

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง วิทยาเขตระยอง

DIGITAL KILO WATT HOUR METER

เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าแบบดิจิทัล



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาบัตร

เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าแบบดิจิทัล
DIGITAL KILO WATT HOUR METER

ชื่อนักศึกษา

นายวัญญู ยี่สา
นายสถิต วิสัยพรม

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.มยุรี เลิศเวทกุล

ภาควิชา

เทคนิคอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา

2544

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้รับ
ปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญาบัตร

ประธานกรรมการ

()

กรรมการ

()

กรรมการ

()

กรรมการ

()

กรรมการ

()

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ก-

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิทัล

โดย นายวทัญญู ยีสา รหัส 42015653
นายสถิต วิสัยพรม รหัส 42015659

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.มยุรี เลิศเวชกุล

ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เรียบเรียงขึ้นจากผลงานจริงที่ได้ออกแบบ และสร้างโครงการดิจิทัลกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ (Digital Kilo Watt Hour Meter) จุดประสงค์ของโครงการนี้ เพื่อเป็นเครื่องวัดกำลังงานทางไฟฟ้า (Electric Power) ในโหลดหรืออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น หลอดไฟ มอเตอร์ คอมพิวเตอร์ เป็นต้น

ข้อดีคือ ราคาถูกและสะดวก ทำให้เราทราบค่ากำลังงานไฟฟ้า ที่อุปกรณ์ใช้ไป ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ หลักการทำงานของวงจร ได้จากการนำแรงดันที่ตกคร่อมโหลดคูณกับกระแสที่ไหลผ่านโหลด โดยใช้ไอซีมัลติพลาย (Multiplier) เบอร์ MC1495 ทำหน้าที่เป็นวงจรคูณ แล้วนำผลคูณที่ได้ไปที่ภาคแสดงผลเพื่อแสดงออกมาในรูปของหน่วย "วัตต์"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIGITAL KILO WATT HOUR METER

BY MR.VATHANYU YEESA No.42015653
MR.SATIT WISAIPROM No.42015659

ADVISER MRS.MAYUREE LURTWECHAKUL

YEAR 2001

ABSTRACT

THE THESIS IS CONCERNED ABOUT DESIGN AND CONSTRUCTION OF DIGITAL KILO WATT HOUR METER THE PROPOSE OF THIS PROJECT IS USING FOR THE MEASURE OF ELECTRIC POWER CONSTRUCTION IN ELECTRIC EQUIPMENT SUCH AS LAMP , MOTOR , COMPUTER ETC.

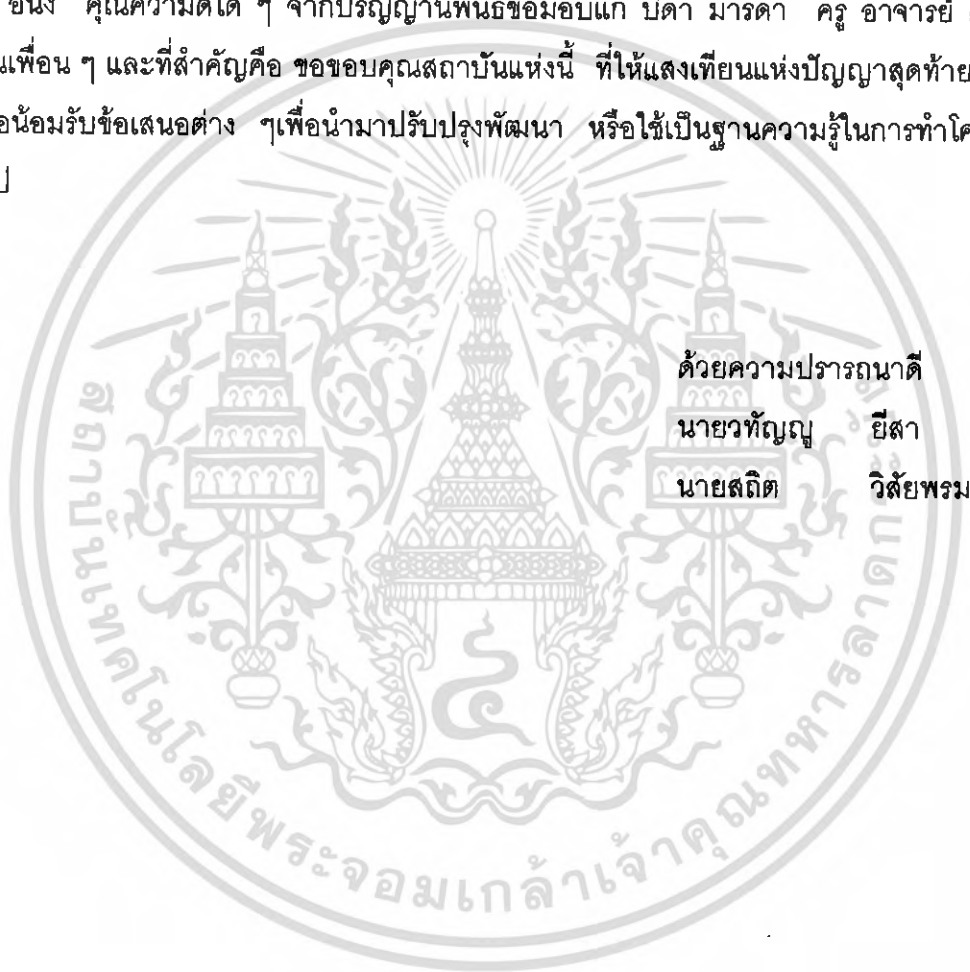
THIS WATTMETER IS CHEAP AND EASY TO OPERATE . IT CAN MEASURE ELECTRIC POWER IN " WATT" UNIT. WATTMETER USE LOAD VOLTAGE SIGNAL MULTIPLY WITH LOAD CURRENT SIGNAL BY MULTIPLIER IC NUMBER MC1495 AND OUTPUT TO THE DIGITAL DISPLAY.

-ค-

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จคณะผู้จัดทำขอขอบคุณ อ.มยุรี เลิศเวชกุล อาจารย์ประจำภาคเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์

อนึ่ง คุณความดีใด ๆ จากปริญญานิพนธ์ขอมอบแก่ บิดา มารดา ครู อาจารย์ และข้อขอบคุณเพื่อน ๆ และที่สำคัญคือ ขอขอบคุณสถาบันแห่งนี้ ที่ให้แสงเทียนแห่งปัญญาสุดท้ายคณะผู้จัดทำขอน้อมรับข้อเสนอต่าง ๆ เพื่อนำมาปรับปรุงพัฒนา หรือใช้เป็นฐานความรู้ในการทำโครงการอื่นต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 แนวความคิด	1
1.2 เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าแบบดิจิตอล	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 ทฤษฎีกำลังไฟฟ้า	3
2.2 ทฤษฎีไมโครคอนโทรลเลอร์	8
2.3 การแสดงผลแบบ LCD	16
บทที่ 3 หลักการออกแบบ	
3.1 การออกแบบวงจรคุณ	22
3.2 การเปลี่ยนอนาล็อกทูดิจิตอล	26
3.3 การเชื่อมต่อไอซี ADC0804 กับไมโครคอนโทรลเลอร์	30
3.4 การออกแบบวงจรภาคจ่ายไฟ	31
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 การปรับแต่งและการทดสอบ	32
4.2 ผลการทดลอง	33
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 บทสรุป	34
5.2 ข้อเสนอแนะ	34
หนังสืออ้างอิง	
ภาคผนวก ก. โปรแกรมของโครงการ	
ภาคผนวก ข. รูปวงจรของโครงการ	
ภาคผนวก ค. ข้อมูลของไอซี	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวความคิด

ในปัจจุบันเครื่องวัดมีความจำเป็นมาก โดยเฉพาะผู้ทำงานด้านช่าง หรือทางผู้วิจัยโครงการ ดังนั้นบริษัทผู้ผลิต จึงได้แข่งขันกันผลิตเครื่องมือวัดในรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นลักษณะการวัด ฟังก์ชันความน่าเชื่อถือของเครื่องวัด ซึ่งแต่ละบริษัทได้ผลิตออกมา สาเหตุดังกล่าวจึงเป็นสาเหตุให้ ราคาเครื่องวัดมีราคาแพง ดังนั้นโครงการนี้จึงเกิดขึ้นเพื่อทำการวิจัยและผลิตเป็นต้นแบบให้ได้ต้นทุนที่ต่ำและสามารถนำเครื่องวัดไปใช้งานได้ง่ายและหลายแบบ อีกทั้งยังสามารถนำงานชิ้นนี้ ไปออกแบบและพัฒนาเพิ่มเติมได้อีกด้วย แต่ข้อจำกัดของการจัดสร้างเครื่องมือวัดก็คือ เราไม่สามารถที่จะ วิจัยและผลิตเครื่องวัดชนิดที่มีการทำงานที่ยุ้งยากและละเอียดอ่อนได้ เนื่องจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความพร้อมของเครื่องมือ ความพร้อมของผู้วิจัยพัฒนา ด้วยเหตุนี้เองจึงเลือกที่จะวิจัยและผลิต เครื่องวัดที่เรียกว่า “เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าแบบดิจิตอล” (Digital kilo watt hour meter)

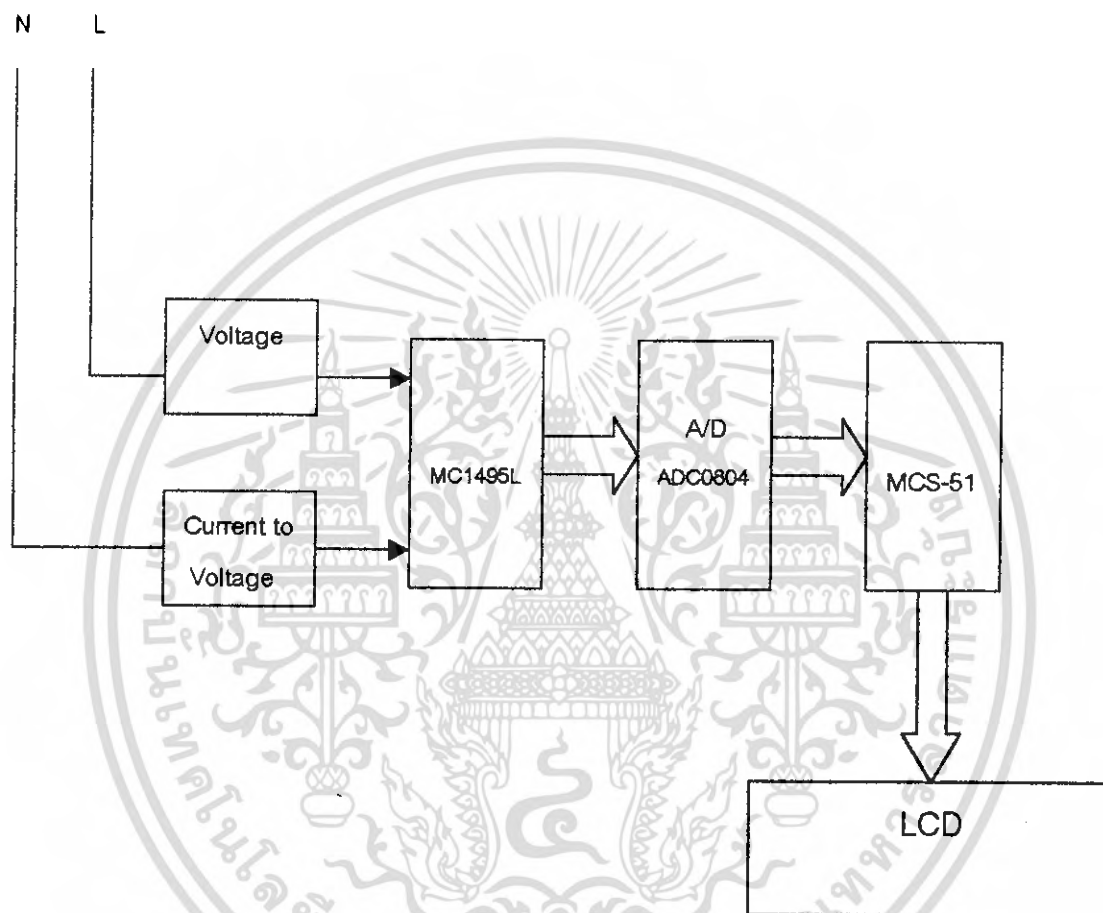
1.2 เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าแบบดิจิตอล (Digital kilo watt hour meter)

เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าแบบดิจิตอลนี้จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วน ซึ่งต้องทำงานร่วมกันคือ

1.ภาคเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า ในส่วนนี้จะต่ออยู่กับโหลด (Load) ที่ต้องการจะวัดกำลังไฟฟ้า เครื่องวัดนี้จะนำค่าแรงดันและค่ากระแสของโหลดมาคูณกับค่าคงที่ค่าหนึ่งและนำผลออกมาที่ด้าน เอาท์พุทเป็นแรงดันระดับหนึ่ง ซึ่งแปรผันกับกำลังไฟฟ้าของโหลดที่วัด

2.ภาคควบคุม ในส่วนนี้ใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มาเก็บค่าที่วัดได้และประมวลผล แสดงผลที่ภาคแสดงผลโดยจะนำเอาท์พุทจากเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าเข้าวงจรอนาลอกทูดิจิตอลคอนเวอร์เตอร์ (Analog to Digital Converter) ก่อนที่จะส่งเข้าไปประมวลผลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์

3. ภาคแสดงผล ในส่วนนี้จะใช้จอผลึกเหลว (Liquid Crystal Display) แบบดอทเมตริก (Dot Matrix) เป็นส่วนแสดงผล



รูป บล็อกไดอะแกรมของ Digital Kilowatt Hour Meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีกำลังไฟฟ้า

ในการคำนวณเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า มีอยู่สิ่งหนึ่งที่เรามิสามารถจะหลีกเลี่ยงได้ นั่นคือ การพิจารณาและการคำนวณเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในวงจร การพิจารณาและการคำนวณเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงนั้น จะเห็นได้ว่า ไม่ยุ่งยากและซับซ้อนเท่าใดนัก เพราะกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าเท่ากับผลคูณของแรงดันกับกระแส ที่มีค่าคงที่และอินเฟส (in phase) กันด้วย ซึ่งสามารถที่จะเขียนเป็นสูตรได้ว่า $P = IE$ (ในที่นี้ $P =$ กำลังไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็นวัตต์, $I =$ กระแสไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็นแอมแปร์ และ $E =$ แรงดันไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็นโวลท์) ส่วนกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ดูออกจะยุ่งยากและซับซ้อนมากกว่าทั้งนี้เพราะ แรงดันกับกระแสของไฟฟ้ากระแสสลับมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้มุมเฟสของวงจรที่เกิดจากแรงดันกับกระแส ยังมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยเมื่อใช้โหลดที่แตกต่างกัน ดังนั้นกำลังไฟฟ้าของไฟสลับที่เกิดขึ้น ณ เวลาชั่วขณะใดขณะหนึ่งนั้น จะมีค่าเท่ากับผลคูณของแรงดันกับกระแสที่เกิดขึ้น ณ เวลาในขณะนั้น ซึ่งเขียนเป็นสูตรได้ว่า $P = IE$ (ในที่นี้ P, I และ E หมายถึงกำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะใด ๆ ของไฟสลับตามลำดับ)

การพิจารณาและการคำนวณเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ จะแยกพิจารณาออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

1. กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่วงจร ซึ่งเป็น กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ ให้เห็นทางโวลท์มิเตอร์ (Voltmeter) และแอมมิเตอร์ (Ampmeter) กล่าวคือเป็นกำลังไฟฟ้าที่ได้จากผลคูณของแรงดันกับกระแสที่ปรากฏให้เห็นทางโวลท์มิเตอร์และแอมมิเตอร์นั่นเอง จึงเรียก กำลังไฟฟ้าชนิดนี้ว่า กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏให้เห็นหรือ กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏหรือแอปพเพนทเพาเวอร์ (Apparent power)
2. กำลังไฟฟ้าที่แท้จริงที่ทำให้เกิดกำลังงานหรือ เกิดงานขึ้นภายในวงจร ซึ่งเรียกว่า กำลังไฟฟ้าจริงหรือทิวเพาเวอร์ (True power)
3. กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปในวงจรในรูปของรีแอคทีฟ (Reactive) ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ไม่สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ เรียกว่า กำลังไฟฟารีแอคทีฟ หรือรีแอคทีฟเพาเวอร์ (Reactive

ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับประกอบด้วยรีซิสตีฟ (Resistive) หรือความต้านทานเพียงอย่างเดียวเท่านั้น จะเห็นได้ว่า กระแสกับแรงดันในวงจรจะอินเฟส นั่นคือ ค่าชั่วขณะใด ๆ ของแรงดันทุก ๆ ค่าที่เกิดขึ้น ดังนั้น กำลังไฟฟ้าในวงจรของไฟสลับที่มีแต่ความต้านทานเพียงอย่างเดียว นั้น จึงมีค่าเท่ากับผลคูณประสิทธิผล (E_{rms} หรือ E) กับกระแสประสิทธิผล (I_{rms} หรือ I) ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

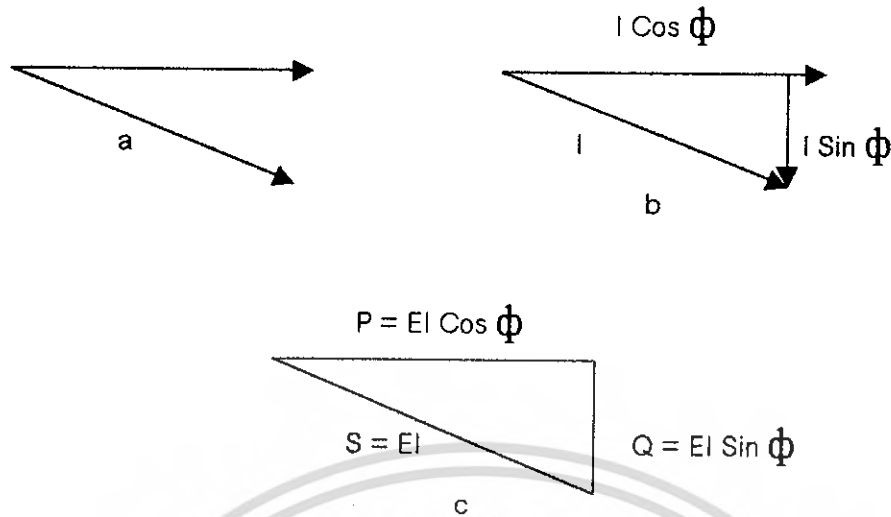
$$P = EI$$

กำลังไฟฟ้าอินดักทีฟ (Inductive)

ในวงจรไฟสลับที่ประกอบด้วยโหลดที่เป็นอินดักทีฟโหลด (Inductive) นั้น จะพิจารณาเห็นได้ว่า กระแสที่ไหลในวงจรจะล่าหลังแรงดันอยู่เป็นมุม ϕ ใด ๆ (มุม ϕ จะวางก็องศาขึ้นอยู่กับค่า R และ L ภายในวงจรในขณะที่มีความถี่ที่ปกติไม่เกิน 90 องศา) ดังในรูปที่ 2.1.1(a) จะเห็นว่ากระแสที่ไหลในวงจรจะล่าหลังแรงดัน E ที่จ่ายให้แก่วงจรอยู่เป็นมุม ϕ และในกรณีนี้ จะพิจารณาเห็นว่ากำลังไฟฟ้าของวงจรที่เกิดขึ้นจะไม่เท่ากับผลคูณของแรงดัน E กับกระแส I ที่ไหลในวงจร แต่จะมีค่าเท่ากับผลคูณของแรงดัน E กับกระแส I ในส่วนที่เกิดขึ้นที่อินเฟสกับแรงดัน E นั้นเอง ดังรูปที่ 2.1.1(b) จะเห็นว่า กระแส I ที่ไหลในวงจรซึ่งล่าหลังแรงดัน E อยู่เป็นมุม ϕ นั้น เราสามารถที่จะแตกให้อยู่ในรูปของกระแสอินเฟส (Inphase current) กับกระแสรีแอคทีฟ (Reactive current) ได้ ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้คือ

$$\begin{aligned} \text{กระแสอินเฟส} &= I_{\text{inphase}} = I \cos \phi \\ \text{กระแสรีแอคทีฟ} &= I_{\text{reactive}} = I \sin \phi \end{aligned}$$

และจากเฟสเซอร์ไดอะแกรมของกระแสในรูปที่ 2.1.1(b) เมื่อใช้แรงดัน E คูณกับส่วนประกอบของกระแสทั้งสาม ก็จะได้เพาเวอร์ไทรแองเกิ้ล (Power triangle) หรือส่วนประกอบของกำลังไฟฟ้าเป็นรูปสามเหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 2.1.1(c)



รูปที่ 2.1.1 แสดงที่มาของเพาเวอร์ไฟโรงแงกเมื่อโหลดเป็นอินดักทีฟ

จากเพาเวอร์ไฟโรงแงกในรูปที่ 2.1.1 จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ (Apparent power) ซึ่งได้มาจากผลคูณของแรงดัน E กับกระแส I และใช้ตัว S เป็นสัญลักษณ์เขียนแทนนั้นจะประกอบด้วย กำลังไฟฟ้าสองส่วน คือกำลังไฟฟ้าที่แท้จริงที่ทำให้เกิดกำลังงานหรือกำลังไฟฟ้าจริง (True power) ซึ่งใช้ตัว P เป็นสัญลักษณ์เขียนแทนกับกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปในวงจรในรูปของรีแอกทีฟหรือกำลังไฟฟารีแอกทีฟ (Reactive power) ซึ่งใช้ตัว Q เป็นสัญลักษณ์ เขียนแทนโดยที่ กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏวัดได้จากโวลต์มิเตอร์และ แอมมิเตอร์ (VA) ส่วนกำลังไฟฟ้าจริงซึ่งวัดได้จากวัตต์มิเตอร์จึงมีหน่วยเป็นวัตต์ (W) และกำลังไฟฟารีแอกทีฟ ซึ่งเป็นกำลังสูญเสียไปในวงจรและไม่ได้ทำให้เกิดกำลังงาน วัดเป็นโวลต์แอมแปร์รีแอกทีฟหรือวาร์ (Volt-ampere reactive = VAR)

จากเพาเวอร์ไฟโรงแงกในรูปที่ 2.1.1(c) จะได้

$$\text{กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ} = S = \text{แรงดัน} \times \text{กระแส} = EI$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าจริง} = P = \text{แรงดัน} \times \text{กระแสอินเฟส} = EI \cos \phi$$

$$\text{กำลังไฟฟารีแอกทีฟ} = \text{แรงดัน} \times \text{กระแสรีแอกทีฟ} = EI \sin \phi$$

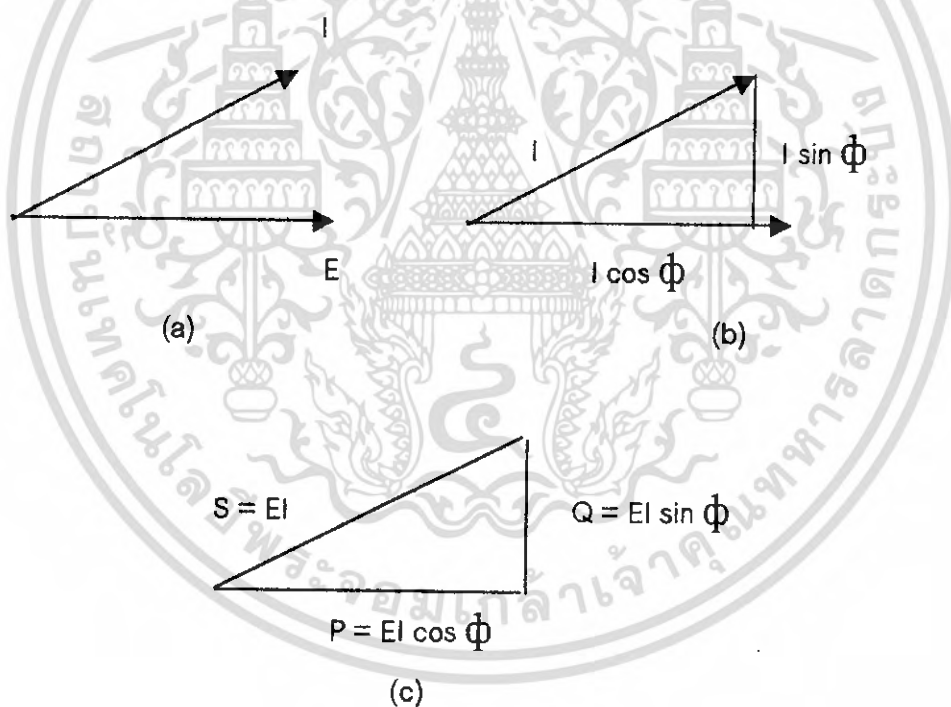
$$\cos \phi = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าจริง}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ}} = \frac{P}{S}$$

$$\sin \phi = \frac{\text{กำลังไฟฟารีแอกทีฟ}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ}} = \frac{Q}{S}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tan \phi = \frac{\text{กำลังไฟฟ้ารีแอกติฟ}}{\text{กำลังไฟฟ้าจริง}} = \frac{Q}{P}$$

ส่วนเพาเวอร์โพรแองเกิลของวงจรโพลิตที่เป็นแบบคาปาซิทีฟโหลด(Capacitive load) นั้น ก็สามารถที่จะหาได้ในลักษณะเดียวกันกับลักษณะอินดัคทีฟโหลด เพียงแต่ต่างกันที่ตำแหน่งของกระแสเท่านั้น กล่าวคือ ในวงจรที่โพลิตเป็นแบบคาปาซิทีฟโหลดนั้น กระแสที่โพลิตในวงจรจะนำหน้าแรงดันที่จ่ายให้แก่วงจรเป็นมุม ϕ ใด ๆ (มุม ϕ จะวางกึ่งกลางขึ้นอยู่กับค่า R และ X_c ในวงจร) ดังในรูปที่ 2.1.2(a) จะเห็นได้ว่ากระแส I นำหน้าแรงดัน E ไปเป็นมุม ϕ ส่วนในรูปที่ 2.1.2(b) จะเห็นว่ากระแส I ที่โพลิตในวงจรสามารถจะแตกเป็นกระแสอินเฟส ($I \cos \phi$) กับกระแสรีแอกติฟ ($I \sin \phi$) นั่นคือ เมื่อใช้แรงดัน E คู่กับส่วนประกอบของกระแสของกระแสทั้งตามในรูปที่ 2.1.2(b) ก็จะได้เพาเวอร์โพรแองเกิลในรูปที่ 2.1.2(c)



รูปที่ 2.1.2 แสดงที่มาของเพาเวอร์โพรแองเกิลเมื่อโพลิตเป็นแบบคาปาซิทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power factor : PF)

เพาเวอร์แฟคเตอร์ หมายถึงอัตราส่วนของ กำลังไฟฟ้าจริงที่วัดได้จากวัตต์มิเตอร์ต่อกำลังไฟฟ้าที่ปรากฏที่วัดได้จากโวลท์มิเตอร์และแอมมิเตอร์ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$PF = P/S$$

