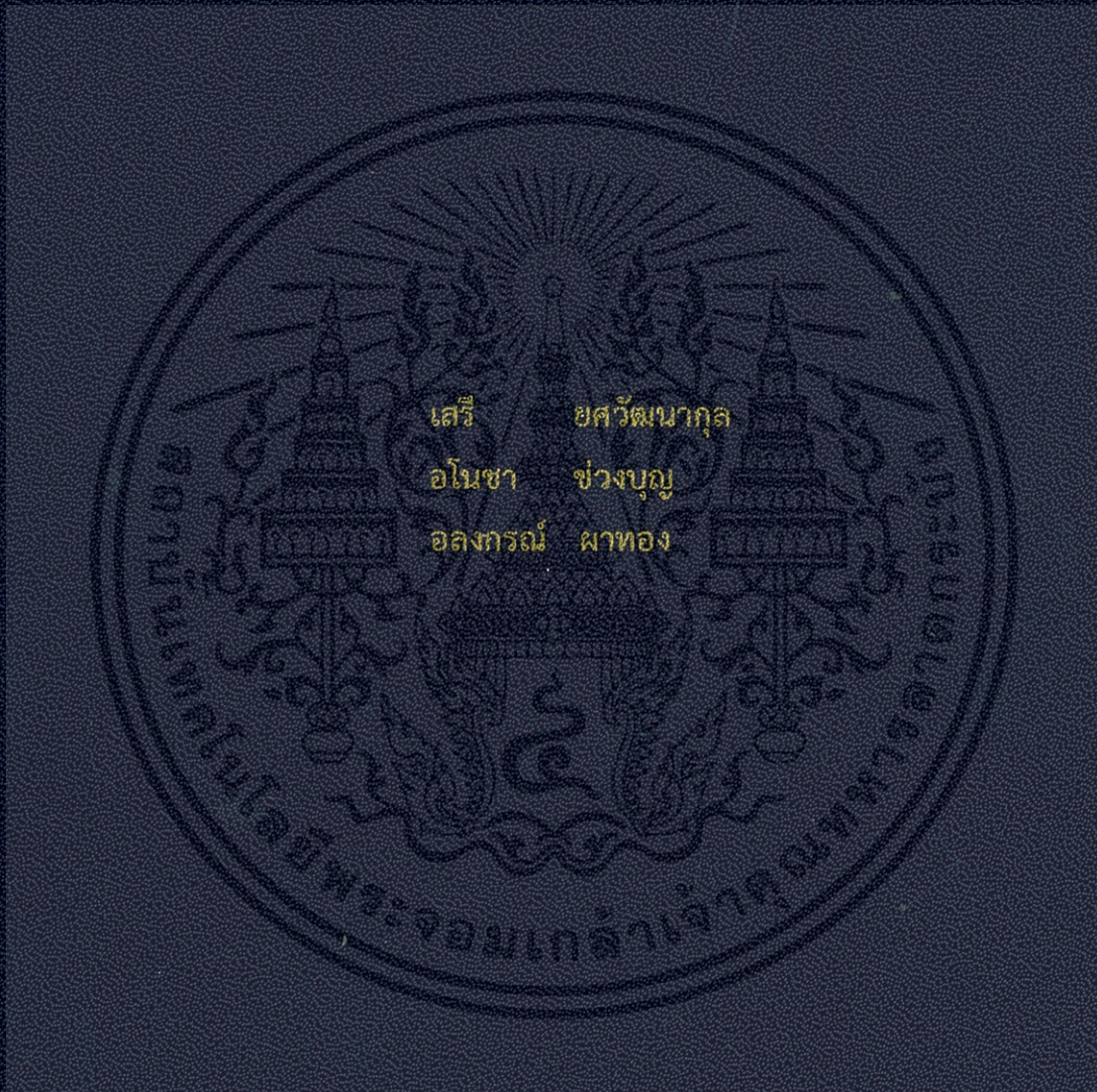


เครื่องวัดความหนืดน้ำมัน

OIL VISCOMETER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เครื่องวัดความหนืดน้ำมัน
OIL VISCOMETER



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OIL VISCOMETER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOT THE DEGREEOF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACUTY OF ENGINEERING
KING MONGKOT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ เครื่องวัดความหนืดน้ำมัน
Oil Viscometer

นักศึกษาผู้จัดทำ เสรี ยศวัฒนากุล รหัสนักศึกษา 53011806
อโนชา ช่างบุญ รหัสนักศึกษา 53011853
อลงกรณ์ ผาทอง รหัสนักศึกษา 53011899

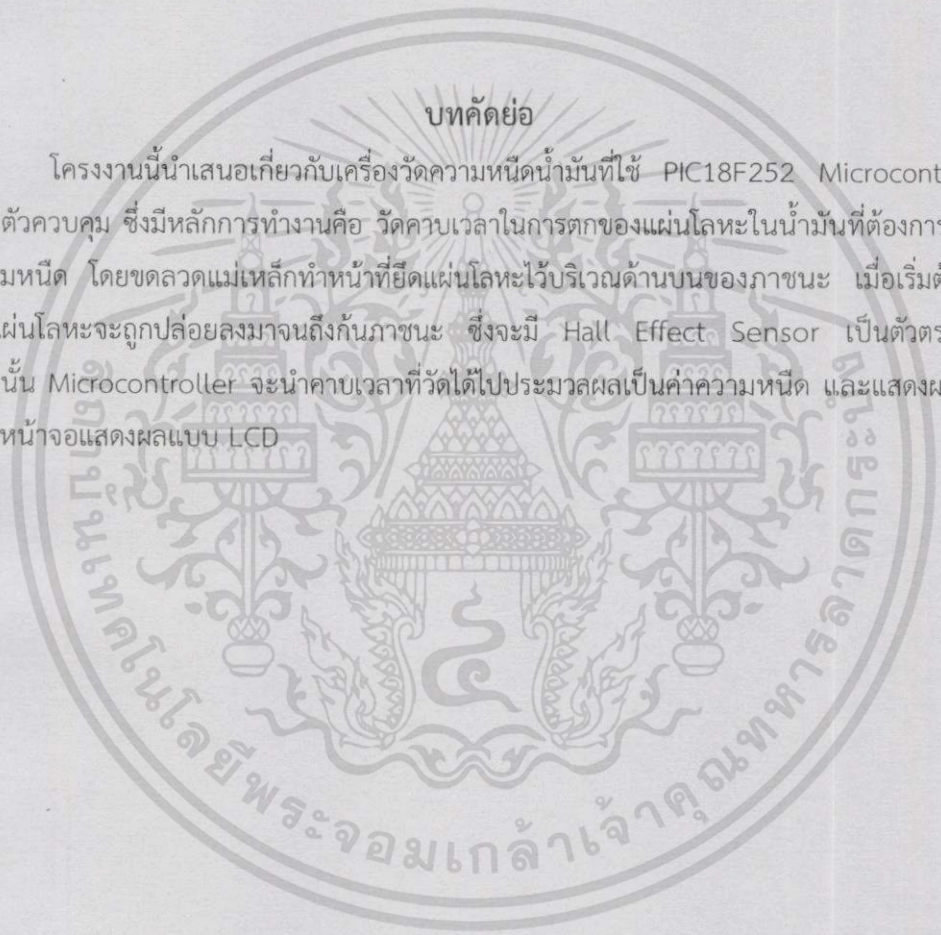
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2556

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
อาจารย์สุธรรม สัตธรรมสกุล	

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องวัดความหนืดน้ำมัน			
	Oil Viscometer			
นักศึกษาผู้จัดทำ	เสรี	ยศวัฒน์ากุล	รหัสนักศึกษา	53011806
	อโนชา	ช่วงบุญ	รหัสนักศึกษา	53011853
	อลงกรณ์	ผาทอง	รหัสนักศึกษา	53011899
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุธรรม สัทธรรมสกุล			
ปีการศึกษา	2556			

บทคัดย่อ

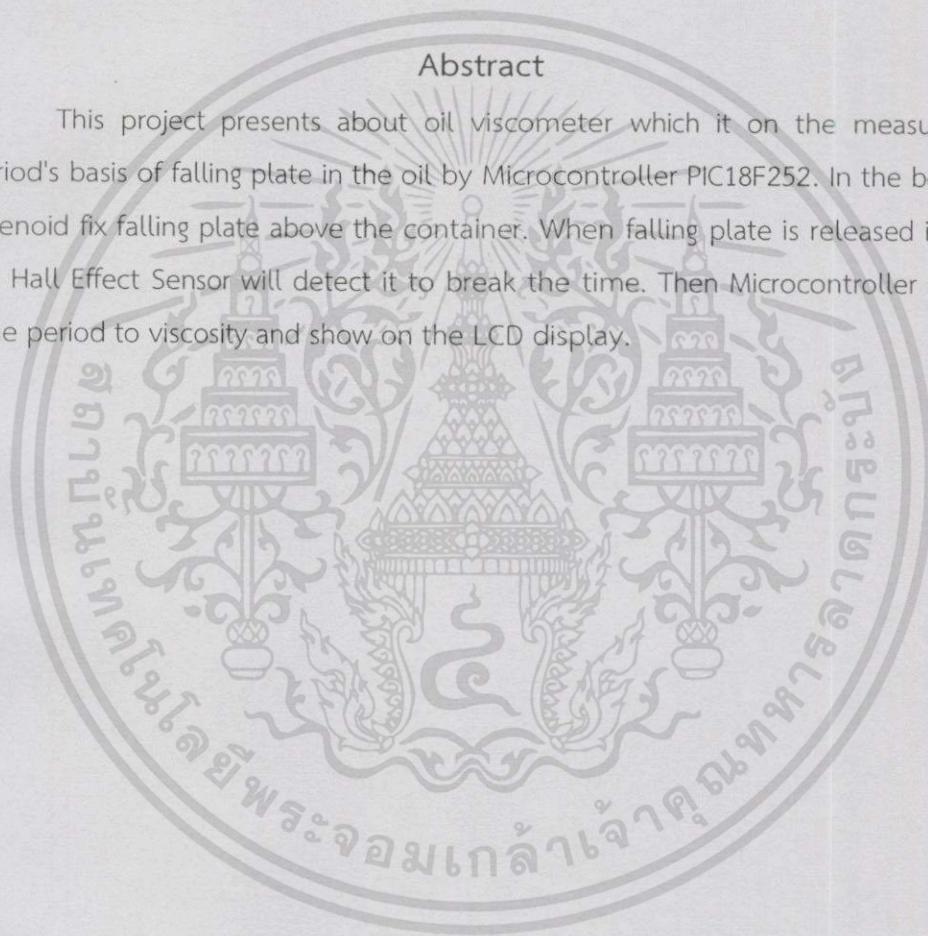
โครงการนี้นำเสนอเกี่ยวกับเครื่องวัดความหนืดน้ำมันที่ใช้ PIC18F252 Microcontroller เป็นตัวควบคุม ซึ่งมีหลักการทำงานคือ วัดคาบเวลาในการตกของแผ่นโลหะในน้ำมันที่ต้องการวัดค่าความหนืด โดยขดลวดแม่เหล็กทำหน้าที่ยึดแผ่นโลหะไว้บริเวณด้านบนของภาชนะ เมื่อเริ่มต้นการวัดแผ่นโลหะจะถูกปล่อยลงมาจนถึงก้นภาชนะ ซึ่งจะมี Hall Effect Sensor เป็นตัวตรวจจับ จากนั้น Microcontroller จะนำคาบเวลาที่วัดได้ไปประมวลผลเป็นค่าความหนืด และแสดงผลออกทางหน้าจอแสดงผลแบบ LCD



Thesis Title	OIL VISCOMETER	
Authors	Mr. Seree	Yotwattankul
	Mr. Anocha	Khuangboon
	Mr. Alongkorn	Phatong
Thesis Advisor	Mr. Sutham	Satthamsakul
Year	2013	

Abstract

This project presents about oil viscometer which it on the measurement period's basis of falling plate in the oil by Microcontroller PIC18F252. In the beginner, solenoid fix falling plate above the container. When falling plate is released into the oil. Hall Effect Sensor will detect it to break the time. Then Microcontroller convert time period to viscosity and show on the LCD display.



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความช่วยเหลือ สนับสนุน ให้ความร่วมมือ และคำแนะนำจากคณาจารย์ ในระดับบัณฑิตศึกษาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะกรรมการผู้สอบปริญญานิพนธ์ ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องจำนวนมาก ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร อาจารย์สาธ คำมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การให้คำปรึกษา คำแนะนำอย่างดี จากอาจารย์สุธรรม สัทธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงานและคณะกรรมการผู้สอนทุกท่าน

ผู้จัดทำได้รับกำลังใจความช่วยเหลือและการสนับสนุน จากเพื่อนร่วมชั้นเรียนหลักสูตร วิศวกรรมการวัดคุม ซึ่งผู้วิจัยมีความซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ จนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ และมอบให้แก่ผู้ที่สนใจศึกษาทั้งหมด



คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ความหนืด.....	3
2.2 น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์.....	5
2.2.1 คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์.....	6
2.2.2 มาตรฐานน้ำมันเครื่อง.....	7
2.2.2.1 มาตรฐานน้ำมันเครื่องตามสภาพใช้งาน.....	7
2.2.2.2 มาตรฐานน้ำมันเครื่องตามความหนืด.....	8
2.2.3 การตรวจสอบความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น.....	9
2.2.3.1 หลักการทดสอบโดยใช้หลอดแคปพิลลารี.....	9
2.2.3.2 หลักการทดสอบโดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบปล่อยลูกตก.....	10
2.2.3.2 หลักการทดสอบโดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบหมุน.....	11
2.2.4 อุณหภูมิกับค่าความหนืด.....	12
2.2.5 ดัชนีความหนืด.....	12
2.3 กฎของสโตกส์.....	13

สารบัญ(ต่อ)

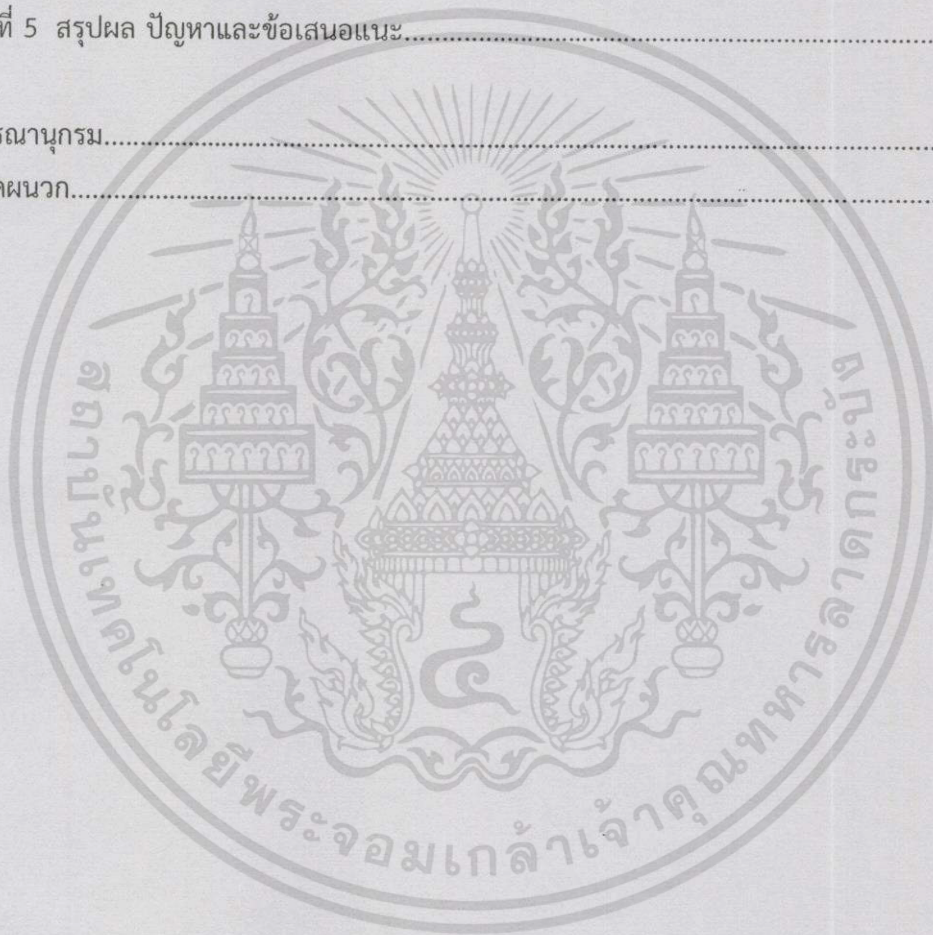
	หน้า
2.4 แม่เหล็กไฟฟ้า.....	15
2.5 Hall Effect.....	15
2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC	16
2.6.1 ชนิดของ PIC	17
2.6.1.1 OTP (one time programmable).....	17
2.6.1.2 EPROM (erasable programmable ROM).....	17
2.6.1.3 EEPROM/Flash.....	17
2.6.2 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ในแต่ละกลุ่ม.....	17
2.6.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16C5XX.....	18
2.6.2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC12CXXX และ PIC12FXXX.....	18
2.6.2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC17CXX.....	18
2.6.2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16FXXX.....	18
2.6.2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC18CXXX และ PIC18FXXX.....	18
2.7 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิสัญญาณ.....	18
2.7.1 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิสัญญาณอนาล็อก.....	19
2.7.1 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิสัญญาณดิจิตอล.....	19
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง.....	21
3.1 การออกแบบโครงสร้างของเครื่องวัดความหนืด.....	21
3.2 การออกแบบและการจำลองการทำงานของวงจรควบคุมของเครื่องวัดความหนืด.....	24
3.2.1 การออกแบบวงจรควบคุมของเครื่องวัดความหนืด.....	25
3.2.1.1 PIC18F252 Microcontroller.....	25
3.2.1.1.1 คุณสมบัติของ PIC18F252.....	25
3.2.1.1.2 การใช้งานโมดูลแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล.....	26
3.2.1.2 Hall Effect Sensor.....	28
3.2.1.3 Temperature Sensor LM35DZ.....	29
3.2.1.4 LCD.....	30
3.2.1.5 อุปกรณ์ต่อร่วมอื่นๆ.....	31

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.2. จำลองการทำงานของวงจรควบคุม.....	32
3.3 การออกแบบโปรแกรมซอฟต์แวร์.....	33
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	35
4.1 ทดลองวัดความหนืดจากเครื่องมาตรฐานและจับเวลาตกของ Falling Plate.....	35
4.1.1 ทดลองวัดความหนืดจากเครื่องวัดความหนืดมาตรฐาน.....	35
4.1.1.1 อุปกรณ์การทดลอง.....	36
4.1.1.2 ผลการทดลอง.....	36
4.1.2 ทดลองจับเวลาการตกของ Falling Plate.....	36
4.1.2.1 อุปกรณ์การทดลอง.....	36
4.1.2.2 วิธีการทดลอง.....	37
4.1.2.3 ผลการทดลอง.....	37
4.1.2.3.1 ผลการทดลองการจับเวลาการตกของแผ่นเพลท A.....	37
4.1.2.3.2 ผลการทดลองการจับเวลาการตกของแผ่นเพลท B.....	37
4.1.2.3.3 ผลการทดลองการจับเวลาการตกของแผ่นเพลท C.....	38
4.1.2.3.4 ผลการทดลองการจับเวลาการตกของแผ่นเพลท D.....	38
4.1.2.3.5 ผลการทดลองการจับเวลาการตกของแผ่นเพลท E.....	38
4.1.2.3.6 ผลการทดลองการจับเวลาการตกของแผ่นเพลท F.....	39
4.1.2.3.7 ผลการทดลองการจับเวลาการตกของแผ่นเพลท G.....	39
4.1.2.3.8 ผลการทดลองการจับเวลาการตกของแผ่นเพลท H.....	39
4.1.2.4 สรุปผลการทดลอง.....	41
4.2 การทดลองหาสมการแปลงค่าเวลาการตกเป็นความหนืด.....	42
4.2.1 อุปกรณ์การทดลอง.....	43
4.2.2 วิธีการทดลอง.....	43
4.2.3 ผลการทดลอง.....	43
4.2.4 สรุปผลการทดลอง.....	45
4.3 ตัวอย่างการหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิ.....	45
4.3.1 อุปกรณ์การทดลอง.....	45

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3.2 วิธีการทดลอง.....	46
4.3.3 ผลการทดลอง.....	46
4.2.4 สรุปผลการทดลอง.....	47
บทที่ 5 สรุปผล ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	49
บรรณานุกรม.....	50
ภาคผนวก.....	51



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่าของของเหลวชนิดต่างๆ ในหน่วย cP (Centipoise).....	4
2.2 แสดงค่าความหนืดจลน์โดยการจัดระดับตามระบบ ISO และ SAE.....	10
3.1 คุณลักษณะของ Falling Plate แต่ละแผ่น.....	23
3.2 คุณสมบัติของ PIC18F252.....	26
3.3 แสดงสัญญาณนาฬิกาสำหรับโมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลภายใน MCU.....	27
4.1 ค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่าง 4 ชนิดจากเครื่องวัดความหนืดมาตรฐาน.....	36
4.2 เวลาการตกของ Falling Plate A ในน้ำและน้ำมัน 4 ชนิด.....	37
4.3 เวลาการตกของ Falling Plate B ในน้ำและน้ำมัน 4 ชนิด.....	38
4.4 เวลาการตกของ Falling Plate C ในน้ำและน้ำมัน 4 ชนิด.....	38
4.5 เวลาการตกของ Falling Plate D ในน้ำและน้ำมัน 4 ชนิด.....	38
4.6 เวลาการตกของ Falling Plate E ในน้ำและน้ำมัน 4 ชนิด.....	39
4.7 เวลาการตกของ Falling Plate F ในน้ำและน้ำมัน 4 ชนิด.....	39
4.8 เวลาการตกของ Falling Plate G ในน้ำและน้ำมัน 4 ชนิด.....	39
4.9 เวลาการตกของ Falling Plate H ในน้ำและน้ำมัน 4 ชนิด.....	40
4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความหนืดของ Falling Plate แต่ละชนิด.....	40
4.11 ค่าความหนืดของน้ำมัน 4 ชนิดที่ 27 °C จากเครื่องวัดความหนืดมาตรฐาน.....	44
4.12 แสดงค่าเวลาการตกของน้ำและน้ำมันชนิดต่างๆจากเครื่องวัดความหนืด.....	44
4.13 แสดงค่าความหนืดของน้ำมันจากเครื่องวัดความหนืดความผิดพลาดและความแม่นยำ.....	45
4.14 ค่าความหนืดของน้ำมันเบอร์ 20W-50 ในแต่ละอุณหภูมิ.....	47

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการเกิด velocity gradient เมื่อมีแรงมากระทำในแนวนานกับพื้นผิวของของไหล.....	3
2.2 เครื่องวัดความหนืดแบบหลอดแคปิลลารี.....	9
2.3 เครื่องวัดความหนืดแบบปล่อยลูกตก.....	11
2.4 เครื่องวัดความหนืดแบบหมุน.....	11
2.5 แผนภูมิแสดงความหนืดของน้ำมันเกรด ISO-VG แต่ละชนิดที่อุณหภูมิต่างๆ.....	12
2.6 การระบุค่าดัชนีความหนืด.....	13
2.7 แรงที่กระทำต่อลูกกลมโลหะที่ตกในของเหลว.....	14
2.8 แสดงการสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในตัวนำ.....	15
2.9 แสดงปรากฏการณ์ฮอลล์บนวัตถุตัวนำ.....	16
2.10 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิสัญญาณดิจิทัลในปัจจุบัน.....	19
3.1 แสดงการออกแบบเครื่องวัดความหนืด.....	21
3.2 การออกแบบและพื้นการไหลของ Falling Plate.....	23
3.3 แสดง Falling Plate.....	24
3.4 แสดงแบบวงจรของวงจรควบคุมเครื่องวัดความหนืด.....	24
3.5 PIC18F252.....	25
3.6 การต่อ Hall Effect Sensor.....	28
3.7 Hall Effect Sensor A1302.....	29
3.8 Temperature Sensor LM35DZ.....	30
3.9 จอ LCD 16x2.....	31
3.10 แสดง Print Circuit Board.....	32
3.11 การจำลองการทำงานของวงจรควบคุมในโปรแกรม Proteus.....	32
3.12 แผนผังแสดงลำดับการทำงาน.....	33
3.13 เครื่องวัดความหนืดน้ำมัน.....	34
4.1 เครื่องวัดความหนืดแบบหมุน (Brookfeild Viscometer model DV-II+ Pro.)ในการทดลอง..	35
4.2 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความหนืดของ Falling Plate แต่ละชนิด.....	40
4.3 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความหนืดของ Falling Plate F.....	42
4.4 การทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิภายใต้สภาวะเดียวกัน.....	43
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาจากเครื่องวัดความหนืดกับความหนืดจากเครื่องมาตรฐาน.....	45

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิของน้ำมัน 20W-50.....	47
4.7 แผนภาพแสดงการประมาณการความหนืดที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ.....	48



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของวิทยานิพนธ์

เนื่องจากความหนืดเป็นตัวบ่งชี้คุณสมบัติการไหลของน้ำมันแต่ละชนิด เมื่อค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงจะแสดงให้เห็นถึงคุณภาพน้ำมันที่ใช้งาน ประสิทธิภาพ และระยะเวลาคงเหลือที่จะใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ในภาคอุตสาหกรรมจะใช้น้ำมันในการทำงานหลายๆด้าน เช่น น้ำมันหล่อลื่นในเครื่องจักรกล เมื่อใช้งานเป็นเวลานานจะทำให้คุณภาพของน้ำมันลดลง การตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันเหล่านี้ต้องส่งไปห้องตรวจสอบซึ่งมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงและใช้เวลานาน อีกทั้งเครื่องวัดความหนืดในปัจจุบันมีราคาแพง จึงเกิดแนวคิดในการผลิตเครื่องวัดความหนืดน้ำมัน เพื่อตรวจสอบคุณภาพ และลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อเครื่องวัดคุณภาพและวัดความหนืดน้ำมันในราคาแพง

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาวิธีการวัดค่าความหนืดของน้ำมัน
2. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องวัดความหนืดที่สามารถใช้งานได้ง่าย
3. เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

เครื่องวัดความหนืดสามารถวัดและแสดงค่าความหนืดของน้ำมันในหน่วยที่เป็นสากล

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับปริญญานิพนธ์
2. ศึกษาตำรา ค้นหาข้อมูล
3. ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการเพื่อวางแผนการจัดทำโครงการ
4. ออกแบบชิ้นงาน
5. ออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์และจำลองการทำงาน
6. ออกแบบโปรแกรมควบคุมทดสอบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
7. ทดสอบการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์พร้อมโปรแกรม
8. ประกอบเครื่องวัดความหนืด

9. ออกแบบและทำการทดลองสำหรับหาค่าคงที่และค่าความหนืด
10. จัดทำรายงานของโครงการ
11. สรุปและประเมินผล

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สร้างเครื่องวัดความหนืดที่สามารถวัดค่าความหนืดในหน่วยสากล มีราคาประหยัดต้นทุนต่ำ สามารถใช้งานได้สะดวก มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับที่ยอมรับได้



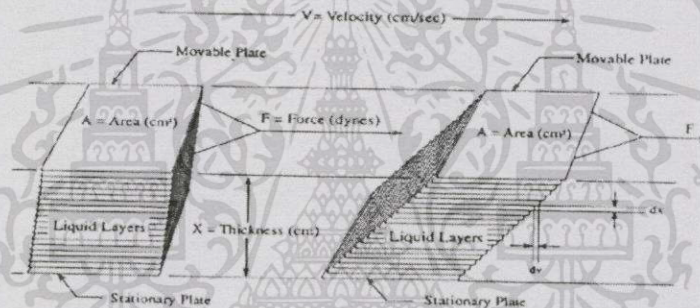
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหนืด

ความหนืด (Viscosity) คือ ความสามารถในการต้านทานการไหลของของไหล (ของไหล หมายถึง สสารที่สามารถไหลได้ เช่น ก๊าซ ของเหลว เป็นต้น) เมื่อมีแรงมากระทำของไหลที่มีความหนืดสูงจะมีค่าความต้านทานต่อการไหลสูง ของไหลที่มีความหนืดต่ำจะมีค่าความต้านทานต่อการไหลต่ำ ของไหลธรรมดาสามารถที่จะแสดงค่าความหนืดสัมบูรณ์ได้ แต่ในขณะที่ของไหลที่มีส่วนผสมของสารหลายตัวจะมีลักษณะการไหลที่ซับซ้อนและไม่สามารถแสดงค่าความหนืดค่าเดียวได้



รูปที่ 2.1 แสดงการเกิด velocity gradient เมื่อมีแรงมากระทำในแนวขนานกับพื้นผิวของของไหล

การวัดความหนืดทำได้โดยการวัดแรงต้านทานการไหลภายในของของไหล เมื่อมีแรงมากระทำ (F) ในแนวขนานกับพื้นผิว เรียกแรงต้านที่เกิดขึ้นนี้ว่า แรงเฉือน (Shear force) เมื่อพิจารณาถึงก้อนของไหลซึ่งประกอบด้วยแผ่นโมเลกุลที่ขนานกัน (ดังรูปที่ 2.1) ชั้นที่อยู่ล่างสุดของของไหลจะถูกยึดไว้ถ้าแผ่นด้านบนของของไหลได้รับแรงกระทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ แผ่นด้านล่างถดถอยไปจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทาง จากแผ่นของไหลชั้นล่างสุดที่ไม่เคลื่อนที่ ความแตกต่างของความเร็ว (dv) ระหว่างของไหลสองแผ่นกับระยะทางที่เปลี่ยนไป (dx) ก็คืออัตราเฉือน (Shear rate) ที่อยู่ในเทอมของ velocity gradient (dv/dx, S) ค่าแรงต่อหน่วยพื้นที่ (F/A) ที่ทำให้เกิดการไหล เรียกว่า แรงเฉือนต่อหน่วยพื้นที่ (Shear stress, F') ถ้าของไหลมีความหนืดสูงขึ้น ก็ต้องใช้แรงเฉือนที่สูงขึ้นเพื่อให้ได้อัตราเฉือนเท่าเดิม ดังนั้นอัตราเฉือนจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ แรงเฉือน ดังสมการที่ 2.1

$$F/A = \eta \frac{dv}{dx} \quad (2.1)$$

η คือ สัมประสิทธิ์ของความหนืด (coefficient of viscosity) หรือเรียกง่าย ๆ ว่า "ความหนืด" ตามหลักของเซอร์ไอแซก นิวตัน (Isaac Newton) ค่าจำกัดความของความหนืดสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ ดังสมการที่ 2.2

$$\eta = \frac{F'}{S} \quad (2.2)$$

เมื่อ F' คือ แรงเฉือนต่อหน่วยพื้นที่มีหน่วยเป็น dynes/cm² s หรือ Pascal (Pa)

S คือ อัตราเฉือนมีหน่วยเป็น Sec⁻¹

หน่วยของความหนืด คือ พาสคัลวินาที (Pa.s) ในหน่วย SI และ dyne.sec.cm⁻² หรือ gram.cm⁻¹.sec⁻¹ เรียกเป็น poise

1 poise คือ แรงที่ใช้ทำให้ของเหลวที่มีพื้นที่หน้าตัด 1 cm² หนา 1 cm เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 cm/sec โดยที่ 10 poise = 1 Pa.s

cPs	Temp(°F)	Fluid	cPs	Temp(°F)	Fluid
1	65	Water	1600-17,400	60	SAE 70 motor oil
2	60	Turpentine	2000	75	Barbecue sauce
3	40	Milk	2200	70	Pancake butter
3	68	Kerosene	2250	62	Chocolate syrup
8	70	Gasoline	2400	70	Water based paint
11	60	#2 Fuel oil	2600	40	Tomato sauce
14	60	#2 Diesel	3000-65,000	65	Glue
18	60	Beer	3800	70	Lard
20	40	Cream	4000	60	Newspaper Ink
40	65	Vegetable oil	5000	160	Titanium dioxide
50	70	Sugar syrup - 60 Brix	5000	75	Salad dressing
68	100	Raw honey	5000	70	Shampoo
75	70	Liquid wax	5000	65	Hand lotion
88-206	60	SAE 10 motor oil	5000	65	Epoxy resin
94	60	Sesame oil	5000	38	OJ concentrate
103	60	Peanut oil	5000	62	Neoprene latex
110	60	Coconut oil	5000-40,000	70	Mayo
125-330	60	SAE 20 motor oil	6000	70	Sweetened condense milk
180	65	Tomato juice	10,000	70	Butter
200-540	60	SAE 30 motor oil	10,000	40	Yogurt
319-970	60	SAE 40 motor oil	15,000	45	Sour cream
540-2000	60	SAE 50 motor oil	36,000	80	Hot fudge
1000-3000	60	SAE 60 motor oil	250,000	65	Peanut butter

