ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์. เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าและคิดเงินค่าไฟฟ้าโดยคอมพิวเตอร์

DIGITAL WATT HOUR METER AND CHARGING BY COMPUTER

ชื่อนักศึกษา	1. นายคทาวุฒิ	วันเพ็ญ	รหัสประจำตัว	38031203
	2. นายธงชัย	วงษ์พันธ์	รหัสประจำตัว	38031213
	3. นายปริยตม์	ชั้นประเสริฐ	รหัสประจำตัว	38031217
	4. นายวัฒนา	ไพศาลเจริญพงศ์	รหัสประจำตัว	38031227

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

1. อาจารย์โกศล ตราชู
2. อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม
3. อาจารย์สุชิน อาจหาญ

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์		ลายมือชื่อ
1. อาจารย์โกศล	ตราชู	....
2. อาจารย์วิสุทธิ์	อธิพรธรรม	....
3. อาจารย์กิติพงศ์	มะโน	....
4. อาจารย์ปิยะ	จิตธรรมมาภิรมย์	....
5. อาจารย์ประเสริฐ	เคนพันค้อ	....
6. อาจารย์ปิยะ	ศุภวราสุวัฒน์	....

วันเดือนปีที่สอบ วันที่ 25 เมษายน 2540 เวลา 18.00 น. ถึง 19.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.301 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม..............................

(ผศ.ดร.ธีรวุฒิ เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่......เดือน.......พ.ศ.......

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและคิดเงินค่าไฟฟ้าโดยคอมพิวเตอร์

DIGITAL WATT HOUR METER AND CHARGING BY COMPUTER

A021619

นายคทาวุฒิ วันเพ็ญ
นายธงชัย วงษ์พันธ์
นายปริยตม์ ชั้นประเสริฐ
นายวัฒนา ไพศาลเจริญพงศ์

เลขหมู่.............
เลขทะเบียน.............
วัน เดือน ปี 23 พค 2540
021619

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าและคิดเงินค่าไฟฟ้าโดยคอมพิวเตอร์

DIGITAL WATT HOUR METER AND CHARGING BY COMPUTER

ผู้จัดทำ

1. นายคทาวุฒิ วันเพ็ญ
2. นายธงชัย วงษ์พันธ์
3. นายปริยฒม์ ชั้นประเสริฐ
4. นายวัฒนา ไพศาลเจริญพงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงนาม..

(อาจารย์โกศล ตราชู)

ลงนาม..

(อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

ลงนาม..

(อาจารย์สุชิน อาจหาญ)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

ลงนาม..

(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าและคิดเงินค่าไฟฟ้าโดยคอมพิวเตอร์

DIGITAL WATT HOUR METER AND CHARGING BY COMPUTER

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการแปลงค่ากำลังงานไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของค่าที่วัดได้
2. เพื่อออกแบบวงจรของเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้า
3. เพื่อสร้างเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าที่มีระบบสำรองข้อมูลและเป็นระบบดิจิตอล
4. เพื่อนำเครื่องวัดไปใช้วัดการใช้กำลังงานไฟฟ้าและคิดเงินค่าไฟฟ้า

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ในเรื่องการแปลงค่ากำลังงานไฟฟ้าให้อยู่ในรูปค่าที่วัดได้
2. มีความรู้ในการเขียนโปรแกรมและออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์
3. ได้อุปกรณ์เครื่องวัดที่อ่านค่าได้ง่าย
4. นำเครื่องวัดที่ได้ใช้ในการตรวจนับปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าได้จริง

พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าและคิดเงินค่าไฟฟ้าโดยคอมพิวเตอร์

นายคทาวุฒิ วันเพ็ญ
นายธงชัย วงษ์พันธ์
นายปริยตม์ ชั้นประเสริฐ
นายวัฒนา ไพศาลเจริญพงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์โกศล ตราชู
อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม
อาจารย์สุชิน อาจหาญ

ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้า และคิดเงินค่าไฟฟ้าโดยคอมพิวเตอร์ที่ใช้หลักการของวงจรคูณสัญญาณ โดยจะแสดงผลค่าที่วัดได้ผ่านตัวแสดงผลแบบ LED เป็นค่ากำลังงานไฟฟ้าในหน่วยของวัตต์ และกิโลวัตต์/ชั่วโมง และนำค่ากำลังงานไฟฟ้าที่วัดได้ส่งผ่านคอมพิวเตอร์เพื่อออกใบเสร็จเก็บค่าไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIGITAL WATT HOUR METER AND CHARGING BY COMPUTER

MR.KHATAWUT WANPEN
MR.THONGCHAI WONGPHAN
MR.PRARIYOT CHANPRACHERT
MR.WATTANA PAISANJARURNPONG

ADVISORS
MR.KOSON TRACHU
MR.WISUIT ATIPOTNTUM
MR.SUCHIN ADHAN
1996

ABSTRACT

This thesis presents the Digital Watt Hour Meter by using the integral multiple signal circuit. The result of measurement are shown by LED display in unit of Watt and Kilowatt hours. Quantity power from measurement is sent to computer for billing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้เนื่องจากการให้ความช่วยเหลือจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานทุกท่าน และขอขอบคุณบิดามารดาของพวกเราที่ให้กำลังใจในการทำงาน ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยเป็นกำลังใจ และช่วยเหลือจึงทำให้งานเสร็จสมบูรณ์ได้ และสุดท้ายขอขอบคุณทุกสิ่งทุกอย่างที่มีส่วนช่วยทำให้โครงงานนี้สำเร็จลงด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 เครื่องวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า	1
1.2 คอมพิวเตอร์ที่ใช้ออกใบเสร็จรับเงินเก็บค่าไฟฟ้า	2
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 ความหมายของกำลังไฟฟ้าและเพาเวอร์แฟคเตอร์	4
2.3 เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้า	7
2.3.1 วัตต์มิเตอร์ชนิดอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์	7
2.3.2 วัตต์มิเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ	10
2.3.3 วัตต์มิเตอร์ชนิดเธอร์โมคัปเปิล	11
2.4 เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ	12
2.4.1 หลักการ	12
2.4.2 ความคลาดเคลื่อนและการชดเชย	14
2.4.3 เครื่องบันทึก	17
2.4.4 การทดสอบ	18
2.5 เครื่องวัดทางอิเล็กทรอนิกส์	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.5.1 อิเลคทรอนิคโวลต์มิเตอร์	19
2.5.2 เครื่องวัดชนิดขึ้นตัวเลข	23
2.6 ทฤษฎีของการคูณสัญญาณ	28
2.6.1 ค่าเสกลแฟกเตอร์	29
2.6.2 ควอแดรนต์ของการคูณสัญญาณ	30
2.6.3 การปรับแต่งวงจรคูณสัญญาณ	32
2.7 วงจรคูณสัญญาณด้วย OTA	34
2.7.1 เทคนิคการส่งผ่านข้อมูล	37
2.7.2 การส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม	38
2.7.3 มาตราฐาน RS-232C	41
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	47
3.1 หลักการทำงาน	47
3.2 การออกแบบด้านฮาร์คแวร์	48
3.2.1 วงจรวัตต์มิเตอร์	48
3.2.2 วงจรกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์	50
3.2.3 วงจรรับส่งข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์	53
3.3 การออกแบบซอฟท์แวร์	60
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	62
4.1 การทดลองส่วนแสดงผลของวัตต์มิเตอร์	62
4.1.1 ลำดับขั้นการทดลอง	62
4.1.2 ผลการทดลอง	63
4.2 การทดลองวงจรภาคแสดงผลของกิโลวัตต์มิเตอร์	63
4.2.1 ลำดับขั้นการทดลอง	63
4.2.2 ผลการทดลอง	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.3 การทดลองวงจรภาคเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้า	64
4.3.1 ลำดับขั้นการทดลอง	64
4.3.2 ผลการทดลอง	65
4.4 การทดลองวงจรเชื่อมต่อข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์	65
4.4.1 ลำดับขั้นการทดลอง	65
4.4.2 ผลการทดลอง	67
บทที่ 5 สรุป ปัญหา แนวทางแก้ไขและพัฒนา	70
5.1 บทสรุป	70
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำโครงงาน	70
5.3 แนวทางการแก้ไขพัฒนา	71
5.3.1 การพัฒนาด้านฮาร์ดแวร์	71
5.3.2 การพัฒนาด้านโปรแกรม	71
ภาคผนวก ก วงจร และลายวงจรพิมพ์	72
ภาคผนวก ข รายการอุปกรณ์	80
ภาคผนวก ค ผังการทำงานของโปรแกรม และโปรแกรมที่ใช้งาน	86
ภาคผนวก ง รูปการลงอุปกรณ์ที่ใช้งานจริงในโครงงานนี้	99
ภาคผนวก จ ข้อมูลรายละเอียดอุปกรณ์	106
ประวัติผู้แต่ง	151
บรรณานุกรม	155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการปรับแต่งวงจรไอซีคูณสัญญาณ	33
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติต่างๆ ของ OTA	34
ตารางที่ 2.3 การกำหนดย่านแรงดันไฟฟ้าในสัญญาณ	42
ตารางที่ 2.4 คุณลักษณะโดยย่อของสัญญาณ RS-232C	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปภาพ		หน้า
รูปที่ 2.1	กระแสสลับในโหลดชนิดความต้านทาน	5
รูปที่ 2.2	กำลังงานไฟฟ้ากระแสสลับในโหลดชนิดอินดักตีฟ	6
รูปที่ 2.3	กำลังไฟฟ้ากระแสสลับในโหลดทั่วๆ ไป	6
รูปที่ 2.4	วงจรของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าชนิดอิเล็กทรอไดนาโมมิเตอร์	8
รูปที่ 2.5	เวคเตอร์ไดอะแกรมของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า ชนิดอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์	9
รูปที่ 2.6	หลักการของเครื่องวัดชนิดเหนี่ยวนำ	10
รูปที่ 2.7	เวคเตอร์ไดอะแกรมของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ	11
รูปที่ 2.8	หลักการของวัตต์มิเตอร์ชนิดเทอร์โมคัปเปิล	12
รูปที่ 2.9	หลักการของเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ ชนิดเหนี่ยวนำ	13
รูปที่ 2.10	แสดงกระแสวนเวียนในจานหมุน	14
รูปที่ 2.11	หลักการของเครื่องปรับเฟส	15
รูปที่ 2.12	หลักการของเครื่องปรับเฟสขณะโหลดมาก	15
รูปที่ 2.13	หลักการของเครื่องปรับเฟสขณะโหลดน้อย	16
รูปที่ 2.14	ตัวอย่างของเครื่องบันทึกแบบต่างๆ	17
รูปที่ 2.15	เครื่องตัดตอนกระแสแบบกล	20
รูปที่ 2.16	เครื่องตัดตอนกระแสแบบใช้ทรานซิสเตอร์	20
รูปที่ 2.17	หลักการของโวลต์มิเตอร์แบบสไลด์แบค	22
รูปที่ 2.18	หลักการของโวลต์มิเตอร์ชนิดตัวเลข	24
รูปที่ 2.19	ความแตกต่างระหว่างวิธีเปรียบเทียบกับวิธีอินทีเกรท	25
รูปที่ 2.20	หลักการของระบบการนับแบบ Pulse-width Modulation	26
รูปที่ 2.21	โวลต์มิเตอร์ชนิดตัวเลข (มีความถูกต้อง 0.005%)	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.22 วงจรคูณสัญญาณ	30
รูปที่ 2.23 การจำแนกควอแดรนต์เมื่อสัญญาณ X และ Y มีสถานะต่างๆ	31
รูปที่ 2.24 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากสัญญาณ X และ Y ณ ค่าต่างๆ	31
รูปที่ 2.25 วงจรไอซีคูณสัญญาณ	33
รูปที่ 2.26 ส่วนประกอบของการสื่อสารข้อมูล	35
รูปที่ 2.27 การส่งสัญญาณแบบอนุกรม	36
รูปที่ 2.28 การส่งสัญญาณแบบขนาน	37
รูปที่ 2.29 รูปแบบอักขระสำหรับการส่งสัญญาณแบบอะซิงโครนัส	38
รูปที่ 2.30 ตัวอย่างรูปแบบส่งสัญญาณแบบอะซิงโครนัส	39
รูปที่ 2.31 การใช้ RS-232C เชื่อมต่ออุปกรณ์	40
รูปที่ 2.32 ย่านแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในสัญญาณ RS-232C	41
รูปที่ 2.33 การกำหนดของข้อต่อ RS-232C	42
รูปที่ 3.1 ผังวงจรการทำงานของเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าและคิดเงินค่าไฟฟ้าโดยคอมพิวเตอร์	47
รูปที่ 3.2 วงจรวัตต์มิเตอร์	49
รูปที่ 3.3 วงจรภาคแสดงผลของวัตต์มิเตอร์	50
รูปที่ 3.4 วงจรนับและแสดงผลของกิโลวัตต์มิเตอร์	52
รูปที่ 3.5 วงจร VCO	53
รูปที่ 3.6 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา	54
รูปที่ 3.7 วงจรส่งข้อมูลแบบอนุกรม	55
รูปที่ 3.8 วงจรรับข้อมูลแบบอนุกรม	56
รูปที่ 3.9 วงจรที่ใช้ในการควบคุมการส่งข้อมูลในห้องที่ 1	57
รูปที่ 3.10 วงจรที่ใช้ในการควบคุมการส่งข้อมูลในห้องที่ 2	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ		หน้า
รูปที่ 3.11	วงจรที่ใช้ในการควบคุมการส่งข้อมูลในห้องที่ 3	58
รูปที่ 3.12	วงจรที่ใช้ในการควบคุมการส่งข้อมูลในห้องที่ 4	59
รูปที่ 3.13	วงจรโมโนสเตเบิ้ลที่ใช้ในการควบคุมรีเลย์	59
รูปที่ 4.1	ส่วนแสดงผลที่มีการป้อนแรงดันที่อินพุทเป็น + 10 โวลต์	62
รูปที่ 4.2	ส่วนแสดงผลที่มีการป้อนแรงดันที่อินพุทเป็น + 15 โวลต์	63
รูปที่ 4.3	วงจรแสดงผลของ Kilo Watt Hour Meter เมื่อป้อนความถี่ 163.84 กิโลเฮิรต์ เป็นเวลา 1 วินาที	64
รูปที่ 4.4	ค่าที่วัดได้ของส่วนแสดงภาคของวัตต์มิเตอร์ เมื่อต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีกำลังงาน 1,000 วัตต์	65
รูปที่ 4.5	แสดงค่าที่วัดได้ของส่วนแสดงผล กิโลวัตต์-ชั่วโมง ที่ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า 1,000 วัตต์ เป็นเวลา 6 นาที	66
รูปที่ 4.6	ค่าที่วัดได้ของส่วนแสดงผลที่ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า 1,000 วัตต์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	67
รูปที่ 4.7	ผลการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับเครื่องห้องที่ 1	68
รูปที่ 4.8	ผลการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับเครื่องห้องที่ 2	68
รูปที่ 4.9	ผลการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับเครื่องห้องที่ 3	69
รูปที่ 4.10	ผลการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับเครื่องห้องที่ 4	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

โครงงานนี้ได้จัดทำเกี่ยวกับเครื่องวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าแบบดิจิตอล และส่งข้อมูลที่ อ่านได้ไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อพิมพ์ออกมาเป็นใบแจ้งหนี้เพื่อเรียกเก็บเงิน โดยได้แนวคิดมาจากความต้องการความสะดวกในการเก็บค่าไฟฟ้าของหอพัก และการต้องการพัฒนาเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าแบบเก่าที่เป็นแบบกลไก โดยอาศัยจานหมุนมาเป็นเครื่องวัดแบบดิจิตอลที่อ่านค่าได้ง่ายกว่า ซึ่งโครงงานนี้จะแบ่งส่วนประกอบออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนของเครื่องวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าแบบดิจิตอล และส่วนของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกใบแจ้งหนี้

1.1 เครื่องวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

ปัจจุบันเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเป็นเครื่องวัดชนิดเหนี่ยวนำ เป็นการเปลี่ยนปริมาณไฟฟ้าให้เป็นค่าที่วัดได้ โดยอาศัยจานหมุนที่กำหนดเป็นปฏิภาคกับพลังงาน และติดเฟืองทดแบบตัวหนอนเข้ากับแกนหมุนของจาน เพื่อให้ไปหมุนเข็มชี้หรือตัวเลข เพื่อบ่งปริมาณของพลังงานที่วัดออกมาเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งสามารถใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์แทนได้ โดยอาศัยวงจรคูณสัญญาณ การออกแบบมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีแต่วิธีที่ง่ายที่สุด คือ การออกแบบวงจรคูณโดยใช้ OTA (Operational Transconductance Amplifier) ซึ่งเป็นแบบที่นำมาใช้ในโครงงานเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าสามารถวัดและแสดงปริมาณกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในช่วงเวลาใดๆ เป็นวัตต์ และสามารถแสดงค่ากิโลวัตต์-ชั่วโมงมีคุณสมบัติโดยละเอียดดังนี้

- การวัดกำลังงานไฟฟ้าทำได้สะดวกกว่ามิเตอร์วัดกำลังงานไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ เนื่องจากมิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไม่สามารถตั้งค่าศูนย์ใหม่ได้ ต้องนำค่าที่ปรากฏอยู่ในขณะนั้นไปลบด้วยกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในเดือนก่อน ทั้งยุ่งยากและอาจผิดพลาดได้ แต่เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าตัวนี้สามารถรีเซตได้ ทำให้สามารถดูปริมาณการใช้กำลังงานไฟฟ้าได้ทันที นอกจากนี้ยังสามารถวัดได้ละเอียดถึง 0.001 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง
- สามารถแสดงผลการใช้กำลังงานไฟฟ้าในขณะใดๆ ได้รวดเร็ว
- แสดงผลเป็นตัวเลขที่สามารถอ่านได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถวัดกำลังงานไฟฟ้าในขณะใดๆ ได้สูงสุด 3 กิโลวัตต์ และสามารถวัดกำลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ได้สูงสุด 2,000.0 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง เมื่อเครื่องนับเกิน 2,000.0กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง จะมี LED แสดงการนับเกินย่านวัด

1.2 คอมพิวเตอร์ที่ใช้ออกใบแจ้งหนี้เก็บเงินค่าใช้ไฟฟ้า

ส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการนำค่าของกำลังงานไฟฟ้าที่วัดได้ในแต่ละห้อง มาคิดคำนวณเป็นค่าไฟฟ้า และทำการออกใบแจ้งหนี้เพื่อเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้า โดยนำข้อมูลจากวัตต์มิเตอร์ ผ่านการแปลงสัญญาณจากแอนะลอกเป็นดิจิตอล ผ่านส่วนอินเตอร์เฟส เข้ามาประมวลผลที่คอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมควบคุมการประมวลผลที่เขียนขึ้นมา เพื่อใช้คำนวณหาปริมาณค่าไฟฟ้าโดยเฉพาะ ซึ่งสามารถเลือกวิธีการออกใบแจ้งหนี้ได้ 2 แบบ คือ

- ออกใบแจ้งหนี้โดยคำนวณค่าใช้ไฟฟ้า จากกำลังงานไฟฟ้าที่อุปกรณ์ไฟฟ้าใช้ไปภายในห้องเดียว ซึ่งลักษณะการคำนวณค่าใช้ไฟฟ้าจะเป็นการคำนวณเฉพาะห้อง โดยรวมกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปทั้งหมดซึ่งจะเป็นหน่วยของกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง เทียบเป็นจำนวนเงินในระบบยูนิตเรียกเก็บค่าใช้ไฟฟ้าจากผู้เช่าเฉพาะห้อง

- ออกบิลเงินสดโดยคำนวณค่าไฟฟ้า โดยรวมจากการใช้กำลังงานไฟฟ้าที่อุปกรณ์ไฟฟ้าใช้ไปในทุกๆ ห้อง ซึ่งลักษณะการคำนวณคล้ายกับแบบแรก เพียงแต่จะนำค่ากำลังงานไฟฟ้าของแต่ละห้องมารวมกันแล้วเทียบเป็นจำนวนเงินในระบบยูนิต เพื่อดูสถิติค่าไฟฟ้าที่เจ้าของห้องเช่าจะเทียบดูจากใบเสร็จรับเงินของการไฟฟ้า เพื่อเป็นแนวทางในการประหยัดค่าไฟฟ้าในเดือนต่อไป

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาโดยสังเขปดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ กล่าวถึงความหมายของกำลังไฟฟ้า และเพาเวอร์แฟคเตอร์, เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้า, เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเครื่องวัดทางอิเล็กทรอนิกส์, ทฤษฎีของการคูณสัญญาณ, วงจรคูณสัญญาณด้วย OTA และหลักการสื่อสารข้อมูล

บทที่ 3 การออกแบบ และการสร้าง กล่าวถึง การออกแบบและการสร้างวงจรที่ใช้ในปริญญานิพนธ์ ได้แก่ การออกแบบด้านฮาร์ดแวร์วงจรวัตต์มิเตอร์, วงจรกิโลวัตต์มิเตอร์,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรับส่งข้อมูล และเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์, วงจรวัตต์มิเตอร์, วงจรกิโลวัตต์มิเตอร์, วงจรรับส่งข้อมูล และเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ และการออกแบบซอฟท์แวร์

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง มีเนื้อหาที่เกี่ยวกับการทดสอบภาคต่างๆ ของวงจรที่ใช้ในปริญญานิพนธ์นี้ ซึ่งได้แบ่งการทดลองไว้เป็น การทดลองส่วนแสดงผลของวัตต์มิเตอร์, การทดลองวงจรภาคแสดงผลของกิโลวัตต์มิเตอร์, การทดลองวงจรภาคเครื่องวัดกงานไฟฟ้า และการทดลองวงจรเชื่อมต่อข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์

บทที่ 5 สรุป ปัญหา แนวทางแก้ไขและพัฒนา จะเป็นการสรุปโครงงานที่ได้จัดทำขึ้นว่ามีความสำคัญอย่างไร, การอธิบายถึงปัญหาที่เกิดขึนในการทำงาน และแนวทางการปรับปรุงแก้ไขพัฒนาโครงงานนี้

ภาคผนวก ก. วงจรและลายวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ข. รายการอุปกรณ์

ภาคผนวก ค. ผังการทำงานของโปรแกรม และโปรแกรมที่ใช้ในโครงงาน

ภาคผนวก ง. รูปแสดงการลงอุปกรณ์ที่ใช้งานจริงในโครงงาน

ภาคผนวก จ. รายละเอียดข้อมูลและคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงความหมายของกำลังงานไฟฟ้า และเพาเวอร์แฟคเตอร์ ตลอดจนหลักการของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบอาศัยจานหมุน ซึ่งเป็นต้นกำเนิดให้เกิดแนวความคิดให้เกิดการประดิษฐ์เป็นเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าแบบดิจิตอล โดยจะแบ่งเป็นหัวข้อย่อยอธิบายไว้อย่างละเอียด รวมถึงในเรื่องของหลักการสื่อสารข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ด้วย

2.2 ความหมายของกำลังไฟฟ้า และเพาเวอร์แฟคเตอร์

ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง กำลังไฟฟ้า P ที่ใช้ไปในความต้านทานที่โหลด R จะมีค่าเป็นดังนี้

$$P=VI= I^2R= \frac{V^2}{R} \qquad \text{(วัตต์)} \qquad (2.1)$$

โดยที่ V เป็นแรงดันตกคร่อมโหลด และ I เป็นกระแสที่ไหลผ่านโหลด ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปในโหลด ขณะที่แรงดันตกคร่อมโหลดเท่ากับ v(t) และกระแสในโหลดเท่ากับ i(t) เป็นกำลังงานไฟฟ้าแต่ละขณะซึ่งมีค่าเป็น

$$p(t) = v(t)\, i(t) \qquad \text{(วัตต์)} \qquad (2.2)$$

สมมุติว่าแรงดันตกคร่อมโหลดเป็นแรงดันไฟฟ้าสลับรูปไซน์ ที่มีสมการเป็น $v = Vm \sin \omega t$ ถ้าโหลดมีความต้านทานเป็น R กระแสที่ไหลผ่านโหลด i จะเขียนได้เป็น

$$i = \frac{Vm}{R} \sin \omega t = Im \sin \omega t \qquad \text{(แอมแปร์)} \qquad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้น p จะเขียนได้เป็น

$$p = Vm.Im \sin^2 \omega t \quad \text{(วัตต์)} \qquad (2.4)$$

และจะได้

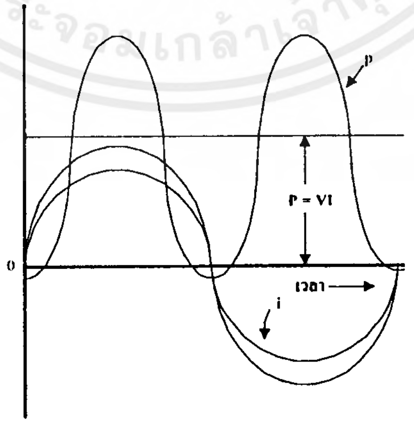
$$p = \frac{Vm.}{Im} (1- \cos 2 \omega t) \quad \text{(วัตต์)} \qquad (2.5)$$

สมการข้างบนนี้ได้เขียนรูปแสดงไว้ให้ดูในรูปที่ 2.1 เช่นเดียวกับคำจำกัดความของค่าประสิทธิผล ค่าเฉลี่ยของ p ในหนึ่งช่วงเวลาครบรอบซึ่งก็คือกำลังไฟฟ้าโดยเฉลี่ย P จะมีค่าเป็น

$$P = \frac{Vm.}{Im} = VI = I^2R = \frac{V^2}{R} \quad \text{(วัตต์)} \qquad (2.6)$$

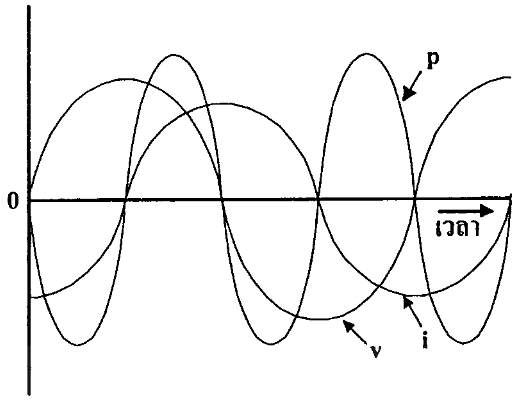
โดยให้ V และ I เป็นค่าประสิทธิผลของ v และ i ตามลำดับ สมการนี้มีรูปแบบเดียวกับสมการกระแสตรง P ในสมการนี้เรียกว่ากำลังไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้าโหลดเป็นตัวรีแอคตีฟ (Reactive element) เช่น อินดัคแตนซ์ L เป็นต้น

$$i = \frac{Vm}{\omega L} \sin (\omega t - \frac{\pi}{2}) = Im \sin (\omega t - \frac{\pi}{2}) \qquad (2.7)$$



รูปที่ 2.1 กำลังไฟฟ้ากระแสสลับในโหลดชนิดความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 กำลังงานไฟฟ้ากระแสสลับในโหลดชนิดอินดัคตีฟ

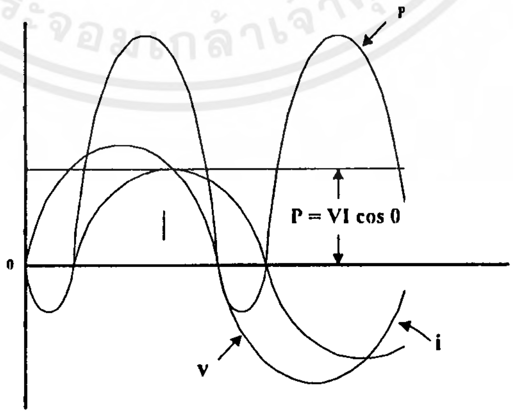
ความสัมพันธ์แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 และในกรณีนี้ กำลังเฉลี่ย P จะมีค่าเป็นดังนี้

$$P = VI\cos\varphi \tag{2.8}$$

โดยอาศัยความสัมพันธ์ที่ว่า $\cos\varphi = \dfrac{R}{\sqrt{R^2+X^2}}$

เราจะหาต่อไปได้ว่า

$$P = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$



รูปที่ 2.3 กำลังไฟฟ้ากระแสสลับในโหลดทั่วๆ ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่า โดยทั่วไปแล้วกำลังเฉลี่ยในกรณีของไฟฟ้ากระแสสลับ แสดงได้โดยผลคูณของแรงดันประสิทธิผลคร่อมโหลด กับกระแสประสิทธิผลที่ไหลผ่านโหลด กับค่า cos ของมุม ระหว่างเฟสของแรงดันกับกระแส กำลังเฉลี่ยนี้จะมีค่าเท่ากับกำลังที่ใช้ไปในความต้านทานของโหลด กำลังนี้จึงเรียกว่า กำลังประสิทธิผล ส่วนกำลังแต่ละขณะซึ่งมีค่าเท่ากับ VI sin φ อันเป็นกำลังที่ถ่ายเทไปมาระหว่างต้นกำเนิดกำลัง กับรีแอคแตนซ์ของโหลดโดยไม่มีการสิ้นเปลืองไป เรียกว่ากำลังรีแอคตีฟ ค่าของ VI เรียกว่า กำลังที่ปรากฏ และค่าของ cos φ เรียกว่า เพาเวอร์แฟคเตอร์

2.3 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (วัตต์มิเตอร์)

กำลังไฟฟ้าแสดงได้โดยผลคูณของแรงดันกับกระแส สำหรับกรณีของไฟฟ้ากระแสตรง และโดยผลคูณของแรงดันประสิทธิผลกับกระแสประสิทธิผล กับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของโหลด ในกรณีของไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นในการวัดกำลังไฟฟ้า การคูณดังกล่าวจะต้องกระทำโดยวิธีใดวิธี หนึ่งในสามวิธี ที่แบ่งคร่าวๆ ไว้ดังต่อไปนี้

1. โดยการใช้เครื่องวัดที่ให้ผลคูณได้
2. โดยการใช้เครื่องวัดที่แยกวงจรการคูณต่างหากจากกัน
3. โดยการใช้ค่าที่วัดได้โดยทางอ้อม

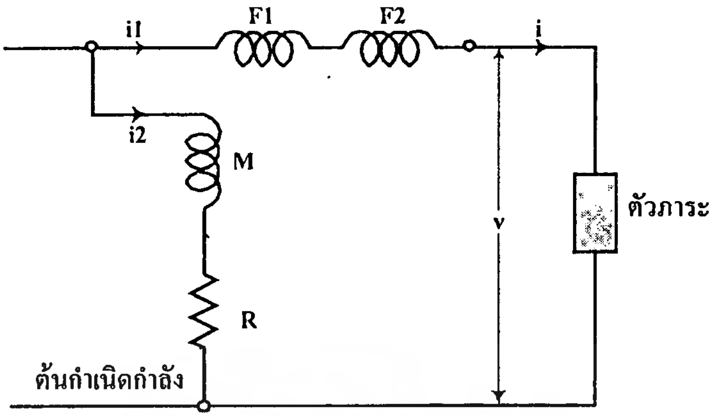
เครื่องวัดที่ใช้ในข้อ 1 และ 2 ก็คือเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (วัตต์มิเตอร์) สำหรับในข้อ 1 เป็นเครื่องวัดชนิดอีเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์ (Electro Dynamo Meter) หรือชนิดเหนี่ยวนำ ส่วนในข้อ 2 เป็นเครื่องวัดชนิดเธอร์โมคัปเปิล (Thermo Couple) หรือชนิดอื่นที่คล้ายคลึงกัน

2.3.1 วัตต์มิเตอร์ชนิดอิเลคโทรไดนาโมมิเตอร์

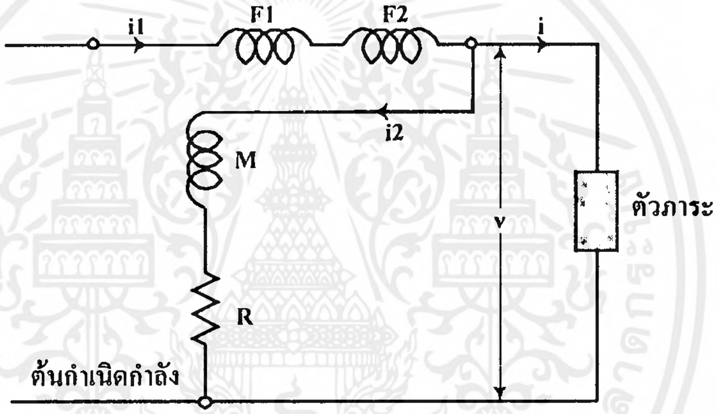
1. หลักการของวัตต์มิเตอร์ชนิดอิเลคโทรไดนาโมมิเตอร์

ดังได้อธิบายมาแล้วว่า เครื่องวัดชนิดอีเลคโทรไดนาโมมิเตอร์มีขดลวดอยู่คู่หนึ่ง คือ ขดลวดที่อยู่กับที่ กับขดลวดที่หมุนได้ และเข็มชี้ไปเป็นปฏิภาคกับผลคูณของกระแสที่ไหลผ่านขดลวดทั้งสองนั้น ถ้านำเครื่องวัดดังกล่าวมาประกอบเป็นวงจร ดังแสดงในรูปที่2.4 (ก) หรือ (ข) โดยให้กระแส i_1 ที่ไหลผ่านขดลวดอยู่กับที่เป็นปฏิภาคกับกระแส i ที่ไหลผ่านโหลด และให้กระแส i_2 ที่ไหลผ่านขดลวดหมุน เป็นปฏิภาคกับแรงดัน v ที่คร่อมโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.4 วงจรของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าชนิดอีเลคโทรไดนาโมมิเตอร์

แรงบิดที่เกิดขึ้นในเครื่องวัดนี้จะมีค่าเป็นปฏิภาคกับ $i_1 i_2$ = Kvi โดย K เป็นค่าคงที่ และเป็นปฏิภาคกับกำลังของโหลด vi ในกรณีของไฟฟ้ากระแสตรง

ส่วนในกรณีของไฟฟ้ากระแสสลับ

$$i_1 i_2 = Kvi = KVI\ \{\cos\varphi - \cos(2\omega t - \varphi)\} \tag{2.9}$$

ซึ่งหามาได้จากการสมมุติให้ $v = V_m \sin \omega t$, $i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$ และ I_2 มีเฟสเดียวกับ v ถ้าความถี่ของ v และ i มีค่าสูงเป็นหลายๆ เฮิรตซ์ ส่วนที่เคลื่อนไหวก็จะหมุนไปตามผล

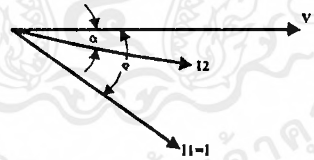
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอบที่มีแต่เฉพาะต่อค่า VI cos φ ที่อยู่ทางขวามือของสมการเท่านั้น ค่า VI cos φ นี้แสดงถึงกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปในโหลด ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ไม่ว่าในกรณีของไฟฟ้ากระแสตรงหรือกระแสสลับ การชี้บ่งของวัตต์มิเตอร์ชนิดอิเลคโทรไดนาโมมิเตอร์ ย่อมเป็นปฏิภาคกับกำลังที่ใช้ไปในโหลด สำหรับการต่อวัตต์มิเตอร์อาจทำได้สองวิธีดังแสดงในวงจรรูปที่2.4 (ก) และ(ข) ซึ่งการเลือกใช้ก็อาจทำได้โดยการพิจารณาในทำนองเดียวกัน

2. คุณลักษณะของวัตต์มิเตอร์ชนิดอิเลคโทรไดนาโมมิเตอร์

เนื่องจากเครื่องวัดชนิดนี้เป็นเครื่องวัดประเภทที่ใช้ได้ทั่วไป จึงใช้วัดกระแสสลับได้ด้วยหลังจากที่ได้รับการปรับเทียบกับกระแสตรงแล้ว ในกรณีนี้ค่าความเหนี่ยวนำของ-ขดลวดหมุนจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นในการวัดโดยทำให้กระแส i_2 มีมุมของเฟสล้าหลังลงไป เมื่อเทียบกับ v ซึ่งการล้าหลังนี้ได้รับการยกเว้นไม่กล่าวถึงในคำอธิบายตอนต้น นั่น คือ ถ้ามุมต่างของเฟสระหว่าง v กับ i_2 มีค่าเป็น α ดังแสดงในรูปที่ 2.5 เราจะเขียนได้ว่า $i_2 = K' V_m \sin(\omega t - \alpha)$ และจะได้สมการต่อไปนี้ ในทำนองเดียวกันกับสมการที่ (2.9) คือ

$$i_1 i_2 = KVI \{\cos(\varphi - \alpha) - \cos(2\omega t - \varphi - \alpha)\} \qquad (2.10)$$



รูปที่ 2.5 เวคเตอร์ไดอะแกรมของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าชนิดอิเล็กทรอไดนาโมมิเตอร์

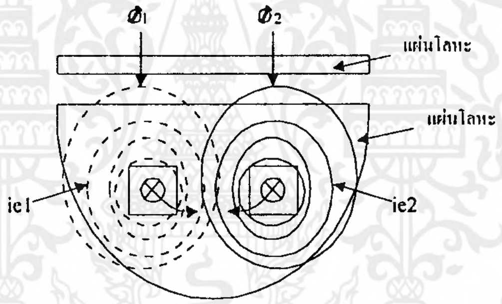
โดยมีข้อแม้ว้า $K' = K$ ดังนั้นวัตต์มิเตอร์จะชี้บ่งค่าที่เป็นปฏิภาคกับ VI cos (φ-α) เนื่องจากมุม α มีขนาดเล็ก ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจาก α จึงมีน้อยเมื่อ φ = 0 ซึ่งหมายถึงว่า เมื่อเพาเวอร์แฟคเตอร์ของโหลดมีค่าใกล้ 1 อย่างไรก็ตามเนื่องมาจาก φ โตขึ้นหรือ เพาเวอร์แฟคเตอร์ลดลง ความคลาดเคลื่อนเนื่องจาก α จะมีมากขึ้นจนไม่สามารถละทิ้งเสียได้ ดังนั้นในการวัดกำลังไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ จึงควรต้องใช้วัตต์มิเตอร์ที่มี มุ ม α น้อยซึ่งจะบ่งไว้โดยเฉพาะว่าใช้ในการวัดเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 วัตต์มิเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ

เครื่องวัดชนิดเหนี่ยวนำประกอบด้วยคอยล์คู่หนึ่งซึ่งเป็นอิสระต่อกัน ทำให้เกิดแรงบิดที่เป็นปฏิภาค กับผลคูณของกระแสที่ไหลผ่านคอยล์ทั้งสองนั้นขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัตต์มิเตอร์ได้ ในกรณีนี้ ϕ_1 ในรูปที่ 2.6 ถูกสร้างขึ้นโดยกระแส I ที่ไหลผ่านโหลด และ ϕ_2 เกิดขึ้น เนื่องจากแรงดันคร่อมโหลด ϕ_2 ถูกทำให้ล้าหลัง V อยู่เป็นมุม 90 องศาความสัมพันธ์ระหว่างเฟสเหล่านี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.7 และค่าของ $\sin\alpha$ ในสมการจะเขียนได้เป็น

$$\sin\alpha = \cos\varphi \qquad (2.11)$$



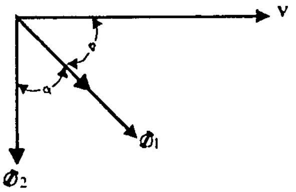
รูปที่ 2.6 หลักการของเครื่องวัดชนิดเหนี่ยวนำ

เพื่อที่จะให้ ϕ_2 ล้าหลัง V ถึง 90 องศา ก็จะต้องเพิ่มจำนวนรอบของขดลวดขึ้นให้มากพอที่จะถือได้ว่าขดลวดนั้นเป็นความเหนี่ยวนำบริสุทธิ์ ในสภาพเช่นนี้จะทำให้ค่าของ ϕ_2 เป็นปฏิภาคกับ V/ω และค่าของ $\omega\phi_1\phi_2 \sin\alpha$ ในสมการเป็นสมการของแรงบิดจะเขียนได้เป็น

$$\omega\phi_1\phi_2 \sin\alpha = KVI\cos\varphi \qquad (2.12)$$

โดยวิธีนี้ก็สามารถใช้เครื่องวัดชนิดนี้วัดกำลังไฟฟ้าได้ วัตต์มิเตอร์ชนิดนี้มักใช้เป็นเครื่องวัดแบบมุมกว้าง สำหรับติดตั้งบนแผงสวิทช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 เวคเตอร์ไดอะแกรมของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ

2.3.3 วัตต์มิเตอร์ชนิดเทอร์โมคัปเปิล

วัตต์มิเตอร์ชนิดนี้ เป็นตัวอย่างของวัตต์มิเตอร์ ประเภทที่แยกวงจรคูณต่างหากจากกัน รูปแบบของมันเป็นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.8

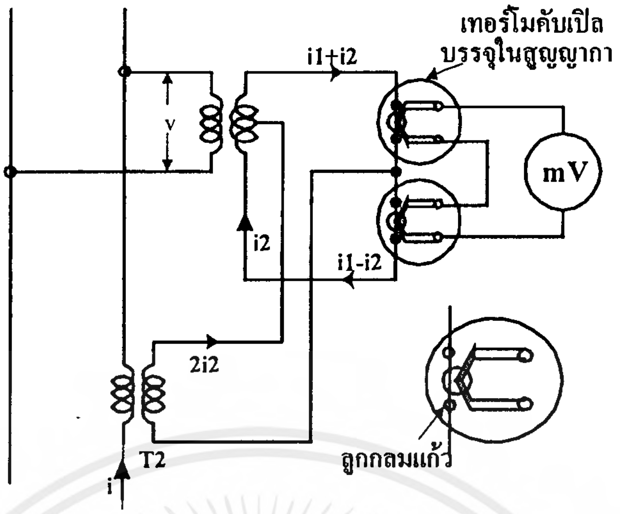
สมมุติให้กระแสส่วนที่เป็นปฏิภาคกับแรงดันคร่อมโหลด และส่วนที่เป็นปฏิภาคกับกระแสที่ไหลผ่านโหลดเป็น $i_1 = k_1 v$ และ $i_2 = k_2 v$ ตามลำดับจะได้สมการดังนี้

$$(i_1 + i_2)^2 - (i_1 - i_2)^2 = 4 k_1 k_2 vi \qquad (2.13)$$

ค่าเฉลี่ยของจำนวนทางขวามือของสมการนี้ภายในหนึ่งช่วงเวลาครบรอบจะเป็นปฏิภาคกับกำลังที่โหลดได้รับหลักการนี้ได้ถูกนำไปใช้กับวัตต์มิเตอร์ชนิดเทอร์โมคัปเปิล ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.8 $i_1 = k_1 v$ เป็นกระแสทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง T_1 และ $2\, i_2 = 2k_2 i$ เป็นกระแสทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง T_2

เมื่อได้ให้ความร้อนแก่เทอร์โมคัปเปิลชนิดสูญญากาศตัวหนึ่ง โดยกระแส $(i_1 + i_2)$ และแก่อีกตัวหนึ่งโดยกระแส $(i_1 - i_2)$ ก็จะได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเนื่องจากความร้อน ซึ่งเป็นปฏิภาคกับกำลังสองของกระแสจากเทอร์โมคัปเปิลคู่นั้น ถ้านำเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองนั้นมาต่ออนุกรมกัน โดยกลับขั้วกันเสียแล้ววัดผลต่างของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเนื่องจากความร้อนที่ได้จากเทอร์โมคับเปิลคู่นั้นด้วยมิลลิโวลท์มิเตอร์ มิเตอร์ตัวนั้นก็จะชี้บ่งค่าที่เป็นปฏิภาคกับกำลังไฟฟ้าที่ต้องการวัด วัตต์มิเตอร์ชนิดนี้ใช้ในการวัดกำลังไฟฟ้าในย่านความถี่เสียงหรือกำลังที่มีค่าน้อย ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 หลักการของวัตต์มิเตอร์ชนิดเทอร์โมคัปเปิล

ปัจจุบันนี้ได้มีการสร้างวัตต์มิเตอร์ประเภทที่แยกวงจรคูณต่างหากจากกันขึ้นหลายแบบ ซึ่งมีรายละเอียดแตกต่างกันไป ตามความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เฉพาะกิจ สำหรับเครื่องวัดที่ใช้วัดกำลังงานไฟฟ้าตามบ้านเรือนนั้น เป็นเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าโดยการใช้เครื่องวัดที่ให้ผลคูณได้ หรือชนิดเหนี่ยวนำ

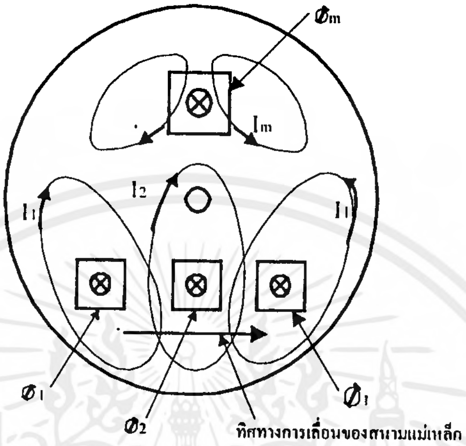
2.4 เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ

2.4.1 หลักการ

เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ เป็นเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ ที่ใช้กันแพร่หลายมาก เครื่องวัดชนิดนี้มีอุปกรณ์ขับเคลื่อน ที่มีหลักการเช่นเดียวกันกับในวัตต์มิเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งมี C_p เป็นแกนเหล็กสำหรับแรงดัน W_p เป็นขดลวดสำหรับแรงดัน C_c เป็นแกนเหล็กสำหรับกระแส และ W_c เป็นขดลวดสำหรับกระแส กระแส I ที่ไหลผ่าน W_c จะทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็ก ϕ_1 W_p มีจำนวนรอบมากพอที่จะถือได้ว่าเป็นอินดัคแตนซ์บริสุทธิ์ กระแส I_p ที่ไหลผ่าน W_p จึงล้าหลังแรงดัน V ที่โหลดอยู่ 90 องศา และทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็ก ϕ_2 ซึ่งความสัมพันธ์เหล่านี้แสดงไว้เป็นปฏิภาคกับกำลังที่โหลดขึ้นแก่จานหมุนอลูมินัม D สมมุติว่าจานหมุน D หมุน โดยแรงบิดขับนี้ด้วยอัตราเร็วของการหมุน n จาน D จะหมุนตัดฟลักซ์แม่เหล็ก ϕ_m ของ แม่เหล็กถาวร และมีกระแส I เกิดขึ้นในเนื้อจานบริเวณนั้นอย่างเป็นปฏิภาคกับ $n\phi_m$ ขณะเดียวกันกระแสวนเวียนนี้ก็ตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟลักซ์ ϕ_m ด้วยจึงเกิดแรงบิดหน่วง T_d ขึ้นแก่จาน D โดยเป็น ปฏิภาคกับ $n\phi_m$ ถ้าหากว่า T_D และ T_d ได้สมดุลย์กันเราจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้



รูปที่ 2.9 หลักการของเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำ

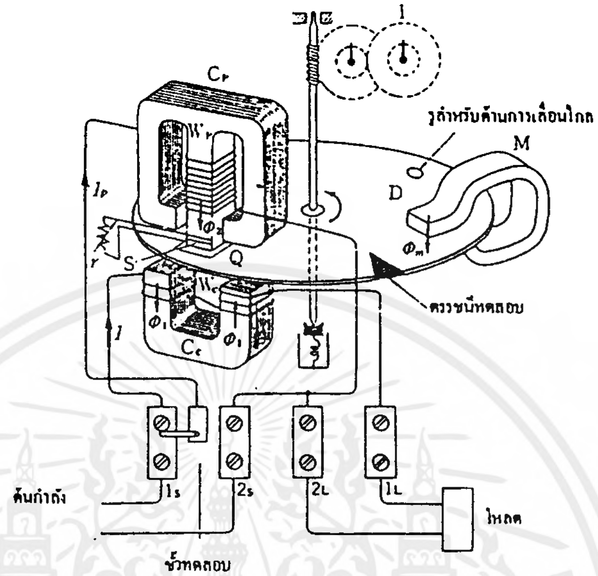
$$k_d \, VI \cos\varphi = k_m n\phi \, m^2 \tag{2.14}$$

หรือ

$$n = \frac{k_d}{k_m \phi_m^{\,2}} \, VI \cos\varphi \tag{2.15}$$

ซึ่งแสดงว่าอัตราเร็วของการหมุนของจาน D เป็นปฏิภาคกับกำลังที่โหลด VI cosφ ดังนั้นจำนวนรอบ n ที่จานหมุนไปในช่วงเวลาที่กำหนดช่วงหนึ่ง จึงเป็นปฏิภาคกับพลังงานที่ต้องการวัดในช่วงเวลานั้น โดยการติดเฟืองทดแบบตัวหนอน (Worm Gear) เข้ากับแกนหมุนของจาน เพื่อให้ไปหมุนเข็มชี้หรือล้อตัวเลข (Numeral Wheel) ด้วยอัตราการหมุนที่ต่ำลง เข็มชี้ หรือล้อตัวเลขก็จะบ่งปริมาณของพลังงานที่วัดออกมาเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (KWh)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 กระแสวนเวียนในจานหมุน

