เครื่องควบคุมกระบวนการแบบพีไอดี

PID Controller

โดย

นายกมลมาตย์ ภักดีปัญญา

นายกู้เกียรติ แก้วโพธิ์

นายเทพชาตรี สงวนต้นกัลยา

วัน เดือน ปี 29 ก.ย. 2541

เลขทะเบียน 033613

เลขเรียกหนังสือ T 39076 ก181ค

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2539

ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องควบคุมกระบวนการแบบพีไอดี

(PID CONTROLLER)

จัดทำโดย

1.นาย กมลมาตย์ ภักดีปัญญา 36014003

2.นาย กู้เกียรติ แก้วโพธิ์ 36014039

3.นาย เทพชาตรี สงวนต้นกัลยา 36014169

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ประสิทธิ์ จุลเสรีย์วงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ	1
บทที่ 1 บทนำ	2
บทที่ 2 คุณสมบัติของ PID	3
บทที่ 3 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของ MCS-51	14
บทที่ 4 LCD DV-12864	19
บทที่ 5 หลักการทำงานและอุปกรณ์	24
บทที่ 6 คุณสมบัติของเครื่อง	27
บทที่ 7 สรุปผลการทดลอง	33
ภาคผนวก ก. ส่วนแสดงวงจร	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องควบคุมกระบวนการแบบพีไอดี

PID Controller

โดย	1. นายกมลมาตย์ ภักดีปัญญา	36014003
	2. นายกู้เกียรติ แก้วโพธิ์	36014039
	3. นายเทพชาตรี สงวนต้นกัลยา	36014169
อาจารย์ที่ปรึกษา	1. อาจารย์ประสิทธิ จุลเสรีวงศ์	
	2. อาจารย์ประภาษ อุดคกิมาพันธุ์	

บทคัดย่อ

โครงการนี้จะศึกษาและสร้างเครื่องควบคุมกระบวนการที่โปรแกรมได้ โดยใช้ตัวประมวลผลข้อมูลเป็น microcontroller ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8031 ซึ่งเป็นเบอร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในขณะนี้ โดยลักษณะการควบคุมสามารถควบคุมได้ 1 ลูป รับสัญญาณ input ได้หลายแบบ ได้แก่ volt กระแส (mA) และสัญญาณ output ได้แก่ volt และกระแส

abstract

This project studies and invents PID Controller by using microcontroller family of MCS-51 number 8031 which is the most popular and easy to use . The characteristic of control system is a sigle loop system. The input part can receive multi - signal such as volt ,mA and the output part can send in two types of signa whichl are volt(1-5 V) and current (4-20 mA).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

controller พูดง่ายๆ คือ "มันสมอง" ของระบบวงรอบการควบคุม Controller เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตัดสินใจ เพื่อที่จะสามารถตัดสินใจได้ controller จะต้อง

1 . เปรียบเทียบสัญญาณข้อมูลของกระบวนการจาก transmitter ตัวแปรที่จะควบคุมสัญญาณ set point

2 . ส่งสัญญาณที่เหมาะสมไปควบคุม control valve หรืออุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้ายส่วนสำคัญของ controller

Manual setting unit ทำหน้าที่ส่งสัญญาณ set point

set point indicator ทำหน้าที่ชี้ค่าที่ตั้งเอาไว้ (SV)

Input signal indicator ทำหน้าที่ชี้ค่าของสัญญาณขาเข้า คือ process variable ซึ่งคือค่าที่เราต้องการควบคุม

Deviation Detecion จะคำนวณค่าความแตกต่างระหว่าง set point กับ process variable

Direct-Reverse Transfer ทำหน้าที่สับเปลี่ยนให้ controller ทำงานแบบไหน ระหว่าง direct กับ reverse

Direct (increase) action ลักษณะการทำงานคือ ค่าของสัญญาณ output จะลดลงถ้าค่าสัญญาณ input เพิ่มขึ้นขณะที่ (SV < PV)

Reverse (decrease) action ลักษณะการทำงานคือ ค่าของสัญญาณ output จะเพิ่มขึ้น เมื่อค่าของสัญญาณ input เพิ่มขึ้นขณะที่ (SV > PV)

ส่วนประมวลผลข้อมูล เป็นส่วนที่ทำหน้าที่คำนวณข้อมูล เป็นส่วนที่ฉลาดที่สุดของ controller ซึ่งจะคำนวณค่า MV ที่เหมาะสมจากค่า deviation จากการคำนวณเชิง PID

Manual Control unit ถึงแม้นจะเป็นการควบคุมอัตโนมัติ แต่การควบคุมทาง manual ก็ต้องการเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

คุณสมบัติของ PID

เครื่องควบคุมแบบสัดส่วน Proportional Controller (P) เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนถือเป็นชนิดที่ง่ายที่สุดของเครื่องควบคุม โดยยกเว้นเครื่องควบคุมแบบเปิด-ปิด ซึ่งจะไม่ขอกล่าวถึงในที่นี้ สมการที่อธิบายการทำงานของเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนเป็นดังนี้

$$m(t) = \overline{m} + Kc(r(t) - c(t)) \qquad (2.1)$$

หรือ

$$m(t) = \overline{m} + Kce(t) \qquad (2.2)$$

เมื่อ m(t) = ทางออกของเครื่องควบคุม , psig หรือ mA

r(t) = ค่าเป้าหมาย , psig หรือ mA

c(t) = ตัวแปรที่ถูกควบคุม , psig หรือ mA เป็นสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ส่งสัญญาณ

e(t) = สัญญาณผิดพลาด , psig หรือ mA เป็นความแตกต่างระหว่างค่าเป้าหมายกับตัวแปรที่ถูกควบคุม

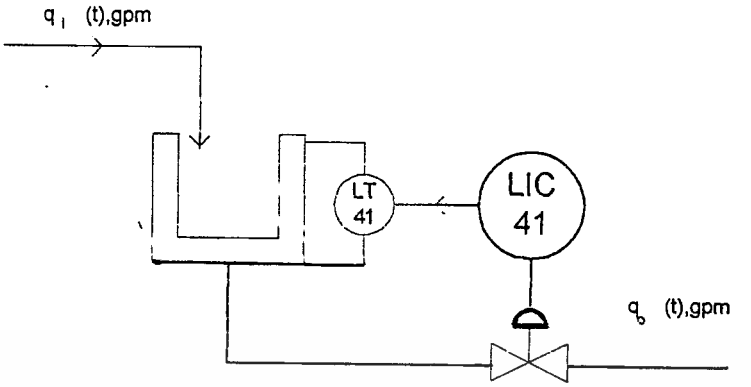
Kc = อัตราการขยายของเครื่องควบคุม , psi/psi , mA/mA

$\overline{m}$ = ค่าไบอัส , psig หรือ mA เป็นค่าทางออกของเครื่องควบคุมเมื่อสัญญาณผิดพลาดเป็นศูนย์ ค่านี้ปกติจะถูกตั้งไว้ในระหว่างการปรับเทียบเครื่องควบคุมอยู่ที่กึ่งกลางสเกล คือ 9 psig หรือ 12 mA

โดยที่พิกัดทางเข้าและทางออกนั้นเหมือนกัน (3-15 psig หรือ 4-20 mA) และสัญญาณทางเข้าและสัญญาณทางออกตลอดจนค่าเป้าหมายเหมือนกัน ซึ่งในบางครั้งอาจจะเป็นเศษส่วนหรือเปอร์เซนต์ของพิกัด มันเป็นสิ่งที่น่าสนใจในสมการที่ (2-1) ที่ถูกเขียนขึ้นมาสำหรับเครื่องควบคุมที่เป็นกริยาทางออกแบบกลับ คือถ้าตัวแปรที่ถูกควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นเหนือค่าเป้าหมายและค่าผิดพลาดกลายเป็นค่าลบ จากสมการ แสดงให้เห็นว่า ทางออกของเครื่องควบคุมนั้นได้ลดลง ในทางที่จะแสดงให้เห็นถึงเครื่องควบคุมที่เป็นกริยาทางออกแบบตรง ในทางคณิตศาสตร์สามารถทำได้โดยการให้เห็นอัตราการขยายของเครื่องควบคุมมีค่าเป็นลบ แต่เราจะต้องจำไว้อย่างหนึ่งว่าในเครื่องควบคุมในอุตสาหกรรมจะไม่มีอัตราการขยายที่เป็นค่าลบแต่จะมีเฉพาะค่าบวกอย่างเดียวสวิทช์เลือก แบบกลับ/แบบตรง จึงได้ถูกนำมาใช้ สำหรับอัตราการขยายที่เป็นลบถูกใช้เมื่อมีการกระทำทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมเพื่อที่จะวิเคราะห์เครื่องควบคุมกริยาทางออกแบบตรง

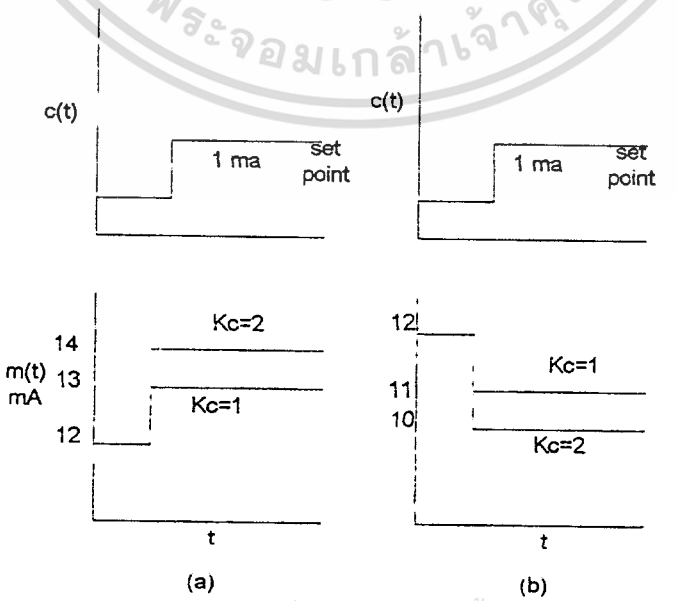
สมการ (2-1) และ(2-2) แสดงให้เห็นทางออกของเครื่องควบคุมที่เป็นสัดส่วนกับค่าผิดพลาดระหว่างค่าเป้าหมายกับตัวแปรที่ถูกควบคุม ความเป็นสัดส่วนนี้ถูกกำหนดโดยค่าอัตราขยายของเครื่องควบคุม อัตราการขยายหรือความไวของเครื่องควบคุมนี้เองจะบอกให้รู้ว่าทางออกจะมีขนาดมากเท่าใดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นอันนี้จะได้แสดงในรูปที่ 2-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



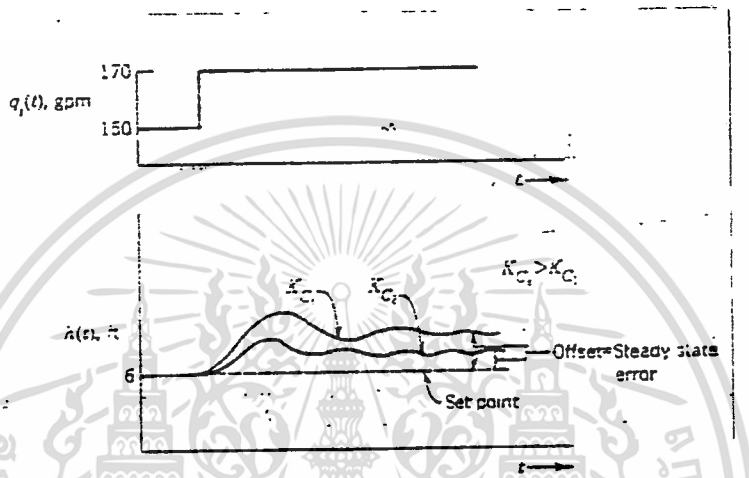
รูปที่ 2-1

เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียวมีข้อดีคือมีตัวปรับค่าอัตราการขยายเพียงตัวเดียวอย่างไรก็ตาม ข้อเสียของเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนนั้นในการทำงานจะเกิดค่าผิดพลาดที่สภาวะคงที่(steady-state error) ออฟเซ็ท(OFFSET) เพื่อที่จะแสดงถึงค่าผิดพลาดที่สภาวะคงที่เป็นกราฟ พิจารณาวงรอบการควบคุมระดับของเหลวในรูปที่ 2-2 กำหนดให้เงื่อนไขการทำงานที่ $qi = q$ 150 gpm และ $h = 6$ ft เพื่อที่จะให้ค่าที่ทางออกของวาล์วเป็น 150 gpm จะต้องให้แรงดันลมแก่วาล์ว 9 psig แต่ถ้าอัตราไหลทางเข้าเพิ่มขึ้น ผลตอบสนองของระบบร่วมกับเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนแสดงดังรูปที่ 2-4 เครื่องควบคุมได้นำค่าของตัวแปรที่ถูกควบคุมกลับเข้าสู่สภาวะคงที่แต่ค่าที่สภาวะคงที่นี้จะไม่ใช่ค่าที่จุดเป้าหมายความแตกต่างระหว่างค่าเป้าหมายและค่าที่สภาวะคงที่ของตัวแปรที่ถูกควบคุมคือออฟเซ็ทรูปที่ 2-4 แสดงให้เห็นผลตอบสนองของค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมทั้งสองค่าที่แตกต่างกันของค่าอัตราการขยายที่ถูกปรับเปลี่ยน จะพบว่าค่าอัตราการขยายของเครื่องควบคุมที่มากจะให้ค่าออฟเซ็ทน้อยแต่จะเกิดการแกว่งมากกว่า อย่างไรก็ตามจะมีค่าที่มากที่สุดของอัตราการขยายนี้จะเรียกว่า อัลติเมท เกน(*Utimate gain)*



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2-1 ผลของอัตราขยาย ในเครื่องควบคุมต่อทางออกของเครื่องควบคุม
(a) เครื่องควบคุมกริยาทางออกแบบตรง (b) เครื่องควบคุมกริยาทางออกแบบกลับ



รูปที่ 2-2 ผลตอบสนองของกรบวนการควบคุมรดับของเหลว

พิจารณาระบบควบคุมระดับของเหลวเดียวกันนี้ในรูปที่ 2-2 ด้วยเงื่อนไขของการทำงานเหมือนเดิม และจำไว้อย่างหนึ่งว่าเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียวที่มีกริยาทางออกแบบตรงนั้นอัตราการขยายเป็นลบ (-Kc) ดูสมการต่อไปนี้

$$m(t) = 9 + (Kc)\, e(t) \qquad (2.3)$$

ตอนนี้กำหนดให้อัตราไหลทางเข้าเพิ่มขึ้นเป็น 170 gpm เมื่อเป็นเช่นนี้แล้วระดับของเหลวจะต้องเพิ่มขึ้น จากนั้นเครื่องควบคุมจะส่งสัญญาณทางออกไปเปิดวาล์วเพื่อที่จะทำให้ระดับของเหลวกลับเข้าสู่สภาวะคงที่ในตำแหน่งเดิม อัตรไหลทางออกตอนนี้จะต้องเป็น 170 gpm เพื่อที่จะให้วาล์วผ่านอัตราไหลค่าใหม่ที่เพิ่มขึ้นก็จะต้องเปิดให้มากว่าเดิม วาล์วที่ใช้เป็นแบบแรงดันเพื่อเปิดสมมุติให้ค่าแรงดันค่าใหม่ที่กระทำกับวาล์วนี้เป็น 10 psig นั้นคือเครื่องควบคุมจะต้องให้ทางออกเป็น 10 psig ได้ก็ต่อเมื่อเทอมที่สองทางขวามือจะต้องเป็น +1 psig และในเทอมค่าผิดพลาดไม่สามารถที่จะเป็นศูนย์ที่สภาวะคงที่ได้ และค่าผิดพลาดที่สภาวะคงที่ก็คือออฟเซ็ท ค่าผิดพลาดที่เป็นลบอันเนื่องมาจากค่าของตัวแปรที่ถูกควบคุมมีค่ามากกว่าค่าเป้าหมาย

มีอยู่สองจุดที่น่าสนใจในตัวอย่างนี้ อันแรกคือขนาดของเทอมความผิดพลาดขึ้นอยู่กับค่าอัตราการขยายของเครื่องควบคุม โดยที่ทั้งเทอมรวมกันแล้วมีค่าเท่ากับ +1 psig ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-Kc	*-e(∞)(offset)*
1	1
2	0.5
4	0.25

จากที่กล่าวมาแล้วว่าอัตราการขยายที่มากจะเกิดออฟเซ็ทน้อย ผู้อ่านจะต้องจำไว้ว่าอัตราการขยายที่มากกว่าขอบเขตอันหนึ่งแล้วจะทำให้กระบวนการเข้าสู่ความไม่เสถียรภาพ

อันดับที่สองเพื่อเป็นการสรุปในตัวอย่างนี้ จะเห็นว่าเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียวนี้จะพยายามทำหน้าที่โดยให้การเปลี่ยนแปลงนั้นเข้าสู่สภาวะคงที่ และจำนวนของความเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมาย หรือออฟเซ็ท ขึ้นอยู่กับอัตราขยายของเครื่องควบคุม

ผู้ผลิตเครื่องควบคุมส่วนมากจะไม่ใช้เทอมของอัตราการขยายเพื่อที่จะบ่งบอกความไวของเครื่องควบคุม แต่จะใช้เทอมของโพรพอทชันแนล แบนด์(proportional band PB) โดยจะเป็นความสัมพันธ์กับอัตราขยายคือ

$$PB = 100/Kc \qquad (2.4)$$

ดังนั้นสมการที่ได้อธิบายสำหรับเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนเขียนใหม่ดังนี้

$$m(t) = \bar{m} + 100/PB(r(t) - c(t)) \qquad (2.5)$$

หรือ

$$m(t) = \bar{m} + 100/Pbe(t) \qquad (2.6)$$

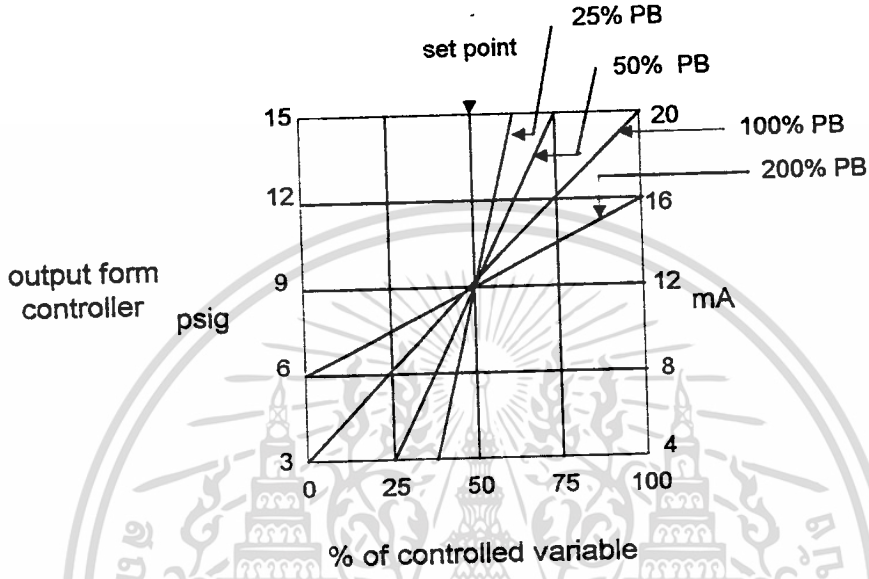
เทอม 100 ถูกนำมาใช้เพราะว่าพีบี(PB) โดยปกติจะอ้างถึงเปอร์เซนต์โพรพอทชันแนล แบนด์(percent proportional band)

สมการ (2-4) แสดงให้เห็นจริงว่าถ้าอัตราการขยายมากก็จะเหมือนกับมีโพรพอทชันแนล แบนด์ (proportional band) ต่ำหรือแคบ และถ้าอัตราขยายต่ำแล้วจะเหมือนกับมีโพรพอทชันแนล แบนด์ (proportional band) มากหรือกว้าง นั้นก็หมายความว่าก่อนที่จะเริ่มใช้งานเครื่องควบคุมอย่างน้อยที่สุดก็จะต้องรู้จักว่าเครื่องควบคุมนี้มีการปรับแบบอัตราการขยายหรือปรับโพรพอทชันแนล แบนด์ (proportional band)

คำจำกัดความอีกอย่างหนึ่งของโพรพอทชันแนล แบนด์ proportional band ก็คือจะมองที่ค่าผิดพลาด (ที่กระจายอยู่ในเทอมของเปอร์เซนต์พิกัดของตัวแปรที่ถูกควบคุม) ที่ต้องการที่จะเคลื่อนค่าที่ทางออกของเครื่องควบคุมจากค่าที่ต่ำสุดไปสู่ค่าที่สูงสุด พิจารณาวงรอบการควบคุมกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนในรูปที่ 2-1อุปกรณ์ส่งสัญญาณมีพิกัดจาก 100-300 องศาเซลเซียส และค่าเป้าหมายของเครื่องควบคุมอยู่ที่ 200 องศาเซลเซียส รูปที่ 2-5 จะแสดงกราฟที่เป็นคำจำกัดความของพีบี(PB) ในรูปนี้แสดงค่า PB 100% ก็แสดงว่าค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมสามารถที่จะแปรค่าได้ 100% ของพิกัด ถ้าพีบี (PB) 50% เช่นเดียวกันก็แสดงว่าค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมสามารถที่จะแปรค่าได้ 50% ของพิกัด และถ้าพีบี (PB) 200% ถูกต้องค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมสามารถที่จะแปรค่าได้ 200% ของพิกัด แต่อย่างไรก็ตามเครื่องควบคุมแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัดส่วนอย่างเดียวเครื่องนี้ไม่สามารถที่จะให้ค่าทางออกเกินกว่าพิกัดที่เป็นอยู่ได้ทีบี (PB) 200% จะหมายถึงว่าความไวน้อยมากต่อความผิดพลาดหรืออัตราการขยายน้อยมากนั่นเอง



	controller output		
	3 psig 4mA	9 psig 12mA	15 psig 20mA
PB= 100%	100 C	200 C	300 C
PB= 50%	150 C	200 C	250 C
PB= 25%	175 C	200 C	225 C
PB= 200%		200 C	