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าของของเหลวชนิดต่างๆ ในหน่วย cP (Centipoise)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์

น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ (motor oil, engine oil) หรือเรียกกันโดยทั่วไปว่า น้ำมันหล่อลื่น หรือ น้ำมันเครื่อง หน้าที่ลดแรงเสียดทานของวัตถุชิ้นที่เสียดสีกัน ระบายความร้อนของเครื่องยนต์ เคลือบช่องว่างระหว่างผิวสัมผัส ทำความสะอาดเขม่าและเศษโลหะภายในเครื่องยนต์ ป้องกันการกัดกร่อนจากสนิมและกรดต่างๆ และป้องกันกำลังอัดของเครื่องยนต์รั่วไหล เป็นต้น ซึ่งน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ประกอบไปด้วย 2 ส่วนที่สำคัญคือ น้ำมันพื้นฐาน และสารเพิ่มคุณภาพ

1. น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานอยู่มี 3 ประเภทได้แก่ น้ำมันพืชหรือสัตว์ น้ำมันแร่ และน้ำมันสังเคราะห์ แต่ส่วนใหญ่แล้วจะใช้น้ำมันแร่เพราะมีคุณภาพดีเพียงพอและราคาถูก น้ำมันชนิดอื่นจะใช้ในงานที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษ ๆ บางอย่างเท่านั้น

1) น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ (Vegetable or Animal Oils) ในสมัยก่อนมีการใช้ในงานหลายอย่าง แต่เนื่องจากน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ที่ได้จากธรรมชาติก็มีความอยู่ตัวทางเคมีต่ำ เกิดเสื่อมสภาพได้ง่ายในขณะใช้งาน จึงต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งราคาก็จะแพงขึ้นมาก จึงหมดความนิยมไป น้ำมันพืชที่คุ้นเคยได้แก่ น้ำมันละหุ่ง น้ำมันปาล์ม น้ำมันสัตว์ที่เคยใช้กันได้แก่ น้ำมันหมู น้ำมันปลา ปัจจุบันมีการใช้น้ำมันพืชหรือสัตว์เป็นน้ำมันพื้นฐานน้อยมาก และใช้เฉพาะในงานหล่อลื่นที่ทำมาจากน้ำมันปิโตรเลียม เช่น เพื่อเพิ่มความลื่นและความสามารถในการเข้ากับน้ำ เป็นต้น

2) น้ำมันแร่ (Mineral Oils) เป็นน้ำมันพื้นฐานที่ใช้กันมากที่สุดเพราะนอกจากคุณภาพดีแล้วราคายังถูกด้วย น้ำมันแร่ได้จากการเอาส่วนที่อยู่ก้นหอกถันบรรยากาศมาผ่านขบวนการกลั่นภายใต้สูญญากาศแยกเอาน้ำมันหล่อลื่นชนิดใสและชนิดข้นออกมา ที่เหลือเป็นกากก็นำไปผลิตยางมะตอย ชนิดและปริมาณของน้ำมันแร่ที่แยกออกมาได้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันดิบที่นำมากลั่น น้ำมันดิบบางอย่างก็ไม่เหมาะที่จะมาผลิตน้ำมันแร่ น้ำมันแร่ที่ได้จากการกลั่นแยกภายใต้สูญญากาศนี้ ปกติจะยังมีคุณภาพที่ไม่ดีพอที่จะนำมาใช้ผลิตน้ำมันหล่อลื่น ต้องผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อขจัดเอาสารที่ไม่ต้องการออก เพื่อให้มีความอยู่ตัวเชิงเคมีและเชิงความร้อนดี น้ำมันแร่ที่นำมาใช้ทำน้ำมันหล่อลื่นแบ่งความดัชนีความหนืด ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงความหนืดตามอุณหภูมิแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่มีดัชนีความหนืดสูง กลาง และต่ำ น้ำมันแร่ที่มีดัชนีความหนืดสูงได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบประเภทแนฟทาสิก (Naphthenic)

3) น้ำมันสังเคราะห์ (Synthetic Oils) เป็นน้ำมันที่สังเคราะห์ขึ้นโดยขบวนการทางเคมี วัสดุเริ่มต้นที่ซึ่มักจะมาจากน้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันสังเคราะห์ที่ใช้กันมีอยู่หลายชนิดแต่ราคาค่อนข้างแพง ในปัจจุบันใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเฉพาะในงานพิเศษที่ต้องการคุณสมบัติด้านดัชนีความหนืดสูง จุดไหลเทต่ำและมีการระเหยต่ำ เป็นต้น

2. สารเพิ่มคุณภาพ (Additives) คือ สารเติมสารในปริมาณที่พอดี เพื่อเพิ่มคุณสมบัติทั้งด้านเคมีและกายภาพของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานให้ดี เหมาะสมกับงานที่ต้องการ สารเพิ่มคุณภาพมีอยู่มากมายหลายชนิดและประเภท แต่ที่ใช้กันมากได้แก่

- สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น
- สารป้องกันการสึกหรอ
- สารป้องกันสนิม
- สารป้องกันฟอง
- สารรับแรงกดสูง
- สารเพิ่มดัชนีความหนืด
- สารชะล้าง/กระจายสิ่งสกปรก
- สารเพิ่มความแตกต่าง

น้ำมันหล่อลื่นมักจะผลิตขึ้นมาเพื่อใช้งานเฉพาะอย่าง เช่น น้ำมันเครื่องยนต์ น้ำมันเครื่องยนต์ น้ำมันเกียร์ น้ำมันไฮดรอลิก เป็นต้น ในการที่จะผลิตน้ำมันหล่อลื่นชนิดหนึ่งขึ้นมา นั้น จะมีการพิจารณาถึงหน้าที่ที่น้ำมันหล่อลื่นนั้นจะต้องกระทำ และสภาวะต่าง ๆ ที่น้ำมันหล่อลื่นนั้นต้องประสบในขณะที่ทำงานหล่อลื่น จากนั้นจึงสามารถกำหนดคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่ต้องการ แล้วจึงเลือกสรรน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน และชนิด/ปริมาณของสารเพิ่มคุณภาพที่เหมาะสมกับงานที่ต้องการ น้ำมันหล่อลื่นแต่ละชนิดจึงใช้น้ำมันพื้นฐานชนิดและปริมาณของสารเพิ่มคุณภาพไม่เหมือนกัน

สารเพิ่มคุณภาพต่าง ๆ ที่เติมในน้ำมันหล่อลื่นนั้น ส่วนใหญ่แล้วเป็นสารเคมีซึ่งปกติจะมีความเป็นกรดอ่อนหรือด่างอ่อนที่เป็นกลางก็มีอยู่บ้าง ความซับซ้อนในการออกสูตรน้ำมันหล่อลื่นอยู่ตรงที่ การเลือกสรรสารเพิ่มคุณภาพชนิดต่าง ๆ ที่จะต้องมาอยู่ด้วยกันไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีต่อกัน และบางครั้งก็ช่วยเสริมคุณสมบัติซึ่งกันและกัน ดังนั้นการนำน้ำมันต่างชนิดกันมาผสมหรือใช้ปะปนกัน จึงเป็นสิ่งที่ไม่ควรกระทำ เพราะมีความเสี่ยงที่สารเคมีเพิ่มคุณภาพในน้ำมันทั้งสองชนิดนั้นเกิดทำปฏิกิริยาต่อกันตกตะกอนและเสื่อมคุณสมบัติไปได้ นอกจากจะได้มีการทดสอบอย่างแน่ชัดแล้วว่า น้ำมันทั้งสองสามารถเข้ากันได้

2.2.1. คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่น

1) ความหนืด - ความหนืดเป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญที่สุดที่จะไปพิจารณาเป็นอย่างแรกในการเลือกใช้น้ำมันหล่อลื่นให้เหมาะกับงาน น้ำมันที่มีความหนืดต่ำจะให้ฟิล์มหล่อลื่นที่บางทำให้ไม่สามารถรับภาระน้ำหนักได้มาก แต่สามารถแทรกตัวไปตามส่วนต่าง ๆ ที่ต้องการหล่อลื่นได้อย่างรวดเร็วและระบายความร้อนได้ดี ส่วนน้ำมันที่มีความหนืดสูงจะให้ฟิล์มหล่อลื่นที่หนาจึงสามารถรับแรงกดได้ดีกว่า แต่จะต้องเสียพลังงานในการเฉือนฟิล์มน้ำมันมากขึ้นและระบายความร้อนได้ช้า ความหนืดจะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของน้ำมัน กล่าวคือหนืดมากเมื่ออุณหภูมิลดลง และหนืดน้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น วิธีการวัดความหนืดทำโดยการจับเวลาที่น้ำมันปริมาณหนึ่งหนอยไหลผ่านรูหลอดแก้วของเครื่องวัดความหนืด (Viscometer) ภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่ถูกต้องควบคุมให้คงที่

2) ดัชนีความหนืด - ตัวเลขที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นกับอุณหภูมิโดยการเปรียบเทียบกับน้ำมันมาตรฐาน น้ำมันที่มีค่าดัชนีความหนืดสูงจะมีค่าความหนืดเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปน้อยกว่าน้ำมันที่มีค่าดัชนีความหนืดต่ำ

3) จุดไหลเท - เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันลดต่ำลงความหนืดหรือความต้านทานการไหลของน้ำมันจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนในที่สุดน้ำมันจะหยุดไหล อุณหภูมิสูงสุดที่น้ำมันเริ่มหยุดไหลเรียกว่า “จุดไหลเท” น้ำมันหล่อลื่นที่ได้มาจากน้ำมันดิบประเภทพาราฟินิก จะมีจุดไหลเทกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากน้ำมันดิบประเภทเนฟทานิก เนื่องจากมีส่วนประกอบของไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลประเภทที่ทำให้เกิดไขสูง

4) จุดวาบไฟ - อุณหภูมิต่ำที่น้ำมันจะต้องถูกทำให้ร้อนขึ้นจนไอของน้ำมันระเหยออกมาเพียงพอที่จะติดไฟ ซึ่งในการประเมินถึงความเหมาะสมของน้ำมันหล่อลื่นในด้านความปลอดภัยสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิสูง

2.2.2. มาตรฐานน้ำมันเครื่อง

2.2.2.1. มาตรฐานน้ำมันเครื่องตามสภาพการใช้งาน

มาตรฐานน้ำมันเครื่องกำหนดขึ้นมาจาก ผลการทดสอบกับเครื่องยนต์แบบต่างๆ ที่กำหนดวิธีการทดสอบให้ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงๆ ในสภาพต่างๆ แล้วเทียบเป็นมาตรฐานจากระดับต่ำ ไปสู่ระดับสูงเพื่อให้สอดคล้องกับวิวัฒนาการของเครื่องยนต์ที่ต้องทำงานหนักมากขึ้น ซึ่งต้องการน้ำมันเครื่องที่มีคุณภาพสูงขึ้นตามมาตรฐานที่ใช้อ้างอิง ได้แก่

1) มาตรฐานน้ำมันเครื่อง API (American Petroleum Institute) สถาบันปิโตรเลียมแห่งอเมริกา กำหนดดังนี้

1.1 มาตรฐานน้ำมันเครื่องเบนซินใช้อักษร S (Service Station) เริ่มตั้งแต่ SA, SB, SC, SD, SE ซึ่งล้าสมัยและยกเลิกไปแล้ว ปัจจุบันที่ใช้อ้างอิงกันอยู่ ได้แก่ SF, SH, SJ และ SL ที่เป็นมาตรฐานสูงสุดที่ประกาศใช้ล่าสุดเมื่อ 1 ส.ค. 2544

1.2 มาตรฐานน้ำมันเครื่องยนต์ดีเซล ใช้อักษร C (Commercial หรือ Compression) เริ่มตั้งแต่ CA, CB ซึ่งถูกยกเลิกไปแล้วเช่นกัน ปัจจุบันที่ยังใช้อ้างอิงกัน ได้แก่ CC, CD, CF, CE, CF-4, CG-4 และ CH-4 ซึ่งเป็นมาตรฐานสูงสุดในปัจจุบันที่ประกาศออกใช้ในปี 2542 สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ มาตรฐานที่ใช้คือ CD-2 และ CF-2 น้ำมันเครื่องสามารถได้มาตรฐานทั้งเครื่องยนต์เบนซิน และเครื่องยนต์ดีเซลพร้อมกันได้ เช่น น้ำมันเครื่องเบนซินมาตรฐาน API SG อาจผ่านการทดสอบได้มาตรฐาน API CD จึงเรียกว่าน้ำมันเครื่องเบนซินมาตรฐาน API SG/CD ซึ่งสามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลมาตรฐานระดับ CD ได้ด้วย หรือน้ำมันเครื่องดีเซล API CF-4/SG ก็สามารถใช้กับเครื่องยนต์เบนซินมาตรฐานระดับ SG ได้ด้วย

2) มาตรฐานสหรัฐฯ (US.Military Specification หรือ MIL-L Spec.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดมาตรฐานใช้วิธีการทดสอบคล้ายๆ กับ API แต่แตกต่างกันที่แต่ละมาตรฐานต้องใช้ได้ทั้งเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์เบนซินด้วย หน่วยงานเอกชนนิยมนำมาตรฐานทหารนี้ไปใช้อ้างอิงด้วย

2.1) MIL-L-2104 เป็นมาตรฐานสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลทั้ง 4 และ 2 จังหวะ สามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์เบนซินด้วย ปัจจุบันที่ใช้กันอยู่ คือ MIL-L-2104 D (CD/SF), MIL-L-2104 (CE/SG), MIL-L-2014 F (CF-4/SG) และ MIL-PRF-2104 G

2.2) MIL-L-46152 เป็นมาตรฐานสำหรับเครื่องยนต์เบนซิน สามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ ได้ด้วย ปัจจุบันที่ใช้คือ MIL-L-46152 E (SG/CD)

3) มาตรฐาน CCMC ของยุโรป (Committee of Common Market Constructors) มาตรฐานนี้ได้ถูกยกเลิกไปแล้ว โดยมีมาตรฐานใหม่ คือ ACEA แทน

- เครื่องยนต์เบนซิน : CCMC (G1), (G2), (G3), (G4), (G5)
- เครื่องยนต์ดีเซลงานเบา : CCMC (D1), (D2), (D3), (D4), (D5)
- เครื่องยนต์ดีเซลใช้กับรถยนต์นั่ง (Passenger Diesel) : (PD-1), (PD-2)

4) มาตรฐาน ACEA ของยุโรป (Association des Constructeurs Europeen d'Automobil)

- เครื่องยนต์เบนซิน : ACEA A1, A2, A3 เทียบเท่า API SJ
- เครื่องยนต์ดีเซลงานเบา : ACEA B1, B2, B3, B4
- เครื่องยนต์ดีเซลงานหนัก : ACEA E1, E2, E3, E4, E5

5) มาตรฐานของบริษัทผู้ผลิตยานยนต์ (Manufacturers)

5.1 สำหรับเครื่องยนต์เบนซิน : VW 500.00, VW 501.01, VW 502.02, DB 229.1, ILSAC (GF-1), GF-2, GF-3

5.2 สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล : DB 227.0/1, DB 228.0/1, DB 228.2/3, DB 228.5, DB 229.1, VW 505.00, MAN 270, 271, MAN M 3275, MAN M 3277, VOLVO VDS, VOLVO VDS-2, MACK EO-K/2, MACK EO-L, MACK EO-M, SCANIA LDF, MTL 5044 TYPE 1,2,3 RVI E2, RVI E2R, RVI E3, RVI E3R, RVI RLD

2.2.2.2. มาตรฐานน้ำมันเครื่องตามความหนืด

การแบ่งแยกประเภทของน้ำมันตามความหนืด จะใช้มาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ (Society of Automotive Engineer : SAE) ใช้ระบุความหนืด (ความข้นใส) ของน้ำมันเครื่อง ค่ายิ่งมากก็ยิ่งมีความหนืดมาก โดยแบ่งน้ำมันเครื่องออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ

1) เกรดเดียว (Monograde) คือน้ำมันเครื่องที่มีค่าความหนืดค่าเดียว เช่น SAE 40 หมายความว่า ณ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส น้ำมันจะมีค่าความหนืดอยู่ที่ เบอร์ 40

2) เกรดรวม (Multigrade) คือน้ำมันเครื่องที่มีค่าความหนืด 2 ค่า เช่น SAE 20W-50 หมายความว่า ในอุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส น้ำมันจะมีค่าความหนืดอยู่ที่ เบอร์ 20 แต่เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 100 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนค่าความหนืดเป็น เบอร์ 50 อักษร "W" ใช้เป็นตัวบ่งบอกว่าค่าความหนืดนี้เป็นเกรดฤดูหนาว (วัดที่ -25 องศาเซลเซียส) หากไม่มีจะเป็นเกรดฤดูร้อน (วัดที่ 100 องศาเซลเซียส)

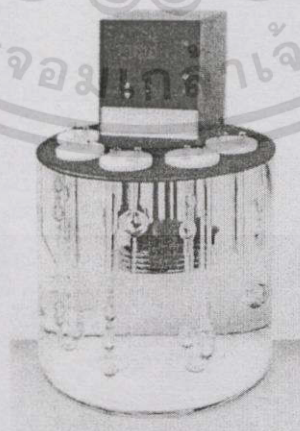
2.2.3 การตรวจสอบความหนืดของน้ำมันเครื่องหล่อลื่น

สมาคมวิศวกรหล่อลื่นและนักไตรโบโลยี (the Society of Tribologists and Lubrication Engineers : STLE) ได้ระบุว่า ความหนืดเป็นหนึ่งในคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของน้ำมัน ซึ่งความหนืดเป็นสิ่งแรกที่จะวัดในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพน้ำมันเนื่องจากความหนืดเป็นสิ่งสำคัญในการแสดงถึงคุณสมบัติการหล่อลื่น ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นมักจะถูกวัดโดยระบุเป็นความหนืด 2 ชนิด คือ ความหนืดจลน์ และความหนืดสัมบูรณ์

ความหนืดจลน์ (Kinematic viscosity) คือ ความต้านทานการไหลและแรงเฉือนของของเหลวเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก เช่น การไหลลงของน้ำมันสองชนิดที่มีความหนืดแตกต่างกัน โดยชนิดที่มีความหนืดมากจะไหลลงช้ากว่าน้ำมันที่มีความหนืดน้อย และ การตกของลูกเหล็กในของเหลว โดยชนิดที่มีความหนืดมากลูกบอลจะตกลงเร็วกว่าลูกบอลที่มีความหนืดน้อย

ความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute Viscosity) คือ ความต้านทานการไหลและแรงเฉือนของของเหลวเนื่องจากแรงเสียดทานภายใน เช่น การคนน้ำมันสองชนิดที่มีความหนืดแตกต่างกัน โดยน้ำมันที่มีความหนืดมากจะต้องใช้แรงคนที่มากกว่าน้ำมันที่มีความหนืดน้อย

2.2.3.1. หลักการทดสอบโดยใช้หลอดแคปิลลารี



รูปที่ 2.2 เครื่องวัดความหนืดแบบหลอดแคปิลลารี

การทดสอบโดยใช้หลอดแคปิลลารี เป็นหลักการที่นิยมมากสำหรับการวัดความหนืดจลน์ ซึ่งจะใช้เครื่องวัดความหนืดแบบหลอดแคปิลลารี (รูปที่ 2.2) ในการทดสอบ โดยหลักการของเครื่องคือ การบรรจุน้ำมันในหลอดแคปิลลารีรูปตัวยูและดูในน้ำมันอยู่ข้างหนึ่งของหลอดที่จุดเริ่มแล้วปล่อยในน้ำมันไหลลงมา น้ำมันที่มีความหนืดสูงจะไหลลงมาช้ากว่าน้ำมันที่มีความหนืดต่ำ ซึ่งขั้นตอนการวัดจะเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D445 และ ISO 3104

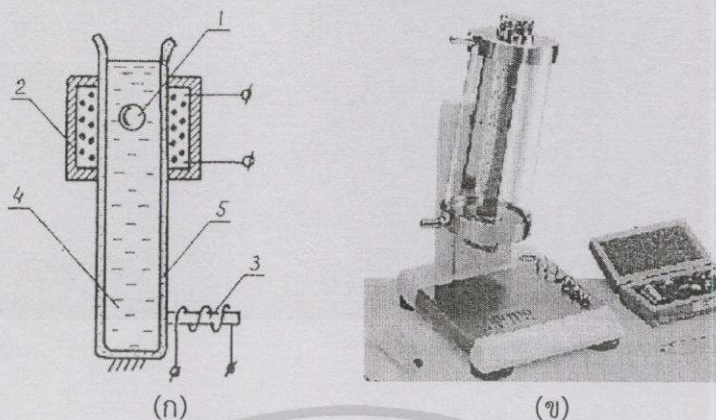
เนื่องจากอัตราการไหลภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกในหลอดแคปิลลารี วิธีการนี้จึงเป็นวิธีการวัดความหนืดจลน์ที่แท้จริง ซึ่งวัดเวลาจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสิ้นสุดโดยนำค่าเวลาที่วัดได้ไปคูณกับค่าคงที่ของหลอดแต่ละหลอด โดยหน่วยที่วัดได้คือ เซนติสโตกส์ (Centistokes : cSt) ซึ่งเท่ากับ mm^2/sec ในหน่วย SI ซึ่งจะรายงานค่าความหนืดที่อุณหภูมิสองระดับคือ 40 องศาเซลเซียส หรือ 100 องศาเซลเซียส ในอุตสาหกรรมทั่วไปจะนิยมวัดความหนืดจลน์ที่ 40 องศาเซลเซียสเนื่องจากเป็นอยู่ในพื้นฐานการจัดระดับของมาตรฐาน ISO 3448 แต่ในน้ำมันเครื่องยนต์จะวัดที่ 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากจะใช้น้ำมันเครื่องมาตรฐาน SAE (SAE J300) ถูกใช้เป็นมาตรฐานสำหรับการวัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสดังตารางที่ 2.2

ISO VG Grade	Midpoint Viscosity @ 40°C/cSt	Minimum Viscosity @ 40°C/cSt	Maximum Viscosity @ 40°C/cSt	SAE Viscosity Grade	Minimum Viscosity @ 100°C/cSt	Maximum Viscosity @ 100°C/cSt
15	15.0	13.5	16.5	-	-	-
22	22.0	19.5	24.2	-	-	-
32	32.0	28.8	35.2	-	-	-
46	46.0	41.4	50.6	-	-	-
68	68.0	61.2	74.8	20	5.6	9.3
100	100.0	90.0	110.0	30	9.3	12.5
150	150.0	135.0	165.0	40	12.5	16.3
220	220.0	198.0	242.0	50	16.3	21.9
320	320.0	288.0	352.0	-	-	-
460	460.0	414.0	506.0	-	-	-
680	680.0	612.0	748.0	-	-	-

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความหนืดจลน์โดยการจัดระดับตามระบบ ISO และ SAE

2.2.3.2 หลักการวัดความหนืดโดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบปล่อยลูกตก (Falling ball viscometer)

เครื่องวัดความหนืดแบบปล่อยลูกตก เป็นเครื่องวัดความหนืดที่ใช้กฎของสโตกส์ในการทำงาน โดยจะจับเวลาการตกของลูกบอลในหลอดแก้ว หากลูกบอลตกช้ามีความเร็วต่ำ แสดงว่ามีความหนืดสูง หากลูกบอลตกเร็วมีความเร็วสูงแสดงว่ามีความหนืดต่ำ โดยลูกบอลจะมีหลายขนาดในวัดช่วงความหนืดที่แตกต่างกันเพื่อให้มีความแม่นยำในการวัดสูง



รูปที่ 2.3 เครื่องวัดความหนืดแบบปล่อยลูกตก

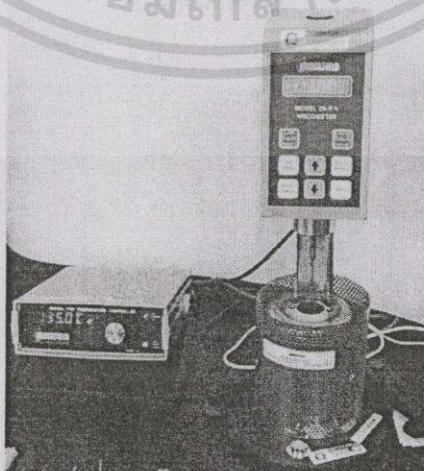
(ก) ส่วนประกอบของเครื่องวัดความหนืด

(ข) Falling ball viscometer ของ Thermo scientific

รูปที่ 2.7ก แสดงส่วนประกอบของเครื่องวัดความหนืดแบบปล่อยลูกตก ซึ่งประกอบไปด้วย (1) ลูกบอล (2) แม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อขึงลูกบอลก่อนการวัด (3) สวิตช์แม่เหล็กเพื่อตรวจจับลูกบอล (4) ของเหลวที่ใช้ในการทดสอบ (5) หลอดแก้ว

2.2.3.3 หลักการทดสอบโดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบหมุน

วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ใช้เครื่องวัดความหนืดแบบหมุน (รูปที่ 2.3) ซึ่งนิยมน้อยกว่าวิธีการแรก โดยหลักการวัดคือนำน้ำมันใส่ในแก้วที่มีฉนวนเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่ วัดโดยใช้แท่งหมุนหมุนด้วยความเร็วคงที่ ซึ่งใช้พื้นฐานของแรงเฉือนภายในของเหลวเป็นการวัดความหนืดสัมบูรณ์ วัดโดยใช้หลักการบรูคฟิลด์ (Brookfield method) ตามมาตรฐาน ASTM D2983 จะได้ความหนืดในหน่วย เซนติพอยส์ (Centipoise : cP) ซึ่งมีค่าเท่ากับ mPa·s ในหน่วย SI

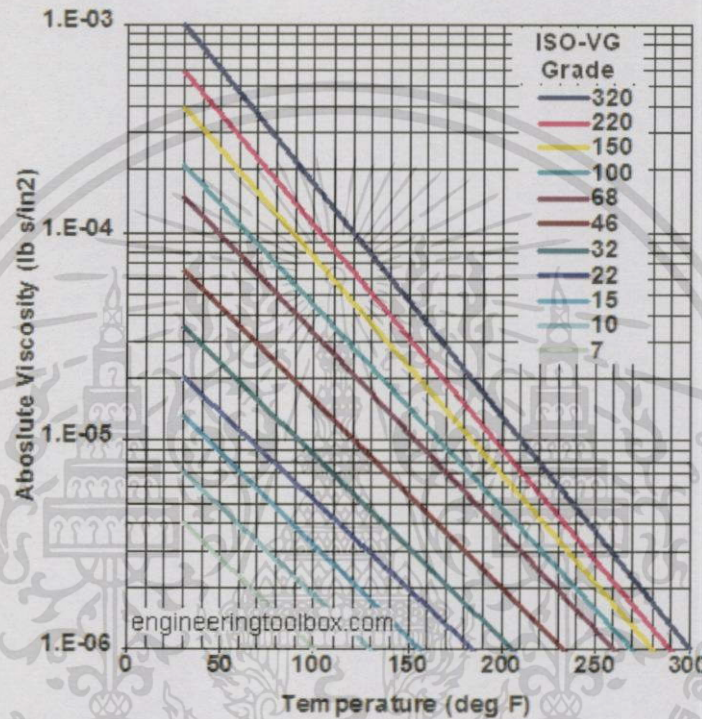


รูปที่ 2.4 เครื่องวัดความหนืดแบบหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 อุณหภูมิกับค่าความหนืดน้ำมัน

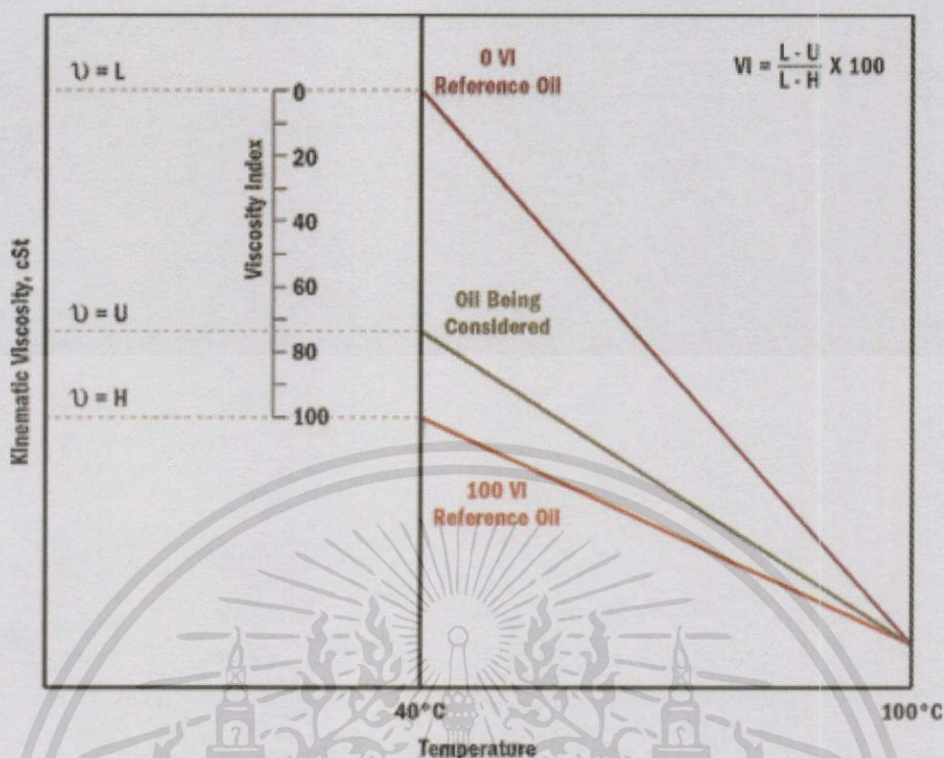
ความหนืดของของไหลทุกชนิดมีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความหนืดของแก๊สจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นแต่ความหนืดของของเหลวจะน้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น น้ำมันอยู่ในสถานะของเหลว ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความหนืดของน้ำมันจะลดลง เนื่องจากเกิดแรงยึดเกาะระหว่างโมเลกุลลดลง ซึ่งแสดงในรูป 2.4 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความหนืดของน้ำมันแต่ละชนิดจะลดลง



รูปที่ 2.5 แผนภูมิแสดงค่าความหนืดของน้ำมันเกรด ISO-VG แต่ละชนิดที่อุณหภูมิต่างๆ

2.2.5 ดัชนีความหนืด (Viscosity Index)

ดัชนีความหนืด (Viscosity Index : VI) เป็นตัวเลขที่ใช้ในการระบุค่าการแปรผันของความหนืดจลน์กับอุณหภูมิ ซึ่งจะเปรียบเทียบความหนืดจลน์ของตัวอย่างน้ำมันที่ 40°C กับน้ำมันมาตรฐาน 2 ชนิด โดยชนิดหนึ่งมีค่า VI ที่ 0 และอีกชนิดหนึ่งมีค่า VI ที่ 100 (รูปที่ 2.5) น้ำมันทั้งสามมีความหนืดเท่ากันที่ 100°C ตารางการคำนวณค่า VI จากความหนืดจลน์ที่ 100 °C และ 40 °C เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D2270



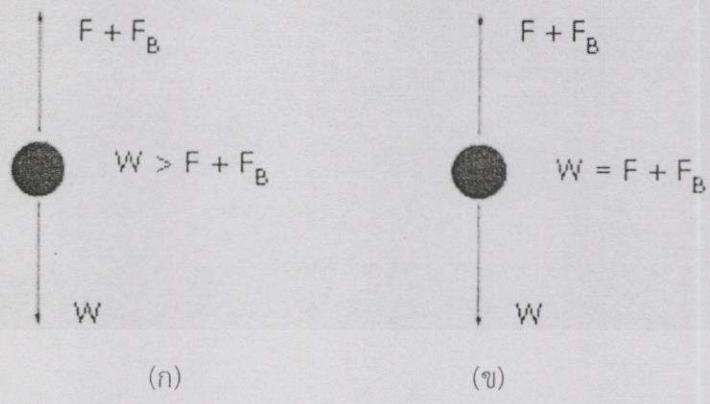
รูปที่ 2.6 การระบุค่าดัชนีความหนืด

จากรูปที่ 2.5 พบว่าน้ำมันที่มีการเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิน้อยจะมีค่าดัชนีความหนืดมากกว่าน้ำมันที่มีการเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิมาก ในช่วงอุณหภูมิทดสอบเดียวกัน

