

เครื่องทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์  
SOLAR CELL TESTER

โดย

นางสาวกรรณิมา	สาริกา	รหัส	33100008
นางสาวชลธิชา	การินทร์	รหัส	33100073
นายธรรมรัตน์	เอียวสินทรัพย์	รหัส	33100137

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2536

ปีการศึกษา 2536  
เครื่องทดสอบ เซลล์แสงอาทิตย์  
SOLAR-CELL TESTER



วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2536

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เรื่อง เครื่องทดสอบเซลแสงอาทิตย์

ผู้จัดทำ

1. นางสาวกรรณิมา สาริกา รหัส 33100008
2. นางสาวชลธิชา การินทร์ รหัส 33100073
3. นายธรรมรัตน์ เขียวสินทรัพย์ รหัส 33100137



( อาจารย์สมศักดิ์ เขียวศิริกุล )

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2536

เครื่องทดสอบ เซลล์แสงอาทิตย์  
SOLAR-CELL TESTER

โดย

นางสาวกรรธิดา สาริกา รหัส 33100008  
นางสาวชลธิชา การินทร์ รหัส 33100073  
นายธรรมรัตน์ เอี้ยวสินทรัพย์ รหัส 33100137

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สมศักดิ์ เชียรศิริกุล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

บทคัดย่อ		1
บทที่ 1 บทนำ		2
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์		3
2.1 โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์		
2.2 คุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์		
2.3 คุณสมบัติที่วัดได้ของเซลล์แสงอาทิตย์		
2.4 ผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์		
2.5 ตัวอย่างการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย		
บทที่ 3 โครงสร้างสถาปัตยกรรม MCS-51		13
3.1 การจัดการลักษณะภายนอกของ MCS-51		
3.2 การจัดการทางสถาปัตยกรรม		
3.3 หน่วยศูนย์กลางประมวลผลหรือซีพียู		
3.4 ตัวจับเวลา/ตัวนับ 0 และตัวจับเวลา/ตัวนับ 1		
3.5 การเชื่อมต่อแบบคอนกรีต		
บทที่ 4 วิธีลัดสแตตัส		20
4.1 วิธีประมาณด้วยเส้นตรง		
4.2 วิธีประมาณด้วยเส้นโค้งทรงกลมที่โค้งลง		
4.3 วิธีประมาณด้วยโพลีโนเมียลอันดับ ๓		
4.4 วิธีประมาณด้วยเส้นโค้งเกาส์เซียน		
4.5 การใช้งานลัดสแตตัส		
บทที่ 5 แนวความคิดและขั้นตอนการทำงานด้านฮาร์ดแวร์		28
5.1 แนวความคิดพื้นฐาน		
5.2 การทำงานของระบบ		
5.3 วงจรวัดและอินเทอร์เฟส		
5.4 วงจรที่ใช้ประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51		
บทที่ 6 โปรแกรมและโพลีชาร์ตการทำงาน		46
บทที่ 7 ผลการทดลองและสรุป		82
บทที่ 8 บทสรุปและแนวทางในการพัฒนา		91
เอกสารอ้างอิง		92
กิตติกรรมประกาศ		93
บรรณานุกรม		94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

## SOLAR CELL TESTER

โดย นางสาวกรรณิมา สารีภา

นางสาวชลธิชา การินทร์

นายธรรมรัตน์ เอี้ยวสินทรัพย์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สมศักดิ์ เขียวศิริกุล

## บทคัดย่อ

ในการตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ มีความยุ่งยากในการตรวจสอบ เนื่องจากต้องมีการต่อเข้ากับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เท่านั้น จึงจะสามารถทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ และเครื่องทดสอบทั่วไปมักจะมีขนาดใหญ่ มีน้ำหนักมากจึงเป็นอุปสรรคต่อการใช้งานเมื่อไม่ต้องการความละเอียดมากนัก เพื่อลดปัญหาความยุ่งยากดังกล่าวจึงได้มีการทำโครงการเกี่ยวกับ เครื่องทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์แบบหิ้วได้ขึ้นมา โดยมีการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลคุณสมบัติทางไฟฟ้า อาทิเช่น กำลังสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายได้ และสามารถทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้จากจอแสดงผลแอล ซี ดี ภายในเครื่องทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์เพียงหนึ่งเครื่องเท่านั้น นอกจากนี้ยังสามารถดูกราฟของศักดาและกระแสไฟฟ้าทางจอมอนิเตอร์โดยเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ได้

## ABSTRACT

One disadvantage of a complex solar cell tester is its large size. This is due to its sophisticated functions which are rarely used in sense application, in particular when the equipment is used to test a single cell. To soften this problem, a portable tester is designed. The equipment has incooperate built in functions, maximum power,  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ . With LCD display, the tested results can be easily read out. Moreover, I-V curve and source important parameters such as  $V_{oc}$ ,  $I_{sc}$  and fill factor can be further processed using interfaced microcomputer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1 บทนำ

ปัจจุบันนี้ ประเทศไทยได้มีการนำเอาเซลล์แสงอาทิตย์ มาใช้งานหลายประเภทด้วยกัน ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำอย่างหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงในขณะที่ได้รับแสง โดยเซลล์จะจ่ายเป็นไฟฟ้ากระแสตรงออกมา แล้วสามารถนำไปใช้ได้เลยหรือนำไปแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อนำไปใช้งานต่อไป ส่วนใหญ่มักจะสร้างจากสารซิลิกอน เพราะหาได้ง่ายและมีราคาถูก อีกทั้งได้มีการศึกษาทำความเข้าใจและพัฒนามาเป็นเวลานาน นอกจากนั้นกระบวนการที่ยังทำให้ไม่เกิดของเสียเหลือใช้ มีแต่ความร้อนจึงไม่ทำให้เกิดสภาพแวดล้อมเป็นพิษ เมื่อมีการนำเอาเซลล์แสงอาทิตย์มาเป็นตัวจ่ายพลังงานไฟฟ้า เราจึงต้องคำนึงถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์นั้นๆ ว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมหรือไม่ อย่างไร เพราะอุปกรณ์แต่ละอย่างมีความต้องการทางไฟฟ้าแตกต่างกัน

ดังนั้นจึงเป็นเรื่องจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ ในการนำเอาแต่ละเซลล์มาต่อเป็นแผงใหญ่ เซลล์แต่ละเซลล์ที่นำมาต่อกันต้องมีคุณสมบัติใกล้เคียงหรือแตกต่างกันอย่างไร เพื่อจะให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุดในโรงงานผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ของต่างประเทศจะมีเครื่องทดสอบคุณสมบัติของเซลล์ เพื่อคัดแยกเกรดแต่ละเซลล์ที่ผลิตออกมาได้ เครื่องทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยยังไม่มี การนำเข้ามาใช้ เพราะอุตสาหกรรมประเภทนี้ยังไม่ค่อยแพร่หลายนักและ เครื่องทดสอบก็มีราคาแพงด้วย แต่ในอนาคตอันใกล้นี้จะมีการใช้เซลล์แสงอาทิตย์กันแพร่หลายมากขึ้น

ในโครงการนี้ ได้มีการศึกษาถึงวงจรทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเซลล์เดี่ยว และได้กล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นของเซลล์แสงอาทิตย์ รายละเอียดการทำงานของระบบและวงจรต่างๆ ที่ใช้ในโครงการเรื่องนี้

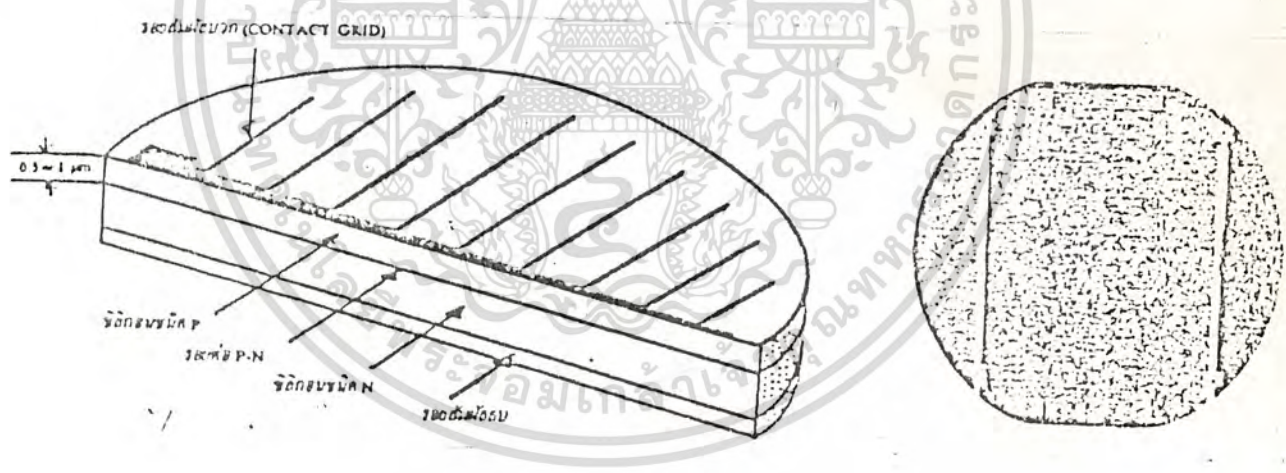
บทที่ 2

ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับ เซลแสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงมาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยทั่วๆ ไปแล้วเซลล์แสงอาทิตย์มีอยู่ด้วยกันหลายชนิดแล้วแต่วัสดุที่นำมาสร้าง เช่น ซิลิคอน สารประกอบพวกแคลเซียมซิลิไซด์ หรือแคลเซียมอะไซด์ ฯลฯ แต่ส่วนมากจะสร้างจากซิลิคอนมากกว่า เนื่องจากมีราคาถูกและสามารถสกัดได้จากทรายบนพื้นโลก นอกจากนี้ซิลิคอนยังเป็นสารกึ่งตัวนำที่ถูกพัฒนามานานจนเป็นที่รู้จักกันแพร่หลาย และยังเป็นวัตถุดิบในโรงงานผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ อีกด้วย

2.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างจะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อ พี-เอ็น ของซิลิคอน โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะเหมือนโครงสร้างของไดโอดชนิดรอยต่อ พี-เอ็น ทุกประการ เพียงแต่เซลล์แสงอาทิตย์ถูกออกแบบสร้างขึ้นมาให้มีลักษณะที่เหมาะสมเพื่อให้อาจสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

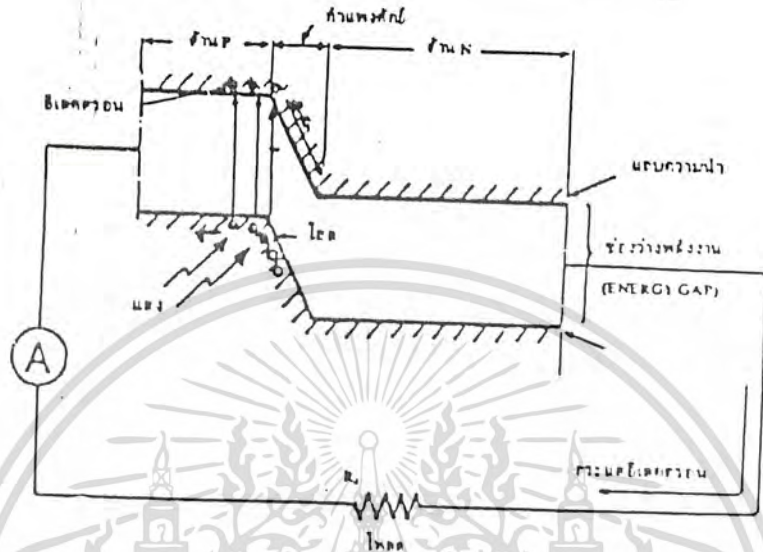


รูปที่ 2.1.1 โครงสร้างภายในเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ผิวเซลล์ พลังงานบางส่วนจะถูกกลืนเอาไว้ทำให้เกิดประจุพาหะอิสระขึ้น 2 ชนิด คือ อิเล็กตรอนและโฮล ประจุพาหะนี้จะเคลื่อนที่ด้วยอิทธิพลของสนามไฟฟ้าที่มีอยู่บนบริเวณรอยต่อ ทำให้เกิดเป็นกระแสไหลออกมา

เซลล์แต่ละ เซลจะสามารถจ่ายแรงดันออกมาได้ประมาณ 0.5-0.6 โวลท์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของ เซลแบบซิลิคอน จำนวนกระแสไฟฟ้าที่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูยาดเินหาไปเซไซระเียขนทานการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ของเซลล์ ความลึกของรอยต่อ พี-เอ็น และความเข้มของแสงเป็นประการสำคัญ เซลล์ที่มีขนาดใหญ่มีความลึกของรอยต่อที่เหมาะสม เมื่อได้รับแสงที่มีความเข้มสูงจะสามารถจ่ายกระแสออกมาได้มาก



รูปที่ 2.1.2 แสดงการเกิดกระแสไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์ขณะได้รับแสง

2.2 คุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทั่วไปสามารถเขียนเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าขณะที่เซลล์ได้รับแสง เซลล์จะสามารถจ่ายกระแสได้มากที่สุด เมื่อเซลล์ถูกลัดวงจร ซึ่งมีค่ากระแสขณะเปิดวงจร (Short circuit current :  $I_{sc}$ ) โดยทั่วไปสำหรับเซลล์เดี่ยวแล้ว ขนาดของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะมีค่าไม่เกิน 2.5 แอมป์

เซลล์จะสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้มากที่สุด เมื่อเซลล์ถูกเปิดวงจรออกซึ่งมีค่าเท่ากับแรงดันขณะเปิดวงจร (Open circuit voltage :  $V_{oc}$ ) กระแสที่เกิดจากเซลล์ขณะที่ได้รับแสงนี้ถูกเรียกว่า "กระแสไฟฟ้าแสง" (Photo Current) สำหรับเซลล์เดี่ยวจะมีค่า  $V_{oc}$  ไม่เกิน 0.6 โวลท์ ทั้งนี้เนื่องจากค่าศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเซลล์ก็คือ ค่าความต่างศักย์ของรอยต่อ พี-เอ็น สำหรับเซลล์ที่เป็นแผง ขึ้นอยู่กับการนำเซลล์มาต่อแบบอนุกรม เพื่อเพิ่มศักดาไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการประยุกต์ไปใช้งานจริง

อัตราส่วนระหว่างค่ากำลังที่มากที่สุดที่เซลล์จะให้ได้อย่างแท้จริง กับค่ากำลังงานที่เซลล์น่าจะให้ได้ในทางอุดมคติ ถูกเรียกว่า "ฟิลแฟคเตอร์" (Fill Factor)

$$FILL\ FACTOR = P_m / P_o$$

โดยที่

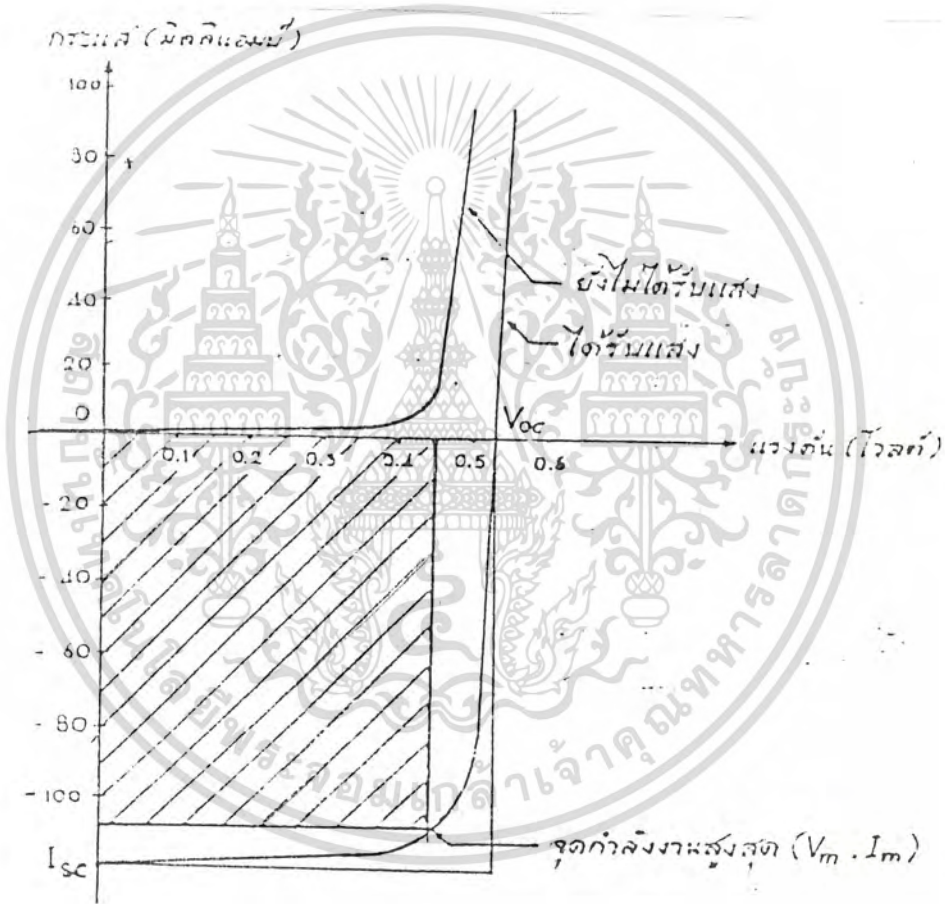
$$P_m = V_m I_m$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_o = V_{oc} I_{sc}$$

กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Power maximum :  $P_m$ ) หาได้จากตำแหน่งของกราฟที่ได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด และค่าศักดาไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่จุดนี้ก็คือ จุด  $V_m$  และ  $I_m$  ตามลำดับ เพราะฉะนั้นสามารถเขียนสมการของกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ดังนี้

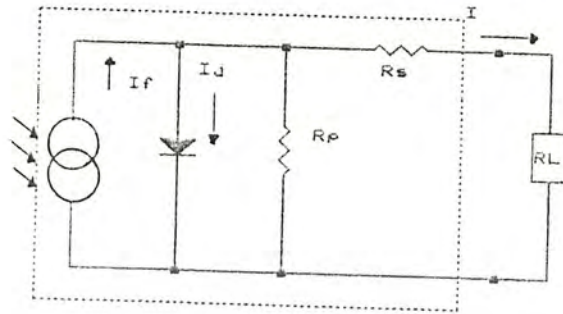
$$P_m = V_m I_m$$



รูปที่ 2.2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ขณะได้รับแสงและไม่ได้รับแสง

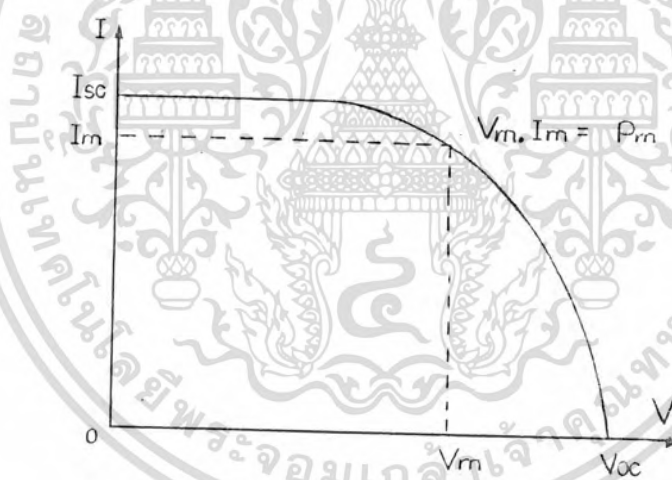
เมื่อพิจารณาวงจรพื้นฐานประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และค่าความต้านทานที่รับค่าได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2.2 วงจรพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์

จากวงจรเราเปลี่ยนค่าความต้านทานไปเรื่อยๆ โดยที่แต่ละครั้งในการเปลี่ยนค่าความต้านทาน ให้บันทึกค่าศักดาที่ตกคร่อมตัวเซลล์แสงอาทิตย์ และค่ากระแสที่ไหลในวงจรเมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.2.3

โดยที่  
เมื่อ

$$I = I_o(\exp(V_{oc}/V_t) - \exp(V/V_t))$$

$$V_t = \text{THERMAL VOLTAGE} = K/q/T$$

K = BOLTSMAN CONSTANT

q = ELECTRON CHARGE

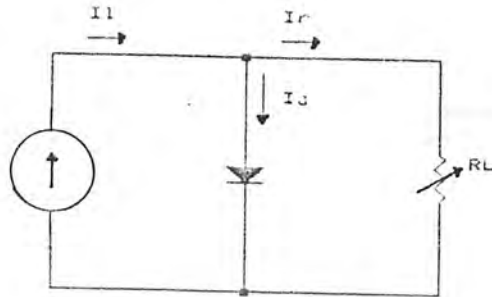
T = KELVIN DEGREE

$V_{oc}$  = OPEN CIRCUIT VOLTAGE

$I_o$  = LEAKAGE CURRENT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากรูปที่ 2.2.2 สามารถเขียนวงจรเสมือนได้ดังนี้



รูปที่ 2.2.4

พิจารณาจากวงจรเสมือนของวงจรพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์จะได้ว่า

$$I_r = I_1 - I_j$$

$$I_1 = I_o (\exp(V_{oc}/V_t) - 1)$$

$$I_j = I_o (\exp(V/V_t) - 1)$$

จะได้ว่า 
$$I_r = I_o (\exp(V_{oc}/V_t) - \exp(V/V_t)) \dots (1)$$

ถ้าให้  $V = 0$  แล้วจะได้ว่า

$$I_r = I_{sc} = I_o (\exp(V_{oc}/V_t) - 1)$$

ซึ่งจะเห็นว่า

$$I_1 = I_{sc}$$

จะได้ว่า 
$$I_o = I_{sc} / (\exp(V_{oc}/V_t) - 1) \dots (2)$$

เพราะฉะนั้นจากสมการที่ (1), (2) จะได้ว่า

$$I_r = I_{sc} (\exp(V_{oc}/V_t) - \exp(V/V_t)) / (\exp(V_{oc}/V_t) - 1)$$

### 2.3 ประสิทธิภาพโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์ต่อพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนเซลล์ เขียนสรุปได้เป็นสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากเซลล์ (mW)} \times 100\%}{\text{พลังงานที่ได้จากแสง (mW/Cm}^2) \times \text{พื้นที่รับแสง}}$$

โดยทั่วไปแล้วจะคิดเทียบจากความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเล ซึ่งมีขนาดเท่ากับ  $100 \text{ mW/Cm}^2$  เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 คุณสมบัติโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

ถ้าจะคำนวณค่ากำลังสูงสุดที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยไม่คิดค่าสูญเสีย เนื่องจากความต้านทานที่มีอยู่ทั้งอนุกรมและขนาน ในแสงแดดจ้าๆ ณ ระดับน้ำทะเลจะมีโฟตอน (Photon) ตกกระทบมากทำให้เกิด hole - electron pair จึงทำให้มีกระแสไหลผ่านจึงขึ้นประมาณ  $0.08 \text{ A/cm}^2$  พลังงานที่ออกมาจากดวงอาทิตย์มีหลายระดับความถี่ เซลล์แสงอาทิตย์ถูกสร้างให้รับพลังงานได้ดีในช่วงความถี่กลางๆ ประมาณแสงสีเขียวหรือแสงสีเหลือง ส่วนความถี่พลังงานบริเวณปลายทั้งสองของสเปกตรัม (Spectrum) จะถูกปล่อยทิ้งไป และอีกปัญหาหนึ่งก็คือ ขึ้นอยู่กับช่องว่างพลังงาน (Energy Gap) ของสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นจึงทำให้กระแสที่เกิดขึ้นลดลงอีกเป็น  $0.044 \text{ A/cm}^2$  ในซิลิกอน และ  $0.068 \text{ A/cm}^2$  ในเยอรมันเนียม นอกจากนี้ยังมีการลดลงเนื่องจากการสะท้อนของแสงอีก แต่ถ้าสามารถมีการป้องกันการสะท้อนของแสงแล้ว เราจะได้กระแสสูงสุดประมาณ  $0.035 \text{ A/cm}^2$  ในซิลิกอน และ  $0.055 \text{ A/cm}^2$  ในเยอรมันเนียม และถ้าจะทำการปรับปรุงให้ดีขึ้นกว่านี้ จำเป็นจะต้องหาสารกึ่งตัวนำที่มีฮีเนอียแกบแคบลง ซึ่งจะได้กระแสเพิ่มขึ้น กล่าวคือ จะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นแต่ แรงดันขณะเปิดวงจร (Open Circuit Voltage) ลดลงด้วย และอัตราการลดของแรงดันขณะเปิดวงจร จะลดลงในอัตรามากกว่าอัตราการเพิ่มของกระแส

จากแรงดันขณะเปิดวงจร ( $V_{oc}$ ) ที่อุณหภูมิห้องมีค่า

$$V_{oc} = 0.0575 \log_{10} (I_1/I_0)$$

ดังนั้น  $V_{oc}$  จะมีค่าที่เหมาะสมของกระแส  $I_0$  คือ

$$I_0 = \frac{qpn D_p^{1/2}}{T_p} + \frac{qpn D_n^{1/2}}{T_n} \times \text{area}$$

เมื่อ  $p_n$  = ค่าความหนาแน่นสมมูลย์ของโฮลในรอยต่อเอ็น

$n_p$  = ค่าความหนาแน่นสมมูลย์ของอิเล็กตรอนในรอยต่อพี

$T_p$  = อัตราการแพร่ของโฮลในรอยต่อเอ็น

$T_n$  = อัตราการแพร่ของอิเล็กตรอนในรอยต่อพี

เมื่อพิจารณาการทำรอยต่อพี ที่มีการแพร่สารอย่างมากกับรอยต่อเอ็นที่มีการแพร่สารน้อย จะได้  $I_0$  มีค่าต่ำ โดยอาศัยเทคนิคดังนี้

$$J_0 = \frac{I_0}{\text{area}} = \frac{qpn D_p^{1/2}}{T_p}$$

$$\text{ดังนั้น } P_n = \frac{N_i^2}{N_n} = \frac{2.23 \times 10^{31} T^3 e^{-E_g/kT}}{N_n}$$

$$\text{และ } N_n = \frac{1}{pqn}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ  $N_i$  = ความหนาแน่นสมมูลของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำ
- $N_n$  = ความหนาแน่นสมมูลของอิเล็กตรอนในรอยต่อ เอ็น
- $P_n$  = ความต้านของรอยต่อ เอ็น
- $\tau_n$  = อัตราการเปลี่ยนแปลงอิเล็กตรอนในรอยต่อ เอ็น
- $E_g$  = ช่องว่างพลังงาน (Energy Gap)

เมื่ออุณหภูมิ 300 องศาเซลวิน แรงดันขณะเปิดวงจร (Open Circuit Voltage) จะได้ดังนี้

$$V_{oc} = 0.0575 \log_{10} J_i \frac{0.062 e^{30E_g}}{P_n n} \tau_p^{1/2} D_p$$

จากสมการทั้งหมดจะเห็นได้ว่า ถ้าต้องการ  $V_{oc}$  สูงๆ ก็ต้องใช้สารกึ่งตัวนำที่มีอีเนอปีแกป (Energy Gap) กว้างๆ และความต้านทานของรอยต่อค่าโมบิลิตี้ (Mobility) ต่ำ และมีช่วงชีวิต (Lift Time) สูง จะเห็นได้ว่ากำลังที่เหมาะสมจะอยู่ในย่านของอีเนอปีแกปประมาณ 1-1.6 อิเล็กตรอนโวลท์ (eV) และที่อุณหภูมิห้องซิลิกอนมีอีเนอปีแกป = 1.08 อิเล็กตรอนโวลท์ (eV) จึงเหมาะสมในการนำมาทำเซลล์แสงอาทิตย์ จะเห็นได้ชัดว่า ถ้านำเอาเยอรมันเนียมมาทำ จะได้ประสิทธิภาพต่ำกว่าซิลิกอนถึงเท่าตัว

ในเวลากลางวันที่มีการกระจายของแสงแดด จะมีค่าประมาณ 108 mw/cm<sup>2</sup> เราจะได้กำลังสูงสุดของซิลิกอนประมาณ 23.5 mw/cm<sup>2</sup> ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนจึงมีประสิทธิภาพเพียง 21.7% เท่านั้น

2.5 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อ พี-เอ็นของซิลิกอน

กำลังงานที่ได้รับจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบนี้ จะมีค่าลดลงเมื่อเซลล์ได้รับอุณหภูมิสูงขึ้น โดยจะมีการสูญเสียพลังงานราว 0.35% ถึง 0.45% ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ในกรณีเช่นนี้เซลล์แสงอาทิตย์จะให้กำลังงานที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ได้มากกว่าที่ 70 องศาเซลเซียส ราว 20 % การสูญเสียกำลังงานส่วนใหญ่เนื่องมาจากการลดลงของค่าแรงดัน ซึ่งสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

2.6 ผลของความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์มีความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ ( $R_s$ ) เช่นเดียวกับแหล่งจ่ายไฟทั่วๆ ไป ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์แสงอาทิตย์เกิดขึ้นจากความต้านทานภายในเนื้อสารกึ่งตัวนำและความต้านทานที่รอยสัมผัส (Contact) ของ

เซลล์แสงอาทิตย์ ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์เป็นสิ่งสำคัญ และมีผลต่อกำลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มาก ผลของความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์แสดงไว้ในรูปที่ 2.7.1 จากรูปจะเห็นได้ว่า เซลล์ที่มีความต้านทานอนุกรมมาก จะให้กระแสลัดวงจร (Isc) ลดน้อยลงและความชันของกราฟก็ลดลงด้วย เป็นผลให้กำลังที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ลดน้อยลงไปตาม ดังนั้นในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์จำเป็นต้องหาวิธีการลดค่าความต้านทานอนุกรมภายในน้อยกว่า 1 โอห์ม

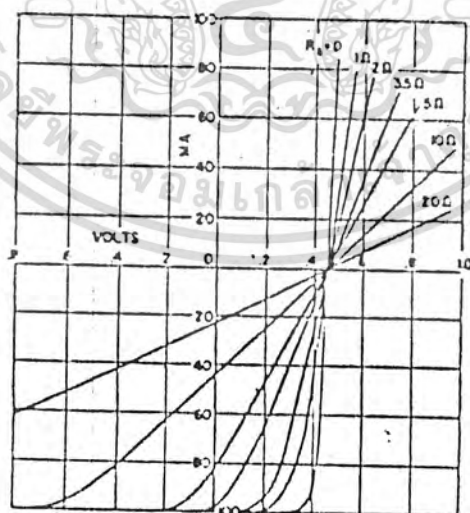
### 2.7 การคำนวณหาค่าความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์แสงอาทิตย์ ( $R_s$ )

การคำนวณหาค่า  $R_s$  ทำได้โดยใช้ข้อมูลคุณสมบัติของความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์ในขณะที่ได้รับแรงดันไบอัสตรง และไม่มีแสง นำลงไปเขียนในกระดาษกราฟเซมิล็อก แล้วพิจารณาจากกราฟโดย ระยะห่างจากกราฟที่เบนออกจากแนวเส้นตรง อันเนื่องมาจากผลของความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ ( $R_s$ ) ถูกกำหนดให้มีค่าเป็น  $V_1$  ซึ่งก็คือผลคูณของกระแส  $I_1$  กับค่าความต้านทาน  $R_s$

$$\text{นั่นคือ } V_1 = I_1 R_s$$

$$\text{ดังนั้น } R_s = - \frac{V_1}{I_1}$$

สำหรับค่าความต้านทานภายในเซลล์อื่นๆ สามารถหาได้จากสูตรนี้



รูปที่ 2.7.1 ผลของความต้านทานอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 ตัวอย่างการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

### 2.8.1 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังน้ำ

เมื่อปี พ.ศ.2529 กฟผ. ได้ติดตั้งโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่บริเวณโรงไฟฟ้าพลังน้ำคลองช่องกล่ำ อ.วัฒนานคร จ.ปราจีนบุรี บนพื้นที่ 550 ตารางเมตร ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 480 แผง รวมกำลังผลิต 20 กิโลวัตต์ พลังงานที่ผลิตได้จะเก็บไว้ในชุดแบตเตอรี่จำนวน 360 ลูก ซึ่งต่อเข้าด้วยกันให้มีขนาดความจุ 450 แอมแปร์ต่อชั่วโมง แรงดัน 240 โวลต์ ก่อนที่จะทำการแปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นกระแสสลับส่งเข้าเชื่อมโยงกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาด 20 กิโลวัตต์ ซึ่งต่อเป็นระบบไฟฟ้ารวมแล้วจึงส่งเข้าสายส่งไฟฟ้าขนาด 22 กิโลวัตต์ 3 เฟส ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า

### 2.8.2 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังลม

งานศึกษาการผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ร่วมกับกังหันลมที่ควนพรหมเทพ จ.ภูเก็ต ได้เริ่มมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2528 จนกระทั่งปี พ.ศ.2531 กฟผ. ได้เชื่อมระบบการผลิตไฟฟ้าร่วมของกังหันลมขนาด 18.5 กิโลวัตต์ กับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 5 กิโลวัตต์ เข้ากับระบบสายส่งขนาด 33 กิโลวัตต์ 3 เฟส ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งกังหันลมดังกล่าวเป็นแบบต่อได้โดยตรงกับระบบสายส่ง ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์ต่อผ่านชุดแบตเตอรี่ และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ในปี พ.ศ.2534 ได้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเป็น 180 แผง กำลังผลิตเป็น 8 กิโลวัตต์ และปรับปรุงกังหันลมขนาดเล็กรวม 3 ชุด เพื่อร่วมผลิตกระแสไฟฟ้าเก็บไว้ในชุดแบตเตอรี่จำนวน 120 ลูก ซึ่งต่อเข้าด้วยกันมีขนาดความจุ 300 แอมแปร์ต่อชั่วโมง แรงดัน 240 โวลต์ โดยที่กังหันลมมีกำลังผลิตรวม 22 กิโลวัตต์ และปลายปี พ.ศ.2535 ได้ติดตั้งกังหันลมขนาด 10 กิโลวัตต์ เพิ่มเข้าไปในระบบอีก 2 ชุด ทำให้มีกำลังผลิตที่ต่อเข้าระบบสายส่งรวมทั้งหมดเป็น 50 กิโลวัตต์

### 2.8.3 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องยนต์ดีเซล

ในปี พ.ศ.2535 กฟผ. ได้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 280 แผง กำลังผลิตสูงสุด 14 กิโลวัตต์ ที่บริเวณหมู่บ้านสหกรณ์ 2 อ.สันกำแพง จ.เชียงใหม่ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะเก็บไว้ในชุดแบตเตอรี่จำนวน 80 ลูก ซึ่งต่อเข้าด้วยกันให้มีขนาดความจุ 480 แอมแปร์ต่อชั่วโมง แรงดัน 240 โวลต์ ก่อนที่จะทำการแปลงให้เป็นกระแสสลับ เชื่อมโยงกับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องยนต์ดีเซลขนาดกำลังผลิต 35 กิโลวัตต์ จ่ายไฟให้ระบบสายส่งขนาด 22 กิโลวัตต์ 3 เฟส ไม่วาระณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟส ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า

#### 2.8.4 ผลการใช้งาน

ในปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์กำลังขยายบทบาทขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะการใช้งานในที่ห่างไกล และมีแนวโน้มว่าจะมีการนำมาใช้ในขนาดกำลังผลิตที่ใหญ่ขึ้นในอนาคต จากการศึกษาที่ กฟผ. ได้จัดหาเซลล์แสงอาทิตย์จากหลายบริษัทมาใช้งานในด้านต่างๆ เท่าที่ผ่านมามีปรากฏว่าใช้งานได้ดีประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา สำหรับผลในระยะยาวนั้นอยู่ระหว่างการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลเป็นระยะๆ เพื่อเป็นการเตรียมพร้อมที่จะนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เมื่อมีความต้องการหรือมีความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์

นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้ในงานโดยตรงอีกหลายประการคือ

- เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังผลิต 2 กิโลวัตต์ ใช้กับวิทยุสื่อสาร ไฟแสงสว่างและ เครื่องทวนสัญญาณ ที่สถานีทวนสัญญาณเขาฟ้าผ่า อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา
- เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2 กิโลวัตต์ ใช้กับวิทยุสื่อสารและไฟสัญญาณ ที่สถานีทวนสัญญาณจอมครั่ง อ.ศรีสวัสดิ์ จ.กาญจนบุรี
- เซลล์แสงอาทิตย์ ใช้กับสัญญาณไฟกระพริบในบริเวณอ่างเก็บน้ำโรงไฟฟ้ากระบี่ จ.กระบี่
- เซลล์แสงอาทิตย์ ใช้กับไฟแสงสว่างบนเสาโคมไฟฟ้า จำนวน 5 ต้นรวม 400 วัตต์ ที่หน้าตึกนักเรียนภูมิพล จ.ตาก
- เซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 1.8 กิโลวัตต์ ใช้สาธิตการผลิตไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างและปั๊มน้ำพุ ที่บริเวณสวนนิทรรศการ หน้าสันเขื่อนอุบลรัตน์ จ.ขอนแก่น
- โรงไฟฟ้าขนาด 8 กิโลวัตต์ ใช้ผลิตไฟร่วมกับกังหันลม ขนาด 22 กิโลวัตต์ที่สถานีกำลังงานทดแทนควนพรหมเทพ จ.ภูเก็ต
- เซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2 กิโลวัตต์ ใช้กับวิทยุสื่อสารและไฟแสงสว่างที่สถานีทวนสัญญาณ บ้านนาแก้ว จ.ลำปาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

