สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างเครื่องควบคุมอัตราการไหล

นายลักษณชัย สีห์สุรงค์
นายอภิสิทธิ์ วารีชื่นสุข
นายอรรถสิทธิ์ ศรีประภาพร

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

วิทย.
ส219 ก
2547

เลขหมู่
เลขทะเบียน 58667
วัน,เดือน,ปี 31 ส.ค. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b 11240007x
i

CONSTRUCTION OF MASS FLOW CONTROLLER

Mr. Laksanachai Seesoorong

Mr. Apisit Wareechuensuk

Mr. Attasit Sriprapaporn

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การสร้างเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ

นักศึกษา นาย ลักษณชัย สีห์สุรงค์

นาย อภิสิทธิ์ วารีชื่นสุข

นาย อรรถสิทธิ์ ศรีประภาพร

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ **คณะวิทยาศาสตร์**

สาขาวิชา เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. วราวุฒิ เถาลัดดา

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ			ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	รศ.วิชาญ	เตชิตธีระ	
กรรมการ	ผศ.ดร.ปรีชา	เทียนสมประสงค์	
กรรมการ	อ.สุรชาติ	กมลดิลก	
กรรมการที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วราวุฒิ	เถาลัดดา	

.....

(รองศาสตราจารย์ วิชาญ เตชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การสร้างเครื่องควบคุมอัตราการไหล
นักศึกษา นายลักษณชัย สีห์สุรงค์
นายอภิสิทธิ์ วารีชื่นสุข
นายอรรถสิทธิ์ ศรีประภาพร
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ **คณะวิทยาศาสตร์**
สาขาวิชา เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2547
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. วราวุฒิ เถาลัดดา

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบควบคุมเครื่องวัดอัตราการไหลโดยมวลซึ่งสามารถวัดอัตราการไหลตั้งแต่ 0-5 sccm โดยเครื่องวัดอัตราการไหลจะทำหน้าที่ในการตรวจวัดอัตราการไหลหรือเรียกว่าทำหน้าที่เป็นตัวตรวจรู้ (sensor) และสามารถกำหนดอัตราการไหลได้จากในส่วนที่เป็นระบบควบคุมอัตราการไหล สำหรับในการสร้างระบบควบคุมเครื่องควบคุมอัตราการไหลโดยมวลในโครงงานพิเศษใช้เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันและเอาท์พุทโวลเตจที่ได้จากผลการทดลอง ซึ่งเครื่องวัดอัตราการไหลโดยมวลนี้ ภายในประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจวัดอัตราการไหลหรือที่เรียกว่า ตัวตรวจรู้ (sensor) อีกส่วนเป็นส่วนที่ใช้ทำการควบคุมอัตราการไหล ในการสร้างระบบควบคุมเครื่องควบคุมอัตราการไหลโดยมวลนั้นเราใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม ซึ่งส่วนประกอบสำคัญคือ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ที่ใช้ภาษา C เป็นตัวโปรแกรมควบคุมทางด้านอินพุทโวลเตจ โดยจะเป็นการป้อนสัญญาณผ่านวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอกที่สร้างขึ้น และสามารถแสดงค่าอินพุทเอาท์พุทออกทาง 7-Segment ที่ต่อเชื่อมอยู่กับส่วนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ได้ จากการทดลองพบว่าเมื่อให้ก๊าซออกซิเจนไหลผ่านท่อนำก๊าซไปยังจุดที่มีการบายพาส อัตราการไหลจะถูกวัด ณ ที่นี้ ด้วยตัวตรวจรู้ จากนั้นก๊าซจะไหลผ่านไปยังส่วนของ วาล์วคอนโทรล ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลได้โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าเป็นค่าอินพุทโวลเตจที่ช่วง 0-5 โวลต์ จากผลการทดลองจะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอาท์พุทโวลเตจ กับ ค่าความดัน มีลักษณะของกราฟเป็นแบบเชิงเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Mass Flow Controller	
Name	Mr. Laksanachai	Seesoorong
	Mr. Apisit	Wareechuensuk
	Mr. Attasit	Sriprapaporn
Department	Applied Physics	**Faculty of Science**
Program	Science And Industry Instrumentation	
Academic Year	2004	
Special Project Advisor	Asst. Prof.Dr. Warawoot	Thowladda

ABSTRACT

This special project presents the design and builds the system to control Mass Flow Controller that is able to measure mass flow rate from 0-5 sccm. The Mass Flow Controller will have function to measure mass flow rate or call sensor. It can set mass flow rate from part that is the system to control mass flow rate. In building system to control Mass Flow Controller, it uses for research relation between pressure and output voltage that get from the experiment result. Inside Mass Flow Controller will consist of two significant factors. First factor is the part that has duty to measure mass flow rate or call sensor. Second one is the part that use to control mass flow rate. In building system to control Mass Flow Controller, we use microcontroller to be a controller which becomes significant component in board microcontroller PIC. This will use C programming language to be a controller program in order to input voltage section that will be feed signal to D/A Converter and can show input, output to 7-Segment that join with board microcontroller PIC. From experiment, O_2 flows through tube inside Mass Flow Controller to the bypass. Mass flow rate will be measured at bypass by the sensor after that gas will flow through the control valve which has the function to control mass flow rate by giving current electric to be input voltage from 0-5 volts. From experiment result, it is enable to have relationship between output voltage and pressure in straight line graph.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากพวกพี่ๆในภาคฟิสิกส์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผศ.ดร. วราวุฒิ เถาลัดดาที่คอยให้คำปรึกษาและแนะนำเนื้อหาต่างๆรวมทั้งคอยดูแลเรื่องการเขียนโครงงานพิเศษฉบับนี้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ คุณเดี่ยว อภัยราจ ที่ช่วยในเรื่องการติดตั้งอุปกรณ์และให้คำปรึกษาในหลายๆเรื่อง อ.ศ. ทิพวรรณ คล้ายบุญมี ที่ช่วยในการให้ข้อมูลต่างๆที่สำคัญในการศึกษาและทดลองโครงงานพิเศษฉบับนี้ ตลอดจนเพื่อนๆทุกคนที่คอยเป็นที่ปรึกษาและให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากการทำโครงงานพิเศษฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบแด่ บิดา มารดาและผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายลักษณชัย สีห์สุรงค์
นายอภิสิทธิ์ วารีชื่นสุข
นายอรรถสิทธิ์ ศรีประภาพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1. ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2. วัตถุประสงค์	1
1.3. ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4. ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงานวิจัย	2
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1. ก๊าซ	4
2.1.1. สมบัติของก๊าซ	4
2.1.2. ประเภทของก๊าซ	5
2.1.3. นิยามปริมาณของของไหล	6
2.2. หน่วยที่ใช้	6
2.3. ทฤษฎีและหลักการทำงานของเกจควบคุมอัตราการไหล 4 ข้อ	6
2.3.1. สัมผัสทางความร้อนของการไหลเชิงมวล	6
2.3.2. การแบ่งแยกเขตการไหลแบบราบเรียบ	7
2.3.3. กระบวนการที่กลไกนึงควบคุมอีกกลไกนึงในรูปแบบของระบบปิด	12
2.3.4. ระบบควบคุมแบบสัดส่วนของวาล์ว	19
2.4. ส่วนประกอบต่างๆภายในเกจควบคุมอัตราการไหล	22
2.5. โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ภาษา C	23
2.6. การเชื่อมต่อกับชิพ PCF8591 , A/D และ D/A	32
2.6.1. การอินพุทไปยังวงจรแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอก	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.2. การอินพุทไปยังวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล 36

2.6.3. การเอาท์พุทจากวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล 38

2.7. ทฤษฎีของความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับอัตราการไหลของก๊าซที่ใช้ในเครื่องควบคุม อัตราการไหล 38

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 40

3.1. เกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ 40

3.2. เครื่องควบคุมเกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ 44

3.3. ขั้นตอนการทดลองควบคุมระบบควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ 47

3.4. การปรับ Zero-point 48

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปลายผล 49

4.1. เกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ 49

4.2. เครื่องควบคุมเกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ (ไมโครคอนโทรลเลอร์) 59

4.3. เครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ 61

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 65

5.1. สรุปผลการทดลอง 65

5.2. แนวทางการพัฒนาต่อไป 65

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4-1 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการทดลองควบคุมเกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ 49

ตารางที่ 4-2 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการทดลองควบคุมเกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซโดยเพิ่มความละเอียดในการควบคุมครั้งละ 0.1 โวลต์ 51

ตารางที่ 4-3 ตารางแสดงผลการทดลองเพื่อนำไปเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลที่ได้ระหว่างการควบคุมด้วยชุดการทดลองกับไมโครคอนโทรลเลอร์ 55

ตารางที่ 4-4 ตารางแสดงผลการทดลองเพื่อนำไปเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลที่ได้ระหว่างการควบคุมด้วยชุดการทดลองกับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ความละเอียดครั้งละ 0.1 sccm 56

ตารางที่ 4-5 ตารางแสดงผลการทดลองวงจรดิจิตอลแปลงเป็นแอนนาลอกที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ควบคุมด้วยสวิตช์ 59

ตารางที่ 4-6 ตารางแสดงผลการทดลองวงจรแอนนาลอกแปลงเป็นดิจิตอลที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ที่โดยแสดงผลโดย 7-Segment 61

ตารางที่ 4-7 ตารางแสดงผลการทดลองควบคุมค่าอัตราการไหลที่ได้จากการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สร้างขึ้น 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

รูปที่ 2-1 แสดงตัวอย่างการยึดเหนี่ยวกันระหว่างอนุภาคภายในโมเลกุลของก๊าซ 4

รูปที่ 2-2 แสดงภาพสัมผัสทางความร้อน 6

รูปที่ 2-3 แสดงการตรวจวัดอัตราการไหลของก๊าซโดยอาศัยค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของความต้านทาน 2 ตัว 7

รูปที่ 2-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของขดลวดและก๊าซภายในส่วน bypass กับเวลา 7

รูปที่ 2-5 แสดงลักษณะการไหลของของไหลทั่วไป 12

รูปที่ 2-6 แสดงการไหลแบบอลวนและการไหลแบบราบเรียบ 12

รูปที่ 2-7 แสดงตัวอย่างการใช้งานของระบบควบคุมเบื้องต้น 13

รูปที่ 2-8 แสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบภายในระบบการควบคุม 14

รูปที่ 2-9 แสดงระบบควบคุมแบบเปิด 14

รูปที่ 2-10 แสดงตัวอย่างของระบบควบคุมแบบเปิด 15

รูปที่ 2-11 แสดงระบบควบคุมแบบปิด 16

รูปที่ 2-12 แสดงตัวอย่างของระบบควบคุมแบบปิด 16

รูปที่ 2-13 แสดงตัวอย่างวิธีการควบคุมแบบป้อนกลับด้วยความร้อน 17

รูปที่ 2-14 แสดงตัวอย่างวิธีการควบคุมแบบป้อนกลับด้วยความเฉื่อย 17

รูปที่ 2-15 แสดงตัวอย่างวิธีการควบคุมแบบป้อนกลับด้วยแสง 18

รูปที่ 2-16 แสดงตัวอย่างวิธีการควบคุมแบบป้อนกลับด้วยคลื่นวิทยุเรดาร์ 18

รูปที่ 2-17 แสดงตัวอย่างวิธีการควบคุมแบบป้อนกลับด้วยวิธีฉายกัมมันตภาพรังสี 19

รูปที่ 2-18 แสดงการกำหนดช่วงจำกัดของเอาท์พุท 20

รูปที่ 2-19 แสดงการตอบสนองของคอนโทรลเลอร์แบบการควบคุมที่เป็นสัดส่วน 21

รูปที่ 2-20 แสดงระบบควบคุมแบบการควบคุมที่เป็นสัดส่วน 21

รูปที่ 2-21 แสดงภาพของเครื่องวัดอัตราการไหลรุ่น FC-770AC และภาพหน้าตัด 22

รูปที่ 2-22 แสดงส่วนประกอบต่างๆภายในเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ 23

รูปที่ 2-23 แสดงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น CP-PIC V4.0 27

รูปที่ 2-24 แสดงการแสดงผลออก LCD 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2-25 แสดงข้อมูลขาต่างๆของ PCF8591 32
รูปที่ 2-26 แสดงการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก 33
รูปที่ 2-27 แสดงตัวอย่างวงจร DAC ชนิด R/2R Ladder 35
รูปที่ 2-28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า V_{out} และดิจิตอล Input 36
รูปที่ 2-29 แสดงตัวอย่างการทำงานของวงจร A/D Converter ด้วยวิธีการประมาณค่าที่ใกล้เคียงกัน 37

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

รูปที่ 3-1 แสดงแผนผังของวิธีดำเนินการวิจัย 40
รูปที่ 3-2 แสดงจุดเชื่อมต่อ (Connector) 20 ขาที่ใช้ในการควบคุมเกจควบคุมอัตราการไหล 40
รูปที่ 3-3 แสดงแผนภาพไดอะแกรมแสดงการจัดชุดการทดลอง 41
รูปที่ 3-4 แสดงเครื่องวัดอัตราการไหลรุ่น FC-770AC และภาพหน้าตัด 41
รูปที่ 3-5 แสดงภาพของบอร์ดทดลอง 42
รูปที่ 3-6 แสดงภาพของActive gauge controller แสดงค่าความดันในช่องสุญญากาศ 42
รูปที่ 3-7 แสดงปั๊มแบบโรตารี่ที่มีอัตราการปั๊ม 1.6 m^3/h 43
รูปที่ 3-8 แสดงถังก๊าซออกซิเจน 43
รูปที่ 3-9 แสดงเครื่องจ่ายไฟ 5 โวลต์, +/-15 โวลต์ 43
รูปที่ 3-10 แสดงโวลต์มิเตอร์ 43
รูปที่ 3-11 แสดงภาพของตัวอย่างเครื่องควบคุมอัตราการไหลที่เป็นสินค้าจากบริษัทต่างๆ 44
รูปที่ 3-12 แสดง PCF8591 พร้อมขา 44
รูปที่ 3-13 แสดงภาพของบอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC รุ่น 4.0 และ การจัดขาของ PIC16F877 45
รูปที่ 3-14 แสดงไดอะแกรมโครงสร้างในการใช้ PCF8591 กับ PIC18F458 45
รูปที่ 3-15 แสดงภาพของไดอะแกรมแสดงโครงสร้างการใช้งานการแสดงผลออก 7-Segment ผ่าน PIC18F458 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3-16 แสดงภาพของวงจรแปลงไฟ +/-15 โวลต์ 46
รูปที่ 3-17 แสดงไดอะแกรมโครงสร้างภายในของ PCF8591 46
รูปที่ 3-18 แสดงไดอะแกรมโครงสร้างของชุดระบบควบคุมเครื่องควบคุมอัตราการไหล 47
รูปที่ 3-19 แสดงการปรับค่าโดยใช้ Zero-point adjustment hole 48
รูปที่ 3-20 แสดงแผนผังแสดงขั้นตอนในการเขียนโปรแกรมบนบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 48

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล

รูปที่ 4-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุท (โวลต์) และเอาท์พุท (โวลต์) ที่ได้จากการเพิ่มความดันในช่องสุญญากาศ 50
รูปที่ 4-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุท (โวลต์) และ เอาท์พุท (โวลต์) ที่ได้จากการเพิ่มความดันในช่องสุญญากาศ โดยเพิ่มความละเอียดเป็น 0.1 โวลต์ 54
รูปที่ 4-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุท (โวลต์) และ อัตราการไหลของก๊าซเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ความละเอียด 0.5 โวลต์ 56
รูปที่ 4-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุท (โวลต์) และ อัตราการไหลของก๊าซเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ความละเอียด 0.1 โวลต์ 58
รูปที่ 4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุท (โวลต์) และ อัตราการไหลของก๊าซที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมที่มีการใช้เทคโนโลยีชั้นสูงและอุตสาหกรรมทางด้านสารกึ่งตัวนำมีการแพร่กระจายเทคโนโลยีไปทั่วโลกอย่างรวดเร็ว รวมถึงยังมีการพัฒนาคุณภาพด้านการผลิตด้วยการค้นคว้าและวิจัยโดยนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมด้านต่างๆในการพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซก็เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมชั้นสูง อุตสาหกรรมทางด้านสารกึ่งตัวนำและอุตสาหกรรมทางด้านอื่นๆ อีกมากมาย

เครื่องควบคุมการไหลของก๊าซเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นเพื่อควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ ซึ่งในปัจจุบันผลิตออกมาหลายชนิดหลายๆรุ่น ยกตัวอย่างเช่น เครื่องควบคุมอัตราการไหลแบบดิจิตอล, เครื่องควบคุมอัตราการไหลแบบอนาลอก, เครื่องควบคุมอัตราการไหลแบบความบริสุทธิ์สูง (Ultra-High Purity), เครื่องควบคุมอัตราการไหลแบบอุณหภูมิสูง (High-Temperature) ซึ่งแต่ละชนิดจะมีการใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์เดียวกันคือควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ โดยใช้หลักการเดียวกันในการควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ แต่สิ่งที่ต่างกันคือส่วนประกอบภายในของเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซในแต่ละชนิดและแต่ละรุ่น ซึ่งในการนำมาใช้งานจึงต้องคำนึงถึงชนิดของก๊าซที่เราต้องการควบคุมว่ามีความเหมาะสมกับเทคโนโลยีของเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซประเภทใด

ในโครงงานพิเศษนี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ เครื่องควบคุมการไหลของก๊าซเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานในระบบปิดซึ่งจะกล่าวถึงการควบคุมอัตราการไหลของก๊าซโดยควบคุมอัตราเร็วของก๊าซจากตัวแสดงผลที่สร้างขึ้นเพื่อควบคุมเกจ เสมือนเป็นวาล์วควบคุมก๊าซและจะแสดงค่าอัตราการไหลของก๊าซออกมาเป็นค่าดิจิตอลเพื่อสะดวกในการนำไปใช้งาน โดยสามารถควบคุมอัตราการไหลการไหลตั้งแต่ 0-5 sccm

1.2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการของก๊าซและทฤษฎีของของไหล
2. เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ
3. เพื่อศึกษาองค์ประกอบต่างๆ ของเครื่องควบคุมการไหลของแก๊ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เพื่อศึกษาและออกแบบระบบในการทดลองวัดอัตราการไหลของก๊าซด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซ

5. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและขอบเขตของเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ

6. เพื่อศึกษาและออกแบบองค์ประกอบของตัวแสดงผล

7. เพื่อศึกษาและออกแบบโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างวงจรควบคุมเครื่องควบคุมอัตราการไหล

8. เพื่อศึกษาและออกแบบวงจรในการสร้างเครื่องควบคุมอัตราการไหล

1.3. ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยชิ้นนี้ เราจะทำการศึกษาการทำงานของระบบในการควบคุมอัตราการไหล โดยทำการศึกษาจากการทำงานของอุปกรณ์ตัวตรวจรู้ โดยทำการทดลองในการวัดอัตราการไหลของก๊าซ เพื่อสร้างเครื่องควบคุมและตัวแสดงผลของเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ

1.4. ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและหลักการของก๊าซและอัตราการไหลโดยมวล

2. ศึกษาค้นคว้าหลักการทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการไหลก๊าซ

3. ทำการทดลองควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วยเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ

4. ทำการทดลองวัดค่าอัตราการไหลของก๊าซโดยทำการควบคุมโดยวงจรที่สร้างขึ้นเพื่อควบคุมเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ

5. ทำการศึกษาและวิเคราะห์ค่าอัตราการไหลที่ได้จากการทดลอง

6.ทำการศึกษาและออกแบบวงจรที่ไว้ใช้ในการควบคุมเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ

7. ทำการศึกษาและออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการสร้างเครื่องควบคุมและตัวแสดงผลของเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ

8. ทำการสร้างเครื่องควบคุมและตัวแสดงผลของเครื่องควบคุมกาไหลของก๊าซ

9. ทำการสอบเทียบเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซให้ได้ค่ามาตรฐาน

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงทฤษฎีและหลักการของก๊าซ

2. ทำให้ทราบถึงทฤษฎีและหลักการวัดค่าอัตราการไหลของก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำให้ทราบถึงหลักการทำงานของเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ

4. ทำให้ทราบถึงระบบควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ

5. ทำให้ทราบถึงหลักการประยุกต์ใช้วงจรไฟฟ้าและโปรแกรมในการนำไปสร้างเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ

6. ทำให้ทราบถึงองค์ประกอบของตัวควบคุมและตัวแสดงผลของเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ

7. ทำให้ได้เครื่องควบคุมการไหลของก๊าซไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในงานด้านอุตสาหกรรมงานวิจัยและอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1. ก๊าซ

2.1.1. สมบัติของก๊าซ

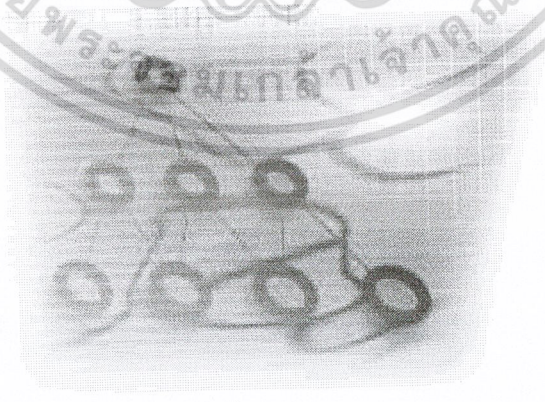
สมบัติทั่วไปของก๊าซได้แก่

1. ก๊าซมีรูปร่างและปริมาตรไม่แน่นอนเปลี่ยนแปลงไปตามภาชนะที่บรรจุ บรรจุภายในภาชนะใดก็จะมีรูปร่างและปริมาตรตามภาชนะนั้นเช่น ถ้าบรรจุในภาชนะทรงกลมขนาด 1 ลิตรก๊าซจะมีรูปร่างเป็นทรงกลมมีปริมาตร 1 ลิตรเพราะแก๊สมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค (โมเลกุลหรืออะตอม) น้อยมากจึงทำให้อนุภาคของก๊าซสามารถเคลื่อนที่หรือแพร่กระจายเต็มภาชนะที่บรรจุ

2. ก๊าซสามารถแพร่ได้และแพร่ได้เร็วเพราะก๊าซมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค (โมเลกุล) น้อยกว่าของเหลวและของแข็ง

3. ก๊าซต่างๆตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปเมื่อนำมาใส่ภาชนะเดียวกัน ก๊าซแต่ละชนิดก็จะฟุ้งกระจายผสมกันอย่างสมบูรณ์ทุกส่วน นั่นคือส่วนผสมของก๊าซเป็นสารเนื้อเดียวหรือเป็นสารละลาย (Solution)

4. ปริมาตรของก๊าซขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความดันและจำนวนโมล ปริมาตร อุณหภูมิและความดัน



รูปที่ 2-1 แสดงตัวอย่างการยึดเหนี่ยวกันระหว่างอนุภาคภายในโมเลกุลของก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดปริมาตรของก๊าซเนื่องจากก๊าซบรรจุในภาชนะใดก็ฟุ้งกระจายเต็มภาชนะนั้น ดังนั้นปริมาตรของก๊าซจึงมักหมายถึงปริมาตรของภาชนะที่บรรจุก๊าซนั้น หน่วยของปริมาตรที่นิยมใช้คือ ลูกบาศก์เดซิเมตร (dm^3) หรือลิตร (lit) หรือลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3) ($1dm^3=1lit=1000cm^3$)

อุณหภูมิ (Temperature) เป็น มาตราส่วนที่ใช้บอกระดับความร้อน-เย็นของสาร แต่อุณหภูมิไม่ได้บอกให้ทราบถึงปริมาณความร้อนของสาร กล่าวคือสารที่มีอุณหภูมิเท่ากันแสดงว่ามีระดับเท่ากันแต่อาจจะมีปริมาณความร้อนเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิ คือเทอร์โมมิเตอร์ ไพโรมิเตอร์ และ เทอร์โมคัปเปิลแต่ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ เทอร์โมมิเตอร์

การวัดอุณหภูมิของก๊าซมาตราส่วนที่ใช้มีหลายแบบคือ เซลเซียส เคลวิน ฟาเรนไฮต์ โรเมอร์ และ แรงกิน แต่การวัดอุณหภูมิของก๊าซส่วนใหญ่ใช้ มาตราส่วนเคลวิน (Kelvin scale) หรือที่เรียกว่า มาตราส่วนสัมบูรณ์ (Absolute temperature scale) สัญลักษณ์ K และ องศาเซลเซียส สัญลักษณ์ °C อุณหภูมิเคลวินและองศาเซลเซียสมีความสัมพันธ์กันดังนี้

อุณหภูมิเคลวิน = องศาเซลเซียส+273

ความดัน (Pressure) หมายถึง แรงที่กระทำต่อหน่วยของพื้นที่ๆตั้งฉากกับแรงนั้น เนื่องจากความดันของก๊าซเกิดจากโมเลกุลของก๊าซชนผนังภาชนะ เพราะฉะนั้นความดันของก๊าซคือแรงที่โมเลกุลของก๊าซกระทำต่อผนังต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ภาชนะและความดันของก๊าซมีค่าเท่ากันหมดไม่ว่าจะวัดที่ส่วนใดของภาชนะ

การวัดความดันของก๊าซหน่วยที่ใช้วัดความดันได้แก่ บรรยากาศ มิลลิเมตรปรอท นิวตันต่อตารางเมตร ต่อตารางเซนติเมตร ปอนด์ต่อตารางนิ้ว บาร์ ทอร์ สำหรับหน่วยเอสไอใช้ปาสคาล (Pascal) สัญลักษณ์ Pa

2.1.2. ประเภทของก๊าซ

เพื่อความสะดวกในการศึกษาสมบัติของก๊าซจึงได้แบ่งก๊าซออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. ก๊าซในอุดมคติหรือก๊าซสมบูรณ์แบบ (Ideal gas or Perfect gas) หมายถึง ก๊าซที่อยู่ในภาวะใดๆก็ตาม (ไม่ว่าความดันหรืออุณหภูมิใดๆ) จะมีพฤติกรรมเป็นไปตามกฎต่างๆของก๊าซในอุดมคติเช่น กฎของบอยล์ กฎของชาร์ลส์ กฎของเกย์ลุสแซก กฎรวมของก๊าซเป็นต้นและยังมีสมบัติเป็นไปตามทฤษฎีจลน์ของก๊าซครบทุกข้อด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ก๊าซจริง (Real gas) หมายถึง ก๊าซที่มีพฤติกรรมไม่เป็นไปตามกฎต่างๆของก๊าซในอุดมคติและทฤษฎีจลน์ของก๊าซที่ภาวะปกติ แต่ในภาวะที่อุณหภูมิสูงมากๆและความดันต่ำมากๆ ก๊าซจริงจะมีพฤติกรรมใกล้เคียงกับก๊าซในอุดมคติ

2.1.3. นิยามปริมาณของของไหล

เอนโทรปี (Entropy) เป็น ปริมาณอันหนึ่งที่ใช้บอกการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพของของไหล โดยกำหนดให้การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีเป็นการเปลี่ยนแปลงความร้อนต่อหนึ่งหน่วยอุณหภูมิสัมบูรณ์

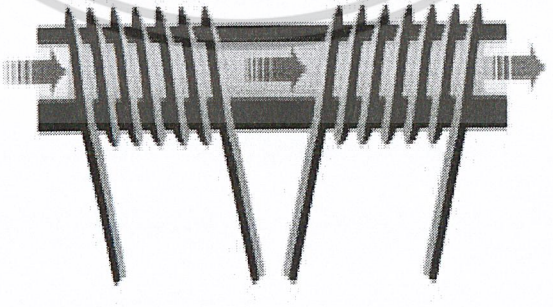
2.2. หน่วยที่ใช้

โดยทั่วไปการไหลโดยมวลของก๊าซจะแสดงออกมาในรูปของปริมาตรคือ ในหน่วยของ Standard cubic centimeters per minute (sccm) หรือ Standard liters per minute (slm) โดยกำหนดที่ 0 องศาเซลเซียส และที่ 1 บรรยากาศ เพราะเนื่องจากที่ ก๊าซในอุดมคติ 1 โมล ปริมาณ 24 ลิตร ที่ 0 องศาเซลเซียส และที่ 1บรรยากาศ ก๊าซจะไหลประมาณ 1 นาที

ค่า sccm จะเป็นค่าของความดันมาตรฐาน หรือค่าของความดันบรรยากาศซึ่งมีค่าเท่ากับ 760 ทอร์ หรือ 1000 มิลลิบาร์

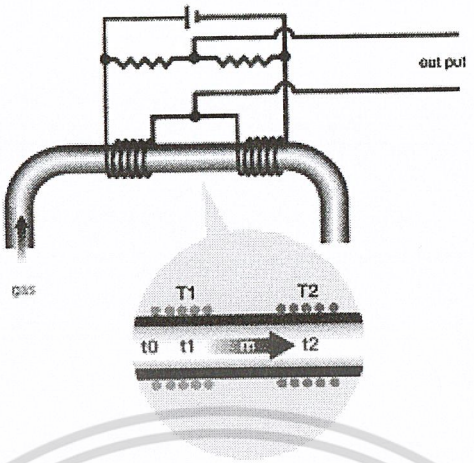
2.3. ทฤษฎีและหลักการทำงานของเกจควบคุมอัตราการไหล 4 ข้อ

2.3.1. สัมผัสทางความร้อนของการไหลเชิงมวล (Thermal sensing of mass flow)

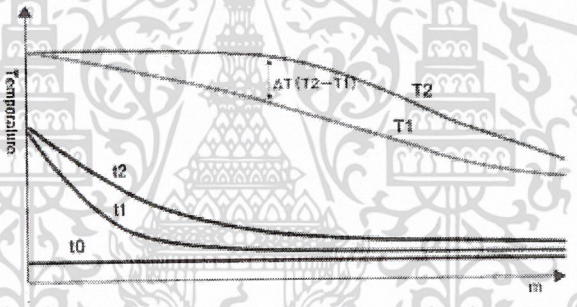


รูปที่ 2-2 แสดงภาพสัมผัสทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-3 แสดงการตรวจวัดอัตราการไหลของก๊าซโดยอาศัยค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของความต้านทาน 2 ตัว



รูปที่ 2-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของขดลวดและก๊าซภายในส่วน bypass กับเวลา

อาศัยหลักการของการตรวจวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงที่ขดลวดตัวต้านทาน 2 ตัวซึ่งพันอยู่รอบท่อในส่วนของ bypass ซึ่งตัวต้านทานนี้จะต่ออยู่ในลักษณะของวงจรบริดจ์ โดยจะใช้กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อนที่ท่อและอาศัยการไหลผ่านของแก๊สทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างค่าความต้านทานทั้ง 2 ชิ้น ส่งผลทำให้วงจรบริดจ์เกิดความไม่สมดุลแล้วทำให้ได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าออกมา

ดังนั้นค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของความต้านทานทั้ง 2 ตัวนี้เป็น ค่าขึ้นอยู่กับการไหลโดยมวลของก๊าซและความดันของก๊าซความร้อนและอัตราการไหลของแก๊ส

2.3.2. **การแบ่งแยกเขตการไหลแบบราบเรียบ** (Laminar partitioning of flow)

ปริมาณบอกคุณสมบัติของของไหล

ปริมาณที่ใช้บอกคุณสมบัติหรือสถานะภาพของของไหลแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ปริมาณรัดกุม (Intensive quantity) เป็น ปริมาณที่ใช้บอกคุณสมบัติของของไหลที่ไม่ขึ้นกับมวลของของไหลเช่น อุณหภูมิและความดัน เป็นต้น

2. ปริมาณไม่รัดกุม (Extensive quantity) เป็น ปริมาณที่ใช้บอกคุณสมบัติของของไหลที่ขึ้นกับมวลของของไหล เช่น ปริมาตร พลังงานภายใน เป็นต้น

ปริมาณไม่รัดกุมสามารถทำให้เป็นปริมาณรัดกุมได้ โดยทำเป็นค่าต่อหนึ่งหน่วยมวลและเรียกปริมาณใหม่ที่ได้เป็นปริมาณจำเพาะ (Specific quantity) เช่น ปริมาตรจำเพาะเป็น m^3/Kg พลังงานภายในจำเพาะเป็น J/Kg และ ความจุความร้อนจำเพาะเป็น J/Kg.K เป็นต้น

ขบวนการแบบการไหลอย่างสม่ำเสมอ (Steady flow process)

ในเครื่องจักรกลความร้อนขบวนการนี้มีความสำคัญที่สุด เงื่อนไขสำหรับขบวนการนี้คือ

1. มวลของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดใดๆในระบบจะคงที่ตลอดเวลา
2. คุณสมบัติต่างๆของของไหลที่พื้นที่หน้าตัดใดๆจะคงที่ตลอดเวลา
3. อัตราการส่งผ่านความร้อนและงานทั้งหมดเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

การเคลื่อนที่ของไหล

การพาความร้อนคือ การถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน การพาแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ การพาตามธรรมชาติ (Natural convection) และการพาโดยการบังคับ (forced convection) วิธีการที่ความร้อนถ่ายเทโดยการพาสามารถอธิบายได้ดังนี้ คือ

การพาตามธรรมชาติซึ่งของไหลไม่เคลื่อนที่โดยกลไกภายนอกในกรณีนี้ ถ้าของไหลที่บริเวณหนึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าของไหลที่อีกบริเวณหนึ่ง ความร้อนจะเริ่มถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยการนำความร้อน (Conduction) เมื่อของไหลบริเวณนั้นเริ่มมีอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะมีความหนาแน่นต่ำลงและจะเคลื่อนที่ขึ้นข้างบน ส่วนของไหลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ทำให้เกิดมีการหมุนเวียนของของไหลขึ้น จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ของของไหลในกรณีนี้เกิดขึ้นจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล

การพาโดยการบังคับซึ่งเกิดขึ้นเมื่อของไหลมีความเร็วอยู่แล้วโดยกลไกภายนอก เช่น พัดลม หรือ สูบน้ำ เมื่อของไหลมีความเร็วเราจะต้องทราบกลไกในการเคลื่อนที่ของของไหลก่อน โดยปกติเราจะแบ่งการไหลของของไหลเป็นสองแบบคือ การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) และการไหลแบบอลวน (turbulent flow) ในการไหลแบบราบเรียบในกรณีที่ของไหลมีลักษณะเป็นชั้นๆขนานกัน ความร้อนจะถูกถ่ายเทโดยการนำผ่านชั้นของของไหล ในกรณีของการไหลแบบอลวนซึ่งของไหลเคลื่อนที่อย่างไม่มีระเบียบมีการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับทิศทางของการไหล ด้วยการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนที่ของความร้อนส่วนใหญ่จะเกิดจากอนุภาคของของไหลที่ได้รับความร้อนมาแล้วเคลื่อนที่นำความร้อนไปยังที่อื่น ดังนั้นยิ่งการไหลเป็นแบบอลวนมากเท่าใด การเคลื่อนที่ของความร้อนยิ่งมากขึ้นเท่านั้น

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของความร้อนในการพาความร้อนมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการเคลื่อนที่ของของไหล ดังนั้นก่อนที่จะศึกษากลไกของการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน จะต้องมีความรู้เกี่ยวกับกลไกการเคลื่อนที่ของของไหลในบริเวณที่เกิดการถ่ายเทความร้อนเสียก่อน จะต้องรู้ว่าการเคลื่อนที่ของของไหลนั้นเป็นแบบราบเรียบหรือแบบอลวนและจะต้องรู้ว่า ความเร็วและอุณหภูมิของของไหลเปลี่ยนแปลงอย่างไรในบริเวณที่เกิดการพาความร้อน

ลักษณะการเคลื่อนที่ของของไหล

การไหลภายนอก (External Flow)

การไหลภายนอกคือ การไหลของของไหลที่มิได้ถูกจำกัดให้ไหลในบริเวณที่ๆกำหนดแต่เป็นการไหลผ่านผิวนอกของของแข็งเช่น การไหลผ่านผนังราบ การไหลตั้งฉากกับวัตถุรูปทรงกระบอก การไหลของของไหลมากระทบกับของแข็งรูปร่างลักษณะต่างๆในทิศทางใดๆก็ได้

พิจารณาการไหลของของไหลผ่านผนังราบ จะเห็นได้ว่าการที่มีผนังอยู่ในของไหลทำให้ความเร็วของของไหลส่วนที่อยู่ใกล้กับผนังเปลี่ยนไป เมื่อพิจารณาแล้วอาจจะแบ่งของไหลออกเป็นสองบริเวณ บริเวณแรกอยู่ใกล้กับผนังเป็นบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากการที่มีผนังราบมาอยู่ในของไหลทำให้ความเร็วของของไหลในบริเวณนี้เปลี่ยนไป บริเวณที่สองเป็นบริเวณที่ของไหลไม่ได้รับอิทธิพลจากผนังราบ

ของไหลบริเวณแรกซึ่งได้รับอิทธิพลจากผนังนั้นเรียกกันว่า ผนังขอบเขต (boundary layer) ความเร็วของของไหลที่ผิวของผนังนี้มีค่าเป็นศูนย์ แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นจนเท่ากับความเร็วของของไหลภายนอก ขอบเขตและเงื่อนไขหรือที่เรียกว่า ความเร็วของฟรีสตรีม (free stream velocity) จะเห็นได้ว่า ขอบเขตและเงื่อนไขเกิดขึ้นที่ปลายของผนัง แล้วค่อยๆมีความหนามากขึ้นไปตามทิศทางของการไหลของของไหล ในช่วงแรก ขอบเขตและเงื่อนไขจะเป็นแบบลามินาร์ เมื่อขอบเขตมีความหนามากขึ้นถึงจุดๆหนึ่ง การไหลจะเริ่มเปลี่ยนไปเป็นการไหลแบบอลวน และขอบเขตจะค่อยๆเปลี่ยนไปเป็น ผนังขอบเขตเทอร์บูเลนท์ (turbulent boundary layer) การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นการเปลี่ยนแบบค่อยเป็นค่อยไป ในช่วงของการเปลี่ยนแปลงนี้การไหลจะเป็นแบบราบเรียบและอลวนผสมกัน บริเวณนี้เรียกว่า ทรานซิชั่น โซน (transition zone) ถึงแม้ว่าการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลจะเปลี่ยนจากราบเรียบเป็นอลวนแล้ว การไหลในชั้นบางๆของของไหลส่วนที่อยู่ติดกับผนังก็ยังเป็นแบบราบเรียบอยู่ บริเวณนี้มีชื่อเรียกว่า ลามินาร์สับแลเยอร์ (laminar sub layer)

การไหลแบบราบเรียบคือ การไหลที่ของไหลเคลื่อนที่เป็นชั้นๆไม่มีการเคลื่อนไหวของอนุภาคของไหลในทิศทางอื่นนอกจากทิศทางของการไหล การถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นของขอบเขต และ ตั้งฉากกับผนังในกรณีของลามินาร์ขอบเขตจึงเป็นการเคลื่อนที่แบบนำความร้อน