รูปที่ 2-3 คำจำกัดความของโพรพอทชันแนล แบนด์ proportional band

เพื่อที่จะหาฟังชันก์ถ่ายโอนของเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียว สมการ (2-1) สามารถจะเขียนได้ดังนี้

$$m(t) - \overline{m} = Kc(e(t)-0)$$

กำหนดตัวแปรที่เบี่ยงเบนได้ดังนี้

$$M(t) = m(t)-\overline{m} \quad (2.7)$$

$$E(t) = e(t)-0 \quad (2.8)$$

ดังนั้น $M(t) = KcE(t)$

แปลงลาปลาซจะได้ฟังก์ชั่นถ่ายโอนดังนี้

$$M(S)/E(S) = Kc \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปได้ว่าเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียวนั้นเป็นชนิดที่ง่ายมากด้วยข้อดีที่มีพารามิเตอร์เพียงตัวเดียวในการปรับแต่งอัตราขยายหรือพีบี(PB) ส่วนข้อเสียก็คือว่าการทำงานของเครื่องควบคุมแบบนี้จะเกิดออฟเซ็ทแก่ตัวแปรที่ถูกควบคุม ในกรณีที่เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียวสามารถจะควบคุมได้ก็ตามกระบวนการที่การควบคุมจะต้องอยู่ที่ค่าเป้าหมายเพียงค่าเดียวนั้นเครื่องควบคุมดังกล่าวไม่สามารถนำมาใช้งานได้

เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทริกัล Proportional-Integral Controller (PI)

กระบวนการส่วนใหญ่ไม่สามารถที่จะถูกควบคุมให้เกิดค่าออฟเซ็ทได้โดยค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมจะต้องอยู่ที่ค่าเป้าหมายเลยจำเป็นจะต้องมีเทอมบางเทอมที่ชาญฉลาดกระทำร่วมกับการทำงานแบบสัดส่วนอย่างเดียวของเครื่องควบคุมเพื่อที่จะขจัดค่าออฟเซ็ทออกไป และเทอมที่ชาญฉลาดอันนี้เองคือ กริยาอินทริกับ หรือ รีเซ็ท เพราะฉะนั้นเครื่องควบคุมก็จะกลายเป็นแบบสัดส่วนร่วมกับอินทริกัล โดยได้ถูกจำกัดความไว้ในสมการดังนี้

$$m(t) = \overline{m} + Kc[r(t)-c(t)] + Kc/\tau_I \int [r(t)-c(t)]dt \qquad (2.10)$$

หรือ

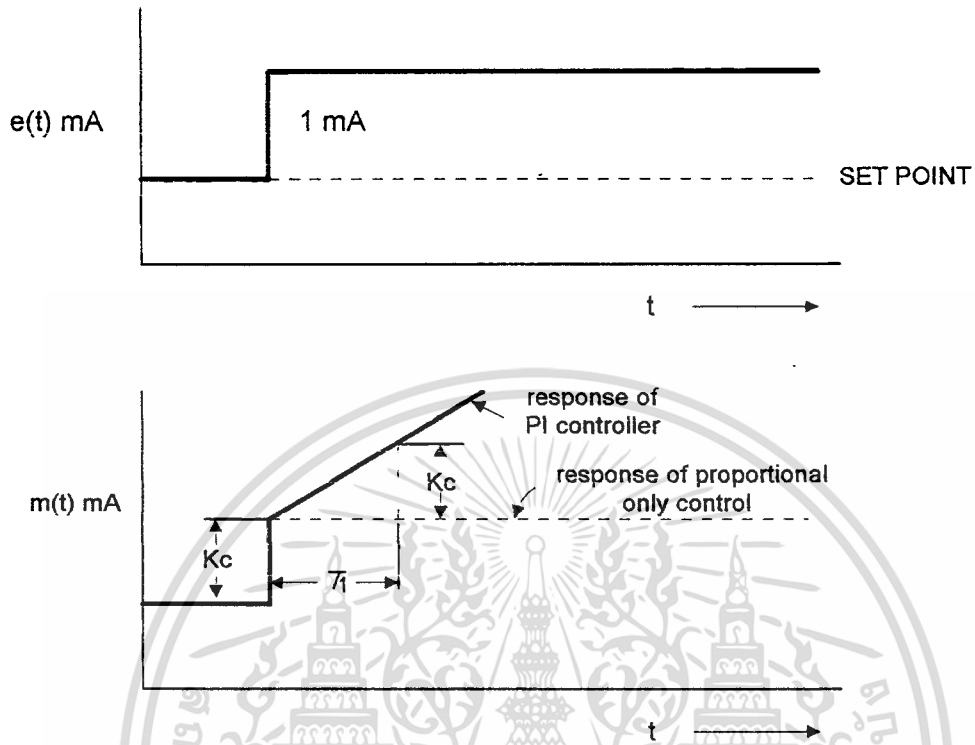
$$m(t) = \overline{m} + Kce(t) + Kc/\tau_I \int e(t)dt \qquad (2.11)$$

เมื่อ τ_I = เวลาในการอินทริเกรด หรือ เวลารีเซ็ท , นาที/จำนวนครั้ง

เพราะฉะนั้นเครื่องควบคุมแบบพีไอ PI จะมีสองพารามิเตอร์คืออัตราการขยายและเวลาในการอินทริเกรด ซึ่งจะต้องถูกปรับแต่งเพื่อให้การควบคุมนั้นเหมาะสมที่สุด เพื่อที่จะให้เข้าใจคุณลักษณะของเวลารีเซ็ท τ_I โดยพิจารณาตัวอย่างสมมุติที่แสดงในรูปที่ 2-7 เวลารีเซ็ท(τ_I) คือเวลาที่จะทำให้เครื่องควบคุมกระทำกริยาแบบสัดส่วนที่ซ้ำกันโดยหน่วยของเวลาอันนี้เป็น นาที/จำนวนครั้ง ค่าเวลาที่เล็กของเวลารีเซ็ท(τ_I) จะทำให้เส้นโค้งของผลตอบสนองนั้นชันมาก ซึ่งจะหมายความว่าเป็นผลตอบสนองที่เร็ว อีกทางหนึ่งที่จะใช้ขยายความโดยดูที่สมการ (2-11) ค่าของเวลารีเซ็ท(τ_I) ที่เล็กจะเป็นค่าที่มากในเทอมที่อยู่หน้าอินทริเกรด และจะเป็นตัวคูณของกริยาอินทริกัลหรือรีเซ็ท

ต่อไปเราจะมาดูระบบควบคุมระดับของเหลวอีกครั้งเพื่อที่จะถูกใช้สำหรับอธิบายว่าทำไมออฟเซ็ทจึงเกิดขึ้น เมื่ออัตราไหลทางเข้าเพิ่มขึ้นเป็น 170 gpm อัตราไหลทางออกก็จำเป็นจะต้องพยายามให้เป็น 170 gpm เพื่อให้มีอัตราไหลผ่านที่วาล์ว 170 gpm วาล์วจะต้องเปิดกว้างโดยมีแรงดันลมเพื่อเปิดเป็น10 psig ด้วยเครื่องควบคุมแบบพีไอ(PI) ไม่ว่าค่าผิดพลาดจะเกิดด้วยเวลาที่ยาวนานเท่าใดเครื่องควบคุมก็จะเก็บค่าผิดพลาดนี้รวมกันไว้เพื่อชดเชยให้ที่ทางออกของเครื่องควบคุมในการแก้ความผิดพลาดและความผิดพลาดนั้นก็จะหมดไป เมื่อค่าผิดพลาดหมดไปแล้วทางออกของเครื่องควบคุมจะอยู่ในสภาวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-6 แสดงผลตอบสนองของเครื่องควบคุมแบบพีไอ PI (แบบกริยาทางออกตรง)
ต่อการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดแบบเป็นขั้น

$$m(t) = \overline{m} + Kc/\tau i \left(\int 0 dt\right)$$

ในความเป็นจริงแล้วถ้าความผิดพลาดเป็นศูนย์ไม่ได้หมายความว่าเทอมอินทริกัลจะเป็นศูนย์ แต่จะหมายถึงเครื่องควบคุมกำลังอินทริเกรดค่าผิดพลาดที่เป็นศูนย์โดยการบวกด้วยศูนย์เข้าไปที่ทางออกซึ่งยังคงที่อยู่ สำหรับกระบวนการระดับของเหลวนี้อินทริกัลเทอมจะมีค่าเป็น 1 psig เพราะฉะนั้นทางออกของเครื่องควบคุมจะเป็น 10 psig โดยปราศจากค่าผิดพลาดและที่เกิดขึ้นนี้ได้เป็นการขยายความว่าทำไมกริยารีเซ็ทจึงได้ขจัดออฟเซ็ทออกไป

$$Kc/\tau i \int 0 dt$$

บางผู้ผลิตจะไม่ใช้เทอมของเวลารีเซ็ท τi สำหรับเป็นค่าปรับแต่งแต่จะใช้ อัตราการรีเซ็ท (reset rate)

$$\tau = 1/\tau i \text{ ,จำนวนครั้ง/นาที} \qquad (2.12)$$

เพราะฉะนั้นก่อนที่จะทำการปรับพารามิเตอร์เหล่านี้จะต้องรู้ว่าเครื่องควบคุมใช้ค่าของเวลารีเซ็ทหรืออัตราการรีเซ็ท ต่อไปจะขอแสดงสมการสำหรับเครื่องควบคุมแบบพีไอ(PI) ในอุตสาหกรรมที่ผู้ผลิตได้กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริษัท ฟอกซ์โบโร (Foxboro Co.)

$$m(t) = \overline{m} + (100/PB)e(t) + 100/PB\,\tau i \int e(t)dt \qquad (2.13)$$

ฟิชเชอร์ (Fisher Controls)

$$m(t) = \overline{m} + (100/PB)e(t) + 100\,\tau/PB \int e(t)dt \qquad (2.14)$$

บริษัทเทเลอร์,ฮันนี่เวล,ฯ (Taylor Co.,Honeywell,Inc.)

$$m(t) = \overline{m} + Kce(t) + Kc\,\tau \int e(t)dt \qquad (2.15)$$

เป็นสิ่งที่น่าสนใจคือฮันนี่เวล(Honeywell) ได้ทำการพัฒนาเครื่องควบคุมที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ รุ่น ทีซีดี(TCD2000) จะใช้สมการ (2-11) ส่วนฟิชเชอร์ คอนโทรล(Fisher Controls) ได้ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ รุ่นโพรวอกซ์(PROVOX) ใช้สมการ (2-14) และ (2-15) สมการที่ (2-11) ก็เป็นอันหนึ่งที่มีจุดประสงค์เพื่อเป็นมาตราฐานโดยสมาคมเครื่องมือวัดแห่งอเมริกา Instrument Society of America (ISA) สิ่งที่สำคัญที่จะต้องจดจำก็คือความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายกับโพรพอทชันแนลแบนด์(proportional band) และความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลารีเซ็ทกับอัตรารีเซ็ท

เพื่อที่จะหาฟังก์ชั่นถ่ายโอนสำหรับเครื่องควบคุมแบบพีไอ PI สมการ (2-11) เขียนได้ดังต่อไปนี้

$$m(t) - \overline{m} = Kc(e(t)-0) + Kc/\tau i \int (e(t)-0)dt$$

โดยใช้ข้อกำหนดเดิมของตัวแปรที่เบี่ยงเบนในสมการ (2-7) และ (2-8) แปลงลาปลาซจัดรูปใหม่จะได้

$$M(S)/E(S) = Kc\left(1+1/\tau i\, s\right) \qquad (2.16)$$

สรุปเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทริกับจะมีสองพารามิเตอร์ที่จะต้องปรับแต่งได้แก่อัตราขยายหรือโพรพอทชันแนล แบนด์(proportional band) และค่าเวลารีเซ็ทหรืออัตรารีเซ็ท ข้อดีของเครื่องควบคุมแบบนี้ก็คือกริยาอินทริกัลหรือรีเซ็ทจะทำการขจัดออฟเซ็ทให้หมดไป

เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทริกัลและเดอริเวทีฟ Proportional Integral-Derivative Controller (PID) โหมดการควบคุมอันใหม่นี้ได้ถูกเพิ่มเข้าไปกับเครื่องควบคุมแบบพีไอ (PI) ก็คือ เดอริเวทีฟ หรืออาจเรียกกริยาของอัตราการเปลี่ยนแปลงเรท(rate) หรือ พรีแอคท์(preact) จุดประสงค์ก็เพื่อที่จะเป็นการคาดการณ์ล่วงหน้าเมื่อกระบวนการมีการทำงานโดยมองที่อัตราการเปลี่ยนแปลงต่อเวลาของความผิดพลาด ซึ่งมันเป็นค่าของอนุพันธ์ สมการที่ใช้อธิบายเป็นดังต่อไปนี้

$$m(t) = \overline{m} + Kce(t) + Kc/\tau i \int e(t)dt + Kc\,\tau D de(t)/dt \quad (2.17)$$

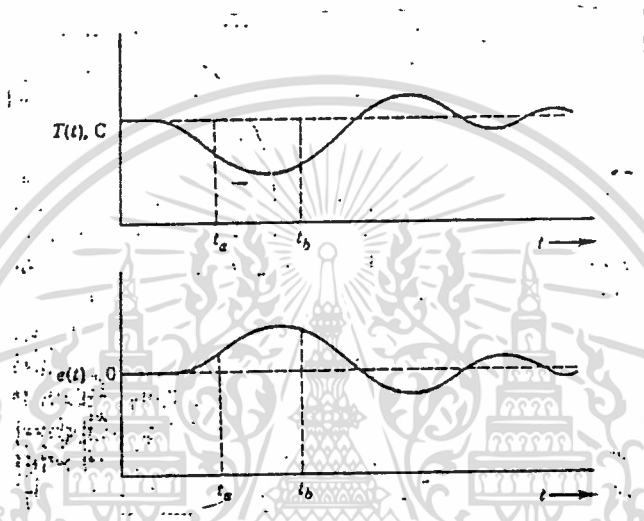
เมื่อ τD = เดอริเวทีฟ หรืออัตรา หน่วยเป็นเวลา,นาที

เพราะฉะนั้น เครื่องควบคุมแบบพีไอดี(PID) จะมีสามพารามิเตอร์ที่จะต้องปรับแต่งเพื่อให้การควบคุมนั้นเหมาะสม ส่วนค่าเวลาเดอริเวทีฟจะเป็นหน่วยของเวลาที่ทุกผู้ผลิตต่างใช้เป็นแบบเดียวกันและจากที่กล่าวมากริยาเดอริเวทีฟจะทำให้เครื่องควบคุมมีความสามารถในการคาดเดาเหตุการณ์ล่วงหน้าได้ด้วยการมอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหตุการณ์ไปข้างหน้า โดยการคำนวนค่าอนุพันธ์ของความผิดพลาด จำนวนของค่าที่คาดการณ์จะมากน้อยเท่าใดก็จะขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ของเวลาเดอริเวทีฟที่ได้ถูกปรับแต่ง

ต่อไปจะพิจารณากระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนที่แสดงในรูปที่ 2-1 และใช้เพื่อให้ความหมายของคำว่า ***การคาดการณ์ล่วงหน้า*** สมมุติว่าอุณหภูมิทางเข้าของของเหลวในกระบวนการลดลงไปจำนวนหนึ่งและอุณหภูมิทางออกเริ่มที่จะลดลงที่ได้แสดงในรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-5 การควบคุมในกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน

ที่เวลาทีเอ(ta) จำนวนของค่าผิดพลาดเป็นบวกแต่อาจจะเล็กน้อย จำนวนของการแก้ไขค่าผิดพลาดของระบบควบคุมโดยเฉพาะค่าการแก้ไขแบบสัดส่วนและอินทริกัลจะน้อย อย่างไรก็ตามค่าเดอริเวทีฟของความผิดพลาดอันนี้โดยสังเกตุจากความชันของความผิดพลาดจะมีค่ามากและเป็นบวกจะเป็นผลให้ค่าการแก้ไขเฉพาะเดอริเวทีฟนั้นมีค่ามาก เครื่องควบคุมจะรู้ว่าตัวแปรที่ถูกควบคุมกำลังมุ่งหน้าออกจากเป้าหมายด้วยความเร็ว และที่เวลาทีบี(tb) ค่าผิดพลาดก็ยังคงเป็นบวกและมากขึ้นกว่าเดิม จำนวนของค่าแก้ไขของแบบสัดส่วนและแบบอินทริกัลนั้นก็จะมากกว่าแต่ก่อนและก็ยังคงรวมเข้าไปกับค่าแก้ไขเพื่อที่จะเปิดวาล์วให้กว้างขึ้น แต่ค่าเดอริเวทีฟของความผิดพลาดที่เวลานี้จะเป็นลบเป็นผลให้ค่าที่แก้ไขก่อนหน้านี้ถูกลดลง นั้นคือ ตัวแปรที่ถูกควบคุมได้เริ่มที่จะกลับมาสู่ค่าเป้าหมายที่จุดนี้เองค่าเดอริเวทีฟก็เริ่มที่หักค่าแก้ไขของตัวเองออกจากค่าแก้ไขทั้งหมด เมื่อเป็นเช่นนี้ก็จะต้องใช้เวลาที่ยาวนานขึ้นเพื่อที่จะทำให้ค่าของตัวแปรที่ถูกควบคุมกลับเข้าหาเป้าหมาย อย่างไรก็ตามการพุ่งเลยขอบเขตและการแกว่งรอบค่าเป้าหมายจะถูกลดลงไป

เครื่องควบคุมแบบพีไอดี(PID) ถูกใช้ในกระบวนการที่มีค่าเวลาคงตัวที่ยาวนานยกตัวอย่างเช่น วงจรการควบคุมของอุณหภูมิและความเข้มข้น กระบวนการที่มีค่าเวลาคงตัวที่สั้น (ค่าความจุที่น้อย) จะเร็วและอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวนในกระบวนการมาก กระบวนการเหล่านี้ได้แก่วงจรการควบคุมของอัตราไหลและการควบคุมความดันของกระแสของของเหลว (ของเหลวที่พุ่งเป็นลำเช่น น้ำพุ) พิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการบันทึกของอัตราไหลดังรูปที่ 2-8 เมื่อนำโหมดเดอริเวทีฟมาใช้โดยจะเห็นว่าเป็นการขยายผลต่อสัญญาณรบกวนเท่านั้นเพราะว่าค่าเดอริเวทีฟจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณรบกวนซึ่งจะมีค่ามาก กระบวนการที่มีเวลาคงตัวมาก (ค่าความจุที่มาก) โดยปกติจะเป็นแบบถูกหน่วงหรือช้าและไม่ไวต่อสัญญาณรบกวน อย่างไรก็ตามถ้าจะใช้เครื่องควบคุมแบบพีไอดี(PID) กับกระบวนการอุณหภูมิแล้วก็จะต้องตรวจสอบอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ไม่เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนเสียง

ฟังก์ชั่นถ่ายโอนของเครื่องควบคุมแบบพีไอดี(PID) ในอุดมคติจะเป็นในสมการ (2-17) ดังต่อไปนี้

รูปที่ 2-6 แสดงผลการบันทึกอัตราการไหล

$$m(t) - \overline{m} = Kc(e(t)-0) + Kc/\tau i \int(e(t)-0)dt + Kc\,\tau D\, d(e(t)-0)/dt$$

โดยใช้ข้อกำหนดที่แล้วมาของตัวแปรที่ถูกเบี่ยงเบนโดยสมการ (2-7) และ (2-8) แปลงลาปลาซและจัดรูปจะได้

$$M(S)/E(S) = Kc\left(1 + 1/\tau s + \tau DS\right) \qquad (2.18)$$

ฟังก์ชั่นถ่ายโอนนี้ถูกเรียกว่าเป็นอุดมคติเพราะว่าในทางปฏิบัติในค่าของเดอริเวทีฟเป็นไปไม่ได้ที่จะทำการคำนวนหา ดังนั้นค่าเดอริเวทีฟจะถูกประมาณโดยใช้เทอมของ นำหน้า/ล้าหลัง ผลที่ได้จะเป็นฟังก์ชั่นถ่ายโอนที่ใกล้เคียงและแม่นยำกว่า

$$M(S)/E(S) = Kc\left(1 + 1/\tau I\, S\right)\left(\tau DS + 1/\alpha\tau DS + 1\right) \quad (2.19)$$

