

# การประยุกต์ใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

## APPLICATION OF DIGITAL WEIGHING MACHINE



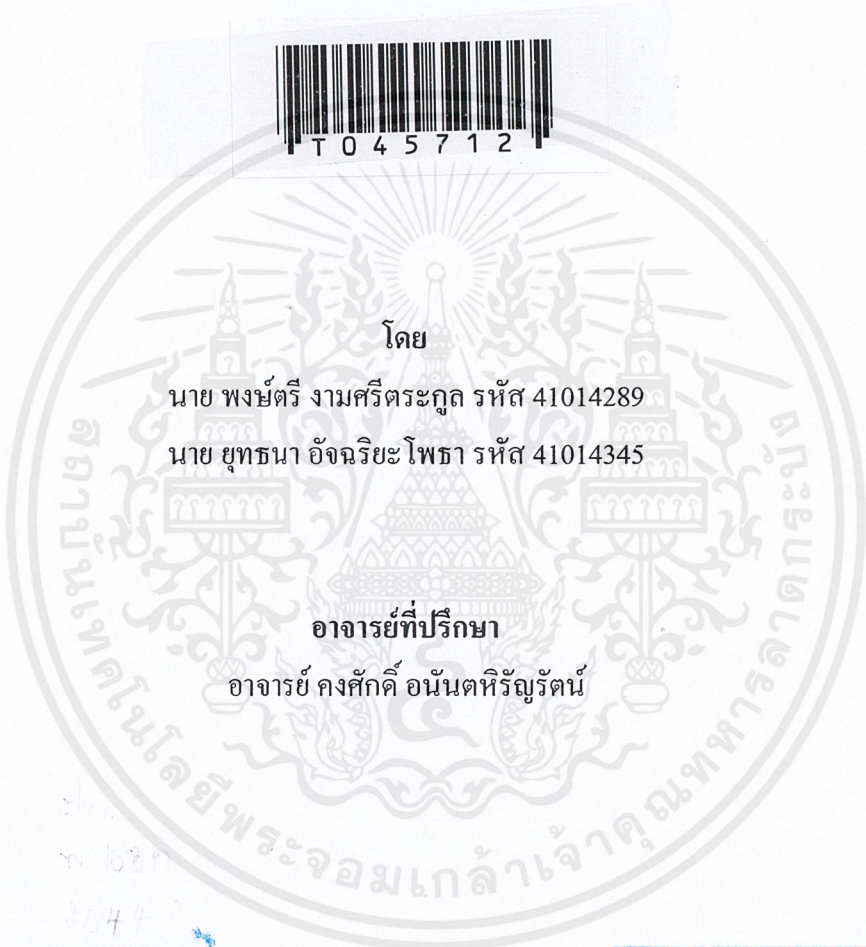
โดย

นาย พงษ์ตรี งามศรีตระกูล รหัส 41014289

นาย ยุทธนา อัจฉริยะโพธา รหัส 41014345

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ กงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์



เลขหม.....  
เลขทะเบียน...45712  
วัน, เดือน, ปี...13 ก.พ. 2546

b.....  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2544

ภาควิชา วิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประยุกต์ใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

ผู้จัดทำ

1. นาย พงษ์ตรี งามศรีตระกูล รหัส 41014289

2. นาย ยุทธนา อัจฉริยะโพธา รหัส 41014345



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

( อาจารย์ กงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์ )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การประยุกต์ใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

นาย ยุทธนา อัจฉริยะโพธา

นาย พงษ์ตรี งามศรีตระกูล

อาจารย์ คงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2544

### บทคัดย่อ

การชั่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการผลิต เป็นขั้นตอนเบื้องต้นที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตรฐาน ในทุกลำดับการผลิตจึงต้องให้ความพิถีพิถันในกระบวนการชั่งจะสังเกตได้ว่าเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับการชั่งจะพัฒนาอยู่ตลอดเวลาเพื่อควบคุมกระบวนการให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่แน่นอนแม่นยำ และรวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่ไม่หยุดยั้ง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาแนวทางประยุกต์ใช้เครื่องมือต่าง ๆ ที่มีอยู่ ให้บังเกิดประโยชน์ในการใช้งานมากยิ่งขึ้นกว่าเดิม โดยปริญาณิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอแนวทางใหม่ในการปรับเปลี่ยนการใช้เครื่องชั่งน้ำหนักจากเดิมให้สามารถใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น กล่าวคือ สามารถอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้ได้โดยเครื่องชั่งน้ำหนักเครื่องนี้จะปล่อยสัญญาณตามค่าน้ำหนักที่ป้อนเข้าไปในตอนแรกโดยอัตโนมัติซึ่งมีหลักการทำงานคือ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ทำหน้าที่เก็บค่าน้ำหนักที่ต้องการไว้ จากนั้นจะควบคุมสเต็ปปีงมอเตอร์ (Stepping motor) ให้เปิดช่องปล่อยของ พร้อมกับประมวลผลเทียบกับค่าน้ำหนักที่อยู่บนเครื่องชั่ง เมื่อตรงตามที่ต้องการแล้วจะส่งสเต็ปปีงมอเตอร์ให้ปิดช่องปล่อยของ ในส่วนของส่วนรับน้ำหนักจะเป็นโหลดเซลล์ (Loadcell) ต่อกับวงจรอินสตรูเมนต์เดชั่นแอมป์ริไฟเออร์ (Instrumentation Amplifier) และวงจรเอ็ดจิคอนเวอร์เตอร์ (A/D Converter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Application of Digital Weighing Machine

Yutthana Ajchariyapotha

Pongtri Ngamsritrakul

Kongsak Anantahiranrat, Advisor

2001

### Abstract

One of the most important thing in batches of process is weighing, the primary step to produce more accurate product. So we have to care weighing step. But weighing technologies are developing all the time to control process that we expect it to be, then we need to find another way to got more benefit in weighing that comforting to user by automatic following all material to have weight that we input value. It is criteria is to use the microcontroller to save value we input, open the entry gate by controlling stepping motor and compare the weight with input value. In weighing port of the project, Loadcell, Instrumentation Amplifier circuit, D/A Converter will be used

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญรูปภาพ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 เกจความเครียด (Strain Gages)	2
2.1.1 ชนิดของสเตรนเกจทรานสดิวเซอร์	3
2.1.1.1 Unbonded metallic-filament strain gage	4
2.1.1.2 bonded metallic foil gage	4
2.1.1.3 Bonded piezoresistive หรือ semiconductor gage	5
2.1.2 บริคัของเกจความเครียด	6
2.2 สเต็ปป์มอเตอร์ (stepping motor)	7
2.2.1 ชนิดและโครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์	7
2.2.1.1 สเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	9
2.2.1.2 แบบแปรค่ารีลักแตนซ์	9
2.2.1.3 แบบผสม	9
2.2.2 การกระตุ้นและการควบคุมการหมุนของสเต็ปป์มอเตอร์	10
2.2.2.1 แบบจ่ายกระแสไฟให้เฟสเดียววนเวียนกันไป	10
2.2.2.2 แบบจ่ายกระแสไฟให้พร้อมกันทีละ 2 เฟส	10
2.2.2.3 แบบจ่ายกระแสไฟให้ทีละ 1 เฟส สลับกับ 2 เฟส	10
2.2.3 การตรวจสอบหาสายคอมมอนและสายกราวด์	
ของสเต็ปป์มอเตอร์แบบ PM	11
2.2.3.1 ชนิดที่เป็นคอมมอนภายนอกสเต็ปป์มอเตอร์	11
2.2.3.2 ชนิดที่เป็นคอมมอนภายในสเต็ปป์มอเตอร์	12
2.2.4 การเรียงเฟสของสเต็ปป์มอเตอร์แบบ PM	12
2.2.5 วงจรขับสเต็ปป์มอเตอร์	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	14
2.3.1 คำสั่งที่ใช้กับ MCS-51	15
2.3.1.1 คำสั่งทางคณิตศาสตร์	15
2.3.1.2 คำสั่งทางตรรกะ	16
2.3.1.3 คำสั่งในการเคลื่อนย้ายข้อมูล	17
2.3.1.4 คำสั่งการประมวลผลแบบบูลีน	18
2.3.1.5 คำสั่งควบคุมลำดับการทำงาน	19
2.3.2 วิธีการเข้าถึงข้อมูลสำหรับ MCS-51	20
2.4 เอพูดีคอนเวอร์เตอร์ (A/D Converter : ADC )	21
2.4.1 วงจร ADC Successive – Aproximation	21
บทที่ 3 การสร้างโครงงาน	23
3.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง	23
3.2 ส่วนรับค่าอินพุท	24
3.3 ส่วนรับน้ำหนัค	26
3.4 วงจรขยายแรงดันไฟฟ้า	27
3.5 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล (A-D Converter)	29
3.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)	30
3.7 ส่วนแสดงผล (display)	31
3.7.1 การขับ LED ตัวเลข 7 ส่วนแบบมัลติเพล็กซ์	31
3.8 สเต็ปปีงมอเตอร์ (stepping motor)	34
3.9 โปรแกรมการทำงานของเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล	35
บทที่ 4 ผลการทดลอง	42
4.1 แรงดันเอาต์พุทที่ได้จากโพลดิเซคัล	42
4.2 เอาต์พุทจากวงจรอินสตูเมนต์เดชั่นแอมปริไฟเออร์	43
4.3 เอาต์พุทจากวงจรเอพูดีคอนเวอร์เตอร์	45
4.4 ผลการทดลองจากการทดลองอินพุทค่าน้ำหนักตั้งแต่ 0-2 กิโลกรัม	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	48
ภาคผนวก	49
กิตติกรรมประกาศ	50
เอกสารอ้างอิง	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 สเตรนเกจชนิด Unbonded metallic-filament strain gage	4
รูปที่ 2.2 ทรานสดิวซ์เซอร์ bonded metallic foil gage	5
รูปที่ 2.3 รูปแบบการติดตั้งสเตรนเกจในลักษณะของบริดจ์	7
รูปที่ 2.4 สเตรปิ้งมอเตอร์แบบมีสาย 5 เส้น	8
รูปที่ 2.5 ภาพถ่าย โครงสร้างสเตรปิ้งมอเตอร์	8
รูปที่ 2.6 แสดง (ก) โครงสร้าง (ข) วงจรเทียบเท่า (equivalent circuit) ของมอเตอร์ ชนิด 4 ขด	9
รูปที่ 2.7 สเตรปิ้งมอเตอร์ ชนิดมีสาย 6 เส้น	11
รูปที่ 2.8 สเตรปิ้งมอเตอร์ชนิดมีสาย 5 เส้น	12
รูปที่ 2.9 แสดงวิธีขั้วเอาต์พุตของสเตรปิ้งมอเตอร์	13
รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	15
รูปที่ 2.11 แสดงรูปแบบการทำงานพื้นฐานของวงจร ADC ขนาด 8 บิต	22
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล	23
รูปที่ 3.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง	24
รูปที่ 3.3 แสดงการต่อคีย์แพดติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์	25
รูปที่ 3.4 แสดงขาต่าง ๆ ของ 74C922	25
รูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งปุ่มต่าง ๆ ของคีย์แพด	26
รูปที่ 3.6 แสดงโหนดเซลล์ที่ใช้ในโครงการงาน	27
รูปที่ 3.7 วงจรอินสตรูเมนต์เดชั่นแอมป์รีไฟเออร์	27
รูปที่ 3.8 การต่อวงจรอินสตรูเมนต์เดชั่นแอมป์รีไฟเออร์	28
รูปที่ 3.9 การต่อวงจรเอชดูคิคอนเวอร์เตอร์	29
รูปที่ 3.10 การต่ออุปกรณ์ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	30
รูปที่ 3.11 การต่อ LED ตัวเลข 7 หลักรับไมโครคอนโทรลเลอร์	33
รูปที่ 3.12 วงจรขับสเตรปิ้งมอเตอร์ที่ใช้ในโครงการงาน	34
รูปที่ 3.13 แผงวงจรของโครงการงาน	35
รูปที่ 3.14 ภาพของโครงการงาน	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ชั่งและแรงดันเอาท์พุท ที่ได้จากโพลีเอสเตอร์	43
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ชั่งและแรงดัน เอาท์พุทจากวงจรอินสตรูเมนต์เตชันแอมป์รีไฟเออร์	45



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุหุ้มเกจ ชนิดเส้นลวดและสารยึดติด	3
ตารางที่ 2.2 แสดงมุมของโรเตอร์เทียบกับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายแก่เฟสต่าง ๆ	
8 ตำแหน่ง	10
ตารางที่ 2.3 แสดงการจ่ายไฟทีละ 1 เฟส สลับกับ 2 เฟส	11
ตารางที่ 2.4 คำสั่งทางคณิตศาสตร์ของ MCS-51	16
ตารางที่ 2.5 คำสั่งทางตรรกะของ MCS-51	16
ตารางที่ 2.6 คำสั่งในการเคลื่อนย้ายข้อมูลของ MCS-51	17
ตารางที่ 2.7 คำสั่งการประมวลผลแบบบูลีนของ MCS-51	18
ตารางที่ 2.8 คำสั่งควบคุมลำดับการทำงานของ MCS-51	19
ตารางที่ 4.1 แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากโหลดเซลล์	42
ตารางที่ 4.2 แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากวงจรอินสตรูเมนต์เตชันแอมป์รีไฟเออร์	44
ตารางที่ 4.3 เอาต์พุตของวงจรเอพูดีคอนเวอร์เตอร์	45
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองจากการทดลองอินพุตค่าน้ำหนักตั้งแต่ 0-2 กิโลกรัม โดยใช้ถั่วเขียวและน้ำตาลทราย	47

## บทที่ 1

### บทนำ

ในปัจจุบันผู้ผลิตหรือ โรงงานอุตสาหกรรมได้นำเทคโนโลยีเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการต่างๆ เพื่ออำนวยความสะดวกและพัฒนากระบวนการผลิตและบริการ เพื่อการผลิตที่ทันต่อความต้องการของผู้บริโภคและลูกค้าที่มีความต้องการอย่างต่อเนื่องและไม่สิ้นสุด ส่วนมาตรฐานของการผลิตสินค้าก็มีความสำคัญและจำเป็นต่อผู้บริโภคเพราะจะได้สินค้าที่ปลอดภัยและมีคุณภาพ ดังนั้นผู้ผลิตจึงให้ความสำคัญกับขั้นตอนการผลิต ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการย่อยต่าง ๆ เพื่อให้ได้สินค้าที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป

มาตรฐานการตวง วัดปริมาตร ก็เป็นมาตรฐานที่จำเป็นสำหรับกระบวนการหนึ่งในการผลิตสินค้า ด้วยความต้องการให้ปริมาตรของสินค้าที่เที่ยงตรงและเท่าเทียมกันตลอดสำหรับลูกค้าทุกคน ดังนั้นจึงมีการนำเทคโนโลยีด้านต่างๆ หลายๆ ด้านมาประกอบกันเพื่อผลิตเป็นเครื่องมืออำนวยความสะดวก อาทิ เครื่อง ที่ทำขึ้นเพื่อให้เกิดมาตรฐานดังกล่าว และยังช่วยเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในกระบวนการผลิตที่ซ้ำเดิม มีการปรับเปลี่ยนปริมาณการบรรจุได้ตามต้องการทำให้อำนวยความสะดวกในการผลิตมากยิ่งขึ้น

จากแนวความคิดเบื้องต้นดังกล่าวมาแล้ว ได้สอดคล้องกับความคิดของผู้จัดทำที่ต้องการจะสร้างสรรค์ผลงานชิ้นหนึ่ง เพื่ออำนวยความสะดวกและสามารถนำไปใช้งานให้เกิดประโยชน์ได้ ประกอบกับความต้องการที่จะนำความรู้ที่ได้รับจากการศึกษาที่ผ่านมาประยุกต์ใช้ในการทำงาน จึงได้เกิดความต้องการที่จะสร้างงานชิ้นนี้ให้เป็นจริงขึ้นมาได้ โครงการนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อประโยชน์ทางการศึกษาและพัฒนาเครื่องชั่งดิจิทัลให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ และอำนวยความสะดวกสบายแก่ผู้ใช้ โดยมีต้นทุนที่ต่ำและสามารถผลิตใช้เองได้โดยไม่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 เกจความเครียด (Strain Gages)

ทรานส์ดิวเซอร์ (transducer) ชนิดนี้อยู่บนพื้นฐานที่ว่าถ้าตัวนำไฟฟ้าอันหนึ่งถูกขึงให้ตึงหรือถูกอัดตัวค่าความต้านทานของมันจะเปลี่ยนแปลง อันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในความยาวพื้นที่หรือพิกัดความต้านทาน (Resistivity) ของมัน ค่าความต้านทาน  $R$  ของตัวนำไฟฟ้าอันหนึ่งมีพื้นที่หน้าตัด  $A$  ความยาว  $L$  และพิกัดความต้านทานของวัสดุ  $\rho$  คือ

$$R = \rho L / A$$

เมื่อ  $R$  = รีซิสแตนซ์ของเส้นลวด

$\rho$  = รีซิสติวิตีคิดเป็น โอห์ม-เมตร

$L$  = ความยาวของเส้นลวดคิดเป็นเมตร

$A$  = พื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดคิดเป็นตารางเมตร

การเปลี่ยนแปลงค่ารีซิสแตนซ์ของเส้นลวดเมื่อถูกยึดสามารถหาได้ดังสมการ

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

$$dR = \frac{\rho dL}{A} - \rho A^{-2} L dA + L \frac{d\rho}{A}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta L}{L} - \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \underbrace{(1 + 2\mu) \frac{\Delta L}{L}}_{\text{Dimensional effect}} + \underbrace{\frac{\Delta \rho}{\rho}}_{\text{Piezoresistive effect}}$$

$$G = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = (1 + 2\mu) + \frac{\Delta \rho/\rho}{\Delta L/L}$$

ซึ่งจากสมการข้างต้นจะมี  $G$  เป็น เกจแฟกเตอร์ (gage factor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติ ตัวนำไฟฟ้าที่ฝังมักอยู่ในรูปของเส้นลวดเล็กๆ หรือโลหะแผ่นบาง ทรานส์ดิวเซอร์เกิดความเครียดสามารถแบ่งออกได้เป็นสองชนิด คือ

1. เกจความเครียดชนิดไม่ยึดติด เกจความเครียดชนิดนี้ ถดค่าความต้านทานเส้นหนึ่งจะถูกขึงให้ตึงระหว่างสองเฟรม เฟรมหนึ่งเป็นเฟรมเคลื่อนที่ ขณะที่อีกเฟรมหนึ่งอยู่กับที่
2. เกจความเครียดชนิดยึดติด ทรานส์ดิวเซอร์เกจความเครียดชนิดยึดติดถูกใช้อย่างกว้างขวางเพื่อวัดสิ่งที่แปรเปลี่ยนไปทางกายภาพหลายๆอย่างเช่น ความเครียด แรง แรงบิด ความดัน และการสั่นสะเทือน เป็นต้น เกจเหล่านี้อาจจะทำด้วยวัสดุจำพวก โลหะหรือสารกึ่งตัวนำและอยู่ในรูปของเกจเส้นลวด (เส้น)

เกจที่ทำด้วย โลหะผสมทองแดง-นิกเกิลมีเกจแฟกเตอร์ 2 ถึง 3 ขณะที่ เซมิคอนดักเตอร์เกจมีเกจแฟกเตอร์ 100 ถึง 200 ตารางที่ 1 จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุห่อหุ้มเกจ ชนิดเส้นลวดและสารยึดติด

วัสดุห่อหุ้มเกจ	สารยึดติด	ชนิดเส้นลวด	หมายเหตุ
กระดาษหรือไหม	Nitrocellulose	โลหะผสม Cu,Ni	ใช้ได้สูงถึง 60 องศา
เบคาไลท์	Epoxy	โลหะผสม Cu,Ni	ใช้ได้สูงถึง 200 องศา
Glass Weave	Ceramic cement	โลหะผสม Ni,Cr	ใช้ได้สูงถึง 400 องศา

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุห่อหุ้มเกจ ชนิดเส้นลวดและสารยึดติด

กระแสที่ไหลผ่านเกจโดยปกติถูกจำกัดที่ 10 ถึง 30 mA ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการทดสอบเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเส้นลวด เกจที่ห่อหุ้มด้วยเบคาไลท์สามารถต้านทานกระแสที่มีค่าค่อนข้างสูงได้เราจะต้องให้ความระมัดระวังเอาใจใส่ในขณะที่ทำการติดเกจ พื้นผิวที่ต้องการติดเกจจะต้องทำให้สะอาดโดยตลอด ต่อมาจึงใส่สารยึดติดตามคำแนะนำของโรงงานผู้ผลิตแล้วทำการเชื่อมต่อขาของเกจและยึดติดอย่างแน่นหนาเข้ากับส่วนที่ต้องการทดสอบ จากนั้นตรวจสอบการเชื่อมต่อเกจและฉนวนเป็นลำดับสุดท้าย

### 2.1.1 ชนิดของสเตรนเกจทรานส์ดิวเซอร์

โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 พวก คือ

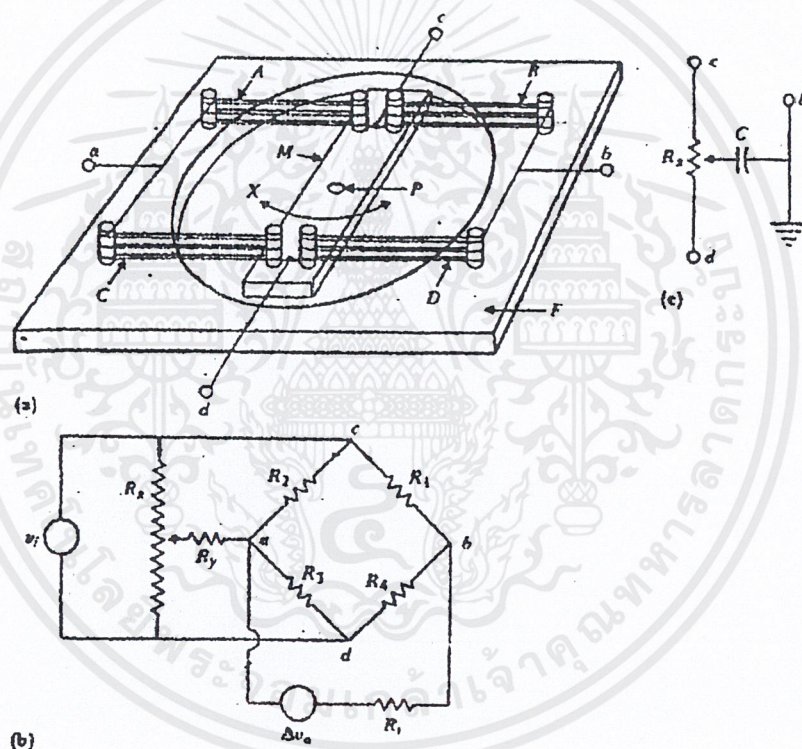
1. Unbonded metallic-filament strain gage
2. Bonded metallic foil gage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. Bonded piezoresistive หรือ semiconductive gage

#### 2.1.1.1 Unbonded metallic-filament strain gage

ตัวอย่างของสเตรนเกจพวกนี้แสดงไว้ในรูปที่ 1 โดยการใช้ลวด 4 เส้นมาต่อกันทำเป็นวงจรบริดจ์ แล้วยึดลวดเหล่านี้ลงบนกรอบ ซึ่งมีแผ่นที่เคลื่อนไหวได้ ทรานสดิวเซอร์นี้โดยทั่วไปใช้สำหรับวัดการเคลื่อนที่เชิงเส้น แต่อาจนำมาใช้วัดการเคลื่อนที่เชิงมุมได้ เมื่อทำให้แผ่นหมุนรอบแกน



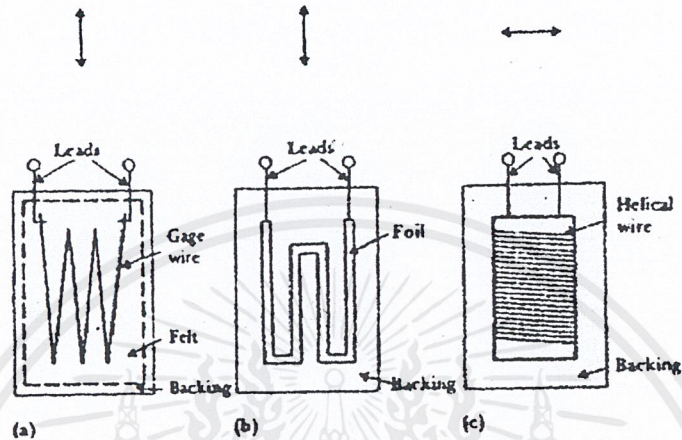
รูปที่ 2.1 สเตรนเกจชนิด Unbonded metallic-filament strain gage

#### 2.1.1.2 bonded metallic foil gage

สเตรนเกจชนิดนี้มักประกอบด้วยแผ่น โลหะหรือแผ่นฟอยล์ (foil) ยึดติดกับพื้นหน้าซึ่งจะเป็นตัวที่ทำให้ถูกยึดซึ่งอาจเป็น อีพ็อกซีแบคกิ้งฟิล์ม (epoxy backing film) โดยทั่วไป ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้มีความแม่นยำดีโดยมีความผิดพลาด 1% มักสร้างสเตรนเกจเป็นวงจรบริดจ์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีแกน 4 ข้าง ซึ่งนอกจากเป็นการชดเชยอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงแล้ว ยังทำให้สเตรนเกจมีความไวเพิ่มขึ้น 4 เท่าด้วย