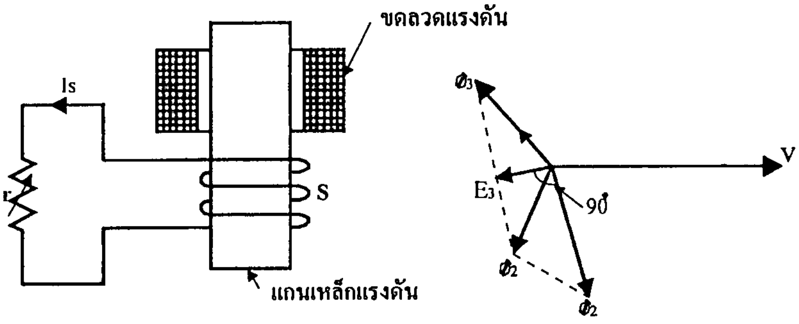
2.4.2 ความคลาดเคลื่อนและการชดเชย

1. เครื่องปรับเฟส

เพื่อที่จะให้แรงบิดขับที่เกิดแก่จานหมุน เป็นปฏิภาคกับกำลังของโหลด จำเป็นจะต้องทำให้ ϕ_2 ล้าหลัง V อยู่ 90 องศา แต่ในทางปฏิบัติ มุมระหว่างเฟสนี้จะน้อยกว่า 90 องศา เสมอ เนื่องจากมีความต้านทานและการสูญเสียกำลัง ในเหล็กของขดลวดสำหรับแรงดัน W_p เพื่อชดเชยความคลาดเคลื่อนนี้ จึงต้องมีเครื่องปรับเฟส ประกอบอยู่กับแกนเหล็กสำหรับแรงดัน เครื่องปรับเฟสนี้ประกอบด้วยขดลวด S ซึ่งพันไว้หลาย ๆ รอบบนแกนสำหรับแรงดันแล้วต่อปลายทั้งสองเข้ากับความต้านทาน r ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ในรูปจะเห็นว่ามีกระแส I_s ไหล เนื่องจากฟลักซ์ ϕ_2 (ซึ่งเป็นฟลักซ์ก่อนที่จะมีการปรับเฟส) ทำให้เกิดฟลักซ์ ϕ_s ขึ้น ซึ่งเมื่อรวมกับ ϕ_2 แล้วจะได้ผลรวมเป็น ϕ_2' ที่สามารถปรับให้ล้าหลัง V เป็นมุม 90 องศาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุด
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
ปพ.
ค 138 ค
2539

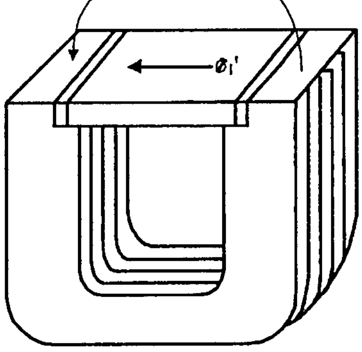


รูปที่ 2.11 หลักการของเครื่องปรับเฟส

2. เครื่องปรับขณะโหลดมาก

ในขณะที่จานหมุน นอกจากมันจะตัด ϕ_m แล้ว ยังตัด ϕ_1 และ ϕ_2 อีกด้วยซึ่งจะทำให้เกิดแรงบิด $k_1n\phi_1^2$ และ $k_2n\phi_2^2$ ตามลำดับ แรงบิดเหล่านี้เกิดขึ้นในทิศทางที่ต้านอาการหมุนของจาน ซึ่งมีผลทำให้มีความคลาดเคลื่อนในทางลบเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มค่า ϕ_1 และ หรือ ϕ_2 ในระบบไฟฟ้ากำลังที่เราใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้านี้วัดอยู่ แรงดันคร่อมโหลดมักจะมีค่าเกือบคงที่ซึ่งทำให้ ϕ_2 มีค่าเกือบคงที่ด้วย กระแสที่ไหลผ่านโหลดจะเปลี่ยนแปลงได้มากทำให้ ϕ_1 เปลี่ยนไปมาก ดังนั้นในกรณีที่มีโหลดมากๆ จะเกิดความคลาดเคลื่อนในทางลบขึ้นเนื่องจาก $k_1n\phi_1^2$

เพื่อที่จะลดความคลาดเคลื่อนนี้ จึงต้องทำให้ ϕ_1 มีค่าน้อย ϕ_2 มีค่ามาก และ n มีค่าน้อย นอกจากนั้นยังต้องมีชันท์แม่เหล็กประกอบไว้ในแกนสำหรับกระแสอีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.12



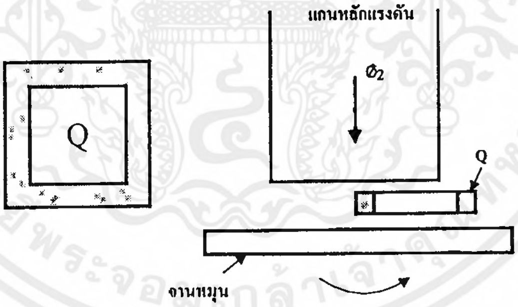
รูปที่ 2.12 หลักการของเครื่องปรับเฟสขณะโหลดมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
~~1850~~ 021619

เมื่อกระแสโหลด I หรืออีกนัยหนึ่ง ϕ_1 มีค่าน้อย ชันท์แม่เหล็กจะยอมให้ฟลักซ์ ϕ_1' ซึ่งเป็นเศษส่วนของ ϕ_1 ไหลผ่าน ดังนั้นฟลักซ์อีกนัยหนึ่งซึ่งเกิดจากขดลวดสำหรับกระแสที่ตัดกับจาน D จะลดลงจาก ϕ_1 เป็น $(\phi_1 - \phi_1')$ อย่างไรก็ตามเมื่อ I เพิ่มขึ้น ϕ_1' จะเพิ่มขึ้นเป็น ϕ_{1m}' และแล้วชันท์แม่เหล็กก็จะถึงจุดอิ่มตัว และไม่ยอมให้ฟลักซ์ผ่านเพิ่มได้อีก ด้วยเหตุนี้ที่โหลดมากๆ ฟลักซ์แม่เหล็กอันเนื่องมาจากกระแสโหลด ที่ตัดกับจานหมุน หรืออีกนัยหนึ่งหมายถึงแรงบิดขับ จะเพิ่มขึ้นมากกว่าการเป็นปฏิภาคกับ I ซึ่งเป็นการชดเชยความคลาดเคลื่อนในขณะที่โหลดมากๆ

3. เครื่องปรับขณะโหลดน้อย

ในขณะที่จาน D หมุนแรงบิดอันเนื่องจากความฝืดจะเกิดขึ้น และมีผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการลบ ความคลาดเคลื่อนนี้มีความสำคัญที่โหลดเบาๆ คือที่กระแสโหลดมีค่าน้อย เพื่อชดเชยความคลาดเคลื่อนนี้ จึงต้องคิดตั้งเครื่องปรับขณะโหลดน้อย ดังแสดงในรูปที่ 2.13 Q ที่แสดงในรูปเป็นห่วงทองแดงลัดวงจร ที่ใส่ไว้ในระหว่างแกนแรงดันกับจานหมุน ในตำแหน่งที่เยื้องออกไปตามทิศทางของการหมุนเล็กน้อย



รูปที่ **2.13** หลักการของเครื่องปรับเฟสขณะโหลดน้อย

โดยการทำเช่นนี้ ฟลักซ์เนื่องจากแรงดัน ϕ_2 ส่วนที่ผ่านห่วงลัดวงจรลงไป จะล้าหลังส่วนที่ไม่ผ่านห่วง ดังนั้นจะเกิดปรากฏการณ์เหมือนกับว่า ขั้วแม่ เหล็กของแกนแรงดันได้เลื่อนตัวไปตามทางที่จานหมุน และมีผลทำให้เกิดแรงบิดขึ้นในทิศทางตามอาการหมุนของจาน โดยการปรับตำแหน่งของห่วงลัดวงจรนี้ให้พอเหมาะ เราก็จะสามารถลบล้างแรงบิดอันเนื่องมาจากความฝืดนั้นได้

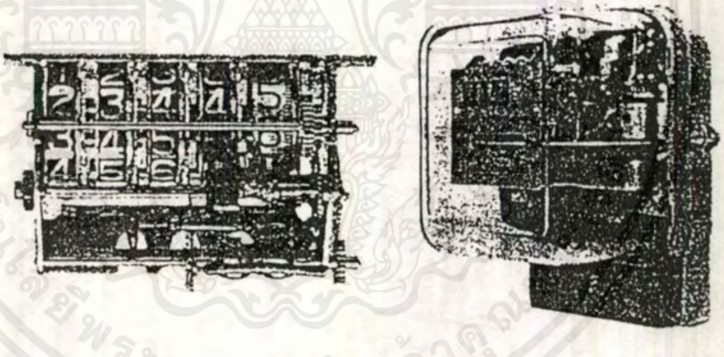
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องปรับแรงเลื่อนไถล

เมื่อติดตั้งเครื่องปรับขณะโหลดน้อยเข้าไปแล้ว จานอาจจะเกิดอาการหมุนในขณะที่ไม่มีกระแสโหลด โดยมีแต่แรงดันที่ขดลวดแรงดันเพียงอย่างเดียว ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า การเลื่อนไถล และเพื่อป้องกันอาการนี้เขาจึงเจาะรูเอาไว้บนจานหมุน เมื่อรูนี้หมุนมาอยู่ภายใต้แกนแรงดัน ทางไหลบางส่วนของกระแสวนเวียนจะถูกตัดขาดซึ่งทำให้แรงบิดในขณะโหลดน้อยลดลงไปที่นี้ จึงทำให้จานหยุดหมุนที่ตำแหน่งนี้

2.4.3 เครื่องบันทึก

อุปกรณ์ที่ใช้ในการรวมและชี้บ่งจำนวนรอบบที่หมุนของจานเรียกว่าเครื่องบันทึก เครื่องบันทึกนี้มีทั้งที่สร้างเป็นแบบ เลขหมุนโดยใช้ล้อตัวเลข ดังในรูปที่ 2.14 (ก) และแบบเข็มชี้จำนวนรอบที่หมุนโดยการทดสอบ ดังรูปที่ 2.14 (ข)



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.14 ตัวอย่างของเครื่องบันทึกบางแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 การทดสอบ

ขีดจำกัดของความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับการนำเครื่องวัดนั้นไปใช้ และได้ถูกจัดแบ่งเป็นชั้นไว้อย่างละเอียดตามมาตรฐาน IEC ประการที่สำคัญที่สุดของการทดสอบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า คือการทดสอบความคลาดเคลื่อน วิธีต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

วิธีใช้นาฬิกาจับเวลา (Stop Watch Method) จ่ายพลังงานไฟฟ้าที่มีปริมาณที่ทราบแน่นอนให้ผ่านเครื่องวัดที่อยู่ภายใต้การทดสอบ แล้วจับเวลาที่ใช้ไปในการหมุนของจานจนครบจำนวนรอบที่กำหนดเอาไว้

วิธีหมุนมาตรฐาน (Rotating Standard Method) เครื่องวัดภายใต้การทดสอบ ถูกเปรียบเทียบกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าเครื่องหนึ่ง ซึ่งสร้างขึ้นให้มีความเที่ยงตรงสูงเป็นพิเศษ จนใช้เป็นมาตรฐานสำหรับพลังงานไฟฟ้าได้ (ซึ่งเรียกว่ามาตรฐานหมุน)

วิธีเครื่องวัดประธาน (Master Meter Method) ในกลุ่มของเครื่องวัด (ซึ่งมีประมาณ 20 เครื่องชนิดเดียวกันและมีพิกัดเดียวกันที่อยู่ภายใต้การทดสอบนี้ จะมีอยู่เครื่องหนึ่งที่เลือกเอาไว้ก่อน ให้เป็นเครื่องวัดประธาน (Master Meter) ซึ่งได้รับการทดสอบคุณลักษณะไว้แล้ว โดยการทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องประธานนี้ เครื่องวัดที่เหลือในกลุ่มนั้นก็ถือว่าได้รับการทดสอบไปพร้อมๆ กัน

2.5 เครื่องวัดทางอิเลคทรอนิกส์

เนื่องจากสารกึ่งตัวนำได้รับการพัฒนาให้ก้าวหน้าไปเป็นอันมาก ในชั่วระยะเวลาไม่นานที่ผ่านมานี้ มันจึงได้เข้าแทนที่พวกหลอดสูญญากาศ ซึ่งเมื่อก่อนนี้เป็นที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในเครื่องวัดอีเลคทรอนิกส์ ทำให้เครื่องมือต่างๆ มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาลงกว่าเดิมมาก เทคนิคในการสร้างสัญญาณพัลซ์ก็มีความก้าวหน้าอย่างเห็นได้ชัด จึงทำให้สามารถผลิตเครื่องมือชนิดขึ้นตัวเลข (Digital Apparatus) ซึ่งมีความเที่ยงตรงสูงขึ้นมาใช้งานได้ และสามารถที่จะเปลี่ยนหรือแสดงปริมาณแอนาล็อก (Analog Quantities) ซึ่งเปลี่ยนแปลงค่าติดต่อกันเรื่อย ให้เป็นปริมาณรูปตัวเลขซึ่งปรากฏขึ้นเป็นจังหวะๆ ได้

ความสามารถในการเปลี่ยนปริมาณแอนาล็อก ให้เป็นปริมาณรูปตัวเลขนี้ เมื่อรวมกับคุณสมบัติของเครื่องอีเลคทรอนิคคอมพิวเตอร์ ซึ่งเหมาะที่จะใช้กับการวิเคราะห์ปริมาณรูปตัวเลขต่างๆ และได้ช่วยส่งเสริมให้มีระบบการคิดคำนวณ ซึ่งสามารถใช้เครื่องอิเล็กทรอนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์ ที่มีสัญญาณทางเข้า อยู่ในรูปของปริมาณแอนาล็อก ให้วิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ระบบวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งได้รับการพัฒนาไปมากแล้วนั้น กำลังมีบทบาทในการใช้งานทางด้านกรรมวิธีทางสถิติ และกรรมวิธีทางตัวเลข เป็นอย่างมากอยู่ในปัจจุบัน

2.5.1 อิเลคทรอนิคโวลต์มิเตอร์

อิเลคทรอนิคโวลต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นด้วยส่วนประกอบประเภทสารกึ่งตัวนำ มีจำหน่ายในท้องตลาดเช่นเดียวกันกับโวลต์มิเตอร์ชนิดใช้หลอดสูญญากาศแบบ P การใช้สิ่งประดิษฐ์ประเภทสารกึ่งตัวนำ (ได้แก่ทรานซิสเตอร์และไดโอด) มีข้อดีเหนือกว่าการใช้หลอดสูญญากาศหลายประการ เป็นต้นว่าไม่กวัดแกว่งของค่าที่อ่าน ได้เนื่องจากกระแสจุดไส้หลอดเกิด การเปลี่ยนแปลง วงจรใช้เนื้อที่น้อย และมีย่านของความถี่ใช้งานกว้าง

นอกเหนือไปจากใช้วัดค่าแรงดันกระแสตรง และแรงดันกระแสสลับแล้ว อิเลคทรอนิกส์โวลต์มิเตอร์ส่วนมากยังใช้วัดค่าความต้านทานได้ด้วย ปัจจุบันได้มีการผลิตโวลต์มิเตอร์ที่ ใช้ทรานซิสเตอร์ทั้งหมดออกมาใช้กันแล้ว โวลต์มิเตอร์เหล่านี้ทำงานโดยอาศัยแบตเตอรี่ภายในตัวเครื่อง จึงสามารถนำไปใช้ ในที่ที่ไม่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับได้

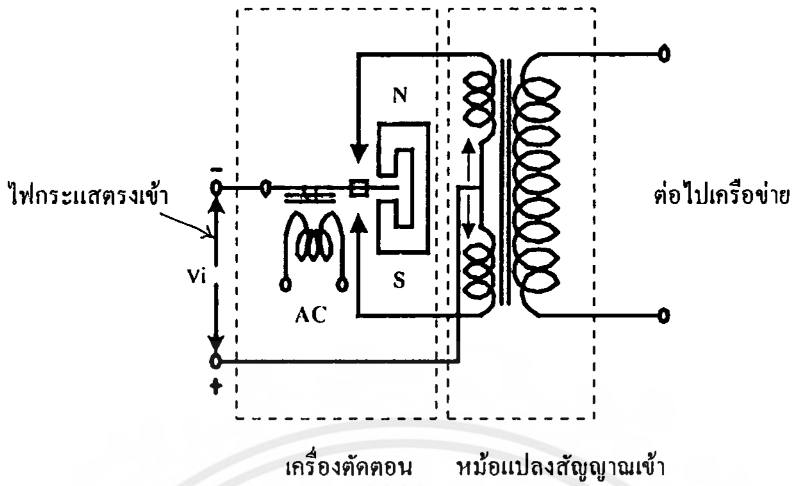
1. โวลต์แอมมิเตอร์กระแสตรง

ในโวลต์มิเตอร์กระแสตรง (DC Volt-Ammeter) นี้ใช้เครื่องตัดตอนกระแสแบบกล หรือไม่ก็ แบบที่ใช้ทรานซิสเตอร์ให้ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณกระแสตรงให้เป็นสัญญาณกระแสสลับ สัญญาณกระแสสลับที่ได้จะถูกขยาย และสัญญาณที่ออกจากวงจรขยายจะถูกเรคติฟาย เพื่อนำไปใช้ขับเครื่องวัดกระแสตรง มีคุณลักษณะที่ดี คือ การเลื่อนของค่าที่อ่านได้มีน้อย อัตราการขยายสูงและความไวสูง เนื่องจากมันมีอัตราการขยายสูงนี้เอง จึงสามารถป้อนบางส่วนของสัญญาณทางออก กลับไปรวมกับสัญญาณทางเข้า เพื่อทำให้อัตราการขยายมีเสถียรภาพดีขึ้นได้ ต่อไปนี้เป็นเครื่องตัดตอนกระแสแบบต่างๆ

1.1 เครื่องตัดตอนกระแสแบบกล (Mechanical)

โครงสร้างของเครื่องตัดตอนกระแสแบบกลเป็นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.15 กระแสสลับที่ไหลผ่านคอยล์ จะทำให้ก้านสัมผัสสั่น และเปลี่ยนสัญญาณกระแสตรงให้เป็นสัญญากระแสสลับได้ เนื่องจากเครื่องตัดตอนกระแสแบบกลมีคุณสมบัติในการทำงานดีเยี่ยม จึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย มีข้อจำกัดอยู่ที่ความถี่ของสัญญาณที่นำมา มอดูเลท (modulating frequency) มีค่าได้เพียงไม่กี่ร้อยเฮิรตซ์ และมีอายุการใช้งานสูงสุดประมาณ 20,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

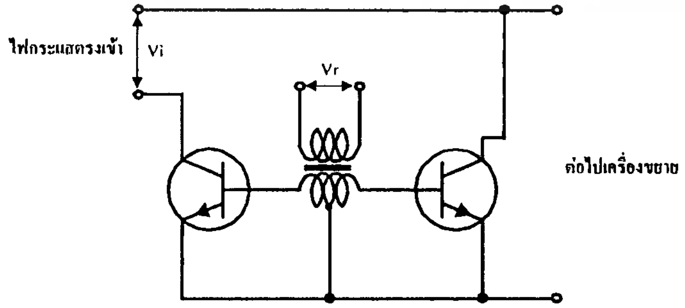


รูปที่ 2.15 เครื่องตัดตอนกระแสแบบกล

1.2 เครื่องตัดตอนกระแสแบบทรานซิสเตอร์ (Transistor chopper)

เครื่องตัดตอนกระแสแบบสารกึ่งตัวนำที่ใช้ทรานซิสเตอร์ ได้แสดงให้เห็นว่าอาจใช้กับความถี่ของสัญญาณมอดูเลทได้สูงถึง 10 kHz ข้อเสียของมันก็คือ ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนสัญญาณกระแสสลับนั้นค่อนข้างต่ำ เนื่องจากอัตราส่วนของการเปิด-ปิด (อัตราส่วนระหว่างความแรงของสัญญาณทางออก ตอนที่เครื่องตัดตอนอยู่ในสภาวะเปิด กับตอนที่อยู่ในสภาวะปิด) มีค่าต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องตัดตอนแบบกล และมีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ (Temperature Coeficient) เกี่ยวข้องอยู่ด้วย

โดยการใช้ทรานซิสเตอร์ที่มีลักษณะสมบัติเหมือนกัน และเข้าคู่กันได้สองตัวดังแสดงในรูปที่ 2.16 ก็จะช่วยลดอาการเลื่อน เนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงได้เหลือเพียง 0.1 μV/°C



รูปที่ 2.16 เครื่องตัดตอนกระแสแบบใช้ทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โวลท์มิเตอร์แบบเครื่องขยายกระแสสลับ

โวลท์มิเตอร์แบบเครื่องขยายกระแสสลับ (AC Amplifier Type Voltmeters) นี้ใช้กับแรงดันที่เป็นกระแสสลับเท่านั้น แรงดันทางเข้าจะถูกขยายโดยวงจรขยาย ที่มีช่วงความถี่กว้าง แล้วจึงถูกเรคติฟายให้เป็นกระแสตรงไปหมุนเข็มชี้บ่งบนหน้าปัทม์ ทำให้สามารถอ่านค่าที่วัดได้โดยตรง ย่านความถี่ใช้งานสูงถึงประมาณ 10 MHz และความไวก็สูงเพราะมีหน่วยวงจรขยายอยู่ในตัว ในเครื่องวัดบางเครื่อง สัญญาณความถี่สูงทางเข้าจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณกระแสตรงในโพรบ สัญญาณกระแสตรงที่ได้จะถูกเปลี่ยนกลับให้เป็นกระแสสลับ โดยเครื่องเปลี่ยนกระแสตรงเป็นกระแสสลับ จากนั้นสัญญาณกระแสสลับที่ได้ จะถูกขยายโดยวงจรที่มีอัตราการขยายสูง และมีเสถียรภาพดี แล้วจึงถูกเรคติฟายให้เป็นกระแสตรง เพื่อไปขับเครื่องวัดกระแสตรง วิธีการเช่นนี้รวมเอาข้อดีของเครื่องวัดชนิดโพรบ และเครื่องวัดชนิดวงจรขยายกระแสสลับเข้าไว้ด้วยกัน เครื่องวัดแบบนี้เรียกว่า โวลท์มิเตอร์ความไวสูงแบบ P ซึ่งสามารถใช้ได้กับความถี่สูงถึง 1 GHz หรือกว่านั้น

3. อิมพัลส์พีคโวลท์มิเตอร์ (Impulse Peak Voltmeter)

ค่าสูงสุดของคลื่นรูปพัลส์ที่มีช่วงกว้างหลายๆ ไมโครเซคกันด์ จะไม่สามารถอ่านได้ด้วยโวลท์ มิเตอร์ชนิดธรรมดา จึงมีการกำหนดวิธีมาตรฐานสำหรับการวัดพัลส์เหล่านี้เอาไว้คือ ให้จัดวางอีเลคโทรดทรงกลมสองอันให้ห่างกันได้ระยะพอเหมาะ โดยอาศัยปรากฏการณ์แลบข้าม (Flash-over) ที่เกิดขึ้นระหว่างอีเลคโทรดทั้งสอง เมื่อมีแรงดันอิมพัลส์ป้อนเข้าระหว่างมัน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากว่าเราจะต้องหาค่าวิกฤต สำหรับการเกิดการแลบข้ามระหว่างอีเลคโทรดทั้งสองนั้น ดังนั้นแรงดันที่ต้องการวัดจะต้องเป็นสัญญาณรูปพัลส์ที่เกิดขึ้นเป็นระยะๆ หากมีแรงดันสูงสุดเพียงรูปเดียว เราจะไม่สามารถวัดค่าของมันออกมาได้ แต่วิธีการดังกล่าวจะรบกวนรูปคลื่นของพัลส์ ซึ่งเราจะไม่สามารถทำการวัดแรงดันรูปพัลส์ได้โดยไม่ให้มีผลกระทบกระเทือนต่อรูปคลื่นของมันเลยดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นวิธีการขึ้นมาอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งอาศัยความสามารถในการเก็บประจุของคอนเดนเซอร์มาใช้วิธีการนี้เรียกว่าอิมพัลส์โวลท์มิเตอร์ (Impulse Voltmeter) คอนเดนเซอร์ที่มีการรั่วต่ำตัวหนึ่งจะถูกประจุโดยแรงดันอิมพัลส์ที่ต้องการวัด แล้ววัดแรงดันคร่อมคอนเดนเซอร์ โดยใช้โวลท์มิเตอร์ที่มีอิมพีแดนซ์ทางเข้าสูง อ่านค่าแรงดันสูงสุดออกมา สำหรับวิธีนี้ Time Constant ในการประจุคอนเดนเซอร์จะต้องมีค่าต่ำ พอที่จะทำให้คอนเดนเซอร์รับแรงดันได้ถึงค่าสูงสุด

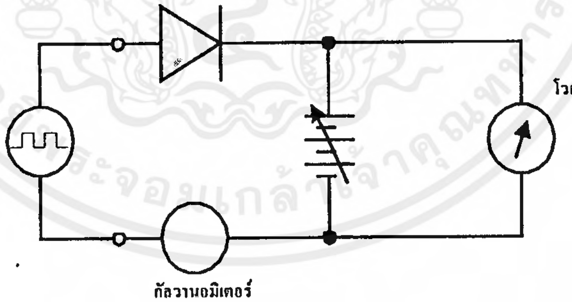
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนที่แรงดันอิมพัลส์ที่ต้องการวัดจะเริ่มลดลง ส่วนค่า Time Constant ในการคายประจุ ก็จะต้องมากพอ ที่จะทำให้สภาพที่คอนเดนเซอร์ถูกประจุเต็มที่ ยังคงอยู่จนกระทั่งเสร็จสิ้นการวัด เพื่อที่จะให้อ่านค่าจากโวลท์มิเตอร์ดังกล่าวนี้ได้ง่าย เราจำเป็นต้องให้เวลาถึงหนึ่งวินาที ในการลดค่าความสูงลงถึง 1% หรืออย่างน้อยก็ต้องมี Time Constant 100 วินาที ในการประจุคอนเดนเซอร์นี้จะต้องผ่านไดโอดตัวหนึ่ง ถ้าค่าความต้านทานเดินหน้าของไดโอดนั้นเป็น 1,000 โอห์มหรือประมาณนั้นแล้ว ค่าความจุของคอนเดนเซอร์ควรจะอยู่ระหว่าง 10 ถึง 100 pF เพื่อให้การประจุใช้เวลาน้อย ดังนั้นถึงแม้จะใช้โวลท์มิเตอร์ที่มีอิมพีแดนซ์ทางเข้าสูงก็ตาม ก็จะไม่สามารถทำให้ Time Constant ในการคายประจุมีค่ามากได้

นอกจากนี้ก็มีการนำวิธีการที่เรียกว่าวิธียืดพัลส์ (Pulse Elongation) มาใช้ ในวิธีนี้ต้องอัดประจุให้แก่คอนเดนเซอร์ที่มีค่าความจุสูงกว่าค่าที่ใช้ในวิธีก่อน โดยให้ผ่านวงจรแคโธดฟอลโลเวอร์ (Cathode Follower) แล้ววัดแรงดันที่ขั้วของคอนเดนเซอร์ ก็จะทราบค่าแรงดันอิมพัลส์ที่ป้อนเข้าไปนั้น

4. สไลแบ็คโวลท์มิเตอร์ (Slide-back voltmeter)

หลักการทำงานของโวลท์มิเตอร์ชนิดนี้เป็นดังที่แสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 หลักการของโวลท์มิเตอร์แบบสไลด์แบค

ซึ่งจะเห็นว่าแรงดันที่ต้องการวัด จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับแรงดันที่เปลี่ยนค่าได้ ซึ่งเราทราบค่าโดยละเอียด ในที่นี้สมมุติว่าขบวนของพัลส์ทางเข้ามีค่าเป็นศูนย์ ตอนนี้สมมุติว่ายังไม่มีพัลส์ทางเข้า และแรงดันกระแสตรงเป็นศูนย์ จะไม่มีกระแสไหลในวงจร และการบ่ายเบนของเข็มกัลวานอมิเตอร์ก็จะเป็นศูนย์ เมื่อป้อนพัลส์ลูกหนึ่งเข้าสู่วงจร ไดโอดจะนำกระแสและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข็มกัลวานอมิเตอร์ก็จะบ่ายเบนไป ถ้าปรับค่าของแรงดัน และแสตรงจนทำให้การบ่ายเบนของกัลวานอมิเตอร์เป็นศูนย์แล้ว เราก็จะทราบค่าแรงดันสูงสุดของพัลส์ทางเข้าได้ โดยการวัดค่าแรงดันแระแสตรงนั้นอย่างละเอียด วิธีการเช่นนี้มีขีดขั้นของความเที่ยงตรงสูงจึงใช้สำหรับการวัดอย่างมาตรฐาน

2.5.2 เครื่องวัดชนิดขึ้นตัวเลข

เครื่องวัดชนิดขึ้นตัวเลข (Digital Instrument) จะแสดงค่าที่วัดได้ออกมาในรูปตัวเลข โดยการใช้เครื่องวัดชนิดขึ้นตัวเลขนี้ ความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่าจะถูกขจัดออกไป ด้วยการแสดงค่าที่วัดได้ออกมาเป็นตัวเลขโดยตรงและบ่งจุดทศนิยมได้โดยอัตโนมัติเพื่อทำให้การวัดสะดวกยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ยังมีข้อดีอื่นๆ อีก เป็นต้นว่าจะให้สัญญาณตัวเลข เพื่อนำไปพิมพ์ออกมา หรือนำไปบันทึกลงบนแถบเจาะรู หรือบนแถบแม่เหล็ก (Magnetic Tape) ได้โดยตรงหรือยิ่งไปกว่านั้น อาจนำสัญญาณนี้ไปต่อเข้าโดยตรงกับอุปกรณ์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลให้ดีขึ้นได้อีกเป็นอันมาก

ปรากฏการณ์ที่เราต้องการวัด ส่วนมากนั้นจะเปลี่ยนแปลงค่าต่อเนื่องกันไปตลอดเวลา ถ้าจะใช้เครื่องวัดชนิดขึ้นตัวเลขกับปรากฏการณ์เหล่านี้แล้ว เราจะต้องแปลงปรากฏการณ์เหล่านั้นให้เป็นปริมาณรูปตัวเลข ณ ที่เวลาใดเวลาหนึ่งเสียก่อน อุปกรณ์ที่ใช้เพื่อการนี้เรียกว่า เครื่องแปลงปริมาณแอนะลอก-ดิจิตอล ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ สำหรับเครื่องวัดชนิดขึ้นตัวเลข ในตอนต่อไปนี้จะเป็นการอธิบายถึงโวลท์มิเตอร์ชนิดขึ้นตัวเลข (Digital Voltmeter) และเครื่องวัดความถี่แบบนับ (Counter Type Frequency Meter)

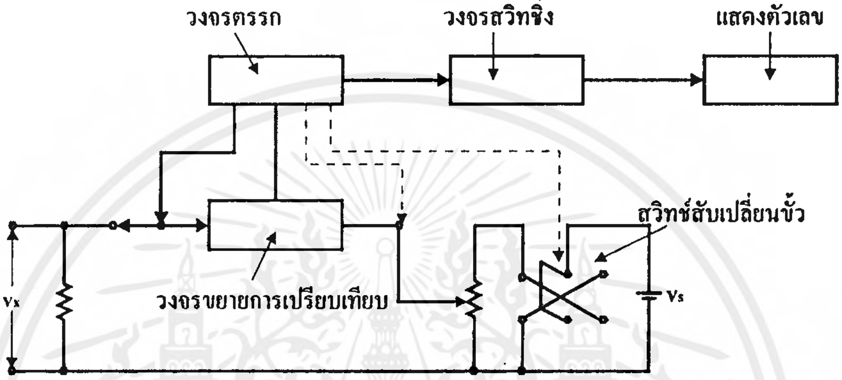
1. โวลท์มิเตอร์ชนิดขึ้นตัวเลข

โวลท์มิเตอร์ชนิดขึ้นตัวเลข (Digital Voltmeters) ได้มีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วในระยะเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมาและได้มีการผลิตขึ้นหลายแบบ นอกจากจะใช้วัดแต่ค่าแรงดันตามปกติแล้ว โวลท์มิเตอร์ชนิดขึ้นตัวเลขบางแบบยังอาจใช้วัดค่าความต้านทาน (เรียกว่าโวลท์-โอห์มมิเตอร์) ได้อีกด้วย หรือใช้วัดได้ทั้งแรงดันกระแสตรงและแรงดันกระแสสลับ (เรียกว่ามัลติมิเตอร์) วิธีการที่ใช้กันจะแบ่งออกได้อย่างหยาบ ๆ ดังนี้ คือวิธีเปรียบเทียบวิธีอินทีเกรท และวิธีอินทีเกรทติ้งโปเตนชิโอมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วิธีเปรียบเทียบ

โวลต์มิเตอร์ที่ใช้วิธีนี้ ประกอบด้วยแรงดันมาตรฐาน ทีอยู่ในรูปของรหัส และสามารถเปลี่ยนค่าได้ (Variable Coded Standard Voltage) ซึ่งแรงดันที่ต้องการวัด จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับแรงดันมาตรฐานนี้โดยวงจรขยายเปรียบเทียบ ในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 หลักการของโวลต์มิเตอร์ชนิดตัวเลขโดยใช้วิธีเปรียบเทียบ

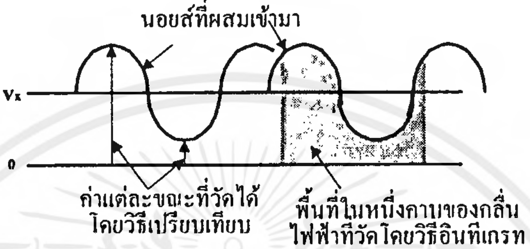
แรงดันที่ได้จากการเปรียบเทียบโดยวงจรขยายเปรียบเทียบ จะควบคุมวงจรเปิด-ปิด (Switching Circuit) โดยผ่านวงจรลอจิก ทำให้สามารถเปลี่ยนค่าแรงดันมาตรฐานได้อย่างอัตโนมัติ จนกระทั่งมันมีค่าเท่ากับแรงดันที่ต้องการวัด และแล้วแรงดันมาตรฐานที่อยู่ในรูปของรหัสนั้นก็จะถูกแสดงออกมาเป็นตัวเลข วิธีนี้มีคุณลักษณะที่เด่นบางประการคือ การเปรียบเทียบกันโดยตรงระหว่างแรงดันที่ต้องการวัด กับแรงดันมาตรฐานจะทำให้ค่าที่วัดได้มีความเที่ยงตรงและละเอียดอย่างแน่นอน จะสามารถวัดอัตราส่วน ระหว่างแรงดันที่ถูกป้อนเข้ามาจากภายนอกต่อแรงดันที่ต้องการวัดได้โดยละเอียดและแม่นยำ และสัญญาณทางออกซึ่งอยู่ในรูปของรหัส ก็สามารถนำไปป้อนเข้าเครื่องบันทึกอัตโนมัติ เพื่อให้บันทึกค่าของแรงดันที่วัดได้

2. วิธีอินทีเกรท

ในวิธีนี้ แรงดันทางเข้าจะถูกอินทีเกรท ที่มีคุณลักษณะเชิงเส้นตรงดีมาก แล้วผลที่ได้จะถูกแปลงให้เป็นพัลส์เสียก่อนแล้วจึงทำการวัด เนื่องจากการอินทีเกรทแรงดันทางเข้าต้องดำเนินไปในช่วงเวลาช่วงหนึ่ง ซึ่งเป็นปฏิภาคกับช่วงเวลาครบรูปของคลื่นกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สลับของไฟฟ้ากำลัง ที่ใช้ สัญญาณรบกวน (Noise) จากความถี่ไฟฟ้ากำลัง ซึ่งผสมอยู่ในแรงดันทางเข้าจะถูกเฉลี่ยเป็นศูนย์ และสัญญาณรบกวนอื่นๆ ก็จะถูกเฉลี่ยเช่นเดียวกัน ทำให้ลดอิทธิพลของสัญญาณรบกวน ซึ่งมีต่อการชี้บ่งของเครื่องวัดลงไปได้ใน รูปที่2.19 แสดงถึงข้อได้เปรียบของวิธีนี้ต่อวิธีเปรียบเทียบในแง่ของสัญญาณรบกวน



รูปที่ 2.19 ความแตกต่างระหว่างวิธีเปรียบเทียบกับวิธีอินทีเกรท

วิธีการอินทีเกรทแบ่งย่อยลงไปได้อีกเป็นสามแบบดังนี้

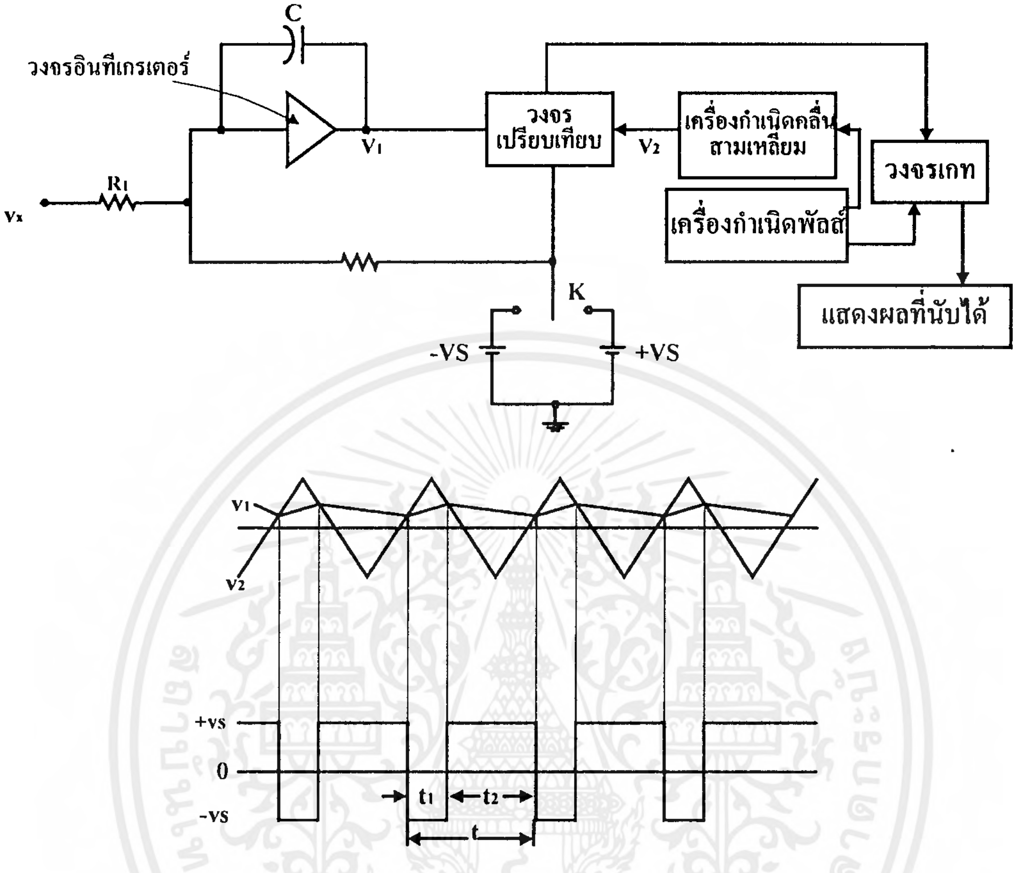
1. แบบแปลงแรงดันเป็นความถี่

แบบนี้เป็นผลรวมของเครื่องแปลงแรงดันเป็นความถี่ กับเครื่องวัดความถี่แบบนับ เมื่อป้อนแรงดันที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้วรับสัญญาณทางเข้า เครื่องแปลงแรงดันเป็นความถี่จะสร้างขบวนของพัลส์ขึ้นมา โดยมีจำนวนของพัลส์เป็นปฏิภาคกับแรงดันทางเข้า แล้วเครื่องวัดความถี่แบบนับก็จะทำการนับจำนวนพัลส์ในช่วงเวลาที่แน่นอนอันหนึ่ง เนื่องจากต้องมีการใช้วงจรอินทีเกรทในเครื่องแปลง วิธีนี้จึงมีข้อดีของวิธีอินทีเกรทอยู่ด้วย

2. แบบสโลปคู่ (Dual Slope Type)

ในแบบนี้แรงดันทางเข้าในรูปของสัญญาณแอนาล็อก จะถูกแปลงให้เป็นช่วงความยาวของเวลา วงจรอินทีเกรทได้ถูกนำมาใช้ในเครื่องแปลง นั่นคือแรงดันที่ต้องการวัดจะถูกลดค่าลง หรือถูกขยายขึ้นเพื่อให้ได้ระดับที่เหมาะสมคือ V_1 ซึ่งจะถูกอินทีเกรทด้วยวงจรอินทีเกรเตอร์ภายในช่วงเวลาที่แน่นอน คือ t_1 ต่อจากนั้น แรงดันอ้างอิง V_2 ซึ่งมี ขั้วตรงกันข้ามกับ V_1 จะถูกอินทีเกรท ดังนั้นสัญญาณที่ออกจากวงจรอินทีเกรเตอร์ ซึ่งมีค่าเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 หลักการของระบบการนับแบบ Pulse-Width Modulation

อยู่เมื่อตอนเริ่มแรก จะเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งเมื่อ V_1 ถูกอินทีเกรท แล้วจะลดกลับลงไปเป็นศูนย์อีกครั้งหนึ่งเมื่อ V_2 ถูกอินทีเกรท ถ้าให้ช่วงเวลาที่นับจากตอนที่ V_2 ถูกป้อนเข้าสู่วงจร จนถึงตอนที่สัญญาณทางออกจากวงจรอินทีเกรเตอร์ลดลงถึงศูนย์ มีค่าเป็น t_2 แล้ว เราจะได้ $V_1/V_2 = t_2/t_1$ ดังนั้น โดยการวัดค่า t_2 ให้แม่นยำและให้ V_2 กับ t_1 มีค่าคงที่เราจะหาค่า V_1 ซึ่งเป็นแรงดันที่ต้องการวัดได้

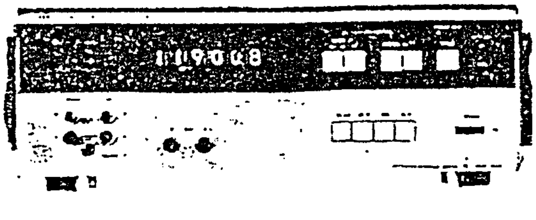
3. แบบการมอดูเลททางความกว้างของพัลส์ หรือแบบฟีดแบ็ค (Pulse Width Modulating Type Or Feed Back Type)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแบบนี้ แรงดันทางเข้าจะถูกใช้เป็นตัวเปลี่ยนความกว้างของพัลส์อย่างเที่ยงตรง และผลต่างระหว่างความกว้างของพัลส์ด้านที่เป็นบวก กับความกว้างของพัลส์ด้านที่เป็นลบ จะถูกคำนวณออกมา รูปที่ 2.20 แสดงถึงหลักการดังกล่าว ในรูปนี้แรงดัน v_1 ที่ออกจากวงจรอินทีเกรเตอร์จะมีความเอียง (Slope) ของแรงดันที่ต้องการวัด v_x และของแรงดันอ้างอิง +Vs หรือ Vs ปรากฏอยู่ด้วย ในอีกด้านหนึ่งแรงดันรูปคลื่นสามเหลี่ยม v_2 จะเกิดขึ้นเป็นช่วงๆ โดยมีช่วงเวลาครบรูปเท่ากันกับของคลื่นความถี่กระแสสลับของไฟฟ้ากำลังที่ใช้ และเมื่อ v_2 เท่ากับ v_1 สวิทช์ K จะถูกสับกลับไปอีกทางหนึ่งโดยวงจรเปรียบเทียบ ถ้าให้ช่วงเวลาที่สวิทช์ K สับอยู่ทาง $-V_s$ เป็น t_1 และช่วงเวลาที่สวิทช์ K สับอยู่ทาง$+V_s$ เป็น t_2 แล้วเราจะได้ $(V_x/V_s)(R_2/R_1) = (t_1-t_2)/(t_1+t_2)$ เนื่องจากเราสามารถเลือกค่า (t_1+t_2) ให้เท่ากับช่วงเวลาครบรอบของคลื่นกระแสสลับของไฟฟ้ากำลังที่ใช้ได้ ดังนั้นเราจึงสามารถทราบค่า V_x ได้โดยการวัดผลต่างของช่วงกว้างของพัลส์คือ $(t_1 - t_2)$

3. วิธีอินทีเกรทติ้งโปเตนชิโอมิเตอร์

วิธีนี้เป็นผลรวมของวิธีเปรียบเทียบและวิธีอินทีเกรท นั่นคือ ความเที่ยงตรงของวิธีอินทีเกรท จะถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยการเพิ่มโปเตนชิโอมิเตอร์เข้ามา ยกตัวอย่างเช่นกรณีที่เราแสดงค่าตัวเลขหกหลักค่าหนึ่ง ตัวเลขสี่หลักแรก จะได้จากเครื่องแปลงแรงดันให้เป็นความถี่ และปริมาณตัวเลขที่ได้นี้จะถูกแปลงไปเป็นปริมาณแอนาล็อกอย่างเที่ยงตรง แล้วถูกป้อนกลับไปยังทางเข้าของวงจร ผลต่างระหว่างสัญญาณทางเข้า และปริมาณแอนาล็อก จะถูกวัดโดยวิธีเปรียบเทียบ และแสดงออกมาเป็นตัวเลขสองหลักสุดท้ายรูปที่ 2.21 แสดงถึงรูปลักษณะของโวลท์มิเตอร์ชนิดขึ้นตัวเลข มัลติมิเตอร์ที่ใช้วัดได้ทั้งความต้านทานแรงดันกระแสสลับแรงดันกระแสตรง



รูปที่ 2.21 โวลท์มิเตอร์ชนิดตัวเลข (มีความถูกต้อง 0.005%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เครื่องวัดความถี่แบบนับ

เครื่องวัดความถี่แบบนับหรือเครื่องนับความถี่ (Counter Type Frequency Meter or Frequency Counter) อาศัยเทคนิคของวงจรตัวเลข มันสามารถชี้บ่งค่าความถี่ออกมาเป็น ตัวเลขได้โดยตรง ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดความถี่ชนิดเฮทเทอโรดายน์แล้ว เครื่องวัดแบบนี้ใช้ได้ง่ายกว่า และสามารถทำการวัดได้เที่ยงตรงและละเอียดกว่าอีกด้วย ปัจจุบันนี้มันจึงกำลังเข้าแทนที่เครื่องวัดความถี่แบบเฮทเทอโรดายน์ คลื่นรูปไซน์ที่ต้องการวัด จะถูกเปลี่ยนให้เป็นรูปพัลส์ แล้วจึงวัดความถี่ของพัลส์เหล่านั้นด้วยเครื่องนับ ในการนี้เครื่องนับจะนับจำนวนพัลส์ในช่วงเวลาที่กำหนดแน่นอนช่วงหนึ่ง

ความถี่ของสัญญาณที่ได้ออกมาจากวงจรออสซิลเลเตอร์แบบที่ใช้ผลึก (Crystal) จะถูกหารแบ่งออกให้เป็นพัลส์ที่มีช่วงเวลาครบรูปเท่ากับ 1 วินาทีพอดี เพื่อนำไปควบคุมการทำงานของวงจรเกท (gating circuit) เพื่อที่จะให้นับจำนวนพัลส์ที่เข้ามาในเวลา 1 วินาที เครื่องนับจะแสดงค่าของความถี่ออกมาให้อ่านได้โดยตรง สำหรับความถี่ต่ำๆ จะใช้วิธีนี้ไม่ได้ดังนั้น จึงต้องแปลงความถี่นั้นให้สูงขึ้นโดยผ่านวงจรทวีความถี่ (Frequency Multiplier)

2.6 ทฤษฎีของการคูณสัญญาณ

วงจรคูณสัญญาณแบบแอนะลอก (Analog Multipliers) เป็นวงจรซึ่งประกอบด้วยออปแอมป์และอุปกรณ์ร่วมอื่นๆ ซึ่งใน ปัจจุบันสามารถหาได้โดยทั่วไป ทั้งที่ทำเป็นไอซีสำเร็จรูปเดี่ยวๆ หรือเป็นส่วนหนึ่งของไอซีใช้งาน วงจรคูณสัญญาณนี้ มีประโยชน์ในการนำไปใช้งานมาก ดังจะเห็นได้จากปัจจุบัน ได้มีการนำเอาไปประยุกต์ใช้งานกันมากเช่น