เมื่อการไหลของของไหลเปลี่ยนไปเป็นแบบอลวนแล้ว จะมีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในทิศทางอื่นนอกจากทิศทางของการไหลทำให้การถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงขึ้น ในการไหลแบบอลวน ถึงแม้ขอบเขตจะเปลี่ยนจากแบบราบเรียบเป็นแบบไม่สม่ำเสมอ แต่ของไหลชั้นบางๆที่อยู่ติดกับผนังซึ่งเรียกว่า ลามินาร์นั้นยังมีลักษณะเป็นแบบผนังขอบเขตลามินาร์อยู่

ขอบเขตมีอยู่สามแบบ คือ แบบลามินาร์ เทอร์บูเลนท์ และ ทรานซิชั่น

ในกรณีของการไหลตั้งฉากกับวัตถุรูปทรงกระบอกนั้น วัตถุจะมีอิทธิพลต่อการไหลของของไหลค่อนข้างมาก ลักษณะการไหลของของไหลขึ้นอยู่กับความเร็วของของไหล

จุดหน้าสุดของวงกลมที่สัมผัสกับของไหลเป็นจุดที่ของไหลหยุดนิ่ง (stagnation point) จุดที่อยู่ตรงข้ามกับจุดๆนี้ ซึ่งอยู่ด้านหลังก็เป็นจุดซึ่งของไหลหยุดนิ่งเช่นเดียวกัน เมื่อความเร็วของของไหลมีค่าสูงขึ้น จะเริ่มแยกตัวออกจากผิวของท่อที่บริเวณจุดที่ของไหลหยุดนิ่งทางด้านหลัง และ แยกตัวมากขึ้นเรื่อยๆ และบริเวณที่ของไหลแยกตัวจะเริ่มเคลื่อนที่มาทางด้านหน้า ในกรณีนี้การไหลในส่วนของ เงื่อนไขที่ยังติดอยู่กับผิวของท่อเป็นการไหลแบบราบเรียบ ส่วนของของไหลที่แยกออกจะเป็นการไหลแบบอลวน โดยบริเวณที่ของไหลแยกตัวออกนี้ อนุภาคของของไหลจะเคลื่อนที่ในทิศทางต่างๆกัน และ ผสมกันอย่างรุนแรง บริเวณนี้มีชื่อเรียกว่า เทอร์บูเลนท์ เวค (turbulent wake)

บริเวณการแยกตัวจะใหญ่ขึ้นและเคลื่อนที่มาข้างหน้าเรื่อยๆและหลังจากนั้น ก็จะมีการลดขนาดลง

สำหรับการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนนั้นพบว่า เมื่อลักษณะการไหลของของไหลเป็นแบบอลวน การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนจะมีค่าสูงกว่าเมื่อการไหลเป็นแบบราบเรียบ เพราะอนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆ และ ผสมกันอย่างรุนแรง

การไหลภายใน (Internal Flow)

การไหลภายในเป็น การไหลที่ของไหลถูกกำหนดให้เคลื่อนที่ในบริเวณที่จำกัด เช่น การไหลของของไหลในท่อกลม ท่อรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และอื่นๆ การไหลภายในนี้มีความสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากในศาสตร์การถ่ายเทความร้อนเพราะเครื่องมือถ่ายเทความร้อนที่ใช้กันส่วนใหญ่ได้จัดให้ของไหลเคลื่อนที่ในท่อกลม

เมื่อของไหลเริ่มเคลื่อนที่เข้ามาในท่อ ผนังท่อจะเริ่มมีอิทธิพลต่อความเร็วของของไหลทันที และ เงื่อนไขจะเริ่มเกิดขึ้น และ ค่อยๆหนาขึ้น ตามลำดับ จนกระทั่งเต็มท่อ ระยะทางของท่อที่ความเร็วเปลี่ยนแปลงจากสม่ำเสมอ (Uniform) มาเป็นความเร็วที่พัฒนาสมบูรณ์แล้ว (fully developed profile) มีชื่อว่า ไฮดรอลิค เอนทรานซ์เลนซ์ (hydraulic entrance length)

การไหลในเงื่อนไขและขอบเขตที่ปากท่อไม่ว่าในที่สุดแล้วการไหลจะเป็นแบบราบเรียบหรืออลวนจะเป็นแบบราบเรียบเสมอ

การไหลในท่อจะเป็นการไหลแบบราบเรียบแล้วเริ่มเปลี่ยนเป็นแบบอลวนมากขึ้นเรื่อยๆตามความเร็วเฉลี่ยของของไหล

การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow)

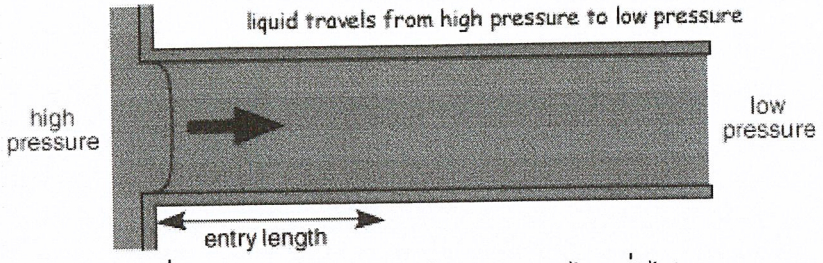
การไหลแบบราบเรียบ เป็นการไหลที่ของไหลมีการเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบ และ มีความเร็วสม่ำเสมอ

การไหลแบบอลวน (Turbulent Flow)

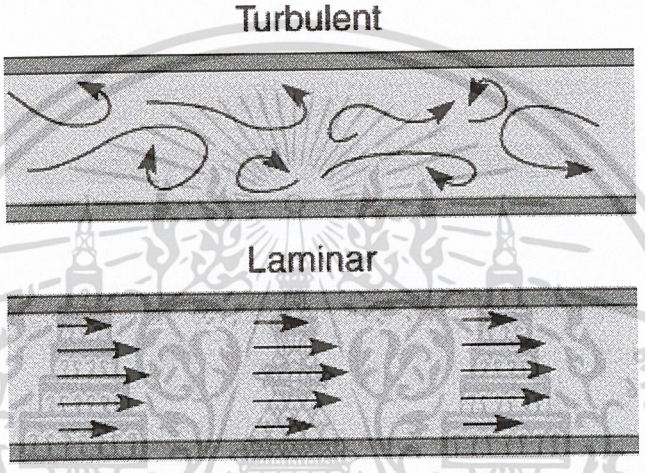
การไหลแบบอลวน เป็นการไหลที่ของไหลเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบ ของไหลมีความเร็วไม่สม่ำเสมอ และ มีทิศทางการเคลื่อนที่ๆแตกต่างกัน ทำให้อนุภาคของของไหลผสมกันอย่างรุนแรง

แม้ว่าจะได้มีความพยายามที่จะวิเคราะห์ปัญหาของการเคลื่อนที่ของของไหลแบบอลวนโดยใช้ทฤษฎีทางด้านกลศาสตร์สถิติ (statistical mechanics) กันมาก แต่ความพยายามดังกล่าว ก็มิได้ประสบผลสำเร็จในการให้คำตอบที่เป็นที่พอใจได้ จนกระทั่งแพรนเติล (Prantl) ได้เสนอทฤษฎีที่ใช้วิเคราะห์ปัญหาของการเคลื่อนที่ของของไหลแบบอลวนที่ได้ผลดีมากที่สุด ทฤษฎีนี้มีชื่อ ทฤษฎีแพรนเติลมิกซ์เลนซ์ (Prantl mixing length theory) ทฤษฎีนี้อาศัยการคำนวณการถ่ายเทการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างชั้นของของไหล หากของไหลสองชั้นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน เมื่อมีอนุภาคเคลื่อนที่ระหว่างชั้นของของไหล ก็จะเกิดการแลกเปลี่ยนโมเมนตัมระหว่างชั้นของของไหลขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-5 แสดงลักษณะการไหลของของไหลทั่วไป



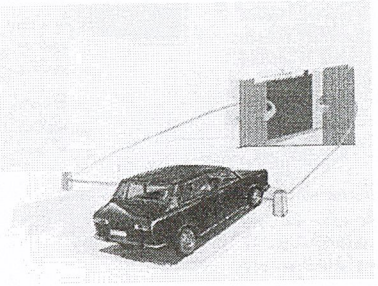
รูปที่ 2-6 แสดงการไหลแบบอลวนและการไหลแบบราบเรียบ

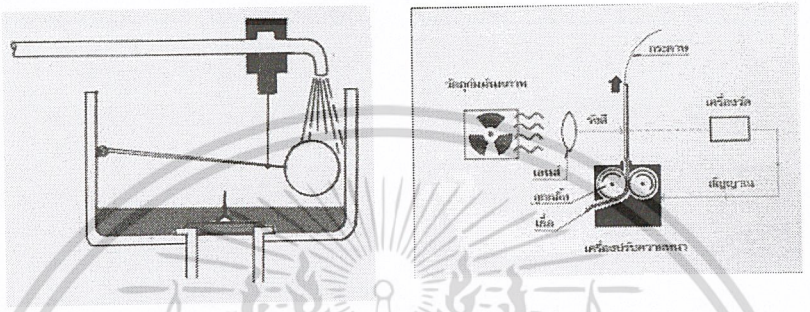
ในเครื่องควบคุมอัตราการไหลที่เราใช้ในโครงงานพิเศษนี้จะอาศัยหลักการควบคุมให้การไหลเป็นแบบราบเรียบโดยการทำให้ท่อของตัวตรวจรู้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมาก ส่งผลให้เมื่อก๊าซเคลื่อนที่ผ่านท่อตัวตรวจรู้ ก๊าซนั้นจะถูกบีบอัดขึ้นเพื่อจะเคลื่อนผ่านท่อตัวตรวจรู้ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก ทำให้การไหลนั้นเปลี่ยนแปลงกลายเป็นแบบราบเรียบขึ้นซึ่งจะมีผลดีทำให้สามารถวัดอัตราการไหลได้แน่นอนขึ้นและทำให้ตัวตรวจรู้ ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของก๊าซได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

2.3.3. กระบวนการที่กลไกนึงควบคุมอีกกลไกนึงในรูปแบบของระบบปิด (Closed-loop servo operation)

ระบบควบคุมเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 2-7 แสดงตัวอย่างการใช้งานของระบบควบคุมเบื้องต้น

ความหมายของระบบควบคุม

ระบบ (System) คือการทำงานร่วมกันเพื่อจุดประสงค์เดียวกันให้เกิดผลสำเร็จ

ระบบควบคุม (Control System) คือการจัดองค์ประกอบส่วนต่าง ๆ ให้มีการทำงานสัมพันธ์กัน เพื่อบังคับหรือปรับปรุงให้ระบบทำงานตามที่ต้องการ

แพล้น (Plant) คือ สิ่งที่จะถูกควบคุม อาจเป็นเครื่องมือ เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน

ดิสเตอร์บลานต์ (Disterbance) คือ สัญญาณรบกวนที่เข้ามาในระบบทำให้ค่าเอาต์พุตของระบบเปลี่ยนไป

การควบคุมป้อนกลับ (Feedback) คือ การพยายามลดค่าแตกต่างระหว่างเอาต์พุตกับค่าอ้างอิง (Set point) หรือ อินพุต

ระบบการควบคุมป้อนกลับ (Feedback Control System) คือ ระบบการควบคุมที่รักษาค่าเอาต์พุทได้ใกล้เคียงกับค่าอินพุต โดยมีการเปรียบเทียบสัญญานทั้งสองนี้ ผลจากการเปรียบเทียบจะเป็นค่าผิดพลาด (Error) ซึ่งเป็นสัญญาณที่ใช้ป้อนเข้าสู่ตัวควบคุม (Control)

เซอร์โวแมคคานิกส์ (Servomechanism) คือ ระบบควบคุมป้อนกลับ โดยที่เอาต์พุตอยู่ในรูปของตำแหน่ง (Position) ความเร็ว (velocity) หรือ อัตราเร่ง (Acceleration)

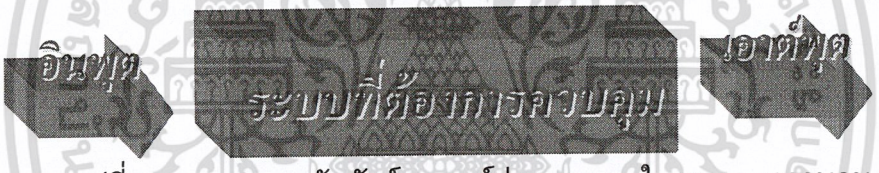
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออโตเมติก เรคกูเรติ้ง (Automatic Regulating System) คือ ระบบควบคุมป้อนกลับซึ่งรักษาค่าเอาต์พุตให้คงที่ตามการเปลี่ยนแปลงของค่าอ้างอิงหรืออินพุต

พื้นฐานของระบบควบคุม

ระบบการควบคุม คือ รูปแบบของระบบใด ๆ ที่มีการจัดองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในระบบเพื่อให้มีผลตอบสนองของระบบเป็นไปตามที่ต้องการ ส่วนมากอาศัยพื้นฐานทฤษฎีระบบเชิงเส้นมาช่วยในการวิเคราะห์ พิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างเหตุผล (Cause effect) ของแต่ละองค์ประกอบของระบบ ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนดังนี้

1. วัตถุประสงค์ของการควบคุม (Input)
2. กระบวนการ ขั้นตอน หลักที่ใช้ในการควบคุม (Process)
3. ค่าที่ได้รับจริง (Output)

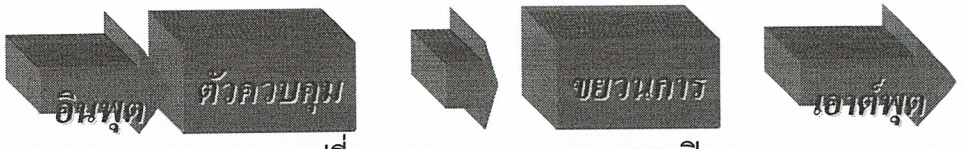


รูปที่ 2-8 แสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบภายในระบบการควบคุม

ประเภทของการควบคุม

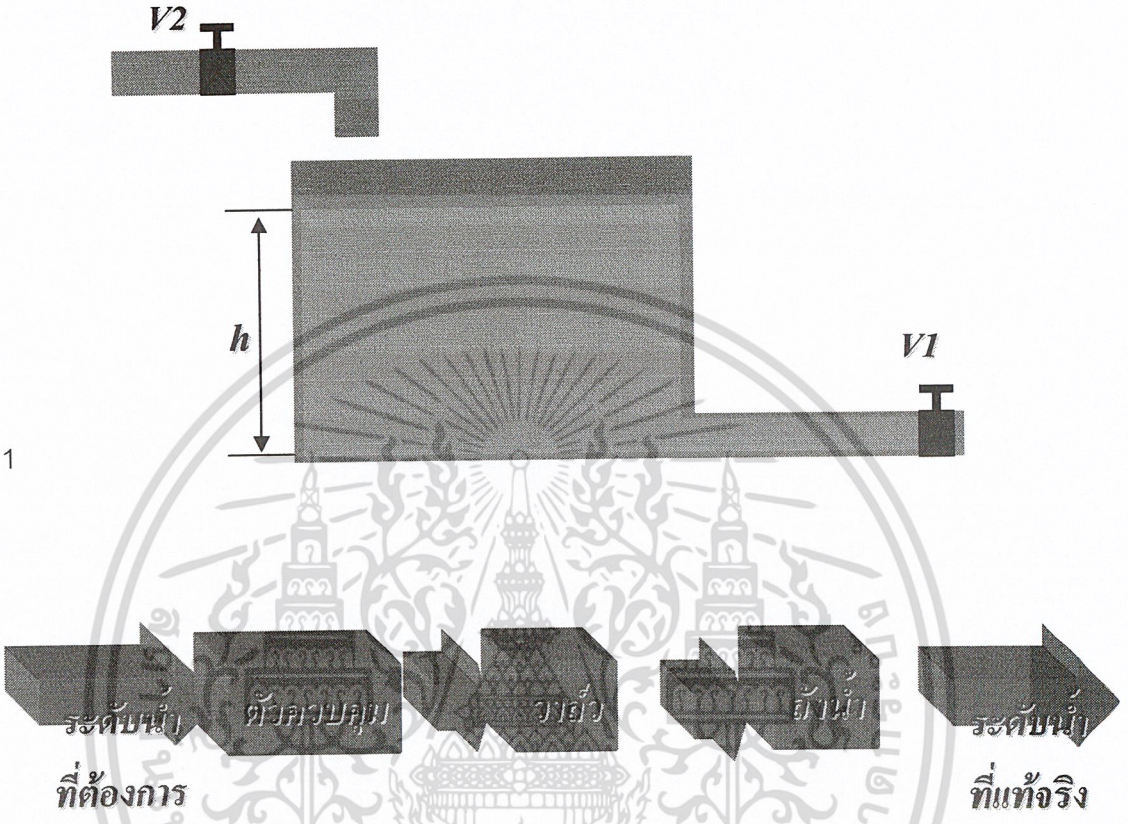
1. ระบบควบคุมแบบเปิด (Open-loop control system)

เป็นระบบที่ค่าเอาต์พุตไม่มีผลต่อการควบคุมขบวนการของระบบ คือ ไม่มีการนำเอาค่าเอาต์พุตที่ได้กลับมาเปรียบเทียบกับค่าอินพุตที่ป้อนให้กับระบบ



รูปที่ 2-9 แสดงระบบควบคุมแบบเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



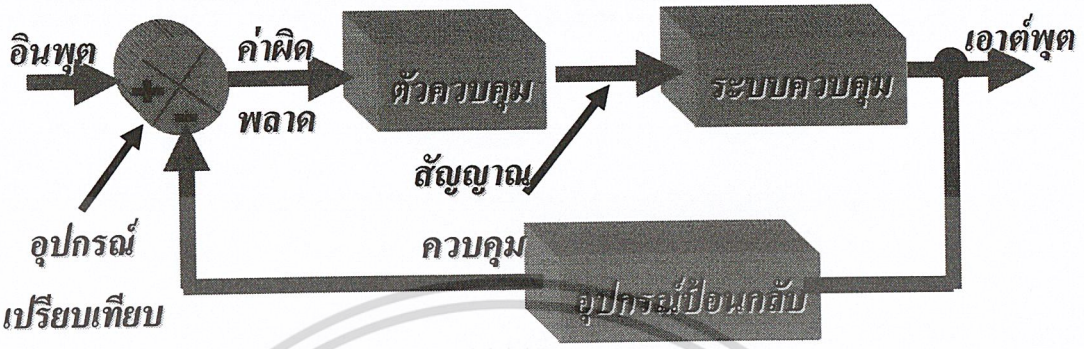
รูปที่ 2-10 แสดงตัวอย่างของระบบควบคุมแบบเปิด

- ไม่การนำสัญญาณทางด้านเอาต์พุตป้อนกลับทางด้านอินพุต
- ระบบไม่มีความซับซ้อน
- ระบบใช้กับงานที่ไม่ต้องการความแม่นยำ
- เป็นระบบควบคุมที่ประหยัด

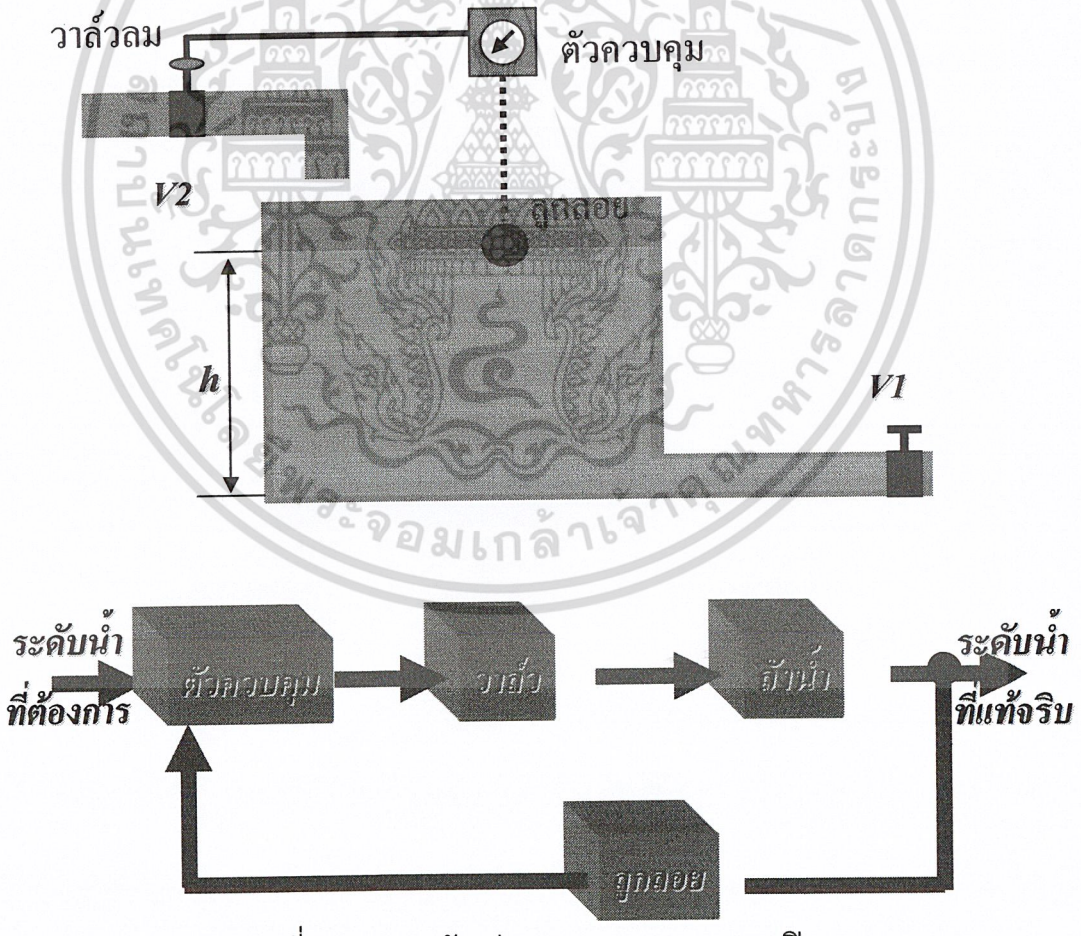
2. ระบบควบคุมแบบปิด (Closed-loop control system)

เป็นระบบที่นำสัญญาณจากเอาต์พุตของระบบ ป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้กับระบบ ซึ่งผลต่างระหว่างสัญญาณทั้งสองที่นำมาเปรียบเทียบนั้นจะเป็นค่าผิดพลาด (Error) เพื่อที่จะใช้เป็นสัญญาณป้อนเข้าตัวควบคุม (Controller) ให้ตัวควบคุมนำไปสร้างสัญญาณควบคุมใหม่เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบและทำให้เอาต์พุตของระบบเข้าสู่ค่าที่ต้องการ (Set point)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-11 แสดงระบบควบคุมแบบปิด



รูปที่ 2-12 แสดงตัวอย่างของระบบควบคุมแบบปิด

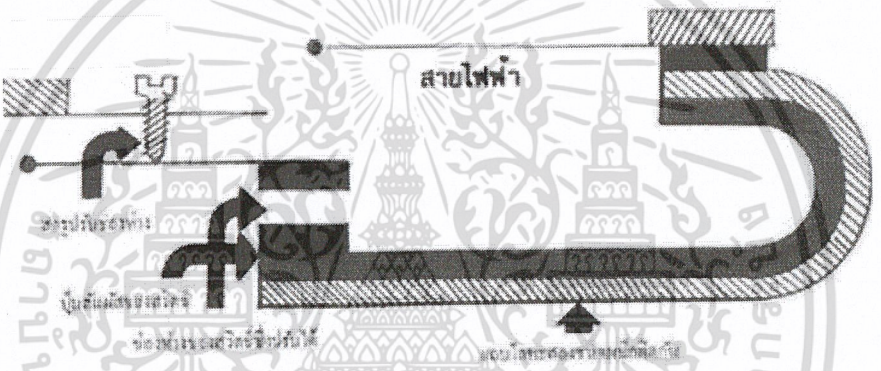
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

วิธีการควบคุมแบบป้อนกลับ

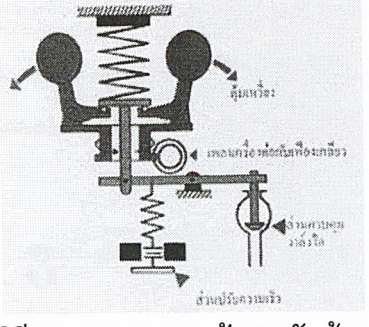
1. วิธีไฮดรอลิก ได้แก่ การใช้ทุ่นลอย สำหรับควบคุมระดับน้ำ

2. วิธีควบคุมด้วยความร้อน ได้แก่ การใช้แถบโลหะสองชนิดผนึกติดกัน สำหรับควบคุมความร้อน เนื่องจากโลหะต่างชนิดกัน จะยืดหดไม่เท่ากัน แต่เมื่อถูกผนึกติดกันแล้วมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ทำให้แถบโลหะนี้โก่งงอ เมื่อตรึงปลายหนึ่งเอาไว้แล้ว การโก่งงอนี้ทำให้อีกปลายหนึ่งใช้เป็นสวิตช์ไฟฟ้าได้ เครื่องแบบนี้มักจะใช้ควบคุมอุณหภูมิในตู้เย็นหรือห้องปรับอากาศให้มีอุณหภูมิคงที่ เมื่ออุณหภูมิลดลงจนเย็นเกินไปปลายแถบโลหะจะถ่างออกจากปุ่มสัมผัส ทำให้กระแสไฟฟ้าหยุด



รูปที่ 2-13 แสดงตัวอย่างวิธีการควบคุมแบบป้อนกลับด้วยความร้อน

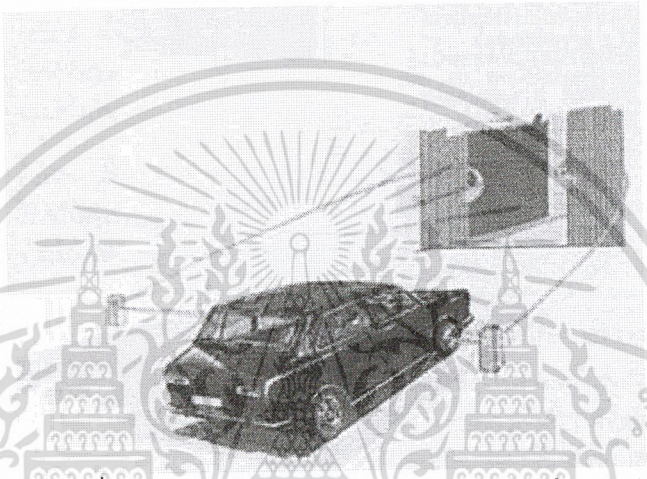
3. วิธีควบคุมด้วยความเฉื่อย ได้แก่ การใช้ระบบตุ้มเหวี่ยงสำหรับควบคุมความเร็ว เครื่องแบบนี้มีลูกตุ้มติดกับข้อพับโยงกับแกนหมุน ถ้าแกนหมุนเร็ว จะเหวี่ยงตุ้มถ่างออกไปและทำให้ข้อพับกางออก ดึงกระเดื่องให้ลดไอ ทำให้เครื่องได้รับเชื้อเพลิงลดลง ถ้าแกนหมุนช้าลูกตุ้มมีแรงเหวี่ยงน้อยข้อพับจะถูกสปริงดันหุบเข้าหากัน กดกระเดื่องให้เปิดเพิ่มเชื้อเพลิงมากขึ้น ทำให้เครื่องหมุนไม่เร็วและไม่ช้าเกินไป



รูปที่ 2-14 แสดงตัวอย่างวิธีการควบคุมแบบป้อนกลับด้วยความเฉื่อย

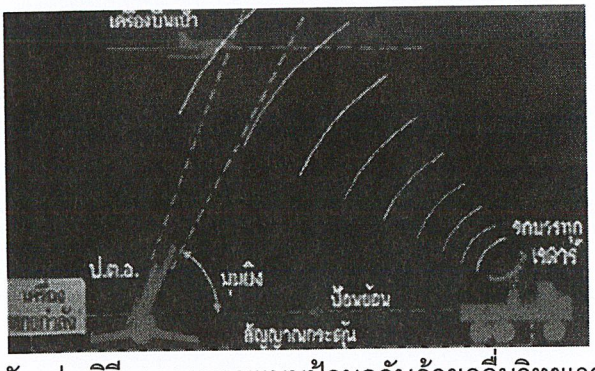
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
58667

4. วิธีควบคุมด้วยแสง ได้แก่ การใช้โฟโตเซลล์ เป็นเครื่องเปลี่ยนพลังงานแสงให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า เช่น โฟโตเซลล์ที่ใช้เป็นสวิตช์ไฟอัตโนมัติสำหรับโคมไฟบนถนนหลวงพอท้องฟ้ามืด สวิตช์นี้ก็จะเปิดไฟถนนทันที หลักการคล้ายกันนี้ใช้กับเครื่องบังคับเปิดปิดประตูอัตโนมัติ เช่น รถยนต์ผ่านไปยังลำแสงที่ฉายอยู่ เป็นการกระตุ้นให้ระบบอัตโนมัติส่งสัญญาณไปเปิดประตู



รูปที่ 2-15 แสดงตัวอย่างวิธีการควบคุมแบบป้อนกลับด้วยแสง

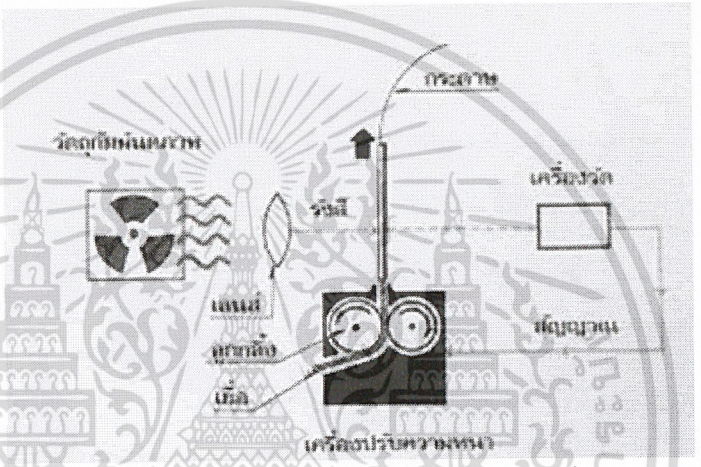
5. วิธีควบคุมด้วยคลื่นวิทยุเรดาร์ ได้แก่ การใช้คลื่นสะท้อนสำหรับควบคุมทิศทาง เช่น ปืนต่อสู้อากาศยาน ซึ่งควบคุมการยิงด้วยระบบเรดาร์ เครื่องเรดาร์บนรถยนต์จะจับทิศทางและความเร็วของเครื่องบินเป้า และป้อนข้อมูลนี้เข้าเครื่องคำนวณแล้วส่งคำสั่งยิงเป็นสัญญาณกระตุ้นไปยังปืนป.ต.อ. สัญญาณนี้จะถูกขยายกำลังและหมุนมอเตอร์ปรับมุมยิงของปืนเพื่อยิงดักความคลาดเคลื่อนของกระสุนจากเป้าหมายจะถูกเครื่องเรดาร์บันทึกไว้ และส่งสัญญาณป้อนย้อนกลับไปปรับแต่งมุมยิงของปืนอีก



รูปที่ 2-16 แสดงตัวอย่างวิธีการควบคุมแบบป้อนกลับด้วยคลื่นวิทยุเรดาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. วิธีฉายกัมมันตภาพรังสี วิธีนี้ใช้สารที่มีการแผ่รังสีกัมมันตภาพเป็นกระบวนที่ใช้ได้กว้างขวางมากและมีประสิทธิภาพ จึงนิยมใช้ควบคุมในงานอุตสาหกรรมสมัยใหม่นานาประเภท ตัวอย่างเช่น ใช้ควบคุมความหนาของกระดาษซึ่งผลิตโดยการรีดออกมาด้วยความเร็วสูง เครื่องนี้ใช้ลำแสงกัมมันตภาพรังสีฉายทะลุกระดาษ ถ้าความหนาของกระดาษผิดไปจากที่ตั้งกำหนดเกณฑ์เอาไว้ ก็จะทำให้ความเข้มของรังสีที่ทะลุผ่านเปลี่ยนไป เครื่องวัดความเข้มรังสีก็จะส่งสัญญาณกระตุ้นไปปรับแต่งเครื่องรีดทันที



รูปที่ 2-17 แสดงตัวอย่างวิธีการควบคุมแบบป้อนกลับด้วยวิธีฉายกัมมันตภาพรังสี

7. วิธีนิวแมติค หรือแรงอัดดันของอากาศ ได้แก่ การใช้กล่องแบบโป่งแฟบได้คล้ายหีบเพลงชักเพื่อควบคุมความดัน

2.3.4. **ระบบควบคุมแบบสัดส่วนของวาล์ว** (Proportional control of integrated valve)

ในระบบควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional control) โดยทั่วไป เราจะได้ว่า เอาท์พุทของคอนโทลเลอร์จะเป็นสัดส่วนกับอินพุทของคอนโทลเลอร์ และถ้าเรากำหนดสัญญาณอินพุทที่ให้กับคอนโทลเลอร์เป็น ค่าความผิดพลาด (e) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา เราจะได้

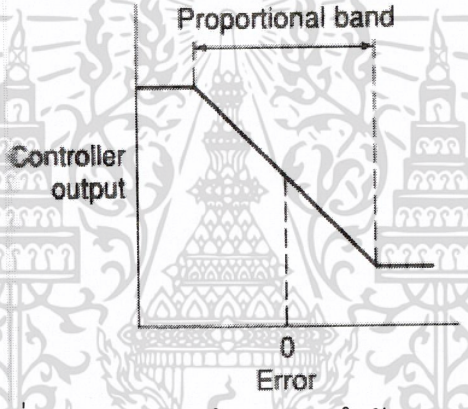
เอาท์พุท = $K_F e$

เมื่อ K_F เป็นค่าคงที่เรียก สัดส่วนที่เพิ่มขึ้น (proportional gain) เราจะพบว่าเอาท์พุทที่ออกจากคอนโทรลเลอร์แบบ จะขึ้นกับขนาดของความผิดพลาดในขณะที่เรากำลังพิจารณา ทำให้ฟังก์ชันถ่ายโอนของคอนโทรลเลอร์ $G_C(s)$ จะมีค่าเป็น

$G_C(s) = K_F$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการควบคุมด้วยคอนโทลเลอร์แบบนี้ก็จะเป็นเพียงการขยายสัญญาณความผิดพลาดเท่านั้น การที่เราได้สัญญาณความผิดพลาดขนาดใหญ่ที่เวลาหนึ่ง จะทำให้เกิดเอาท์พุทที่มีขนาดใหญ่จากคอนโทลเลอร์ในเวลานั้น อย่างไรก็ตามการที่เรากำหนดให้ค่าคงที่ของการเพิ่มขึ้น (gain) นั้นในทางปฏิบัติเราอาจจะกำหนดไว้ในบางช่วงของสัญญาณความผิดพลาดเท่านั้น เราอาจกำหนดให้คอนโทรลเลอร์ของเรามีค่าเอาท์พุทไม่น้อยกว่าค่าค่าหนึ่งและไม่มากเกินกว่าค่าค่าหนึ่งก็ได้ ซึ่งการกำหนดช่วงจำกัดของเอาท์พุทจะมีลักษณะดังรูปด้านล่าง และการกำหนดเอาท์พุทแบบการควบคุมที่เป็นสัดส่วน (proportional control) ช่วงที่มีการกำหนดสัดส่วนนี้ เราจะเรียกว่า ช่วงสัดส่วน (proportional band)



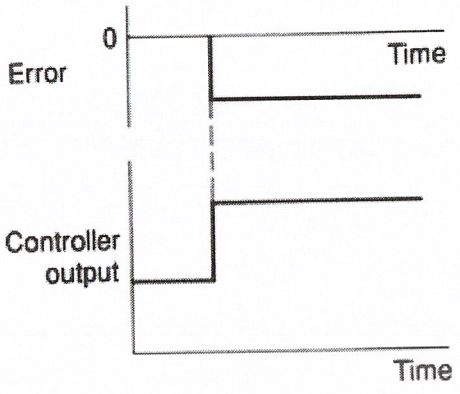
รูปที่ 2-18 แสดงการกำหนดช่วงจำกัดของเอาท์พุท

การกำหนดช่วงสัดส่วนนี้ จะช่วยให้สัญญาณเอาท์พุทมีค่าจำกัดไม่ไปสู่ค่าอนันต์ ทั้งทางด้านบวกและทางด้านลบ และเมื่อคอนโทลเลอร์มีเอาท์พุทสูงที่สุดที่เป็นไปได้ค่าหนึ่งแล้ว เราก็นิยมที่จะกำหนดเอาท์พุทค่าใด ๆ เป็นร้อยละของค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าเอาท์พุทของคอนโทลเลอร์ 100% ก็หมายถึงว่าเอาท์พุทจะเปลี่ยนจากค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้ ไปเป็นค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ ซึ่งจะทำให้เราได้ว่า

K_F =100/ช่วงสัดส่วน

เนื่องจากเอาท์พุทของคอนโทรลเลอร์จะเป็นสัดส่วนกับอินพุทดังนั้น ถ้าหากอินพุทมีลักษณะเป็นขั้น (Step) เอาท์พุทที่ได้ก็จะมีลักษณะเป็นขั้น เช่นกันโดยลักษณะของกราฟแสดงอินพุทและเอาท์พุทจะมีสัดส่วนที่แน่นอนค่าหนึ่ง ตามรูปด้านล่าง โดยรูปนี้แสดงถึงการตอบสนองของคอนโทลเลอร์ เมื่ออินพุทอยู่ในช่วงสัดส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

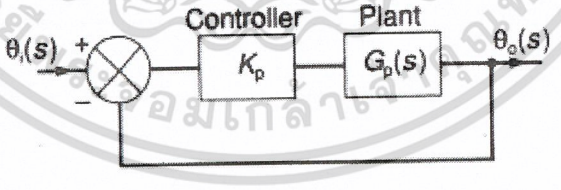


รูปที่ 2-19 แสดงการตอบสนองของคอนโทรลเลอร์แบบการควบคุมที่เป็นสัดส่วน

ในทางปฏิบัตินี้การควบคุมที่เป็นสัดส่วนจะมีลักษณะเหมือนกับเครื่องขยายสัญญาณรูปแบบหนึ่ง ซึ่งอาจจะเป็นในลักษณะของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรืออาจจะเป็นเครื่องขยายสัญญาณเชิงกล เช่น คาน ก็ได้ ลักษณะของระบบที่ควบคุมแบบการควบคุมที่เป็นสัดส่วนจะมีลักษณะดังที่แสดงในรูปด้านล่างและจะทำให้ฟังก์ชั่นถ่ายโอนระบบเปิดเป็น

$G_0(s) = K_F G_F(s)$

เมื่อ $G_F(s)$ เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ



รูปที่ 2-20 แสดงระบบควบคุมแบบการควบคุมที่เป็นสัดส่วน

ข้อเสียประการสำคัญของระบบควบคุมที่คอนโทรลเลอร์คือ ไม่ได้มีการเพิ่มเทอม 1/s (หรือการเพิ่มปริพันธ์) ในส่วน forward path ซึ่งหมายความว่า ถ้าระบบเป็นระบบ type 0 คอนโทลเลอร์จะไม่ได้เปลี่ยนแปลง type ของระบบ ทำให้ระบบเป็น type 0 เหมือนเดิม และทำให้เกิดความผิดพลาดที่สภาพคงตัว เนื่องจากคอนโทลเลอร์ไม่ได้ทำการเพิ่มโพลหรือศูนย์ใหม่ให้กับระบบ

