



ปีการศึกษา 2537

การจ้างงานวิธีสอนที่ทรานสดิวเซอร์ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. พิพัฒน์ เลาสงคราม

| | |
|-----------------|--------------|
| วัน เดือน ปี | 17 N. 3 2039 |
| เลขทะเบียน | 034735 |
| เลขเรียกหนังสือ | T37035 ม3 |

ปีปฏิทินพหุปีการศึกษา 2537

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การใช้งานรีโซแนนท์ทรานสดิวเซอร์ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051

ผู้จัดทำ

- 
1. นายมนตรี จันทร์จรรยาพงษ์ 35102111
 2. นายเอกพงษ์ ทุมวัน 35102129

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(.....)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานรีโซแนนซ์ทรานสดิวเซอร์ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051

นายมนตรี จันทรจรรยาพงษ์ 35102111

นายเอกพงษ์ ทมวัน 35102129

รศ.พิพัฒน์ เลาสงคราม อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2537

บทคัดย่อ

ในโครงการนี้จะกล่าวถึงการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 มาใช้ใน
งานควบคุมทางอุตสาหกรรม โดยใช้งานร่วมกับ รีโซแนนซ์ทรานสดิวเซอร์

รีโซแนนซ์ทรานสดิวเซอร์ คือ ตัววัดสัญญาณที่อาศัยหลักการของความ
ถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งแปรค่าตามคุณสมบัติทางกายภาพ ของตัววัดสัญญาณ เอาท์พุทของ
ส่วนนี้ จะออกมาอยู่ในรูปของความถี่และหากอยู่ในช่วง -0.5 V ถึง $+5.5$ V เรา
สามารถทำการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 ได้โดยตรงเพราะว่าใน
ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 นี้มีตัวจับเวลาและตัวนับเวลา ซึ่งเราสามารถนำ
เทคนิคการเขียนโปรแกรมให้เป็นการวัดความถี่และคาบเวลาได้

USING THE MICROCONTROLLER WITH RESONANT TRANSDUCER

Mr. Montri Chancharoonpong 35102111
Mr. Ekgrapong Thumwan 35102129
Assoc.Prof.Piphat Laohasongkram Advisor
Year 1994

Abstract

This project discusses about using the 8051 microcontroller with resonant transducer for control system industrial. Resonant transducer are oscillators whose frequency depends in some knownway on the physical property being measured. Output transducer signal does restrict itself to the voltage range -0.5 V to $+5.5\text{ V}$. The transducer output can be connected directly to the 8051 microcontroller port pins. The 8051 microcontroller has two Timer/Counter. Timer/Counter can be configured in software to measure frequency and period.

สารบัญ

บทคัดย่อ

Abstract

| | | |
|---------|--|----|
| บทที่ 1 | บทนำ..... | 1 |
| บทที่ 2 | ทฤษฎีและหลักการ..... | 8 |
| | สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051..... | 8 |
| | การชดเชยอุณหภูมิและปรับเทียบอุปกรณ์วัดความดัน..... | 21 |
| | วงจรอปแอมป์พื้นฐาน..... | 29 |
| บทที่ 3 | การคำนวณและการสร้าง..... | 48 |
| | วงจร P to F..... | 48 |
| | การเขียนโปรแกรมลงบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์..... | 50 |
| | แนวทางการใช้งาน LCD MODULE..... | 51 |
| | ขาสัญญาณของ LCD MODULE..... | 52 |
| | การต่อเข้ากับระบบไมโคร..... | 53 |
| | แนวทางการเขียนโปรแกรมควบคุม..... | 56 |
| บทที่ 4 | ผลการทดลอง..... | 57 |
| | การทดลองที่ 4.1..... | 57 |
| | การทดลองที่ 4.2..... | 60 |
| | การทดลองที่ 4.3..... | 62 |
| บทที่ 5 | สรุปผลการทดลองและบทวิจารณ์..... | 66 |

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

บรรณานุกรม

สารบัญรูปภาพ

| | | |
|-------------|--|----|
| รูปที่ 2.1 | ตัวจับเวลา/ตัวนับ 1 ทำงานในโหมด 0,1..... | 10 |
| รูปที่ 2.2 | ตัวจับเวลา/ตัวนับ 1 ทำงานในโหมด 2..... | 11 |
| รูปที่ 2.3 | ตัวจับเวลา/ตัวนับ 1 ทำงานในโหมด 3..... | 12 |
| รูปที่ 2.4 | TMOD CONTROL REGISTER..... | 13 |
| รูปที่ 2.5 | TCON CONTROL REGISTER..... | 15 |
| รูปที่ 2.6 | การทำงานโหมดตัวจับเวลา/ตัวนับ 2..... | 16 |
| รูปที่ 2.7 | แผนภูมิการทำงานในโหมดบรรจุอัตโนมัติ..... | 17 |
| รูปที่ 2.8 | T2CON CONTROL REGISTER..... | 19 |
| รูปที่ 2.9 | MPX50 Piezoresistive Pressure Sensor..... | 21 |
| รูปที่ 2.10 | Span Temperature Compensation..... | 22 |
| รูปที่ 2.11 | Series Resistance Compensation..... | 24 |
| รูปที่ 2.12 | Full-Scale Span Error Versus Temperture..... | 24 |
| รูปที่ 2.13 | Temperature and Offset Calibration Circuit.. | 24 |
| รูปที่ 2.14 | Offset Resistance Values (Nominal Value).... | 25 |
| รูปที่ 2.15 | Calibration of OA ₃ and OA ₄ | 26 |
| รูปที่ 2.16 | Voltage to Frequency MC1455/LM258..... | 26 |
| รูปที่ 2.17 | Voltage to Current Conversion..... | 26 |
| รูปที่ 2.18 | Voltage/Frequency Vcc=15 V..... | 27 |
| รูปที่ 2.19 | Voltage/Frequency Vcc=10 V..... | 27 |
| รูปที่ 2.20 | แสดงวงจรเปลี่ยนความดันให้เป็นความถี่อย่างสมบูรณ์..... | 28 |
| รูปที่ 2.21 | ..... | 29 |
| รูปที่ 2.22 | ..... | 30 |
| รูปที่ 2.23 | ..... | 31 |
| รูปที่ 2.24 | ..... | 32 |
| รูปที่ 2.25 | ..... | 33 |

| | | |
|-------------|---------------------------------------|----|
| รูปที่ 2.26 | ..... | 34 |
| รูปที่ 2.27 | ..... | 34 |
| รูปที่ 2.28 | ..... | 35 |
| รูปที่ 2.29 | ..... | 37 |
| รูปที่ 2.30 | ..... | 39 |
| รูปที่ 2.31 | ..... | 41 |
| รูปที่ 2.32 | ..... | 42 |
| รูปที่ 2.33 | ..... | 43 |
| รูปที่ 2.34 | ..... | 44 |
| รูปที่ 2.35 | ..... | 44 |
| รูปที่ 2.36 | ..... | 46 |
| รูปที่ 2.37 | ..... | 47 |
| รูปที่ 3.1 | วงจรเปลี่ยนความดันให้เป็นความถี่..... | 49 |
| รูปที่ 3.2 | ลายวงจรของ P to F..... | 49 |
| รูปที่ 4.1 | การต่อวงจรทดลอง 4.1..... | 58 |
| รูปที่ 4.2 | การต่อวงจรทดลอง 4.2..... | 60 |
| รูปที่ 4.3 | การต่อวงจรทดลอง 4.3..... | 63 |

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 บันทึกผลการทดลองที่ 4.1.....59
ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการทดลองที่ 4.2.....61
ตารางที่ 4.3 บันทึกผลการทดลองที่ 4.3.....64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในกรณีที่จะเชื่อมต่อ ทรานสดิวเซอร์ที่เป็นอนาลอกกับระบบควบคุมที่เป็นดิจิทัลซึ่งต้องใช้ ตัวแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัลซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้นและมีข้อจำกัดในการพัฒนาระบบบางบริษัทผู้ผลิตทรานสดิวเซอร์แก้ปัญหาโดยการพัฒนาส่วนประกอบในตระกูลของเรโซแนนซ์ทรานสดิวเซอร์ ของตนเอง

เรโซแนนซ์ทรานสดิวเซอร์ คือวงจรถูกกำเนิดความถี่ ซึ่งความถี่จะแปรผันตามคุณสมบัติทางกายภาพที่วัดเอาต์พุตทางไฟฟ้าจะออกมาในรูปของความถี่ที่ช้า ๆ กันออกมาและการเปลี่ยนแปลงของค่าที่วัดจะทำให้ความถี่เปลี่ยนซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถตรวจจับความถี่ที่เปลี่ยนแปลงนี้ ได้อย่างทันทีทันใดและสามารถใช้เทคนิคทางการโปรแกรม เปลี่ยนให้เป็นค่าสัญญาณวัดที่ต้องการ

โครงการนี้จะกล่าวถึงเทคนิคทางซอฟต์แวร์ สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างเรโซแนนซ์ทรานสดิวเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 เทคนิคสำหรับการวัดความถี่และคาบเวลา

1) เรโซแนนซ์ ทรานสดิวเซอร์

ปกติ ทรานสดิวเซอร์ จะไม่สามารถใช้ได้กับ คอนโทรลเลอร์แบบดิจิทัลได้โดยตรงเป็นว่ามันกำเนิดสัญญาณเป็นอนาลอก แต่มีบางบริษัทผลิตทรานสดิวเซอร์ที่สัญญาณออกมาแล้วสามารถใช้ได้โดยตรงกับระบบดิจิทัล โดยที่ไม่ใช่การบรรจวจจรเปลี่ยนอนาลอก เป็นดิจิทัลไว้ภายในแต่กำเนิดความถี่ขึ้นมา ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของแต่ละตัววัด เช่น ตัววัดความดัน ตัววัดความหนาแน่นของก๊าซ ตำแหน่ง อุณหภูมิ หรือแรง ฯลฯ

เซ็นเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์นี้สามารถใช้กับแหล่งจ่ายที่เหมือนกันดังนั้นจึงสามารถต่อเซ็นเซอร์ เข้ากับพอร์ตบนไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง

โดยปกติแล้ว เซ็นเซอร์ จะมีความถี่อ้างอิงประมาณ $20 \text{ KHz} - 500 \text{ KHz}$ ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบของแต่ละตัวซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่านี้ จะเปลี่ยนแปลงจากสภาวะที่อ้างอิงซึ่งทำให้ความถี่และคาบเวลาที่เปลี่ยนแปลงเป็นค่าที่วัดออกมาได้

2) การต่อ 8051 กับทรานสดิวเซอร์แบบดิจิตอล

โดยปกติแล้วเราสามารถต่อ 8051 กับทรานสดิวเซอร์ ได้โดยตรงยกเว้นทรานสดิวเซอร์นั้นไม่สามารถสร้างสัญญาณให้อยู่ในช่วง $-0.5 \text{ V TO } +5.5 \text{ V}$

8051 ไม่มีความไวกับเวลาที่ขึ้นและลงของสัญญาณ อินพุตมันจะทำการตรวจการส่งโดยการสุ่มขา PORT ที่อยู่ในช่วงคงที่ (ONCE PER MACHINE CYCLE) และก็จะตอบสนองกับการเปลี่ยนแปลงลำดับของตัวสุ่มถ้า SLEW RATE ของทรานสดิวเซอร์ ต่ำมากๆ เราสามารถแก้ไขได้โดยใช้ SCHMITT TRIGGER

3) โครงสร้างของ TIMER/COUNTER ใน 8051

ใน 8051 นี้มี TIMER/COUNTER 16 BIT 2 ตัวซึ่งสามารถจะกำหนดการทำงานโดย SOFTWARE ให้เป็น TIMER หรือ COUNTER ก็ได้

ในการทำงานแบบ TIMER REGISTER จะเพิ่มขึ้นโดยอัตโนมัติทุกๆ MACHINE CYCLE เนื่อง MACHINE CYCLE ใน 8051 นี้มี 12 คาบ TIMER ก็เพิ่มขึ้นด้วยอัตราคงที่ $1/12$ ของคาบที่ CLOCK

ในการทำงานแบบ COUNTER REGISTER ก็เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการส่ง "1" หรือ "0" ที่ INPUT (TO OR T1) วิธีการทำงานของ FUNCTION นี้ขา INPUT ภายนอกจะถูกสุ่มหนึ่งครั้งแต่ละ MACHINE CYCLE (1 ครั้งใน 12 คาบ) และเมื่อมีการสุ่มก็จะแสดงว่า HIGH และ LOW ใน CYCLE ต่อไป COUNTER ก็เพิ่มขึ้น

สมมติว่าถ้า CLOCK FREQUENCY คือ 12 MHz MAXIMUM RATE ที่วัดได้คือ 500 KHz ซึ่งไม่จำเป็นต้องคำนึงถึง DUTY CYCLE ในกรณีนี้

4) การวัดความถี่หรือคาบ

การวัดความถี่ก็คือการนับ PLUSE ของทรานสดิวเซอร์ ที่เวลาในการสุ่มคงที่ การวัดคาบก็คือการวัดเวลาที่ผ่านไปของ PLUSE ที่มีจำนวนคงที่ สำหรับระดับความแม่นยำที่กำหนดให้ในการหาค่าของการวัดปกติแล้วการวัดคาบที่จะมาจากค่าการวัดความถี่แม้ว่าการวัดเป็นสัดส่วนความถี่กับคาบเวลาแต่อย่างไรก็ตามการวัดทั้งสองนี้จะพิจารณาที่นี้สามารถใช้ TIMER/COUNTER 2 ตัวตัวหนึ่งทำการกำหนดเวลาและอีกตัวหนึ่งก็จะนับ TRANSDUCER PLUSE ถ้าความถี่กำลังนับไม่เกิน 50 KH_z มันก็จะเป็นการดีที่ที่สุด

5) การวัดความถี่ของ Transducer วัดได้อย่างไร

การวัดความถี่ของ Transducer ก็คือการนับจำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นมาในช่วงเวลาหนึ่งๆ ซึ่งเราสามารถนับได้ดังนี้จากสูตรคือ

$$\text{จำนวนพัลส์} = T * F_i$$

เมื่อ $T =$ เวลาที่ทำการสุ่ม

$F =$ ความถี่ในช่วงเวลาการสุ่ม

ย่านการวัดเต็มย่านวัดคือ

$$\text{Fullscale range} = T * (F_{\max} - F_{\min})$$

สำหรับการเปลี่ยนแปลงผลลัพธ์ให้อยู่ในรูป n-bit สามารถทำได้ดังนี้

$$1 \text{ LSB} = \frac{T * (F_{\max} - F_{\min})}{2^n}$$

2^n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยกตัวอย่าง การเปลี่ยนแปลงค่าตอบให้เป็น 8 bit ของการวัดที่แปรเปลี่ยนระหว่าง 5 KHz ถึง 10 KHz เวลาที่ทำการสุ่มคือ 51.2 ms ค่าต่ำสุดที่สามารถยอมรับได้สำหรับการนับความถี่ คือ

$$\begin{aligned} \text{จำนวนพัลส์} &= T * F_{\min} \\ &= 51.2 * 5 \text{ KHz} \end{aligned}$$

$$\text{จำนวนพัลส์} = 256 \text{ ครั้ง}$$

เราสามารถหาค่าสูงสุดที่สามารถยอมรับได้สำหรับการนับความถี่โดยใช้วิธีการเดียวกันนี้ เราจะได้ค่าสูงสุดที่สามารถยอมรับได้ คือ 512 ครั้งเมื่อนำค่าสูงสุดลดด้วยต่ำสุด เราจะได้ผลลัพธ์เท่ากับ 256 ในเลขฐานสิบ ซึ่งเราจะทำการเปลี่ยนเป็นเลขฐานสิบหก เราจะได้เป็น 00-FF ซึ่งเราจะทำค่านี้ไปใช้งานในไมโครคอนโทรลเลอร์ เพราะว่าในไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการคำนวณโดยระบบเลขฐานสิบหกเป็นส่วนใหญ่

6) การวัดคาบวัดได้อย่างไร

การวัดคาบ หมายถึง การวัดสัญญาณของทรานสดิวเซอร์ทั้งหมดที่เกินเวลาออกไปจากสัญญาณพัลส์ของทรานสดิวเซอร์เป็นจำนวน N เพราะฉะนั้นจำนวนที่วัดได้คือ $N \times T$ เมื่อ T คือคาบเวลาที่ Machine cycle ของสัญญาณทรานสดิวเซอร์ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง T ใน machine cycle และ F คือความถี่ของทรานสดิวเซอร์ เราสามารถกำหนดค่าของความถี่ได้เองคือ

$$T = \frac{F_{xtal}}{F} * \frac{1}{12}$$

เมื่อ F_{xtal} = คือสัญญาณความถี่นาฬิกาของ 8051

F = ความถี่ของทรานสดิวเซอร์

ย่านความถี่เต็มย่านวัดคือ $N(T_{\max} - T_{\min})$ เราสามารถเปลี่ยนแปลงผล

ลัพธ์ให้เห็น n-bit ได้โดย

$$1 \text{ LSB} = \frac{N \times (T_{\max} - T_{\min})}{2^n}$$

ดังนั้นจำนวนของความถี่ที่เกินออกมาจากเวลาที่ทำการสุ่มหาได้ดังนี้

$$N = \frac{2^n}{T_{\max} - T_{\min}}$$

อย่างไรก็ดีจำนวนค่า N ต้องเป็นจำนวนเต็มเท่านั้นและในการเลือก N สำหรับตัวเต็มสูงถัดไป ซึ่งในการเลือกต้องมีการวัดตามเวลา ซึ่งจะต้องมีอะไรบางอย่างมากกว่า n-bit ซึ่งอาจจะยอมรับได้ หรืออาจจะยอมรับไม่ได้ก็ได้ เราสามารถกลับไปหา n-bit resolution โดยการคำนวณตามนี้

$$\text{reported value} = \frac{NT - NT_{\min}}{NT_{\max} - NT_{\min}}$$

เมื่อ NT คือเวลาการวัดที่เกินออกมาจากคาบเวลา N ใด ๆ

ยกตัวอย่าง ถ้าเรามีความต้องการใช้ 8-bit resolution ในการวัดคาบเวลาของสัญญาณซึ่งความถี่จะแปรเปลี่ยนอยู่ระหว่าง $5 \text{ KHz} - 10 \text{ KHz}$ ถ้าสัญญาณความถี่นาฬิกา คือ 12 MHz ดังนั้น T_{\max} คือ

$$T = \frac{F_{\text{xtal}}}{F} * \frac{1}{12}$$

$$T = \frac{12 \text{ MHz}}{12 * 5 \text{ KHz}}$$

$$T_{\max} = 200 \text{ machine cycle}$$

และก็สามารถหา T_{\min} ได้จากหลักการเดียวกันดังนั้น $T_{\min} = 120$ machine cycle

$$N = \frac{256}{200 - 100} = 2.56$$

ใช้ $N = 3$

เราจะต้องใช้ค่า NT สูงสุดและต่ำสุดคือ 600 และ 300 machine cycle ตามลำดับ

7) การวัดช่วงความถี่ของพัลส์

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 นี้ มีโหมดการทำงานของการวัดช่วงความถี่ของพัลส์โดยตรง ซึ่งจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อ duty cycle ของทรานสดิวเซอร์มีค่าคงที่หรือสัญญาณออกของทรานสดิวเซอร์คือการแทนที่ pulse width modulated ของความถี่ Modulated โดย measurand

ในโหมด ของ การทำงานของตัวนับเวลาจะทำงานกับวงจรในชิปซึ่งในการตอบสนองโดยตรงต่อขาอินพุตมีสถานะสูงที่ขาอินเตอร์และจะไม่ทำงานที่สภาวะต่ำ ดังนั้นการอินเตอร์รับ ภายนอก คือ enabled ดังนั้นสัญญาณที่เปลี่ยนจากสถานะ "1" ไปเป็น "0" ของ ทรานสดิวเซอร์ตัวนับเวลาที่จะหยุดทำงานแล้วสัญญาณอินเตอร์รับก็จะทำการอ่านและรีเซ็ตตัวนับเวลา

8) การรับความถี่จากการวัดคาบเวลา

เมื่อเราพิจารณาถึงปัญหาของการวัดความถี่ทรานสดิวเซอร์เป็น n-bit resolution โดยการได้รับโดยตรงจากการวัดตามเวลาปัญหาที่สำคัญคือความเร็วของ การวัดคาบเวลาที่จะมากกว่าความถี่ แต่ความสำคัญ คือ end up ด้วยความถี่มันจะมีการเปลี่ยนแปลงผลลัพธ์และความถูกต้องคล้ายกันคือ การวัดความถี่โดยตรง

- ทำ n-bit โดยการคำนวณความถี่ให้สำเร็จ
ความต้องการ resolution ที่ต้องการในคาบเวลาเท่าไร?
- มีการวัดคาบเวลาที่ต้องการ resolution
มีวิธีการจะรู้ถึงประสิทธิภาพของการคำนวณความถี่อย่างไร?
ซึ่งคำถามพวกนี้จะต้องคำนึงถึงเมื่อถึงเวลาที่จะตัดสินใจ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยว คือไมโครคอมพิวเตอร์แบบที่มีขนาดเล็ก โดยบรรจุไว้ใน IC เมื่อชิพเดี่ยวเหมาะสำหรับงานควบคุมอุปกรณ์อื่น ๆ แบบอัตโนมัติ เพราะผู้ใช้ไม่สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานได้ตามต้องการในทันที จะไม่ขอกล่าวรายละเอียดเกี่ยวกับสถาปัตยกรรมของ MCS-51 ทั้งหมด จะขอกล่าวถึงบางส่วนที่มีความจำเป็นต่อโครงการนี้เท่านั้น

ตัวจับเวลา/ตัวนับ (TIMER/COUNTER)

MCS-51 มี 16 บิตตัวจับเวลา/ตัวนับ 2 ตัวคือ TIMER/COUNTER 0 และ TIMER/COUNTER1 ส่วน 8032/8052 มีเพิ่มอีก 1 ชุด คือ TIMER/COUNTER ขณะที่แต่ละ ตัวจับเวลา/ตัวนับ (TIMER/COUNTER) สามารถที่จะกำหนดให้ทำงานได้เป็นตัวจับเวลาหรือตัวนับ

ตัวจับเวลา/ตัวนับ 0 และตัวจับเวลา/ตัวนับ 1

แต่ละตัวจะถูกกำหนดให้ทำงานเป็นตัวจับเวลาหรือเป็นตัวนับได้ด้วยการเซตหรือเคลียร์บิตที่ตัวควบคุมในรีจิสเตอร์ TMOD ในกลุ่ม SFR

ในฟังก์ชันตัวจับเวลา ตัวรีจิสเตอร์จะเพิ่มค่าทุกๆ วัฏจักรแมชชีน ดังนั้น ตัวเลขใดในรีจิสเตอร์จะเป็นจำนวนของวัฏจักรแมชชีนเนื่องจากแต่ละวัฏจักรแมชชีนประกอบด้วย 12 คาบของออสซิลเลเตอร์ อัตราการนับแต่ละครั้งจะกินเวลาเป็น $1/12$ ของความถี่ออสซิลเลเตอร์



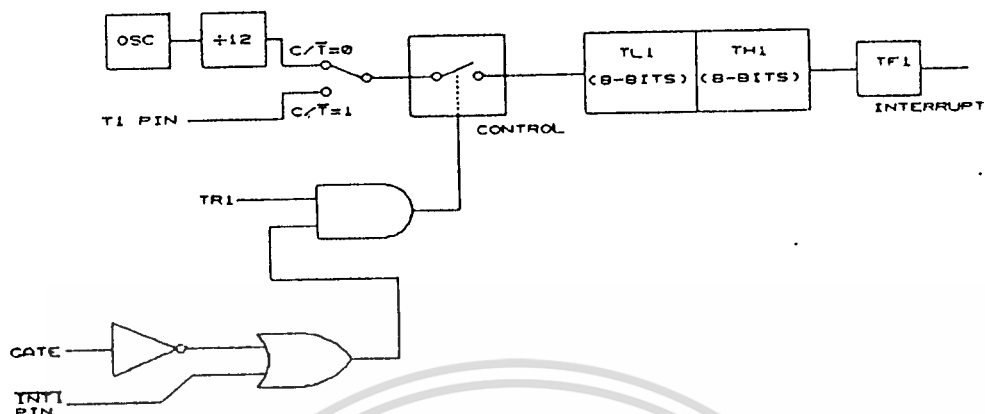
ในฟังก์ชันตัวนับรีจิสเตอร์จะเพิ่มค่าทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะจาก "1" เป็น "0" ที่เข้ามาที่ขา T0 หรือ T1 ในฟังก์ชันนี้สัญญาณภายนอกที่เข้ามา จะถูกรับแชนปลิ่ง (SAMPLING) ระหว่างช่วง S5P2 ของทุกวัฏจักรแมชชีนโดยถ้า แชนปลิ่งสัญญาณเข้าเป็นระดับสูงในวัฏจักรหนึ่ง ดังนั้นถ้าในวัฏจักรต่อมาของสัญญาณเข้าเป็นระดับต่ำ รีจิสเตอร์จะนับเพิ่มหนึ่งค่าโดยที่ค่าใหม่ของตัวนับจะปรากฏที่รีจิสเตอร์ช่วง S3P1 ของวัฏจักรซึ่งค่าหนึ่งที่รับเข้าไปจะใช้ช่วง 2 วัฏจักรแมชชีน (เท่ากับ 24 คาบ) ในการรับค่าช่วงการเปลี่ยน 1 เป็น 0 ดังนั้นค่าสูงสุดในการนับจะมีอัตรา $1/24$ ของความถี่ออสซิลเลเตอร์และสัญญาณอินพุตที่นับนั้นจะไม่มีช่วงระยะเวลาห่างที่แน่นอนของ DUTY CYCLE แต่จะถูกนับเมื่อระดับแรงดันที่ถูกแชนปลิ่งในแต่ละครั้งจะต้องมีช่วงคงที่อย่างน้อย 1 วัฏจักรแมชชีน ก่อนที่จะเปลี่ยนค่าระดับแรงดันใหม่