รูปที่ 2.2 ทรานสดิวซ์เซอร์ bonded metallic foil gage

รูป a ชนิดเส้นลวด

รูป b ชนิดแผ่นกระดาษ

รูป c ชนิดเส้นลวดขดหลายรอบ

ทิศทางของลูกศรคือทิศทางที่สเตรนเกจไวต่อแรงที่มากกระทำมากที่สุด

### 2.1.1.3 Bonded piezoresistive หรือ semiconductor gage

เนื่องจากในปัจจุบันนี้มีสเตรนเกจที่ใช้สารกึ่งตัวนำมาใช้มาก บอนด์เปียโซริซิสทีฟ (Bonded piezoresistive) หรือ เซมิคอนดักทีฟ (semiconductor gage) นั้น โดยทั่วไปมีการเปลี่ยนแปลงรีซิสแตนซ์มากกว่าฟอยล์เกจ (foil gage) ถึง 100 เท่า ซึ่งก็หมายความว่าถ้านำเซมิคอนดักทีฟเกจนี้ไปต่อกับแขนของวงจรถบรีดจ์จะทำให้ศักย์ไฟฟ้ามีค่ามาก จึงไม่ต้องการแอมพลิไฟเออร์ศักย์ไฟฟ้าต่อไปอีก อย่างไรก็ดี การเปลี่ยนแปลงรีซิสแตนซ์ที่มากนี้ จะทำให้วงจรถบรีดจ์ไม่สมดุล เมื่อใช้คอนสแตนท์โวลต์เตจเอกไซเตชัน (constant - voltage excitation) จึงเป็นผลให้ได้เอาท์พุทไม่เป็นเชิงเส้นตรง ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการใช้แหล่งกำเนิดกระแสคงที่ (constant-current supply) คุณลักษณะทางเปียโซริซิสแตนซ์ของสารกึ่งตัวนำ (Piezoresistance effect) นั้น หมายถึงการเปลี่ยนแปลงรีซิสแตนซ์เมื่อได้รับความเครียด วัสดุทุกอย่างแสดงผลนี้บ้างไม่มากก็น้อย แต่สารกึ่งตัวนำบางอย่างจะแสดงผลนี้มากแก็กแฟกเตอร์จึงสามารถหาค่าได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G = 1 + 2V + II, \mathcal{E}$$

ซึ่ง  $V$  = Poisson's ratio สำหรับสารกึ่งตัวนำ

$\mathcal{E}$  = ค่ายังโมดูลัส (Young's modulus)

$II$  = Longitudinal piezoresistive coefficient

2 ตัวแรกเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรีซิสแตนซ์ที่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาด ส่วนตัวหลังนั้นเป็นการเปลี่ยนแปลงรีซิสติวิตี

ข้อได้เปรียบของสเตรนเกจที่ใช้สารกึ่งตัวนำมีดังต่อไปนี้ คือ

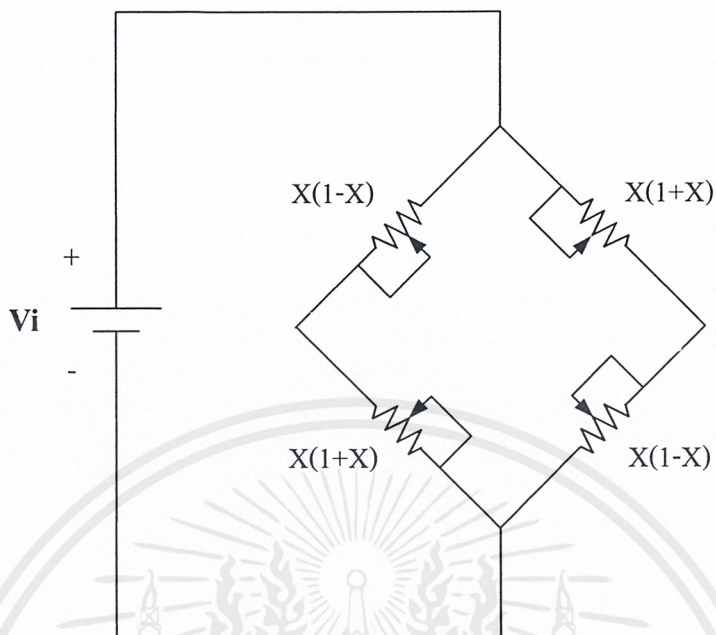
1. มีความไว (sensitivity) สูง คือมีเกจแฟกเตอร์ 20 – 90 เท่าของแบบลวดโลหะหรือแบบฟอสล์
2. ขนาดเล็ก อาจมีขนาดเล็กคือยาวเพียง 0.5 มม. และกว้างเพียง 0.25 มม.
3. มีช่วงรีซิสแตนซ์กว้าง เช่นจาก 60 – 1000 โอห์ม
4. ทนต่อการใช้งาน ได้มากคือ สามารถใช้งานได้  $10^7$  ครั้ง โดยไม่มีการล้า (fatigue)
5. มีฮิสเทอริซิส (hysteresis) ต่ำ เช่นผลึกซิลิกอนนั้นถือได้ว่าไม่มีฮิสเทอริซิส ความจริงแล้วฮิสเทอริซิสนั้นถูกจำกัดโดยบอนด์คิงเทคนิค (bonding technique)
6. มีทั้งชนิด P และ N ดังนั้นเกจแฟกเตอร์จึงมีค่าเป็นทั้งบวกและลบ จึงสามารถสร้างเป็นวงจรบริดจ์ได้โดยให้มีการกระทำทิศทางเดียว (unidirectional strain fields)

### 2.1.2 บริดจ์ของเกจความเครียด

เกจความเครียด โดยปกติแล้ว จะถูกต่อเป็นส่วนหนึ่งของวงจรวิทซ์ โคนบริดจ์เพื่อว่าการเปลี่ยนแปลงในค่าความต้านทานมัน อันเนื่องมาจากความเครียดจะ วัดได้ หรือให้เอาท์พุทที่สามารถนำไปแสดงผลหรือบันทึกผลได้เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของสเตรนเกจจะน้อยมากโดยปกติประมาณ 1% ดังนั้นการออกแบบจึงต้องคำนึงถึงผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อสเตรนเกจด้วย ทางหนึ่งที่ใช้ในการชดเชยเกี่ยวกับผลกระทบทางอุณหภูมิ คือ ใช้เกจ 4 ตัวต่อกันเป็นลักษณะของวิทซ์ โคนบริดจ์แบบสมมูล โดยถือว่าการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิของเกจเท่ากันทุกตัว ทำให้บริดจ์สมดุลอยู่ตลอดเวลา

รูปที่ 2.3 แสดงวงจรบริดจ์ประกอบด้วยความต้านทาน 4 ตัว สองตัวจะมีค่าเพิ่มขึ้น และอีกสองตัวจะมีค่าลดลงด้วยอัตราส่วนเดียวกัน การใช้งานในรูปแบบนี้มักจะใช้งานกันบ่อยๆ สำหรับการเอาสเตรนเกจมาช่วยในการวัดเอาท์พุทที่ได้จากการต่อแบบนี้จะมีค่าเป็น 4 เท่าของเอาท์พุทที่ได้จากบริดจ์ที่ใช้สเตรนเกจตัวเดียวในวงจร อีกประการหนึ่งก็คือจะเป็นเชิงเส้นตามค่าของ  $X$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 รูปแบบการติดตั้งสเตรนเกจในลักษณะของบริดจ์

## 2.2 สเต็ปป์มอเตอร์

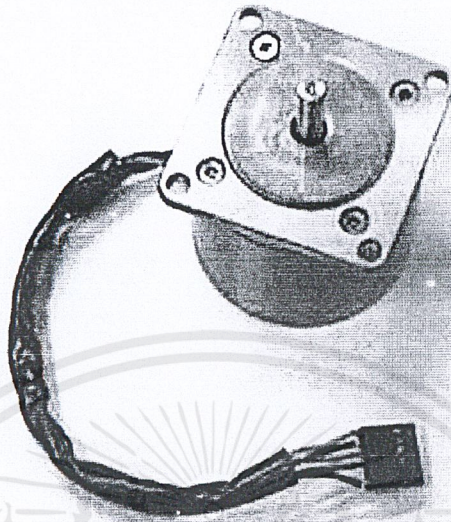
สเต็ปป์มอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยพัลส์ ลักษณะการขับเคลื่อน จะหมุนรอบแกนได้ 360 องศา มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง แต่มีลักษณะเป็นสเต็ป โดยแต่ละสเต็ปจะขับเคลื่อนได้ 1, 1.5, 1.8 หรือ 2 องศา แล้วแต่ละโครงสร้างของมอเตอร์ลักษณะที่ นำมอเตอร์ไปใช้ จะเป็นงานที่ต้องการตำแหน่งแม่นยำ เช่น ระบบขับเคลื่อนหัวแม่พิมพ์ในเครื่องพิมพ์ (Printer) ระบบขับเคลื่อนหัวอ่านในเครื่องอ่านบันทึกเทป ระบบขับเคลื่อนตำแหน่งของปากกาใน X-Y Plotter เป็นต้น

### 2.2.1 ชนิดและโครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์

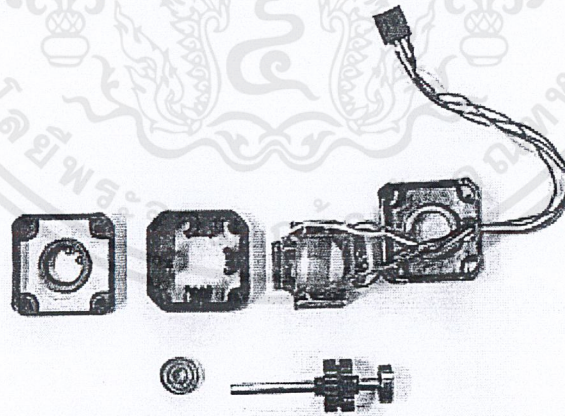
สเต็ปป์มอเตอร์นั้น มีด้วยกันหลายชนิด แต่จะจำแนกมันตามโครงสร้างของขดลวด ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

- แบบ 2 ขด (Bipolar stepping motor)
- แบบ 4 ขด (Unipolar stepping motor)

สเต็ปป์มอเตอร์มีลักษณะดังรูป



รูปที่ 2.4 สเต็ปป์มอเตอร์แบบมีสาย 5 เส้น



รูปที่ 2.5 ภาพถ่ายโครงสร้างสเต็ปป์มอเตอร์

สเต็ปป์มอเตอร์ที่พบในปัจจุบันมี 3 ลักษณะดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.1.1 สเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet-PM)

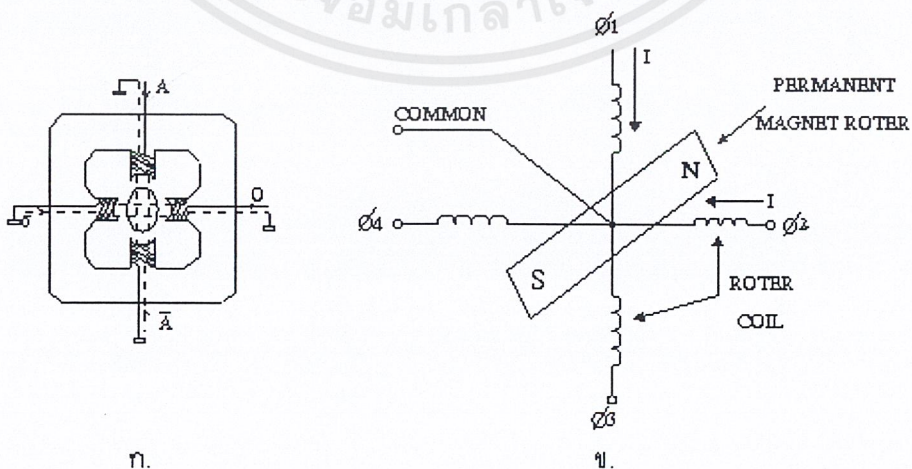
สเต็ปป์มอเตอร์แบบ PM จะมีสเตเตอร์ (Stator) ที่ฟันขดลวดไว้หลายๆ โพล โดยมีโรเตอร์ (Rotor) เป็นรูปทรงกระบอกฟันเลื่อย และโรเตอร์ทำด้วยแม่เหล็กถาวร เพื่อป้อนไฟกระแสตรง ให้กับขดสเตเตอร์ จะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กไฟฟ้าผลักต่อโรเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุน มอเตอร์แบบ PM จะเกิดแรงดูดยึดให้โรเตอร์หยุดอยู่กับที่แม้จะไม่ได้ป้อนไฟเข้าขดลวด

### 2.2.1.2 แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ (Variable Reluctance - VR)

สเต็ปป์มอเตอร์แบบ VR จะมีการหมุนโรเตอร์ได้อย่างอิสระแม้จะไม่ได้จ่ายไฟให้ โรเตอร์ทำจากสารเฟอร์โรแมกเนติก กาลังอ่อน มีลักษณะเป็นฟันเลื่อย รูปทรงกระบอกโดยจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวน โพลในสเตเตอร์ แรงบิดที่เกิดขึ้นจะไปหมุนโรเตอร์ไปในเส้นทางของอำนาจแม่เหล็กที่มีค่ารีลักแตนซ์ต่ำที่สุด ตำแหน่งที่จะเกิดแน่นอนและมีเสถียรภาพแต่จะเกิดขึ้นได้หลาย ๆ จุด ดังนั้นเมื่อป้อนไฟเข้าขดลวดต่าง ๆ ในมอเตอร์แตกต่างกันไปก็ทำให้มอเตอร์หมุนไปตำแหน่งต่าง ๆ กัน โรเตอร์ของ VR จะมีความเฉื่อยของโรเตอร์น้อยจึงมีความเร็วรอบสูงกว่ามอเตอร์แบบ PM

### 2.2.1.3 แบบผสม (Hybrid - H)

สเต็ปป์มอเตอร์แบบ H จะเป็นลูกผสมของ VR กับ PM โดยจะมีสเตเตอร์คล้ายกับที่ใช้ใน VR โรเตอร์มีหมวกหุ้มปลาย ซึ่งมีลักษณะของสารแม่เหล็กที่มีกำลังสูง โดยการควบคุมขนาดรูปร่างของหมวกแม่เหล็กอย่างดีทำให้ได้มุมการหมุนและครั้งน้อยและแม่นยำ ข้อดีก็คือ ให้แรงบิดสูงและมีขนาดกระทัดรัด และให้แรงดูดยึด โรเตอร์นิ่งกับที่ตอนไม่จ่ายไฟ



รูปที่ 2.6 แสดง (ก) โครงสร้าง (ข) วงจรเทียบเท่า (equivalent circuit) ของมอเตอร์ ชนิด 4 ขด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 การกระตุ้นและการควบคุมการหมุนของสเต็ปป์มอเตอร์

การกระตุ้นและการควบคุมการหมุนของสเต็ปป์มอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเต็ป ทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีแควนเชียลในรูปแบบที่ถูกต้องด้วย

เฟสที่จ่ายกระแสไฟฟ้า	$\phi_1$	$\phi_1\phi_2$	$\phi_2$	$\phi_2\phi_3$	$\phi_3$	$\phi_3\phi_4$	$\phi_4$	$\phi_4\phi_1$
ตำแหน่งโรเตอร์	↑	↗	→	↘	↓	↙	←	↖

ตารางที่ 2.2 แสดงมุมของโรเตอร์เทียบกับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายแก่เฟสต่าง ๆ 8 ตำแหน่ง

จากลักษณะของมุมโรเตอร์หมุนกับกระแสไฟฟ้าที่ป้อนแก่เฟสต่างๆจะสามารถตั้งงานให้สเต็ปป์มอเตอร์หมุนได้ 3 อย่าง คือ

**2.2.2.1 แบบจ่ายกระแสไฟให้เฟสเดียววนเวียนกันไป** เรียกว่า One - Excitation คือ การกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งได้เรียงถัดกันไป คือ  $f_1, f_2, f_3, f_4$  การกระตุ้นแบบนี้แรงบิดจะน้อย แต่ได้รอบสูงและกินไฟต่ำ ความละเอียดของสเต็ป จะเท่ากับสเป็คของตัวมอเตอร์ เหมาะกับงานที่รับโหลดไม่มาก

**2.2.2.2 แบบจ่ายกระแสไฟให้พร้อมกันทีละ 2 เฟส** เรียก Two - Excitation เป็นการกระตุ้นที่คล้ายกับแบบหนึ่งเฟส แต่การกระตุ้นแบบนี้จะทำการกระตุ้นโดยการจ่ายไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขดที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน และเรียงถัดกันไป เช่น  $f_1f_2, f_2f_3, f_3f_4, f_4f_1$  หมุนเวียนกันไป การกระตุ้นแบบนี้แรงบิดจะมากเนื่องจากโรเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยแรงดึงจากอีก 2 ขดลวดถัดไป และได้รอบสูงแต่จะกินไฟสูงด้วย อาจส่งผลกระทบต่อเนื่องทางอุณหภูมิ ความละเอียดต่อสเต็ปจะได้เท่ากับสเป็คของมอเตอร์เอง เหมาะกับงานที่มีโหลดมาก

**2.2.2.3 แบบจ่ายกระแสไฟให้ทีละ 1 เฟส สลับกับ 2 เฟส** เรียก One - Two Excitation หรือ Half Step เป็นรูปแบบที่ผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบ 1 เฟส และแบบ 2 เฟส เพื่อเพิ่มจำนวนของสเต็ปต่อรอบอีกเท่าตัวหนึ่ง เช่น  $f_1, f_1f_2, f_2, f_2f_3, f_3, f_3f_4, f_4, f_4f_1, f_1$  วนไปเรื่อย ๆ แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะได้เพิ่มมากขึ้นอีก เพราะช่วงสเต็ปมีระยะสั้นลง และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถูกต้องของตำแหน่งมีมากขึ้น แต่รอบของมอเตอร์จะต่ำลง กินไฟสูง เหมาะกับงานที่ต้องการความละเอียดแต่ละสเต็ปมาก ๆ

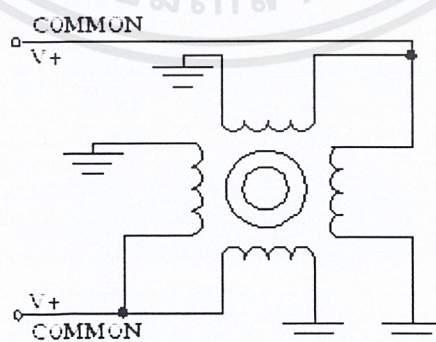
เฟส	$\phi_4$	$\phi_3$	$\phi_2$	$\phi_1$
$\phi_1$	1	0	0	1
$\phi_2$	0	0	1	0
$\phi_3$	0	1	0	0
$\phi_4$	1	0	0	0

ตารางที่ 2.3 แสดงการจ่ายไฟทีละ 1 เฟส สลับกับ 2 เฟส

### 2.2.3 การตรวจสอบหาสายคอมม่อนและสายกราวด์ของสเต็ปิ่งมอเตอร์แบบ PM (แบบแกนโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร)

โดยทั่วไปสเต็ปิ่งมอเตอร์แบบ PM จะมีอยู่ 2 ชนิด

#### 2.2.3.1 ชนิดที่เป็นคอมม่อนภายนอกสเต็ปิ่งมอเตอร์ แบบนี้มีสายอยู่ 6 เส้น คือ

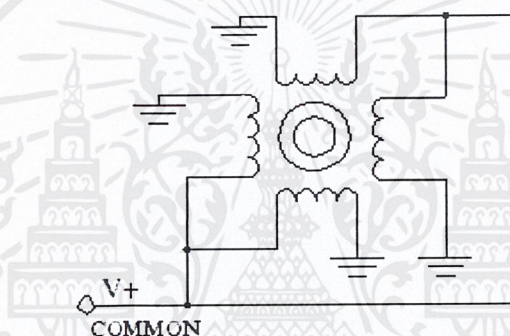


รูป 2.7 สเต็ปิ่งมอเตอร์ชนิดมีสาย 6 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายที่เป็นคอมม่อน 2 เส้น สายที่เป็นกราวด์ 4 เส้น สายคอมม่อน 1 เส้น จะจับกราวด์ 2 เส้น ในการเช็คให้ใช้มิเตอร์วัดหาสายที่เป็นคอมม่อนก่อน โดยการตั้งเร็นจ์ของมิเตอร์ที่  $R \times 1$  จับที่สายทีละคู่ ถ้าหากวัดสายคอมม่อนเทียบกับสายกราวด์ได้ถูกต้อง ค่าความต้านทานที่อ่านได้จะน้อย แต่ถ้าวัดผิดสาย คือวัดสายกราวด์เทียบกับกราวด์ ค่าความต้านทานที่อ่านได้จะสูงกว่าแต่ถ้าวัดสายคอมม่อนเทียบกับสายกราวด์ที่ไม่ใช่คู่กันแล้ว เข็มมิเตอร์ก็จะไม่กระดิก ให้ทดลองวัดเปรียบเทียบกันทีละคู่ ก็จะทราบว่าสายใดเป็นสายคอมม่อนและสายใดเป็นสายกราวด์

### 2.2.3.2 ชนิดที่เป็นคอมม่อนภายในสเต็ปป์มอเตอร์ แบบนี้มีสายอยู่ 5 เส้น คือ



รูป 2.8 สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดมีสาย 5 เส้น

สายที่เป็นคอมม่อน 1 เส้น สายที่เป็นกราวด์ 4 เส้น ในการวัดให้ทำแบบเดียวกับการวัดสเต็ปป์มอเตอร์ชนิดคอมม่อนภายนอกแตกต่างกันเพียง แบบคอมม่อนภายใน สายคอมม่อน 1 เส้น จับสายกราวด์ 4 เส้น ดังนั้นหากสายเส้นใดเมื่อวัดเทียบกับสายเส้นอื่น แล้วมีค่าความต้านทานน้อยที่สุดสายเส้นนั้นเป็นสายคอมม่อนและที่เหลืออีก 4 เส้นจะเป็นสายกราวด์

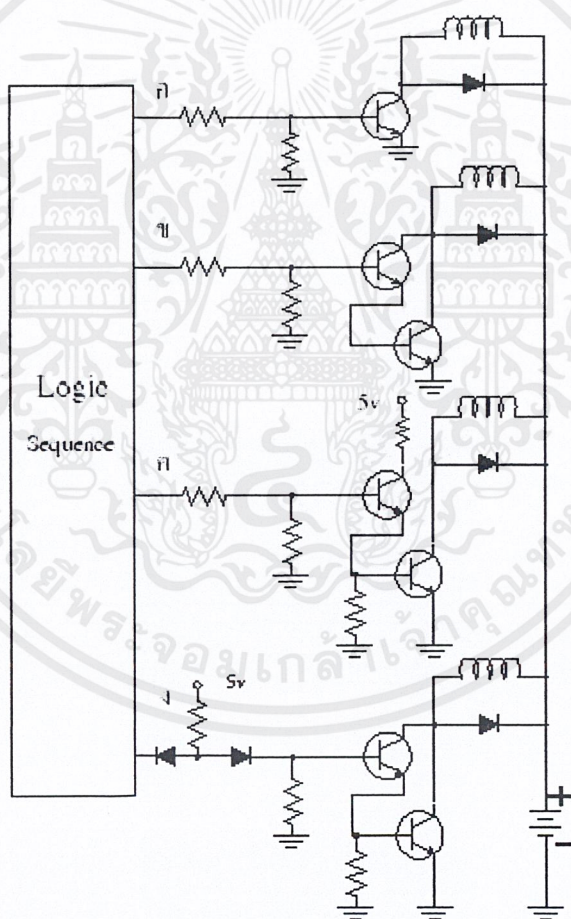
### 2.2.4 การเรียงเฟสของสเต็ปป์มอเตอร์แบบ PM

เมื่อเราทราบว่าสายเส้นใดเป็นสายคอมม่อนแล้วแต่เรายังไม่ทราบว่าสายกราวด์เส้นใดเป็นเฟสที่ 1 เฟสที่ 2 เฟสที่ 3 และเฟสที่ 4 ในการเรียงเฟสนั้นให้ใช้มิเตอร์วัดโดยนำ  $V+$  เขไปที่สายคอมม่อนวัดเทียบกับสายกราวด์เส้นใดก็ได้ 1 เส้น จะทำให้แกนโรเตอร์เคลื่อนไปข้างหน้า 1 สเต็ป เมื่อเปลี่ยนสายกราวด์เส้นแรกเป็นเส้นที่ 2 ลากมอเตอร์ไม่เคลื่อนที่ไปข้างหน้า แสดงว่าการเรียงเฟสไม่ถูกต้องก็ให้วัดเทียบกับสายกราวด์เส้นใหม่ต่อไป หากมอเตอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าตามกัน วัดที่สายกราวด์เส้นต่อไปเรื่อย ๆ ก็จะทำให้ทราบว่าสายเส้นใดเป็นเฟสแรก สายเส้นใดเป็นเฟสที่ 2 เฟสเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 3 และเฟสที่ 4 การเรียงเฟสของสเต็ปป์มอเตอร์แบบ PM ทั้งชนิดที่เป็นคอมม่อนภายนอกและชนิดที่เป็นคอมม่อนภายใน ใช้หลักการเดียวกัน

### 2.2.5 วงจรขับสเต็ปป์มอเตอร์

เมื่อเรารู้ซีควเอนซ์ของมันแล้ว ต่อไปเราก็ต้องมีวงจรขับให้แก่สเต็ปป์มอเตอร์ วิธีที่ง่ายที่สุดในการต่อวงจรซีควเอนส์เข้ากับวงจรขับ คือ การต่อโดยตรง ดังเอาท์พุท ก และ ข แต่ถ้ากระแสเอาท์พุท ของวงจรซีควเอนส์ไม่เพียงพอก็ต้องต่อ บัฟเฟอร์ (Buffer) เพื่อขยายกระแสดังรูปเอาท์พุท ค และง



รูปที่ 2.9 แสดงวิธีขับเอาท์พุทของสเต็ปป์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