หรือ $PF = \cos \phi$

ปกติค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ จะเขียนบอกเป็นเลขจุดทศนิยม หรือเป็นเปอร์เซ็นต์ดังตัวอย่าง เช่น PF = 0.85 เราอาจเขียนได้ว่า PF = 85% ก็ได้ ในกรณีนี้หมายความว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าในวงจรได้ใช้กำลังไฟฟ้าในการทำให้เกิดงานเพียง 85% แรงดั้น-กระแส (Volt-ampere) ที่จ่ายให้แก่วงจรส่วนกำลังไฟฟ้าที่เหลืออีก 15 % นั้น จะสูญเสียไปในวงจรในรูป รีแอกตีฟ (ซึ่งเรียกว่า กำลังไฟฟารีแอกตีฟ)

นั่นคือ ถ้าหากวงจรไฟฟ้ามีค่า PF ต่ำ ๆ ก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของวงจรต่ำด้วย เพราะงานหรือกำลังงานที่ได้จากวงจรมีค่าต่ำ ในขณะที่ต้องป้อนแรงดั้นให้กับกระแสที่มีค่าสูงให้แก่วงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

สถาปัตยกรรมของ 8051 และโปรแกรมมิ่งโมเดล

8051 เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ชิปเดี่ยวขนาด 8 บิตยุคที่สอง ไมโครโปรเซสเซอร์ชิปเดี่ยวขนาด 8 บิตรุ่นแรกที่เกิดโดยบริษัท Intel ก็คือ ไมโครโปรเซสเซอร์ชิปเดี่ยวเบอร์ 8048 ในเวลาต่อมาบริษัท Intel ได้เปิดตัวไมโครโปรเซสเซอร์ชิปเดี่ยวเบอร์ 8049 ซึ่งมีขนาด 8 บิต ที่มีขนาดของ ROM และ RAM มากกว่ารุ่น 8048 ถึงสองเท่า นอกจากข้อแตกต่างนี้แล้วไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ 8048 และ 8049 นี้มีสถาปัตยกรรมที่เหมือนกัน

สถาปัตยกรรมและชุดคำสั่งใน 8051 ถูกพัฒนาให้มีความสามารถสูงขึ้นและได้มีการรวมเอาพอร์ตอนุกรมอย่างสมบูรณ์เข้าไปในชิป แต่การเพิ่มคุณสมบัติเหล่านี้เข้าไปทำให้สถาปัตยกรรมของ 8051 มีความแตกต่างจากสถาปัตยกรรมที่พบใน 8048 และ 8049 ในเวลาต่อมาได้มีการเปิดตัวชิปเบอร์ 8052 ซึ่งนอกจากจะมีการเพิ่มขนาดของ ROM และ RAM แล้วสถาปัตยกรรมในด้านอื่นของชิปตัวนี้ก็ยังคงเหมือนกับสถาปัตยกรรมของ 8051

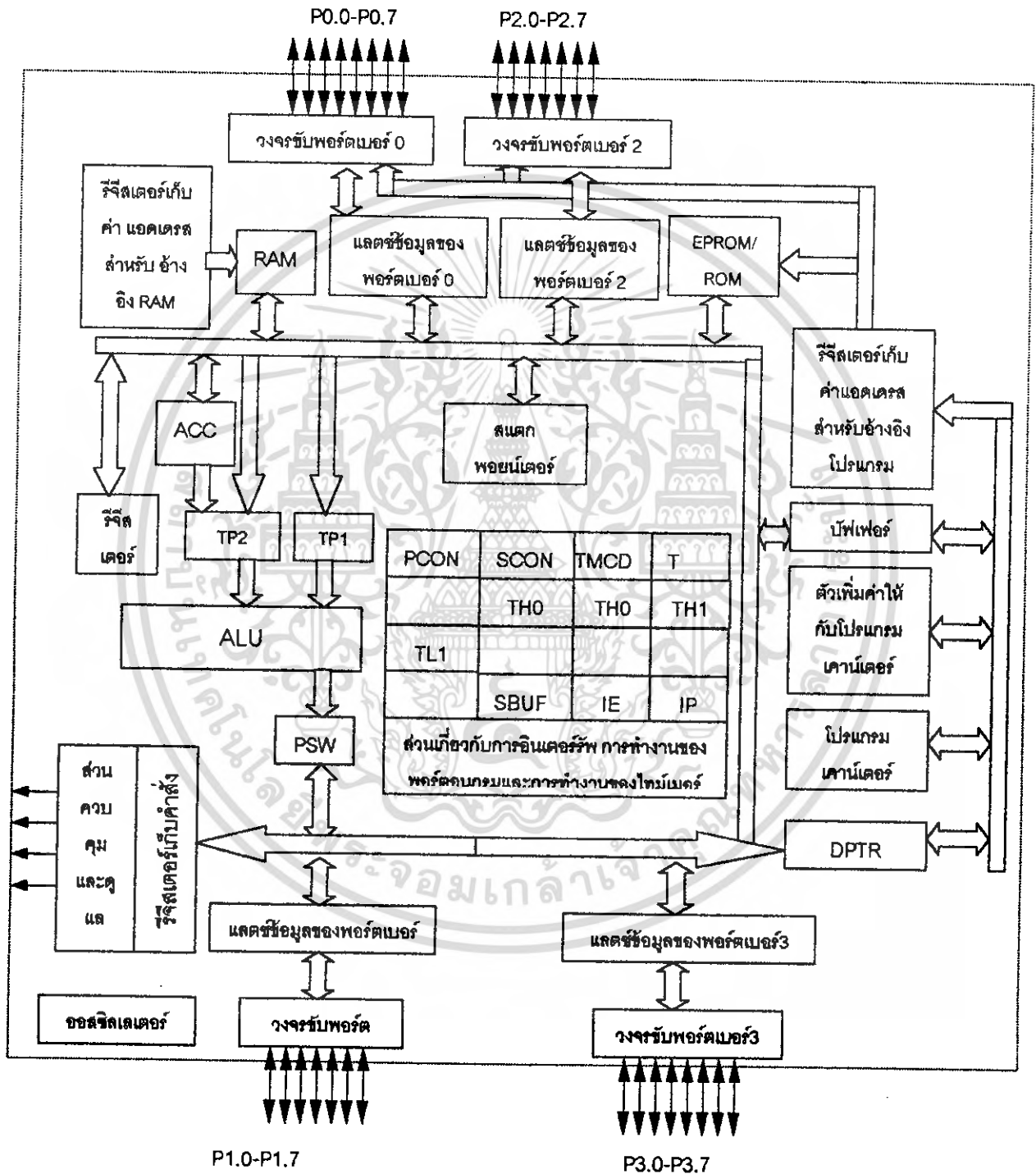
คุณสมบัติสำคัญของชิปเบอร์ 8051 ซึ่งรวมถึงพอร์ต I/O ที่มีความสามารถซับซ้อน ROM (หรือ EPROM) ขนาด 4 กิโลไบต์ RAM ขนาด 128 ไบต์ และเคาน์เตอร์ไทม์มิงขนาด 16 บิต 2 ตัว อุปกรณ์เหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมมิ่งโมเดลเนื่องจากเราพบส่วนต่างๆเหล่านี้ได้ในตัวชิป 8051 เราสามารถทำการอ้างอิงแอดเดรสของส่วนเหล่านี้ได้โดยตรงโดยไม่ต้องใช้คำสั่ง I/O

คุณสมบัติที่สำคัญในไมโครโปรเซสเซอร์ชิปเดี่ยวเบอร์ 8051

- ◆ ALU ขนาด 8 บิต
- ◆ ROM ขนาด 4Kx8 (หรือ EPROM)
- ◆ RAM ขนาด 128x8
- ◆ เคาน์เตอร์ไทม์มิงขนาด 16 บิต 2 ตัว
- ◆ เส้นส่งสัญญาณ I/O 32 เส้น
- ◆ สามารถอ้างอิงหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมได้ 64 Kbytes
- ◆ สามารถอ้างอิงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลได้ 64 Kbytes
- ◆ ชุดคำสั่งที่มี 111 คำสั่ง
- ◆ พอร์ตอนุกรม
- ◆ คล็อกที่มีความถี่สูงสุด 12 เมกะเฮิร์ต
- ◆ ขารับสัญญาณอินเทอร์รัปต์ภายนอก 2 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8051 สามารถทำการอ้างอิงหน่วยความจำภายนอกได้ถ้า RAM หรือ ROM ภายในนั้นมีขนาดไม่เพียงพอ โดยจะใช้พอร์ต 2 ตัวในการทำหน้าที่อ้างอิงข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอกซึ่งการกระทำเช่นนี้จะส่งผลให้พอร์ตที่ทำที่เป็น I/O มีจำนวนลดลง แต่ 8051 จะมีความยืดหยุ่นในการทำงานมากขึ้น



รูปที่ 2.2.1 สถาปัตยกรรมของ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

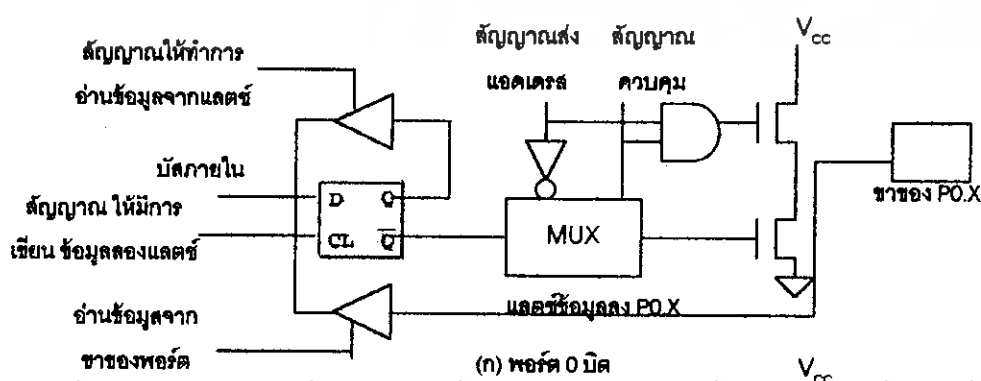
จากรูป 2.2.1 เป็นบล็อกไดอะแกรมซึ่งแสดงถึงสถาปัตยกรรมของ 8051 เราจะเห็นว่าการเชื่อมต่อของตัวชิปกับภายนอกนั้นไม่มีความซับซ้อนมากนัก ตัวชิปดังแสดงในรูปจะมีขาสัญญาณจำนวน 32 ขา สำหรับใช้พอร์ต I/O ขนาด 8 บิตจำนวน 4 พอร์ต ที่สามารถส่งข้อมูลได้สองทิศทาง นอกจากนี้ตัวชิปยังมีขาสำหรับป้อนไฟเลี้ยง ขาสำหรับใช้เชื่อมต่อกับคริสตอลที่สร้างสัญญาณนาฬิกา และขาส่งสัญญาณกำกับจังหวะการทำงานและขาส่งสัญญาณควบคุมเมื่อเราเปรียบเทียบชิป 8051 กับ Z80 ที่มีขาเกี่ยวกับการควบคุมและขาให้จังหวะการทำงานมากมายนั้น เราจะพบว่ามีการสร้างภายนอกที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งก็หมายความว่าเราจะต้องเพิ่มอุปกรณ์ภายนอกเพียงไม่กี่ชิ้น ในการที่จะให้ระบบที่ใช้ 8051 ทำงาน แต่ในทางกลับกัน โครงสร้างภายในของ 8051 จะมีความสลับซับซ้อนพอสมควร เราจะพบส่วนที่ทำหน้าที่สำคัญในไมโครโปรเซสเซอร์ได้ในตรงกลางบล็อกไดอะแกรม ซึ่งรวมถึง ALU แอควิวูเลเตอร์ สแตกพอยน์เตอร์ รีจิสเตอร์ที่มีหน้าที่ทั่วไปต่างๆ (เช่น รีจิสเตอร์ B) โดยส่วนต่างๆ เหล่านี้จะเชื่อมต่อกับบัสภายในของ 8051

พอร์ต I/O แต่ละตัวจะถูกเชื่อมต่อกับบัสข้อมูลภายในขนาด 8 บิต โดยผ่านรีจิสเตอร์ที่ต่อเนื่องกัน รีจิสเตอร์เหล่านี้จะทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลในช่วงที่มีการโอนย้ายข้อมูลของ I/O และควบคุมการทำงานของพอร์ต I/O จากบล็อกไดอะแกรมนี้ยังแสดงถึง ROM และ RAM ของ 8051

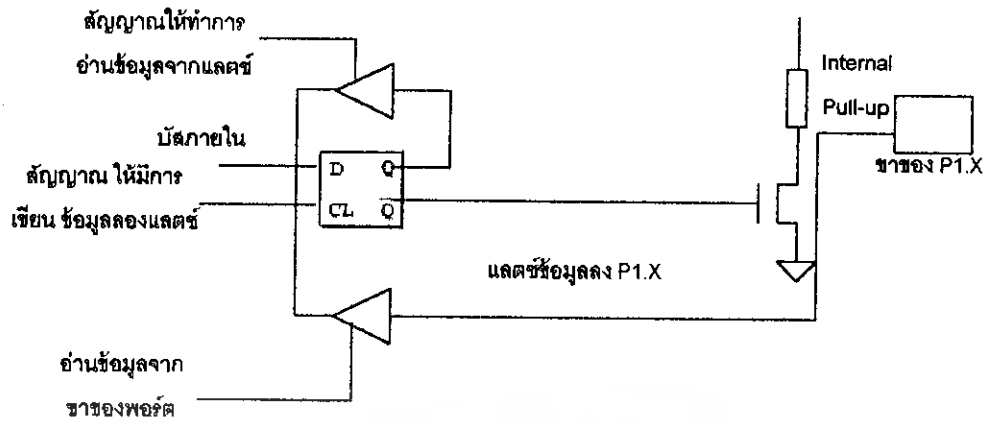
พอร์ต I/O ของ 8051

จากบล็อกไดอะแกรมที่แสดงสถาปัตยกรรมของ 8051 เราพบว่ามีพอร์ต I/O ที่รับส่งข้อมูลได้ 2 ทิศทาง ขนาด 8 บิตอยู่ 4 พอร์ตแต่ละตัวมีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัวดังรูปด้านล่าง แสดงแผนภาพทางตรรกะสำหรับบิตหนึ่งๆ ในพอร์ตแต่ละตัว เราจะเห็นได้ว่าพอร์ตเหล่านี้ (P0-P3) มีคุณสมบัติทางตรรกะและทางไฟฟ้าที่แตกต่างกันเล็กน้อย พอร์ตแต่ละตัวจะมีแลตช์ข้อมูล (latch) ซึ่งทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่เข้าออกจากพอร์ต โดยแลตช์ข้อมูลนี้สามารถนำข้อมูลจากขาของพอร์ตหรือจากบัสของไมโครโปรเซสเซอร์เข้ามาเก็บได้และแลตช์ข้อมูลสามารถทำการส่งข้อมูลไปยังบัสข้อมูลของไมโครโปรเซสเซอร์หรือไปยังขาของพอร์ตได้

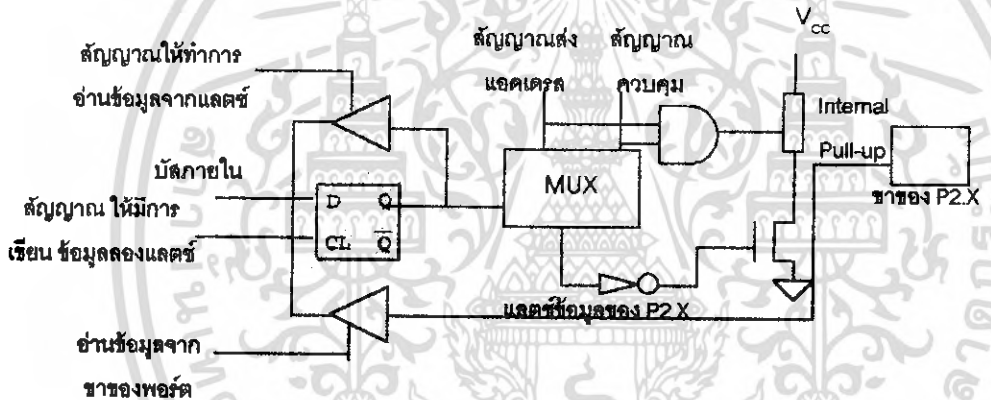
เราจะเห็นได้จากรูปด้านล่าง ว่าบิตในพอร์ตเบอร์ 0 และพอร์ตเบอร์ 2 มี controlled pull-up ซึ่งรูปแบบการทำงานของมันจะขึ้นอยู่กับโหมดการทำงานของพอร์ต



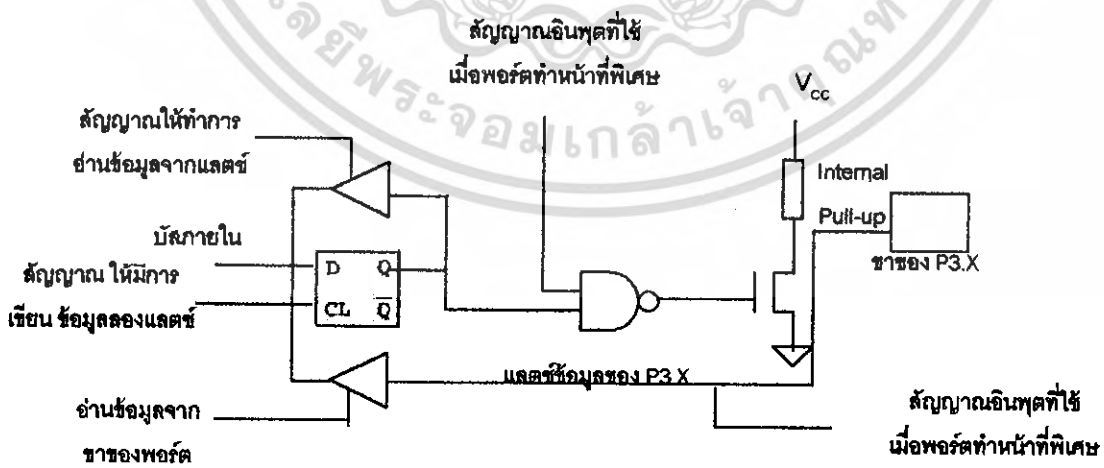
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) พอร์ต 1 บิต



(ค) พอร์ต 2 บิต



(ง) พอร์ต 3 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Port 0

พอร์ต 0 นี้ใช้ได้ทั้งการรับ-ส่งตำแหน่งและข้อมูลกับหน่วยความจำหรือใช้เป็นพอร์ตรับส่ง-ส่งข้อมูลก็ได้ โครงสร้างของแต่ละบิตของพอร์ต 0 เป็นแบบ Open Drain Bidirectional ดังรูป พอร์ต 0 จะใช้งานได้หลายอย่างดังนี้

1. ใช้สำหรับส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำภายนอกที่ต้องการติดต่อด้วย ตำแหน่งหน่วยความจำสูงสุดที่จะติดต่อก็คือ 64 กิโลไบต์ จึงมีค่าตำแหน่งหน่วยความจำ 16 บิต ค่าตำแหน่งหน่วยความจำ 8 บิตล่างจะถูกส่งออกไปทางพอร์ต 0 และ 8 บิตบนจะถูกส่งออกไปทางพอร์ต 2
2. ใช้รับ-ส่ง ข้อมูลกับหน่วยความจำสำหรับข้อมูลหรือใช้รับข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับโปรแกรม
3. ใช้รับ-ส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตโดยตรงในกรณีที่ไม่มีการใช้หน่วยความจำของหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมหรือหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก

Port 1

โครงสร้างของพอร์ต 1 ดังรูปที่ นี้จะใช้ทำหน้าที่เป็นตัวรับ-ส่ง ข้อมูลเท่านั้น ข้อมูลที่ส่งออกมาทางพอร์ต 1 จะถูกแลตซ์ ไว้แล้วส่งออกไปทางแต่ละขา ก่อนที่จะอ่านข้อมูลเข้าไปที่พอร์ต 1 จะต้องเขียน 1 ไปยังทุกบิตของพอร์ต 1 เสียก่อนเพื่อให้ FET อยู่ในสภาวะ Off ก่อน มิฉะนั้นแล้วถ้ามีข้อมูล 0 ส่งออกมาค้างอยู่ที่ D Flip Flop จะทำให้ FET อยู่ในสภาวะ On ดังนั้นถ้าสัญญาณภายนอกส่งเข้ามาที่ขานี้ก็ถูกลัดวงจรลงกราวด์ โดยไม่สนใจว่าสภาวะของลอจิกของสัญญาณที่เข้ามาจะเป็นอะไร ข้อมูลที่อ่านเข้าไปจึงจะเป็น 0 เสมอ

Port 2

โครงสร้างของพอร์ต 2 ดังรูป ลักษณะของโครงสร้างจะเหมือนกับพอร์ต 0 แตกต่างกันที่พอร์ต 2 นั้นภาค Driver จะใช้งานเพียงสองลักษณะคือ

1. ใช้ส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำภายนอกที่ต้องการติดต่อ ค่าตำแหน่งนี้เป็น 8 บิตบนของค่า ตำแหน่ง
2. ใช้เป็นพอร์ต รับ-ส่งข้อมูลกับภายนอก

Port 3

โครงสร้างของพอร์ต 3 ตามรูป แต่ละบิตของพอร์ต 3 จะใช้ในการทำงานอื่นได้โดยใช้คำสั่งควบคุมการทำงานซึ่งแต่ละบิตของพอร์ต 3 จะมีฟังก์ชันอื่นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บล็อกไดอะแกรมในรูปที่ เป็นโครงสร้างใหญ่ๆของ 8051 เนื่องจากลักษณะของ 8051 เป็น คอมพิวเตอร์จึงประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ

ส่วนที่ 1 คือ CPU (Central Processing Unit) หรือตัวประมวลผล ส่วนนี้จะมียังจรที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณควบคุมการติดต่อกับส่วนอื่นๆเรียกว่าวงจรควบคุม (Control Unit) ส่งสัญญาณที่สร้างจากวงจรควบคุมให้แก่สัญญาณที่ติดต่อกับหน่วยความจำ อุปกรณ์รับข้อมูลเข้าหรือส่งข้อมูลออกจากตัว 8051 ซึ่งส่วนควบคุมการขัดจังหวะ (Interrupt Control) และส่วนควบคุมบัส (Bus Control) ก็เป็นส่วนหนึ่งของวงจรควบคุมด้วย การสร้างสัญญาณควบคุมจากส่วน CPU นี้ จะทำการสร้างสัญญาณโดยการถอดรหัสคำสั่ง (Instruction) ตามที่มีการกำหนดไว้ และสัญญาณที่สร้างขึ้นมาจะอ้างถึงกับสัญญาณนาฬิกาที่สร้างจากวงจรรอสซิลเลเตอร์เพื่อให้ทุกๆส่วนในวงจรทำงานประสานกัน (Synchronous) อย่างถูกต้อง

ใน CPU นี้ยังประกอบด้วยส่วนย่อยอีกส่วนที่เรียกว่าส่วนประมวลผล (Arithmetic Logic Unit) ส่วนนี้จะทำการประมวลผลข้อมูลเช่น การบวก การลบ การคูณ หรือหารข้อมูลแล้วนำผลลัพธ์เก็บไว้ในรีจิสเตอร์หรือหน่วยความจำที่ต้องการ

ส่วนที่ 2 คือ หน่วยความจำ (Memory) มีไว้สำหรับจัดจำข้อมูล ถ้าจะให้เห็นภาพพจน์ของหน่วยความจำได้ดีก็คือ หน่วยความจำเปรียบเสมือนกล่องเก็บเอกสารจำนวนมากที่นำมาต่อเรียงกันไว้แต่ละกล่องก็มีเอกสาร 1 แผ่นดังแสดงในรูป มีกล่องเอกสารทั้งหมด 15 กล่อง



ภาพเสมือนของหน่วยความจำ

ถ้าต้องการเอาเอกสารจากกล่องใดหรือเอาเอกสารไปเก็บที่กล่องใด จะต้องรู้หมายเลขของกล่องข้อมูลเสียก่อนซึ่งถ้าเป็นหน่วยความจำแล้วหมายเลขของกล่องก็คือตำแหน่งของหน่วยความจำหรือแอดเดรส (Address) นั่นเอง การนำเอาข้อมูลไปเก็บในหน่วยความจำเรียกว่าการเขียน (Write) ข้อมูลและการเอาข้อมูลออกจะหน่วยความจำจะเรียกว่าการอ่าน (Read) ข้อมูลซึ่งแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะเก็บข้อมูลได้เพียงค่าเดียวเท่านั้น ในไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไปรวมทั้ง 8051 นั้น ข้อมูลในแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะมีค่าได้เพียง 8 หลักของเลขฐาน 2 (8 บิต เท่ากับ 2 ไบท์) ดังนั้นแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะเก็บข้อมูลมีค่าได้ระหว่าง 0 ถึง 225 (00000000 ถึง 11111111 ในเลขฐาน 2) แต่จำนวนตำแหน่งที่จะเก็บข้อมูลได้ขึ้นกับไมโครโปรเซสเซอร์แต่ละเบอร์ การติดต่อกับหน่วยความจำจะต้องมีสัญญาณ 3 กลุ่ม คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แอดเดรสหรือค่าตำแหน่งที่ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำ ใน 8051จะติดต่อกับหน่วยความจำประเภท Program Memory หรือ Data Memory ได้สูงสุดชนิดละ 65536 ตำแหน่ง ดังนั้นการอ้างอิงแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะต้องใช้เส้นแสดงจำนวนในเลขฐาน 2 ทั้งหมด 16 เส้น (2^{16} เท่ากับ $64 * 1024 = 65536$)

2. ข้อมูลที่จะอ่านหรือเขียนกับหน่วยความจำที่ตำแหน่งในข้อ 1

3. สัญญาณควบคุมที่จะส่งไปยังหน่วยความจำ เพื่อบอกกับหน่วยความจำว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูล

สัญญาณเหล่านี้จะถูกควบคุมภายใน 8051 สร้างมาจากวงจรถอดรหัสของคำสั่งที่ 8051 อ่านจากหน่วยความจำ Program Memory เข้าไปทำงานนั่นเอง ในรูปที่แสดงหน่วยความจำได้แก่ 4 K ROM และ 128 Byte RAM ซึ่งขนาดของหน่วยความจำนี้มีขนาดต่างๆกันตามเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์

ส่วนที่ 3 อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต เป็นส่วนที่จะส่งข้อมูลเข้าหรือออกจาก 8051 ทำให้ 8051 ติดต่อกับภายนอกได้ ดังในบล็อกไดอะแกรมรูปที่ อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตได้แก่ 4 I/O Port, Timer 0, Timer 1, Serial Port การทำงานของแต่ละส่วนมีดังนี้

1.4 I/O Port คำว่าพอร์ตหมายถึงจุดที่จะติดต่อกับส่วนที่อยู่ภายนอก 4 I/O Port ของ 8051 เป็นที่ใช้สำหรับรับ-ส่งข้อมูลซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัลเข้าหรือออกจากตัว MCS-51 พอร์ตมีทั้งหมด 4 พอร์ตโดยแต่ละพอร์ตจะรับ-ส่งข้อมูลได้ 8 บิต มีพอร์ต P0, P1, P2 และ P3 บางพอร์ตจะใช้ทำงานมากกว่าหนึ่งอย่างก็ได้ เช่น พอร์ต P0 และ P2 จะใช้สำหรับการส่งค่าตำแหน่งของหน่วยความจำที่ต้องการติดต่อและพอร์ต P0 จะใช้รับส่งข้อมูลเมื่อติดต่อกับหน่วยความจำได้ด้วยสิ่งเหล่านี้ไม่ได้เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน แต่จะใช้วิธีการทำงานตามลำดับโดยควบคุมจากสัญญาณควบคุมที่ถอดรหัสมาจากแต่ละคำสั่งที่ให้คอมพิวเตอร์ทำงานนั่นเองและสัญญาณทั้งหมดจะอ้างอิงกับสัญญาณนาฬิกา