ในการเลือกทำงานระหว่างตัวนับกับตัวจับเวลาจะเลือกได้ 4 โหมด คือ โหมด 0 , 1 และ 2 เลือกได้ทั้ง 2 ตัว ของ TIMER/COUNTER ส่วนโหมด 3 จะทำงานแตกต่างออกไป

โหมด 0

การใช้ตัวจับเวลา/ตัวนับ 0 หรือ 1 ให้อยู่ในโหมด 0 จะทำงานคล้ายกับของ MCS-48 โดยตัวจับเวลาของ MCS-48 มีขนาด 8 บิต มีตัว PRESCALER เป็นตัวหาร 12 รูป 2.1 แสดงการทำงานในโหมด 0 ของตัวจับเวลา/ตัวนับ 1

ในโหมดนี้ รีจิสเตอร์ตัวจับเวลาถูกกำหนดให้มี 13 บิต ด้วยการนับขึ้น เมื่อเป็น "1" หมดทุกชนิดจะกลับมาที่ "0" ทุกบิตใหม่ เมื่อกลับเป็น "0" ทุกบิต จะเป็นการเกิด OVER FLOW ไปทดให้แฟลกอินเตอร์รัพด์ TF1 ปรับเป็น "1" การควบคุมให้เริ่มมานับตัวอินพุตจะควบคุมด้วยการอีนาเบิล TR1 , GATE=0 และขา INT1=1 การปรับ GATE=1 เป็นการตั้งตัวนับให้ถูกควบคุมด้วยสัญญาณจากภายนอกเข้ามา INT1 TR1 จะเป็นบิตควบคุมในรีจิสเตอร์ TMOD ของ SFR



รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานในโหมด 0 ของ ตัวจับเวลา/นับเวลา 1
ขนาด 13 บิต

รีจิสเตอร์ตัวนับจะมี 13 บิตประกอบด้วย TH1 8 บิต และ TL1 อีก 5 บิต
อันดับต่ำส่วนอีก 3 บิตที่เหลือในอันสูงของ TL1 จะไม่ใช้การปรับแฟล็ก TR1 ให้
ทำงานจะไม่เคลียร์ค่าในรีจิสเตอร์

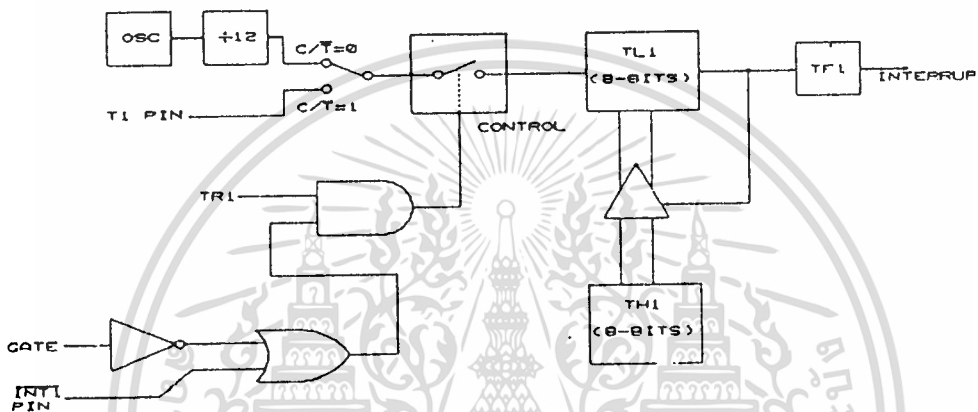
การทำงานในโหมด 0 ในตัวจับเวลา/ตัวนับ 0 จะทำงานเหมือนกับตัวจับเวลา
ตัวนับ 1 โดยใช้ TRO และ INTO รวมกันควบคุมแทนสัญญาณต่างๆ ในรูปที่ 2.1
มีความแตกต่างในการควบคุมคือบิตของ GATE ทั้งสอง ตัวหนึ่งจะแทนตัวจับเวลา
ตัวนับ 1 (TMOD.7) และอีกตัวจะแทนตัวจับเวลา/ตัวนับ 0 (TMOD.3)

โหมด 1

โหมด 1 ทำงานเหมือนกับ โหมด 0 ต่างกันแต่เฉพาะการใช้รีจิสเตอร์ ตัว
จับเวลา/ตัวนับ จะทำงานนับด้วยขนาด 16 บิต โดยไม่มี PRESCALER คือความ
ถี่ที่ออสซิลเลเตอร์ เป็นความถี่ที่เข้ามาถูกหารด้วยค่า 16 บิต ในรีจิสเตอร์ตัวนับ

โหมด 2

โหมด 2 มีการทำงานโดยการกำหนดให้ตัวนับ 8 บิตของ TL1 และจะโหมดใหม่โดยอัตโนมัติเมื่อมีการ OVERFLOW จาก TL1 ดังรูป 2.2 ไม่เพียงแต่ TF1 จะปรับเป็น "1" แต่ TL1 จะถูกโหลดโดยอัตโนมัติจากค่าที่ตั้งไว้ใน TH1 ซึ่งค่าใน TH1 สามารถจะตั้งค่าได้ด้วยซอฟต์แวร์คือการใช้คำสั่ง MOV และ บรรจุเข้าไปใหม่ที่ TL1 ทุกครั้งที่เกิด OVER FLOW TH0 และ TFO จะเป็นตัวร่วมการทำงานในโหมดนี้



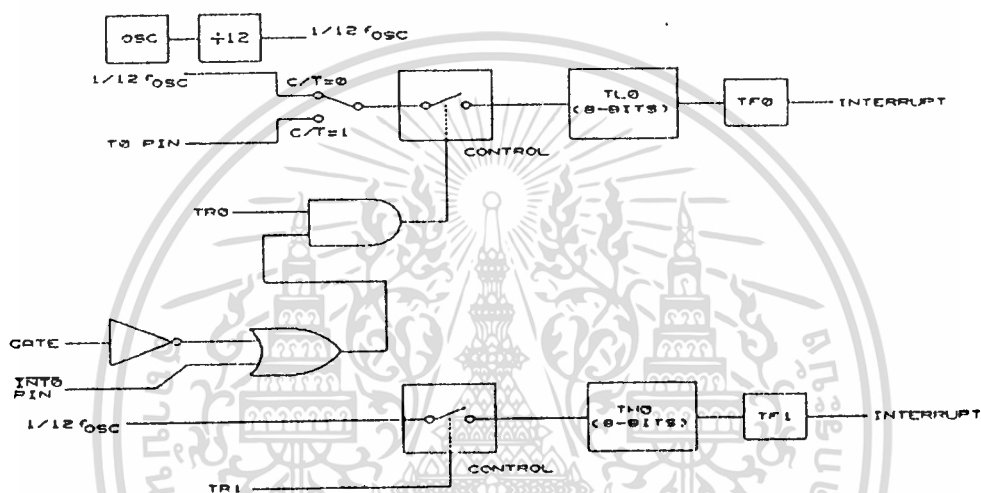
รูปที่ 2.2 ตัวจับเวลา/ตัวนับ 1 ทำงานในโหมด 2 แบบโหมดใหม่ 8 บิต

โหมด 3

ใช้ตัวจับเวลา/ตัวนับ 1 ในโหมด 3 มีการทำงานเป็นตัวนับ มีผลเช่นเดียวกับการตั้ง $TR1 = 0$ และ ใช้ตัวจับเวลา/ตัวนับ 0 ในโหมด 3 จัดการให้ TLO และ TH0 เป็นตัวนับสองตัวแรกที่แยกออกจากกันวงจรควบคุมสำหรับ โหมด 3 ที่ใช้ตัวจับเวลา 0 แสดงในรูปที่ 2.3 TLO ใช้ตัวจับเวลา/ตัวนับ 0 เป็นบิตควบคุมของ C/T , GATE , TRO , INTO และ TFO ตัว TH0 ถูกเลือกให้ทำงานในฟังก์ชันรูปที่ 2.3 ใช้ตัวจับเวลา/ตัวนับ 1 ในโหมด 3 เป็นกลุ่มตัวนับขนาด 8 บิต สองตัว

ตัวจับเวลา (เป็นตัวนับวัฏจักรแมชชีนได้) และจะใช้บิตที่ TR1 ของตัวจับเวลา 1 เป็นตัวควบคุมดังนั้นจึงใช้ TH0 เป็นตัวจับเวลาเป็นการควบคุมอินเตอร์รัพต์ด้วยตัวจับเวลา 1

โหมด 3 จะใช้งานในความต้องการตัวจับเวลา/ตัวนับ ขนาด 8 บิตเพิ่มขึ้น ด้วยการใช้ตัวจับเวลา 0 ในโหมด 3 ดังนั้น 8051 สามารถที่จะทำงานใช้ตัวจับเวลา 0 อยู่ในโหมด 3 ตัวจับเวลา 1 สามารถที่จะเปิดปิดให้เจ้าสัวหรือออกจากการทำงานของโหมด 3 หรือสามารถที่จะยังคงใช้ตัว GENERATOR ที่จะสร้างอัตราบีดของการส่งข้อมูลอนุกรมหรือการใช้งานใด ๆ ที่ไม่ต้องการอินเตอร์รัพต์



รูปที่ 2.3 ใช้ตัวจับ/ตัวนับ 1 ในโหมด 3 เป็นกลุ่มตัวนับขนาด 8 บิต สองตัว

| GATE | C/T | M 1 | MO | GATE | C/T | M1 | MO |
|------|-----|-----|----|------|-----|----|----|
|------|-----|-----|----|------|-----|----|----|

<-----TIMER R1-----><-----TIMER RO----->

GATE = ควบคุมเกต เมื่อเซ็ตเป็น "1" จะเป็นอินาเบิล ตัวจับเวลา/ตัวนับเท่านั้นและที่ขา INTX มีสถานะสูงและขาดควบคุม TRX ใน TCON จะถูกเซ็ตเป็น "1" เมื่อ ตัวนับภายในถูกเคลียร์ให้อินาเบิลเมื่อไรก็ตามที่ปิดควบคุม TRX ถูกเซ็ตเป็น "1"

C/T = เลือกการทำงานแบบตัวจับเวลาหรือตัวนับ ถ้าเป็น "0" จะเลือกทำงานเป็นตัวจับเวลา (โดยใช้สัญญาณนาฬิกาภายในเป็นสัญญาณเข้าอ้างอิงถึง) ถ้าเป็น "1" จะเป็นการทำงานแบบตัวนับและรับสัญญาณเข้าที่ขา T_x

| M1 | MO | การทำงาน |
|----|----|--|
| 0 | 0 | ทำงานแบบตัวจับเวลาของ MCS-48 ใช้ TLx เป็นตัวป้อนบิตอีก 5 บิต |
| 0 | 1 | การใช้ตัวจับเวลา/ตัวนับ ขนาด 16 บิต จะใช้ THx และ TLx เป็นตัวนับไม่มี PRESCALER |
| 1 | 0 | การไหลขนาด 8 บิต โดยอัตโนมัติที่ตัวนับและตัวจับเวลาโดยใช้ THx เก็บค่าที่ตั้งไว้และจะถ่ายเข้าไปที่ TLx ใหม่ทุกครั้งที่เกิด OVER FLOW คือ TLx ถูกนับเป็น "0" หมด |
| 1 | 1 | ตัวจับเวลา 0 ทำงาน โดยใช้ TLO และ THO เป็นตัวนับแยกกัน |

รูปที่ 2.4 TMOD : TIMER/COUNTER MODE CONTROL REGISTER

| | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| TF 1 | TR 1 | TF 0 | TR 0 | IE 1 | IT 1 | IE 0 | IT 0 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|

- TF1 TCON.7 ตัวจับเวลา 1 แพลกเป็น "1" OVER FLOW ถูกเซตเป็นหนึ่งด้านฮาร์ดแวร์ทางสัญญาณเมื่อ ตัวจับเวลา/ตัวนับ OVERFLOW และจะเคลียร์ตัวเองเมื่ออินเตอร์รัพต์ไปแล้ว
- TR1 TCON.6 ตัวจับเวลา 1 เป็นตัวควบคุมบิตให้เริ่มทำงาน จะเซตหรือเคลียร์ด้วยตัวซอฟต์แวร์ที่จะมาทำให้ ตัวจับเวลา/ตัวนับ 1 เริ่มหรือหยุดการทำงาน
- TFO TCON.5 ตัวจับเวลา 0 แพลกเป็น "1" เมื่อเกิด OVERFLOW ถูกเซตเป็นหนึ่งด้านฮาร์ดแวร์ทางสัญญาณเมื่อตัวจับเวลา/ตัวนับ OVER FLOW เคลียร์ตัวเองเมื่ออินเตอร์รัพต์ไปแล้ว
- TRO TCON.4 ตัวจับเวลา 0 เป็นตัวควบคุมบิตให้เริ่มทำงาน จะเซตหรือเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์ที่จ่านำมาทำให้ ตัวจับเวลา/ตัวนับ เริ่มหรือหยุดการทำงาน
- IE1 TCON.3 อินเตอร์รัพต์ 1 เป็นแฟลกของสัญญาณเซตด้วยฮาร์ดแวร์เมื่อสัญญาณของการอินเตอร์รัพต์ปรากฏเข้ามาที่ขา INT1 และเคลียร์เมื่อการอินเตอร์รัพต์สิ้นสุด
- IT1 TCON.2 อินเตอร์รัพต์ 1 รูปแบบ การควบคุมบิตจะเซตหรือเคลียร์ ได้ด้วยซอฟต์แวร์ที่จะเป็นตัวกำหนดให้การกระตุ้นอินเตอร์รัพต์จากภายนอกที่ขอบขาลงหรือระดับแรงงานต่ำ โดยถ้า IT = 1 จะควบคุมอินเตอร์รัพต์ด้วยขอบขาลง และถ้า IT = 0 จะควบคุมอินเตอร์รัพต์ด้วยระดับแรงดันต่ำ
- IE0 TCON.1 อินเตอร์รัพต์ 0 เป็นแฟลกขอบสัญญาณ เซตด้วยฮาร์ดแวร์ เมื่อสัญญาณของการอินเตอร์รัพต์ ปรากฏเข้าที่ขา INTO และเคลียร์เมื่อการทำงานอินเตอร์รัพต์สิ้นสุด
- IT0 TCON.0 อินเตอร์รัพต์ 0 รูปแบบ การควบคุมบิตจะเซตหรือเคลียร์ ได้ด้วย

ซอฟต์แวร์ที่จะเป็นตัวกำหนดให้ การอินเทอร์รัพต์จากภายนอก เป็นแบบขอบกลางหรือเป็นแบบระดับแรงดันต่ำ

รูปที่ 2.5 TCON : Timer/Counter Control Register

ตัวจับเวลา/ตัวนับ 2

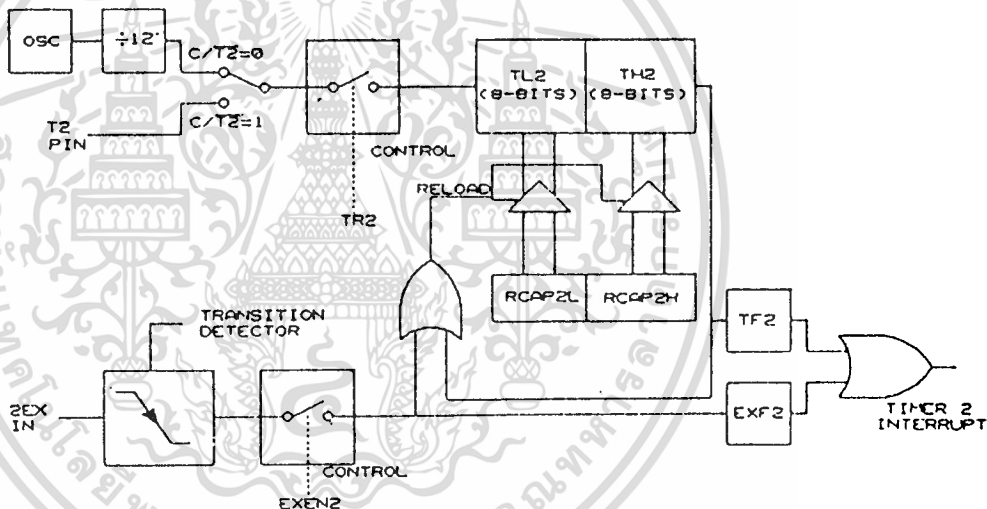
ตัวจับเวลา/ตัวนับ 2 เป็นตัวจับเวลาและตัวนับขนาด 16 บิตแบบบรรจุเข้าโดยอัตโนมัติและใช้รีจิสเตอร์ควบคุมของ SFR เป็น T2CON เมื่อตัวจับเวลา/ตัวนับ 2 ทำงานเป็นตัวจับเวลารีจิสเตอร์ตัวจับเวลา/ตัวนับ 2 จะเพิ่มค่าทุกครั้งในแต่ละวัฏจักรแมชชีนขณะที่ใช้เป็นตัวนับ ตัวจับเวลา/ตัวนับ 2 จะเพิ่มค่าอยู่กับการเปลี่ยนสถานะจาก "1" -> "0" ที่เข้ามาที่ T2(P1.0) สัญญาณอินพุตถูก SAMPLING ที่ S3P2 ของทุกวัฏจักรแมชชีนในการใช้ฟังก์ชันให้แอกติฟ เพราะฉะนั้นเมื่อ SAMPLE แสดงสถานะสูงในช่วงวัฏจักรแมชชีนหนึ่งและระดับต่ำในอีกวัฏจักรหนึ่ง การนับจะเพิ่มขึ้นหนึ่ง ค่าตัวใหม่จะปรากฏที่รีจิสเตอร์ตัวจับเวลา/ตัวนับ 2 ช่วง S3P1 ของแต่ละวัฏจักร เป็นการนับ 1 ที่สัญญาณการเปลี่ยนแปลงถูกกระตุ้น ดังนั้นอัตราการนับสูงสุดจะเป็น 1/24 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ไม่มีการกำหนดความกว้างของพัลส์ของสัญญาณที่เข้ามาจากภายนอกแต่ต้องแน่ใจว่าระดับหนึ่งที่ถูก SAMPLE อย่างน้อยจะต้องคลุมหนึ่งวัฏจักรแมชชีนก่อนๆ ที่จะมันจะเปลี่ยนระดับใหม่

โหมดการทำงานของตัวจับเวลา/ตัวนับ 2 มีสามโหมดด้วยกันคือ แบบธรรมดา CAPTURE แบบบรรจุใหม่อัตโนมัติและเป็นตัวสร้างอัตราบอด ซึ่งสามารถจะเลือกการทำงานโดยเซตค่าต่าง ๆ ใน T2CON ตามตารางรูปที่ 2.8

วิธีตั้งให้ทำงานในโหมดบรรจุอัตโนมัติก็มีให้เลือกทำงานได้ 2 อย่างเช่นกัน ด้วยการปรับค่าในบิต EXEN ของ T2CON โดย

1. ถ้าปรับ EXEN2 = 0 เมื่อไรก็ตามที่ตัวจับเวลา 2 เพิ่มค่าจนถึง 0 ไม่เพียงแต่จะเซตบิต TF2 เป็น 1 เท่านั้น แต่ตัวจับเวลา 2 จะถูกบรรจุค่าที่ตั้งไว้ใน RCAP2L และ RCAP2H ด้วยซอฟต์แวร์แต่แรกกลับเข้าไปใหม่

2. ถ้า EXEN2 = 1 ก็ทำงานเช่นเดียวกับในวิธีที่ 1 และถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะจาก 1 เป็น 0 ที่ T2EX จากภายนอก ก็จะเป็นเหตุให้มีการบรรจุค่าจาก RCAP2L และ RCAP2H กลับเข้าไปใหม่โดยอัตโนมัติ พร้อมทั้งเซตค่าบิตใน EXF2 ของรีจิสเตอร์ T2CON ด้วยแผนภูมิการทำงานในโหมดบรรจุอัตโนมัติ อยู่ในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แผนภูมิการทำงานในโหมดบรรจุอัตโนมัติ

| | | | | | | | |
|------|------|--------|------|-------|-----|------|--------|
| TF 2 | EXF2 | RXF2 . | TCLK | EXEN2 | TR2 | C/T2 | CP/RL2 |
|------|------|--------|------|-------|-----|------|--------|

FR2 T2CON.7 ตัวจับเวลา 2 เมื่อเกิด OVERFLOW แพลกและจะถูกเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์ TF2 จะไม่ถูกเซต เมื่อค่าใดใน RCLK = TCLK = 1

EXF2 T2CON.6 ตัวจับเวลา 2 เป็นแฟลกภายนอกที่ถูกเซตจากสัญญาณภายนอก เมื่อมีการทำงานปกติหรือบรรจุใหม่เนื่องจากขอบขาลงสัญญาณ T2EX

- และ EXEN2 = 1 เมื่อการอินเตอร์รัพต์ตัวนับเวลา 2 ถูกอีน่าเบิ้ล EXF2 = 1 จะเป็นเหตุให้ CPU ที่ไปตั้งโปรแกรมอินเตอร์รัพต์ของตัวนับเวลา 2 จะต้องเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์เสมอ
- RCLK T2CON.5 แพลกสัญญาณนาฬิกาการรับข้อมูล เมื่อบิตนี้เซต จะเป็นเหตุให้ PORT อนุกรมใช้พัลส์ OVERFLOW ของตัวนับเวลา 2 สำหรับให้สัญญาณนาฬิกาการรับในโหมด 1 และ 3 TCLK = 0 จะเป็นเหตุให้ OVERFLOW ตัวนับเวลา 1 ถูกใช้เป็นตัวให้สัญญาณนาฬิกาการส่ง
- ECEN2 T2CON.4 ตัวนับเวลา 2 แพลกสัญญาณนาฬิกาการส่งข้อมูลเมื่อบิตนี้เซต จะเป็นเหตุให้ PORT อนุกรมใช้พัลส์ OVER FLOW ของตัวนับเวลา 2 สำหรับให้สัญญาณนาฬิกาการส่งในโหมด 1 และ 3 TCLK = 0 จะเป็นเหตุให้ OVER FLOW ตัวนับเวลา 1 ถูกใช้เป็นตัวให้สัญญาณนาฬิกาการส่ง
- TCLK T2CON.3 ตัวนับเวลา 2 แพลกอีน่าเบิ้ลภายนอกเมื่อบิตนี้เซตจะทำงานแบบปกติหรือบรรจุใหม่ด้วยการเกิดขึ้น จากผลของขอบขาลงบน T2EX ถ้าตัวนับเวลา 2 ไม่ได้ถูกใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาสำหรับ PORT อนุกรม ถ้า EXEN2 = 0 ตัวนับเวลา 2 จะไม่มีผลจากสัญญาณที่ T2EX
- TR2 T2CON.2 ตัวควบคุมเริ่มจะหยุดการทำงานของตัวนับเวลา 2 โดยค่า "1" ในบิตนี้จะเป็นค่าเริ่มทำงานของตัวนับเวลา 2
- C/T2 T2CON.1 ตัวเลือกตัวจับเวลาหรือตัวนับเวลาถ้าเป็น 0 = ตัวจับเวลาภายใน ($osc/12$) 1 = ตัวนับภายนอก (ใช้ขอบขาลงเป็นตัวกระตุ้น)
- CP/RL2 T2CON.0 แพลก CAPTURE/RELOAD เมื่อบิตนี้เซตจะเป็นการทำงานปกติรับสัญญาณขอบขาลงที่ T2EX ถ้า EXEN = 1 เมื่อบิตนี้เคลียร์ จะเป็นการทำงานแบบบรรจุใหม่อัตโนมัติเกิดขึ้นได้จากตัวกระตุ้นในการเกิด OVER FLOW ตัวนับเวลา 2 หรือขอบสัญญาณขาลงที่ T2EX เมื่อ EXEN2 = 1 เมื่อทั้ง RCLK = 1 และ TCLK = 1 บิตนี้จะไม่ใช้ตัวจับเวลาจะถูกบังคับให้ทำงานเป็นโหมดบรรจุอัตโนมัติของ OVERFLOW ตัว

จับเวลา 2 ที่ใช้ในการสร้างอัตราบ็อด

รูปที่ 2.8 T2CON : รีจิสเตอร์ควบคุมตัวจับเวลา/ตัวนับ 2

ตัวจับเวลาและตัวนับ 2 สามารถจะใช้เป็นตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้อัตราบ็อดได้ในการใช้โหมดรับส่งอนุกรม 1 และ 3 ด้วยการเซต RCLK และ TCLK โดยถ้า $RCLK = TCLK = 1$ เป็นการเลือก ตัวจับเวลาและตัวนับ 1 เป็นตัวกำเนิดอัตราบ็อดในโหมดนี้ตัวจับเวลาและตัวนับ 2 จะให้พัลส์ของ OVERFLOW มากกว่าที่จะใช้ตัวจับเวลาและตัวนับเป็นสัญญาณนาฬิกาจ่ายความถี่ออสซิลเลเตอร์แก๊นุกรมพอร์ต ถ้าตัวจับเวลาและตัวนับ 2 = 0 ตัวนับจะเพิ่มหนึ่งที่ช่วง $1/2$ ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ ถ้าตัวจับเวลาและตัวนับ 2 = 1 ตัวนับจะเพิ่มหนึ่งตอนสนองตามสัญญาณเข้าที่เปลี่ยนแปลงจาก 1 \rightarrow 0 ที่ขา T2EX (P1.0) ความถี่สูงสุดมีค่าเท่ากับ $1/24 \text{ # F}$