## โครงสร้างสถาปัตยกรรม MCS-51

ลักษณะหลักต่างๆ ไปของ MCS-51 ประกอบด้วย

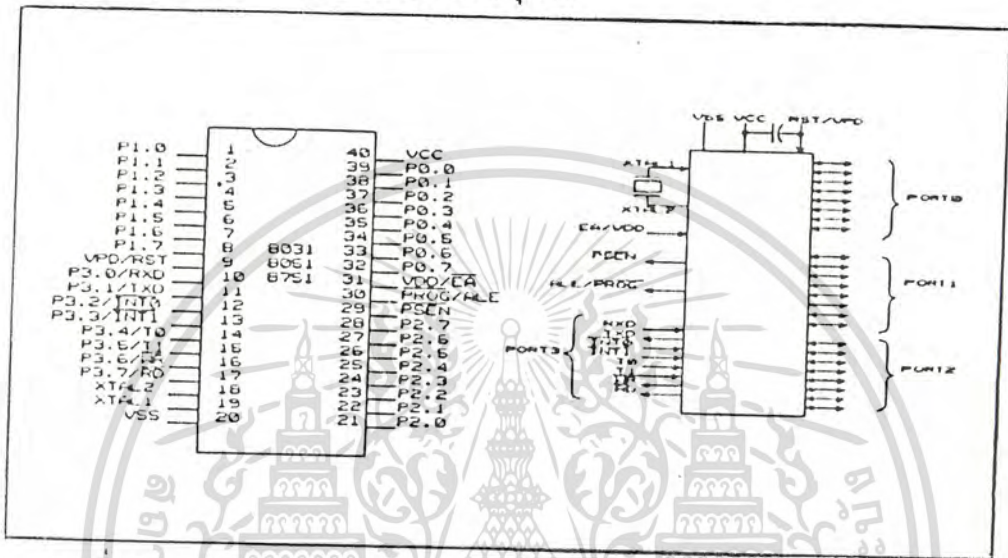
1. ใช้ HMOS และ CHMOS เทคโนโลยีในการสร้างและทำงานด้วยแหล่งจ่ายไฟขนาด 5 โวลต์ เพียงแหล่งเดียว
2. ซีพียูมีขนาดคำ 8 บิต
3. มีวงจรรอสหัสเลขเตอรื และวงจรรนาฬิกาบนชิพ
4. ชุดแบงก์ (bank) เรจิสเตอรืมี 4 ชุด แต่ละชุดมีรีจิสเตอรื 8 ตัวทำงานเช่นเดียวกับ MCS-48
5. มีตัวจับเวลา /ตัวนับขนาด 16 บิต 2 ชุด และสำหรับเบอร์ 8032 / 8052 มี 3 ชุด
6. มีพอร์ตไอโอแบบขนาน 2 ทิศทางจำนวน 4 พอร์ต พอร์ตละ 8 บิตรวมทั้งหมดเป็น 32 เส้น แต่จะเหลือเพียง 16 เส้น สำหรับเบอร์ 8031 อีก 16 เส้น ใช้ในการเข้าถึงทางแอดเดรสและข้อมูล
7. พอร์ตแบบอนุกรมสามารถโปรแกรมการรับส่งแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) ที่ความเร็วสูง
8. หนึ่งวัฏจักรคำสั่งกินเวลา 1 ไมโครวินาที ด้วยการใช้คริสตัล 12 MHz
9. แอดเดรสข้อมูลภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
10. แอดเดรสโปรแกรมภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
11. สามารถกำหนดเลขที่อยู่ข้อมูลขนาดไบต์หรือบิตได้โดยตรง
12. มีซอฟต์แวร์บิตแฟลคสำหรับผู้ใช้ที่จะกำหนดเองได้ถึง 128 ตำแหน่งบิต
13. โครงสร้างอินเตอรืร้พจะติดตั้งได้ถึง 5 แหล่งและ 6 แหล่ง สำหรับ 8032 /8052 พร้อมการจัดไพโรอิรืร้ได้ 2 ระดับ
14. ตัวโปรเซสเซอร์สามารถใช้งานแบบมูสึนได้ สำหรับการใช้งับงานควบคุม
15. มีคำสั่งคูณ และหารทางฮาร์ดแวร์ที่ทำได้ภายใน 4 ไมโครวินาที
16. ตัวเลขทางคณิตศาสตร์ใช้ได้ทั้งระบบไบนารืและเดซิมีล
17. การใช้งึนที่แสดกสำหรับโปรแกรมย่อยต่างๆ ทำได้กว้างกว่า MCS-48
18. ชุดคำสั่งของ MCS-51 จะมีความสามารถสูงกว่าคำสั่งของ MCS-48

### 3.1 การจัดขาลักษณะภายนอกของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นรูปที่ 3.1.1 แสดงการจัดขาลักษณะภายนอกของชิพ MCS-51 ซึ่งไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีการแบ่งกลุ่มการจัดขาตามสถาปัตยกรรมของ MCS-51 อยู่ 4 กลุ่มคือ

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



รูปที่ 3.1.1 แสดงการจัดขาตามลักษณะภายนอกของชิพ MCS-51

รายละเอียดหน้าที่ขาแต่ละขามีดังนี้

ขา Vss (ขา 20) เป็นขาสำหรับต่อลงดิน  
 ขา Vcc (ขา 40) เป็นขาที่ต่อแรงดันไฟกระแสตรงขนาด 5 โวลต์ และใช้สำหรับการโปรแกรม

ขา PORT 0 (P0.0-P0.7/ ADO-AD7 (ขา 32-37) ทำหน้าที่เป็นพอร์ตไอโอ 8 บิตแบบโพนเดรน (open drain bidirectional) สามารถที่จะรับโหลดที่ที่แอลได้ 8 ตัว การเขียนค่า 1 ไปที่พอร์ตนี้ จะเป็นการปล่อยลอย (Float) ขาของพอร์ตนี้ ทำให้มันทำงานเป็นอินพุท มีสถานะอิมพีแดนซ์สูง

ขา PORT 1 (P1.0-P1.7) (ขา 1-8) เป็นพอร์ตไอโอ 8 บิตแบบโพนเดรนไบไดเรกชันนอล พร้อมด้วยการพูลอัพภายในถ้าเป็นพอร์ตเอาต์พุทบัฟเฟอร์ สามารถขับโหลดที่ที่แอลตระกูลแอลเอสไอได้ 4 ตัว พอร์ต 1 เมื่อถูกเขียนค่า 1 ด้วยโปรแกรมจะมีสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้หรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 สูงด้วยการพูลอัพภายใน  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา PORT 2  
(P2.0-P2.7)  
(ขา 21-28)

เป็นพอร์ตไอโอ 8 บิตแบบไอเพนเดรนไบโตรีเคชั่นนอล ด้วยการพูลอัปภายใน พอร์ต 2 ที่ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์เอาต์พุต สามารถจ่ายโวลตจที่ที่แอลตระกูลแอลเอสได้ 4 ตัว อีกหน้าที่ของพอร์ต จะถูกใช้งานเป็นตัวส่งแอดเดรสไบต์สูง เมื่อใช้งานร่วมกับหน่วยความจำภายนอก เพื่อให้แอดเดรสได้ถึง 16 บิต

ขา PORT 3  
(P3.0-P3.7)  
(ขา 10-17)

เป็นพอร์ตไอโอ 8 บิตแบบพูลอัปภายใน นอกจากทำเป็นพอร์ตไอโอที่สามารถรับโวลตจที่ที่แอล ตระกูลแอลเอสได้ 4 ตัว และมีหน้าที่ของตระกูล 51 ดังนี้

ขาพอร์ต	ขา	การทำงานตามฟังก์ชันพิเศษ
P3.0	10	RxD พอร์ตอนุกรมอินพุต
P3.1	11	TxD พอร์ตอนุกรมเอาต์พุต
P3.2	12	INT0 อินเตอร์รัพภายนอกตัวที่ 1
P3.4	13	INT1 อินเตอร์รัพภายนอกตัวที่ 2
P3.5	14	TO สัญญาณกระตุ้นเข้าที่ตัวจับเวลา/ตัวนับ 0
P3.6	15	T1 สัญญาณกระตุ้นเข้าที่ตัวจับเวลา/ตัวนับ 1
P3.7	16	WR สัญญาณควบคุมการเขียน
P3.8	17	RD สัญญาณควบคุมการอ่าน

การที่จะให้ทำงานตามฟังก์ชันข้างบน ต้องติดตั้งโปรแกรมด้วยการส่งค่า 1 ไปแลทไว้ก่อนที่ให้ทำงานตามฟังก์ชันข้างบน

ขา RST  
(ขา 9)

ต้องคงสถานะสูงไว้เป็นเวลาอย่างน้อย สองวัฏจักรระหว่างที่ออสซิลเลเตอร์ทำงาน ขณะที่ต้องการรีเซ็ตทั้งระบบ โดยต่อรีซีตเตอร์พูลคาวน์ (8.2 กิโลห์ม) จากขา RST ลงดิน

ขา ALE/PROG  
(ขา 30)

เป็นขาแอดเดรสแลทฮินาเบิล ด้วยการส่งพัลส์ออกไปใช้สำหรับแลทซ์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ จากพอร์ต 0 ในระหว่างการเข้าถึงข้อมูลจากหน่วยความจำภายใน ALE จะถูกส่งสัญญาณนาฬิกาออกมาในอัตราความเร็วคงที่ ที่ 1/8 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ ตลอดเวลา

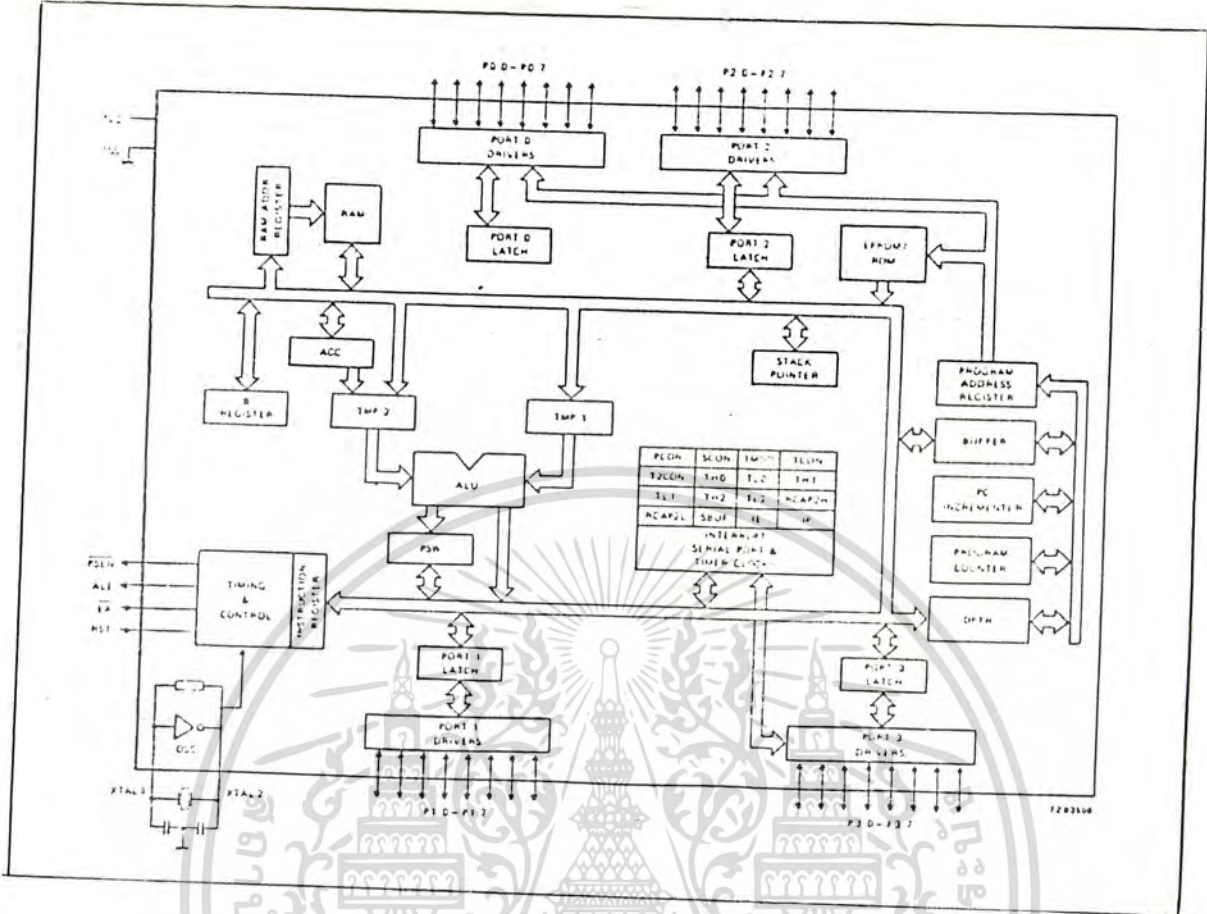
ขา PSEN โปรแกรมสตอเรจฮินาเบิล (Program Storage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้เพื่อการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (ขา 29) Enable) เป็นสวิตรอ่านข้อมูลจากโปรแกรมหน่วยความจำภายนอก เมื่อชิพทำงานด้วยโปรแกรมภายนอก ขา PSEN จะสร้างสวิตรอ่านสองครั้งภายในแต่ละวัฏจักรแมชชีน สัญญาณจะมีสถานะสูงหรือพัลส์ต่ำ ทั้งสองลูกจะหายไป เมื่อทำการอ่านหรือเขียนข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอก และ PSEN จะไม่มีพัลส์ส่งออกถ้าชิพทำงานด้วยโปรแกรมหน่วยความจำภายใน
- ขา EA/Vpp มีสถานะสูง ตัวชิพยูนิชิพจะทำงานตามโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำภายใน (โปรแกรมต้องไม่ยาวกว่า 4 กิโลไบต์-เบอร์ 8051AH และ 8 กิโลไบต์-เบอร์ 8052AH) การทำให้ EA มีสถานะต่ำ เป็นการควบคุมให้ชิพทำงานตามโปรแกรมหน่วยความจำภายนอกซึ่งขยายโปรแกรมได้ถึง 64 กิโลไบต์
- ขา XTAL1 ใช้เป็นตัวอินพุตเข้าตัวออสซิลเลเตอร์ขยายแบบอินเวอร์ส (ขา 19)
- ขา XTAL2 ใช้เป็นตัวเอาต์พุตเข้าออสซิลเลเตอร์ขยายแบบอินเวอร์ส (ขา 18)

### 3.2 การจัดการทางสถาปัตยกรรม

รูปที่ 3.2.1 เป็นบล็อกไดอะแกรมที่แบ่งตามลักษณะงานทางสถาปัตยกรรมภายใน MCS-51 โดยซึ่งเกิลชิพแต่ละตัวของตระกูลนี้จะประกอบด้วยหน่วยศูนย์กลางประมวลผล หน่วยความจำสองชนิด คือ แบบแรม (RAM) หรือ ROM (ROM) หรืออีพรอม (EPROM) พอร์ตเอาต์พุต อินพุต โหมดรีจิสเตอร์สถานะ และข้อมูล ส่วนวงจรตรรกในการแรนดอม (RANDOM) ที่จำเป็นสำหรับตัวแปรของฟังก์ชันการต่อพ่วงส่วนต่างๆ ที่กล่าวนี้จะติดต่อกันด้วยบัสข้อมูลขนาด 8 บิต และจะมีบัฟเฟอร์สำหรับการติดต่อข้อมูลกับภายนอกผ่านพอร์ตไอโอ เมื่อต้องการขยายหน่วยความจำหรือพอร์ตไอโอ



รูปที่ 3.2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรม

3.3 หน่วยศูนย์กลางประมวลผลหรือซีพียู

ซีพียูเป็นมันสมองของระบบไมโครคอมพิวเตอร์ การอ่านโปรแกรม และทำงานตามคำสั่งโปรแกรมจะกระทำที่ส่วนนี้ โดยการใช้ส่วนคณิตศาสตร์และตรรกศาสตร์ทำงานร่วมกับรีจิสเตอร์ เอ, บี, พีเอสดับเบิลยู (PROGRAM STATUS WORD) , เอสพี (STACK POINTER) ตัวนับโปรแกรม (PC:Program Counter) ขนาด 16 บิต และตัวชี้ตำแหน่งข้อมูล (DPTR:Data Pointer) ส่วนคณิตศาสตร์และตรรกศาสตร์ (ALU:Arithmetic Logic Unit) ALU นี้ทำงานในฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นบวก ลบ คูณ หาร รวมทั้งทางตรรกศาสตร์เช่น AND OR XOR รวมทั้งการเลื่อนและวนรอบบิต การเคสียร์และกลับค่า (Complement)

สิ่งสำคัญในการทำงานทางสถาปัตยกรรมของ MCS-51 คือ ความสามารถในการทำงานสำหรับข้อมูลขนาด 8 บิตและ 1 บิต การใช้งานในระดับบิตในการเซต เคสียร์ หรือกลับค่า การเคลื่อนย้าย การทดสอบและการใช้ในการคำนวณทางตรรกขนาด 1 บิต ความสามารถเช่นนี้เหมาะสำหรับใช้ในงานควบคุมทางสัญญาณเข้าและออกที่มีการคิดและออกแบบทางตรรกด้วยพีชคณิตบูลีน ซึ่งโดยปกติทำได้ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บากสำหรับไมโครโปรเซสเซอร์ต่างๆ ไป งานในลักษณะ เช่นนี้จึงได้ชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า ตัวประมวลผลบูลีน (Boolean Processor)

### 3.4 ตัวจับเวลา/ตัวนับ 0 และตัวจับเวลา/ตัวนับ 1

โหมด 0 การใช้งานตัวจับเวลา/ตัวนับ 0 หรือ 1 ให้อยู่ในโหมด 0 จะทำงานคล้ายกับของ MCS-48 โดยจับตัวเวลาของ MCS-48 มีขนาด 8 บิต มีตัวพรีสเคลเลอร์ (Prescaler) เป็นตัวหาร 12 รูปที่ 3.4.1 แสดงการทำงานในโหมด 0

รีจิสเตอร์ตัวนับจะมี 13 บิต ประกอบด้วย TH1 8 บิต และ TL1 อีก 5 บิตอันดับต่ำส่วนอีก 3 บิตที่เหลือในอันดับสูงของ TL1 จะไม่ใช้การเซตเฟส TR1 ให้ทำงานจะไม่ได้เคลียร์ค่าในรีจิสเตอร์ของ TH1 และ TL1 การทำงานโหมด 0 ในตัวจับเวลา/ตัวนับ 0 จะทำงานเหมือนตัวจับเวลา/ตัวนับ 1 โดยใช้ TRO และ INTO รวมกันควบคุมแทนสัญญาณต่างๆ ในรูปที่ 3.4.1 มีความแตกต่างในการควบคุมคือ บิตของ Gate ทั้งสอง ตัวหนึ่งจะแทนตัวจับเวลา/ตัวนับ 1 และอีกตัวจะแทนตัวจับเวลา/ตัวนับ 0

### 3.5 การต่อเชื่อมแบบอนุกรม

พอร์ตอนุกรมเป็นแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) สามารถที่จะส่งและรับพร้อมกันได้ โดยทำหน้าที่บัฟเฟอร์การรับ หมายถึง พอร์ตสามารถที่จะรับไบต์ที่สอง ก่อนที่ตัวแรกจะถูกรับไปจากรีจิสเตอร์ตัวรับ อย่างไรก็ตามไบต์ตัวแรกจะต้องถูกอ่านไปก่อนในช่วงเวลาการรับไบต์ตัวที่สองจะสิ้นสุด มิฉะนั้นไบต์ตัวแรกจะถูกซ้อนและสูญหายไป ในพอร์ตอนุกรมรีจิสเตอร์ตัวรับและส่งจะเข้าถึงติดต่อกันด้วยรีจิสเตอร์ SBUF ใน SFR แม้ว่าทางโครงสร้างรีจิสเตอร์ทั้งสองจะแยกกันอยู่ก็ตาม

พอร์ตอนุกรมสามารถที่จะเลือกทำงานในโหมดต่างๆ ได้ 4 โหมด

โหมด 0 : ข้อมูลจะเข้าและออกผ่าน RXD TXD ด้วยการเลื่อนสัญญาณนาฬิกาเอาท์พุทข้อมูลจะเป็นลักษณะ 8 บิต ในการรับและส่งแต่ละครั้ง โดยส่งที่ค่า LSB ก่อนอัตราบิตจะคงที่ที่  $1/12$  ของความถี่ออสซิลเลเตอร์

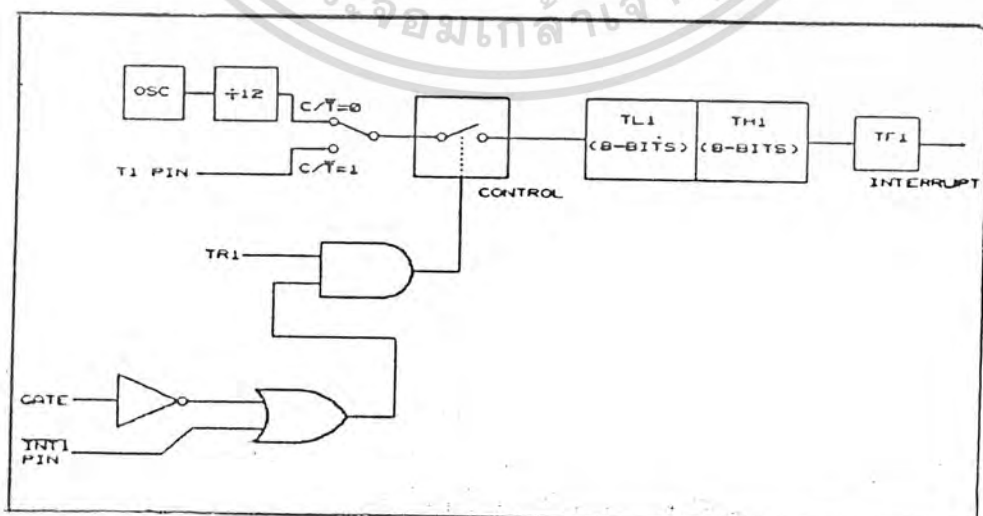
โหมด 1 : จะเป็นการส่งข้อมูลขนาด 10 บิต ผ่านออก TXD หรือรับเข้ามาผ่าน RXD โดยรูปแบบบิตจะประกอบด้วย 1 บิตเริ่มต้น เป็น 0 เป็นบิตข้อมูล โดย LSB เป็นตัวแรกที่รับและส่งข้อมูลนี้ และอีก 1 บิตสตอป มีค่า 1 เป็นการรับบิตสตอปจะนำไปเก็บที่บิต RB8 ของ SFR รีจิสเตอร์ SCON อัตราบิตแปรผันได้ตามการตั้งตัวจับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมด 2 : เป็นการส่งข้อมูลขนาด 11 บิต ผ่านออกขา TxD หรือรับเข้ามาผ่านขา RxD ประกอบด้วย 1 บิตเริ่มต้น มีค่า 0 แยกบิตข้อมูลโดย LSB เป็นตัวแรกที่รับและส่งข้อมูล บิตที่ 9 ของข้อมูลสามารถโปรแกรมเลือกได้ และบิตหยุดค่า 1 อีกหนึ่งบิต ในการส่งบิตที่ 9 ที่อยู่ในบิต TB8 ของรีจิสเตอร์ SCON สามารถกำหนดเลือกเป็น 1 หรือ 0 ได้ เช่น การใช้งานเป็นบิตพาริตี โดยการเลื่อนเอาบิต P ของ PSW มาไว้ใน TB8 เพื่อเป็นการส่งข้อมูลแบบมีการตรวจพาริตีของข้อมูลที่จะส่ง ในการรับข้อมูลบิตที่ 9 จะเข้าไปเก็บที่ RB8 ใน SFR รีจิสเตอร์ SCON ขณะที่บิต Stop จะไปรับเข้ามาเก็บ อัตราบิตสามารถเลือกเป็น 1/32 หรือ 1/64 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ SCON เป็น SFR ที่ใช้ในการติดตั้งโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรม เช่น การกำหนดค่า RB8 จะเป็นการใช้ตัวรับที่บิตที่ 9 ด้วยหรือไม่ เป็นต้น

โหมด 3 : เป็นการส่งข้อมูลขนาด 11 บิต ผ่านออกขา TxD หรือรับเข้ามาผ่านขา RxD ประกอบด้วยบิตเริ่มต้น มีค่าเป็น 0 ข้อมูล 8 บิตโดย LSB เป็นบิตแรกที่รับและส่งข้อมูลที่ 9 ของข้อมูลสามารถที่จะโปรแกรมเลือกได้ และบิตหยุดค่า 1 อีกหนึ่งบิต ในความเป็นจริงโหมด 3 จะคล้ายกับโหมด 2 ทุกประการ ยกเว้นอัตราบิต โดยอัตราบิตในโหมด 3 จะแปรผันได้ไปตามการโปรแกรมการเลือกตัวจับเวลา

ทั้ง 4 โหมดนี้ การส่งข้อมูลจะเริ่มติดตั้ง Initiated ด้วยคำสั่งใดๆ ที่ใช้รีจิสเตอร์ SBUF เป็นรีจิสเตอร์รับข้อมูลจากซีพียู และในโหมด 0 การรับข้อมูลเริ่มติดตั้งด้วยการใช้สถานะ R1=0 และ REN =1 ส่วนในโหมดอื่นการรับข้อมูลจะเริ่มติดตั้งด้วยการรับบิตเริ่มต้น เข้ามาตรวจสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 3.4.1  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4 วิธีลีสต์สแควร์

ในการประมาณค่าของฟังก์ชันในวิธีเทอร์โปเลชัน จำเป็นต้องให้เส้นโค้งของฟังก์ชันที่ประมาณขึ้นมาแมทช์ (match) กับค่าฟังก์ชันจริง  $f(x_i)$  ที่ทุก ๆ จุดของ  $x_i$  แต่ในวิธีลีสต์สแควร์หรือกำลังสองน้อยสุด (Least squares method) ดังรูปที่ 4.1 เส้นโค้งของฟังก์ชันที่ประมาณขึ้นมาไม่จำเป็นต้องแมทช์กับค่าฟังก์ชันจริงที่ทุก ๆ จุดของ  $x_i$  เพียงแต่ให้ค่าที่ประมาณมีค่าเบี่ยงเบน (residual) จากค่าของฟังก์ชันจริงน้อยที่สุดเท่านั้น

สมมติมีข้อมูลอยู่  $n$  ชุด คือ

$$(x_i, y_i) ; i = 1, 2, \dots, n \quad (4.1)$$

ถ้าประมาณฟังก์ชันของข้อมูลชุดนี้ ในระหว่าง  $x_1$  ถึง  $x_n$  ด้วยพหุนามเมียร์

$$P(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m + \dots \quad (4.2)$$

จะได้ว่าผลต่างของค่าของฟังก์ชัน  $P(x_i)$  กับค่าของ  $y_i$  (ที่จุด  $x_i$ ) จะเป็น

$$r_i = y_i - P(x_i) ; i = 1, 2, \dots, n \quad (4.3)$$

ค่า  $r$  เรียกว่าเป็นค่าที่เบี่ยงเบนไปจากค่าจริงนั่นเอง จากค่า  $r_i$  ของข้อมูลที่ทุก ๆ จุด  $(x_i, y_i) ; i = 1, 2, \dots, n$  จะได้ค่าผลบวกของค่าเบี่ยงเบนยกกำลังสองเป็น

$$Q = \sum_{i=1}^n r_i^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - P(x_i)]^2 \quad (4.4)$$

หลักการของวิธีลีสต์สแควร์ก็คือจะเลือกค่าสัมประสิทธิ์  $a_j (j=0, 1, \dots)$  ของพหุนามเมียร์  $P(x_i)$  ที่ทำให้ค่า  $Q$  ในสมการ 4.4 มีค่าน้อยที่สุด เพื่อให้ได้ค่าประมาณที่ดีที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.1 การประมาณค่าของฟังก์ชันด้วยวิธีลีสต์สแควร์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเนื้อหาทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1 วิธีประมาณด้วยเส้นตรง

เมื่อกำหนดข้อมูลให้  $n$  ชุดคือ  $(x_i, y_i)$  ;  $i = 1, 2, \dots, n$  ในวิธีนี้จะประมาณฟังก์ชัน  $y = f(x)$  ของข้อมูลในช่วงจาก  $x_1$  ถึง  $x_n$  ด้วยโพลีโนเมียลอันดับ 1 (หรือสมการของเส้นตรง) ดังนี้

$$P_1(x) = a_0 + a_1x \quad (4.5)$$

โดยการหาค่าของ  $P_1(x)$  จากสมการ 4.5 จะได้ว่าสมการที่ 4.4 จะเป็นฟังก์ชันของ  $a_0$  และ  $a_1$  หรือเขียนได้เป็น  $Q(a_0, a_1)$  ดังนั้นจะหาค่าของ  $a_0$  และ  $a_1$  ที่ทำให้  $Q(a_0, a_1)$  มีค่าน้อยที่สุดได้โดยการให้อนุพันธ์ของ  $Q(a_0, a_1)$  เทียบกับ  $a_0$  และ  $a_1$  เป็นศูนย์ตามลำดับดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q(a_0, a_1)}{\partial a_0} &= \sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial a_0} \{y_i - (a_0 + a_1x_i)\}^2 \\ &= -2 \sum_{i=1}^n \{y_i - (a_0 + a_1x_i)\} = 0 \end{aligned} \quad (4.6)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q(a_0, a_1)}{\partial a_1} &= \sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial a_1} \{y_i - (a_0 + a_1x_i)\}^2 \\ &= -2 \sum_{i=1}^n x_i \{y_i - (a_0 + a_1x_i)\} \end{aligned}$$

สมการที่ 4.6 สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$a_0n + a_1 \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i \quad (4.7)$$

$$a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i x_i$$

ซึ่งจะหาค่า  $a_0$  และ  $a_1$  ได้ดังนี้

$$a_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n y_i x_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 / n}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 \quad (4.8)$$

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a_1 \sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

ในการประมาณค่าของฟังก์ชันด้วยโพลีโนเมียลในสมการ 4.2 หรือสมการ (4.5) สามารถตรวจเช็คหรือวัดความใกล้เคียง (ความเที่ยงตรง) กับค่าจริงได้โดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์  $C_D$  (coefficient of determination) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $S_D$  ซึ่งหาได้จากสมการที่ (4.4) ดังนี้

$$C_D = 1 - \frac{Q}{\sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2/n} \quad (4.9)$$

$$= \frac{Q}{n-2} \quad (4.10)$$

ค่าสัมประสิทธิ์  $C_D$  นี้ถ้ายังมีค่าเข้าใกล้ 1 มากขึ้นเท่าไร แสดงว่าฟังก์ชันที่ประมาณมีค่าใกล้เคียงฟังก์ชันจริงมากขึ้นเท่านั้น

#### 4.2 วิธีประมาณด้วยเส้นโค้งของสมการกำลังสอง

กำหนดข้อมูลให้  $n$  ชุดคือ  $(x_i, y_i)$  ;  $i = 1, 2, \dots, n$  ในวิธีนี้จะประมาณฟังก์ชัน  $y = f(x)$  วิธีนี้จะประมาณโพลีโนเมียลอันดับสองดังนี้

$$P_2(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad (4.11)$$

ค่าสัมประสิทธิ์  $a_0$  ,  $a_1$  และ  $a_2$  สามารถหาได้เช่นเดียวกับหัวข้อ

4.1 โดยการแทนค่าสมการ 4.11 ในสมการที่ 4.4 และหาอนุพันธ์

$$Q = 0 ; j = 0, 1, 2 \quad (4.12)$$

$a_1$

จากนั้นแก้สมการหาค่า  $a_0$  ,  $a_1$  และ  $a_2$  จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 a_0 n + a_1 \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^2 &= \sum_{i=1}^n y_i \\
 a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^3 &= \sum_{i=1}^n y_i x_i \quad (4.13) \\
 a_0 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^4 &= \sum_{i=1}^n y_i x_i^2
 \end{aligned}$$

การแก้สมการ 4.13 จะใช้วิธีแยกส่วนแบบปรับปรุงใหม่ของตลอดเลยก็ เนื่องจาก เมตริกซ์ของค่าสัมประสิทธิ์เป็นเมตริกซ์แบบสมมาตร ทำให้สามารถลดจำนวนครั้ง ในการคำนวณได้ประมาณครึ่งหนึ่ง

4.3 วิธีประมาณด้วยพหุนามเมย์ลอันดับ m

กำหนดข้อมูลให้ n ชุดคือ  $(x_i, y_i) ; i = 1, 2, \dots, n$  ในวิธีนี้ จะประมาณค่าของฟังก์ชัน  $y = f(x)$  ด้วยพหุนามเมย์ลอันดับ  $m (m+1 < n)$

$$P_m(x) = a_0 + a_1 x + \dots + a_{m-1} x^{m-1} + a_m x^m \quad (4.14)$$

ค่าสัมประสิทธิ์  $a_0, a_1, \dots, a_m$  สามารถหาได้เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.1 และ 4.2 โดยการแทนค่าสมการ 4.14 ในสมการ 4.4 และหาอนุพันธ์

$$\frac{\partial Q}{\partial a_j} = 0 ; j = 0, 1, \dots, m \quad (4.15)$$

จากนั้นแก้สมการหาค่า  $a_0, a_1, \dots, a_m$  จากสมการ

$$\begin{aligned}
 a_0 n + a_1 \sum_{i=1}^n x_i + \dots + a_m \sum_{i=1}^n x_i^m &= \sum_{i=1}^n y_i \\
 a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + \dots + a_m \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} &= \sum_{i=1}^n y_i x_i \quad (4.16) \\
 a_0 \sum_{i=1}^n x_i^m + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} + \dots + a_m \sum_{i=1}^n x_i^{2m} &= \sum_{i=1}^n y_i x_i^m
 \end{aligned}$$

ในการแก้สมการข้างต้น จะใช้วิธีแยกส่วนแบบปรับปรุงใหม่ของตลอดเลยก็ โยชน์ด้านการค้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาค้นคว้าวิจัย ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ใ้ในทางอื่นใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 วิธีประมาณด้วยเส้นโค้งเอ็กซ์โปเนนเชียล

กำหนดชุดของข้อมูลให้  $n$  ชุด คือ  $(x_1, y_1) ; i = 1, 2, \dots, n$  ในวิธีนี้จะประมาณค่าของฟังก์ชัน  $y = f(x)$  ด้วยฟังก์ชันเอ็กซ์โปเนนเชียล (exponential) ดังนี้

$$P_0(x) = ae^{bx} \quad (4.17)$$

สมการ 4.17 เป็นสมการแบบไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นจึงไม่สามารถหาค่าของสัมประสิทธิ์  $a$  และ  $b$  โดยใช้วิธีที่กล่าวในหัวข้อก่อนๆ ได้ จะใช้วิธีแปลงค่าตัวแปรโดยการหา  $\log_e$  ของสมการ 4.17 ทั้งสองข้างดังนี้

$$\ln P_0(x) = \ln a + bx$$

และแปลงค่าตัวแปรโดยให้

$$a_0 = \ln a, \quad a_1 = b \quad (4.18)$$

ดังนั้นจะได้

$$\ln P_0(x) = a_0 + a_1 x \quad (4.19)$$

ซึ่งจะอยู่ในรูปของโพลีโนเมียลอันดับ 1 ค่าสัมประสิทธิ์  $a_0$  และ  $a_1$  สามารถหาได้โดยใช้วิธีที่กล่าวในหัวข้อ 4.1

#### 4.5 การใช้งาน LEAST SQUARE

ตั้งสมการไว้แบบที่ 1 แล้วว่า

$$I_p = I_0 (\exp(V/mV_c) - 1) = I_0 \exp(V/mV_c) - I_0$$

เนื่องจาก  $I_0$  คือ leakage current ที่มีอยู่ในระดับ  $10^{-15}$  A ดังนั้นจึงตัด  $I_0$ ทิ้งได้เป็น

$$I_p = I_0 \exp(V/mV_c) = A \cdot \exp(BV)$$

โดยที่  $A = I_0$  และ  $B = 1/mV_c$

take log ทั้งสองข้างจะได้ว่า

$$\log(I_p) = \log(A) + BV$$

จะเห็นว่าสมการอยู่ในรูปสมการเชิงเส้น คือ

$$Y = C_0 + C_1 x$$

โดยที่  $Y = \log(I_p)$ ,  $x = V$ ,  $C_0 = \log(A)$  และ  $C_1 = B$  หลักการของ Least Square Approximation คือ จะต้องทำให้

$n$

$$\sum_{i=1}^n (Y - Y_i)^2 \text{ น้อยที่สุด นั่นคือ}$$

$i=1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sum_{i=1}^n (C_0 + C_1 x_i - Y_i) \text{ น้อยที่สุด}$$

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (C_0 + C_1 x_i - Y_i)^2} = 0$$

หรือ

$$\sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial C_0} (C_0 + C_1 x_i - Y_i)^2 = 0 \tag{1}$$

และ

$$\sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial C_1} (C_0 + C_1 x_i - Y_i)^2 = 0 \tag{2}$$

จาก (1) และ (2) จะได้ว่า  $\sum_{i=1}^n (C_0 + C_1 x_i - Y_i) = 0$  และ

$$\sum_{i=1}^n x_i (C_0 + C_1 x_i - Y_i) = 0$$

$$nC_0 + C_1 \sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n Y_i = 0 \text{ และ}$$

$$C_0 \sum_{i=1}^n x_i + C_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i Y_i = 0$$

เมื่อทำการย้ายข้างสมการจะได้ว่า

$$nC_0 + C_1 \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n Y_i \tag{3}$$

$$C_0 \sum_{i=1}^n x_i + C_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i Y_i \tag{4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในห้องเรียน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
จาก (3) และ (4) ทั้งคู่ก็แก้ค่าคงที่ได้แล้วจะได้ว่าอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i Y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (5)$$

$$C_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - C_1 \sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (6)$$

