อจะได้ทำให้มีพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.35 ในรูปจะไม่แสดงถึงการต่อกับหน่วยความจำซึ่งได้กล่าวผ่านมาแล้ว เราจะใช้ชิปเบอร์ 8255 เป็นตัวเชื่อมกับส่วนแสดงผลเจ็ดส่วน และสวิตช์เพื่อใช้เป็นอินพุตและเอาต์พุตของระบบ

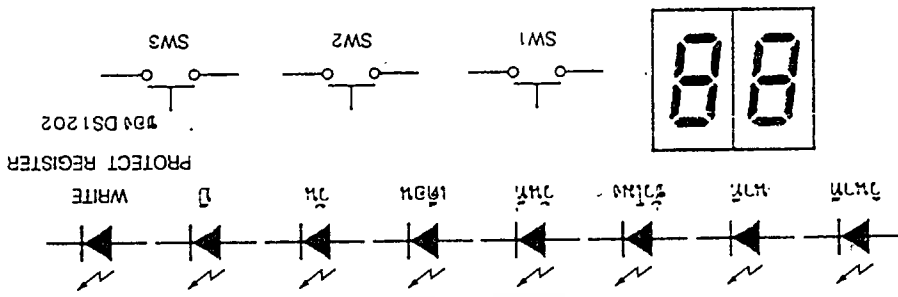
การใช้งานชิปเบอร์ 8255 เราสามารถกำหนดให้พอร์ต A, B, C ทำหน้าที่เป็นอินพุตหรือเอาต์พุตได้ โดยกำหนดได้จากค่าคอนโทรลไบต์ที่ส่งไปยังคอนโทรลเลอร์ของ 8255 ดังมีรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าคอนโทรลไบต์ของ 8255

พอร์ท A (PA0-PA7)	พอร์ท C บน (PC4-PC7)	พอร์ท B (PB0-PB7)	พอร์ท C ล่าง (PC0-PC3)	รหัสควบคุม (hex)
เอาต์พุต	เอาต์พุต	เอาต์พุต	เอาต์พุต	80H
เอาต์พุต	เอาต์พุต	เอาต์พุต	อินพุต	81H
เอาต์พุต	เอาต์พุต	อินพุต	เอาต์พุต	82H
เอาต์พุต	เอาต์พุต	อินพุต	อินพุต	83H
เอาต์พุต	อินพุต	เอาต์พุต	เอาต์พุต	88H
เอาต์พุต	อินพุต	เอาต์พุต	อินพุต	89H
เอาต์พุต	อินพุต	อินพุต	เอาต์พุต	8AH
เอาต์พุต	อินพุต	อินพุต	อินพุต	8BH
อินพุต	เอาต์พุต	เอาต์พุต	เอาต์พุต	90H
อินพุต	เอาต์พุต	เอาต์พุต	อินพุต	91H
อินพุต	เอาต์พุต	อินพุต	เอาต์พุต	92H
อินพุต	เอาต์พุต	อินพุต	อินพุต	93H
อินพุต	อินพุต	เอาต์พุต	เอาต์พุต	98H
อินพุต	อินพุต	เอาต์พุต	อินพุต	99H
อินพุต	อินพุต	อินพุต	เอาต์พุต	9AH
อินพุต	อินพุต	อินพุต	อินพุต	9BH

หน้าที่ของอุปกรณ์ต่างๆ ที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.35 มีดังนี้

ส่วนแสดงผลเจ็ดส่วน เป็นแบบแคโทดร่วม (common cathode) จะใช้เป็นตัวแสดงค่าเวลาเป็นช่วงของวินาที นาที ชั่วโมง วันที่ เดือน วันและปี โดยจะแสดงเป็นตัวเลข 2 ตำแหน่ง และสามารถเลือกได้ว่าจะให้แสดงค่าของอะไร (วินาที นาที ชั่วโมง, ...) โดยจะใช้เป็นสวิตช์หนึ่งตัวทำหน้าที่เลื่อนการแสดงผลจากช่วงวินาที → นาที → ชั่วโมง → วันที่ → เดือน → ปี → วินาที → วัน ไปเช่นนี้เรื่อยๆ และขณะแสดงค่าก็จะมีตัวแสดงผลต่างหากอีก 8 ตัว ซึ่งเป็นตัวบอกให้รู้ว่าขณะนี้กำลังแสดงค่าของเวลาอะไรอยู่ โดยจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.36



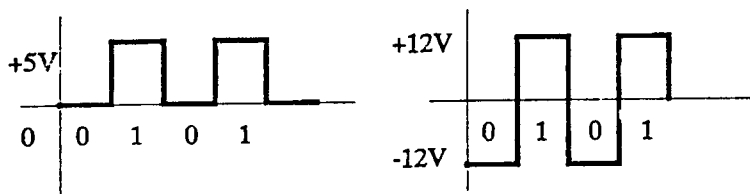
รูปที่ 2.36 ลักษณะการทำงานของส่วนแสดงผล

การรับส่งข้อมูลคอมพิวเตอร์

ในการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ดคอนโทรลเลอร์ ปัญหาคือว่าข้อมูลของคอมพิวเตอร์คืออะไร คอมพิวเตอร์ทุกวันนี้มีการทำงานโดยเก็บข้อมูลอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า แล้วนำสัญญาณไฟฟ้านั้นมาทำการประมวลผลในรูปแบบต่างๆ เช่น การเก็บตัวอักษรรวมกันอยู่ในรูปของจดหมายหรือเอกสาร หรือทำการคำนวณตัวเลข ดังนั้นข้อมูลของคอมพิวเตอร์จะถูกเก็บอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าทั้งสิ้น โดยลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าที่เก็บ จะมีอยู่สองสถานะคือ สภาวะ '0' และ '1' เราเรียกสภาวะของข้อมูลนี้ว่าหนึ่งบิต ข้อมูลหนึ่งบิตที่มีสภาวะ '0' หรือ '1' นี้ อาจอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า 0 โวลต์ และ +5 โวลต์ หรือ -12 โวลต์ก็ได้ ขอให้ความแตกต่างกันจนคอมพิวเตอร์แยกออกได้ว่าสัญญาณนี้คือ สภาวะ '0' หรือ '1' ก็พอ

ลักษณะของข้อมูลคอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์ที่เราใช้อยู่ในปัจจุบันจะใช้สัญญาณไฟฟ้าในการทำงาน โดยส่วนมาก ใช้แรงดันไฟฟ้า 0 โวลต์ แทนสภาวะ '0' ของข้อมูล และใช้แรงดันไฟฟ้า +5 โวลต์ แทนสภาวะ '1' ของข้อมูล ส่วนการเก็บข้อมูลลงในแผ่นดิสก์หรือฮาร์ดดิสก์ คอมพิวเตอร์จะใช้เส้นแรงแม่เหล็กแทนข้อมูล '0' และ '1' โดยใช้สัญญาณไฟฟ้าควบคุมอีกทีหนึ่ง

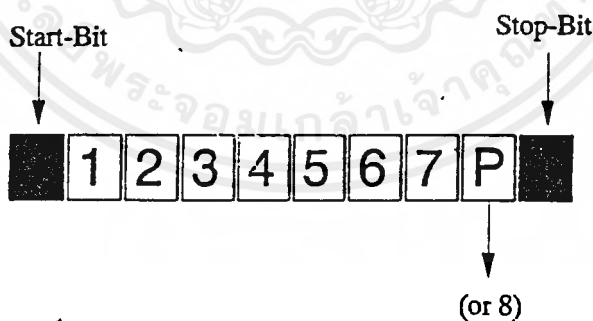


รูปที่ 2.37 สัญญาณไฟฟ้าแทนสภาวะ 0 และ 1 ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์อาจใช้แรงดันไฟฟ้าที่ต่างกันได้

เมื่อเรานำข้อมูลหนึ่งบิตมาเรียงต่อเข้าด้วยกันหลายๆ บิต ก็จะกลายเป็นข้อมูลคอมพิวเตอร์ขึ้นมาทันที ตามมาตรฐานนั้นข้อมูล 8 บิตเรียงต่อกันเราเรียกว่าหนึ่งไบต์ ซึ่งคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทั่วไป จะใช้ข้อมูลหนึ่งไบต์นี้เก็บตัวอักษรได้หนึ่งตัว โดยมีการกำหนดรหัสเอาไว้ว่าตัวอักษร A, B, C หรือ ก, ข, ค จะมีค่า '0' หรือ '1' เรียงกันอย่างไรใน 8 บิตนี้ รหัสมาตรฐานดังกล่าวเรียกว่าแอสกี (ASCII) คอมพิวเตอร์ที่ใช้รหัสแอสกีเหมือนกันจะสามารถรับส่งข้อมูลกันได้เหมือนคนที่พูดภาษาเดียวกันนั่นเอง คำว่าแอสกี(อ่านออกเสียงว่า "แอสกี")เป็นตัวย่อมาจากคำเต็มของภาษาอังกฤษว่า American Standard Code for Information Interchange ซึ่งไม่ว่าเครื่องคอมพิวเตอร์จะมีโครงสร้างแบบ 8 บิต 16 บิต หรือ 32 บิตก็ตามจะมีการเก็บข้อมูลโดยใช้ 8 บิตหรือหนึ่งไบต์แทนตัวอักษรหนึ่งตัวเสมอ เมื่อคอมพิวเตอร์รับส่งข้อมูลก็คือ การรับส่งสัญญาณไฟฟ้าที่ละหนึ่งตัวอักษรติดต่อกัน เราต้องใช้รหัสแอสกีเดียวกันระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์

การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม (serial)

การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมนั้นมีชื่อเรียกว่าการต่ออินเทอร์เฟซ (Serial interface) หรืออาร์เอส 232 ซี (RS 232C) การรับส่งข้อมูลแบบนี้ช้าช้อนกว่าแบบแรกมาก วิธีการส่งข้อมูลจะนำข้อมูลหนึ่งไบต์มาส่งออกไปทางสายที่ละหนึ่งบิต เรียงกันไปจนครบ 8 บิต จากการศึกษาที่ส่งข้อมูลเรียงกันไปนี้ จำนวนสายที่ใช้ส่งข้อมูลจึงลดลงเหลือเพียง 3 ถึง 5 สายเท่านั้น ความซับซ้อนอยู่ตรงที่หาอย่างไรทางด้านรับจึงจะรู้ว่า ข้อมูลมาถึงเมื่อไร ตรงไหน คือข้อมูลบิตแรก บิตที่สอง ไปจนถึงบิตสุดท้าย เราจึงต้องเพิ่มส่วนเริ่มต้นข้อมูลและส่วนบิตท้ายข้อมูลเข้าไปด้วย เรียกว่าสตาร์ทบิต (Start bit) และสตอปบิต (Stop bit)



รูปที่ 2.38 Start Bit และ Stop Bit จะช่วยให้คอมพิวเตอร์แยกข้อมูลแต่ละตัวออกมาได้อย่างถูกต้อง

คราวนี้ผู้รับหรือคอมพิวเตอร์ที่รับข้อมูลก็จะสามารถแยกแยะสัญญาณที่ได้รับออกมาเป็น ข้อมูลได้ถูกต้อง ข้อดีของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมก็คือ เหมาะสำหรับการส่งข้อมูลระยะทางไกล มากกว่าการส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบขนาน เพราะใช้จำนวนสายน้อยกว่า และระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการส่งมีค่า +12 โวลต์ กับ -12 โวลต์ ทำให้เราสามารถส่งข้อมูลได้ไกลถึง 35 เมตร โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติมเข้าช่วยเลย ข้อเสียของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมคือ ความเร็วในการส่งข้อมูลจำกัดอยู่ที่ 19200 บิตต่อวินาทีสูงสุด นับว่าช้ากว่าการส่งข้อมูลแบบขนานอยู่มากทีเดียว

การส่งข้อมูลแบบอนุกรมนี้ เราต้องคำนึงถึงรายละเอียดในการส่งข้อมูลมากกว่าการส่งแบบขนานหลายอย่าง เช่น ความเร็วในการรับส่งข้อมูล การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล จำนวนบิตของข้อมูล ฯลฯ ทั้งหมดนี้ถ้ามีอะไรไม่ตรงกันระหว่างผู้รับและผู้ส่ง การส่งข้อมูลแบบอนุกรมก็จะผิดพลาดหรือรับส่งกันไม่ได้

สายเคเบิลของ RS-232

การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมของคอมพิวเตอร์หรือที่เรียกว่าอาร์เอส 232 นั้นใช้กันมากในการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับคอนโทรลเลอร์ คอมพิวเตอร์กับโมเด็ม คอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ต่อพ่วงแบบต่างๆ เช่น เมาส์ เครื่องวาดภาพ (Plotter) เครื่องพิมพ์บางชนิดที่ใช้พอร์ตอนุกรม รวมทั้งอุปกรณ์วัดสัญญาณต่างๆ ทางวิทยาศาสตร์ก็มักรับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมนี้ การส่งข้อมูลแบบอนุกรมจึงจัดเป็นมาตรฐานที่ใช้กันอย่างกว้างขวางวิธีหนึ่ง

มาตรฐานของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมนี้ มีการกำหนดขึ้นมาเพื่อให้คอมพิวเตอร์ต่างชนิดกัน หรืออุปกรณ์ต่อพ่วงแต่ละชนิดรับส่งข้อมูลกันได้ เมื่อทำตามมาตรฐานนี้ โดยไม่สนใจว่าอุปกรณ์หรือคอมพิวเตอร์นั้นจะผลิตมาจากที่ใด โดยมีการกำหนดรายละเอียดในการรับส่งข้อมูล เช่น ข้อต่อ (connector) ที่ใช้เป็นแบบใด มีสัญญาณที่ใช้กี่เส้น แต่ละสัญญาณทำหน้าที่อะไร และใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าเท่าไรในการรับส่งข้อมูล ความเร็วในการรับส่งข้อมูลจะเป็นเท่าใดบ้าง ใช้ข้อมูลกี่บิตในการรับส่งข้อมูล ฯลฯ อุปกรณ์หรือคอมพิวเตอร์ก็จะทำตามมาตรฐานนี้ ทำให้สามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างไม่มีปัญหา ในตอนนี้เราจะมาดูรายละเอียดกันว่า สัญญาณต่างๆ ของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมมีอะไรบ้าง และสายเคเบิลที่ใช้เชื่อมต่อส่งข้อมูลกันจะต้องต่อสายอย่างไร

ขาต่างๆ ของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

เริ่มจากตัวข้อต่อ ระหว่างสายเคเบิลทั้งสองปลาย จะใช้ข้อต่อแบบ 25 ขา รูปร่างหน้าตัดคล้ายตัว "D" มีชื่อเรียกว่า DB-25 ดังแสดงในรูป 2.39

กำหนดการใช้งานเอาไว้ทั้งหมด 22 ขา ไม่ได้ใช้ 3 ขา สัญญาณแต่ละขาจะทำหน้าที่ของมันตามที่กำหนดเอาไว้ แต่ปกติแล้วในการรับส่งข้อมูลทั่วไปเราใช้สัญญาณเพียง 8 ถึง 9 เส้นเท่านั้นก็พอ สัญญาณที่เหลือเราไม่น่าจะใช้ เนื่องจากว่าบางเส้นเป็นสัญญาณรับส่งข้อมูล และสัญญาณควบคุมของช่องสัญญาณสำรอง (Secondary Channel) บางเส้นปล่อยว่างไว้ และบางเส้นใช้สำหรับงานพิเศษบางอย่างเท่านั้น เราจึงไม่กล่าวถึงในที่นี้

Secondary Transmitted Data	• 14	1 •	Protective Ground
Transmit Clock	• 15	2 •	Transmitted Data
Secondary Received Data	• 16	3 •	Received Data
Receiver Clock	• 17	4 •	Request to Send
Unassigned	• 18	5 •	Clear to Send
Secondary Request to Send	• 19	6 •	Data Set Ready
Data Terminal Ready	• 20	7 •	Signal Ground
Signal Quality Detector	• 21	8 •	Data Carrier Detect
Ring Indicator	• 22	9 •	Reserved
Data Rate Select	• 23	10 •	Reserved
External Clock	• 24	11 •	Unassigned
Unassigned	• 25	12 •	Secondary Data Carrier Detect
		13 •	Secondary Clear to Send



รูปที่ 2.39 แสดงข้อต่อแบบ DB-25 และตำแหน่งขาต่าง ๆ

สายเคเบิลที่ใช้รับส่งข้อมูลส่วนมากจึงใช้สายเพียง 8 ถึง 9 เส้นเท่านั้น จากข้อต่อ 25 ขา สัญญาณแต่ละเส้นเรียงตามลำดับดังนี้คือ ขาที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, และ 20 กับ 22 โดยที่ขาที่ 1(Protective Ground) นั้น มักจะไม่จำเป็นต้องต่อใช้งาน จึงเหลือจำนวนสายที่ใช้เพียง 9 เส้น หน้าที่ของสัญญาณแต่ละเส้นก็คือ

- | | |
|-------------------------------|--|
| - ขาที่ 1 (Protective Ground) | เป็นสายดินของอุปกรณ์ |
| - ขาที่ 2 (Transmitted Data) | ใช้สำหรับส่งข้อมูล |
| - ขาที่ 3 (Received Data) | ใช้สำหรับรับข้อมูล |
| - ขาที่ 4 (Request to Send) | เป็นสัญญาณขอทำการส่งข้อมูล |
| - ขาที่ 5 (Clear to Send) | เป็นสัญญาณตอบรับว่าเริ่มส่งข้อมูลได้แล้ว |
| - ขาที่ 6 (Data Set Ready) | เป็นสัญญาณแสดงว่าตัวรับพร้อมที่จะรับข้อมูลแล้ว |
| - ขาที่ 7 (Signal Ground) | เป็นกราวด์ของสัญญาณรับส่ง |

- ขาที่ 8 (Data Carrier Detect) เป็นตัวบอกว่าทั้งตัวรับและตัวส่งต่อถึงกันเรียบร้อยแล้ว และพร้อมที่จะทำการรับส่งข้อมูล ในกรณีที่ใช้ต่อกับโมเด็ม ขานี้จะเป็นตัวบอกว่าโมเด็มทั้งสองด้านต่อถึงกันได้แล้วโดยมีสัญญาณแคเรีย (Carrier) ส่งถึงกัน

- ขาที่ 20 (Data Terminal Ready) เป็นสัญญาณแสดงว่าตัวส่งพร้อมที่จะส่งข้อมูล

- ขาที่ 22 (Ring Indicator) เป็นขาแสดงแทนกริ่งโทรศัพท์ที่เรียกเข้ามา การเชื่อมต่อบางอย่างก็อาจจะไม่ใช่ขาที่ 22 นี้ในการทำงาน

ส่วนขาอื่น ๆ ที่เหลือนั้น ส่วนมากมีหน้าที่คล้ายกับ 8 ขาแรกที่กล่าวมา และบางเส้นกับงานพิเศษเท่านั้นจึงไม่ขอกกล่าวในที่นี้ ขาที่เราใช้สำหรับส่งข้อมูลของข้อต่อแบบ DB-25 จึงเหลือเพียงขา 2, 3, 4, 5, 7, 8, 20 และ 22 ยกเว้นการต่อใช้งานบางอย่างถึงจะต่อครบทุกเส้น

DB-25 และ DB-9

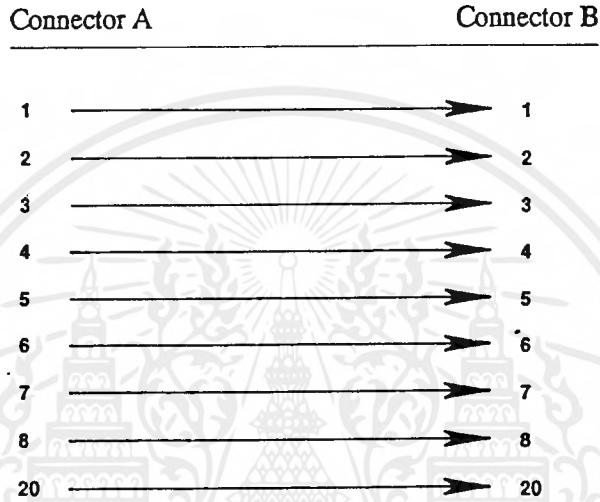
จากการที่ข้อต่อแบบ 25 ขาเราใช้งานจริงเพียง 9 ขาเท่านั้น เครื่องคอมพิวเตอร์รุ่นใหม่ ๆ จึงลดข้อต่อลงมาใช้แบบ 9 ขาแทน ซึ่งเราเรียกข้อต่อแบบนี้ว่า DB-9 การใช้ข้อต่อแบบ DB-9 นี้มีข้อดีหลายอย่างคือ ขนาดเล็กกะทัดรัด ราคาของข้อต่อถูกกว่า กាต่อสายเคเบิลสะดวกขึ้น และการใช้งานคล่องตัวกว่า DB-25 สัญญาณต่างๆ ของข้อต่อแบบ DB-9 บางเส้นจะตรงกับที่ใช้ใน DB-25 ดังที่แสดงในตารางเปรียบเทียบ เครื่องคอมพิวเตอร์แบบไอพีเอ็มเอทีและรุ่นใหม่ ๆ มักจะใช้ข้อต่อแบบ DB-9 สำหรับรับส่งข้อมูลอนุกรมทั้งนั้น แต่อุปกรณ์ต่อพ่วงมากยังคงใช้ข้อต่อแบบ DB-25 อยู่ เราจึงต้องใช้สายเคเบิลที่เหมาะสมสำหรับทั้งสองด้านในรับส่งข้อมูล

DB-9 Pin	DB-25 Pin	Assignment/Function
1	8	Carrier detect
2	3	Receive data
3	2	Transmit data
4	20	Data terminal ready
5	7	Signal Ground
6	6	Data set ready
7	4	Request to send
8	5	Clear to send
9	22	Ring Indicator

รูป 2.40 การใช้งานรับส่งข้อมูลอนุกรม เราใช้สัญญาณเพียง 9 ขาเท่านั้น

สายเคเบิลของการรับส่งข้อมูลอนุกรมแบ่งออกได้เป็นสองแบบ คือสายตรงและสายสลับที่ต้องมีสายสองแบบนี้ก็เพราะว่าการเชื่อมต่อส่งข้อมูลมีสองกรณีคือ คอมพิวเตอร์ต่อกับคอมพิวเตอร์ และคอมพิวเตอร์เอกสารเป็นเอกสารส่งวนไวสำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อเข้ากับอุปกรณ์ต่างๆ เมื่อเราต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับคอนโทรลเลอร์เพื่อรับส่งข้อมูลกัน สายสัญญาณรับส่งข้อมูลต้องสลับกันไขว้กัน เพื่อให้สัญญาณส่งของตัวแรกไปเข้าสัญญาณรับของตัวที่สอง เราจึงเรียกสายเคเบิลแบบนี้ว่าสายสลับ ส่วนการต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับอุปกรณ์ต่อพ่วงนั้น สายสัญญาณของอุปกรณ์ต่อพ่วงเช่น โมเด็มและพล็อตเตอร์ มักจะสลับสัญญาณรับไว้ภายในแล้ว สายเคเบิลจากเครื่องคอมพิวเตอร์จึงต่อตรงเข้าแต่ละเส้นของอุปกรณ์ได้เลย เราจึงเรียกสายเคเบิลแบบนี้ว่าสายตรง กรณีที่วงจรรขยายของอุปกรณ์ต่อพ่วงไม่ได้สลับสายไว้ภายใน เราก็ต้องใช้สายสลับต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์นั้น ไม่จำเป็นต้องใช้สายตรงเสมอไป



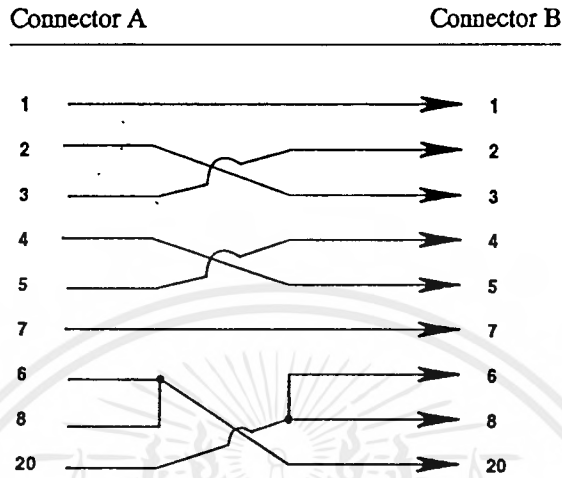
รูปที่ 3.41 การต่อสายตรงของ RS-232C อย่างง่าย

การต่อสายเคเบิลแบบสายตรงนั้นไม่ยุ่งยากเท่าใดนัก เนื่องจากสัญญาณแต่ละเส้นตามเบอร์ต่างๆ ของ DB-25 จะเชื่อมต่อเข้าหากันตรงๆ ทั้ง 8 เส้น หรือ 9 เส้น ตามสัญญาณที่ใช้อย่างที่กล่าวไว้ในตอนต้น เพียงเท่านี้ก็สามารถรับส่งข้อมูลได้ การที่สัญญาณรับส่งข้อมูลและสัญญาณควบคุมต่อเข้าคู่ของมันตรงๆ ทำให้สายเคเบิลแบบนี้ทำขึ้นอย่างง่าย ๆ ได้ โดยใช้ข้อต่อแบบไม่ต้องบัดกรี และสายเคเบิลแบบแผ่น (Ribbon Cable) เท่านั้น

Null Modem Cable

สำหรับสายเคเบิลแบบสลับ สัญญาณรับส่งข้อมูลและสัญญาณควบคุมต้องเชื่อมต่อสลับกันให้ถูกต้องของมัน จึงจะสามารถรับส่งข้อมูลได้ ขา 2 กับขา 3 ต่อสลับกันให้สัญญาณส่งไปเข้าขารับข้อมูลและขารับข้อมูลก็ต่อขาส่งข้อมูลของอีกด้านหนึ่ง ขา 4 กับ 5 ต่อสลับกันเป็นการทำให้คอมพิวเตอร์ทั้งสองรู้ว่าฝ่ายหนึ่งพร้อมจะรับส่งข้อมูลหรือไม่ ส่วนขาที่ 7 ต่อถึงกันโดยตรงเพราะเป็นกราวด์ของแต่ละด้าน ขาที่ 6 กับ 8 ต่อเข้าหากันและไปต่อกับขา 20 ของอีกด้านหนึ่ง เพื่อให้คอมพิวเตอร์รู้ว่าต่อเข้ากับอีกด้านหนึ่งได้แล้ว สาย

สลับบางที่อาจต่อแตกต่างจากที่วางนี้ แต่ก็ทำให้สัญญาณควบคุมถูกต้องเหมือนกัน แผนผังการต่อสายแบบสายตรงและสายสลับแสดงดังรูป 2.42



รูปที่ 2.42 การต่อสายสลับของ RS-232C หรือ Null Modem cable

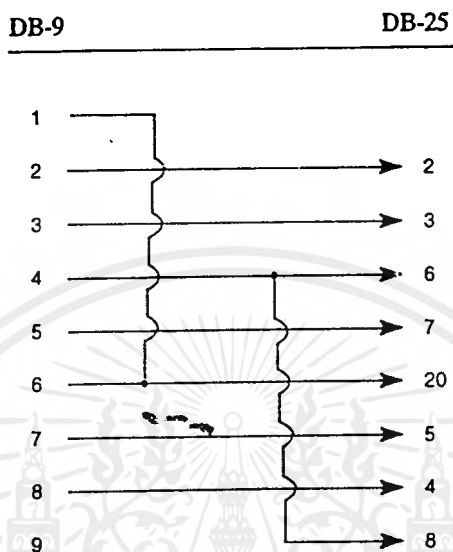
สายสลับนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่านูลโมเด็มเคเบิล (Null Modem Cable) ซึ่งหมายถึงการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับคอนโทรลเลอร์โดยไม่ผ่านโมเด็มนั่นเอง ข้อดีของการใช้สายเคเบิลส่งข้อมูลไม่ผ่านโมเด็มก็คือ เราสามารถรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงถึง 9600 บิตต่อวินาที ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับคอนโทรลเลอร์ ได้ในระยะทางไกลๆ ซึ่งสะดวกรวดเร็วกว่าการส่งข้อมูลผ่านโมเด็มมาก

DB-25		DB-9	
Assignment	Pin	Pin	Assignment
Carrier detect	8	1	Carrier detect
Receive data	3	2	Receive data
Transmit data	2	3	Transmit data
Data terminal ready	20	4	Data terminal ready
Signal ground	7	5	Signal ground
Data set ready	6	6	Data set ready
Request to send	4	7	Request to send
Clear to send	5	8	Clear to send
Ring indicator	22	9	Ring indicator

รูปที่ 2.43 การต่อสายตรงจาก DB-25 ไปยัง DB-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการต่อระหว่างข้อต่อแบบ DB-25 ไปยังข้อต่อแบบ DB-9 นั้น เราก็เปรียบเทียบกับ การต่อในแบบ DB-25 กับ DB-25 โดยดูจากชื่อของสัญญาณที่ต่อเข้าหากันเป็นหลัก จะต่อตามเบอร์ของแต่ละขาเข้าด้วยกันตรงๆ สายเคเบิลแบบสายตรงจาก DB-25 ไปยัง DB-9 จะเป็นดังรูป 2.44