ถ้า EXEN2 เซตเป็น 1 ขณะที่ตัวจับเวลา/ตัวนับ 2 ถูกใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาพอร์ตอนุกรมขอบขาลงที่ T2EX (P1.1) จะเซต EXF2 ถ้าไม่มีการทำงานแบบบรจุใหม่อัตโนมัติหรือแบบธรรมดาเกิดขึ้นโดยปกติขณะที่ ตัวจับเวลา/ตัวนับ 2 ใช้เป็นโหมดสร้างอัตราบ็อด T2EX อาจใช้เป็นตัวรับอินเตอร์รัพต์จากภายนอก TF2 จะให้ผลตามตัวนับเวลาที่เกิด OVER FLOW ขณะเดียวกันการบรจุใหม่โดยอัตโนมัติจาก RCAP2H และ RCAP2L จะเกิดขึ้นโดยไม่คำนึงสถานะของ CR/RL2

TIMER/COUNTER CONTROL และรีจิสเตอร์ STATUS

การกำหนดโหมดการทำงานและความคุมฟังก์ชันต่างๆ ของตัวจับเวลา/ตัวนับ จะควบคุมได้ที่ SFR : SPECIAL FUNCTION REGISTER TMOD , TCON หรือ T2CON (สำหรับ 8032/8052) ด้วยซอฟต์แวร์โดยที่เมื่อมีคำสั่งเปลี่ยนค่าบิตต่างๆ ใน TMOD , TCON หรือ T2CON ค่าที่ถูกเปลี่ยนก็จะถูกแลทซ์เข้าไปที่ SFR และเกิดมีผลตามคำสั่งควบคุมที่ช่วง S1P1 ของวัฏจักรตัวแรกของคำสั่งต่อมา คำรีจิส

เตอร์ต่างๆ ที่ใช้มีแสดง ดังรูปที่ 2.4, 2.5, 2.8 ตามลำดับ โดยทุกบิตของวีจีเอส
เตอร์เหล่านี้จะถูกเคลียร์ด้วยการรีเซ็ต

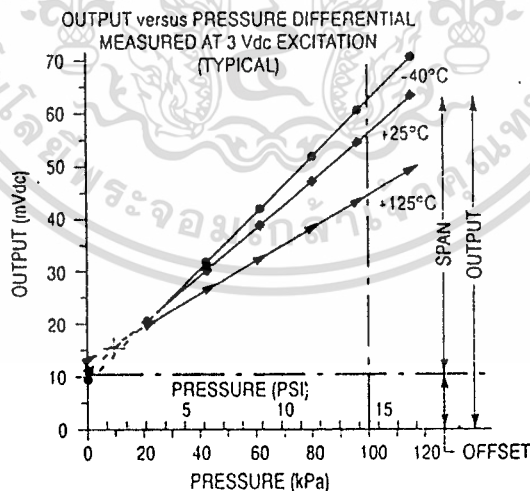


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การชดเชยอุณหภูมิและปรับเทียบอุปกรณ์วัดความดัน

เอาต์พุตของอุปกรณ์วัดจะเปลี่ยนแปลงตามค่าอุณหภูมิ ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์ต่อร่วมเพื่อชดเชยอุณหภูมิ ถ้าใช้สูงกว่าย่านอุณหภูมิ สามารถใช้วงจรตัวต้านทานอย่างง่ายๆ ในย่านอุณหภูมิแคบๆ เช่น 0°C ถึง 85°C แต่สำหรับในย่านอุณหภูมิ -40°C ถึง 125°C ต้องใช้วงจรที่สามารถปรับค่าศูนย์และช่วงกว้างของสเกลในส่วนนี้จะกล่าวถึงการชดเชยอุณหภูมิอย่างถูกวิธีและตัวอย่างการประยุกต์ใช้อุปกรณ์วัดความดัน

อุปกรณ์วัดความดันมีช่วงกว้างสเกล $60\text{ mV} @ 25^{\circ}\text{C}$ แรงดันออฟเซตที่ความดันศูนย์ $20\text{ mV} @ 25^{\circ}\text{C}$ และแรงดันกระตุ้น 3 Vdc ค่าช่วงกว้างของสเกลลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง อุปกรณ์วัดความดันมีสัมประสิทธิ์ของช่วงกว้างสเกล $-0.19\%/^{\circ}\text{C}$ เนื่องจากแรงดันเอาต์พุตเป็นอัตราส่วนกับแรงดันกระตุ้นเมื่อความดันคงที่ ดังนั้นการแปรเปลี่ยนค่าแรงดัน กระตุ้นเพื่อชดเชยค่าช่วงกว้างของสเกลที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.9 MPX50 Piezoresistive Pressure Sensor Element

มี 3 ทฤษฎีสำหรับการชดเชยอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 2.10 ในแบบที่ง่ายที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.10 ใช้ตัวต้านทาน 1% เมทัลฟิล์ม ต่ออนุกรมกับอุปกรณ์วัดให้ผลที่ดีที่สุดสำหรับ ย่านอุณหภูมิ (0°C ถึง 85°C) ให้การชดเชยได้ 0.5% ของช่วงกว้างสเกล ค่าความต้านทานคำนวณได้จาก

$$R_{\text{u}} = R_{\text{x}} * 3.577$$

เมื่อ R_{u} = ความต้านทานที่ต้องการ

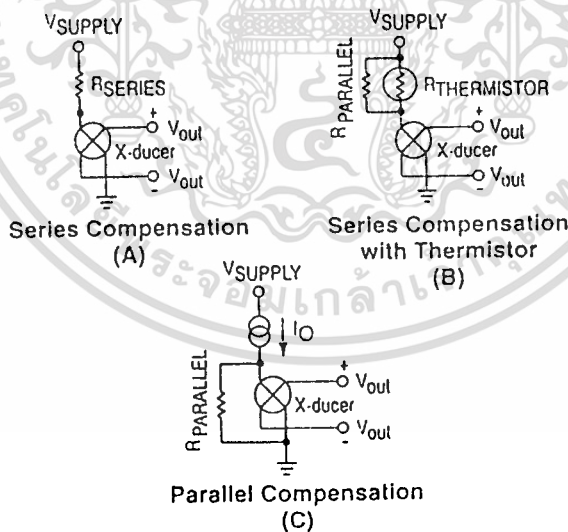
R_{x} = ความต้านทานของอุปกรณ์วัดที่ 25°C

ค่าความต้านทานของอุปกรณ์วัดมีค่า 494 โอห์ม ที่ 25°C ค่าความต้านทานที่ได้เท่ากับ

$$494 * 3.577 = 1767 \text{ โอห์ม}$$

รูปที่ 2.10 ใช้กับย่าน -40°C ถึง $+125^{\circ}\text{C}$

รูปที่ 2.10 ใช้ค่าความต้านทานที่ได้คำนวณจากรูป 2.10 ต่อขนาดเพื่อกระแสกระตุ้นคงที่



รูปที่ 2.10 Span Temperature Compensation

วิธีง่ายที่สุดในการชดเชยออฟเซต อธิบายได้ดังรูปที่ 2.15 ค่าช่วงกว้างสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเกล 60 mV ต้องมีการขยาย เพื่อให้ได้สัญญาณที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย

วงจรปรับเทียบอุณหภูมิและออฟเซต (รูปที่ 2.13) ใช้วงจรออปแอมป์คู่เช่น LM 258

กำหนดค่า $R_s \sim 4$ เท่าของความต้านทานอุปรกรณ์วัดแรงดันกระตุ้นที่ V_o ประมาณ 2 Vdc และวงจรใช้แรงดัน 10 Vdc จ่าย แรงดันเอาต์พุตของอุปรกรณ์วัดที่ ขา S+ และ S- ประมาณ 1 Vdc

วงจรแบ่งแรงดัน ประกอบด้วย R_1 (8k) และ R_2 (1k) ทำให้แรงดันที่จุด V_4 ประมาณ 1.1 Vdc หรือสูงกว่าแรงดันที่ขา S+, S-

เนื่องจาก อุปรกรณ์วัดที่มีสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิกับความต้านทานเป็นบวกแรงดัน V_o จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิเช่นเดียวกับแรงดันที่จุด V_1 ($\pm \mu\text{V}/^\circ\text{C}$) ทำให้จำเป็นต้องคำนวณค่าของ R_T เพื่อกำจัดออฟเซตที่เพิ่มขึ้น

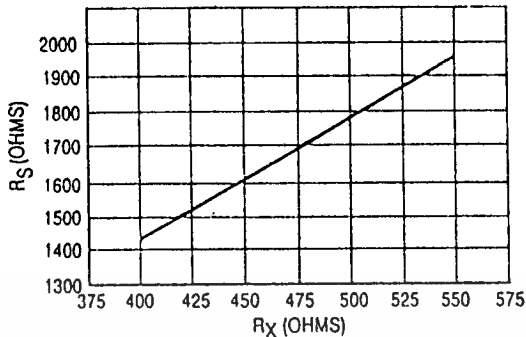
เราสามารถคำนวณ R_T ได้จาก

$$\left(\frac{\Delta V_1}{\Delta V_0} * R_s \right) = \left(\frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

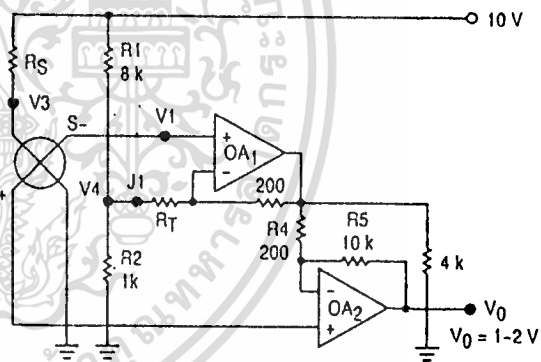
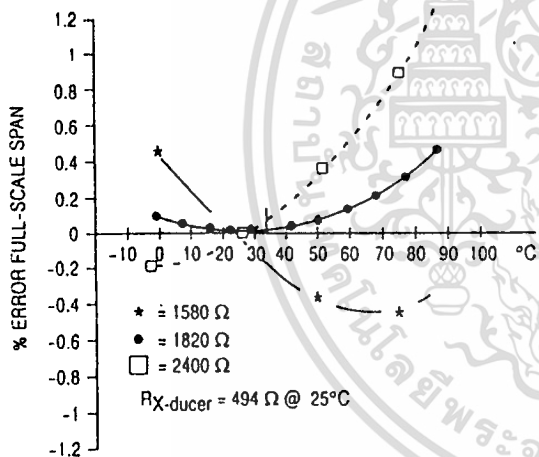
เมื่อ $\Delta V_1 = V_1$ ที่อุณหภูมิที่ต้องการ ลบด้วย V_1 ที่อุณหภูมิต้อง

หรือ $\Delta V_1 = V_1(t_{\text{max}}) - V_1(t_{25^\circ\text{C}})$

รูปที่ 2.14 แสดงกราฟการเลือก ความต้านทาน T_c เมื่อรู้ว่าอัตราส่วนระหว่าง ΔV_1 ถึง ΔV_0



รูปที่ 2.11 Series Resistance Compensation



รูปที่ 2.12 Full-Scale Span Error Versus Temperature

รูปที่ 2.13 Temperature and Offset Calibration circuit

ออปแอมป์ตัวที่ 2 ตั้งอัตราขยาย 50 (R_5 หาร R_4) ผลของ R_T จะมีเพียงเล็กน้อยต่ออัตราขยายทั้งหมด (OA_1 และ OA_2) จึงไม่ต้องคำนึงถึงแรงดันเอาต์พุต V_0 คือค่าปรับเทียบช่วงกว้างสากลและออฟเซตจากย่านอุณหภูมิ 0°C ถึง 80°C

$R_x\text{-ducer} = 494$ โอห์ม

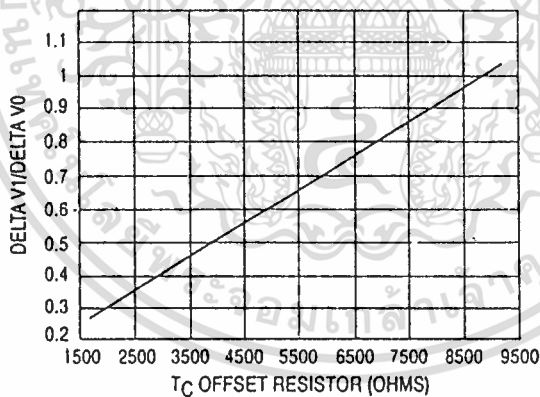
$$R_s = 1767 \text{ โอห์ม (ใช้ } 1.8k)$$

$$\frac{\Delta V_1}{\Delta V_0} = 0.5$$

$$R_T = 4112 \text{ โอห์ม (ใช้ } 4.2k)$$

รูปที่ 2.15 แสดงวงจรออฟแอมป์ที่ปรับค่าอัตราขยายได้ (OA_d) โดยมีวงจรปรับออฟเซต (OA_o) โดยการปรับวงจรแบ่งแรงดัน R_o, R_o และ R_{off} OA_o จะเป็นเสมือนบัฟเฟอร์ระหว่าง แรงดันออฟเซตปรับค่าได้และ R_o ปรับค่าอัตราขยาย

หากไม่มี OA_o (รูปที่ 2.15) ได้จากวงจรแบ่งแรงดัน R_o, R_o และ R_{off} และ V_o คือค่าเฉลี่ยของ V_o และ V_o ระหว่าง 1 และ 3 V_{dc} วงจรเปรียบเทียบกับอนุกรมและออฟเซต (รูปที่ 2.15) มีแรงดันเอาต์พุต (V_o) 1-2 Vdc

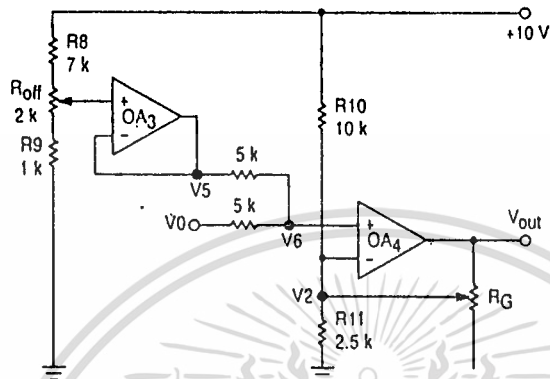


รูปที่ 2.14 Offset Resistance Values (Nominal Values)

สำหรับวงจรที่แสดงในรูปที่ 2.13 และ 2.15 แรงดันเอาต์พุตจะกลายเป็น 2 V ที่ความดันศูนย์

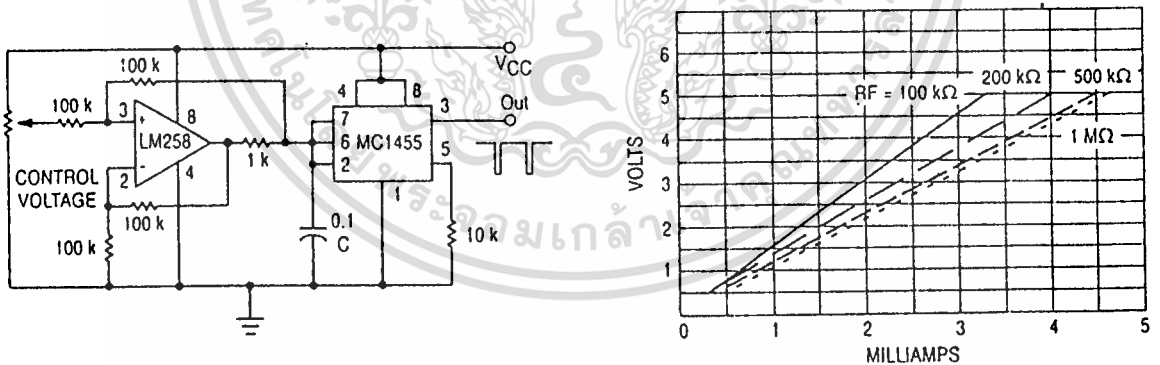
หาก R_{off} ถูกปรับให้ไม่มีกระแสไหลผ่าน R_o V_o จะเท่ากับ V_{out} ซึ่งเท่ากับ V_2 (หรือ $V_{out} - V_2 = 0$) แรงดันเอาต์พุตจะได้ 2 Vdc ใช้ค่า R_o 5k

สำหรับการปรับค่าความดันศูนย์ = 2 Vdc และแรงดันที่ความดันสูงสุด 4 Vdc



รูปที่ 2.15 Calibration of OA₃ and OA₄

การเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุตให้เป็นความถี่



รูปที่ 2.16 Voltage to Frequency

รูปที่ 2.17 Voltage to Current

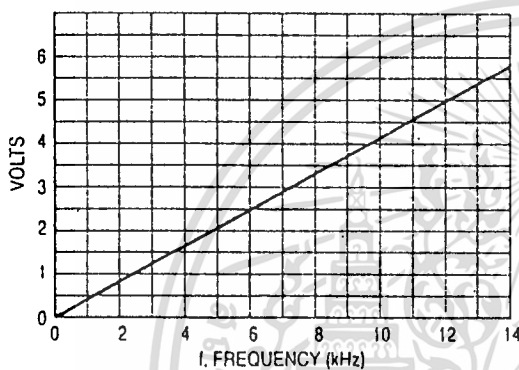
MC1455/LM258

Conversion

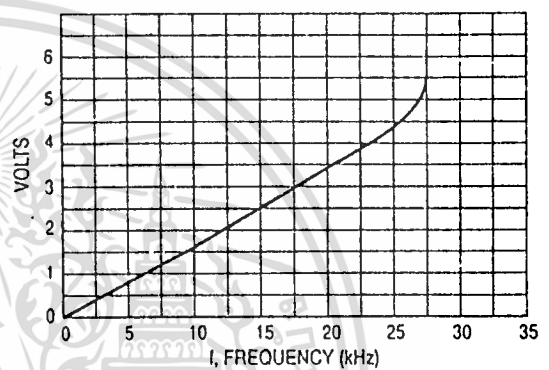
รูปที่ 2.16 การเปลี่ยนวงจรเอาต์พุตเป็นความถี่ ในวงจรประกอบด้วยออปแอมป์ #LM 258 และ IC # MC1455 ออสเตเบิล มัลติไวเบรเตออร์ ออปแอมป์ #LM 258 จะใช้เป็นแรงดันควบคุมแหล่งจ่ายกระแสรูปที่ 2.17 แสดงกราฟความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมพันธ์ระหว่างแรงดันควบคุมและกระแสเอาต์พุตจากการใช้ค่าความต้านทานป้อนกลับต่างๆ กันความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส ค่อนข้างเป็นเส้นตรงมาก กำหนดให้ใช้ตัวต้านทานที่มีค่าเท่ากันทั้ง 4 ตัว และต้องมากกว่าความต้านทานวัด (1k) วงจรนี้จะจ่ายกระแสเอาต์พุต ได้สูงถึงค่าสูงสุดที่ออปแอมป์สามารถจ่ายได้ และแรงดันสูงสุดจะถูกจำกัดด้วย แรงดันเอาต์พุตลบด้วยแรงดันตกคร่อมความต้านทานวัด

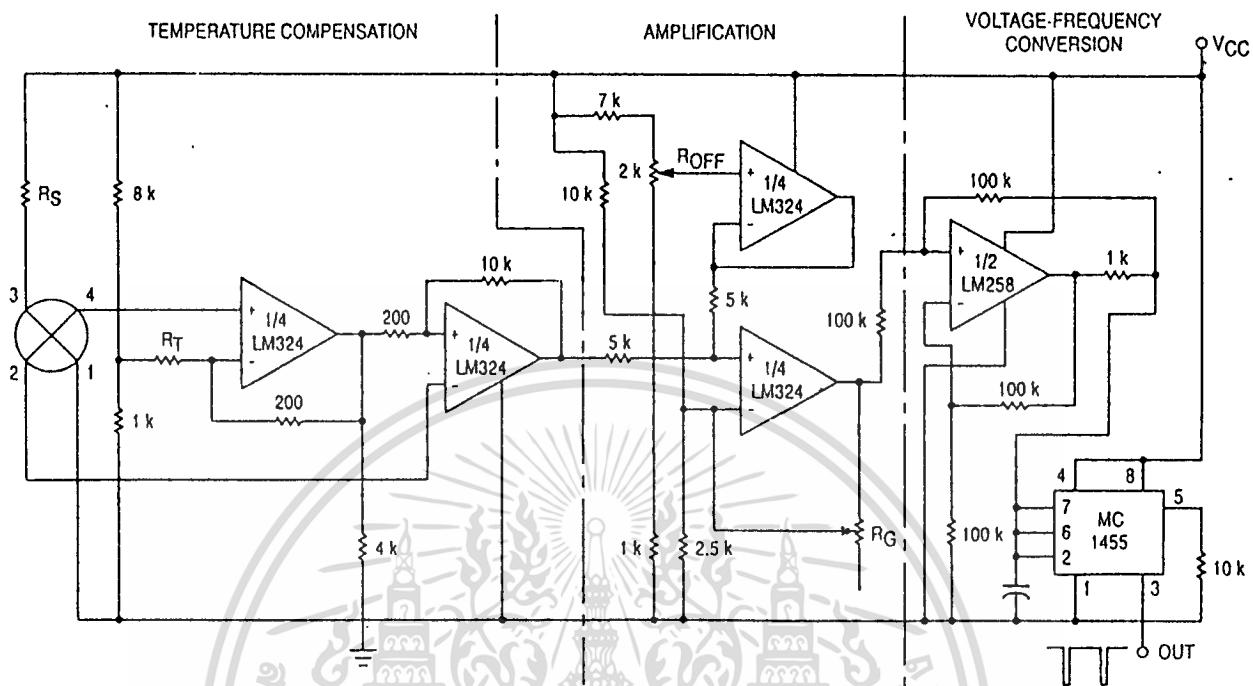


รูปที่ 2.18 Voltage/Frequency
V_{cc} = 15 V



รูปที่ 2.19 Voltage/Frequency
V_{cc} = 10 V

ตัวเก็บประจุ C (0. μ F รูปที่ 2.16) จะประจุแหล่งจ่ายกระแสคงที่ และคายประจุผ่านขา 7 ของ MC 1455 ความต้านทาน 14k ขอมให้ตัวเก็บประจุประจุเพียงครึ่งเดียวของแรงดันที่จ่ายผลของแรงดันควบคุมที่เปลี่ยนแปลง ความถี่เป็นเชิงเส้นมาก รูปที่ 2.18 และ 2.19 แสดงผลความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันควบคุมและความถี่เอาต์พุตโดยการใช้วงจรในรูปที่ 2.16 ผลการเปลี่ยนแรงดันควบคุม จะเปลี่ยนแปลงความถี่ที่เป็นเชิงเส้นประมาณ 10 kHz



รูปที่ 2.20 แสดงวงจรเปลี่ยนความดันให้เป็นความถี่อย่างสมบูรณ์

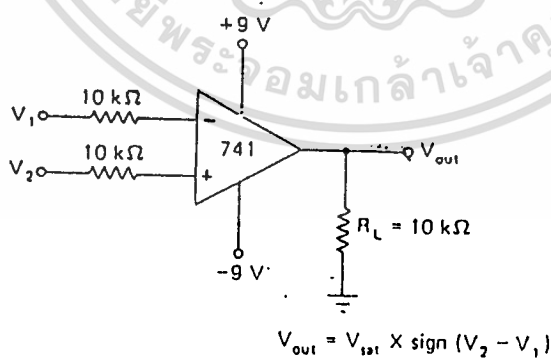
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรออปแอมป์พื้นฐาน

ในส่วนนี้ จะกล่าวถึงวงจรพื้นฐานของการนำออปแอมป์ไปใช้งาน ซึ่งวงจรเหล่านี้จะเป็นพื้นฐานที่ดีในการนำไปประกอบวงจรที่สลับซับซ้อนขึ้นไป โดยจะแบ่งออกเป็นชนิดการทำงานแบบลูปเปิด เช่น คอมพาราเตอร์ตัวตรวจวัดระบบสัญญาณ เป็นต้น และ แบบลูปปิด เช่น วงจรขยายแรงดัน เป็นต้น โดยจะใช้ออปแอมป์เบอร์ 741 เป็นตัวอย่าง ซึ่งจะช่วยให้ง่ายแก่การประกอบวงจรสำหรับศึกษาในทางปฏิบัติต่อไป

วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (คอมพาราเตอร์)

