

การพัฒนาระบบการวัดและควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วย
ไมโครคอนโทรลเลอร์

DEVELOPMENT OF GAS FLOW CONTROL AND
MEASUREMENT SYSTEM USING MICROCONTROLLER



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะปีการศึกษา 2560 ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF GAS FLOW CONTROL AND
MEASUREMENT SYSTEM USING MICROCONTROLLER



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแบบลงเนื้อหาและต้องอยู่ในวงเล็บของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2017

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาระบบการวัดและควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์		
ชื่อนักศึกษา	นายพระสา บุญดีขวัญกุล	รหัสนักศึกษา	57050932
	นางสาวลักขมณ ตั้งอภิรัชกุล	รหัสนักศึกษา	57051021
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)		
ภาควิชา	ฟิสิกส์		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2560		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.วราวุฒิ เถาะลัดดา		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการพัฒนาระบบการวัดและควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยระบบที่ได้สร้างขึ้นมาประกอบด้วย ส่วนควบคุมการทำงานและส่วนแสดงผล โดยใช้บอร์ด Arduino Mega 2560 มีการรับคำสั่งจากผู้ใช้งานผ่านทาง Rotary Encoder และแสดงผลทางจอแอลซีดีแบบกราฟิก (GLCD) ความละเอียด 128 x 64 ซึ่งระบบควบคุมจะรับค่าอัตราการไหลของก๊าซที่ป้อนผ่านทาง Rotary Encoder ในหน่วย sccm ด้วยความละเอียด 0.1 sccm จากนั้นจะแปลงอัตราการไหลเป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบอนาล็อกผ่านทางโมดูล mcp4725 D/A ขนาด 12 บิต มีค่าระหว่าง 0 ถึง 5 โวลต์ ซึ่งสมนัยกับอัตราการไหลเต็มสเกล สัญญาณนี้จะถูกป้อนไปยังเครื่องควบคุมอัตราการไหลแล้วจะได้เอาต์พุตออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบอนาล็อกมีค่าระหว่าง 0 ถึง 5 โวลต์ ซึ่งค่าที่ได้จะถูกส่งไปยังระบบควบคุมเพื่อแปลงเป็นหน่วย sccm แล้วแสดงผลผ่านทางจอ GLCD ระบบที่สร้างขึ้นจะนำไปใช้ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซที่จะป้อนเข้าระบบสุญญากาศ เช่น ระบบแมกนีตรอนสปัตเตอร์จริง

คำสำคัญ : Arduino Mega 2560, GLCD, Rotary Encoder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาระบบการวัดและควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์

ชื่อนักศึกษา นายพระสา บุณติขวัญกุล รหัสนักศึกษา 57050932
 นางสาวลักขมณ ตั้งอภิรักษ์กุล รหัสนักศึกษา 57051021

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
 (ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการคุมสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.พิศาล สุขวิสูตร ประธานกรรมการ	พิศาล สุขวิสูตร
ดร.ภาณุพล โขลนกระโทก กรรมการ	
ดร.พิชานันท์ อิศเรษฐโสภณ กรรมการ	พิชานันท์ อ.
รศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
ผศ.ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้สิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลนี้แก่บุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้บริหารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Development of Gas Flow Control and Measurement System Using Microcontroller.	
Students	Mr. Parasa Bundeekwankul	Student ID 57050932
	Miss Laksamon Tung-apiraksakun	Student ID 57051021
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)	
Department	Physics	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2017	
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Warawoot Thowladda	
Co-advisor	Asst. Prof. Dr.S.Tipawan Khlayboonme	

Abstract

This special project is the development of a measurement system and gas flow controlling by microcontroller. The system consists of controller and display unit. By using Arduino Mega 2560 to receive the command from the user via Rotary Encoder. Then the result will be displayed on the GLCD at the 128x64 pixel resolution. The controller will receive the flow rate of the gas through the Rotary Encoder in 0.1 sccm unit, then converts the flow rate into an analog signal by a 12-bit mcp4725 D/A module with the value between 0 and 5 volts which is proportional to the full scale flow rate. This signal will be fed to the flow rate controller and then output to an analog signal with the value of 0 and 5 volts. This value will be sent to the controlling system to convert to SCCM and display via GLCD. The system will benefit for controlling the gas flow which is put into a vacuum system, such as the magnetron sputtering system.

Keywords : Arduino Mega 2560, GLCD, Rotary Encoder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษในหัวข้อเรื่อง การพัฒนาระบบการวัดและควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีจากได้รับการสนับสนุน ช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. วราวุฒิ เถลัดดา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ที่ให้ความรู้ คำแนะนำในการสร้างเครื่องมือขึ้นนี้ขึ้น อีกทั้งยังช่วยตรวจสอบ ให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่อง ในการทำโครงการพิเศษนี้ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากทำให้งานสามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี ผู้สนับสนุนการทำโครงการพิเศษนี้ในด้าน ต่างๆ ทั้งด้านทักษะความรู้ ตลอดจนสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำงานเสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจระหว่างการทำงาน อีกทั้ง ยังให้คำแนะนำเกี่ยวกับการทำงานในด้านต่างๆ ด้วย

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัว และคุณชুমโชค อัครวีระเดช ที่ช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา ให้กำลังใจ และสนับสนุนทุกอย่าง ทำให้โครงการพิเศษนี้สามารถดำเนินต่อ และสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

พระสา บุญดีขวัญกุล
ลักษมณ ตั้งอภิรักษ์กุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ก๊าซ	4
2.1.1 สมบัติของก๊าซ	4
2.1.2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง	5
2.1.3 ประเภทของก๊าซ	5
2.2 หน่วยที่ใช้	6
2.3 ทฤษฎีและหลักการการทำงานของเกจควบคุมอัตราการไหล	6
2.3.1 สัมผัสทางความร้อนของการไหลเชิงมวล	6
(Thermal sensing of mass flow)	
2.3.2 กระบวนการควบคุมรูปแบบของระบบปิด	6
(Closed-loop Servo Operation)	
2.3.2.1 พื้นฐานของระบบควบคุม	7
2.3.2.2 ประเภทของการควบคุม	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4 ส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเกจควบคุมอัตราการไหล	8
2.4.1 หลักการทำงานของเกจควบคุมอัตราการไหล	9
2.5 วงจรแปลงดิจิตอลเป็นอนาล็อก (Digital to Analog Converter)	10
2.5.1 วิธีการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก	11
2.5.1.1 แบบรวมกระแส (Weighted -Resistor)	11
2.5.1.2 โครงข่ายแบบ R-2R (R-2R Network)	11
2.6 ทฤษฎีของความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับอัตราการไหลของก๊าซที่ใช้ในเครื่องควบคุมอัตราการไหล	13
2.7 Arduino UNO R3	14
2.7.1 จุดเด่นที่ทำให้บอร์ด Arduino เป็นที่นิยม	14
2.7.2 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino	14
2.7.3 Layout And Pin Out Arduino Board (Model: Arduino Mega 2560)	16
2.8 Rotary Encoder	17
2.9 จอแสดงผล GLCD (Graphic Liquid Crystal Display)	18
2.9.1 Text Mode	18
2.9.2 Graphic Mode	19
2.10 Step Up & Down (Buck & Boost) 5-32V to 1.25-32V 4A	19
2.11 Gas Factor	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	22
3.1 อุปกรณ์	22
3.1.1 Arduino UNO R3 Microcontroller Board	22
3.1.2 Rotary Encoder	22
3.1.3 จอแสดงผล (GLCD)	23
3.1.4 โมดูล MCP4725 D/A ขนาด 12 บิต	25
3.1.5 Step up & Down (Buck & Boost) 5-32V to 1.25-32V 4A	26
3.1.6 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Power Supply)	27
3.1.7 Mass Flow Controller	27

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2 ระบบควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	29
3.2.1 ส่วนแสดงผลและการสั่งงาน	30
3.2.2 การทำงานของระบบควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	32
3.2.2.1 การเชื่อมต่อระหว่าง Mass Flow Controller กับ คอนโทรลเลอร์	32
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	33
3.3.1 การทดลองที่ 1	33
3.3.2 การทดลองที่ 2	33
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	36
4.1.1 ผลการทดลองที่ 1	36
4.1.2 ผลการทดลองที่ 2	37
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	41
5.1 สรุปผลการวิจัย	41
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวก	43
ภาคผนวก ก	44
ภาคผนวก ข	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
2.1 ค่า Gas Factor	20
3.1 แสดงฟังก์ชันการใช้งานของ Rotary Encoder	23
3.2 แสดงฟังก์ชันของจอ GLCD	24
3.3 แสดงฟังก์ชันการใช้งานของโมดูล MCP4725	25
3.4 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างโมดูล Step Up & Down เข้ากับ Power Supply และบอร์ด Arduino	26
3.5 การเชื่อมต่อ Power Supply	27
3.6 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับ Mass Flow Controller	28
4.1 ผลการทดลองระหว่าง V_{out} (V) กับ จำนวน Byte	36
4.2 ผลการทดลองการควบคุมอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน (Ar)	37
4.3 ผลการทดลองการควบคุมอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน (N_2)	38
4.4 ผลการทดลองการควบคุมอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน (O_2)	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงระบบควบคุมแบบรูปเปิด	7
2.2 แสดงระบบควบคุมแบบรูปปิด	8
2.3 เครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ	8
2.4 องค์ประกอบของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ	9
2.5 ไดอะแกรมการควบคุมของเครื่องควบคุมอัตราการไหล	10
2.6 ระบบการแปลงดิจิทัลเป็นอนาล็อก	10
2.7 โคจรข่ายแบบ R-2R network	12
2.8 R/2R Network and Buffer	12
2.9 เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรม Arduino IDE	14
2.10 เลือกบอร์ด Arduino ที่ต้องการ Upload	15
2.11 เลือกหมายเลข Com Port ของบอร์ด	15
2.12 Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม	16
2.13 ส่วนประกอบของ Arduino Mega 2560	16
2.14 Rotary Encoder	18
2.15 จอ GLCD 128x64	19
2.16 Step Up & Down (Buck & Boost) 5-32V to 1.25-32V 4A	20
3.1 Arduino Mega 2560 Microcontroller Board	22
3.2 Rotary Encoder	22
3.3 ไดอะแกรม Rotary Encoder และการเชื่อมต่อจอ Rotary Encoder กับ Arduino	23
3.4 จอแสดงผล (GLCD)	23
3.5 การเชื่อมต่อจอ GLCD กับ Arduino	24
3.6 โมดูล MCP4725 D/A ขนาด 12 บิต	25
3.7 การเชื่อมต่อระหว่างโมดูล MCP4725 D/A กับบอร์ด Arduino	25
3.8 โมดูล Step Up & Down	26
3.9 การเชื่อมต่อระหว่างโมดูล Step Up & Down เข้ากับ Power Supply และบอร์ด Arduino	26
3.10 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง	27
3.11 Mass Flow Controller	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ทั้งหมดเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์	28
3.13 ด้านหน้าของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ	29
3.14 โครงสร้างภายในของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ	29
3.15 ด้านหลังของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ	30
3.16 ไดอะแกรมการทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ	31
3.17 ไดอะแกรมแสดงหลักการทำงาน	32
3.18 แผนผังแสดงการเชื่อมต่อระหว่างเซ็นเซอร์กับบอร์ด Arduino	32
3.19 หน้าจอแสดงการเลือกช่องสัญญาณที่จะทำการควบคุมอัตราการไหล ซึ่งเป็นหน้าแรกของการเริ่มต้นใช้งาน	33
3.20 หน้าจอแสดงการเลือกชนิดของ Mass Flow และเลือกชนิดของแก๊สที่จะทำการควบคุมอัตราการไหล	34
3.21 หน้าจอแสดงการตั้งค่า Full Scale ของเครื่องควบคุมอัตราการไหลและการตั้งค่าอัตราการไหลให้แก่เครื่องควบคุมอัตราการไหล	34
3.22 หน้าจอแสดงการเลือกที่จะไปตั้งค่าพารามิเตอร์ของช่องสัญญาณอื่นต่อหรือไม่	35
3.23 หน้าจอแสดงการควบคุมการเริ่ม/หยุดการทำงานของเครื่องวัดควบคุมอัตราการไหล และแสดงค่าเอาต์พุตที่ได้จากเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ	35
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{out} (V) กับ จำนวน Byte	37
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน (sccm) กับ ค่าความดัน (mBar)	38
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน (sccm) กับ ค่าความดัน (mBar)	39
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน (sccm) กับ ค่าความดัน (mBar)	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
GLCD	Graphic Liquid Crystal Display
sccm	Standard Cubic Centimeters (per) Minute
D/A	Digital to Analog
A/D	Analog to Digital
GND	Ground
CLK	Clock



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมที่มีการใช้เทคโนโลยีขั้นสูงและอุตสาหกรรมทางด้านสารกึ่งตัวนำมีการแพร่กระจายเทคโนโลยีไปทั่วโลกอย่างรวดเร็ว รวมถึงยังมีการพัฒนาคุณภาพด้านการผลิตด้วยการค้นคว้าและวิจัยโดยนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรทางด้านต่าง ๆ ในการพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซก็เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมขั้นสูง อุตสาหกรรมทางด้านสารกึ่งตัวนำและอุตสาหกรรมทางด้านอื่น ๆ อีกมากมาย

เครื่องควบคุมการไหลของก๊าซเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นเพื่อควบคุมอัตราการไหลของก๊าซซึ่งในปัจจุบันผลิตออกมาหลายชนิดหลายรุ่น ซึ่งแต่ละชนิดจะมีการใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์เดียวกันคือ ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ โดยใช้หลักการเดียวกันในการควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ แต่สิ่งที่ต่างกัน คือ ส่วนประกอบภายในของเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซในแต่ละรุ่นแต่ละชนิด ซึ่งในการนำมาใช้งานจึงต้องคำนึงถึงชนิดของก๊าซที่เราต้องการควบคุมว่ามีความเหมาะสมกับเทคโนโลยีของเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซประเภทใด

ในโครงการพิเศษนี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ เครื่องควบคุมการไหลของก๊าซเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานในระบบปิด ซึ่งกล่าวถึงการควบคุมอัตราการไหลของก๊าซโดยควบคุมอัตราเร็วของก๊าซจากตัวแสดงผลที่สร้างขึ้นเพื่อควบคุมเกจ เสมือนเป็นวาล์วควบคุมก๊าซและจะแสดงค่าอัตราการไหลของก๊าซออกมาเป็นค่าดิจิทัลเพื่อสะดวกในการนำไปใช้งาน โดยสามารถควบคุมอัตราการไหลตั้งแต่ 0-5 sccm

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ
- 2) เพื่อออกแบบระบบควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- 3) เพื่อเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ
- 4) เพื่อสร้างเครื่องควบคุมอัตราการไหลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ไปใช้ในระบบสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยชิ้นนี้ เราจะศึกษาการทำงานของระบบในการควบคุมอัตราการไหล โดยการศึกษาจากการทำงานของอุปกรณ์ตัวตรวจจับ จากนั้นทำการทดลองในการวัดอัตราการไหลของก๊าซ เพื่อสร้างเครื่องควบคุมและตัวแสดงผลของเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะทำการพัฒนาระบบการวัดและควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 ควบคุมระบบการทำงาน ใช้ Rotary Encode เป็นภาคอินพุตและใช้จอแสดงผลแอลซีดีแบบกราฟิก (Graphic Liquid Crystal Display) ความละเอียด 128 x 64 เป็นภาคเอาต์พุต โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ระยะเวลา									
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.ศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ										
2.ออกแบบระบบควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์										
3.เขียนโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการไหล										
4.สร้างเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์										
5.ทดสอบการทำงานของระบบควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วยเครื่องควบคุมอัตราการไหล										
6.วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุขัดแย้งเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทำให้มีความรู้ความเข้าใจถึงทฤษฎีและหลักการวัดค่าอัตราการไหลของก๊าซ
- 2) ทำให้รู้และเข้าใจถึงหลักการทำงานของเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ
- 3) ทำให้ทราบถึงระบบควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ
- 4) ทำให้ทราบถึงหลักการประยุกต์ใช้วงจรไฟฟ้าและโปรแกรมในการนำไปสร้างเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ
- 5) ทำให้ทราบถึงองค์ประกอบของตัวควบคุมและตัวแสดงผลของเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ
- 6) ทำให้ได้เครื่องควบคุมการไหลของก๊าซไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในงานด้านอุตสาหกรรม งานวิจัยและอื่น ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซ

แก๊สหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ก๊าซ (gas) คือ สารที่อยู่ในสถานะก๊าซ ณ อุณหภูมิและความดันปกติ เช่น H_2 O_2 N_2 ก๊าซเฉื่อย ก๊าซมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคน้อยมากจะอยู่ห่างกัน และแพร่กระจายอยู่ทั่วทั้งภาชนะที่บรรจุ ทำให้มีรูปร่างเปลี่ยนแปลงตามขนาดและรูปร่างของภาชนะ

2.1.1 สมบัติของก๊าซ

- 1) ก๊าซมีรูปร่างและปริมาตรไม่แน่นอนเปลี่ยนแปลงไปตามภาชนะที่บรรจุ บรรจุภายในภาชนะใดก็จะมีรูปร่างและปริมาตรตามภาชนะนั้น เช่น ถ้าบรรจุในภาชนะทรงกลมขนาด 1 ลิตร ก๊าซจะมีรูปร่างเป็นทรงกลมมีปริมาตร 1 ลิตร เพราะก๊าซมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค (โมเลกุลหรืออะตอม) น้อยมากจึงทำให้อนุภาคของก๊าซสามารถเคลื่อนที่หรือแพร่กระจายเต็มภาชนะที่บรรจุ
- 2) ถ้าให้ก๊าซอยู่ในภาชนะที่เปลี่ยนแปลงปริมาตรได้ ปริมาตรของก๊าซจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความดันและจำนวนโมล ดังนั้นเมื่อบอกปริมาตรของก๊าซจะต้องบอกอุณหภูมิ ความดันและจำนวนโมลด้วย เช่น ก๊าซออกซิเจน 1 โมล มีปริมาตร 22.4 dm^3 ที่อุณหภูมิ 0°C ความดัน 1 บรรยากาศ (STP)
- 3) สารที่อยู่ในสถานะก๊าซมีความหนาแน่นน้อยกว่าเมื่ออยู่ในสถานะของเหลวและของแข็งมาก เช่น ไอน้ำ มีความหนาแน่น 0.0006 g/cm^3 แต่น้ำมีความหนาแน่นถึง 0.9584 g/cm^3 ที่ 100°C
- 4) ก๊าซสามารถแพร่ได้และแพร่ได้เร็วเพราะก๊าซมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อยกว่าของเหลวและของแข็ง
- 5) ก๊าซต่างๆ ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปเมื่อนำมาใส่ในภาชนะเดียวกัน ก๊าซแต่ละชนิดจะแพร่ผสมกันอย่างสมบูรณ์ทุกส่วน นั่นคือส่วนผสมของก๊าซเป็นสารเดียว หรือเป็นสารละลาย (Solution)
- 6) ก๊าซส่วนใหญ่ไม่มีสีและโปร่งใส เช่น ก๊าซออกซิเจน (O_2) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แต่ก๊าซบางชนิดมีสี เช่น ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) มีสีน้ำตาลแดง ก๊าซคลอรีน (Cl_2) มีสีเขียวแกมเหลือง ก๊าซโอโซน (O_3) ที่บริสุทธิ์มีสีน้ำเงินแก่ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

การวัดปริมาตรของก๊าซ เนื่องจากก๊าซบรรจุในภาชนะใดก็ฟุ้งกระจายเต็มภาชนะนั้น ดังนั้นปริมาตรของก๊าซจึงมักหมายถึงปริมาตรของภาชนะที่บรรจุก๊าซนั้น หน่วยของปริมาตรที่นิยมใช้คือ ลูกบาศก์เดซิเมตร (dm^3) หรือลิตร (Liter) หรือ ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3) ($1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$)

อุณหภูมิ (Temperature) เป็นมาตราส่วนที่ใช้บอกระดับความร้อน-เย็นของสาร แต่อุณหภูมิไม่ได้บอกให้ทราบถึงปริมาณความร้อนของสาร กล่าวคือ สารที่มีอุณหภูมิเท่ากันแสดงว่ามีระดับความร้อนเท่ากัน แต่อาจจะมีปริมาณความร้อนเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิ คือ เทอร์โมมิเตอร์ ไพโรมิเตอร์ และเทอร์โมคัปเปิล แต่ที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย คือ เทอร์โมมิเตอร์

การวัดอุณหภูมิของก๊าซ การวัดอุณหภูมิมาตราส่วนที่ใช้มีหลายแบบ คือ เซลเซียส เคลวิน ฟาเรนไฮต์ โรเมอร์และแรงกิน แต่การวัดอุณหภูมิของก๊าซส่วนใหญ่ใช้มาตราส่วนเคลวิน (Kelvin Scale) หรือเรียกว่า มาตราส่วนสัมบูรณ์ (Absolute Temperature Scale) สัญลักษณ์ K และองศาเซลเซียส สัญลักษณ์ $^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิเคลวิน และองศาเซลเซียสมีความสัมพันธ์กันดังนี้ อุณหภูมิเคลวิน = องศาเซลเซียส + 273.15

ความดัน (Pressure) หมายถึง แรงที่กระทำต่อหน่วยพื้นที่ ที่ตั้งฉากกับแรงนั้น เนื่องจากความดันของก๊าซเกิดจากโมเลกุลของก๊าซชนผนังภาชนะ เพราะฉะนั้นความดันของก๊าซคือแรงที่โมเลกุลของก๊าซกระทำต่อผนังต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของภาชนะ และความดันของก๊าซมีค่าเท่ากันหมดไม่ว่าจะวัดที่ส่วนใดของภาชนะ

2.1.3 ประเภทของก๊าซ

ในการศึกษาสมบัติของก๊าซ จะแบ่งก๊าซออกเป็น 2 ประเภท คือ

- 1) ก๊าซในอุดมคติหรือก๊าซสมบูรณ์แบบ (Ideal gas or Perfect gas) หมายถึง ก๊าซที่อยู่ในภาวะใดๆ ก็ตาม จะมีพฤติกรรมเป็นไปตามกฎต่างๆ ของก๊าซในอุดมคติ เช่น กฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์ลูสแซก กฎรวมของก๊าซ เป็นต้น และยังมีสมบัติเป็นไปตามทฤษฎีจลน์ของก๊าซครบทุกข้อด้วย
- 2) ก๊าซจริง (Real gas) หมายถึง ก๊าซที่มีพฤติกรรมไม่เป็นไปตามกฎต่างๆ ของก๊าซในอุดมคติและทฤษฎีจลน์ของก๊าซที่ภาวะปกติ แต่ในภาวะที่อุณหภูมิสูงมากและความดันต่ำมาก ก๊าซจริงจะมีพฤติกรรมใกล้เคียงกับก๊าซในอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หน่วยที่ใช้

โดยทั่วไปการไหลโดยมวลของก๊าซจะแสดงออกมาในรูปของปริมาตร คือ ในหน่วยของ standard cubic centimeters per minute (sccm) หรือ Standard Liters per Minute (slm) โดยกำหนดที่ 0 องศาเซลเซียส และที่ 1 บรรยากาศ เพราะเนื่องจากที่ก๊าซในอุดมคติ 1 โมล ปริมาณ 24 ลิตร ที่ 0 องศาเซลเซียส และที่ 1 บรรยากาศ ก๊าซจะไหลประมาณ 1 นาที

2.3 ทฤษฎีและหลักการการทำงานของเกจควบคุมอัตราการไหล

2.3.1 สัมผัสทางความร้อนของการไหลเชิงมวล (Thermal sensing of mass flow)

อาศัยหลักการการตรวจวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงที่ขดลวดตัวต้านทาน 2 ตัว ซึ่งพันอยู่รอบท่อในส่วน bypass ซึ่งตัวต้านทานนี้จะต่ออยู่ในลักษณะของวงจรรบริดจ์ โดยจะใช้กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อนที่ท่อและอาศัยการไหลผ่านของก๊าซทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างความต้านทานทั้งสองขึ้น ส่งผลทำให้วงจรรบริดจ์เกิดความไม่สมดุลแล้วทำให้ได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าออกมาตั้งนั้นค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของความต้านทานทั้งสองตัวนี้เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับการไหลโดยมวลของก๊าซ ความดันของก๊าซ ความร้อน และอัตราการไหลของก๊าซ

2.3.2 กระบวนการควบคุมรูปแบบของระบบปิด (Closed-loop Servo Operation)

ระบบควบคุม (Control System) คือ การจัดการองค์ประกอบส่วนต่างๆ ให้มีการทำงานสัมพันธ์กัน เพื่อบังคับหรือปรับปรุงให้ระบบทำงานตามที่ต้องการ

แพลน (Plant) คือ สิ่งที่จะถูกควบคุม อาจเป็นเครื่องมือ เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน

ดิสเตอร์บรันด์ (Disturbance) คือ สัญญาณรบกวนที่เข้ามาในระบบทำให้ค่าเอาต์พุตของระบบเปลี่ยนไป

การควบคุมการป้อนกลับ (Feedback) คือ การพยายามลดค่าความแตกต่างระหว่างเอาต์พุตกับค่าอ้างอิง (Set Point) หรือเอาต์พุต

ระบบการควบคุมการป้อนกลับ (Feedback Control System) คือ ระบบการควบคุมที่รักษาค่าเอาต์พุตได้ใกล้เคียงกับค่าอินพุต โดยมีการเปรียบเทียบสัญญาณทั้งสองนี้ ผลจากการเปรียบเทียบจะเป็นค่าผิดพลาด (Error) ซึ่งเป็นสัญญาณที่ใช้ป้อนเข้าสู่ตัวควบคุม

เซอร์โวแมคคาทรอนิกส์ (Servomechanism) คือ ระบบควบคุมป้อนกลับโดยที่เอาต์พุตอยู่ในรูปของตำแหน่ง (Position) ความเร็ว (Velocity) หรืออัตราเร่ง (Acceleration)

ออโตเมติก เรกกูเลติง (Automatic Regulating System) คือ ระบบควบคุมป้อนกลับซึ่งรักษาค่าเอาต์พุตให้คงที่ตามการเปลี่ยนแปลงของค่าอ้างอิงหรืออินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.1 พื้นฐานของระบบควบคุม

ระบบควบคุม คือ รูปแบบของระบบใดๆ ที่มีการจัดการองค์ประกอบต่างๆ ภายในระบบ เพื่อให้มีผลตอบสนองของระบบเป็นไปตามที่ต้องการ ส่วนมากอาศัยทฤษฎีระบบเชิงเส้นมาช่วยในการวิเคราะห์ พิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างเหตุผล (Cause Effect) ของแต่ละองค์ประกอบของระบบ ซึ่งองค์ประกอบ 3 ส่วนที่สำคัญ ดังนี้

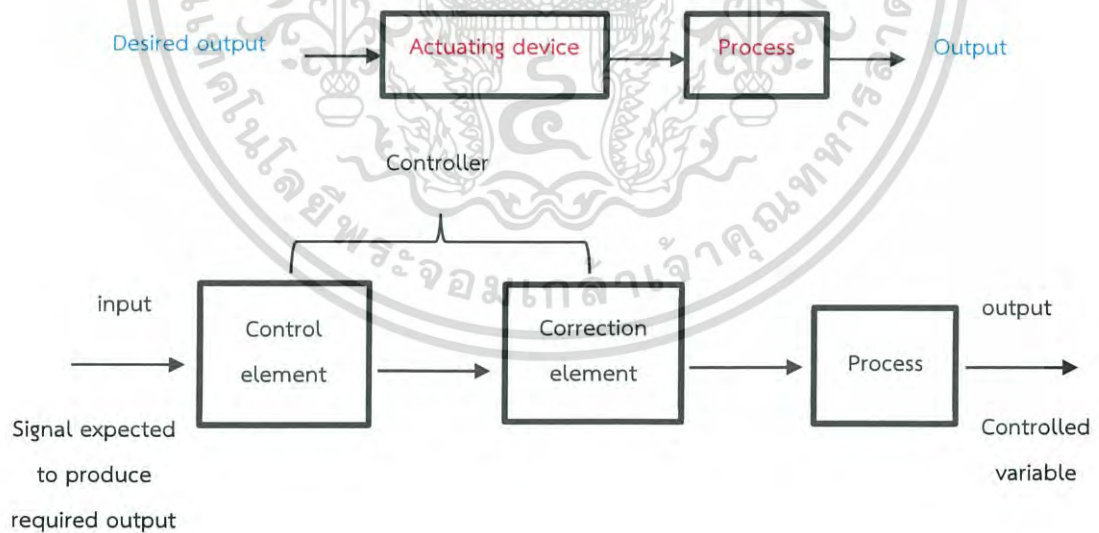
- 1) วัตถุประสงค์ของการควบคุม (Input)
- 2) กระบวนการ ขั้นตอน หลักที่ใช้ในการควบคุม (Process)
- 3) ค่าที่ได้รับจริง (Output)

2.3.2.2 ประเภทของการควบคุม

- 1) ระบบควบคุมแบบลูเปิด (Open-loop control system)

เป็นระบบที่ค่าเอาต์พุตไม่มีผลต่อการควบคุมขบวนการของระบบ คือ ไม่มีการนำเอาค่าเอาต์พุตที่ได้กลับมาเปรียบเทียบกับค่าอินพุตที่ป้อนให้กับระบบ

- ไม่มีการนำสัญญาณทางด้านเอาต์พุตป้อนกลับทางด้านอินพุต
- ระบบไม่มีความซับซ้อน
- ระบบใช้กับงานที่ไม่ต้องการความแม่นยำ
- เป็นระบบควบคุมที่ประหยัด

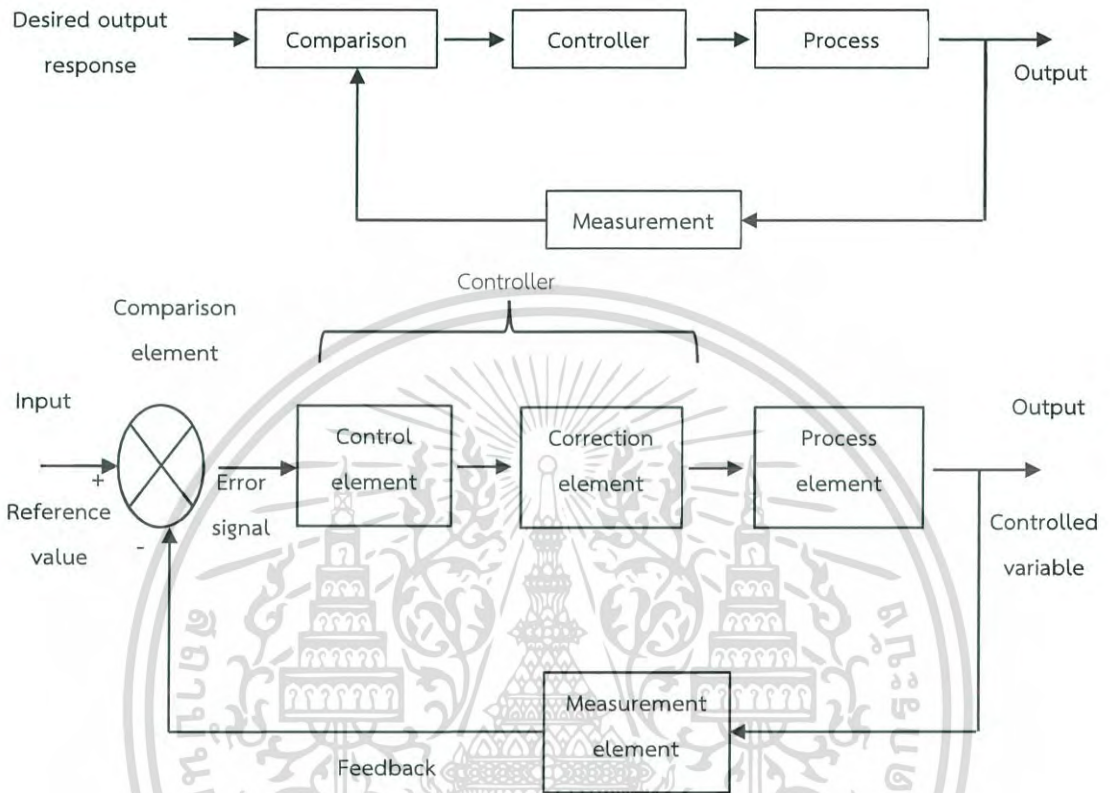


รูปที่ 2.1 แสดงระบบควบคุมแบบลูเปิด

- 2) ระบบควบคุมแบบลูปิด (Closed-loop control system)

เป็นระบบที่นำสัญญาณจากเอาต์พุตของระบบ ป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้กับระบบ ซึ่งผลต่างระหว่างสัญญาณทั้งสองที่นำมาเปรียบเทียบกับนั้นจะเป็นค่าใช้

ผิดพลาด (Error) เพื่อที่จะใช้เป็นสัญญาณป้อนเข้าตัวควบคุม (Controller) ให้ตัวควบคุมนำไปสร้างสัญญาณควบคุมใหม่เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบและทำให้เอาต์พุตของระบบเข้าสู่ค่าที่ต้องการ (Set Point)



รูปที่ 2.2 แสดงระบบควบคุมแบบลูปปิด

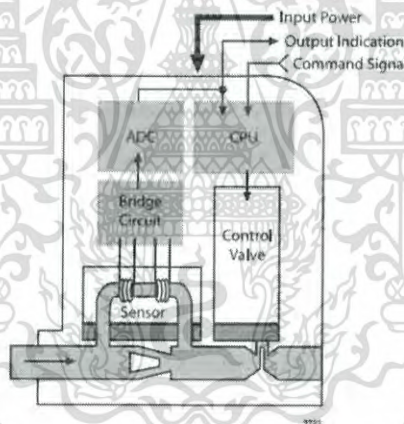
2.4 ส่วนประกอบต่างๆ ภายในเกจควบคุมอัตราการไหล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.3 เครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่แบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดอัตราการไหล ที่ใช้ในโครงการพิเศษนี้ ซึ่งรายละเอียดขององค์ประกอบหลักๆ ภายในเครื่องตรวจวัดนี้ประกอบไปด้วย

- 1) Base คือ ส่วนต่อที่เป็นสแตนเลสและจุดต่อของส่วนประกอบต่างๆ ในตัวเครื่องควบคุมอัตราการไหล ทำหน้าที่เป็นช่องผ่านของก๊าซ
- 2) Sensor คือ ส่วนที่ตรวจวัดอุณหภูมิมีการตอบสนองเร็ว มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งท่อที่ตรวจวัดนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมาก จึงมีการตอบสนองต่อเนื่องต่อการเปลี่ยนแปลงการไหลของก๊าซได้เร็ว
- 3) Bypass คือ ส่วนที่เปรียบเสมือนกับ Flow Splitter จะเป็นอัตราการไหลระหว่างที่ก๊าซไหลผ่านท่อปกติกับไหลผ่านตัวตรวจรู้ เพื่อทำการสอบเทียบ ค่าการไหลของก๊าซในการใช้งาน
- 4) Control Valve คือ ส่วนควบคุมวาล์วในการกำหนดการไหลของก๊าซโดยตอบสนองต่อสัญญาณที่ค่าที่ตั้งไว้ ซึ่งตัวที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนวาล์วนี้ คือ Piezoelectric, ขดลวดไฟฟ้า (Solenoid), อุณหภูมิ

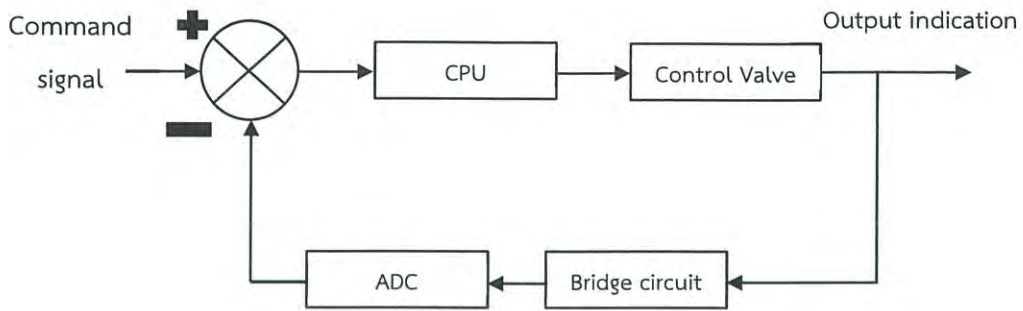


รูปที่ 2.4 องค์ประกอบของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ

2.4.1 หลักการทำงานของเกจควบคุมอัตราการไหล

อาศัยหลักการการตรวจวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงที่ขดลวดตัวต้านทาน 2 ตัวซึ่งพันอยู่รอบท่อในส่วน Bypass ตัวต้านทานนี้ต่ออยู่ในลักษณะของวงจรบริดจ์ โดยจะใช้กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อนที่ท่อและอาศัยหลักการไหลผ่านของก๊าซ ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิมะหว่างความต้านทานทั้งสองชั้น ส่งผลให้วงจรบริดจ์เกิดความไม่สมดุลแล้วทำให้ได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าออกมาและส่งต่อไปยังส่วน ADC เพื่อแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากวงจรบริดจ์ให้เป็นค่าสัญญาณอนาล็อกที่มีค่าตั้งแต่ 0-5 โวลต์ ส่งออกมาเป็นส่วนของสัญญาณเอาต์พุต

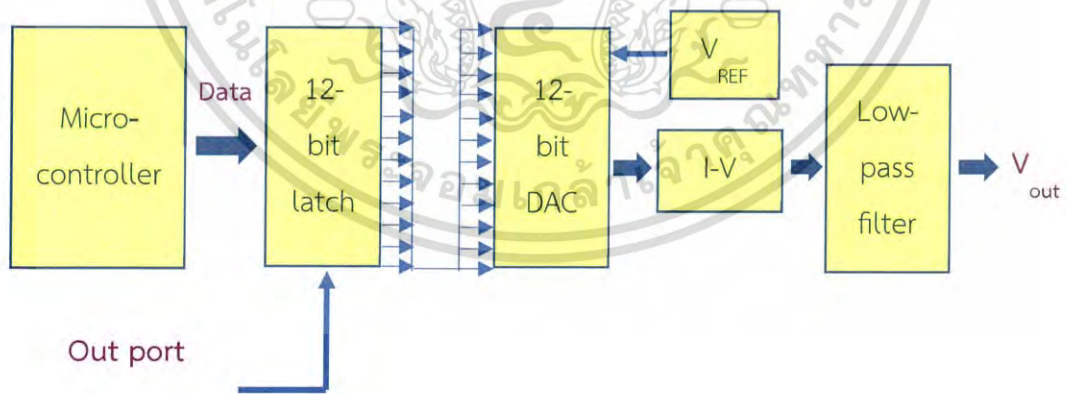
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ไดอะแกรมการควบคุมของเครื่องควบคุมอัตราการไหล

2.5 วงจรแปลงดิจิตอลเป็นอนาล็อก (Digital to Analog Converter)

ดิจิตอลเป็นอนาล็อก (Digital to Analog Converter System) โดยทั่วไปไมโครคอมพิวเตอร์จะถูกโปรแกรมให้ส่งข้อมูลดิจิตอลออกมาในรูปของรหัสตัวเลขฐานสอง จากนั้น Latch จะทำหน้าที่เก็บข้อมูลนี้ไว้พร้อมกับส่งข้อมูลต่อให้กับวงจรแปลงดิจิตอลเป็นอนาล็อก (DAC) เพื่อทำการแปลงข้อมูลนี้ DAC จะใช้ระดับโวลต์เตจหรือกระแสที่คงที่ค่าหนึ่งเป็นระดับอ้างอิงในการแปลงข้อมูลดิจิตอลเป็นอนาล็อก โดยให้เอาต์พุตในรูปกระแสวงจรถแปลงกระแสเป็นโวลต์เตจ (Current-to-Voltage Converter) ซึ่งปกติสร้างกระแสจากออปแอมป์ ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกที่ได้จะถูกส่งไปยังตัวกรองสัญญาณ Low-Pass (Low-Pass Filter) เพื่อกำจัดองค์ประกอบสัญญาณความถี่สูงออกไป ทำให้สัญญาณโวลต์เตจที่เอาต์พุตซึ่งมีลักษณะเป็นขั้นๆ (Quantized Analog Output) เรียบมากขึ้น



รูปที่ 2.6 ระบบการแปลงดิจิตอลเป็นอนาล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 วิธีการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก

การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก (DAC) หมายถึง การแปลงน้ำหนักของรหัสตัวเลขฐานสองผ่านวงจรแปลงให้เป็นแรงดันอนาล็อก วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างภาคควบคุมซึ่งเป็นวงจรดิจิตอล ไมโครโพรเซสเซอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทางหรืออุปกรณ์เอาต์พุตที่รับสัญญาณที่เป็นระดับลอจิก “0” หรือ “1” ที่มีแรงดัน 0 V หรือ 5 V ตามลำดับ ให้เป็นสัญญาณเอาต์พุตที่อยู่ในรูปของระดับแรงดัน หรือกระแสที่ต่อเนื่อง เพื่อป้องกันให้แก่อุปกรณ์เอาต์พุต ในการทดลองนี้เป็นการทดสอบการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก โดยใช้วงจรที่ประกอบด้วยออปแอมป์และโครงข่ายตัวต้านทานแบบ Binary-Weighted Resistor และแบบ R-2R Ladder รวมทั้งทดสอบการทำงานของไอซีเบอร์ DAC0808 หรือเบอร์ MC1408 ซึ่งเป็นไอซีที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกขนาด 8 บิต (Digital to Analog Converter : DAC) สัญญาณ เอาต์พุตที่ได้จะอยู่ในรูปของกระแสที่เปลี่ยนแปลงสัญญาณดิจิทัลที่อินพุต วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกมี 2 ลักษณะดังนี้

2.5.1.1 แบบรวมกระแส (Weighted -Resistor)

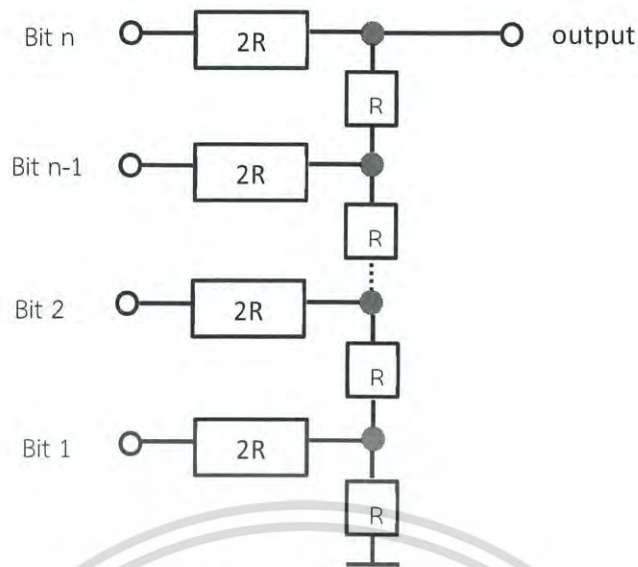
คุณลักษณะของ D/A แบบรวมกระแส

- 1) จะต้องมีตัวต้านทานทุกอินพุตของสัญญาณดิจิทัล
- 2) ตัวต้านทานนี้อินพุตของทุกบิตจะมีค่าเท่ากับเอาต์พุตของระดับดิจิทัลสูงสุด
- 3) แรงเคลื่อนที่เอาต์พุตเต็มสเกลจะมีค่าเท่ากับเอาต์พุตของระดับดิจิทัลสูงสุด
- 4) LSB จะมีน้ำหนักเป็น $1/(2^n-1)$ เมื่อ n เป็นจำนวนบิตที่อินพุต
- 5) เมื่อ LSB เปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เอาต์พุตจะเปลี่ยนไป $1/(2^n-1)$ เมื่อ V เป็นระดับสัญญาณดิจิทัล

2.5.1.2 โครงข่ายแบบ R-2R (R-2R Network)

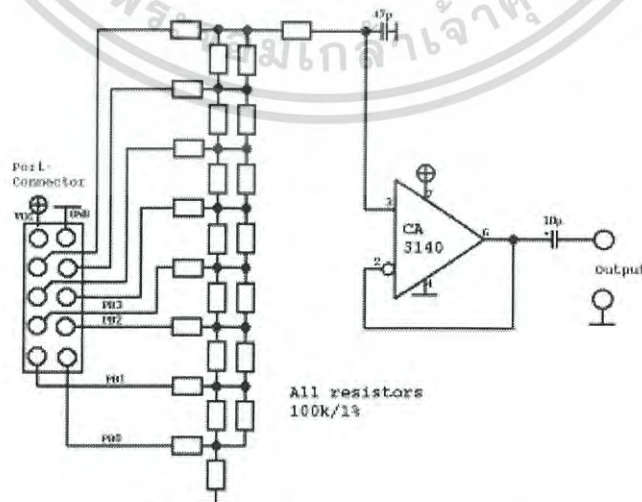
การ Convert ค่าจากดิจิทัลเป็นอนาล็อกนั้น สามารถใช้ Integrated Circuit แปลงได้ แต่ถ้าหากคำนึงถึงเรื่องราคาด้วยแล้ว วงจรที่สามารถทำได้และราคาถูกกว่าก็คือ R/2R Network นั่นเอง ซึ่งใช้ Op-Amp เป็นตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 โครงข่ายแบบ R-2R network

R/2R Network ทำได้จากการนำตัวต้านทานมาต่อตั้งรูป แต่ละบิตทั้งที่มีค่าเป็น 0 หรือที่เป็น Operating Voltage นั้นเป็นค่าที่อยู่ในวงจรของตัวต้านทานที่มีค่าเป็น 2 เท่าของ Rest Network ซึ่งแต่ละบิตจะแสดงผลพอร์ทออกเป็น Output นั้นเอง จะเชื่อหรือไม่เชื่อว่า Network นี้ทำงานได้จริง ใช้เป็น Digital-to-Analog-Converters โดยใช้แค่เพียงตัวต้านทานต่อกันเป็นเครือข่ายตามรูป โดยไม่จำเป็นต้องใช้วงจรรวม Integrated Circuits แม้แต่วงจรเดียว Output จาก AVR Port มีค่ากระแสไม่มากนัก เมื่อค่าความต่างศักย์ของมันควรจะมีค่าใกล้ๆศูนย์หรือพอกับ Operating Voltage ดังนั้นตัวต้านทานจึงควรมีค่าราว ๆ 10 กิโลโอห์ม เพราะจะทำให้วงจรไม่มีค่ากระแสมากเกินไปนั่นเอง และตัว Op-Amp เองก็สามารถทำงานกับวงจร R/2R Network ได้ R/2R Network and Buffer



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.8 R/2R Network and Buffer ภายใต้งานวิจัยที่นำเสนอไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น (ที่มา : <http://genesistk2009.blogspot.com/2010/01/ad-da.html>)

CA3140 เป็น Op-Amp ที่มี FET Stage เป็น Input ซึ่งสามารถทำงานได้โดยค่าโวลต์ที่เป็นลบ หรือที่เรียกว่า Negative Operating Voltage นั่นเอง การทำงานของ CA3140 นั้นทำงานที่ค่าความต่างศักย์เป็น 5 โวลต์จาก 10-Pin-Connector ซึ่ง Connector นี้ใช้กับ Board STK200 หรือ STK500 ในที่จริงแล้วเราสามารถป้อนค่าความต่างศักย์ที่สูงกว่า 2 โวลต์ได้เช่นกัน โดยการใช้ตัวต้านทาน 2 ตัว ต่อขนานกันซึ่งจะได้ค่าประมาณครึ่งหนึ่งของ 100 k อาจจะเป็น 51k หรือมากกว่าหรือน้อยกว่าก็ได้ ซึ่งจะทำให้วงจรมี Resolution เป็น 256 ซึ่งวงจรที่ได้ เป็นดังภาพด้านบน

2.6 ทฤษฎีของความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับอัตราการไหลของก๊าซที่ใช้ในเครื่องควบคุมอัตราการไหล

วิธีต่างๆ ไปที่เราไว้ใช้ในการวิเคราะห์หาอัตราการไหลของเครื่องควบคุมอัตราการไหลได้อย่างแม่นยำคือวิธี ROR (rate of rise) ซึ่งเราจะใช้การวัดอัตราการเพิ่มขึ้นของความดันภายในส่วนตัวตรวจรู้เครื่องควบคุมอัตราการไหลแล้วทำการแปลงมันให้เป็นอัตราการไหลของก๊าซซึ่งวิธีนี้จะอาศัยสมการสถานะของก๊าซในอุดมคติ

$$PV = nRT \quad (1)$$

P คือ ความดันของก๊าซมีหน่วยเป็นบรรยากาศ (atm)

V คือ ปริมาตรของก๊าซมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เดซิเมตร (dm^3)

n คือ จำนวนโมลของก๊าซ

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซต่อโมล = $0.082051\text{-atm/K.mol}$

T คือ อุณหภูมิของก๊าซมีหน่วยเป็น เคลวิน (K)

ความดันที่เราจะใช้จะใช้ความดัน ณ สองตำแหน่งคือความดันของก๊าซก่อนเข้าสู่ส่วนของตัวตรวจรู้และความดันของก๊าซหลังผ่านส่วนตัวตรวจรู้ ซึ่งเราจะต้องรู้ค่าที่แน่นอนของปริมาตรและอุณหภูมิของก๊าซ โดยที่เวลา $t = t_1$; จำนวนโมลของก๊าซเริ่มต้น (n_1)

$$n_1 = P_1V/(RT) \quad (2)$$

ที่เวลา $t = t_2$; จำนวนโมลของก๊าซที่ไหลผ่านส่วนตรวจรู้ (n_2)

$$n_2 = P_2V/(RT) \quad (3)$$

จำนวนโมลของก๊าซที่เพิ่มขึ้น

$$n_2 - n_1 = (P_2 - P_1)V/(RT) \quad (4)$$

เราจะได้ความสัมพันธ์ในการหาอัตราการไหลของก๊าซ

$$\begin{aligned} Q &= (n_2 - n_1)/(t_2 - t_1) \\ &= (\Delta P)(V)/(\Delta t)(RT) \end{aligned} \quad (5)$$

ดังนั้น อัตราการไหลของก๊าซสามารถหาได้โดยการวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 Arduino Mega 2560

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลงเพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ดหรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย

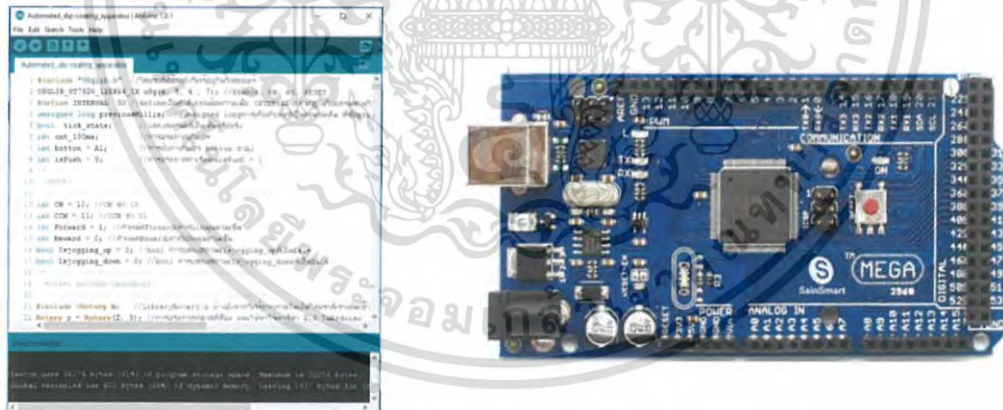
ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือ ผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด

2.7.1 จุดเด่นที่ทำให้บอร์ด Arduino เป็นที่นิยม

- 1) ง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐาน ไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น
- 2) มี Arduino Community กลุ่มคนที่ร่วมกันพัฒนาที่แข็งแกร่ง
- 3) Open Hardware ทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้านราคาไม่แพง

2.7.2 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino

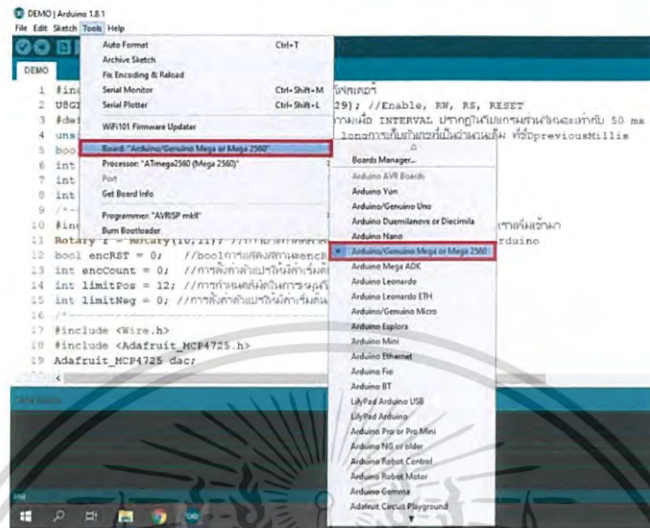
- 1) เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้



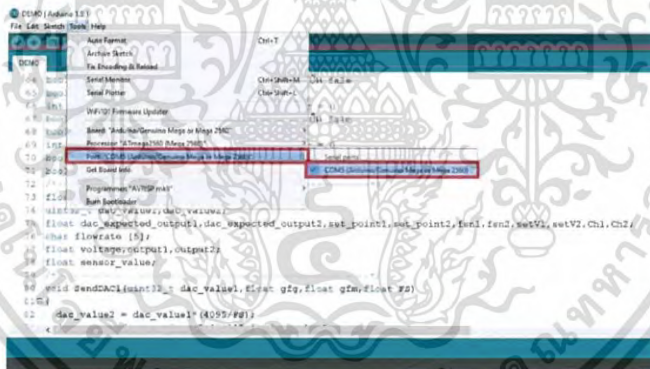
รูปที่ 2.9 เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรม Arduino IDE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) หลังจากที่เราเขียนโค้ดโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้งานเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้ และหมายเลข Com Port



รูปที่ 2.10 เลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ต้องการ Upload



รูปที่ 2.11 เลือกหมายเลข Com Port ของบอร์ด

- 3) กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม จากนั้นกดปุ่ม Upload โค้ด โปรแกรมไปยังบอร์ด Arduino ผ่านทางสาย USB เมื่ออัปโหลดเรียบร้อยแล้ว จะแสดงข้อความแถบข้างล่าง “Done Uploading” และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามที่เขียนโปรแกรมไว้ได้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

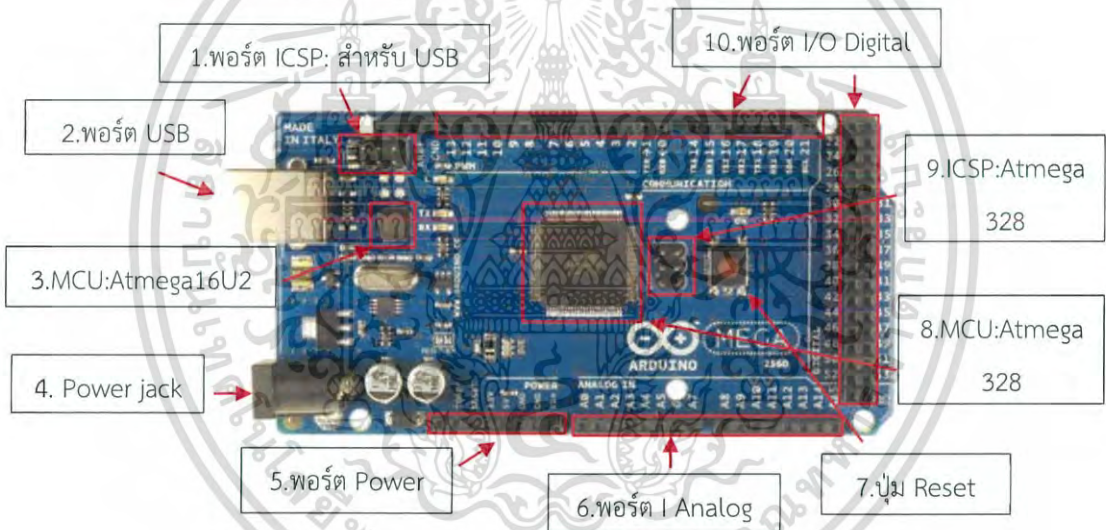
DEMO | Arduino 1.8.1
File Edit Sketch Tools Help
Verify
DEMO
1 #include "Usglib.h" //ไลบรารีอานาล็อกให้พิกัด
2 USGLIB_ST7920_128X64_IX usg(28, 27, 26, 29); //Enable, RW, RS, RESE
3 #define INTERVAL 50 //defineเป็นค่าช่วงเวลาเมื่อ INTERVAL มาถูกใช้ไปเม
4 unsigned long previousMillis; //unsigned longค่ากับตัวแปรเป็นค่าเดิมแล้ว
5 bool tick_state; //แสดงสถานะที่เป็นเท็จหรือจริง
6 int cnt_100ms; //การนับค่าที่แปร
7 int button = A1; //การตั้งค่าปุ่ม button ว่าA1
8 int isPush = 0; //การประกาศค่าเริ่มต้นisPush = 0
9 //-----
10 #include <Rotary.h> //LibraryRotary.h อิงอิงจากที่ซื้อมาเป็นเป็นแบบขา
11 Rotary r = Rotary(10,11); //การประกาศค่าของ r และใช้ว่าค่าคือ 2,3 ในแ
12 bool encRST = 0; //boolการตั้งค่าของencRSTเป็น false
13 int encCount = 0; //การตั้งค่าค่าเริ่มต้นของ encCount = 0
14 int limitPos = 12; //การตั้งค่าค่าเริ่มต้นของ limitPos
15 int limitNeg = 0; //การตั้งค่าค่าเริ่มต้นของ limitNeg = 0
16 //-----
17 #include <Wire.h>
18 #include <Adafruit_MCP4725.h>
19 Adafruit_MCP4725 dac;
    
```

```

DEMO | Arduino 1.8.1
File Edit Sketch Tools Help
Upload
DEMO
1 #include "Usglib.h" //ไลบรารีอานาล็อกให้พิกัด
2 USGLIB_ST7920_128X64_IX usg(28, 27, 26, 29); //Enable, RW, RS, RE
3 #define INTERVAL 50 //defineเป็นค่าช่วงเวลาเมื่อ INTERVAL มาถูกใช้ไปเม
4 unsigned long previousMillis; //unsigned longค่ากับตัวแปรเป็นค่าเดิมแล้ว
5 bool tick_state; //แสดงสถานะที่เป็นเท็จหรือจริง
6 int cnt_100ms; //การนับค่าที่แปร
7 int button = A1; //การตั้งค่าปุ่ม button ว่าA1
8 int isPush = 0; //การประกาศค่าเริ่มต้นisPush = 0
9 //-----
10 #include <Rotary.h> //LibraryRotary.h อิงอิงจากที่ซื้อมาเป็นเป็นแบบขา
11 Rotary r = Rotary(10,11); //การประกาศค่าของ r และใช้ว่าค่าคือ 2,3 ในแ
12 bool encRST = 0; //boolการตั้งค่าของencRSTเป็น false
13 int encCount = 0; //การตั้งค่าค่าเริ่มต้นของ encCount = 0
14 int limitPos = 12; //การตั้งค่าค่าเริ่มต้นของ limitPos
15 int limitNeg = 0; //การตั้งค่าค่าเริ่มต้นของ limitNeg = 0
16 //-----
17 #include <Wire.h>
18 #include <Adafruit_MCP4725.h>
19 Adafruit_MCP4725 dac;
    