2.3 กฎของสโตกส์

เมื่อปล่อยลูกกลมโลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 มิลลิเมตรลงในกบิลีเซอรอล และสังเกตการเคลื่อนที่ของลูกกลมโลหะ จะพบว่าในช่วงต้นของการเคลื่อนที่ลูกกลมโลหะเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง หลังจากนั้นก็เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว เนื่องจากในช่วงต้นของการเคลื่อนที่ ลูกกลมโลหะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งภายใต้แรงลัพธ์ขนาดหนึ่ง ต่อมาเมื่อลูกกลมโลหะมีความเร็วสูงขึ้นแรงลัพธ์นั้นลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ลูกกลมโลหะจึงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว

จากหลักการของอาร์คิมิดีสและกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ขณะที่ลูกกลมโลหะตกในกบิลีเซอรอล (หรือของไหลอื่น) ลูกกลมจะถูกแรงสามแรง คือ น้ำหนัก (W) ของลูกกลมโลหะ แรงลอยตัว (F_b) และแรงหนืด (F) ของกบิลีเซอรอล ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของลูกกลมโลหะ



รูปที่ 2.7 แรงที่กระทำต่อลูกกลมโลหะที่ตกในของเหลว

- (ก) เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง
- (ข) เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว

เมื่อพิจารณาแรงทั้งสามนี้จะพบว่า น้ำหนักของลูกกลมโลหะและแรงลอยตัวมีค่าคงตัว ดังนั้นการที่แรงลัพธ์เปลี่ยนไปจึงเกิดจากแรงหนืดเพียงแรงเดียว กล่าวคือ เมื่อเริ่มเคลื่อนที่แรงหนืดจะมีขนาดน้อยกว่าผลต่างของน้ำหนักและแรงลอยตัว ดังรูปที่ 2.2(ก) เมื่อลูกกลมโลหะเคลื่อนที่เร็วขึ้นแรงหนืดจะมีขนาดมากขึ้นจนทำให้แรงลัพธ์ที่กระทำต่อลูกกลมโลหะเป็นศูนย์ ลูกกลมโลหะจึงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ดังรูปที่ 2.2(ข) จึงสรุปได้ว่า แรงหนืดที่กระทำต่อวัตถุขึ้นอยู่กับขนาดความเร็วของวัตถุและแรงนี้มีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุ

Sir George Stokes ได้ทดลองหาแรงหนืดที่กระทำต่อวัตถุทรงกลมขณะเคลื่อนที่ในของไหลพบว่า “แรงหนืดแปรผันตรงกับความเร็วของวัตถุทรงกลม” จึงทำให้สามารถไขกฏของสโตกส์มาช่วยในการคำนวณหาขนาดของแรงต้านของของไหลได้ โดยกฏของสโตกส์กล่าวว่าแรงต้านเนื่องจากความหนืดของของไหลมีความสัมพันธ์ดังนี้

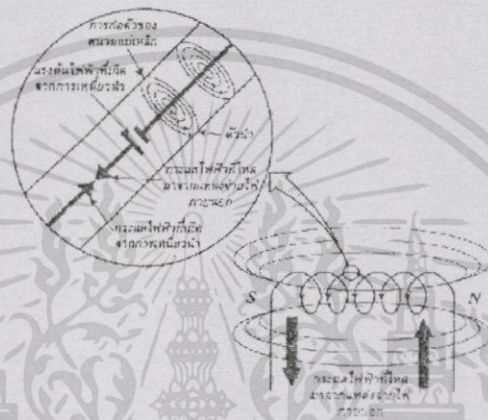
$$F_d = 6\pi\eta r v \tag{2.3}$$

- โดย F_d คือ แรงต้านทานการไหล
- η คือ ความหนืดของของไหล
- r คือ รัศมีของวัตถุทรงกลม
- v คือ อัตราเร็วของวัตถุ

จะเห็นได้จากกฏของสโตกส์ว่า ขนาดของแรงต้านของของไหลขึ้นอยู่กับขนาดของอัตราเร็ว นั่นคือขณะที่วัตถุไม่เคลื่อนที่ก็จะไม่มีแรงต้าน ยิ่งวัตถุเคลื่อนที่เร็วเท่าไรแรงต้านก็มากตามไปด้วย

2.4 แม่เหล็กไฟฟ้า

แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnets) หมายถึงอำนาจแม่เหล็กที่เกิดจากการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวัตถุตัวนำหมายความว่าถ้าปล่อยให้กระแสไฟฟ้าไหลในวัตถุตัวนำจะทำให้เกิด สนามแม่เหล็ก รอบ ๆ ตัวนำนั้น เมื่อนำเส้นลวดตัวนำมาพันเป็นขด จะส่งผลให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบเส้นลวดตัวนำเกิดการเสริมแรงกัน เกิดเป็นสนามแม่เหล็กขึ้นและสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีความเข้มข้นมากขึ้น ลักษณะการเกิดสนามแม่เหล็ก แสดงดังรูป



รูปที่ 2.8 แสดงการสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในตัวนำ

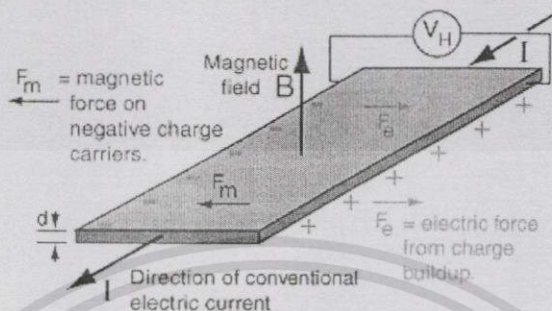
ความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) จำนวนรอบของการพันเส้นลวดตัวนำ พันรอบน้อยเกิดสนามแม่เหล็กน้อย พันรอบมาก เกิดสนามแม่เหล็กมาก
- 2) ปริมาณการไหลของกระแสผ่านเส้นลวดตัวนำ กระแสไหลน้อยสนามแม่เหล็กเกิดน้อย กระแสไหลมากสนามแม่เหล็กเกิดมาก
- 3) ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแกนแม่เหล็กไฟฟ้า แกนอากาศให้ความเข้มสนามแม่เหล็ก แกนที่ทำมาจากสารเฟอร์โรแมกเนติกให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กมาก
- 4) ขนาดของแกนที่นำมาใช้งาน แกนขนาดเล็กให้สนามแม่เหล็กได้น้อย แกนขนาดใหญ่ให้ สนามแม่เหล็กได้มาก

2.5 Hall Effect

Hall Effect ถูกค้นพบโดย Edwin Hall ในปี ค.ศ. 1879 ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ประจุเคลื่อนที่ในวัตถุตัวนำในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก โดยเคลื่อนที่ไปอยู่ฝั่งใดฝั่งหนึ่งของวัตถุตัวนำทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้นระหว่างสองขั้วตัวนำ โดยที่วัตถุตัวนำที่มีกระแสไหลผ่านมีฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux) มากกระทำในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นตัวนำจะทำให้อิเล็กตรอนของตัวนำ

เบี่ยงเบนไปด้านบนของตัวนำจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าหรือแรงดันเรียกว่า แรงดันฮอลล์ (Hall Voltage) ขึ้นที่ตัวนำในทิศทางตั้งฉากกับกระแสและฟลักซ์แม่เหล็ก ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.9 แสดงปรากฏการณ์ฮอลล์บนวัตถุตัวนำ

โดยที่อิเล็กตรอนมีประจุเป็นประจุลบ ทำให้ด้านบนของแผ่นตัวนำมีขั้วไฟฟ้าเป็นลบ ส่วนด้านล่างของแผ่นตัวนำจะมีประจุบวก เมื่อวัดความต่างศักย์ระหว่างด้านบนกับด้านล่างทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าออกมา โดยขนาดของแรงดันที่วัดได้จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กที่มากระทำ หากความเข้มสนามแม่เหล็กมากก็จะทำให้เกิดแรงดันมาก และถ้าความเข้มสนามแม่เหล็กน้อย แรงดันก็จะน้อยตามไปด้วย สนามแม่เหล็กมีความสัมพันธ์กับความต่างศักย์ดังสมการที่ 2.4

$$V_H = \frac{IB}{ned} \tag{2.4}$$

- เมื่อ V_H คือ แรงดันไฟฟ้าฮอลล์
- I คือ ค่ากระแสไฟฟ้า
- B คือ สนามแม่เหล็ก
- n คือ ความหนาแน่นของประจุ
- e คือ ประจุอิเล็กตรอน
- d คือ ความหนาของแผ่นตัวนำ

2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC

PIC คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์อีกตระกูลหนึ่ง ย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พยายาม รวมเอาทุกอย่างเอาไว้ในตัวไม่ว่าจะเป็น PROGRAM MEMORY, RAM, EEPROM, SERIAL, I2C, PWM, A/D ฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก ในตัวของ PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผล รวมทั้งหน่วยความจำ ซึ่งทำให้มันเหมือนกับ CPU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 ชนิดของ PIC

MCU ในตระกูล PIC ถิ่นแบ่งออกตามชนิดของ PROGRAM MEMORY แบ่งได้เป็น 3 แบบคือ

1. OTP (one time programmable)
2. EPROM (erasable programable ROM)
3. EEPROM / Flash (electronically erasable programmable ROM)

2.6.1.1 OTP (one time programmable)

OTP เป็นชิปที่มีราคาถูกที่สุดในสามประเภท สาเหตุก็มาจากว่าชิปแบบ OTP จะสามารถทำการโปรแกรมได้แค่ครั้งเดียวเท่านั้น หลังจากชิปได้ถูกโปรแกรมไปแล้วจะไม่สามารถโปรแกรมเข้าไปใหม่ได้อีก ดังนั้นชิปประเภทนี้จะนิยมใช้หลังจากได้พัฒนาโปรแกรมจนกระทั่งจุดบกพร่องต่างๆในโปรแกรมไม่มีอีกแล้วเพราะจะมีต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับชิปที่ใช้หน่วยความจำ ประเภทอื่น จะมีตัวอักษร C แสดงบนตัวชิป เช่น 16C84, 16C74

2.6.1.2 EPROM (erasable programable ROM)

EPROM เป็นชิปที่มี program memory ที่เมื่อเขียนโปรแกรมเข้าไปแล้วสามารถโปรแกรมใหม่ด้วยการลบโปรแกรมเดิมโดยให้แสง UV (Ultra Violet) ส่องผ่านเข้าไปยังชิป ประมาณ 5-10 นาที ดังนั้นที่ด้านบนของชิปจะมีกระจกเพื่อให้เห็นแสง UV สามารถส่องผ่านเข้าไปในตัวชิปได้ แต่ก็มีจำนวนครั้งในการลบโปรแกรมเช่นกัน เมื่อลบโปรแกรมด้วยแสง UV มากๆ เข้าก็จะเกิดอาการด้านคือโปรแกรมไม่เข้านั่นเอง จะมีตัวอักษร JW หรือว่าดูเอาว่ามีกระจกอยู่บน ชิปหรือไม่

2.6.1.3 EEPROM/Flash(electronically erasable programmable ROM)

EEPROM/Flash เป็นชิปที่ออกมาไม่กี่ปีนี่เอง ส่วนของหน่วยความจำของโปรแกรม สามารถอ่านหรือเขียนด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า ใช้เวลาในการ ลบข้อมูลไม่กี่วินาที และสามารถลบ และเขียนใหม่ได้หลายพันครั้ง ทำให้เป็นที่นิยมที่สุดใน 3 ประเภท มีตัวอักษร F เป็นตัวบอก เช่น 16F84, 16F877

2.6.2 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ในแต่ละกลุ่ม

การแบ่งกลุ่มของ PIC จะแบ่งตามตัวเลขที่ขึ้นต้น เช่นขึ้นต้นด้วย PIC12, PIC16, และ PIC17 โดยแต่ละกลุ่มก็จะมีเบอร์ต่างๆ แยกออกไปอีกหลายเบอร์ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 5 กลุ่ม คือ

2.6.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16C5XX

เป็นชิปที่ผลิตออกมาเป็นยุคแรกๆ เหมาะกับงานที่ไม่ยุ่งยากและซับซ้อน โดย

มีคำสั่งใช้งานที่เป็นภาษาแอสเซมบลี 33 คำสั่งมี I/O, TIMER และ WatchDog แต่ไม่มี I2C หรือ Serial ซึ่งต้องเขียนโปรแกรมขึ้นมาเอง ชิปในกลุ่มนี้มีหลายเบอร์ แต่ละข่าจะมีจำนวนขาและขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลต่างกัน

2.6.2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC12CXXX และ PIC12FXXX

เป็นชิปขนาดเล็กที่มีเพียงแค่ 8 ขาเท่านั้นซึ่งเหมาะกับงานที่มีขนาดเล็กมีคำสั่ง ภาษาแอสเซมบลี 33 และ 35 คำสั่ง สำหรับจุดเด่นของ PIC กลุ่มนี้คือมีสัญญาณนาฬิกาหรือออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) ขนาด 4 MHz อยู่ในชิป ทำให้ไม่ต้องต่อออสซิลเลเตอร์ภายนอก และมีหน่วยความจำข้อมูลภายในเป็นแบบ EEROM แต่ส่วนของหน่วยความจำโปรแกรมยังเป็นแบบ OTP และ EPROM หลังจากได้ผลิต PIC16FXXX แล้วทางบริษัทไมโครชิปก็ได้ผลิต PIC12FXXX ขึ้นมา ซึ่งเป็นแบบแฟลชทำให้สามารถเขียนและลบโปรแกรมได้หลายครั้ง

2.6.2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC17CXXX

เป็นชิปที่ออกมาพร้อมกับ PIC16CXXX แต่แตกต่างกันที่ PIC17CXXX จะมีความสามารถสูงกว่า มีจำนวนขามากกว่า มีคำสั่งแอสเซมบลี 58 คำสั่ง มีคำสั่งการคูณหาร รวมทั้งขนาดของหน่วยความจำโปรแกรม หน่วยความจำข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและยังสามารถต่อกับหน่วยความจำภายนอกได้ด้วย

2.6.2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16FXXX

เป็นชิปที่ได้รับความนิยมมาก เพราะเป็นชิปรุ่นแรกที่หน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชและมีหน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM ทำให้สามารถพัฒนาโปรแกรมได้ง่าย ซึ่ง PIC เบอร์ PIC16FXXX สนับสนุนการทำงานแบบอินเซอร์กิตดีบักเกอร์ (In Circuit Debugger) ทำให้ไม่ต้องซื้ออีพรอมอีมูเลเตอร์ (EPROM Emulator) ซึ่งมีราคาแพงมาก มีคำสั่งภาษาแอสเซมบลี 35 คำสั่ง และมีวงจรแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D) ขนาด 10 บิตอยู่ในตัว

2.6.2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC18CXXX และ PIC18FXXX

เป็นอีกกลุ่มที่ได้รับความนิยม เนื่องจาก PIC18CXXX และ PIC18FXXX มีความสามารถมากและใหญ่กว่าเบอร์ PICFXXX ไม่ว่าจะเป็นคำสั่งภาษาแอสเซมบลีที่มีถึง 77 คำสั่งหรือหน่วยความจำโปรแกรมที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้สามารถรองรับการเขียนโปรแกรมภาษาซีได้

2.7 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิชนิดสารกึ่งตัวนำ

อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิชนิดสารกึ่งตัวนำ เป็นอุปกรณ์ที่มาจากวงจรรวม (integrated circuits:IC) โดยมีหลักการคือความแตกต่างของแรงดันที่เซมิคอนดักเตอร์เนื่องจากสัดส่วนของกระแสในทรานซิสเตอร์ที่เหมือนกันสองชนิดแปรผันตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ ซึ่งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิชนิดสารกึ่งตัวนำ เป็นอุปกรณ์ที่มาจากกระแสการไหลของอนุภาคประจุชนิดสารกึ่งตัวนำ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครโปรเซสเซอร์ โดยมีเพียงแค่อิเล็กทรอนิกส์บางส่วนเท่านั้นเป็นส่วนประกอบ ในปัจจุบันอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิชนิดสารกึ่งตัวนำถูกผลิตโดยผู้ผลิตหลายราย แต่ที่เป็นที่นิยมมากที่สุด คือ AD580 และ LM35

คุณสมบัติ

- เอาท์พุทมีความเป็นเชิงเส้น
- มีขนาดเล็ก
- สามารถวัดอุณหภูมิได้ที่ $-40\text{ }^{\circ}\text{C} - 120\text{ }^{\circ}\text{C}$
- เมื่อได้รับสอบเทียบที่เหมาะสมสามารถวัดอุณหภูมิได้อย่างเที่ยงตรง

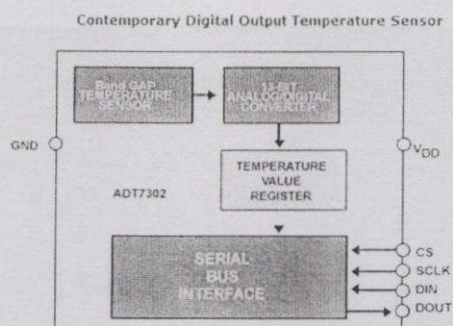
ชนิดของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิชนิดสารกึ่งตัวนำมี 2 ชนิด คือ

2.7.1 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิสัญญาณอนาล็อก

อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิชนิดนี้ ก่อเกิดสัญญาณเอาท์พุทเป็นแรงดันไฟฟ้า หรือ กระแสไฟฟ้า ซึ่งมีสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิ โดยภายในจะมีวงจรเสริมความเป็นเชิงเส้นเพื่อแก้ไขปัญหาความไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งเป็นการแก้ไขชนิดเดียวกันกับเทอร์มิสเตอร์

2.7.2 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิสัญญาณดิจิทัล

อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิชนิดนี้ สามารถใช้ประโยชน์ได้มากกว่าอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิสัญญาณอนาล็อก แทนที่จะสร้างสัญญาณในรูปแบบของแรงดันหรือกระแส อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิชนิดนี้สร้างสัญญาณดิจิทัล ซึ่งสามารถใช้สื่อสารในสายสัญญาณ เช่น PWM, I²C และการเชื่อมต่อแบบ SPI เป็นต้น โดยมีถูกพัฒนาขึ้นให้สามารถใช้กับการเชื่อมต่อและคุณสมบัติที่หลากหลาย สามารถตรวจจับอุณหภูมิในระยะใกล้หรือในระยะไกล นอกจากนั้น ยังสามารถตรวจสอบพารามิเตอร์อื่น เช่น ระบบแรงดัน ได้เป็นต้น รวมถึงคุณสมบัติอื่น เช่น ควบคุมพัลลวม เตือนเมื่ออุณหภูมิต่ำหรือสูงเกินขีดจำกัด และอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิชนิดนี้ยังเหมาะสมสำหรับการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์อีกด้วย โดยอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิสัญญาณดิจิทัลในปัจจุบัน แสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิสัญญาณดิจิทัลในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ในปัจจุบันคุณสมบัติบางอย่างของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิสัญญาณดิจิทัล สามารถถูกแทนที่ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิสัญญาณอนาล็อก ซึ่งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิสัญญาณอนาล็อกสามารถใช้ในกรณีที่ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิสัญญาณดิจิทัล โดยหากต้องการสัญญาณเอาต์พุตเป็นดิจิทัลสามารถใช้ ตัวแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัลได้



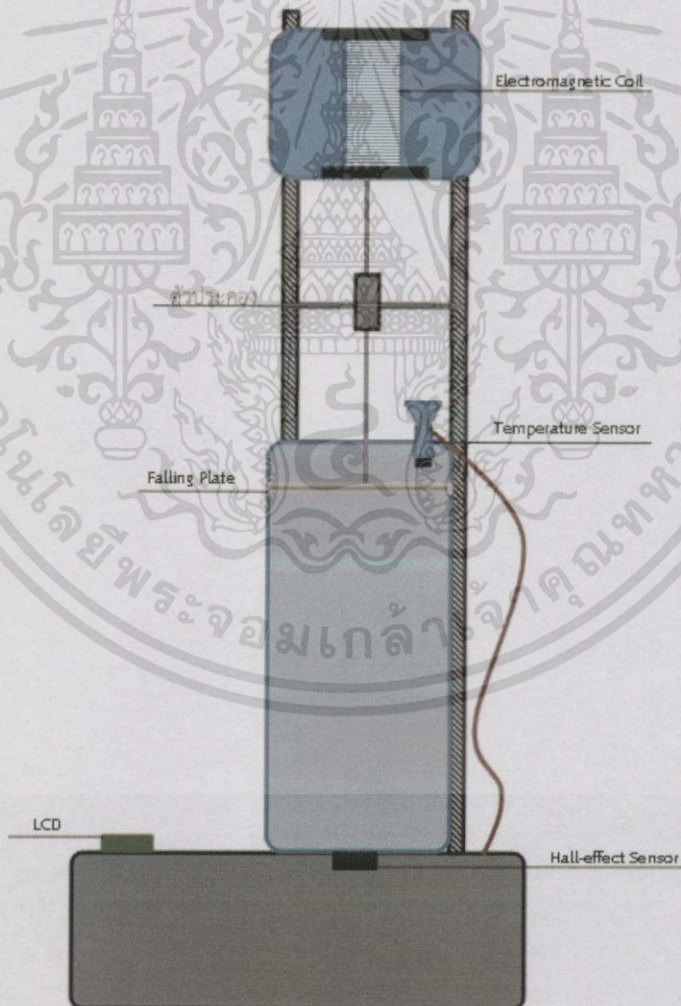
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

การออกแบบเครื่องวัดความหนืดนั้น ประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ การออกแบบเครื่องวัดความหนืด การออกแบบวงจรและโปรแกรม และการทดลองหาค่าความหนืด โดยโครงการนี้ได้ออกแบบให้วัดความหนืดจากเวลา เครื่องวัดความหนืดจากทำการปล่อย Falling Plate จากจุดอ้างอิงไปยังจุดสิ้นสุด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการจับเวลา แล้วทำการแปลงค่าเวลาเป็นความหนืดซึ่งการแปลงค่านั้น จะหาความสัมพันธ์นี้ได้จากการทดลองกับเครื่องวัดแบบมาตรฐาน

3.1 การออกแบบโครงสร้างของเครื่องวัดความหนืด



รูปที่ 3.1 แสดงการออกแบบเครื่องวัดความหนืด

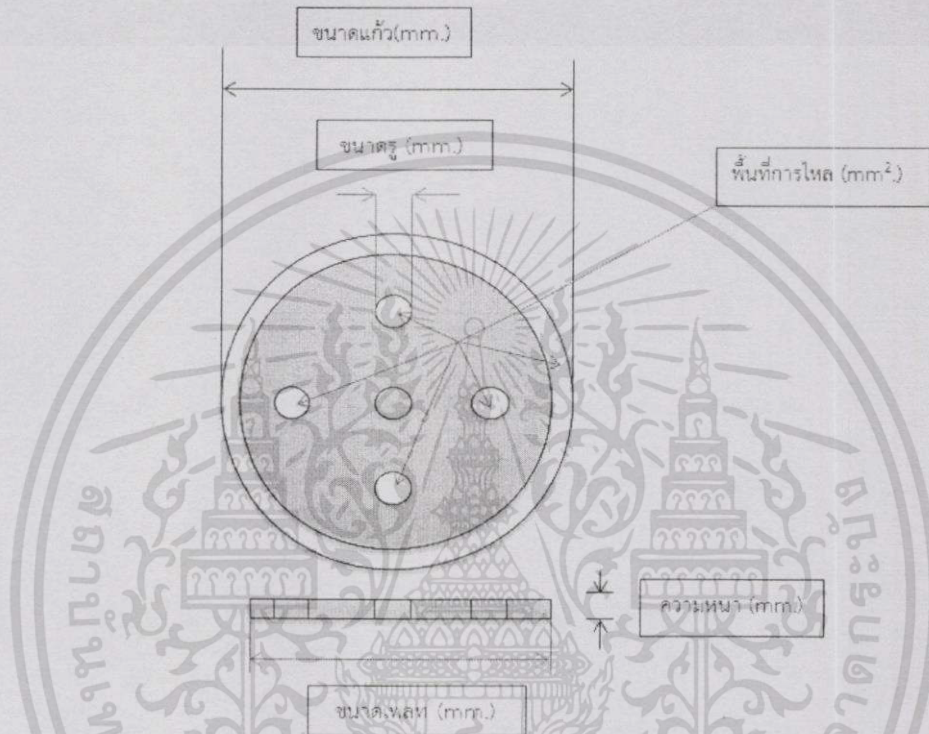
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการและรูปแบบของเครื่องวัดความหนืด ใช้หลักการคล้ายคลึงกับเครื่องวัดความหนืดแบบปล่อยลูกตก (Falling ball viscometer) โดยการจับเวลาของการตกของวัตถุในของเหลวที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาค่าความหนืดของของเหลวนั้นๆ และโครงสร้างของเครื่องวัดความหนืดประกอบไปด้วย

- 1) โครงสร้างภายนอกประกอบด้วยกล่องฐานขนาดกว้าง 21 เซนติเมตร ยาว 25 เซนติเมตร และสูง 9 เซนติเมตร โดยภายในกล่องฐานบรรจุวงจรควบคุม เสาเป็นแท่งเหล็กเกลียวตลอดยาว 50 เซนติเมตรจำนวน 3 แท่ง เพื่อเป็นเสาเค้กล่องบรรจุแม่เหล็กไฟฟ้าและกล่องบรรจุแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นฝาครอบท่อ PVC ขนาด 12.7 เซนติเมตร สูง 9.5 เซนติเมตร ความสูงจากขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าถึงบริเวณที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้ปรากฏการณ์ฮอลล์ 34 เซนติเมตร
- 2) ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Coil) มีจำนวนรอบ 500 รอบ ความต้านทาน 10 โอห์ม สำหรับดึง Falling Plate ไว้ด้านบนก่อนการเริ่มวัด
- 3) วงจรควบคุม เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่องวัดความหนืด ซึ่งประกอบไปด้วย LCD แสดงผลเป็นค่าความหนืดของเหลว และอุณหภูมิบรรยากาศ อุปกรณ์ตรวจรู้อุณหภูมิ (Temperature Sensor) สำหรับวัดอุณหภูมิบรรยากาศ และอุปกรณ์ตรวจรู้ปรากฏการณ์ของฮอลล์ (Hall's Effect Sensor) สำหรับตรวจจับ Falling Plate เมื่อลงมาถึงด้านล่าง และส่งสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อหยุดวงจรจับเวลา จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำค่าเวลาไปคำนวณออกมาเป็นค่าความหนืด ซึ่งวงจรควบคุมจะถูกบรรจุไว้ในส่วนของฐานของเครื่องวัดความหนืด
- 4) ตัวประกอบการเคลื่อนที่ สำหรับประกอบการเคลื่อนที่ไม่ให้ Falling plate แกว่งหรือสัดการแกว่ง ในขณะที่เคลื่อนที่ลงมา
- 5) ภาชนะใส่ของเหลวที่จะทำการทดสอบ ทำมาจากพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.6 เซนติเมตร สูง 17 เซนติเมตร
- 6) แท่งประคอง (stem) มีความยาว 21 เซนติเมตร
- 7) Falling Plate เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญโดยเป็นแผ่นที่จะตกภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกในของเหลวที่ทำการตรวจสอบ โดยจะทำการวัดเวลาของการตกของแผ่นตกในของเหลว โดยได้ออกแบบ Falling Plate โดยเพลททั้ง 8 ถูกเจาะรูอย่างสมมาตรเพื่อเพลทจะได้ไม่เอียงระหว่างการตกโดยรูตรงกลางสำหรับใส่แท่งประคองและแม่เหล็ก แต่เพลททั้ง 8 มีความแตกต่างกันที่ขนาดความกว้าง ความหนา รูภายใน น้ำหนัก เพื่อความหลากหลายในขณะทดลอง เพื่อหาว่าเพลทแบบไหนเหมาะสำหรับการวัดความหนืดมากที่สุด โดยคุณลักษณะแสดงของ Falling Plate แสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งพิจารณาจากความเป็นเชิงเส้นระหว่างเวลาที่วัดออกมากับความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิด อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงความละเอียดในการวัด โดยเพลททั้งหมดทำมาจากสแตนเลสสตีลเพื่อป้องกันการเกิดสนิมและจะเรียกตามชื่อเป็น A, B, C, D, E, F, G และ H ซึ่งแบบของ Falling Plate แสดงในรูปที่ 3.2 และ แสดงเพลทของจริงที่นำมาห้รับการทดลองในรูปที่ 3.3



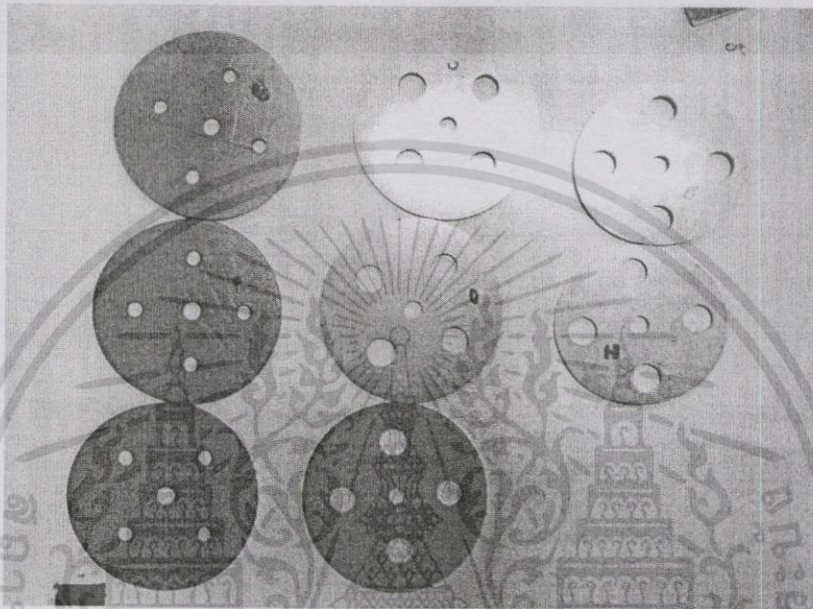
รูปที่ 3.2 การออกแบบและพื้นที่การไหลของ Falling Plate

ขนาด Falling Plate	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	ความหนา (มม.)	ช่องภายใน (มม.)	พื้นที่การไหล (มม.)
A	70	1	10	1002.04
B	70	1	5	766.45
C	70	3	10	1002.04
D	70	2	10	1002.04
E	70	3	5	766.45
F	70	2	5	766.45
G	60	3	10	2022.93
H	60	2	10	2022.93

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของ Falling Plate แต่ละแผ่น

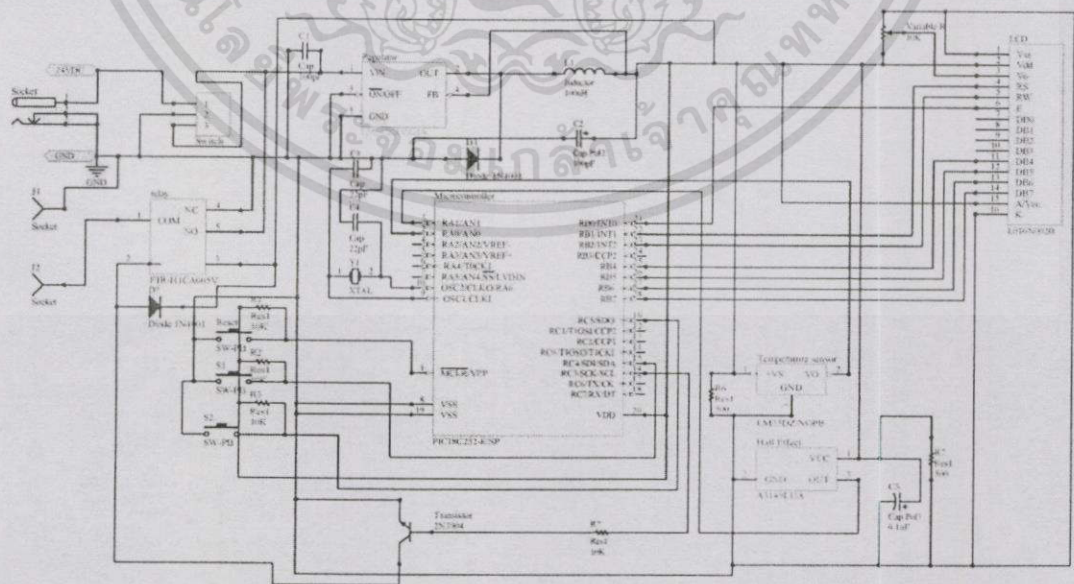
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการที่เพลททั้ง 8 คุณสมบัติไม่เหมือนกัน ทำให้เวลาของการตกอย่างอิสระในของเหลวไม่เท่ากัน ซึ่งขึ้นอยู่กับน้ำหนักและพื้นที่การไหลของของเหลวผ่าน สมการของพื้นที่การไหลผ่าน คือ พื้นที่การไหลของของเหลว = พื้นที่หน้าตัดของแก้ว - (พื้นที่เพลทก่อนเจาะรู - พื้นที่รูทั้งสิ้น)