รูปที่ 2.44 การต่อสายสลับจาก DB-9 ไปยัง DB-25

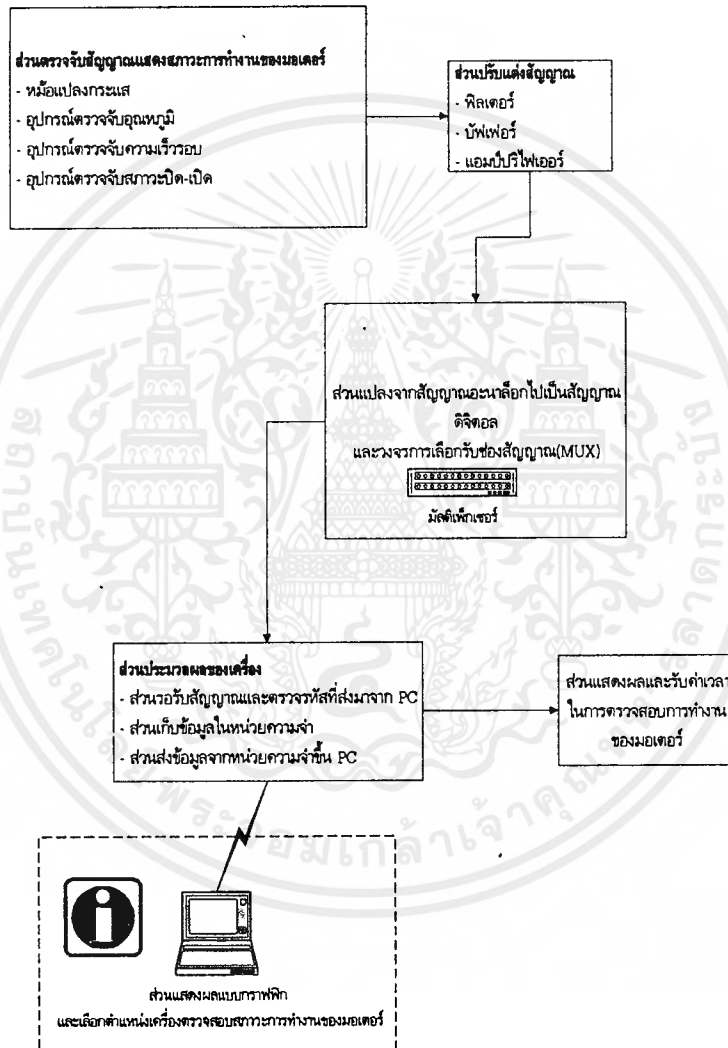
ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นเรื่องของสัญญาณและการต่อสายเคเบิลรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม แบบต่างๆ

ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างกันนั้น มีค่าสองค่าที่เราจะพบอยู่เป็นประจำคือ DTE กับ DCE คำว่า DTE(Data Terminal Equipment) หมายถึงตัวเครื่องคอมพิวเตอร์หรือเครื่องเทอร์มินัล (Terminal) ซึ่งเป็นต้นกำเนิดข้อมูลและตัวปลายทางที่รับข้อมูลนั่นเอง อาจมองในรูปของจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของการรับส่งข้อมูลระหว่างกันได้ ส่วน DCE(Data Communications Equipment) จะหมายถึงอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับสายส่งข้อมูล และทำหน้าที่รับส่งข้อมูลผ่านสายส่งนั้น ในการรับส่งข้อมูลทั่วไป DTE หมายถึงเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เราใช้และ DCE หมายถึงโมเด็มนั่นเอง การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับโมเด็มส่วนมาก จะใช้แบบการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมเป็นหลัก ซึ่งจัดเป็นมาตรฐานสำหรับการต่อโมเด็มทุกๆ ไป สายที่ใช้ต่ออาจเป็นแบบสายตรงหรือสายสลับก็ได้ขึ้นอยู่กับวงจรภายในของคอมพิวเตอร์และโมเด็ม

บทที่ 3

วงจรเครื่องติดตามและแสดงสภาวะการทำงานของมอเตอร์

3.1 ภาพรวมวงจรตรวจสอบและแสดงสภาวะการทำงานของมอเตอร์



รูป 3.1 บล็อกไดอะแกรมเครื่องติดตามและแสดงสภาวะการทำงานของมอเตอร์

เครื่องติดตามและแสดงสภาวะการทำงานของมอเตอร์นี้ ประกอบด้วยส่วนสำคัญหลัก ๆ 2 ส่วน คือ

1. การทำงานของตัวเครื่องต้นแบบ
2. การทำงานในส่วนของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ซึ่งสามารถที่จะแสดงการทำงานของส่วนต่าง ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

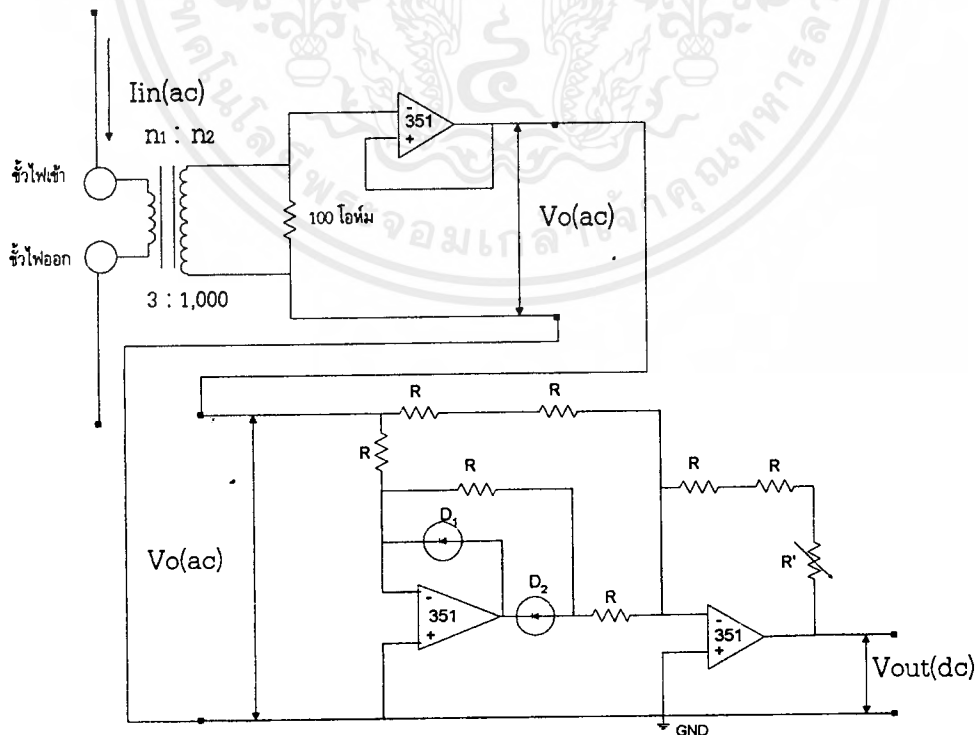
3.2 การทำงานของตัวเครื่องต้นแบบ

ในการตรวจสอบสภาวะการทำงานของมอเตอร์นี้สัญญาณที่ทำการตรวจจับประกอบด้วย ความเร็ว , กระแสอินพุท , สภาวะการปิด-เปิด และ อุณหภูมิขณะทำงาน จากบล็อกโคดของแอมจะเห็นว่าข้อมูลดังกล่าวจะถูกตรวจจับโดยเซนเซอร์(Sensor) ในวงจรตรวจจับ ซึ่งจะแยกกันตรวจจับข้อมูลแต่ละตัวแล้วส่งสัญญาณไปยังวงจรส่วนรับสัญญาณ(Receiving Circuti) เพื่อจะเปลี่ยนสัญญาณทั้งหมดจากอะนาล็อกไปเป็นข้อมูลในรูปสัญญาณทางดิจิทัล(Digital) เพื่อการเรียกสัญญาณจากโปรแกรมของเครื่อง เพื่อนำเอาข้อมูลนี้ไปทำการประมวลผลการทำงานและเก็บข้อมูลเพื่อส่งต่อไปให้กับคอมพิวเตอร์ในขั้นตอนต่อไป สามารถแบ่งลักษณะการทำงานภายในเครื่องต้นแบบเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้

3.2.1 ส่วนตรวจจับสัญญาณสภาวะการทำงานของมอเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยวงจรในการตรวจจับชนิดต่าง ๆ ดังนี้

3.2.1.1 วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้า(Current Sensing Circuit)

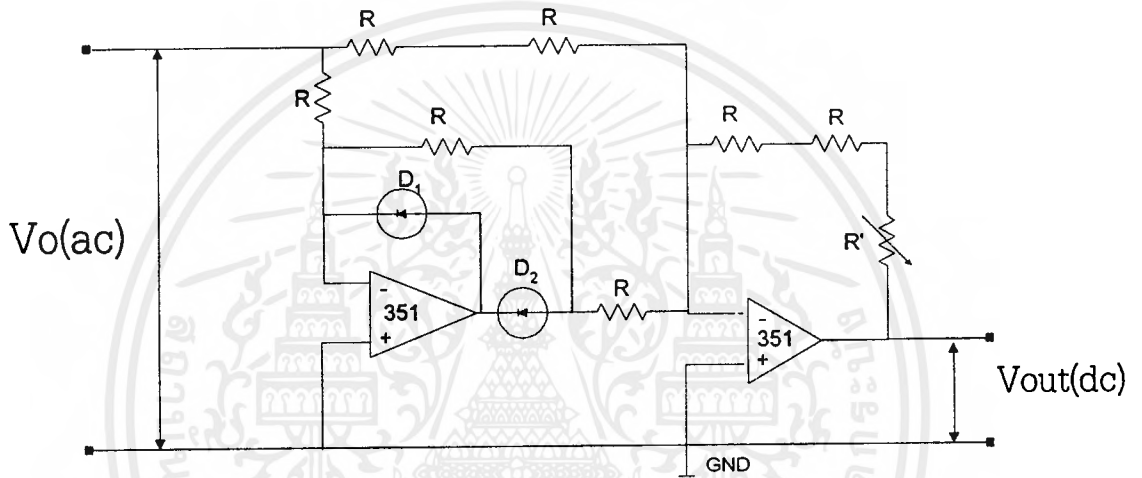
ในวงจรนี้จะอาศัยหลักการของหม้อแปลงกระแสในบทที่ 2 มาเป็นพื้นฐานโดยจะใช้หม้อแปลงกระแสทำการลดค่ากระแสที่มอเตอร์และนำค่ากระแสดังกล่าวส่งต่อไปยังวงจรแปลงสัญญาณจากอะนาล็อกไปเป็นดิจิทัล แต่เนื่องจากข้อมูลที่จะส่งต่อไปยังวงจรถูกกล่าวจะต้องอยู่ในรูปของศักดาไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นในการออกแบบวงจรจึงมีลักษณะดังรูป 3.2



รูป 3.2 แสดงวงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้า

โดยเลือกใช้ $R = 100$ โอห์ม (ถ้าน้อยเกินไปจะทำให้ศักดาไฟฟ้าทางด้านขดทุติยภูมิตกลงจากค่าปกติที่กระแสอินพุตค่าหนึ่ง แต่ถ้าใช้ R มากเกินไปจะทำให้การเปลี่ยนแปลงศักดาไฟฟ้าไม่เป็นเชิงเส้นและอาจเกิดการอิมพัลส์ที่กระแสต่ำกว่าพิกัดได้ง่าย) หลังจากนั้นต่อวงจรบัฟเฟอร์ ก่อนนำไปผ่านวงจรเรียงกระแส ในวงจรเรียงกระแสจะมีการทำงานเป็น 2 กรณีคือ

- กรณี $V_o > -0.6$ V ไดโอด D_1 และ D_2 จะทำการเปิดวงจรออก ทำให้ได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการทำงานของวงจรตรวจจับกระแสในส่วนของไดโอด

จากวงจรนี้ขอปแอมป์ตัวแรกที่จุด A จะได้

$$V_A = -V_o$$

และที่ขอปแอมป์ตัวที่ 2 จากกฎ KCL ที่จุด B จะได้

$$V_b = \left(1 + \frac{R'}{2R}\right) V_o$$

- กรณี $V_o \leq -0.6$ ไดโอด D_1 และ D_2 จะลัดวงจรแทนที่เปิดวงจร

จากรูปจะเห็นว่าศักดาไฟฟ้าที่จุด A,B และ C มีค่าเท่ากัน คือเท่ากับ 0 ดังนั้นค่า $V_{AB} =$

0 นั่นก็คือ $I_{A'} = 0$ A

$$V_{OUT} = -V_o \left(1 + \frac{R'}{2R}\right)$$

ซึ่งเมื่อผ่านฟิลเตอร์ (Filter) จะได้ศักดาไฟฟ้า DC ดังรูปใช้ $C = 1000$ ไมโครฟารัด ค่ายิ่งมากยิ่งจะทำให้ ค่าโวลต์เตจที่ได้เรียบมากขึ้น

จาก $V_o \leq 3 V_{RMS}$ หรือ $V_o \leq 4.24$ ดังนั้น

$$V_{OUT(max)}(dc) = 4.24(1 + 10^4/660) = 68.48 \text{ Vdc}$$

แต่เนื่องจาก $V_{OUT(max)}$ ของออปแอมป์สภาวะปกติจะมีค่าประมาณเท่ากับ +Vcc ซึ่งค่าจากตารางบทที่ 2 จะได้ว่าเมื่อต้องการ $I_{LOW} = 5 \text{ A}_{RMS}$ $V_{OUT} = 2.5 \text{ V}$ ดังนั้นในวงจรขยายจะใช้อัตราขยายเท่ากับ

$$\text{จาก } V_o = 1.5 \text{ V}_{RMS} = 2.12 \text{ V}_p \text{ ดังนั้น } A = V_{OUT}(dc)/V_{O(PEAK)} = 2.5/2.12$$

ซึ่งได้ค่าประมาณ 1.18 เท่า จึงต้องปรับค่า $R = 10 \text{ กิโลโห์ม}$ ให้มีค่าความต้านทานเท่ากับ $660 \times 0.18 = 118.8 \text{ โหห์ม}$

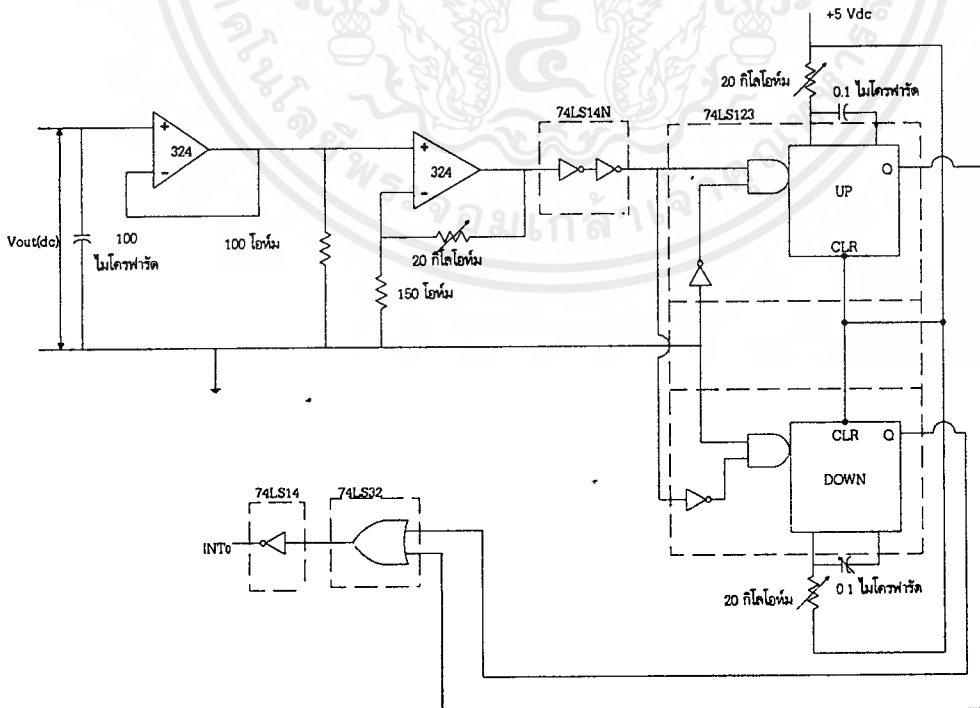
3.2.1.2 วงจรตรวจจับการทำงานหรือหยุดการทำงานของมอเตอร์

การทำงานและการหยุดทำงานของมอเตอร์จะสามารถตรวจสอบจากค่ากระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ซึ่งถ้ามีกระแสไหลก็หมายความว่ามอเตอร์กำลังทำงานอยู่ และในทางกลับกันถ้าไม่มีกระแสไหลก็จะเป็นสภาวะที่มอเตอร์ไม่ทำงาน แต่จุดประสงค์สำคัญของการตรวจจับนี้จะสัมพันธ์กับช่วงเวลาการเริ่มทำงานและเริ่มหยุดทำงานดังนั้นวงจรนี้จะเป็นการตรวจจับเวลาซึ่งทำได้โดยตรวจจับเวลาที่กระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงจาก

I_{IN} (กระแสไฟฟ้าเข้า) = 0 ไปเป็น $I_{IN} > 0$ (มอเตอร์เริ่มทำงาน)

I_{IN} (กระแสไฟฟ้าเข้า) > 0 ไปเป็น $I_{IN} = 0$ (มอเตอร์เริ่มหยุดทำงาน)

มีรายละเอียดของวงจรดังภาพที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงรายละเอียดในส่วนของวงจรที่เพิ่มเติมมาจากวงจรตรวจจับกระแส

ดังนั้นวงจรนี้จะสัมพันธ์กับวงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้า โดยมีการเพิ่มเติมวงจรไปจากวงจรตรวจจับกระแสโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. ส่วนตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์

จะทำสัญญาณค่าศักดาไฟฟ้าของวงจรตรวจจับสัญญาณกระแสใช้งาน โดยค่าศักดาไฟฟ้าที่นำมาใช้เป็นสัญญาณอินพุตนั้นจะพิจารณาว่าถ้าเปลี่ยนจาก 0 โวลต์ไปเป็นมากกว่า 0 โวลต์ก็ให้มีค่าเป็น "1" ในทางกลับกันถ้าเปลี่ยนจากมากกว่า 0 โวลต์ไปเป็น 0 โวลต์ก็ให้มีค่าเป็น "0" มีการทำงานเป็น 3 ส่วนดังนี้

- ส่วนแรก เป็นการใช้ฟิลเตอร์เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนและกรองให้เรียบ
- ส่วนที่สองเป็นส่วนของบัฟเฟอร์ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงค่าศักดาไฟฟ้าเนื่องจากการดึงสัญญาณมาใช้งาน

- ส่วนวงจรขยายสัญญาณค่าศักดาไฟฟ้า เพื่อให้ได้ผลการทำงานตามต้องการโดยกำจัดปัญหาของวงจรชmittริกเกอร์ (การทำงานของชmittริกเกอร์ $V_{IN} > 1.8 V = "1"$, $V_{IN} < 1.0 = "0"$)

จากการทดลองจะกำหนด $V_{OUT}(dc)(min) = 10 mV$ เป็นค่าศักดาไฟฟ้าต่ำสุดของลอจิก "1"

ดังนั้น อัตราขยาย $A = 100$ เท่า เพื่อให้ได้โวลต์ที่ออกมาเท่ากับ 1 โวลต์ จึงต้องปรับค่า $R = 150 \times 99 = 14.85$ กิโลโอห์ม

- ส่วนสร้างสัญญาณพัลส์จะใช้ IC เบอร์ 74LS514 เป็น NOT GATE แบบชmittริกเกอร์(นอกจากนี้ยังใช้กำจัดสัญญาณรบกวนจากเอาต์พุตของออปแอมป์ด้วย)

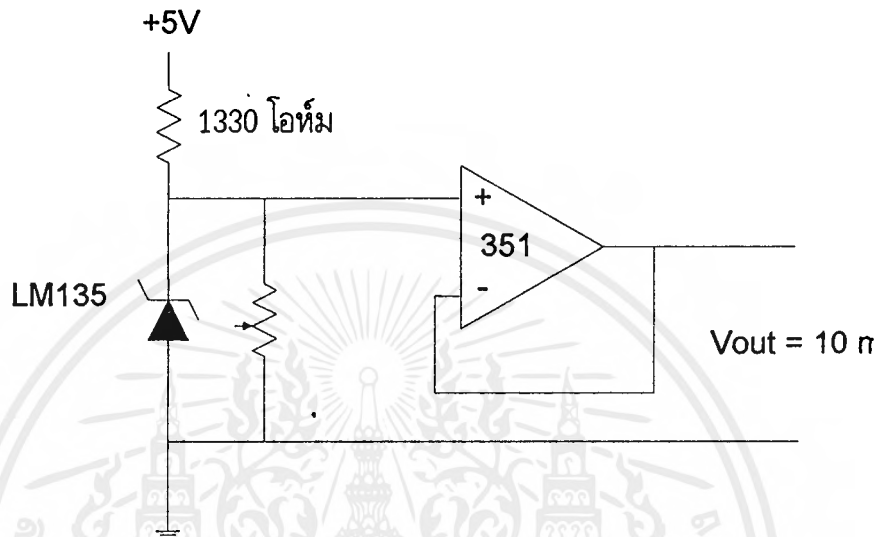
2. ส่วนกำหนดความกว้างของพัลส์

มีเพื่อให้สัมพันธ์กับเวลาที่ต้องการในการตอบสนองที่ขา INTO ของ MCS51 ในวงจรบันทึกข้อมูลจากข้อมูลของเวลาในการตอบสนองอินเทอร์รัปต์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะใช้เวลามากกว่า 3 แมกซ์ซีไนเซิล แต่จะน้อยกว่า 9 แมกซ์ซีไนเซิล และใน 1 แมกซ์ซีไนเซิลนั้นจะมี 6 สเตทใน 1 สเตทมี 2 คาบเวลาจากความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้คริสตัลความถี่ 12 MHz จะใช้เวลา 1 แมกซ์ซีไนเซิลเท่ากับ 1 นาโนวินาที ซึ่งในการออกแบบจะเลือกใช้เวลา 7 แมกซ์ซีไนเซิลซึ่งเท่ากับ 7 นาโนวินาที และในการออกแบบวงจรส่วนนี้จะใช้ไอซีโมโนสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์ (Monostable Multivibrator) เบอร์ 74LS123 สร้างเวลา ในการสร้างพัลส์สตาร์ทและสตอป ซึ่งสามารถดูสัญญาณที่เกิดขึ้นจากภาคผนวกได้

3.2.1.3 วงจรตรวจจับอุณหภูมิ

ทำหน้าที่ตรวจจับอุณหภูมิขณะมอเตอร์กำลังทำงาน ซึ่งในการตรวจจับนั้นจะอาศัยอุปกรณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป เช่น เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน(Thermistor) เปลี่ยนค่าศักดาไฟฟ้าตกคร่อม(Precision Temperature Sensor) เป็นต้น

ซึ่งเราจะทำอุปกรณ์ดังกล่าวไปออกแบบวงจรเพื่อแปลงค่าการเปลี่ยนแปลง ดังกล่าวไปอยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงศักดาไฟฟ้า โดยมีการเลือกใช้ LM 135 วัดช่วงอุณหภูมิของมอเตอร์ตั้งแต่ 40 ถึง 150 องศาเซลเซียส และเลือกวงจรในการปรับแต่งเพื่อความแม่นยำดังรูป



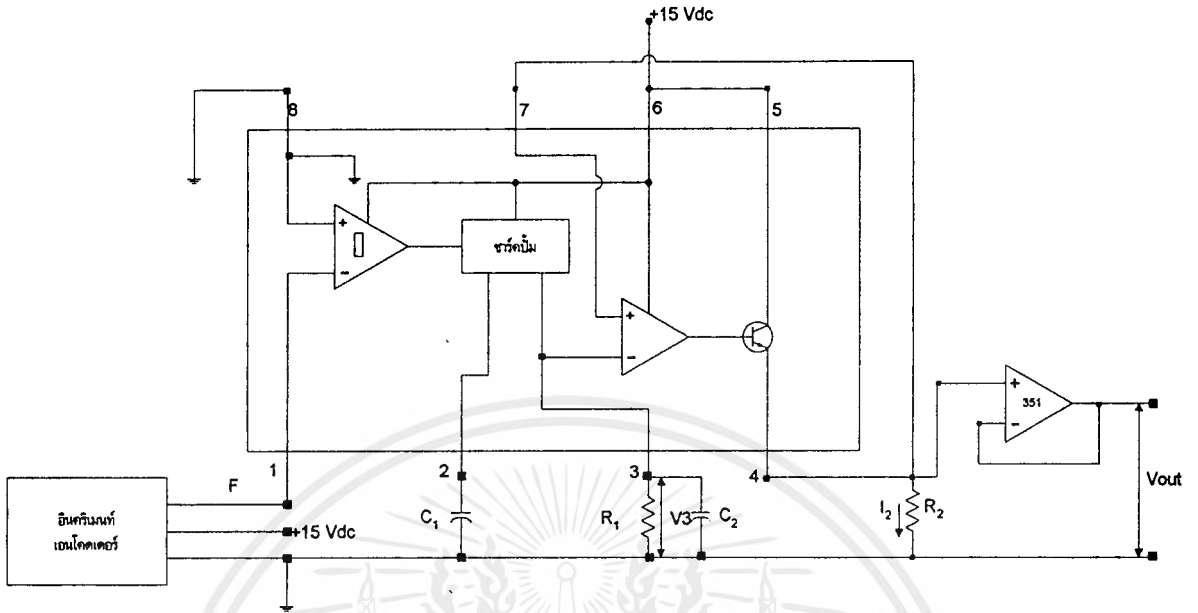
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรตรวจจับอุณหภูมิ

จากช่วงการทำงานอยู่ที่ 400 ไมโครแอมป์ ถึง 5 มิลลิแอมป์

ดังนั้น เมื่อ $V_{CC} = 5\text{ V}$ ที่ 150 องศาเซลเซียส $V_{OUT} = 4.23$ (คิดที่พิกัดอุณหภูมิสูงสุด) จะได้ $R_1(\text{max}) = 5.423/400$ ไมโครแอมป์ = 1.925 กิโลโอห์ม และที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส $R_1(\text{min}) = 5/5$ มิลลิแอมป์ = 1 กิโลโอห์ม ใช้ $R_1 = 1330$ โอห์ม และเพื่อป้องกันความผิดพลาดจึงมีการต่อบัฟเฟอร์ด้วย

3.2.1.4 วงจรตรวจจับความเร็ว (Speed sensing circuit)

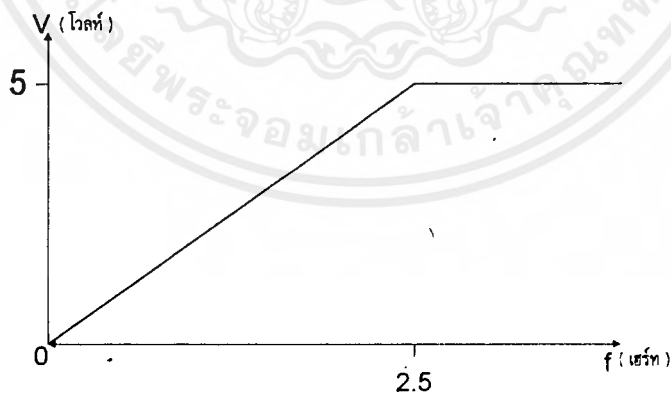
ในการตรวจจับความเร็วของมอเตอร์ตัวตรวจจับความเร็วจะมีหลายแบบเช่น เปลี่ยนแปลงความเร็วในอยู่ในรูปของศักดาไฟฟ้าโดยตรง (Tacho generator, ซึ่งจะเป็นดีซีเจเนอเรเตอร์ชนิดหนึ่ง) เปลี่ยนแปลงจำนวนรอบของการหมุนให้อยู่ในรูปพัลส์ที่มีความถี่ขึ้นอยู่กัอัตราเร็วของหมุนของเพลามอเตอร์ ซึ่งเราจะต้องใช้วงจรแปลงสัญญาณความถี่ไปเป็นสัญญาณศักดาไฟฟ้าก่อนจึงนำไปใช้งานได้ ในการออกแบบวงจรจะเลือกใช้อินทิเกรตเอนโคเดเตอร์ที่มีความละเอียด 1 รอบเท่ากับ 1000 สัญญาณ โดยจะต่อไฟเลี้ยง 15 โวลท์ มีลักษณะของวงจрдังรูป



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรตรวจจับความเร็ว

- จากสมการ $R_1 \geq \frac{V_3(\max)}{I_3(\min)}$

จากความสัมพันธ์ที่ต้องการ $f(\max) = 25$ กิโลเฮิรท์ (1500 rpm) จะได้ $V_{OUT} = 5 V_{DC}$



รูปที่ 3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเร็วรอบ

ดังนั้น $V_{s(\max)} = 5 \text{ V}$ จากปกติทั่วไป $I_1(\min) = 150 \text{ ไมโครแอมป์}$ ดังนั้น $R_1 \geq 5/150 \text{ ไมโครแอมป์} = 33.3 \text{ กิโลโห์ม}$ จะเลือกใช้ค่า $R_1 = 100 \text{ กิโลโห์ม}$

- จากสมการ

$$C_1 = \frac{V_3(\text{FullScale})}{R_3 \times V_{cc} \times f(\text{FullScale})}$$

$$C_1 = 5 / (100 \times 10^3 \times 15 \times 25 \times 10^3) = 133.33 \text{ พิโคฟารัด}$$

- จากสมการ

$$C_2 = \frac{V_{cc}}{2} \times \frac{C_1}{V_{RIPPLE}} \times \left[1 - \frac{V_3}{R_1 I_2} \right]$$

$I_2 = V_{cc}/R_2$, เมื่อเลือก $R_2 = 10 \text{ K}$ จะได้ $I_2 = 1.5 \text{ มิลลิแอมป์}$ โวลท์เตจรีปเปิ้ล เลือก 10 มิลลิโวลท์

โวลท์

เพราะฉะนั้น

$$C_2 = \frac{15}{2} \times \frac{140 \times 10^{-12}}{10 \times 10^{-3}} \times \left[1 - \frac{5}{100 \times 10^3 \times 1.5 \times 10^{-3}} \right]$$

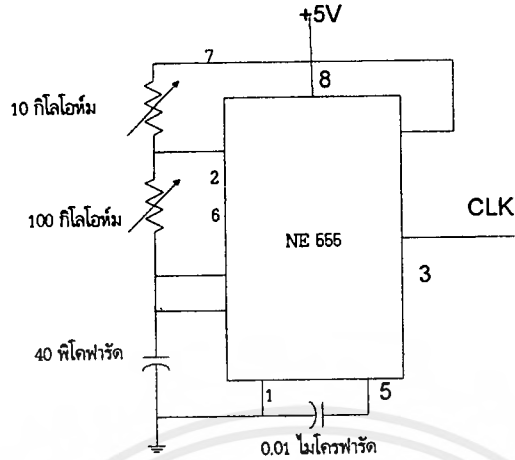
$$C_2 = 7.5 \times 14 \times 10^{-9} \times 0.967 = 0.102 \text{ ไมโครฟารัด}$$

เลือกใช้ 0.47 ไมโครฟารัด (จะเรียกขึ้นโวลท์รีปเปิ้ล มีค่าประมาณ 2.17 มิลลิโวลท์)

ดังนั้นจะได้ $R_1 = 100 \text{ กิโลโห์ม}$, $C_1 = 140 \text{ พิโคฟารัด}$, $C_2 = 0.47 \text{ ไมโครฟารัด}$, $R_2 = 10 \text{ กิโลโห์ม}$