2. Timer 0 และ Timer 1 เป็นวงจรมีที่สามารถกำหนดให้ทำการไซเคิลของสัญญาณที่ต่อจากภายนอก 8051 หรือจำนวนไซเคิลของสัญญาณนาฬิกาภายใน 8051 ก็ได้ ค่าจากการนับจะถูกอ่านหรือตั้งค่าเริ่มต้นของการนับได้โดย CPU

3. Serial Port หรือ พอร์ตอนุกรม CPU จะอ่านและเขียนข้อมูลกับ Serial Port เป็นแบบ 8 บิต แต่ข้อมูลจะถูกส่งออกจาก 8051 เรียงไปที่ละบิต ออกจากขา TXD และในการรับข้อมูลก็จะรับเข้ามาทีละบิตทางขา RXD แล้วจัดเรียงใหม่เป็น 8 บิต เพื่อให้ CPU อ่านไปใช้งานต่อไป

2.3 การแสดงผลแบบ LCD

แผ่นแสดงผลแบบผลึกเหลว

ผลึกเหลวมีอยู่หลายชนิด ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารว่าหลังจากป้อนสนามไฟฟ้าแล้วจัดเรียงตัวอย่างไร ชนิดที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 ชนิด คือชนิดไดนามิกสแคทเทอริง (Dynamic scattering) และชนิดฟิลด์เอฟเฟค (Field effect)

สำหรับชนิดไดนามิกสแคทเทอริง โมเลกุลของผลึกเหลวภาวะปกติจะเรียงตัวเป็นระเบียบมองแล้วจะเห็นใส แต่เมื่อป้อนสนามไฟฟ้าโมเลกุลของผลึกจะกระจัดกระจายมองเห็นเป็นสีเทา ส่วนชนิดฟิลด์เอฟเฟคใช้หลักการโพลาไรเซชัน ส่วนที่ได้รับสนามไฟฟ้าจะหันทิศทางของขั้วปรากฏเป็นส่วนที่มีด บริเวณนอกนั้นจะสว่าง

ทั้งสองชนิดยังแบ่งออกไปอีก 2 แบบคือ แบบส่งผ่าน (Transmissive) และแบบสะท้อน (Reflective) LCD แบบส่งผ่านทำหน้าที่เป็นแผ่นกรองแสงจากด้านหลัง ส่วน LCD แบบสะท้อนทำหน้าที่เป็นแผ่นสะท้อนกรองแสงจากด้านหน้า จะกรองได้ก็ต่อเมื่อมีสนามไฟฟ้าป้อนให้มัน โครงสร้างทั่ว ๆ ไปจะเป็นแผ่นกระจก 2 แผ่นประกบกันมีผลึกเหลวอยู่ตรงกลาง

ข้อเด่นของแผงแบบ LCD คือต้องการแรงดันมาเพียงเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าเพื่อนำ โมเลกุลเรียงตัวตามต้องการ ดังนั้นจึงมีกระแสไฟน้อยมาก กำลังงานที่ดึงเมื่อทุกส่วนทำงานมักจะน้อยกว่า 25 μW ข้อเสียของแบบนี้คือ ต้องมีแสงจากภายนอกและใช้งานที่ช่วงอุณหภูมิแคบ ๆ ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 0°C ผลึกเหลวจะทำงานน้อยลงกว่าปกติมาก ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าประมาณ 50°C ผลึกเหลวจะเปลี่ยนรูปเป็นของเหลวการทำงานจะผิดพลาดไปจากที่ควรเป็น

การควบคุมการแสดงผลของ LCD (Control liquid crystal display)

LCD ที่ใช้แสดงผลนี้ใช้ LCD แบบตัวอักษร ของบริษัทฮิตาชิบอร์ด ซึ่งมีส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ

1. ดอตเมตริก (Dot Metrix) เป็นตัวแสดงผลให้แสดงผลให้มองเห็นในลักษณะการปิดแบบ การเปิดตัวเอง กับแสงก็คือ ส่วนของที่เป็นตัวกระจกบรรจุผลึก

2. ไดรเวอร์ (Driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับผลึก LCD อีกทีหนึ่งโดยใช้ไอซี เบอร์ HD44100H

3. คอนโทรลเลอร์ (Controller) เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกเข้ามาจัดการควบคุม ทำให้เกิดการแสดงผล เช่น การลบจอภาพ , การเกิดอักษร ไอซีที่ใช้เบอร์ HD4478

การศึกษาและทดลองการใช้งานของ LCD โมดูล (module) จะศึกษาและทดลองในส่วน ของคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีหลักการทำงานเป็นแบบมาตรฐาน

ไอซี HD44780 เป็นไอซี LSI ตัวหนึ่งใช้ควบคุม LCD โดยแสดงผลในรูปอักษรหรือ สัญลักษณ์ต่างๆในตัวมันเอง ไอซีนี้สามารถต่อใช้งานแบบ 4 บิต หรือ 8 บิต ก็ได้โดยถ้าต่อแบบ 4 บิต จะต่อใช้งานที่ DB7-DB4 เท่านั้น โดยข้อมูลครั้งแรกที่ส่งนั้น จะถือว่าเป็นข้อมูล 4 บิตบน และข้อมูลที่ ส่งต่อมานั้นเป็นข้อมูล 4 บิตล่าง

การคอนโทรลไอซี HD44780

1. ล้างหน้าจอ (Clear display)

Clear display

RS RW DB7-----DB0

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

คำสั่งนี้เป็นการเขียนช่องว่างหรือ space (ASII 20H) เข้าไปใน DD RAM ทั้งหมดและทำการ SET DD RAM Address เป็นศูนย์ตัวเคอร์เซอร์ (Cursor) จะกลับไปอยู่ ตำแหน่งบนสุดซ้ายมือของจอ

2. กลับสู่ตำแหน่งเดิม (Return home)

Return home

RS RW DB7-----DB0

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

* No effect

คำสั่งนี้จะทำการ Set DD RAM address เป็นศูนย์ ตัวเคอร์เซอร์ กลับไปอยู่ตำแหน่งบนสุด ซ้ายมือของจอภาพ ข้อมูลในจอภาพจะไม่เปลี่ยน

3.ควบคุมการอ่านหรือเขียนข้อมูลลง DD RAM (Entry mode set)

Entry mode set

RS	R/W	DB7	-----	DB0					
0	0	0	0	0	0	0	0	I/D	S

Bit I/D : เป็นตัวกำหนดให้ว่าเมื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลแล้วจะทำให้ DD RAM address เพิ่มขึ้นหรือลดลงหนึ่งโดย

1 = เพิ่ม

2 = ลดลงหนึ่ง

Bit S : กำหนดการแสดงผลโดย

S = ใส่ข้อมูลแล้วตัวเคอร์เซอร์ อยู่ที่ข้อมูลจะถูกดันไปทางซ้าย

S = ใส่ข้อมูลจะอยู่ที่ ตัวเคอร์เซอร์ จะถูกดันไปทางขวามือ

4.ควบคุมการเปิด-ปิดหน้าจอ (Display NO/OFF control)

RS	R/W	DB7	-----	DB0					
0	0	0	0	0	0	0	D	C	B

Bit D : เป็นบิตให้เปิด-ปิดหน้าจอภาพโดยถ้า

D = 1 จะ ON

D = 0 จะ OFF

Bit C : จะแสดงเคอร์เซอร์ให้ บิต C = 1 และถ้าไม่ต้องการแสดงเคอร์เซอร์ บิต C = 0 โดยตัวเคอร์เซอร์ จะอยู่ที่แถวที่ 8 ในแบบ 5X7 จุด และจะอยู่แถวที่ 11 ในแบบ 5x10 จุด

Bit B : เป็นบิต ที่จัดการกะพริบของเคอร์เซอร์ โดยมีระยะเวลากะพริบประมาณ 379.2 ms

B = 1 จะกะพริบ

B = 0 ไม่มีการกะพริบ

5.ควบคุมตำแหน่งของเคอร์เซอร์ (Cursor or display shift)

Cursor or display shift

RS	R/W	DB7	-----	-----	DB0				
0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*

* No effect

เป็นคำสั่งที่กำหนดให้ตำแหน่งเคอร์เซอร์ หรือข้อมูลไปเกิดทางซ้ายหรือทางขวาโดยไม่ต้องใช้คำสั่งเขียนหรืออ่านโดย

S/C	R/L	
0	0	ทำการย้ายเคอร์เซอร์ไปจากตำแหน่งเดิม ไปทางซ้ายมือ 1 ตำแหน่ง
0	1	ทำการย้ายเคอร์เซอร์ไปจากตำแหน่งเดิม ไปทางขวามือ 1 ตำแหน่ง
1	0	เป็นการดันตัวอักษรไปทางซ้ายมือ
1	1	เป็นการดันตัวอักษรไปทางขวามือ

6.ควบคุมการเซ็ทฟังก์ชัน (Function set)

Function set

RS	R/W	DB7	-----	-----	DB0				
0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*

* No effect

Bit DL : เป็นการเซ็ท การติดต่อว่าจะให้เป็นแบบ 8 bit หรือ bit โดย

DL = 0 เป็นการติดต่อแบบ 4 Bit

DL = 1 เป็นการติดต่อแบบ 8 Bit

Bit N : เป็นการเซ็ท บรรทัดการแสดงผล

N = 0 แสดง 1 บรรทัด

N = 1 แสดง 2 บรรทัด กรณีมากกว่า 2 บรรทัดก็ให้เซ็ท N = 1

Bit F : เป็นการเซ็ท ขนาดจอแสดงผล

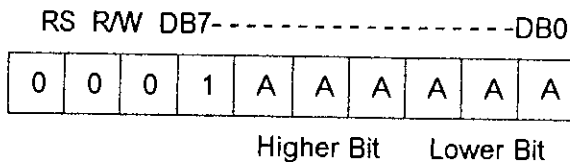
F = 0 เป็นแบบ 5x7

F = 1 เป็นแบบ 5x10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.ควบคุมการเขียนแอดเดรสของ CG RAM (Set CG RAM address)

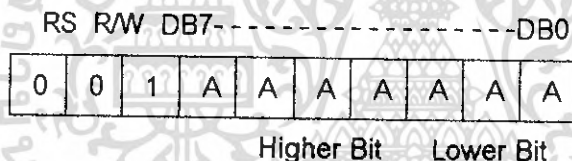
Set CG RAM address



ใน HD44780 นั้นจะมีหน่วยความจำอยู่ 2 ชุด คือ Display data ram (DD RAM) จำนวน 80x8 bit และ Character generator ROM CG RAM จำนวน 512 Bit และ 7200 Bit คำสั่งนี้จะเป็นการเขียนแอดเดรสใน CG RAM โดยต้องทำการเขียนแอดเดรส ก่อนเขียนหรืออ่านข้อมูลจาก CG RAM ด้วย

8.ควบคุมการเขียนแอดเดรสของ DD RAM (Set DD RAM address)

Set DD RAM address



เป็นคำสั่งเขียนอ่านค่าแอดเดรสใน DD RAM ในการเขียนหรืออ่านค่าจาก DD RAM (DD RAM คือส่วนที่จะแสดงผลหน้าจอ LCD) โดยจำนวนแอดเดรส ที่จะเกิดขึ้นบนหน้าจอ LCD จะขึ้นอยู่กับคำสั่ง N ด้วย

N = 0 (1บรรทัด) แอดเดรส จะอยู่ 00H-4FH

N = 1 (2บรรทัด)แอดเดรส จะอยู่ 00H-27H สำหรับบรรทัดที่ 1 และ 40H-67H สำหรับบรรทัดที่ 2

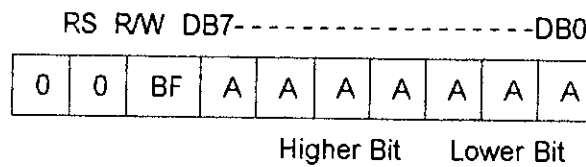
แบบการจัดแอดเดรสของ DD RAM หน้าจอ LCD แบบ 40 ตัวอักษร 2 บรรทัด

40 ตัวอักษร 2 บรรทัด

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	10	11	12	13
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	50	51	52	53

9. คำสั่งอ่านค่าบักซี (Read busy flag and address)

Read busy flag and address



เป็นคำสั่งอ่านค่าบักซีเฟล็ก (Busy flag) ซึ่งซึ่งจะเป็นตัวบอกว่า ตัวนี้อยู่ในกระบวนการทำงานภายในอยู่หรืออยู่ในสภาพพร้อมจะรับข้อมูลโดย

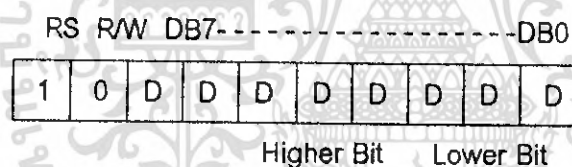
BF = 1 อยู่ในกระบวนการภายในไม่พร้อมจะรับข้อมูลหรือคำสั่ง

BF = 0 พร้อมที่จะรับข้อมูล หรือคำสั่งได้

และนอกจากนี้ยังเป็นคำสั่งอ่านค่าข้อมูลแอดเดรสของ CG RAM หรือ DD RAM ด้วย

10. คำสั่งเขียนข้อมูลเข้า CG หรือ DD RAM (Write data to CG or DD RAM)

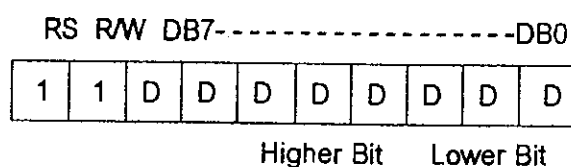
Write data to CG or DD RAM



เป็นคำสั่งเขียนข้อมูลไปใน CG หรือ DD RAM โดยเมื่อเขียนข้อมูลและ Address จะเพิ่มหรือลดโดยอัตโนมัติตามคำสั่งที่ Set ใน Entry Mode ข้อกำหนดที่รู้ว่าจะเป็นการเขียนข้อมูลของ CG RAM หรือ DD RAM ทำได้โดยการ Set Address ของ CG RAM ขึ้นมาก่อนจะเขียนข้อมูล Set DD RAM Address

11. คำสั่งอ่านข้อมูลจาก CG RAM หรือ DD RAM (Read Data From CG or DD RAM)

Read Data From CG or DD RAM

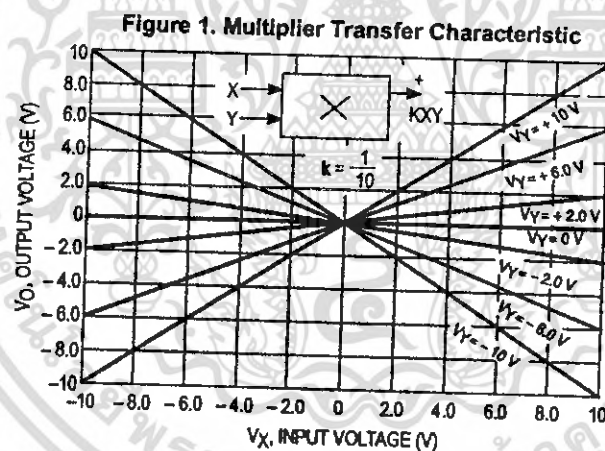


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทนกำลังไฟฟ้าได้ 10 W ซึ่งเป็นตัวรับกระแสที่ไหลผ่านโหลดแล้ว เปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้าแรงดันตกคร่อมความต้านทาน R6, R7 จะถูกทำการขยายประมาณ 6 เท่า โดยออปแอมป์(จากวงจร IC3/1) จากเอาต์พุทของ IC 3 / 1 จะถูกต่อกับขา 4 ของ IC 4 (MC1495) ซึ่งเป็นแรงดันด้าน +Vx

ส่วนแรงดันอีกค่าหนึ่งจะได้จะ ได้จากชุดแบ่งแรงดันโดยมีตัวต้านทาน R8 ต่ออยู่ เพื่อป้องกันแรงดันเข้าขา 9 ของ IC 4 (MC1495) ซึ่งเป็นแรงดันด้าน + Vx

ในวงจรตัวเต็มตัวนี้ จะสามารถวัดได้ 2 ย่านคือ ย่าน x 1 และ x 10 โดยมีสวิตช์ S1 เป็นตัวเลือกย่านวัด ไดโอด D1, D2, D3, และ D4 ต่อเป็นวงจรคลิปปเปอร์ (Clipper) เพื่อป้องกันอินพุทของออปแอมป์ IC 3 / 1 และ IC 4 การทำงานของวงจรคลิปปเปอร์จะเป็นดังนี้คือ ถ้าแรงดันที่เข้ามาผ่านตัวต้านทาน R8 สูงกว่าแหล่งจ่ายอยู่ 0.7 V หรือเป็น +7.5 V ก็จะทำให้ไดโอด D1,D2 ทำงาน และถ้าแรงดันที่เข้ามาน้อยกว่าแหล่งจ่ายทางด้านลบอยู่ 0.7 V หรือ -7.5 V ก็จะทำให้ไดโอด D2,D4 ทำงาน



จากกราฟให้ K เป็นค่าคงที่โดยที่

$$K = 2R_o / R_x R_y I_3$$

และโดยที่ R_o คือ R_{22}, R_{24} ในวงจร

R_x คือ R_{17}

R_y คือ R_{18}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I_3 คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากขา 3 ของไอซี4 ลงกราวด์สามารถปรับค่าได้จากส่วนของ VR6

โดยที่ K จะตั้งไว้ให้มีค่าเป็น 1 / 10
ค่าของเอาต์พุตจะหาได้จากสมการ

$$V_o = K V_x \times V_y$$

สมมติให้แรงดัน V_x เป็น +2V และแรงดัน V_y เป็น +10V จะได้ค่าเอาต์พุตเป็น +2V และถ้า V_x เป็น -2V และ V_y เป็น +10V เช่นเดิมจะได้ค่าเอาต์พุตเป็น -2V ซึ่งค่าเอาต์พุตจะได้ค่าเป็นบวกและลบ ซึ่งทำงานได้ทั้ง 4 ควอดแรนท์ (Linear four – quadrant multiplier)

MC1495L เป็นอุปกรณ์ประเภทไดโมโนลิธิค ประเภทตัวคูณ 4 ควอดแรนท์ ซึ่งทำงานตามพื้นฐานทฤษฎีของตัวนำที่แปรเปลี่ยน ผลของการวิเคราะห์กระแสเอาต์พุตที่เปลี่ยนแปลงของตัวคูณนั้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned} I_a - I_b &= \Delta I_b \\ &= 2V \times V_y / (R_x R_y I_3) \end{aligned}$$

ซึ่ง I_a และ I_b เป็นกระแสที่ไหลเข้าขา 14 และ 2 ตามลำดับ
 V_x และ V_y เป็นแรงดันอินพุตที่จุด X และ Y ของอินพุตของตัวคูณตามลำดับ

MC1495L ที่ออกแบบเป็นตัวคูณนั้น มีคุณสมบัติเฉพาะซึ่งจะสามารถเลือกให้เหมาะสมตามอุปกรณ์ที่นำมาต่อภายนอก ซึ่งอุปกรณ์ที่นำมาต่อภายนอกนั้นจะต้องถูกเลือกให้เหมาะสมที่สุดกับวงจรที่ต้องการให้ทำงาน ตัวอย่างเช่น bandwidth เป็นต้น ซึ่งจะนำมาเป็นข้อจำกัดกับพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ พารามิเตอร์ที่สำคัญนั้นจะถูกคำนวณหาในหัวข้ออื่น ๆ ต่อไป

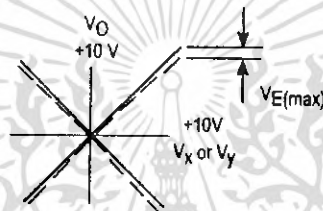
การเป็นเส้นตรงและผิดพลาดของเอาต์พุต (E_{Rx} และ E_{Ry})

ค่าผิดพลาดของเส้นตรงถูกจำกัดโดยการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาต์พุตอย่างสูงสุด จากเส้นตรงของฟังก์ชันถ่ายโอน แสดงค่าค่าความผิดพลาดในรูปเปอร์เซ็นต์ของค่าเต็มสเกล ในที่นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ การเปลี่ยนแปลงสูงสุด $V_E(\max)$ จะเท่ากับ +100 และ -100 มิลลิโวลต์ และค่าของเอาต์พุตเต็มสเกลเท่ากับ 10 โวลต์ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{Percentage Error} &= (V_E(\max) / V_E(\max)) * 100 \\ &= (100 \text{ mv} * 100) / 10 \\ &= 1\% \end{aligned}$$



รูปที่ 3.1.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาต์พุต

ค่าผิดพลาดของเส้นตรงถูกวัดได้หลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น

- ใช้ X-Y plotter กับวงจรดังกล่าวทำให้ได้ค่า X และ Y ดังรูปที่ 3.1.3
- ใช้กับวงจรซึ่งใช้วิธีการเปลี่ยนระดับเอาต์พุตของตัวคุณ ด้วยอินพุตแรกเริ่มค่าเอาต์พุตสูงสุดของออปแอมป์แบบ pull จะเท่ากับแรงดันที่ผิดพลาด $V_E(\max)$

เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงค่าที่ผิดพลาดของแหล่งกำเนิด การเชื่อมต่อสภาพที่ขาอินพุตทำให้ R_x และ R_y จะเลือกให้มีขนาดใหญ่เพียงพอเพื่อว่า การไม่เป็นเส้นตรงของแรงดันที่ขาเบสและขาอินพุตเตอร์จะไม่ต้องนำมาพิจารณาได้ ค่าความผิดพลาดที่คาดว่าจะได้รับจากแหล่งกำเนิด แสดงการทำงานของค่าต่าง ๆ ใน MC1495L ของค่า R_x และ R_y ด้วยกระแสทำงานประมาณ 1 มิลลิแอมป์ ทำให้ได้ค่า I_3 เท่ากับ I_{13} คือ 1 มิลลิแอมป์

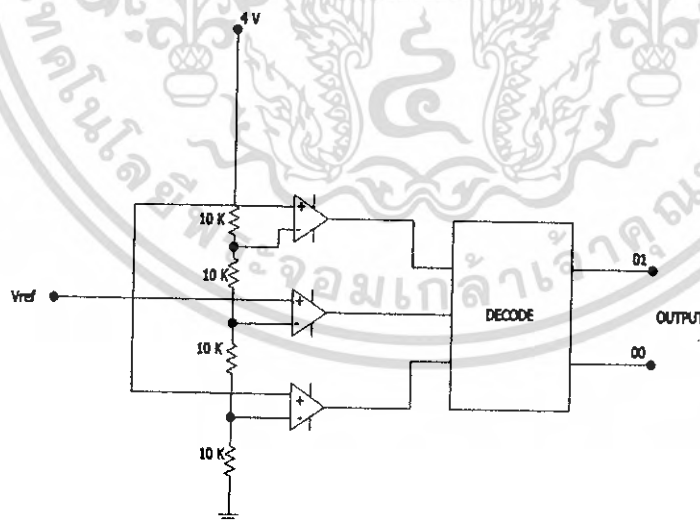
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเปลี่ยนอนาล็อกทูลิจิตอล (Analog to digital converter)

วงจรการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลที่ใช้กันอยู่มีหลายแบบด้วยกันคือ

แบบใช้วงจรเปรียบเทียบขนานหรือแบบแฟลช (Parallel Comparator Simultaneous "Flash" A/D CONVERTOR)

วงจรแบบนี้จะใช้ วงจรเปรียบเทียบที่ต่อขนานกันดังรูปที่ 3.2.1 ประกอบด้วยออปแอมป์ที่ต่อเป็นวงจรเปรียบเทียบ และตัวต้านทานต่อไว้เพื่อแบ่งแรงดันที่ขาอินพุตแบบกลับ (inverting) หรือขาอินพุตแบบไม่กลับ (noninverting) หรือขาบวก มีค่าสูงกว่าที่ขาลบ เอาท์พุทจะได้แรงดันค่าสูง ดูได้จากตารางรูปที่ 3.2.2 ซึ่งเอาท์พุทที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบนี้จะนำไปเข้ารหัสให้เป็นเลขฐานสองต่อไปเมื่อต้องการวงจรที่มีความละเอียดสูงขึ้น จำเป็นต้องใช้วงจรเปรียบเทียบได้จากสูตร $2^N - 1$ เมื่อ N แทนจำนวนบิตหรือความละเอียดที่ต้องการ แต่จะเห็นว่าที่ความละเอียด 8 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบมากถึง 255 ตัวซึ่งเป็นข้อเสียของวงจรแบบนี้ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือเอาท์พุทไม่เป็นเลขฐานสอง ต้องมีวงจรเพิ่มเติมไปทำการเข้ารหัส ข้อดีของวงจรคือมีความเร็วสูงมาก บางครั้งจึงต้องเรียกวงจรเอชทูดีแบบนี้ว่าแบบ แฟลช วงจรชนิดนี้ใช้เวลาในการแปลงได้เร็วในระดับนาโนวินาที



รูปที่ 3.2.1 แสดงการต่อวงจร PARALLEL COMPARATOR A/D CONVERTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันอินพุต V_{in} (โวลต์)	เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ			เอาต์พุตของเลขฐานสอง	
	A1	A2	A3	D1	D2
0 – 1	0	0	0	0	0
1 – 2	1	0	0	0	1
2 – 3	1	1	0	1	0
3 – 4	1	1	1	1	1

ตารางความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตที่เป็นอนาล็อกกับเอาต์พุตที่เป็นดิจิตอล

วงจรเอชดีทีที่ใช้การอินทิเกรต

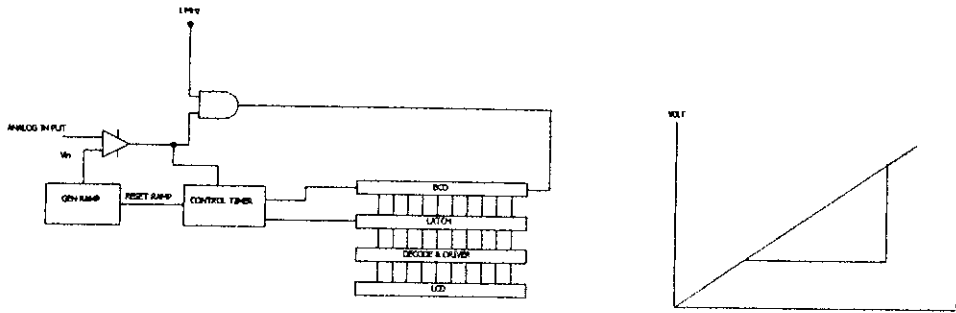
วงจรเปลี่ยนสัญญาณเอชดีทีที่ใช้เทคนิคการอินทิเกรตสัญญาณมีหลายแบบคือ

1. แบบสโลปเดียวหรือแบบแรมป์ (Single Ramp หรือ Single Stop A/D Converter)