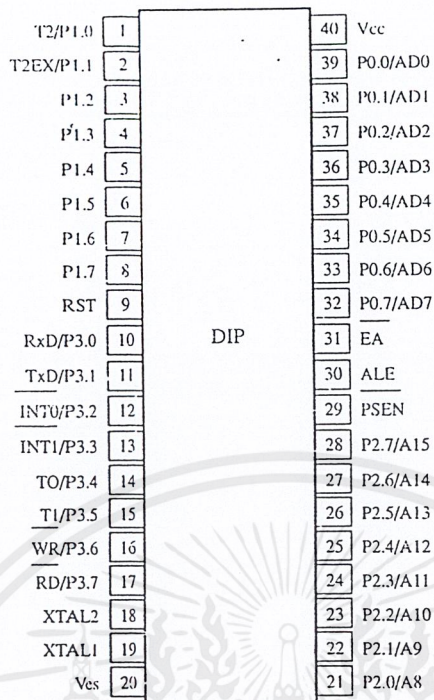
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่บริษัท Intel Corp. ได้พัฒนาขึ้นเพื่อการใช้งานทั่วไป ซึ่งต่อมาบริษัท Atmel ได้ซื้อลิขสิทธิ์ไปเพื่อพัฒนาต่อ ซึ่งมีคุณลักษณะทั่วไปดังนี้

- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ +5 โวลต์ชุดเดียว
- มีหน่วยความจำโปรแกรมขนาด 4k ไบต์
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล 128k ไบต์
- มีไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต 2 ชุด ทำงานได้ 4 โหมด
- รับอินเทอร์รัพต์ได้ 6 แหล่ง 5 เวกเตอร์
- มีพอร์ตรับส่งข้อมูลอนุกรม 2 พอร์ตแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) เลือกได้ 4 รูปแบบ

ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ประกอบไปด้วย

- ALU (Arithmetic and Logic Unit)
- รีจิสเตอร์ R0-R7 จำนวน 4 กลุ่ม
- ตัวนับโปรแกรม (Program Counter : PC)
- ตัวชี้สแต็ค (Stack Pointer : SP)
- พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต (I/O Port)
- ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์
- Accumulator
- RAM ภายใน
- ROM ภายใน
- วงจรอินเทอร์รัพต์
- วงจรนาฬิกา
- พอร์ตอนุกรม

โครงสร้างภายนอกของชิปดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

### 2.3.1 คำสั่งที่ใช้กับ MCS-51

คำสั่งที่ใช้กับ MCS-51 สามารถแบ่งได้เป็น 5 กลุ่มดังนี้

1. กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์
2. กลุ่มคำสั่งทางตรรกะ
3. กลุ่มคำสั่งในการเคลื่อนย้ายข้อมูล
4. กลุ่มคำสั่งในการประมวลแบบบูลีน
5. กลุ่มคำสั่งควบคุมลำดับการทำงาน

รายละเอียดคำสั่งต่างๆในแต่ละกลุ่มคำสั่งมีดังต่อไปนี้

#### 2.3.1.1 คำสั่งทางคณิตศาสตร์

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ไม่ว่าจะเป็นการบวก ลบ คูณ และหาร ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 การกระทำทางคณิตศาสตร์ต้องกระทำกับรีจิสเตอร์ A เป็นหลัก และผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะถูกเก็บไว้ในเอกคิวมูเลเตอร์เสมอ

รูปแบบคำสั่ง	การทำงาน
ADD A,<BYTE>	$A = A + \text{<BYTE>}$
ADDC A,<BYTE>	$A = A + \text{<BYTE>} + C$
SUBB A,<BYTE>	$A = A - \text{<BYTE>} - C$
INC A	$A = A + 1$
INC <BYTE>	$\text{<BYTE>} = \text{<BYTE>} + 1$
INC DPTR	$\text{DPTR} = \text{DPTR} + 1$
DEC A	$A = A - 1$
DEC <BYTE>	$\text{<BYTE>} = \text{<BYTE>} - 1$
MULAB	$B:A = B * A$
DIV AB	$A = \text{Int}[A/B]$ $B = \text{Mod}[A/B]$
DA A	Decimal Adjust

ตารางที่ 2.4 คำสั่งทางคณิตศาสตร์ของ MCS-51

### 2.3.1.2 คำสั่งทางตรรกะ

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้ในการประมวลผลทางตรรกะ หรือลอจิก ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 การกระทำทางลอจิกสามารถกระทำกับรีจิสเตอร์ A หรือหน่วยความจำ และค่าข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จากการกระทำทางลอจิกจะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์หรือหน่วยความจำปลายทาง

รูปแบบคำสั่ง	การทำงาน
ANL A,<BYTE>	$A = A \text{ AND } \text{<BYTE>}$
ANL <BYTE>,A	$\text{<BYTE>} = \text{<BYTE>} \text{ AND } A$
ANL <BYTE>,#DATA	$\text{<BYTE>} = \text{<BYTE>} \text{ AND } \text{\#DATA}$
ORL A,<BYTE>	$A = A \text{ OR } \text{<BYTE>}$
ORL <BYTE>,A	$\text{<BYTE>} = \text{<BYTE>} \text{ OR } A$
ORL <BYTE>,#DATA	$\text{<BYTE>} = \text{<BYTE>} \text{ OR } \text{\#DATA}$
XRL A,<BYTE>	$A = A \text{ XOR } \text{<BYTE>}$
XRL <BYTE>,A	$\text{<BYTE>} = \text{<BYTE>} \text{ XOR } A$

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบคำสั่ง	การทำงาน
ORL <BYTE>,#DATA	<BYTE> = <BYTE> XOR #DATA
CLR A	A = 00H
CPL A	A = NOT A
RL A	เลื่อนค่าใน ACC ไปทางซ้าย 1 บิต
RLC A	เลื่อนค่าใน ACC ไปทางซ้าย 1 บิตผ่าน Carry
RR A	เลื่อนค่าใน ACC ไปทางขวา 1 บิต
RRC A	เลื่อนค่าใน ACC ไปทางขวา 1 บิตผ่าน Carry
SWAP A	สลับ 4 บิตบนและล่างใน ACC

ตารางที่ 2.5 คำสั่งทางตรรกะของ MCS-51

### 2.3.1.3 คำสั่งในการเคลื่อนย้ายข้อมูล

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้ในการโอนย้ายหรือเคลื่อนที่ข้อมูลระหว่างรีจิสเตอร์ในหน่วยความจำข้อมูลด้วยกัน ,การ โอนย้ายหรือเคลื่อนที่ข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอก ,การสลับข้อมูล และคำสั่งที่ใช้ในการเก็บหรือเรียกข้อมูลออกจากสแต็ค

รูปแบบคำสั่ง	การทำงาน
MOV A,<SRC>	A = <SRC>
MOV <DEST>,A	<DEST> = A
MOV <DEST>,<SRC>	<DEST> = <SRC>
MOV <DEST>,<SRC>	DPTR = 16 บิตค่าคงที่
PUSH <SRC>	PUSH <SRC> เข้าสู่สแต็ค
POP <DEST>	POP สแต็คเข้า <DEST>
XCH A,<DEST>	แลกเปลี่ยนค่าระหว่าง A และ <DEST>

รูปแบบคำสั่ง	การทำงาน
XCHD A,@Ri	แลกเปลี่ยนค่า 4 บิตล่างระหว่าง A และ ค่าในตำแหน่งที่ระบุโดย Ri
MOVX A,@Ri (อ้างตำแหน่ง 8 บิต)	นำค่าในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล ภายนอกที่ระบุโดย Ri มาไว้ที่ A
MOVX A,@Ri,A (อ้างตำแหน่ง 8 บิต)	นำค่าใน A ออกไปยังหน่วยความจำ สำหรับเก็บข้อมูลภายนอกที่ระบุโดย Ri
MOVX A,@DPTR (อ้างตำแหน่ง 16 บิต)	นำค่าในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล ภายนอกที่ระบุโดย DPTR มาไว้ที่ A
MOVX @DPTR,A	นำค่าใน A ออกไปยังหน่วยความจำ สำหรับเก็บข้อมูลภายนอกที่ระบุโดย DPTR
MOVC A,@A+DPTR	อ่านค่าจากหน่วยความจำโปรแกรม ตำแหน่งที่ระบุโดย (A + DPTR) เข้า A
MOVC A,@A+PC	อ่านค่าจากหน่วยความจำโปรแกรม ตำแหน่งที่ระบุโดย (A+PC+1) เข้า A

ตารางที่ 2.6 คำสั่งในการเคลื่อนย้ายข้อมูลของ MCS-51

### 2.3.1.4 คำสั่งการประมวลผลแบบบูลีน

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่าข้อมูลในระดับบิต กลุ่มคำสั่งนี้มีประโยชน์ในการเปลี่ยนแปลงค่าของข้อมูลในแต่ละบิตของรีจิสเตอร์ที่สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิตได้โดยตรงโดยไม่ต้องใช้คำสั่งอื่นที่อาจใช้หน่วยความจำ และเวลาในการประมวลผลมากกว่า แฟลคที่เกี่ยวข้องในกลุ่มคำสั่งนี้มีเพียงแฟลคทดตัวเดียว

รูปแบบคำสั่ง	การทำงาน
SETB C	CY = 1
SETB <BIT>	<BIT> = 1
CLR C	CY = 0
CLR <BIT>	<BIT> = 0

รูปแบบคำสั่ง	การทำงาน
CPL C	$CY = \overline{CY}$
CPL <BIT>	$\overline{<BIT>} = \overline{<BIT>}$
MOV C,<BIT>	ย้ายข้อมูลในตำแหน่ง BIT เข้า CY
MOV <BIT>,C	ย้ายข้อมูลในตำแหน่ง CY เข้า <BIT>
ANL C,<BIT>	ข้อมูลในตำแหน่ง CY AND กับ <BIT>
ANL C,/<BIT>	ข้อมูลในตำแหน่งCY AND กับ not <BIT>
ORL C,<BIT>	ข้อมูลในตำแหน่ง CY OR กับ <BIT>
ORL C,/<BIT>	ข้อมูลในตำแหน่ง CY OR กับ not<BIT>
JC REL	จะกระโดดถ้า $CY = 1$
JNC REL	จะกระโดดถ้า $CY = 0$
JB <BIT>,REL	จะกระโดดถ้าค่าในตำแหน่ง <BIT> = 1
JNB <BIT>,REL	จะกระโดดถ้าค่าในตำแหน่ง <BIT> = 0
JBC <BIT>,REL	จะกระโดดถ้าค่าในบิต = 1 แล้วเคลียร์บิตนั้น เป็น 0

ตารางที่ 2.7 คำสั่งการประมวลผลแบบบูลีนของ MCS-51

### 2.3.1.5 คำสั่งควบคุมลำดับการทำงาน

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งแอดเดรสการทำงานของซีพียู เนื่องจากในการทำงานบางครั้งซีพียูมีความจำเป็นต้องกระโดดไปทำงานในแอดเดรสอื่นที่ไม่ได้อยู่ต่อเนื่องกัน

รูปแบบคำสั่ง	การทำงาน
คำสั่งควบคุมลำดับการทำงานแบบมีเงื่อนไข	
JZ REL	กระโดดถ้า $A = 0$
JNZ REL	กระโดดถ้า $A \neq 0$
DJNZ <BYTE>, REL	ลดค่าใน ลงหนึ่งถ้าไม่เท่ากับศูนย์ให้กระโดด ไปยังตำแหน่ง (PC + 2 + REL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบคำสั่ง	การทำงาน
CJNE A, <BYTE>,REL	เปรียบเทียบค่าใน A กับ <BYTE> ถ้าไม่เท่ากับ ศูนย์ให้กระโดดไปยังค่า (PC +3 + REL) ถ้า A น้อยกว่า <BYTE> จะได้ CY = 0
CJNE <BYTE>,#DATA,REL	เปรียบเทียบค่าใน<BYTE> กับ #DATA ถ้าไม่เท่ากันให้กระโดดไปยังตำแหน่ง (PC+3+ REL) ถ้า <BYTE> น้อยกว่า#DATA จะได้ CY = 0
คำสั่งควบคุมลำดับการทำงานแบบไม่มีเงื่อนไข	
JMP ADDR AJMP ADDR 11 LJMP ADDR 16 SJMP REL	กระโดดไปยังตำแหน่ง ADDR มี 3 รูปแบบ กระโดดไปยังตำแหน่งในช่วง 2 <sup>11</sup> ตำแหน่ง กระโดดไปยังตำแหน่งในช่วง 2 <sup>16</sup> ตำแหน่ง กระโดดไปยังตำแหน่งในช่วง(-128 ถึง+128)
JMP @A +DPTR	กระโดดไปยังตำแหน่งที่ระบุโดยค่า(A+DPTR)
CALL ADDR ACALL ADDR 11 LCALL ADDR 16	เรียกโปรแกรมย่อยที่ตำแหน่ง ADDR 2 รูปแบบ เรียกโปรแกรมย่อยในช่วง 2 <sup>11</sup> ตำแหน่ง เรียกโปรแกรมย่อยในช่วง 2 <sup>16</sup> ตำแหน่ง
RET	กระโดดกลับจากโปรแกรมย่อย
CJNE <BYTE>,#DATA,REL	กระโดดกลับจากโปรแกรมย่อยของอินเตอร์รัพต์
NOP	ไม่มีการทำงานใดๆ

ตารางที่ 2.8 คำสั่งควบคุมลำดับการทำงานของ MCS-51

### 2.3.2 วิธีการเข้าถึงข้อมูลสำหรับ MCS-51

ในการเขียนโปรแกรมใดๆก็ตาม สิ่งหนึ่งที่จะต้องให้ความสนใจก็คือวิธีการเข้าถึงข้อมูล (addressing Mode) ซึ่งวิธีการเข้าถึงข้อมูลสำหรับ MCS-51 มีดังนี้

*Direct Addressing* การเข้าถึงข้อมูลทางตรง ทำได้กับ RAM ภายในและ SFR เท่านั้นในลักษณะตำแหน่ง 8 บิตเช่น MOV A,7FH

*Indirect Addressing* การเข้าถึงแบบนี้ จะใช้รีจิสเตอร์ ในการเข้าถึงข้อมูลใน Data Memory (RAM) เช่น MOV A,@R1 A เลื่อนระยะเข้าหาหรือห่างออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Immediate Constant* สำหรับค่าคงที่ใดๆ จะใช้เครื่องหมาย # นำหน้าค่าคงที่และตามหลังรหัสคำสั่ง (Opcode) เช่น MOV A,#20H มีรหัส 7420H โดย 74 คือ รหัสคำสั่งสำหรับการ MOV และ 20 คือค่าคงที่ที่ต้องการ MOV

*Register Instruction* จะใช้รีจิสเตอร์ R0 ถึง R7 ในรีจิสเตอร์แบงก์ในการทำงาน ในรหัสคำสั่งของคำสั่งนี้จะใช้ 3 บิตในการเปลี่ยนแปลงชื่อรีจิสเตอร์เช่น INC R1 มีรหัสคำสั่งเป็น 09H หรือ 00001001B โดย 1 ในบิตที่ 3 แสดงการ INC และ 3 บิตล่างบอกถึงรีจิสเตอร์ตัวที่ 1

*Register-Specific Instruction* ชุดรหัสคำสั่งจะระบุชี้ชัดไปยังรีจิสเตอร์ตัวนั้นๆ โดยเฉพาะ เช่น A และ DPTR ซึ่งจะพบว่าในชุดรหัสคำสั่งจะไม่มีไบต์บอกตำแหน่งทำงานเลย เช่น MOVC A,@A + DPTR จะมีรหัสคำสั่ง 93H หรือ 10010011B ซึ่งเป็นคำสั่งไบต์เดียว โดยไม่มีไบต์ระบุตำแหน่งเลย

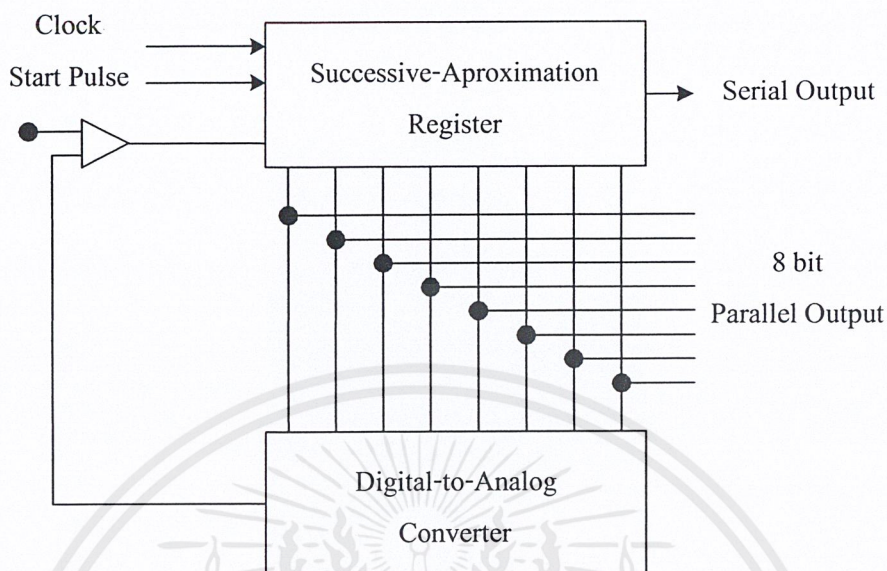
*Indexed Addressing* ในโปรแกรมเมอร์ไม่ทราบว่าสามารถเข้าถึงข้อมูลในโหมดนี้ได้และพบว่าสามารถอ่านข้อมูลได้อย่างเดียว มีจุดประสงค์ในการอ่านข้อมูลในตารางลुकอัฟในโปรแกรมเมอร์ ซึ่งจะระบุตำแหน่งโดยรีจิสเตอร์ 16 บิต โดยใช้ DPTR หรือ PC โดยจะใช้ค่าในรีจิสเตอร์ A เลื่อนระยะเข้าหาหรือห่างออกไป เช่น MOVC A,@A + PC

## 2.4 เวกเตอร์คอนเวอร์เตอร์

เป็นวงจรในการแปลงสัญญาณอินพุตอนาล็อกให้เป็นเอาต์พุตดิจิทัล โดยงานควบคุมของไมโครคอนโทรลเลอร์หลายลักษณะ จะไม่ใช่เพียงการควบคุมสถานะของการเปิด-ปิด วงจรหรืออุปกรณ์เท่านั้น เช่น การวัดหรืออ่านค่าสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล เป็นต้น งานลักษณะเช่นนี้ จำเป็นจะต้องนำวงจรในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Converter) มาใช้ในงาน

### 2.4.1 วงจร ADC Successive - Approximation

พื้นฐานทางเทคนิคของการทำงานของวงจรนี้ เป็นการพิจารณาระดับแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณอินพุตที่เข้ามา และประมาณค่า (Approximation) ด้วยรหัสเลขฐานสองค่าหนึ่งแล้วทำการติดตามเพื่อทำการทวนค่าในแต่ละบิต ๆ ของรหัสเลขฐานสองนั้น จนกระทั่งได้ค่าประมาณที่ดีที่สุด โดยในแต่ละขั้นตอนของการประมวลผล จะเก็บค่าของเลขรหัสเลขฐานสองในขณะนั้นไว้ตลอดเวลา ภายในหน่วยความจำเฉพาะ หรือที่เรียกว่า Approximation Register (SAR)



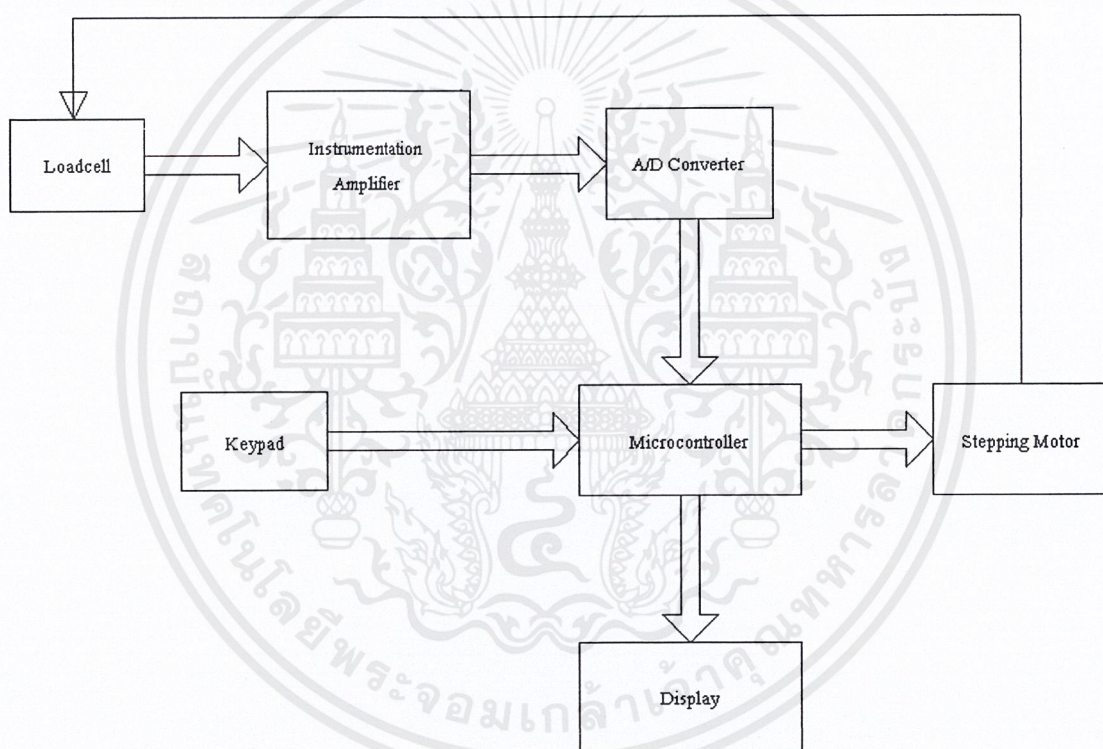
รูปที่ 2.11 แสดงรูปแบบการทำงานพื้นฐานของวงจร ADC ขนาด 8 บิต

กระบวนการแปลงจะเริ่มจากการกำหนดค่าเริ่มต้น 1 ให้กับบิตนัยสำคัญสูงสุด (MSB) ของรีจิสเตอร์ ซึ่งเท่ากับเป็นการเริ่มต้นในการประมาณค่า ด้วยค่าเพียงครั้งหนึ่งของระดับสัญญาณอินพุตแบบอนาล็อกสูงสุดที่สามารถรับเข้ามาได้ ค่านี้นำไปเข้าวงจร DAC ภายใน เพื่อเปรียบเทียบกับระดับสัญญาณอินพุตอีกครั้งหนึ่ง ผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบจะนำไปใช้ในการกำหนดเลือกค่าให้กับบิต MSB ของรีจิสเตอร์ SAR โดยหากค่าที่ประมาณมีค่าสูงไปจะกำหนดเป็นค่า 0 แต่ในกรณีตรงข้ามจะเป็นค่า 1 ระยะเวลาต่อมาเมื่อมีสัญญาณนาฬิกาเข้ามาหนึ่งครั้ง ตัวควบคุมภายในจะเริ่มกำหนดค่า 1 ให้กับบิต MSB หลักถัดไป ซึ่งก็จะเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตอีกครั้ง เพื่อให้ทราบว่าจะกำหนดค่าของบิตนั้นให้เป็น 0 หรือ 1 กระบวนการทำงานทั้งหมดนี้จะวนรอบซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งสิ้นสุดบิตนัยสำคัญต่ำสุด (LSB) ซึ่งจะได้ออกค่าของกระบวนการที่ดีที่สุดเก็บอยู่ในรีจิสเตอร์ SAR นี้ และพร้อมส่งออกไปให้กับระบบภายนอก

### บทที่ 3

#### การสร้างโครงงาน

เครื่องชั่งน้ำหนักอัตโนมัติ อาศัยหลักการทางกลศาสตร์ และหลักการทางไฟฟ้า ในการรับค่าน้ำหนัก , การประมวลผล และการควบคุมปริมาณสิ่งของที่ต้องการ ให้มีปริมาณน้ำหนัก ตามที่ป้อนอินพุตยังเครื่องชั่ง โดยจะแบ่งเป็นส่วนการทำงานดังนี้

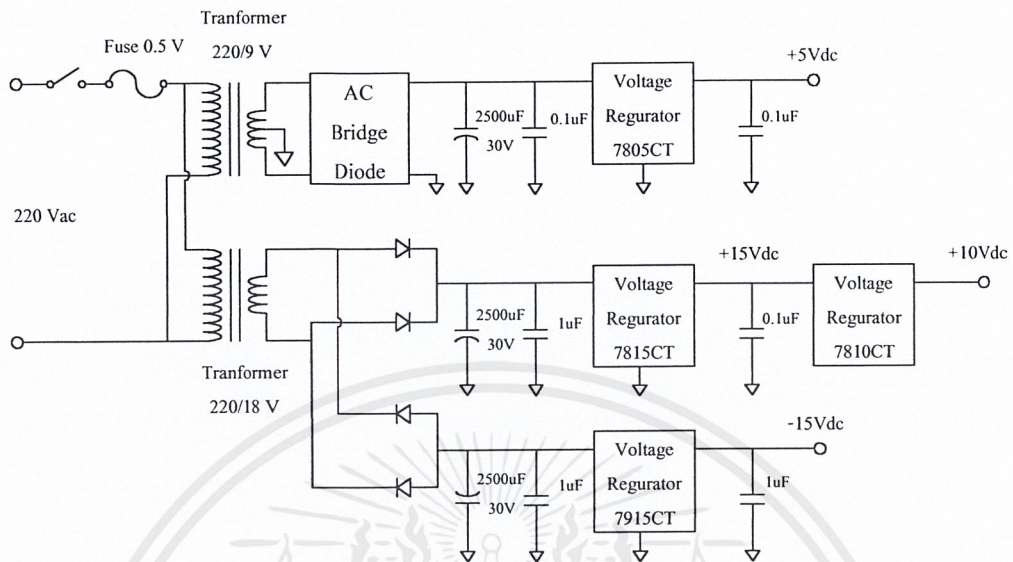


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

#### 3.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

จุดมุ่งหมายของวงจรจ่ายไฟกระแสตรง คือ การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับจาก 220 โวลต์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อนำไปใช้งานในส่วนต่าง ๆ ของโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