```

รูปที่ 2.12 Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม

2.7.3 Layout And Pin Out Arduino Board (Model : Arduino Mega 2560)



รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบของ Arduino Mega 2560

- 1) ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Comport บน Atmega16U2
- 2) USB Port ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
- 3) MCU Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
- 4) Power Jack รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
- 5) Power จ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ภายนอกที่นำมาต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

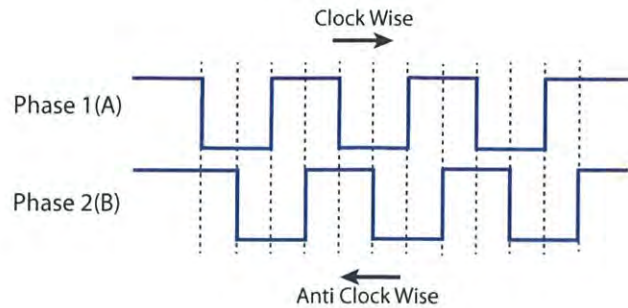
- 7) Reset Button เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
- 8) MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to serial โดย ATmega 328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2
- 9) ICSP Port ของ Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Boot Loader
- 10) I/O Port Digital ในแต่ละ Pins ทั้ง 54 Pins บนบอร์ด Arduino Mega 2560 สามารถเป็นได้ทั้ง input และ output โดยจะทำงานที่แรงดัน 5 V และให้กระแส สูงสุด 40 mA ฟังก์ชันอื่นๆ เพิ่มเติม
 - Pin 0, 15, 17, 19 เป็น Rx Serial และ Pin 1, 14, 16, 18 เป็น Tx Serial ใช้สำหรับรับ (Rx) และส่ง (Tx) TTL serial data โดย pin 0 และ 1 จะถูกเชื่อมต่อไปยัง corresponding pins ของ ATmega 16U2 USB-to-TTL serial chip
 - Pin 2, 3, 18, 19, 20, 21 Pins เหล่านี้สามารถที่จะกำหนดค่าที่ เรียก interrupt ในค่าต่างๆ, ขอบขาขึ้นและลง หรือเปลี่ยนแปลงค่า
 - Pin 2 ถึง 13 และ 44 ถึง 46 ให้ output PWM output 8-bits
 - Pin 50, 51, 52, 53 ใช้สำหรับรองรับการสื่อสารแบบ SPI โดยที่ไม่ เกี่ยวข้องกันกับ ICSP header ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับ Uno, Duemilanove และ Diecimila
 - Pin 20, 21 ใช้รองรับการเชื่อมต่อแบบ TWI(I2C)

2.8 Rotary Encoder

Rotary Encoder ทำหน้าที่แปลงการหมุนเชิงกลให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า มีรูปแบบ สัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาเป็นลักษณะของสัญญาณพัลส์ (Pulse) ที่เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม โดย จำนวนพัลส์ (Pulse) ที่ออกมาจะมีความสัมพันธ์กับระยะการเคลื่อนที่ ตำแหน่ง ระยะห่าง ความเร็ว และความเร่ง นอกจากนี้ยังสามารถระบุได้ถึงทิศทางการหมุนตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาโดยอาศัยการตรวจจับทิศทางการหมุนจากมุมเฟส (Phase) ของสัญญาณเอาต์พุต A (CLK) กับ สัญญาณ เอาต์พุต B (DT) ว่าสัญญาณใดเกิดก่อน ซึ่งมีมุมเฟส (Phase) ที่ต่างกันอยู่ 90 องศา เมื่อเฟส (Phase) A เกิดขึ้นก่อนเฟส (Phase) B เป็นการหมุนตามเข็มนาฬิกา ในทางตรงกันข้ามถ้าเฟส (Phase) B เกิดขึ้นก่อนเฟส (Phase) A จะเป็นการหมุนทวนเข็มนาฬิกา

ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 ตระกูล AVR ในการออกแบบชุดคำสั่ง โปรแกรม มีการรับคำสั่งจากผู้ใช้งานผ่านทาง Rotary Encoder ในการป้อนข้อมูลสามารถหมุนทวน เข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกาได้ตามต้องการและสามารถเลือกแบบสวิตซ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 Rotary Encoder

2.9 จอแสดงผล GLCD (Graphic Liquid Crystal Display)

เป็นชุด Display ขนาด 128x64 Dot พร้อมบอร์ดควบคุมการแสดงผล โดยใช้คำสั่งแบบ ASCII Command ใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงบอร์ด DC 7-12 V มีการทำงาน 3Mode คือ Text Mode, Graphic Mode และ Picture Mode สำหรับโครงการพิเศษนี้จะใช้เพียง 2 Mode มีดังต่อไปนี้

2.9.1 Text Mode

- 1) สามารถแสดงผลตัวอักษรภาษาอังกฤษ ไม่ต้องเสียเวลาในการสร้าง Font เอง
- 2) ขนาดของตัวอักษรสำหรับภาษาอังกฤษ 5x7 Dot (กว้างxยาว) ส่วนความกว้างขึ้นอยู่กับตัวอักษรอื่นๆ ซึ่งทำให้ได้ตัวอักษรที่สวยงาม โดย Font ที่แสดงจะเป็น Font เดียวกับ MS sans Serif ของ Window
- 3) สามารถกำหนดให้แสดงตัวอักษรในตำแหน่งใดๆ บนจอได้ และโดยปกติหนึ่งหน้าจอจะแสดงข้อความได้ 4 บรรทัดหรือมากกว่า ส่วนในหนึ่งบรรทัดจะแสดงตัวอักษรได้กี่ตัวนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดความกว้างของตัวอักษรที่ส่งมาในแต่ละตัวซึ่งจะมีความกว้างไม่เท่ากัน
- 4) สามารถลบตัวอักษร ในตำแหน่งใดๆ บนหน้าจอได้
- 5) สามารถส่ง Text ข้อความได้ครั้งละ 200 ตัวอักษร (ตัวอักษร+สระ+วรรณยุกต์)
- 6) สามารถเลือกข้อความได้ว่าจะให้ข้อความที่ส่งมา ชิดซ้าย, ชิดขวาหรืออยู่กึ่งกลางของบรรทัดนั้นๆ (ข้อความส่วนที่เกินบรรทัดจะถูกตัดทิ้ง)
- 7) สามารถเลือกได้ว่าเมื่อข้อความจบบรรทัดแล้วให้ขึ้นบรรทัดใหม่ให้โดยอัตโนมัติ
- 8) เมื่อข้อความเต็มจอข้อความส่วนที่เกินจะถูกตัดทิ้งไป และสามารถสั่งเคลียร์หน้าจอใหม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 Graphic Mode

คำสั่งกลุ่ม Graphic Mode จะเป็นคำสั่งในการวาดรูป สามเหลี่ยมสี่เหลี่ยมรูปสามเหลี่ยม (ไม่เกิน 9 เหลี่ยม) วงรีวงกลมจุดและเส้นตรง ในแนวนอน แนวตั้งและเส้นทแยง ซึ่งรูปเหล่านี้สามารถ วาดให้ปรากฏที่จุดใดๆ บนหน้าจอก็ได้ด้วยการกำหนดพิกัดจุด x,y ของรูปให้กับคำสั่งที่ใช้ โดยค่าที่ใช้ กำหนดให้กับพิกัด x จะต้องเป็นค่า ASCII ขนาด 3 Byte ที่เป็น 0-9 (000-127) ส่วนพิกัด y จะต้อง เป็น ASCII ขนาด 2 Byte ที่เป็นตัวเลข 0-9 (00-63) เช่นกัน ซึ่งผู้ใช้สามารถดูค่าตำแหน่งพิกัดของจุด ต่างๆ บนหน้าจอได้จากตารางจอภาพในภาคผนวก ซึ่งทำให้สะดวกขึ้นในการกำหนดตำแหน่งพิกัดจุด โดยให้ผู้ใช้มองที่มุมบนซ้ายของหน้าจอ GLCD เป็นพิกัดเริ่มต้น $x,y = (0,0)$

ลักษณะของรูปที่วาดจะเป็นลักษณะของ ลายเส้น และสามารถ Fill รูปให้เป็นสีดำทั้งรูป ได้ ยกเว้นรูปหลายเหลี่ยมจะ Fill เป็นสีดำไม่ได้แต่จะสามารถกำหนดความหนาของเส้นที่วาดได้ สำหรับในการ Fill รูปให้เป็นสีดำนั้นจะใช้เวลาในการ Fill พอสมควรโดยเฉพาะรูปสามเหลี่ยมซึ่ง อาจจะทำให้เสียเวลาในการส่งคำสั่งต่อไปได้

การ Plot รูปออกหน้านั้นจะเป็นในลักษณะการ Plot ไปทับข้อมูลเก่าที่แสดงอยู่บน หน้าจอ จุดใดที่อยู่บนหน้าจอที่ไม่ถูก Plot รูปใหม่ไปทับ จะไม่ถูกลบทิ้ง จะยังคงแสดงให้เห็นอยู่ ซึ่งเป็นข้อดีที่ผู้ใช้จะสามารถเขียนข้อความลงไปบนรูปที่วาดได้เพียงแต่จะต้องกำหนดพิกัดของรูปหรือ ข้อความอย่าให้ไปทับพิกัดเดิมในตำแหน่งที่เราต้องการจะใช้แสดงผล



รูปที่ 2.15 จอ GLCD 128x64

2.10 Step Up & Down (Buck & Boost) 5-32V to 1.25-32V 4A

เป็นวงจรเพิ่มและลดแรงดันแบบปรับค่าได้ สามารถจ่ายไฟได้คงที่ไม่ว่าไฟจะต่ำกว่าหรือสูงกว่าจะถูกปรับให้คงที่ตามที่ตั้งค่าไว้ เพราะมีวงจรสเตปอัพและสเตปดาวน์ในตัวเดียวกัน สามารถแปลงไฟจาก 5-32V เป็น 1.25-32V จ่ายกระแสสูงสุดที่ 4A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 Step Up & Down (Buck & Boost) 5-32V to 1.25-32V 4A

2.11 Gas Factor

เครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซใช้หลักการพาความร้อน จึงทำให้ก๊าซแต่ละชนิดพาความร้อนได้ไม่เท่ากัน เนื่องจากก๊าซแต่ละชนิดมีค่าความจุความร้อนจำเพาะของก๊าซ มวลโมเลกุล และความหนาแน่นของก๊าซไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องมีค่า Gas Factor เข้ามาเพื่อช่วยในการหาค่าอัตราการไหลที่แท้จริงของก๊าซชนิดนั้นๆ

Gas Factor เป็นตัวการบ่งชี้อัตราส่วนของอัตราการไหลของก๊าซที่แตกต่างกันที่ไม่ใช่ก๊าซชนิดเดียวกับเครื่องควบคุมอัตราการไหล โดยที่ก๊าซพื้นฐาน คือ ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ค่า Gas Factor ของแต่ละก๊าซมีค่าดังตาราง

ตารางที่ 2.1 ค่า Gas Factor

Gas	Correction Factor
Ammonia (NH_3)	0.73
Argon (Ar)	1.39
Bromine	0.81
Carbon Dioxide (CO_2)	0.70
Carbon Tetrafluoride (Freon 14) (CF_4)	0.42
Chlorine (Cl_2)	0.86
Ethane (C_2H_6)	0.50
Fluorine (F_2)	0.98
Helium (He)	1.45
Hydrogen (H_2)	1.01
Hydrogen Bromide (HBr)	1.00
Hydrogen Chloride (HCl)	1.00
Krypton (Kr)	1.543
Methane (CH_4)	0.72
Neon (Ne)	1.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gas	Correction Factor
Nitrogen (N ₂)	1.00
Nitrous Oxide (N ₂ O)	0.71
Oxygen (O ₂)	0.993
Propane (C ₃ H ₈)	0.36
Silane (SiH ₄)	0.60
Sulfur Dioxide (SO ₂)	0.69
Xenon (Xe)	1.32

เราสามารถคำนวณอัตราการไหลได้ดังนี้

$$\text{อัตราการไหลจริง} = V_{out} = \frac{FS_{new}}{5V} \quad (6)$$

$$\text{ซึ่ง } FS_{new} = \frac{\text{Gas Factor ของก๊าซที่จะควบคุม}}{\text{Gas Factor ของชนิด Mass Flow}} \times FS \quad (7)$$

$$V_{out} = \frac{\text{Set Point} \times 5V}{FS_{new}} \quad (8)$$

V_{out} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากค่า Set Point ที่ผู้ใช้งานป้อนให้กับเครื่องคูณกับค่าแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ แล้วหารด้วยค่า Full Scale new

FS_{new} คือ ค่า Full Scale new ซึ่งได้จากการนำ Gas Factor ของก๊าซที่เราจะควบคุม อัตราการไหลหารด้วยค่า Gas Factor ของ Mass Flow ที่เราใช้ควบคุมอัตราการไหล แล้วคูณด้วยค่า Full Scale ของ Mass Flow ที่ใช้

FS คือ ค่า Full Scale ของเครื่อง Mass Flow ที่ใช้ควบคุมอัตราการไหล

Set Point คือ ค่าอัตราการไหลที่ผู้ใช้ป้อนเข้ามาผ่าน Rotary Encoder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

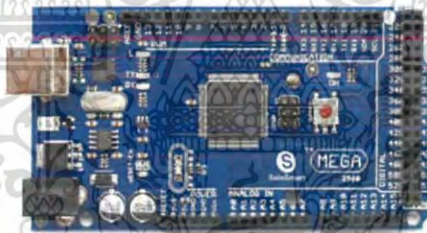
วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบชุดควบคุมการทำงานและแสดงผลของ Mass Flow Controller และกระบวนการทำงานในแต่ละขั้นตอน ตั้งแต่การศึกษาการทำงานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ของ Arduino การทำงานของชุดควบคุมการทำงานและแสดงผลของ Mass Flow Controller จนถึงการออกแบบ ซึ่งแบ่งเป็นส่วนๆ ดังนี้

3.1 อุปกรณ์

3.1.1 Arduino Mega 2560 Microcontroller Board

เป็นส่วนควบคุมการทำงาน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้พอร์ตบางส่วนเท่านั้น ได้แก่ 1.ปุ่ม Reset สำหรับเริ่มการทำงานใหม่ 2.พอร์ต USB สำหรับอัปโหลดโปรแกรมเท่านั้น 3.พอร์ต Power 5V, 3.3V และ GND 4.พอร์ต Input Analog 5.พอร์ต I/O Digital 6.พอร์ต TIW (I2C)



รูปที่ 3.1 Arduino Mega 2560 Microcontroller Board

3.1.2 Rotary Encoder

เป็นส่วนควบคุมการสั่งงาน โดยผู้ใช้จะทำการการหมุนและกด เพื่อเลือกเมนูและเซตค่าที่เราต้องการไปยังตัว Mass Flow Controller มีการใช้งาน 5 ขา 1. CLK (หมุนตามเข็มนาฬิกา) 2. DT (หมุนทวนเข็มนาฬิกา) 3. SW (สวิตช์) 4. V_{cc} 5. GND

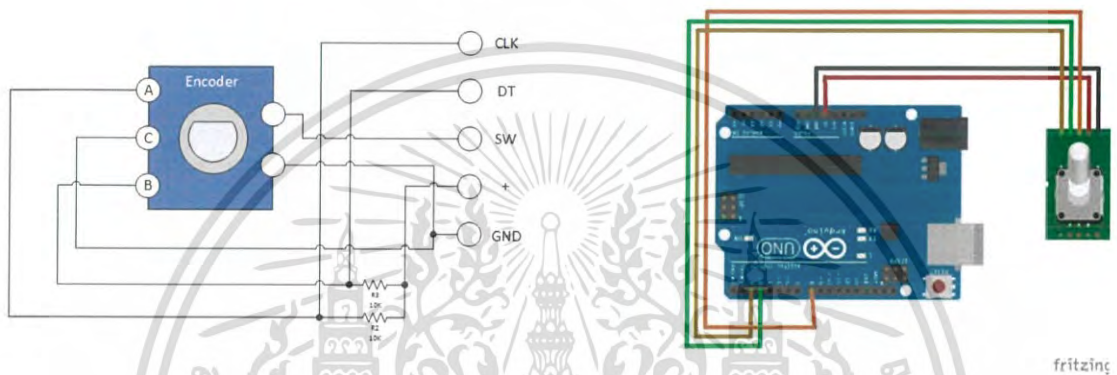


รูปที่ 3.2 Rotary Encoder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงฟังก์ชันการใช้งานของ Rotary Encoder

Rotary Encoder	Function	Connect
A	CLK	Port Digital 2 Arduino
B	DT	Port Digital 3 Arduino
C	SW	Port Analog A1 Arduino
D	V _{CC}	Port Digital 8 Arduino
E	GND	GND



รูปที่ 3.3 ไดอะแกรม Rotary Encoder และ การเชื่อมต่อจอ Rotary Encoder กับ Arduino

3.1.3 จอแสดงผล (GLCD)

เป็นส่วนแสดงผลขนาด 128x64 Dot มีการทำงาน 3 โหมด แต่ในงานวิจัยนี้ใช้แค่ 2 โหมดคือ Text Mode และ Graphic Mode ในการแสดงหน้าจอเมนูและการเช็คค่า โดยใช้ขา 1, 2, 3, 4, 5, 6, 15, 17, 19 และ 20

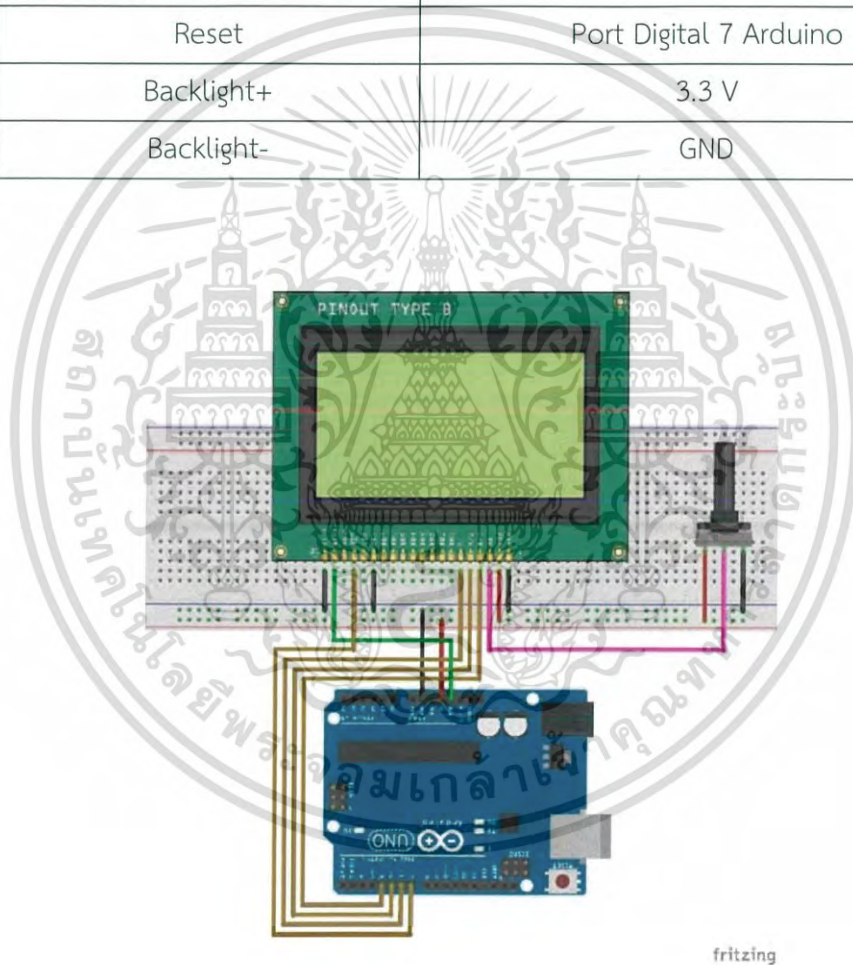


รูปที่ 3.4 จอแสดงผล (GLCD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงฟังก์ชันของจอ GLCD

Pin	Function	Connect
1	GND	GND
2	V _{cc}	5 Volts
3	Adjust contrate	Pin Potentiometer
4	RS	Port Digital 4 Arduino
5	RW	Port Digital 5 Arduino
6	Enable	Port Digital 6 Arduino
15	Common.parallel (H)/Serial(L)	GND
17	Reset	Port Digital 7 Arduino
19	Backlight+	3.3 V
20	Backlight-	GND



รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่อจอ GLCD กับ Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 โมดูล MCP4725 D/A ขนาด 12 บิต

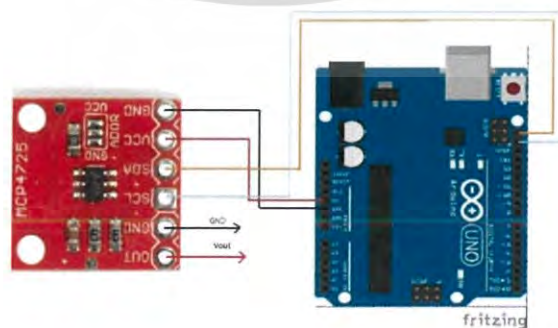
เป็นตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกขนาด 12 บิต โดยจะแปลงสัญญาณดิจิทัล จากขา Serial Clock และขา Serial Data ของบอร์ด Arduino ในเป็นสัญญาณอนาล็อก 0 – 5 Vdc ไปควบคุมเครื่อง Mass Flow Controller



รูปที่ 3.6 โมดูล MCP4725 D/A ขนาด 12 บิต

ตารางที่ 3.3 แสดงฟังก์ชันการใช้งานของโมดูล MCP4725

โมดูล MCP4725	Function	Connect
1	Out	ขา Set Point ของ Mass Flow
2	GND	GND
3	SCL	Port SCL Arduino
4	SDA	Port SDA Arduino
5	V _{cc}	5 Volts
6	GND	GND



รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่อระหว่างโมดูล MCP4725 D/A กับบอร์ด Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 Step up & Down (Buck & Boost) 5-32V to 1.25-32V 4A

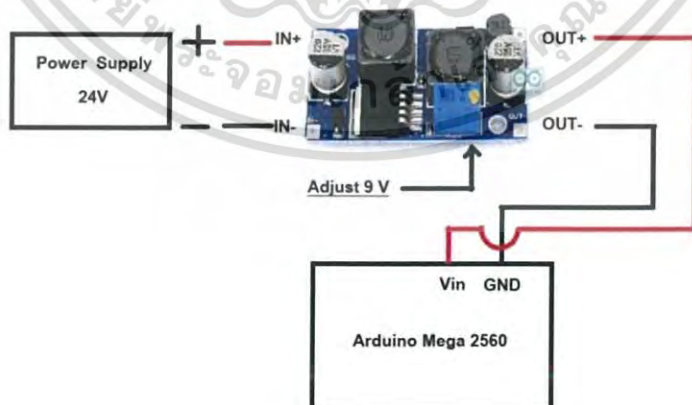
เป็นวงจรเพิ่มและลดแรงดันแบบปรับค่าได้ ในส่วนนี้จะใช้โมดูลในวงจร 2 ตัว โดยที่ตัวแรกจะปรับเป็นไฟ DC 9 โวลต์ เพื่อเป็นไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด Arduino และอีกตัวจะปรับเป็นไฟ DC 12 โวลต์ เพื่อเป็นไฟเลี้ยงให้กับเครื่องควบคุมอัตราการไหล



รูปที่ 3.8 โมดูล Step Up & Down

ตารางที่ 3.4 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างโมดูล Step Up & Down เข้ากับ Power Supply และบอร์ด Arduino

Pin	Connect
IN+	V+ Power Supply
IN-	V- Power Supply
Out+	ขา V _{in} ของ Arduino
Out-	ขา GND ของ Arduino



รูปที่ 3.9 การเชื่อมต่อระหว่างโมดูล Step Up & Down เข้ากับ Power Supply และบอร์ด

Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Power Supply)

ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟและแปลงไฟกระแสสลับให้เป็นไฟกระแสตรง 24 V_{DC} ให้กับคอนโทรลเลอร์และเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ



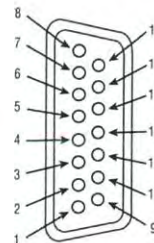
รูปที่ 3.10 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

ตารางที่ 3.5 การเชื่อมต่อ Power Supply

Pin	Connect
L	ขา Line ของ Switch
N	ขา Output ของ Switch
GND	ขา GND ของ Switch
V+	+24V
V-	0V

3.1.7 Mass Flow Controller

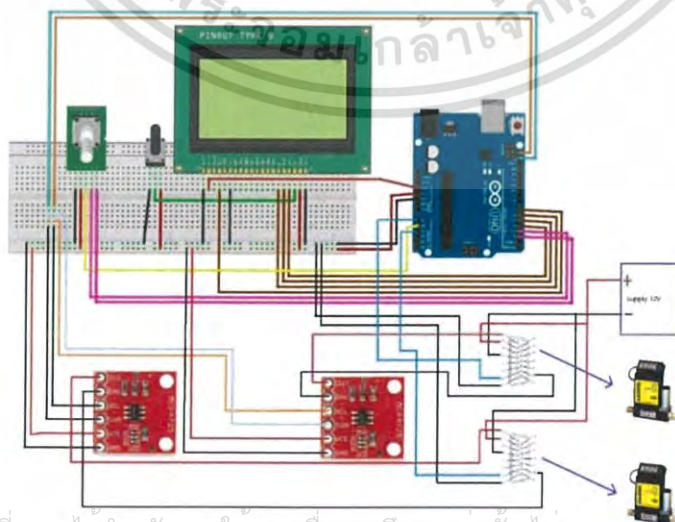
เป็นส่วนการควบคุมอัตราการไหลของก๊าซซึ่งตัวเครื่องจะมี connector เป็นพอร์ต DB15 pin สำหรับต่อกับเครื่องไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่จะใช้เพียง 6 ขา ได้แก่ ขาที่ 1, 2, 5, 7, 8 และ 10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.11 Mass Flow Controller กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับ Mass Flow Controller

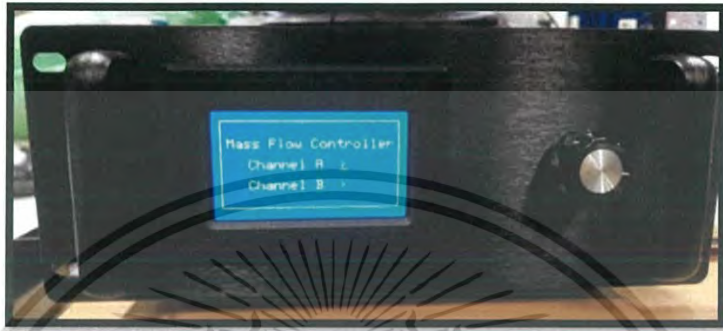
Pin	Function	Connect
1	0 to 5 Vdc Flow Signal Common	GND
2	0 to 5 Vdc Flow Signal Output	Port Analog A0 and A2 Arduino
3	Common	-
4	Open (Purge)	-
5	Common, Power Supply	GND ของ Power supply
6	(unassigned)	-
7	+12 Vdc (Optional +24 Vdc*) Power Supply	ขาไฟบวกจาก Power supply
8	Remote Setpoint Input	ขา Out ของ MCP4725 D/A
9	4 to 20 mA (-) Flow Signal Return (use with 14)	-
10	Remote Setpoint Common (use with 8)	GND
11	+5 Vdc Reference Output for Remote Setpoint	-
12	Valve Off Control	-
13	Auxiliary +12 Vdc (Optional +24 Vdc*) Power Output (For Loads <100 mA)	-
14	4 to 20 mA (+) Flow Signal Output	-
15	Chassis Ground	-



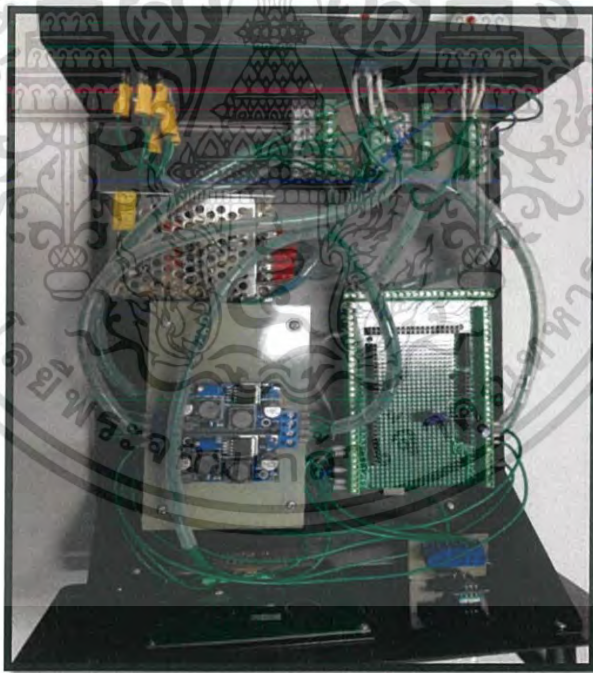
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 3.12 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ทั้งหมดเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ระบบควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

เครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นเครื่องที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมา โดยการทำงานของระบบนั้นเป็นการควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 ผ่าน Mass Flow และส่งงานผ่าน Rotary Encoder พร้อมแสดงผลผ่านจอ GLCD ซึ่งเครื่องที่สร้างขึ้นมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 3.13 ด้านหน้าของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ



รูปที่ 3.14 โครงสร้างภายในของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

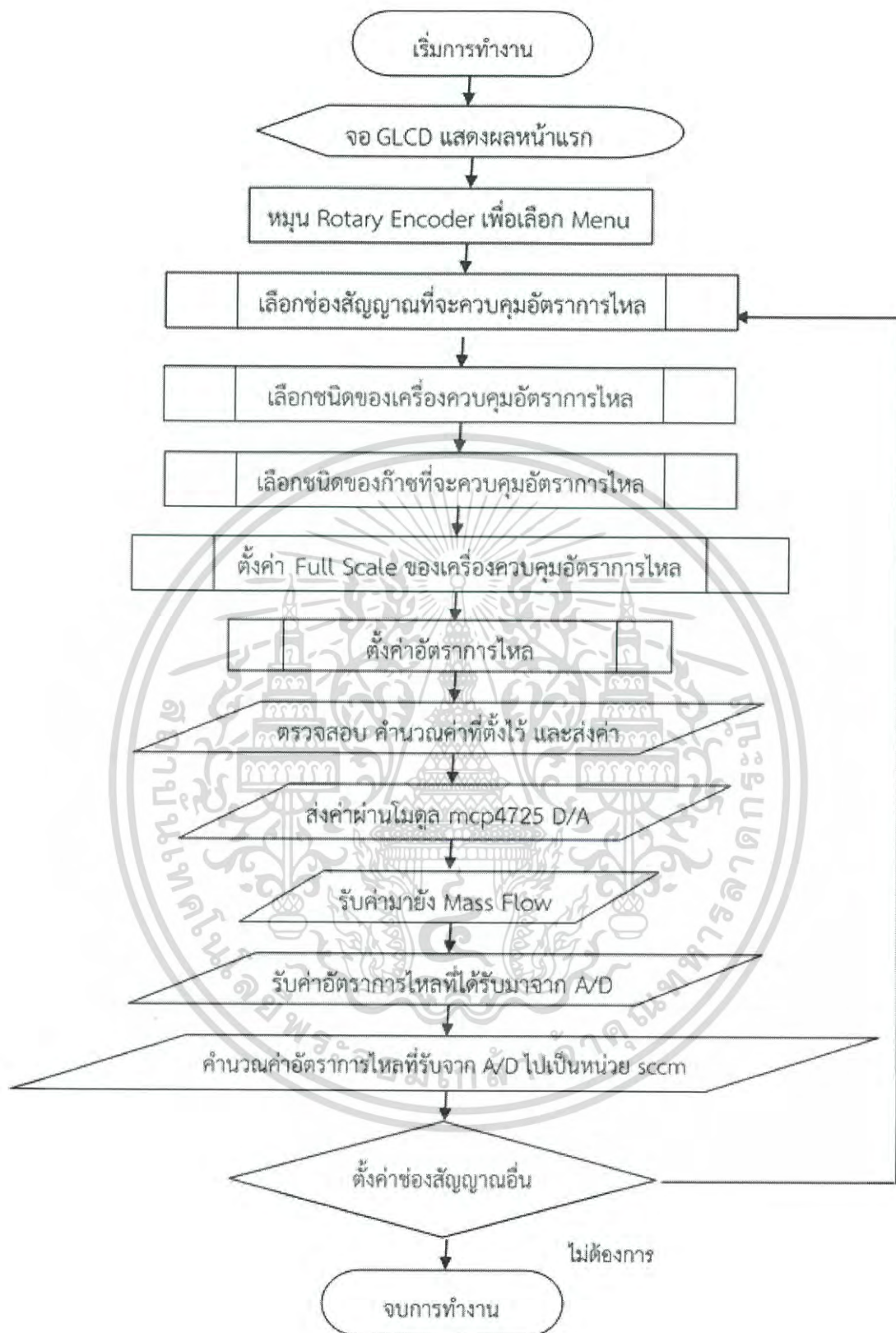


รูปที่ 3.15 ด้านหลังของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ

3.2.1 ส่วนแสดงผลและการสั่งงาน

ส่วนแสดงผลและการสั่งงาน เริ่มจากการเปิดเครื่อง จอ GLCD จะแสดงผลหน้าแรกและสามารถสั่งงานผ่าน Rotary Encoder ซึ่งเริ่มจากการเลือกช่องสัญญาณที่จะควบคุมอัตราการไหล จากนั้นตั้งค่า Full Scale ของเครื่องควบคุมอัตราการไหลที่ใช้ ต่อมาเลือกชนิดของเครื่องควบคุมอัตราการไหลและเลือกชนิดของแก๊สที่จะควบคุมอัตราการไหล เสร็จแล้วจึงจะมาตั้งค่าอัตราการไหลที่ต้องการ เมื่อป้อนค่าเสร็จให้กดปุ่ม “Start” โปรแกรมจะทำการตรวจสอบและคำนวณค่าที่ตั้งไว้และส่งค่าไปยังโมดูล mcp4725 D/A ขนาด 12 บิต เพื่อเปลี่ยนค่าที่ตั้งไว้เป็นไฟ 0-5 V ส่งไปยังเครื่องควบคุมอัตราการไหล จากนั้นเครื่องควบคุมอัตราการไหลจะส่งค่าผ่าน A/D ของ Arduino แล้วโปรแกรมจะคำนวณค่าอัตราการไหลที่ได้รับมาจาก A/D ในหน่วย sccm ในส่วนนี้จะแสดงเป็นแผนผังการทำงานของโปรแกรม ดังนี้

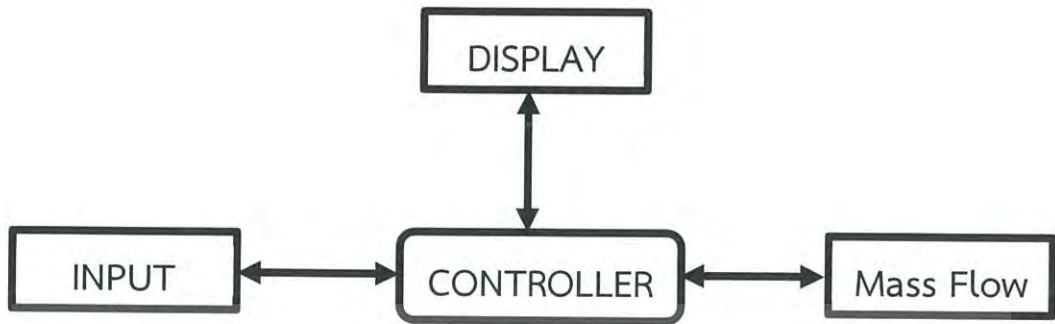
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 ไดอะแกรมการทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

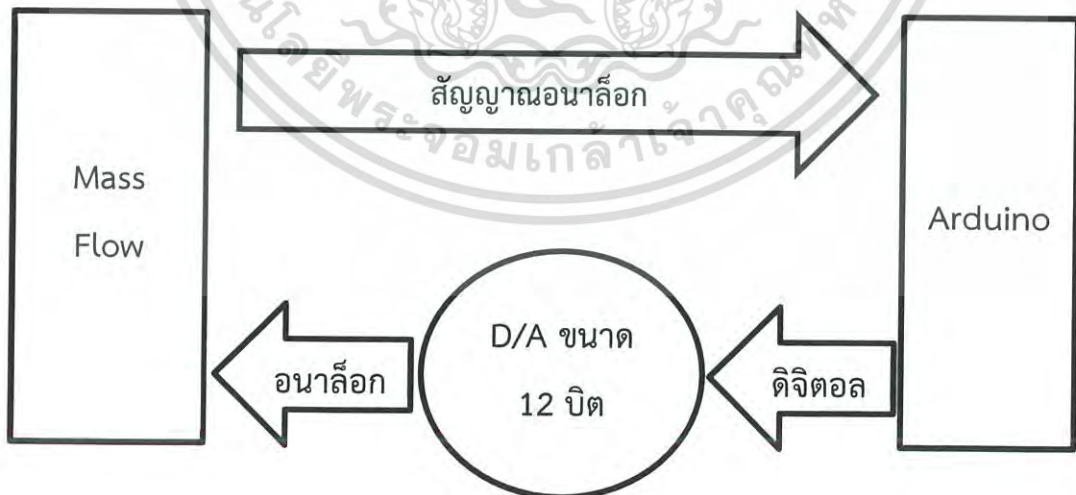
3.2.2 การทำงานของระบบควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.17 ไดอะแกรมแสดงหลักการทำงาน

3.2.2.1 การเชื่อมต่อระหว่าง Mass Flow Controller กับ คอนโทรลเลอร์

จากแผนผังแสดงการทำงานจะมีการส่งค่าจากคอนโทรลเลอร์ไปยังเซ็นเซอร์ และรับค่ากลับมาจากเซ็นเซอร์อีกทีหนึ่งเพื่อทำการควบคุมและอ่านสถานะของเซ็นเซอร์ โดยใช้สัญญาณอนาล็อกตั้งแต่ 0 – 5 โวลต์ การรับสัญญาณจากเซ็นเซอร์จะใช้โมดูลที่อยู่ในบอร์ด Arduino A/D ขนาด 10 บิต เพื่อรับสัญญาณที่เป็นอนาล็อกจากเซ็นเซอร์และแปลงเป็นดิจิตอลในการใช้อ่านสถานะของเซ็นเซอร์ ในส่วนของการส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานของเซ็นเซอร์นั้น ใช้โมดูล MCP4725 D/A ขนาด 12 บิต แปลงสัญญาณดิจิตอลจากบอร์ด Arduino เป็นสัญญาณอนาล็อกไปควบคุมเซ็นเซอร์



รูปที่ 3.18 แผนผังแสดงการเชื่อมต่อระหว่างเซ็นเซอร์กับบอร์ด Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

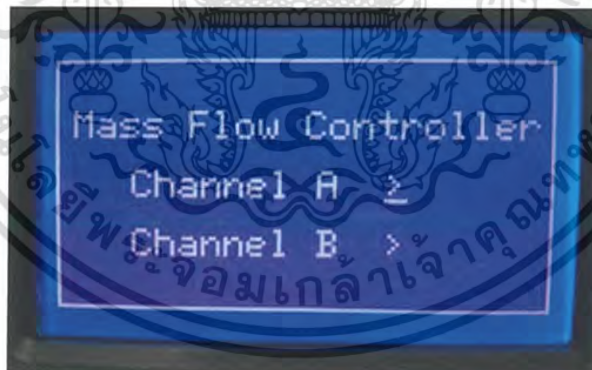
3.3.1 การทดลองที่ 1

- 1) นำเครื่องควบคุมอัตราการไหลที่ออกแบบมาป้อนค่า Set Point = 10, 20, 30, ..., 100 sccm ตามลำดับ
- 2) วัดโวลต์เอจต์พุดที่ออกจาก โมดูล mcp4725 D/A แล้วบันทึกผลลงตาราง
- 3) ดูค่าดิจิตอลอินพุต ผ่านซีเรียลมอนิเตอร์ของโปรแกรม arduino ide แล้วบันทึกผลลงตาราง

3.3.2 การทดลองที่ 2

นำเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซที่สร้างขึ้นไปทดสอบกับระบบ RF Magnetron Sputtering เพื่อเทียบค่าความดันที่ได้จากเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซที่สร้างขึ้นกับเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ รุ่น ROD-4

- 1) ต่อเครื่องควบคุมอัตราการไหลเข้ากับระบบสุญญากาศของ RF Magnetron Sputtering
- 2) ทำการเลือกช่องสัญญาณที่จะควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ โดยทำการหมุนเพื่อเลื่อนเคอร์เซอร์ไปยังตำแหน่งที่เราต้องการ เมื่อได้ช่องสัญญาณที่ต้องการแล้วกดที่ ">" เพื่อไปทำการเซตค่า



รูปที่ 3.19 หน้าจอแสดงการเลือกช่องสัญญาณที่จะทำการควบคุมอัตราการไหล ซึ่งเป็นหน้าแรกของการเริ่มต้นใช้งาน

- 3) เลือกชนิดของ Mass Flow และเลือกชนิดของก๊าซที่จะทำการควบคุมอัตราการไหล (ซึ่งในการทดลองจะใช้ Mass Flow ของอาร์กอนกับเครื่องควบคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้น และใช้ Mass Flow ของไฮโดรเจนกับเครื่องควบคุมอัตราการไหล รุ่น ROD-

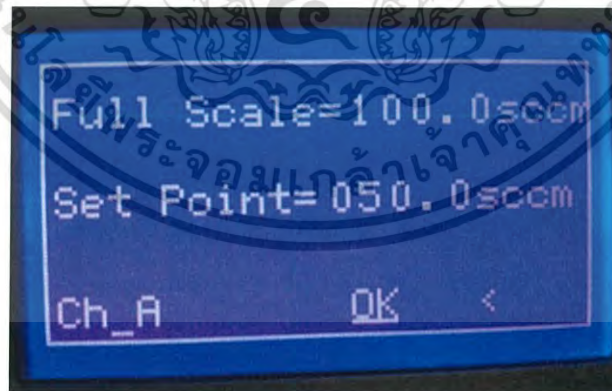
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่...
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้อนไว้ก่อนหน้า ถ้าไม่ต้องการแก้ไขกด “OK” ได้เลย หากต้องการแก้ไขให้หมุน Rotary Encoder เพื่อเลื่อนเคอร์เซอร์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการแก้ไข จากนั้นทำการกดจะมีกรอบสี่เหลี่ยมขึ้นมา แล้วหมุนเพื่อปรับให้ได้ค่าที่ต้องการ หากได้ค่าที่ต้องการแล้วให้กดอีกครั้งเพื่อเลือกค่านั้น จากนั้นกด “OK”



รูปที่ 3.20 หน้าจอแสดงการเลือกชนิดของของ Mass Flow และเลือกชนิดของแก๊สที่จะทำการควบคุมอัตราการไหล

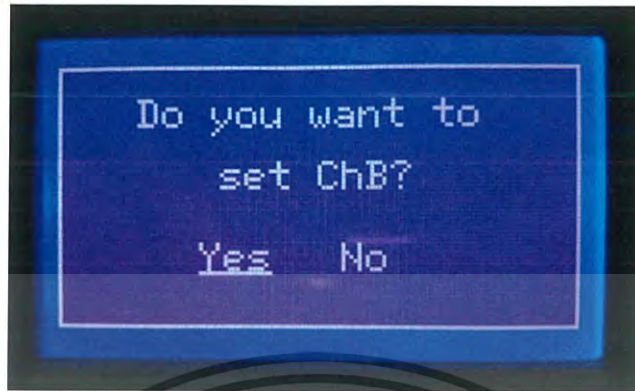
- 4) ป้อนค่า Full Scale ของเครื่องควบคุมอัตราการไหลและตั้งค่าอัตราการไหลให้แก่เครื่อง (ทำการป้อนค่าเช่นเดียวกับข้อ 3) เมื่อใส่ค่าเรียบร้อยแล้วกด “OK” เพื่อไปหน้าต่อไป



รูปที่ 3.21 หน้าจอแสดงการตั้งค่า Full Scale ของเครื่องควบคุมอัตราการไหลและการตั้งค่าอัตราการไหลให้แก่เครื่องควบคุมอัตราการไหล

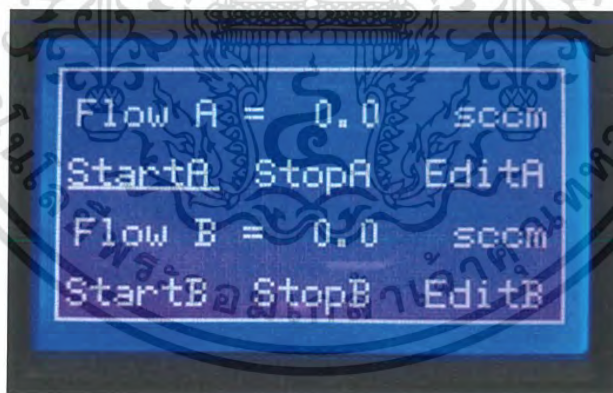
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) เมื่อกด “OK” แล้ว จะมีให้เลือกว่าจะตั้งค่าช่องสัญญาณอื่นหรือไม่ ถ้าต้องการตั้งค่าให้กด “Yes” หากไม่ต้องการให้กด “No” เพื่อไปยังหน้าที่สั่งเริ่มหรือหยุดการทำงาน



รูปที่ 3.22 หน้าจอแสดงการเลือกที่จะไปตั้งค่าพารามิเตอร์ของช่องสัญญาณอื่นต่อหรือไม่

- 6) ทำการกด “Start” เพื่อเริ่มการทำงานของเครื่อง ก๊าซก็จะค่อยๆ ไหลเข้าสู่ระบบ ค่าอัตราการไหลเอาต์พุตจะแสดงบนหน้าจอตั้งรูป จากนั้นบันทึกอัตราการไหลของก๊าซ และค่าความดันที่ได้จากการทดลอง หากต้องการหยุดการทำงานให้กด “Stop” หรือถ้าต้องการกลับไปแก้ไขค่าต่างๆ ของช่องสัญญาณนั้นๆ กด “EditA” หรือ “EditB”



รูปที่ 3.23 หน้าจอแสดงการควบคุมการเริ่ม/หยุดการทำงานของเครื่องวัดควบคุมอัตราการไหล และแสดงค่าเอาต์พุตที่ได้จากเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 ผลการทดลองที่ 1

เมื่อป้อนค่า Set Point = 10, 20, 30, ..., 100 sccm แล้ววัดโวลต์เอาต์พุตของโมดูล mcp4725 D/A แล้วดูค่าดิจิตอลอินพุต ผ่านซีเรียลมอนิเตอร์ของโปรแกรม arduino IDE ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองระหว่าง V_{out} (V) กับ จำนวน Byte

Set Point (sccm)	Binary	byet	V_{out} (V)	V_{out} คำนวณ (V)
10	110011001	409.5	0.497	0.5
20	1100110011	819.0	1.003	1.0
30	10011001100	1228.5	1.508	1.5
40	11001100110	1638.0	2.018	2.0
50	11111111111	2047.5	2.526	2.5
60	100110011001	2457.0	3.023	3.0
70	101100110010	2866.5	3.525	3.5
80	110011001100	3276.0	4.027	4.0
90	111001100101	3685.5	4.530	4.5
100	111111111111	4095.0	5.003	5.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{out} (V) กับ จำนวน Byte

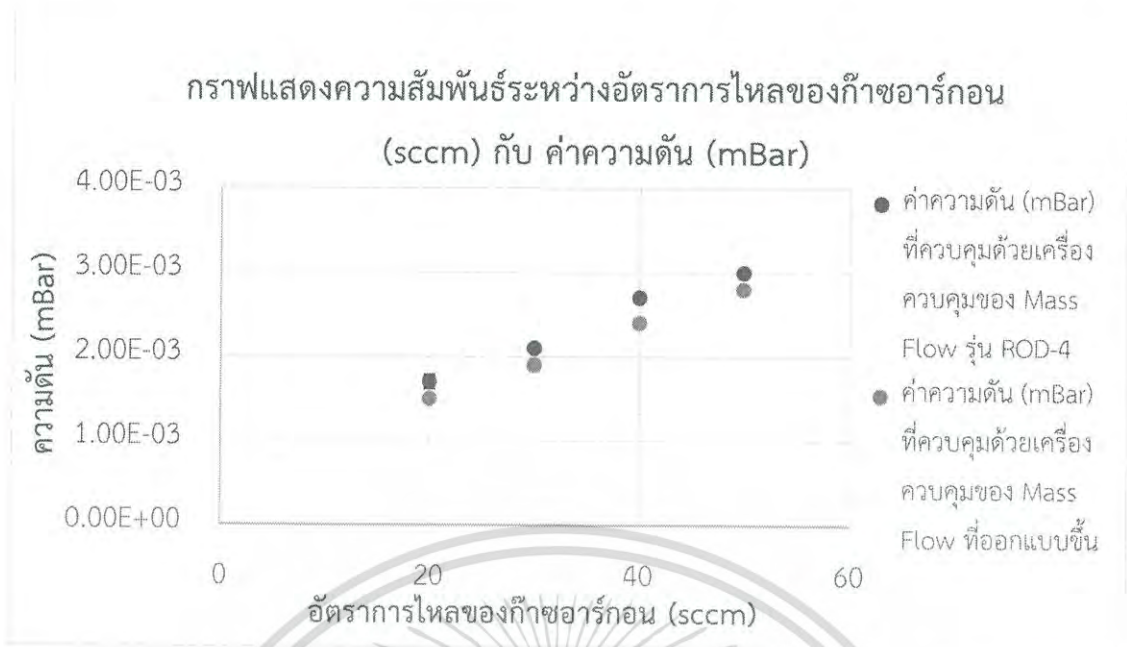
4.1.2 ผลการทดลองที่ 2

เมื่อนำเครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซที่สร้างขึ้นไปทดสอบควบคุมอัตราการไหลของก๊าซเข้าระบบสุญญากาศของ RF Magnetron Sputtering แล้วดูค่าความดันที่ได้เทียบกับค่าความดันที่ได้จากการควบคุมอัตราการไหลด้วยเครื่องควบคุมอัตราการไหล รุ่น ROD-4 ได้ผลการทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการควบคุมอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน (Ar) (โดยใช้ Mass Flow ของ Ar กับเครื่องควบคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้น และใช้ Mass Flow ของ H_2 กับเครื่องควบคุมอัตราการไหล รุ่น ROD-4)

ค่า อัตรา การ ไหล (sccm)	ค่าความดัน ($\times 10^{-3}$ mar) ที่ควบคุมด้วย เครื่องควบคุมของ Mass Flow รุ่น ROD-4				ค่าความดัน ($\times 10^{-3}$ mar) ที่ควบคุมด้วย เครื่องควบคุมของ Mass Flow ที่ ออกแบบขึ้น			
	ครั้ง ที่ 1	ครั้ง ที่ 2	ครั้ง ที่ 3	$\bar{X} \pm \text{Uncertainty}$ ($\times 10^{-3}$ mBar)	ครั้ง ที่ 1	ครั้ง ที่ 2	ครั้ง ที่ 3	$\bar{X} \pm \text{Uncertainty}$ ($\times 10^{-3}$ mBar)
	20	1.8	1.6	1.6	1.7 ± 0.08	1.5	1.6	1.5
30	2.2	2.1	2.1	2.1 ± 0.04	1.9	2.0	1.9	1.9 ± 0.04
40	2.6	2.7	2.7	2.7 ± 0.04	2.4	2.4	2.3	2.4 ± 0.04
50	3.0	3.0	3.0	3.0 ± 0.00	2.9	2.8	2.8	2.8 ± 0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



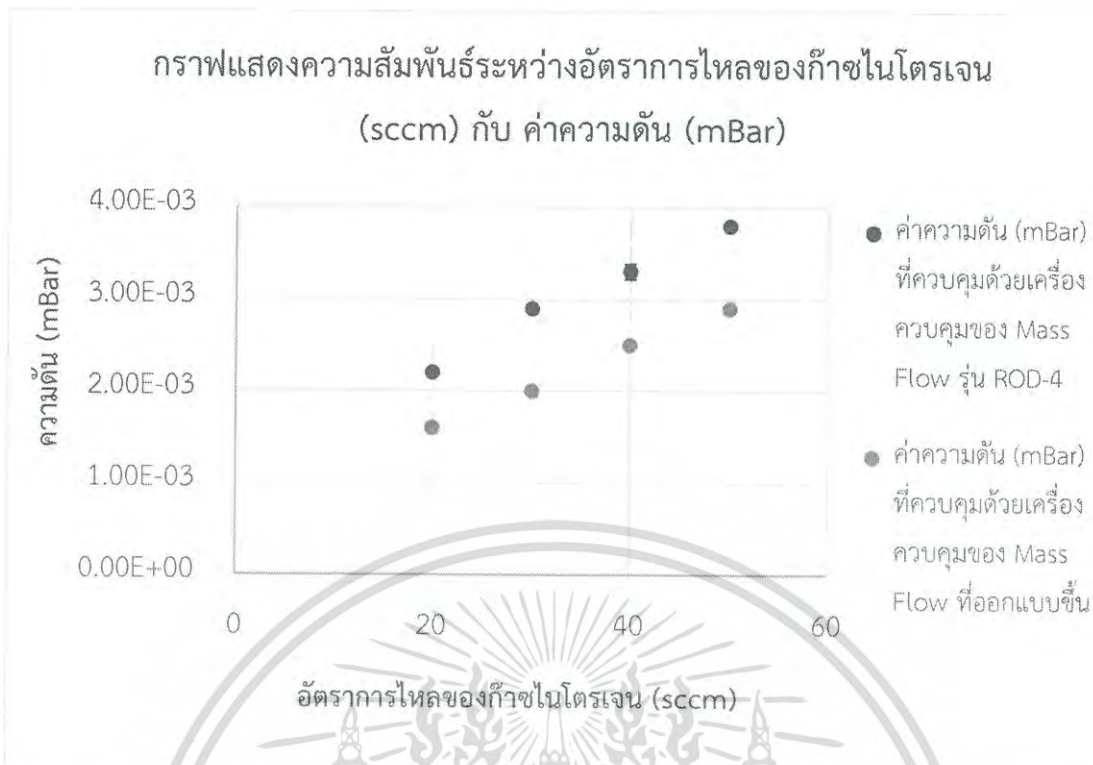
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน (sccm) กับ ค่าความดัน (mBar)

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าค่าความดันที่ได้จากเครื่องควบคุมอัตราการไหลที่ออกแบบกับค่าความดันที่ได้จากเครื่องควบคุมอัตราการไหล รุ่น ROD - 4 มีค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากใช้ก๊าซอาร์กอนในการทดลอง ซึ่งตรงกับชนิดของ Mass Flow ที่ควบคุมด้วยเครื่องควบคุมอัตราการไหลที่ออกแบบ

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการควบคุมอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน (N_2) (โดยใช้ Mass Flow ของ Ar กับเครื่องควบคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้น และใช้ Mass Flow ของ H_2 กับเครื่องควบคุมอัตราการไหล รุ่น ROD-4)

ค่า อัตรา การ ไหล (sccm)	ค่าความดัน ($\times 10^{-3}$ mar) ที่ควบคุมด้วย เครื่องควบคุมของ Mass Flow รุ่น ROD-4				ค่าความดัน ($\times 10^{-3}$ mar) ที่ควบคุมด้วย เครื่องควบคุมของ Mass Flow ที่ ออกแบบขึ้น			
	ครั้ง ที่ 1	ครั้ง ที่ 2	ครั้ง ที่ 3	$\bar{X} \pm \text{Uncertainty}$ ($\times 10^{-3}$ mBar)	ครั้ง ที่ 1	ครั้ง ที่ 2	ครั้ง ที่ 3	$\bar{X} \pm \text{Uncertainty}$ ($\times 10^{-3}$ mBar)
20	2.2	2.1	2.2	2.2 ± 0.04	1.7	1.6	1.6	1.6 ± 0.04
30	2.9	2.9	2.9	2.9 ± 0.00	2.0	2.0	2.0	2.0 ± 0.00
40	3.2	3.4	3.2	3.3 ± 0.81	2.5	2.4	2.5	2.5 ± 0.04
50	3.8	3.8	3.8	3.8 ± 0.00	2.9	2.9	2.9	2.9 ± 0.00



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน (sccm) กับ ค่าความดัน (mBar)

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลอง พบว่าจากการทดลองพบว่าค่าความดันที่ได้จากเครื่องควบคุมอัตราการไหล ที่ออกแบบกับค่าความดันที่ได้จากเครื่องควบคุมอัตราการไหล รุ่น ROD - 4 มีค่าต่างกันประมาณ 0.8×10^{-3} mBar เนื่องจากเครื่องควบคุมอัตราการไหล รุ่น ROD - 4 สามารถป้อนค่าเป็นทศนิยมได้เพียง 1 ตำแหน่ง เป็นเหตุให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการควบคุมอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน (O_2) (โดยใช้ Mass Flow ของ Ar กับเครื่องควบคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้น และใช้ Mass Flow ของ H_2 กับเครื่องควบคุมอัตราการไหล รุ่น ROD-4)

ค่า อัตรา การ ไหล (sccm)	ค่าความดัน ($\times 10^{-3}$ mar) ที่ควบคุมด้วย เครื่องควบคุมของ Mass Flow รุ่น ROD-4				ค่าความดัน ($\times 10^{-3}$ mar) ที่ควบคุมด้วย เครื่องควบคุมของ Mass Flow ที่ ออกแบบขึ้น			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	$\bar{X} \pm \text{Uncertainty}$ ($\times 10^{-3}$ mBar)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	$\bar{X} \pm \text{Uncertainty}$ ($\times 10^{-3}$ mBar)
20	2.1	2.1	2.0	2.1 ± 0.04	1.4	1.5	1.6	1.5 ± 0.70
30	2.8	2.9	2.8	2.8 ± 0.04	1.7	2.1	2.0	1.9 ± 0.15
40	3.2	3.2	3.2	3.2 ± 0.00	2.2	2.5	2.6	2.4 ± 0.15
50	3.6	4.0	3.8	3.8 ± 0.14	2.7	3.0	3.0	2.9 ± 0.12



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน (sccm) กับ ค่าความดัน (mBar)

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลอง พบว่าจากการทดลองพบว่าค่าความดันที่ได้จากเครื่องควบคุมอัตราการไหลที่ออกแบบกับค่าความดันที่ได้จากเครื่องควบคุมอัตราการไหล รุ่น ROD - 4 มีค่าต่างกันประมาณ 1×10^{-3} mBar เนื่องจากเครื่องควบคุมอัตราการไหล รุ่น ROD - 4 สามารถป้อนค่าเป็นทศนิยมได้เพียง 1 ตำแหน่ง เป็นเหตุให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในโครงการพิเศษนี้ได้ศึกษา ทดลองเพื่อพัฒนาการออกแบบซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ของ เครื่องวัดและควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้ง่ายต่อการใช้งานมากขึ้น โดยสิ่งที่พัฒนาขึ้นมาคือ การควบคุมการสั่งงานด้วย Rotary Encoder ใช้คอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 ในการควบคุมโปรแกรมการสั่งงานทั้งหมด จากนั้นเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อสร้างชุดคำสั่งต่างๆ ขึ้นมาซึ่งจะสั่งงานหรือแก้ไขค่าต่างๆ ผ่านทาง Rotary Encoder พร้อมทั้ง แสดงผลออกทางหน้าจอ GLCD เมื่อนำเครื่องวัดและควบคุมอัตราการไหลของก๊าซมาต่อกับ Mass Flow Controller แล้วป้อนอัตราการไหลค่าต่างๆ โดยการสั่งงานจาก Rotary Encoder แล้ววัด ความดันเทียบกับเครื่องวัดและควบคุมอัตราการไหลที่ใช้อยู่ในห้องแลป (รุ่น ROD-4) โดย Mass Flow Controller ที่ต่อกับเครื่องวัดและควบคุมอัตราการไหลที่ออกแบบขึ้น นั้นจะเป็น Mass Flow Controller ของก๊าซอาร์กอน (Ar) และ Mass Flow Controller ที่ต่อกับเครื่องวัดและควบคุมอัตราการไหลที่ใช้ในห้องแลป (รุ่น ROD-4) นั้นจะเป็น Mass Flow Controller ของก๊าซไฮโดรเจน (H₂) เมื่อทำการทดลองพบว่า เครื่องสามารถทำงานได้ถูกต้องและตรงตามที่คุณใช้งานต้องการ เครื่องวัดและ ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซที่เราออกแบบขึ้นจึงสามารถที่จะนำมาใช้กับระบบสุญญากาศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- สมยศ เพ็ญศรีศิริกุล.(2544). วงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลและวงจรแปลงดิจิตอลเป็นแอนะล็อก. สืบค้นเมื่อ 8 พฤศจิกายน, 2560, จากเว็บไซต์ [pws.npru.ac.th](http://pws.npru.ac.th/thawatchait/data/files/Chapter%207_ADC%20and%20DAC%20circuits%2001.pdf) : http://pws.npru.ac.th/thawatchait/data/files/Chapter%207_ADC%20and%20DAC%20circuits%2001.pdf
- GenesisTK.(2553). การแปลงสัญญาณ A/D และ D/A. สืบค้นเมื่อ 8 พฤศจิกายน, 2560, จากเว็บไซต์ genesistk2009.blogspot.com : <http://genesistk2009.blogspot.com/2010/01/ad-da.html>
- rmutphysics.(2555). สมบัติของแก๊ส. สืบค้นเมื่อ 8 พฤศจิกายน, 2560, จากเว็บไซต์ www.atom.rmutphysics.com : <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/2/3/gas/gas/data13.htm>
- MKS Instruments.(2553). ก๊าซแพกเตอร์. สืบค้นเมื่อ 14 กุมภาพันธ์, 2561, จากเว็บไซต์ <https://www.mksinst.com/docs/ur/MFCGasCorrection.aspx>
- ioxhop.(2559). การใช้ EEPROM บันทึกค่าเมื่อหยุดจ่ายไฟให้กับบอร์ด Arduino. สืบค้นเมื่อ 2 พฤษภาคม 2561, จากเว็บไซต์ <https://www.ioxhop.com/article/40>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include "U8glib.h" //ไลบรารีที่อ้างอิงไฟล์อยู่ในโฟลเดอร์
U8GLIB_ST7920_128X64_1X u8g(28, 27, 26 , 29); //Enable, RW, RS, RESET
#define INTERVAL 50 //defineเป็นคำสั่งแทนข้อความเมื่อ
// INTERVAL ปรากฏในโปรแกรมส่วน
// ไทน์จะเท่ากับ 50 ms
unsigned long previousMillis; //unsigned longการเก็บตัวเลขที่เป็น
// จำนวนเต็ม ที่ชื่อ previousMillis
bool tick_state; //แสดงสถานะที่เป็นเท็จหรือจริง
int cnt_100ms; //การประกาศตัวแปร
int botton = A1; //การตั้งค่าตัวแปร botton ขาA1
int isPush = 0; //การประกาศค่าเริ่มต้น isPush = 0
/*-----
ROTARY ENCODER VARIABLES
-----*/
#include <Rotary.h> //LibraryRotary.h อ้างอิงจากไฟล์จากภายในเป็นไลบรารีเราเพิ่ม
// เข้ามา
Rotary r = Rotary(10,11); //การประกาศคลาสที่ชื่อ r และใช้ขาโรตารีขา 2, 3 ใน Arduino
bool encRST = 0; //bool การแสดงสถานะ encRST ที่เป็น false
int encCount = 0; //การตั้งค่าตัวแปรให้มีค่าเริ่มต้น encCount = 0
int limitPos = 12; //การกำหนดลิมิตในการหมุนโรตารี
int limitNeg = 0; //การตั้งค่าตัวแปรให้มีค่าเริ่มต้น limitNeg = 0
/*-----*/
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MCP4725.h> //LibraryAdafruit_MCP4725.h อ้างอิงจากไฟล์จาก
// ภายในเป็นไลบรารีเราเพิ่มเข้ามา
Adafruit_MCP4725 dac;
/*-----
EEPROM
-----*/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <EEPROM.h> //LibraryEEPROM.h อ้างอิงจากไฟล์จากภายในเป็น
                    //ไลบรารีเราเพิ่มเข้ามา

uint32_t EEPROMAddress = 130; //แอดเดรสของ EEPROM ที่จะบันทึกข้อมูลลงไป
uint32_t EEPROMAddress1 = 131; //แอดเดรสของ EEPROM ที่จะบันทึกข้อมูลลงไป
uint32_t EEPROMAddress2 = 132; //แอดเดรสของ EEPROM ที่จะบันทึกข้อมูลลงไป
uint32_t EEPROMAddress3 = 133; //แอดเดรสของ EEPROM ที่จะบันทึกข้อมูลลงไป
uint32_t EEPROMAddress4 = 134; //แอดเดรสของ EEPROM ที่จะบันทึกข้อมูลลงไป
uint32_t EEPROMAddress5 = 135; //แอดเดรสของ EEPROM ที่จะบันทึกข้อมูลลงไป
uint32_t EEPROMAddress6 = 136; //แอดเดรสของ EEPROM ที่จะบันทึกข้อมูลลงไป
uint32_t EEPROMAddress7 = 137; //แอดเดรสของ EEPROM ที่จะบันทึกข้อมูลลงไป
uint32_t EEPROMAddress8 = 138; //แอดเดรสของ EEPROM ที่จะบันทึกข้อมูลลงไป
uint32_t EEPROMAddress9 = 139; //แอดเดรสของ EEPROM ที่จะบันทึกข้อมูลลงไป
uint32_t EEPROMAddress10 = 140; //แอดเดรสของ EEPROM ที่จะบันทึกข้อมูลลงไป
uint32_t EEPROMAddress11 = 141; //แอดเดรสของ EEPROM ที่จะบันทึกข้อมูลลงไป
uint32_t EEPROMAddress12 = 142; //แอดเดรสของ EEPROM ที่จะบันทึกข้อมูลลงไป
uint32_t EEPROMAddress13 = 143; //แอดเดรสของ EEPROM ที่จะบันทึกข้อมูลลงไป
uint32_t EEPROMAddress14 = 144; //แอดเดรสของ EEPROM ที่จะบันทึกข้อมูลลงไป
uint32_t EEPROMAddress15 = 145; //แอดเดรสของ EEPROM ที่จะบันทึกข้อมูลลงไป
uint32_t EEPROMAddress16 = 146; //แอดเดรสของ EEPROM ที่จะบันทึกข้อมูลลงไป
uint32_t EEPROMAddress17 = 147; //แอดเดรสของ EEPROM ที่จะบันทึกข้อมูลลงไป
uint32_t EEPROMAddress18 = 148; //แอดเดรสของ EEPROM ที่จะบันทึกข้อมูลลงไป
uint32_t EEPROMAddress19 = 149; //แอดเดรสของ EEPROM ที่จะบันทึกข้อมูลลงไป

/*-----*/
unsigned char Mass_FlowA; //unsigned char บรรทัดที่ 43 - 50 เป็นการเก็บข้อมูล
                          //อักขระไม่คิดเครื่องหมาย

unsigned char Type_of_GasA;

unsigned char full_scale_A_N1 = 0, full_scale_A_N2 = 0, full_scale_A_N3 = 0,
full_scale_A_F1 = 0;

unsigned char Set_point_A_N1 = 0, Set_point_A_N2 = 0, Set_point_A_N3 = 0,
Set_point_A_F1 = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

unsigned char Mass_FlowB;

unsigned char Type_of_GasB;

unsigned char full_scale_B_N1 = 0, full_scale_B_N2 = 0, full_scale_B_N3 = 0,
full_scale_B_F1 = 0;

unsigned char Set_point_B_N1 = 0, Set_point_B_N2 = 0, Set_point_B_N3 = 0,
Set_point_B_F1 = 0 ;

/*-----*/
float sp1,sp2,fs1,fs2,g1,g2,m1,m2,s,t,o,p; //เป็นการประกาศตัวแปรที่เป็นเลขทศนิยม
/*-----*/

Edit control
-----*/

bool IsEdit = 0; //boolการแสดงผลสถานะ IsEdit ที่เป็น false
unsigned char nPage = 0; //unsigned char เก็บข้อมูลอักขระที่ชื่อ nPage (เปลี่ยนหน้า)
unsigned char nMenu = 0; //unsigned char เก็บข้อมูลอักขระที่ชื่อ nMenu (ตำแหน่งและ
//แก้ไขแต่ละหลัก)
unsigned char nMode = 0; //unsigned char เก็บข้อมูลอักขระที่ชื่อ nMode (การหมุน 0-9)
char buffer[17]; //buffer เพื่อเก็บข้อมูลเป็น Byte ใน char เก็บตัวอักษร [17] ตัว
int nerr1 = 0; //การตั้งค่าตัวแปรให้มีค่าเริ่มต้น nerr = 0
bool Isstart1 = 0; //boolการแสดงผลสถานะ Isstart ที่เป็น false
bool IsFinished1 = 0;
int nerr2 = 0; //การตั้งค่าตัวแปรให้มีค่าเริ่มต้น nerr = 0
bool Isstart2 = 0; //boolการแสดงผลสถานะ Isstart ที่เป็น false
bool IsFinished2 = 0;
int nerr3 = 0; //การตั้งค่าตัวแปรให้มีค่าเริ่มต้น nerr = 0
bool Isstart3 = 0; //boolการแสดงผลสถานะ Isstart ที่เป็น false
bool IsFinished3 = 0;
int nerr4 = 0; //การตั้งค่าตัวแปรให้มีค่าเริ่มต้น nerr = 0
bool Isstart4 = 0; //boolการแสดงผลสถานะ Isstart ที่เป็น false
bool IsFinished4 = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

float gfg,gfm,FS; //ตัวแปรในการส่งค่ามายังฟังก์ชัน SendDAC
uint32_t dac_value1,dac_value2; //ตัวแปรในการส่งค่ามายัง DAC
float dac_expected_output, dac_expected_output2, set_point1, set_point2, fsn1, fsn2,
setV1, setV2, Ch1, Ch2; //ตัวแปรในการคำนวณ Gas Factor
char flowrate [5]; //ให้ flowrate เก็บข้อมูลเป็น Byte ใน char เก็บตัวเลข
[5] ตัว
float voltage, output1, output2; //บรรทัดที่ 77 และ 78 เป็นการประกาศตัวแปรใน
สมการการวัดเอาต์พุต

float sensor_value;
/*-----
CALCULATION
-----*/
void SendDAC1(uint32_t dac_value1,float gfg,float gfm,float FS)
{
dac_value2 = dac_value1*(4095.00/FS); //สมการแปลงค่า sp ที่ ส่งมาในตัวแปร
dac_value1 ให้เป็น 0 - 4095
dac_expected_output1 = (5.0/4095.0)*dac_value2; //สมการแปลงค่าจาก 0-4095 ให้เป็น
0-5 V
set_point1 = (FS/5)*dac_expected_output1; //สมการแปลงค่าจากไฟ 0-5 V ให้อยู่
ในหน่วย sccm
fsn1 = (gfg/gfm)*5*(FS/5); //บรรทัดที่ 85-87 คือสมการ Gas
Factor

setV1 = (set_point1*5)/fsn1;
Ch1 = (gfg/gfm)*setV1*(FS/5);
dac.begin(0x60); //Channel ของ DAC
dac.setVoltage(dac_value2, false); //dac แปลง อัตราการไหลที่ป้อนเข้า
ไปให้เป็นไฟ 0-5V
isPush = analogRead(botton); //การกด rotary encoder
Serial.println(dac_value2 ,2);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void SendDAC2(uint32_t dac_value1,float gfg,float gfm,float FS)
{
  dac_value2 = dac_value1*(4095/FS);
  dac_expected_output2 = (5.0/4095.0)*dac_value2;
  set_point2 = (FS/5)*dac_expected_output2;
  fsn2 = (gfg/gfm)*5*(FS/5);
  setV2 = (set_point2*5)/fsn2;
  Ch2 = (gfg/gfm)*setV2*(FS/5);
  dac.begin(0x61);
  dac.setVoltage(dac_value2, false);
  isPush = analogRead(botton);
  Serial.println(Ch2);
}
/*-----
ROTARY ENCODER
-----*/

void setup() //โปรแกรมจะทำงานของคำสั่งฟังก์ชันนี้เพียงครั้งเดียว
{
  PCICR |= (1 << PCIE0); //บรรทัดที่ 110-112 เป็น interrupt ที่นำมาจาก
                        //examples Rotary encoder
  PCMSK0 |= (1 << PCINT4) | (1 << PCINT5);
  sei();
  Serial.begin(115200);
}
/*-----
MAIN LOOP
-----*/

void loop() //ฟังก์ชันการวนลูปไปเรื่อยๆ
{
  tick(); //ฟังก์ชัน tick
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (tick_state) //tick_state การแสดงสถานะ cnt_250ms++
{
  cnt_100ms++; //ให้ cnt_250ms มีค่าเพิ่มขึ้นทีละ 1
  if (cnt_100ms >= 2) //cnt_100ms (Member 2 --> 100ms)
  {
    cnt_100ms = 0; //เมื่อ cnt_250ms =0

    isPush = 1; //แสดงถึงการกดสวิตช์ isPush = 1
    isPush = analogRead(botton); //การอ่านค่าการกดสวิตช์ botton
  }
}

/*-----
Page changing
-----*/

if (isPush == 0 && nMode == 0) //nMode การเลื่อนตำแหน่ง (isPush==0 หมายถึงการ
                               หมุน)
{
  switch (nPage) { //การเปลี่ยนหน้า
  case 0: //หน้าแรก P0_1
    switch (nMenu) { //nMenu การเลือกตำแหน่ง
    case 0: //ตำแหน่งที่ 0
      nPage = 1; //ไปหน้า 1 (P1_1)
      nMenu = 0; //การเก็บตัวอักษรที่ตำแหน่งนี้
      encCount = nMenu; //encCount ต้องเท่ากับ nMenu
      isPush = 1; //isPush เป็น 1 เมื่อมีการกด
      break;
    case 1: //ตำแหน่งที่ 1
      nPage = 4; //ไปหน้า 4 (P1_4)
      nMenu = 0; //การเก็บตัวอักษรที่ตำแหน่งนี้
      encCount = nMenu; //encCount ต้องเท่ากับ nMenu
      isPush = 1; //isPush เป็น 1 เมื่อมีการกด
      break;
    }
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
break;
case 1: //หน้า 1 (P1_1)
switch (nMenu) {
case 0: //หมุนไปตำแหน่งที่ 0
nPage = 2; //ไปหน้า 2 (P1_2)
nMenu = 0; //การเก็บตัวอักษรที่ตำแหน่งนี้
encCount = nMenu; // encCount ต้องเท่ากับ nMenu
isPush = 1; //isPush เป็น1เมื่อมีการกด
break;
case 1: //หมุนไปตำแหน่งที่ 1
nPage = 0; //ไปหน้าแรก P0_1
nMenu = 0; //การเก็บตัวอักษรที่ตำแหน่งนี้
encCount = nMenu; //encCount ต้องเท่ากับ nMenu
isPush = 1; //isPush เป็น 1 เมื่อมีการกด
break;
}
break;
case 2: //หน้า 2 (P1_2)
switch (nMenu) {
case 0: //หมุนไปตำแหน่งที่ 0
nPage = 3; //ไปหน้า 3 (P1_3)
nMenu = 0; //การเก็บตัวอักษรที่ตำแหน่งนี้
encCount = nMenu; //encCount ต้องเท่ากับ nMenu
isPush = 1; //isPush เป็น 1 เมื่อมีการกด
break;
case 1: //หมุนไปตำแหน่งที่ 1
nPage = 1; //ไปหน้า 1 (P1_1)
nMenu = 0; //การเก็บตัวอักษรที่ตำแหน่งนี้
encCount = nMenu; //encCount ต้องเท่ากับ nMenu

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        isPush = 1;           //isPush เป็น 1 เมื่อมีการกด
        break;
    }
    break;
case 3:           //หน้า 3 (P1_3)
    switch (nMenu) {
        case 0:           //หมุนไปตำแหน่งที่ 0
            nPage = 4;           //ไปหน้า 4 (P1_4)
            nMenu = 0;           //การเก็บตัวอักษรที่ตำแหน่งนี้
            encCount = nMenu;     //encCount ต้องเท่ากับ nMenu
            isPush = 1;           //isPush เป็น 1 เมื่อมีการกด
            break;
        case 1:           //หมุนไปตำแหน่งที่ 1
            nPage = 7;           //ไปหน้า 7 (P1_7)
            nMenu = 0;           //การเก็บตัวอักษรที่ตำแหน่งนี้
            encCount = nMenu;     //encCount ต้องเท่ากับ nMenu
            isPush = 1;           //isPush เป็น 1 เมื่อมีการกด
            break;
    }
    break;
case 4:           //หน้า 4 (P1_4)
    switch (nMenu) {
        case 0:           //หมุนไปตำแหน่งที่ 0
            nPage = 5;           //ไปหน้า 5 (P1_5)
            nMenu = 0;           //การเก็บตัวอักษรที่ตำแหน่งนี้
            encCount = nMenu;     //encCount ต้องเท่ากับ nMenu
            isPush = 1;           //isPush เป็น 1 เมื่อมีการกด
            break;
        case 1:           //หมุนไปตำแหน่งที่ 1
            nPage = 0;           //ไปหน้าแรก 0 P0_1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

nMenu = 0; //การเก็บตัวอักษรที่ตำแหน่งนี้
encCount = nMenu; //encCount ต้องเท่ากับ nMenu
isPush = 1; //isPush เป็น 1 เมื่อมีการกด
break;
}
break;
case 5: //หน้า 5 (P1_5)
switch (nMenu) {
case 0: //หมุนไปตำแหน่งที่ 0
nPage = 6; //ไปหน้า 6 (P1_6)
nMenu = 0; //การเก็บตัวอักษรที่ตำแหน่งนี้
encCount = nMenu; //encCount ต้องเท่ากับ nMenu
isPush = 1; //isPush เป็น 1 เมื่อมีการกด
break;
case 1: //หมุนไปตำแหน่งที่ 1
nPage = 4; //ไปหน้า 4 (P1_4)
nMenu = 0; //การเก็บตัวอักษรที่ตำแหน่งนี้
encCount = nMenu; //encCount ต้องเท่ากับ nMenu
isPush = 1; //isPush เป็น 1 เมื่อมีการกด
break;
}
break;
case 6: //หน้า 6 (P1_6)
switch (nMenu) {
case 0: //หมุนไปตำแหน่งที่ 0
nPage = 1; //ไปหน้า 1 (P1_1)
nMenu = 0; //การเก็บตัวอักษรที่ตำแหน่งนี้
encCount = nMenu; //encCount ต้องเท่ากับ nMenu
isPush = 1; //isPush เป็น 1 เมื่อมีการกด
break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case 1:                //หมุนไปตำแหน่งที่ 1
    nPage = 7;         //ไปหน้า 7 (P1_7)
    nMenu = 0;         //การเก็บตัวอักษรที่ตำแหน่งนี้
    encCount = nMenu; //encCount ต้องเท่ากับ nMenu
    isPush = 1;       //isPush เป็น 1 เมื่อมีการกด
    break;
}
break;
case 7:                //หน้า 7 (P1_7)
switch (nMenu) {
case 2:               //หมุนไปตำแหน่งที่ 2
    nPage = 2;         //ไปหน้า 2 (P1_2)
    nMenu = 0;         //การเก็บตัวอักษรที่ตำแหน่งนี้
    encCount = nMenu; //encCount ต้องเท่ากับ nMenu
    isPush = 1;       //isPush เป็น 1 เมื่อมีการกด
    break;
case 5:               //หมุนไปตำแหน่งที่ 5
    nPage = 5;         //ไปหน้า 5 (P1_5)
    nMenu = 0;         //การเก็บตัวอักษรที่ตำแหน่งนี้
    encCount = nMenu; //encCount ต้องเท่ากับ nMenu
    isPush = 1;       //isPush เป็น 1 เมื่อมีการกด
    break;
}
break;
}
} //จบ switch (nPage)
} //จบ if
/*-----
shift / edit changing
-----*/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
switch ( nMode) { //การเลื่อนตำแหน่ง
case 1: //การแก้ไข (edit)
nMode = 0; //เลื่อนตำแหน่ง
encCount = nMenu; //encCount ต้องเท่ากับการเลือกตำแหน่งนั้นๆ
switch (nPage) { //การเปลี่ยนหน้า
case 0: //หน้าแรก P0_1
limitPos = 2 ; //จำกัดการหมุน 2 ตำแหน่ง
limitNeg = 0;
break;
case 1: //หน้า 1 (P1_1)
limitPos = 4; //จำกัดการหมุน 4 ตำแหน่ง
limitNeg = 0;
break;
case 2: //หน้า 2 (P1_2)
limitPos = 10; //จำกัดการหมุน 10 ตำแหน่ง
limitNeg = 0;
break;
case 3: //หน้า 3 (P1_3)
limitPos = 2; //จำกัดการหมุน 2 ตำแหน่ง
limitNeg = 0;
break;
case 4: //หน้า 4 (P1_4)
limitPos = 4; //จำกัดการหมุน 4 ตำแหน่ง
limitNeg = 0;
break;
case 5: //หน้า 5 (P1_5)
limitPos = 10; //จำกัดการหมุน 10 ตำแหน่ง
limitNeg = 0;
break;
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case 6:                //หน้า 6 (P1_6)
    limitPos = 2;      //จำกัดการหมุน 2 ตำแหน่ง
    limitNeg = 0;
    break;
case 7:                //หน้า 7 (P1_7)
    limitPos = 7;      //จำกัดการหมุน 7 ตำแหน่ง
    limitNeg = 0;
    break;
}                      //nPage
break;
case 0:
    nMode = 1;         //ไม่ใช่การเลื่อนแต่อยู่ตำแหน่งปัจจุบัน
    IsEdit = 1;        //ไม่ใช่การแก้ไขตัวเลข
    break;
}                      //nMode
}                      //if
/*-----
Edit execution
-----*/
if (IsEdit && nPage == 1) //การแก้ไขตัวเลขในหน้า 1 (P1_1)
{
    IsEdit = 0;        //IsEdit=0 แก้ไขตัวเลข
    if (nMenu > 4) nMenu = 0; //nMenu>4 มี4case (nMenu ตำแหน่งที่อยู่แต่ละหลัก)
    switch (nMenu)     //เลื่อนตำแหน่งและแก้ไขแต่ละหลัก
    {
        case 2:
            encCount = Mass_FlowA; //การเปลี่ยนชนิด Mass Flow channelA
            limitPos = 4;           //การแก้ไขพารามิเตอร์ 0-4
            limitNeg = 0;           //limitNeg เท่ากับ 0
            break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case 3:
    encCount = Type_of_GasA; //การเปลี่ยนชนิด Gas channelA
    limitPos = 4;           //การแก้ไขพารามิเตอร์ 0-4
    limitNeg = 0;          //limitNeg เท่ากับ 0
    break;
}
} // nMenu
} //if
if (IsEdit && nPage == 2) //การแก้ไขตัวเลขในหน้า 2 (P1_2)
{
    IsEdit = 0;           //IsEdit=0 แก้ไขตัวเลข
    if (nMenu > 8) nMenu = 0; //nMenu>8 มี8case (nMenu ตำแหน่งที่อยู่แต่ละหลัก)
    switch (nMenu) //เลื่อนตำแหน่งและแก้ไขแต่ละหลัก
    {
    case 2:
        encCount = full_scale_A_N1; //ตำแหน่งหลักร้อยของ full_scale
        limitPos = 9;           //การแก้ไขพารามิเตอร์ 0-9
        limitNeg = 0;          //limitNeg เท่ากับ 0
        break;
    case 3:
        encCount = full_scale_A_N2; //ตำแหน่งหลักสิบของ full_scale
        limitPos = 9;           //การแก้ไขพารามิเตอร์ 0-9
        limitNeg = 0;          //limitNeg เท่ากับ 0
        break;
    case 4:
        encCount = full_scale_A_N3; //ตำแหน่งหลักหน่วยของ full_scale
        limitPos = 9;           //การแก้ไขพารามิเตอร์ 0-9
        limitNeg = 0;          //limitNeg เท่ากับ 0
        break;
    case 5:
        encCount = full_scale_A_F1; //ทศนิยมตำแหน่งที่ 1 ของ full_scale

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อความลับเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

limitPos = 9;           //การแก้ไขพารามิเตอร์ 0-9
limitNeg = 0;          //limitNeg เท่ากับ 0
break;
case 6:
    encCount = Set_point_A_N1; //ตำแหน่งหลักร้อยของ set point
    limitPos = 9;           //การแก้ไขพารามิเตอร์ 0-9
    limitNeg = 0;          //limitNeg เท่ากับ 0
    break;
case 7:
    encCount = Set_point_A_N2; //ตำแหน่งหลักสิบของ set point
    limitPos = 9;           //การแก้ไขพารามิเตอร์ 0-9
    limitNeg = 0;          //limitNeg เท่ากับ 0
    break;
case 8:
    encCount = Set_point_A_N3; //ตำแหน่งหลักหน่วยของ set point
    limitPos = 9;           //การแก้ไขพารามิเตอร์ 0-9
    limitNeg = 0;          //limitNeg เท่ากับ 0
    break;
case 9:
    encCount = Set_point_A_F1; //ทศนิยมตำแหน่งที่ 1 ของ set point
    limitPos = 9;           //การแก้ไขพารามิเตอร์ 0-9
    limitNeg = 0;          //limitNeg เท่ากับ 0
    break;
} // nMenu
} //if
if (IsEdit && nPage == 4) //การแก้ไขตัวเลขในหน้า 4 (P1_4)
{
    IsEdit = 0;           //IsEdit=0 แก้ไขตัวเลข
    if (nMenu > 4) nMenu = 0; //nMenu>4 มี4case (nMenu ตำแหน่งที่อยู่แต่ละหลัก)
    switch (nMenu) //เลื่อนตำแหน่งและแก้ไขแต่ละหลัก

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
case 2:
    encCount = Mass_FlowB; //การเปลี่ยนชนิด Mass Flow channelB
    limitPos = 4; //การแก้ไขพารามิเตอร์ 0-4
    limitNeg = 0; //limitNeg เท่ากับ 0
    break;
case 3:
    encCount = Type_of_GasB; //การเปลี่ยนชนิด Gas channelB
    limitPos = 4; //การแก้ไขพารามิเตอร์ 0-4
    limitNeg = 0; //limitNeg เท่ากับ 0
    break;
}
// nMenu
//if
if (IsEdit && nPage == 5) //การแก้ไขตัวเลขในหน้า 5 (P1_5)
{
IsEdit = 0; //IsEdit=0 แก้ไขตัวเลข
if (nMenu > 8) nMenu = 0; //nMenu>8 มี8case (nMenu ตำแหน่งที่อยู่แต่ละหลัก)
switch (nMenu) //เลื่อนตำแหน่งและแก้ไขแต่ละหลัก
{
case 2:
    encCount = full_scale_B_N1; //ตำแหน่งหลักร้อยของ full scale
    limitPos = 9; //การแก้ไขพารามิเตอร์ 0-9
    limitNeg = 0; //limitNeg เท่ากับ 0
    break;
case 3:
    encCount = full_scale_B_N2; //ตำแหน่งหลักสิบของ full scale
    limitPos = 9; //การแก้ไขพารามิเตอร์ 0-9
    limitNeg = 0; //limitNeg เท่ากับ 0
    break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 case 4:
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

encCount = full_scale_B_N3; //ตำแหน่งหลักหน่วยของ full scale
limitPos = 9;                //การแก้ไขพารามิเตอร์ 0-9
limitNeg = 0;                //limitNeg เท่ากับ 0
break;

case 5:
encCount = full_scale_B_F1; //ทศนิยมตำแหน่งที่1ของ full scale
limitPos = 9;                //การแก้ไขพารามิเตอร์ 0-9
limitNeg = 0;                //limitNeg เท่ากับ 0
break;

case 6:
encCount = Set_point_B_N1; //ตำแหน่งหลักร้อยของ set point
limitPos = 9;                //การแก้ไขพารามิเตอร์ 0-9
limitNeg = 0;                //limitNeg เท่ากับ 0
break;

case 7:
encCount = Set_point_B_N2; //ตำแหน่งหลักสิบของ set point
limitPos = 9;                //การแก้ไขพารามิเตอร์ 0-9
limitNeg = 0;                //limitNeg เท่ากับ 0
break;

case 8:
encCount = Set_point_B_N3; //ตำแหน่งหลักหน่วยของ set point
limitPos = 9;                //การแก้ไขพารามิเตอร์ 0-9
limitNeg = 0;                //limitNeg เท่ากับ 0
break;

case 9:
encCount = Set_point_B_F1; //ทศนิยมตำแหน่งที่1ของ set point
limitPos = 9;                //การแก้ไขพารามิเตอร์ 0-9
limitNeg = 0;                //limitNeg เท่ากับ 0
break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    } //if

/*-----
START PAGE & CALCULATION
-----*/

if (IsEdit && nPage == 7) { //สมการที่ผู้ใช้ป้อนค่าเข้ามา
    IsEdit = 0; //IsEdit=0 แก้ไขตัวเลข
    if (nMenu == 0 && Isstart1 == 0) //nMenu และ Isstart== 0
    {
        Isstart1 = 1; //Isstart เป็นจริงจะทำให้ nerr = 0 เกิด Error
        nerr1 = 0;
        sp1 = 100 * ((int)Set_point_A_N1) + 10 * ((int)Set_point_A_N2) +
(int)Set_point_A_N3 + 0.1*((float)Set_point_A_F1); //ค่า set point ที่ผู้ใช้ป้อน
        fs1 = 100 * ((int)full_scale_A_N1) + 10 * ((int)full_scale_A_N2) +
(int)full_scale_A_N3 + 0.1*((float)full_scale_A_F1); //ค่า full scale ที่ผู้ใช้ป้อน
        if(Mass_FlowA == 1){
            m1 = 1.39; //ค่า Gas Factor ของ Mass Flow ชนิด Ar
        }
        if(Mass_FlowA == 2){
            m1 = 1.00; //ค่า Gas Factor ของ Mass Flow ชนิด N2
        }
        if(Mass_FlowA == 3){
            m1 = 0.993; //ค่า Gas Factor ของ Mass Flow ชนิด O2
        }
        if(Mass_FlowA == 4){
            m1 = 1.01; //ค่า Gas Factor ของ Mass Flow ชนิด H2
        }
        if(Type_of_GasA == 1){
            g1 = 1.39; //ค่า Gas Factor ของก๊าซ Ar
        }
        if(Type_of_GasA == 2){

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    g1 = 1.00;                //ค่า Gas Factor ของก๊าซ N2
}
if(Type_of_GasA == 3){
    g1 = 0.993;              //ค่า Gas Factor ของก๊าซ O2
}
if(Type_of_GasA == 4){
    g1 = 1.01;               //ค่า Gas Factor ของก๊าซ H2
}
}
}

/*-----*/
if (nMenu == 1 && lsstart2 == 0) //nMenu และ lsstart== 0
{
    lsstart2 = 1;              //lsstart เป็นจริงจะทำให้ nerr = 0 เกิด Error
    nerr2 = 0;
    s= 0;
    t=10;
    o=10;
    p=10;
}

/*-----*/
if (nMenu == 3 && lsstart3 == 0) //nMenu และ lsstart== 0
{
    lsstart3 = 1;              //lsstart เป็นจริงจะทำให้ nerr = 0 เกิด Error
    nerr3 = 0;
    sp2 = 1 0 0 * (( int)Set_point_B_N1 ) + 1 0 * (( int)Set_point_B_N2 ) +
(int)Set_point_B_N3 + 0.1*((float)Set_point_B_F1);
    fs2 = 1 0 0 * (( int)full_scale_B_N1 ) + 1 0 * (( int)full_scale_B_N2 ) +
(int)full_scale_B_N3 + 0.1*((float)full_scale_B_F1);
    if(Mass_FlowB == 1){
        m2 = 1.39;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
if(Mass_FlowB == 2){
    m2 = 1.00;
}
if(Mass_FlowB == 3){
    m2 = 0.993;
}
if(Mass_FlowB == 4){
    m2 = 1.01;
}
if(Type_of_GasB == 1){
    g2 = 1.39;
}
if(Type_of_GasB == 2){
    g2 = 1.00;
}
if(Type_of_GasB == 3){
    g2 = 0.993;
}
if(Type_of_GasB == 4){
    g2 = 1.01;
}
}
}