เอชดีทีแบบนี้ประกอบไปด้วยวงจรถ่ายสัญญาณแรมป์, วงจรเปรียบเทียบ, วงจรนับ BCD เมื่อเริ่มทำการเปลี่ยนสัญญาณ สัญญาณแรมป์และวงจรถ่ายสัญญาณจะถูกรีเซ็ตให้เป็น 0 แรงดันอนาล็อกถูกป้อนไปยังวงจรถ่ายสัญญาณทางขาอินพุตบวก เมื่อแรงดันที่ขานี้มีค่าเป็นบวกมากกว่าขาลบ วงจรเปรียบเทียบจะให้เอาต์พุตออกมาเป็นระดับ high ทำให้แอนด์เกตปล่อยสัญญาณนาฬิกาผ่านไปยังวงจรถ่ายสัญญาณและทำให้เกิดสัญญาณแรมป์เมื่อสัญญาณแรมป์มีสัญญาณเป็นบวกขึ้นเรื่อย ๆ จนมากกว่าระดับแรงดันอินพุตเอาต์พุตของวงจรถ่ายสัญญาณก็ตกลงมาเป็นระดับ LOW ปิดแอนด์เกต ไม่มีสัญญาณผ่านไปให้วงจรถ่ายสัญญาณ วงจรถ่ายสัญญาณจะหยุดนับและเก็บค่าไว้ที่วงจรถ่ายสัญญาณจากนั้นจึงทำการรีเซ็ตวงจรถ่ายสัญญาณและวงจรถ่ายสัญญาณแรมป์ สมมติให้สัญญาณนาฬิกามีความถี่ 1 MHz วงจรถ่ายสัญญาณ BCD 4 หลัก แรงดันอินพุต $V_{in} = 2\text{ V}$ สัญญาณแรมป์มีความชัน 1 V/ms ดังแสดงในรูปที่ 3.2.2 (ข) จากจุดเริ่มต้นจนถึงแรงดันสูงสุด (2 V) สัญญาณแรมป์ใช้เวลา 2 ms หลังจากนั้นจึงปิดสัญญาณที่ส่งไปให้วงจรถ่ายสัญญาณซึ่งวงจรถ่ายสัญญาณนับถึง 200 ลูกวงจรลักษณะนี้มักนำไฟใช้งานในการเปลี่ยนเวลาเป็นขนาดของสัญญาณ

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในแหล่งกำเนิดของสัญญาณแรมป์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและผลตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตทำให้ไม่มีความถี่คงที่ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงให้ดีขึ้นกลายเป็นแบบสโลปคู่

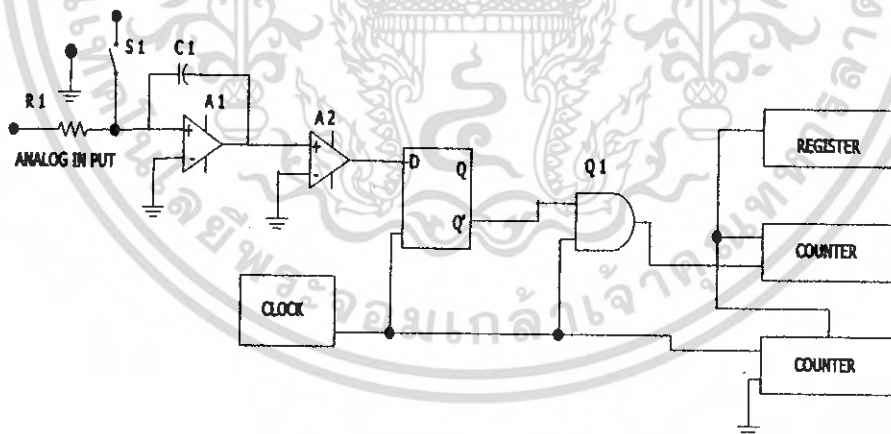
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.2 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโลปเดียว
(ก)แสดงบล็อกไดอะแกรม (ข) ความชันของสัญญาณแรมป์

2. แบบเดลต้า – ซิกม่า (Delta – Sigma A/D Converter)

จากรูปที่ 3.2.3 เมื่อมีแรงดันอินพุตป้อนเข้ามาที่วงจรอินทิเกรตเทอร์จะให้เกาท์พุทไปเข้าวงจรเปรียบเทียบ เปรียบเทียบกับแรงดันคงที่ (จากรูปคือกราวด์) พัลส์ของกระแสที่ได้ขึ้นอยู่กับเกาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบ โดยการสวิทช์ที่ทำงานจากเฟดจะควบคุมให้กระแสเข้าไปยังจตุรรมหรือกราวด์ไปส่วนวงจรนับจะนับวงจรพัลส์ด้วยหลักการที่คล้ายกัน



รูปที่ 3.2.3 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแบบเดลต้า – ซิกม่า

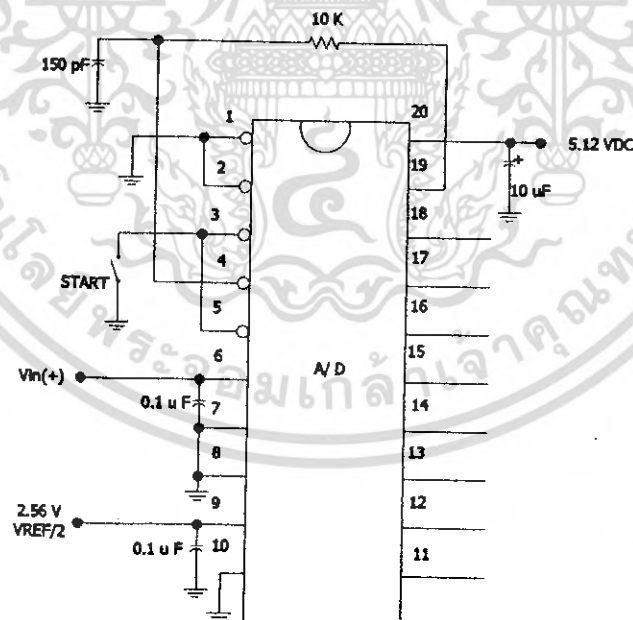
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสรุปของเหตุที่แบบอินทิเกรตสัญญาณ

จุดสำคัญของอินทิเกรตตั้งเทคนิค คือ อินพุตที่เก็บวงจรอินทิเกรเตอร์ต้องเป็นกระแสไอซี คอนเวอร์เตอร์บางตัวอาจมีอินพุตให้สองขา แต่จะมีขั้วหนึ่งต่อตรงกับจุด summing point ใช้กับอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟโดยตรง ถ้าให้อินพุตเป็นกระแสก็ไม่ต้องคำนึงถึงแรงดันออฟเซตของวงจรอินทิเกรเตอร์ แต่ใช้กับอินพุตที่เป็นรณันต้องปรับออฟเซตของออปแอมป์เสียก่อน การใช้อินพุตเป็นกระแสทำให้ย่านการใช้งานทางไฟลลิ่งกว้าง

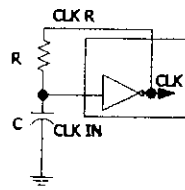
การทำงานของวงจร A/D

วงจร A/D ใช้ไอซีเบอร์ ADC0804 เป็นตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลจากรูปที่ 3.2.4 เนื่องจาก ADC0804 รับอินพุตได้ 5 Vdc เราจึงใช้อินพุตได้ไม่เกิน 5 โวลท์ เอาท์พุทที่ออกมาจะป้อนเข้าสู่ขา อินพุทของ ADC0804 สำหรับ clock ที่ป้อนให้ ADC0804 นั้นจะถูกออกแบบให้บรรจุอยู่ในไอซีเบอร์นี้อยู่แล้วซึ่งเอาท์พุทที่ออกมาจะมีความถี่ 600 KHZ ADC0804 ส่วนของ Vref ที่ขา 9 จะต่อลงกราวด์สำหรับ A1,A2,A10 จะต่อลงกราวด์ทั้งหมด ADC0804 จะทำงานเมื่อขา start เป็น "0" ADC0804 จะรับค่าสัญญาณอนาล็อกทางด้านอินพุท แปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลทางด้านเอาท์พุทที่ขา D11 – D18



รูปที่ 3.2.4 วงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.5 รูปแสดงวงจร clock ภายใน ADC

มีสมการการหา Clock ภายในตัว ไอซี ADC 0804 ดังนี้

$$f_{CLK} = 1 / 1.1 RC$$

$$R \approx 10 \text{ K}\Omega$$

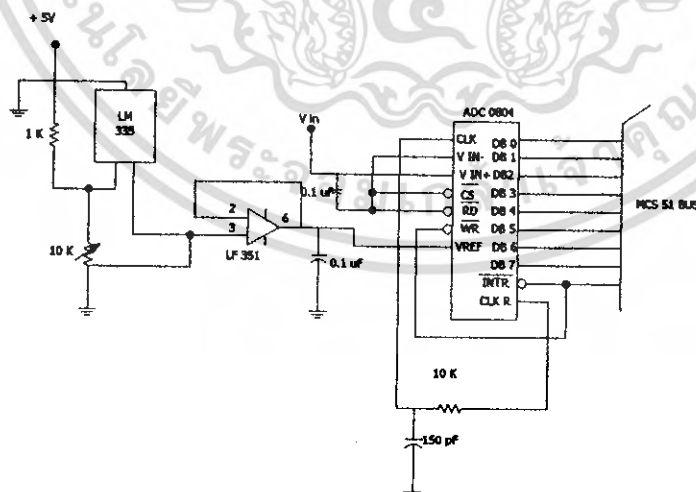
ในการออกแบบวงจร A/D ในโครงการนี้

ใช้ค่า $C = 150 \text{ PF}$

ดังนั้น $f_{CLK} = 1 / 1.1 \cdot 10\text{K} \cdot 150 \text{ pf}$
 $\approx 600 \text{ KHZ}$

3.3 การเชื่อมต่อไอซี ADC0804 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51)

การอินเตอร์เฟสกับไมโครคอนโทรลเลอร์ จะเชื่อมต่อผ่านทางพอร์ต 8252 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยให้ พอร์ต A เป็นพอร์ตที่ใช้สำหรับข้อมูลจากไอซี ADC0804 ส่วนทางพอร์ต B ใช้เป็นพอร์ตสำหรับส่งสัญญาณรับค่าไปยังไอซี ADC0804 ส่วนการควบคุมจะใช้โปรแกรมภาษาแอสเซมบลี

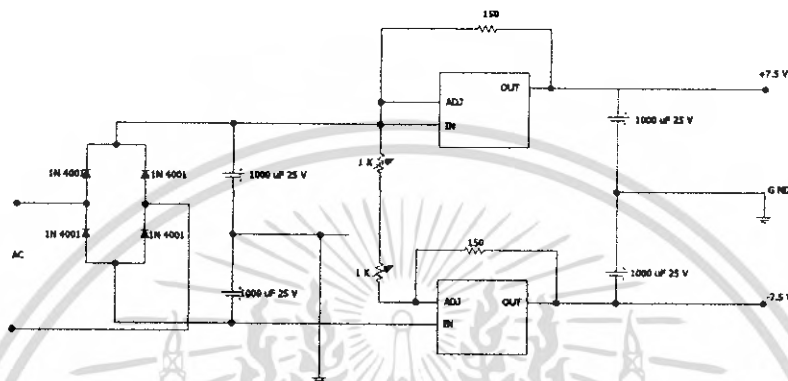


รูปที่ 3.3.1 การอินเตอร์เฟสระหว่าง ADC กับ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบวงจรภาคจ่ายไฟ

ส่วนภาคจ่ายไฟใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์เบอร์ LM317 และ LM337 ซึ่งจะเรกกูเลททางด้านแรงดันบวกและทางด้านแรงดันลบ โดยที่สามารถปรับได้เป็น +7.5 V และ - 7.5 V และจำเป็นต้องปรับให้เท่ากันเสมอ



รูปที่ 3.4.1 ภาค Power supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การปรับแต่งและการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับแต่งคือดิจิตอลมัลติมิเตอร์ และเครื่องกำเนิดสัญญาณ Sin wave อันดับแรกให้ปรับ VR1 และ VR2 ที่ภาคจ่ายไฟให้ได้แรงดัน +7.5 และ -7.5 V ชั้นตอนต่อไปต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณพร้อมทั้งตั้งแรงดันเอาท์พุท ให้ได้ประมาณ 3 Vpp เข้าขาที่ 3 และทำการปรับดีซีออฟเซตของเครื่องกำเนิดสัญญาณให้เป็น 0 V ด้วยถ้าไม่มีเครื่องกำเนิดสัญญาณสามารถใช้หม้อแปลงที่มีขนาดแรงดัน 0-3 V ต่อแทนได้ ทำการลัดวงจร R 10 ซึ่งเป็นตัวต้านทาน ป้อนกลับไอซี 3/1 ต่อขา 9 ของ IC4 ลงกราวด์ แล้วเปิดสวิตช์ S1 ปรับ VR4 ให้แรงดันที่จุด A มีค่าต่ำสุด เมื่อปรับเสร็จให้ต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณเข้าที่ขา 7 ของ IC4 และต่อขา 3 ของ IC3/1 ลงกราวด์ ปรับ VR5 ให้แรงดันที่จุด A ต่ำสุดอีกครั้ง จากนั้นปรับ VR7 ให้แรงดันที่จุด A ต่ำสุดเป็นครั้งสุดท้าย ทำการต่อโหลดที่ไม่มีความรีแอกติฟ เช่น หลอดไฟแบบไส้ควรใช้หลอดไฟที่มีขนาด 100 W เข้าที่ K2 เสียบปลั๊กแล้วเปิดเครื่อง จากนั้นทำการวัดแรงดันที่ตกคร่อมหลอดไฟ เสร็จแล้ววัดกระแสที่ไหลผ่านหลอดไฟนั้น โดยที่ค่าที่นำมาคำนวณ ต้องเป็นค่า rms เมื่อได้แรงดันไฟฟ้าและกระแสเรียบร้อยแล้วให้นำมาคำนวณโดยนำค่าทั้งสองมาคูณกัน จะได้ค่าวัตต์จริง เพราะโหนดไฟนั้นมีค่ารีแอกติฟน้อยมาก ดังนั้นผลจากการเลื่อนเฟสก็น้อยมาก จึงทำให้ค่าที่วัดได้เป็นค่าวัตต์จริงและแรงดันที่จะได้ที่จุด A นั้นควรจะเป็น 1 mV ต่อ watt

ดังนั้นเมื่อเราต่อหลอดไฟขนาด 100 w ที่จุด A จึงจะได้ 100 mV ถ้าไม่ได้ค่าตามนี้ให้ปรับ VR6 เพื่อช่วยให้ได้ค่าวัตต์จริง

4.2 ผลการทดลอง

หลังจากที่ทำการปรับแต่งเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าเรียบร้อยแล้ว จึงได้นำเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้านี้ไปทดลองใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ซึ่งได้ผลการทดลองตามตาราง ดังนี้

โหลดที่ต่อ ณ ขณะนั้น	จำนวนชม. ที่ใช้	กำลังไฟฟ้าจากการคำนวณ (Watt/hour)	ค่ากำลังไฟฟ้าที่อ่านจากเครื่องวัดเป็น (Watt/hour)
ทีวี + หลอดไฟ 1	5 ชม.	0.75	0.75
พัดลม + หลอดไฟ 2	7 ชม.	1.05	1.00
หัวแร้ง + พัดลม + ทีวี	3 ชม.	0.6	0.6
กระติกน้ำร้อน + หม้อหุงข้าว	1 ชม.	1.12	0.5

ตารางที่ 4.2.1 ผลการทดลอง

จากตาราง

หลอดไฟ 1 = 40 W หลอดไฟ 2 = 100 W ทีวี = 110 W พัดลม = 50 W

หัวแร้ง = 40 W หม้อหุงข้าว = 450 W กระติกน้ำร้อน = 670 W

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{ทีวี} + \text{หลอดไฟ 1} = 110 \text{ W} + 40 \text{ W}$$

$$1 \text{ ชม. จะใช้กำลังงานไฟฟ้าไป} = 150 \text{ W/h หรือ } 0.15 \text{ KW/h}$$

$$\text{ฉะนั้น } 5 \text{ ชม. จะใช้กำลังไฟฟ้าไป} = 0.15 \times 5$$

$$= 0.75 \text{ KW/h}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

จากโครงการ Digital Kilo watt hour meter นี้สามารถแบ่งโครงการออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ โดยในส่วนของที่ 1 จะเป็นส่วนของวงจรวัดกำลังไฟฟ้า (ภาควงจรคุณสัญญาณ) และในส่วนที่ 2 คือ ภาคประมวลผล (MCS-51) และในส่วนที่ 3 ภาคแสดงผล โดยใช้ LCD ซึ่งเมื่อนำวงจรทั้ง 3 ส่วนมารวมกันแล้วโครงการนี้ก็สามารถวัดกำลังงานไฟฟ้า ได้ผลน่าพอใจผลจากการพัฒนาโครงการนี้ทำให้โครงการชิ้นนี้ สามารถวัดกำลังงานไฟฟ้า ได้สูงสุดที่ 3,000 Watt

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากคอนโทรลเลอร์จะรับรู้เฉพาะสัญญาณที่เป็นดิจิทัล ดังนั้นสัญญาณที่ออกมาจากภาควงจรคุณสัญญาณในส่วนแรก ควรจะเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณค่าต่าง ๆ เช่น กำลังวัตต์ต่อชม.(Wh)

หนังสืออ้างอิง

- 1.ไมตรี วรวิมลจรรยากุล, "ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า เล่ม 3" ,ภาควิชาไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา
กันยายน
- 2.Yu Jen Wong ,W:E. OTT " Function Circuit Design and Applications" Mc Draw-Hill
1976
3. Hideo Tunoda "Operational Amp and its Applications" in japan 1983



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SDA	BIT	P1.0	; SDA I2C Bus
SCL	BIT	P1.1	; SCL I2C Bus
ADC	EQU	P1.4	
LCD_EN	EQU	P2.7	
LCD_RS	EQU	P2.6	
LCD_ADDR	EQU	030H	
LCD_DATA	EQU	031H	
DATA1	EQU	020H	
DATA2	EQU	021H	
DATA3	EQU	022H	
DATA4	EQU	023H	
DATA5	EQU	024H	
DATA6	EQU	025H	
STORE	EQU	026H	
STORE1	EQU	029H	
ST1	EQU	027H	
TEMP	EQU	028H	
WMCON	EQU	096H	
STORE2	EQU	035H	
SW	EQU	P1.2	
I2C_ADDR	EQU	033H	; For keep I2C Address
I2C_DATA	EQU	034H	; For keep I2C Data
SECONDS	EQU	040H	; For keep Seconds
MINUTES	EQU	041H	; For keep Minutes
HOURS	EQU	042H	; For keep Hours
DAY	EQU	043H	; For keep Day
DATE	EQU	044H	; For keep Date
MONTH	EQU	045H	; For keep Month
YEAR	EQU	046H	; For keep Year
FLAG	EQU	02FH	; User FLAG
I2C_ACK	BIT	FLAG.0	; Define I2C Acknowledge as bit
CONTROL		047H	; For keep Control Byte
RTC_ID	EQU	11010000B	; RTC Slave Address
ORG		0000H	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

INITIAL:   MOV    SP,#256-32
           MOV    P0,#00000000B
           MOV    P1,#0FFH
           MOV    P3,#0FFH
           MOV    P2,#0FFH
           MOV    STORE,#0
           CLR    ADC
           LCALL  DELAY_100ms
           SETB   ADC

MAIN:      LCALL  INIT_LCD
           MOV    LCD_ADDR,#000H
           LCALL  SET_ADDR_LCD
           MOV    DPTR,#TITLE_1
           LCALL  WRLINE_LCD
           MOV    LCD_ADDR,#040H
           LCALL  SET_ADDR_LCD
           MOV    DPTR,#TITLE_2
           LCALL  WRLINE_LCD
           LCALL  DELAY_1s
           LCALL  DELAY_1s
           LCALL  DELAY_1s
           LCALL  SET

X_DISP1:  MOV    LCD_ADDR,#000H
           LCALL  SET_ADDR_LCD
           MOV    DPTR,#TITLE_3
           LCALL  WRLINE_LCD
           MOV    LCD_ADDR,#040H
           LCALL  SET_ADDR_LCD
           MOV    DPTR,#TITLE_4
           LCALL  WRLINE_LCD
           MOV    DPTR,#0010H    ;ADDRESS IN EEPROM
           CALL   READEE        ;READ DATA IN EEPROM
           CJNE   A,#1,BN
           LJMP   CHECK

BN:       LCALL  FILL
           SJMP  CHECK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

RPT:    LCALL    S_DISP
        LCALL    DELAY_1s
        LCALL    DELAY_1s
        JNB     SW,$
        LJMP    X_DISP1
CHECK:  JNB     SW,RPT
        MOV     DPTR,#0000H    ;ADDRESS IN EEPROM
        CALL    READEE        ;READ DATA IN EEPROM
GO:     MOV     DATA1,A      ;TEN
        INC     DPTR          ;INC ADDRESS IN EEPROM
        CALL    READEE        ;READ DATA IN EEPROM
        MOV     DATA2,A      ;ONE
        LCALL    KW
        LCALL    RTC_RD
        MOV     A,HOURS
        CJNE    A,ST1,G2
        SJMP    G1
G2:     LCALL    LOG
G1:     MOV     WMCON,#11000010B
        MOV     WMCON,#11000011B
        MOV     A,P3
        CJNE    A,#0,NX
        MOV     DPTR,#WATT_0
        LCALL    DISP
        LJMP    CHECK
NX:     CJNE    A,#1,NX1
        MOV     DPTR,#WATT_1
        LCALL    DISP
        LJMP    CHECK
NX1:    CJNE    A,#2,NX2
        MOV     DPTR,#WATT_2
        LCALL    DISP
        LJMP    CHECK
NX2:    CJNE    A,#3,NX3
        MOV     DPTR,#WATT_3
        LCALL    DISP

