สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอล

DIGITAL WATTMETER

T 0 8 6 7 3 6

โดย

นายปรกฤษฎ์ ทวีชีพ

นายปิยะวัฒน์ แท่นนิล

นายศุภฤกษ์ สุขการ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 86736
วัน,เดือน,ปี 14 ส.ค. 2552

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอล
DIGITAL WATTMETER

ชื่อนักศึกษา นายปรกฤษฎ์ ทวีชีพ
นายปิยะวัฒน์ แท่นนิล
นายศุภฤกษ์ สุขการ

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์กฤดากร กล่อมการ
อาจารย์ดลชัย สุขเจริญผล

ภาควิชา เทคนิคอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2538

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
( )
..... กรรมการ
( )
..... กรรมการ
( )
..... กรรมการ
( )
..... กรรมการ
( )

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอล

โดย	นายปรกฤษฎ์ ทวีชีพ	รหัส 37012058
	นายปิยะวัฒน์ แท่นนิล	รหัส 37012061
	นายศุภฤกษ์ สุขการ	รหัส 37012067
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์กฤดากร กล่อมการ	
	อาจารย์ดลชัย สุขเจริญผล	
ปีการศึกษา	2538	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดเรียบเรียงขึ้นมาจากการออกแบบและสร้าง ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ (Digital wattmeter) ซึ่งดิจิตอลวัตต์มิเตอร์นี้เป็นแบ่งในลักษณะการทำงานได้ 2 ส่วน ในส่วนแรกเป็นวงจรที่ใช้สำหรับวัดกำลังไฟฟ้าได้ การทำงานของวงจรนี้ทำได้โดยการนำแรงดันที่ตกคร่อมโหลดคูณกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลด ซึ่งใช้ไอซีมัลติเบิ้ลในการคูณ ส่วนที่สอง เป็นส่วนการควบคุมและแสดงผล ในส่วนนี้ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) เบอร์ Z80180 คุณสมบัติของดิจิตอลวัตต์มิเตอร์จะสามารถเก็บค่าที่วัดมาได้ไว้ที่หน่วยความจำ และแสดงค่าออกมาเป็นกำลังไฟฟ้า หรือกำลังไฟฟ้าต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIGITAL WATTMETER

BY	Mr. Porrakit	Thaveechep	No.37012058
	Mr. Piyawat	Tannil	No.37012061
	Mr. Supparerk	Suggan	No.37012067
ADVISER	Mr. Kitdakorn	Klomkarn	
	Mr. Dolchai	Suckcharoenphol	
YEAR	1995		

---

abstract

This thesis is concerned about design and construction of digital watt meter.The meter consist of two part. The first part is electrical power measurement circuit ,the technique in measurement used voltage drop load multiplies with current consumption by using multiplier integrated circuits.The second part is control and display circuit that used z80180 microprocessor. In addition simple electrical power measurement, this meter can be process a data acquisition in form of watt or watt-hour , and print out data on the printer. .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ก็ด้วยความช่วยเหลือของ อาจารย์กฤดากร กล่อมการ และอาจารย์คลชัย สุขเจริญผล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ท่านทั้งสองให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดระยะเวลาการทำงาน รวมถึงเพื่อนๆ ซึ่งไม่ได้หมายถึงแค่เพื่อนในห้อง 2M เท่านั้น ที่ได้มีส่วนช่วยให้กำลังใจตลอดมา และท้ายสุดที่จะลืมเสียไม่ได้ก็คือ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ศูนย์นนทบุรี ที่เป็นสถานที่วิจัยของกลุ่มผู้ทำวิจัย ถึงแม้อุปกรณ์จะไม่ค่อยพร้อมก็ตามที

อนึ่งคุณความดีใดๆ ไม่มากก็น้อย ที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบให้แด่ บิดา มารดา ครูบาอาจารย์ เพื่อนๆ ที่มีจิตสำนึกที่ดีในการงานทำ ตลอดจนโลกใบนี้ที่อุตสาหนพวกเรามาจนถึงบัดนี้

กลุ่มผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ข

กิตติกรรมประกาศ ค

1. บทที่1 บทนำ

1.1 แนวความคิด 1

1.2 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอล 1

2. บทที่2 วัตต์มิเตอร์ (Wattmeter)

2.1 ทฤษฎีกำลังไฟฟ้า 3

2.2 หลักการทำงานของวงจรวัตต์มิเตอร์ 8

3. บทที่3 ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocesser)

3.1 คอนโทรลบอร์ด 11

3.2 โปรแกรมดีบักเกอร์ 17

4. บทที่4 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to digital converter)

4.1 ทฤษฎี 20

4.2 วงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล 20

4.3 วงจรเอทูดีที่ใช้การอิทิเกรต 22

4.4 การทำงานของวงจรเอทูดี 23

4.5 การเชื่อต่อไอซี ADC0809 กับไมโครโปรเซสเซอร์บอร์ด 24

5. บทที่5 การแสดงผล (Display)

5.1 แผงแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD) 26

5.2 การควบคุมการแสดงผลของ LCD 27

6. บทที่6 การทดลอง

6.1 การทดลองและปรับแต่งวงจรวัดกำลังไฟฟ้า 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การทดลองวงจรอนาลอก-ดิจ 37
6.3 การทดลองวัดสัญญาณดิจิตอลจากวงจรใช้งานจริง 38
6.4 การทดลองเขียนโปรแกรม 39

7. บทที่7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ
7.1 บทสรุป 44
7.2 ข้อเสนอแนะ 44

หนังสืออ้างอิง
ภาคผนวก ก. โปรแกรมที่ใช้งาน
ภาคผนวก ข. วงจรที่ใช้งาน
ภาคผนวก ค. ข้อมูลของไอซีที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวความคิด

ในปัจจุบันเครื่องวัดมีความจำเป็นมากโดยเฉพาะผู้ที่ทำงานทางด้านช่างซ่อมหรือ ทางผู้วิจัยโครงงาน ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตจึงได้แข่งขันกันผลิตเครื่องมือวัดในรูปแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นลักษณะการวัด ฟังก์ชั่น ความน่าเชื่อถือของเครื่องวัด ซึ่งแต่ละบริษัทได้ผลิตออกมา สาเหตุดังกล่าวจึงเป็นสาเหตุให้ราคาเครื่องวัดมีราคาแพง และอีกสาเหตุหนึ่งคือเครื่องวัดที่ผลิตออกมาขายยากต่อการนำมาประยุกต์ใช้งานบางอย่าง ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ใช้ ดังนั้นโครงงานนี้จึงเกิดขึ้นเพื่อทำการวิจัยและผลิตเป็นต้นแบบ ให้ได้ต้นทุนที่ต่ำและสามารถนำเครื่องวัดนี้ไปประยุกต์ใช้งานได้ง่ายและหลายแบบ อีกทั้งยังสามารถนำงานชิ้นนี้ไปออกแบบและพัฒนาเพิ่มเติมได้อีกด้วย แต่ข้อจำกัดของการจัดสร้างเครื่องมืออวัดก็คือ เราไม่สามารถที่จะวิจัยและผลิตเครื่องวัดชนิดที่มีการทำงานที่ยุ่งยากและละเอียดอ่อนได้ เนื่องจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความพร้อมของเครื่องมือ ความพร้อมของผู้วิจัยพัฒนา ด้วยเหตุนี้เองจึงเลือกที่จะวิจัยและผลิตเครื่องวัดที่เรียกว่า "เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า แบบดิจิตอล (DIGITAL WATTMETER) "

1.2 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอล (DIGITAL WATTMETER)

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอล นี้จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วน ซึ่งต้องทำงานร่วมกัน คือ

1. ภาคเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า ในส่วนนี้จะต้องต่ออยู่กับโหลด (Load) ที่ต้องการจะวัดกำลังไฟฟ้า เครื่องวัดนี้จะนำค่าแรงดัน และค่ากระแส ของโหลด มาคูณกับค่าคงที่ค่าหนึ่ง และนำผลออกมาที่ด้านเอาท์พุทเป็นแรงดันระดับหนึ่ง ซึ่งแปรผันกับกำลังไฟฟ้าของโหลดที่วัด

2. ภาคควบคุม ในส่วนนี้ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) Z-180 มาเก็บค่าที่วัดได้และประมวลผล แสดงผลที่ภาคแสดงผล โดยจะนำเอาท์พุทจาก เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า เข้าวงจรอนาลอกทูดิจิตอลคอนเวอเตอร์ (Analog to digital convertor) ก่อนที่จะส่งเข้าไปประมวลผลที่ไมโครโปรเซสเซอร์ คำสั่งที่ใช้ควบคุมไมโครโปรเซสเซอร์ก็คือใช้ภาษาแอสเซมบลี้ (Assembly)

3. ภาคแสดงผล ในส่วนนี้จะใช้จอผลึกเหลว (Liquit crytal display :LCD) แบบดอทเมตริก (Dot matrix) เป็นส่วนแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของดิจิตอลวัตต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วัตต์มิเตอร์ (WATTMETER)

2.1 ทฤษฎีกำลังไฟฟ้า

ในการคำนวณเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้านั้น มีอยู่สิ่งหนึ่งที่เราไม่สามารถจะหลีกเลี่ยงได้ นั่นคือ การพิจารณาและการคำนวณเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในวงจร การพิจารณาและการคำนวณเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในวงจรในเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงนั้น จะเห็นได้ว่า ไม่ยุ่งยากและซับซ้อนเท่าใดนัก เพราะกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าเท่ากับผลคูณของแรงดันกับกระแสที่มีค่าคงที่และอินเฟส (Inphase) กันด้วย ซึ่งสามารถที่จะเขียนเป็นสูตรได้ว่า P= IE (ในที่นี้ P= กำลังงานไฟฟ้ามีหน่วยเป็นวัตต์, I = กระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นแอมแปร์ และ E = แรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลท์) ส่วนกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ดูออกจะยุ่งยากและสลับซับซ้อนมากกว่าทั้งนี้เพราะ แรงดันกับกระแสของไฟสลับมีการเปลี่ยนแปลงขนาดอยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้มุมเฟสของวงจรที่เกิดจากแรงดันกับกระแสยังมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยเมื่อใช้โหลดที่แตกต่างกัน ดังนั้นกำลังไฟฟ้าของไฟสลับที่เกิดขึ้น ณ เวลาชั่วขณะใดขณะหนึ่งนั้น จะมีค่าเท่ากับผลคูณของแรงดันกับกระแสที่เกิดขึ้น ณ เวลาในขณะนั้น ซึ่งเขียนเป็นสูตรได้ว่า p = ie (ในที่นี้ p,i และ e หมายถึง กำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะใด ๆ ของไฟสลับตามลำดับ)

การพิจารณาและการคำนวณเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ จะแยกพิจารณาออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

1.กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่วงจร ซึ่งเป็น กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏให้เห็นทางโวลท์มิเตอร์ (Voltmeter)และแอมมิเตอร์(Ampmeter) กล่าวคือ เป็นกำลังไฟฟ้าที่ได้จากผลคูณของแรงดันกับกระแสที่ปรากฏให้เห็นทางโวลท์มิเตอร์และแอมมิเตอร์นั่นเอง จึงเรียก กำลังไฟฟ้าชนิดนี้ว่า กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏให้เห็นหรือ กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏหรือแอปแพเรนท์เพาเวอร์ (Apparent power)

2.กำลังไฟฟ้าที่แท้จริงที่ทำให้เกิดกำลังงานหรือเกิดงานขึ้นภายในวงจร ซึ่งเรียกว่า กำลังไฟฟ้าจริงหรือทูร์เพาเวอร์ (Ture power)

3.กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปในวงจรในรูปของรีแอคตีฟ (Reactive) ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ไม่สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ เรียกว่า กำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ หรือรีแอคตีฟเพาเวอร์ (Reactive power)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังไฟฟ้าในวงจรรีซิสตีฟ(Resistive)

ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับประกอบด้วยรีซีสตีฟ (Resistive) หรือความต้านทานเพียงอย่างเดียวเท่านั้น จะเห็นได้ว่า กระแสกับแรงดันในวงจรจะอินเฟสกัน นั่นคือ ค่าชั่วขณะใดๆ ของแรงดันทุกๆ ค่าที่เกิดขึ้น ดังนั้น กำลังไฟฟ้าในวงจรของไฟสลับที่มีแต่ความต้านทานอย่างเดียวนั้น จึงมีค่าเท่ากับผลคูณของแรงดันประสิทธิผล (E_{rms} หรือ E) กับกระแสประสิทธิผล (I_{rms} หรือ I) ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้คือ

$$P = EI$$

กำลังไฟฟ้าในวงจรรีแอคตีฟ(Inductive)

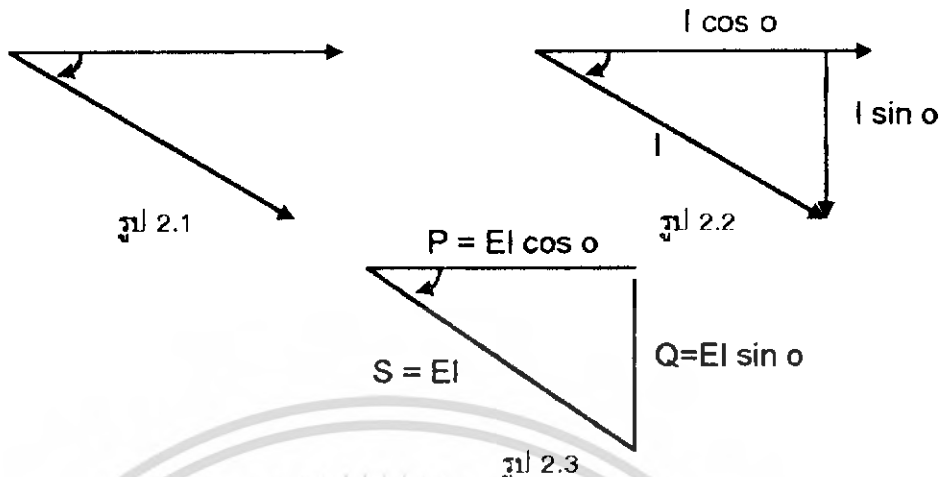
ในวงจรไฟสลับที่ประกอบด้วยโหลดที่เป็นอินดัคตีฟโหลด (Inductive load) นั้น จะพิจารณาเห็นได้ว่า กระแสที่ไหลในวงจรจะล้าหลังแรงดันอยู่เป็นมุม ϕ ใดๆ (มุม ϕ จะกางกี่องศาขึ้นอยู่กับค่า R และ L ภายในวงจรในขณะที่ความถี่คงที่ปกติจะไม่เกิน 90°) ดังในรูปที่ 1.1 จะเห็นว่ากระแส I ที่ไหลในวงจรจะล้าหลังแรงดัน E ที่จ่ายให้แก่วงจรอยู่เป็นมุม ϕ และในกรณีนี้ จะพิจารณาเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าของวงจรที่เกิดขึ้นจะไม่เท่ากับผลคูณของแรงดัน E กับกระแส I ที่ไหลในวงจร แต่จะมีค่าเท่ากับผลคูณของแรงดัน E กับกระแส I ในส่วนที่เกิดขึ้นที่เกิดขึ้นที่อินเฟสกับแรงดัน E นั่นเอง ดังในรูป2.2 จะเห็นว่า กระแส I ที่ไหลในวงจรซึ่งล้าหลังแรงดัน E อยู่เป็นมุม ϕ นั้น เราสามารถที่จะแตกให้อยู่ในรูปของกระแสอินเฟส (Inphase current) กับกระแสรีแอคตีฟ (Reactive current) ได้ ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้คือ

กระแสอินเฟส $= I_{inphase} = I \cos \phi$

กระแสรีแอคตีฟ $= I_{reactive} = I \sin \phi$

และจากเฟสเซอร์ไดอะแกรมของกระแสในรูป 2.2 เมื่อใช้แรงดัน E คูณกับส่วนประกอบของกระแสทั้งสาม ก็จะได้เป็นเพาเวอร์ไทรแองเกิ้ล (Power triangle) หรือส่วนประกอบของกำลังไฟฟ้าเป็นรูปสามเหลี่ยม ดังแสดงในรูป 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.1 รูป 2.2

รูป 2.3

แสดงรูปที่มาของเพาเวอร์ไทรแองเกิ้ลเมื่อโหลดเป็นแบบอินดัคตีฟ

จากเพาเวอร์ไทรแองเกิ้ลในรูปที่ 2.3 จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ (Apparent power) ซึ่งได้มาจากผลคูณของแรงดัน E กับกระแส I และใช้ตัว S เป็นสัญญลักษณ์เขียนแทนนั้น จะประกอบด้วย กำลังไฟฟ้าสองส่วน คือกำลังไฟฟ้าที่แท้จริงที่ทำให้เกิดกำลังงานหรือกำลังไฟฟ้าจริง (Ture power) ซึ่งใช้ตัว P เป็นสัญญลักษณ์เขียนแทน กับ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปในวงจรในรูปของรีแอคตีฟ หรือกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ (Reactive power) ซึ่งใช้ตัว Q เป็นสัญญลักษณ์เขียนแทนโดยที่กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏวัดได้จากโวลท์มิเตอร์ และแอมมิเตอร์ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่ปรากฏจึงมีหน่วยเป็นโวลท์แอมแปร์ (VA) ส่วน กำลังไฟฟ้าจริงซึ่งวัดได้จากวัตต์มิเตอร์จึงมีหน่วยเป็นวัตต์ (W) และ กำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ ซึ่งเป็นกำลังสูญเสียไปในวงจรและไม่ได้ทำให้เกิดกำลังงาน วัดเป็นโวลท์แอมแปร์รีแอคตีฟหรือวาร์ (Volt-ammpere reactive = VAR)

จากเพาเวอร์ไทรแองเกิ้ลในรูปที่ 2.3 จะได้

กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ = S = แรงดัน x กระแส = EI

กำลังไฟฟ้าจริง = P = แรงดัน x กระแสอินเฟส = EI cos ϕ

กำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ = แรงดัน x กระแสรีแอคตีฟ = EI sin ϕ

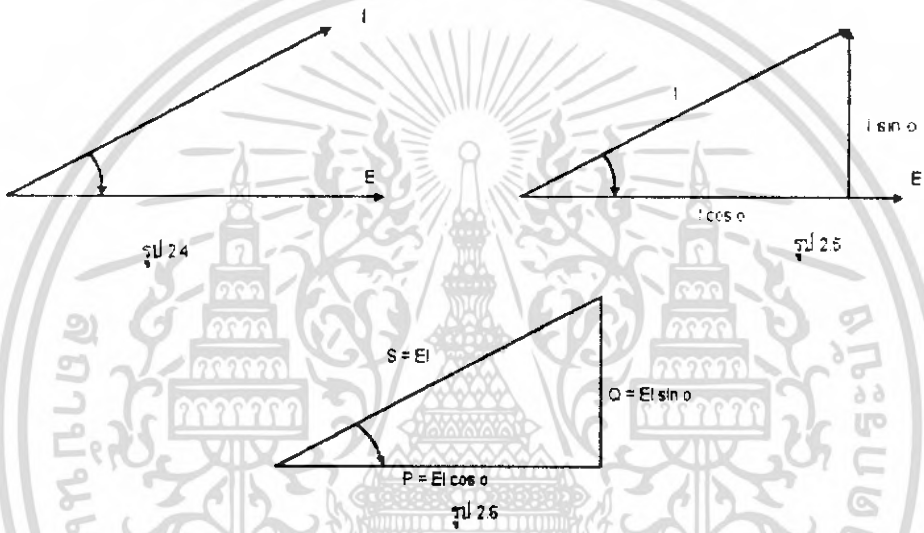
$$\cos \phi = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าจริง}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ}} = \frac{P}{S}$$

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเพาเวอร์ไทรแองเกิ้ลของวงจรไฟสลับที่โหลดเป็นแบบคาปาซิตีฟโหลด (Capacitive load) นั้น ก็สามารถที่จะหาได้ในลักษณะทำนองเดียวกันกับลักษณะอินดัคตีฟโหลด เพียงแต่แตกต่างกันที่ตำแหน่งของกระแสเท่านั้น กล่าวคือ ในวงจรที่โหลดเป็นแบบคาปาซิตีฟโหลดนั้น กระแสที่ไหลในวงจรจะนำหน้าแรงดันที่จ่ายให้แก่วงจรไปเป็นมุม ϕ ใดๆ (มุม ϕ จะกางกี่องศาขึ้นอยู่กับค่า R และ Xc ในวงจร) ดังในรูป2.4 จะเห็นได้ว่ากระแส I นำหน้าแรงดัน E ไปเป็นมุม ϕ ส่วนในรูป 2.5 จะเห็นว่ากระแส I ที่ไหลในวงจรเราสามารถจะแตกเป็นกระแสอินเฟส ($I \cos \phi$) กับกระแสรีแอคตีฟ ($I \sin \phi$) นั่นคือ เมื่อใช้แรงดัน E คูณกับส่วนประกอบของกระแสทั้งสาม ในรูปที่ 2.5 ก็จะได้เป็นเพาเวอร์ไทรแองเกิ้ลดังในรูป 2.6



แสดงรูปที่มาของเพาเวอร์ไทรแองเกิ้ลเมื่อโหลดเป็นแบบคาปาซิตีฟ

เพาเวอร์แฟคเตอร์(Power factor :PF)

เพาเวอร์แฟคเตอร์ หมายถึงอัตราส่วนของ กำลังไฟฟ้าจริงที่วัดได้จาก วัตต์มิเตอร์ต่อกำลังไฟฟ้าที่ปรากฏที่วัดได้จากโวลท์มิเตอร์และแอมมิเตอร์ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้คือ

$$PF = P/S$$

หรือ $$PF = \cos \phi$$

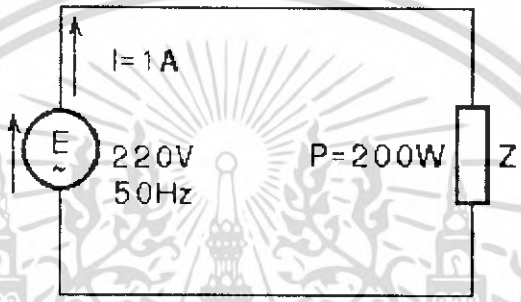
ปกติค่าของ เพาเวอร์แฟคเตอร์ จะเขียนบอกเป็นเลขจุดทศนิยม หรือเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังตัวอย่าง เช่น PF= 0.85 เราอาจจะเขียนว่า PF = 85 % ก็ได้ ในกรณีนี้หมายความว่า อุปกรณ์ไฟฟ้าในวงจรได้ใช้กำลังไฟฟ้าในการทำให้เกิดกำลังงานหรือเกิดงานเพียง 85% แรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัน - กระแส (Volt-ampere) ที่จ่ายให้แก่วงจร ส่วนกำลังไฟฟ้าที่เหลืออีก 15% นั้น จะสูญเสียไปในวงจรในรูปของ รีแอคตีฟ (ซึ่งเรียกว่ากำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ)

นั่นคือ ถ้าหากว่าวงจรไฟฟ้ามีค่า PF ต่ำๆ ก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของวงจรต่ำด้วย เพราะงานหรือกำลังงานที่ได้จากวงจรมีค่าต่ำ ในขณะที่ต้องป้อนแรงดันกับกระแสที่มีค่าสูงให้แก่วงจร

ตัวอย่าง วงจรในรูป 2.7 มีกระแสไหลในวงจรเท่ากับ 1 A และมีกำลังงานไฟฟ้าเกิดขึ้นที่อิมพีแดนซ์เท่ากับ 200 W หา PF

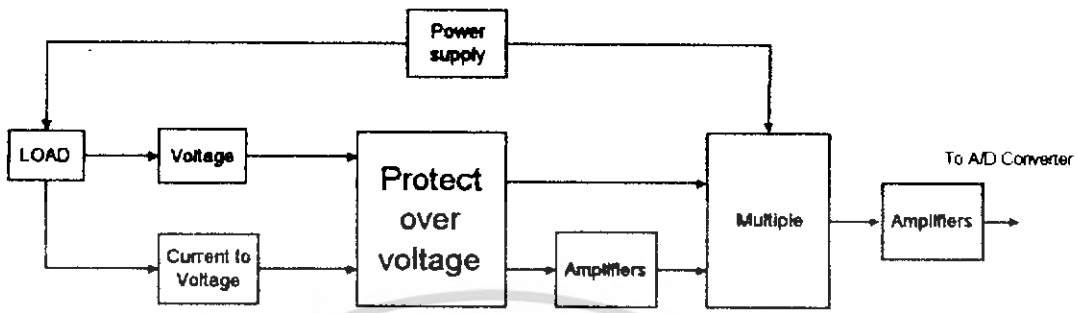


รูปที่2.7 แสดงตัวอย่างวงจรคำนวณกำลังไฟฟ้า

วิธีทำ $PF = P/S = P/IE = 200W/(1Ax220V) = 0.9 = 90\%$

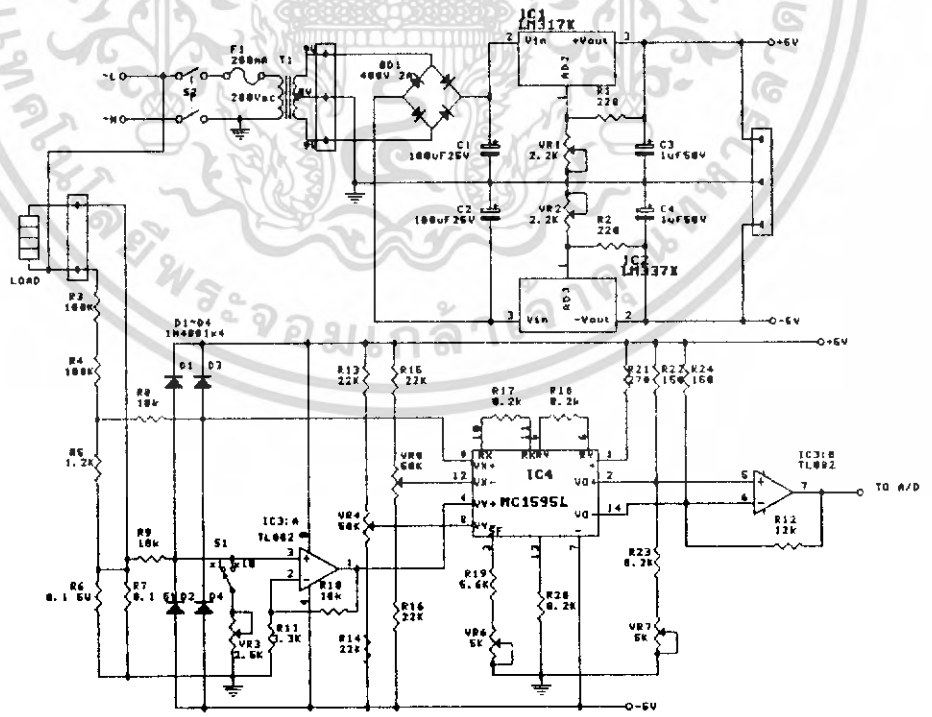
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักการทำงานของวงจรวัตต์มิเตอร์ (Wattmeter)