```

```

/*-----*/

```

```

if (nMenu == 4 && Isstart4 == 0) //nMenuและIsstart== 0
{
    Isstart4 = 1; //Isstart เป็นจริงจะทำให้nerr = 0เกิดError
    nerr4 = 0;
    s = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 t,o,p=100;
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
}

/*-----
EEPROM
-----*/

if (nMode == 0) nMenu = encCount;      //การเลื่อนตำแหน่ง nMode == 0 เมื่อ
                                        nMenu = encCount

if (nMode == 1 && nPage == 1)          //mode 1 การ shift หน้า 1
{
    switch (nMenu)                      //เลือกตำแหน่ง
    {
    case 2:                              // Mass_FlowA
        Mass_FlowA = encCount;          //Mass_FlowA ต้องเท่ากับ encCount (ใช้ใน
                                        การเลือกตำแหน่งที่ต้องการแก้ไข)
        EEPROM.write(EEPROMAddress16,Mass_FlowA) ;
                                        //การเขียนค่า Mass_FlowA ลงใน EEPROM
        break;
    case 3:                              //Type_of_GasA
        Type_of_GasA = encCount;        //Type_of_GasA ต้องเท่ากับ encCount (ใช้
                                        ในการเลือกตำแหน่งที่ต้องการแก้ไข)
        EEPROM.write(EEPROMAddress17,Type_of_GasA) ;
                                        //การเขียนค่า Type_of_GasA ลงใน EEPROM
        break;
    }
}
}
}

if (nMode == 0) nMenu = encCount;      //การเลื่อนตำแหน่ง nMode == 0 เมื่อ
                                        nMenu = encCount

if (nMode == 1 && nPage == 2)          //mode 1 การ shift หน้า 2
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตออาจอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
case 2: //full_scale_A_N1
full_scale_A_N1 = encCount; //full_scale_A_N1 ต้องเท่ากับ encCount (ใช้
//ในการเลือกตำแหน่งที่ต้องการแก้ไข)
EEPROM.write(EEPROMAddress,full_scale_A_N1) ;
//การเขียนค่าfull_scale_A_N1ลงใน EEPROM
break;
case 3: //full_scale_A_N2
full_scale_A_N2 = encCount; //full_scale_A_N2 ต้องเท่ากับ encCount (ใช้
//ในการเลือกตำแหน่งที่ต้องการแก้ไข)
EEPROM.write(EEPROMAddress1,full_scale_A_N2) ;
//การเขียนค่าfull_scale_A_N2ลงใน EEPROM
break;
case 4: //full_scale_A_N3
full_scale_A_N3 = encCount; //full_scale_A_N3 ต้องเท่ากับ encCount (ใช้
//ในการเลือกตำแหน่งที่ต้องการแก้ไข)
EEPROM.write(EEPROMAddress2,full_scale_A_N3) ;
//การเขียนค่าfull_scale_A_N3ลงใน EEPROM
break;
case 5: //full_scale_A_F1
full_scale_A_F1 = encCount; //full_scale_A_F1 ต้องเท่ากับ encCount (ใช้
//ในการเลือกตำแหน่งที่ต้องการแก้ไข)
EEPROM.write(EEPROMAddress3,full_scale_A_F1) ;
//การเขียนค่าfull_scale_A_F1ลงใน EEPROM
break;
case 6: // Set_point_A_N1
Set_point_A_N1 = encCount; //Set_point_A_N1 ต้องเท่ากับ encCount (ใช้
//ในการเลือกตำแหน่งที่ต้องการแก้ไข)
EEPROM.write(EEPROMAddress8,Set_point_A_N1) ;
//การเขียนค่าSet_point_A_N1ลงใน EEPROM

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

break;
case 7: // Set_point_A_N2
Set_point_A_N2 = encCount; //Set_point_A_N2 ต้องเท่ากับ encCount (ใช้
//ในการเลือกตำแหน่งที่ต้องการแก้ไข)
EEPROM.write(EEPROMAddress9,Set_point_A_N2) ;
//การเขียนค่าSet_point_A_N2ลงใน EEPROM
break;
case 8: // Set_point_A_N3
Set_point_A_N3 = encCount; //Set_point_A_N3 ต้องเท่ากับ encCount (ใช้
//ในการเลือกตำแหน่งที่ต้องการแก้ไข)
EEPROM.write(EEPROMAddress10,Set_point_A_N3) ;
//การเขียนค่าSet_point_A_N3ลงใน EEPROM
break;
case 9: //Set_point_A_F1
Set_point_A_F1 = encCount; //Set_point_A_F1 ต้องเท่ากับ encCount (ใช้
//ในการเลือกตำแหน่งที่ต้องการแก้ไข)
EEPROM.write(EEPROMAddress11,Set_point_A_F1) ;
//การเขียนค่าSet_point_A_F1ลงใน EEPROM
break;
} //nMenu
} //if
if (nMode == 0) nMenu = encCount; //การเลื่อนตำแหน่งnMode == 0 เมื่อ
nMenu = encCount
if (nMode == 1 && nPage == 4) //mode 1 การshift หน้า 4
{
switch (nMenu) //เลือกตำแหน่ง
{
case 2: // Mass_FlowB
Mass_FlowB = encCount; //Mass_FlowB ต้องเท่ากับ encCount (ใช้ใน

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

EEPROM.write(EEPROMAddress18,Mass_FlowB) ;
//การเขียนค่า Mass_FlowB ลงใน EEPROM
break;
case 3://Type_of_GasB
Type_of_GasB = encCount; //Type_of_GasB ต้องเท่ากับ encCount (ใช้
//ในการเลือกตำแหน่งที่ต้องการแก้ไข)
EEPROM.write(EEPROMAddress19,Type_of_GasB) ;
//การเขียนค่า Type_of_GasB ลงใน EEPROM
break;
} //nMenu
} //if
if (nMode == 0) nMenu = encCount; //การเลื่อนตำแหน่ง nMode == 0 เมื่อ
nMenu = encCount
if (nMode == 1 && nPage == 5) //mode 1 การshift หน้า 5
{
switch (nMenu) //เลือกตำแหน่ง
{
case 2: // full_scale_B_N1
full_scale_B_N1 = encCount; //full_scale_B_N1 ต้องเท่ากับ encCount (ใช้
//ในการเลือกตำแหน่งที่ต้องการแก้ไข)
EEPROM.write(EEPROMAddress4,full_scale_B_N1);
//การเขียนค่าfull_scale_B_N1ลงใน EEPROM
break;
case 3: //full_scale_B_N2
full_scale_B_N2 = encCount; //full_scale_B_N2 ต้องเท่ากับ encCount (ใช้
//ในการเลือกตำแหน่งที่ต้องการแก้ไข)
EEPROM.write(EEPROMAddress5,full_scale_B_N2) ;
//การเขียนค่าfull_scale_B_N2ลงใน EEPROM
break;
case 4: //full_scale_B_N3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

full_scale_B_N3 = encCount; //full_scale_B_N3 ต้องเท่ากับ encCount (ใช้
                               ในการเลือกตำแหน่งที่ต้องการแก้ไข)
EEPROM.write(EEPROMAddress6,full_scale_B_N3) ;
                               //การเขียนค่าfull_scale_B_N3ลงใน EEPROM
break;
case 5: //full_scale_B_F1
full_scale_B_F1 = encCount; //full_scale_B_F1 ต้องเท่ากับ encCount (ใช้
                               ในการเลือกตำแหน่งที่ต้องการแก้ไข)
EEPROM.write(EEPROMAddress7,full_scale_B_F1) ;
                               //การเขียนค่าfull_scale_B_F1ลงใน EEPROM
break;
case 6: // Set_point_B_N1
Set_point_B_N1 = encCount; //Set_point_B_N1 ต้องเท่ากับ encCount (ใช้
                               ในการเลือกตำแหน่งที่ต้องการแก้ไข)
EEPROM.write(EEPROMAddress12,Set_point_B_N1) ;
                               //การเขียนค่าSet_point_B_N1ลงใน EEPROM
break;
case 7: //Set_point_B_N2
Set_point_B_N2 = encCount; //Set_point_B_N2 ต้องเท่ากับ encCount (ใช้
                               ในการเลือกตำแหน่งที่ต้องการแก้ไข)
EEPROM.write(EEPROMAddress13,Set_point_B_N2) ;
                               //การเขียนค่าSet_point_B_N2ลงใน EEPROM
break;
case 8: //Set_point_B_N3
Set_point_B_N3 = encCount; //Set_point_B_N3 ต้องเท่ากับ encCount (ใช้
                               ในการเลือกตำแหน่งที่ต้องการแก้ไข)
EEPROM.write(EEPROMAddress14,Set_point_B_N3) ;
                               //การเขียนค่าSet_point_B_N3ลงใน EEPROM
break;
case 9: //Set_point_B_F1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Set_point_B_F1 = encCount;           //Set_point_B_F1 ต้องเท่ากับ encCount (ใช้
                                      ในการเลือกตำแหน่งที่ต้องการแก้ไข)
EEPROM.write(EEPROMAddress15,Set_point_B_F1) ;
                                      //การเขียนค่าSet_point_B_F1ลงใน EEPROM
break;
}                                     //nMenu
}                                     //if
/*-----*/
switch (nPage) {                     //การเปลี่ยนหน้าโดยทำงานในแต่ละ case
case 0:                               //เป็นการปริ้นตัวอักษรโดยการdraw_P0_1()
                                      ของไลบรารี u8g
u8g.firstPage();
do
{
draw_P0_1();                          //หน้าแรก 0
}
while ( u8g.nextPage() );
break;
case 1:
u8g.firstPage();
do
{
draw_P1_1();                          //หน้า 1
}
while ( u8g.nextPage() );
break;
case 2:
u8g.firstPage();
do

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        draw_P1_2();                //หน้า 2
    }
    while ( u8g.nextPage() );
    break;
case 3:
    u8g.firstPage();
    do
    {
        draw_P1_3();                //หน้า 3
    }
    while ( u8g.nextPage() );
    break;
case 4:
    u8g.firstPage();
    do
    {
        draw_P1_4();                //หน้า 4
    }
    while ( u8g.nextPage() );
    break;
case 5:
    u8g.firstPage();
    do
    {
        draw_P1_5();                //หน้า 5
    }
    while ( u8g.nextPage() );
    break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 case 6:
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

u8g.firstPage();
do
{
    draw_P1_6();                //หน้า 6
}
while ( u8g.nextPage() );
break;
case 7:
u8g.firstPage();
do
{
    draw_P1_7();                //หน้า 7
}
while ( u8g.nextPage() );
break;
}
/*-----*/
}
}
//cnt_ms
//tick
if (Isstart1)
{
    // ตรวจสอบการคำนวณ
    if (nerr1 < 0 )                //มีความผิดพลาด
    {
        delay(3000);                // รอแสดงผล
    }
    else                            // ไม่ผิดพลาด
    {
        IsFinished1 = 0;
        SendDAC1(sp1,g1,m1,fs1);    //ส่งค่าไปยัง SendDAC1
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นสำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

isPush = analogRead(botton);
isPush == 0;
}
//จบ else (เงื่อนไขที่ไม่มีข้อผิดพลาด)
// รีเซตการเริ่มใหม่

IsFinished1 = 0;
Isstart1 = 0; //เมื่อกด start เริ่มส่งค่า
IsEdit = 0; //ไม่ได้แก้ไขตัวเลข (ถ้าแก้ไขจะทำกับ 1)
}

if (Isstart2)
{
// ตรวจสอบการคำนวณ
if (nerr2 < 0) //มีความผิดพลาด
{
delay(3000); // รอแสดงผล
}
else // ไม่ผิดพลาด
{
IsFinished2 = 0;
SendDAC1(s,t,o,p); //ส่งค่าไปยัง SendDAC1
isPush = analogRead(botton);
isPush == 0;
}
//จบ else (เงื่อนไขที่ไม่มีข้อผิดพลาด)
// รีเซตการเริ่มใหม่

IsFinished2 = 0;
Isstart2 = 0; //เมื่อกด start เริ่มส่งค่า
IsEdit = 0; //ไม่ได้แก้ไขตัวเลข (ถ้าแก้ไขจะทำกับ 1)
}

if (Isstart3)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// ตรวจสอบการคำนวณ
if (nerr3 < 0) // มีความผิดพลาด
{
  delay(3000); // รอแสดงผล
}
else // ไม่ผิดพลาด
{
  IsFinished3 = 0;
  SendDAC2(sp2,g2,m2,fs2); // ส่งค่าไปยัง SendDAC2
  isPush = analogRead(botton);
  isPush == 0;
}
//จบ else (เงื่อนไขที่ไม่มีข้อผิดพลาด)
// รีเซ็ตการเริ่มใหม่
IsFinished3 = 0;
Isstart3 = 0; // เมื่อกด start เริ่มส่งค่า
IsEdit = 0; // ไม่ได้แก้ไขตัวเลข (ถ้าแก้ไขเท่ากับ 1)
}
if (Isstart4)
{
  // ตรวจสอบการคำนวณ
  if (nerr4 < 0) // มีความผิดพลาด
  {
    delay(3000); // รอแสดงผล
  }
  else // ไม่ผิดพลาด
  {
    IsFinished4 = 0;
    SendDAC2(s,t,c,p); // ส่งค่าไปยัง SendDAC2
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานับเป็นเงื่อนไขการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    isPush = analogRead(botton);
    isPush == 0;
}
//จบ else (เงื่อนไขที่ไม่มีข้อผิดพลาด)
// รีเซตการเริ่มใหม่

IsFinished4 = 0;
Isstart4 = 0; //เมื่อกด start เริ่มส่งค่า
IsEdit = 0; //ไม่ได้แก้ไขตัวเลข (ถ้าแก้ไขจะทำกับ 1)
}

/*-----*/
sensor_value = analogRead(A0); //บรรทัดที่ 790 -796 คือสมการการวัดเอาต์พุต
voltage = sensor_value * (5.00/1023.00);
output1 = ((( (int)full_scale_A_N1) * 100 + ((int)full_scale_A_N2) * 10 +
(int)full_scale_A_N3 + ((float)full_scale_A_F1) *0.1 )/5)*voltage;
/*-----*/
sensor_value = analogRead(A2);
voltage = sensor_value * (5.00/1023.00);
output2 = ((( (int)full_scale_B_N1) * 100 + ((int)full_scale_B_N2) * 10 +
(int)full_scale_B_N3 + ((float)full_scale_B_F1) *0.1 )/5)*voltage;
/*-----*/
if(full_scale_A_N1<=9){ //บรรทัดที่ 798-861 คือการอ่านค่า EEPROM
    full_scale_A_N1 = EEPROM.read(EEPROMAddress);
}
if(full_scale_A_N2<=9){
    full_scale_A_N2 = EEPROM.read(EEPROMAddress1);
}
if(full_scale_A_N3<=9){
    full_scale_A_N3 = EEPROM.read(EEPROMAddress2);
}
if(full_scale_A_F1<=9){
    full_scale_A_F1 = EEPROM.read(EEPROMAddress3);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางขึ้นเพื่อการใช้ภายในสำนักงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
/*-----*/
if(full_scale_B_N1<=9){
    full_scale_B_N1 = EEPROM.read(EEPROMAddress4) ;
}
if(full_scale_B_N2<=9){
    full_scale_B_N2 = EEPROM.read(EEPROMAddress5) ;
}
if(full_scale_B_N3<=9){
    full_scale_B_N3 = EEPROM.read(EEPROMAddress6) ;
}
if(full_scale_B_F1<=9){
    full_scale_B_F1 = EEPROM.read(EEPROMAddress7) ;
}
/*-----*/
if(Set_point_A_N1<=9){
    Set_point_A_N1 = EEPROM.read(EEPROMAddress8) ;
}
if(Set_point_A_N2<=9){
    Set_point_A_N2 = EEPROM.read(EEPROMAddress9) ;
}
if(Set_point_A_N3<=9){
    Set_point_A_N3 = EEPROM.read(EEPROMAddress10) ;
}
if(Set_point_A_F1<=9){
    Set_point_A_F1 = EEPROM.read(EEPROMAddress11) ;
}
/*-----*/
if(Set_point_B_N1<=9){

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

{
    previousMillis = millis();           //เมื่อ previousMillis เท่ากับ millis
    tick_state = true;                   //สถานะ tick_state จะเป็นจริง
}
}                                         //จบvoid tick
/* -----
ROTARY ENCODER INTERRUPTION
-----*/

ISR(PCINT0_vect) {                       //ฟังก์ชันของ Rotary Encoder จาก
                                         examples Rotary encoder

    unsigned char result = r.process();

    // Reset encoder counter
    if (encRST == 1) encCount = 0;

    if (result == DIR_NONE) {
        // do nothing
    }
    else if (result == DIR_CW)            //resultจะเก็บอักษรชื่อ DIR_CW หมุนตามเข็มนาฬิกา
    {
        encCount++;                       // encCountจะเพิ่มทีละ 1 ไปเรื่อยๆ
        if (encCount > limitPos) encCount = limitNeg;
        //เมื่อ encCount เพิ่มค่าทีละ 1 จนมากกว่า limitPos ให้ encCount = limitNeg คือ encCount จะเท่ากับ0
    }
    else if (result == DIR_CCW)          //resultจะเก็บอักษรชื่อ DIR_CCW หมุนทวนเข็มนาฬิกา
    {
        encCount--;                       // encCount จะลดทีละ 1 ไปเรื่อยๆ
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (encCount < limitNeg) encCount = limitPos;
//เมื่อ encCount ลดค่าทีละ 1 จนน้อยกว่า
//limitNeg จะทำให้ encCount = limitNeg
//คือ encCount จะเท่ากับ 9
}
}
/*-----*/
void draw_P0_1(void)
{
u8g.drawRFrame(0, 0, 128, 64, 0); //เส้นกรอบ
u8g.setFont(u8g_font_6x12); //ฟอนต์
u8g.drawStr(5, 20, "Mass Flow Controller");
u8g.drawStr(20, 35, "Channel A");
u8g.drawStr(20, 50, "Channel B");
u8g.drawStr(85, 35, ">");
u8g.drawStr(85, 50, ">");
/*-----
แสดงการกด
-----*/
if (lisPush) //if.else คำสั่งการตัดสินใจ
u8g.drawStr(10, 25, " "); //แสดงการกดถ้า isPush ไม่เป็น 0 แต่เท่ากับ 1
else
u8g.drawStr(10, 25, " "); //หรือการปล่อยสวิตช์
switch (nMode) { //การเลื่อน
case 0: //shift
switch (nMenu) { //เส้นใต้แต่ละตำแหน่ง
case 0:
u8g.drawLine(85, 35, 90, 35); //Channel A
break;
case 1:
break;
}
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        u8g.drawLine(85, 50, 90, 50);           //Channel B
        break;
    }
    break;
}
}
void draw_P1_1(void)
{
    u8g.drawRFrame(0, 0, 128, 64, 0);
    u8g.setFont(u8g_font_6x12);
    u8g.drawStr(3, 15, "Mass Flow:");           //แสดงตัวอักษร
    sprintf(buffer, "%d", Mass_FlowA);          //การเลือกชนิดของ Mass Flow
    if(Mass_FlowA == 1){
        u8g.drawStr (65, 15 , "Ar");
    }
    else if (Mass_FlowA == 2){
        u8g.drawStr (65, 15 , "N2");
    }
    else if (Mass_FlowA == 3){
        u8g.drawStr (65, 15 , "O2");
    }
    else if (Mass_FlowA == 4){
        u8g.drawStr (65, 15 , "H2");
    }
    u8g.drawStr(3, 35, "Type of Gas:");         //แสดงตัวอักษร
    sprintf(buffer, "%d", Type_of_GasA);        //การเลือกชนิดของก๊าซ
    if(Type_of_GasA == 1){
        u8g.drawStr (75, 35 , "Ar");
    }
    else if (Type_of_GasA == 2){

```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของสำนักงานวิจัยงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

u8g.drawStr (75, 35 , "N2");
}
else if (Type_of_GasA == 3){
u8g.drawStr (75, 35 , "O2");
}
else if (Type_of_GasA == 4){
u8g.drawStr (75, 35 , "H2");
}
u8g.drawStr(3, 60, "Ch_A");
u8g.drawStr(70, 60, "OK");
u8g.drawStr(100, 60, "<");
if (!isPush)
u8g.drawStr(10, 25, " ");
else
u8g.drawStr(10, 25, "|");
switch (nMode)
{
case 0:
//shift
switch (nMenu)
{
case 0:
//เส้นใต้แต่ละตำแหน่ง
u8g.drawLine(70, 60, 80, 60); //OK
break;
case 1:
u8g.drawLine(100, 60, 105, 60); //<
break;
case 2:
u8g.drawLine(65, 15, 75, 15); //Mass_FlowA
break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 case 3 : ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        u8g.drawLine(75, 35, 85, 35);           //Type_of_GasA
        break;
    }
    break;
case 1:                                       //edit
    switch (nMenu)
    {
        case 2:
            u8g.drawFrame(65, 6, 13, 11);      //Mass_FlowA
            break;
        case 3:
            u8g.drawFrame(75, 26, 13, 11);    //Type_of_GasA
            break;
    }
    break;
}
}
void draw_P1_2(void)
{
    u8g.drawRFrame(0, 0, 128, 64, 0);
    u8g.setFont(u8g_font_6x12);
    u8g.drawStr(3, 15, "Full Scale=");        //แสดงตัวอักษร
    sprintf(buffer, "%d", full_scale_A_N1);   //แสดงตัวเลขหลักร้อย
    u8g.drawStr (70, 15 , buffer);
    sprintf(buffer, "%d", full_scale_A_N2);   //แสดงตัวเลขหลักสิบ
    u8g.drawStr (77, 15 , buffer);
    sprintf(buffer, "%d", full_scale_A_N3);   //แสดงตัวเลขหลักหน่วย
    u8g.drawStr (84, 15 , buffer);
    u8g.drawStr(91, 15, ".");                //แสดงจุดทศนิยม
    sprintf(buffer, "%d", full_scale_A_F1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

u8g.drawStr (98, 15 , buffer);           //ทศนิยมตำแหน่งที่1
u8g.drawStr(105, 15, "sccm");           //หน่วย
u8g.drawStr(3, 35, "Set Point=");       //แสดงตัวอักษร
sprintf(buffer, "%d", Set_point_A_N1);  //แสดงตัวเลขหลักร้อย
u8g.drawStr (65, 35 , buffer);
sprintf(buffer, "%d", Set_point_A_N2);  //แสดงตัวเลขหลักสิบ
u8g.drawStr (72, 35 , buffer);
sprintf(buffer, "%d", Set_point_A_N3);  //แสดงตัวเลขหลักหน่วย
u8g.drawStr (79, 35 , buffer);
u8g.drawStr(86, 35, ".");               //แสดงจุดทศนิยม
sprintf(buffer, "%d", Set_point_A_F1);
u8g.drawStr (93, 35 , buffer);          //ทศนิยมตำแหน่งที่1
u8g.drawStr(100, 35, "sccm");           //หน่วย
u8g.drawStr(3, 60, "Ch_A");
u8g.drawStr(70, 60, "OK");
u8g.drawStr(100, 60, "<");
u8g.setFont(u8g_font_baby);
    if(100*((int)Set_point_A_N1) + 10*((int)Set_point_A_N2) + (int)Set_point_A_N3 +
0.1*((float)Set_point_A_F1) > ((int)full_scale_A_N1) *100 + ((int)full_scale_A_N2) *10 +
(int)full_scale_A_N3 + ((float)full_scale_A_F1) *0.1 )
    {
        u8g.setFont(u8g_font_fixed_v0);
        u8g.drawStr(3, 48, "less than full scale*"); //แสดงคำเตือนเมื่อป้อนค่าเกิน
    }
if (lisPush)
    u8g.drawStr(10, 25, " ");
else
    u8g.drawStr(10, 25, " ");
switch (nMode)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case 0: //shift
switch (nMenu)
{ //เส้นใต้แต่ละตำแหน่ง
case 0:
u8g.drawLine(70, 60, 80, 60); //OK
break;
case 1:
u8g.drawLine(100, 60, 105, 60); //<
break;
case 2:
u8g.drawLine(70, 15, 75, 15); //full_scale_A_N1
break;
case 3:
u8g.drawLine(77, 15, 82, 15); //full_scale_A_N2
break;
case 4:
u8g.drawLine(84, 15, 89, 15); //full_scale_A_N3
break;
case 5:
u8g.drawLine(98, 15, 103, 15); //full_scale_A_F1
break;
case 6:
u8g.drawLine(65, 35, 70, 35); //Set_point_A_N1
break;
case 7:
u8g.drawLine(72, 35, 77, 35); //Set_point_A_N2
break;
case 8:
u8g.drawLine(79, 35, 84, 35); //Set_point_A_N3
break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case 9:
    u8g.drawLine(93, 35, 98, 35);        //Set_point_A_F1
    break;
}
break;
case 1:                                //edit
    switch (nMenu)
    {
    case 2:
        u8g.drawFrame(70, 6, 8, 10);    //full_scale_A_N1
        break;
    case 3:
        u8g.drawFrame(77, 6, 8, 10);    //full_scale_A_N2
        break;
    case 4:
        u8g.drawFrame(84, 6, 8, 10);    //full_scale_A_N3
        break;
    case 5:
        u8g.drawFrame(98, 6, 8, 10);    //full_scale_A_F1
        break;
    case 6:
        u8g.drawFrame(65, 26, 8, 10);   //Set_point_A_N1
        break;
    case 7:
        u8g.drawFrame(72, 26, 8, 10);   //Set_point_A_N2
        break;
    case 8:
        u8g.drawFrame(79, 26, 8, 10);   //Set_point_A_N3
        break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 case 9: ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        u8g.drawFrame(93, 26, 8, 10);        //Set_point_A_F1
        break;
    }
    break;
}
}

void draw_P1_3(void)
{
    u8g.drawRFrame(0, 0, 128, 64, 0);
    u8g.setFont(u8g_font_6x12);
    u8g.drawStr(20, 15, "Do you want to"); //แสดงตัวอักษร
    u8g.drawStr(40, 30, "set ChB?"); //แสดงตัวอักษร
    u8g.drawStr(35, 50, "Yes");
    u8g.drawStr(70, 50, "No");
    if (!isPush)
        u8g.drawStr(10, 25, "");
    else
        u8g.drawStr(10, 25, "");
    switch (nMode) {
        case 0: //shift
            switch (nMenu) { //เส้นใต้แต่ละตำแหน่ง
                case 0:
                    u8g.drawLine(35, 50, 52, 50); //Yes
                    break;
                case 1:
                    u8g.drawLine(70, 50, 80, 50); //No
                    break;
            }
        break;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
void draw_P1_4(void)
{
u8g.drawRFrame(0, 0, 128, 64, 0);
u8g.setFont(u8g_font_6x12);
u8g.drawStr(3, 15, "Mass Flow:");           //แสดงตัวอักษร
sprintf(buffer, "%d", Mass_FlowB);         //การเลือกชนิดของ Mass Flow
if(Mass_FlowB == 1){
u8g.drawStr (65, 15 , "Ar");
}
else if (Mass_FlowB == 2){
u8g.drawStr (65, 15 , "N2");
}
else if (Mass_FlowB == 3){
u8g.drawStr (65, 15 , "O2");
}
else if (Mass_FlowB == 4){
u8g.drawStr (65, 15 , "H2");
}
u8g.drawStr(3, 35, "Type of Gas:");         //แสดงตัวอักษร
sprintf(buffer, "%d", Type_of_GasB);       //การเลือกชนิดของก๊าซ
if(Type_of_GasB == 1){
u8g.drawStr (75, 35 , "Ar");
}
else if (Type_of_GasB == 2){
u8g.drawStr (75, 35 , "N2");
}
else if (Type_of_GasB == 3){
u8g.drawStr (75, 35 , "O2");
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else if (Type_of_GasB == 4){
    u8g.drawStr (75, 35 , "H2");
}
u8g.drawStr(3, 60, "Ch_B");
u8g.drawStr(70, 60, "OK");
u8g.drawStr(100, 60, "<");
if (!isPush)
    u8g.drawStr(10, 25, " ");
else
    u8g.drawStr(10, 25, " ");
switch (nMode)
{
case 0:
    //shift
    switch (nMenu)
    {
    //เส้นใต้แต่ละตำแหน่ง
    case 0:
        u8g.drawLine(70, 60, 80, 60);
        break;
    case 1:
        u8g.drawLine(100, 60, 105, 60);
        break;
    case 2:
        u8g.drawLine(65, 15, 75, 15);
        break;
    case 3 :
        u8g.drawLine(75, 35, 85, 35);
        break;
    }
    break;
case 1:
    //edit

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 case 1: //edit
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

switch (nMenu)
{
    case 2:
        u8g.drawFrame(65, 6, 13, 11);
        break;
    case 3:
        u8g.drawFrame(75, 26, 13, 11);
        break;
}
break;
}
}
void draw_P1_5(void)
{
    u8g.drawRFrame(0, 0, 128, 64, 0);
    u8g.setFont(u8g_font_6x12);
    u8g.drawStr(3, 15, "Full Scale=");
    sprintf(buffer, "%d", full_scale_B_N1);
    u8g.drawStr(70, 15, buffer);
    sprintf(buffer, "%d", full_scale_B_N2);
    u8g.drawStr(77, 15, buffer);
    sprintf(buffer, "%d", full_scale_B_N3);
    u8g.drawStr(84, 15, buffer);
    u8g.drawStr(91, 15, "."); //แสดงจุดทศนิยม
    sprintf(buffer, "%d", full_scale_B_F1);
    u8g.drawStr(98, 15, buffer);
    u8g.drawStr(105, 15, "sccm");
    u8g.drawStr(3, 35, "Set Point=");
    sprintf(buffer, "%d", Set_point_B_N1);
    u8g.drawStr(65, 35, buffer);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

sprintf(buffer, "%d", Set_point_B_N2);
u8g.drawStr (72, 35 , buffer);
sprintf(buffer, "%d", Set_point_B_N3);
u8g.drawStr (79, 35 , buffer);
u8g.drawStr(86, 35, ".");
sprintf(buffer, "%d", Set_point_B_F1);
u8g.drawStr (93, 35 , buffer);
u8g.drawStr(100, 35, "sccm");
u8g.drawStr(3, 60, "Ch_B");
u8g.drawStr(70, 60, "OK");
u8g.drawStr(100, 60, "<");
u8g.setFont(u8g_font_baby);
    if(100*((int)Set_point_B_N1) + 10*((int)Set_point_B_N2) + (int)Set_point_B_N3 +
0.1*((float)Set_point_B_F1) > ((int)full_scale_B_N1) *100 + ((int)full_scale_B_N2) *10 +
(int)full_scale_B_N3 + ((float)full_scale_B_F1) *0.1 )
    {
        u8g.setFont(u8g_font_fixed_v0);
        u8g.drawStr(3, 48, "*less than full scale*");
    }
if (lisPush)
    u8g.drawStr(10, 25, " ");
else
    u8g.drawStr(10, 25, " ");
switch (nMode)
{
case 0:
    //shift
    switch (nMenu)
    {
        //เส้นใต้แต่ละตำแหน่ง
    case 0:
        u8g.drawLine(70, 60, 80, 60);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    break;
case 1:
    u8g.drawLine(100, 60, 105, 60);
    break;
case 2:
    u8g.drawLine(70, 15, 75, 15);
    break;
case 3:
    u8g.drawLine(77, 15, 82, 15);
    break;
case 4:
    u8g.drawLine(84, 15, 89, 15);
    break;
case 5:
    u8g.drawLine(98, 15, 103, 15);
    break;
case 6:
    u8g.drawLine(65, 35, 70, 35);
    break;
case 7:
    u8g.drawLine(72, 35, 77, 35);
    break;
case 8:
    u8g.drawLine(79, 35, 84, 35);
    break;
case 9:
    u8g.drawLine(93, 35, 98, 35);
    break;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case 1:                                     //edit
    switch (nMenu)
    {
    case 2:
        u8g.drawFrame(70, 6, 8, 10);
        break;
    case 3:
        u8g.drawFrame(77, 6, 8, 10);
        break;
    case 4:
        u8g.drawFrame(74, 6, 8, 10);
        break;
    case 5:
        u8g.drawFrame(98, 6, 8, 10);
        break;
    case 6:
        u8g.drawFrame(65, 26, 8, 10);
        break;
    case 7:
        u8g.drawFrame(72, 26, 8, 10);
        break;
    case 8:
        u8g.drawFrame(79, 26, 8, 10);
        break;
    case 9:
        u8g.drawFrame(93, 26, 8, 10);
        break;
    }
    break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

void draw_P1_6(void)
{
    u8g.drawRFrame(0, 0, 128, 64, 0);
    u8g.setFont(u8g_font_6x12);
    u8g.drawStr(20, 15, "Do you want to");
    u8g.drawStr(40, 30, "set ChA?");
    u8g.drawStr(35, 50, "Yes");
    u8g.drawStr(70, 50, "No");
    if (!isPush)
        u8g.drawStr(10, 25, " ");
    else
        u8g.drawStr(10, 25, " ");
    switch (nMode) {
    case 0: //shift
        switch (nMenu) { //เส้นใต้แต่ละตำแหน่ง
        case 0:
            u8g.drawLine(35, 50, 52, 50);
            break;
        case 1:
            u8g.drawLine(70, 50, 80, 50);
            break;
        }
    }
    break;
}
}

void draw_P1_7(void)
{
    u8g.drawRFrame(0, 0, 128, 64, 0);
    u8g.setFont(u8g_font_6x12);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

u8g.drawStr(5, 15, "Flow A ="); //แสดงตัวอักษร dtostrf(output1,5,1,flowrate);
dtostrf(output1,5,1,flowrate);
u8g.drawStr (52, 15 ,flowrate);
u8g.drawStr(5, 45, "Flow B ="); //แสดงตัวอักษร
dtostrf(output2,5,1,flowrate);
u8g.drawStr (52, 45 ,flowrate);
u8g.drawStr(100, 15, "sccm"); //หน่วย
u8g.drawStr(100, 45, "sccm"); //หน่วย
u8g.drawStr(93, 30, "EditA");
u8g.drawStr(93, 60, "EditB");
if (lsstart1 == 0)
    u8g.drawStr(3,30, "StartA");
if (lsstart3 == 0)
    u8g.drawStr(3,60, "StartB");
if (lsstart2 == 0)
    u8g.drawStr(50, 30, "StopA");
if (lsstart4 == 0)
    u8g.drawStr(50, 60, "StopB");
if (lisPush)
    u8g.drawStr(10, 25, " ");
else
    u8g.drawStr(10, 25, " ");
switch (nMode) {
    case 0: //shift
        switch (nMenu) { //เส้นใต้แต่ละตำแหน่ง
            case 0:
                u8g.drawLine(3, 30, 40, 30);
                break;
            case 1:
                u8g.drawLine(50, 30, 80, 30);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูได้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    break;
case 2:
    u8g.drawLine(93, 30, 125, 30);
    break;
case 3:
    u8g.drawLine(3, 60, 40, 60);
    break;
case 4:
    u8g.drawLine(50, 60, 80, 60);
    break;
case 5:
    u8g.drawLine(93, 60, 125, 60);
    break;
}
break;
}
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
Data Sheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATING MANUAL

GFC MASS FLOW CONTROLLER



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE OF CONTENTS

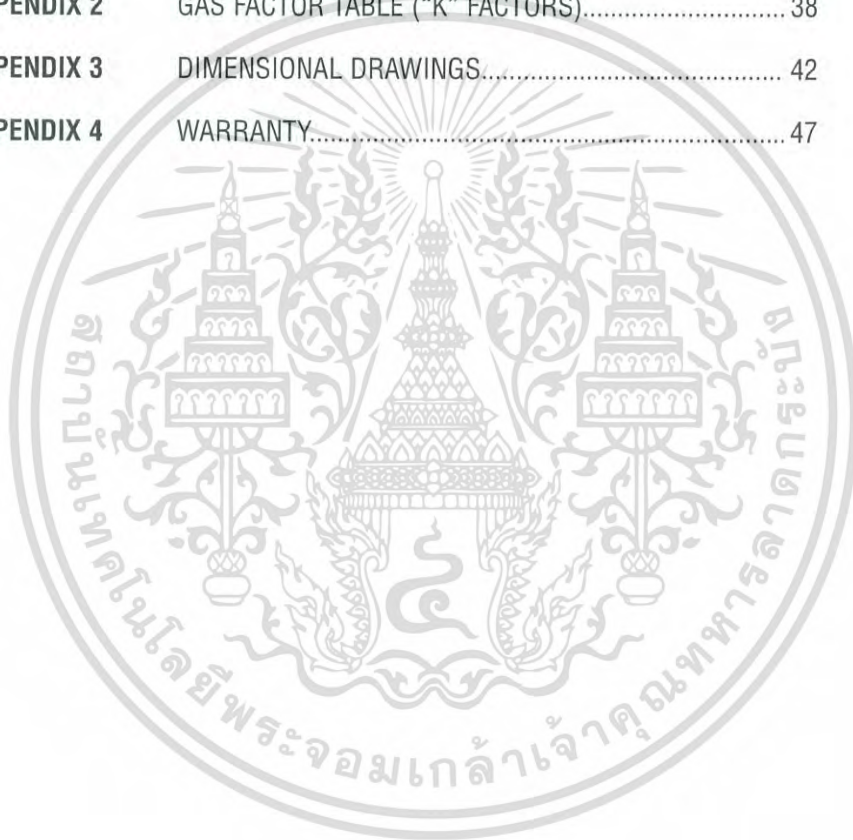
1. UNPACKING THE GFC MASS FLOW CONTROLLER	1
1.1 Inspect Package for External Damage.....	1
1.2 Unpack the Mass Flow Controller.....	1
1.3 Returning Merchandise for Repair.....	1
2. INSTALLATION	2
2.1 Primary Gas Connections.....	2
2.2 Electrical Connections.....	2
2.2.1 Valve Control Configuration.....	5
2.2.2 Remote LCD Readouts.....	6
2.2.3 Panel Mounting Readouts.....	6
3. PRINCIPLE OF OPERATION	7
4. SPECIFICATIONS	7
4.1 CE Compliance.....	10
4.2 Flow Capacities.....	10
5. OPERATING INSTRUCTIONS	11
5.1 Preparation and Warm Up.....	11
5.2 Flow Signal Output Readings.....	12
5.3 Swamping Condition.....	12
5.4 Setpoint Reference Signal.....	13
5.5 Valve OFF Control (Open Collector NPN Compatible).....	14
5.6 Valve Test/Purge.....	14
6. MAINTENANCE	15
6.1 Introduction.....	15
6.2 Flow Path Cleaning.....	15
6.2.1 Cleaning the Inlet Filter Screen in GFC Models.....	15
6.2.2 Valve Maintenance for GFC17/37/47 Models.....	16
7. CALIBRATION PROCEDURES	18
7.1 Flow Calibration.....	18
7.2 Calibration of GFC17/37/47 Mass Flow Controllers.....	19
7.2.1 Connections and Initial Warm Up.....	19
7.2.2 Zero Adjustment.....	20
7.2.3 SPAN Adjustment.....	20
7.2.4 Linearity Adjustment.....	20
7.2.4.1 Disable Solenoid Valve in GFC17/37/47 Models.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.5	Connections and Initial Warm Up.....	21
7.2.6	ZERO Adjustment.....	21
7.2.7	25% Flow Adjustment Using R33 Potentiometer.....	21
7.2.8	10% Flow Adjustment.....	22
7.2.9	25% Flow Adjustment (using R52 potentiometer).....	22
7.2.10	50% Flow Adjustment.....	22
7.2.11	75% Flow Adjustment.....	22
7.2.12	100% Flow Adjustment.....	22
7.2.13.	Valve adjustment.....	23
7.2.13.1	Valve Adjustment for GFC 17/37/47.....	23
7.2.14	Close Loop Full Scale Flow Adjustment.....	23
7.2.15	10% Close Loop Flow Adjustment (using R33 potentiometer).....	23
7.2.16	25% Close Loop Flow Adjustment (using R52 potentiometer).....	23
7.2.17	Close Loop 25% Flow Adjustment (using R33 potentiometer).....	23
7.2.18	Close Loop 50% Flow Adjustment.....	24
7.2.19	Close Loop 75% Flow Adjustment.....	24
7.2.20	Close Loop 100% Flow Adjustment.....	24
7.3	Calibration of GFC57/67/77 Mass Flow Controllers.....	24
7.3.1	Connections and Initial Warm Up.....	25
7.3.2	ZERO Adjustment.....	25
7.3.3	SPAN Adjustment.....	25
7.3.4	Linearity Adjustment.....	26
7.3.4.1	Open Motorized Valve in GFC57/67/77 Models.....	26
7.3.5	Connections and Initial Warm Up.....	26
7.3.6	ZERO Adjustment.....	26
7.3.7	25% Flow Adjustment.....	26
7.3.8	50% Flow Adjustment.....	27
7.3.9	75% Flow Adjustment.....	27
7.3.10	100% Flow Adjustment.....	27
7.3.11.	Valve adjustment.....	27
7.3.11.1	Valve Adjustment for GFC 57/67/77.....	27
7.3.12	Full Scale Flow Adjustment.....	28
7.3.13	25% Flow Adjustment.....	28
7.3.14	50% Flow Adjustment.....	28
7.3.15	75% Flow Adjustment.....	28
7.3.16	100% Flow Adjustment.....	28
7.4	LCD Display Scaling.....	28
7.4.1	Access LCD Display Circuit.....	29
7.4.2	Adjust Scaling.....	29
7.4.3	Change Decimal Point.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. TROUBLESHOOTING	29
8.1 Common Conditions.....	29
8.2 General Troubleshooting Guide.....	30
8.3 GFC17/37/47 Valve Related Troubleshooting.....	32
8.4 Technical Assistance.....	35
9. CALIBRATION CONVERSIONS FROM REFERENCE GASES	35
APPENDIX 1 COMPONENT DIAGRAM.....	36
APPENDIX 2 GAS FACTOR TABLE (“K” FACTORS).....	38
APPENDIX 3 DIMENSIONAL DRAWINGS.....	42
APPENDIX 4 WARRANTY.....	47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. UNPACKING THE GFC MASS FLOW CONTROLLER

1.1 Inspect Package for External Damage



CAUTION: Some of the IC devices used in the GFC are Electro Static Discharge (ESD) sensitive and may be damaged by improper handling. When wiring the interface connector, adjusting or servicing the meter, use of a grounded ESD protection wrist strap is required to prevent inadvertent damage to the CMOS integral solid state circuitry. When 15 pins interface D-connector is not used do not remove factory installed ESD protection cover.