1. ดัดแปลงเป็นวงจรวัดกำลังงาน (Power)
2. ทำเป็นตัวเพิ่มความถี่สัญญาณต่างๆ ขึ้นเป็นสองเท่า และใช้เป็นวงจรเลื่อนความถี่
3. ใช้ดัดแปลงเป็นวงจรวัดค่าความต่างเฟส ระหว่างสัญญาณสองสัญญาณที่มีความถี่เท่ากัน
4. ใช้ในการคูณสัญญาณทั้งสองเข้าด้วยกัน
5. ทำเป็นวงจรหารสัญญาณ
6. ใช้ในการหาค่ารากที่สอง (Square Root) ของสัญญาณบางชนิด
7. ดัดแปลงเป็นวงจรยกกำลังสองของสัญญาณต่างๆ ทั้งที่เป็นสัญญาณ DC และ AC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากวงจรอื่นในวิธีการออกแบบนี้ ในบทนี้ยังจะนำเอาวงจรคูณสัญญาณ มาใช้เป็นวงจรผสมสัญญาณแบบขนาดหรือวงจรมอดูเลต (Amplitude Modulation) และวงจรถอดสัญญาณ (Demodu Lation) เราสามารถแสดงแบบจำลองของวงจรคูณสัญญาณได้ดังรูปที่ 2.22 (ก) จากรูปมีอินพุตสองขาคือ X และ Y ซึ่งจะนำสัญญาณทั้งสองมาคูณกัน ที่ขาอินพุตแต่ละขา จะมีค่าความต้านทานอินพุต (Input Resistance) ประมาณตั้งแต่ 10 กิโลโอห์มขึ้นไปมีเอาต์พุทหนึ่งขา โดยที่แรงดันเอาต์พุทนี้มีค่าเท่ากับผลคูณของอินพุตทั้งสองขาหารด้วยค่าสเกลแฟกเตอร์ (Scale Factor)

2.6.1 ค่าเสกลแฟกูเตอร์

จากแบบจำลองวงจรคูณสัญญาณที่ แสดงในรูปที่ 2.22 (ก) จะเห็นได้ว่ามีเครื่องหมายคูณ (X) ปรากฏอยู่ในกรอบสี่เหลี่ยม ซึ่งหมายถึงเป็นตัวคูณสัญญาณนั่นเอง นอกจากแบบจำลองนี้แล้ว อาจแสดงเป็นแบบอื่นๆ ได้ ดังเช่นในรูปที่ 2.22 (ข) เป็นแบบจำลองซึ่งประกอบด้วยอินพุทสองข้างคือ x และ y เช่นเดียวกันกับรูปแรก และมีสมการของแรงดันเอาต์พุท V_o ในเทอมทั่วไปคือ

$$V_o = k\,x\,y$$

เมื่อ x และ y คือสัญญาณอินพุตของแต่ละข้าง

ค่าคงที่ k ในสมการเรียกว่า สเกลแฟกเตอร์ โดยปกติมักกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1/10 เนื่องจากในการออกแบบสร้างวงจรคูณสัญญาณ มักจะออกแบบให้สามารถใช้ไฟเลี้ยงเพียงชุดเดียวได้ คือ ±15 โวลท์ และเพื่อให้ได้ผลที่ดีที่สุด ค่าของแรงดันที่ใช้งานทางอินพุตทั้ง x และ y ที่ไฟเลี้ยงขนาดนี้ควรมีค่าอยู่ในช่วง ±10 โวลท์ ถ้ากำหนดให้ k มีค่าเท่ากับ 1/10 ก็จะทำให้เอาต์พุตมีค่าอยู่ในช่วง ±10 โวลท์เช่นกัน ซึ่งก็นับว่าเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด อาจแสดงค่าต่างๆ ในรูปของสมการได้คือ กำหนดให้ x = 10 โวลต์ ; y = 10 โวลต์

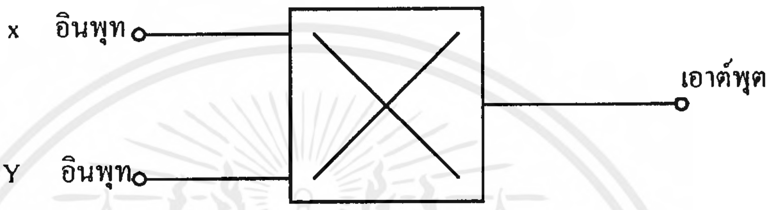
จาก $V_o = k\,x\,y = k(10)(10)$

แทน $k = 1/10$ จะได้ $V_o = 10$ V

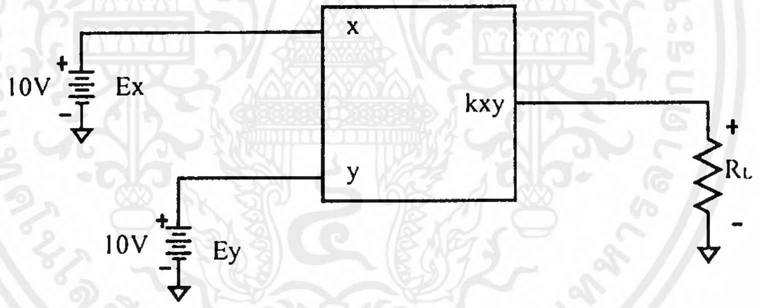
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าค่าอินพุตทั้งสอง (x และ y) และเอาต์พุตมีค่าเท่ากันหมดคือ 10 โวลต์ สรุปได้ว่า

$$V_o = \frac{XY}{10} = \frac{E_xE_y}{10}$$



(ก) สัญลักษณ์ของวงจรคูณสัญญาณ



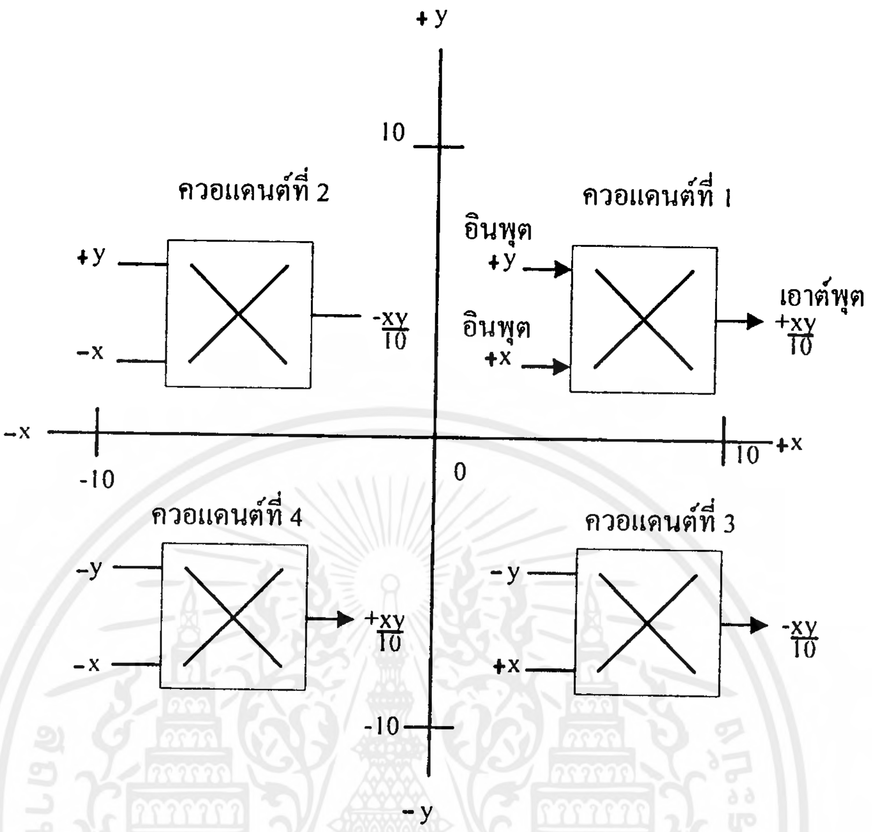
(ข) วงจรคูณสัญญาณที่มีการป้อนไฟ DC สองทาง

รูปที่ 2.22 วงจรคูณสัญญาณ

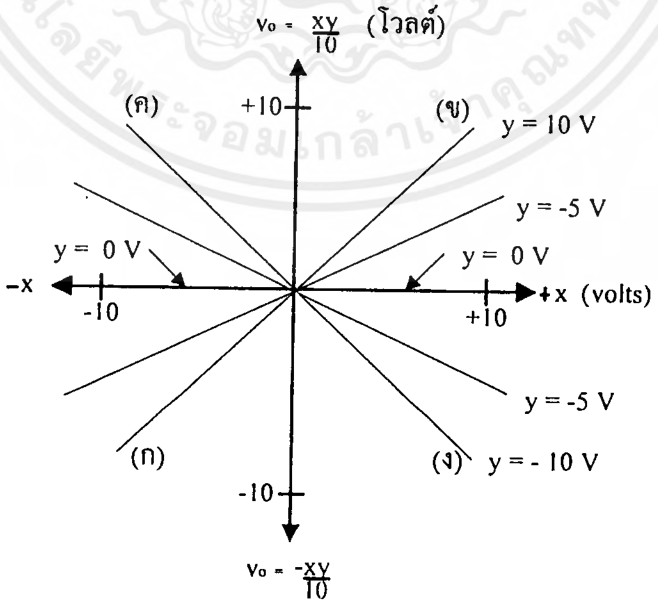
2.6.2 ควอแดรนต์ของการคูณสัญญาณ

การคูณสัญญาณต่างๆ นั้นได้มีการแบ่งการคูณออกเป็นควอแดรนต์ เช่น การคูณแบบควอแดรนต์ที่ 1 , ควอแดรนต์ที่ 2 หรือควอแดรนต์ที่ 4 เป็นต้น การจัดแบ่งควอแดรนต์แสดงได้ดังรูปที่ 2.23 แรงดันอินพุตจะสามารถเป็นไปได้ 4 แบบ โดยคำนึงถึงเครื่องหมายบวกลบด้วยเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 แสดงการจำแนกควอแดรนต์เมื่อสัญญาณ X และ Y มีสถานะต่างๆ



รูปที่ 2.24 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากสัญญาณ X และ Y ณ ค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า x และ y เป็นบวกทั้งคู่ เอาต์พุตอยู่ในควอแดรนต์ที่ 1

x เป็นลบ y เป็นบวก เอาต์พุตอยู่ในควอแดรนต์ที่ 2

ทั้ง x และ y เป็นลบทั้งคู่ เอาต์พุตอยู่ในควอแดรนต์ที่ 3

x เป็นบวก y เป็นลบ เอาต์พุตอยู่ในควอแดรนต์ที่ 4

ในรูปที่ 2.24 กำหนดให้ V_o แสดงในแนวตั้ง และ X แสดงในแนวนอน ถ้ากำหนดให้ Y มีค่าเท่ากับ 10 โวลต์ และ X มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 10 ถึง 10 โวลท์ จะวาดกราฟได้เป็นเส้นตรง ab กล่าวคือเส้น Y = 10 และ ถ้า Y มีค่าเปลี่ยนเป็น 10 โวลต์ ก็จะวาดกราฟได้เป็นเส้นตรง cd ดังที่ได้กำหนดเป็นเส้น Y = -10 เส้นที่ได้นี้สามารถทำให้แสดงบนจอของออสซิลโลสโคปได้ โดยต่อ V_o ของวงจรคูณกับอินพุตแชนแนล 2 ของสโคปและต่อ X กับอินพุตแชนแนล 1 ของสโคป ก็จะได้รูปดังที่แสดงในกราฟ

ข้อสำคัญสำหรับการคูณกรณีหนึ่ง ซึ่งมักนำมาใช้เป็นข้อทดสอบวงจร ก่อนนำไปใช้งานอื่นๆ คือ กรณีที่อินพุตทั้งสองข้างเป็น 0 โวลต์ทั้งคู่ V_o ก็ควรที่จะได้เป็น 0 โวลต์เช่นกัน แต่ถ้าในการใช้งานจริงไม่ได้ผลตามนี้ ก็ต้องมีการปรับแต่งวงจรเสียก่อน เพื่อให้การใช้งานเป็นไปอย่างถูกต้อง การปรับแต่งวงจรจะได้แสดงในหัวข้อถัดไป

2.6.3 การปรับแต่งวงจรคูณสัญญาณ

ในการใช้งานวงจรคูณสัญญาณโดยใช้ไอซีที่มีราคาไม่แพงมากนักนั้น ปกติจำเป็นที่จะต้องปรับแต่งค่าต่างๆ เพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องโดยการปรับจากภายนอก ตัวอย่างของไอซีที่ใช้ เช่น AD533,4200 และ XR2208 แต่สำหรับกรณีที่ใช้ไอซีราคาแพง ก็มักจะได้ทำการปรับแต่งมาเรียบร้อยแล้วจากบริษัทผู้ผลิต โดยใช้แสงเลเซอร์ที่ควบคุมจากคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ในการปรับซึ่งทำให้ได้ค่าที่ถูกต้องแน่นอนมาก

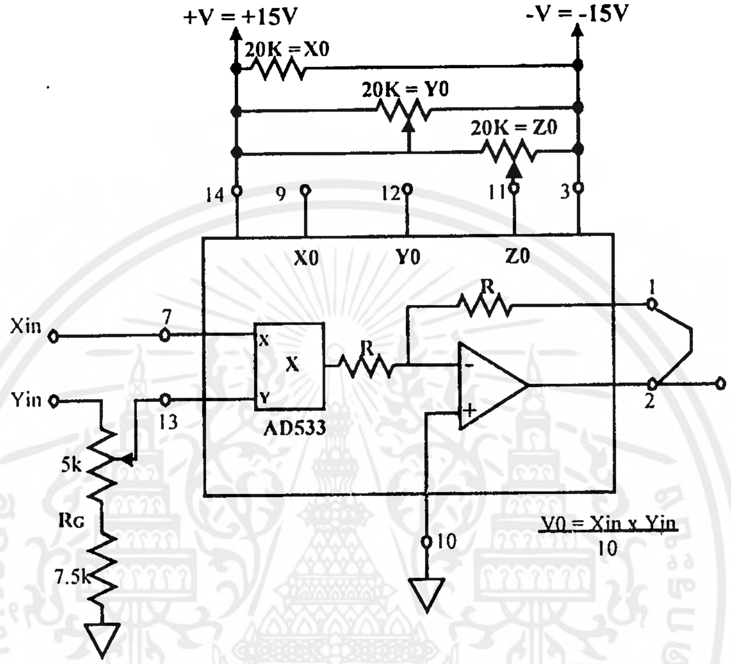
อย่างไรก็ตาม ในที่นี้จะกล่าวถึงกรณีการใช้งานทั่วไป สำหรับไอซีที่ราคาไม่แพงนักที่ต้องมีการปรับแต่งจากภายนอกเท่านั้น ซึ่งมีวิธีการในการปรับแต่งดังนี้ คือ ต่อวงจรตาม รูปที่ 2.25 ในรูปประกอบด้วยชุดการปรับ 4 ชุด โดย 3 ชุดแรกคือ X_0 , Y_0 และ Z_0 ใช้สำหรับปรับค่าอินพุต และเอาต์พุต โดยต้องปรับให้ได้ตามนี้ คือ

1. เมื่อมีอินพุต X และ Y เป็น 0 โวลต์ ต้องปรับให้ได้เอาต์พุตเป็น 0 โวลต์

2. เมื่อเฉพาะอินพุต X เป็น 0 โวลต์ ต้องปรับให้ได้เอาต์พุตเป็น 0 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับชุดปรับอีกหนึ่งชุดคือ R_G นั้น มีไว้สำหรับปรับค่าสเกลแฟกเตอร์ให้ได้เป็น 1 เพื่อที่จะให้ได้ค่าของเอาต์พุตเป็น 10 โวลต์ เมื่ออินพุตทั้งสองข้างเป็น 10 โวลต์เท่ากัน



รูปที่ 2.25 วงจรไอซีคูณสัญญาณ

ตารางที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการปรับแต่งวงจรไอซีคูณสัญญาณ

ขั้นที่	ขาพอต	X_{in} at	Y_{in} at	For V_o =
1	Z_o	0 V	0 V	0 V dc
2	X_o	0 V	20V,p-p,50 Hz	Min.ac
3	Y_0	20V,p-p, 50 Hz	0 V	Min.ac
4	ทำซ้ำขั้นที่1 ถึง 3 (ตามต้องการ)			
5	R_G	+10 Vdc	20 V,p-p, 50 Hz	Y_{in}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 วงจรคูณสัญญาณด้วย OTA

วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่จำลองการทำงานของวัตต์มิเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ ก็คือวงจรคูณสัญญาณซึ่งในที่นี้ใช้วงจรคูณสัญญาณแบบ OTA เพราะเป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดในการออกแบบใช้งาน OTA แตกต่างจากออปแอมป์ธรรมดาที่ใช้งานทั่วไปคือ ออปแอมป์ทั่วไป จะทำงานกับสัญญาณอินพุตที่เป็นแรงดันเพราะอิมพีแดนซ์สูง สัญญาณเอาต์พุตคือ ปริมาณแรงดันที่เป็นผลคูณระหว่างอัตราการขยายกับแรงดันอินพุต ส่วน OTA มีอินพุตแบบเดียวกับ ออปแอมป์ธรรมดา แต่ให้เอาต์พุตในรูปของกระแส ดังนั้นอัตราการขยายแรงดัน แต่เรียกชื่อใหม่ว่าความนำร่วม (Forward Transconductance-gm) ซึ่งมีหน่วยเป็น mA/v การนำ OTA ไปใช้งานเหมือนกับออปแอมป์ทั่วไป ต้องนำความต้านที่มีค่าเหมาะสมมาต่อที่เอาต์พุต กระแสที่ OTA ใช้ไปทั้งหมด จะมีค่าเป็นสองเท่าของกระแสไบแอส บางครั้งมีค่าเพียง 0.1 ไมโครแอมป์เท่านั้น คุณสมบัติของ OTA แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติต่างๆ ของ OTA

คุณสมบัติ	ข้อจำกัด
ย่านแหล่งจ่ายแรงดันทีใช้งาน	+ 4 โวลต์ ถึง + 30 โวลต์ หรือ ± 2 โวลต์ ถึง ± 15 โวลต์
แรงดันที่อินพุตของวงจรขยายความแตกต่าง	สูงสุด ± 15 โวลต์
กำลังงานสูญเสีย	สูงสุด 125 มิลลิวัตต์
กระแสของสัญญาณอินพุต	สูงสุด 1 มิลลิแอมป์
กระแสไบแอสของวงจร	สูงสุด 2 มิลลิแอมป์
ช่วงเวลาที่เอาต์พุตลัดวงจรโดยไม่เสียหาย	ไม่จำกัด
ค่าความนำร่วม(gm)	9500 ไมโครซีเมนส์
ความกว้างของแถบความถี่เมื่อหลูปเปิด	2 เมกะเฮิรตซ์
สลูว์เรตเมื่ออัตราขยายเท่ากับหนึ่ง	50 โวลต์/ไมโครวินาที
อัตราลดทอนสัญญาณโหมดร่วม(CMRR)	110 เดซิเบล

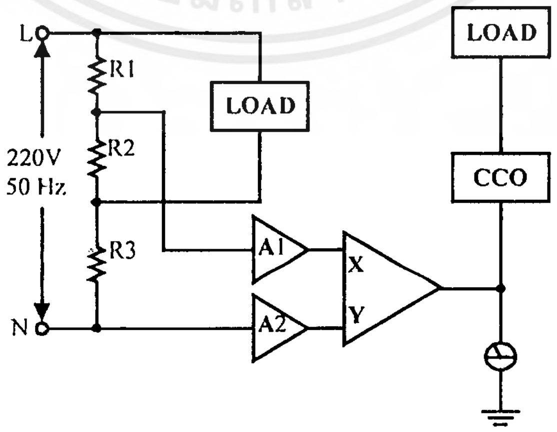
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการ

กระแสทางเอาต์พุตสามารถที่จะแปลงกลับเป็นแรงดัน ได้โดยการต่อตัวต้านทานเป็นโหลดที่ภาคเอาต์พุตค่าความนำร่วม (gm) สามารถเปลี่ยนแปลง โดยการปรับกระแสไบแอสจากภายนอกที่ ป้อนเข้ามายังตัว OTA กระแสไบแอสนี้อาจได้จากการต่อแรงดันไฟสลับผ่านตัวต้านทาน ทำให้ออปแอมป์แบบ OTA ทำงานเป็นวงจรคูณค่าแรงดันทางอินพุตทั้งสองได้ การนำ OTA มาใช้ในงานวัดกำลังงานไฟฟ้ามีหลักการตามรูปที่ 2.26

จากรูปที่ 2.26 โหลดจะถูกต่ออยู่ระหว่างสายไลน์ (L) กับสายนิวตรอน (N) ผ่านตัวต้านทาน R_3 ส่วนแรงดันไฟสลับที่ตกคร่อมโหลดถูกตรวจวัดโดยออปแอมป์ A_1 ได้จากวงจรแบ่งแรงดัน ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทาน R_1 และ R_2 ซึ่ง A_1 จะทำงานเป็นบัฟเฟอร์ สัญญาณเอาต์พุตถูกส่งผ่านจาก A_1 เข้ายังอินพุต X ของวงจรคูณสัญญาณ OTA

ในขณะเดียวกัน แรงดันที่แปรไปตามกระแสที่ไหลผ่านโหลด จะเกิดขึ้นตกคร่อมตัวต้านทาน R_3 แล้วป้อนผ่านวงจรบัฟเฟอร์ A_2 มายังอินพุต Y ของวงจรคูณสัญญาณ เนื่องจาก OTA ต่อเป็นวงจรคูณสัญญาณ เอาต์พุตจึงเป็นค่าของกระแสไฟฟ้าที่แปรผันตามผลคูณของแรงดันทางอินพุต X และ Y (นั่นก็คือ กำลังงานไฟฟ้าที่โหลดใช้ไป) กระแสส่วนหนึ่งถูกป้อนผ่านมิเตอร์โดยตรง เพื่อแสดงกำลังงานไฟฟ้าที่โหลดใช้ไปในขณะใดๆ กระแสเอาต์พุตอีกส่วนถูกป้อนให้แก่วงจร CCO (Current Control Oscillator) โดยทำหน้าที่ผลิตความถี่ผลิตความถี่ที่เปลี่ยนแปลงตามค่ากระแสอินพุตจากวงจรคูณ ซึ่งวงจร CCO นี้ก็ใช้ OTA เช่นกัน ความถี่ที่ได้จากวงจรจะส่งเข้าวงจรนับเพื่อแสดงผลการใช้กำลังงานไฟฟ้าต่อไป



รูปที่ 2.26 หลักการทำงานของเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าโดยใช้ OTA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 หลักการสื่อสารข้อมูล

การสื่อสารข้อมูล คือขบวนการของการใช้ร่วมหรือแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารที่ถูกแปลงรหัส (Encoded Information) ระหว่างอุปกรณ์สองตัวหรือมากกว่านั้น ในการสื่อสารข้อมูลตัวส่งและตัวรับเป็นอุปกรณ์หรือเครื่อง และข้อมูลข่าวสารที่ถูกแปลงรหัสหมายถึงข้อมูลข่าวสารที่ถูกส่งผ่านไปในลักษณะของการส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรมของสัญญาณไฟฟ้า ผ่านตัวกลางที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูล เช่น เมื่อเจ้าหน้าที่คอมพิวเตอร์กดปุ่มอักษรบนแป้นพิมพ์ อนุกรมทางไฟฟ้าที่จะถูกส่งออกไปยังคอมพิวเตอร์และคอมพิวเตอร์จะแปลงข้อมูลข่าวสารกลับมา ดังแสดงในรูปที่ 2.27

รูปที่ 2.27 ส่วนประกอบของการสื่อสารข้อมูล

ส่วนประกอบของการสื่อสารข้อมูลประกอบด้วย

1. DTE (Data Terminal Equipment) เป็นอุปกรณ์ต้นทางหรือปลายทางข้อมูล ทำหน้าที่รับหรือส่งข้อมูล โดยอีกนัยหนึ่งคือผู้ใช้ข้อมูล (Data User) เช่น คอมพิวเตอร์ , แป้นพิมพ์ , จอภาพ , เครื่องพิมพ์ และเทอร์มินอล เป็นต้น

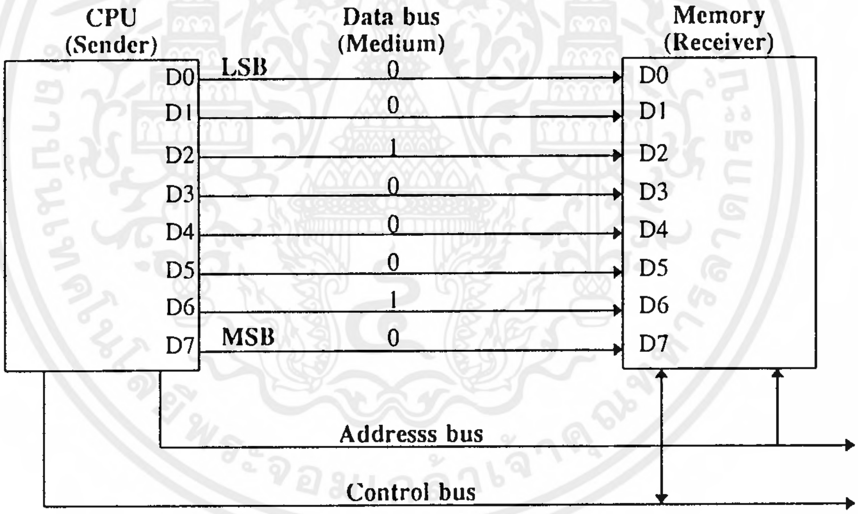
2. DCE (Data Communication Equipment) เป็นอุปกรณ์การสื่อสารข้อมูล ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อ และควบคุมการส่งผ่านข้อมูลระหว่างตัว DTE ทั้งสองตัว ผ่านตัวกลางในการสื่อสารหรือช่องผ่านสัญญาณ เช่น โมเด็ม , มัลติเพล็กซ์เซอร์ เป็นต้น

3. Medium เป็นตัวกลางที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลหรืออาจจะเรียกว่า ช่องสัญญาณสื่อสาร (Communication Channel) เช่น ดาต้าลิงค์เน็ตเวอร์ค , สายโคแอ็กเซียล , ไฟเบอร์ออฟติก และช่องสัญญาณดาวเทียม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 เทคนิคการส่งผ่านข้อมูล

ในการส่งผ่านข้อมูล สามารถแบ่งลักษณะของการส่งผ่านข้อมูลได้เป็น 2 แบบ คือการส่งผ่านข้อมูลแบบขนาน และการส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม การส่งผ่านข้อมูลโดยใช้สายคู่เดียว เป็นการส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม และการส่งผ่านข้อมูล โดยใช้สายหลายคู่สายเป็นการส่งผ่านข้อมูลแบบขนาน ในการส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลไบนารี่จะถูกส่งออกไปครั้งละ 1 บิทที่เวลาหนึ่ง ส่วนในการส่งผ่านข้อมูลแบบขนาน ข้อมูลแต่ละบิทจะมีสายส่งเฉพาะ และทุกบิทของข้อมูลที่แต่ละสายส่ง จะถูกส่งออกในเวลาเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.28 แสดงตัวอย่างของการส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม จากเทอร์มินอลไปยังคอมพิวเตอร์ และสำหรับรูปแบบของไบนารี่ 01000100 บัสข้อมูลภายในระบบคอมพิวเตอร์ เป็นตัวอย่างหนึ่งของการส่งผ่านข้อมูลแบบขนานดังแสดงในรูปที่ 2.29

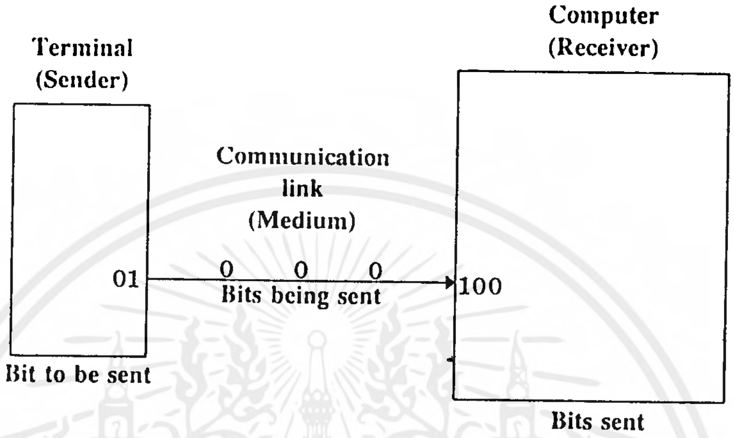


รูปที่ 2.28 การส่งสัญญาณแบบอนุกรม

การส่งผ่านข้อมูลแบบขนานย่อมเร็วกว่าการส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม เพราะว่าทุกบิทถูกส่งออกไปพร้อมกัน ดังนั้นในการส่งผ่านข้อมูลแบบขนาน จะถูกนำมาใช้สำหรับการทำงานภายในคอมพิวเตอร์ เช่น ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างซีพียู กับหน่วยความจำ หรือระหว่างซีพียูและชิฟอินพุตเอาต์พุต เป็นต้น อย่างไรก็ตามการใช้สายหลายๆ เส้นทำให้สับสน ราคาสูง และรับสัญญาณรบกวนได้ง่าย ถ้านำการส่งผ่านข้อมูลแบบขนาน มาใช้กับการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผ่านข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับคอมพิวเตอร์ หรือคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์รอบนอก เช่น แป้นพิมพ์กับจอภาพ , เครื่องพิมพ์หรือพล๊อตเตอร์ เป็นต้น แม้ว่าในบางระบบจะใช้การส่งผ่านข้อมูลแบบขนาน สำหรับการส่งผ่านข้อมูลไปยังอุปกรณ์รอบนอก



รูปที่ 2.29 การส่งสัญญาณแบบขนาน

ส่วนใหญ่จะใช้การส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม ซึ่งมีชิฟอินพุตเอาต์พุต ทำการแปลงข้อมูลแบบขนานจากซีพียู เพื่อเป็นข้อมูลแบบอนุกรม ก่อนที่จะส่งข้อมูลออกไป และชิฟอินพุตเอาต์พุตเหล่านี้ สามารถรับข้อมูลแบบอนุกรม และแปลงกลับมาเป็นแบบขนาน เพื่อให้สามารถอ่านได้โดยซีพียู หรือหน่วยความจำได้ง่าย เพราะว่าในการสื่อสารข้อมูลจะเกิดขึ้นระหว่างคอมพิวเตอร์กับคอมพิวเตอร์หรือคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์รอบนอก

2.7.2 การส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม

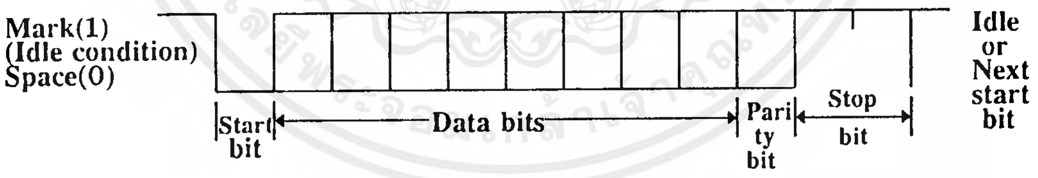
การส่งสัญญาณแบบอนุกรมแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ การส่งสัญญาณแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Transmission) และการส่งสัญญาณแบบซิงโครนัส (Synchronous Transmission) เพื่อทำให้ตัวส่งและตัวรับสามารถทำงานได้สอดคล้องกันทั้งคู่ จึงจะต้องใช้วิธีการส่งสัญญาณแบบเดียวกัน คือ ตัวรับต้องสามารถตรวจจับการเริ่มต้นและการสิ้นสุดของอักขระ (Character) 1 ตัวได้ สำหรับการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส ส่วนแบบซิงโครนัสจะดูที่บล็อคของการเริ่มต้น และการสิ้นสุดของอักขระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การส่งสัญญาณแบบอะซิงโครนัส คำว่า "อะซิงโครนัส" หมายความว่า ที่เวลาหนึ่งอักขระ 1 ตัว สามารถถูกส่งออกไปได้ การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส จะใช้กับการส่งข้อมูลที่มีความเร็วต่ำ (น้อยกว่า 19,200 Bits Per Second (BPS)) และใช้กับอุปกรณ์ราคาไม่แพงนัก เช่น เครื่องพิมพ์และพล็อตเตอร์ จึงมีผลทำให้การส่งข้อมูลแบบนี้เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมสูง เพราะออกแบบวงจรง่ายและสามารถลดต้นทุนในการผลิต วิธีนี้ยังทำให้มีการต่อเนื่องของข้อมูลไม่ตายตัว คือเวลาระหว่างอักขระไม่จำเป็นต้องเท่ากัน เปรียบเทียบได้กับการพิมพ์หนังสือเวลาระหว่างการกดแป้นพิมพ์ของอักขระแต่ละตัวไม่จำเป็นต้องเท่ากัน เนื่องมาจากคำที่กำลังพิมพ์, ตำแหน่งของอักขระ รูปแบบอักขระของการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส แสดงในรูปที่ 2.30

แสดงรูปแบบของการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส จะเห็นว่าในการส่งอักขระ 1 ตัว แบบอะซิงโครนัสจะประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ บิทเริ่มต้น (Start Bit) บิทข้อมูล (Data Bit) บิทพาริตี้ (Parity Bit) และบิทหยุด (Stop Bit) (ซึ่งอาจมีได้ 1, 1.5 หรือ 2 บิท) แม้ว่าบิทพาริตี้จะเป็นบิทตัวเลือกว่ามีหรือไม่มีก็ได้ แต่ระบบส่วนใหญ่จะใช้ ซึ่งดูได้จากตัวอย่างว่าจะมีทั้งใช้และไม่ใช้บิทพาริตี้

แม้ว่าการส่งสัญญาณแบบอะซิงโครนัส จะง่ายต่อการออกแบบ สร้างและใช้งาน แต่เป็นแบบวิธีการส่งข้อมูลที่ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ เนื่องจากในการส่งข้อมูลแต่ละอักขระอย่างน้อยที่สุดประกอบด้วยบิทเริ่มต้น 1 บิทและบิทหยุด 1 บิท



รูปที่ 2.30 รูปแบบอักขระสำหรับการส่งสัญญาณแบบอะซิงโครนัส

2. การส่งสัญญาณแบบซิงโครนัส ไม่ต้องการบิทเริ่มต้นและบิทหยุด แก่แต่ละอักขระของเฟรม โดยการส่งข้อมูลแต่ละครั้ง จะส่งเป็นบล็อคขนาดใหญ่ เพื่อที่จะให้เข้าจังหวะ กับสัญญาณนาฬิกาของตัวรับ ในการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส ตัวรับสามารถรู้ถึงการเริ่มต้นเฟรมใหม่ของข้อมูลแต่ละเฟรม และแต่ละบิทภายในเฟรม ดังแสดงในรูปที่ 2.31 แสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของซิงโครนัสทั้ง 2 แบบที่แตกต่างกัน คือแบบ Character-Oriented Frame และ แบบ Bit-Oriented Frame เฟรมแรกของการส่งข้อมูลแบบ Character-Oriented จะเริ่มต้นด้วยอักขระพิเศษหนึ่งตัวหรือมากว่านั้น เรียกว่า Synchronization (SYN) Character อักขระ SYN จะมีรูปแบบทางไบนารีที่เป็นเอกลักษณ์หรือเฉพาะอักขระ SYN จะตามด้วยข่าวสารควบคุม (Control Information) ข้อมูลอักขระควบคุม และสุดท้ายคืออักขระตรวจสอบความผิดพลาด

ส่วนแบบ Bit-Oriented นั้นเฟรมหนึ่งจะประกอบด้วยรูปแบบบิทพิเศษที่ตอนเริ่มต้นและสิ้นสุดของเฟรม รูปแบบเหล่านี้ประกอบด้วยความยาว 8 บิท ซึ่งเรียกว่า เฟล็ก (Flags) เฟล็กเริ่มต้นของเฟรมและสิ้นสุดเฟรมนั้นจะมีค่าเหมือนกันคือ “01111110” ดังแสดงในรูปที่ 2.31 (ข) ซึ่งได้แสดงเฟล็กเริ่มต้น (Opening Flag) แล้วตามด้วยข้อมูลแสดงที่อยู่ (Address Information), ข้อมูลควบคุม (Control Information), ข้อมูลการตรวจสอบข้อผิดพลาด (Error Checking Information) และสุดท้าย คือเฟล็กสิ้นสุด (Ending Flag)

Frame

SYN	**SYN**	**Control Information**	**Data**	**Control character**	**Error checking characters**

ก. Character Oriented

Frame

Beginging flag 01111110	**Addres s field**	**Control field**	**Informatio n field**	**Error checking characters**	**Ending flag 01111110**

ข. Bit Oriented

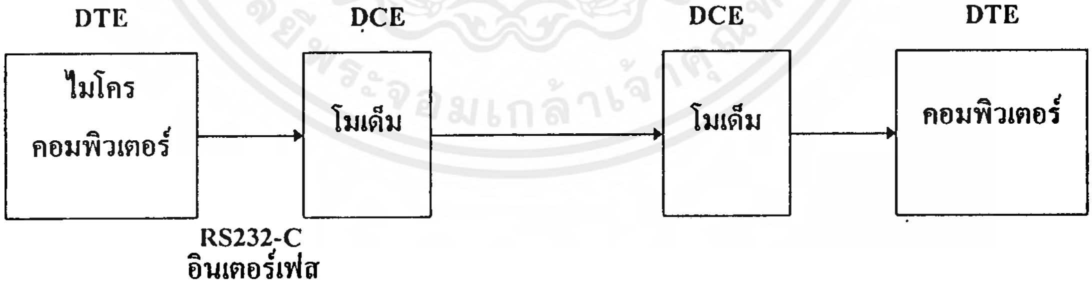
รูปที่ 2.31 ตัวอย่างรูปแบบการส่งสัญญาณแบบอะซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 มาตราฐาน RS-232C

โดยปกติไมโครคอมพิวเตอร์จะมีพอร์ตที่เป็นอนุกรมอยู่ในตัวเครื่อง ซึ่งมีชื่อเรียกว่า RS-232C เครื่องหลายเครื่องที่ไม่มีพอร์ตมากับเครื่อง อย่างเช่น IBM PC จำเป็นจะต้องมีการ์ดที่เรียกว่า อะซิงโครนัสอะแดปเตอร์ (Asynchronous Communication Adapter) มาเสียบใส่เพื่อนำไปใช้ในการสื่อสารข้อมูล

พอร์ต RS-232C ทำหน้าที่ในการรับและการส่งข้อมูลในแบบอนุกรม เรียกว่า Universal Asynchronous Adapter สาเหตุที่ทำให้มีชื่อเรียกว่า RS-232C เนื่องมาจากสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของอเมริกาหรือ EIA ได้กำหนดมาตรฐานของอุปกรณ์การสื่อสารแบบอนุกรมขึ้นมา ซึ่งคำว่า RS ย่อมาจาก Recommened Standard ส่วน 232 เป็นหมายเลขบ่งบอกของมาตรฐานนี้และ C เป็นหมายเลขของฉบับสุดท้ายของมาตรฐานนี้ และจุดประสงค์หลักของมาตรฐานนี้ และจุดประสงค์หลักของมาตรฐานตัวนี้ เพื่อบรรยายคุณลักษณะของการเชื่อมต่อของอุปกรณ์รับส่งข้อมูล (DTE) กับอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูล (DCE) สำหรับผู้ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ DTE ก็หมายถึง ตัวไมโครคอมพิวเตอร์และ DCE ก็หมายถึง โมเด็ม, อุปกรณ์อื่นๆ เช่น เครื่องพิมพ์ที่รับสัญญาณแบบอนุกรม อาจจะเป็นได้ทั้ง DTE และ DCE ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตข้อแตกต่างของ DTE และ DCE จะเห็นได้จาก รูปที่ 2.32 จะเห็นได้ว่า RS-232C มีส่วนสำคัญสำหรับการสื่อสารข้อมูลระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.32 การใช้ RS-232C เชื่อมต่ออุปกรณ์

ความจริงที่ควรทราบอีกประการหนึ่งของ RS-232C คือ ความเร็วและระยะทางในการเชื่อมต่อของ RS-232C สามารถเชื่อมต่อการถ่ายโอนข้อมูลได้จาก 0-20,000 บิตต่อวินาที ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

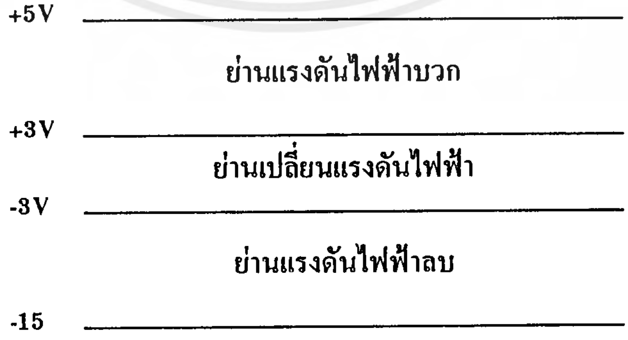
เพียงพอสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดอัตราบอด 110 ถึง 9600 บอด และความยาวของสายที่ใช้ในการเชื่อมต่อสัญญาณตามมาตรฐานของ RS-232C มีค่าจำกัดอยู่แค่ 50 ฟุต ซึ่งเพียงพอสำหรับการสื่อสารของไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก

1. ลักษณะของสัญญาณ RS-232C

เพื่อเป็นการรับรองว่าข้อมูลถูกส่งออกไปและอุปกรณ์ที่ควบคุมถูกต้อง จึงจำเป็นจะต้องมีข้อตกลงกันในเรื่องของสัญญาณที่ใช้ มาตรฐาน RS-232C จึงต้องมีการกำหนดย่านแรงดันไฟฟ้าในสัญญาณ เพื่อสนองจุดประสงค์ที่กล่าวมาแล้ว ดังแสดงในตารางที่ 2.3 และรูปที่ 2.33

ตารางที่ 2.3 การกำหนดย่านแรงดันไฟฟ้าในสัญญาณ

มาตรฐานของการใช้แรงดันไฟฟ้า			
แรงดันไฟฟ้า	สภาวะลอจิก	สภาวะของสัญญาณ	ฟังก์ชั่นในการควบคุม
บวก	0	SPACE	ON
ลบ	1	MARK	OFF

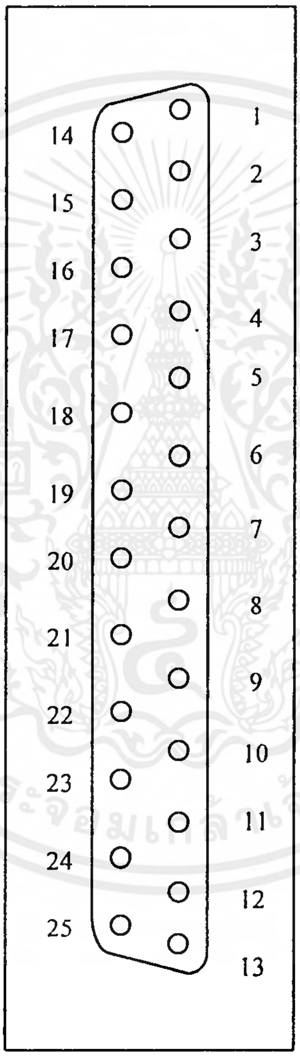


รูปที่ 2.33 ย่านแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในสัญญาณ RS-232C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับไมโครคอมพิวเตอร์บางเครื่อง อาจจะใช้สัญญาณลอจิกออกมาเป็นสัญญาณของ RS-232C อย่างเช่น อะซิงโครนัสอะแดปเตอร์ของ IBM PC ในกรณีเช่นนี้ระยะทางของสายที่เชื่อมต่ออาจจะต่อใช้ได้สั้นกว่า 50 ฟุต เนื่องจากระดับของกราวน์เปลี่ยนแปลงไป อันเนื่องจากการสูญเสียความต้านทานไปในสาย

ทิศทางของสัญญาณ	ชื่อสัญญาณ	Pin
TO DCE	Secondary	14
TO DTE	Tx clock	15
TO DTE	Secondary Rx	16
TO DCE	Receive clock	17
Unassign	Unassign	18
TO DCE	Secondary RTS	19
TO DCE	Data Terminal Ready	20
TO DTE	Signal Quality Detect	21
TO DTE	Ring Indicator	22
TO DCE	Data Signal Rate Select	23
TO DCE	Tx clock	24
	Unassign	25



Pin	ชื่อสัญญาณ	ทิศทางของสัญญาณ
1	Protective grond	TO DCE
2	Transmit Data	TO DCE
3	Receive Data	TO DTE
4	Request to send	TO DCE
5	Clear to send	TO DTE
6	Data Set Ready	TO DTE
7	Signal Ground	
8	Carrier Detect	TO DTE
9	Reserve for test	
10	Reserve for test	
11	Unassign	
12	Secondary Carrier detect	TO DTE
13	Secondary Carrier to sent	TO DTE

DTE:Data Terminal Equipment
DCE:Data Communication Equipment

รูปที่ 2.34 การกำหนดของข้อต่อ RS-232C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การกำหนดจุดข้อต่อของ RS-232C

ในทางฟิสิกส์แล้ว มาตรฐานของ RS-232C กำหนดข้อต่อเป็นแบบ DB-25 แต่ละขาของข้อต่อได้กำหนดไว้ดังแสดงในรูปที่ 2.34 อย่างไรก็ตามผู้ผลิตไมโครคอมพิวเตอร์อาจจะใช้ข้อต่อชนิดอื่นที่นอกเหนือไปจาก DB-25 ยกตัวอย่างเช่น Fujitsu F-8 IBM AT, IBM Jr เป็นต้น ตัวเมียของข้อต่อควรจะอยู่ที่ตัวโมเด็ม ขณะที่ตัวผู้ควรจะอยู่ที่อะซิงโครนัสอะแดปเตอร์หรือที่ตัวไมโครคอมพิวเตอร์

สัญญาณต่างๆ ถูกมอบหมายให้ทำหน้าที่ ดังนี้

Transmit Data (TD ขาที่ 2) เป็นสัญญาณที่ส่งออกจาก DTE (หรือตัวไมโครคอมพิวเตอร์) ไปยังโมเด็มหรือต่อเข้าโดยตรงกับไมโครคอมพิวเตอร์อื่นหรือเครื่องพิมพ์ เมื่อไม่มีสัญญาณส่งออก สถานภาพของลอจิกที่ขานี้จะมีค่าเท่ากับ “1” หรือเทียบเท่ากับสต๊อปบิท

Receive Data (RD ขาที่ 3) เป็นทางของสัญญาณเข้าไปยัง DTE หรือไมโครคอมพิวเตอร์ เมื่อไม่มีสัญญาณรับเข้ามา ขานี้จะมีสถานภาพทางลอจิกเป็น “1”

Request To Send (RTS ขาที่ 4) ใช้สำหรับส่งสัญญาณไปยังโมเด็ม หรือเครื่องพิมพ์ เป็นการเรียกร้องที่จะส่งสัญญาณมาทางขา 2 สัญญาณนี้จะใช้คู่กับ CTS หรือ Clear to Sent อุปกรณ์รับหากได้รับสัญญาณ RTS จะตรวจสอบเองว่าพร้อมจะรับสัญญาณได้หรือยังหากพร้อมที่จะรับก็จะส่งสัญญาณออกไปที่สาย CTS

Clear To Send (CTS ขาที่ 5) ดังอธิบายไว้ใน RTS เมื่อมีสัญญาณนี้อยู่ในสถานะออฟ (Negative Voltage หรือลอจิก “1”) หมายความว่า อุปกรณ์รับกำลังบอกว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลแล้ว

Date Set Ready (DSR ขาที่ 6) เมื่อสัญญาณสายนี้อยู่ในสถานะออน หรือลอจิก “0” เป็นการบอกไมโครคอมพิวเตอร์หรือฝ่ายส่งว่า โมเด็มต่อเข้ากับสายโทรศัพท์เรียบร้อยแล้วและพร้อมที่จะส่งได้แล้ว โมเด็มที่มีการหมุนหมายเลขอัตโนมัติ จะส่งสัญญาณสายนี้ไปบอกให้คอมพิวเตอร์รู้ว่าต่อโทรศัพท์ได้สำเร็จแล้ว

Signal Ground (SG ขาที่ 7) SG ทำหน้าที่เป็นระดับแรงดันอ้างอิงสำหรับทุกๆ สายของสัญญาณ จะมีแรงดันเป็น “0” เมื่อเทียบกับสัญญาณตัวอื่น

Carrier Detect (CD ขาที่ 8) โมเด็มจะส่งสัญญาณที่อยู่ในสถานะออนหรือลอจิก “0” ไปบอกไมโครคอมพิวเตอร์ เมื่อได้รับสัญญาณจากโมเด็มของอีกฝ่ายหนึ่ง สัญญาณนี้จะนำไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุด LED บอกว่าได้รับสัญญาณจากโมเด็มอีกฝ่ายหนึ่งแล้ว ไฟ LED จะอยู่บนหน้าปัทม์ของโมเด็ม