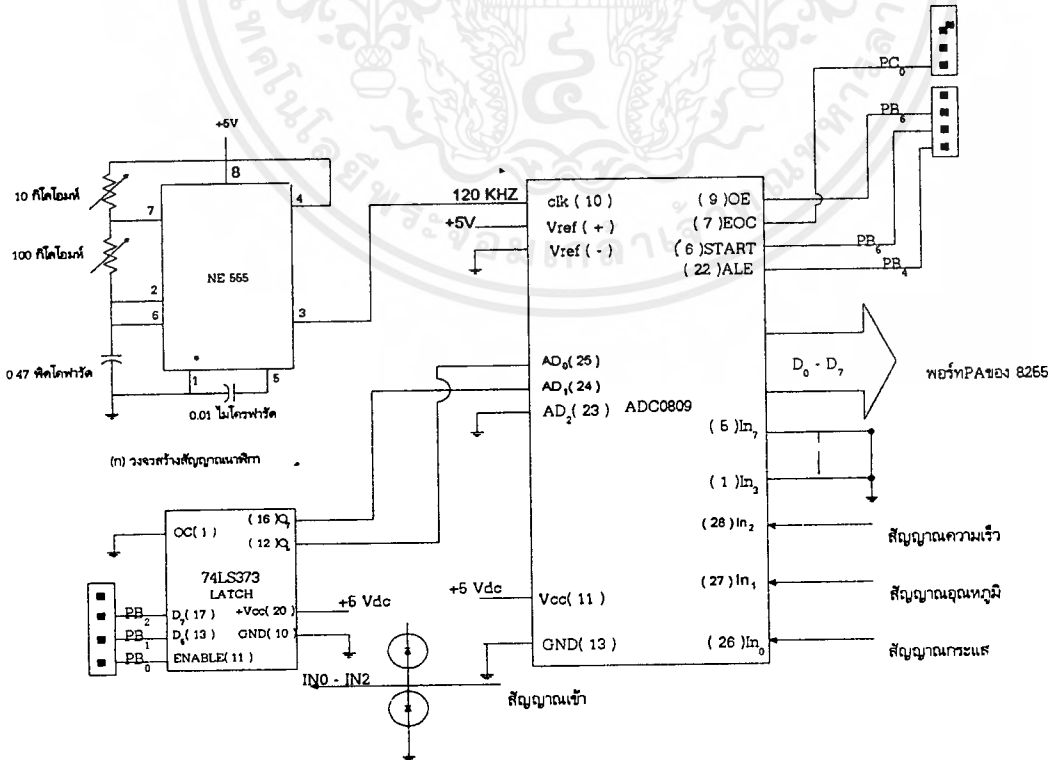
3.2.2 ส่วนแปลงสัญญาณจากอะนาล็อกไปเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Convertor Circuit)

จะทำหน้าที่รับข้อมูลจากวงจรส่วนตรวจรับสัญญาณสภาวะการทำงานจากสัญญาณอะนาล็อกไปแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อส่งต่อไปยังวงจรบันทึกข้อมูล ซึ่งการทำงานจะต้องสัมพันธ์กันตลอดเวลา เนื่องจากสัญญาณดิจิตอลที่ส่งแต่ละครั้ง เป็นการส่งทีละข้อมูลดังนั้นวงจรบันทึกข้อมูลจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณกลับไปยังวงจรรับข้อมูลเพื่อเลือกข้อมูลของสัญญาณที่ต้องการให้วงจรรับข้อมูลทำการแปลงแล้วส่งกลับมาให้วงจรบันทึกข้อมูลได้ถูกต้อง ซึ่งจะทำให้ทราบว่าข้อมูลที่บันทึกเป็นข้อมูลของสัญญาณจากวงจรตรวจจับวงจรใด และเป็นข้อมูลการทำงานใดของมอเตอร์ ในการออกแบบจะมีการสร้างสัญญาณนาฬิกาขึ้นมาเพื่อใช้ในการแปลงข้อมูลจากอะนาล็อกไปเป็นดิจิตอล ซึ่งจะใช้อิซีเบอร์ 555 มีรายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ลักษณะการออกแบบเพื่อเลือกความถี่ที่ใช้ได้ตามต้องการจะใช้ $C = 4 \text{ พิโคฟารัด}$, R_4 และ R_3 ปรับค่าได้ ซึ่งวงจรนี้จะสามารถปรับความถี่ได้ แต่เราจะเลือกใช้ความถี่ที่ 120 กิโลเฮิรท์



รูปที่ 3.8 แสดงการปรับค่าเพื่อหาความถี่ที่ใช้งาน

จากสัญญาณอินพุตทั้งหมดที่มีคือ สัญญาณค่ากระแสไฟฟ้า ความเร็ว และอุณหภูมิ ดังนั้นจะเลือกใช้ขาอินพุต 3 ขา(IN0 - IN2) และใช้ขาเลือกแอดเดรส 2 ขา(AD0 - AD1) และจะใช้แลตซ์ข้อมูลช่วยในการแลตซ์ข้อมูลแอดเดรสขาอินพุต
 ขา EOC , OE , START และ ALE จะคอยไว้เพื่อรอสัญญาณควบคุมจาก MCS-51



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรรับข้อมูล(Receiving Circuit)

3.2.3 วงจรบันทึกและส่งข้อมูล (Recording and Sending circuit)

จะเป็นส่วนสำคัญที่ควบคุมการติดต่อรับส่งข้อมูลที่ได้ จากการตรวจจับการทำงานของมอเตอร์เพื่อนำไปประมวลผลและการแสดงการทำงานต่อไป ซึ่งมีหน้าที่หลักๆ ดังต่อไปนี้

- ควบคุมการรับข้อมูลเข้ามาเก็บบันทึกค่า
- เปลี่ยนข้อมูลที่รับเข้ามาให้อยู่ในรูปของข้อมูลที่สามารถนำไปประมวลผลได้โดยตรง
- ควบคุมการส่งข้อมูลไปยังส่วนประมวลผลและแสดงผล
- สร้างสัญญาณนาฬิกาบอกเวลาตามปกติ
- ควบคุมการบันทึกค่าเวลาเริ่มทำงานและหยุดการทำงานของมอเตอร์

โดยปกติวงจรนี้จะใช้วงจรสำเร็จรูปของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้นส่วนสำคัญของการออกแบบจะอยู่ที่การเขียนคำสั่งควบคุมการทำงานทั้งหมดตามหน้าที่ที่ตั้งที่ได้กล่าวมาแล้ว

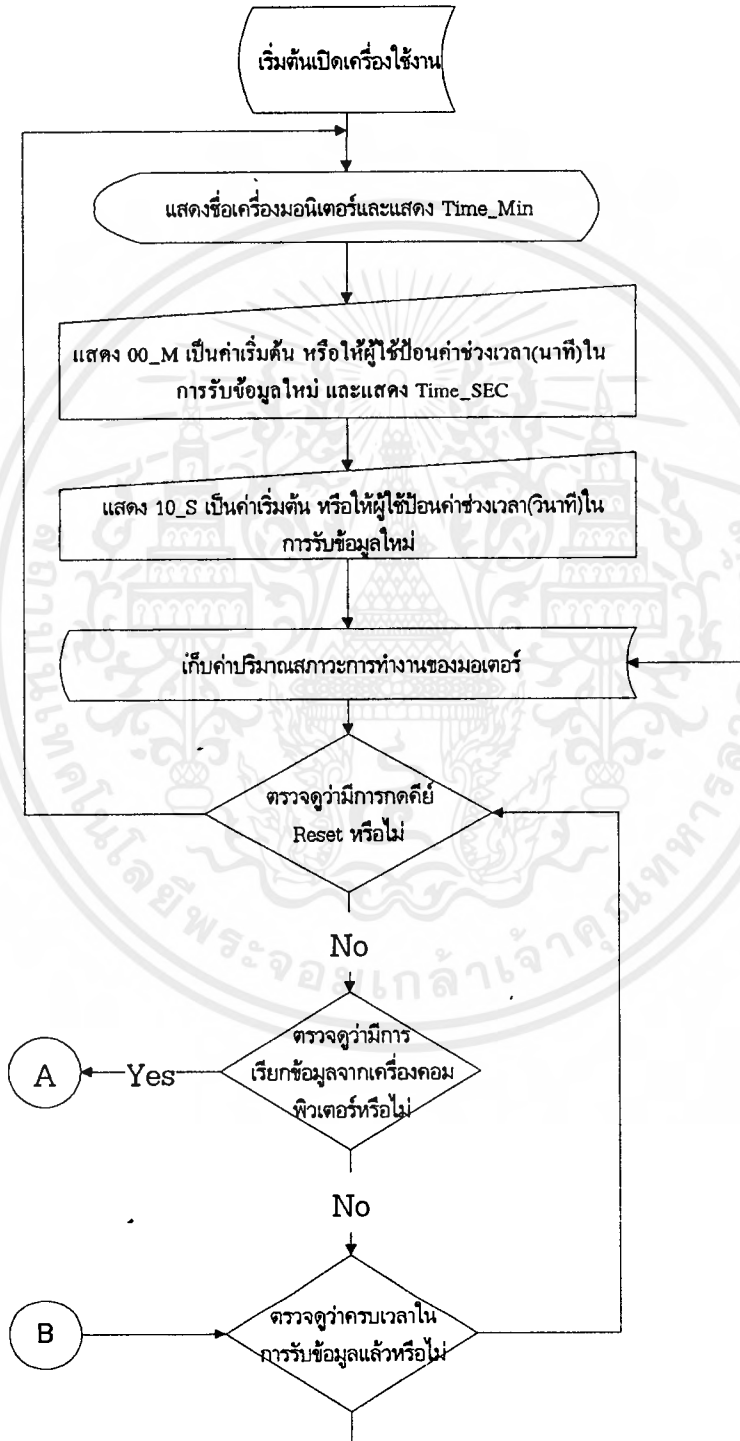
(ในการบันทึกข้อมูลของวงจรถักข้อมูลนั้น เมื่อมีการส่งข้อมูลไปยังส่วนประมวลผลและแสดงผลในแต่ละครั้งจะมีการเริ่มเก็บข้อมูลใหม่ที่ตำแหน่งเริ่มต้นทุกครั้ง นั่นคือจะมีการบันทึกค่าข้อมูลใหม่กับข้อมูลเดิมทุกครั้งที่มีการส่งข้อมูลออกไป)

หน้าที่ที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งคือ การเก็บข้อมูลทั้งหมดที่รับเข้ามา เพื่อสามารถเรียกมาดูได้ทุกเวลาที่ต้องการและสามารถนำข้อมูลมาทำสถิติของค่าที่เฉลี่ยในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ เช่นค่ากระแสเฉลี่ยในช่วงเวลา 1 วัน เป็นต้น

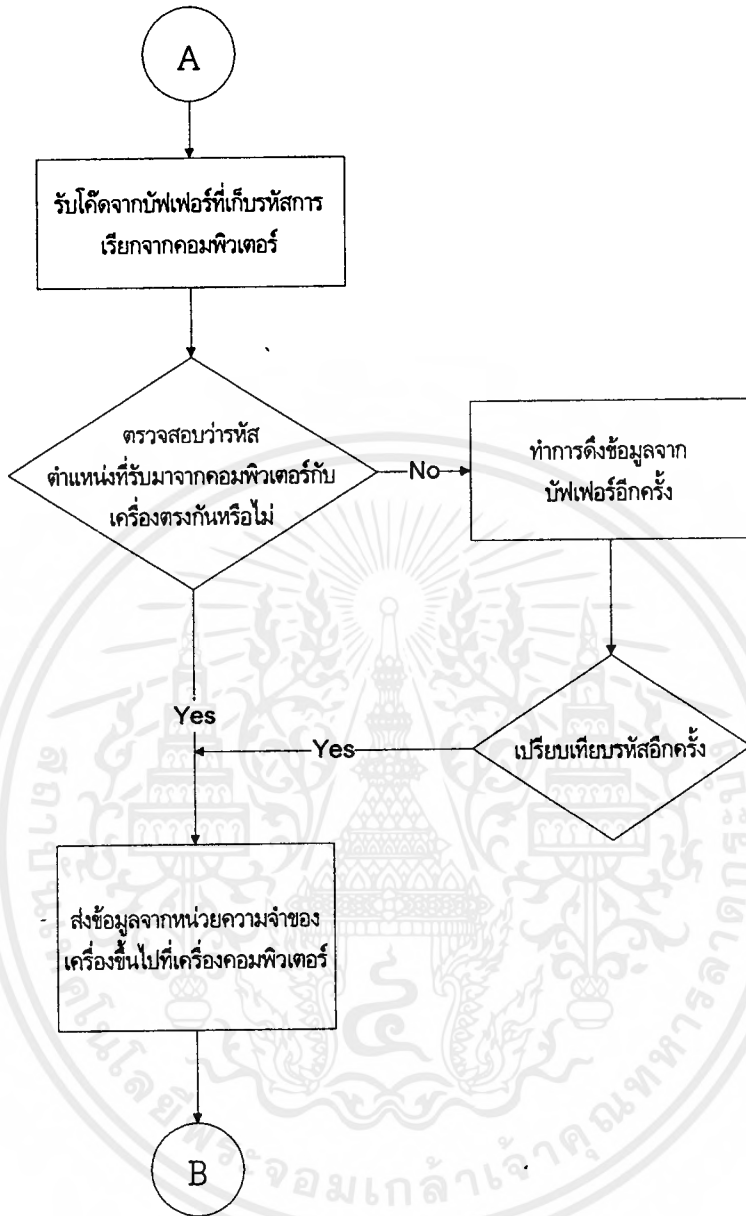
3.2.4 ในส่วนของการทำงานบนบอร์ดคอนโทรลเลอร์

ในส่วนการทำงานนี้ ของโปรแกรมในส่วนนี้จะเขียนขึ้นมาจากโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี ซึ่งจะมีการอธิบายถึงการทำงานในบทที่ 4

3.3 การทำงานของซอฟต์แวร์โปรแกรมติดตามสถานะการทำงานของมอเตอร์ ลักษณะการทำงานของซอฟต์แวร์สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมดังรูป



รูปที่ 3.10(a) แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของอุปกรณ์มอเตอร์มอเตอร์



รูปที่ 3.10(b) แสดงบล็อกการทำงานต่อจากภาพแรก

ในส่วนของการทำงานของซอฟต์แวร์ของโปรแกรมตรวจสอบสถานะการทำงานของมอเตอร์ ที่เขียนขึ้นจากโปรแกรมภาษาวิซวลเบสิก ซึ่งเป็นภาษาระดับสูง (High level Languages) มีการสร้างกราฟิกเพื่ออินเตอร์เฟดกับผู้ใช้โดยตรง หรือที่เรียกว่า **GUI** (Graphic User Interface) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานโปรแกรมได้ง่ายและเห็นภาพการทำงานร่วมไปด้วย ซึ่งในการทำงานของโปรแกรมจะแบ่งเป็นขั้นตอนการทำงานหลัก ๆ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 จะมีการส่งโค้ดออกไปให้กับเครื่องติดตามสถานะการทำงานของมอเตอร์ โดยในการส่งโค้ดรหัสของเครื่องติดตามจะถูกกำหนดโดยซอฟต์แวร์ซึ่งสามารถเลือกได้จากหน้าจอแรกของโปรแกรมว่าจะเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวนเวียนสำหรับกระใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกรับข้อมูลของสภาวะการทำงานจากเครื่องติดตามสภาวะการทำงานตัวที่เท่าไร เมื่อเครื่องติดตามสภาวะการทำงานได้รับรู้ถึงโค้ดที่ถูกส่งมาจากโปรแกรมและรู้ว่าเป็นรหัสตำแหน่งของตัวเองก็จะส่งข้อมูลสภาวะการทำงานของมอเตอร์ เป็นข้อมูลรหัสแอสกี(ASCII Code) (กล่าวไว้ในบทที่ 2) ซึ่งเก็บอยู่ในหน่วยความจำของเครื่องติดตามให้กับโปรแกรมซึ่งหลังจากส่งโค้ดออกมาก็จะรอรับข้อมูลอยู่ โดยจะรับข้อมูลลงมาที่เท็กซ์บ็อกซ์ แต่เนื่องจากการต้องการความเร็วในการส่งข้อมูลค่อนข้างสูงจึงต้องตั้งรหัสของข้อมูลที่ส่งมาเป็นดังรูป

บิตสตาร์ท	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ	กระแส	ความเร็ว	สภาวะเปิด-ปิด	คาเร็กเตอร์ 13 และ 10
-----------	--------	------	----------	-------	----------	---------------	-----------------------

รูปที่ 3.11 แสดงรหัสสมมาตรฐานของข้อมูลที่รับส่งกันระหว่างเครื่องตรวจสอบกับคอมพิวเตอร์

จะสังเกตได้ว่าการส่งรหัสแอสกีตัวที่ 13 และตัวที่ 10 ซึ่งเป็นตัวรหัสแอสกีที่ใช้ในการขึ้นบรรทัดใหม่ ที่ต้องส่งมาสาเหตุเนื่องจากเพื่อต้องการให้ข้อมูลที่รับเข้ามามีการแบ่งข้อมูลออกเป็นชุด ๆ ทุกช่วงเวลาในการรับข้อมูล โดยในการเก็บข้อมูลของเท็กซ์บ็อกซ์จะเรียงข้อมูลที่รับเข้ามาเป็นบรรทัดไป จนกระทั่งข้อมูลที่ถูกส่งมาหมด ซึ่งแถวแรกของเท็กซ์บ็อกซ์จะแสดงรหัสตำแหน่งที่ส่งออกไปเลือกเครื่องติดตามสภาวะการทำงานของมอเตอร์

ขั้นตอนที่ 2 โปรแกรมจะนำข้อมูลที่อยู่ในเท็กซ์บ็อกซ์ไปทำการปรับแต่งโดยจะตัดบรรทัดที่ไม่ใช่ข้อมูลออกไป ให้เหลือเพียงสิ่งที่เป็นข้อมูลล้วน ๆ

ขั้นตอนที่ 3 โปรแกรมจะทำการแบ่งข้อมูลซึ่งผ่านการปรับแต่งเรียบร้อยแล้วมาจากขั้นตอนที่ 2 ออกเป็นชุด ๆ โดยในแต่ละชุดข้อมูลจะถูกตัดแบ่งออกเป็น วันที่ , เวลา , อุณหภูมิ , กระแส , ความเร็ว และ สภาวะเปิด-ปิด แล้วนำข้อมูลที่ตัดแบ่งแต่ละชุดนี้ไปจัดใส่ในตารางซึ่งมีการแสดงผลตามลักษณะของข้อมูล โดยจะแบ่งข้อมูลแต่ละชุดลงในตารางแต่ละแถว เพื่อใช้ในการแสดงผลขั้นสูงกว่า คือการวาดกราฟต่อไป ในการแบ่งข้อมูลนี้จะเริ่มแบ่งข้อมูลตั้งแต่ข้อมูลชุดแรกในเท็กซ์บ็อกซ์ไปจนกระทั่งถึงชุดสุดท้ายของข้อมูล

ขั้นตอนที่ 4 ขณะนี้ผู้ใช้จะเห็นข้อมูลของสภาวะการทำงานของมอเตอร์ทั้งหมดในช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มการบันทึกข้อมูลโดยเครื่องติดตามสภาวะการทำงานจนกระทั่งถึงขณะที่ทำการดาวน์โหลดข้อมูล แสดงอยู่ในตารางเรียบร้อยแล้ว โดยเรียงตามลำดับเวลาของข้อมูล ซึ่งหากข้อมูลที่แสดงอยู่มีค่ามากกว่าที่ตารางจะแสดงให้เห็นบนหน้าจอผู้ใช้สามารถที่จะเลื่อนดูข้อมูลทั้งหมดได้โดยใช้สกอร์บาร์ด้านข้างของตาราง ในขั้นตอนนี้ผู้ใช้ที่สามารถที่จะเลือกการใช้งานโปรแกรมออกเป็นหลายอย่างคือ

1. หากผู้ใช้ต้องการที่จะทำการพิมพ์ข้อมูลที่แสดงสภาวะการทำงานที่แสดงอยู่บนตารางออกทางเครื่องพิมพ์ก็ให้ผู้ใช้กดปุ่มพิมพ์ข้อมูล หรือเลือกเมนูพิมพ์ข้อมูลได้ .

2. หากผู้ใช้ต้องการที่จะดูข้อมูลเป็นกราฟก็ให้ผู้ใช้ทำการคลิกที่ปุ่มทูลบาร์ของกราฟ หรือเลือกเมนูกราฟ โปรแกรมก็จะเข้าสู่การแสดงผลเป็นกราฟ

3. หากผู้ใช้ต้องการที่จะเก็บบันทึกข้อมูลเป็นแฟ้มข้อมูลทางคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลไว้ตรวจสอบสถานะการทำงานของมอเตอร์ในช่วงเวลาการทำงานนี้ด้วยโปรแกรมในภายหลัง ก็ให้เก็บบันทึกไว้ในรูปของโค้ดไฟล์ ก็ให้ผู้ใช้การคลิกที่ปุ่มทูลบาร์ของบันทึก ก็จะทำให้การบันทึกข้อมูลทั้งหมดในช่วงเวลาลงในไฟล์

หรือหากต้องการบันทึกไฟล์เพื่อใช้ในการดูข้อมูลสถานะการทำงานของมอเตอร์ในช่วงเวลาดังกล่าว โดยไม่ต้องใช้โปรแกรมนี้ก็ทำได้โดยการบันทึกข้อมูลเป็นเท็กซ์ไฟล์ (TXT Files) ทำได้โดยการเลือกเมนูบันทึกเพิ่มเป็น TXT Files โปรแกรมก็จะบันทึกสถานะ ณ ช่วงเวลาเป็นเท็กซ์ไฟล์

ขั้นตอนที่ 5 ในส่วนการแสดงผลแบบกราฟผู้ใช้สามารถดูข้อมูลแต่ละข้อมูลเป็นช่วงเวลาได้โดยการดู หรือดูข้อมูลที่เวลาที่กำหนด ได้โดยการใส่ค่าวันที่เริ่มต้น และเวลาเริ่มต้น แล้วทำการเลือกชนิดของข้อมูล และช่วงเวลาที่ต้องการจะดู แล้วกดปุ่มพรอดที่ด้านล่าง หรือหากต้องการที่จะเลือกการแสดงผลเป็นกราฟลักษณะอื่นนอกเหนือจากที่แสดงอยู่ เช่น กราฟวงกลม , กราฟแท่ง 2 มิติ , กราฟแท่ง 3 มิติ , กราฟเส้น ฯ ก็ทำได้โดยการเลือกที่เมนูชนิดของกราฟ และหากต้องการนำข้อมูลชนิดกราฟไปใช้เพื่อเป็นหลักฐานหรือไปใช้งานในสถานที่อื่น สามารถที่จะพิมพ์ข้อมูลของกราฟออกจากเครื่องพิมพ์ได้

ขั้นตอนที่ 6 หลังจากผู้ใช้ดูกราฟการทำงานและย้อนกลับมาที่จอภาพหลัก ขณะนี้ผู้ใช้สามารถที่จะดูข้อมูลในอีกลักษณะหนึ่งคือในรูปถึงการสรุปผลการทำงานของมอเตอร์ ซึ่งจะแสดงถึงช่วงเวลาในการสรุปผลจำนวนครั้งที่มอเตอร์หยุดการทำงาน , ช่วงเวลาในการหยุดของมอเตอร์ , อุณหภูมิเฉลี่ย , กระแสเฉลี่ย และความเร็วเฉลี่ย ของมอเตอร์ที่ทำงานในช่วงเวลาที่เลือกมาจากกราฟ

จากขั้นตอนข้างต้นจะมีเทคนิคและรายละเอียดในการเขียนโปรแกรมในจะใหญ่ ๆ และจุดย่อย ๆ ในแต่ละส่วนของโปรแกรมหดังนี้

3.3.1 ในส่วนการรับข้อมูลจากเครื่องติดตามสถานะการทำงานของมอเตอร์

เริ่มต้นด้วย เมื่อทำการคลิกไอคอนของโปรแกรมและเข้าสู่โปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้จะต้องเลือกพอร์ตอนุกรมที่จะใช้ในการติดต่อกับตัวเครื่องมือโดยมีให้เลือกอยู่ 2 พอร์ตคือ คอม 1 และ คอม 2 ซึ่งในการเลือกพอร์ตมีการเลือก ดังนี้

3.3.1.1 หากว่าในการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้มีการใช้เมาส์อยู่ที่พอร์ตคอม 1 ก็ให้เลือกพอร์ตคอม 2

3.3.1.2 ในทางกลับกันหากเมาส์ต่ออยู่ที่พอร์ตคอม 2 ก็ให้เลือกใช้พอร์ตคอม 1 ในการติดต่อกับเครื่องมือ

* ในการเลือกพอร์ตจะเลือกผิดไม่ได้เนื่องจากมีผลต่อการใช้เมาส์ดังนั้นต้องระมัดระวังในการเลือก

หากผู้ใช้โปรแกรมไม่ทำการเลือกพอร์ตหากผู้ใช้ไม่ทำการเลือกภายในเวลา 5 วินาทีโปรแกรมจะทำการเลือกพอร์ตให้อัตโนมัติโดยจะเลือกพอร์ตคอมม 2 เมื่อทำการเลือกพอร์ตที่ใช้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะเข้าสู่อีกหน้าจอหนึ่ง โดยจะมีการตั้งความถี่ในการรับข้อมูลให้อัตโนมัติ(Baud Rate) คือมีค่าเท่ากับ 9600 bps เมื่อเข้าสู่หน้าจอซึ่งใช้ในการรับข้อมูล ผู้ใช้จะพบเห็นหน้าจอหลักของโปรแกรม ซึ่งมีส่วนประกอบคือ ตารางที่แสดงข้อมูลของมอเตอร์ , บอชิ่งสำหรับการเลือกตำแหน่งของเครื่องติดตามสภาวะการทำงานของมอเตอร์ , เท็กซ์บอชิ่งสำหรับการรับข้อมูลดิบจากเครื่องติดตามสภาวะการทำงาน , แถบแสดงการทำงานของโปรแกรม , ปุ่มสำหรับการดาวน์โหลด , ปุ่มสำหรับการพิมพ์ข้อมูล และปุ่มออกจากการทำงาน สำหรับการรับข้อมูลเมื่อผู้ใช้เลือกตำแหน่งของเครื่องติดตามการทำงานจากบอชิ่งสำหรับเลือก แล้วคลิกปุ่มดาวน์โหลด โปรแกรมจะทำการส่งค่าไค้ดคำสั่งที่ใช้ในการติดต่อกับเครื่องติดตามสภาวะการทำงานของมอเตอร์ออกไป แล้วรอรับข้อมูลโดยมีการรับไปเรื่อย ๆ ณ จุดนี้ เมื่อเครื่องติดตามสภาวะการทำงานของมอเตอร์ที่มีตำแหน่งตรงกับที่เลือกไปได้รับค่าไค้ดและทำการตรวจสอบว่าถูกต้องก็จะทำการส่งค่าของข้อมูลสภาวะการทำงานของมอเตอร์ให้กับโปรแกรมโดยส่งผ่านทางพอร์ตอนุกรมที่เลือกไปข้างต้น ซึ่งจะต้องมีการส่งไค้ดตามลักษณะที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐานของโปรแกรม ซึ่งในการส่งจะต้องส่งข้อมูลมาเป็นบรรทัด ๆ ละ 1 ชุดข้อมูลหรือเป็นจำนวนชุดข้อมูลละ 24 ไบต์ ซึ่งในชุดข้อมูลประกอบด้วย วันที่ , เวลา , ค่ากระแส , ค่าอุณหภูมิ , ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ และสภาวะปิด-เปิด ของมอเตอร์ขณะที่ทำการบันทึกค่า แล้วจะต้องทำการส่งไบต์ต่อด้วยแคเรีย และลายน์ฟีด คือคาเร็กเตอร์ 13 และ 10 ในรหัสแอสกี เพื่อให้เท็กซ์บอชิ่งที่รับค่าข้อมูลอยู่ทำการขึ้นบรรทัดใหม่ ดังภาพ

```

454641654685146187451323454165848912
654891354984151648941531648441513454
564894153149984151687486413216451315
1654132165431654.....