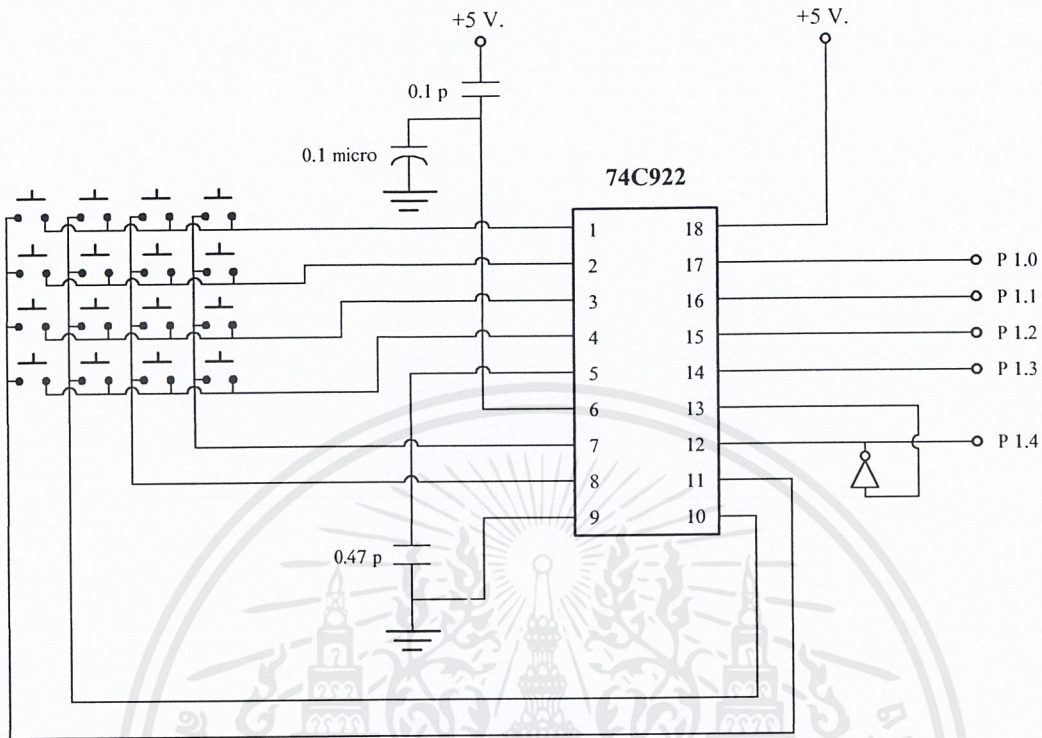


รูปที่ 3.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

ในการทำงานชิ้นนี้ วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงทำการแปลงไฟได้เอาท์พุทเป็นไฟฟ้ากระแสตรง 4 ขนาด คือ +5 โวลต์จากไอซีเรกูเรเตอร์เบอร์ LM7805 , -15 โวลต์จากไอซีเรกูเรเตอร์ เบอร์ LM7915 , +15 โวลต์จากไอซีเรกูเรเตอร์เบอร์ LM7815 และ +10 โวลต์จากไอซีเรกูเรเตอร์เบอร์ LM7810

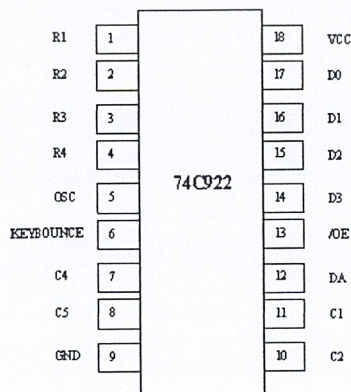
### 3.2 ส่วนรับค่านินพุท

ทำการรับอินพุทเป็นค่านำหนักที่ต้องการ โดยเป็นคีย์แพด (keypad) 4 x 4 สัญญาณอินพุทจากแป้นกดจะส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เก็บค่าไว้เพื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักวัตถุบนเครื่องชั่ง เมื่อได้น้ำหนักเท่ากับที่อินพุทแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้สเต็ปมอเตอร์หมุนปิดช่องปล่อยวัตถุหยุดการปล่อยวัตถุ



รูปที่ 3.3 แสดงการต่อคีย์แพดติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์

วงจรรับค่าอินพุตเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ จะใช้ชิพเบอร์ 74C922 ช่วยในการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งชิพตัวนี้มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนค่าตำแหน่งของสวิตช์คีย์แพด 4x4 จำนวน 16 ให้เป็นค่าตำแหน่ง 4 บิต เพื่อส่งค่าติดต่อกับตัวคอนโทรลเลอร์ การทำงานของส่วนนี้ก็คือ เมื่อมีการกดสวิตช์ ขาด้านอะไวเอเบิล (Data Available) ของไอซีเบอร์ 74C922 จะเกิดการแอกทีฟเพื่อแจ้งแก่คอนโทรลเลอร์ว่ามีข้อมูลส่งเข้ามา จากนั้นจะส่งข้อมูลขนาด 4 บิตทางขา 11, 10, 8 และ 7 เช่น เมื่อกดสวิตช์ ตำแหน่งที่ 6 ข้อมูลจะมีค่า 0110



รูปที่ 3.4 แสดงขาต่าง ๆ ของ 74C922

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูเพียงคนเดียวที่ขอใช้เท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0	1	2	3
4	5	6	7
8	9	Del	Enter
A	B		

รูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งปุ่มต่าง ๆ ของคีย์แพด

การใช้งานคีย์แพด 4x4 แต่ละปุ่มจะมีหน้าที่ต่างกันดังแสดงในรูปดังนี้ คือ

0-9 คือ ปุ่มรับค่าตัวเลขศูนย์ถึงเก้า

Del คือ ปุ่มลบ เมื่อต้องการแก้ไขค่าที่กดก่อนหน้าและต้องการกดค่าใหม่

Enter คือ ปุ่มตกลง เมื่อต้องการให้เครื่องซึ่งทำการปล่อยวัตถุตามค่าตัวเลขที่กด

A คือ ปุ่มเลือกการทำงานในโหมด A ซึ่งคือ โหมดการทำงานแบบเครื่องซึ่งทั่วไป เมื่อวางสิ่งของบนเครื่องซึ่งแล้วจะแสดงค่าน้ำหนักบนส่วนแสดงผล

B คือ ปุ่มเลือกการทำงานในโหมด B ซึ่งคือ โหมดการทำงานแบบเครื่องซึ่งอัตโนมัติ เมื่อกดเลือกปุ่ม B แล้วจะตามด้วยค่าน้ำหนักสิ่งของที่ต้องการ

### 3.3 ส่วนรับน้ำหนัก

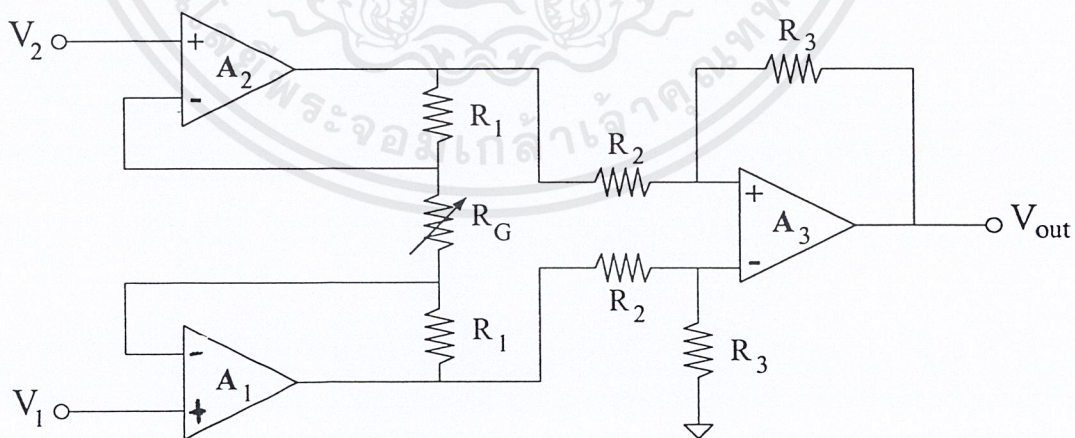
จะใช้ โหลดเซลล์ซึ่งภายในประกอบด้วย ทรานควิเซอร์ชนิดหนึ่ง เรียกว่าสเตรนเกจ ต่อกับความต้านทาน อยู่ในลักษณะวิทซ์โทนบริดจ์ โดยอาศัยพื้นฐานของอิเล็คทรอนิกส์ ที่ว่า ความต้านทานของลวดมีค่าเป็นสัดส่วน โดยตรงกับความยาวและริซิติวิตี และได้ส่วนกลับกับพื้นที่หน้าตัด ถ้าเรายืดเส้นลวดจะทำให้ริซิติแวนซ์เปลี่ยนแปลงไป ภายในโหลดเซลล์ได้มีการต่อคัมมีเกจ เพื่อชดเชยอุณหภูมิด้วย ขณะที่ไม่มีน้ำหนักกดลงบนโหลดเซลล์ค่าความต้านทานภายในวิทซ์โทนบริดจ์ ทั้ง 4 ตัวจะมีค่าเท่ากัน แรงดันเอาท์พุทจากโหลดเซลล์จะเป็นศูนย์ และเมื่อมีน้ำหนักมากระทำบนโหลดเซลล์ค่าความต้านทานของสเตรนเกจจะเปลี่ยนแปลง ทำให้แรงดันเอาท์พุทของโหลดเซลล์เปลี่ยนแปลงไป โดยจะมีค่าน้อยมาก เป็นมิลลิโวลต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับน้ำหนักของวัตถุที่ชั่ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดง โหลดเซลล์ที่ใช้ใน โครงการงาน

### 3.4 วงจรขยายแรงดันไฟฟ้า

เนื่องจากเอาต์พุตของโหลดเซลล์มีค่าน้อยมาก ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานต่างๆ ทั้งทางการประมวลผลหรือทางการแสดงผล จึงต้องผ่านวงจรขยายแรงดันไฟฟ้าก่อน เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตของโหลดเซลล์มีขนาดที่โตขึ้น จนสามารถนำไปใช้งานในส่วนอื่นได้ โดยจะใช้วงจรมินิสตรีเมนต์เด็คซ์แอมป์รีไฟเออร์



รูปที่ 3.7 วงจรอินสตรูเมนต์เด็คซ์แอมป์รีไฟเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{out}$  กับ  $V_1, V_2$

$$V_{out} = (R_3/R_2) \times (V_{02} - V_{01})$$

เนื่องจาก  $I_{R1} \cong I_{RG}$

$$V_{02} - V_{01} = (2R_1 + R_G) I_{RG}$$

เมื่อ  $V_{offset} = 0$

$$I_{RG} = (V_2 - V_1) / R_G$$

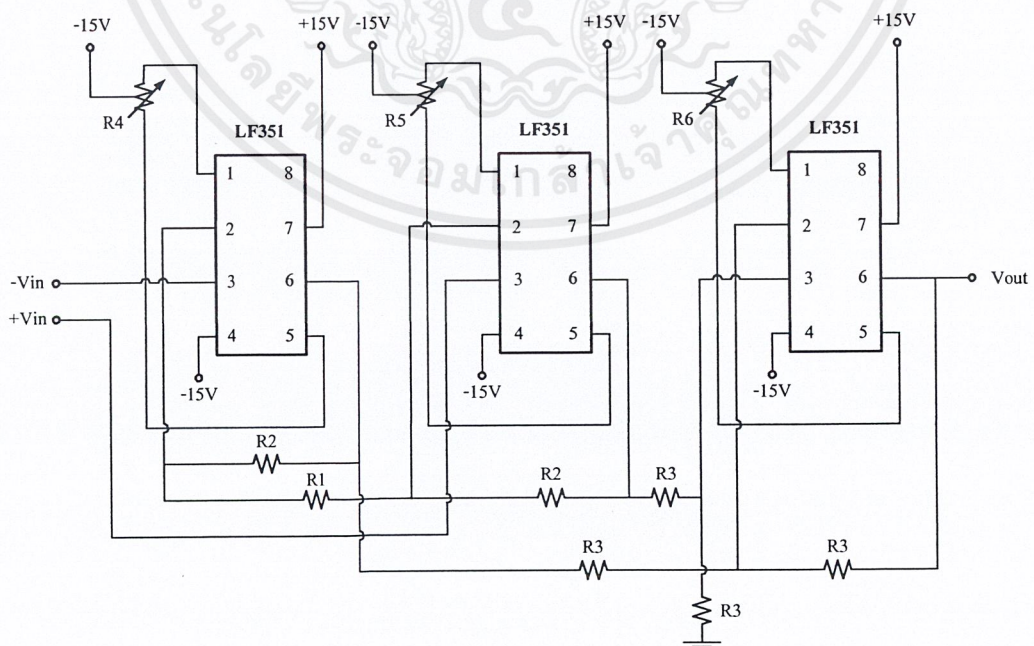
จะได้

$$V_{out} = (1 + (2R_1/R_G)) \times (R_3/R_2) (V_2 - V_1)$$

จากสมการจะเห็นได้ว่าถ้าให้  $R_1, R_2$  และ  $R_3$  เป็นค่าความต้านทานคงที่ เราจะสามารถปรับอัตราขยายได้จากการปรับค่า  $R_G$  เพียงตัวเดียวเท่านั้น

ทำการทดลองต่อวงจรกับโหลดเซลล์โดยให้เอาที่พุทจาก โหลดเซลล์เป็นอินพุทของวงจรอินสตรูเมนต์เตชันแอมป์ไฟเออร์ เพื่อขยายแรงดันจากมิลลิโวลต์ ให้เป็นแรงดัน 0-5 โวลต์

ค่าเอาที่พุทจากวงจรอินสตรูเมนต์เตชันแอมป์ไฟเออร์จากการทดลองชั่งน้ำหนัก 0-10kg. จะใช้เป็นอินพุทของวงจรเอชดีคอนเวอร์เตอร์



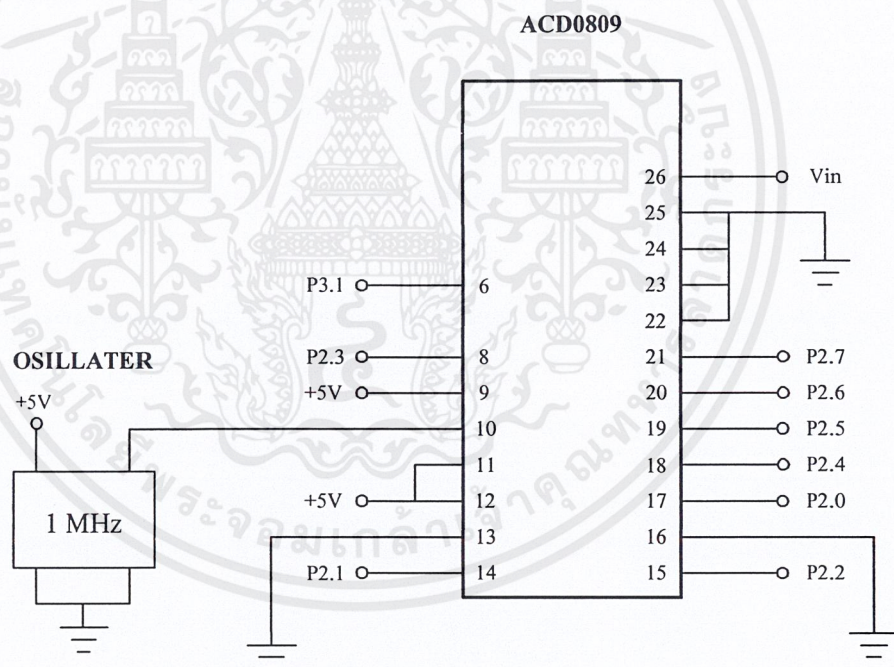
รูปที่ 3.8 การต่อวงจรอินสตรูเมนต์เตชันแอมป์ไฟเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล (A-D Converter)

สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านการขยายจากวงจรอินสตรูเมนต์เดชันแอมป์ริไฟเออร์แล้ว จะเป็นสัญญาณอนาล็อก แต่ในการประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องใช้สัญญาณที่เป็นดิจิทัล จึงจำเป็นต้องมีการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลก่อน จึงสามารถที่จะใช้ในการประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

วงจรเอ็ดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงการนี้ คือ ADC0809 เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่รับสัญญาณอินพุตที่มีระดับแรงดันอยู่ในช่วงระหว่าง 0-5 โวลต์ได้ 8 ช่องสัญญาณและสามารถมัลติเพลกซ์สัญญาณอินพุต เหล่านั้นได้โดยการป้อนล็อกจิกที่ขาแอดเดรสและให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นไบนารี 8 บิต ซึ่งสามารถใช้ป้อนให้กับ MCS 51 ได้



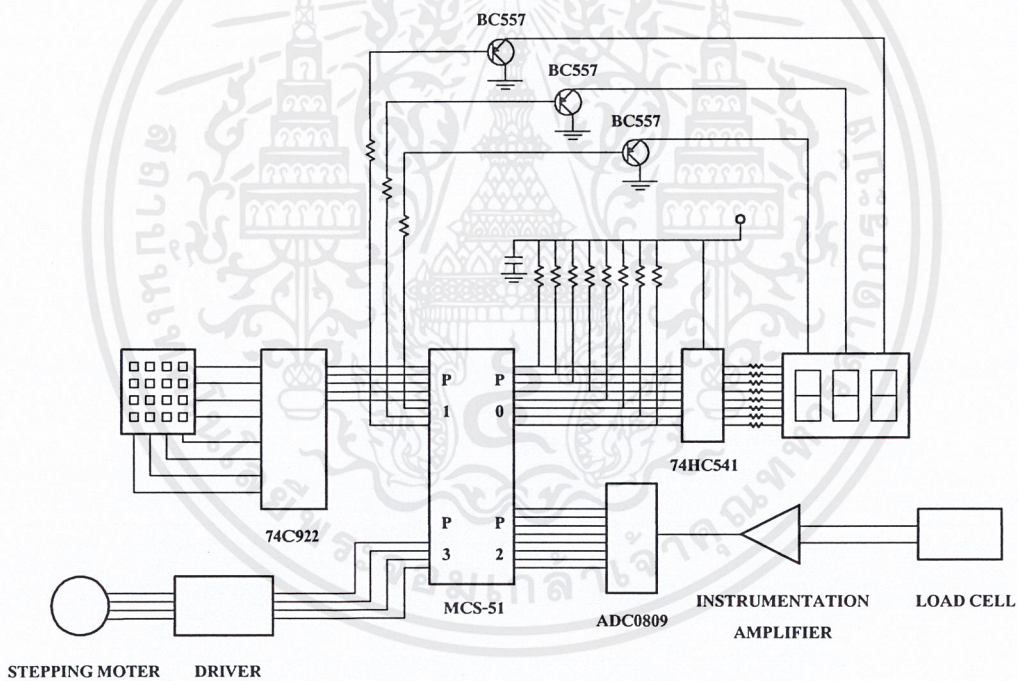
รูป 3.9 การต่อวงจรเอ็ดจ์คอนเวอร์เตอร์

อินพุตของวงจรคือ เอาต์พุตจากวงจรอินสตรูเมนต์เดชันแอมป์ริไฟเออร์ ซึ่งเข้ามาทางขา 26 ส่วนเอาต์พุตเป็นสัญญาณดิจิทัล จะออกทางขา 17, 14, 15, 8, 18, 19, 20 และ 21 ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ทางพอร์ต 2 โดยที่ ขา 6 จะติดต่อกับพอร์ต 3.1 ซึ่งเป็นขาเริ่มต้นการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์

สัญญาณอินพุทของเอพูคิคอนเวอร์เตอร์ คือ สัญญาณจากวงจรอินสตรูเมนต์เตชันแอมป์ไฟเออร์ ส่วนเอาต์พุทของวงจรเอพูคิคอนเวอร์เตอร์จะติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์

### 3.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

รับค่าสัญญาณอินพุทเก็บค่าไว้ในการคำนวณและรับสัญญาณเอาต์พุทจากวงจรเอพูคิคอนเวอร์เตอร์มาประมวลผลให้เป็นค่าน้ำหนักของวัตถุที่ชั่ง และส่งผลที่ประมวลผลแล้วออกไปยังส่วนแสดงผล ทำการเปรียบเทียบค่าระหว่างค่าอินพุทกับค่าน้ำหนักวัตถุที่อยู่บนเครื่องชั่งและส่งสัญญาณไปยังสตีปปีงมอเตอร์เพื่อควบคุมการ เปิด-ปิดช่องปล่อยของในการปล่อยสิ่งของออกมา



รูปที่ 3.10 การต่ออุปกรณ์ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

- การติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์มีดังนี้
- พอร์ท 0 ต่อกับส่วนแสดงผล LED ตัวเลข 7 หลัก
  - พอร์ท 1.0 ถึง พอร์ท 1.4 ต่อกับส่วนรับค่าอินพุท
  - พอร์ท 1.5 ถึง พอร์ท 1.7 ต่อกับขาคอมมอนของ LED ตัวเลข 7 หลักแต่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ท 2 ต่อกับวงจรเอพิดีคอนเวอร์เตอร์

พอร์ท 3.1 ต่อกับขาสตาร์ทของ ADC0809

พอร์ท 3.2 ถึง พอร์ท 3.5 ต่อกับสแต็ปปีงมอเตอร์

### 3.7 ส่วนแสดงผล (display)

ทำการแสดงผลที่ได้จากการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์เรียบร้อยแล้ว ผ่านทาง LED ตัวเลข 7 ส่วน

LED ตัวเลข 7 ส่วน ประกอบขึ้นจาก LED จำนวน 7 ตัวที่บรรจุอยู่ในตัวถังเดียวกัน และได้รับการจัดเรียงเป็นรูปตัวเลข มีชื่อเรียกแตกต่างกันตามตำแหน่งที่ได้รับการจัดวางคือ a , b , c , d , e , f และ g ส่วน dp เป็น LED อีก 1 ตัวที่บรรจุอยู่ใน LED ตัวเลข 7 ส่วนนี้ใช้เป็นตัวแสดงจุดทศนิยมในกรณีที่มีการแสดงผลในลักษณะเลขที่มีทศนิยม LED ทุกตัวที่บรรจุอยู่ใน LED ตัวเลข 7 ส่วนนี้มีขาต่อร่วมกัน ซึ่งก็มีทั้งแบบต่อขาแคโทดร่วม เรียกว่า แบบแคโทดร่วม (common cathode) และแบบต่อขาแอนโอดร่วม เรียกว่า แบบแอนโอดร่วม (common anode) การขับให้ LED แบบแคโทดร่วมสว่างจะต้องจ่ายไฟลบเข้าที่ขาพร้อม แล้วจ่ายไฟบวกเข้าที่ขาแอนโอดซึ่งก็คือขาของแต่ละเซกเมนต์นั่นเอง ในขณะที่ LED ตัวเลข 7 ส่วนแบบแอนโอดร่วมจะต้องจ่ายไฟบวกเข้าที่ขาพร้อม แล้วจ่ายไฟลบเข้าที่ขาแคโทด ซึ่งเป็นขาของแต่ละเซกเมนต์ LED ตัวเลข 7 ส่วนมีทั้งแบบตัวเดี่ยว , ตัวคู่ และแบบที่มีมากกว่า 2 หลัก แต่ที่นิยมใช้งานและหาได้ง่ายมี 2 แบบก็คือ แบบตัวเดี่ยวและแบบตัวคู่

ในโครงการนี้ต้องการใช้ LED ตัวเลข 7 หลัก 3 ตัว จึงใช้แบบแคโทดร่วมแบบตัวคู่หนึ่งตัว และแบบตัวเดี่ยวหนึ่งตัว โดยต่อขาของ LED แต่ละหลักให้เชื่อมต่อถึงกันแล้วใช้ขาคอมมอนของแต่ละตัวในการเลือกขับ LED ให้สว่างโดยการขับแบบมัลติเพล็กซ์

#### 3.7.1 การขับ LED ตัวเลข 7 ส่วนแบบมัลติเพล็กซ์

ในกรณีที่ต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51 ขับ LED ตัวเลข 7 ส่วนมากกว่า 1 หลักจะต้องใช้วิธีการแสดงผลแบบมัลติเพล็กซ์ ซึ่งเป็นวิธีการขับให้ LED สว่างทีละหลักด้วยอัตราเร็วที่ตาของมนุษย์ไม่สามารถตรวจจับได้ทัน จึงดูเหมือนว่า LED ตัวเลข 7 ส่วนทุกหลักติดสว่างในเวลาเดียวกัน

การแสดงผลแบบมัลติเพล็กซ์นี้มีประโยชน์หลายประการดังนี้

1. ช่วยลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ทำให้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเล็กลง ส่งผลให้ขนาดโดยรวมของระบบเล็กลงด้วย
2. ช่วยให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถขับ LED ตัวเลข 7 ส่วนได้มากกว่า 1 หลัก โดยที่ใช้จำนวนพอร์ทเพิ่มเติมเฉพาะการติดต่อกับขาคอมมอนเท่านั้น
3. ลดจำนวนตัวต้านทานที่ใช้ในการจำกัดกระแสของ LED ในแต่ละเซกเมนต์ เช่น LED ตัวเลข 7 ส่วนหนึ่งหลักต้องใช้ตัวต้านทานจำกัดกระแส 8 ตัว ถ้าหากขับ LED ตัวเลข 7 ส่วน 3 หลักโดยตรง ต้องใช้ตัวต้านทานมากถึง 24 ตัว ในขณะที่หากใช้วิธีการแสดงผลแบบมัลติเพล็กซ์ ยังคงใช้ตัวต้านทานเพื่อจำกัดกระแสให้ LED ในแต่ละเซกเมนต์เพียง 8 ตัวไม่ว่าจะขับ LED ตัวเลข 7 ส่วนกี่หลักก็ตาม