รูปที่ 3.3 แสดง Falling Plate

3.2 การออกแบบและการจำลองการทำงานของวงจรควบคุมเครื่องวัดความหนืด



รูปที่ 3.4 แสดงแบบวงจรของวงจรควบคุมเครื่องวัดความหนืด

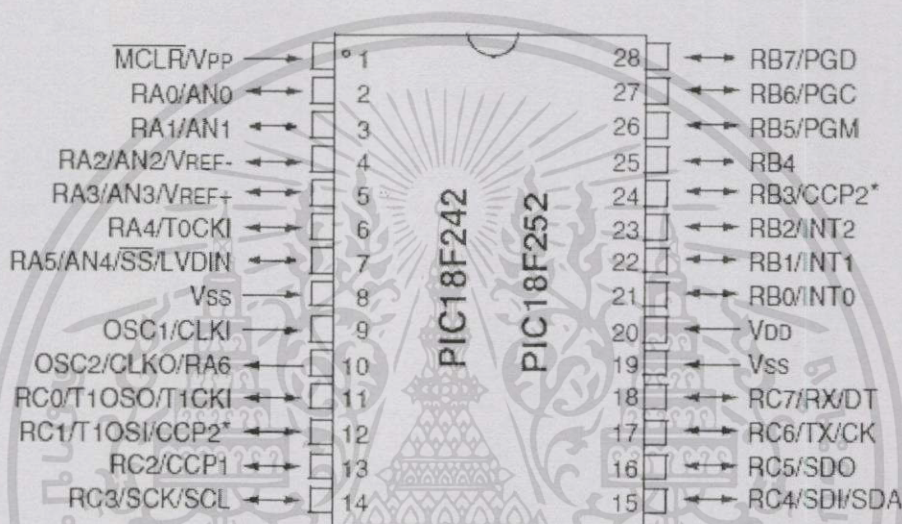
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การออกแบบวงจรควบคุมเครื่องวัดความหนืด

ภายในวงจรประกอบด้วยไอซีที่สำคัญคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC 18F252) อุปกรณ์ตรวจรู้ปรากฏการณ์ของฮอลล์ (A1302) อุปกรณ์ตรวจรู้อุณหภูมิ (LM35DZ) จอแสดงผล (LCD) และมีไอซีเสริมอื่นๆ โดยแบบของวงจรแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งใช้โปรแกรม Altium 10 ในการออกแบบ

3.2.1.1 PIC18F252 Microcontroller

โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 18F252



รูปที่ 3.5 PIC18F252

3.2.1.1.1 คุณสมบัติของ PIC18F252

PIC18F252 อยู่ในกลุ่มของ PIC ที่มีหน่วยความจำโปรแกรมได้หลายครั้งแบบแฟรช หรืออีอีพรอม หน่วย โปรแกรมกลุ่มนี้ เรียกว่า Flash หรือ EEPROM / Flash (Electrically erasable programmable ROM) ซึ่งเป็นชิปที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากส่วนของหน่วยความจำของโปรแกรม สามารถอ่านหรือเขียนด้วยสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งใช้เวลาในการลบข้อมูลไม่กี่วินาที และสามารถลบและเขียนใหม่ได้หลายพันครั้ง ทำให้สะดวกในการแก้ไขปรับปรุงและเปลี่ยนแปลง โปรแกรมชิปแบบแฟรชจะมีตัวอักษร F เป็นตัวบอกแสดงบนชิป ซึ่งคุณสมบัติของ PIC18F252 แสดงในตารางที่ 3.2

Features		PIC 18F252
Internal Program Memory	Bytes	32 K
	# of Single-Word Instructions	16384
Data Memory (Bytes)		1536
Data EEPROM Memory (Bytes)		256
Interrupt Sources		17
I/O Port		Ports A,B,C
Timer		4
Capture/Compare/PWM Modules		1
Serial Communications		MSSP,CAN,Addressable USART
Parallel Communications (PSP)		No
10-bit Analog-to-Digital Converter		5 input channels
Analog Comparators		No
Analog Comparators V_{REF} Output		N/A
Reset (and Deleys)		POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST)
Programmable Low-Voltage Detect		Yes
Programmable Brown-out Reset		Yes
CAN Module		Yes
In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)		Yes
Instruction Set		75 Instructions
Packages		28 – pin SPDIP 28 pin SOC

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของ PIC18F252

3.2.1.1.2 การใช้งานโมดูลแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล

การใช้งานโมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ด้วยภาษา C นั้น โปรแกรม CCS C คอมไพเลอร์ ได้จัดเตรียมฟังก์ชันสำเร็จรูปเอาไว้ ไม่ว่าจะเป็นส่วนเตรียมความพร้อมและการเรียกใช้งานโมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล รวมถึงฟังก์ชันในการอ่านค่าสัญญาณเพื่อแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอลดังนี้

1. ฟังก์ชันเกี่ยวกับการกำหนดขาพอร์ตอะนาลอก ได้แก่ `setup_adc()`, `setup_adc_ports()` และ `set_adc_channel()`

1.1 ฟังก์ชัน `setup_adc()`

ใช้กำหนดสัญญาณนาฬิกาสำหรับโมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล ในตารางที่ 3.2 แสดงการกำหนดสัญญาณนาฬิกาของโมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

ความถี่สัญญาณนาฬิกาของ MCU	โหมดการทำงานของโมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล			
	ADC_CLOCK_DIV_2	ADC_CLOCK_DIV_8	ADC_CLOCK_DIV_32	ADC_CLOCK_INTERNAL
20 MHz	10 MHz	2.5 MHz	625 KHz	166.67-500 KHz
5 MHz	2.5 MHz	625 KHz	156.25 KHz	166.67-500 KHz
1 MHz	500 KHz	125 KHz	31.25 KHz	166.67-500 KHz
333.33 KHz	166.67 KHz	41.67 KHz	10.42 KHz	166.67-500 KHz

ตารางที่ 3.3 แสดงสัญญาณนาฬิกาสำหรับโมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลภายใน MCU

รูปแบบการใช้งาน คือ `setup_adc(mode)`

โดยที่ `mode` เป็นค่าคงที่ใช้กำหนดโหมดการทำงานของโมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล ที่ได้กำหนด ไว้แล้วในไฟล์เฮดเดอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นั้น (ดูรายละเอียดได้ในไฟล์ `.H` ของเบอร์ที่ใช้งาน)

1.2 ฟังก์ชัน `setup_adc_ports()`

เป็นการกำหนดคุณสมบัติขาพอร์ตที่ใช้งาน ว่าต้องการให้พอร์ตใดบ้างเป็นอินพุตอนาล็อกและขาใดใช้ในการอ้างอิงหรือกำหนดให้ทำงานกับแรงดันอ้างอิง

รูปแบบการใช้งาน คือ `setup_adc_ports(value)`

โดยที่ `value` เป็นค่าคงที่ใช้กำหนดคุณสมบัติขาพอร์ตที่ใช้งาน ที่ได้กำหนดไว้แล้วในไฟล์เฮดเดอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นั้น เช่น PIC18FXX2

1.3 ฟังก์ชัน `set_adc_channel()`

เป็นฟังก์ชันที่ใช้กำหนดขาพอร์ตอนาล็อกที่ต้องการใช้งานและอ่านค่ากลับมาด้วยฟังก์ชัน `read_adc()`

รูปแบบการใช้งาน คือ `set_adc_channel(channel)`

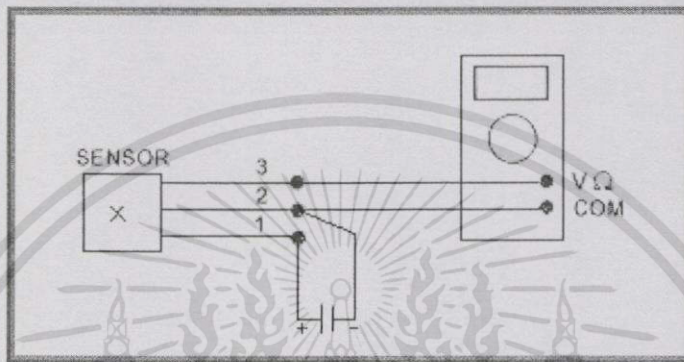
โดยที่ `channel` คือ ขาพอร์ตแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแต่ละช่อง มีค่าเริ่มต้นที่ 0 เท่ากับ AN0 และเรียงไป ตามลำดับ

2. ฟังก์ชันในการอ่านค่าอนาล็อก ได้แก่ ฟังก์ชัน `read_adc()` เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการอ่านค่าจากขาพอร์ตอนาล็อก

รูปแบบการใช้งาน คือ `value = read_adc();`

โดยที่ value คือ ตัวแปรที่ใช้เก็บค่าที่อ่านได้จากการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล มีขนาด 8 บิต หรือ 16 บิต ขึ้นอยู่กับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่กำหนดในไดเรกตีฟ #device ADC = nn

3.2.1.2 Hall Effect Sensor A1320



รูปที่ 3.6 การต่อ Hall Effect Sensor

Hall Effect Sensor เป็นทรานซิสเตอร์ที่ให้ค่าเอาต์พุตเป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นอนาลอก ทั้งนี้เอาต์พุตค่าขึ้นอยู่กับค่าแรงดันของแหล่งจ่ายซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 4.5 ถึง 6 VDC โดยเอาต์พุตจะมีค่าสูงสุดประมาณครึ่งหนึ่งของแรงดันแหล่งจ่าย และขึ้นอยู่กับความเข้มของสนามแม่เหล็ก หากสนามแม่เหล็กเข้มค่าแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจะมีมาก ซึ่งทำมาจากเซมิคอนดักเตอร์มีความไวสูงซึ่งเป็นข้อดีในการตรวจจับสนามแม่เหล็ก และสามารถทำงานได้ดี ณ อุณหภูมิห้อง มีความแม่นยำสูงเพราะมีการปรับชดเชยค่าและเกน (gain) ในขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตอุปกรณ์ตรวจรูชนิดนี้ สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวได้ทั้งในแนวเส้นตรงหรือวัตถุที่กำลังหมุนอยู่ ยังรองรับการใช้งานในงานอุตสาหกรรมเพราะสามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียสถึง 125 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติและข้อดี

- สัญญาณรบกวนด้านเอาต์พุตต่ำ
- มีความไว (sensitivity) สูง
- เอาต์พุตเป็นอัตราส่วนโดยตรงต่อระยะตรวจรู้
- ใช้แรงดันจากแหล่งจ่ายเพียง 4.5 to 6.0 V
- มีการปรับค่าในขั้นตอนสุดท้ายของขั้นตอนการผลิตเพื่อให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น
- ประสิทธิภาพในการป้องกันกระแสค้ำ หรือไฟฟ้าสถิตสูง (ลดการแทรกสอดของสัญญาณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยประโยชน์ของ Hall effect sensor เป็นอุปกรณ์ที่ไม่สัมผัสกับชิ้นงานที่ต้องการเซนเซอร์โดยตรง มีความสามารถในการเซนเซอร์สูงและมีขนาดเล็ก จึงเป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ซึ่งเหมาะสมกับการใช้งานวงจรที่ได้ออกแบบไว้



A1302 Hall Sensor

1 = Vin 2 = GND 3 = Vout

1 2 3

รูปที่ 3.7 Hall Effect Sensor A1302

3.2.1.3 Temperature Sensor LM35DZ

LM352 เป็นอุปกรณ์ตรวจรูอุณหภูมิ ให้เอาท์พุทเป็นค่าแรงดัน 0-5 Vdc หรือสัญญาณอนาล็อกซึ่งแปรผันเป็นสัดส่วนต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงนั่นเอง อุปกรณ์ตรวจรูชนิดนี้ยังมีข้อได้เปรียบมากกว่าเซนเซอร์อุณหภูมิประเภทอื่น คือสามารถปรับเปลี่ยนหน่วยเป็นองศาเคลวินได้ (Kelvin's Degree) โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มแรงดันขาเอาท์พุทเพื่อขยายย่านการวัด แต่ปรับที่ตัวคูณหรือตัวแปลงสัญญาณภายในเพียงอย่างเดียว สำหรับการอ่านค่าอุณหภูมิ ใช้สายสัญญาณเพียง 1 เส้น (1-Wire®) เท่านั้น ถ้าวาง VCC, GND เข้าไปด้วยก็จะมีขาใช้งานเพียง 3 ขาเท่านั้น รูปร่างหน้าตาก็คงคล้ายกับทรานซิสเตอร์ตัวถัง TO-92 ย่านการวัด 0-100 องศาเซลเซียส มีราคาถูก เกิดความร้อนภายในตัวเองน้อยกว่า 0.1 องศาเซลเซียสซึ่งน้อยมาก ใช้แรงดันไฟฟ้า 4 -30 Vdc ในการทำงานมีความเป็นเชิงเส้นสูง ง่ายต่อการปรับแต่งค่าและสอบเทียบเพราะ สามารถสอบเทียบในหน่วยองศาเซลเซียสได้โดยตรง อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม, สิ่งที่ไม่ต้องการวัด หรือสัญญาณรบกวนมีผลน้อยมาก ประมาณ 0.01 องศาเซลเซียส

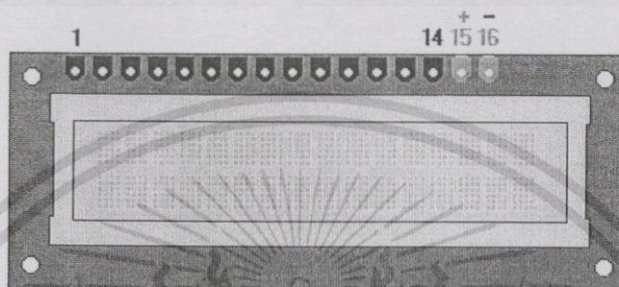
คุณสมบัติ

- ปรับแต่งและสอบเทียบในหน่วยองศาเซลเซียสได้โดยตรง
- มีความเป็นเชิงเส้น โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลง +10.0 mV/°C
- มีความแม่นยำ 0.5°C ที่อุณหภูมิ 25°C ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ HD61830 โดย HD44780 ใช้ควบคุม LCD แบบอักษร ส่วน HD61830 ใช้ควบคุม LCD กราฟฟิก

- 3) ตัวขับ (driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับให้ตัวแสดงผล แสดงข้อมูลตามที่กำหนดขีปที่ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวขับนี้ได้แก่ เบอร์ HD44100H , MSM5259 เป็นต้น



รูปที่ 3.9 จอ LCD 16x2

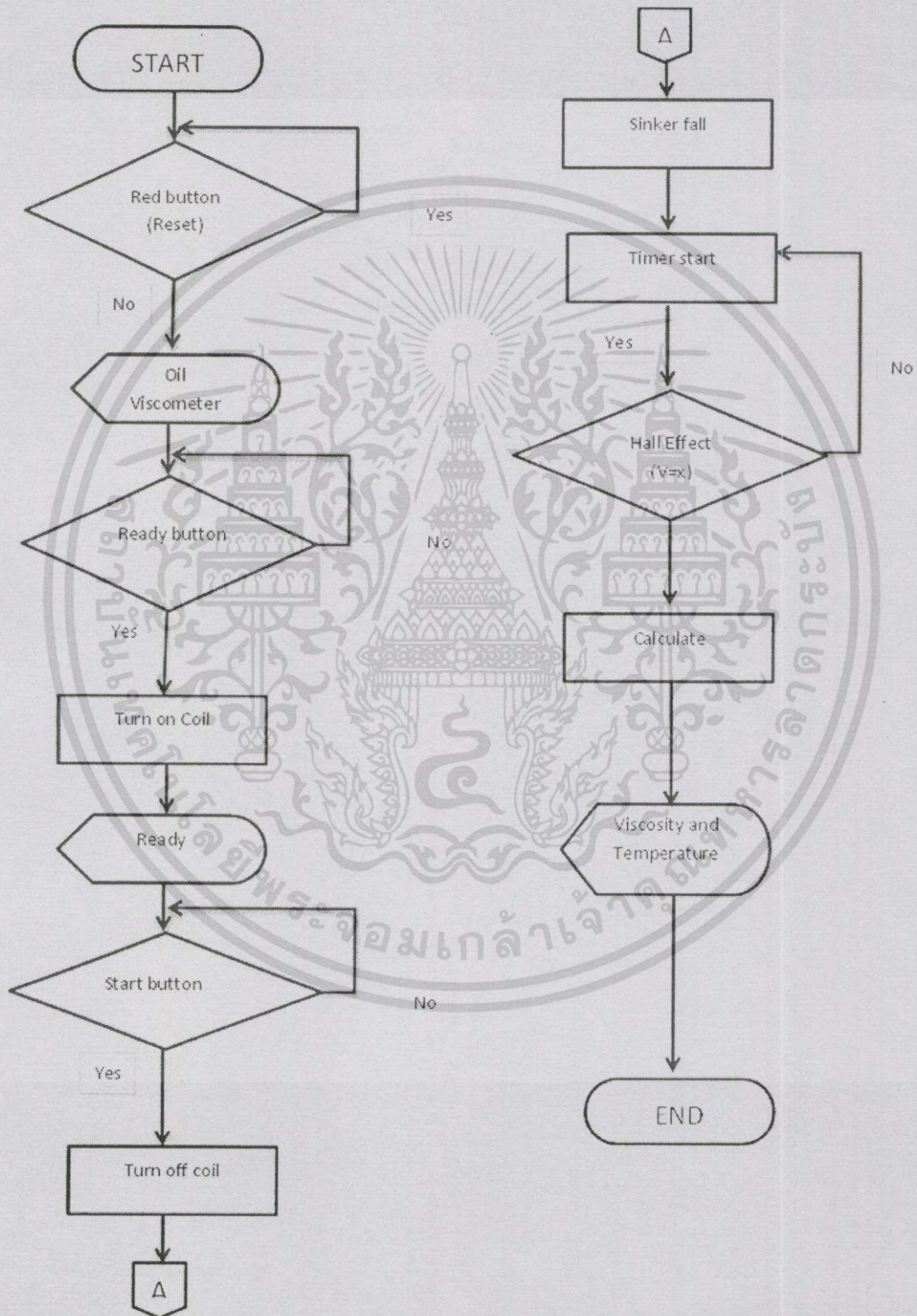
3.2.1.5 อุปกรณ์ต่อรวมอื่นๆ

นอกจากอุปกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้นยังไม่อุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของวงจรดังต่อไปนี้

1) Regulator 5V LM2576HVT-5.0	1	ตัว
2) Relay FTR-H1AA500V	1	ตัว
3) Diode	2	ตัว
4) Transistor KSD882	1	ตัว
5) Inductor 100 μ H	1	ตัว
6) Push button switch	3	ตัว
7) Rocker switch	1	ตัว
8) Capacitor 100pF	1	ตัว
9) Capacitor 100pF	1	ตัว
10) Capacitor 0.1 μ F	1	ตัว
11) Capacitor 22pF	2	ตัว
12) Crystals 2MHz	1	ตัว
13) Resistor 500 โอห์ม	2	ตัว
14) Resistor 10000 โอห์ม	4	ตัว

3.3 ออกแบบโปรแกรม Software

การเขียนโปรแกรมเขียนจากแผนผังแสดงลำดับการทำงาน (รูปที่ 3.11) โดยใช้ภาษาซี สำหรับการเขียนโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม CCS เป็นคอมไพเลอร์



รูปที่ 3.12 แผนผังแสดงลำดับการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อประกอบทั้งสามส่วนคือ ส่วนโครงสร้าง ส่วนวงจรและส่วนโปรแกรม รวมเข้าด้วยกันเป็น เครื่องวัดความหนืดน้ำมัน ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.13 เครื่องวัดความหนืดน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองสำหรับเครื่องวัดความหนืดแบ่งเป็น 3 การทดลองคือ การทดลองจับเวลาการตกเพื่อหา Falling Plate ที่เหมาะสม การทดลองหาสมการสำหรับการแปลงค่าเวลาดตกเป็นค่าความหนืด และการทดลองอุณหภูมิกับความหนืด

4.1 การทดลองวัดความหนืดจากเครื่องวัดความหนืดมาตรฐานและหาเวลาดตกของ Falling Plate แต่ละแผ่น

4.1.1 ทดลองวัดค่าความหนืดจากเครื่องมือมาตรฐาน

การทดลองวัดค่าความหนืดจากเครื่องวัดมาตรฐาน ที่อุณหภูมิต่างๆ ทำการวัดค่าความหนืดจากน้ำมันหล่อลื่นจำนวน 4 ตัวอย่าง โดยเครื่องวัดความหนืดแบบหมุนหรือ Rotational Viscometer โดยแต่ละตัวอย่างจะทำการวัดซ้ำ ตัวอย่างละ 3 ครั้ง จากนั้นบันทึกค่าความหนืดที่วัดได้ จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าความหนืดที่วัดได้ของแต่ละตัวอย่าง



รูปที่ 4.1 เครื่องวัดความหนืดแบบหมุน (Brookfield Viscometer model DV-II+ Pro.)
ที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1.1 อุปกรณ์การทดลอง

- 1) น้ำมันหล่อลื่น 10w-30
- 2) น้ำมันหล่อลื่น 15w-40
- 3) น้ำมันหล่อลื่น 20w-50
- 4) น้ำมันหล่อลื่น SAE90
- 5) เครื่องวัดความหนืดมาตรฐาน Brookfeild Viscometer model DV-II+ Pro ในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

4.1.1.2 ผลการทดลอง

ครั้งที่	ความหนืด (cP) ที่อุณหภูมิ 26.5 °C			
	10w-30	15w-40	20w-50	SAE90
1	114.00	172.50	284.00	399.60
2	113.90	173.00	283.70	400.10
3	114.00	173.00	284.00	400.10
เฉลี่ย	113.97	172.83	283.90	399.93

ตารางที่ 4.1 ค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่าง 4 ชนิดจากเครื่องวัดความหนืดมาตรฐาน

4.1.2 การทดลองจับเวลา

เมื่อความหนืดมาก Falling plate ก็จะใช้เวลาในการตกจากบนแก้วสู่ก้นแก้วมากขึ้นตามค่าความหนืด และหาความแตกต่างเมื่อใช้ Falling Plate ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกัน ความหนาต่างกัน รูภายในต่างกัน โดยปล่อยให้ตกผ่านน้ำมัน 4 ชนิด คือ 10W-30, 15w-40, 20w-50 และ SAE90 ซึ่งทราบค่าความหนืดจากเครื่องวัดมาตรฐานแล้ว และปล่อยให้ตกผ่านน้ำซึ่งมีค่าความหนืดที่ 1 cP จากนั้นนำเวลาที่ได้มาเขียนแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและเวลา และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์

4.1.2.1 อุปกรณ์การทดลอง

- 1) น้ำ
- 2) น้ำมันหล่อลื่น 10w-30
- 3) น้ำมันหล่อลื่น 15w-40
- 4) น้ำมันหล่อลื่น 20w-50
- 5) น้ำมันหล่อลื่น SAE90
- 6) เครื่องวัดความหนืดที่โปรแกรมในหน่วยเวลา

4.1.2.2 วิธีการทดลอง

- 1) ตรวจสอบความสะอาดของภาชนะสำหรับใส่น้ำมัน และแผ่นเพลท
- 2) ค่อยๆเทน้ำมันหล่อลื่นลงในภาชนะ พยายามอย่าให้เกิดฟองอากาศ
- 3) นำเพลทไปจุ่มในภาชนะบรรจุน้ำมัน จากนั้นนำไปใส่เครื่องวัดความหนืด
- 4) เปิดเครื่อง นັกดปั๊ม READY
- 5) ดึงเพลทขึ้นมาจากภาชนะ ผ่านช่องของตัวประกอบการวัด แล้วนำไปติดกับแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ด้านบน
- 6) ตั้งระดับของเพลทโดยตั้งจากระดับของแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อให้เพลทลอยอยู่ในตำแหน่งหรือระดับที่ต้องการ
- 7) กดปุ่ม START จากนั้นรอให้เพลทเคลื่อนที่ลงไปยังก้นภาชนะ
- 8) ดูการค่าเวลาที่วัดได้ซึ่งมีหน่วยเป็นวินาที
- 9) บันทึกค่าเวลาที่วัดได้ลงในตาราง และวัดซ้ำอีก 2 ครั้งเพื่อนำไปหาค่าเฉลี่ย โดยจะแบ่งการทดลองออกเป็น 8 การทดลองย่อยๆ เพราะนำ Falling Plate มาทดลอง 8 ตัวอย่าง

มาทดลอง 8 ตัวอย่าง

4.1.2.3 ผลการทดลอง

4.1.2.3.1 จัปเวลาการตกของแผ่นเพลท A

จะทำการจัปเวลาในน้ำและในน้ำมัน 4 ตัวอย่าง อย่างละ 3 ครั้ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของเวลาในแต่ละตัวอย่าง

ครั้งที่	เวลาตกของแผ่นเพลท A (sec) ที่อุณหภูมิ 26.5 °C				
	น้ำ	10w-30	15w-40	20w-50	SAE90
1	1.10	1.70	2.10	2.80	3.80
2	1.10	1.70	2.10	2.70	3.80
3	1.10	1.70	2.20	2.80	3.80
เฉลี่ย	1.10	1.70	2.10	2.76	3.80

ตารางที่ 4.2 เวลาการตกของ Falling Plate A ในน้ำและน้ำมัน 4 ชนิด

4.1.2.3.2 จัปเวลาการตกของแผ่นเพลท B

จะทำการจัปเวลาในน้ำและในน้ำมัน 4 ตัวอย่าง อย่างละ 3 ครั้ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของเวลาในแต่ละตัวอย่าง

ครั้งที่	เวลาดตกของแผ่นเพลท B (sec) ที่อุณหภูมิ 26.5 °C				
	น้ำ	10w-30	15w-40	20w-50	SAE90
1	1.70	3.90	5.30	7.30	12.40
2	1.70	3.90	5.30	7.30	12.70
3	1.70	3.90	5.30	7.10	12.50
เฉลี่ย	1.70	3.90	5.30	72.33	12.53

ตารางที่ 4.3 เวลาการตกของ Falling Plate B ในน้ำและน้ำมัน 4 ชนิด

4.1.2.3.3 จับเวลาการตกของแผ่นเพลท C

จะทำการจับเวลาในน้ำและในน้ำมัน 4 ตัวอย่าง อย่างละ 3 ครั้ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของเวลาในแต่ละตัวอย่าง

ครั้งที่	เวลาดตกของแผ่นเพลท C (sec) ที่อุณหภูมิ 26.5 °C				
	น้ำ	10w-30	15w-40	20w-50	SAE90
1	0.80	1.50	1.80	2.40	3.10
2	0.80	1.50	1.90	2.30	3.10
3	0.80	1.50	1.80	2.40	3.10
เฉลี่ย	0.80	1.50	1.83	2.36	3.10

ตารางที่ 4.4 เวลาการตกของ Falling Plate C ในน้ำและน้ำมัน 4 ชนิด

4.1.2.3.4 จับเวลาการตกของแผ่นเพลท D

จะทำการจับเวลาในน้ำและในน้ำมัน 4 ตัวอย่าง อย่างละ 3 ครั้ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของเวลาในแต่ละตัวอย่าง

ครั้งที่	เวลาดตกของแผ่นเพลท D (sec) ที่อุณหภูมิ 26.5 °C				
	น้ำ	10w-30	15w-40	20w-50	SAE90
1	0.90	1.70	1.90	2.50	3.40
2	0.90	1.60	2.00	2.50	3.40
3	0.90	1.70	2.00	2.50	3.40
เฉลี่ย	0.90	1.66	1.96	2.50	3.40

ตารางที่ 4.5 เวลาการตกของ Falling Plate D ในน้ำและน้ำมัน 4 ชนิด

4.1.2.3.5 จับเวลาการตกของแผ่นเพลท E

จะทำการจับเวลาในน้ำและในน้ำมัน 4 ตัวอย่าง อย่างละ 3 ครั้ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของเวลาในแต่ละตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	เวลาดตกของแผ่นเพลท E (sec) ที่อุณหภูมิ 26.5 °C				
	น้ำ	10w-30	15w-40	20w-50	SAE90
1	1.20	3.80	4.80	6.50	9.70
2	1.20	3.40	4.90	6.40	10.10
3	1.20	3.60	4.80	6.10	9.80
เฉลี่ย	1.20	3.60	4.83	6.33	9.86

ตารางที่ 4.6 เวลาดตกของ Falling Plate E ในน้ำและน้ำมัน 4 ชนิด

4.1.2.3.6 จับเวลาดตกของแผ่นเพลท F

จะทำการจับเวลาในน้ำและในน้ำมัน 4 ตัวอย่าง อย่างละ 3 ครั้ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของเวลาในแต่ละตัวอย่าง

ครั้งที่	เวลาดตกของแผ่นเพลท F (sec) ที่อุณหภูมิ 26.5 °C				
	น้ำ	10w-30	15w-40	20w-50	SAE90
1	1.40	3.30	5.20	7.90	10.10
2	1.40	3.50	5.10	7.90	10.70
3	1.40	3.40	5.30	8.00	10.20
เฉลี่ย	1.40	3.40	5.20	79.33	10.33

ตารางที่ 4.7 เวลาดตกของ Falling Plate F ในน้ำและน้ำมัน 4 ชนิด

4.1.2.3.7 จับเวลาดตกของแผ่นเพลท G

จะทำการจับเวลาในน้ำและในน้ำมัน 4 ตัวอย่าง อย่างละ 3 ครั้ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของเวลาในแต่ละตัวอย่าง

ครั้งที่	เวลาดตกของแผ่นเพลท G (sec) ที่อุณหภูมิ 26.5 °C				
	น้ำ	10w-30	15w-40	20w-50	SAE90
1	0.40	0.40	0.50	0.60	0.70
2	0.40	0.40	0.50	0.60	0.70
3	0.40	0.40	0.50	0.60	0.70
เฉลี่ย	0.40	0.40	0.50	0.60	0.70

ตารางที่ 4.8 เวลาดตกของ Falling Plate G ในน้ำและน้ำมัน 4 ชนิด

4.1.2.3.8 จับเวลาการตกของแผ่นเพลท H

จะทำการจับเวลาในน้ำและในน้ำมัน 4 ตัวอย่าง อย่างละ 3 ครั้ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของเวลาในแต่ละตัวอย่าง

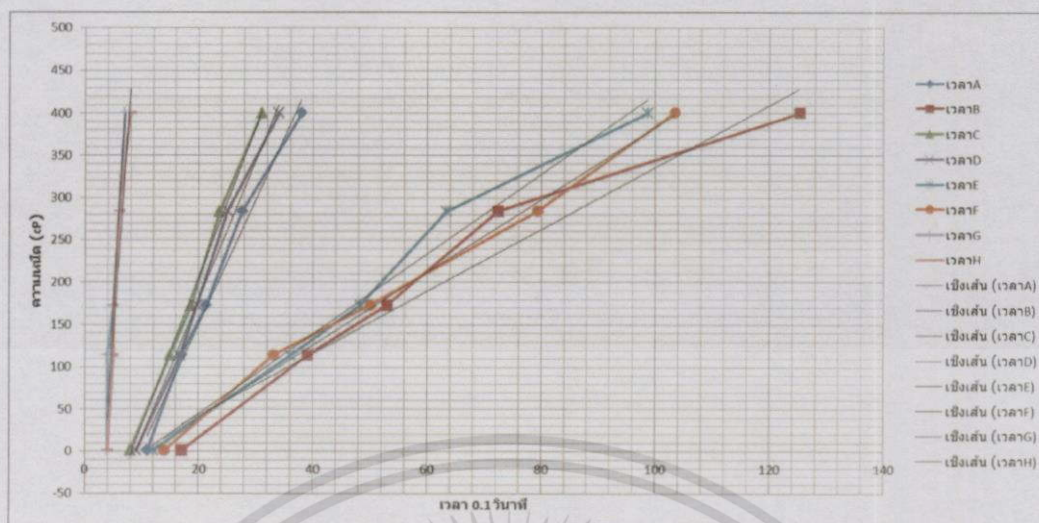
ครั้งที่	เวลาตกของแผ่นเพลท H (sec) ที่อุณหภูมิ 26.5 °C				
	น้ำ	10w-30	15w-40	20w-50	SAE90
1	0.40	0.50	0.50	0.60	0.80
2	0.40	0.50	0.50	0.60	0.80
3	0.40	0.50	0.50	0.60	0.80
เฉลี่ย	0.40	0.50	0.50	0.60	0.80