```

รูปที่ 3.12 แสดงรูปแบบการแสดงผลข้อมูลบนเท็กซ์บอชิ่งที่รับข้อมูลจากเครื่องติดตามสภาวะการทำงาน

เมื่อเครื่องติดตามสภาวะการทำงานของมอเตอร์ส่งข้อมูลครบ ตั้งแต่เริ่มเก็บบันทึกข้อมูลจนถึงขณะที่ทำการดาวน์โหลดก็จะทำการส่งไค้ดที่ใช้ในการบอกให้โปรแกรมรู้ว่าข้อมูลที่ถูกส่งมาหมดแล้ว เพื่อให้ออกจากลูปรรับข้อมูลเพื่อเข้าสู่กระบวนการต่อไป คือส่วนปรับแต่งข้อมูล

3.3.4 การแจกจ่ายข้อมูล

จากชุดข้อมูลเป็นส่วน ๆ ที่ถูกตัดแบ่งมาจากหัวข้อที่ 3 ก็จะส่งข้อมูลแต่ละชุดเข้าไปสู่ตาราง โดยใน ส่วนของการจัดใส่ตารางนั้นจะต้องเลือก ทั้งบรรทัดและคอลัมน์ที่จะใช้ในการแสดงข้อมูล เช่นข้อมูลชุดที่ 1 เราจะเลือกการจัดเก็บคือ ใช้บรรทัดที่ 1 ของตารางในการจัดเก็บ โดยเลือกใช้ค่าคอลัมน์ในการจัดแสดงดังนี้

คอลัมน์ที่ 1	จัดเก็บข้อมูลชนิด วันที่ / เดือน / ปี	จำนวน 8 ไบต์
คอลัมน์ที่ 2	จัดเก็บข้อมูลชนิด เวลา ชั่วโมง:นาที:วินาที	จำนวน 8 ไบต์
คอลัมน์ที่ 3	จัดเก็บข้อมูลชนิด กระแส	จำนวน 3 ไบต์
คอลัมน์ที่ 4	จัดเก็บข้อมูลชนิด อุณหภูมิ	จำนวน 4 ไบต์
คอลัมน์ที่ 5	จัดเก็บข้อมูลชนิด ความเร็วรอบ	จำนวน 4 ไบต์
คอลัมน์ที่ 6	จัดเก็บข้อมูลชนิด สภาวะปิด-เปิด	จำนวน 1 ไบต์

เทคนิคอีกอย่างคือในการแจกจ่ายข้อมูลจะทำการไม่ไปกับการแบ่งข้อมูลเลย คือเมื่อมีการเปลี่ยน บรรทัดของเท็กซ์บ็อกซ์ของการแบ่งข้อมูล ก็จะมีการเปลี่ยนแถวของตารางการแจกจ่ายข้อมูลด้วย

3.3.5 การจัดเก็บข้อมูล

3.3.5.1 การจัดเก็บข้อมูลเป็นโค๊ดไฟล์

ในการเก็บข้อมูลเป็นโค๊ดไฟล์จะสามารถทำงานได้ก็ต่อเมื่อผู้ใช้เลือกเมนูจัดเก็บข้อมูล หรือคลิกปุ่มทูลบาร์บันทึก ในการบันทึกนั้นผู้ใช้จะต้องใส่ชื่อไฟล์ที่ต้องการบันทึก ในการทำการบันทึกนั้นรูปแบบ ในการบันทึกนั้นจะมีลักษณะเหมือนกันกับที่บันทึกไว้ในเท็กซ์บ็อกซ์ที่มีการรับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ซึ่งมี ประโยชน์ทั้งในตอนบันทึกหรือเปิดขึ้นมาใช้ เนื่องจากข้อมูลที่บันทึกสามารถ เขียนเข้าสู่ไฟล์ได้โดยตรงเลย และสำหรับตอนเปิดขึ้นมาใช้ก็จะง่ายไม่ต้องมาเขียนลักษณะการจัดกรข้อมูลแบบใหม่ (format)

3.3.5.2 การจัดเก็บข้อมูลแบบบันทึกแฟ้มเป็น

ในการจัดเก็บแบบนี้มีประโยชน์ก็คือผู้ใช้สามารถที่จะจัดเก็บไฟล์นี้เป็นไฟล์ใหม่อีกไฟล์หนึ่ง ซึ่งสามารถที่จะนำไปแก้ไขได้โดยไม่มีผลกระทบกับไฟล์ต้นฉบับ

3.3.5.3 การจัดเก็บข้อมูลเป็นเท็กซ์ไฟล์

จะต่างกับการจัดเก็บไฟล์แบบปกติคือไม่สามารถที่จะนำมาเปิดใช้ได้กับโปรแกรมเพียง แต่เป็นการจัดเก็บเพื่อให้ผู้ใช้สามารถที่จะดูข้อมูลได้ในทันทีไม่ต้องเข้าสู่โปรแกรมนี้ ดังนั้นลักษณะพิเศษในการจัดเก็บก็คือ แทนที่จะใช้ข้อมูลจากเท็กซ์บ็อกซ์มาเขียนบันทึก ก็ไปใช้ข้อมูลในตารางที่มีการแบ่งข้อมูลไว้เรียบร้อยแล้ว มาเขียนลงไปโดยมีการจัดเก็บที่แบ่งช่องว่าง และบรรทัดอย่างสวยงามดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	เวลา	กระแส	อุณหภูมิ	ความเร็วรอบ	สถานะการ ON-OFF
12/05/96	12:00:00	2 A	50 °C	1500 rpm	ON
12/05/96	12:00:30	2 A	53 °C	1500 rpm	ON
12/05/96	12:01:00	2 A	54 °C	1499 rpm	ON

รูปที่ 3.13 แสดงข้อมูลที่พิมพ์ออกมาจากโปรแกรม

3.3.6 การเปิดใช้ข้อมูลที่จัดเก็บไว้

ในการเปิดข้อมูลที่ถูกรวบรวมขึ้นมานั้น เนื่องจากลักษณะที่จัดเก็บอยู่ในไฟล์นั้นกับลักษณะที่แสดงอยู่ในเท็กซ์บ็อกซ์ที่รับข้อมูลมีลักษณะเหมือนกัน จึงสามารถนำข้อมูลที่ถูกรวบรวมมาเขียนลงไปในเท็กซ์บ็อกซ์ได้เลย ตรงกันข้ามกับการจัดเก็บไฟล์ เพียงแต่จะต้องมีการนำข้อมูลที่อยู่ในเท็กซ์บ็อกซ์นี้ขึ้นไปเขียนบนตารางโดยผ่านขั้นตอนที่ 3 และ 4 อีกครั้ง

3.3.7 การสร้างฟอร์มกราฟ

องค์ประกอบของฟอร์มกราฟมีดังนี้ คือ

- เท็กซ์บ็อกซ์ที่ใช้ในการกำหนดค่าวันที่เริ่มต้น มีรูปแบบของการรับข้อมูลคือ ผู้ใช้จะต้องป้อนค่าเริ่มต้นในลักษณะของข้อมูลวันที่ เช่น 07/08/19 หมายความว่า วันที่ 7 เดือนสิงหาคม ปีคศ. 1919 โดยในตัวโปรแกรมจะสามารถป้อนเครื่องหมาย / ให้อัตโนมัติ หมายความว่าเมื่อผู้ใช้ป้อนค่า 07 โปรแกรมจะทำการใส่เครื่องหมาย / ให้เลยเป็น 07/ หลังจากนั้นก็ป้อนค่าของเดือนและปีต่อไปได้เลย ซึ่งในเท็กซ์บ็อกซ์นี้จะมีการป้องกันคือไม่ให้ใส่ค่าตัวเลขเกิน 6 ตัว
- เท็กซ์บ็อกซ์ที่ใช้ในการกำหนดค่าเวลาเริ่มต้น ก็จะมีรูปแบบเดียวกันกับค่าวันที่เริ่มต้นเพียงแต่ในการใส่ข้อมูลให้เรียงตามคือ ชั่วโมง : นาที : วินาที มีการป้องกันไม่ให้ใส่ค่าได้เกิน 6 ตัวเลขเช่นเดียวกัน
- ชนิดของข้อมูลที่จะดู ในส่วนนี้จะมีการกำหนดค่าเริ่มต้นของชนิดข้อมูลไว้เรียบร้อยแล้วเพียงแต่รอรับการเลือกจากผู้ใช้หากต้องการดูข้อมูลประเภทอื่น
- ช่วงของข้อมูลที่จะดู ในส่วนนี้จะคล้ายกันกับชนิดของข้อมูล เพียงแต่ตัวเลขจะเปลี่ยนไปเป็นช่วงเวลาที่จะดูข้อมูลต่าง ๆ เช่น 5 นาที , 1 ชั่วโมง , 3 ชั่วโมง , 1 วัน
- ประเภทของกราฟที่จะดู มีให้เลือกชนิดของกราฟแบบต่าง ๆ เช่น กราฟแท่ง 2 มิติ , กราฟแท่ง 3 มิติ , กราฟวงกลม , กราฟเส้น , กราฟลอการิทึม ฯ เมื่อถูกเลือกจะทำการพรอตกราฟขึ้นหน้าจอทันที โดยจะแสดงกราฟไปตามประเภทของกราฟที่เลือก
- ปุ่มพรอต ในปุ่มนี้เมื่อถูกกดจะทำการวาดกราฟออกมาที่หน้าจอทันที โดยอาศัยข้อมูลต่าง ๆ ที่รับมาจากผู้ใช้ข้างต้น

- ปุ่มออกจากกราฟ เมื่อกดปุ่มนี้จะออกจากการทำงานของกราฟและเข้าสู่จอหลักของโปรแกรม
- ปุ่มพิมพ์กราฟ จะสามารถพิมพ์กราฟที่แสดงอยู่ในหน้าจอขณะนั้นออกทางเครื่องพิมพ์ได้ โดยใช้คำสั่ง Printform

สั่ง Printform

ในการคำนวณของกราฟนี้จะมีการเก็บค่าต่าง ๆ ไว้ในตัวแปรที่สามารถมองเห็นได้ทั้งโปรแกรม เพื่อใช้ในการช่วยคำนวณอื่น ๆ ในฟอร์มต่าง ๆ คือ ฟอร์มหลัก และ ฟอร์มสรุปผลการทำงาน ยกตัวอย่างเช่นจะมีการคำนวณค่าของกระแสเริ่มเฉลี่ย , อุณหภูมิเฉลี่ย ฯ ทุกครั้งที่มีการกดปุ่มพรอด แล้วจะเก็บค่าเอาไว้ในตัวแปรเพื่อใช้ในการแสดงผลที่หน้าจอสรุปผลการทำงาน

3.3.8 ในส่วนของการสรุปผลการทำงานของมอเตอร์

ในส่วนนี้ค่าที่ได้จากการคำนวณในฟอร์มกราฟ และเก็บไว้ในตัวแปรจะถูกนำมาแสดงผลที่หน้าจอ โดยจะมีการแสดงผลถึงการทำงานทั้งหมดของมอเตอร์ ซึ่งฟอร์มนี้สามารถที่จะพิมพ์ข้อมูลการสรุปผลการทำงานออกทางเครื่องพิมพ์ได้โดยการกดที่ปุ่ม Print Summary ในฟอร์มสรุปผลการทำงาน ซึ่งจะแสดงลักษณะของแบบฟอร์มสรุปผลที่พิมพ์ออกมาดังนี้

สรุปผลการทำงานของมอเตอร์		
ช่วงเวลา 3 ชั่วโมง	ตั้งแต่วันที่ 07/08/19	เวลา 12:00:00
มอเตอร์มีการหยุดทั้งหมด 1 ครั้ง		
ในช่วงเวลาตั้งแต่วันที่ 07/08/19 เวลา 13:20:00 ถึง วันที่ 07/08/19 เวลา 13:40:00		
อุณหภูมิเฉลี่ย	85.52	องศาเซลเซียส
กระแสเฉลี่ย	5.68	แอมแปร์
ความเร็วรอบรอบเฉลี่ย	1490	รอบ

รูปที่ 3.15 ตัวอย่างการพิมพ์ข้อมูลสรุปผลการทำงานออกทางเครื่องพิมพ์

เทคนิคการคำนวณค่าสรุปผลการทำงานต่าง ๆ

3.3.8.1 การคำนวณค่าจำนวนครั้งที่มอเตอร์หยุดทำงาน

สามารถทำได้โดยเลือกมาจาก ข้อมูลชุดสุดท้ายในตารางคือดูว่าเมื่อได้เป็น ON ก็ไม่ต้องนับ แต่เมื่อเป็น OFF ก็ให้นับไปเรื่อย ๆ แต่เนื่องจากการเขียนโปรแกรมจะต้องนับดูอัลกอริทึมคือ จะต้องตรวจสอบทั้งข้อมูลตัวที่กำลังนับอยู่ และข้อมูลที่นับผ่านมาแล้ว 1 ตัว โดยการดูก็คือหากว่าข้อมูลตัวที่นับอยู่เป็น OFF จะนับบวกไปที่ต่อเมื่อข้อมูลที่เข้ามาเป็น ON หากข้อมูลตัวที่เข้ามาเป็น OFF ก็หมายความว่ามอเตอร์ยังไม่เปิดทำการนับเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึงข้อมูลชุดสุดท้ายของช่วงที่เลือก

3.3.8.2 ช่วงเวลาที่มอเตอร์หยุดการทำงานในแต่ละครั้ง

สามารถทำได้เนื่องจากขณะนี้เราทำให้โปรแกรมทราบว่าได้เมื่อใดที่มอเตอร์หยุดทำงาน วิธีการก็คือเราจะทำช่วงของเวลาในคอลัมน์ที่ 1 และคอลัมน์ที่ 2 มาเขียนลงไปหากว่าพบว่ามอเตอร์หยุดทำงาน โดยในการเขียนจะต้องดูมากกว่าวิธีแรกคือ ในวิธีแรกเราจะดูเพียงข้อมูลตัวที่กำลังนับอยู่ และข้อมูลตัวที่นับผ่านมาแล้ว 1 ตัว แต่ในวิธีนี้เราจะต้องเพิ่มมาอีกตัวคือข้อมูลตัวที่จะนับต่อไป คือ หากเราพบว่าข้อมูลตัวที่กำลังนับอยู่เป็น OFF เราก็จะบันทึกค่าเวลาเริ่มต้นขณะที่มอเตอร์หยุดของข้อมูลตัวที่กำลังนับอยู่ลงไปในตัวแปรที่เก็บเวลาในการหยุดของมอเตอร์และเราจะบันทึกค่าเวลาสุดท้ายที่มอเตอร์หยุดโดยการดูได้จากหากข้อมูลตัวที่กำลังนับอยู่เป็น ON และข้อมูลที่เข้ามาเป็น OFF ก็ให้เก็บค่าของเวลาสุดท้ายที่มอเตอร์หยุดของข้อมูลตัวที่กำลังนับอยู่ (โดยคิดว่ามอเตอร์ทำงานขณะการรับข้อมูลพอดี) และเมื่อบันทึกมาจนถึงช่วงสุดท้ายก็ให้ดูว่าข้อมูลตัวต่อไปเป็น ON หรือไม่หากเป็น ON ก็ให้บันทึกข้อมูลที่กำลังนับอยู่ลงไป แต่หากเป็น OFF ก็ให้บันทึกค่าของข้อมูลชุดถัดไปลงแทน

3.3.8.3 ค่าเฉลี่ยต่าง ๆ

ทำโดยการสร้างรูป ๆ หนึ่งขึ้นมาเพื่อใช้ในการนับจำนวนข้อมูลและใช้บวกข้อมูลในสภาวะต่าง จนหมดเวลาที่กำหนด ในขณะที่กดปุ่มออกจากการทำงานโหมดกราฟก็ให้นำค่ารวมของข้อมูลทั้งหมดหารกับจำนวนครั้งของข้อมูลที่นับเสร็จแล้วก็ทำการเก็บข้อมูลลงในตัวแปรเพื่อแสดงในฟอร์มสรุปผลการทำงาน

บทที่ 4

การใช้งานเครื่องติดตามและแสดงสถานะการทำงานของมอเตอร์

ในการใช้งานตัวเครื่องมือนี้จะแบ่งลักษณะการใช้งานออกเป็น 2 ส่วน คือในส่วนการใช้งานที่ตัวเครื่องมือวัด และ การใช้งานที่ตัวโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยทั้งสองส่วนนี้ผู้ใช้จะต้องศึกษาการใช้งานในส่วนทั้งสองให้ได้ เพื่อที่จะสามารถดูข้อมูลสถานะการทำงานของมอเตอร์และทราบแนวโน้มความเสียหายของตัวมอเตอร์ที่ทำการตรวจสอบเพื่อที่จะเป็นแนวทางในการซ่อมแซมหรือหามอเตอร์ตัวใหม่มาเปลี่ยนให้ทัน ก่อนที่จะเกิดความเสียหายขึ้น ในการใช้งานเครื่องมือนี้แบ่งออกได้ดังนี้

4.1 การใช้งานเครื่องติดตามสถานะการทำงานของมอเตอร์

มีภาพรวมขั้นตอนการใช้งานของเครื่องติดตามสถานะการทำงานของมอเตอร์ ดังภาพ 4.1

การทำงาน

อธิบายเป็นลำดับตามรูป 4.1 ดังต่อไปนี้

1. เมื่อเปิดเครื่อง บอร์ดคอนโทรล จะทำการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ ดังนี้

1.1 ทำการเคลียร์ค่าข้อมูลทั้งหมดในหน่วยความจำภายในให้เป็น 0

1.2 กำหนดค่าเริ่มต้นต่าง ๆ ดังนี้ กำหนดช่วงเวลาของระบบ Auto-Repeat , ตั้งระบบปริเฟ

รอส = ON , ตั้งระบบเพิ่มอัตโนมัติ = ON , กำหนด INTR Address = 8100H , กำหนดข้อมูล SFR ให้มีค่าเริ่มต้นดังนี้

SP = 07H TCON = 40H TMOD = 20H TH1 = FDH

P1 = FFH SCON = 52H IE = E4H IP = E0H

1.3 ส่งเสียงแบบเปิดเครื่อง และแสดงเลขที่เวอร์ชันบนแผงแสดงเป็น J_2.0

1.4 กำหนดค่าไอดีคอนโทรล ให้กับพอร์ต 8255 ตัวที่ใช้งานเป็นอินพุท/เอาต์พุทต่าง ๆ บน

บอร์ด

1.5 กำหนดพอร์ตอนุกรม (RS-232) ให้เป็นดังนี้ 9600,8,1,N (ความเร็วในการส่ง 9600

bps , ข้อมูล 8 bit , บิตหยุด(stop bit) = 1 , พาริตี = No)

1.6 กระโดดไปทำงานที่ตำแหน่ง 8100H ที่มีโปรแกรมในส่วนเครื่องติดตามสถานะของ

มอเตอร์

2. บอร์ดคอนโทรลจะแสดงชื่อของ Monitor บนแผงแสดง และแสดงเวลาหน่วยเป็นนาที บนแผงแสดงเป็น tiME_Min

3. การตั้งเวลา(นาที)

เครื่องจะทำการรื้อค่าในการตั้งเวลา(นาที)จากผู้ใช้ โดยจะแสดงบนแผงแสดง เป็น 00_M ซึ่งมีความหมาย คือ เลข 00 หมายถึงค่าเริ่มต้นในการตั้งเวลาคือ 00 นาที หากผู้ใช้กดคีย์ Enter เครื่องก็จะทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับค่าการตั้งเวลาเป็น 00 นาที และในส่วนของารอรับข้อมูลผู้ใช้สามารถป้อนค่าเวลาโดยการกดคีย์บอร์ดบนเครื่องซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0-9 โดยในการใส่ค่านี้อผู้ใช้สามารถที่จะลบหรือเพิ่มได้โดยใช้คีย์ INC หรือ DEC ซึ่งมีการทำงานดังนี้

3.1 เริ่มต้นบอร์ดจะแสดง 00-M หากผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนทำได้โดยกดคีย์ 0-9 บนเครื่อง

3.2 เมื่อป้อนค่าไปแล้วเป็น 10-M หากผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนเป็น 5 นาทีทำได้โดยกดคีย์ DEC 2 ครั้งแล้วป้อนค่าเวลาเป็น 05-M ใหม่หรือหากต้องการ Reset การตั้งเวลาใหม่ขณะนี้ได้โดยการกดคีย์ BACK เครื่องจะทำการย้อนขึ้นตอนที่ 3.2 จนถึงการกำหนดค่าเริ่มต้นเป็น 00-M เพื่อรอการกดคีย์จากผู้ใช้

จากนั้นเครื่องจะแสดงเวลาหน่วยเป็นวินาที บนแผงแสดงเป็น tiME_SEC

4. การตั้งเวลา(วินาที)

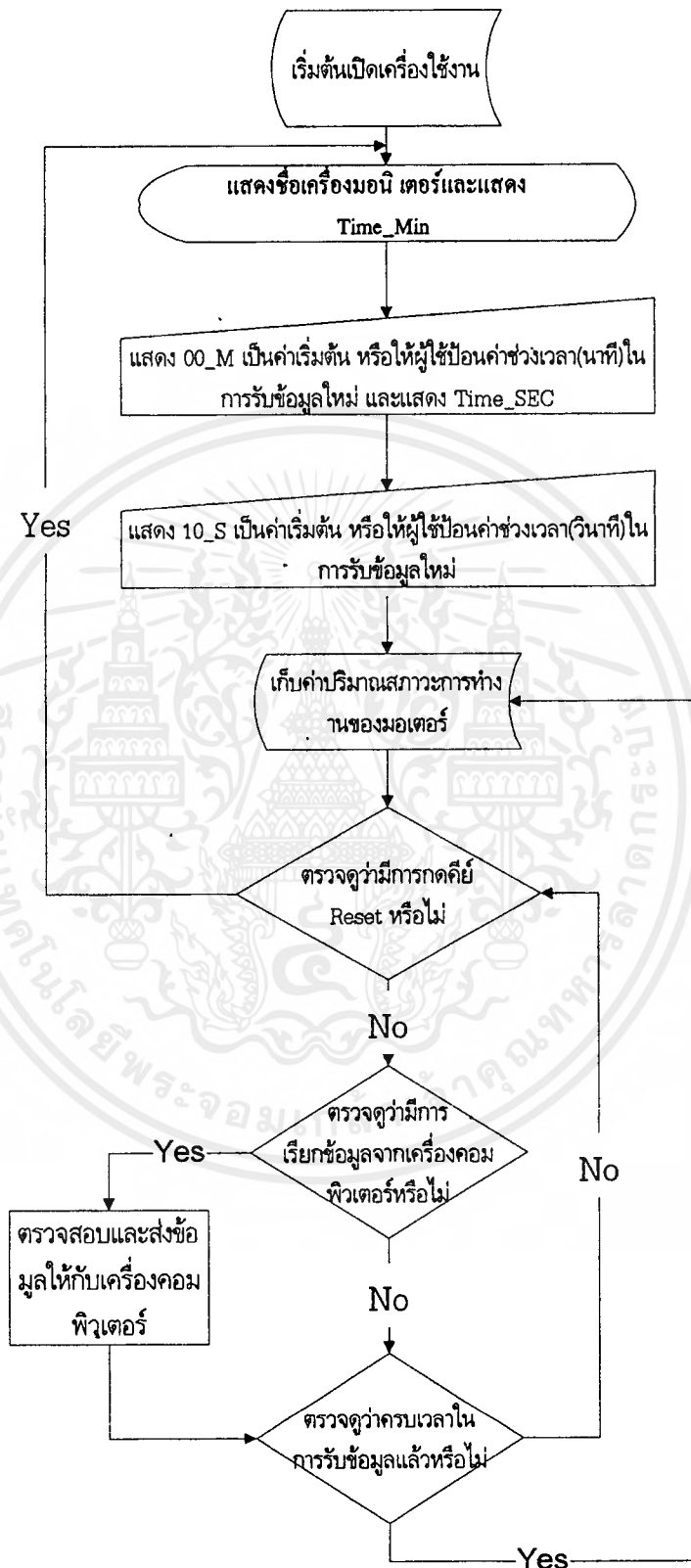
เครื่องจะทำการรอรับค่าในการตั้งเวลาจากผู้ใช้ โดยจะแสดงบนแผงแสดง เป็น 10-S ซึ่งมีความหมาย คือ เลข 10 หมายถึงค่าเริ่มต้นในการตั้งเวลาคือ 10 วินาที หากผู้ใช้กดคีย์ Enter ก็จะทำให้การรับค่าการตั้งเวลาเป็น 10 วินาที และในส่วนของารอรับข้อมูลผู้ใช้สามารถป้อนค่าเวลาโดยการกดคีย์บอร์ดบนเครื่องซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0-9 โดยในการใส่ค่านี้อผู้ใช้สามารถที่จะลบหรือเพิ่มได้โดยใช้คีย์ INC หรือ DEC ซึ่งมีการทำงานดังนี้

4.1 เริ่มต้นบอร์ดจะแสดง 10-S หากผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนทำได้โดยกดคีย์ 0-9 บนเครื่อง

4.2 เมื่อป้อนค่าไปแล้วเป็น 50-S หากผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนเป็น 25 วินาทีทำได้โดยกดคีย์ DEC 2 ครั้งแล้วป้อนค่าเวลาเป็น 25-S ใหม่หรือหากต้องการ Reset การตั้งเวลาใหม่ขณะนี้ได้โดยการกดคีย์ BACK เครื่องจะทำการย้อนขึ้นตอนที่ 3.2 จนถึงการกำหนดค่าเริ่มต้นเป็น 00-M เพื่อรอการกดคีย์จากผู้ใช้

ขณะนี้เครื่องสามารถที่จะตรวจสอบการทำงานของมอเตอร์ที่ทำการวัดอยู่ โดยจะไปตรวจสอบทุกช่วงเวลาที่ถูกกำหนดโดยผู้ใช้ และหากมีการเรียกข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ ก็จะทำให้การส่งข้อมูลให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ดังกล่าวลักษณะการทำงานในบทที่ 3 แล้วก็จะย้อนกลับมาทำการตรวจสอบค่าเวลาต่อไป

และหากผู้ใช้ต้องการที่จะตั้งค่าเวลาใหม่หรือสั่งให้เครื่องทำการตรวจสอบสภาวะการทำงานของมอเตอร์ใหม่ทำได้โดยการกดคีย์รีเซ็ตเครื่องก็จะทำการย้อนการทำงานตั้งแต่กระบวนการที่ 1 จนถึงขบวนการที่ 4



รูป 4.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการใช้งานเครื่องติดตามสภาวะการทำงานของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การใช้งานโปรแกรมแสดงสภาวะการทำงานของมอเตอร์

โปรแกรมตรวจสอบสภาวะการทำงานของมอเตอร์จะสามารถรันได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีคุณสมบัติดังนี้

1. เป็นเครื่องที่ใช้ซีพ Intel หรือสถาปัตยกรรมเหมือนกันตั้งแต่รุ่น 486 DX 2 ขึ้นไป(หากได้รุ่นสูง ๆ ก็จะทำให้การทำงานของโปรแกรมเร็วขึ้น)
2. มีเมมโมรี่ของแรม(RAM)ไม่น้อยกว่า 8 เมกกะไบต์
3. มีโปรแกรมวินโดวส์ 3.11 หรือวินโดวส์ 95
4. จะต้องมีพอร์ตอนุกรม 2 พอร์ต สำหรับต่อเมาส์ และติดต่อกับเครื่องติดตามสภาวะการทำงานของมอเตอร์ ซึ่งเมาส์ที่ใช้ อาจจะเป็นคอม 1 หรือคอม 2 ก็ได้

การติดตั้งโปรแกรมตรวจสอบสภาวะการทำงานของมอเตอร์

1. หลังจากทำการเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ให้ผู้ใช้เข้าสู่โปรแกรมวินโดวส์ที่มี โดยพิมพ์คำสั่ง Win <Enter> บนหน้าจอของดอส
2. เมื่อเข้าสู่วินโดวส์ให้ผู้ใช้ทำการติดตั้งโปรแกรมโดยเข้าไปที่โปรแกรมแมนนาเจอร์แล้วเลือกเมนูไฟล์แล้วตามด้วยเมนูรัน
3. จากจุดนี้ให้ผู้ใช้เลือกโปรแกรมที่จะติดตั้งโดยเลือกไปที่ไดเรกทอรีที่มีโปรแกรมติดตามสภาวะการทำงานของมอเตอร์อยู่ เมื่อเลือกไฟล์ได้แล้วให้คลิกปุ่มตกลง (OK) จะเข้าสู่การติดตั้งโปรแกรม
4. ในการติดตั้งให้จะมีการให้ผู้ใช้กำหนดคุณสมบัติต่างของโปรแกรม เช่น ไดเรกทอรีที่จะติดตั้ง
5. ขณะนี้พร้อมที่จะใช้งานโปรแกรมตรวจสอบสภาวะ โดยดับเบิ้ลคลิกในไอคอนโปรแกรม

การใช้งานโปรแกรมตรวจสอบสภาวะการทำงานของมอเตอร์

ในการใช้งานโปรแกรมนี้ ผู้ใช้สามารถที่จะดูได้จาก Help ของโปรแกรมได้โดยการกดคีย์ F1 หรือเลือกเมนูวิธีใช้บนเมนูบาร์

การทดลองการทำงาน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดทดสอบโพลด		1	ชุด
2. ลูกตุ้มน้ำหนัก	200 kg	1	ลูก
	100 kg	2	ลูก
	50 kg	2	ลูก
	25 kg	1	ลูก
3. แอมป์มิเตอร์	1 แอมป์	1	เครื่อง
4. อินเวอร์เตอร์		1	เครื่อง
5. ทาโคมิเตอร์		1	เครื่อง
6. เทอร์โมมิเตอร์		1	อัน
7. ชุดทดลองเครื่องติดตามและ แสดงสภาวะการทำงานของ มอเตอร์		1	ชุด
8. โวลมิเตอร์		1	เครื่อง
9. ออสซิลโลสโคป		1	เครื่อง
10. มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส		1	เครื่อง
{ ขนาด 1 แรงม้า			
พิกัดกระแส 3.5 แอมป์แปร์			
พิกัดความเร็ว 1,456 รอบ/นาที }			

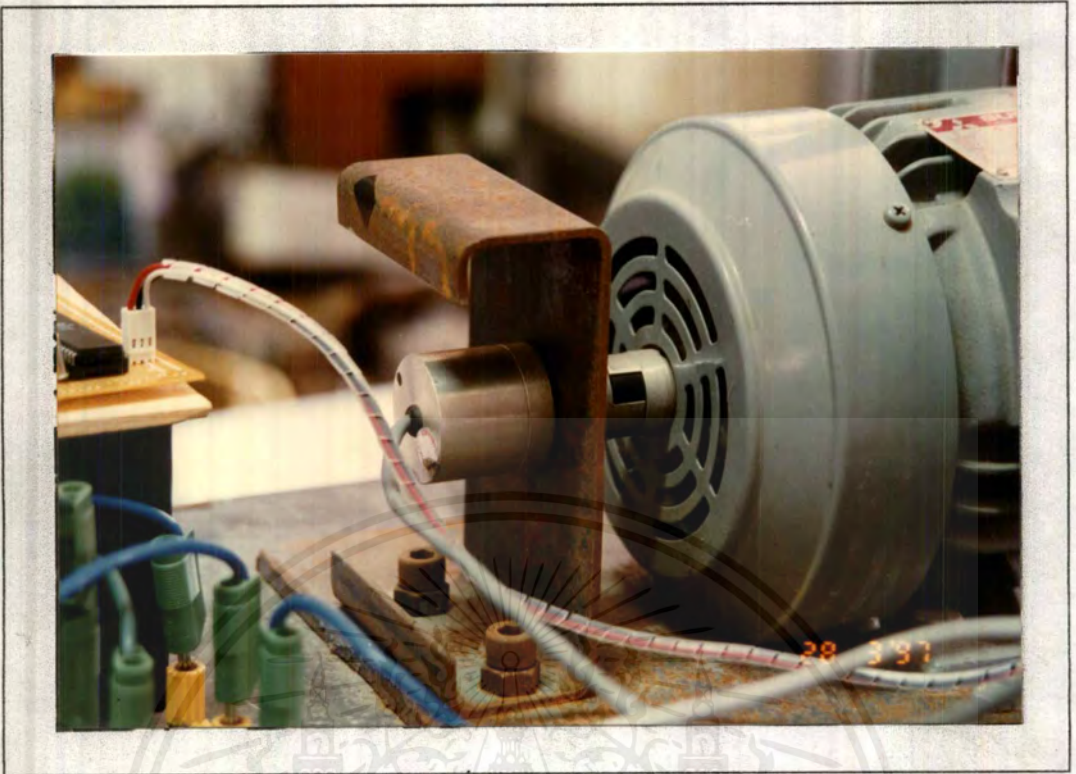
วิธีการทดลอง

1. ติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการทดลองดังรูปที่ 4.2
2. ตั้งค่าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ 3 เฟส ที่เครื่องอินเวอร์เตอร์ และกำหนดน้ำหนักโพลดของมอเตอร์ตามตารางทดลอง
3. ตั้งค่าเวลาในการเก็บข้อมูลทุกๆ 10 วินาที ที่คีย์บอร์ดของบอร์ดคอนโทรล และกดปุ่ม<ENTER>เพื่อเริ่มทำการรับข้อมูล
4. บันทึกค่าที่วัดได้จาก แอมป์มิเตอร์, เทอร์โมมิเตอร์ และทาโคมิเตอร์ ในระหว่างที่ทำการทดลอง
5. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์แล้วเข้าสู่โปรแกรมตรวจสอบสภาวะการทำงานของมอเตอร์เพื่อทำการดาวน์โหลดข้อมูลและเปรียบเทียบข้อมูลทั้งหมดจากค่าที่วัดได้จริง