การขับ LED ตัวเลข 7 ส่วนแบบมัลติเพล็กซ์จะทำการต่อขาของแต่ละเซกเมนต์ร่วมกันคือเซกเมนต์ a ของทุกหลักจะต่อถึงกันไล่เรียงไปจนถึงเซกเมนต์ g ในบางงานที่ต้องใช้ จุด dp ก็ต่อต่อขาของจุด dp รวมกันด้วย การควบคุมให้ Led ตัวเลข 7 ส่วนหลักใดติดสว่างทำได้โดยการจ่ายไฟเข้าที่ขาาร่วมของ LED ตัวเลข 7 ส่วนหลักนั้นๆยกตัวอย่างหาก LED ตัวเลข 7 ส่วนที่ใช้เป็นแบบแคโทดร่วม หากต้องการให้ LED ตัวเลข 7 ส่วนหลักที่ 3 สว่างก็ให้ต่อขาาร่วมของหลักที่ 3 ลงกราวด์หรือจ่ายไฟลบ LED ตัวเลข 7 ส่วนหลักที่ 3 ก็จะติดสว่างตามข้อมูลที่ส่งเข้ามายังขาของแต่ละเซกเมนต์

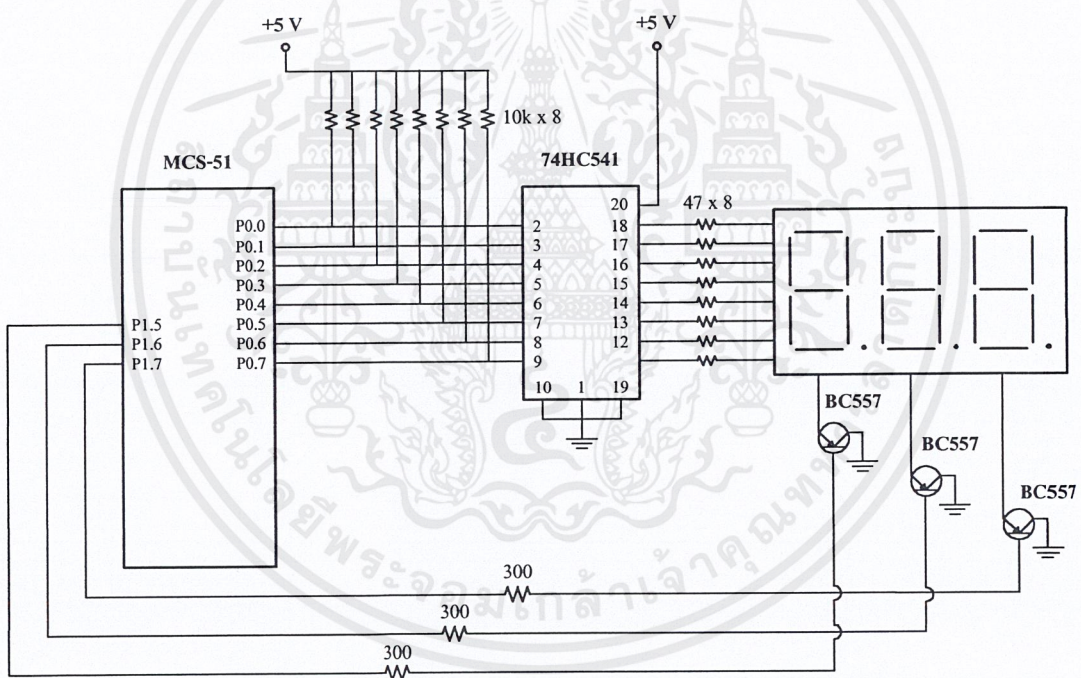
การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เข้ามาควบคุมการแสดงผลในลักษณะนี้จึงเป็นการเข้ามาควบคุมการจ่ายไฟเข้าที่ขาาร่วมของ LED ตัวเลข 7 ส่วนแต่ละหลักนั่นเอง โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะจ่ายไฟให้แก่ขาาร่วมของ LED ตัวเลข 7 ส่วนที่ละหลักไล่ไปตามลำดับด้วยความเร็วสูงโดยผ่านทรานซิสเตอร์ ทั้งนี้การต่อทรานซิสเตอร์เพื่อขับขาคอมมอนนั้นยังช่วยให้อะไรในการจ่ายกระแสของไมโครคอนโทรลเลอร์ลดลงด้วย ส่วนขาของแต่ละเซกเมนต์จะถูกต่อเข้ากับไอซีบัฟเฟอร์ผ่านตัวต้านทานจำกัดกระแสเช่นเดียวกับการขับแบบตัวเดียว

การขับแบบมัลติเพล็กซ์ เช่น จะขับเลข 12 กระบวนการจะเริ่มต้นด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ส่งข้อมูลเลข 1 ออกไปยังไอซีบัฟเฟอร์ที่ต่ออยู่กับเซกเมนต์ a-g และ dp ของ LED ตัวเลข 7 ส่วนก่อน จากนั้นจึงส่งข้อมูล "0" ไปยังทรานซิสเตอร์ที่ต่ออยู่กับขาาร่วมของหลักที่ 1 จากนั้นจึงส่งข้อมูลเลข 2 แล้วส่งข้อมูล "0" ไปยังทรานซิสเตอร์ที่ต่ออยู่กับขาาร่วมของหลักที่ 2 ตามลำดับด้วยความเร็วสูงในอัตราที่ตาของมนุษย์ไม่สามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ภาพที่เห็นจึงกลายเป็นว่า LED ตัวเลข 7 ส่วนทั้ง 2 หลักแสดงตัวเลข 12 พร้อมกัน จะเห็นได้ว่า ด้วยกระบวนการนี้ LED ตัวเลข 7 ส่วนจะทำงานไม่พร้อมกัน การกินกระแสไฟฟ้าจึงมีค่าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ LED ทุกเซกเมนต์ในหนึ่งหลักติดสว่างพร้อมกันเท่านั้น หาก LED ในแต่ละเซกเมนต์ต้องการกระแสไฟฟ้า 10 mA การขับ LED ตัวเลข 7 ส่วนแบบมัลติเพล็กซ์จะมีความต้องการกระแสไฟฟ้าสูงสุดเพียง 80 mA เท่านั้น ไม่ว่าจะขับ LED ตัวเลข 7 ส่วนเป็นจำนวนเท่าใดก็ตาม

การเขียนโปรแกรมเพื่อขับ LED ตัวเลข 7 ส่วนแบบมัลติเพล็กซ์นี้จึงมีความซับซ้อนมากกว่าแบบหลักเดี่ยว ต้องใช้ 1 บิตมาช่วยในการส่งสัญญาณเพื่อเลือกหลักที่ต้องการให้แสดงผล ทำให้การเขียนโปรแกรมจึงต้องเพิ่มส่วนนี้เข้าไป ส่วนการนำข้อมูลออกไปแสดงยังคงใช้วิธีการเปิดตารางเช่นเดียวกับการขับ LED ตัวเลข 7 ส่วนแบบหลักเดี่ยวถ้าหากสามารถเขียนโปรแกรมให้สามารถขับ LED ตัวเลข 7 ส่วน 2 หลักแบบมัลติเพล็กซ์ได้ก็การขับมากกว่า 2 หลักก็สามารถทำได้โดยง่ายดายน

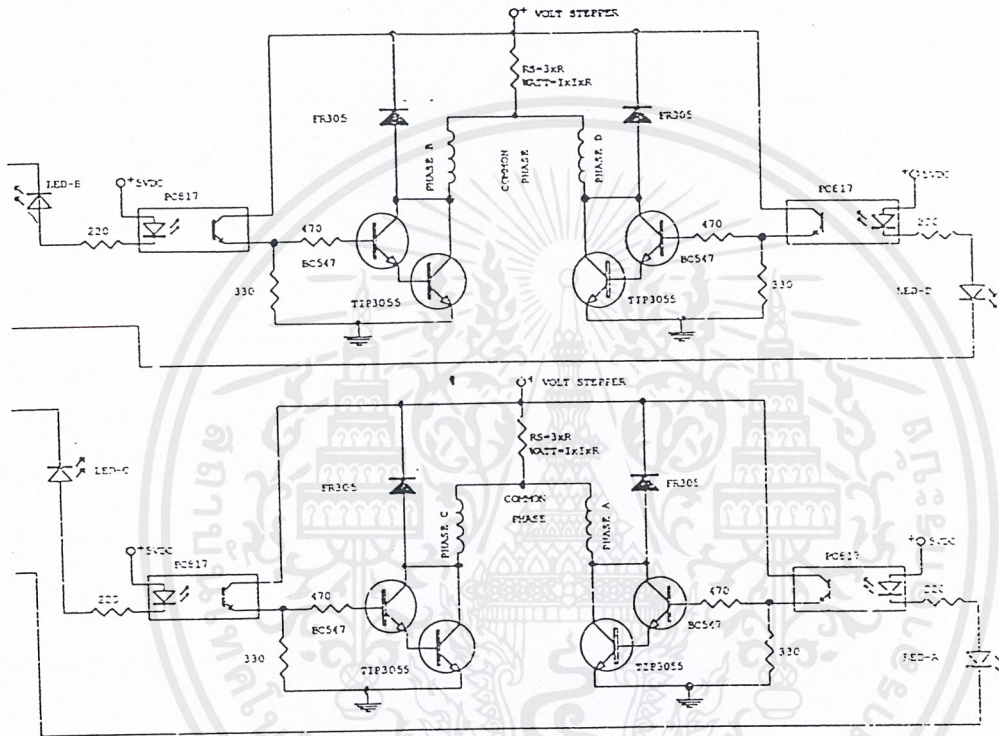


รูปที่ 3.11 การต่อ LED ตัวเลข 7 หลักกับไมโครคอนโทรลเลอร์

ใช้พอร์ท 0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับส่วนแสดงผล โดยมีไอซี 74HC541 เป็นตัวช่วยในการขับกระแสให้กับส่วนแสดงผลเนื่องจากกระแสที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าน้อย ไม่สามารถขับ LED ตัวเลข 7 ส่วนได้

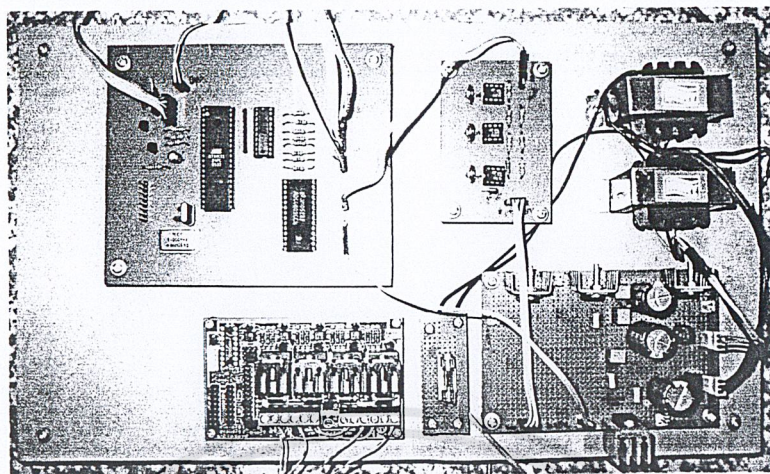
### 3.8 สเต็ปป์มอเตอร์

ในโครงการนี้ใช้สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดยูนิโพล่ามีการทดเฟืองภายในโดยวงจรขับ  
ดังแสดงในรูป

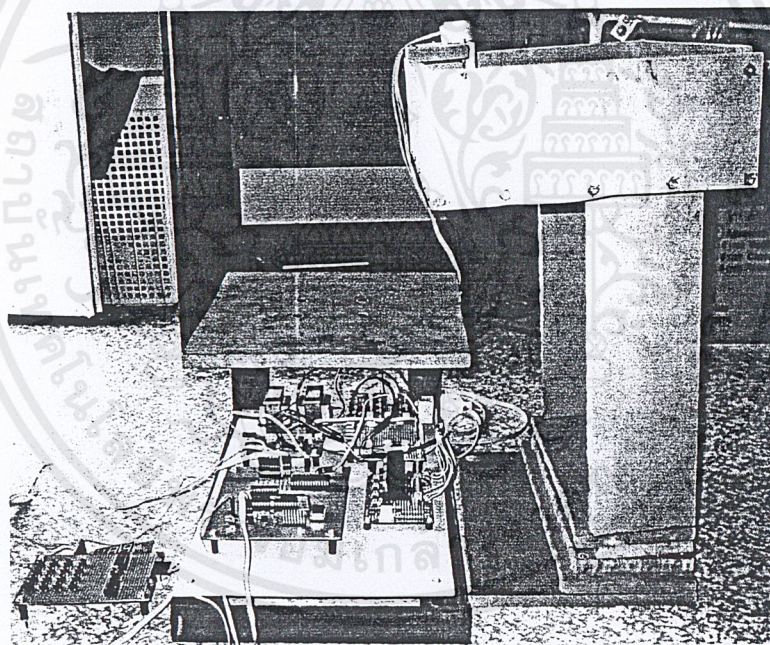


รูปที่ 3.12 วงจรขับสเต็ปป์มอเตอร์ที่ใช้ในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แผงวงจรของโครงการ

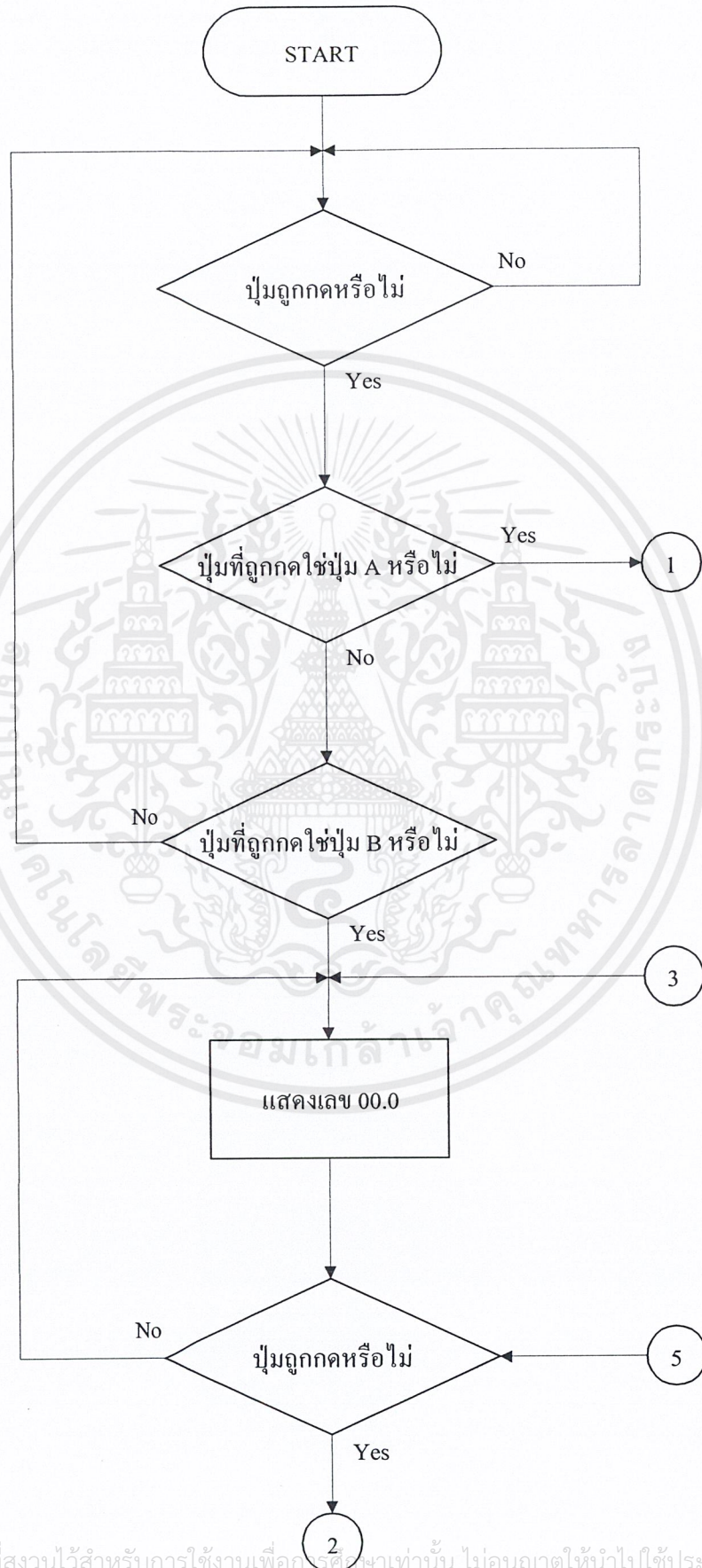


รูปที่ 3.14 ภาพของโครงการ

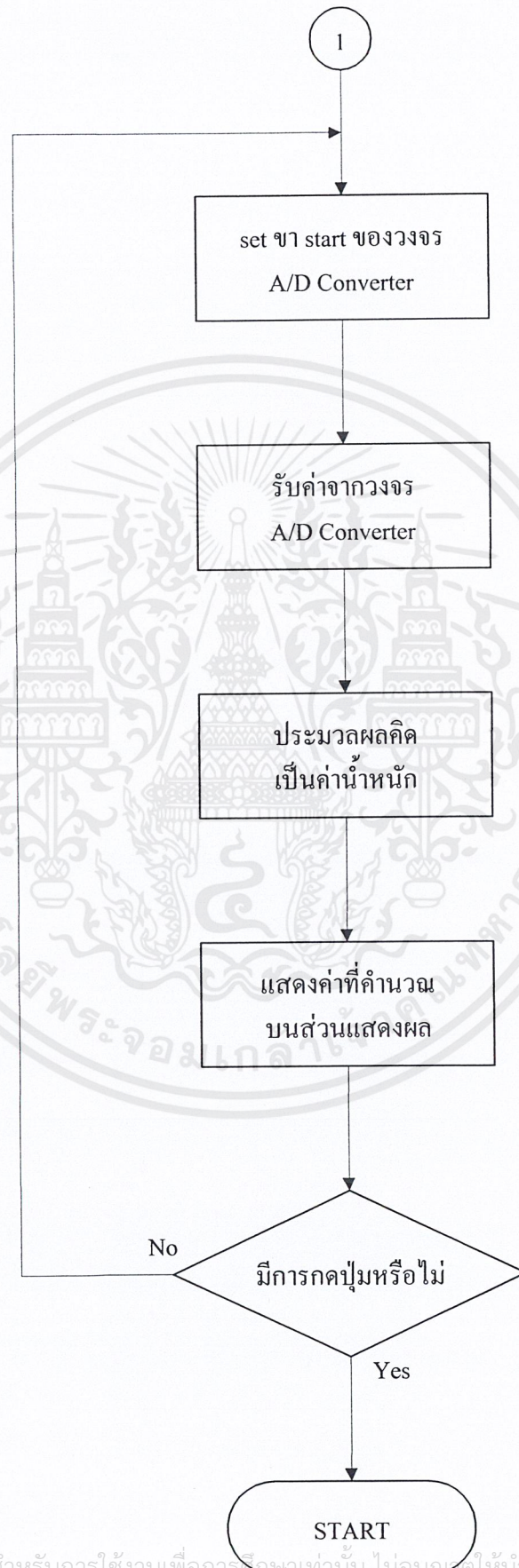
### 3.9 โปรแกรมการทำงานของเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

ไฟล์ซอร์ซโค้ดการทำงานของเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล มีดังนี้

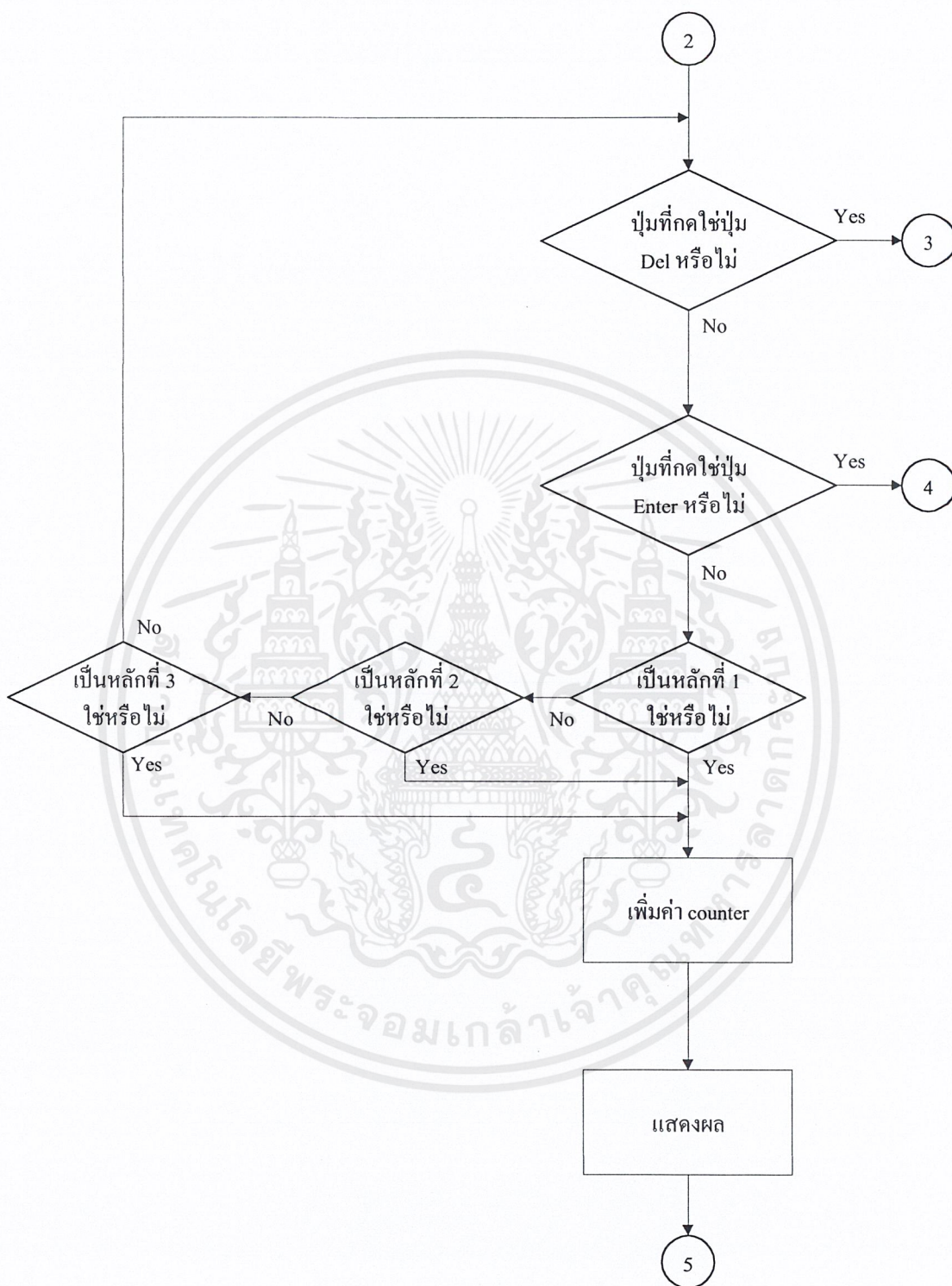
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



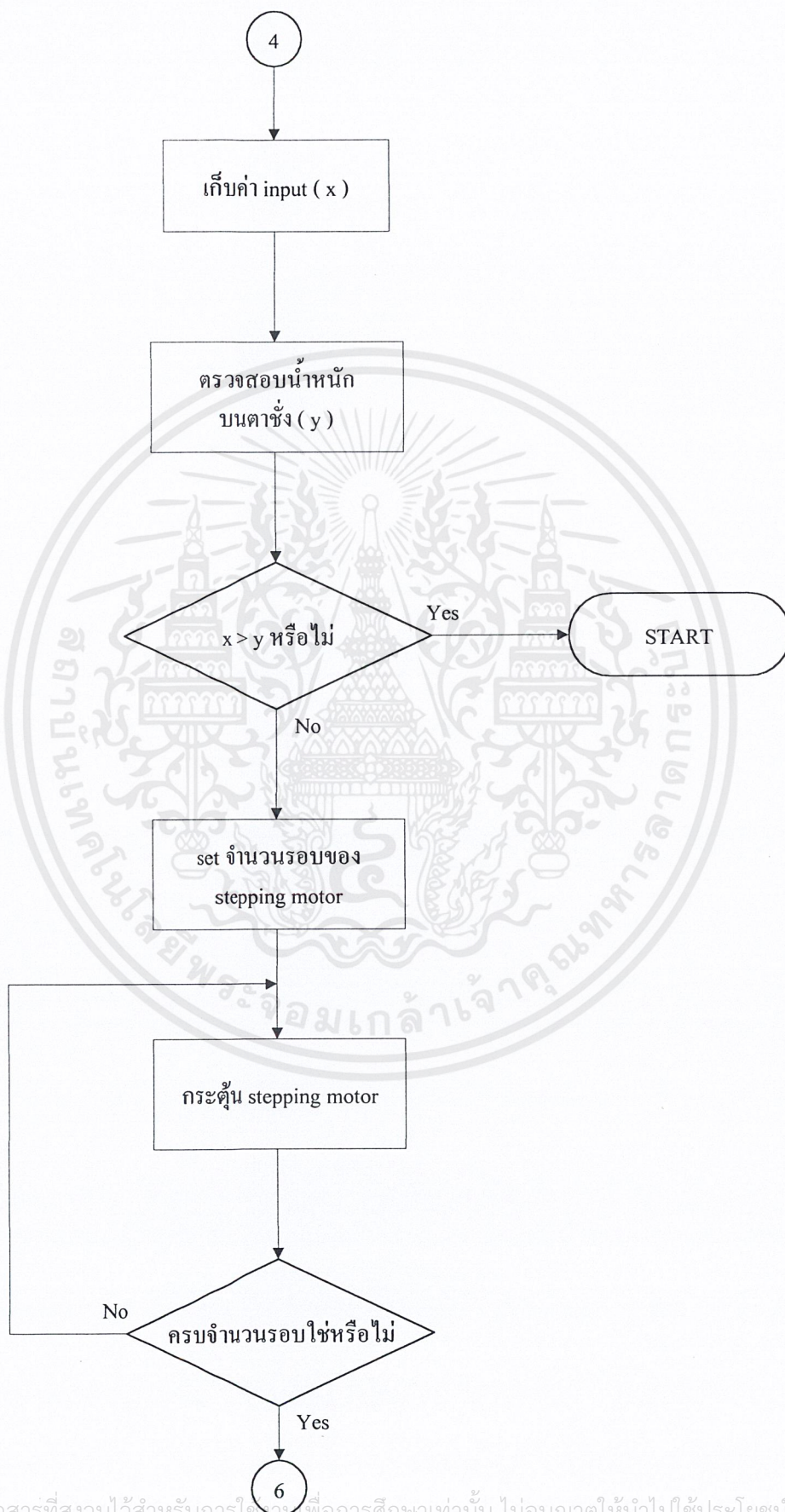
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