รูปที่2.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรวัตต์มีเตอร์

วงจรวัตต์มิเตอร์นี้ใช้ไอซีเบอร์ MC1595L เป็นไอซีที่ใช้หลักการเอาแรงดันไฟฟ้าสองค่าและค่าคงที่ค่าหนึ่งมาคูณกัน โดยจะนำแรงดันตกคร่อมโหลดกับกระแสที่ไหลผ่านโหลดซึ่งถูกเปลี่ยนมาเป็นแรงดัน คูณกับค่าคงที่ ผลจากการคูณค่าทั้งสามเข้าด้วยกันจะได้แรงดันไฟฟ้าค่าหนึ่ง แรงดันนี้จะเอามาเป็นแรงดันอินพุทของวงจรอนาลอกทูดิจิตอลคอนเวอเตอร์ (A/D Converter)



รูปที่ 2.9 แสดงวงจรวัตต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.9 โหลดจะถูกต่ออยู่ที่ตัวคอนเน็กเตอร์ K_2 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เราต้องการทราบค่าวัตต์ เช่น มอเตอร์,พัดลม หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่โหลดจะมาจากแหล่งจ่ายไฟ 220V โดยตรง ดังนั้นที่จุด K_2 จะมีแรงดัน 220V และมีกระแสไหลผ่านเข้าวงจรในส่วนการแบ่งแรงดันและกระแส จากวงจรจะมี R_3,R_4,R_5 เป็นตัวจำกัดกระแสเข้าวงจรและเป็นตัวแบ่งแรงดันด้วย โดยที่ R_3,R_4 ขนาด 100 kΩ ต่ออนุกรมกันอยู่ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจรและป้องกันวงจรไม่ให้เกิดความเสียหาย R_6,R_7 ถูกต่อขนานกันและทำให้มีความต้านทานรวม 0.05 Ω และทนกำลังไฟฟ้าได้ 10 W ซึ่งเป็นตัวรับกระแสที่ไหลผ่านโหลดแล้วเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้า แรงดันตกคร่อมความต้านทาน R_6,R_7 จะถูกทำการขยายประมาณ 6 เท่า โดยออปแอมป์(จากวงจร IC 3/1) จากเอาท์พุทของ IC 3/1 จะถูกต่อกับขา 4 ของ IC 4 (MC1595) ซึ่งเป็นแรงดันด้าน +Vy ส่วนแรงดันอีกด้านหนึ่งจะได้จากชุดแบ่งแรงดันโดยมีตัวต้านทาน R_8 ต่ออยู่ เพื่อป้อนแรงดันเข้าขา 9 ของ IC 4 (MC1595) ซึ่งเป็นแรงดันด้าน +Vx

ในวงจรวัตต์มิเตอร์ตัวนี้ จะสามารถวัดได้ 2 ย่านคือ ย่าน x1 และ x10 โดยที่มีสวิทช์ S_1 เป็นตัวเลือกย่านวัด ไดโอด D_1 D_2 D_3 และ D_4 ต่อเป็นวงจร คริปเปอร์(Clipper) เพื่อป้องกันอินพุทของออปแอมป์ IC 3/1 และ IC 4 การทำงานของวงจรคริปเปอร์ จะเป็นดังนี้คือ ถ้าแรงดันที่เข้ามาผ่านตัวต้านทาน R_8 สูงกว่าแหล่งจ่ายอยู่ 0.7V หรือเป็น +8.2V ก็จะทำให้ไดโอด D_1 D_3 ทำงาน และถ้าแรงดันที่เข้ามาน้อยกว่าแหล่งจ่ายทางด้านลบอยู่ 0.7V หรือ -8.2V ก็จะทำให้ไดโอด D_2 D_4 ทำงาน

ส่วนภาคจ่ายไฟใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์ (IC regulator) เบอร์ LM317 และ LM337 ซึ่งจะเรกกูเลท ทางด้านแรงดันบวกและแรงดันลบ โดยที่สามารถปรับได้เป็น ±7.5V แต่ในวงจรใช้ ±5V เท่านั้น โดยปรับที่ V_{R1} และ V_{R2} ตามลำดับ และจำเป็นต้องปรับให้เท่ากันเสมอ ในการปรับแรงดันออฟเซต(Offset) จะทำการปรับที่ V_{R4} และ V_{R5} โดยปรับแรงดันออฟเซตที่อินพุท ขา 8 และขา 9 ของ IC 4 เมื่อได้แรงดันทั้งสองค่า คือที่ขา 4 เป็น +Vy และขา 9 เป็น +Vx แล้ว IC 4 (MC1595) จะเป็น IC x แรงดัน 2 ค่านี้กับค่าคงที่ K เอาท์พุทที่ได้จาก IC 4 จะเป็นขา 2 หรือ +Vo และขา14 เป็น -Vo และจากเอาท์พุทของ IC 4 จะถูกทำการขยายอีกครั้งโดย IC 3/2 และส่งเข้าไปสู่ภาคแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล ต่อไป

* IC = Integate Circuit (วงจรรวม)

D = Diode

R = Resistor

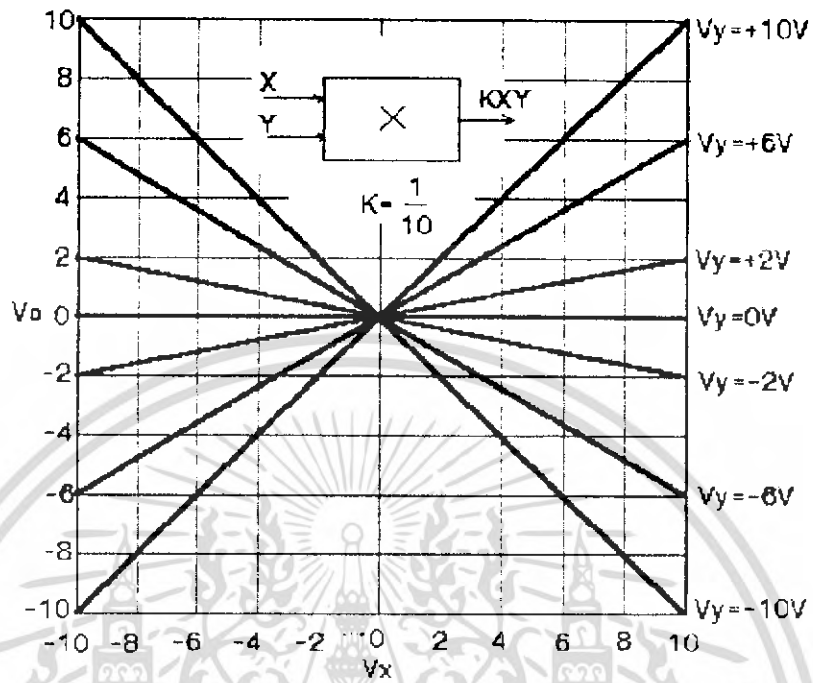
V = Voltage

Ω = Ohm

W = Watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของ MC1595L



รูปที่ 9.10 แสดงกราฟคุณสมบัติของไอซี MC1595L

จากกราฟ ให้ K เป็นค่าคงที่ โดยที่

$$K = \frac{2Ro}{RxRyI_3}$$

และโดยที่ Ro คือ R_{22},R_{24} ในวงจร

Rx คือ R_{17}

Ry คือ R_{18}

I_3 คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากขา 3 ของไอซี4 ลงกราวด์สามารถปรับค่าได้จากส่วนของ V_{R6}

โดยที่ K จะตั้งไว้ให้มีค่าเป็น 1/10

ค่าของเอาท์พุทจะหาได้จากสมการ

$$Vo = KVxVy$$

สมมติให้แรงดัน Vx เป็น +2V และแรงดัน Vy เป็น +10V จะได้ค่าเอาท์พุทเป็น +2V และถ้า Vx เป็น -2V และ Vy เป็น +10V เช่นเดิมจะได้ค่าเอาท์พุทเป็น -2V ซึ่งค่าเอาท์พุทจะเป็นได้ทั้งค่าบวกและค่าลบ ซึ่งทำงานได้ทั้ง 4 ควอแดรนท์ (Linear four-quadrant multiplier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ไมโครโปรเซสเซอร์ (MICROPROCESSER)

3.1 คอนโทรลบอร์ด (CP-JR180)

บอร์ดเดียวมีครบในการใช้งานที่สำคัญๆ เช่น มี ช่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ LCD (LCD port), ช่องเชื่อมต่อสายสัญญาณแป้นป้อนข้อมูล (Keyboard port), ปุ่มรีเซ็ท(Power ON reset), ช่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ แบบอนุกรม 2 ช่อง (Serial port) ใช้ในงาน, พร้อม สัญญาณนาฬิกา (Real time clock) และใช้ไมโครโรเซสเซอร์ เบอร์ Z80180(CPU Z80180) ทำงานที่ความถี่ 6.144MHz ซึ่งเป็น ไมโครโรเซสเซอร์ หลักประจำบอร์ด

คุณสมบัติโดยทั่วไปของ CP-JR180

1. ใช้ไมโครโรเซสเซอร์ เบอร์ Z80180 แบบ 68 ขา ทำงานที่ความถี่ 6.144 MHZ เป็นไมโครโรเซสเซอร์ ประจำบอร์ด

2. อ้างอิงหน่วยความจำแรม (RAM) และรอม (ROM) ได้ถึง 128 kbyte

3. มีช่องเชื่อมต่อสัญญาณวงจรรวมเบอร์ 8255 (PORT 82C55) ให้ใช้งาน 1 ตัว โดยเป็นแบบ CMOS และอยู่ในรูปตัวถังขนาดเล็กทำให้สามารถลดขนาดของแผ่นวงจร ได้มาก

4. มีช่องเชื่อมต่อสัญญาณ ต่อเข้ากับ ส่วนแสดงผลจอภาพแบบ LCD ได้ทั้ง LCD แบบตัวอักษร หรือแบบกราฟิก (Graphic)

5. มีวงจรส่วนของสัญญาณนาฬิกา (Real time clock) เป็นฐานเวลาจริงให้เข้ากับระบบ โดยใช้วงจรรวมเบอร์ 6242

6. ใช้วงจรรวม เฉพาะงาน DS1232 โดยเป็นวงจรเพาเวอร์รีเซ็ต (Power reset) และเป็นวงจรวอทช์ด็อก (Watch-dog) เพิ่มความมั่นใจในการใช้งานมากขึ้น

7. ใช้กับแรงดัน 7-9 V โดยมี วงจรรวมเร็กกูเรเตอร์ (IC regulator 7805) ในตัว มีคอนเน็กเตอร์(Connector)มาตรฐานสามารถต่อเข้ากับบอร์ดต่างๆ ในท้องตลาดได้เป็นอย่างดี

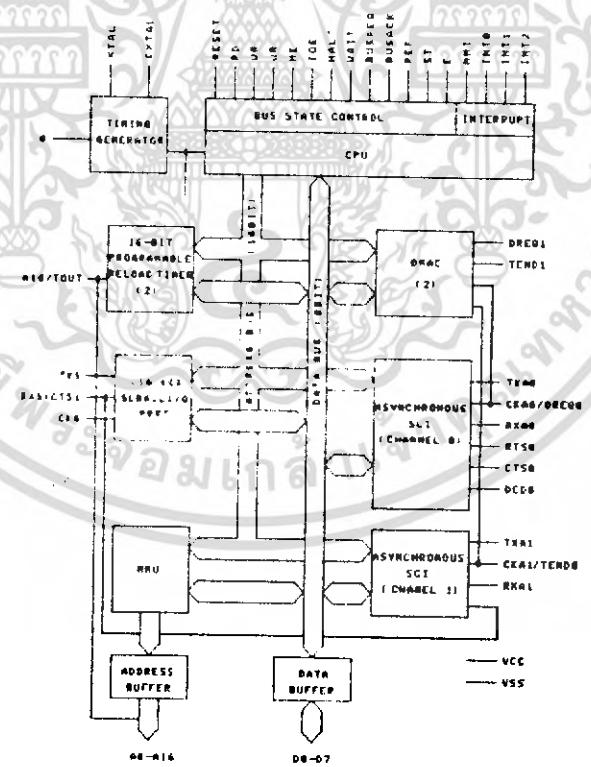
8. มี ช่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ แบบอนุกรม 2 ช่อง (Serail port) ต่อใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลของบอร์ด CP-JR180

ไมโครโปรเซสเซอร์ (CPU) ใช้ เบอร์ Z80180 ของบริษัทไซล็อก (Zilog) โดยเป็น Super set ของไมโครโปรเซสเซอร์ Z80 ใช้คำสั่งของ Z80 ได้ทั้งหมดและยังเพิ่มขึ้นอีก 12 ชุด คำสั่งใช้งานเช่น คำสั่งคูณ (MLT), คำสั่งทดสอบบิทในรีจีสเตอร์(TST g) เป็นต้น ในบอร์ดนี้เราเลือกใช้ Z80180 ความเร็วขนาด 6 MHz แต่ก็สามารถใช้กับความถี่ 6.144 MHz ได้ด้วย ทำให้การทำงาน 1 คำสั่งใช้เวลาเพียง 0.48 usec เท่านั้น ปัญหาที่ตามมาก็คือจำเป็นต้องใช้ EPROM หรือ RAM ที่มีการทำงานเร็วได้เท่านั้น จุดนี้สามารแก้ไขได้โดยสามารถตั้งเวลารอ (Set wait state) ภายในตัวไมโครโปรเซสเซอร์ ในการอ่าน(Read),เขียน (Write) หน่วยความจำ (Memory) หรือในการเขียน หรืออ่าน อินพุท เอาท์พุท กับอุปกรณ์อื่น ได้ด้วยซึ่งเป็นข้อดี

ในตัวของไมโครโปรเซสเซอร์ Z80180 นี้ดีกว่าไมโครโปรเซสเซอร์ ในตระกูลอื่นๆ จากรูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างภายในของ Z80180



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อคไดอะแกรมโครงสร้างภายในของ Z-80180

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

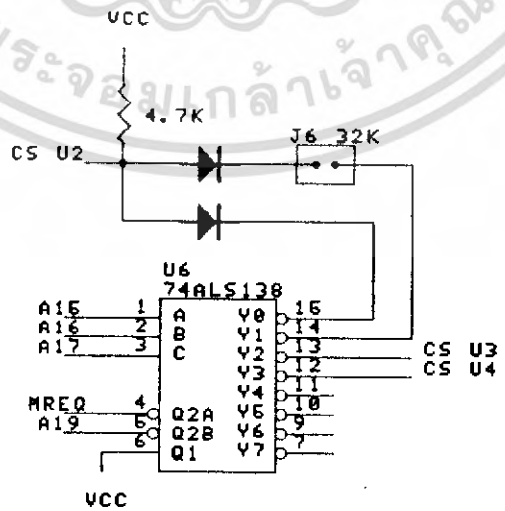
ส่วนของหน่วยความจำ (Memory)

CP-JR180 สามารถต่อใส่หน่วยความจำได้สูงสุด 128 kbyte โดยใช้วงจรรวมดีโคท (Decode) แบ่งหน่วยความจำเป็นช่วงๆ ได้ 8 ช่วง ช่วงละ 32 kbyte และใช้สัญญาณควบคุมการติดต่อกับหน่วยความจำ เพื่อให้เกิดสัญญาณการติดต่อกับหน่วยความจำเท่านั้น

SOCKET U2 สามารถใส่EPROM ขนาด 64K kbyte(27512) หรือ kbyte (27256) ได้โดยใช้ จัมป์เปอร์ J1 เป็นตัวเลือกเบอร์อีพพรอม และเราใช้ไดโอดเบอร์ 1N4148 2 ตัวต่อในลักษณะ แอนเกท ให้ดีโคทได้ 2 ช่วง U2 นี้เป็นหน่วยความจำเริ่มจาก OOOOH ถึง FFFFH

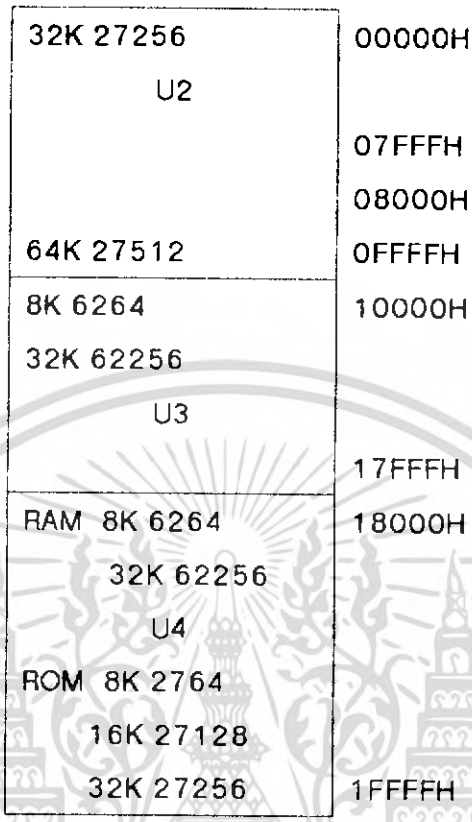
SOCKET U3 สามารถใส่ RAM ขนาด 32kbyte (62256) หรือ kbyte (6264) ได้ โดยใช้สวิทช์เลือก J4 เป็นตัวเลือกเบอร์ RAM ในวงจรส่วนนี้เราสามารถใส่ แบตเตอรี่ขนาด 3 โวลต์เพื่อสำรองข้อมูลใน แรม ได้ด้วย โดยใช้มอสเฟท เบอร์ BS170 เป็นส่วนกันสัญญาณรบกวนจากการปิดเปิดระบบไฟไม่ให้เกิดเข้ามารบกวน ขา CS ของ RAM เพื่อผลการสำรองที่ดี U3 นี้หน่วยความจำเริ่มจาก 10000Hถึง 17FFFH

SOCKET U4 สามารถใส่แรม หรือ รอม ได้โดยใช้สวิทช์เลือกเป็นตัวเลือกเบอร์ไอซีที่เราจะใส่และใช้สวิทช์เลือก J3 เป็นตัวประกอบในกรณีจะใช้ แรม และก็ต้องการสำรอง ข้อมูลด้วย U4 นี้หน่วยความจำเริ่มจาก18000H ถึง 1FFFFH



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรควบคุมหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ส่วนของพอร์ท (PORT)

ใช้ วงจรรวมดีโคท U7 74LS138 เป็นตัวดีโคท แบ่งช่วงแอดเดรส (Address port) โดยใช้สัญญาณควบคุม IORQ และ M1 มาควบคุมเพื่อให้เกิดสัญญาณ CS ขึ้นเฉพาะในการติดต่อกับส่วน I/O เท่านั้น

8255 PORT เราใช้วงจรรวม 8255 ใช้งานประจำบอร์ดโดยเป็นช่องต่อสัญญาณ ขนาด 8 Bit 3 ช่อง ใช้งานโดยมีตำแหน่ง แอดเดรส

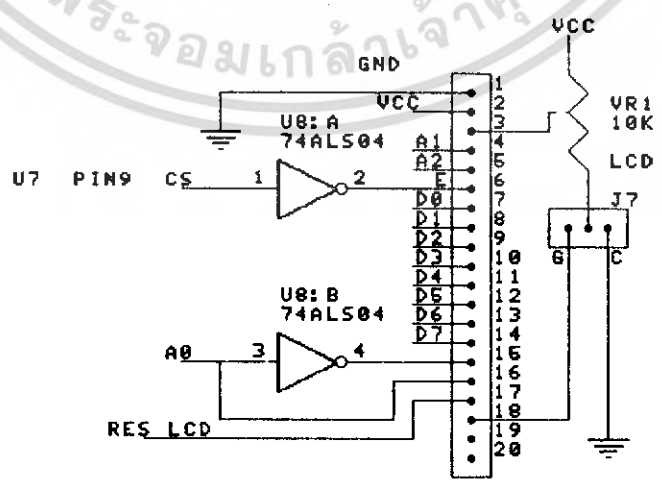
PORT A= 80 H
PORT B= 81 H
PORT C= 82 H
CONTROL PORT= 83 H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RTC PORT ใช้วงจรรวมสัญญาณนาฬิกา (Real time clock/calender) ชนิด CMOS เบอร์ 6264 โดยต่อขาแอดเดรสบัส (Address bus) และ ดาต้าบัส (Data bus) ขนาด 4 บิทเข้าโดยตรงกับไมโครโปรเซสเซอร์รีลไทม์คล๊อค (CPU Real time clock)ตัวนี้จะสามารถบอกได้ทั้ง วันเดือนปี วันในรอบสัปดาห์ ชั่วโมง นาที วินาที และปีในส่วนของปีอธิกสรุทินได้ด้วย มีตำแหน่งแอดเดรสจาก AOH ถึง BFH

LCD PORT สามารถ ต่อเข้ากับโมดูล LCD ได้ทั้งแบบตัวอักษรและกราฟฟิกโดยตรงไม่ต้องต่อผ่านพอร์ตอีก โดยออกแบบให้ต่อเข้ากับบัสของ Z80180 ได้โดยตรง เราใสัญญาณดีโคทจากU7 (Y6) ผ่านอินเวอเตอร์ U8B เพื่อกลับสถานะของ สัญญาณสร้างเป็นสัญญาณ E clock ของ LCD ใช้ A1 และ A2 เป็นสัญญาณ RS และ R/W และใช้ U8C เป็นตัวกำหนดเพจ (Page) การทำงานของ LCD ในแบบกราฟฟิกจากสัญญาณแอดเดรส A0

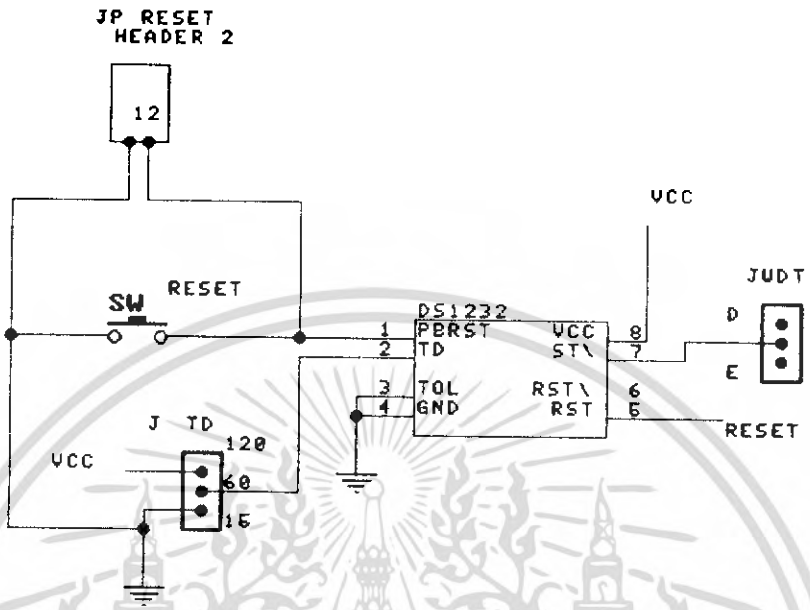
LCD ADDRESS PORT CHANNEL PORT	ADDRESS PORT
WRITE DATA INSTRUCTION	COH
WRITE DATA TO CG OR DD RAM	C2H
READ BUSY FLAG AND ADDRESS	C4H



รูปที่3.3 แสดงวงจรการต่อ พอร์ท LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเพาเวอร์ออนรีเซ็ท(Power on Reset) และสวิทซ์ด๊อก (Watch DOG)



รูปที่3.4 แสดงวงจร เพาเวอร์ออนและวอทซ์ด๊อก

ใช้ วงจรรวม เบอร์ DS1232 เป็นวงจรเพาเวอร์ออนรีเซ็ทและสวิทซ์ด๊อก โดยในส่วนของเพาเวอร์ออนรีเซ็ทนั้นจะทำการรีเซ็ทไมโครโปรเซสเซอร์ เมื่อโวลท์มากกว่าหรือต่ำกว่า 4.75 V และจะหน่วงเวลาในกรณีเพาเวอร์ออนประมาณ 250 msec. ถึง 1 sec. และในส่วนของสวิทซ์ด๊อกนั้น สามารถเลือกระยะเวลาในการทริกได้ ด้วยจัมเปอร์ TD โดยเลือกเวลาในการทริกสวิทซ์ด๊อก

นอกจากนี้ยังสามารถเซ็ทให้ วงจรสวิทซ์ด๊อก ทำงานหรือไม่ทำงานได้ด้วยการเซ็ตจัมป์เปอร์ WDT และถ้าเซ็ตสวิทซ์ด๊อก ทำงานแล้วจะต้อง ทริกพอร์ท EOH โดยจะใช้คำสั่ง IN หรือ OUT พอร์ทก็ได้ตามระยะเวลาที่เลือกเพื่อไม่ให้ วงจรสวิทซ์ด๊อก นั้นทำการรีเซ็ตไมโครโปรเซตเซอร์

การนำไปใช้งาน

สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้มากมาย เพราะมีพอร์ทใช้งานถึง 24 Bit ต่อร่วมกับโมดูล LCD ได้มีนาฬิกาในตัวต่อกับซีรีย์พอร์ท ก็ได้เช่น ควบคุมระบบเปิด/ปิด เครื่องใช้ไฟฟ้าตามเวลาที่ตั้งประยุกต์เพิ่มส่วนคีย์บอร์ด ทำเป็นเครื่องคีย์ข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer) ได้ เป็นต้น และนอกจากนี้บอร์ด JR180 นี้ยังมีอุปกรณ์ช่วยพัฒนาระบบโดยอาจจะใช้ ชุดดีบักเกอร์ (Debugger JR-180) ในการเขียนโปรแกรมแอสเซมบลี้ (Assembly) ผ่านทางเครื่องคอมพิวเตอร์หรือจะใช้ชุดเบสิก (Basic 180) เขียนโปรแกรมภาษาเบสิกด้วยก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.2 โปรแกรมดีบักเกอร์ (Debugger)

โปรแกรมดีบักเกอร์ (Debugger JR180) ซึ่งการทำงานจะคล้าย Softwere simulator บนคอมพิวเตอร์ แต่จะด้อยกว่าตรงการแสดงผลที่จอ สำหรับลักษณะการใช้งานจะง่าย และเห็นจริง เพราะการทำงานทั้งหมดจะเป็น Real time คือสิ่งที่ เกิดขึ้นจะเกิดกับระบบจริง