เมื่อถึงขั้นนี้เราสามารถหา A และ B ได้โดย

$$A = \exp(C_0)$$

$$B = C_1$$

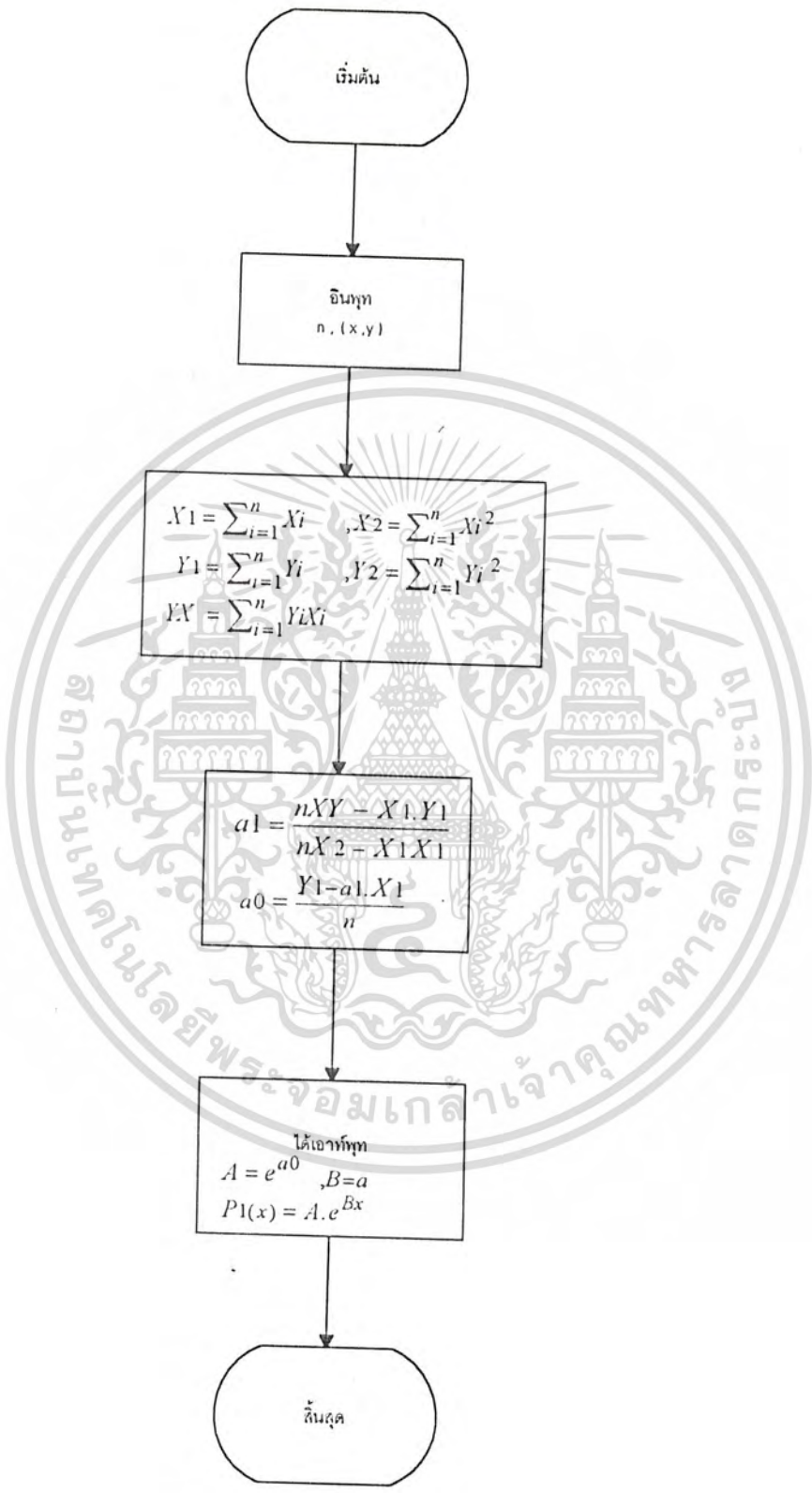
และเมื่อหา  $I_{11}$  ได้แล้ว ก็จะหาสมการของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ต่อไปจากสมการ

$$I = I_{sc} - I_0$$

โพลาร์ชาร์ต

สามารถเขียนโพลาร์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรม ในข้อ 4.4

ได้ดังนี้



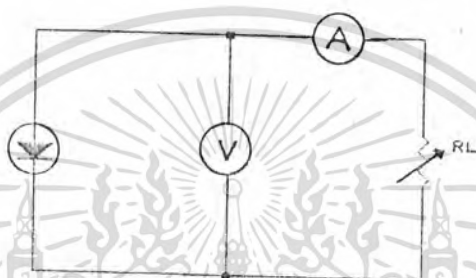
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### แนวความคิดและขั้นตอนการทำงานด้านฮาร์ดแวร์

#### 5.1 แนวความคิดพื้นฐาน

ฮาร์ดแวร์ที่เป็นพื้นฐานการทำงานด้านฮาร์ดแวร์ เป็นการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการปรับค่าความต้านทานและในแต่ละค่าของค่าความต้านทาน จะมีการวัดและบันทึกค่าศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเซลล์แสงอาทิตย์ และค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร ดังรูปที่ 5.1

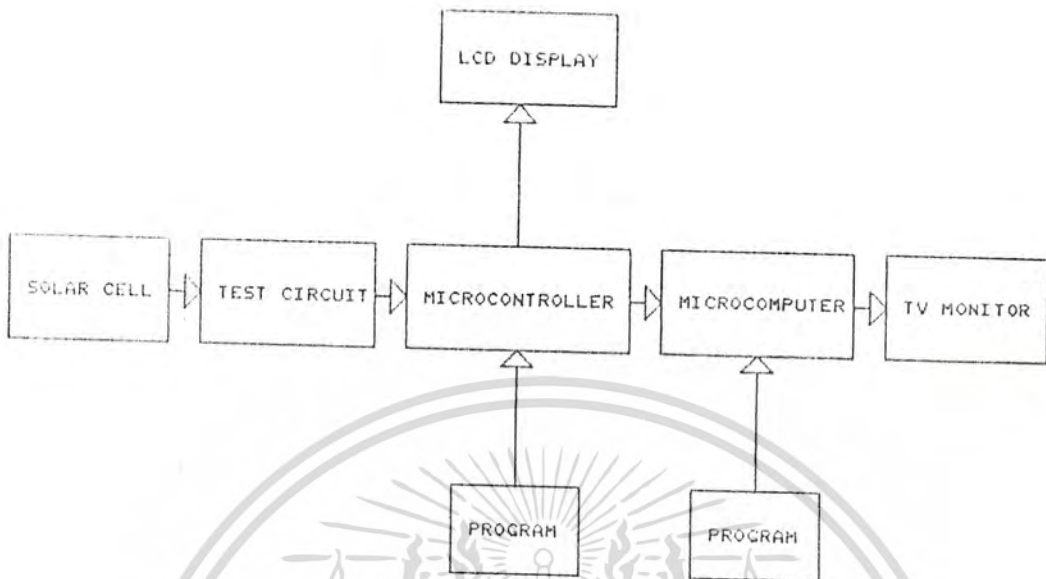


รูปที่ 5.1 วงจรพื้นฐานของการวัดเซลล์แสงอาทิตย์

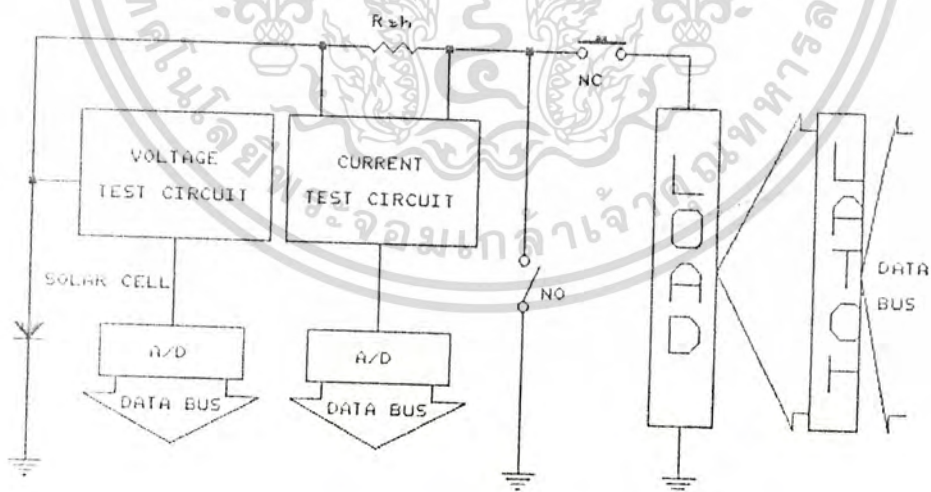
#### 5.2 การทำงานของระบบ

จากวงจรดังกล่าว ได้มีการประยุกต์โดยเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ และในโครงการชิ้นนี้ได้มีการพัฒนาขึ้นอีกระดับหนึ่ง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลคุณสมบัติต่าง ๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีระบบการทำงานอย่างกว้าง ๆ ดังบล็อกไดอะแกรม ในรูปที่ 5.2.1 โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะนำมาวัดคุณสมบัติ นั้น เป็นเซลล์เดี่ยวที่สามารถจ่ายศักดาไฟฟ้าได้ไม่เกิน 0.6 โวลต์ ซึ่งวงจรวัดจะทำการวัดค่าศักดาไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าในสภาวะของโหลดที่แตกต่างกัน รวมทั้งการเปิดวงจรและการลัดวงจรด้วย ข้อมูลต่าง ๆ จะถูกส่งผ่านทางวงจรส่วนอินเตอร์เฟสเข้าไปในไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมี 8032 เป็นซี พี ยู เพื่อนำไปประมวลผลคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ และแสดงผลทาง แอล ซี ดี ซึ่งติดอยู่ที่ตัวเครื่องทดสอบ และสามารถส่งข้อมูลที่ได้ออกจากการวัดค่ากระแสและศักดาไฟฟ้าที่ค่าโหลดต่างๆ เพื่อไปวาดกราฟบนจอมอนิเตอร์ของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ โดยส่งข้อมูลแบบอนุกรมผ่านทาง RS 232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบ



รูปที่ 5.2.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

### 5.3 วงจรวัดและอินเตอร์เฟส

ส่วนนี้เน้นว่ามีความสำคัญมากในระบบการวัด เนื่องจากผลของการทดสอบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในเชิงการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์จะถูกต้องเทียบโคตนั้นขึ้นอยู่กับความเที่ยงตรง แม่นยำของวงจรส่วนนี้ โดยวงจรวัดและอินเตอร์เฟสที่แบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ ๆ ได้ 6 ส่วนดังนี้

1. ส่วนตีโคตเตอร์
2. ส่วนวัดค่าศักดาไฟฟ้า
3. ส่วนวัดค่ากระแสไฟฟ้า
4. ส่วนแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิตอล
5. ส่วนควบคุมความต้านทานโหลด และสถานะของวงจร
6. ส่วนไฟเลี้ยงและศักดาอ้างอิง

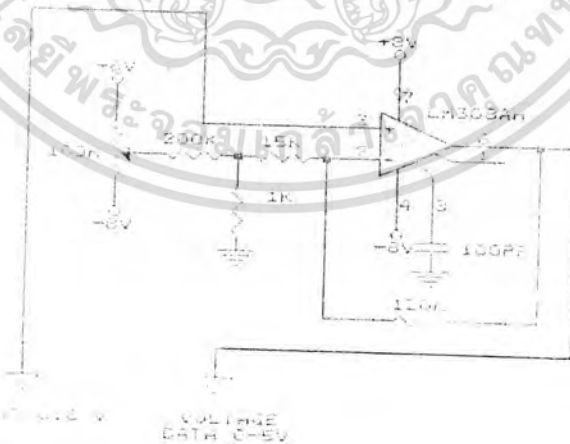
วงจรรทั้ง 6 ส่วนนี้ประกอบกันเป็นระบบการวัดและอินเตอร์เฟส ดังแสดงในรูปที่ 5.2.2

5.3.1 ส่วนตีโคตเตอร์

ส่วนนี้เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัว เช่น ควบคุมการทำงานของซีเลย์ โดยใช้อี ซี เบอร์ 74LS138 เป็นตีโคตเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 5.3.1

5.3.2 ส่วนวัดค่าศักดาไฟฟ้า

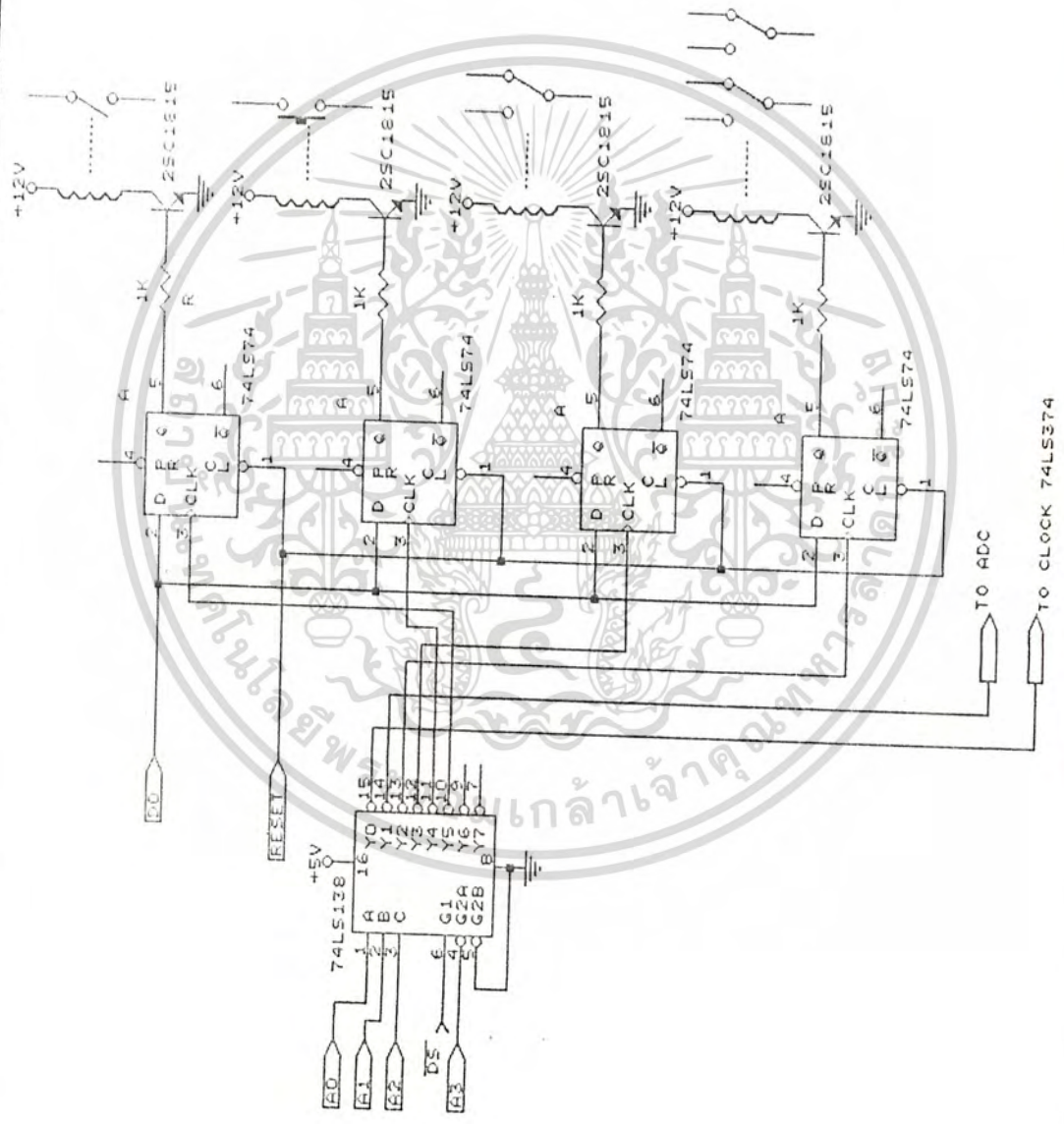
ส่วนนี้จะใช้วงจรขยายแบบไม่กลับสัญญาณ ซึ่งจะรับค่าอินพุตที่มีค่าไม่เกิน 0.6 โวลต์ (NON - INVERTING AMPLIFIER) สำหรับเอาต์พุตของส่วนนี้จะส่งค่าที่วัดได้ไปยังส่วนของการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อนำไปประมวลผลต่อไป สำหรับวงจรแสดงการทำงานดังรูปที่ 5.3.2 เนื่องจากเป็นเซลล์เดี่ยว จึงทำการขยายค่าศักดาไฟฟ้าของเซลล์จาก 0 - 0.6 โวลต์ ให้เป็น 0-5 โวลต์



รูปที่ 5.3.2 วงจรแสดงการทำงานของส่วนวัดศักดาไฟฟ้า

5.3.3 ส่วนวัดค่ากระแสไฟฟ้า

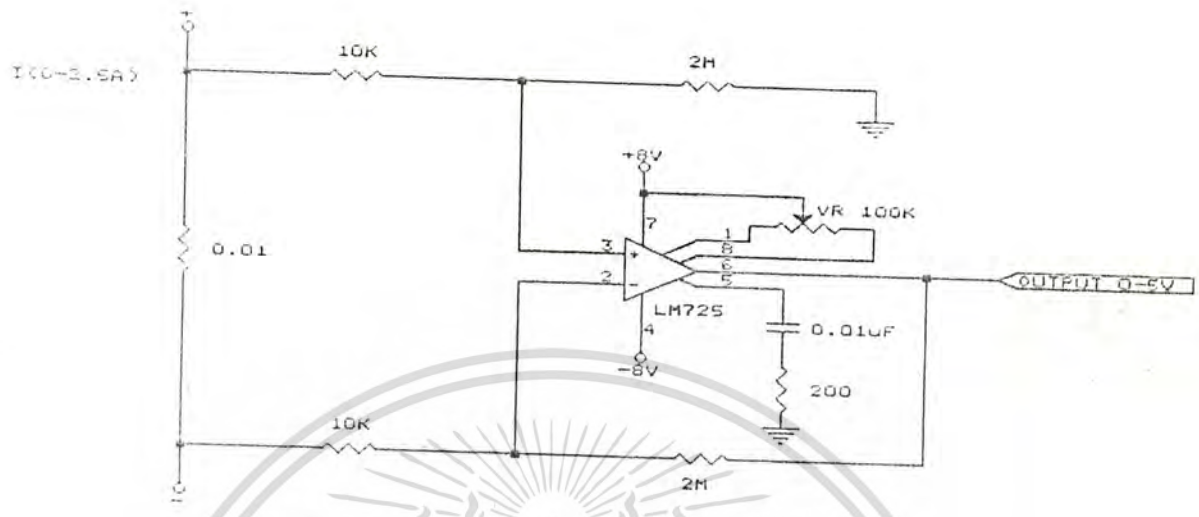
ส่วนนี้จะใช้หลักการแปลงกระแสให้เป็นศักดาโดยใช้  $R_{sh}$  (SHUNT RESISTOR) เป็นตัววัดกระแสไฟฟ้า เมื่อมีกระแสไหลผ่านก็จะเกิดศักดาไฟฟ้าตามค่าคร่อม วงจรส่วนนี้ก็จะทำการขยายสัญญาณให้มีขนาดใหญ่ขึ้น จนมีศักดาไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0-5 โวลต์ เพื่อที่จะนำค่าที่วัดได้ไปเป็นอินพุตให้กับส่วนของการแปลง



รูปที่ 5.3.1 วงจรส่วนการทำงานของสี่โคตเคอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณอนาล็อก ให้เป็นสัญญาณดิจิตอลต่อไป วงจรแสดงดังรูปที่ 5.3.3



รูปที่ 5.3.3 วงจรแสดงการทำงานของส่วนวัดกระแสไฟฟ้า

ข้อสังเกต

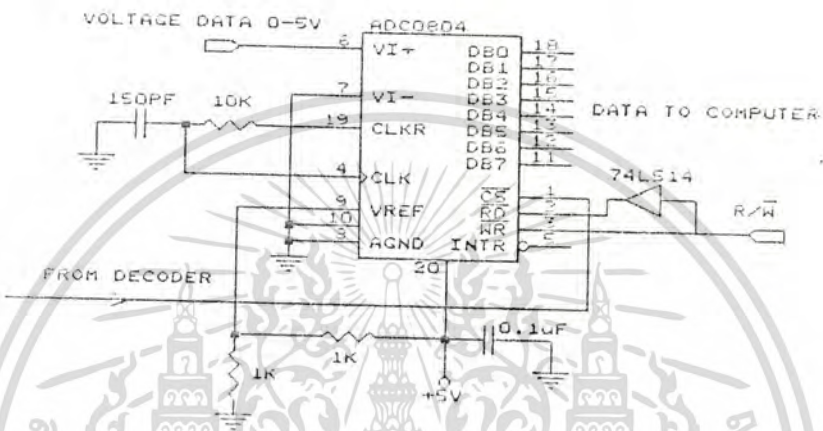
$R_{sh}$  ต้องมีค่าต่ำมาก ๆ เพื่อไม่ให้มีผลต่อวงจรการวัด ในการที่จะเลือกค่า  $R_{sh}$  เท่าไรหาคำนวณได้จากค่าความต้านทานที่ต่อขนานกันในบอร์ดจริง ๆ จากค่าความต้านทานค่านี้ ถ้ากระแสสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าประมาณ 2.0 แอมป์ แล้วอินพุทของวงจรขยายสัญญาณมีค่าเพียง 25 มิลลิโวลต์ ซึ่งเล็กมาก ดังนั้นวงจรดีเฟอเรนเชียล แอมป์สโพลีเออร์จึงถูกนำมาใช้ เพื่อยกระดับสัญญาณและกำจัดสัญญาณคอมมอนโหมดด้วย

5.3.4 ส่วนการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล

ส่วนนี้จะ เป็นส่วนที่รับค่าเอาท์พุทจากส่วนวงจรการวัดศักดาไฟฟ้า และส่วนวงจรการวัดกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0-5 โวลต์ ซึ่งเป็นค่าอนาล็อก มาแปลงให้เป็นค่าทางดิจิตอลก่อนที่ส่งไปประมวลผลยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ในส่วนนี้เราใช้ไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล เบอร์ 0804 ซึ่งเป็นไอ ซี ที่ใช้แปลงสัญญาณอนาล็อก 0-5 โวลต์ ให้เป็นสัญญาณดิจิตอล 8 บิต และไอ ซี ตัวนี้จะทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกา (CLOCK) ความถี่ 640 กิโลเฮิรท์ ซึ่งสร้างจากความต้านทาน 10 กิโลโอมห์ , คาปาซิเตอร์ 150 พิโคฟาร์ด และอินเวอร์เตอร์ภายในไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลเบอร์ 0804 โดยใช้เวลาในการแปลงสัญญาณประมาณ 100 นาโนเซค

เมื่อไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลเบอร์ 0804 ทั่วทั้งการแปลงสัญญาณค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปทำกำไรหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ญาณเรียบร้อยแล้ว จะส่งสัญญาณออกมาที่ขา INTR ซึ่งสามารถนำไปเป็นสัญญาณอินเทอร์รัพท์ ให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ แต่สำหรับโครงงานนี้ไม่ได้ใช้สัญญาณนี้ แต่ใช้โปรแกรมให้วนลูปรอ เพื่อให้ไอซี 0804 แปลงให้เสร็จแล้วจึงนำข้อมูลดิจิตอลมาใช้ การที่ทำเช่นนี้จะทำให้เราตัดปัญหาที่อาจเกิดจากสัญญาณ INTR ที่ไม่ต้องการออกไป



รูปที่ 5.3.4 วงจรแสดงการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณให้เป็นดิจิตอล

ระดับสัญญาณอ้างอิงของไอซี ADC 0804 ได้มาจากเอาต์พุตของเรกคูลเตเตอร์ ซึ่งมีระดับสัญญาณ 5.0 โวลท์ ทั้งนี้เนื่องจากความถูกต้องในการแปลงสัญญาณของ ADC ขึ้นอยู่กับระดับความแน่นอนของศักดาอ้างอิงด้วย วงจรการทำงานของส่วนนี้แสดงดังรูปที่ 5.3.4

5.3.5 ส่วนควบคุมความต้านทานโหลดและสถานะของวงจร

ในส่วนนี้จะมีรีเลย์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ปิด-เปิด ความต้านทานค่าต่าง ๆ เพื่อเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโหลดให้เป็นไปตามที่กำหนด โดยรีเลย์จะถูกควบคุมโดยการสั่งงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านเข้าทางดาต้าบัสทั้ง 8 บิต การสั่งงานรีเลย์จะแลทซ์ค้างอยู่ในแลทซ์ไอ ซี เบอร์ 74LS374 เพื่อให้มีการวัดค่าศักดาไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในวงจรได้ครบถ้วน จากนั้นจึงจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานโดยสั่งผ่านเข้าทางดาต้าบัสทั้ง 8 บิต จนครบ 11 ครั้ง แต่นอกจากจะมีการวัดค่าศักดาและกระแสไฟฟ้าตามค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปแล้วยังมีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญมากอีก 2 ตัวที่จะมีการสั่งงานโดยผ่านรีเลย์ 2 ตัวที่มีตัวหน่วงทำหน้าที่เปิดวงจร และอีกตัวหนึ่งทำหน้าที่ลัดวงจร ซึ่งจะทำได้ค่าศักดาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

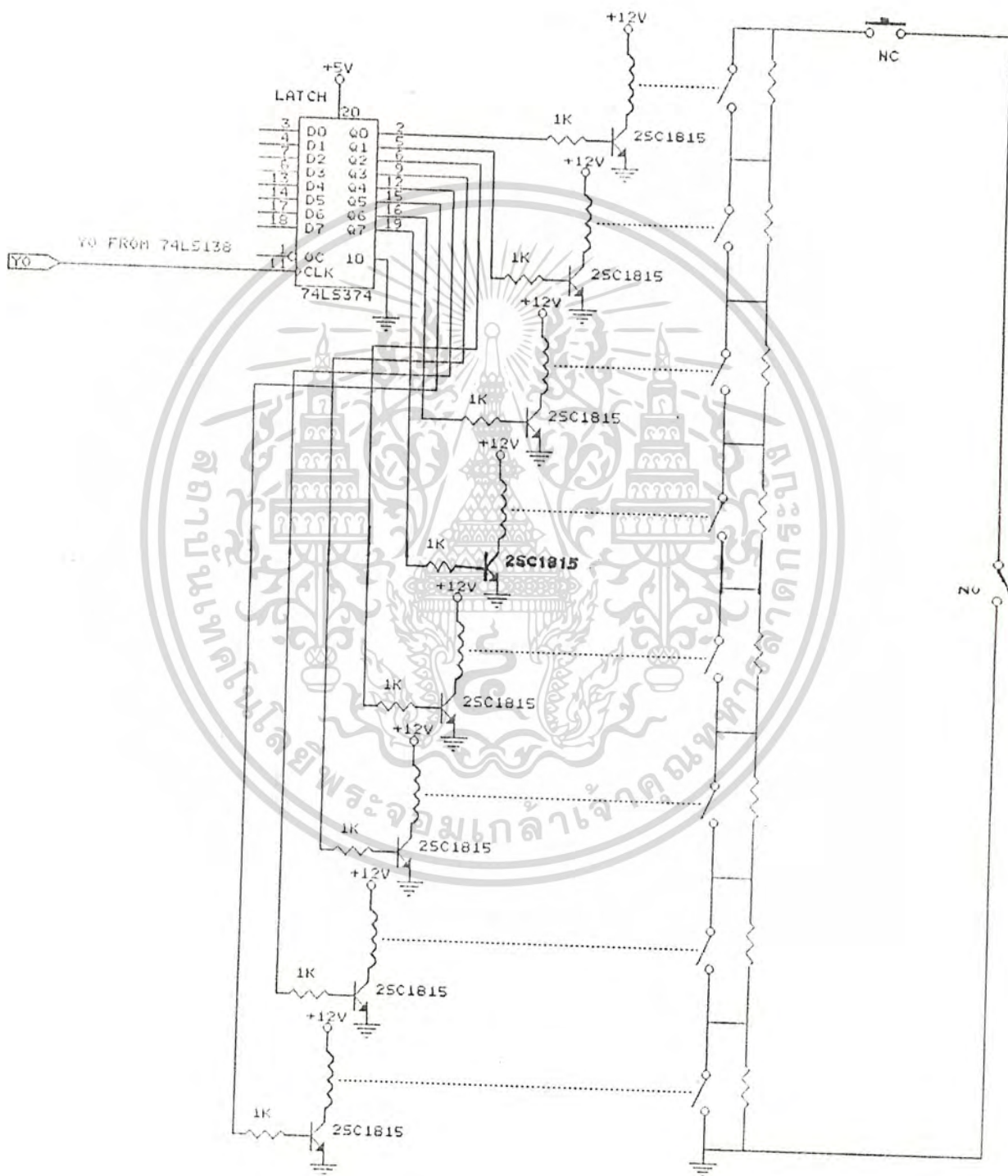
ขณะเปิดวงจร (OPEN CIRCUIT VOLTAGE :  $V_{oc}$ ) จากการวัดศักดาไฟฟ้าในสภาวะเปิดวงจร และวัดค่ากระแสขณะลัดวงจร (SHORT CIRCUIT CURRENT :  $I_{sc}$ ) จากการวัดกระแสไฟฟ้าในสภาวะลัดวงจร แสดงวงจรดังรูปที่ 5.3.5 ซึ่งค่าศักดาไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงสถานะของวงจรทั้งหมด 13 คู่ จะมีการนำไปประมวลผลต่อไป

### 5.3.6 ส่วนไฟเลี้ยงและศักดาอ้างอิง

ในส่วนของฮาร์ดแวร์ทั้งหมด จะประกอบไปด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์และวงจรดิจิทัล ซึ่งมีระดับไฟเลี้ยงค่าต่าง ๆ กันไป ในวงจรที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์คือ วงจรขยายที่เป็นพวกออปแอมป์จะใช้ไฟเลี้ยง  $\pm 8$  โวลต์ ซึ่งได้จากวงจรเรกคูลเตเตอร์แปลง  $+12$  โวลต์ ซึ่งเป็นไฟเลี้ยงให้กับคอปส์ของรีเลย์ ให้เป็น  $+8$  โวลต์ ที่คงที่และแน่นอน และจาก  $+8$  โวลต์นี้ก็จะผ่านการแปลงให้เป็น  $+5.00$  โวลต์เพื่อเป็นศักดาอ้างอิงให้กับไอซี ADC 0804 และเป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจรดิจิทัลพวกแลทชไอซี (LATCH I.C.) , อินเวอร์เตอร์ (INVERTER), ดีโคดเดอร์ (DECODER) และ ดีฟลิปฟลอป (D-FLIPFLOP) โดยมีวงจรเรกคูลเตเตอร์ดังรูปที่ 5.3.6

### 5.4 วงจรที่ใช้ประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51

ในส่วนของฮาร์ดแวร์ส่วนนี้ จะเป็นส่วนที่บรรจุโปรแกรมการทำงานของระบบทั้งหมด เป็นตัวควบคุมการทำงานของรีเลย์ และเป็นส่วนที่มีการประมวลผลค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ต้องการตามโปรแกรมที่ออกแบบไว้ ในขั้นตอนนี้เราจึงยังไม่มีการออกแบบวงจรส่วนนี้เอง เนื่องจากเป็นฮาร์ดแวร์ที่ได้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายและมีระบบตายตัวแน่นอน และเพื่อไม่ให้ เป็นอุปสรรคต่อการทดสอบในส่วนอื่น ๆ โดยวงจรส่วนนี้ จะมีการส่งงานรีเลย์ให้ได้ค่าความต้านทานตามต้องการ และรับค่าจาก ADC เพื่อทำการประมวลผลคุณสมบัติทางไฟฟ้าโดยโปรแกรมซึ่งจะมีการอธิบายในบทต่อไป นอกจากนี้ยังจะมีการส่งค่าศักดาและกระแสไฟฟ้าที่ค่าโพลต์ต่างๆ ที่มีการวัดค่าและเก็บค่าไว้ เพื่อส่งผ่านทาง RS 232 เข้าสู่ไมโครคอมพิวเตอร์ แล้วนำไปพล็อตกราฟโดยซอฟต์แวร์ภาษาซีต่อไป

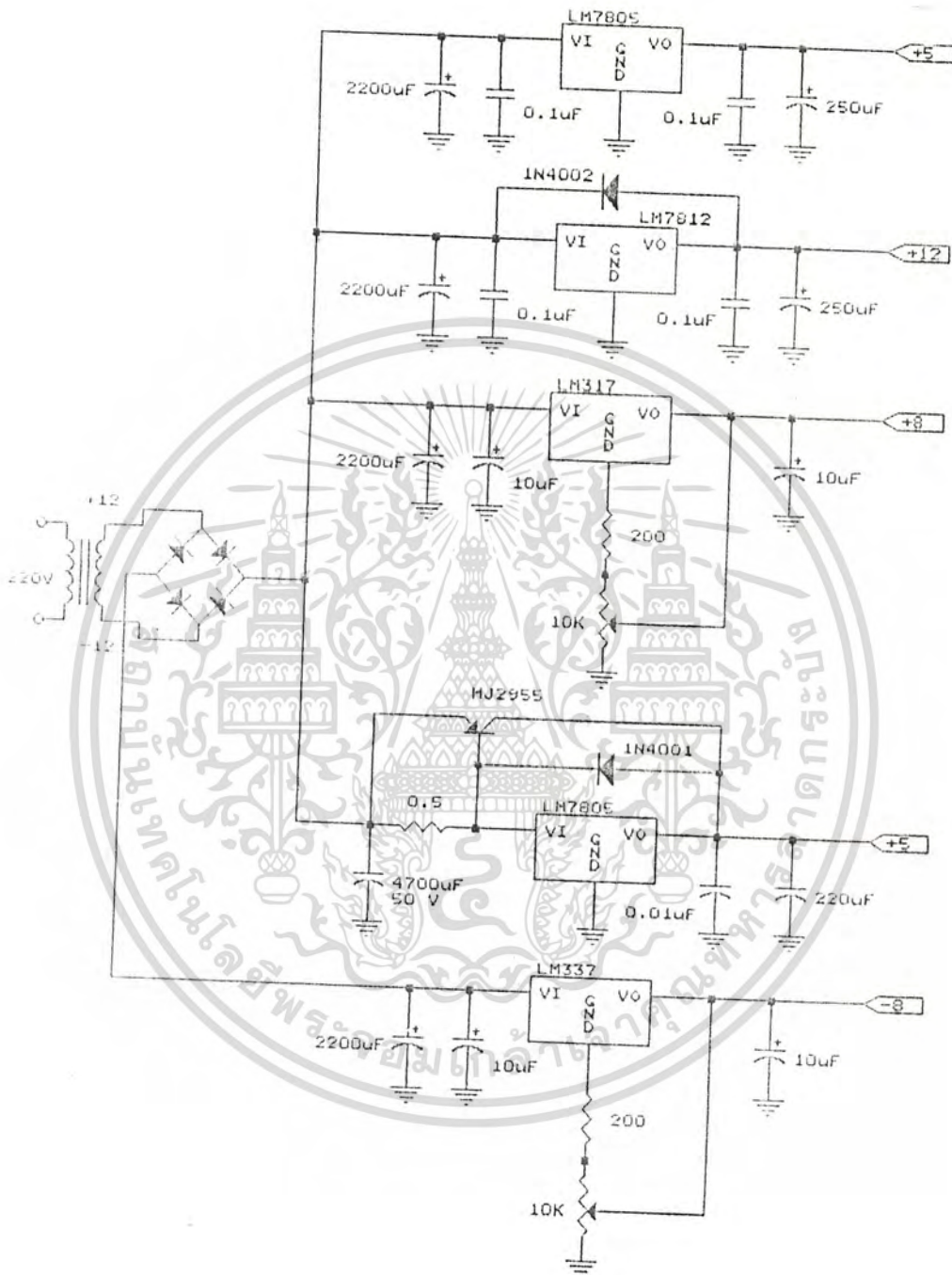


รูปที่ 5.3.5

วงจรแสดงการทำงานของวงจรควบคุมความต้านทานโหลด

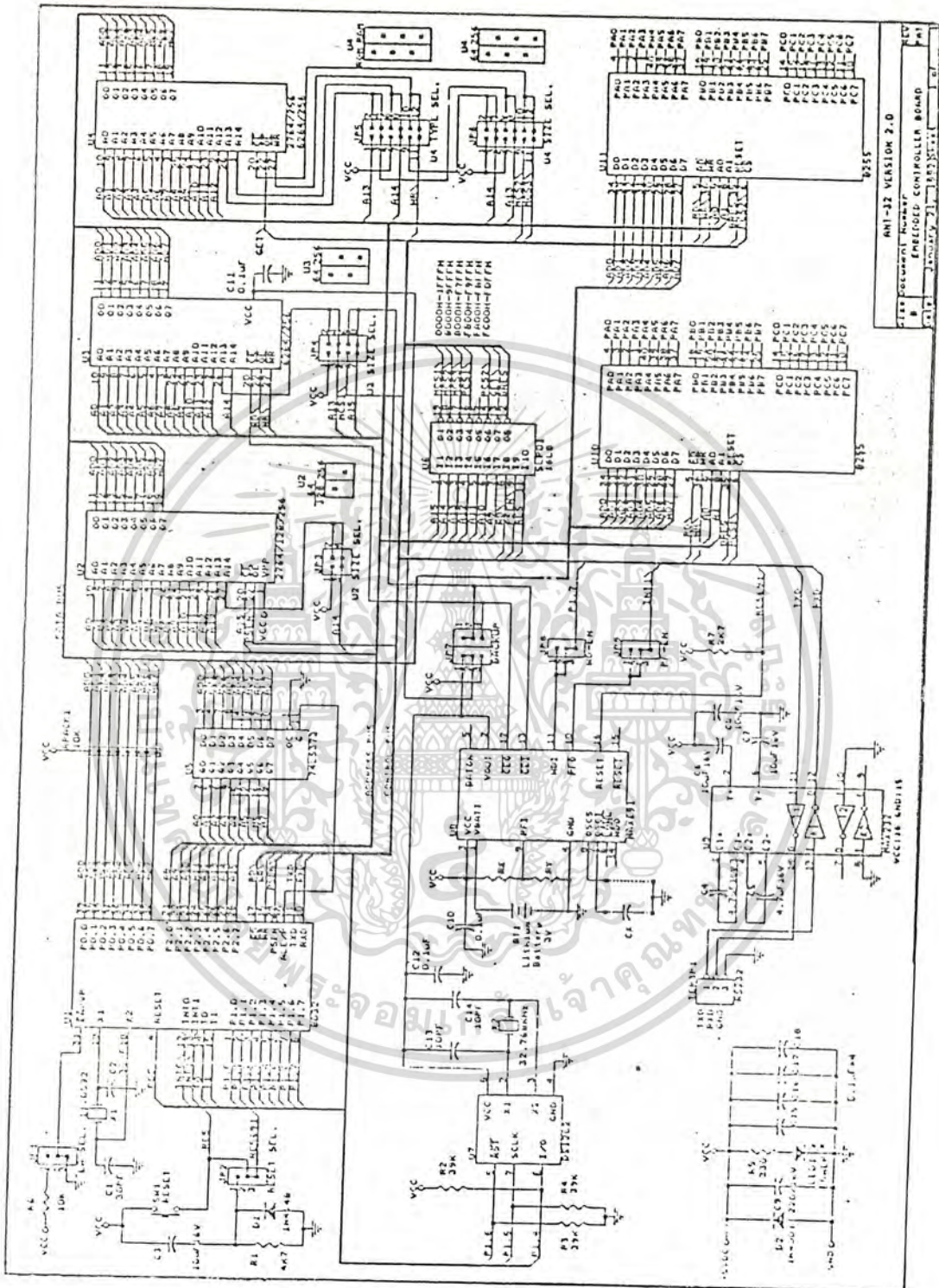
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับว่าให้สิทธิในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3.6 วงจรแสดงการทำงานของส่วนไฟเลี้ยงและหักดาอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