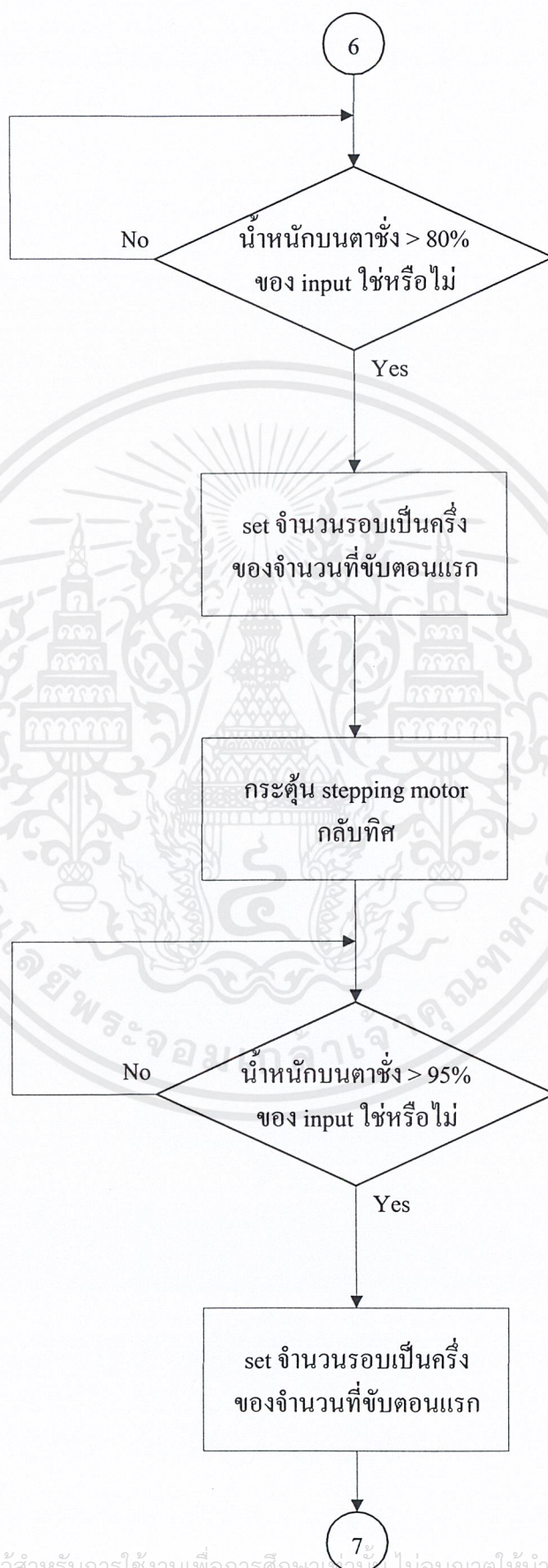
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



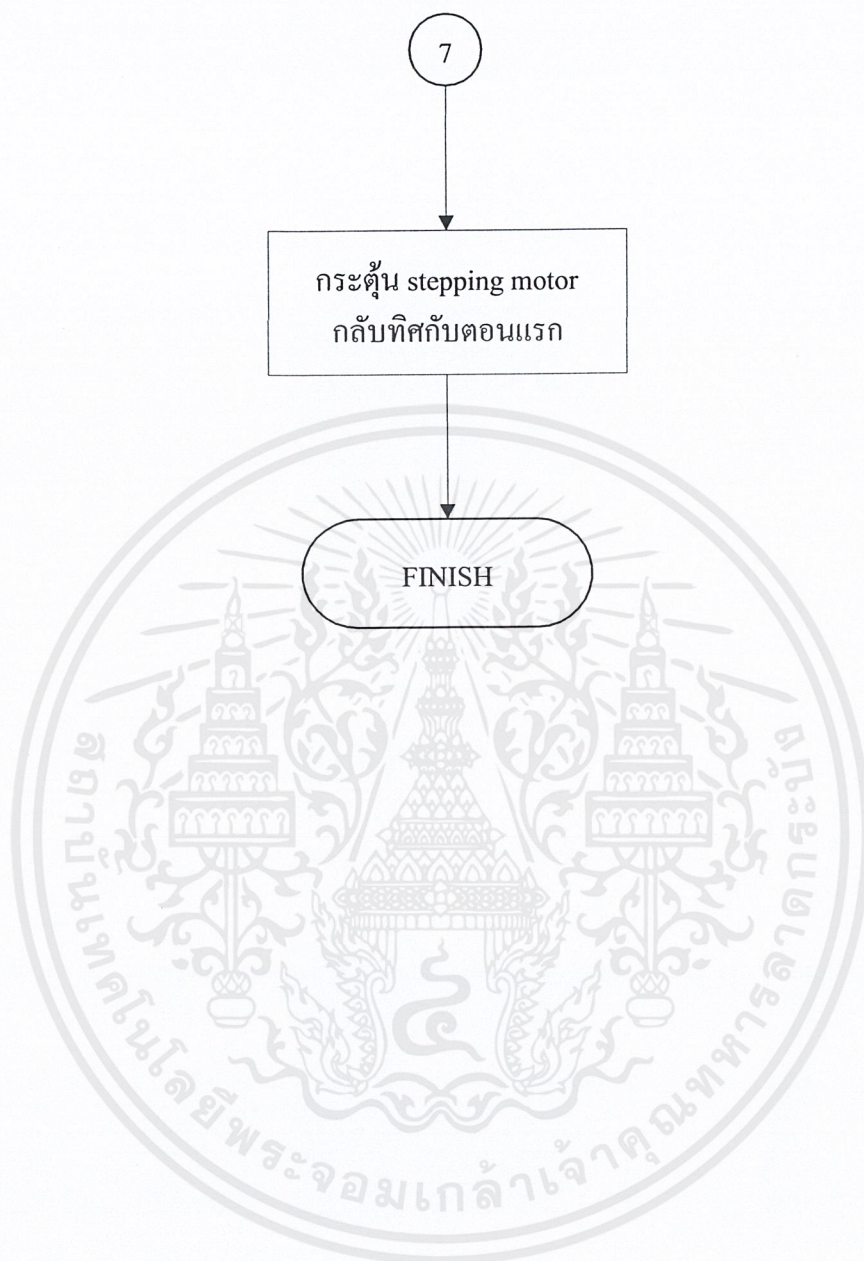
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากโพลีเซลล์

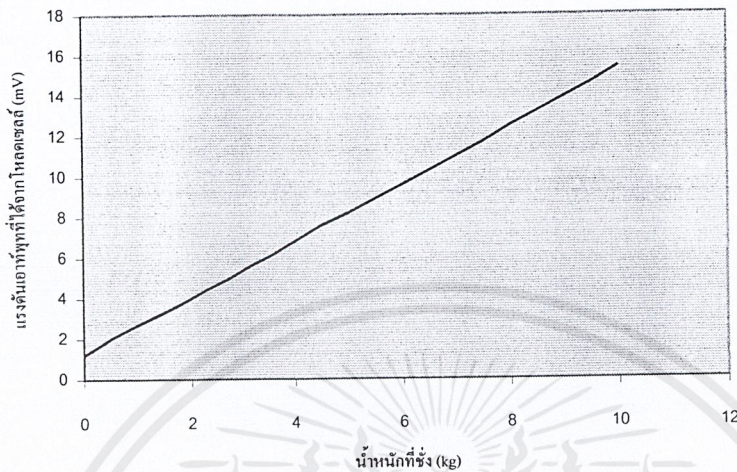
การทดลองในส่วนรับน้ำหนักนี้จะทำการทดสอบโพลีเซลล์ว่าเอาต์พุตของโพลีเซลล์นี้มีค่าเท่าไรต่อน้ำหนักที่ทำการทดสอบ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะแบบใด โดยจะทำการนำน้ำหนักมาชั่ง เพิ่มน้ำหนักที่ทดลองซึ่งด้วยอัตราคงที่ คือ เพิ่มขึ้นครั้งละ 500 กรัม แล้ววัดค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการชั่งน้ำหนัก ทำการวัดที่ค่าน้ำหนักตั้งแต่ 0 - 10 กิโลกรัม

น้ำหนักที่ชั่ง (kg)	แรงดันเอาต์พุต (mV)	น้ำหนักที่ชั่ง (kg)	แรงดันเอาต์พุต (mV)
0.0	1.2	5.5	8.9
0.5	2.0	6.0	9.6
1.0	2.7	6.5	10.3
1.5	3.3	7.0	11.0
2.0	4.0	7.5	11.7
2.5	4.7	8.0	12.5
3.0	5.4	8.5	13.2
3.5	6.1	9.0	13.9
4.0	6.8	9.5	14.6
4.5	7.6	10.0	15.4
5.0	8.2		

ตารางที่ 4.1 แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากโพลีเซลล์

ผลการทดลองที่ได้เอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนแปรผันตามกับน้ำหนักที่ทดลองซึ่งเขียนกราฟที่ได้จากการทดลองแล้วจะได้กราฟที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ชั่งและแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากโพลเซลล์



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ชั่งและแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากโพลเซลล์

#### 4.2 เอาต์พุตจากวงจรอินสตูเมนต์เตชันแอมป์ริไฟเออร์

หากต้องการจะปรับเปลี่ยนอัตราขยายโดยรวมให้กับวงจรขยายผลต่างนั้น ก่อนข้างที่จะทำได้ลำบาก เนื่องจากต้องรักษาอัตราส่วนของ  $R_1/R_3$  และ  $R_2/R_4$  ให้เท่ากันตลอดเวลา ซึ่งการปฏิบัติจริงสามารถที่จะคุมค่าทุกค่าในเวลาเดียวกันได้อย่างลำบาก จึงไม่สะดวกที่จะเลือกใช้วงจรขยายผลต่างมาใช้ในงานนี้

เมื่อวงจรขยายผลต่างไม่เหมาะสม จึงเลือกใช้วงจรที่มีการปรับปรุงจากวงจรขยายผลต่างนี้ นั่นคือวงจรอินสตูเมนต์เตชันแอมป์ริไฟเออร์ โดยการเพิ่มออปแอมป์ 2 ตัว และตัวต้านทาน 3 ตัว ทางด้านอินพุตของวงจรขยายผลต่างเดิม ออปแอมป์ทั้งสองต่อเป็นแบบโวลท์เฟลโลว์เดอร์ (Voltage Follower)

เป็นวงจรขยายที่มีประโยชน์ในการใช้งานอย่างมาก สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายประเภท วงจรอินสตูเมนต์เตชันแอมป์ริไฟเออร์โดยส่วนแรกจะเป็นไฮอินพุทอิมพีแดนซ์ที่อินพุตทั้งสอง และสามารถปรับอัตราขยายได้ด้วยตัวต้านทานตัวหนึ่ง คือ  $R_G$

นำแรงดันเอาต์พุตจากโพลเซลล์มาเป็นอินพุตของวงจรอินสตูเมนต์เตชันแอมป์ริไฟเออร์ ส่วนเอาต์พุตของวงจรจะไปเป็นอินพุตของวงจรเอทวูคิคอนเวอร์เตอร์

เมื่อทดลองต่อแรงดันที่ได้จากโพลเซลล์ผ่านวงจรอินสตูเมนต์เตชันแอมป์ริไฟเออร์จะได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

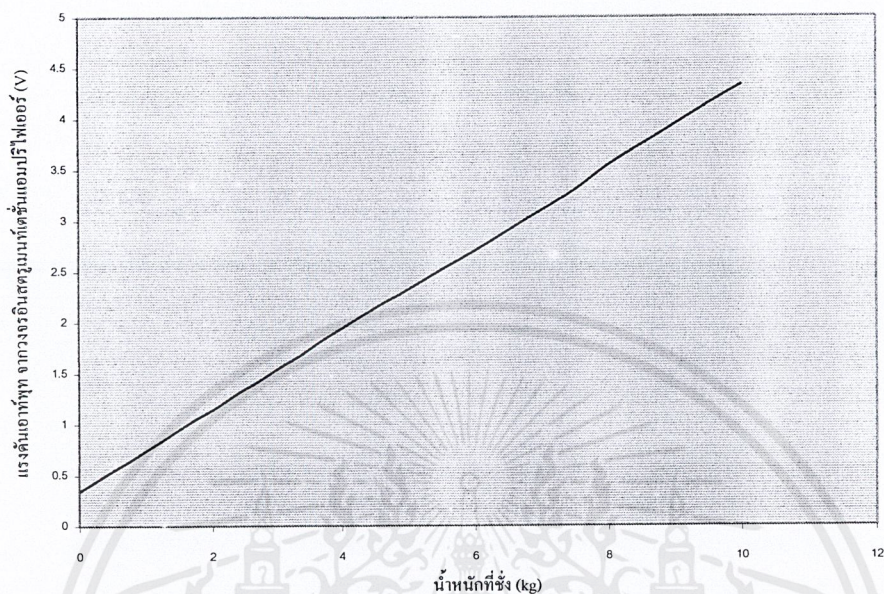
น้ำหนักที่ชั่ง (kg)	แรงดันเอาต์พุตจากโพลดเซลล์ (mV)	แรงดันเอาต์พุตจากวงจรอินสตรู เมนต์เตชันแอมป์รีไฟเออร์ (V)
0.0	1.2	0.344
0.5	2.0	0.544
1.0	2.7	0.743
1.5	3.3	0.950
2.0	4.0	1.144
2.5	4.7	1.348
3.0	5.4	1.545
3.5	6.1	1.745
4.0	6.8	1.945
4.5	7.6	2.142
5.0	8.2	2.325
5.5	8.9	2.523
6.0	9.6	2.709
6.5	10.3	2.906
7.0	11.0	3.106
7.5	11.7	3.305
8.0	12.5	3.545
8.5	13.2	3.743
9.0	13.9	3.942
9.5	14.6	4.144
10.0	15.4	4.330

ตารางที่ 4.2 แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากวงจรอินสตรูเมนต์เตชันแอมป์รีไฟเออร์

จากการทดลอง นำข้อมูลที่ได้อ่านเขียนกราฟแล้วจะได้กราฟความสัมพันธ์ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ชั่งและแรงดันเอาต์พุท จากวงจรอินสตรูเมนต์เตชันแอมป์รีไฟเออร์



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ชั่งและแรงดันเอาต์พุท จากวงจรอินสตรูเมนต์เตชันแอมป์รีไฟเออร์

#### 4.3 เอาท์พุทจากวงจรเอชดีคอนเวอร์เตอร์

ให้สัญญาณเอาท์พุทจากวงจรอินสตรูเมนต์เตชันแอมป์รีไฟเออร์เป็นอินพุทของ วงจรเอชดีคอนเวอร์เตอร์จะได้สัญญาณเอาท์พุทเทียบกับน้ำหนักที่ชั่ง ได้ดังนี้

น้ำหนักที่ชั่ง (kg)	สัญญาณจากวงจร A/D Converter
0.0	00010011
0.5	00011110
1.0	00101000
1.5	00110010
2.0	00111101
2.5	01000111
3.0	01010010
3.5	01011100
4.0	01100110

น้ำหนักที่ชั่ง (kg)	สัญญาณจากวงจร A/D Converter
4.5	01110001
5.0	01111100
5.5	10000110
6.0	10001111
6.5	10011001
7.0	10100010
7.5	10101011
8.0	10110110
8.5	11000100
9.0	11001101
9.5	11010111
10.0	11100010

ตารางที่ 4.3 เอาท์พุทของวงจรเอ็ดจิคอนเวอร์เตอร์

#### 4.4 ผลการทดลองจากการทดลองอินพุทค่าน้ำหนักตั้งแต่ 0-2 กิโลกรัม

ทำการทดลองอินพุทค่าน้ำหนักที่ค่าตั้งแต่ 0 ถึง 2 กิโลกรัม โดยทำการเพิ่มค่าน้ำหนักครั้งละ 100 กรัม และนำวัตถุที่ได้ทำการชั่งกับเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลที่ได้มาตรฐานจะ ได้ผลการทดลองดังตาราง โดยวัตถุที่ทำการทดลองคือถั่วเขียวและน้ำตาลทราย

น้ำหนักที่ต้องการ (g)	น้ำหนักจริงที่ได้ (g)		เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%)	
	ถั่วเขียว	น้ำตาลทราย	ถั่วเขียว	น้ำตาลทราย
100	97	98	3.00	2.00
200	196	197	2.00	1.50
300	296	296	1.33	1.33
400	395	396	1.25	1.00
500	494	495	1.20	1.00
600	592	593	1.33	1.17
700	691	693	1.29	1.00
800	790	791	1.25	1.13
900	887	889	1.44	1.22
1000	986	989	1.40	1.10
1100	1087	1088	1.18	1.09
1200	1189	1187	0.92	1.08
1300	1290	1288	0.77	0.92
1400	1386	1387	1.00	0.93
1500	1487	1485	0.87	1.00
1600	1589	1588	0.69	0.75
1700	1687	1685	0.76	0.88
1800	1785	1787	0.83	0.72
1900	1884	1886	0.84	0.74
2000	1983	1984	0.85	0.80

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองจากการทดลองอินพุตค่าน้ำหนักตั้งแต่ 0-2 กิโลกรัม  
โดยใช้ถั่วเขียวและน้ำตาลทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทวิจารณ์และสรุป

ในโรงงานอุตสาหกรรมแทบทุกโรงงานจะต้องมีการนำเครื่องชั่งเข้ามาใช้ในการทำงาน ซึ่งในอดีตเครื่องชั่งที่ใช้จะเป็นแบบสปริงแสดงค่าน้ำหนักโดยใช้เข็มชี้ ซึ่งค่าที่วัดได้จะมีความคลาดเคลื่อนและไม่ละเอียดพอที่จะวัดค่าน้อยๆ ให้ได้ความแม่นยำ ในปัจจุบันจึงมีการนำเครื่องชั่งดิจิตอลเข้ามาใช้งานเพื่อที่จะชั่งน้ำหนักได้ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น และยังมีฟังก์ชันการทำงานต่างๆ มากขึ้นด้วย แต่ในปัจจุบันยังต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศ จึงเป็นที่มาของโครงการนี้ เพื่อทำการศึกษาและสร้างเครื่องชั่งเพื่อการใช้งานหรือเป็นเครื่องต้นแบบในการพัฒนาต่อไปในอนาคต โดยไม่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดได้อธิบายถึงหลักการทำงานและส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องชั่งดิจิตอลโดยแยกอธิบายเป็นส่วนๆ ไป ซึ่งหวังว่าคงจะมีประโยชน์ในการนำไปใช้งานและพัฒนาใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ โครงการนี้สำเร็จตามจุดประสงค์และเป้าหมายที่ตั้งไว้ คือ สามารถแสดงค่าน้ำหนักของวัตถุที่นำมาชั่งได้ และมีการควบคุมให้มีการปล่อยวัตถุออกมาในปริมาณที่ต้องการ

จากโครงการที่ได้ทำจะสามารถเห็นได้ว่าการพัฒนาของเครื่องชั่งดิจิตอลยังสามารถที่จะพัฒนาได้อีกต่อเนื่องสืบไปในหลายๆ ด้าน เช่น อาจจะพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยสามารถควบคุมได้ถึงหน่วย 1 กรัม หรืออาจจะทำการพัฒนาโดยการชั่งแล้วป้อนข้อมูลควบคุมที่เครื่องชั่งว่าเมื่อครบจำนวนขึ้นตามที่ต้องการแล้ว ให้เครื่องชั่งสามารถส่งสัญญาณเพื่อใช้ในการควบคุมหรือสั่งงานในการทำงานขั้นต่อไป เช่น สั่งให้มอเตอร์หมุนเพื่อให้สายพานทำงานหรืออาจสั่งให้ทำการแพ็คเกจได้น้ำหนักหรือจำนวนตามต้องการ

ในความเห็นของผู้จัดทำโครงการแล้วการพัฒนาทางด้านเครื่องชั่งดิจิตอลจะมีการพัฒนาต่อเนื่องอยู่เสมอเนื่องจากในปัจจุบันเครื่องชั่งที่มีใช้กันอยู่อาจมีฟังก์ชันการใช้งานต่างๆ ไม่มากพอทำให้การใช้งานไม่สะดวกเท่าที่ควร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

FLAG      EQU    02FH
MODEA     BIT    FLAG.0
MODEB     BIT    FLAG.1
INITPORT  EQU    P3.1
NUM_1     EQU    30H
NUM_2     EQU    32H
NUM_3     EQU    34H
COUNT    EQU    42H
BACK_NUM1 EQU    36H
BACK_NUM2 EQU    38H
BACK_NUM3 EQU    40H
DIGIT10   EQU    44H
DIGIT1    EQU    46H
DIGITDOT  EQU    48H
DIGITNOW  EQU    50H
WEIGHT    EQU    52H
WEIGHTNOW EQU    54H
ARC       EQU    56H
CLEAR     EQU    10
ENTER    EQU    11

```

```

ORG      0000H

```

```

START: CLR    MODEA
      CLR    MODEB
      SETB   INITPORT
      CALL   DELAY_1MS
      CALL   DELAY_1MS
      CALL   DELAY_1MS
      CLR    INITPORT
      MOV    A,#0H
      MOV    DIGIT10,A
      MOV    DIGIT1,A
      MOV    DIGITDOT,A
      MOV    DIGITNOW,A

      MOV    COUNT,A
      MOV    A,#01H
      MOV    ARC,A

```

```

CHECKIN1:
      JNB    P1.4,END_CHECK
      MOV    A,P1
      JB     P1.4,$
      ANL    A,#0FH
      CJNE   A,#0CH,NEXTIN
      JMP    SET_A

```

```

NEXTIN:
      CJNE   A,#0DH,NEXTIN1
      JMP    SET_B

```

```

NEXTIN1:
      JMP    END_CHECK

```

```

SET_A: SETB   MODEA
      JMP    END_CHECK

```

```

SET_B: SETB          MODEB

END_CHECK:
    JB          MODEA,MODE_A
    JB          MODEB,MODE_B
    JMP        CHECKIN1
MODE_B:
    MOV        A,#0H
    MOV        DIGIT0,A
    MOV        DIGIT1,A
    MOV        DIGITDOT,A
    MOV        DIGITNOW,A
    MOV        COUNT,A

GET:  MOV        A,DIGIT0
    MOV        DPTR,#TABLE
    MOVC       A,@A+DPTR
    MOV        NUM_1,A
    MOV        A,DIGIT1
    MOV        DPTR,#TABLE
    MOVC       A,@A+DPTR
    MOV        NUM_2,A
    MOV        A,DIGITDOT
    MOV        DPTR,#TABLE
    MOVC       A,@A+DPTR
    MOV        NUM_3,A
    SETB       P3.0
    CALL       DELAY_1MS
    CLR        P3.0
    CALL       DELAY_1MS
    CALL       OUTLED
    JNB        P1.4,GET
    MOV        A,P1
    JB         P1.4,$
    ANL        A,#0FH
    CJNE       A,#0AH,NEXT1
    JMP        MODE_B

NEXT1: CJNE       A,#0FH,NEXT2
    JMP        MODE_B_1

NEXT2: MOV        R2,DIGITNOW
    CJNE       R2,#00H,NEXT3
    JMP        DO10

NEXT3: CJNE       R2,#01H,NEXT4
    JMP        DO1

NEXT4: CJNE       R2,#02H,NEXT5
    JMP        DODOT

NEXT5: JMP        GET

DO10: MOV        DIGIT0,A
    MOV        A,#01H
    MOV        DIGITNOW,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประโยชน์ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        JMP          GET

DO1:    MOV          DIGIT1,A
        MOV          A,#02H
        MOV          DIGITNOW,A
        JMP          GET

DODOT:  MOV          DIGITDOT,A
        MOV          A,#03H
        MOV          DIGITNOW,A
        JMP          GET

MODE_A:
        JB          P1.4,START1
        MOV          A,COUNT
        INC          A
        MOV          COUNT,A
        SUBB        A,#500D
        CALL        OUTLED
        JNZ         MODE_A
        JMP         SHOW

START1: JMP          START

SHOW:   MOV          A,#0
        MOV          COUNT,A
        SETB        P3.0
        CALL        DELAY_1MS
        CLR         P3.0
        CALL        DELAY_1MS
        MOV         A,P2
        SUBB        A,#19D
        MOV         B,#2D
        DIV         AB
        ;CALL       A2DTONUM
        MOV         B,#10D
        DIV         AB
        PUSH        ACC
        MOV         A,B
        MOV         DPTR,#TABLE
        MOVC        A,@A+DPTR
        MOV         NUM_3,A
        POP         ACC
        MOV         B,#10D
        DIV         AB
        PUSH        ACC
        MOV         A,B
        MOV         DPTR,#TABLE
        MOVC        A,@A+DPTR
        MOV         NUM_2,A
        POP         ACC
        MOV         B,#10D
        DIV         AB
        PUSH        ACC
        MOV         A,B
        MOV         DPTR,#TABLE
        MOVC        A,@A+DPTR

```

```

MOV      NUM_1,A
POP      ACC
CALL     OUTLED
JMP      MODE_A

OUTLED:
MOV      P0,NUM_1
CLR      P1.5
ACALL    DELAY_1MS
SETB     P1.5
MOV      P0,NUM_2
CLR      P1.6
ACALL    DELAY_1MS
SETB     P1.6
MOV      P0,NUM_3
CLR      P1.7
ACALL    DELAY_1MS
SETB     P1.7
RET