ตารางที่ 2.4 คุณลักษณะโดยย่อของสัญญาณ RS-232C

คุณลักษณะทางไฟฟ้า	
Driver output logic levels with	1.5V> 0 > 5V
3k to 7k load	- 5V > 0 > -15V
Driver output voltage when open circuit	Vo < 25 V
Driver output impedance with Power off	Ro > 300 Ohms
Output Short circuit current	Io < 0.5 A
Driver slew rate	dv/dt < 30V/s
Receiver input voltage	+15 compatible with driver
Receiver output with open circuit input	MARK
Receiver output with +3V input	SPACE
Receiver output with -3V input	MARK
+15	LOGIC 0 = SPACE
+5	CONTROL ON
+5	Noise Margin
+3	
+3	Transition Region
-3	
-3	Noise Margin
-5	
-5	LOGIC 1= MARK
-15	CONTROL OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Terminal Ready (DTR ขาที่ 20) คอมพิวเตอร์เปิดสัญญาณสายนี้ให้ออนหรือลอจิก "0" เมื่อพร้อมที่จะติดต่อกับโมเด็ม ส่วนมากจะไม่รายงานสถานภาพของตัวเอง (CD,DSR และ CTS) ให้คอมพิวเตอร์รู้ หากคอมพิวเตอร์ไม่เปิดสัญญาณ DTR

Ring Indicator (RI ขาที่ 22) สัญญาณนี้ใช้ในโมเด็มที่เป็นระบบตอบได้อัตโนมัติ (Autoanswer) สัญญาณนี้จะออกเมื่อมีสัญญาณกระดิ่งมา และหยุดระหว่างเสียงดังของกระดิ่ง

3. มาตรฐาน RS-232C กับ V.24

ได้กล่าวถึงมาตรฐานตามสมาคมผู้ผลิตอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของสหรัฐอเมริกา หรือ RS-232C มาบ้างแล้ว สหประชาชาติได้มีมาตรฐานออกมาเหมือนกันและหลายฉบับ ซึ่งเป็นมาตรฐานออกมา 3 รูปแบบ คือ

V.24 บรรยายถึงการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์รับส่งข้อมูล (DTE) กับอุปกรณ์รับส่งข้อมูลปลายทาง

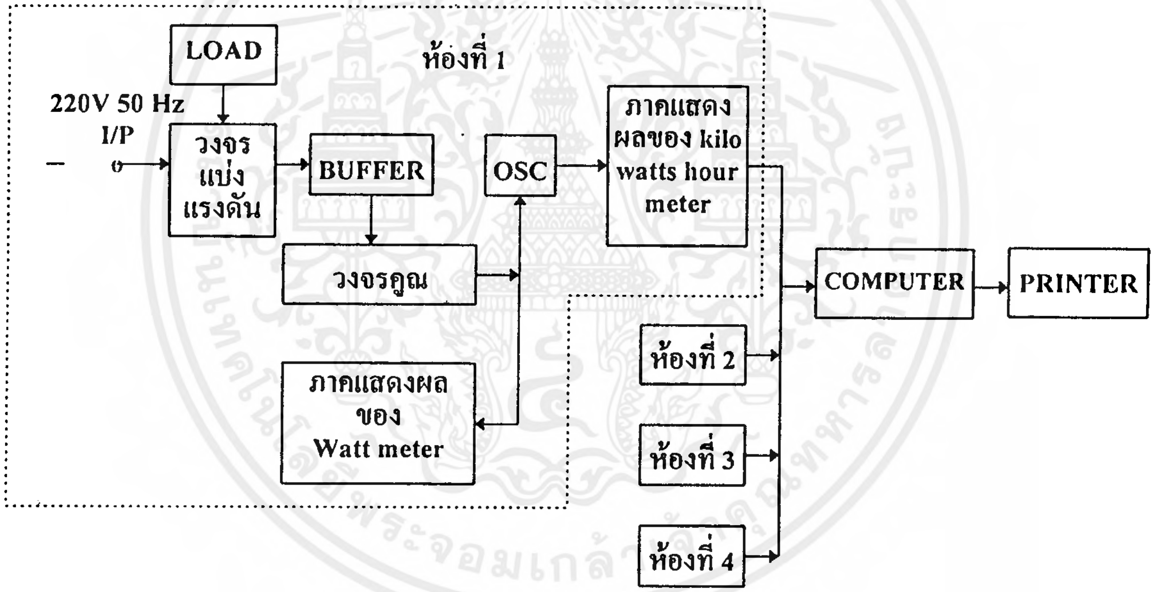
V.28 บรรยายลักษณะทางไฟฟ้าสำหรับการใช้ Unbalance Double Current Interchange Circuit อาจจะเป็นการโชคดีของผู้ที่ใช้มาตรฐานของ V.24 และ RS-232C ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกันจนสามารถใช้ร่วมกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

การออกแบบโครงงานนี้ จะแยกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของฮาร์ดแวร์ที่เป็นมิเตอร์ใช้วัดปริมาณการใช้กำลังงานไฟฟ้าและแสดงผลเป็นหน่วยของวัตต์กับกิโลวัตต์ และส่วนของซอฟต์แวร์ ที่ใช้ในการออกใบแจ้งหนี้เพื่อเก็บค่าไฟฟ้า โดยผังวงจรแสดงการทำงานดังต่อไปนี้

3.1 หลักการทำงาน



รูปที่ 3.1 ผังวงจรการทำงานของเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าและคิดเงินค่าไฟฟ้าโดยคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 3.1 เป็นผังวงจรแสดงการทำงานของเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าและคิดเงินค่าไฟฟ้าโดยคอมพิวเตอร์ซึ่งมีหลักการทำงานดังต่อไปนี้

ในแต่ละห้องจะประกอบด้วยเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะมีขั้นตอนการต่อส่งผ่านการแปลงสัญญาณไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของค่าที่วัดได้ดังรูปในห้องที่ 1 นี้ คือแรงดันไฟสลับที่ตกคร่อมโหลดถูกตรวจวัดโดยออปแอมป์ ซึ่งได้จากวงจรแบ่งแรงดัน ออปแอมป์นี้จะทำงานเป็นบัฟเฟอร์ สัญญาณถูกส่งผ่านเข้าไปยังวงจรคูณสัญญาณ OTA ที่อินพุตขาหนึ่งและที่อีกอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งของ OTA จะเป็นแรงดันที่แปรตามกระแสที่ไหลผ่านโหลด จะเกิดขึ้นตกคร่อมตัวต้านทาน ดังนั้นเอาท์พุทของวงจรคูณสัญญาณจึงเป็นค่าของกระแสไฟฟ้า ที่แปรผันตามผลคูณของแรงดันทางอินพุตทั้งสองอินพุต (นั่นคือกำลังไฟฟ้าที่โหลดใช้ไป) กระแสส่วนหนึ่งถูกป้อนผ่านมิเตอร์โดยตรงเพื่อแสดงกำลังงานไฟฟ้าที่โหลดใช้ไปในขณะใดๆ กระแสเอาต์พุทส่วนหนึ่งถูกป้อนให้แก่วงจรออสซิลเลเตอร์ โดยวงจรออสซิลเลเตอร์ จะทำหน้าที่ผลิตความถี่ที่เปลี่ยนแปลงตามค่ากระแสอินพุทจากวงจรคูณ ความถี่จากวงจรที่ได้จะส่งไปยังวงจรนับและส่งไปยังภาคแสดงผล เพื่อแสดงผลการใช้กำลังงานไฟฟ้าเป็นหน่วย Kilo Watt Hour Meter ทั้งหมดนี้เป็นหลักการทำงานในส่วนของฮาร์ดแวร์ ซึ่งในห้องที่ 2, ห้องที่ 3 และ ห้องที่ 4 ก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกัน ค่าที่ได้ในส่วนของภาคแสดงผลของ Kilo Watt Hour Meter ของแต่ละห้องจะถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์ซึ่งจะทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณที่รับเข้ามา ด้วยโปรแกรมควบคุมการประมวลผลที่เขียนขึ้นมา เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบสัญญาณที่รับเข้ามากับหน่วย ยูนิตออกมาเป็นจำนวนเงิน และส่งสัญญาณไปควบคุมเครื่องพิมพ์ให้พิมพ์ รูปแบบของ ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าตามผลลัพธ์ที่คำนวณได้

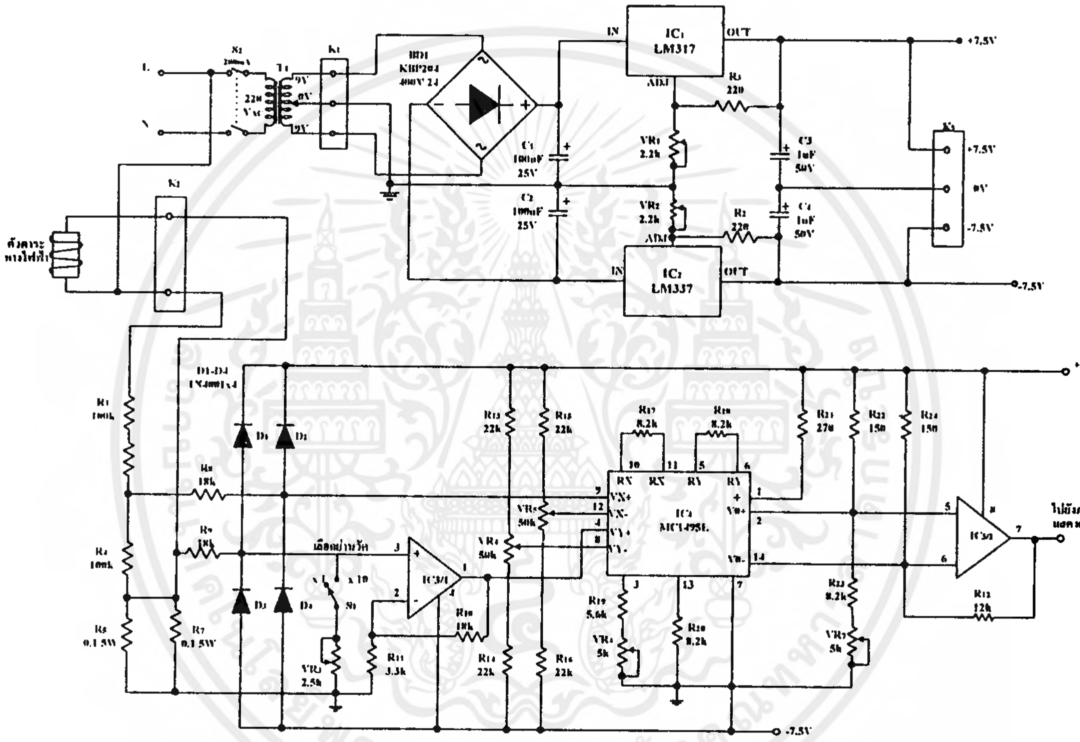
3.2 การออกแบบด้านฮาร์ดแวร์

3.2.1 วงจรวัตต์มิเตอร์ (Watt Meter Circiut)

ในส่วนของวงจรวัตต์มิเตอร์ประกอบด้วย ภาควงจรวัตต์มิเตอร์และภาคแสดงผลแบบ LED ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3 ตามลำดับ ทางด้านซ้ายสุดของวงจรในรูปที่ 3.3โหลด (RL) ที่ต่ออยู่กับ K_2 นี้จะเป็นอุปกรณ์ที่เราต้องการทราบค่าวัตต์ เช่น มอเตอร์ หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ R_6 ,R_7 ที่ต่อขนานกันเป็นตัวรับกระแสที่ไหลผ่านโหลดแล้วเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้า จากผลของการขนานตัวต้านทานทั้งสองเข้าด้วยกันจะทำให้ได้ความต้านทานรวมเท่ากับ 0.05 โอห์ม และยังสามารถทนกำลังไฟฟ้าได้ 10 วัตต์ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_6,R_7 จะถูกขยายขึ้นประมาณ 6 เท่า โดยออปแอมป์ $IC_{3/1}$ และต่อไปยังขา 4 ของ IC_4 ซึ่งเป็นขารับแรงดันไฟฟ้าที่ได้กำหนดไว้ให้เป็น V_y สวิตช์ S_1 จะเป็นสวิตช์เลือกย่านการวัด (x1 และ x10) R_3 , R_4,R_5 ต่อเป็นชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าโดยต่อขนานกับ R_L ส่วน R_8 จะป้อนแรงดันที่แบ่งมาแล้วจากชุดดังกล่าวไปยังขา 9 ของ IC_4 ซึ่งเป็นขารับแรงดันไฟฟ้าที่ได้กำหนดให้เป็น V_x R_3 และ R_4 ที่ใช้ตัวต้านทาน 100 กิโลโอห์ม ต่ออนุกรมกันเพื่อใช้กำลังงานที่สูญเสียแบ่งไปเท่าๆ กันทำให้ปลอดภัยกว่าใช้ตัวต้านทานขนาด 200 กิโลโอห์ม ตัวเดียว (เปรียบเทียบเมื่อค่าวัตต์ของ ความต้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

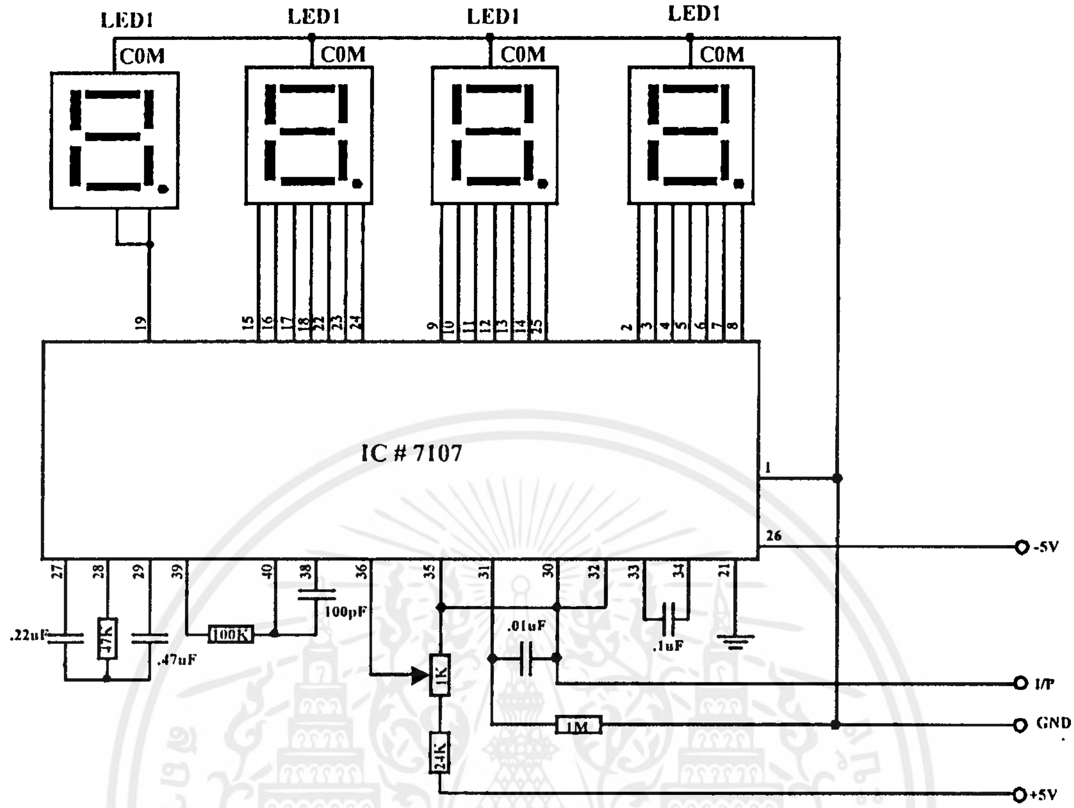
วัตต์ของ ความต้านทานเท่ากัน) D_1 -D_4 ต่อเป็นวงจรคลิปเปอร์ (Clipper) เพื่อป้องกันอินพุตของออปแอมป์ $IC_{3/1}$ และ IC_4 โดยถ้าแรงดันที่ป้อนผ่าน R_8 มาสูงกว่าแหล่งจ่าย 0.7โวลต์ ก็จะทำให้ D_1 , D_3 ทำงานและถ้าน้อยกว่าแหล่งจ่ายทางด้านลบ 0.7โวลต์ ก็จะทำให้ D_2 ,D_4 ทำงาน ดังนั้นแรงดันที่เข้าไอซีทั้งสองจึงไม่เกิน ± 8.2โวลต์ จากสมการที่ 1 ในการหาค่าเอาต์พุตของ IC_4 จะสามารถหาค่า k จาก อุปกรณ์ภายนอกดังสมการ



รูปที่ 3.2 วงจรวัตต์มิเตอร์

จากวงจรในรูปที่ 3.2 R_0 ในสมการที่ 2 คือ R_{22} และ R_{24} โดยต่ออยู่ที่ขา 2 และขา 14 ของ IC_4 ส่วน R_x และ R_y คือ R_{17} และ R_{18} ตามลำดับและ I_3 ในสมการที่ 2 คือกระแสไฟฟ้า ที่ไหลจากขา 3 ของ IC_4 ลงกราวน์ โดยสามารถปรับค่าได้จาก VR_6 ส่วน VR_4 และ VR_5 ใช้ในการปรับแรงดันออฟเซตที่ อินพุตขา 8 และขา 9 ของ IC_4 และ $IC_{3/2}$ จะขยายสัญญาณเอาต์พุตของ IC_4 ก่อนที่จะส่งต่อไปยังภาคแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจรภาคแสดงผลของวัตต์มิเตอร์

ในส่วนของภาคแสดงผลแบบ LED จะใช้ไอซีเบอร์ ICL7107 ซึ่งวงจรแสดงดังรูปที่ 3.3 ภายใน IC_5 นั้นจะประกอบด้วยวงจรเอทูดีและชุดขับ LED ส่วน R_2 ,C_2 ประกอบเป็นชุดออสซิลเลเตอร์และ R_3, R_4 เป็นชุดปรับแรงดันศูนย์อัตโนมัติ C_3 .ใช้เป็นตัวเก็บประจุเปรียบเทียบให้กับ IC_5 และ VR_8 ไว้สำหรับปรับแรงดันอ้างอิงให้กับ IC_5

ภาคจ่ายไฟใช้ไอซีเรกูเลเตอร์เบอร์ LM317 และ LM337 ซึ่งเรกูเลเตอร์ทั้งด้านแรงดันบวกและแรงดันลบสามารถปรับให้ได้แรงดัน ±7.5โวลต์ โดยปรับที่ VR_1 และ VR_2 และต้องปรับแรงดันทั้งสองให้สมมาตรกันเสมอ

3.3.2 วงจรกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ (Kilo Watt Hour Meter)

การออกแบบวงจรกิโลวัตต์-ฮาร์ว มิเตอร์ ประกอบด้วยการออกแบบ 3 วงจรย่อย ดังนี้

1. วงจรตรวจสอบการนับเกินย่านวัด

ในส่วนของวงจรตรวจสอบการนับเกินย่านวัด (Over Range) จะแสดงผลให้ทราบโดย LED_2 เมื่อวงจรนับเกิน 19,999 (ไม่คำนึงถึงจุด) $IC_{10/2}$ จะได้รับการกระตุ้นอีกครั้งจากขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

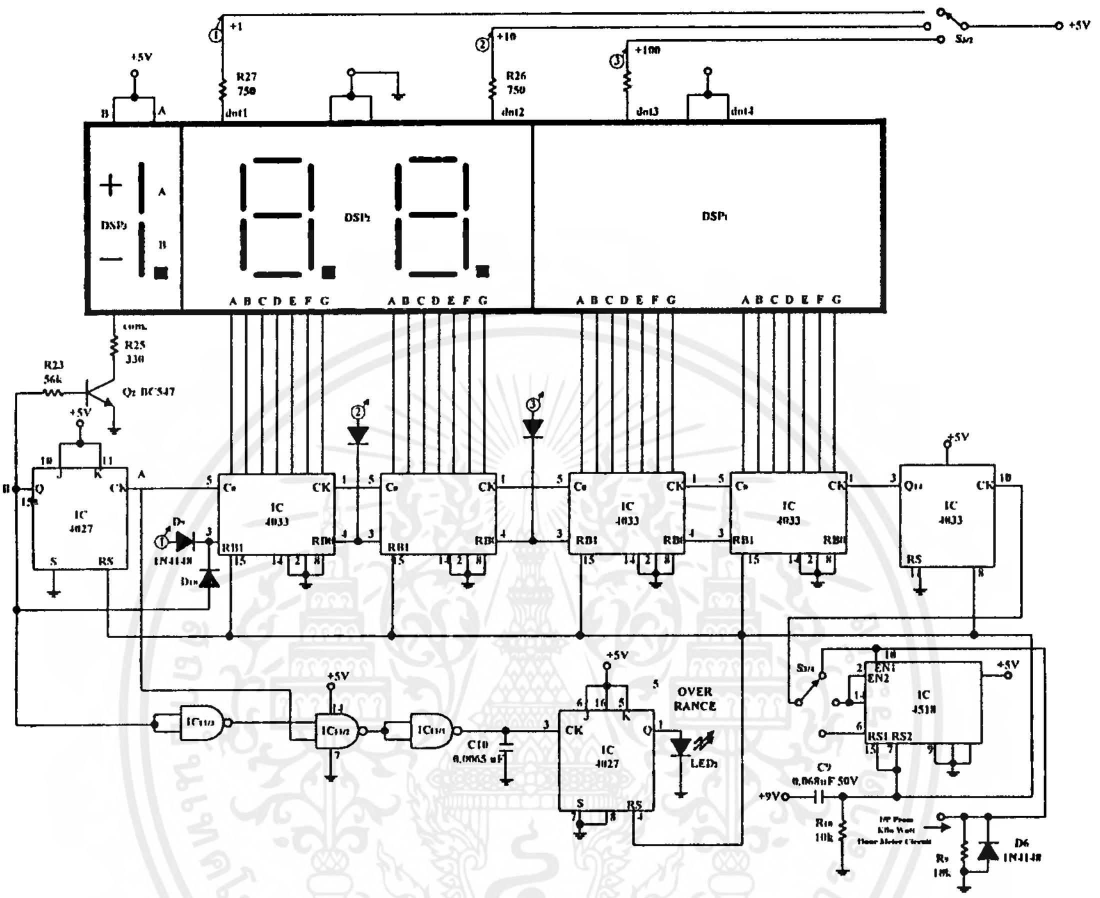
C_0 ของ IC_9 ทำให้ขาเอาต์พุต Q ของ $IC_{10/2}$ เป็น 0 ตัวแสดงผล DSP_3 จึงดับ ที่จุด A จะเป็น 1 และจุด B เป็น 0 ทำให้สภาวะเอาต์พุตของ $IC_{11/1}$ เปลี่ยนจาก 0 เป็น 1 ส่งไปกระตุ้น $IC_{10/1}$ ซึ่งต่อเป็นวงจร T ฟลิปฟลอป โดยมีตัวเก็บประจุ C_{10} ทำหน้าที่กำจัดสไปค์ที่อาจเกิดขึ้นจาก IC_{11} เมื่อ $IC_{10/1}$ ได้รับการกระตุ้นที่ขา 3 จะทำให้ที่ขา Q เกิดแรงดันทำให้ LED_2 ติดสว่าง เพื่อเป็นการแสดงสภาวะการนับเกินย่านวัด สำหรับการรีเซตเพื่อให้วงจรทำการเริ่มต้นนับใหม่นั้น จะได้จาก S_2 , C_9 และ R_{24} โดยเมื่อเริ่มเปิดเครื่อง C_9 จะประจุผ่านตัวต้านทาน R_{24} ทำให้มีแรงดันตกคร่อม R_{24} และส่งไปยังขารีเซตของ IC_4, IC_{10} เป็นเวลา 50 มิลลิวินาที เพื่อทำให้ค่าของวงจรนับเป็น 0 ต่อจากนั้นก็จะไม่มีแรงดันตกคร่อม R_{24} อีกเลย เพราะแรงดันมาตกคร่อมที่ C_9 หมด และเมื่อต้องการรีเซตก็กดสวิทช์ S_2 ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม R_{34} อีกเป็นการรีเซตวงจรนับทันที สำหรับการจ่ายไฟของวงจรอาศัยแรงดันไฟสลับจากอินพุตของวงจร

2. วงจรนับและแสดงผล

วงจรนับ และแสดงผลแสดงดังในรูปที่ 3.4 สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้จากวงจร CCO จะผ่านวงจรลดทอนสัญญาณ เพื่อให้มีขนาดเหมาะสมแก่วงจรนับ โดย R_{21}, R_{22} และ D_6 วงจรลดทอนนี้ ทำหน้าที่ในการตัดสัญญาณในซีกลบทิ้ง และลดขนาดของสัญญาณในซีกบวกจาก 12 โวลต์ ให้เหลือเพียง 4.9 โวลต์ สัญญาณจากวงจรลดทอนจะส่งมายังขา 10 ของ IC_4 (เบอร์ 4518) ซึ่งเป็นวงจรนับรหัส BCD 2 ชุด ในวงจรนี้จะต่อให้ไอซีทำงานเป็นวงจรหาร 10 เอาต์พุตของวงจรหารชุดแรกจะออกมาทางขา 14 แล้วป้อนกลับเข้าไปหารอีกครั้งที่ขา 2 นั่นคือ สวิตช์ $S_{3/1}$ ณ ตำแหน่ง 1 สัญญาณจะไม่ถูกหารเลย ที่ตำแหน่ง 2 สัญญาณถูกหาร 10 และที่ตำแหน่ง 3 ถูกหารด้วย 100 ซึ่งเป็นวิธีการขยายย่านการนับของ วงจรนั่นเอง

สัญญาณพัลส์ที่ได้รับการเลือกจากสวิตช์ $S_{3/1}$ จะป้อนเข้าอินพุทขา 10 ของ IC_5 (เบอร์ 4020) โดยไอซีตัวนี้จะหารความถี่ของสัญญาณลงอีก 16,384 หรือ 2^{14} เท่าได้เอาต์พุตออกมาทางขา 3 มาเข้ายังวงจรนับและถอดรหัสเพื่อขับตัวเลข 7 ส่วน วงจรนับประกอบด้วย IC_6-IC_9 เบอร์ 4033 ทั้งหมด โดยต่อกันในลักษณะคาสเคด ทำให้สามารถแสดงผลได้ 4 หลัก ที่ขา RBI และ RB0 ก็ต้องต่อคาสเคดกันด้วย เพื่อที่จะดับเลข 0 หลักหน้า เช่น 0078 ก็แสดงเพียง 78 เอาต์พุตจากวงจรนับและถอดรหัสนี้ ถูกส่งไปขับตัวเลข 7 ส่วนทั้ง 4 หลัก โดยตัวเลข 7 ส่วนที่ใช้นี้ใช้แบบตัวคู่ 2 ตัวมาใช้งาน เมื่อวงจรนับ และแสดงผลนับไปถึง 9999 และเปลี่ยนเป็น 0000 ทำให้สภาวะที่ขา C_0 (carry out) ของ IC_9 เปลี่ยนจาก 0 เป็น 1 ป้อนให้แก่ ทรานซิสเตอร์ Q_2 เพื่อขับให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



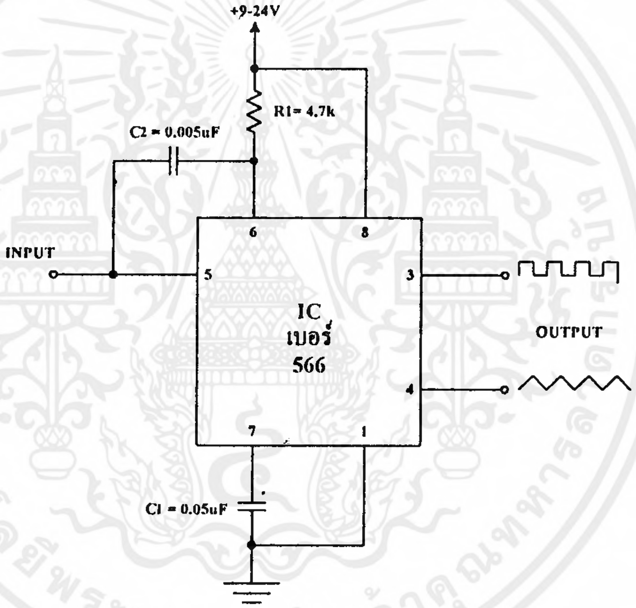
รูปที่ 3.4 วงจรนับและแสดงผลของกิโลวัตต์มิเตอร์

ตัวแสดงผลอีกหลัก (DSP_1) แสดงเลข 1 ออกมาทำให้เป็น 10000 ดังนั้นเราจึงต้องใช้ตัวเลข 7 ส่วนทั้งสิ้น3 ชุดคือ DSP_1 ,DSP_2 และ DSP_3 เพื่อความสมบูรณ์ของการแสดงผล การแสดงผลของวงจรจะเปลี่ยนแปลงไปตามย่านการนับด้วย ถ้าสวิตช์ $S_{3/1}$ ต่ออยู่ที่ตำแหน่ง 1 ก็จะแสดงผลได้สูงสุด 19.999 ถ้าสวิตช์ $S_{3/1}$ ต่อที่ตำแหน่ง 2 ก็จะนับได้สูงสุด 19.999 และสุดท้ายเมื่อสวิตช์ $S_{3/1}$ ต่อที่ตำแหน่งที่ 3 ก็จะนับได้สูงสุด 19.999 ดังนั้นเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้านี้จึงสามารถวัดกำลังงานไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 20 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง, 200กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง และ 2,000 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วงจร VCO

วงจรกำเนิดความถี่ควบคุมด้วยแรงดัน หรือ VCO (Voltage Control Oscillator) โดยใช้ IC เบอร์ 566 ซึ่งมีเสถียรภาพสูง ใช้ง่ายให้เหลี่ยม และสี่เหลี่ยม R1 และ C1 ควบคุมความถี่กลางแรงดันที่ขา 5 เปลี่ยนไปตามความถี่ ข้อสำคัญคลื่นเอาท์พุตจะไม่ตกลงเป็น 0 โวลท์ที่แรงดัน 12 โวลท์ (ขา 8) คลื่นรูปสามเหลี่ยมที่ได้ จะขึ้นลงระหว่าง 4 และ 6 โวลท์ ส่วนคลื่นรูปสี่เหลี่ยม จะขึ้นลงระหว่าง 6 และ 17.5 โวลท์ ซึ่งสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมนี้จะนำไปป้อนยังวงจรนับ และแสดงผลเป็นกิโลวัตต์มิเตอร์ต่อไป



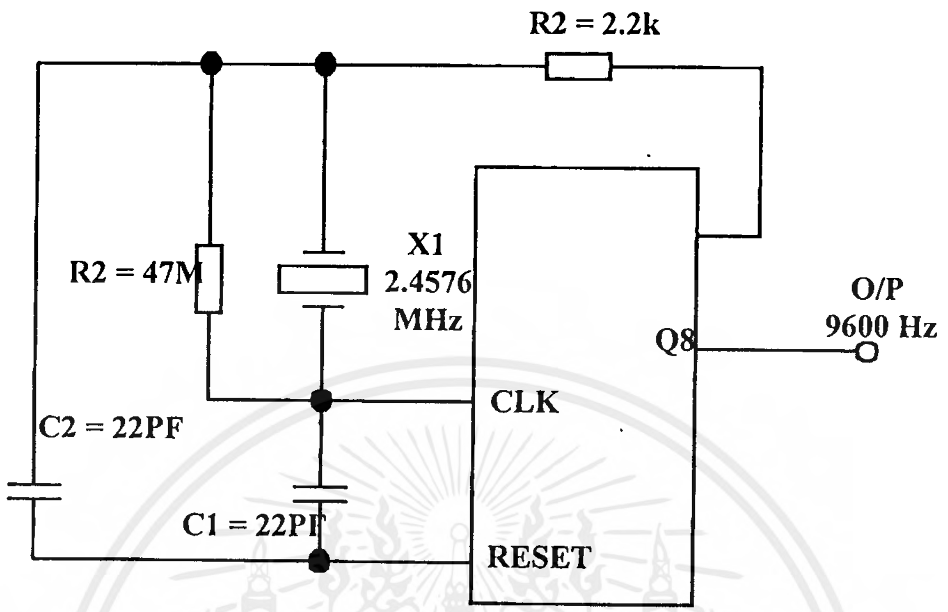
รูปที่ 3.5 วงจร VCO

3.2.3 วงจรรับส่งข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

1. วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา

วงจรสร้างสัญญาณนาฬิการนี้ใช้ในการผลิตสัญญาณนาฬิกาที่ควบคุมการทำงานของวงจรรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม ในที่นี้เลือกใช้ค่าบอร์ดเรต 9,600 บิทต่อวินาที โดยจะใช้คริสตอลค่า 2.4576 เมกะเฮิรตซ์ สร้างความถี่ให้ได้ บอร์ดเรต 9,600 บิตต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

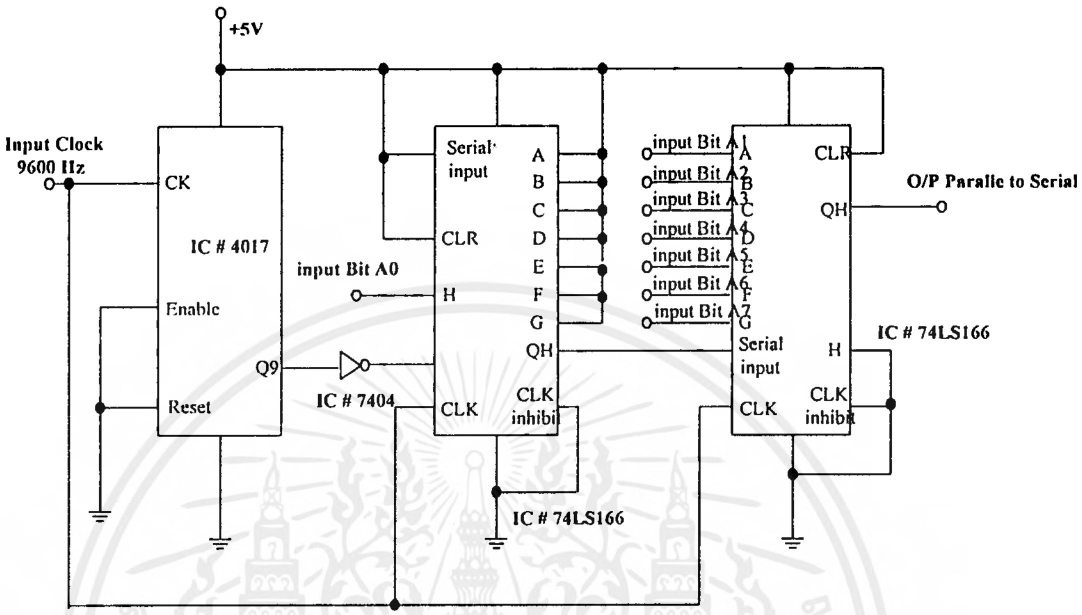


รูปที่ 3.6 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา

2. วงจรส่งข้อมูลแบบอนุกรม

ในการออกแบบวงจรส่งข้อมูลแบบอนุกรมนี้ จะต้องสร้างบิทเริ่มต้น ก่อนโดยบิตเริ่มต้นนี้จะใช้เป็นลอจิก “ 0 ” และให้มีขนาด 1 บิต จากนั้นจึงส่งข้อมูลตามออกไปอีก 8 บิต และเมื่อส่งข้อมูลออกไปครบ 8 บิท แล้ว จึงสร้างบิทสิ้นสุดอีก 1 บิตรวมบิทนี้จะส่งทั้งหมดคือ 10 บิต โดยในวงจรที่ออกแบบนี้ จะใช้ IC เบอร์ 74LS166 ทำหน้าที่ทั้งสร้างบิทเริ่มต้น และสร้างบิตสิ้นสุด พร้อมทั้งใช้ในการเลื่อนข้อมูลออกไปด้วย โดยใช้ IC เบอร์ 4017 เป็นตัวควบคุมการส่งข้อมูลออกไป โดย IC เบอร์ 4017 นี้จะส่งพัลซ์ออกไป 1 ลูก ซึ่งมีความกว้างของพัลซ์น้อยมากทุกๆ ขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกาลูกที่ 11 เพื่อจะให้ IC เบอร์ 74LS166 โหลดข้อมูลเข้าไปเก็บในตัวเลื่อนข้อมูล เมื่อพัลซ์ตกมาอยู่ในสภาวะเดิม คือ ระดับลอจิก “ 0 ” ก็จะเลื่อนข้อมูลออกไป ส่วน IC เบอร์ 555 ต่อเป็นวงจรโมโนสเตเบิ้ล ใช้ในการ Reset IC เบอร์ 4017 เพื่อให้ IC ทำงานได้ถูกต้องตามการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

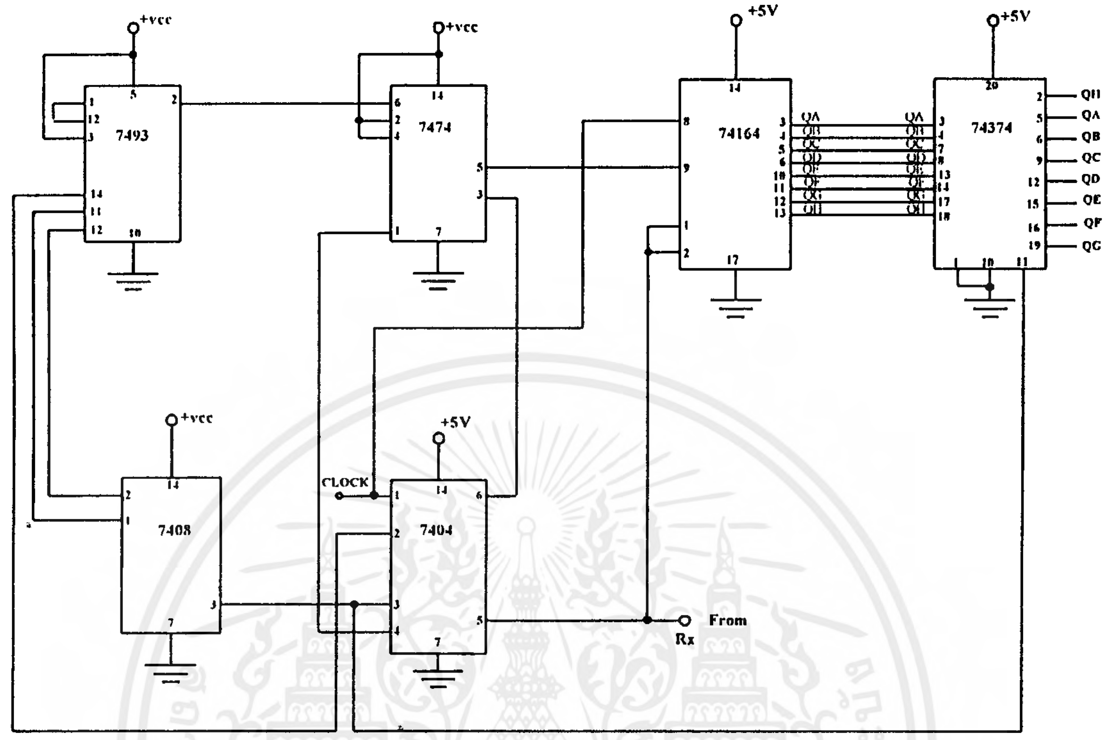


รูปที่ 3.7 วงจรส่งข้อมูลแบบอนุกรม

3. วงจรรับข้อมูลแบบอนุกรม

การออกแบบวงจรรับข้อมูลแบบอนุกรมนี้จะต้องทำการสร้างวงจรตรวจจับบิตเริ่มต้นก่อน โดยวงจรดังกล่าวที่ว่านี้จะประกอบด้วยไอซีเบอร์7474 ซึ่งเป็น ดี-ฟลิปฟลอป ใช้ทำหน้าที่ ตรวจจับบิตเริ่มต้น และจะใช้เบอร์ 7493 และเบอร์ 7408 ทำหน้าที่เป็นวงจรนับ โดยในที่นี้จะให้ไอซีตัวดังกล่าวนับสัญญาณนาฬิกาทั้งหมด 10 ลูก เพราะสัญญาณที่ส่งมานั้นประกอบด้วยบิตเริ่มต้น 1 บิต และตามด้วยข้อมูลอีก 8 บิตและสุดท้ายจะสิ้นสุดด้วยบิตสิ้นสุดอีก 1 บิตรวมทั้งสิ้นเป็น 10 บิตจากนั้นจะส่งสัญญาณนาฬิกาดังกล่าวไปให้ไอซีเบอร์ 74164 ซึ่งเป็นชีฟรีจีสเตอร์แบบอนุกรมเข้ามา และแปลเป็นแบบขนานขนาด 8 บิต เอาต์พุตขอไอซี 74164 จะถูกป้อนไปยังไอซีเบอร์ 74374 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวพักข้อมูลซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ได้มีค่าที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 วงจรรับข้อมูลแบบอนุกรม

4. วงจรเลือกการทำงานของห้อง

วงจรประกอบด้วย IC เบอร์ 74138 จำนวน 8 ตัว ซึ่งไอซี 2 ตัวนี้ จะทำหน้าที่ ถอดรหัสของสัญญาณที่คอมพิวเตอร์ส่งมาใช้ในการเลือกห้อง โดยจะใช้ข้อมูลที่ A4 ถึง A7 ในการถอดรหัสตำแหน่งของสัญญาณที่ส่งมาว่าต้องการให้มีการส่งข้อมูลกลับไปยังคอมพิวเตอร์หรือไม่ ส่วนที่ 2 ก็ทำงานเช่นเดียวกัน แต่ถอดรหัส A0-A3 แทน ซึ่งตำแหน่งที่ใช้ในการกำหนดการทำงานของเครื่องต่างๆ มีดังนี้

เครื่องที่ 1 ใช้ตำแหน่ง 51 ในการควบคุมการทำงานของรีเลย์

ใช้ตำแหน่ง 01 ควบคุมการทำงานของการที่จะส่งข้อมูลออกไปยังคอมพิวเตอร์ชุดที่1

ใช้ตำแหน่ง 10 ควบคุมการทำงานของการส่งข้อมูลออกไปยังคอมพิวเตอร์ชุดที่ 2

และใช้ตำแหน่ง 11 ทำหน้าที่ Reset วงจรนับซึ่งใช้ IC เบอร์ 4040 และ 4020

เครื่องที่ 2 ใช้ตำแหน่ง 55 ในการควบคุมการทำงานของรีเลย์

ใช้ตำแหน่ง 40 ควบคุมการทำงานของการที่จะส่งข้อมูลออกไปยังคอมพิวเตอร์ชุดที่1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ตำแหน่ง 04 ควบคุมการทำงานของการส่งข้อมูลออกไปยังคอมพิวเตอร์ชุดที่ 2 และใช้ตำแหน่ง 15 ทำหน้าที่ Reset วงจรนับซึ่งใช้ IC เบอร์ 4040 และ 4020

เครื่องที่ 3 ใช้ตำแหน่ง 53 ในการควบคุมการทำงานของรีเลย์

ใช้ตำแหน่ง 20 ควบคุมการทำงานของการที่จะส่งข้อมูลออกไปยังคอมพิวเตอร์ชุดที่ 1

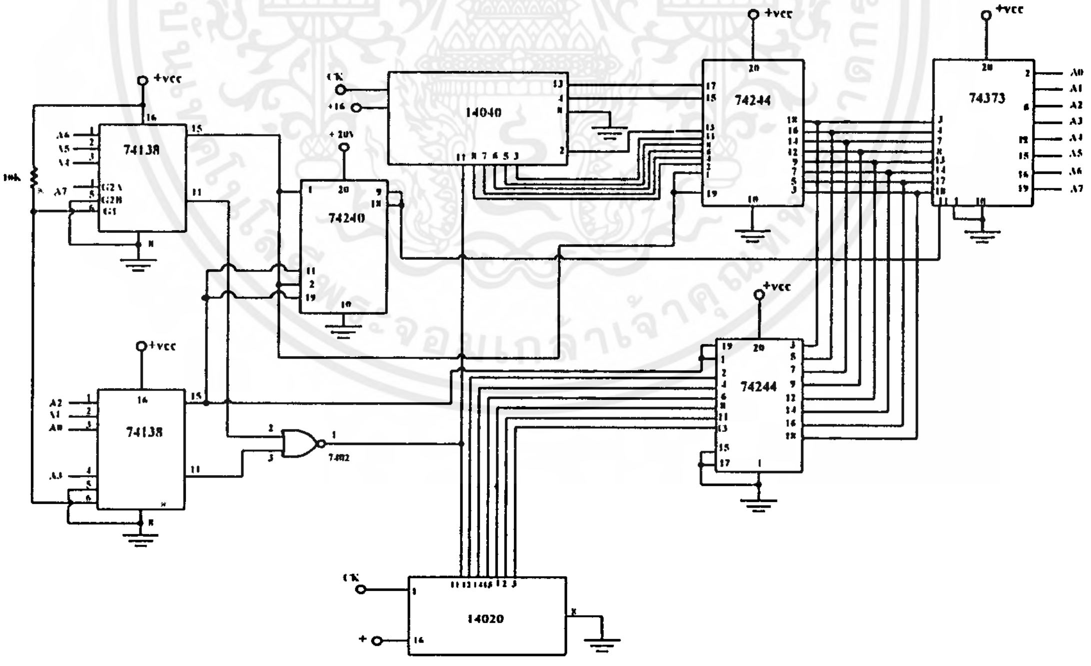
ใช้ตำแหน่ง 02 ควบคุมการทำงานของการส่งข้อมูลออกไปยังคอมพิวเตอร์ชุดที่ 2 และใช้ตำแหน่ง 13 ทำหน้าที่ Reset วงจรนับซึ่งใช้ IC เบอร์ 4040 และ 4020

เครื่องที่ 4 ใช้ตำแหน่ง 57 ในการควบคุมการทำงานของรีเลย์

ใช้ตำแหน่ง 60 ควบคุมการทำงานของการที่จะส่งข้อมูลออกไปยังคอมพิวเตอร์ชุดที่ 1

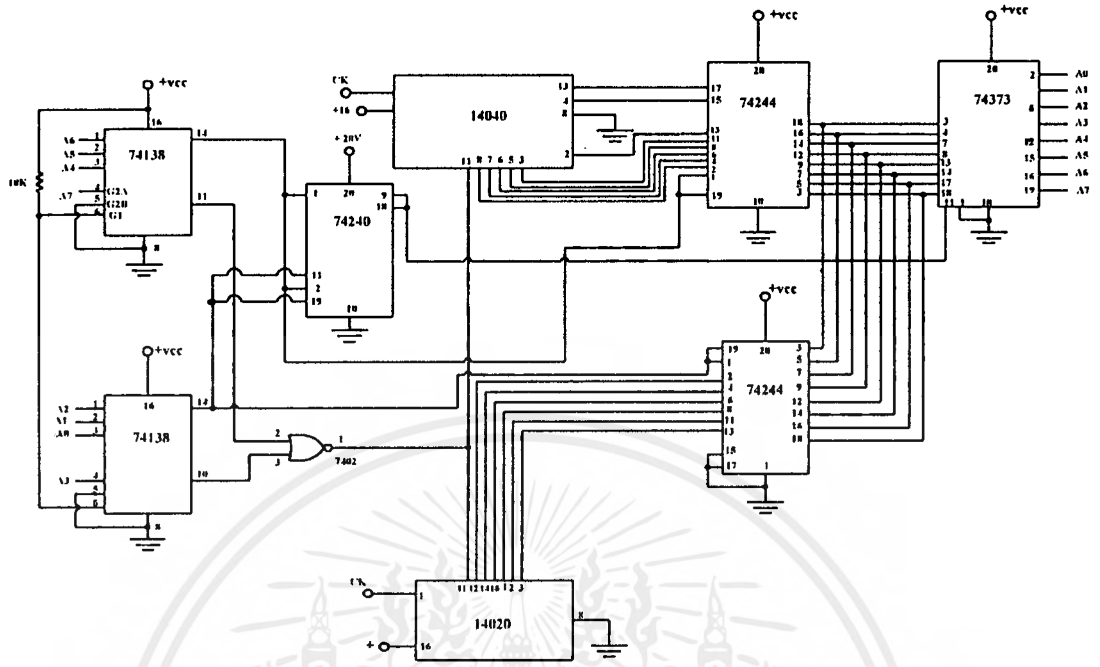
ใช้ตำแหน่ง 06 ควบคุมการทำงานของการส่งข้อมูลออกไปยังคอมพิวเตอร์ชุดที่ 2 และใช้ตำแหน่ง 17 ทำหน้าที่ Reset วงจรนับซึ่งใช้ IC เบอร์ 4040 และ 4020

โดยการทดลองควบคุมรีเลย์นั้น จะใช้วงจรโมโนสเตเบิ้ลเป็นตัวควบคุมให้รีเลย์ทำงาน ตามสัญญาณควบคุมนี้ได้มาจากการถอดรหัสของเครื่องที่ใช้ในการถอดรหัสแต่ละเครื่อง