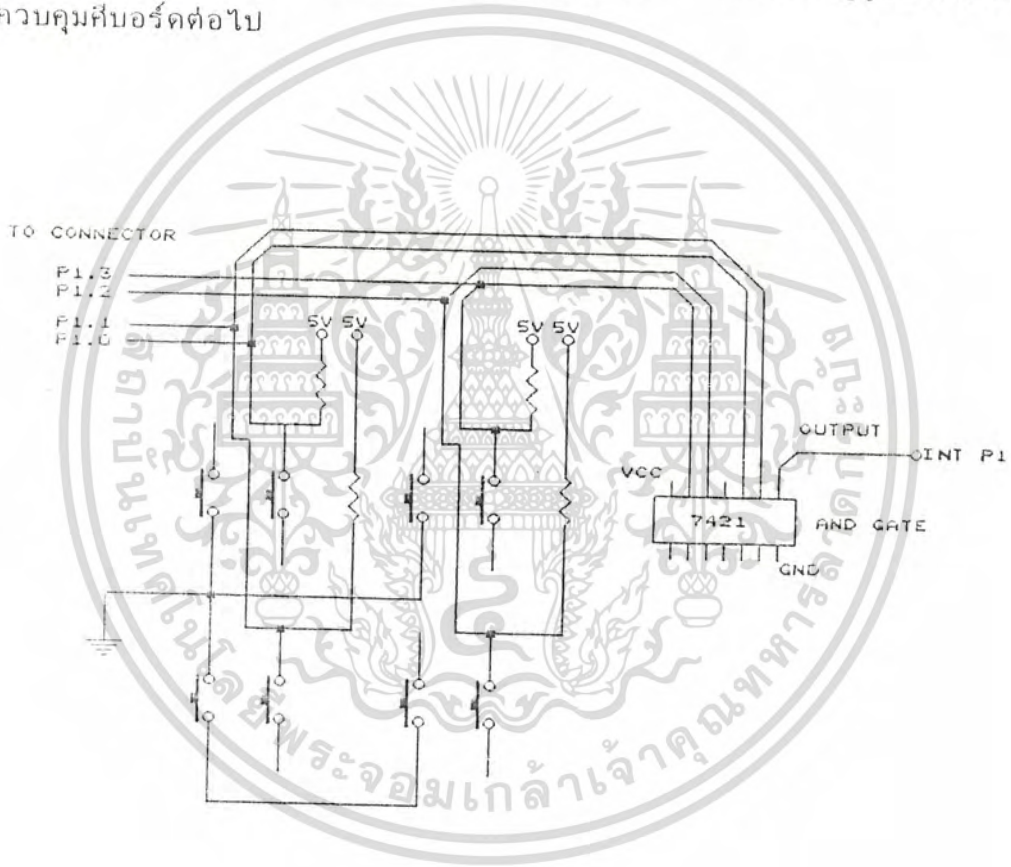


รูปที่ 5.4 วงจรการทำงานของ ANI-32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สี่บอร์ค

ขาสี่บอร์คมี 4 ขา ซึ่ง 2 ขาในแนวเดียวกันจะ short กัน และจะนำขาคู่ใดคู่หนึ่งที่ short กันมาลงกราวด์ อีกด้านหนึ่งจะให้ไฟ 5 โวลต์ไว้ กำหนดให้เป็นลอจิก 1 แล้วนำขาของสี่บอร์คทั้งหมดไปเข้าแอนเกต 7421 ซึ่งถ้าไม่มีการกดปุ่มใดๆ เลยแอนเกตจะให้เอาต์พุตเป็น 1 การอินเทอร์พก็ไม่เกิดขึ้น แต่ถ้ามีการกดปุ่มใดปุ่มหนึ่งขึ้น จะทำให้ขาทั้งหมดของสี่บอร์คเสมือน short กันทั้งหมด และส่งค่าเข้าแอนเกต (ลอจิก 0) ทำให้เอาต์พุตแอนเกตเป็น 0 มีการอินเทอร์พเกิดขึ้น แล้วก็เข้าสู่รูปการทำงานของโปรแกรมควบคุมสี่บอร์คต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## SERIAL PORT RS-232

การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม เป็นการส่งหรือรับข้อมูลครั้งละ 1 บิตทำ โดยการนำข้อมูลที่เป็นแบบขนานมาทำการเลื่อน (shift) ข้อมูลไปทางซ้ายหรือ ขวา การส่งข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลจากจุดส่งจะถูกเปลี่ยนให้เป็นแบบอนุกรมก่อน ที่จะถูกส่งออกไป จะทยอยส่งทีละ 1 บิตจนครบทุกบิตที่จะทำการส่ง ถือว่าจบ การส่งข้อมูลแบบอนุกรม ส่วนการรับข้อมูลแบบอนุกรมนั้น จะเลื่อนข้อมูลเข้ามาที ละบิตจนครบทุกบิตที่ถูกส่งมา ถือว่าจบการรับข้อมูลแบบอนุกรม

การส่งและการรับข้อมูลแบบอนุกรม มี 2 วิธี คือ

### 1. แบบซิงโครนัส (Synchronous)

เป็นการส่งข้อมูลแบบอนุกรม ซึ่งอาศัยสัญญาณนาฬิกา เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของแต่ละข้อมูลที่ส่งออกมา โดยตัวส่งจะเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่ขอบขาลงของสัญญาณนาฬิกา ส่วนตัวรับจะอ่านข้อมูลที่ตำแหน่งขอบขาขึ้น ซึ่งข้อมูลจะยังคงสภาวะอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

### 2. แบบอะซิงโครนัส (ASynchronous)

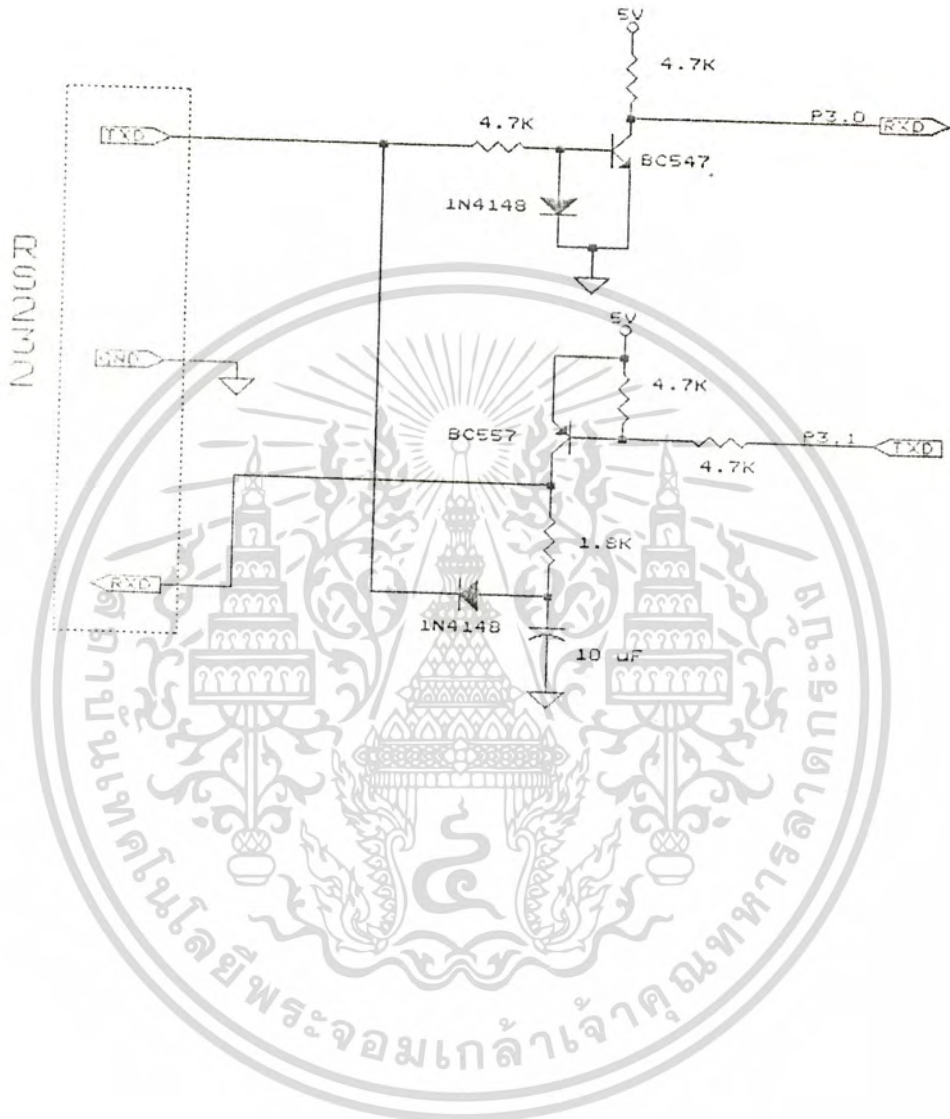
เป็นการส่งข้อมูลที่ไม่ต้องใช้สัญญาณนาฬิกา ในการควบคุมการส่งหรือรับข้อมูลแบบอนุกรมเพียงแต่ต้องเพิ่มข้อมูลเข้าไปอีก 2-3 บิต โดยที่บิตที่ถูกเพิ่มมานั้นจะเป็นสัญญาณควบคุมการส่งและรับข้อมูลแบบอนุกรม บิตที่เพิ่มมานั้นได้แก่ บิตเริ่มต้น , บิตหยุด , พาริตีบิต ความหมายของสัญญาณดังกล่าวนี้ จะเป็นตัวกำหนดจุดเริ่มต้นของข้อมูล (start bit) กำหนดจุดจบของข้อมูล (stop bit) และตรวจสอบข้อมูล (parity bit)

ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีพอร์ตอนุกรมให้ใช้ เป็นแบบ ฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) คือ สามารถส่งและรับข้อมูลแบบอนุกรมในเวลาเดียวกัน ซึ่งในพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีรีจิสเตอร์อยู่ 2 ตัว ที่ใช้ติดต่อข้อมูลแบบอนุกรม คือ SBUF และ SCON

### การใช้วงจรในการ ไดรฟ์เวอร์ (Drivers) ในการติดต่อกับ RS-232

ในการต่อกันระหว่างพอร์ตแบบอนุกรมของ MCS-51 จำเป็นต้องใช้วงจร ในการปรับระดับของแรงไฟมาตรฐานของการสื่อสาร คือ +12, -12 ถึง +15 , -15 มี บัฟเฟอร์ (Buffer) ที่จะใช้นิยมในการต่อ ได้แก่ ไอซีเบอร์ MC1488 ในการส่งข้อมูลไปที่ RS-232 และ ไอซีเบอร์ MC1489 ในการแปลงระดับของ สัญญาณจาก RS-232 ซึ่งการใช้บัฟเฟอร์ (Buffer) นี้จำเป็นต้องใช้แรงดันไฟ ในการขับบัฟเฟอร์ (Buffer) เบอร์นี้ดังนั้น เราสามารถต่อด้วยวงจรที่ใช้ทรานซิสเตอร์ในการแปลงสัญญาณ โดยเราจะอาศัยแรงไฟจาก RS-232 มาใช้งาน สำหรับการใช้งานเกี่ยวกับการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมที่ใช้ในโครงงานชิ้นนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซอฟต์แวร์ควบคุมเพียงอย่างเดียว ซึ่งขออธิบายการทำงานอยู่ในส่วนของโปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### DOT MATRIX LCD MODULE

สามารถแบ่ง DOT MATRIX LCD MODULE ออกเป็นพวกๆ ดังนี้

1. CHARACTER LCD MODULE
2. GRAPHIC LCD MODULE
3. SEGMENT DISPLAY TYPE LCD MODULE

แต่ละแบบมีส่วนประกอบใหญ่ๆ แบ่งได้เป็น

1. DOT MATRIX LCD เป็นตัวแสดงผลให้เรามองเห็นในลักษณะการปิดและเปิดตัวเองกับแสงคือ ส่วนของที่เป็นตัวกระจกบรรจุผลึก

2. DRIVER เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับผลึก LCD ฮีทที่หนึ่ง โดยมีเบอร์ที่นิยมใช้ใน LCD MODULE เช่น HD44100H , MSM5259

3. CONTROLLER เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมา และจัดการควบคุม LCD MODULE ให้ทำงานแสดงผลต่างๆ เช่น การลบจากจอภาพ การเกิดตัวอักษร เป็นต้น โดยมีเบอร์ไอซีที่นิยมใช้กันคือ HD44780 ซึ่งจะใช้ในแบบ CHARACTER LCD MODULE เป็นส่วนใหญ่ เบอร์ไอซี HD61830 จะใช้ในแบบ GRAPHIC LCD MODULE

โดยมาก LCD MODULE ในแต่ละบริษัทจะใช้ตัว CONTROLLER ที่มีหลักการทำงานเหมือนกันเป็นส่วนใหญ่และใน LCD MODULE แต่ละขนาดจำนวนตัวอักษรหรือจำนวนบรรทัดที่มีหลักการทำงานแบบเดียวกันทั้งหมดไอซีที่เป็นที่นิยมมากที่สุดตัวหนึ่ง ที่เป็น CONTROLLER LCD คือ เบอร์ HD44780 โดยรูปแบบการทำงานของมันเป็นมาตรฐานให้กับ CONTROLLER LCD ตัวอื่นๆ ด้วย

ข้อดีโดยทั่วไปของ LCD คือ

1. บางเบาและพกพาสะดวก
2. ใช้พลังงานน้อย เนื่องจากต้องการกำลังงาน และแรงดันต่ำทำให้สามารถใช้งานได้นานแม้จะมีเพียงแบตเตอรี่ขนาดเล็กเป็นตัวจ่ายกำลัง ทั้งยังใช้ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น CMOS ได้

3. เป็นตัวแสดงผลแบบพาสซีฟ เพราะ LCD ไม่ได้กำเนิดแสง การอ่านค่าที่ตัวแสดงผลต้องใช้แสงสว่างจากภายนอก แต่ความเข้มของการแสดงผลไม่ได้จางลงเมื่อแสงสว่างจากภายนอกเพิ่มขึ้น หากต้องการอ่านค่าในที่มืดทำได้โดยใช้แสงไฟส่องมาจากทางด้านหลังของแผง LCD

4. เชื้อถือได้ ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิกว้างและมีอายุการใช้งานนาน
5. ใช้งานได้กว้างขวาง
6. ราคาถูก

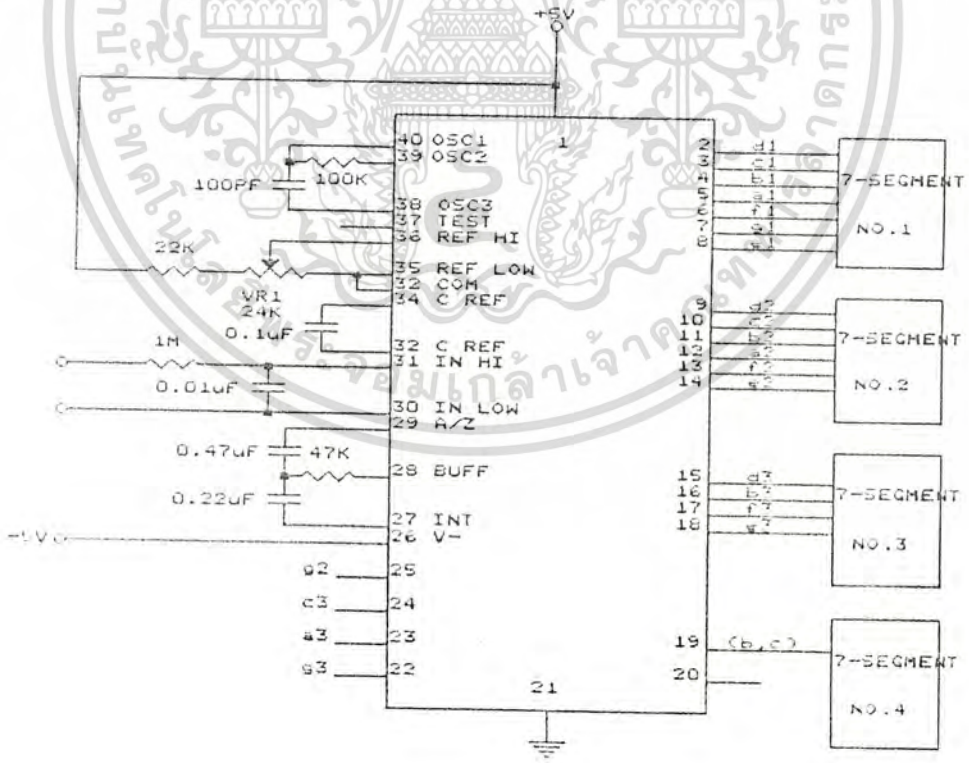
สำหรับในโครงการงานชิ้นนี้ มีการโปรแกรมการทำงานของ LCD ด้วยภาษา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอสซิมบลีเพื่อใช้ในการแสดงฟังก์ชันเพื่อเลือกการทำงานโดยกดที่สวิตช์บอร์ด และ เพื่อแสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณ

ส่วนแสดงผลอุณหภูมิและความเข้มแสง

ใช้เซฟเว่นเซกเมนต์ (7-SEGMENT) ในวงจรถิจิตอลมิเตอร์เป็นส่วน แสดงผล การทำงานของดิจิตอลมิเตอร์นี้ จะวัดได้ในย่านประมาณ 2 โวลต์ จากวงจรทำได้โดยปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ (VR1) ให้ความแตกต่างของ ศักตาระหว่างขา 36 กับ 35 เป็น 1 โวลต์ ทำให้ได้ศักดาอินพุทที่จะวัดอยู่ในย่าน 2 โวลต์ การต่อเชื่อมระหว่างขา 32 กับขา 30 ทำให้สามารถปรับค่า IN LOW (ขา 30) เปรียบเทียบได้ โดยในส่วนวัดอุณหภูมิจะตั้งค่า IN LOW ไว้ที่ 2.74 โวลต์ เป็น 0 องศาเซลเซียส ถ้าต่อขา 30 ลงกราวด์จะวัดค่า IN HIGH (ขา 31) เทียบกับ 0 โวลต์ได้ ถ้าต้องการค่าที่แม่นยำและละเอียดพอ ต้องปรับขา 35 และ 36 ให้ได้ 1.000 โวลต์ และเอาท์พุทที่ได้จะแสดงผลผ่านทางเซฟเว่นเซก เมนต์ (7-SEGMENT) แบบคอมมอนอานอด (COMMON ANOD) จำนวน 4 ตัว

ส่วนวัดความเข้มแสง ใช้โฟโตไดโอดเป็นตัววัดความเข้มแสง โดยใช้หลัก การ เมื่อความเข้มแสงมากขึ้น ทำให้มีกระแสไหลมากขึ้น ศักดาตกคร่อม ความต้านทานก็เพิ่มขึ้น มีวงจรงานดังนี้



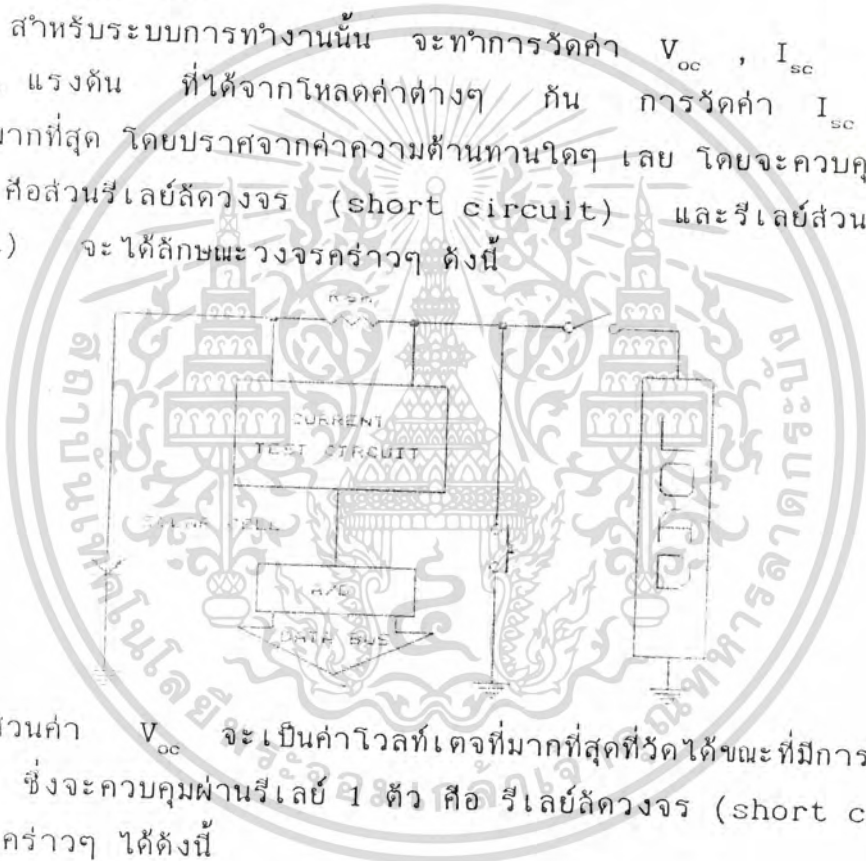
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่อนุญาตเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



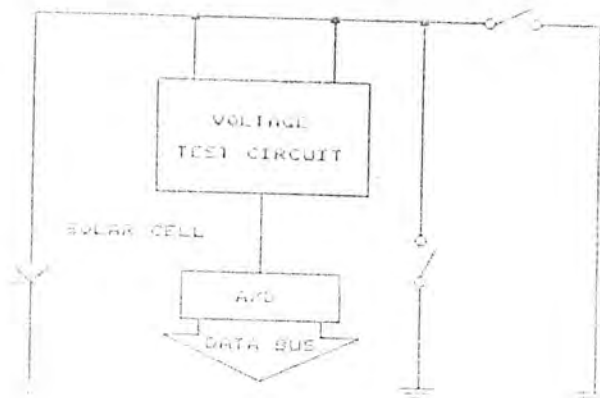
วงจรรวม

ในการต่อวงจรทั้งหมดเข้ามาทำงานร่วมกันเป็นระบบนั้น จะทำงานโดยการเลือกของตีโคตเตอร์ ที่ถูกควบคุมจาก MCS-51 อีกทีหนึ่ง ขั้นตอนการเลือกทำงานนั้น เมื่อเราทำการตีโคตตัวใดแล้ว จะทำให้เอาท์พุทของตัวที่เราตีโคตนั้นเป็นต่ำ (low) ออกจากไอซี 74138 และสำหรับไอซี 7474 ซึ่งเป็นคูโอสตีโทท์ฟลิปฟลอป (DUAL D TYPE FLIP-FLOP) นั้น MCS-51 จะควบคุมเอาท์พุทโดยผ่านขาซีเซต , ขาตี , ขาสัญญาณนาฬิกา (CLK) ซึ่งได้มาจากตีโคตเตอร์ซึ่งทำให้รีเลย์ตัวนั้นทำงาน

สำหรับระบบการทำงานนั้น จะทำการวัดค่า  $V_{oc}$  ,  $I_{sc}$  และค่ากระแส , แรงดัน ที่ได้จากโหลดค่าต่างๆ กัน การวัดค่า  $I_{sc}$  จะได้ค่ากระแสที่มากที่สุด โดยปราศจากค่าความต้านทานใดๆ เลย โดยจะควบคุมผ่านรีเลย์ 2 ตัว คือส่วนรีเลย์ลัดวงจร (short circuit) และรีเลย์ส่วน (open circuit) จะได้ลักษณะวงจรราวๆ ดังนี้

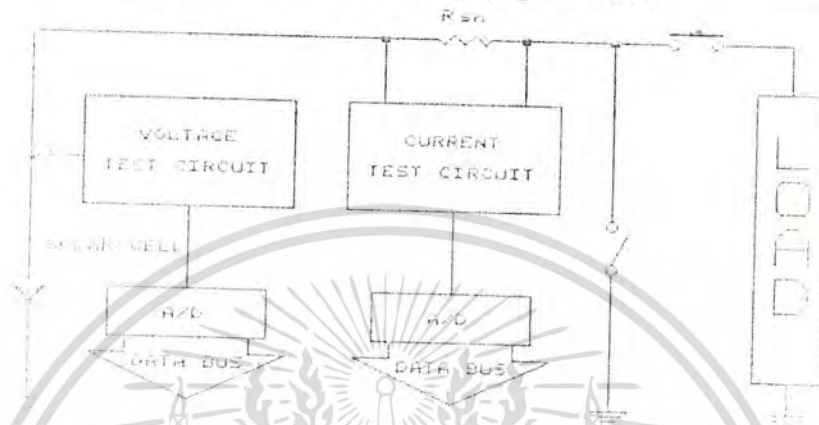


ส่วนค่า  $V_{oc}$  จะเป็นค่าโวลท์เตจที่มากที่สุดที่วัดได้ขณะที่มีการตั้งโหลดค่าอนันต์ ซึ่งจะควบคุมผ่านรีเลย์ 1 ตัว คือ รีเลย์ลัดวงจร (short circuit) เขียนวงจรราวๆ ได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในขณะที่ทำการวัดค่ากระแส, คัดดา จากการตั้งโพลดค่าต่างๆ กันนั้น ตัวซีเลี่ยในวงจรโพลดนั้นจะถูกควบคุมโดย MCS-51 เช่นเดียวกัน ซึ่งจะทำให้การควบคุมซีเลี่ยที่เกี่ยวกับโพลดและซีเลี่ยวัดค่าคัดดา จากการวัดค่าทั้ง 4 ค่า จะทำการส่งค่าผ่านวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (A/D) 2 ชุด ชุดหนึ่งสำหรับวงจรวัดค่าคัดดา อีกชุดหนึ่งสำหรับวงจรวัดค่ากระแสไฟฟ้า



การส่งค่าผ่านวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลนี้ค่าที่จะเข้า MCS-51 จะเข้าโดยผ่านขาอินพุทของ A/D (ขา 6) และขา CS ของ A/D จะเป็นค่าต่ำ (low) ตลอดเพื่อทำการแปลงค่าตลอดเวลา แต่จะอ่าน หรือเขียนขึ้นอยู่กับการควบคุมของ MCS-51 ซึ่งจะทำให้การเขียนลงบน A/D แล้วจึงทำการเปลี่ยนลอจิกเป็นค่าสูง (HIGH) เพื่อให้ทำการอ่านออกจาก A/D เข้าสู่ MCS-51 เพื่อรับค่าไปทำการประมวลผลตามโปรแกรมต่อไป

## บทที่ 6

### โปรแกรมและโพล์ซาร์ตการทำงาน

#### 6.1 โปรแกรมส่วนที่เป็นภาษาแอสเซมบลี

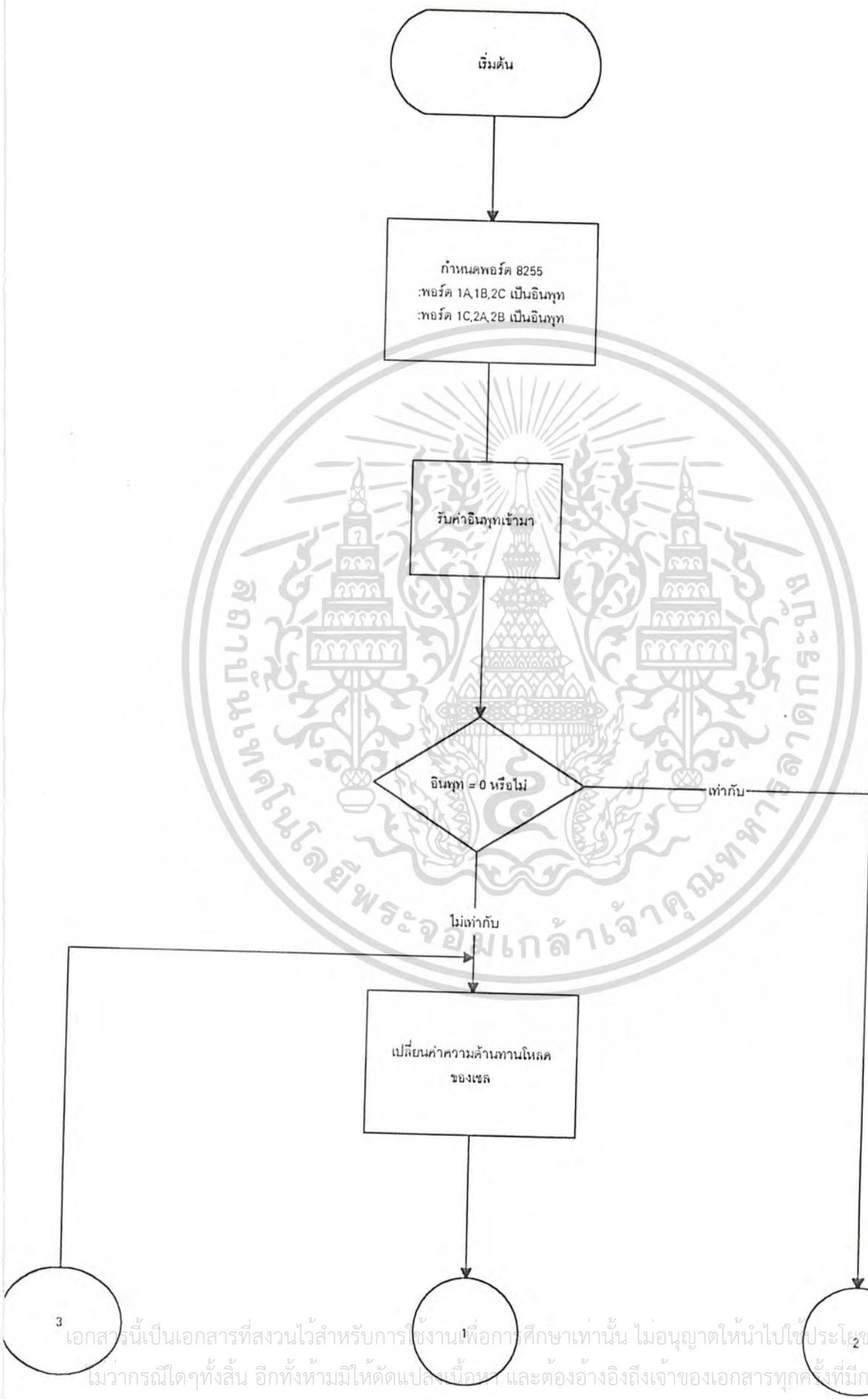
สำหรับการทำงานทางด้านซอฟต์แวร์ที่เป็นภาษาแอสเซมบลี จะเป็นโปรแกรมที่จะนำไปควบคุมการทำงานของฮาร์ดแวร์ทั้งหมด โดยจะเป็นการส่งข้อความที่เป็นฟังก์ชันเพื่อเลือกการทำงาน ไปแสดงผลทางจอแอล ซี ดี แล้วรับค่าฟังก์ชันที่ต้องการให้ทำงานผ่านทางคีย์บอร์ด โดยฟังก์ชันต่าง ๆ จะมีการโปรแกรมให้มีการทำงานเรียงเป็นลำดับขั้น แต่ให้กดคีย์บอร์ดเพื่อแสดงความพร้อมของผู้ใช้ในการทำงานนั้น ๆ และยังมีการส่งค่าไปกำหนดสถานะให้วงจร เช่น กำหนดสถานะของรีเลย์

ในส่วนแรกจะมีการรับค่าอินพุตของเซลล์แสงอาทิตย์ จากวงจรส่วนฮาร์ดแวร์เข้ามาเก็บไว้ที่หน่วยความจำ จำนวน 12 คู่ ได้แก่ ค่าโวลต์เตจและกระแสเมื่อวงจรอยู่ในสถานะต่าง ๆ ดังนี้

- ลัดวงจร (short circuit)
- ถูกกำหนดค่าโวลต์ต่าง ๆ จำนวน 10 ค่า
- เบ็ดวงจร (open circuit)

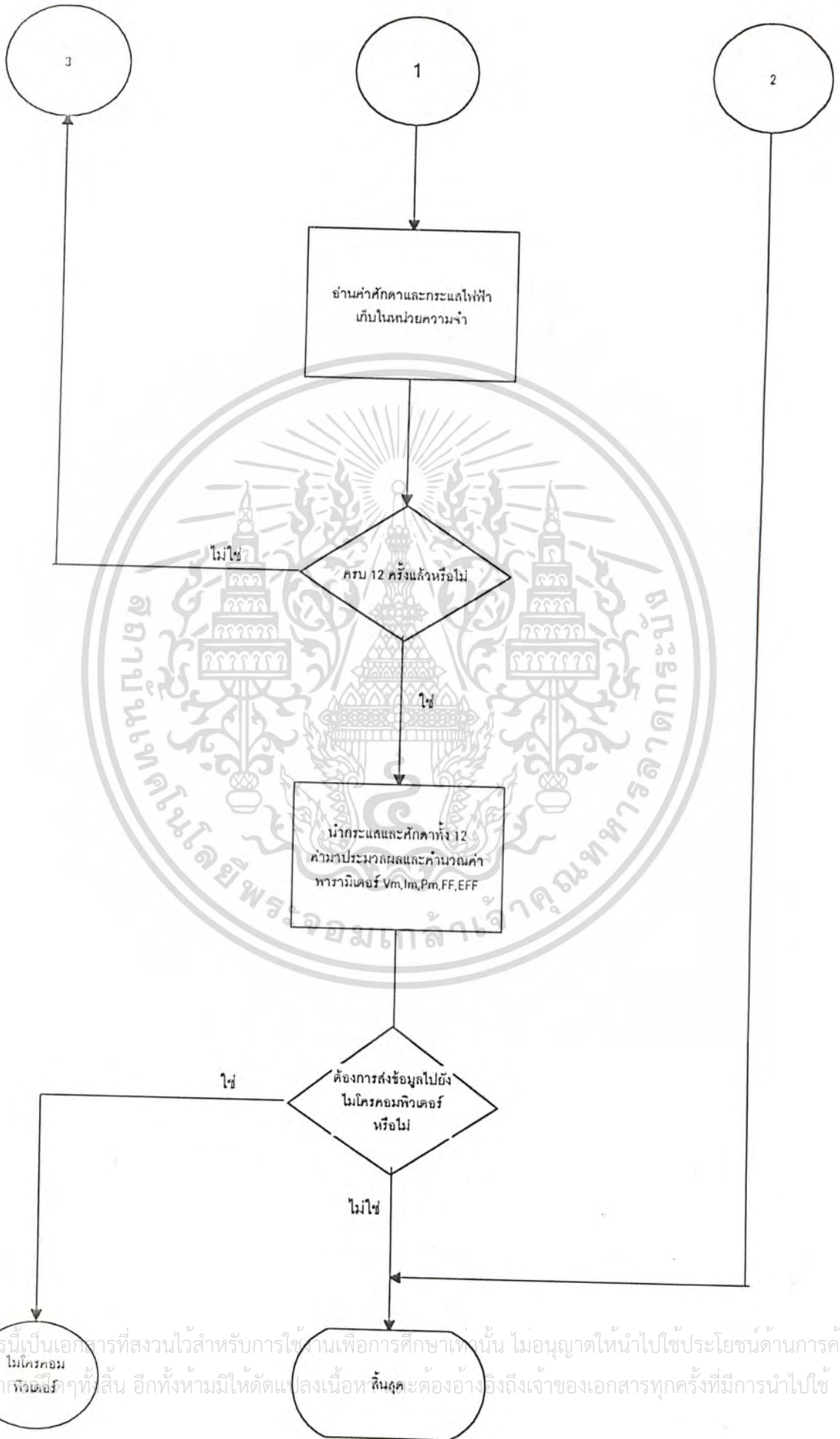
หลังจากนั้นจะนำค่าโวลต์เตจและกระแสที่วัดได้ทั้งหมดไปทำการประมวลผลทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามสูตรที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 เพื่อแสดงถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น ค่ากำลังสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จะให้ได้ เมื่อประมวลผลเรียบร้อยแล้วก็จะมีการแสดงผลออกทางจอแอล ซี ดี ทันที และจะมีฟังก์ชันให้เลือกเพื่อส่งค่าทางพอร์ตอนุกรมไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ได้ด้วย