DELAY_1MS:
MOV      R5,#0FAH      ; 250 LOOP

DELAY_1MS_1:
NOP
NOP
DJNZ     R5,DELAY_1MS_1 ; 4 CYCLE
RET

A2DTONUM:
PUSH     B
SUBB     A,#17D
MOV      B,#110D
MUL      AB
MOV      B,#228D
DIV      AB
PUSH     ACC
MOV      A,B
SUBB     A,#114D
JC       LESHALF

HIGHHALF:
POP      ACC
INC      ACC
JMP      ENDING

LESHALF:
POP      ACC

ENDING:
POP      B
RET

TABLE:DB      03FH,06H,5BH,04FH,066H,06DH,07DH,07H,07FH,06FH

MODE_B_1:
MOV      A,DIGIT10

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      B,#100D
MUL      AB
PUSH     ACC
MOV      A,DIGIT1
MOV      B,#10D
MUL      AB
MOV      B,A
POP      ACC
ADD      A,B
MOV      B,DIGITDOT
ADD      A,B
MOV      WEIGHT,A
SETB     P3.0
CALL     DELAY_1MS
CLR      P3.0
CALL     DELAY_1MS
MOV      A,P2
SUBB     A,#17D
MOV      B,#2D
DIV      AB
MOV      B,A
MOV      A,WEIGHT
SUBB     A,B
JC       CHECKIN2
MOV      A,WEIGHT
SUBB     A,3
JC       DECNUM
MOV      A,#1
MOV      ARC,A
JMP      HAHA

```

DECNUM:

```

MOV      A,#3
MOV      ARC,A

```

HAHA: JMP

OPEN

CHECKIN2:

```

JMP      CHECKIN1

```

OPEN:

```

MOV      A,#4000H
MOV      B,ARC
DIV      AB
MOV      R7,A

```

CL:

```

CLR      P3.2
SETB     P3.3
SETB     P3.4
SETB     P3.5
CALL     DELAY_1S
SETB     P3.2
CLR      P3.3
SETB     P3.4
SETB     P3.5
CALL     DELAY_1S
SETB     P3.2
SETB     P3.3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CLR	P3.4
SETB	P3.5
CALL	DELAY_1S
SETB	P3.2
SETB	P3.3
SETB	P3.4
CLR	P3.5
CALL	DELAY_1S
DJNZ	R7,CL
CHECK:	
SETB	P3.0
CALL	DELAY_1MS
CLR	P3.0
CALL	DELAY_1MS
MOV	A,P2
SUBB	A,#19D
MOV	B,#2D
DIV	AB
PUSH	ACC
SUBB	A,#120D
JC	NOMAX
POP	ACC
MOV	A,#0
JMP	MAX
NOMAX:	
POP	ACC
MAX:	
MOV	B,A
MOV	WEIGHTNOW,A
MOV	A,WEIGHT
MOV	B,#8D
MUL	AB
MOV	B,#10D
DIV	AB
MOV	B,WEIGHTNOW
SUBB	A,B
JC	CLOSE
MOV	A,WEIGHTNOW
MOV	B,#10D
DIV	AB
PUSH	ACC
MOV	A,B
MOV	DPTR,#TABLE
MOVC	A,@A+DPTR
MOV	NUM_3,A
POP	ACC
MOV	B,#10D
DIV	AB
PUSH	ACC
MOV	A,B
MOV	DPTR,#TABLE
MOVC	A,@A+DPTR
MOV	NUM_2,A
POP	ACC
MOV	B,#10D
DIV	AB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	PUSH	ACC
	MOV	A,B
	MOV	DPTR,#TABLE
	MOVC	A,@A+DPTR
	MOV	NUM_1,A
	POP	ACC
	CALL	OUTLED
	JMP	CHECK
CLOSE:	MOV	A,#2000H
	MOV	B,ARC
	DIV	AB
	MOV	R7,A
CL1:	SETB	P3.2
	SETB	P3.3
	SETB	P3.4
	CLR	P3.5
	CALL	DELAY_1S
	SETB	P3.2
	SETB	P3.3
	CLR	P3.4
	SETB	P3.5
	CALL	DELAY_1S
	SETB	P3.2
	CLR	P3.3
	SETB	P3.4
	SETB	P3.5
	CALL	DELAY_1S
	CLR	P3.2
	SETB	P3.3
	SETB	P3.4
	SETB	P3.5
	CALL	DELAY_1S
	DJNZ	R7,CL1
CHECK2:	SETB	P3.0
	CALL	DELAY_1MS
	CLR	P3.0
	CALL	DELAY_1MS
	MOV	A,P2
	SUBB	A,#19D
	MOV	B,#2D
	DIV	AB
	PUSH	ACC
	SUBB	A,#120D
	JC	NOMAX2
	POP	ACC
	MOV	A,#0
	JMP	MAX2
NOMAX2:	POP	ACC
MAX2:	MOV	B,A
	MOV	WEIGHTNOW,A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      A,WEIGHT
SUBB    A,B
JC      CLOSE2
MOV      A,WEIGHTNOW
MOV      B,#10D
DIV     AB
PUSH    ACC
MOV      A,B
MOV      DPTR,#TABLE
MOVC    A,@A+DPTR
MOV      NUM_3,A
POP     ACC
MOV      B,#10D
DIV     AB
PUSH    ACC
MOV      A,B
MOV      DPTR,#TABLE
MOVC    A,@A+DPTR
MOV      NUM_2,A
POP     ACC
MOV      B,#10D
DIV     AB
PUSH    ACC
MOV      A,B
MOV      DPTR,#TABLE
MOVC    A,@A+DPTR
MOV      NUM_1,A
POP     ACC
CALL    OUTLED
JMP     CHECK2

```

CLOSE2:

```

MOV      A,#2000H
MOV      B,ARC
DIV     AB
MOV      R7,A

```

CL2:

```

SETB    P3.2
SETB    P3.3
SETB    P3.4
CLR     P3.5
CALL    DELAY_1S
SETB    P3.2
SETB    P3.3
CLR     P3.4
SETB    P3.5
CALL    DELAY_1S
SETB    P3.2
CLR     P3.3
SETB    P3.4
SETB    P3.5
CALL    DELAY_1S
CLR     P3.2
SETB    P3.3
SETB    P3.4
SETB    P3.5
CALL    DELAY_1S

```

```

DJNZ      R7,CL2
JMP      START

DELAY_1S:
MOV      R5,#0FAH      ; 250 LOOP

DELAY_1S_1:
MOV      R6,#08H
DJNZ     R6,$
DJNZ     R5,DELAY_1S_1  ; 4 CYCLE
RET

END

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MM54C922/MM74C922 16-Key Encoder MM54C923/MM74C923 20-Key Encoder

### General Description

These CMOS key encoders provide all the necessary logic to fully encode an array of SPST switches. The keyboard scan can be implemented by either an external clock or external capacitor. These encoders also have on-chip pull-up devices which permit switches with up to 50 k $\Omega$  on resistance to be used. No diodes in the switch array are needed to eliminate ghost switches. The internal debounce circuit needs only a single external capacitor and can be defeated by omitting the capacitor. A Data Available output goes to a high level when a valid keyboard entry has been made. The Data Available output returns to a low level when the entered key is released, even if another key is depressed. The Data Available will return high to indicate acceptance of the new key after a normal debounce period; this two-key roll-over is provided between any two switches.

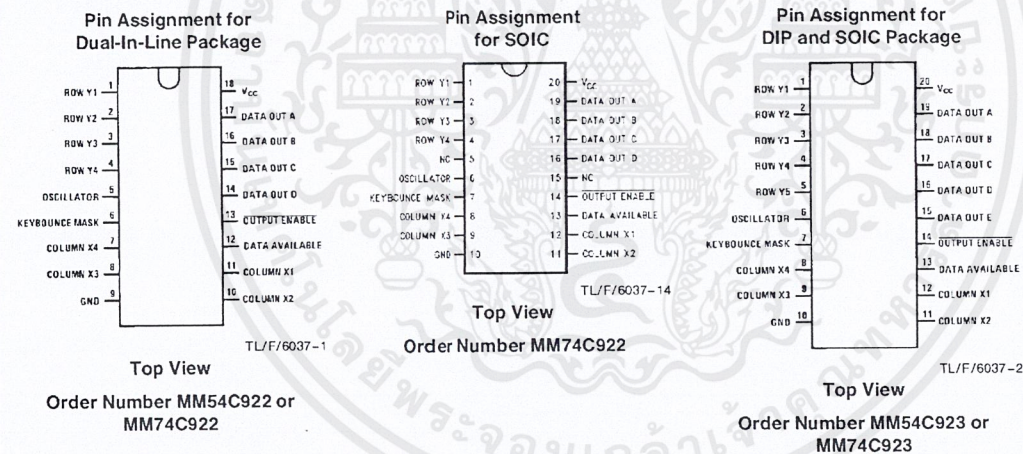
An internal register remembers the last key pressed even after the key is released. The TRI-STATE® outputs provide for easy expansion and bus operation and are LPTTL compatible.

### Features

- 50 k $\Omega$  maximum switch on resistance
- On or off chip clock
- On-chip row pull-up devices
- 2 key roll-over
- Keybounce elimination with single capacitor
- Last key register at outputs
- TRI-STATE output LPTTL compatible
- Wide supply range
- Low power consumption

3V to 15V

### Connection Diagrams



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

Voltage at Any Pin  $V_{CC} - 0.3V$  to  $V_{CC} + 0.3V$   
 Operating Temperature Range  
 MM54C922, MM54C923  $-55^{\circ}C$  to  $+125^{\circ}C$   
 MM74C922, MM74C923  $-40^{\circ}C$  to  $+85^{\circ}C$

Storage Temperature Range  $-65^{\circ}C$  to  $+150^{\circ}C$   
 Power Dissipation ( $P_D$ )  
 Dual-In-Line 700 mW  
 Small Outline 500 mW  
 Operating  $V_{CC}$  Range 3V to 15V  
 $V_{CC}$  18V  
 Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)  $260^{\circ}C$

## DC Electrical Characteristics Min/Max limits apply across temperature range unless otherwise specified

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>CMOS TO CMOS</b>						
$V_{T+}$	Positive-Going Threshold Voltage at Osc and KBM Inputs	$V_{CC} = 5V, I_{IN} \geq 0.7 mA$ $V_{CC} = 10V, I_{IN} \geq 1.4 mA$ $V_{CC} = 15V, I_{IN} \geq 2.1 mA$	3.0 6.0 9.0	3.6 6.8 10	4.3 8.6 12.9	V V V
$V_{T-}$	Negative-Going Threshold Voltage at Osc and KBM Inputs	$V_{CC} = 5V, I_{IN} \geq 0.7 mA$ $V_{CC} = 10V, I_{IN} \geq 1.4 mA$ $V_{CC} = 15V, I_{IN} \geq 2.1 mA$	0.7 1.4 2.1	1.4 3.2 5	2.0 4.0 6.0	V V V
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage, Except Osc and KBM Inputs	$V_{CC} = 5V$ $V_{CC} = 10V$ $V_{CC} = 15V$	3.5 8.0 12.5	4.5 9 13.5		V V V
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage, Except Osc and KBM Inputs	$V_{CC} = 5V$ $V_{CC} = 10V$ $V_{CC} = 15V$		0.5 1 1.5	1.5 2 2.5	V V V
$I_{rp}$	Row Pull-Up Current at Y1, Y2, Y3, Y4 and Y5 Inputs	$V_{CC} = 5V, V_{IN} = 0.1 V_{CC}$ $V_{CC} = 10V$ $V_{CC} = 15V$		-2 -10 -22	-5 -20 -45	$\mu A$ $\mu A$ $\mu A$
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$V_{CC} = 5V, I_O = -10 \mu A$ $V_{CC} = 10V, I_O = -10 \mu A$ $V_{CC} = 15V, I_O = -10 \mu A$	4.5 9 13.5			V V V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	$V_{CC} = 5V, I_O = 10 \mu A$ $V_{CC} = 10V, I_O = 10 \mu A$ $V_{CC} = 15V, I_O = 10 \mu A$			0.5 1 1.5	V V V
$R_{on}$	Column "ON" Resistance at X1, X2, X3 and X4 Outputs	$V_{CC} = 5V, V_O = 0.5V$ $V_{CC} = 10V, V_O = 1V$ $V_{CC} = 15V, V_O = 1.5V$		500 300 200	1400 700 500	$\Omega$ $\Omega$ $\Omega$
$I_{CC}$	Supply Current Osc at 0V, (one Y low)	$V_{CC} = 5V$ $V_{CC} = 10V$ $V_{CC} = 15V$		0.55 1.1 1.7	1.1 1.9 2.6	mA mA mA
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current at Output Enable	$V_{CC} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.005	1.0	$\mu A$
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current at Output Enable	$V_{CC} = 15V, V_{IN} = 0V$	-1.0	-0.005		$\mu A$
<b>CMOS/LPTTL INTERFACE</b>						
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage, Except Osc and KBM Inputs	54C, $V_{CC} = 4.5V$ 74C, $V_{CC} = 4.75V$	$V_{CC} - 1.5$ $V_{CC} - 1.5$			V V
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage, Except Osc and KBM Inputs	54C, $V_{CC} = 4.5V$ 74C, $V_{CC} = 4.75V$			0.8 0.8	V V
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	54C, $V_{CC} = 4.5V$ $I_O = -360 \mu A$ 74C, $V_{CC} = 4.75V$ $I_O = -360 \mu A$	2.4 2.4			V V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	54C, $V_{CC} = 4.5V$ $I_O = -360 \mu A$ 74C, $V_{CC} = 4.75V$ $I_O = -360 \mu A$			0.4 0.4	V V

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. Except for "Operating Temperature Range" they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

## DC Electrical Characteristics

Min/Max limits apply across temperature range unless otherwise specified (Continued)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>OUTPUT DRIVE (See 54C/74C Family Characteristics Data Sheet) (Short Circuit Current)</b>						
$I_{SOURCE}$	Output Source Current (P-Channel)	$V_{CC} = 5V, V_{OUT} = 0V, T_A = 25^\circ C$	-1.75	-3.3		mA
$I_{SOURCE}$	Output Source Current (P-Channel)	$V_{CC} = 10V, V_{OUT} = 0V, T_A = 25^\circ C$	-8	-15		mA
$I_{SINK}$	Output Sink Current (N-Channel)	$V_{CC} = 5V, V_{OUT} = V_{CC}, T_A = 25^\circ C$	1.75	3.6		mA
$I_{SINK}$	Output Sink Current (N-Channel)	$V_{CC} = 10V, V_{OUT} = V_{CC}, T_A = 25^\circ C$	8	16		mA

## AC Electrical Characteristics\* $T_A = 25^\circ C, C_L = 50 pF$ , unless otherwise noted

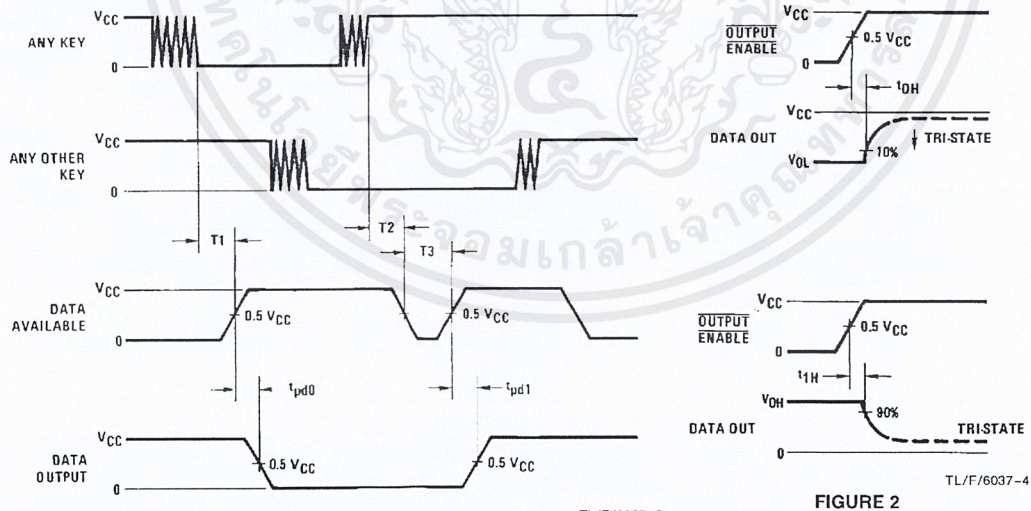
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$t_{pd0}, t_{pd1}$	Propagation Delay Time to Logical "0" or Logical "1" from D.A.	$C_L = 50 pF$ (Figure 1) $V_{CC} = 5V$ $V_{CC} = 10V$ $V_{CC} = 15V$		60 35 25	150 80 60	ns ns ns
$t_{0H}, t_{1H}$	Propagation Delay Time from Logical "0" or Logical "1" into High Impedance State	$R_L = 10k, C_L = 10 pF$ (Figure 2) $V_{CC} = 5V, R_L = 10k$ $V_{CC} = 10V, C_L = 10 pF$ $V_{CC} = 15V$		80 65 50	200 150 110	ns ns ns
$t_{H0}, t_{H1}$	Propagation Delay Time from High Impedance State to a Logical "0" or Logical "1"	$R_L = 10k, C_L = 50 pF$ (Figure 2) $V_{CC} = 5V, R_L = 10k$ $V_{CC} = 10V, C_L = 50 pF$ $V_{CC} = 15V$		100 55 40	250 125 90	ns ns ns
$C_{IN}$	Input Capacitance	Any Input (Note 2)		5	7.5	pF
$C_{OUT}$	TRI-STATE Output Capacitance	Any Output (Note 2)		10		pF

\*AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

**Note 1:** "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. Except for "Operating Temperature Range" they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

**Note 2:** Capacitance is guaranteed by periodic testing.

## Switching Time Waveforms



TL/F/6037-3

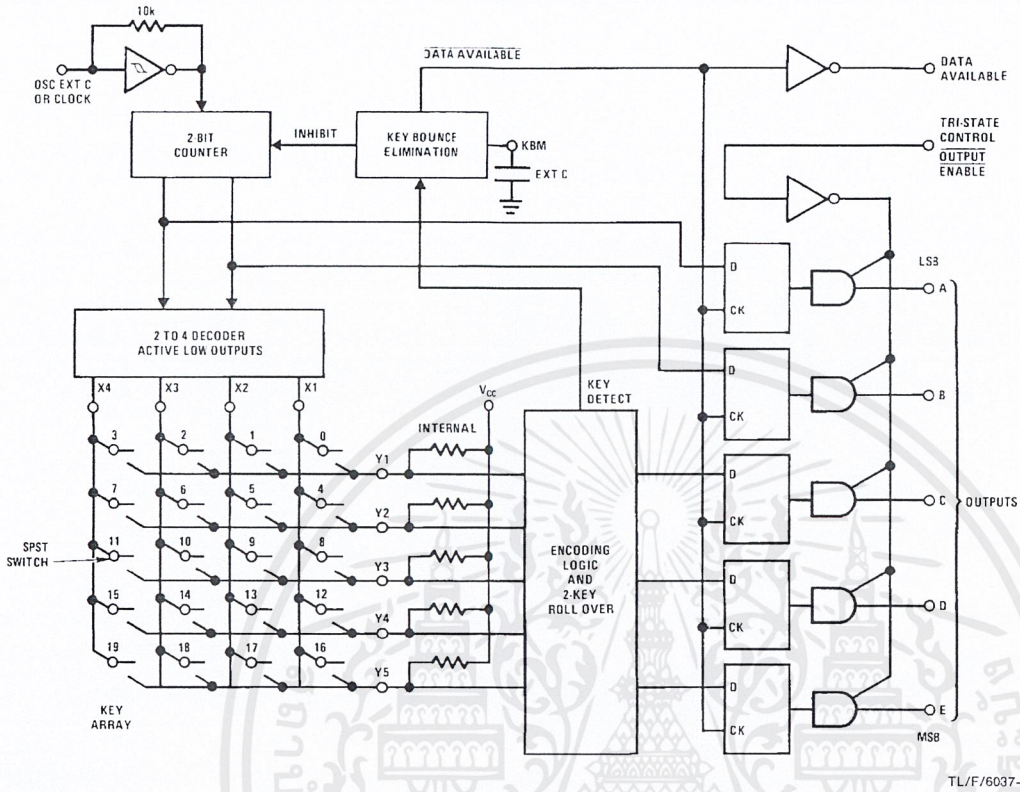
TL/F/6037-4

FIGURE 2

$T_1 \approx T_2 \approx RC, T_3 \approx 0.7 RC$ , where  $R \approx 10k$  and  $C$  is external capacitor at KBM input.

FIGURE 1

## Block Diagram



TL/F/6037-5

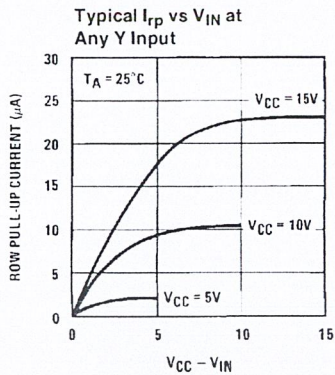
## Truth Table

Switch Position	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
	Y1,X1	Y1,X2	Y1,X3	Y1,X4	Y2,X1	Y2,X2	Y2,X3	Y2,X4	Y3,X1	Y3,X2	Y3,X3	Y3,X4	Y4,X1	Y4,X2	Y4,X3	Y4,X4	Y5*,X1	Y5*,X2	Y5*,X3	Y5*,X4	
D																					
A	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
T																					
B	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
A	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	
O	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
U																					
E*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	

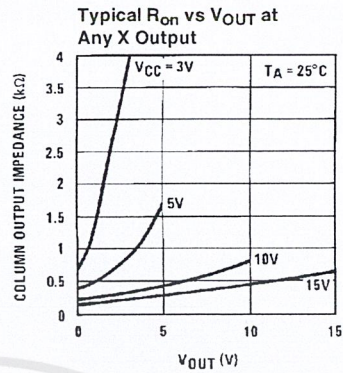
\*Omit for MM54C922/MM74C922

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

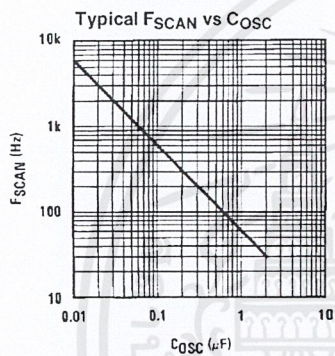
## Typical Performance Characteristics



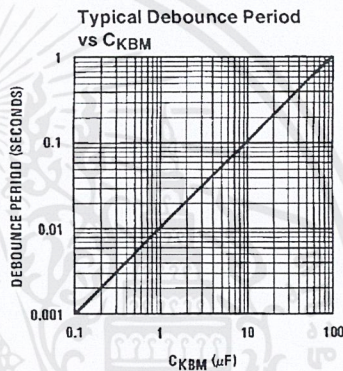
TL/F/6037-6



TL/F/6037-7



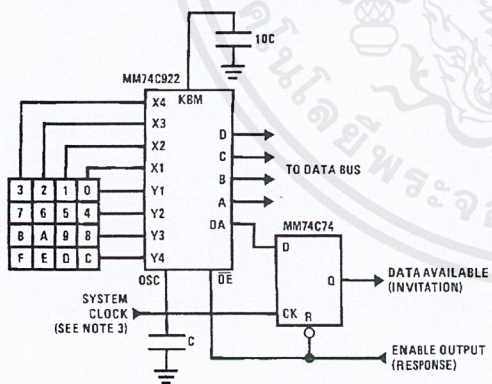
TL/F/6037-8



TL/F/6037-9

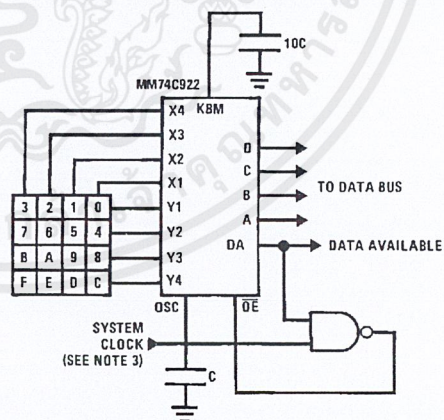
## Typical Applications

Synchronous Handshake (MM74C922)



TL/F/6037-10

Synchronous Data Entry Onto Bus (MM74C922)



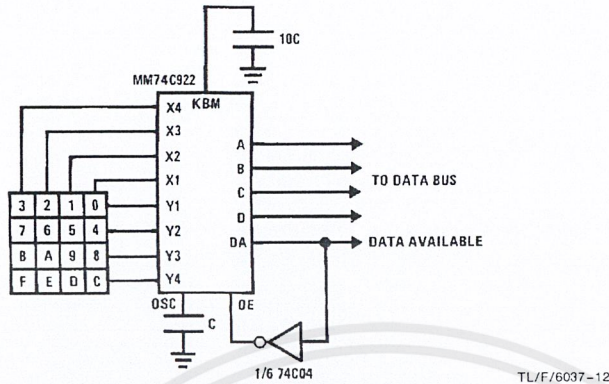
TL/F/6037-11

Outputs are enabled when valid entry is made and go into TRI-STATE when key is released.

Note 3: The keyboard may be synchronously scanned by omitting the capacitor at osc. and driving osc. directly if the system clock rate is lower than 10 kHz.

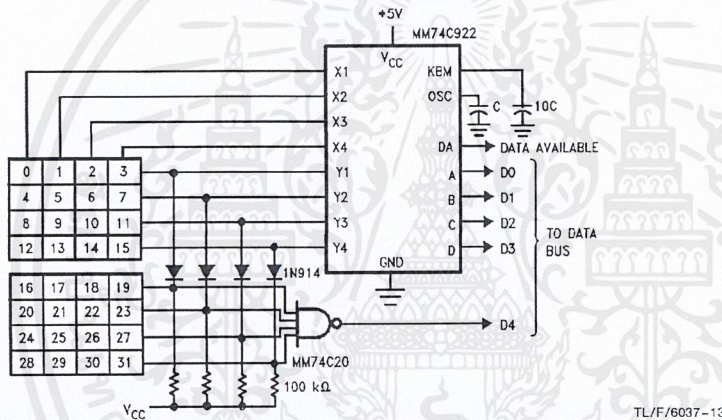
## Typical Applications (Continued)

### Asynchronous Data Entry Onto Bus (MM74C922)



Outputs are in TRI-STATE until key is pressed, then data is placed on bus. When key is released, outputs return to TRI-STATE.