ค่าของแอลฟา(α) อยู่ในพิกัดระหว่าง 0.05 ถึง 0.1 สรุปเครื่องควบคุมแบบ PID จะมีสามพารามิเตอร์ที่จะต้องถูกรับแต่ง ได้แก่ อัตราขยายหรือโพรพอทชันแนล แบนด์(proportional band) ,เวลารีเซ็ทหรืออัตรารีเซ็ท, อัตราต่อเวลา อัตราต่อเวลาหรือเดอริเวทีฟนี้ค่าเวลาจะเป็นหนวยนาที เครื่องควบคุมแบบ PID จะถูกใช้กับกระบวนการที่มีค่าเวลาคงตัวที่ยาวนานและโดยไม่มีสัญญาณรบกวน ข้อดีของเดอริเวทีฟคือจะมีความสามารถในการคาดการณ์ข้างหน้าขณะที่กระบวนการหรือตัวแปรที่ถูกควบคุมกำลังมุ่งหน้าไป

เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนและเดอริเวทีฟ Proportional-Derivative Controller (PD) เครื่องควบคุมแบบนี้จะถูกใช้ในกระบวนการที่ใช้เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียวแต่ต้องการค่าของการคาดการณ์ล่วงหน้าอีกเล็กน้อย แสดงสมการได้ดังนี้

$$(t) = \overline{m} + Kce(t) + Kc\,\tau D\, de(t)/dt \qquad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และฟังก์ชั่นถ่ายโอนในอุดมคติคือ

$$M(S)/E(S) = Kc(1 + \tau DS) \qquad (2.21)$$

ข้อเสียของเครื่องควบคุมแบบพีดี(PD) ไม่สามารถที่จะแก้ค่าผิดพลาดที่สภาวะคงที่ได้ จะเฉพาะกริยาอินทริกัลเท่านั้นที่สามารถจะขจัดออฟเซ็ทให้หมดไปได้ อย่างไรก็ตามเครื่องควบคุมแบบ(PD) สามารถที่จะมีอัตราขยายที่สูงขึ้นกว่าแบบสัดส่วนอย่างเดียวจึงเป็นผลให้ออฟเซ็ทมีค่าน้อยลงไปได้ในวงรอบการควบคุมแบบง่าย

หลักการคำนวณของ PID แบบไม่ต่อเนื่อง

จากสมการ $M(t) = Kp\,(e + 1/Ti \int e\,dt + Td\,de/dt) + M(0)$ เป็นสมการแบบต่อเนื่อง แต่ในการคำนวนที่เป็นแบบดิจิตอลจะเป็นการคำนวนแบบ discreate ดังนั้นเราจึงต้องแปลงการอินทริเกรทและการเฟอร์เรลเชียลให้เป็นแบบ discreate

ให้ $DVn = SV - PV_n$

เราแปลง $\int e\,dt$ ไปเป็น $\left(\sum e_n\right) DT$

$SUMn = SUM_{n-1} + DV_n$

ดังนั้นเราใช้ SUMnDT แทน $\int e\,dt$

de/dt เมื่อ dt มีค่าน้อยเราประมาณ $de = e_{n-1} - e_n$

$DDVn = DV_{n-1} - DV_n$

ดังนั้นเราใช้ DDVn/DT แทน de/dt

โดยที่ DT คือ คาบเวลาในการแซมปลิง(Sampling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

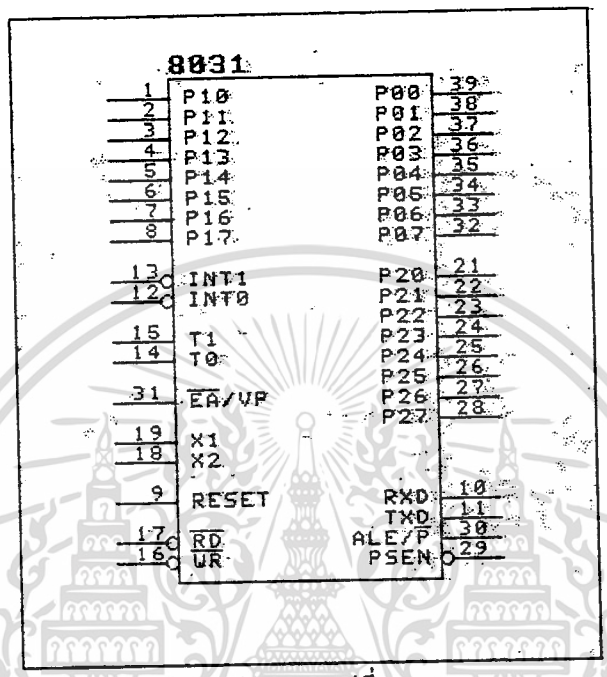
โครงสร้างสถาปัตยกรรมเอ็มซีเอส-51 (MCS-51)

ตระกูลเอ็มซีเอส-51(MCS-51) ได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมมาตรฐานขนาด 8 บิต ไมโครคอนโทรลเลอร์ และให้มีความสามารถในการงานควบคุมประยุกต์ใช้งานในเรื่องซีเควนเชียลเรียลไทม์คอนโทรล(sequential real time control), โคลสคอนโทรล(close control) และดาต้า คอนโทรล(data control)

1. ใช้เอชมอส(HMOS) และ ซีเอช(CHMOS) เทคโนโลยีในการสร้างและทำงานด้วยแหล่งจ่ายไฟขนาด 5 โวลท์ เพียงแหล่งเดียว
2. ซีพียูมีขนาด 8 บิต
3. มีวงจรออสซิลเลเตอร์ และวงจรนาฬิกาบนชิป
4. ชุดแบงค์ (BANK) เรจิสเตอร์มี 4 ชุด แต่ละชุดมีเรจิสเตอร์ 8 ตัว ทำงานเช่นเดียวกับเอ็มซีเอส48 (MCS-48)
5. มีตัวจับเวลา/ตัวนับ ขนาด 16 บิต 2 ชุด และสำหรับเบอร์ 8032/8052 มี 3 ชุด
6. มีพอร์ตไอโอแบบขนานสองทิศทางจำนวน 4 พอร์ต พอร์ตละ 8 บิต รวมทั้งหมดเป็น 32 เส้น แต่จะเหลือเพียง16 เส้น สำหรับเบอร์ 8031 อีก 16 เส้น จะใช้ในการเข้าถึงทางแอดเดรสและข้อมูล
7. พอร์ตแบบอนุกรมสามารถที่จะโปรแกรมการรับส่งแบบ Full Duplex ที่ความเร็วสูง
8. หนึ่งวัฏจักรคำสั่งจะกินเวลา 1 ไมโครวินาที ด้วยการใช้คริสทัล 12 เม็กกะเฮิรตซ์
9. แอดเดรสข้อมูลภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
10. แอดเดรสโปรแกรมภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
11. สามารถกำหนดเลขที่อยู่ข้อมูลขนาดไบต์หรือบิตได้โดยตรง
12. มีซอฟต์แวร์บิตแฟลกสำหรับผู้ใช้ที่จะกำหนดเองได้ถึง 128 ตำแหน่งบิต
13. โครงสร้างอินเตอร์รัพต์จะติดตั้งได้ถึง 5 แหล่ง และ 6 แหล่ง สำหรับ 8032/8052 พร้อมด้วยการจัดไพรโอริตี้ (Priority) ได้ 2 ระดับ
14. ตัวโพรเซสเซอร์สามารถใช้งานแบบบูลีน (Boolean) ได้ สำหรับการใช้กับกระบวนการงานควบคุม
15. มีคำสั่งคูณ และหารทางฮาร์ดแวร์ที่ทำได้ภายใน 4 ไมโครวินาที
16. ตัวเลขทางคณิตศาสตร์ ใช้ได้ทั้งระบบไบนารี และเดซิมัล
17. การใช้พื้นที่สแตกสำหรับโปรแกรมย่อยต่างๆ ทำได้กว้างกว่าเอ็มซีเอส-48(MCS-48)
18. ชุดคำสั่งของเอ็มซีเอส-51(MCS-51) จะมีความสามารถสูงกว่าคำสั่งของเอ็มซีเอส-48(MCS-48)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.1 แสดงการจัดขาตามลักษณะภายนอกของชิปเอ็มซีเอส-51(MCS-51) ซึ่งจะมีการแบ่งกลุ่มการจัดขาตามสถาปัตยกรรมของเอ็มซีเอส-51(MCS-51) อยู่ 4 กลุ่ม คือ



รูปที่ 5.1

1. กลุ่มขารับแหล่งจ่ายไฟฟ้า และสัญญาณนาฬิกา
2. กลุ่มขาแอดเดรสและข้อมูล
3. กลุ่มขาควบคุม
4. กลุ่มขาพอร์ตแบบขนานและอนุกรม

ขาบางขาจะทำหน้าที่ได้สองหน้าที่ขึ้นอยู่กับการติดตั้งด้วยซอฟต์แวร์หรือฮาร์ดแวร์ เช่น ขาที่ 32-39 จะทำหน้าที่ได้เป็นกลุ่มขาแอดเดรสและข้อมูลหรือจะทำหน้าที่เป็นกลุ่มขาพอร์ตแบบขนานเป็นต้นรายละเอียดหน้าที่ขาแต่ละขาจะมีดังนี้

ขากราวด์ Vss (ขา 20)	เป็นขาสำหรับต่อลงดิน
ขาไฟเลี้ยงVcc (ขา 40)	เป็นขาที่ต่อแรงดันไฟกระแสตรงขนาด 5โวลท์และใช้สำหรับการโปรแกรม
ขาพอร์ต 0	ทำหน้าที่เป็นพอร์ตไอโอ 8 บิตแบบโอเพนเดรนไบไดเร็คชันแนล(Open Drain
(PORT 0)	Bidirectional) สามารถที่จะรับโหลดทีทีแอลได้ 8 ตัว การเขียนค่า'1'ไปที่
(P0.0-P0.7/	พอร์ตนี้ จะเป็นการปล่อยลอย(Float)ขาของพอร์ตนี้ ทำให้มันทำงานเป็น
(AD0-AD7)	พุตมีสถานะอิมพีแดนซ์สูงในการให้พอร์ตนี้บริการแบบไอโอ และอีกหน้าที่
(ขา 32 - 39)	หนึ่งของพอร์ต 0 จะทำงานเป็นมัลติเพลกซ์ด้วยสัญญาณแอดเดรสไบต์ต่ำกับ
	บัสข้อมูล สำหรับการใช้งานด้านหน่วยความจำภายนอก ในการใช้งานแบบนี้
	จะใช้ลักษณะภายในเป็นตัวพูลอัพนอกจากหน้าที่หลัก 2 หน้าที่ดังกล่าวแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้าม ... ไปใช้

พอร์ต 0 ยังใช้งานพิเศษเป็นตัวส่งข้อมูลออกทางพอร์ตนี้ เมื่อใช้บริการทางด้านการตรวจสอบโปรแกรมรอม (ROM) ภายใน และการโปรแกรมตัวอีพรอม (EPROM) ภายใน ถ้าใช้งานในลักษณะนี้การพูลอัพจากภายนอกจะต้องต่อด้วยค่า 10 กิโลโอห์ม

ขาพอร์ต 1
(PORT 1)
(P1.0 - P1.7)
(ขา 1 - 8)

เป็นพอร์ตไอโอ 8 บิตแบบโอเพนเดรนไบไดเร็คชันแนล(Open Drain Bidirectional) พร้อมด้วยการพูลอัพภายในถ้าเป็นพอร์ตเอาต์พุตบัฟเฟอร์สามารถขับโหลดทีทีแอลตระกูลแอลเอสไอได้ 4 ตัวพอร์ต 1 เมื่อถูกเขียนค่า '1' ด้วยโปรแกรมมันจะมีสถานะสูงด้วยการพูลอัพภายในการให้สถานะเช่นนี้จะเป็นการอินิเชียล Initial ใช้งานพอร์ตนี้ให้เป็นอินพุตขณะที่พอร์ต 1 เป็นอินพุต การให้สัญญาณลงต่ำจะเป็นการจ่ายกระแสออกเนื่องจากการพูลอัพภายใน ใน ในเบอร์ 8052 ขาที 1.0(P1.0) และ ขาที 1.7(P1.7) จะใช้งานเป็นที 2 (T2) และ ที 2 อีเอ็กซ์ (T2EX) โดยขาที 2 (T2) จะทำหน้าที่รับสัญญาณจากภายนอกให้ตัวจับเวลา 2 ทำงาน และขาที 2 อีเอ็กซ์ (T2EX) จะเป็นอินพุตผ่านเข้าตัวจับเวลา 2 ถูกกระตุ้นให้ทำงานแบบปกติตามโปรแกรมที่ติดตั้งไว้หรือ เค็ปเจอร์ (Capture)

ขาพอร์ต 2
(PORT 2)
(P2.0 - P2.7)
(ขา 21 - 28)

เป็นพอร์ตไอโอ 8 บิตแบบโอเพนเดรนไบไดเร็คชันแนล (Open Drain Bidirectional ด้วยการพูลอัพภายใน พอร์ต 2 ที่ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์เอาต์พุตสามารถจ่ายโหลดทีทีแอลตระกูลทีทีแอลตระกูลแอลเอสได้ 4 ตัว อีกหน้าที่หนึ่งของพอร์ตจะถูกใช้งานเป็นตัวส่งแอดเดรสไบต์สูงด้วย เมื่อใช้งานร่วมกับหน่วยความจำภายนอกเพื่อให้แอดเดรสได้ถึง 16 บิต ด้วยการใช้งานแบบนี้มันจะมีพูลอัพภายในที่ช่วยให้การส่งค่า' 1' ได้ระดับที่แน่นอนจากการใช้งานสำหรับแอดเดรสอันดับสูงยังใช้เป็นขาควบคุมในการใช้งานตรวจสอบและเขียนโปรแกรมเบอร์ 8751 และตรวจสอบโปรแกรมภายใน 8051

ขาพอร์ต 3
(PORT 3)
(P 3.0 - P 3.7)
(ขา 10 - 17)

เป็นพอร์ตไอโอ 8 บิตแบบพูลอัพภายใน นอกจากทำเป็นพอร์ตไอโอที่สามรถรับโหลดทีทีแอลพวกตระกูลแอลเอสได้ 4 ตัวแล้วยังมีอีกหน้าที่หนึ่งของตระกูลเอ็มซีเอส-51(MCS-51)ตามรายการข้างล่างนี้ด้วย

ขาพอร์ต	ขา	การทำงานตามฟังก์ชันพิเศษ P3.0
ที3.0(P3.0)	10	อาร์เอ็กซ์ดี(RxD) พอร์ตอนุกรมอินพุต
ที3.1(P3.1)	11	ทีเอ็กซ์ดี(TxD) พอร์ตอนุกรมเอาต์พุต
ที3.2(P3.2)	12	$\overline{\text{INT0}}$ อินเตอร์รัพภายนอกตัวที่ 1
ที3.3(P3.3)	13	$\overline{\text{INT1}}$ อินเตอร์รัพภายน อกตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พี3.4(P3.4)	14	ที 0 (T0) สัญญาณกระตุ้นเข้าที่ตัวจับเวลา/ตัวนับ 0
พี3.5(P3.5)	15	ที 1 (T1) สัญญาณกระตุ้นเข้าที่ตัวจับเวลา/ตัวนับ 1
พี3.6(P3.6)	16	$\overline{WR}$ สัญญาณควบคุมการเขียน
พี3.7(P3.7)	17	$\overline{RD}$ สัญญาณควบคุมการอ่าน

การที่จะให้ทำงานตามต้องฟังก์ชันข้างบนได้ จะต้องติดตั้งโปรแกรมด้วยการส่งค่า '1' ไปแลทช์ไว้ก่อนที่ให้ทำงานตามฟังก์ชันข้างบน

ขาอาร์เอสที (RST) (ขา 9)

ต้องคงสถานะค่าสูงเป็นเวลาประมาณอย่างน้อยสองวัฏจักรระหว่างทที่ออสซิลเตอร์ทำงานขณะที่ต้องการรีเซตทั้งระบบงาน โดยจะต่อรีซิสเตอร์พูลดาวน์ (8.2 กิโลโอห์ม) จากขาอาร์เอสที (RST) ไปลงดิน และเพื่อให้ตัวชิปรีเซตได้โดยอัตโนมัติขณะเปิดไฟจะใช้คาปาซิเตอร์ (10ไมโครฟารัด) ต่อคร่อมระหว่างขาอาร์เอสที(RST) กับขาไฟเลี้ยง (Vcc)

ขาเอแอลอี $\overline{(ALE/PROG)}$

เป็นขาแอดเดรสแลทช์อีนาเบิ้ลด้วยการส่งพัลส์ออกไปใช้สำหรับแลทช์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำจากพอร์ต 0 ในระหว่างการเข้าถึงข้อมูลจากหน่วยความจำภายใน ALE จะถูกส่งสัญญาณนาฬิกาออกมาในอัตราความเร็วลงที่ ที่ 1/8 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ตลอดเวลาแม้ว่าบางช่วงจังหวะจะไม่มีการเข้าถึงข้อมูลจากภายใน ดังนั้นจึงสามารถที่จะใช้สัญญาณจากขานี้เป็นตัวจับเวลาภายนอกหรือเป็นความถี่สัญญาณนาฬิกา แต่อย่างไรก็ตามความถี่สัญญาณนี้จะลดความถี่ช้าลงไปเท่าหนึ่งระหว่างการทำงานแบบการเข้าถึงของหน่วยความจำข้อมูลภายนอกขานี้ยังจะใช้เป็นสัญญาณพัลส์เข้า สำหรับการควบคุมการโปรแกรมตัวอีพรอม (EPROM)ภายในชิป

ขาพีเอสอีเอ็น (ขา $\overline{PSEN}$) (ขา 29)

โปรแกรมสตอร์เรจอีนาเบิ้ล(Program Storage Enable) เป็นสโตรบอ่านข้อมูลจากโปรแกรมหน่วยความจำภายนอก เมื่อชิปทำงานด้วยโปรแกรมภายนอกขาพีเอสอีเอ็น(PSEN) จะสร้างสโตรบต่ำสองครั้งภายในแต่ละวัฏจักรแมชชีนพิจราณาจะมีสถานะสูง หรือพัลส์ต่ำทั้งสองถูกจะหายไปเมื่อทำงานในช่วงการอ่านหรือเขียนข้อมูลจากหน่วยความจำข้อมูลภายนอกและพีเอสอีเอ็น(PSEN) จะไม่มีพัลส์ส่งออกถ้าชิปทำงานด้วยโปรแกรมหน่วยความจำภายใน

ขาอีเอ (ขา $\overline{EA}$/Vpp) (ขา 31)

สถานะสูง ตัวซีพียูในชิปจะทำงานตามโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำภายใน (โดยที่โปรแกรมจะต้องไม่ยาวกว่า 4 กิโลไบต์ สำหรับเบอร์ 8051 AH และ 8 กิโลไบต์สำหรับเบอร์ 8052 AH) การทำให้ EAมีสถานะต่ำจะเป็นการควบคุมให้ซีพียูทำงานตามโปรแกรมหน่วยความจำภายนอก ซึ่งขยายโปรแกรมได้ยาวถึง 64 กิโลไบต์ ในตัว 8031 AH และ 8032 AH ขาอีเอ(EA)จะต้องต่อลงดิน เช่นกันแม้ว่าจะไม่มีรอม(ROM)อยู่ภายในก็ตาม ในตัว 8751 H จะใช้ขานี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ่ายแรงดันขนาด 21 โวลท์ ขณะทำการเขียนโปรแกรมเข้าอีพรอม(EPROM) ของชิป 8751 H ตัวนี้

ขาเอ็กซ์ทีเอแอล1 ใช้เป็นตัวอินพุตเข้าสู่ตัวออสซิลเลเตอร์ขยายแบบอินเวอร์ต(Invert)

(ขาXTAL 1)

(ขา19)

ขาเอ็กซ์ทีเอแอล2 ใช้เป็นตัวเอาต์พุตจากตัวออสซิลเลเตอร์ขยายแบบ Invert

(ขา XTAL 2)

(ขา 18)

ตามตารางที่ 5-1 เอ็มซีเอส-51(MCS-51) ทั้งสามกลุ่ม คือ กลุ่มที่มีรอม(ROM) ไม่มี รอม(ROM) และพวกอีพรอม(EPROM) จะมีใช้งานเหมือนกันหมด ยกเว้นขา 1 จะใช้งานเป็นที2 (T2) และขา 2 เป็นที2อีเอ็กซ์(T2EX) ในเบอร์ 8032/8052 ตลอดถึงจังหวะเวลา (Timing Daigram) และคุณสมบัติทางไฟฟ้าทั้งสามจะแตกต่างกันเฉพาะการโปรแกรมบนชิปเอ็มซีเอส-51(MCS-51) เท่านั้น ซึ่งแต่ละแบบจัดไปตามความต้องการของผู้ใช้เช่น 8751 จะมี 4 กิโลไบต์ ของอุลตร้าไวโอเล็ทอีราสเซเบิ้ล โปรแกรมมาเบิ้ลรีดโอนลี่เมโมรี่(Ultraviolet Erasable Programmable Read Only Memory หรือ Eprom) เหมาะสำหรับการพัฒนาเครื่องต้นแบบและการผลิตอุปกรณ์ที่มีจำนวนจำกัด เมื่อต้องการจะเขียนโปรแกรมเข้า อีพรอม(EPROM) จะมีตัวเขียนโปรแกรมพิเศษสำหรับเขียนโปรแกรมที่ผู้ออกแบบเขียนขึ้นมาได้ ถ้าโปรแกรมมีบักหรือส่วนผิดพลาดที่ต้องการจะแก้ไข ก็สามารถแก้ไขได้โดยการนำตัว 8751 นี้ไปล้างโปรแกรมเดิมออกด้วยแสงอุลตร้าไวโอเลต และอัดข้อมูลโปรแกรมที่ได้แก้ไขแล้วเข้าไปใหม่ ทำเช่นนี้จนกระทั่งได้โปรแกรมสมบูร์ และเมื่อต้องการผลิตจำนวนมากก็สามารถที่จะใช้เอ็มซีเอส-51(MCS-51) เบอร์ 8051 ที่มี 4 กิโลไบต์ของรอม(ROM) ซึ่งจะถูกอัดข้อมูลโปรแกรมตามความต้องการของผู้ออกแบบโดยโรงงานผู้ผลิตชิปเบอร์นี้การผลิตลักษณะนี้จะถูกกว่าการใช้เบอร์ 8751 แต่โปรแกรมภายในจะไม่สามารถลบ และโปรแกรมใหม่ได้หลังการผลิตไปแล้ว