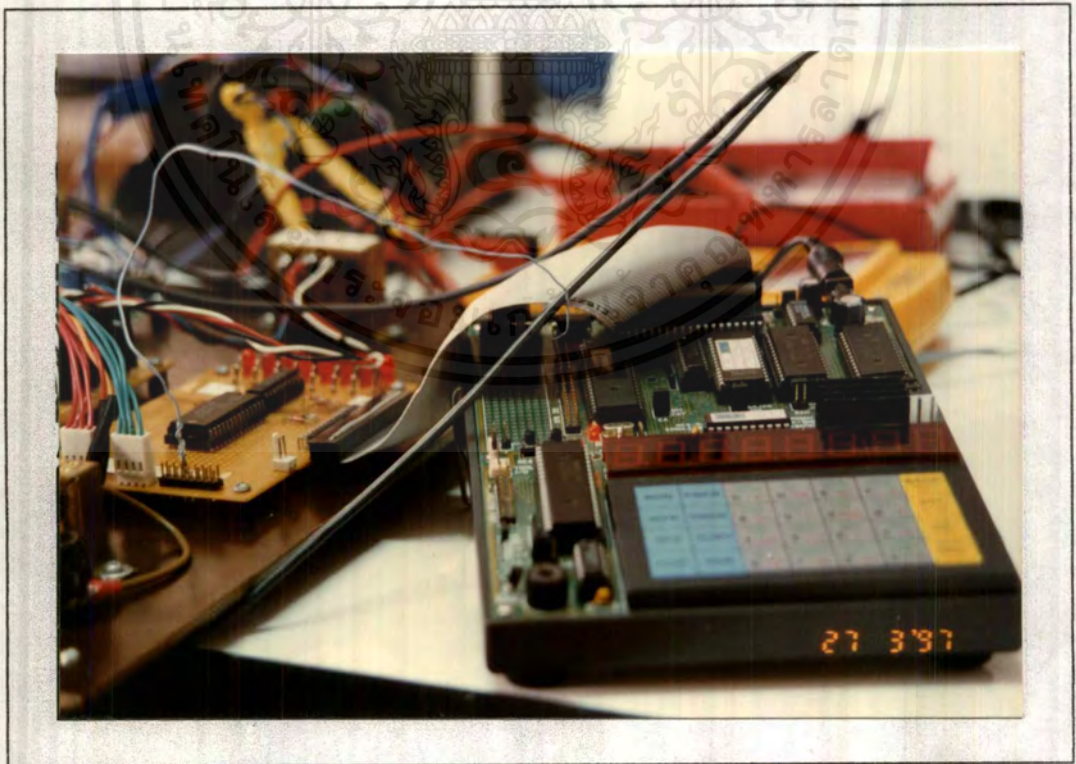


รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ในการใช้งานเครื่องติดตามสถานะการทำงานของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงการติดตั้งอินคริเมนโทโรตารีกับตัวมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 4.4 การติดตั้งบอร์ดคอนโทรลกับตัวอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

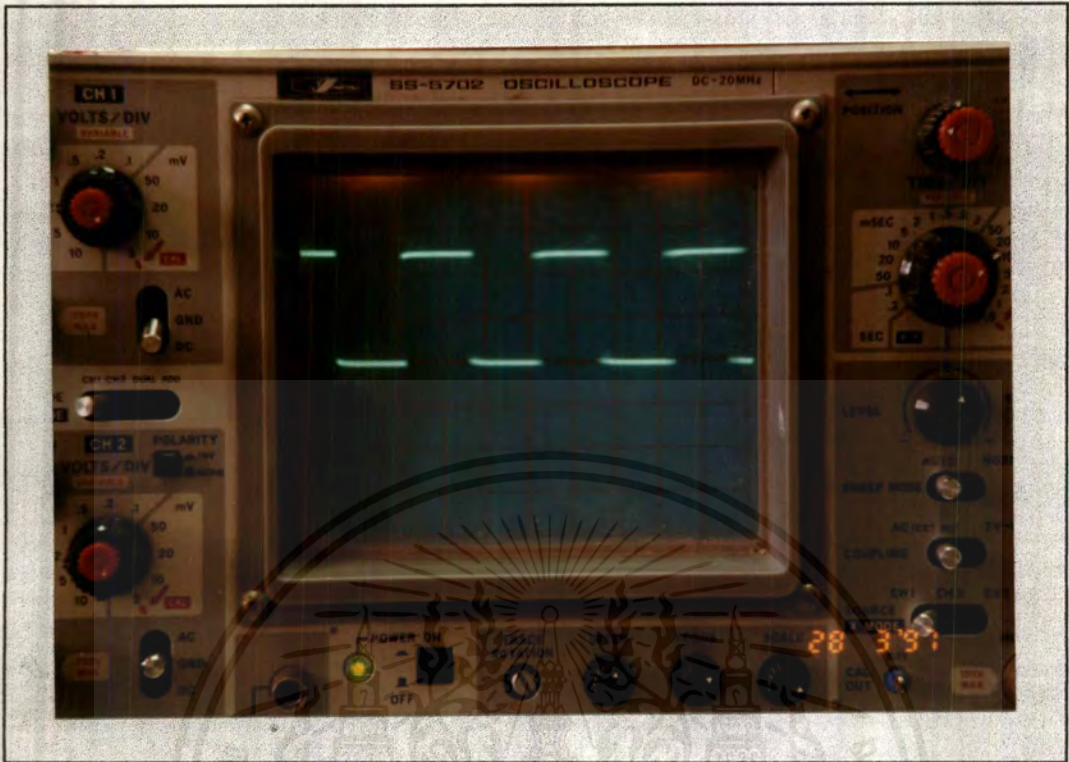
ตารางที่ 4 แสดงผลการทดลอง

วันที่ 30/03/40

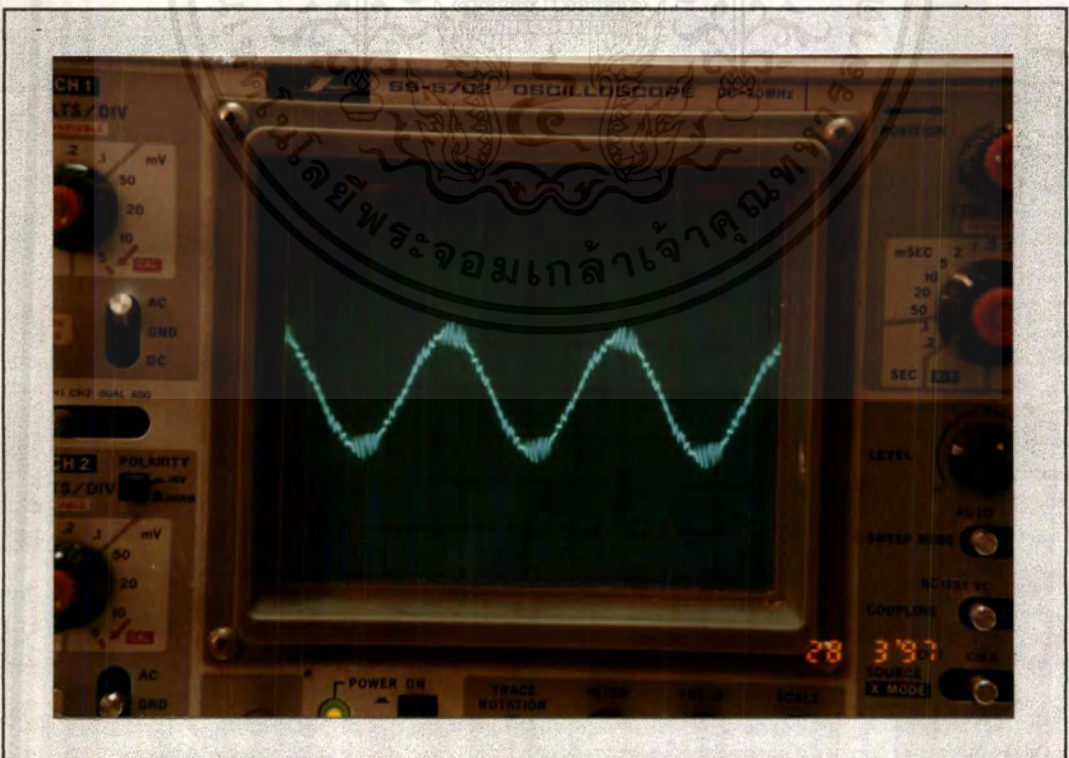
เวลา	ขนาด โหลต(kg)	ความถี่ของ ไฟเลี้ยง(Hz)	สภาวะ ปิด-เปิด	กระแส(A)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วรอบ(rpm)	
				การวัด	อุปกรณ์	การวัด	อุปกรณ์	การวัด	อุปกรณ์
12:45:44	0	50	ปิด	0	0	29.50	28.96	0	0
12:45:54	0	50	ปิด	0	0	29.50	28.96	0	0
12:46:04	0	50	ปิด	0	0	29.50	28.96	0	0
12:46:14	0	50	เปิด	1.50	1.49	29.50	28.96	980	979.7
12:46:24	0	50	เปิด	1.30	1.29	32.00	30.92	1496	1496
12:46:34	0	50	เปิด	1.30	1.29	35.00	32.88	1496	1496
12:46:44	0	50	เปิด	1.30	1.29	35.00	32.88	1496	1496
12:46:54	0	50	เปิด	1.30	1.29	35.00	32.88	1496	1496
12:47:04	100	50	เปิด	1.32	1.31	35.00	32.88	1496	1496
12:47:14	100	50	เปิด	1.32	1.30	37.06	36.80	1496	1496
12:47:24	100	50	เปิด	1.32	1.31	37.06	36.80	1496	1496
12:47:34	100	50	เปิด	1.32	1.31	37.06	36.80	1496	1496
12:47:44	100	50	เปิด	1.32	1.31	37.06	36.80	1496	1496
12:47:54	100	50	เปิด	1.32	1.31	37.06	36.80	1496	1496
12:48:04	200	50	เปิด	1.35	1.33	37.06	36.80	1496	1496
12:48:14	200	50	เปิด	1.35	1.33	37.80	36.80	1496	1496
12:48:24	200	50	เปิด	1.35	1.33	37.80	36.80	1496	1496
12:48:34	200	50	เปิด	1.35	1.33	37.80	36.80	1496	1496
12:48:44	200	50	เปิด	1.35	1.33	37.80	36.80	1496	1496
12:48:54	200	50	เปิด	1.35	1.33	37.80	36.80	1496	1496
12:49:04	400	50	เปิด	1.38	1.37	37.80	36.80	1496	1496
12:49:14	400	50	เปิด	1.38	1.37	40.05	38.76	1496	1496
12:49:24	400	50	เปิด	1.38	1.37	40.05	38.76	1496	1496
12:49:34	400	50	เปิด	1.38	1.37	40.05	38.76	1496	1496
12:49:44	400	50	เปิด	1.38	1.37	40.05	38.76	1496	1496
12:49:54	400	50	เปิด	1.38	1.37	40.05	38.76	1496	1496
12:50:04	525	50	เปิด	1.39	1.39	40.05	38.76	1496	1496
12:50:14	525	50	เปิด	1.39	1.39	42.05	40.72	1496	1496
12:50:24	525	50	เปิด	1.39	1.39	43.00	42.68	1496	1496
12:50:34	525	50	เปิด	1.39	1.39	43.00	42.68	1496	1496

เวลา	ขนาด โหลต(kg)	ความถี่ของ ไฟเลี้ยง(Hz)	สภาวะ ปิด-เปิด	กระแส(A)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วรอบ(rpm)	
				การวัด	อุปกรณ์	การวัด	อุปกรณ์	การวัด	อุปกรณ์
12:50:44	525	50	เปิด	1.39	1.39	43.00	42.68	1496	1496
12:50:54	525	50	เปิด	1.39	1.39	43.00	42.68	1496	1496
12:51:04	300	50	เปิด	1.36	1.35	43.00	42.68	1496	1496
12:51:14	300	50	ปิด	0	0	37.00	36.80	1450	1449
12:51:24	300	50	ปิด	0	0	35.00	32.88	0	0
12:51:34	300	45	ปิด	0	0	33.06	32.88	0	0
12:51:44	300	45	ปิด	0	0	30.00	28.96	0	0
12:51:54	300	45	เปิด	1.60	1.59	35.00	32.88	350	346
12:52:04	300	45	เปิด	1.36	1.35	38.00	36.80	1345	1343.4
12:52:14	300	45	เปิด	1.36	1.35	39.00	36.80	1345	1343.4
12:52:24	525	45	เปิด	1.39	1.38	42.50	42.68	1345	1343.4
12:52:34	525	45	เปิด	1.39	1.38	42.50	42.68	1345	1343.4
12:52:44	525	45	เปิด	1.39	1.38	42.50	42.68	1345	1343.4
12:52:54	525	45	เปิด	1.39	1.38	42.50	42.68	1345	1343.4
12:53:04	525	45	เปิด	1.39	1.38	42.50	42.68	1345	1343.4
12:53:14	525	45	เปิด	1.39	1.38	42.50	42.68	1345	1343.4
12:53:24	0	45	เปิด	1.32	1.31	38.85	38.76	1345	1343.4
12:53:34	0	40	เปิด	1.31	1.30	35.00	32.88	1198	1196.8
12:53:44	0	40	เปิด	1.31	1.30	35.00	32.88	1198	1196.8
12:53:54	0	40	เปิด	1.31	1.30	35.00	32.88	1198	1196.8
12:54:04	0	40	เปิด	1.31	1.30	35.00	32.88	1198	1196.8
12:54:14	0	40	เปิด	1.31	1.30	35.00	32.88	1198	1196.8
12:54:24	400	40	เปิด	1.39	1.38	35.00	32.88	1198	1196.8
12:54:34	400	40	เปิด	1.39	1.38	38.50	38.76	1198	1196.8
12:54:44	400	40	เปิด	1.39	1.38	39.05	38.76	1198	1196.8
12:54:54	400	40	ปิด	0	0	37.00	36.80	1120	1120.5
12:55:04	400	40	ปิด	0	0	35.00	32.88	100	99.7
12:55:14	400	40	ปิด	0	0	34.50	32.88	0	0
12:55:24	400	40	เปิด	1.62	1.61	35.00	32.88	300	299.2
12:55:34	400	40	เปิด	1.39	1.38	38.00	36.80	1198	1196.8
12:55:44	100	40	เปิด	1.33	1.31	38.00	36.80	1198	1196.8
12:55:54	100	40	เปิด	1.33	1.31	37.50	36.80	1198	1196.8
12:56:04	100	40	เปิด	1.33	1.31	37.00	36.80	1198	1196.8

เวลา	ขนาด โหลด(kg)	ความถี่ของ ไฟเลี้ยง(Hz)	สถานะ ปิด-เปิด	กระแส(A)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วรอบ(rpm)	
				การวัด	อุปกรณ์	การวัด	อุปกรณ์	การวัด	อุปกรณ์
12:56:14	100	40	เปิด	1.33	1.31	37.00	36.80	1198	1196.8
12:56:24	100	40	เปิด	1.33	1.31	37.00	36.80	1198	1196.8
12:56:34	100	40	เปิด	1.33	1.31	37.00	36.80	1198	1196.8
12:56:44	0	40	เปิด	1.31	1.31	37.00	36.80	1198	1196.8
12:56:54	0	40	เปิด	1.31	1.31	36.00	34.84	1198	1196.8
12:57:04	0	50	เปิด	1.30	1.29	36.00	34.84	1496	1496
12:57:14	0	50	เปิด	1.30	1.29	36.00	34.84	1496	1496
12:57:24	0	50	เปิด	1.30	1.29	36.00	34.84	1496	1496
12:57:34	0	50	เปิด	1.30	1.29	36.00	34.84	1496	1496
12:57:44	0	50	เปิด	1.30	1.29	36.40	36.80	1496	1496
12:57:54	0	50	เปิด	1.30	1.29	36.50	36.80	1496	1496
12:58:04	0	50	เปิด	1.30	1.29	36.50	36.80	1496	1496
12:58:14	0	50	เปิด	1.30	1.29	36.50	36.80	1496	1496
12:58:24	0	50	เปิด	1.30	1.29	36.50	36.80	1496	1496
12:58:34	0	50	เปิด	1.30	1.29	36.50	36.80	1496	1496
12:58:44	0	50	เปิด	1.30	1.29	36.50	36.80	1496	1496
12:58:54	0	50	เปิด	1.30	1.29	36.50	36.80	1496	1496
12:59:04	0	50	เปิด	1.30	1.29	36.50	36.80	1496	1496
12:59:14	0	50	ปิด	0	0	36.50	36.80	1420	1419.7
12:59:24	0	50	ปิด	0	0	35.00	32.88	546	546.6
12:59:34	0	50	ปิด	0	0	33.00	32.88	0	0
12:59:44	0	50	ปิด	0	0	30.00	28.96	0	0



รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะของสัญญาณที่ออกมาจากอินทรีเมนท์เอโนโคดเดอร์

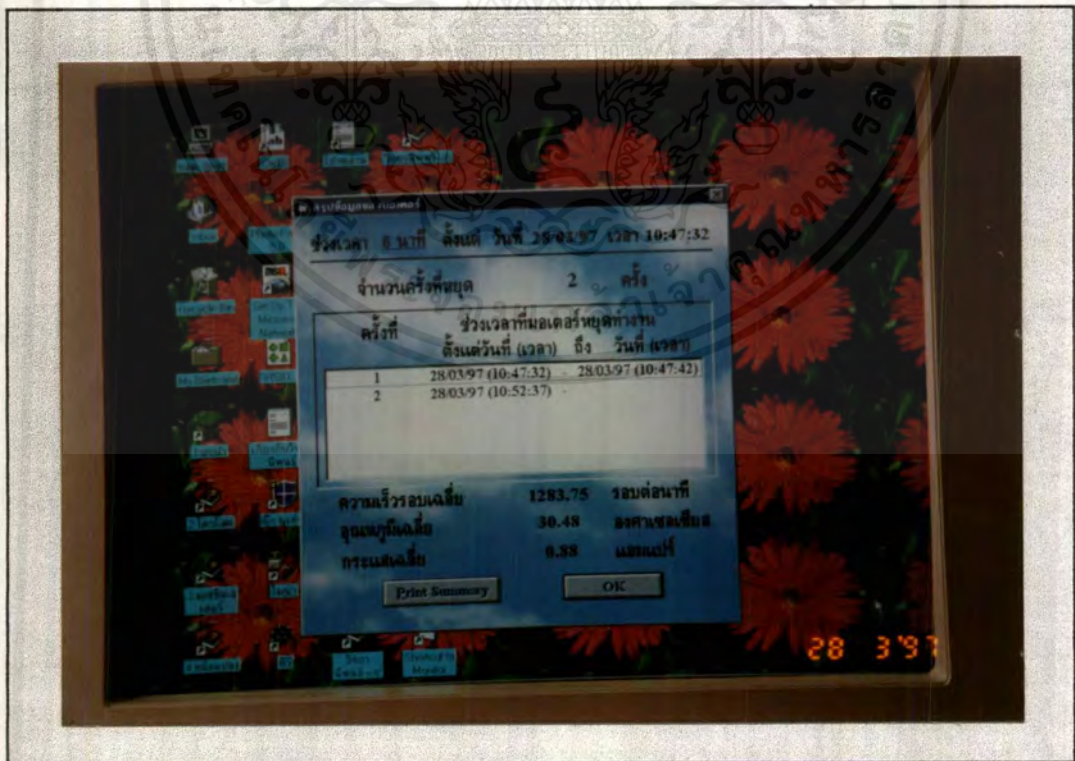


รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะรูปสัญญาณของกระแสจากหม้อแปลงกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงภาพของหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อเข้าสู่การทำงาน



รูปที่ 4.8 แสดงภาพหน้าจอแบบฟอร์มของหน้าจอสรุปผลการทำงานของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของข้อมูลที่จัดดู **สถานะการ ON-OFF**

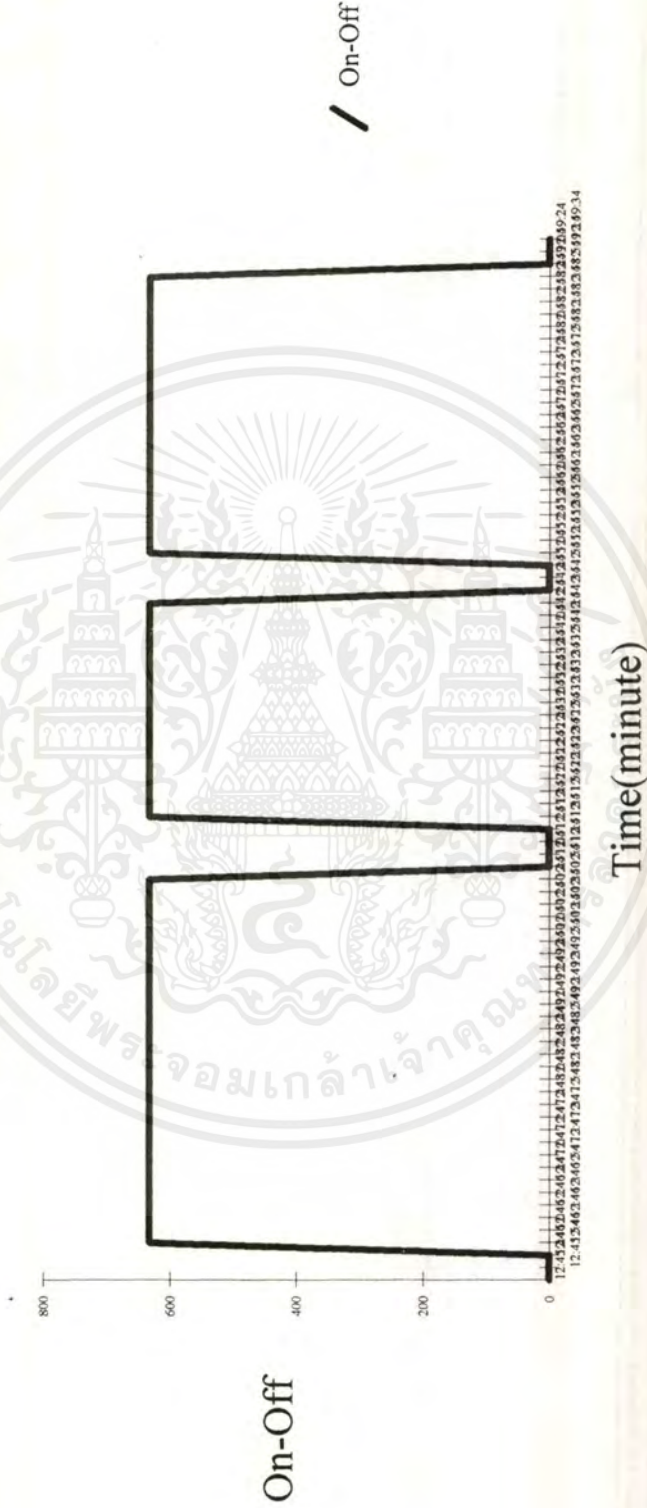
ช่วงของข้อมูลที่จัดดู **14 นาที**

นาที ชั่วโมง วัน

วันที่เริ่มต้น **30/03/40** เวลาเริ่มต้น **12:45:44**
 Ex. 07/08/19 Ex. 12:00:00

ตั้งแต่ **30/03/40_12:45:44 - 30/03/40_12:47:14**

Graph Show ON-OFF Condition



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงสถานะการเปิด-ปิดของมอเตอร์ ในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของข้อมูลที่จะดู

ช่วงของข้อมูลที่จะดู

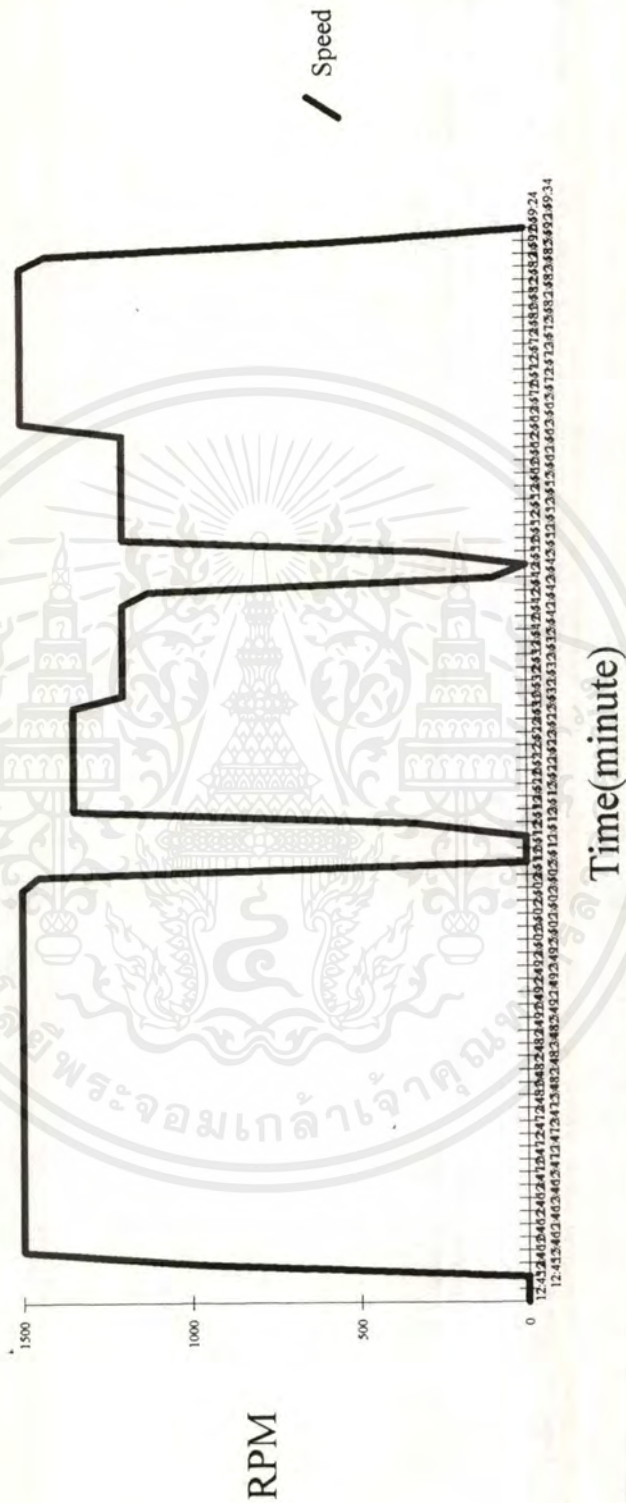
นาที ชั่วโมง วัน

วันที่เริ่มต้น เวลาเริ่มต้น

Ex: 07/08/19 Ex: 12:00:00

ตั้งแต่ -

Graph Show Speed Condition



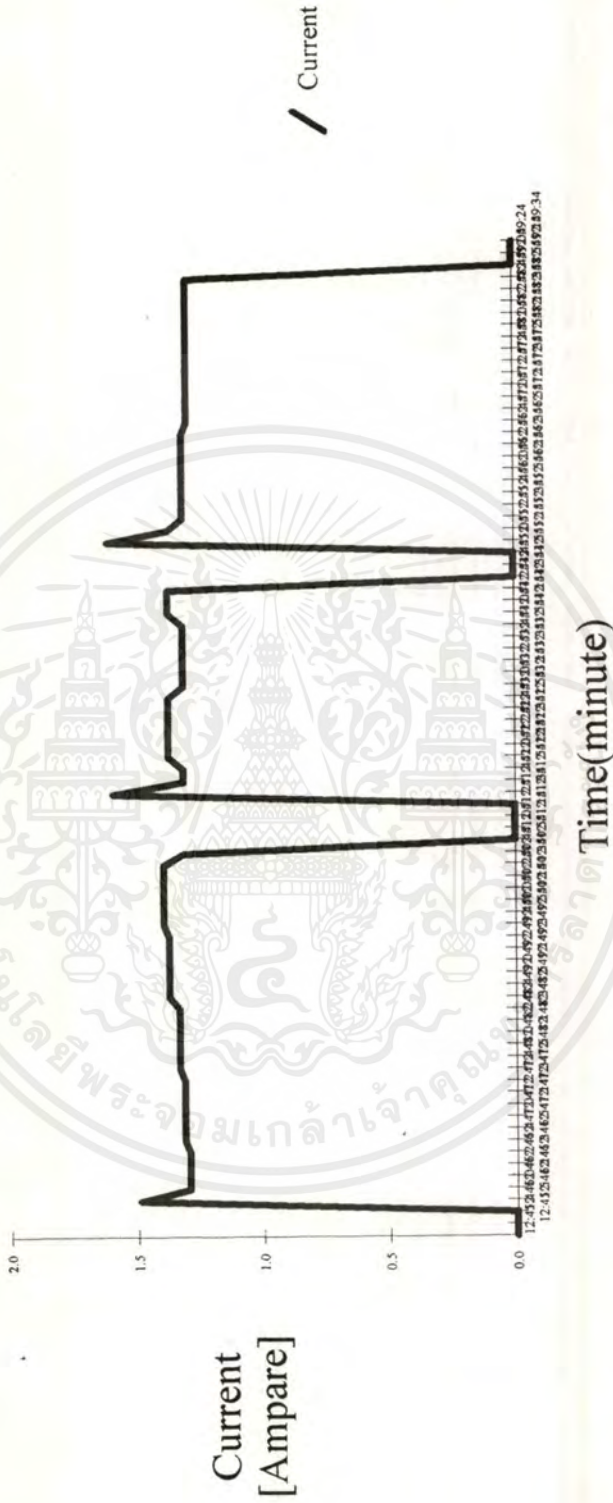
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงสภาวะทางความเร็วรอบของมอเตอร์ในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ

ชนิดของข้อมูลที่จัด **กระแส** วันที่เริ่มต้น **30/03/40** เวลาเริ่มต้น **12:45:44**
 ช่วงของข้อมูลที่จัด **14 นาที** Ex. 07/08/19 Ex. 12:00:00

นาที ชั่วโมง วัน

ตั้งแต่ **30/03/40_12:45:44 - 30/03/40_12:47:14**

Graph Show Current Condition



Graph Viewer Press Plot Button Plot Return to Main Menu Exit

รูปที่ 4.11 กราฟแสดงสถานะทางกระแสของมอเตอร์ในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ

ชนิดของข้อมูลที่จะดู เวลาเริ่มต้น
 ช่วงของข้อมูลที่จะดู วันที่เริ่มต้น เวลาเริ่มต้น
 นาที ชั่วโมง วัน

Graph Show Temperature Condition



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงสถานะทางอุณหภูมิของมอเตอร์ในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ

สรุปผลการทำงานของมอเตอร์

ช่วงเวลาการทำงาน 14 นาที ตั้งแต่วันที่ 30/03/40 เวลา 12:45:44

จำนวนครั้งที่หยุด 3 ครั้ง

ครั้งที่	ตั้งแต่วันที่ (เวลา)	ถึง วันที่ (เวลา)
1	30/03/40 (12:45:44)	- 30/03/40 (12:46:14)
2	30/03/40 (12:51:14)	- 30/03/40 (12:51:54)
3	30/03/40 (12:54:54)	- 30/03/40 (12:55:24)

ความเร็วรอบเฉลี่ย	1229.02	รอบต่อนาที
อุณหภูมิเฉลี่ย	35.47	องศาเซลเซียส
กระแสเฉลี่ย	0.90	แอมแปร์

บทที่ 5

สรุปผลการทำงานโครงการ

ในการทำโครงการเครื่องติดตามและแสดงสภาวะการทำงานของมอเตอร์ของปริญญาโทฉบับนี้ได้มุ่งเน้นสร้างเครื่องต้นแบบในการทดลองติดตามผลการทำงานของมอเตอร์ เป็นเครื่องมือวัดสภาพความเสื่อมของมอเตอร์ ที่ใช้บอร์ดคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยว ทำการบันทึกข้อมูลของสภาวะการทำงานของมอเตอร์ โดยมุ่งเน้นไปในทางพัฒนาการทำงานให้ได้มากที่สุด ดังนั้นการเลือกใช้บอร์ดคอนโทรลจึงใช้บอร์ดคอนโทรลที่ซื้อมาเพื่อความรวดเร็วและให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการสร้างตัวควบคุมการตรวจสอบสภาวะให้มีน้อยที่สุด ส่วนในการออกแบบเพื่อสร้างทั้งทางด้านตัวอุปกรณ์ตรวจสอบได้อาศัยการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ มีการออกแบบเองบ้าง และใช้อินเตอร์เฟซมอเตอร์ที่ห้องทดลองของทางภาควิชาในการทดสอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ปัญหาที่เกิดขึ้นกับตัวเครื่องมือก็คือ เครื่องมือนี้มีส่วนการตรวจจับความผิดพลาดที่เกิดขึ้นตัวมอเตอร์ยังช้าเกินไปที่จะเตือนหรือส่งสัญญาณไปตัดการทำงานของมอเตอร์เนื่องจากโปรเซสเซอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบสภาวะนั้นไม่ได้มีการตรวจสอบค่าต่าง ๆ ของมอเตอร์อยู่ตลอดเวลา ต้องเอาไปใช้ในส่วนอื่น ๆ เช่น การตรวจนับเวลา การรอรับข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตอนุกรม และในส่วนของอุปกรณ์ตรวจวัดนี้ยังมีความสามารถในการตรวจสอบค่าสภาวะการทำงานของมอเตอร์ได้ยังไม่ครบถ้วนทุกอย่าง

ในส่วนของโปรแกรมควบคุมตัวอุปกรณ์นั้นมีการรับข้อมูลอย่างต่อเนื่องอย่างตลอดเวลาและสามารถเก็บข้อมูลได้ถูกต้องแล้วพร้อมทั้งยังมีการส่งข้อมูลระหว่างตัวอุปกรณ์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ถูกต้องไม่รบกวนการตรวจสอบเวลาในการเก็บข้อมูล แต่ว่ามีปัญหาก็คือในส่วนของหน่วยความจำนั้นยังไม่เพียงพอที่จะเก็บบันทึกข้อมูลได้จำนวนมากพอที่จะทิ้งให้เครื่องทำงานไปเป็น หลายๆวัน เดือน หรืออาจจะป็นปี และที่ตัวเครื่องนั้นมีการใช้ทรัพยากรมากเกินไปทำให้เกิดความร้อนที่ตัวบอร์ดค่อนข้าง ๆ เร็วและในส่วนแบ็คอัพข้อมูลนั้นสามารถที่จะแบ็คอัพได้เพียงข้อมูลของโปรแกรมแต่ข้อมูลสภาวะการทำงานนั้นไม่สามารถจะถูกเก็บไว้ได้เมื่อไฟดับ

ในส่วนของโปรแกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์มีการพัฒนาไปได้มากทั้งการป้องกันความผิดพลาดเมื่อเกิดการใช้งานโปรแกรมผิดลักษณะ การตรวจรับข้อมูล การตรวจสอบข้อมูลที่เข้ามา การแสดงผลต่าง ๆ บนจอคอมพิวเตอร์ รวมไปถึงการพิมพ์ข้อมูลออกจากเครื่องพิมพ์

สำหรับอุปกรณ์ตรวจสอบสภาวะการทำงานที่สร้างขึ้นนี้ได้ประสบความสำเร็จในระดับหนึ่งซึ่งยังจะต้องทำการศึกษาปรับปรุงและพัฒนาในรายละเอียดที่จะแนะนำต่อไปนี้

ข้อเสนอแนะในการพัฒนาอุปกรณ์และโปรแกรม

ในส่วนของตัวอุปกรณ์นั้นสิ่งที่น่าจะทำเพิ่มก็คือ เซนเซอร์ตรวจสอบสภาวะการทำงานต่าง ๆ ให้เพิ่มเติม การตรวจสอบค่าโวลท์เตจ การตรวจสอบการค่าเพาเวอร์เฟคเตอร์ การตรวจสอบความผิดปกติของโร

เตอร์ ซึ่งสามารถทำได้โดยการดูที่กระแสที่ตรวจสอบก็ได้ คือเมื่อโรเตอร์มีการแกว่งหรือความผิดปกติของลูกปืน ค่ากระแสที่เกิดขึ้นนั้นก็จะไม่สมดุลกันในตลอดรอบการหมุนของมอเตอร์ ดังนั้นเราสามารถหาความสัมพันธ์ของการกระแสเพิ่มของกระแสได้เพื่อบอกว่ามอเตอร์มีแนวโน้มที่จะเสื่อมสภาพเมื่อใด หรือใช้เซนเซอร์ตรวจสอบความสั่นสะเทือนก็ได้ และถ้าเป็นไปได้ให้ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์แต่ละตัวในการควบคุมการตรวจจับสภาวะการทำงาน เพื่อให้สามารถที่จะทำการป้องกันความเสียหาย หรือเตือนให้คนที่ทำงานบริเวณใกล้เคียงได้มีความปลอดภัยในการทำงานมากขึ้น ให้มีการทำงานเป็นแบบมัลติโปรเซสเซอร์(Multi Processor)

ในส่วนของตัวบอร์ดคอนโทรลเลอร์ควรที่จะมีการทำอุปกรณ์ขึ้นมาใหม่โดยมีการลดอุปกรณ์ที่ไม่มีความจำเป็นทิ้งไป เพื่อให้ตัวบอร์ดดึงกระแสไปใช้งานน้อยลงจะได้เกิดความร้อนขึ้นช้าสามารถใช้งานได้นานๆ รวมไปถึงการเพิ่มหน่วยความจำเพื่อใช้ในการจัดเก็บ และจัดทำแบ็คอัพข้อมูลเพิ่มเติมจากเดิมที่แบ็คอัพได้เฉพาะโปรแกรมให้สามารถที่จะแบ็คอัพข้อมูลได้ด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือดูแลเป็นอย่างดีจากหลายฝ่ายร่วมมือกัน เริ่มจากนางสาวสรวิญา ญาติเสมอ ที่มาช่วยทำรายงานตั้งแต่ต้นจนจบ ขอขอบคุณกำลังใจหลาย ๆ อย่างที่ได้จากเพื่อน ๆ ทั้งความกดดัน ความเอาใจใส่ และความรักที่มีให้อย่างไม่ขาดสาย , ขอขอบคุณภาควิชาที่ยังมีห้องให้ทำโครงการบ้าง , ขอขอบคุณนางสาวพรวิภา มหาโคตร นักศึกษาภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้ ยิมบอร์ดคอนโทรลเลอร์ในการทำปริญญานิพนธ์ชิ้นนี้ , ขอขอบคุณชุมชนอิเล็กทรอนิกส์ ที่ให้ยืมใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ รวมทั้งน้อง ๆ ในชุมชนที่คอยช่วยทั้งถามไถ่ถึงความคืบหน้าของโครงการชิ้นนี้ และขอขอบคุณบิดามารดาผู้ให้กำเนิด ที่ทั้งคอยถามความคืบหน้าและคอยให้กำลังใจเมื่อเราท้อจนทำให้โครงการนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี ถึงบัดนี้ สู้ท่ายที่ขาดไม่ได้ก็คือขอขอบคุณตัวเองที่มีความมุ่งมั่นในการทำโครงการชิ้นนี้เป็นอย่างมาก ถึงแม้บางครั้งจะท้อถอยบ้างแต่ก็ยังมีกำลังใจจากหลายทางที่ทำให้ก้าวมาถึงจุดนี้ได้

คณะผู้จัดทำ

21 มีนาคม 2540

เอกสารอ้างอิง

Conference Record of the 1989 IEEE **Design of a continuous miner motor monitoring system** Industry Applications Society Annual Meeting, IEEE 1989 New York, NY, USA.

IEEE 1989 Hong Kong Polytechnic **Condition monitoring of induction motors** Hong Kong.

Willis J. Tompkins and John G. Webster , University of Wisconsin Madison **INTERFACING SENSORS TO THE IBM PC** Prentice-Hall Inc. 1988

Matin D. Seyer **RS-232 Made Easy Connecting Computers, Printers Terminals ,and Modem** Englewood Cliffs, New Jersey 07632:Prentice-Hall Inc. 1991

The engineering staff of Analog Device, Inc. Daniel H. Sheingold **Analog-digital conversion handbook** Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall

สุพจน์ บุนนชัยยะ โม่เต็ม กรุงเทพฯ : อินฟอร์เมติก บิซิเนส พับลิเคชั่น , 2534

ปรเมษฐ์ ประนายนันท์ , ปิยพงศ์ เผ่าพานิช **คู่มือและการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51** กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน) , 2521



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MM54HC123A/MM74HC123A

MM54HC123A/MM74HC123A Dual Retriggerable Monostable Multivibrator

General Description

The MM54/74HC123A high speed monostable multivibrators (one shots) utilize advanced silicon-gate CMOS technology. They feature speeds comparable to low power Schottky TTL circuitry while retaining the low power and high noise immunity characteristic of CMOS circuits.

Each multivibrator features both a negative, A, and a positive, B, transition triggered input, either of which can be used as an inhibit input. Also included is a clear input that when taken low resets the one shot. The 'HC123 can be triggered on the positive transition of the clear while A is held low and B is held high.

The 'HC123A is retriggerable. That is it may be triggered repeatedly while their outputs are generating a pulse and the pulse will be extended.

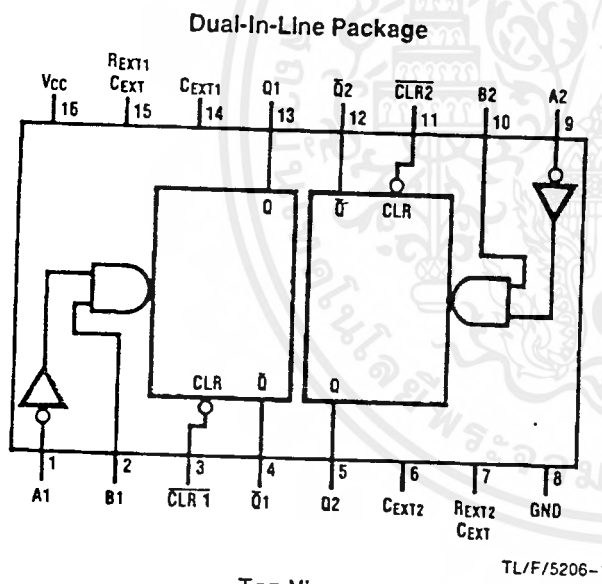
Pulse width stability over a wide range of temperature and supply is achieved using linear CMOS techniques. The out-

put pulse equation is simply: $PW = (R_{EXT}) (C_{EXT})$; where PW is in seconds, R is in ohms, and C is in farads. All inputs are protected from damage due to static discharge by diodes to V_{CC} and ground.

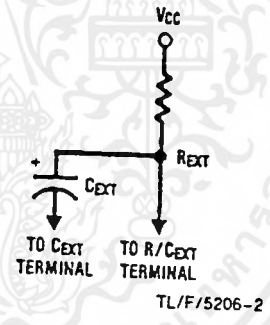
Features

- Typical propagation delay: 25 ns
- Wide power supply range: 2V–6V
- Low quiescent current: 80 μ A maximum (74HC Series)
- Low input current: 1 μ A maximum
- Fanout of 10 LS-TTL loads
- Simple pulse width formula $T = RC$
- Wide pulse range: 400 ns to ∞ (typ)
- Part to part variation: $\pm 5\%$ (typ)
- Schmitt Trigger A & B inputs enable infinite signal input rise and fall times.

Connection Diagram



Timing Component



Note: Pin 6 and Pin 14 must be hard-wired to GND.

Top View

Order Number MM54HC123A* or MM74HC123A*

*Please look into Section 8, Appendix D for availability of various package types.

Truth Table

Inputs			Outputs	
Clear	A	B	Q	\bar{Q}
L	X	X	L	H
X	H	X	L	H
X	X	L	L	H
H	L	\uparrow	\square	\square
H	\downarrow	H	\square	\square
\uparrow	L	H	\square	\square

- H = High Level
- L = Low Level
- \uparrow = Transition from Low to High
- \downarrow = Transition from High to Low
- \square = One High Level Pulse
- \square = One Low Level Pulse
- X = Irrelevant

Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage (V _{CC})	-0.5V to +7.0V
Input Voltage (V _{IN})	-1.5V to V _{CC} +1.5V
Output Voltage (V _{OUT})	-0.5V to V _{CC} +0.5V
Input Diode Current (I _{IK} , I _{OK})	±20 mA
Output Current, per pin (I _{OUT})	±25 mA
V _{CC} or GND Current, per pin (I _{CC})	±50 mA
Storage Temperature Range (T _{STG})	-65°C to +150°C
Power Dissipation (P _D) (Note 3)	600 mW
P.S.O. Package only	500 mW
Lead Temperature (T _L) (Soldering 10 seconds)	260°C

Operating Conditions

	Min	Max	Units
Supply Voltage (V _{CC})	2	6	V
DC Input or Output Voltage (V _{IN} , V _{OUT})	0	V _{CC}	V
Operating Temp. Range (T _A)			
MM74HC	-40	+85	°C
MM54HC	-55	+125	°C
Input Rise or Fall Times (Clear Input) (t _r , t _f)			
V _{CC} =2.0V		1000	ns
V _{CC} =4.5V		500	ns
V _{CC} =6.0V		400	ns

DC Electrical Characteristics (Note 4)

Symbol	Parameter	Conditions	V _{CC}	T _A = 25°C		74HC T _A = -40 to 85°C		54HC T _A = -55 to 125°C		Units	
				Typ	Guaranteed Limits						
	Minimum High Level Input Voltage		2.0V		1.5	1.5	1.5	1.5	V		
			4.5V		3.15	3.15	3.15	3.15	V		
			6.0V		4.2	4.2	4.2	4.2	V		
	Maximum Low Level Input Voltage		2.0V		0.3	0.3	0.3	0.3	V		
			4.5V		0.9	0.9	0.9	0.9	V		
			6.0V		1.2	1.2	1.2	1.2	V		
	Minimum High Level Output Voltage	V _{IN} = V _{IH} or V _{IL} I _{OUT} ≤ 20 μA	2.0V	2.0	1.9	1.9	1.9	V			
			4.5V	4.5	4.4	4.4	4.4	V			
			6.0V	6.0	5.9	5.9	5.9	V			
		V _{IN} = V _{IH} or V _{IL} I _{OUT} ≤ 4.0 mA I _{OUT} ≤ 5.2 mA	4.5V	4.2	3.98	3.84	3.7	V			
			6.0V	5.7	5.48	5.34	5.2	V			
								V			
	Maximum Low Level Output Voltage	V _{IN} = V _{IH} or V _{IL} I _{OUT} ≤ 20 μA	2.0V	0	0.1	0.1	0.1	V			
			4.5V	0	0.1	0.1	0.1	V			
			6.0V	0	0.1	0.1	0.1	V			
		V _{IN} = V _{IH} or V _{IL} I _{OUT} ≤ 4 mA I _{OUT} ≤ 5.2 mA	4.5V	0.2	0.26	0.33	0.4	V			
			6.0V	0.2	0.26	0.33	0.4	V			
								V			
Maximum Input Current (Pins 7, 15)	V _{IN} = V _{CC} or GND	6.0V		±0.5	±5.0	±5.0	μA				
Maximum Input Current (all other pins)	V _{IN} = V _{CC} or GND	6.0V		±0.1	±1.0	±1.0	μA				
Maximum Quiescent Supply Current (standby)	V _{IN} = V _{CC} or GND I _{OUT} = 0 μA	6.0V		8.0	80	160	μA				
Maximum Active Supply Current (per monostable)	V _{IN} = V _{CC} or GND R/C _{EXT} = 0.5V _{CC}	2.0V	36	80	110	130	μA				
		4.5V	0.33	1.0	1.3	1.6	mA				
		6.0V	0.7	2.0	2.6	3.2	mA				

1: Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.
 2: Unless otherwise specified all voltages are referenced to ground.
 3: Power Dissipation Temperature Derating:
 Plastic "N" Package: -12mW/°C from 65°C to 85°C
 Ceramic "J" Package: -12mW/°C from 100°C to 125°C.
 4: For a power supply of 5V ±10% the worst-case output voltages (V_{OH}, V_{OL}) occur for HC at 4.5V. Thus the 4.5V values should be used when designing this supply. Worst-case V_{IH} and V_{IL} occur at V_{CC} = 5.5V and 4.5V respectively. (The V_{IH} value at 5.5V is 3.85V.) The worst-case leakage current (I_{IN}, I_{CC}, and I_{OUT}) occur for CMOS at the higher voltage and so the 6.0V values should be used.

AC Electrical Characteristics $V_{CC}=5V, T_A=25^\circ C, C_L=15\text{ pF}, t_r=t_f=6\text{ ns}$

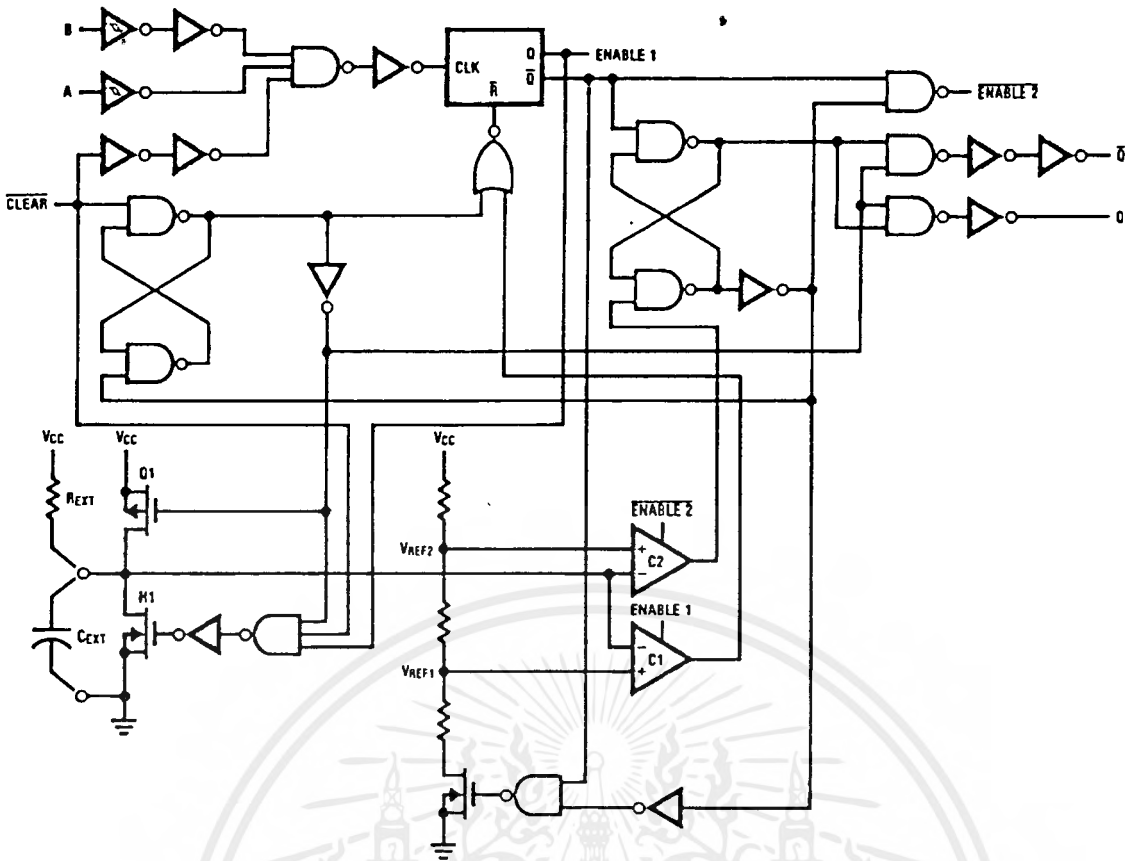
Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Limit	Units
t_{PLH}	Maximum Trigger Propagation Delay A, B or Clear to Q		22	33	ns
t_{PHL}	Maximum Trigger Propagation Delay A, B or Clear to \bar{Q}		25	42	ns
t_{PHL}	Maximum Propagation Delay, Clear to Q		20	27	ns
t_{PLH}	Maximum Propagation Delay, Clear to \bar{Q}		22	33	ns
t_w	Minimum Pulse Width, A, B or Clear		14	26	ns
t_{REM}	Minimum Clear Removal Time			0	ns
$t_{WQ(MIN)}$	Minimum Output Pulse Width	$C_{EXT}=28\text{ pF}$ $R_{EXT}=2\text{ k}\Omega$	400		ns
t_{WQ}	Output Pulse Width	$C_{EXT}=1000\text{ pF}$ $R_{EXT}=10\text{ k}\Omega$	10		μs

AC Electrical Characteristics $C_L=50\text{ pF}, t_r=t_f=6\text{ ns}$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Conditions	V_{CC}	$T_A=25^\circ C$		74HC $T_A=-40\text{ to }85^\circ C$		54HC $T_A=-55\text{ to }125^\circ C$		Units		
				Typ		Guaranteed Limits						
t_{PLH}	Maximum Trigger Propagation Delay, A, B or Clear to Q		2.0V	77	169	194		210		ns		
			4.5V	26	42	51		57				
			6.0V	21	32	39		44				
t_{PHL}	Maximum Trigger Propagation Delay, A, B or Clear to \bar{Q}		2.0V	88	197	229		250		ns		
			4.5V	29	48	60		67				
			6.0V	24	38	46		51				
t_{PHL}	Maximum Propagation Delay Clear to Q		2.0V	54	114	132		143		ns		
			4.5V	23	34	41		45				
			6.0V	19	28	33		36				
t_{PLH}	Maximum Propagation Delay Clear to \bar{Q}		2.0V	56	116	135		147		ns		
			4.5V	25	36	42		46				
			6.0V	20	29	34		37				
t_w	Minimum Pulse Width A, B, Clear		2.0V	57	123	144		157		ns		
			4.5V	17	30	37		42				
			6.0V	12	21	27		30				
t_{REM}	Minimum Clear Removal Time		2.0V		0	0		0		ns		
			4.5V		0	0		0				
			6.0V		0	0		0				
t_{TLH}, t_{THL}	Maximum Output Rise and Fall Time		2.0V	30	75	95		110		ns		
			4.5V	8	15	19		22				
			6.0V	7	13	16		19				
$t_{WQ(MIN)}$	Minimum Output Pulse Width	$C_{EXT}=28\text{ pF}$ $R_{EXT}=2\text{ k}\Omega$ $R_{EXT}=6\text{ k}\Omega (V_{CC}=2V)$	2.0V	1.5						μs		
			4.5V	450								
			6.0V	380								
t_{WQ}	Output Pulse Width	$C_{EXT}=0.1\text{ }\mu\text{F}$ $R_{EXT}=10\text{ k}\Omega$		Min	5.0V	1	0.9	0.86		ns		
				Max	5.0V	1	1.1	1.14				
C_{IN}	Maximum Input Capacitance (Pins 7 & 15)				12	20	20		pF			
							20					
C_{IN}	Maximum Input Capacitance (other inputs)				6	10	10		pF			
							10					
C_{PD}	Power Dissipation Capacitance	(Note 5)			70				pF			

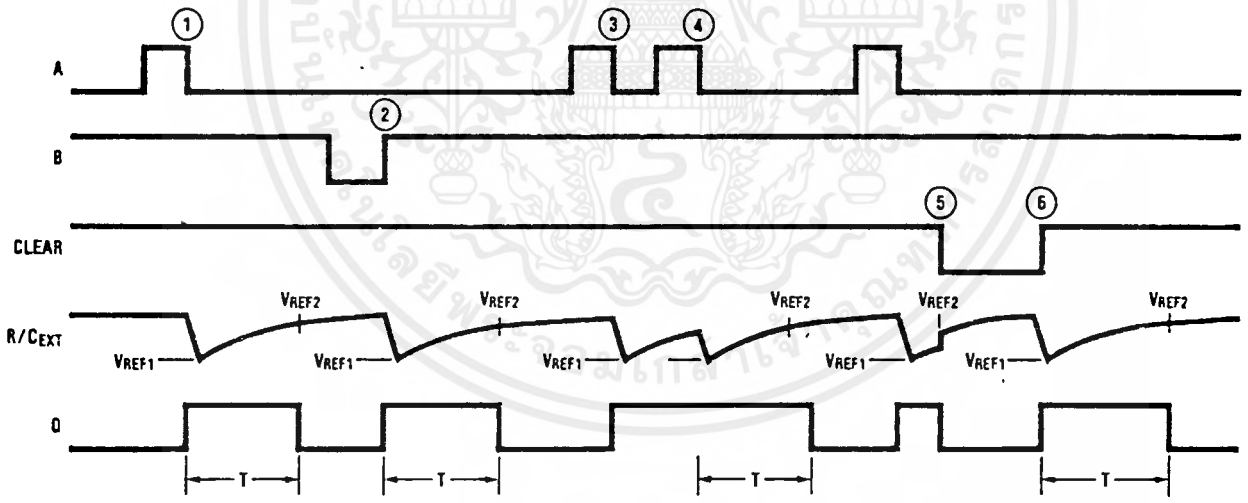
Note 5: C_{PD} determines the no load dynamic power consumption, $P_D = C_{PD} V_{CC}^2 f + I_{CC} V_{CC}$, and the no load dynamic current consumption, $I_S = C_{PD} V_{CC} f + I_{CC}$.

Logic Diagram



TL/F/5206-5

Theory of Operation



TL/F/5206-6

- ⊙ POSITIVE EDGE TRIGGER
- ⊙ POSITIVE EDGE RE-TRIGGER (PULSE LENGTHENING)
- ⊙ NEGATIVE EDGE TRIGGER
- ⊙ RESET PULSE SHORTENING
- ⊙ POSITIVE EDGE TRIGGER
- ⊙ CLEAR TRIGGER

FIGURE 1

TRIGGER OPERATION

As shown in Figure 1 and the logic diagram before an input trigger occurs, the one shot is in the quiescent state with the Q output low, and the timing capacitor C_{EXT} completely charged to V_{CC} . When the trigger input A goes from V_{CC} to GND (while inputs B and clear are held to V_{CC}) a valid trigger is recognized, which turns on comparator C1 and N-

channel transistor N1 ⊙. At the same time the output latch is set. With transistor N1 on, the capacitor C_{EXT} rapidly discharges toward GND until V_{REF1} is reached. At this point the output of comparator C1 changes state and transistor N1 turns off. Comparator C1 then turns off while at the same time comparator C2 turns on. With transistor N1 off, the capacitor C_{EXT} begins to charge through the timing re-

sistor, R_{EXT} , toward V_{CC} . When the voltage across C_{EXT} equals V_{REF2} , comparator C2 changes state causing the output latch to reset (Q goes low) while at the same time disabling comparator C2. This ends the timing cycle with the monostable in the quiescent state, waiting for the next trigger.

A valid trigger is also recognized when trigger input B goes from GND to V_{CC} (while input A is at GND and input clear is at V_{CC}). The 'HC123A can also be triggered when clear goes from GND to V_{CC} (while A is at GND and B is at V_{CC}).

It should be noted that in the quiescent state C_{EXT} is fully charged to V_{CC} causing the current through resistor R_{EXT} to be zero. Both comparators are "off" with the total device current due only to reverse junction leakages. An added feature of the 'HC123A is that the output latch is set via the input trigger without regard to the capacitor voltage. Thus, propagation delay from trigger to Q is independent of the value of C_{EXT} , R_{EXT} , or the duty cycle of the input waveform.

RETRIGGER OPERATION

The 'HC123A is retriggered if a valid trigger occurs \odot followed by another trigger \odot before the Q output has returned to the quiescent (zero) state. Any retrigger, after the timing node voltage at the R/ C_{EXT} pin has begun to rise from V_{REF1} , but has not yet reached V_{REF2} , will cause an increase in output pulse width T. When a valid retrigger is initiated \odot , the voltage at the R/ C_{EXT} pin will again drop to V_{REF1} before progressing along the RC charging curve

toward V_{CC} . The Q output will remain high until time T, after the last valid retrigger.