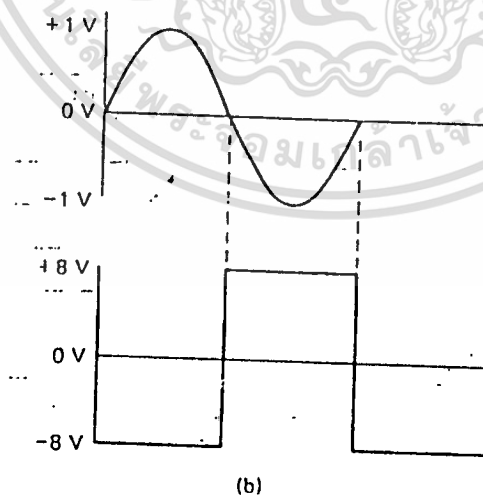
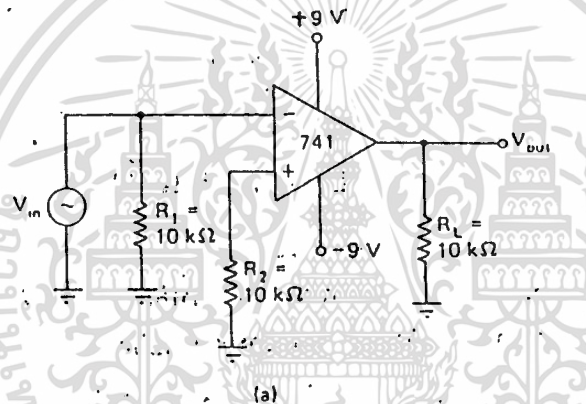
การทำงานเป็นคอมพาราเตอร์ในขณะเปิดลูปนั้นออปแอมป์จะสามารถเปรียบเทียบระดับสัญญาณระหว่างที่วอินพุตทั้งสอง ได้ค่อนข้างแม่นยำโดยใช้หลัก เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างที่วอินพุต ซึ่งอธิบายได้ว่า เมื่อแรงดันที่ที่วลบมีค่าเป็นบวกสูงกว่าแรงดันอินพุตที่ที่วบวกสัญญาณที่เอาต์พุตจะเป็นลบ และมีขนาดเกือบเท่ากับ $-V_{cc}$ จากแหล่งจ่ายไฟ ดังตัวอย่างในรูป 2.21



รูปที่ 2.21

การตรวจวัดสัญญาณรูปซายน์

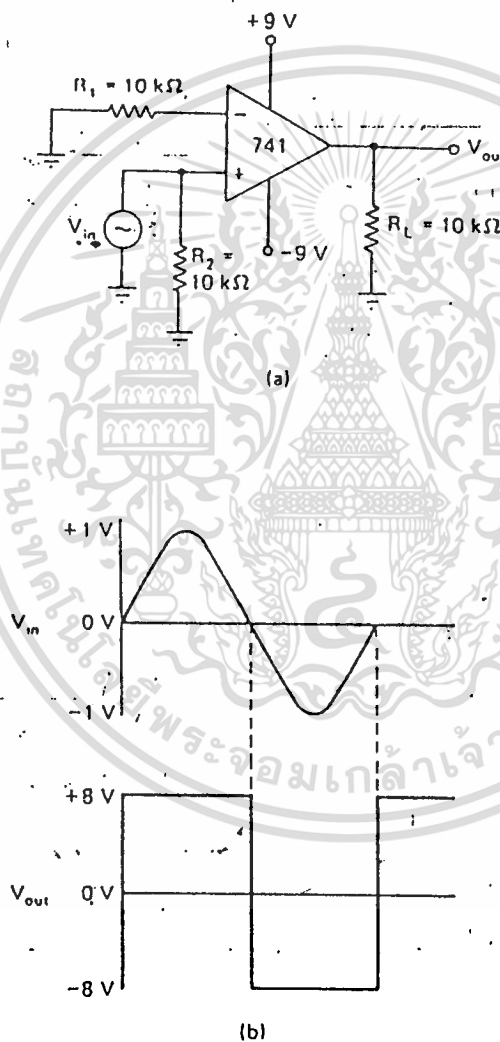
จากคุณสมบัติของคอมพาราเตอ์ เราสามารถออกแบบมาประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดแรงดันของสัญญาณที่เปลี่ยนไป โดยให้แรงดันที่ขั้วอินพุตขั้วหนึ่งเป็นจุดอ้างอิง ดังนั้น เมื่อใดก็ตามที่แรงดันที่ป้อนให้แก่อีกขั้วหนึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงไป แรงดันที่เอาต์พุตก็จะเปลี่ยนตามไปด้วยซึ่งแสดงในรูปที่ 2.22 โดยเราให้แรงดันอ้างอิงเท่ากับศูนย์ที่ขั้วบวกของอินพุต ดังนั้นเมื่ออินพุตที่ขั้วลบสูงกว่าศูนย์แรงดันที่เอาต์พุตก็จะมีขนาดเป็น $-V_{cc}$ และจะเป็น $+V_{cc}$ เมื่อแรงดันลดต่ำกว่าศูนย์



รูปที่ 2.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรในรูปที่ 2.22 จะพบว่า เฟสของอินพุตและเอาต์พุตจะตรงกันข้ามเสมอ (เมื่อขนาดของสัญญาณเข้ามีค่าสูงสุด สัญญาณเอาต์พุตจะมีขนาดต่ำสุด) ดังนั้น ในกรณีที่เราต้องการให้อินพุตและเอาต์พุตมีเฟสตรงกัน เราสามารถสลับการทำงานของขั้วอินพุตได้ดังรูป 2.23 โดยเปลี่ยนให้ขั้วลบทำหน้าที่เป็นแรงดันอ้างอิงแทน

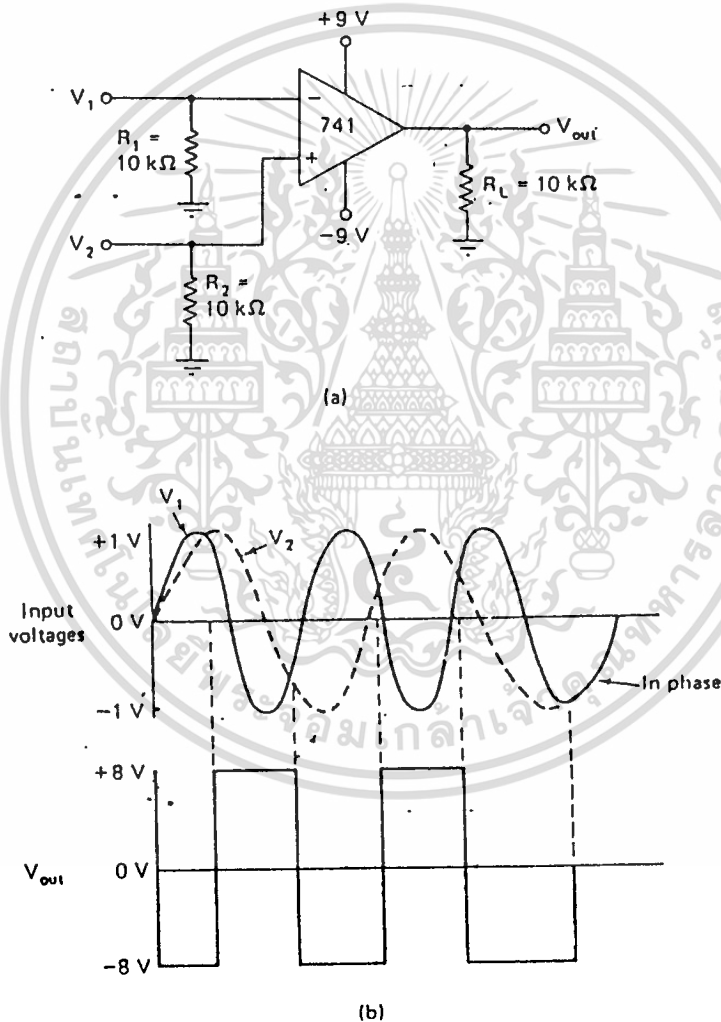


รูปที่ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเปรียบเทียบเฟสของสัญญาณ

วงจรคอมพิวเตอร์อาจถูกใช้เป็นวงจรเปรียบเทียบเฟสของสัญญาณสองตัว ซึ่งแต่ละตัวอาจมีความถี่ไม่แน่นอนนั่นคือมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลานั้นเมื่อใดก็ตามที่เฟสและขนาดของสัญญาณอินพุตทั้งสองตรงกัน เอาต์พุตของออปแอมป์มีค่าเป็นศูนย์ทันที ดังแสดงใน รูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรตรวจจับระดับแรงดัน

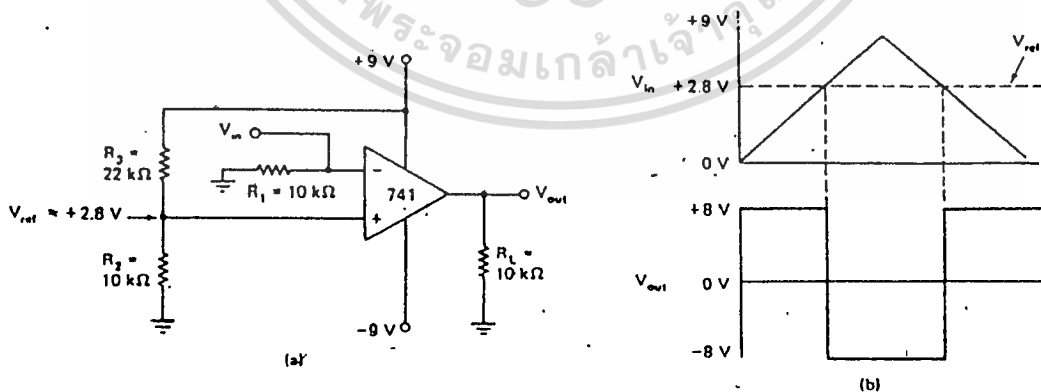
นอกจากนี้ เราสามารถใช้วงจรคอมพาราเตอร์สำหรับตรวจวัดระดับสัญญาณว่ามีค่าเท่ากับแรงดันอ้างอิงหรือยัง โดยใช้หลักการเช่นเดียวกับที่ได้ศึกษามาต่างกันเพียงการป้อนแรงดันอ้างอิงเท่านั้นแทนที่จะป้อนศักดากราวด์ เช่นเดิมโดยที่แรงดันอ้างอิง (V_{ref}) จะมีค่า

$$V_{ref} = \frac{R_2}{R_2 + R_3} (+V)$$

ตัวอย่างเช่น กรณีในรูป 2.25 V_{ref} จะมีค่าเท่ากับ

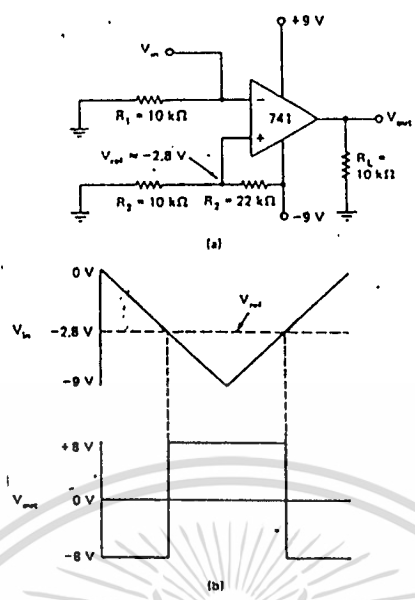
$$V_{ref} = \frac{10k}{10k + 22k} (+9V) = +2.8 V$$

ในกรณีนี้ เราป้อนแรงดันอ้างอิงที่ขั้วบวก และป้อนสัญญาณที่ต้องการจะวัด ณ 2.26 เป็นการตรวจระดับสัญญาณอ้างอิงที่เป็นลบค่าหนึ่ง



รูปที่ 2.25

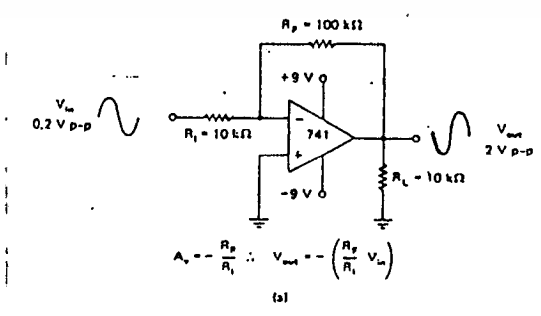
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26

วงจรขยายกลับเฟส (อินเวอร์ตติ้งแอมป์)

โดยทั่วไปวงจขยายจะหมายความถึงวงจรที่เปลี่ยนสัญญาณอินพุตน้อยๆ มาเป็นสัญญาณเอาต์พุตที่มีขนาดสูงชันกว่าเดิม ซึ่งสัญญาณที่ว่าอาจเป็นได้ทั้งแรงดันหรือกระแส ในลักษณะเดียวกันวงจขยายของออปแอมป์ก็คือวงจรที่มีอัตราขยายแรงดันสูงมากและยังมีลักษณะของการขยายเป็นเส้นตรง นั่นคือ อัตราส่วนระหว่างเอาต์พุตต่ออินพุตจะคงที่เสมอ (ในอุดมคติ) และนอกจากนี้เรายังสามารถควบคุมอัตราขยายของออปแอมป์ได้โดยอุปกรณ์ภายนอกเพียงไม่กี่ตัวดังได้อธิบายมาแล้ว



รูปที่ 2.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

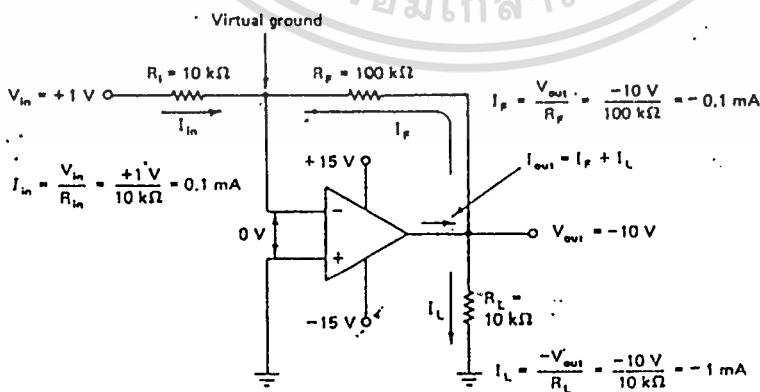
รูปที่ 2.27 แสดงวงจรขยายกลับเฟสแบบมาตรฐานซึ่งวิธีที่ใช้เป็นแบบลูปปิด เรียกว่า "การป้อนกลับแบบลบ" โดยนำเอาต์พุตซึ่งกลับเฟสกับอินพุตมาป้อนที่จุดอินพุตอีกที ผลก็คือวงจรภายในออปแอมป์จะพยายามปรับเอาต์พุตจนกระทั่งความต่างศักย์ระหว่างอินพุตมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ (แต่ต้องเข้าใจว่าแรงดันระหว่างขั้วอินพุตจะต้องไม่เท่ากับศูนย์พอดี มิฉะนั้นเอาต์พุตก็จะเท่ากับศูนย์โวลต์ด้วย กล่าวคือ ผลต่างระหว่าง V_{in} และบางส่วนของ V_{out} ที่ขั้วอินพุตลบเพียงมีค่าต่ำพอที่จะทำให้เกิดแรงดันเอาต์พุตได้พอดีเท่านั้น)

จากสมการของอัตราขยายแรงดัน A_v :

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

เราจะพิสูจน์ให้เห็นว่าค่าขยายแรงดัน A_v ของออปแอมป์เมื่อใช้ในโหมดของลูปปิด จะสามารถหาได้ด้วยสมการ

$$A_v = -\frac{R_f}{R_{in}}$$



รูปที่ 2.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาวงจรในรูป 2.28 (ซึ่งก็คือวงจรเดียวกับรูป 2.27) และจากข้อกำหนด 2 ข้อ ที่เราเคยกำหนดมาแล้ว คือ

1. ความต่างศักย์ระหว่างหัวอินพุตเท่ากับศูนย์
2. กระแสเข้าหัวอินพุตใด ๆ เท่ากันศูนย์

โดยใช้หลักการข้อกำหนดที่ 1 ซึ่งทำให้หัวอินพุตมีศักดาเทียบเท่ากับกราวด์ (ซึ่งเราเรียกว่า กราวด์เสมือน) เราสามารถเขียนได้ว่า กระแส I_{in} จะมีค่า

$$I_{in} = \frac{V_{in}}{R_{in}} = \frac{1 \text{ โวลต์}}{10 \text{ กิโลโอห์ม}} = 0.1 \text{ มิลลิแอมป์}$$

จากข้อกำหนดที่ 2 เราจะพบว่า กระแสที่ผ่าน R_F ก็จะต้องเท่ากับกระแส I_{in} ดังนั้นเราจึงสามารถหาแรงดันที่เอาต์พุตเทียบกับกราวด์ได้ โดยที่กระแส I_F จะมีค่า

$$I_F = -\frac{V_{out}}{R_F}$$

และเนื่องจาก $I_{in} = I_F$ ดังนั้น

$$\frac{V_{in}}{R_{in}} = \frac{V_{out}}{R_F}$$

นั่นคือ

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_F}{R_{in}}$$

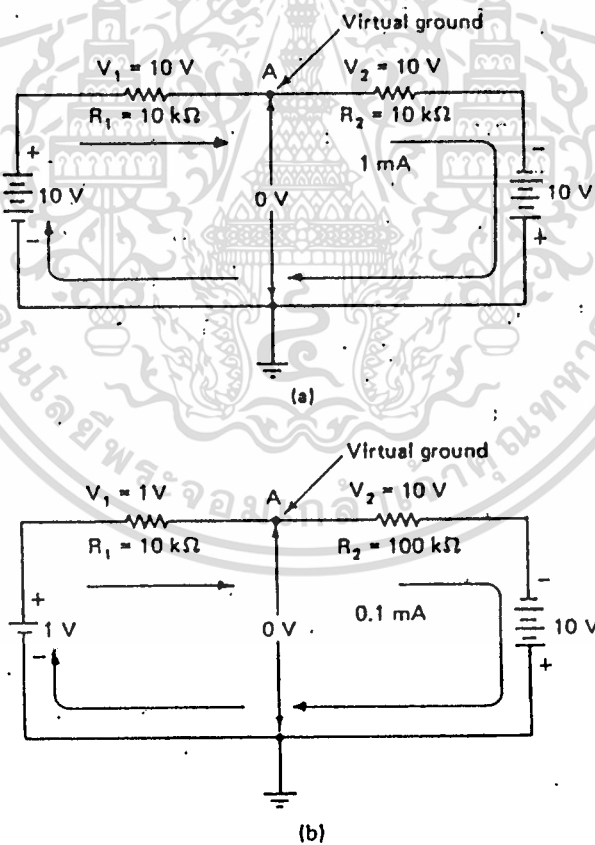
ดังนั้น ในการหา V_{out} ของวงจรรอบแอมป์เราจะได้

$$V_{out} = A_v V_{in} = -\frac{R_F}{R_{in}} V_{in}$$

โดยที่เครื่องหมายลบแสดงการกลับเฟสของเอาต์พุตเทียบอินพุต

กราวด์เสมือน

จากหัวข้อที่แล้วเราได้ศึกษาเรื่องของกราวด์เสมือนในหัวข้อนี้จะอธิบายและแสดงตัวอย่างของกราวด์เสมือนเพิ่มเติม โดยจะพิจารณารูป 2.29 a



รูปที่ 2.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.29 แสดงวงจรที่ประกอบด้วยแบตเตอรี่ขนาด 10 โวลต์ ซึ่งถูกต่ออนุกรม 2 ตัว โดยมีตัวต้านทานขนาด 10 กิโลโอห์มต่ออนุกรมอยู่ด้วย จากกฎของโอห์ม ($E = IR$) และแอสที่ไหลในวงจรจะมีค่า 1 มิลลิแอมป์ นั่นคือจะมีแรงดัน 10 โวลต์ ตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัว ดังนั้นหากพิจารณาศักดาไฟฟ้าของลูปนี้ จะพบว่าจุด A จะศักดาเป็นศูนย์ทั้ง ๆ ที่จุดนี้มิได้สัมผัสกับกราวด์แต่อย่างใดซึ่งเราเรียกจุด A นี้ว่า "กราวด์เสมือน" ส่วนวงจรในรูป 2.29 แสดงการเกิดกราวด์เสมือน โดยที่แรงดันไม่จำเป็นต้องมีค่าเท่ากันตราบใดที่อัตราการแบ่งแรงดันระหว่างตัวต้านทานทั้งสองมีขนาดพอดี

วงจร 2.29c เป็นการอธิบายกราวด์เสมือนที่เกิดขึ้นจริงในวงจรขยายของออปแอมป์แรงดัน V_{in} ซึ่งมีค่าคงที่จะบังคับออปแอมป์ขยายแรงดันอินพุตนี้จนกระทั่งถึง V_{out} ค่าหนึ่งซึ่งทำให้อัตราการแบ่งแรงดันระหว่างตัวต้านทาน R_F และ R_{in} มีขนาดพอดีที่จะทำให้ขั้วอินพุตลบมีศักดาเป็นศูนย์ นั่นคือจะเกิดกราวด์เสมือนขึ้น (หลักการมีอยู่ว่า ออปแอมป์จะบังคับตัวเองให้ความต่างศักย์ระหว่างขั้วอินพุตมีค่าเท่ากับศูนย์เสมอต่างกับวงจรในรูป 2.29 a และ b ที่เราเป็นคนจัดแรงดันจากแบตเตอรี่เพื่อให้เกิดกราวด์เสมือนขึ้นเอง)

อินพุตอิมพีแดนซ์ขณะเปิดลูป

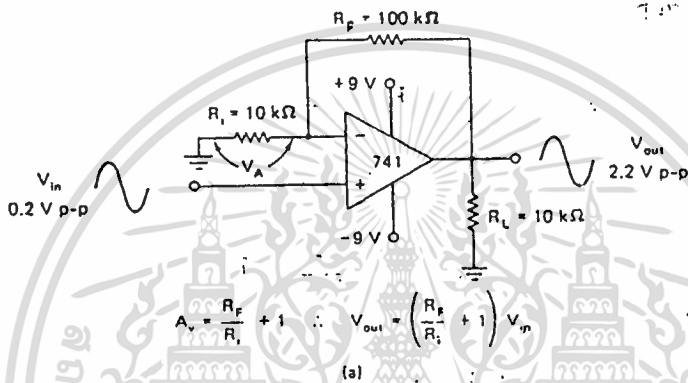
ในบทที่แล้วได้พูดถึงอินพุตอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์ในขณะที่เปิดลูป ซึ่งมีค่าเป็นอนันต์แต่ในขณะที่ทำงานเป็นอินเวอร์ตติ้งแอมป์อินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_{in}) ของวงจรจะเปลี่ยนไปโดยที่อินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรในรูป 2.27 จะมีค่า

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = R_{in}$$

นั่นคือ อินพุตอิมพีแดนซ์ในรูป 2.27 จะมีค่าเพียง 10 กิโลโอห์มเท่านั้น

วงจรขยายไม่กลับเฟส (นินอินเวอร์ตติ้งแอมป์)

วงจรขยายไม่กลับเฟสหรือนินอินเวอร์ตติ้งแอมป์จะแตกต่างกับอินเวอร์ตติ้งแอมป์ในแง่ของอัตราขยายและเฟสของเอาต์พุต แต่อย่างไรก็ตามอัตราขยายแรงดันของวงจรมินอินเวอร์ตติ้งยังถูกรวมจากอุปกรณ์ภายนอกเช่นเดิม โดยเราจะวิเคราะห์วงจรเพื่อหาค่าขยายสำหรับวงจรชนิดนี้



รูปที่ 2.30

จากรูปที่ 2.30 แรงดันอินพุตจะถูกป้อนเข้าที่ขั้วลบ (ในขณะที่สัญญาณอินพุตในวงจรชนิดอินเวอร์ตติ้งจะถูกป้อนเข้าที่ขั้วลบ) และมีแรงดัน V_A ซึ่งเกิดจากการแบ่งแรงดันของเอาต์พุตที่คร่อมตัวต้านทาน R_1 จากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่ว่า ศักดาที่ขั้วอินพุตลบจะถูกบังคับให้มีขนาดเข้าใกล้ศักดาที่ขั้วอินพุตบวกเสมอ จะได้ว่า

$$V_{in} = V_A$$

ดังนั้น เราสามารถเขียนค่าขยายแรงดัน A_v ได้เท่ากับ

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_A}$$

และเนื่องจาก V_A เกิดจากการแบ่งแรงดันของ V_{out} จะได้

$$V_A = \frac{R_{in}}{R_F + R_{in}} V_{out}$$

เมื่อจัดสมการใหม่ จะได้

$$\frac{V_{out}}{V_A} = \frac{R_F + R_{in}}{R_{in}}$$

หรือ

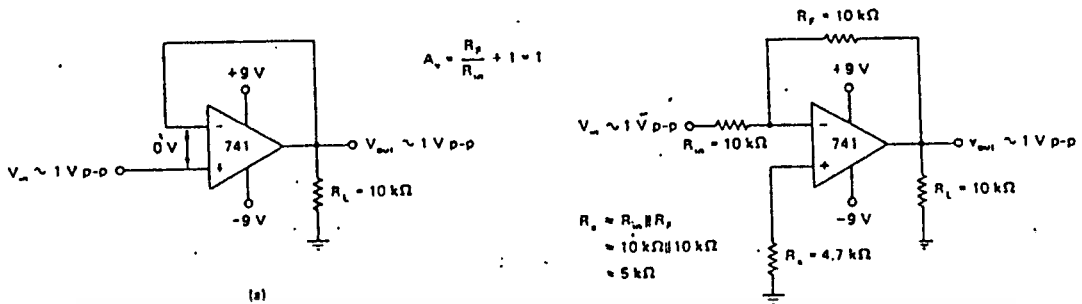
$$A_V = \frac{V_{out}}{V_A} = \frac{R_F}{R_{in}} + 1$$

นั่นคือ

$$V_{out} = \left(\frac{R_F}{R_{in}} + 1 \right) V_{in}$$

วงจรถามแรงดัน (VOLTAGE FOLLOWER)