ส่วนเบอร์ 8031 จะไม่มีหน่วยความจำของโปรแกรมบนชิป แต่อาจต่อหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกด้วยรอม(ROM),อีพรอม(EPROM) หรือ พรอม(PROM) ได้ 64 กิโลไบต์ ดังนั้น 8031 จึงเหมาะสำหรับการใช้งานที่โปรแกรมมีขนาดใหญ่กว่าสี่กิโลไบต์และสำหรับผู้ออกแบบที่ต้องการแยกส่วนของโปรแกรมออกจากชิป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

แอลซีดี ดีวี-12864(LCD DV-12864)

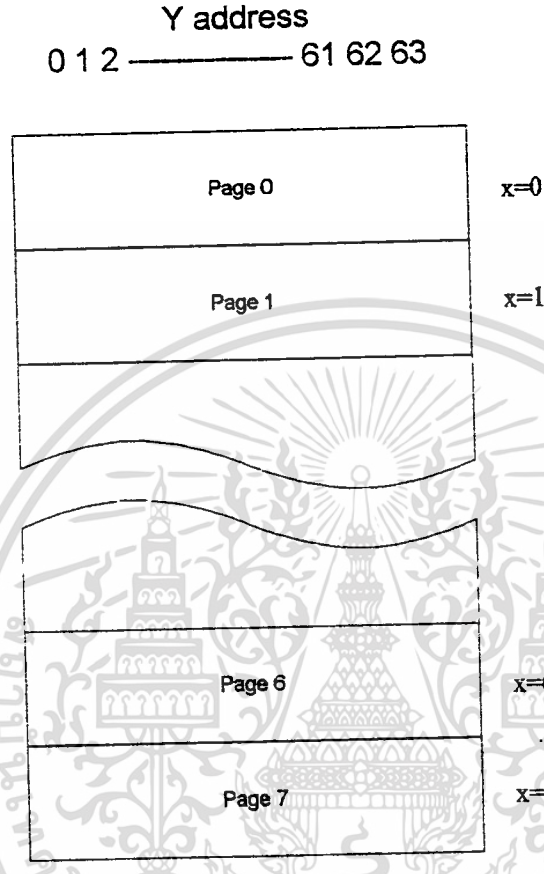
ดีวี-12864(DV-12864) เป็นแอลซีดี กราฟฟิค(LCD Graphic) ขนาด 128*64 ด็อท(Dot) ซึ่งมีคอนโทรลเลอร์(Controller) ภายใน เอชดี61202,เอชดี-61203 (HD61202,HD61203) โดยการทำงานของคอนโทรลเลอร์(controller) จะมีลักษณะการแบ่งการควบคุมไว้ดังนี้

ไลน์(line) คือการอ้างถึงบรรทัดของข้อมูล ภายในจะแบ่งเป็น 64 แถว คือคอม1-คอม64 (com1-com64)

เพจ(page) เอ็กซ์แอดเดรส(x-address) เป็นการอ้างถึงหน้าต่างของการแสดงผล ภายในหนึ่งเพจ (page) จะประกอบไปด้วย 8 ไลน์ ซึ่งจะเป็นการอ้างถึงข้อมูลด้วยดาต้าบัส(data-bus) โดยตรง ภายในของแอลซีดี(LCD) จะประกอบด้วย 8 เพจ ซึ่งถูกชี้โดยเอ็กซ์แอดเดรส(X-register) โดยเมื่อต้องการให้แอลซีดี(LCD) แสดงผลที่หน้าต่างใดของจอ เราจะต้องตั้งค่าเอ็กซ์(X) ให้กับแอลซีดี(LCD) ซึ่งเมื่อตั้งค่า เอ็กซ์(X) ให้กับแอลซีดี(LCD) แล้ว ค่าเอ็กซ์(X) นั้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง จนกระทั่งจะมีการตั้งค่าใหม่ให้กับแอลซีดีเซ็กซ์เม็นท์(LCD segment)หรือวายแอดเดรส(y-address) เป็นค่าพอยท์เตอร์ ในการชี้ที่อยู่ของข้อมูล ซึ่งภายในแอลซีดี(LCD) จะถูกควบคุมการชี้ของข้อมูล โดยเอชดี61202(HD61202) โดยในตัวเอชดี61202(HD61202) จะสามารถชี้ที่อยู่ของข้อมูลได้ 64 เซ็กซ์เม็นท์(segment) ซึ่ง เอชดี61202(HD61202) ทั้งสองตัวก็จะสามารถ ทำการอ้างเซ็กซ์เม็นท์(segment) ได้ถึง 128 เซ็กซ์เม็นท์ segment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038036



วาย(y) แล้ว ค่าจะถูกเพิ่มขึ้นเสมอ เมื่อมีการอ่านหรือเขียนข้อมูลบนแอลซีดี(LCD)

**ข้อควรระวัง เมื่อค่าวาย(y) ถูกเพิ่มขึ้นมากกว่า 63 แล้ว ค่า(y) จะยังไม่เป็นการอ้างถึงข้อมูลเซ็กซ์เม็นท์ (segment) ที่ 64 หรือเซ็กซ์เม็นท์ 0 ของ ซีเอส 2(segment 0 ของ cs2) ดังนั้นตัวโปรแกรมจะต้องช่วยจัดการในส่วนนี้

คำสั่งควบคุมของแอลซีดี(LCD)

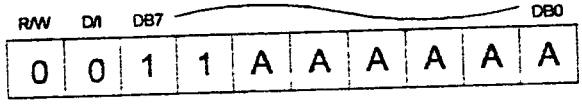
1. ดิสเพลย์ ออน/ออฟ(display ON/OFF)

R/W	DI	DB7						DB0
0	0	0	0	1	1	1	1	1	D

เป็นคำสั่งควบคุมการแสดงผล โดยการแสดงผลจะขึ้นอยู่กับค่าดี(D) ((ดีบีโอ:DBO)) เมื่อค่าดี(D) เป็น 1 แอลซีดี(LCD) จะทำการแสดงผล และเมื่อค่าดี(D) เป็น 0 แอลซีดี(LCD) จะไม่ทำการแสดงผล ข้อมูลภายในแอลซีดี(LCD) จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากคำสั่งนี้

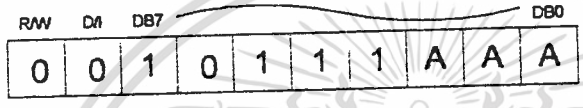
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งนี้ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ดิสเพลย์สตาร์ทไลน์(display start line)



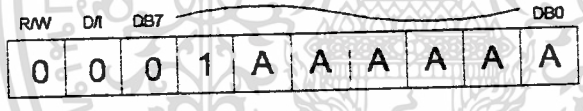
ค่าเอ(A) จะเป็นค่าหมายเลขบรรทัด ที่จะให้แอลซีดี(LCD) แสดงผลเป็นบรรทัดแรกของจอภาพในรูปที่ 2 จะเป็นตัวอย่าง ของการเลือกค่าไลน์(Line) จาก 0-3 ซึ่งจะทำให้การแสดงผลแตกต่างกันออกไป

3. เซ็ทเพจ(Set Page) เอ็กซ์แอดเดรส (X address)



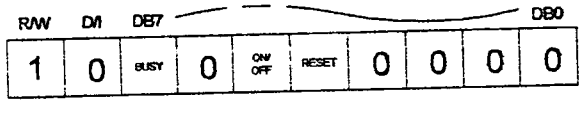
ค่าเออเอ(AAA) ของคำสั่ง จะเป็นการตั้งค่าเอ็กซ์แอดเดรส(X-address) ซึ่งหลังจากคำสั่งนี้แล้วข้อมูลจากดีบี 0(DB0) - ดีบี 7(DB7) จะเป็นการติดต่อกับแรม(RAM) ที่เพจ(PAGE) นี้ตลอด จนกว่าจะมีการตั้งค่าใหม่ให้กับแอลซีดี(LCD)

4. เซ็ทวายแอดเดรส(Set Y-Address)



ค่าเอ(A) จะเป็นการตั้งค่าของวายแอดเดรส(Y-Address) (ค่าวาย(Y)จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-63) และค่าวาย (Y) จะเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 เมื่อมีการอ่านหรือเขียนข้อมูลจากซีพียู(CPU)

5. สเตตัสรีด(Status Read)



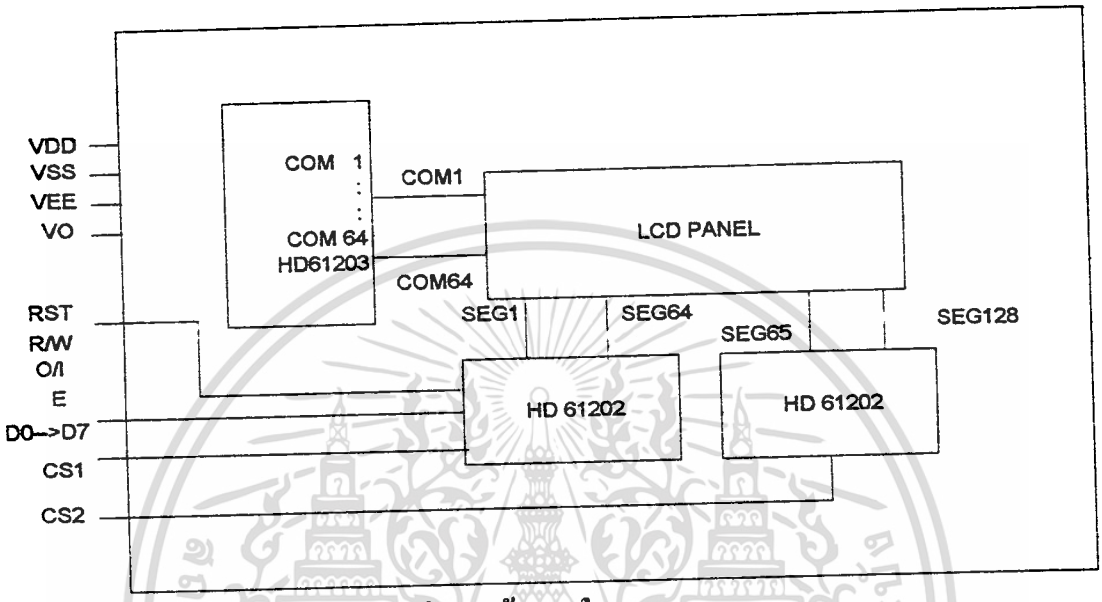
เป็นการอ่านค่าสถานะของแอลซีดี(LCD) โดยถ้าค่าบัสซี่(Busy) เป็น 1 แอลซีดี(LCD) จะทำงานในส่วนภายใน ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถทำการควบคุมแอลซีดี(LCD) ในขณะนี้ได้ เพราะฉะนั้นเพื่อให้แน่ใจในการควบคุมครั้งต่อไป จะต้องตรวจค่าบัสซี่(Busy) ให้ได้ค่าเป็น 0 เสียก่อน

<u>อินเตอร์เฟสแอลซีดี ดีวี-12864(INTERFACE LCD DV-12864)</u>

โครงสร้างภายในของแอลซีดี(LCD) จะประกอบด้วยส่วนของคอนโทรลเลอร์(Controller) โดยเอชดี61203(HD61203) จะควบคุมการอ้างถึงเพจ(page) ของข้อมูล และเอชดี61202(HD61202) จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมในการอ้างของเซ็กซ์เม็นท์(Segment) ซึ่งในการใช้งาน เราจะต้องคอนโทรล(Control) ส่วนเหล่านี้ โดยการส่งระหัสควบคุมไปที่ขาของแอลซีดี(LCD) ดังนี้



รูปแสดงโครงสร้างภายในและขาควบคุม

ขาอาร์เอสที(RST) เป็นขาที่ใช้รีเซ็ท(Reset) การทำงานของแอลซีดี(LCD)

ขาอี(E) เป็นขาอีนาเบิ้ล(Enable) การรับส่งข้อมูล จะทำงานที่ลอจิคไฮ(Logic HIGH) และขอบขาลง

ขาอาร์/ดับบลิว(R/W) เป็นขาที่ใช้กำหนดการอ่านหรือเขียนข้อมูล

ขาดี/ไอ(D/I) ใช้บอกถึงข้อมูลในดาต้าบัส(Data-bus) ว่าเป็นระหัสควบคุม หรือเป็น ส่วนของข้อมูล

ขาซีเอส1(CS1) ชิปซีเลค(Chip Select) ของ เอชซี61201(HC61201) ตัวแรก

ขาซีเอส2(CS2) ชิปซีเลค(Chip Select) ของ เอชดี61201(HD61201) ตัวที่สอง

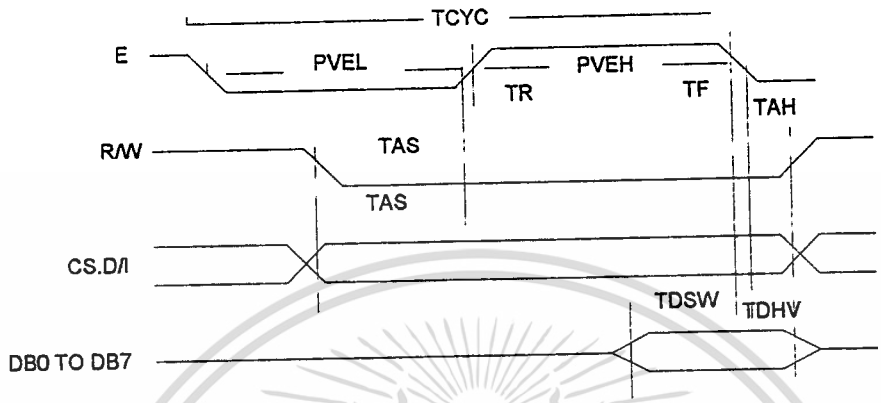
ขาดาต้าบัส(Data-Bus) เป็นขาใช้ส่งข้อมูล หรือระหัสควบคุม

หมายเหตุ 1. เมื่อซีเอส1(CS1) เป็นไฮ(High) และซีเอส2(CS2) เป็นโลว์(Low) จะเป็นการอ้างถึงเซ็กซ์เม็นท์(Segment) ที่ 0-63 และมื่อซีเอส1(CS1) เป็นโลว์(LOW) ซีเอส2(CS2) เป็นไฮ High จะเป็นการอ้างถึงเซ็กซ์เม็นท์(segment) ที่64-127

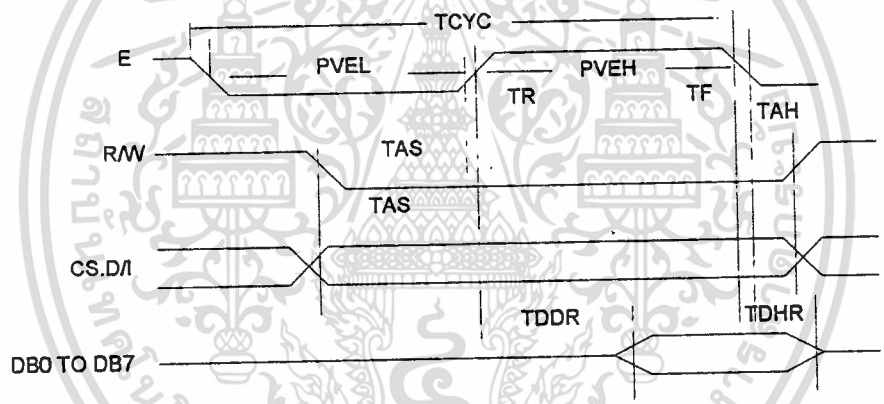
2. สภาวะการทำงานของขาควบคุม สามารถดูได้จากรูปที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เขียนการทำงาน(WRITE OPERATION)



2. อ่านการทำงาน(READ OPERATION)



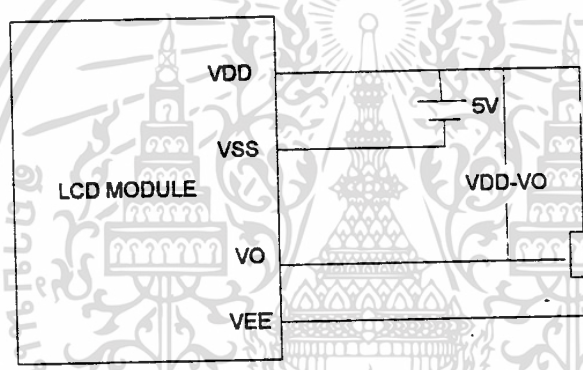
3.ลักษณะของบัสไทมิ่ง(BUS TIMEING CHARACTERISTICS)(VDD=5.0V , Ta= -20 TO +75 C)

ITEM	Symbol	Limit		Note
		min	max	
E cycle Time	TCYC	1000	-	1,2
E high level width	PVEH	450	-	1,2
E low level width	PVEL	450	-	1,2
E rise time	TR	-	25	1,2
E fall time	TF	-	25	1,2
Address setup time	TAS	140	-	1,2
Address hold time	TAH	10	-	1,2
Data setup time	TDSW	200	-	1
Data delay time	TDDR	-	320	2
Data hold time(Write)	TDHW	10	-	1
Data hold time (Read)	TDHR	20	-	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากขาควบคุมต่างๆแล้ว ยังมีขาของแหล่งจ่ายไฟคือ

ขาวีเอสเอส(VSS)	กราวด์(Ground)
ขาวีดีดี(VDD)	แรงดันไฟเลี้ยงวงจรลอจิก(Logic)
ขาวีศูนย์(Vo)	แรงดันไฟเลี้ยงแอลซีดี(LCD)
ขาวีอีอี(VEE)	ขาจ่ายแรงดันไฟลบ โดยเมื่อต่อวีดีดี(VDD) ให้วงจร ขาวีอีอี (VEE) จะจ่ายแรงดันไฟลบออกมา (ใช้นำไปขับแอลซีดี LCD ที่ขาวีศูนย์(Vo)

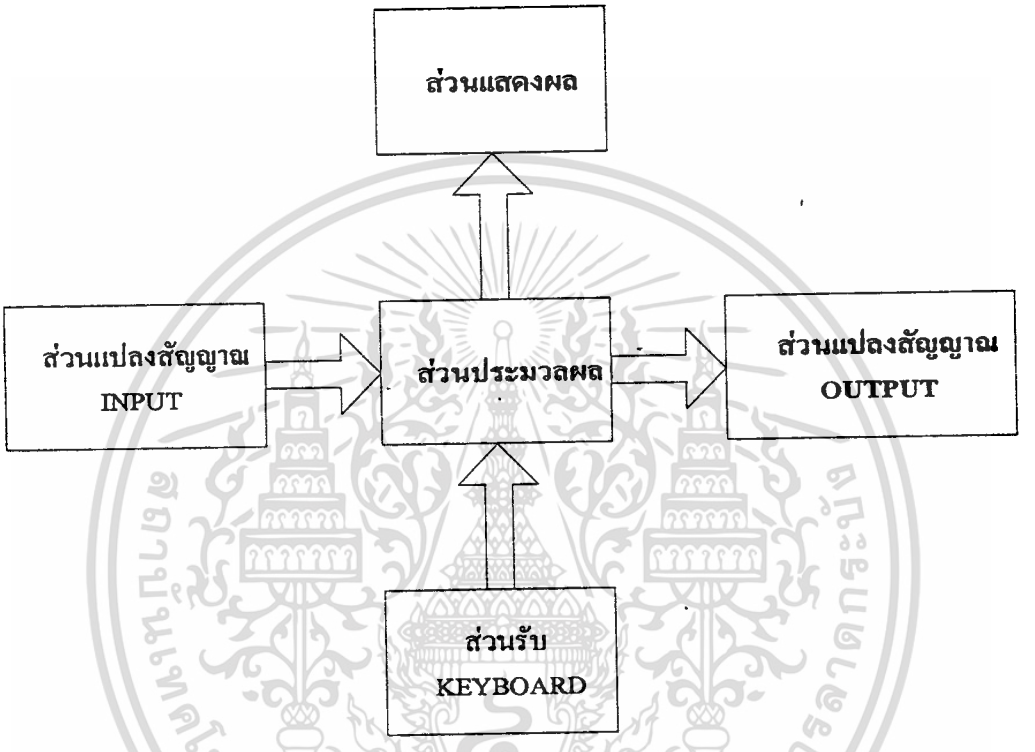


VR 10K to 20K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

หลักการทำงานและอุปกรณ์

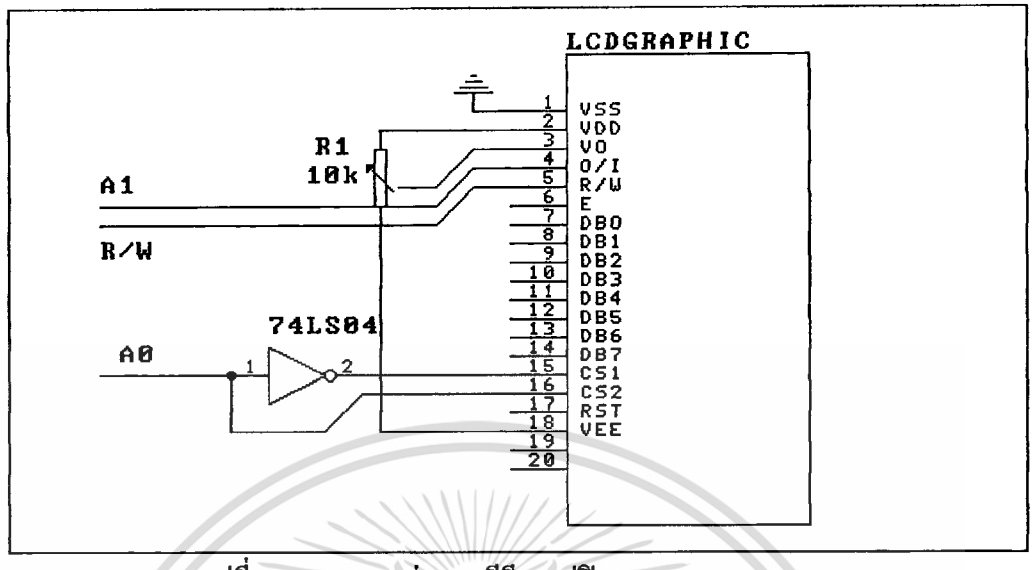


สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ส่วนแสดงผล

ปัจจุบันการใช้แอลซีดีกราฟฟิค(LCD GRAPHIC) เป็นที่นิยมกันมากขึ้นเพราะมีความหลากหลายในการแสดงผลโครงงานนี้จะใช้แอลซีดีกราฟฟิคเบอร์ดีวี12864(LCD GRAPHIC No. DV-12864) เป็นแอลซีดีกราฟฟิค(LCD GRAPHIC) ขนาด 128*64 จุด ซึ่งมีคอนโทรเลอร์(Controller) ภายในเอชดี61202,เอชดี61203 (HD61202,HD61203)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-1 แสดงการต่อแอลซีดีกราฟฟิค(LCD GRAPHIC)