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                LJMP    CHECK
NX3:           CJNE    A,#4,NX4
                MOV     DPTR,#WATT_3
                LCALL   DISP
                LJMP    CHECK
NX4:           CJNE    A,#5,NX5
                MOV     DPTR,#WATT_5
                LCALL   DISP
                LJMP    CHECK
NX5:           CJNE    A,#6,NX6
                MOV     DPTR,#WATT_6
                LCALL   DISP
                LJMP    CHECK
NX6:           CJNE    A,#7,NX7
                MOV     DPTR,#WATT_7
                LCALL   DISP
                LJMP    CHECK
NX7:           CJNE    A,#8,NX8
                MOV     DPTR,#WATT_8
                LCALL   DISP
                LJMP    CHECK
NX8:           CJNE    A,#9,NX9
                MOV     DPTR,#WATT_9
                LCALL   DISP
                LJMP    CHECK
NX9:           CJNE    A,#10,NX10
                MOV     DPTR,#WATT_10
                LCALL   DISP
                LJMP    CHECK
NX10:          CJNE    A,#11,NX11
                MOV     DPTR,#WATT_11
                LCALL   LJMP CHECK
NX11:          CJNE    A,#12,NX12
                MOV     DPTR,#WATT_12
                LCALL   DISP
                LJMP    CHECK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NX12:    CJNE    A,#13,NX13
          MOV     DPTR,#WATT_13
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX13:    CJNE    A,#14,NX14
          MOV     DPTR,#WATT_14
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX14:    CJNE    A,#15,NX15
          MOV     DPTR,#WATT_15
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX15:    CJNE    A,#16,NX16
          MOV     DPTR,#WATT_16
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX16:    CJNE    A,#17,NX17
          MOV     DPTR,#WATT_17
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX17:    CJNE    A,#18,NX18
          MOV     DPTR,#WATT_18
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX18:    CJNE    A,#19,NX19
          MOV     DPTR,#WATT_19
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX19:    CJNE    A,#20,NX20
          MOV     DPTR,#WATT_20
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX20:    CJNE    A,#21,NX21
          MOV     DPTR,#WATT_21
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NX21:    CJNE    A,#22,NX22
          MOV     DPTR,#WATT_22
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX22:    CJNE    A,#23,NX23
          MOV     DPTR,#WATT_23
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX23:    CJNE    A,#24,NX24
          MOV     DPTR,#WATT_24
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX24:    CJNE    A,#25,NX25
          MOV     DPTR,#WATT_25
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX25:    CJNE    A,#26,NX26
          MOV     DPTR,#WATT_26
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX26:    CJNE    A,#27,NX27
          MOV     DPTR,#WATT_27
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX27:    CJNE    A,#28,NX28
          MOV     DPTR,#WATT_28
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX28:    CJNE    A,#29,NX29
          MOV     DPTR,#WATT_29
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX29:    CJNE    A,#30,NX30
          MOV     DPTR,#WATT_30
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NX30:    CJNE    A,#31,NX31
          MOV     DPTR,#WATT_31
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX31:    CJNE    A,#32,NX32
          MOV     DPTR,#WATT_32
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX32:    CJNE    A,#33,NX33
          MOV     DPTR,#WATT_33
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX33:    CJNE    A,#34,NX34
          MOV     DPTR,#WATT_34
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX34:    CJNE    A,#35,NX35
          MOV     DPTR,#WATT_35
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX35:    CJNE    A,#36,NX36
          MOV     DPTR,#WATT_36
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX36:    CJNE    A,#37,NX37
          MOV     DPTR,#WATT_37
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX37:    CJNE    A,#38,NX38
          MOV     DPTR,#WATT_38
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX38:    CJNE    A,#39,NX39
          MOV     DPTR,#WATT_39
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NX39:    CJNE    A,#40,NX40
         MOV     DPTR,#WATT_40
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX40:    CJNE    A,#41,NX41
         MOV     DPTR,#WATT_41
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX41:    CJNE    A,#42,NX42
         MOV     DPTR,#WATT_42
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX42:    CJNE    A,#43,NX43
         MOV     DPTR,#WATT_43
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX43:    CJNE    A,#44,NX44
         MOV     DPTR,#WATT_44
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX44:    CJNE    A,#45,NX45
         MOV     DPTR,#WATT_45
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX45:    CJNE    A,#46,NX46
         MOV     DPTR,#WATT_46
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX46:    CJNE    A,#47,NX47
         MOV     DPTR,#WATT_47
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX47:    CJNE    A,#48,NX48
         MOV     DPTR,#WATT_48
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NX48:    CJNE    A,#49,NX49
         MOV     DPTR,#WATT_49
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX49:    CJNE    A,#50,NX50
         MOV     DPTR,#WATT_50
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX50:    CJNE    A,#51,NX51
         MOV     DPTR,#WATT_51
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX51:    CJNE    A,#52,NX52
         MOV     DPTR,#WATT_52
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX52:    CJNE    A,#53,NX53
         MOV     DPTR,#WATT_53
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX53:    CJNE    A,#54,NX54
         MOV     DPTR,#WATT_54
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX54:    CJNE    A,#55,NX55
         MOV     DPTR,#WATT_55
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX55:    CJNE    A,#56,NX56
         MOV     DPTR,#WATT_56
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX56:    CJNE    A,#57,NX57
         MOV     DPTR,#WATT_57
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NX57:    CJNE    A,#58,NX58
          MOV     DPTR,#WATT_58
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX58:    CJNE    A,#59,NX59
          MOV     DPTR,#WATT_59
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX59:    CJNE    A,#60,NX60
          MOV     DPTR,#WATT_60
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX60:    CJNE    A,#61,NX61
          MOV     DPTR,#WATT_61
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX61:    CJNE    A,#62,NX62
          MOV     DPTR,#WATT_62
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX62:    CJNE    A,#63,NX63
          MOV     DPTR,#WATT_63
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX63:    CJNE    A,#64,NX64
          MOV     DPTR,#WATT_64
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX64:    CJNE    A,#65,NX65
          MOV     DPTR,#WATT_65
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX65:    CJNE    A,#66,NX66
          MOV     DPTR,#WATT_66
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NX66:    CJNE    A,#67,NX67
          MOV     DPTR,#WATT_67
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX67:    CJNE    A,#68,NX68
          MOV     DPTR,#WATT_68
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX68:    CJNE    A,#69,NX69
          MOV     DPTR,#WATT_69
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX69:    CJNE    A,#70,NX70
          MOV     DPTR,#WATT_70
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX70:    CJNE    A,#71,NX71
          MOV     DPTR,#WATT_71
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX71:    CJNE    A,#72,NX72
          MOV     DPTR,#WATT_72
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX72:    CJNE    A,#73,NX73
          MOV     DPTR,#WATT_73
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX73:    CJNE    A,#74,NX74
          MOV     DPTR,#WATT_74
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX74:    CJNE    A,#75,NX75
          MOV     DPTR,#WATT_75
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NX75:    CJNE    A,#76,NX76
         MOV     DPTR,#WATT_76
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX76:    CJNE    A,#77,NX77
         MOV     DPTR,#WATT_77
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX77:    CJNE    A,#78,NX78
         MOV     DPTR,#WATT_78
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX78:    CJNE    A,#79,NX79
         MOV     DPTR,#WATT_79
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX79:    CJNE    A,#80,NX80
         MOV     DPTR,#WATT_80
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX80:    CJNE    A,#81,NX81
         MOV     DPTR,#WATT_81
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX81:    CJNE    A,#82,NX82
         MOV     DPTR,#WATT_82
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX82:    CJNE    A,#83,NX83
         MOV     DPTR,#WATT_83
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK
NX83:    CJNE    A,#84,NX84
         MOV     DPTR,#WATT_84
         LCALL  DISP
         LJMP   CHECK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NX84:    CJNE    A,#85,NX85
          MOV     DPTR,#WATT_85
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX85:    CJNE    A,#86,NX86
          MOV     DPTR,#WATT_86
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX86:    CJNE    A,#87,NX87
          MOV     DPTR,#WATT_87
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX87:    CJNE    A,#88,NX88
          MOV     DPTR,#WATT_88
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX88:    CJNE    A,#89,NX89
          MOV     DPTR,#WATT_89
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX89:    CJNE    A,#90,NX90
          MOV     DPTR,#WATT_90
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX90:    CJNE    A,#91,NX91
          MOV     DPTR,#WATT_91
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX91:    CJNE    A,#92,NX92
          MOV     DPTR,#WATT_92
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX92:    CJNE    A,#93,NX93
          MOV     DPTR,#WATT_93
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NX93:    CJNE    A,#94,NX94
          MOV     DPTR,#WATT_94
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX94:    CJNE    A,#95,NX95
          MOV     DPTR,#WATT_95
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX95:    CJNE    A,#96,NX96
          MOV     DPTR,#WATT_96
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX96:    CJNE    A,#97,NX97
          MOV     DPTR,#WATT_97
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX97:    CJNE    A,#98,NX98
          MOV     DPTR,#WATT_98
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX98:    CJNE    A,#99,NX99
          MOV     DPTR,#WATT_99
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX99:    CJNE    A,#100,NX100
          MOV     DPTR,#WATT_100
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX100:   CJNE    A,#101,NX101
          MOV     DPTR,#WATT_101
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX101:   CJNE    A,#102,NX102
          MOV     DPTR,#WATT_102
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NX102:  CJNE  A,#103,NX103
        MOV   DPTR,#WATT_103
        LCALL DISP
        LJMP  CHECK
NX103:  CJNE  A,#104,NX104
        MOV   DPTR,#WATT_104
        LCALL DISP
        LJMP  CHECK
NX104:  CJNE  A,#105,NX105
        MOV   DPTR,#WATT_105
        LCALL DISP
        LJMP  CHECK
NX105:  CJNE  A,#106,NX106
        MOV   DPTR,#WATT_106
        LCALL DISP
        LJMP  CHECK
NX106:  CJNE  A,#107,NX107
        MOV   DPTR,#WATT_107
        LCALL DISP
        LJMP  CHECK
NX107:  CJNE  A,#108,NX108
        MOV   DPTR,#WATT_108
        LCALL DISP
        LJMP  CHECK
NX108:  CJNE  A,#109,NX109
        MOV   DPTR,#WATT_109
        LCALL DISP
        LJMP  CHECK
NX109:  CJNE  A,#110,NX110
        MOV   DPTR,#WATT_110
        LCALL DISP
        LJMP  CHECK
NX110:  CJNE  A,#111,NX111
        MOV   DPTR,#WATT_111
        LCALL DISP
        LJMP  CHECK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NX111:    CJNE    A,#112,NX112
          MOV     DPTR,#WATT_112
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX112:    CJNE    A,#113,NX113
          MOV     DPTR,#WATT_113
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX113:    CJNE    A,#114,NX114
          MOV     DPTR,#WATT_114
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX114:    CJNE    A,#115,NX115
          MOV     DPTR,#WATT_115
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX115:    CJNE    A,#116,NX116
          MOV     DPTR,#WATT_116
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX116:    CJNE    A,#117,NX117
          MOV     DPTR,#WATT_117
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX117:    CJNE    A,#118,NX118
          MOV     DPTR,#WATT_118
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX118:    CJNE    A,#119,NX119
          MOV     DPTR,#WATT_119
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX119:    CJNE    A,#120,NX120
          MOV     DPTR,#WATT_120
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NX120:    CJNE    A,#121,NX121
          MOV     DPTR,#WATT_121
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX121:    CJNE    A,#122,NX122
          MOV     DPTR,#WATT_122
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX122:    CJNE    A,#123,NX123
          MOV     DPTR,#WATT_123
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX123:    CJNE    A,#124,NX124
          MOV     DPTR,#WATT_124
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX124:    CJNE    A,#125,NX125
          MOV     DPTR,#WATT_125
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX125:    CJNE    A,#126,NX126
          MOV     DPTR,#WATT_126
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX126:    CJNE    A,#127,NX127
          MOV     DPTR,#WATT_127
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX127:    CJNE    A,#128,NX128
          MOV     DPTR,#WATT_128
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX128:    CJNE    A,#129,NX129
          MOV     DPTR,#WATT_129
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NX129:    CJNE    A,#130,NX130
          MOV     DPTR,#WATT_130
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX130:    CJNE    A,#131,NX131
          MOV     DPTR,#WATT_131
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX131:    CJNE    A,#132,NX132
          MOV     DPTR,#WATT_132
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX132:    CJNE    A,#133,NX133
          MOV     DPTR,#WATT_133
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX133:    CJNE    A,#134,NX134
          MOV     DPTR,#WATT_134
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX134:    CJNE    A,#135,NX135
          MOV     DPTR,#WATT_135
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX135:    CJNE    A,#136,NX136
          MOV     DPTR,#WATT_136
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX136:    CJNE    A,#137,NX137
          MOV     DPTR,#WATT_137
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK
NX137:    CJNE    A,#138,NX138
          MOV     DPTR,#WATT_138
          LCALL  DISP
          LJMP   CHECK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NX138:  CJNE  A,#139,NX139
        MOV   DPTR,#WATT_139
        LCALL DISP
        LJMP  CHECK
NX139:  CJNE  A,#140,NX140
        MOV   DPTR,#WATT_140
        LCALL DISP
        LJMP  CHECK
NX140:  CJNE  A,#141,NX141
        MOV   DPTR,#WATT_141
        LCALL DISP
        LJMP  CHECK
NX141:  CJNE  A,#142,NX142
        MOV   DPTR,#WATT_142
        LCALL DISP
        LJMP  CHECK
NX142:  CJNE  A,#143,NX143
        MOV   DPTR,#WATT_143
        LCALL DISP
        LJMP  CHECK
NX143:  CJNE  A,#144,NX144
        MOV   DPTR,#WATT_144
        LCALL DISP
        LJMP  CHECK
NX144:  CJNE  A,#145,NX145
        MOV   DPTR,#WATT_145
        LCALL DISP
        LJMP  CHECK
NX145:  CJNE  A,#146,NX146
        MOV   DPTR,#WATT_146
        LCALL DISP
        LJMP  CHECK
NX146:  CJNE  A,#147,NX147
        MOV   DPTR,#WATT_147
        LCALL DISP
        LJMP  CHECK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NX147:    CJNE  A,#148,NX148
          MOV   DPTR,#WATT_148
          LCALL DISP
          LJMP  CHECK
NX148:    CJNE  A,#149,NX149
          MOV   DPTR,#WATT_149
          LCALL DISP
          LJMP  CHECK
NX149:    CJNE  A,#150,NX150
          MOV   DPTR,#WATT_150
          LCALL DISP
NX150:    LJMP  CHECK

DISP:     MOV   STORE2,A
          MOV   LCD_ADDR,#000H
          LCALL SET_ADDR_LCD
          LCALL WRLINE_LCD
          RET

HEX3LCD:  PUSH  ACC                ; Push ACC.
          MOV   LCD_ADDR,#044H
          LCALL SET_ADDR_LCD
          MOV   A,STORE            ; Get Data
          MOV   B,#100             ;
          DIV   AB                 ; Divide by 100
          ADD   A,#030H           ; Convert to ASCII
          CJNE  A,#030H,HEX3_LCD_NX ; Check x100 = 0 ?
          MOV   A,'#0'            ; 0 => Write Space

HEX3_LCD_NX: MOV LCD_DATA,A        ;
          LCALL WRCHAR_LCD        ; Write x100
          MOV   A,B               ;
          MOV   B,#10             ;
          DIV   AB                 ; Divide by 10
          ADD   A,#030H           ; Convert to ASCII
          MOV   LCD_DATA,A        ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        LCALL WRCHAR_LCD          ; Write Lower HEX Code
        MOV   A,B                 ; Get Remainder x1
        ADD   A,#030H            ; Convert to ASCII
        MOV   LCD_DATA,A         ;
        LCALL WRCHAR_LCD          ; Write Lower HEX Code
        POP   ACC                 ; Pop ACC.
        RET                       ; Return
HEX2LCD:
        PUSH  ACC                 ; Push ACC.
        MOV   LCD_ADDR,#048H
        LCALL SET_ADDR_LCD
        MOV   A,STORE1           ; Get Data
        MOV   B,#10              ;
        DIV   AB                  ; Divide by 100
        ADD   A,#030H            ; Convert to ASCII
        CJNE  A,#030H,HEX2_LCD_NX ; Check x100 = 0 ?
        MOV   A,#'0'             ; 0 => Write Space
HEX2_LCD_NX:
        MOV   LCD_DATA,A         ;
        LCALL WRCHAR_LCD          ; Write x100
        MOV   A,B                 ;
        MOV   B,#1               ;
        DIV   AB                  ; Divide by 10
        ADD   A,#030H            ; Convert to ASCII
        MOV   LCD_DATA,A         ;
        LCALL WRCHAR_LCD          ; Write Lower HEX Code
        POP   ACC                 ; Pop ACC.
        RET                       ; Return

S_DISP:
        MOV   LCD_ADDR,#0000H
        LCALL SET_ADDR_LCD
        MOV   DPTR,#TITLE_X
        LCALL WRLINE_LCD
        MOV   LCD_ADDR,#040H
        LCALL SET_ADDR_LCD
        MOV   DPTR,#TITLE_4
        LCALL WRLINE_LCD

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    DPTR,#0000H        ;ADDRESS IN EEPROM
LCALL  READEE              ;READ DATA IN EEPROM
CLR    C
SUBB   A,#20
MOV    DATA1,A           ; TEN
INC    DPTR                ;INC ADDRESS IN EEPROM
LCALL  READEE              ;READ DATA IN EEPROM
MOV    DATA2,A           ;ONE
LCALL  KW
RET

```

KW:

```

MOV    STORE,DATA1
LCALL  HEX3LCD
MOV    STORE1,DATA2
LCALL  HEX2LCD
RET

```

FILL:

```

MOV    DPTR,#0000H        ;ADDRESS IN EEPROM
MOV    A,#23
LCALL  WRITEE              ;WRITE DATA TO EEPROM
MOV    DPTR,#0001H        ;ADDRESS IN EEPROM
MOV    A,#0
LCALL  WRITEE              ;WRITE DATA TO EEPROM
MOV    DPTR,#0000H        ;ADDRESS IN EEPROM
LCALL  READEE
MOV    DPTR,#0010H        ;ADDRESS IN EEPROM
MOV    A,#1
LCALL  WRITEE              ;WRITE DATA TO EEPROM
RET

```

READEE:

```

MOV    WMCON,#00001000B   ;ENABLE
MOVX   A,@DPTR
MOV    WMCON,#00000000B   ;NOT ENABLE
RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

WRITEE:      MOV    WMCON,#00011000B    ;ENABLE
              MOVX   @DPTR,A
              CALL   DTSED
              MOV    WMCON,#00000000B    ;NOT ENABLE
              RET

```

```

DTSED:       MOV    R2,#6                ;DELAY WRITE ***
DTSED1:      MOV    R3,#0
CX:          DJNZ   R3,CX
              DJNZ   R2,DTSED1
              RET

```

; I2C RTC Read

```

RTC_RD:      MOV    I2C_ADDR,#RTC_ID      ; Set RTC as I2C Write Slave
              LCALL I2C_SLAVE             ; Connect Slave
              MOV    I2C_DATA,#000H      ; Set Slave Address 00H
              LCALL I2C_DATA_WR          ; Write Data to Slave
              MOV    I2C_ADDR,#RTC_ID+1  ; Set RTC as I2C Read Slave
              LCALL I2C_SLAVE             ; Connect Slave
              LCALL I2C_DATA_RD          ; Read Data from Slave

              MOV    SECONDS,I2C_DATA     ; Read Data to SECONDS
              LCALL I2C_ACK_BIT          ; Send Acknowledge

              LCALL I2C_DATA_RD          ; Read Data from Slave
              MOV    MINUTES,I2C_DATA     ; Read Data to MINUTES
              LCALL I2C_ACK_BIT          ; Send Acknowledge

              LCALL I2C_DATA_RD          ; Read Data from Slave

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    HOURS,I2C_DATA    ; Read Data to HOURS
LCALL  I2C_ACK_BIT      ; Send Acknowledge

LCALL  I2C_DATA_RD      ; Read Data from Slave
MOV    DAY,I2C_DATA      ; Read Data to DAY
LCALL  I2C_ACK_BIT      ; Send Acknowledge

LCALL  I2C_DATA_RD      ; Read Data from Slave
MOV    DATE,I2C_DATA     ; Read Data to DATE
LCALL  I2C_ACK_BIT      ; Send Acknowledge

LCALL  I2C_DATA_RD      ; Read Data from Slave
MOV    MONTH,I2C_DATA    ; Read Data to MONTH
LCALL  I2C_ACK_BIT      ; Send Acknowledge

LCALL  I2C_DATA_RD      ; Read Data from Slave
MOV    YEAR,I2C_DATA     ; Read Data to YEAR
LCALL  I2C_ACK_BIT      ; Send Acknowledge

LCALL  I2C_DATA_RD      ; Read Data from Slave
MOV    CONTROL,I2C_DATA  ; Read Data to CONTROL
LCALL  I2C_NACK_BIT     ; Send Not Acknowledge

LCALL  I2C_STOP         ; Send Stop Condition
RET    ; Return

```

; I2C RTC Write

```

RTC_WR:    MOV    I2C_ADDR,#RTC_ID    ; Set RTC as I2C Write Slave
           LCALL  I2C_SLAVE          ; Connect Slave

           MOV    I2C_DATA,#000H     ; Set Slave Address 00H
           LCALL  I2C_DATA_WR        ; Write Data to Slave

           MOV    I2C_DATA,SECONDS    ; Write SECONDS to RTC

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LCALL I2C_DATA_WR      ;

MOV   I2C_DATA,MINUTES ; Write MINUTES to RTC
LCALL I2C_DATA_WR      ;

MOV   I2C_DATA,HOURS   ; Write HOURS to RTC
LCALL I2C_DATA_WR      ;

MOV   I2C_DATA,DAY     ; Write DAY to RTC
LCALL I2C_DATA_WR      ;

MOV   I2C_DATA,DATE    ; Write DATE to RTC
LCALL I2C_DATA_WR      ;

MOV   I2C_DATA,MONTH   ; Write MONTH to RTC
LCALL I2C_DATA_WR      ;

MOV   I2C_DATA,YEAR    ; Write YEAR to RTC
LCALL I2C_DATA_WR      ;

MOV   I2C_DATA,CONTROL ; Write CONTROL to RTC
LCALL I2C_DATA_WR      ;

LCALL I2C_STOP         ; Send Stop Condition
RET                    ; Return

```

```

-----
; I2C Data Write
; I/P:      I2C_DATA
; Reserve:  R5
-----

```

```

I2C_DATA_WR:      PUSH  ACC          ; Push ACC.
                  SETB  I2C_ACK      ; Set ACK. bit
                  MOV   A,I2C_DATA   ; Get Data
                  MOV   R5,#008     ; Set loop 8 times

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    P0,A
LCALL  LCD_CLK
INC    DPTR
INC    R0
CJNE   R0,#16,WRLINE_LCD_1
LCALL  LCD_ON
RET

```

```

*****
;*          DELAY MODULE          *
*****

```

```

LCD_DELAY:    MOV    7,#002
LCD_DELAY_1:  MOV    6,#0E6H
LCD_DELAY_2:  NOP
              NOP
              DJNZ   R6,LCD_DELAY_2
              DJNZ   R7,LCD_DELAY_1
              RET
DELAY_10ms:   MOV    7,#010
DELAY_10ms_1: MOV    6,#0E6H
DELAY_10ms_2: NOP
              NOP
              DJNZ   R6,DELAY_10ms_2
              DJNZ   R7,DELAY_10ms_1
              RET
DELAY_100ms:  MOV    7,#080
DELAY_100ms_1: MOV    6,#0E6H
DELAY_100ms_2: NOP
              NOP
              DJNZ   R6,DELAY_10ms_2
              DJNZ   R7,DELAY_10ms_1
              RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DELAY_1s:      MOV  5,#100
DELAY_1s_1:    LCALL DELAY_10ms
                DJNZ  R5,DELAY_1s_1
                RET
DELAY_11s:     MOV  5,#050
DELAY_11s_1:   LCALL DELAY_10ms
                DJNZ  R5,DELAY_11s_1
                RET

T1_ADD:        DB  0,1,2,4,4,5,6,7,8,9,9,10
                DB  12,13,14,15,16,17,18,19
                DB  20,21,22,23,24,25,25,27
                DB  28,29,30,31,32,33,34,35
                DB  36,37,38,39,40,41,42,43
                DB  44,45,46,47,48,49,50,51
                DB  52,53,54,55,56,57,58,59
                DB  60,61,62,63,64,65,66,67
                DB  68,69,70,72,74,76,78,80
                DB  82,84,86,88,90,95,99

T2_ADD:        DB  1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
                DB  1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
                DB  1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
                DB  1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
                DB  1,1,1,1,2,2,2,2,2,2
                DB  2,2,2,2,2,2,2,2,2,2
                DB  2,2,2,2,2,2,2,3

T3_ADD:        DB  0,1,2,3,5,6,8,10,12,14
                DB  16,18,20,21,23,24,25,26
                DB  28,30,31,32,34,36,38,40
                DB  41,42,43,44,45,46,48,49
                DB  50,51,52,53,54,55,63,74
                DB  85,96,0,5,10,15,16,17,18
                DB  19,21,25,27,30,35,40,50
                DB  55,60,65,70,80,85,90
                DB  95,30

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TITLE_X: DB ' TOTAL USED '

TITLE_1: DB ' DIGITAL '

TITLE_2: DB ' KW-HOUR METER '

TITLE_3: DB ' NOWLOAD: W '

TITLE_4: DB ' . kWh '

WATT_0: DB ' NOWLOAD: 0 W '

WATT_1: DB ' NOWLOAD: 10 W '

WATT_2: DB ' NOWLOAD: 20 W '

WATT_3: DB ' NOWLOAD: 40 W '

WATT_4: DB ' NOWLOAD: 45 W '

WATT_5: DB ' NOWLOAD: 50 W '

WATT_6: DB ' NOWLOAD: 60 W '

WATT_7: DB ' NOWLOAD: 70 W '

WATT_8: DB ' NOWLOAD: 80 W '

WATT_9: DB ' NOWLOAD: 90 W '

WATT_10: DB ' NOWLOAD: 95 W '

WATT_11: DB ' NOWLOAD: 100 W '

WATT_12: DB ' NOWLOAD: 120 W '

WATT_13: DB ' NOWLOAD: 130 W '

WATT_14: DB ' NOWLOAD: 140 W '

WATT_15: DB ' NOWLOAD: 150 W '

WATT_16: DB ' NOWLOAD: 160 W '

WATT_17: DB ' NOWLOAD: 170 W '

WATT_18: DB ' NOWLOAD: 180 W '

WATT_19: DB ' NOWLOAD: 190 W '

WATT_20: DB ' NOWLOAD: 200 W '

WATT_21: DB ' NOWLOAD: 210 W '

WATT_22: DB ' NOWLOAD: 220 W '

WATT_23: DB ' NOWLOAD: 230 W '

WATT_24: DB ' NOWLOAD: 240 W '

WATT_25: DB ' NOWLOAD: 250 W '

WATT_26: DB ' NOWLOAD: 260 W '

WATT_27: DB ' NOWLOAD: 270 W '

WATT_28: DB ' NOWLOAD: 280 W '

WATT_29: DB ' NOWLOAD: 290 W '

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WATT_30:	DB	' NOWLOAD: 300 W '
WATT_31:	DB	' NOWLOAD: 310 W '
WATT_32:	DB	' NOWLOAD: 320 W '
WATT_33:	DB	' NOWLOAD: 330 W '
WATT_34:	DB	' NOWLOAD: 340 W '
WATT_35:	DB	' NOWLOAD: 350 W '
WATT_36:	DB	' NOWLOAD: 360 W '
WATT_37:	DB	' NOWLOAD: 370 W '
WATT_38:	DB	' NOWLOAD: 380 W '
WATT_39:	DB	' NOWLOAD: 390 W '
WATT_40:	DB	' NOWLOAD: 400 W '
WATT_41:	DB	' NOWLOAD: 410 W '
WATT_42:	DB	' NOWLOAD: 420 W '
WATT_43:	DB	' NOWLOAD: 430 W '
WATT_44:	DB	' NOWLOAD: 440 W '
WATT_45:	DB	' NOWLOAD: 450 W '
WATT_46:	DB	' NOWLOAD: 460 W '
WATT_47:	DB	' NOWLOAD: 470 W '
WATT_48:	DB	' NOWLOAD: 480 W '
WATT_49:	DB	' NOWLOAD: 490 W '
WATT_50:	DB	' NOWLOAD: 500 W '
WATT_51:	DB	' NOWLOAD: 510 W '
WATT_52:	DB	' NOWLOAD: 520 W '
WATT_53:	DB	' NOWLOAD: 530 W '
WATT_54:	DB	' NOWLOAD: 540 W '
WATT_55:	DB	' NOWLOAD: 550 W '
WATT_56:	DB	' NOWLOAD: 560 W '
WATT_57:	DB	' NOWLOAD: 570 W '
WATT_58:	DB	' NOWLOAD: 580 W '
WATT_59:	DB	' NOWLOAD: 590 W '
WATT_60:	DB	' NOWLOAD: 600 W '
WATT_61:	DB	' NOWLOAD: 610 W '
WATT_62:	DB	' NOWLOAD: 620 W '
WATT_63:	DB	' NOWLOAD: 630 W '
WATT_64:	DB	' NOWLOAD: 640 W '
WATT_65:	DB	' NOWLOAD: 650 W '

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WATT_66:	DB	' NOWLOAD: 660 W '
WATT_67:	DB	' NOWLOAD: 670 W '
WATT_68:	DB	' NOWLOAD: 680 W '
WATT_69:	DB	' NOWLOAD: 690 W '
WATT_70:	DB	' NOWLOAD: 700 W '
WATT_71:	DB	' NOWLOAD: 720 W '
WATT_72:	DB	' NOWLOAD: 740 W '
WATT_73:	DB	' NOWLOAD: 760 W '
WATT_74:	DB	' NOWLOAD: 780 W '
WATT_75:	DB	' NOWLOAD: 800 W '
WATT_76:	DB	' NOWLOAD: 820 W '
WATT_77:	DB	' NOWLOAD: 840 W '
WATT_78:	DB	' NOWLOAD: 860 W '
WATT_79:	DB	' NOWLOAD: 880 W '
WATT_80:	DB	' NOWLOAD: 900 W '
WATT_81:	DB	' NOWLOAD: 950 W '
WATT_82:	DB	' NOWLOAD: 990 W '
WATT_83:	DB	' NOWLOAD:1000 W '
WATT_84:	DB	' NOWLOAD:1010 W '
WATT_85:	DB	' NOWLOAD:1020 W '
WATT_86:	DB	' NOWLOAD:1030 W '
WATT_87:	DB	' NOWLOAD:1050 W '
WATT_88:	DB	' NOWLOAD:1060 W '
WATT_89:	DB	' NOWLOAD:1080 W '
WATT_90:	DB	' NOWLOAD:1100 W '
WATT_91:	DB	' NOWLOAD:1120 W '
WATT_92:	DB	' NOWLOAD:1140 W '
WATT_93:	DB	' NOWLOAD:1160 W '
WATT_94:	DB	' NOWLOAD:1180 W '
WATT_95:	DB	' NOWLOAD:1200 W '
WATT_96:	DB	' NOWLOAD:1210 W '
WATT_97:	DB	' NOWLOAD:1230 W '
WATT_98:	DB	' NOWLOAD:1240 W '
WATT_99:	DB	' NOWLOAD:1250 W '
WATT_100:	DB	' NOWLOAD:1260 W '
WATT_101:	DB	' NOWLOAD:1280 W '

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WATT_102:	DB	' NOWLOAD:1300 W '
WATT_103:	DB	' NOWLOAD:1310 W '
WATT_104:	DB	' NOWLOAD:1320 W '
WATT_105:	DB	' NOWLOAD:1340 W '
WATT_106:	DB	' NOWLOAD:1360 W '
WATT_107:	DB	' NOWLOAD:1380 W '
WATT_108:	DB	' NOWLOAD:1400 W '
WATT_109:	DB	' NOWLOAD:1410 W '
WATT_110:	DB	' NOWLOAD:1420 W '
WATT_111:	DB	' NOWLOAD:1430 W '
WATT_112:	DB	' NOWLOAD:1440 W '
WATT_113:	DB	' NOWLOAD:1450 W '
WATT_114:	DB	' NOWLOAD:1460 W '
WATT_115:	DB	' NOWLOAD:1480 W '
WATT_116:	DB	' NOWLOAD:1490 W '
WATT_117:	DB	' NOWLOAD:1500 W '
WATT_118:	DB	' NOWLOAD:1510 W '
WATT_119:	DB	' NOWLOAD:1520 W '
WATT_120:	DB	' NOWLOAD:1530 W '
WATT_121:	DB	' NOWLOAD:1540 W '
WATT_122:	DB	' NOWLOAD:1550 W '
WATT_123:	DB	' NOWLOAD:1630 W '
WATT_124:	DB	' NOWLOAD:1740 W '
WATT_125:	DB	' NOWLOAD:1850 W '
WATT_126:	DB	' NOWLOAD:1960 W '
WATT_127:	DB	' NOWLOAD:2000 W '
WATT_128:	DB	' NOWLOAD:2050 W '
WATT_129:	DB	' NOWLOAD:2100 W '
WATT_130:	DB	' NOWLOAD:2150 W '
WATT_131:	DB	' NOWLOAD:2160 W '
WATT_132:	DB	' NOWLOAD:2170 W '
WATT_133:	DB	' NOWLOAD:2180 W '
WATT_134:	DB	' NOWLOAD:2190 W '
WATT_135:	DB	' NOWLOAD:2210 W '
WATT_136:	DB	' NOWLOAD:2250 W '
WATT_137:	DB	' NOWLOAD:2270 W '