Your GFC Mass Flow Controller was carefully packed in a sturdy cardboard carton, with anti-static cushioning materials to withstand shipping shock. Upon receipt, inspect the package for possible external damage. In case of external damage to the package contact the shipping company immediately.

1.2 Unpack the Mass Flow Controller

Open the carton carefully from the top and inspect for any sign of concealed shipping damage. In addition to contacting the shipping carrier please forward a copy of any damage report to your distributor or Aalborg® directly.

When unpacking the instrument please make sure that you have all the items indicated on the Packing List. Please report any shortages promptly.

1.3 Returning Merchandise for Repair

Please contact the customer service representative of your distributor or Aalborg® if you purchased your Mass Flow Controller directly, and request a **Return Authorization Number (RAN)**. **Equipment returned without an RAN will not be accepted.** Aalborg® reserves the right to charge an evaluation fee for equipment returned under warranty claims if the instruments are tested to be free from warrantied defects.

Shipping charges are borne by the customer. Items returned “collect” will not be accepted!

It is mandatory that any equipment returned for servicing be purged and neutralized of any dangerous contents including but not limited to toxic, bacterially infectious, corrosive or radioactive substances. No work shall be performed on a returned product unless the customer submits a fully executed, signed SAFETY CERTIFICATE. Please request form from the Service Manager.

2. INSTALLATION

2.1 Primary Gas Connections

Please note that the GFC Mass Flow Controller will not operate with liquids. Only clean gases are allowed to be introduced into the instrument. Contaminated gases must be filtered to prevent the introduction of impediments into the sensor.



CAUTION: It is the users responsibility to determine if the instrument is appropriate for their OXYGEN application, and for specifying O2 cleaning service if required. Aalborg® is not liable for any damage or personal injury, whatsoever, resulting from the use of this instrument for oxygen gas.

Attitude sensitivity of the Mass Flow Controller is $\pm 15^\circ$. This means that the gas flow path of the flow meter must be horizontal within those stated limits. Should there be need for a different orientation of the meter, re-calibration may be necessary. It is also preferable to install the GFC transducer in a stable environment, free of frequent and sudden temperature changes, high moisture, and drafts.

Prior to connecting gas lines inspect all parts of the piping system including ferules and fittings for dust or other contaminants. Be sure to observe the direction of gas flow as indicated by the arrow on the front of the meter when connecting the gas system to be monitored.

Insert tubing into the compression fittings until the ends of the properly sized tubings home flush against the shoulders of the fittings. Compression fittings are to be tightened according to the manufacturer's instructions to one and one quarter turns. Avoid over tightening which will seriously damage the Restrictor Flow Elements (RFE's)!

Compression fittings should not be removed unless the meter is being cleaned or calibrated for a new flow range.

Using a Helium Leak Detector or other equivalent method perform a thorough leak test of the entire system. (All GFC's are checked prior to shipment for leakage within stated limits. See specifications in this manual.)

2.2 Electrical Connection



CAUTION: Some of the IC devices used in the GFC are Electro Static Discharge (ESD) sensitive and may be damaged by improper handling. When wiring the interface connector, adjusting or servicing the meter, use of a grounded ESD protection wrist strap is required to prevent inadvertent damage to the CMOS integral solid state circuitry. When 15 pins interface D-connector is not used do not remove factory installed ESD protection cover.



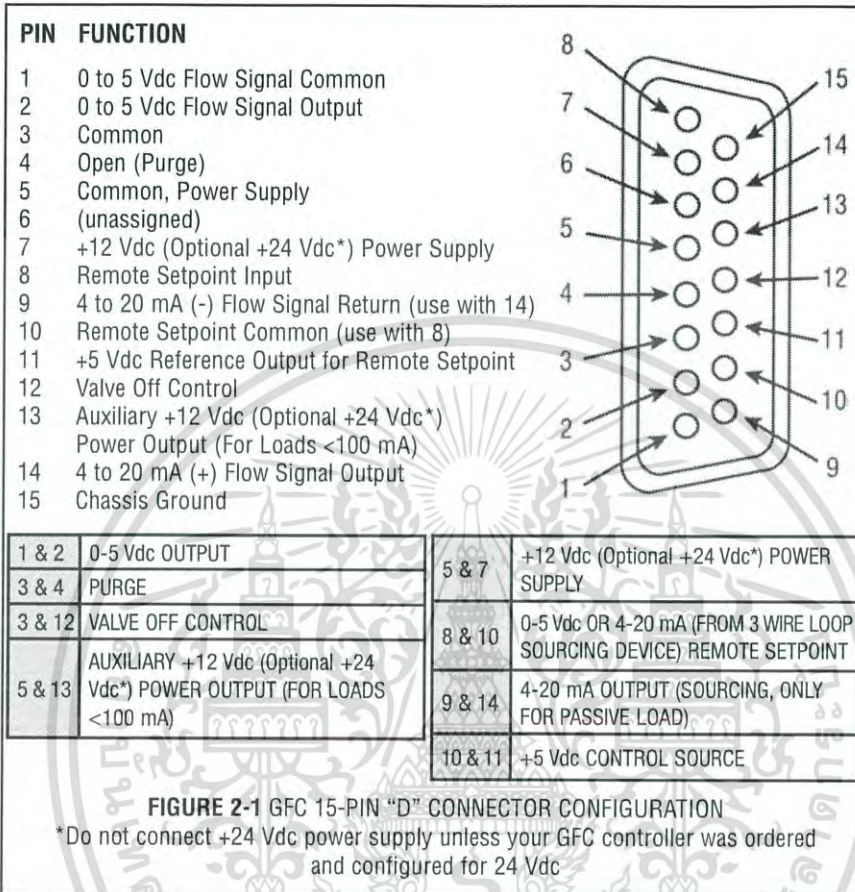
CAUTION: WIRING THE GFC METER OR CHANGING NJ1 JUMPERS CONFIGURATION WITH THE POWER ON MAY RESULT IN INTERNAL DAMAGE! PLEASE MAKE ALL WIRING CONNECTIONS AND NJ1 JUMPERS INSTALLATIONS BEFORE SWITCHING ON THE POWER.



Base on the GFC transducers model number it may require different power supply voltage: ether 12Vdc, 24Vdc or universal (any voltage between 12 and 26 Vdc). Before connecting power supply check controller power supply requirements label located on the controller back cover. If power supply requirements label states that power supply requirements is 12 Vdc, do not connect power supply with voltage above 15 Vdc. Exceeding specified maximum power supply voltage limit will result in device permanent damage.

The operating power input is supplied via the 15-pin "D" connector located at the side of the flow transducer enclosure. On GFC's purchased without an LCD readout, a readout panel meter, digital multimeter, or other equivalent device is required to facilitate visual flow readings.

A built in SETPOINT potentiometer is used for local control of the flow. Variable analog 0 to 5 Vdc (or 4 to 20 mA) reference input is required for remote control.



CAUTION: BEFORE CONNECTING THE POWER SUPPLY CHECK YOUR CONTROLLER MODEL NUMBER AND POWER SUPPLY REQUIREMENTS LABEL LOCATED ON THE CONTROLLER BACK COVER. DO NOT CONNECT 24 Vdc POWER SUPPLY UNLESS YOUR GFC CONTROLLER WAS ORDERED AND CONFIGURED FOR 24 Vdc. EXCEEDING THE SPECIFIED MAXIMUM POWER SUPPLY VOLTAGE LIMIT MAY RESULT IN PERMANENT DEVICE DAMAGE.

Important Notes:

In general, "D" Connector numbering patterns are standardized. There are, however, some connectors with nonconforming patterns and the numbering sequence on your mating connector may or may not coincide with the numbering sequence shown in our pin configuration table above. It is imperative that you match the appropriate wires in accordance with the correct sequence regardless of the particular numbers displayed on your mating connector.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power must be turned OFF when connecting or disconnecting any cables in the system.

The power input is protected by a 900mA (GFC17/37/47) or 1600mA (GFC57/67/77) M (medium time-lag) resettable fuse. If a shorting condition or polarity reversal occurs, the fuse will cut power to the flow transducer circuit. Disconnect the power to the unit, remove the faulty condition, and reconnect the power. The fuse will reset once the faulty condition has been removed.



CAUTION: Fuse will not protect controller if power supply voltage exceeds maximum voltage specified for a particular model.

Use of the GFC flow transducer in a manner other than that specified in this manual or in writing from Aalborg®, may impair the protection provided by the equipment.

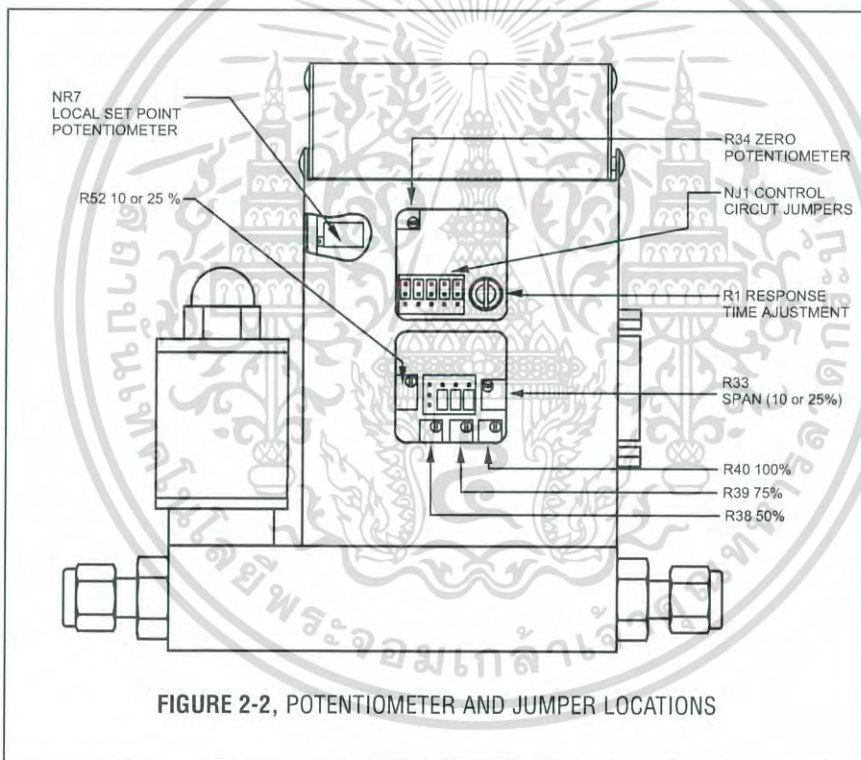


FIGURE 2-2, POTENTIOMETER AND JUMPER LOCATIONS

2.2.1 Valve Control Configuration

There are three basic valve control options.

- (a) LOCAL or REMOTE control.
- (b) 0 to 5 Vdc or 4 to 20 mA setpoint signal -
*Note: this only applies for the REMOTE control configuration;
- (c) 2% cutoff active or not active. **Note:** 2% cutoff not available for GFC 57/67/77.

When active, the 2% cutoff will shut off the power to the valve when a setpoint of less than 2% of the full scale flow range is set. Figure 2-3 shows the jumper configurations for the three basic valve control options.

The factory default jumper settings are: LOCAL control, 2% cutoff off.

FUNCTION		NJ1A	NJ1B	NJ1C	NJ1D	NJ1E
Remote	0 to 5 Vdc 2% cutoff ON	2 - 3	5 - 6	8 - 9	10 - 11	13 - 14
	0 to 5 Vdc 2% cutoff OFF					14 - 15
	4 to 20 mA 2% cutoff ON	1 - 2	4 - 5	7 - 8	10 - 11	13 - 14
	4 to 20 mA 2% cutoff OFF					14 - 15
Local	2% cutoff ON	2 - 3	5 - 6	8 - 9	11 - 12	13 - 14
	2% cutoff OFF					14 - 15

A B C D E

FIGURE 2-3. VALVE CONTROL CONFIGURATION JUMPERS

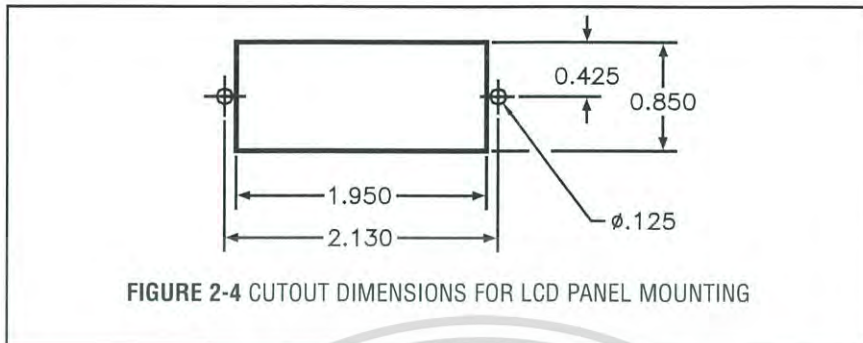
2.2.2 Remote LCD Readouts

GFC Mass Flow Controllers are available with optional remote reading LCD displays supplied with a three foot long wire to accommodate most applications. This configuration includes the upper block element which serves as the LCD readout mounting. Special lengths of remote extension wiring (up to 9.5 feet [3 meters]) are available on request.

2.2.3 Panel Mounting Readouts

Another option for the GFC Mass Flow Controller is the Panel Mounting Remote Readout.

In this configuration the LCD readout is supplied with a three foot long extension wire, and no aluminum housing around the LCD. The LCD readout for panel mounting includes a bezel with two plastic screws which conveniently fit into a rectangular cut-out for panel mounting (see Figure 2-4).



3. PRINCIPLE OF OPERATION

The stream of gas entering the Mass Flow transducer is split by shunting a small portion of the flow through a capillary stainless steel sensor tube. The remainder of the gas flows through the primary flow conduit. The geometry of the primary conduit and the sensor tube are designed to ensure laminar flow in each branch. According to principles of fluid dynamics flow rates of gas in two properly sized laminar flow conduits are related to one another. Therefore, the flow rates measured in the sensor tube are directly proportional to the total flow through the transducer.

In order to sense the flow in the sensor tube, heat flux is introduced at two sections of the sensor tube by means of precision wound heater-sensor coils. Heat is transferred through the thin wall of the sensor tube to the gas flowing inside. As gas flow takes place heat is carried by the gas stream from the upstream coil to the downstream coil windings. The resultant temperature dependent resistance differential is detected electronically. The measured gradient at the sensor windings is linearly proportional to the instantaneous rate of flow taking place.

An output signal is generated that is a function of the amount of heat carried by the gases to indicate mass-molecular based flow rates.

GFC Mass Flow Controller models GFC17/37/47 also incorporate a proportionating solenoid valve and models GFC57/67/77 a motorized valve. The closed loop control circuit of the GFC continuously compares the mass flow output with the selected flow rate. Deviations from the setpoint are corrected by compensating valve adjustments, thus maintaining the desired flow parameters.

4. SPECIFICATIONS

FLOW MEDIUM: Please note that GFC Mass Flow Controllers are designed to work with clean gases only. Never try to meter or control flow rates of liquids.

CALIBRATIONS: Supplied at Standard Conditions (14.7 psia and 70° F), or Normal Conditions (0 °C and 1.01 bar abs) unless otherwise requested or stated.

ENVIRONMENTAL (per IEC 664): Installation Level II; Pollution Degree II.

ACCURACY: GFC17/37/47: $\pm 1.0\%$ F.S.

GFC 57/67/77: See table below.

ACCURACY % FS			OPTIONAL ENHANCED ACCURACY % FS		
MODEL	GFC 57, 67, 77		MODEL	GFC 57, 67, 77	
FLOW RANGE	20-100%	0-20%	FLOW RANGE	20-100%	0-20%
ACCURACY	$\pm 1.5\%$	$\pm 3\%$	ACCURACY	$\pm 1\%$	REF DATA with $\pm 1\%$

REPEATABILITY: $\pm 0.5\%$ of full scale.

TEMPERATURE COEFFICIENT: 0.15% of full scale/°C.

PRESSURE COEFFICIENT: 0.01% of full scale/psi (0.07 bar).

RESPONSE TIME: GFC17: 300ms time constant; approximately 1 second to within $\pm 2\%$ of set flow rate for 25% to 100% of full scale flow.

GFC 37/47: 600ms time constant; approximately 2 seconds to within $\pm 2\%$ of set flow rate for 25% to 100% of full scale flow.

GFC 57/67/77: 1800ms time constant; approximately 5 seconds to within $\pm 2\%$ of set flow rate for 25% to 100% of full scale flow.

MAX GAS PRESSURE: 1000 psig (69 bars) GFC 17, 37 and 47; 500 psig (34.5 bars) GFC 57, 67 and 77. Optimum pressure is 20 psig (1.4 bars).

TURNDOWN RATIO: 40:1.

MAX DIFFERENTIAL PRESSURE: 50 psid (345 kPa) for GFC 17/37/57/67/77 AND 40 psid (276 kPa) for GFC 47.

GAS TEMPERATURE: 32 °F to 122 °F (0 °C to 50 °C).

AMBIENT TEMPERATURE: 14 °F to 122 °F (-10 °C to 50 °C).

GAS RELATIVE HUMIDITY: Up to 70%.

MAXIMUM INTERNAL LEAK: 0.5% FS.

LEAK INTEGRITY: 1×10^{-7} sccs He max to the outside environment.

ATTITUDE SENSITIVITY: No greater than ± 15 degree rotation from horizontal. Standard calibration is in horizontal position.

OUTPUT SIGNALS: Linear 0 to 5 Vdc (1000 Ω minimum load impedance) and 4 to 20 mA (0 to 500 Ω loop resistance, sourcing only for passive load); 20 mV peak to peak max noise for GFC 17/37/47 and 100 mV peak to peak max noise for GFC 57/67/77.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMMAND SIGNAL: Analog 0 to 5 Vdc (100 K minimum input impedance) or 4 to 20 mA (250 Ω input impedance, use only with 3 wire 4-20 mA loop sourcing device).

Contact your distributor or Aalborg® for optional RS232 or RS485 interfaces.

TRANSDUCER INPUT POWER:

GFC17/37/47: Models with 12 Vdc power input 12 Vdc, 650 mA maximum;

GFC17/37/47: Models with 24 Vdc power input +24 Vdc, 650 mA maximum;

GFC57/67/77: Models with 12 Vdc power input 12 Vdc, 800 mA maximum;

GFC57/67/77: Models with 24 Vdc power input 24 Vdc, 800 mA maximum;

GFC17/37/47: Models with universal power input any voltage between +12 and +26 Vdc, 650 mA maximum;

WETTED MATERIALS:

GFC17/37/47/57/67/77: Anodized aluminum, brass, 416 Stainless Steel and 316 stainless steel with VITON® O-rings seals; BUNA-N®, EPR or KALREZ® O-rings are optional.

GFC17S/37S/47S/57S/67S/77S: 416 Stainless Steel and 316 stainless steel with VITON® O-rings seals; BUNA-N®, EPR or KALREZ O-rings are optional.

Aalborg® makes no expressed or implied guarantees of corrosion resistance of mass flow meters as pertains to different flow media reacting with components of meters. It is the customers sole responsibility to select the model suitable for a particular gas based on the fluid contacting (wetted) materials offered in the different models.

CONNECTIONS:

GFC 17 and 37: 1/4" compression fittings. **Optional:** 6mm compression, 1/4" VCR®, 3/8" or 1/8" compression fittings.

GFC 47: 3/8" compression fittings.

GFC 57 3/8" compression fittings.

GFC 67: 1/2" compression fittings.

GFC 77: 3/4" FNPT fittings. **Optional:** 3/4" compression fittings.

LCD DISPLAY: 3½ digit LCD (maximum viewable digits "1999"), 0.5 inch high characters. On GFC171, GFC371, GFC471, GFC571, GFC671, GFC771 aluminum or stainless steel models the LCD display is built into the upper block element and may be tilted over 90 degrees for optimal viewing comfort. Remote or panel mounting remote reading is optional.

Standard readings are in direct engineering units for the given gas and flow rate (i.e. liters/minute [slpm], standard cubic centimeters/minute [sccm], standard cubic feet/hour [scfh], etc.). 0 to 100% LCD calibration scaling is available upon request at time of order. Contact your distributor or Aalborg® when non-standard display settings are desired.

TRANSDUCER INTERFACE CABLE: Optional shielded cable is available mating to the GFC transducer 15-pin "D" connector.

4.1 CE Compliance

GFC Mass Flow Controllers are in compliance with CE test standards stated below:

EMC Compliance with 89/336/EEC as amended; Emission Standard: EN 55011:1991,
Group 1, Class B Immunity Standard: EN 55082-1:1992

4.2 Flow Capacities

FLOW RANGES

TABLE I GFC 17 LOW FLOW MASS FLOW CONTROLLER*

MODEL	CODE	mL/min [N ₂]	CODE	liters/min [N ₂]
17	01	10	07	1
	02	20	08	2
	03	50	09	5
	04	100	10	10
	05	200		
	06	500		

TABLE II GFC 37 MEDIUM FLOW MASS FLOW CONTROLLER*

MODEL	CODE	liters/min [N ₂]
37	11	15
	30	20
	31	30
	32	40
	33	50

TABLE III GFC 47/57/67/77 HIGH FLOW MASS FLOW CONTROLLER*

MODEL	CODE	liters/min [N ₂]
47	40	60
	41	80
	42	100
57	50	200
67	60	500
77	70	1000

*Flow rates are stated for Nitrogen at STP conditions [i.e. 70 °F (21.1 °C) at 1 atm].
For other gases use the K factor as a multiplier from APPENDIX 2.

TABLE IV PRESSURE DROPS

MODEL	FLOW RATE [liters/min]	MAXIMUM PRESSURE DROP		
		[mm H ₂ O]	[psid]	[mbar]
GFC 17	UP to 10	720	1.06	75
GFC 37	15	2630	3.87	266
	20	1360	2.00	138
	30	2380	3.50	241
	40	3740	5.50	379
	50	5440	8.00	551
GFC 47	60	7480	11.00	758
	100	12850	18.89	1302
GFC 57	200	7031	10.00	690
GFC 67	500	8437	12.00	827
GFC 77	1000	10547	15.00	1034

5. OPERATING INSTRUCTIONS

5.1 Preparation and Warm Up

It is assumed that the Mass Flow Controller has been correctly installed and thoroughly leak tested as described in section (2). Shut the flow source OFF. Apply power to the unit via the 15-pin "D" connector. Before connecting the power supply check the controller power supply requirements label located on the controller back cover. If the power supply requirements label states that power supply requirement is 12 Vdc, do not connect the power supply with voltage above 15 Vdc. Exceeding the specified maximum power supply voltage limit will result in device permanent damage. Allow the Mass Flow Controller to warm-up for at least 15 minutes.

During initial powering of the GFC transducer, the flow output signal will be indicating a higher than usual output. This is indication that the GFC transducer has not yet attained its minimum operating temperature. This condition will automatically cancel within a few minutes and the transducer should eventually zero.

If after the 15 minutes warm-up period, the display still indicates a reading of less than $\pm 3.0\%$ of F.S., readjust the ZERO potentiometer [R34] through the access window. Before zero adjustment temporarily disconnect the gas source, to ensure that no seepage or leak occurs in to the meter.



CAUTION: Adjusting Zero Reading more than $\pm 3.0\%$ F.S. from the factory settings may affect device calibration accuracy. If such adjustment is required it is recommended to perform controller recalibration to preserve device accuracy.

GFC 17/37/47 CAUTION



CAUTION: If the valve is left in the AUTO (control) or OPEN (PURGE) mode for an extended period of time, it may become warm or even hot to the touch. Use care in avoiding direct contact with the valve during operation.

Do not run GFC 17/37/47 models for extended periods of time with the valve in AUTO or PURGE mode without the flow of gas through the transducer. Doing so may result in up to 2% F.S. shift in calibration.

5.2 Flow Signal Output Readings

The flow signal output can be viewed on the LCD display, remote panel meter, digital multimeter, or other display device connected as shown in Figure 2.1.

If an LCD display has been ordered with the GFC, the observed reading is in direct engineering units, for example, 0 to 10 sccm or 0 to 100 slpm (0 to 100% indication is optional). Engineering units for a specific GFC are shown on the flow transducer's front label.

Analog output flow signals of 0 to 5 Vdc and 4 to 20 mA are available at the appropriate pins of the 15-pin "D" connector at the side of the GFC transducer (see Figure 2-1).

Meter signal output is linearly proportional to the mass molecular flow rate of the gas being metered. The full scale range and gas for which your meter has been calibrated are shown on the flow transducer's front label.

Default calibration is performed for 0 to 5 Vdc input/output signal. If 4-20 mA output signal is used for flow indication on the GFC, which was calibrated against 0 to 5 Vdc input signal, the accuracy of the actual flow rate will be in the specified range ($\pm 1.0\%$ GFC 17/37/47, $\pm 1.5\%$ GFC 57/67/77) of full scale, but the total of the output reading may be in the range of $\pm 2.5\%$ of full scale. Optional calibration for 4-20 mA output signal is available upon request at time of order.

For optional RS232 or RS485 interfaces please contact your distributor or Aalborg®.

5.3 Swamping Condition

If a flow of more than 10% above the maximum flow rate of the Mass Flow Controller is taking place, a temporary condition known as "swamping" may occur. Readings of a "swamped" meter cannot be assumed to be either accurate or linear. Flow must be restored to below 110% of maximum meter range. Once flow rates are lowered to within calibrated range, the swamping condition will end. Operation of the meter above 110% of maximum calibrated flow may increase recovery time.

5.4 Setpoint Reference Signal

GFC flow controllers have built-in solenoid valves (GFC 17/37/47) or motorized valves (GFC 57/67/77), and allow the user to set the flow to any desired flow rate within the range of the particular model installed. The solenoid valve is normally closed (NC) when no power is applied.

The motorized valve can be in any position depending on the operation mode of the GFC during disconnecting of the power. For example if the motorized valve was left in the OPEN purge position after disconnecting power from the GFC it will be in the OPEN position. It is the customers responsibility to provide a solution to shut down the flow in case of a power outage. When power is applied to GFC 57 /67/77 models, the valve automatically closes within the first ten seconds regardless of the set point and valve override signals.

Setpoints are controlled locally or remotely. Setpoints inputs respond to analog 0 to 5 Vdc or 4 to 20 mA reference voltages (default jumper setting is 0 to 5 Vdc). Voltage is a linear representation of 0 to 100% of the full scale mass flow rate. Response times to setpoint changes are 1 second (GFC 17), 2 seconds (GFC 37/47) and 5 seconds (GFC 57/67/77) within 2% of the final flow over 25 to 100% of full scale.

For LOCAL flow control, use the built-in setpoint potentiometer located at the same side as the solenoid valve of the GFC transducer. While applying flow to the transducer, adjust the setpoint with an insulated screwdriver until the flow reading is the same as the desired control point. [Display will only show actual instantaneous flow rates. There is no separate display for setpoints].

For REMOTE control of the GFC, an analog reference signal must be supplied. On pin [11] of the GFC transducer is a regulated and constant +5 Vdc output signal. This signal may be used in conjunction with a local setpoint potentiometer for flow setting.

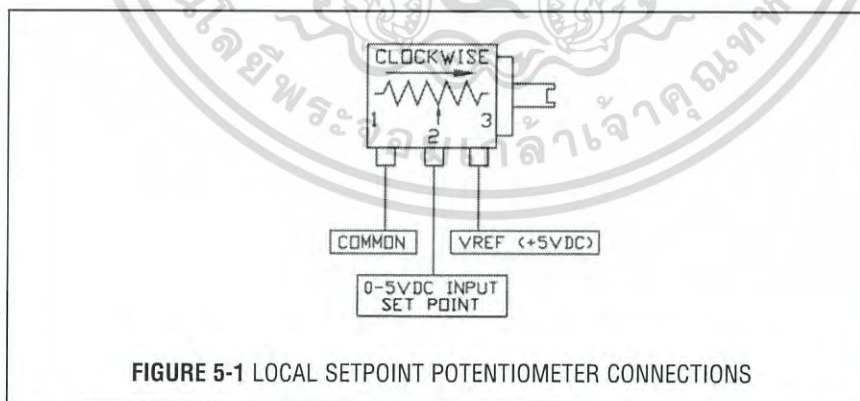


FIGURE 5-1 LOCAL SETPOINT POTENTIOMETER CONNECTIONS

It is recommended that a potentiometer between 5K to 10K ohm and capable of at least 10-turns or more for adjustment be used. Use the control potentiometer to command the percentage of flow desired.

Alternatively, a variable 0 to 5 Vdc or 4 to 20 mA analog signal may be applied directly to the SETPOINT and COMMON connections of the GFC transducer (see Figure 2-1). Be sure to apply the appropriate signal for the designated NJ1 jumper settings.

5.5 Valve OFF Control (Open Collector NPN Compatible)

It may be necessary or desirable to set the flow and maintain that setting while being able to turn the flow control valve off and on again. Closing of the valve (without changing the setpoint adjustment) can be accomplished by connecting pin [12] of the 15-pin "D" connector to COMMON pin [3]. When pin [12] is connected to COMMON, the solenoid valve is not powered and therefore will remain normally closed regardless of the setpoint. The Motorized valve will be given the command to close indicated by a green light on top of the unit.

Conversely, when the connection is left open or pin [12] remains unconnected the valve remains active. The valve will remain active when the VALVE OFF pin remains "floating". This feature is compatible with open collector NPN transistor switches, as found in DC output ports of programmable controllers and similar devices.

The simplest means for utilizing the VALVE OFF control feature, is to connect a toggle switch between the COMMON and VALVE OFF pins of the GFC transducer. Toggling the switch on and off will allow for activating and deactivating the solenoid valve.

5.6 Valve Test/Purge

At times, it may be necessary to purge the flow system with a neutralizing gas such as pure dry nitrogen. The GFC transducer is capable of a full open condition for the valve, regardless of setpoint conditions. Connecting the OPEN (PURGE) pin (pin 4 on 15-pin "D" connector) to ground will fully open the valve.

The Motorized Valve: Connect pins [3] and [4] to OPEN the motorized control valve. A red light on top of the valve will indicate an OPEN valve, normal for flow conditions.



NOTE: The motorized control valve stays OPEN even if power is no longer applied. To CLOSE the Motorized Control Valve, connect pins [3] and [12].

6. MAINTENANCE

6.1 Introduction

It is important that the Mass Flow Controller/Controller is used with clean, filtered gases only. Liquids may not be metered. Since the RTD sensor consists, in part, of a small capillary stainless steel tube, it is prone to occlusion due to impediments or gas crystallization. Other flow passages are also easily obstructed. Therefore, great care must be exercised to avoid the introduction of any potential flow impediment. To protect the instrument a 50 micron (GFC17) or 60 micron(GFC37/47) filter is built into the inlet of the flow transducer. The filter screen and the flow paths may require occasional cleaning as described below. There is no other recommended maintenance required. It is good practice, however, to keep the meter away from vibration, hot or corrosive environments and excessive RF or magnetic interference.

If periodic calibrations are required they should be performed by qualified personnel and calibrating instruments, as described in section (7). It is recommended that units are returned to Aalborg® for repair service and calibration.



CAUTION: TO PROTECT SERVICING PERSONNEL IT IS MANDATORY THAT ANY INSTRUMENT BEING SERVICED IS COMPLETELY PURGED AND NEUTRALIZED OF TOXIC, BACTERIOLOGICALLY INFECTED, CORROSIVE OR RADIOACTIVE CONTENTS.

6.2 Flow Path Cleaning

Inspect visually the flow paths at the inlet and outlet ends of the meter for any debris that may be clogging the flow through the meter. Remove debris carefully using tweezers and blowing low pressure clean air or Nitrogen from the inlet side. If the flow path is not unclogged, please return meter to Aalborg® for servicing.



Do not attempt to disassemble the sensor. Disassembly will invalidate calibration.

6.2.1 Cleaning the Inlet Filter Screen in GFC17 Models

Unscrew the inlet compression fitting of meter. Note that the Restrictor Flow Element (RFE) is connected to the inlet fitting.

The Restrictor Flow Element (RFE) is a precision flow divider inside the transducer, which splits the inlet gas flow by a fixed ratio to the sensor and main flow paths. The particular RFE used in a given Mass Flow Controller depends on the gas and flow range of the instrument.

Carefully disassemble the RFE from the inlet connection. The 50 micron filter screen will now become visible. Push the screen out through the inlet fitting. Clean or replace each of the removed parts as necessary. If alcohol is used for cleaning, allow time for drying before re-assembling.

Carefully re-install the RFE and inlet fitting, avoiding any twisting and deforming the RFE. Be sure that no dust has collected on the O-ring seal.



Note: Over tightening will deform and render the RFE defective.

It is advisable that at least one calibration point be checked after re installing the inlet fitting - see section (7).

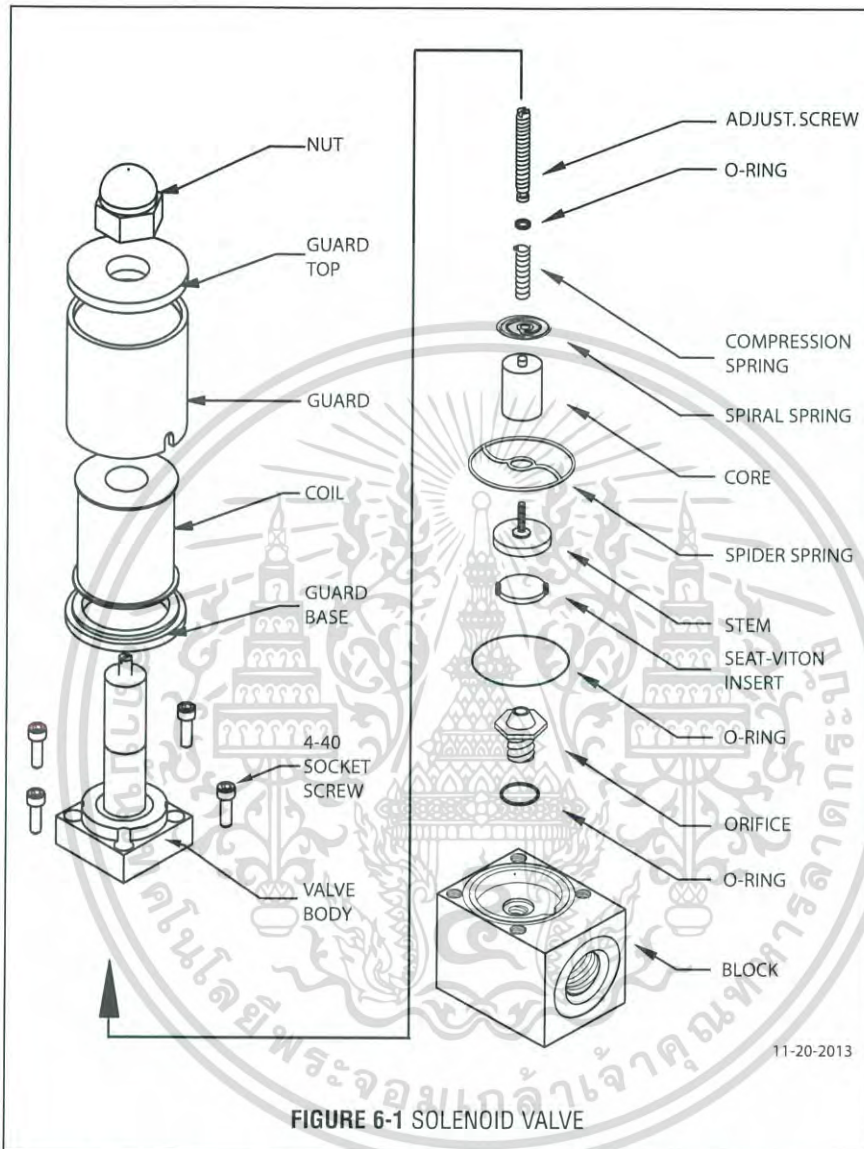


IT IS NOT RECOMMENDED TO ATTEMPT TO DISASSEMBLE, OR REPAIR GFC37, GFC47, GFC57, GFC67 AND GFC77 MODELS. DISASSEMBLY NECESSITATES RE-CALIBRATION.

6.2.2 Valve Maintenance for GFC17/37/47 Models

The solenoid valve consists of 316 and 416 stainless steel, and VITON® (or optional EPR or Kalrez®) O-rings and seal materials. No regular maintenance is required except for periodic cleaning.

It is advisable that at least one calibration point be checked after re-installing the inlet fitting - see section (7).



Various corrosive gases may demand more frequent replacement of VITON® O-rings and seals inside the valve. Be sure to use an elastomer material, appropriate for your specific gas application. Contact your distributor or Aalborg® for optional sealing materials available.

Set the GFC into PURGE mode (see Figure 2-1), and attempt to flush through with a clean, filtered, and neutral gas such as nitrogen. [Another option for fully opening the valve is to remove the plastic cap on top of the valve, and turning the set screw counterclockwise until it stops. See section 7.3 for valve adjustment, to return the valve to functional use.]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. CALIBRATION PROCEDURES



NOTE: Removal of the factory installed calibration seals and/or any adjustments made to the meter, as described in this section, will void any calibration warranty applicable.

7.1 Flow Calibration

Aalborg® Instruments' Flow Calibration Laboratory offers professional calibration support for Mass Flow Meters and Controllers, using precision calibrators under strictly controlled conditions. NIST traceable calibrations are available. Calibrations can also be performed by customers using available certified standards.

Factory calibrations are performed using state of the art NIST traceable precision volumetric calibrators.

Calibrations are performed using dry nitrogen gas. Calibration can then be corrected to the appropriate gas desired based on relative correction [K] factors shown in the gas factor table - see Appendix 2. A reference gas, other than nitrogen, may be used to approximate the flow characteristics of certain gases closer. This practice is recommended when a reference gas is found with thermodynamic properties similar to the actual gas under consideration. The appropriate relative correction factor should be recalculated - see section (9).

It is standard practice to calibrate Mass Flow Controllers with dry nitrogen gas. It is best to calibrate the GFC transducers to actual operating conditions. Specific gas calibrations of non-toxic and non-corrosive gases are available at specific conditions. Please contact your distributor or Aalborg® for a price quotation.

It is recommended that a flow calibrator of at least four times better collective accuracy than that of the Mass Flow Controller to be calibrated be used. Equipment required for calibration includes a flow calibration standard and a certified high sensitivity multimeter (which together have a collective accuracy of $\pm 0.25\%$ or better), an insulated (plastic) screwdriver, a flow regulator (example: metering needle valve) installed upstream from the Mass Flow Controller and a pressure regulated source of dry filtered nitrogen gas (or other suitable reference gas).

The gas and ambient temperature, as well as inlet and outlet pressure conditions should be set up in accordance with actual operating conditions.

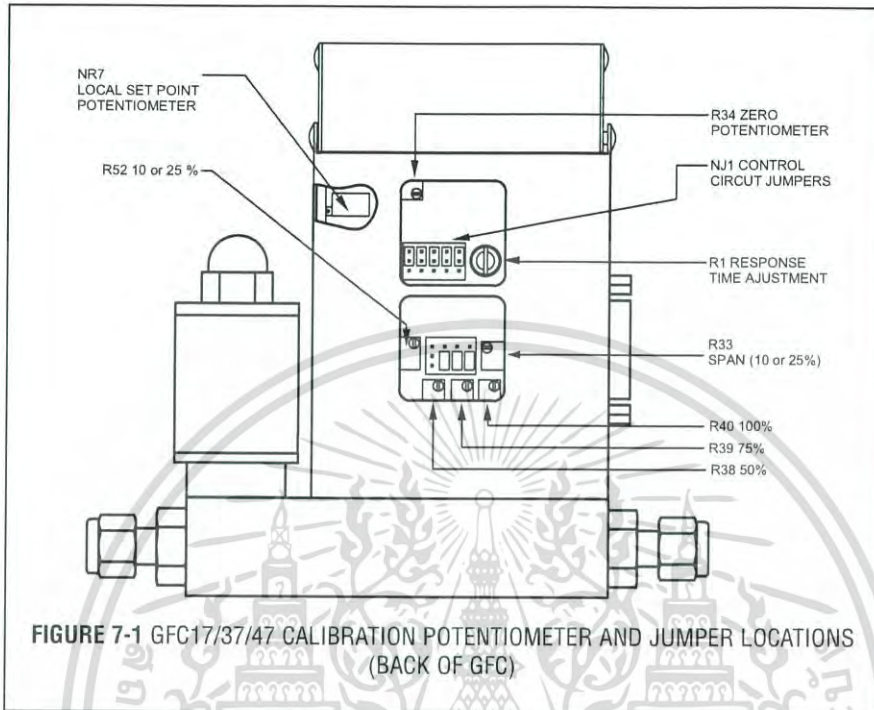


FIGURE 7-1 GFC17/37/47 CALIBRATION POTENTIOMETER AND JUMPER LOCATIONS (BACK OF GFC)

7.2 Calibration of GFC17/37/47 Mass Flow Controllers

All adjustments in this section are made from the outside of the meter, there is no need to disassemble any part of the instrument.

GFC Mass Flow Controllers may be field recalibrated/checked for the same range they were originally factory calibrated for. When linearity adjustment is needed, or flow range changes are being made proceed to step 7.2.4. Flow range changes may require a different Restrictor Flow Element (RFE). Additionally, a different Solenoid Valve Orifice may also be required (see Table VI). Consult your distributor or Aalborg® for more information.

7.2.1 Connections and Initial Warm Up

At the 15-pin "D" connector of the GFC transducer, connect the multimeter to output pins [1] and [2] for 0 to 5 Vdc (or pins [9] and [14] for 4 to 20 mA) - (see Figure 2-1).

When using a remote setpoint for flow control, the appropriate reference signal should also be connected to the 15-pin "D" connector at pins [8] and [10] - (see Figure 2-1). Power up the Mass Flow Controller for at least 30 minutes prior to commencing the calibration procedure.

7.2.2 ZERO Adjustment

Shut off the flow of gas into the Mass Flow Controller. To ensure that no seepage or leak occurs into the meter, temporarily disconnect the gas source.

Using the multimeter and the insulated screwdriver, adjust the ZERO potentiometer [R34] through the access window for 0 Vdc (or 4 mA respectively) at zero flow.

7.2.3 SPAN Adjustment

Reconnect the gas source. Adjust the control setpoint to 100% of full scale flow. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. If the deviation is less than $\pm 10\%$ of full scale reading, correct the SPAN potentiometer [R33] setting by using the insulated screwdriver through the access window, to eliminate any deviation. If the deviation is larger than $\pm 10\%$ of full scale reading, a defective condition may be present.

LIKELY REASONS FOR A MALFUNCTIONING SIGNAL MAY BE:

- ✓ Occluded or contaminated sensor tube.
- ✓ Leaking condition in the GFC transducer or the gas line and fittings.
- ✓ For gases other than nitrogen, recheck appropriate "K" factor from Gas Factor Table.
- ✓ Temperature and/or pressure correction errors.

See also section (8) TROUBLESHOOTING. If after attempting to remedy the above conditions, a malfunction still persists, return the meter for factory service, see section (1).

At this point the calibration is complete. However, it is advisable that several additional points between 0 and 100%, such as 25%, 50%, and 75% flow be checked. If discrepancies are found, proceed to step 7.2.4 for Linearity Adjustment.

7.2.4 Linearity Adjustment

All adjustments in this section are made from the outside of the meter, there is no need to disassemble any part of the instrument.

7.2.4.1 Disable Solenoid Valve in GFC17/37/47 Models

Set the valve into PURGE mode. This step essentially bypasses the flow control properties of the transducer. The unit will now act as a Mass Flow Meter.



CAUTION: FOR GFC17/37/47- If the valve is left in the AUTO (control) or OPEN (PURGE) mode for an extended period of time, it may become warm or even hot to the touch. Use care in avoiding direct contact with the valve during operation.

7.2.5 Connections and Initial Warm Up

Connect the multimeter to output pins [1] and [2] for 0 to 5 Vdc (or pins [9] and [14] for 4 to 20 mA) of the 15-pin "D" connector - (see Figure 2-1).

If calibration to a new flow range or different gas is being performed, it may be necessary to remove any jumpers at J1A, J1B, J1C and J1D before beginning linearizing procedure.

Power up the Mass Flow Controller for at least 30 minutes prior to commencing the calibration procedure.

7.2.6 ZERO Adjustment

Shut off the flow of gas into the Mass Flow Controller. To ensure that no seepage or leak occurs into the meter, it is good practice to temporarily disconnect the gas source.

Using the multimeter and the insulated screwdriver, adjust the ZERO LCD reading and 0 Vdc (or 4 mA respectively) analog output reading at zero flow by adjusting the zero potentiometer [R34] through the access window.



CAUTION: The minimum voltage on 0-5 Vdc output can be in the range of 7 to 25 mV. Trying to reduce voltage below this level may increase negative zero shift. This shift may be invisible on devices without LCD display. Stop R34 zero potentiometer adjustment if voltage on 0-5 Vdc output is in the range from 7 to 25 mV and does not decrease any lower.

7.2.7 25% Flow Adjustment Using R33 Potentiometer

Reconnect the gas source. Using the flow regulator, adjust the flow rate to 25% of full scale flow. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. Adjust the setting for potentiometer [R33] by using the insulated screwdriver through the access window, until the output of the flow meter reads 1.25 Vdc \pm 63mV (or 8mA \pm 0.25mA).

Using the flow regulator, adjust the flow rate until the output of the flow meter reads 0.5 Vdc (or 5.6mA). Check the flow rate against the flow calibrator. If the flow rate indicated by the calibrator is within 10% \pm 1.5% of F.S. then skip paragraphs 7.2.8, 7.2.9 and proceed directly to paragraph 7.2.10, if not, perform 10% flow adjustment according to paragraph 7.2.8.

LINEARIZER FUNCTION	J1A (10 or 25%)	J1B (50%)	J1C (75%)	J1D (100%)
Decrease	1 - 2	4 - 5	7 - 8	10 - 11
Increase	2 - 3	5 - 6	8 - 9	11 - 12

FIGURE 7-2 GFC17/37/47CALIBRATION POTENTIOMETER AND JUMPERS

7.2.8 10% Flow Adjustment

Using the flow regulator, adjust the flow rate to 10% of full scale flow according to the calibrator. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. Adjust the setting for potentiometer [R33] by using the insulated screwdriver through the access window, until the output of the flow meter reads 0.5 Vdc \pm 63mV (or 5.6mA \pm 0.25mA).

7.2.9 25% Flow Adjustment (using R52 potentiometer)

Using the flow regulator, adjust the flow rate to 25% of full scale flow according to the calibrator. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. The output of the flow meter should read 1.25 Vdc \pm 63mV (or 8.0mA \pm 0.25mA). If the reading is outside of that range, place the jumper at [J1.A] as appropriate to increase or decrease the signal. Adjust the setting for potentiometer [R52] by using the insulated screwdriver through the access window, until reading is within specification.

7.2.10 50% Flow Adjustment

Using the flow regulator, increase the flow rate to 50% of full scale flow. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. The output of the flow meter should read 2.50 Vdc \pm 63mV (or 12mA \pm 0.25mA). If the reading is outside of that range, place the jumper at [J1B] as appropriate to increase or decrease the signal. Adjust the setting for potentiometer [R38] by using the insulated screwdriver through the access window, until reading is within specification.

7.2.11 75% Flow Adjustment

Using the flow regulator, increase the flow rate to 75% of full scale flow. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. The output of the flow meter should read 3.75 Vdc \pm 63mV (or 16mA \pm 0.25mA). If the reading is outside of that range, place the jumper at [J1C] as appropriate to increase or decrease the signal. Adjust the setting for potentiometer [R39] by using the insulated screwdriver through the access window, until reading is within specification.

7.2.12 100% Flow Adjustment

Using the flow regulator, increase the flow rate to 100% of full scale flow. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. The output of the flow meter

should read 5.00 Vdc \pm 63mV (or 20mA \pm 0.25mA). If the reading is outside of that range, place the jumper at [J1D] as appropriate to increase or decrease the signal. Adjust the setting for potentiometer [R40] by using the insulated screwdriver through the access window, until reading is within specification.

Repeat steps 7.2.7 to 7.2.12 at least once more.

7.2.13. VALVE ADJUSTMENT

7.2.13.1 Valve Adjustment for GFC 17/37/47

Discontinue the PURGE mode (set valve for the closed position). Apply an inlet pressure of 5 psig, and atmospheric pressure at the outlet. If a small flow occurs, turn the set screw on top of the solenoid valve clockwise until the flow through the GFC just stops.

7.2.14 Close Loop Full Scale Flow Adjustment

Fully open the flow regulator upstream of the GFC. Increase the inlet pressure to 20 psig (25 psig for GFC47). Apply a +5.00 Vdc (100% full scale flow) setpoint reference. Using the calibrator check the flow rate. If necessary, adjust R33 to match the desired full scale flow rate. [In control mode, turning R33 clockwise will decrease the flow. Conversely, turning R33 counterclockwise will increase the flow through the GFC.]

7.2.15 10% Close Loop Flow Adjustment (using R33 potentiometer)

If the J1A jumper is not installed in upper or lower position (paragraphs 7.2.8 and 7.2.9 were skipped) then skip this paragraph and paragraph 7.2.16. Proceed directly to paragraph 7.2.17. Change the setpoint to 0.5 Vdc to control at 10% of full scale flow. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. If the flow rate is not within \pm 0.75% of full scale, re-adjust the setting for potentiometer [R33], until the flow output is correct.

7.2.16 25% Close Loop Flow Adjustment (using R52 potentiometer)

Change the setpoint to 1.25 Vdc to control at 25% of full scale flow. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. If the flow rate is not within \pm 0.75% of full scale, re-adjust the setting for potentiometer [R52], until the flow output is correct.

7.2.17 Close Loop 25% Flow Adjustment (using R33 potentiometer)

Change the setpoint to 1.25 Vdc to control at 25% of full scale flow. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. If the flow rate is not within \pm 0.75% of full scale, re-adjust the setting for potentiometer [R33], until the flow output is correct.

7.2.18 Close Loop 50% Flow Adjustment

Change the setpoint to 2.50 Vdc to control at 50% of full scale flow. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. If the flow rate is not within 0.75% of full scale, re-adjust the setting for potentiometer [R38], until the flow output is correct.

7.2.19 Close Loop 75% Flow Adjustment

Change the setpoint to 3.75 Vdc to control at 75% of full scale flow. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. If the flow rate is not within $\pm 0.75\%$ of full scale, re-adjust the setting for potentiometer [R39], until the flow output is correct.

7.2.20 Close Loop 100% Flow Adjustment

Change the setpoint to 5.00 Vdc to control at 100% of full scale flow. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. If the flow rate is not within $\pm 0.75\%$ of full scale, re-adjust the setting for potentiometer [R40], until the flow output is correct.

Repeat steps 7.2.15 to 7.2.20 at least once more.

ORIFICE PART NUMBER	FLOW RATE [N ₂]
OR.020	10 to 1000 sccm
OR.040	1 to 5 slpm
OR.055	5 to 10 slpm
OR.063	10 to 15 slpm
OR.094	20 to 50 slpm
OR.125	50 to 100 slpm

TABLE II GFC SOLENOID VALVE ORIFICE SELECTION TABLE

7.3 Calibration of GFC57/67/77 Mass Flow Controllers

All adjustments in this section are made from the outside of the meter, there is no need to disassemble any part of the instrument. GFC Mass Flow Controllers may be field recalibrated/checked for the same range they were originally factory calibrated for. When linearity adjustment is needed, or flow range changes are being made proceed to step 7.2.4. Flow range changes may require a different Restrictor Flow Element (RFE). Additionally, a different Solenoid Valve Orifice may also be required (see Table VI). Consult your distributor or Aalborg® for more information.

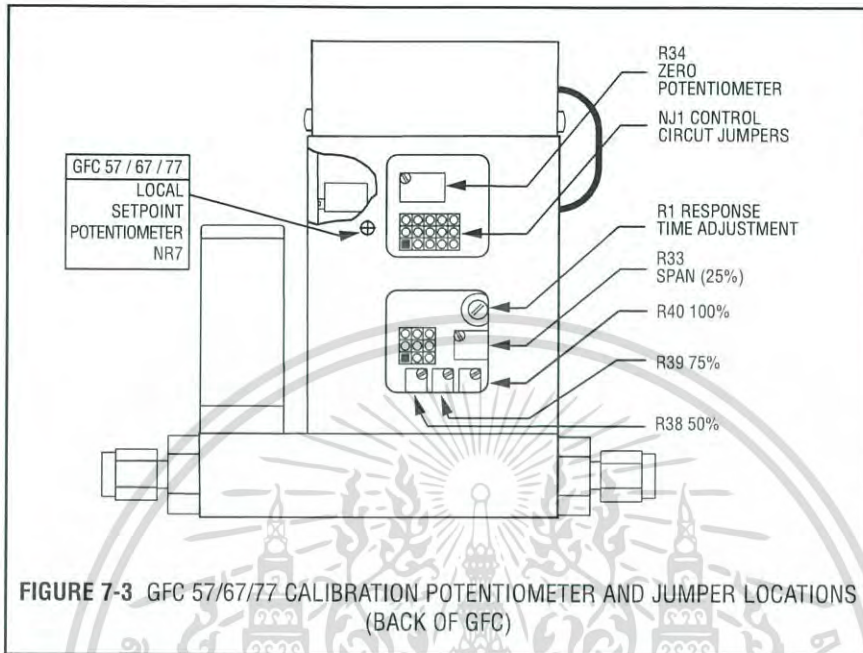


FIGURE 7-3 GFC 57/67/77 CALIBRATION POTENTIOMETER AND JUMPER LOCATIONS (BACK OF GFC)

7.3.1 Connections and Initial Warm Up

At the 15-pin "D" connector of the GFC transducer, connect the multimeter to output pins [1] and [2] for 0 to 5 Vdc (or pins [9] and [14] for 4 to 20 mA) - (see Figure 2-1). When using a remote setpoint for flow control, the appropriate reference signal should also be connected to the 15-pin "D" connector at pins [8] and [10] - (see Figure 2-1). Power up the Mass Flow Controller for at least 30 minutes prior to commencing the calibration procedure.

7.3.2 ZERO Adjustment

Shut off the flow of gas into the Mass Flow Controller. To ensure that no seepage or leak occurs into the meter, temporarily disconnect the gas source. Using the multimeter and the insulated screwdriver, adjust the ZERO potentiometer [R34] through the access window for 0 Vdc (or 4 mA respectively) at zero flow.

7.3.3 SPAN Adjustment

Reconnect the gas source. Adjust the control setpoint to 100% of full scale flow. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. If the deviation is less than $\pm 10\%$ of full scale reading, correct the SPAN potentiometer [R33] setting by using the insulated screwdriver through the access window, to eliminate any deviation. If the deviation is larger than $\pm 10\%$ of full scale reading, a defective condition may be present.

LIKELY REASONS FOR A MALFUNCTIONING SIGNAL MAY BE:

- ✓ Occluded or contaminated sensor tube.
- ✓ Leaking condition in the GFC transducer or the gas line and fittings.
- ✓ For gases other than nitrogen, recheck appropriate "K" factor from Gas Factor Table.
- ✓ Temperature and/or pressure correction errors.

See also section (8) TROUBLESHOOTING. If after attempting to remedy the above conditions, a malfunction still persists, return the meter for factory service, see section (1). At this point the calibration is complete. However, it is advisable that several additional points between 0 and 100%, such as 25%, 50%, and 75% flow be checked. If discrepancies are found, proceed to step 7.3.4 for Linearity Adjustment.

7.3.4 Linearity Adjustment

All adjustments in this section are made from the outside of the meter, there is no need to disassemble any part of the instrument.

7.3.4.1 Open Motorized Valve in GFC57/67/77 Models

Set the valve to PURGE mode by connecting pin [4] to pin [3], at the 15 pin D-connector.

7.3.5 Connections and Initial Warm Up

Connect the multimeter to output pins [1] and [2] for 0 to 5 Vdc (or pins [9] and [14] for 4 to 20 mA) of the 15-pin "D" connector - (see Figure 2-1). If calibration to a new flow range or different gas is being performed, it may be necessary to remove any jumpers at J1A, J1B, and J1C before beginning linearizing procedure.

Power up the Mass Flow Controller for at least 30 minutes prior to commencing the calibration procedure.

7.3.6 ZERO Adjustment

Shut off the flow of gas into the Mass Flow Controller. To ensure that no seepage or leak occurs into the meter, it is good practice to temporarily disconnect the gas source. Using the multimeter and the insulated screwdriver, adjust the ZERO potentiometer [R34] through the access window for 0 Vdc (or 4 mA respectively) at zero flow.