Because the trigger-control circuit flip-flop resets shortly after C_X has discharged to the reference voltage of the lower reference circuit, the minimum retrigger time, t_{rr} is a function of internal propagation delays and the discharge time of C_X :

$$t_{rr} \approx 20 + \frac{187}{V_{CC} - 0.7} + \frac{565 + (0.256 V_{CC}) C_X}{[V_{CC} - 0.7]^2}$$

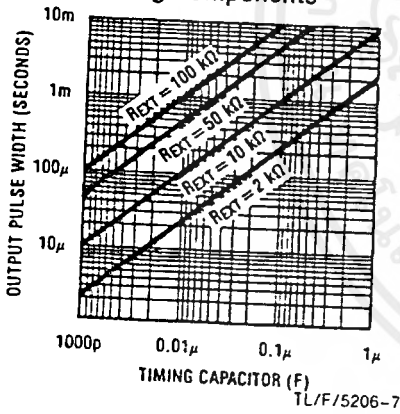
Another removal/retrigger time occurs when a short clear pulse is used. Upon receipt of a clear, the one shot must charge the capacitor up to the upper trip point before the one shot is ready to receive the next trigger. This time is dependent on the capacitor used and is approximately:

$$t_{rr} = 196 + \frac{640}{V_{CC} - 0.7} + \frac{522 + (0.3 V_{CC}) C_X}{(V_{CC} - 0.7)^2} \text{ ns}$$

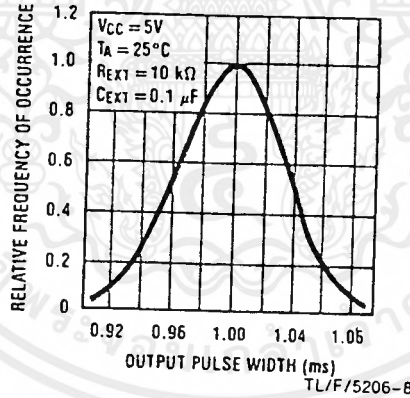
RESET OPERATION

These one shots may be reset during the generation of the output pulse. In the reset mode of operation, an input pulse on clear sets the reset latch and causes the capacitor to be fast charged to V_{CC} by turning on transistor Q1 \odot . When the voltage on the capacitor reaches V_{REF2} , the reset latch will clear and then be ready to accept another pulse. If the clear input is held low, any trigger inputs that occur will be inhibited and the Q and \bar{Q} outputs of the output latch will not change. Since the Q output is reset when an input low level is detected on the Clear input, the output pulse T can be made significantly shorter than the minimum pulse width specification.

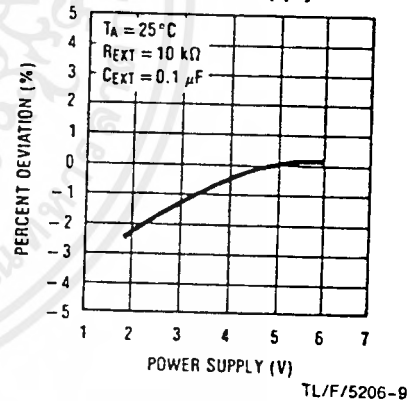
Typical Output Pulse Width vs. Timing Components



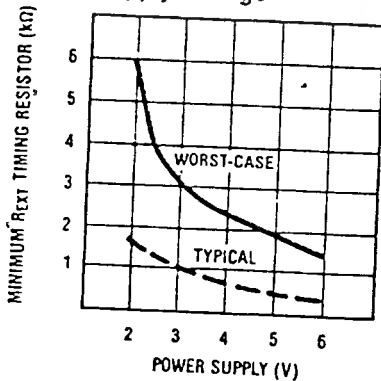
Typical Distribution of Output Pulse Width, Part to Part



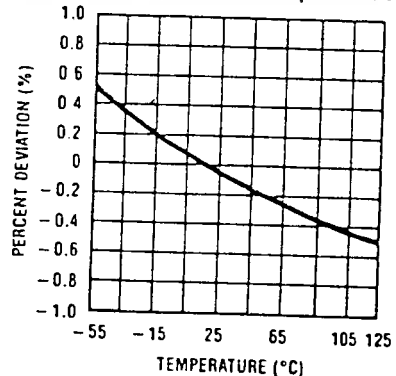
Typical 1ms Pulse Width Variation vs. Supply



Minimum REXT vs. Supply Voltage



Typical 1ms Pulse Width Variation vs. Temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Note: R and C are not subjected to temperature. The C is polypropylene.

LM2907, LM2917 Frequency to Voltage Converter

General Description

The LM2907, LM2917 series are monolithic frequency to voltage converters with a high gain op amp/comparator designed to operate a relay, lamp, or other load when the input frequency reaches or exceeds a selected rate. The tachometer uses a charge pump technique and offers frequency doubling for low ripple, full input protection in two versions (LM2907-B, LM2917-B) and its output swings to ground for a zero frequency input.

Advantages

- Output swings to ground for zero frequency input
- Easy to use; $V_{OUT} = f_{IN} \times V_{CC} \times R1 \times C1$
- Only one RC network provides frequency doubling
- Zener regulator on chip allows accurate and stable frequency to voltage or current conversion. (LM2917)

Features

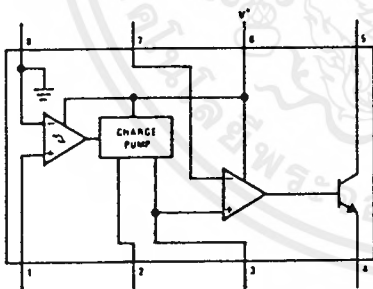
- Ground referenced tachometer input interfaces directly with variable reluctance magnetic pickups
- Op amp/comparator has floating transistor output
- 50 mA sink or source to operate relays, solenoids, meters, or LEDs

- Frequency doubling for low ripple
- Tachometer has built-in hysteresis with either differential input or ground referenced input
- Built-in zener on LM2917
- $\pm 0.3\%$ linearity typical
- Ground referenced tachometer is fully protected from damage due to swings above V_{CC} and below ground

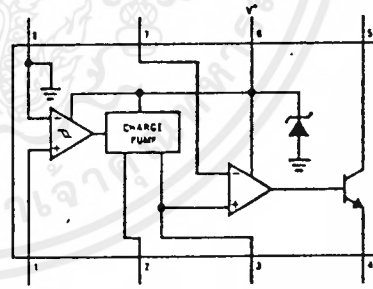
Applications

- Over/under speed sensing
- Frequency to voltage conversion (tachometer)
- Speedometers
- Breaker point dwell meters
- Hand-held tachometer
- Speed governors
- Cruise control
- Automotive door lock control
- Clutch control
- Horn control
- Touch or sound switches

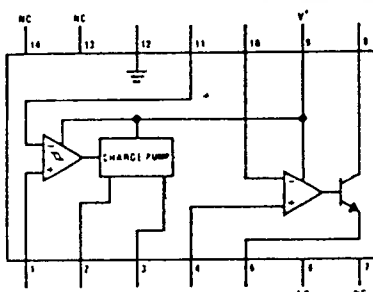
Block and Connection Diagrams Dual-In-Line Packages, Top Views



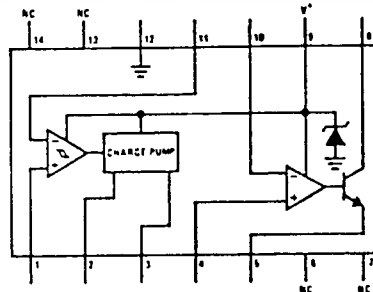
Order Number LM2907N-8
See NS Package N08B



Order Number LM2917N-8
See NS Package N08B



Order Number LM2907J
See NS Package J14A
Order Number LM2907N
See NS Package N14A



Order Number LM2917J
See NS Package J14A
Order Number LM2917N
See NS Package N14A

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

Supply Voltage	28V	Input Voltage Range	
Supply Current (Zener Options)	25 mA	Tachometer LM2907-8, LM2917-8	±28V
Collector Voltage	28V	LM2907, LM2917	0.0V to +28V
Differential Input Voltage		Op Amp/Comparator	0.0V to +28V
Tachometer	28V	Power Dissipation	500 mW
Op Amp/Comparator	28V	Operating Temperature Range	-40°C to +85°C
		Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
		Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

Electrical Characteristics $V_{CC} = 12 V_{DC}$, $T_A = 25^\circ C$, see test circuit

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
TACHOMETER					
Input Thresholds	$V_{IN} = 250 \text{ mV}_{p-p} @ 1 \text{ kHz}$ (Note 2)	±10	±15	±40	mV
Hysteresis	$V_{IN} = 250 \text{ mV}_{p-p} @ 1 \text{ kHz}$ (Note 2)		30		mV
Offset Voltage	$V_{IN} = 250 \text{ mV}_{p-p} @ 1 \text{ kHz}$ (Note 2)				
LM2907/LM2917			3.5	10	mV
LM2907-8/LM2917-8			5	15	mV
Input Bias Current	$V_{IN} = \pm 50 \text{ mV}_{DC}$		0.1	1	μA
V_{OH}	$V_{IN} = +125 \text{ mV}_{DC}$ (Note 3)		8.3		V
Pin 2					
V_{OL}	$V_{IN} = -125 \text{ mV}_{DC}$ (Note 3)		2.3		V
Output Current: I_2, I_3	$V_2 = V_3 = 6.0V$ (Note 4)	140	180	240	μA
Leakage Current: I_3	$I_2 = 0, V_3 = 0$			0.1	μA
Gain Constant, K	(Note 3)	0.9	1.0	1.1	%
Linearity	$f_{IN} = 1 \text{ kHz}, 5 \text{ kHz}, 10 \text{ kHz}$, (Note 5)	-1.0	0.3	+1.0	%
OP/AMP COMPARATOR					
V_{OS}	$V_{IN} = 6.0V$		3	10	mV
I_{BIAS}	$V_{IN} = 6.0V$		50	500	nA
Input Common-Mode Voltage		0		$V_{CC} - 1.5V$	V
Voltage Gain			200		V/mV
Output Sink Current	$V_C = 1.0$	40	50		mA
Output Source Current	$V_E = V_{CC} - 2.0$		10		mA
Saturation Voltage	$I_{SINK} = 5 \text{ mA}$		0.1	0.5	V
	$I_{SINK} = 20 \text{ mA}$			1.0	V
	$I_{SINK} = 50 \text{ mA}$		1.0	1.5	V
ZENER REGULATOR					
Regulator Voltage	$R_{DROOP} = 470\Omega$		7.56		V
Series Resistance			10.5	15	Ω
Temperature Stability			+1		mV/°C
TOTAL SUPPLY CURRENT			3.8	6	mA

Note 1: For operation in ambient temperatures above 25°C, the device must be derated based on a 150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 175°C/W junction to ambient for package 22 and 16 or a thermal resistance of 187°C/W junction to ambient for package 20.

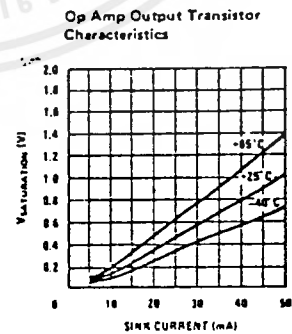
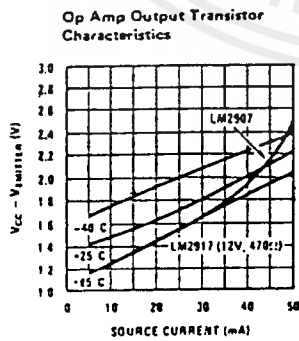
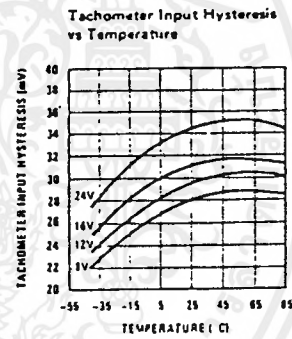
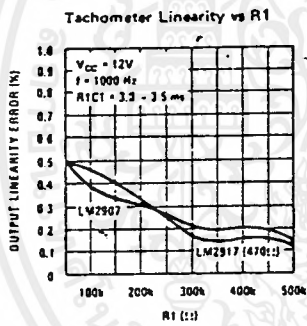
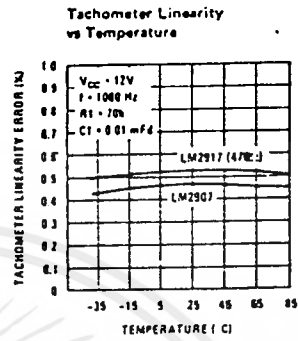
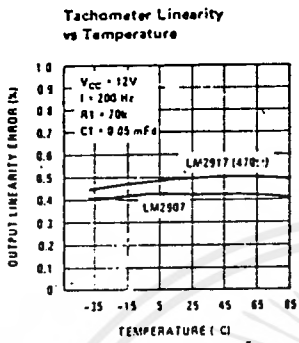
Note 2: Hysteresis is the sum $+V_{TH} - (-V_{TH})$, offset voltage is their difference. See test circuit.

Note 3: V_{OH} is equal to $3/4 \times V_{CC} - 1 V_{BE}$, V_{OL} is equal to $1/4 \times V_{CC} - 1 V_{BE}$ therefore $V_{OH} - V_{OL} = V_{CC}/2$. The difference, $V_{OH} - V_{OL}$, and the mirror gain, I_2/I_3 , are the two factors that cause the tachometer gain constant to vary from 1.0.

Note 4: Be sure when choosing the time constant $R1 \times C1$ that $R1$ is such that the maximum anticipated output voltage at pin 3 can be reached with $I_3 \times R1$. The maximum value for $R1$ is limited by the output resistance of pin 3 which is greater than 10 MΩ typically.

Note 5: Nonlinearity is defined as the deviation of V_{OUT} (pin 3) for $f_{IN} = 5 \text{ kHz}$ from a straight line defined by the V_{OUT} @ 1 kHz and V_{OUT} @ 10 kHz, $C1 = 1000 \text{ pF}$, $R1 = 88k$ and $C2 = 0.22 \text{ mFd}$.

Typical Performance Characteristics (Continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information (Continued)

capacitor, then, $V_o = i_c \times R1$, and the total conversion equation becomes:

$$V_o = V_{CC} \times f_{IN} \times C1 \times R1 \times K$$

Where K is the gain constant—typically 1.0.

The size of C2 is dependent only on the amount of ripple voltage allowable and the required response time

CHOOSING R1 AND C1

There are some limitations on the choice of R1 and C1 which should be considered for optimum performance. The timing capacitor also provides internal compensation for the charge pump and should be kept larger than 100 pF for very accurate operation. Smaller values can cause an error current on R1, especially at low temperatures. Several considerations must be met when choosing R1. The output current at pin 3 is internally fixed and therefore $V_o/R1$ must be less than or equal to this value. If R1 is too large, it can become a significant fraction of the output impedance at pin 3 which degrades linearity. Also output ripple voltage must be considered and the size of C2 is affected by R1. An expression that describes the ripple content on pin 3 for a single R1C2 combination is:

$$V_{RIPPLE} = \frac{V_{CC}}{2} \times \frac{C1}{C2} \times \left(1 - \frac{V_{CC} \times f_{IN} \times C1}{I_2} \right) \text{pk-pk}$$

It appears R1 can be chosen independent of ripple,

however response time, or the time it takes V_{OUT} to stabilize at a new voltage increases as the size of C2 increases so a compromise between ripple, response time, and linearity must be chosen carefully.

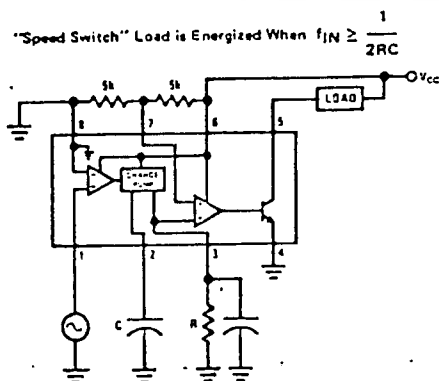
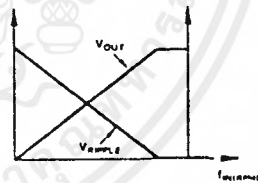
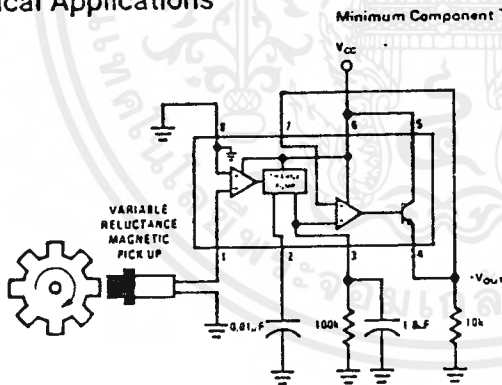
As a final consideration, the maximum attainable input frequency is determined by V_{CC} , C1 and I_2 :

$$f_{MAX} = \frac{I_2}{C1 \times V_{CC}}$$

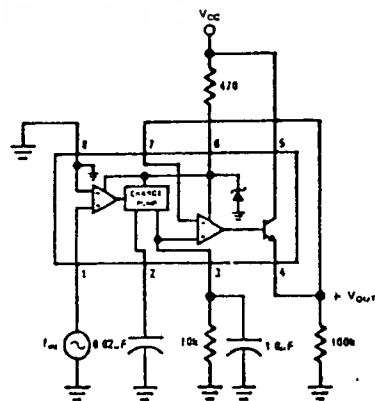
USING ZENER REGULATED OPTIONS (LM2917)

For those applications where an output voltage or current must be obtained independent of supply voltage variations, the LM2917 is offered. The most important consideration in choosing a dropping resistor from the unregulated supply to the device is that the tachometer and op amp circuitry alone require about 3 mA at the voltage level provided by the zener. At low supply voltages there must be some current flowing in the resistor above the 3 mA circuit current to operate the regulator. As an example, if the raw supply varies from 9 to 16V, a resistance of 470Ω will minimize the zener voltage variation to 160 mV. If the resistance goes under 400Ω or over 600Ω the zener variation quickly rises above 200 mV for the same input variation.

Typical Applications

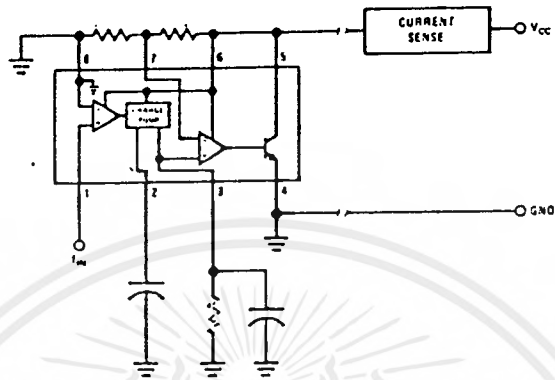


Zener Regulated Frequency to Voltage Converter

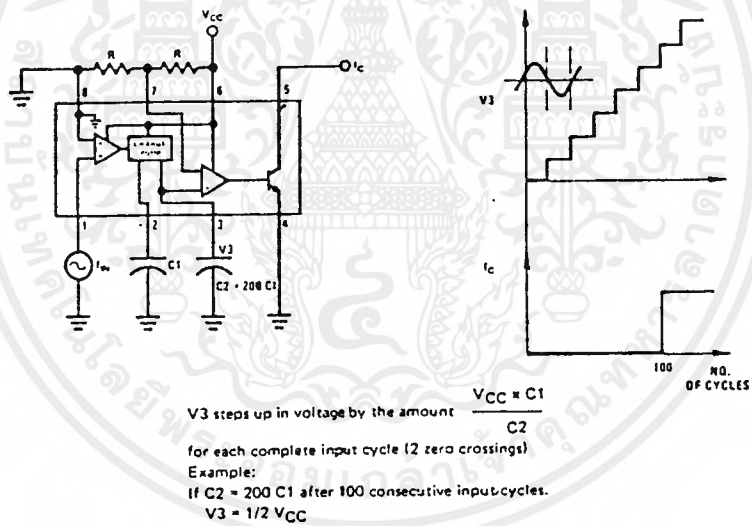


Typical Applications (Continued)

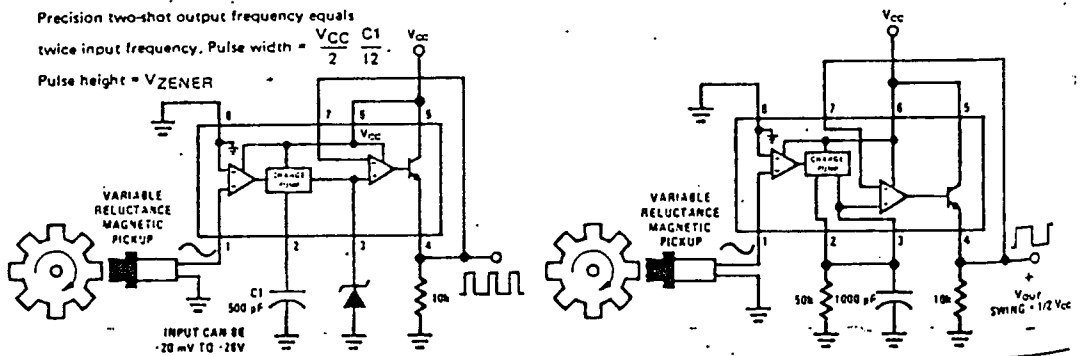
Two-Wire Remote Speed Switch



100 Cycle Delay Switch

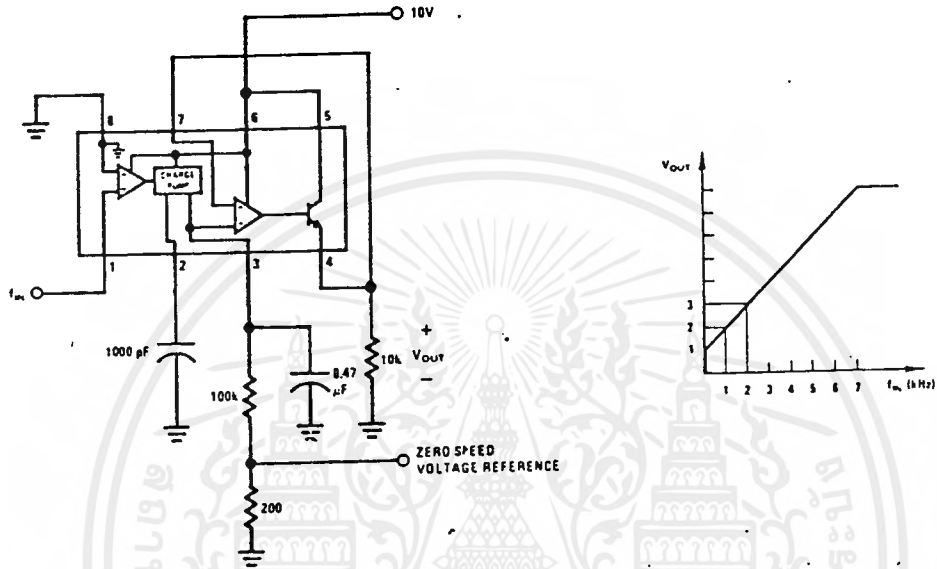


Variable Reluctance Magnetic Pickup Buffer Circuits

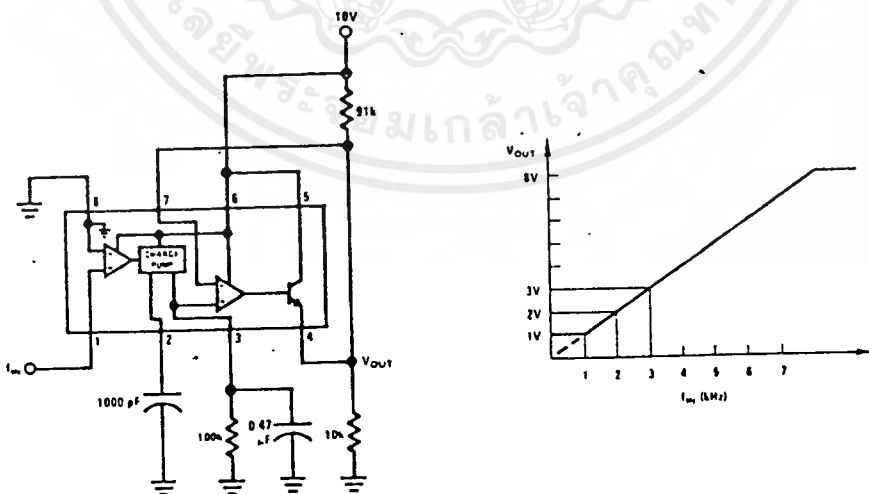


Typical Applications (Continued)

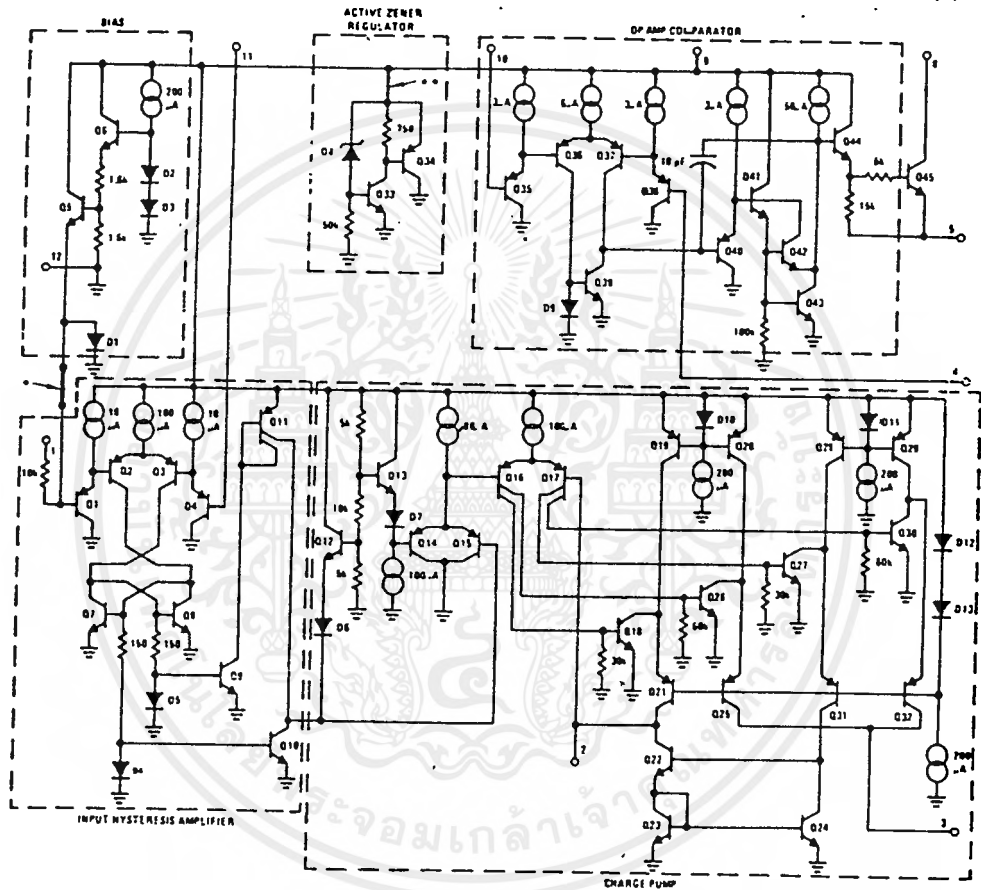
Changing the Output Voltage for an Input Frequency of Zero



Changing Tachometer Gain Curve or Clamping the Minimum Output Voltage



Equivalent Schematic Diagram



- Note: This connection made on LM2907-B and LM2917-B only.
- Note: This connection made on LM2917 and LM2917-B only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A Precision Temperature Sensors

General Description

The LM135 series are precision, easily-calibrated, integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at +10 mV/°K. With less than 1Ω dynamic impedance the device operates over a current range of 400 μA to 5 mA with virtually no change in performance. When calibrated at 25°C the LM135 has typically less than 1°C error over a 100°C temperature range. Unlike other sensors the LM135 has a linear output.

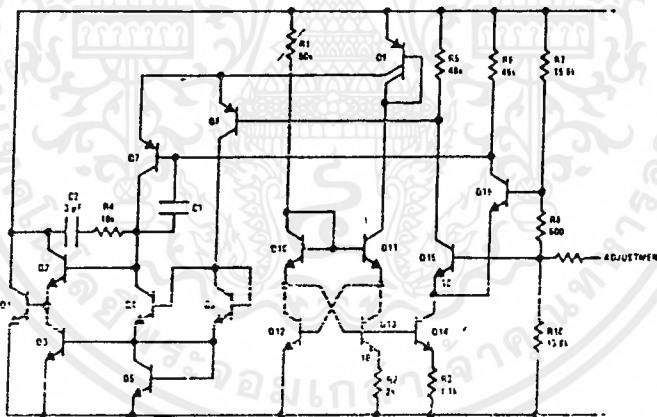
Applications for the LM135 include almost any type of temperature sensing over a -55°C to +150°C temperature range. The low impedance and linear output make interfacing to readout or control circuitry especially easy.

The LM135 operates over a -55°C to +150°C temperature range while the LM235 operates over a -40°C to +125°C temperature range. The LM335 operates from -40°C to +100°C. The LM135/LM235/LM335 are available packaged in hermetic TO-46 transistor packages while the LM335 is also available in plastic TO-92 packages.

Features

- Directly calibrated in °Kelvin
- 1°C initial accuracy available
- Operates from 400 μA to 5 mA
- Less than 1Ω dynamic impedance
- Easily calibrated
- Wide operating temperature range
- 200°C overrange
- Low cost

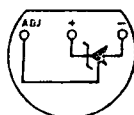
Schematic Diagram



TL/H/5698-1

Connection Diagrams

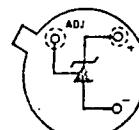
TO-92
Plastic Package



BOTTOM VIEW

Order Number LM335Z or LM335AZ
See NS Package Number Z03A

TO-46
Metal Can Package*



BOTTOM VIEW

TL/H/5698-B

*Case is connected to negative pin
Order Number LM135H, LM235H,
LM335H, LM135AH, LM235AH or LM335AH
See NS Package Number H03H

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.
(Note 4)

Reverse Current	15 mA
Forward Current	10 mA
Storage Temperature	
TO-46 Package	-60°C to +180°C
TO-92 Package	-60°C to +150°C

Specified Operating Temp. Range

	Continuous	Intermittent (Note 2)
LM135, LM135A	-55°C to +150°C	150°C to 200°C
LM235, LM235A	-40°C to +125°C	125°C to 150°C
LM335, LM335A	-40°C to +100°C	100°C to 125°C
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)		260°C
TO-92 Package:		300°C
TO-46 Package:		

Temperature Accuracy LM135/LM235, LM135A/LM235A (Note 1)

Parameter	Conditions	LM135A/LM235A			LM135/LM235			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$	2.97	2.98	2.99	2.95	2.98	3.01	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	3	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		1.3	2.7		2	5	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1		0.5	1.5	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	0.5		0.3	1	°C

Temperature Accuracy LM335, LM335A (Note 1)

Parameter	Conditions	LM335A			LM335			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$		1	3		2	6	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		2	5		4	9	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	2	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1.5		0.3	1.5	°C

Electrical Characteristics (Note 1)

Parameter	Conditions	LM135/LM235 LM135A/LM235A			LM335 LM335A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage Change with Current	$400\ \mu\text{A} \leq I_R \leq 5\text{ mA}$ At Constant Temperature		2.5	10		3	14	mV
Dynamic Impedance	$I_R = 1\text{ mA}$		0.5			0.6		Ω
Output Voltage Temperature Coefficient			+10			+10		mV/°C
Time Constant	Still Air		80			80		ms
	100 ft/Min Air		10			10		ms
	Stirred Oil		1			1		ms
Time Stability	$T_C = 125^\circ\text{C}$		0.2			0.2		°C/yr

Note 1: Accuracy measurements are made in a well-stirred oil bath. For other conditions, self heating must be considered.