ในบางครั้งเราอาจต้องการวงจรรอบแอมป์ซึ่งในอัตราขยายเท่ากับหนึ่งเพื่อนำไปใช้เป็นบัฟเฟอร์ ในกรณีนี้สามารถใช้วงจรมอนิเตอร์ตั้ง หรือ ฟอลโลวเวอร์ตั้งก็ได้ ดังในรูป 2.31 และ 2.31 b ตามลำดับ ซึ่งจะสามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 2.31

จากรูปที่ 2.31 เมื่อ R_f มีค่าเป็นศูนย์ อัตราขยายแรงดันจะมีค่าเป็น

$$A = \frac{R_f}{R_{in}} + 1 = \frac{0}{R_{in}} + 1 = 1$$

โดยที่แรงดันเอาต์พุตจะมีเฟสตรงกับอินพุตและยังมีขนาดเท่ากับอินพุตอีกด้วย แต่เมื่อใช้วงจรอินเวอร์ตติ้งแอมป์เป็นวงจรตามแรงดันดังรูป 2.31 จะพบว่าอัตราขยายมีค่า

$$A_v = - \frac{R_f}{R_{in}} = - \frac{10 \text{ k}}{10 \text{ k}} = -1$$

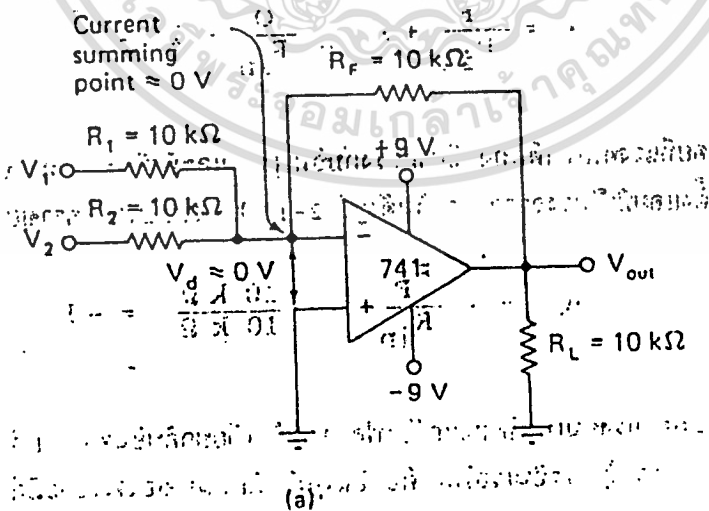
นั่นคือ แรงดันเอาต์พุตจะกลับเฟส 180 เทียบกับอินพุตแต่จะมีขนาดเท่ากัน อย่างไรก็ตามข้อเสียของการใช้วงจรอินเวอร์ตติ้ง คืออินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรจะมีค่าลดลงเหลือเพียงเท่ากับความต้านทานของ R_{in} (10 k) ส่วนต้านทาน R_x ที่ขั้วบวกมีไว้เพื่อลดกระแสออฟเซ็ทที่อินพุต (ทำให้เกิดสมดุลที่ขั้วอินพุตทั้งสอง) ค่า R_x นี้ควรมีขนาดประมาณ R_{in} ขนาดกับ R_f ($R_{in} \approx R_f$)

วงจรประยุคต์ของออปแอมป์

จากหลักการของวงจรพื้นฐานที่กล่าวมาทั้งหมด เราสามารถนำออปแอมป์ไปประยุคต์ใช้งานได้หลายรูปแบบ เช่น เป็นวงจรบวกแรงดันวงจรขยายผลรวมของแรงดัน วงจรลบแรงดัน และวงจรขยายผลต่างของแรงดัน เป็นต้น

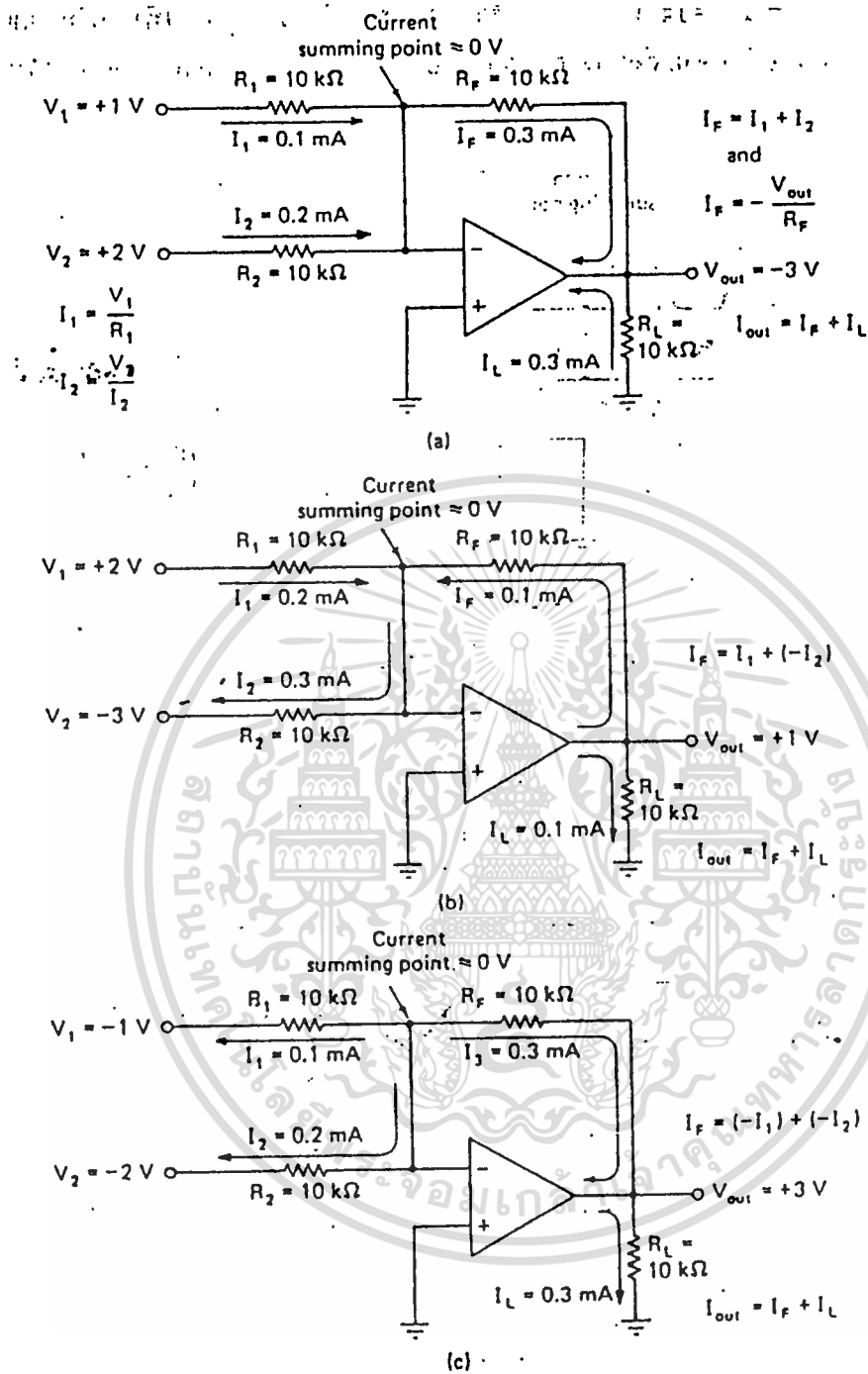
รูปที่ 2.32 แสดงวงจรบวกแรงดัน และตารางตัวอย่าง ส่วนรูปที่ 2.33 แสดงการวิเคราะห์การทำงานของวงจรชนิดนี้ ซึ่งสามารถอธิบายโดยใช้หลักที่ว่าผลรวมเชิงพีชคณิตของกระแส ณ จุดกราวด์เสมือนจะทำให้เกิดแรงดันเอาต์พุตซึ่งมีขนาดเท่ากับผลคูณ R_F กับผลรวมของกระแสเหล่านี้ ดังนั้น แรงดันเอาต์พุต จึงเปรียบเสมือนผลรวมเชิงพีชคณิตของแรงดันอินพุตทั้งหมดด้วย

นั่นคือ $V_{รวม} = I_F R_F = (I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n) R_F$
 และเนื่องจาก $R_1 = R_2 = \dots = R_n = R_F$ จะได้ว่า
 $V_{รวม} = I_1 R_1 + I_2 R_2 + \dots + I_n R_n$
 $V_{รวม} = V_1 + V_2 + \dots + V_n$



รูปที่ 2.32

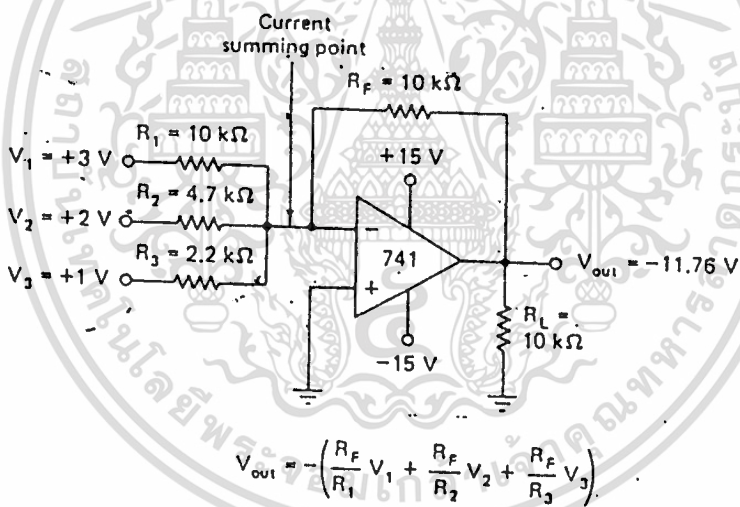
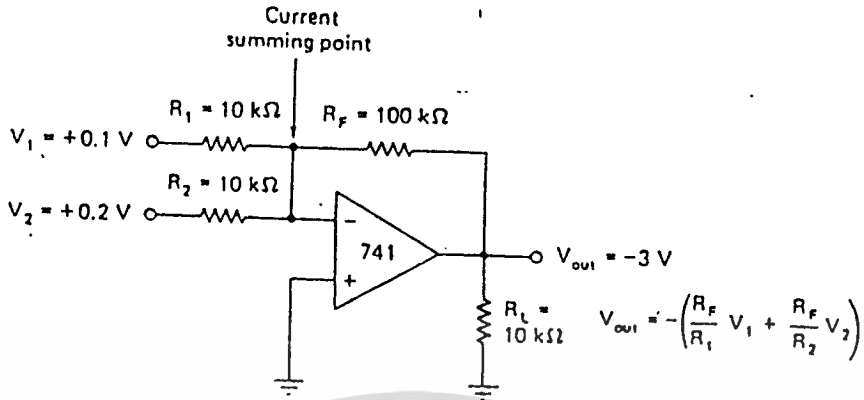
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33

และในกรณีที่ ต้องการให้ผลรวมนี้ถูกขยายด้วยค่าหนึ่ง ก็สามารถทำได้โดย เปลี่ยนความต้านทานดังรูป 2.34 ผลก็คืออัตราขยายจะเพิ่มขึ้นเป็น 10 เท่าหรือ หากต้องการรวมอินพุตหลายๆ ตัวโดยที่อินพุตแต่ละตัวขยายด้วยอัตราขยายต่างกัน ก็สามารถให้วงจรในรูป 2.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะโดยทางตรงหรือทางอ้อม หากฝ่าฝืนให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ส่วนวงจรในรูป 2.36 แสดงการใช้โอปแอมป์เป็นวงจรลบแรงดัน โดยเป็นการรวมวงจรชนิดอินเวอร์ตติ้งแอมป์และนินอินเวอร์ตติ้งแอมป์เข้าด้วยกันผลคือ เกิดการหักล้างกันที่เอาต์พุตขึ้น (เนื่องจากเฟสวงจรแต่ละชนิดจะตรงกันข้าม) และเราสามารถวิเคราะห์สมการสำหรับหา V_{out} ได้โดยแรงดันที่เข้าอินพุตบวกจะเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v+ = \frac{R_x}{R_e + R_x} V_e$$

และจากการวิเคราะห์วงจรแบบอินเวอร์ตติ้งทั่วไปโดยมี $v+$ เป็นแรงดันอ้างอิงที่ขั้วอินพุตบวก จะได้

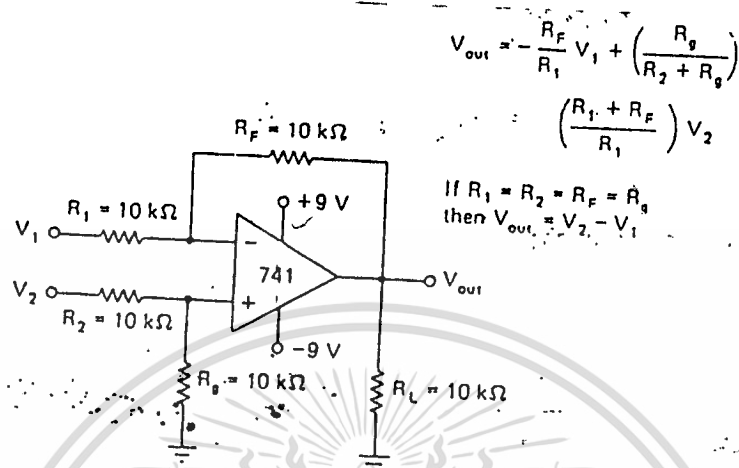
$$\begin{aligned} \frac{V_1 - v+}{R_1} &= - \frac{(V_o - v+)}{R_F} \\ V_o - v+ &= - \frac{R_F}{R_1} (V_1 - v+) \\ V_o &= - \frac{R_F}{R_1} V_1 + \frac{R_F}{R_1} (v+) + v+ \\ &= - \frac{R_F}{R_1} V_1 + \left(\frac{R_F}{R_1} + 1 \right) v+ \\ &= - \frac{R_F}{R_1} V_1 + \left(\frac{R_F}{R_1} + R_1 \right) \left(\frac{R_x}{R_e + R_x} \right) V_e \end{aligned}$$

และหาก $R_1 = R_e = R_F = R_x$ จะได้

$$V_{out} = V_e - V_1$$

ส่วนวงจร 2.37 แสดงวงจรลบแรงดันซึ่งมีการขยายสัญญาณที่เอาต์พุตด้วย ซึ่งเรายังสามารถนำสมการของวงจรลบแรงดันมาใช้ได้ และเมื่อ $R_2 = R_1$ จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36

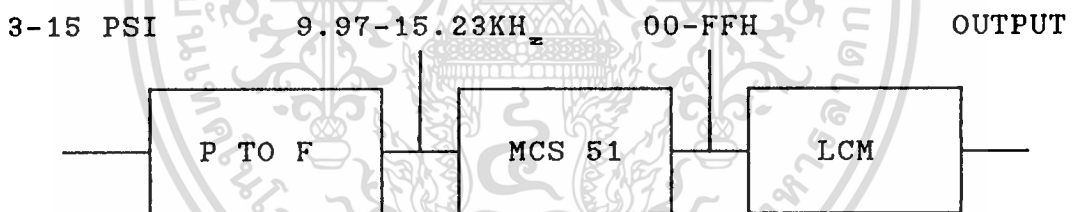
$$V_{out} = \frac{R_F}{R_1} (V_2 - V_1)$$

จะสังเกตว่าวงจรนี้ทำหน้าที่คล้ายคอมพาราเตอร์ แต่ต่างกันตรงที่สามารถขยายสัญญาณผลต่างๆได้ (ในขณะที่วงจรคอมพาราเตอร์เพียงแต่สามารถ "ตรวจจับ" ความแตกต่างเท่านั้น) อย่างไรก็ตามวงจรนี้มีข้อเสียที่มีอินพุตอิมพีแดนซ์ค่อนข้างต่ำในบางครั้ง จึงอาจจำเป็นต้องใช้วงจรตามแรงดันเป็นบัฟเฟอร์ก่อนเข้าวงจรลบแรงดัน

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

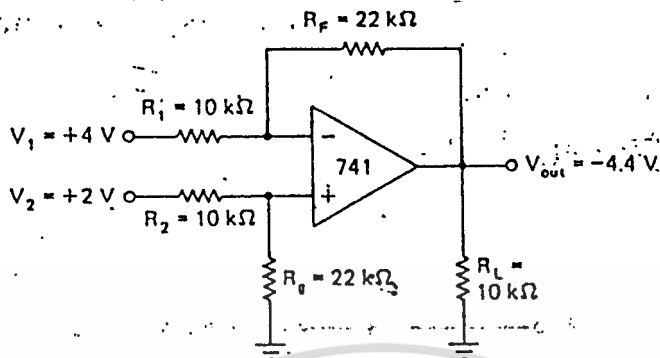
การใช้งานร่วมกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 นี้กับรีโซแนนท์ทรานสดิวเซอร์นี้จะต้องสร้างวงจรเชื่อมต่อต่างๆ เมื่อนำเอาสัญญาณจากเซ็นเซอร์ คือ MPX 100 DP มาเป็นความถี่โดยใช้แทนรีโซแนนท์ทรานสดิวเซอร์ เมื่อนำเข้าสู่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 และสัญญาณที่ออกจาก MCS-51 นี้จะเป็นสัญญาณดิจิทัลซึ่งสามารถทำการแปลง ให้เป็นสัญญาณอนาล็อกอีกทีโดยใช้วงจร D/A คอนเวอร์เตอร์ซึ่งผลลัพธ์คือสัญญาณ เอาท์พุทที่ได้จากวงจรนี้คือ 1-5 Vdc ซึ่งเป็นสัญญาณควบคุมมาตรฐาน



วงจร P to F

วงจรนี้จะทำหน้าที่แปลงความดัน 3-15 Psi ให้เป็นความถี่ซึ่งจะอยู่ในช่วง 10 kHz - 15 kHz ตามค่าที่ได้คำนวณไว้วงจรนี้จะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ เป็นการชดเชยอุณหภูมิ แล้วก็ส่วนที่ทำการขยายและส่วนสุดท้าย คือ ส่วนที่ทำการเปลี่ยนแปลงจากความดันให้เป็นความถี่โดยใช้ IC เบอร์ MC 1455 ซึ่งเอาท์พุทที่ออก MC 1455 นี้จะมีค่าสูงถึง 10 Vp-p เพราะฉะนั้นเราจึงทำการลดทอนสัญญาณให้ลงเหลือ 5 Vp-p โดยใช้หลักการของการแบ่งแรงดันตามรูปวงจรถ่ายภาพข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$I_1 \frac{R_F + R_1}{R_1} = \frac{R_0}{R_2}$$

$$V_{out} = \frac{R_F}{R_1} V_1 + \left(\frac{R_0}{R_2 + R_0} \right) \left(\frac{R_1 + R_F}{R_1} \right) V_2$$

then $V_{out} = -\frac{R_F}{R_1} (V_2 - V_1)$

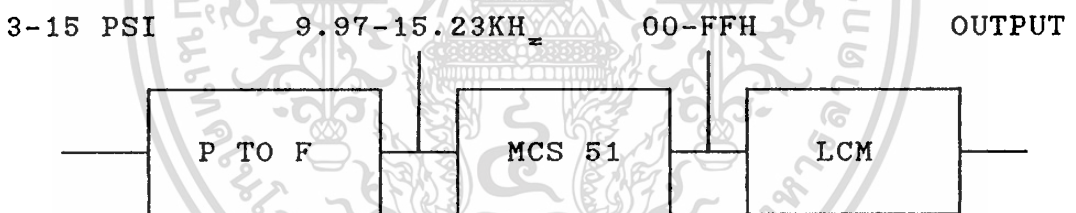
รูปที่ 2.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

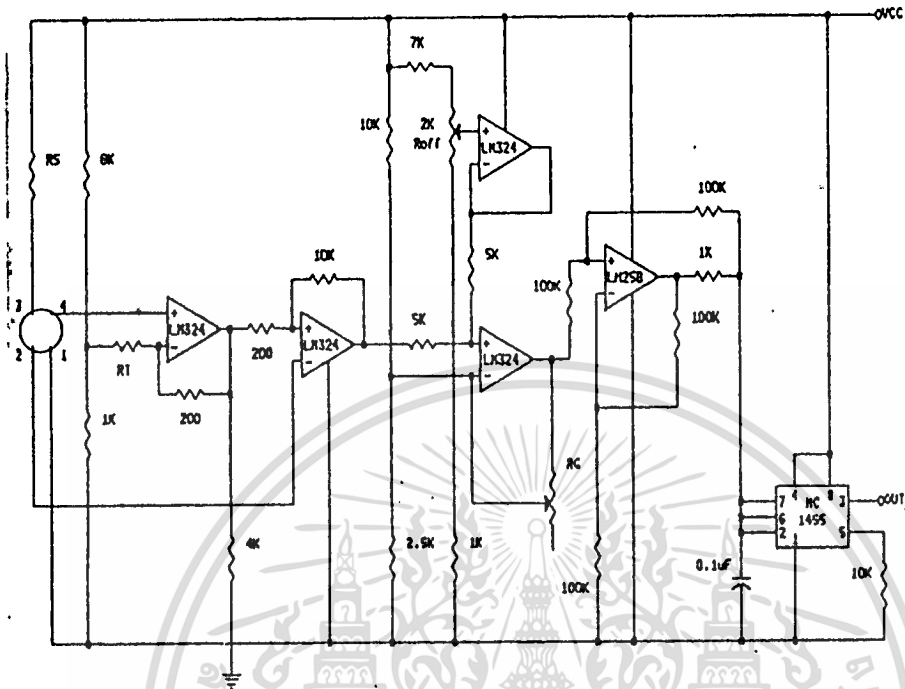
การใช้งานร่วมกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 นี้กับรีโซแนนท์ทรานสดิวเซอร์นี้จะต้องสร้างวงจรเชื่อมต่อต่างๆ เมื่อที่จะนำเอาสัญญาณจากเซ็นเซอร์ คือ MPX 100 DP มาเป็นความถี่โดยใช้แทนเรโซแนนท์ทรานสดิวเซอร์ เมื่อที่จะเข้าสู่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 และสัญญาณที่ออกจาก MCS-51 นี้จะเป็นสัญญาณดิจิตอลซึ่งสามารถทำการแปลง ให้เป็นสัญญาณอนาล็อกอีกทีโดยใช้วงจร D/A คอนเวอร์เตอร์ซึ่งผลลัพธ์คือสัญญาณ เอาท์พุทที่ได้จากวงจรนี้คือ 1-5 Vdc ซึ่งเป็นสัญญาณควบคุมมาตรฐาน



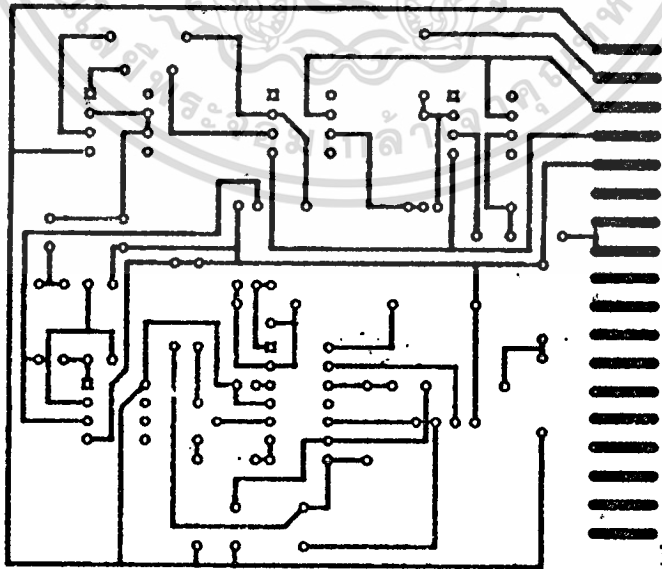
วงจร P to F

วงจรนี้จะทำหน้าที่แปลงความดัน 3-15 Psi ให้เป็นความถี่ซึ่งจะอยู่ในช่วง 10 kHz - 15 kHz ตามค่าที่ได้คำนวณไว้วงจรนี้จะประกอบไปด้วยส่วนๆ เป็นการชดเชยอุณหภูมิ แล้วก็ส่วนที่ทำการขยายและส่วนสุดท้าย คือ ส่วนที่ทำการเปลี่ยนแปลงจากความดันให้เป็นความถี่โดยใช้ IC เบอร์ MC 1455 ซึ่งเอาท์พุทที่ออก MC 1455 นี้จะมีค่าสูงถึง 10 Vp-p เพราะฉะนั้นเราจึงทำการลดทอนสัญญาณให้ลงเหลือ 5 Vp-p โดยใช้หลักการของการแบ่งแรงดันตามรูปวงจรที่ปรากฏข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 วงจรเปลี่ยนความดันให้เป็นความถี่



รูปที่ 3.2 ลายวงจรของ P to F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเขียนโปรแกรมลงบนบอร์ด V-31