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WATT_138: DB 'NOWLOAD:2300 W'
WATT_139: DB 'NOWLOAD:2350 W'
WATT_140: DB 'NOWLOAD:2400 W'
WATT_141: DB 'NOWLOAD:2500 W'
WATT_142: DB 'NOWLOAD:2550 W'
WATT_143: DB 'NOWLOAD:2600 W'
WATT_144: DB 'NOWLOAD:2650 W'
WATT_145: DB 'NOWLOAD:2700 W'
WATT_146: DB 'NOWLOAD:2800 W'
WATT_147: DB 'NOWLOAD:2850 W'
WATT_148: DB 'NOWLOAD:2900 W'
WATT_149: DB 'NOWLOAD:2950 W'
WATT_150: DB 'NOWLOAD:3000 W'

END

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        LCALL READEE      ;READ DATA IN EEPROM
        ADD  A,#1
        MOV  DPTR,#0000H ;ADDESS IN EEPROM
        LCALL WRITEE
EXIT:    RET

```

```

;*****
;*          LCD MODULE          *
;

```

```

INIT_LCD:  LCALL DELAY_100ms
           CLR  LCD_RS
           MOV  P0,#00111000B
           LCALL LCD_CLK
           LCALL DELAY_10ms
           MOV  P0,#00111000B
           LCALL LCD_CLK
           LCALL LCD_OFF
           LCALL LCD_CLR
           MOV  P0,#00000110B
           LCALL LCD_CLK
           LCALL LCD_HOME

LCD_CLR:   CLR  LCD_RS
           MOV  P0,#00000001B
           LCALL LCD_CLK
           RET

LCD_HOME:  CLR  LCD_RS
           MOV  P0,#00000010B
           LCALL LCD_CLK
           RET

LCD_OFF:   CLR  LCD_RS
           MOV  P0,#00001000B
           LCALL LCD_CLK
           RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LCD_CLK:   SETB LCD_EN
           LCALL LCD_DELAY
           CLR LCD_EN
           LCALL LCD_DELAY
           RET

LCD_ON:    CLR LCD_RS
           MOV P0,#00001100B
           LCALL LCD_CLK
           RET

LCD_BLINK: CLR LCD_RS
           MOV P0,#00001111B
           LCALL LCD_CLK
           RET

LCD_LSHF:  CLR LCD_RS
           MOV P0,#00011000B
           LCALL LCD_CLK
           RET

LCD_RSHF:  CLR LCD_RS
           MOV P0,#00011100B
           LCALL LCD_CLK
           RET

SET_ADDR_LCD: CLR LCD_RS
              MOV A,LCD_ADDR
              SETB ACC.7
              MOV P0,A
              LCALL LCD_CLK
              RET

WRCHAR_LCD: SETB LCD_RS
            MOV P0,LCD_DATA
            LCALL LCD_CLK
            LCALL LCD_ON
            RET

WRLINE_LCD: MOV R0,#0

WRLINE_LCD_1: SETB LCD_RS
              CLR A
              MOVC A,@A+DPTR

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

STMP:      MOV  DPTR,#0001H   ;ADDESS IN EEPROM
           LCALL READEE     ;READ DATA IN EEPROM
           ADD  A,DATA3
           MOV  DATA3,A
           CLR  C
           SUBB A,#99
           JC  WRR
           MOV  A,DATA3
           MOV  B,#100
           DIV AB
           MOV  DATA3,B
           MOV  DPTR,#0000H   ;ADDESS IN EEPROM
           LCALL READEE     ;READ DATA IN EEPROM
           ADD  A,#1
           MOV  DPTR,#0000H   ;ADDESS IN EEPROM
           LCALL WRITEE
WRR:       MOV  A,DATA3
           MOV  DPTR,#0001H   ;ADDESS IN EEPROM
           LCALL WRITEE
           LJMP EXIT
LAS:       MOV  A,STORE2
           MOV  DPTR,#T1_ADD
           MOVC A,@A+DPTR    ; Get Temp Value
           MOV  DATA3,A
           CLR  C
           SUBB A,#100
           JC  STMP
           MOV  A,DATA3
           MOV  B,#100
           DIV AB
           MOV  DPTR,#0001H   ;ADDESS IN EEPROM
           LCALL READEE     ;READ DATA IN EEPROM
           ADD  A,B
           MOV  DPTR,#0001H   ;ADDESS IN EEPROM
           LCALL WRITEE
           MOV  DPTR,#0000H   ;ADDESS IN EEPROM

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

I2C_DATA_WR_1:      RLC   A                ; Rotate ACC. to Left with Carry
                   MOV   SDA,C          ; Move Carry Flag to SDA
                   ACALL I2C_CLK        ; Pulse I2C Clock
                   DJNZ  R5,I2C_DATA_WR_1 ; Do until 8 times
                   SETB  SDA           ; Set SDA
                   ACALL I2C_DELAY      ; Delay
                   SETB  SCL           ; Set SCL
                   ACALL I2C_DELAY      ; Delay
                   JB    SDA,I2C_DATA_WR_2 ; Check Acknowledge from Slave
                   CLR   I2C_ACK       ; Clear ACK. bit

I2C_DATA_WR_2:     CLR   SCL           ; Clear SCL
                   POP   ACC           ; Pop ACC.
                   RET                ; Return

;-----
; I2C Data Read
; O/P:      I2C_DATA
; Reserve:  R5
;-----

I2C_DATA_RD:      PUSH  ACC           ; Push ACC.
                   CLR   A            ; Clear ACC.
                   MOV   R5,#008      ; Set loop 8 times
I2C_DATA_RD_1:    ACALL I2C_DELAY      ; Delay
                   SETB  SCL          ; Set SCL
                   ACALL I2C_DELAY      ; Delay
                   MOV   C,SDA        ; Get SDA to Carry Flag
                   RLC   A            ; Rotate ACC. to Left with Carry
                   CLR   SCL          ; Clear SCL
                   DJNZ  R5,I2C_DATA_RD_1 ; Do until 8 times
                   MOV   I2C_DATA,A   ; Move Data to I2C_DATA
                   POP   ACC          ; Pop ACC.
                   RET                ; Return

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

; I2C Slave Connect

; I/P: I2C_ADDR

; O/P Flag: I2C_ACK

; Reserve: R5

```
I2C_SLAVE:          PUSH  ACC          ; Push ACC.
                   SETB  I2C_ACK       ; Set ACK. bit
                   MOV   A,I2C_ADDR     ; Get Slave Address
                   ACALL I2C_START      ; Send Start Condition
                   MOV   R5,#008        ; Set loop 8 times
I2C_SLAVE_1:  RLC   A                ; Rotate ACC. to Left with Carry
                   MOV   SDA,C          ; Move Carry Flag to SDA
                   ACALL I2C_CLK        ; Pulse I2C Clock
                   DJNZ  R5,I2C_SLAVE_1 ; Do until 8 times
                   SETB  SDA           ; Set SDA
                   ACALL I2C_DELAY      ; Delay
                   SETB  SCL           ; Set SCL
                   ACALL I2C_DELAY      ; Delay
                   JB    SDA,I2C_SLAVE_2 ; Check Acknowledge from Slave
                   CLR  I2C_ACK        ; Clear ACK.
I2C_SLAVE_2:  CLR  SCL                ; Clear SCL
                   POP  ACC            ; Pop ACC.
                   RET                 ; Return
```

; I2C Start Condition

```
I2C_START:         JNB   SCL,I2C_START_1 ; Check current SCL set?
                   CLR  SCL            ; Clear SCL
```

```
I2C_START_1:      SETB  SDA          ; Set SDA
                   SETB  SCL          ; Set SCL
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ACALL I2C_DELAY           ; Delay
CLR   SDA                 ; Clear SDA during SCL set
ACALL I2C_DELAY           ; Delay
CLR   SCL                 ; Clear SCL
RET                        ; Return

```

; I2C Stop Condition

```

I2C_STOP:                JNB   SCL,I2C_STOP_1       ; Check current SCL set?
                        CLR   SCL                 ; Clear SCL

```

```

I2C_STOP_1:              CLR   SDA                 ; Clear SDA
                        ACALL  I2C_DELAY           ; Delay
                        SETB  SCL                 ; Set SCL
                        ACALL  I2C_DELAY           ; Delay
                        SETB  SDA                 ; Set SDA during SCL set
                        RET                        ; Return

```

; I2C Clock

```

I2C_CLK:                 ACALL  I2C_DELAY           ; Pulse SCL
                        SETB  SCL                 ;
                        ACALL  I2C_DELAY           ;
                        CLR   SCL                 ;
                        RET                        ; Return

```

; I2C Acknowledge

```

I2C_ACK_BIT:            CLR   SDA                 ; Clear SDA
                        ACALL  I2C_DELAY           ; Delay
                        ACALL  I2C_CLK            ; Pulse I2C Clock
                        SETB  SDA
                        RET                        ; Return

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;-----
; I2C Not Acknowledge
;-----
I2C_NACK_BIT:          SETB  SDA                ; Set SDA
                       ACALL I2C_DELAY         ; Delay
                       ACALL I2C_CLK          ; Pulse I2C Clock
                       SETB  SCL
                       RET                    ; Return

```

```

;-----
; Dummy Delay time I2C_DELAY, LCD_DELAY, 10m, 100m, 1s
;-----

```

```

I2C_DELAY:             MOV   R6,#00CH          ; Each loop = 50 us
I2C_DELAY_1:           NOP
                       NOP
                       DJNZ  R6,I2C_DELAY_1
                       RET
SET:                   MOV   DATE,#010H        ; Keep Date Data
                       MOV   MONTH,#010H     ; Keep Month Data
                       MOV   YEAR,#01H       ; Keep Year Data
                       MOV   HOURS,#00H      ; Keep Hours Data
                       MOV   MINUTES,#00H    ; Keep Minutes Data
                       MOV   SECONDS,#00H    ; Keep Seconds Data
                       LCALL  RTC_WR         ; Write RTC
                       MOV   ST1,HOURS
                       RET

```

```

LAS1:                 LJMP  LAS
LOG:                   LCALL SET
                       MOV   A,STORE2
                       CLR   C
                       SUBB  A,#83

```

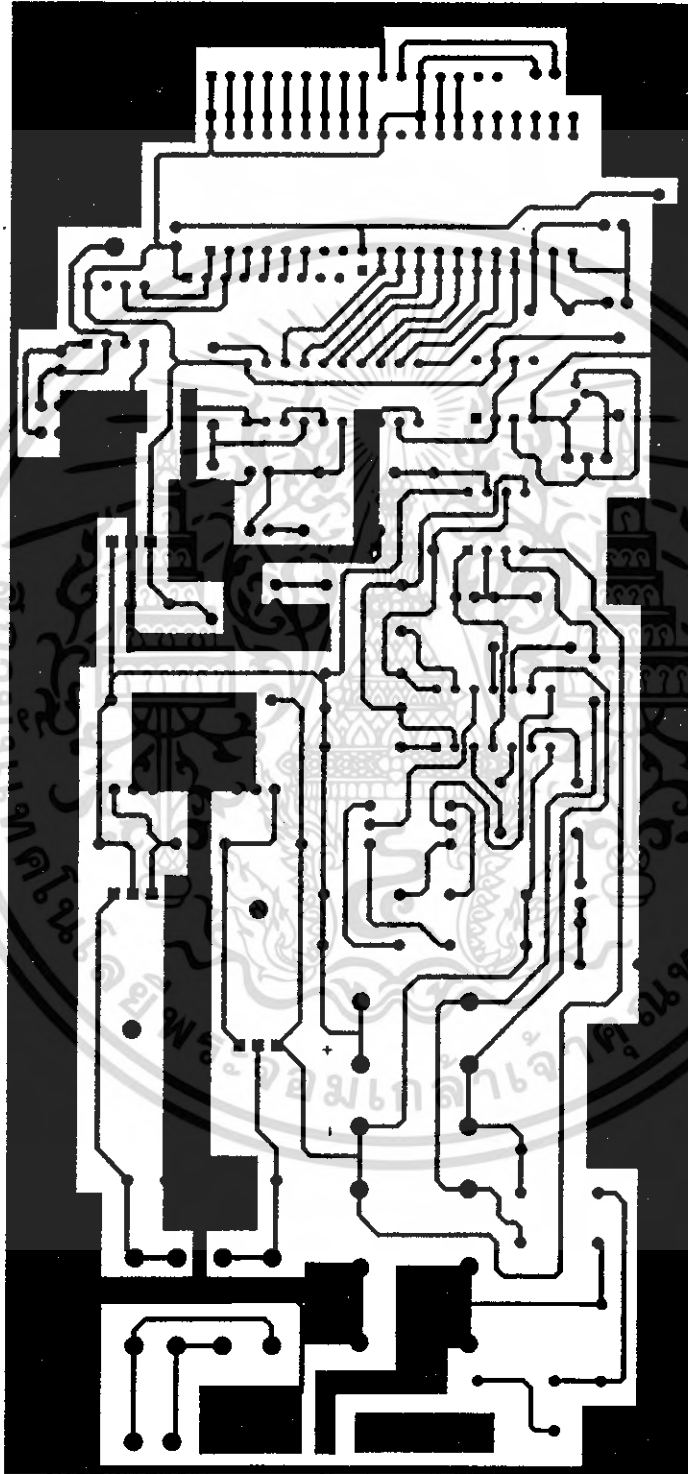
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

JC    LAS1
MOV  A,STORE2
MOV  DPTR,#T2_ADD
MOVC A,@A+DPTR    ; Get Temp Value
MOV  DATA3,A
MOV  DPTR,#0000H    ;ADDESS IN EEPROM
LCALL READEE      ;READ DATA IN EEPROM
ADD  A,DATA3
MOV  DPTR,#0000H    ;ADDESS IN EEPROM
LCALL WRITEE
MOV  A,STORE2
MOV  DPTR,#T3_ADD
MOVC A,@A+DPTR    ; Get Temp Value
MOV  DATA3,A
MOV  DPTR,#0001H    ;ADDESS IN EEPROM
LCALL READEE      ;READ DATA IN EEPROM
ADD  A,DATA3
MOV  DATA3,A
CLR  C
SUBB A,#99
JC   STMP
MOV  A,DATA3
MOV  B,#100
DIV  AB
MOV  DPTR,#0001H    ;ADDESS IN EEPROM
LCALL READEE      ;READ DATA IN EEPROM
ADD  A,B
MOV  DPTR,#0001H    ;ADDESS IN EEPROM
LCALL WRITEE
MOV  DPTR,#0000H    ;ADDESS IN EEPROM
LCALL READEE      ;READ DATA IN EEPROM
ADD  A,#1
MOV  DPTR,#0000H    ;ADDESS IN EEPROM
LCALL WRITEE
LJMP EXIT

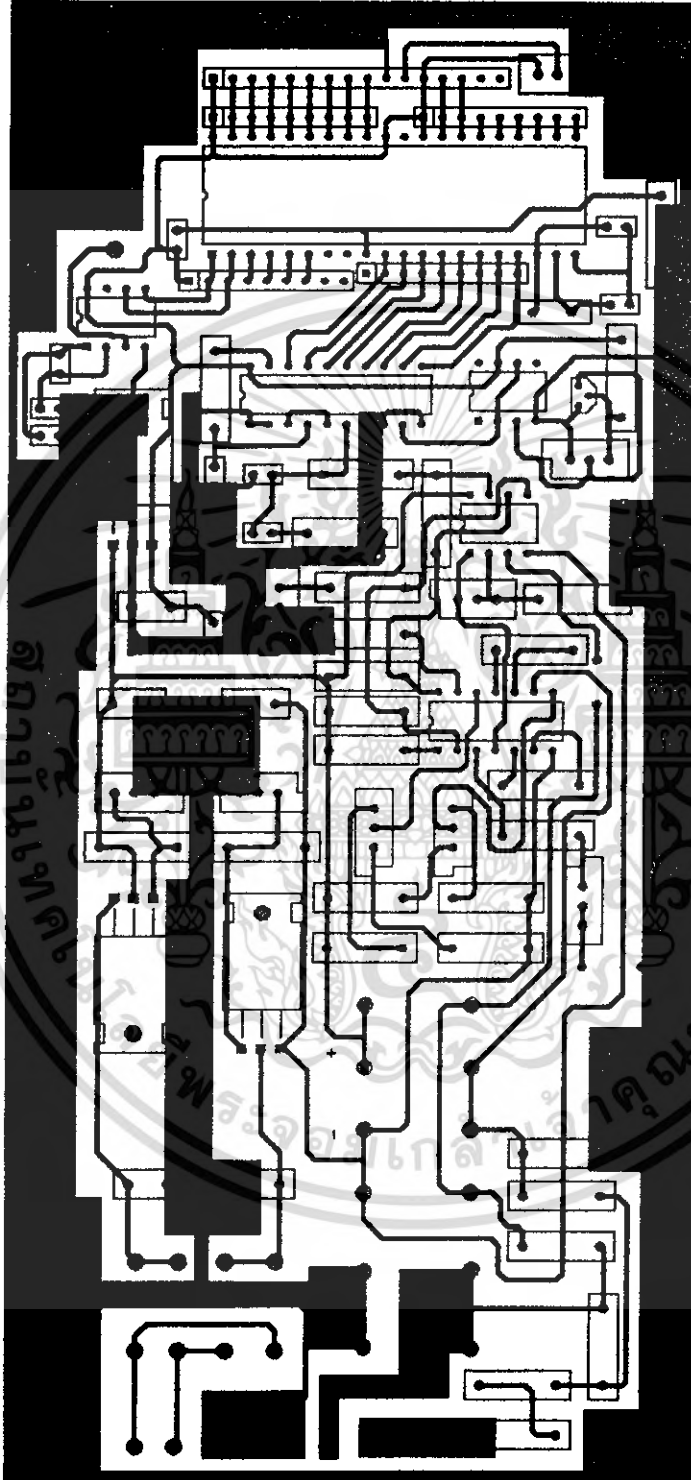
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปถ่ายของแผงวงจรงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปถ่ายของแผงอุปกรณ์ของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1495

Wideband Linear Four-Quadrant Multiplier

The MC1495 is designed for use where the output is a linear product of two input voltages. Maximum versatility is assured by allowing the user to select the level shift method. Typical applications include: multiply, divide*, square root*, mean square*, phase detector, frequency doubler, balanced modulator/demodulator, and electronic gain control.

- Wide Bandwidth
- Excellent Linearity:
 - 2% max Error on X Input, 4% max Error on Y Input Over Temperature
 - 1% max Error on X Input, 2% max Error on Y Input at + 25°C
- Adjustable Scale Factor, K
- Excellent Temperature Stability
- Wide Input Voltage Range: ± 10 V
- ± 15 V Operation

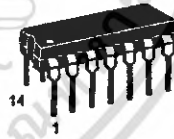
*When used with an operational amplifier.

LINEAR FOUR-QUADRANT MULTIPLIER

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA



D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751A
(SO-14)



P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646

MAXIMUM RATINGS (T_A = + 25°C, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Applied Voltage (V ₂ -V ₁ , V ₁₄ -V ₁ , V ₁ -V ₉ , V ₁ -V ₁₂ , V ₁ -V ₄ , V ₁ -V ₈ , V ₁₂ -V ₇ , V ₉ -V ₇ , V ₈ -V ₇ , V ₄ -V ₇)	ΔV	30	Vdc
Differential Input Signal	V ₁₂ -V ₉ V ₄ -V ₈	$\pm (6+13 R_x)$ $\pm (6+13 R_y)$	Vdc
Maximum Bias Current	I ₃ I ₁₃	10 10	mA
Operating Temperature Range	T _A	0 to +70 -40 to +125	°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	-65 to +150	°C

ORDERING INFORMATION

Device	Tested Operating Temperature Range	Package
MC1495D	T _A = 0° to + 70°C	SO-14
MC1495P		Plastic DIP
MC1495BP	T _A = - 40° to +125°C	Plastic DIP

MC1495

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (+V = +32 V, -V = -15 V, T_A = +25°C, I₃ = I₁₃ = 1.0 mA, R_X = R_Y = 15 kΩ, R_L = 11 kΩ, unless otherwise noted.)

Characteristics	Figure	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Linearity (Output Error in percent of full scale) T _A = +25°C -10 < V _X < +10 (V _Y = ±10 V) -10 < V _Y < +10 (V _X = ±10 V) T _A = T _{Low} to T _{High} -10 < V _X < +10 (V _Y = ±10 V) -10 < V _Y < +10 (V _X = ±10 V)	5	E _{RX} E _{RY} E _{RX} E _{RY}	- - - -	±1.0 ±2.0 ±1.5 ±3.0	±1.0 ±2.0 ±2.0 ±4.0	%
Square Mode Error (Accuracy in percent of full scale after Offset and Scale Factor adjustment) T _A = +25°C T _A = T _{Low} to T _{High}	5	E _{SQ}	- -	±0.75 ±1.0	- -	%
Scale Factor (Adjustable) $(K = \frac{2R_L}{13 R_X R_Y})$	-	K	-	0.1	-	
Input Resistance (f = 20 Hz)	7	R _{inX} R _{inY}	- -	30 20	- -	MΩ
Differential Output Resistance (f = 20 Hz)	8	R _O	-	300	-	kΩ
Input Bias Current $I_{bx} = \frac{(I_9 + I_{12})}{2}$, $I_{by} = \frac{(I_4 + I_8)}{2}$ T _A = +25°C T _A = T _{Low} to T _{High}	6	I _{bx} , I _{by}	- -	2.0 2.0	8.0 12	μA
Input Offset Current $ I_9 - I_{12} $ $ I_4 - I_8 $ T _A = +25°C T _A = T _{Low} to T _{High}	6	I _{ox} , I _{oy}	- -	0.4 0.4	1.0 2.0	μA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current T _A = T _{Low} to T _{High}	6	TC _{Ioi}	-	2.5	-	nA/°C
Output Offset Current $ I_{14} - I_2 $ T _A = +25°C T _A = T _{Low} to T _{High}	6	I _{oo}	-	10 20	50 100	μA
Average Temperature Coefficient of Output Offset Current T _A = T _{Low} to T _{High}	6	TC _{Ioo}	-	20	-	nA/°C
Frequency Response 3.0 dB Bandwidth, R _L = 11 kΩ 3.0 dB Bandwidth, R _L = 50 Ω (Transconductance Bandwidth) 3° Relative Phase Shift Between V _X and V _Y 1% Absolute Error Due to Input-Output Phase Shift	9,10	BW(3dB) TBW(3dB) φ θ	- - - -	3.0 80 750 30	- - - -	MHz MHz kHz kHz
Common Mode Input Swing (Either Input)	11	CMV	±10.5	±12	-	V _{dc}
Common Mode Gain (Either Input) T _A = +25°C T _A = T _{Low} to T _{High}	11	ACM	-50 -40	-60 -50	- -	dB
Common Mode Quiescent Output Voltage	12	V _{O1} V _{O2}	- -	21 21	- -	V _{dc}
Differential Output Voltage Swing Capability	9	V _O	-	±14	-	V _{pk}
Power Supply Sensitivity	12	S ⁺ S ⁻	- -	5.0 10	- -	mV/V
Power Supply Current	12	I ₇	-	6.0	7.0	mA
DC Power Dissipation	12	P _D	-	135	170	mW

OTES: 1. T_{High} = +70°C for MC1495
 = +125°C for MC1495B
 T_{Low} = 0°C for MC1495
 = -40°C for MC1495B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1495

Figure 1. Multiplier Transfer Characteristic

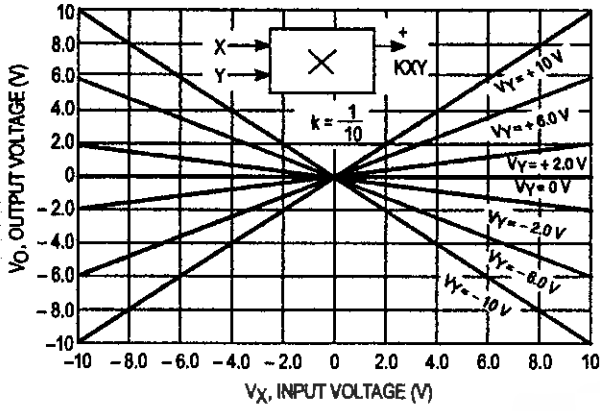


Figure 2. Transconductance Bandwidth

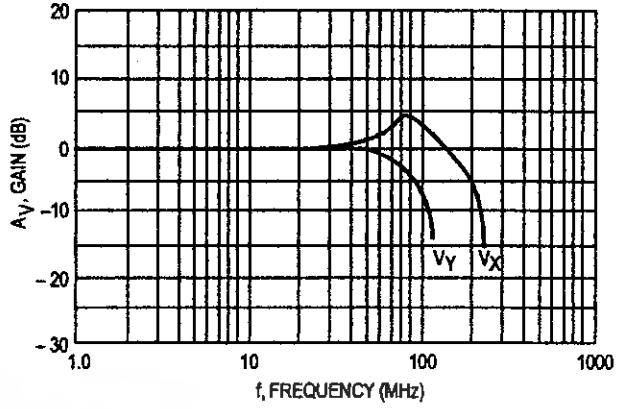
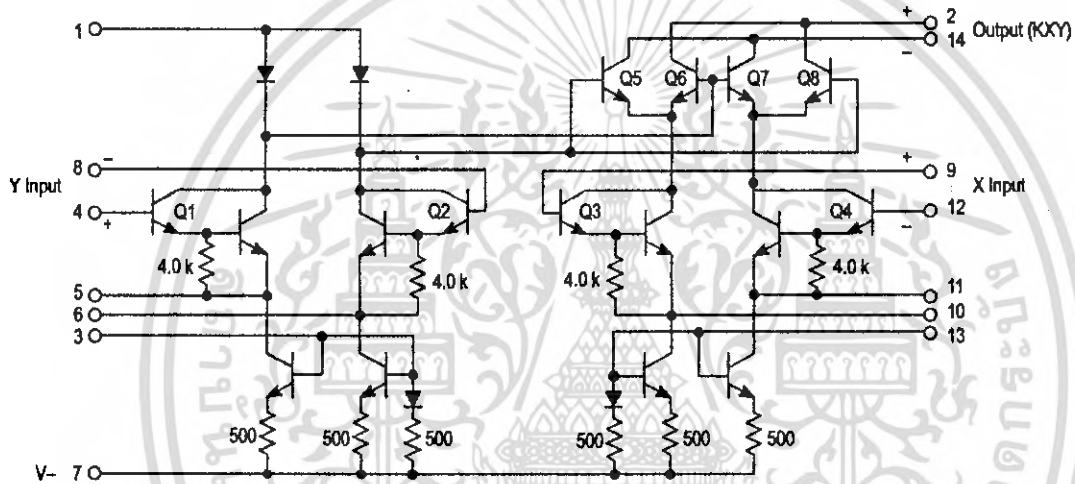
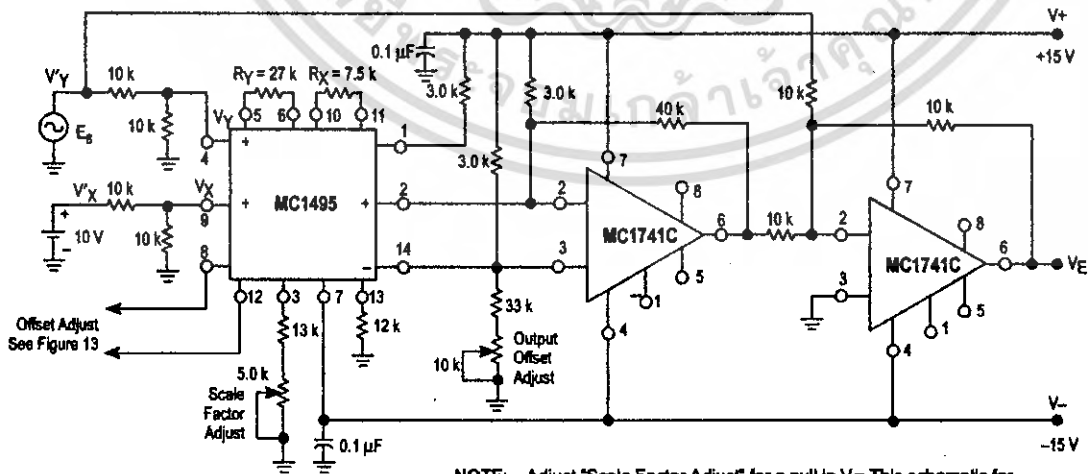


Figure 3. Circuit Schematic



This device contains 16 active transistors.