ส่วนประมวลผล

ตระกูลเอ็มซีเอส-51 เบอร์8031(MCS-51 No. 8031) ได้ถูกนำมาใช้ในการประมวลผลของโครงงานนี้ ยังมีส่วนของไอซีเอดีซี(ADC) และ ดีเอซี(DAC) ใช้ในการแปลงสัญญาณจากอนาลอก(Analog) เป็นดิจิตอล(Digital) และแปลงสัญญาณจากดิจิตอล(Digital) เป็นอนาลอก(Analog) ส่วนการติดต่อคีบอร์ด(Keyboard) เราใช้ ไอซี เบอร์ 8255 ซึ่งเป็นไอซีสำหรับการติดต่ออินพุตเอาท์พุต(I/O)

ตารางการอ้างแอดเดนว(Address)

ITEM	ADDRESS
ROM	0000-7FFF
RAM	0000-7FFF
8255	8000-8003
LCD GRAPHIC	C000-C006

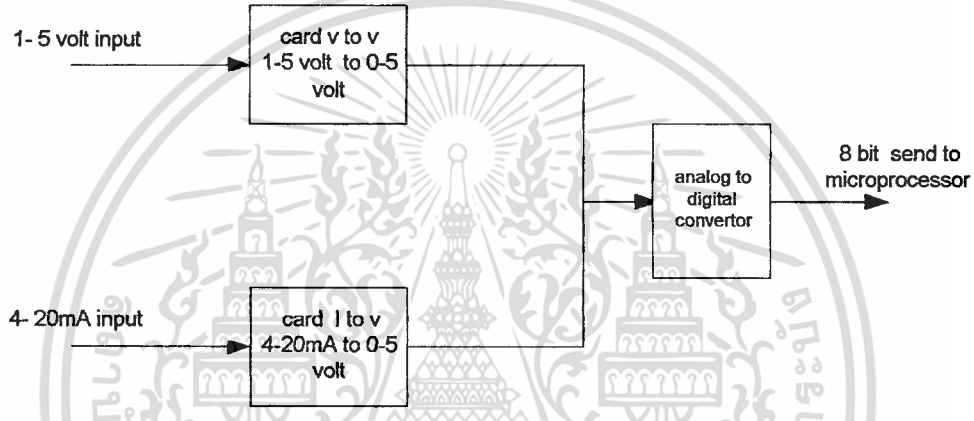
ส่วนรับคีย์บอร์ด(KEYBOARD)

หลักการรับคีย์บอร์ด(Keyboard) เราจะใช้การอินเตอร์รัพ 0 (interrupt 0) ในการกระโดดข้ามไปโปรแกรมย่อยเพื่อรับคีย์(Key) และทำการวิเคราะห์ ในการวิเคราะห์เราใช้หลักการ ถ้าไม่มีปุ่มใดกด อินพุต(Input) ของพอร์ตเอ 8255(port A 8255) จะเป็นศูนย์เอฟเอฟเอช(0ffh) หรือเป็น '1' หมดทุกบิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

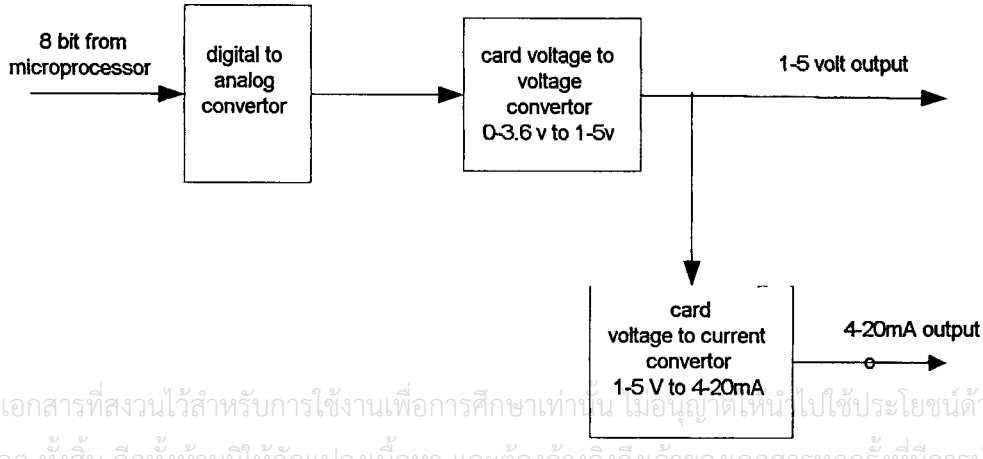
ส่วนแปลงสัญญาณอินพุต(Input)

เราจะรับสัญญาณลักษณะต่างๆ ดังเช่น สัญญาณเป็นความต่างศักย์ สัญญาณเป็นแบบความต้านทาน สัญญาณเป็นแบบกระแส จากนั้นสัญญาณจะผ่านวงจรแปลงสัญญารแบบให้เป็นแบบมาตรฐาน อินพุต(input) ของเรา คือ ให้เป็นสัญญาณ 0-5 โวลท์ แล้วจะส่งไปที่ส่วนประมวลผลต่อไป



ส่วนแปลงสัญญาณเอาท์พุต(Output)

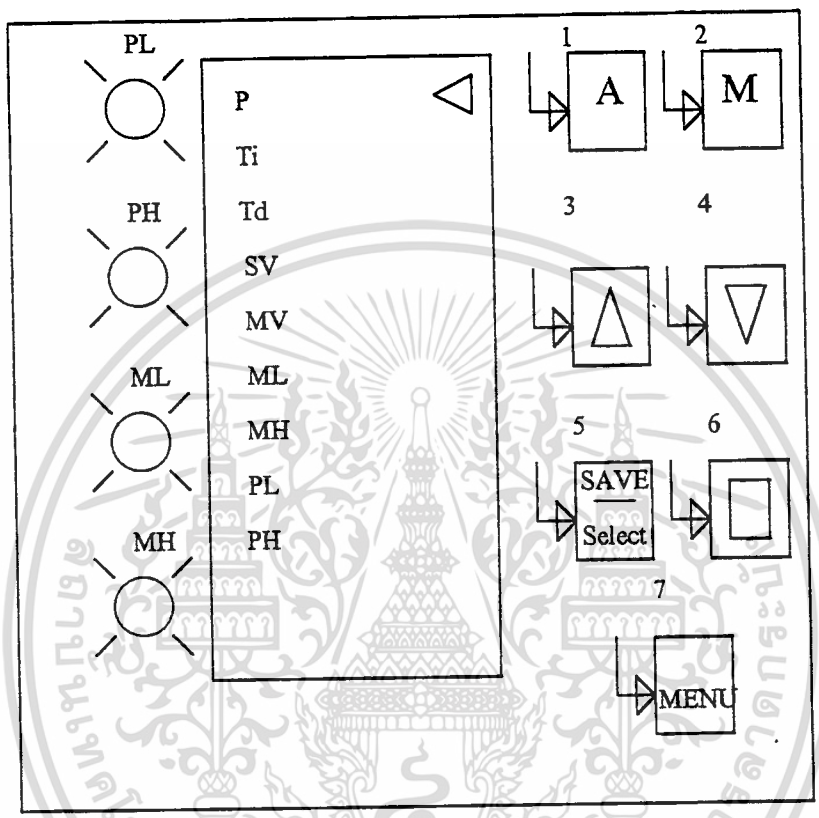
เมื่อส่วนประมวลผลมีผลการประมวลผลออกมา ส่วนแปลงสัญญาณก็จะรับสัญญาณมาแล้วทำการแปลงสัญญาณให้เป็นสัญญาณมาตรฐาน 2 รูปแบบ คือรูปแบบความต่างศักย์ 1-5 โวลท์ และรูปแบบกระแส 4-20 มิลลิแอม เพื่อสั่งให้อุปกรณ์อื่นๆ ทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

คู่มือการใช้เครื่อง



การใช้คีย์บอร์ด(keyboard)

คีย์ 1(key 1) สั่งให้เครื่องทำงานเป็นระบบอัตโนมัติ(Auto)

คีย์ 2(key 2) สั่งให้เครื่องทำงานเป็นระบบแมนนวล(Manual)

คีย์ 3(key 3) เพิ่มค่าพารามิเตอร์(Parameter)

คีย์ 4(key 4) ลดค่าพารามิเตอร์(Parameter)

คีย์ 5(key 5) บันทึกค่าพารามิเตอร์(Parameter)

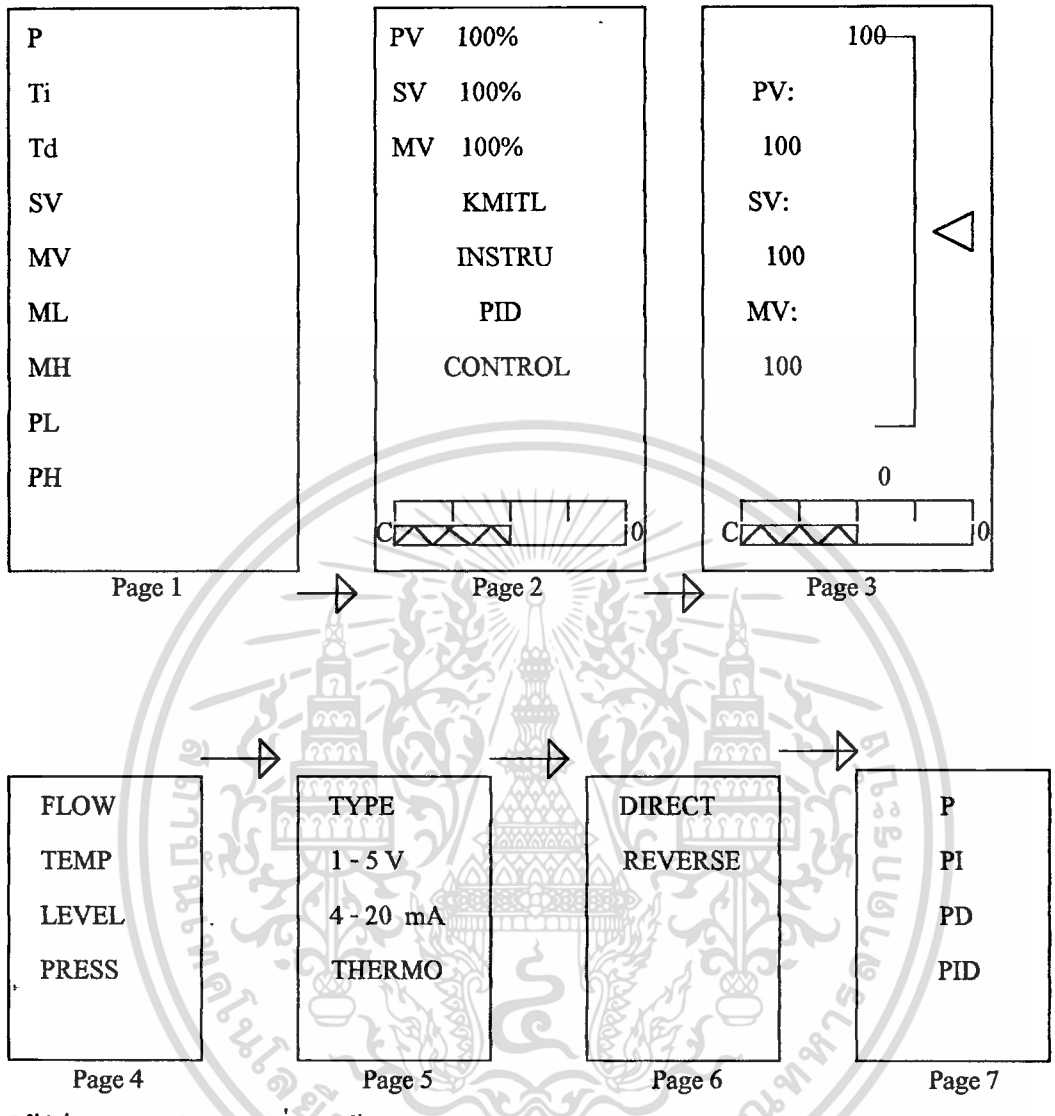
คีย์ 6(key 6) เปลี่ยนหน้าจอแสดงผล

คีย์ 7(key 7) เปลี่ยนค่าพารามิเตอร์(Parameter)

การแสดงหน้าจอมีทั้งหมด 7 หน้าดังรูปที่ 2

โดยใช้ key 6 ในการเปลี่ยนหน้าจอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใช้คีย์ 7 (key 7) **ในการเปลี่ยนหน้าจอ**

ค่าพารามิเตอร์(Parameter) **ในหน้า** 1 (Page 1)

พี(P) **คือ ค่าอัตราการขยาย** (Kp) **สามารถรับค่าได้ในช่วง** 00.0-25.5

ทีไอ(Ti) **คือ ค่าเวลาอินทริเกรท สามารถรับค่าได้ในช่วง** 000-255 **วินาที**

ทีดี(Td) **คือ ค่าเวลาดิฟเฟอเรนเชียล** differential **สามารถรับค่าได้ในช่วง** 000-255 **วินาที**

เอสวี(SV) **คือ ค่าเวลาเซ็ทพอยท์** Set point **สามารถรับค่าได้ในช่วง** 0-100 %

เอ็มวี(MV) **คือ ค่ามานูพูเลท**(Manupulate Value)**สามารถรับค่าได้ในช่วง** 0-100 %

เอ็มแอล(ML) **คือ ค่าอลาร์มโลว**(Alarm Low)**ของเอ็มวี**(MV)**สามารถรับค่าได้ในช่วง** 0-100 %

เอ็มเอช(MH) **คือ ค่าอลาร์มไฮ**(Alarm High)**ของเอ็มวี**(MV)**สามารถรับค่าได้ในช่วง** 0-100 %

พีแอล(PL) **คือ ค่าอลาร์มโลว**(Alarm Low)**ของพีวี**(PV)**สามารถรับค่าได้ในช่วง** 0-100 %

พีเอช(PH) **คือ ค่าอลาร์มไฮ**(Alarm High)**ของพีวี** (PV)**สามารถรับค่าได้ในช่วง** 0-100 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้เมนู(MENU)จะเป็นการเซ็ท(SET)ค่าต่างๆดังนี้

หน้า 4(Page 4) เป็นการเลือกชนิดของอินพุต(Input)มีให้เลือก 4 แบบคือ

-การไหล(Flow)

-อุณหภูมิ(Temperature)

-ระดับ(Level)

-แรงดัน(Pressure)

หน้า 5(Page 5) เป็นการเลือกสัญญาณที่จะรับเข้ามา มี 3 แบบ คือ

- 1-5 โวลท์

- 4-20 มิลลิแอม

หน้า 6(Page 6) เป็นการเลือกชนิดของการทำงาน

- ไดเร็ค(Direct)

- รีเวอร์ส(Reverse)

หน้า 7(Page 7) เป็นการเลือกชนิดของการประมวลผล มี 4 แบบคือ

-พี(P) สมการ MV = Kp (DV) + M(0)

-พีไอ(PI) สมการ MV = Kp (DV + (1/Ti) * SUM * DT) + M(0)

-พีดี(PD) สมการ MV = Kp (DV + Td * DDV/DT) + M(0)

-พีไอดี(PID) สมการ MV = Kp (DV + (1/Ti) * SUM * DT + Td * DDV/DT) + M(0)

M(0) = 50 %

DT = 200 มิลลิเซค(mSec)

ตัวอย่างการใช้เครื่องในการควบคุมระดับมีขั้นตอนดังนี้

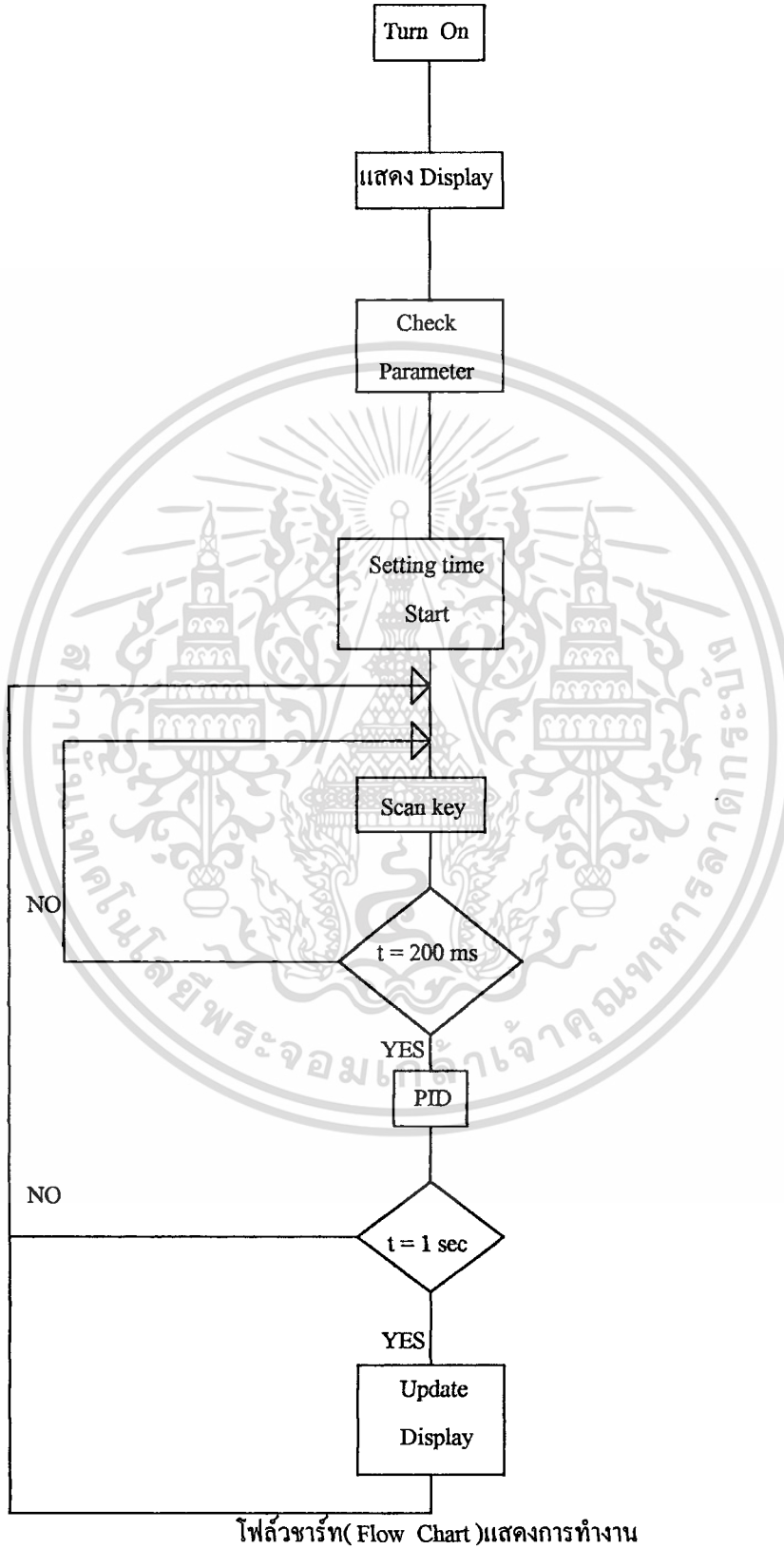
1.ทำการเซ็ทค่าพารามิเตอร์เช่น ค่าพี,ค่าทีไอ,ค่าเซ็ทพอยท์,ค่าเอ็มวีเป็นต้นให้เหมาะสมกับกระบวนการที่จะควบคุม