เทคนิคการโปรแกรมบนบอร์ด V-31 เพื่อวัดความถี่ของทรานสดิวเซอร์ หมายถึงนับพัลส์ของ ทรานสดิวเซอร์ ในช่วงเวลาสุ่มที่ต้องการ ค่าที่นับได้มาจาก $T * F$ เมื่อ T คือเวลาสุ่มและ F คือ ความถี่ ในกรณีของค่าเอาต์พุต 8 บิตค่าที่นับได้จะอยู่ในช่วง 0-255 นับ ค่าย่านวัดเต็มสเกล คือ $T * (F_{max} - F_{min})$ สำหรับค่าความละเอียด 8 บิต

$$T = \frac{2^8}{F_{max} - F_{min}}$$

ก) สำหรับความถี่ 10KHz-15KHz

$$\text{เวลาสุ่ม } T = \frac{255}{(15-10) * 10^3}$$

$$\text{ค่าที่นับได้น้อยที่สุด } 51 * 10^{-3} * 10 * 10^3 = 510 \text{ count}$$

$$\text{ค่าที่นับได้สูงสุด } 51 * 10^{-3} * 15 * 10^3 = 765 \text{ count}$$

$$\text{ค่าที่ส่งออกจาก v-31 ต่ำสุด } = 510 - 510 = 00d = 00h$$

$$\text{ค่าที่ส่งออกจาก v-31 สูงสุด } = 765 - 510 = 255d = 0FFh$$

ซึ่งในโปรแกรมจะจัดให้ T0 เป็นตัวนับ และ T1 เป็นตัวกำหนดค่าเวลาสุ่ม โดยค่าจะป้อนค่า 2's complement ของค่าเวลาสุ่มที่คำนวณได้

$$(51ms * 11.0592MHz) / 12 = -47001.6 = 4867 H$$

$$\text{ดังนั้นค่า Reload ของ T1 } = 4 H$$

ข) โปรแกรมสำหรับรับค่าจาก P to F

$$\text{เวลาสุ่ม } T = 255 / (15.23 - 9097) * 10^3 = 48048 \text{ ms}$$

$$\text{ค่าที่นับได้น้อยที่สุด } 48.48 * 10^{-3} * 9.97 * 10^3 = 1E3$$

$$\text{ค่าที่นับได้มากที่สุด } 48.48 * 10^{-3} * 15.23 * 10^3 = 2E2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกันกับความถี่ 10-15 kHz กำหนดให้ TO เป็นตัวนับ T1 ใช้สำหรับตั้ง เวลาสุ่ม ค่า Reload ของ T1 ได้ดังนี้

$$48.48 \text{ mS} * 11.0592 \text{ Mhz}/12 = -44679.168$$

$$= 5179 \text{ h}$$

แนวทางการใช้งาน LCD MODULE

ในปัจจุบัน LCD เป็นที่นิยมใช้กันอย่างมากสำหรับการแสดงผลในเครื่องมือ เครื่องใช้ต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากมีความเหมาะสมด้วยประการทั้งปวงทั้งในด้านของการกินกระแสต่ำสามารถแสดงผลเป็นตัวอักษรและตัวเลข หรือแสดงเป็นกราฟิกได้ (เฉพาะรุ่น) จะติดปัญหาที่คือในด้านวงจรซึ่งมีระบบการทำงานที่ซับซ้อน และหาอุปกรณ์ได้ค่อนข้างยากแต่ขณะนี้ผู้ผลิต LCD จะทำรุ่นที่เป็น LCD MODULE ออกมา คือเป็น MODULE ที่มีตัว LCD และวงจรควบคุมมาให้พร้อม (เรียกว่า LCM) ซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถต่อเข้ากับระบบไมโครได้ง่ายและสะดวก สำหรับการเขียนโปรแกรม รวมทั้งมีจำหน่ายกันอย่างกว้างขวางและมีราคาที่เหมาะสม ทำให้ผู้ใช้ทางด้านไมโครหันมาใช้แผงแสดงด้วย LCD MODULE กันมากขึ้น

LCD MODULE มีอยู่มากมายหลายรุ่นและมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลักคือแบบ DOT MATRIX และ GRAPHIC โดยแบบ DOT MATRIX จะแสดงผลเป็นตัวอักษรขนาด 5*8 DOT และมีจำนวนอักษรและบรรทัดแตกต่างกันไปในแต่ละรุ่นส่วนแบบ GRAPHIC จะสามารถแสดงผลในแบบ BIT-MAP คือจะสร้างเป็นภาพใด ๆ ก็ได้ตามต้องการ แนวทางในการใช้งานของทั้ง 2 แบบ จะมีลักษณะใกล้เคียงกัน การใช้งานโดยทั่วไปมักจะใช้แบบ DOT MATRIX มากกว่า เนื่องจากมีราคาถูก และเพียงพอต่องานส่วนใหญ่ และคู่มือเล่มนี้ก็จะกล่าวถึงการใช้งานแบบ DOT MATRIX เท่านั้น คุณสมบัติของ DOT MATRIX LCD MODULE สามารถสรุปเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

1. มีให้เลือกหลายรุ่นตามการใช้งาน โดยมีจำนวนตัวอักษรและบรรทัดแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างกันไป

2. ตัวอักษรแสดงด้วย DOT MATRIX ขนาด 5*8 DOT
3. สามารถต่อเข้ากับระบบไมโครได้ 2 ลักษณะ คือแบบ MEMORY MAP (20-PIN LCD BUS) และแบบผ่าน 8255 PORT (26-PIN 8255 BUS) โดยในกรณี 26-PIN 8255 BUS จะใช้แผ่น PCB (DMCAD) เป็นตัว ADAPTOR ทำให้เป็น 8255 BUS อีกที
4. การใช้งานง่ายและสะดวก ระบบไมโครเพียงแค่ส่งข้อมูลให้กับ LCD MODULE เท่านั้น ข้อความก็จะปรากฏบนแผงแสดงและจะคงค้างไว้ตลอดทำให้ไม่เสียเวลาหลักของระบบไมโคร
5. มีคำสั่งพิเศษสำหรับอำนวยความสะดวกมากมายเช่น CLEAR DISPLAY , HOME CURSOR , ON OFF CURSOR , BLINK CHARACTER และอื่น ๆ อีก
6. สามารถแสดงผลเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษและตัวเลขได้ 160 ตัว และสัญลักษณ์พิเศษอีก 32 ตัวรวมทั้งสามารถกำหนดอักษรที่ออกแบบเองได้อีก 8 ตัว
7. กินกระแสไฟน้อยและมีน้ำหนักเบา รวมทั้งทำงานได้ด้วยไฟเลี้ยงระดับ 5V เท่านั้น

ขาสัญญาณของ LCD MODULE

| PIN | SYMBOL | LEVEL | FUNCTION |
|-----|--------|-------|---|
| 1 | Vss | --- | 0 V GND |
| 2 | Vcc | --- | + 5 V POWER SUPPLY |
| 3 | Vee | --- | + V FOR LIQUID CRYTAL DRIVE |
| 4 | RS | H/L | REGISTER SELECT H: DATA INPUT L: INSTRUCTION INPUT |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

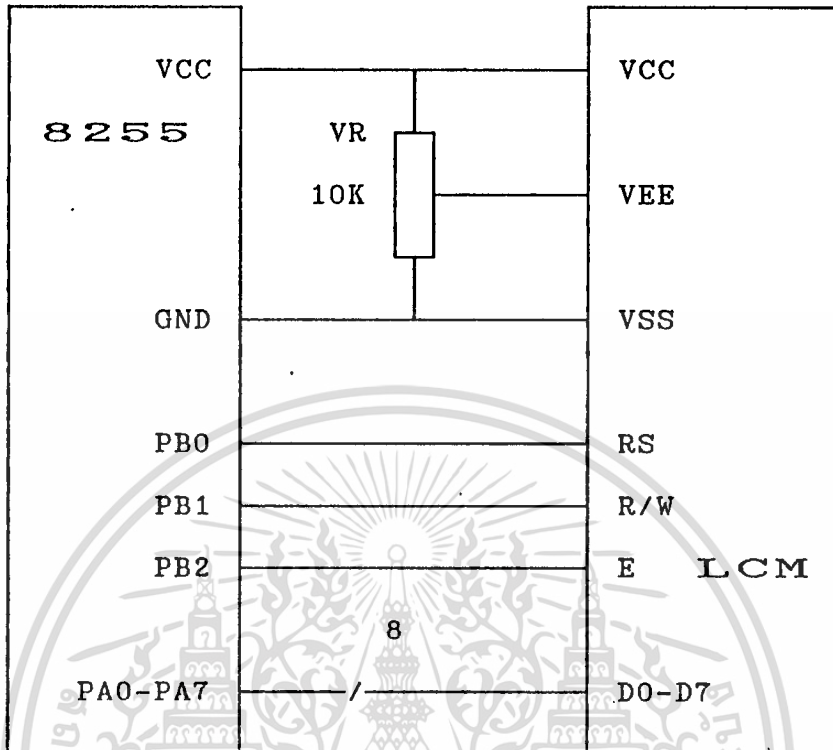
| | | | |
|----|------|-----|----------------------------|
| 5 | R/W | H/L | H: DATA READ L: DATA WRITE |
| 6 | E | H | ENABLE SIGNAL (L->H) |
| 7 | DB 0 | H/L | DATA BUS BIT 0 |
| 8 | DB 1 | H/L | DATA BUS BIT 1 |
| 9 | DB 2 | H/L | DATA BUS BIT 2 |
| 10 | DB 3 | H/L | DATA BUS BIT 3 |
| 11 | DB 4 | H/L | DATA BUS BIT 4 |
| 12 | DB 5 | H/L | DATA BUS BIT 5 |
| 13 | DB 6 | H/L | DATA BUS BIT 6 |
| 14 | DB 7 | H/L | DATA BUS BIT 7 |

การต่อเข้ากับระบบไมโคร

การต่อแบบ I/O PORT

1. สามารถต่อเข้ากับ I/O PORT ใดๆ ก็ได้โดยใช้สายสัญญาณจำนวน 11 เส้น และใช้โปรแกรมเป็นตัวสร้างสัญญาณขึ้นมาให้ตรงกับข้อกำหนดของ LCD MODULE
2. ผู้ใช้จะเขียนข้อมูลให้ LCD MODULE ได้อย่างเดียวซึ่งผู้ใช้ควรจะกำหนด MEMORY ส่วนหนึ่งให้เป็นเสมือน BUFFER ให้กับ LCD MODULE อีกที
3. เนื่องจากไม่สามารถอ่านข้อมูลกลับได้ จึงต้องให้การหน่วงเวลาของระบบไมโครเอง เพื่อรอให้ LCD MODULE กระทำขบวนการต่าง ๆ
4. ใช้ได้กับบอร์ดทั่ว ๆ ไปที่มี PORT
5. ไม่เปลืองส่วนของ MEMORY ในการใช้งาน
6. การจัดหาสัญญาณกระทำได้อย่างอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชุดคำสั่งควบคุมและการแสดงข้อความ

การเขียนหรืออ่านข้อมูลกับ LCD MODULE ก็คือการกำหนดคุณสมบัติต่าง ๆ ในการใช้งานของ LCD ตามชุดคำสั่งควบคุม และรวมถึงการเขียนข้อมูลที่เป็นข้อความ เพื่อให้ปรากฏบนแผงแสดงด้วย โดยมีรายละเอียดตามตารางต่อไปนี้

| INSTRUCTION | R / S | R / W | DATA BIT | | | | | | | | EXE. TIME () | |
|-----------------|-------|-------|------------|---------------|---------------|----|-----|-----|---|-----|---------------|------|
| | | | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| CLEAR DISPLAY | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1640 |
| CURSOR AT HOME | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | * | 1640 |
| ENTRY MODE SET | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | I/D | S | 40 |
| DISPLAY ON/OFF | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | D | C | B | 40 |
| DISPLAY SHIFT | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | S/C | R/L | * | * | * | 40 |
| FUNCTION SET | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | DL | N | F | * | * | * | 40 |
| SET CGRAM ADD. | 0 | 0 | 0 | 1 | CGRAM ADDRESS | | | | | | | 40 |
| SET DDRAM ADD. | 0 | 0 | 1 | DDRAM ADDRESS | | | | | | | 40 | |
| BUSY, ADD. READ | 0 | 1 | BF | ADDRESS | | | | | | | 0 | |
| CGRAM, DDRAM WR | 1 | 0 | WRITE DATA | | | | | | | 40 | | |
| CGRAM, DDRAM RD | 1 | 1 | READ DATA | | | | | | | 40 | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางการเขียนโปรแกรมควบคุม

1. เมื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ LCD MODULE ครั้งแรกภายในจะมีการ RESET ระบบโดยอัตโนมัติซึ่งจะใช้เวลา 10 ms หลังจากที่ระดับแรงไฟขึ้นถึง 4.5V แล้ว ทั้งนี้ระบบ RESET ดังกล่าวจะกระทำสิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ทำการ CLEAR จอภาพทั้งหมด (CLEAR DISPLAY)
- กำหนดคุณสมบัติด้วยคำสั่ง FUNCTION SET คือ DL = 1 (ติดต่อกับไมโครในแบบ 8 BIT) , N = 0 (แสดงข้อมูล 1 บรรทัด) , F = 0 (กำหนดตัวอักษรแบบ 5 * 7 DOTS)
- กำหนดคุณสมบัติด้วยคำสั่ง DISPLAY ON/OFF คือ D = 0 (ไม่แสดงข้อมูล) , C = 0 (CURSOR OFF) , B = 0 (BLINK OFF)
- กำหนดคุณสมบัติด้วยคำสั่ง ENTRY MODE SET คือ I/D = 1 (INCREMENT) , S = 0 (NO SHIFT)

การใช้งาน LCD MODULE ต้องรอให้ขบวนการ RESET ภายในทำงานเรียบร้อยแล้ว ซึ่งจะตรวจสอบได้ด้วย BF (BUSY FLAG) หรืออาจจะใช้การหน่วงเวลาก็ได้

2. การใช้งาน LCD MODULE จะเกี่ยวข้องกับทางด้านโปรแกรมเป็นส่วนใหญ่ ชุดคำสั่งต่างๆ รวมทั้งการอ่านหรือเขียนข้อมูลนั้นจะถูกกำหนดด้วยคำสั่งเฉพาะทั้งหมดที่มีอยู่ ปกติโปรแกรมจะต้องกำหนดคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ต้องการไว้ที่ส่วนต้น และจากนั้นก็จะเป็นการอ่านและเขียนข้อมูลลงใน DDRAM ซึ่งก็คือข้อความที่จะให้แสดงนั่นเอง

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้ จะเป็นการแสดงผลการทดลองซึ่งมี 3 การทดลองคือ

1. การวัดความถี่ 20-25 KHz ด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 ซึ่งเป็น การทดลองโปรแกรมกับสัญญาณ Simulated ขึ้นมาแล้วนำค่าออกแสดง
2. การเปลี่ยนความดันเป็นความถี่เพื่อหาคุณสมบัติ ของวงจรและตัวตรวจ จับในการวัดความดันและการกำเนิดความถี่
3. การเปลี่ยนความดันเป็นสัญญาณดิจิทัล 8 บิต และแรงดัน 1-5 โวลต์ กระแสตรงเพื่อทดลองเครื่องมือที่สร้างขึ้นว่าสามารถแสดงค่าได้อย่างเที่ยงตรง

ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองนี้จะสรุปอยู่ในบทต่อไป

การทดลองที่ 4.1 วัดความถี่ 10-15 KHz โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051

วัตถุประสงค์

1. เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของสัญญาณที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถวัดได้
2. เพื่อยืนยันว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 สามารถรับสัญญาณที่เป็นความถี่ได้
3. เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ในโครงการ

วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณ
2. ออสซิลอสโคป
3. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์
4. เครื่องวัดความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์
6. อีพรอมอีมูเลเตอร์
7. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์
8. เครื่องแปลง ดิจิตอลเป็นอนาลอก (8 บิต เป็น 1-5 โวลต์กระแสตรง)
เครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้า

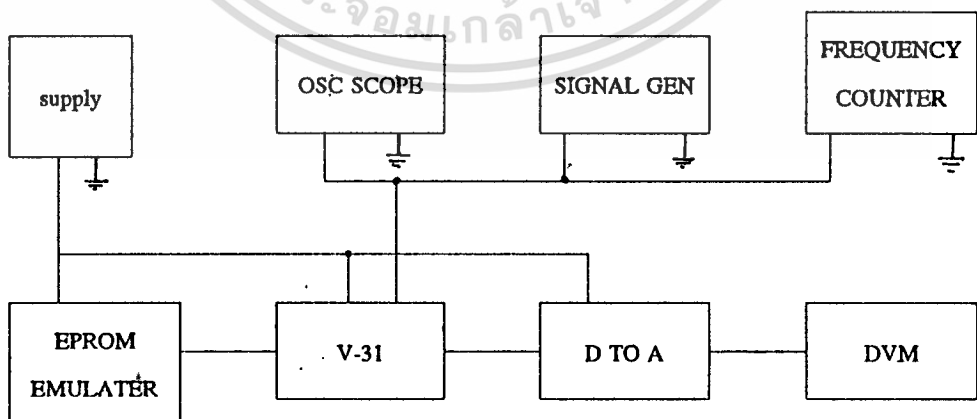
ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมตรวจจับ ความถี่ 10-15 KHz โดยอาศัยหลักการในบทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง ซึ่งได้ค่า

$$\text{เวลาลุ่มตัวอย่าง} = \frac{256}{(15-10) \times 10^3} = 48.67 \text{ ms}$$

$$\text{ค่าที่จะใส่ให้การ Timer\#1} = \frac{48.67 \text{ ms} \times 11.0592 \text{ MHz}}{12} = 50 \text{CAH}$$





2. ประกอบวงจรการทดลองดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปรับสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ โดยดูจากออสซิลโลสโคปและเครื่องวัดความถี่ให้ได้ความถี่ 10 KHz โดยมีรูปคลื่นแบบพัลส์ duty cycle 50% ความสูง 0-5 v บันทึกในตาราง
4. ทำเช่นเดียวกับข้อ 3 ที่ความถี่ต่างๆจนถึง 15 KHz ดังค่าในตารางบันทึกผล
5. เปลี่ยนเป็นรูปคลื่นแบบสามเหลี่ยมพัลส์ที่ duty cycle 80% และรูปคลื่นแบบสามเหลี่ยม Duty cycle 80% โดยทำซ้ำดังข้อที่ 3

| ความถี่ | ค่าที่ได้จาก | Duty 50% | | Duty 80% | |
|---------|--------------|---|---|--|---|
| | |  |  |  |  |
| 10 | 1 | 1.0 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 10.5 | 1.4 | 1.39 | 1.39 | 1.39 | 1.39 |
| 11 | 1.8 | 1.80 | 1.80 | 1.80 | 1.80 |
| 11.5 | 2.2 | 1.19 | 1.19 | 1.19 | 1.19 |
| 12 | 2.6 | 2.60 | 2.60 | 2.60 | 2.60 |
| 12.5 | 3 | 2.99 | 2.99 | 2.99 | 2.99 |
| 13 | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 3.4 |
| 13.5 | 3.8 | 3.79 | 3.79 | 3.79 | 3.79 |
| 14 | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 4.2 |
| 14.5 | 4.6 | 4.59 | 4.39 | 3.39 | 3.39 |
| 15 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |

ตารางที่ 4.1 บันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.2 การเปลี่ยนความดันให้เป็นความถี่

วัตถุประสงค์

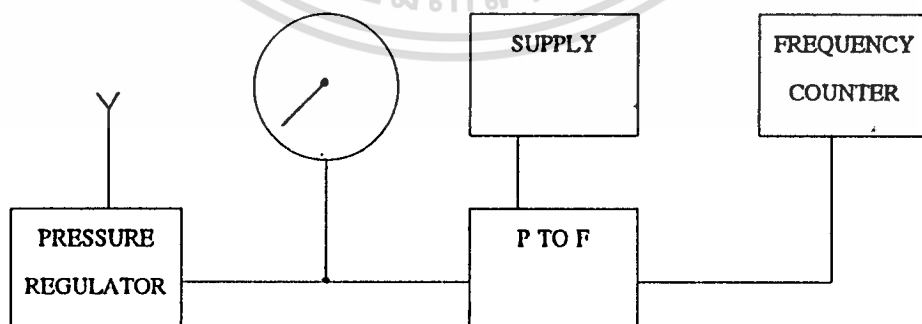
1. เพื่อหาคุณสมบัติของเครื่องเปลี่ยนความดันเป็นความถี่ที่สร้างขึ้น
2. เพื่อหาความถี่ความดันต่าง ๆ กันเพื่อนำไปใช้ในการโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ 8052

วัตถุประสงค์

1. เครื่องจ่ายความดันลม 3-15 psi
2. เครื่องวัดความดันมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ
3. เครื่องวัดความถี่
4. เครื่องแปลงความดันเป็นความถี่
5. เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้า

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ต่ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปรับความดันที่ 3 psi อ่านค่าความถี่ที่ได้บันทึกลงตาราง

3. ทำซ้ำข้อ 2 จนครบค่าความดันในตาราง

| ความดัน (psi) | ความถี่ (KH _x) | ความดัน (psi) | ความถี่ (KH _z) |
|---------------|----------------------------|---------------|----------------------------|
| 3 | 9.97 | 9 | 13.14 |
| 3.2 | 10.10 | 9.2 | 13.17 |
| 3.4 | 10.27 | 9.4 | 13.22 |
| 3.6 | 10.41 | 9.6 | 13.27 |
| 3.8 | 10.52 | 9.8 | 13.32 |
| 4 | 10.64 | 10 | 13.35 |
| 4.2 | 10.77 | 10.2 | 13.37 |
| 4.4 | 10.89 | 10.4 | 13.43 |
| 4.6 | 11.03 | 10.6 | 13.59 |
| 4.8 | 11.11 | 10.8 | 13.70 |
| 5 | 11.25 | 11 | 13.72 |
| 5.2 | 11.38 | 11.2 | 13.74 |
| 5.4 | 11.51 | 11.4 | 13.83 |
| 5.6 | 11.64 | 11.6 | 13.94 |
| 5.8 | 11.77 | 11.8 | 14.10 |
| 6 | 11.96 | 12 | 14.22 |
| 6.2 | 12.15 | 12.2 | 14.33 |
| 6.4 | 12.34 | 12.4 | 14.42 |
| 6.6 | 12.49 | 12.6 | 14.51 |
| 6.8 | 12.59 | 12.8 | 14.61 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | |
|-----|-------|------|-------|
| 7 | 12.67 | 13 | 14.67 |
| 7.2 | 12.76 | 13.2 | 14.75 |
| 7.4 | 12.84 | 13.4 | 14.84 |
| 7.6 | 12.91 | 13.6 | 14.85 |
| 7.8 | 12.98 | 13.8 | 14.90 |
| 8 | 13.02 | 14 | 14.95 |
| 8.2 | 13.04 | 14.2 | 15.02 |
| 8.4 | 13.05 | 14.4 | 15.08 |
| 8.6 | 13.06 | 14.6 | 15.14 |
| 8.8 | 13.09 | 14.8 | 15.19 |
| | | 15 | 15.23 |

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการเปลี่ยนความดันเป็นความถี่

การทดลองที่ 4.3 การเปลี่ยนความดันให้เป็น แรงดันและดิจิตอล 8 บิต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อตรวจสอบ เครื่องเปลี่ยนความดันเป็นสัญญาณดิจิตอล 8 บิต ที่สร้างขึ้น
2. เพื่อตรวจสอบการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับอุปกรณ์วัดความดัน
3. เพื่อสรุปผลในการจัดทำโครงการนี้

วัสดุและอุปกรณ์

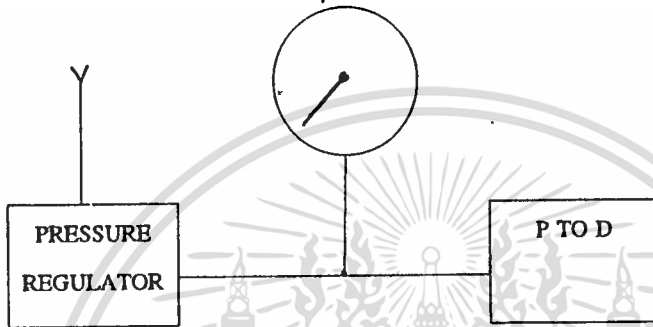
1. เครื่องเปลี่ยนความดันเป็นสัญญาณดิจิตอล 8บิตและแรงดันกระแสตรง 1-5 V
2. เครื่องจ่ายความดันลม 3-15 psi
3. เครื่องวัดความดันมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ดิจิตอลมิลติมิเตอร์