7.3.7 25% Flow Adjustment

Reconnect the gas source. Using the flow regulator, adjust the flow rate to 25% of full scale flow. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. Adjust the setting for potentiometer [R33] by using the insulated screwdriver through the access window, until the output of the flow meter reads 1.25 Vdc \pm 63mV (or 8mA \pm 0.25mA).

LINEARIZER FUNCTION	J1A (50%)	J1B (75%)	J1C (100%)
Decrease	1 - 2	4 - 5	7 - 8
Increase	2 - 3	5 - 6	8 - 9

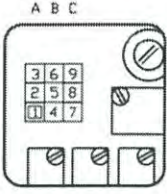


FIGURE 7-4 GFC57/67/77 CALIBRATION POTENTIOMETER AND JUMPERS

7.3.8 50% Flow Adjustment

Using the flow regulator, increase the flow rate to 50% of full scale flow. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. The output of the flow meter should read 2.50 Vdc \pm 63mV (or 12mA \pm 0.25mA). If the reading is outside of that range, place the jumper at [J1A] as appropriate to increase or decrease the signal. Adjust the setting for potentiometer [R38] by using the insulated screwdriver through the access window, until reading is within specification.

7.3.9 75% Flow Adjustment

Using the flow regulator, increase the flow rate to 75% of full scale flow. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. The output of the flow meter should read 3.75 Vdc \pm 63mV (or 16mA \pm 0.25mA). If the reading is outside of that range, place the jumper at [J1B] as appropriate to increase or decrease the signal. Adjust the setting for potentiometer [R39] by using the insulated screwdriver through the access window, until reading is within specification.

7.3.10 100% Flow Adjustment

Using the flow regulator, increase the flow rate to 100% of full scale flow. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. The output of the flow meter should read 5.00 Vdc \pm 63mV (or 20mA \pm 0.25mA). If the reading is outside of that range, place the jumper at [J1C] as appropriate to increase or decrease the signal. Adjust the setting for potentiometer [R40] by using the insulated screwdriver through the access window, until reading is within specification. Repeat steps 7.2.7 to 7.2.10 at least once more.

7.3.11. VALVE ADJUSTMENT

7.3.11.1 Valve Adjustment for GFC 57/67/77

Discontinue the PURGE mode (set valve for the Auto position). **DO NOT adjust** the motorized valve for GFC57/67/77. The motorized valve for these models has been pre-adjusted at the factory.

7.3.12 Full Scale Flow Adjustment

Fully open the flow regulator upstream of the GFC. Increase the inlet pressure to 20 psig. Apply a +5.00 Vdc (100% full scale flow) setpoint reference. Using the calibrator check the flow rate. If necessary, adjust R33 to match the desired full scale flow rate. [In control mode, turning R33 clockwise will decrease the flow. Conversely, turning R33 counterclockwise will increase the flow through the GFC.]

7.3.13 25% Flow Adjustment

Change the setpoint to 1.25 Vdc to control at 25% of full scale flow. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. If the flow rate is not within $\pm 0.75\%$ of full scale, re-adjust the setting for potentiometer [R33], until the flow output is correct.

7.3.14 50% Flow Adjustment

Change the setpoint to 2.50 Vdc to control at 50% of full scale flow. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. If the flow rate is not within $\pm 0.75\%$ of full scale, re-adjust the setting for potentiometer [R38], until the flow output is correct.

7.3.15 75% Flow Adjustment

Change the setpoint to 3.75 Vdc to control at 75% of full scale flow. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. If the flow rate is not within $\pm 0.75\%$ of full scale, re-adjust the setting for potentiometer [R39], until the flow output is correct.

7.3.16 100% Flow Adjustment

Change the setpoint to 5.00 Vdc to control at 100% of full scale flow. Check the flow rate indicated against the flow calibrator. If the flow rate is not within $\pm 0.75\%$ of full scale, re-adjust the setting for potentiometer [R40], until the flow output is correct.

Repeat steps 7.3.13 to 7.3.16 at least once more.

7.4 LCD Display Scaling

It may be desirable to re-scale the output reading on the LCD readout supplied with certain model GFC transducers. Re-calibration for a new flow range or different engineering units are two examples of when this may be necessary.

7.4.1 Access LCD Display Circuit

Carefully remove the LCD from the GFC or panel mounted surface. Remove the aluminum housing on the side of the connection cable. Slide the LCD assembly out of the aluminum housing.

7.4.2 Adjust Scaling

Using a digital multimeter connected to either the 0 to 5 Vdc or 4 to 20 mA signal at the 15-pin "D" connector, set the flow rate on the GFC to full scale flow (5 Vdc or 20mA). Maintain full scale flow, and adjust the potentiometer [R3] on the LCD printed circuit board to desired full scale flow reading.

7.4.3 Change Decimal Point

To change the decimal place on the LCD display readout, simply move the jumper to the appropriate location on the [8] pin header block. The numbers are printed to the side of the connections. Do not attempt to place more than one jumper for decimal setting.

JUMPER POSITION	MAXIMUM SCALABLE DISPLAY READING
"0"	1999
"3"	199.9
"2"	19.99
"1"	1.999

8. TROUBLESHOOTING

8.1 Common Conditions

Your Mass Flow Controller was thoroughly checked at numerous quality control points during and after manufacturing and assembly operations. It was calibrated in accordance to your desired flow and pressure conditions for a given gas or a mixture of gases.

It was carefully packed to prevent damage during shipment. Should you feel that the instrument is not functioning properly please check for the following common conditions first:

- ✓ Are all cables connected correctly?
- ✓ Are there any leaks in the installation?
- ✓ Is the power supply correctly selected according to requirements?
When several meters are used a power supply with appropriate current rating should be selected.
- ✓ Were the connector pinouts matched properly? When interchanging with other manufacturers' equipment, cables and connectors must be carefully wired for correct pin configurations.
- ✓ Is the pressure differential across the instrument sufficient?

8.2 General Troubleshooting Guide

INDICATION	LIKELY REASON	REMEDY
lack of reading or output	power supply off	check connection of power supply
	fuse blown	disconnect transducer from power supply; remove the shorting condition or check polarities; fuse resets automatically
	filter screen obstructed at inlet	flush clean or disassemble to remove impediments or replace
	occluded sensor tube	flush clean or disassemble to remove impediments or return to factory for replacement
	pc board defect	return to factory for replacement
	GFC17/37/47 valve adjustment wrong	re-adjust valve (section 8.3.3)
flow reading does not coincide with the setpoint	inadequate gas pressure	apply appropriate gas pressure
	filter screen obstructed at inlet	flush clean or disassemble to remove impediments or replace
	ground loop	signal and power supply commons are different
no response to setpoint	inadequate gas pressure	apply appropriate gas pressure
	cable or connector malfunction	check cables and all connections or replace
	setpoint is too low (<2% of full scale)	re adjust setpoint or disable 2% cutoff feature (section 2.2)
	GFC17/37/47 valve adjustment wrong	re-adjust valve (section 8.3.3 below)
unstable or no zero reading	gas leak	locate and correct
	pc board defective	return to factory for replacement
	GFC17/37/47 valve adjustment wrong	re-adjust valve (see section 8.3.2 below)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INDICATION	LIKELY REASON	REMEDY
full scale output at "no flow" condition or with valve closed	defective sensor	return to factory for replacement
	gas leak	locate and repair
	GFC17/37/47 valve adjustment wrong	re-adjust valve(section 8.3.1 below)
calibration off	gas metered is not the same as what meter was calibrated for	use matched calibration
	composition of gas changed	see K factor tables in APPENDIX 2
	gas leak	locate and correct
	pc board defective	return to factory for replacement
	RFE dirty	flush clean or disassemble to remove impediments
	occluded sensor tube	flush clean or disassemble to remove impediments or return to factory for replacement
	filter screen obstructed at inlet	flush clean or disassemble to remove impediments or replace
	transducer is not mounted properly	check for any tilt or change in the mounting of the transducer; generally, units are calibrated for horizontal installation (relative to the sensor tube)
GFC valve does not work in open position	GFC17/37/47 incorrect valve adjustment	re-adjust valve (section 8.3.3)
	pc board defect	return to factory for replacement
	cable or connectors malfunction	check cable and connectors or replace
	differential pressure too high	decrease pressure to correct level
	insufficient inlet pressure	adjust appropriately

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INDICATION	LIKELY REASON	REMEDY
GFC valve does not work in closed position	GFC17/37/47 incorrect valve adjustment	re-adjust valve (section 8.3.1)
	pc board defect	return to factory for replacement
	cable or connectors malfunction	check cable and connectors or replace
	orifice obstructed	disassemble to remove impediments or return to factory

8.3 GFC17/37/47 Valve Related Troubleshooting

8.3.1 INDICATION:	LIKELY REASON:	REMEDY:
With “no flow conditions” (gas pipes are not connected to the GFC) and valve closed (pins 3 and 12 are connected together) LCD reading is zero, but when 20 PSIG inlet pressure is applied the LCD reads more than 0.5% of full scale.	Valve is out of adjustment and leaking.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Adjust control set point to zero. Set Valve mode to “CLOSE” position (connect pins 3 and 12 on the 15 pins D-connector together). This step is very important! 2. Apply 20 PSIG inlet pressure. 3. See operating manual page 17 (Figure 6-1). Unscrew hex nut cover on the top of the solenoid valve. 4. Using a screwdriver readjust adjustment screw on the top of the valve to CW (clock wise) direction until zero reading on the display. Be very careful during adjustment: make only 15 degree turn each time and wait one minute due to the sensor’s response time. If reading is still high make another 15 degree turn. Do not over adjust valve. If you made more than 5 complete (360 degree) turns and leakage still exists stop adjustment. In this case unit has to be returned to the factory for servicing. 5. This is not a shut off valve. It is normal to observe up to 0.5 % of F.S. leakage. 6. Adjust hex nut cover on the top of the solenoid valve. 7. Disable Valve “Close” mode, apply 100% control set point and check if reading can reach 100% reading.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.2 INDICATION:	LIKELY REASON:	REMEDY:
<p>Differential pressure across the GFC controller is within specification but LCD reading and actual flow are not stable (oscillate 1-4 times per second).</p>	<p>Valve compression spring is over adjusted and PID control cannot handle stable flow.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Make sure differential pressure across the GFC is within specification. 2. Install control set point to 100% F.S. This should remedy the oscillation conditions. 3. See operating manual page 17 (Figure 6-1). Unscrew hex nut cover on the top of the solenoid valve. 4. Using screwdriver readjust adjustment screw on the top of the valve to CCW (counter clock wise) direction until reading on the display will be stable. Be very careful during adjustment: make only 15 degree turn each time and wait about 15 seconds due to sensor's response time. If reading oscillates make another 15 degree turn. Do not over adjust valve. If you noticed that flow rate is constant and more than 105% of full scale, it means you over adjusted valve and it has leakage. In this case make adjustment to CW (clock wise) in order to fix this problem until reading will go back to 100% full scale. 5. Adjust zero set point (or valve close command), wait about 3 minutes and check if valve is able to close. 6. This is not a shut off valve. It is normal to observe up to 0.5 % of F.S. leakage. 7. Install hex nut cover on the top of the solenoid valve.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.3 INDICATION:	LIKELY REASON:	REMEDY:
Differential pressure across the GFC controller is within specification but flow rate reading is more than 1% F.S. below set point value when 100% set point is applied.	Valve compression spring is over adjusted and controller does not have enough power to open valve and reach 100% F.S. flow.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Make sure differential pressure across the GFC is within specification. 2. Adjust control set point to 100% F.S. This should remedy initial fault conditions (flow reading is less than set point value and difference is more than 1% F.S.). 3. See operating manual page 17 (Figure 6-1). Unscrew hex nut cover on the top of the solenoid valve. 4. Using screwdriver readjust adjustment screw on the top of the valve to CCW (counter clock wise) direction until reading on the display will be equal to the set point value. Be very careful during adjustment: make only 15 degree turn each time and wait about 15 seconds due to sensors responds time. If reading still below 100% make another 15 degree turn. Do not over adjust valve. If you noticed that flow rate is constant and more than 105% of full scale, it means you over adjusted valve and it has leakage. In this case make adjustment to CW (clock wise) in order to fix this problem until reading will go back to 100% full scale. 5. Install zero set point (or valve close command), wait about 3 minutes and check if valve is able to close. 6. This is not a shut off valve. It is normal to observe up to 0.5 % of F.S. leakage. 7. Install hex nut cover on the top of the solenoid valve.



NOTE: One common reason for proportional solenoid valve to be out of adjustment: keeping control set point even very small (2% for example) while disconnecting inlet pressure. In this case the valve becomes overheated within 15 minutes and mechanical characteristics of the seat insert and compression spring are compromised. Avoid this mode of operation in the future.

For best results it is recommended that instruments are returned to the factory for servicing. See section 1.3 for return procedures.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4 Technical Assistance

Aalborg® Instruments will provide technical assistance over the phone to qualified repair personnel. Please call our Technical Assistance at 845-770-3000. Please have your Serial Number and Model Number ready when you call.

9. CALIBRATION CONVERSIONS FROM REFERENCE GASES

The calibration conversion incorporates the K factor. The K factor is derived from gas density and coefficient of specific heat. For diatomic gases:

$$K_{\text{gas}} = \frac{1}{d \times C_p}$$

where d = gas density (gram/liter)
C_p = coefficient of specific heat (cal/gram)

Note: in the above relationship that d and C_p are chosen at the same conditions (temperature, pressure).

If the flow range of a Mass Flow Controller remains unchanged, a relative K factor is used to relate the calibration of the actual gas to the reference gas.

$$K = \frac{Q_a}{Q_r} = \frac{K_a}{K_r}$$

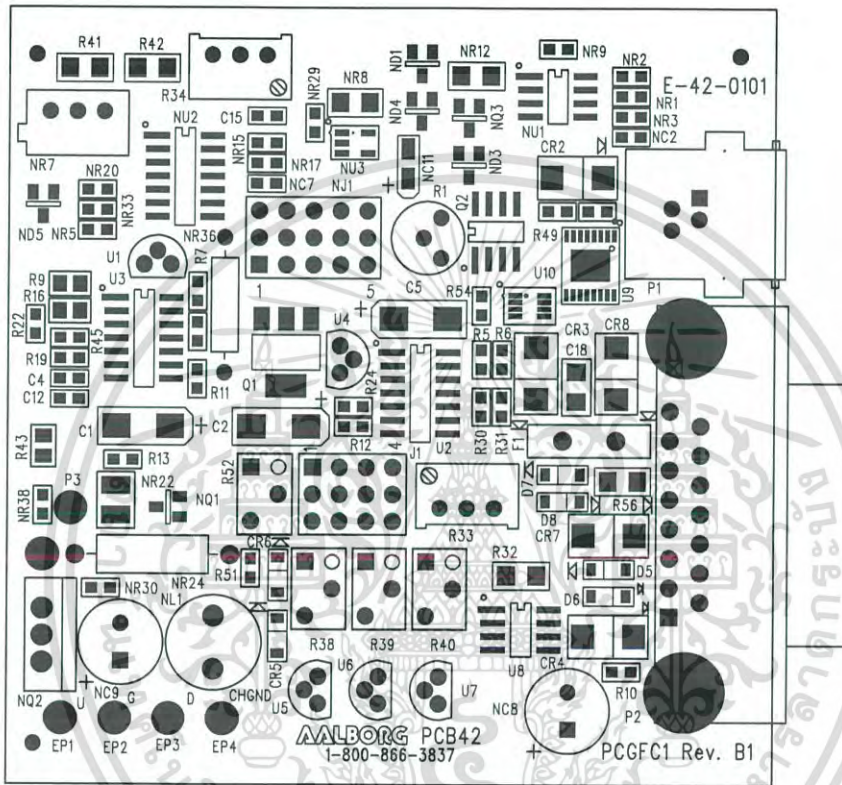
where Q_a = mass flow rate of an actual gas (sccm)
Q_r = mass flow rate of a reference gas (sccm)
K_a = K factor of an actual gas
K_r = K factor of a reference gas

For example, if we want to know the flow rate of oxygen and wish to calibrate with nitrogen at 1000 SCCM, the flow rate of oxygen is:

$$Q_{O_2} = Q_a = Q_r \times K = 1000 \times 0.9926 = 992.6 \text{ sccm}$$

where K = relative K factor to reference gas (oxygen to nitrogen)

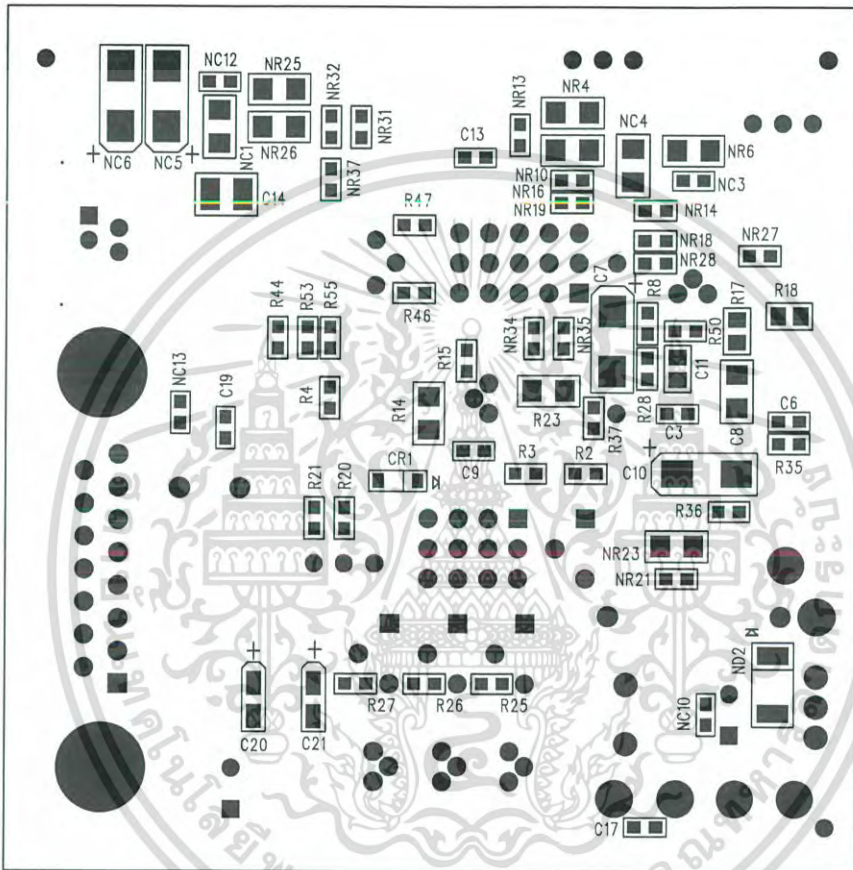
APPENDIX 1
COMPONENTS DIAGRAM



GFC17/37/47 CONTROLLER PC BOARD (TOP SIDE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPONENTS DIAGRAM



GFC17/37/47 CONTROLLER PC BOARD (BOTTOM SIDE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPENDIX 2
GAS FACTOR TABLE ("K" FACTORS)

⚠ **CAUTION:** K-Factors at best are only an approximation. K factors should not be used in applications that require accuracy better than +/- 5 to 10%.

ACTUAL GAS	K FACTOR Relative to N ₂	Cp [Cal/g]	Density [g/l]
Acetylene C ₂ H ₂	.5829	.4036	1.162
Air	1.0000	.240	1.293
Allene (Propadiene) C ₃ H ₄	.4346	.352	1.787
Ammonia NH ₃	.7310	.492	.760
Argon Ar	1.4573	.1244	1.782
Argon AR-1 (>10 L/min)	1.205	.1244	1.782
Arsine AsH ₃	.6735	.1167	3.478
Boron Trichloride BCl ₃	.4089	.1279	5.227
Boron Trifluoride BF ₃	.5082	.1778	3.025
Bromine Br ₂	.8083	.0539	7.130
Boron Tribromide Br ₃	.38	.0647	11.18
Bromine PentaTrifluoride BrF ₅	.26	.1369	7.803
Bromine Trifluoride BrF ₃	.3855	.1161	6.108
Bromotrifluoromethane (Freon-13 B1) CBrF ₃	.3697	.1113	6.644
1,3-Butadiene C ₄ H ₆	.3224	.3514	2.413
Butane C ₄ H ₁₀	.2631	.4007	2.593
1-Butene C ₄ H ₈	.2994	.3648	2.503
2-Butene C ₄ H ₈ CIS	.324	.336	2.503
2-Butene C ₄ H ₈ TRANS	.291	.374	2.503
Carbon Dioxide CO ₂	.7382	.2016	1.964
Carbon Dioxide CO ₂ -1 (>10 L/min)	.658	.2016	1.964
Carbon Disulfide CS ₂	.6026	.1428	3.397
Carbon Monoxide CO	1.00	.2488	1.250
Carbon Tetrachloride CCl ₄	.31	.1655	6.860
Carbon Tetrafluoride (Freon-14)CF ₄	.42	.1654	3.926
Carbonyl Fluoride COF ₂	.5428	.1710	2.945
Carbonyl Sulfide COS	.6606	.1651	2.680
Chlorine Cl ₂	.86	.114	3.163
Chlorine Trifluoride ClF ₃	.4016	.1650	4.125
Chlorodifluoromethane (Freon-22)CHClF ₂	.4589	.1544	3.858
Chloroform CHCl ₃	.3912	.1309	5.326
Chloropentafluoroethane(Freon-115)C ₂ ClF ₅	.2418	.164	6.892
Chlorotrifluoromethane (Freon-13) CClF ₃	.3834	.153	4.660
CyanogenC ₂ N ₂	.61	.2613	2.322
CyanogenChloride ClCN	.6130	.1739	2.742
Cyclopropane C ₃ H ₅	.4584	.3177	1.877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACTUAL GAS	K FACTOR Relative to N ₂	Cp [Cal/g]	Density [g/l]
Deuterium D ₂	1.00	1.722	1.799
Diborane B ₂ H ₆	.4357	.508	1.235
Dibromodifluoromethane CBr ₂ F ₂	.1947	.15	9.362
Dichlorodifluoromethane (Freon-12) CCl ₂ F ₂	.3538	.1432	5.395
Dichlorofluoromethane (Freon-21) CHCl ₂ F	.4252	.140	4.592
Dichloromethylsilane (CH ₃) ₂ SiCl ₂	.2522	.1882	5.758
Dichlorosilane SiH ₂ Cl ₂	.4044	.150	4.506
Dichlorotetrafluoroethane (Freon-114) C ₂ Cl ₂ F ₄	.2235	.1604	7.626
1,1-Difluoroethylene (Freon-1132A) C ₂ H ₂ F ₂	.4271	.224	2.857
Dimethylamine (CH ₃) ₂ NH	.3714	.366	2.011
Dimethyl Ether (CH ₃) ₂ O	.3896	.3414	2.055
2,2-Dimethylpropane C ₃ H ₁₂	.2170	.3914	3.219
Ethane C ₂ H ₆	.50	.420	1.342
Ethanol C ₂ H ₆ O	.3918	.3395	2.055
Ethyl Acetylene C ₄ H ₆	.3225	.3513	2.413
Ethyl Chloride C ₂ H ₅ Cl	.3891	.244	2.879
Ethylene C ₂ H ₄	.60	.365	1.251
Ethylene Oxide C ₂ H ₄ O	.5191	.268	1.965
Fluorine F ₂	.9784	.1873	1.695
Fluoroform (Freon-23) CHF ₃	.4967	.176	3.127
Freon-11 CCl ₃ F	.3287	.1357	6.129
Freon-12 CCl ₂ F ₂	.3538	.1432	5.395
Freon-13 CClF ₃	.3834	.153	4.660
Freon-13B1 CBrF ₃	.3697	.1113	6.644
Freon-14 CF ₄	.4210	.1654	3.926
Freon-21 CHCl ₂ F	.4252	.140	4.592
Freon-22 CHClF ₂	.4589	.1544	3.858
Freon-113 CCl ₂ FCClF ₂	.2031	.161	8.360
Freon-114 C ₂ Cl ₂ F ₄	.2240	.160	7.626
Freon-115 C ₂ ClF ₅	.2418	.164	6.892
Freon-C318 C ₄ F ₈	.1760	.185	8.397
Germane GeH ₄	.5696	.1404	3.418
Germanium Tetrachloride GeCl ₄	.2668	.1071	9.565
Helium He (= <10/Lmin)	1.454	1.241	.1786
Helium He-1 (>50 L/min)	2.43	1.241	.1786
Helium He-2 (>10-50 L/min)	2.05	1.241	.1786
Hexafluoroethane C ₂ F ₆ (Freon-116)	.2421	.1834	6.157
Hexane C ₆ H ₁₄	.1792	.3968	3.845
Hydrogen H ₂ -1 (= <10/Lmin)	1.0106	3.419	.0899
Hydrogen H ₂ -2 (>10-100 L)	1.35	3.419	.0899
Hydrogen H ₂ -3 (>100 L)	1.9	3.419	.0899

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACTUAL GAS	K FACTOR Relative to N ₂	Cp [Cal/g]	Density [g/l]
Hydrogen Bromide HBr	1.000	.0861	3.610
Hydrogen Chloride HCl	1.000	.1912	1.627
Hydrogen Cyanide HCN	.764	.3171	1.206
Hydrogen Fluoride HF	.9998	.3479	.893
Hydrogen Iodide HI	.9987	.0545	5.707
Hydrogen Selenide H ₂ Se	.7893	.1025	3.613
Hydrogen Sulfide H ₂ S	.80	.2397	1.520
Iodine Pentafluoride IF ₅	.2492	.1108	9.90
Isobutane CH(CH ₃) ₃	.27	.3872	3.593
Isobutylene C ₄ H ₈	.2951	.3701	2.503
Krypton Kr	1.453	.0593	3.739
Methane CH ₄	.7175	.5328	.715
Methane CH ₄ -1 (>10 L/min)	.75	.5328	.715
Methanol CH ₃	.5843	.3274	1.429
Methyl Acetylene C ₃ H ₄	.4313	.3547	1.787
Methyl Bromide CH ₃ Br	.5835	.1106	4.236
Methyl Chloride CH ₃ Cl	.6299	.1926	2.253
Methyl Fluoride CH ₃ F	.68	.3221	1.518
Methyl Mercaptan CH ₃ SH	.5180	.2459	2.146
Methyl Trichlorosilane (CH ₃)SiCl ₃	.2499	.164	6.669
Molybdenum Hexafluoride MoF ₆	.2126	.1373	9.366
Monoethylamine C ₂ H ₅ NH ₂	.3512	.387	2.011
Monomethylamine CH ₃ NH ₂	.51	.4343	1.386
Neon NE	1.46	.246	.900
Nitric Oxide NO	.990	.2328	1.339
Nitrogen N ₂	1.000	.2485	1.25
Nitrogen Dioxide NO ₂	.737	.1933	2.052
Nitrogen Trifluoride NF ₃	.4802	.1797	3.168
Nitrosyl Chloride NOCl	.6134	.1632	2.920
Nitrous Oxide N ₂ O	.7128	.2088	1.964
Octafluorocyclobutane (Freon-C318) C ₄ F ₈	.176	.185	8.397
Oxygen O ₂	.9926	.2193	1.427
Oxygen Difluoride OF ₂	.6337	.1917	2.406
Ozone	.446	.195	2.144
Pentaborane B ₅ H ₉	.2554	.38	2.816
Pentane C ₅ H ₁₂	.2134	.398	3.219
Perchloryl Fluoride ClO ₃ F	.3950	.1514	4.571
Perfluoropropane C ₃ F ₈	.174	.197	8.388
Phosgene COCl ₂	.4438	.1394	4.418
Phosphine PH ₃	.759	.2374	1.517

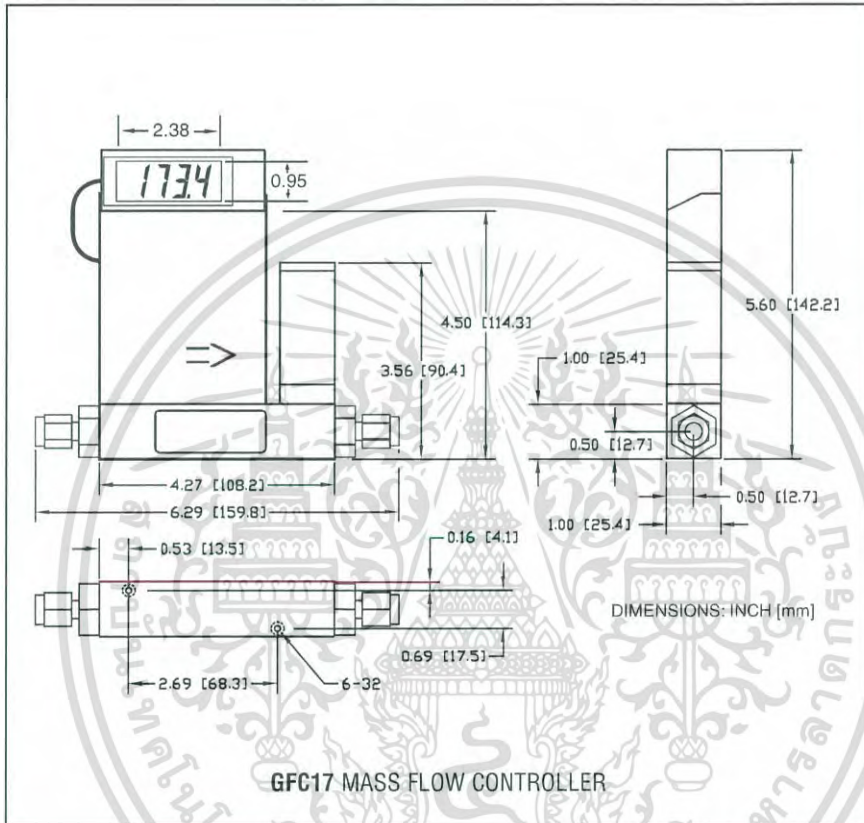
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACTUAL GAS	K FACTOR Relative to N ₂	Cp [Cal/g]	Density [g/l]
Phosphorous Oxychloride POCl ₃	.36	.1324	6.843
Phosphorous Pentafluoride PH ₅	.3021	.1610	5.620
Phosphorous Trichloride PCl ₃	.30	.1250	6.127
Propane C ₃ H ₈	.35	.399	1.967
Propylene C ₃ H ₆	.40	.366	1.877
Silane SiH ₄	.5982	.3189	1.433
Silicon Tetrachloride SiCl ₄	.284	.1270	7.580
Silicon Tetrafluoride SiF ₄	.3482	.1691	4.643
Sulfur Dioxide SO ₂	.69	.1488	2.858
Sulfur Hexafluoride SF ₆	.2635	.1592	6.516
Sulfuryl Fluoride SO ₂ F ₂	.3883	.1543	4.562
Tetrafluoroethane (Forane 134A) CF ₃ CH ₂ F	.5096	.127	4.224
Tetrafluorohydrazine N ₂ F ₄	.3237	.182	4.64
Trichlorofluoromethane (Freon-11) CCl ₃ F	.3287	.1357	6.129
Trichlorosilane SiHCl ₃	.3278	.1380	6.043
1,1,2-Trichloro-1,2,2 Trifluoroethane (Freon-113) CCl ₂ FCF ₂	.2031	.161	8.36
Triisobutyl Aluminum (C ₄ H ₉) ₃ AL	.0608	.508	8.848
Titanium Tetrachloride TiCl ₄	.2691	.120	8.465
Trichloro Ethylene C ₂ HCl ₃	.32	.163	5.95
Trimethylamine (CH ₃) ₃ N	.2792	.3710	2.639
Tungsten Hexafluoride WF ₆	.2541	.0810	13.28
Vinyl Bromide CH ₂ CHBr	.4616	.1241	4.772
Vinyl Chloride CH ₂ CHCl	.48	.12054	2.788
Xenon Xe	1.44	.0378	5.858

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

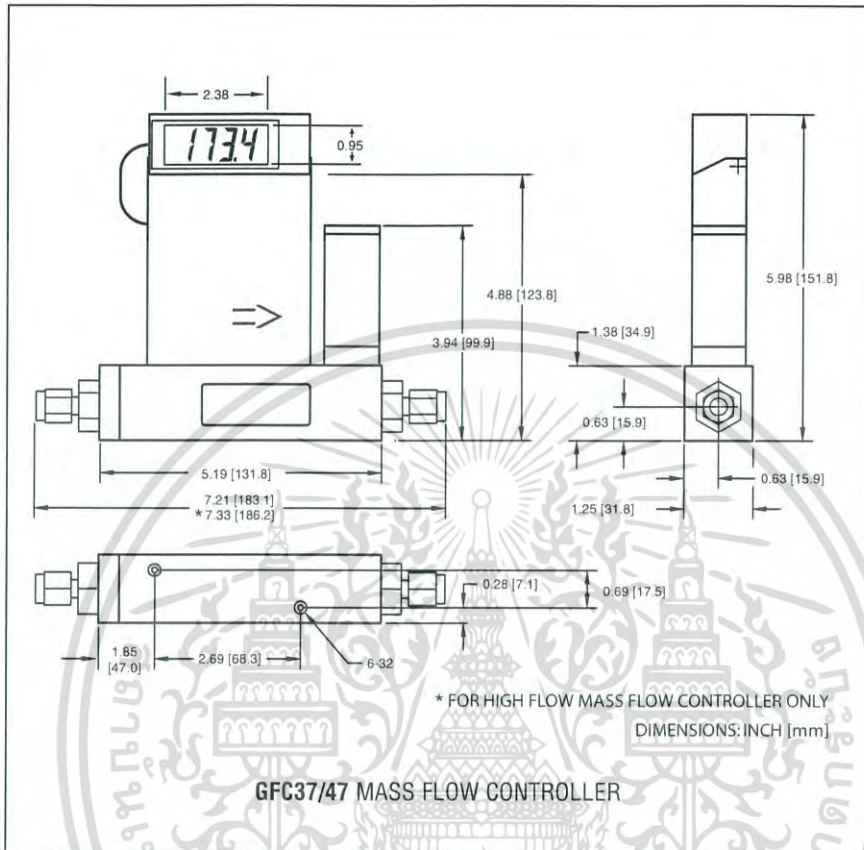
APPENDIX 3

DIMENSIONAL DRAWINGS



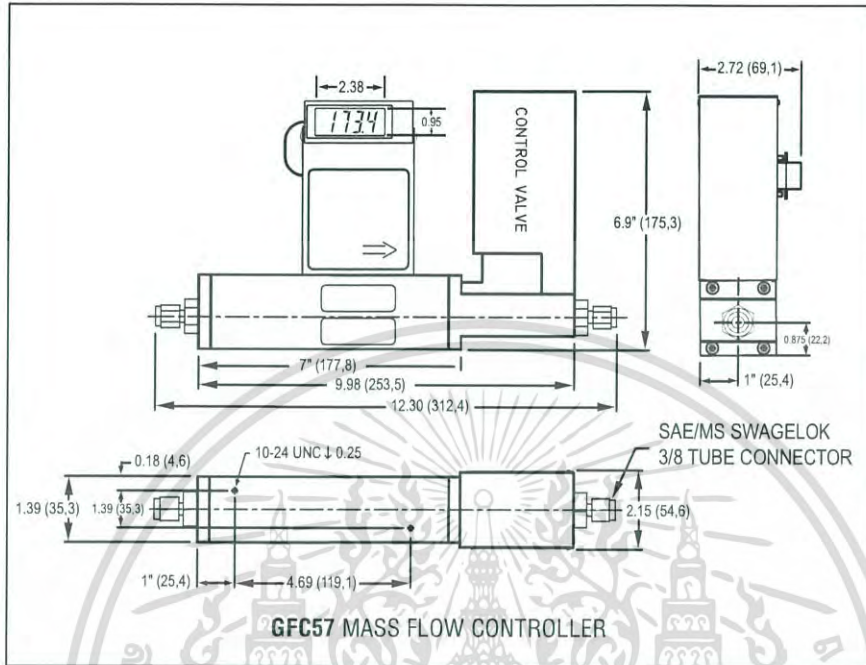
NOTE: Aalborg® reserves the right to change designs and dimensions at its sole discretion at any time without notice. For certified dimensions please contact Aalborg®.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



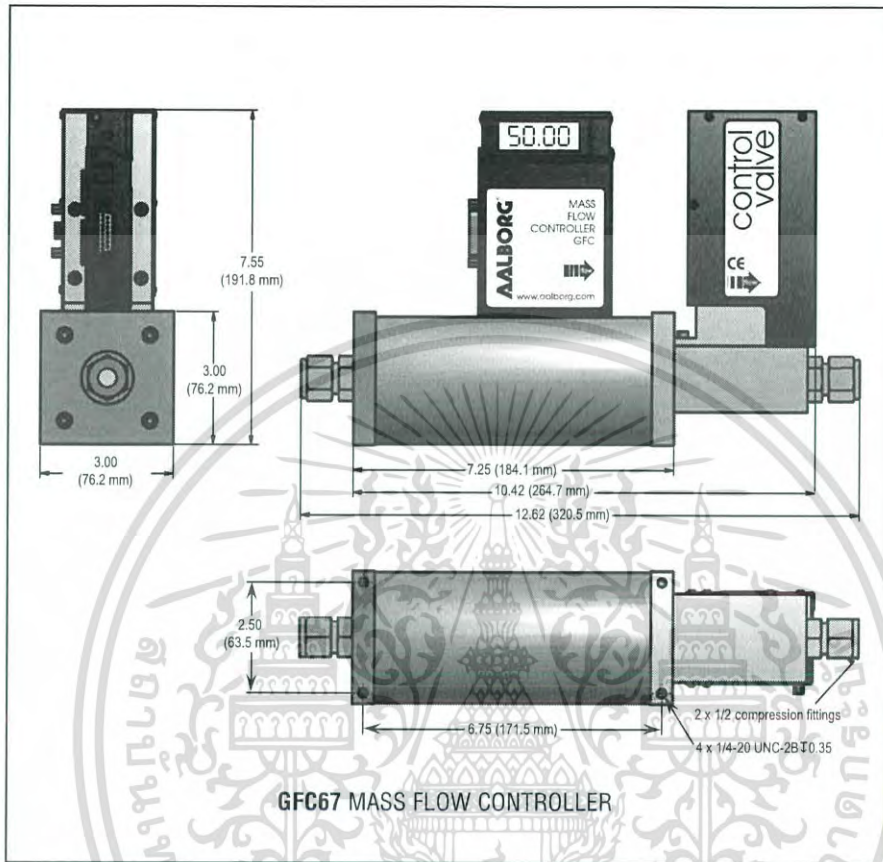
NOTE: Aalborg® reserves the right to change designs and dimensions at its sole discretion at any time without notice. For certified dimensions please contact Aalborg®.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



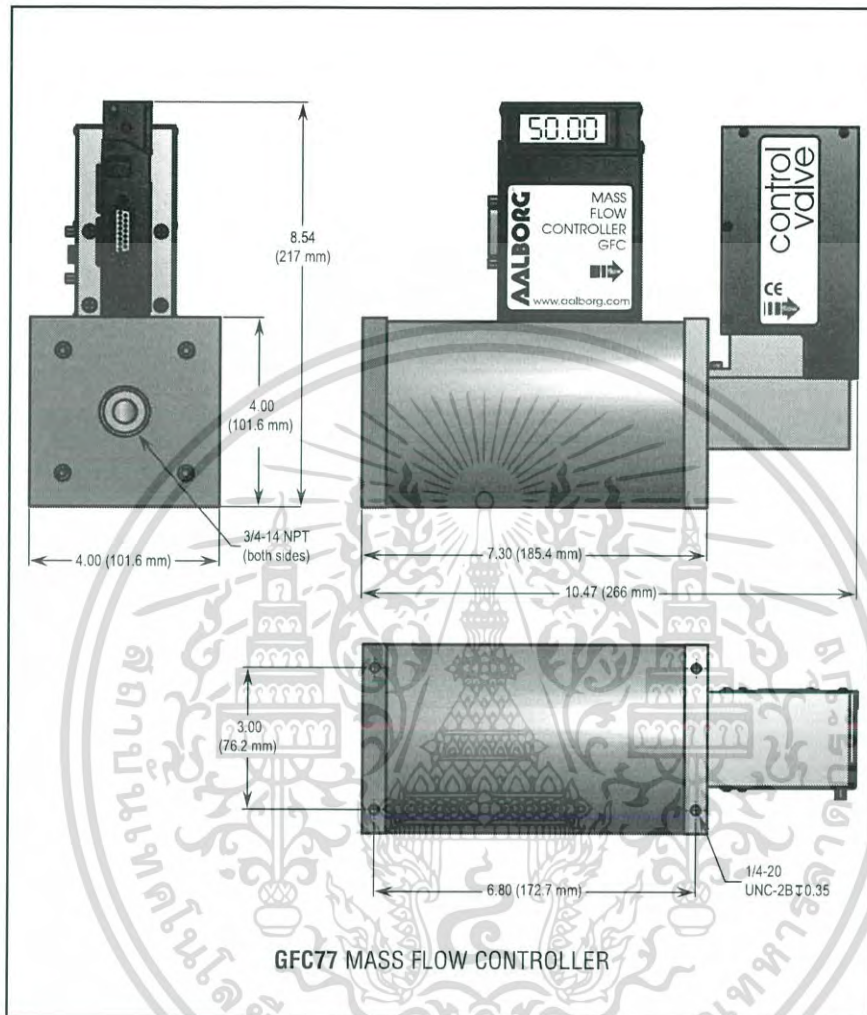
NOTE: Aalborg® reserves the right to change designs and dimensions at its sole discretion at any time without notice. For certified dimensions please contact Aalborg®.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



NOTE: Aalborg® reserves the right to change designs and dimensions at its sole discretion at any time without notice. For certified dimensions please contact Aalborg®.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



NOTE: Aalborg® reserves the right to change designs and dimensions at its sole discretion at any time without notice. For certified dimensions please contact Aalborg®.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPENDIX 4

WARRANTY

Aalborg® Mass Flow Systems are warranted against parts and workmanship for a period of one year from the date of purchase. Calibrations are warranted for up to six months after date of purchase, provided calibration seals have not been tampered with. It is assumed that equipment selected by the customer is constructed of materials compatible with gases used. Proper selection is the responsibility of the customer. It is understood that gases under pressure present inherent hazards to the user and to equipment, and it is deemed the responsibility of the customer that only operators with basic knowledge of the equipment and its limitations are permitted to control and operate the equipment covered by this warranty. Anything to the contrary will automatically void the liability of Aalborg® and the provisions of this warranty. Defective products will be repaired or replaced solely at the discretion of Aalborg® at no charge. Shipping charges are borne by the customer. This warranty is void if the equipment is damaged by accident or misuse, or has been repaired or modified by anyone other than Aalborg® or factory authorized service facility. This warranty defines the obligation of Aalborg® and no other warranties expressed or implied are recognized.

NOTE: Follow Return Procedures In Section 1.3.

⚠ CAUTION:

This product is not intended to be used in life support applications!

*The selection of materials of construction, is the responsibility of the customer.
The company accepts no liability.*

TRADEMARKS

Aalborg® is a registered trademark of Aalborg Instruments & Controls. *FCR®* is a registered trademark of Crawford Fitting Co.
Buna® is a registered trademark of DuPont Dow Elastomers. *Viton®* is a registered trademark of Dupont Dow Elastomers L.L.C.
Kalrez® is a registered trademark of DuPont Dow Elastomers.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sierra 810 Series
Mass-Trak[®]
Mass Flow Instruments

Instruction Manual

Part Number: IM-81

Revision D.3 05/08

SIERRA[®]
INSTRUMENTS
THE MASS FLOW COMPANY

CORPORATE HEADQUARTERS

5 Harris Court, Building L Monterey, CA 93940
Phone (831) 373-0200 (800) 866-0200 Fax (831) 373-4402
www.sierrainstruments.com

EUROPE HEADQUARTERS

Bijlmansweid 2 1934RE Egmond aan den Hoef
The Netherlands
Phone +31 72 5071400 Fax +31 72 5071401

ASIA HEADQUARTERS

Rm. 618, Tomson Centre, Bldg A, 188 Zhang Yang Road
Pu Dong New District, Shanghai, P.R.China
Phone: + 8621 5879 8521 Fax: +8621 5879 8586

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CUSTOMER NOTICE

Sierra Instruments, Inc. is not liable for any damage or personal injury, whatsoever, resulting from the use of Sierra Instruments standard mass flow meters or controllers for oxygen gas. You are responsible for determining if this mass flow meter or controller is appropriate for your oxygen application. You are responsible for cleaning the mass flow meter or controller to the degree required for your oxygen flow application.



© COPYRIGHT SIERRA INSTRUMENTS 2001

No part of this publication may be copied or distributed, transmitted, transcribed, stored in a retrieval system, or translated into any human or computer language, in any form or by any means, electronic, mechanical, manual, or otherwise, or disclosed to third parties without the express written permission of Sierra Instruments. The information contained in this manual is subject to change without notice.

TRADEMARKS

Mass-Trak® is a registered trademark of Sierra Instruments, Inc. Other product and company names listed in this manual are trademarks or trade names of their respective manufacturers.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE OF CONTENTS

Chapter 1 Introduction

Introduction.....	1-1
Using this Manual.....	1-2
Safety Information	1-3
Receipt of System Components	1-3
Technical Assistance	1-3
The 810 Series Flow Sensing Principle.....	1-4

Chapter 2 Installation

Installation Overview	2-1
Before Beginning an Installation.....	2-1
Installing the Transducer (Plumbing).....	2-2
Compression Fittings.....	2-2
VCO Fittings.....	2-3
VCR Fittings.....	2-3
1/4-inch Female NPT Fittings	2-3
Installing the Transducer (Electrical).....	2-4
D-connector PIN assignments	2-5

Chapter 3 Operation

Mass Flow Meter Operation	3-1
Mass Flow Controller Operation.....	3-1
Setpoint Adjustment.....	3-2
Setpoint Configuration.....	3-3
Over-Range Condition.....	3-4
Cold Sensor Lockout Circuit.....	3-4
Auto Shut-Off Function	3-5
Manual Valve Override	3-5
Valve Purge.....	3-5

Chapter 4 Maintenance

Flow Path Maintenance and Cleaning	4-1
Sensor Maintenance and Inspection	4-2
Valve Maintenance	4-3
Valve Adjustment Procedure.....	4-4
Transducer Calibration	4-5

Chapter 5 Troubleshooting

Transducer Troubleshooting Charts	5-1
Returning Equipment to the Factory.....	5-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix A Conversion Formulas and Gas Tables

Calculations	A-1
Gas Tables with K-factors.....	A-5

Appendix B Product Specifications

Operating Specifications	B-1
Performance Specifications	B-2
Physical Specifications	B-2
Mounting Dimensions (Nylon Body)	B-3
Dimensions—Stainless Steel Low Flow Body.....	B-4
Dimensions—Stainless Steel Medium Flow Body	B-5

Appendix C Pin Connections

Appendix D Purge and Valve Off Connections

List of Figures

1-1. Mass-Trak Features (Typical).....	1-1
1-2. Flow Paths through the Transducer	1-4
1-3. Flow Measuring Principle	1-4
1-4. Sensor Temperature Distribution	1-5
1-5. Linear Range of Transducer Output Signal	1-5
2-1. Minimum Restriction Diameters.....	2-4
2-2. Transducer D-Connector Pin Assignments	2-5
3-1. Dip Switch Settings.....	3-3
4-1. Stainless Steel Low Flow Internals.....	4-2
4-2. Stainless Steel Medium Flow Internals.....	4-2
4-3. Nylon Transducer Internals.....	4-2

Chapter 1 Introduction

Sierra's Mass-Trak™ mass flow meters and controllers are designed to accurately measure and control flows of process gases. This instruction manual covers the installation, operation and maintenance of the Mass-Trak product line, which includes the following Sierra models:

- Model 810M Mass-Trak Flow Meter
- Model 810C Mass-Trak Flow Controller
- Model 810S-L Mass-Trak Flow Controller for flows up to 15 SLPM
- Model 810S-M Mass-Trak Flow Controller for flows from 15 to 100 SLPM

All of these models can be ordered with or without a digital display.

Sierra Instruments' Series 810 Mass-Trak products can be calibrated to measure and control the mass flow rate of gases in several ranges from 0-10 standard cubic centimeters per minute (SCCM) to 0-100 standard liters per minute (SLPM). Accuracy is $\pm 1.5\%$ of full scale over a wide temperature and pressure range, and time response is 5 seconds to within 2% of set point. Detailed product specifications may be found in Appendix B.

Mass-Trak Design (typical)

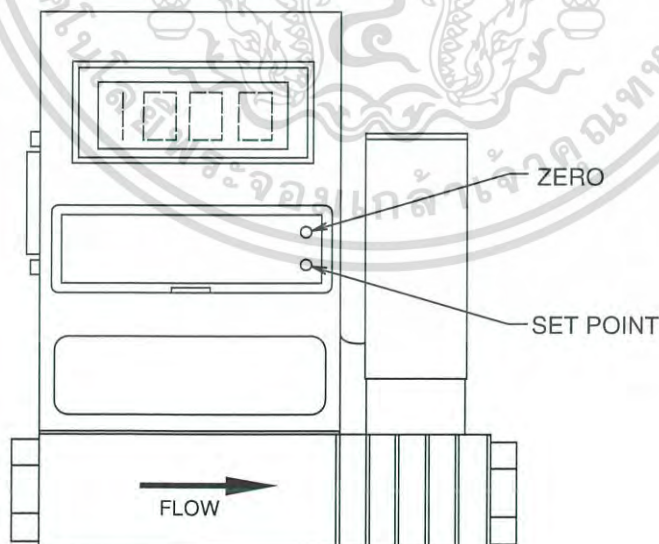


Figure 1-1. Mass-Trak Design (typical)

Mass-Trak is ideally suited to a wide range of gas flow applications including general process control, laboratories, instrument OEM's, gas panels, and flow calibration.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mass-Trak requires a regulated 24 VDC external power source. The 0-5 VDC and 4-20 mA output signals, which are linearly proportional to gas mass flow rate, are provided for recording, data logging, or control. A 15-pin “D” connector is provided for power input, output signal and set point control. Mass-Trak is available in a variety of configurations with either a nylon or stainless steel flow body. A 24VDC power supply is available as an option.

Using This Manual

This manual is organized into five chapters:

- Chapter 1 includes the introduction and theory of operation
- Chapter 2 provides installation, plumbing and wiring instructions
- Chapter 3 describes operation and features
- Chapter 4 covers routine maintenance
- Chapter 5 contains the troubleshooting guide and service recommendations

There are also 4 Appendices:

- Appendix A lists conversion formula and gas tables
- Appendix B includes the product specifications, dimensional drawings and mounting instructions
- Appendix C describes the PIN connections
- Appendix D describes the purge and valve off connections

Throughout this manual, we use the word *transducer* as a generic term to represent all models of Sierra’s 810 Series Mass-Trak instruments.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Safety Information

Caution and warning statements are used throughout this book to draw your attention to important information.



Warning!

This statement appears with information that is important to protect people and equipment from damage. Pay very close attention to all warnings that apply to your application.



Caution!

This statement appears with information that is important for protecting your equipment and performance. Read and follow all cautions that apply to your application.

Receipt of System Components

When receiving a Sierra transducer, carefully check the outside packing carton for damage incurred in shipment. If the carton is damaged, notify the local carrier and submit a report to the factory or distributor. Remove the packing slip and check that all ordered components are present and match your specifications (as ordered). Make sure any spare parts or accessories are not discarded with the packing material. Do not return any equipment to the factory without first contacting Sierra Customer Service.

Technical Assistance

If you encounter a problem with your transducer, review the configuration information for each step of the installation, operation and set up procedures as explained in this manual. Verify that your settings and adjustments are consistent with factory recommendations. Refer to Chapter 5, Troubleshooting, for specific information and recommendations.

If the problem persists after following the troubleshooting procedures outlined in Chapter 5, contact Sierra Instruments by fax or by E-mail (see inside front cover). For urgent phone support you may call (800) 866-0200 or (831) 373-0200 between 8:00 a.m. and 5:00 p.m. PST. In Europe contact Sierra Instruments by at +31 72 5071400. When contacting Technical Support, make sure to include this information:

- The flow range, serial number, Sierra order number and model number (all marked on the transducer nameplate)
- The problem you are encountering and any corrective action taken
- Application information (gas, pressure, temperature, pipe and fitting configuration)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The 810 Mass-Trak Flow Sensing Principle

The operating principle of Mass-Trak transducers is based on heat transfer and the first law of thermodynamics. During operation process gas enters the instrument's flow body, where it encounters the laminar flow bypass. The laminar flow bypass generates a pressure drop, $P_1 - P_2$, forcing a small fraction of the total flow to pass through the sensor tube (m_1). The remainder of the flow continues through the body (m_2). (Figure 1-2)

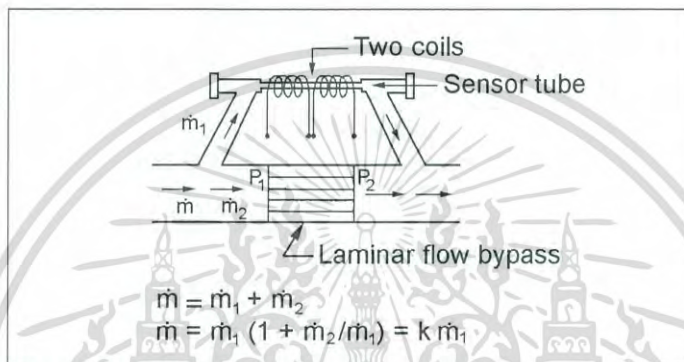


Figure 1-2. Flow Paths through the Transducer

Two resistance temperature detector (RTD) coils around the sensor tube direct a constant amount of heat (H) into the gas stream. In actual operation, the gas mass flow carries heat from the upstream coil to the downstream coil. The resulting temperature difference (ΔT) is detected by the RTD coils and gives the output signal. Since the molecules of the gas carry away the heat, the output signal is linearly proportional to gas mass flow. (Figure 1-3)

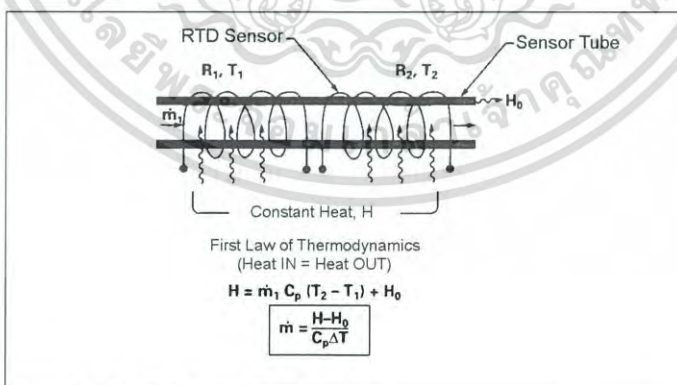


Figure 1-3. Flow Measuring Principle

Figure 1-3 shows the mass flow through the sensor tube as inversely proportional to the temperature difference of the coils.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

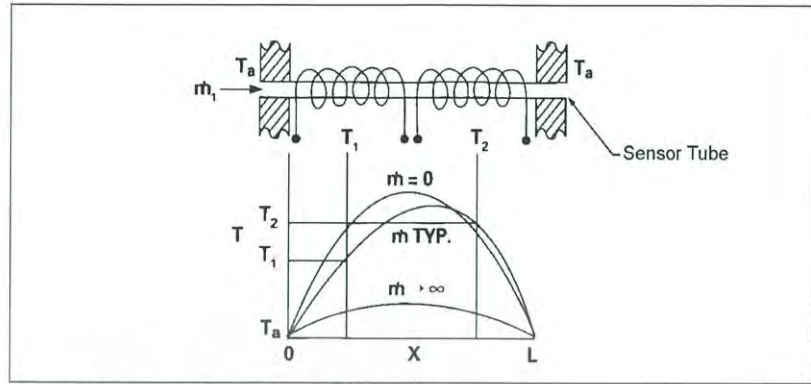


Figure 1-4. Sensor Temperature Distribution

The RTD coils are legs of a bridge circuit with an output voltage in direct proportion to the difference in the coils' resistance; the result is the temperature difference (ΔT), Figure 1-4. Two other parameters, heat input (H) and coefficient of specific heat (C_p) are both constant. The resulting output is nearly linear over the transducer's normal operating range (Figure 1-5).

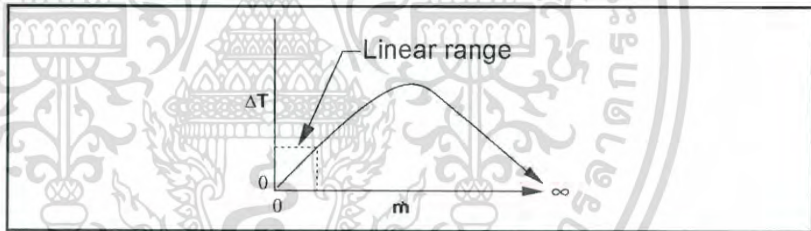


Figure 1-5. Linear Range of the Transducer's Output Signal

For mass flow *controllers*, once the gas flows through the monitoring section, it is then controlled by the built-in servo-control valve. All models of the Mass-Trak utilize Sierra's proprietary high-efficiency Fast-Trak Electromagnetic Valve. The normally closed Fast-Trak valve is similar to an on/off solenoid valve, except that the current to the valve coil, and hence the magnetic field, is modulated so that the ferromagnetic valve armature, or valve plug, assumes the exact height above the valve's orifice required to maintain the valve's command flow. The result is nearly infinite resolution.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 2 Installation

Installation Overview

Mass-Trak™ transducers are supplied with female NPT, compression, VCO, or VCR process connections. To ensure a successful installation, inlet and outlet tubing should be in a clean state prior to plumbing the transducer into the system. The shipping caps covering the inlet/outlet fittings should not be removed until immediately prior to installation.

Before Beginning the Installation

Before installing the transducer, verify the following:

1. Ensure that the installation site conforms to the specific operating parameters recorded on the transducer's nameplate. This is critical as each transducer is factory-configured for a specific gas and flow range, pressure differential, temperature range and mounting orientation. The line pressure should not exceed the upper limit for the model in hand: 150 psig (Models 810M, 810C), 500 psig (Model 810S-M) or 1000 psig (Model 810S-L). The temperature should not exceed 122°F (50°C).
2. Double-check to be sure that the transducer o-ring material is compatible with the gas to be measured.
3. If the gas contains any particulate matter, install an in-line filter upstream of the transducer. Recommended filter size: 15 micron for flows of 10 to 30 slpm, 30 micron for flows above 30 slpm.
4. Do not locate the transducer in areas subject to sudden temperature changes, excessive moisture, frequent drafts or near equipment radiating significant amounts of heat. Be sure to allow adequate space for cable connectors and wiring.
5. Ensure the installation location provides a minimum of two inches of straight pipe upstream and downstream from the process connections.
6. For controllers, use a properly sized pressure regulator and verify that the controller orifice size is the smallest in the system. There can be no restrictions (such as valves, tubing or pipe internal diameters, reducers, etc.) upstream or downstream of the controller with a dimension that is less than the valve orifice diameter.
7. Output Signals: The Mass-Trak has 0-5 VDC (0-10 VDC optional) and 4-20 mA output signals that are linearly proportional to the gas mass flow rate. The instrument was calibrated using either voltage or current output as specified on the data tag. Note that there may be a slight difference between the voltage and the current output signals (up to

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1%). Using the output that is recorded on the data tag will optimize instrument performance.
8. **Integral Display:** The 3 1/2 digit LCD display reads directly in engineering units or percent of full scale. The full-scale range and gas are shown on the instrument data tag. The decimal point for the flow rate is set at the factory and will show automatically (e.g., “5.54” SLM or “76.4” %).
 9. Over range conditions are indicated by the display and/or output going to a high level, approximately 150% of the full-scale range. After the over-range condition has been removed, it may take several minutes for the Mass-Trak to recover and resume normal operation.
 10. The transducer has stringent power supply requirements. Because the valve on flow controllers is operated in a control loop, power supply variations cannot be tolerated. See Appendix B for a complete listing of power requirements.

Installing the Transducer-Plumbing

Follow the installation instructions that are applicable to your transducer’s process connection. Before use, all plumbing should be checked carefully for leaks and the transducer should be purged with dry nitrogen. Ensure that the tubing is free from burrs, or sharp rims that may result from cutting.

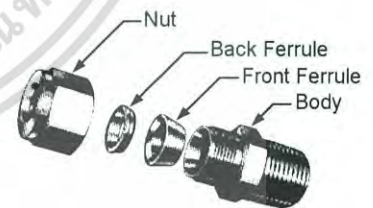
CAUTION: All instruments are leak-tested prior to shipping. To check your installation, test the fittings only. Do not use liquid leak detectors such as Snoop® to search for leaks inside or outside the Mass-Trak. Instead, monitor pressure decay.



Caution!
Only qualified personnel should install the transducer.

Compression Fittings

1. Position the transducer with the flow direction arrow pointing in the direction of flow.
2. Verify the position of the front and back ferrule as shown above. Insert the tubing into the fitting. Be sure that the tubing rests firmly on the shoulder of the fitting and that the nut is finger-tight. Scribe the nut at the six o’clock position.
3. While holding the fitting body steady with a backup wrench, tighten the nut 1-1/4 turns, watching the scribe mark make one complete revolution and continue to the nine o’clock position. For 1/16-inch, 1/8-inch and 3/16-inch (2, 3 and 4 mm) sizes, tighten only 3/4 turns from finger-tight. Do not over-tighten!



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต่ออายุจนถึงวันหมดอายุของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีแก้ไข

4. Check the system's entire flow path thoroughly for leaks. (Do not use liquid leak detectors. Instead, monitor pressure decay. Exposing the transducer to leak detector fluid may damage the unit.)

VCO Fittings

1. Position the transducer with the flow direction arrow pointing in the direction of flow.
2. Tighten the nut finger-tight, and then 1/4 turn tighter with a wrench. Do not over-tighten!
3. Check the system's entire flow path thoroughly for leaks. (Do not use liquid leak detectors. Instead, monitor pressure decay. Exposing the transducer to leak detector fluid may damage the unit.)

VCR Fittings

1. Position the transducer with the flow direction arrow pointing in the direction of flow.
2. Install new washers that are compatible with the gas to be used.
3. Tighten the nut finger-tight, and then 1/4 turn tighter with a wrench. Do not over-tighten!
4. Check the system's entire flow path thoroughly for leaks. (Do not use liquid leak detectors. Instead, monitor pressure decay. Exposing the transducer to leak detector fluid may damage the unit.)