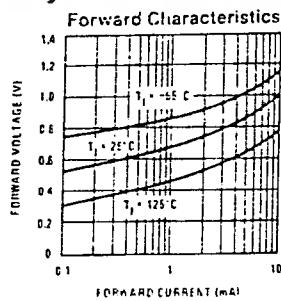
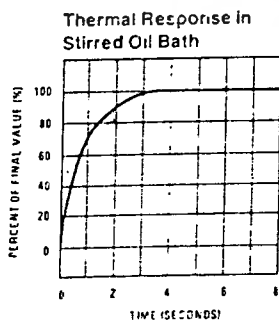
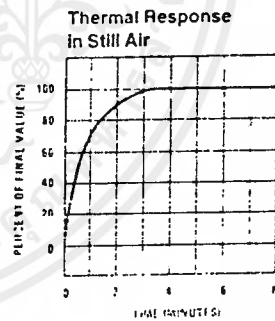
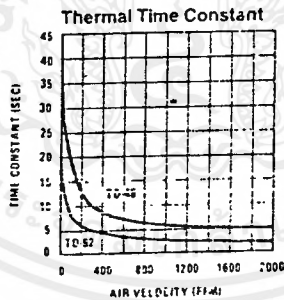
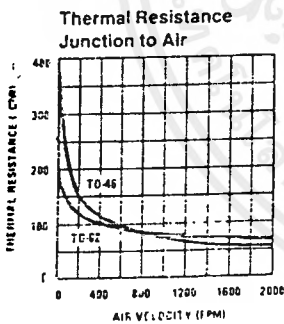
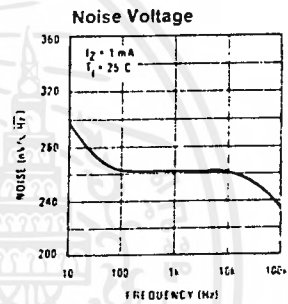
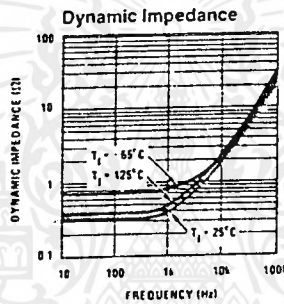
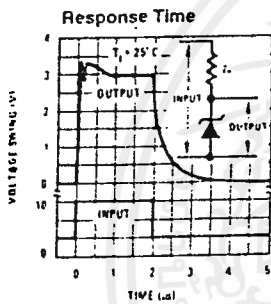
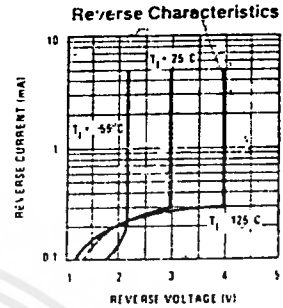
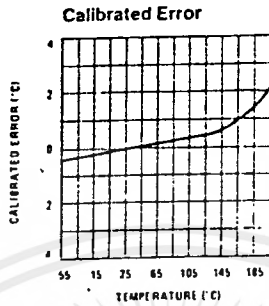
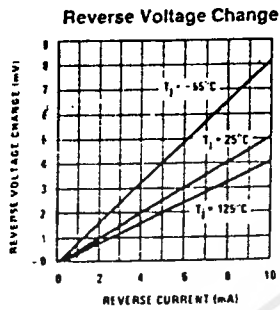
Note 2: Continuous operation at these temperatures for 10,000 hours for H package and 5,000 hours for Z package may decrease life expectancy of the device.

Note 3: Thermal Resistance
 R_{JA} (junction to ambient) TO-92 TO-46
 R_{JC} (junction to case) 20°C/W 400°C/W
 R_{JC} (junction to case) 170°C/W N/A

Note 4: Refer to RETS135H for military specifications

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics



Application Hints

CALIBRATING THE LM135

Included on the LM135 chip is an easy method of calibrating the device for higher accuracies. A pot connected across the LM135 with the arm tied to the adjustment terminal allows a 1-point calibration of the sensor that corrects for inaccuracy over the full temperature range.

This single point calibration works because the output of the LM135 is proportional to absolute temperature with the extrapolated output of sensor going to 0V output at 0°K (-273.15°C). Errors in output voltage versus temperature are only slope (or scale factor) errors so a slope calibration at one temperature corrects at all temperatures.

The output of the device (calibrated or uncalibrated) can be expressed as:

$$V_{OUT_T} = V_{OUT_{T_0}} \times \frac{T}{T_0}$$

where T is the unknown temperature and T_0 is a reference temperature, both expressed in degrees Kelvin. By calibrating the output to read correctly at one temperature the output at all temperatures is correct. Nominally the output is calibrated at 10 mV/°K.

To insure good sensing accuracy several precautions must be taken. Like any temperature sensing device, self heating can reduce accuracy. The LM135 should be operated at the lowest current suitable for the application. Sufficient current, of course, must be available to drive both the sensor and the calibration pot at the maximum operating temperature, as well as any external loads.

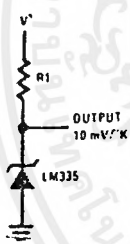
If the sensor is used in an ambient where the thermal resistance is constant, self heating errors can be calibrated out. This is possible if the device is run with a temperature stable current. Heating will then be proportional to zero voltage and therefore temperature. This makes the self heating error proportional to absolute temperature the same as scale factor errors.

WATERPROOFING SENSORS

Meltable inner core heat shrinkable tubing such as manufactured by Raychem can be used to make low-cost waterproof sensors. The LM335 is inserted into the tubing about 1/2" from the end and the tubing heated above the melting point of the core. The unfilled 1/2" end melts and provides a seal over the device.

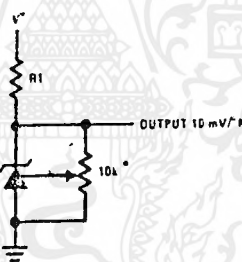
Typical Applications

Basic Temperature Sensor



TL/H/5698-2

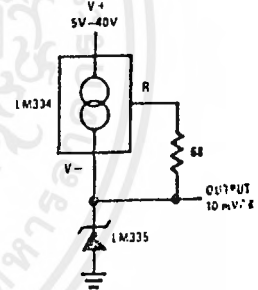
Calibrated Sensor



TL/H/5698-9

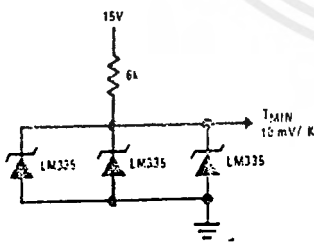
*Calibrate for 2.982V at 25°C

Wide Operating Supply



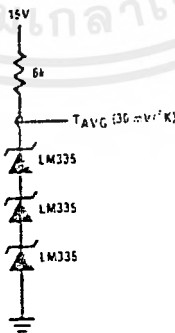
TL/H/5698-1

Minimum Temperature Sensing



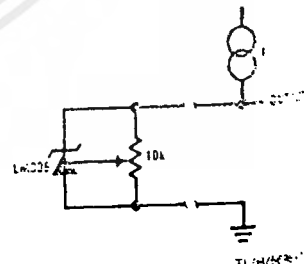
TL/H/5698-4

Average Temperature Sensing



TL/H/5696-18

Remote Temperature Sensing



TL/H/5698-1

Wire length for 1°C error due to wire drop

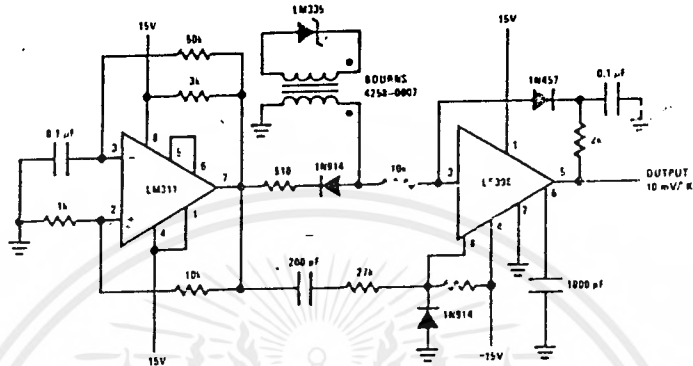
$I_R = 1 \text{ mA}$ $I_R = 0.5 \text{ mA}$

AWG	FEET	FEET
14	4000	8000
16	2500	5000
18	1600	3200
20	1000	2000
22	625	1250
24	400	800

*For $I_R = 0.5 \text{ mA}$, the trim pot must be off

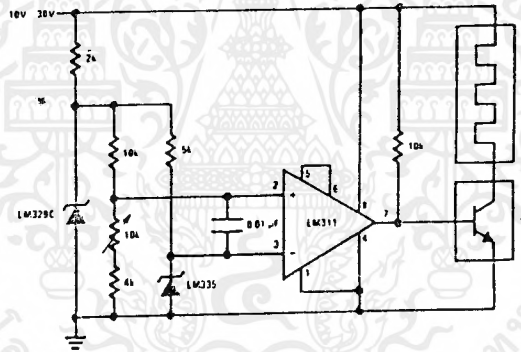
Typical Applications (Continued)

Isolated Temperature Sensor



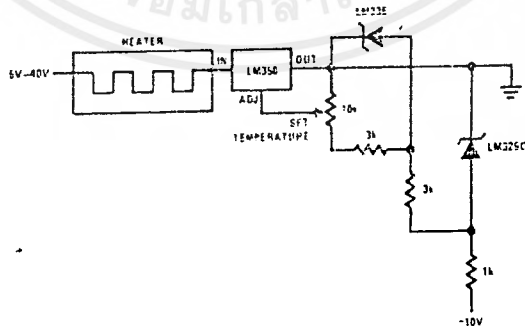
TL/H/5698-20

Simple Temperature Controller



TL/H/5698-5

Simple Temperature Control

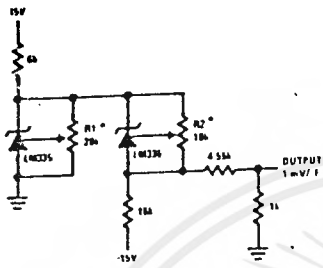


TL/H/5698-21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

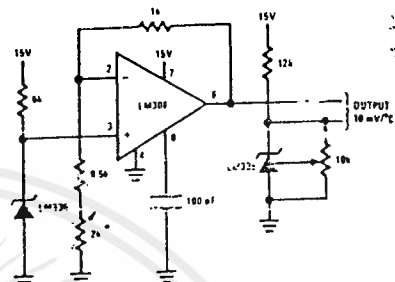
Ground Referred Fahrenheit Thermometer



*Adjust R2 for 2.554V across LM336.
Adjust R1 for correct output.

TL/H/5698-22

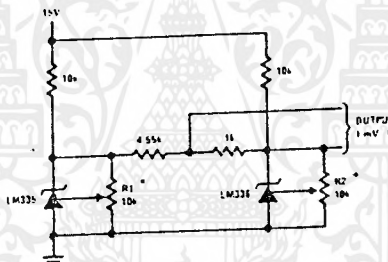
Centigrade Thermometer



*Adjust for 2.7315V at output of LM336.

TL/H/5696

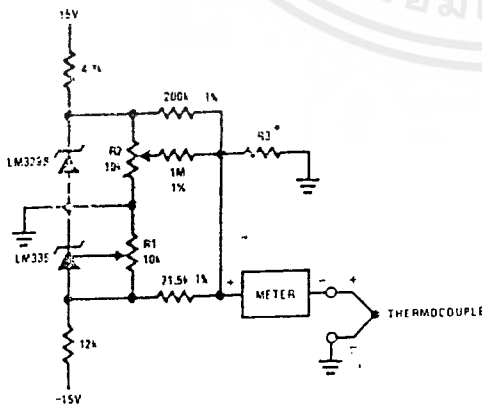
Fahrenheit Thermometer



*To calibrate adjust R2 for 2.554V across LM336.
Adjust R1 for correct output.

TL/H/5698-24

THERMOCOUPLE COLD JUNCTION COMPENSATION Compensation for Grounded Thermocouple



TL/H 5696-6

*Select R3 for proper thermocouple type

THERMOCOUPLE	R3 (± 1%)	SEEBECK COEFFICIENT
J	377Ω	52.1 μV/°C
T	306Ω	42.8 μV/°C
K	293Ω	40.8 μV/°C
S	45.6Ω	6.4 μV/°C

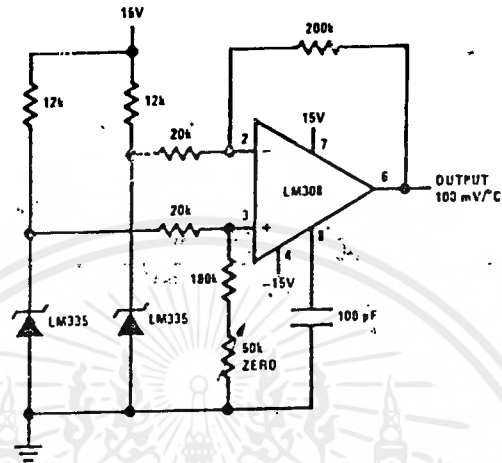
Adjustments: Compensation for both sensor and resistor tolerance:

1. Short LM3292
2. Adjust R1 for Seebeck Coefficient times ambient temperature (in °C) across R3.
3. Short LM335 and adjust R2 for voltage across R3 corresponding to thermocouple type

J	14.32 mV	K	11.17
T	11.79 mV	S	1.76

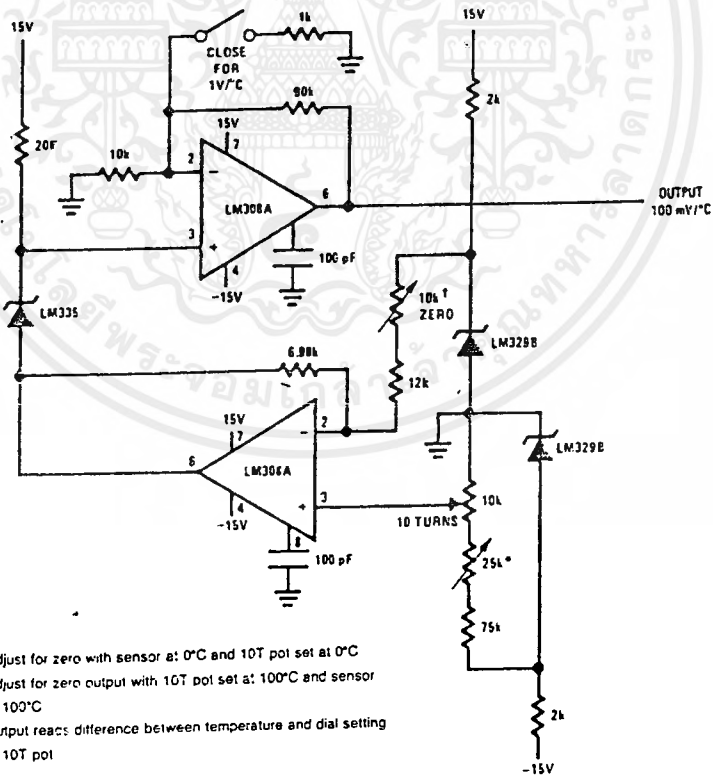
Typical Applications (Continued)

Differential Temperature Sensor



TL H'5698-14

Variable Offset Thermometer[†]



[†]Adjust for zero with sensor at 0°C and 10T pot set at 0°C

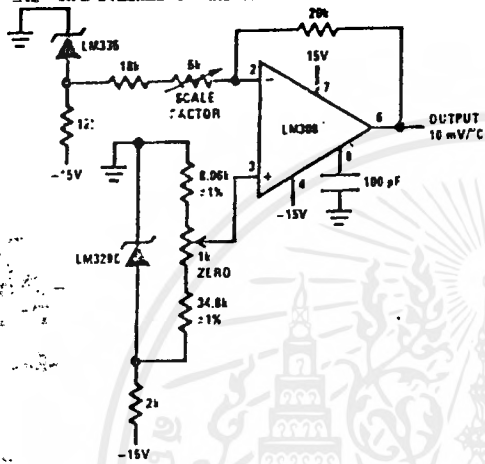
*Adjust for zero output with 10T pot set at 100°C and sensor at 100°C

‡Output reads difference between temperature and dial setting of 10T pot

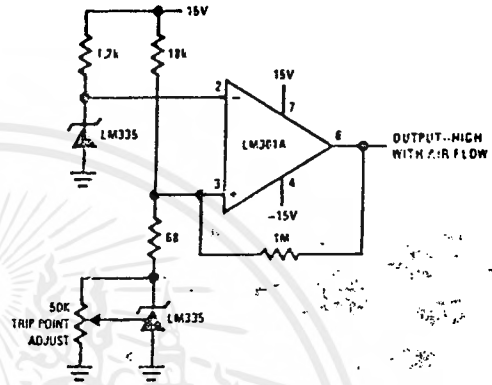
TL/H/5698-15

Typical Applications (Continued)

Ground Referred Centigrade Thermometer



Air Flow Detector*



*Self heating is used to detect air flow

TL/H/5696-17

TL/H/5696-16

Definition of Terms

Operating Output Voltage: The voltage appearing across the positive and negative terminals of the device at specified conditions of operating temperature and current.

Uncalibrated Temperature Error: The error between the operating output voltage at 10 mV/°K and case temperature at specified conditions of current and case temperature.

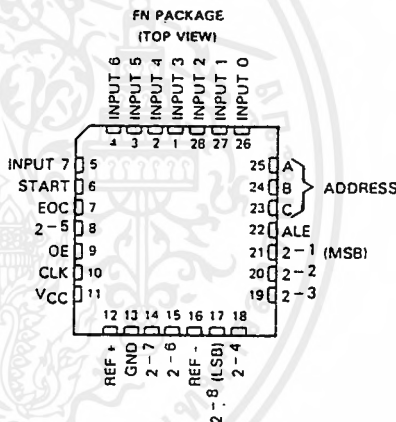
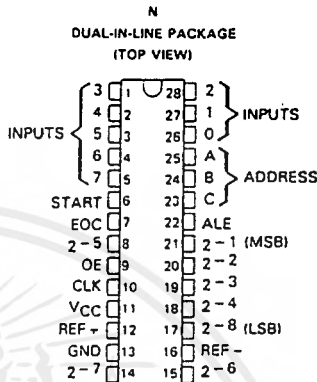
Calibrated Temperature Error: The error between operating output voltage and case temperature at 10 mV/°K over a temperature range at a specified operating current with the 25°C error adjusted to zero.

ADC0808, ADC0809

CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXERS

D2642, JUNE 1981—REVISED MAY 1988

- Total Unadjusted Error . . . ± 0.75 LSB Max for ADC0808 and ± 1.25 LSB Max for ADC0809
- Resolution of 8 Bits
- 100 μ s Conversion Time
- Ratiometric Conversion
- Monotonicity Over the Entire A/D Conversion Range
- No Missing Codes
- Easy Interface with Microprocessors
- Latched 3-State Outputs
- Latched Address Inputs
- Single 5-V Supply
- Low Power Consumption
- Designed to be Interchangeable with National Semiconductor ADC0808, ADC0809



description

The ADC0808 and ADC0809 are monolithic CMOS devices with an 8-channel multiplexer, an 8-bit analog-to-digital (A/D) converter, and microprocessor-compatible control logic. The 8-channel multiplexer can be controlled by a microprocessor through a 3-bit address decoder with address load to select any one of eight single-ended analog switches connected directly to the comparator. The 8-bit A/D converter uses the successive-approximation conversion technique featuring a high-impedance threshold detector, a switched-capacitor array, a sample-and-hold, and a successive-approximation register (SAR). Detailed information on interfacing to most popular microprocessors is readily available from the factory.

The comparison and converting methods used eliminate the possibility of missing codes, nonmonotonicity, and the need for zero or full-scale adjustment. Also featured are latched 3-state outputs from the SAR and latched inputs to the multiplexer address decoder. The single 5-V supply and low power requirements make the ADC0808 and ADC0809 especially useful for a wide variety of applications. Ratiometric conversion is made possible by access to the reference voltage input terminals.

The ADC0808 and ADC0809 are characterized for operation from -40°C to 85°C .

Data Sheets **2**

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



POST OFFICE BOX 655012 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1983, Texas Instruments Incorporated

ADC0808, ADC0809
CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS
WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXERS

timing requirements, $V_{CC} = V_{ref+} = 5\text{ V}$, $V_{ref-} = 0\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
f_{clock} Clock frequency		10	640	1280	kHz
t_{conv} Conversion time	See Note 4	90	100	116	μs
$t_{w(st)}$ Pulse duration, START		200			ns
$t_{w(ALE)}$ Pulse duration, ALE		200			ns
t_{su} Setup time, ADDRESS		50			ns
t_h Hold time, ADDRESS		50			ns
t_d Delay time, EOC	See Notes 4 and 5	0		14.5	μs

operating characteristics, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = V_{ref+} = 5\text{ V}$, $V_{ref-} = 0\text{ V}$, $f_{clock} = 640\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	ADC0808		ADC0809		UNIT
		MIN	TYP [†]	MIN	TYP [†]	
k_{SVS} Supply voltage sensitivity	$V_{CC} = V_{ref-} = 4.75\text{ V to } 5.25\text{ V}$, $T_A = -40^\circ\text{C to } 85^\circ\text{C}$, See Note 6	= 0.05		= 0.05		%/V
Linearity error (see Note 7)		= 0.25		= 0.5		LSB
Zero error (see Note 8)		= 0.25		= 0.25		LSB
Total unadjusted error (See Note 9)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	= 0.25 = 0.5		= 0.5		LSB
	$T_A = -40^\circ\text{C to } 85^\circ\text{C}$	= 0.75		= 1.25		
	$T_A = 0^\circ\text{C to } 70^\circ\text{C}$			= 1		
t_{en} Output enable time	$C_L = 50\text{ pF}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$	80	250	80	250	ns
t_{dis} Output disable time	$C_L = 10\text{ pF}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$	105	250	105	250	ns

[†]Typical values for all except supply voltage sensitivity are at $V_{CC} = 5\text{ V}$, and all are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

NOTES: 4. Refer to the operating sequence diagram.

5. For clock frequencies other than 640 kHz, $t_d(\text{EOC})$ maximum is 8 clock periods plus 2 μs .

6. Supply voltage sensitivity relates to the ability of an analog-to-digital converter to maintain accuracy as the supply voltage varies. The supply and V_{ref+} are varied together and the change in accuracy is measured with respect to full-scale.

7. Linearity error is the maximum deviation from a straight line through the end points of the A/D transfer characteristic.

8. Zero error is the difference between 00000000 and the converted output for zero input voltage; full-scale error is the difference between 11111111 and the converted output for full-scale input voltage.

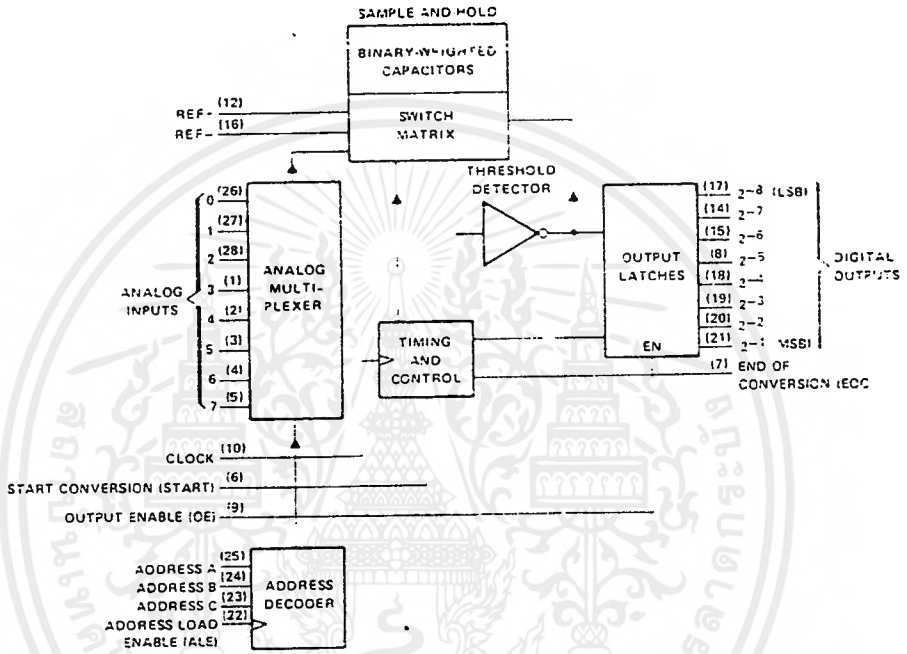
9. Total unadjusted error is the maximum sum of linearity error, zero error, and full-scale error.

ADC0808, ADC0809
CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS
WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXERS

functional block diagram (positive logic)

2

Data Sheets

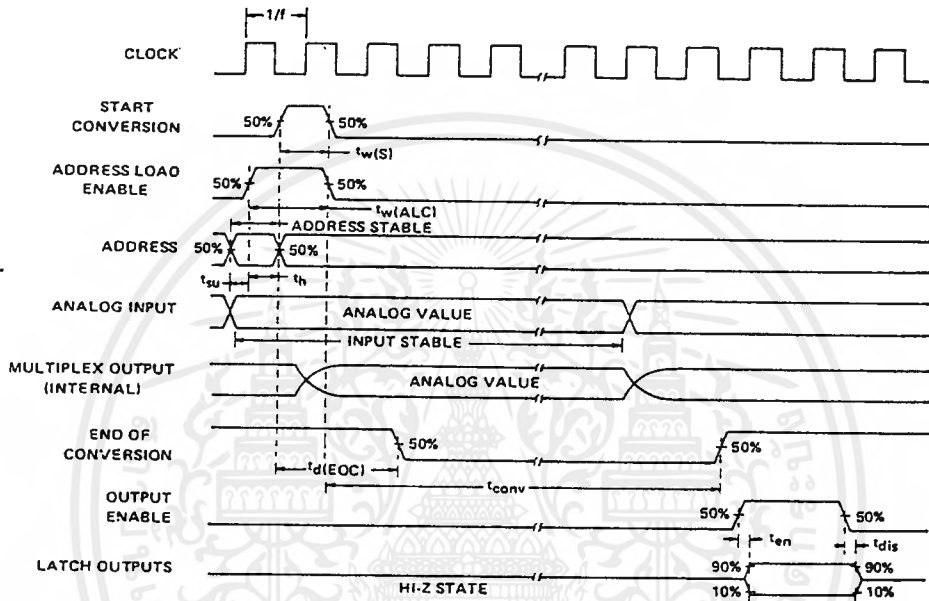


MULTIPLEXER FUNCTION TABLE

INPUTS				SELECTED
ADDRESS		ADDRESS		ANALOG
C	B	A	STROBE	CHANNEL
-	-	-	0	0
-	-	-	1	1
-	-	-	2	2
-	-	-	3	3
-	-	-	4	4
-	-	-	5	5
-	-	-	6	6
-	-	-	7	7

ADC0808, ADC0809
CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS
WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXERS

operating sequence



ADC0808, ADC0809 CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXERS

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

Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)	6.5 V
Input voltage range: control inputs	-0.3 to 15 V
all other inputs	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Operating free-air temperature range	-40°C to 85°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C
Case temperature for 10 seconds: FN package	260°C
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds: N package	260°C

NOTE 1: All voltage values are with respect to network ground terminal.

2

Data Sheets

recommended operating conditions

	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	6	V
Positive reference voltage, V_{ref+} (see Note 2)		V_{CC}	$V_{CC}-0.1$	V
Negative reference voltage, V_{ref-}		0	-0.1	V
Differential reference voltage, $V_{ref+} - V_{ref-}$		5		V
High-level input voltage, V_{IH}		$V_{CC}-1.5$		V
Low-level input voltage, V_{IL}			1.5	V
Operating free-air temperature, T_A	-40		85	°C

NOTE 2: Care must be taken that this rating is observed even during power-up.

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 4.75$ V to 5.25 V (unless otherwise noted)

total device

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP [†]	MAX	UNIT
V_{OH}	high-level output voltage	$I_O = -360 \mu A$	$V_{CC}-0.4$			V
V_{OL}	Low-level output voltage	Data outputs			0.45	V
		End of conversion			0.45	
I_{OZ}	Off-state (high-impedance-state) output current	$V_O = V_{CC}$			3	μA
		$V_O = 0$			-3	
I_I	Control input current at maximum input voltage	$V_I = 15$ V			1	μA
I_{IL}	Low-level control input current	$V_I = 0$			-1	μA
I_{CC}	Supply current	$f_{clock} = 640$ kHz		0.3	3	mA
C_i	Input capacitance, control inputs	$T_A = 25^\circ C$		10	15	pF
C_o	Output capacitance, data outputs	$T_A = 25^\circ C$		10	15	pF
	Resistance from pin 12 to pin 16			1000		k Ω

analog multiplexer

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP [†]	MAX	UNIT
I_{on}	Channel on-state current (see Note 3)	$V_I = V_{CC}$, $f_{clock} = 640$ kHz			2	μA
		$V_I = 0.1$ V, $f_{clock} = 640$ kHz			-2	
I_{off}	Channel off-state current	$V_{CC} = 5$ V, $V_I = 5$ V		10	200	nA
		$T_A = 25^\circ C$, $V_I = 0$		-10	-200	
		$V_{CC} = 5$ V, $V_I = 5$ V				1
$V_I = 0$				-1		

[†]Typical values are at $V_{CC} = 5$ V and $T_A = 25^\circ C$.

NOTE 3: Channel on-state current is primarily due to the bias current into or out of the threshold detector, and it varies directly with clock frequency.