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3

2. ปรับความดันที่ 3 psi วัดค่า 8 บิตดิจิตอลและแรงดันขาออกที่ได้บันทึกลงในตารางที่ 4
3. ทำซ้ำดังข้อ 2 จนครบทุกค่าความดันในตาราง

| ความดัน(psi) | ดิจิตอล 8 บิต (HEX) | แรงดัน(Vdc) | ความดัน(psi) | ดิจิตอล 8 บิต (HEX) | แรงดัน(vdc) |
|--------------|------------------------|-------------|--------------|------------------------|-------------|
| 3 | 00 | 1.00 | 9 | 80 | 3.00 |
| 3.2 | 04 | 1.06 | 9.2 | 84 | 3.07 |
| 3.4 | 09 | 1.14 | 9.4 | 89 | 3.14 |
| 3.6 | 0D | 1.20 | 9.6 | 8D | 3.21 |
| 3.8 | 11 | 1.26 | 9.8 | 91 | 3.27 |
| 4 | 15 | 1.33 | 10 | 95 | 3.33 |
| 4.2 | 1A | 1.40 | 10.2 | 9A | 3.41 |
| 4.4 | 1E | 1.47 | 10.4 | 9E | 3.47 |
| 4.6 | 22 | 1.53 | 10.6 | A2 | 3.54 |
| 4.8 | 26 | 1.59 | 10.8 | A6 | 3.60 |
| 5 | 2B | 1.67 | 11 | AB | 3.68 |
| 5.2 | 2F | 1.73 | 11.2 | AF | 3.74 |
| 5.4 | 33 | 1.8 | 11.4 | B3 | 3.80 |
| 5.6 | 37 | 1.86 | 11.6 | B7 | 3.87 |
| 5.8 | 3C | 1.94 | 11.8 | BC | 3.94 |
| 6 | 40 | 2.00 | 12 | CO | 4.01 |
| 6.2 | 44 | 2.06 | 12.2 | C4 | 4.07 |
| 6.4 | 49 | 2.14 | 12.4 | C9 | 4.15 |
| 6.6 | 4D | 2.20 | 12.6 | CD | 4.21 |
| 6.8 | 51 | 2.27 | 12.8 | D1 | 4.27 |
| 7 | 55 | 2.33 | 13 | D5 | 4.34 |
| 7.2 | 5A | 2.41 | 13.2 | DA | 4.41 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | | | |
|-----|----|------|------|----|------|
| 7.4 | 5E | 2.47 | 13.4 | DE | 4.48 |
| 7.6 | 62 | 2.53 | 13.6 | E2 | 4.54 |
| 7.8 | 66 | 2.60 | 13.8 | E6 | 4.60 |
| 8 | 6B | 2.67 | 14 | EB | 4.68 |
| 8.2 | 6F | 2.74 | 14.2 | EF | 4.74 |
| 8.4 | 73 | 2.80 | 14.4 | F3 | 4.81 |
| 8.6 | 77 | 2.86 | 14.6 | F7 | 4.87 |
| 8.8 | 7C | 2.94 | 14.8 | FC | 4.95 |
| | | | 15 | FF | 5 |

ตารางที่ 4.3 บันทึกผลการทดลองที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและบทวิจารณ์

จากการทดลองที่ 4.1 จะเห็นว่าค่าที่วัดได้จากการใช้รูปคลื่นแบบต่างๆ ไม่มีผลต่อการวัดความถี่ของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 และมี

$$\text{ความละเอียด} = \frac{15-10}{255} = 0.0196 \text{ KH}_z$$

นั่นคือมีความแม่นยำ = 0.40%

จากการทดลองที่ 4.2 ค่าความถี่ที่วัดได้จะแปรผันตามค่าความดันแต่จะมีสัดส่วนไม่คงที่ตอกันนั่นคือความถี่ที่ได้ไม่เป็นเชิงเส้นกับความดันที่ป้อนให้ ซึ่งจากการตรวจสอบสาเหตุ พบว่าเกิดมาจากตัวตรวจวัดเองที่ให้ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ไม่เป็นเชิงเส้น ทำให้ต้องมีการเพิ่มเติมโปรแกรมในส่วนที่ใช้เป็นค่าที่ไม่เป็นเชิงเส้นนี้ให้เป็นค่าที่ควรจะเป็น

จากการทดลองที่ 4.3 หลังจากประกอบทุกส่วนเข้าด้วยกันแล้วนำไปทดลองวัดค่าความดันจะพบว่าค่าที่วัดได้มีความเที่ยงตรงพอสมควร โดยมี

$$\text{ความละเอียด} \frac{15-3}{60} = 0.40 \text{ psi}$$

นั่นคือมีความแม่นยำ $\pm 1.67\%$ ซึ่งหากมีความต้องการความละเอียดเพิ่มขึ้นสามารถเพิ่มเติมส่วนโปรแกรมซึ่งสามารถปรับให้มีความแม่นยำสูงสุดได้ถึง $\pm 0.392\%$

สรุปโดยรวม โครงการการใช้งานทรานสดิวเซอร์ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 นี้สามารถนำไมโครคอนโทรลเลอร์ไปใช้งานร่วมกับเรโซแนนซ์ทรานสดิวเซอร์ไม่ว่าจะมีรูปสัญญาณเป็นรูปลักษณะใด เช่น รูปสี่เหลี่ยม รูปสามเหลี่ยม หรือ แม้แต่รูปคลื่นซายน์ ซึ่งมีแรงดันตั้งแต่ -0.5 โวลต์ถึง $+5.5$ V ทั้งนี้โดยไม่ต้องคำนึงถึง Duty Cycle ของรูปสัญญาณ ในการทำโครงการนี้ผู้จัดทำรู้สึกค่อนข้างผิดหวังกับตัวตรวจวัดที่ใช้คือ MPX100DP ซึ่งใช้ตรวจจับสัญญาณได้ตั้งแต่ $0-15$ psi จากการทดลองใช้ผลที่ได้จากการวัดจะเป็นเชิงเส้นและยากต่อ

การปรับให้เป็นเชิงเส้นแต่สุดท้ายก็สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มโปรแกรมค่าเข้าไป ซึ่งก็เป็นผลดี คือ ทำให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 ร่วมกับตัวตรวจวัด MPX 100DP ตัวนี้ ซึ่งหากใช้วิธีอื่นในการแปลงค่าที่ไม่เป็นเชิงเส้นของ MPX 100DP ให้เป็นเชิงเส้นโดยเฉพาะการใช้วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์แทบจะเป็นไปไม่ได้ หรือเป็นไปได้อย่างมาก แต่กับไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 กลับเป็นเรื่องง่ายเพียงเพิ่มโปรแกรมแปลงค่าเข้าไป

ข้อจำกัดของการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 ร่วมกับทรานสดิวเซอร์คือ ความเที่ยงตรง ในขณะที่ใช้ความละเอียด 8 บิต จะมีการแบ่งเอาต์พุตออกเป็น 256 ลำดับเพราะฉะนั้นค่าความแม่นยำสูงสุดจะได้เพียง $+ 0.392\%$ ซึ่งหากต้องการความแม่นยำสูงว่านี้ก็สมารถทำได้โดยใช้เอาต์พุต 11 บิต จะได้ค่าความแม่นยำถึง 0.0488%

แนวทางในการพัฒนาและปรับปรุง

ถ้ามีการเพิ่มฟังก์ชัน ในการควบคุมเข้าไปในโปรแกรมและเพิ่มส่วนรับข้อมูล P, I และ D และเปลี่ยนไปใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8751 ซึ่งมี EPROM อยู่ในตัวเดียวกันจะทำให้ได้ทรานสดิวเซอร์ที่สามารถให้สัญญาณควบคุมออกไปควบคุมกระบวนการได้ซึ่งสามารถนำไปใช้ควบคุมกระบวนการเฉพาะได้ โดยสะดวกและง่ายต่อการติดต่อกับขนาดเล็กกว่าถูก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การให้งานการปรับสเกล

ในปริภูมิต่างๆนี้ได้กำหนดให้ สามารถแสดงค่าในลักษณะการปรับสเกล โดยสามารถเปลี่ยนได้หลายสเกลดังนี้

| | | | |
|-------|-------------------|-------------------------|-------------|
| หน่วย | PSI | ค่าต่ำสุดปรับได้ตั้งแต่ | 00.00-99.00 |
| | | ค่าสูงสุดปรับได้ตั้งแต่ | 01.00-99.99 |
| หน่วย | mA | ค่าต่ำสุดปรับได้ตั้งแต่ | 00.00-99.00 |
| | | ค่าสูงสุดปรับได้ตั้งแต่ | 01.00-99.99 |
| หน่วย | Vdc | ค่าต่ำสุดปรับได้ตั้งแต่ | 00.00-99.00 |
| | | ค่าสูงสุดปรับได้ตั้งแต่ | 01.00-99.99 |
| หน่วย | mm | ค่าต่ำสุดปรับได้ตั้งแต่ | 00.00-99.00 |
| | | ค่าสูงสุดปรับได้ตั้งแต่ | 01.00-99.99 |
| หน่วย | mm | ค่าต่ำสุดปรับได้ตั้งแต่ | 000.0-990.0 |
| | | ค่าสูงสุดปรับได้ตั้งแต่ | 010.0-999.9 |
| หน่วย | mm | ค่าต่ำสุดปรับได้ตั้งแต่ | 0000.-9900. |
| | | ค่าสูงสุดปรับได้ตั้งแต่ | 0100.-9999. |
| หน่วย | องศา | ค่าต่ำสุดปรับได้ตั้งแต่ | 000.0-990.0 |
| | | ค่าสูงสุดปรับได้ตั้งแต่ | 010.0-999.9 |
| หน่วย | Kg | ค่าต่ำสุดปรับได้ตั้งแต่ | 00.00-99.00 |
| | | ค่าสูงสุดปรับได้ตั้งแต่ | 01.00-99.99 |
| หน่วย | m ³ /S | ค่าต่ำสุดปรับได้ตั้งแต่ | 00.00-99.00 |
| | | ค่าสูงสุดปรับได้ตั้งแต่ | 01.00-99.99 |

Key ที่ใช้ในการปรับสเกลนี้จะมีทั้งหมด 3 Key คือ

1. Key MODE
2. Key SET
3. Key Reset

Key ที่ 1 หรือ Key MODE เมื่อกดครั้งแรกจะเปลี่ยน MODE จาก MODE การวัดไปสู่ MODE ของการปรับค่า โดยจะเป็นการปรับค่าหน่วยวัด ตัวอักษรที่ แสดงหน่วยวัดจะกระพริบ แสดงว่าอยู่ในระหว่างการปรับ ในการเปลี่ยนหน่วยวัด ทำได้โดยการใช้ Key SET โดยจะวน PSI→mA→Vdc→C→mm→Kg→m³/S→PSI

เมื่อกดครั้งที่สองจะอยู่ใน MODE การปรับค่าต่ำสุดตัวที่ 1 ตัวเลขในตำแหน่งนั้นจะกระพริบ ในการปรับค่า จะใช้ Key 2 หรือ Key SET ในการปรับค่าตั้งแต่ 0 ถึง 9

ในการกด Key MODE นี้จะวนปรับ หน่วยวัด , ค่าต่ำสุด , ค่าสูงสุด จนครบแล้ว จึงเข้าสู่ MODE การวัด ซึ่งจะแสดงค่าที่วัดได้สัมพันธ์กับ ค่าต่ำสุด , ค่าสูงสุด และหน่วยที่ได้ปรับตั้งไว้

Key 3 คือ Key RESET

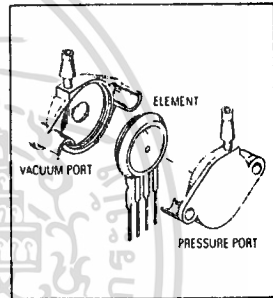
เมื่อกด Key นี้ จะเป็นการ Reset บอร์ด MCS51 โปรแกรมจะเริ่มใหม่ จะมีการแสดง ชื่อโครงการ รายชื่อผู้จัดทำ อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา ภาควิชา และสถาบัน แล้วจึงเข้าสู่ MODE การวัด โดยมีค่าต่ำสุด 3 PSI และค่าสูงสุด 15 PSI

**MPX50
MPX51
MPX52
(D,DP,GP,GVP)**

Pressure Transducers

... a silicon piezoresistive pressure sensor providing a very accurate and linear voltage output — directly proportional to the applied pressure. It is designed for automotive, industrial, medical and other applications.

- 0 to 50 kPa (0 to 7.5 PSI) Differential Pressure Range
- $\pm 0.05\%$ Full Scale Linearity with MPX50,51
- Unique Silicon Shear Stress Strain Gage
- Easy to Use X-ducer Package
- Basic Element, Single and Dual Ported Devices Available



MAXIMUM RATINGS

| Rating | Symbol | Value | Unit |
|-----------------------|-------------|-------------|------|
| Overpressure | P_{max} | 200 | kPa |
| Supply Voltage | $V_{S max}$ | 6 | Vdc |
| Storage Temperature | T_{stg} | -50 to +150 | °C |
| Operating Temperature | T_A | -40 to +125 | °C |

VOLTAGE OUTPUT versus APPLIED DIFFERENTIAL PRESSURE

The voltage output of the X-ducer is directly proportional to the differential pressure applied.

The output voltage of the Differential, Differential Ported and Gage Ported sensors increases with increasing pressure applied to the pressure side relative to the

vacuum side.

The output voltage of the Gage Vacuum Ported (GVP) sensor increases with increasing vacuum (decreasing pressure) applied to the vacuum side relative to the pressure side.

ORDERING INFORMATION:

MPX50 Series "X-ducer" silicon pressure sensors are available in absolute, differential and gage configurations. Devices are available in the BASIC ELEMENT package or with pressure port fittings which provide mounting ease and barbed hose connections.

| Device Type | Options | Package Style | MPX Series | | |
|----------------|--------------|---------------|------------|----------|----------|
| | | | 50 | 51 | 52 |
| Ported Element | Differential | Case 344-03 | MPX50D | MPX51D | MPX52D |
| | Differential | Case 352-01 | MPX50DP | MPX51DP | MPX52DP |
| | Gage | Case 350-01 | MPX50GP | MPX51GP | MPX52GP |
| | Gage Vacuum | Case 350-02 | MPX50GVP | MPX51GVP | MPX52GVP |

X-ducer is a trademark of Motorola Inc.



MOTOROLA

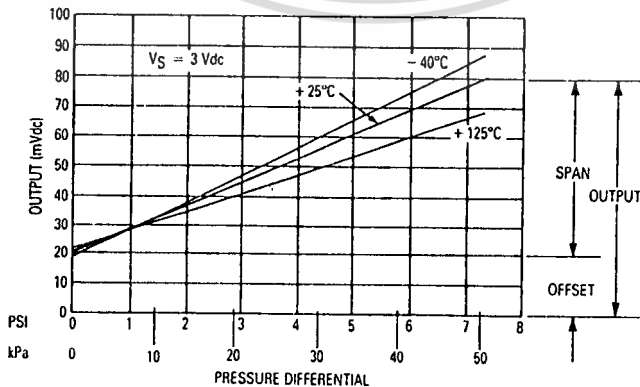
DS2570R2

OPERATING CHARACTERISTICS ($V_S = 3 \text{ Vdc}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.)

| Characteristics | | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
|---|-----------|---------------------|-------|------------|-----------|------------------------------|
| Pressure Range ¹ | | P_{OP} | 0 | — | 50 | kPa |
| Temperature Range | | T_A | -40 | — | +125 | $^\circ\text{C}$ |
| Supply Voltage | | V_S | — | 3 | 6 | Vdc |
| Supply Current | | I_o | — | 6 | — | mAdc |
| Full Scale Span ² | MPX50 | V_{FSS} | 45 | 60 | 90 | mV |
| | MPX51 | | 30 | 45 | 60 | |
| | MPX52 | | 30 | 60 | 90 | |
| Zero Pressure Offset | | V_{off} | 0 | 20 | 35 | mV |
| Sensitivity | MPX50, 52 | $\Delta V/\Delta P$ | — | 1.2 | — | mV/kPa |
| | MPX51 | | — | 0.9 | — | |
| Linearity ³ | MPX50, 51 | — | — | ± 0.05 | ± 0.1 | %FS |
| | MPX52 | | — | ± 0.3 | ± 0.5 | |
| Pressure Hysteresis ⁴ (0 to 50 kPa) | | — | — | ± 0.05 | ± 0.1 | %FS |
| Temperature Hysteresis ⁵ (-40°C to +125°C) | | — | — | ± 0.5 | — | %FS |
| Temperature Coefficient of Full Scale Span ⁶ | | TCV_{FSS} | -0.22 | -0.19 | -0.16 | $\%^\circ\text{C}$ |
| Temperature Coefficient of Offset ⁷ | | TCV_{off} | — | ± 15 | — | $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ |
| Temperature Coefficient of Resistance ⁸ | | TCR | 0.21 | 0.24 | 0.27 | $\%^\circ\text{C}$ |
| Input Resistance | | R_o | 400 | — | 550 | Ω |
| Response Time ⁹ (10% to 90%) | | t_R | — | 1 | — | ms |

NOTES:

- 1 kPa (kiloPascal) equals 0.145 PSI.
- Measured at 3 Vdc excitation for 50 kPa pressure differential.
- Maximum deviation from end-point straight line fit at 0 and 50 kPa.
- Maximum output difference at any pressure point within P_{OP} for increasing and decreasing pressures.
- Maximum output difference at any pressure point within P_{OP} for increasing and decreasing temperatures in the range -40°C to +125°C.
- Slope of end-point straight line fit to full scale span at -40°C and +125°C, relative to +25°C.
- Slope of end-point straight line fit to zero pressure offset at -40°C and +125°C.
- Slope of end-point straight line fit to input resistance at -40°C and +125°C, relative to resistance at +25°C.
- For a 0 to 50 kPa pressure step change.
- Repeatability ($\pm 0.5\%$ FS typical) is defined as the maximum difference in output at any pressure within P_{OP} and temperature within +10°C to +85°C after:
 - 1000 temperature cycles, -40°C to +125°C.
 - 1.5 million pressure cycles, 0 to 49 kPa.



Effect of temperature on the output of the transducer is shown.

Figure 1. Output versus Pressure Differential (MPX50)

Temperature Compensation

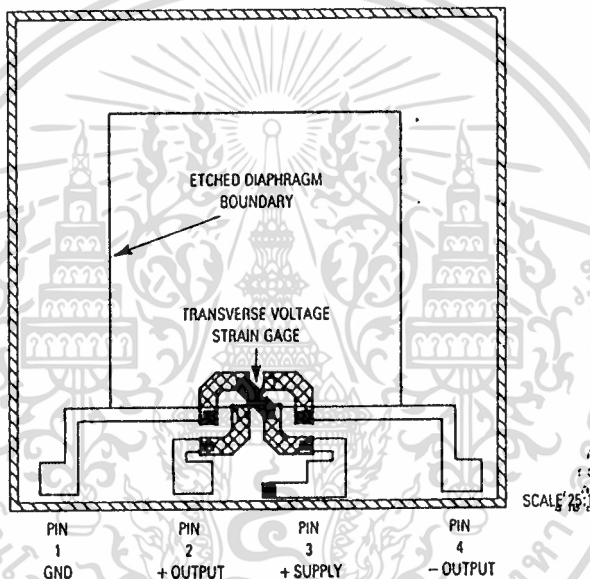
Temperature compensation and offset calibration can be achieved rather simply with additional resistive components.

Several approaches to external temperature compensation over both -40 to +125°C and 0 to +80°C ranges

are presented in Motorola Application Notes AN840 and AN922. They are available from all Motorola Sales Offices.

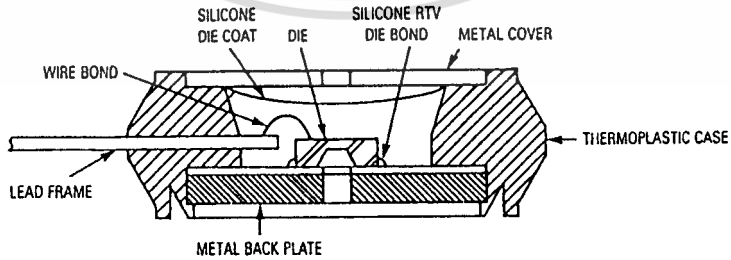
Packaging for Medical Applications

The MPX50 family is available in special, biomedically approved packaging. Consult the factory for details.



Motorola's Silicon pressure sensor elements use a single piezoresistive strain gage to sense shear stress.

Figure 2. Electrical Connections

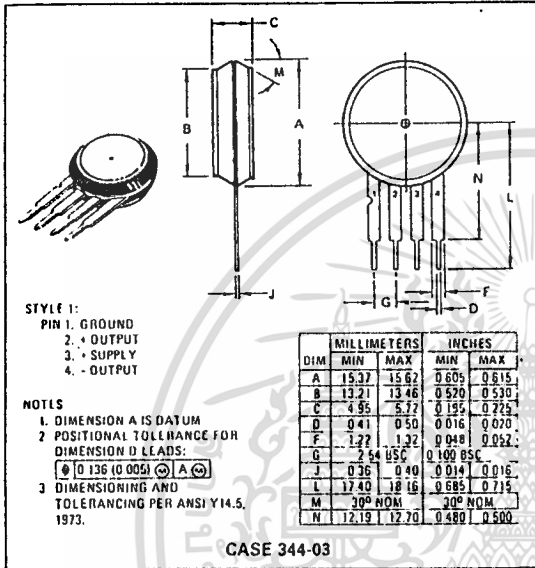


Cross section of the Motorola MPX pressure sensor die in the chip carrier package. A silicone gel isolates the die surface and wire bonds from harsh environments, while allowing the pressure signal to be transmitted to the silicon diaphragm.

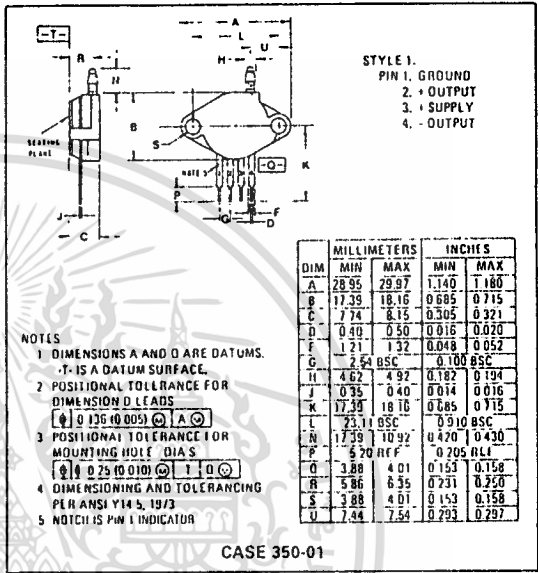
Figure 3 — MPX Differential Pressure Sensor Element Cross Section

OUTLINE DIMENSIONS

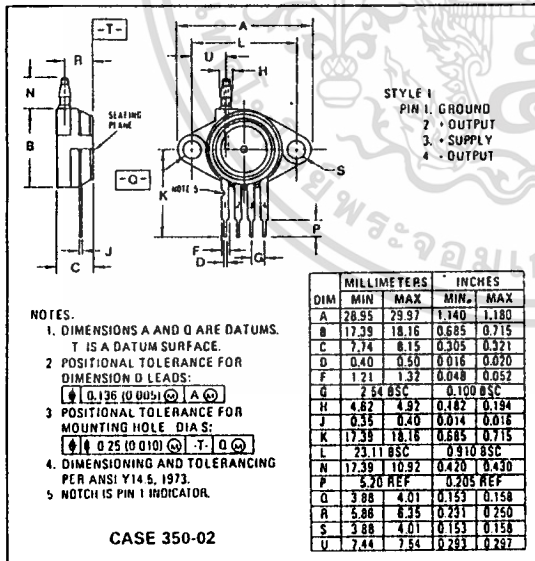
BASIC ELEMENT (D)



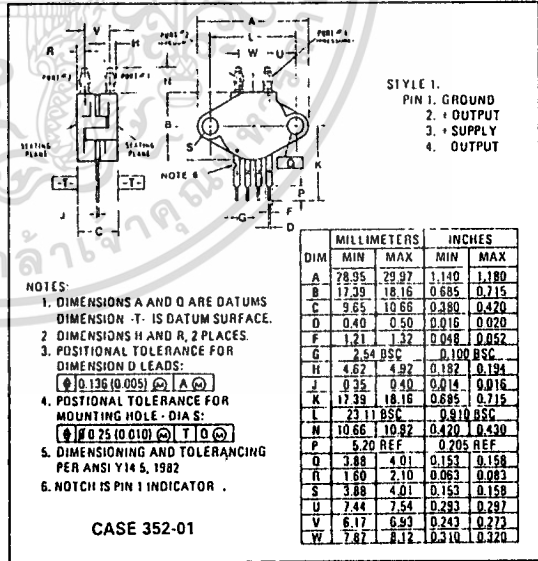
PRESSURE SIDE PORTED (GP)



VACUUM SIDE PORTED (GVP)



PRESSURE AND VACUUM SIDES PORTED (DP)



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein to improve reliability, function or design. Motorola does not assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit described herein, neither does it convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola and M are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Employment Opportunity/Affirmative Action Employer.

Literature Distribution Centers:

USA: Motorola Literature Distribution; P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036.

EUROPE: Motorola Ltd.; European Literature Center; Fairfax House; 69 Buckingham Ct.; Aylesbury Bucks; HP202NF United Kingdom.

HONG KONG: Motorola Inc.; International Semiconductor Group; P.O. Box 80300; Cheung Sha Wan Post Office; Hong Kong.