ข้อกำหนดต่าง ๆ ในการใช้งาน

1. การป้อนคำสั่งจะผ่านทาง คีย์บอร์ดของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยแต่ละคำสั่งจะต้องป้อนให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนด และคำสั่งเหล่านั้นจะถูกกระทำเมื่อกด <ENTER>
2. ผู้ใช้สามารถใช้อักษรตัวเล็ก หรือตัวใหญ่ได้ตามต้องการ
3. จำนวนตัวเลขต่างๆที่ป้อนเข้าไปจะถือเป็นเลขฐาน16 (HEX) โดยไม่จะเป็นต้องใส่ H ต่อท้าย และถ้าตัวเลขเป็นอักษร A-F นำหน้าก็ไม่จำเป็นต้องใส่ 0 นำหน้าก่อน

* ยกเว้นใน MODE ของ MINI ASSEMBLE * และบาง FUNCTION อาจให้ใช้เลขฐาน 10 ในหัวข้อของ FUNTION นั้น จะบอกไว้ถ้า KEY ผิดจะมีข้อความแสดงให้ทราบ

4. ในกรณีป้อนคำสั่งไม่ถูกรูปแบบเครื่องจะแสดงคำว่า "SYNTAX ERROR"
5. ฟังก์ชั่นที่มีการตั้ง Length address ถ้าตั้ง เริ่มต้นมากกว่าสุดท้าย เครื่องจะแสดงข้อความให้ทราบ
6. การออกจากสภาวะต่างๆ ใช้ คีย์ <ESC> จะทำให้กลับสู่เครื่องหมาย Promptตามเดิม
7. การกระทำกับข้อมูลที่ต้องเป็นแรม หากมีการกระทำในพื้นที่ที่เป็นรอม หรือแรมที่ถูกป้องกันไว้ ฟังก์ชั่นที่ใช้นั้นจะไม่ถูกกระทำและจะมีข้อความบอก
8. เมื่อมีการทำคำสั่งที่ไม่มีในชุดคำสั่งของ Z80180 จะเกิด Trap interrupt ขึ้น และจะแสดงค่าตำแหน่งที่ผิดนั้นบน Display
9. แรมบนบอร์ดที่ได้ไปกับเครื่องจะเป็น 8 Kbyte แต่การอ้างแรม บนดีบักเกอร์ จะเป็นของขนาด 32 Kbyte คือ ตั้งแต่ 10000H - 16FFFH และ 170000H - 17FFFH จะเป็นที่ เก็บพารามิเตอร์รวมของทุก ๆ PAGE รวมทั้งเป็นส่วนของ Stack ทั้ง User และ System ด้วยดังนั้น จะเกิดการทับซ้อนกันขึ้น โดยที่ 4 Kbyte หลังของ RAM 8 K BYTE คือตำแหน่ง ADDRESSS 11000H-11FFH จะเป็นเช่นเดียวกับตำแหน่ง 17000H-17FFFH นั่นเอง (คือที่เก็บ PARAMETER และSTACK) ดังนั้น เมื่อใช้ RAM 8K ต้องระวัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
86736

5. เมื่อเริ่มจ่ายไฟให้ Board software ใน Debug จะทำ Auto baud rate ซึ่งมี Baud center ที่ 9600 Baud ถ้าบน PC ตั้ง Baud rate ที่ Center ก็ ข้อความ Z180 ขึ้น จากนั้นก็จะรอการกด Key "ENTER" เพียงอย่างเดียว ถ้า Key อื่น เครื่องจะไม่สามารถเข้าสู่ Debug ได้ ต้อง Reset board Z80180 ใหม่ แล้วทำขบวนการเดิมถูกต้องจะมีข้อความตอนนี้ก็จะใช้คำสั่งต่างๆ ที่มีใน Debug ได้แล้ว แต่ถ้าการตั้ง Baud rate บน PC ไม่ได้อยู่ที่ Center เมื่อเริ่มจ่ายไฟหรือกด Reset จะไม่มีคำ Z180 ขึ้นมาแสดง ซึ่งอาจจะเป็นอักษรที่ไม่สามารถสื่อความหมาย Prompt อย่างเดียวกับที่ 9600 Baud ซึ่ง Baud rate ที่เลือกบน PC ได้ตั้งแต่ 300, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400 Baud rate

ก่อนเข้าสู่ FUNCTION KEY

1. เมื่อจะดูรูปแบบของ Function key ต่างๆ ก็โดยการกด Key "?" แล้วกด ENTER ก็จะขึ้น Help menu ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 Page โดยแต่ละ Page จะรอการกด Key ใดๆ ก็ได้ก็จะแสดง PAGE ต่อไป

2. เนื่องจาก Z80180 อ้าง Memory ได้ 1 MBYTE แต่คำสั่งต่างๆ ที่มีให้ไม่สามารถอ้างเกิน 64 KBYTE จึงใช้เทคนิคในการแบ่งเป็น Page ๆ ละ 64K โดย Softwear ของ Debug จะ Program แบ่งเป็น Rom 0-7FFFH และ RAM 10000H-16FFFH ซึ่งเป็นของ User ในการใช้งาน และส่วน 17000-1FFFH จะใช้เป็นที่เก็บ Parameter ต่างๆ และเป็นส่วน Stack ที่ใช้ร่วมกันทุกๆ Page เช่นเดียวกับตำแหน่ง Rom ดังนั้นข้อมูลใน Page อื่นจะเชื่อมต่อกันโดยส่วน Stack นี้

3. เนื่องจาก Softwear ของ Debug ใช้ Interrupt ของ Serial channel 1ทาง Receive จึงทำให้

- เมื่อ Dump memory หรือดูการ Disassembler เป็นจำนวนมากๆ สามารถหยุดการแสดงผลโดย "CONTROL S" และจะให้แสดงผลต่อก็กด Key ใดๆ ก็ได้
- เมื่อกด Key ESC จะทำให้กลับสู่ Main program คือกลับสู่เครื่องหมาย Prompt ยกเว้นในขณะใช้ "?" Help menu
- เมื่อกระทำการ Run โปรแกรมของ User สามารถทำงานใน FUNCTION อื่นได้อีก คือ

FUNCTION IN (I)
FUNCTION OUT (O)
FUNCTION REGISTOR (R)
FUNCTION YANK I/O (Y)
FUNCTION DISPLAY MEMORY (D)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขณะทำ SINGLE STEP สามารถเปลี่ยนแปลงค่า REGISTOR ได้

4. เมื่อมีการตั้งการทำงานของผู้ใช้ โดยให้ Run โปรแกรมของผู้ใช้ที่เขียนขึ้นเลยเมื่อมีการเปิดเครื่อง (Auto start) แล้วสามารถออกจาก Auto start ได้ภายใน 5 วินาที ที่เปิดเครื่องโดยการกด Key ใดๆ ก็ได้บน PC จากนั้น ก็ให้เข้าไป Clear address EFFFH ถ้าไม่ต้องการให้เกิด Auto start อีกเมื่อปิดเครื่อง

5. เมื่อต้องการ Run program ที่เขียนขึ้น โดยโปรแกรมที่เขียนขึ้นไม่ให้วน Loop ต้องมีการหยุดโปรแกรมอาจจะเขียนด้วย Halt หรือ RST 18 H ซึ่ง RST 18 H จะหยุดโปรแกรม โดยการแสดงค่า Register ส่วน HALT จะทำให้ CPU หยุดทำคำสั่ง และจะให้ทำงานต่อก็โดยการกด ESC เพื่อกลับสู่ Prompt

6. ระบบเรียกใช้โปรแกรมย่อย "SYSTEM CALL" ซึ่งมีลักษณะเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปมีซึ่งทำให้อำนวยความสะดวกแก่การศึกษาและทดลองให้เป็นไปได้อย่างดี

7. โปรแกรมทดลอง เพื่อการศึกษาและเป็นแนวคิดให้เกิด IDEA ใหม่ๆ ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล
(ANALOG TO DIGITAL CONVERTER)

4.1 ทฤษฎี

สัญญาณในระบบดิจิตอลมี 2 ระดับคือ ระบบลอจิก 1 และระบบลอจิก 0 ซึ่งอาจจะเป็นพัลซ์ต่อ ๆ กันได้

ส่วนสัญญาณอนาลอกนั้น ระดับสัญญาณในขณะใดขณะหนึ่ง จะมีระดับแตกต่างกันมิได้จำกัดเพียง 2 ระดับเท่านั้น ตัวอย่างสัญญาณแบบอนาลอก ได้แก่ สัญญาณรูปคลื่นซายน์ (Sine Wave) สัญญาณเสียง เป็นต้น

ในบางครั้งจำเป็นต้องใช้สัญญาณทั้งสองนี้ร่วมกัน เช่น การนำเอาคอมพิวเตอร์ไปควบคุมอุณหภูมิของเตาอบ โดยมีอุปกรณ์แปลงพลังงานจากพลังงานความร้อนไปเป็นแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่สอดคล้องกับค่าอุณหภูมิ ในการที่จะให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลได้นั้น เราจำเป็นจะต้องแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าซึ่งเป็นสัญญาณอนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ต่อไป

ในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลนั้น มักใช้วิธีการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณอนาลอกที่ต้องการแปลงกับสัญญาณที่รู้แน่นอน

4.2 วงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to digital converter)

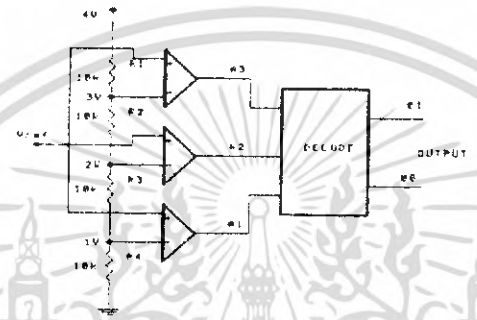
วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลที่ใช้กันอยู่มีหลายแบบด้วยกันคือ

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

วงจรแบบนี้จะใช้ วงจรเปรียบเทียบที่ต่อขนานกันดังรูปที่ 4.1 ประกอบด้วยออปแอมป์ที่ต่อเป็นวงจรเปรียบเทียบ และตัวต้านทานต่อไว้เพื่อแบ่งแรงดันที่ขาอินพุทแบบกลับ (inverting) หรือขาลบให้มีขนาดต่าง ๆ กัน จากหลักการของวงจรเปรียบเทียบทั่วไป เมื่อแรงดันอินพุทที่ขาอินพุทแบบไม่กลับ(noninverting) หรือขาบวก มีค่าสูงกว่าที่ขาลบเอาท์พุทจะได้แรงดันค่าสูง ดูได้จากตารางที่รูป 4.2 ซึ่งเอาท์ที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบนี้จะนำไปเข้าระหัสให้เป็นเลขฐานสองต่อไปเมื่อต้องการวงจรที่ความละเอียดสูงขึ้น จำเป็นต้องใช้วงจรเปรียบเทียบเพิ่มขึ้นโดยหาจำนวนวงจรเปรียบเทียบได้จาก สูตร $2^N - 1$ เมื่อ N แทนจำนวนบิตหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความละเอียดที่ต้องการ แต่จะเห็นว่าที่ความละเอียด 8 บิตต้องใช้วงจรเปรียบเทียบมากถึง 255 ตัวซึ่งเป็นข้อเสียของวงจรแบบนี้ ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือเอาท์พุทไม่เป็นเลขฐานสอง ต้องมีวงจรเพิ่มเติมไปทำการเข้าระหัส ข้อดีของวงจรคือมีความเร็วสูงมาก บางครั้งจึงต้องเรียกวงจรเอทูดีแบบนี้ว่าแบบ แฟลช วงจรชนิดนี้ใช้เวลาในการแปลงได้เร็วในระดับนาโนวินาที ทีเดียว



รูปที่4.1 แสดงการต่อวงจร PARALLEL COMPARATOR A/D CONVERTOR

แรงดันอินพุท V_{in} (โวลท์)	เอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบ			เอาท์พุทของเลขฐานสอง	
	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

ตารางที่4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุทที่เป็นอะนาลอกกับเอาท์พุทที่เป็นดิจิตอล

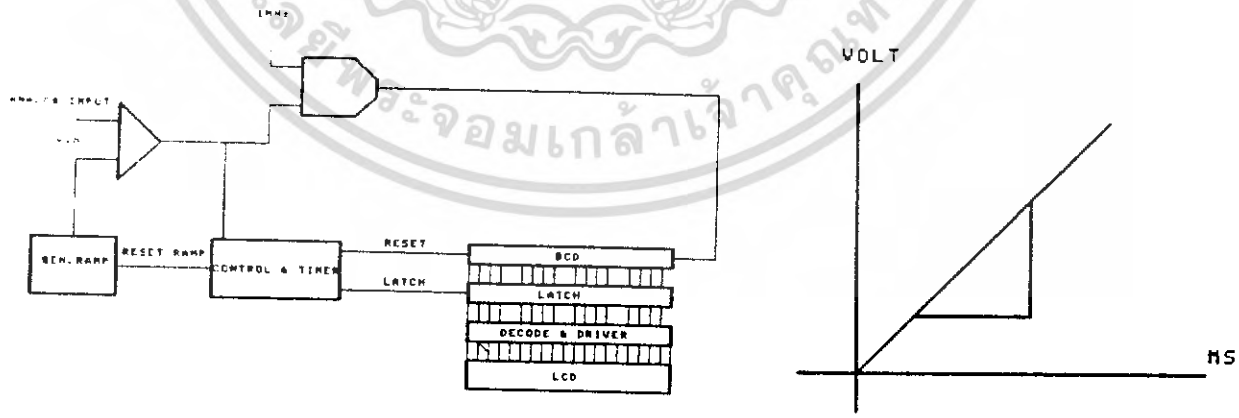
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วงจรเอทูดีที่ใช้การอินทีเกรต

วงจรเปลี่ยนสัญญาณเอทูดีที่ใช้เทคนิคการอินทีเกรตสัญญาณมีหลายแบบ คือ

1. แบบสโลปเดี่ยวหรือแบบแรมป์ (Single Ramp หรือ Single Stop A/D Convertor)

วงจรเอทูดีแบบนี้แสดงไว้ดังรูป ประกอบไปด้วย วงจรกำเนิดสัญญาณแรมป์,วงจรเปรียบเทียบ,วงจรนับ BCD เมื่อเริ่มทำการเปลี่ยนสัญญาณ สัญญาณแรมป์และวงจรนับจะถูกรีเซ็ตให้ให้เป็น 0 แรงดันอะนาลอกถูกป้อนไปยังวงจรเปรียบเทียบทางขาอินพุทบวก เมื่อแรงดันที่ขานี้มีค่าเป็นบวกมากกว่าขาลบ วงจรเปรียบเทียบจะให้เอาท์พุทออกมาเป็นระดับ high ทำให้แอนด์เกทปล่อยสัญญาณนาฬิกาผ่านไปยังวงจรนับได้และทำให้เกิดสัญญาณแรมป์เมื่อสัญญาณแรมป์มีแรงดันเป็นบวกขึ้นเรื่อยๆจนมากกว่าระดับแรงดันอินพุทเอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบก็ตกลงมาเป็นระดับ LOW ปิดแอนด์เกทไม่มีสัญญาณผ่านไปให้วงจรนับวงจรนับจะหยุดนับและเก็บค่าไว้ที่วงจรแลตช์จากนั้นจึงทำการรีเซตวงจรนับและวงจรกำเนิดสัญญาณแรมป์ สมมุติให้สัญญาณนาฬิกามีความถี่ 1 MHZ วงจรนับ BCD 4 หลักแรงดันอินพุท Vin =2v สัญญาณแรมป์มีความชัน 1 V/ms ดังแสดงในรูป 4.3(ข) จากจุดเริ่มต้นจนถึงแรงดันสูงสุด(2 v)สัญญาณแรมป์ใช้เวลา 2 ms หลังจากนี้จึงปิดสัญญาณที่ส่งไปให้วงจรนับ ซึ่งวงจรนับทำการนับถึง 200 ลูก วงจรลักษณะนี้มักนำไปใช้งานในการเปลี่ยนเวลาเป็นขนาดของสัญญาณหรืออาจใช้ในดิจิตอลโวลท์มิเตอร์ แต่ไม่ใช่กับงานที่ต้องการความถูกต้องเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในแหล่งกำเนิดสัญญาณแรมป์ขึ้นกับอุณหภูมิและผลตอบสนองต่อสัญญาณอินพุททำให้ไม่มีความถี่คงที่ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงให้ดีขึ้นกลายเป็นแบบสโลปคู่

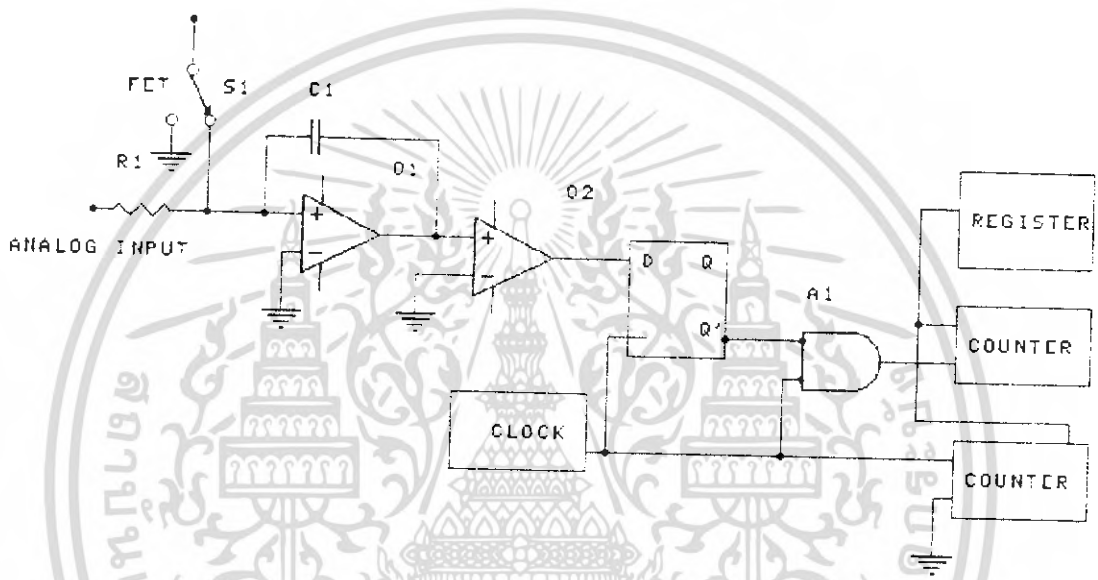


รูปที่ 4.3 วงจรเปลี่ยนสัญญาณเอทูดีแบบสโลปเดี่ยว
(ก)แสดงบล็อกไดอะแกรม (ข)ความชันของสัญญาณแรมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แบบเดลต้า-ซิกม่า (Delta-Sigma A/D Converters)

จากวงจรรูปที่ 4.4 เมื่อมีแรงดันอินพุทป้อนเข้ามาที่วงจรอินทิเกรตเทอร์จะให้เอาท์พุทไปเข้าวงจรเปรียบเทียบ เปรียบเทียบกับแรงดันคงที่(จากรูปคือกราวด์) พัลส์ของกระแสที่ได้ขึ้นอยู่กับเอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบ โดยการสวิทช์ที่ทำขึ้นจากเฟตจะควบคุมให้กระแสเข้าไปยังที่จุดรวมหรือลงกราวด์ไปส่วนวงจรนับจะนับวงจรพัลส์ด้วยหลักการที่คล้ายกัน



รูปที่ 4.4 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแบบเดลต้า-ซิกม่า

ข้อสรุปของเอทูดีแบบอินทิเกรตสัญญาณ

จุดสำคัญของอินทีเกรตติ้งเทคนิคคืออินพุทที่ให้กับวงจรอินทีเกรเตอร์ต้องเป็นกระแสไอซีคอนเวอร์เตอร์บางตัวอาจมีอินพุทให้สองขา แต่จะมีขาหนึ่งต่อตรงกับจุด summing point ใช้กับอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟโดยตรง ถ้าให้อินพุทเป็นกระแสก็ไม่ต้องคำนึงถึงแรงดันออฟเซตของวงจรอินทีเกรเตอร์แต่ถ้าใช้กับอินพุทที่เป็นแรงดันต้องปรับออฟเซตของออปแอมป์เสียก่อน การใช้อินพุทเป็นกระแสทำให้ย่านการใช้งานทางไฟสลับกว้าง

4.4 การทำงานของวงจร A/D

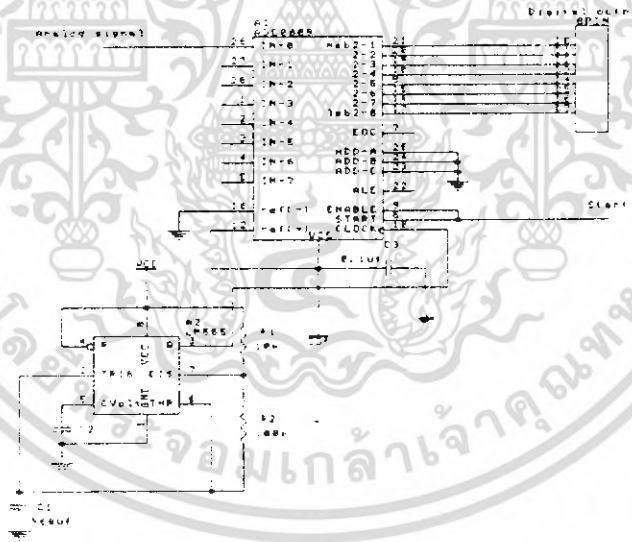
วงจร A/D ใช้ไอซี ADC0809 เป็นตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลจากรูปที่4.5 เนื่องจาก ADC0809 รับอินพุทได้ 5 Vdc แต่เราจึงใช้อินพุทได้ไม่เกิน 5 โวลท์ เอาท์พุทที่ออกมาจะป้อนเข้าสู่ขา อินพุทของ ADC0809 สำหรับ Clock ที่ป้อนให้ ADC0809 นั้น สร้างจากไอซี LM555 เอาท์พุทออกมาที่ได้จะมีความถี่ 500 kHz ถูกต่อเข้ากับขา 10 (CLK) ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0809 ส่วน Vref ที่ขา 16 ต่อลงกราวน์ สำหรับ A0-A2 ต่อลงกราวน์ ทั้งหมด ADC0809 จะทำงานเมื่อขา Start ,ALE,OE เป็น “1” ADC0809 จะรับค่าสัญญาณอนาล็อกทางด้านอินพุทแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลออกทางเอาท์พุทที่ขา D0-D7

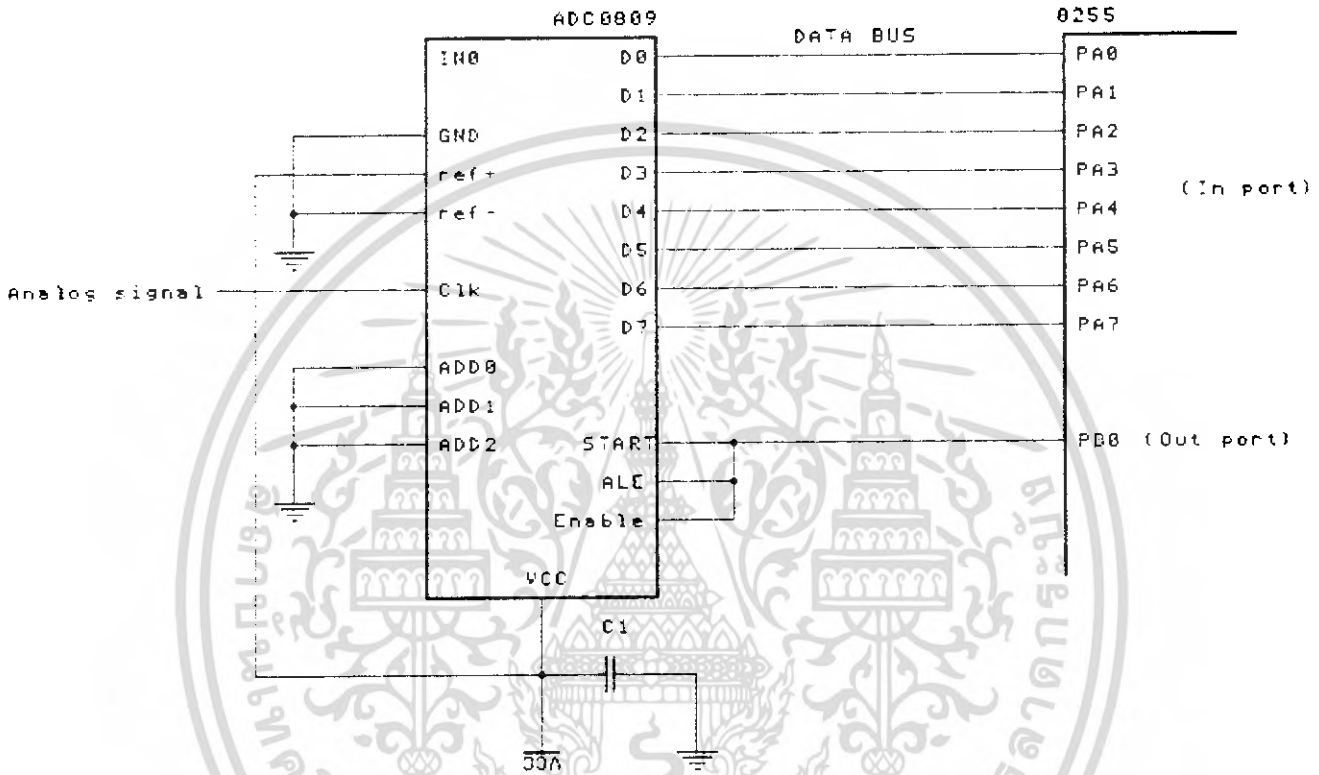
4.5 การเชื่อมต่อไอซี ADC0809 กับไมโครโปรเซสเซอร์บอร์ด (Interfacing)

การอินเตอร์เฟสกับไมโครโปรเซสเซอร์ จะเชื่อมต่อผ่านทางพอร์ท8255 ของไมโครโปรเซสเซอร์ โดยให้พอร์ท A เป็นพอร์ทที่ใช้สำหรับรับข้อมูลจากไอซี ADC0809 ส่วนพอร์ท B ใช้เป็นพอร์ทสำหรับส่งสัญญาณรับค่าไปยังไอซี ADC0809 เพื่อที่จะรับค่าเข้ามาทางพอร์ท A ดังแสดงในรูป 4.6 ส่วนการควบคุมจะใช้การเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี้รับค่าจาก ADC0809 โดยการส่งสัญญาณทริกไปที่ขา Start ของ ADC0809 ซึ่งจะทำให้ ADC0809 ทำงาน