ตารางที่ 4.9 เวลาการตกของ Falling Plate H ในน้ำและน้ำมัน 4 ชนิด

นำข้อมูลเวลาเฉลี่ยมาเขียนในตาราง จะได้ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความหนืดของ Falling Plate แต่ละชนิด(ตารางที่ 4.10) และนำมาเขียนแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความหนืดของเพลทแต่ละชนิด(รูปที่ 4.2) เพื่อวิเคราะห์ผล

ตัวอย่าง	ความหนืด (cP)	เวลาตกของแผ่นเพลท (sec) ที่อุณหภูมิ 26.5 °C							
		Plate A	Plate B	Plate C	Plate D	Plate E	Plate F	Plate G	Plate H
น้ำ	1.00	1.10	1.70	0.80	0.90	1.20	1.40	0.40	0.30
10w-30	113.97	1.70	3.90	1.50	1.66	3.60	3.40	0.40	0.50
15w-40	172.83	2.13	5.30	1.86	1.96	4.83	5.20	0.50	0.50
20w-50	283.90	2.76	72.33	2.36	2.50	6.33	7.93	0.60	0.60
SAE90	399.93	3.80	125.33	3.10	3.40	9.86	10.33	0.70	0.80

ตารางที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความหนืดของ Falling Plate แต่ละชนิด



รูปที่ 4.2 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความหนืดของ Falling Plate แต่ละชนิด

4.1.2.4 สรุปผลการทดลอง

โดยจากผลการทดลองพบว่า

- เพลทที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 mm. (เพลท G,H) จะใช้เวลาน้อยกว่าเพลทที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 70 mm. (เพลท A,B,C,D,E,F)
- เพลทที่มีรูภายในขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm. (เพลท A,C,D) จะใช้เวลาน้อยกว่าเพลทที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5 mm. (เพลท B,E,F)

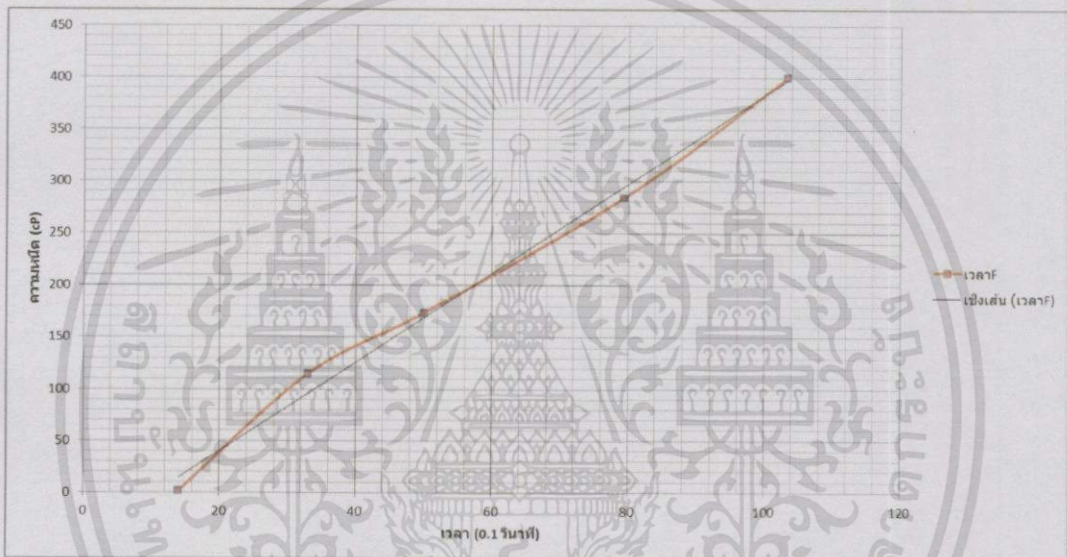
เห็นได้ชัดจากการทดลองจะแบ่งกลุ่มเพลทออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

- 1) กลุ่มแรก กลุ่มของ เพลท G และ H จะใช้เวลาเร็วที่สุด และมีพื้นที่การไหลมากที่สุด
- 2) กลุ่มที่สอง กลุ่มของ เพลท A, C และ D จะใช้เวลาช้าลงมากกว่ากลุ่มแรก เนื่องจากมีพื้นที่การไหลน้อยกว่ากลุ่มที่ 1 แต่ก็ยังเร็วไป จึงทำให้ค่าความละเอียดในการวัดต่ำ
- 3) กลุ่มที่สาม กลุ่มสุดท้าย ประกอบด้วยเพลท B, E และ F ใช้เวลามากที่สุด เนื่องจากมีพื้นที่การไหลน้อยที่สุดเทียบจากสองกลุ่มแรก ซึ่งจึงเห็นความแตกต่างระหว่างน้ำมันแต่ละเบอร์ หรือแต่ละความหนืดได้อย่างชัดเจน

- เพลท A, C, D มีขนาดเท่ากันทั้งขนาดของเพลท และรูภายใน แต่จะแตกต่างกันเพียงขนาดความหนา โดยเพลท C จะหนาสุด จากนั้น เพลท D และ A ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า เพลทที่หนา จะใช้เวลาน้อยที่สุดโดยเรียงตามลำดับการใช้เวลาจากน้อยไปหามากดังนี้ C, D, A ซึ่งเป็นผลมาจากค่าน้ำหนักที่มากกว่า จากข้อมูลตรงนี้จะสรุปได้ว่า น้ำหนักมีผลมากกว่าแรงเฉือนระหว่างพื้นผิวของเพลท (แรงเฉือนที่กล่าวมาคือแรงเฉือน บริเวณความหนาของเพลทกับของเหลว)
- จากแผนภูมิด้านบน กลุ่มของ G,H แสดงความละเอียดได้ต่ำมาก ใช้เวลาเพียงชนิดเดียวที่เพลทเคลื่อนที่ลงจากจุดอ้างอิงไปยังกันแก้ว โดยคุณสมบัติที่ทั้ง 2 เหมือนกันคือ มี

เส้นผ่าศูนย์กลาง 60 mm. รูภายในมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 cm. ต่างกันเพียงแค่ความหนา คือเพลท G หนา 3 mm. และ H หนา 2 mm.

- เมื่อพิจารณาจากความเป็นเชิงเส้น กลุ่มแรก (G,H) ให้ความเป็นเชิงเส้นสูงแต่ความละเอียดต่ำมาก กลุ่มที่ 2 (A,C,D) หากพิจารณาจากแผนภูมิพบว่า ความเป็นเชิงเส้นสูงกว่ากลุ่ม 3 (ถ้าพิจารณาจากทั้งกลุ่มโดยเฉลี่ย) แต่ความชันของแผนภูมียังคงมีค่ามาก การเปลี่ยนแปลงหรือความละเอียดจึงมีค่อนข้างน้อย จึงมาพิจารณาที่กลุ่ม 3 เพลทที่น่าสนใจคือเพลท F ซึ่งมีความเป็นเชิงเส้นสูงกว่าเพลท B และ E จึงเลือกเพลท F ในการใช้งาน และหาค่าคงที่



รูปที่ 4.3 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความหนืดของ Falling Plate F

4.2 การทดลองหาสมการสำหรับการแปลงค่าเวลาคงเป็นค่าความหนืด

จากการทดลองที่ 4.1 ได้ Falling Plate F สำหรับใช้ในเครื่องวัดความหนืดซึ่งวัดความหนืดน้ำมันแล้วมีความเป็นเชิงเส้นสูงที่สุด สำหรับการทดลองนี้เป็นการนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐานอีกครั้งหนึ่งภายใต้สภาวะเดียวกันดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิภายใต้สภาวะเดียวกัน

4.2.1 อุปกรณ์การทดลอง

- 1) น้ำมันหล่อลื่น 10w-30
- 2) น้ำมันหล่อลื่น 15w-40
- 3) น้ำมันหล่อลื่น 20w-50
- 4) น้ำมันหล่อลื่น SAE90
- 5) เครื่องวัดความหนืดที่โปรแกรมในหน่วยเวลา
- 6) เครื่องวัดความหนืดมาตรฐาน Brookfeild Viscometer model DV-II+ Pro.

4.2.2 วิธีการทดลอง

- 1) เติมน้ำมันใส่ภาชนะสำหรับทดลองทั้งสอง และทำการวัดความหนืดพร้อมๆกันโดยเครื่องวัดความหนืดจากเครื่องมาตรฐาน 3 ครั้ง และหาค่าเวลาเครื่องวัดความหนืด 10 ครั้ง โดยการหาเวลาด้วยเครื่องวัดความหนืดหาเวลาของน้ำด้วยซึ่งน้ำมีค่าความหนืดเท่ากับ 1 cP นำผลการทดลองมาบันทึกลงในตารางบันทึกผลการทดลอง นำค่าเฉลี่ยของความหนืดและเวลานำมาเขียนแผนภูมิและหาสมการความสัมพันธ์
- 2) นำสมการความสัมพันธ์โปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำการทดลองหาความหนืดของน้ำมันทั้ง 4 ชนิด 10 ครั้ง และหาค่าความผิดพลาดของการวัดเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

4.2.3 ผลการทดลอง

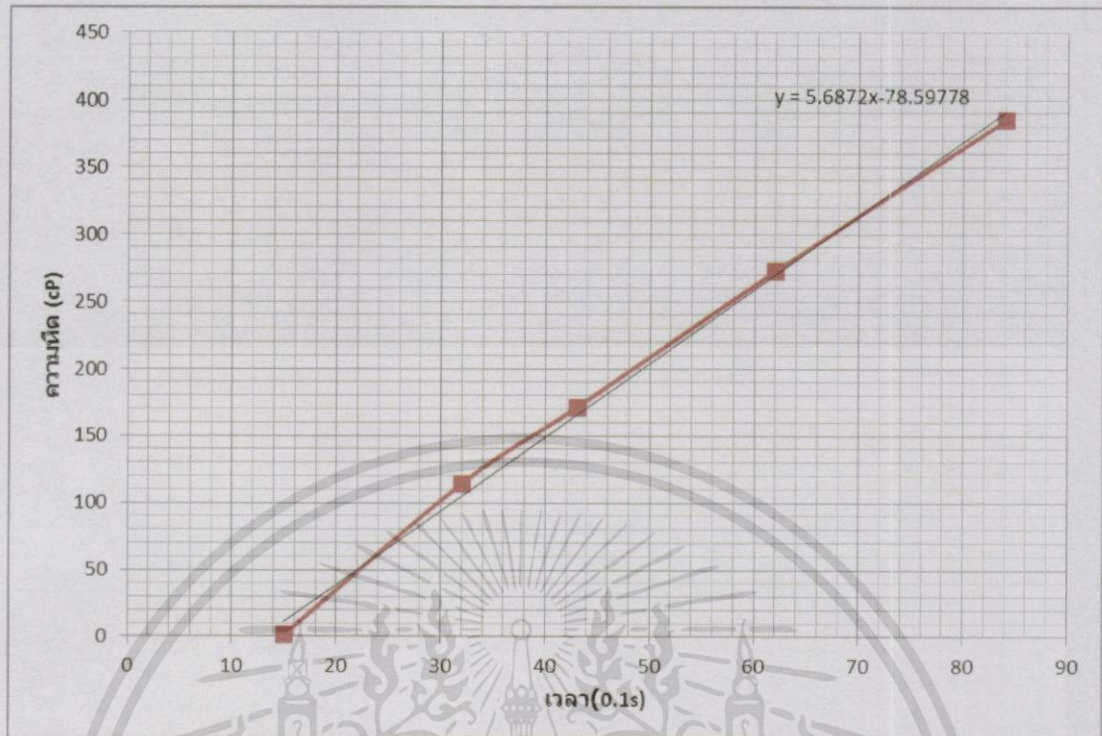
ครั้งที่	ความหนืด (cP) ที่ 27 °C			
	10w-30	15w-40	20w-50	SAE90
1	113.9	171.6	271.9	386.7
2	113.9	171.3	272.5	385.9
3	113.9	170.4	273.4	382.1
เฉลี่ย	113.9	171.1	272.6	384.9

ตารางที่ 4.11 ค่าความหนืดของน้ำมัน 4 ชนิดที่ 27 °C จากเครื่องวัดความหนืดมาตรฐาน

	ค่าเวลาการตก(sec) ที่ 27 °C				
	น้ำ	10w-30	15w-40	20w-50	SAE 90
1	1.4	3.3	4.3	6.0	8.6
2	1.4	3.5	4.3	6.1	8.7
3	1.4	3.6	4.2	6.1	8.2
4	1.4	3.5	4.4	6.4	8.2
5	1.4	3.4	4.4	5.9	8.3
6	1.4	3.3	4.3	6.1	8.4
7	1.4	3.3	4.4	6.0	8.5
8	1.4	3.3	4.3	6.3	8.5
9	1.4	3.2	4.5	6.2	8.6
10	1.4	3.2	4.3	6.0	8.4
เฉลี่ย	1.4	3.36	4.34	6.11	8.44

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าเวลาการตกของน้ำและน้ำมันชนิดต่างๆจากเครื่องวัดความหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาของเครื่องวัดความหืดและความหืดจากเครื่องวัดความหืดมาตรฐาน

จากแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์เส้นแนวโน้มของเวลาและความหืดเป็นเส้นตรง และมีสมการแสดงความสัมพันธ์ คือ $y = 5.6872x - 78.59778$ โดย y คือ ความหืด และ x คือ เวลา

ครั้งที่	ของเหลว	ความหืดของของเหลวตัวอย่าง(CP) ที่ 27 °C			
		น้ำ	10w-30	15w-40	20w-50
1	1	109	171.1	268.3	393.4
2	1	109	160.2	274	399.1
3	1	97.7	160.2	274	399.1
4	1	103.3	165.9	279.6	399.1
5	1	109	160.2	268.3	404.8
6	1	103.3	154.5	274	404.8
7	1	103.3	165.9	274	399.1
8	1	114.7	160.2	274	399.1
9	1	103.3	160.2	268.3	393.4
10	1	109	160.2	268.3	393.4
เฉลี่ย	1.00	106.16	161.86	272.28	398.53
error(e)	0.00	7.74	9.24	0.32	13.63
%error	0	6.7954	5.4003	0.1173	3.5411
Accuracy	1.0	0.9320	0.94599	0.9988	0.9645
%Accuracy	0	93.2045	94.5996	99.8826	96.4588

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าความหืดของน้ำมันจากเครื่องวัดความหืดความผิดพลาดและความแม่นยำ

4.2.4 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองได้สมการความสัมพันธ์เท่ากับ $y = 5.6872x - 78.59778$ โดย y คือ ความหนืดมีหน่วยเป็น cP และ x คือ เวลา มีหน่วยเป็น 0.1second เมื่อนำสมการมาโปรแกรมลงในไมโครคอลโทรลเลอร์แล้วทำการทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาด โดยค่าความผิดพลาดที่มากที่สุดคือ 13.63 cP ในน้ำมัน SEA 90 แต่ค่าความแม่นยำมีมากกว่า 93 เปอร์เซ็นต์

4.3 ตัวอย่างการหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิ

จากทฤษฎีอุณหภูมิส่งผลต่อความหนืดของน้ำมัน เมื่ออุณหภูมิลดลงน้ำมันจะมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น โดยความสัมพันธ์ของน้ำมันกับความหนืดเป็นเชิงเส้น ซึ่งทำให้สามารถประมาณการค่าความหนืดของน้ำมันชนิดใดชนิดหนึ่งได้ผ่านสมการเชิงเส้นนั้น โดยการวัดความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นในอุณหภูมิต่างกัน เพื่อหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดที่เปลี่ยนไปที่อุณหภูมิ โดยการทดลองนี้จะประมาณการค่าความหนืดของน้ำมัน 20W-50 ซึ่งมีเบอร์น้ำมัน SAE 50 ในอุณหภูมิ 60°F หรือ 15.55°C ว่าเป็นไปตามมาตรฐานตามตาราง 2.1 หรือไม่

4.3.1 อุปกรณ์การทดลอง

- 1) เครื่องวัดความหนืด
- 2) น้ำมันหล่อลื่น 20w-50
- 3) น้ำแข็ง

4.3.2 วิธีการทดลอง

- 1) นำน้ำมันหล่อลื่น 20w-50 เทลงในภาชนะ แล้วนำภาชนะที่บรรจุน้ำมันหล่อลื่น 20w-50 ไปแช่ในภาชนะที่บรรจุน้ำแข็ง
- 2) รอให้อุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่น 20w-50 ลดลงให้อุณหภูมิ 22°C หรือต่ำกว่า
- 3) นำน้ำมันหล่อลื่น 20w-50 ไปตากแดด เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำการวัดความหนืด ณ อุณหภูมิ 22, 24, 26, 28, 30 และ 32°C แล้วบันทึกผลการทดลอง
- 4) นำผลการทดลองมาสร้างแผนภูมิเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิของน้ำมัน 20W-50

4.3.3 ผลการทดลอง

อุณหภูมิ (°C)	ความหนืด (cP)
22	706.2
24	581.1
26	461.6
28	347.9
30	239.8
32	114.7

ตารางที่ 4.14 ค่าความหนืดของน้ำมันเบอร์ 20W-50 ในแต่ละอุณหภูมิ



รูปที่ 4.6 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิของน้ำมัน 20W-50

4.2.4 สรุปผลการทดลอง

จากแผนภูมิและผลการทดลอง จะเห็นว่าอุณหภูมิมีผลโดยตรงกับความหนืด โดยจะแปรผกผันซึ่งกันและกัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างจะลดลง ซึ่งมีผลมาจากความร้อนซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติทั่วไปของสสาร เพราะเมื่อโมเลกุลของน้ำมันได้รับความร้อน ทำให้แต่ละโมเลกุลมีพลังงานภายในมากขึ้นจึงมีผลให้แรงยึดเกาะภายในโมเลกุลลดลง จึงทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันลดลง

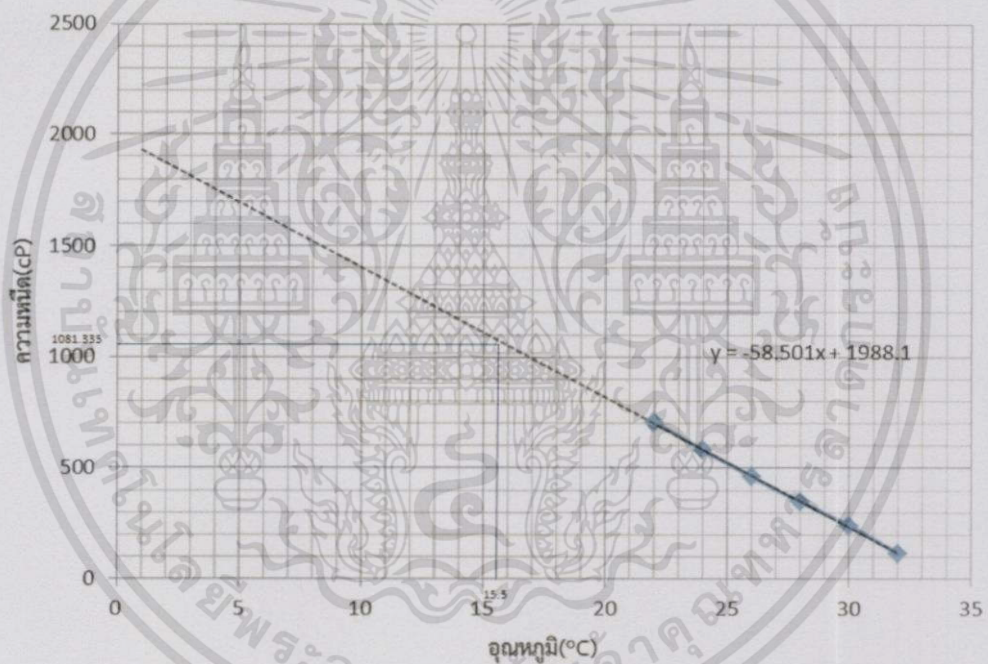
$$\text{จะได้สมการ } y = -58.501x + 1988.1 \quad (4.1)$$

โดยที่ x คือ อุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส (C)

y คือ ค่าความหนืดของเหลว (cP)

จากตาราง 2.1 การวัดความหนืดของน้ำมันเบอร์ 20w-50 ที่อุณหภูมิ 60 องศาฟาเรนไฮต์ หรือประมาณ 15.5 องศาเซลเซียส น้ำมันจะมีค่าความหนืดอยู่ระหว่าง 540 -2000 cP จากนั้นแทนค่าอุณหภูมิที่ 15.5 องศาเซลเซียสลงในสมการ $y = -58.501x + 1988.1$ ค่าความหนืดที่ได้จะมีค่า 1081.3 cP ซึ่งค่าอยู่ในมาตรฐานของน้ำมันเบอร์ 20w-50

หากทำการพลอตค่าที่วัดได้ในแผนภูมิ และลากเส้นตรงที่มีความชันทางทฤษฎี จะสามารถประเมินค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 15.5 องศาเซลเซียส ได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ 4.1



รูปที่ 4.7 แผนภาพแสดงการประมาณการความหนืดที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

บทที่ 5

สรุปผล ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ได้สร้างเครื่องวัดความหนืด โดยใช้หลักการเทียบค่าความหนืดของน้ำมันกับเวลาที่เพลทใช้ในการตกลงมา ซึ่งค่าความหนืดของเหลวแปรผันตรงกับค่าเวลา โดยเครื่องวัดความหนืดที่ได้สร้างนั้นแสดงผลในค่าความหนืดหน่วย (cP) และแสดงค่าอุณหภูมิของบรรยากาศในบริเวณที่ทำการวัด

5.2 ปัญหา

1. การได้ตัวอย่างของเพลทล่าช้า ทำการทดลองต้องทำอย่างเร่งรีบ และมีเวลาทำการทดลองน้อย
2. ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นมีจำกัดและไม่ค่อยมีความหลากหลายตามต้องการ
3. เกิดข้อผิดพลาดระหว่างการทำงานขึ้นมาก เช่น กัดแผ่นวงจรหลายรอบเพราะ มีการแก้ไขวงจรอยู่ตลอดเวลา
4. ความสามารถในการจับเวลาของไมโครคอนโทรลเลอร์ยังไม่ละเอียด จึงทำให้การประมวลผลเป็นค่าความหนืดมีความละเอียดน้อยลงตามไปด้วย
5. ตัวเครื่องทำจากโลหะ ทำให้แม่เหล็กจาก Falling Plate เกิดแรงดึงดูดระหว่างเพลทและตัวเครื่อง
6. อุณหภูมิจะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งจะทำให้ค่าความหนืดที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

เครื่องวัดความหนืดไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิหรือให้ความร้อนกับของเหลวได้ หากต้องการวัดที่อุณหภูมิที่สูงมากๆ หรือต่ำมากๆ จะต้องวัดที่อุณหภูมิที่สามารถวัดได้หลายๆค่า นำค่าที่ได้มาพลอตค่าในแผนภูมิและสร้างสมการการประมาณการขึ้นมา เพื่อประมาณค่าความหนืดที่อุณหภูมิอื่นๆ

บรรณานุกรม

Machinery Lubrication Oil Viscosity - How It's Measured and Reported. [Online].

Available : <http://www.machinerylubrication.com/Read/411/oil-viscosity>.

MyFirstBrain.Com ของไหล : ความหนืด. [Online]. Available :

http://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?ID=74621

Process Liquid Handling and High Purity Equipment Viscosity Information. [Online].

Available : <http://www.oecfh.com/>.

Sensor Sensor:Hall Effect.[Online]. Available : <http://bmesensor.blogspot.com/p/hall-effect.html>

Wikipedia ไมโครคอนโทรลเลอร์ – วิกิพีเดีย.[Online]. Available :

<http://th.wikipedia.org/wiki/ไมโครคอนโทรลเลอร์>

แม่เหล็กไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้า แม่เหล็กไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้า.[Online]. Available :

<http://dnfe5.nfe.go.th/itp/electric/Elec-3.htm>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมและอธิบาย

ก1. โปรแกรม

```
#include <18F252.h> // header file for PIC18F252
#define ADC=10 // set 10 bit ADC 111111111=1023
#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP // Configuration word
#use delay(clock=4000000) // use built-in function: delay_ms() & delay_us() by crystal
20MHz
#include <stdio.h> // standard input/output = get standard input for display
#include <STDLIB.H>

#define vbe 0.0048875855327468230694037145650049 // Vref/1023 ;vref = 5 volt
int16 seconds= 0;
float T,Hall,value,Y,Vis;
#define FLEX_LCD216_H // LCD Type 16x2
// Assign MCU's pin to LCD
#define (use_portb_lcd) && (use_portb_lcd==TRUE) // set portb to lcd
#define LCD_DB4 PIN_B4
#define LCD_DB5 PIN_B5
#define LCD_DB6 PIN_B6
#define LCD_DB7 PIN_B7
#define LCD_RS PIN_B1
#define LCD_E PIN_B0
#define LCD_RW PIN_B2 // Doesn't use RW connect to GND
#include <lcd.c> // include LCD library CCS C
#use fast_io(A)
#use fast_io(B)
#use fast_io(C)
void main ()
{
    lcd_init();
    set_tris_a(0xff);
    set_tris_b(0x00);
    set_tris_c(0xf0);
    output_c(0xf0);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

setup_adc_ports(ALL_ANALOG);
setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
while(1)
{
    int i;
    if(input(PIN_C4) ==1 & input(PIN_C5)==1)
    {
        lcd_init();          //Initial LCD
        printf(lcd_putc,"\f"); //clear LCD screen
        output_low(pin_c3);
        lcd_gotoxy(2,1);     //goto lcd position x=6, y=1
        printf(lcd_putc,"OIL VISCOMETER");
        delay_ms(100);
        // clear LCD screen line 1
        lcd_gotoxy(16, 1);   //goto lcd position x=13, y=1
        for(i=0; i < 16; i++){
            printf(lcd_putc," \b\b"); //back space
            delay_ms(90);
        }
    }
    if(input(PIN_C4) ==0 & input(PIN_C5)==1) //while(1)=doing in {} of while() are
    unstopable
    {
        while(1)
        {
            output_high(pin_c3);
            lcd_init();
            lcd_gotoxy(4,1);
            printf(lcd_putc,"## READY ##");
            delay_ms(500);
            if(input(PIN_C5) == 0)
            break;
        }
        while(1)
        {
            output_low(pin_c3);
            {
                set_adc_channel(0);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delay_us(50);
value = read_adc();
T = value * 0.4883 * 0.95;
}
{
set_adc_channel(1);
delay_us(50);
Y = read_adc();
Hall = vbe * Y * 48;
}
Vis = ((3.937 * seconds)-3.937);
if(++seconds, Hall <= 130)
{
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc, "%lu ",+seconds);
lcd_gotoxy(7,1);
printf(lcd_putc, " Temp:%.1f C",T);
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc, "Vis : %.1f cP ",Vis);
delay_ms(100);
}
}
}
}

```

ก2. อธิบายโปรแกรม

ต้องออกแบบโปรแกรมสำหรับคำนวณความหนืดจากเวลา และแสดงค่าอุณหภูมิ ซึ่งโปรแกรมหลัก ๆ จะประกอบไปด้วยโปรแกรมจับเวลาซึ่งจะใช้ปุ่มกดในการส่งคำสั่ง และหยุดนับโดยรับสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall's Effect Sensor) รับค่าการตรวจรู้อุณหภูมิจากอุปกรณ์ตรวจจับ (Temperature Sensor LM35DZ) และในส่วนของคอมไพเลอร์หรือภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมคือ CCS โดยมีรายละเอียดโปรแกรมดังนี้

```

#include <18F252.h> // คอมไพเลอร์จะทำการค้นหาเฮดเดอร์ไฟล์ที่ระบุ จาก
ไดเรกทอรีที่ใช้สำหรับเก็บ เฮดเดอร์ไฟล์โดยเฉพาะ (ปกติคือไดเรกทอรีชื่อ include)