1/4 inch Female NPT (standard on nylon flow bodies)

1. Position the transducer with the flow direction arrow pointing in the direction of flow.
2. Use a good quality paste pipe thread sealant. Apply to the inlet and outlet fittings.
3. Tighten the fittings by hand. Then, tighten no more than 1 turn. Caution! Do not over-tighten. Damage to the instrument may result from over-tightening fittings.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPORTANT—Straight-run requirement (critical for nylon flow body instruments)

Install a section of straight pipe at least five pipe diameters in length upstream of the transducer. DO NOT use reducers. In the case of a flow meter, at least two pipe diameters downstream are required for optimum performance. In the case of a flow controller, there can be no restrictions (such as valves, tubing or pipe internal diameters, reducers, etc.) upstream or downstream of the MFC with a dimension that is less than the valve orifice diameter. Failure to comply with this requirement will result in severely impaired performance and possible oscillations in flow controllers. Refer to Table 2-1 below for minimum restriction diameters upstream or downstream of the flow controller.

Flow Ranges Relative to N ₂	Valve Orifice Diameter (Typical-in inches)
0-10 to 0-2000 SCCM	0.020
0-2 to 0-11 SLM	0.040
0-11 to 0-22 SLM	0.055
0-15 to 0-28 SLM	0.063
0-20 to 0-50 SLM	0.073
0-51 to 0-73 SLM	0.094
0-61 to 0-100 SLM	0.110

Table 2-1 Typical Minimum Restriction Diameters (Under Standard Pressure Conditions of 30 PSIG Inlet and Ambient Outlet)

Installing the Transducer—Mechanical Mounting

Please refer to Appendix B for mechanical mounting instructions.

Installing the Transducer—Electrical Connections

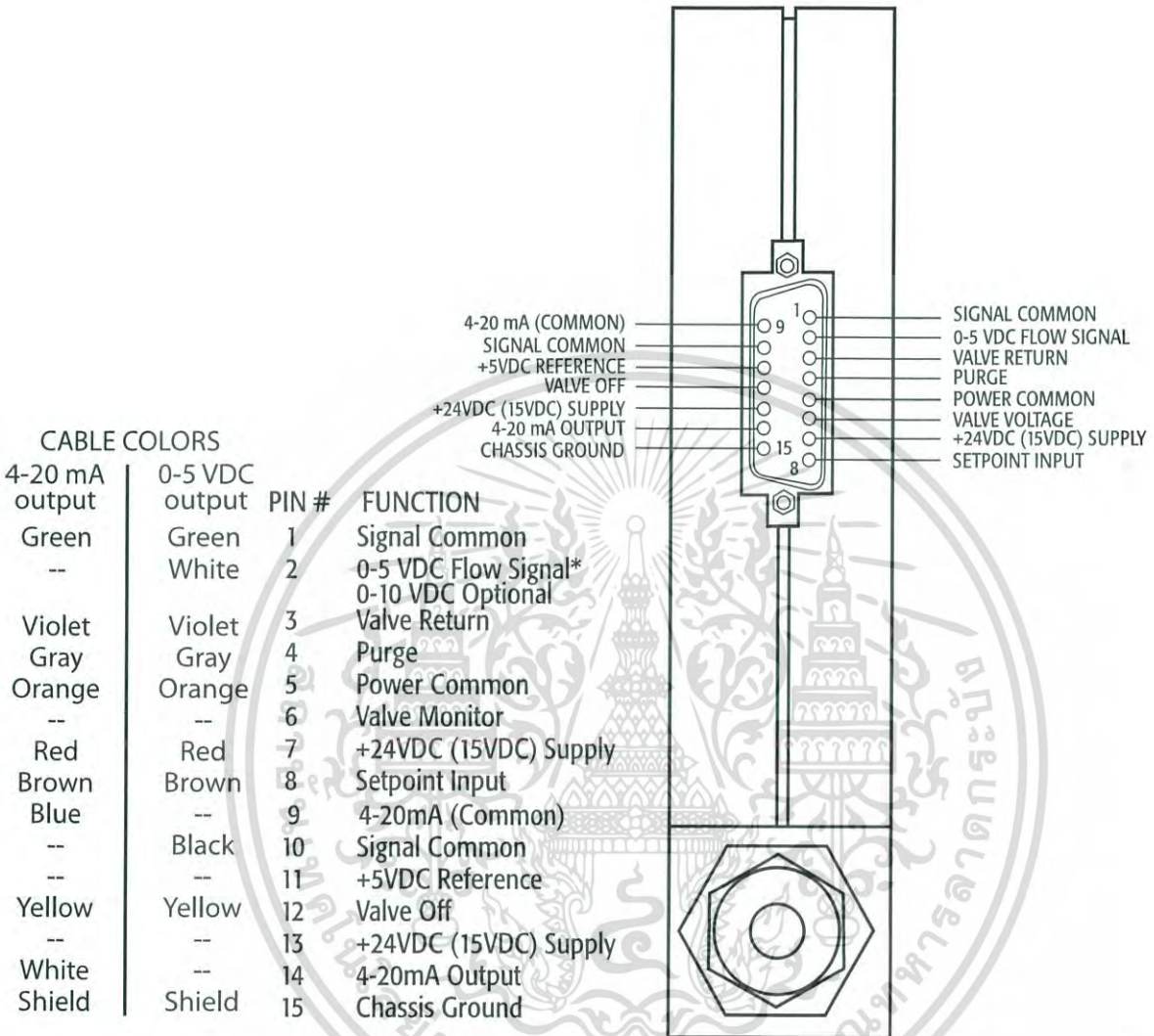


Caution!

The transducer is not a loop-powered device! Do NOT apply power to the 4-20 mA output or input connections.

The Mass-Trak transducers require a 24VDC power supply. If you are using the Power-Pak power supply, connect it to the 15-pin “D” connector on the side of the transducer. If you are supplying your own power source, it must be a regulated 24 VDC with ripple not to exceed 100 mV peak to-peak and capable of producing at least 340 mA (8 watts).

Mass-Trak is provided with a 15-pin “D” connector located on the side of the enclosure. The pin numbers and assignments for the Mass-Trak “D” connector are shown in Figure 2-2. The connections for input power, output signal and input signal (controllers only) are supplied via the “D” connector. Additional pin assignments can be found in Appendix C.



Note: Pins 1, 3, 5, 9 and 10 are all tied together internally. However it is highly recommended that at least one "signal common", one "power common" and the " valve return" pins be connected to the power supply common via separate wires, so that no ground loops are introduced, (especially on cables longer than ten feet)

Figure 2-2. Transducer D-Connector Pin Assignments

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 3 Operation

This chapter covers transducer operation and controller features available on Sierra's Mass-Trak™ models.

Standard output for all transducers are linear 0-5 VDC (0-10 VDC optional) and 4-20 mA output signals corresponding to 0 to 100% of the mass flow full-scale range. For mass flow controllers, an input signal of 0-5 VDC (0-10 VDC optional) or 4-20 mA, or use of the local set-point control, allows users to set the gas flow rate to any desired value within the range of the model. This input signal is a direct linear representation of 0 to 100% of the mass flow full-scale value.

Mass Flow Meter Operation (see below for Controllers)

After the transducer is installed and the system has undergone a complete leak check, follow these steps:



Caution!

The Mass-Trak is not a loop-powered device. Do not apply power to the 4-20 mA sections.

1. Apply power to your Mass-Trak using Sierra's power supply or your own input power source. When power is first applied, the output signal will remain at a high level until the sensor reaches its normal operating temperature range. This requires approximately 20 seconds, after which time (assuming no gas flow is present) the signal and display will drop to 0 VDC (or 4 mA). Allow at least an additional 15 minutes of additional warm-up time before performing any other performance checks or adjustments.
2. Perform an initial zero output check (required for first-time start ups only). Make certain there is no gas flowing through the instrument. If the input pressure listed on the instrument data label is atmospheric, turn on the meter and confirm that the display reads zero +/- 1.5% of full scale and that the output reads zero +/-0.075V or +/-0.24mA. If the reading exceeds these limits, you may adjust the zero potentiometer (located on the front panel—see Figure 1-1 in Chapter 1). Turning the potentiometer screw clockwise increases the zero. If the inlet pressure listed on the data label is greater than atmospheric, apply gas pressure to the instrument's inlet and block off the outlet in order to obtain the recorded static pressure. If necessary, adjust the zero as above.
3. Open the gas supply. Mass-Trak will begin monitoring the gas mass flow rate.

Mass Flow Controller Operation

After the transducer is installed and the system has undergone a complete leak check, follow these steps:

1. Ensure the set point is zero before applying power. If the setpoint input is not connected to some type of command control device, DIP switch #1 must be in the "internal source" position or the valve-off function must be activated (see Setpoint Adjustment and Configuration section

below). **Note: If no setpoint command is present on a controller when powered-up and the valve is not switched off, the valve may drift wide open.** (The valve will open momentarily when power is first applied).

2. Apply power to your Mass-Trak using Sierra's power supply or your own input power. When power is first applied, the output signal will remain at a high level until the sensor reaches its normal operating temperature range. This requires approximately 20 seconds, after which time (assuming no gas flow is present) the signal and display will drop to 0 VDC (or 4 mA). Allow at least 15 minutes of additional warm-up time before performing any other performance checks or adjustments.
3. Perform an initial zero output check (required for first-time start-ups only). Make certain there is no gas flowing through the instrument. Confirm that the display reads zero $\pm 1.5\%$ of full-scale and that the output signal is less than ± 0.075 VDC or ± 0.24 mA (this is maximum allowable within the accuracy specification of the transducer). If the reading exceeds these limits, you may adjust the zero potentiometer (located on the front panel—see Figure 1-1 in Chapter 1). Turning the potentiometer screw clockwise increases the zero.
4. Open the gas supply. Mass-Trak will begin monitoring the gas mass flow rate.
5. Adjust the controller set point to the desired flow rate. The effective control range of the unit is 10% to 100% of the calibrated full scale flow range. Below 2%, the control valve will automatically shut off the flow unless this function is disabled (see below).

Mass Flow Controller Features

Setpoint Adjustment

The setpoint input signal is a direct linear representation of 0-100% of the mass flow full-scale value. A 0 VDC (or 4 mA) set point will regulate the flow to 0% and a 5.00 VDC (20 mA) set point will adjust the flow to 100% of the instrument's calibrated range.

The setpoint signal may be applied externally or internally. If you wish to use the internal setpoint potentiometer, it may be accessed through the front panel. Turning the potentiometer clockwise increases the setpoint. Either 0-5 VDC (0-10 VDC optional) or 4-20 mA external setpoint commands are available through the D-connector. See Appendix C for wiring details.

When the command (setpoint) signal is applied, the flow controller will respond to changes in the setpoint within six seconds to $\pm 2\%$ of full scale of the selected flow rate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

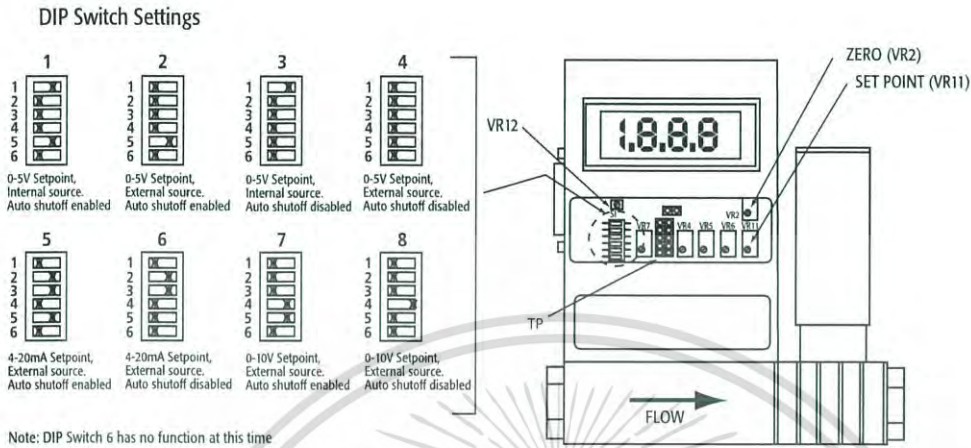


Figure 3-1 Component Location and DIP Switch Set-up of Mass-Trak

Setpoint Configuration (see Figure 3-1)

The DIP switches located behind the front panel on the Mass-Trak flow controllers are used to configure setpoint operation and the Automatic Shut-Off feature. The DIP switches are not enabled on the 810M flow meter.

All Mass-Trak controllers are set at the factory with the automatic shut off enabled. However, there is no default configuration for the set points. Each instrument is configured at time of calibration to the customer's specific requirements. Setpoint options include the on-board setpoint potentiometer (accessible through a hole in the front panel), or externally sourced 0-5 VDC or 4-20 mA setpoint. A factory installed option of 0-10 VDC input and output is also available. Consult factory if you are interested in the configurations for this special option.

Move DIP switch 1 to the right (ON) to select the internal on-board setpoint potentiometer. Move this switch to the left (OFF) to select an external setpoint. This is also the position required if you choose to use a local setpoint potentiometer.

Move DIP switches 2 and 3 to the right to select 4-20 mA setpoint input. Move these switches to the left to select 0-5 VDC setpoint.

DIP switch 4 is for use with the special-order 0-10 VDC option. Consult the factory for more information.

Move DIP switch 5 to the right to force the controller valve closed (auto shut-off) whenever the setpoint is less than 2% of full-scale. Move this switch to the left to disable the auto shut-off function. Remember that the valve on the Mass-Trak controllers is not a positive shut-off type.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูลทั้งหมดโดยไม่อนุญาตให้นำไปใช้
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A 5.1 VDC reference is provided for internal and external setpoint command pots. The reference provides approximately 0.125 volts headroom to allow for external cabling and ensures that the instrument will always reach full scale when using these inputs.

DIP switch 6 has no function at this time.

Over-Range

If the flow rate exceeds the full-scale range listed on your Mass-Trak's data label, the output signal and digital display will read a value above full-scale. The Mass-Trak has not been calibrated for over-ranged flows and will be both non-linear and inaccurate if an over-range condition exists. The 0-5 VDC (0-10 optional) and 4-20 mA outputs can exceed full scale by as much as 50%, or more. On the digital display, the display cannot exceed the four digits 1999. If the flow rate exceeds 1999, the right-most digits will appear blank and only the left-hand "1" will appear on the display.

Once the over-range condition has been removed, it may take several minutes for the Mass-Trak to recover and resume normal operation. An over-range condition will not harm the instrument.

Cold Sensor Lockout Circuit

Mass-Trak controllers incorporate a safety circuit that closes the valve when a fault condition is detected that could result in uncontrolled flow (valve wide open). The circuit operates by monitoring the temperature of the sensor elements and forcing the output high if the temperature falls below a preset limit. There are several conditions under which this may occur:

1. Operation at a temperature below that for which the instrument is rated.
2. Power failure while running at or near full-scale. Upon resumption of power, the valve will remain closed until the minimum operating temperature is reached.
3. A rapid, uncontrolled increase of gas flow through the transducer can create a cooling effect on the sensor, driving it below the preset limit. One possible scenario where this may occur is if backpressure downstream from the instrument is suddenly reduced. Another scenario is if the gas pressure should suddenly go to zero while the set point remains at a fixed position. This could occur if a valve upstream is closed, for example. When the pressure is re-instated, a rapid, uncontrolled gas flow could occur activating the cold sensor lockout circuit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Sensor failure.

The cold sensor lockout circuit is enabled during initial start-up. Its operation may be checked by observing the output signal or the LCD display (on models so equipped). The output signal or display will read high for the first 10 to 20 seconds. After that, assuming zero flow, the output will drop to 0 VDC or 4mA, depending on which output you are observing. If this occurs, the circuit is working properly.

Controller Auto Shut-Off Function

All flow controllers are normally provided with an Auto Shut-Off feature that closes the valve at a command signal level of 0.5-3% or less of full-scale. On the Mass-Trak, this feature is factory enabled by setting DIP switch 5 to the right to disable this feature, move DIP switch 5 to the left. The valve will then remain open even when the setpoint falls below 2% of full-scale.

Manual Valve Override (Manual Valve On-Off Control)

Manual valve override is provided for all mass flow controllers. This feature is available by connecting a manual on-off switch to the transducer D-connector across pins 3 and 12 (see Appendix D). Normal operation resumes when pin 12 is left floating.

Valve Purge Function of Mass-Trak Controllers

The purge function opens the controller valve completely for the purpose of purging the meter and for quickly flushing unwanted gas from the flow path. When the valve is opened for purging, it allows flows far in excess of the rated full scale of the controller. Because of the uncontrolled nature of the purge function, two conditions must be met before a controller can be purged:

The Manual Valve Override, if it is being used, must be in the ON or open state.

The Auto-Shutoff function cannot be active (the setpoint command signal must be above 2% of full scale or DIP switch 5 must be in the OFF position).

The activation of either the Manual Valve Override or the Auto-Shutoff function will override the purge command.

To activate purge, connect pin 4 of the 15-pin "D" connector to common through either a mechanical switch or an open-collector transistor or logic output capable of sinking at least 4mA (See Appendix D). The maximum voltage appearing on this pin is 5.0 VDC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Purging Non-Reactive Gases:

Purge the transducer with clean, dry nitrogen for a minimum of two hours.

Purging Reactive Gases:

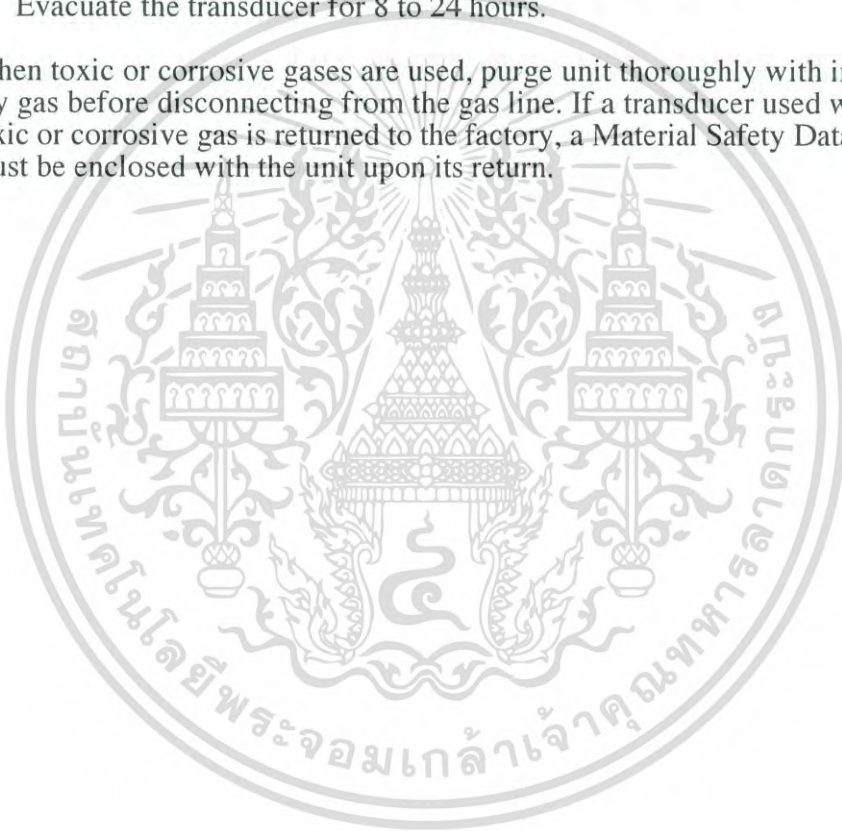
One of the following methods may be used:

- Cycle purge. This is done by alternately evacuating and purging the transducer for 2 to 4 hours with clean, dry nitrogen.
- Purge the transducer with clean, dry nitrogen for 8 to 24 hours.
- Evacuate the transducer for 8 to 24 hours.

When toxic or corrosive gases are used, purge unit thoroughly with inert dry gas before disconnecting from the gas line. If a transducer used with a toxic or corrosive gas is returned to the factory, a Material Safety Data Sheet must be enclosed with the unit upon its return.

**Caution!**

Always fully neutralize any toxic gas trapped inside the transducer before removing it



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 4 Maintenance

Mass-Trak™ transducers require very little scheduled maintenance. In the event that minor maintenance or adjustment is required, this chapter provides general instructions for:

- Flow Path Maintenance and Cleaning
- Sensor Maintenance and Cleaning
- Valve Maintenance and Adjustment
- Transducer Calibration

Flow Path Maintenance

The transducer flow path should be periodically inspected and cleaned as required. If an in-line filter is used, the filtering element should be replaced periodically or ultrasonically cleaned.

The flow path is made of 316 stainless steel or glass-filled nylon (wetted magnetic parts of the solenoid valve are 430F stainless steel) with Viton®, Neoprene®, or Kalrez® (or equivalent) seals, depending on the gas used.

If toxic or corrosive gases are used, purge unit thoroughly with inert dry gas before disconnecting it from the gas line. If a transducer used with a toxic or corrosive gas is returned to the factory, a Material Safety Data Sheet must be enclosed with the unit upon its return.

Cleaning the Mass-Trak

After purging (see Chapter 3), carefully remove the transducer from the gas line. You may find a fine-mesh filter screen inside the inlet of the instrument. Inspect the inlet fitting and the filter screen, if there is one, and blow away any particles resting in or adhering to this area with low-pressure compressed air. If the screen appears corroded or damaged it will need to be replaced. Contact the Sierra Instruments Customer Service Department before removing the fittings or the screen, as it is possible to shift calibration of the instrument at this point. If calibration shifts, you will have to return your instrument to an authorized repair center for recalibration.



Caution!

Always fully neutralize any toxic gas trapped inside the transducer before removing from the gas line.



Caution!

Do not disassemble the instrument without contacting the Sierra Instruments customer service department.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

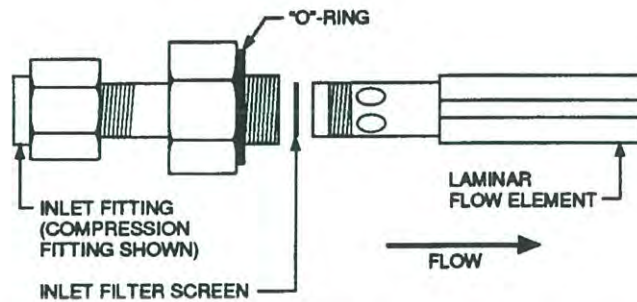


Figure 4-1. Stainless Steel Low Flow Transducer Internals

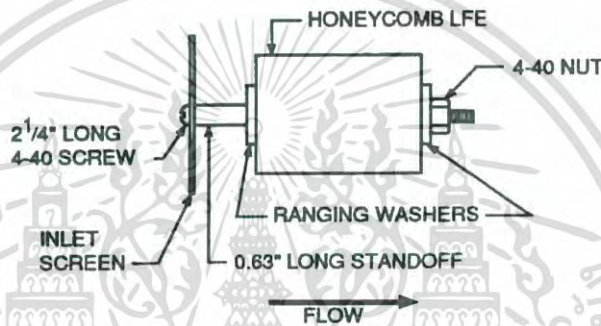


Figure 4-2. Stainless Steel Medium Flow Transducer Internals

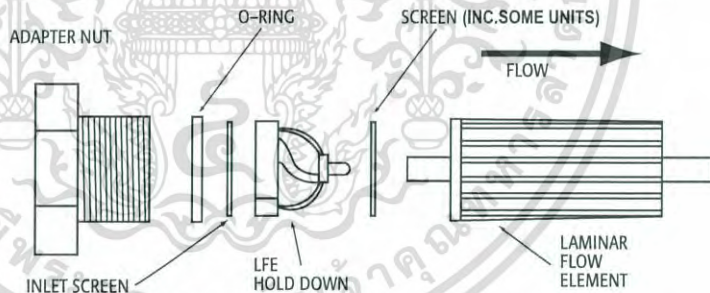


Figure 4-3 Nylon Transducer Internals



Caution!

Do not remove the sensor cover, this could shift transducer calibration.

Sensor Maintenance

The sensor tube is straight and has a relatively large, 0.031 inch ID. On the nylon flow body instruments, there is no access to the sensor, so any service must be performed by a qualified Service Center. The stainless-steel flow bodies, however, are provided with convenient access ports to make inspection and cleaning easy. Sensor maintenance on these steel-body instruments consists of inspecting and cleaning the sensor flow path.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

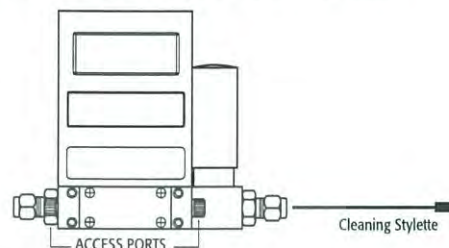
**Caution!**

When using toxic or corrosive gases, purge the unit with inert dry gas before disconnecting from the gas line.

Sensor Inspection and Cleaning

Cleaning is accomplished by simply rodding out the sensor with the Sensor Cleaning Stylette, available from Sierra for this purpose. To access the sensor for inspection or cleaning:

1. Remove the instrument from the system.
2. Remove the two socket head access port plugs with a 1/4 inch Allen wrench.
3. Visually inspect the sensing ports and sensor. If signs of moisture or corrosion are present, contact the Sierra Instruments Customer Service Department.
4. Use a hemostat or tweezers to push the cleaning Stylette into the downstream opening of the sensor tube. Move it back and forth inside the sensor tube—DO NOT FORCE, TWIST OR ROTATE.
5. Flush the sensor tube with a non-residuous solvent. In cases where solids are deposited in sensor, the instrument should be returned to the factory for complete cleaning and re-calibration.
6. Blow-dry all parts with dry nitrogen and re-assemble.
7. After the transducer is re-installed in the system, leak test the connection. CAUTION: Do not use liquid leak detectors to search for leaks inside or outside the instrument. Instead, monitor pressure decay.



Valve Maintenance

All Mass-Trak Flow Controllers use the same valve. Other than an occasional cleaning, these electromagnetic valves require no maintenance under normal operating conditions. Opening the valve, using the purge function and flushing in both directions are usually all that is required. If you have reason to believe that additional cleaning is required, do not disassemble the valve. Contact Sierra Instruments' Customer Service Department.

Use of certain corrosive gases may necessitate frequent replacement of the valve seat and O-rings. This problem can be solved by installing the appropriate elastomers in your instrument. Viton® is standard, with Neoprene®, Kal-Rez® (or equivalent), and PFA Teflon® offered as options on the Stainless Steel Flow Bodies.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Valve Adjustment

Mass-Trak controls flow with a proportional electromagnetic valve that is set up for certain process operation conditions. Variables that affect its operation include orifice size, spring selection and adjustment, and input and output pressures. If operating conditions change it may be necessary to make a valve spring adjustment. An adjustment may also be required due to dimpling of the valve seat or spring sag, both of which can cause a change in the internal dimensions of the valve. Please note that performing the following procedure will NOT affect your transducer's calibration and MUST be performed with the instrument installed at normal operating conditions.

An incorrectly adjusted valve can be detected by one of the following symptoms:

- **Leakage at a zero set point**
- **The instrument will not reach maximum flow**
- **The output is unstable**
- **Valve oscillation**

The following valve adjustment procedure can be followed to correct the above conditions. You will need:

- 1/16" hex wrench
- 5/16" nut driver or socket

All controllers should be thoroughly leak-tested following any valve adjustment. **CAUTION:** Do not use liquid leak detectors to search for leaks inside or outside the instrument. Instead, monitor pressure decay.

Procedure:

If the instrument is experiencing leak-by with a zero setpoint, remove the plastic cover from the top of the solenoid valve, located to the right of the electronics enclosure. Apply inlet and outlet pressures to the controller as recorded on either the data label or Calibration Certificate of your instrument. Loosen the 5/16" lock nut (not the large, white, plastic nut, but the smaller one on top of it.) Adjust the center adjustment screw (using a 1/16" hex wrench) slowly, clockwise, 1/8 turn at a time. This increases the spring tension in the valve. Continue until the leak-by subsides. Next, adjust this screw clockwise one half-turn past this point, tighten the locknut and replace the cap. Test the controller operation at various setpoints over its operational range.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

If your unit is experiencing one of the other symptoms listed above, remove the small front access door to expose the test points, pots and DIP switches. (see figure 3.1)

TESTPOINT BLOCK (labeled TP in Figure 3.1):

Setpoint	TP10 *	* TP9	Valve +
+5V Reference	TP8 *	* TP7	4-20mA out
0-5 volt out	TP6 *	* TP5	Common
Bias Voltage	TP4 *	* TP3	Test Flow Signal
Sensor Amp	TP2 *	* TP1	Bridge Voltage

1. Connect a voltmeter to test points 9 (Valve +) and 5 (Common) and set the scale for 30 volts or higher.
2. Apply two set points, one at 5% full scale and then one at 100% full scale – either locally or remotely (be sure the dip switches are in the proper positions). Monitor the valve voltage at each point. The acceptable range for the valve voltage is 6 to 18 VDC over these two set points.
3. If the valve voltage is outside of these specifications, loosen the 5/16” lock nut, and adjust the center adjustment screw. Turning clockwise will increase the valve voltage, while turning counterclockwise will decrease it. Adjust slowly, 1/8 turn at a time while monitoring valve performance. When the desired voltage is obtained, the symptoms should disappear and the lock nut can be re-tightened.
4. Re-install the front access door and conduct a final check for leak-by with a zero set point, paying particular attention to the seal on the adjusting screw. Remember to monitor pressure decay only, as liquid leak detectors may damage the instrument.



Caution!
It is important that only qualified personnel calibrated this transducer.

If these adjustments do not restore proper performance to your Mass-Trak, contact Sierra Instruments' Technical Support Department.

Transducer Calibration

Calibration of Sierra's flow meters and controllers requires a calibration standard of at least equal accuracy and preferably an order of magnitude greater. เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ standard of at least equal accuracy and preferably an order of magnitude การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

better than the transducer, and a skilled technician familiar with the Mass-Trak transducer. It is recommended that Mass Trak meters and controllers be returned to the factory for annual calibration.

Sierra Instruments maintains two fully equipped calibration facilities: one at the USA headquarters and the other at the European headquarters. All measuring and test equipment used in the calibration of Sierra transducers is traceable to NIST standards. Sierra is ISO-9001 registered and conforms to the requirements of ANSI/NCSL-Z540 and ISO/IEC Guide 25. If your instrument has been damaged or you simply want to have the transducer re-calibrated, see Chapter 5 or contact the factory for return shipping instructions.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 5 Transducer Troubleshooting

When you suspect that the transducer is not operating correctly, there are a few simple checks that can be made before taking the unit out of service:

1. Make certain that there are no leaks in the gas line.
2. Check that all cables are connected and are in good condition.
3. Verify that the power supply is in the correct range and properly connected to the transducer.
4. Double check connector pin-outs if replacing another manufacturer's transducer.
5. Verify that the DIP switches are configured correctly for your application.
6. Verify that there is adequate inlet gas pressure to the transducer, that there are no downstream restrictions and that any upstream valves are open to allow sufficient gas flow to reach the instrument.

The following information is provided to help locate the cause of a transducer failure. It is not intended to be an all inclusive repair guide. For most repairs, the unit should be returned to the factory for service.

Problem	Possible Cause	Solution
No output	Clogged sensor	Clean or replace sensor
	PCB defective	Repair or replace PCB
	Inlet filter screen clogged	Clean or replace screen
Unit will not zero	Gas leak	Find and correct leaks
	Internal leak-by condition	Perform valve adjustment
	Application requires high pressure and non-horizontal mounting	Re-zero transducer
	PCB defective	Repair or replace PCB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Controller does not respond to set point	Low or no gas pressure	Set correct gas pressure
	Faulty cable or connector	Correct or replace
	Set point is below 2% of full scale	Increase set point or disable auto shut off circuit
	DIP switches improperly set	Re-configure DIP switches
Flow does not match set point	No gas pressure (or low pressure)	Set correct gas pressure
	Inlet filter screen clogged	Clean or replace
	Out of adjustment	Consult factory
Reads full scale with no flow or with valve shut	Gas Leak	Find and correct leaks
	Defective Sensor	Return to factory for replacement
Out of calibration	Dirty or clogged sensor	Clean or replace sensor
	Change in composition of gas	See K-factor tables
	Gas leak	Find and correct leaks
	PCB defective	Repair or replace PCB
	LFE dirty	Consult factory
	Inlet filter screen clogged	Clean or replace screen
	Reference conditions incorrect	Check reference conditions on data label and correct as required.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Returning Equipment to the Factory

Before returning any transducer to the factory, you must request and complete a Sierra Calibration/Repair Data Sheet. To obtain the data sheet contact Customer Service at:

USA Headquarters
Sierra Instruments
Service Department
5 Harris Court, Building W
Monterey, CA 93940

Ph. (800) 866-0200 or (831) 373-0200
Fx. (831) 373-2414

European Headquarters
Sierra Instruments b.v.
Service Department
Bijlmansweid 2
1934RE Egmond a/d Hoef
The Netherlands

Ph. +31 72 5071400
Fx. +31 72 5071401

When returning a component, make sure to include the completed Calibration/Repair Data Sheet and send the item to the appropriate address above. If an instrument used with any toxic or corrosive gas is returned to the factory, a Material Safety Data Sheet must accompany the instrument.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix A Conversion Formulas and Gas Tables

Calculations For Use with a Pure Gas

The following tables provide K-factors and thermodynamic properties of gases commonly used with mass flow meters and controllers. The purpose of these tables is two-fold:

1. Calibrating an “actual” gas with a reference gas. This is particularly useful if the actual gas is not a common gas or if it is toxic, flammable, corrosive, etc.
2. Interpreting the reading of a flow meter or flow controller that has been calibrated with a gas other than the actual gas.

In applying the tables, the following fundamental relationship is used:

$$Q_1/Q_2 = K_1/K_2 \quad (1)$$

Where:

Q = The volumetric flow rate of the gas referenced to standard conditions of 0°C and 760 mm Hg (sccm or slm),

K = The K-factor defined in equation (6),

$()_1$ = Refers to the “actual” gas, and

$()_2$ = Refers to the “reference” gas.

The K-factor is derived from the first law of thermodynamics applied to the sensor tube, as described in Chapter 1:

$$H = \frac{\dot{m}C_p\Delta T}{N} \quad (2)$$

Where:

H = The constant amount of heat applied to the sensor tube,

\dot{m} = The mass flow rate of the gas (gm/min)

C_p = The coefficient of specific heat of the gas (Cal/gm);
 C_p is given in the Table (at 0°C),

ΔT = The temperature difference between the downstream and upstream coils, and

N = A correction factor for the molecular structure of the gas given by the following table:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเห็นาไปเซบระโยชนค่านการค้ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Number of Atoms in the Gas Molecule	N
Monatomic	1.040
Diatomic	1.000
Triatomic	0.941
Polyatomic	0.880

The mass flow rate, \dot{m} , can also be written as:

$$\dot{m} = \rho Q \quad (3)$$

Where:

ρ = The gas mass density at standard conditions (g/l); ρ is given in the tables (at 0°C, 760 mm Hg).

Furthermore, the temperature difference, ΔT , is proportional to the output voltage, E , of the mass flow meter, or

$$\Delta T = aE \quad (4)$$

where:

a = A constant.

If we combine equations (3) and (4), insert them into equation (2), and solve for Q , we get

$$Q = (bN/\rho C_p) \quad (5)$$

where:

$b = H/aE = a$ constant if the output voltage is constant.

For our purposes, we want the ratio of the flow rate, Q_1 , for an actual gas to the flow rate of a reference gas, Q_2 , which will produce the same output voltage in a particular mass flow meter or controller. We get this by combining equations (1) and (5):

$$Q_1/Q_2 = K_1/K_2 = (N_1/\rho_1 C_{p1})/(N_2/\rho_2 C_{p2}) \quad (6)$$

Please note that the constant b cancels out. Equation (6) is the fundamental relationship used in the accompanying tables. For convenience, the tables give "relative" K -factors, which are the ratios K_1/K_2 , instead of the K -factors themselves. In the tables, the relative K -factor is

K_{actual}/KN_2 where the reference gas is the commonly used gas, nitrogen (N_2). The remaining columns give C_p and ρ , enabling you to calculate K_1/K_2 directly using Equation (6). In some instances, K_1/K_2 from the tables may be different from that which you calculate directly. The value from the tables is preferred because in many cases it was obtained by experiment. Sierra calibrates every transducer with primary standards using the actual gas or a molecular equivalent

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ บริษัท ซีเรีย แมทิวเรียล จำกัด การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

reference gas. The calibration certificate accompanying the transducer cites the reference gas used.

Example 1:

A transducer is calibrated for nitrogen (N_2), and the flow rate is 1000 sccm for a 5.000 VDC output signal. The flow rate for carbon dioxide at a 5.000 VDC output is:

$$Q_{CO_2}/Q_{N_2} = K_{CO_2}/K_{N_2}, \text{ or}$$

$$Q_{CO_2} = (0.74/1.000)1000 = 740 \text{ sccm}$$

Example 2:

A transducer is calibrated for hydrogen (H_2), and the flow rate is 100 sccm for a 5.000 VDC output signal. The flow rate for nitrous oxide (N_2O) is found as follows:

$$Q_{N_2O}/Q_{H_2} = K_{N_2O}/K_{H_2}, \text{ or}$$

$$Q_{N_2O} = (0.71/1.01) 100 = 70.3 \text{ sccm}$$

Note that the K-factors relative to nitrogen must be used in each case.

Calculating Dual Gas Mixtures

Equation (6) is used for gas mixtures, but we must calculate $N/\rho C_p$ for the mixture. The equivalent values of ρ , C_p , and N for a dual gas mixture are given as follows:

The equivalent gas density is:

$$\rho = (\dot{m}_1 \dot{m}_T \rho_1 + \dot{m}_2 \dot{m}_T \rho_2 / \dot{m}_T)$$

Where:

$$\dot{m}_T = \dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \text{Total mass flow rate (gm/min),}$$

()₁ = Refers to gas #1, and

()₂ = Refers to gas #2

The equivalent specific heat is:

$$C_p = F_1 C_{p1} + F_2 C_{p2}$$

Where:

$$F_1 = (\dot{m}_1 \rho_1) / (\dot{m}_T \rho)$$
 and

$$F_2 = (\dot{m}_2 \rho_2) / (\dot{m}_T \rho)$$

The equivalent value of N is:

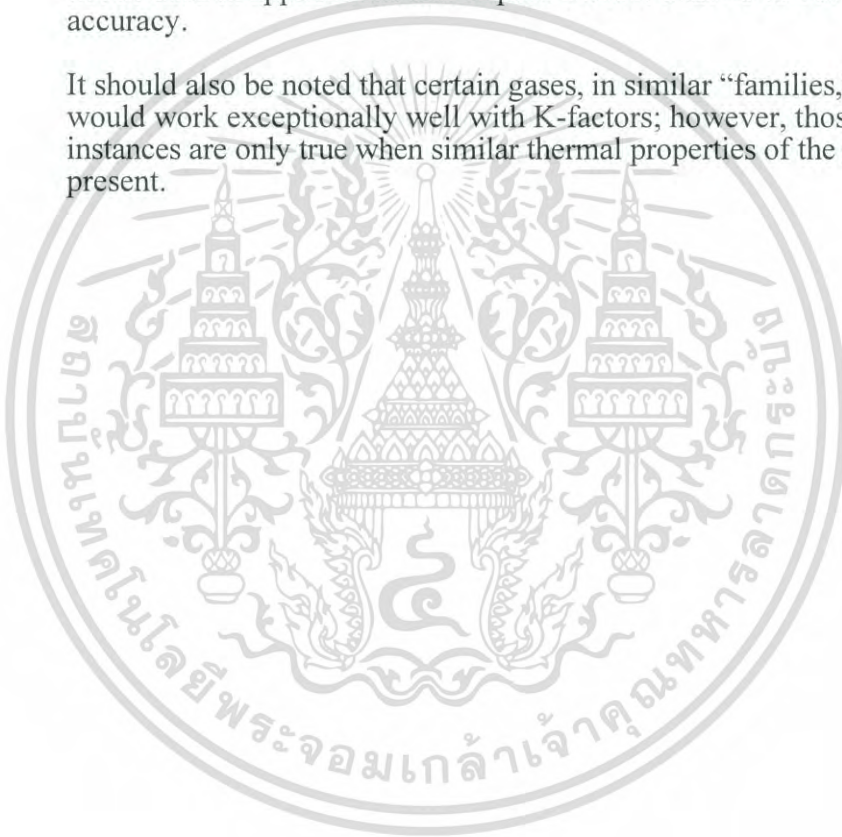
$N = (\dot{m}_1 \dot{m}_T \rho_1 + \dot{m}_2 \dot{m}_T \rho_2 / \dot{m}_T) N$ ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The equivalency relationships for ρ , C_p , and N for mixtures of more than two gases have a form similar to the dual-gas relationship given above.

IMPORTANT NOTE ABOUT K-FACTORS:

Please note that if you have a transducer calibrated for a gas such as methane and wish to use the K-factors to measure a gas such as air, the inaccuracy of the measurement can range from ± 5 to 10%. The use of K-factors is, at best, only a rough approximation and should not be used in applications that require a better than ± 5 to 10% accuracy.

It should also be noted that certain gases, in similar “families,” would work exceptionally well with K-factors; however, those instances are only true when similar thermal properties of the gas are present.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gas Tables and K-factors

Actual Gas	Chemical Symbol	K-factor Relative N2	Cp (Cal/g)	Density (g/l) @ 0°C	Elastomer* O-ring	Valve Seat	Nylon Compatible
Acetylene	C ₂ H ₂	.58	.4036	1.162			
Air		1.00	.240	1.293			
Allene (Propadiene)	C ₃ H ₄	.43	.352	1.787		KR	
Ammonia	NH ₃	.73	.492	.760	NEO	NEO	
Argon	Ar	1.45	.1244	1.782			
Arsine	AsH ₃	.67	.1167	3.478		KR	
Boron Trichloride	BCL ₃	.41	.1279	5.227	KR	KR	
Boron Trifluoride	BF ₃	.51	.1778	3.025		KR	
Boron Tribromide	Br ₃	.38	.0647	11.18		KR	
Bromine	Br ₂	.81	.0539	7.130			NO
Bromine Pentafluoride	BrF ₅	.26	.1369	7.803		KR	NO
Bromine Trifluoride	BrF ₃	.38	.1161	6.108		KR	NO
Bromotrifluoromethane (Freon-13 B1)	CBrF ₃	.37	.1113	6.644			
1,3-Butadiene	C ₄ H ₆	.32	.3514	2.413			
Butane	C ₄ H ₁₀	.26	.4007	2.593	NEO	KR	
1-Butane	C ₄ H ₈	.30	.3648	2.503	NEO	KR	
2-Butane	C ₄ H ₈ CIS	.324	.336	2.503	NEO	KR	
2-Butane	C ₄ H ₈ TRANS	.291	.374	2.503			
Carbon Dioxide	CO ₂	.74	.2016	1.964			
Carbon Disulfide	CS ₂	.60	.1428	3.397			
Carbon Monoxide	CO	1.00	.2488	1.250			
Carbon Tetrachloride	CCL ₄	.31	.1655	6.860		KR	NO
Carbon Tetrafluoride (Freon-14)	CF ₄	.42	.1654	3.926		KR	
Carbonyl Fluoride	COF ₂	.54	.1710	2.945			
Carbonyl Sulfide	COS	.66	.1651	2.680			
Chlorine	CL ₂	.86	.1144	3.163		KR	NO
Chlorine Trifluoride	CLF ₃	.40	.1650	4.125		KR	
Chlorodifluoromethane (Freon-22)	CHCLF ₂	.46	.1544	3.858		KR	
Chloroform	CHCL ₃	.39	.1309	5.326		KR	
Chloropentafluoroethane (Freon-115)	C ₂ CLF ₅	.24	.164	6.892		KR	
Chlorotrifluoromethane (Freon-13)	CCLF ₃	.38	.153	4.660		KR	
Cyanogen	C ₂ N ₂	.61	.2613	2.322		KR	
Cyanogen Chloride	CLCN	.61	.1739	2.742			
Cyclopropane	C ₃ H ₅	.46	.3177	1.877		KR	
Deuterium	D ₂	1.00	.1722	1.799			
Diborane	B ₂ H ₆	.44	.508	1.235		KR	
Dibromodifluoromethane	CBr ₂ F ₂	.19	.15	9.362		KR	
Dibromomethane		.47	.075	7.76		KR	
Dichlorodifluoromethane (Freon-12)	CCL ₂ F ₂	.35	.1432	5.395		KR	
Dichlorofluoromethane (Freon-21)	CHCL ₂ F	.42	.140	4.592		KR	

* If no O-ring material is specified then O-ring to be used is Viton. Nylon Flow Body instruments are only available with Viton elastomers. Valve Seat applies only to controllers.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Actual Gas	Chemical Symbol	K-factor Relative N2	Cp (Cal/g)	Density (g/l) @ 0°C	Elastomer* O-ring	Valve Seat	Nylon Compatible
Chloromethylsilane	(CH ₃) ₂ SiCl ₂	.25	.1882	5.758		KR	
Chlorosilane	SiH ₂ Cl ₂	.40	.150	4.506		KR	
Chlorotetrafluoroethane (Pen-114)	C ₂ Cl ₂ F ₄	.22	.1604	7.626		KR	
Difluoroethylene (Pen-1132A)	C ₂ H ₂ F ₂	.43	.224	2.857		KR	
Dimethylamine	(CH ₃) ₂ NH	.37	.366	2.011		KR	
Dimethyl Ether	(CH ₃) ₂ O	.39	.3414	2.055		KR	
Dimethylpropane	C ₃ H ₁₂	.22	.3914	3.219		KR	
Ethane	C ₂ H ₆	.50	.4097	1.342			NO
Ethanol	C ₂ H ₆ O	.39	.3395	2.055		KR	
Ethyl Acetylene	C ₄ H ₆	.32	.3513	2.413		KR	
Ethyl Chloride	C ₂ H ₅ Cl	.39	.244	2.879		KR	
Ethylene	C ₂ H ₄	.60	.1365	1.251			
Ethylene Oxide	C ₂ H ₄ O	.52	.268	1.965		KR	
Fluorine	F ₂	.980	.1873	1.695		KR	
Freon-23	CHF ₃	.50	.176	3.127		KR	NO
Freon-11	CCL ₃ F	.33	.1357	6.129		KR	NO
Freon-12	CCL ₂ F ₂	.35	.1432	5.395		KR	NO
Freon-13	CCLF ₃	.38	.153	4.660		KR	NO
Freon-13 B1	CFrF ₃	.37	.1113	6.644		KR	NO
Freon-14	CF ₄	.42	.1654	3.926			NO
Freon-21	CHCL ₂ F	.42	.140	4.952		KR	NO
Freon-22	CHCLF ₂	.46	.1544	3.858		KR	NO
Freon-113	CCl ₂ FCCLF ₂	.20	.161	8.360		KR	NO
Freon-114	C ₂ CL ₂ F ₄	.22	.160	7.626		KR	NO
Freon-115	C ₂ CLF ₅	.24	.164	6.892		KR	NO
Freon-C318	C ₄ F ₆	.17	.185	8.397		KR	NO
Germane	GeH ₄	.57	.1404	3.418			
Germanium Tetrachloride	GeCl ₄	.27	.1071	9.565		KR	
Helium	He	1.454	1.241	.1786			
Hexafluoroethane (Pen-116)	C ₂ F ₆	.24	.1834	6.157		KR	NO
Hexane	C ₆ H ₁₄	.18	.3968	3.845		KR	
Hydrogen	H ₂	1.01	3.419	.0899			
Hydrogen Bromide	HBr	1.000	.0861	3.610		KR	
Hydrogen Chloride	HCL	1.000	.1912	1.627	K	KR	
Hydrogen Cyanide	HCN	.76	.3171	1.206		KR	
Hydrogen Fluoride	HF	1.000	.3479	.893	KR	KR	
Hydrogen Iodide	HI	1.000	.0545	5.707		KR	
Hydrogen Selenide	H ₂ Se	.79	.1025	3.613		KR	
Hydrogen Sulfide	H ₂ S	.80	.2397	1.520	KR	KR	
Perfluorine Pentafluoride	IF ₅	.25	.1108	9.90		KR	
Propane	CH(CH ₃) ₃	.27	.3872	3.593		KR	
Propylene	C ₃ H ₆	.29	.3701	2.503		KR	
Argon	Kr	1.453	.0593	3.739			
Methane	CH ₄	.72	.5328	.715			
Methanol	CH ₃ OH	.58	.3274	1.429			
Methyl Acetylene	C ₃ H ₄	.43	.3547	1.787		KR	
Methyl Bromide	CH ₃ Br	.58	.1106	4.236			
Methyl Chloride	CH ₃ CL	.63	.1926	2.253		KR	
Methyl Fluoride	CH ₃ F	.68	.3221	1.518		KR	

* If no O-ring material is specified then O-ring to be used is Viton. . Nylon Flow Body instruments are only available with Viton elastomers.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Actual Gas	Chemical Symbol	K-factor Relative N2	Cp (Cal/g)	Density (g/l) @ 0°C	Elastomer* O-ring	Valve Seat	Nylon Compatible
Methyl Mercaptan	CH ₃ SH	.52	.2459	2.146		KR	
Methyl Trichlorosilane	(CH ₃)SiCl ₃	.25	.164	6.669		KR	
Molybdenum Hexafluoride	MoF ₆	.21	.1373	9.366		KR	
Monoethylamine	C ₂ H ₅ NH ₂	.35	.387	2.011		KR	
Monomethylamine	CH ₃ NH ₂	.51	.4343	1.386		KR	
Neon	NE	1.46	.245	.900			
Nitric Oxide	NO	.990	.2328	1.339			NO
Nitrogen	N ₂	1.000	.2485	1.25			
Nitrogen Dioxide	NO ₂	.74	.1933	2.052	KR	KR	NO
Nitrogen Trifluoride	NF ₃	.48	.1797	3.168		KR	
Nitrosyl Chloride	NOCl	.61	.1632	2.920		KR	
Nitrous Oxide	N ₂ O	.71	.2088	1.964			
Octafluorocyclobutane (Freon-C318)	C ₄ F ₆	.17	.185	8.397		KR	
Oxygen	O ₂	1.000	.2193	1.427			
Oxygen Difluoride	OF ₂	.63	.1917	2.406			
Ozone	O ₃	.446	.3	2.144			NO
Pentaborane	B ₅ H ₉	.26	.38	2.816		KR	
Pentane	C ₅ H ₁₂	.21	.398	3.219		KR	
Perchloryl Fluoride	CLO ₃ F	.39	.1514	4.571		KR	
Perfluoropropane	C ₃ F ₈	.174	.197	8.388		KR	
Phosgene	COCL ₂	.44	.1394	4.418		KR	
Phosphine	Ph ₃	.76	.2374	1.517		KR	
Phosphorous Oxychloride	POCL ₃	.36	.1324	6.843		KR	
Phosphorous Pentafluoride	Ph ₅	.30	.1610	5.620		KR	
Phosphorous Trichloride	PCL ₃	.30	.1250	6.127		KR	
Propane	C ₃ H ₈	.36	.3885	1.967			
Propylene	C ₃ H ₆	.41	.3541	1.877			
Silane	SiH ₄	.60	.3189	1.433		KR	
Silicon Tetrachloride	SiCL ₄	.28	.1270	7.580		KR	
Silicon Tetrafluoride	SiF ₄	.35	.1691	4.643		KR	
Sulfur Dioxide	So ₂	.69	.1488	2.858		KR	
Sulfur Hexafluoride	SF ₆	.26	.1592	6.516		KR	
Sulfuryl Fluoride	SO ₂ F ₂	.39	.1543	4.562		KR	
Teos		.090			KR	KR	
Tetrafluorahydrazine	N ₂ F ₄	.32	.182	4.64		KR	
Trichlorofluoromethane (Freon-11)	CCL ₃ F	.33	.1357	6.129		KR	
Trichlorosilane	SiHCL ₃	.33	.1380	6.043		KR	
1,1,2-Trichloro-1,2,2 Trifluoroethane (Freon-113)	CCL ₂ FCCLF ₂	.20	.161	8.360		KR	
Trisobutyl Aluminum	(C ₄ H ₉)AL	.061	.508	8.848		KR	
Titanium Tetrachloride	TiCL ₄	.27	.120	8.465		KR	
Trichloro Ethylene	C ₂ HCL ₃	.32	.163	5.95		KR	
Trimethylamine	(CH ₃) ₃ N	.28	.3710	2.639		KR	
Tungsten Hexasfluoride	WF ₆	.25	.0810	13.28	KR	Teflon	
Uranium Hexafluoride	UF ₆	.20	.0888	15.70		KR	
Vinyl Bromide	CH ₂ CHBr	.46	.1241	4.772		KR	
Vinyl Chloride	CH ₂ CHCL	.48	.2054	2.788		KR	
Xenon	Xe	1.44	.0378	5.858			

* If no O-ring material is specified then O-ring to be used is Viton. Nylon Flow Body instruments are only available with Viton elastomers.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix B Product Specifications

Operating Specifications

Gases	Dependent on wetted materials. Check compatibility and specify when ordering.		
Mass Flow Rates	Nylon Flow Body: 0 to 10 sccm to 0 to 50 slpm Stainless Steel Flow Body: 0 to 10 sccm to 0 to 100 slpm Note: flow ranges specified are for an equivalent flow of nitrogen at 760 mm Hg and 21°C (70°F); other ranges in other units are available (e.g. scfh or nm ³ /h)		
Gas Pressure	Nylon Flow Body: 150 psig (10 barg) maximum ; 20 psig optimum Stainless Steel Flow Body: 500 psig (34 barg) maximum. 1000 psig (68.9 barg) maximum available for low flow bodies only upon request, please consult factory; 30 psig (2 barg) optimum		
Gas & Ambient Temperature	32° to 122°F (0 to 50°C); higher available on special order		
Leak Integrity	Nylon Flow Body: 1 X 10 ⁻⁴ atm cc/sec of helium maximum Stainless Steel Flow Body: 5 X 10 ⁻⁹ atm cc/sec of helium maximum		
Pressure Drop (for meters)	810M	Up to 10 slpm Up to 20 slpm Up to 30 slpm Up to 50 slpm	0.10 psi (6.9 mbar) max. 0.36 psi (24.5 mbar) max. 0.67 psi (46.1 mbar) max. 1.25 psi (86.3 mbar) max.
Differential Pressure Requirements (for controllers)			
	810C (nylon)	5 to 50 psi (1.0 to 3.4 bar) differential standard; 30 psi (2.1 bar) differential optimum	
	810S (low)	8 to 100 psi (1.0 to 3.4 bar) differential standard; 30 psi (2.1 bar) differential optimum; lower (10 Torr minimum) or higher are available by special order	
	810S (med)	15 to 50 psi (1.0 to 2.8 bar) differential standard; 30 psi (2.1 bar) differential optimum; lower (5 psi minimum) or higher available by special order	
Power Requirements	810M.....	+24VDC @ 100 mA. Ripple content should not exceed 100 mV peak-to-peak. A regulated power supply is not required.	
	810C, 810S.....	+24 VDC @ 350 mA. Ripple current should not exceed 50 mV peak to peak. A regulated power supply is required	
Control Range	810C, 810S.....	2 to 100% of full scale; valve shuts when flow drops below 0.5 - 3% of range (override is available)	
Output Signal	Linear 0-5 VDC, 2000 Ohms minimum load resistance Linear 4-20 mA, 1000 Ohms maximum loop resistance		
Command Signal	0-5 VDC, into 2000 ohms minimum input impedance 4-20 mA, into 250 ohms maximum input impedance		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องยังต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Performance Specifications

Accuracy	±1.5% of full scale including linearity over 15 to 25°C and +/-30 psig from calibration pressure. If the instrument is mounted with a vertical flow path, an accuracy de-rating may apply.
Repeatability	±0.25% of full scale
Temperature Coefficient	0.08% of full scale per °C, or better
Pressure Coefficient	0.01% of full scale per psi (0.15% of full scale per bar), or better
Response Time	800 ms time constant; 6 seconds (typical) to within ±2% of final value over 25 to 100% of full scale

Physical Specifications

Wetted Materials	810M or C (nylon) 10% glass-filled Nylon [®] 6/6; 316 stainless steel, 430F stainless steel, nickel plating, Viton [®] O-rings
	810S..... 316 stainless steel, 430F stainless steel, Viton [®] O-rings and valve seat standard; Neoprene [®] , 4079 Kal-Rez [®] (or equivalent) and other elastomers available on special order; PFA Teflon [®] valve seat available
Control Valve Type	810C, 810S Electromagnetic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transducer Mounting Dimensions

All dimensions are inches, millimeters are in parentheses. Certified drawings are available on request.

Nylon Flow Body

Mount the Mass-Trak to a chassis with two #6, type “B” self-tapping screws.