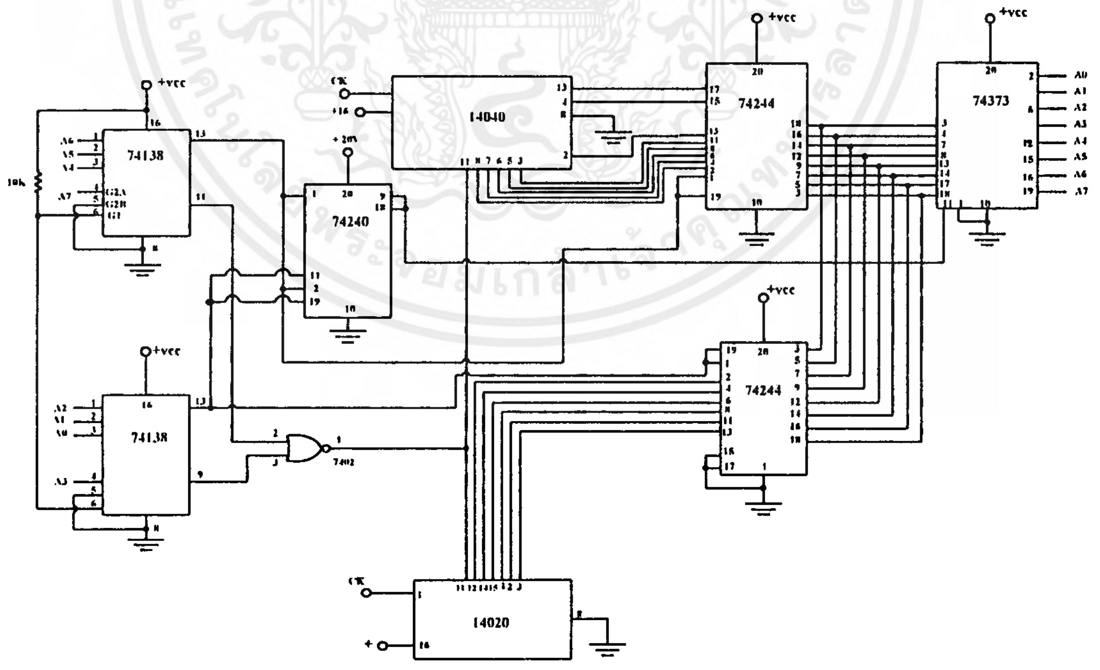


รูปที่ 3.9 รูปแสดงวงจรที่ใช้ในการควบคุมการส่งข้อมูลในห้องที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

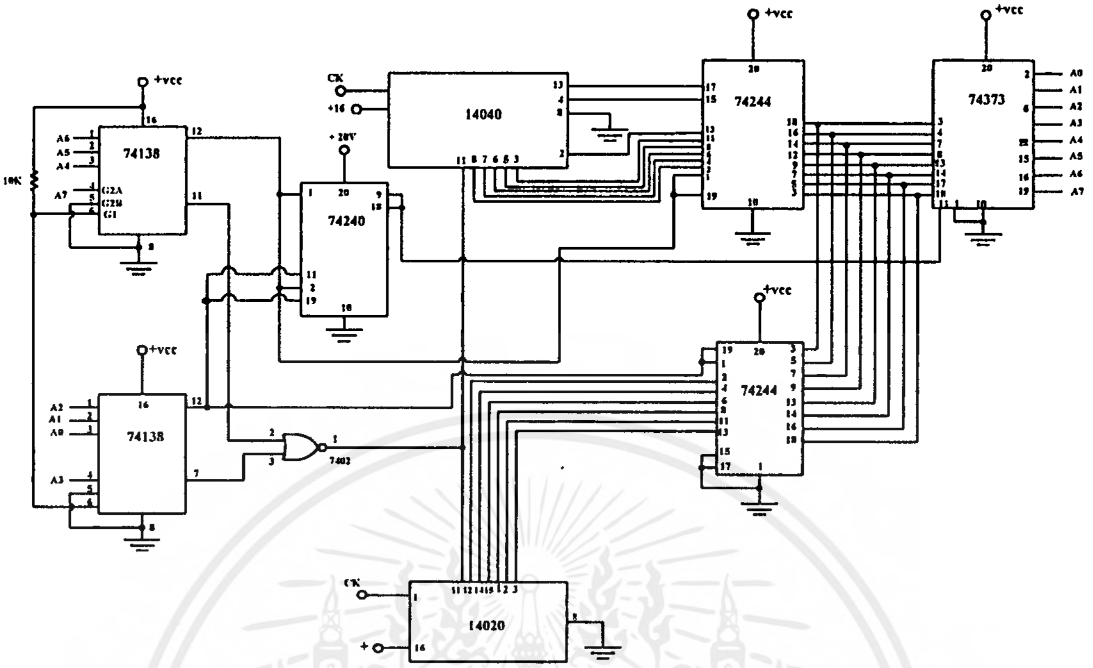


รูปที่ 3.10 รูปแสดงวงจรที่ใช้ในการควบคุมการส่งข้อมูลในห้องที่ 2

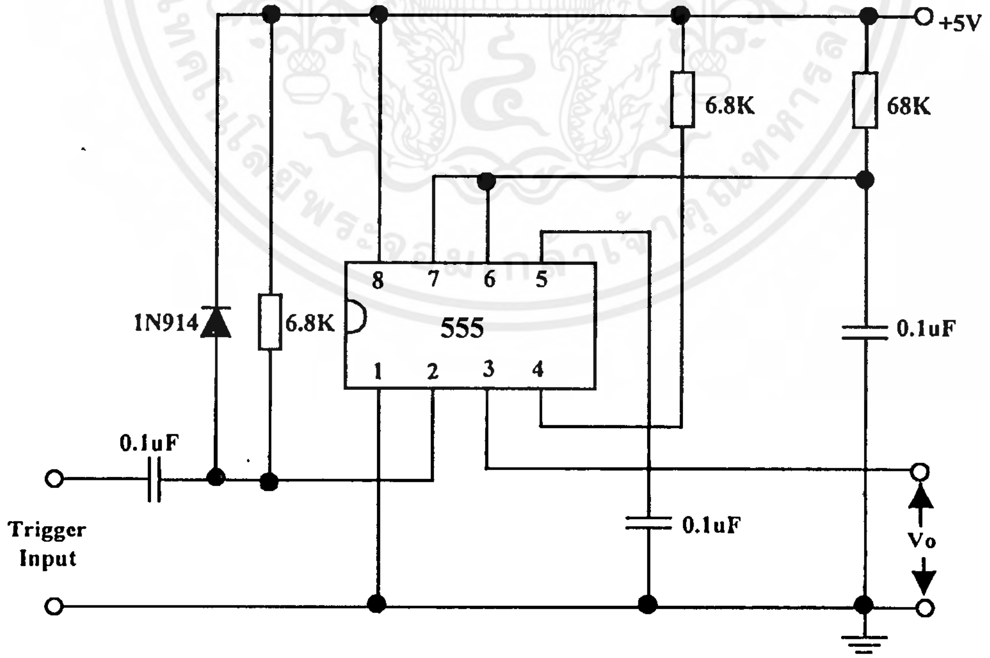


รูปที่ 3.11 รูปแสดงวงจรที่ใช้ในการควบคุมการส่งข้อมูลในห้องที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



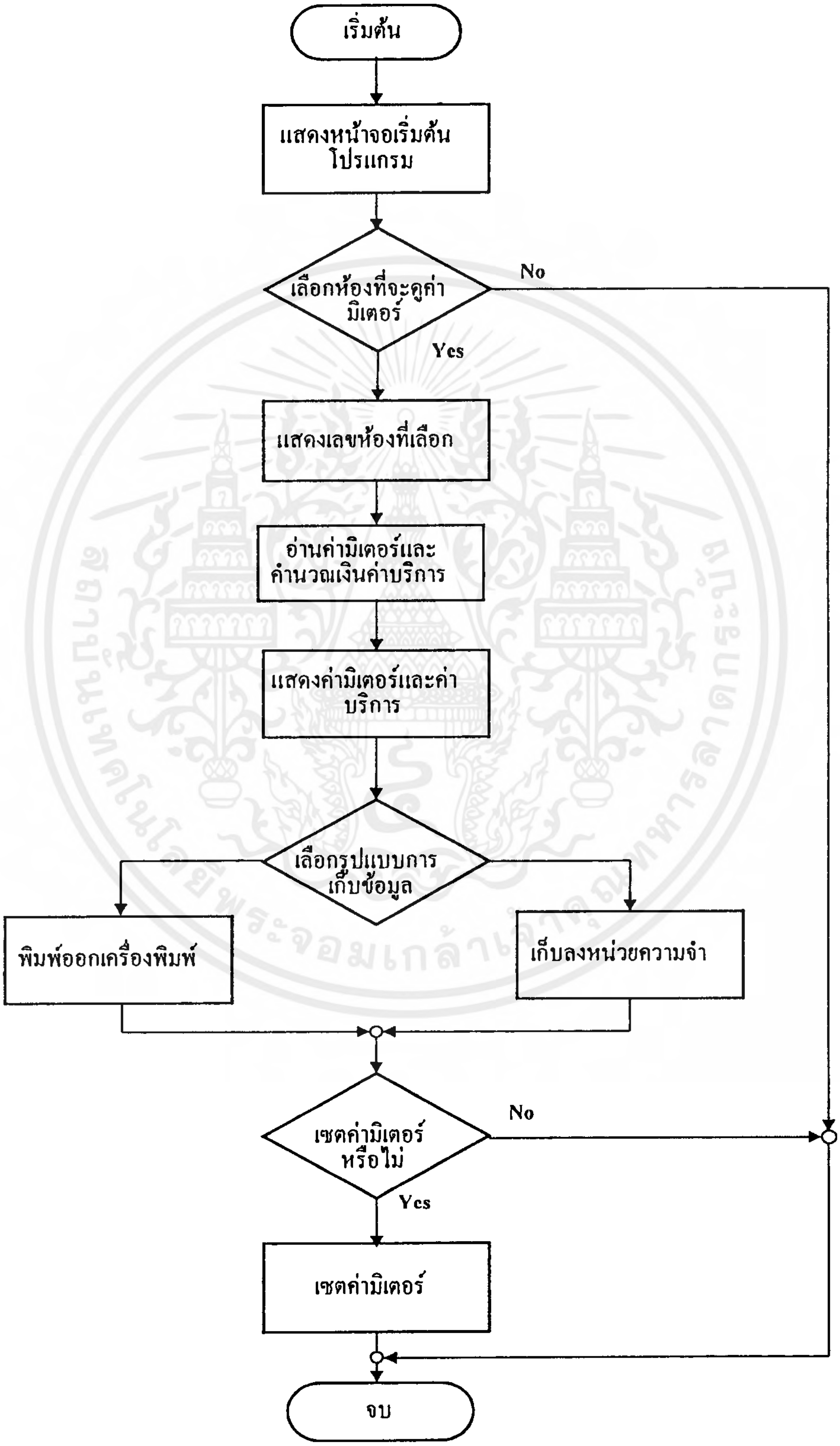
รูปที่ 3.12 รูปแสดงวงจรที่ใช้ในการควบคุมการส่งข้อมูลในห้องที่ 4



รูปที่ 3.13 รูปวงจรโมโนสเตเบิ้ลที่ใช้ในการควบคุมรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 3.14 ผังการทำงานของโปรแกรมเลือกห้องและคิดค่าบริการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบโปรแกรมนั้นใช้ภาษาซีในการเขียนโปรแกรม ซึ่งลักษณะของโปรแกรมเป็นโปรแกรมที่ควบคุมการออกใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า ซึ่งจะนำเอาค่าไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ามาออกใบเสร็จรับเงินในหน่วยของยูนิต โดยโปรแกรมนี้จะสามารถเลือกการออกใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าได้ 2 แบบ

- ออกใบแจ้งหนี้โดยคำนวณค่าใช้ไฟฟ้า จากกำลังงานไฟฟ้าที่อุปกรณ์ไฟฟ้าใช้ไปภายในห้องเดียว ซึ่งลักษณะการคำนวณค่าใช้ไฟฟ้าจะเป็นการคำนวณเฉพาะห้อง โดยรวมกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปทั้งหมด ซึ่งจะเป็นหน่วยของกิโลวัตต์-ชั่วโมง เทียบเป็นจำนวนเงินในระบบยูนิตเรียกเก็บค่าใช้ไฟฟ้าจากผู้เช่าเฉพาะห้อง

- ออกบิลเงินสดโดยคำนวณค่าไฟฟ้า โดยรวมจากการใช้กำลังงานไฟฟ้าที่อุปกรณ์ไฟฟ้าใช้ไปในทุกๆ ห้อง ซึ่งลักษณะการคำนวณคล้ายกับแบบแรก เพียงแต่จะนำค่ากำลังงานไฟฟ้าของแต่ละห้องมารวมกันแล้วเทียบเป็นจำนวนเงินในระบบยูนิต เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง และผลการทดลอง

ในการทดลอง เครื่องคิดกำลังไฟฟ้าโดยคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วยการทดลองภาคต่างๆ ดังนี้

4.1 การทดลองส่วนแสดงผลของดิจิตอลวัตต์มิเตอร์

4.1.1 ลำดับขั้นการทดลอง

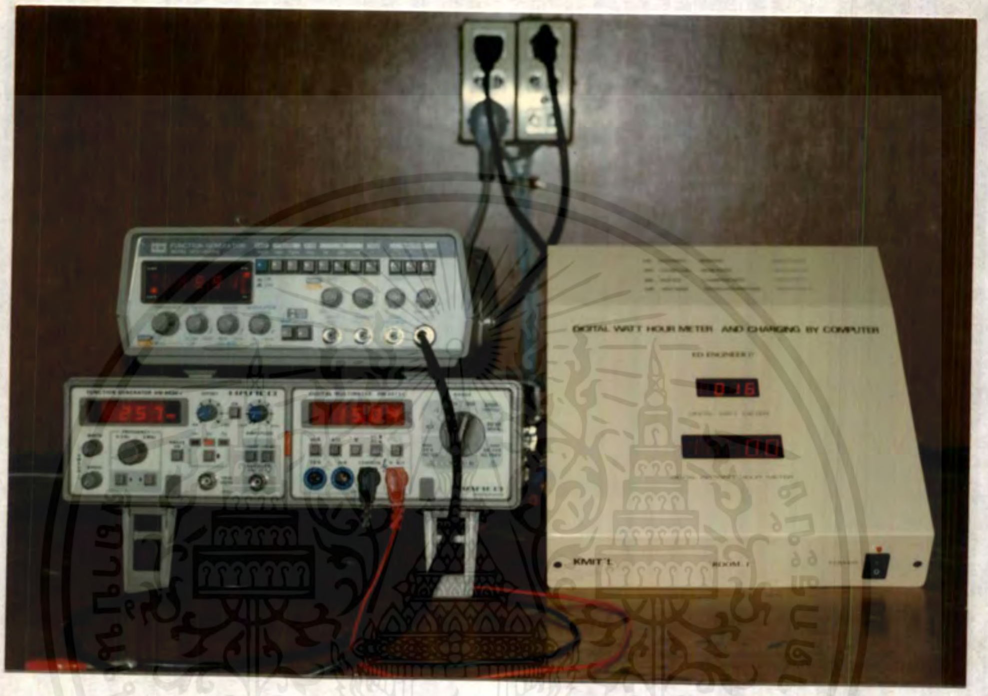
1. ต่อแหล่งจ่ายไฟตรงมาปรับค่า ± 5 โวลต์ ให้แก่วงจรส่วนแสดงผล ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์
2. นำแหล่งจ่ายไฟตรงมาปรับค่าให้ได้ +10 โวลต์ และ ± 15 โวลต์ ตามลำดับโดยใช้ดิจิตอล มิเตอร์ที่มีค่าความเที่ยงตรงสูงเป็นตัววัด
3. นำแหล่งจ่ายในข้อ 2 มาป้อนให้กับอินพุทของส่วนแสดงผลของวัตต์มิเตอร์
4. สังเกตส่วนแสดงผลว่ามีค่าเท่ากับแหล่งจ่ายที่ป้อนให้อินพุทของส่วนแสดงผลหรือไม่

รูปที่ 4.1 ส่วนแสดงผลที่มีการป้อนแรงดันที่อินพุทเป็น + 10 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการทดลอง

จากการทดลอง ตามลำดับขั้นผลที่ได้คือ ส่วนแสดงผลจะแสดงค่าเป็น 10 และ15 ตามลำดับ ได้อย่างถูกต้องตามที่ป้อนเข้ามาทางอินพุตของส่วนแสดงผล



รูปที่ 4.2 ส่วนแสดงผลที่มีการป้อนแรงดันที่อินพุตเป็น + 15 โวลต์

4.2 การทดลองวงจรภาคแสดงผลของกิโลวัตต์มิเตอร์

4.2.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1. ทำการต่อแหล่งจ่ายไฟตรงขนาด + 5 โวลต์ ให้แก่วงจร
2. ทำการป้อนสัญญาณนาฬิกาตรง I/P ของวงจร โดยป้อนความถี่ 163.84 kHz
3. สังเกตการเปลี่ยนแปลงของตัวแสดงผล

4.2.2 ผลการทดลอง

เมื่อทดลองตามลำดับขั้นการทดลองข้างบนแล้วผลปรากฏว่าตัวเลขที่แสดงตรง 7-Segment จะมีการเปลี่ยนแปลง คือ 7-Segment จะแสดงค่าเพิ่มขึ้นวินาทีละ 0.1 คือ ในวินาทีแรก แสดงผลเป็น 0.1 วินาที วินาทีที่สองแสดงผลเป็น 0.2 วินาที ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองมีค่าถูกต้องตามทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 วงจรแสดงผลของ Kilo Watt Hour Meter เมื่อป้อนความถี่ 163.84 กิโลเฮิร์ต เป็นเวลา 1 วินาที

4.3 การทดลองวงจรภาคเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้า

4.3.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1. ป้อนไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิรต์ เข้าเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าตรง Input 220 โวลต์ โดยแต่ละขั้ว L และ N ให้ถูกต้อง

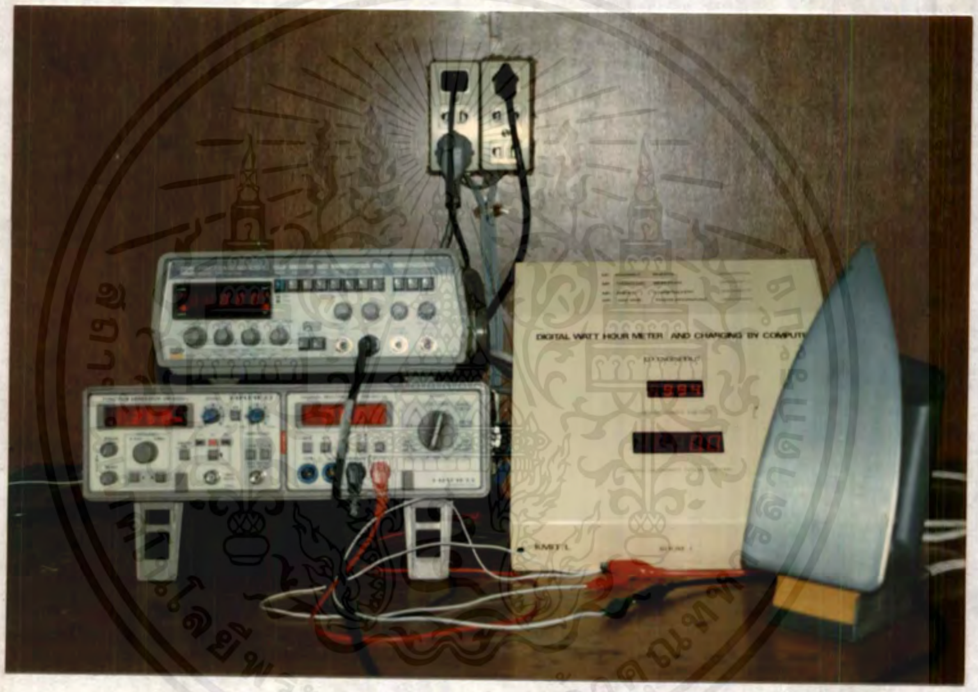
2. นำอุปกรณ์ไฟฟ้า ขนาด 1000 วัตต์ มาต่อกับเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าตรง Output 220 โวลต์

3. สังเกตตรงตัวแสดงผลของดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และดิจิตอลกิโลวัตต์มิเตอร์ ตรงส่วนดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ ต้องแสดงตัวเลขเป็น 1000 ตลอดเวลาที่ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า และส่วนของดิจิตอล กิโลวัตต์มิเตอร์ เมื่อต่ออุปกรณ์ ไฟฟ้าเป็นเวลา 6 วินาที ตัวเลขจะต้องแสดงเป็น 0.1 หรือ เมื่อต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นเวลา 1 ชม. จะต้องแสดงผลเป็นค่า 1.0 เมื่อต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นเวลา 6 วินาที ตัวเลขจะต้องแสดงเป็น 0.1 หรือ เมื่อต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นเวลา 1 ชม. จะต้องแสดงผลเป็นค่า 1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองตามลำดับขั้นการทดลองแล้วปรากฏว่า ตรงส่วนแสดงผลของดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ นั้นแสดงเป็นตัวเลข 1000 ตลอดเวลาที่ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า และในส่วนแสดงผลของดิจิตอล กิโลวัตต์มิเตอร์นั้น เมื่อทำการทดลองโดยทำการต่ออุปกรณ์เป็นเวลา 6 นาที ค่าที่วัดได้มีค่าเป็น 0.1 และเมื่อทำการทดลองไปจนถึง 1 ชั่วโมง ค่าที่วัดได้ก็จะเปลี่ยนเป็นค่า 1.0 แทน



รูปที่ 4.4 ค่าที่วัดได้ของส่วนแสดงผลของวัตต์มิเตอร์ เมื่อต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีกำลังงาน 1,,000 วัตต์

4.4 การทดลอง และผลการทดลองของวงจรอินเตอร์เฟส

4.4.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อสายสัญญาณจากพอร์ตอนุกรม ของคอมพิวเตอร์ไปยังวงจรที่ใช้ในการอินเตอร์เฟสแต่ละห้องทั้ง 4 เครื่อง

2. โดยเราตั้งข้อมูลที่จะส่งให้แก่คอมพิวเตอร์ของวงจรอินเตอร์เฟสไม่เท่ากัน ตัวแรกตั้งเป็น 0001 0001 ฐานสอง หรือ 11 ฐานสอง หรือ 11 ฐานสิบหก ตัวที่สองเป็น 0010 0011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐานสอง หรือ 23 ฐานสิบหก ตัวที่สามเป็น 0100 0111 ฐานสอง หรือ 47 ฐานสิบหก และตัวที่สี่เป็น 1000 1111 ฐานสอง หรือ 8F ฐานสิบหก

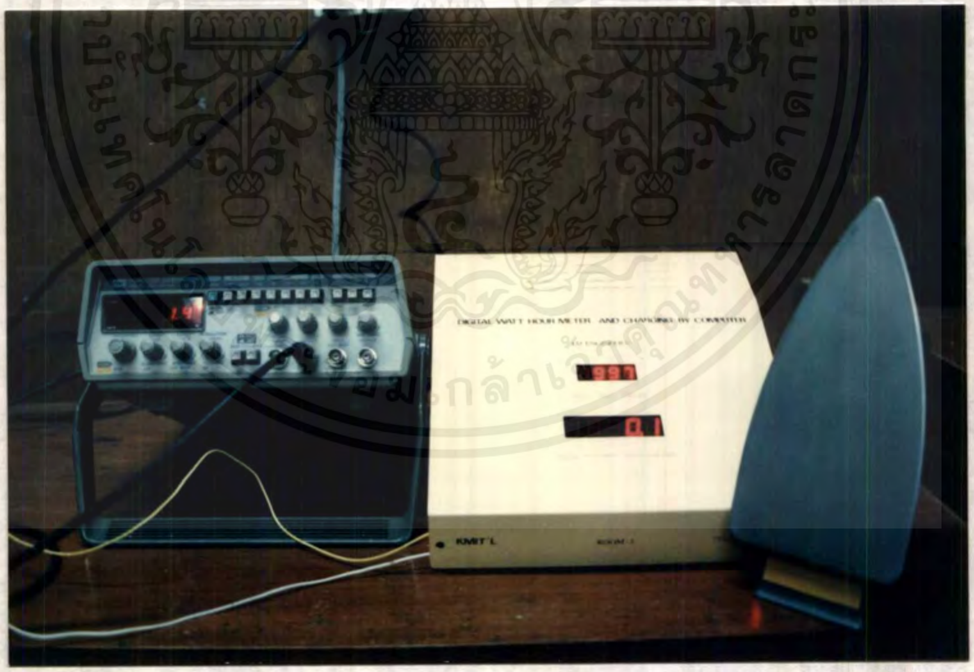
3. นำโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบวงจรอินเตอร์เฟสมาทดลองกับวงจรอินเตอร์เฟส โดยทำการส่งสัญญาณไป ให้แต่ละเครื่องส่งข้อมูลมายังคอมพิวเตอร์

4. ทำการส่งสัญญาณไปยังเครื่องที่ 1 เพื่อให้เครื่องที่ 1 ส่งสัญญาณกลับมายังคอมพิวเตอร์สังเกตผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

5. เมื่อทำข้อ 4 เสร็จให้ทำการส่งสัญญาณไปยังเครื่องที่ 2 เพื่อให้เครื่องส่งสัญญาณกลับมายังคอมพิวเตอร์ สังเกตผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

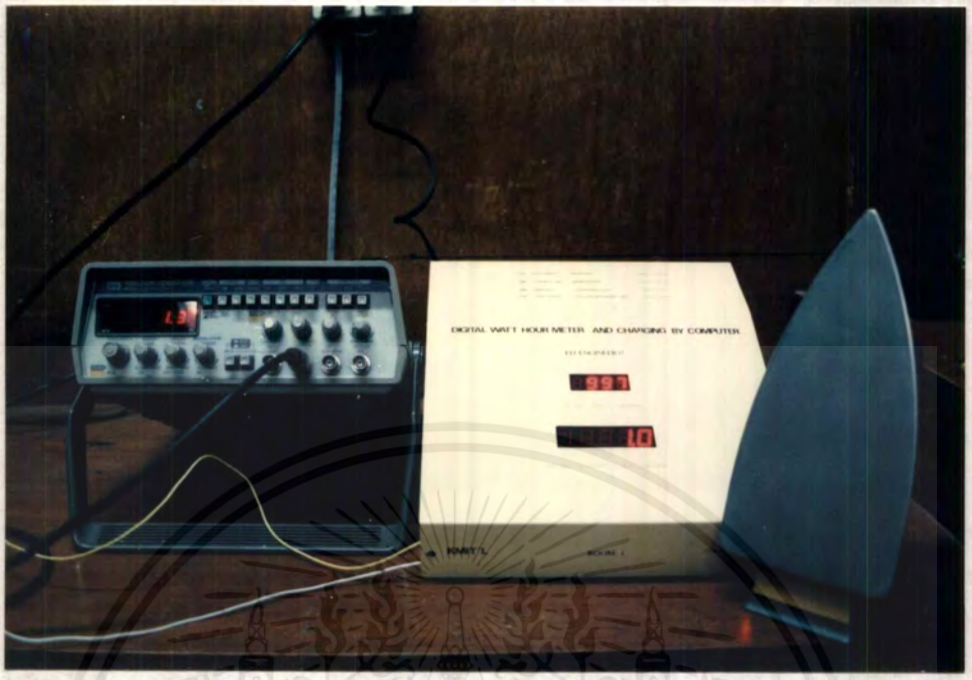
6. เมื่อทำข้อ 5 เสร็จให้ทำการส่งสัญญาณไปยังเครื่องที่ 3 เพื่อให้เครื่องส่งสัญญาณกลับมายังคอมพิวเตอร์ สังเกตผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

7. เมื่อทำข้อ 6 เสร็จให้ทำการส่งสัญญาณไปยังเครื่องที่ 4 เพื่อให้เครื่องส่งสัญญาณกลับมายังคอมพิวเตอร์ สังเกตผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.5 ค่าที่วัดได้ของส่วนแสดงผล กิโลวัตต์มิเตอร์ ที่ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า 1000 วัตต์ เป็นเวลา 6 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ค่าที่วัดได้ของส่วนแสดงผล กิโลวัตต์มิเตอร์
ที่ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า 1000 วัตต์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4.4.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองตามลำดับขั้น ผลที่ได้เมื่อส่งสัญญาณไปยังเครื่องที่ 1 แล้วหน้าจอคอมพิวเตอร์จะแสดงตัวเลข 11 ออกมาแต่จะมีข้อมูลที่ผิดพลาดอยู่ที่ข้อมูล 2 ตัวแรก อันเนื่องมาจากการติดต่อของรีเลย์ จากนั้นส่งสัญญาณไปยังเครื่องที่ 2 หน้าจอคอมพิวเตอร์ ก็จะแสดงตัวเข 23 ออกแต่จะมีข้อมูลที่ผิดพลาดอยี่ข้อมูล 2 ตัวแรก อันเนื่องมาจากการติดต่อรีเลย์ จากนั้นส่งสัญญาณไปเครื่องที่ 3 หน้าจอคอมพิวเตอร์ก็จะแสดงตัวเลข 47 ออกมาแต่จะมีข้อมูลที่ผิดพลาดอยู่ที่ข้อมูล 2 ตัวแรก อันเนื่องมาจากการติดต่อรีเลย์ จากนั้นส่งสัญญาณไปยังเครื่องที่ 4 หน้าจอคอมพิวเตอร์ก็จะแสดงตัวเลข 8 F ออกมา แต่จะมีข้อมูลที่ผิดพลาดอยู่ที่ข้อมูล 2 ตัวแรก อันเนื่องมาจากรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 ผลการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับเครื่องห้องที่ 1

รูปที่ 4.8 ผลการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับเครื่องห้องที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 ผลการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับเครื่องห้องที่ 3

รูปที่ 4.10 ผลการทดลองเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับเครื่องห้องที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา

5.1 บทสรุป

เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าแบบดิจิตอลที่ใช้หลักการของวงจรคูณสัญญาณแบบ OTA ซึ่งเป็นการนำสัญญาณอินพุทมาคูณกัน และแปลงออกมาเป็นรูปของค่าที่วัดได้ โดยนำกระแสส่วนหนึ่งจากเอาท์พุตของ OTA ป้อนผ่านมิเตอร์โดยตรงเพื่อแสดงปริมาณกำลังงานไฟฟ้าที่โหลดใช้ไปในช่วงเวลาใดๆ เป็นวัตต์ และกระแสเอาต์พุตอีกส่วนหนึ่งถูกป้อนให้แก่วงจร VCO ความถี่ที่ได้จากวงจร VCO จะส่งเข้าวงจรนับเพื่อแสดงค่าเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง แสดงผลเป็นตัวเลขที่อ่านได้ง่ายผ่านตัวแสดงผลแบบ LED และนำปริมาณกำลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จากการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าส่งผ่านอุปกรณ์ อินเตอร์เฟสนำข้อมูลไปประมวลผลทางคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมที่เขียนจากภาษาซีควบคุมการประมวลผลนำค่าที่วัดได้มาเทียบคำนวณออกมาเป็นจำนวนเงินตามหน่วยยูนิตพิมพ์จำนวนเงินที่คำนวณได้ออกทางเครื่องพิมพ์เป็นบิลเงินสดเก็บค่าไฟฟ้า

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำโครงงาน

ในการจัดทำโครงงานเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าแบบดิจิตอลพร้อมคิดค่าบริการ โดยคอมพิวเตอร์นี้ สามารถสรุปปัญหาที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

1. เมื่อรีเลย์ที่ใช้ในการติดต่อข้อมูลที่จะส่งไปยังคอมพิวเตอร์ของวงจรอินเตอร์เฟสแต่ละเครื่องให้แยกออกจากกันนั้นทำงาน ปัญหาที่เกิดก็คือ ข้อมูลที่จะส่งกลับไปยังคอมพิวเตอร์นั้นจะมีค่าผิด พลาดสูงมาก

2. มีปัญหาในการปรับแต่งให้เกิดความเที่ยงตรงของวงจร

3. ขยายจำนวนช่องของ INPUT ได้ยาก

4. IC เบอร์ MC1495L หาซื้อได้ยาก

5. KILO WATT HOUR METER ไม่เที่ยงตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางการแก้ไขพัฒนา

5.3.1 การพัฒนาด้านฮาร์ดแวร์

1. ทำให้สามารถควบคุมการจ่ายไฟฟ้าของแต่ละห้องได้
2. แสดงผลปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ละเอียดขึ้น
3. ออกแบบวงจรให้มีขนาดเล็กลงกว่าเดิม
4. แสดงค่ากำลังงานไฟฟ้ารวมของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้อยู่ขณะนั้น
5. ควบคุมการวัดค่ากำลังงานไฟฟ้าจากมิเตอร์เพียงตัวเดียว

5.3.2 การพัฒนาด้านโปรแกรม

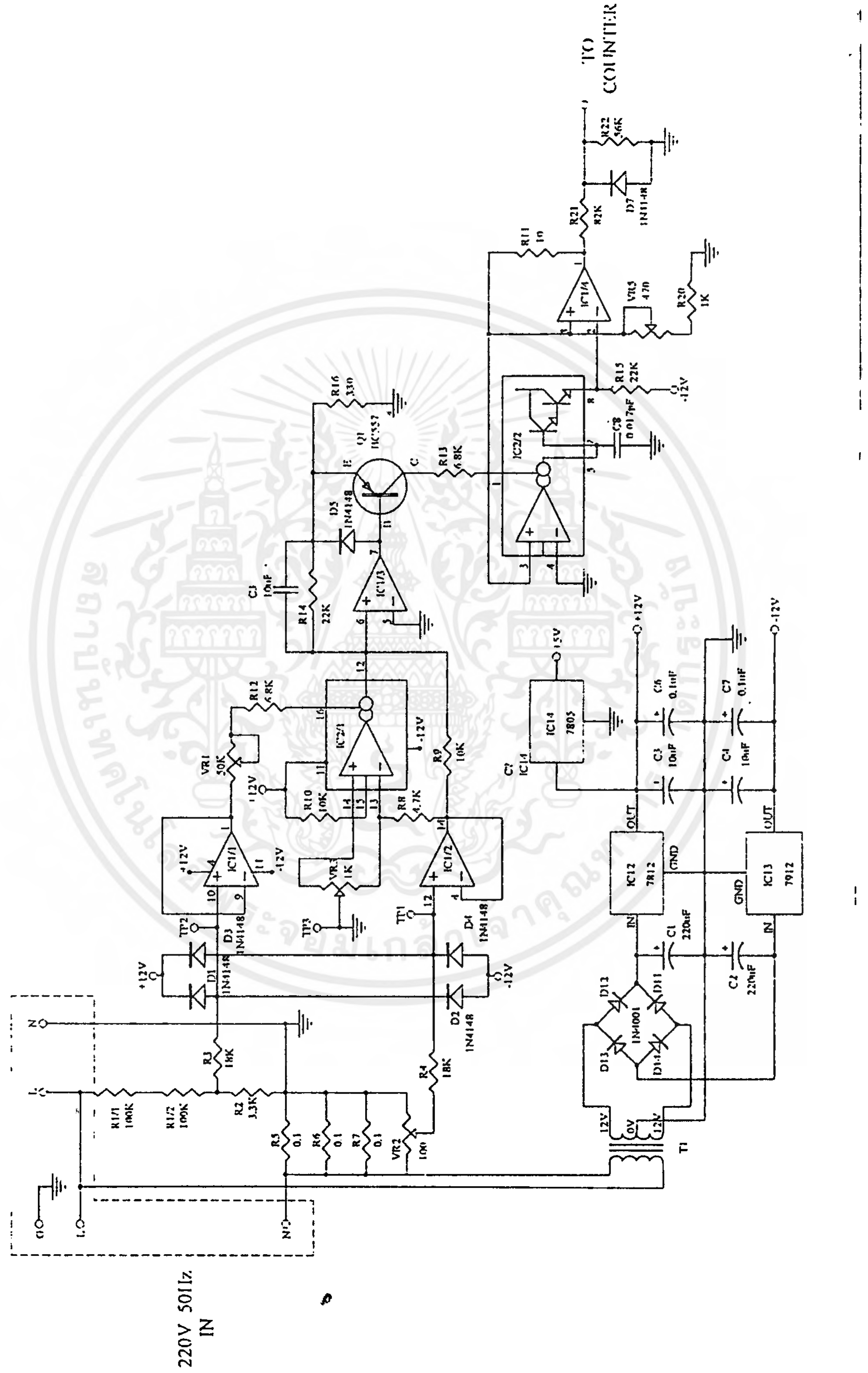
1. ค้นหาข้อมูลของผู้ใช้โดยอัตโนมัติ
2. มีการแสดงสถานะการต่อเครื่องวัดสามารถเพิ่มและลดได้
3. สามารถต่อเข้ากับเครือข่ายคอมพิวเตอร์เพื่อส่งค่าใช้ไฟฟ้าไปหักเงินทางบัญชีจากธนาคารได้
4. สามารถเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเดือนก่อนๆ และแสดงออกมาเป็นจำนวนเงินว่าเสียค่าใช้จ่ายมากขึ้นหรือลดลงกว่าเดือนก่อนในใบแจ้งหนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

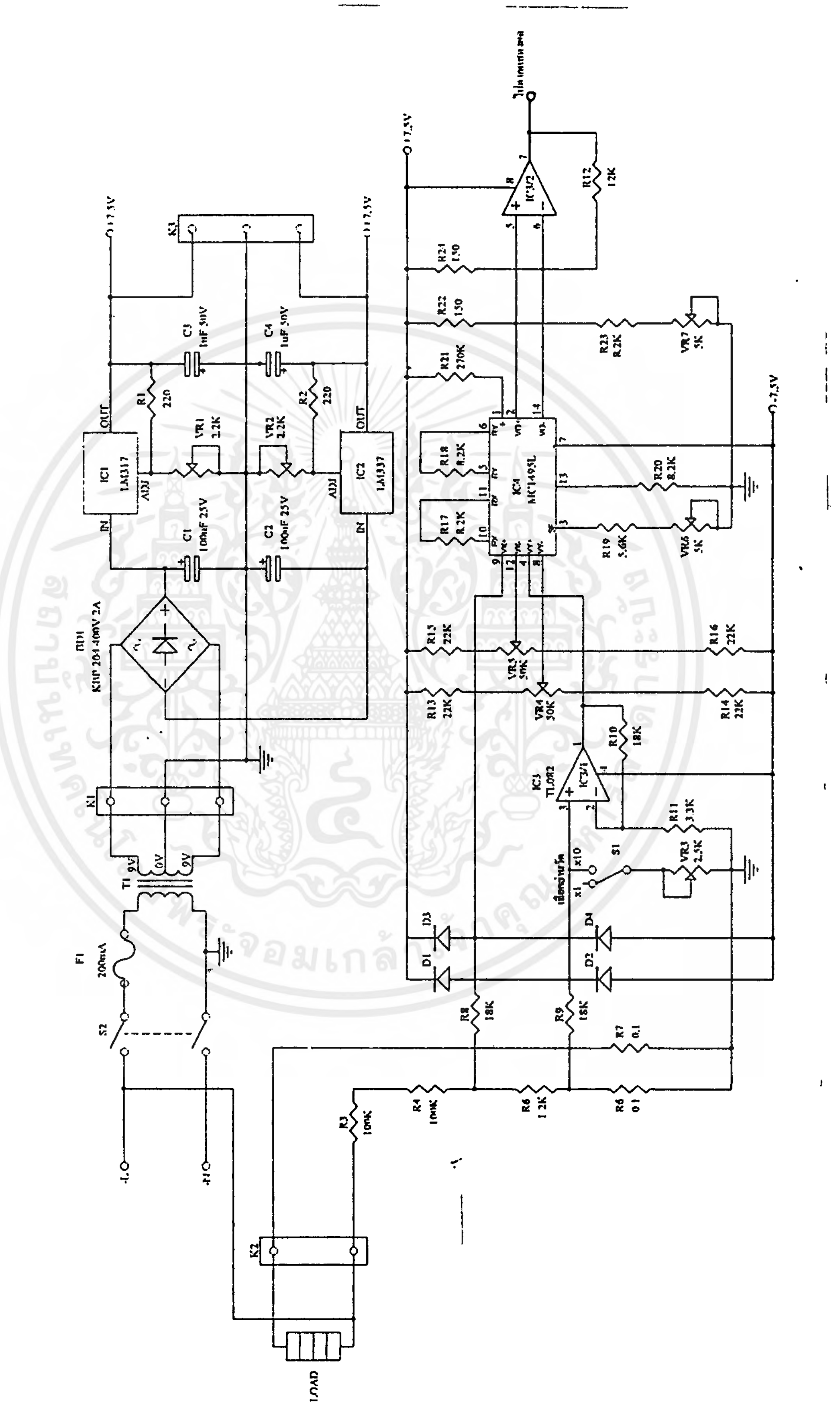
วงจร และลายวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



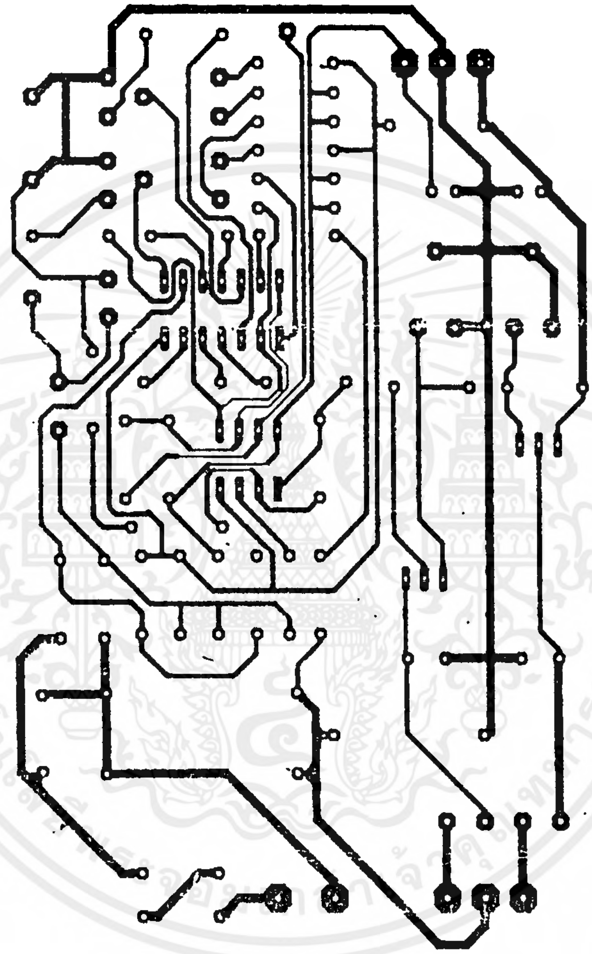
รูปที่ 1 วงจรกิโลวัตต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



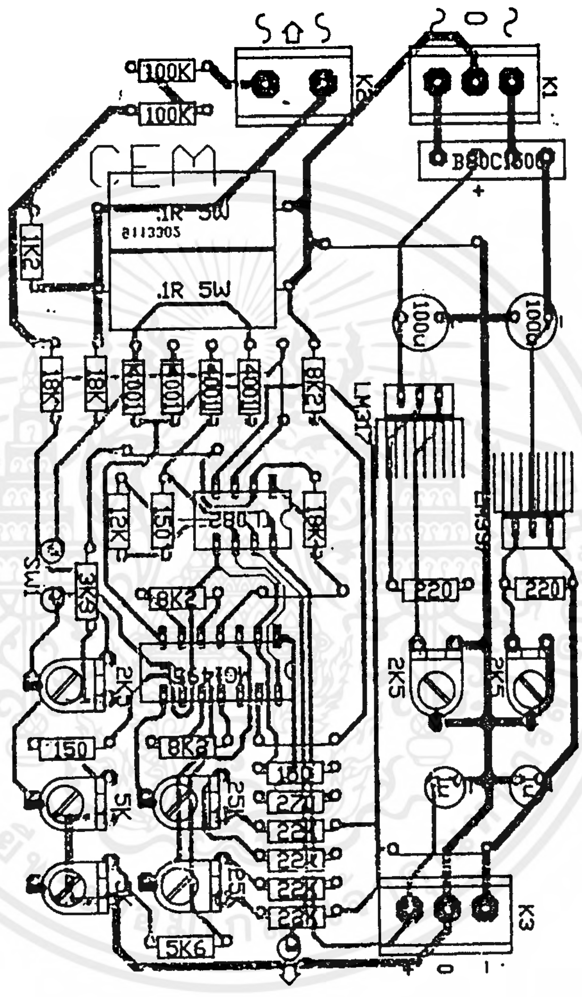
รูปที่ 2 วงจรวัดต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



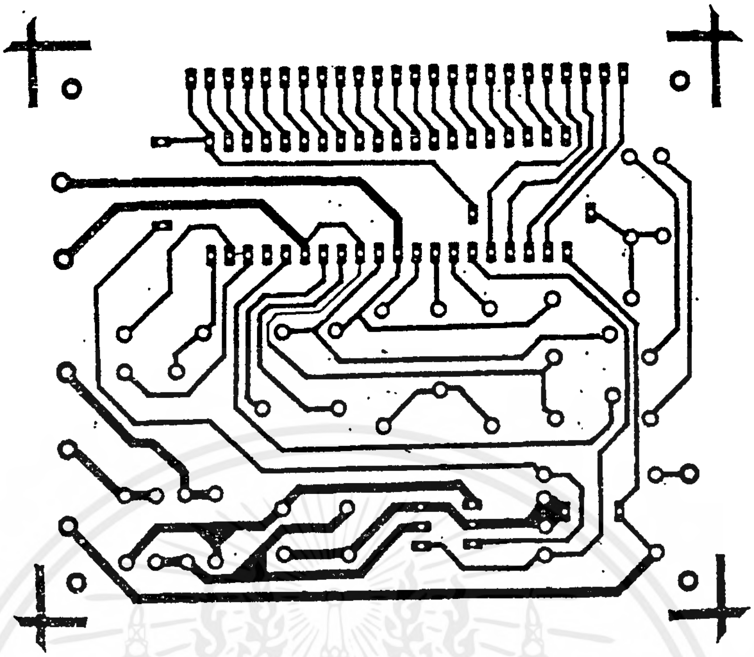
รูปที่ 3 ลายวงจรพิมพ์ของวัตต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

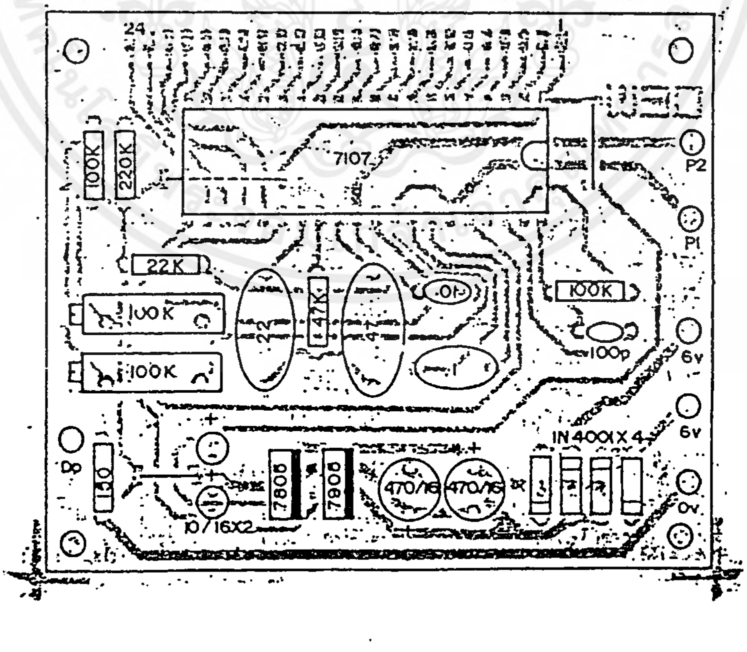


รูปที่ 4 ตำแหน่งการลงอุปกรณ์ของวงจรวัตต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