MOTOROLA

MPX50 • MPX51 • MPX52

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม บริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีใดๆ

ตารางตัวอักษร

| FONT TABLE (5*11Dots) | | | | | | | | | | | | | 5*8Dots | | | |
|-----------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|------|------|------|
| Lower 4-bit | Upper 4-bit | 0000 | 0010 | 0011 | 0100 | 0101 | 0110 | 0111 | 1010 | 1011 | 1100 | 1101 | 1110 | 1111 | 1110 | 1111 |
| xxxx0000 | CG RAM | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D |
| xxxx0001 | 2 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E |
| xxxx0010 | 3 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E |
| xxxx0011 | 4 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E |
| xxxx0100 | 5 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E |
| xxxx0101 | 6 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E |
| xxxx0110 | 7 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E |
| xxxx0111 | 8 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E |
| xxxx1000 | 9 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E |
| xxxx1001 | (2) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E |
| xxxx1010 | (3) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E |
| xxxx1011 | (4) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E |
| xxxx1100 | (5) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E |
| xxxx1101 | (6) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E |
| xxxx1110 | (7) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E |
| xxxx1111 | (8) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E |

CG RAM : Character pattern area can be rewritten by program.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DMC162

• Display Format(16character + 2line) • Display Fonts(5×8dots) • Driving method(1/4D)

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

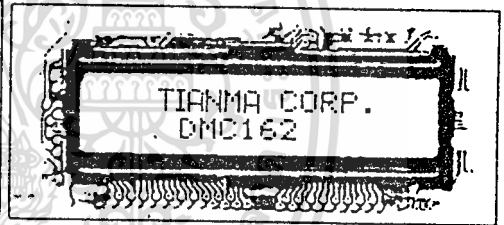
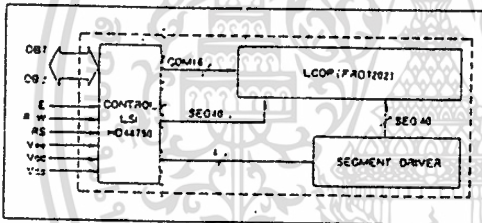
| Item | Symbol | Test Condition | Standard Value | | | Unit |
|------------------------------------|----------------------------------|----------------|-----------------|-----|-----------------|------|
| | | | min | typ | max | |
| Power Supply Voltage for Logic | V _{CC} -V _{SS} | --- | 0 | --- | 7 | V |
| Power Supply Voltage for LCD Drive | V _{CC} -V _{EE} | --- | 0 | --- | 13.5 | V |
| Input "High" Voltage | V _I | --- | V _{SS} | --- | V _{CC} | V |
| Operating Temperature | T _a | --- | 0 | --- | +50 | °C |
| Storage Temperature | T _{Stg} | --- | -20 | --- | +70 | °C |

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

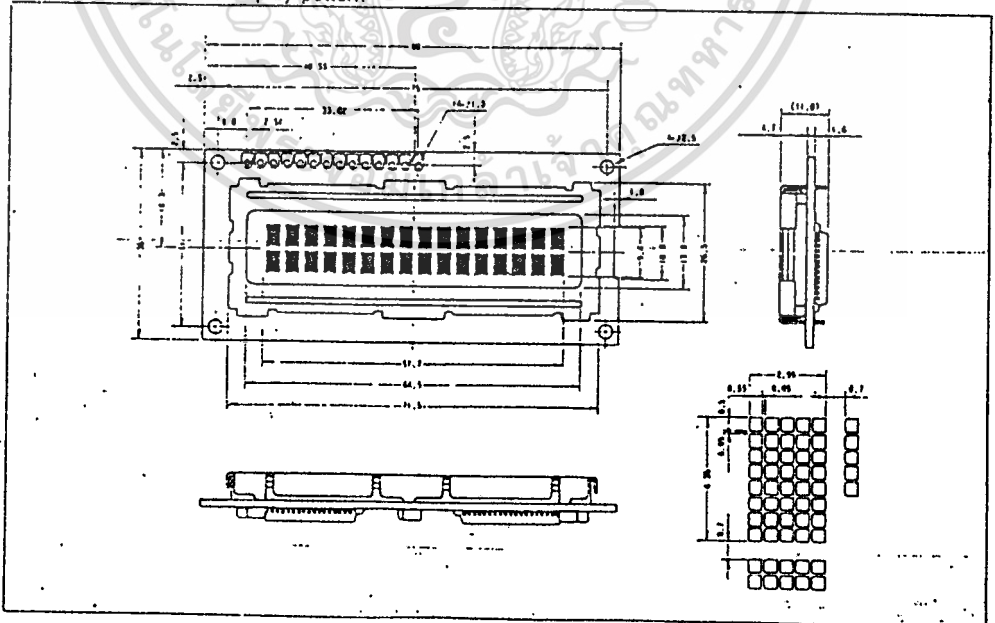
| Item | Symbol | Test Condition | Standard Value | | | Unit |
|-----------------------|-----------------|--------------------------|----------------|-----|-----------------|------|
| | | | min | typ | max | |
| Input Voltage | V _{IH} | --- | 2.2 | --- | V _{CC} | V |
| Input "Low" Voltage | V _{IL} | --- | -0.3 | --- | 0.6 | V |
| Output "High" Voltage | V _{OH} | I _{OH} =0.205mA | 2.4 | --- | --- | V |
| Output "Low" Voltage | V _{OL} | I _{OL} =1.2mA | --- | --- | 0.4 | V |
| Power Supply Current | I _{CC} | V _{CC} =5.0V | --- | 0.5 | 2.0 | mA |

* V_{CC}=3.0V ± 5%, T_a=25°C

Block diagram



External dimensions / Display pattern



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DMC164

• Display Format(16character ×4line) • Display Fonts(5×8dots) • Driving Method(1/4D) ...

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

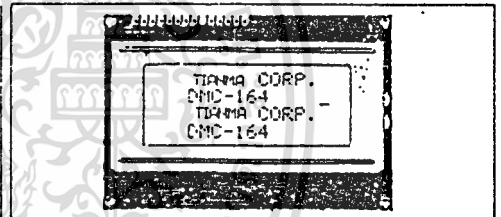
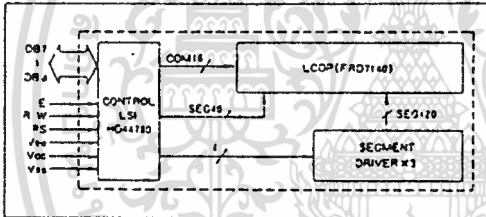
| Item | Symbol | Test Condition | Standard Value | | | Unit |
|------------------------------------|----------------------------------|----------------|-----------------|------|-----------------|------|
| | | | min. | typ. | max. | |
| Power Supply Voltage for Logic | V _{CC} -V _{SS} | — | 0 | — | 6.5 | V |
| Power Supply Voltage for LCD Drive | V _{CC} -V _{EE} | — | 0 | — | 6.0 | V |
| Input Voltage | V _I | — | V _{SS} | — | V _{CC} | V |
| Operating Temperature | T _a | — | 0 | — | +50 | °C |
| Storage Temperature | T _{stg} | — | -20 | — | +70 | °C |

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

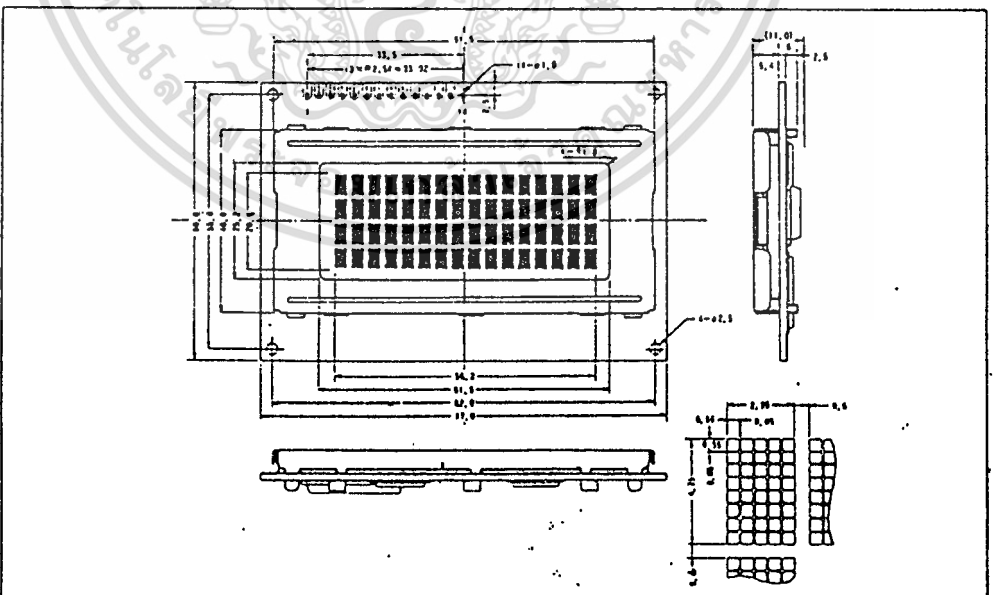
| Item | Symbol | Test Condition | Standard Value | | | Unit |
|-----------------------|-----------------|--------------------------|----------------|------|-----------------|------|
| | | | min. | typ. | max. | |
| Input "High" Voltage | V _{IH} | — | 2.2 | — | V _{CC} | V |
| Input "Low" Voltage | V _{IL} | — | -0.3 | — | 0.6 | V |
| Output "High" Voltage | V _{OH} | I _{OL} =0.205mA | 2.4 | — | — | V |
| Output "Low" Voltage | V _{OL} | I _{OH} =1.2mA | — | — | 0.4 | V |
| Power Supply Current | I _{CC} | V _{CC} =5.0V | — | 2.4 | 4.0 | mA |

±V_{CC}=5.0V±5%, T_a=25°C

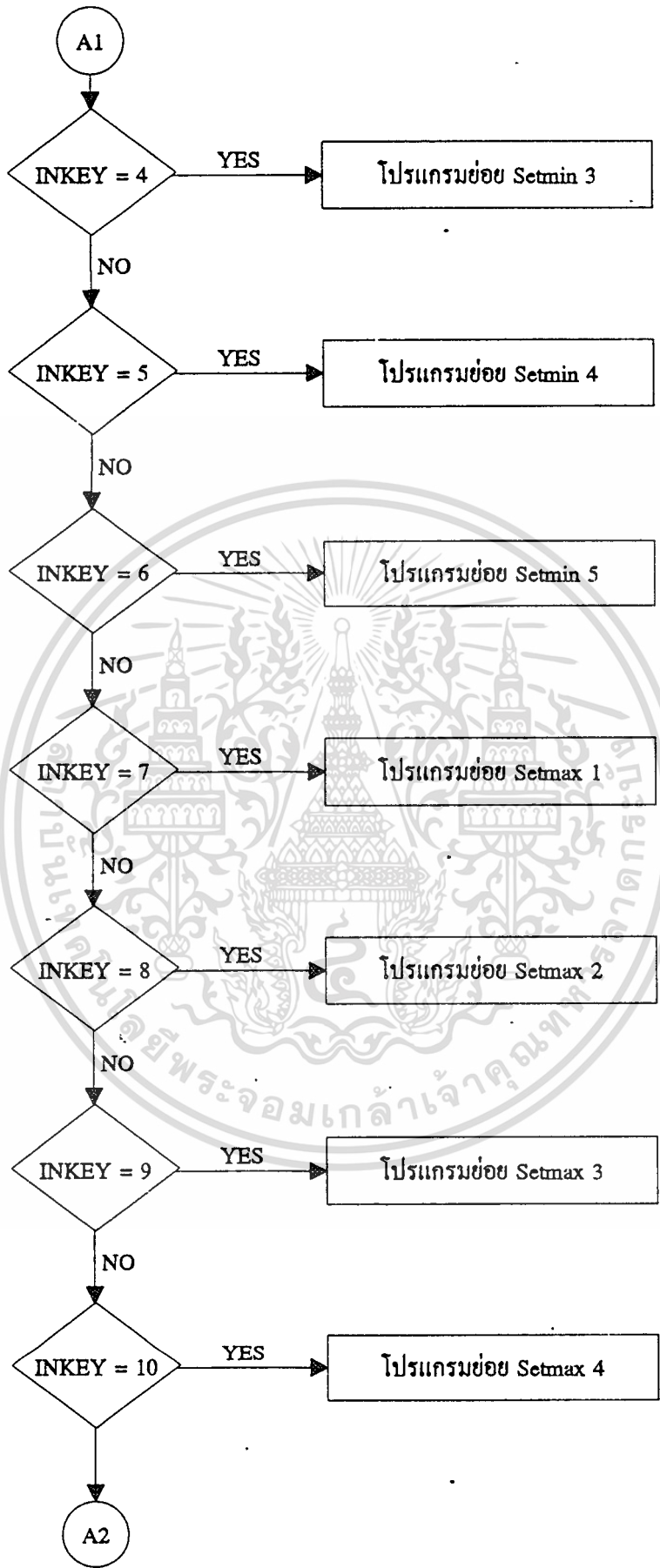
Block diagram



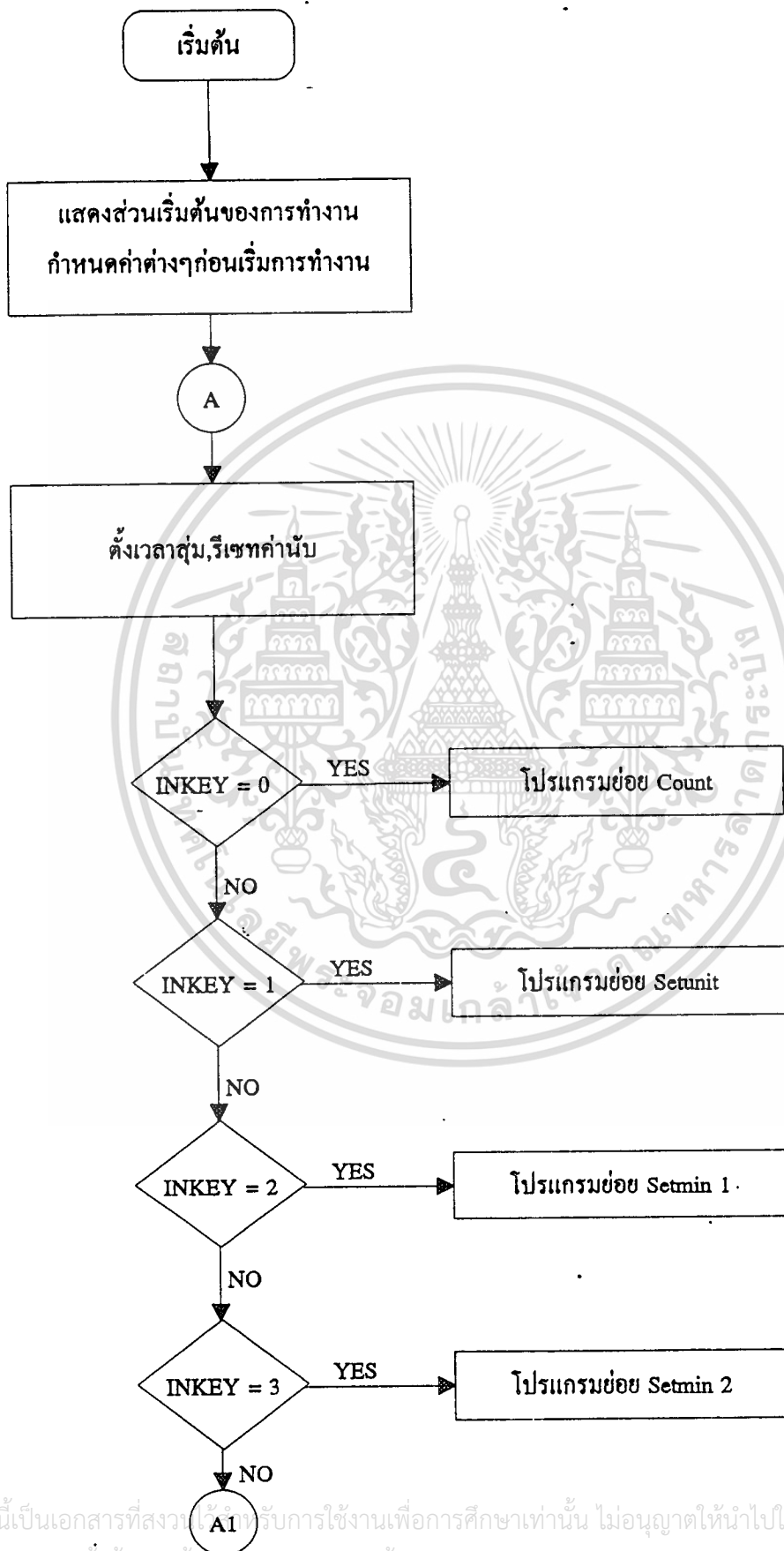
External dimensions/Display pattern



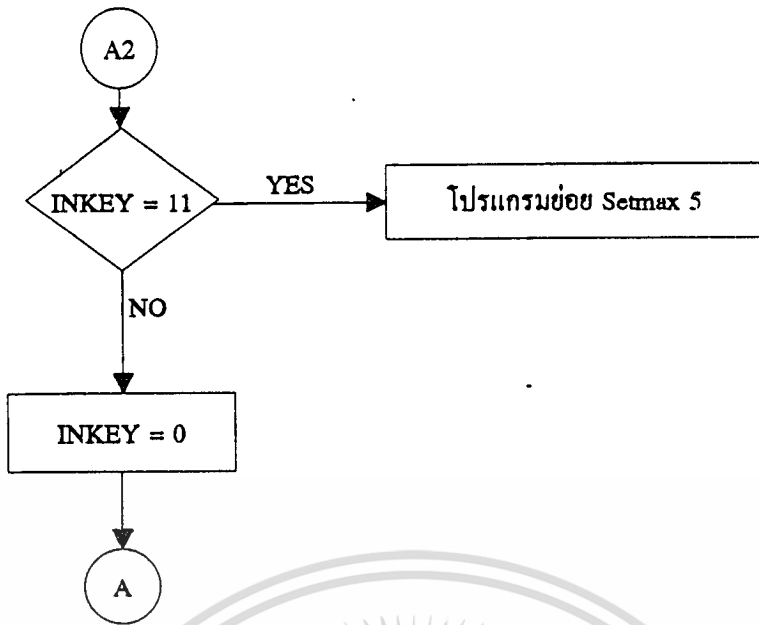
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

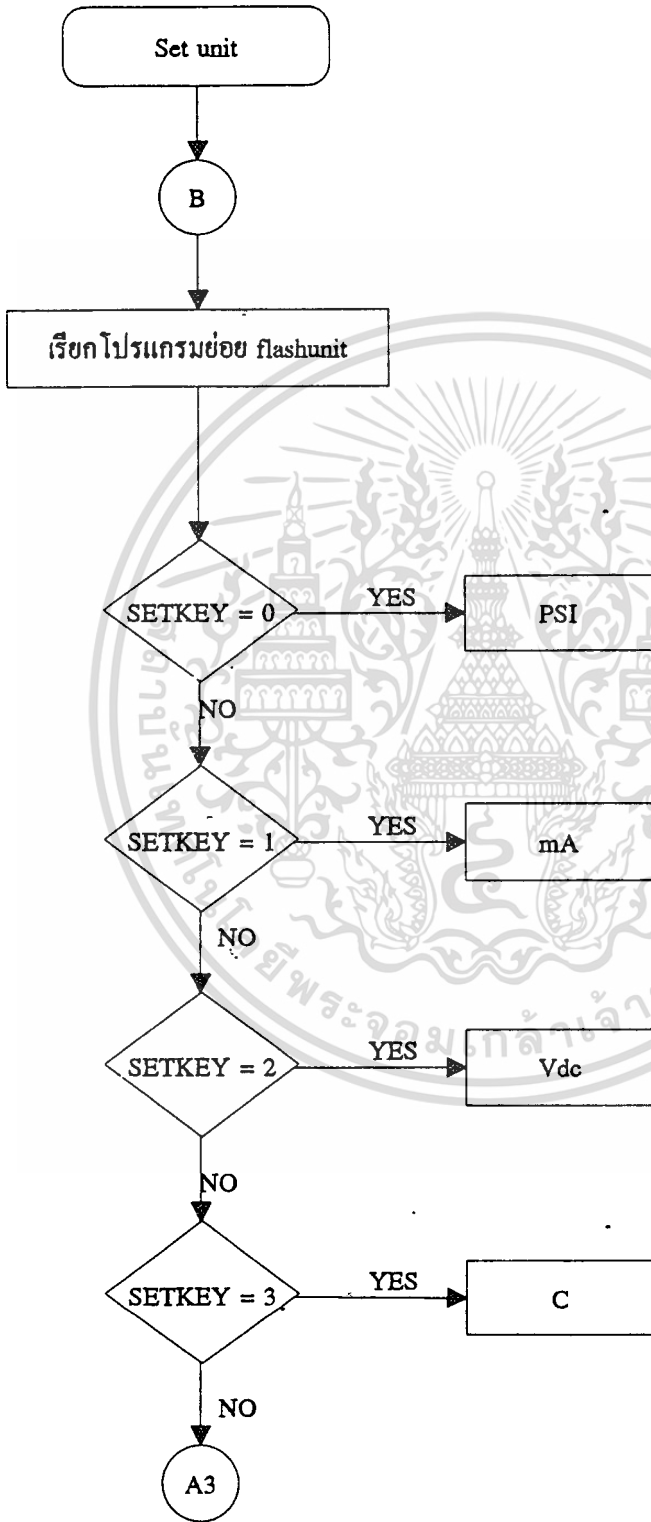


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

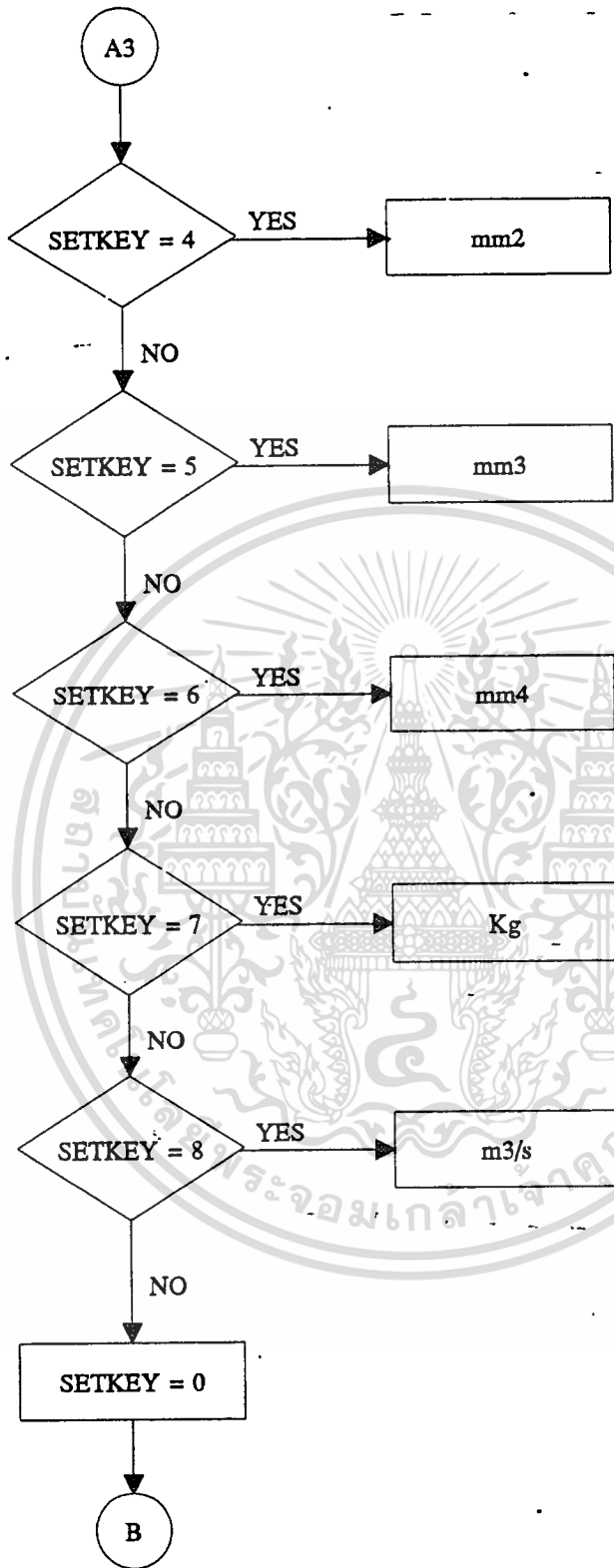


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

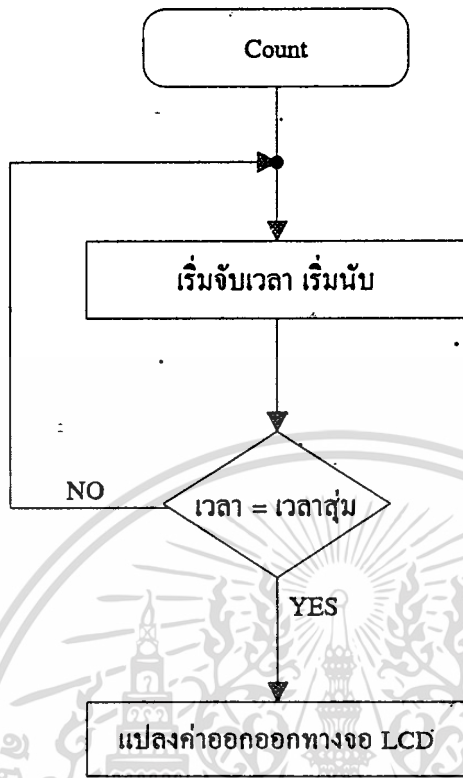




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลายท่าน ผู้จัดทำขอขอบคุณ รศ.พิพัฒน์ เลหาสงคราม อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา และให้ความรู้ในการจัดทำมาโดยตลอด ขอขอบคุณพ่อและแม่ของผู้จัดทำที่คอยให้กำลังใจและทุนทรัพย์ในการจัดทำ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านและเพื่อนทุกคนที่มีส่วนให้คำปรึกษาทำให้โครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

TOM WILLIAMSON " USING 8051 MICROCONTROLLER WITH RESONANT
TRANSDUCER " IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL
KENNETH J. AYALA " THE 8051 MICROCONTROLLER " WESTERN
CAROLINA UNIVERSITY, WEST PUBLISHING COMPANY
1991 .

สุเจตน์ จันทรังษ์ "ไมโครคอนโทรลเลอร์ทีพีเดีย 8051 " โครงการตำรา
วิชาการ วิทยาลัยมหานคร

พิพัฒน์ เลาสงคราม " ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 48 MCS 51 " ภาควิชา
เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
"ออปแอมป์ " หจก สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์