CAUTION: These screws should extend into the flow body no further than .15” (4mm). If screws extend further than .15” (4mm), the flow body may be damaged. See Figure 2-1

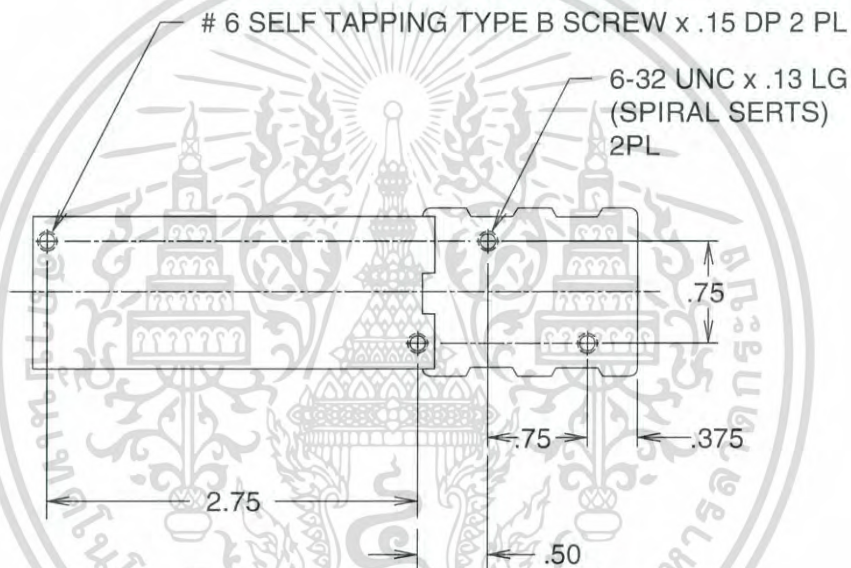
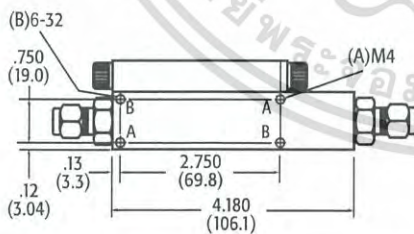
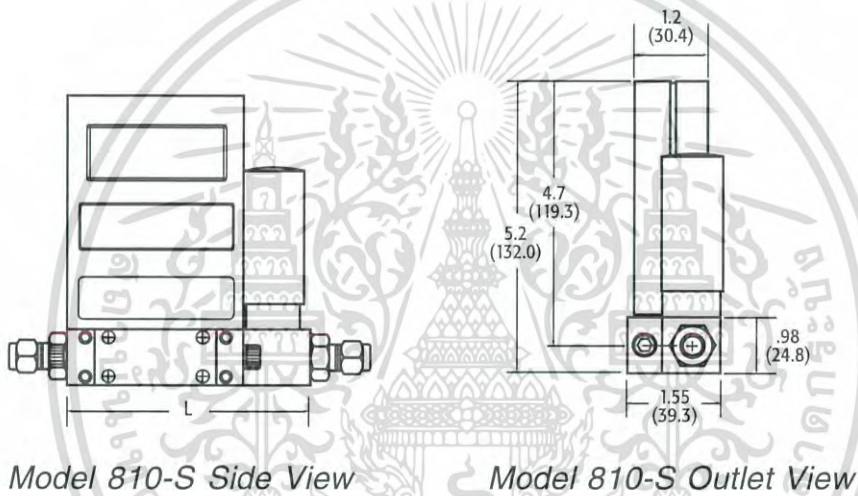


Figure B-1. Mounting the Mass-Trak (Model 810 C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stainless Steel Low Flow Body

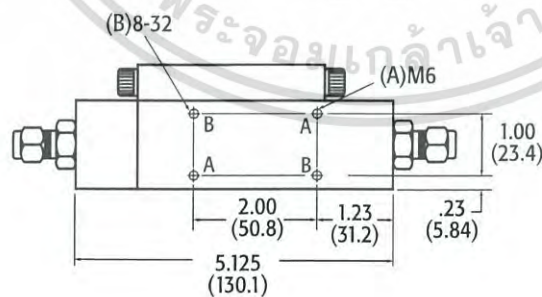
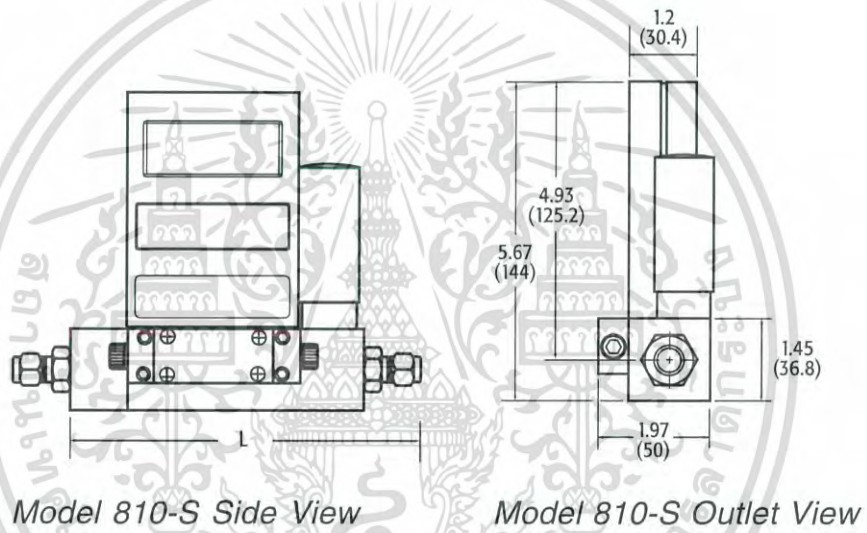
Flow Range, 0–10 sccm to 0–15 slpm			
Process Tubing	.25 (6.4)		
.562-18 Thread (on Flow Body)			
Fitting Type	Compression .125 or .25	VCO (male) .25	VCR (male) .25
Dim. L	6.02 (122.9 or 127.0)	5.78 (116.8)	6.08 (124.5)
Metric fittings are available, consult factory			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

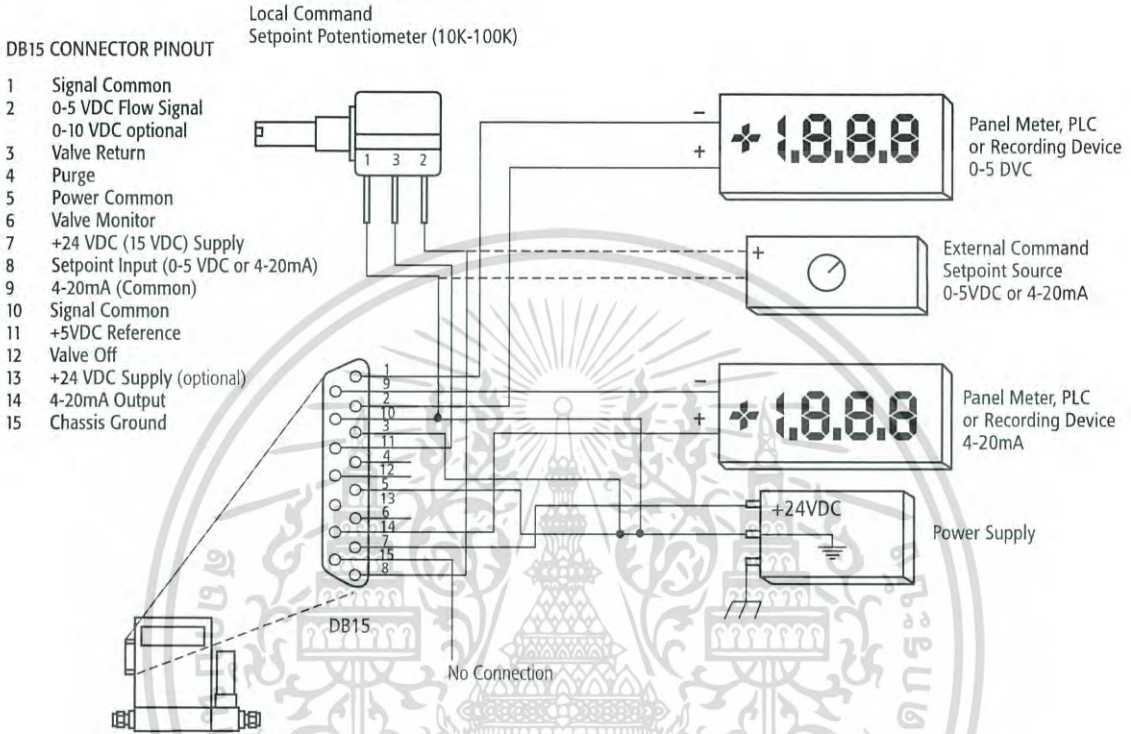
Stainless Steel Medium Flow Body

Flow Range, 0–10 sccm to 0–15 slpm			
Process Tubing	.25 (6.4)		
.562-18 Thread (on Flow Body)			
Fitting Type	Compression .125 or .25	VCO (male) .25	VCR (male) .25
Dim. L	7.17 (122.9 or 127.0)	6.67 (116.8)	6.97 (124.5)
Metric fittings are available, consult factory			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix C Pin Connections



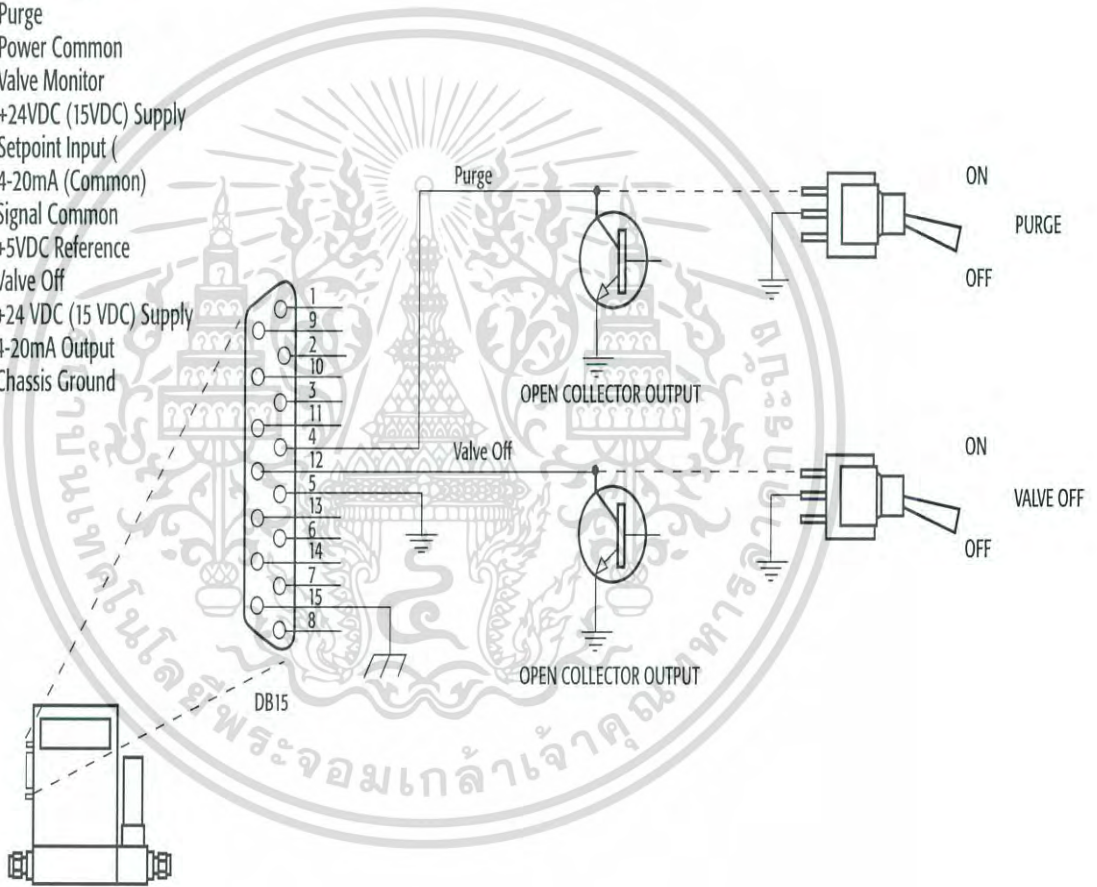
Note: Pins 1, 3, 5, 9 and 10 are all tied together internally. However it is highly recommended that at least one "signal common", one "power common" and the "valve return" pins be connected to the power supply common via separate wires, so that no ground loops are introduced, (especially on cables longer than ten feet)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix D Purge and Valve Off Connections

DB15 CONNECTOR PINOUT

- 1 Signal Common
- 2 0-5 VDC Flow Signal
0-10 VDC optional
- 3 Valve Return
- 4 Purge
- 5 Power Common
- 6 Valve Monitor
- 7 +24VDC (15VDC) Supply
- 8 Setpoint Input (
- 9 4-20mA (Common)
- 10 Signal Common
- 11 +5VDC Reference
- 12 Valve Off
- 13 +24 VDC (15 VDC) Supply
- 14 4-20mA Output
- 15 Chassis Ground



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12-Bit Digital-to-Analog Converter with EEPROM Memory in SOT-23-6

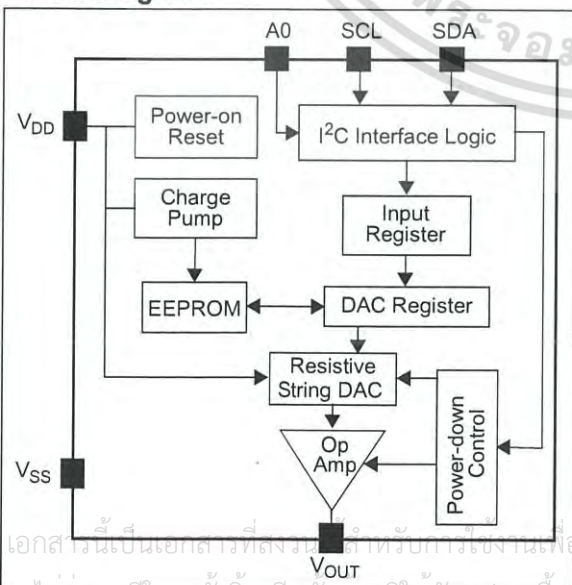
Features

- 12-Bit Resolution
- On-Board Non-Volatile Memory (EEPROM)
- ± 0.2 LSB DNL (typical)
- External A0 Address Pin
- Normal or Power-Down Mode
- Fast Settling Time of 6 μ s (typical)
- External Voltage Reference (V_{DD})
- Rail-to-Rail Output
- Low Power Consumption
- Single-Supply Operation: 2.7V to 5.5V
- I²C™ Interface:
 - Eight Available Addresses
 - Standard (100 kbps), Fast (400 kbps), and High-Speed (3.4 Mbps) Modes
- Small 6-lead SOT-23 Package
- Extended Temperature Range: -40°C to +125°C

Applications

- Set Point or Offset Trimming
- Sensor Calibration
- Closed-Loop Servo Control
- Low Power Portable Instrumentation
- PC Peripherals
- Data Acquisition Systems

Block Diagram



DESCRIPTION

The MCP4725 is a low-power, high accuracy, single channel, 12-bit buffered voltage output Digital-to-Analog Converter (DAC) with non-volatile memory (EEPROM). Its on-board precision output amplifier allows it to achieve rail-to-rail analog output swing.

The DAC input and configuration data can be programmed to the non-volatile memory (EEPROM) by the user using I²C interface command. The non-volatile memory feature enables the DAC device to hold the DAC input code during power-off time, and the DAC output is available immediately after power-up. This feature is very useful when the DAC device is used as a supporting device for other devices in the network.

The device includes a Power-On-Reset (POR) circuit to ensure reliable power-up and an on-board charge pump for the EEPROM programming voltage. The DAC reference is driven from V_{DD} directly. In power-down mode, the output amplifier can be configured to present a low, medium, or high resistance output load.

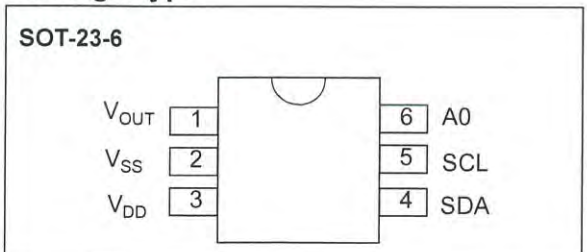
The MCP4725 has an external A0 address pin. This A0 pin can be tied to V_{DD} or V_{SS} of the user's application board.

The MCP4725 has a two-wire I²C™ compatible serial interface for standard (100 kHz), fast (400 kHz), or high speed (3.4 MHz) mode.

The MCP4725 is an ideal DAC device where design simplicity and small footprint is desired, and for applications requiring the DAC device settings to be saved during power-off time.

The device is available in a small 6-pin SOT-23 package.

Package Type



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม้มีการแก้ไข ทั้งสิ้น อีกทั้งหา ไม่มีให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP4725

1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings†

V _{DD}	6.5V
All inputs and outputs w.r.t V _{SS}	-0.3V to V _{DD} +0.3V
Current at Input Pins	±2 mA
Current at Supply Pins	±50 mA
Current at Output Pins	±25 mA
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Ambient Temp. with Power Applied	-55°C to +125°C
ESD protection on all pins	≥ 6 kV HBM, ≥ 400V MM
Maximum Junction Temperature (T _J)	+150°C

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

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all parameters apply at V_{DD} = + 2.7V to 5.5V, V_{SS} = 0V, R_L = 5 kΩ from V_{OUT} to V_{SS}, C_L = 100 pF, T_A = -40°C to +125°C. Typical values are at +25°C.

Parameter	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Power Requirements						
Operating Voltage	V _{DD}	2.7	—	5.5	V	
Supply Current	I _D	—	210	400	μA	Digital input grounded, output unloaded, code = 000h
Power-Down Current	I _{DDP}	—	0.06	2.0	μA	V _{DD} = 5.5V
Power-On-Reset Threshold	V _{POR}	—	2	—	V	
DC Accuracy						
Resolution	n	12	—	—	Bits	Code Range = 000h to FFFh
INL Error	INL	—	±2	±14.5	LSB	Note 1
DNL	DNL	-0.75	±0.2	±0.75	LSB	Note 1
Offset Error	V _{OS}	—	0.02	0.75	% of FSR	Code = 000h
Offset Error Drift	ΔV _{OS} /°C	—	±1	—	ppm/°C	-45°C to +25°C
		—	±2	—	ppm/°C	+25°C to +85°C
Gain Error	G _E	-2	-0.1	2	% of FSR	Code FFFh, not including offset error
Gain Error Drift	ΔG _E /°C	—	-3	—	ppm/°C	
Output Amplifier						
Phase Margin	p _M	—	66	—	Degree(°)	C _L = 400 pF, R _L = ∞
Capacitive Load Stability	C _L	—	—	1000	pF	R _L = 5 kΩ, Note 2
Slew Rate	SR	—	0.55	—	V/μs	
Short Circuit Current	I _{SC}	—	15	24	mA	V _{DD} = 5V, V _{OUT} = Grounded
Output Voltage Settling Time	T _S	—	6	—	μs	Note 3

Note 1: Test Code Range: 100 to 4000.

2: This parameter is ensure by design and not 100% tested.

3: Within 1/2 LSB of the final value when code changes from 1/4 to 3/4 (400h to C00h) of full-scale.

4: Logic state of external address pin (A0 pin).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONTINUED)

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all parameters apply at $V_{DD} = +2.7V$ to $5.5V$, $V_{SS} = 0V$, $R_L = 5\text{ k}\Omega$ from V_{OUT} to V_{SS} , $C_L = 100\text{ pF}$, $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$. Typical values are at $+25^\circ\text{C}$.						
Parameter	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Power Up Time	T_{PU}	—	2.5	—	μs	$V_{DD} = 5V$
		—	5	—	μs	$V_{DD} = 3V$ Coming out of Power-down mode, started from falling edge of ACK pulse in I ² C command.
DC Output Impedance	R_{OUT}	—	1	—	Ω	Normal mode (V_{OUT} to V_{SS})
		—	1	—	$\text{k}\Omega$	Power-Down Mode 1 (V_{OUT} to V_{SS})
		—	100	—	$\text{k}\Omega$	Power-Down Mode 2 (V_{OUT} to V_{SS})
		—	500	—	$\text{k}\Omega$	Power-Down Mode 3 (V_{OUT} to V_{SS})
Dynamic Performance						
Major Code Transition Glitch		—	45	—	nV-s	1 LSB change around major carry (800h to 7FFh) (Note 2)
Digital Feedthrough		—	<10	—	nV-s	Note 2
Digital Interface						
Output Low Voltage	V_{OL}	—	—	0.4	V	$I_{OL} = 3\text{ mA}$
Input High Voltage (SDA and SCL Pins)	V_{IH}	$0.7V_{DD}$	—	—	V	
Input Low Voltage (SDA and SCL Pins)	V_{IL}	—	—	$0.3V_{DD}$	V	
Input High Voltage (A0 Pin)	V_{A0-HI}	$0.8V_{DD}$	—	—		Note 4
Input Low Voltage (A0 Pin)	V_{A0-IL}	—	—	$0.2V_{DD}$		Note 4
Input Leakage	I_{LI}	—	—	± 1	μA	SCL = SDA = A0 = V_{SS} or SCL = SDA = A0 = V_{DD}
Pin Capacitance	C_{PIN}	—	—	3	pF	Note 2
EEPROM						
EEPROM Write Time	T_{WRITE}	—	25	50	ms	EEPROM Write time for 14 bits
Data Retention		—	200	—	Years	At $+25^\circ\text{C}$, (Note 2)
Endurance		1	—	—	Million Cycles	At $+25^\circ\text{C}$, (Note 2)

Note 1: Test Code Range: 100 to 4000.

2: This parameter is ensure by design and not 100% tested.

3: Within 1/2 LSB of the final value when code changes from 1/4 to 3/4 (400h to C00h) of full-scale.

4: Logic state of external address pin (A0 pin).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP4725

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, $V_{DD} = +2.7V$ to $+5.5V$, $V_{SS} = GND$.

Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Temperature Ranges						
Specified Temperature Range	T_A	-40	—	+125	°C	
Operating Temperature Range	T_A	-40	—	+125	°C	
Storage Temperature Range	T_A	-65	—	+150	°C	
Thermal Package Resistances						
Thermal Resistance, 6L-SOT-23	θ_{JA}	—	190	—	°C/W	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.0 TYPICAL PERFORMANCE CURVES

Note: The graphs and tables provided following this note are a statistical summary based on a limited number of samples and are provided for informational purposes only. The performance characteristics listed herein are not tested or guaranteed. In some graphs or tables, the data presented may be outside the specified operating range (e.g., outside specified power supply range) and therefore, outside the warranted range.

Note: Unless otherwise indicated, $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = +5.0\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$, $R_L = 5\text{ k}\Omega$ to V_{SS} , $C_L = 100\text{ pF}$.

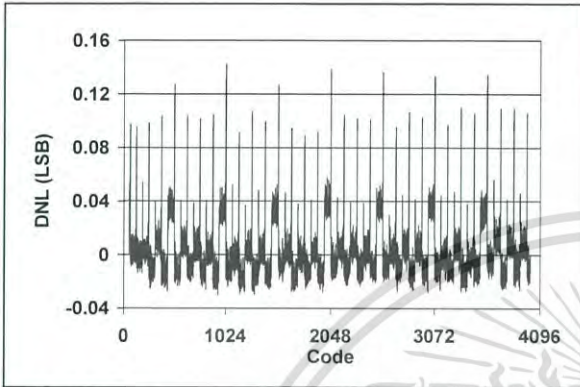


FIGURE 2-1: DNL vs. Code ($V_{DD} = 5.5\text{V}$).

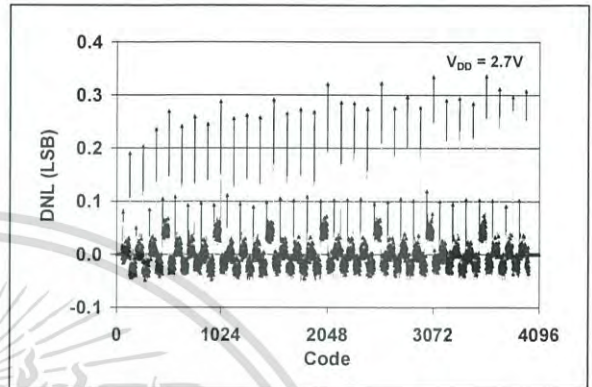


FIGURE 2-4: DNL vs. Code and Temperature ($T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$).

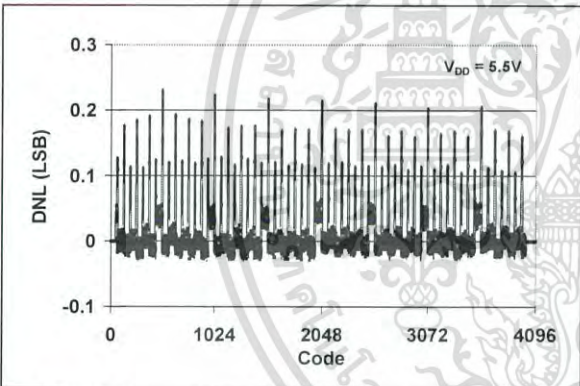


FIGURE 2-2: DNL vs. Code and Temperature ($T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$).

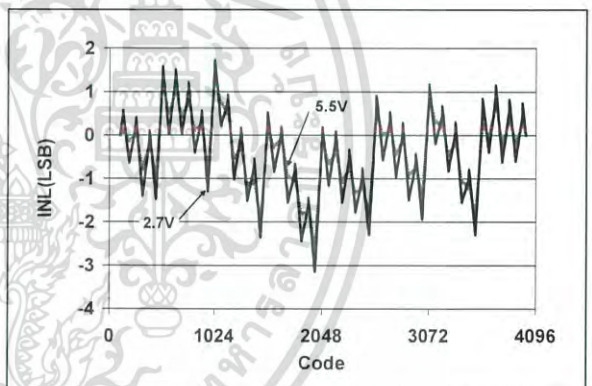


FIGURE 2-5: INL vs. Code.

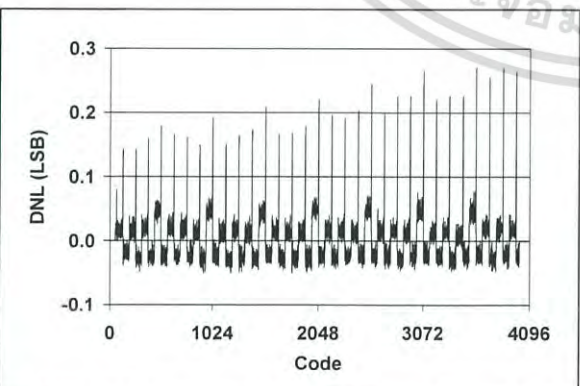


FIGURE 2-3: DNL vs. Code ($V_{DD} = 2.7\text{V}$).

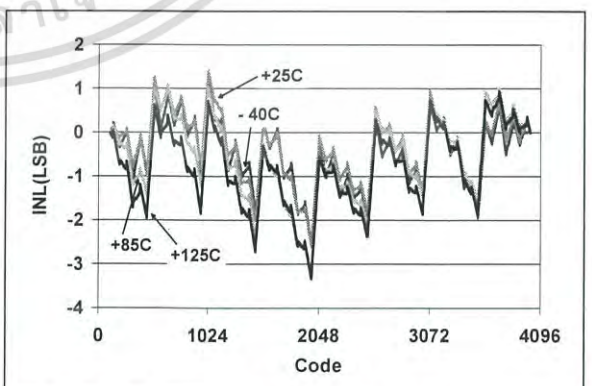


FIGURE 2-6: INL vs. Code and Temperature ($V_{DD} = 5.5\text{V}$).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP4725

Note: Unless otherwise indicated, $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = +5.0\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$, $R_L = 5\text{ k}\Omega$ to V_{SS} , $C_L = 100\text{ pF}$.

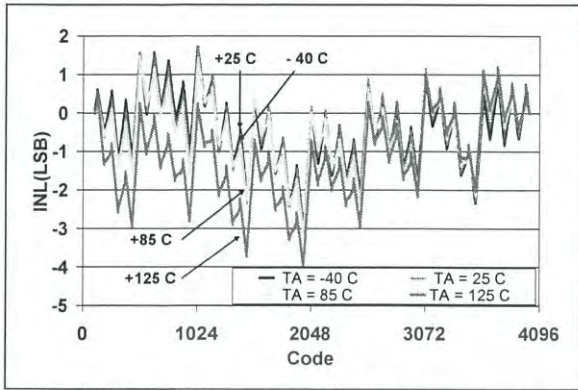


FIGURE 2-7: INL vs. Code and Temperature ($V_{DD} = 2.7\text{V}$).

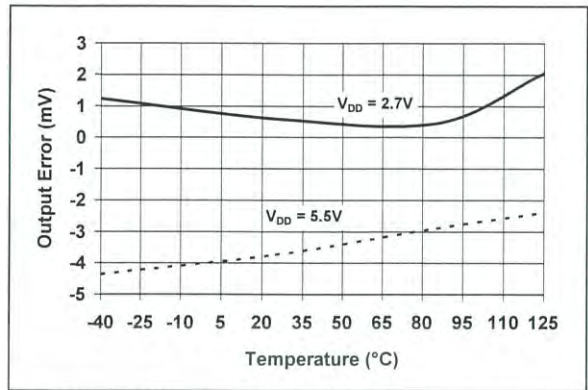


FIGURE 2-10: Output Error vs. Temperature (Code = 4000d).

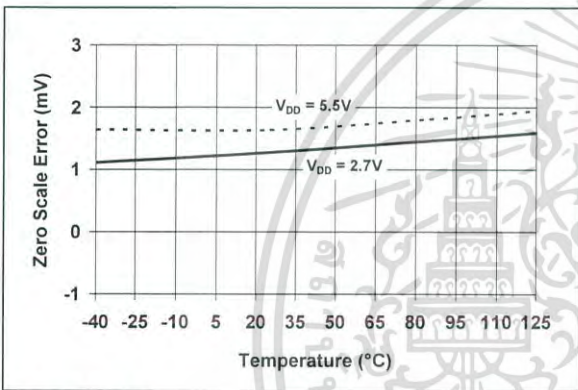


FIGURE 2-8: Zero Scale Error vs. Temperature (Code = 000d).

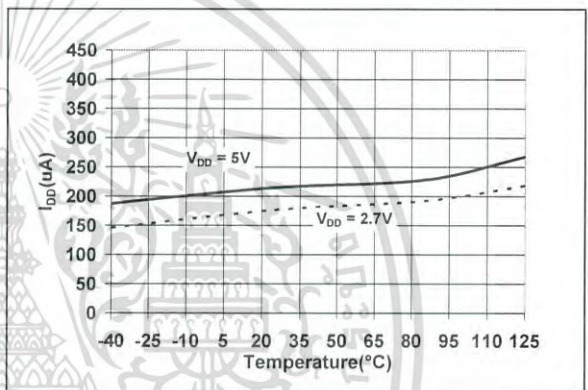


FIGURE 2-11: I_{DD} vs. Temperature.

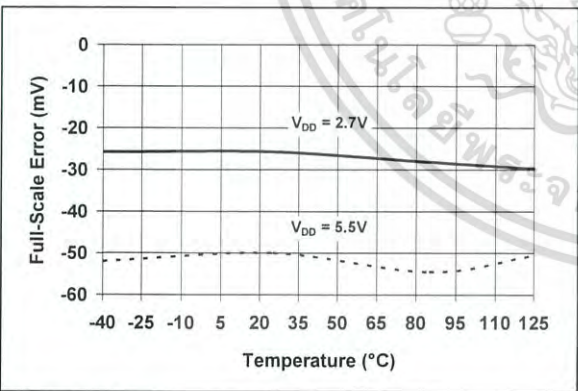


FIGURE 2-9: Full-Scale Error vs. Temperature (Code = 4095d).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Note: Unless otherwise indicated, $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = +5.0\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$, $R_L = 5\text{ k}\Omega$ to V_{SS} , $C_L = 100\text{ pF}$.

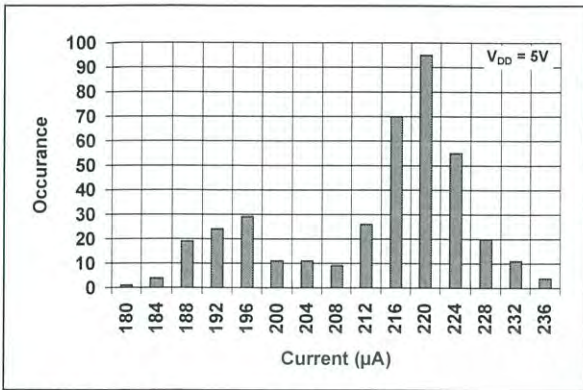


FIGURE 2-12: I_{DD} Histogram.

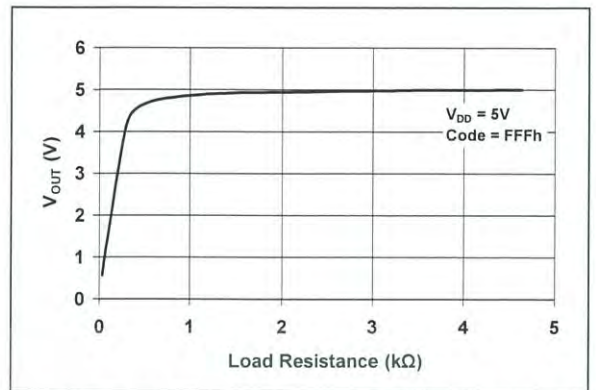


FIGURE 2-15: V_{OUT} vs. Resistive Load.

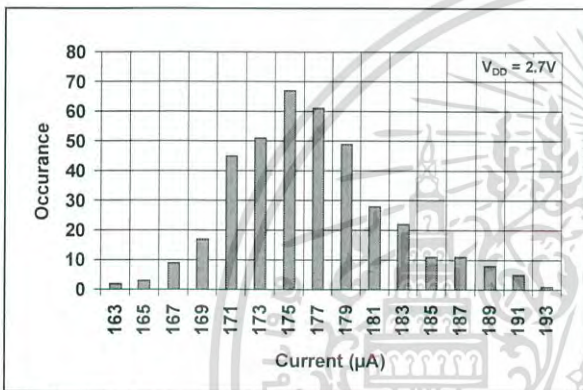


FIGURE 2-13: I_{DD} Histogram.

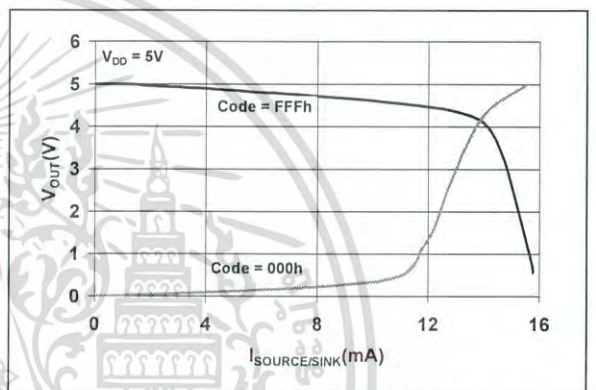


FIGURE 2-16: Source and Sink Current Capability.

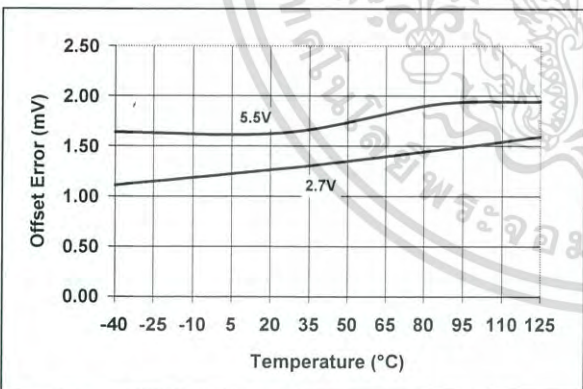


FIGURE 2-14: Offset Error vs. Temperature and V_{DD} .

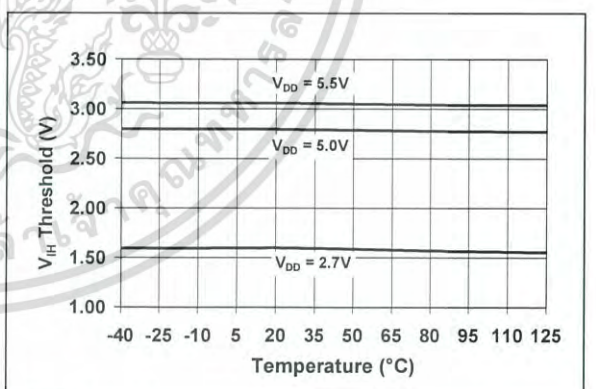


FIGURE 2-17: V_{IN} High Threshold vs. Temperature and V_{DD} .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP4725

Note: Unless otherwise indicated, $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = +5.0\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$, $R_L = 5\text{ k}\Omega$ to V_{SS} , $C_L = 100\text{ pF}$.

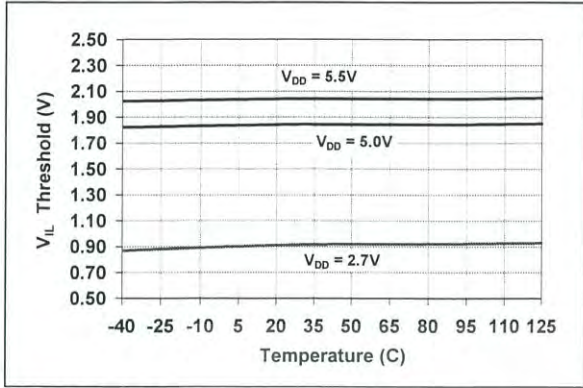


FIGURE 2-18: V_{IN} Low Threshold vs. Temperature and V_{DD} .

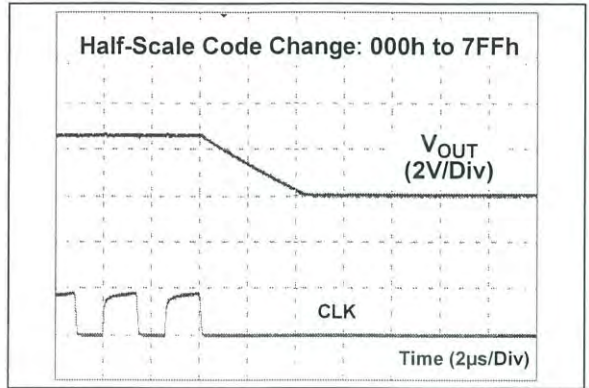


FIGURE 2-21: Half-Scale Settling Time.

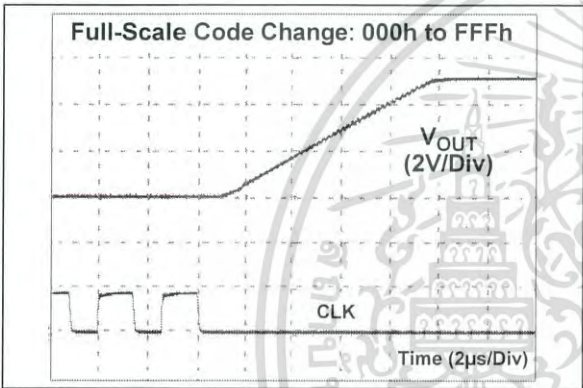


FIGURE 2-19: Full-Scale Settling Time.

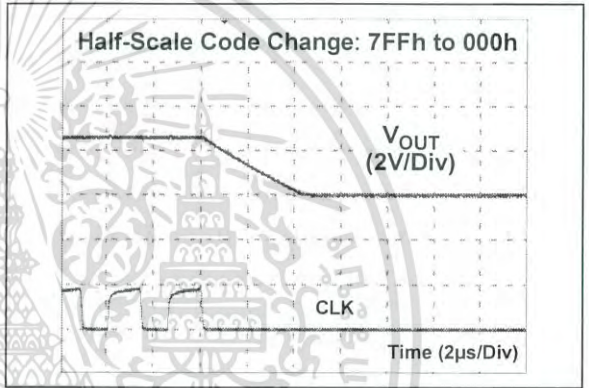


FIGURE 2-22: Half-Scale Settling Time.

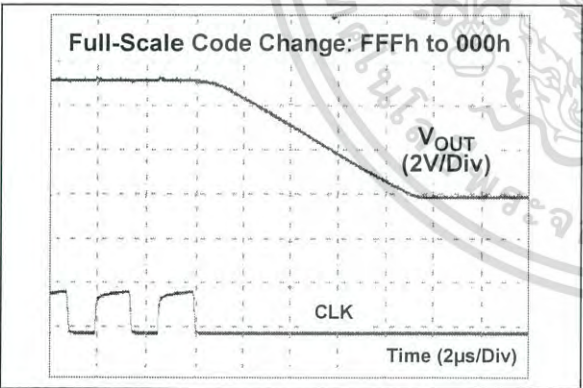


FIGURE 2-20: Full-Scale Settling Time.

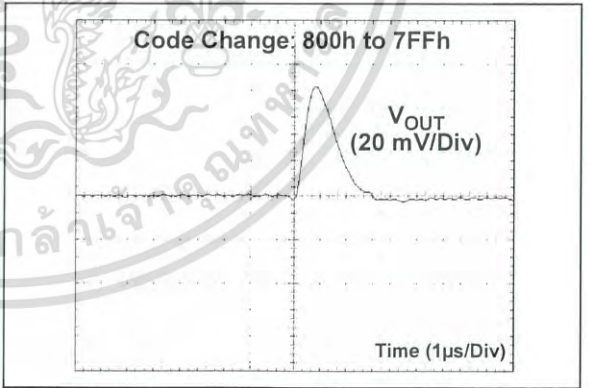


FIGURE 2-23: Code Change Glitch.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Note: Unless otherwise indicated, $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = +5.0\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$, $R_L = 5\text{ k}\Omega$ to V_{SS} , $C_L = 100\text{ pF}$.

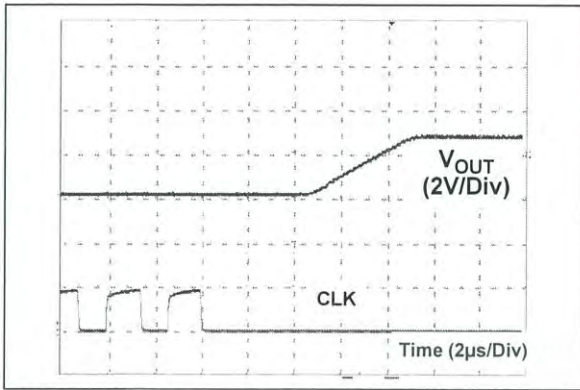


FIGURE 2-24: Exiting Power Down Mode.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP4725

3.0 PIN DESCRIPTIONS

The descriptions of the pins are listed in Table 3-1.

TABLE 3-1: PIN FUNCTION TABLE

Pin No. SOT-23	Name	Function
1	V _{OUT}	Analog Output Voltage
2	V _{SS}	Ground Reference
3	V _{DD}	Supply Voltage
4	SDA	I ² C Serial Data
5	SCL	I ² C Serial Clock Input
6	A0	Device Address Selection pin. This pin can be tied to V _{SS} or V _{DD} , or can be actively driven by the digital logic levels. The logic state of this pin determines what the A0 bit of the I ² C address bits should be.

3.1 Analog Output Voltage (V_{OUT})

V_{OUT} is an analog output voltage from the DAC device. DAC output amplifier drives this pin with a range of V_{SS} to V_{DD}.

3.2 Supply Voltage (V_{DD}, V_{SS})

V_{DD} is the power supply pin for the device. The voltage at the V_{DD} pin is used as the supply input as well as the DAC reference input. The power supply at the V_{DD} pin should be clean as possible for a good DAC performance.

This pin requires an appropriate bypass capacitor of about 0.1 μF (ceramic) to ground. An additional 10 μF capacitor (tantalum) in parallel is also recommended to further attenuate high frequency noise present in application boards. The supply voltage (V_{DD}) must be maintained in the 2.7V to 5.5V range for specified operation.

V_{SS} is the ground pin and the current return path of the device. The user must connect the V_{SS} pin to a ground plane through a low impedance connection. If an analog ground path is available in the application PCB (printed circuit board), it is highly recommended that the V_{SS} pin be tied to the analog ground path or isolated within an analog ground plane of the circuit board.

3.3 Serial Data Pin (SDA)

SDA is the serial data pin of the I²C interface. The SDA pin is used to write or read the DAC register and EEPROM data. The SDA pin is an open-drain N-channel driver. Therefore, it needs a pull-up resistor from the V_{DD} line to the SDA pin. Except for start and stop conditions, the data on the SDA pin must be stable during the high period of the clock. The high or low state of the SDA pin can only change when the clock signal on the SCL pin is low. Refer to **Section 7.0 “I²C Serial Interface Communication”** for more details of I²C Serial Interface communication.

3.4 Serial Clock Pin (SCL)

SCL is the serial clock pin of the I²C interface. The MCP4725 acts only as a slave and the SCL pin accepts only external serial clocks. The input data from the Master device is shifted into the SDA pin on the rising edges of the SCL clock and output from the MCP4725 occurs at the falling edges of the SCL clock. The SCL pin is an open-drain N-channel driver. Therefore, it needs a pull-up resistor from the V_{DD} line to the SCL pin. Refer to **Section 7.0 “I²C Serial Interface Communication”** for more details of I²C Serial Interface communication.

3.5 Device Address Selection Pin (A0)

This pin is used to select the A0 address bit by the user. The user can tie this pin to V_{SS} (logic '0'), or V_{DD} (logic '1'), or can be actively driven by the digital logic levels, such as the I²C Master Output. See **Section 7.2 “Device Addressing”** for more details of the address bits.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.0 TERMINOLOGY

4.1 Resolution

The resolution is the number of DAC output states that divide the full-scale range. For the 12-bit DAC, the resolution is 2^{12} or the DAC code ranges from 0 to 4095.

4.2 LSB

The least significant bit or the ideal voltage difference between two successive codes.

EQUATION 4-1:

$$LSB_{Ideal} = \frac{V_{REF} - (V_{Full-Scale} - V_{Zero-Scale})}{2^n - 1}$$

Where:

- V_{REF} = The reference voltage = V_{DD} in the MCP4725. This V_{REF} is the ideal full-scale voltage range
- n = The number of digital input bits. ($n = 12$ for MCP4725)

4.3 Integral Nonlinearity (INL) or Relative Accuracy

INL error is the maximum deviation between an actual code transition point and its corresponding ideal transition point (straight line). Figure 2-5 shows the INL curve of the MCP4725. The end-point method is used for the calculation. The INL error at a given input DAC code is calculated as:

EQUATION 4-2:

$$INL = \frac{(V_{OUT} - V_{Ideal})}{LSB}$$

Where:

- V_{Ideal} = Code * LSB
- V_{OUT} = The output voltage measured at the given input code

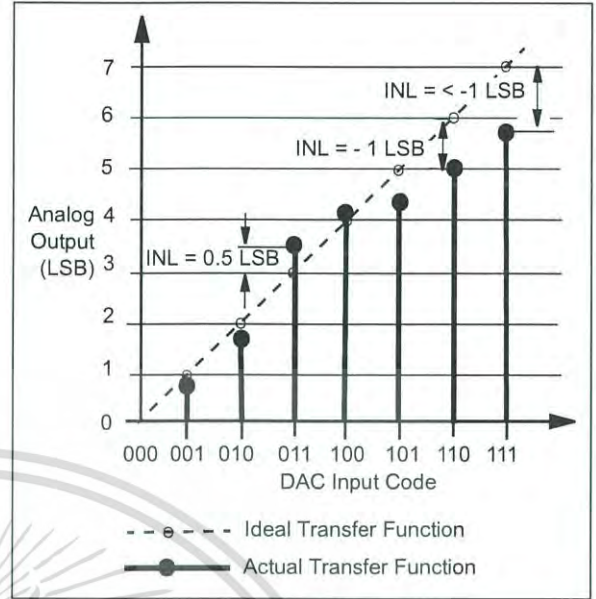


FIGURE 4-1: INL Accuracy.

4.4 Differential Nonlinearity (DNL)

Differential nonlinearity error (Figure 4-2) is the measure of step size between codes in actual transfer function. The ideal step size between codes is 1 LSB. A DNL error of zero would imply that every code is exactly 1 LSB wide. If the DNL error is less than 1 LSB, the DAC guarantees monotonic output and no missing codes. The DNL error between any two adjacent codes is calculated as follows:

EQUATION 4-3:

$$DNL = \frac{\Delta V_{OUT} - LSB}{LSB}$$

Where:

- ΔV_{OUT} = The measured DAC output voltage difference between two adjacent input codes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

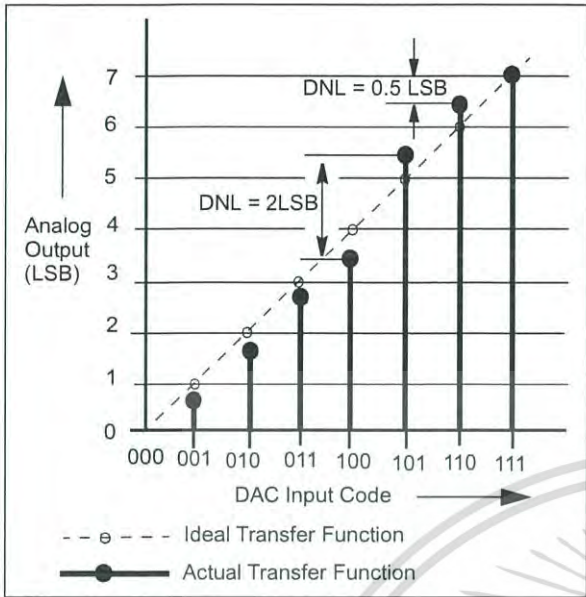


FIGURE 4-2: DNL Accuracy.

4.5 Offset Error

Offset error (Figure 4-3) is the deviation from zero voltage output when the digital input code is zero. This error affects all codes by the same amount. In the MCP4725, the offset error is not trimmed at the factory. However, it can be calibrated by software in application circuits.

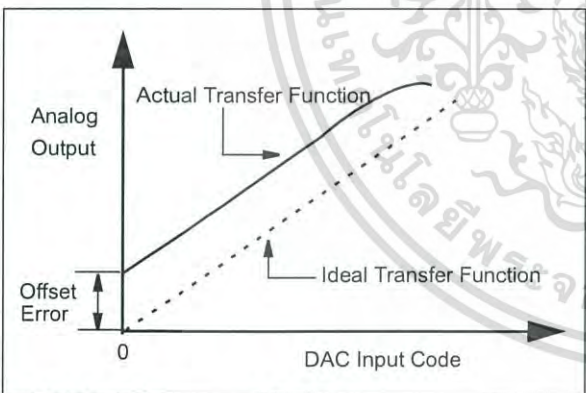


FIGURE 4-3: Offset Error.

4.6 Gain Error

Gain error (see Figure 4-4) is the difference between the actual full-scale output voltage from the ideal output voltage on the transfer curve. The gain error is calculated after nullifying the offset error, or full scale error minus the offset error.

The gain error indicates how well the slope of the actual transfer function matches the slope of the ideal transfer function. The gain error is usually expressed as percent of full-scale range (% of FSR) or in LSB.

In the MCP4725, the gain error is not calibrated at the factory and most of the gain error is contributed by the output op amp saturation near the code range beyond 4000. For the applications which need the gain error specification less than 1% maximum, the user may consider using the DAC code range between 100 and 4000 instead of using full code range (code 0 to 4095). The DAC output of the code range between 100 and 4000 is much linear than full-scale range (0 to 4095). The gain error can be calibrated by software in applications.

4.7 Full-Scale Error (FSE)

Full-scale error (Figure 4-4) is the sum of offset error plus gain error. It is the difference between the ideal and measured DAC output voltage with all bits set to one (DAC input code = FFFh).

EQUATION 4-4:

$$FSE = \frac{(V_{OUT} - V_{Ideal})}{LSB}$$

Where:

$$V_{Ideal} = (V_{REF}) (1 - 2^{-n}) - V_{OFFSET}$$

$$V_{REF} = \text{The reference voltage.}$$

$$V_{REF} = V_{DD} \text{ in the MCP4725}$$

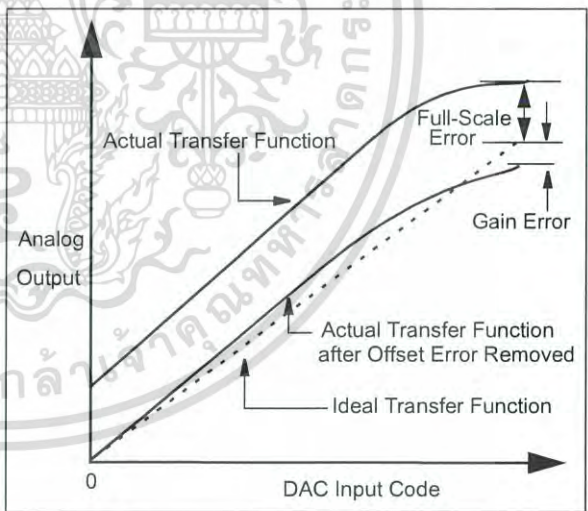


FIGURE 4-4: Gain Error and Full-Scale Error.

4.8 Gain Error Drift

Gain error drift is the variation in gain error due to a change in ambient temperature. The gain error drift is typically expressed in ppm/°C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 Offset Error Drift

Offset error drift is the variation in offset error due to a change in ambient temperature. The offset error drift is typically expressed in ppm/°C.

4.10 Settling Time

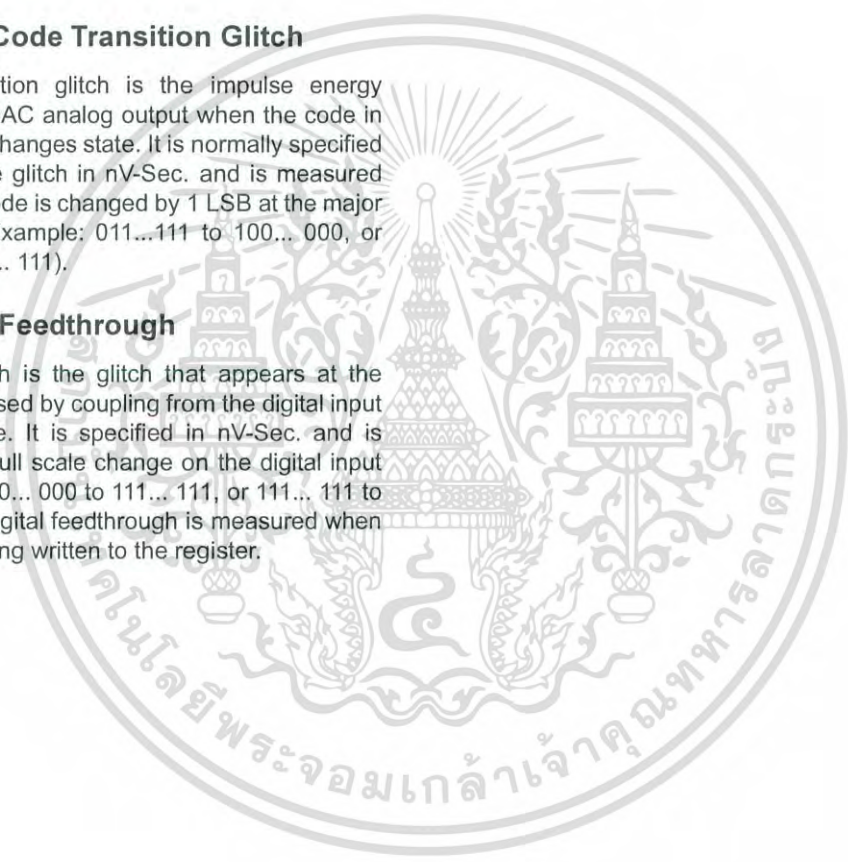
The Settling time is the time delay required for the DAC output to settle to its new output value from the start of code transition, within specified accuracy. In the MCP4725, the settling time is a measure of the time delay until the DAC output reaches its final value (within 0.5 LSB) when the DAC code changes from 400h to C00h.

4.11 Major-Code Transition Glitch

Major-code transition glitch is the impulse energy injected into the DAC analog output when the code in the DAC register changes state. It is normally specified as the area of the glitch in nV-Sec. and is measured when the digital code is changed by 1 LSB at the major carry transition (Example: 011...111 to 100... 000, or 100... 000 to 011 ... 111).

4.12 Digital Feedthrough

Digital feedthrough is the glitch that appears at the analog output caused by coupling from the digital input pins of the device. It is specified in nV-Sec. and is measured with a full scale change on the digital input pins (Example: 000... 000 to 111... 111, or 111... 111 to 000... 000). The digital feedthrough is measured when the DAC is not being written to the register.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP4725

5.0 GENERAL DESCRIPTION

The MCP4725 is a single channel buffered voltage output 12-bit DAC with non-volatile memory (EEPROM). The user can store configuration register bits (2 bits) and DAC input data (12 bits) in non-volatile EEPROM (14 bits) memory.

When the device is powered on first, it loads the DAC code from the EEPROM and outputs the analog output accordingly with the programmed settings. The user can reprogram the EEPROM or DAC register any time.

The device uses a resistor string architecture. DAC's output is buffered with a low power precision amplifier. This output amplifier provides low offset voltage and low noise, as well as rail-to-rail output. The amplifier can also provide high source currents (V_{OUT} pin to V_{SS}).

The DAC can be configured to normal or power saving power-down mode by setting the configuration register bits.

The device uses a two-wire I²C compatible serial interface and operates from a single power supply ranging from 2.7V to 5.5V.

5.1 Output Voltage

The input coding to the MCP4725 device is unsigned binary. The output voltage range is from 0V to V_{DD} . The output voltage is given in Equation 5-1:

EQUATION 5-1:

$$V_{OUT} = \frac{(V_{REF} \times D_n)}{4096}$$

Where:

$$V_{REF} = V_{DD}$$
$$D_n = \text{Input code}$$

5.1.1 OUTPUT AMPLIFIER

The DAC output is buffered with a low-power, precision CMOS amplifier. This amplifier provides low offset voltage and low noise. The output stage enables the device to operate with output voltages close to the power supply rails. Refer to **Section 1.0 "Electrical Characteristics"** for range and load conditions.

The output amplifier can drive the resistive and high capacitive loads without oscillation. The amplifier can provide maximum load current as high as 25 mA which is enough for most of a programmable voltage reference applications.

5.1.2 DRIVING RESISTIVE AND CAPACITIVE LOADS

The MCP4725 output stage is capable of driving loads up to 1000 pF in parallel with 5 k Ω load resistance. Figure 2-15 shows the V_{OUT} vs. Resistive Load. V_{OUT} drops slowly as the load resistance decreases after about 3.5 k Ω .

5.2 LSB SIZE

One LSB is defined as the ideal voltage difference between two successive codes. (see Equation 4-1). Table 5-1 shows an example of the LSB size over full-scale range (V_{DD}).

TABLE 5-1: LSB SIZES FOR MCP4725 (EXAMPLE)

Full-Scale Range (V_{DD})	LSB Size	Condition
3.0V	0.73 mV	3 / 4096
5.0V	1.22 mV	5 / 4096

5.3 Voltage Reference

The MCP4725 device uses the V_{DD} as its voltage reference. Any variation or noises on the V_{DD} line can affect directly on the DAC output. The V_{DD} needs to be as clean as possible for accurate DAC performance.

5.4 Reset Conditions

In the Reset conditions, the device uploads the EEPROM data into the DAC register. The device can be reset by two independent events: (a) by POR or (b) by I²C General Call Reset Command.

The factory default settings for the EEPROM prior to shipment are shown in Table 4-3 (set for a middle scale output). The user can rewrite or read the DAC register or EEPROM anytime after the Power-On-Reset event.

5.4.1 POWER-ON-RESET

The device's internal Power-On-Reset (POR) circuit ensures that the device powers up in a defined state.

If the power supply voltage is less than the POR threshold ($V_{POR} = 2V$, typical), all circuits are disabled and there will be no DAC output. When the V_{DD} increases above the V_{POR} , the device takes a reset state. During the reset period, the device uploads all configuration and DAC input codes from EEPROM. The DAC output will be the same as for the value last stored in the EEPROM. This enables the device returns to the same state that it was at the last write to the EEPROM before it was powered off.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 Normal and Power-Down Modes

The device has two modes of operation: Normal mode and power-down mode. The mode is selected by programming the power-down bits (PD1 and PD0) in the Configuration register. The user can also program the two power-down bits in non-volatile EEPROM memory.

When the normal mode is selected, the device operates a normal digital-to-analog conversion. If the power-down mode is selected, the device enters a power saving condition by shutting down most of the internal circuits. During the power-down mode, all internal circuits except the I²C interface are disabled and there is no data conversion event, and no V_{OUT} is available. The device also switches the output stage from the output of the amplifier to a known resistive load. The value of the resistive load is determined by the state of the power-down bits (PD1 and PD0). Table 5-2 shows the outcome of the power-down bit and the resistive load.

During the power-down mode, the device draws about 60 nA (typical). Although most of internal circuits are shutdown, the serial interface remains active in order to receive the I²C command.

The device exits the power-down mode immediately when (a) it receives a new write command for normal mode or (b) it receives an I²C General Call Wake-Up Command.

When the DAC operation mode is changed from power-down to normal mode, the output settling time takes less than 10 μs, but greater than the standard Active mode settling time (6 μs, typical).

TABLE 5-2: POWER-DOWN BITS

PD1	PD0	Function
0	0	Normal Mode
0	1	1 kΩ resistor to ground ⁽¹⁾
1	0	100 kΩ resistor to ground ⁽¹⁾
1	1	500 kΩ resistor to ground ⁽¹⁾

Note 1: In the power-down mode: V_{OUT} is off and most of internal circuits are disabled.

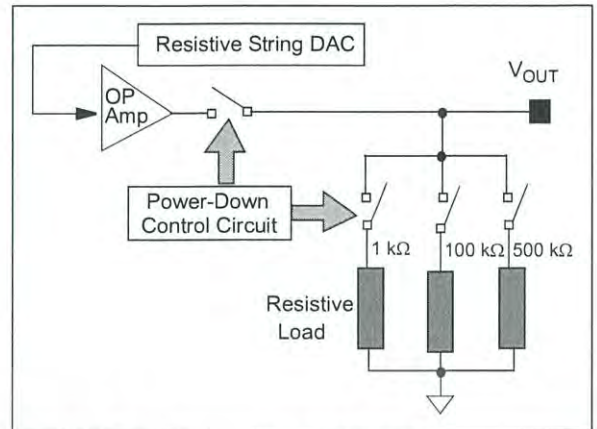


FIGURE 5-1: Output Stage for Power-Down Mode.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP4725

5.6 Non-Volatile EEPROM Memory

The MCP4725 device has a 14-bit wide EEPROM memory to store configuration bit (2 bits) and DAC input data (12 bits). These bits are readable and re-writable with I²C interface commands. The device has an on-chip charge pump circuit to write the EEPROM memory bits without using an external program voltage.

The EEPROM writing operation is initiated when the device receives an EEPROM write command (C2 = 0, C1 = 1, C0 = 1). The configuration and writing data bits

are transferred to the EEPROM memory block. A status bit, RDY/BSY, stays low during the EEPROM writing and goes high as the write operation is completed. While the RDY/BSY bit is low (during the EEPROM writing), any new write command is ignored (for EEPROM or DAC register). Table 5-3 shows the EEPROM bits and factory default settings. Table 5-4 shows the DAC input register bits of the MCP4725.

TABLE 5-3: EEPROM MEMORY AND FACTORY DEFAULT SETTINGS (TOTAL NUMBER OF BITS: 14 BITS)

Bit Name	PD1	PD0	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Bit Function	Power-Down Select (2 bits)		DAC Input Data (12 bits)											
Factory Default Value	0	0 (1)	1 (2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Note 1: See Table 5-2 for details.

2: Bit D11 = '1' (while all other bits are "0") enables the device to output $0.5 * V_{DD}$ (= middle scale output).

TABLE 5-4: DAC REGISTER

Bit Name	C2	C1	C0	RDY/BSY	POR	PD1	PD0	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Bit Function	Command Type			(1)		Power-Down Select		Data (12 bits)											

Note 1: Write EEPROM status indication bit (0:EEPROM write is not completed. 1:EEPROM write is complete.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.0 THEORY OF OPERATION

When the device is connected to the I²C bus line, the device is working as a slave device. The Master (MCU) can write/read the DAC input register or EEPROM using the I²C interface command. The MCP4725 device address contains four fixed bits (1100 = device code) and three address bits (A2, A1, A0). The A2 and A1 bits are hard-wired during manufacturing, and A0 bit is determined by the logic state of A0 pin. The A0 pin can be connected to V_{DD} or V_{SS}, or actively driven by digital logic levels.

The following sections describe the communication protocol to send or read the data code and write/read the EEPROM using the I²C interface. See **Section 7.0 "I²C Serial Interface Communication"**.

6.1 Write Commands

The write commands are used to load the configuration bits and DAC input code to the DAC register, or to write to the EEPROM of the device. The write command types are defined by using three write command type bits (C2, C1, C0). Table 6-2 shows the write command types and their functions. There are three command types for the MCP4725. The four "reserved" commands in Table 6-2 are for future use. The MCP4725 ignores the "reserved" commands. Write command protocol examples are shown in Figure 6-1 and Figure 6-2.

The input data code is coded as shown in Table 6-1. The MSB of the data is always transmitted first and the format is unipolar binary.

TABLE 6-1: INPUT DATA CODING

Input Code	Nominal Output Voltage (V)
111111111111 (FFFh)	V _{DD} - 1 LSB
111111111110 (FFEh)	V _{DD} - 2 LSB
000000000010 (002h)	2 LSB
000000000001 (001h)	1 LSB
000000000000 (000h)	0

6.1.1 WRITE COMMAND FOR FAST MODE (C2 = 0, C1 = 0, C0 = X, X = DON'T CARE)

The fast write command is used to update the DAC register. The data in the EEPROM of the device is not affected by this command. This command updates Power-Down mode selection bits (PD1 and PD0) and 12 bits of the DAC input code in the DAC register. Figure 6-1 shows an example of the fast write command for the MCP4725 device.

6.1.2 WRITE COMMAND FOR DAC INPUT REGISTER (C2 = 0, C1 = 1, C0 = 0)

In MCP4725, this command performs the same function as the Fast Mode command in **Section 6.1.1 "Write Command for Fast mode (C2 = 0, C1 = 0, C0 = X, X = Don't Care)"**. Figure 6-2 shows the write command protocol for the MCP4725.

As shown in Figure 6-2, the D11 - D0 bits in the third and fourth bytes are DAC input data. The last 4 bits (X, X, X, X) in the fourth byte are don't care bits.

The device executes the Master's write command after receiving the last byte (4th byte). The Master can send a STOP bit to terminate the current sequence, or send a Repeated START bit followed by an address byte. If the device receives three data bytes continuously after the 4th byte, it updates from the 2nd to the 4th data bytes with the last three input data bytes.

The contents of the register are updated at the end of the 4th byte. The device ignores any partially received data bytes if the I²C communication with the Master ends before completing the 4th byte.

6.1.3 WRITE COMMAND FOR DAC INPUT REGISTER AND EEPROM (C2 = 0, C1 = 1, C0 = 1)

When the device receives this command, it (a) loads the configuration and data bits to the DAC register, and (b) also writes the EEPROM. When the device is writing the EEPROM, the RDY/BSY bit goes low and stays low until the EEPROM write operation is completed. The state of the RDY/BSY bit can be monitored by a read command. Figure 6-2 shows the details of the this write command protocol and Figure 6-3 shows the details of the read command.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP4725

TABLE 6-2: WRITE COMMAND TYPE

C2	C1	C0	Command Name	Function
0	0	X	Fast Mode	This command is used to change the DAC register. EEPROM is not affected
0	0	X	"	"
0	1	0	Write DAC Register	Load configuration bits and data code to the DAC Register
0	1	1	Write DAC Register and EEPROM	(a) Load configuration bits and data code to the DAC Register and (b) also write the EEPROM
1	0	0	Reserved	Reserved for future use
1	0	1	Reserved	Reserved for future use
1	1	0	Reserved	Reserved for future use
1	1	1	Reserved	Reserved for future use

Note 1: X = Don't Care. Fast Mode does not use C0 bit.

2: The MCP4725 ignores the "Reserved" commands.