รูปที่ 4.5 แสดงการต่อวงจรของไอซี ADC0809

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงการอินเตอร์เฟสไอซี ADC0809 กับไมโครโปรเซสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การแสดงผล

5.1 แผงแสดงแบบผลึกเหลว (LCD)

ผลึกเหลวมีอยู่หลายชนิด ขึ้นกับคุณสมบัติของสารว่าหลังจากสนามไฟฟ้าแล้วจัดเรียงตัวอย่างไร ชนิดที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิด ไดนามิกสแคทเทอริ่ง (Dynamic scattering) และชนิด ฟิลด์เอฟเฟค (Field effect)

สำหรับชนิดไดนามิกสแคทเทอริ่ง โมเลกุลของผลึกเหลวภาวะปกติจะเรียงตัวเป็นระเบียบมองแล้วจะเห็นใส แต่เมื่อป้อนสนามไฟฟ้าโมเลกุลของผลึกจะกระจัดกระจายมองเห็นเป็นสีเทา ส่วนชนิดฟิลด์เอฟเฟคใช้หลักการโพลาไรเซชั่น ส่วนที่ได้รับสนามไฟฟ้าจะหันเหทิศทางของขั้วปรากฏเป็นส่วนที่มืด บริเวณนอกนั้นจะสว่าง

ทั้งสองชนิดยังแบ่งออกไปอีก 2 แบบ คือ แบบส่งผ่าน (Transmissive) และ แบบสะท้อน (Reflective) LCD แบบส่งผ่านทำหน้าที่เป็นแผ่นกรองแสงจากด้านหลัง ส่วน LCD แบบสะท้อนทำหน้าที่เป็นแผ่นสะท้อนกรองแสงจากด้านหน้า จะกรองได้ก็ต่อเมื่อมีสนามไฟฟ้าป้อนให้มัน โครงสร้างทั่วๆ ไปจะเป็นแผ่นกระจก 2 แผ่นประกบกันมีผลึกเหลวอยู่ตรงกลาง

ข้อเด่นของแผงแบบ LCD คือต้องการแรงดันมาเพียงเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าเพื่อให้โมเลกุลเรียงตัวตามต้องการ ดังนั้นจึงกระแสน้อยมาก กำลังงานที่ดึงเมื่อทุกส่วนทำงานมักจะน้อยกว่า 25 μW ข้อเสียของแบบนี้ก็คือต้องมีแสงจากภายนอก และใช้งานที่ช่วงอุณหภูมิแคบๆ ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 0° C ผลึกเหลวจะทำงานน้อยลงกว่าปกติมาก ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าประมาณ 50°C ผลึกเหลวจะเปลี่ยนรูปเป็นของเหลว การทำงานจะผิดพลาดไปจากที่ควรเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การควบคุมการแสดงผลของ LCD (Control Liquid crystal display)

LCD ที่ใช้แสดงผลนี้ใช้ LCD แบบตัวอักษร ของบริษัทอีทีบอร์ด ซึ่งมีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ

1. ดอทเมตริก (Dot matrix) เป็นตัวแสดงผลให้มองเห็นในลักษณะการปิดและเปิดตัวเองกับแสงก็คือ ส่วนของที่เป็นตัวกระจกบรรจุผลึก

2. ไดรเวอร์ (Driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับผลึก LCD อีกทีหนึ่งโดยใช้ไอซีเบอร์ HD44100H

3. คอนโทรลเลอร์ (Controller) เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกเข้ามาจัดการควบคุม ทำให้เกิดการแสดงผล เช่น การลบจอภาพ, การเกิดตัวอักษร ไอซีที่ใช้เป็นเบอร์ HD4478

การศึกษาและทดลองการใช้งานของ LCD โมดูล (module) จะศึกษาและทดลองในส่วนของ คอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีหลักการทำงานเป็นแบบมาตรฐาน

ไอซี HD44780 เป็นไอซี LSI ตัวหนึ่งใช้ควบคุม LCD โดยแสดงผลในรูปตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ต่างๆ ในตัวมันเอง ไอซีนี้สามารถต่อใช้งานแบบ 4 บิต หรือ 8 บิต ก็ได้ โดยถ้าต่อแบบ 4 บิต จะต่อใช้งานที่ DB7-DB4 เท่านั้น โดยข้อมูลครั้งแรกที่ส่งนั้นจะถือว่าเป็นข้อมูล 4 บิตบน และข้อมูลที่ส่งต่อมานั้นเป็นข้อมูล 4 บิต ล่าง

การคอนโทรลไอซี HD44780

1. ล้างหน้าจอ (Clear display)

Clear display

RS	R/W	DB7							DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กลับสู่ตำแหน่งเดิม (Return home)

Return home

RS	R/W	DB7							DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	*

* No effect

คำสั่งนี้จะทำการ Set DD RAM address เป็นศูนย์ ตัวเคอร์เซอร์ จะกลับไปอยู่ตำแหน่งบนสุดซ้ายมือของจอภาพ ข้อมูลในจอภาพไม่เปลี่ยน

3. ควบคุมการอ่านหรือเขียนข้อมูลลง DD RAM (Entry mode set)

Entry mode set

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

Bit I/D : เป็นตัวกำหนดให้ว่าเมื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลแล้วจะทำให้ DD RAM address เพิ่มขึ้นหรือลดลงหนึ่ง โดย

1 = เพิ่ม

2 = ลดลงหนึ่ง

Bit S : กำหนดการแสดงผล โดย

S=1 ใส่ข้อมูลแล้วตัวเคอร์เซอร์ อยู่กับที่ข้อมูลจะถูกดันไปทางซ้าย

S=2 ใส่ข้อมูลจะอยู่กับที่ 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 : เป็นบิท ให้เปิดปิดหน้าจอภาพโดยถ้า

D=1 จะ ON

D=0 จะ OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bit C : จะแสดงเคอร์เซอร์ ให้ บิท C=1 และถ้าไม่ต้องการแสดงเคอร์เซอร์ บิท C=0 โดยตัวเคอร์เซอร์ จะอยู่ที่แถว ที่8 ในแบบ 5x7 จุด และจะอยู่แถว ที่11 ในแบบ 5x10 จุด

Bit B : เป็นบิท ที่เซ็ต การกระพริบของเคอร์เซอร์ โดยมีระยะเวลากระพริบประมาณ 379.2 ms

B=1 จะกระพริบ

B=0 ไม่มีการกระพริบ

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 หรือข้อมูลไปเกิดทางซ้ายหรือทางขวาโดยไม่ต้องใช้คำสั่งเขียนหรืออ่าน โดย

S/C	R/L	
0	0	ทำการย้ายเคอร์เซอร์ ไปจากตำแหน่งเดินไปทางซ้ายมือ 1 ตำแหน่ง
0	1	ทำการย้ายเคอร์เซอร์ ไปจากตำแหน่งเดินไปทางขวามือ 1 ตำแหน่ง
1	0	เป็นการดันตัวอักษรที่เกิดไปทางซ้าย
1	1	เป็นการดันตัวอักษรที่เกิดไปทางขวา

6. ควบคุมการเซ็ทฟังก์ชั่น (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 4 bit โดย

DL=0 เป็นการติดต่อแบบ 4 Bit

DL=1 เป็นการติดต่อแบบ 8 Bit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bit N : เป็นการเซ็ท บรรทัดการแสดงผล

N=0 แสดง 1 บรรทัด

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

Bit F : เป็นการเซ็ท ขนาดดอทการแสดงผล

F=0 เป็นแบบ 5x7

F=1 เป็นแบบ 5x10

7. ควบคุมการเซ็ทแอดเดรสของ CG RAM (Set CG RAM address)

Set CG RAM address

RS	R/W	DB7							DB0
0	0	0	1	A	A	A	A	A	A

Higher Bit Lower Bit

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 คำสั่งนี้จะเป็นการเซ็ทแอดเดรส ใน CG RAM โดยต้องทำการ เซ็ทแอดเดรสก่อนเขียนหรืออ่านข้อมูลจาก CG RAM ด้วย

8. ควบคุมการเซ็ทแอดเดรสของ DD RAM (Set DD RAM address)

Set DD RAM address

RS	R/W	DB7							DB0
0	0	1	A	A	A	A	A	A	A

Higher Bit Lower Bit

เป็นคำสั่งเซ็ท ค่าแอดเดรส ใน DD RAM ในการเขียนหรืออ่านค่าจาก DD RAM (DD RAM คือส่วนที่จะแสดงผลหน้าจอ LCD) โดยจำนวนแอดเดรส ที่จะเกิดขึ้นบนหน้าจอ LCD จะอยู่กับเซ็ท ค่า N ด้วย

N=0 (1บรรทัด) แอดเดรส จะอยู่ 00H-4FH

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

40H-67H สำหรับบรรทัดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบการจัดแอดเดรส ของ 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	0F	10	11	12	13
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F	50	51	52	53

9. คำสั่งอ่านค่าบักซี (Read busy flag and address)

Read busy flag and address

RS	R/W	DB7							DB0
0	1	BF	A	A	A	A	A	A	A
				Higher Bit			Lower Bit		

เป็นคำสั่งอ่านค่าบักซี่เฟลก (Busy Flag) ซึ่งจะเป็นตัวบอกว่าตัว นี้อยู่ในขบวนการทำงานภายในอยู่หรืออยู่ในสภาพพร้อมจะรับข้อมูล โดย

BF=1 อยู่ในกระบวนการภายในไม่พร้อมจะรับข้อมูลหรือ คำสั่ง

BF=0 พร้อมที่จะรับข้อมูลหรือ คำสั่งได้

และนอกจากนี้ยังเป็นคำสั่งอ่านค่าข้อมูลแอดเดรส ของ CG RAM หรือ DD RAM ด้วย

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

Write data to CG or DD RAM

RS	R/W	DB7							DB0
1	0	D	D	D	D	D	D	D	D
				Higher Bit			Lower Bit		

เป็นคำสั่งเขียนข้อมูลเข้าไปใน CG หรือ DD RAM โดยเมื่อเขียนข้อมูลและ Address จะเพิ่มหรือลดโดยอัตโนมัติตามคำสั่งที่เซ็ท ใน Entry mode ข้อกำหนดที่จะรู้ว่าเป็นการเขียนข้อมูลของ CG RAM หรือ DD RAM ทำได้โดยการเซ็ทแอดเดรสของ CG RAM ขึ้นมาก่อนจะเขียนข้อมูล Set DD RAM แอดเดรส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

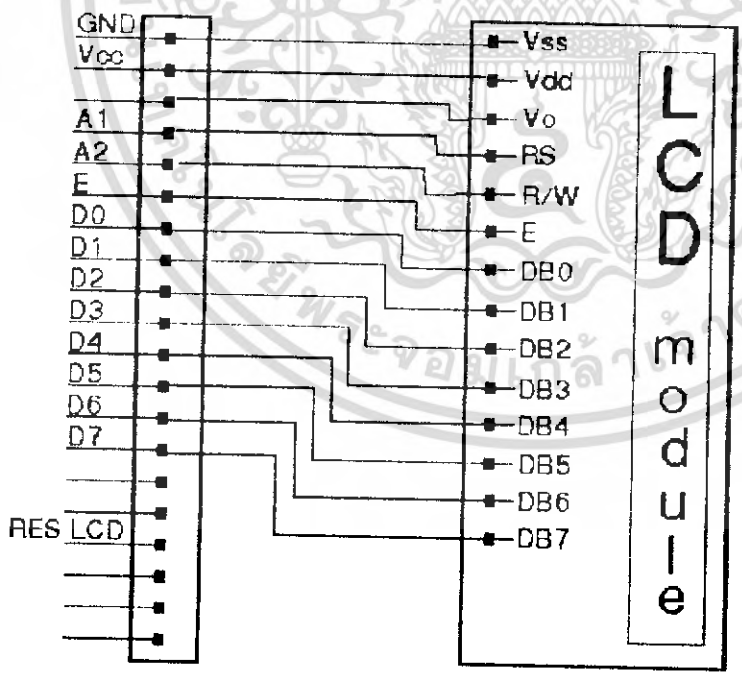
11. คำสั่งอ่านค่าข้อมูลจาก CG RAM หรือ DD RAM (Read data from CG or DD RAM)

Read data from CG or DD RAM

RS	R/W	DB7							DB0
1	1	D	D	D	D	D	D	D	D

Higher Bit Lower Bit

เป็นคำสั่งอ่านค่าข้อมูลจาก CG RAM หรือ DD RAM โดยก่อนอ่านค่าจาก DD RAM หรือ CG RAM นี้ควรจะใช้คำสั่ง Set address ก่อนเพื่อให้รู้ว่าข้อมูลที่อ่านได้นั้นเป็น DD หรือ CG RAM จะเห็นว่าการใช้งาน LCD module นั้นง่าย เพียงแต่เราส่งคำสั่งเริ่มแรกและ Set ความต้องการในขนาดตัวอักษร, เคอร์เซอร์ หลังจากนั้นเราสามารถเขียนตัวอักษรเข้าไปใน DD RAM ตามตารางตัวอักษรที่ที่ให้มานั้น ก็จะเกิดตัวอักษรในจอภาพ LCD เรายังสามารถกำหนดตำแหน่งตัวอักษรที่จะเกิดขึ้นบนจอได้โดยการ Set DD RAM address ตามตารางที่ให้มาในหัวข้อ



รูปที่5.1 แสดงการต่อ LCD โมดูลกับ LCD พอร์ทของบอร์ด JR-180

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*****************************************************
;********** PROGRAM SET & SHOW LCD **************
;*****************************************************
            CPU   "Z180.TBL"
            HOF   "INT8"
            ORG   8000H
CTRL_LCD    EQU 0C0H          ;I/O LCD PORT
WRDATA      EQU 0C2H          ;I/O LCD PORT
RDFLAG      EQU 0C4H          ;I/O LCD PORT

;********** MAIN PROGRAM **********
            CALL  INITLCD
MAIN:       CALL  SHW_FUNC1
            CALL  SHW_FUNC2
            JR    MAIN
;********** INITIAL LCD **********
INITLCD:    LD    A,38H       ;Function Set (00111000B)
            OUT   (CTRL_LCD),A
            CALL  CHK_BUSY
            LD    A,0CH       ;Display ON/OFF (00001100B)
            OUT   (CTRL_LCD),A
            CALL  CHK_BUSY
            LD    A,01H       ;Clear Screen (0000 0001B)
            OUT   (CTRL_LCD),A
            CALL  CHK_BUSY
            LD    A,06H       ;Entry Mode Set (0000 0110B)
            OUT   (CTRL_LCD),A
            CALL  CHK_BUSY
            RET
;********** SET_DDRAM **********
SET_DDRAM:  SET   7,A           ;Set bit7 = "1"
            OUT   (CTRL_LCD),A
            CALL  CHK_BUSY
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                RET
;********** CHK_BUSY **********
CHK_BUSY:   IN      A,(RDFLAG)
                BIT     7,A             ;Chack Bit "7"
                JR      NZ,CHK_BUSY ;Bit7 = "0" to RET
                RET
;********** SHW_FUNC1 **********
SHW_FUNC1: LD       HL,TAB_FUNC1
                LD      A,00H           ;Address Row1 Colume1 = "00H"
                CALL    SET_DDRAM
                CALL    WRLINE
                RET
;********** SHW_FUNC2 **********
SHW_FUNC2: LD       HL,TAB_FUNC2
                LD      A,40H           ;Address Row2 Colume2 = "40H"
                CALL    SET_DDRAM
                CALL    WRLINE
                RET
;********** WRITE LINE **********
WRLINE:     LD      B,14H
WRLINE1:    LD      A,(HL)
                OUT     (WRDATA),A
                CALL    CHK_BUSY
                INC     HL
                DJNZ    WRLINE1
                RET
TAB_FUNC1:  DFB     50H,72H,6FH,67H,72H,61H,6DH,20H,62H,79H
                DFB     2EH,2EH,50H,49H,59H,41H,57H,41H,54H,7FH

TAB_FUNC2:  DFB     2AH,2AH,2AH,2AH,2AH,2AH,2AH,2AH,2AH,2AH
                DFB     2AH,2AH,2AH,2AH,2AH,2AH,2AH,2AH,2AH,2AH

END
```

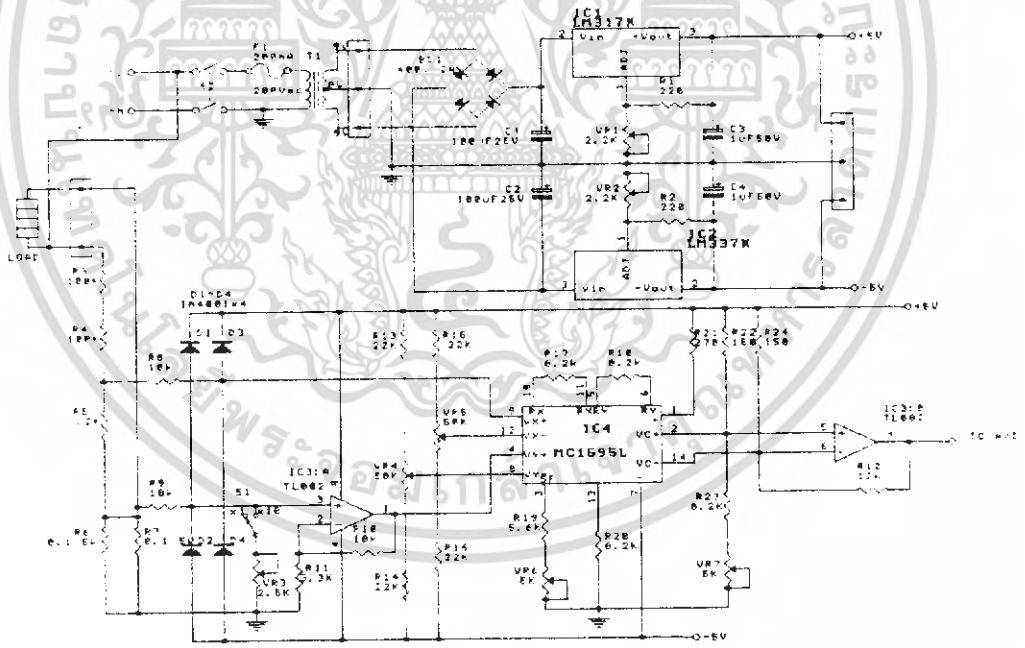
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดลอง

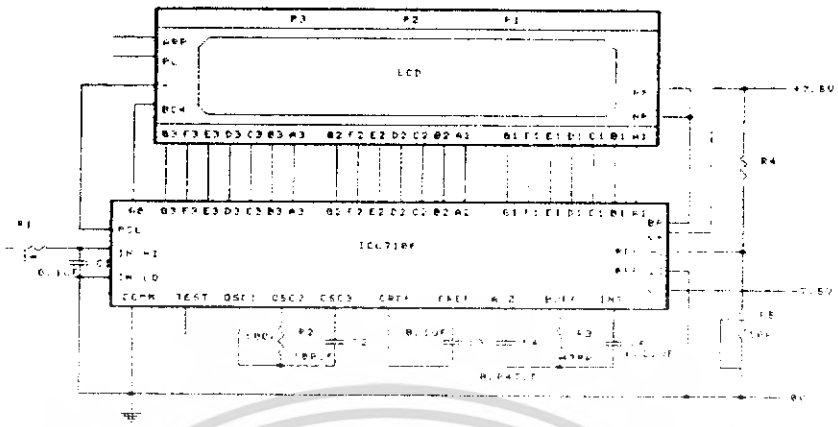
6.1 การทดลองและปรับแต่งวงจรวัดกำลังไฟฟ้า (Wattmeter)

จากวงจรรูปที่6.1 เป็นวงจรที่ต้องทำการทดลองวัดกำลังไฟฟ้าจากโหลดและต้องปรับแต่งให้ได้ค่าที่ออกมาตรงกับความเป็นจริง การทดลองในขั้นแรกใช้ไอซีเบอร์ 7106 เป็นไอซีสำหรับเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล และเป็นไดร์เวอร์ขับจอ LCD ในตัววงจรแสดงในรูปที่6.2 ผลการทดลองเป็นไปตามตารางที่6.1



รูปที่ 6.1 วงจรเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 แสดงวงจรภาคแสดงผลที่ใช้ในการทดลอง

โหลดที่ใช้ทดลอง	กำลังไฟฟ้าจริง (Watt)	กำลังไฟฟ้าที่แสดงออกทางจอ LCD (Watt)
หลอดไฟ	40	41 ~45
Over head	380	350 ~385
กาต้มน้ำไฟฟ้า	670	660 ~670
หลอดไฟ+Over head	420	400 ~420
หลอดไฟ+กาต้มน้ำ	710	700 ~730
กาต้มน้ำ+Over head	1050	1000 ~1080
หลอดไฟ+กาต้มน้ำ+ Over head	1090	1000 ~1100

ตารางที่6.1 แสดงการทดลองวัดกำลังไฟฟ้าและแสดงออกทาง LCD

จากตารางที่6.1 ผลที่ออกมาใกล้เคียงกับค่าจริง จากนั้นทำการวัดแรงดันเอาท์พุทจากวงจรเพื่อหาแรงดันสูงสุดและต่ำสุด เพื่อที่จะควบคุมแรงดันให้อยู่ในช่วง 0-5 โวลท์ ซึ่งเป็นแรงดันที่ใช้สำหรับเป็นอินพุทของไอซี ADC0809 ตารางที่ 6.2 แสดงผลการทดลองวัดโหลดเพื่อหาค่าแรงดันเอาท์พุทจากวงจร

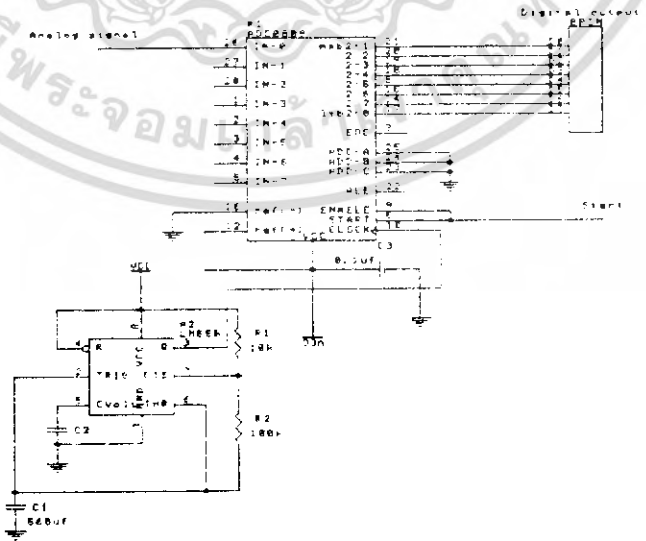
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลดที่ใช้ทดลอง	กำลังไฟฟ้าจริง (Watt)	แรงดันเอาท์พุท (Volt)
NO load	0	0
หลอดไฟ	40	0.38
Over head	380	1.5
กาต้มน้ำไฟฟ้า	670	2.5
หลอดไฟ+Over head	420	1.8
หลอดไฟ+กาต้มน้ำ	710	2.4
กาต้มน้ำ+Over head	1050	3.8
หลอดไฟ+กาต้มน้ำ+Over head	1090	3.9

ตารางที่6.2 แสดงผลการวัดค่าแรงดันเอาท์พุทของวงจร

6.2 การทดลองวงจรอนาลอก-ดิจิตอล คอนเวอร์เตอร์ (Analog to digital convertor)

การทดลองในส่วนนี้เพื่อที่จะได้ค่าที่ถูกต้องในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อป้อนให้กับไมโครโปรเซสเซอร์ ไอซีที่ใช้เป็นไอซีเบอร์ ADC0809 มีแรงดันอินพุทที่ใช้อยู่ในช่วง 0-5 โวลท์ ใช้วงจรในรูปที่ 6.3 ทดลองโดยป้อนแรงดันระหว่าง 0-5 โวลท์ เป็นอินพุท และวัดสัญญาณดิจิตอลเทียบกับอินพุท ผลที่ได้แสดงดังตารางที่6.3



รูปที่ 6.3 แสดงวงจร A/D converter โดยใช้ไอซี ADC0809

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Input voltage	Output	HEX	HEX to DEC
0	0000 0000	00	0
0.5	0001 1010	1A	26
1.0	0011 0100	34	52
1.5	0101 0000	50	80
2.0	0110 1010	6A	106
2.5	1000 0111	87	135
3.0	1010 0010	A2	162
3.5	1011 1101	BC	188
4.0	1101 0110	C6	198
4.5	1111 1000	F8	248
5.0	1111 1111	FF	255

ตารางที่ 6.3 แสดงผลการทดลองใช้ไอซี ADC0809

6.3 การทดลองวัดสัญญาณดิจิตอลจากวงจรใช้งานจริง

เมื่อทดลองทั้งสองส่วนแรกแล้ว นำวงจรวัดกำลังไฟฟ้าและวงจร A/D convertor มาต่อร่วมกัน โดยนำสัญญาณเอาท์พุทที่เป็นสัญญาณอนาลอกของวงจรวัดกำลังไฟฟ้ามาต่อกับอินพุทของวงจร A/D convertor แล้วต่อโหลดที่มีกำลังไฟฟ้าขนาดต่างๆ กัน และวัดสัญญาณเอาท์พุทที่เป็นสัญญาณดิจิตอล ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 6.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 การทดลองเขียนโปรแกรม

การพัฒนาโปรแกรมที่ใช้สำหรับควบคุมไมโครโปรเซสเซอร์แบ่งการเขียนออกเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

1.การเขียนโปรแกรมเซ็ตค่าจอ LCD และทดลองแสดงผล การเขียนโปรแกรมในส่วนนี้จะแสดงเป็นโฟลชาร์ทที่ 6.5

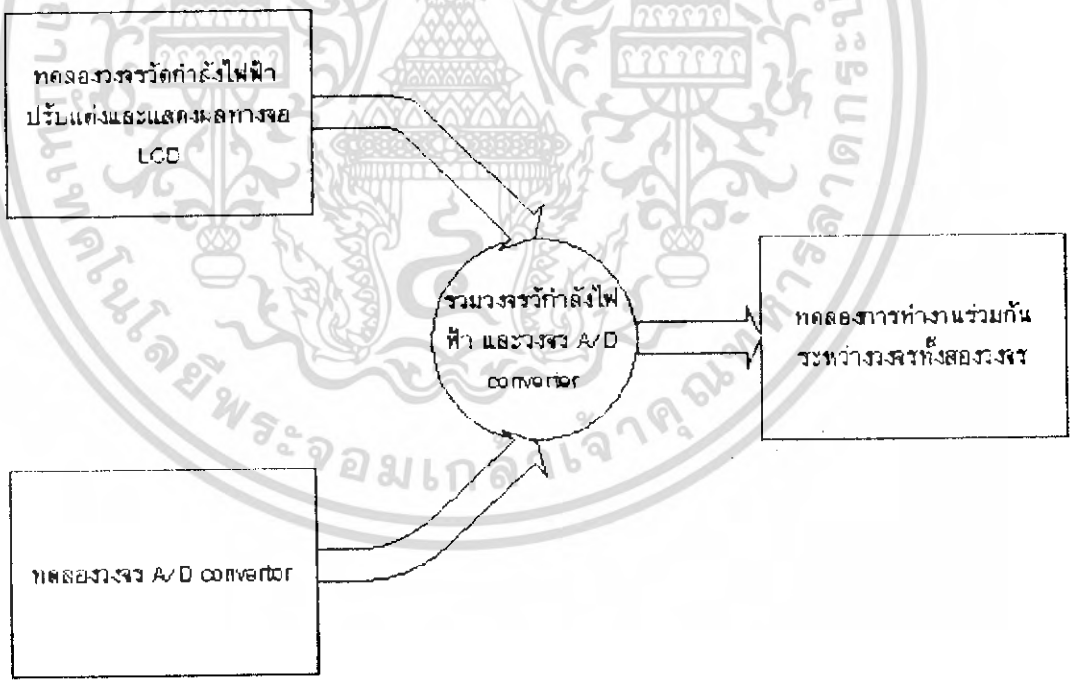
2.การเขียนโปรแกรมอินเตอร์เฟสไอซี ADC0809 กับไมโครโปรเซสเซอร์แสดงขั้นตอนการเขียนเป็นโฟลชาร์ทที่ 6.6

3.การเขียนโปรแกรมคำนวณข้อมูลแสดงนำแสดงที่จด LCD แสดงขั้นตอนการเขียนเป็นโฟลชาร์ทที่ 6.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

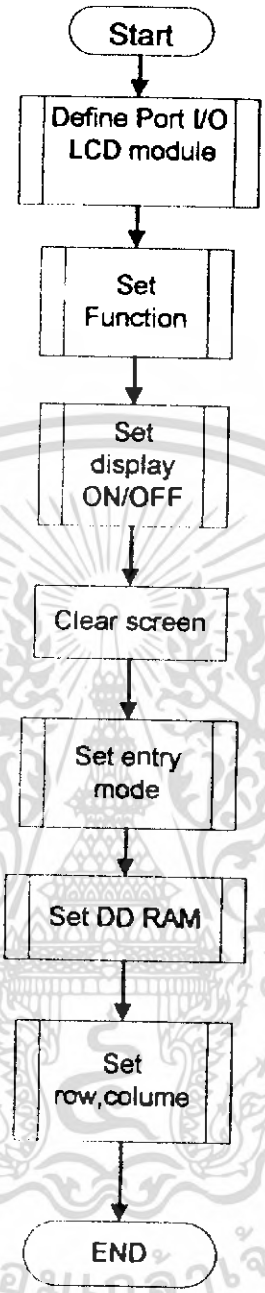
โหลดที่ใช้ทดลอง	กำลังไฟฟ้าจริง (watt)	Output	HEX to DEC
NO load	0	0000 0000	0
หลอดไฟ	40	0000 0100	4
Over head	380	0100 1111	79
กาต้มน้ำไฟฟ้า	670	1000 1011	140
หลอดไฟ+Over head	420	0101 ----	-
หลอดไฟ+กาต้มน้ำ	710	1001 0111	151
กาต้มน้ำ+Over head	1050	1100 1101	205
หลอดไฟ+กาต้มน้ำ+ Over head	1090	1100 1111	207

ตารางที่ 6.4 แสดงผลการทดลองวงจรใช้งานจริง



รูปที่ 6.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทดลองวงจรวัดกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

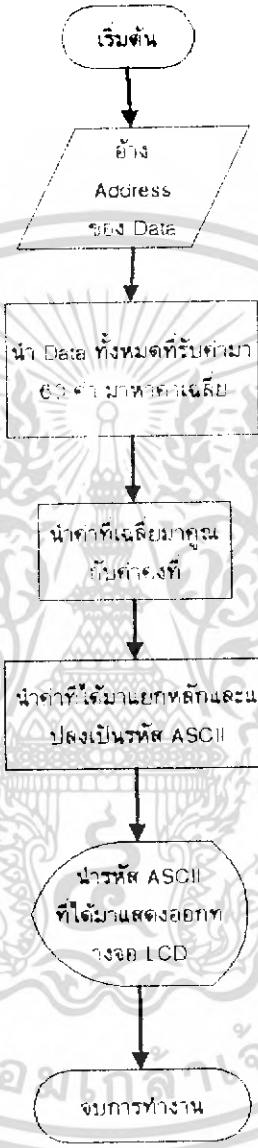


รูปที่ 6.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการเซ็ตค่าของจอ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.6 แสดงการอินเตอร์เฟสและรับค่าจาก A/D converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 แสดงการคำนวณข้อมูลเพื่อแสดงผลทาง LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 บทสรุป

จากโครงงานดิจิตอลวัตต์มิเตอร์นี้ได้แบ่งส่วนของโครงงานออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกเป็นส่วนของวงจรวัดกำลังไฟฟ้า โดยจากการทดลองในส่วนนี้ผลที่ปรากฏออกมานั้นไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากวงจรเดิมนั้นผลิตขึ้นมาใช้งานเฉพาะด้าน แต่เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับไมโครโปรเซสเซอร์แล้วจำเป็นต้องมีการปรับแต่งวงจรอีกพอสมควร ในส่วนที่สองเป็นส่วนควบคุมโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ เบอร์ Z80180 โดย RUN อยู่ในบอร์ดรุ่น CP-JR 180 เป็นบอร์ดที่ง่ายต่อการเขียนโปรแกรมเพราะสามารถเขียนโปรแกรมผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง โดยส่วนรวมแล้วผลจากการทดลองเป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่ง ผลจากการพัฒนาโครงงานนี้ทำให้โครงงานชิ้นนี้สามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้าได้ 1500 วัตต์ และสามารถเก็บค่ากำลังไฟฟ้าไว้ในเมมโมรี่เพื่อประมวลผลแสดงออกทางจอ LCD ค่าที่แสดงออกทางจอ LCD เป็นค่าของกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในขณะนั้น

7.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากโครงงานนี้ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นส่วนควบคุ ม ดังนั้นจึงสามารถพัฒนาโครงงานนี้ได้ง่าย เพียงแต่ปรับปรุงที่ซอฟแวร์หรือทางฮาร์ดแวร์เพียงเล็กน้อย ตัวอย่างการพัฒนาโปรเจคนี้สามารถนำค่าที่วัดได้มาประมวลผลและแสดงค่าเป็นกำลังไฟฟ้าต่อชั่วโมง หรือแสดงเป็น Unit ได้ โดยเปลี่ยนที่ซอฟแวร์เท่านั้น ตัวอย่างที่สำคัญในการพัฒนาคือ การต่อกับเครื่องส่งเพื่อส่งแสดงผลในระยะไกล โดยอาจจะส่งแบบ FSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. ไมตรี วรวุฒิจรรยากุล, "ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า เล่ม 3" ,ภาควิชาไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา,กันยายน 2530

2. อธิคม ฤกษบุตร, "วิเคราะห์ วงจรไฟฟ้า 1" ,โครงการตำราวิชาการ วิทยาลัยมหานคร, 2521

3. จิติ หนูแก้ว, "ไมโครโปรเซสเซอร์ และการออกแบบเบื้องต้น" ,ซีเอ็ดยูเคชั่น,2521

4. อ.นรินทร์ เนาวประทีป, "ออปแอมป์" ,สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ใช้งาน