2.กดคีย์ที่ 7 ในการเปลี่ยนหน้าจอเพื่อเลือกรูปแบบกระบวนการที่จะควบคุม

3.กดคีย์ที่ 6 ในการเปลี่ยนหน้าจอไปสู่หน้าจอซึ่งเป็นกราฟเพื่อแสดงการควบคุม

4.กดคีย์ที่ 1 เพื่อเป็นการควบคุมแบบอัตโนมัติ หรือกดคีย์ 2 เพื่อควบคุมโดยผู้ใช้เอง

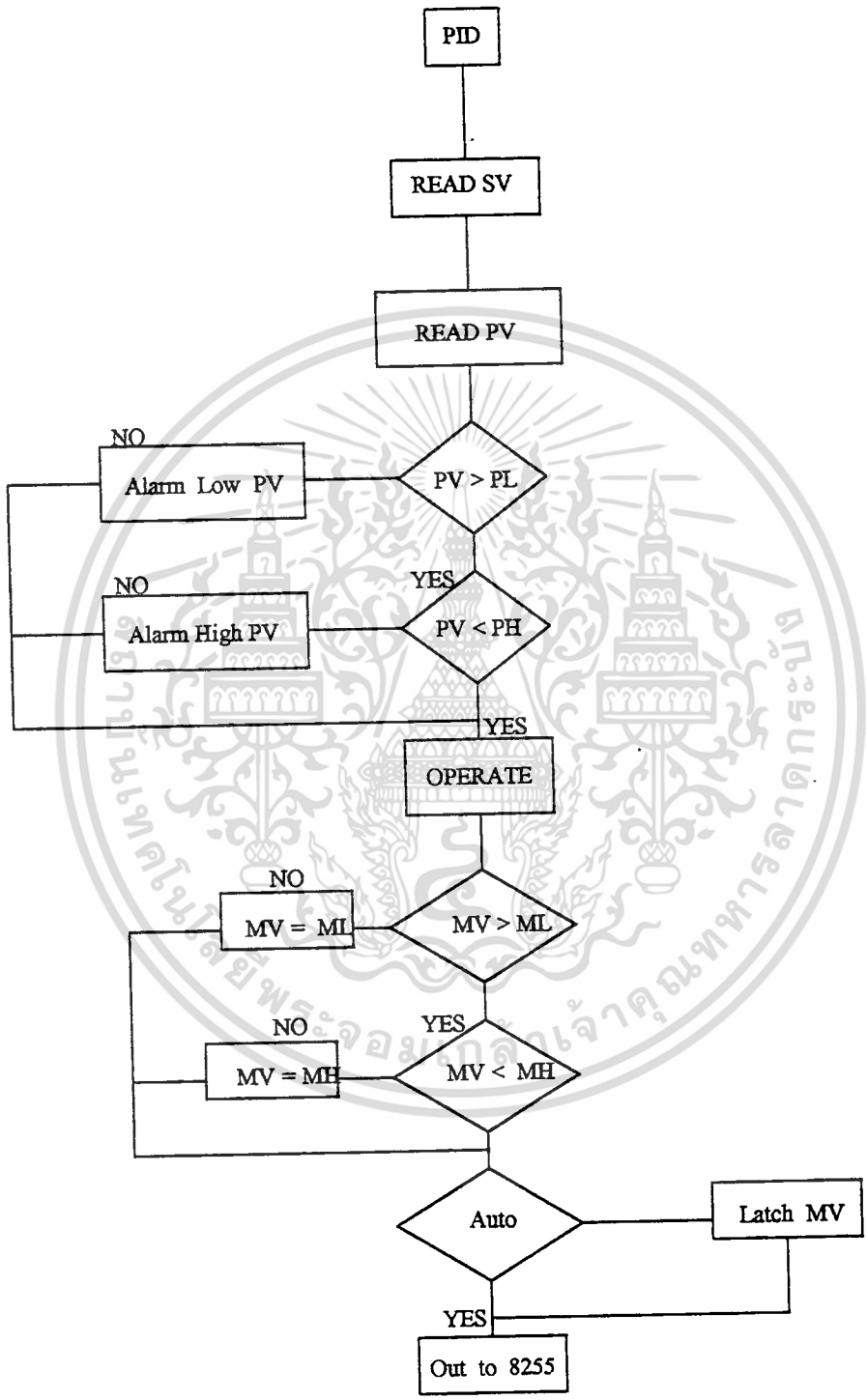
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โฟล์วชาร์ท(Flow Chart)แสดงการทำงาน

ไดอะแกรมเมนโปรแกรม(Diagram Main Program)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



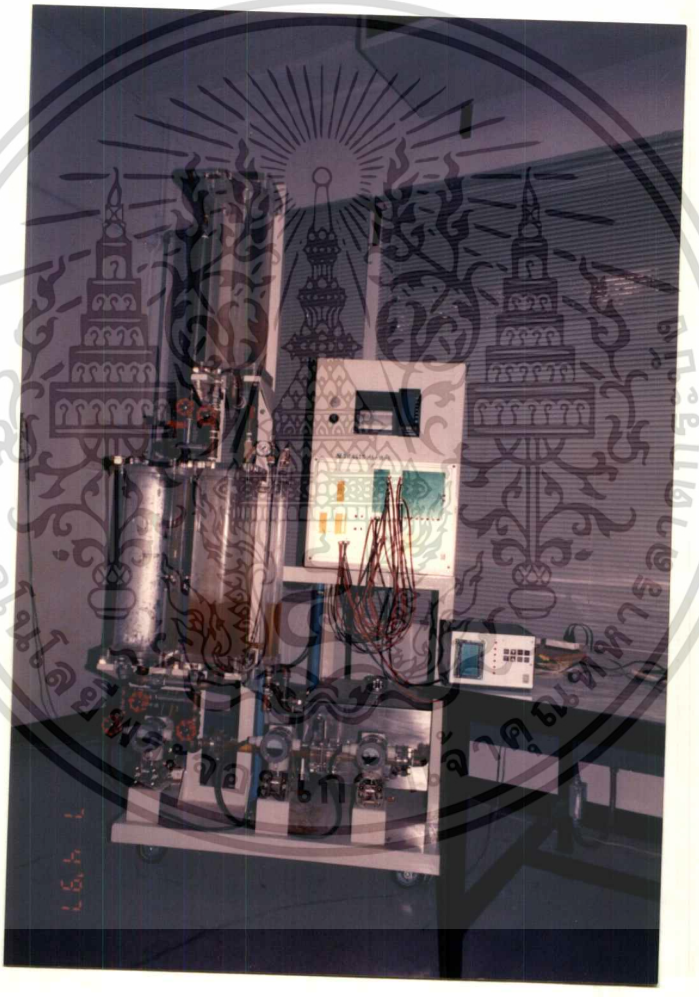
โฟล์วชาร์ท PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
สรุปผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 LEVEL CONTROL

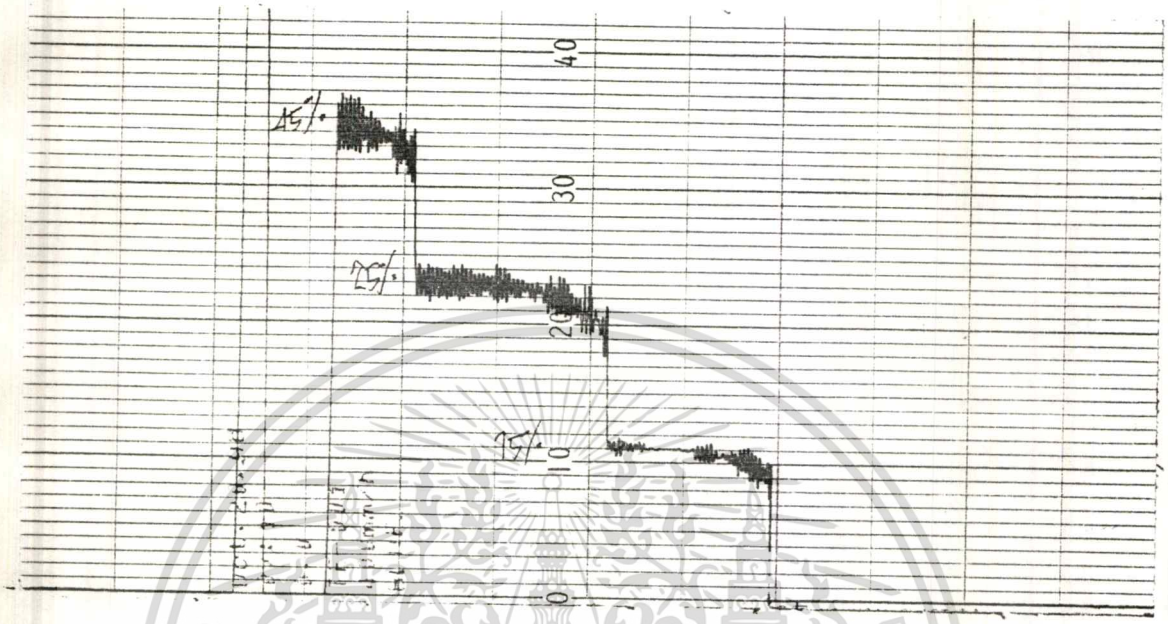
จากรูปที่ 7.1 แสดงถึงการใช้เครื่องควบคุมแบบพีไอดีควบคุมระดับของเหลวในถัง



รูปที่ 7.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

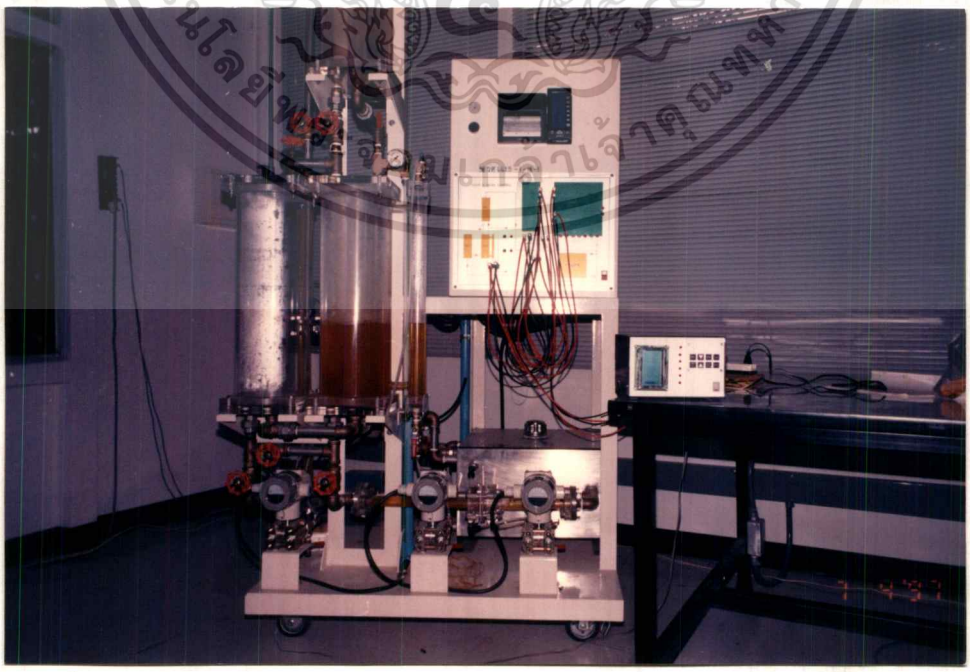
จากกราฟในรูปที่ 7.2 จะเป็นการเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) โดยตั้งเซ็ทพอยท์ (Set Piont)ไว้ จากนั้นค่า พีวี(PV)จะเข้าสู่เซ็ทพอยท์



รูปที่ 7.2

การทดลองที่ 2 FLOW CONTROL

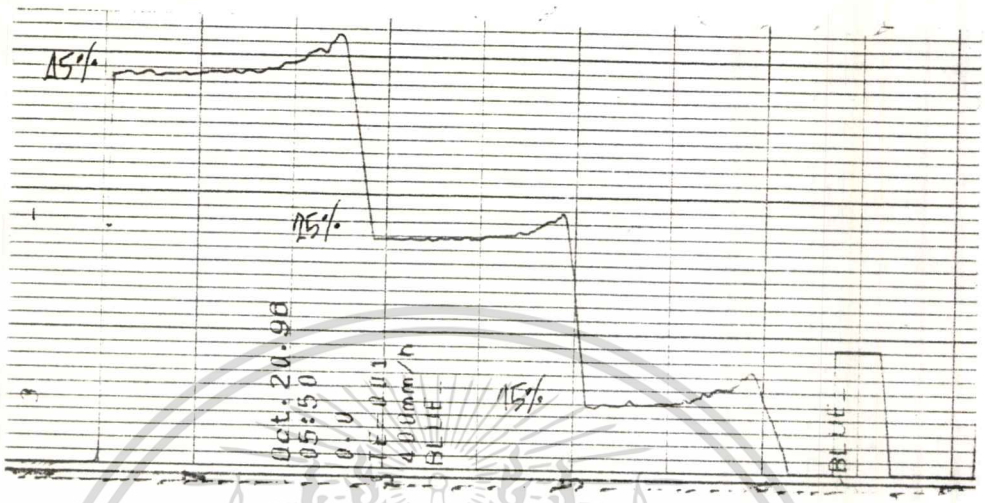
จากรูปที่ 7.3 แสดงการใช้เครื่องควบคุมแบบพีไอดีควบคุมอัตราการไหลของของเหลวในท่อ



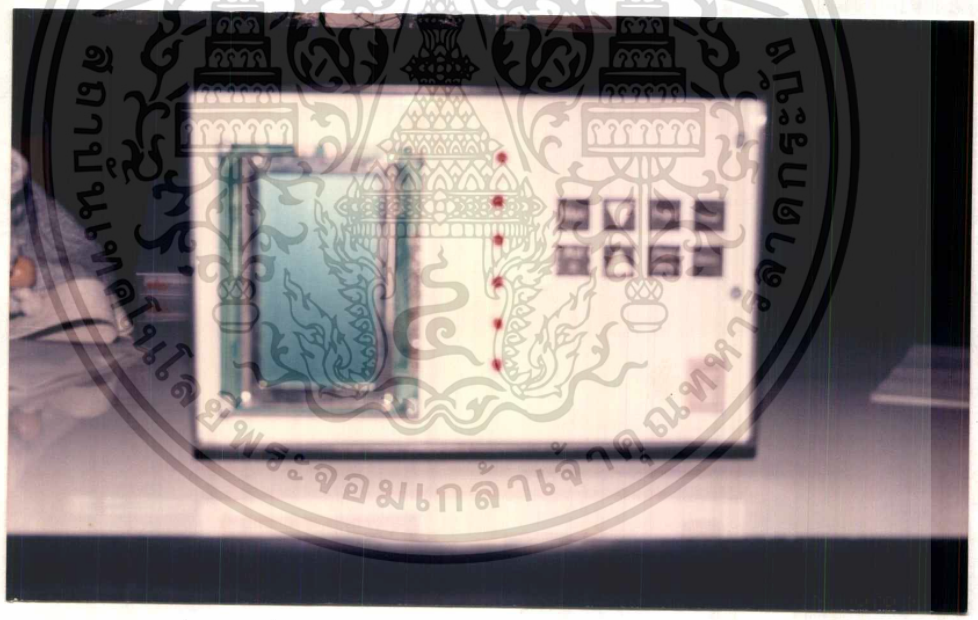
รูปที่ 7.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟในรูปที่ 7.4 จะเป็นรูปของการเข้าสู่สภาวะคงที่(Steady State)โดยตั้งเซ็ทพอยท์(Set Point)ไว้ จากนั้นค่าพีวี(PV)จะเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์(Set Point)



รูปที่ 7.4



รูปที่ 7.5 เครื่องควบคุมแบบพีไอดี(PID CONTROLLER)

สรุป จากการทดลองจากการควบคุมระดับ(LEVEL CONTROL) และ การทดลองจากการควบคุมอัตราการไหล(FLOW CONTROL) จะเห็นได้ว่าค่าพีวี(PV)จะเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์(Set Point)ได้ช้าเร็วต่างกันขึ้นอยู่กับค่าพีไอดี(PID) เมื่อเราตั้งค่าตัวแปร(Parameter)พีไอดี(PID)ที่เหมาะสมกับกระบวนการจะทำให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์(Set Point)ได้เร็วขึ้น

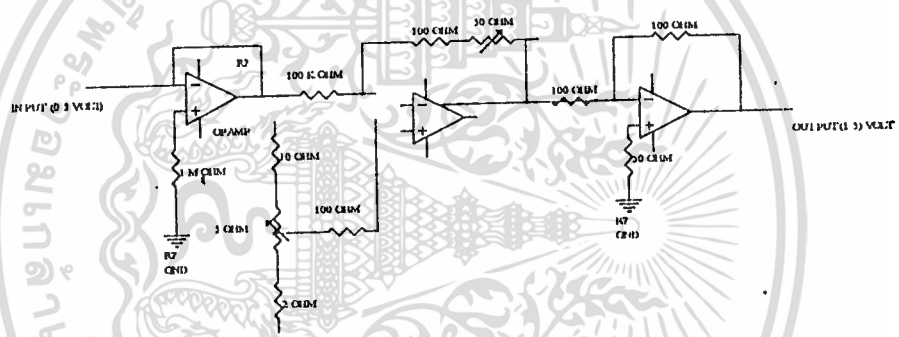
ข้อควรแก้ไขเพิ่มเติม

ค่าเซ็ทพอยท์ของเครื่องคอนโทรลเป็นค่าของเปอร์เซนต์ ซึ่งทำให้ผู้ใช้ยุ่งยากในการใช้งาน และ ค่าพีวี(PV) ยังมีการแกว่งตัวเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

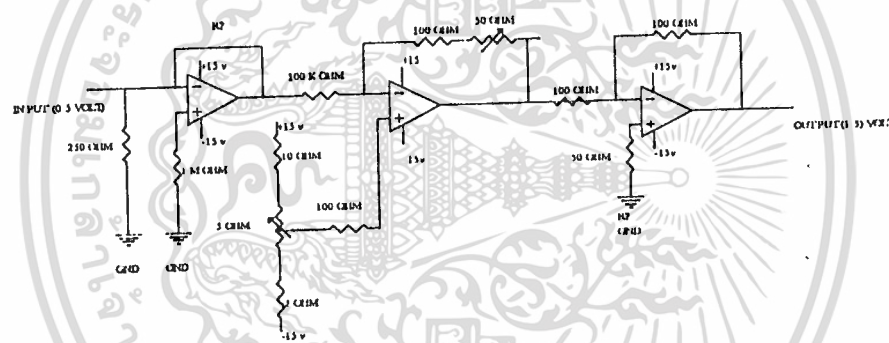
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

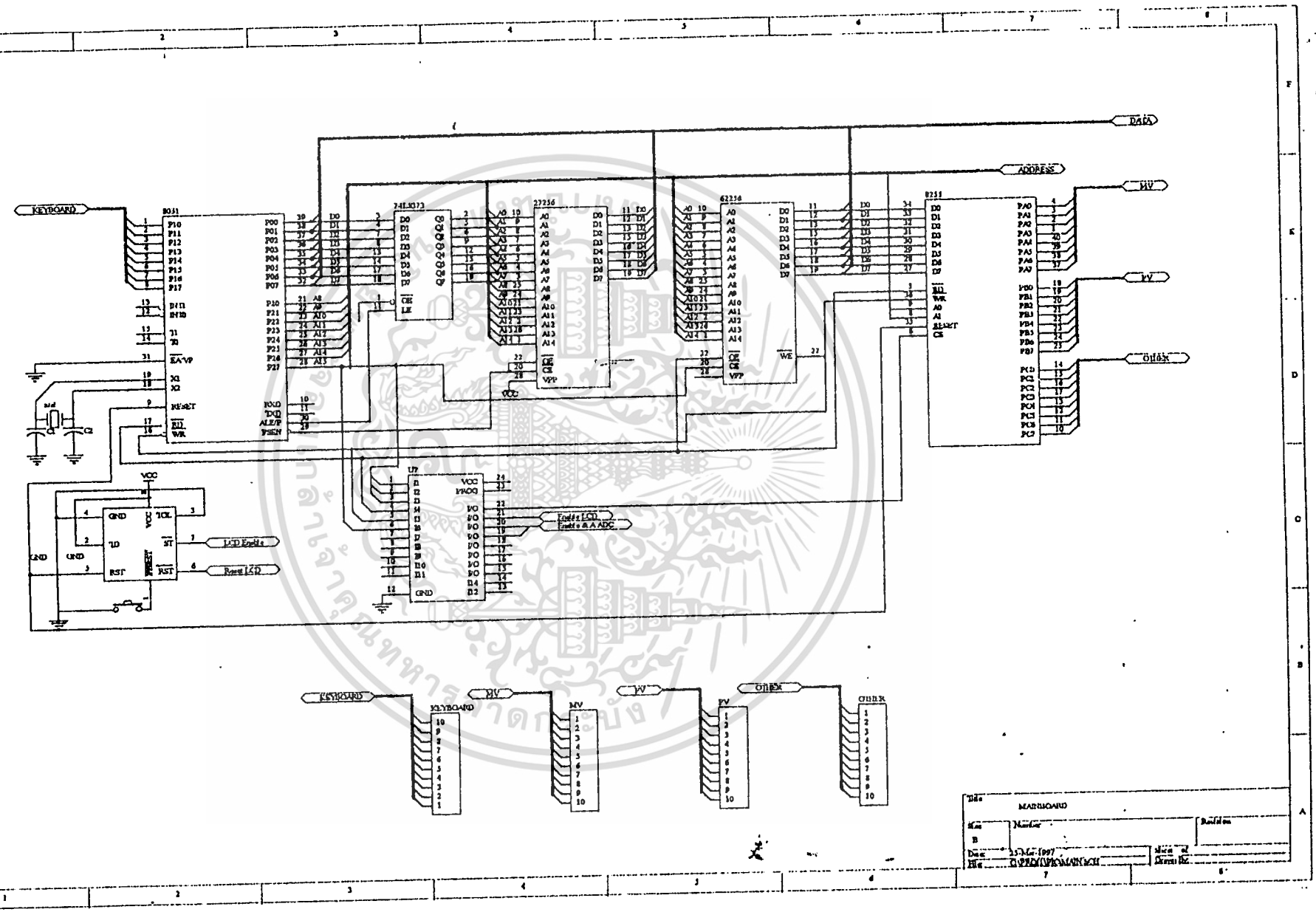


VOLTAGE TO VOLTAGE CONVERTOR CURCUIT

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



CURRENT TO VOLTAGE CONVERTOR CURCUIT


KEYBOARD
8031
74LS373
27256
62256
8255
DATA
ADDRESS
MV
FV
OTHER
LCD Enable
Reset LCD
Enable LCD
Enable A/D ADC
MAINBOARD

National Semiconductor

November 1995

ADC0808/ADC0809 8-Bit μP Compatible A/D Converters with 8-Channel Multiplexer

General Description

The ADC0808, ADC0809 data acquisition component is a monolithic CMOS device with an 8-bit analog-to-digital converter, 8-channel multiplexer and microprocessor compatible control logic. The 8-bit A/D converter uses successive approximation as the conversion technique. The converter features a high impedance chopper stabilized comparator, a 256R voltage divider with analog switch tree and a successive approximation register. The 8-channel multiplexer can directly access any of 8-single-ended analog signals.