การทำงานในส่วนของภาษาแอสเซมบลีทั้งหมด ได้แสดงในโพล์ซาร์ต ดังรูปที่ 1

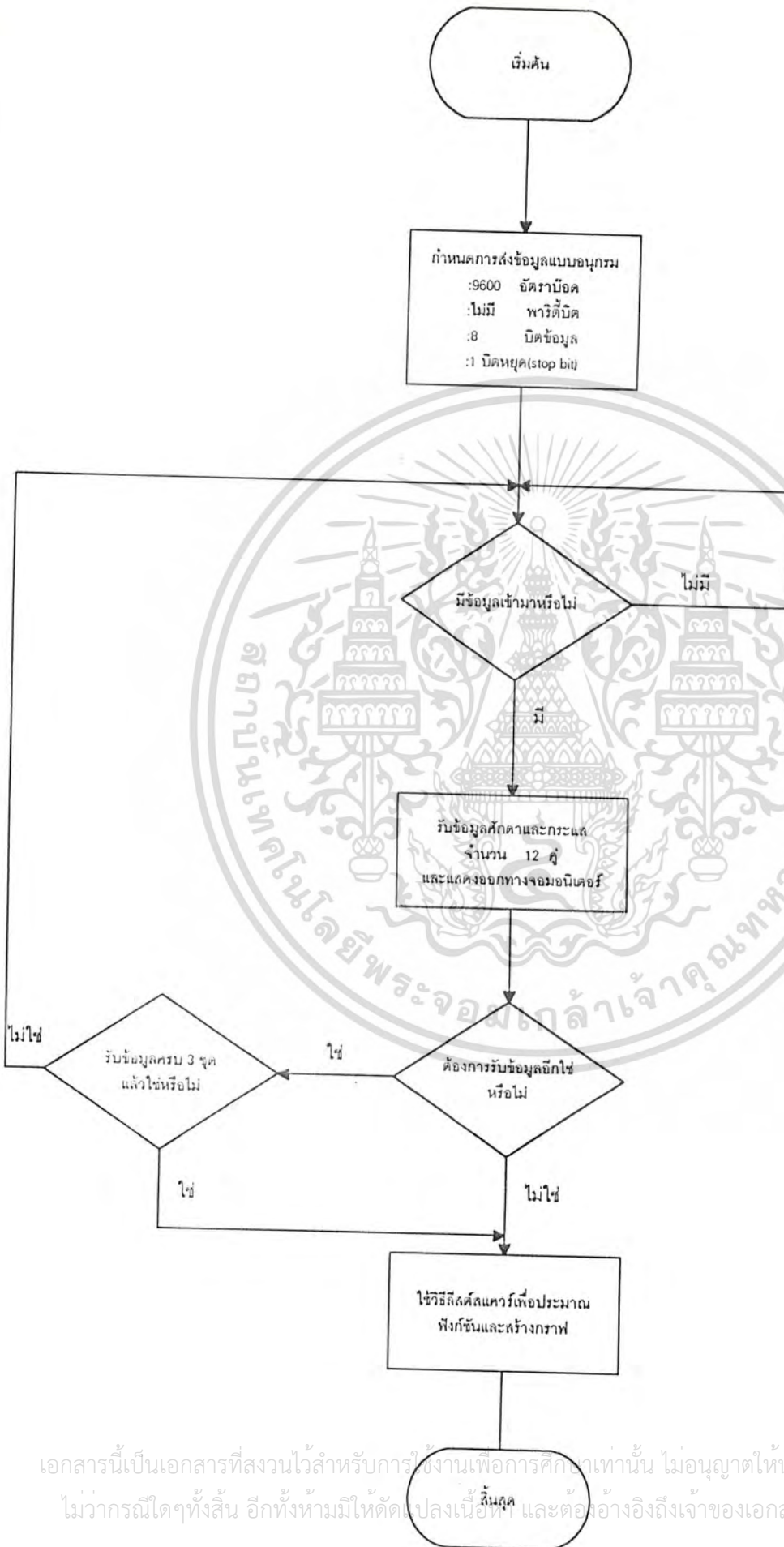


3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ออกการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าวิธีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาขึ้นสู่คอมพิวเตอร์ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        ORG    0000H        ;STARTING ADDR
                                ;** USER PORT 1 **
UP1A    EQU    0F800H      ;PORT A
UP1B    EQU    0F801H      ;PORT B
UP1C    EQU    0F802H      ;PORT C
UP1P    EQU    0F803H      ;MODE PORT
                                ;** USER PORT 2 **
UP2A    EQU    0FC00H      ;PORT A
UP2B    EQU    0FC01H      ;PORT B
UP2C    EQU    0FC02H      ;PORT C
UP2P    EQU    0FC03H      ;MODE PORT
TREE1   EQU    50H
TREE2   EQU    51H
TREE3   EQU    52H
TREE4   EQU    53H
TREE5   EQU    54H
TREE6   EQU    55H
TREE7   EQU    56H
TREE8   EQU    57H
WR_LEN  EQU    58H
WR_WRT  EQU    59H
WR LENG EQU    60H
WR_WRIT EQU    61H
BOUNCE  EQU    14H        ;SET DEBOUNCE DELAY TO 20D MS
NEX_T   EQU    32H        ;SET INTERVAL BETWEEN KEYS TO
                                ;50D MS
NEWKEY  EQU    70H        ;STORE ACCEPTED KEY IN INTERNAL
                                ;RAM
FLAG    EQU    00H
        AJMP  MODE
        ORG    0100H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;***** SET MODE *****
```

```
MODE:      MOV    R2,#0          ;POWER UP DELAY
MODE1:     MOV    R3,#0
           DJNZ   R3,$
           DJNZ   R2,MODE1
           MOV    SP,#07H       ;SET STACK POINTER
MODE2:     MOV    A,#92H        ;SET CONTROL CODE
           MOV    DPTR,#UP1P    ;USER PORT 1
           MOVX   @DPTR,A      ;PA=PB=INPUT,PC=OUTPUT
           MOV    A,#80H        ;SET CONTROL CODE
           MOV    DPTR,#UP2P    ;USER PORT 2
           MOVX   @DPTR,A      ;PA=PB=PC=OUTPUT
```

```
;*****INITIAL LCD DISPLAY*****
```

```
MOV    A,#38H          ;FUNCTION SET
LCALL  LCDWI
MOV    A,#0CH          ;DISPLAY ON/OFF
LCALL  LCDWI
MOV    A,#01H          ;CLEAR
LCALL  LCDWI
```

```
;*****MAIN*****
```

```
NAME:     MOV    DPTR,#TAB_7
           MOV    WR_LEN,#80H
           MOV    WR_WRIT,#20H
           LCALL  WR_E
           MOV    DPTR,#TAB_7
           MOV    R5,#14H
```

NAME1: INC DPTTR  
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        DJNZ R5,NAME1
        MOV WR_LEN,#0COH
        MOV WR_WRIT,#20H
        LCALL WR_E
        MOV PSW,#00010000B
        MOV R2,#0AH
        LCALL DELAY
        MOV PSW,#00000000B
MAIN1:  MOV DPTR,#TAB_4
        MOV WR_LEN,#80H
        MOV WR_WRIT,#20H
        LCALL WR_E
        MOV DPTR,#TAB_4
        MOV R5,#14H
MAIN1:  INC DPTR
        DJNZ R5,MAIN1
        MOV WR_LEN,#0COH
        MOV WR_WRIT,#20H
        LCALL WR_E
KEY:    LCALL GETKEY
        MOV A,NEWKEY
        CJNE A,#01H,KEY
        LJMP WORK_0
MAIN2:  MOV DPTR,#TAB_5
        MOV WR_LEN,#80H
        MOV WR_WRIT,#20H
        LCALL WR_E
        MOV DPTR,#TAB_5
        MOV R5,#14H
MAIN3:  INC DPTR
        DJNZ R5,MAIN3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 MOV WR\_LEN,#0COH  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    WR_WRIT,#20H
LCALL  WR_E
KEY1:  LCALL  GETKEY
MOV    A,NEWKEY
CJNE  A,#03H,KEY2
LJMP  WORK_1
KEY2:  CJNE  A,#05H,KEY1
LJMP  WORK_2
NO:    NOP
      SJMP  $

```

```

;*****END OF MAIN*****

```

```

; *****TRANSFORM HEX TO LCD*****

```

```

WR_HEX: MOV    A,#01H
        LCALL  LCDWI
        MOV    DPTR,#8150H
        MOVX  A,@DPTR
        MOV    TREE1,A
        MOV    WR_WRT,TREE1
        MOV    WR_LEN,#80H
        MOV    WR LENG,#05H
        MOV    WR_WRIT,#04H
        LCALL  WR_DE
        MOV    DPTR,#8250H
        MOVX  A,@DPTR
        MOV    TREE2,A
        MOV    WR_WRT,TREE2
        MOV    WR_LEN,#85H
        MOV    WR LENG,#05H
        MOV    WR_WRIT,#04H
        LCALL  WR_DE

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    DPTR,#8350H
MOVX   A,@DPTR
MOV    TREE3,A
MOV    WR_WRT,TREE3
MOV    WR_LEN,#8AH
MOV    WR LENG,#05H
MOV    WR_WRIT,#04H
LCALL  WR_DE
MOV    DPTR,#8450H
MOVX   A,@DPTR
MOV    TREE4,A
MOV    WR_WRT,TREE4
MOV    WR_LEN,#8FH
MOV    WR LENG,#05H
MOV    WR_WRIT,#04H
LCALL  WR_DE
MOV    DPTR,#8550H
MOVX   A,@DPTR
MOV    TREE5,A
MOV    WR_WRT,TREE5
MOV    WR_LEN,#0COH
MOV    WR LENG,#05H
MOV    WR_WRIT,#04H
LCALL  WR_DE
MOV    DPTR,#8650H
MOVX   A,@DPTR
MOV    TREE6,A
MOV    WR_WRT,TREE6
MOV    WR_LEN,#0C5H
MOV    WR LENG,#05H
MOV    WR_WRIT,#04H
LCALL  WR_DE
MOV    DPTR,#8750H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVX  A,@DPTR
MOV   TREE7,A
MOV   WR_WRT,TREE7
MOV   WR_LEN,#0CAH
MOV   WR LENG,#03H
MOV   WR_WRIT,#02H
LCALL WR_DE1
MOV   DPTR,#TAB_3
MOV   WR_LEN,#0CCH
MOV   WR_WRIT,#01H
LCALL WR_E
MOV   DPTR,#8751H
MOVX  A,@DPTR
MOV   TREE8,A
MOV   WR_WRT,TREE8
MOV   WR_LEN,#0CDH
MOV   WR LENG,#03H
MOV   WR_WRIT,#02H
LCALL WR_DE1
MOV   DPTR,#64H
MOV   WR_LEN,#0D9H
MOV   WR_WRIT,#01H
LCALL WR_E
RET

```

```

;*****

```

```

WR_DE:  MOV   DPTR,#TABLE
RD_SET: CLR   A                ;SET ACC. = 0
        MOVC  A,@A+DPTR
        CJNE  A,WR_WRT,NEXT   ;COMPARE TO JUMP
        LCALL WR_END

```

```

RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NEXT:    MOV    R2,WR_LEN    ; JUMP
NEWSTR:  INC    DPTR
          DJNZ  R2,NEWSTR
          LJMP RD_SET
WR_END:  LCALL WR_R
          RET

```

```

;*****WRITE ADD.*****

```

```

WR_DE1:  MOV    DPTR,#TAB_2
RD_SET1: CLR    A            ;SET ACC. = 0
          MOVC  A,@A+DPTR
          CJNE A,WR_WRT,NEXT1 ;COMPARE TO JUMP
          LCALL WR_END1
          RET
NEXT1:   MOV    R2,WR_LEN    JUMP
NEWSTR1: INC    DPTR
          DJNZ  R2,NEWSTR1
          LJMP RD_SET1
WR_END1: LCALL WR_R
          RET

```

```

; *****WRITE ADD. DATA*****

```

```

WR_R:    MOV    A,WR_LEN
          LCALL WR_R1
          RET
WR_R1:   PUSH  DPH
          PUSH  DPL
          LCALL LCDWI
          POP   DPL
          POP   DPH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

WR_R2:  CLR  A
        INC  DPTR
        MOVC A,@A+DPTR
        PUSH DPH
        PUSH DPL
        LCALL LCDWD
        POP  DPL
        POP  DPH
        DJNZ R2,WR_R2
        RET

```

```

; *****WRITE ADD. DATA*****

```

```

WR_E:  MOV  A,WR_LEN
        LCALL WR_E1
        RET

```

```

WR_E1:  PUSH DPH
        PUSH DPL
        LCALL LCDWI
        POP  DPL
        POP  DPH
        MOV  R2,WR_WRIT

```

```

WR_E2:  CLR  A
        MOVC A,@A+DPTR
        PUSH DPH
        PUSH DPL
        LCALL LCDWD
        POP  DPL
        POP  DPH
        INC  DPTR
        DJNZ R2,WR_E2
        RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;***** DELAY SUB *****
;DELAY SYUBROUTINE
;IN = R2
;REG = R2,R3,R4

DELAY:  MOV   PSW,#00010000B ;BANK 2
        MOV   R3,#0
DELAY1: MOV   R4,#0
        DJNZ  R4,$
        DJNZ  R3,DELAY1
        DJNZ  R2,DELAY
        MOV   PSW,#00000000B
        RET

;***** LCDWI *****
;LCD WRITE INTRUCTION (RS=0)
;REG = A, DPTR

LCDWI:  MOV   DPTR,#UP2A
        MOVX  @DPTR,A
        MOV   DPTR,#UP2B
        MOVX  A,@DPTR
        CLR   ACC.0
        CLR   ACC.1
        CLR   ACC.2
        MOVX  @DPTR,A
        SETB  ACC.2
        MOVX  @DPTR,A
        CLR   ACC.2
        MOVX  @DPTR,A
        MOV   A,#0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
LCDWI1:  DEC    A
          JNZ    LCDWI1
          RET
```

```
;***** LCDWD *****
```

```
;LCD WRITE DATA (RS=1)
```

```
;IN = A
```

```
;REG = A,DPTR
```

```
LCDWD:   MOV    DPTR,#UP2A
```

```
         MOVX  @DPTR,A
```

```
         MOV    DPTR,#UP2B
```

```
         MOVX  A,@DPTR
```

```
         SETB  ACC.0
```

```
         CLR   ACC.1
```

```
         CLR   ACC.2
```

```
         MOVX  @DPTR,A
```

```
         SETB  ACC.2
```

```
         MOVX  @DPTR,A
```

```
         CLR   ACC.2
```

```
         MOVX  @DPTR,A
```

```
         MOV    A,#0
```

```
LCDWD1:  DEC    A
```

```
         JNZ    LCDWD1
```

```
         RET
```

```
;*****SCAN KEY*****
```

```
GETKEY:  MOV    P1,#0FFH
```

```
         MOV    P3,#0FFH
```

```
SCAN:    LCALL  KEYDOWN
```

```
         JZ     SCAN
```

```
         LCALL  CONVERT
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยทางโรงเรียนเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

JBC FLAG,SCAN
MOV NEWKEY,A
MOV A,#BOUNCE
LCALL SOFTIME
LCALL KEYDOWN
JZ SCAN
LCALL CONVERT
JBC FLAG,SCAN
CJNE A,NEWKEY,SCAN
LCALL VENDIT
WAIT: LCALL KEYDOWN
JNZ WAIT
MOV A,#NEX_T
LCALL SOFTIME
LCALL KEYDOWN
JNZ WAIT
RET
KEYDOWN: MOV R0,P1
MOV A,P3
ORL A,#0F3H
ANL A,R0
CPL A
RET
CONVERT: CLR FLAG
CLR A
MOV R1,P1
MOV R3,P3
ORL 03H,#0F3H
CJNE R1,#0FEH,ONE
SJMP CHECK3
ONE: INC A
CJNE R1,#0FDH,TWO

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                SJMP CHECK3
TWO:           INC A
                CJNE R1,#0FBH,THREE
                SJMP CHECK3
THREE:        INC A
                CJNE R1,#0F7H,FOUR
                SJMP CHECK3
FOUR:         INC A
                CJNE R1,#0EFH,FIVE
                SJMP CHECK3
FIVE:         INC A
                CJNE R1,#0DFH,SIX
                SJMP CHECK3
SIX:          INC A
                CJNE R1,#0BFH,SEVEN
                SJMP CHECK3
SEVEN:        INC A
                CJNE R1,#7FH,EIGHT
                SJMP CHECK3
EIGHT:        INC A
                CJNE R3,#0FDH,BAD
GOOD:         RET
CHECK3:       JNB P3.3,BAD
                JNB P3.4,BAD
                SJMP GOOD
BAD:          SETB FLAG
                RET
SOFTIME:     RET
VENDIT:      RET

WORK_0:      MOV DPTR,#TAB_6
                MOV WR_LEN,#80H
                MOV WR_WRIT,#20H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        LCALL WR_E
        MOV  DPTR,#TAB_6
        MOV  R5,#14H
SUP:    INC  DPTR
        DJNZ R5,SUP
        MOV  WR_LEN,#0COH
        MOV  WR_WRIT,#20H
        LCALL WR_E
        LCALL HARD
        LCALL WR_HEX
        MOV  PSW,#00010000B
        MOV  R2,#15H
        LCALL DELAY
        MOV  PSW,#00000000B
        LJMP MAIN2
WORK_1: LCALL WR_HEX
        MOV  PSW,#00010000B
        MOV  R2,#40H
        LCALL DELAY
        MOV  PSW,#00000000B
        LJMP MAIN2
WORK_2: LCALL SET
        LCALL WR_HEX
        LJMP NO

;*****END OF SCAN KEY*****

;***** CONNECT  HARDWARE*****

HARD:  MOV  R3,#01H      ;LOW BIT OF ADDRESS-V,I
        MOV  R4,#80H     ;HIGH BIT OF ADDRESS-I
        MOV  R5,#90H     ;HIGH BIT OF ADDRESS-V
        MOV  A,#01H      ;BUFFER

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV DPTR,#UP1C
MOVX @DPTR,A
REST: MOV A,#11H ;RST IS LOW
MOV DPTR,#UP1C
MOVX @DPTR,A

```

```

;*****MEASURE I-SC*****

```

```

I_SC:  MOV A,#19H ;SET RELAYS
MOV DPTR,#UP1C
MOVX @DPTR,A
NOP
MOV A,#18H
MOV DPTR,#UP1C
MOVX @DPTR,A
NOP
MOV A,#1EH
MOV DPTR,#UP1C
MOVX @DPTR,A
MOV PSW,#00010000B
MOV R2,#03H ;DELAY
LCALL DELAY
MOV A,#3EH
MOV DPTR,#UP1C
MOVX @DPTR,A
MOV PSW,#00010000B
MOV R2,#03H ;DELAY
LCALL DELAY
MOV DPTR,#UP1B ;GET ISC FROM ADC-2
MOVX A,@DPTR
JZ BU_ZE
MOV DPTR,#8000H
MOVX @DPTR,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    A,#00H                ;STORE V=0 AT 9000H
MOV    DPTR,#9000H
MOVX   @DPTR,A
JMP    SET_LD
BU_ZE: LJMP ZERO

```

```

;*****MEASURE I&V AT ANY LOAD*****

```

```

SET_LD: MOV    A,#16H                ;RST IS LOW
        MOV    DPTR,#UP1C
        MOVX   @DPTR,A
        NOP
        MOV    R7,#0AH                ;R7 IS COUNTER FOR LOAD
        MOV    A,#00H                ;LOAD FROM LOAD
        MOV    R6,A                  ;R6 KEEP ADDRESS OF LOAD
LOOP:   MOV    DPTR,#LOAD
        MOVC   A,@A+DPTR
        MOV    DPTR,#UP2C
        MOVX   @DPTR,A
        NOP
        NOP
        MOV    A,#1EH
        MOV    DPTR,#UP1C
        MOVX   @DPTR,A
        MOV    PSW,#00010000B
        MOV    R2,#03H
        LCALL DELAY
        MOV    PSW,#00000000B
        LCALL I_MEAS
        NOP
        LCALL V_MEAS
        INC    R6
        MOV    A,R6
        DJNZ   R7,LOOP

```

```
;*****MEASURE V-OC*****
```

```
V_OC:  MOV    A,#11H                ;BUFFER
        MOV    DPTR,#UP1C
        MOVX   @DPTR,A
        NOP
        MOV    A,#11H                ;RST IS LOW
        MOV    DPTR,#UP1C
        MOVX   @DPTR,A
        NOP
        MOV    A,#19H                ;SET RELAY
        MOV    DPTR,#UP1C
        MOVX   @DPTR,A
        NOP
        MOV    A,#1AH
        MOV    DPTR,#UP1C
        MOVX   @DPTR,A
        NOP
        MOV    A,#1EH
        MOV    DPTR,#UP1C
        MOVX   @DPTR,A
        MOV    PSW,#00010000B
        MOV    R2,#06H                ;DELAY
        LCALL  DELAY
        MOV    A,#3EH
        MOV    DPTR,#UP1C
        MOVX   @DPTR,A
        MOV    PSW,#00010000B
        MOV    R2,#06H                ;DELAY
        LCALL  DELAY
        MOV    DPTR,#UP1A            ;GET VOC FROM ADC-1
        MOVX   A,@DPTR
        JZ     BU_ZE1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV   DPTR,#900FH
MOVX  @DPTR,A
MOV   A,#00H           ;STORE I=0
MOV   DPTR,#800FH
MOVX  @DPTR,A
JMP   P_MAX
BU_ZE1: LJMP  ZERO

```

```

;*****CAL FOR P_MAX*****

```

```

P_MAX:  MOV   R0,#07H
        MOV   R7,#0AH
        MOV   R3,#02H
        MOV   R4,#80H
        MOV   R5,#90H
AGA:    MOV   DPL,R3
        MOV   DPH,R4
        MOVX  A,@DPTR
        MOV   OF0H,A
        MOV   DPH,R5
        MOV   DPL,R3
        MOVX  A,@DPTR
        LJMP  PRE_MUL
COM_BACK: MOV  PSW,#0000000B ;RETURN TO BANK 0
        INC   R3
        DEC   R7
        DJNZ  R0,AGA
        AJMP  FI_REAL
ZERO:   MOV   DPTR,#TAB_8
        MOV   WR_LEN,#80H
        MOV   WR_WRIT,#20H
        LCALL WR_E
        MOV   DPTR,#TAB_8

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV R5,#14H
ZERO1: INC DPTR
        DJNZ R5,ZERO1
        MOV WR_LEN,#0COH
        MOV WR_WRIT,#20H
        LCALL WR_E

```

```

;*****CALCULATE REAL VALUE*****

```

```

FI_REAL: MOV DPTR,#8000H ;FIND REAL ISC
        MOVX A,@DPTR
        LCALL TRAN_I
        MOV DPTR,#8150H ;STORE REAL ISC
        MOVX @DPTR,A
        MOV DPTR,#8000H
        MOVX @DPTR,A
        JZ ZERO
        MOV DPTR,#900FH ;FIND REAL VOC
        MOVX A,@DPTR
        LCALL TRAN_V
        MOV DPTR,#8250H ;STORE REAL VOC
        MOVX @DPTR,A
        MOV DPTR,#900FH
        MOVX @DPTR,A
        JZ ZERO
        MOV DPTR,#8100H ;FIND REAL IM
        MOVX A,@DPTR
        LCALL TRAN_I
        MOV DPTR,#8350H ;STORE REAL IM
        MOVX @DPTR,A
        MOV R7,A
        MOV DPTR,#8150H
        MOVX A,@DPTR

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        CJNE  A,07H,CHE
        LJMP  ZERO
CHE:    JNC   CHE1
        LJMP  ZERO
CHE1:   MOV   DPTR,#8200H      ;FIND REAL VM
        MOVX  A,@DPTR
        LCALL TRAN_V
        MOV   DPTR,#8450H      ;STORE REAL VM
        MOVX  @DPTR,A
        MOV   R7,A
        MOV   DPTR,#8250H
        MOVX  A,@DPTR
        CJNE  A,07H,CHE2
        LJMP  ZERO
CHE2:   JNC   CHE3
        LJMP  ZERO
CHE3:   MOV   DPTR,#8350H      ;FIND REAL PM
        MOVX  A,@DPTR
        MOV   OF0H,A
        MOV   DPTR,#8450H
        MOVX  A,@DPTR
        MUL   AB
        LCALL CHANGE
        MOV   DPTR,#8550H      ;STORE REAL PM AT
        MOVX  @DPTR,A          ;8550

```

```

;*****CALCULATE FF*****

```

```

FF:    MOV   DPTR,#8250H      ;GET VOC
        MOVX  A,@DPTR
        MOV   DPTR,#9200H      ;BUFFER FOR VOC
        MOVX  @DPTR,A
        MOV   DPTR,#8450H      ;GET VM

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVX  A,@DPTR
MOV   DPTR,#9202H   ;BUFFER FOR VM
MOVX  @DPTR,A
LCALL FF_MUL
MOV   DPTR,#9204H   ;KEEP FIRST RESULT
MOVX  @DPTR,A
MOV   DPTR,#8150H   ;GET ISC
MOVX  A,@DPTR
MOV   DPTR,#9200H   ;BUFFER FOR ISC
MOVX  @DPTR,A
MOV   DPTR,#8350H   ;GET IM
MOVX  A,@DPTR
MOV   DPTR,#9202H   ;BUFFER FOR IM
MOVX  @DPTR,A
LCALL FF_MUL
MOV   OFOH,A
MOV   DPTR,#9204H
MOVX  A,@DPTR
MUL   AB
LCALL CHANGE
MOV   DPTR,#8650H   ;KEEP FF AT 8650
MOVX  @DPTR,A

```

\*\*\*\*\*CALCULATE EFF.\*\*\*\*\*

```

EFF:  MOV   DPTR,#8550H   ;GET REAL PM
      MOVX  A,@DPTR
      MOV   OFOH,#0AH
      MUL   AB
      LCALL CHANGE
      MOV   DPTR,#8750H   ;STORE EFF AT
      MOVX  @DPTR,A       ;8750 TO 8751
      MOV   A,OF0H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV   DPTR,#8751H
MOVX  @DPTR,A
RET

```

```
;*****END OF HARD*****
```

```
;*****RS232*****
```

```

SET:   MOV   SCON,#01010010B ;SET SCON (SERIAL PORT
                                           CONTROL REGISTER)
                                           ;MODE 1
                                           ;REN = 1(ENABLE)
                                           ;TI = 1
MOV   TMOD,#00100000B ;SET TMOD(TIMER)
                                           ;MODE 2(AUTO RELOAD 8 BIT)
MOV   TH1,#11111101B ;SET BAUD RATE = 9600
SEIB  TR1 ;ENABLE TIMER 1
RS_1: MOV   R7,#0AH
MOV   DPTR,#8001H
RS_2: MOVX  A,@DPTR
      PUSH  DPH
      PUSH  DPL
      LCALL TRAN_I
      POP   DPL
      POP   DPH
      MOVX  @DPTR,A
      INC  DPTR
      DJNZ R7,RS_2
RS_3: MOV   R7,#0AH
      MOV   DPTR,#9001H ;FIRST
RS_4: MOVX  A,@DPTR
      MOV   R3,A
      PUSH  DPH

```

```

PUSH DPL
MOV A,R7
MOV DPTR,#8220H
MOVX @DPTR,A
MOV A,R3
LCALL TRAN_V
MOV R3,A
MOV DPTR,#8220H
MOVX A,@DPTR
MOV R7,A
MOV A,R3
POP DPL
POP DPH
MOVX @DPTR,A
INC DPTR
DJNZ R7,RS_4
START: MOV R0,#0BH
MOV DPTR,#8000H
TWORD: MOVX A,@DPTR
LCALL SP_OUT
INC DPTR
DJNZ R0,TWORD
START_1: MOV R0,#0AH
MOV DPTR,#9001H
TWORD_1: MOVX A,@DPTR
LCALL SP_OUT
INC DPTR
DJNZ R0,TWORD_1
MOV DPTR,#900FH
MOVX A,@DPTR
LCALL SP_OUT
RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;***SENDING DATA PASS SERIAL PORT***
```

```
SP_OUT:  JNB    TI,$                ;WAIT FOR OLD DATA TO SEND
          CLR    TI                ;BEGIN TO SEND NEW DATA
          MOV    SBUF,A            ;SEND DATA IN ACC. IN SERIAL PORT
          RET
```

```
;*****CHANGE TWO INTO ONE BYTE*****
```

```
CHANGE:  MOV    R7,0F0H
          ADDC   A,R7
          JNC   CHANGE1
          INC   R7
          CLR   C
CHANGE1: MOV    R6,A
          MOV    R2,#00H
          MOV    R3,#64H
          MOV    R4,#37H
          MOV    R0,#02H
          LCALL AGAIN
          RET
```

```
;*****TRANSFORMATION CURRENT*****
```

```
TRAN_I:  MOV    DPTR,#9202H
          MOVX   @DPTR,A
          MOV    A,#0FFH
          MOV    DPTR,#9200H
          MOVX   @DPTR,A
          LCALL FF_MUL
          MOV    OF0H,#02H
          MUL    AB
          RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*****TRANSFORMATION VOLTAGE*****
```

```
TRAN_V:  MOV    DPTR,#9202H
          MOVX   @DPTR,A
          MOV    A,#0FFH
          MOV    DPTR,#9200H
          MOVX   @DPTR,A
          LCALL  FF_MUL
          MOV    OF0H,#3CH
          MUL    AB
          LCALL  CHANGE
          RET
```

```
;*****SUBROUTINE MEASURE ANY V*****
```

```
V_MEAS:  MOV    A,#1AH
          MOV    DPTR,#UP1C
          MOVX   @DPTR,A
          MOV    A,#1EH
          MOV    DPTR,#UP1C
          MOVX   @DPTR,A
          MOV    PSW,#00010000B ;BANK 2
          MOV    R2,#03H
          LCALL  DELAY
          MOV    A,#3EH
          MOV    DPTR,#UP1C
          MOVX   @DPTR,A
          MOV    PSW,#00010000B ;BANK 2
          MOV    R2,#03H
          LCALL  DELAY
          MOV    DPTR,#UP1A ;GET V FROM ADC-1
          MOVX   A,@DPTR
          LCALL  ADES_V
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOVX @DPTR,A
RET
```

```
;*****SUBROUTINE MEASURE ANY I*****
```

```
I_MEAS: MOV A,#3EH
MOV DPTR,#UP1C
MOVX @DPTR,A
MOV PSW,#00010000B ;BANK 2
MOV R2,#03H
LCALL DELAY
MOV DPTR,#UP1B ;GET I FROM ADC-2
MOVX A,@DPTR
LCALL ADES_I
MOVX @DPTR,A
RET
BUF_2: LJMP COM_BACK
```

```
;*****FIND POWER-MAX*****
```

```
PRE_MUL: PUSH OF0H ;SP1 KEEP NEW I
MOV OF0H,A
PUSH OF0H ;SP2 KEEP NEW V
MOV A,#0AH
CJNE A,07H,MULTI
MOV PSW,#00001000B ;SELECT BANK 1
MOV R7,#00H
MOV R6,#00H
MOV DPTR,#8100H
MOV A,#00H
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#8200H
MOVX @DPTR,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    DPTR,#9900H
MOVX   @DPTR,A
MOV    DPTR,#9901H
MOVX   @DPTR,A
MULTI: MOV    PSW,#00001000B
POP    OF0H
MOV    A,OF0H
MOV    R5,A           ;R5 KEEP NEW V
POP    OF0H
MOV    4,OF0H       ;R4 KEEP NEW I
MUL    AB
MOV    R3,A
MOV    DPTR,#9900H
MOVX   @DPTR,A
MOV    A,OF0H
MOV    DPTR,#9901H
MOVX   @DPTR,A
CJNE  A,OFH,PM      ;COMP B,R7
MOV    A,R3
CJNE  A,0EH,PM      ;COMP A,R6
PM:   JC     BUF_2
MOV    DPTR,#8100H   ;KEEP IM AT 8100
MOV    A,R4
MOVX   @DPTR,A
MOV    DPTR,#8200H   ;KEEP VM AT 8200
MOV    A,R5
MOVX   @DPTR,A
MOV    DPTR,#9900H
MOVX   A,@DPTR
MOV    R6,A
MOV    DPTR,#9901H
MOVX   A,@DPTR
MOV    R7,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LJMP COM\_BACK

\*\*\*\*\*SUBROUTINE FIND PARTIAL\*\*\*\*\*

```

FF_MUL:  MOV    PSW,#00010000B ;SELECT BANK 2
          MOV    R2,#00H
          MOV    DPTR,#9200H
          MOVX   A,@DPTR
          MOV    R3,A
          MOV    OF0H,A
          MOV    A,#0FFH
          DIV   AB
          MOV    R0,A
          MOV    R4,OF0H
          MOV    DPTR,#9202H
          MOVX   A,@DPTR
          MOV    OF0H,A
          MOV    A,#64H
          MUL   AB
          MOV    R7,OF0H
          ADDC  A,R7
          MOV    R6,A
          JNC   AGAIN
          CLR   C
          INC   R2
AGAIN:    MOV    A,R4
          MOV    R5,A
          MOV    A,R0
          MOV    OF0H,R7
          MUL   AB
          ADD   A,R2
          MOV    R2,A
          MOV    A,R5

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    OF0H,R7
MUL    AB
MOV    R5,A
MOV    A,OF0H
JZ     CALCU
MOV    OF0H,A
MOV    R7,OF0H
MOV    R1,OF0H
MOV    A,R5
ADDC   A,R6
JNC    CAL_1
CLR    C
INC    R7
CAL_1: ADDC   A,R7
        JNC    CAL_2
        CLR    C
        INC    R7
CAL_2: MOV    R6,A
        JMP    AGAIN
CALCU: MOV    A,R5
        ADDC  A,R6
        JNC    CAL_3
        CLR    C
SPEC:  MOV    R4,A
        MOV    A,R2
        ADD   A,#02H
        MOV    R2,A
        MOV    A,#38H
        ADDC  A,R4
        JNC    CAL_3
        CLR    C
        JMP   SPEC

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CAL_3:   MOV  OF0H,R3
         DIV  AB
         ADDC A,R2
         MOV  PSW,#00000000B ;RETURN BANK 0
         RET

```

```

ADES_I:  MOV  DPL,R3           ;ADDRESS THAT KEEP I
         MOV  DPH,R4
         RET

```

```

ADES_V:  MOV  DPL,R3           ;ADDRESS THAT KEEP V
         MOV  DPH,R5
         INC  R3
         RET

```

```

TABLE:  DB  00H,"0.00",01H,"0.01",02H,"0.02",03H,"0.03"
         DB  04H,"0.04",05H,"0.05",06H,"0.06",07H,"0.07"
         DB  08H,"0.08",09H,"0.09",0AH,"0.10",0BH,"0.11"
         DB  0CH,"0.12",0DH,"0.13",0EH,"0.14",0FH,"0.15"
         DB  10H,"0.16",11H,"0.17",12H,"0.18",13H,"0.19"
         DB  14H,"0.20",15H,"0.21",16H,"0.22",17H,"0.23"
         DB  18H,"0.24",19H,"0.25",1AH,"0.26",1BH,"0.27"
         DB  1CH,"0.28",1DH,"0.29",1EH,"0.30",1FH,"0.31"
         DB  20H,"0.32",21H,"0.33",22H,"0.34",23H,"0.35"
         DB  24H,"0.36",25H,"0.37",26H,"0.38",27H,"0.39"
         DB  28H,"0.40",29H,"0.41",2AH,"0.42",2BH,"0.43"
         DB  2CH,"0.44",2DH,"0.45",2EH,"0.46",2FH,"0.47"
         DB  30H,"0.48",31H,"0.49",32H,"0.50",33H,"0.51"
         DB  34H,"0.52",35H,"0.53",36H,"0.54",37H,"0.55"
         DB  38H,"0.56",39H,"0.57",3AH,"0.58",3BH,"0.59"
         DB  3CH,"0.60",3DH,"0.61",3EH,"0.62",3FH,"0.63"
         DB  40H,"0.64",41H,"0.65",42H,"0.66",43H,"0.67"
         DB  44H,"0.68",45H,"0.69",46H,"0.70",47H,"0.71"

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากทางผู้จัดทำ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DB 48H, "0.72", 49H, "0.73", 4AH, "0.74", 4BH, "0.75"  
 DB 4CH, "0.76", 4DH, "0.77", 4EH, "0.78", 4FH, "0.79"  
 DB 50H, "0.80", 51H, "0.81", 52H, "0.82", 53H, "0.83"  
 DB 54H, "0.84", 55H, "0.85", 56H, "0.86", 57H, "0.87"  
 DB 58H, "0.88", 59H, "0.89", 5AH, "0.90", 5BH, "0.91"  
 DB 5CH, "0.92", 5DH, "0.93", 5EH, "0.94", 5FH, "0.95"  
 DB 60H, "0.96", 61H, "0.97", 62H, "0.98", 63H, "0.99"  
 DB 64H, "1.00", 65H, "1.01", 66H, "1.02", 67H, "1.03"  
 DB 68H, "1.04", 69H, "1.05", 6AH, "1.06", 6BH, "1.07"  
 DB 6CH, "1.08", 6DH, "1.09", 6EH, "1.10", 6FH, "1.11"  
 DB 70H, "1.12", 71H, "1.13", 72H, "1.14", 73H, "1.15"  
 DB 74H, "1.16", 75H, "1.17", 76H, "1.18", 77H, "1.19"  
 DB 78H, "1.20", 79H, "1.21", 7AH, "1.22", 7BH, "1.23"  
 DB 7CH, "1.24", 7DH, "1.25", 7EH, "1.26", 7FH, "1.27"  
 DB 80H, "1.28", 81H, "1.29", 82H, "1.30", 83H, "1.31"  
 DB 84H, "1.32", 85H, "1.33", 86H, "1.34", 87H, "1.35"  
 DB 88H, "1.36", 89H, "1.37", 8AH, "1.38", 8BH, "1.39"  
 DB 8CH, "1.40", 8DH, "1.41", 8EH, "1.42", 8FH, "1.43"  
 DB 90H, "1.44", 91H, "1.45", 92H, "1.46", 93H, "1.47"  
 DB 94H, "1.48", 95H, "1.49", 96H, "1.50", 97H, "1.51"  
 DB 98H, "1.52", 99H, "1.53", 9AH, "1.54", 9BH, "1.55"  
 DB 9CH, "1.56", 9DH, "1.57", 9EH, "1.58", 9FH, "1.59"  
 DB 0A0H, "1.60", 0A1H, "1.61", 0A2H, "1.62", 0A3H, "1.63"  
 DB 0A4H, "1.64", 0A5H, "1.65", 0A6H, "1.66", 0A7H, "1.67"  
 DB 0A8H, "1.68", 0A9H, "1.69", 0AAH, "1.70", 0ABH, "1.71"  
 DB 0ACH, "1.72", 0ADH, "1.73", 0AEH, "1.74", 0AFH, "1.75"  
 DB 0B0H, "1.76", 0B1H, "1.77", 0B2H, "1.78", 0B3H, "1.79"  
 DB 0B4H, "1.80", 0B5H, "1.81", 0B6H, "1.82", 0B7H, "1.83"  
 DB 0B8H, "1.84", 0B9H, "1.85", 0BAH, "1.86", 0BBH, "1.87"  
 DB 0BCH, "1.88", 0BDH, "1.89", 0BEH, "1.90", 0BFH, "1.91"  
 DB 0C0H, "1.92", 0C1H, "1.93", 0C2H, "1.94", 0C3H, "1.95"  
 DB 0C4H, "1.96", 0C5H, "1.97", 0C6H, "1.98", 0C7H, "1.99"  
 DB 0C8H, "2.00", 0C9H, "2.01", 0CAH, "2.02", 0CBH, "2.03"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TAB\_2:

DB OCCH, "2.04", OCDH, "2.05", OCEH, "2.06", OCFH, "2.07"  
 DB OD0H, "2.08", OD1H, "2.09", OD2H, "2.10", OD3H, "2.11"  
 DB OD4H, "2.12", OD5H, "2.13", OD6H, "2.14", OD7H, "2.15"  
 DB OD8H, "2.16", OD9H, "2.17", ODAH, "2.18", ODBH, "2.19"  
 DB ODCH, "2.20", ODDH, "2.21", ODEH, "2.22", ODFH, "2.23"  
 DB OEOH, "2.24", OE1H, "2.25", OE2H, "2.26", OE3H, "2.27"  
 DB OE4H, "2.28", OE5H, "2.29", OE6H, "2.30", OE7H, "2.31"  
 DB OE8H, "2.32", OE9H, "2.33", OEAH, "2.34", OEBH, "2.35"  
 DB OECH, "2.36", OEDH, "2.37", OEEH, "2.38", OEFH, "2.39"  
 DB OF0H, "2.40", OF1H, "2.41", OF2H, "2.42", OF3H, "2.43"  
 DB OF4H, "2.44", OF5H, "2.45", OF6H, "2.46", OF7H, "2.47"  
 DB OF8H, "2.48", OF9H, "2.49", OFAH, "2.50", OFBH, "2.51"  
 DB OFCH, "2.52", OFDH, "2.53", OFEH, "2.54", OFFH, "2.55"  
 DB 00H, "00", 01H, "01", 02H, "02", 03H, "03"  
 DB 04H, "04", 05H, "05", 06H, "06", 07H, "07"  
 DB 08H, "08", 09H, "09", 0AH, "10", 0BH, "11"  
 DB 0CH, "12", 0DH, "13", 0EH, "14", 0FH, "15"  
 DB 10H, "16", 11H, "17", 12H, "18", 13H, "19"  
 DB 14H, "20", 15H, "21", 16H, "22", 17H, "23"  
 DB 18H, "24", 19H, "25", 1AH, "26", 1BH, "27"  
 DB 1CH, "28", 1DH, "29", 1EH, "30", 1FH, "31"  
 DB 20H, "32", 21H, "33", 22H, "34", 23H, "35"  
 DB 24H, "36", 25H, "37", 26H, "38", 27H, "39"  
 DB 28H, "40", 29H, "41", 2AH, "42", 2BH, "43"  
 DB 2CH, "44", 2DH, "45", 2EH, "46", 2FH, "47"  
 DB 30H, "48", 31H, "49", 32H, "50", 33H, "51"  
 DB 34H, "52", 35H, "53", 36H, "54", 37H, "55"  
 DB 38H, "56", 39H, "57", 3AH, "58", 3BH, "59"  
 DB 3CH, "60", 3DH, "61", 3EH, "62", 3FH, "63"  
 DB 40H, "64", 41H, "65", 42H, "66", 43H, "67"  
 DB 44H, "68", 45H, "69", 46H, "70", 47H, "71"  
 DB 48H, "72", 49H, "73", 4AH, "74", 4BH, "75"  
 DB 4CH, "76", 4DH, "77", 4EH, "78", 4FH, "79"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DB 50H,"80",51H,"81",52H,"82",53H,"83"
DB 54H,"84",55H,"85",56H,"86",57H,"87"
DB 58H,"88",59H,"89",5AH,"90",5BH,"91"
DB 5CH,"92",5DH,"93",5EH,"94",5FH,"95"
DB 60H,"96",61H,"97",62H,"98",63H,"99"
TAB_3: DB 2EH
TAB_4: DB "PRESS 'START' BUTTON"
      DB "    WHEN READY    "
TAB_5: DB "PRESS 'RETURN'BUTTON"
      DB " OR 'PC'  BUTTON"
TAB_6: DB "    PLEASE WAIT...  "
      DB "                    "
TAB_7: DB "'SOLAR CELL TESTER' "
      DB "                    "
TAB_8: DB "    NO INPUT !!    "
      DB "                    "
LOAD:  DB 01H,02H,03H,04H,09H
      DB 24H,44H,7FH,80H,0FCH
END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7 ผลการทดลอง

ในโครงการงานชิ้นนี้ได้มีการตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีขั้นตอนการทำงาน การอินเตอร์เฟสกับส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์และไมโครคอมพิวเตอร์ตั้งที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 5 และ 6 ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้มีการคำนวณโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 ได้แสดงไว้ในตารางแสดงผลจากจอแอล ซี ดี โดยเป็นการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของเซลล์เดียวกัน ที่ระดับความเข้มต่าง ๆ กัน จากผลการทดลองในส่วนนี้จะเห็นว่า เป็นไปตามทฤษฎีเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ทุกประการ คือ ที่ระดับความเข้มลดลงจะมีผลให้เซลล์ให้ค่าศักดา, กระแสและกำลังน้อยลง

นอกจากนี้ เมื่อต้องการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างศักดาและกระแส ก็จะมีการส่งค่าศักดาและกระแสที่วัดได้จำนวน 12 คู่ ผ่านทางพอร์ตอนุกรมเข้าส่วนไมโครคอมพิวเตอร์ และค่าศักดาและกระแสที่วัดได้จากระดับความเข้มตามตารางแสดงผลจากจอแอล ซี ดี ได้แสดงไว้ในตารางแสดงค่าศักดาและกระแสที่ใช้ในการสร้างกราฟ และมีการสร้างกราฟโดยใช้วิธีลิสต์สแควร์ ในการประมาณค่าฟังก์ชันเพื่อหาสมการกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งกราฟที่สร้างได้แสดงโดยมีการเปรียบเทียบกันที่ความเข้มต่าง ๆ และจากกราฟจะเห็นได้ว่า ที่ระดับความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้คุณสมบัติต่างๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไปด้วย

ตารางแสดงผลจากจอแอล ซี ดี

รูปที่	เส้นที่	$I_{sc}$ (A)	$V_{oc}$ (V)	$I_m$ (A)	$V_n$ (V)	$P_m$ (W)	FF.	ระดับความเข้มแสง
1	1	1.20	0.51	1.08	0.36	0.38	0.63	มากเมื่อเทียบกับรูป 2, 3
2	1	1.06	0.46	0.82	0.28	0.22	0.43	น้อยกว่ารูป 1, มากกว่ารูป 3
3	1	0.72	0.43	0.68	0.28	0.19	0.60	น้อยเมื่อเทียบกับรูป 1, 2
4	1	1.20	0.46	1.02	0.30	0.30	0.55	มากกว่าเส้นที่ 2
	2	1.16	0.44	0.88	0.25	0.22	0.42	น้อยกว่าเส้นที่ 1
5	1	1.20	0.46	1.08	0.29	0.31	0.56	มากกว่าเส้น 2, 3
	2	0.92	0.43	0.62	0.30	0.18	0.46	น้อยกว่าเส้น 1, มากกว่า 2
	3	0.64	0.40	0.60	0.24	0.14	0.55	น้อยกว่าเส้น 1, 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลค่ากระแสที่ใช้ในการสร้างกราฟ

ค่ากระแส (amp)	รูปที่ 1	รูปที่ 2	รูปที่ 3	รูปที่ 4		รูปที่ 5		
	เส้น 1	เส้น 1	เส้น 1	เส้น 1	เส้น 2	เส้น 1	เส้น 2	เส้น 3
I(0)	1.20	1.06	0.72	1.20	1.16	1.20	0.92	0.64
I(1)	1.18	1.04	0.70	1.16	1.14	1.18	0.90	0.62
I(2)	1.16	1.02	0.70	1.16	1.12	1.16	0.88	0.62
I(3)	1.14	0.98	0.70	1.12	1.08	1.12	0.86	0.62
I(4)	1.10	0.94	0.68	1.08	1.04	1.08	0.82	0.60
I(5)	1.08	0.82	0.68	1.02	0.88	1.02	0.78	0.60
I(6)	0.82	0.68	0.68	0.76	0.66	0.72	0.62	0.60
I(7)	0.58	0.50	0.42	0.54	0.50	0.54	0.46	0.42
I(8)	0.34	0.28	0.28	0.32	0.30	0.32	0.28	0.28
I(9)	0.18	0.16	0.16	0.18	0.16	0.18	0.16	0.14
I(10)	0.14	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
I(11)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

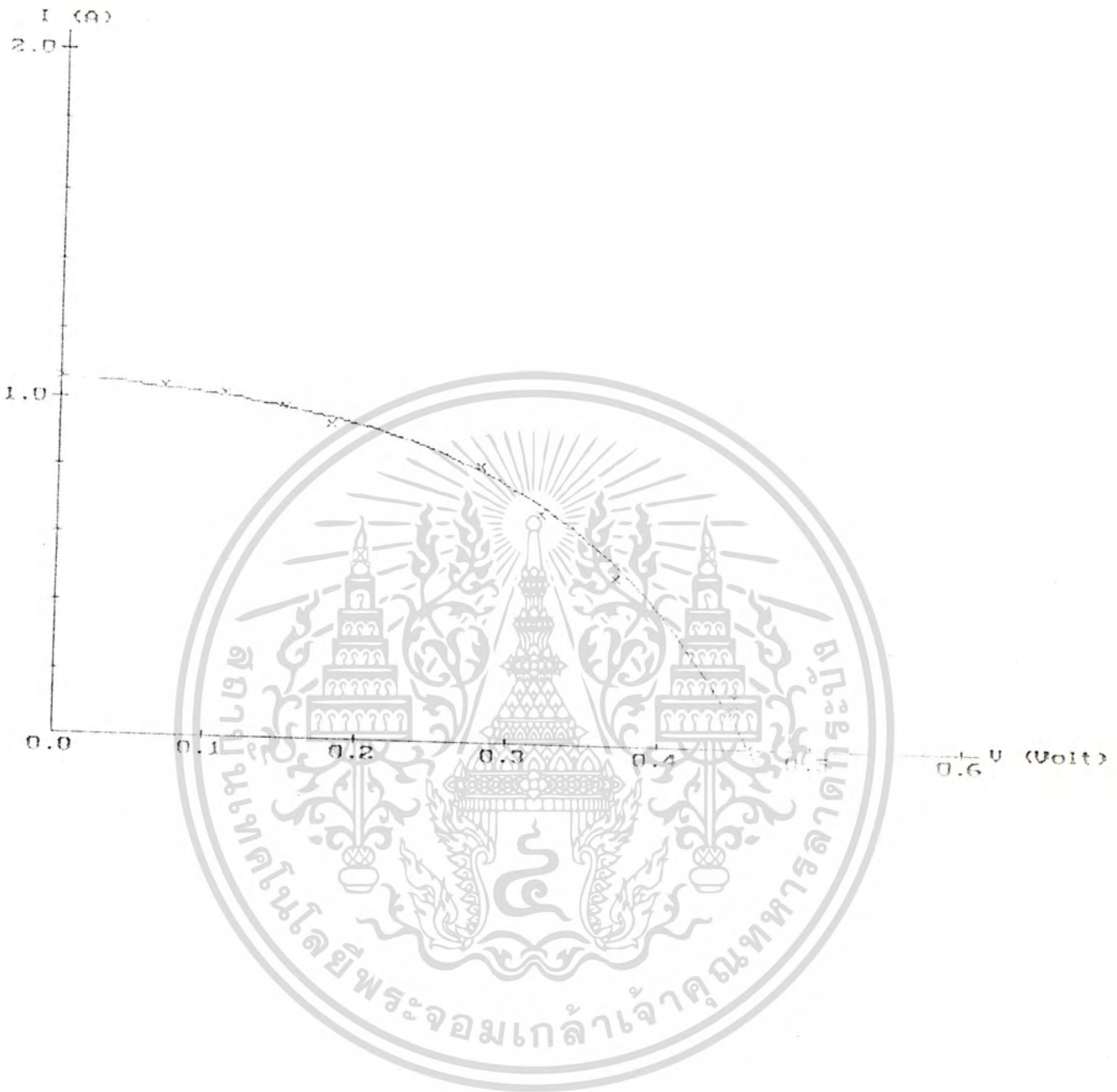
ตารางแสดงผลค่าศักดาที่ใช้ในการสร้างกราฟ

ค่าศักดา (volt)	รูปที่ 1	รูปที่ 2	รูปที่ 3	รูปที่ 4		รูปที่ 5		
	เส้น 1	เส้น 1	เส้น 1	เส้น 1	เส้น 2	เส้น 1	เส้น 2	เส้น 3
V(0)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V(1)	0.10	0.07	0.03	0.11	0.08	0.06	0.05	0.01
V(2)	0.23	0.11	0.06	0.15	0.12	0.18	0.08	0.04
V(3)	0.27	0.15	0.10	0.18	0.16	0.22	0.12	0.08
V(4)	0.34	0.18	0.13	0.22	0.19	0.29	0.16	0.12
V(5)	0.36	0.28	0.22	0.30	0.25	0.30	0.22	0.17
V(6)	0.39	0.32	0.28	0.35	0.32	0.34	0.30	0.24
V(7)	0.43	0.37	0.34	0.39	0.36	0.39	0.34	0.30
V(8)	0.47	0.42	0.39	0.43	0.40	0.43	0.39	0.36
V(9)	0.49	0.45	0.41	0.45	0.43	0.45	0.42	0.39
V(10)	0.50	0.45	0.43	0.46	0.43	0.46	0.43	0.40
V(11)	0.51	0.46	0.43	0.46	0.44	0.46	0.43	0.40

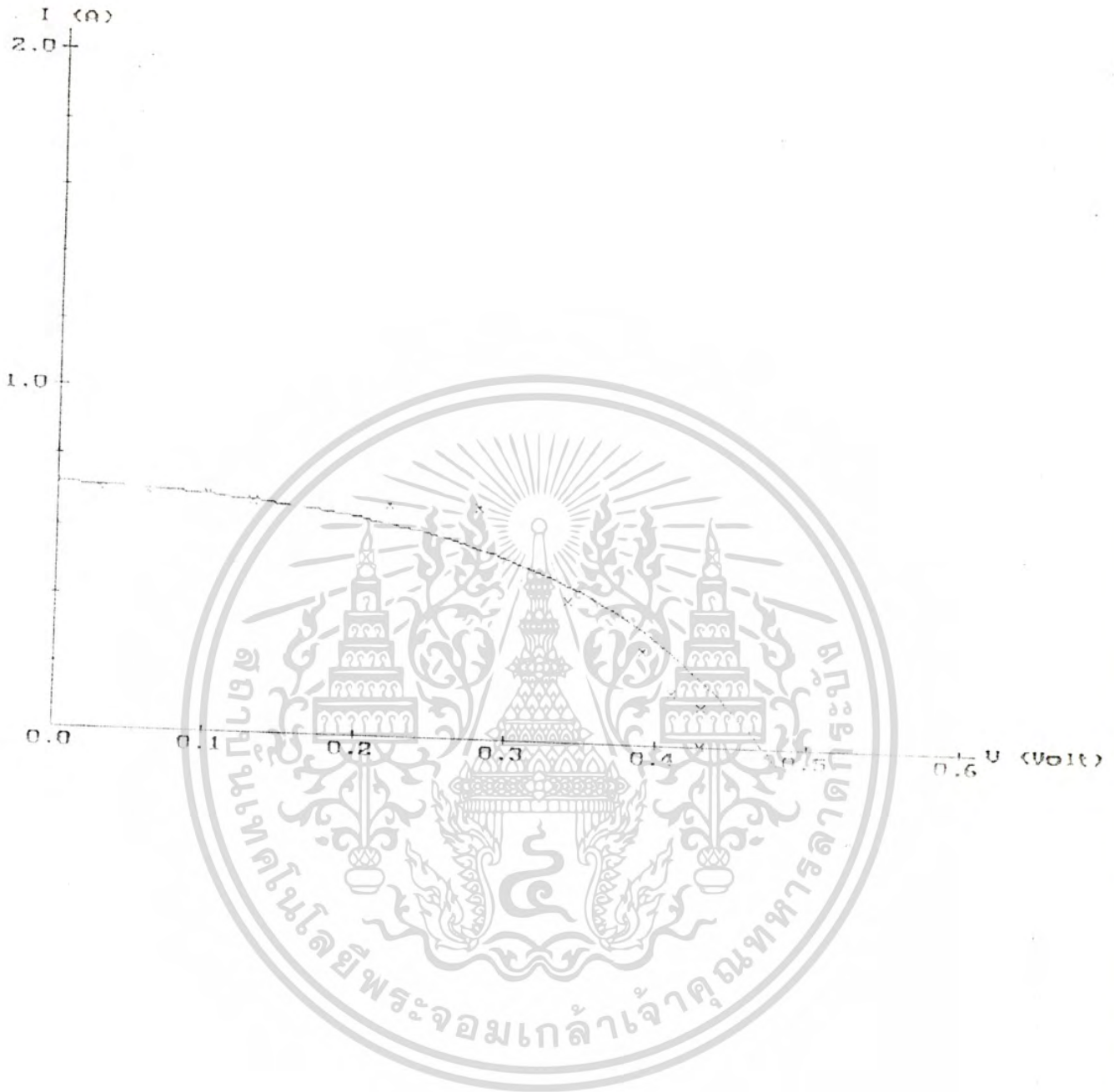
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



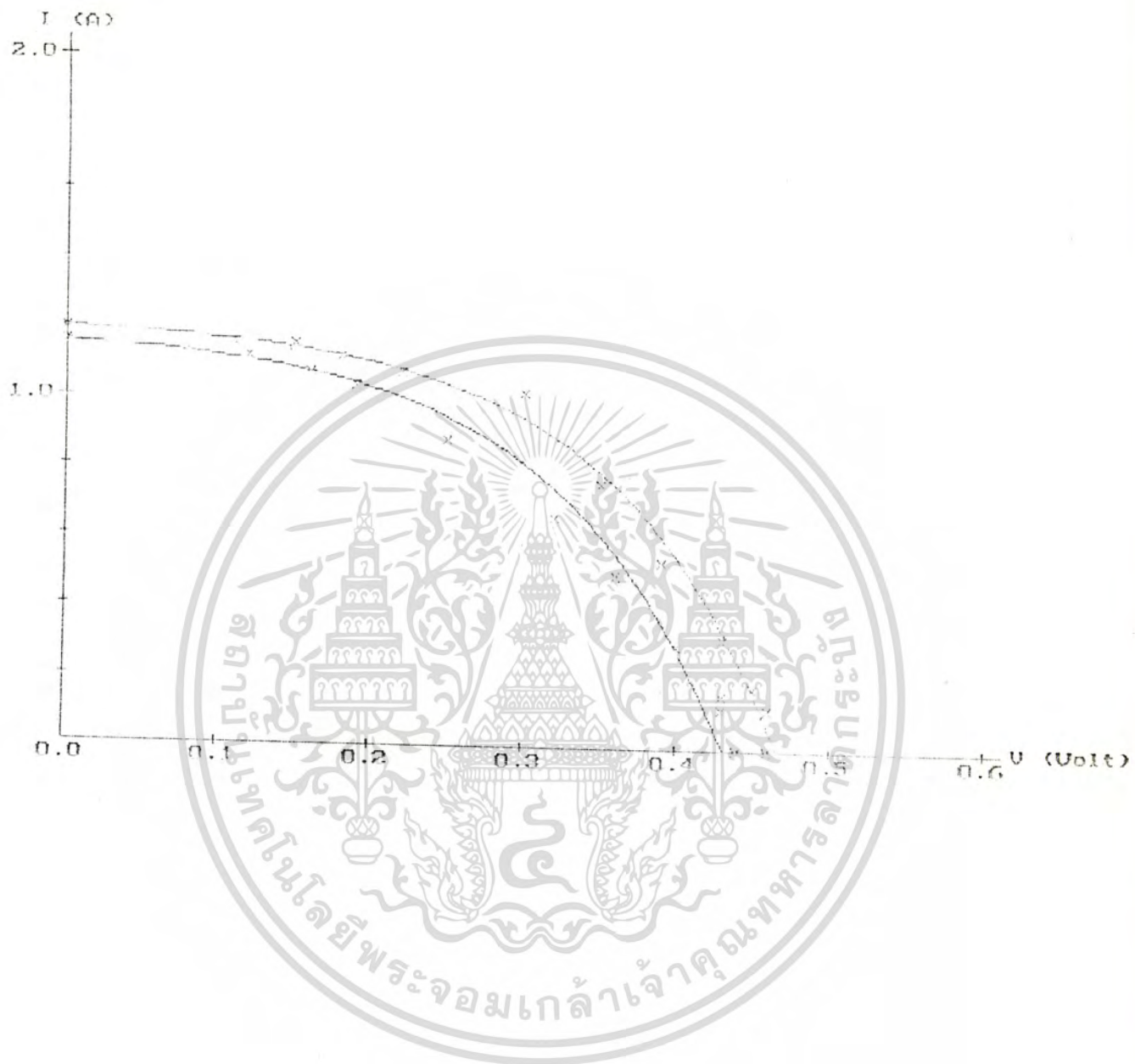
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



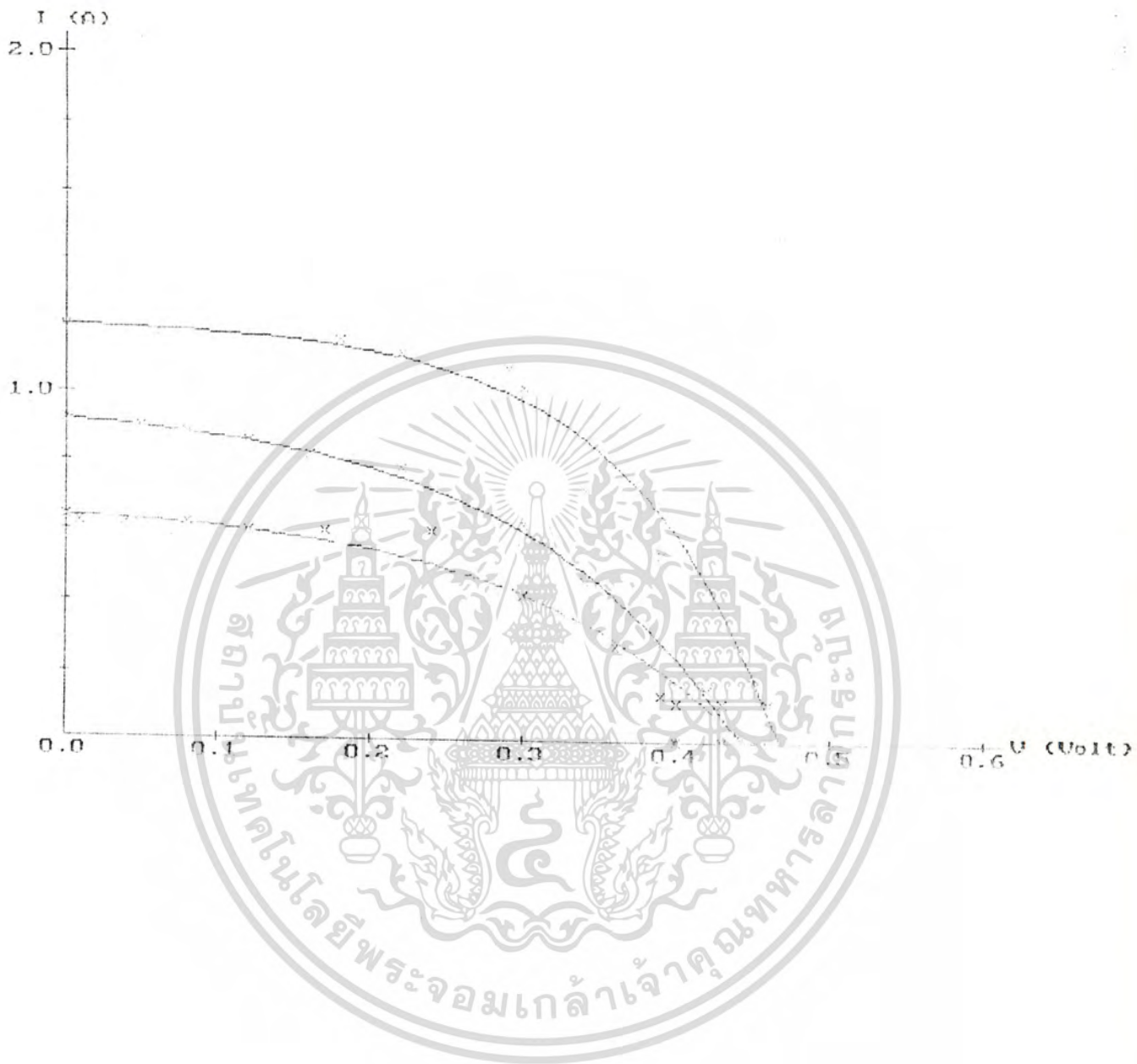
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 8

### บทสรุปและแนวทางในการพัฒนา

การวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้วงจรรีเลย์-ทรอนิกส์วัดค่าศักดาและกระแสของเซลล์ แล้วทำการแปลงข้อมูลจากอนาล็อกให้เป็นดิจิทัล 8 บิตส่งเข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรมภาษาแอสเซมบลีในการหาคุณสมบัติทางไฟฟ้า และมีการส่งค่าศักดาและกระแสที่ได้จากการวัดจำนวน 12 คู่ เพื่อนำไปคำนวณหาสมการกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้วิธีสี่สตัดสแควร์ จากนั้นจึงนำสมการนี้มาสร้างกราฟ

จากการทดลอง เนื่องจากใช้โปรแกรมในการควบคุมการทำงานของส่วนฮาร์ดแวร์ เช่น ใช้ควบคุมการทำงานของรีเลย์ การส่งงานที่เร็ว จะทำให้การทำงานมันไม่มีความสัมพันธ์กัน อาจจะเกิดการรับส่งค่าไม่ทันกันในระหว่างการทำงาน ทำให้ต้องมีการเสียเวลาค่อนข้างมาก จึงควรปรับปรุงส่วนฮาร์ดแวร์ให้มีความไวมากขึ้นหรือปรับปรุงส่วนโปรแกรมให้ใช้การมาขออินเทอร์เฟซแทนการวนลูปรอ แต่ในส่วนวงจรการวัดค่อนข้างมีความแม่นยำ เพราะมีการใช้โอสิซิลอสโคป และแอมป์มิเตอร์ในการตรวจสอบค่าอินพุตที่เป็นศักดาและกระแส ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดที่มีการแสดงออกทางจอมอนิเตอร์มาก

สำหรับอีกส่วนที่ควรมีการปรับปรุงคือ แหล่งกำเนิดแสง ควรมาตรฐานมากกว่านี้ เพื่อให้ค่าที่วัดได้เป็นค่าที่แท้จริงของเซลล์แสงอาทิตย์ เพราะที่ใช้ในโครงการนี้ ใช้แหล่งกำเนิดแสงจากฮาโลเจนซึ่งให้ความเข้มแสงได้ไม่เท่ากันในแต่ละจุดของพื้นที่บนเซลล์แสงอาทิตย์ จึงทำให้ความคลาดเคลื่อนที่ต่ออนุกรมภายในของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าไม่คงที่ ค่ากระแสและศักดาที่จ่ายออกมาจากเซลล์จึงอาจไม่ใช่ค่าที่แท้จริงของเซลล์

และในส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างกราฟ สามารถสร้างได้ใกล้เคียงกับทฤษฎีที่ควรจะเป็น แต่ก็ไม่สามารถสร้างให้ใกล้เคียงมากกว่านี้ในขณะนี้ เนื่องจากเป็นผลมาจากแหล่งกำเนิดแสงตั้งที่กล่าวมาแล้ว ทำให้มีผลต่อศักดาและกระแสที่เซลล์จ่ายออกมาอาจผิดพลาดไปจากค่าที่แท้จริงของเซลล์

## เอกสารอ้างอิง

1. " คู่มือการใช้งาน ANT-32 EMBEDDED CONTROL BOARD " , บริษัทศิลาวิเสิร์ช จำกัด
2. ดร.จเร สุรวิวัฒน์ปัญญา, " การคำนวณเชิงตัวเลขด้วย Basic " , บริษัทซีเอ็ดบูเคชั่น จำกัด
- 3.พิพัฒน์ เลหาสงคราม , " ไมโครคอนโทรลเลอร์ " , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
- 4.ปิ่น ภู่วรรณ, " ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ " , บริษัทซีเอ็ดบูเคชั่น จำกัด , 2533
- 5.K.J.Ayala, " The 8051 Microcontroller Architecture " , Programming andApplications, 1991



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์สมศักดิ์ เขียวศิริกุลที่กรุณาให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการทำโครงการชิ้นนี้จนสำเร็จ ขอขอบคุณพี่โจ้และพี่ปริญาโทสำหรับคำแนะนำ พี่ซีแฉะ รวมทั้งเพื่อนรุ่น 29 น้องๆ ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจ ขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วยเช่นกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## โปรแกรมภาษาซี

```
#include <graphics.h>
#include <math.h>
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
#include <bios.h>

#define COM 0
#define DATA_READY 0x100
#define TRUE 1
#define FALSE 0
#define SETTINGS (0xE0 | 0X00 | 0X00 | 0X03)
#define N 12

float x_scale,y_scale;
int start_x,start_y;
int end_x,end_y;
float input_i[3][12],input_v[3][12];

void init_g(void){
int gd=DETECT,gm;
int i;
char temp[10];

initgraph(&gd,&gm,"");
x_scale=(float)(getmaxx()*0.75/0.6);
y_scale=(float)(getmaxy()*0.75/2.0);
start_x=getmaxx()/2-(int)(x_scale*0.3);
start_y=getmaxy()/2+(int)(y_scale);
end_x=getmaxx()/2+(int)(x_scale*0.3);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end_y=getmaxy()/2-(int)(y_scale);
line(start_x,start_y,end_x+10,start_y);
line(start_x,start_y,start_x,end_y-10);
for(i=0;i<=6;i++){
if(i!=0)
    line(start_x+(int)(x_scale*0.1*i),start_y-2,
        start_x+(int)(x_scale*0.1*i),start_y+2);
    sprintf(temp,"0.%d",i);
    outtextxy(start_x+(int)(x_scale*0.1*i)-12,start_y+4,temp);
}
outtextxy(end_x+16,start_y-4,"V (Volt)");
for(i=1;i<=10;i++)
    if((i==10)||i==5){
        line(start_x-4,start_y-(int)(y_scale*0.2*i),
            start_x+4,start_y-(int)(y_scale*0.2*i));
        sprintf(temp,"%d.0",i/5);
        outtextxy(start_x-30,start_y-(int)(y_scale*0.2*i)-3,temp);
    }
else
    line(start_x-2,start_y-(int)(y_scale*0.2*i),
        start_x+2,start_y-(int)(y_scale*0.2*i));
    outtextxy(start_x-16,end_y-20,"I (A)");
}

```

```

void g_line(float x1,float y1,float x2,float y2){
    line(start_x+(int)(x1*x_scale),start_y-(int)(y1*y_scale),
        start_x+(int)(x2*x_scale),start_y-(int)(y2*y_scale));
}

```

```

void g_moveto(float x,float y){
    moveto(start_x+(int)(x*x_scale),start_y-(int)(y*y_scale));
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void g_lineto(float x,float y){
    lineto(start_x+(int)(x*x_scale),start_y-(int)(y*y_scale));
}

```

```

void g_plot(float x,float y){
    line(start_x+(int)(x*x_scale)-2,start_y-(int)(y*y_scale)-2,
        start_x+(int)(x*x_scale)+2,start_y-(int)(y*y_scale)+2);
    line(start_x+(int)(x*x_scale)-2,start_y-(int)(y*y_scale)+2,
        start_x+(int)(x*x_scale)+2,start_y-(int)(y*y_scale)-2);
}

```

```

void get_input(void){
    int in,out,status,i, DONE = FALSE;
    int times=0,end=0;
    char ch;

do{
    clrscr();
    bioscom(0,SETTINGS,COM);
    DONE = FALSE;
    cprintf("\n... BIOSCOM [ESC] to exit ...!\r\n");
    while (!DONE)
    { status = bioscom(3,0,COM);
      if(status & DATA_READY){
for(i=0;i<12;i++){
out = bioscom(2,0,COM)&0xff;
input_i[times][i] = (float)out*0.01;
cprintf(" I(%2d) is %1.2f\r\n",i,input_i[times][i]);
}
for(i=0;i<12;i++){
out = bioscom(2,0,COM)&0xff;
input_v[times][i]=(float)out*0.01;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

cprintf(" v(%2d) is %1.2f\r\n",i,input_v[times][i]);
}
}
if(kbhit())
{ if((in = getch()) == 0x1B) /* Escape*/
DONE = TRUE;
if(in==13)
{bioscom(1,13,COM); /* Return*/
bioscom(1,10,COM); /* Line feed*/
}
else
bioscom(1,in,COM);
}
}
times++;
if(times!=3){
printf("\n\n\nAnother input (y/n)\n");
ch=getch();
if(ch!='y')
end=1;
}
}while((times<3)&&(!end));
}

```

```

void main(void){
float sum_xy,sum_x,sum_xx,sum_y,sum_yy,a1,a0,e0,e1;
float x[N],y[N];
float I_1;
int i,j,k;
float x1,x2,y1,y2,m,c;