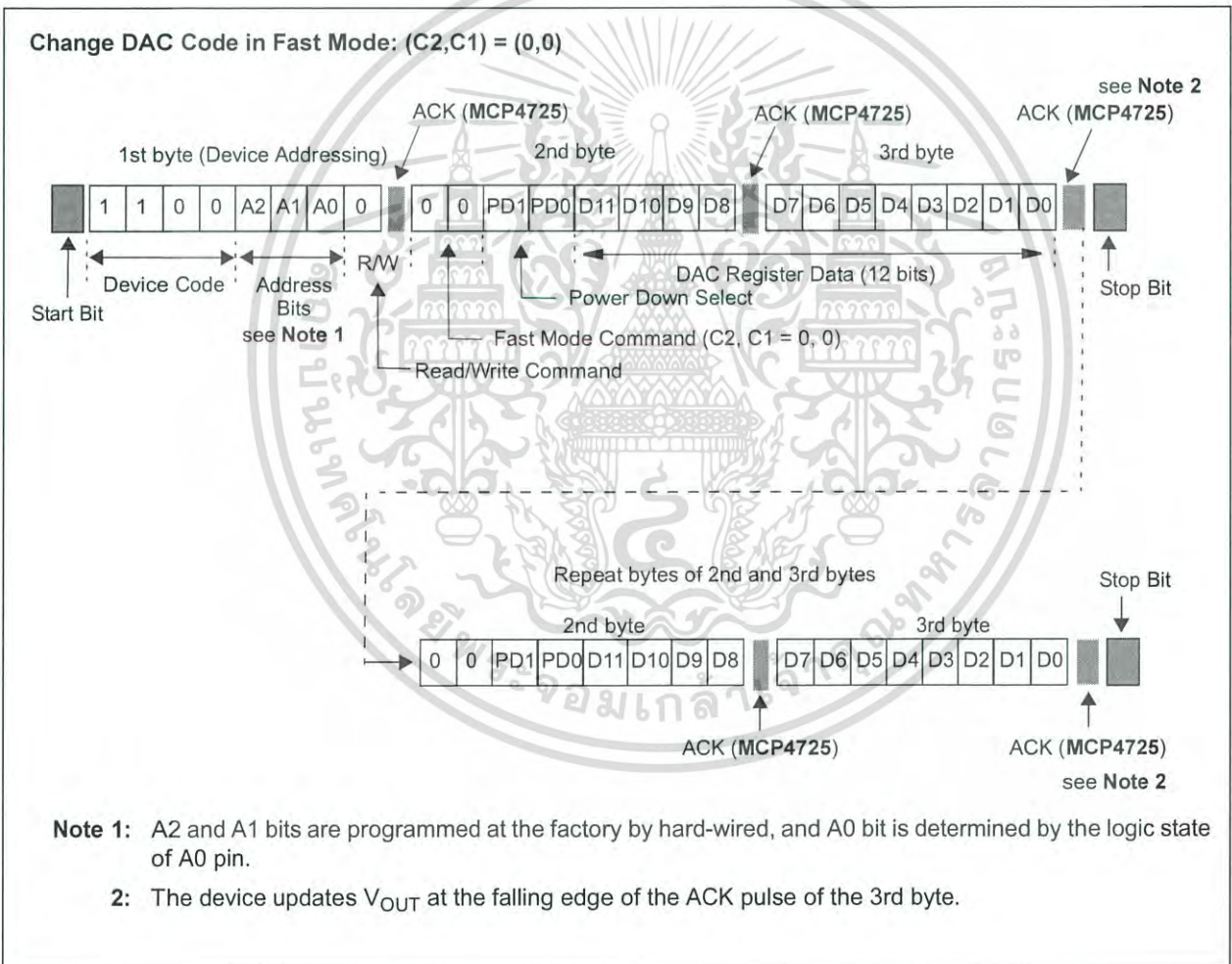


FIGURE 6-1: Write Command for Fast Mode.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

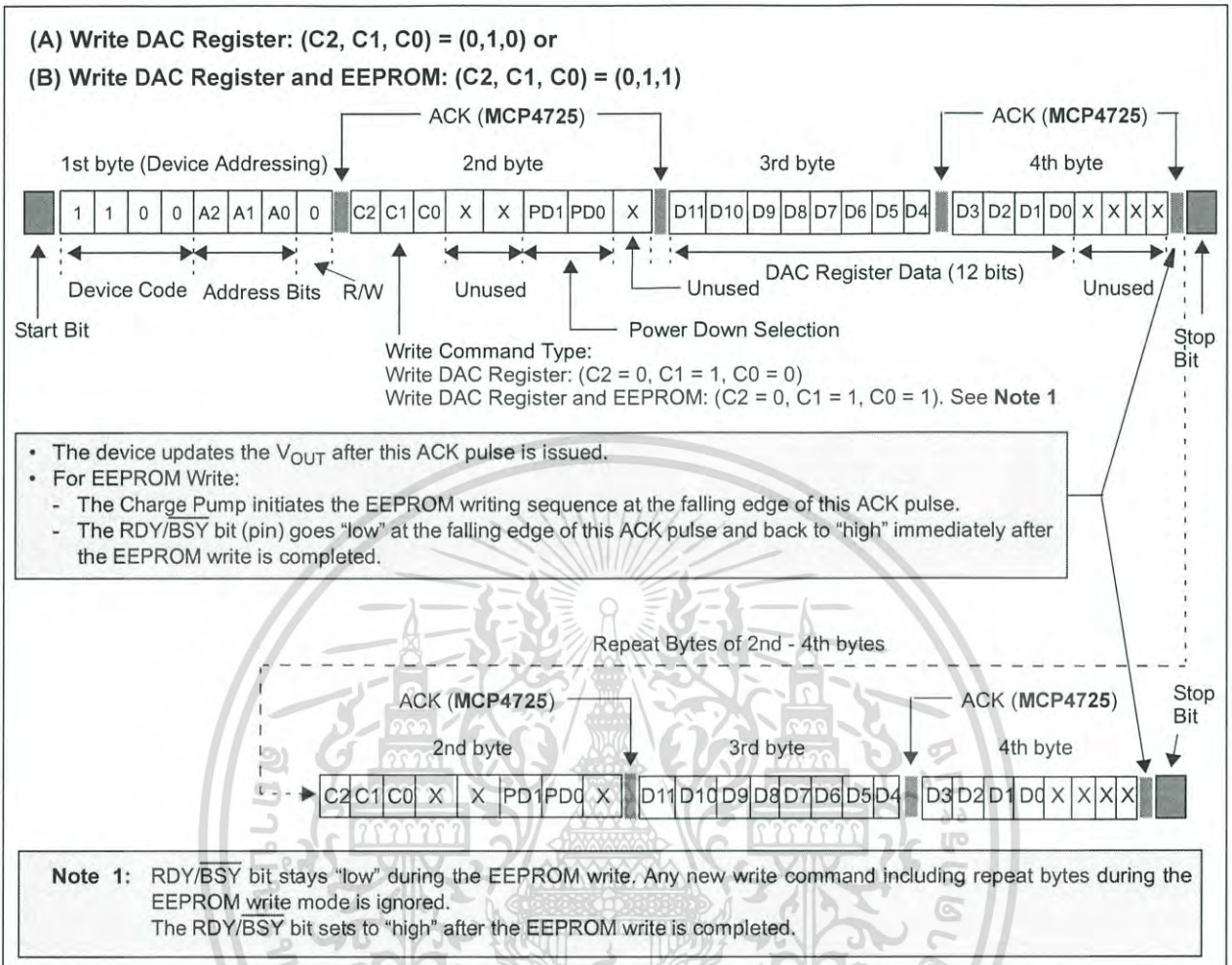


FIGURE 6-2: Write Commands for DAC Input Register and EEPROM.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP4725

6.2 READ COMMAND

If the $\overline{R/W}$ bit is set to a logic "high", then the device outputs on SDA pin, the DAC register and EEPROM data. Figure 6-3 shows an example of reading the register and EEPROM data. The 2nd byte in Figure 6-3 indicates the current condition of the device operation. The $\overline{RDY/BSY}$ bit indicates EEPROM writing status. The $\overline{RDY/BSY}$ bit stays low during EEPROM writing and high when the writing is completed..

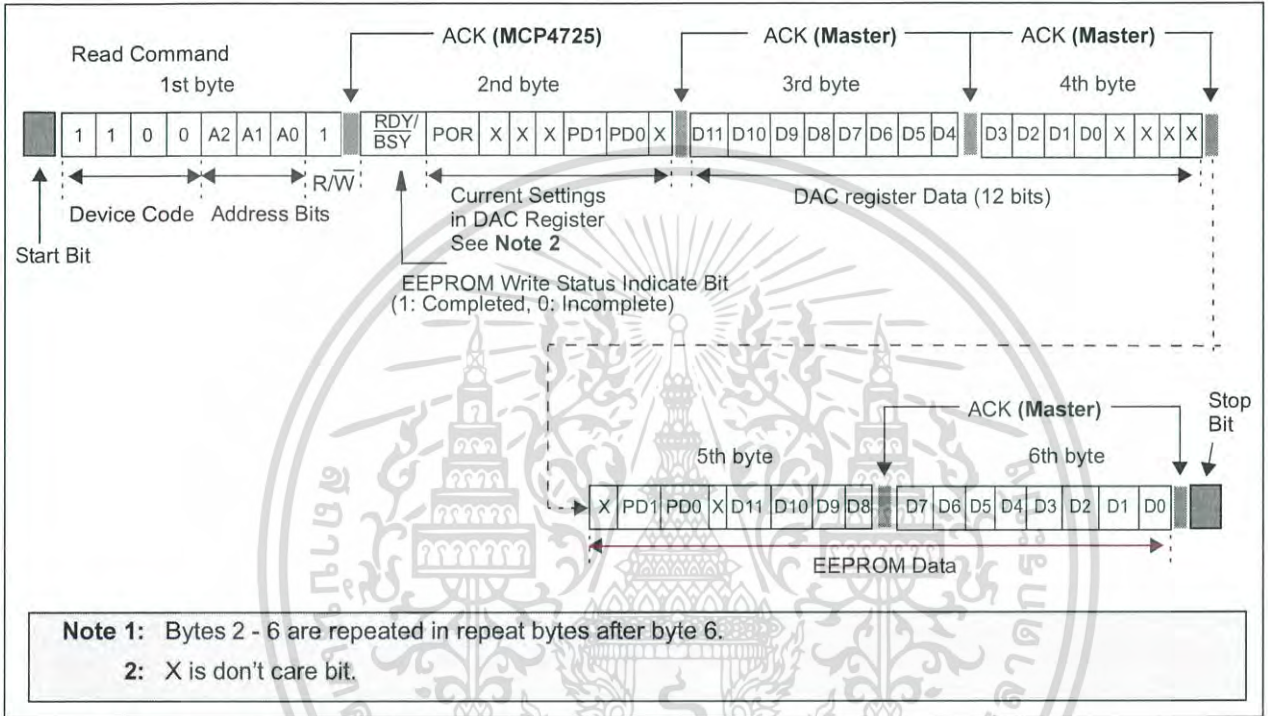


FIGURE 6-3: Read Command and Output Data Format.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.0 I²C SERIAL INTERFACE COMMUNICATION

7.1 OVERVIEW

The MCP4725 device uses a two-wire I²C serial interface that can operate on a standard, fast or high speed mode. A device that sends data onto the bus is defined as transmitter, and a device receiving data as receiver. The bus has to be controlled by a master device which generates the serial clock (SCL), controls the bus access and generates the START and STOP conditions. The MCP4725 device works as slave. Both master and slave can operate as transmitter or receiver, but the master device determines which mode is activated. An example of hardware connection diagram is shown in Figure 8-1. Communication is initiated by the master (microcontroller) which sends the START bit, followed by the slave address byte. The first byte transmitted is always the slave address byte, which contains the device code, the address bits, and the R/W bit. The device code for the MCP4725 device is 1100.

When the device receives a read command (R/W = 1), it transmits the contents of the DAC input register and EEPROM. A non-acknowledge (NAK) or repeated start bit can be transmitted at any time. See Figure 6-3 for the read operation example. If writing to the device (R/W = 0), the device will expect write command type bits in the following byte. See Figure 6-1 and Figure 6-2 for the write operation examples.

The MCP4725 supports all three I²C operating modes:

- Standard Mode: bit rates up to 100 kbit/s
- Fast Mode: bit rates up to 400 kbit/s
- High Speed Mode (HS mode): bit rates up to 3.4 Mbit/s

Refer to the Phillips I²C document for more details of the I²C specifications.

7.2 Device Addressing

The address byte is the first byte received following the START condition from the master device. The first part of the address byte consists of a 4-bit device code which is set to 1100 for the MCP4725. The device code is followed by three address bits (A2, A1, A0) which are programmed as follows:

- The choice of A2 and A1 bits are provided by the customer as part of the ordering process. These bits are then programmed (hard-wired) during manufacturing
- The A2 and A1 are programmed to '00' (default), if not requested by customer
- A0 bit is determined by the logic state of A0 pin. The A0 pin can be tied to V_{DD} or V_{SS}, or can be actively driven by digital logic levels. The advantage of using the A0 pin is that the users can control the A0 bit on their application PCB circuit and also two identical MCP4725 devices can be used on the same bus line.

When the device receives an address byte, it compares the logic state of the A0 pin with the A0 address bit received before responding with the acknowledge bit. The logic state of the A0 pin needs to be set prior to the interface communication.

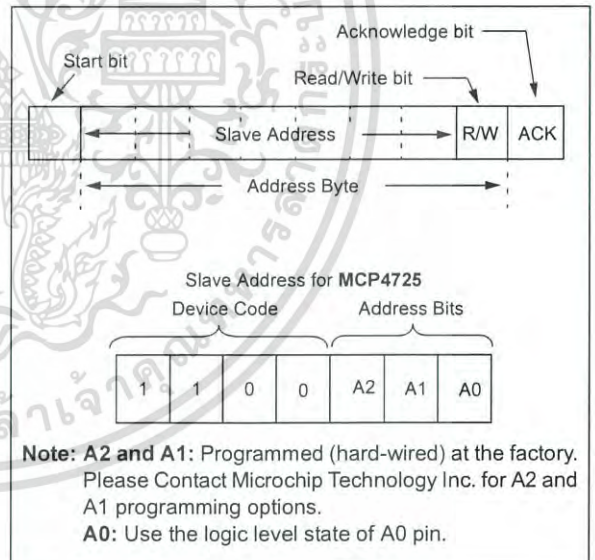


FIGURE 7-1: Device Addressing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP4725

7.3 General Call

The MCP4725 device acknowledges the general call address (0x00 in the first byte). The meaning of the general call address is always specified in the second byte (see Figure 7-2). The I²C specification does not allow to use "00000000" (00h) in the second byte. Please refer to the Phillips I²C document for more details of the General Call specifications. The MCP4725 supports the following general calls:

7.3.1 GENERAL CALL RESET

The general reset occurs if the second byte is "00000110" (06h). At the acknowledgement of this byte, the device will abort current conversion and perform an internal reset similar to a power-on-reset (POR). Immediately after this reset event, the device uploads the contents of the EEPROM into the DAC register.

7.3.2 GENERAL CALL WAKE-UP

If the second byte is "00001001" (09h), the device will reset the power-down bits. After receiving this command, the power-down bits of the DAC register are set to a normal operation (PD1, PD2 = 0,0). The power-down bit settings in EEPROM are not affected.

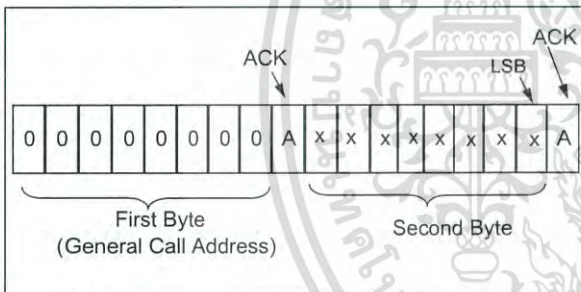


FIGURE 7-2: General Call Address Format.

7.4 High-Speed (HS) Mode

The I²C specification requires that a high-speed mode device must be 'activated' to operate in high-speed (3.4 Mbit/s) mode. This is done by sending a special address byte of 00001xxx following the START bit. The xxx bits are unique to the high-speed (HS) mode Master. This byte is referred to as the high-speed (HS) Master Mode Code (HSMMC). The MCP4725 device does not acknowledge this byte. However, upon receiving this command, the device switches to HS mode and can communicate at up to 3.4 Mbit/s on SDA and SCL lines. The device will switch out of the HS mode on the next STOP condition.

For more information on the HS mode, or other I²C modes, please refer to the Phillips I²C specification.

7.5 I²C BUS CHARACTERISTICS

The I²C specification defines the following bus protocol:

- Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.
- During data transfer, the data line must remain stable whenever the clock line is HIGH. Changes in the data line while the clock line is HIGH will be interpreted as a START or STOP condition.

Accordingly, the following bus conditions have been defined using Figure 7-3.

7.5.1 BUS NOT BUSY (A)

Both data and clock lines remain HIGH.

7.5.2 START DATA TRANSFER (B)

A HIGH to LOW transition of the SDA line while the clock (SCL) is HIGH determines a START condition.

All commands must be preceded by a START condition.

7.5.3 STOP DATA TRANSFER (C)

A LOW to HIGH transition of the SDA line while the clock (SCL) is HIGH determines a STOP condition. All operations must be ended with a STOP condition.

7.5.4 DATA VALID (D)

The state of the data line represents valid data when, after a START condition, the data line is stable for the duration of the HIGH period of the clock signal.

The data on the line must be changed during the LOW period of the clock signal. There is one clock pulse per bit of data.

Each data transfer is initiated with a START condition and terminated with a STOP condition.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.5.5 ACKNOWLEDGE

Each receiving device, when addressed, is obliged to generate an acknowledge after the reception of each byte. The master device must generate an extra clock pulse which is associated with this acknowledge bit.

The device that acknowledges, has to pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse in such a way that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse. Of

course, setup and hold times must be taken into account. During reads, a master must send an end of data to the slave by not generating an acknowledge bit on the last byte that has been clocked out of the slave.

In this case, the slave (MCP4725) will leave the data line HIGH to enable the master to generate the STOP condition.

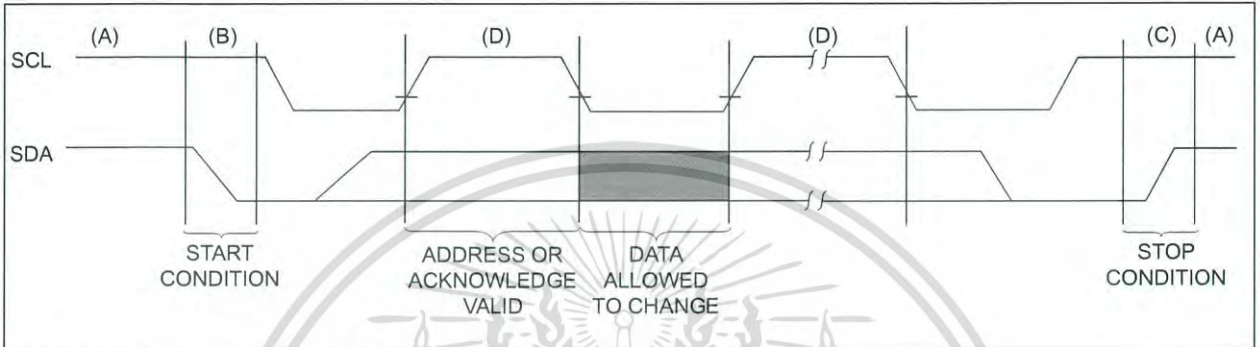


FIGURE 7-3: Data Transfer Sequence On The Serial Bus.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP4725

TABLE 7-1: I²C SERIAL TIMING SPECIFICATIONS

Electrical Specifications: Unless otherwise specified, all limits are specified for T _A = -40 to +85°C, V _{DD} = +2.7V to +5.0V, V _{SS} = 0V.						
Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Standard Mode						
Clock frequency	f _{SCL}	0	—	100	kHz	
Clock high time	T _{HIGH}	4000	—	—	ns	
Clock low time	T _{LOW}	4700	—	—	ns	
SDA and SCL rise time (Note 1)	T _R	—	—	1000	ns	From V _{IL} to V _{IH}
SDA and SCL fall time (Note 1)	T _F	—	—	300	ns	From V _{IH} to V _{IL}
START condition hold time	T _{HD:STA}	4000	—	—	ns	After this period, the first clock pulse is generated.
Repeated START condition setup time	T _{SU:STA}	4700	—	—	ns	Only relevant for repeated Start condition
Data hold time (Note 3)	T _{HD:DAT}	0	—	3450	ns	
Data input setup time	T _{SU:DAT}	250	—	—	ns	
STOP condition setup time	T _{SU:STO}	4000	—	—	ns	
STOP condition hold time	T _{HD:STD}	4000	—	—	ns	
Output valid from clock (Notes 2 and 3)	T _{AA}	0	—	3750	ns	
Bus free time	T _{BUF}	4700	—	—	ns	Time between START and STOP conditions.
Fast Mode						
Clock frequency	T _{SCL}	0	—	400	kHz	
Clock high time	T _{HIGH}	600	—	—	ns	
Clock low time	T _{LOW}	1300	—	—	ns	
SDA and SCL rise time (Note 1)	T _R	20 + 0.1Cb	—	300	ns	From V _{IL} to V _{IH}
SDA and SCL fall time (Note 1)	T _F	20 + 0.1Cb	—	300	ns	From V _{IH} to V _{IL}
START condition hold time	T _{HD:STA}	600	—	—	ns	After this period, the first clock pulse is generated
Repeated START condition setup time	T _{SU:STA}	600	—	—	ns	Only relevant for repeated Start condition
Data hold time (Note 4)	T _{HD:DAT}	0	—	900	ns	
Data input setup time	T _{SU:DAT}	100	—	—	ns	
STOP condition setup time	T _{SU:STO}	600	—	—	ns	
STOP condition hold time	T _{HD:STD}	600	—	—	ns	
Output valid from clock (Notes 2 and 3)	T _{AA}	0	—	1200	ns	
Bus free time	T _{BUF}	1300	—	—	ns	Time between START and STOP conditions.

- Note 1:** This parameter is ensured by characterization and not 100% tested.
- Note 2:** This specification is not a part of the I²C specification. This specification is equivalent to the Data Hold Time (T_{HD:DAT}) plus SDA Fall (or rise) time: T_{AA} = T_{HD:DAT} + T_F (OR T_R).
- Note 3:** If this parameter is too short, it can create an unintended Start or Stop condition to other devices on the bus line. If this parameter is too long, Clock Low time (T_{LOW}) can be affected.
- Note 4:** For Data Input: This parameter must be longer than t_{SP}. If this parameter is too long, the Data Input Setup (T_{SU:DAT}) or Clock Low time (T_{LOW}) can be affected.
For Data Output: This parameter is characterized, and tested indirectly by testing T_{AA} parameter.
- Note 5:** All timing parameters in high-speed modes are tested at V_{DD} = 5V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 7-1: I²C SERIAL TIMING SPECIFICATIONS (CONTINUED)

Electrical Specifications: Unless otherwise specified, all limits are specified for $T_A = -40$ to $+85^\circ\text{C}$, $V_{DD} = +2.7\text{V}$ to $+5.0\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$.						
Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
High Speed Mode (Note 5)						
Clock frequency	f_{SCL}	0	—	3.4 1.7	MHz MHz	$C_b = 100\text{ pF}$ $C_b = 400\text{ pF}$
Clock high time	T_{HIGH}	60 120	—	—	ns ns	$C_b = 100\text{ pF}$ $C_b = 400\text{ pF}$
Clock low time	T_{LOW}	160 320	—	—	ns	$C_b = 100\text{ pF}$ $C_b = 400\text{ pF}$
SCL rise time (Note 1)	T_R	—	—	40 80	ns	From V_{IL} to V_{IH} , $C_b = 100\text{ pF}$ $C_b = 400\text{ pF}$
SCL fall time (Note 1)	T_F	—	—	40 80	ns	From V_{IH} to V_{IL} , $C_b = 100\text{ pF}$ $C_b = 400\text{ pF}$
SDA rise time (Note 1)	$T_{R:\text{DAT}}$	—	—	80 160	ns	From V_{IL} to V_{IH} , $C_b = 100\text{ pF}$ $C_b = 400\text{ pF}$
SDA fall time (Note 1)	$T_{F:\text{DATA}}$	—	—	80 160	ns	From V_{IH} to V_{IL} , $C_b = 100\text{ pF}$ $C_b = 400\text{ pF}$
START condition hold time	$T_{\text{HD:STA}}$	160	—	—	ns	After this period, the first clock pulse is generated
Repeated START condition setup time	$T_{\text{SU:STA}}$	160	—	—	ns	Only relevant for repeated Start condition
Data hold time (Note 4)	$T_{\text{HD:DAT}}$	0 0	—	70 150	ns	$C_b = 100\text{ pF}$ $C_b = 400\text{ pF}$
Data input setup time	$T_{\text{SU:DAT}}$	10	—	—	ns	
STOP condition setup time	$T_{\text{SU:STO}}$	160	—	—	ns	
STOP condition hold time	$T_{\text{HD:STD}}$	160	—	—	ns	
Output valid from clock (Notes 2 and 3)	T_{AA}	—	—	150 310	ns	$C_b = 100\text{ pF}$ $C_b = 400\text{ pF}$
Bus free time	T_{BUF}	160	—	—	ns	Time between START and STOP conditions.

- Note 1:** This parameter is ensured by characterization and not 100% tested.
- Note 2:** This specification is not a part of the I2C specification. This specification is equivalent to the Data Hold Time ($T_{\text{HD:DAT}}$) plus SDA Fall (or rise) time: $T_{\text{AA}} = T_{\text{HD:DAT}} + T_F$ (OR T_R).
- Note 3:** If this parameter is too short, it can create an unintended Start or Stop condition to other devices on the bus line. If this parameter is too long, Clock Low time (T_{LOW}) can be affected.
- Note 4:** For Data Input: This parameter must be longer than t_{SP} . If this parameter is too long, the Data Input Setup ($T_{\text{SU:DAT}}$) or Clock Low time (T_{LOW}) can be affected.
For Data Output: This parameter is characterized, and tested indirectly by testing T_{AA} parameter.
- Note 5:** All timing parameters in high-speed modes are tested at $V_{\text{DD}} = 5\text{V}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP4725

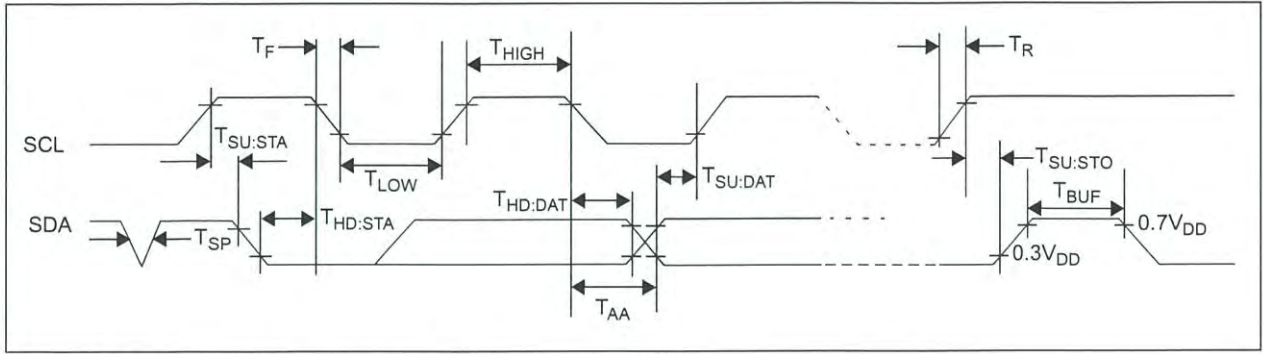


FIGURE 7-4: I²C Bus Timing Data.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.0 TYPICAL APPLICATIONS

The MCP4725 device is one of Microchip's latest DAC device family with non-volatile EEPROM memory. The device is a general purpose resistive string DAC intended to be used in applications where a precision, and low power DAC with moderate bandwidth is required.

Since the device includes non-volatile EEPROM memory, the user can use this device for applications that require the output to return to the previous set-up value on subsequent power-ups.

Applications generally suited for the MCP4725 device family include:

- Set Point or Offset Trimming
- Sensor Calibration
- Portable Instrumentation (Battery Powered)
- Motor Speed Control

8.1 Connecting to I²C BUS using Pull-Up Resistors

The SCL and SDA pins of the MCP4725 are open-drain configurations. These pins require a pull-up resistor as shown in Figure 8-1. The value of these pull-up resistors depends on the operating speed (standard, fast, and high speed) and loading capacitance of the I²C bus line. Higher value of pull-up resistor consumes less power, but increases the signal transition time (higher RC time constant) on the bus. Therefore, it can limit the bus operating speed. The lower resistor value, on the other hand, consumes higher power, but allows higher operating speed. If the bus line has higher capacitance due to long bus line or high number of devices connected to the bus, a smaller pull-up resistor is needed to compensate the long RC time constant. The pull-up resistor is typically chosen between 1 k Ω and 10 k Ω ranges for standard and fast modes, and less than 1 k Ω for high speed mode.

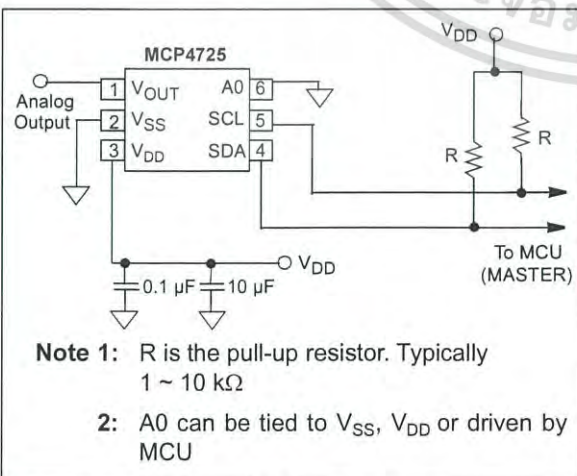


FIGURE 8-1: I²C Bus Interface Connection with A0 pin tied to V_{SS}. เอกสารใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Two devices with the same A2 and A1 address bits can be connected to the same I²C bus by utilizing the A0 address pin (Example: A0 pin of device A is tied to V_{DD}, and the other device's pin is tied to V_{SS}.)

8.1.1 DEVICE CONNECTION TEST

The user can test the presence of the MCP4725 on the I²C bus line without performing the data conversion. This test can be achieved by checking an acknowledge response from the MCP4725 after sending a read or write command. Here is an example using Figure 8-2:

- Set the R/W bit "HIGH" in the address byte.
- If the MCP4725 is connected to the I²C bus line, it will then acknowledge by pulling SDA bus LOW during the ACK clock and then release the bus back to the I²C Master.
- A STOP or repeated START bit can then be issued from the Master and I²C communication can continue.

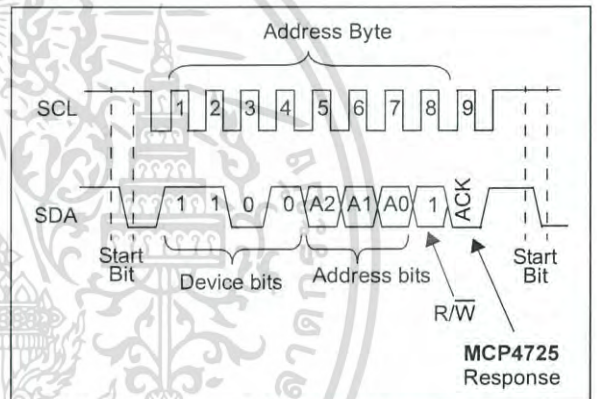


FIGURE 8-2: I²C Bus Connection Test.

MCP4725

8.2 Using Non-Volatile EEPROM Memory

The user can store the DAC input code (12 bits) and power-down configuration bits (2 bits) in the internal non-volatile EEPROM memory using the I²C write command. The user can also read the EEPROM data using the I²C read command. When the device is first powered after power is shut down, the device uploads the EEPROM contents to the DAC register automatically and provides the DAC output immediately. This feature is very useful in applications where the DAC device is used to provide set point or calibration data for other devices in the application system. The DAC will not lose the important system operational parameters due to the system power failure incidents. See Section 5.6 “Non-Volatile EEPROM Memory” for more details of the non-volatile EEPROM memory.

8.3 Power Supply Considerations

The power supply to the device is used for both V_{DD} and DAC reference voltage. Any noise induced on the V_{DD} line can affect on the DAC performance. Typical application will require a bypass capacitor in order to filter out high frequency noise on the V_{DD} line. The noise can be induced onto the power supply's traces or as a result of changes on the DAC output. The bypass capacitor helps to minimize the effect of these noise sources on signal integrity. Figure 8-1 shows an example of using two bypass capacitors (a 10 μ F tantalum capacitor and a 0.1 μ F ceramic capacitor) in parallel on the V_{DD} line. These capacitors should be placed as close to the V_{DD} pin as possible (within 4 mm).

The power source should be as clean as possible. If the application circuit has separate digital and analog power supplies, the V_{DD} and V_{SS} pins of the MCP4725 should reside on the analog plane.

8.4 Layout Considerations

Inductively-coupled AC transients and digital switching noise from other devices can affect on DAC performance and DAC output signal integrity. Careful board layout will minimize these effects. Bench testing has shown that a multi-layer board utilizing a low-inductance ground plane, isolated inputs, isolated outputs and proper decoupling are critical to achieving the performance that the MCP4725 is capable of providing. Particularly harsh environments may require shielding of critical signals. Separate digital and analog ground planes are recommended. In this case, the V_{SS} pin and the ground pins of the V_{DD} capacitors of the MCP4725 should be terminated to the analog ground plane.

8.5 Application Examples

The MCP4725 is a rail-to-rail output DAC designed to operate with a V_{DD} range of 2.7V to 5.5V. Its output amplifier is robust enough to drive common, small-signal loads directly, thus eliminating the cost and size of an external buffer for most applications.

8.5.1 DC SET POINT OR CALIBRATION

A common application for the MCP4725 is a digitally-controlled set point or a calibration of variable parameters such as sensor offset or bias point. Example 8-1 shows an example of the set point setting. Since the MCP4725 is a 12-bit DAC and uses the V_{DD} supply as a reference source, it provides a V_{DD}/4096 of resolution per step.

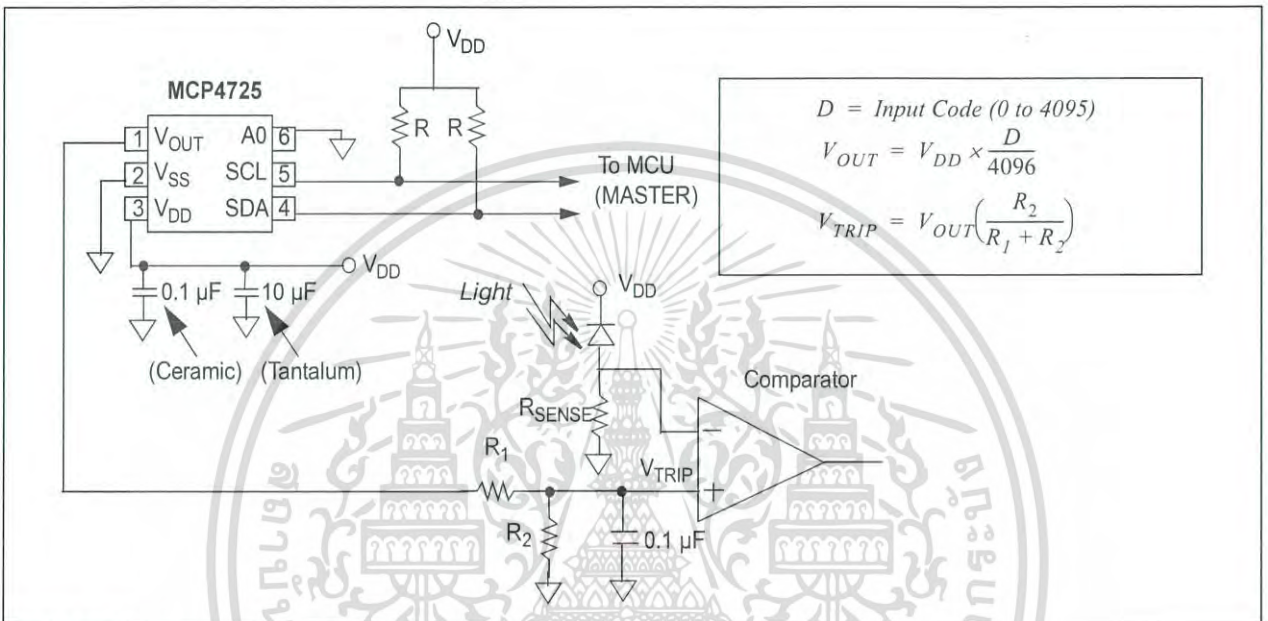
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.5.2 DECREASING THE OUTPUT STEP SIZE

Calibrating the threshold of a diode, transistor or resistor may require a very small step size in the DAC output voltage. These applications may require about 200 μV of step resolution within 0.8V of range.

One method of achieving this small step resolution is using a voltage divider at the DAC output. An example is shown in Example 8-1. The step size of the DAC out-

put is scaled down by the factor of the ratio of the voltage divider. Note that the bypass capacitor on the output of the voltage divider plays a critical function in attenuating the output noise of the DAC and the induced noise from the environment.



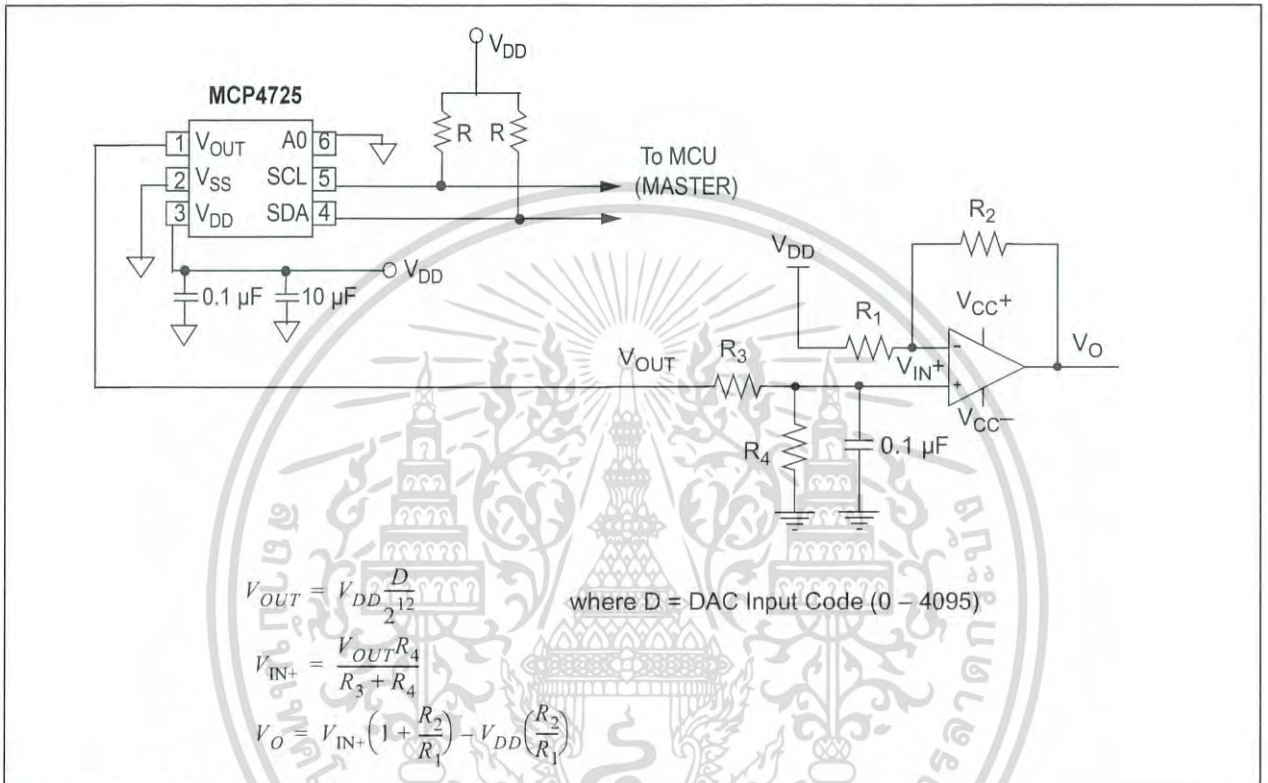
EXAMPLE 8-1: Set Point Or Threshold Calibration.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.5.4 BIPOLAR OPERATION

Bipolar operation is achievable using the MCP4725 by using an external operational amplifier (op amp). This allows a general purpose DAC, with its cost and availability advantages, to meet almost any desired output voltage range, power and noise performance.

Example 8-3 illustrates a simple bipolar voltage source configuration. R_1 and R_2 allow the gain to be selected, while R_3 and R_4 shift the DAC's output to a selected offset. Note that R_4 can be tied to V_{DD} ($= V_{REF}$) instead of V_{SS} , if a higher offset is desired. Note that a pull-up to V_{DD} could be used, instead of R_4 , if a higher offset is desired.



EXAMPLE 8-3: Digitally-Controlled Bipolar Voltage Source.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP4725

8.5.4.1 Design a Bipolar DAC using Example 8-3

Some applications desires an output step magnitude of 1 mV with an output range of $\pm 2.05\text{V}$. The following steps explain the design solution:

1. Calculate the range: $+2.05\text{V} - (-2.05\text{V}) = 4.1\text{V}$.
2. Calculate the resolution needed:

$$4.1\text{V}/1\text{ mV} = 4100$$

Since $2^{12} = 4096$ for 12-bit resolution.

3. The amplifier gain (R_2/R_1), multiplied by V_{DD} , must be equal to the desired minimum output to achieve bipolar operation. Since any gain can be realized by choosing resistor values (R_1+R_2), the V_{DD} value must be selected first. If a V_{DD} of 4.1V is used, solve for the amplifier's gain by setting the DAC to 0, knowing that the output needs to be -2.05V. The equation can be simplified to:

$$\frac{-R_2}{R_1} = \frac{-2.05}{V_{DD}} = \frac{-2.05}{4.1} \rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{2}$$

If $R_1 = 20\text{ k}\Omega$ and $R_2 = 10\text{ k}\Omega$, the gain will be 0.5.

4. Next, solve for R_3 and R_4 by setting the DAC to 4096, knowing that the output needs to be +2.05V.

$$\frac{R_4}{(R_3 + R_4)} = \frac{2.05\text{V} + (0.5 \cdot V_{DD})}{1.5 \cdot V_{DD}} = \frac{2}{3}$$

If $R_4 = 20\text{ k}\Omega$, then $R_3 = 10\text{ k}\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.5.5 PROGRAMMABLE CURRENT SOURCE

Example 8-3 illustrates an example how to convert the DAC voltage output to a digitally selectable current source by adding a voltage follower and a sensor resistor.

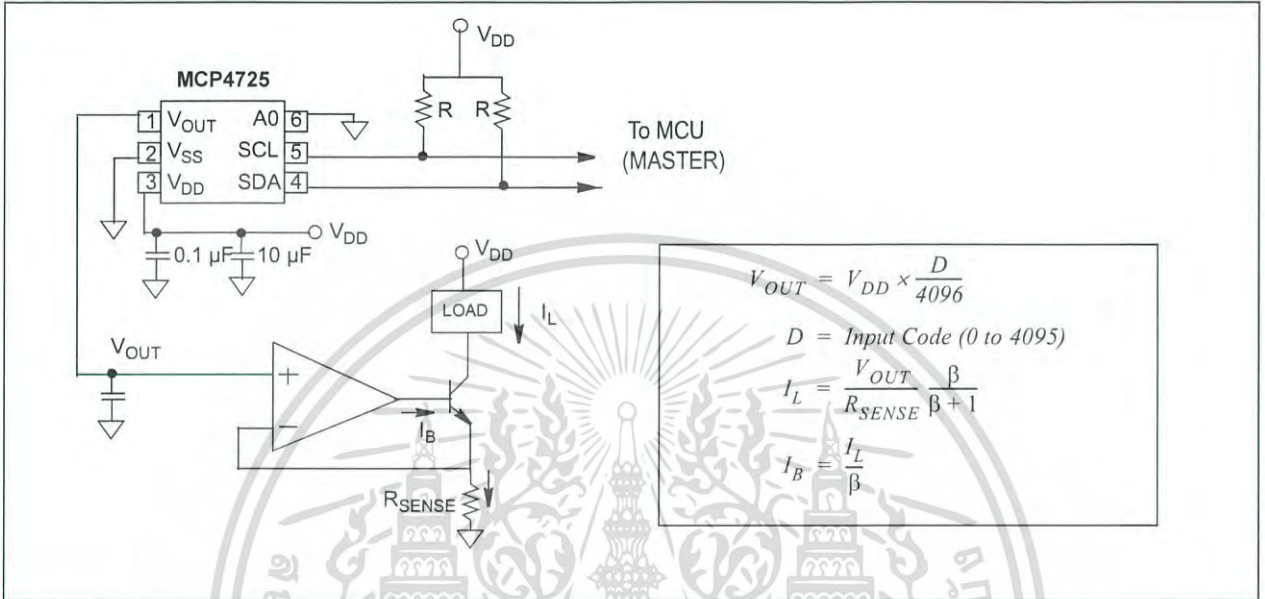


FIGURE 8-3: Digitally Controllable Current Source.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP4725

9.0 DEVELOPMENT SUPPORT

9.1 Evaluation & Demonstration Boards

The MCP4725 SOT-23-6 Evaluation Board is available from Microchip Technology Inc. This board works with Microchip's PICKit™ Serial Analyzer. The user can program the DAC input codes and EEPROM data, or read the programmed data using the easy to use PICKit Serial Analyzer with the Graphic User Interface software. Refer to www.microchip.com for further information on this product's capabilities and availability.

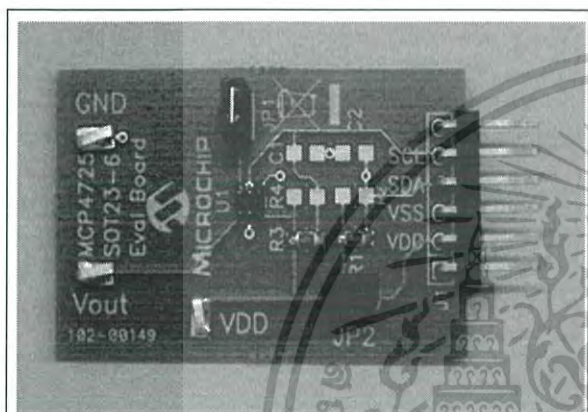


FIGURE 9-1: MCP4725 SOT-23-6 Evaluation Board.

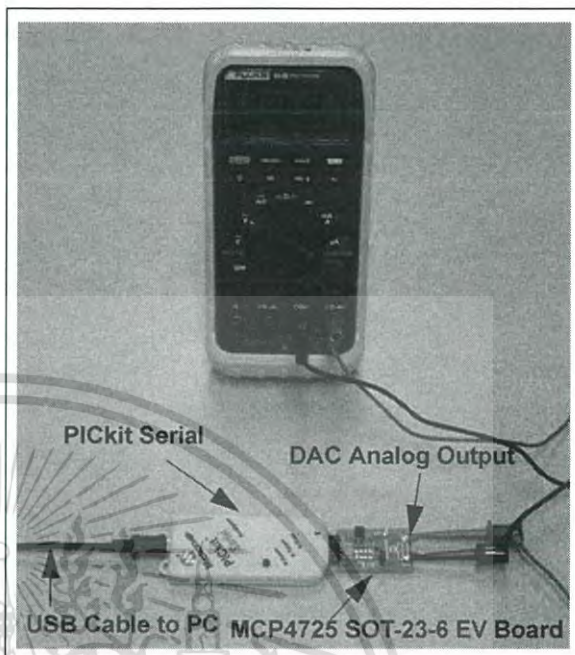


FIGURE 9-2: Setup for the MCP4725 SOT-23-6 Evaluation Board with PICKit™ Serial Analyzer.

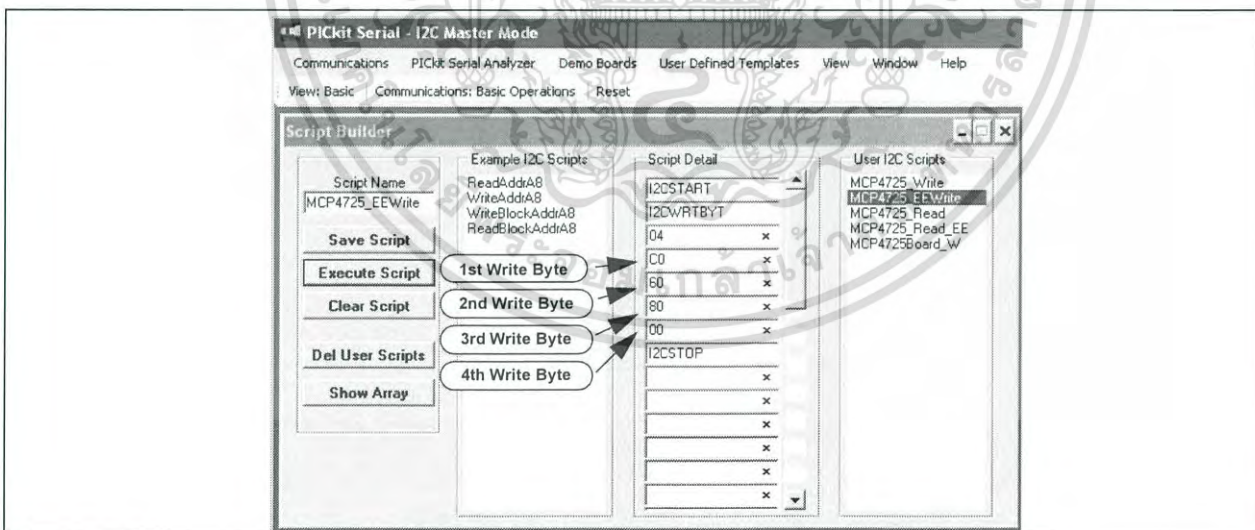


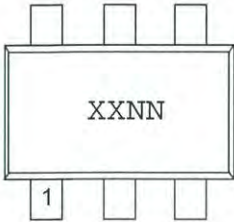
FIGURE 9-3: Example of PICKit™ Serial User Interface.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.0 PACKAGING INFORMATION

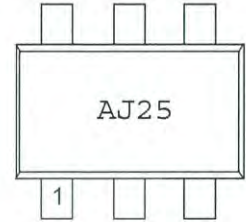
10.1 Package Marking Information

6-Lead SOT-23



Part Number	Address Option	Code
MCP4725A0T-E/CH	A0 (00)	AJNN
MCP4725A1T-E/CH	A1 (01)	APNN
MCP4725A2T-E/CH	A2 (10)	AQNN
MCP4725A3T-E/CH	A3 (11)	ARNN

Example



Legend: XX...X Customer-specific information
 Y Year code (last digit of calendar year)
 YY Year code (last 2 digits of calendar year)
 WW Week code (week of January 1 is week '01')
 NNN Alphanumeric traceability code
 (e3) Pb-free JEDEC designator for Matte Tin (Sn)
 * This package is Pb-free. The Pb-free JEDEC designator (e3) can be found on the outer packaging for this package.

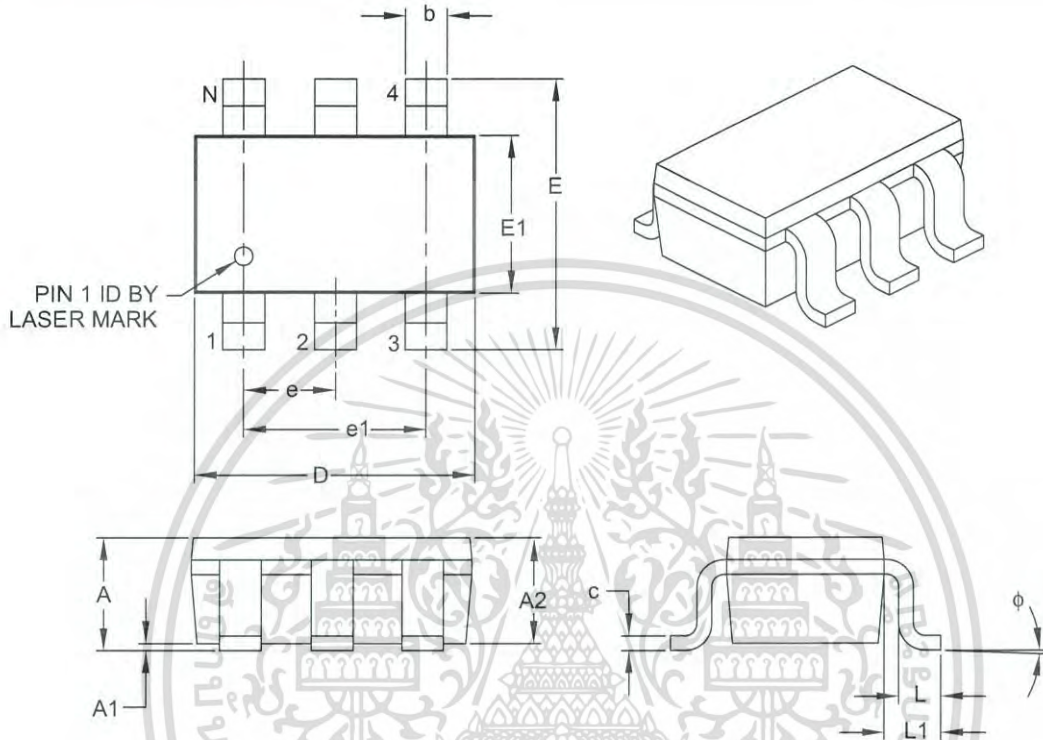
Note: In the event the full Microchip part number cannot be marked on one line, it will be carried over to the next line, thus limiting the number of available characters for customer-specific information.

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของไมโครชิพเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP4725

6-Lead Plastic Small Outline Transistor (CH) [SOT-23]

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



Dimension	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Number of Pins	N	6		
Pitch	e	0.95 BSC		
Outside Lead Pitch	e1	1.90 BSC		
Overall Height	A	0.90	–	1.45
Molded Package Thickness	A2	0.89	–	1.30
Standoff	A1	0.00	–	0.15
Overall Width	E	2.20	–	3.20
Molded Package Width	E1	1.30	–	1.80
Overall Length	D	2.70	–	3.10
Foot Length	L	0.10	–	0.60
Footprint	L1	0.35	–	0.80
Foot Angle	ϕ	0°	–	30°
Lead Thickness	c	0.08	–	0.26
Lead Width	b	0.20	–	0.51

Notes:

- Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.127 mm per side.
- Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.

BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

Microchip Technology Drawing C04-028B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPENDIX A: REVISION HISTORY

Revision C (November 2007)

The following is the list of modifications:

1. Corrected Address Options on Product Identification System page.

Revision B (October 2007)

The following is the list of modifications:

1. Added characterization graphs to document.
2. Numerous edits throughout.
3. Add new package marking address options. Updated package marking information and package outline drawings.
4. Added address options to Product Identification System page.

Revision A (April 2007)

- Original Release of this Document.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP4725

NOTES:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRODUCT IDENTIFICATION SYSTEM

To order or obtain information, e.g., on pricing or delivery, refer to the factory or the listed sales office.

<u>PART NO.</u>	<u>XX</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>/XX</u>	
Device	Address Options	Tape and Reel	Temperature Range	Package	Examples:
Device:	MCP4725: Single Channel 12-Bit DAC w/EEPROM Memory				a) MCP4725A0T-E/CH: Tape and Reel, Extended Temp., 6LD SOT-23 pkg. Address Option = A0
Address Options:	XX	A2	A1	A0	b) MCP4725A1T-E/CH: Tape and Reel, Extended Temp., 6LD SOT-23 pkg. Address Option = A1
	A0 *	= 0	0	External	c) MCP4725A2T-E/CH: Tape and Reel, Extended Temp., 6LD SOT-23 pkg. Address Option = A2
	A1	= 0	1	External	d) MCP4725A3T-E/CH: Tape and Reel, Extended Temp., 6LD SOT-23 pkg. Address Option = A3
	A2	= 1	0	External	
	A3	= 1	1	External	
	* Default option. Contact Microchip factory for other address options				
Tape and Reel:	T	= Tape and Reel			
Temperature Range:	E	= -40°C to +125°C			
Package:	CH	= Plastic Small Outline Transistor (SOT-23-6), 6-lead			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP4725

NOTES:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Note the following details of the code protection feature on Microchip devices:

- Microchip products meet the specification contained in their particular Microchip Data Sheet.
- Microchip believes that its family of products is one of the most secure families of its kind on the market today, when used in the intended manner and under normal conditions.
- There are dishonest and possibly illegal methods used to breach the code protection feature. All of these methods, to our knowledge, require using the Microchip products in a manner outside the operating specifications contained in Microchip's Data Sheets. Most likely, the person doing so is engaged in theft of intellectual property.
- Microchip is willing to work with the customer who is concerned about the integrity of their code.
- Neither Microchip nor any other semiconductor manufacturer can guarantee the security of their code. Code protection does not mean that we are guaranteeing the product as "unbreakable."

Code protection is constantly evolving. We at Microchip are committed to continuously improving the code protection features of our products. Attempts to break Microchip's code protection feature may be a violation of the Digital Millennium Copyright Act. If such acts allow unauthorized access to your software or other copyrighted work, you may have a right to sue for relief under that Act.

Information contained in this publication regarding device applications and the like is provided only for your convenience and may be superseded by updates. It is your responsibility to ensure that your application meets with your specifications. MICROCHIP MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES OF ANY KIND WHETHER EXPRESS OR IMPLIED, WRITTEN OR ORAL, STATUTORY OR OTHERWISE, RELATED TO THE INFORMATION, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ITS CONDITION, QUALITY, PERFORMANCE, MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR PURPOSE. Microchip disclaims all liability arising from this information and its use. Use of Microchip devices in life support and/or safety applications is entirely at the buyer's risk, and the buyer agrees to defend, indemnify and hold harmless Microchip from any and all damages, claims, suits, or expenses resulting from such use. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any Microchip intellectual property rights.

Trademarks

The Microchip name and logo, the Microchip logo, Accuron, dsPIC, KEELoQ, KEELoQ logo, microID, MPLAB, PIC, PICmicro, PICSTART, PRO MATE, rPIC and SmartShunt are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.


AmpLab, FilterLab, Linear Active Thermistor, Migratable Memory, MXDEV, MXLAB, SEEVAL, SmartSensor and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

Analog-for-the-Digital Age, Application Maestro, CodeGuard, dsPICDEM, dsPICDEM.net, dsPICworks, dsSPEAK, ECAN, ECONOMONITOR, FanSense, FlexROM, fuzzyLAB, In-Circuit Serial Programming, ICSP, ICEPIC, Mindi, MiWi, MPASM, MPLAB Certified logo, MPLIB, MPLINK, Pickett, PICDEM, PICDEM.net, PICLAB, PICtail, PowerCal, PowerInfo, PowerMate, PowerTool, REAL ICE, rfLAB, Select Mode, Smart Serial, SmartTel, Total Endurance, UNI/O, WiperLock and ZENA are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

SQTP is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

© 2007, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.

 Printed on recycled paper.

**QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV**

ISO/TS 16949:2002 การศึกษา

Microchip received ISO/TS-16949:2002 certification for its worldwide headquarters, design and wafer fabrication facilities in Chandler and Tempe, Arizona; Gresham, Oregon and design centers in California and India. The Company's quality system processes and procedures are for its PIC® MCUs and dsPIC® DSCs, KEELoQ® code hopping devices, Serial EEPROMs, microperipherals, nonvolatile memory and analog products. In addition, Microchip's quality system for the design and manufacture of development systems is ISO 9001:2000 certified.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MICROCHIP

WORLDWIDE SALES AND SERVICE

AMERICAS

Corporate Office
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 480-792-7200
Fax: 480-792-7277
Technical Support:
<http://support.microchip.com>
Web Address:
www.microchip.com

Atlanta
Duluth, GA
Tel: 678-957-9614
Fax: 678-957-1455

Boston
Westborough, MA
Tel: 774-760-0087
Fax: 774-760-0088

Chicago
Itasca, IL
Tel: 630-285-0071
Fax: 630-285-0075

Dallas
Addison, TX
Tel: 972-818-7423
Fax: 972-818-2924

Detroit
Farmington Hills, MI
Tel: 248-538-2250
Fax: 248-538-2260

Kokomo
Kokomo, IN
Tel: 765-864-8360
Fax: 765-864-8387

Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 949-462-9523
Fax: 949-462-9608

Santa Clara
Santa Clara, CA
Tel: 408-961-6444
Fax: 408-961-6445

Toronto
Mississauga, Ontario,
Canada
Tel: 905-673-0699
Fax: 905-673-6509

ASIA/PACIFIC

Asia Pacific Office
Suites 3707-14, 37th Floor
Tower 6, The Gateway
Harbour City, Kowloon
Hong Kong
Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

Australia - Sydney
Tel: 61-2-9868-6733
Fax: 61-2-9868-6755

China - Beijing
Tel: 86-10-8528-2100
Fax: 86-10-8528-2104

China - Chengdu
Tel: 86-28-8665-5511
Fax: 86-28-8665-7889

China - Fuzhou
Tel: 86-591-8750-3506
Fax: 86-591-8750-3521

China - Hong Kong SAR
Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

China - Nanjing
Tel: 86-25-8473-2460
Fax: 86-25-8473-2470

China - Qingdao
Tel: 86-532-8502-7355
Fax: 86-532-8502-7205

China - Shanghai
Tel: 86-21-5407-5533
Fax: 86-21-5407-5066

China - Shenyang
Tel: 86-24-2334-2829
Fax: 86-24-2334-2393

China - Shenzhen
Tel: 86-755-8203-2660
Fax: 86-755-8203-1760

China - Shunde
Tel: 86-757-2839-5507
Fax: 86-757-2839-5571

China - Wuhan
Tel: 86-27-5980-5300
Fax: 86-27-5980-5118

China - Xian
Tel: 86-29-8833-7252
Fax: 86-29-8833-7256

ASIA/PACIFIC

India - Bangalore
Tel: 91-80-4182-8400
Fax: 91-80-4182-8422

India - New Delhi
Tel: 91-11-4160-8631
Fax: 91-11-4160-8632

India - Pune
Tel: 91-20-2566-1512
Fax: 91-20-2566-1513

Japan - Yokohama
Tel: 81-45-471-6166
Fax: 81-45-471-6122

Korea - Daegu
Tel: 82-53-744-4301
Fax: 82-53-744-4302

Korea - Seoul
Tel: 82-2-554-7200
Fax: 82-2-558-5932 or
82-2-558-5934

Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-6201-9857
Fax: 60-3-6201-9859

Malaysia - Penang
Tel: 60-4-227-8870
Fax: 60-4-227-4068

Philippines - Manila
Tel: 63-2-634-9065
Fax: 63-2-634-9069

Singapore
Tel: 65-6334-8870
Fax: 65-6334-8850

Taiwan - Hsin Chu
Tel: 886-3-572-9526
Fax: 886-3-572-6459

Taiwan - Kaohsiung
Tel: 886-7-536-4818
Fax: 886-7-536-4803

Taiwan - Taipei
Tel: 886-2-2500-6610
Fax: 886-2-2508-0102

Thailand - Bangkok
Tel: 66-2-694-1351
Fax: 66-2-694-1350

EUROPE

Austria - Wels
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

Denmark - Copenhagen
Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829

France - Paris
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

Germany - Munich
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

Italy - Milan
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

Netherlands - Drunen
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

Spain - Madrid
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

UK - Wokingham
Tel: 44-118-921-5869
Fax: 44-118-921-5820

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้

10/05/07