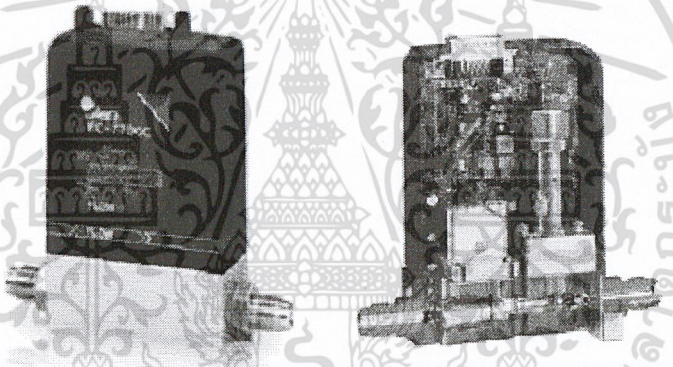
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงแต่เปลี่ยนตำแหน่งของโพลหรือศูนย์เท่านั้น เนื่องจากระบบควบคุมแบบป้อนกลับหนึ่งหน่วย ตามรูปที่ด้านบน จะมีฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบเป็น

$$G(s) = K_F G_F(s) / (1+K_F G_F(s))$$

และสมการคุณลักษณะจะเป็น $(1+K_F G_F(s))$ และมีรากเปลี่ยนไปตามค่าของ K_F

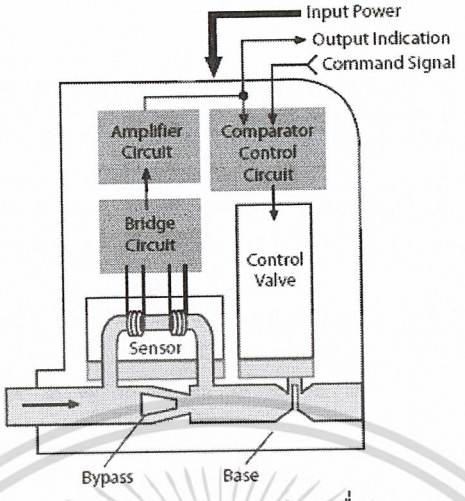
2.4. ส่วนประกอบต่าง ๆภายในเกจควบคุมอัตราการไหล



รูปที่ 2-21 แสดงภาพของเครื่องวัดอัตราการไหลรุ่น FC-770AC และภาพหน้าตัด

จากรูปเป็นเครื่องวัดอัตราการไหลที่ใช้ในโครงงานพิเศษนี้ ซึ่งรายละเอียดของ องค์ประกอบหลักๆภายในเครื่องตรวจวัดนี้ประกอบไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-22 แสดงส่วนประกอบต่างๆภายในเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ

Base

คือ ส่วนท่อที่เป็นสแตนเลสและเป็นจุดต่อของส่วนประกอบต่างๆในตัวเครื่องควบคุมอัตราการไหล ทำหน้าที่เป็นช่องผ่านของก๊าซ

Sensor

คือ ส่วนที่ตรวจวัดอุณหภูมิ มีการตอบสนองเร็ว มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งท่อที่ตรวจวัดนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมาก จึงมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงการไหลของก๊าซได้เร็ว

Bypass

คือ ส่วนที่เปรียบเสมือนกับ Flow splitter จะเป็นอัตราการไหลระหว่างที่ก๊าซไหลผ่านท่อปกติกับไหลผ่านตัวตรวจรู้ เพื่อทำการสอบเทียบ ค่าการไหลของก๊าซในการใช้งาน

Control valve

คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมวาล์วในการกำหนดการไหลของก๊าซโดยตอบสนองต่อสัญญาณที่ค่า ที่ได้ตั้งไว้ โดยตัวที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนวาล์วนี้ก็คือ Piezoelectric, ขดลวดไฟฟ้า (solenoid), อุณหภูมิ

2.5. โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ภาษา C

ทุกวันนี้ ไมโครคอนโทรลเลอร์มีบทบาทมากขึ้นในการควบคุมระบบต่างๆ โดยการควบคุมนั้นเราจะใช้การเขียนโปรแกรมภาษา C ในการโปรแกรมการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์หรือ ใช้กับชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ ปัจจุบันผู้ที่สร้างคอมไพเลอร์ภาษา C ได้พัฒนาคอมไพเลอร์ของตนให้เป็นมาตรฐานที่เรียกว่า ANSIC ถ้านับช่วงเวลาที่มีการพัฒนาภาษา C จนถึงปัจจุบันนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็เป็นเวลาถึงกว่าสามสิบปีแล้ว โครงสร้างและคีย์เวิร์ดที่ใช้ในภาษา C ยังเหมือนเดิม ขณะเดียวกันในช่วงเวลาที่ผ่านมา ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในอดีตเรียกว่าเป็นไมโครคอมพิวเตอร์ชิพเดียว (Single Chip Microcomputer) ได้กลายมาเป็นตัวควบคุมที่ใช้กันโดยทั่วไป ทำให้มีการใช้ภาษา C กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่งผลให้การทำงานของชิพมีความสามารถสูงขึ้นมาก

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น เราพบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์แทบทุกตัว โดยเฉพาะขนาดตั้งแต่ 8 บิทขึ้นไปจะมีคอมไพเลอร์ภาษา C สิ่งนี้ย่อมเป็นตัวบอกว่า นักพัฒนาหันมาใช้ภาษา C กันอย่างกว้างขวางหากเราจะลองจำแนกสาเหตุเป็นข้อๆ น่าจะมีได้ดังนี้

1. ภาษา C เป็นภาษามาตรฐานไม่ขึ้นกับฮาร์ดแวร์ (ไมโครคอนโทรลเลอร์) มีหลักการเขียนโปรแกรมแบบสมัยใหม่มีทั้งเป็นโครงสร้างและออบเจ็กต์

2. ความง่ายของการใช้ เนื่องจากภาษา C เป็นภาษาที่ใช้คีย์เวิร์ดมาตรฐานเพียง 28 ตัวทำให้เรียนรู้ได้ง่าย และภาษามีโครงสร้างดีทำให้การเขียนโปรแกรมค่อนข้างง่าย ทำให้สะดวกต่อการศึกษาเรียนรู้และพัฒนาโปรแกรมมากกว่าภาษาแอสแซมบลี

3. ความเร็วและขนาดโค้ด เนื่องจาก C มีลักษณะการใช้งานเป็นแบบคอมไพเลอร์ เวลาใช้งานจริง ซอร์สโปรแกรมที่เขียนด้วย C จะต้องคอมไพล์ให้เป็นโค้ดบรรจะลงชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ อย่างไรก็ตามขนาดของโค้ดย่อมมีขนาดใหญ่กว่าโค้ดที่ได้จากแอสเซมเบลอร์เพียงเล็กน้อย ปัจจุบันคอมไพเลอร์ส่วนใหญ่จะให้ขนาดของโค้ดที่แปลงได้ค่อนข้างเล็ก อาจพูดได้ว่ามีความเร็วเทียบเท่าภาษาแอสเซมบลีเลยทีเดียว

4. แอพพลิเคชั่นที่ซับซ้อน ตัวอย่างของแอพพลิเคชั่นที่ค่อนข้างซับซ้อนเช่น การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในงานควบคุมแบบป้อนกลับ การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมเครื่องมือวัดต่างๆ และการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมหุ่นยนต์ เป็นต้น ในแอพพลิเคชั่นนี้โปรแกรมจะมีขนดใหญ่มากและมีการคำนวณและการตัดสินใจจำนวนมาก ภาษา C มีประโยคที่ใช้ควบคุมทิศทาง การประมวลผลแบบลอจิกรวมทั้งไลบรารี่ฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์ เช่นคำสั่ง คูณ หาร และฟังก์ชั่นทางตรีโกณมิติเช่น ไซน์โคซายน์ เป็นต้น

5. การปรับปรุงและบำรุงรักษา โปรแกรมส่วนใหญ่เราจะต้องมีการแก้ไขปรับปรุงเช่นพบข้อผิดพลาดหลังจากได้ใช้งานไปซักระยะหนึ่ง หลายๆคนรวมทั้งผู้เขียนในอดีตที่ใช้ภาษาแอสแซมบลี ถึงแม้จะได้เขียนคอมเม้นท์แต่ละบรรทัดโดยละเอียดแล้ว เมื่อเวลาผ่านไป บางทีกลับมาดูอีกครั้งยังงงอยู่นานกว่าจะพบจุดที่ผิดพลาด สาเหตุเนื่องจากภาษาแอสแซมบลีเองไม่ได้เป็นภาษาที่มีโครงสร้างที่ดี ในทางตรงกันข้าม ภาษา C เป็นภาษาที่มีโครงสร้างที่ดี ทำให้การแก้ไขรวมทั้งการบำรุงรักษากระทำได้ค่อนข้างง่ายและรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เคลื่อนย้ายง่าย ที่เขียนเช่นนี้มิได้หมายถึงเคลื่อนย้ายซอร์สโปรแกรมไปมา แต่เป็นศัพท์เทคนิคที่นักโปรแกรมเมอร์เข้าใจ สำหรับผู้ที่ใช้ภาษา C เขียนบนคอมพิวเตอร์พีซี แมคอินทอร์ส หรือ บนคอมพิวเตอร์ระบบ UNIX ส่วนที่เกี่ยวข้องกับยูสเซอร์อินเตอร์เฟสนั้น เช่น อุปกรณ์อินพุทเอาท์พุทนั้น C คอมไพเลอร์พีซีสามารถย้ายไปรันบนเครื่องคอมพิวเตอร์อื่นได้โดยแทบจะไม่ต้องแก้ไขอะไรเลย ศัพท์เทคนิคเรียกกรณีเช่นนี้ว่า ความสามารถในการเชื่อมต่อ (portability) สำหรับการใช้ C กับชิพไมโครคอนโทรลเลอร์อาจมีความบากเล็กน้อย เนื่องจากชิพแต่ละเบอร์มีวงจรส่วนของไอโอ วงจรไทม์เมอร์ อินเตอร์รัพท์ลอจิก ที่แตกต่างกัน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม นักทดลองส่วนใหญ่ที่ใช้ภาษา C กับชิพไมโครคอนโทรลเลอร์จะรู้ซึ้งถึงการใช้ทรัพยากรเหล่านี้เป็นอย่างดี ทำให้การย้ายซอร์สโปรแกรมจากชิพเบอร์หนึ่งไปอีกเบอร์หนึ่งทำได้ง่าย โดยจะต้องแก้ไขบ้างเพียงเล็กน้อย

7. ไลบรารี่ฟังก์ชั่น เราสามารถเขียนโปรแกรมที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ง่ายด้วยความสามารถในการสร้างไลบรารี่ฟังก์ชั่นของภาษา C เช่นสร้างฟังก์ชั่นที่หลายแอพพลิเคชั่นสามารถใช้ร่วมกันได้ และคอมไพล์ออกเป็นออปเจ็กไฟล์ เวลาที่ต้องการนำมาคอมไพล์หลายๆ ไฟล์ เราไม่ต้องนำซอร์สไฟล์ของไลบรารี่ฟังก์ชั่นเหล่านี้มาคอมไพล์ใหม่ คอมไพเลอร์มีโปรแกรมช่วยในการรวมเอาออปเจ็กไฟล์มาคอมไพล์ร่วมกับโปรแกรมหลักได้ทันที ทำให้ลดเวลาในการเขียนโปรแกรมที่มีขนาดใหญ่เป็นอันมาก

ทั้งหมดนั่นคือเหตุผลส่วนหนึ่งจากอีกหลายเหตุผลที่ทำให้ภาษา C เป็นตัวเลือกในการพัฒนาโปรแกรม

สำหรับใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็น MCS-51, 68HC11, ST รวมทั้งไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC จากไมโครชิป (Microchip)

การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ด้วยภาษา C จะมีรูปแบบและโครงสร้างทางภาษาเช่นเดียวกับภาษา C มาตรฐาน (ANSI Standard C) และยังมีส่วนเพิ่มเติมพิเศษเฉพาะสำหรับใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ซึ่งได้แก่ชุดคำสั่งพิเศษไดเร็กตีฟ (directive) และฟังก์ชั่นพร้อมใช้งาน (Build-in functions) ที่มีมากับตัวคอมไพเลอร์

โปรแกรมภาษา C

โปรแกรมภาษา C จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ

1. ฟังก์ชั่น (Functions)
2. ตัวแปร (Variables)
3. ชุดคำสั่งการทำงาน (Statements)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยฟังก์ชั่นจะมีอยู่ 2 ส่วนคือ ฟังก์ชั่นท่สร้างขึ้นมา กับ ฟังก์ชั่นที่มีมาพร้อมกับตัวคอมไพเลอร์ โดย

ฟังก์ชั่นที่มาพร้อมกับตัวคอมไพเลอร์จะเรียกว่า ฟังก์ชั่น Build-in นอกจากนี้ใน CCS C คอมไพเลอร์ยังได้เพิ่มเติมฟังก์ชั่นสำเร็จรูปในรูปแบบโมดูลฟังก์ชั่นที่ CCS ได้เขียนขึ้นมาเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งานสามารถนำโค้ดไปใช้งานได้ทันที เช่น ฟังก์ชั่นใช้งาน LCD , ระบบบัส I^2C , ระบบบัส 1 สาย และ อ่านเขียนหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม เป็นต้น รวมทั้งโค้ดโปรแกรมตัวอย่างใช้งานที่มีมากับ CCS C คอมไพเลอร์ ที่ครอบคลุมการทำงานติดต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ

CCS C คอมไพเลอร์แบ่งออกได้เป็น 2 รุ่นใหญ่ๆ คือ

1. รุ่นทำงานบนวินโดวส์ (Windows IDE)

2. รุ่นบรรทัดคำสั่ง (Command Lind)

ถ้าเป็นการใช้งานรุ่น IDE สามารถที่จะเขียนโค้ดโปรแกรมผ่านวินโดวส์ (Windows IDE) ได้โดยตรงและสามารถที่จะคอมไพล์โปรแกรมได้ทันที่รวมทั้งมีคอมไพเลอร์แบบบรรทัดสำคั่ง หรือ Command Lind ให้ใช้งานด้วย แต่ถ้าเป็นรุ่นบรรทัดคำสั่งจะไม่มีโปรแกรมวินโดวส์ (Windows IDE) ต้องจัดหาโปรแกรมเท็กซ์เอดิเตอร์มาใช้งานในการเขียนโค้ดโปรแกรมเอง ไม่ว่าจะเป็น Notepad ของวินโดวส์ , Editor ของ MPLAB หรือจะเป็น Edit Plus ที่เป็นที่นิยมในบ้านเรา เป็นต้น ซึ่งก็แล้วแต่ความถนัดของผู้ใช้งานเป็นหลัก

โครงสร้างภาษา C

โครงสร้างของภาษา C ในรูปแบบมาตรฐาน (ANSI Standard C) จะประกอบไปด้วยรายละเอียดดังนี้

1. พรีโปรเซสเซอร์ไดเร็กตีฟ (Preprocessor directives)

ชุดคำสั่งที่ใช้ในการจัดการเตรียมข้อมูลสำหรับการประมวลผล

2. การประกาศ (Declarations)

ก่อนใช้งานตัวแปรหรือฟังก์ชั่น ต้องมีการประกาศและสร้างตัวแปรหรือฟังก์ชั่นขึ้นมาก่อน

3. การกำหนดค่า (Definitions)

การประกาศและจองหน่วยความจำหรือกำหนดค่าให้กับตัวแปรหรือฟังก์ชั่น

4. นิพจน์ (Expressions)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิพจน์คือการกระทำระหว่างตัวดำเนินการ (Operators) กับตัวถูกดำเนินการ (Operands) เพื่อให้เกิดค่าใดค่าหนึ่ง

5. สเตตเมนต์ (Statements)

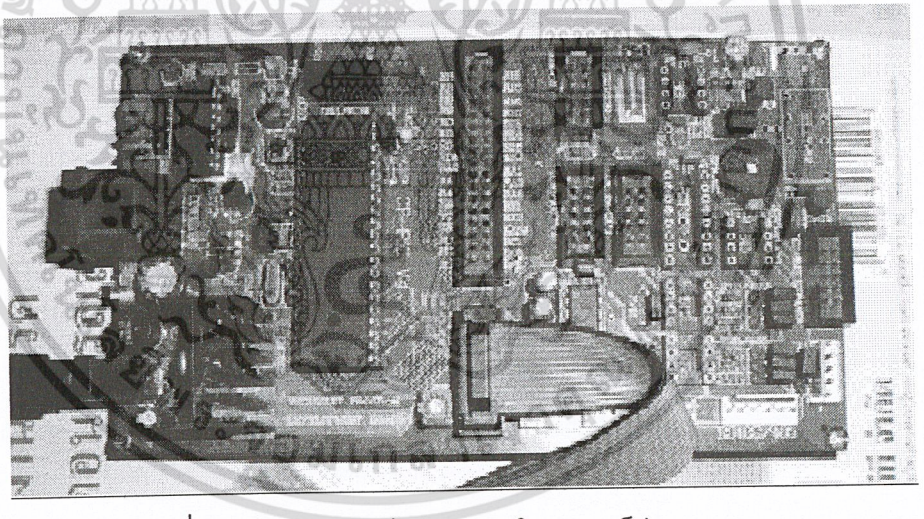
คำสั่งการทำงานคือคำสั่งที่ใช้ในการทำงานตามความต้องการของผู้เขียนโปรแกรม

6. ฟังก์ชั่น (Functions)

ฟังก์ชั่นคือส่วนประกอบของโปรแกรมที่กำหนดให้ทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งจนเสร็จสิ้น โดยที่ฟังก์ชั่นจะประกอบไปด้วย การประกาศใช้งานตัวแปร การกำหนดค่าให้กับตัวแปร นิพจน์ และคำสั่งการทำงาน

7. ฟังก์ชั่น Main () (main function)

เป็นฟังก์ชั่นที่จะต้องมีการประกาศทุกครั้ง เมื่อมีการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C เพราะ การทำงานของโปรแกรมจะเริ่มต้นที่ฟังก์ชั่นนี้ และเป็นฟังก์ชั่นที่ใช้ในการเรียกฟังก์ชั่นอื่นๆ ในการทำงาน



รูปที่ 2-23 แสดงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น CP-PIC V4.0

ลักษณะโดยทั่วไป

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ CP-PIC V4.0 ที่ได้ออกแบบนี้ เป็นบอร์ดที่ออกแบบไว้ใช้งานกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC โดยจะสมารถใช้ได้ กับเบอร์ 16F877-20P และ 18F458 หรือเบอร์อื่นๆ ที่มีโครงสร้างและตำแหน่งขาสัญญาณเหมือนกันโดย CPU แต่ละเบอร์ก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน

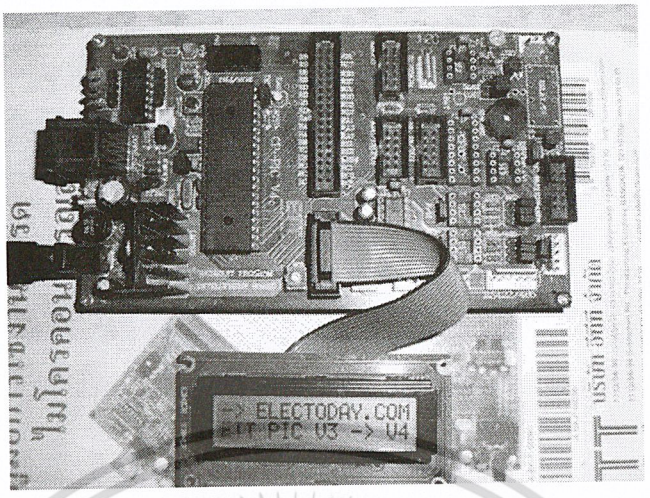
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CP-PIC เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการออกแบบวงจรสำหรบเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ I/O ภายนอกอื่นๆ ที่มีความจำเป็นไว้รองรับการใช้งานในลักษณะต่างๆ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถนำบอร์ดไปใช้งานในลักษณะงานที่แตกต่างกันได้ โดยไม่ต้องดัดแปลงวงจร หรือดัดแปลงวงจรเพียงเล็กน้อยสำหรับงานบางอย่าง ซึ่งบอร์ดรุ่นนี้เหมาะสำหรับกลุ่มผู้ที่ต้องการนำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ไปใช้งานจริงๆ แต่ไม่สะดวกที่จะสร้างบอร์ดเองประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- RS-232 1 แชนแนล
- RS-422/458 1 แชนแนล
- ETT CON 34PIN
- 5 Volt Regulator on Board
- วงจรโปรแกรมแบบ High Voltage ภายในบอร์ด
- ใช้หม้อแปลงไฟ 16 โวลต์ DC
- ADC/IO (CPU) พอร์ตสำหรับต่อ อินพุตอนาลอก 8 แชนแนล
- CLCD 14 PIN พอร์ตสำหรับต่อ LCD (4 Bit Data)
- RTC #PCF8583P
- EEPROM ตั้งแต่เบอร์ #2432 ขึ้นไป
- I^2C IN/OUT เป็น IC ขยายพอร์ต I/O #PCF8574AP
- KBI/IO 10PIN สำหรับต่อกับคีย์บอร์ด หรือใช้เป็น Input/Output Port
- Relay On Board 5 โวลต์ 1ตัว
- MCRB02TTL ขั้วต่อ Magnetic Card Reader
- Mini Speaker/Buzzer
- I^2C BUS (EXPAND)
- PWM1 ขั้วต่อสำหรับใช้งาน Capture/Compare/PWM ตัวที่หนึ่ง
- PWM2 ขั้วต่อสำหรับใช้งาน Capture/Compare/PWM ตัวที่สอง

ตัวอย่างโปรแกรม LCD กับบอร์ด ETT PIC ด้วย CCS PIC C ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 18F458

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-24 แสดงการแสดงผลออก LCD

ข้อดีของ PIC (อิงกับกลุ่ม 12 bit,14 bit)

- PIC ในปัจจุบัน ใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่า (จุดประสงค์หลักเลย) ทำให้ใช้กับแบตเตอรี่ได้นานๆ

- ใช้แรงดันในการทำงานกว้างกว่า 3.0-5.5 โวลต์ บางรุ่นอาจเป็น 1.8-6.0 โวลต์ เลยก็มี มีรุ่นพิเศษทำงานที่ 12 โวลต์ ก็มี

- มีฟังก์ชั่นของฮาร์ดแวร์ครบกว่า เช่น มี watchdog ในตัว ,eeprom (รุ่นหลังๆ มีทุกตัว) บางรุ่นก็มี PWM ,Timer

- input/output ใช้งานง่ายกว่าจ่ายได้ทั้ง source และ กระแส sink (sink current) ได้มาก

- เลือกออสซิเรเตอร์ได้หลายๆแบบเช่น RC,Xtal ออสซิเรเตอร์บางรุ่นมีในตัวเลยไม่ต้องต่อ Xtal อีก

- มีตั้งแต่ 8 ขาขึ้นไปจนกว่า 100 ขา และมักใช้งานได้เป็น Input/Output ได้ทุกๆขา

- โครงสร้างของ CPU เป็น RISC ทำให้ชุดคำสั่งน้อย (ดีในแง่โครงสร้างฮาร์ดแวร์ไม่สลับซับซ้อน ทำให้เสถียรภาพในการทำงานดีกว่าพวก CISC และ ผู้ใช้จดจำคำสั่งแอสเซมบลีง่ายกว่า)

- มักมี brown out protection มาให้ด้วยลดปัญหาที่เกิดการชะงักจากระบบจ่ายไฟ (PIC บางตัวก็ไม่มี)

- ราคาสามารถถูกลงได้ตามเทคโนโลยีที่สร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เหมาะกับงานขนาดเล็ก เช่นกลุ่มของเล่น , Remote control , เครื่องหยอดเหรียญอัตโนมัติ

ข้อจำกัด PIC (อิงกับกลุ่ม 12 bit,14 bit)

- มีผู้ผลิตรายเดียวในขณะนี้คือ ไมโครชิป

- ต่อ RAM และ ROM โดยตรงกับภายนอกไม่ได้ ต้องเป็นพวก I^2C BUS หรือ SPI BUS ซึ่งยุ่งยากกว่าในการจัดการทาง firmware

- Stack เป็นฮาร์ดแวร์ stack มีการเรียก Routine หลายๆชั้นไม่ได้ จะเกิด Stack Overflow ทำให้ โปรแกรมทำงานผิดพลาด

- เวกเตอร์ Interrupt มีอยู่จุดเดียวทำให้ต้องระวังในการเขียน firmware เกิดการพัฒนาร่วมกันยาก

- ทำตารางในส่วนของรหัส (code) ได้ไม่ดี ต้องอยู่ในหน้าเดียวกันและมีขนาดข้อมูลได้ไม่มาก

- แม้คำสั่งจะน้อยแต่ก็เป็นภาระต่อผู้พัฒนา Firmware ที่ต้องใช้หลายๆ คำสั่งในการประมวลผล ผลคือความผิดพลาดจากการพัฒนามีสูง เพราะ Source code จะยาวมากเมื่อทำงานอย่างเดียวกับ MCS51 (ในงานจริงๆ ไม่ใช่เทียบกันคำสั่งต่อคำสั่ง)

- PIC ที่มี RAM มากๆ ต้องระบุ Bank ของ RAM ในการทำงานด้วย ทำให้ต้องเพิ่มความระมัดระวังในการพัฒนา (Address ของ RAM มีจำกัด)

- PIC ที่มีขนาดของ CODE ใหญ่ ก็ต้องระบุ Bank ในการทำงานด้วยเช่นกัน ก็ต้องเพิ่มความระมัดระวังในการพัฒนาด้วย

- ในการพัฒนาที่ใช้ภาษา C , ตัวแปร ไม่สามารถส่งผ่าน Stack ได้ทำให้เขียนโปรแกรมแบบ Recursive ไม่ได้ (เพราะต้องเพิ่ม Stack ในการทำงาน) อาจมีทางออกโดย ทำเป็นซอฟแวร์ stack แต่ compiler ในปัจจุบันยังไม่มีเครื่องมือในการพัฒนา, แต่ละตัวหายากและมีราคาแพง, ต้องมีความชำนาญในการใช้เป็นอย่างดี

- ใช้เวลาเรียนรู้ในการพัฒนามากกว่ากลุ่มของ MCS51

- ไม่เหมาะกับงานที่มีความสลับซับซ้อนมากๆ เช่นพวกใช้ RTOS , เน็ตเวิร์ค (ไม่ใช่ทำไม่ได้ แต่ใช้ MCS51 จะทำงานได้ง่ายกว่า)

* สำหรับกลุ่ม 16 bit (PIC 18Fxxx) อาจลดข้อจำกัดบางรายการลง

ข้อดีของ MCS51

- มีผู้ผลิตหลายๆราย ทำให้หาของง่าย และราคาถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ต่อ RAM และ ROM เพื่อขยายระบบ โดยตรงได้ง่ายกว่า (ยกเว้นบางรุ่น)

- มีพื้นที่ของ bank register เพื่อให้ interrupt routine ไม่รบกวนการทำงานจาก main routine และยังทำงานได้รวดเร็วมากขึ้น

- stack ภายในมีขนาดใหญ่มากกว่า PIC , สามารถส่งผ่านตัวแปรใน compiler ได้ง่ายกว่า (แต่ก็จำกัด) และมี compiler หลายๆตัวสามารถทำซอฟแวร์ stack เพื่อเพิ่มขนาดของระบบได้ (แต่การทำงานจะช้าลง)

- มีเครื่องมือพัฒนาเยอะมาก มีทั้งฟรี และตัวที่มีความสามารถสูงๆ

- โครงสร้างของ CPU เป็น CISC ทำให้ชุดคำสั่งแอสเซมบลีเยอะ การพัฒนา firmware จึงสามารถเลือกคำสั่งในการทำงานได้ง่ายกว่า

- ทำให้มีผู้สร้าง compiler มีเยอะและหลากหลาย

- Interrupt มีเวกเตอร์ที่แยกอย่างชัดเจน รวมถึงการมี Piority ของ Interrupt ให้ด้วย

- ตำราและข้อมูลมีมากกว่า ทำให้ใช้เวลาน้อยในการเรียนรู้ทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์

- พัฒนา firmware ได้ง่ายและรวดเร็วกว่า PIC ด้วยเครื่องมือในการพัฒนาทั้งภาษาระดับสูงและ RTOS

- เหมาะกับงานขนาดเล็ก ถึงระดับกลาง เช่น เครื่องดนตรี , เครื่องมือวัด , เครื่องมือสื่อสารต่างๆ

ข้อจำกัดของ MCS51 (อิงกับพวก 89CXX)

- ย่านแรงดันโดยทั่วไปใช้ 5.0 โวลต์ เท่านั้น

- มักต้องใช้การโปรแกรมแบบโหมด Pararelled (ถอด IC ออกมาโปรแกรม) แต่ปัจจุบันก็มีแบบ ISP (โปรแกรมในบอร์ด) ก็มีหลายๆรุ่นแล้ว

- ใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่า PIC เพราะโครงสร้างของ CPU เป็น CISC มีความสลับซับซ้อนกว่า PIC จึงใช้พลังงานมากกว่า และใช้ cycle ในการทำงานนานกว่า

- Input/Output เป็นแบบ internal pullups ทำให้การออกแบบการเชื่อมต่อต้องระวังโดยเฉพาะการจ่ายกระแส sink ของแต่ละ port

- มักต้องต่อกับ Xtal เพื่อผลิตความถี่ในการทำงาน

- โดยทั่วไปไม่มี watchdog ต้องใช้อุปกรณ์เพิ่ม หรือไม่ต้องเลือกรุ่นที่มี watchdog ในตัว

- ส่วนใหญ่ไม่มี eeprom ในตัว บางตัวใช้วิธีจำลอง flash ภายในเป็นที่เก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

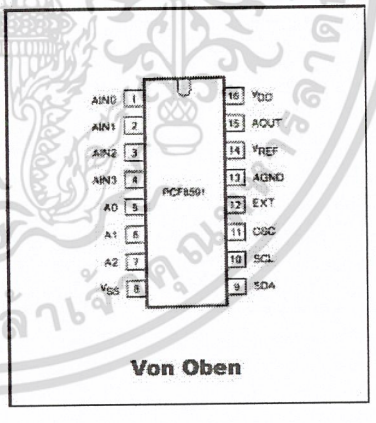
แทน eeprom แต่ยุ่งยากกว่า

- ต้องระวังเรื่อง stack กับ ram ภายในเพราะอาจทับกันได้
- มักไม่มี brown out protection ทำให้เกิดการชะงักอันเนื่องมาจากระบบจ่ายไฟ (ต้องต่อเพิ่มด้วยอุปกรณ์ภายนอก) แต่บางรุ่นก็มี

2.6. การเชื่อมต่อกับชิพ PCF8591 , A/D และ D/A

PCF8591 เป็นชิพเพอริเนัลสำหรับแอพพลิเคชั่นที่ต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถอินเตอร์เฟสกับสัญญาณอนาลอก ภายในมีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลขนาดความละเอียด 8 บิต จำนวน 4 ช่อง และมีวงจรแปลงข้อมูลดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอกขนาดความละเอียด 8 บิต หนึ่งช่อง การอินเตอร์เฟสกับไมโครคอนโทรลเลอร์จะกระทำผ่านบัส 12C ด้วยสายสัญญาณสองเส้นคือ SDA และ SCL

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
AIN0	1	analog inputs (A/D converter)
AIN1	2	
AIN2	3	
AIN3	4	
A0	5	hardware address
A1	6	
A2	7	
V_{SS}	8	negative supply voltage
SDA	9	I²C-bus data input/output
SCL	10	I²C-bus clock input
OSC	11	oscillator input/output
EXT	12	external/internal switch for oscillator input
AGND	13	analog ground
V_{REF}	14	voltage reference input
AOUT	15	analog output (D/A converter)
V_{DD}	16	positive supply voltage

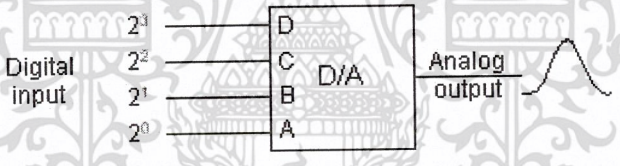


รูปที่ 2-25 แสดงข้อมูลขาต่างๆของ PCF8591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1. **การอินพุทไปยังวงจรแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอก** (Input Digital to Analog Converter)

การทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันมักใช้ระบบดิจิตอล เนื่องจากข้อมูลในรูปดิจิตอลสามารถเก็บและนำไปประมวลผลได้ง่าย นอกจากนี้การส่งผ่านสัญญาณด้วยระบบดิจิตอลจะถูกรบกวนได้ยากกว่าการส่งผ่านสัญญาณในระบบอนาลอก อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์บางชนิดต้องใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าค่าต่างๆ ในการควบคุมการทำงาน เช่น ความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าขึ้นกับโวลเตจ (หรือกระแส) ที่ป้อนให้กับขดลวดของมอเตอร์ ดังนั้นในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์จำเป็นต้องสร้างวงจรที่ให้เอาท์พุทในรูปของโวลเตจที่มีค่าเปลี่ยนแปลงได้อย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ 0 โวลต์ จนถึงค่าสูงสุดที่เหมาะสมค่าหนึ่ง ถ้าระบบควบคุมนี้เป็นระบบดิจิตอล (คอมพิวเตอร์) ก็จำเป็นต้องมีส่วนที่ทำหน้าที่แปลงข้อมูลดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอนาลอกด้วย



รูปที่ 2-26 แสดงการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก

ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลดิจิตอลและสัญญาณอนาลอก

ดิจิตอลเป็นอนาลอก (digital to analog conversion system) โดยทั่วไปไมโครคอมพิวเตอร์จะถูกโปรแกรมให้ส่งข้อมูลดิจิตอล (ที่จะถูกแปลงเป็นอนาลอก) ออกมาในรูปของรหัสตัวเลขฐานสอง จากนั้น Latch ซึ่งเป็นวงจรดิจิตอลที่สร้างจากฟลิป-ฟลอป จะทำหน้าที่เก็บข้อมูลนี้ว้าพร้อมกับส่งต่อให้กับวงจรแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอก (DAC) เพื่อทำการแปลงข้อมูลนี้ DAC จะใช้ระดับโวลเตจหรือกระแสที่คงที่ค่าหนึ่งเป็นระดับอ้างอิงในการแปลงข้อมูลดิจิตอลเป็นอนาลอกโดยให้เอาท์พุทในรูปของกระแส วงจรแปลงกระแสเป็นโวลเตจ (current-to-voltage converter) ซึ่งปกติสร้างจากออปแอมป์ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงกระแส ให้อยู่ในรูปของโวลเตจ สุดท้ายสัญญาณอนาลอกที่ได้จะถูกส่งไปยังตัวกรองสัญญาณ low-pass (low-pass filter) เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำจัดองค์ประกอบสัญญาณความถี่สูงออกไป ทำให้สัญญาณโวลเตจที่เอาท์พุทซึ่งมีลักษณะเป็นขั้นๆ (quantized analog output) เรียบมากขึ้น

วิธีการแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอก

การทำงานของวงจรข้อมูลดิจิตอลเป็นอนาลอก (Digital to Analog Converter) ใช้หลักการพื้นฐานของวงจรบวกเลข (adder) คือทำการแปลงข้อมูลดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอกที่สมนัยกันโดยการกำหนดให้แต่ละบิตของข้อมูลดิจิตอลมีน้ำหนัก (weight) หรือมีค่า (value) เฉพาะของแต่ละบิต แล้วนำทุกบิตของข้อมูลดิจิตอลที่เป็น 1 ซึ่งมีน้ำหนักต่างกันมากนั้นมาบวก สำหรับรหัสเลขฐานสอง MSB จะมีน้ำหนักสูงสุด ส่วนบิตที่อยู่ถัดมาจะมีน้ำหนักลดลงครึ่งหนึ่งเช่นนี้เรื่อยไป โดยทั่วไป จะป้อนโวลเตจ 5 โวลต์ สำหรับบิตที่เป็น 1 ของ DAC และป้อนโวลเตจ 0 โวลต์ สำหรับบิตที่เป็น 0

Binary-weight-input DAC

DAC ชนิดนี้ใช้ weighted resistor เน็ตเวิร์ค ต่อเข้าที่อินพุทของ Op-Amp ในลักษณะของ summing amplifier ดังรูปตัวต้านทานมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ทุกๆ บิทที่เปลี่ยนไปจาก MSB ไปบัง LSB เป็นผลให้กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัวมีค่าลดลงไปครึ่งหนึ่งทุกๆ บิทที่เปลี่ยนไปจาก MSB ไปยัง LSB ด้วย ดังนั้นกระแสนี้จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักหรือค่าของแต่ละบิทของรหัสเลขฐานสอง Op-Amp จะทำหน้าที่รวมกระแสเหล่านี้ ได้เป็นกระแสรวม I_F ที่เอาท์พุท โดยกระแสรวมนี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับข้อมูลดิจิตอล และกระแสรวมนี้จะไหลผ่านตัวต้านทาน R_F ได่ $V_{out} = - I_F R_F$ โดย V_{out} คืออนาลอกเอาท์พุทที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับข้อมูลดิจิตอล โดย $I_F = I_0 + I_1 + I_2 + I_3$

เมื่อ $I_0 = D_0/8R$, $I_1 = D_1/4R$, $I_2 = D_2/2R$, $I_3 = D_3/R$

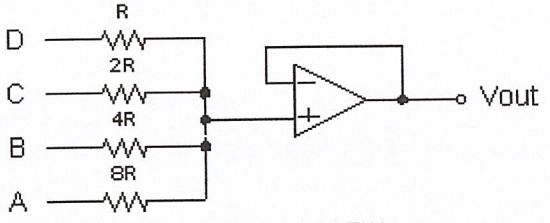
ดังนั้น $V_{out} = - [D0/8R + D_1/4R + D_2/2R + D_3/R]^* R_F$

D_0, D_1, D_2 และ D_3 มีค่าเท่ากับ 5 โวลต์ ถ้าบิตนั้นๆ เป็น ลอจิก 1 และ เป็น 0 โวลต์ ถ้าบิตนั้นๆ เป็นลอจิก 0