### Expansion to 32 Key Encoder (MM74C922)



## Theory of Operation

The MM74C922/MM74C923 Keyboard Encoders implement all the logic necessary to interface a 16 or 20 SPST key switch matrix to a digital system. The encoder will convert a key switch closure to a 4 (MM74C922) or 5 (MM74C923) bit nibble. The designer can control both the keyboard scan rate and the key debounce period by altering the oscillator capacitor,  $C_{OSC}$ , and the key bounce mask capacitor,  $C_{MSK}$ . Thus, the MM74C922/MM74C923's performance can be optimized for many keyboards.

The keyboard encoders connect to a switch matrix that is 4 rows by 4 columns (MM74C922) or 5 rows by 4 columns (MM74C923). When no keys are depressed, the row inputs are pulled high by internal pull-ups and the column outputs sequentially output a logic "0". These outputs are open drain and are therefore low for 25% of the time and otherwise off. The column scan rate is controlled by the oscillator input, which consists of a Schmitt trigger oscillator, a 2-bit counter, and a 2-4-bit decoder.

When a key is depressed, key 0, for example, nothing will happen when the X1 input is off, since Y1 will remain high. When the X1 column is scanned, X1 goes low and Y1 will go low. This disables the counter and keeps X1 low. Y1 going

low also initiates the key bounce circuit timing and locks out the other Y inputs. The key code to be output is a combination of the frozen counter value and the decoded Y inputs. Once the key bounce circuit times out, the data is latched, and the Data Available (DAV) output goes high.

If, during the key closure the switch bounces, Y1 input will go high again, restarting the scan and resetting the key bounce circuitry. The key may bounce several times, but as soon as the switch stays low for a debounce period, the closure is assumed valid and the data is latched.

A key may also bounce when it is released. To ensure that the encoder does not recognize this bounce as another key closure, the debounce circuit must time out before another closure is recognized.

The two-key roll-over feature can be illustrated by assuming a key is depressed, and then a second key is depressed. Since all scanning has stopped, and all other Y inputs are disabled, the second key is not recognized until the first key is lifted and the key bounce circuitry has reset.

The output latches feed TRI-STATE, which is enabled when the Output Enable ( $\overline{OE}$ ) input is taken low.



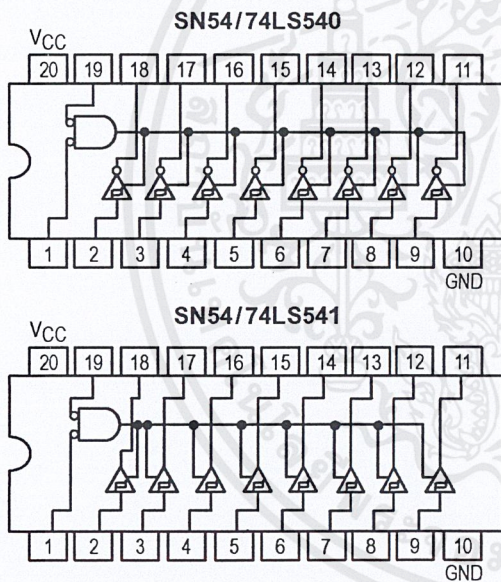
# OCTAL BUFFER/LINE DRIVER WITH 3-STATE OUTPUTS

The SN54/74LS540 and SN54/74LS541 are octal buffers and line drivers with the same functions as the LS240 and LS241, but with pinouts on the opposite side of the package.

These device types are designed to be used as memory address drivers, clock drivers and bus-oriented transmitters/receivers. These devices are especially useful as output ports for the microprocessors, allowing ease of layout and greater PC board density.

- Hysteresis at Inputs to Improve Noise Margin
- PNP Inputs Reduce Loading
- 3-State Outputs Drive Bus Lines
- Inputs and Outputs Opposite Side of Package, Allowing Easier Interface to Microprocessors
- Input Clamp Diodes Limit High-Speed Termination Effects

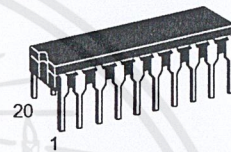
## LOGIC AND CONNECTION DIAGRAMS DIP (TOP VIEW)



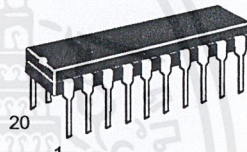
## SN54/74LS540 SN54/74LS541

### OCTAL BUFFER/LINE DRIVER WITH 3-STATE OUTPUTS

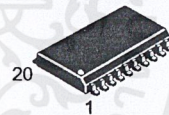
LOW POWER SCHOTTKY



**J SUFFIX**  
CERAMIC  
CASE 732-03



**N SUFFIX**  
PLASTIC  
CASE 738-03



**DW SUFFIX**  
SOIC  
CASE 751D-03

### ORDERING INFORMATION

SN54LSXXXJ Ceramic  
SN74LSXXXN Plastic  
SN74LSXXXDW SOIC

## GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V <sub>CC</sub>	Supply Voltage	54	4.5	5.0	5.5	V
		74	4.75	5.0	5.25	
T <sub>A</sub>	Operating Ambient Temperature Range	54	-55	25	125	°C
		74	0	25	70	
I <sub>OH</sub>	Output Current — High	54			-12	mA
		74			-15	
I <sub>OL</sub>	Output Current — Low	54			12	mA
		74			24	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า

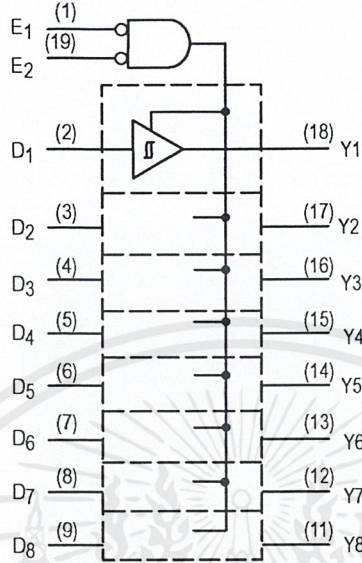
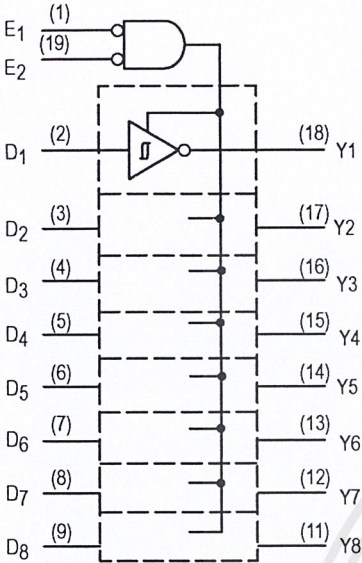
FAST AND LS TTL DATA  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SN54/74LS540 • SN54/74LS541

## BLOCK DIAGRAM

LS540

LS541



INPUTS			OUTPUTS	
E1	E2	D	LS540	LS541
L	L	H	L	H
H	X	X	Z	Z
X	H	X	Z	Z
L	L	L	H	L

L = LOW Voltage Level  
H = HIGH Voltage Level  
X = Immaterial  
Z = High Impedance

### DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
V <sub>IH</sub>	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V <sub>IL</sub>	Input LOW Voltage	54		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
		74		0.8		
V <sub>IK</sub>	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>IN</sub> = -18 mA
V <sub>OH</sub>	Output HIGH Voltage	54, 74	2.4	3.4	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>OH</sub> = -3.0 mA
		54, 74	2.0		V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>OH</sub> = MAX, V <sub>IL</sub> = 0.5 V
V <sub>OL</sub>	Output LOW Voltage	54, 74	0.25	0.4	V	I <sub>OL</sub> = 12 mA
		74	0.35	0.5	V	I <sub>OL</sub> = 24 mA
V <sub>T+</sub> -V <sub>T-</sub>	Hysteresis	0.2	0.4		V	V <sub>CC</sub> = MIN
I <sub>OZH</sub>	Output Off Current HIGH			20	μA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>OUT</sub> = 2.7 V
I <sub>OZL</sub>	Output Off Current LOW			-20	μA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>OUT</sub> = 0.4 V
I <sub>IH</sub>	Input HIGH Current			20	μA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 2.7 V
				0.1	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 7.0 V
I <sub>IL</sub>	Input LOW Current			-0.2	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 0.4 V
I <sub>OS</sub>	Short Circuit Current (Note 1)	-40		-225	mA	V <sub>CC</sub> = MAX
I <sub>CC</sub>	Power Supply Current Total, Output HIGH	LS540		25	mA	V <sub>CC</sub> = MAX
		LS541		32	mA	
	Total, Output LOW	LS540		45	mA	
		LS541		52	mA	
	Total Output 3-State	LS540		52	mA	
		LS541		55	mA	

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

### FAST AND LS TTL DATA

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะลงนิตยสารและต้องยกย่องถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SN54/74LS540 • SN54/74LS541

## AC CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
$t_{PLH}$	Propagation Delay, Data to Output	LS540	9.0	15	ns	$V_{CC} = 5.0\text{ V}$ $C_L = 45\text{ pF}$ $R_L = 667\ \Omega$
$t_{PLH}$		LS541	12	15		
$t_{PHL}$		LS540	12	15		
$t_{PHL}$		LS541	12	18		
$t_{PZH}$	Output Enable Time to HIGH Level	LS540	15	25	ns	
$t_{PZH}$		LS541	15	32		
$t_{PZL}$	Output Enable Time to LOW Level	LS540	20	38	ns	
		LS541	20	38		
$t_{PHZ}$	Output Disable Time to HIGH Level	LS540	10	18	ns	$C_L = 5.0\text{ pF}$
		LS541	10	18		
$t_{PLZ}$	Output Disable Time to LOW Level	LS540	15	25	ns	
		LS541	15	29		

## AC WAVEFORMS

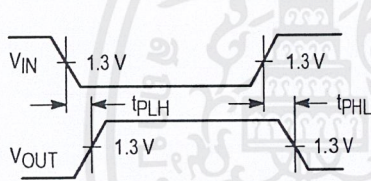


Figure 1

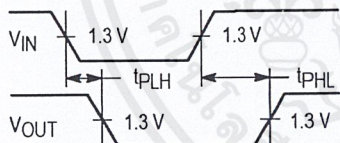


Figure 2

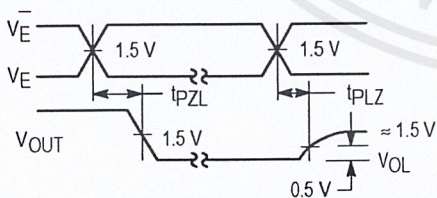


Figure 3

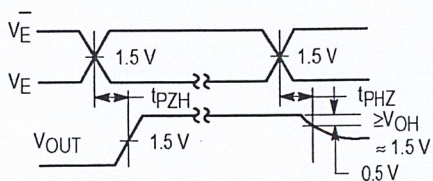
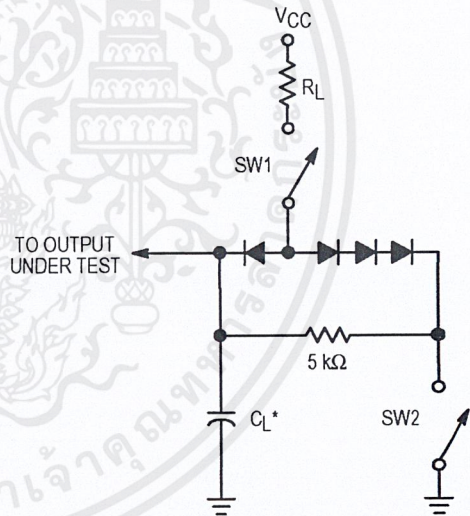


Figure 4



## SWITCH POSITIONS

SYMBOL	SW1	SW2
$t_{PZH}$	Open	Closed
$t_{PZL}$	Closed	Open
$t_{PLZ}$	Closed	Closed
$t_{PHZ}$	Closed	Closed

Figure 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ให้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแบบสงวนเนื้อหา และต้องขออนุญาตเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAST AND LS TTL DATA

## LF351 Wide Bandwidth JFET Input Operational Amplifier

### General Description

The LF351 is a low cost high speed JFET input operational amplifier with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET IITM technology). The device requires a low supply current and yet maintains a large gain bandwidth product and a fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The LF351 is pin compatible with the standard LM741 and uses the same offset voltage adjustment circuitry. This feature allows designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM741 designs.

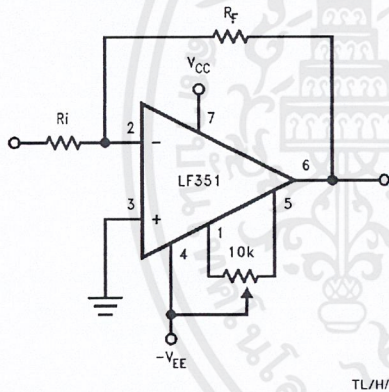
The LF351 may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample-and-hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The device has low noise and offset voltage drift, but for applications where these requirements are critical, the LF356 is recommended. If maximum supply

current is important, however, the LF351 is the better choice.

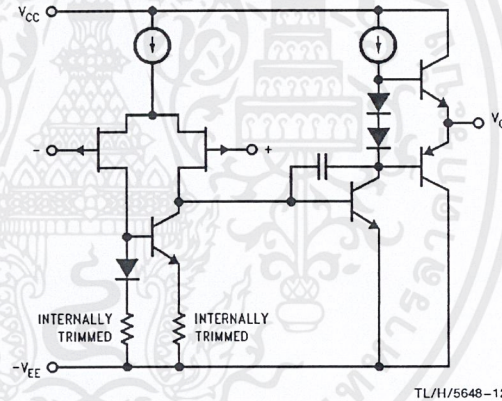
### Features

- Internally trimmed offset voltage 10 mV
- Low input bias current 50 pA
- Low input noise voltage 25 nV/√Hz
- Low input noise current 0.01 pA/√Hz
- Wide gain bandwidth 4 MHz
- High slew rate 13 V/μs
- Low supply current 1.8 mA
- High input impedance 10<sup>12</sup>Ω
- Low total harmonic distortion  $A_V=10$ ,  $R_L=10k$ ,  $V_O=20$  Vp-p,  $BW=20$  Hz–20 kHz <0.02%
- Low 1/f noise corner 50 Hz
- Fast settling time to 0.01% 2 μs

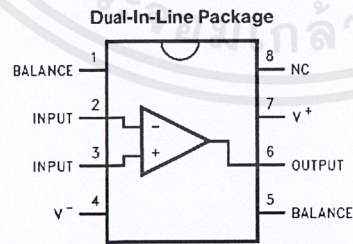
### Typical Connection



### Simplified Schematic



### Connection Diagrams



**Order Number LF351M or LF351N**  
See NS Package Number M08A or N08E

## Absolute Maximum Ratings

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

Supply Voltage	±18V
Power Dissipation (Notes 1 and 6)	670 mW
Operating Temperature Range	0°C to +70°C
T <sub>J</sub> (MAX)	115°C
Differential Input Voltage	±30V
Input Voltage Range (Note 2)	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temp. (Soldering, 10 sec.)	
Metal Can	300°C
DIP	260°C

$\theta_{JA}$		
N Package		120°C/W
M Package		TBD

Soldering Information		
Dual-In-Line Package		
Soldering (10 sec.)		260°C
Small Outline Package		
Vapor Phase (60 sec.)		215°C
Infrared (15 sec.)		220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

ESD rating to be determined.

## DC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF351			Units
			Min	Typ	Max	
V <sub>OS</sub>	Input Offset Voltage	R <sub>S</sub> = 10 k $\Omega$ , T <sub>A</sub> = 25°C Over Temperature		5	10	mV
					13	mV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Average TC of Input Offset Voltage	R <sub>S</sub> = 10 k $\Omega$		10		$\mu V/^{\circ}C$
I <sub>OS</sub>	Input Offset Current	T <sub>J</sub> = 25°C, (Notes 3, 4) T <sub>J</sub> $\leq$ 70°C		25	100	$\mu A$
					4	nA
I <sub>B</sub>	Input Bias Current	T <sub>J</sub> = 25°C, (Notes 3, 4) T <sub>J</sub> $\leq$ $\pm 70^{\circ}C$		50	200	$\mu A$
					8	nA
R <sub>IN</sub>	Input Resistance	T <sub>J</sub> = 25°C		10 <sup>12</sup>		$\Omega$
A <sub>VOL</sub>	Large Signal Voltage Gain	V <sub>S</sub> = $\pm 15V$ , T <sub>A</sub> = 25°C V <sub>O</sub> = $\pm 10V$ , R <sub>L</sub> = 2 k $\Omega$ Over Temperature	25	100		V/mV
			15			V/mV
V <sub>O</sub>	Output Voltage Swing	V <sub>S</sub> = $\pm 15V$ , R <sub>L</sub> = 10 k $\Omega$	$\pm 12$	$\pm 13.5$		V
V <sub>CM</sub>	Input Common-Mode Voltage Range	V <sub>S</sub> = $\pm 15V$		+15		V
				$\pm 11$	-12	V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	R <sub>S</sub> $\leq$ 10 k $\Omega$	70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 5)	70	100		dB
I <sub>S</sub>	Supply Current			1.8	3.4	mA

## AC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF351			Units
			Min	Typ	Max	
SR	Slew Rate	$V_S = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$		13		V/ $\mu s$
GBW	Gain Bandwidth Product	$V_S = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$		4		MHz
$e_n$	Equivalent Input Noise Voltage	$T_A = 25^\circ C, R_S = 100\Omega, f = 1000 Hz$		25		nV/ $\sqrt{Hz}$
$i_n$	Equivalent Input Noise Current	$T_j = 25^\circ C, f = 1000 Hz$		0.01		pA/ $\sqrt{Hz}$

**Note 1:** For operating at elevated temperature, the device must be derated based on the thermal resistance,  $\theta_{JA}$ .

**Note 2:** Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

**Note 3:** These specifications apply for  $V_S = \pm 15V$  and  $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$ .  $V_{OS}$ ,  $I_B$  and  $I_{OS}$  are measured at  $V_{CM} = 0$ .

**Note 4:** The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every  $10^\circ C$  increase in the junction temperature,  $T_j$ . Due to the limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation,  $P_D$ .  $T_j = T_A + \theta_{JA} P_D$  where  $\theta_{JA}$  is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

**Note 5:** Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with common practice. From  $\pm 15V$  to  $\pm 5V$ .

**Note 6:** Max. Power Dissipation is defined by the package characteristics. Operating the part near the Max. Power Dissipation may cause the part to operate outside guaranteed limits.

## Application Hints (Continued)

common-mode range again puts the input stage and thus the amplifier in a normal operating mode.

Exceeding the positive common-mode limit on a single input will not change the phase of the output; however, if both inputs exceed the limit, the output of the amplifier will be forced to a high state.

The amplifier will operate with a common-mode input voltage equal to the positive supply; however, the gain bandwidth and slew rate may be decreased in this condition. When the negative common-mode voltage swings to within 3V of the negative supply, an increase in input offset voltage may occur.

The LF351 is biased by a zener reference which allows normal circuit operation on  $\pm 4V$  power supplies. Supply voltages less than these may result in lower gain bandwidth and slew rate.

The LF351 will drive a 2 k $\Omega$  load resistance to  $\pm 10V$  over the full temperature range of 0°C to +70°C. If the amplifier is forced to drive heavier load currents, however, an increase in input offset voltage may occur on the negative voltage swing and finally reach an active current limit on both positive and negative swings.

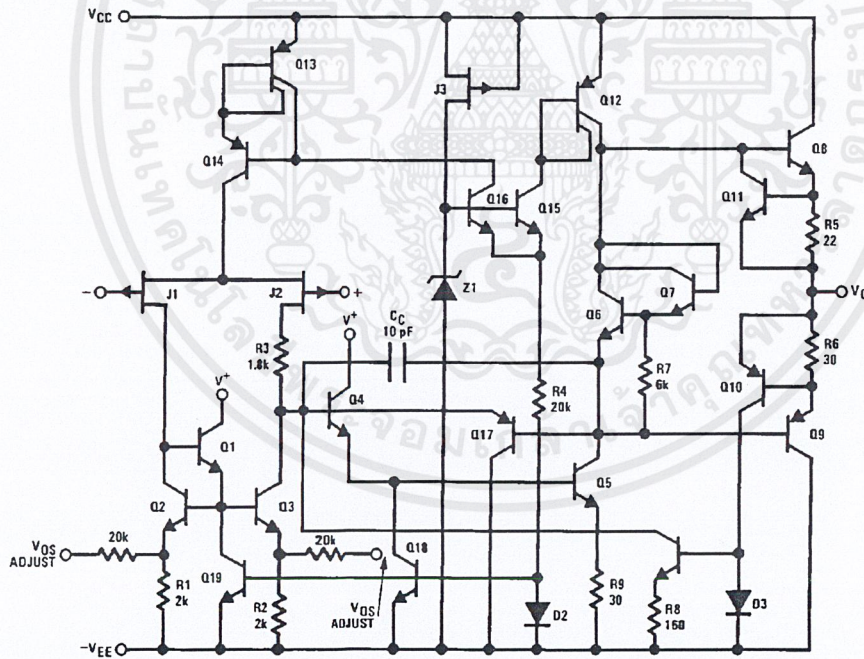
Precautions should be taken to ensure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed back-

wards in a socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

As with most amplifiers, care should be taken with lead dress, component placement and supply decoupling in order to ensure stability. For example, resistors from the output to an input should be placed with the body close to the input to minimize "pick-up" and maximize the frequency of the feedback pole by minimizing the capacitance from the input to ground.

A feedback pole is created when the feedback around any amplifier is resistive. The parallel resistance and capacitance from the input of the device (usually the inverting input) to AC ground set the frequency of the pole. In many instances the frequency of this pole is much greater than the expected 3 dB frequency of the closed loop gain and consequently there is negligible effect on stability margin. However, if the feedback pole is less than approximately 6 times the expected 3 dB frequency a lead capacitor should be placed from the output to the input of the op amp. The value of the added capacitor should be such that the RC time constant of this capacitor and the resistance it parallels is greater than or equal to the original feedback pole time constant.

## Detailed Schematic



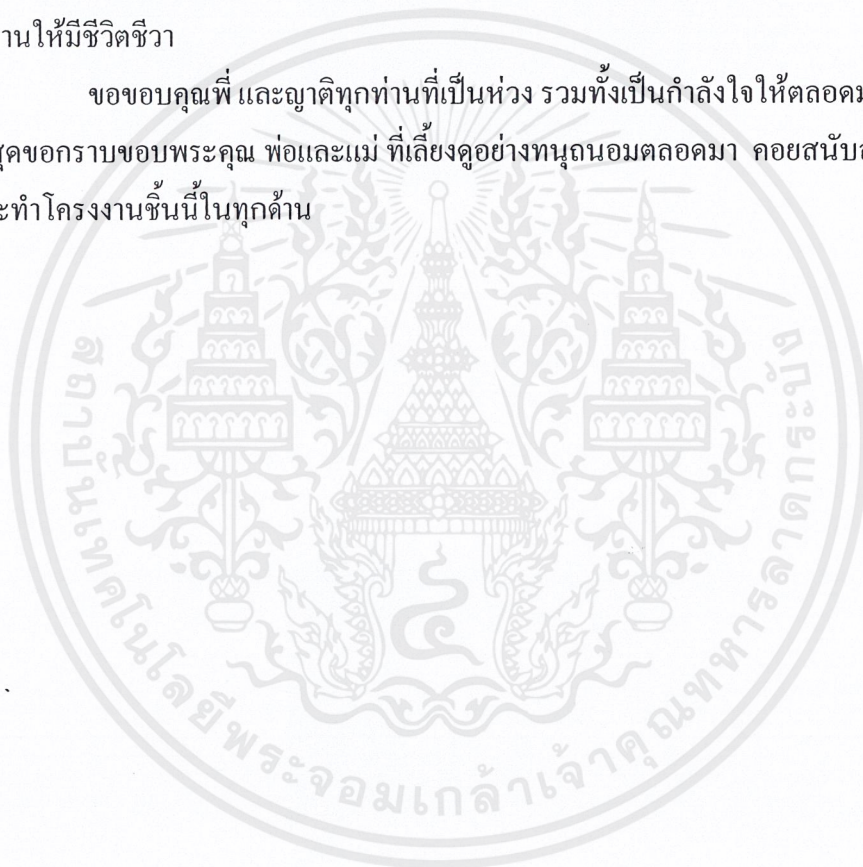
TL/H/5648-9

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการชิ้นนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งท่านอาจารย์ที่ปรึกษาที่เคารพ อ.คงศักดิ์ อนันตศิริรัตน ที่ได้ให้คำปรึกษาและชี้แนวทางในการทำงาน

ขอขอบคุณรุ่นพี่ และเพื่อน ๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือและช่วยกันสร้างบรรยากาศในการทำโครงการให้มีชีวิตชีวา

ขอขอบคุณพี่ และญาติทุกท่านที่เป็นห่วง รวมทั้งเป็นกำลังใจให้ตลอดมา และที่สำคัญที่สุดขอกราบขอบพระคุณ พ่อและแม่ ที่เลี้ยงดูอย่างทนุถนอมตลอดมา คอยสนับสนุนในการศึกษาและทำโครงการชิ้นนี้ในทุกด้าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### หนังสืออ้างอิง

1. ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, “เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51”, อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด,
2. รศ. สมยศ จุณณะปิยะ, “การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541
3. วารสารอิเล็กทรอนิกส์ ฉบับพิเศษ เรื่องชุดแหล่งจ่ายไฟสำหรับอิเล็กทรอนิกส์, ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
4. ELECTRONIC DEVICE & CIRCUIT / Robert Boylestad / Louis Naselsky / PRENTICE-HALL INTERNATIONAL EDITION