```

```

for(i=0;i<3;i++){

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
```

```
get_input();
```

```
init_g();
```

```
for(k=0;(k<3)&&(input_i[k][0]!=-1);k++){
```

```
    setcolor(14-k);
```

```
    e0=0;
```

```
    input_v[k][0]=0;
```

```
    input_i[k][11]=0;
```

```
    for(i=0;i<N;i++){
```

```
        g_plot(input_v[k][i],input_i[k][i]);
```

```
        for(j=0;j<N;j++){
```

```
            I_1=input_i[k][0]+e0;
```

```
            for(i=1;i<N;i++){
```

```
x[i]=input_v[k][i];
```

```
y[i]=log(fabs(I_1-input_i[k][i]));
```

```
        }
```

```
        sum_xy=0;sum_x=0;sum_y=0,sum_xx=0,sum_yy=0;
```

```
        for(i=1;i<N;i++){
```

```
            sum_xy+=y[i]*x[i];
```

```
            sum_x+= x[i];
```

```
            sum_xx+= (x[i])*(x[i]);
```

```
            sum_y+= y[i];
```

```
            sum_yy+= (y[i])*(y[i]);
```

```
    }
```

```
    a1=((N-1)*sum_xy-sum_x*sum_y)/((N-1)*sum_xx-sum_x*sum_x);
```

```
    a0=(sum_y-a1*sum_x)/(N-1);
```

```
    e0=exp(a0);
```

```
    e1=a1;
```

```
    }
```

```
setcolor(12-k);
```

```
for(i=0;(i<=60)&&(I_1-e0*exp(e1*(float)(i)/100)>0);i++){
```

```
    if(i==0)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกํารใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

g_moveto((float)(i)/100,I_1-e0*exp(e1*(float)(i)/100));
    else
g_lineto((float)(i)/100,I_1-e0*exp(e1*(float)(i)/100));
    }

x1=(float)(i-1)/100;
x2=(float)i/100;
y1=I_1-e0*exp(e1*x1);
y2=I_1-e0*exp(e1*x2);
m=(y2-y1)/(x2-x1);
c=y1-m*x1;
g_lineto(c*(-1)/m,0);
}
getch();
closegraph();
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ชุดคำสั่ง MCS-51

ชุดคำสั่ง MCS-51 จะมีทั้งสิ้น 111 คำสั่ง ประกอบด้วยคำสั่งที่มี 1 ไบต์อยู่ 49 คำสั่งสองไบต์ 45 คำสั่ง และอีก 17 คำสั่งที่เหลือมีขนาดยาว 3 ไบต์ รูปแบบคำสั่งออปโค้ด จะประกอบด้วยคำสั่งของนิวมอนิก ที่ตามด้วยตัวโอเปอร์แรนด์ที่มีรูปแบบคือ นิวมอนิกคำสั่งต่างๆ

### โอเปอร์แรนด์ < >, < >

ตัวข้อมูลที่ <รับถ่ายทอคมมา>, <แหล่งกำเนิด> ในฟิลด์โอเปอร์แรนด์นี้ จะมีรูปแบบที่กำหนดลักษณะต่างๆ ที่สามารถแทนความหมายของการเรียกใช้โหมดการกำหนดเลข ที่อยู่ตามรูปแบบของ MCS-51 MACRO ASSEMBLY LANGUAGE ซึ่งรูปแบบต่างๆ จะอธิบายการใช้ในหัวข้อรายละเอียดของชุดคำสั่ง ตามการออกแบบฮาร์ดแวร์ MCS-51 ของอินเทล การกำหนดแอดเดรสขนาด 16 บิตหรือสองไบต์

ตัวโอเปอร์แรนด์ข้อมูลจะเก็บไบต์ที่มีความสำคัญต่ำกว่าไว้ที่แอดเดรสตำแหน่งสูง และไบต์ที่มีความสำคัญสูงไว้ที่แอดเดรสตำแหน่งต่ำ

### 1 ลักษณะการทำงานตามฟังก์ชัน

- ชุดคำสั่งของ MCS-51 จะถูกแบ่งเป็นลักษณะการทำงานตามฟังก์ชันได้ 4 กลุ่ม คือ
- กลุ่มการถ่ายเทข้อมูล
- กลุ่มคณิตศาสตร์
- กลุ่มตรรกศาสตร์
- กลุ่มการควบคุมการถ่ายเท

### 1.1 กลุ่มการถ่ายเทข้อมูล

การถ่ายเทข้อมูลนับเป็นส่วนสำคัญของการทำงาน MCS-51 ตัวนี้ จะมีการแบ่งการใช้งานย่อยออกไปเป็น 3 ชั้นด้วยกัน คือ

- เพื่อจุดประสงค์ทั่วไป
- ด้วยการกำหนดงานเฉพาะที่แอกคูมิวเลเตอร์
- เป้าหมายการกำหนดเลขที่อยู่แอดเดรส

การทำงานลักษณะ งานทั้งหมดนี้ไม่มีผลต่อแฟลก PSW ยกเว้นการใช้คำสั่ง POP หรือ MOV เข้าเรจิสเตอร์ PSW

การถ่ายเทข้อมูลเพื่อจุดประสงค์ทั่วไป ได้แก่ การใช้คำสั่ง

MOV ที่จะทำงานในลักษณะการถ่ายเทข้อมูลเป็นขนาดไบต์หรือบิตก็ได้ จากตัว

แหล่งกำเนิดเข้าสู่ตัวรับข้อมูลในฟิลด์โอเปอร์แรนด์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PUSH จะทำงานโดยเพิ่มค่าในเรจิสเตอร์ SP ก่อน แล้วจึงถ่ายเทข้อมูลขนาด 1 ไบต์ จากแหล่งกำเนิดที่ฟิลต์โอเพอร์แรนด์กำหนดไว้ ไปยังบริเวณสแตคตามตำแหน่งที่เรจิสเตอร์ SP กำหนด

POP การถ่ายเทข้อมูลขนาด 1 ไบต์ จากบริเวณสแตคตามตำแหน่งที่เรจิสเตอร์ SP กำหนดไปยังตัวเรจิสเตอร์ที่โอเพอร์แรนด์กำหนด และหลังจากนั้นเรจิสเตอร์ SP จะลดค่าลงหนึ่งค่า

การกำหนดการถ่ายเทโดยใช้แอกคูมิวเลเตอร์ จะมีคำสั่ง

XCH คำสั่งแลกเปลี่ยนขนาดไบต์ ระหว่างแหล่งกำเนิดโอเพอร์แรนด์กับแอกคูมิวเลเตอร์

XCHD คำสั่งแลกเปลี่ยนขนาดนิบเป็ลต์ต่ําของแหล่งกำเนิดโอเพอร์แรนด์กับนิบเป็ลต์ต่ําของ แอกคูมิวเลเตอร์

MOVX การเคลื่อนย้ายขนาด 1 ไบต์ ระหว่างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกกับแอกคูมิวเลเตอร์ แอดเดรสภายนอกสามารถที่จะถูกกำหนดได้ด้วยเรจิสเตอร์ DPTR ได้เต็มขนาด 64 กิโลไบต์หรือเรจิสเตอร์ R1 หรือ R0 ขนาด 8 บิต มีขนาดข้อมูล 256 ไบต์

MOVC การเคลื่อนย้ายขนาด 1 ไบต์ จากหน่วยความจำโปรแกรมเข้าสู่แอกคูมิวเลเตอร์โดยใช้ตัวโอเพอร์แรนด์ใน A เป็นดัชนีตัวชี้ตารางข้อมูลได้ถึง 256 ไบต์ ด้วยการใช้ร่วมกับเรจิสเตอร์ DPTR หรือ PC เป็นฐานเรจิสเตอร์ ที่ถูกกำหนดตำแหน่ง เริ่มต้นของกลุ่มข้อมูล จะถ่ายเทเข้าสู่แอกคูมิวเลเตอร์

การถ่ายเทข้อมูลลงที่จากการกำหนดตำแหน่งข้อมูลโปรแกรม

MOV DPTR, #DATA เป็นการโหลดขนาดข้อมูลโดยทันที 16 บิต เข้าสู่เรจิสเตอร์ DPH กับ DPL รวมเป็นเรจิสเตอร์ DATA POINTER ขนาด 16 บิต ซึ่ง สามารถที่จะกำหนดตำแหน่งได้ถึง 64 กิโลไบต์

## 1.2 กลุ่มทางคณิตศาสตร์

ตัว MCS-51 มีคำสั่งเกี่ยวกับการทำงานทางคณิตศาสตร์ทางพื้นฐานสิ่งงานด้วยกันและจะใช้ขนาดข้อมูล 8 บิต ที่ไม่คิดเครื่องหมายเป็นค่านวณโดยตรง อย่างไรก็ตามการใช้แฟล็ก Overflow ยังคงใช้งานการบวกและลบ เพื่อบริการข้อมูลที่เป็นตัวเลขลงตัวทางบวกและลบได้ ทางคณิตศาสตร์ยังสามารถที่จะทำงานได้โดยตรง ด้วยการใส่ค่าข้อมูลที่แทนด้วย Pack Decimal (BCD) การใช้งาน Pack Decimal คือการแทนตัวเลขฐานสิบในแต่ละหลักด้วยค่าไบนารี 4 บิต ดังนั้นในหนึ่งไบต์ก็จะแทนได้ 2 หลักตัวเลขฐานสิบ ส่วนตัวเป็น Unpack ก็จะเป็น 1 หลักฐานสิบต่อ 1 ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### คำสั่งการบวกกัน

INC (Increment) เป็นการบวกหนึ่งเข้ากับแหล่งกำเนิดโอเปอร์แรนด์และใส่ค่าใหม่กลับ เข้าตัวโอเปอร์แรนด์เดิม

ADD เป็นการบวกค่าในแอกคูมิวเลเตอร์เข้ากับค่าในแหล่งกำเนิดโอเปอร์แรนด์และใส่ผลลัพธ์ กลับคืนมาที่แอกคูมิวเลเตอร์

ADDC (Add with carry) เป็นการบวกค่าในแอกคูมิวเลเตอร์กับค่าในแหล่งกำเนิดโอเปอร์แรนด์ แล้วบวกค่าที่อยู่ในบิตตัวทด และใส่ผลลัพธ์กลับคืนมาที่แอกคูมิวเลเตอร์

DA (Decimal-Add-Adjust) สำหรับการบวกกันทางระบบตัวเลข BCD เป็นการปรับค่า ผลรวม ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการบวกกันทางไบนารีของระบบตัวเลข BCD ขนาด 2 หลัก สองจำนวนที่เป็น Packed Decimal ด้วยการใส่คำสั่ง DA จะได้ผลลัพธ์เก็บ กลับมาที่แอกคูมิวเลเตอร์ ถ้าผลลัพธ์ BCD ทำให้บิตตัวทด CY เซตจะแสดงว่าค่าที่ Packed แล้ว จะมีค่ามากกว่า 99 ส่วนผลลัพธ์ตัวที่น้อยกว่าตัวทด CY จะเคลียร์

### คำสั่งการลบกัน

SUBB (Subtrac with borrow) เป็นการนำตัวเลขที่อยู่ในแหล่งกำเนิดโอเปอร์แรนด์ ลบออกจากตัวเลขที่อยู่ในแอกคูมิวเลเตอร์ และหลังจากนั้น ก็นำค่าที่อยู่ในบิตทด CY ไปลบอีกครั้งหนึ่ง แล้วนำผลลัพธ์กลับมากับที่แอกคูมิวเลเตอร์

DEC (Decrement) เป็นการลบหนึ่งออกจากตัวเลขที่อยู่ในแหล่งกำเนิดโอเปอร์แรนด์และนำ ผลลัพธ์กลับมากับที่ตัวโอเปอร์แรนด์นั้น ๆ

### การคูณกัน

MULL จะเป็นคำสั่งการคูณกันแบบไม่คิดเครื่องหมายของตัวเลขที่อยู่ในแอกคูมิวเลเตอร์ A กับตัวเลขในเรจิสเตอร์ B แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ ซึ่งขนาดสูงสุดได้ 2 ไบต์ นำกลับเก็บที่ AB โดยที่ A จะรับนับไบต์ต่ำ ส่วน B จะรับนับไบต์สูง ค่าบิต 0 V ใน PSW จะ เคลียร์ ถ้าเรจิสเตอร์ใน B เป็น 0 และจะเซตถ้า B ไม่เป็น 0 ส่วนบิต CY จะ เคลียร์ตลอดและจะไม่มีผลต่อบิต AC

### คำสั่งการหารกัน

DIV จะเป็นคำสั่งการหารกันด้วยตัวเลขที่ไม่คิดเครื่องหมายที่อยู่ในแอกคูมิวเลเตอร์ A ที่ถูกหารด้วยตัวเลขที่อยู่ในเรจิสเตอร์ B และนำผลลัพธ์ที่ได้กลับมาไว้ที่แอกคูมิวเลเตอร์ และเศษส่วนไว้ที่เรจิสเตอร์ B การหารด้วยค่า 0 จะไม่มีผลต่อข้อมูลในเรจิสเตอร์ A และ B และจะเซตบิต 0 V

ส่วนการหารด้วยค่าอื่นเนื่องจากการหารด้วยค่าตัวเลขต่าง ๆ บิต 0 V จะเคลียร์และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะไม่มีผลต่อบิต AC ถ้าไม่มีการทวนด้วยตัวเลขที่ไม่เป็นแบบที่กล่าวตามย่อหน้าข้างบนนี้แล้ว ค่าบิตแฟลกต่างๆ ใน PSW จะมีผลดังต่อไปนี้

บิต CY เซต ถ้ามีการทวนเนื่องจากผลของบิตอันดับสูงมีการทวนเข้าสู่หรือป้อนออกจากตัวทวน

บิต AC เซต ถ้าผลจากการทวนเกิดการทวนจากบิตเบิ้ลต่ำหรือบิตอันดับต่ำระหว่างการบวกลบกัน หรือมีการป้อนจากบิตเบิ้ลสูงเข้าสู่บิตเบิ้ลต่ำ ระหว่างการลบกัน นอกเหนือจากนี้ บิต AC จะเคลียร์

บิต OV เซตถ้าผลจากการทวนเกิดตัวทวนทวนเข้าสู่บิตอันดับสูงสุดของผลลัพธ์ แต่ไม่มีการทวนบิตสูงสุดเข้าสู่บิตตัวทวน หรือในทางกลับกัน คือ OV จะเคลียร์ ถ้าผลลัพธ์ ทำให้มีการทวนจากบิตสูงสุดเข้าสู่บิตตัวทวน แต่ไม่มีการทวนเข้าสู่บิตอันดับสูงสุด ของผลลัพธ์ ส่วนผลทางด้านอื่น เช่น ทดทั้งสองครั้ง หรือไม่ทวนทั้งสองครั้งใน ผลลัพธ์ บิต OV ยังใช้เป็น Two's Complement ทางคณิตศาสตร์ เพราะมัน จะเซต ถ้าผลลัพธ์ที่แสดงเครื่องหมายไม่สามารถที่จะแสดงลงในขนาด 8 บิต

บิต P เซต ถ้าค่าฐานตัวเลข Modulo 2 หรือ ค่าตัวเลข 1 รวมกันทั้ง 8 บิตในแอกคูมิวเลเตอร์เป็นจำนวนคี่ และบิต P จะเคลียร์ ถ้ารวมกันเป็นคู่ เมื่อค่าในบิตต่างๆ ถูกเขียนเข้าไปยังเรจิสเตอร์ PSW ค่าบิต P จะไม่เปลี่ยนแปลงค่าและจะมี ผลตามค่าพาริตี้ของ A เสมอ

### 1.3 กลุ่มตรรกศาสตร์

การทำงานทางพื้นฐานทางตรรกศาสตร์ของ MCS-51 จะทำได้ทั้งขนาดไบต์และบิตโอเปอร์แรนด์ คำสั่งการทำงานโอเปอร์แรนด์ภายในตัวเองจะมี

CLR ปรับค่าในแอกคูมิวเลเตอร์ หรือการให้ตำแหน่งของแอดเดรสบิตนั้น ๆ เป็น 0  
SETB ปรับค่าในตำแหน่งแอดเดรสตามบิตนั้นเป็น 1

CPL ด้วยการล่กับค่า หรือ Complement ข้อมูลใดๆ ที่สามารถกำหนดโดยตรงโดยไม่มีผลใดๆ ต่อค่าแฟลกใดๆ PSW หรือบิตในตำแหน่งแอดเดรส RL, RLC, RR, RRC, SWAP ทั้ง 5 คำสั่ง นี้เป็นการสั่งทำงานการวนบิตที่สามารถที่สั่งให้ทวนตัวแอกคูมิวเลเตอร์ RL เป็นการวนซ้าย RR เป็นการวนขวา RLC เป็นการวนซ้ายผ่านบิตทด C RRC เป็นการวนขวา ผ่านบิตทด C และ SWAP เป็นการวนซ้ายสี่ครั้ง สำหรับ RLC และ RRC ค่าแฟลกทวด CY จะมีค่าเท่ากับค่าบิตสุดท้ายที่วนออกมา การ SWAP จะวนซ้ายค่าข้อมูลในแอกคูมิวเลเตอร์ เป็นการเปลี่ยนค่าบิต 3 ถึง 0 กับบิต 7 ถึง 4

### คำสั่งการทำงานร่วมระหว่างสองโอเปอร์แรนด์

ANL เป็นการ AND กันทางตรรก ระหว่างแหล่งกำเนิดสองโอเปอร์แรนด์ ซึ่งจะส่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใดไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ทำงานตรรกข้อมูลขนาดเป็นไบต์หรือบิตก็ได้ และจะนำผลกลับมาเก็บไว้ที่ตำแหน่งตัวโอเปอร์แรนด์ที่ตั้งในโอเปอร์แรนด์เป็นตัวแรก

ORL เป็นการ OR ทางตรรกกันระหว่างแหล่งกำเนิดสองโอเปอร์แรนด์ ซึ่งจะส่งให้ทำงาน ตรรกข้อมูลขนาดเป็นไบต์หรือบิตก็ได้ และจะนำผลกลับมาเก็บไว้ที่ตำแหน่งตัวโอเปอร์แรนด์ที่ตั้งในโอเปอร์แรนด์เป็นตัวแรก

XRL เป็นการ XOR ทางตรรกกันระหว่างแหล่งกำเนิดสองโอเปอร์แรนด์ ซึ่งจะส่งให้ทำงาน ตรรกข้อมูลขนาดเป็นไบต์หรือบิตก็ได้ และจะนำผลกลับมาเก็บไว้ที่ตำแหน่งตัวโอเปอร์แรนด์ที่ตั้งในโอเปอร์แรนด์เป็นตัวแรก

#### 1.4 กลุ่มคำสั่งควบคุมการถ่ายเทข้อมูล

คำสั่งควบคุมการถ่ายเทข้อมูลมี 3 รูปแบบคือ การเรียกโปรแกรมย่อยโดยไม่ต้องตั้งชื่อแม่ แล้วกลับคืนมาที่โปรแกรมหลักและการกระโดดไป และการกระโดดไปด้วยการตั้งชื่อแม่ และการใช้อินเตอร์รัพต์ การใช้คำสั่งควบคุมการทำงานด้วยเหตุจากการกำหนดชื่อแม่ของตัวโปรแกรมหลักที่ทำงานอยู่ จะไม่เป็นไปตามลำดับในหน่วยความจำโปรแกรม

##### 1.4.1 การเรียกโปรแกรมย่อยโดยไม่ต้องตั้งชื่อแม่

แล้วกลับคืนมาที่โปรแกรมหลัก และการกระโดดไปตามคำสั่งการเรียกโปรแกรมย่อยโดยไม่ต้องตั้งชื่อแม่ แล้วกลับคืนมาและการกระโดดไป เป็นการควบคุมค่าข้อมูลของตัวนับโปรแกรมในขณะนั้น ให้กระโดดไปยังตำแหน่งแอดเดรสใหม่ที่ต้องการจะกระโดดไป การถ่ายเทมีให้ใช้ทั้งแบบโคบตรงและทางอ้อม

คำสั่ง ACALL และ LCALL จะทำงานตามลำดับ ดังนี้โดยคำสั่ง จะ PUSH ค่าตำแหน่งของคำสั่งตัวต่อมาของโปรแกรมหลักไว้ที่บริเวณสแตค และถ่ายเทควบคุมเปลี่ยนตำแหน่งใหม่เป็นแอดเดรสที่จะกระโดดไป ACALL จะมีขนาดคำสั่ง 2 ไบต์ โดยใช้เป้าหมายแอดเดรสที่จะกระโดดไปภายใน 2 กิโลไบต์เพจ หรือใช้รหัสแอดเดรสทั้งหมด 11 บิต LCALL จะมีขนาดคำสั่ง 3 ไบต์ เป้าหมายแอดเดรสจะกระโดดไปได้เต็ม 64 กิโลไบต์ หรือใช้รหัสแอดเดรสเพิ่ม 16 บิต

ในการใช้แอดเดรสขนาด 11 บิตของ ACALL จะเป็นการเปลี่ยนค่าบิตของ PC เฉพาะช่วง 11 บิตกลุ่มอันดับต่ำเท่านั้น ส่วนอีก 5 บิตในตำแหน่งกลุ่มอันดับสูงของ PC ในขนาดที่เหลือจะไม่เปลี่ยนแปลง ถ้าคำสั่ง ACALL อยู่ที่ตำแหน่งสองไบต์ของเพจขนาด 2 กิโล หลังจากเรียกโปรแกรมย่อยแล้ว จะเป็นการเรียกตำแหน่งเพจใหม่ เพราะ PC จะเพิ่มค่าไปถึงตำแหน่งคำสั่งตัวต่อมา ซึ่งจะเป็นการเรียกเพจใหม่เป็นการเปลี่ยนค่าบิตที่ 12 ไบต์แล้ว

RET คำสั่งนี้เป็นการควบคุมถ่ายเทกลับคืนสู่โปรแกรมหลัก ซึ่งค่าตำแหน่งของโปรแกรมหลักได้เก็บอยู่ที่สแตคด้วยคำสั่งการเรียกทำงานโปรแกรมย่อยก่อนหน้าที่จะทำโปรแกรมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บ๊อบ คำสั่ง RET นี้จะดึงเอาข้อมูลจากสแตคที่ชี้ด้วย SPหรือที่เรียกว่า POP มาไว้ที่ PC และ คำ SP จะลดลงสอง

AJMP, LJMP, SJMP เป็นการควบคุมถ่ายเทไปยังเป้าหมายที่ถูกระบุในโอเปอเรนด์ แรนดการทำงานของคำสั่ง AJMP และ LJMP จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลง และทำงานเช่นเดียวกับ ACALL กับ LCALL ยกเว้นที่ไม่มีกรกลับมาที่ทำงานที่เดิม ส่วน SJMP เป็นการกระโดดถอยหลังหรือเดินหน้าภายใน 256 ไบต์เท่านั้น จากตำแหน่งของคำสั่งนี้ ต่อจาก SJMP ซึ่งจะกระโดดได้ -128 ถึง +127

JMP @A+DPTR คำสั่งนี้ ใช้ความสัมพันธ์ร่วมกับเรจิสเตอร์ DPTR ค่าโอเปอเรนด์ใน A จะใช้เป็น Offset (0-255) ต่อจากแอดเดรสใน DPTR ดังนั้น ค่าแอดเดรสที่ถูกต้องด้วย Effective จะกระโดดไปในส่วนใดๆ ของหน่วยความจำโปรแกรมภายใน 256 ไบต์

#### 1.4.2 การกระโดดแบบมีเงื่อนไข

คำสั่งการกระโดดแบบมีเงื่อนไขจะกระโดดไปสู่เป้าหมายที่กำหนดให้ ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ตั้งไว้และจะกระโดดไปได้ไกลจากตำแหน่งของคำสั่งตัวต่อจากคำสั่งนี้ได้ภายใน -128 ถึง +127 ซึ่งจะมีคำสั่งต่างๆ พอสรุปได้ดังนี้

JZ จะกระโดดได้ถ้าค่าในแอกคูมิวเลเตอร์เป็น 0

JNZ จะกระโดดได้ถ้าค่าในแอกคูมิวเลเตอร์ไม่เป็น 0

JC จะกระโดดได้ถ้าค่าในแฟลกตัวทดเซต

JNC จะกระโดดได้ถ้าค่าในแฟลกตัวทดไม่เซต หรือเคลียร์

JB จะกระโดดได้ถ้าค่าในบิตที่ถูกระบุโดยการกำหนดเลขที่อยู่โดยตรงเซต

JNB จะกระโดดได้ถ้าค่าในบิตที่ถูกระบุโดยการกำหนดเลขที่อยู่โดยตรงไม่เซต หรือเคลียร์

JBC จะกระโดดได้ถ้าค่าในบิตที่ถูกระบุโดยการกำหนดเลขที่อยู่โดยตรงเซต และจะเคลียร์ค่า บิตใหม่ตามตำแหน่งของการกำหนดเลขที่อยู่โดยตรง

CJNZ เป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างโอเปอเรนด์ตัวแรกกับโอเปอเรนด์ตัวที่สองและจะกระโดดไป ถ้าหากทั้งสองค่านี้ไม่เท่ากัน และบิตทด CY จะเซตถ้าหากค่าโอเปอเรนด์มีค่าน้อยกว่าค่าโอเปอเรนด์ตัวที่สอง แต่ถ้าค่าโอเปอเรนด์กลับกัน บิต CY จะเคลียร์ การเปรียบเทียบกันสามารถเปรียบเทียบได้ระหว่าง A กับ ค่าไบต์ของหน่วยความจำข้อมูลภายใน หรือระหว่างค่าที่ให้โดยทันทีกับ A หรือกับตัวเรจิสเตอร์ ใดๆ ในแบงก์ที่ถูกเรียกให้ทำงาน หรือกับข้อมูลในหน่วยความจำ ข้อมูลภายใน ที่กำหนดเลขที่อยู่โดยอ้อมจากตัว @R<sub>i</sub> (i = 1, 2)

DJNZ เป็นการลดค่าข้อมูลภายในที่กำหนดจากตัวแหล่งกำเนิดโอเปอเรนด์ และนำผลกลับไปตามการกำหนดของโอเปอเรนด์ตัวนั้น การกระโดดจะเกิดขึ้นถ้าการลดค่านั้นแล้วมีผลลัพธ์ไม่เป็น 0 ตัวแหล่งกำเนิดโอเปอเรนด์ของคำสั่งนี้ จะเป็นค่าไบต์ใดๆ ในหน่วยความจำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลภายใน การกำหนดเลขที่อยู่ทั้งแบบโดยตรง หรือโดยตัวเรจิสเตอร์ สามารถที่จะถูกใช้เป็น  
ตัวกำหนดตำแหน่งได้ จากตำแหน่งกำเนิดโอเปอร์แรนด์

1.4.3 การกลับคืนจากการอินเตอร์รัพต์

RETI ควบคุมการถ่ายเทเช่นเดียวกับ RET แต่จะเพิ่มความสามารถในการรีนาเบิล  
อินเตอร์รัพต์ของกรรจัดระดับทางไฟเออร์รี่ที่กำลังทำอยู่

Table 1. MCS-51 Instruction Set Description

ARITHMETIC OPERATIONS			
Mnemonic		Description	Byte Cyc
ADD	A.Rn	Add register to Accumulator	1 1
ADD	A.direct	Add direct byte to Accumulator	2 1
ADD	A.@Ri	Add direct byte to Accumulator	2 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ADC0801, ADC0802, ADC0803, ADC0804, ADC0805 8-Bit $\mu$ P Compatible A/D Converters

## General Description

The ADC0801, ADC0802, ADC0803, ADC0804 and ADC0805 are CMOS 8-bit successive approximation A/D converters which use a differential potentiometric ladder—similar to the 256R products. These converters are designed to allow operation with the NSC800 and INS8080A derivative control bus, and TRI-STATE<sup>®</sup> output latches directly drive the data bus. These A/Ds appear like memory locations or I/O ports to the microprocessor and no interfacing logic is needed.

A new differential analog voltage input allows increasing the common-mode rejection and offsetting the analog zero input voltage value. In addition, the voltage reference input can be adjusted to allow encoding any smaller analog voltage span to the full 8 bits of resolution.

- Differential analog voltage inputs
- Logic inputs and outputs meet both MOS and TTL voltage level specifications
- Works with 2.5V (LM336) voltage reference
- On-chip clock generator
- 0V to 5V analog input voltage range with single 5V supply
- No zero adjust required
- 0.3" standard width 20 pin DIP package
- Operates ratiometrically or with 5 V<sub>DC</sub>, 2.5 V<sub>DC</sub>, or analog span adjusted voltage reference

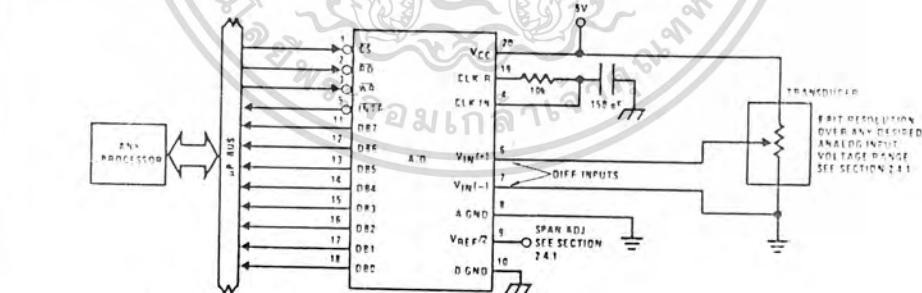
## Features

- Compatible with 8080  $\mu$ P derivatives—no interfacing logic needed—access time = 135 ns
- Easy interface to all microprocessors, or operates "stand alone"

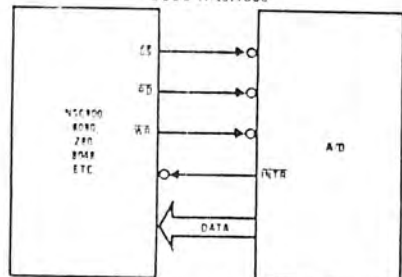
## Key Specifications

- Resolution: 8 Bits
- Total error:  $\pm 1/4$  LSB,  $\pm 1/2$  LSB and  $\pm 1$  LSB
- Conversion time: 100  $\mu$ s

## Typical Applications



8080 Interface



ERROR SPECIFICATION INCLUDES FULL SCALE, ZERO ERROR, AND NON-LINEARITY			
PART NUMBER	FULL SCALE ADJUSTED	VREF = 2.500 VDC (NO ADJUSTMENTS)	VREF = 2 - NO CONNECTION (NO ADJUSTMENTS)
ADC0801	$\pm 1/4$ LSB	$\pm 1/2$ LSB	
ADC0802			
ADC0803	$\pm 1/2$ LSB		
ADC0804		$\pm 1$ LSB	
ADC0805			$\pm 1$ LSB

ADC0801, ADC0802, ADC0803, ADC0804, ADC0805

## Absolute Maximum Ratings (Notes 1 and 2)

Supply Voltage (V <sub>CC</sub> ) (Note 3)	6.5V
Voltage	
Logic Control Inputs	-0.3V to +18V
At Other Input and Outputs	-0.3V to (V <sub>CC</sub> + 0.3V)
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at T <sub>A</sub> = 25°C	875 mW
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

## Operating Ratings (Notes 1 and 2)

Temperature Range	T <sub>MIN</sub> ≤ T <sub>A</sub> ≤ T <sub>MAX</sub>
ADC0801/02LD	-55°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +125°C
ADC0801/02/03/04LCD	-40°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +85°C
ADC0801/02/03/05LCN	-40°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +85°C
ADC0804LCN	0°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C
Range of V <sub>CC</sub>	4.5 V <sub>DC</sub> to 6.3 V <sub>DC</sub>

## Electrical Characteristics

The following specifications apply for V<sub>CC</sub> = 5 V<sub>DC</sub>, T<sub>MIN</sub> ≤ T<sub>A</sub> ≤ T<sub>MAX</sub> and f<sub>CLK</sub> = 640 kHz unless otherwise specified.

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
ADC0801					
Total Adjusted Error (Note 8)	With Full Scale Adj (See Section 2.5.2)			±1/4	LSB
ADC0802					
Total Unadjusted Error (Note 8)	V <sub>REF</sub> /2 = 2.500 V <sub>DC</sub>			±1/2	LSB
ADC0803					
Total Adjusted Error (Note 8)	With Full Scale Adj (See Section 2.5.2)			±1/2	LSB
ADC0804					
Total Unadjusted Error (Note 8)	V <sub>REF</sub> /2 = 2.500 V <sub>DC</sub>			±1	LSB
ADC0805					
Total Unadjusted Error (Note 8)	V <sub>REF</sub> /2 - No Connection			±1	LSB
REF/2 Input Resistance (Pin 9)	ADC0801/02/03/05 ADC0804 (Note 9)	2.5 1.0	8.0 3.3		kΩ
Analog Input Voltage Range	(Note 4) V <sub>(H)</sub> or V <sub>(L)</sub>		G <sub>nd</sub> - 0.05	V <sub>CC</sub> + 0.05	V <sub>DC</sub>
DC Common-Mode Error	Over Analog Input Voltage Range		±1/16	±1/8	LSB
Power Supply Sensitivity	V <sub>CC</sub> = 5 V <sub>DC</sub> ± 10% Over Allowed V <sub>IN(F)</sub> and V <sub>IN(L)</sub> Voltage Range (Note 4)		±1/16	±1/8	LSB

## AC Electrical Characteristics

The following specifications apply for V<sub>CC</sub> = 5 V<sub>DC</sub> and T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise specified.

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
T <sub>C</sub>	Conversion Time	f <sub>CLK</sub> = 640 kHz (Note 6)	103	114	μs	
T <sub>C</sub>	Conversion Time	(Note 5, 6)	66	73	1/f <sub>CLK</sub>	
f <sub>CLK</sub>	Clock Frequency	V <sub>CC</sub> = 5V <sub>DC</sub> (Note 5)	100	640	kHz	
	Clock Duty Cycle	(Note 5)	40	60	%	
CR	Conversion Rate In Free-Running Mode	INTR tied to $\overline{WR}$ with $\overline{CS} = 0$ V <sub>DC</sub> , f <sub>CLK</sub> = 640 kHz		8770	conv/s	
W <sub>WR</sub> /t <sub>IL</sub>	Width of $\overline{WR}$ Input (Start Pulse Width)	$\overline{CS} = 0$ V <sub>DC</sub> (Note 7)	100		ns	
t <sub>ACC</sub>	Access Time (Delay from Falling Edge of $\overline{RD}$ to Output Data Valid)	C <sub>L</sub> = 100 pF	135	200	ns	
t <sub>HZ, 10H</sub>	TRI-STATE Control (Delay from Rising Edge of $\overline{RD}$ to Hi-Z State)	C <sub>L</sub> = 10 pF, R <sub>L</sub> = 10k (See TRI-STATE Test Circuits)		125	200	ns
t <sub>WI, TRI</sub>	Delay from Falling Edge of $\overline{WR}$ or $\overline{RD}$ to Reset of INTR		300	450	ns	
C <sub>IN</sub>	Input Capacitance of Logic Control Inputs		5	7.5	pF	
C <sub>OUT</sub>	TRI-STATE Output Capacitance (Data Buffers)		5	7.5	pF	

# Electrical Characteristics

The following specifications apply for  $V_{CC} = 5 \text{ VDC}$  and  $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ , unless otherwise specified.

PARAMETER		CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>CONTROL INPUTS</b> (Note: CLK IN (Pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately)						
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	$V_{CC} = 5.25 \text{ VDC}$	2.0		15	VDC
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	$V_{CC} = 4.75 \text{ VDC}$			0.8	VDC
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current (All Inputs)	$V_{IN} = 5 \text{ VDC}$		0.005	1	$\mu\text{ADC}$
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current (All Inputs)	$V_{IN} = 0 \text{ VDC}$	-1	-0.005		$\mu\text{ADC}$
<b>CLOCK IN AND CLOCK R</b>						
$V_{T+}$	CLK IN (Pin 4) Positive Going Threshold Voltage		2.7	3.1	3.5	VDC
$V_{T-}$	CLK IN (Pin 4) Negative Going Threshold Voltage		1.5	1.8	2.1	VDC
$V_H$	CLK IN (Pin 4) Hysteresis ( $V_{T+} - V_{T-}$ )		0.5	1.3	2.0	VDC
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" CLK R Output Voltage	$I_O = 360 \mu\text{A}$ $V_{CC} = 4.75 \text{ VDC}$			0.4	VDC
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" CLK R Output Voltage	$I_O = -360 \mu\text{A}$ $V_{CC} = 4.75 \text{ VDC}$	2.4			VDC
<b>DATA OUTPUTS AND INTR</b>						
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage Data Outputs	$I_O = 1.6 \text{ mA}$ , $V_{CC} = 4.75 \text{ VDC}$			0.4	VDC
	INTR Output	$I_O = 1.0 \text{ mA}$ , $V_{CC} = 4.75 \text{ VDC}$			0.4	VDC
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$I_O = -360 \mu\text{A}$ , $V_{CC} = 4.75 \text{ VDC}$	2.4			VDC
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$I_O = -10 \mu\text{A}$ , $V_{CC} = 4.75 \text{ VDC}$	3.5			VDC
$I_{OUT}$	TRI-STATE Disabled Output Leakage (All Data Buffers)	$V_{OUT} = 0 \text{ VDC}$ $V_{OUT} = 5 \text{ VDC}$	3			$\mu\text{ADC}$
$I_{SOURCE}$		$V_{OUT}$ Short to Gnd, $T_A = 25^\circ\text{C}$	3.5	4		$\text{mA}$
$I_{SINK}$		$V_{OUT}$ Short to $V_{CC}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-0.0	-15		$\text{mA}$
<b>POWER SUPPLY</b>						
$I_{CC}$	Supply Current (Includes Ladder Current)	$f_{CLK} = 640 \text{ kHz}$ , $V_{REF/2} = \text{NC}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ and $\overline{CS} = "1"$ ADC0801/02/03/05 ADC0804 (Note 9)		1.1	1.8	$\text{mA}$
				1.8	2.5	$\text{mA}$

Note 1: Absolute maximum ratings are those values beyond which the life of the device may be impaired.

Note 2: All voltages are measured with respect to Gnd, unless otherwise specified. The separate A Gnd point should always be wired to the D Gnd.

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

Note 4: For  $V_{IN(-)} \geq V_{IN(+)}$  the digital output code will be 0000 0000. Two on-chip diodes are tied to each analog input (see block diagram) which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the  $V_{CC}$  supply. Be careful, during testing at low  $V_{CC}$  levels (4.5V), as high level analog inputs (5V) can cause this input diode to conduct—especially at elevated temperatures, and cause errors for analog inputs near full-scale. The spec allows 50 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog  $V_{IN}$  does not exceed the supply voltage by more than 50 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0 VDC to 5 VDC input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of 4.950 VDC over temperature variations, initial tolerance and loading.

Note 5: Accuracy is guaranteed at  $f_{CLK} = 640 \text{ kHz}$ . At higher clock frequencies accuracy can degrade. For lower clock frequencies, the duty cycle limits can be extended so long as the minimum clock high time interval or minimum clock low time interval is no less than 275 ns.

Note 6: With an asynchronous start pulse, up to 8 clock periods may be required before the internal clock phases are proper to start the conversion process. The start request is internally latched, see Figure 2 and section 2.0.

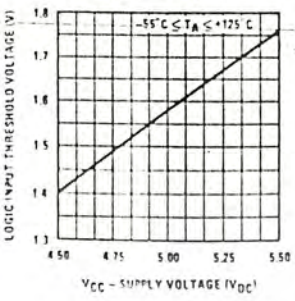
Note 7: The  $\overline{CS}$  input is assumed to bracket the  $\overline{WR}$  strobe input and therefore timing is dependent on the  $\overline{WR}$  pulse width. An arbitrarily wide pulse width will hold the converter in a reset mode and the start of conversion is initiated by the low to high transition of the  $\overline{WR}$  pulse (see timing diagrams).

Note 8: None of these A/Ds requires a zero adjust (see section 2.5.1). To obtain zero code at other analog input voltages see section 2.5 and Figure 5.

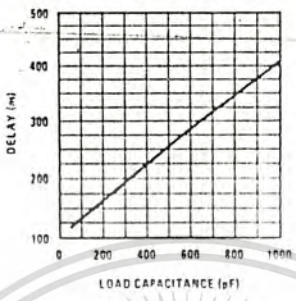
Note 9: For ADC0804LCD typical value of  $V_{REF/2}$  input resistance is 8 k $\Omega$  and of  $I_{CC}$  is 1.1 mA

Typical Performance Characteristics

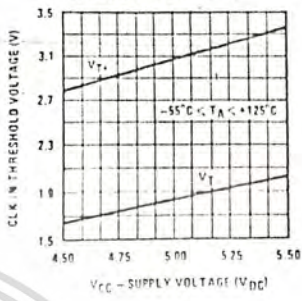
Logic Input Threshold Voltage vs. Supply Voltage



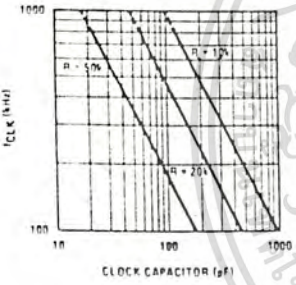
Delay From Falling Edge of RD to Output Data Valid vs. Load Capacitance



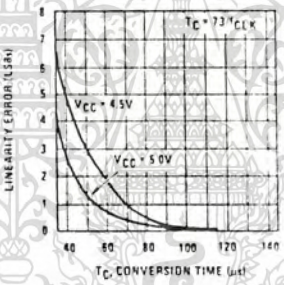
CLK IN Schmitt Trip Levels vs. Supply Voltage



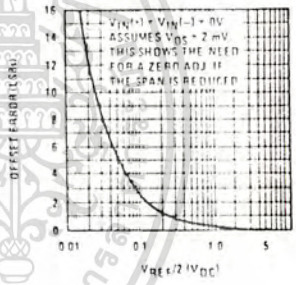
fCLK vs. Clock Capacitor



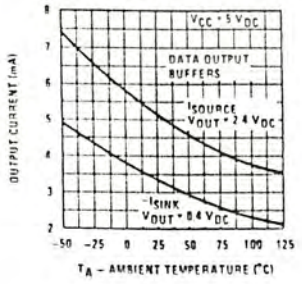
Full-Scale Error vs Conversion Time