Figure 4. Linearity (Using Null Technique)



NOTE: Adjust "Scale Factor Adjust" for a null in VE. This schematic for illustrative purposes only, not specified for test conditions.

MC1495

Figure 5. Linearity (Using X-Y Plotter Technique)

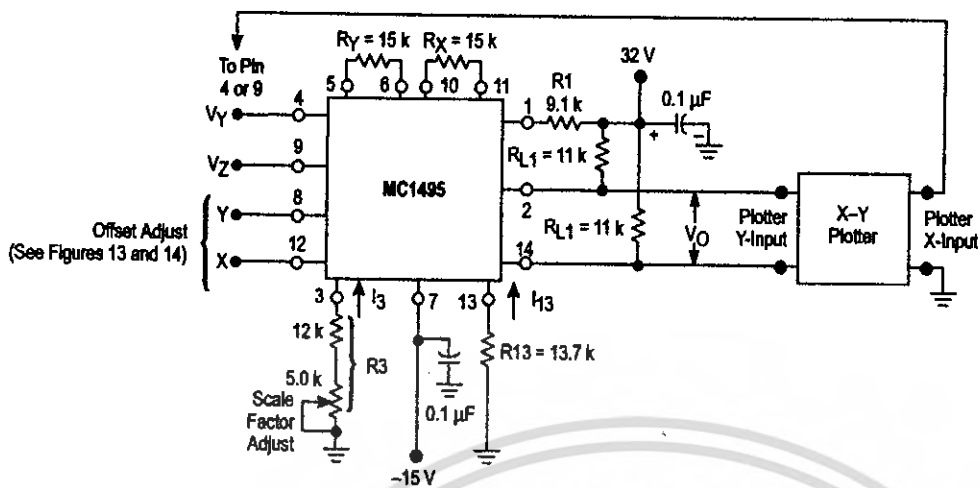


Figure 6. Input and Output Current

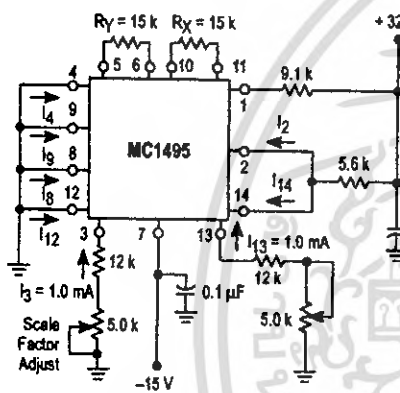


Figure 7. Input Resistance

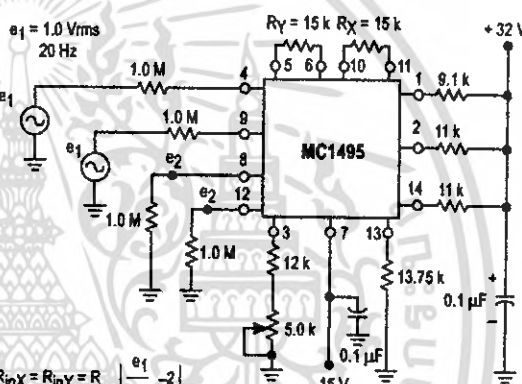


Figure 8. Output Resistance

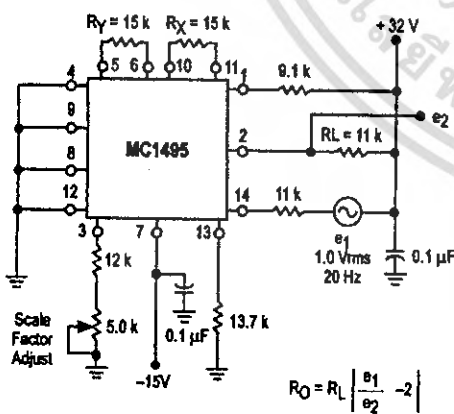
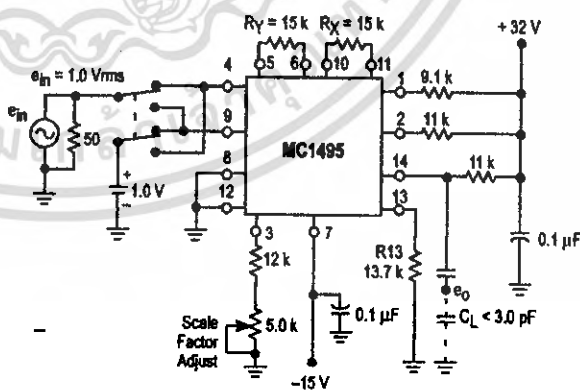


Figure 9. Bandwidth (RL = 11 kΩ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1495

Figure 10. Bandwidth ($R_L = 50 \Omega$)

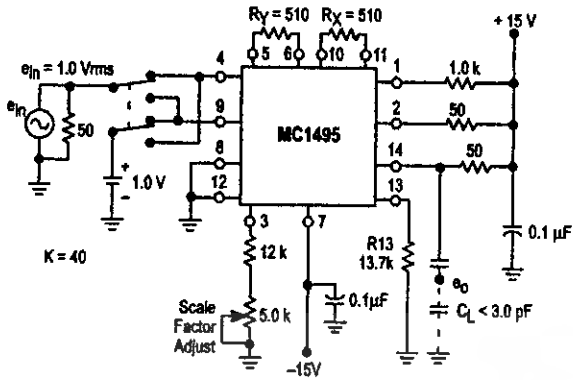


Figure 11. Common Mode Gain and Common Mode Input Swing

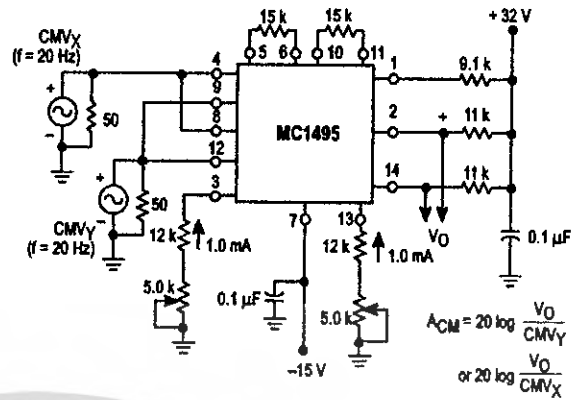


Figure 12. Power Supply Sensitivity

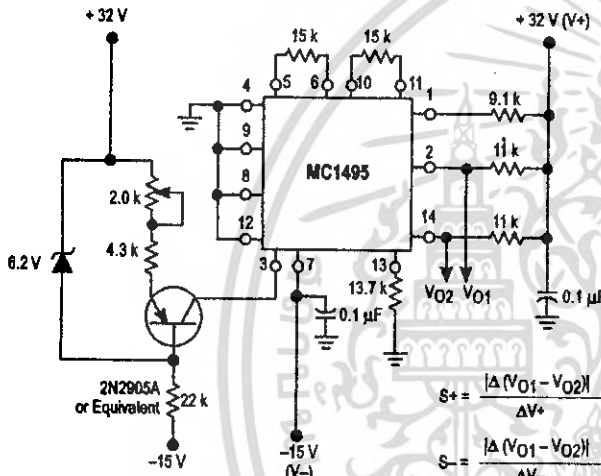


Figure 13. Offset Adjust Circuit

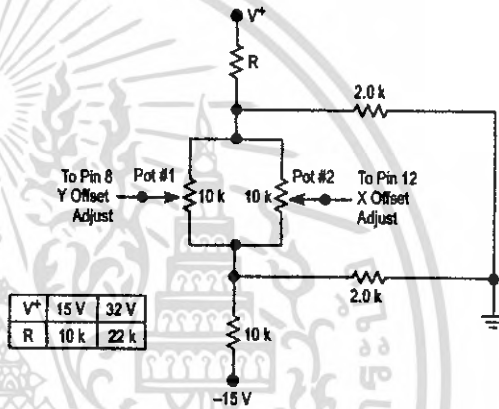
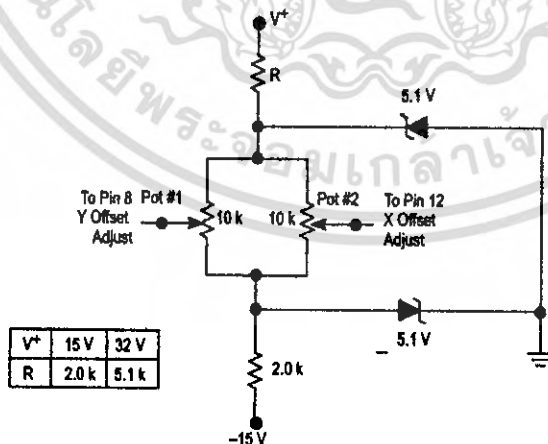


Figure 14. Offset Adjust Circuit (Alternate)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1495

Figure 15. Linearity versus Temperature

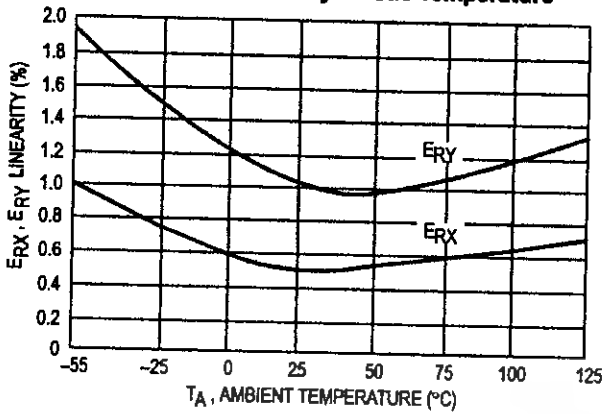


Figure 16. Scale Factor versus Temperature

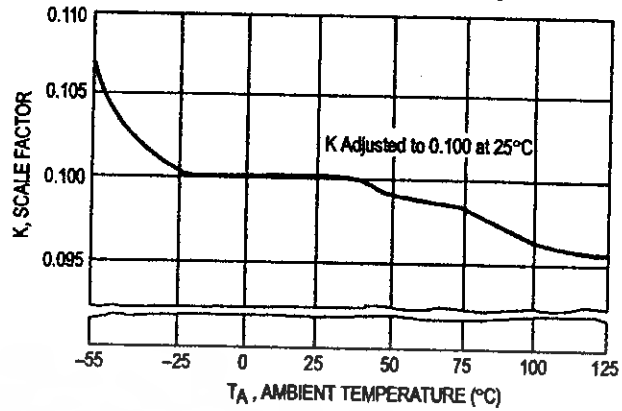


Figure 17. Error Contributed by Input Differential Amplifier

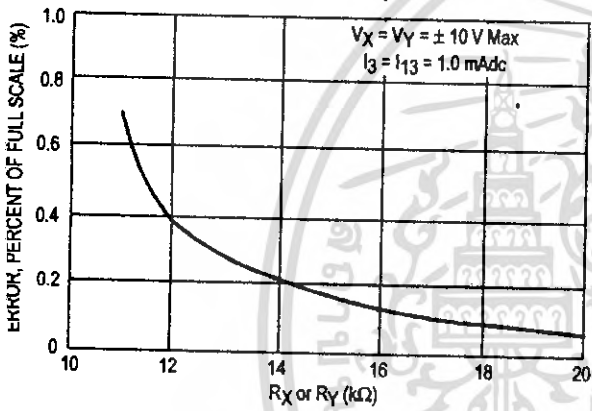


Figure 18. Error Contributed by Input Differential Amplifier

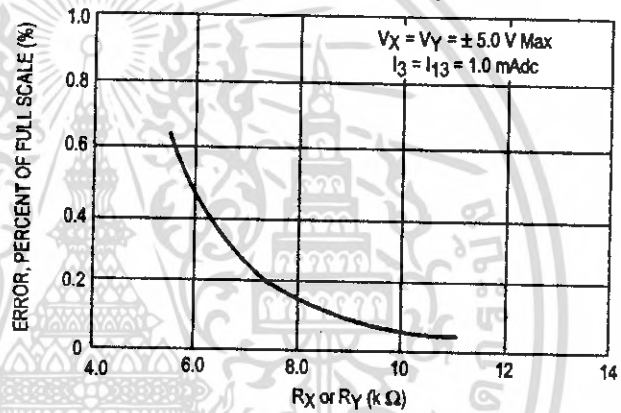
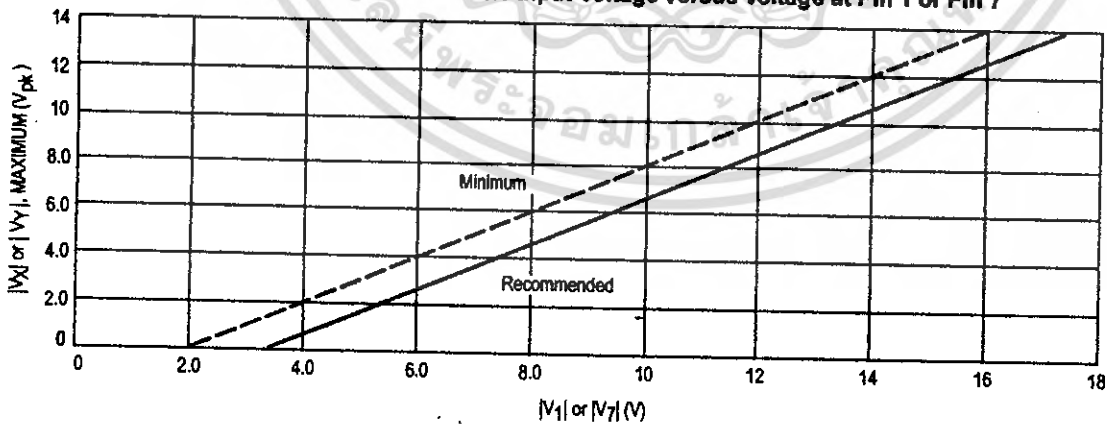


Figure 19. Maximum Allowable Input Voltage versus Voltage at Pin 1 or Pin 7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1495

OPERATION AND APPLICATIONS INFORMATION

Theory of Operation

The MC1495 is a monolithic, four-quadrant multiplier which operates on the principle of variable transconductance. A detailed theory of operation is covered in Application Note AN489, *Analysis and Basic Operation of the MC1595*. The result of this analysis is that the differential output current of the multiplier is given by:

$$I_A - I_B = \Delta I = \frac{2V_X V_Y}{R_X R_Y I_3}$$

where, I_A and I_B are the currents into Pins 14 and 2, respectively, and V_X and V_Y are the X and Y input voltages at the multiplier input terminals.

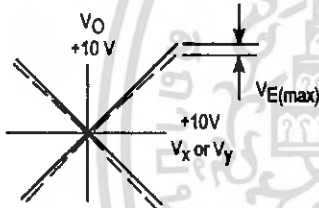
DESIGN CONSIDERATIONS

General

The MC1495 permits the designer to tailor the multiplier to a specific application by proper selection of external components. External components may be selected to optimize a given parameter (e.g. bandwidth) which may in turn restrict another parameter (e.g. maximum output voltage swing). Each important parameter is discussed in detail in the following paragraphs.

Linearity, Output Error, E_{RX} or E_{RY}

Linearity error is defined as the maximum deviation of output voltage from a straight line transfer function. It is expressed as error in percent of full scale (see figure below).



For example, if the maximum deviation, $V_E(max)$, is ± 100 mV and the full scale output is 10 V, then the percentage error is:

$$E_R = \frac{V_E(max)}{V_O(max)} \times 100 = \frac{100 \times 10^{-3}}{10} \times 100 = \pm 1.0\%$$

Linearity error may be measured by either of the following methods:

1. Using an X-Y plotter with the circuit shown in Figure 5, obtain plots for X and Y similar to the one shown above.
2. Use the circuit of Figure 4. This method nulls the level shifted output of the multiplier with the original input. The peak output of the null operational amplifier will be equal to the error voltage, $V_E(max)$.

One source of linearity error can arise from large signal nonlinearity in the X and Y input differential amplifiers. To avoid introducing error from this source, the emitter degeneration resistors R_X and R_Y must be chosen large enough so that nonlinear base-emitter voltage variation can be ignored. Figures 17 and 18 show the error expected from this source as a function of the values of R_X and R_Y with an operating current of 1.0 mA in each side of the differential amplifiers (i.e., $I_3 = I_{13} = 1.0$ mA).

3 dB Bandwidth and Phase Shift

Bandwidth is primarily determined by the load resistors and the stray multiplier output capacitance and/or the operational amplifier used to level shift the output. If wideband operation is desired, low value load resistors and/or a wideband operational amplifier should be used. Stray output capacitance will depend to a large extent on circuit layout.

Phase shift in the multiplier circuit results from two sources: phase shift common to both X and Y channels (due to the load resistor-output capacitance pole mentioned above) and relative phase shift between X and Y channels (due to differences in transadmittance in the X and Y channels). If the input to output phase shift is only 0.6° , the output product of two sine waves will exhibit a vector error of 1%. A 3° relative phase shift between V_X and V_Y results in a vector error of 5%.

Maximum Input Voltage

$V_{X(max)}$, $V_{Y(max)}$ input voltages must be such that:

$$\begin{aligned} V_{X(max)} &< I_{13} R_Y \\ V_{Y(max)} &< I_3 R_X \end{aligned}$$

Exceeding this value will drive one side of the input amplifier to "cutoff" and cause nonlinear operation.

Current I_3 and I_{13} are chosen at a convenient value (observing power dissipation limitation) between 0.5 mA and 2.0 mA, approximately 1.0 mA. Then R_X and R_Y can be determined by considering the input signal handling requirements.

$$\text{For } V_{X(max)} = V_{Y(max)} = 10 \text{ V;}$$

$$R_X = R_Y > \frac{10 \text{ V}}{1.0 \text{ mA}} = 10 \text{ k}\Omega$$

$$\text{The equation } I_A - I_B = \frac{2V_X V_Y}{R_X R_Y I_3}$$

$$\text{is derived from } I_A - I_B = \frac{2V_X V_Y}{(R_X + \frac{2kT}{qI_{13}})(R_Y + \frac{2kT}{qI_3}) I_3}$$

$$\text{with the assumption } R_X \gg \frac{2kT}{qI_{13}} \text{ and } R_Y \gg \frac{2kT}{qI_3}$$

At $T_A = +25^\circ\text{C}$ and $I_{13} = I_3 = 1.0$ mA,

$$\frac{2kT}{qI_{13}} = \frac{2kT}{qI_3} = 52 \Omega$$

Therefore, with $R_X = R_Y = 10 \text{ k}\Omega$ the above assumption is valid. Reference to Figure 19 will indicate limitations of $V_{X(max)}$ or $V_{Y(max)}$ due to V_1 and V_7 . Exceeding these limits will cause saturation or "cutoff" of the input transistors. See Step 4 of General Design Procedure for further details.

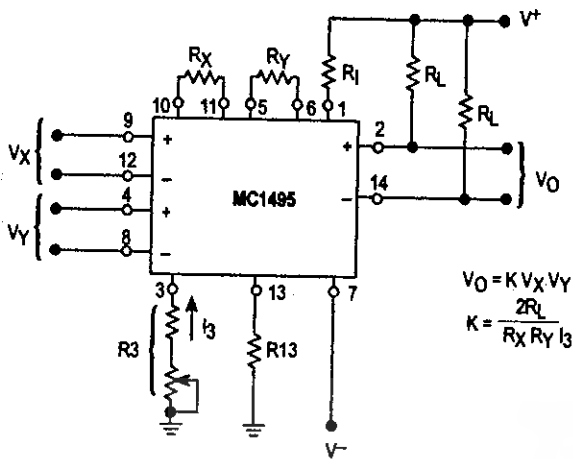
Maximum Output Voltage Swing

The maximum output voltage swing is dependent upon the factors mentioned below and upon the particular circuit being considered.

For Figure 20 the maximum output swing is dependent upon V^+ for positive swing and upon the voltage at Pin 1 for negative swing. The potential at Pin 1 determines the quiescent level for transistors Q_5 , Q_6 , Q_7 and Q_8 . This potential should be related so that negative swing at Pins 2 or 14 does not saturate those transistors. See General Design Procedure for further information regarding selection of these potentials.

MC1495

Figure 20. Basic Multiplier



If an operational amplifier is used for level shift, as shown in Figure 21, the output swing (of the multiplier) is greatly reduced. See Section 3 for further details.

GENERAL DESIGN PROCEDURE

Selection of component values is best demonstrated by the following example. Assume resistive dividers are used at the X and Y-inputs to limit the maximum multiplier input to ± 5.0 V [$V_X = V_Y(\text{max})$] for a ± 10 V input [$V_X' = V_Y'(\text{max})$] (see Figure 21). If an overall scale factor of 1/10 is desired,

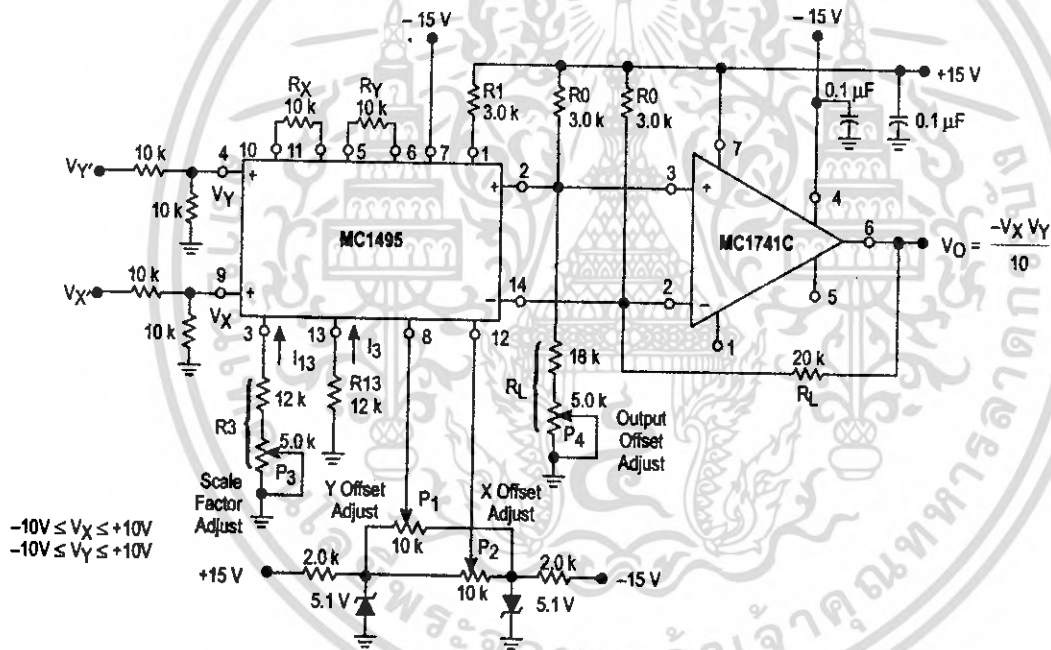
$$\text{then, } V_O = \frac{V_X' V_Y'}{10} = \frac{(2V_X)(2V_Y)}{10} = 4/10 V_X V_Y$$

Therefore, $K = 4/10$ for the multiplier (excluding the divider network).

Step 1. The first step is to select current I_3 and current I_{13} . There are no restrictions on the selection of either of these currents except the power dissipation of the device. I_3 and I_{13} will normally be 1.0 mA or 2.0 mA. Further, I_3 does not have to be equal to I_{13} , and there is normally no need to make them different. For this example, let

$$I_3 = I_{13} = 1.0 \text{ mA.}$$

Figure 21. Multiplier with Operational Amplifier Level Shift



MC1495

To set currents I_3 and I_{13} to the desired value, it is only necessary to connect a resistor between Pin 13 and ground, and between Pin 3 and ground. From the schematic shown in Figure 3, it can be seen that the resistor values necessary are given by:

$$R_{13} + 500 \Omega = \frac{|V_-| - 0.7 \text{ V}}{I_{13}}$$

$$R_3 + 500 \Omega = \frac{|V_-| - 0.7 \text{ V}}{I_3}$$

Let $V_- = -15 \text{ V}$, then $R_{13} + 500 = \frac{14.3 \text{ V}}{1.0 \text{ mA}}$ or $R_{13} = 13.8 \text{ k}\Omega$

Let $R_{13} = 12 \text{ k}\Omega$. Similarly, $R_3 = 13.8 \text{ k}\Omega$, let $R_3 = 15 \text{ k}\Omega$

However, for applications which require an accurate scale factor, the adjustment of R_3 and consequently, I_3 , offers a convenient method of making a final trim of the scale factor. For this reason, as shown in Figure 21, resistor R_3 is shown as a fixed resistor in series with a potentiometer.

For applications not requiring an exact scale factor (balanced modulator, frequency doubler, AGC amplifier, etc.) Pins 3 and 13 can be connected together and a single resistor from Pin 3 to ground can be used. In this case, the single resistor would have a value of 1/2 the above calculated value for R_{13} .

Step 2. The next step is to select R_X and R_Y . To insure that the input transistors will always be active, the following conditions should be met:

$$\frac{V_X}{R_X} < I_{13}, \quad \frac{V_Y}{R_Y} < I_3$$

A good rule of thumb is to make $I_3 R_Y \geq 1.5 V_Y(\text{max})$ and $I_{13} R_X \geq 1.5 V_X(\text{max})$. The larger the $I_3 R_Y$ and $I_{13} R_X$ product in relation to V_Y and V_X respectively, the more accurate the multiplier will be (see Figures 17 and 18).

$$\begin{aligned} \text{Let } R_X = R_Y &= 10 \text{ k}\Omega, \\ \text{then } I_3 R_Y &= 10 \text{ V} \\ I_{13} R_X &= 10 \text{ V} \end{aligned}$$

since $V_X(\text{max}) = V_Y(\text{max}) = 5.0 \text{ V}$, the value of $R_X = R_Y = 10 \text{ k}\Omega$ is sufficient.

Step 3. Now that R_X , R_Y and I_3 have been chosen, R_L can be determined:

$$K = \frac{2R_L}{R_X R_Y I_3} = \frac{4}{10}, \text{ or } \frac{(2)(R_L)}{(10 \text{ k})(10 \text{ k})(1.0 \text{ mA})} = \frac{4}{10}$$

Thus $R_L = 20 \text{ k}\Omega$

Step 4. To determine what power supply voltage is necessary for this application, attention must be given to the circuit schematic shown in Figure 3. From the circuit schematic it can be seen that in order to maintain transistors Q_1 , Q_2 , Q_3 and Q_4 in an active region when the maximum input voltages are applied ($V_X = V_Y = 10 \text{ V}$ or $V_X = 5.0 \text{ V}$, $V_Y = 5.0 \text{ V}$), their respective collector voltage should be at least a few tenths of a volt higher than the maximum input

voltage. It should also be noticed that the collector voltage of transistors Q_3 and Q_4 is at a potential which is two diode-drops below the voltage at Pin 1. Thus, the voltage at Pin 1 should be about 2.0 V higher than the maximum input voltage. Therefore, to handle +5.0 V at the inputs, the voltage at Pin 1 must be at least +7.0 V. Let $V_1 = 9.0 \text{ Vdc}$.