The device eliminates the need for external zero and full-scale adjustments. Easy interfacing to microprocessors is provided by the latched and decoded multiplexer address inputs and latched TTL TRI-STATE® outputs.

The design of the ADC0808, ADC0809 has been optimized by incorporating the most desirable aspects of several A/D conversion techniques. The ADC0808, ADC0809 offers high speed, high accuracy, minimal temperature dependence, excellent long-term accuracy and repeatability, and consumes minimal power. These features make this device ideally suited to applications from process and machine control to consumer and automotive applications. For 16-channel multiplexer with common output (sample/hold port) see ADC0816 data sheet. (See AN-247 for more information.)

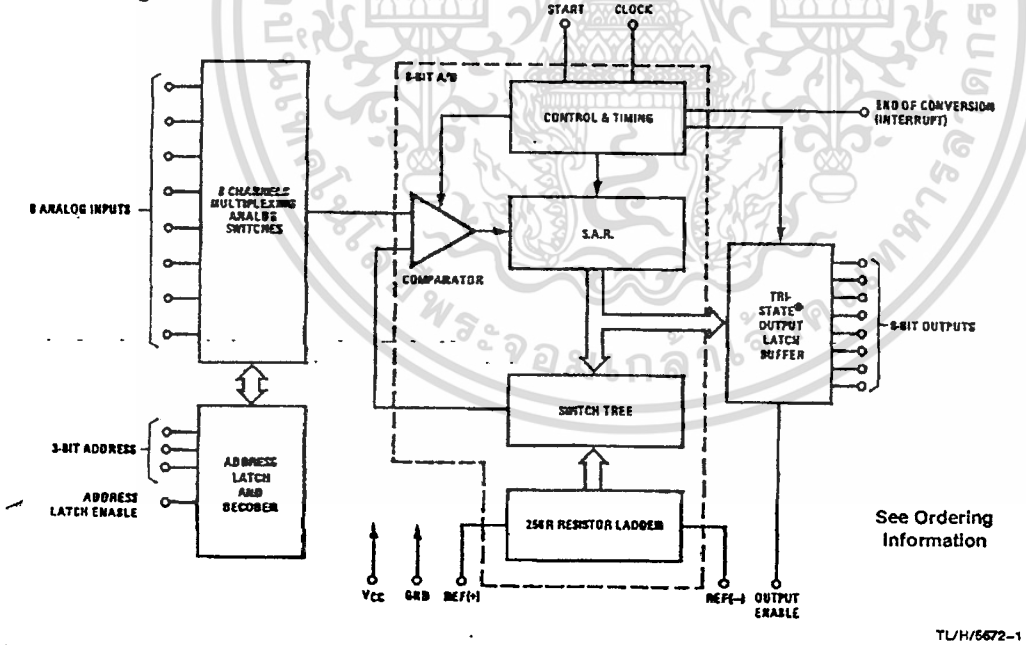
Features

- Easy interface to all microprocessors
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC} or analog span adjusted voltage reference
- No zero or full-scale adjust required
- 8-channel multiplexer with address logic
- 0V to 5V input range with single 5V power supply
- Outputs meet TTL voltage level specifications
- Standard hermetic or molded 28-pin DIP package
- 28-pin molded chip carrier package
- ADC0808 equivalent to MM74C949
- ADC0809 equivalent to MM74C949-1

Key Specifications

Resolution	8 Bits
Total Unadjusted Error	±½ LSB and ±1 LSB
Single Supply	5 V_{DC}
Low Power	15 mW
Conversion Time	100 μs

Block Diagram



See Ordering Information

TL/H/5672–1

TRI-STATE® is a registered trademark of National Semiconductor Corp.

©1995 National Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

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

Supply Voltage (V_{CC}) (Note 3)	6.5V
Voltage at Any Pin Except Control Inputs	−0.3V to (V_{CC} + 0.3V)
Voltage at Control Inputs (START, OE, CLOCK, ALE, ADD A, ADD B, ADD C)	−0.3V to +15V
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C
Package Dissipation at T_A = 25°C	875 mW
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260°C
Dual-In-Line Package (ceramic)	300°C
Molded Chip Carrier Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 8)	400V

Operating Conditions (Notes 1 & 2)

Temperature Range (Note 1)	$T_{MIN} \le T_A \le T_{MAX}$
ADC0808CJ	−55°C ≤ T_A ≤ +125°C
ADC0808CCJ, ADC0808CCN, ADC0809CCN	−40°C ≤ T_A ≤ +85°C
ADC0808CCV, ADC0809CCV	−40°C ≤ T_A ≤ +85°C
Range of V_{CC} (Note 1)	4.5 V_{DC} to 6.0 V_{DC}

Electrical Characteristics

Converter Specifications: V_{CC} = 5 V_{DC} = V_{REF+}, $V_{REF(-)}$ = GND, $T_{MIN} \le T_A \le T_{MAX}$ and f_{CLK} = 640 kHz unless otherwise stated.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
	ADC0808					
	Total Unadjusted Error	25°C			±½	LSB
	(Note 5)	T_{MIN} to T_{MAX}			±¾	LSB
	ADC0809					
	Total Unadjusted Error	0°C to 70°C			±1	LSB
	(Note 5)	T_{MIN} to T_{MAX}			±1¼	LSB
	Input Resistance	From Ref(+) to Ref(−)	1.0	2.5		kΩ
	Analog Input Voltage Range	(Note 4) V(+) or V(−)	GND−0.10		V_{CC}+0.10	V_{DC}
$V_{REF(+)}$	Voltage, Top of Ladder	Measured at Ref(+)		V_{CC}	V_{CC}+0.1	V
$\frac{V_{REF(+)}+V_{REF(-)}}{2}$	Voltage, Center of Ladder		V_{CC}/2-0.1	V_{CC}/2	V_{CC}/2+0.1	V
$V_{REF(-)}$	Voltage, Bottom of Ladder	Measured at Ref(−)	−0.1	0		V
I_{IN}	Comparator Input Current	f_C = 640 kHz, (Note 6)	−2	±0.5	2	μA

Electrical Characteristics

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CJ 4.5V ≤ V_{CC} ≤ 5.5V, −55°C ≤ T_A ≤ +125°C unless otherwise noted ADC0808CCJ, ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV, 4.75 ≤ V_{CC} ≤ 5.25V, −40°C ≤ T_A ≤ +85°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ANALOG MULTIPLEXER						
$I_{OFF(+)}$	OFF Channel Leakage Current	V_{CC} = 5V, V_{IN} = 5V,				
		T_A = 25°C		10	200	nA
		T_{MIN} to T_{MAX}			1.0	μA
$I_{OFF(-)}$	OFF Channel Leakage Current	V_{CC} = 5V, V_{IN} = 0,				
		T_A = 25°C	−200	−10		nA
		T_{MIN} to T_{MAX}	−1.0			μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CJ $4.5V \le V_{CC} \le 5.5V$, $-55°C \le T_A \le +125°C$ unless otherwise noted ADC0808CCJ, ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV, $4.75 \le V_{CC} \le 5.25V$, $-40°C \le T_A \le +85°C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
CONTROL INPUTS						
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage		$V_{CC}-1.5$			V
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage				1.5	V
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current (The Control Inputs)	$V_{IN}=15V$			1.0	μA
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current (The Control Inputs)	$V_{IN}=0$	−1.0			μA
I_{CC}	Supply Current	$f_{CLK}=640$ kHz		0.3	3.0	mA
DATA OUTPUTS AND EOC (INTERRUPT)						
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$I_O=-360$ μA	$V_{CC}-0.4$			V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	$I_O=1.6$ mA			0.45	V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage EOC	$I_O=1.2$ mA			0.45	V
I_{OUT}	TRI-STATE Output Current	$V_O=5V$ $V_O=0$	 −3		3	μA μA

Electrical Characteristics

Timing Specifications $V_{CC}=V_{REF(+)}=5V$, $V_{REF(-)}=GND$, $t_r=t_f=20$ ns and $T_A=25°C$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t_{WS}	Minimum Start Pulse Width	*(Figure 5)*		100	200	ns
t_{WALE}	Minimum ALE Pulse Width	*(Figure 5)*		100	200	ns
t_S	Minimum Address Set-Up Time	*(Figure 5)*		25	50	ns
t_H	Minimum Address Hold Time	*(Figure 5)*		25	50	ns
t_D	Analog MUX Delay Time From ALE	$R_S=0\Omega$ *(Figure 5)*		1	2.5	μS
t_{H1}, t_{H0}	OE Control to Q Logic State	$C_L=50$ pF, $R_L=10$k *(Figure 8)*		125	250	ns
t_{1H}, t_{0H}	OE Control to Hi-Z	$C_L=10$ pF, $R_L=10$k *(Figure 8)*		125	250	ns
t_C	Conversion Time	$f_C=640$ kHz, *(Figure 5)* (Note 7)	90	100	116	μS
f_C	Clock Frequency		10	640	1280	kHz
t_{EOC}	EOC Delay Time	*(Figure 5)*	0		8 + 2 μS	Clock Periods
C_{IN}	Input Capacitance	At Control Inputs		10	15	pF
C_{OUT}	TRI-STATE Output Capacitance	At TRI-STATE Outputs		10	15	pF

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

Note 2: All voltages are measured with respect to GND, unless otherwise specified.

Note 3: A zener diode exists, internally, from V_{CC} to GND and has a typical breakdown voltage of 7 V_{DC}.

Note 4: Two on-chip diodes are tied to each analog input which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the V_{CC} supply. The spec allows 100 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog V_{IN} does not exceed the supply voltage by more than 100 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute $0V_{DC}$ to $5V_{DC}$ input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of 4.900 V_{DC} over temperature variations, initial tolerance and loading.

Note 5: Total unadjusted error includes offset, full-scale, linearity, and multiplexer errors. See *Figure 3*. None of these A/Ds requires a zero or full-scale adjust. However, if an all zero code is desired for an analog input other than 0.0V, or if a narrow full-scale span exists (for example: 0.5V to 4.5V full-scale) the reference voltages can be adjusted to achieve this. See *Figure 13*.

Note 6: Comparator input current is a bias current into or out of the chopper stabilized comparator. The bias current varies directly with clock frequency and has little temperature dependence *(Figure 6)*. See paragraph 4.0.

Note 7: The outputs of the data register are updated one clock cycle before the rising edge of EOC.

Note 8: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Description

Multiplexer. The device contains an 8-channel single-ended analog signal multiplexer. A particular input channel is selected by using the address decoder. Table I shows the input states for the address lines to select any channel. The address is latched into the decoder on the low-to-high transition of the address latch enable signal.

TABLE I

SELECTED ANALOG CHANNEL	ADDRESS LINE C	B	A
IN0	L	L	L
IN1	L	L	H
IN2	L	H	L
IN3	L	H	H
IN4	H	L	L
IN5	H	L	H
IN6	H	H	L
IN7	H	H	H

CONVERTER CHARACTERISTICS

The Converter

The heart of this single chip data acquisition system is its 8-bit analog-to-digital converter. The converter is designed to give fast, accurate, and repeatable conversions over a wide range of temperatures. The converter is partitioned into 3 major sections: the 256R ladder network, the successive approximation register, and the comparator. The converter's digital outputs are positive true.

The 256R ladder network approach *(Figure 1)* was chosen over the conventional R/2R ladder because of its inherent monotonicity, which guarantees no missing digital codes. Monotonicity is particularly important in closed loop feedback control systems. A non-monotonic relationship can cause oscillations that will be catastrophic for the system. Additionally, the 256R network does not cause load variations on the reference voltage.

The bottom resistor and the top resistor of the ladder network in *Figure 1* are not the same value as the remainder of the network. The difference in these resistors causes the output characteristic to be symmetrical with the zero and full-scale points of the transfer curve. The first output transition occurs when the analog signal has reached +½ LSB and succeeding output transitions occur every 1 LSB later up to full-scale.

The successive approximation register (SAR) performs 8 iterations to approximate the input voltage. For any SAR type converter, *n*-iterations are required for an *n*-bit converter. *Figure 2* shows a typical example of a 3-bit converter. In the ADC0808, ADC0809, the approximation technique is extended to 8 bits using the 256R network.

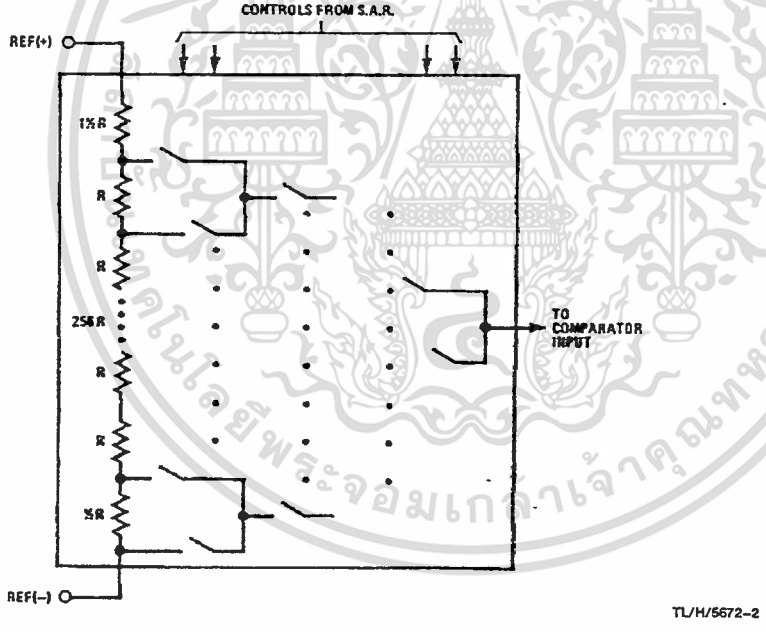


FIGURE 1. Resistor Ladder and Switch Tree

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Description (Continued)

The A/D converter's successive approximation register (SAR) is reset on the positive edge of the start conversion (SC) pulse. The conversion is begun on the falling edge of the start conversion pulse. A conversion in process will be interrupted by receipt of a new start conversion pulse. Continuous conversion may be accomplished by tying the end-of-conversion (EOC) output to the SC input. If used in this mode, an external start conversion pulse should be applied after power up. End-of-conversion will go low between 0 and 8 clock pulses after the rising edge of start conversion.

The most important section of the A/D converter is the comparator. It is this section which is responsible for the ultimate accuracy of the entire converter. It is also the comparator drift which has the greatest influence on the repeatability of the device. A chopper-stabilized comparator provides the most effective method of satisfying all the converter requirements.

The chopper-stabilized comparator converts the DC input signal into an AC signal. This signal is then fed throught a high gain AC amplifier and has the DC level restored. This technique limits the drift component of the amplifier since the drift is a DC component which is not passed by the AC amplifier. This makes the entire A/D converter extremely insensitive to temperature, long term drift and input offset errors.

Figure 4 shows a typical error curve for the ADC0808 as measured using the procedures outlined in AN-179.

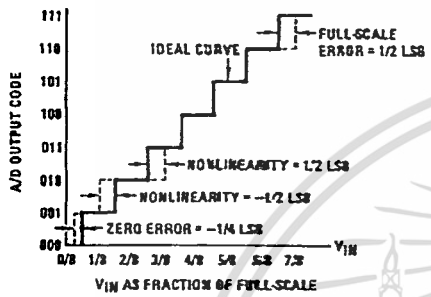


FIGURE 2. 3-Bit A/D Transfer Curve

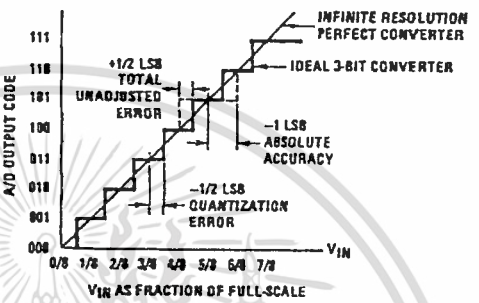


FIGURE 3. 3-Bit A/D Absolute Accuracy Curve

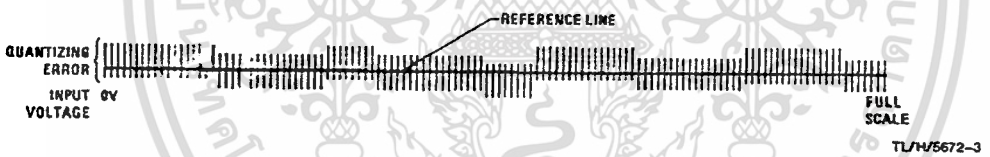
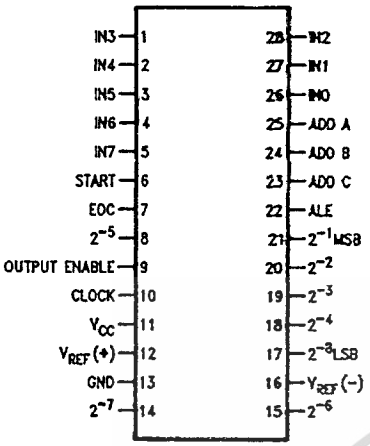


FIGURE 4. Typical Error Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagrams

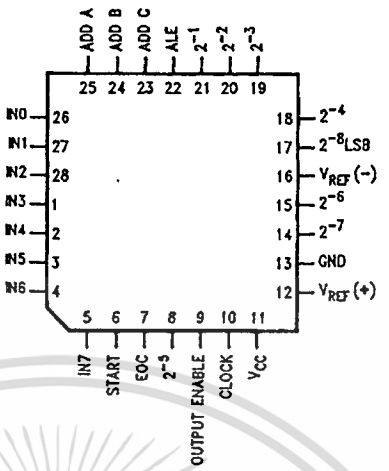
Dual-In-Line Package



TL/H/5672–11

Order Number ADC0808CCN, ADC0809CCN,
ADC0808CCJ or ADC0809CJ
See NS Package J28A or N28A