```

```

#device ADC=10 // ใช้กำหนดให้โมดูล ADC ใน PIC18F252 ทำงานแบบ
10 บิต หากไม่กำหนดค่า เริ่มต้นจะเป็น 8 บิต ทำให้การอ่านค่าสัญญาณอนาลอกมีความละเอียดน้อยกว่า 10 บิต

#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP // เป็นคำสั่งที่ไว้สำหรับการ Config
hardware โดย
    HS คือใช้ crystal ที่มีความถี่มากกว่า 4 MHz (high speed osc)
    NOWDT แสดงว่าไม่ต้องการใช้ Watchdog timer โดย Watchdog timer มี หน้าที่
คอยดูแลการทำงานของ CPU เมื่อเกิดเหตุการณ์ผิดปกติที่ทำให้การทำงานใน CPU ขาดความต่อเนื่อง
ระบบ watchdog จะสั่งระบบ Reset ตัวเองให้ทำงานใหม่ทันที
    NOPROTECT ไม่ป้องกันคนอื่นอ่านโปรแกรมของจาก cpu
    NOLVP คือไม่ต้องการเขียน Program เข้า CPU ด้วยไฟ 5v ส่งผลได้ต้องใช้ไป ประ
มาณ 12v ในการโปรแกรม แต่ข้อดีคือ ทำให้ไม่ต้องเสียบขา 1 ขา ถ้า ใช้ LVP จะใช้ขาไม่ได้ 1 ขา
#use delay(clock=4000000) // ใช้ crystal 4 MHz ในการใช้งานคำนวณทางด้าน
ของเวลา
#include <stdio.h> // Standard Input Output คือการ
นำเข้า ฟังก์ชันมาตรฐาน ที่ใช้ในการแสดงผล และรับค่าคือตัวแปรที่สำหรับ เก็บค่าคำสั่งต่างๆคร้
บ
อย่างเช่น printf scanf if switch break else เป็นต้น
#include <STDLIB.H> // จะสนับสนุนการทำงานของฟังก์ชันต่างๆในโปรแกรม

#define vbe 0.0048875855327468230694037145650049 // Vref/1023 ;Vref = 5
volt คือ แรงดันที่ทำให้ ได้รหัสเป็น 1023 เป็นคำสั่งในการใช้งานค่า A to D
int16 seconds= 0; // กำหนด seconds เป็นตัวแปรขนาด 16 บิต
float T,Hall,value,Y,Vis; // float คือการกำหนดตัวแปรให้รับค่าหรือแสดงค่าเป็นทศนิยม
#define FLEX_LCD216_H // ใช้งาน LCD Type 16x2
#define (use_portb_lcd) &&(use_portb_lcd==TRUE) // ใช้ portb สำหรับ lcd
#define LCD_DB4 PIN_B4
#define LCD_DB5 PIN_B5
#define LCD_DB6 PIN_B6
#define LCD_DB7 PIN_B7
#define LCD_RS PIN_B1
#define LCD_E PIN_B0
#define LCD_RW PIN_B2 // กำหนดขาต่างๆของ MCU เพื่อต่อกับ ขา LCD

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <lcd.c> // เรียกใช้ไลบรารี LCD.C เพื่อใช้งานฟังก์ชันที่เกี่ยวกับการควบคุม
โมดูล LCD แบบตัวอักษร
#include fast_io(A)
#include fast_io(B)
#include fast_io(C) // กำหนดขาของ MCU ให้เป็นชนิด Input Output เพื่อการใช้งาน

void main () //function หลักของโปรแกรมครับ โดยปกติจะต้องมี function main อย่าง
น้อยหนึ่ง function และ void ที่อยู่ด้านหน้าบอกว่า function นี้ไม่มีการ return ค่าอะไรออกมา
{
lcd_init(); // ใช้เพื่อกำหนดรายละเอียดและคุณสมบัติในการใช้งานโมดูล LCD ต้องเรียกใช้
งานก่อนเป็นอันดับแรก ก่อนที่จะเรียกใช้งานฟังก์ชันอื่นๆ ในไลบรารี LCD.C
set_tris_a(0xff); // กำหนดขา MCU port a ให้เป็นอินพุตทั้งหมด โดยจะมีรูปแบบคือ a(
0x11111111 )
set_tris_b(0x00); // กำหนดขา MCU port b ให้เป็นเอาต์พุตทั้งหมด โดยจะมีรูปแบบคือ
b( 0x00000000 )
set_tris_c(0xf0); // กำหนดขา MCU port C ให้เป็นเอาต์พุตและอินพุต โดยจะมีรูปแบบ
คือ c( 0x11110000 ) คือพอด C0-C3 เป็น เอาต์พุต และ C4-C7 เป็นอินพุต
output_c(0xf0); // ตั้งค่าเริ่มต้นของพอด C ให้เป็น 0x11110000 คือขา C0-C3 เป็น
Active Low และ C4-C7เป็น Active High
setup_adc_ports(ALL_ANALOG); // ใช้กำหนดจำนวนพอร์ตอนาล็อกที่ใช้งานในที่นี้คือ พอร์ต
A ทุกพอร์ตใช้งานเป็นอนาล็อก
setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL); // ใช้กำหนดสัญญาณนาฬิกาสำหรับการแปลง
สัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลในที่นี้คือใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายใน
while(1) // ใช้คำสั่ง while ในการวนลูปทั้งหมด
{
int i; // กำหนด i ให้เป็นค่าจำนวนเต็ม int โดยจะมีค่า 2 byte หรือ 16 bit
if(input(PIN_C4) ==1 & input(PIN_C5)==1) // คำสั่ง If ถ้า Pin C4 และ C5 เป็น 1 หรือ
Active High จะทำการวนลูปด้านล่าง
{
lcd_init();
printf(lcd_putc,"%f"); //clear LCD screen
output_low(pin_c3);
lcd_gotoxy(2,1); //goto lcd position x=2, y=1
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

printf(lcd_putc,"OIL VISCOMETER");
delay_ms(100);
    // clear LCD screen line 1
lcd_gotoxy(16, 1);          //goto lcd position x=16, y=1
for(i=0; i < 16; i++){
    printf(lcd_putc," \b\b"); //back space
    delay_ms(90);
}
// คำสั่งนี้คือการแสดงผลทาง LCD โดยแสดงว่า OIL VISCOMETER ส่วนนี้คือการเริ่มต้นใช้
งาน
}
if(input(PIN_C4) ==0 & input(PIN_C5)==1) //คำสั่งนี้คือ ถ้า ขา C4=0 และC5=1 แล้ว
จะทำการวนลูปด้านล่าง
{
while(1)
{
output_high(pin_c3);
lcd_init();
lcd_gotoxy(4,1);
printf(lcd_putc,"## READY ##"); // กำหนดให้ LCD แสดงผลว่า ## READY
##
delay_ms(500);
if(input(PIN_C5) == 0) //
break; // คำสั่ง break ใช้ในกรณีที่จะออกจากลูป ถ้า input PIN C5 เป็น 0 หรือ
active low ก็จะออกจากลูปด้านบนเพื่อไปคำสั่งใหม่ที่อยู่ถัดไป
}
while(1) // เริ่มต้นด้วยการวนลูปด้วยคำสั่ง while โดย(1) คือการทำงานตามเงื่อนไขที่เป็น
จริงทั้งหมด
{
output_low(pin_c3); // กำหนดค่าเริ่มต้นของพอด C3 ให้เป็น Active Low
{
set_adc_channel(0); // ใช้ในการกำหนดช่องสัญญาณที่จะอ่าน ในกรณีนี้คือเป็น 0
คือพอด A0 ใช้เป็นพอดสัญญาณอนาล็อก

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delay_us(50);
value = read_adc(); // ฟังก์ชันนี้ใช้ในการอ่านค่าสัญญาณอนาลอกที่ได้กำหนดไว้แล้วด้วย
ฟังก์ชัน set_adc_channel()
    T = value * 0.4883 * 0.95;
    }
    {
set_adc_channel(1);
delay_us(50);
Y = read_adc();
Hall = vbe * Y * 48;
    }
    Vis = ((5.6872* seconds)- 78.59778);
if(++seconds, Hall <= 130) // กำหนดค่า seconds ให้นับค่าไปเรื่อยๆ และค่า Hall ให้น้อย
กว่าหรือเท่ากับ 130 ถ้ามากเกินไปกว่านั้น ให้ออกจากลูป และเวลาที่จะหยุดนับไปด้วย
    {
        lcd_gotoxy(1,1);
        printf(lcd_putc, "%lu ",+seconds);
        lcd_gotoxy(7,1);
        printf(lcd_putc, " Temp:%.1f C",T);
        lcd_gotoxy(1,2);
        printf(lcd_putc, "Vis : %.1f cP",Vis);
        delay_ms(100);
    } // ส่วนแสดงผลสุดท้ายของโปรแกรม คือ การแสดง
ค่าเวลาที่นับ ค่าอุณหภูมิ และ ค่าความหนืด โดยแต่ละ คำสั่งที่นำมาแสดงจะมาจาก ++seconds
คือการนับค่าเวลา โดยจะมีระยะเวลาเท่ากับ 1 dsec หรือ 0.1 วิ, T = value * 0.4883 * 0.95 คือ
ค่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมขณะทำการทดลอง โดยจะใช้งานเป็นค่า analog to digital โดย value คือ
ค่าอนาลอกที่อ่านได้ , Vis = ((3.937 * seconds)-3.937) คือ ค่าความหนืดโดยนำค่าเวลามาคำนวณ
และ สมการนี้ได้มาจากค่าความหนืดอ้างอิงที่นำมาพล็อตแผนภูมิแล้วได้ค่าสมการออกมา : หมายเหตุ
0.4883 มาจาก (5.0 * 100.0) / 1024.0 เพื่อเป็นการรับค่าสัญญาณอนาลอก
    }
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างการคำนวณพื้นที่การไหล

ตัวอย่างการคำนวณพื้นที่การไหลของเพลท F ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของแควเท่ากับ 76 mm. เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลทเท่ากับ 70 mm. และเส้นผ่านศูนย์กลางของรูทั้ง 4 เท่ากับ 5 mm.

$$\text{พื้นที่หน้าตัดของแคว} = \pi \frac{D^2}{4} = \pi \frac{76^2}{4} = 4538.20 \text{ mm}^2$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดของเพลต(ก่อนเจาะรู)} = \pi \frac{D^2}{4} = \pi \frac{70^2}{4} = 3849.93 \text{ mm}^2$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดของรูเพลตทั้ง 4 รู} = 4\pi \frac{D^2}{4} = 4\pi \frac{5^2}{4} = 78.57 \text{ mm}^2$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดของเพลต (หลังเจาะรู)} = \text{พื้นที่หน้าตัดของเพลต(ก่อนเจาะรู)} - \text{พื้นที่หน้าตัดของรูเพลตทั้ง 4 รู}$$

$$= 3849.93 - 78.57$$

$$= 3771.36 \text{ mm}^2$$

$$\text{พื้นที่การไหลทั้งหมด} = \text{พื้นที่หน้าตัดของแคว} - \text{พื้นที่หน้าตัดของเพลต} + \text{พื้นที่หน้าตัด}$$

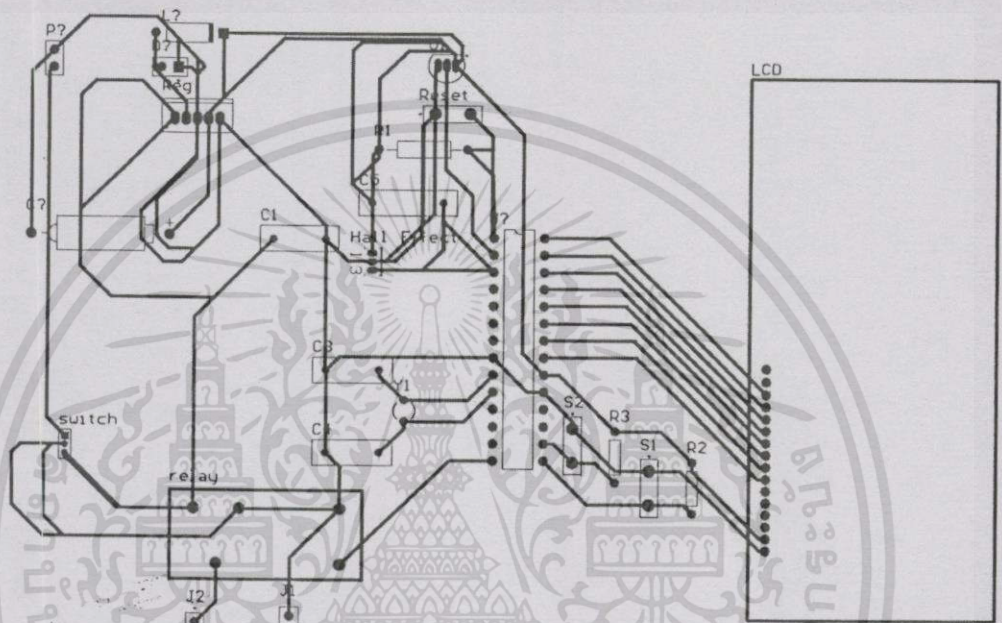
ของรูเพลตทั้ง 4 รู

$$= 4538.20 - 3849.93 + 78.57$$

$$= 766.84 \text{ mm}^2$$

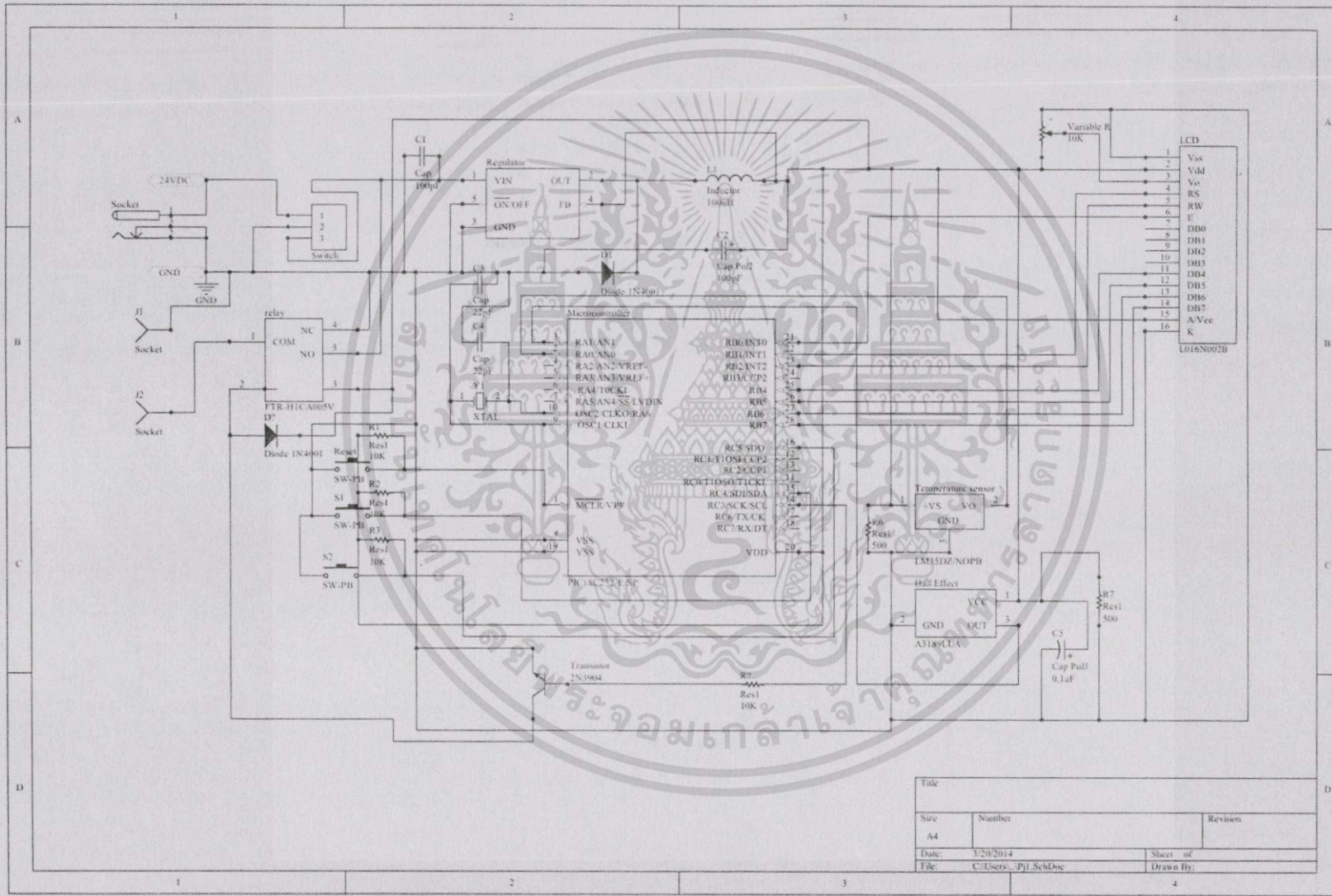
ภาคผนวก ค.

แบบวงจรและ Print Circuit Board



Print Circuit Board ขนาดเท่าจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	1/29/2014	Sheet of
File:	C:\Users\..._P1\SchDoc	Drawn By:

แผนผังวงจรควบคุม

ภาคผนวก ง.

เอกสารข้อมูล

ภาคผนวก ค. ประกอบไปด้วยเอกสารข้อมูล (Data Sheet) ของ Microcontroller PIC18F252, Hall-effect Sensor A1302 และ Temperature Sensor LM35DZ



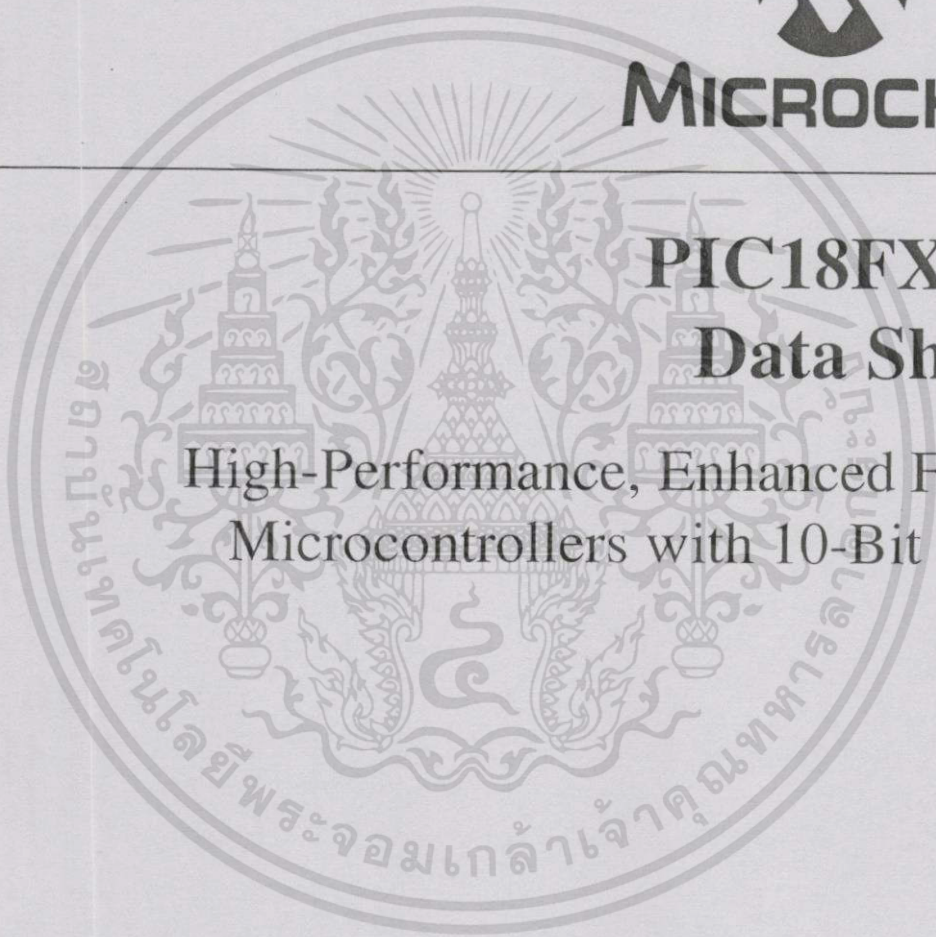
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MICROCHIP

PIC18FXX2 Data Sheet

**High-Performance, Enhanced Flash
Microcontrollers with 10-Bit A/D**





MICROCHIP

PIC18FXX2

28/40-pin High Performance, Enhanced FLASH Microcontrollers with 10-Bit A/D

High Performance RISC CPU:

- C compiler optimized architecture/instruction set
 - Source code compatible with the PIC16 and PIC17 instruction sets
- Linear program memory addressing to 32 Kbytes
- Linear data memory addressing to 1.5 Kbytes

Device	On-Chip Program Memory		On-Chip RAM (bytes)	Data EEPROM (bytes)
	FLASH (bytes)	# Single Word Instructions		
PIC18F242	16K	8192	768	256
PIC18F252	32K	16384	1536	256
PIC18F442	16K	8192	768	256
PIC18F452	32K	16384	1536	256

- Up to 10 MIPS operation:
 - DC - 40 MHz osc./clock input
 - 4 MHz - 10 MHz osc./clock input with PLL active
- 16-bit wide instructions, 8-bit wide data path
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single Cycle Hardware Multiplier

Peripheral Features:

- High current sink/source 25 mA/25 mA
- Three external interrupt pins
- Timer0 module: 8-bit/16-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Timer1 module: 16-bit timer/counter
- Timer2 module: 8-bit timer/counter with 8-bit period register (time-base for PWM)
- Timer3 module: 16-bit timer/counter
- Secondary oscillator clock option - Timer1/Timer3
- Two Capture/Compare/PWM (CCP) modules. CCP pins that can be configured as:
 - Capture input: capture is 16-bit, max. resolution 6.25 ns (T_{CY}/16)
 - Compare is 16-bit, max. resolution 100 ns (T_{CY})
 - PWM output: PWM resolution is 1- to 10-bit, max. PWM freq. @: 8-bit resolution = 156 kHz
10-bit resolution = 39 kHz
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module, Two modes of operation:
 - 3-wire SPI™ (supports all 4 SPI modes)
 - I²C™ Master and Slave mode

Peripheral Features (Continued):

- Addressable USART module:
 - Supports RS-485 and RS-232
- Parallel Slave Port (PSP) module

Analog Features:

- Compatible 10-bit Analog-to-Digital Converter module (A/D) with:
 - Fast sampling rate
 - Conversion available during SLEEP
 - Linearity ≤ 1 LSB
- Programmable Low Voltage Detection (PLVD)
 - Supports interrupt on-Low Voltage Detection
- Programmable Brown-out Reset (BOR)

Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced FLASH program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory
- FLASH/Data EEPROM Retention: > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own On-Chip RC Oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options including:
 - 4X Phase Lock Loop (of primary oscillator)
 - Secondary Oscillator (32 kHz) clock input
- Single supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

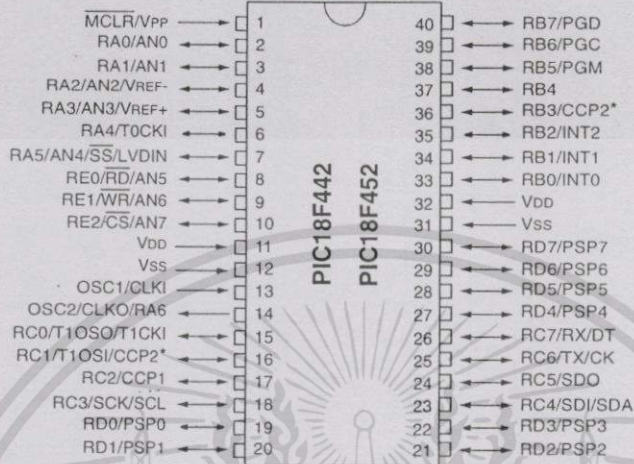
CMOS Technology:

- Low power, high speed FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Industrial and Extended temperature ranges
- Low power consumption:
 - < 1.6 mA typical @ 5V, 4 MHz
 - 25 μ A typical @ 3V, 32 kHz
 - < 0.2 μ A typical standby current

PIC18FXX2

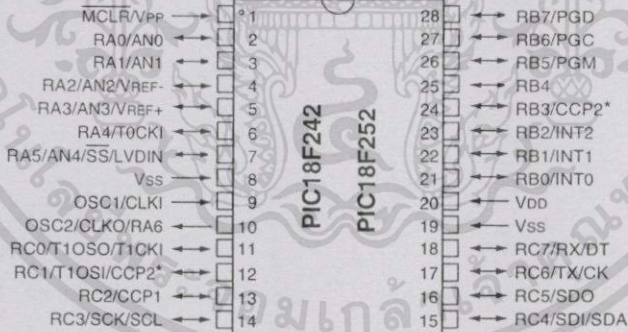
Pin Diagrams (Cont.'d)

DIP



Note: Pin compatible with 40-pin PIC16C7X devices.

DIP, SOIC



* RB3 is the alternate pin for the CCP2 pin multiplexing.

PIC18FXX2

1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information for the following devices:

- PIC18F242
- PIC18F252
- PIC18F442
- PIC18F452

These devices come in 28-pin and 40/44-pin packages. The 28-pin devices do not have a Parallel Slave Port (PSP) implemented and the number of Analog-to-Digital (A/D) converter input channels is reduced to 5. An overview of features is shown in Table 1-1.

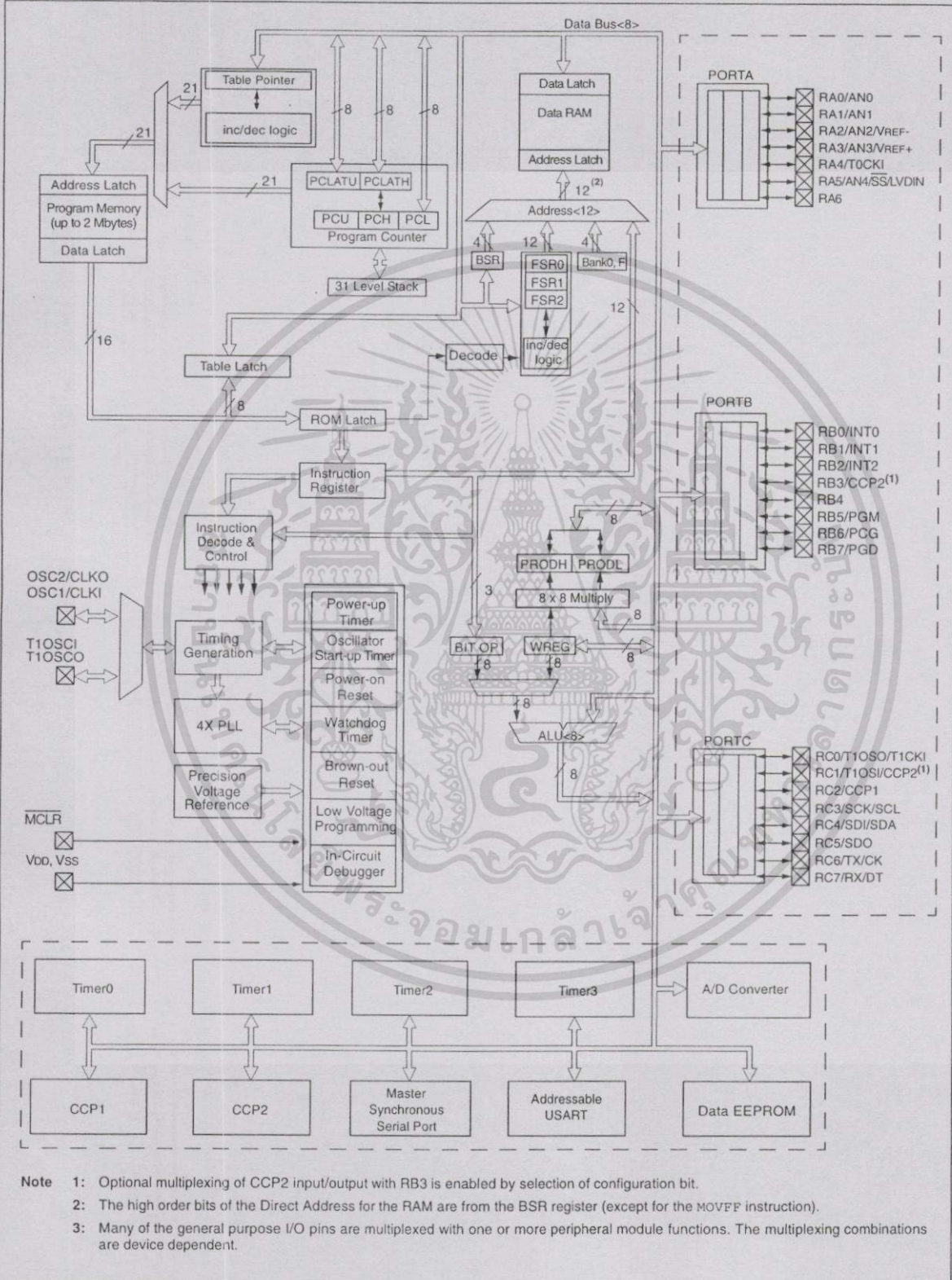
The following two figures are device block diagrams sorted by pin count: 28-pin for Figure 1-1 and 40/44-pin for Figure 1-2. The 28-pin and 40/44-pin pinouts are listed in Table 1-2 and Table 1-3, respectively.

TABLE 1-1: DEVICE FEATURES

Features	PIC18F242	PIC18F252	PIC18F442	PIC18F452
Operating Frequency	DC - 40 MHz	DC - 40 MHz	DC - 40 MHz	DC - 40 MHz
Program Memory (Bytes)	16K	32K	16K	32K
Program Memory (Instructions)	8192	16384	8192	16384
Data Memory (Bytes)	768	1536	768	1536
Data EEPROM Memory (Bytes)	256	256	256	256
Interrupt Sources	17	17	18	18
I/O Ports	Ports A, B, C	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C, D, E
Timers	4	4	4	4
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, Addressable USART	MSSP, Addressable USART	MSSP, Addressable USART	MSSP, Addressable USART
Parallel Communications	—	—	PSP	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	5 input channels	8 input channels	8 input channels
RESETS (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST)
Programmable Low Voltage Detect	Yes	Yes	Yes	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes	Yes	Yes	Yes
Instruction Set	75 Instructions	75 Instructions	75 Instructions	75 Instructions
Packages	28-pin DIP 28-pin SOIC	28-pin DIP 28-pin SOIC	40-pin DIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP	40-pin DIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP

PIC18FXX2

FIGURE 1-1: PIC18F2X2 BLOCK DIAGRAM



PIC18FXX2

TABLE 1-2: PIC18F2X2 PINOUT I/O DESCRIPTIONS

Pin Name	Pin Number		Pin Type	Buffer Type	Description
	DIP	SOIC			
MCLR/VPP	1	1			Master Clear (input) or high voltage ICSP programming enable pin.
MCLR			I	ST	Master Clear (Reset) input. This pin is an active low RESET to the device.
VPP			I	ST	High voltage ICSP programming enable pin.
NC	—	—	—	—	These pins should be left unconnected.
OSC1/CLKI	9	9			Oscillator crystal or external clock input.
OSC1			I	ST	Oscillator crystal input or external clock source input. ST buffer when configured in RC mode, CMOS otherwise.
CLKI			I	CMOS	External clock source input. Always associated with pin function OSC1. (See related OSC1/CLKI, OSC2/CLKO pins.)
OSC2/CLKO/RA6	10	10			Oscillator crystal or clock output.
OSC2			O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode.
CLKO			O	—	In RC mode, OSC2 pin outputs CLKO which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
RA6			I/O	TTL	General Purpose I/O pin.
RA0/AN0	2	2			PORTA is a bi-directional I/O port.
RA0			I/O	TTL	Digital I/O.
AN0			I	Analog	Analog input 0.
RA1/AN1	3	3			
RA1			I/O	TTL	Digital I/O.
AN1			I	Analog	Analog input 1.
RA2/AN2/VREF-	4	4			
RA2			I/O	TTL	Digital I/O.
AN2			I	Analog	Analog input 2.
VREF-			I	Analog	A/D Reference Voltage (Low) input.
RA3/AN3/VREF+	5	5			
RA3			I/O	TTL	Digital I/O.
AN3			I	Analog	Analog input 3.
VREF+			I	Analog	A/D Reference Voltage (High) input.
RA4/T0CKI	6	6			
RA4			I/O	ST/OD	Digital I/O. Open drain when configured as output.
T0CKI			I	ST	Timer0 external clock input.
RA5/AN4/SS/LVDIN	7	7			
RA5			I/O	TTL	Digital I/O.
AN4			I	Analog	Analog input 4.
SS			I	ST	SPI Slave Select input.
LVDIN			I	Analog	Low Voltage Detect Input.
RA6					See the OSC2/CLKO/RA6 pin.

Legend: TTL = TTL compatible input

ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels

O = Output

OD = Open Drain (no P diode to VDD)

CMOS = CMOS compatible input or output

I = Input

P = Power

PIC18FXX2

TABLE 1-2: PIC18F2X2 PINOUT I/O DESCRIPTIONS (CONTINUED)

Pin Name	Pin Number		Pin Type	Buffer Type	Description
	DIP	SOIC			
RC0/T1OSO/T1CKI	11	11			PORTC is a bi-directional I/O port.
RC0			I/O	ST	Digital I/O.
T1OSO			O	—	Timer1 oscillator output.
T1CKI			I	ST	Timer1/Timer3 external clock input.
RC1/T1OSI/CCP2	12	12			
RC1			I/O	ST	Digital I/O.
T1OSI			I	CMOS	Timer1 oscillator input.
CCP2			I/O	ST	Capture2 input, Compare2 output, PWM2 output.
RC2/CCP1	13	13			
RC2			I/O	ST	Digital I/O.
CCP1			I/O	ST	Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.
RC3/SCK/SCL	14	14			
RC3			I/O	ST	Digital I/O.
SCK			I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for SPI mode.
SCL			I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for I ² C mode
RC4/SDI/SDA	15	15			
RC4			I/O	ST	Digital I/O.
SDI			I	ST	SPI Data In.
SDA			I/O	ST	I ² C Data I/O.
RC5/SDO	16	16			
RC5			I/O	ST	Digital I/O.
SDO			O	—	SPI Data Out.
RC6/TX/CK	17	17			
RC6			I/O	ST	Digital I/O.
TX			O	—	USART Asynchronous Transmit.
CK			I/O	ST	USART Synchronous Clock (see related RX/DT).
RC7/RX/DT	18	18			
RC7			I/O	ST	Digital I/O.
RX			I	ST	USART Asynchronous Receive.
DT			I/O	ST	USART Synchronous Data (see related TX/CK).
Vss	8, 19	8, 19	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
Vdd	20	20	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

Legend: TTL = TTL compatible input

ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels

O = Output

OD = Open Drain (no P diode to Vdd)

CMOS = CMOS compatible input or output

I = Input

P = Power

17.0 COMPATIBLE 10-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER (A/D) MODULE

The Analog-to-Digital (A/D) converter module has five inputs for the PIC18F2X2 devices and eight for the PIC18F4X2 devices. This module has the ADCON0 and ADCON1 register definitions that are compatible with the mid-range A/D module.

The A/D allows conversion of an analog input signal to a corresponding 10-bit digital number.

The A/D module has four registers. These registers are:

- A/D Result High Register (ADRESH)
- A/D Result Low Register (ADRESL)
- A/D Control Register 0 (ADCON0)
- A/D Control Register 1 (ADCON1)

The ADCON0 register, shown in Register 17-1, controls the operation of the A/D module. The ADCON1 register, shown in Register 17-2, configures the functions of the port pins.

REGISTER 17-1: ADCON0 REGISTER

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON
						bit 7	bit 0

bit 7-6 **ADCS1:ADCS0**: A/D Conversion Clock Select bits (ADCON0 bits in bold)