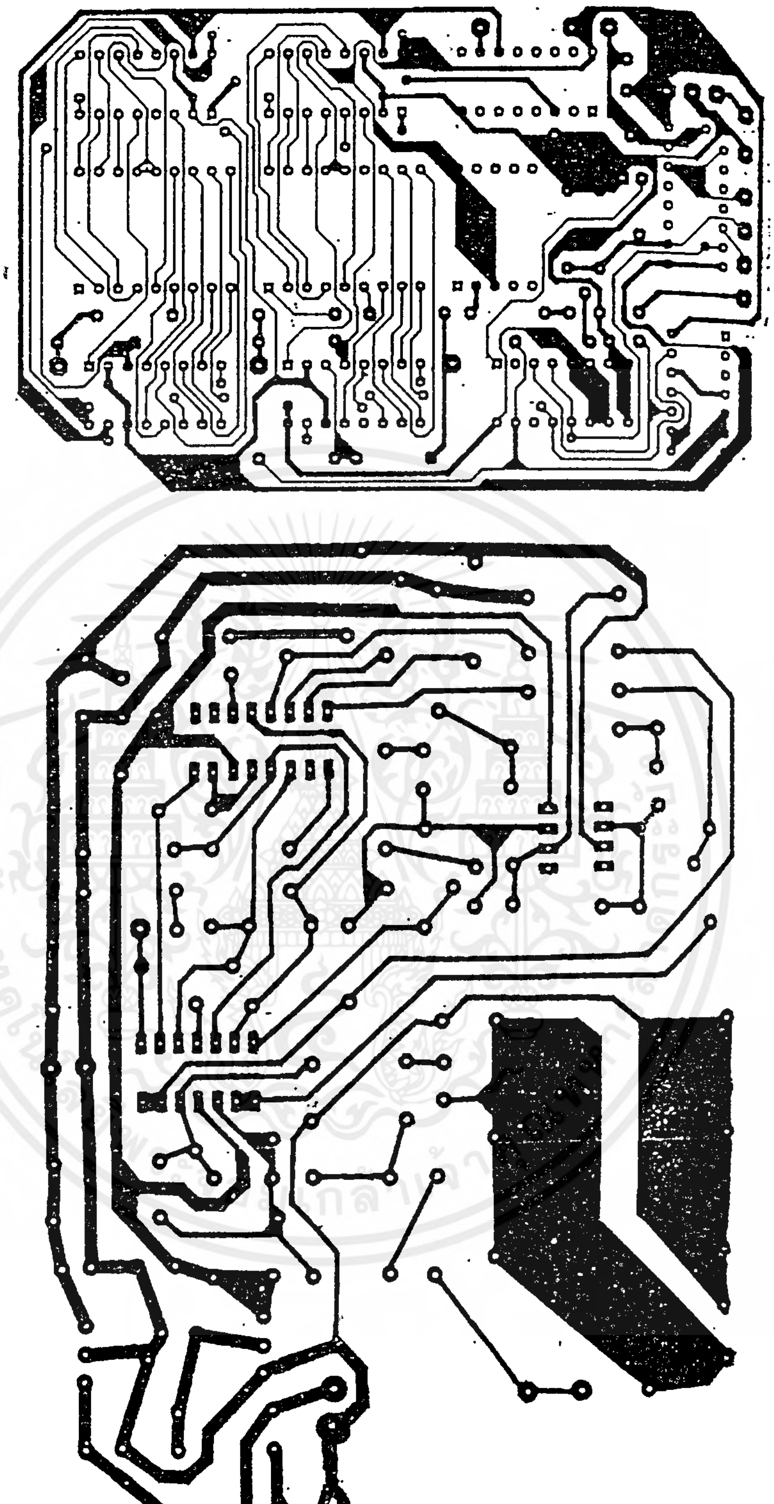


รูปที่ 5 ลายวงจรพิมพ์ภาคแสดงผลของวัตต์มิเตอร์



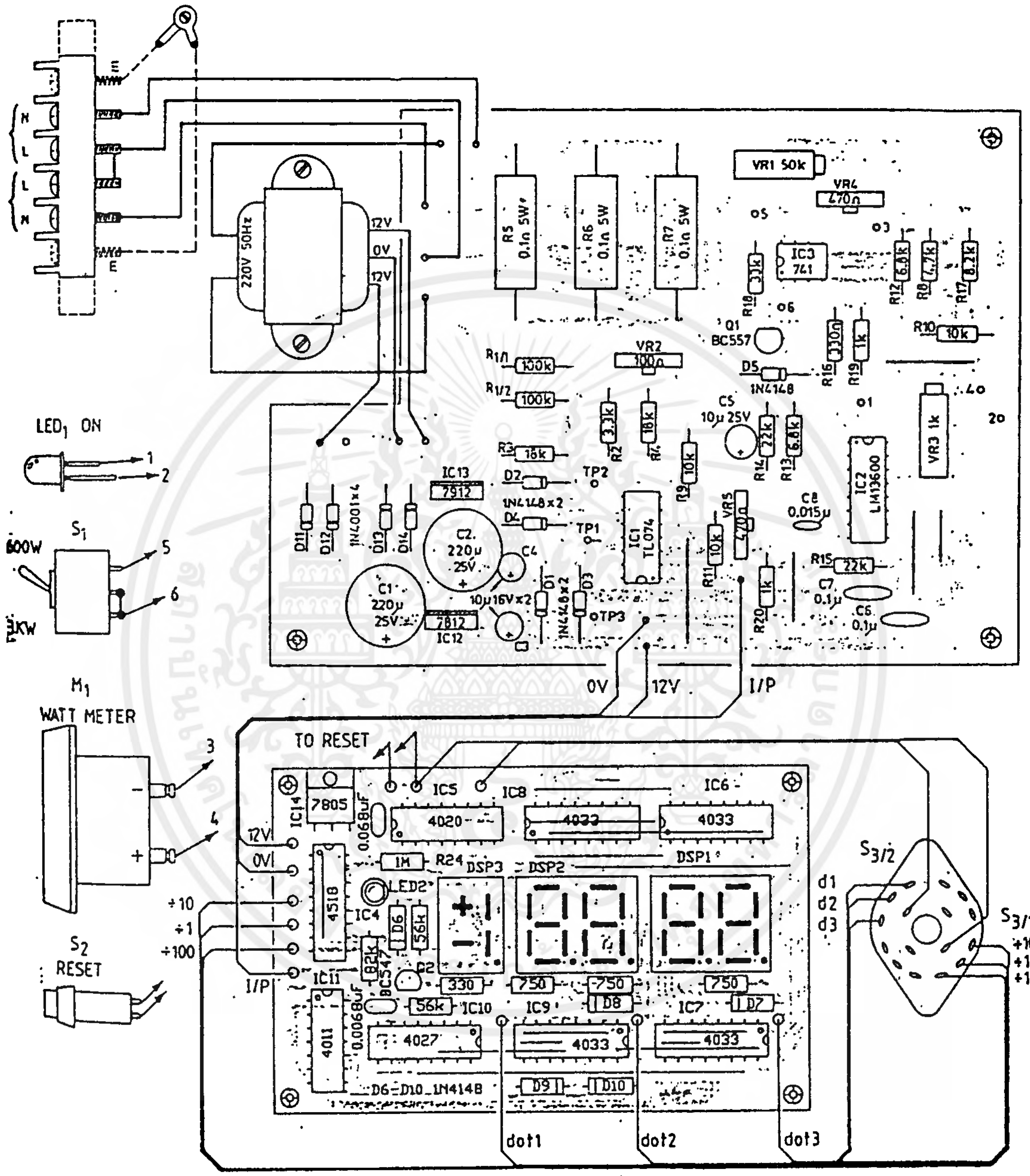
รูปที่ 6 การลงอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ของภาคแสดงผลของวงจรวัตต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 ลายวงจรพิมพ์ของวงจรกิโลวัตต์ทั้งส่วนมิเตอร์ และวงจรนับ-แสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 การวางอุปกรณ์ในแผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรกิโลวัตต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์	จำนวน
ตัวต้านทาน ขนาด 1/4 วัตต์ 5% (เว้นระบุ	
1 MΩ	1 ตัว
100 kΩ	1 ตัว
470 kΩ	1 ตัว
33 kΩ	1 ตัว
10 kΩ	1 ตัว
100 kΩ 1%	4 ตัว
3.3 kΩ 1%	1 ตัว
18 kΩ	2 ตัว
0.1 Ω 10% 5 วัตต์	3 ตัว
4.7 kΩ	1 ตัว
10 kΩ	3 ตัว
6.8 kΩ	2 ตัว
22 kΩ	2 ตัว
330 Ω	2 ตัว
8.2 kΩ	1 ตัว
33 kΩ	1 ตัว
1 kΩ	2 ตัว
82 kΩ	1 ตัว
56 kΩ	2 ตัว
1 MΩ	1 ตัว
750 Ω	3 ตัว
220 kΩ 1%	2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์	จำนวน
100 kΩ	2 ตัว
12kΩ	1 ตัว
0.1Ω 5W	2 ตัว
18 kΩ	3 ตัว
3.3 kΩ	1 ตัว
12 kΩ	1 ตัว
22 kΩ	4 ตัว
8.2 kΩ	4 ตัว
5.6 kΩ	1 ตัว
270 kΩ	1 ตัว
150Ω	2 ตัว
ตัวต้านทานปรับค่าได้	
แบบหลายรอบ (15 รอบ) 50 kΩ	1 ตัว
แบบเกือกม้าตั้งตัวใหญ่ 100Ω	1 ตัว
แบบหลายรอบ (15 รอบ) 1 kΩ	1 ตัว
แบบเกือกม้าตั้งขนาดใหญ่ 470 Ω	2 ตัว
แบบเกือกม้าตัวนอนขนาดเล็ก	
2.5 kΩ	3 ตัว
25 kΩ	2 ตัว
5 kΩ	2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์	จำนวน
ตัวเก็บประจุ	
220 μF 25V แบบอิเล็กทรอไลต์	2 ตัว
10 μF 25V แบบ อิเล็กทรอไลต์	3 ตัว
0.1μF 50V แบบไมลาร์	2 ตัว
0.017μF 50V แบบไมลาร์	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ	
0.068 μF 50V แบบไมลาร์	1 ตัว
0.0068 μF 50V แบบไมลาร์	1 ตัว
μF 25V อิเล็กทรอไลต์	1 ตัว
1μF 63V อเล็กทรอไลต์	2 ตัว
ตัวเก็บประจุ ชนิดเซรามิก	
-0.1 μF 50V โพลีเอสเตอร์	2 ตัว
- 100 pF 50V เซรามิก	1 ตัว
- 0.047 μF 50V เซรามิก	1 ตัว
- 0.22 μF 50V โพลีเอสเตอร์	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	
ICL7107	1 ตัว
IN4148	10 ตัว
IN4001	4 ตัว
ไดโอดเปล่งแสง	2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์	จำนวน
Q_1 - BC557	1 ตัว
Q_2 - BC547	1ตัว
TL074 หรือ LF374	1 ตัว
LM13700	1 ตัว
LM741	1 ตัว
IC_4 - 4518	1 ตัว
4020	1 ตัว
4033	
4027	4 ตัว
4011	1 ตัว
7812	1 ตัว
7912	1 ตัว
7805	1 ตัว
1N4001	4 ตัว
LM 317	1 ตัว
LM 337	1 ตัว
TL 082	1 ตัว
MC 1495L	1 ตัว
kBP 20455	1 ตัว
ขนาด 400V 2A	1 ตัว
DSP_1 , DSP_2 ตัวเลข 7 ส่วนเบอร์ LTD6440 G (เขียว)หรือ LTD6740 R (แดง)	2 ตัว
DSP_3 ตัวเลข 7 ส่วนเบอร์S513 GWA (เขียว) หรือS513 RDB (แดง)	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์	จำนวน
อื่นๆ	
LED ขนาด 3 1/2 หลัก	1 ตัว
แผ่นวงจรพิมพ์,	4แผ่น
ขั้วสายต่อขันสกรูแบบติดปริ้นท์ 2 จุด , 3 จุด	1 ตัว
2 ตัว หม้อแปลง 9-0-9 V 500 mA	1 ตัว
ซ็อกเก็ตไอซี 8 ขา , 14 ขา 1 ตัว	1 ตัว
คอนเน็กเตอร์ 2 ขา	1 ตัว
คอนเน็กเตอร์ 3 ขา	2 ตัว
สวิตช์เพาเวอร์	1 ตัว
สวิตช์ 2 จังหวะ	1 ตัว
SK_1 เทอร์มินอล	4 จุด
S_1 สวิตช์โยก 2 ทาง	1 ตัว
S_2 สวิตช์กดติดปล่อยดับ	1 ตัว
S_3 สวิตช์เลือก 3 ทาง 2 ชั้น	1 ตัว
T_1 หม้อแปลงเข้า 220 โวลต์ ออก 12-0-12 โวลต์ 350 mA	1 ตัว

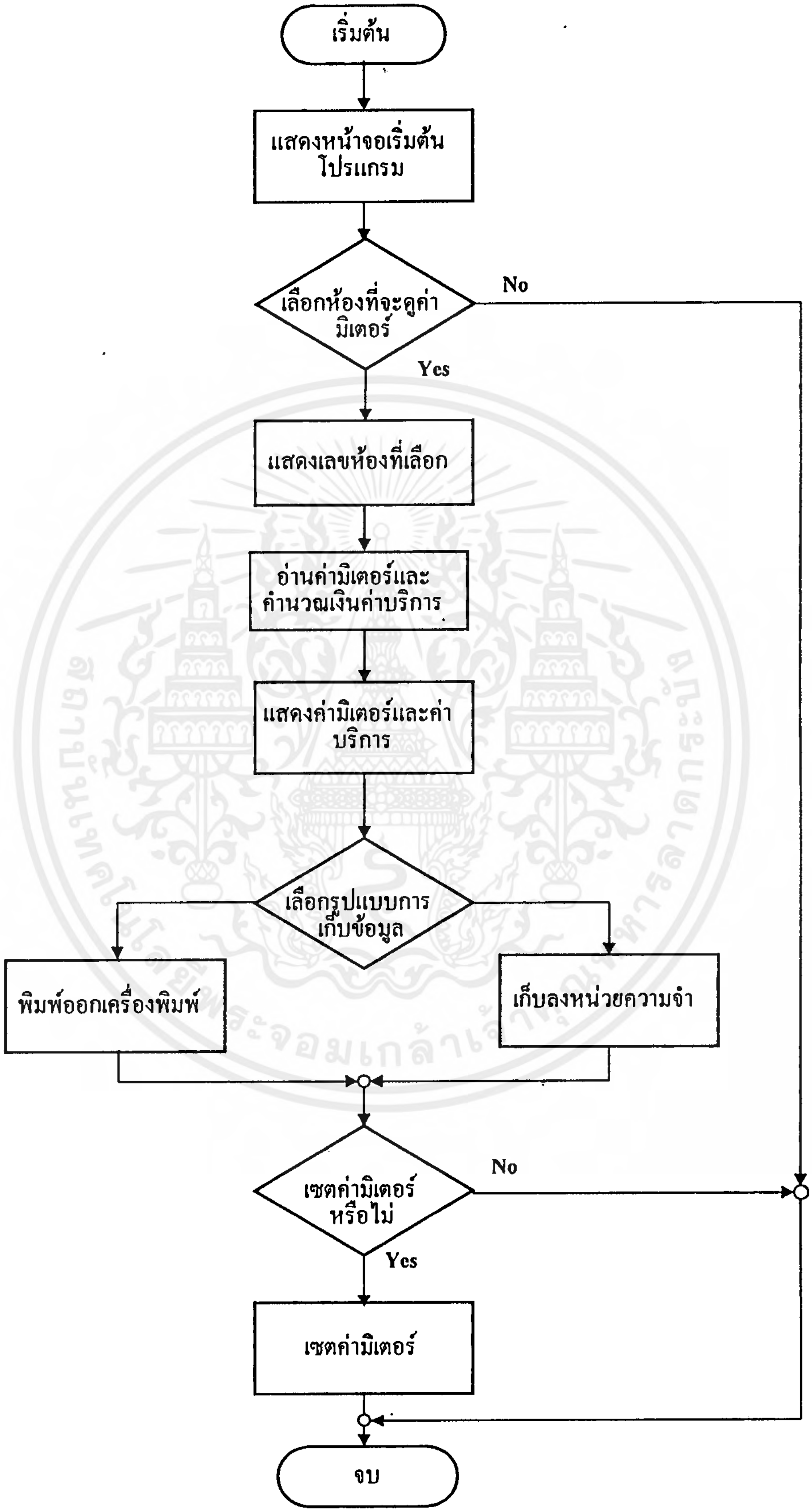
* **<u>หมายเหตุ</u>** จำนวนที่แสดงในตารางแสดงจำนวนที่ใช้ทำเพียงเครื่องเดียว ในโครงงานนี้ทำ 4 เครื่องจำนวนอุปกรณ์ทั้งหมด คูณสี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผังการทำงานของโปรแกรม และโปรแกรมที่ใช้ในโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 1 ผังการทำงานของโปรแกรมเลือกห้องและคิดค่าบริการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ใช้งานในโครงงาน

```
#include<stdio.h>
#include<conio.h>
#include<dos.h>
FILE *input,*output;
int key=0,keyold=1,add[2];
int date=0,month=0,year=0;
int unit[4][2];
char back[4010];
char mon[11];
char room[7]={"ssdd"};
main()
{
int counter,k,cc,cco;
key=0;
add[0]=0;
add[1]=0;
unit[0][0]=0;
unit[1][0]=0;
unit[2][0]=0;
unit[3][0]=0;
input=fopen("data.dat","r");
fscanf(input,"%d",&unit[0][1]);
fscanf(input,"%d",&unit[1][1]);
fscanf(input,"%d",&unit[2][1]);
fscanf(input,"%d",&unit[3][1]);
textbackground(7);
textcolor(15);
cursoroff();
clrscr();
draw();
gettext(1,1,80,25,back);
pointer();
do
{
key=0;
if(kbhit());key=getch();
if(key==75)add[0]=add[0]-1;
if(key==77)add[0]=add[0]+1;
if(key==72)add[1]=add[1]-1;
if(key==80)add[1]=add[1]+1;
if(add[0]<=0)add[0]=0;
if(add[0]>=1)add[0]=1;
if(add[1]<=0)add[1]=0;
if(add[1]>=1)add[1]=1;
if(key!=keyold)
{
pointer();
keyold=key;
}
if(key==13&&add[0]==0&&add[1]==0)
{
readtime();
for(counter=0;counter<=6;counter++)room[counter]=NULL;
room[0]='R';room[1]='o';room[2]='o';room[3]='m';room[4]=' ';room[5]='1';
submenu();
readr1();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
cco=1;
cc=0;
do
{
k=0;
if(kbhit())k=getch();
if(k==75)cc=cc-1;
if(k==77)cc=cc+1;
if(cc==-1)cc=2;
if(cc==3)cc=0;
if(cc!=cco)
{
textcolor(15);
textbackground(14);
gotoxy(17,20);cprintf("Reset");
gotoxy(38,20);cprintf("Print");
gotoxy(60,20);cprintf("Back");
if(cc==0)
{
gotoxy(17,20);
textbackground(9);
textcolor(4);
cprintf("Reset");
}
if(cc==1)
{
gotoxy(38,20);
textbackground(9);
textcolor(4);
cprintf("Print");
}
if(cc==2)
{
gotoxy(60,20);
textbackground(9);
textcolor(4);
cprintf("Back");
}
cco=cc;
}
}
while(k!=13||cc!=2);
pointer();
}
if(key==13&&add[0]==1&&add[1]==0)
{
readtime();
for(counter=0;counter<=6;counter++)room[counter]=NULL;
room[0]='R';room[1]='o';room[2]='o';room[3]='m';room[4]=' ';room[5]='2';
submenu();
cco=1;
cc=0;
do
{
k=0;
if(kbhit())k=getch();
if(k==75)cc=cc-1;
if(k==77)cc=cc+1;
if(cc==-1)cc=2;
if(cc==3)cc=0;
if(cc!=cco)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
textcolor(15);
textbackground(14);
gotoxy(17,20);cprintf("Reset");
gotoxy(38,20);cprintf("Print");
gotoxy(60,20);cprintf("Back");
if(cc==0)
{
gotoxy(17,20);
textbackground(9);
textcolor(4);
cprintf("Reset");
}
if(cc==1)
{
gotoxy(38,20);
textbackground(9);
textcolor(4);
cprintf("Print");
}
if(cc==2)
{
gotoxy(60,20);
textbackground(9);
textcolor(4);
cprintf("Back");
}
cco=cc;
}
}
while(k!=13||cc!=2);
pointer();
}
if(key==13&&add[0]==0&&add[1]==1)
{
readtime();
for(counter=0;counter<=6;counter++)room[counter]=NULL;
room[0]='R';room[1]='o';room[2]='o';room[3]='m';room[4]=' ';room[5]='3';
submenu();
readr3();
cco=-1;
cc=0;
do
{
k=0;
if(kbhit())k=getch();
if(k==75)cc=cc-1;
if(k==77)cc=cc+1;
if(cc==-1)cc=2;
if(cc==3)cc=0;
if(cc!=cco)
{
textcolor(15);
textbackground(14);
gotoxy(17,20);cprintf("Reset");
gotoxy(38,20);cprintf("Print");
gotoxy(60,20);cprintf("Back");
if(cc==0)
{
gotoxy(17,20);
textbackground(9);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
textcolor(4);
cprintf("Reset");
}
if(cc==1)
{
gotoxy(38,20);
textbackground(9);
textcolor(4);
cprintf("Print");
}
if(cc==2)
{
gotoxy(60,20);
textbackground(9);
textcolor(4);
cprintf("Back");
}
cco=cc;
}
}
while(k!=13||cc!=2);
pointer();
}
if(key==13&&add[0]==1&&add[1]==1)
{
readtime();
for(counter=0;counter<=6;counter++)room[counter]=NULL;
room[0]='R';room[1]='o';room[2]='o';room[3]='m';room[4]=' ';room[5]='4';
submenu();
cco=1;
cc=0;
do
{
k=0;
if(kbhit())k=getch();
if(k==75)cc=cc-1;
if(k==77)cc=cc+1;
if(cc==-1)cc=2;
if(cc==3)cc=0;
if(cc!=cco)
{
textcolor(15);
textbackground(14);
gotoxy(17,20);cprintf("Reset");
gotoxy(38,20);cprintf("Print");
gotoxy(60,20);cprintf("Back");
if(cc==0)
{
gotoxy(17,20);
textbackground(9);
textcolor(4);
cprintf("Reset");
}
if(cc==1)
{
gotoxy(38,20);
textbackground(9);
textcolor(4);
cprintf("Print");
}
if(cc==2)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
gotoxy(60,20);
textbackground(9);
textcolor(4);
cprintf("Back");
}
cco=cc;
}
}
while(k!=13||cc!=2);
pointer();
}
}
while(key!=27);
fclose(input);
textbackground(0);
textcolor(7);
cursoron();
clrscr();
}
/*------------------------------*/
pointer()
{
puttext(1,1,80,25,back);
if(add[0]==0&&add[1]==0)
{
gotoxy(21,10);
textcolor(11);
textbackground(15);
cprintf("  Room 1 ");
}
if(add[0]==1&&add[1]==0)
{
gotoxy(51,10);
textcolor(11);
textbackground(15);
cprintf("  Room 2 ");
}
if(add[0]==0&&add[1]==1)
{
gotoxy(21,15);
textcolor(11);
textbackground(15);
cprintf("  Room 3 ");
}
if(add[0]==1&&add[1]==1)
{
gotoxy(51,15);
textcolor(11);
textbackground(15);
cprintf("  Room 4 ");
}
}
/*------------------------------*/
draw()
{
int count;
for(count=2;count<=79;count++)
{
gotoxy(count,1);
cprintf("%c",205);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
gotoxy(count,25);
cprintf("%c",205);
}
for(count=1;count<=25;count++)
{
gotoxy(2,count);
cprintf("%c",186);
gotoxy(79,count);
cprintf("%c",186);
}
gotoxy(2,1);
cprintf("%c",201);
gotoxy(79,1);
cprintf("%c",187);
gotoxy(2,25);
cprintf("%c",200);
gotoxy(79,25);
cprintf("%c",188);
textcolor(14);
gotoxy(25,3);
cprintf("          Program  ");
textcolor(14);
gotoxy(24,5);
cprintf("Please select number of the room.");
textcolor(10);
for(count=0;count<=10;count++)
{
gotoxy(20+count,9);
cprintf("%c",196);
gotoxy(20+count,11);
cprintf("%c",196);
gotoxy(50+count,9);
cprintf("%c",196);
gotoxy(50+count,11);
cprintf("%c",196);
gotoxy(20+count,14);
cprintf("%c",196);
gotoxy(20+count,16);
cprintf("%c",196);
gotoxy(50+count,14);
cprintf("%c",196);
gotoxy(50+count,16);
cprintf("%c",196);
}
for(count=0;count<=2;coun************************************************************************
**************************************************************************************************
**************************************************************************************************
**************************************************************************************************
**************************************************************************************************
*****************************************************************************************",191);
gotoxy(60,9);
cprintf("%c",191);
gotoxy(30,14);
cprintf("%c",191);
gotoxy(60,14);
cprintf("%c",191);
gotoxy(30,11);
cprintf("%c",217);
gotoxy(60,11);
cprintf("%c",217);
gotoxy(30,16);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
cprintf("%c",217);
gotoxy(60,16);
cprintf("%c",217);
gotoxy(20,11);
cprintf("%c",192);
gotoxy(50,11);
cprintf("%c",192);
gotoxy(20,16);
cprintf("%c",192);
gotoxy(50,16);
cprintf("%c",192);
textcolor(5);
gotoxy(23,10);
cprintf("Room 1");
gotoxy(53,10);
cprintf("Room 2");
textcolor(5);
gotoxy(23,15);
cprintf("Room 3");
gotoxy(53,15);
cprintf("Room 4");
textcolor(9);
gotoxy(33,19);
cprintf("ED ENGINEER 17");
gotoxy(17,21);
cprintf("King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang");
}
/*--------------------------*/
readtime()
{
 union REGS r;
 r.h.ah = 0x2A;
 int86(0x21,&r,&r);
 year=r.x.cx;
 month=r.h.dh;
 date=r.h.dl;
}
/*--------------------------*/
cursoroff()
{
 union REGS r;
 r.h.ah = 1;
 r.h.ch = 0x20;
 r.h.cl = 0;
 int86(0x10,&r,&r);
}
/*--------------------------*/
cursoron()
{
 union REGS r;
  r.h.ah = 1;
  r.h.ch = 0x0d;
  r.h.cl = 0x0d;
  int86(0x10,&r,&r);
}


/*-------------------*/
submenu()
{
int counter;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
for(counter=0;counter<=8;counter++)mon[counter]=NULL;

if(month==1){mon[0]='J';mon[1]='a';mon[2]='n';mon[3]='u';mon[4]='a';mon[5]='r';
        mon[6]='y';}
if(month==2){mon[0]='F';mon[1]='e';mon[2]='b';mon[3]='r';mon[4]='u';mon[5]='a';
        mon[6]='r';mon[7]='y';}
if(month==3){mon[0]='M';mon[1]='a';mon[2]='r';mon[3]='c';mon[4]='h';}
if(month==4){mon[0]='A';mon[1]='p';mon[2]='r';mon[3]='i';mon[4]='l';}
if(month==5){mon[0]='M';mon[1]='a';mon[2]='y';}
if(month==6){mon[0]='J';mon[1]='u';mon[2]='n';mon[3]='e';}
if(month==7){mon[0]='J';mon[1]='u';mon[2]='l';mon[3]='y';}
if(month==8){mon[0]='A';mon[1]='u';mon[2]='g';mon[3]='u';mon[4]='s';mon[5]='t';}
if(month==9){mon[0]='S';mon[1]='e';mon[2]='p';mon[3]='t';mon[4]='e';mon[5]='m';
        mon[6]='b';mon[7]='e';mon[8]='r';}
if(month==10){mon[0]='O';mon[1]='c';mon[2]='t';mon[3]='o';mon[4]='b';mon[5]='e';
        mon[6]='r';}
if(month==11){mon[0]='N';mon[1]='o';mon[2]='v';mon[3]='e';mon[4]='m';mon[5]='b';
        mon[6]='e';mon[7]='r';}
if(month==12){mon[0]='D';mon[1]='e';mon[2]='c';mon[3]='e';mon[4]='m';mon[5]='b';
        mon[6]='e';mon[7]='r';}
window(10,5,69,20);
textbackground(14);
clrscr();
window(1,1,80,25);
for(counter=0;counter<=59;counter++)
{
gotoxy(10+counter,5);cprintf("%c",205);
gotoxy(10+counter,20);cprintf("%c",205);
if(counter<=15)
{
gotoxy(10,5+counter);cprintf("%c",186);
gotoxy(69,5+counter);cprintf("%c",186);
}
if(counter<=9)
{
gotoxy(35+counter,6);cprintf("%c",205);
gotoxy(35+counter,8);cprintf("%c",205);
}
}
gotoxy(10,5);cprintf("%c",201);
gotoxy(69,5);cprintf("%c",187);
gotoxy(10,20);cprintf("%c",200);
gotoxy(69,20);cprintf("%c",188);
gotoxy(35,6);cprintf("%c",201);
gotoxy(35,8);cprintf("%c",200);
gotoxy(44,6);cprintf("%c",187);
gotoxy(44,8);cprintf("%c",188);
gotoxy(35,7);cprintf("%c",186);
gotoxy(44,7);cprintf("%c",186);
textcolor(13);
gotoxy(37,7);cprintf("%s",room);
textcolor(15);
switch(month)
{
case 1:gotoxy(32,10);break;
case 2:gotoxy(32,10);break;
case 3:gotoxy(34,10);break;
case 4:gotoxy(34,10);break;
case 5:gotoxy(35,10);break;
case 6:gotoxy(34,10);break;
case 7:gotoxy(34,10);break;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
case 8:gotoxy(33,10);break;
case 9:gotoxy(31,10);break;
case 10:gotoxy(32,10);break;
case 11:gotoxy(32,10);break;
case 12:gotoxy(32,10);break;
}
cprintf("%d %s %d",date,mon,year);
gotoxy(26,12);cprintf("First  Unit    : ");
gotoxy(26,14);cprintf("Last   Unit    : ");
gotoxy(26,16);cprintf("Unit per month : ");
gotoxy(26,18);cprintf("Service charge : ");
gotoxy(17,20);cprintf("Reset");
gotoxy(38,20);cprintf("Print");
gotoxy(60,20);cprintf("Back");
}
/*---------------------*/
readr1()
{
int ch,c=0,key,value[2],counter,b[8],t[8];
init();
sport(0x55);
for(counter=0;counter<=120;counter++)
{
sport(0x40);
value[0]=rport();
}
for(counter=0;counter<=120;counter++)
{
sport(0x04);
value[1]=rport();
}
b[0]=value[1]%2;
value[1]=(value[1]-b[0])/2;
b[1]=value[1]%2;
value[1]=(value[1]-b[1])/2;
b[2]=value[1]%2;
value[1]=(value[1]-b[2])/2;
b[3]=value[1]%2;
value[1]=(value[1]-b[3])/2;
b[4]=value[1]%2;
value[1]=(value[1]-b[4])/2;
b[5]=value[1]%2;
value[1]=(value[1]-b[5])/2;
b[6]=value[1]%2;
b[7]=(value[1]-b[6])/2;
t[0]=b[7];t[1]=b[6];t[2]=b[5];t[3]=b[4];
t[4]=b[3];t[5]=b[2];t[6]=b[1];t[7]=b[0];
value[1]=(t[7]*128)+(t[6]*64)+(t[5]*32)+(t[4]*16)+(t[3]*8)+(t[2]*4)+(t[1]*2)+(t[0]*1);
textcolor(1);
unit[0][0]=(value[1]*256)+value[0];
gotoxy(45,12);
cprintf(" %d",unit[0][1]);
gotoxy(45,14);
cprintf(" %d",unit[0][0]);
gotoxy(45,16);
cprintf(" %d",unit[0][0]-unit[0][1]);
gotoxy(45,18);
cprintf(" %d",(unit[0][0]-unit[0][1])*5);
gotoxy(52,12);
cprintf("Unit");
gotoxy(52,14);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
cprintf("Unit");
gotoxy(52,16);
cprintf("Unit");
gotoxy(52,18);
cprintf("Bath");
}

/*--------------*/
readr3()
{
int ch,c=0,key,value[2],counter,b[8],t[8];
init();
sport(0x53);
for(counter=0;counter<=120;counter++)
{
sport(0x20);
value[0]=rport();
}
for(counter=0;counter<=120;counter++)
{
sport(0x02);
value[1]=rport();
}
b[0]=value[1]%2;
value[1]=(value[1]-b[0])/2;
b[1]=value[1]%2;
value[1]=(value[1]-b[1])/2;
b[2]=value[1]%2;
value[1]=(value[1]-b[2])/2;
b[3]=value[1]%2;
value[1]=(value[1]-b[3])/2;
b[4]=value[1]%2;
value[1]=(value[1]-b[4])/2;
b[5]=value[1]%2;
value[1]=(value[1]-b[5])/2;
b[6]=value[1]%2;
b[7]=(value[1]-b[6])/2;
t[0]=b[7];t[1]=b[6];t[2]=b[5];t[3]=b[4];
t[4]=b[3];t[5]=b[2];t[6]=b[1];t[7]=b[0];
value[1]=(t[7]*128)+(t[6]*64)+(t[5]*32)+(t[4]*16)+(t[3]*8)+(t[2]*4)+(t[1]*2)+(t[0]*1);
textcolor(1);
unit[2][0]=(value[1]*256)+value[0];
gotoxy(45,12);
cprintf(" %d",unit[2][1]);
gotoxy(45,14);
cprintf(" %d",unit[2][0]);
gotoxy(45,16);
cprintf(" %d",unit[2][0]-unit[2][1]);
gotoxy(45,18);
cprintf(" %d",(unit[2][0]-unit[2][1])*5);
gotoxy(52,12);
cprintf("Unit");
gotoxy(52,14);
cprintf("Unit");
gotoxy(52,16);
cprintf("Unit");
gotoxy(52,18);
cprintf("Bath");
}
sport(int ch)
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

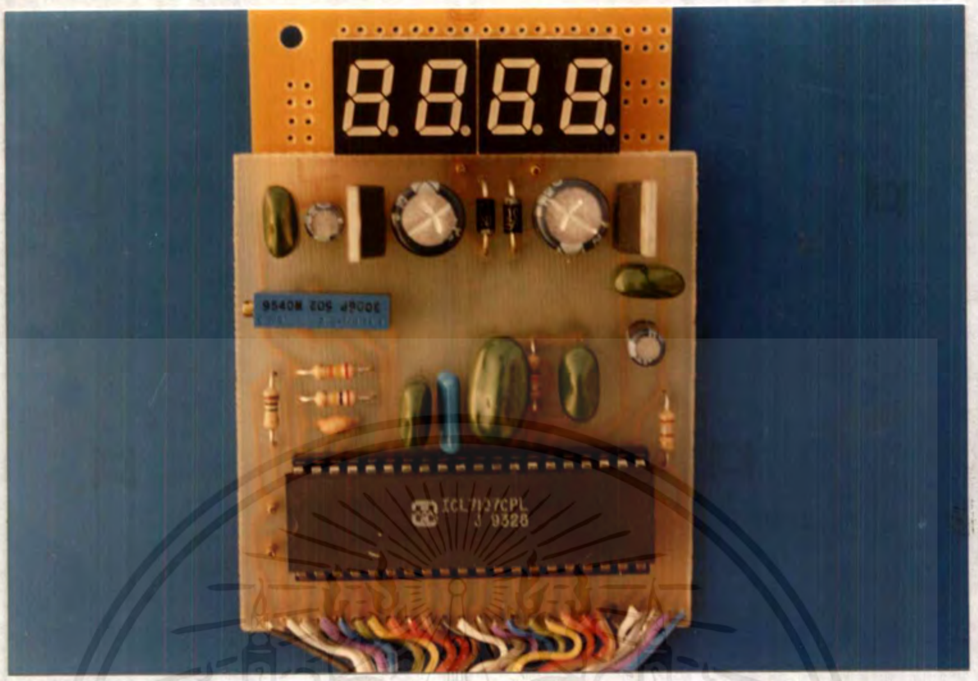
```
 union REGS r;
 r.x.dx = 0;
 r.h.al = ch;
 r.h.ah = 1;
 int86(0x14,&r,&r);
}
rport()
{
 union REGS r;
  r.x.dx = 0;
  r.h.ah = 0x02;
  int86(0x14,&r,&r);
  return r.h.al;
}
init()
{
 union REGS r;
 r.x.dx = 0;
 r.h.ah = 0;
 r.h.al = 0xe3;
 int86(0x14,&r,&r);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

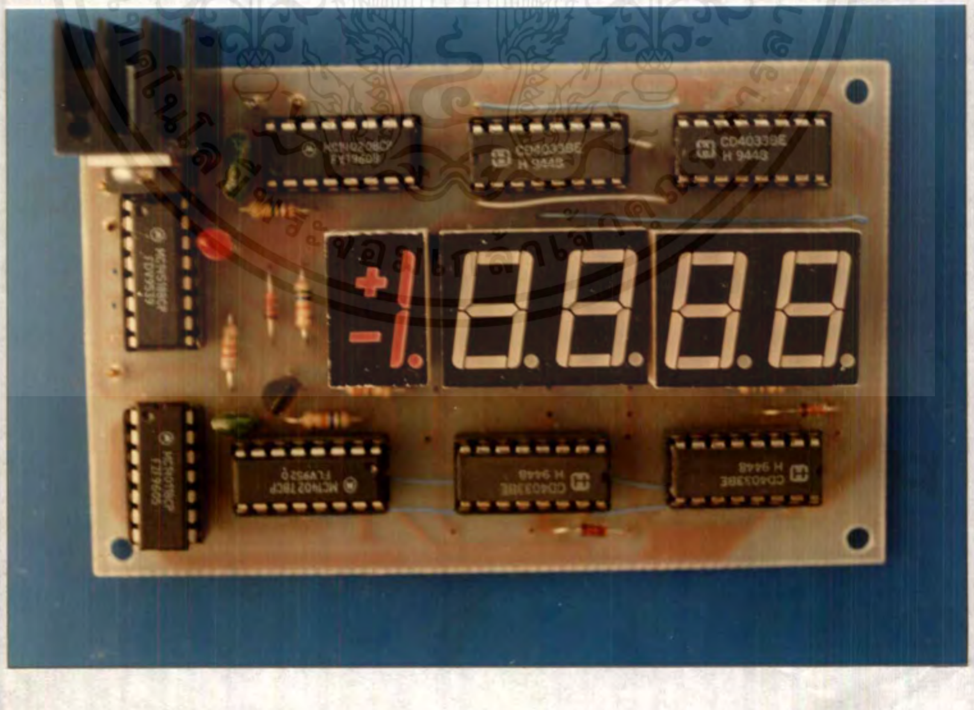
ภาคผนวก ง

รูปแสดงการลงอุปกรณ์ที่ใช้งานจริงในโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

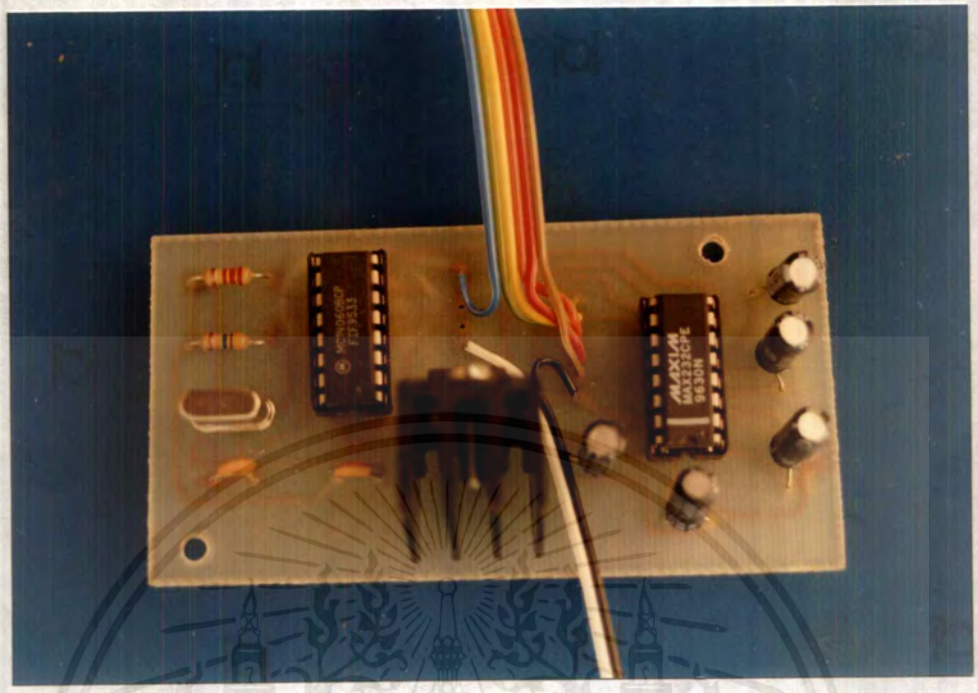


รูปที่ 1 ภาคแสดงผลของวัตต์มิเตอร์

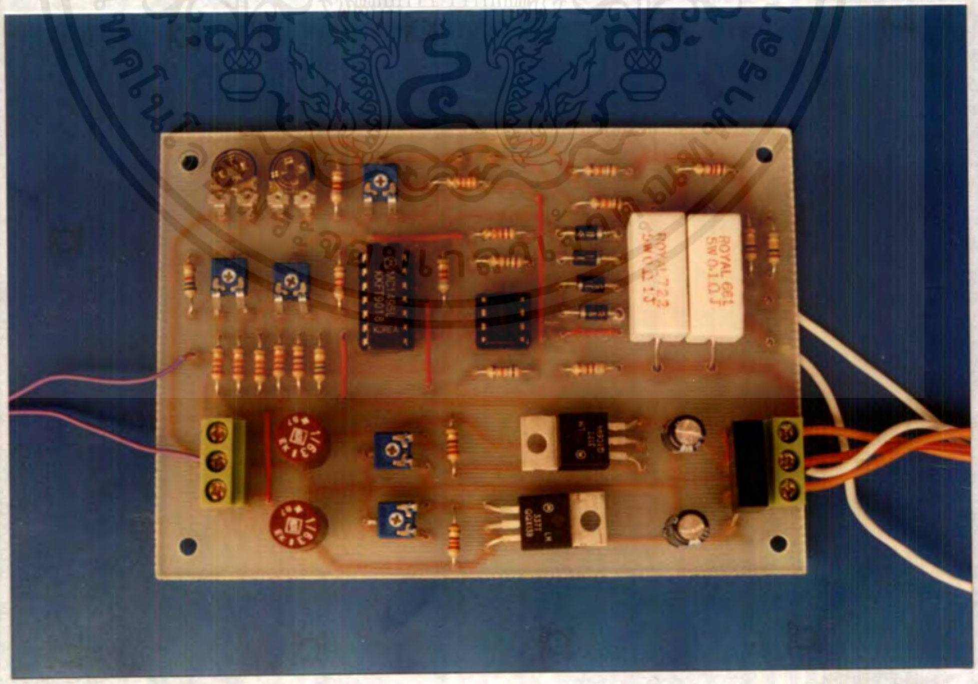


รูปที่ 2 ภาคแสดงผลของกิโลวัตต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

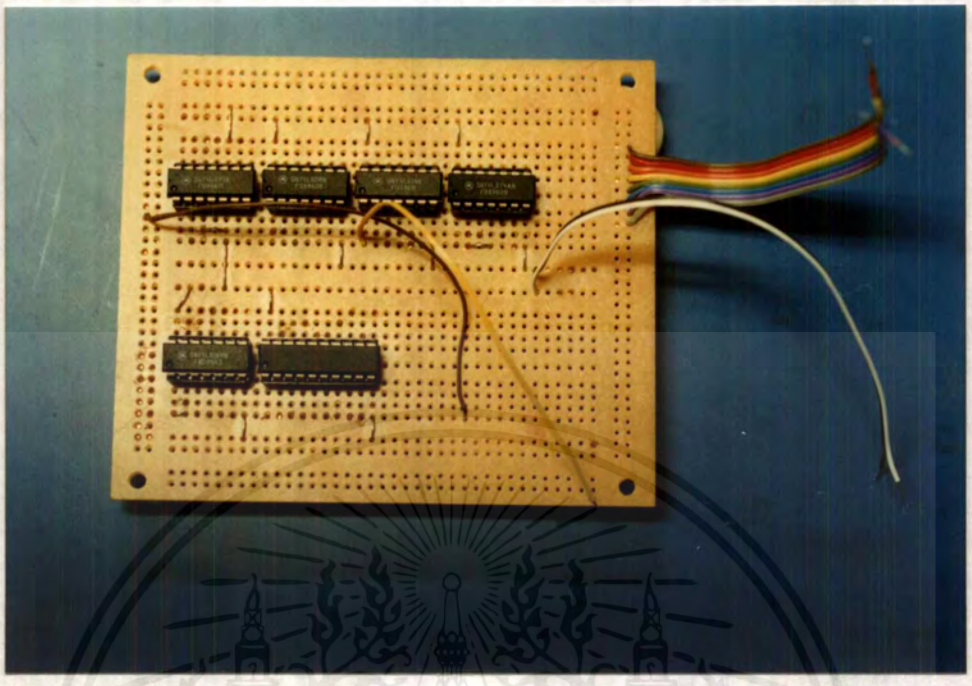


รูปที่ 3 ภาคกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

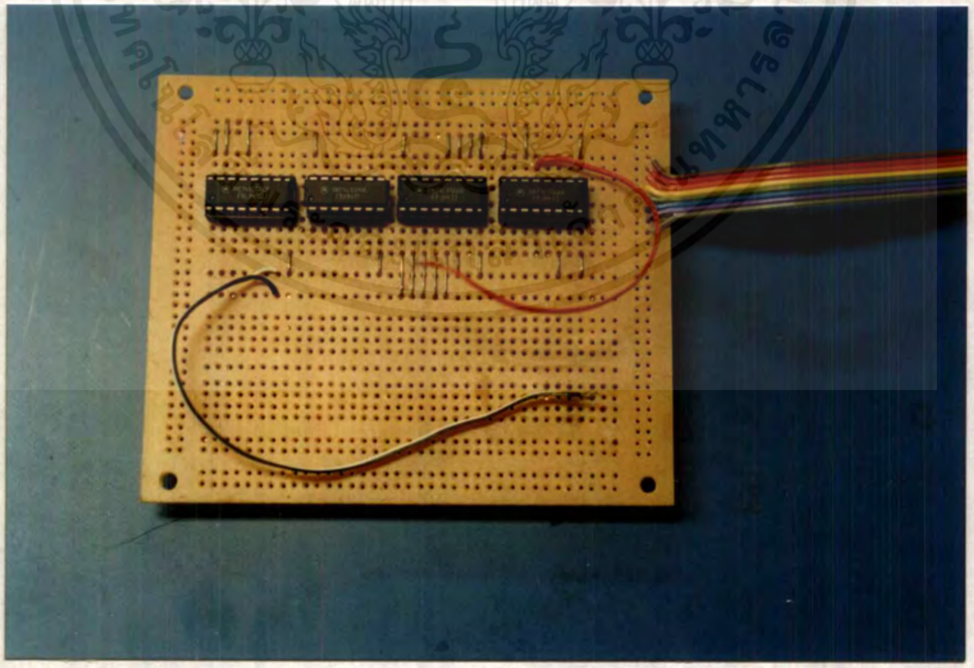


รูปที่ 4 ภาควัตต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

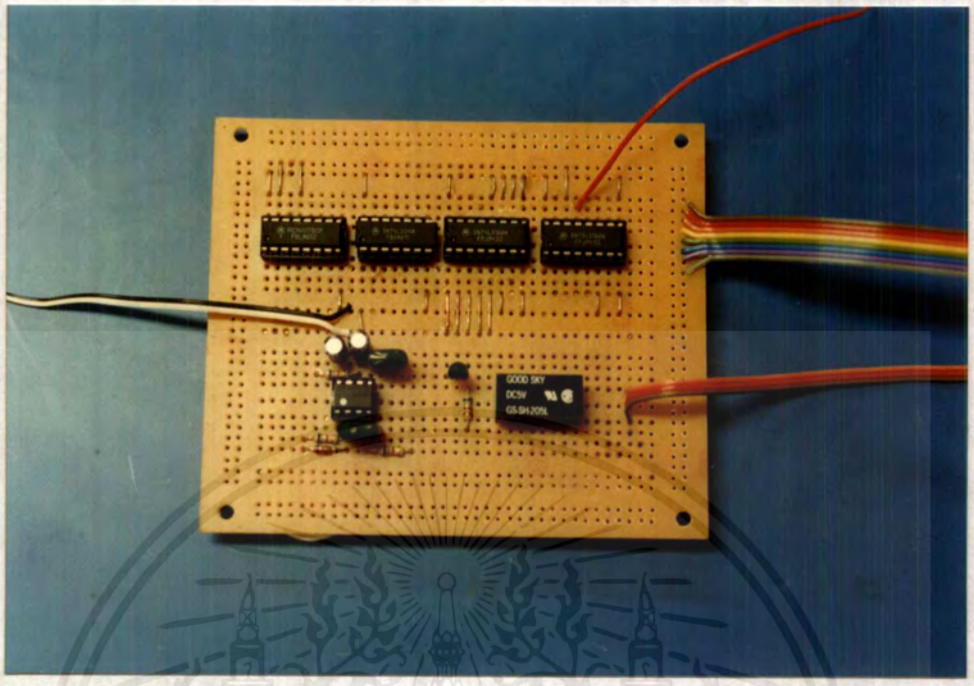


รูปที่ 5 ภาคแปลงข้อมูลจากอนุกรมเป็นขนาน

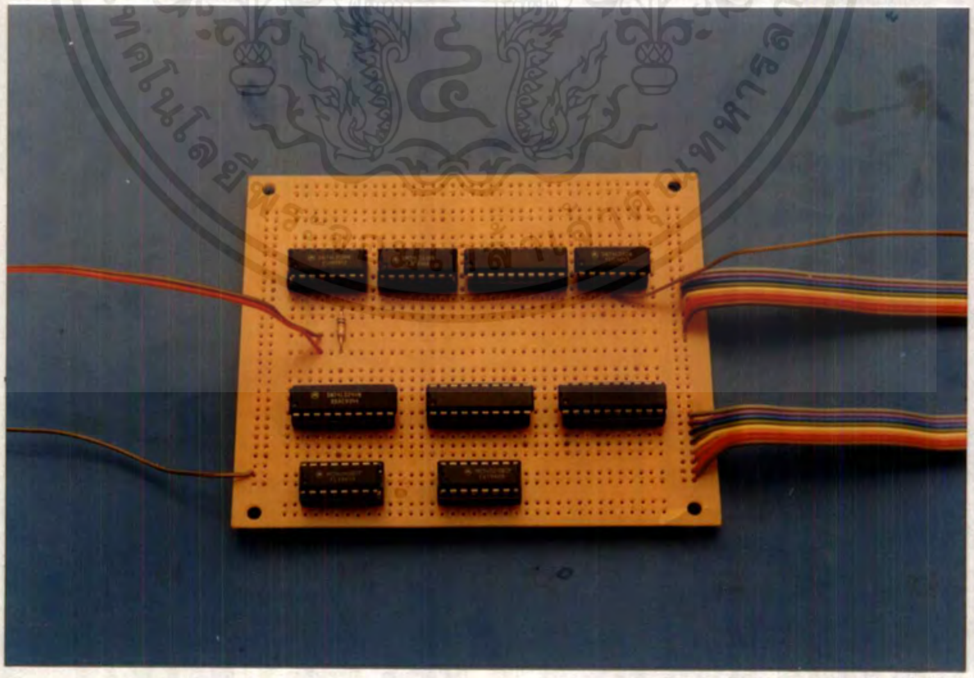


รูปที่ 6 ภาคแปลงข้อมูลจากขนานเป็นอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

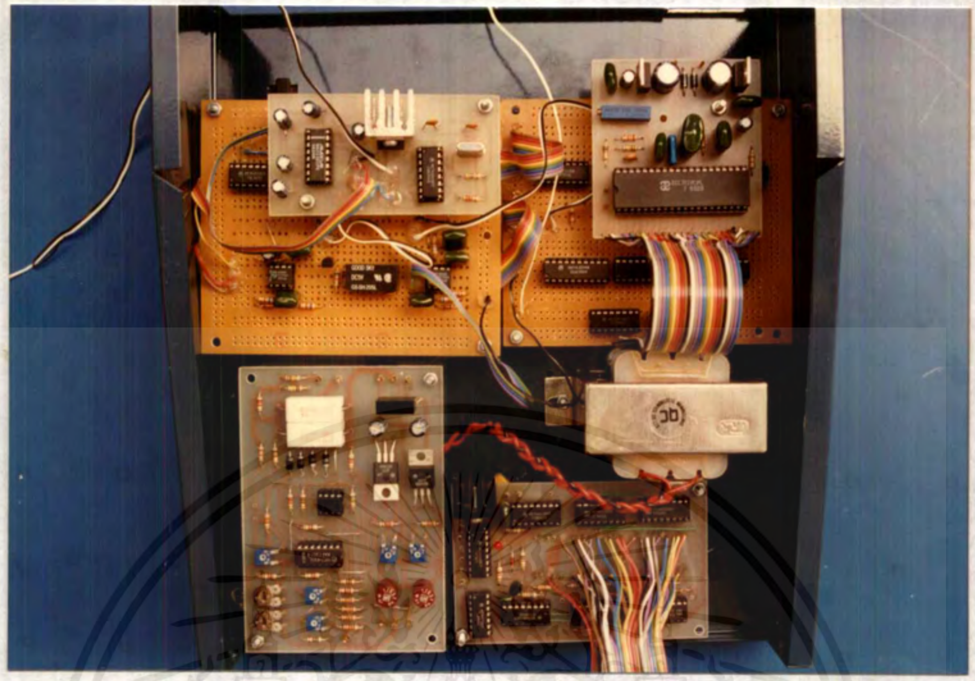


รูปที่ 7 ภาคแปลงข้อมูลจากขนานเป็นอนุกรม



รูปที่ 8 ภาควงจรเลือกห้อง

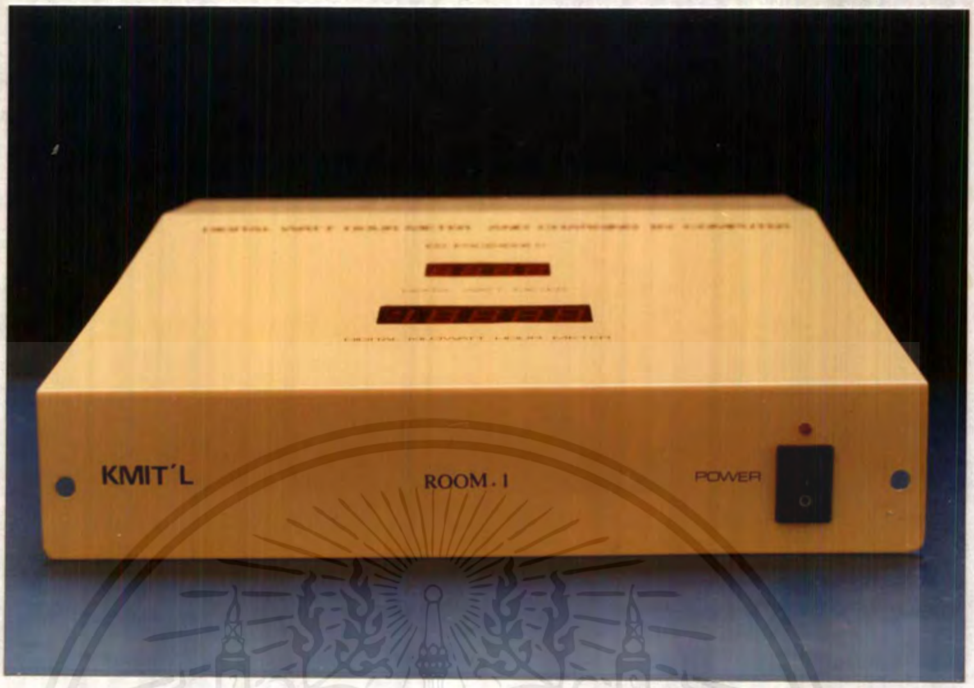
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 การลงตำแหน่งของแผ่นวงจร

รูปที่ 10 ด้านบนของดิจิตอลวัตต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 ด้านหน้าของดิจิตอลวัตต์มิเตอร์

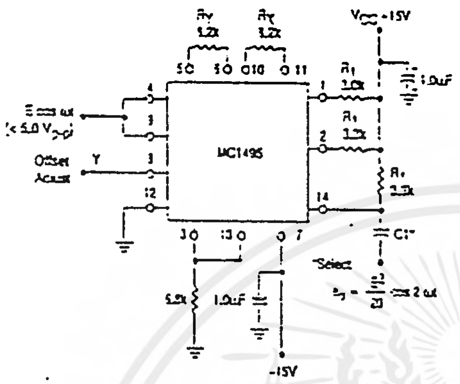
รูปที่ 12 ด้านหลังของดิจิตอลวัตต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
รายละเอียดข้อมูลและคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

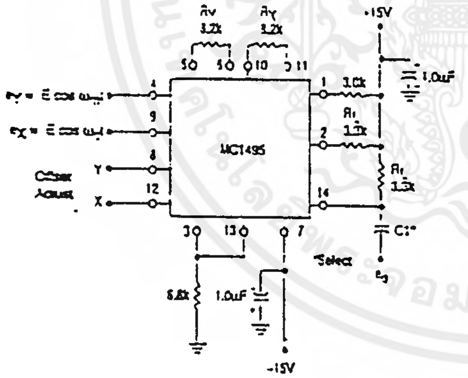
Figure 28. Frequency Doubler



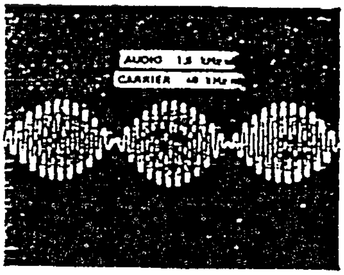
*When two equal cosine waves are applied to X and Y, the result is a wave shape of twice the input frequency. For this example the input was a 10 kHz signal, output was 20 kHz.