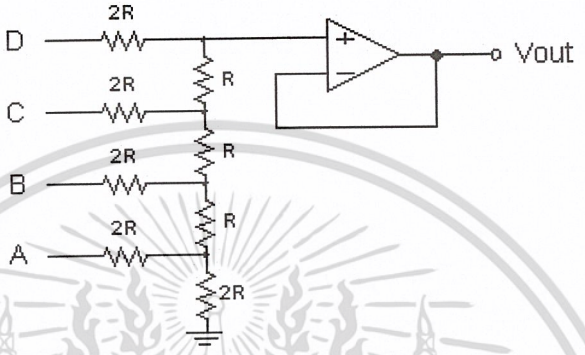
R/2R Ladder DAC

DAC ชนิด R/2R Ladder นี้ถูกออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาการใช้ตัวต้านทานค่าต่างๆ หลายค่าของวงจร DAC ชนิด Binary-weighted-input วงจรนี้ใช้ตัวต้านทานอินพุทเพียง 2 ค่า คือ R และ 2 R เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



weighted Registor D/A



R/2R Ladder Network

รูปที่ 2-27 แสดงตัวอย่างวงจร DAC ชนิด R/2R Ladder

จากการคำนวณจะเห็นว่าสำหรับอินพุทที่มีนัยสำคัญต่ำลงมา จะให้โวลเตจเอาท์พุทต่ำลงครึ่งหนึ่ง ดังนั้นโวลเตจเอาท์พุทจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับรหัสดิจิตอลที่ป้อนที่อินพุท และถ้าอินพุททุกบิตเป็น 0 ($D_3D_2D_1D_0 = 0$) จะได้โวลเตจเอาท์พุทเป็น 0 โวลต์ สำหรับรหัสดิจิตอลอื่นๆ คิดได้ว่าเป็นผลบวกของรหัสดิจิตอลที่คำนวณไว้ข้างต้น ดังนั้นจะได้โวลเตจเอาท์พุทรวม เป็นผลบวกของโวลเตจเอาท์พุทที่คำนวณได้ในแต่ละกรณีด้วย เช่น รหัสดิจิตอล 1111 = 1000+0100+0010+0001 ดังนั้นจะได้โวลเตจเอาท์พุทเท่ากับ (-5 โวลต์) + (-2.5 โวลต์) + (-1.25 โวลต์) + (-0.625 โวลต์) = -9.375 โวลต์ เป็นต้น

การลดเอาท์พุท Impedance

เนื่องจากวงจรเป็นตัวต้านทานซึ่งต่อเป็นแบบเน็ตเวิร์คเอาท์พุทที่จะเปลี่ยนแปลงตามลักษณะสัญญาณที่อินพุท เราสามารถลดการเปลี่ยนแปลงนี้ได้ โดยใช้ออปแอมป์มาต่อเป็นวงจรบัฟเฟอร์ที่เอาท์พุท

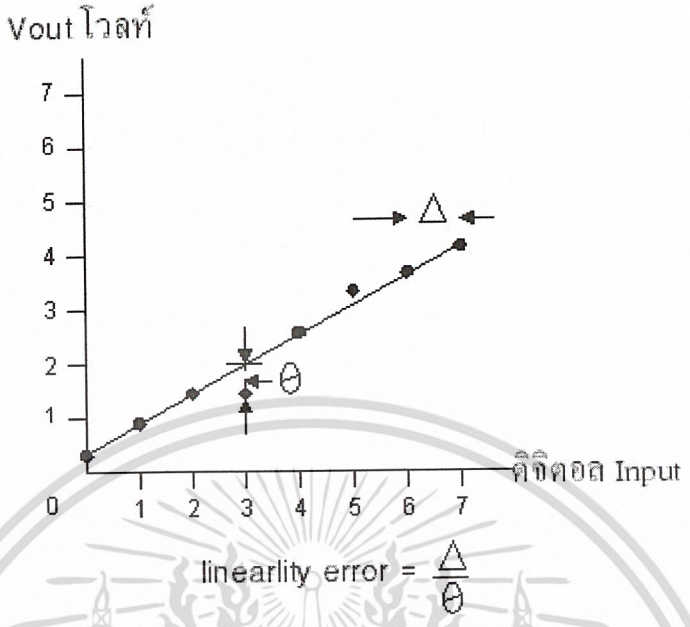
คุณลักษณะและพารามิเตอร์ของ D/A converter

1. Resolution หมายถึงจำนวนบิตทางด้านอินพุท ในกรณีที่รับอินพุทได้ n บิต

Resolution = $(1/ (2^n-1) \times 100\ \%$

2. ค่าเชิงเส้น, ค่า V_{out} และดิจิตอลอินพุทจะต้องเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า V_{out} และดิจิตอลอินพุท

ค่าความผิดพลาดเชิงเส้น (Linearity error) จะต้องน้อยกว่า $V_{out}/2$ เมื่อดิจิตอลอินพุทเป็น 0001

ค่าความแม่นยำ (Accuracy) เป็นค่าความแตกต่างระหว่าง V_{out} ที่วัดได้กับค่าในอุดมคติ กำหนดค่านี้เป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเต็มสเกล

คุณลักษณะอื่น ๆ ที่กล่าวถึงคือเวลาในการตั้งค่าตัวความไวต่ออุณหภูมิ เป็นต้น

2.6.2. **การอินพุทไปยังวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล** (Input Analog to Digital Converter)

มีเทคนิคหรือวิธีการหลายอย่างที่ใช้ในการแปลงสัญญาณจากอนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิตอล เทคนิคเหล่านี้ได้แก่

1. การรวมเข้าด้วยกัน (Integration) เป็นเทคนิคที่มักใช้ใน มิเตอร์ดิจิตอล หลักการคือ ใช้วงจรแอนาลอก integration ในการแปลงไปเป็นสัญญาณดิจิตอล ข้อดีคือ มีความถูกต้องสูงและทนต่อสัญญาณรบกวนได้ดี แต่มีการทำงานช้า

2. การเปลี่ยนแปลงทันที (Flash conversion) ใช้ฮาร์ดแวร์จำนวนมากในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบกันเพื่อให้การแปลงสัญญาณทำได้อย่างรวดเร็ว เหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้าน DSP แต่อย่างไรก็ตาม เทคนิคนี้ก็ยังมีราคาค่อนข้างแพง

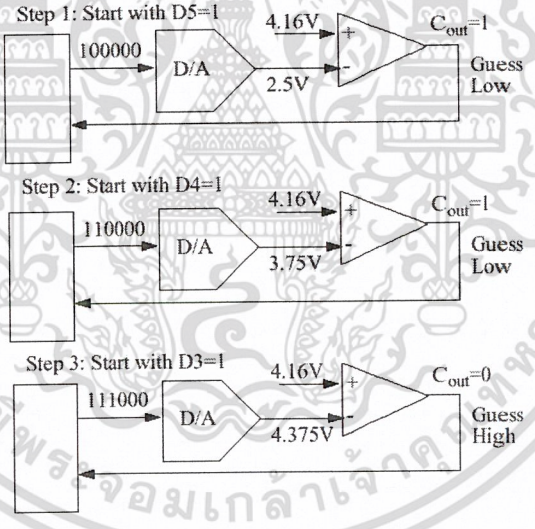
3. การเปลี่ยนแปลงแบบ Sigma-Delta (Sigma-Delta conversion) ใช้ ดิจิตอล filter และ การ over sampling สัญญาณแอนาลอก

4. การประมาณค่าที่ใกล้เคียงกัน (Successive approximation) เป็นวิธีการที่นิยมใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนใหญ่

ตัวอย่างการทำงานของวงจร A/D Converter ด้วยวิธีการประมาณค่าที่ใกล้เคียงกัน

- ส่วนประกอบของวิธีการประมาณค่าที่ใกล้เคียงกัน ได้แก่ D/A converter และวงจร comparator

- หลักการทำงานเป็นดังภาพข้างล่าง



รูปที่ 2-29 แสดงตัวอย่างการทำงานของวงจร A/D Converter ด้วยวิธีการประมาณค่าที่ใกล้เคียงกัน

- วงจรจะผลิตชุดของสัญญาณดิจิตอลเรียกว่า “guesses” แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณแอนาลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำสัญญาณแอนาลอกที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุทแอนาลอกที่ต้องการแปลง

2.6.3. **การเอาท์พุทจากวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล** (Output Analog to Digital Converter)

เราได้สัญญาณเอาท์พุทจากวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอลที่มีติดตั้งอยู่บนบอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC รุ่น 4.0 แล้วทำการแสดงผลค่าเอาท์พุทดิจิตอลผ่านทางภาคแสดงผลแบบ 7-Segment เนื่องจาก 7-Segment เป็นตัวแสดงผลที่ต้องการภาคแสดงผลที่กินไฟต่ำมาก และ มีใช้กันอย่างมากเป็นโมดูลสำเร็จรูป

2.7. ทฤษฎีของความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับอัตราการไหลของก๊าซที่ใช้ในเครื่องควบคุมอัตราการไหล

วิธีทั่วๆไปที่เราไว้ใช้ในการวิเคราะห์หาอัตราการไหลของเครื่องควบคุมอัตราการไหลได้อย่างแม่นยำคือ วิธี RoR (rate of rise) ซึ่งเราจะใช้การวัดอัตราการเพิ่มขึ้นของความดันภายในส่วนตัวตรวจรู้ของเครื่องควบคุมอัตราการไหลแล้วทำการแปลงมันให้เป็นอัตราการไหลของก๊าซซึ่งวิธีนี้จะอาศัยสมการสภาวะของก๊าซในอุดมคติ

$PV = nRT$: P คือ ความดันของก๊าซมีหน่วยเป็นบรรยากาศ (atm)

V คือ ปริมาตรของก๊าซมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เดซิเมตร (dm^3) หรือ ลิตร (l)

n คือ จำนวนโมลของก๊าซ

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซต่อโมล = 0.08205 $l\text{-}atmK^{-1}mol^{-1}$

T คือ อุณหภูมิของก๊าซมีหน่วยเป็นเคลวิน (K)

ความดันที่เราใช้จะใช้ความดัน ณ สองตำแหน่งคือ ความดันของก๊าซก่อนเข้าสู่ส่วนของตัวตรวจรู้และความดันของก๊าซหลังผ่านส่วนของตัวตรวจรู้ ซึ่งเราจะต้องรู้ค่าที่แน่นอนของปริมาตรและอุณหภูมิของก๊าซ โดยที่เวลา $t = t_1$; จำนวนโมลของก๊าซเริ่มต้น (n_1)

$n_1 = P_1V/ (RT)$

ที่เวลา $t = t_2$; จำนวนโมลของก๊าซที่ไหลผ่านส่วนของตัวตรวจรู้ (n_2)

$n_2 = P_2V/ (RT)$

จำนวนโมลของก๊าซที่เพิ่มขึ้น

$n_2\text{-}n_1 = (P_2\text{-}P_1)V/ (RT)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะได้ความสัมพันธ์ในการหาอัตราการไหลของก๊าซ

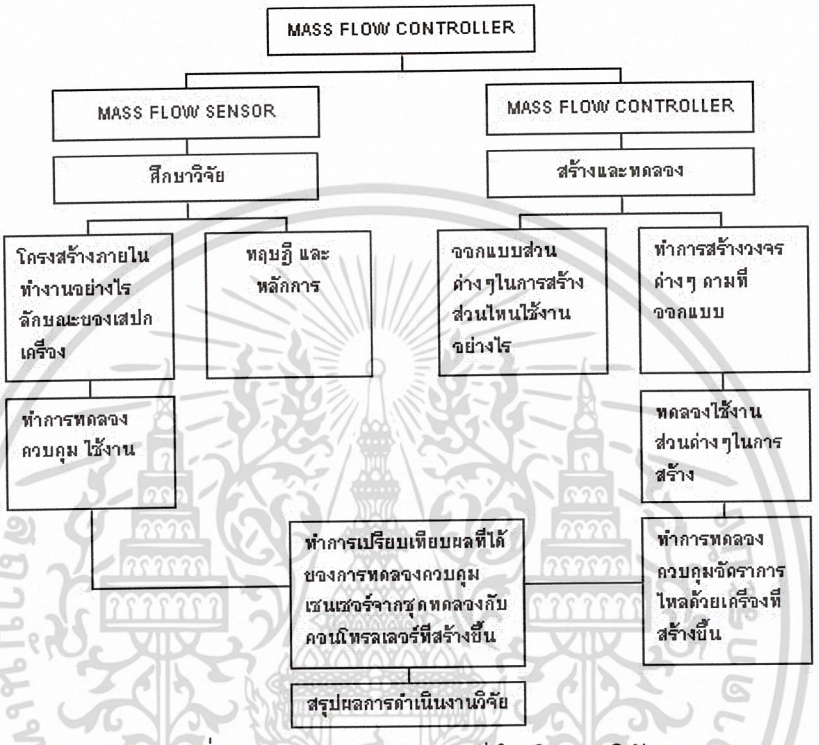
$Q = (n_2-n_1)/ (t_2-t_1)$

$= (\Delta P)(V)/ (\Delta t)(RT)$

ดังนั้น อัตราการไหลของก๊าซสามารถหาได้โดยการวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

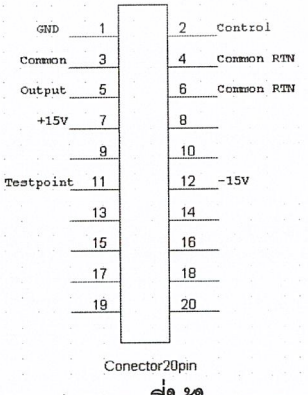
บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3-1 แสดงแผนผังของวิธีดำเนินการวิจัย

3.1. เกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ

1. ทำการศึกษาค้นคว้าขา (Pin) ต่างๆที่ใช้ในการควบคุมเกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซที่มีช่วงควบคุมอัตราการไหล 0-5 sccm



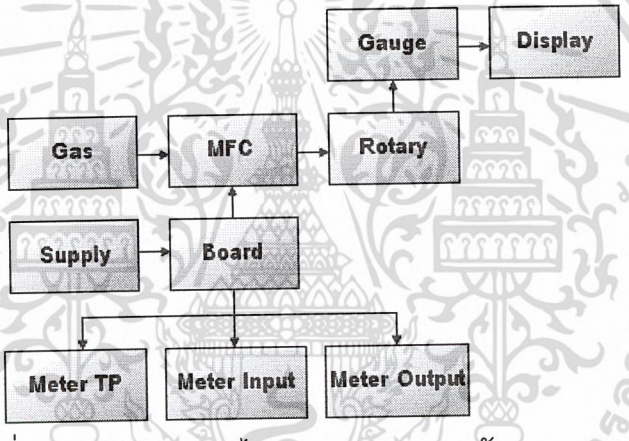
รูปที่ 3-2 แสดงจุดเชื่อมต่อ (Connector) 20 ขาที่ใช้ในการควบคุมเกจควบคุมอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยขาที่สำคัญๆ มีดังนี้

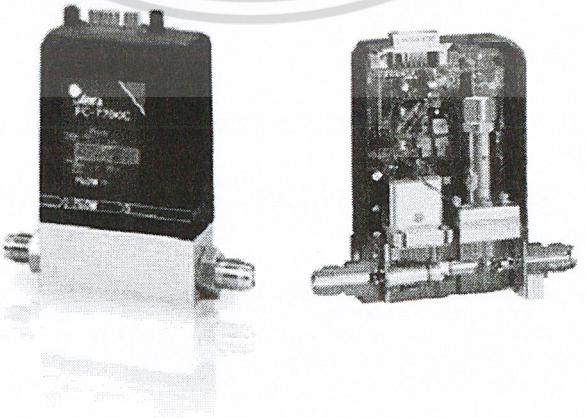
- ขาที่ 1, (GND) ทำหน้าที่เป็นกราวด์ร่วมของวงจร
- ขาที่ 2, (Control) ใช้ในการควบคุมเกจควบคุมอัตราการไหลโดยการจ่ายโวลเตจอินพุทในช่วง 0-5 V
- ขาที่ 5, (Output) ใช้ในการตรวจวัดค่าโวลเตจเอาท์พุทที่ได้จากการทดลอง
- ขาที่ 7, (+15) ไฟเลี้ยงของวงจร +15 โวลต์
- ขาที่ 12, (-15) ไฟเลี้ยงของวงจร -15 โวลต์

2. ทำการทดลองควบคุมเกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ โดยการจัดชุดการทดลองดังรูป 3-2



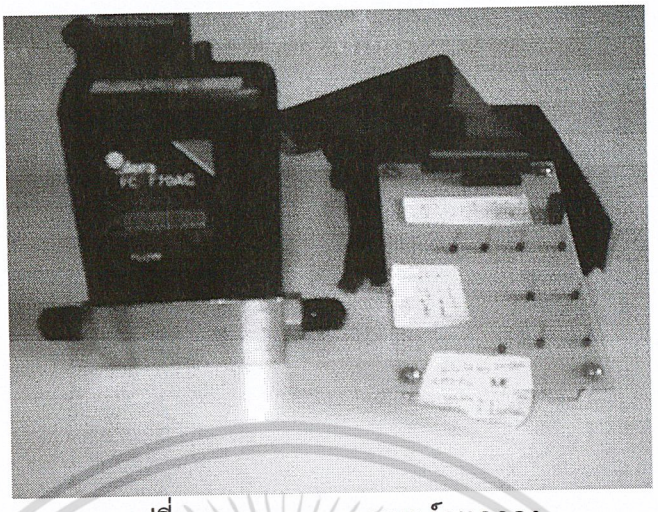
รูปที่ 3-3 แสดงแผนภาพไดอะแกรมแสดงการจัดชุดการทดลอง

โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้แต่ละชนิดมีดังนี้



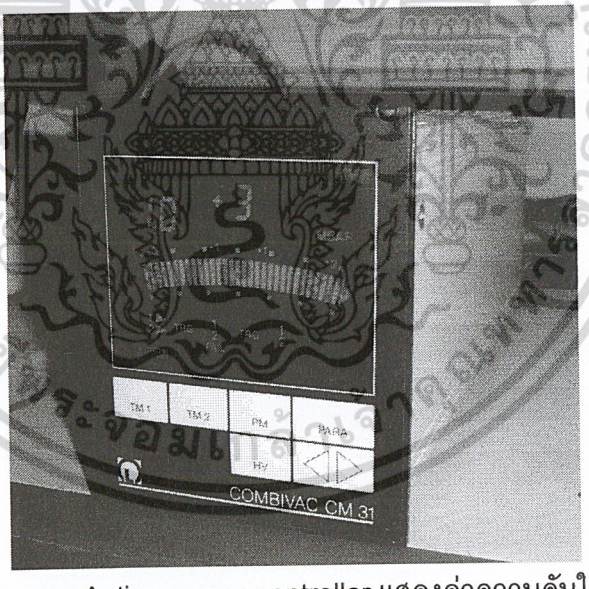
รูปที่ 3-4 แสดงเครื่องวัดอัตราการไหลรุ่น FC-770AC และภาพหน้าตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



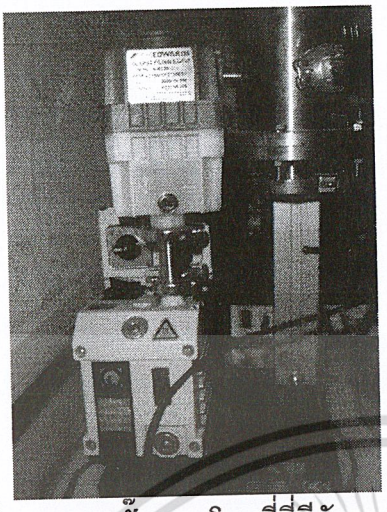
รูปที่ 3-5 แสดงภาพของบอร์ดทดลอง

จากรูปเป็นบอร์ดที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเครื่องวัดอัตราการไหล เพื่อทดลองควบคุมเกจควบคุมอัตราการไหล

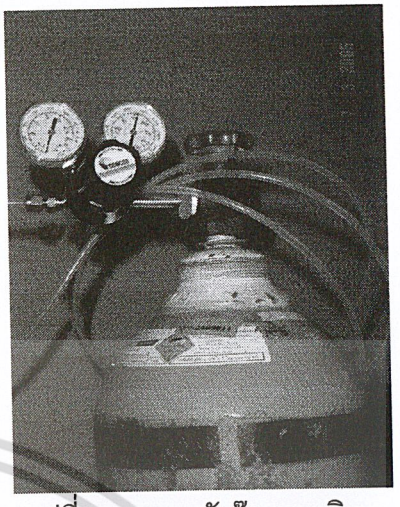


รูปที่ 3-6 แสดงภาพของ Active gauge controller แสดงค่าความดันในช่องสุญญากาศ

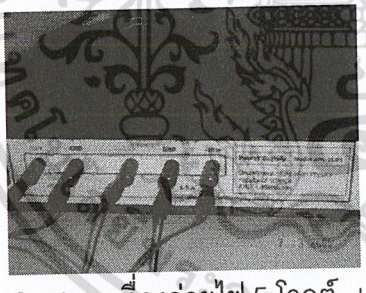
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



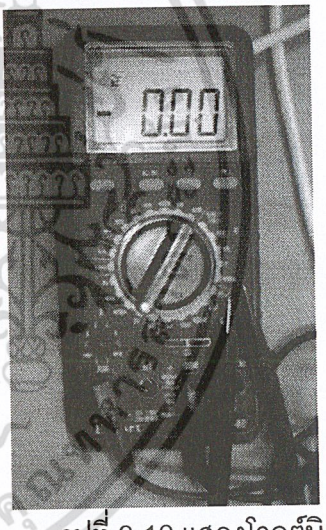
รูปที่ 3-7 แสดงปั๊มแบบโรตารี่ที่มีอัตราการปั๊ม 1.6 m^3/h



รูปที่ 3-8 แสดงถังก๊าซออกซิเจน



รูปที่ 3-9 แสดงเครื่องจ่ายไฟ 5 โวลต์, +/-15 โวลต์



รูปที่ 3-10 แสดงโวลต์มิเตอร์

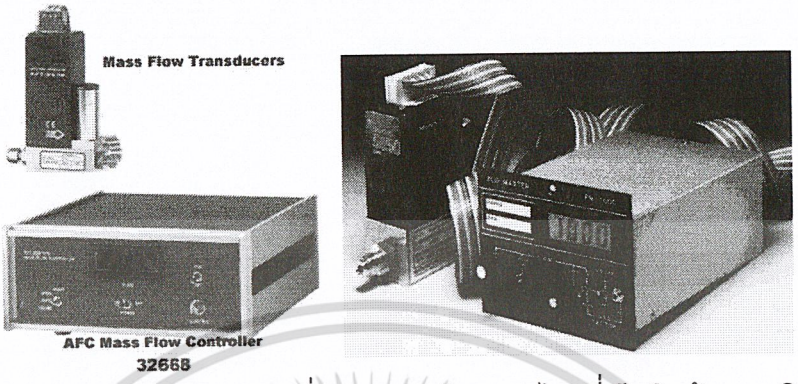
ทำการทดลองเพื่อบันทึกค่าสัญญาณต่างๆดังนี้คือแรงดันอินพุท (โวลต์), เอาท์พุท (โวลต์), สถานะทดสอบ (โวลต์), ความดัน (โวลต์)

-ทำการควบคุมอัตราการไหลตั้งแต่ 0-5 sccm โดยควบคุมการเพิ่มโวลเตจทีละ 0.5 โวลต์ แล้วทำการบันทึกผล

-ทำการควบคุมอัตราการไหลโดยควบคุมอินพุทโวลเตจทีละ 0.1 โวลต์ แล้วบันทึกผลเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลที่ได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. เครื่องควบคุมเกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ

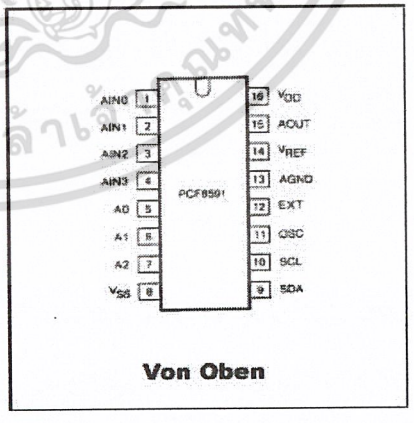


รูปที่ 3-11 แสดงภาพของตัวอย่างเครื่องควบคุมอัตราการไหลที่เป็นสินค้าจากบริษัทต่างๆ

ในส่วนของการสร้างเครื่องควบคุมเกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ (ไมโครคอนโทรลเลอร์) นั้นจะต้องศึกษาวงจรต่างๆที่ใช้ในการสร้างเพื่อควบคุมขาเกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซในการสร้างซึ่งประกอบไปด้วย

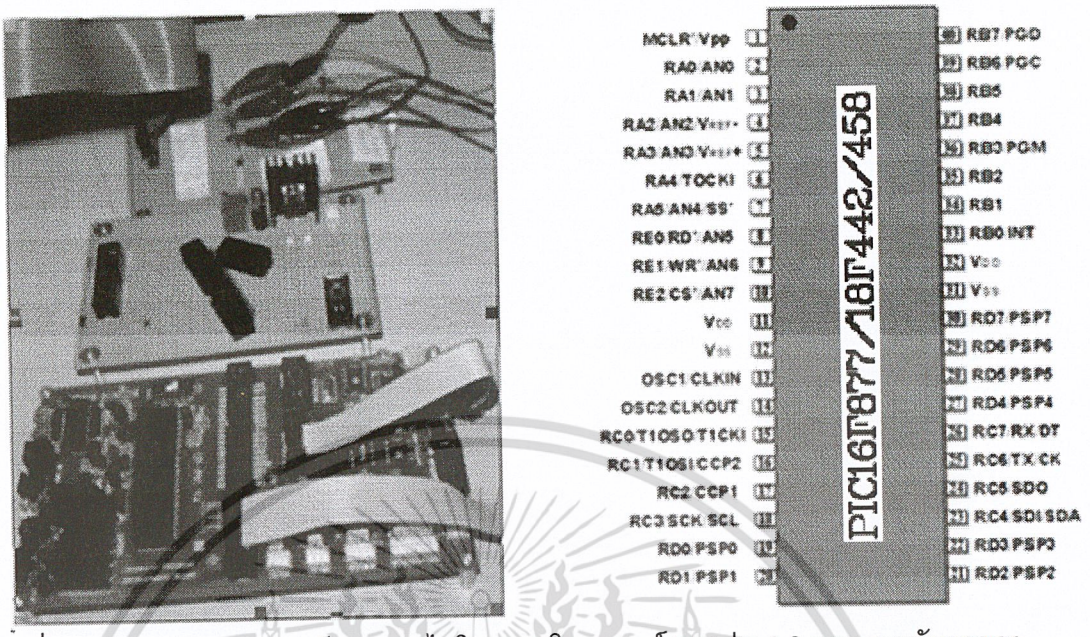
1. ขาควบคุม (Pin Control) ซึ่งสัญญาณที่ใช้คือ สัญญาณแอนาลอก หรือ แรงดันอินพุทโวลเตจที่ป้อนเข้าเกจ เพื่อควบคุมปริมาณการไหลของก๊าซด้วยสวิตช์ เพิ่ม-ลดโวลเตจ ซึ่งจะใช้ PCF8591 มาใช้ในการแปลงสัญญาณดิจิตอลที่ได้จาก PIC18F458 ซึ่งควบคุมด้วยสวิตช์กลายเป็นสัญญาณ แอนาลอกในการควบคุมเกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซจากรูป

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
AIN0	1	analog inputs (A/D converter)
AIN1	2	
AIN2	3	
AIN3	4	
A0	5	hardware address
A1	6	
A2	7	
V_{SS}	8	negative supply voltage
SDA	9	I^2C-bus data input/output
SCL	10	I^2C-bus clock input
OSC	11	oscillator input/output
EXT	12	external/internal switch for oscillator input
AGND	13	analog ground
V_{REF}	14	voltage reference input
AOUT	15	analog output (D/A converter)
V_{DD}	16	positive supply voltage

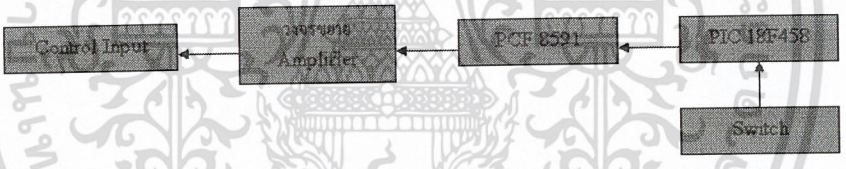


รูปที่ 3-12 แสดง PCF8591 พร้อมขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



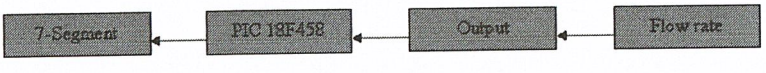
รูปที่ 3-13 แสดงภาพของบอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC รุ่น 4.0 และ การจัดขาของ PIC16F877



รูปที่ 3-14 แสดงไดอะแกรมโครงสร้างในการใช้ PCF8591 กับ PIC18F458

ในการแปลงสัญญาณจากสวิตช์ไปใช้ในการควบคุมเกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ (Digital to Analog Converter) มีโครงสร้างการใช้งานดังรูปที่ 3-14

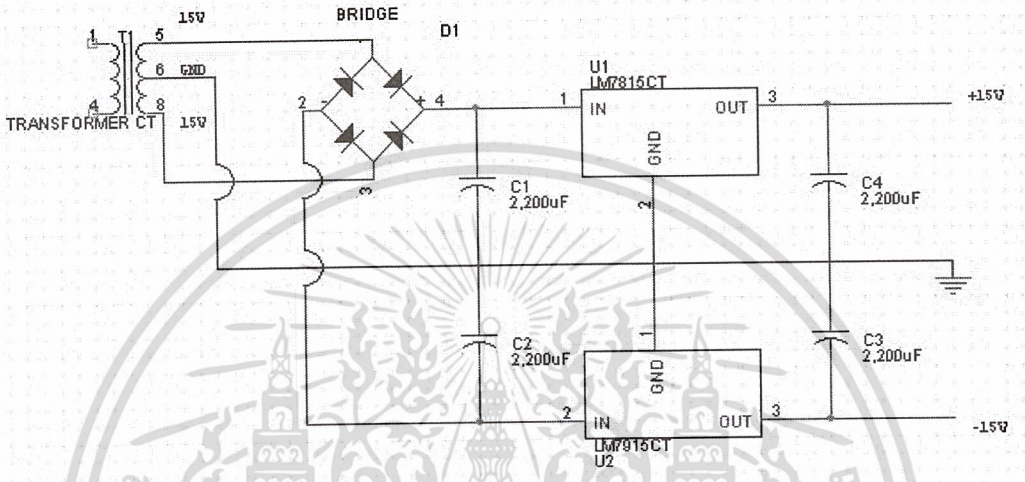
2. ขาเอาท์พุท (Pin Output) สัญญาณที่ออกมาจากขาเอาท์พุทของเกจที่ได้ คือสัญญาณแอนาลอกซึ่งจำเป็นต้องแปลงค่าสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลด้วย PIC18F458 เพื่อนำไปใช้ในส่วนของอุปกรณ์แสดงผล ซึ่งใช้ 7-Segment เป็นตัวแสดงผล



รูปที่ 3-15 แสดงภาพของไดอะแกรมแสดงโครงสร้างการใช้งานการแสดงผลออก 7-Segment ผ่าน PIC18F458

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

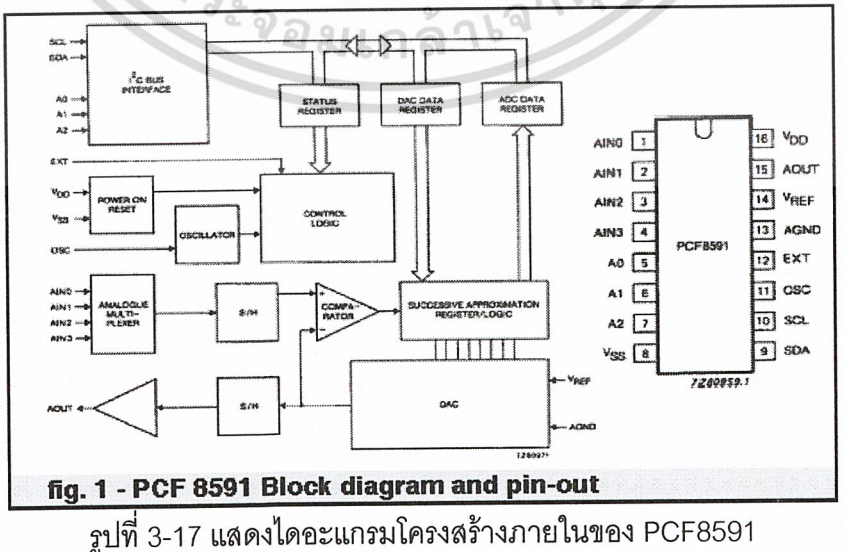
3. ขา +15 โวลต์ DC, -15 โวลต์ DC ซึ่งควบคุมโดยัญญาณไฟ +15 โวลต์ DC และ -15 โวลต์ DC โดยสร้างเป็นชุดแหล่งจ่ายไฟ โดยใช้ LM7815, LM7915 ในการแปลงเป็นไฟ +15 โวลต์ DC, -15 โวลต์ DC



รูปที่ 3-16 แสดงภาพของวงจรแปลงไฟ +/-15 โวลต์

ทำการออกแบบโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

1. ทำการคอมไพล์โปรแกรมที่ใช้ PIC.C ควบคุมในการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนาลอก โดยใช้การรับสัญญาณจากสวิตช์และส่งข้อมูลด้วยสายสัญญาณแบบ I^2C และแปลงสัญญาณด้วย D/A ด้วย PCF8591



รูปที่ 3-17 แสดงไดอะแกรมโครงสร้างภายในของ PCF8591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการทดลองรับสัญญาณจากสวิตช์ที่ได้โดยเพิ่มค่าอินพุทจาก 0-5 โวลต์ และลดค่าอินพุทจาก 5-0 โวลต์ โดยการกดสวิตช์ แล้วทำการบันทึกค่า แอนาลอก (Analog Output) ที่ได้จากวงจร D/A (Digital to Analog Converter)

3. ทำการคอมไพล์โปรแกรม PIC.C ที่ใช้ในการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลด้วยฟังก์ชั่นของ PIC18F458 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น Analog to Digital Converter 10 บิต อยู่ในตัว เพื่อแปลงค่าโวลต์ที่ได้ซึ่งก็คือค่า อัตราการไหล เป็นค่าดิจิตอลเพื่อแสดงออก 7-Segment

3.3. ขั้นตอนการทดลองควบคุมระบบควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

1. ทำการทดลองวัดค่าเอาท์พุท หรือ อัตราการไหลที่ได้ผ่าน PIC18F458 แล้วบันทึกค่า A/D ที่ได้โดยแบ่งเป็น 8 บิต, 10 บิต

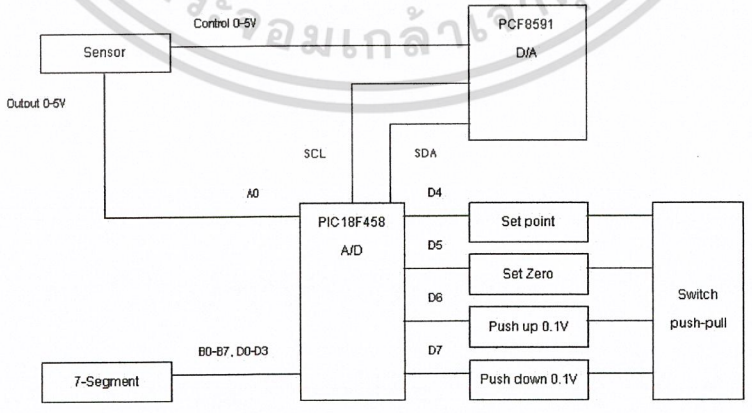
2. จากนั้นทำการบันทึกค่า ADC, เอาท์พุท (Flow Rate), แรงดันอินพุทที่ได้จากการทดลองวัดอัตราการไหลโดยผ่าน PIC แล้ววิเคราะห์ผลการทดลอง

3. ทำการทดลองวัดค่าเอาท์พุท หรือ อัตราการไหลที่ได้จากเกจควบคุมอัตราการไหลโดยผ่าน A/D เพื่อแสดงผลออก 7-Segment

4. จากนั้นทำการบันทึกค่าเอาท์พุท (โวลต์) (sccm) แล้วทำการวิเคราะห์ผลที่ได้

5. ทำการควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วยเครื่องควบคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้น บันทึกค่าอัตราการไหล (sccm) และ ความดันภายในช่องสุญญากาศ

6. จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการทดลอง

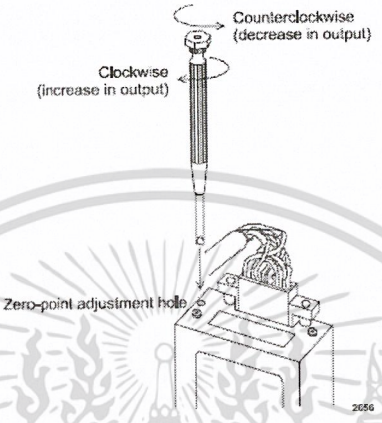


รูปที่ 3-18 แสดงไดอะแกรมโครงสร้างของชุดระบบควบคุมเครื่องควบคุมอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4. การปรับ Zero-point (Zero-point adjustment)

ทำการปรับ Zero-point adjustment เพื่อทำการตั้งค่าค่าเอาท์พุท (โวลต์) 0-5 โวลต์ ให้ตรงกับค่าที่ 0-5 sccm



รูปที่ 3-19 แสดงการปรับค่าโดยใช้ Zero-point adjustment hole

รูปที่ 3-20 แสดงแผนผังแสดงขั้นตอนในการเขียนโปรแกรมบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้ทำการทดลอง โดยทำการทดลองตามขั้นตอนต่างๆ เพื่อสร้างเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซโดยแบ่งผลการวิจัยออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ

4.1. เกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ

1. การทดลองควบคุมเกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซที่อัตราการไหลตั้งแต่ 0-5 sccm ด้วยชุดทดลองที่สร้างขึ้นและบันทึกค่าแรงดันอินพุท (โวลต์), เอาท์พุท (โวลต์) ,สถานะทดสอบ (Test point) (โวลต์) ด้วยโวลต์มิเตอร์และ ความดัน (มิลลิบาร์) ในช่องสุญญากาศด้วยเกจวัดแรงดันโดยแรงดันอินพุท (โวลต์) ที่ 0-5 โวลต์

ตารางที่ 4-1 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการทดลองควบคุมเกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ

ความดัน (mbar)	แรงดันอินพุท (โวลต์)	เอาท์พุท (โวลต์)	สถานะทดสอบ (โวลต์)
0.014	0.00	-0.18	-13.21
0.094	0.50	0.20	-3.34
0.130	1.00	1.00	-3.34
0.170	1.50	1.50	-3.35
0.210	2.00	2.00	-3.35
0.250	2.50	2.50	-3.35
0.300	3.00	3.00	-3.33
0.360	3.50	3.50	-3.35
0.380	4.00	3.99	-3.35
0.430	4.50	4.49	-3.34
0.470	5.00	5.00	-3.34

ค่าสถานะทดสอบ (โวลต์) ที่ได้จากการทดลองซึ่งจะบอกถึงสถานการณ์ทำงานของอุปกรณ์เกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซคือ

ค่าสถานะทดสอบ (โวลต์) = -13.21 คือสถานะที่วาล์วปิด

ค่าสถานะทดสอบ (โวลต์) = -3.34 คือสถานะที่วาล์วเปิด

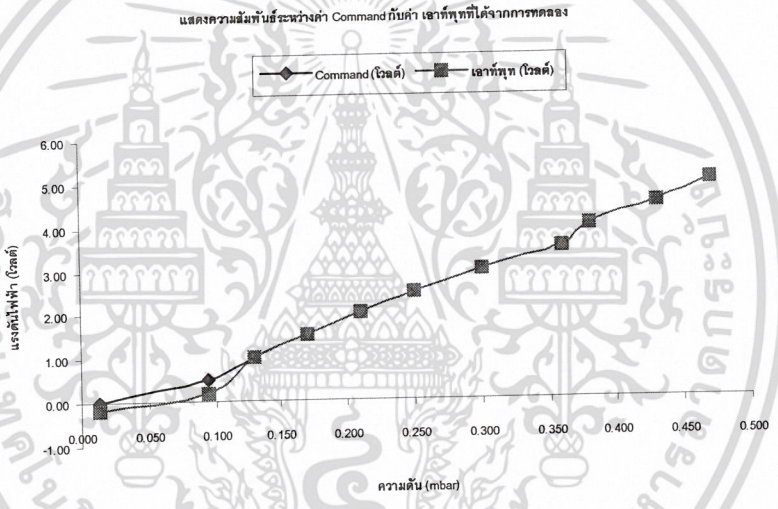
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันอินพุท (โวลต์) คือปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปควบคุมการเปิดปิดวาล์วของ เกจควบคุมการไหลของก๊าซโดยวัดจากโวลต์มิเตอร์

เอาท์พุท (โวลต์) คือปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากขาสัญญาณเอาท์พุทของเกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วยโวลต์มิเตอร์ ซึ่งจะชี้ให้เห็นว่ามีค่าอัตราการไหล (sccm) เอาท์พุท (โวลต์)

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้เมื่อนำค่าแรงดันอินพุท (โวลต์) และเอาท์พุท (โวลต์) มาสร้างกราฟจะได้ความสัมพันธ์ดังรูป



รูปที่ 4-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุท (โวลต์) และเอาท์พุท (โวลต์) ที่ได้จากการเพิ่มความดันในช่องสุญญากาศ

โดยแกน X คือค่าปริมาณความดัน (มิลลิบาร์) ในช่องสุญญากาศที่วัดได้จากเกจวัดความดัน (VAC Combin) ซึ่งต่อกับปั๊มโรตารีที่มีอัตราการปั๊มคือ 1.6 m^3/h

แกน Y คือค่าแรงดันไฟฟ้า (โวลต์) ที่วัดได้จากโวลต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อเพิ่มปริมาณแรงดันอินพุท (โวลต์) ให้กับเกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ จะทำให้ค่าเอาท์พุท (โวลต์) ที่ได้จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยซึ่งจะมีช่วงความเป็นเชิงเส้น (linear) อยู่ในช่วงที่ 1-3.5 โวลต์ ซึ่งทั้งแรงดันอินพุท (โวลต์) และเอาท์พุท (โวลต์) มีค่าที่เท่ากัน

ความดัน (มิลลิบาร์) จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณแรงดันอินพุท (โวลต์) ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่ามีก๊าซไหลเข้าไปในช่องสุญญากาศเร็วกว่าสภาวะปกติที่โรตารีปั๊มทำงานนั่นคือ แรงดันอินพุท (โวลต์) เพิ่มทำให้อัตราการไหล (Q) ของก๊าซ > อัตราการปั๊มของปั๊มโรตารี = 1.6 m^3/h

2. การทดลองควบคุมเกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซที่อัตราการไหลตั้งแต่ 0-5 sccm ด้วยชุดทดลองที่สร้างขึ้นและวัดค่าแรงดันอินพุท (โวลต์), เอาท์พุท (โวลต์), สถานะทดสอบ (โวลต์) ด้วยโวลต์มิเตอร์และ ความดัน (มิลลิบาร์) ในช่องสุญญากาศด้วยเกจวัดแรงดันโดยแรงดันอินพุท (โวลต์) ที่ 0-5 โวลต์ โดยเพิ่มความละเอียดในการควบคุมที่ละ 0.1 โวลต์

ตารางที่ 4-2 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการทดลองควบคุมเกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ โดยเพิ่มความละเอียดในการควบคุมครั้งละ 0.1 โวลต์

ความดัน (มิลลิบาร์)	แรงดันอินพุท (โวลต์)	เอาท์พุท (โวลต์)	สถานะทดสอบ (โวลต์)
0.016	0	-0.411	-13.21
0.065	0.1	0.114	-3.33
0.071	0.2	0.201	-3.33
0.079	0.3	0.315	-3.35
0.087	0.4	0.407	-3.35
0.094	0.5	0.513	-3.33
0.100	0.6	0.613	-3.34
0.110	0.7	0.720	-3.32
0.120	0.8	0.823	-3.35
0.120	0.9	0.923	-3.35
0.130	1.0	1.017	-3.35
0.140	1.1	1.119	-3.35
0.140	1.2	1.224	-3.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดัน (มิลลิบาร์)	แรงดันอินพุท (โวลต์)	เอาท์พุท (โวลต์)	สถานะทดสอบ (โวลต์)
0.150	1.3	1.325	-3.35
0.160	1.4	1.430	-3.35
0.170	1.5	1.525	-3.35
0.180	1.6	1.632	-3.35
0.190	1.7	1.729	-3.35
0.200	1.8	1.829	-3.33
0.210	1.9	1.931	-3.35
0.210	2.0	2.038	-3.33
0.220	2.1	2.139	-3.35
0.230	2.2	2.24	-3.35
0.240	2.3	2.336	-3.35
0.250	2.4	2.444	-3.35
0.250	2.5	2.539	-3.35
0.260	2.6	2.638	-3.35
0.270	2.7	2.742	-3.35
0.280	2.8	2.847	-3.35
0.290	2.9	2.945	-3.35
0.300	3.0	3.048	-3.34
0.310	3.1	3.151	-3.34
0.310	3.2	3.247	-3.33
0.320	3.3	3.354	-3.33
0.330	3.4	3.457	-3.34
0.340	3.5	3.554	-3.35
0.350	3.6	3.654	-3.35
0.360	3.7	3.752	-3.35
0.360	3.8	3.859	-3.35
0.370	3.9	3.962	-3.32

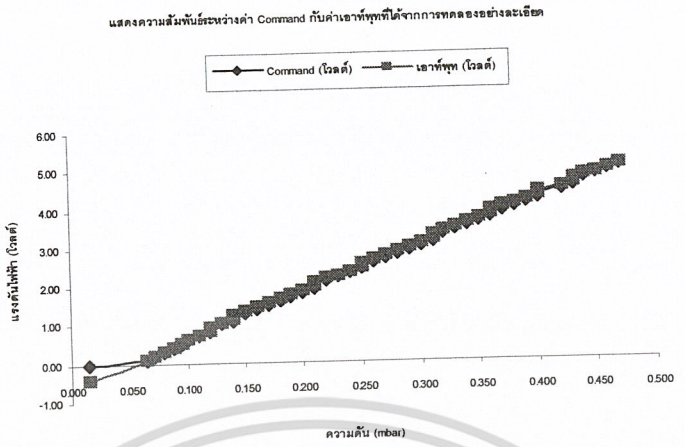
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดัน (มิลลิบาร์)	แรงดันอินพุท (โวลต์)	เอาท์พุท (โวลต์)	สถานะทดสอบ (โวลต์)
0.380	4.0	4.052	-3.35
0.390	4.1	4.13	-3.35
0.400	4.2	4.23	-3.35
0.400	4.3	4.33	-3.35
0.420	4.4	4.43	-3.35
0.430	4.5	4.53	-3.35
0.430	4.6	4.64	-3.34
0.440	4.7	4.73	-3.34
0.450	4.8	4.83	-3.35
0.460	4.9	4.93	-3.34
0.470	5.0	5.02	-3.36

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ยังคงมีสถานะเหมือนเดิมถึงแม้จะใช้แรงดันอินพุท (โวลต์) ที่ละเอียดมากกว่าเดิม แต่ก็ยังได้ ค่า เอาท์พุทที่ออกมาใกล้เคียงกัน ที่ค่าแรงดันอินพุท (โวลต์) และ เอาท์พุท (โวลต์) มีลักษณะความเป็นเชิงเส้นต่อกัน (linear) มากขึ้นในช่วง 0-5 โวลต์ และมีค่าใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่า ในช่วงแรงดันอินพุท (โวลต์) 0-5 โวลต์ สามารถควบคุมเกจควบคุมการไหลที่มีช่วงอัตราการไหลที่ 0-5 sccm ได้ตรงตามสเปคของเกจ ซึ่งแปลว่าแรงดันอินพุท (โวลต์) เป็นสัญญาณควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ (Q)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุท (โวลต์) และ เอาท์พุท (โวลต์) ที่ได้จากการเพิ่มความดันในช่องสุญญากาศ โดยเพิ่มความละเอียดเป็น 0.1 โวลต์

จากกราฟจะแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของเอาท์พุทโวลต์ที่วัดได้จากเกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซจะแปรผันตามค่า สัญญาณแรงดันอินพุท (โวลต์) ที่ป้อนเข้าไปเพื่อควบคุมอัตราการไหลจาก 0-5 sccm

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองจะได้ความสัมพันธ์ของค่าเอาท์พุทโวลต์ที่วัดได้จากการควบคุมอัตราการไหลเพื่อแสดงให้เห็นถึงค่าที่นำไปใช้ในการวัดอัตราการไหลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพราะฉะนั้น

เอาท์พุท (โวลต์) = อัตราการไหลของก๊าซ (sccm)

Q คือ อัตราการไหลของก๊าซ (sccm)

P คือ ความดันของก๊าซมีหน่วยเป็นบรรยากาศ (atm)

V คือ ปริมาตรของก๊าซมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เดซิเมตร (dm^3) หรือ ลิตร (l)

n_1 คือ จำนวนโมลของก๊าซเริ่มต้น

n_2 คือ จำนวนโมลของก๊าซที่ผ่านตัวตรวจรู้ภายในเกจ

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซต่อโมล = 0.08205 l-atm$K^{-1}mol^{-1}$

T คือ อุณหภูมิของก๊าซมีหน่วยเป็นเคลวิน (K)

t_1 คือ เวลาจำนวนโมลของก๊าซเริ่มต้น (n_1)

t_2 คือ เวลาจำนวนโมลของก๊าซเริ่มต้น (n_2)

ที่เวลา $t = t_1$; จำนวนโมลของก๊าซเริ่มต้น (n_1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$n_1 = P_1V/ (RT)$

ที่เวลา $t = t_2$; จำนวนโมลของก๊าซที่ไหลผ่านส่วนตัวตรวจรู้ (n_2)

$n_2 = P_2V/ (RT)$

จำนวนโมลของก๊าซที่เพิ่มขึ้น

$n_2-n_1 = (P_2-P_1)V/ (RT)$

ความสัมพันธ์ที่ได้ของอัตราการไหลที่ได้กับความดันคือ

$Q = (n_2-n_1)/ (t_2-t_1)$

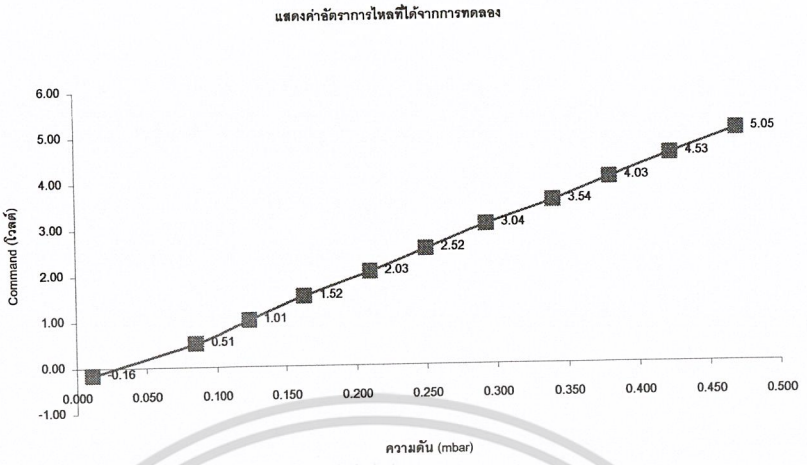
$= (\Delta P)(V)/ (\Delta t)(RT)$

3. ทำการทดลองเพื่อวัดค่าอัตราการไหลของก๊าซด้วยชุดการทดลองที่สร้างขึ้นและบันทึกค่าการทดลองไว้เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการควบคุมเกจด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ตารางที่ 4-3 ตารางแสดงผลการทดลองเพื่อนำไปเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลที่ได้ระหว่างการควบคุมด้วยชุดการทดลองกับไมโครคอนโทรลเลอร์

ความดัน (มิลลิบาร์)				แรงดันอินพุท (โวลต์)				อัตราการไหล (sccm)			
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0.010	0.010	0.012	0.011	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.17	-0.14	-0.16	-0.16
0.076	0.094	0.084	0.085	0.50	0.50	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.51
0.120	0.130	0.120	0.123	1.00	1.01	1.00	1.00	1.02	1.02	1.00	1.01
0.160	0.170	0.160	0.163	1.50	1.51	1.50	1.50	1.53	1.52	1.51	1.52
0.210	0.210	0.210	0.210	2.00	2.02	2.00	2.01	2.04	2.03	2.01	2.03
0.250	0.250	0.250	0.250	2.50	2.52	2.50	2.51	2.53	2.51	2.51	2.52
0.290	0.300	0.290	0.293	3.00	3.01	2.99	3.00	3.05	3.06	3.02	3.04
0.340	0.340	0.340	0.340	3.50	3.52	3.49	3.50	3.56	3.54	3.52	3.54
0.380	0.380	0.380	0.380	4.00	4.00	3.99	4.00	4.03	4.03	4.02	4.03
0.430	0.420	0.420	0.423	4.50	4.50	4.49	4.50	4.53	4.55	4.52	4.53
0.470	0.470	0.470	0.470	5.00	4.99	4.98	4.99	5.13	4.99	5.03	5.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุท (โวลต์) และ อัตราการไหลของก๊าซเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ความละเอียด 0.5 โวลต์

4. ทำการทดลองเพื่อหาค่าความละเอียดในการใช้ควบคุมเกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซเพื่อนำไปสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์และเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์

ตารางที่ 4-4 ตารางแสดงผลการทดลองเพื่อนำไปเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลที่ได้ระหว่างการควบคุมด้วยชุดการทดลองกับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ความละเอียดครั้งละ 0.1 sccm

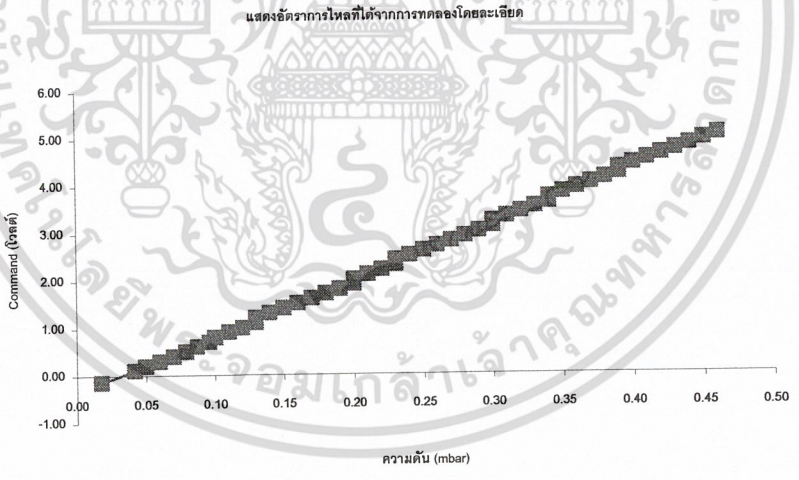
ความดัน (มิลลิบาร์)				แรงดันอินพุท (โวลต์)				อัตราการไหล (sccm)			
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14
0.04	0.04	0.04	0.04	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11
0.05	0.05	0.05	0.05	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
0.06	0.06	0.06	0.06	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
0.07	0.07	0.07	0.07	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
0.08	0.08	0.08	0.08	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
0.09	0.09	0.09	0.09	0.60	0.60	0.60	0.60	0.61	0.61	0.61	0.61
0.10	0.10	0.10	0.10	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
0.10	0.10	0.10	0.10	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
0.11	0.11	0.11	0.11	0.90	0.90	0.90	0.90	0.91	0.91	0.91	0.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดัน (มิลลิบาร์)				แรงดันอินพุท (โวลต์)				อัตราการไหล (sccm)			
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0.12	0.12	0.12	0.12	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.13	0.13	0.13	0.13	1.10	1.10	1.10	1.10	1.11	1.11	1.11	1.11
0.13	0.13	0.13	0.13	1.20	1.20	1.20	1.20	1.21	1.21	1.21	1.21
0.14	0.14	0.14	0.14	1.30	1.30	1.30	1.30	1.31	1.31	1.31	1.31
0.15	0.15	0.15	0.15	1.40	1.40	1.40	1.40	1.41	1.41	1.41	1.41
0.16	0.16	0.16	0.16	1.50	1.50	1.50	1.50	1.51	1.51	1.51	1.51
0.17	0.17	0.17	0.17	1.60	1.60	1.60	1.60	1.61	1.61	1.61	1.61
0.18	0.18	0.18	0.18	1.70	1.70	1.70	1.70	1.71	1.71	1.71	1.71
0.19	0.19	0.19	0.19	1.80	1.80	1.80	1.80	1.81	1.81	1.81	1.81
0.20	0.20	0.20	0.20	1.90	1.90	1.90	1.90	1.91	1.91	1.91	1.91
0.20	0.20	0.20	0.20	2.00	2.00	2.00	2.00	2.01	2.01	2.01	2.01
0.21	0.21	0.21	0.21	2.10	2.10	2.10	2.10	2.11	2.11	2.11	2.11
0.22	0.22	0.22	0.22	2.20	2.20	2.20	2.20	2.21	2.21	2.21	2.21
0.23	0.23	0.23	0.23	2.30	2.30	2.30	2.30	2.31	2.31	2.31	2.31
0.23	0.23	0.23	0.23	2.40	2.40	2.40	2.40	2.41	2.41	2.41	2.41
0.24	0.24	0.24	0.24	2.50	2.50	2.50	2.50	2.51	2.51	2.51	2.51
0.25	0.25	0.25	0.25	2.60	2.60	2.60	2.60	2.61	2.61	2.61	2.61
0.26	0.26	0.26	0.26	2.70	2.70	2.70	2.70	2.71	2.71	2.71	2.71
0.27	0.27	0.27	0.27	2.80	2.80	2.80	2.80	2.81	2.81	2.81	2.81
0.28	0.28	0.28	0.28	2.90	2.90	2.90	2.90	2.91	2.91	2.91	2.91
0.29	0.29	0.29	0.29	3.00	3.00	3.00	3.00	3.01	3.01	3.01	3.01
0.30	0.30	0.30	0.30	3.10	3.10	3.10	3.10	3.12	3.12	3.12	3.12
0.30	0.30	0.30	0.30	3.20	3.20	3.20	3.20	3.22	3.22	3.22	3.22
0.31	0.31	0.31	0.31	3.30	3.30	3.30	3.30	3.32	3.32	3.32	3.32
0.32	0.32	0.32	0.32	3.40	3.40	3.40	3.40	3.42	3.42	3.42	3.42
0.33	0.33	0.33	0.33	3.50	3.50	3.50	3.50	3.52	3.52	3.52	3.52
0.34	0.34	0.34	0.34	3.60	3.60	3.60	3.60	3.62	3.62	3.62	3.62
0.34	0.34	0.34	0.34	3.70	3.70	3.70	3.70	3.72	3.72	3.72	3.72
0.35	0.35	0.35	0.35	3.80	3.80	3.80	3.80	3.82	3.82	3.82	3.82
0.36	0.36	0.36	0.36	3.90	3.90	3.90	3.90	3.92	3.92	3.92	3.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดัน (มิลลิบาร์)				แรงดันอินพุท (โวลต์)				อัตราการไหล (sccm)			
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0.37	0.37	0.37	0.37	4.00	4.00	4.00	4.00	4.02	4.02	4.02	4.02
0.38	0.38	0.38	0.38	4.10	4.10	4.10	4.10	4.12	4.12	4.12	4.12
0.39	0.39	0.39	0.39	4.20	4.20	4.20	4.20	4.22	4.22	4.22	4.22
0.39	0.39	0.39	0.39	4.30	4.30	4.30	4.30	4.32	4.32	4.32	4.32
0.40	0.40	0.40	0.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.42	4.42	4.42	4.42
0.41	0.41	0.41	0.41	4.50	4.50	4.50	4.50	4.52	4.52	4.52	4.52
0.42	0.42	0.42	0.42	4.60	4.60	4.60	4.60	4.62	4.62	4.62	4.62
0.43	0.43	0.43	0.43	4.70	4.70	4.70	4.70	4.72	4.72	4.72	4.72
0.44	0.44	0.44	0.44	4.80	4.80	4.80	4.80	4.82	4.82	4.82	4.82
0.45	0.45	0.45	0.45	4.90	4.90	4.90	4.90	4.93	4.93	4.93	4.93
0.46	0.46	0.46	0.46	5.00	5.00	5.00	5.00	5.03	5.03	5.03	5.03



รูปที่ 4-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุท (โวลต์) และ อัตราการไหลของก๊าซเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ความละเอียด 0.1 โวลต์

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองและกราฟที่ได้ เราจะหาช่วงที่นำไปใช้ในการสร้าง สัญญาณควบคุมแบบแอนนาลอก ในไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้ที่ความละเอียดที่ 0.5 และ 0.1 โวลต์คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมอัตราการไหล โดยเพิ่มหรือลด ครั้งละ 0.5 และ 0.1 sccm และเก็บค่าที่ได้เพื่อบันทึกผลในช่วงท้ายการทดลอง

4.2. เครื่องควบคุมเกจควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ (ไมโครคอนโทรลเลอร์)

1. ทำการทดลองรับสัญญาณจากสวิตช์ที่ได้โดยเพิ่มค่าอินพุทจาก 0-5 โวลต์ โดยการกดสวิตช์ แล้วทำการบันทึกค่า แอนาลอก (Analog Output) ที่ได้จากวงจร D/A (Digital to Analog Converter)

ตารางที่ 4-5 ตารางแสดงผลการทดลองวงจรดิจิตอลแปลงเป็นแอนนาลอกที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ควบคุมด้วยสวิตช์

จำนวนครั้งการกดสวิตช์	สัญญาณแอนาลอก
1	0.156
2	0.253
3	0.351
4	0.449
5	0.546
6	0.644
7	0.742
8	0.839
9	0.937
10	1.035
11	1.132
12	1.230
13	1.328
14	1.425
15	1.523
16	1.621
17	1.718
18	1.816
19	1.914
20	2.011
21	2.109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนครั้งการกดสวิตช์	สัญญาณแอนาลอก
22	2.207
23	2.304
24	2.402
25	2.500
26	2.597
27	2.695
28	2.792
29	2.890
30	2.988
31	3.085
32	3.183
33	3.281
34	3.378
35	3.476
36	3.574
37	3.671
38	3.769
39	3.867
40	3.964
41	4.062
42	4.160
43	4.257
44	4.355
45	4.453
46	4.550
47	4.648
48	4.746
49	4.843
50	4.941

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสัญญาณแอนาลอกที่ได้สามารถเพิ่มและลดโวลเตจได้ครั้งละ 0.1 โวลต์โดยที่ค่าโวลเตจที่ได้นั้นยังไม่สามรถไปควบคุมเกจได้ เพราะต้องใช้ วงจรออปแอมป์-บัฟเฟอร์ในการช่วยขยายกระแสให้แก่เกจควบคุมอัตราการไหล

2. ทำการทดลองวัดค่าเอาท์พุท หรือ อัตราการไหลที่ได้จากเกจควบคุมอัตราการไหลโดยผ่าน A/D เพื่อแสดงผลออก 7-Segment ทำการบันทึกค่าแรงดันอินพุท (โวลต์) และอัตราการไหลของก๊าซ (sccm)

ตารางที่ 4-6 ตารางแสดงผลการทดลองวงจรแอนนาลอกแปลงเป็นดิจิตอลที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ที่โดยแสดงผลโดย 7-Segment

แรงดันอินพุท (โวลต์)	7-Segment
0.000	0.000
0.500	0.488
1.000	0.976
1.500	1.484
2.000	1.992
2.500	2.480
3.000	2.988
3.500	3.476
4.000	3.964
4.500	4.472
5.000	4.980

4.3. เครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ

ทำการควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วยเครื่องควบคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้น บันทึกค่าอัตราการไหล (sccm) และ ความดันภายในช่องสุญญากาศ นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

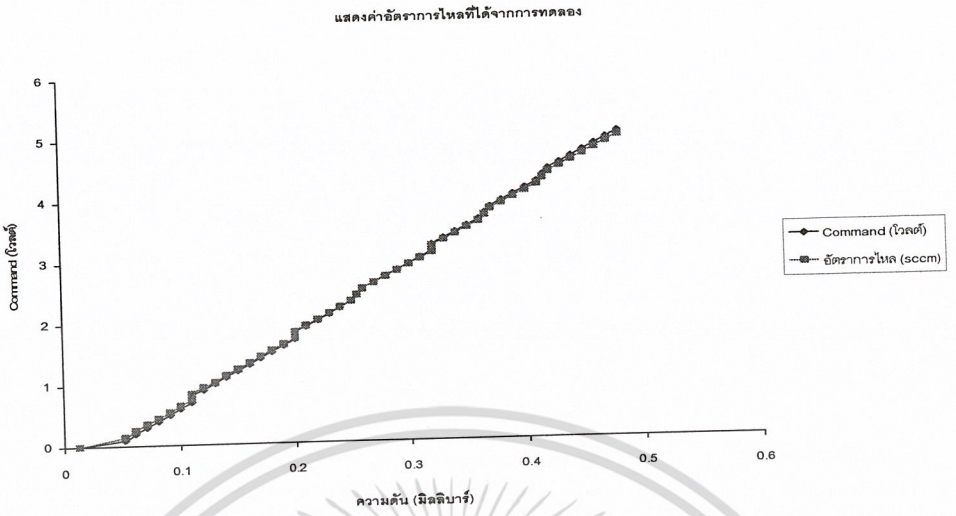
ตารางที่ 4-7 ตารางแสดงผลการทดลองควบคุมค่าอัตราการไหลที่ได้จากการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สร้างขึ้น

แรงดันอินพุท (โวลต์)	ความดัน (มิลลิบาร์)				อัตราการไหล			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
0.0	0.013	0.013	0.013	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000
0.1	0.052	0.052	0.052	0.052	0.156	0.136	0.156	0.149
0.2	0.061	0.061	0.061	0.061	0.253	0.253	0.253	0.253
0.3	0.071	0.071	0.071	0.071	0.351	0.351	0.351	0.351
0.4	0.081	0.081	0.081	0.081	0.449	0.429	0.449	0.442
0.5	0.091	0.091	0.091	0.091	0.546	0.546	0.527	0.540
0.6	0.100	0.100	0.100	0.100	0.644	0.644	0.644	0.644
0.7	0.110	0.110	0.110	0.110	0.742	0.742	0.742	0.742
0.8	0.110	0.110	0.110	0.110	0.839	0.839	0.820	0.833
0.9	0.120	0.120	0.120	0.120	0.937	0.937	0.937	0.937
1.0	0.130	0.130	0.130	0.130	1.015	1.015	1.015	1.015
1.1	0.140	0.140	0.140	0.140	1.132	1.113	1.132	1.126
1.2	0.150	0.150	0.150	0.150	1.230	1.230	1.230	1.230
1.3	0.160	0.160	0.160	0.160	1.328	1.328	1.328	1.328
1.4	0.170	0.170	0.170	0.170	1.425	1.425	1.425	1.425
1.5	0.180	0.180	0.180	0.180	1.523	1.523	1.523	1.523
1.6	0.190	0.190	0.190	0.190	1.621	1.621	1.621	1.621
1.7	0.200	0.200	0.200	0.200	1.718	1.718	1.718	1.718
1.8	0.200	0.200	0.200	0.200	1.816	1.816	1.816	1.816
1.9	0.210	0.210	0.210	0.210	1.914	1.914	1.914	1.914
2.0	0.220	0.220	0.220	0.220	2.011	2.011	2.011	2.011
2.1	0.230	0.230	0.230	0.230	2.109	2.109	2.109	2.109
2.2	0.240	0.240	0.240	0.240	2.207	2.207	2.207	2.207
2.3	0.250	0.250	0.250	0.250	2.304	2.304	2.304	2.304
2.4	0.260	0.250	0.260	0.255	2.402	2.402	2.402	2.402
2.5	0.260	0.260	0.260	0.260	2.500	2.500	2.500	2.500
2.6	0.270	0.270	0.270	0.270	2.597	2.597	2.597	2.597
2.7	0.280	0.280	0.280	0.280	2.695	2.695	2.695	2.695

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันอินพุท (โวลต์)	ความดัน (มิลลิบาร์)				อัตราการไหล			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
2.8	0.290	0.290	0.290	0.290	2.792	2.792	2.792	2.792
2.9	0.300	0.300	0.300	0.300	2.890	2.890	2.890	2.890
3.0	0.310	0.310	0.310	0.310	2.988	2.988	2.988	2.988
3.1	0.320	0.320	0.320	0.320	3.085	3.085	3.085	3.085
3.2	0.320	0.320	0.320	0.320	3.183	3.183	3.183	3.183
3.3	0.330	0.330	0.330	0.330	3.281	3.281	3.281	3.281
3.4	0.340	0.340	0.340	0.340	3.378	3.378	3.378	3.378
3.5	0.350	0.350	0.350	0.350	3.476	3.476	3.476	3.476
3.6	3.600	3.600	3.600	0.360	3.574	3.574	3.574	3.574
3.7	0.370	0.360	0.370	0.365	3.671	3.671	3.671	3.671
3.8	0.370	0.370	0.370	0.370	3.769	3.769	3.769	3.769
3.9	0.380	0.380	0.380	0.380	3.867	3.867	3.867	3.867
4.0	0.390	0.390	0.390	0.390	3.964	3.964	3.964	3.964
4.1	0.400	0.400	0.400	0.400	4.062	4.062	4.062	4.062
4.2	0.410	0.410	0.410	0.410	4.160	4.160	4.160	4.160
4.3	0.420	0.410	0.420	0.415	4.257	4.257	4.257	4.257
4.4	0.420	0.420	0.420	0.420	4.355	4.355	4.355	4.355
4.5	0.430	0.430	0.430	0.430	4.453	4.453	4.453	4.453
4.6	0.440	0.440	0.440	0.440	4.550	4.550	4.550	4.550
4.7	0.450	0.450	0.450	0.450	4.648	4.648	4.648	4.648
4.8	0.460	0.460	0.460	0.460	4.746	4.746	4.746	4.746
4.9	0.470	0.470	0.470	0.470	4.843	4.843	4.843	4.843
5.0	0.480	0.480	0.480	0.480	4.941	4.941	4.941	4.941

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุท (โวลต์) และ ความดันของก๊าซ (มิลลิบาร์) ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผลการทดลอง

ในโครงงานพิเศษนี้ เราได้ศึกษารูปแบบการทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการไหลเชิงมวล ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของก๊าซและสามารถตรวจวัดอัตราการไหลของก๊าซที่เคลื่อนที่ผ่านท่อของเครื่องควบคุมอัตราการไหลเชิงมวลได้ โดยทำการศึกษารูปแบบการทำงานของส่วนประกอบต่างๆภายในเครื่องควบคุมอัตราการไหลเชิงมวลและลักษณะการทำงานของขาแต่ละขาบนจุดเชื่อมต่อ (Connector) กับเครื่องควบคุมอัตราการไหลเชิงมวล จากนั้นทำการสร้างบอร์ดทดลองเพื่อไว้ใช้ในการควบคุมเครื่องควบคุมอัตราการไหลเชิงมวล แล้วทำการบันทึกผลการทดลองโดยทำการบันทึกเป็นค่า ความดัน (มิลลิบาร์), แรงดันอินพุท (โวลต์), เอาท์พุทโวลเตจ (โวลต์) และ สถานะทดสอบ (โวลต์) แล้วหาความสัมพันธ์ของค่าผลการทดลองเหล่านี้เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปออกแบบสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ไว้ใช้ในการควบคุมเครื่องควบคุมอัตราการไหลเชิงมวล จากนั้นทำการศึกษาและสร้างวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก(D/A Converter) เพื่อใช้ป้อนค่าโวลเตจอินพุทไปยังวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอกไปควบคุมการทำงานของวาล์ว ส่วนการแสดงผลของเอาท์พุทโวลเตจจะแสดงเป็นแบบดิจิตอลซึ่งค่าที่ได้ถูกแปลงมาจากสัญญาณอนาลอกผ่านส่วนของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยเราใช้ภาษาตระกูล C คอมไพเลอร์เป็นตัวโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งหมด จากนั้นเราจะทำการศึกษาและสร้างตัวแสดงผลแบบดิจิตอลซึ่งจะทำหน้าที่แสดงข้อมูลตัวเลขผ่าน 7-Segment เพื่อไว้ใช้ในการแสดงค่าโวลเตจเอาท์พุทของเครื่องควบคุมอัตราการไหลเชิงมวล จากนั้นเราจะทำการทดลองศึกษาใช้งานส่วนควบคุมและส่วนแสดงผลที่เชื่อมต่อกับเครื่องควบคุมอัตราการไหลเพื่อนำค่าที่ได้ไปทำการสอบเทียบว่าค่าที่ได้ตรงตามที่ศึกษาหรือไม่

5.2. แนวทางการพัฒนาต่อไป

แนวทางการพัฒนาในโครงงานพิเศษที่จะนำเสนอเพื่อการพัฒนามีดังต่อไปนี้

1. ปรับปรุงวิธีการกำจัดสัญญาณรบกวนจากสิ่งแวดล้อม เนื่องจากระบบที่ทำการทดลองนั้นง่ายต่อการถูกรบกวนจากสัญญาณนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการปรับปรุงในส่วนของการแสดงผลจาก 7-Segment เป็น LCD เนื่องจาก LCD มีความละเอียดในการแสดงผลและง่ายต่อการใช้งานมากกว่า 7-Segment

3. ทำการพัฒนาเพิ่มในส่วนของฟังก์ชั่นการใช้งานของตัวเครื่องควบคุมอัตราการไหลเช่น ฟังก์ชั่นการแสดงผลของค่าสถานะทดสอบ, พัฒนาเพิ่มในส่วนของฟังก์ชั่นเตือนเวลา (Alarm) เป็นต้น

4. ทำการพัฒนาให้ในส่วนของระบบควบคุมหรือส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้ได้ค่าแรงดันอินพุท (โวลต์) และ ค่าอัตราการไหลมีค่าที่ใกล้เคียงกันหรือเกิดค่าความผิดพลาด (error) ระหว่างค่าทั้งสองให้น้อยลง

5. ทำการสร้าง,ออกแบบในส่วนแสดงผลเพื่อที่จะให้สามารถสังเกตและ ใช้งานได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

วิชิต ศิริโชติ.2544**ไมโครคอนโทรเลอร์**.ภาษา C MCS-51.1. กรุงเทพฯ.บริษัท แอนนาดิจิท กรุ๊ป จำกัด

พจนาฏ สุวรรณมณี.2545.**เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์ เบื้องต้น**.1.กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

Edwards **High Vacuum Internationnal**.1992.Instruction Manual Model 825 Mass flow controller.4-5

Edwards **High Vacuum Internationnal**.1993.Instruction Manual Model 1605 MultiChannel flow controller and digital display.2/1-2/3

Vijoy Gupta ;**Elements of Heat and Mass Transfer**; Department of Aerospace Engineering Indian Institute of Technology Kanpur; Publisher by H.S. Ponlai for New Age International (P) Limited, 4835/24, Anssri Road, Darynganj, New Delpi-110002 ' Printest at Chaman Offset Printers, Suiwilan, Daryganj, New Delpi-110002, India

J.M Coulson; **Chemist Engineering**; Late Emeritu Professor of Chemist Engineering Universal of Newcastle –upon- Tyne; and J.F. Richardson; University of Sweden; with J.R. Backhurst and J.H. Harker; University of Newcastle –upon- Tyne; U.K., Pergamon Press Ltd, Headington Hill Hall, Oxford O*3 OBW, England, Printest in Britain by Wheatons Ltd, Exeter

http://www.tpub.com/content/neets/14187/css/14187_93.htm

http://www.brunel.ac.uk/~emstrsp/mn2007.i2h/mn200036.htm

http://www.elecnet.chandra.ac.th/courses/5584101/ lecture1.ppt

http://psas.pdx.edu/WaxPlumbing/2003test-orifice.pdf

http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/NSC/7815.html

http://www.ee.latrobe.edu.au/internal/workshop/store/pdf/7915.pdf

http://www.ett.co.th/product/06A05.html

http://www.advanced-energy.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

http://www.advanced-energy.de/front_content.php?idcat=49&idart=14&query=fc+770ac&Submit=Go

http://www.advanced-energy.com/products/ProductDetail.asp?PID={D417387A-9A064219-8215-9F42FC1CB5AB}&cat=Cat&subcat=Flow%20Management

http://staff.bath.ac.uk/chsjdmc/Electrochem_web/New%20pages/l2mt.htm

http://www.sut.ac.th/e-texts/Eng/automatic/chapter62.htm

http://www.mcmflow.com/catalog/thermal.htm

http://www.manufacturingcenter.com/dfx/archives/1000/1000mf.asp

http://www.semiconductors.philips.com/acrobat_download/datasheets/PCF8591_6.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CODEโปรแกรมภาษาซีควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F458

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/*****************************************************************************
 * File     :  mass flow controller.c
 * Purpose  :  mass flow controller
 * Author   :  laksanachai seesoorong
 * E-mail   :  ohmyoyoyeh@hotmail.com
 * Release  :  PCW Compiler 3.180
 *****************************************************************************/

#include <18F458.h>           // Standard Header file for the PIC18F458 device
#device  ADC=8
#define  TxD          PIN_C6  // Define Transmitted Data
#define  RxD          PIN_C7  // Define Received Data
#define  CLOCK_SP     10000000 // Clock Speed(Hz)

// Device Specification //

#fuses HS                     // Oscillator
#fuses NOLVP, NOWDT           // No Low Voltage Program, No Watchdog timer
#fuses NOPROTECT              // Code protection
#use delay (clock=CLOCK_SP)   // Use built-in function: delay_ms() & delay_us()
//#use rs232(baud=9600, xmit=TxD,rcv=RxD) // Use serial I/O port (RS232)
#use i2c(Master,Fast,sda=PIN_C4,scl=PIN_C3)

// Device Specification //

#byte port_a=0xf80
#byte port_b=0xf81
#byte port_c=0xf82
#byte port_d=0xf83
#byte tris_a=0xf92
#byte tris_b=0xf93
#byte tris_c=0xf94
#byte tris_d=0xf95
#bit  port_b7=0xf81.7         // use . in input
#use  fast_io(A)              // programming of the direction register.