```
                    ;************************************************
                    ;**********PROGRAM WATT-METER*****************
                    ;************************************************

                    ;======SET AUTO RUN=====
EFFE                    ORG     0EFFEH
EFFE 96A3           AUTORUN: DFB    96H,0A3H

0080 =      IN_A        EQU     080H        ;Port A =>Input port
0081 =      OUT_B       EQU     081H        ;Port B =>Output port
0082 =      OUT_C       EQU     082H        ;Port C =>Output port
0083 =      CLT_PORT    EQU     083H        ;Control port

00C0 =      CTRL_LCD    EQU     0C0H            ;Control LCD port
00C2 =      WRDATA      EQU     0C2H            ;Write  LCD port
00C4 =      RDFLAG      EQU     0C4H            ;Read flag  port

F000                CPU   "Z180.TBL"
F000                HOF   "INT8"

9000                        ORG   9000H
9000                DATA:   DFS   60D       ;Store 60 data
903C                WAT:    DFS   5H        ;Decimal store 5 colume
9041 2057617474     QQ:     DFB   " Watt"
9046                BUF1:   DFS   2H
9048 00             ZEN:    DFB   00H
9049                TOTAL:  DFS   2H        ;Sumation 60 data
904B 00             AVG:    DFB   00H       ;Average data
904C                CAL:    DFS   2H        ;Multiple constant
904E 202020204B     TABLE1: DFB   "  KINGMONGKUT  "
9062 2020202020     TABLE2: DFB   "   Institute   "
9076 2020205465     TABLE3: DFB   " Techonology of "
908A 2020202020     TABLE4: DFB   "  LADKRABANG   "
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
909E 2020202020        TABLE5: DFB   '     >DIGITAL<     '
90B2 2020202020        TABLE6: DFB   '     WATT-METER    '
90C6 20504F5745        TABLE5: DFB   ' POWER:--'7EH

8000                   ORG    8000H
8000 CD2281   MAIN:      CALL   DISPLAY1
8003 CD1080   MAIN1:     CALL   GET
8006 CD4180              CALL   CALC1
8009 CD3E81              CALL   DISPLAY2
800C CD0380              CALL   MAIN1
800F DF                  RST    18H

        ;********** PROGRAM INTERFACE IC A/D0809 **********

8010 C5       GET:       PUSH   BC
8011 210090              LD     HL,DATA      ;Address store data
8014 063C                LD     B,60D
8016 3E90                LD     A,90H        ;Set port D7 D6 D5 D4 D3 D2
D1 D0
8018 D383                OUT    (CLT_PORT),A      ;     1  0  0  1  0  0
0  0
801A CD3480   LOOP:      CALL   DELAY
801D 3E00                LD     A,00H
801F D381                OUT    (OUT_B),A
8021 CD3480              CALL   DELAY
8024 3EFF                LD     A,0FFH
8026 D381                OUT    (OUT_B),A
8028 CD3480              CALL   DELAY
802B AF                  XOR    A
802C DB80                IN     A,(IN_A)
802E 77                  LD     (HL),A
802F 23                  INC    HL
8030 10E8                DJNZ   LOOP
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
8032 C1                 POP   BC
8033 C9                 RET

8034 08      DELAY:     EX    AF,AF'
8035 D9                 EXX
8036 210004             LD    HL,0400H
8039 2B      LAY1:      DEC   HL
803A 7D                 LD    A,L
803B B4                 OR    H
803C 20FB               JR    NZ,LAY1
803E 08                 EX    AF,AF'
803F D9                 EXX
8040 C9                 RET

        ;>>>PROGRAM CALCULATE DATA<<<
8041 C5      CALC1:     PUSH  BC
8042 210000             LD    HL,0000H
8045 224990             LD    (TOTAL),HL
8048 1600               LD    D,00H
804A DD210090           LD    IX,DATA
804E 063C               LD    B,60D
8050 DD7E00     L1:     LD    A,(IX+0)      ;Summation data->data+60
8053 5F                 LD    E,A
8054 19                 ADD   HL,DE
8055 DD23               INC   IX
8057 10F7               DJNZ  L1
8059 224990             LD    (TOTAL),HL
805C 16FF               LD    D,0FFH        ;DE = 2'comprement of 60
D
805E 3E3C               LD    A,60D
8060 2F                 CPL
8061 5F                 LD    E,A
8062 13                 INC   DE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
8063 06FF          LD    B,0FFH
8065 04      L2:   INC   B          ;Averge
8066 19            ADD   HL,DE
8067 38FC          JR    C,L2
8069 78            LD    A,B
806A 324B90        LD    (AVG),A
806D 47      M6:   LD    B,A
806E 0E06          LD    C,06H
8070 ED4C          MLT   BC         ;Avg Multiple with 6
8072 ED434C90 EX:  LD    (CAL),BC
8076 DD2A4C90      LD    IX,(CAL)
807A 11F0D8        LD    DE,0D8F0H  ;2'comprement 10,000D
807D 3E00          LD    A,00H
807F 324890        LD    (ZEN),A
8082 06FF          LD    B,0FFH
8084 DD224690 X1:  LD    (BUF1),IX
8088 04            INC   B
8089 DD19          ADD   IX,DE
808B 38F7          JR    C,X1
808D 78            LD    A,B
808E C630          ADD   A,30H      ;Ascii code converion
8090 FE30          CP    30H
8092 CC0281        CALL  Z,MARK
8095 323C90        LD    (WAT),A
8098 DD2A4690      LD    IX,(BUF1)
809C 06FF          LD    B,0FFH
809E 1118FC        LD    DE,0FC18H
80A1 DD224690 X2:  LD    (BUF1),IX
80A5 04            INC   B
80A6 DD19          ADD   IX,DE
80A8 38F7          JR    C,X2
80AA 78            LD    A,B
80AB C630          ADD   A,30H      ;Ascii code converion
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
80AD FE30          CP    30H
80AF CC1481        CALL  Z,ZERO
80B2 C40C81        CALL  NZ,UNMARK
80B5 323D90        LD    (WAT+1),A
80B8 DD2A4690      LD    IX,(BUF1)
80BC 06FF          LD    B,0FFH
80BE 119CFF        LD    DE,0FF9CH
80C1 DD224690  X3: LD    (BUF1),IX
80C5 04            INC   B
80C6 DD19          ADD   IX,DE
80C8 38F7          JR    C,X3
80CA 78            LD    A,B
80CB C630          ADD   A,30H      ;Ascii code converion
80CD FE30          CP    30H
80CF CC1481        CALL  Z,ZERO
80D2 C40C81        CALL  NZ,UNMARK
80D5 323E90        LD    (WAT+2),A
80D8 DD2A4690      LD    IX,(BUF1)
80DC 06FF          LD    B,0FFH
80DE 11F6FF        LD    DE,0FFF6H
80E1 DD224690  X4: LD    (BUF1),IX
80E5 04            INC   B
80E6 DD19          ADD   IX,DE
80E8 38F7          JR    C,X4
80EA 78            LD    A,B
80EB C630          ADD   A,30H      ;Ascii code converion
80ED FE30          CP    30H
80EF CC1481        CALL  Z,ZERO
80F2 C40C81        CALL  NZ,UNMARK
80F5 323F90        LD    (WAT+3),A
80F8 3A4690        LD    A,(BUF1)
80FB C630          ADD   A,30H      ;Ascii code converion
80FD 324090        LD    (WAT+4),A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
8100 C1                 POP   BC
8101 C9                 RET


8102 F5          MARK:  PUSH  AF
8103 3E01               LD    A,01H
8105 324890             LD    (ZEN),A
8108 F1                 POP   AF
8109 3E20               LD    A,20H
810B C9                 RET

810C F5          UNMARK: PUSH  AF
810D 3E00               LD    A,00H
810F 324890             LD    (ZEN),A
8112 F1                 POP   AF
8113 C9                 RET

8114 F5          ZERO:  PUSH  AF
8115 3A4890             LD    A,(ZEN)
8118 FE01               CP    01H
811A 2802               JR    Z,ZE0
811C F1                 POP   AF
811D C9                 RET

811E F1          ZE0:   POP   AF
811F 3E20               LD    A,20H
8121 C9                 RET

          ;>>>DISPLAY PROGRAM<<<
8122 CD4F81   DISPLAY1:       CALL  INITLCD
8125 CD8881                   CALL  SHOW1
8128 CD9481                   CALL  SHOW2
812B CDFA81                   CALL  DELAY1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
812E CDA081          CALL   SHOW3
8131 CDAC81          CALL   SHOW4
8134 CDFA81          CALL   DELAY1
8137 CDB881          CALL   SHOW5
813A CDC481          CALL   SHOW6
813D C9              RET

813E CD4F81  DISPLAY2:CALL  INITLCD
8141 3E01            LD     A,01H
8143 D3C0            OUT    (CTRL_LCD),A
8145 CD6C81          CALL   CHK_BUSY
8148 CDD081          CALL   SHOW5
814B CDE581          CALL   SHW_CAL
814E C9              RET

814F 3E38    INITLCD: LD    A,38H        ;FUNCTION SET (00111000B)
8151 D3C0            OUT    (CTRL_LCD),A
8153 CD6C81          CALL   CHK_BUSY
8156 3E0C            LD     A,0CH        ;DISPLAY ON/OFF (00001100
B)
8158 D3C0            OUT    (CTRL_LCD),A
815A CD6C81          CALL   CHK_BUSY
815D 3E01            LD     A,01H
815F D3C0            OUT    (CTRL_LCD),A      ;CLEAR SCREEN
8161 CD6C81          CALL   CHK_BUSY
8164 3E06            LD     A,06H
8166 D3C0            OUT    (CTRL_LCD),A      ;ENTRY MODE SET
8168 CD6C81          CALL   CHK_BUSY
816B C9              RET

816C DBC4    CHK_BUSY:IN    A,(RDFLAG)
816E CB7F             BIT   7,A          ;Chack Bit "7"
8170 20FA             JR    NZ,CHK_BUSY ;Bit7 = "0" to RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
8172 C9                    RET

8173 CBFF   SET_DDRAM:SET   7,A          ;SET bit7="1"
8175 D3C0                  OUT   (CTRL_LCD),A
8177 CD6C81                CALL  CHK_BUSY
817A C9                    RET

817B 0E14   WRLINE:  LD    C,14H         ;Number of colume 20D
817D 7E       LINE:  LD    A,(HL)
817E D3C2                  OUT   (WRDATA),A
8180 CD6C81                CALL  CHK_BUSY
8183 23                    INC   HL
8184 0D                    DEC   C
8185 20F6                  JR    NZ,LINE
8187 C9                    RET

8188 214E90 SHOW1:  LD     HL,TABLE1
818B 3E00                  LD    A,00H          ;Address Row1 Colume1 = "00H"
818D CD7381                CALL  SET_DDRAM
8190 CD7B81                CALL  WRLINE
8193 C9                    RET

8194 216290 SHOW2:  LD     HL,TABLE2
8197 3E40                  LD    A,40H          ;Address Row2 Colume2 = "40H"
8199 CD7381                CALL  SET_DDRAM
819C CD7B81                CALL  WRLINE
819F C9                    RET
81A0 217690 SHOW3:  LD     HL,TABLE3
81A3 3E00                  LD    A,00H          ;Address Row2 Colume2 = "40H"
81A5 CD7381                CALL  SET_DDRAM
81A8 CD7B81                CALL  WRLINE
81AB C9                    RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
81AC 218A90   SHOW4: LD    HL,TABLE4
81AF 3E40             LD    A,40H          ;Address Row2 Colume2 = "40H"
81B1 CD7381           CALL  SET_DDRAM
81B4 CD7B81           CALL  WRLINE
81B7 C9               RET
81B8 219E90   SHOW5:  LD    HL,TABLE5
81BB 3E00             LD    A,00H          ;Address Row2 Colume2 = "40H"
81BD CD7381           CALL  SET_DDRAM
81C0 CD7B81           CALL  WRLINE
81C3 C9               RET

81C4 21B290   SHOW6:  LD    HL,TABLE6
81C7 3E40             LD    A,40H          ;Address Row2 Colume2 = "40H"
81C9 CD7381           CALL  SET_DDRAM
81CC CD7B81           CALL  WRLINE
81CF C9               RET
81D0 21C690   SHOW5:  LD    HL,TABLE5
81D3 3E00             LD    A,00H          ;Address Row1 Colume1 = "00H"
81D5 CD7381           CALL  SET_DDRAM
81D8 0E0B             LD    C,0BH
81DA 7E        WWR1:  LD    A,(HL)
81DB D3C2             OUT   (WRDATA),A
81DD CD6C81           CALL  CHK_BUSY
81E0 23               INC   HL
81E1 0D               DEC   C
81E2 20F6             JR    NZ,WWR1
81E4 C9               RET

81E5 213C90 SHW_CAL:  LD    HL,WAT
81E8 3E0A             LD    A,0AH
81EA CD7381           CALL  SET_DDRAM
81ED 0E0A             LD    C,0AH
81EF 7E        WR1:   LD    A,(HL)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