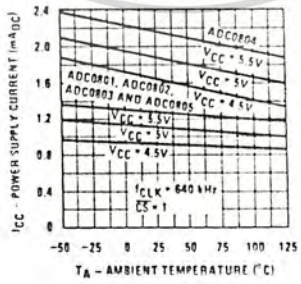
Effect of Unadjusted Offset Error vs. VREF/2 Voltage



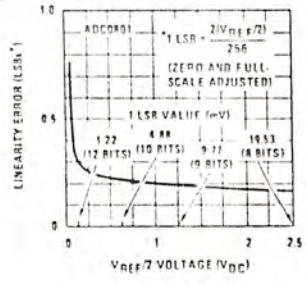
Output Current vs Temperature



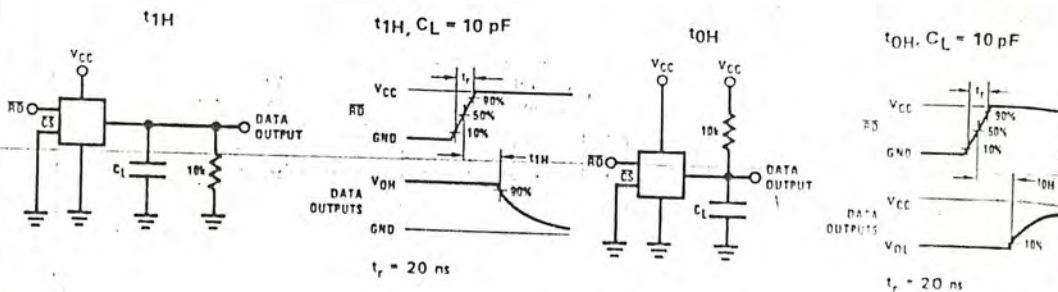
Power Supply Current vs Temperature (Note 9)



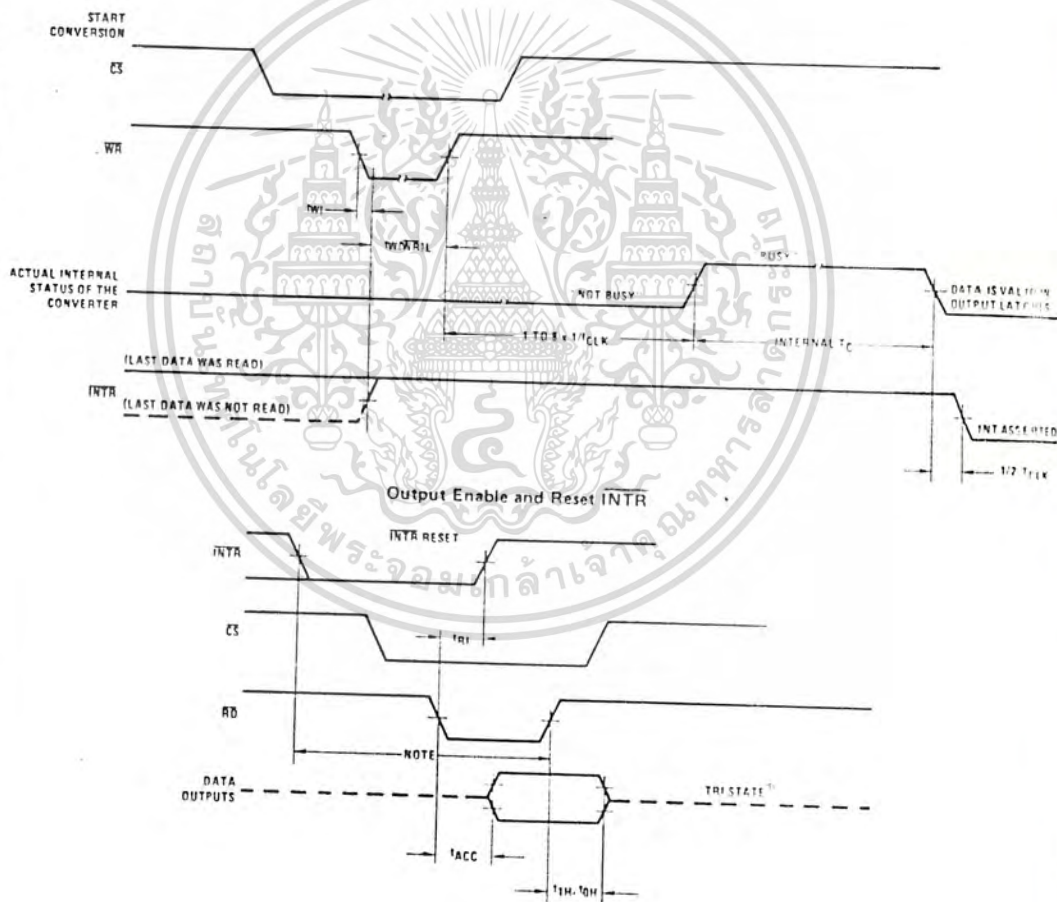
Linearity Error at Low VREF/2 Voltages



### TRI-STATE® Test Circuits and Waveforms



### Timing Diagrams (All timing is measured from the 50% voltage points)



Note: Read strobe must occur 8 clock periods ( $8/f_{CLK}$ ) after assertion of interrupt to guarantee reset of INTR.

# LM725/LM725A/LM725C Operational Amplifier

## General Description

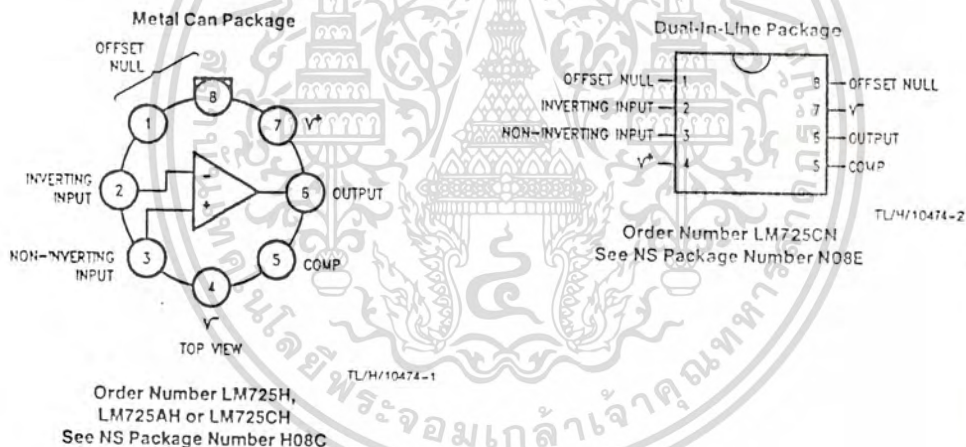
The LM725/LM725A/LM725C are operational amplifiers featuring superior performance in applications where low noise, low drift, and accurate closed-loop gain are required. With high common mode rejection and offset null capability, it is especially suited for low level instrumentation applications over a wide supply voltage range.

The LM725A has tightened electrical performance with higher input accuracy and like the LM725, is guaranteed over a  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$  temperature range. The LM725C has slightly relaxed specifications and has its performance guaranteed over a  $0^{\circ}\text{C}$  to  $70^{\circ}\text{C}$  temperature range.

## Features

- High open loop gain 3,000,000
- Low input voltage drift  $0.6 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
- High common mode rejection  $-120 \text{ dB}$
- Low input noise current  $0.15 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
- Low input offset current  $2 \text{ nA}$
- High input voltage range  $\pm 14\text{V}$
- Wide power supply range  $\pm 3\text{V}$  to  $\pm 22\text{V}$
- Offset null capability
- Output short circuit protection

## Connection Diagrams and Ordering Information



## Absolute Maximum Ratings

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

Supply Voltage	±22V
Internal Power Dissipation (Note 1)	500 mW
Differential Input Voltage	±5V
Input Voltage (Note 2)	±22V

Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	
Lead Temperature (Soldering, 10 Sec.)	260°C	
Maximum Junction Temperature	150°C	
Operating Temperature Range	T <sub>A(MIN)</sub>	T <sub>A(MAX)</sub>
LM725	-55°C	to +125°C
LM725A	-55°C	to +125°C
LM725C	0°C	to +70°C

## Electrical Characteristics (Note 3)

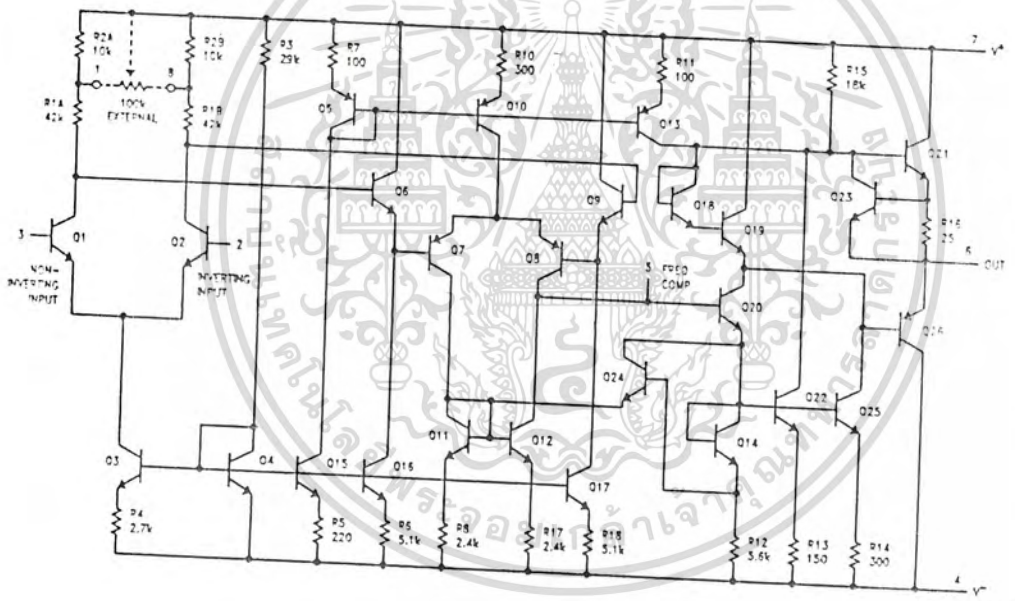
Parameter	Conditions	LM725A			LM725			LM725C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage (Without External Trim)	T <sub>A</sub> = 25°C, R <sub>S</sub> ≤ 10 kΩ			0.5	0.5	1.0		0.5	2.5	mV	
Input Offset Current	T <sub>A</sub> = 25°C		2.0	5.0	2.0	20		2.0	35	nA	
Input Bias Current	T <sub>A</sub> = 25°C		42	80	42	100		42	125	nA	
Input Noise Voltage	T <sub>A</sub> = 25°C f <sub>o</sub> = 10 Hz f <sub>o</sub> = 100 Hz f <sub>o</sub> = 1 kHz		15 9.0 8.0		15 9.0 8.0			15 9.0 8.0		nV/√Hz nV/√Hz nV/√Hz	
Input Noise Current	T <sub>A</sub> = 25°C f <sub>o</sub> = 10 Hz f <sub>o</sub> = 100 Hz f <sub>o</sub> = 1 kHz		1.0 0.3 0.15		1.0 0.3 0.15			1.0 0.3 0.15		pA/√Hz pA/√Hz pA/√Hz	
Input Resistance	T <sub>A</sub> = 25°C		1.5		1.5			1.5		MΩ	
Input Voltage Range	T <sub>A</sub> = 25°C	±13.5	±14		±13.5	±14		±13.5	±14	V	
Large Signal Voltage Gain	T <sub>A</sub> = 25°C, R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ, V <sub>OUT</sub> = ±10V	1000	3000		1000	3000		250	3000	V/mV	
Common-Mode Rejection Ratio	T <sub>A</sub> = 25°C, R <sub>S</sub> ≤ 10 kΩ	120			110	120		94	120	dB	
Power Supply Rejection Ratio	T <sub>A</sub> = 25°C, R <sub>S</sub> ≤ 10 kΩ		2.0	5.0		2.0	10		2.0	35	μV/V
Output Voltage Swing	T <sub>A</sub> = 25°C, R <sub>L</sub> ≥ 10 kΩ, R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ	±12.5 ±12.0	±13.5 ±13.5		±12 ±10	±13.5 ±13.5		±12 ±10	±13.5 ±13.5	V V	
Power Consumption	T <sub>A</sub> = 25°C	80	105		80	105		80	150	mW	
Input Offset Voltage (Without External Trim)	R <sub>S</sub> ≤ 10 kΩ			0.7			1.5			3.5	mV
Average Input Offset Voltage Drift (Without External Trim)	R <sub>S</sub> = 50Ω			2.0		2.0	5.0		2.0		μV/°C
Average Input Offset Voltage Drift (With External Trim)	R <sub>S</sub> = 50Ω		0.6	1.0		0.6			0.5		μV/°C
Input Offset Current	T <sub>A</sub> = T <sub>MAX</sub> T <sub>A</sub> = T <sub>MIN</sub>		1.2 7.5	4.0 15.0		1.2 7.5	20 40		1.2 4.0	35 50	nA nA
Average Input Offset Current Drift			35	90		35	150		10		pA/°C
Input Bias Current	T <sub>A</sub> = T <sub>MAX</sub> T <sub>A</sub> = T <sub>MIN</sub>		20 80	70 180		20 80	100 200			125 250	nA nA

# Electrical Characteristics (Note 3) (Continued)

Parameter	Conditions	LM725A			LM725			LM725C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $T_A = T_{MAX}$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $T_A = T_{MIN}$	1,000,000			1,000,000			125,000			V/V
Common-Mode Rejection Ratio	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	110			100			115			dB
Power Supply Rejection Ratio	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	8.0			20			20			$\mu\text{V/V}$
Output Voltage Swing	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	$\pm 12$			$\pm 10$			$\pm 10$			V

Note 1: Derate at 150°C/W for operation at ambient temperatures above 75°C.  
 Note 2: For supply voltages less than  $\pm 22\text{V}$ , the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.  
 Note 3: These specifications apply for  $V_S = \pm 15\text{V}$  unless otherwise specified.

## Schematic Diagram



LM725/LM725A/LM725C



# LM108A/LM208A/LM308A, LM308A-1, LM308A-2 operational amplifiers

## general description

The LM108/LM108A series are precision operational amplifiers having specifications about a factor of ten better than FET amplifiers over their operating temperature range. In addition to low input currents, these devices have extremely low offset voltage, making it possible to eliminate offset adjustments, in most cases, and obtain performance approaching chopper stabilized amplifiers.

The devices operate with supply voltages from  $\pm 2V$  to  $\pm 18V$  and have sufficient supply rejection to use unregulated supplies. Although the circuit is interchangeable with and uses the same compensation as the LM101A, an alternate compensation scheme can be used to make it particularly insensitive to power supply noise and to make supply bypass capacitors unnecessary. Outstanding characteristics include:

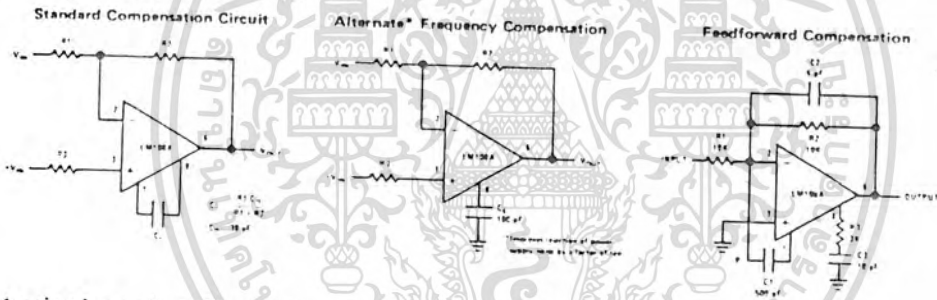
- Offset voltage guaranteed less than 0.5 mV
- Maximum input bias current of 30 nA over temperature

- Offset current less than 400 pA over temperature
- Supply current of only 300  $\mu A$ , even in saturation
- Guaranteed 5  $\mu V/^{\circ}C$  drift.
- Guaranteed 1  $\mu V/^{\circ}C$  for LM308A-1

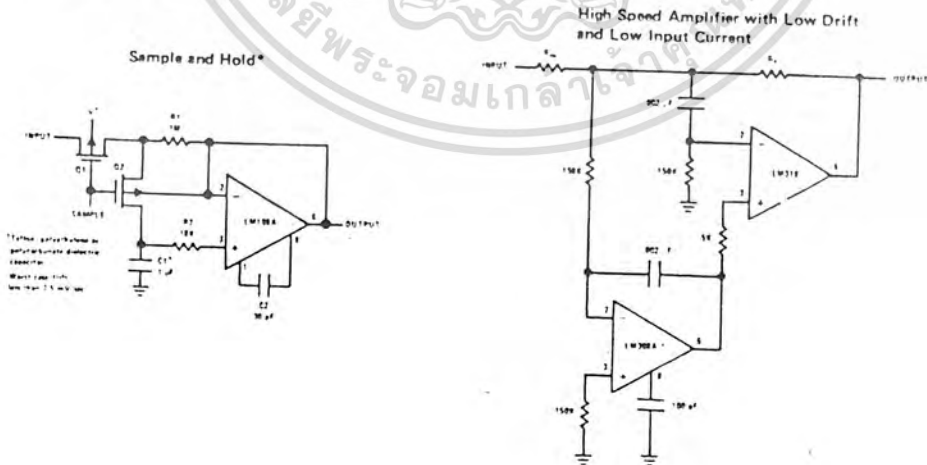
The low current error of the LM108A series makes possible many designs that are not practical with conventional amplifiers. In fact, it operates from 10 M $\Omega$  source resistances, introducing less error than devices like the 709 with 10 k $\Omega$  sources. Integrators with drifts less than 500  $\mu V/sec$  and analog time delays in excess of one hour can be made using capacitors no larger than 1  $\mu F$ .

The LM208A is identical to the LM108A, except that the LM208A has its performance guaranteed over a  $-25^{\circ}C$  to  $85^{\circ}C$  temperature range, instead of  $-55^{\circ}C$  to  $125^{\circ}C$ . The LM308A devices have slightly relaxed specifications and performance guaranteed over a  $0^{\circ}C$  to  $70^{\circ}C$  temperature range.

## compensation circuits



## typical applications



# LM108A/LM208A

## absolute maximum ratings

Supply Voltage	±20V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW
Differential Input Current (Note 2)	±10 mA
Input Voltage (Note 3)	±15V
Output Short-Circuit Duration	Indefinite
Operating Temperature Range	LM108A -55°C to 125°C
	LM208A -25°C to 85°C
Storage Temperature Range	-65°C to 150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	300°C

## electrical characteristics (Note 4)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.3	0.5	mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.05	0.2	nA
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.8	2.0	nA
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$	30	70		MΩ
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.3	0.6	mA
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_S = \pm 15\text{V}$ $V_{OUT} = \pm 10\text{V}$ , $R_L > 10\text{k}\Omega$	80	300		V/mV
Input Offset Voltage				1.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage			1.0		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current				0.4	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current			0.5		$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current				3.0	nA
Supply Current	$T_A = +125^\circ\text{C}$		0.15	0.4	mA
Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15\text{V}$ , $V_{OUT} = \pm 10\text{V}$ $R_L > 10\text{k}\Omega$	30			V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15\text{V}$ , $R_L = 10\text{k}\Omega$	±13	±14		V
Input Voltage Range	$V_S = \pm 15\text{V}$	±13.5			V
Common Mode Rejection Ratio		96	110		dB
Supply Voltage Rejection Ratio		96	110		dB

Note 1: The maximum junction temperature of the LM108A is 150°C, while that of the LM208A is 100°C. For operating at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W, junction to ambient, or 45°C/W, junction to case. For the flat package, the derating is based on a thermal resistance of 185°C/W when mounted on a 1.16-inch-thick epoxy-glass board with ten, 0.03-inch-wide, 2-ounce copper conductors. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W, junction to ambient.

Note 2: The inputs are shunted with back-to-back diodes for overvoltage protection. Therefore, excessive current will flow if a differential input voltage in excess of 1V is applied between the inputs, unless some limiting resistance is used.

Note 3: For supply voltages less than ±15V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 4: These specifications apply for  $\pm 5\text{V} < V_S < \pm 20\text{V}$  and  $-55^\circ\text{C} < T_A < 125^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified. With the LM208A, however, all temperature specifications are limited to  $-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}$ .

# LM308A, LM308A-1, LM308A-2

## absolute maximum ratings

Supply Voltage	±18V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW
Differential Input Current (Note 2)	±10 mA
Input Voltage (Note 3)	±15V
Output Short-Circuit Duration	Indefinite
Operating Temperature Range	0°C to 70°C
Storage Temperature Range	-65°C to 150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	300°C

## electrical characteristics (Note 4)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.3	0.5	mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.2	1	nA
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		1.5	7	nA
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$	10	40		MΩ
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 15\text{V}$		0.3	0.8	mA
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 15\text{V},$ $V_{OUT} = \pm 10\text{V}, R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	80	300		V/mV
Input Offset Voltage	$V_S = \pm 15\text{V}, R_S = 100\Omega$			0.73	mV
LM308A				0.54	mV
LM308A-1				0.50	mV
LM308A-2					
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage	$V_S = \pm 15\text{V}, R_S = 100\Omega$				$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
LM308A			2.0	5.0	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
LM308A-1			0.6	1.0	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
LM308A-2			1.3	2.0	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current				1.5	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current			2.0	10	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current				10	nA
Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15\text{V}, V_{OUT} = \pm 10\text{V},$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	60			V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15\text{V}, R_L = 10\text{ k}\Omega$	±13	±14		V
Input Voltage Range	$V_S = \pm 15\text{V}$	±14			V
Common Mode Rejection Ratio		96	110		dB
Supply Voltage Rejection Ratio		96	110		dB

Note 1: The maximum junction temperature of the LM308A, LM308-1 and LM308-2 is 85°C. For operating at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W, junction to ambient, or 45°C/W, junction to case. For the flat package, the derating is based on a thermal resistance of 185°C/W when mounted on a 1/16 inch thick epoxy glass board with ten, 0.03 inch wide, 2 ounce copper conductors. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W junction to ambient.

Note 2: The inputs are shunted with back-to-back diodes for overvoltage protection. Therefore, excessive current will flow if a differential input voltage in excess of 1V is applied between the inputs unless some limiting resistance is used.

Note 3: For supply voltages less than ±15V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 4: These specifications apply for  $-5\text{V} \leq V_S \leq 15\text{V}$  and  $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified.

## application hints

A very low drift amplifier poses some uncommon application and testing problems. Many sources of error can cause the apparent circuit drift to be much higher than would be predicted.

Thermocouple effects caused by temperature gradient across dissimilar metals are perhaps the worst offenders. Only a few degrees gradient can cause hundreds of microvolts of error. The two places this shows up, generally, are the package-to-printed circuit board interface and temperature gradients across resistors. Keeping package leads short and the two input leads close together help greatly.

Resistor choice as well as physical placement is important for minimizing thermocouple effects. Carbon, oxide film and some metal film resistors can cause large thermocouple errors. Wirewound resistors of evenohm or manganin are best since they only generate about  $2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$  referenced to copper. Of course, keeping the resistor ends at the same temperature is important. Generally, shielding a low drift stage electrically and thermally will yield good results.

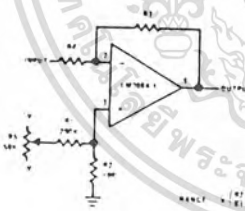
Resistors can cause other errors besides gradient generated voltages. If the gain setting resistors do not track with temperature a gain error will result. For example a gain of 1000 amplifier with a con-

stant 10 mV input will have a 10V output. If the resistors mismatch by 0.5% over the operating temperature range, the error at the output is 50 mV. Referred to input, this is a  $50 \mu\text{V}$  error. All of the gain fixing resistor should be the same material.

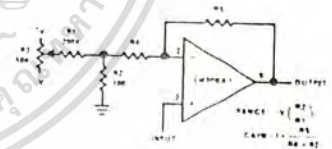
Offset balancing the LM308A-1 can be a problem since there is no easy offset adjustment incorporated into the circuit. These devices are selected for low drift with no offset adjustment to the internal circuitry, so any change of the internal currents will change the drift - probably for the worse. Offset adjustment must be done at the input. The three most commonly needed circuits are shown here.

Testing low drift amplifiers is also difficult. Standard drift testing technique such as heating the device in an oven and having the leads available through a connector, thermoprobe, or the soldering iron method - do not work. Thermal gradients cause much greater errors than the amplifier drift. Coupling microvolt signal through connectors is especially bad since the temperature difference across the connector can be  $50^\circ\text{C}$  or more. The device under test along with the gain setting resistor should be isothermal. The following circuit will yield good results if well constructed.

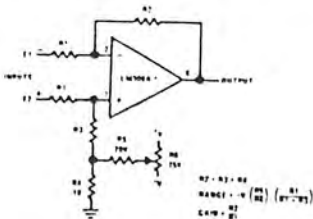
Offset Adjustment for Inverting Amplifiers



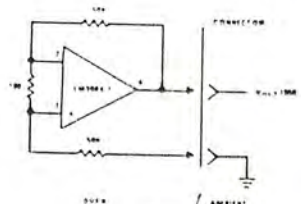
Offset Adjustment for Non Inverting Amplifiers



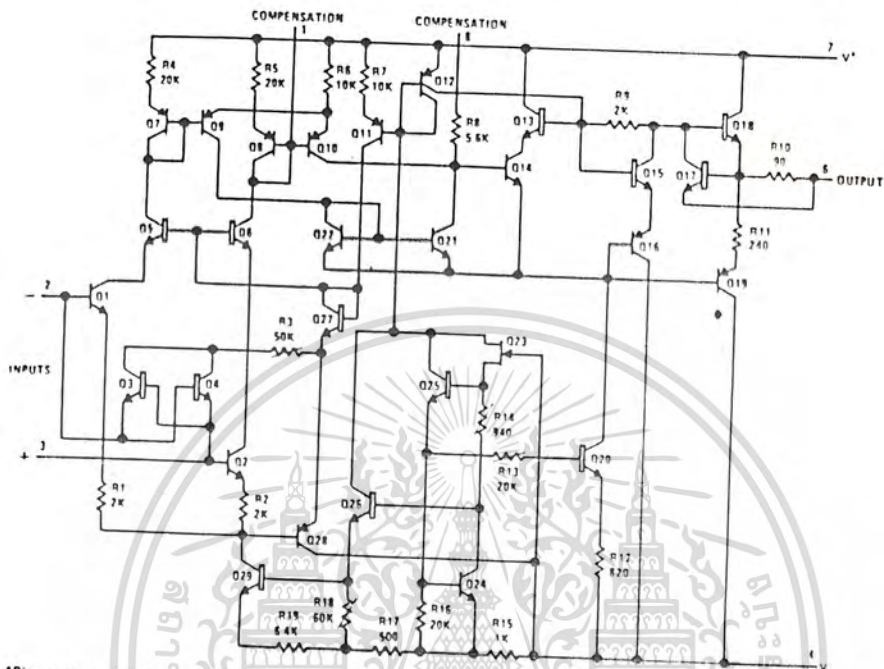
Offset Adjustment for Differential Amplifiers



Drift Measurement Circuit

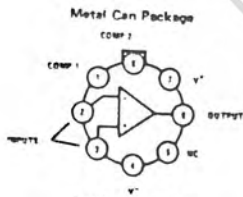


schematic diagram\*



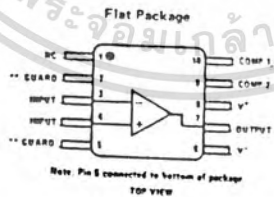
\*Pin connections shown on schematic diagram refer to TO-5 package.

connection diagrams

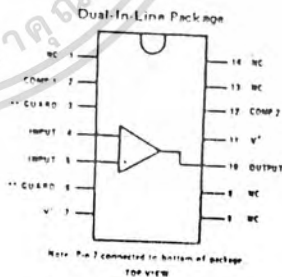


Note: Pin 8 connected to can

\*\*If used on a can, internal connection to allow for input pin leakage guard ring on printed circuit board layout



Note: Pin 8 connected to bottom of package TOP VIEW



Note: Pin 7 connected to bottom of package TOP VIEW

Order Number LM108AH, LM208AH, LM308AH, LM308AH-1 or LM308AH-2 See Package 11

Order Number LM108AF or LM208AF See Package 3

Order Number LM108AD, LM208AD or LM308AD See Package 1  
Order Number LM108AJ, LM208AJ, or LM308AJ See Package 16



54138/74138 3-Line-to-8-Line Decoder

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL			
	Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package		
T.I.	SN54S138	J	P	M	CF															
FAIRCHILD	SN74S138	J	P	M	CF															
MOTOROLA	DM74S138	J	P	M	CF															
N.S.C.	DM74S138	J	P	M	CF															
PHILIPS	N74S138	J	P	M	CF															
SIGNETICS	SN54S138	J	P	M	CF															
SIEMENS	N74S138	J	P	M	CF															
FUJITSU																				
HITACHI																				
MTSUBISHI																				
NEC	M74S138	J	P	M	CF															
TOSHIBA																				

Electrical Characteristics SN54LS138/SN74LS138

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V <sub>CC</sub>	TV	Operating free-air temperature range	SN54LS138	-55°C to 125°C
Input voltage	TV	Storage temperature range	SN74LS138	0°C to 70°C
				-65°C to 150°C

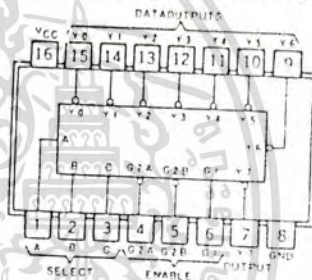
recommended operating conditions

	SN54LS138			SN74LS138			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V <sub>CC</sub>	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I <sub>OH</sub>			400			400	mA
Low-level output current, I <sub>OL</sub>			8			8	mA
Operating free-air temperature, T <sub>A</sub>	-55	125	0			70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER #	TEST CONDITIONS †	MIN	TYP ‡	MAX	UNIT		
V <sub>IH</sub>	High-level input voltage	2			V		
V <sub>IL</sub>	Low-level input voltage			0.8	V		
V <sub>I</sub>	Input clamp voltage	V <sub>CC</sub> - MIN, I <sub>I</sub> = -18 mA		1.5	V		
V <sub>OH</sub>	High-level output voltage	V <sub>CC</sub> - MIN, V <sub>IH</sub> = 2V, I <sub>OH</sub> = 0.8V, I <sub>OH</sub> = 400 μA	SN54LS138	2.5	3.4	V	
V <sub>OL</sub>	Low-level output voltage	V <sub>CC</sub> - MIN, V <sub>IH</sub> = 2V, V <sub>I</sub> = 0.8V, I <sub>OL</sub> = 8 mA	SN74LS138	2.7	3.8	V	
I <sub>I</sub>	Input current at maximum input voltage	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> = 7V		0.1	mA		
I <sub>IH</sub>	High-level input current	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> = 2.7V		20	μA		
I <sub>IL</sub>	Low-level input current	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> = 0.8V		0.4	mA		
I <sub>OS</sub>	Short-circuit output current †	V <sub>CC</sub> = MAX	-20	-100	mA		
I <sub>CC</sub>	Supply current	V <sub>CC</sub> = MAX, Outputs enabled and open	6.3	10	mA		
t <sub>PLH</sub>	from Binary select	V <sub>CC</sub> = 5V, T <sub>A</sub> = 25°C, C <sub>L</sub> = 150pF, R <sub>L</sub> = 2kΩ	levels of delay	2	13	20	ns
t <sub>PHL</sub>	to Any output			3	18	27	ns
t <sub>PLH</sub>	to Any output			3	26	39	ns
t <sub>PHL</sub>	to Any output			2	12	18	ns
t <sub>PLH</sub>	from Enable			3	21	32	ns
t <sub>PHL</sub>	to Any output			3	17	26	ns

Pin Assignment (Top View)



positive logic; see function table

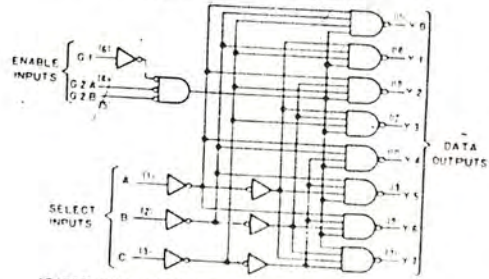
Function Table

S138 LS138

INPUTS				OUTPUTS							
ENABLE	SELECT	G	A	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
G1	G2A	G	A	X	H	H	H	H	H	H	H
X	H	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
L	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	H	L	H	H	H	H	H	H
H	L	L	H	L	L	H	H	H	H	H	H
H	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H
H	L	H	L	H	H	H	L	H	H	H	H
H	L	H	L	H	H	H	H	L	H	H	H
H	L	H	H	L	H	H	H	H	L	H	H
H	L	H	H	H	L	H	H	H	H	L	H
H	L	H	H	H	H	L	H	H	H	H	L

G2 = G2A + G2B  
H = high level, L = low level, X = irrelevant

Functional Block Diagram



'S138' LS138 DECODER / DEMULTIPLEXER

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions for the applicable device type.  
‡ All typical values are at V<sub>CC</sub> = 5V, T<sub>A</sub> = 25°C.  
§ Not more than one output should be shown at a time, and duration of the short-circuit test should not exceed one second.  
¶ t<sub>PLH</sub> = propagation delay time, low-to-high-level output.  
‡ t<sub>PHL</sub> = propagation delay time, high-to-low-level output.

# 54373/74373 Octal D-Type Transparent Latches and Edge-Triggered Flip-Flops

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL	
	Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package
T.I.	SNS4LS373	J	P	M	CF													
FAIRCHILD	SN74LS373	J	P	M	CF													
MOTOROLA																		
N.S.C.																		
PHILIPS																		
SIGNETICS																		
SIEMENS																		
FUJITSU																		
HITACHI																		
MITSUBISHI																		
NEC																		
TOSHIBA																		

## Electrical Characteristics SN54LS373/SN74LS373

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage $V_{CC}$	TV	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	TV	Storage temperature range	SN74LS	0°C to 70°C
				-65°C to 150°C

### recommended operating conditions

	SN54LS373			SN74LS373			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage $V_{CC}$	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current $I_{OH}$			-1			-2.6	mA
High-level output voltage $V_{OH}$			5.5			5.5	V
Pulse width $t_w$	Clock enable high	15		15			ns
	Clock enable low	15		15			ns
Setup time $t_{SUTYP}$	0.1			0.1			ns
Hold time $t_{HOLD}$	10			10			ns
Operating free-air temperature $T_A$	-55		125	0		70	°C

### electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

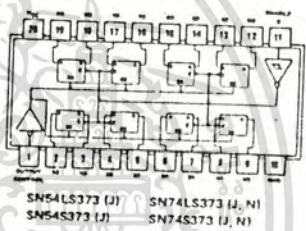
PARAMETER	TEST CONDITIONS †	MIN	TYP ‡	MAX	UNIT	
$V_{IH}$	High-level input voltage		2		V	
$V_{IL}$	Low-level input voltage			0.8	V	
$V_{IK}$	Input clamp voltage			-1.5	V	
$V_{OH}$	High-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}, I_O = -18\text{mA}$	2.4	3.1	V	
$V_{OL}$	Low-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}, V_{IH} = 2\text{V}, V_{IL} = V_{IL\text{max}}, I_{OH} = \text{MAX}$	0.35	0.5	V	
$I_{OZH}$	Off-state output current, high-level voltage applied	$V_{CC} = \text{MAX.}, V_{IH} = 2\text{V}, V_O = 2.7\text{V}$		20	$\mu\text{A}$	
$I_{OZL}$	Off-state output current, low-level voltage applied	$V_{CC} = \text{MAX.}, V_{IH} = 2\text{V}, V_O = 0.4\text{V}$		-20	$\mu\text{A}$	
$I_I$	Input current at maximum input voltage	$V_{CC} = \text{MAX.}, V_I = 7\text{V}$		0.1	mA	
$I_{IH}$	High-level input current	$V_{CC} = \text{MAX.}, V_I = 2.7\text{V}$		20	$\mu\text{A}$	
$I_{IL}$	Low-level input current	$V_{CC} = \text{MAX.}, V_I = 0.4\text{V}$		-0.4	mA	
$I_{OS}$	Short-circuit output current †	$V_{CC} = \text{MAX.}$		-30	mA	
$I_{CC}$	Supply current	$V_{CC} = \text{MAX.},$ Output control at 1.5V	LS373	24	80	mA

### switching characteristics, $V_{CC} = 5\text{V}, T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	FROM (INPUT)	TO (OUTPUT)	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
$f_{max}$							MHz
$t_{PLH}$	Data	Any Q	$C_L = 45\text{pF}, R_L = 667\Omega,$ See Notes 2 and 3		12	18	ns
$t_{PHL}$	Clock or enable	Any Q			20	30	ns
$t_{PZH}$	Output	Any Q			18	30	ns
$t_{PZL}$	Control	Any Q			15	28	ns
$t_{DZH}$	Output	Any Q	$C_L = 5\text{pF}, R_L = 667\Omega,$ See Note 3		25	36	ns
$t_{DZL}$	Control	Any Q			12	20	ns

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.  
‡ All typical values are at  $V_{CC} = 5\text{V}, T_A = 25^\circ\text{C}$ .  
§ Not more than one output should be shorted at a time and duration of the short circuit should not exceed one second.

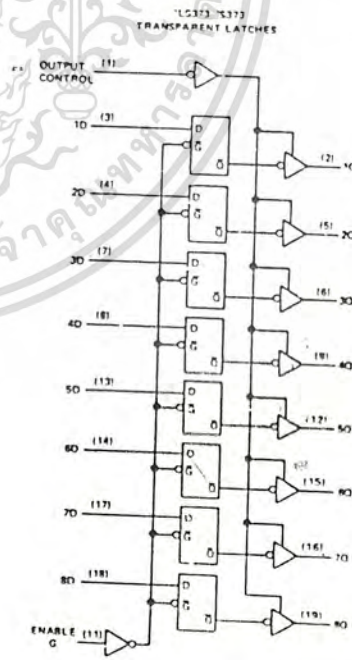
## Pin Assignments (Top View)



LS373 37373  
FUNCTION TABLE

OUTPUT CONTROL	ENABLE	Q	Q'	OUTPUT
L	H	H	L	H
L	L	L	H	Q <sub>0</sub>
H	H	H	L	H
H	L	L	H	L

LS373 37373  
TRANSPARENT LATCHES



NOTES: 2. Maximum clock frequency is tested with all outputs loaded.  
3. See load circuits and waveforms on page J-11.  
 $f_{max}$  = maximum clock frequency  
 $t_{PLH}$  = propagation delay time, low-to-high-level output  
 $t_{PHL}$  = propagation delay time, high-to-low-level output  
 $t_{PZH}$  = output enable time to high level  
 $t_{PZL}$  = output enable time to low level  
 $t_{DZH}$  = output disable time from high level  
 $t_{DZL}$  = output disable time from low level