ADCON1 <ADCS2>	ADCON0 <ADCS1:ADCS0>	Clock Conversion
0	00	Fosc/2
0	01	Fosc/8
0	10	Fosc/32
0	11	FRC (clock derived from the internal A/D RC oscillator)
1	00	Fosc/4
1	01	Fosc/16
1	10	Fosc/64
1	11	FRC (clock derived from the internal A/D RC oscillator)

bit 5-3 **CHS2:CHS0**: Analog Channel Select bits

- 000 = channel 0, (AN0)
- 001 = channel 1, (AN1)
- 010 = channel 2, (AN2)
- 011 = channel 3, (AN3)
- 100 = channel 4, (AN4)
- 101 = channel 5, (AN5)
- 110 = channel 6, (AN6)
- 111 = channel 7, (AN7)

Note: The PIC18F2X2 devices do not implement the full 8 A/D channels; the unimplemented selections are reserved. Do not select any unimplemented channel.

bit 2 **GO/DONE**: A/D Conversion Status bit

When ADON = 1:

1 = A/D conversion in progress (setting this bit starts the A/D conversion which is automatically cleared by hardware when the A/D conversion is complete)

0 = A/D conversion not in progress

bit 1 **Unimplemented**: Read as '0'

bit 0 **ADON**: A/D On bit

1 = A/D converter module is powered up

0 = A/D converter module is shut-off and consumes no operating current

Legend:			
R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'	
- n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared	x = Bit is unknown

PIC18FXX2

REGISTER 17-2: ADCON1 REGISTER

R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7				bit 0			

bit 7 **ADFM:** A/D Result Format Select bit
 1 = Right justified. Six (6) Most Significant bits of ADRESH are read as '0'.
 0 = Left justified. Six (6) Least Significant bits of ADRESL are read as '0'.

bit 6 **ADCS2:** A/D Conversion Clock Select bit (ADCON1 bits in **bold**)

ADCON1 <ADCS2>	ADCON0 <ADCS1:ADCS0>	Clock Conversion
0	00	Fosc/2
0	01	Fosc/8
0	10	Fosc/32
0	11	FRC (clock derived from the internal A/D RC oscillator)
1	00	Fosc/4
1	01	Fosc/16
1	10	Fosc/64
1	11	FRC (clock derived from the internal A/D RC oscillator)

bit 5-4 **Unimplemented:** Read as '0'

bit 3-0 **PCFG3:PCFG0:** A/D Port Configuration Control bits

PCFG <3:0>	AN7	AN6	AN5	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0	VREF+	VREF-	C / R
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	8 / 0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	7 / 1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	VDD	VSS	5 / 0
0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	4 / 1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	VDD	VSS	3 / 0
0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	AN3	VSS	2 / 1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	—	—	0 / 0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	6 / 2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	6 / 0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	5 / 1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	4 / 2
1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	3 / 2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	2 / 2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	VDD	VSS	1 / 0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	AN3	AN2	1 / 2

A = Analog input D = Digital I/O

C/R = # of analog input channels / # of A/D voltage references

Legend:			
R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'	
- n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared	x = Bit is unknown

Note: On any device RESET, the port pins that are multiplexed with analog functions (ANx) are forced to be an analog input.

PIC18FXX2

The analog reference voltage is software selectable to either the device's positive and negative supply voltage (VDD and VSS), or the voltage level on the RA3/AN3/VREF+ pin and RA2/AN2/VREF- pin.

The A/D converter has a unique feature of being able to operate while the device is in SLEEP mode. To operate in SLEEP, the A/D conversion clock must be derived from the A/D's internal RC oscillator.

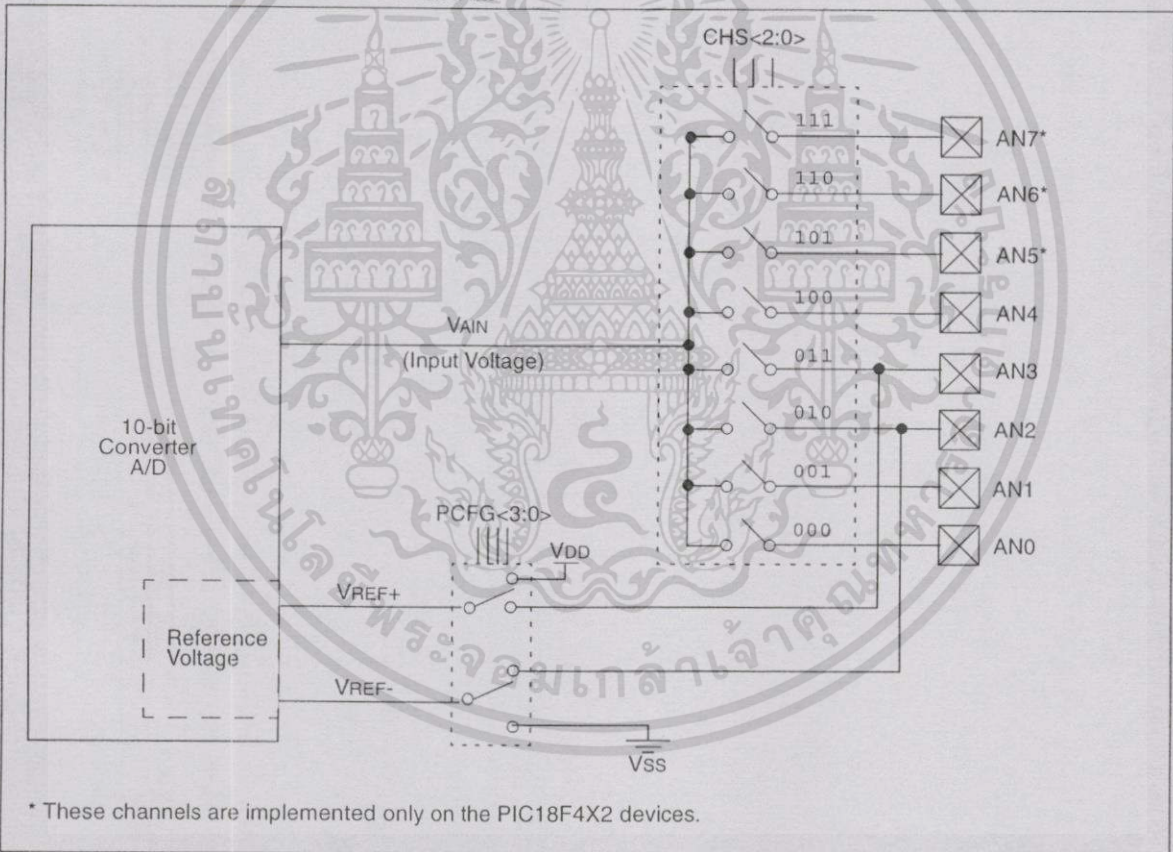
The output of the sample and hold is the input into the converter, which generates the result via successive approximation.

A device RESET forces all registers to their RESET state. This forces the A/D module to be turned off and any conversion is aborted.

Each port pin associated with the A/D converter can be configured as an analog input (RA3 can also be a voltage reference) or as a digital I/O.

The ADRESH and ADRESL registers contain the result of the A/D conversion. When the A/D conversion is complete, the result is loaded into the ADRESH/ADRESL registers, the GO/DONE bit (ADCON0<2>) is cleared, and A/D interrupt flag bit, ADIF is set. The block diagram of the A/D module is shown in Figure 17-1.

FIGURE 17-1: A/D BLOCK DIAGRAM



PIC18FXX2

The value that is in the ADRESH/ADRESL registers is not modified for a Power-on Reset. The ADRESH/ADRESL registers will contain unknown data after a Power-on Reset.

After the A/D module has been configured as desired, the selected channel must be acquired before the conversion is started. The analog input channels must have their corresponding TRIS bits selected as an input. To determine acquisition time, see Section 17.1. After this acquisition time has elapsed, the A/D conversion can be started. The following steps should be followed for doing an A/D conversion:

1. Configure the A/D module:
 - Configure analog pins, voltage reference and digital I/O (ADCON1)
 - Select A/D input channel (ADCON0)
 - Select A/D conversion clock (ADCON0)
 - Turn on A/D module (ADCON0)
2. Configure A/D interrupt (if desired):
 - Clear ADIF bit
 - Set ADIE bit
 - Set GIE bit
 - Set PEIE bit
3. Wait the required acquisition time.
4. Start conversion:
 - Set GO/DONE bit (ADCON0)

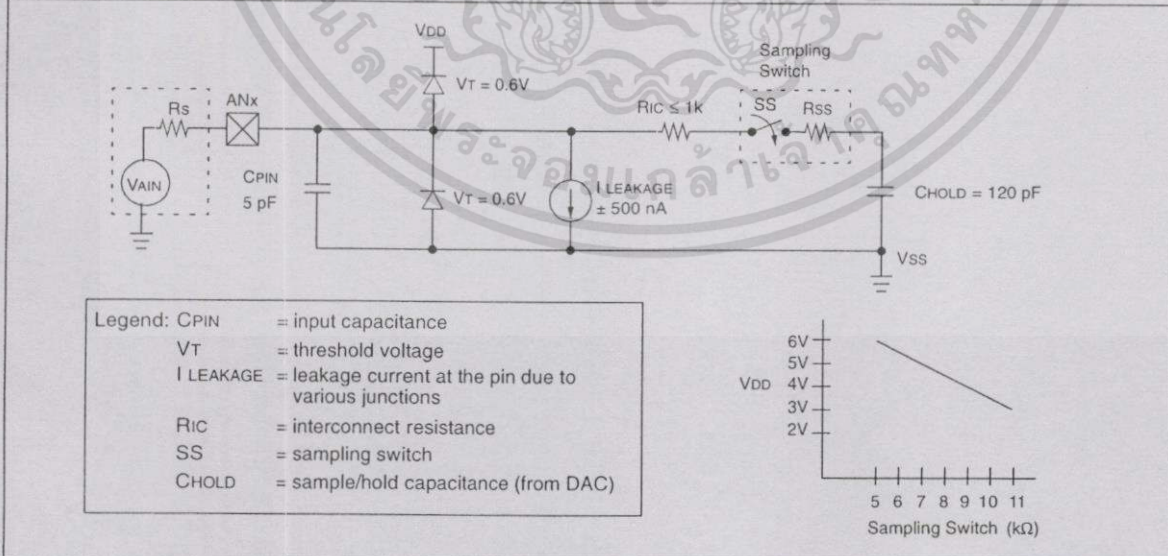
5. Wait for A/D conversion to complete, by either:
 - Polling for the GO/DONE bit to be cleared (interrupts disabled)
- OR
- Waiting for the A/D interrupt
6. Read A/D Result registers (ADRESH/ADRESL); clear bit ADIF if required.
7. For next conversion, go to step 1 or step 2 as required. The A/D conversion time per bit is defined as TAD. A minimum wait of 2 TAD is required before the next acquisition starts.

17.1 A/D Acquisition Requirements

For the A/D converter to meet its specified accuracy, the charge holding capacitor (CHOLD) must be allowed to fully charge to the input channel voltage level. The analog input model is shown in Figure 17-2. The source impedance (R_s) and the internal sampling switch (R_{SS}) impedance directly affect the time required to charge the capacitor CHOLD. The sampling switch (R_{SS}) impedance varies over the device voltage (VDD). The source impedance affects the offset voltage at the analog input (due to pin leakage current). **The maximum recommended impedance for analog sources is 2.5 k Ω .** After the analog input channel is selected (changed), this acquisition must be done before the conversion can be started.

Note: When the conversion is started, the holding capacitor is disconnected from the input pin.

FIGURE 17-2: ANALOG INPUT MODEL



To calculate the minimum acquisition time, Equation 17-1 may be used. This equation assumes that 1/2 LSB error is used (1024 steps for the A/D). The 1/2 LSB error is the maximum error allowed for the A/D to meet its specified resolution.

EQUATION 17-1: ACQUISITION TIME

$$\begin{aligned} T_{ACQ} &= \text{Amplifier Settling Time} + \text{Holding Capacitor Charging Time} + \text{Temperature Coefficient} \\ &= T_{AMP} + T_C + T_{COFF} \end{aligned}$$

EQUATION 17-2: A/D MINIMUM CHARGING TIME

$$\begin{aligned} V_{HOLD} &= (V_{REF} - (V_{REF}/2048)) \cdot (1 - e^{-(T_C/C_{HOLD}(R_{IC} + R_{SS} + R_S)}) \\ \text{or} \\ T_C &= -(120 \text{ pF})(1 \text{ k}\Omega + R_{SS} + R_S) \ln(1/2048) \end{aligned}$$

Example 17-1 shows the calculation of the minimum required acquisition time, T_{ACQ} . This calculation is based on the following application system assumptions:

- C_{HOLD} = 120 pF
- R_S = 2.5 k Ω
- Conversion Error \leq 1/2 LSB
- V_{DD} = 5V \rightarrow $R_{SS} = 7 \text{ k}\Omega$
- Temperature = 50°C (system max.)
- V_{HOLD} = 0V @ time = 0

EXAMPLE 17-1: CALCULATING THE MINIMUM REQUIRED ACQUISITION TIME

$$\begin{aligned} T_{ACQ} &= T_{AMP} + T_C + T_{COFF} \\ \text{Temperature coefficient is only required for temperatures } > 25^\circ\text{C.} \\ T_{ACQ} &= 2 \mu\text{s} + T_C + [(Temp - 25^\circ\text{C})(0.05 \mu\text{s}/^\circ\text{C})] \\ T_C &= -C_{HOLD} (R_{IC} + R_{SS} + R_S) \ln(1/2048) \\ &= -120 \text{ pF} (1 \text{ k}\Omega + 7 \text{ k}\Omega + 2.5 \text{ k}\Omega) \ln(0.0004883) \\ &= -120 \text{ pF} (10.5 \text{ k}\Omega) \ln(0.0004883) \\ &= -1.26 \mu\text{s} (-7.6246) \\ &= 9.61 \mu\text{s} \\ T_{ACQ} &= 2 \mu\text{s} + 9.61 \mu\text{s} + [(50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})(0.05 \mu\text{s}/^\circ\text{C})] \\ &= 11.61 \mu\text{s} + 1.25 \mu\text{s} \\ &= 12.86 \mu\text{s} \end{aligned}$$

PIC18FXX2

17.2 Selecting the A/D Conversion Clock

The A/D conversion time per bit is defined as T_{AD} . The A/D conversion requires 12 T_{AD} per 10-bit conversion. The source of the A/D conversion clock is software selectable. The seven possible options for T_{AD} are:

- 2 TOSC
- 4 TOSC
- 8 TOSC
- 16 TOSC
- 32 TOSC
- 64 TOSC
- Internal A/D module RC oscillator (2-6 μ s)

For correct A/D conversions, the A/D conversion clock (T_{AD}) must be selected to ensure a minimum T_{AD} time of 1.6 μ s.

Table 17-1 shows the resultant T_{AD} times derived from the device operating frequencies and the A/D clock source selected.

17.3 Configuring Analog Port Pins

The ADCON1, TRISA and TRISE registers control the operation of the A/D port pins. The port pins that are desired as analog inputs, must have their corresponding TRIS bits set (input). If the TRIS bit is cleared (output), the digital output level (V_{OH} or V_{OL}) will be converted.

The A/D operation is independent of the state of the CHS2:CHS0 bits and the TRIS bits.

Note 1: When reading the port register, all pins configured as analog input channels will read as cleared (a low level). Pins configured as digital inputs will convert an analog input. Analog levels on a digitally configured input will not affect the conversion accuracy.

2: Analog levels on any pin that is defined as a digital input (including the AN4:AN0 pins) may cause the input buffer to consume current that is out of the device's specification.

TABLE 17-1: T_{AD} vs. DEVICE OPERATING FREQUENCIES

AD Clock Source (T_{AD})		Maximum Device Frequency	
Operation	ADCS2:ADCS0	PIC18FXX2	PIC18LFX2
2 TOSC	000	1.25 MHz	666 kHz
4 TOSC	100	2.50 MHz	1.33 MHz
8 TOSC	001	5.00 MHz	2.67 MHz
16 TOSC	101	10.00 MHz	5.33 MHz
32 TOSC	010	20.00 MHz	10.67 MHz
64 TOSC	110	40.00 MHz	21.33 MHz
RC	011	—	—

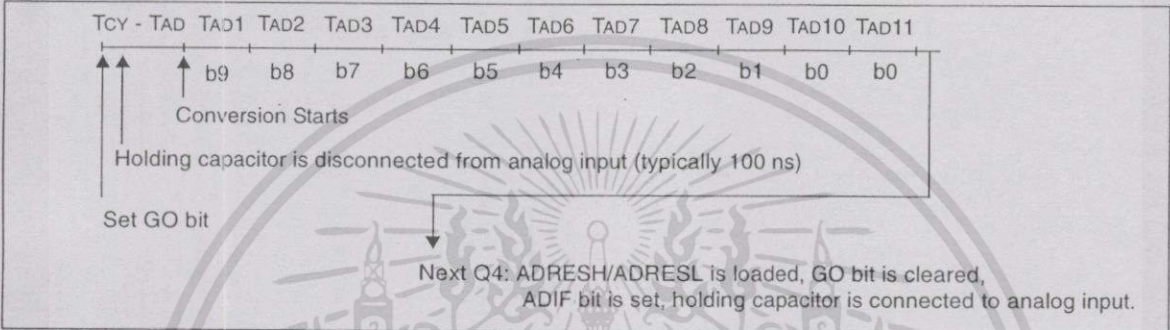
17.4 A/D Conversions

Figure 17-3 shows the operation of the A/D converter after the GO bit has been set. Clearing the GO/DONE bit during a conversion will abort the current conversion. The A/D result register pair will NOT be updated with the partially completed A/D conversion sample. That is, the ADRESH:ADRESL registers will continue to contain the value of the last completed conversion

(or the last value written to the ADRESH:ADRESL registers). After the A/D conversion is aborted, a 2 TAD wait is required before the next acquisition is started. After this 2 TAD wait, acquisition on the selected channel is automatically started. The GO/DONE bit can then be set to start the conversion.

Note: The GO/DONE bit should **NOT** be set in the same instruction that turns on the A/D.

FIGURE 17-3: A/D CONVERSION TAD CYCLES

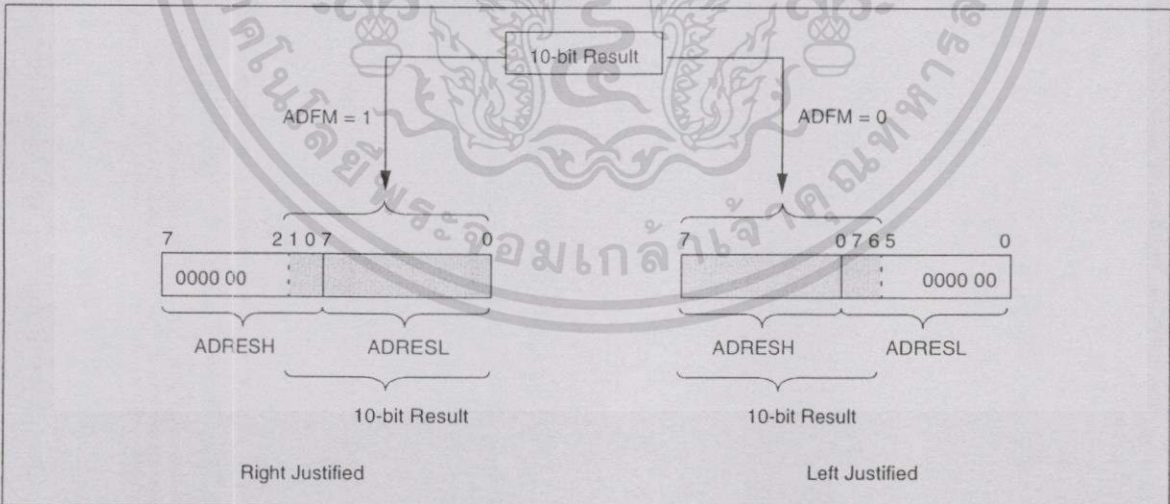


17.4.1 A/D RESULT REGISTERS

The ADRESH:ADRESL register pair is the location where the 10-bit A/D result is loaded at the completion of the A/D conversion. This register pair is 16-bits wide. The A/D module gives the flexibility to left or right justify the 10-bit result in the 16-bit result register. The A/D

Format Select bit (ADFM) controls this justification. Figure 17-4 shows the operation of the A/D result justification. The extra bits are loaded with '0's. When an A/D result will not overwrite these locations (A/D disable), these registers may be used as two general purpose 8-bit registers.

FIGURE 17-4: A/D RESULT JUSTIFICATION



22.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings ^(†)

Ambient temperature under bias.....	-55°C to +125°C
Storage temperature	-65°C to +150°C
Voltage on any pin with respect to VSS (except VDD, $\overline{\text{MCLR}}$, and RA4)	-0.3V to (VDD + 0.3V)
Voltage on VDD with respect to VSS	-0.3V to +7.5V
Voltage on $\overline{\text{MCLR}}$ with respect to VSS (Note 2)	0V to +13.25V
Voltage on RA4 with respect to VSS	0V to +8.5V
Total power dissipation (Note 1)	1.0W
Maximum current out of VSS pin	300 mA
Maximum current into VDD pin	250 mA
Input clamp current, I _{IK} (V _I < 0 or V _I > VDD)	±20 mA
Output clamp current, I _{OK} (V _O < 0 or V _O > VDD)	±20 mA
Maximum output current sunk by any I/O pin.....	25 mA
Maximum output current sourced by any I/O pin.....	25 mA
Maximum current sunk by PORTA, PORTB, and PORTE (Note 3) (combined).....	200 mA
Maximum current sourced by PORTA, PORTB, and PORTE (Note 3) (combined).....	200 mA
Maximum current sunk by PORTC and PORTD (Note 3) (combined).....	200 mA
Maximum current sourced by PORTC and PORTD (Note 3) (combined).....	200 mA

Note 1: Power dissipation is calculated as follows:

$$P_{dis} = VDD \times (IDD - \sum I_{OH}) + \sum \{(VDD - V_{OH}) \times I_{OH}\} + \sum (V_{OL} \times I_{OL})$$

- 2: Voltage spikes below VSS at the $\overline{\text{MCLR}}$ /VPP pin, inducing currents greater than 80 mA, may cause latchup. Thus, a series resistor of 50-100Ω should be used when applying a "low" level to the $\overline{\text{MCLR}}$ /VPP pin, rather than pulling this pin directly to VSS.
- 3: PORTD and PORTE not available on the PIC18F2X2 devices.

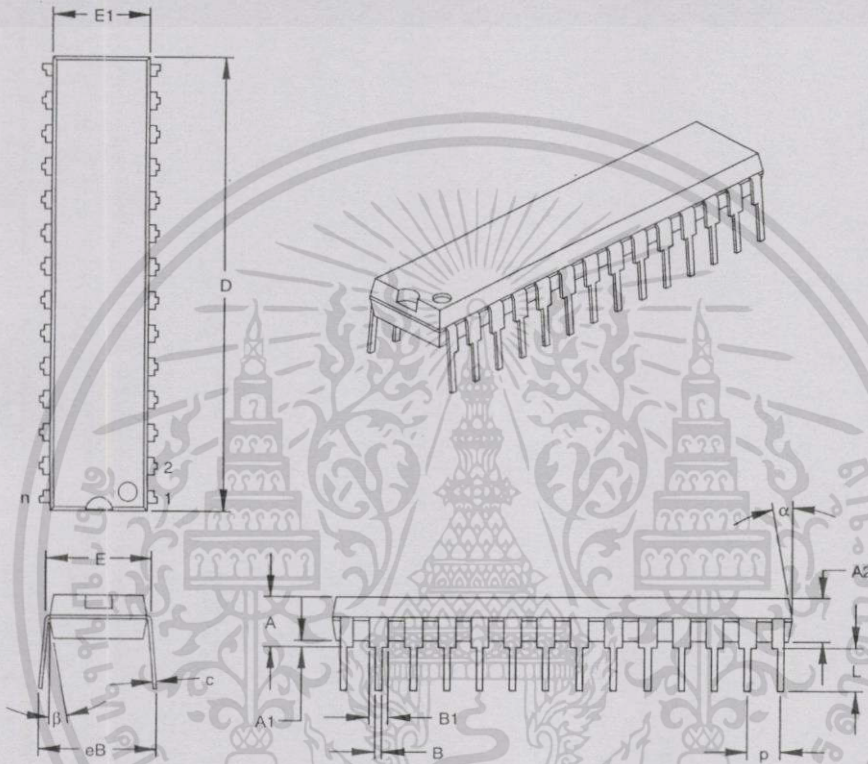
† NOTICE: Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operation listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

24.2 Package Details

The following sections give the technical details of the packages.

28-Lead Skinny Plastic Dual In-line (SP) – 300 mil Body (PDIP)

Note: For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



Dimension	Units	INCHES*			MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX
Number of Pins	n	28			28		
Pitch	p		.100			2.54	
Top to Seating Plane	A	.140	.150	.160	3.56	3.81	4.06
Molded Package Thickness	A2	.125	.130	.135	3.18	3.30	3.43
Base to Seating Plane	A1	.015			0.38		
Shoulder to Shoulder Width	E	.300	.310	.325	7.62	7.87	8.26
Molded Package Width	E1	.275	.285	.295	6.99	7.24	7.49
Overall Length	D	1.345	1.365	1.385	34.16	34.67	35.18
Tip to Seating Plane	L	.125	.130	.135	3.18	3.30	3.43
Lead Thickness	c	.008	.012	.015	0.20	0.29	0.38
Upper Lead Width	B1	.040	.053	.065	1.02	1.33	1.65
Lower Lead Width	B	.016	.019	.022	0.41	0.48	0.56
Overall Row Spacing	§ eB	.320	.350	.430	8.13	8.89	10.92
Mold Draft Angle Top	α	5	10	15	5	10	15
Mold Draft Angle Bottom	β	5	10	15	5	10	15

* Controlling Parameter

§ Significant Characteristic

Notes:

Dimension D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed .010" (0.254mm) per side.

JEDEC Equivalent: MO-095

Drawing No. C04-070

Continuous-Time Ratiometric Linear Hall Effect Sensors

Features and Benefits

- Low-noise output
- Fast power-on time
- Ratiometric rail-to-rail output
- 4.5 to 6.0 V operation
- Solid-state reliability
- Factory-programmed at end-of-line for optimum performance
- Robust ESD performance

Packages: 3 pin SOT23W (suffix LH), and 3 pin SIP (suffix UA)



Not to scale

Description

The A1301 and A1302 are continuous-time, ratiometric, linear Hall-effect sensors. They are optimized to accurately provide a voltage output that is proportional to an applied magnetic field. These devices have a quiescent output voltage that is 50% of the supply voltage. Two output sensitivity options are provided: 2.5 mV/G typical for the A1301, and 1.3 mV/G typical for the A1302.

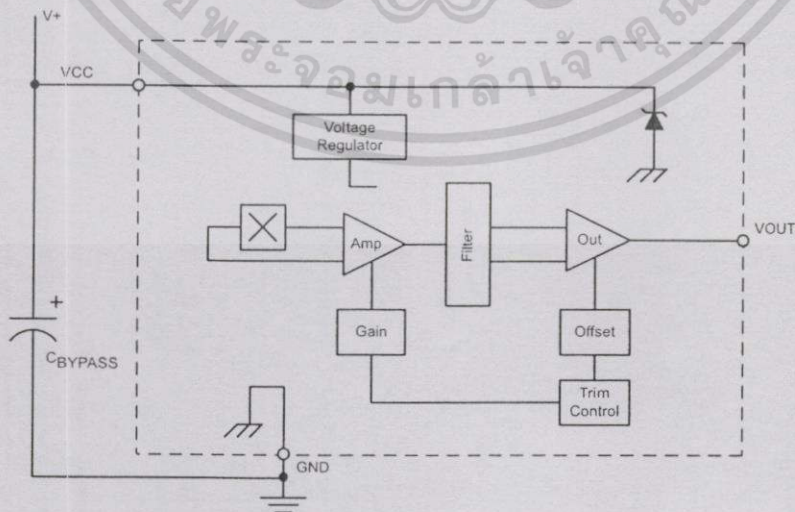
The Hall-effect integrated circuit included in each device includes a Hall sensing element, a linear amplifier, and a CMOS Class A output structure. Integrating the Hall sensing element and the amplifier on a single chip minimizes many of the problems normally associated with low voltage level analog signals.

High precision in output levels is obtained by internal gain and offset trim adjustments made at end-of-line during the manufacturing process.

These features make the A1301 and A1302 ideal for use in position sensing systems, for both linear target motion and rotational target motion. They are well-suited for industrial applications over extended temperature ranges, from -40°C to 125°C .

Two device package types are available: LH, a 3-pin SOT23W type for surface mount, and UA, a 3-pin ultramini SIP for through-hole mount. They are lead (Pb) free (suffix, -T) with 100% matte tin plated leadframes.

Functional Block Diagram



A1301 and A1302

Continuous-Time Ratiometric Linear Hall Effect Sensors