Since the current flowing into Pin 1 is always equal to $2I_3$, the voltage at Pin 1 can be set by placing a resistor (R_1) from Pin 1 to the positive supply:

$$R_1 = \frac{V^+ - V_1}{2I_3}$$

Let $V^+ = 15 \text{ V}$, then $R_1 = \frac{15 \text{ V} - 9.0 \text{ V}}{(2)(1.0 \text{ mA})}$

$$R_1 = 3.0 \text{ k}\Omega$$

Note that the voltage at the base of transistors Q_5 , Q_6 , Q_7 and Q_8 is one diode-drop below the voltage at Pin 1. Thus, in order that these transistors stay active, the voltage at Pins 2 and 14 should be approximately halfway between the voltage at Pin 1 and the positive supply voltage. For this example, the voltage at Pins 2 and 14 should be approximately 11 V.

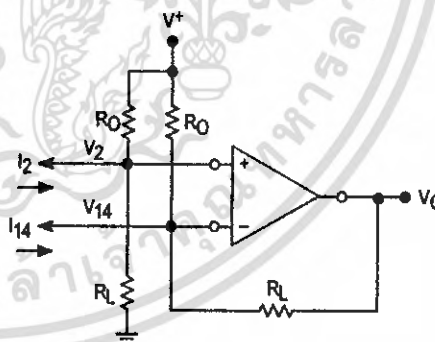
Step 5. For dc applications, such as the multiply, divide and square-root functions, it is usually desirable to convert the differential output to a single-ended output voltage referenced to ground. The circuit shown in Figure 22 performs this function. It can be shown that the output voltage of this circuit is given by:

$$V_O = (I_2 - I_{14}) R_L$$

$$\text{And since } I_A - I_B = I_2 - I_{14} = \frac{2I_X I_Y}{I_3} = \frac{2V_X V_Y}{I_3 R_X R_Y}$$

then $V_O = \frac{2R_L V_X V_Y}{4R_X R_Y I_3}$ where V_X , V_Y is the voltage at the input to the voltage dividers.

Figure 22. Level Shift Circuit



The choice of an operational amplifier for this application should have low bias currents, low offset current, and a high common mode input voltage range as well as a high common mode rejection ratio. The MC1456, and MC1741C operational amplifiers meet these requirements.

MC1495

Referring to Figure 21, the level shift components will be determined. When $V_X = V_Y = 0$, the currents I_2 and I_{14} will be equal to I_{13} . In Step 3, R_L was found to be $20\text{ k}\Omega$ and in Step 4, V_2 and V_{14} were found to be approximately 11 V . From this information R_O can be found easily from the following equation (neglecting the operational amplifiers bias current):

$$\frac{V_2}{R_L} + I_{13} = \frac{V^+ - V_2}{R_O}$$

And for this example, $\frac{11\text{ V}}{20\text{ k}\Omega} + 1.0\text{ mA} = \frac{15\text{ V} - 11\text{ V}}{R_O}$

Solving for R_O : $R_O = 2.6\text{ k}\Omega$, thus, select $R_O = 3.0\text{ k}\Omega$

For $R_O = 3.0\text{ k}\Omega$, the voltage at Pins 2 and 14 is calculated to be:

$$V_2 = V_{14} = 10.4\text{ V.}$$

The linearity of this circuit (Figure 21) is likely to be as good or better than the circuit of Figure 5. Further improvements are possible as shown in Figure 23 where R_Y has been increased substantially to improve the Y linearity, and R_X decreased somewhat so as not to materially affect the X linearity. This avoids increasing R_L significantly in order to maintain a K of 0.1.

The versatility of the MC1495 allows the user to optimize its performance for various input and output signal levels.

OFFSET AND SCALE FACTOR ADJUSTMENT

Offset Voltages

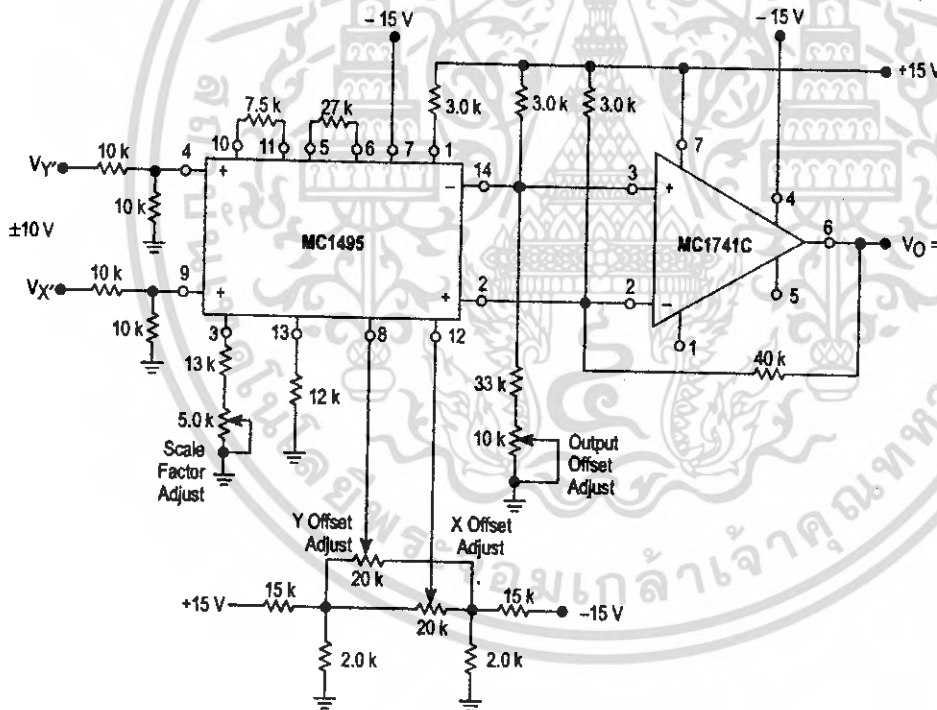
Within the monolithic multiplier (Figure 3) transistor base-emitter junctions are typically matched within 1.0 mV and resistors are typically matched within 2% . Even with this careful matching, an output error can occur. This output error is comprised of X-input offset voltage, Y-input offset voltage, and output offset voltage. These errors can be adjusted to zero with the techniques shown in Figure 21. Offset terms can be shown analytically by the transfer function:

$$V_O = K[V_X \pm V_{iox} \pm V_{x(off)}] [V_Y \pm V_{ioy} \pm V_{y(off)}] \pm V_{OO} \quad (1)$$

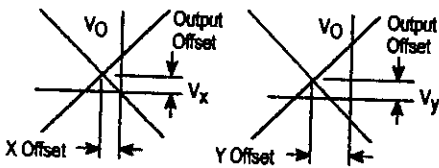
Where:

- K = scale factor
- V_X = "x" input voltage
- V_Y = "y" input voltage
- V_{iox} = "x" input offset voltage
- V_{ioy} = "y" input offset voltage
- $V_{x(off)}$ = "x" input offset adjust voltage
- $V_{y(off)}$ = "y" input offset adjust voltage
- V_{OO} = output offset voltage.

Figure 23. Multiplier with Improved Linearity



X, Y and Output Offset Voltages



For most dc applications, all three offset adjust potentiometers (P₁, P₂, P₄) will be necessary. One or more offset adjust potentiometers can be eliminated for ac applications (see Figures 28, 29, 30, 31).

If well regulated supply voltages are available, the offset adjust circuit of Figure 13 is recommended. Otherwise, the circuit of Figure 14 will greatly reduce the sensitivity to power supply changes.

Scale Factor

The scale factor K is set by P₃ (Figure 21). P₃ varies I₃ which inversely controls the scale factor K. It should be noted that current I₃ is one-half the current through R₁. R₁ sets the bias level for Q₅, Q₆, Q₇, and Q₈ (see Figure 3). Therefore, to be sure that these devices remain active under all conditions of input and output swing, care should be exercised in adjusting P₃ over wide voltage ranges (see General Design Procedure).

Adjustment Procedures

The following adjustment procedure should be used to null the offsets and set the scale factor for the multiply mode of operation, (see Figure 21).

1. X-Input Offset

- Connect oscillator (1.0 kHz, 5.0 V_{pp} sinewave) to the Y-input (Pin 4).
- Connect X-input (Pin 9) to ground.
- Adjust X offset potentiometer (P₂) for an ac null at the output.

2. Y-Input Offset

- Connect oscillator (1.0 kHz, 5.0 V_{pp} sinewave) to the X-input (Pin 9).
- Connect Y-input (Pin 4) to ground.
- Adjust Y offset potentiometer (P₁) for an ac null at the output.

Output Offset

- Connect both X and Y-inputs to ground.
- Adjust output offset potentiometer (P₄) until the output voltage (V_O) is 0 Vdc.

Scale Factor

- Apply +10 Vdc to both the X and Y-inputs.
- Adjust P₃ to achieve +10 V at the output.

Repeat steps 1 through 4 as necessary.

The ability to accurately adjust the MC1495 depends upon the characteristics of potentiometers P₁ through P₄. Multi-turn, infinite resolution potentiometers with low temperature coefficients are recommended.

DC APPLICATIONS**Multiply**

The circuit shown in Figure 21 may be used to multiply signals from dc to 100 kHz. Input levels to the actual multiplier are 5.0 V (max). With resistive voltage dividers the maximum could be very large however, for this application two-to-one dividers have been used so that the maximum input level is 10 V. The maximum output level has also been designed for 10 V (max).

Squaring Circuit

If the two inputs are tied together, the resultant function is squaring; that is $V_O = KV^2$ where K is the scale factor. Note that all error terms can be eliminated with only three adjustment potentiometers, thus eliminating one of the input offset adjustments. Procedures for nulling with adjustments are given as follows:

A. AC Procedure:

- Connect oscillator (1.0 kHz, 15 V_{pp}) to input.
- Monitor output at 2.0 kHz with tuned voltmeter and adjust P₃ for desired gain. (Be sure to peak response of the voltmeter.)
- Tune voltmeter to 1.0 kHz and adjust P₁ for a minimum output voltage.
- Ground input and adjust P₄ (output offset) for 0 Vdc output.
- Repeat steps 1 through 4 as necessary.

B. DC Procedure:

- Set $V_X = V_Y = 0$ V and adjust P₄ (output offset potentiometer) such that $V_O = 0$ Vdc.
- Set $V_X = V_Y = 1.0$ V and adjust P₁ (Y-input offset potentiometer) such that the output voltage is +0.100 V.
- Set $V_X = V_Y = 10$ Vdc and adjust P₃ such that the output voltage is +10 V.
- Set $V_X = V_Y = -10$ Vdc. Repeat steps 1 through 3 as necessary.

Figure 24. Basic Divide Circuit

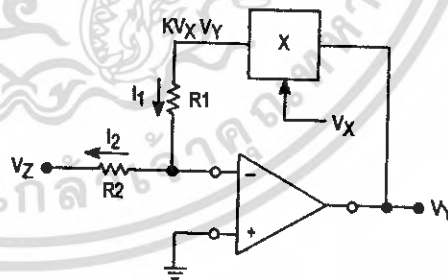
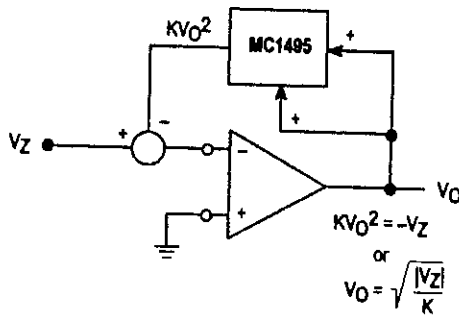


Figure 26. Basic Square Root Circuit



AC APPLICATIONS

The applications that follow demonstrate the versatility of the monolithic multiplier. If a potted multiplier is used for these cases, the results generally would not be as good because the potted units have circuits that, although they optimize dc multiplication operation, can hinder ac applications.

Frequency doubling often is done with a diode where the fundamental plus a series of harmonics are generated. However, extensive filtering is required to obtain the desired harmonic, and the second harmonic obtained under this technique usually is small in magnitude and requires amplification.

When a multiplier is used to double frequency the second harmonic is obtained directly, except for a dc term, which can be removed with ac coupling.

$$e_o = KE^2 \cos^2 \omega t$$

$$e_o = \frac{KE^2}{2} (1 + \cos 2\omega t)$$

A potted multiplier can be used to obtain the double frequency component, but frequency would be limited by its internal level-shift amplifier. In the monolithic units, the amplifier is omitted.

In a typical doubler circuit, conventional ± 15 V supplies are used. An input dynamic range of 5.0 V peak-to-peak is allowed. The circuit generates wave-forms that are double frequency; less than 1% distortion is encountered without filtering. The configuration has been successfully used in excess of 200 kHz; reducing the scale factor by decreasing the load resistors can further expand the bandwidth.

Figure 29 represents an application for the monolithic multiplier as a balanced modulator. Here, the audio input signal is 1.6 kHz and the carrier is 40 kHz.

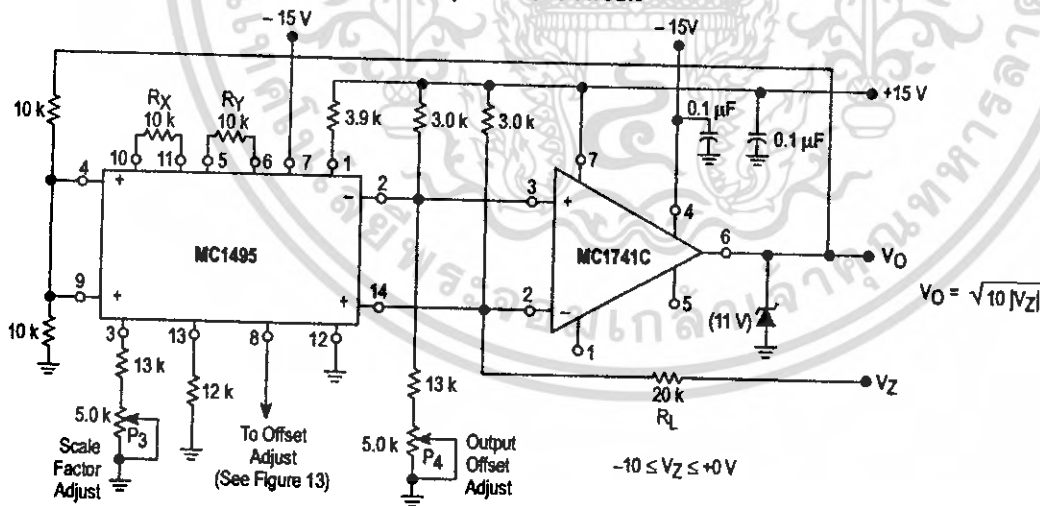
Square Root

A special case of the divide circuit in which the two inputs to the multiplier are connected together is the square root function as indicated in Figure 26. This circuit may suffer from latch-up problems similar to those of the divide circuit. Note that only one polarity of input is allowed and diode clamping (see Figure 27) protects against accidental latch-up.

This circuit also may be adjusted in the closed-loop mode as follows:

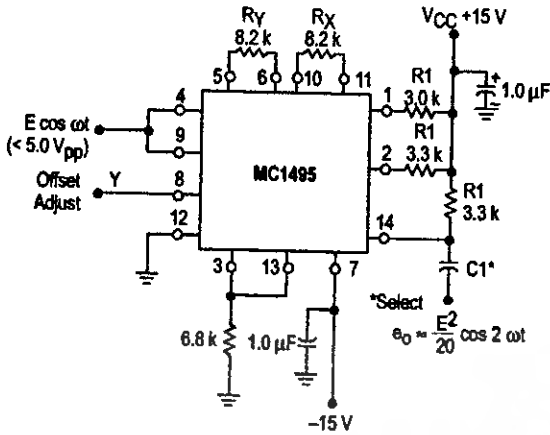
1. Set V_Z to -0.01 V and adjust P_4 (output offset) for $V_O = +0.316$ V, being careful to approach the output from the positive side to preclude the effect of the output diode clamping.
2. Set V_Z to -0.9 V and adjust P_2 (X adjust) for $V_O = +3.0$ V.
3. Set V_Z to -10 V and adjust P_3 (scale factor adjust) for $V_O = +10$ V.
4. Steps 1 through 3 may be repeated as necessary to achieve desired accuracy.

Figure 27. Square Root Circuit



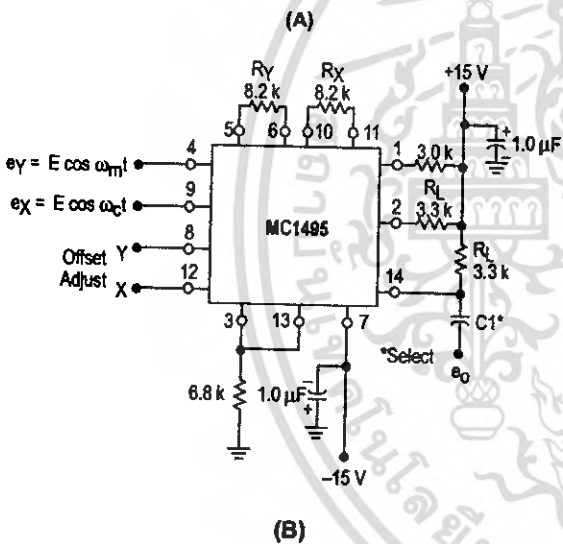
MC1495

Figure 28. Frequency Doubler



When two equal cosine waves are applied to X and Y, the result is a wave shape of twice the input frequency. For this example the input was a 10 kHz signal, output was 20 kHz.

Figure 29. Balanced Modulator



The defining equation for balanced modulation is

$$K(E_m \cos \omega_m t) (E_c \cos \omega_c t) = \frac{KE_c E_m}{2} [\cos (\omega_c + \omega_m)t + \cos (\omega_c - \omega_m)t]$$

where ω_c is the carrier frequency, ω_m is the modulator frequency and K is the multiplier gain constant.

AC coupling at the output eliminates the need for level translation or an operational amplifier; a higher operating frequency results.

A problem common to communications is to extract the intelligence from single-sideband received signal. The ssb signal is of the form:

$$e_{ssb} = A \cos (\omega_c + \omega_m)t$$

and if multiplied by the appropriate carrier waveform, $\cos \omega_c t$,

$$e_{ssb} e_{carrier} = \frac{AK}{2} [\cos (2\omega_c + \omega_m)t + \cos (\omega_c)t].$$

If the frequency of the band-limited carrier signal (ω_c) is ascertained in advance, the designer can insert a low pass filter and obtain the $(AK/2) (\cos \omega_c t)$ term with ease. He/she also can use an operational amplifier for a combination level shift-active filter, as an external component. But in potted multipliers, even if the frequency range can be covered, the operational amplifier is inside and not accessible, so the user must accept the level shifting provided, and still add a low pass filter.

Amplitude Modulation

The multiplier performs amplitude modulation, similar to balanced modulation, when a dc term is added to the modulating signal with the Y-offset adjust potentiometer (see Figure 30).

Here, the identity is:

$$E_m(1 + m \cos \omega_m t) E_c \cos \omega_c t = KE_m E_c \cos \omega_c t + \frac{KE_m E_c m}{2} [\cos (\omega_c + \omega_m)t + \cos (\omega_c - \omega_m)t]$$

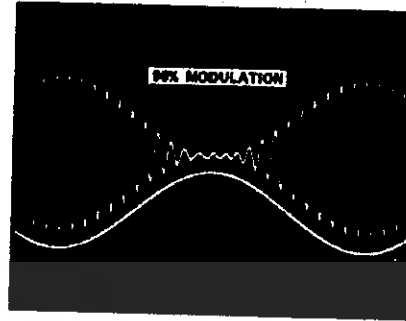
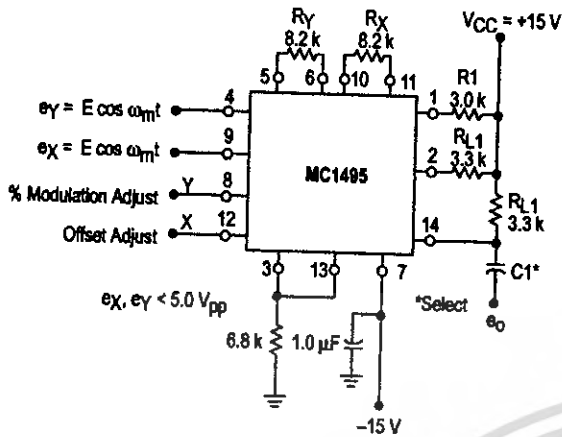
where m indicates the degrees of modulation. Since m is adjustable, via potentiometer P_1 , 100% modulation is possible. Without extensive tweaking, 96% modulation may be obtained where ω_c and ω_m are the same as in the balanced modulator example.

Linear Gain Control

To obtain linear gain control, the designer can feed to one of the two MC1495 inputs a signal that will vary the unit's gain. The following example demonstrates the feasibility of this application. Suppose a 200 kHz sinewave, 1.0 V peak-to-peak, is the signal to which a gain control will be added. The dynamic range of the control voltage V_C is 0 V to +1.0 V. These must be ascertained and the proper values of R_X and R_Y can be selected for optimum performance. For the 200 kHz operating frequency, load resistors of 100 Ω were chosen to broaden the operating bandwidth of the multiplier, but gain was sacrificed. It may be made up with an amplifier operating at the appropriate frequency (see Figure 31).

MC1495

Figure 30. Amplitude Modulation



The signal is applied to the unit's Y-input. Since the total input range is limited to 1.0 V_{pp}, a 2.0 V swing, a current source of 2.0 mA and an R_Y value of 1.0 kΩ is chosen. This takes best advantage of the dynamic range and insures linear operation in the Y-channel.

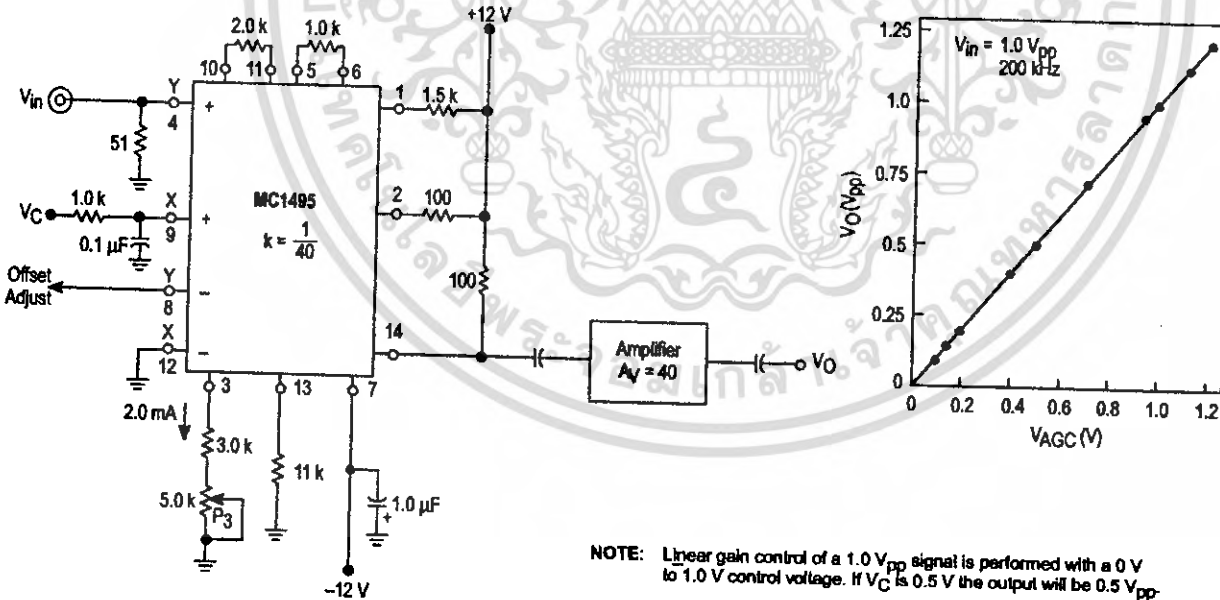
Since the X-input varies between 0 and +1.0 V, the current source selected was 1.0 mA, and the R_X value chosen was 2.0 kΩ. This also insures linear operation over the X-input dynamic range. Choosing R_L = 100 assures wide bandwidth operation.

Hence, the scale factor for this configuration is:

$$K = \frac{R_L}{R_X R_Y I_3} = \frac{100}{(2 \text{ k}) (1 \text{ k}) (2 \times 10^{-3})} \text{ V}^{-1} = \frac{1}{40} \text{ V}^{-1}$$

The 2 in the numerator of the equation is missing in this scale factor expression because the output is single-ended and ac coupled.

Figure 31. Linear Gain Control



NOTE: Linear gain control of a 1.0 V_{pp} signal is performed with a 0 V to 1.0 V control voltage. If V_C is 0.5 V the output will be 0.5 V_{pp}.

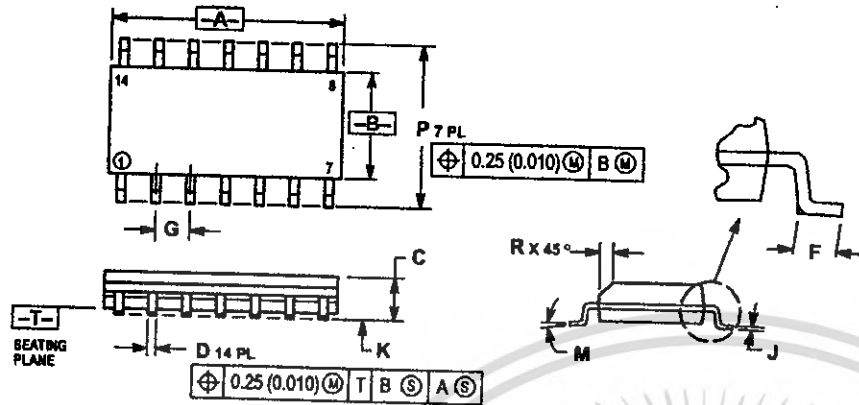
MC1495

OUTLINE DIMENSIONS

D SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 751A-03 ISSUE F

NOTES:

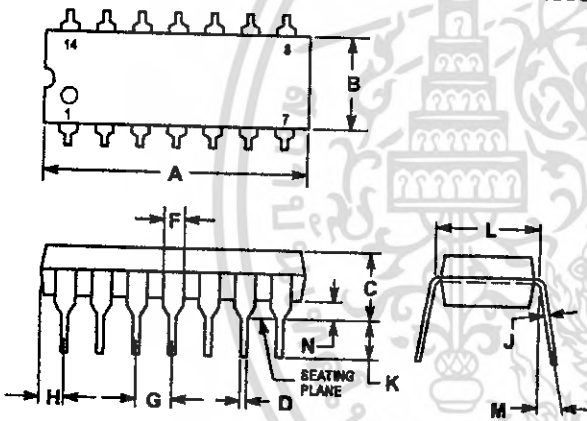
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
3. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006) PER SIDE.
5. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF THE D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.



P SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 646-06 ISSUE L

NOTES:

1. LEADS WITHIN 0.13 (0.005) RADIUS OF TRUE POSITION AT SEATING PLANE AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.
2. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
3. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
4. ROUNDED CORNERS OPTIONAL.



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:

JSA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

RFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE 602-244-6609
INTERNET: http://Design-NET.com

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center,
3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 68 Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298

MOTOROLA

MC1495/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่าย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้