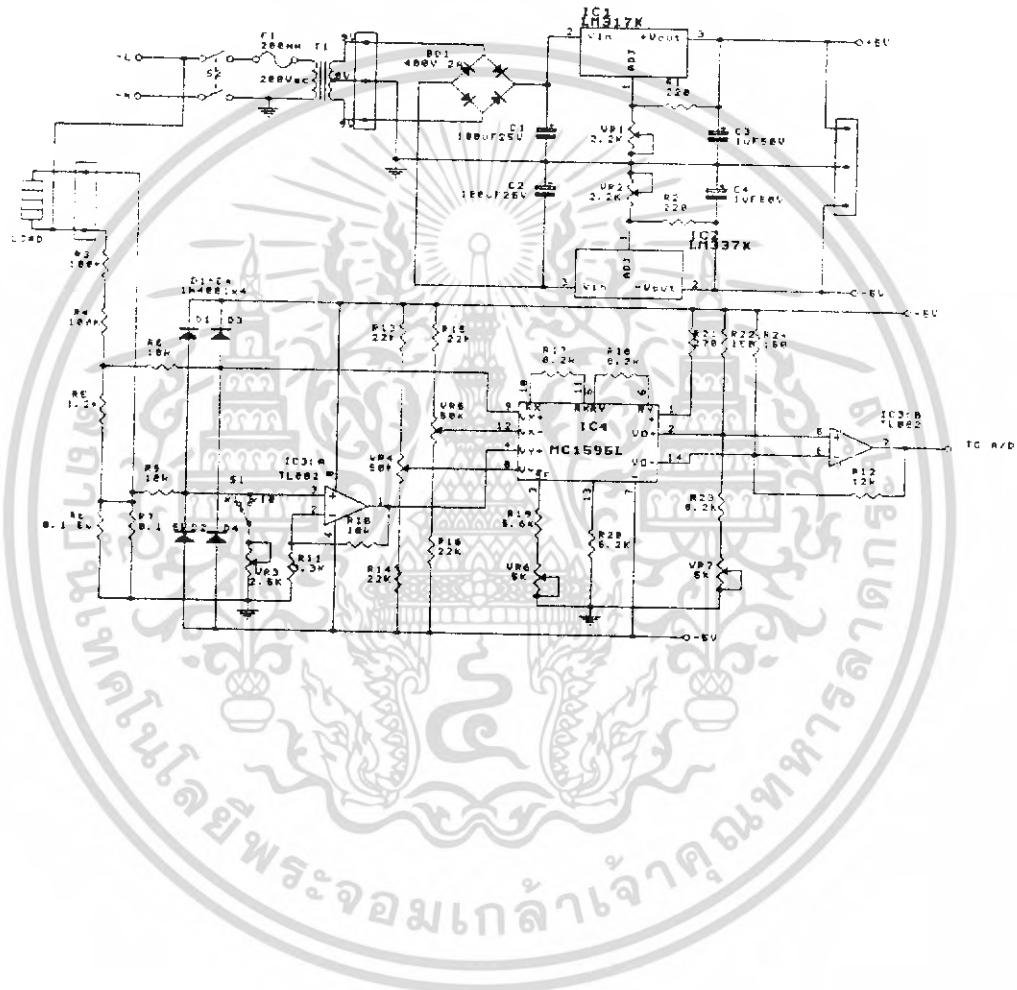
```
81F0 D3C2          OUT    (WRDATA),A
81F2 CD6C81        CALL   CHK_BUSY
81F5 23            INC    HL
81F6 0D            DEC    C
81F7 20F6          JR     NZ,WR1
81F9 C9            RET

81FA C5     DELAY1:PUSH   BC
81FB D5            PUSH   DE
81FC 0601          LD     B,01H
81FE 0E0A     DEL1:LD     C,0AH
8200 16CC     DEL2:LD     D,0CCH
8202 1EEE     DEL3: LD    E,0EEH
8204 1D       DEL4: DEC   E
8205 20FD          JR     NZ,DEL4
8207 15            DEC    D
8208 20F8          JR     NZ,DEL3
820A 0D            DEC    C
820B 20F3          JR     NZ,DEL2
820D 05            DEC    B
820E 20EE          JR     NZ,DEL1
8210 D1            POP    DE
8211 C1            POP    BC
8212 C9            RET


0000               END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFE AUTORUN
904B AVG
9046 BUF1
904C CAL
8041 CALC1
816C CHK_BUSY
0083 CLT_PORT
00C0 CTRL_LCD
9000 DATA
81FE DEL1
8200 DEL2
8202 DEL3
8204 DEL4
8034 DELAY
81FA DELAY1
8122 DISPLAY1
813E DISPLAY2
8072 EX
8010 GET
814F INITLCD
0080 IN_A
8050 L1
8065 L2
8039 LAY1
817D LINE
801A LOOP
806D M6
8000 MAIN
8003 MAIN1
8102 MARK
0081 OUT_B
0082 OUT_C
9041 QQ
00C4 RDFLAG
8173 SET_DDRAM
8188 SHOW1
8194 SHOW2
81A0 SHOW3
81AC SHOW4
81B8 SHOW5
81C4 SHOW6
81D0 SHOW5
81E5 SHW_CAL
904E TABLE1
9062 TABLE2
9076 TABLE3
908A TABLE4
909E TABLE5
90B2 TABLE6
90C6 TABLE5
9049 TOTAL
810C UNMARK
903C WAT
81EF WR1
00C2 WRDATA
817B WRLINE
81DA WWR1
8084 X1
80A1 X2
80C1 X3
80E1 X4
811E ZE0
9048 ZEN
8114 ZERO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
วงจรที่ใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

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

General Description

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

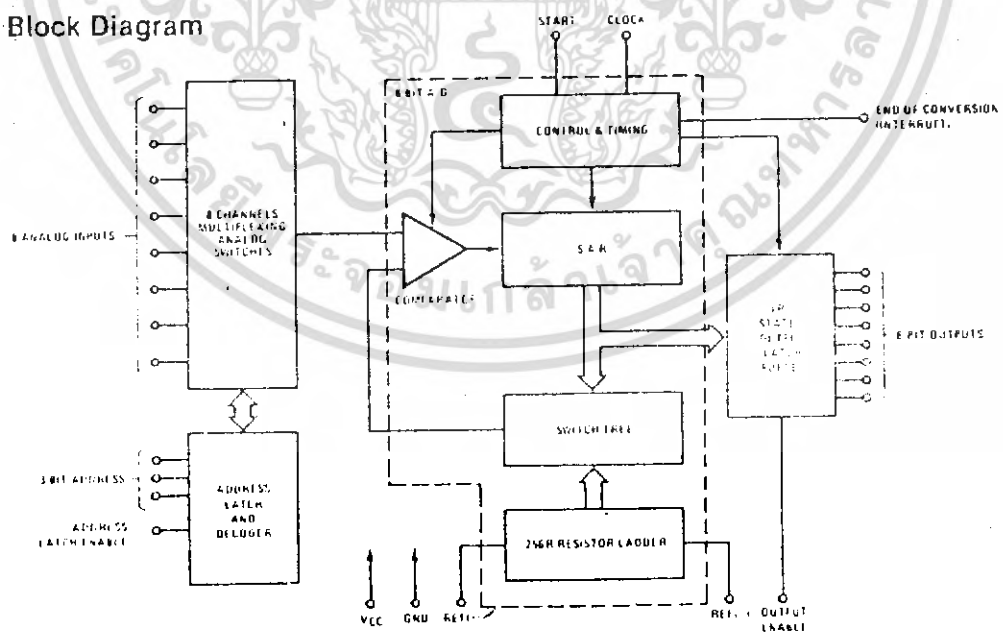
The device eliminates the need for external zero and full-scale adjustments. Easy interfacing to microprocessors is provided by the latched and decoded multiplexer address inputs and latched TTL TRI-STATE® outputs.

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

Features

- Resolution — 8-bits
- Total unadjusted error — ± 1/2 LSB and ± 1 LSB
- No missing codes
- Conversion time — 100 μs
- Single supply — 5 V_{DC}
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC} or analog span adjusted voltage reference
- 8-channel multiplexer with latched control logic
- Easy interface to all microprocessors, or operates "stand alone"
- Outputs meet T^2L voltage level specifications
- 0V to 5V analog input voltage range with single 5V supply
- No zero or full-scale adjust required
- Standard hermetic or molded 28-pin DIP package
- Temperature range −40°C to +85°C or −55°C to +125°C
- Low power consumption — 15 mW
- Latched TRI-STATE® output

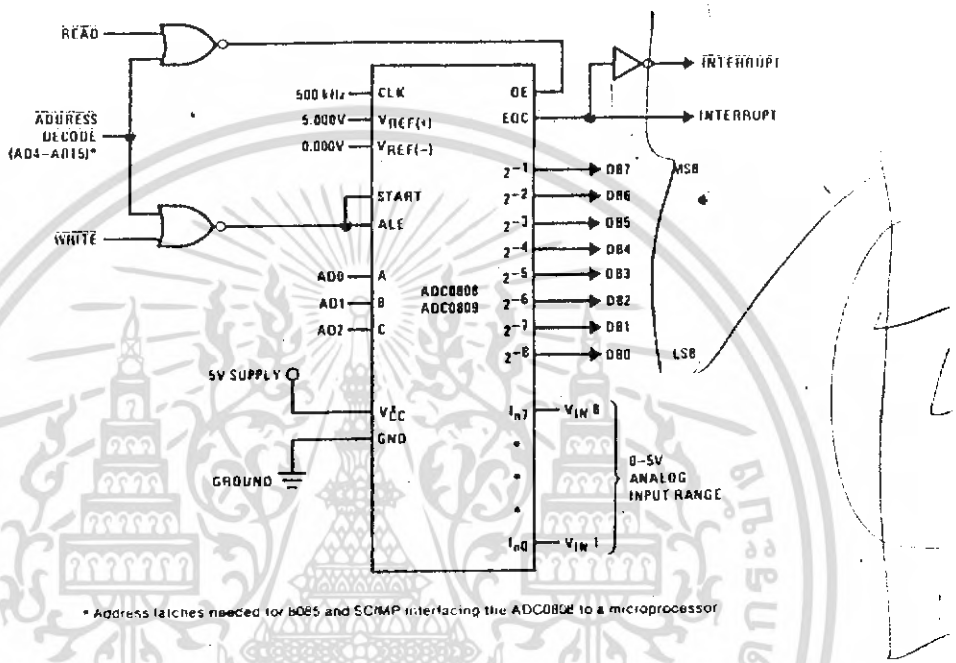
Block Diagram



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Application



* Address latches needed for 8085 and SCMP interfacing the ADC0808 to a microprocessor

MICROPROCESSOR INTERFACE TABLE

PROCESSOR	READ	WRITE	INTERRUPT (COMMENT)
8080	MEMR	MEMW	INTR (Thru RST Circuit)
8085	RD	WR	INTR (Thru RST Circuit)
Z-80	RD	WR	INT (Thru RST Circuit, Mode 0)
SC/MP	NRDS	NWDS	SA (Thru Sense A)
6800	VMA • Φ2 R/W	VMA • Φ2 R/W	IRQA or IRQB (Thru PIA)

Ordering Information

TEMPERATURE RANGE		−40°C to +85°C		−55°C to +125°C
Error	± 1/2 Bit Unadjusted	ADC0808CCN	ADC0808CCJ	ADC0808CJ
	± 1 Bit Unadjusted	ADC0809CCN		
Package Outline		N28A Molded DIP	J28A Hermetic DIP	J28A Hermetic DIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)

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

Parameter		Conditions	Min	Typ	Max	Units
DATA OUTPUTS AND EOC (INTERRUPT)						
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$I_O = -360\ \mu A$	$V_{CC}-0.4$			V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	$I_O = 1.6$ mA			0.45	V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage EOC	$I_O = 1.2$ mA			0.45	V
I_{OUT}	TRI-STATE® Output Current	$V_O = 5V$			3	μA
		$V_O = 0$	−3			μA

Electrical Characteristics

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

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t_{WS}	Minimum Start Pulse Width	*(Figure 5)*		100	200	ns
t_{WALE}	Minimum ALE Pulse Width	*(Figure 5)*		100	200	ns
t_s	Minimum Address Set-Up Time	*(Figure 5)*		25	50	ns
t_H	Minimum Address Hold Time	*(Figure 5)*		25	50	ns
t_D	Analog MUX Delay Time From ALE	$R_S = 0\Omega$ *(Figure 5)*		1	2.5	μs
t_{H1}, t_{H0}	OE Control to Q Logic State	$C_L = 50$ pF, $R_L = 10k$ *(Figure 8)*		125	250	ns
t_{1H}, t_{0H}	OE Control to Hi-Z	$C_L = 10$ pF, $R_L = 10k$ *(Figure 8)*		125	250	ns
t_c	Conversion Time	$f_c = 640$ kHz, *(Figure 5)* (Note 7)	90	100	116	μs
f_c	Clock Frequency		10	640	1280	kHz
t_{EOC}	EOC Delay Time	*(Figure 5)*	0		$8 + 2\ \mu s$	Clock Periods
C_{IN}	Input Capacitance	At Control Inputs		10	15	pF
C_{OUT}	TRI-STATE® Output Capacitance	At TRI-STATE® Outputs. (Note 12)		10	15	pF

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

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

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

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

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

Note 6: Comparator input current is a bias current into or out of the chopper stabilized comparator. The bias current varies directly with clock frequency and has little temperature dependence *(Figure 6)*. See paragraph 4.2.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Notes 1 and 2)

Supply Voltage (V_{CC}) (Note 3)	6.5V
Voltage at Any Pin Except Control Inputs	−0.3V to (V_{CC} + 0.3V)
Voltage at Control Inputs (START, OE, CLOCK, ALE, ADD A, ADD B, ADD C)	−0.3V to +15V
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C
Package Dissipation at T_A = 25°C	875 mW
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

Operating Ratings (Notes 1 and 2)

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

Electrical Characteristics

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

	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
	ADC0808					
	Total Unadjusted Error	25°C			± 1/2	LSB
	(Note 5)	T_{MIN} to T_{MAX}			± 3/4	LSB
	ADC0809					
	Total Unadjusted Error	0°C to 70°C			± 1	LSB
	(Note 5)	T_{MIN} to T_{MAX}			± 1 1/4	LSB
	Input Resistance	From Ref(+) to Ref(−)	1.0	2.5		kΩ
	Analog Input Voltage Range	(Note 4) V(+) or V(−)	GND−0.10		V_{CC}+0.10	V_{DC}
$V_{REF(+)}$	Voltage, Top of Ladder	Measured at Ref(+)		V_{CC}	V_{CC}+0.1	V
$\frac{V_{REF(+)} + V_{REF(-)}}{2}$	Voltage, Center of Ladder		V_{CC}/2−0.1	V_{CC}/2	V_{CC}/2+0.1	V
$V_{REF(-)}$	Voltage, Bottom of Ladder	Measured at Ref(−)	−0.1	0		V
	Comparator Input Current	f_c = 640 kHz, (Note 6)	−2	±0.5	2	μA

Electrical Characteristics

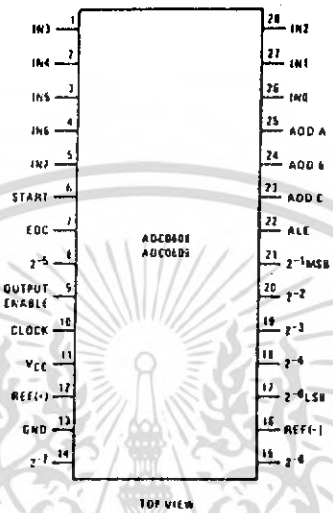
Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CJ 4.5V ≤ V_{CC} ≤ 5.5V, −55°C ≤ T_A ≤ +125°C unless otherwise noted
ADC0808CCJ, ADC0808CCN, and ADC0809CCN 4.75 ≤ V_{CC} ≤ 5.25V, −40°C ≤ T_A ≤ +85°C unless otherwise noted

	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ANALOG MULTIPLEXER						
$I_{OFF(+)}$	OFF Channel Leakage Current	V_{CC} = 5V, V_{IN} = 5V,				
		T_A = 25°C		10	200	nA
		T_{MIN} to T_{MAX}			1.0	μA
$I_{OFF(-)}$	OFF Channel Leakage Current	V_{CC} = 5V, V_{IN} = 0,				
		T_A = 25°C	−200	−10		nA
		T_{MIN} to T_{MAX}	−1.0			μA
CONTROL INPUTS						
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage		V_{CC}−1.5			V
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage				1.5	V
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current (The Control Inputs)	V_{IN} = 15V			1.0	μA
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current (The Control Inputs)	V_{IN} = 0V	−1.0			μA
I_{CC}	Supply Current	f_{CLK} = 640 kHz		0.3	3.0	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

onnection Diagram

Dual-In-Line Package



Timing Diagram

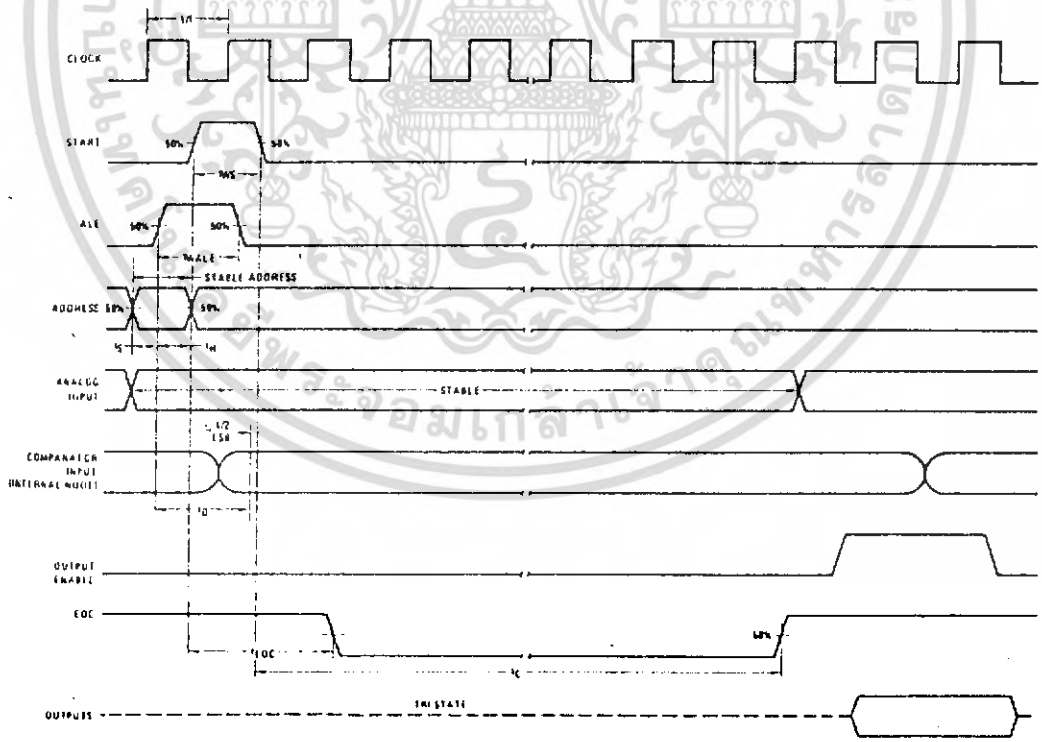


FIGURE 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1495L
MC1595L

ORDERING INFORMATION

Device	Temperature Range	Package
MC1495L	0°C to +70°C	Ceramic DIP
MC1595L	−55°C to +125°C	Ceramic DIP

Specifications and Applications Information

WIDEBAND MONOLITHIC FOUR-QUADRANT MULTIPLIER

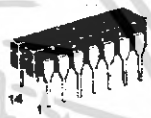
Designed for uses where the output is a linear product of two input voltages. Maximum versatility is assured by allowing the user to select the level shift method. Typical applications include: multiply, divide*, square root*, mean square*, phase detector, frequency doubler, balanced modulator/demodulator,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

*When used with an operational amplifier.

- Wide Bandwidth
- Excellent Linearity – 1% max Error on X-Input, 2% max Error on Y-Input – MC1595L
- Excellent Linearity – 2% max Error on X-Input, 4% max Error on Y-Input – MC1495L
- Adjustable Scale Factor, K
- Excellent Temperature Stability
- Wide Input Voltage Range – ± 10 Volts
- ± 15 Volt Operation

LINEAR FOUR-QUADRANT MULTIPLIER

SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUIT



L SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 632-08

FIGURE 1 – FOUR-QUADRANT MULTIPLIER TRANSFER CHARACTERISTIC

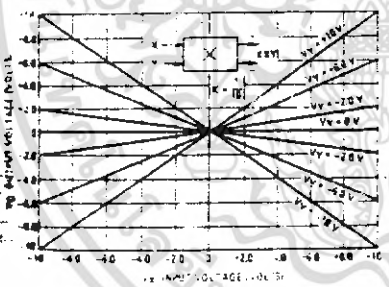


FIGURE 2 – TRANSCONDUCTANCE BANDWIDTH

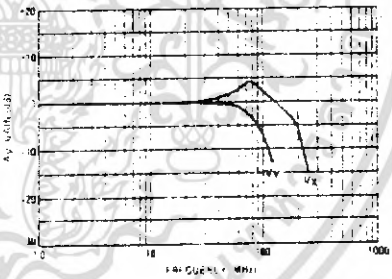
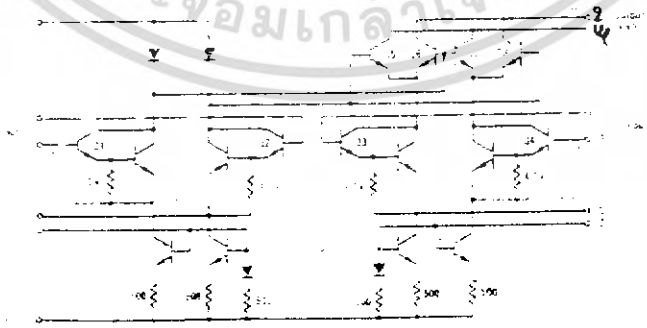


FIGURE 3 – CIRCUIT SCHEMATIC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1495L, MC1595L

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V^+ = +32 V, V^- = −15 V, T_A = +25°C, $I_3 = I_{13}$ = 1.0 mA, $R_X = R_Y$ = 15 kΩ, R_L = 11 kΩ unless otherwise noted)

Characteristic		Figure	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Linearity:		5					%
Output Error in Percent of Full Scale							
T_A = +25°C							
$-10 < V_X < -10$ (V_Y = ±10 V)	MC1495		E_{RX}	—	±1.0	±2.0	
	MC1595			—	±0.5	±1.0	
$-10 < V_Y < -10$ (V_X = ±10 V)	MC1495		E_{RY}	—	±2.0	±4.0	
	MC1595			—	±1.0	±2.0	
T_A = 0 to +70°C	MC1495						
$-10 < V_X < -10$ (V_Y = ±10 V)			E_{RX}	—	±1.5	—	
$-10 < V_Y < -10$ (V_X = ±10 V)			E_{RY}	—	±3.0	—	
T_A = −55°C to +125°C	MC1595						
$-10 < V_X < -10$ (V_Y = ±10 V)			E_{RX}	—	±0.75	—	
$-10 < V_Y < -10$ (V_X = ±10 V)			E_{RY}	—	±1.5	—	
Squaring Mode Error:		5	E_{SQ}				%
Accuracy in Percent of Full Scale After Offset and Scale Factor Adjustment:							
T_A = +25°C	MC1495			—	±0.75	—	
	MC1595			—	±0.5	—	
T_A = 0 to +70°C	MC1495			—	±1.0	—	
T_A = −55°C to +125°C	MC1595			—	±0.75	—	
Scale Factor (Adjustable) $\left(K = \frac{2R_L}{I_3 R_X R_Y}\right)$		—	K	—	0.1	—	
Input Resistance (f = 20 Hz)	MC1495	7	R_{INX}	—	30	—	MΩ
	MC1595			—	35	—	
	MC1495		R_{INY}	—	20	—	
	MC1595			—	35	—	
Differential Output Resistance (f = 20 Hz)		8	R_o	—	300	—	kΩ
Input Bias Current $\left(I_{bx} = \frac{I_9 + I_{12}}{2},\ I_{by} = \frac{I_4 + I_8}{2}\right)$		6					μA
	MC1495		I_{bx}	—	2.0	12	
	MC1595			—	2.0	8.0	
	MC1495		I_{by}	—	2.0	12	
	MC1595			—	2.0	8.0	
Input Offset Current		6					μA
$\lvert I_9 - I_{12}\rvert$	MC1495		$\lvert I_{iox}\rvert$	—	0.4	2.0	
	MC1595			—	0.2	1.0	
$\lvert I_4 - I_8\rvert$	MC1495		$\lvert I_{ioy}\rvert$	—	0.4	2.0	
	MC1595			—	0.2	1.0	
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current:		6	TC_{Iio}				nA/°C
(T_A = 0 to +70°C)	MC1495			—	2.5	—	
(T_A = −55°C to +125°C)	MC1595			—	2.5	—	
Output Offset Current $\lvert I_{14} - I_2\rvert$	MC1495	6	$\lvert I_{oo}\rvert$	—	20	100	μA
	MC1595			—	10	50	
Average Temperature Coefficient of Output Offset Current		6	TC_{Ioo}				nA/°C
(T_A = 0 to +70°C)	MC1495			—	20	—	
(T_A = −55°C to +125°C)	MC1595			—	20	—	
Frequency Response		9,10					
3.0 dB Bandwidth, R_L = 11 kΩ			BW_{3dB}	—	3.0	—	MHz
3.0 dB Bandwidth, R_L = 50 Ω (Transconductance Bandwidth)			$T_{BW3\ dB}$	—	80	—	MHz
3° Relative Phase Shift Between V_X and V_Y			f_ϕ	—	750	—	kHz
1% Absolute Error Due to Input-Output Phase Shift			f_ϕ	—	30	—	kHz
Common Mode Input Swing (Either Input)	MC1495	11	CMV	±10.5	±12	—	Vdc
	MC1595			±11.5	±13	—	
Common Mode Gain (Either Input)	MC1495	11	A_{CM}	−40	−50	—	dB
	MC1595			−50	−60	—	
Common Mode Quiescent Output Voltage		12	V_{o1}	—	21	—	Vdc
			V_{o2}	—	21	—	
Differential Output Voltage Swing Capability		5	V_o	—	±14	—	V_{peak}
Power Supply Sensitivity		12	S^+	—	5.0	—	mV/V
			S^-	—	10	—	
Power Supply Current		12	I^-	—	6.0	7.0	mA
DC Power Dissipation		12	P_D	—	135	170	mW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Rating	Symbol	Value	Unit
Applied Voltage (V_2-V_{14}, 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)	±V	30	Vdc
Differential Input Signal	$V_{12}-V_9$ V_4-V_8	±(6+I_{13} R_X) ±(6+I_{13} R_Y)	Vdc Vdc
Maximum Bias Current	I_3 I_{13}	10 10	mA
Power Dissipation (Package Limitation) Ceramic Package Derate above T_A = +25°C	P_D	750 5.0	mW mW/°C
Operating Temperature Range MC1495 MC1595	T_A	 0 to +70 -55 to +125	°C °C °C
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	°C

TEST CIRCUITS

FIGURE 4 – LINEARITY (USING NULL TECHNIQUE)

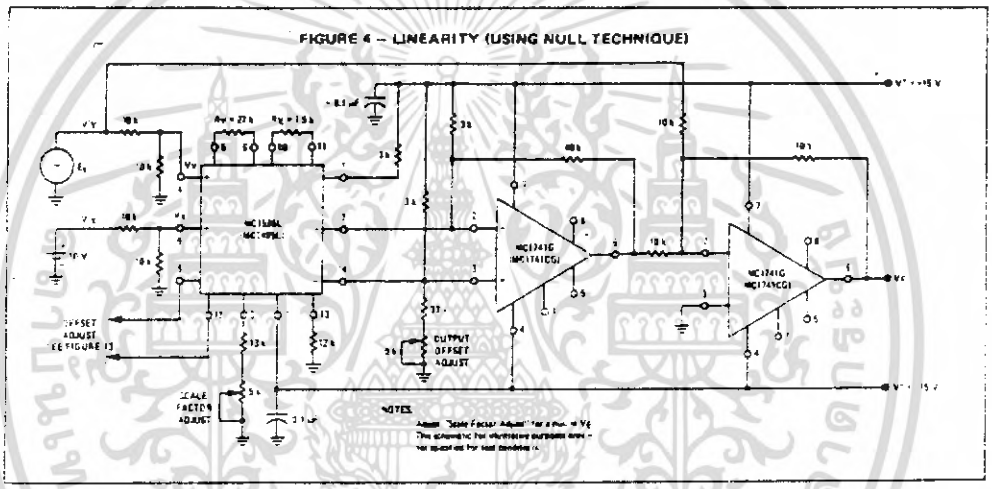
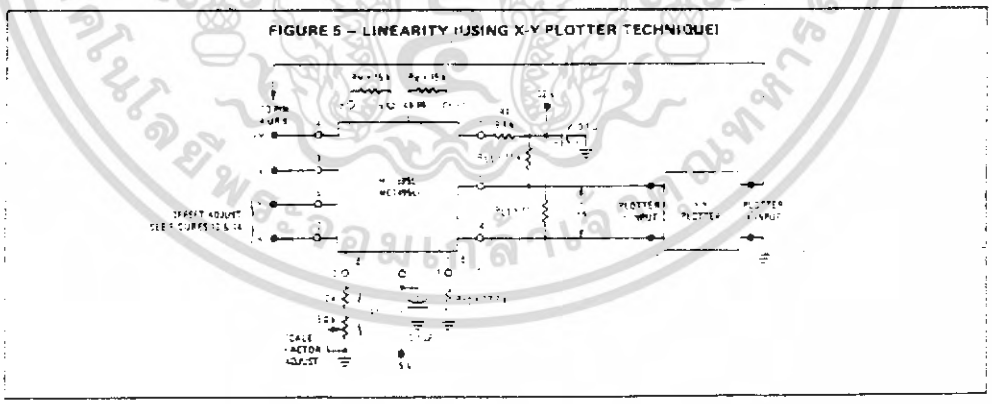
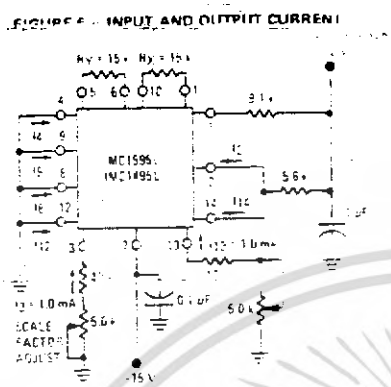


FIGURE 5 – LINEARITY (USING X-Y PLOTTER TECHNIQUE)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST CIRCUITS (continued)



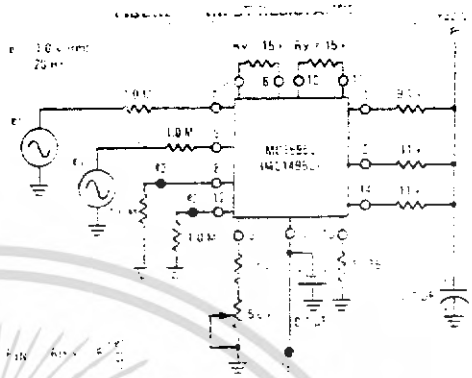


FIGURE 8 – OUTPUT RESISTANCE

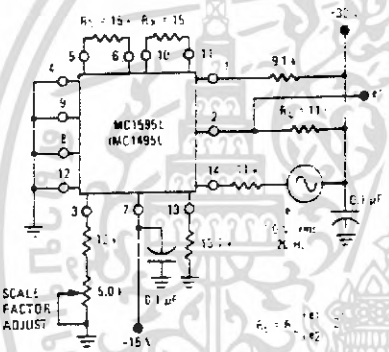


FIGURE 9 – BANDWIDTH

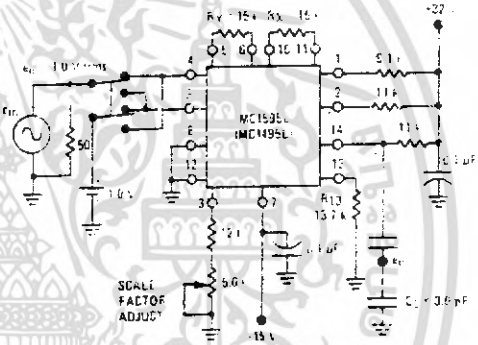


FIGURE 10 – BANDWIDTH (R_L = 50 Ω)

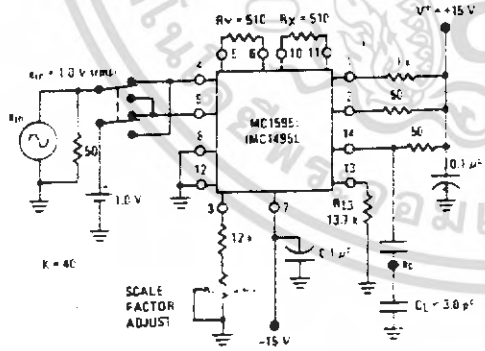
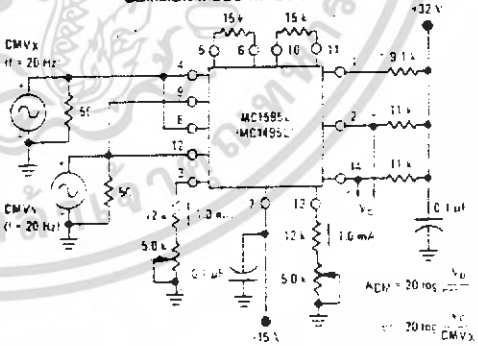


FIGURE 11 – COMMON-MODE GAIN and COMMON-MODE INPUT SWING



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST CIRCUITS (continued)

FIGURE 12 – POWER SUPPLY SENSITIVITY

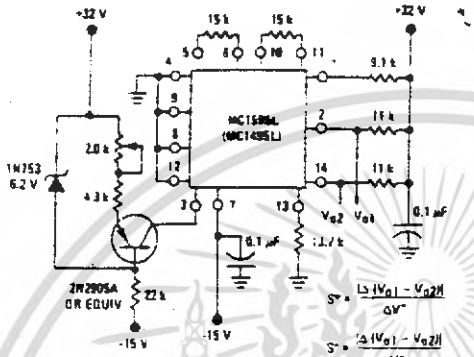
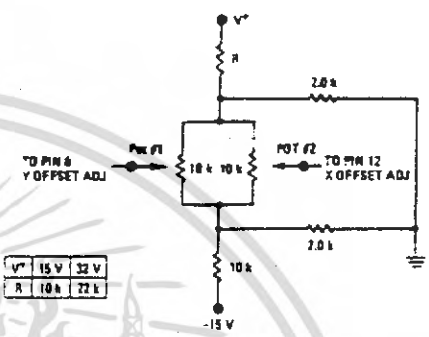
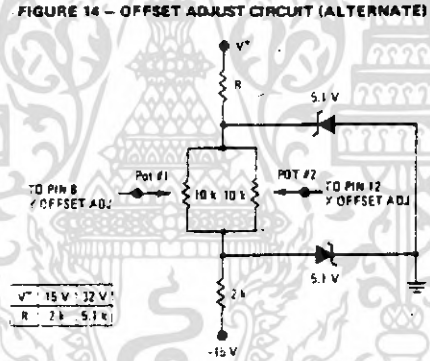


FIGURE 13 – OFFSET ADJUST CIRCUIT



V⁻	15 V	32 V
R	10 k	22 k

FIGURE 14 – OFFSET ADJUST CIRCUIT (ALTERNATE)



V⁻	15 V	32 V
R	2 k	5.1 k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

FIGURE 15 – LINEARITY versus TEMPERATURE

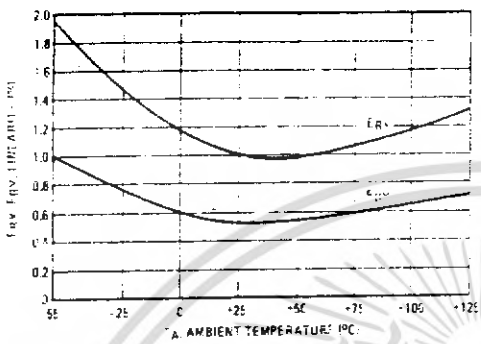


FIGURE 16 – SCALE FACTOR versus TEMPERATURE

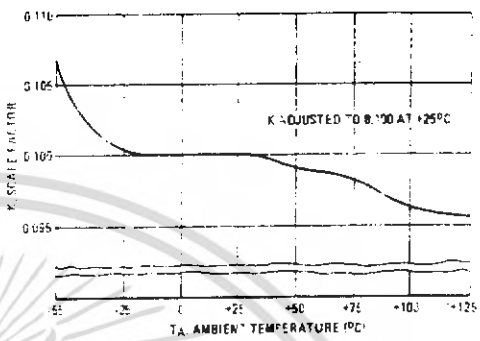


FIGURE 17 – ERROR CONTRIBUTED BY INPUT DIFFERENTIAL AMPLIFIER

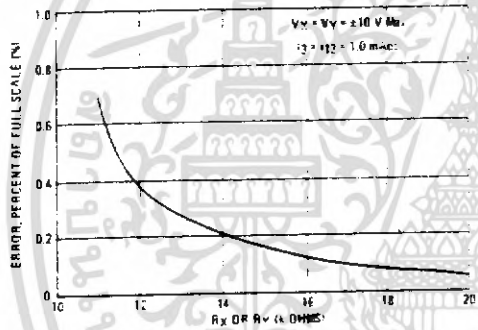


FIGURE 18 – ERROR CONTRIBUTED BY INPUT DIFFERENTIAL AMPLIFIER

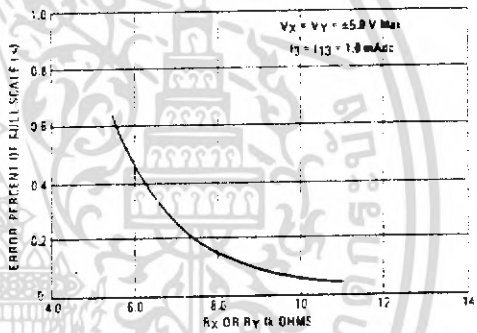
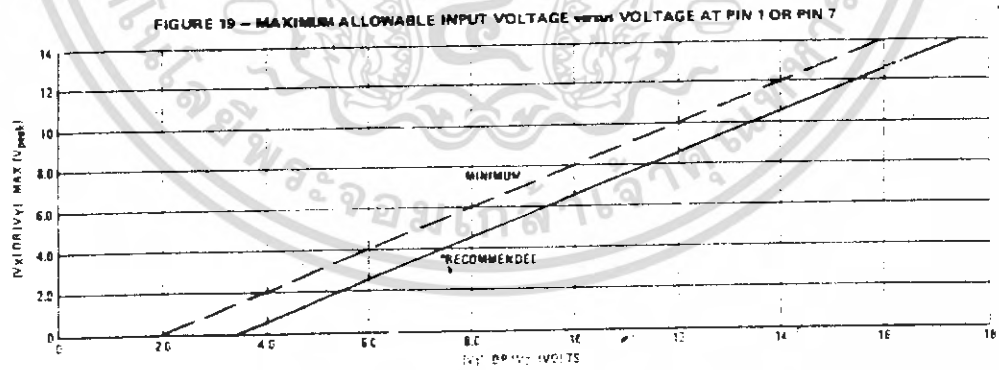