Selection Guide

Part Number	Pb-free ¹	Packing ²	Package	Ambient, T _A	Sensitivity (Typical)
A1301ELHLT-T	Yes	7-in. tape and reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	-40°C to 85°C	2.5 mV/G
A1301EUA-T	Yes	Bulk, 500 pieces/bag	SIP		
A1301KLHLT-T	Yes	7-in. tape and reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	-40°C to 125°C	
A1301KUA-T	Yes	Bulk, 500 pieces/bag	SIP		
A1302ELHLT-T	Yes	7-in. tape and reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	-40°C to 85°C	1.3 mV/G
A1302EUA-T	Yes	Bulk, 500 pieces/bag	SIP		
A1302KLHLT-T	Yes	7-in. tape and reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	-40°C to 125°C	
A1302KUA-T	Yes	Bulk, 500 pieces/bag	SIP		

¹Pb-based variants are being phased out of the product line. Certain variants cited in this footnote are no longer in production. The variants should not be purchased for new design applications. Samples are no longer available. Status change: May 1, 2006. These variants include: A1301ELHLT, A1301EUA, A1301KLHLT, A1301KUA, A1302ELHLT, A1302EUA, A1302KLHLT, and A1302KUA.

²Contact Allegro for additional packing options.



Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Output Voltage	V _{OUT}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		-0.1	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		-0.1	V
Output Sink Current	I _{OUT}		10	mA
Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
		Range K	-40 to 125	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{stg}		-65 to 170	°C



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
www.allegromicro.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A1301 and A1302

Continuous-Time Ratiometric Linear Hall Effect Sensors

DEVICE CHARACTERISTICS over operating temperature range, T_A , and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise noted

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Electrical Characteristics						
Supply Voltage	V_{CC}	Running, $T_J < 165^\circ\text{C}$	4.5	–	6	V
Supply Current	I_{CC}	Output open	–	–	11	mA
Output Voltage	$V_{OUT(High)}$	$I_{SOURCE} = -1$ mA, Sens = nominal	4.65	4.7	–	V
	$V_{OUT(Low)}$	$I_{SINK} = 1$ mA, Sens = nominal	–	0.2	0.25	V
Output Bandwidth	BW		–	20	–	kHz
Power-On Time	t_{PO}	$V_{CC(min)}$ to $0.95 V_{OUT}$; $B = \pm 1400$ G; Slew rate = 4.5 V/ μs to 4.5 V/100 ns	–	3	5	μs
Output Resistance	R_{OUT}	$I_{SINK} \leq 1$ mA, $I_{SOURCE} \geq -1$ mA	–	2	5	Ω
Wide Band Output Noise, rms	V_{OUTN}	External output low pass filter ≤ 10 kHz; Sens = nominal	–	150	–	μV
Ratiometry						
Quiescent Output Voltage Error with respect to ΔV_{CC} ¹	$\Delta V_{OUTQ(V)}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	–	± 3.0	%
Magnetic Sensitivity Error with respect to ΔV_{CC} ²	$\Delta \text{Sens}_{(V)}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	–	± 3.0	%
Output						
Linearity	Lin	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	–	± 2.5	%
Symmetry	Sym	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	–	± 3.0	%
Magnetic Characteristics						
Quiescent Output Voltage	V_{OUTQ}	$B = 0$ G; $T_A = 25^\circ\text{C}$	2.4	2.5	2.6	V
Quiescent Output Voltage over Operating Temperature Range	$V_{OUTQ(\Delta T_A)}$	$B = 0$ G	2.2	–	2.8	V
Magnetic Sensitivity	Sens	A1301; $T_A = 25^\circ\text{C}$	2.0	2.5	3.0	mV/G
		A1302; $T_A = 25^\circ\text{C}$	1.0	1.3	1.6	mV/G
Magnetic Sensitivity over Operating Temperature Range	$\text{Sens}_{(\Delta T_A)}$	A1301	1.8	–	3.2	mV/G
		A1302	0.85	–	1.75	mV/G

¹Refer to equation (4) in Ratiometric section on page 4.

²Refer to equation (5) in Ratiometric section on page 4.



Characteristic Definitions

Quiescent Output Voltage. In the quiescent state (no significant magnetic field: $B = 0$), the output, V_{OUTQ} , equals one half of the supply voltage, V_{CC} , throughout the entire operating ranges of V_{CC} and ambient temperature, T_A . Due to internal component tolerances and thermal considerations, there is a tolerance on the quiescent output voltage, ΔV_{OUTQ} , which is a function of both ΔV_{CC} and ΔT_A . For purposes of specification, the quiescent output voltage as a function of temperature, $\Delta V_{OUTQ(\Delta T_A)}$, is defined as:

$$\Delta V_{OUTQ(\Delta T_A)} = \frac{V_{OUTQ(T_A)} - V_{OUTQ(25^\circ C)}}{Sens_{(25^\circ C)}} \quad (1)$$

where $Sens$ is in mV/G, and the result is the device equivalent accuracy, in gauss (G), applicable over the entire operating temperature range.

Sensitivity. The presence of a south-polarity (+B) magnetic field, perpendicular to the branded face of the device package, increases the output voltage, V_{OUT} , in proportion to the magnetic field applied, from V_{OUTQ} toward the V_{CC} rail. Conversely, the application of a north polarity (-B) magnetic field, in the same orientation, proportionally decreases the output voltage from its quiescent value. This proportionality is specified as the magnetic sensitivity of the device and is defined as:

$$Sens = \frac{V_{OUT(-B)} - V_{OUT(+B)}}{2B} \quad (2)$$

The stability of the device magnetic sensitivity as a function of ambient temperature, $\Delta Sens_{(\Delta T_A)}$ (%) is defined as:

$$\Delta Sens_{(\Delta T_A)} = \frac{Sens_{(T_A)} - Sens_{(25^\circ C)}}{Sens_{(25^\circ C)}} \times 100\% \quad (3)$$

Ratiometric. The A1301 and A1302 feature a ratiometric output. This means that the quiescent voltage output, V_{OUTQ} , and the magnetic sensitivity, $Sens$, are proportional to the supply voltage, V_{CC} .

The ratiometric change (%) in the quiescent voltage output is defined as:

$$\Delta V_{OUTQ(\Delta V)} = \frac{V_{OUTQ(V_{CC})} / V_{OUTQ(5V)}}{V_{CC} / 5V} \times 100\% \quad (4)$$

and the ratiometric change (%) in sensitivity is defined as:

$$\Delta Sens_{(\Delta V)} = \frac{Sens_{(V_{CC})} / Sens_{(5V)}}{V_{CC} / 5V} \times 100\% \quad (5)$$

Linearity and Symmetry. The on-chip output stage is designed to provide linear output at a supply voltage of 5 V. Although the application of very high magnetic fields does not damage these devices, it does force their output into a nonlinear region. Linearity in percent is measured and defined as:

$$Lin+ = \frac{V_{OUT(+B)} - V_{OUTQ}}{2(V_{OUT(+B/2)} - V_{OUTQ})} \times 100\% \quad (6)$$

$$Lin- = \frac{V_{OUT(-B)} - V_{OUTQ}}{2(V_{OUT(-B/2)} - V_{OUTQ})} \times 100\% \quad (7)$$

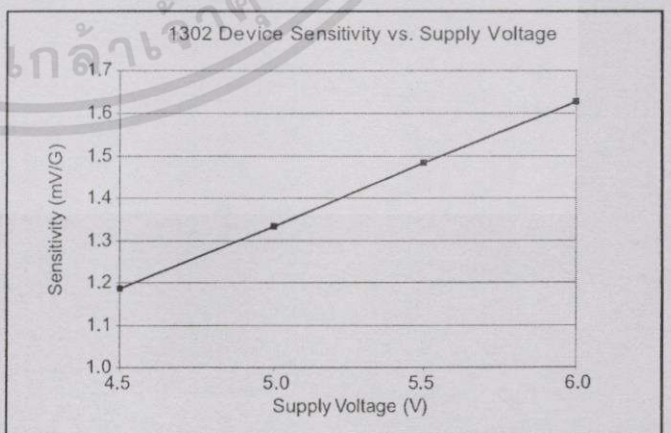
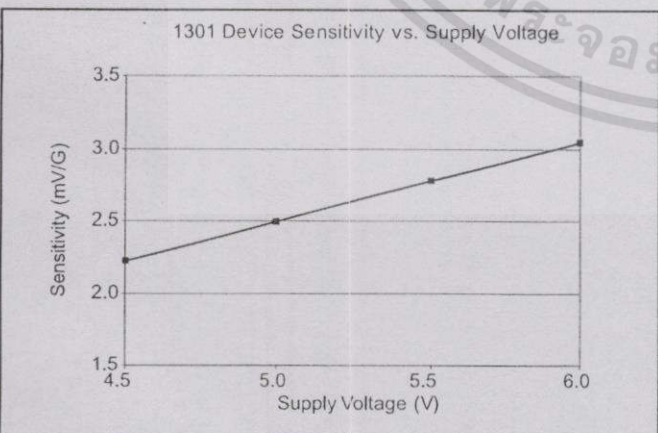
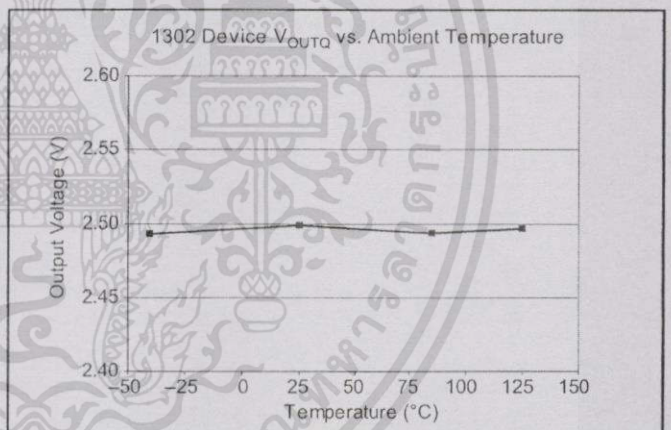
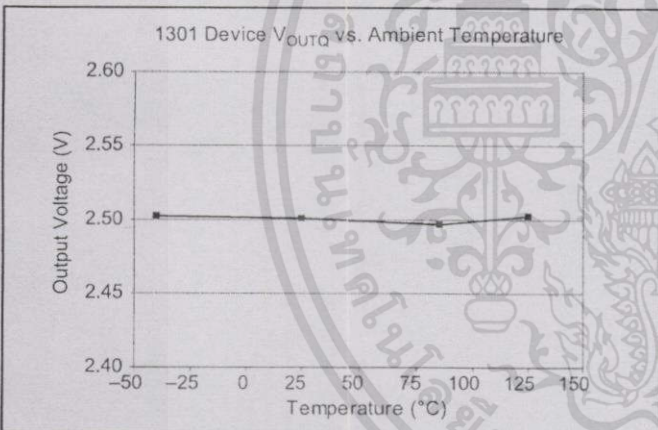
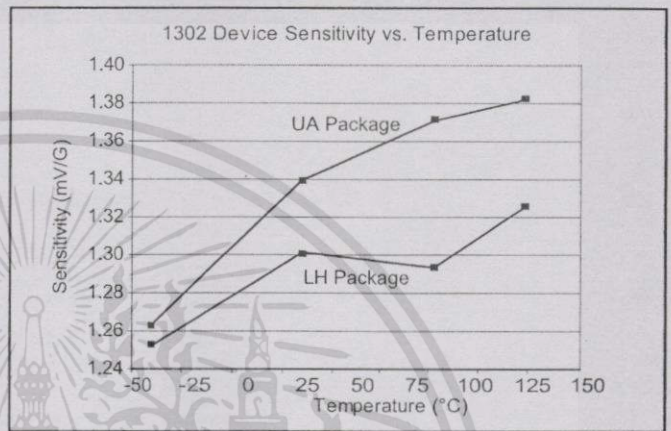
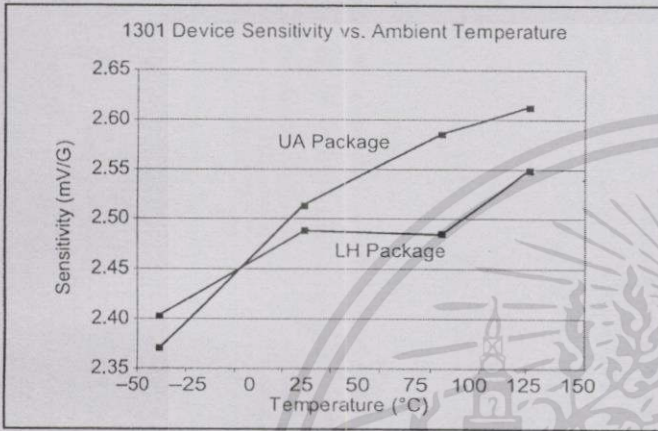
and output symmetry as:

$$Sym = \frac{V_{OUT(+B)} - V_{OUTQ}}{V_{OUTQ} - V_{OUT(-B)}} \times 100\% \quad (8)$$

A1301 and A1302

Continuous-Time Ratiometric Linear Hall Effect Sensors

Typical Characteristics (30 pieces, 3 fabrication lots)



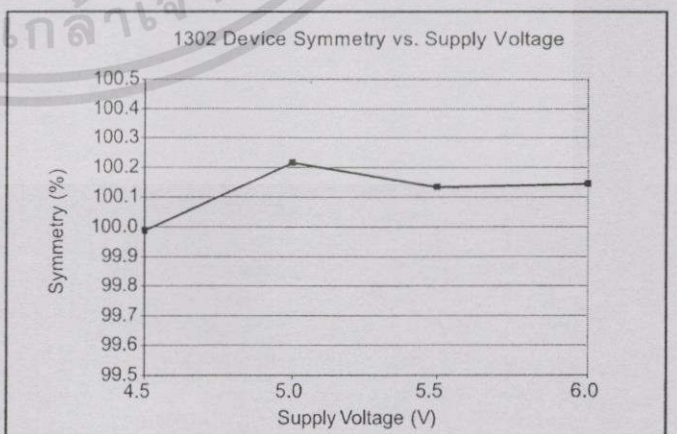
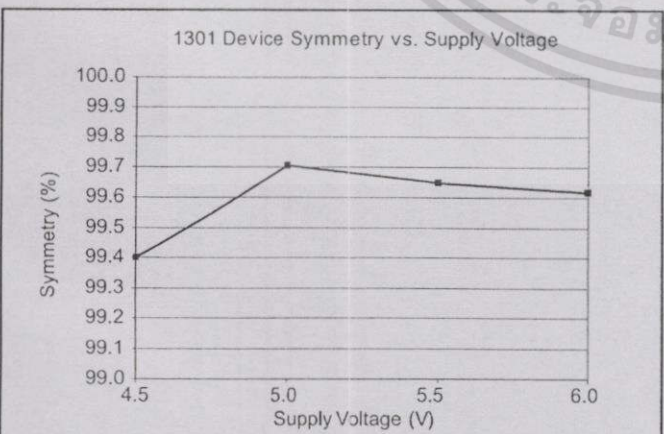
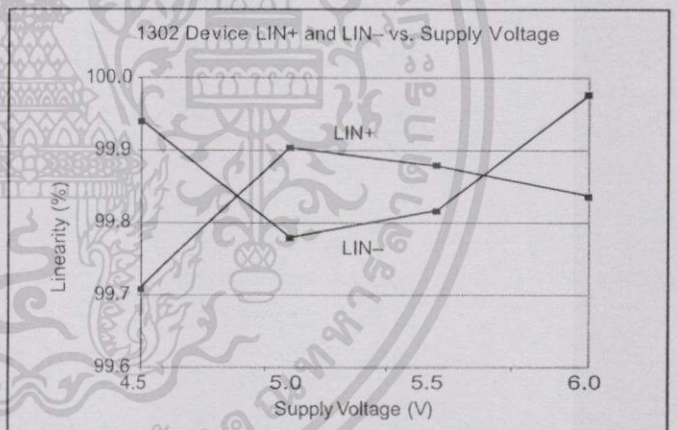
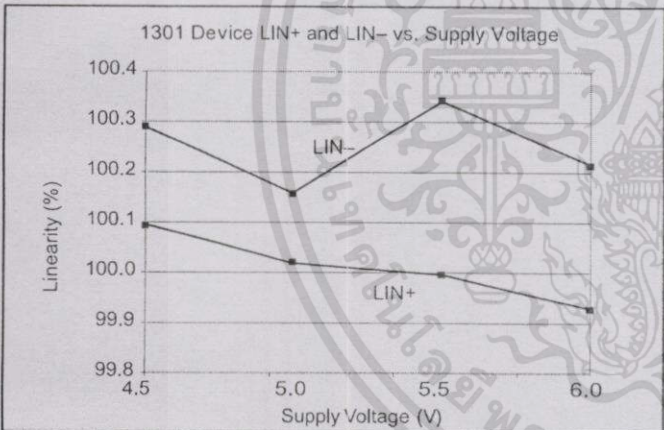
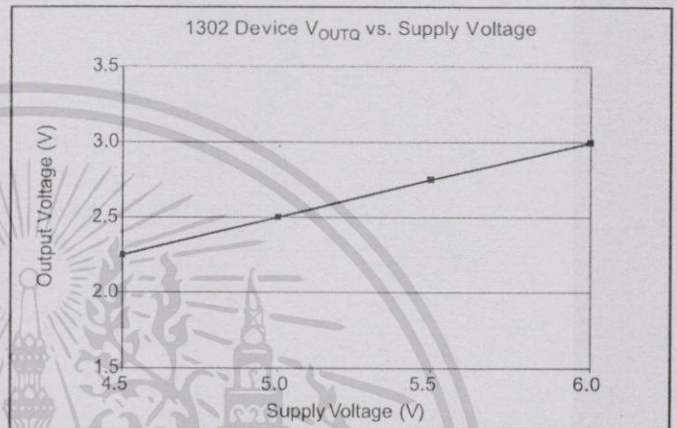
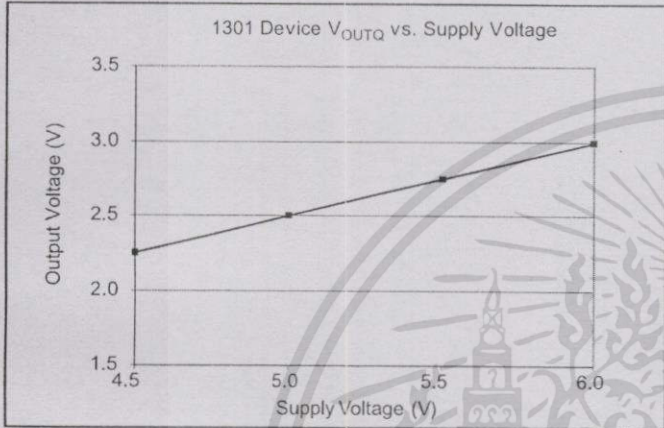
Continued on the next page...



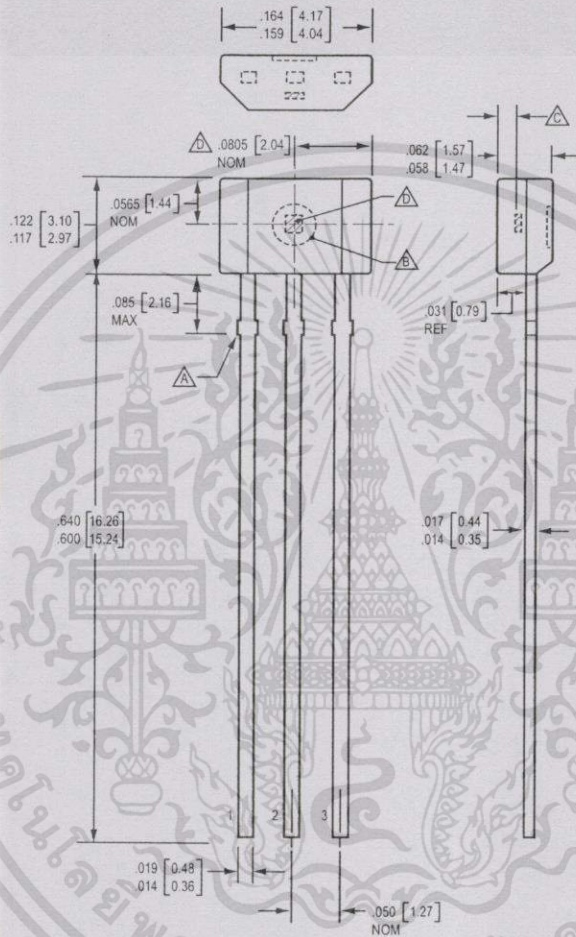
Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
www.allegromicro.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับลูกค้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristics, continued
(30 pieces, 3 fabrication lots)



Package UA, 3-Pin SIP



- Dimensions in inches
Metric dimensions (mm) in brackets, for reference only
- Dambar removal protrusion (6X)
 - Ejector mark on opposite side
 - Active Area Depth .0195 [0.50] NOM
 - Hall element (not to scale)

The products described herein are manufactured under one or more of the following U.S. patents: 5,045,920; 5,264,783; 5,442,283; 5,389,889; 5,581,179; 5,517,112; 5,619,137; 5,621,319; 5,650,719; 5,686,894; 5,694,038; 5,729,130; 5,917,320; and other patents pending.

Allegro MicroSystems, Inc. reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro products are not authorized for use as critical components in life-support devices or systems without express written approval.

The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, Inc. assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

Copyright © 2005, 2006 Allegro MicroSystems, Inc.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับจำหน่ายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM35

Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear $+ 10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for $1\ \text{mA}$ load

Typical Applications

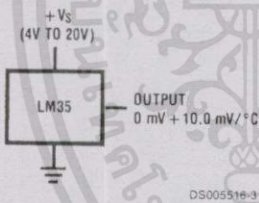
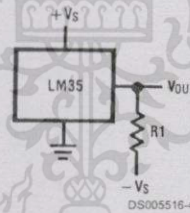


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor ($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)

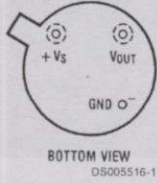


Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

Connection Diagrams

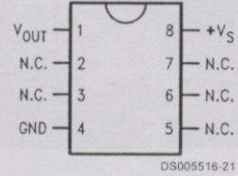
TO-46
Metal Can Package*



*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH
See NS Package Number H03H

SO-8
Small Outline Molded Package



N.C. = No Connection

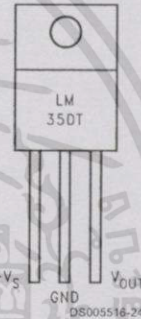
Top View
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

TO-92
Plastic Package



Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

TO-220
Plastic Package*



*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

Order Number LM35DT
See NS Package Number TA03F

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

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

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.:	
TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C
Lead Temp.:	
TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C

TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5	± 1.0	°C
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	°C
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		°C
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	°C
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	°C
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/°C
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.5		± 3.0	± 0.5		± 3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_S = +5V$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30V$	105.5		133	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4V \leq V_S \leq 30V$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			°C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0	$^\circ\text{C}$	
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.5			± 0.5	± 1.5	$^\circ\text{C}$	
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.8	± 1.5		± 0.8	± 1.5	$^\circ\text{C}$	
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.8		± 1.5	± 0.8	± 2.0	$^\circ\text{C}$	
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				± 0.6	± 1.5	$^\circ\text{C}$	
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				± 0.9	± 2.0	$^\circ\text{C}$	
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				± 0.9	± 2.0	$^\circ\text{C}$	
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.3		± 0.5	± 0.2	± 0.5	$^\circ\text{C}$	
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	+10.0	+9.8, +10.2		+10.0	+9.8, +10.2	mV/°C	
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 2.0		± 0.4	± 2.0	mV/mA	
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.5		± 5.0	± 0.5	± 5.0	mV/mA	
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.1		± 0.01	± 0.1	mV/V	
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.02		± 0.2	± 0.02	± 0.2	mV/V	
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	80		56	80	μA	
	$V_S = +5\text{V}$	105		158	91	138	μA	
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82	μA	
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		161	91.5	141	μA	
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0	μA	
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		3.0	0.5	3.0	μA	
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.7	+0.39	+0.7	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$	
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of <i>Figure 1</i> , $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5	+2.0	$^\circ\text{C}$	
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08		$^\circ\text{C}$	

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = +5\text{Vdc}$ and $I_{\text{LOAD}} = 50 \mu\text{A}$, in the circuit of *Figure 2*. These specifications also apply from $+2^\circ\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of *Figure 1*. Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is $400^\circ\text{C}/\text{W}$, junction to ambient, and $24^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is $180^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is $220^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is $90^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in $^\circ\text{C}$).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of *Figure 1*.

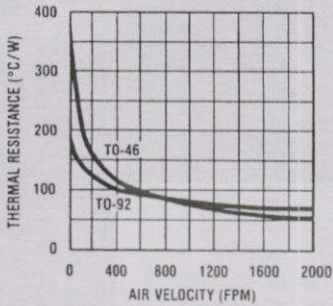
Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

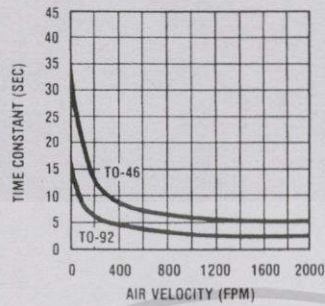
Typical Performance Characteristics

Thermal Resistance Junction to Air



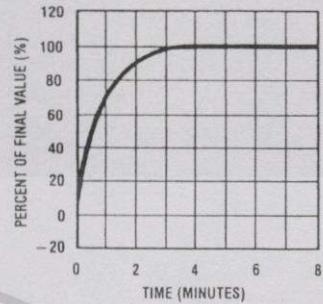
DS005516-25

Thermal Time Constant



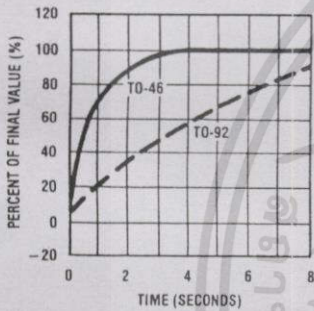
DS005516-26

Thermal Response in Still Air



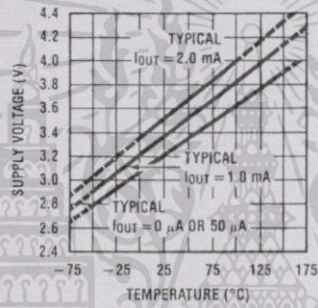
DS005516-27

Thermal Response in Stirred Oil Bath



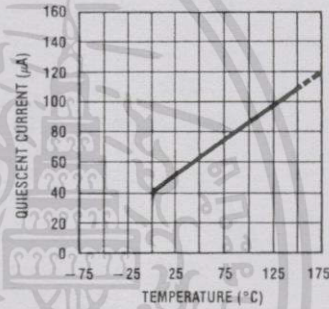
DS005516-28

Minimum Supply Voltage vs. Temperature



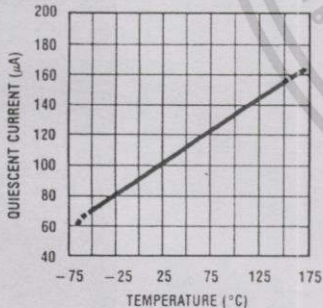
DS005516-29

Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of Figure 1.)



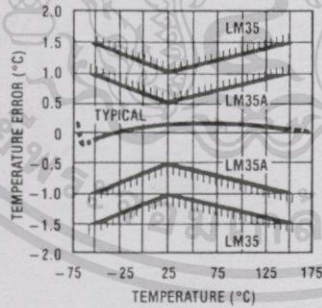
DS005516-30

Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of Figure 2.)



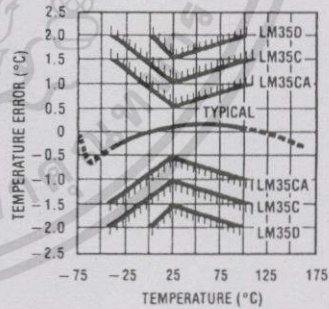
DS005516-31

Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)



DS005516-32

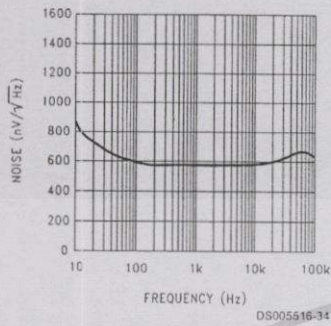
Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)



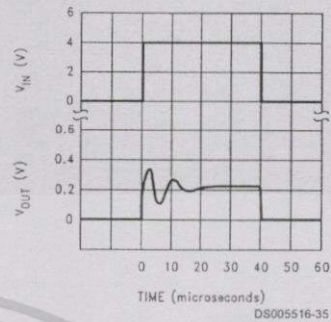
DS005516-33

Typical Performance Characteristics (Continued)

Noise Voltage



Start-Up Response



Applications

The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01°C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature. This is especially true for the TO-92 plastic package, where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, be sure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the LM35 die's temperature will not be affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V- terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, the LM35 can be mounted inside a sealed-end metal tube, and can then be dipped into a bath or screwed into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Humiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small light-weight heat fin, to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

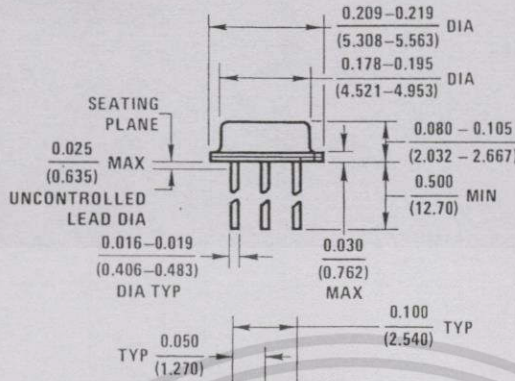
Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance, θ_{JA})

	TO-46, no heat sink	TO-46*, small heat fin	TO-92, no heat sink	TO-92**, small heat fin	SO-8 no heat sink	SO-8**, small heat fin	TO-220 no heat sink
Still air	400°C/W	100°C/W	180°C/W	140°C/W	220°C/W	110°C/W	90°C/W
Moving air	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	26°C/W
Still oil	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W			
Stirred oil	50°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W			
(Clamped to metal, Infinite heat sink)		(24°C/W)			(55°C/W)		

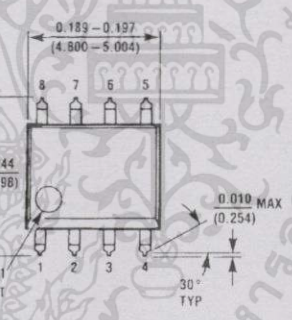
*Wakefield type 201, or 1" disc of 0.020" sheet brass, soldered to case, or similar.

**TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of 1/16" printed circuit board with 2 oz. foil or similar.

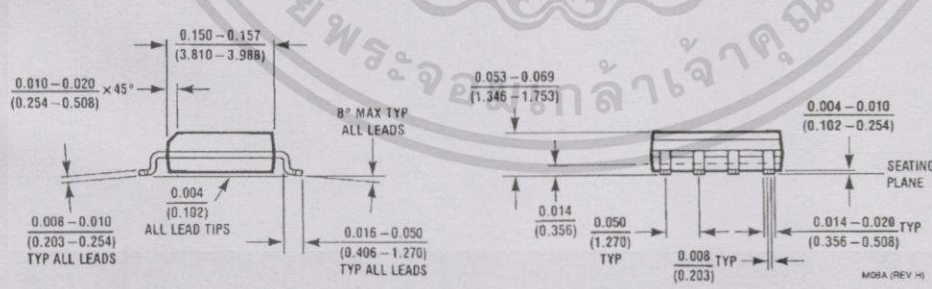
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



TO-46 Metal Can Package (H)
 Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH,
 LM35CAH, or LM35DH
 NS Package Number H03H

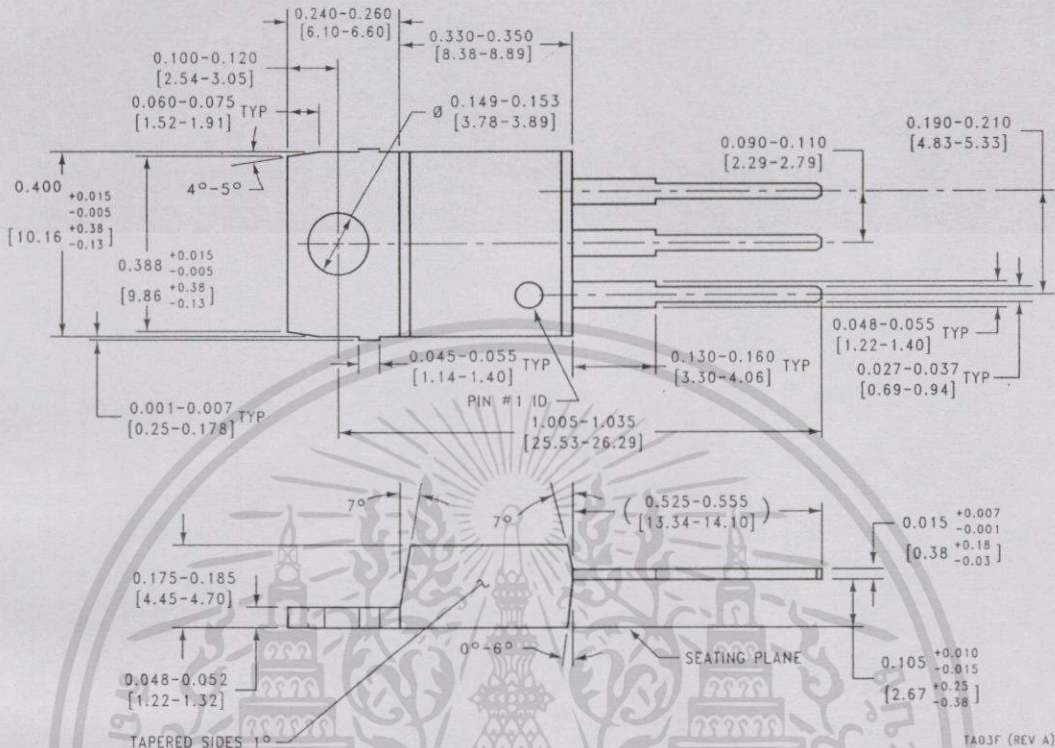


SO-8 Molded Small Outline Package (M)
 Order Number LM35DM
 NS Package Number M08A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

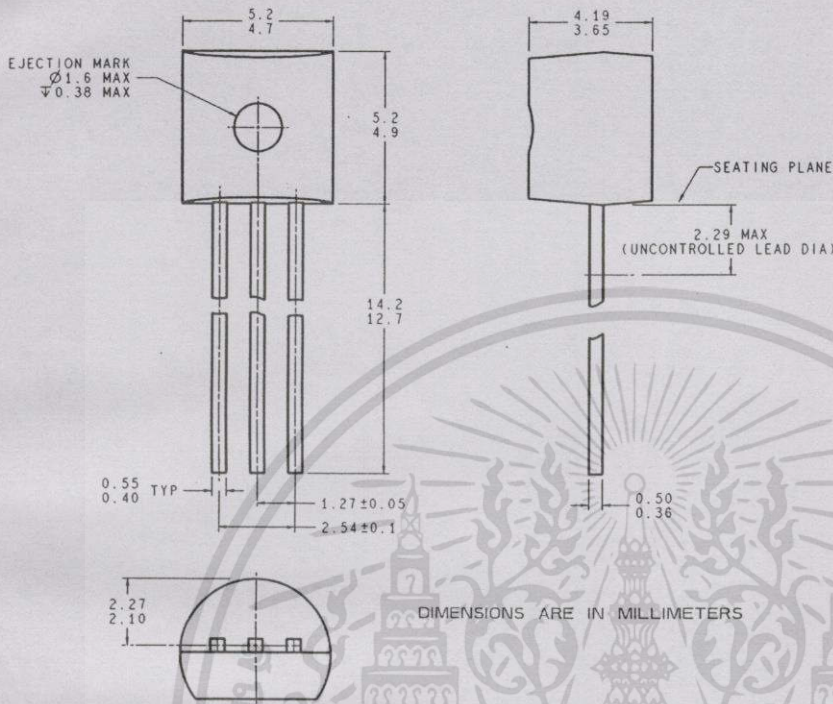
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Power Package TO-220 (T)
Order Number LM35DT
NS Package Number TA03F

TA03F (REV A)

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



TO-92 Plastic Package (Z)
 Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
 NS Package Number Z03A

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor Corporation Americas
 Tel: 1-800-272-9959
 Fax: 1-800-737-7018
 Email: support@nsc.com
 www.national.com

National Semiconductor Europe
 Fax: +49 (0) 180-530 85 86
 Email: europe.support@nsc.com
 Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
 English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
 Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
 Tel: 65-2544466
 Fax: 65-2504466
 Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
 Tel: 81-3-5639-7560
 Fax: 81-3-5639-7507

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้