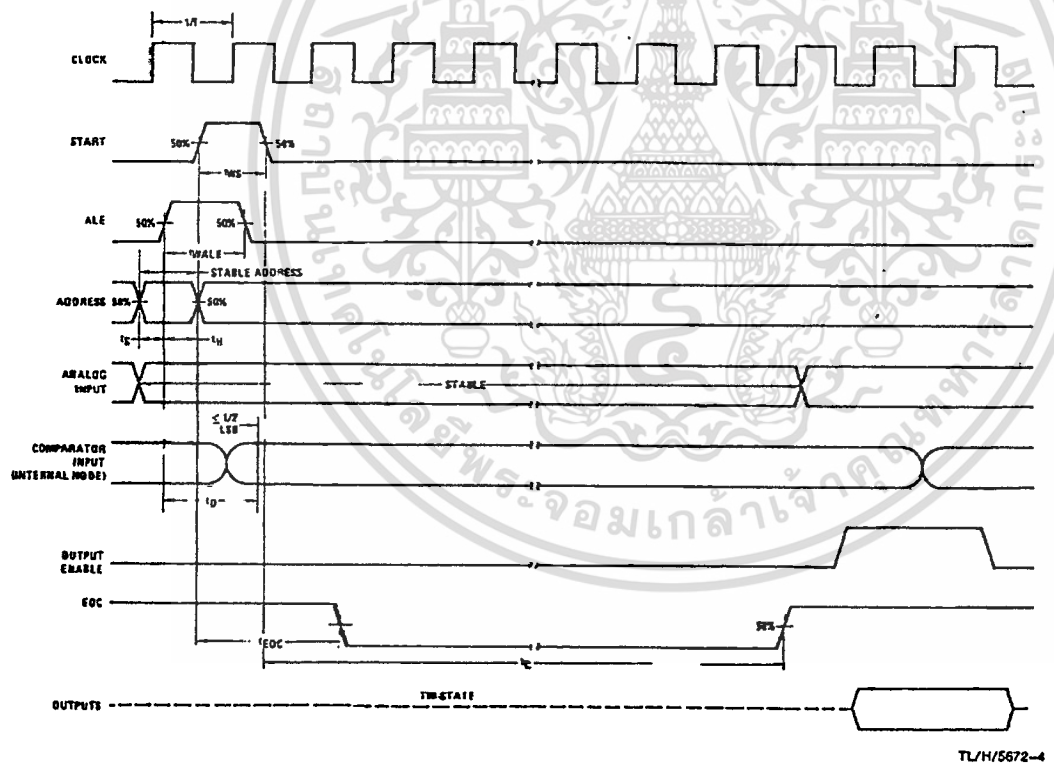
Molded Chip Carrier Package



TL/H/5672–12

Order Number ADC0808CCV or ADC0809CCV
See NS Package V28A

Timing Diagram



TL/H/5672–4

FIGURE 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

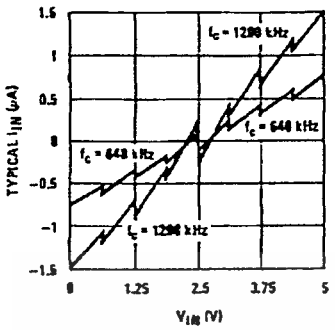


FIGURE 6. Comparator I_{IN} vs V_{IN} ($V_{CC} = V_{REF} = 5V$)

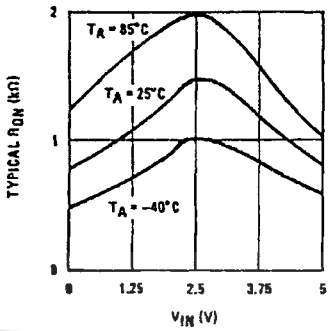
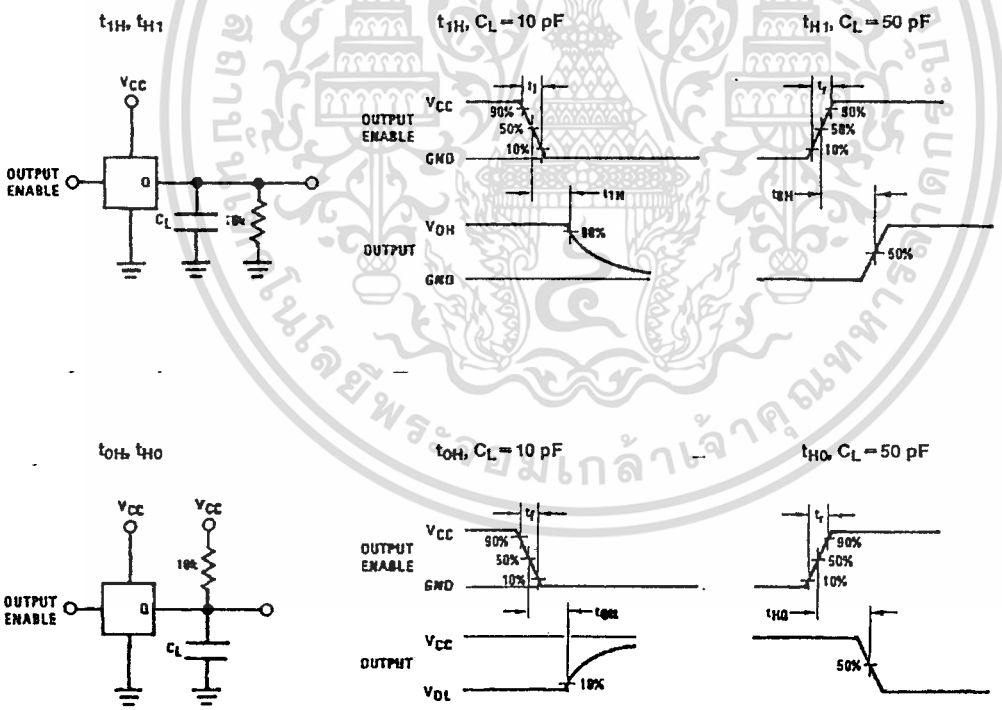


FIGURE 7. Multiplexer R_{ON} vs V_{IN} ($V_{CC} = V_{REF} = 5V$)

TL/H/5672–5

TRI-STATE Test Circuits and Timing Diagrams



TL/H/5672–6

FIGURE 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information

OPERATION

1.0 RATIOMETRIC CONVERSION

The ADC0808, ADC0809 is designed as a complete Data Acquisition System (DAS) for ratiometric conversion systems. In ratiometric systems, the physical variable being measured is expressed as a percentage of full-scale which is not necessarily related to an absolute standard. The voltage input to the ADC0808 is expressed by the equation

$$\frac{V_{IN}}{V_{fs}-V_Z}=\frac{D_X}{D_{MAX}-D_{MIN}} \quad (1)$$

V_{IN} = Input voltage into the ADC0808

V_{fs} = Full-scale voltage

V_Z = Zero voltage

D_X = Data point being measured

D_{MAX} = Maximum data limit

D_{MIN} = Minimum data limit

A good example of a ratiometric transducer is a potentiometer used as a position sensor. The position of the wiper is directly proportional to the output voltage which is a ratio of the full-scale voltage across it. Since the data is represented as a proportion of full-scale, reference requirements are greatly reduced, eliminating a large source of error and cost for many applications. A major advantage of the ADC0808, ADC0809 is that the input voltage range is equal to the supply range so the transducers can be connected directly across the supply and their outputs connected directly into the multiplexer inputs, *(Figure 9)*.

Ratiometric transducers such as potentiometers, strain gauges, thermistor bridges, pressure transducers, etc., are suitable for measuring proportional relationships; however, many types of measurements must be referred to an absolute standard such as voltage or current. This means a system reference must be used which relates the full-scale voltage to the standard volt. For example, if $V_{CC}=V_{REF}=5.12V$, then the full-scale range is divided into 256 standard steps. The smallest standard step is 1 LSB which is then 20 mV.

2.0 RESISTOR LADDER LIMITATIONS

The voltages from the resistor ladder are compared to the selected into 8 times in a conversion. These voltages are coupled to the comparator via an analog switch tree which is referenced to the supply. The voltages at the top, center and bottom of the ladder must be controlled to maintain proper operation.

The top of the ladder, Ref(+), should not be more positive than the supply, and the bottom of the ladder, Ref(−), should not be more negative than ground. The center of the ladder voltage must also be near the center of the supply because the analog switch tree changes from N-channel switches to P-channel switches. These limitations are automatically satisfied in ratiometric systems and can be easily met in ground referenced systems.

Figure 10 shows a ground referenced system with a separate supply and reference. In this system, the supply must be trimmed to match the reference voltage. For instance, if a 5.12V is used, the supply should be adjusted to the same voltage within 0.1V.

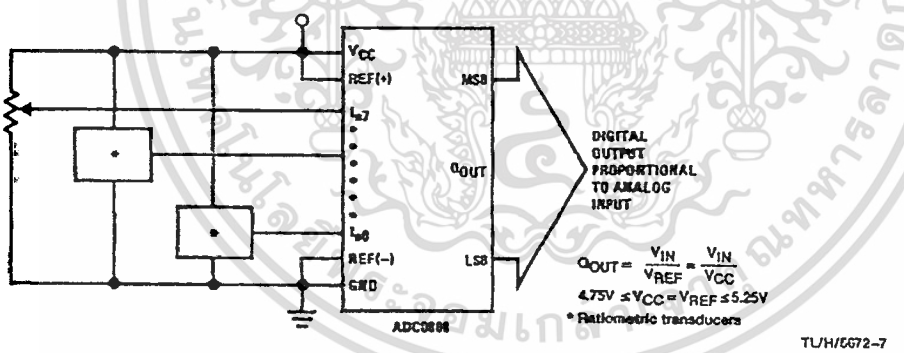


FIGURE 9. Ratiometric Conversion System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information (Continued)

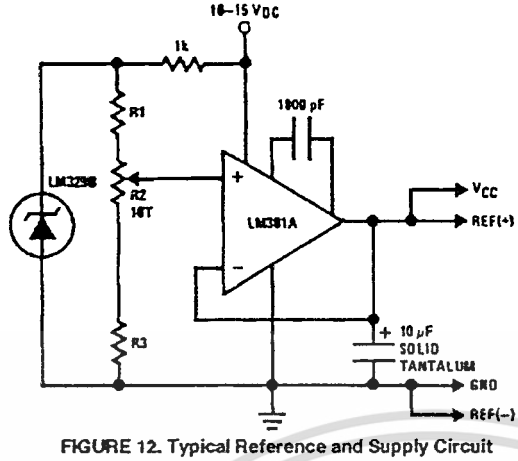


FIGURE 12. Typical Reference and Supply Circuit

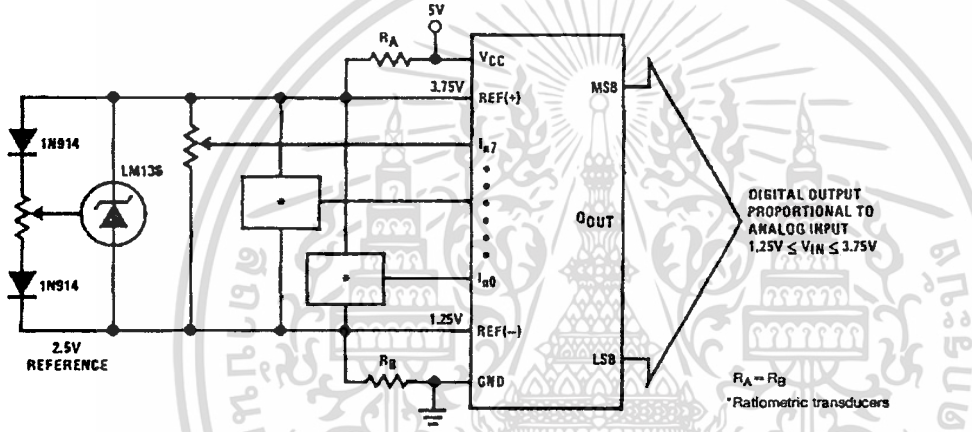


FIGURE 13. Symmetrically Centered Reference

3.0 CONVERTER EQUATIONS

The transition between adjacent codes N and N + 1 is given by:

$$V_{IN} = \left\{(V_{REF(+)} - V_{REF(-)})\left[\frac{N}{256} + \frac{1}{512}\right] \pm V_{TUE}\right\} + V_{REF(-)} \quad (2)$$

The center of an output code N is given by:

$$V_{IN} \left\{(V_{REF(+)} - V_{REF(-)})\left[\frac{N}{256}\right] \pm V_{TUE}\right\} + V_{REF(-)} \quad (3)$$

The output code N for an arbitrary input are the integers within the range:

$$N = \frac{V_{IN} - V_{REF(-)}}{V_{REF(+)} - V_{REF(-)}} \times 256 \pm \text{Absolute Accuracy} \quad (4)$$

where: V_{IN} = Voltage at comparator input

$V_{REF(+)}$ = Voltage at Ref(+)

$V_{REF(-)}$ = Voltage at Ref(−)

V_{TUE} = Total unadjusted error voltage (typically $V_{REF(+)} \div 512$)

4.0 ANALOG COMPARATOR INPUTS

The dynamic comparator input current is caused by the periodic switching of on-chip stray capacitances. These are connected alternately to the output of the resistor ladder/switch tree network and to the comparator input as part of the operation of the chopper stabilized comparator.

The average value of the comparator input current varies directly with clock frequency and with V_{IN} as shown in *Figure 6*.

If no filter capacitors are used at the analog inputs and the signal source impedances are low, the comparator input current should not introduce converter errors, as the transient created by the capacitance discharge will die out before the comparator output is strobed.

If input filter capacitors are desired for noise reduction and signal conditioning they will tend to average out the dynamic comparator input current. It will then take on the characteristics of a DC bias current whose effect can be predicted conventionally.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information (Continued)

The ADC0808 needs less than a milliamp of supply current so developing the supply from the reference is readily accomplished. In *Figure 11* a ground referenced system is shown which generates the supply from the reference. The buffer shown can be an op amp of sufficient drive to supply the milliamp of supply current and the desired bus drive, or if a capacitive bus is driven by the outputs a large capacitor will supply the transient supply current as seen in *Figure 12*. The LM301 is overcompensated to insure stability when loaded by the 10 μF output capacitor.

The top and bottom ladder voltages cannot exceed V_{CC} and ground, respectively, but they can be symmetrically less than V_{CC} and greater than ground. The center of the ladder voltage should always be near the center of the supply. The sensitivity of the converter can be increased, (i.e., size of the LSB steps decreased) by using a symmetrical reference system. In *Figure 13*, a 2.5V reference is symmetrically centered about $V_{CC}/2$ since the same current flows in identical resistors. This system with a 2.5V reference allows the LSB bit to be half the size of a 5V reference system.

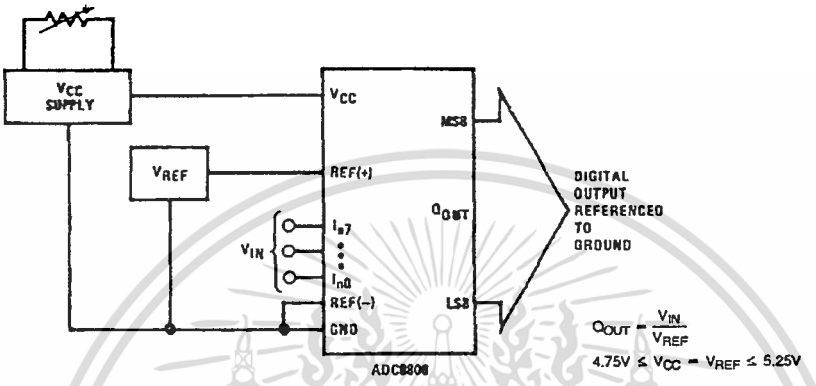


FIGURE 10. Ground Referenced Conversion System Using Trimmed Supply

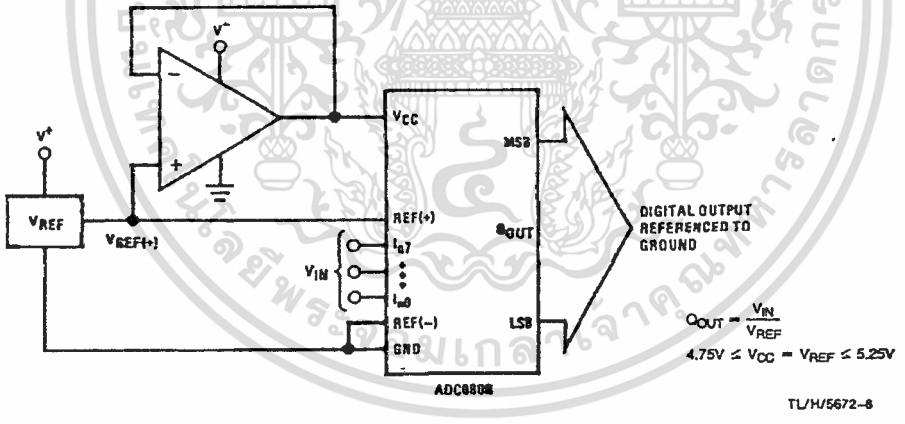
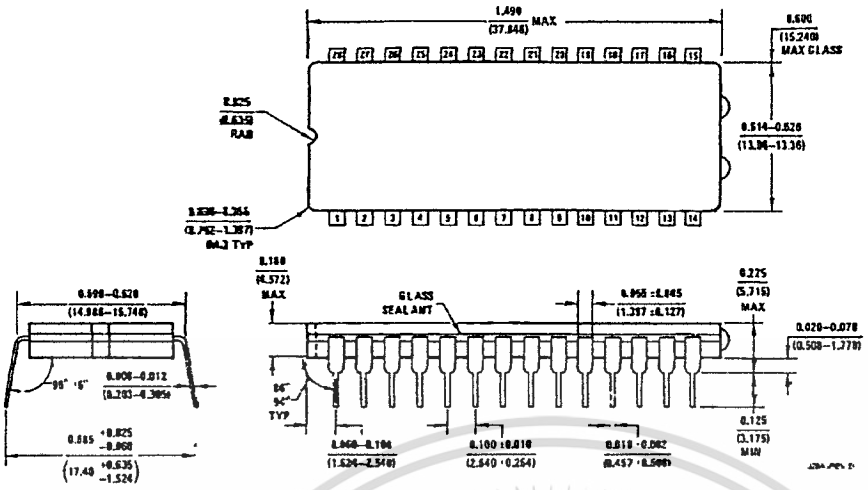


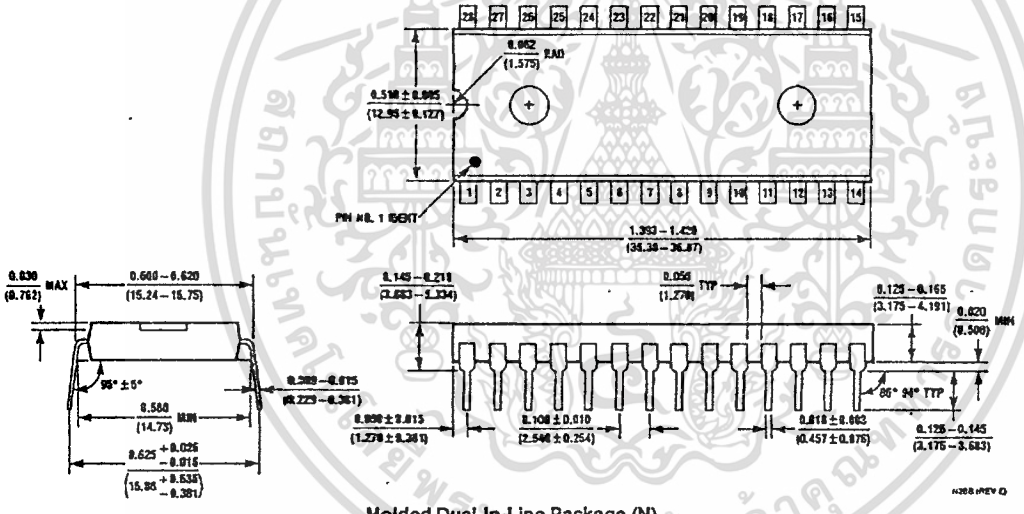
FIGURE 11: Ground Referenced Conversion System with Reference Generating V_{CC} Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters)



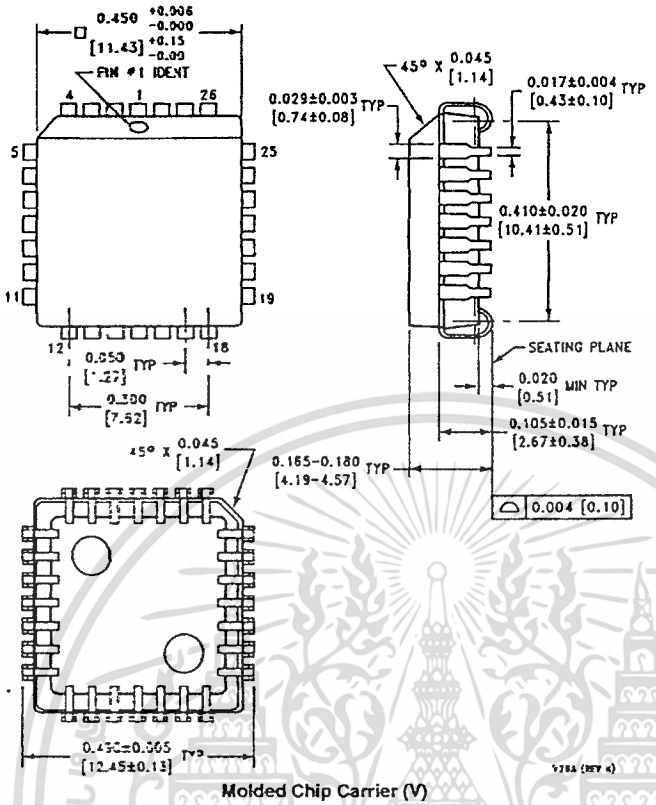
Ceramic Dual-In-Line Package (J)
Order Number ADC0808CCJ or ADC0808CJ
NS Package Number J28A



Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number ADC0808CCN or ADC0809CCN
NS Package Number N28B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



Molded Chip Carrier (V)
Order Number ADC0808CCV or ADC0809CCV
NS Package Number V28A

LIFE SUPPORT POLICY

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

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

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

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

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

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-043-299-2308
Fax: 81-043-299-2408

http://www.national.com

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ผศ. พิพัฒน์ เลาหสงคราม ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-48 MCS-51 ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พิมพ์ครั้งที่ 2 2537

ผศ. เกษตร์ ศิริสันติสัมพันธ์ หลักการของเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พิมพ์ครั้งที่ 1 2539

เซมิคอนดัคเตอร์ อิเลคทรอนิคส์ วารสาร ฉบับที่ 138 หน้า 22 - 28

คู่มือการใช้งาน Graphic LCD DV-12864 บริษัท อีทีที จำกัด

Kenneth J.Ayala The 8051 Microcontroller Architecture,Programing And application West publishing Company

Clalos A smith ,Principle and practice of Automatic Process Control John Wiley&Son 1985

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้