FIGURE 19 – MAXIMUM ALLOWABLE INPUT VOLTAGE versus VOLTAGE AT PIN 1 OR PIN 7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATION AND APPLICATIONS INFORMATION

1. Theory of Operation

The MC1595 (MC1495) is a monolithic, four quadrant multiplier which operates on the principle of variable transconductance. The detailed theory of operation is covered in Application Note AN-489, Analysis and Basic Operation of the MC1595. The result of this analysis is that the differential output current of the multiplier is given by

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

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.

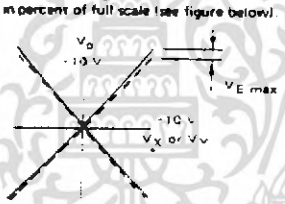
2. Design Considerations

2.1 General

The MC1595 (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.

2.1.1 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 volts, 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 for various settings 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., $I_2 = I_{13} = 1.0$ mA).

2.1.2 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%.

2.1.3 Maximum Input Voltage

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

$$V_{X(max)} < I_{13} R_Y$$

$$V_{Y(max)} < I_3 R_Y$$

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

Currents 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.

For $V_{X(max)} = V_{Y(max)} = 10$ volts:

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

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

is derived from: $I_B = \frac{2V_X V_Y}{R_X + \frac{2kT}{qI_{13}}\left(R_Y + \frac{2kT}{qI_3}\right)I_3}$

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

At $T_A = +25°C$ and $I_{13} = I_3 = 1$ mA

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

Therefore, with $R_X = R_Y = 10$ kΩ, the above assumption is valid. Reference to Figure 19 will indicate limitations of $V_{X(max)}$ or $V_{Y(max)}$ due to V_X and V_Y exceeding these limits will cause saturation or "cutoff" of the input transistors. See Step #4 Section 3 (General Design Procedure) for further details.

2.1.4 Maximum Output Voltage Swing

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

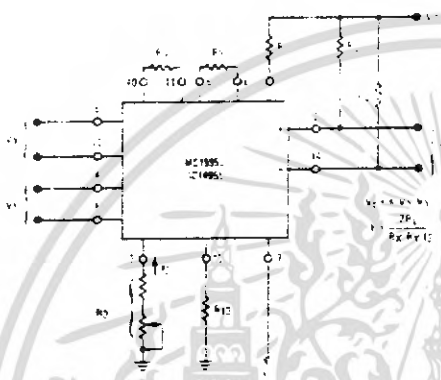
For Figure 20 the maximum output swing is dependent upon V_Y for positive swing and upon the voltage at pin 1 for negative swing. The potential at pin 1 determines the quiescent level for transistors Q_5, Q_6, Z_7, and Q_8. This potential

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATION AND APPLICATIONS INFORMATION (continued)

should be related so that negative swing at pins 2 or 14 does not saturate those transistors. See Section 3 for further information regarding selection of these potentials.

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.

3. 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 volts ($V_X = V_{X\ max}$ for a ±10-volt input; $V_Y = V_{Y\ max}$). (See Figure 21.) If an overall scale factor of 1/10 is desired, then

$$\frac{V_Z - V_W}{10} = \frac{(2V_X)(2V_Y)}{10} \quad 4/10\ V_X V_Y$$

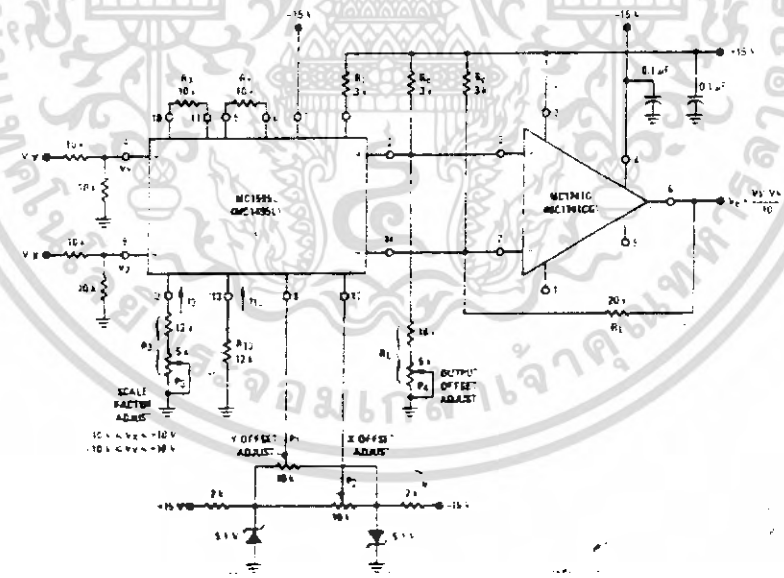
Therefore, $K = 4/10$ for the multiplier (excluding the divider networks).

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 one or two milliamperes. 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

$$I_3 = I_{13} = 1\ mA$$

To set currents I_3 and I_{13} to the desired value, it is only necessary to connect a resistor between pin 10 and ground, and between pin 3 and ground. From the schematic shown in Figure 3

FIGURE 21 – MULTIPLIER WITH OP-AMP. LEVEL SHIFT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATION AND APPLICATIONS INFORMATION (continued)

It can be seen that the resistor values necessary are given by:

$$R_{13} + 500\ \Omega = \frac{|V^-| - 0.7\ V}{I_3}$$

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

Let $V^- = -15$ V

Then $R_{13} + 500 = \frac{14.3\ V}{1\ mA}$ or $R_{13} = 13.8$ kΩ

Let $R_{13} = 12$ kΩ

Similarly $R_3 = 13.8$ kΩ

Let $R_3 = 15$ kΩ

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 12 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 one-half 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:

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

A good rule of thumb is to make $I_3R_Y \geq 1.5\ V_{Y(max)}$ and $I_{13}R_X = 1.5\ V_{X(max)}$.

The larger the I_3R_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).

Let $R_X = R_Y = 10$ kΩ

Then $I_3R_Y = 10$ V

$I_{13}R_X = 10$ V

Since $V_{X(max)} = V_{Y(max)} = 5.0$ volts the value of $R_X = R_Y = 10$ kΩ is sufficient.

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

$$\frac{2R_L}{R_YR_XI_3} = \frac{1}{10}$$

$$\frac{2R_L}{10\ k\Omega \cdot 10\ k\Omega \cdot 1\ mA} = \frac{1}{10}$$

Thus $R_L = 20$ kΩ

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 for transistors Q_1, Q_2, Q_3 and Q_4 to remain active, V_X must be at least 1.0 V more negative than the voltage at pin 1, and V_Y must be at least 1.0 V more negative than the voltage at pin 4. Thus, the voltage at pin 1 must be at least 1.0 V more positive than the voltage at pin 4 for the full range of input voltages. Also, the voltage at pin 1 must be sufficiently positive to insure that transistors Q_5, Q_6, Q_7 and Q_8 remain active. This condition will occur when the voltage at pin 1 is at least one diode-drop above the voltage at pins 2 and 14. Thus, the voltage at pin 1 must be at least 1.0 V more positive than the voltage at pin 4 or 1.0 V more positive than the voltage at pins 2 and 14, whichever is more positive. This condition occurs in the output region when the maximum input voltages are applied ($V_X = V_Y = 10$ V or $V_X = 5.0$ V, $V_Y = 5.0$ 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 are at a potential which is two diode-drops below the voltage at pin 1. Thus, the voltage at pin 1 should be about two volts higher than the maximum input voltage. Therefore, to handle +5.0 volts at the inputs, the voltage at pin 1 must be at least +7.0 volts. Let $V_1 = 9.0$ Vdc.

Since the current following 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 $V^- = -15$ V

Then $R_1 = \frac{15\ V - 9\ V}{(2)(1\ mA)}$

$R_1 = 3$ kΩ

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 volts.

Step 5. Level Shifting

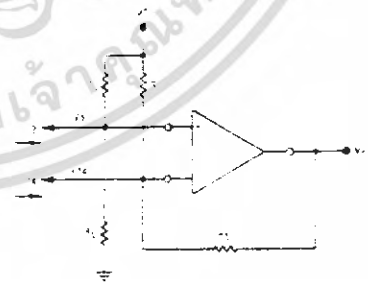
For dc applications, such as the multiply, divide and square-root functions, it is usually desirable to convert the differential output to a single-ended output voltage referenced to ground. The circuit shown in Figure 22 performs this function. It can be shown that the output voltage of this circuit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

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

And since $I_A = I_B = I_2 = I_{14} = \frac{2I_XI_Y}{I_3} = \frac{2V_XV_Y}{I_3R_XR_Y}$

Then $V_o = \frac{2R_LV_XV_Y}{4R_XR_YI_3}$ where V_XV_Y is the voltage at the input to the voltage divider.

FIGURE 22 – LEVEL SHIFT CIRCUIT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATION AND APPLICATIONS INFORMATION (continued)

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 MC1556, and MC1741 operational amplifiers meet these requirements.

Referring to Figure 21, the level shift components will be determined. When $V_X = V_Y = 0$, the currents in pins 1 and 14 will be equal to $\pm I_5$. In Step 2, R_L was found to be 20 kΩ and in Step 4, V_{14} was found to be approximately 11 volts. From this information, R_D can be found easily from the following equation (neglecting the operational amplifiers bias current):

$$\frac{V_{14}}{R_L} = I_5 = \frac{|E_-| - |V_{14}|}{R_D}$$

For this example: $\frac{11\text{ V}}{20\text{ k}\Omega} = 0.55\text{ mA} = \frac{15\text{ V} - 11\text{ V}}{R_D}$

Solving for R_D: $R_D = 7.3\text{ k}\Omega$

Thus select $R_D = 3.0\text{ k}\Omega$.

For $R_D = 3.0\text{ k}\Omega$, the voltage at pins 7 and 14 is calculated to be

$$V_7 = V_{14} = 10.4\text{ volts}.$$

The linearity of this circuit (Figure 21) is likely to be as good or better than the circuit of Figure 3. 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 MC1595 (MC1495) allows the user to optimize its performance for various input and output signal levels.

4. Offset and Scale Factor Adjustment

4.1 Offset Voltages

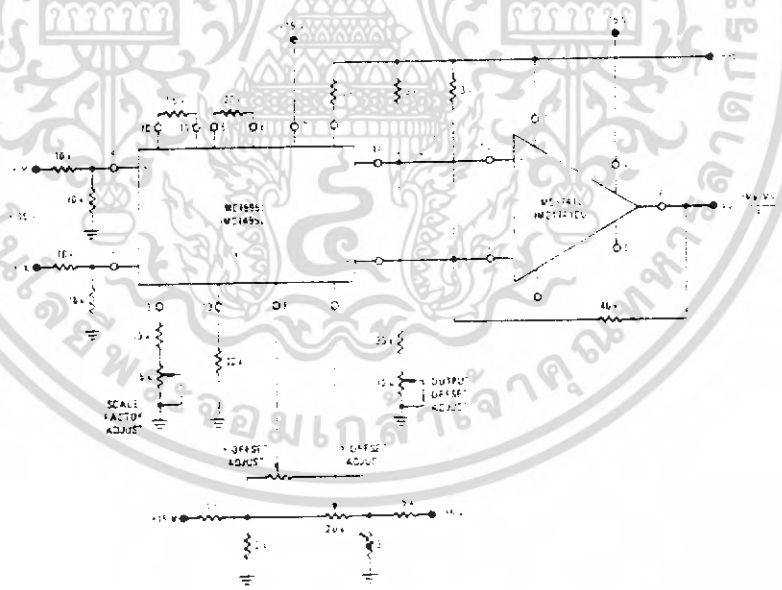
While the monolithic multiplier in Figure 3 transistor base-emitter junctions are typically matched within 1 mV and resistors are typically matched within 2%. Even with this careful matching, an output error can occur. This output error is comprised of a single offset voltage at the output. Offset voltage 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:

$$V_O = KV_X V_Y + V_{O(X)} + V_{X\,off}(V_Y + V_{O(Y)}) + V_{Y\,off} + V_{OO} \quad (11)$$

Where:

K	scale factor
V_X	X input voltage
V_Y	Y input voltage
$V_{O(X)}$	X input offset voltage
$V_{O(Y)}$	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

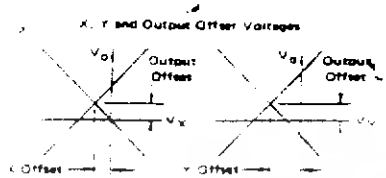
FIGURE 23 – MULTIPLIER WITH IMPROVED LINEARITY



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATION AND APPLICATIONS INFORMATION (continued)

X, Y and Output Offset Voltages



For most dc applications, all three offset adjust potentiometers (P_1, P_2, P_4) 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.

4.2 Scale Factor

The scale factor, K, is set by P_3 (Figure 21). P_3 varies I_3 which inversely controls the scale factor K. It should be noted that current I_3 is one-half the current through R_1. R_1 sets the bias level for Q_5, Q_6, Q_7, and Q_8 (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 P_3 over wide voltage ranges (see Section 3, General Design Procedure).

4.3 Adjustment Procedures

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

1. X Input Offset
   (a) Connect oscillator (1 kHz, 5 Vpp sinewave) to the "Y" input (pin 4).
   (b) Connect "X" input (pin 9) to ground.
   (c) Adjust X offset potentiometer (P_2) for an ac null at the output.
2. Y Input Offset
   (a) Connect oscillator (1 kHz, 5 Vpp sinewave) to the "X" input (pin 9).
   (b) Connect "Y" input (pin 4) to ground.
   (c) Adjust "Y" offset potentiometer (P_1) for an ac null at the output.
3. Output Offset
   (a) Connect both "X" and "Y" inputs to ground.
   (b) Adjust output offset potentiometer, P_4, until the output voltage V_O is zero volts dc.
4. Scale Factor
   (a) Apply +10 Vdc to both the "X" and "Y" inputs.
   (b) Adjust P_3 to achieve +10.00 V at the output.
5. Repeat steps 1 through 4 as necessary.

The ability to accurately adjust the MC1595 (MC1495) depends upon the characteristics of potentiometers P_1 through P_4. Multi-turn, cermet resolution potentiometers with low-temperature coefficients are recommended.

5. DC Applications

5.1 Multiply

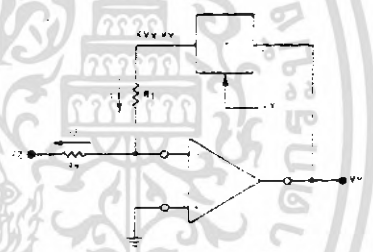
The circuit shown in Figure 21 may be used to multiply signals from dc to 100 kHz. Input levels to the circuit are ±10 V (max). With resistive voltage dividers the maximum could be very large — however, for this application two to-one dividers have been used so that the maximum input level is 10 V. The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

5.2 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:

1. AC Procedure
   (a) Connect oscillator (1 kHz, 15 Vpp) to input.
   (b) Monitor output at 2 kHz with tuned voltmeter and adjust P_3 for desired gain (be sure to peak response of the voltmeter).
   (c) Tune voltmeter to 1 kHz and adjust P_1 for a minimum output voltage.
   (d) Ground input and adjust P_4 (output offset) for zero volts dc output.
   (e) Repeat steps a through d as necessary.
2. DC Procedure:
   (a) Set V_X = V_Y = 0 V and adjust P_4 (output offset potentiometer) such that V_O = 0.0 Vdc.
   (b) Set V_X = V_Y = 1.0 V and adjust P_1 (Y input offset potentiometer) such that the output voltage is +0.100 volts.
   (c) Set V_X = V_Y = 10 Vdc and adjust P_3 such that the output voltage is +10.00 volts.
   (d) Set V_X = V_Y = −10 Vdc. Repeat steps a through d as necessary.

FIGURE 24 – BASIC DIVIDE CIRCUIT



5.3 Divide Circuit

Consider the circuit shown in Figure 24 in which the multiplier is placed in the feedback path of an operational amplifier. For this configuration, the operational amplifier will maintain a "virtual ground" at the inverting input. Assuming that the bias current of the operational amplifier is negligible, then $I_1 = I_2$ and

$$\frac{KV_XV_V}{R1} = \frac{-V_Z}{R2} \quad (1)$$

Solving for V_V:

$$V_V = \frac{-R1}{R2} \frac{V_Z}{K V_X} \quad (2)$$

If $R1 = R2$,

$$V_V = \frac{V_Z}{K V_X} \quad (3)$$

If $R1 = R2$,

$$V_V = \frac{V_Z}{V_X} \quad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATION AND APPLICATIONS INFORMATION (continued)

Hence, the output voltage is the ratio of V_Z to V_X and provides a divide function. This analysis is, of course, the ideal condition. If the multiplier error is taken into account, the output voltage is found to be

$$V_o = -\left(\frac{R1}{R2\,K}\right)\frac{V_Z}{V_X} - \frac{\Delta E}{K V_X} \qquad (5)$$

where ΔE is the error voltage at the output of the multiplier. From this equation, it is seen that divide accuracy is strongly dependent upon the accuracy at which the multiplier can be set, particularly at small values of V_X. For example, assume that $R1 = R2$, and $K = 1/10$. For these conditions the output of the divide circuit is given by

$$V_o = \frac{-10\,V_Z}{V_X} - \frac{10\,\Delta E}{V_X} \qquad (6)$$

From equation 6, it is seen that only when $V_X = 10$ V is the error voltage of the divide circuit as low as the error of the multiply circuit. For example, when V_X is small, 10 millivolts error voltage (ΔE) for divide circuit can be expected to be a hundred times the error of the basic multiplier circuit.

In terms of percentage error:

$$\text{percentage error} = \frac{\text{error}}{\text{actual}} \times 100\%$$

or from equation (5),

$$\text{P.E.\%} = \frac{\frac{\Delta E}{K V_X}}{\left(\frac{R1}{R2\,K}\right)\frac{V_Z}{V_X}} \times 100\% = \left(\frac{R2}{R1}\right)\frac{\Delta E}{V_Z} \qquad (7)$$

From equation 7, the percentage error is inversely related to voltage V_Z (i.e., for increasing values of V_Z, the percentage error decreases).

A circuit that performs the divide function is shown in Figure 25.

Two things should be emphasized concerning Figure 25:

1. The input voltage (V_X) must be greater than zero and must be positive. This insures that the current out of pin 2 of the multiplier will always be in a direction compatible with the polarity of V_Z.
2. Pins 2 and 14 of the multiplier have been interchanged with respect to the operational amplifier's input terminals. In this instance, Figure 25 differs from the circuit connection shown in Figure 21, necessitated to insure negative feedback around the loop.

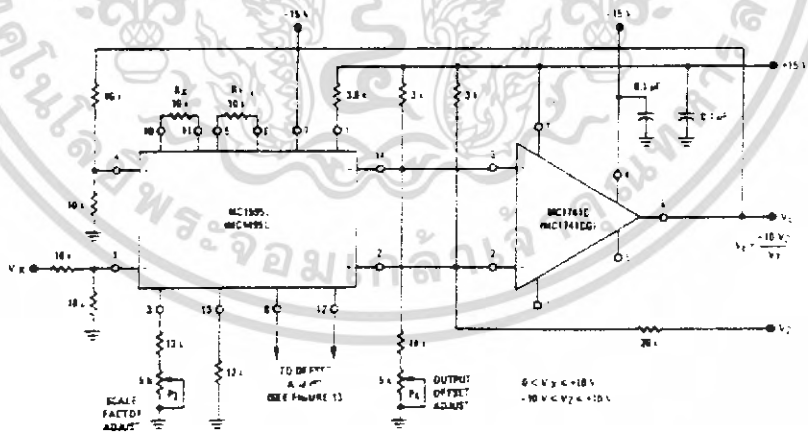
A Suggested Adjustment Procedure for the Divide Circuit:

1. Set $V_Z = 0$ volts and adjust the output offset potentiometer (P_4) until the output voltage (V_o) remains at some (not necessarily zero) constant value as V_X is varied between +1.0 volt and +10 volts.
2. Keep V_Z at 0 volts, set V_X at +10 volts and adjust the Y input offset potentiometer (P_1) until $V_o = 0$ volts.
3. Set $V_X = V_Z$ and adjust the X input offset potentiometer (P_2) until the output voltage remains at some (not necessarily −10 volts) constant value as $V_Z = V_X$ is varied between +1.0 and +10 volts.
4. Keep $V_X = V_Z$ and adjust the scale factor potentiometer (P_3) until the average value of V_o is −10 volts as $V_Z = V_X$ is varied between +1.0 volt and +10 volts.
5. Repeat steps 1 through 4 as necessary to achieve optimum performance.

5.4 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.

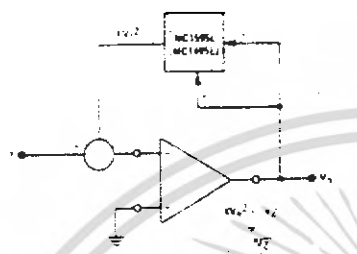
FIGURE 25 – DIVIDE CIRCUIT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATION AND APPLICATIONS INFORMATION (continued)

FIGURE 26 – BASIC SQUARE ROOT CIRCUIT



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 volts and adjust P_4 (output offset) for V_O = −0.316 volts, 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 volts and adjust P_2 (X adjust) for V_O = −3.0 volts.
3. Set V_Z to −10 volts and adjust P_3 (scale factor adjust) for V_O = +10 volts.
4. Steps 1 through 3 may be repeated as necessary to achieve desired accuracy.

6. 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.

6.1 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.

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

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

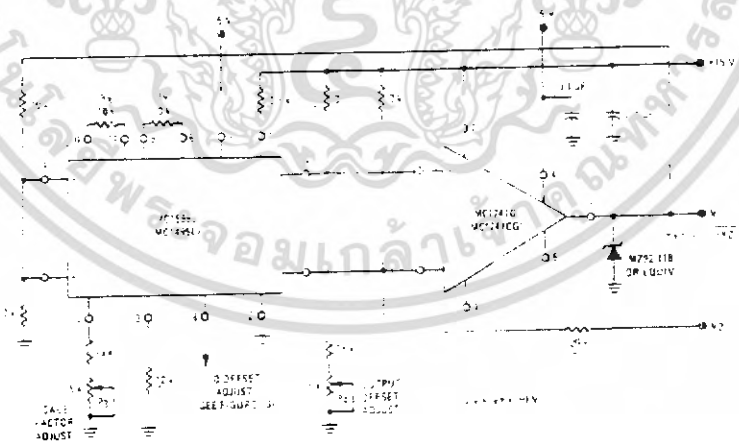
A potted multiplier can be used to obtain the double frequency component, but frequency would be limited by its internal level-shift amplifier. In the monolithic units, the amplifier is omitted.

In a typical doubler circuit, conventional ± 15-volt supplies are used. An input dynamic range of 5.0 volts 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.

A slightly modified version of the MC1595 (MC1495) – the MC1596 (MC1496) – has been successfully used as a doubler to obtain 400 MHz. (See Figure 28.)

6.2 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.

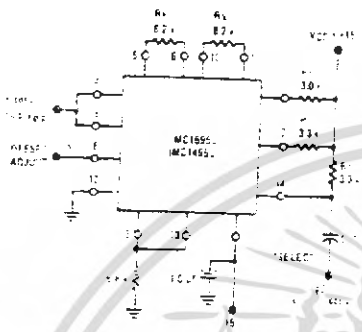
FIGURE 27 – SQUARE ROOT CIRCUIT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

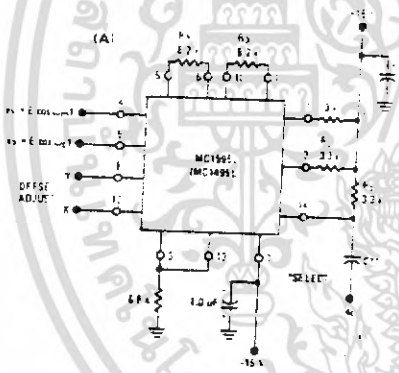
OPERATION AND APPLICATIONS INFORMATION (continued)

FIGURE 28 – FREQUENCY DOUBLER

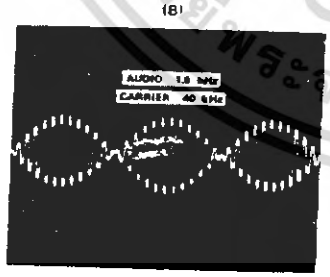


When two equal sine waves are applied to X and the result is a wave shape of twice the input frequency. For this example the input was a 10 kHz signal. Output was 20 kHz.

FIGURE 29 – BALANCED MODULATOR



(B)



The defining equation for balanced modulation is

$$KIE_m \cos \omega_m t \; IE_c \cos \omega_c t$$

$$\frac{KE_c E_m}{2} (\cos \omega_c + \omega_m t + \cos \omega_c - \omega_m t)$$

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 of 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

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

and is 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 also can use an operational amplifier for a combination level shift-active filter, as an external component. But in some 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.

6.3 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 degree of modulation. Since m is adjustable via potentiometer P_1, 100% modulation is possible. Without extensive tweaking, 95% modulation may be obtained where ω_c and ω_m are the same as in the balanced-modulator example.

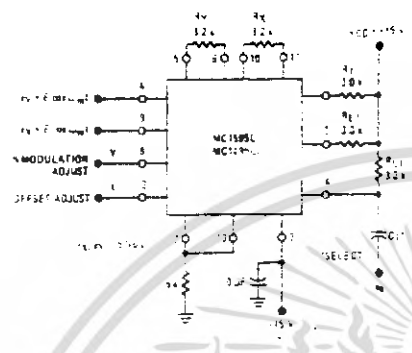
6.4 Linear Gain Control

To obtain linear gain control the designer can feed to one of the two MC1595 (MC1495) inputs a signal that will vary the unit's gain. The following example demonstrates the feasibility of this application. Suppose a 200 kHz sine wave 1.0 volt 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 to +1.0 volt. 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 ohms 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 3.)

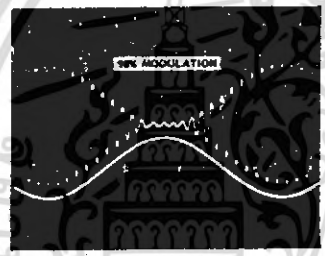
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATION AND APPLICATIONS INFORMATION (continued)

FIGURE 30 – AMPLITUDE MODULATION



(B)



The signal is applied to the unit's Y input. Since the total input range is limited to 1.0 volt p-p, a 2.0-volt swing, a current source of 2.0 mA and an R_Y value of 1.0 kilohm 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 volt, the current source selected was 1.0 mA and the R_X value chosen was 2.0 kilohms. 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

$$K = \frac{R_L}{R_X R_Y I_3}$$

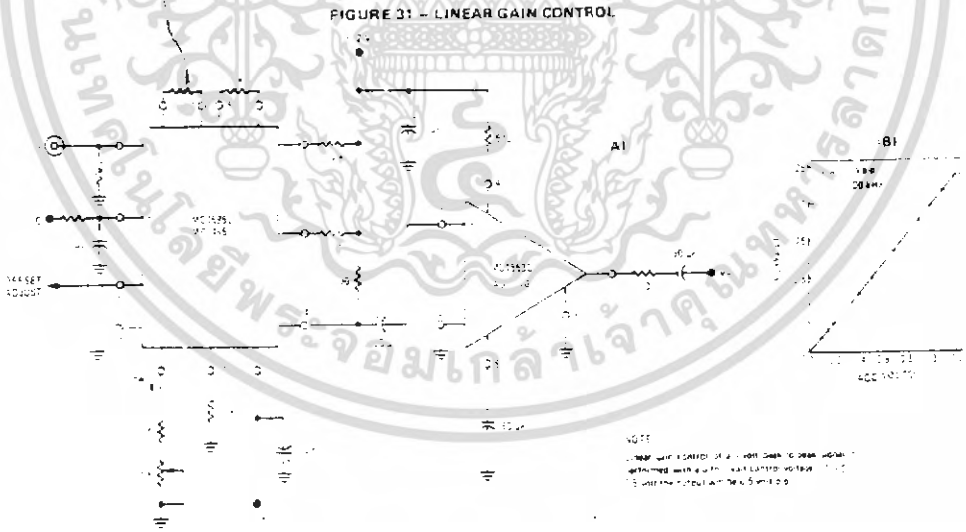
$$= \frac{100}{(2\ V)(1\ k\Omega)(2 \times 10^{-3}\ A)}\ V^{-1}$$

$$= \frac{1}{40}\ V^{-1}.$$

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

To recover the gain, an MC1552 video amplifier with a gain of 40 is used. An operational amplifier also could have been used with frequency compensation to allow a gain of 40 at 200 kHz. The MC1539 operational amplifier can be tailored for this use and the MC1520 operational amplifier does it directly.

FIGURE 31 – LINEAR GAIN CONTROL



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA

TL081
TL082
TL084

Specifications and Applications Information

JFET INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUITS

JFET INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

These low-cost JFET input operational amplifiers combine two state-of-the-art linear technologies on a single monolithic integrated circuit. Each internally compensated operational amplifier has well matched high voltage JFET input devices for low input offset voltage. The BIFET technology provides wide bandwidths and fast slew rates with low input bias currents, input offset currents, and supply currents.

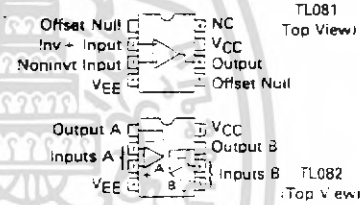
These devices are available in single, dual and quad operational amplifiers which are pin-compatible with the industry standard MC1741, MC1458, and the MC3403/LM324 bipolar products. Devices with an "M" suffix are specified over the military operating temperature range of −55°C to +125°C and those with a "C" suffix are specified from 0°C to +70°C.

- Input Offset Voltage Options of 3.0, 6.0, and 15 mV Max
- Low Input Bias Current — 30 pA
- Low Input Offset Current — 5.0 pA
- Wide Gain Bandwidth — 4.0 MHz
- High Slew Rate — 13 V/μs
- Low Supply Current — 1.4 mA per Amplifier
- High Input Impedance — 10^{12} Ω
- Industry Standard Pinouts

P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 626-05

JG SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 693-02

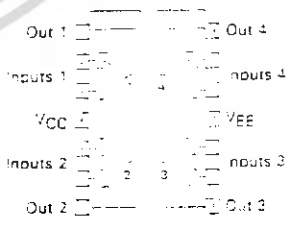
D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751-02
SO-8



N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646-06
TL084 Only

J SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 632-08
TL084 Only

D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751A-02
SO-14



ORDERING INFORMATION

Op Amp Function	Device	Temperature Range	Package
Single	TL081ACD, BCD, CD	0 to +70°C	SO-8
	TL081ACJG, BCJG, CJG		Ceramic DIP
	TL081ACP, BCP, CP		Plastic DIP
	TL081MJG	−55 to +125°C	Ceramic DIP
Dual	TL082ACD, BCD, CD	0 to +70°C	SO-8
	TL082ACJG, BCJG, CJG		Ceramic DIP
	TL082ACP, BCP, CP		Plastic DIP
	TL082MJG	−55 to +125°C	Ceramic DIP
Quad	TL084ACD, BCD, CD	0 to +70°C	SO-14
	TL084ACJ, BCJ, CJ		Ceramic DIP
	TL084ACN, BCN, CN		Plastic DIP
	TL084MJ	−55 to +125°C	Ceramic DIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	TL08__M	TL08__C TL08__AC TL08__BC	Unit
Supply Voltage	V_{CC} V_{EE}	+ 18 - 18	+ 18 - 18	V
Differential Input Voltage	V_{ID}	±30	±30	V
Input Voltage Range (Note 1)	V_{IDR}	±15	±15	V
Output Short-Circuit Duration (Note 2)	t_S	Continuous		
Power Dissipation Plastic Package (N,P) Derate above T_A = +47°C Ceramic Package (J,U,G Derate above T_A = +82°C	P_D $1/\theta_{JA}$ P_D $1/\theta_{JA}$	— — 680 10	680 10 680 10	mW mW/°C mW mW/°C
Operating Ambient Temperature Range	T_A	−55 to +125	0 to +70	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	−65 to +150	−65 to +150	°C

NOTES: 1. The magnitude of the input voltage must not exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
2. The output may be shorted to ground or either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that power dissipation ratings are not exceeded.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = +15 V, V_{EE} = −15 V, T_A = +25°C unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	TL08__M Min	TL08__M Typ	TL08__M Max	TL08__C, TL08__AC, TL08__BC Min	TL08__C, TL08__AC, TL08__BC Typ	TL08__C, TL08__AC, TL08__BC Max	Unit
Input Offset Voltage ($R_S \leq 10$ k, V_{CM} = 0) TL081, TL082	V_{IO}	—	3.0	6.0	—	5.0	15	mV
TL084		—	3.0	9.0	—	5.0	15	
TL08__A		—	—	—	—	3.0	6.0	
TL08__B		—	—	—	—	2.0	3.0	
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage R_S = 50 Ω, T_A = T_{low} to T_{high} (Note 3)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	—	10	—	—	10	—	μV/°C
Input Offset Current (V_{CM} = 0) (Note 4) TL08__	I_{IO}	—	5.0	100	—	5.0	200	pA
TL08__A, TL08__B		—	—	—	—	5.0	100	
Input Bias Current (V_{CM} = 0) (Note 4) TL08__	I_{IB}	—	30	200	—	30	400	pA
TL08__A, TL08__B		—	—	—	—	30	200	
Input Resistance	r_i	—	10^{12}	—	—	10^{12}	—	Ω
Common Mode Input Voltage Range TL08__	V_{ICR}	±11	+15, −12	—	±10	+15, −12	—	V
TL08__A, TL08__B		—	—	—	±11	+15, −12	—	
Large-Signal Voltage Gain (V_O = ±10 V, $R_L \geq 2.0$ k) TL08__	A_{VOL}	25	150	—	25	150	—	V/mV
TL08__A, TL08__B		—	—	—	50	150	—	
Output Voltage Swing (Peak-to-Peak) R_L = 10 k	V_O	24	28	—	24	28	—	V
Common Mode Rejection Ratio ($R_S \leq 10$ k) TL08__	CMRR	80	100	—	70	100	—	dB
TL08__A, TL08__B		—	—	—	80	100	—	
Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S \leq 10$ k TL08__	PSRR	80	100	—	70	100	—	dB
TL08__A, TL08__B		—	—	—	80	100	—	
Supply Current (Each Amplifier)	I_D	—	1.4	2.8	—	1.4	2.8	mA
Unity Gain Bandwidth	BW	—	4.0	—	—	4.0	—	MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = +15 V, V_{EE} = −15 V, T_A = +25°C unless otherwise noted).

Characteristic	Symbol	TL08__M Min	TL08__M Typ	TL08__M Max	TL08__C, TL08__AC, TL08__BC Min	TL08__C, TL08__AC, TL08__BC Typ	TL08__C, TL08__AC, TL08__BC Max	Unit
Slew Rate (See Figure 1) V_{in} = 10 V, R_L = 2.0 k, C_L = 100 pF	SR	8.0	13	—	—	13	—	V/μs
Rise Time (See Figure 1)	t_r	—	0.1	—	—	0.1	—	μs
Overshoot Factor V_{in} = 20 mV, R_L = 2.0 k, C_L = 100 pF	—	—	10	—	—	10	—	%
Equivalent Input Noise Voltage R_S = 100 Ω, f = 1000 Hz	e_n	—	25	—	—	25	—	nV/√Hz
Channel Separation A_V = 100	—	—	120	—	—	120	—	dB

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = +15 V, V_{EE} = −15 V, T_A = T_{low} to T_{high} [Note 3].)

Characteristic	Symbol	TL08__M Min	TL08__M Typ	TL08__M Max	TL08__C, TL08__AC, TL08__BC Min	TL08__C, TL08__AC, TL08__BC Typ	TL08__C, TL08__AC, TL08__BC Max	Unit
Input Offset Voltage (R_S ≤ 10 k, V_{CM} = 0)	V_{IO}							mV
TL081, TL082		—	—	9.0	—	—	20	
TL084		—	—	15	—	—	20	
TL08__A		—	—	—	—	—	7.5	
TL08__B		—	—	—	—	—	5.0	
Input Offset Current (V_{CM} = 0) (Note 4)	I_{IO}							nA
TL08__		—	—	20	—	—	5.0	
TL08__A, TL08__B		—	—	—	—	—	3.0	
Input Bias Current (V_{CM} = 0) (Note 4)	I_{IB}							nA
TL08__		—	—	50	—	—	10	
TL08__A, TL08__B		—	—	—	—	—	7.0	
Large-Signal Voltage Gain (V_O = ±10 V, R_L ≥ 2.0 k)	A_{VOL}							V/mV
TL08__		15	—	—	15	—	—	
TL08__A, TL08__B		—	—	—	25	—	—	
Output Voltage Swing (Peak-to-Peak)	V_O							V
(R_L = 10 k)		24	—	—	24	—	—	
(R_L = 2.0 k)		20	—	—	20	—	—	

NOTES (continued):

3. T_{low} = −55°C for TL081M, TL082M, TL084M; T_{high} = +125°C for TL081M, TL082M, TL084M
   0°C for TL081C, TL081AC, TL081BC; +70°C for TL081C, TL081AC, TL081BC
   TL082C, TL082AC, TL082BC; TL082C, TL082AC, TL082BC
   TL084C, TL084AC, TL084BC; TL084C, TL084AC, TL084BC
4. Input Bias currents of JFET input Op Amps approximately double for every 10°C rise in junction temperature as shown in Figure 3. To maintain junction temperature as close to ambient temperature as possible, pulse techniques must be used during test.

TEST CIRCUITS

FIGURE 1 — UNITY GAIN VOLTAGE FOLLOWER

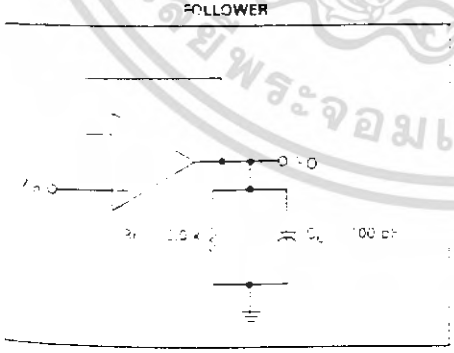
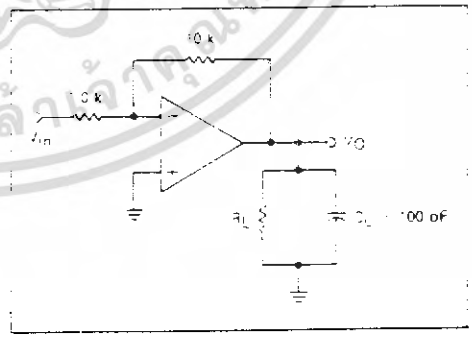


FIGURE 2 — INVERTING GAIN OF 10 AMPLIFIER



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 9 — LARGE-SIGNAL VOLTAGE GAIN AND PHASE SHIFT versus FREQUENCY

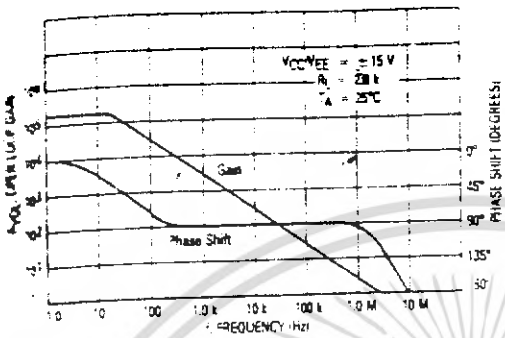


FIGURE 10 — LARGE-SIGNAL VOLTAGE GAIN versus TEMPERATURE

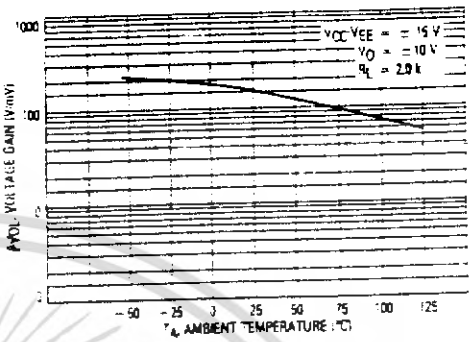


FIGURE 11 — NORMALIZED SLEW RATE versus TEMPERATURE

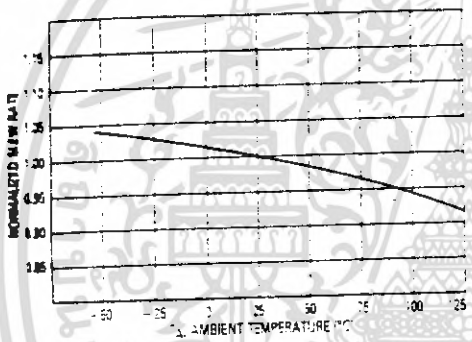


FIGURE 12 — EQUIVALENT INPUT NOISE VOLTAGE versus FREQUENCY

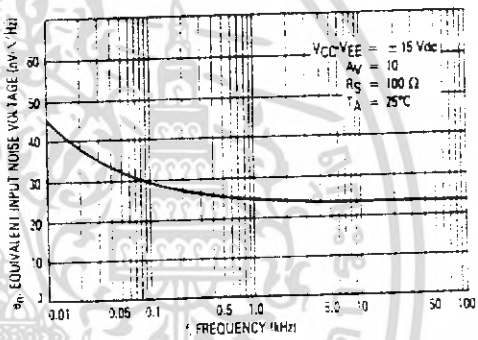
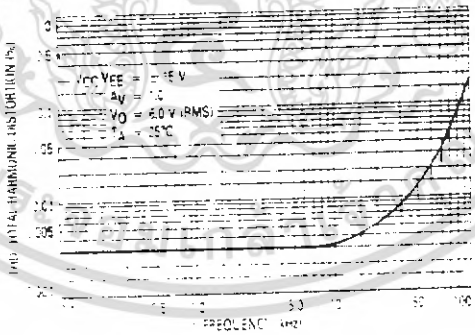
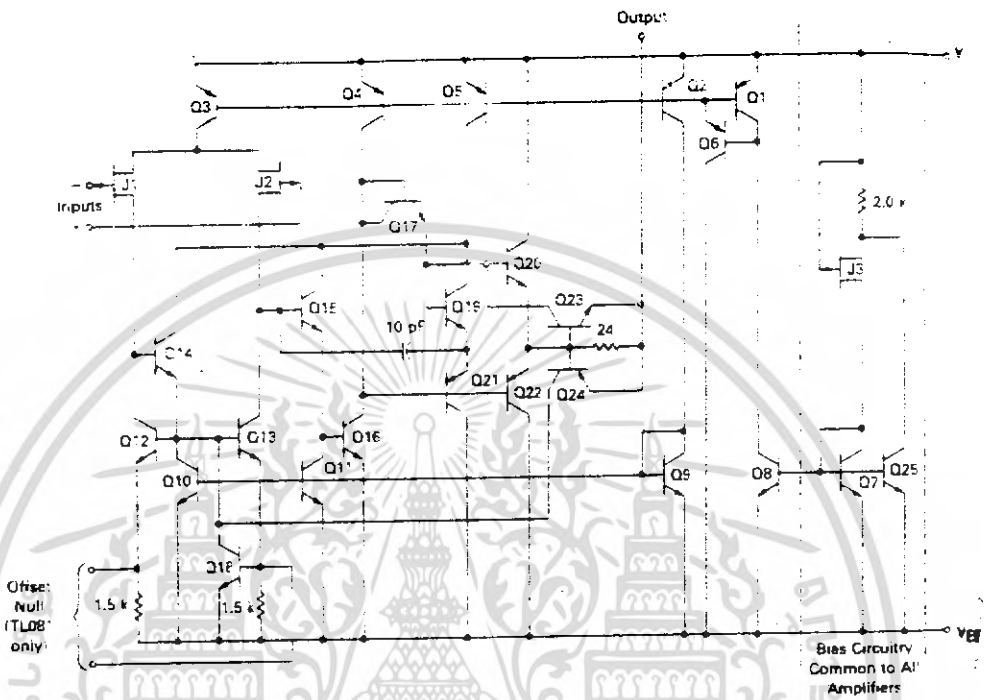


FIGURE 13 — TOTAL HARMONIC DISTORTION versus FREQUENCY



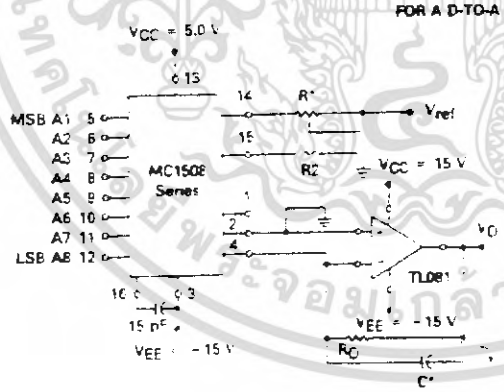
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REPRESENTATIVE CIRCUIT SCHEMATIC
(Each Amplifier)



TYPICAL APPLICATIONS

FIGURE 14 — OUTPUT CURRENT TO VOLTAGE TRANSFORMATION FOR A D-TO-A CONVERTER



Settling time to within ½ LSB (± 19.5 mV) is approximately 4.0 μs from the time all bits are switched.

*The value of C may be selected to minimize overshoot and ringing (C = 68 pF).

Theoretical V_O

$$V_O = \frac{V_{ref}}{R1}(R_O)\left[\frac{A1}{2} - \frac{A2}{4} - \frac{A3}{8} - \frac{A4}{16} - \frac{A5}{32} - \frac{A6}{64} - \frac{A7}{128} - \frac{A8}{256}\right]$$

Adjust V_{ref}, R1 or R_O so that V_O with all digital inputs at high level is equal to 9.961 volts.

V_{ref} = 2.0 Vdc
$R_1 = R_2$ = 1.0 kΩ
R_O = 5.0 kΩ

$$V_O = \frac{2.0\ V}{1.0\ k}(5.0\ k)\left[\frac{1}{2} - \frac{1}{4} - \frac{1}{8} - \frac{1}{16} - \frac{1}{32} - \frac{1}{64} - \frac{1}{128} - \frac{1}{256}\right]$$

$$= 10\ V\left[\frac{255}{256}\right] = 9.961\ V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้