// Constants //

const int8  num_led[11] =
{0x3F,0x06,0x5b,0x4f,0x66,0x6d,0x7d,0x07,0x7f,0x6f,0xff};
int8 i,j;
int8 c1,c2,c3,c4;
int32 value;
int32 volt;
int8 con;
int8 input;
int8 input2;
int1 is_input;
int8 key_input;

// Main Scan Segment //

void DspLED7Seg()
{
   port_b = ~num_led[c1];
   port_b7 = 0;
   port_d = ~1;
   delay_ms(1);
   port_d = 0xff;

   port_b = ~num_led[c2];
   port_d = ~2;
   delay_ms(1);
   port_d = 0xff;

   port_b = ~num_led[c3];
   port_d = ~4;
   delay_ms(1);
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   port_d = 0xff;

   port_b = ~num_led[c4];
   port_d = ~8;
   delay_ms(1);
   port_d = 0xff;

}

/*****************************************************************************
 * FUNCTION:    Main
 * DESCRIPTION: This is the main entry point for the program.
 * PARAMETERS:  nothing
 * RETURNED:    nothing
 *****************************************************************************/

void main(void)
{
   int16 k;
   setup_psp(PSP_DISABLED);
   setup_port_a(ALL_ANALOG);
   setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
   set_adc_channel(0);

   tris_a=0xff;
   tris_b=0x00;
   tris_d=0xf0;
   con=0;
   input=0;
   input2=0;
   is_input=0; //0=output mode, 1=input mode

// KeyBoard //

   while(TRUE)
   {
      for(k=0;k<100;k++)
      DspLED7Seg();
      key_input=Port_d;
      //key_input>>=4;
      key_input&=0xf0;
      //printf("\r\n%X",key_input);
      switch(key_input)
      {
      case 0xe0:      //printf("up");
         if((is_input==1) && (input2<50))
            input2=input2+1;
//             con=con+5;
         break;
      case 0xd0:      //printf("down");
         if((is_input==1) && (input2>0))
            input2=input2-1;
//             con=con-5;
         break;
      case 0xb0:      //printf("zero");
         if(is_input==1){
            if(con){
               input2=0;
               input=0;
               //con=0;
            }else{
               input2=50;
               input=50;
               //con=250;
            }
         }
         break;
      case 0x70:      //printf("mode");
         if(is_input==0){
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            input2=input;
            is_input=1;
         }
         else{
            if (input2==0)
               con=0;
            if (input2==50)
               con=250;
            if (input2 > input)
               con=con+((input2-input)*5);
            if (input > input2)
               con=con-((input-input2)*5);

            input=input2;
            is_input=0;
         }
      }
      //printf("\n\rADC = %lu Voltage = %lu",Value,volt);
               if(is_input==0){
         value = Read_ADC();
         volt = Value * 5000 / 256 ;
                        c1=volt/1000;
                        c2=(volt%1000)/100;
                        c3=(volt%100)/10;
                        c4=(volt%10)/1;
               }
               else{
         c1=(input2/10)%10;
         if(c1==5)
            c2=0;
         else
                        c2=input2%10;
         c3=11;
         c4=11;
               }


// i2c //
      i2c_start();         // Start condition
      i2c_write(0x92);     // Device address
      i2c_write(0x40);     // Low byte of command
      i2c_write(con+5);      // High byte of command
      i2c_stop();          // Stop condition
      //delay_ms(500);
   }
}
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Datasheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

February 1995

LM78XX Series Voltage Regulators

General Description

The LM78XX series of three terminal regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. One of these is local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow these regulators to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment. Although designed primarily as fixed voltage regulators these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

The LM78XX series is available in an aluminum TO-3 package which will allow over 1.0A load current if adequate heat sinking is provided. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistor is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

Considerable effort was expanded to make the LM78XX series of regulators easy to use and mininize the number of external components. It is not necessary to bypass the output, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

For output voltage other than 5V, 12V and 15V the LM117 series provides an output voltage range from 1.2V to 57V.

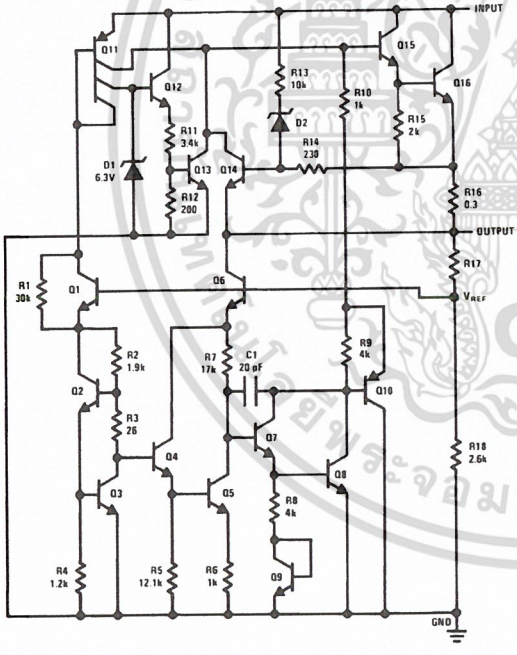
Features

- Output current in excess of 1A
- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in the aluminum TO-3 package

Voltage Range

LM7805C	5V
LM7812C	12V
LM7815C	15V

Schematic and Connection Diagrams



TL/H/7746–1

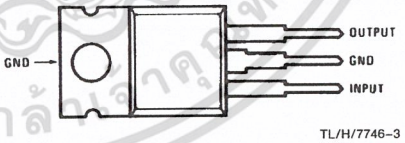
Metal Can Package
TO-3 (K)
Aluminum

TL/H/7746–2

Bottom View

Order Number LM7805CK, LM7812CK or LM7815CK
See NS Package Number KC02A

Plastic Package
TO-220 (T)



TL/H/7746–3

Top View

Order Number LM7805CT, LM7812CT or LM7815CT
See NS Package Number T03B

©1995 National Semiconductor Corporation TL/H/7746

RRD-B30M115/Printed in U. S. A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

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

Input Voltage (V_O = 5V, 12V and 15V)	35V
Internal Power Dissipation (Note 1)	Internally Limited
Operating Temperature Range (T_A)	0°C to +70°C
Maximum Junction Temperature	
(K Package)	150°C
(T Package)	150°C
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	
TO-3 Package K	300°C
TO-220 Package T	230°C

Electrical Characteristics LM78XXC (Note 2) 0°C ≤ Tj ≤ 125°C unless otherwise noted.

Output Voltage				5V			12V			15V			Units
Input Voltage (unless otherwise noted)				10V			19V			23V			
Symbol	Parameter	Conditions		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V_O	Output Voltage	Tj = 25°C, 5 mA ≤ I_O ≤ 1A		4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6	V
		P_D ≤ 15W, 5 mA ≤ I_O ≤ 1A		4.75		5.25	11.4		12.6	14.25		15.75	V
		V_{MIN} ≤ V_{IN} ≤ V_{MAX}		(7.5 ≤ V_{IN} ≤ 20)			(14.5 ≤ V_{IN} ≤ 27)			(17.5 ≤ V_{IN} ≤ 30)			V
ΔV_O	Line Regulation	I_O = 500 mA	Tj = 25°C		3	50		4	120		4	150	mV
			ΔV_{IN}	(7 ≤ V_{IN} ≤ 25)			14.5 ≤ V_{IN} ≤ 30)			(17.5 ≤ V_{IN} ≤ 30)			V
			0°C ≤ Tj ≤ +125°C			50			120			150	mV
			ΔV_{IN}	(8 ≤ V_{IN} ≤ 20)			(15 ≤ V_{IN} ≤ 27)			(18.5 ≤ V_{IN} ≤ 30)			V
		I_O ≤ 1A	Tj = 25°C			50			120			150	mV
			ΔV_{IN}	(7.5 ≤ V_{IN} ≤ 20)			(14.6 ≤ V_{IN} ≤ 27)			(17.7 ≤ V_{IN} ≤ 30)			V
			0°C ≤ Tj ≤ +125°C			25			60			75	mV
			ΔV_{IN}	(8 ≤ V_{IN} ≤ 12)			(16 ≤ V_{IN} ≤ 22)			(20 ≤ V_{IN} ≤ 26)			V
ΔV_O	Load Regulation	Tj = 25°C	5 mA ≤ I_O ≤ 1.5A		10	50		12	120		12	150	mV
			250 mA ≤ I_O ≤ 750 mA			25			60			75	mV
		5 mA ≤ I_O ≤ 1A, 0°C ≤ Tj ≤ +125°C				50			120			150	mV
I_Q	Quiescent Current	I_O ≤ 1A	Tj = 25°C			8			8			8	mA
			0°C ≤ Tj ≤ +125°C			8.5			8.5			8.5	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	5 mA ≤ I_O ≤ 1A				0.5			0.5			0.5	mA
		Tj = 25°C, I_O ≤ 1A				1.0			1.0			1.0	mA
		V_{MIN} ≤ V_{IN} ≤ V_{MAX}		(7.5 ≤ V_{IN} ≤ 20)			(14.8 ≤ V_{IN} ≤ 27)			(17.9 ≤ V_{IN} ≤ 30)			V
		I_O ≤ 500 mA, 0°C ≤ Tj ≤ +125°C				1.0			1.0			1.0	mA
		V_{MIN} ≤ V_{IN} ≤ V_{MAX}		(7 ≤ V_{IN} ≤ 25)			(14.5 ≤ V_{IN} ≤ 30)			(17.5 ≤ V_{IN} ≤ 30)			V
V_N	Output Noise Voltage	T_A = 25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz			40			75			90		μV
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection	f = 120 Hz { I_O ≤ 1A, Tj = 25°C or		62	80		55	72		54	70		dB
		{ I_O ≤ 500 mA		62			55			54			dB
		{ 0°C ≤ Tj ≤ +125°C											
		V_{MIN} ≤ V_{IN} ≤ V_{MAX}		(8 ≤ V_{IN} ≤ 18)			(15 ≤ V_{IN} ≤ 25)			(18.5 ≤ V_{IN} ≤ 28.5)			V
R_O	Dropout Voltage	Tj = 25°C, I_{OUT} = 1A			2.0			2.0			2.0		V
	Output Resistance	f = 1 kHz			8			18			19		mΩ
	Short-Circuit Current	Tj = 25°C			2.1			1.5			1.2		A
	Peak Output Current	Tj = 25°C			2.4			2.4			2.4		A
	Average TC of V_{OUT}	0°C ≤ Tj ≤ +125°C, I_O = 5 mA			0.6			1.5			1.8		mV/°C
V_{IN}	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	Tj = 25°C, I_O ≤ 1A			7.5		14.6			17.7			V

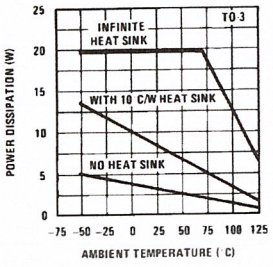
Note 1: Thermal resistance of the TO-3 package (K, KC) is typically 4°C/W junction to case and 35°C/W case to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package (T) is typically 4°C/W junction to case and 50°C/W case to ambient.

Note 2: All characteristics are measured with capacitor across the input of 0.22 μF, and a capacitor across the output of 0.1μF. All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques (t_w ≤ 10 ms, duty cycle ≤ 5%). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

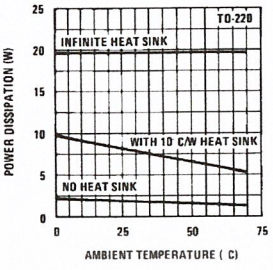
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

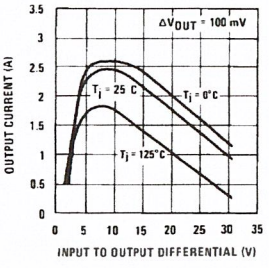
Maximum Average Power Dissipation



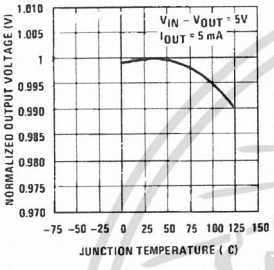
Maximum Average Power Dissipation



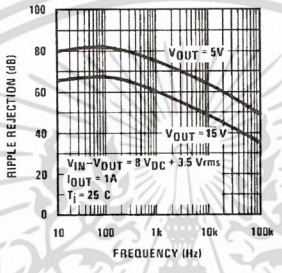
Peak Output Current



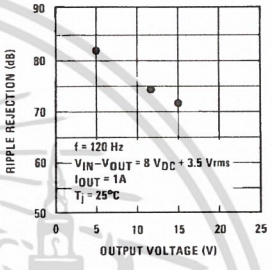
Output Voltage (Normalized to 1V at Tj = 25°C)



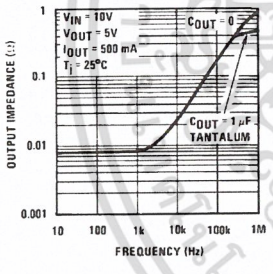
Ripple Rejection



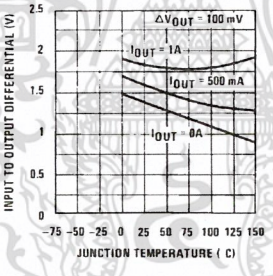
Ripple Rejection



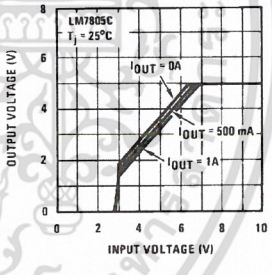
Output Impedance



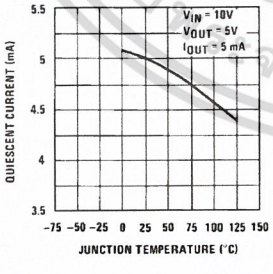
Dropout Voltage



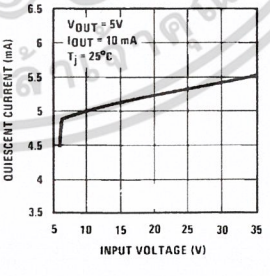
Dropout Characteristics



Quiescent Current



Quiescent Current

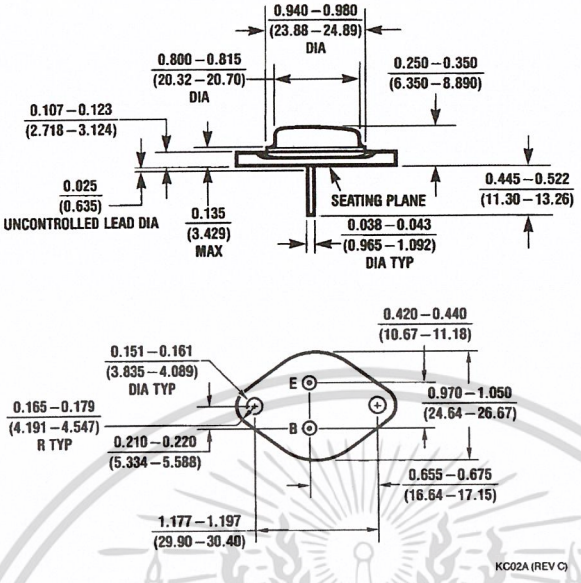


TL/H/7746–4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

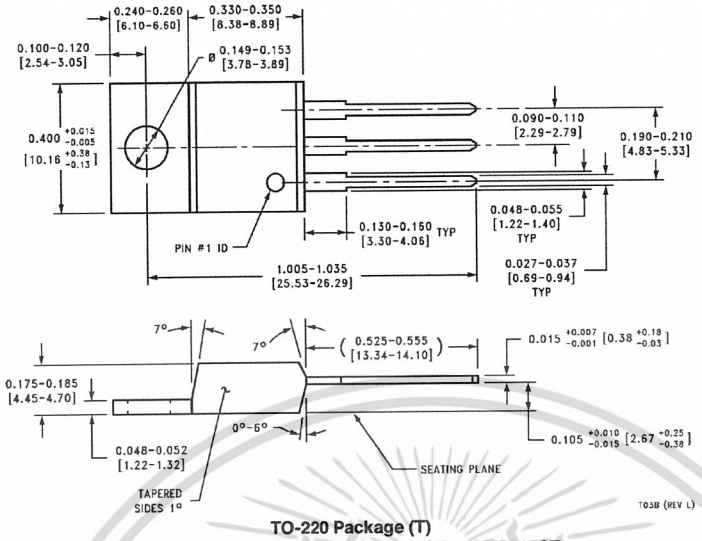
Physical Dimensions inches (millimeters)



Aluminum Metal Can Package (KC)
Order Number LM7805CK, LM7812CK or LM7815CK
NS Package Number KC02A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



TO-220 Package (T)
Order Number LM7805CT, LM7812CT or LM7815CT
NS Package Number T03B

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 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
1111 West Bardin Road
Arlington, TX 76017
Tel: 1(800) 272-9959
Fax: 1(800) 737-7018

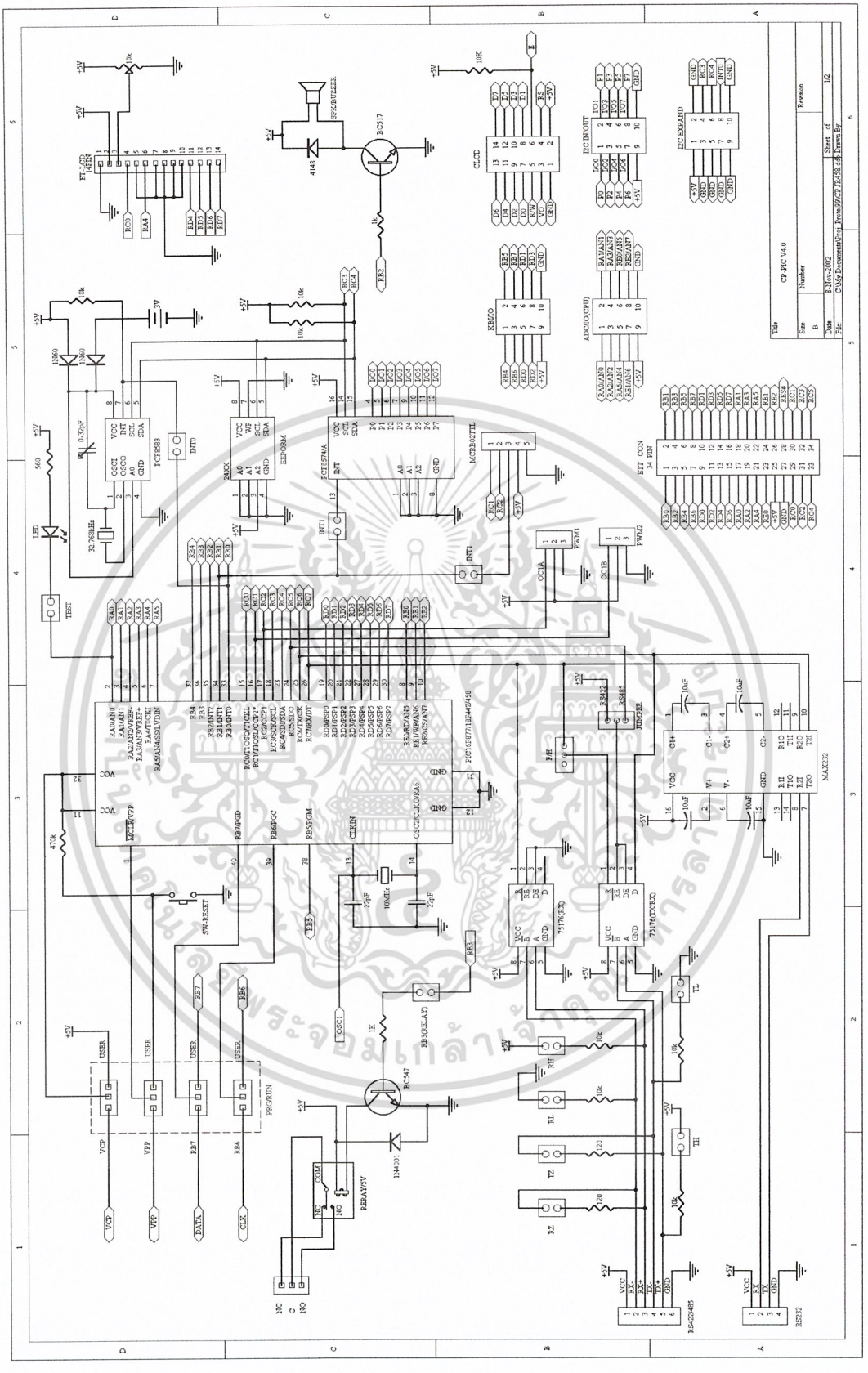
National Semiconductor Europe
Fax: (+49) 0-180-530 85 86
Email: cnjwge@tevm2.nsc.com
Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85
English Tel: (+49) 0-180-532 78 32
Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58
Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
13th Floor, Straight Block,
Ocean Centre, 5 Canton Rd.
Tsimshatsui, Kowloon
Hong Kong
Tel: (852) 2737-1600
Fax: (852) 2736-9960

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-043-299-2309
Fax: 81-043-299-2408

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 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป แสดงวงจรของบอร์ด CP-PIC V4.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA SHEET

PCF8591
8-bit A/D and D/A converter

Product specification
Supersedes data of 2001 Dec 13

2003 Jan 27

Philips
Semiconductors

PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTENTS

1 FEATURES
2 APPLICATIONS
3 GENERAL DESCRIPTION
4 ORDERING INFORMATION
5 BLOCK DIAGRAM
6 PINNING
7 FUNCTIONAL DESCRIPTION
7.1 Addressing
7.2 Control byte
7.3 D/A conversion
7.4 A/D conversion
7.5 Reference voltage
7.6 Oscillator
8 CHARACTERISTICS OF THE I²C-BUS
8.1 Bit transfer
8.2 Start and stop conditions
8.3 System configuration
8.4 Acknowledge
8.5 I²C-bus protocol
9 LIMITING VALUES
10 HANDLING
11 DC CHARACTERISTICS
12 D/A CHARACTERISTICS
13 A/D CHARACTERISTICS
14 AC CHARACTERISTICS
15 APPLICATION INFORMATION
16 PACKAGE OUTLINES
17 SOLDERING
17.1 Introduction to soldering through-hole mount packages
17.2 Soldering by dipping or by solder wave
17.3 Manual soldering
17.4 Suitability of through-hole mount IC packages for dipping and wave soldering methods
18 DATA SHEET STATUS
19 DEFINITIONS
20 DISCLAIMERS
21 PURCHASE OF PHILIPS I²C COMPONENTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-bit A/D and D/A converter PCF8591

1 FEATURES

- Single power supply
- Operating supply voltage 2.5 V to 6 V
- Low standby current
- Serial input/output via I^2C-bus
- Address by 3 hardware address pins
- Sampling rate given by I^2C-bus speed
- 4 analog inputs programmable as single-ended or differential inputs
- Auto-incremented channel selection
- Analog voltage range from V_{SS} to V_{DD}
- On-chip track and hold circuit
- 8-bit successive approximation A/D conversion
- Multiplying DAC with one analog output.

2 APPLICATIONS

- Closed loop control systems
- Low power converter for remote data acquisition
- Battery operated equipment
- Acquisition of analog values in automotive, audio and TV applications.

3 GENERAL DESCRIPTION

The PCF8591 is a single-chip, single-supply low power 8-bit CMOS data acquisition device with four analog inputs, one analog output and a serial I^2C-bus interface. Three address pins A0, A1 and A2 are used for programming the hardware address, allowing the use of up to eight devices connected to the I^2C-bus without additional hardware. Address, control and data to and from the device are transferred serially via the two-line bidirectional I^2C-bus.

The functions of the device include analog input multiplexing, on-chip track and hold function, 8-bit analog-to-digital conversion and an 8-bit digital-to-analog conversion. The maximum conversion rate is given by the maximum speed of the I^2C-bus.

4 ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
PCF8591P	DIP16	plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil)	SOT38-4
PCF8591T	SO16	plastic small outline package; 16 leads; body width 7.5 mm	SOT162-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 BLOCK DIAGRAM

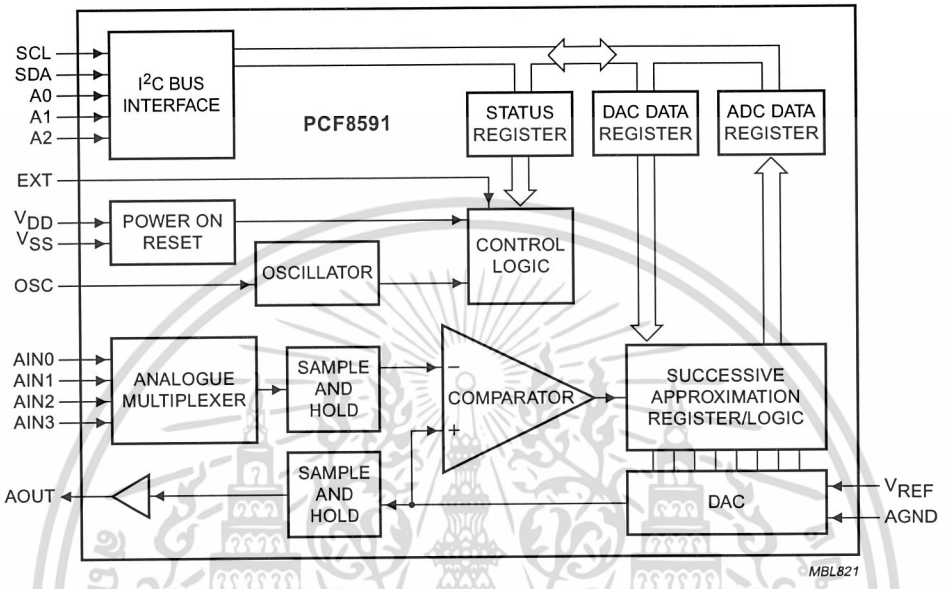


Fig.1 Block diagram.

6 PINNING

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
AINO	1	analog inputs (A/D converter)
AIN1	2	
AIN2	3	
AIN3	4	
A0	5	hardware address
A1	6	
A2	7	
V_{SS}	8	negative supply voltage
SDA	9	I²C-bus data input/output
SCL	10	I²C-bus clock input
OSC	11	oscillator input/output
EXT	12	external/internal switch for oscillator input
AGND	13	analog ground
V_{REF}	14	voltage reference input
AOUT	15	analog output (D/A converter)
V_{DD}	16	positive supply voltage

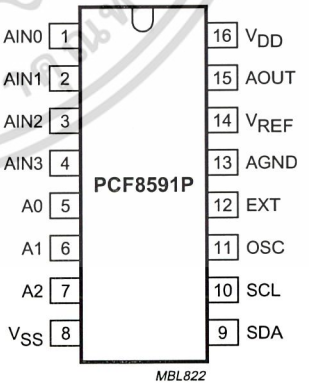


Fig.2 Pinning diagram (DIP16).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

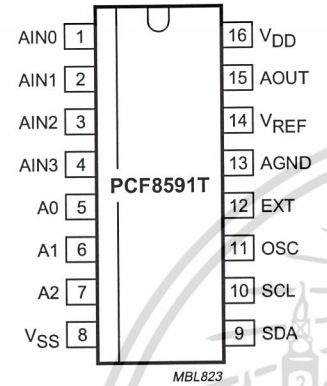


Fig.3 Pinning diagram (SO16).

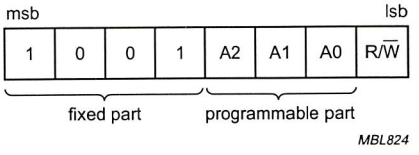


Fig.4 Address byte.

7 FUNCTIONAL DESCRIPTION

7.1 Addressing

Each PCF8591 device in an I²C-bus system is activated by sending a valid address to the device. The address consists of a fixed part and a programmable part. The programmable part must be set according to the address pins A0, A1 and A2. The address always has to be sent as the first byte after the start condition in the I²C-bus protocol. The last bit of the address byte is the read/write-bit which sets the direction of the following data transfer (see Figs 4, 16 and 17).

7.2 Control byte

The second byte sent to a PCF8591 device will be stored in its control register and is required to control the device function. The upper nibble of the control register is used for enabling the analog output, and for programming the analog inputs as single-ended or differential inputs. The lower nibble selects one of the analog input channels defined by the upper nibble (see Fig.5). If the auto-increment flag is set, the channel number is incremented automatically after each A/D conversion.

If the auto-increment mode is desired in applications where the internal oscillator is used, the analog output enable flag in the control byte (bit 6) should be set. This allows the internal oscillator to run continuously, thereby preventing conversion errors resulting from oscillator start-up delay. The analog output enable flag may be reset at other times to reduce quiescent power consumption.

The selection of a non-existing input channel results in the highest available channel number being allocated. Therefore, if the auto-increment flag is set, the next selected channel will be always channel 0. The most significant bits of both nibbles are reserved for future functions and have to be set to logic 0. After a Power-on reset condition all bits of the control register are reset to logic 0. The D/A converter and the oscillator are disabled for power saving. The analog output is switched to a high-impedance state.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

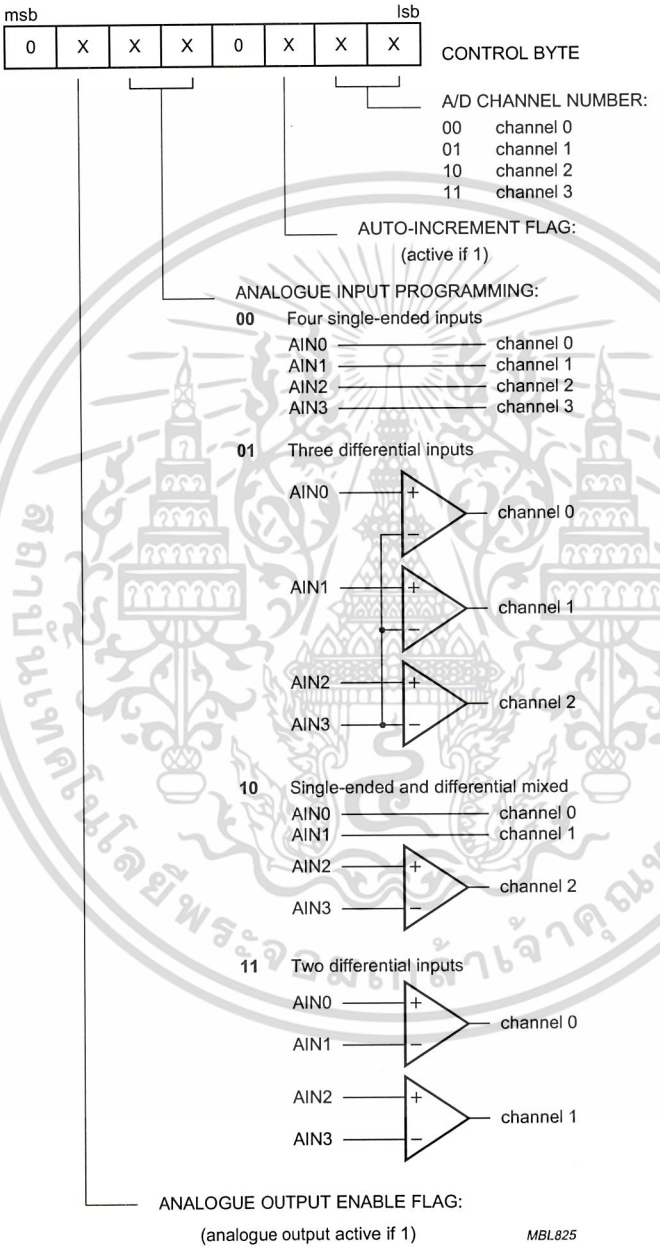


Fig.5 Control byte.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 D/A conversion

The third byte sent to a PCF8591 device is stored in the DAC data register and is converted to the corresponding analog voltage using the on-chip D/A converter. This D/A converter consists of a resistor divider chain connected to the external reference voltage with 256 taps and selection switches. The tap-decoder switches one of these taps to the DAC output line (see Fig.6).

The analog output voltage is buffered by an auto-zeroed unity gain amplifier. This buffer amplifier may be switched on or off by setting the analog output enable flag of the control register. In the active state the output voltage is held until a further data byte is sent.

The on-chip D/A converter is also used for successive approximation A/D conversion. In order to release the DAC for an A/D conversion cycle the unity gain amplifier is equipped with a track and hold circuit. This circuit holds the output voltage while executing the A/D conversion.

The output voltage supplied to the analog output AOUT is given by the formula shown in Fig.7. The waveforms of a D/A conversion sequence are shown in Fig.8.

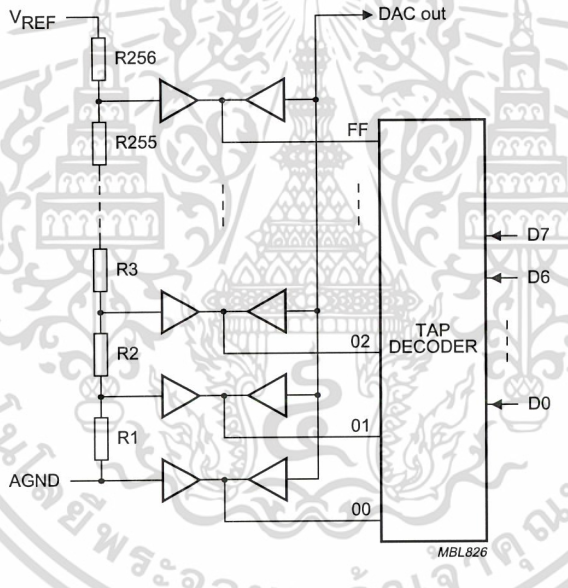


Fig.6 DAC resistor divider chain.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

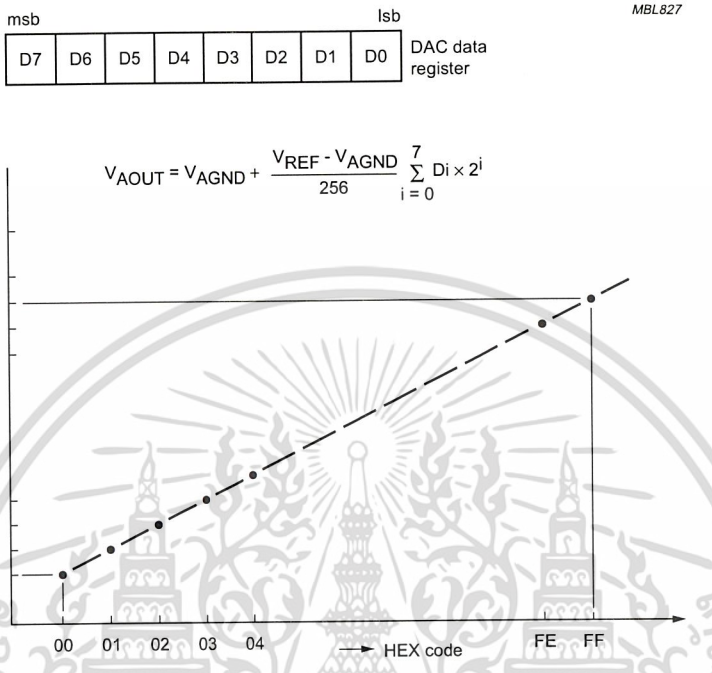


Fig.7 DAC data and DC conversion characteristics.

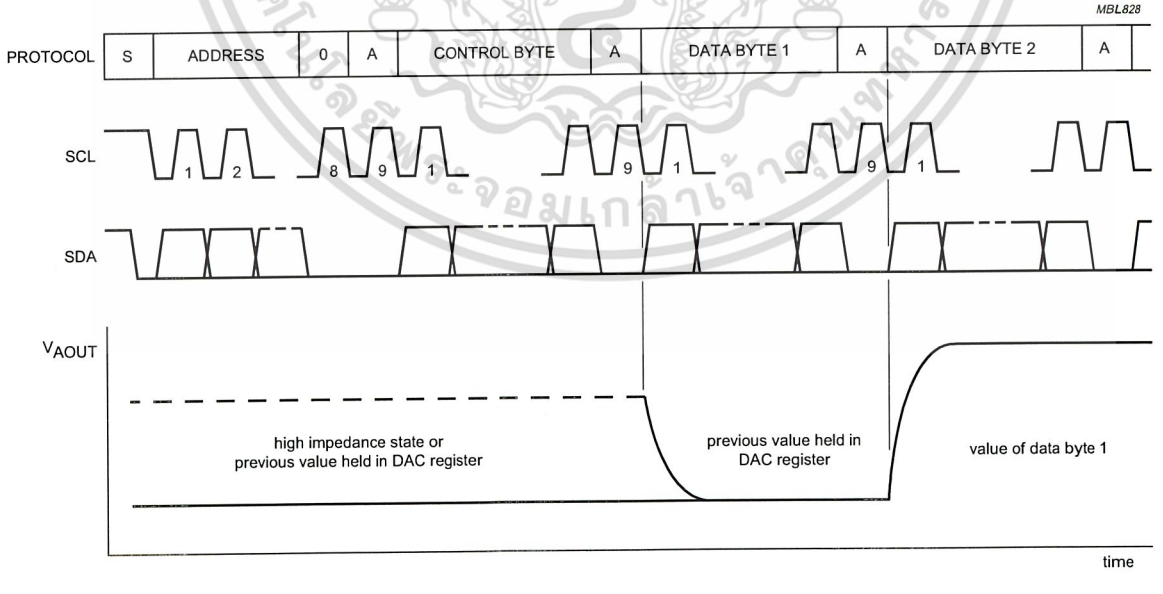


Fig.8 D/A conversion sequence.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 A/D conversion

The A/D converter makes use of the successive approximation conversion technique. The on-chip D/A converter and a high-gain comparator are used temporarily during an A/D conversion cycle.

An A/D conversion cycle is always started after sending a valid read mode address to a PCF8591 device. The A/D conversion cycle is triggered at the trailing edge of the acknowledge clock pulse and is executed while transmitting the result of the previous conversion (see Fig.9).

Once a conversion cycle is triggered an input voltage sample of the selected channel is stored on the chip and is converted to the corresponding 8-bit binary code. Samples picked up from differential inputs are converted to an 8-bit twos complement code (see Figs 10 and 11).

The conversion result is stored in the ADC data register and awaits transmission. If the auto-increment flag is set the next channel is selected.

The first byte transmitted in a read cycle contains the conversion result code of the previous read cycle. After a Power-on reset condition the first byte read is a hexadecimal 80. The protocol of an I^2C-bus read cycle is shown in Chapter 8, Figs 16 and 17.

The maximum A/D conversion rate is given by the actual speed of the I^2C-bus.

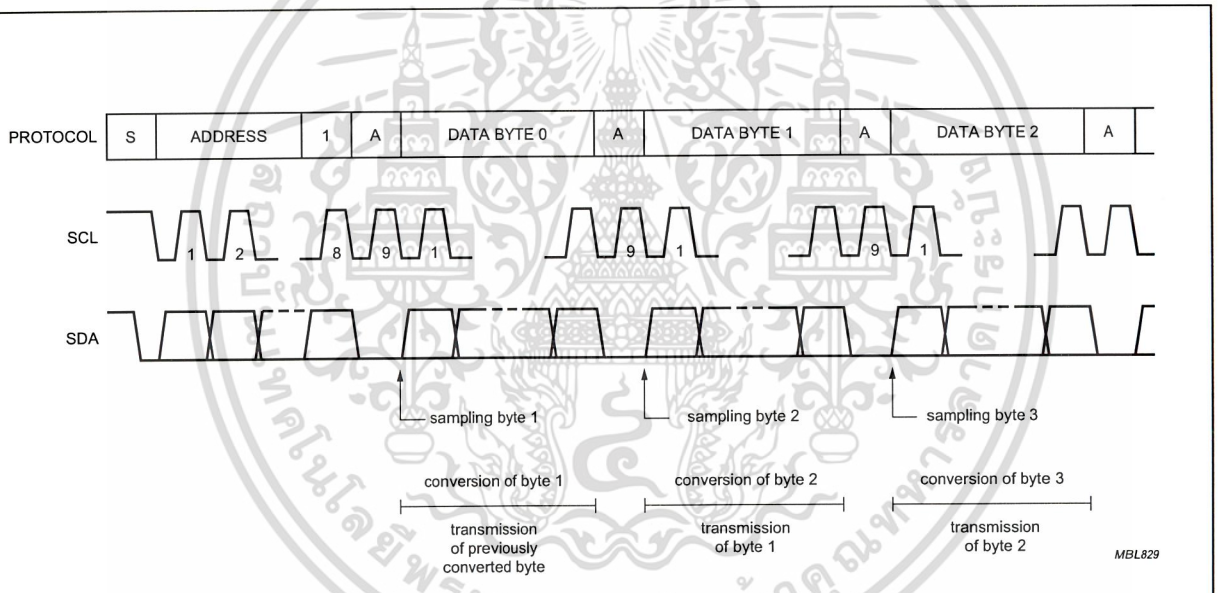


Fig.9 A/D conversion sequence.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

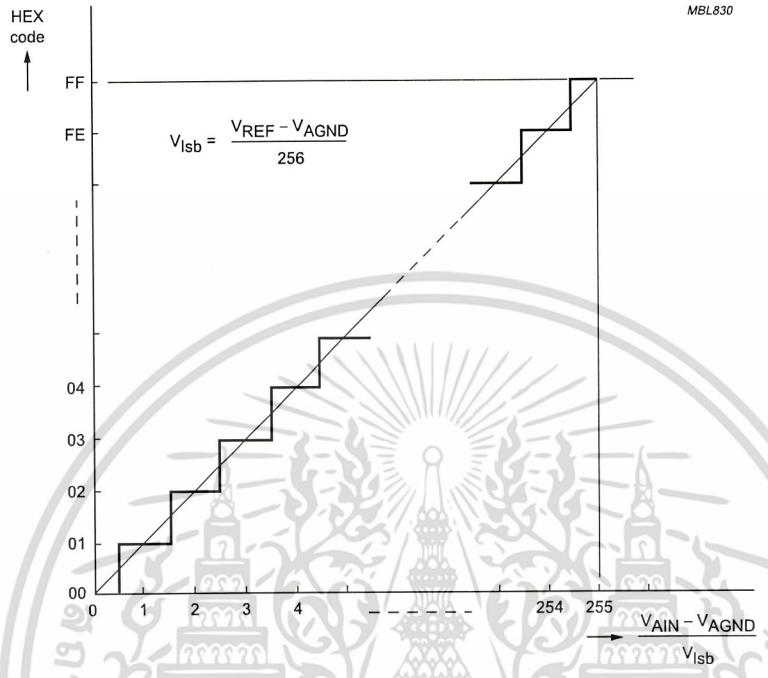


Fig.10 A/D conversion characteristics of single-ended inputs.

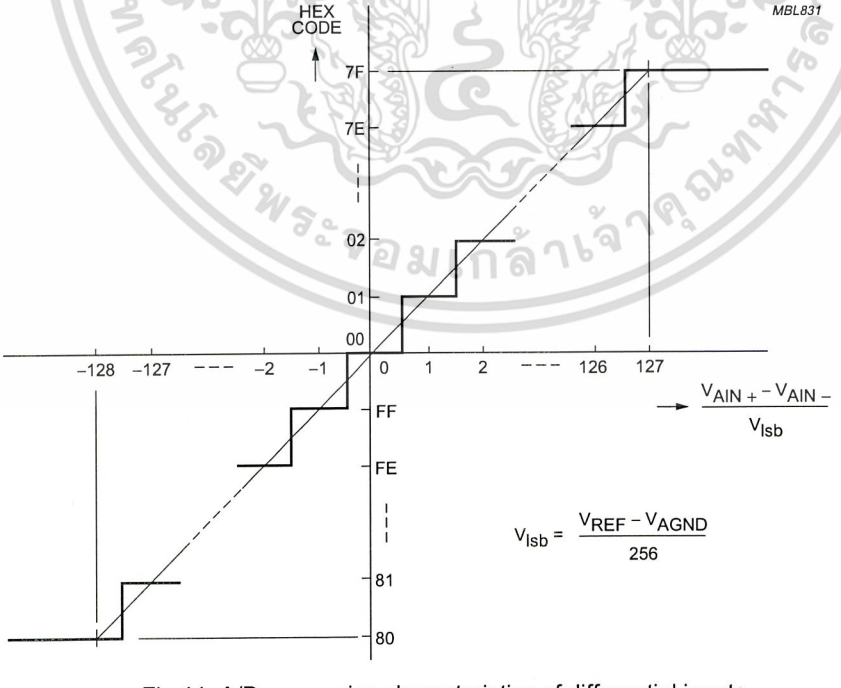


Fig.11 A/D conversion characteristics of differential inputs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.5 Reference voltage

For the D/A and A/D conversion either a stable external voltage reference or the supply voltage has to be applied to the resistor divider chain (pins V_{REF} and AGND). The AGND pin has to be connected to the system analog ground and may have a DC off-set with reference to V_{SS}.

A low frequency may be applied to the V_{REF} and AGND pins. This allows the use of the D/A converter as a one-quadrant multiplier; see Chapter 15 and Fig.7.

The A/D converter may also be used as a one or two quadrant analog divider. The analog input voltage is divided by the reference voltage. The result is converted to a binary code. In this application the user has to keep the reference voltage stable during the conversion cycle.

7.6 Oscillator

An on-chip oscillator generates the clock signal required for the A/D conversion cycle and for refreshing the auto-zeroed buffer amplifier. When using this oscillator the EXT pin has to be connected to V_{SS}. At the OSC pin the oscillator frequency is available.

If the EXT pin is connected to V_{DD} the oscillator output OSC is switched to a high-impedance state allowing the user to feed an external clock signal to OSC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8 CHARACTERISTICS OF THE I²C-BUS

The I²C-bus is for bidirectional, two-line communication between different ICs or modules. The two lines are a serial data line (SDA) and a serial clock line (SCL). Both lines must be connected to a positive supply via a pull-up resistor. Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.

8.1 Bit transfer

One data bit is transferred during each clock pulse. The data on the SDA line must remain stable during the HIGH period of the clock pulse as changes in the data line at this time will be interpreted as a control signal.

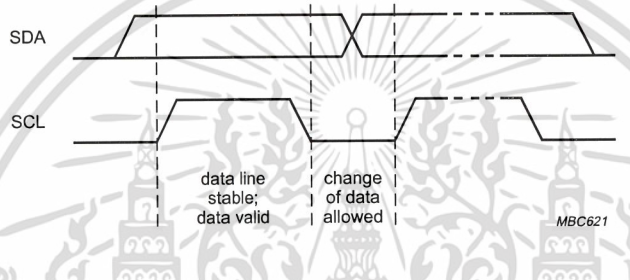


Fig.12 Bit transfer.

8.2 Start and stop conditions

Both data and clock lines remain HIGH when the bus is not busy. A HIGH-to-LOW transition of the data line, while the clock is HIGH, is defined as the start condition (S). A LOW-to-HIGH transition of the data line while the clock is HIGH, is defined as the stop condition (P).

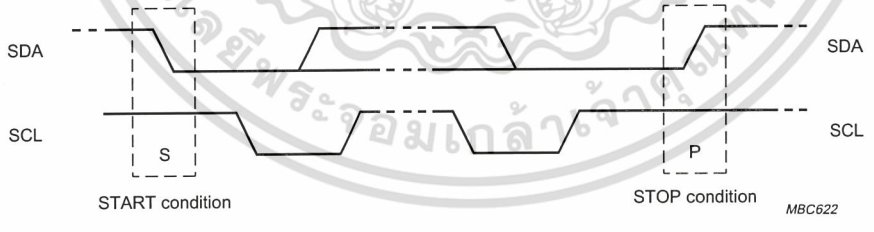


Fig.13 Definition of START and STOP condition.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3 System configuration

A device generating a message is a 'transmitter', a device receiving a message is the 'receiver'. The device that controls the message is the 'master' and the devices which are controlled by the master are the 'slaves'.

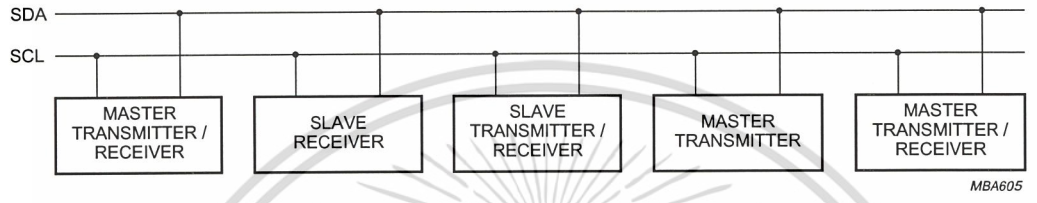


Fig.14 System configuration.

8.4 Acknowledge

The number of data bytes transferred between the start and stop conditions from transmitter to receiver is not limited. Each data byte of eight bits is followed by one acknowledge bit. The acknowledge bit is a HIGH level put on the bus by the transmitter whereas the master also generates an extra acknowledge related clock pulse. A slave receiver which is addressed must generate an acknowledge after the reception of each byte. Also a master must generate an acknowledge after the reception of each byte that has been clocked out of the slave transmitter. The device that acknowledges has to pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse, so that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse. A master receiver must signal an end of data to the transmitter by **not** generating an acknowledge on the last byte that has been clocked out of the slave. In this event the transmitter must leave the data line HIGH to enable the master to generate a stop condition.

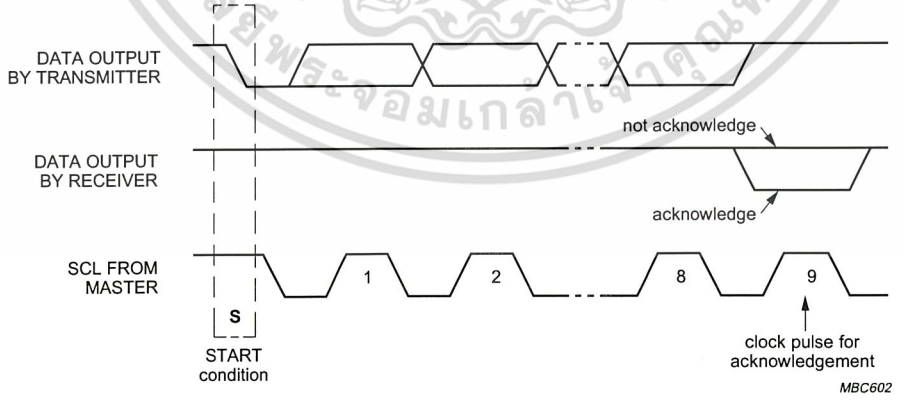


Fig.15 Acknowledgement on the I^2C-bus.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.5 I²C-bus protocol

After a start condition a valid hardware address has to be sent to a PCF8591 device. The read/write bit defines the direction of the following single or multiple byte data transfer. For the format and the timing of the start condition (S), the stop condition (P) and the acknowledge bit (A) refer to the I²C-bus characteristics. In the write mode a data transfer is terminated by sending either a stop condition or the start condition of the next data transfer.

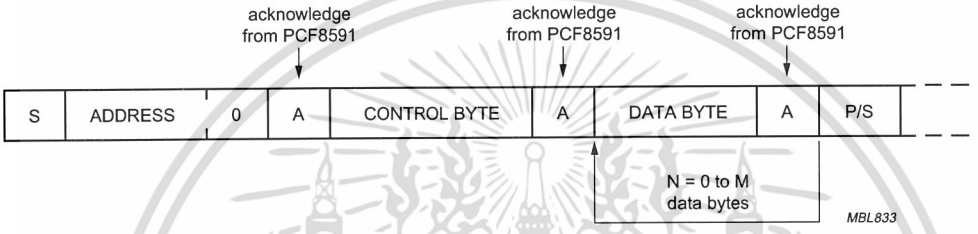


Fig.16 Bus protocol for write mode, D/A conversion.

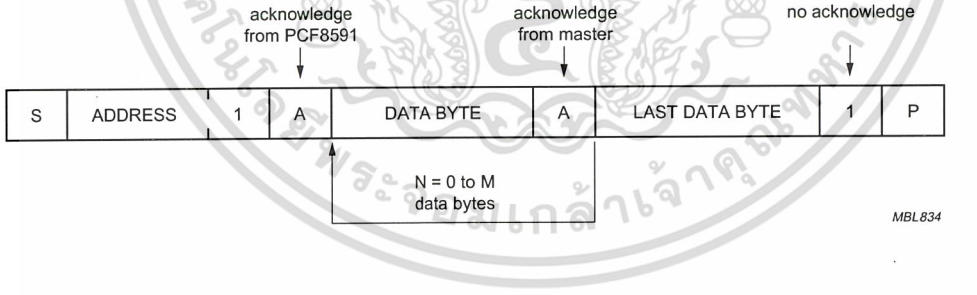


Fig.17 Bus protocol for read mode, A/D conversion.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9 LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134).

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	MAX.	UNIT
V_{DD}	supply voltage (pin 16)	−0.5	+8.0	V
V_I	input voltage (any input)	−0.5	V_{DD} + 0.5	V
I_I	DC input current	–	±10	mA
I_O	DC output current	–	±20	mA
I_{DD}, I_{SS}	V_{DD} or V_{SS} current	–	±50	mA
P_{tot}	total power dissipation per package	–	300	mW
P_O	power dissipation per output	–	100	mW
T_{amb}	operating ambient temperature	−40	+85	°C
T_{stg}	storage temperature	−65	+150	°C

10 HANDLING

Inputs and outputs are protected against electrostatic discharge in normal handling. However it is good practice to take normal precautions appropriate to handling MOS devices (see *"Handling MOS devices"*).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11 DC CHARACTERISTICS

V_{DD} = 2.5 V to 6 V; V_{SS} = 0 V; T_{amb} = –40 °C to +85 °C unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Supply						
V_{DD}	supply voltage (operating)		2.5	–	6.0	V
I_{DD}	supply current					
	standby	$V_I = V_{SS}$ or V_{DD}; no load	–	1	15	µA
	operating, AOUT off	f_{SCL} = 100 kHz	–	125	250	µA
	operating, AOUT active	f_{SCL} = 100 kHz	–	0.45	1.0	mA
V_{POR}	Power-on reset level	note 1	0.8	–	2.0	V
Digital inputs/output: SCL, SDA, A0, A1, A2						
V_{IL}	LOW level input voltage		0	–	$0.3 \times V_{DD}$	V
V_{IH}	HIGH level input voltage		$0.7 \times V_{DD}$	–	V_{DD}	V
I_L	leakage current					
	A0, A1, A2	$V_I = V_{SS}$ to V_{DD}	–250	–	+250	nA
	SCL, SDA	$V_I = V_{SS}$ to V_{DD}	–1	–	+1	µA
C_i	input capacitance		–	–	5	pF
I_{OL}	LOW level SDA output current	V_{OL} = 0.4 V	3.0	–	–	mA
Reference voltage inputs						
V_{REF}	reference voltage	$V_{REF} > V_{AGND}$; note 2	V_{SS} + 1.6	–	V_{DD}	V
V_{AGND}	analog ground voltage	$V_{REF} > V_{AGND}$; note 2	V_{SS}	–	V_{DD} – 0.8	V
I_{LI}	input leakage current		–250	–	+250	nA
R_{REF}	input resistance	pins V_{REF} and AGND	–	100	–	kΩ
Oscillator: OSC, EXT						
I_{LI}	input leakage current		–	–	250	nA
f_{OSC}	oscillator frequency		0.75	–	1.25	MHz

Notes

1. The power on reset circuit resets the I^2C-bus logic when V_{DD} is less than V_{POR}.
2. A further extension of the range is possible, if the following conditions are fulfilled:

$$\frac{V_{REF} + V_{AGND}}{2} \geq 0.8V, V_{DD} - \frac{V_{REF} + V_{AGND}}{2} \geq 0.4V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12 D/A CHARACTERISTICS

V_{DD} = 5.0 V; V_{SS} = 0 V; V_{REF} = 5.0 V; V_{AGND} = 0 V; R_L = 10 kΩ; C_L = 100 pF; T_{amb} = –40 °C to +85 °C unless otherwise specified.

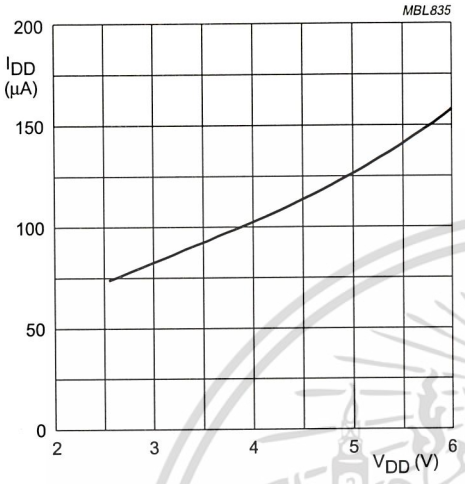
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Analog output						
V_{OA}	output voltage	no resistive load	V_{SS}	–	V_{DD}	V
		R_L = 10 kΩ	V_{SS}	–	0.9 × V_{DD}	V
I_{LO}	output leakage current	AOUT disabled	–	–	250	nA
Accuracy						
OS_e	offset error	T_{amb} = 25 °C	–	–	50	mV
L_e	linearity error		–	–	±1.5	LSB
G_e	gain error	no resistive load	–	–	1	%
t_{DAC}	settling time	to ½ LSB full scale step	–	–	90	µs
f_{DAC}	conversion rate		–	–	11.1	kHz
SNRR	supply noise rejection ratio	f = 100 Hz; V_{DDN} = 0.1 × V_{PP}	–	40	–	dB

13 A/D CHARACTERISTICS

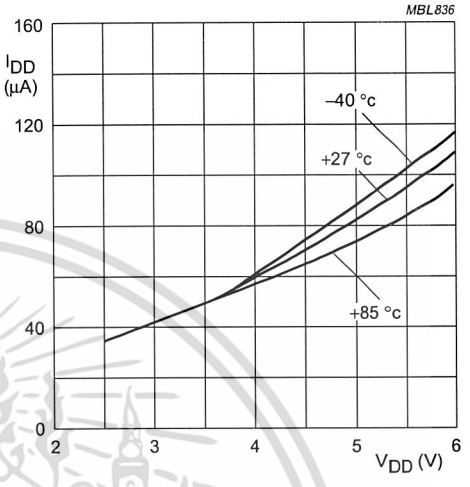
V_{DD} = 5.0 V; V_{SS} = 0 V; V_{REF} = 5.0 V; V_{AGND} = 0 V; R_S = 10 kΩ; T_{amb} = –40 °C to +85 °C unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Analog inputs						
V_{IA}	analog input voltage		V_{SS}	–	V_{DD}	V
I_{LIA}	analog input leakage current		–	–	100	nA
C_{IA}	analog input capacitance		–	10	–	pF
C_{ID}	differential input capacitance		–	10	–	pF
V_{IS}	single-ended voltage	measuring range	V_{AGND}	–	V_{REF}	V
V_{ID}	differential voltage	measuring range; V_{FS} = V_{REF} – V_{AGND}	$\frac{-V_{FS}}{2}$	–	$\frac{+V_{FS}}{2}$	V
Accuracy						
OS_e	offset error	T_{amb} = 25 °C	–	–	20	mV
L_e	linearity error		–	–	±1.5	LSB
G_e	gain error		–	–	1	%
GS_e	small-signal gain error	ΔV_i = 16 LSB	–	–	5	%
CMRR	common-mode rejection ratio		–	60	–	dB
SNRR	supply noise rejection ratio	f = 100 Hz; V_{DDN} = 0.1 × V_{PP}	–	40	–	dB
t_{ADC}	conversion time		–	–	90	µs
f_{ADC}	sampling/conversion rate		–	–	11.1	kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

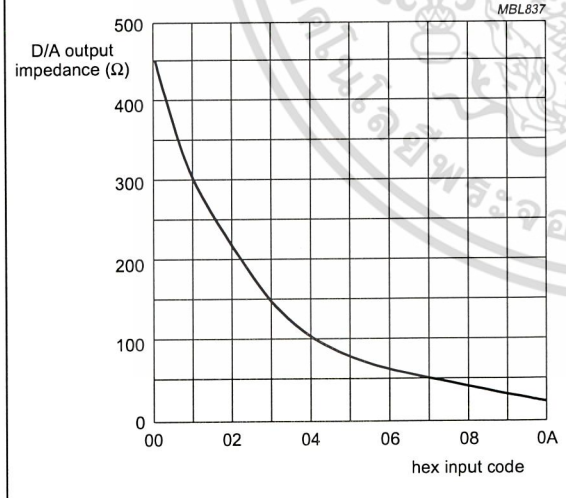


a. Internal oscillator; T_{amb} = +27° C.

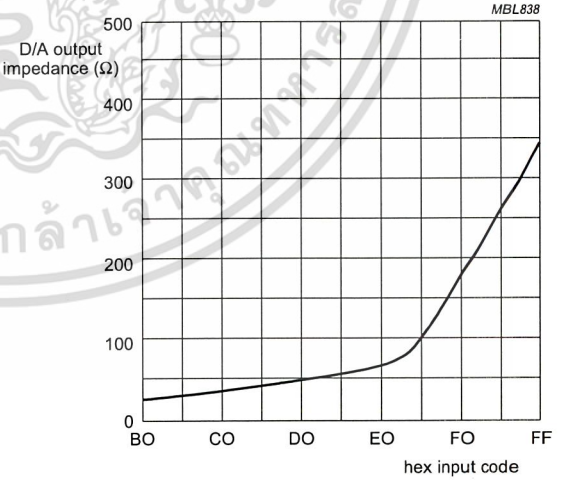


b. External oscillator.

Fig.18 Operating supply current as a function of supply voltage (analog output disabled).



a. Output impedance near negative power rail; T_{amb} = +27 °C.



b. Output impedance near positive power rail; T_{amb} = +27 °C.

The x-axis represents the hex input-code equivalent of the output voltage.

Fig.19 Output impedance of analog output buffer (near power rails).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14 AC CHARACTERISTICS

All timing values are valid within the operating supply voltage and ambient temperature range and reference to V_{IL} and V_{IH} with an input voltage swing of V_{SS} to V_{DD}.

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I²C-bus timing (see Fig.20; note 1)					
f_{SCL}	SCL clock frequency	–	–	100	kHz
t_{SP}	tolerable spike width on bus	–	–	100	ns
t_{BUF}	bus free time	4.7	–	–	µs
$t_{SU;STA}$	START condition set-up time	4.7	–	–	µs
$t_{HD;STA}$	START condition hold time	4.0	–	–	µs
t_{LOW}	SCL LOW time	4.7	–	–	µs
t_{HIGH}	SCL HIGH time	4.0	–	–	µs
t_r	SCL and SDA rise time	–	–	1.0	µs
t_f	SCL and SDA fall time	–	–	0.3	µs
$t_{SU;DAT}$	data set-up time	250	–	–	ns
$t_{HD;DAT}$	data hold time	0	–	–	ns
$t_{VD;DAT}$	SCL LOW-to-data out valid	–	–	3.4	µs
$t_{SU;STO}$	STOP condition set-up time	4.0	–	–	µs

Note

1. A detailed description of the I²C-bus specification, with applications, is given in brochure *"The I²C-bus and how to use it"*. This brochure may be ordered using the code 9398 393 40011.

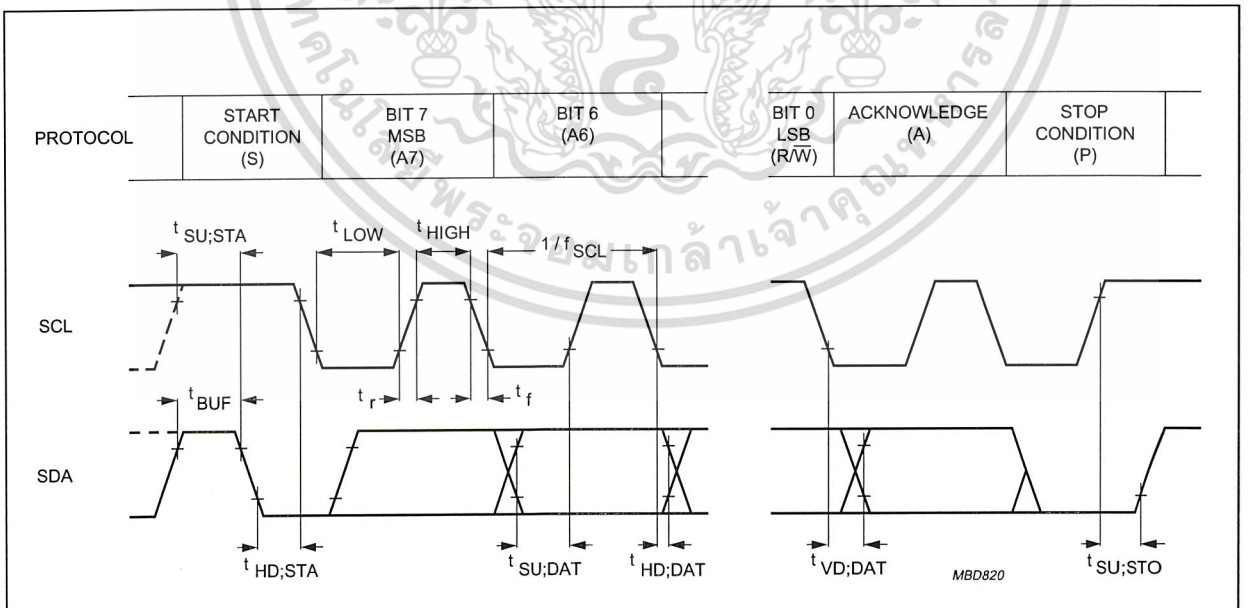


Fig.20 I²C-bus timing diagram; rise and fall times refer to V_{IL} and V_{IH}.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15 APPLICATION INFORMATION

Inputs must be connected to V_{SS} or V_{DD} when not in use. Analog inputs may also be connected to AGND or V_{REF}.

In order to prevent excessive ground and supply noise and to minimize cross-talk of the digital to analog signal paths the user has to design the printed-circuit board layout very carefully. Supply lines common to a PCF8591 device and noisy digital circuits and ground loops should be avoided. Decoupling capacitors (>10 µF) are recommended for power supply and reference voltage inputs.

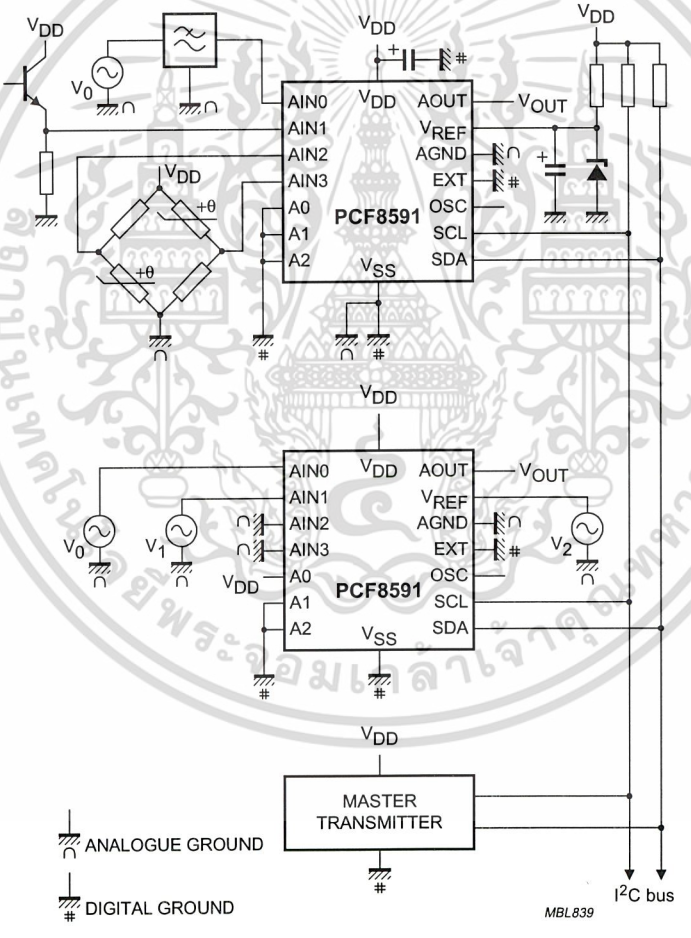
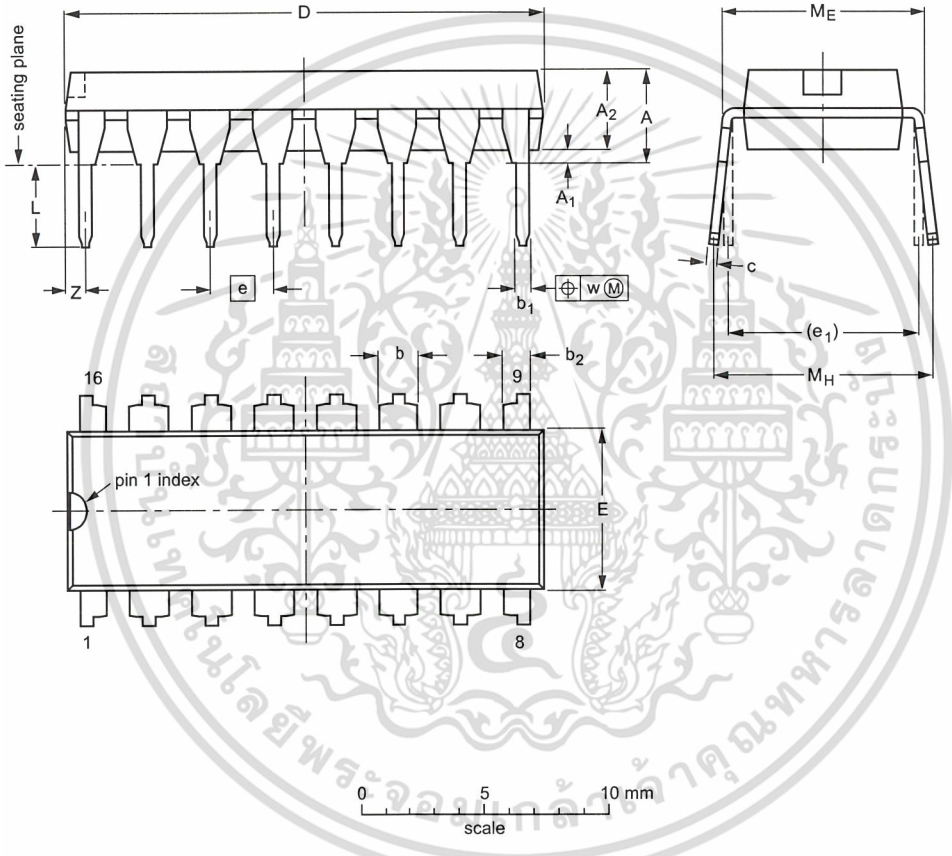


Fig.21 Application diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16 PACKAGE OUTLINES

DIP16: plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil) **SOT38-4**



DIMENSIONS (inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A_1 min.	A_2 max.	b	b_1	b_2	c	$D^{(1)}$	$E^{(1)}$	e	e_1	L	M_E	M_H	w	$Z^{(1)}$ max.
mm	4.2	0.51	3.2	1.73 1.30	0.53 0.38	1.25 0.85	0.36 0.23	19.50 18.55	6.48 6.20	2.54	7.62	3.60 3.05	8.25 7.80	10.0 8.3	0.254	0.76
inches	0.17	0.020	0.13	0.068 0.051	0.021 0.015	0.049 0.033	0.014 0.009	0.77 0.73	0.26 0.24	0.10	0.30	0.14 0.12	0.32 0.31	0.39 0.33	0.01	0.030

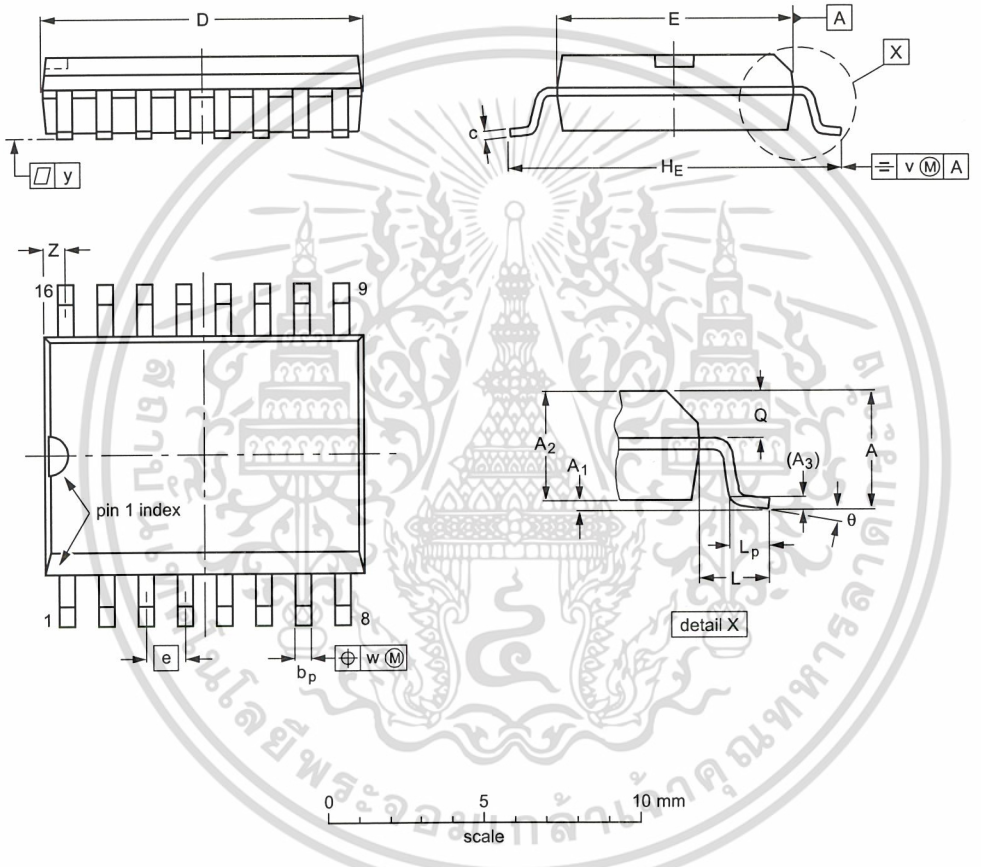
Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.25 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ			
SOT38-4						~~92-11-17~~ 95-01-14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SO16: plastic small outline package; 16 leads; body width 7.5 mm **SOT162-1**



DIMENSIONS (inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A_1	A_2	A_3	b_p	c	$D^{(1)}$	$E^{(1)}$	e	H_E	L	L_p	Q	v	w	y	$Z^{(1)}$	θ
mm	2.65	0.30 0.10	2.45 2.25	0.25	0.49 0.36	0.32 0.23	10.5 10.1	7.6 7.4	1.27	10.65 10.00	1.4	1.1 0.4	1.1 1.0	0.25	0.25	0.1	0.9 0.4	8° 0°
inches	0.10	0.012 0.004	0.096 0.089	0.01	0.019 0.014	0.013 0.009	0.41 0.40	0.30 0.29	0.050	0.419 0.394	0.055	0.043 0.016	0.043 0.039	0.01	0.01	0.004	0.035 0.016	

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.15 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ			
SOT162-1	075E03	MS-013				~~97-05-22~~ 99-12-27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17 SOLDERING

17.1 Introduction to soldering through-hole mount packages

This text gives a brief insight to wave, dip and manual soldering. A more in-depth account of soldering ICs can be found in our *"Data Handbook IC26; Integrated Circuit Packages"* (document order number 9398 652 90011).

Wave soldering is the preferred method for mounting of through-hole mount IC packages on a printed-circuit board.

17.2 Soldering by dipping or by solder wave

The maximum permissible temperature of the solder is 260 °C; solder at this temperature must not be in contact with the joints for more than 5 seconds.

The total contact time of successive solder waves must not exceed 5 seconds.

The device may be mounted up to the seating plane, but the temperature of the plastic body must not exceed the specified maximum storage temperature ($T_{stg(max)}$). If the printed-circuit board has been pre-heated, forced cooling may be necessary immediately after soldering to keep the temperature within the permissible limit.

17.3 Manual soldering

Apply the soldering iron (24 V or less) to the lead(s) of the package, either below the seating plane or not more than 2 mm above it. If the temperature of the soldering iron bit is less than 300 °C it may remain in contact for up to 10 seconds. If the bit temperature is between 300 and 400 °C, contact may be up to 5 seconds.

17.4 Suitability of through-hole mount IC packages for dipping and wave soldering methods

PACKAGE	SOLDERING METHOD	
	DIPPING	WAVE
DBS, DIP, HDIP, SDIP, SIL	suitable	suitable[1]

Note

1. For SDIP packages, the longitudinal axis must be parallel to the transport direction of the printed-circuit board.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18 DATA SHEET STATUS

LEVEL	DATA SHEET STATUS[1]	PRODUCT STATUS[2][3]	DEFINITION
I	Objective data	Development	This data sheet contains data from the objective specification for product development. Philips Semiconductors reserves the right to change the specification in any manner without notice.
II	Preliminary data	Qualification	This data sheet contains data from the preliminary specification. Supplementary data will be published at a later date. Philips Semiconductors reserves the right to change the specification without notice, in order to improve the design and supply the best possible product.
III	Product data	Production	This data sheet contains data from the product specification. Philips Semiconductors reserves the right to make changes at any time in order to improve the design, manufacturing and supply. Relevant changes will be communicated via a Customer Product/Process Change Notification (CPCN).

Notes

1. Please consult the most recently issued data sheet before initiating or completing a design.
2. The product status of the device(s) described in this data sheet may have changed since this data sheet was published. The latest information is available on the Internet at URL http://www.semiconductors.philips.com.
3. For data sheets describing multiple type numbers, the highest-level product status determines the data sheet status.

19 DEFINITIONS

Short-form specification — The data in a short-form specification is extracted from a full data sheet with the same type number and title. For detailed information see the relevant data sheet or data handbook.

Limiting values definition — Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.

Application information — Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. Philips Semiconductors make no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

20 DISCLAIMERS

Life support applications — These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips Semiconductors customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips Semiconductors for any damages resulting from such application.

Right to make changes — Philips Semiconductors reserves the right to make changes in the products - including circuits, standard cells, and/or software - described or contained herein in order to improve design and/or performance. When the product is in full production (status 'Production'), relevant changes will be communicated via a Customer Product/Process Change Notification (CPCN). Philips Semiconductors assumes no responsibility or liability for the use of any of these products, conveys no licence or title under any patent, copyright, or mask work right to these products, and makes no representations or warranties that these products are free from patent, copyright, or mask work right infringement, unless otherwise specified.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21 PURCHASE OF PHILIPS I²C COMPONENTS

Purchase of Philips I²C components conveys a license under the Philips' I²C patent to use the components in the I²C system provided the system conforms to the I²C specification defined by Philips. This specification can be ordered using the code 9398 393 40011.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NOTES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NOTES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Order this document by MC7900/D

MOTOROLA

MC7900 Series

Three-Terminal Negative Voltage Regulators

THREE–TERMINAL NEGATIVE FIXED VOLTAGE REGULATORS

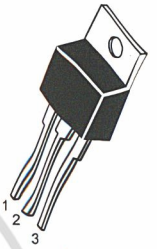
The MC7900 series of fixed output negative voltage regulators are intended as complements to the popular MC7800 series devices. These negative regulators are available in the same seven–voltage options as the MC7800 devices. In addition, one extra voltage option commonly employed in MECL systems is also available in the negative MC7900 series.

Available in fixed output voltage options from –5.0 V to –24 V, these regulators employ current limiting, thermal shutdown, and safe–area compensation – making them remarkably rugged under most operating conditions. With adequate heatsinking they can deliver output currents in excess of 1.0 A.

- No External Components Required
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe–Area Compensation
- Available in 2% Voltage Tolerance (See Ordering Information)

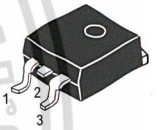
T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 221A

Heatsink surface connected to Pin 2.



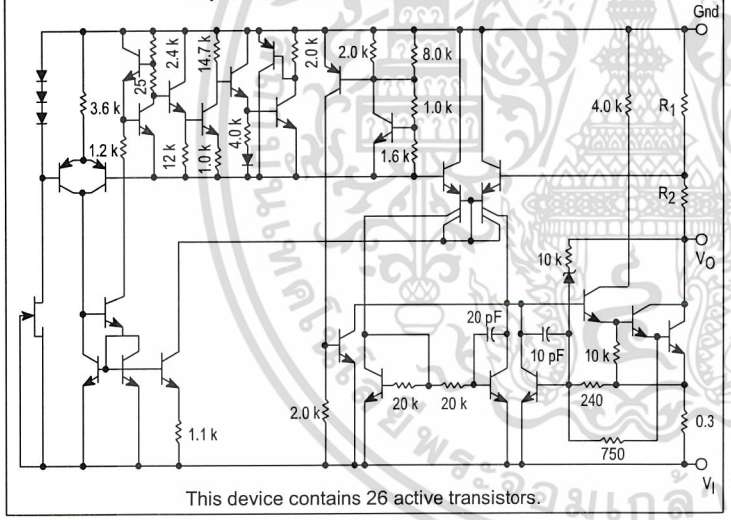
Pin 1. Ground
2. Input
3. Output

D2T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 936
(D^2PAK)



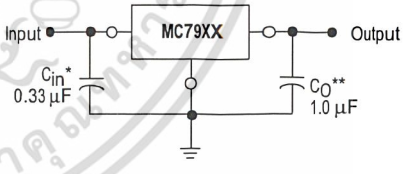
Heatsink surface (shown as terminal 4 in case outline drawing) is connected to Pin 2.

Representative Schematic Diagram



This device contains 26 active transistors.

STANDARD APPLICATION



A common ground is required between the input and the output voltages. The input voltage must remain typically 2.0 V above more negative even during the high point of the input ripple voltage.

XX, These two digits of the type number indicate nominal voltage.
* C_{in} is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.
** C_O improve stability and transient response.

ORDERING INFORMATION

Device	Output Voltage Tolerance	Operating Temperature Range	Package
MC79XXACD2T	2%	T_J = 0° to +125°C	Surface Mount
MC79XXCD2T	4%		
MC79XXACT	2%		Insertion Mount
MC79XXCT	4%		
MC79XXBD2T	4%	T_J = –40° to +125°C	Surface Mount
MC79XXBT			Insertion Mount

XX indicates nominal voltage.

DEVICE TYPE/NOMINAL OUTPUT VOLTAGE

MC7905	5.0 V	MC7912	12 V
MC7905.2	5.2 V	MC7915	15 V
MC7906	6.0 V	MC7918	28 V
MC7908	8.0 V	MC7924	24 V

© Motorola, Inc. 1996

Rev 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIMUM RATINGS (T_A = +25°C, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (–5.0 V ≥ V_O ≥ –18 V) (24 V)	V_I	–35 –40	Vdc
Power Dissipation Case 221A T_A = +25°C Thermal Resistance, Junction–to–Ambient Thermal Resistance, Junction–to–Case Case 936 (D^2PAK) T_A = +25°C Thermal Resistance, Junction–to–Ambient Thermal Resistance, Junction–to–Case	 P_D θ_{JA} θ_{JC} P_D θ_{JA} θ_{JC}	 Internally Limited 65 5.0 Internally Limited 70 5.0	 W °C/W °C/W W °C/W °C/W
Storage Junction Temperature Range	T_{stg}	–65 to +150	°C
Junction Temperature	T_J	+150	°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristics	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction–to–Ambient	$R_{\theta JA}$	65	°C/W
Thermal Resistance, Junction–to–Case	$R_{\theta JC}$	5.0	°C/W

MC7905C
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_I = –10 V, I_O = 500 mA, 0°C < T_J < +125°C, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage (T_J = +25°C)	V_O	–4.8	–5.0	–5.2	Vdc
Line Regulation (Note 1) (T_J = +25°C, I_O = 100 mA) –7.0 Vdc ≥ V_I ≥ –25 Vdc –8.0 Vdc ≥ V_I ≥ –12 Vdc (T_J = +25°C, I_O = 500 mA) –7.0 Vdc ≥ V_I ≥ –25 Vdc –8.0 Vdc ≥ V_I ≥ –12 Vdc	Reg_{line}	 – – – –	 7.0 2.0 35 8.0	 50 25 100 50	mV
Load Regulation, T_J = +25°C (Note 1) 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A 250 mA ≤ I_O ≤ 750 mA	Reg_{load}	 – –	 11 4.0	 100 50	mV
Output Voltage –7.0 Vdc ≥ V_I ≥ –20 Vdc, 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A, P ≤ 15 W	V_O	–4.75	–	–5.25	Vdc
Input Bias Current (T_J = +25°C)	I_{IB}	–	4.3	8.0	mA
Input Bias Current Change –7.0 Vdc ≥ V_I ≥ –25 Vdc 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A	ΔI_{IB}	 – –	 – –	 1.3 0.5	mA
Output Noise Voltage (T_A = +25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz)	V_n	–	40	–	μV
Ripple Rejection (I_O = 20 mA, f = 120 Hz)	RR	–	70	–	dB
Dropout Voltage I_O = 1.0 A, T_J = +25°C	V_I–V_O	–	2.0	–	Vdc
Average Temperature Coefficient of Output Voltage I_O = 5.0 mA, 0°C ≤ T_J ≤ +125°C	$\Delta V_O/\Delta T$	–	–1.0	–	mV/°C

NOTE: 1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC7905AC
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_I = –10 V, I_O = 500 mA, 0°C < T_J < +125°C, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage (T_J = +25°C)	V_O	–4.9	–5.0	–5.1	Vdc
Line Regulation (Note 1) –8.0 Vdc ≥ V_I ≥ –12 Vdc; I_O = 1.0 A, T_J = +25°C –8.0 Vdc ≥ V_I ≥ –12 Vdc; I_O = 1.0 A –7.5 Vdc ≥ V_I ≥ –25 Vdc; I_O = 500 mA –7.0 Vdc ≥ V_I ≥ –20 Vdc; I_O = 1.0 A, T_J = +25°C	Reg_{line}	 – – – –	 2.0 7.0 7.0 6.0	 25 50 50 50	mV
Load Regulation (Note 1) 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A, T_J = +25°C 250 mA ≤ I_O ≤ 750 mA 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A	Reg_{load}	 – – –	 11 4.0 9.0	 100 50 100	mV
Output Voltage –7.5 Vdc ≥ V_I ≥ –20 Vdc, 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A, P ≤ 15 W	V_O	–4.80	–	–5.20	Vdc
Input Bias Current	I_{IB}	–	4.4	8.0	mA
Input Bias Current Change –7.5 Vdc ≥ V_I ≥ –25 Vdc 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A, T_J = +25°C	ΔI_{IB}	 – – –	 – – –	 1.3 0.5 0.5	mA
Output Noise Voltage (T_A = +25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz)	V_n	–	40	–	μV
Ripple Rejection (I_O = mA, f = 120 Hz)	RR	–	70	–	dB
Dropout Voltage I_O = 1.0 A. T_J = +25°C	V_I–V_O	–	2.0	–	Vdc
Average Temperature Coefficient of Output Voltage I_O = 5.0 A, 0°C ≤ T_J ≤ +125°C	$\Delta V_O/\Delta T$	–	–1.0	–	mV/°C

MC7905.2C
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_I = –10 V, I_O = 500 mA, 0°C < T_J < +125°C, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage (T_J = +25°C)	V_O	–5.0	–5.2	–5.4	Vdc
Line Regulation (Note 1) (T_J = +25°C, I_O = 100 mA) –7.2 Vdc ≥ V_I ≥ –25 Vdc –8.0 Vdc ≥ V_I ≥ –12 Vdc (T_J = +25°C, I_O = 500 mA) –7.2 Vdc ≥ V_I ≥ –25 Vdc –8.0 Vdc ≥ V_I ≥ –12 Vdc	Reg_{line}	 – – – –	 8.0 2.2 37 8.5	 52 27 105 52	mV
Load Regulation, T_J = +25°C (Note 1) 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A 250 mA ≤ I_O ≤ 750 mA	Reg_{load}	 – –	 12 4.5	 105 52	mV
Output Voltage –7.2 Vdc ≥ V_I ≥ –20 Vdc, 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A, P ≤ 15 W	V_O	–4.95	–	–5.45	Vdc
Input Bias Current (T_J = +25°C)	I_{IB}	–	4.3	8.0	mA
Input Bias Current Change –7.2 Vdc ≥ V_I ≥ –25 Vdc 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A	ΔI_{IB}	 – –	 – –	 1.3 0.5	mA
Output Noise Voltage (T_A = +25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz)	V_n	–	42	–	μV
Ripple Rejection (I_O = 20 mA, f = 120 Hz)	RR	–	68	–	dB
Dropout Voltage I_O = 1.0 A, T_J = +25°C	V_I–V_O	–	2.0	–	Vdc
Average Temperature Coefficient of Output Voltage I_O = 5.0 mA, 0°C ≤ T_J ≤ +125°C	$\Delta V_O/\Delta T$	–	–1.0	–	mV/°C

NOTE: 1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC7906C
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_I = –11 V, I_O = 500 mA, 0°C < T_J < +125°C, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage (T_J = +25°C)	V_O	–5.75	–6.0	–6.25	Vdc
Line Regulation (Note 1) (T_J = +25°C, I_O = 100 mA) –8.0 Vdc ≥ V_I ≥ –25 Vdc –9.0 Vdc ≥ V_I ≥ –13 Vdc (T_J = +25°C, I_O = 500 mA) –8.0 Vdc ≥ V_I ≥ –25 Vdc –9.0 Vdc ≥ V_I ≥ –13 Vdc	Reg_{line}	 – – – –	 9.0 3.0 43 10	 60 30 120 60	mV
Load Regulation, T_J = +25°C (Note 1) 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A 250 mA ≤ I_O ≤ 750 mA	Reg_{load}	 – –	 13 5.0	 120 60	mV
Output Voltage –8.0 Vdc ≥ V_I ≥ –21 Vdc, 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A, P ≤ 15 W	V_O	–5.7	–	–6.3	Vdc
Input Bias Current (T_J = +25°C)	I_{IB}	–	4.3	8.0	mA
Input Bias Current Change –8.0 Vdc ≥ V_I ≥ –25 Vdc 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A	ΔI_{IB}	 – –	 – –	 1.3 0.5	mA
Output Noise Voltage (T_A = +25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz)	V_n	–	45	–	μV
Ripple Rejection (I_O = 20 mA, f = 120 Hz)	RR	–	65	–	dB
Dropout Voltage I_O = 1.0 A, T_J = +25°C	V_I–V_O	–	2.0	–	Vdc
Average Temperature Coefficient of Output Voltage I_O = 5.0 A, 0°C ≤ T_J ≤ +125°C	$\Delta V_O/\Delta T$	–	–1.0	–	mV/°C

MC7908C
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_I = –14 V, I_O = 500 mA, 0°C < T_J < +125°C, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage (T_J = +25°C)	V_O	–7.7	–8.0	–8.3	Vdc
Line Regulation (Note 1) (T_J = +25°C, I_O = 100 mA) –10.5 Vdc ≥ V_I ≥ –25 Vdc –11 Vdc ≥ V_I ≥ –17 Vdc (T_J = +25°C, I_O = 500 mA) –10.5 Vdc ≥ V_I ≥ –25 Vdc –11 Vdc ≥ V_I ≥ –17 Vdc	Reg_{line}	 – – – –	 12 5.0 50 22	 80 40 160 80	mV
Load Regulation, T_J = +25°C (Note 1) 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A 250 mA ≤ I_O ≤ 750 mA	Reg_{load}	 – –	 26 9.0	 160 80	mV
Output Voltage –10.5 Vdc ≥ V_I ≥ –23 Vdc, 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A, P ≤ 15 W	V_O	–7.6	–	–8.4	Vdc
Input Bias Current (T_J = +25°C)	I_{IB}	–	4.3	8.0	mA
Input Bias Current Change –10.5 Vdc ≥ V_I ≥ –25 Vdc 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A	ΔI_{IB}	 – –	 – –	 1.0 0.5	mA
Output Noise Voltage (T_A = +25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz)	V_n	–	52	–	μV
Ripple Rejection (I_O = 20 mA, f = 120 Hz)	RR	–	62	–	dB
Dropout Voltage I_O = 1.0 A, T_J = +25°C	V_I–V_O	–	2.0	–	Vdc
Average Temperature Coefficient of Output Voltage I_O = 5.0 mA, 0°C ≤ T_J ≤ +125°C	$\Delta V_O/\Delta T$	–	–1.0	–	mV/°C

NOTE: 1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC7912C
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_I = –19 V, I_O = 500 mA, 0°C < T_J < +125°C, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage (T_J = +25°C)	V_O	–11.5	–12	–12.5	Vdc
Line Regulation (Note 1) (T_J = +25°C, I_O = 100 mA) –14.5 Vdc ≥ V_I ≥ –30 Vdc –16 Vdc ≥ V_I ≥ –22 Vdc (T_J = +25°C, I_O = 500 mA) –14.5 Vdc ≥ V_I ≥ –30 Vdc –16 Vdc ≥ V_I ≥ –22 Vdc	Reg_{line}	 – – – –	 13 6.0 55 24	 120 60 240 120	mV
Load Regulation, T_J = +25°C (Note 1) 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A 250 mA ≤ I_O ≤ 750 mA	Reg_{load}	 – –	 46 17	 240 120	mV
Output Voltage –14.5 Vdc ≥ V_I ≥ –27 Vdc, 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A, P ≤ 15 W	V_O	–11.4	–	–12.6	Vdc
Input Bias Current (T_J = +25°C)	I_{IB}	–	4.4	8.0	mA
Input Bias Current Change –14.5 Vdc ≥ V_I ≥ –30 Vdc 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A	ΔI_{IB}	 – –	 – –	 1.0 0.5	mA
Output Noise Voltage (T_A = +25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz)	V_n	–	75	–	μV
Ripple Rejection (I_O = 20 mA, f = 120 Hz)	RR	–	61	–	dB
Dropout Voltage I_O = 1.0 A, T_J = +25°C	V_I–V_O	–	2.0	–	Vdc
Average Temperature Coefficient of Output Voltage I_O = 5.0 mA, 0°C ≤ T_J ≤ +125°C	$\Delta V_O/\Delta T$	–	–1.0	–	mV/°C

MC7912AC
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_I = –19 V, I_O = 500 mA, 0°C < T_J < +125°C, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage (T_J = +25°C)	V_O	–11.75	–12	–12.25	Vdc
Line Regulation (Note 1) –16 Vdc ≥ V_I ≥ –22 Vdc; I_O = 1.0 A, T_J = +25°C –16 Vdc ≥ V_I ≥ –22 Vdc; I_O = 1.0 A –14.8 Vdc ≥ V_I ≥ –30 Vdc; I_O = 500 mA –14.5 Vdc ≥ V_I ≥ –27 Vdc; I_O = 1.0 A, T_J = +25°C	Reg_{line}	 – – – –	 6.0 24 24 13	 60 120 120 120	mV
Load Regulation (Note 1) 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A, T_J = +25°C 250 mA ≤ I_O ≤ 750 mA 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A	Reg_{load}	 – – –	 46 17 35	 150 75 150	mV
Output Voltage –14.8 Vdc ≥ V_I ≥ –27 Vdc, 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A, P ≤ 15 W	V_O	–11.5	–	–12.5	Vdc
Input Bias Current	I_{IB}	–	4.4	8.0	mA
Input Bias Current Change –15 Vdc ≥ V_I ≥ –30 Vdc 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A, T_J = +25°C	ΔI_{IB}	 – – –	 – – –	 0.8 0.5 0.5	mA
Output Noise Voltage (T_A = +25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz)	V_n	–	75	–	μV
Ripple Rejection (I_O = 20 mA, f = 120 Hz)	RR	–	61	–	dB
Dropout Voltage I_O = 1.0 A, T_J = +25°C	V_I–V_O	–	2.0	–	Vdc
Average Temperature Coefficient of Output Voltage I_O = 5.0 A, 0°C ≤ T_J ≤ +125°C	$\Delta V_O/\Delta T$	–	–1.0	–	mV/°C

NOTE: 1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC7915C
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_I = –23 V, I_O = 500 mA, 0°C < T_J < +125°C, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage (T_J = +25°C)	V_O	–14.4	–15	–15.6	Vdc
Line Regulation (Note 1) (T_J = +25°C, I_O = 100 mA) –17.5 Vdc ≥ V_I ≥ –30 Vdc –20 Vdc ≥ V_I ≥ –26 Vdc (T_J = +25°C, I_O = 500 mA) –17.5 Vdc ≥ V_I ≥ –30 Vdc –20 Vdc ≥ V_I ≥ –26 Vdc	Reg_{line}	 – – – –	 14 6.0 57 27	 150 75 300 150	mV
Load Regulation, T_J = +25°C (Note 1) 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A 250 mA ≤ I_O ≤ 750 mA	Reg_{load}	 – –	 68 25	 300 150	mV
Output Voltage –17.5 Vdc ≥ V_I ≥ –30 Vdc, 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A, P ≤ 15 W	V_O	–14.25	–	–15.75	Vdc
Input Bias Current (T_J = +25°C)	I_{IB}	–	4.4	8.0	mA
Input Bias Current Change –17.5 Vdc ≥ V_I ≥ –30 Vdc 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A	ΔI_{IB}	 – –	 – –	 1.0 0.5	mA
Output Noise Voltage (T_A = +25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz)	V_n	–	90	–	μV
Ripple Rejection (I_O = 20 mA, f = 120 Hz)	RR	–	60	–	dB
Dropout Voltage I_O = 1.0 A, T_J = +25°C	V_I–V_O	–	2.0	–	Vdc
Average Temperature Coefficient of Output Voltage I_O = 5.0 A, 0°C ≤ T_J ≤ +125°C	$\Delta V_O/\Delta T$	–	–1.0	–	mV/°C

MC7915AC
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_I = –23 V, I_O = 500 mA, 0°C < T_J < +125°C, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage (T_J = +25°C)	V_O	–14.7	–15	–15.3	Vdc
Line Regulation (Note 1) –20 Vdc ≥ V_I ≥ –26 Vdc, I_O = 1.0 A, T_J = +25°C –20 Vdc ≥ V_I ≥ –26 Vdc, I_O = 1.0 A, –17.9 Vdc ≥ V_I ≥ –30 Vdc, I_O = 500 mA –17.5 Vdc ≥ V_I ≥ –30 Vdc, I_O = 1.0 A, T_J = +25°C	Reg_{line}	 – – – –	 27 57 57 57	 75 150 150 150	mV
Load Regulation (Note 1) 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A, T_J = +25°C 250 mA ≤ I_O ≤ 750 mA 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A	Reg_{load}	 – – –	 68 25 40	 150 75 150	mV
Output Voltage –17.9 Vdc ≥ V_I ≥ –30 Vdc, 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A, P ≤ 15 W	V_O	–14.4	–	–15.6	Vdc
Input Bias Current	I_{IB}	–	4.4	8.0	mA
Input Bias Current Change –17.5 Vdc ≥ V_I ≥ –30 Vdc 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A, T_J = +25°C	ΔI_{IB}	 – – –	 – – –	 0.8 0.5 0.5	mA
Output Noise Voltage (T_A = +25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz)	V_n	–	90	–	μV
Ripple Rejection (I_O = 20 mA, f = 120 Hz)	RR	–	60	–	dB
Dropout Voltage I_O = 1.0 A, T_J = +25°C	V_I–V_O	–	2.0	–	Vdc
Average Temperature Coefficient of Output Voltage I_O = 5.0 mA, 0°C ≤ T_J ≤ +125°C	$\Delta V_O/\Delta T$	–	–1.0	–	mV/°C

NOTE: 1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC7918C
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_I = –27 V, I_O = 500 mA, 0°C < T_J < +125°C, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage (T_J = +25°C)	V_O	–17.3	–18	–18.7	Vdc
Line Regulation (Note 1) (T_J = +25°C, I_O = 100 mA) –21 Vdc ≥ V_I ≥ –33 Vdc –24 Vdc ≥ V_I ≥ –30 Vdc (T_J = +25°C, I_O = 500 mA) –21 Vdc ≥ V_I ≥ –33 Vdc –24 Vdc ≥ V_I ≥ –30 Vdc	Reg_{line}	 – – – –	 25 10 90 50	 180 90 360 180	mV
Load Regulation, T_J = +25°C (Note 1) 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A 250 mA ≤ I_O ≤ 750 mA	Reg_{load}	 – –	 110 55	 360 180	mV
Output Voltage –21 Vdc ≥ V_I ≥ –33 Vdc, 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A, P ≤ 15 W	V_O	–17.1	–	–18.9	Vdc
Input Bias Current (T_J = +25°C)	I_{IB}	–	4.5	8.0	mA
Input Bias Current Change –21 Vdc ≥ V_I ≥ –33 Vdc 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A	ΔI_{IB}	 – –	 – –	 1.0 0.5	mA
Output Noise Voltage (T_A = +25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz)	V_n	–	110	–	μV
Ripple Rejection (I_O = 20 mA, f = 120 Hz)	RR	–	59	–	dB
Dropout Voltage I_O = 1.0 A, T_J = +25°C	V_I–V_O	–	2.0	–	Vdc
Average Temperature Coefficient of Output Voltage I_O = 5.0 mA, 0°C ≤ T_J ≤ +125°C	$\Delta V_O/\Delta T$	–	–1.0	–	mV/°C

MC7924C
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_I = –33 V, I_O = 500 mA, 0°C < T_J < +125°C, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage (T_J = +25°C)	V_O	–23	–24	–25	Vdc
Line Regulation (Note 1) (T_J = +25°C, I_O = 100 mA) –27 Vdc ≥ V_I ≥ –38 Vdc –30 Vdc ≥ V_I ≥ –36 Vdc (T_J = +25°C, I_O = 500 mA) –27 Vdc ≥ V_I ≥ –38 Vdc –30 Vdc ≥ V_I ≥ –36 Vdc	Reg_{line}	 – – – –	 31 14 118 70	 240 120 470 240	mV
Load Regulation, T_J = +25°C (Note 1) 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A 250 mA ≤ I_O ≤ 750 mA	Reg_{load}	 – –	 150 85	 480 240	mV
Output Voltage –27 Vdc ≥ V_I ≥ –38 Vdc, 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A, P ≤ 15 W	V_O	–22.8	–	–25.2	Vdc
Input Bias Current (T_J = +25°C)	I_{IB}	–	4.6	8.0	mA
Input Bias Current Change –27 Vdc ≥ V_I ≥ –38 Vdc 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A	ΔI_{IB}	 – –	 – –	 1.0 0.5	mA
Output Noise Voltage (T_A = +25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz)	V_n	–	170	–	μV
Ripple Rejection (I_O = 20 mA, f = 120 Hz)	RR	–	56	–	dB
Dropout Voltage I_O = 1.0 A, T_J = +25°C	V_I–V_O	–	2.0	–	Vdc
Average Temperature Coefficient of Output Voltage I_O = 5.0 mA, 0°C ≤ T_J ≤ +125°C	$\Delta V_O/\Delta T$	–	–1.0	–	mV/°C

NOTE: 1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 1. Worst Case Power Dissipation as a Function of Ambient Temperature

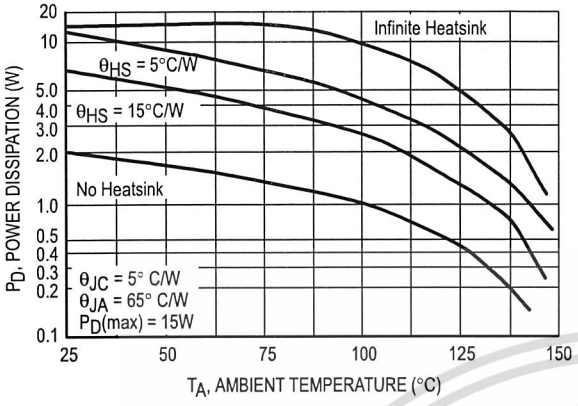


Figure 2. Peak Output Current as a Function of Input–Output Differential Voltage

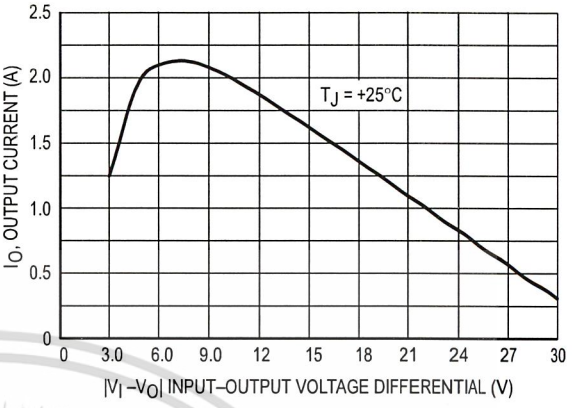


Figure 3. Ripple Rejection as a Function of Frequency

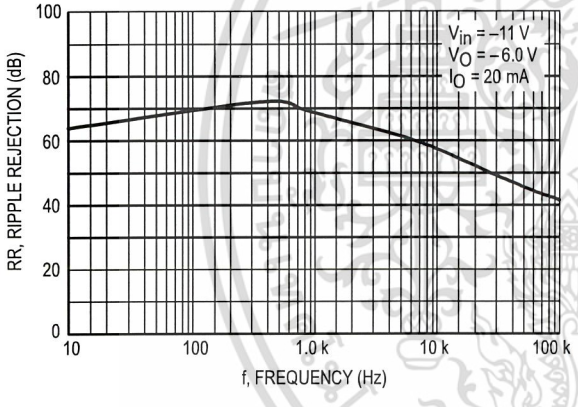


Figure 4. Ripple Rejection as a Function of Output Voltage

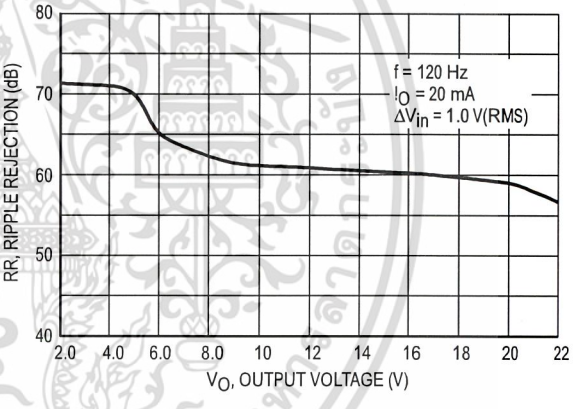


Figure 5. Output Voltage as a Function of Junction Temperature

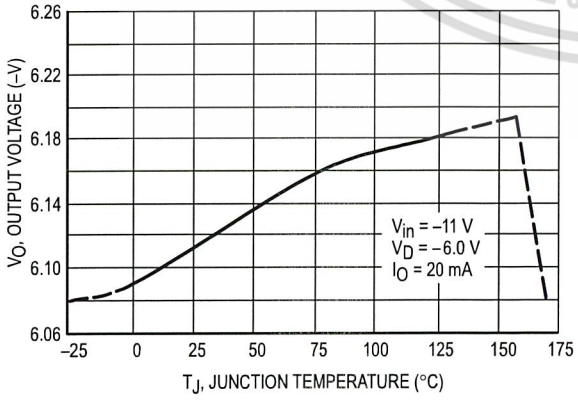
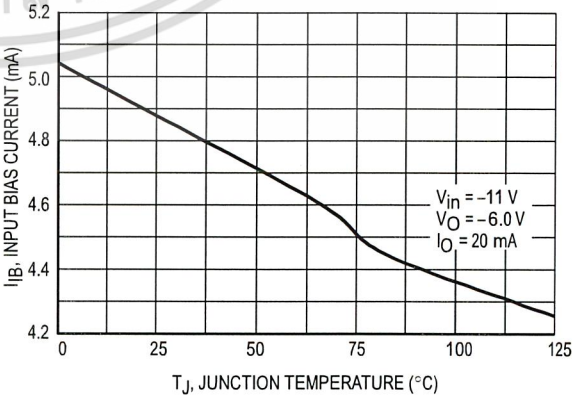


Figure 6. Quiescent Current as a Function of Temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

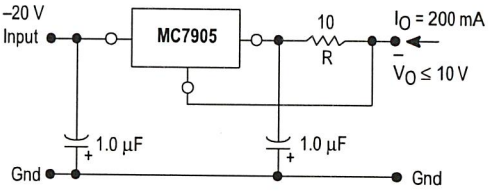
APPLICATIONS INFORMATION

Design Considerations

The MC7900 Series of fixed voltage regulators are designed with Thermal overload Protection that shuts down the circuit when subjected to an excessive power overload condition. Internal Short Circuit Protection that limits the maximum current the circuit will pass, and Output Transistor Safe–Area Compensation that reduces the output short circuit current as the voltage across the pass transistor is increased.

In many low current applications, compensation capacitors are not required. However, it is recommended that the regulator input be bypassed with a capacitor if the regulator is connected to the power supply filter with long wire lengths, or if the output load capacitance is large. An input bypass capacitor should be selected to provide good high–frequency characteristics to insure stable operation under all load conditions. A 0.33 µF or larger tantalum, mylar, or other capacitor having low internal impedance at high frequencies should be chosen. The capacitor chosen should have an equivalent series resistance of less than 0.7 Ω. The bypass capacitor should be mounted with the shortest possible leads directly across the regulators input terminals. Normally good construction techniques should be used to minimize ground loops and lead resistance drops since the regulator has no external sense lead. Bypassing the output is also recommended.

Figure 7. Current Regulator

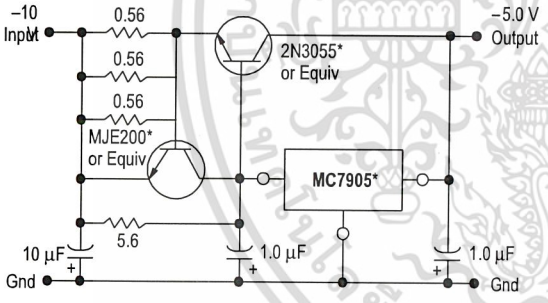


The MC7905, –5.0 V regulator can be used as a constant current source when connected as above. The output current is the sum of resistor R current and quiescent bias current as follows.

$$I_O = \frac{5.0\ V}{R} + I_B$$

The quiescent current for this regulator is typically 4.3 mA. The 5.0 V regulator was chosen to minimize dissipation and to allow the output voltage to operate to within 6.0 V below the input voltage.

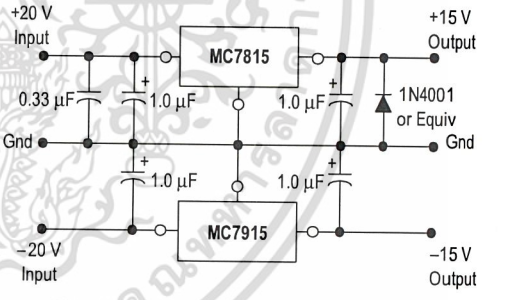
Figure 8. Current Boost Regulator
(–5.0 V @ 4.0 A, with 5.0 A Current Limiting)



*Mounted on heatsink.

When a boost transistor is used, short circuit currents are equal to the sum of the series pass and regulator limits, which are measured at 3.2 A and 1.8 A respectively in this case. Series pass limiting is approximately equal to 0.6 V/R_{SC}. Operation beyond this point to the peak current capability of the MC7905C is possible if the regulator is mounted on a heatsink; otherwise thermal shutdown will occur when the additional load current is picked up by the regulator.

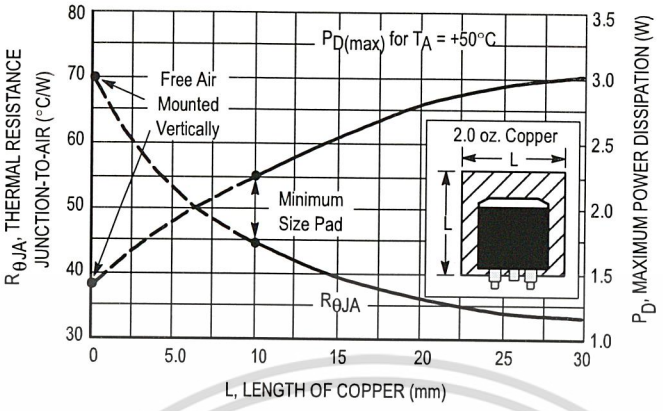
Figure 9. Operational Amplifier Supply
(±15 @ 1.0 A)



The MC7815 and MC7915 positive and negative regulators may be connected as shown to obtain a dual power supply for operational amplifiers. A clamp diode should be used at the output of the MC7815 to prevent potential latch–up problems whenever the output of the positive regulator (MC7815) is drawn below ground with an output current greater than 200 mA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 10. D²PAK Thermal Resistance and Maximum Power Dissipation versus P.C.B. Copper Length



DEFINITIONS

Line Regulation – The change in output voltage for a change in the input voltage. The measurement is made under conditions of low dissipation or by using pulse techniques such that the average chip temperature is not significantly affected.

Load Regulation – The change in output voltage for a change in load current at constant chip temperature.

Maximum Power Dissipation – The maximum total device dissipation for which the regulator will operate within specifications.

Input Bias Current – That part of the input current that is not delivered to the load.

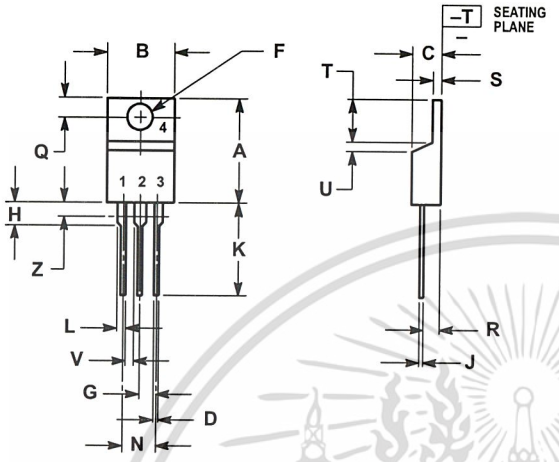
Output Noise Voltage – The rms AC voltage at the output, with constant load and no input ripple, measured over a specified frequency range.

Long Term Stability – Output voltage stability under accelerated life test conditions with the maximum rated voltage listed in the devices' electrical characteristics and maximum power dissipation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OUTLINE DIMENSIONS

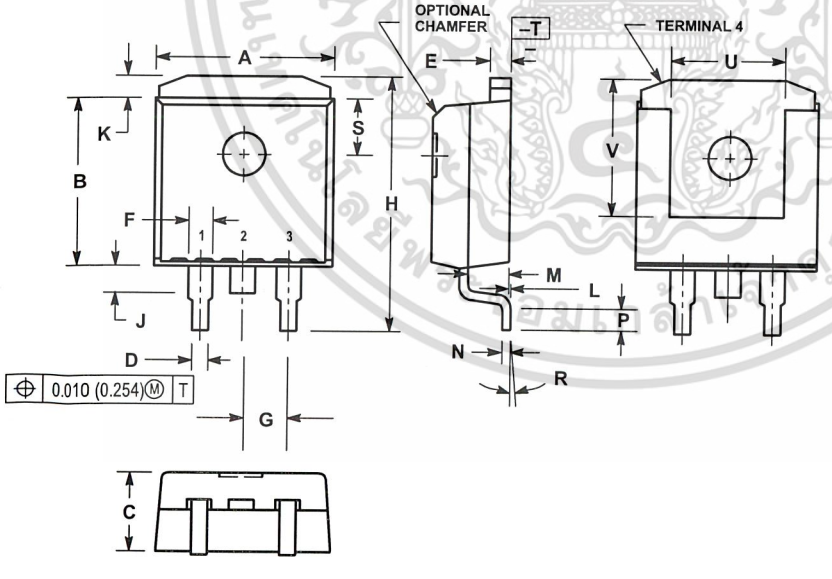
T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 221A–06
ISSUE Y



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIM Z DEFINES A ZONE WHERE ALL BODY AND LEAD IRREGULARITIES ARE ALLOWED.

	INCHES		MILLIMETERS	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.570	0.620	14.48	15.75
B	0.380	0.405	9.66	10.28
C	0.160	0.190	4.07	4.82
D	0.025	0.035	0.64	0.88
F	0.142	0.147	3.61	3.73
G	0.095	0.105	2.42	2.66
H	0.110	0.155	2.80	3.93
J	0.018	0.025	0.46	0.64
K	0.500	0.562	12.70	14.27
L	0.045	0.060	1.15	1.52
N	0.190	0.210	4.83	5.33
Q	0.100	0.120	2.54	3.04
R	0.080	0.110	2.04	2.79
S	0.045	0.055	1.15	1.39
T	0.235	0.255	5.97	6.47
U	0.000	0.050	0.00	1.27
V	0.045	–	1.15	–
Z	–	0.080	–	2.04

D2T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 936–03
(D^2PAK)
ISSUE B



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. TAB CONTOUR OPTIONAL WITHIN DIMENSIONS A AND K.
4. DIMENSIONS U AND V ESTABLISH A MINIMUM MOUNTING SURFACE FOR TERMINAL 4.
5. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD FLASH OR GATE PROTRUSIONS. MOLD FLASH AND GATE PROTRUSIONS NOT TO EXCEED 0.025 (0.635) MAXIMUM.

	INCHES		MILLIMETERS	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.386	0.403	9.804	10.236
B	0.356	0.368	9.042	9.347
C	0.170	0.180	4.318	4.572
D	0.026	0.036	0.660	0.914
E	0.045	0.055	1.143	1.397
F	0.051 REF		1.295 REF	
G	0.100 BSC		2.540 BSC	
H	0.539	0.579	13.691	14.707
J	0.125 MAX		3.175 MAX	
K	0.050 REF		1.270 REF	
L	0.000	0.010	0.000	0.254
M	0.088	0.102	2.235	2.591
N	0.018	0.026	0.457	0.660
P	0.058	0.078	1.473	1.981
R	5° REF		5° REF	
S	0.116 REF		2.946 REF	
U	0.200 MIN		5.080 MIN	
V	0.250 MIN		6.350 MIN	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and Ⓜ are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:
USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution; P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1–800–441–2447 or 602–303–5454

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com – TOUCHTONE 602–244–6609
INTERNET: http://Design–NET.com

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi–SPD–JLDC, 6F Seibu–Butsuryu–Center, 3–14–2 Tatsumi Koto–Ku, Tokyo 135, Japan. 03–81–3521–8315

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park, 51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852–26629298

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้