Figure 29. Balanced Modulator

(A)



(B)



The defining equation for balanced modulation is

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

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

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

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

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

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

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

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

Amplitude Modulation

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

Here, the identity is:

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

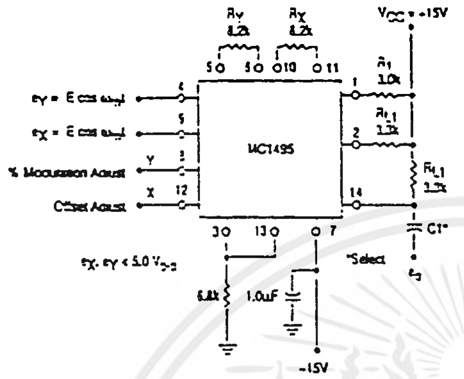
where m indicates the degrees of modulation. Since m is adjustable, via potentiometer P_1, 100% modulation is possible. Without extensive tweaking, 96% modulation may be obtained where ω_c and ω_m are the same as in the balanced modulator example.

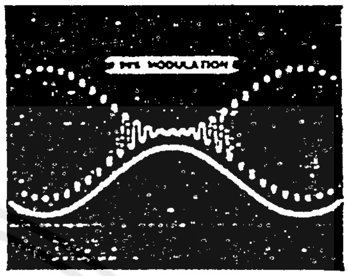
Linear Gain Control

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 30. Amplitude Modulation





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

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

Hence, the scale factor for this configuration is:

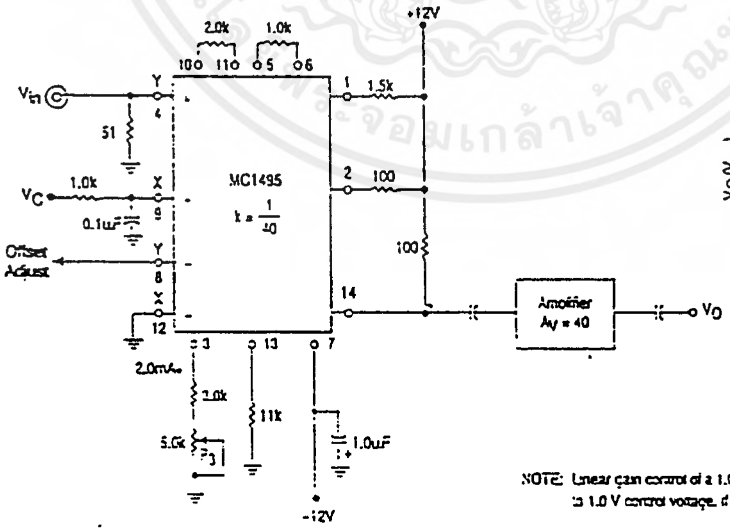
$$K = \frac{R_L}{R_X R_Y I_3}$$

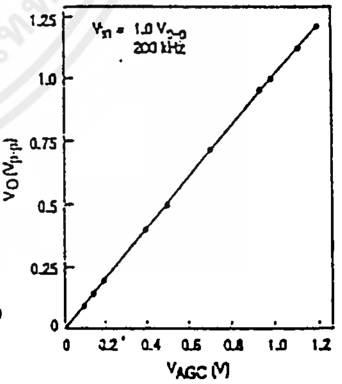
$$= \frac{100}{(2\ k)(1\ k)(2 \cdot 10^{-3})}\ V^{-1}$$

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

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

Figure 31. Linear Gain Control





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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

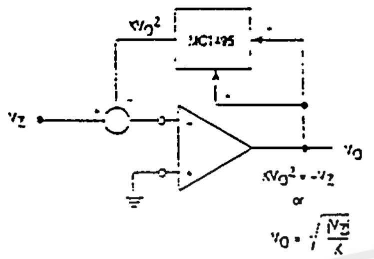


Figure 26. Basic Square Root Circuit

Square Root

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

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

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

AC APPLICATIONS

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

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

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

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

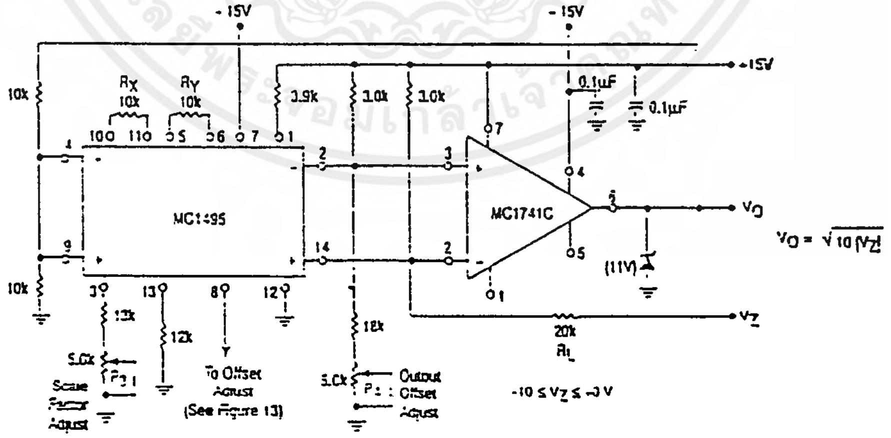
$$e_O = \frac{KE^2}{2}(1 + \cos 2\omega t).$$

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

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

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

Figure 27. Square Root Circuit



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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,

$$\frac{KV_XV_Y}{R1} = \frac{-V_Z}{R2} \qquad (1)$$

Solving for V_Y,

$$V_Y = \frac{-R1}{R2\,K}\,\frac{V_Z}{V_X} \qquad (2)$$

If R1=R2,

$$V_Y = \frac{-V_Z}{KV_X} \qquad (3)$$

If R1 = KR2,

$$V_Y = \frac{-V_Z}{V_X} \qquad (4)$$

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:

$$V_Y = -\left[\frac{R1}{R2\,K}\right]\frac{V_Z}{V_X} + \frac{\Delta E}{KV_X} \qquad (5)$$

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_Y. For example, assume that R1 = R2, and K = 1/10. For these conditions the output of the divide circuit is given by:

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

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, (0.1 V) the error voltage of the 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),

$$PE_D = \frac{\dfrac{\Delta E}{KV_X}}{\left[\dfrac{R1}{R2\,K}\right]\dfrac{V_Z}{V_X}} = \left[\frac{R2}{R1}\right]\frac{\Delta E}{V_Z} \qquad (7)$$

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.

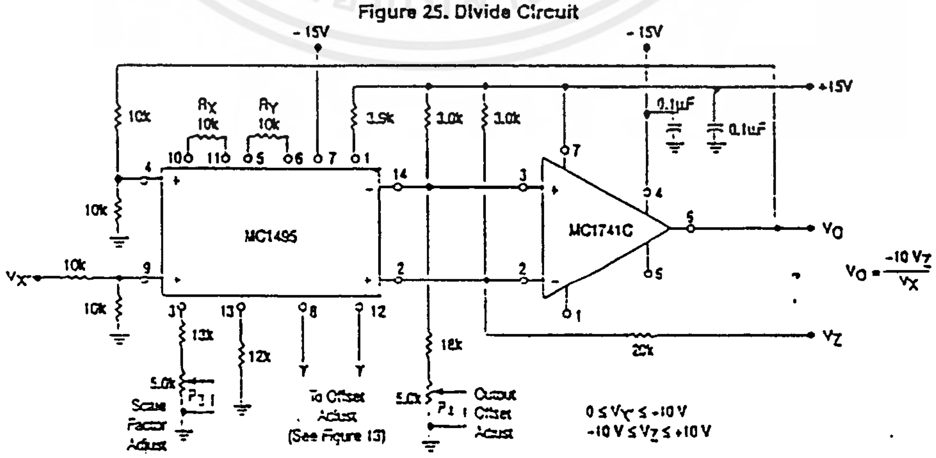
Two things should be emphasized concerning Figure 25.

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. Pin 2 and 14 of the multiplier have been interchanged in respect to the operational amplifiers 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.

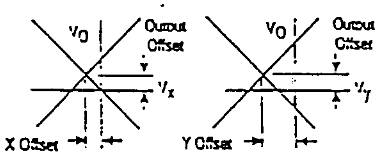
1. Set V_Z = 0 V and adjust the output offset potentiometer (P_4) until the output voltage (V_O) remains at some (not necessarily zero) constant value as $V_{X'}$ is varied between +1.0 V and +10 V.
2. Keep V_Z at 0 V, set $V_{X'}$ at +10 V and adjust the Y input offset potentiometer (P_1) until V_O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

Figure 25. Divide Circuit



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

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 General Design Procedure).

Adjustment Procedures

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

1. X-Input Offset
   (a) Connect oscillator (1.0 kHz, 5.0 V_{p-p} 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 (1.0 kHz, 5.0 Vp-p 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 0 Vdc.
4. Scale Factor
   (a) Apply +10 Vdc to both the X and Y-inputs.
   (b) Adjust P_3 to achieve + 10 V at the output.
5. Repeat steps 1 through 4 as necessary.

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

DC APPLICATIONS

Multiply

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

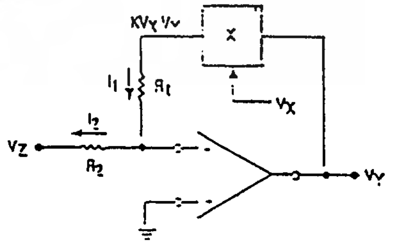
Squaring Circuit

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

A. AC Procedure:
   1. Connect oscillator (1.0 kHz, 15 Vp-p) to input.
   2. Monitor output at 2.0 kHz with tuned voltmeter and adjust P_3 for desired gain. (Be sure to peak response of the voltmeter.)
   3. Tune voltmeter to 1.0 kHz and adjust P_1 for a minimum output voltage.
   4. Ground input and adjust P_4 (output offset) for 0 Vdc output.
   5. Repeat steps 1 through 4 as necessary.

B. DC Procedure:
   1. Set $V_X = V_Y = 0$ V and adjust P_4 (output offset potentiometer) such that $V_O = 0$ Vdc
   2. Set $V_X = V_Y = 1.0$ V and adjust P_1 (Y-input offset potentiometer) such that the output voltage is + 0.100 V.
   3. Set $V_X = V_Y = 10$ Vdc and adjust P_3 such that the output voltage is + 10 V.
   4. Set $V_X = V_Y = -10$ Vdc. Repeat steps 1 through 3 as necessary.

Figure 24. Basic Divide Circuit



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$\frac{V2}{R_L} + I_{13} = \frac{V+ - V_2}{R_O}$$

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

Solving for R_O: $R_O = 2.5$ kΩ, thus, select $R_O = 3.0$ kΩ

For $R_O = 3.0$ kΩ, the voltage at Pins 2 and 14 is calculated to be:

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

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

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

OFFSET AND SCALE FACTOR ADJUSTMENT

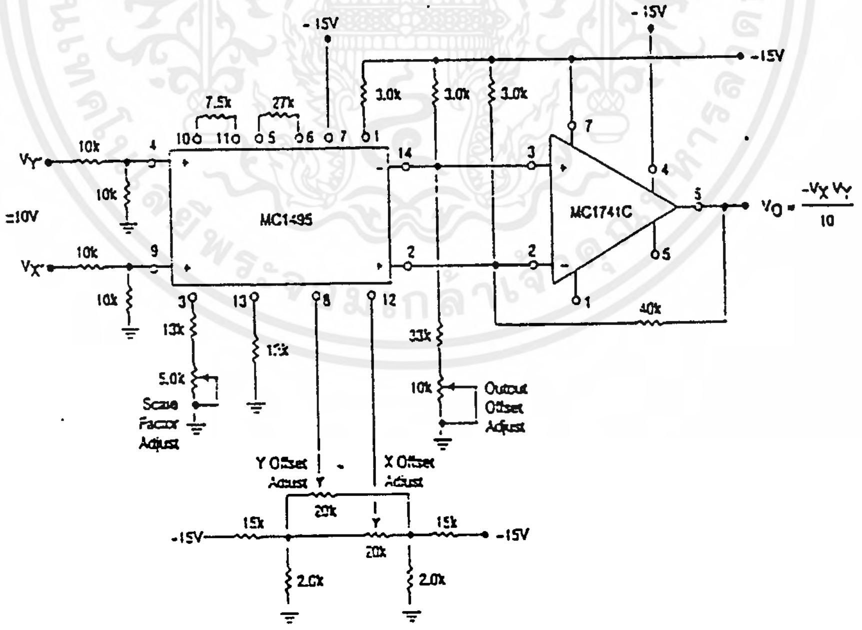
Offset Voltages

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

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

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

Figure 23. Multiplier with Improved Linearity



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1495, MC1595

OPERATION AND APPLICATIONS INFORMATION

THEORY OF OPERATION

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

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

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

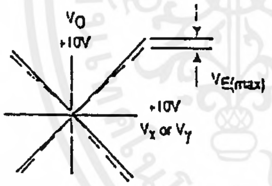
DESIGN CONSIDERATIONS

General

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

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

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



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

$$E_R = \frac{V_{E(max)}}{V_{O(max)}} \cdot 100 = \frac{100 \cdot 10^{-3}}{10} \cdot 100 = \pm 1.0\%.$$

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

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

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

3 dB Bandwidth and Phase Shift

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

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

Maximum Input Voltage

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

$$V_{X(max)} < I_{13} R_X$$
$$V_{Y(max)} < I_3 R_Y$$

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

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

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

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

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

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

with the assumption $R_X >> \dfrac{2kT}{qI_{13}}$ and $R_Y >> \dfrac{2kT}{qI_3}$.

At $T_A = +25°C$ and $I_{13} = I_3 = 1.0$ mA,

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

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

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

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

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

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

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

A good rule of thumb is to make $I_3R_Y \geq 1.5\ V_{Y(max)}$ and $I_{13}R_X \geq 1.5\ V_{X(max)}$. 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 $R_X = R_Y = 10\ k\Omega$,

then $I_3R_Y = 10$ V

$I_{13}R_X = 10$ V

since $V_{X(max)} = V_{Y(max)} = 5.0$ V, the value of $R_X = R_Y = 10\ k\Omega$ is sufficient.

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

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

Thus $R_L = 20\ k\Omega$.

Step 4. To determine what power supply voltage is necessary for this application, attention must be given to the circuit schematic shown in Figure 3. From the circuit schematic it can be seen that in order to maintain transistors Q_1, Q_2, Q_3 and Q_4 in an active region when the maximum input voltages are applied ($V_X' = V_Y' = 10$ 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 is at a potential which is two diode-drops below the voltage at Pin 1. Thus, the voltage at Pin 1 should be about 2.0 V higher than the maximum input voltage. Therefore, to handle +5.0 V at the inputs, the voltage at Pin 1 must be at least +7.0 V. Let $V_1 = 9.0$ Vdc.

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

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

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

$$R_1 = 3.0\ k\Omega.$$

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

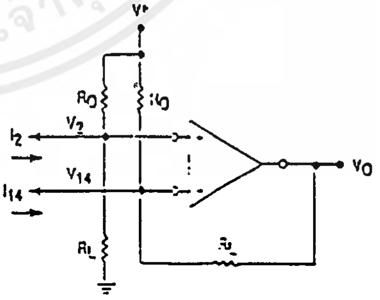
Step 5. For DC applications, such as the multiply, divide and square-root functions, it is usually desirable to convert the differential output to a single-ended output voltage referenced to ground. The circuit shown in Figure 22 performs this function. It can be shown that the output voltage of this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

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

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

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

Figure 22. Level Shift Circuit



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Output Voltage Swing

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

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

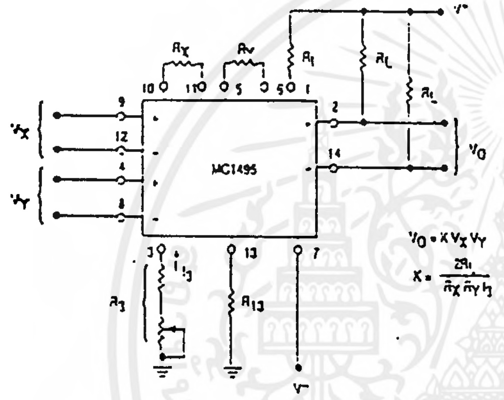


Figure 20. Basic Multiplier

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

GENERAL DESIGN PROCEDURE

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

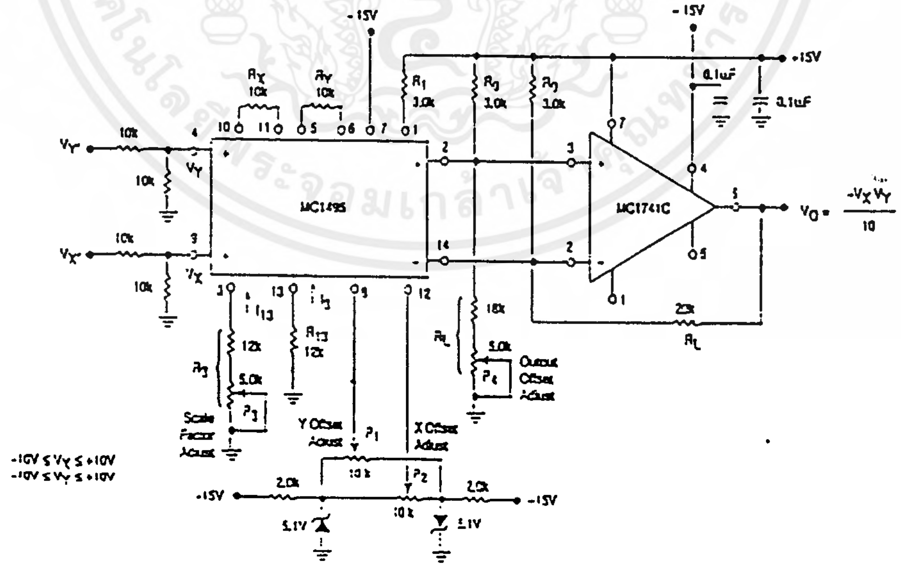
$$\text{then, } V_O = \frac{V_{X'} \cdot V_{Y'}}{10} = \frac{(2V_X)(2V_Y)}{10} = 4/10\, V_X V_Y$$

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

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

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

Figure 21. Multiplier with Operational Amplifier Level Shift



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ .

Figure 15. Linearity versus Temperature

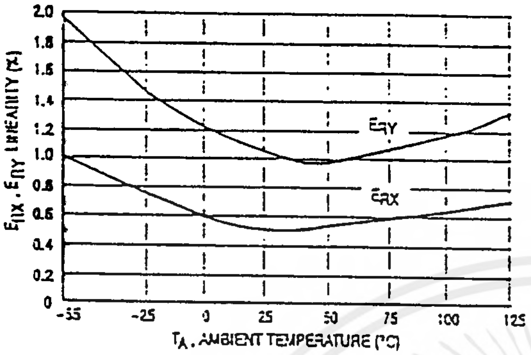


Figure 16. Scale Factor versus Temperature

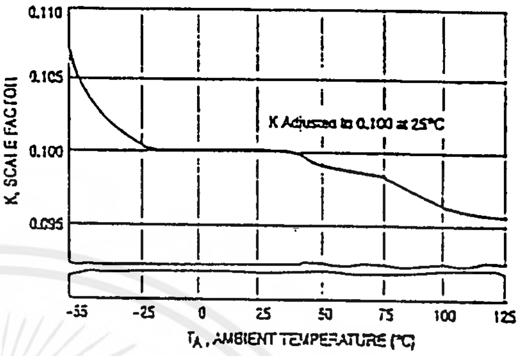


Figure 17. Error Contributed by Input Differential Amplifier

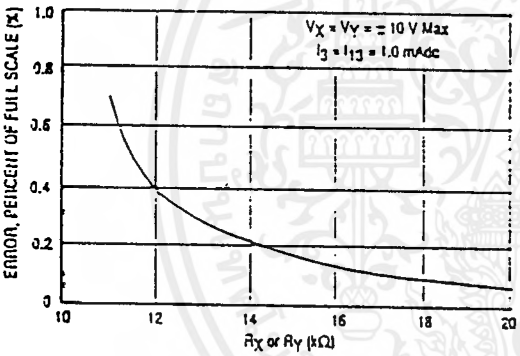


Figure 18. Error Contributed by Input Differential Amplifier

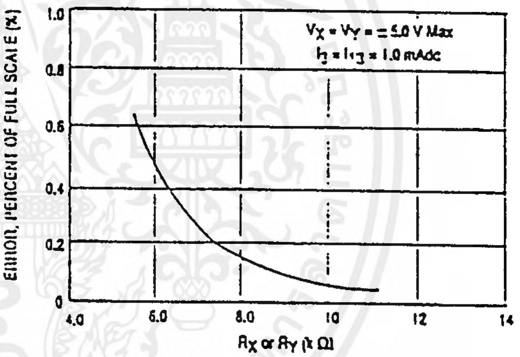
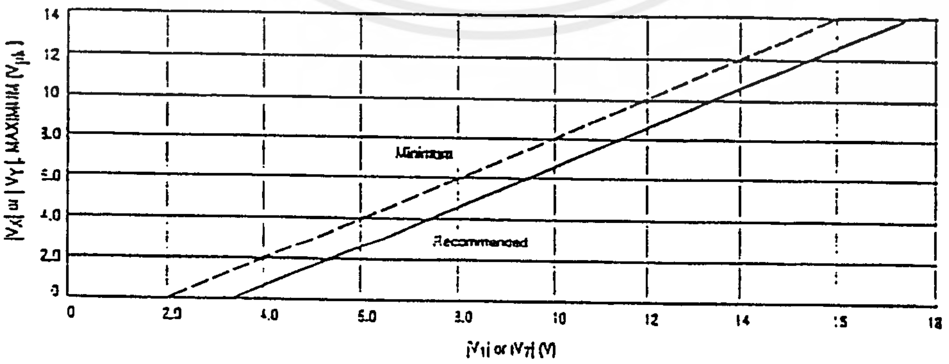


Figure 19. Maximum Allowable Input Voltage versus Voltage at Pin 1 or Pin 7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 12. Power Supply Sensitivity

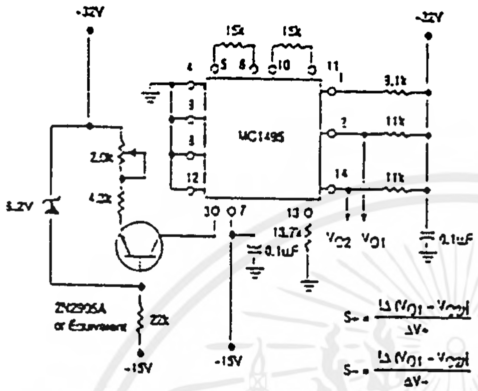


Figure 13. Offset Adjust Circuit

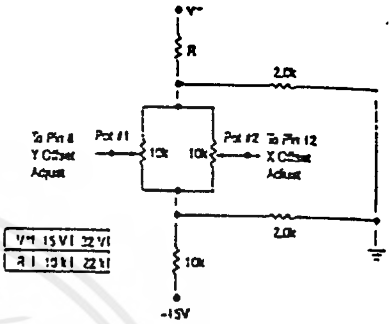
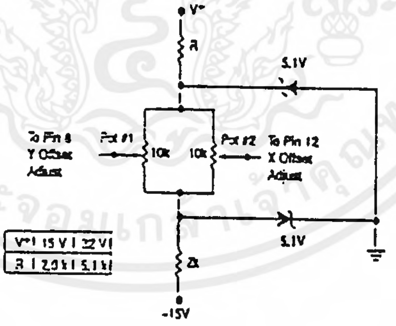


Figure 14. Offset Adjust Circuit (Alternate)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 6. Input and Output Current

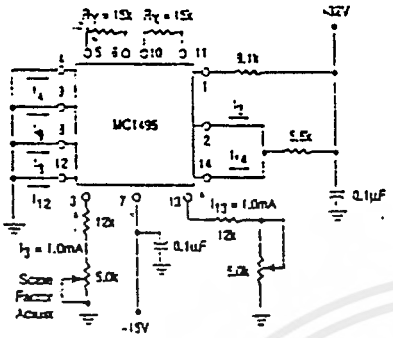


Figure 7. Input Resistance

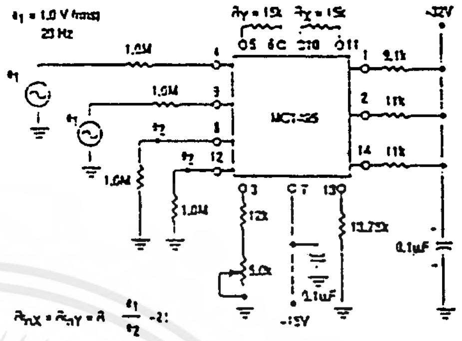


Figure 8. Output Resistance

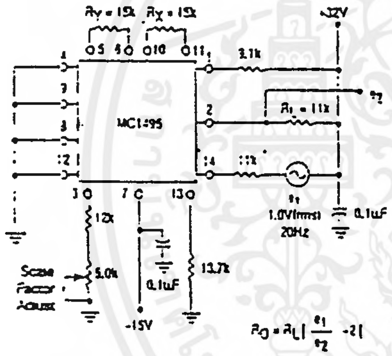


Figure 9. Bandwidth (RL = 11kΩ)

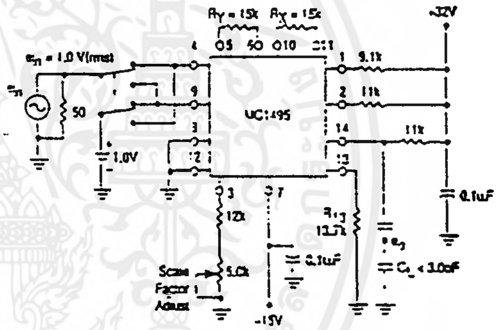


Figure 10. Bandwidth (RL = 50 Ω)

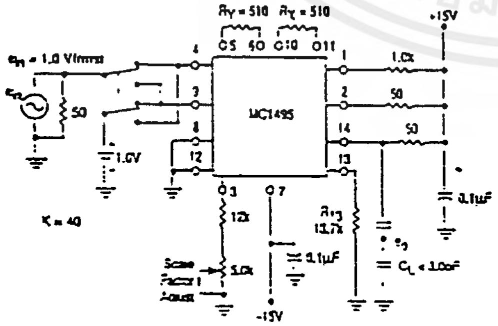
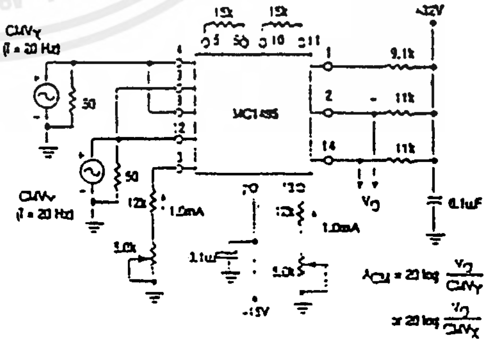


Figure 11. Common Mode Gain and Common Mode Input Swing



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1495, MC1595

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

Rating	Symbol	Value	Unit
Applied Voltage (V_2-V_1, $V_{14}-V_1$, V_1-V_9, V_1-V_{12}, V_1-V_4, V_1-V_8, $V_{12}-V_7$, V_9-V_7, V_8-V_7, V_4-V_7)	ΔV	30	Vdc
Differential Input Signal	$V_{12}-V_8$ V_4-V_9	$\pm(6+I_{13}R_X)$ $\pm(6+I_3R_Y)$	Vdc
Maximum Bias Current	I_3 I_{13}	10 10	mA
Power Dissipation (Package Limitation) D Suffix, Plastic Package Derate above T_A = +25°C J Suffix, Ceramic Package Derate above T_A = +25°C	 P_D P_D	 862 145 750 5.0	 mW mW/°C mW °C/W
Operating Temperature Range MC1495 MC1595	T_A	0 to +70 −55 to +125	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	−65 to +150	°C

Figure 4. Linearity (Using Null Technique)

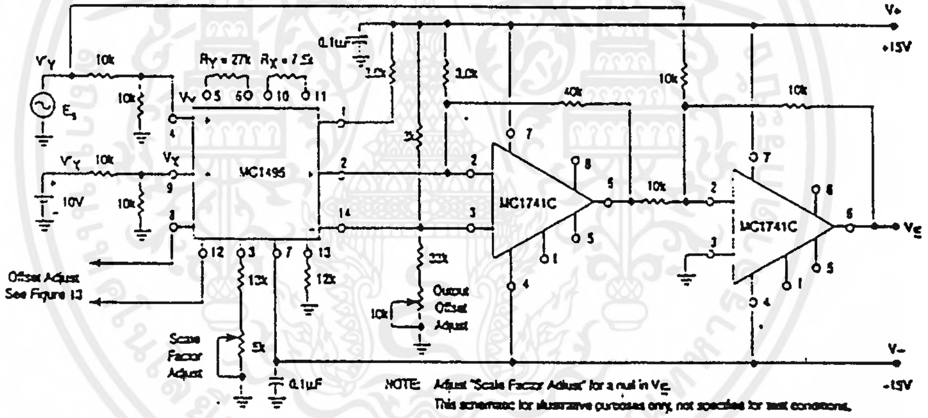
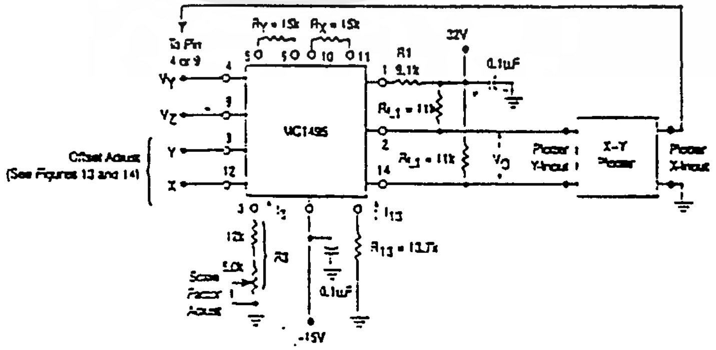


Figure 5. Linearity (Using X-Y Plotter Technique)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1495, MC1595

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.)

Characteristics	Figure	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Linearity (Output Error in percent of full scale)	5					%
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						
−10 < V_X < +10 (V_Y = ±10 V) MC1495		E_{RX}	—	±1.5	—	
−10 < V_Y < +10 (V_X = ±10 V)		E_{RY}	—	±3.0	—	
T_A = −55° 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	—	
Square Mode Error (Accuracy in percent of full scale after Offset and Scale Factor adjustment)	5	E_{SQ}				%
T_A = +25°C MC1495			—	±0.75	—	
MC1595			—	±0.5	—	
T_A = 0° to +70°C MC1495			—	±1.0	—	
T_A = −55° 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 $I_{bx} = \frac{(I_9 + I_{12})}{2}$, $I_{by} = \frac{(I_4 + I_8)}{2}$	5					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	$\lvert TC_{Iio}\rvert$				nA/°C
(T_A = 0° to +70°C) MC1495			—	2.5	—	
(T_A = −55° 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	$\lvert TC_{IOO}\rvert$				nA/°C
(T_A = 0° to +70°C) MC1495			—	20	—	
(T_A = −55° 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)		$T_{BW(3dB)}$	—	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_θ	—	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	8	V_O	—	±14	—	V_{pk}
Power Supply Sensitivity	12	S^+	—	5.0	—	mV/V
		S^-	—	10	—	
Power Supply Current	12	I_7	—	6.0	7.0	mA
DC Power Dissipation	12	P_D	—	135	170	mW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

MC1495
MC1595

Wideband Linear Four-Quadrant Multiplier

LINEAR FOUR-QUADRANT MULTIPLIER

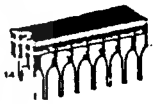
SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUIT

The MC1495/1595 is designed for use where the output is a linear product of two input voltages. Maximum versatility is assured by allowing the user to select the level shift method. Typical applications include: multiply, divide*, square root*, mean square*, phase detector, frequency doubler, balanced modulator/demodulator, and electronic gain control.

- Wide Bandwidth
- Excellent Linearity:
  2% max Error on X Input, 4% max Error on Y Input (MC1495)
  1% max Error on X Input, 2% max Error on Y Input (MC1595)
- Adjustable Scale Factor, K
- Excellent Temperature Stability
- Wide Input Voltage Range: ± 10 V
- ± 15 V Operation

*When used with an operational amplifier.

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



L SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 632

Figure 1. Multiplier Transfer Characteristic

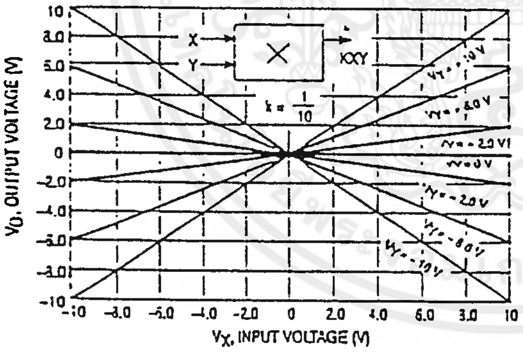


Figure 2. Transconductance Bandwidth

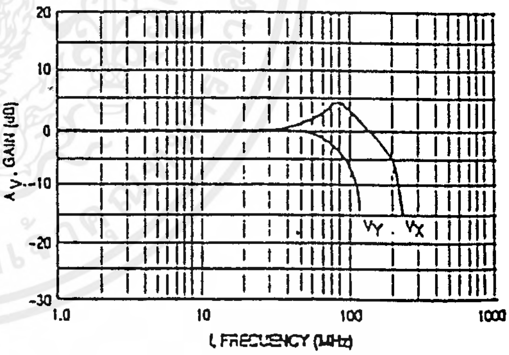
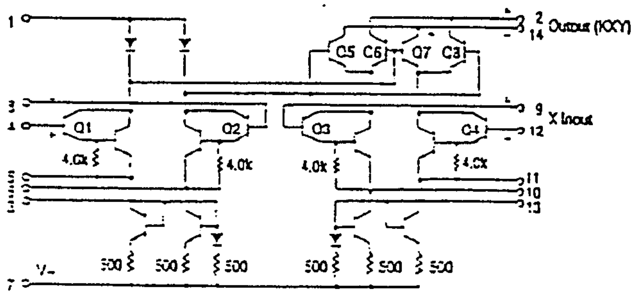


Figure 3. Circuit Schematic

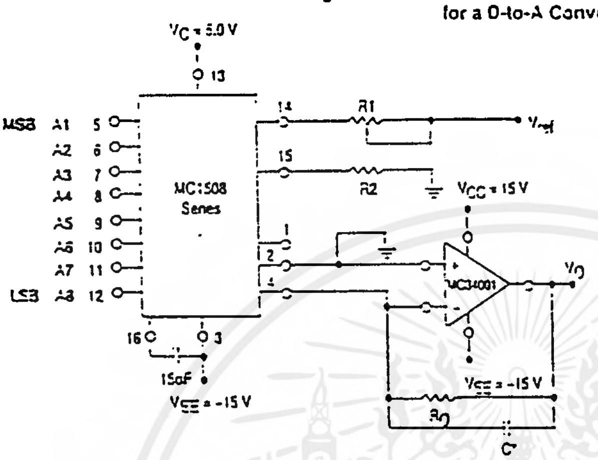


ORDERING INFORMATION

Device	Ambient Temperature Range	Package
MC1495D	0° to +70°C	SO-14
MC1595D		
MC1495L	-55° to +125°C	Ceramic DIP
MC1595L		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 14. Output Current to Voltage Transformation for a D-to-A Converter



Settling time to within 1/2 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}, R14 or R_O so that V_O with all digital inputs at high level is equal to 9.961 V.

$V_{ref} = 2.0$ Vdc
$R_1 = R_2 = 1.0\ k\Omega$
$R_O = 5.0\ k\Omega$

$$V_O = \frac{2.0\ V}{1.0\ k}(5.0\ k)\left[\frac{1}{2}+\frac{1}{4}+\frac{1}{3}+\frac{1}{16}+\frac{1}{32}+\frac{1}{64}+\frac{1}{128}+\frac{1}{256}\right]$$

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

Figure 15. Positive Peak Detector

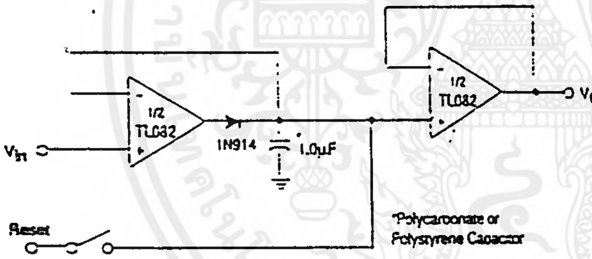
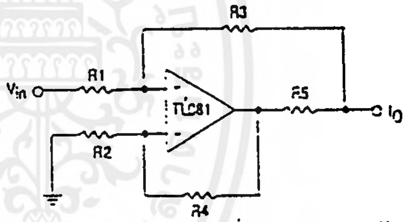
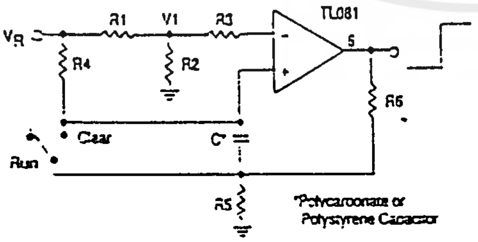


Figure 16. Voltage Controlled Current Source



If R1 through R4 >> R5 then $I_{out} = \frac{V_{in}}{R5}$

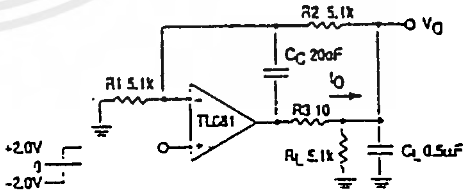
Figure 17. Long Interval RC Timer



*Time (t) = R4 C ln (V_R/V_R−V_1), R_3 = R_4, R_5 = 0.1 R_6
If R1 = R2: t = 0.693 R4C

Design Example: 100 Second Timer
V_R = 10 V C = 1.0 µF R3 = R4 = 144 M
R6 = 20 k R5 = 2.0 k R1 = R2 = 1.0 k

Figure 18. Isolating Large Capacitive Loads



- Overshoot < 10%
- t_s = 10 µs
- When driving large C_L, the V_O slew rate is determined by C_L and $I_{O(max)}$:

$$\frac{\Delta V_O}{\Delta t} = \frac{I_O}{C_L} = \frac{0.02}{0.5}$$ V/µs = 0.04 V/µs (with C_L shown)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ .

Figure 9. Large-Signal Voltage Gain and Phase Shift versus Frequency

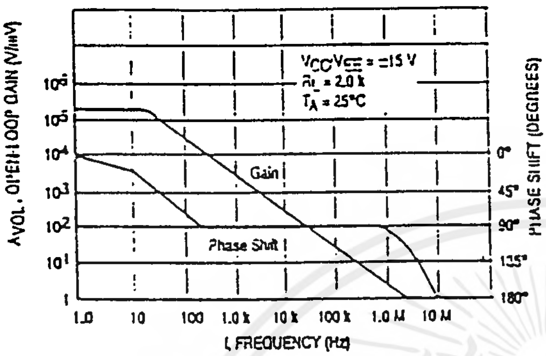


Figure 10. Large-Signal Voltage Gain versus Temperature

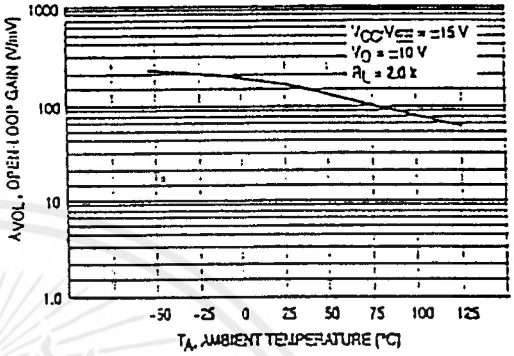


Figure 11. Normalized Slew Rate versus Temperature

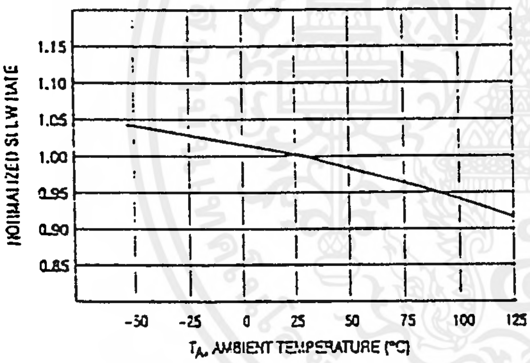


Figure 12. Equivalent Input Noise Voltage versus Frequency

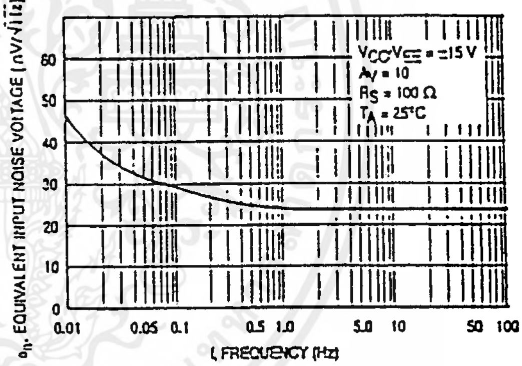
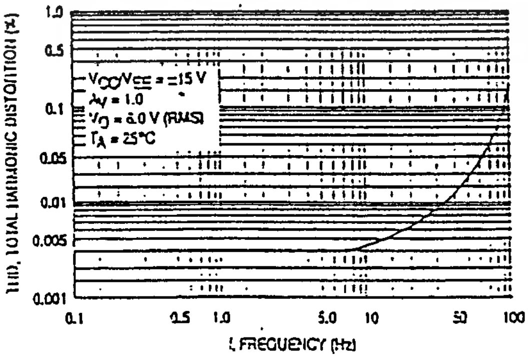


Figure 13. Total Harmonic Distortion versus Frequency



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL081, TL082, TL084

Figure 3. Input Bias Current versus Temperature

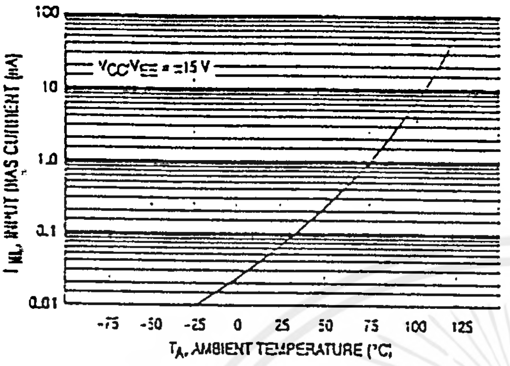


Figure 4. Output Voltage Swing versus Frequency

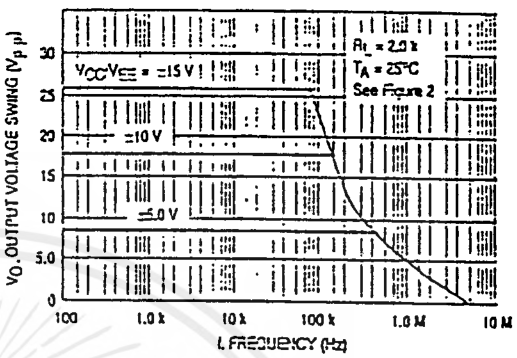


Figure 5. Output Voltage Swing versus Load Resistance

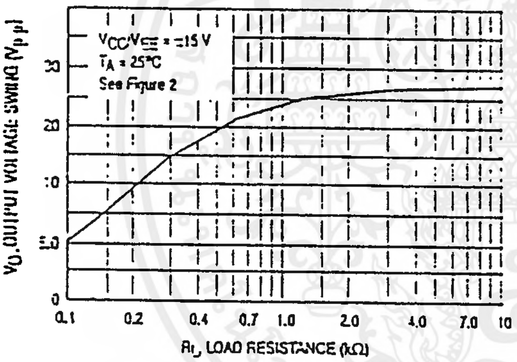


Figure 6. Output Voltage Swing versus Supply Voltage

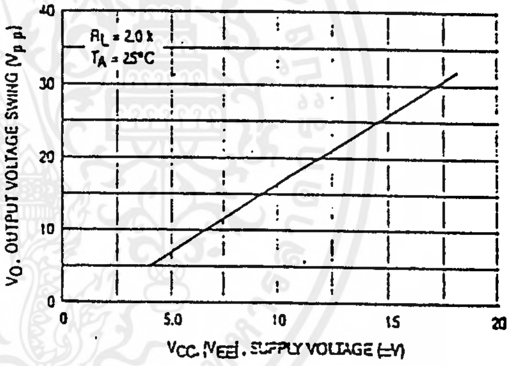


Figure 7. Output Voltage Swing versus Temperature

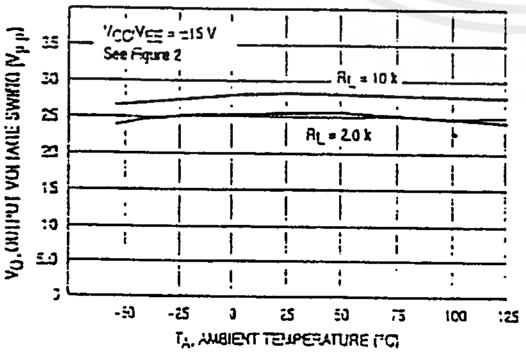
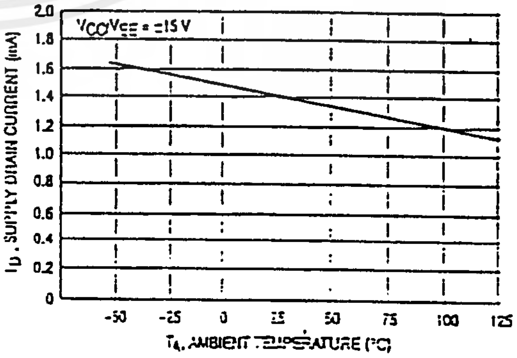


Figure 8. Supply Current per Amplifier versus Temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL081, TL082, TL084

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

Characteristics	Symbol	TL08_M Min	TL08_M Typ	TL08_M Max	TL08_C / TL08_AC Min	TL08_C / TL08_AC Typ	TL08_C / TL08_AC Max	Unit
Input Offset Voltage (R_S ≤ 10 k, V_{CM} = 0) TL081, TL082 TL084 TL08_A	V_{IO}	 — — —	 3.0 3.0 —	 6.0 9.0 —	 — — —	 5.0 5.0 3.0	 15 15 6.0	mV
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_ TL08_A	I_{IO}	 — —	 5.0 —	 100 —	 — —	 5.0 5.0	 200 100	pA
Input Bias Current (V_{CM} = 0) (Note 4) TL08_ TL08_A	I_{IB}	 — —	 30 —	 200 —	 — —	 30 30	 400 200	pA
Input Resistance	r_i	—	10^{12}	—	—	10^{12}	—	Ω
Common Mode Input Voltage Range TL08_ TL08_A	V_{ICR}	 ±11 —	 +15, −12 —	 — —	 ±10 ±11	 +15, −12 +15, −12	 — —	V
Large-Signal Voltage Gain (V_O = ±10 V, R_L ≥ 2.0 k) TL08_ TL08_A	A_{VOL}	 25 —	 150 —	 — —	 25 50	 150 150	 — —	V/mV
Output Voltage Swing (Peak-to-Peak) (R_L = 10 k)	V_O	24	28	—	24	28	—	V
Common Mode Rejection Ratio (R_S ≤ 10 k) TL08_ TL08_A	CMRR	 80 —	 100 —	 — —	 70 80	 100 100	 — —	dB
Supply Voltage Rejection Ratio (R_S ≤ 10 k) TL08_ TL08_A	PSRR	 80 —	 100 —	 — —	 70 80	 100 100	 — —	dB
Supply Current (Each Amplifier)	I_D	—	1.4	2.8	—	1.4	2.8	mA
Unity Gain Bandwidth	BW	—	4.0	—	—	4.0	—	MHz
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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Detailed Description

Analog Section

Figure 3 shows the Analog Section for the ICL7106 and ICL7107. Each measurement cycle is divided into three phases. They are (1) auto-zero (A-Z), (2) signal integrate (INT) and (3) de-integrate (DE).

Auto-Zero Phase

During auto-zero three things happen. First, input high and low are disconnected from the pins and internally shorted to analog COMMON. Second, the reference capacitor is charged to the reference voltage. Third, a feedback loop is closed around the system to charge the auto-zero capacitor C_{AZ} to compensate for offset voltages in the buffer amplifier, integrator, and comparator. Since the comparator is included in the loop, the A-Z accuracy is limited only by the noise of the system. In any case, the offset referred to the input is less than 10μV.

Signal Integrate Phase

During signal integrate, the auto-zero loop is opened, the internal short is removed, and the internal input high and low are connected to the external pins. The converter then integrates the differential voltage between IN HI and IN LO for a fixed time. This differential voltage can be within a wide common mode range: up to 1V from either supply. If, on the other hand, the input signal has no return with respect to the converter power supply, IN LO can be tied to analog COMMON to establish the correct common mode voltage. At the end of this phase, the polarity of the integrated signal is determined.

De-Integrate Phase

The final phase is de-integrate, or reference integrate. Input low is internally connected to analog COMMON and input high is connected across the previously charged reference capacitor. Circuitry within the chip ensures that the capacitor will be connected with the correct polarity to cause the integrator output to return to zero. The time required for the output to return to zero is proportional to the input signal. Specifically the digital reading displayed is:

$$\text{DISPLAY COUNT} = 1000\left(\frac{V_{IN}}{V_{REF}}\right).$$

Differential Input

The input can accept differential voltages anywhere within the common mode range of the input amplifier, or specifically from 0.5V below the positive supply to 1.0V above the negative supply. In this range, the system has a CMRR of 86dB typical. However, care must be exercised to assure the integrator output does not saturate. A worst case condition would be a large positive common mode voltage with a near full-scale negative differential input voltage. The negative input signal drives the integrator positive when most of its swing has been used up by the positive common mode voltage. For these critical applications the integrator output swing can be reduced to less than the recommended 2V full-scale swing with little loss of accuracy. The integrator output can swing to within 0.3V of either supply without loss of linearity.

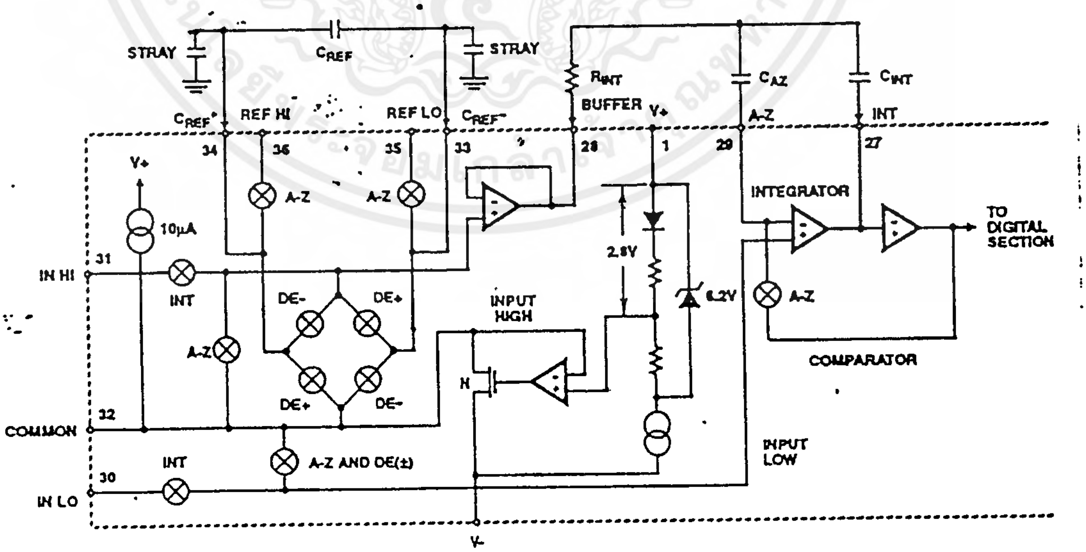


FIGURE 3. ANALOG SECTION OF ICL7106 AND ICL7107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Differential Reference

The reference voltage can be generated anywhere within the power supply voltage of the converter. The main source of common mode error is a roll-over voltage caused by the reference capacitor losing or gaining charge to stray capacity on its nodes. If there is a large common mode voltage, the reference capacitor can gain charge (increase voltage) when called up to de-integrate a positive signal but lose charge (decrease voltage) when called up to de-integrate a negative input signal. This difference in reference for positive or negative input voltage will give a roll-over error. However, by selecting the reference capacitor such that it is large enough in comparison to the stray capacitance, this error can be held to less than 0.5 count worst case. (See Component Value Selection.)

Analog COMMON

This pin is included primarily to set the common mode voltage for battery operation (ICL7106) or for any system where the input signals are floating with respect to the power supply. The COMMON pin sets a voltage that is approximately 2.8V more negative than the positive supply. This is selected to give a minimum end-of-life battery voltage of about 6V. However, analog COMMON has some of the attributes of a reference voltage. When the total supply voltage is large enough to cause the zener to regulate (>7V), the COMMON voltage will have a low voltage coefficient (0.001%/V), low output impedance (≅15Ω), and a temperature coefficient typically less than 80ppm/°C.

The limitations of the on chip reference should also be recognized, however. With the ICL7107, the internal heating which results from the LED drivers can cause some degradation in performance. Due to their higher thermal resistance, plastic parts are poorer in this respect than ceramic. The combination of reference Temperature Coefficient (TC), internal chip dissipation, and package thermal resistance can increase noise near full-scale from 25µV to 80µVp-p. Also the linearity in going from a high dissipation count such as 1000 (20 segments on) to a low dissipation count such as 1111(8 segments on) can suffer by a count or more. Devices with a positive TC reference may require several counts to pull out of an over-range condition. This is because over-range is a low dissipation mode, with the three least significant digits blanked. Similarly, units with a negative TC may cycle between over-range and a non-over-range count as the die alternately heats and cools. All these problems are of course eliminated if an external reference is used.

The ICL7106, with its negligible dissipation, suffers from none of these problems. In either case, an external reference can easily be added, as shown in Figure 4.

Analog COMMON is also used as the input low return during auto-zero and de-integrate. If IN LO is different from analog COMMON, a common mode voltage exists in the system and is taken care of by the excellent CMRR of the converter. However, in some applications IN LO will be set at a fixed known voltage (power supply common for instance). In this application, analog COMMON should be tied to the same point, thus removing the common mode voltage from the converter. The same holds true for the reference voltage. If reference can be conveniently tied to analog COMMON, it should be since this removes the common mode voltage from the reference system.

Within the IC, analog COMMON is tied to an N channel FET that can sink approximately 30mA of current to hold the voltage 2.8V below the positive supply (when a load is trying to pull the common line positive). However, there is only 10µA of source current, so COMMON may easily be tied to a more negative voltage thus overriding the internal reference.

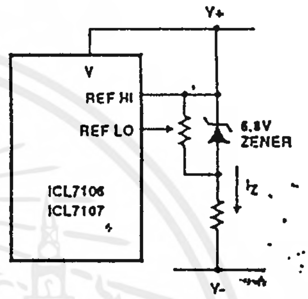


FIGURE 4A.

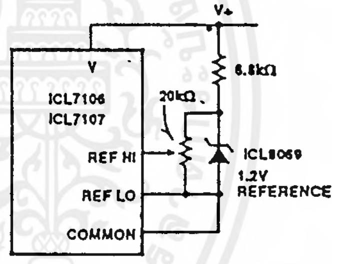


FIGURE 4B.

FIGURE 4. USING AN EXTERNAL REFERENCE

TEST

The TEST pin serves two functions. On the ICL7106 it is coupled to the internally generated digital supply through a 500Ω resistor. Thus it can be used as the negative supply for externally generated segment drivers such as decimal points or any other presentation the user may want to include on the LCD display. Figures 5 and 6 show such an application. No more than a 1mA load should be applied.

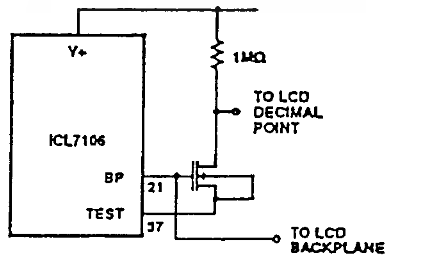


FIGURE 5. SIMPLE INVERTER FOR FIXED DECIMAL POINT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

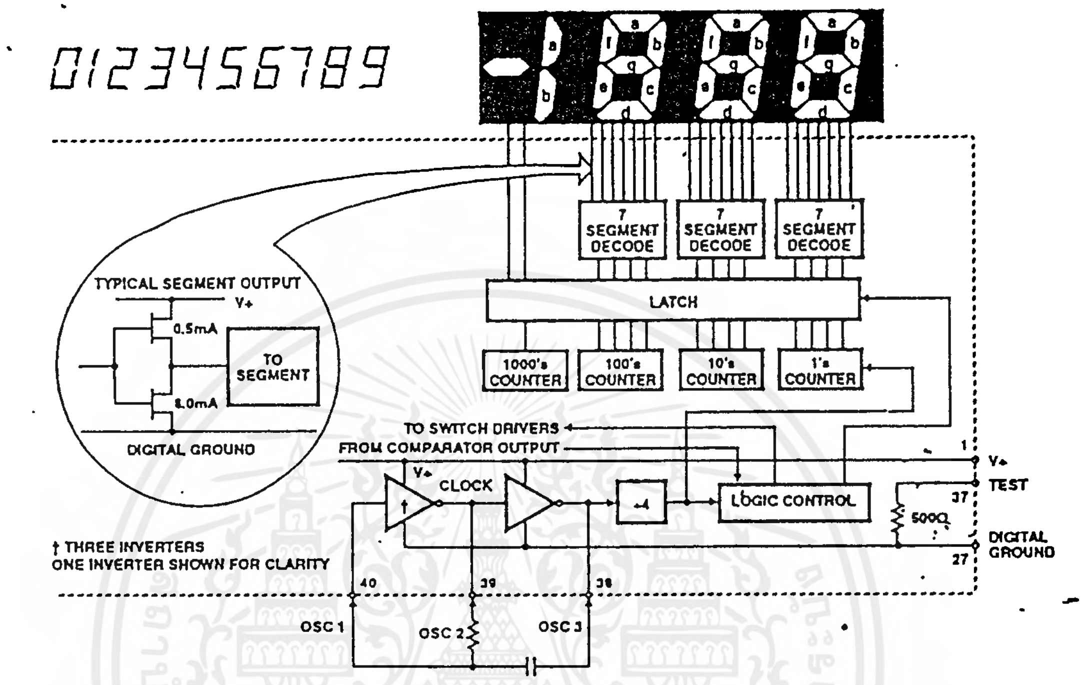


FIGURE 8. ICL7107 DIGITAL SECTION

System Timing

Figure 9 shows the clocking arrangement used in the ICL7106 and ICL7107. Two basic clocking arrangements can be used:

1. An external oscillator connected to pin 40.
2. An R-C oscillator using all three pins.

The oscillator frequency is divided by four before it clocks the decade counters. It is then further divided to form the three convert-cycle phases. These are signal integrate (1000 counts), reference de-integrate (0 to 2000 counts) and auto-zero (1000 to 3000 counts). For signals less than full-scale, auto-zero gets the unused portion of reference de-integrate. This makes a complete measure cycle of 4,000 counts (16,000 clock pulses) independent of input voltage. For three readings/second, an oscillator frequency of 48kHz would be used.

To achieve maximum rejection of 60Hz pickup, the signal integrate cycle should be a multiple of 60Hz. Oscillator frequencies of 240kHz, 120kHz, 80kHz, 60kHz, 48kHz, 40kHz, $33^1/_3$kHz, etc. should be selected. For 50Hz rejection, Oscillator frequencies of 200kHz, 100kHz, $66^2/_3$kHz, 50kHz, 40kHz, etc. would be suitable. Note that 40kHz (2.5 readings/second) will reject both 50Hz and 60Hz (also 400Hz and 440Hz).

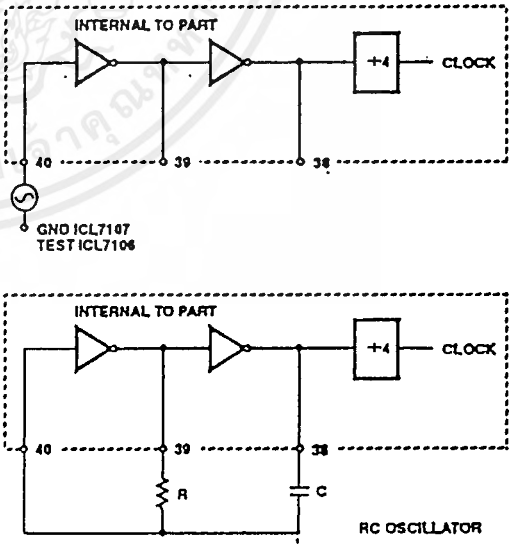


FIGURE 9. CLOCK CIRCUITS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The second function is a "lamp test". When TEST is pulled high (to V+) all segments will be turned on and the display should read "1888". The TEST pin will sink about 15mA under these conditions.

CAUTION: In the lamp test mode, the segments have a constant DC voltage (no square-wave). This may burn the LCD display if maintained for extended periods.

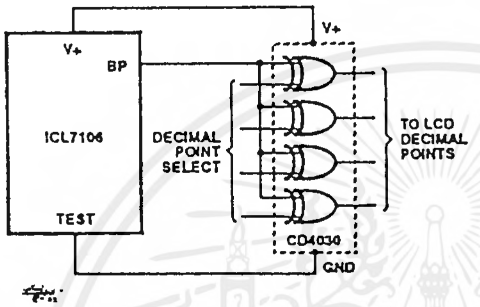


FIGURE 6. EXCLUSIVE 'OR' GATE FOR DECIMAL POINT DRIVE

Digital Section

Figures 7 and 8 show the digital section for the ICL7106 and ICL7107, respectively. In the ICL7106, an internal digital ground is generated from a 6V Zener diode and a large P-channel source follower. This supply is made stiff to absorb the relative large capacitive currents when the back plane (BP) voltage is switched. The BP frequency is the clock frequency divided by 800. For three readings/second this is a 60Hz square wave with a nominal amplitude of 5V. The segments are driven at the same frequency and amplitude and are in phase with BP when OFF, but out of phase when ON. In all cases negligible DC voltage exists across the segments.

Figure 8 is the Digital Section of the ICL7107. It is identical to the ICL7106 except that the regulated supply and back plane drive have been eliminated and the segment drive has been increased from 2mA to 8mA, typical for instrument size common anode LED displays. Since the 1000 output (pin 19) must sink current from two LED segments, it has twice the drive capability or 16mA.

In both devices, the polarity indication is "on" for negative analog inputs. If IN LO and IN HI are reversed, this indication can be reversed also, if desired.

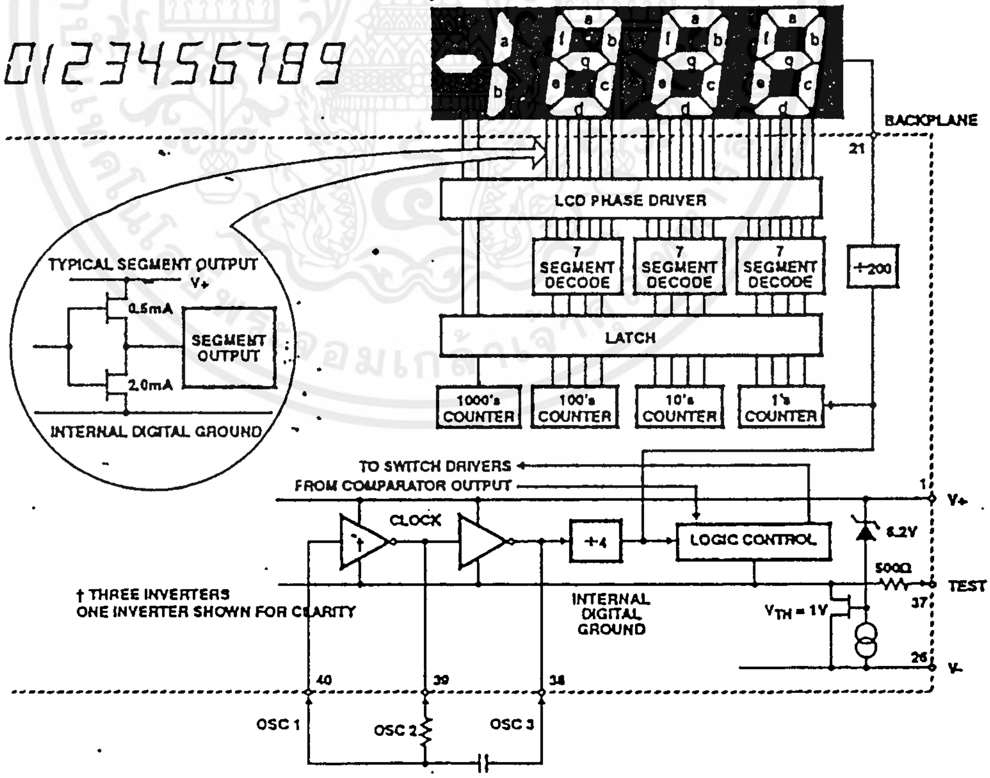


FIGURE 7. ICL7106 DIGITAL SECTION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications ICL7106, ICL7107

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage
- ICL7106, V+ to V- 15V
- ICL7107, V+ to GND 6V
- ICL7107, V- to GND .... -9V

Analog Input Voltage (Either Input) (Note 1) .... V+ to V-
Reference Input Voltage (Either Input) .... V+ to V-
Clock Input
- ICL7106 .... TEST to V+
- ICL7107 .... GND to V+

Thermal Information

Thermal Resistance (MAX, See Note 1) — θ_{JA}
- 40 Pin Plastic Package .... 50°C/W
- 44 Pin MQFP Package .... 80°C/W

Maximum Power Dissipation
- ICL7106 .... 1.0W
- ICL7107 .... 1.2W

Operating Temperature Range .... 0°C to +70°C
Storage Temperature Range .... -65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering 10s Max) .... +265°C
Junction Temperature .... +150°C

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

Electrical Specifications (Note 3)

PARAMETERS	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SYSTEM PERFORMANCE					
Zero Input Reading	V_{IN} = 0.0V, Full-Scale = 200mV	-000.0	±000.0	+000.0	Digital Reading
Ratiometric Reading	$V_{IN} = V_{REF}$, V_{REF} = 100mV	999	999/1000	1000	Digital Reading
Rollover Error	$-V_{IN} = +V_{IN} \cong$ 200mV Difference in Reading for Equal Positive and Negative Inputs Near Full-Scale	-	±0.2	±1	Counts
Linearity	Full-Scale = 200mV or Full-Scale = 2V Maximum Deviation from Best Straight Line Fit (Note 5)	-	±0.2	±1	Counts
Common Mode Rejection Ratio	V_{CM} = 1V, V_{IN} = 0V, Full-Scale = 200mV (Note 5)	-	50	-	µV/V
Noise	V_{IN} = 0V, Full-Scale = 200mV (Pk-Pk Value Not Exceeded 95% of Time)	-	15	-	µV
Leakage Current Input	V_{IN} = 0 (Note 5)	-	1	10	pA
Zero Reading Drift	V_{IN} = 0, 0° < T_A < +70°C (Note 5)	-	0.2	1	µV/°C
Scale Factor Temperature Coefficient	V_{IN} = 199mV, 0° < T_A < +70°C, (Ext. Ref. 0ppm/°C) (Note 5)	-	1	5	ppm/°C
End Power Supply Character V+ Supply Current	V_{IN} = 0 (Does Not Include LED Current for ICL7107)	-	0.8	1.8	mA
End Power Supply Character V- Supply Current	ICL7107 Only	-	0.6	1.8	mA
COMMON Pin Analog Common Voltage	25kΩ Between Common and Positive Supply (With Respect to + Supply)	2.4	2.8	3.2	V
Temperature Coefficient of Analog Common	25kΩ Between Common and Positive Supply (With Respect to + Supply)	-	80	-	ppm/°C
DISPLAY DRIVER ICL7106 ONLY					
Pk-Pk Segment Drive Voltage Pk-Pk Backplane Drive Voltage	V+ = to V- = 9V, (Note 4)	4	5	6	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HARRIS SEMICONDUCTOR

ICL7106, ICL7107

$3^1/_2$ Digit LCD/LED Display A/D Converter

December 1993

Features

- Guaranteed Zero Reading for 0V Input on All Scales
- True Polarity at Zero for Precise Null Detection
- 1pA Typical Input Current
- True Differential Input and Reference, Direct Display Drive
  - LCD ICL7106
  - LED ICL7107
- Low Noise - Less Than 15μVp-p
- On Chip Clock and Reference
- Low Power Dissipation - Typically Less Than 10mW
- No Additional Active Circuits Required
- New Small Outline Surface Mount Package Available

Ordering Information

PART NUMBER	TEMPERATURE RANGE	PACKAGE
ICL7106CPL	0°C to +70°C	40 Lead Plastic DIP
ICL7106RCPL	0°C to +70°C	40 Lead Plastic DIP (Note 1)
ICL7106CM44	0°C to +70°C	44 Lead Metric Plastic Quad Flatpack
ICL7107CPL	0°C to +70°C	40 Lead Plastic DIP
ICL7107RCPL	0°C to +70°C	40 Lead Plastic DIP (Note 1)
ICL7107CM44	0°C to +70°C	44 Lead Metric Plastic Quad Flatpack

NOTE: 1. "R" indicates device with reversed leads.

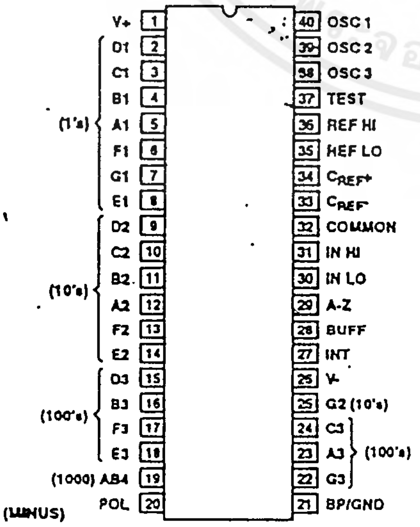
Description

The Harris ICL7106 and ICL7107 are high performance, low power $3^1/_2$ digit A/D converters. Included are seven segment decoders, display drivers, a reference, and a clock. The ICL7106 is designed to interface with a liquid crystal display (LCD) and includes a multiplexed backplane drive; the ICL7107 will directly drive an instrument size light emitting diode (LED) display.

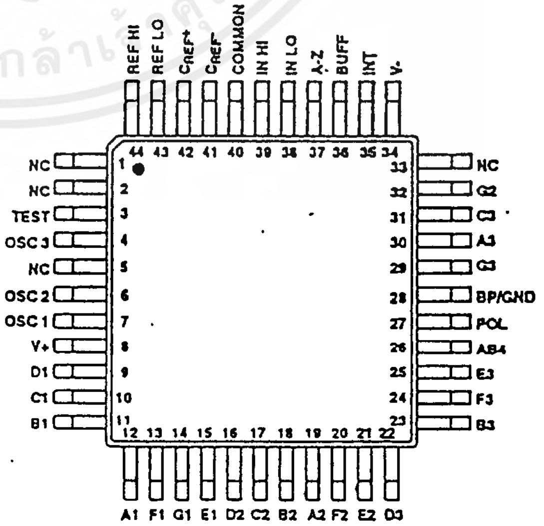
The ICL7106 and ICL7107 bring together a combination of high accuracy, versatility, and true economy. It features auto-zero to less than 10μV, zero drift of less than 1μV/°C, input bias current of 10pA max., and rollover error of less than one count. True differential inputs and reference are useful in all systems, but give the designer an uncommon advantage when measuring load cells, strain gauges and other bridge type transducers. Finally, the true economy of single power supply operation (ICL7106), enables a high performance panel meter to be built with the addition of only 10 passive components and a display.

Pinouts

ICL7106, ICL7107
(PDIP)
TOP VIEW



ICL7106, ICL7107
(MQFP)
TOP VIEW



CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Users should follow proper I.C. Handling Procedures.

File Number 3082

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Specifications (Note 3) (Continued)

PARAMETERS	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
ICL7107 ONLY					
Segment Sinking Current (Except Pin 19 and 20)	V+ = 5V, Segment Voltage = 3V	5	8	-	mA
Pin 19 Only		10	16	-	mA
Pin 20 Only		4	7	-	mA

NOTES:
1. Input voltages may exceed the supply voltages provided the input current is limited to ±100μA.
2. Dissipation rating assumes device is mounted with all leads soldered to printed circuit board.
3. Unless otherwise noted, specifications apply to both the ICL7106 and ICL7107 at T_A = +25°C, f_{CLOCK} = 48kHz. ICL7106 is tested in the circuit of Figure 1. ICL7107 is tested in the circuit of Figure 2.
4. Back plane drive is in phase with segment drive for 'off' segment, 180° out of phase for 'on' segment. Frequency is 20 times conversion rate. Average DC component is less than 50mV.
5. Not tested, guaranteed by design.

Typical Applications and Test Circuits

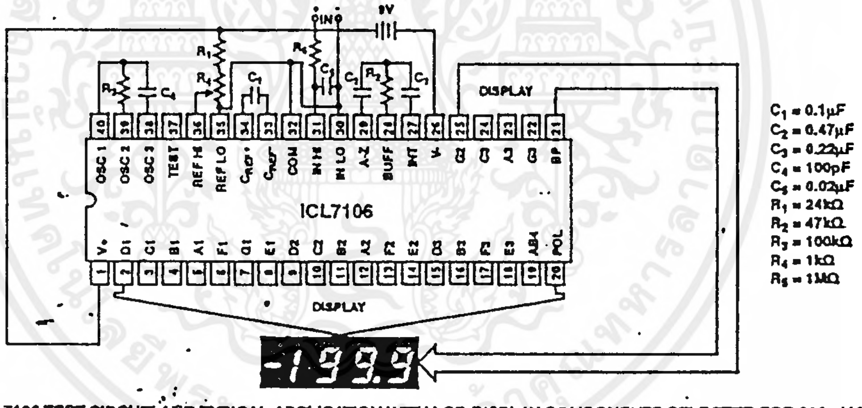


FIGURE 1. ICL7106 TEST CIRCUIT AND TYPICAL APPLICATION WITH LCD DISPLAY COMPONENTS SELECTED FOR 200mV FULL-SCALE

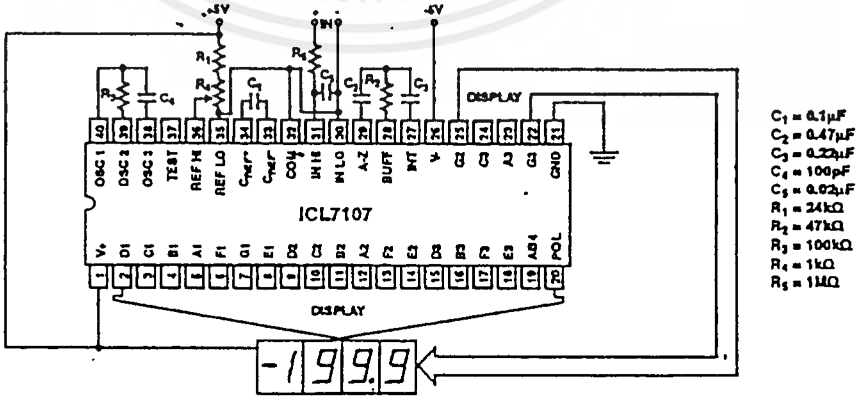


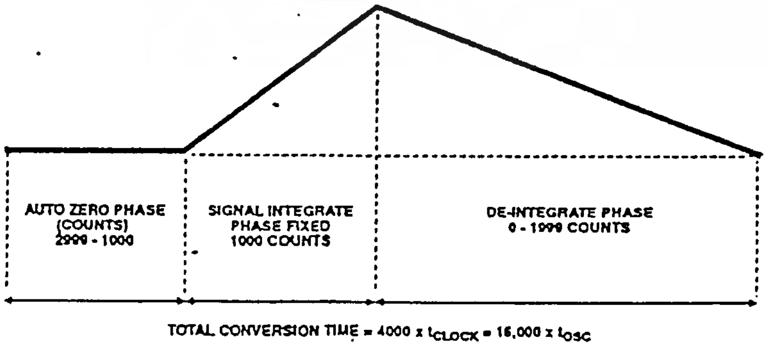
FIGURE 2. ICL7107 TEST CIRCUIT AND TYPICAL APPLICATION WITH LED DISPLAY COMPONENTS SELECTED FOR 200mV FULL-SCALE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design Information Summary Sheet

- OSCILLATOR FREQUENCY
  $f_{OSC} = 0.45/RC$
  $C_{OSC} > 50pF$; $R_{OSC} > 50K\Omega$
  f_{OSC} Typ. = 48KHz
- OSCILLATOR PERIOD
  $t_{OSC} = RC/0.45$
- INTEGRATION CLOCK FREQUENCY
  $f_{CLOCK} = f_{OSC}/4$
- INTEGRATION PERIOD
  $t_{INT} = 1000 \times (4/f_{OSC})$
- 60/50Hz REJECTION CRITERION
  t_{INT}/t_{60Hz} or t_{INT}/t_{60Hz} = Integer
- OPTIMUM INTEGRATION CURRENT
  $I_{INT} = 4.0\mu A$
- FULL-SCALE ANALOG INPUT VOLTAGE
  V_{INFS} Typically = 200mV or 2.0V
- INTEGRATE RESISTOR
  $$R_{INT} = \frac{V_{INFS}}{I_{INT}}$$
- INTEGRATE CAPACITOR
  $$C_{INT} = \frac{(t_{INT})(I_{INT})}{V_{INT}}$$
- INTEGRATOR OUTPUT VOLTAGE SWING
  $$V_{INT} = \frac{(t_{INT})(I_{INT})}{C_{INT}}$$
- V_{INT} MAXIMUM SWING:
  $(V- + 0.5V) < V_{INT} < (V+ - 0.5V)$, V_{INT} typically = 2.0V
- DISPLAY COUNT
  $$COUNT = 1000 \times \frac{V_{IN}}{V_{REF}}$$
- CONVERSION CYCLE
  $t_{CYC} = t_{CLOCK} \times 4000$
  $t_{CYC} = t_{OSC} \times 16{,}000$
  when $f_{OSC} = 48KHz$; $t_{CYC} = 333ms$
- COMMON MODE INPUT VOLTAGE
  $(V- + 1.0V) < V_{IN} < (V+ - 0.5V)$
- AUTO-ZERO CAPACITOR
  $0.01\mu F < C_{AZ} < 1.0\mu F$
- REFERENCE CAPACITOR
  $0.1\mu F < C_{REF} < 1.0\mu F$
- V_{COM}.
  Biased between Vi and V-.
- $V_{COM} \cong V+ - 2.8V$
  Regulation lost when V+ to V- < ≅6.8V.
  If V_{COM} is externally pulled down to (V + to V -)/2, the V_{COM} circuit will turn off.
- ICL7106 POWER SUPPLY: SINGLE 9V
  V+ - V- = 9V
  Digital supply is generated internally
  $V_{GND} \cong V+ - 4.5V$
- ICL7106 DISPLAY: LCD
  Type: Direct drive with digital logic supply amplitude.
- ICL7107 POWER SUPPLY: DUAL ±5.0V
  V+ = +5.0V to GND
  V- = -5.0V to GND
  Digital Logic and LED driver supply V+ to GND
- ICL7107 DISPLAY: LED
  Type: Non-Multiplexed Common Anode

Typical Integrator Amplifier Output Waveform (INT Pin)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HARRIS SEMICONDUCTOR

ICL7106, ICL7107

3$^1/_2$ Digit LCD/LED Display A/D Converter

December 1993

Features

- Guaranteed Zero Reading for 0V Input on All Scales
- True Polarity at Zero for Precise Null Detection
- 1pA Typical Input Current
- True Differential Input and Reference, Direct Display Drive
  - LCD ICL7106
  - LED ICL7107
- Low Noise - Less Than 15μVp-p
- On Chip Clock and Reference
- Low Power Dissipation - Typically Less Than 10mW
- No Additional Active Circuits Required
- New Small Outline Surface Mount Package Available

Ordering Information

PART NUMBER	TEMPERATURE RANGE	PACKAGE
ICL7106CPL	0°C to +70°C	40 Lead Plastic DIP
ICL7106RCPL	0°C to +70°C	40 Lead Plastic DIP (Note 1)
ICL7106CM44	0°C to +70°C	44 Lead Metric Plastic Quad Flatpack
ICL7107CPL	0°C to +70°C	40 Lead Plastic DIP
ICL7107RCPL	0°C to +70°C	40 Lead Plastic DIP (Note 1)
ICL7107CM44	0°C to +70°C	44 Lead Metric Plastic Quad Flatpack

NOTE: 1. "R" indicates device with reversed leads.

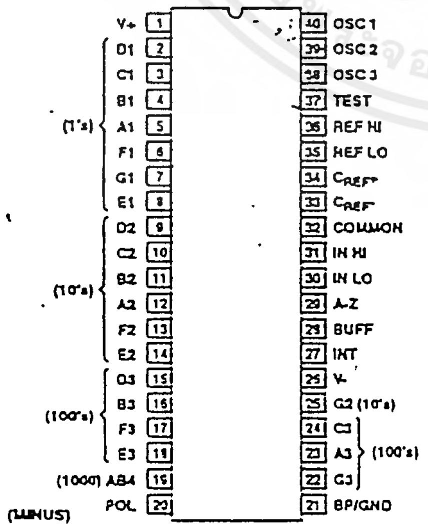
Description

The Harris ICL7106 and ICL7107 are high performance, low power 3$^1/_2$ digit A/D converters. Included are seven segment decoders, display drivers, a reference, and a clock. The ICL7106 is designed to interface with a liquid crystal display (LCD) and includes a multiplexed backplane drive; the ICL7107 will directly drive an instrument size light emitting diode (LED) display.

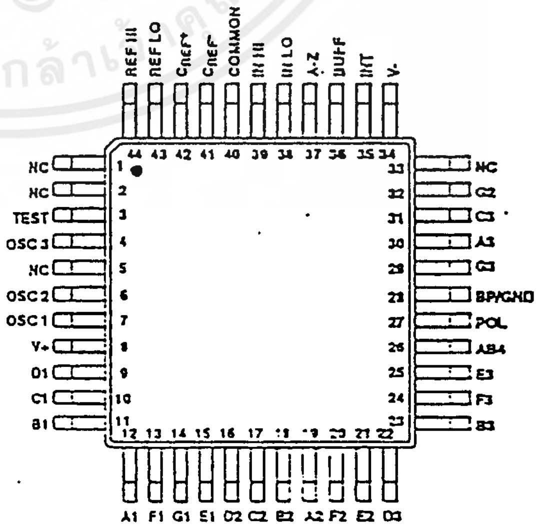
The ICL7106 and ICL7107 bring together a combination of high accuracy, versatility, and true economy. It features auto-zero to less than 10μV, zero drift of less than 1μV/°C, input bias current of 10pA max., and rollover error of less than one count. True differential inputs and reference are useful in all systems, but give the designer an uncommon advantage when measuring load cells, strain gauges and other bridge type transducers. Finally, the true economy of single power supply operation (ICL7106), enables a high performance panel meter to be built with the addition of only 10 passive components and a display.

Pinouts

ICL7106, ICL7107
(PDIP)
TOP VIEW



ICL7106, ICL7107
(MQFP)
TOP VIEW



CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Users should follow proper I.C. Handling Procedures.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ .

Component Value Selection

Integrating Resistor

Both the buffer amplifier and the integrator have a class A output stage with 100μA of quiescent current. They can supply 4μA of drive current with negligible nonlinearity. The integrating resistor should be large enough to remain in this very linear region over the input voltage range, but small enough that undue leakage requirements are not placed on the PC board. For 2V full-scale, 470kΩ is near optimum and similarly a 47kΩ for a 200mV scale.

Integrating Capacitor

The integrating capacitor should be selected to give the maximum voltage swing that ensures tolerance buildup will not saturate the integrator swing (approximately. 0.3V from either supply). In the ICL7106 or the ICL7107, when the analog COMMON is used as a reference, a nominal +2V full-scale integrator swing is fine. For the ICL7107 with +5V supplies and analog COMMON tied to supply ground, a ±3.5V to +4V swing is nominal. For three readings/second (48kHz clock) nominal values for C_{INT} are 0.22μF and 0.10μF, respectively. Of course, if different oscillator frequencies are used, these values should be changed in inverse proportion to maintain the same output swing.

An additional requirement of the integrating capacitor is that it must have a low dielectric absorption to prevent roll-over errors. While other types of capacitors are adequate for this application, polypropylene capacitors give undetectable errors at reasonable cost.

Auto-Zero Capacitor

The size of the auto-zero capacitor has some influence on the noise of the system. For 200mV full-scale where noise is very important, a 0.47μF capacitor is recommended. On the 2V scale, a 0.047μF capacitor increases the speed of recovery from overload and is adequate for noise on this scale.

Reference Capacitor

A 0.1μF capacitor gives good results in most applications. However, where a large common mode voltage exists (i.e. the REF LO pin is not at analog COMMON) and a 200mV scale is used, a larger value is required to prevent roll-over error. Generally 1.0μF will hold the roll-over error to 0.5 count in this instance.

Oscillator Components

For all ranges of frequency a 100kΩ resistor is recommended and the capacitor is selected from the equation

$f = \frac{0.45}{RC}$ For 48kHz Clock (3 Readings/second),

C = 100pF

Reference Voltage

The analog input required to generate full-scale output (2000 counts) is: $V_{IN} = 2V_{REF}$. Thus, for the 200mV and 2V scale, V_{REF} should equal 100mV and 1V, respectively. However, in many applications where the A/D is connected to a transducer, there will exist a scale factor other than unity between the input voltage and the digital reading. For instance, in a weighing system, the designer might like to have a full-scale reading when the voltage from the transducer is 0.662V. Instead of dividing the input down to 200mV, the designer should use the input voltage directly and select V_{REF} = 0.341V. Suitable values for integrating resistor and capacitor would be 120kΩ and 0.22μF. This makes the system slightly quieter and also avoids a divider network on the input. The ICL7107 with ±5V supplies can accept input signals up to ±4V. Another advantage of this system occurs when a digital reading of zero is desired for $V_{IN} \neq 0$. Temperature and weighing systems with a variable tare are examples. This offset reading can be conveniently generated by connecting the voltage transducer between IN HI and COMMON and the variable (or fixed) offset voltage between COMMON and IN LO.

ICL7107 Power Supplies

The ICL7107 is designed to work from ±5V supplies. However, if a negative supply is not available, it can be generated from the clock output with 2 diodes, 2 capacitors, and an inexpensive I.C. Figure 10 shows this application. See ICL7660 data sheet for an alternative.

In fact, in selected applications no negative supply is required. The conditions to use a single +5V supply are:

1. The input signal can be referenced to the center of the common mode range of the converter.
2. The signal is less than ±1.5V.
3. An external reference is used.

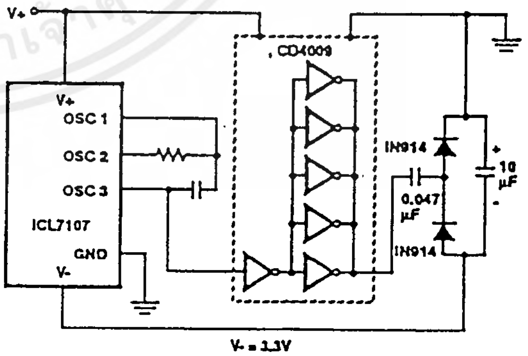


FIGURE 10. GENERATING NEGATIVE SUPPLY FROM +5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications

The ICL7106 and ICL7107 may be used in a wide variety of configurations. The circuits which follow show some of the possibilities, and serve to illustrate the exceptional versatility of these A/D converters.

The following application notes contain very useful information on understanding and applying this part and are available from Harris semiconductor.

Application Notes

A016 "Selecting A/D Converters"

A017 "The Integrating A/D Converter"

A018 "Do's and Don'ts of Applying A/D Converters"

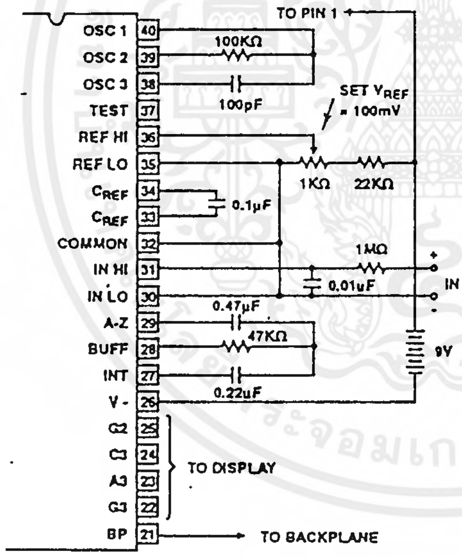
A023 "Low Cost Digital Panel Meter Designs"

A032 "Understanding the Auto-Zero and Common Mode Performance of the ICL7106/7/9 Family"

A046 "Building a Battery-Operated Auto Ranging DVM with the ICL7106"

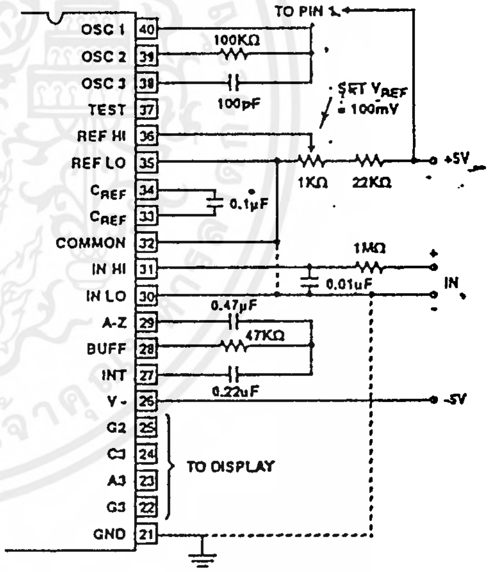
A052 "Tips for Using Single Chip $3^1/_2$ Digit A/D Converters"

Typical Applications



Values shown are for 200mV full-scale, 3 readings/sec., floating supply voltage (9V battery).

FIGURE 11. ICL7106 USING THE INTERNAL REFERENCE

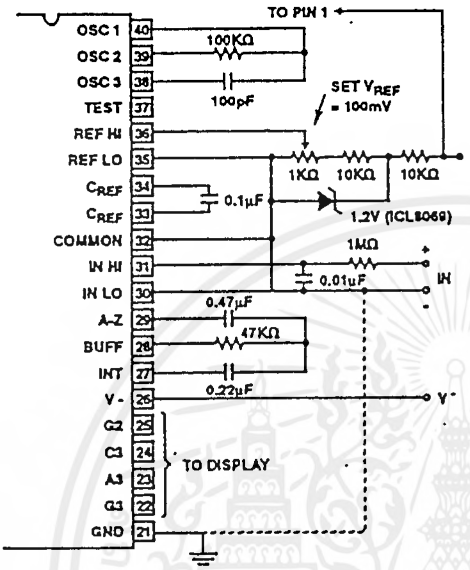


Values shown are for 200mV full-scale, 3 readings/sec. IN LO may be tied to either COMMON for inputs floating with respect to supplies, or GND for single ended inputs. (See discussion under Analog COMMON.)

FIGURE 12. ICL7107 USING THE INTERNAL REFERENCE

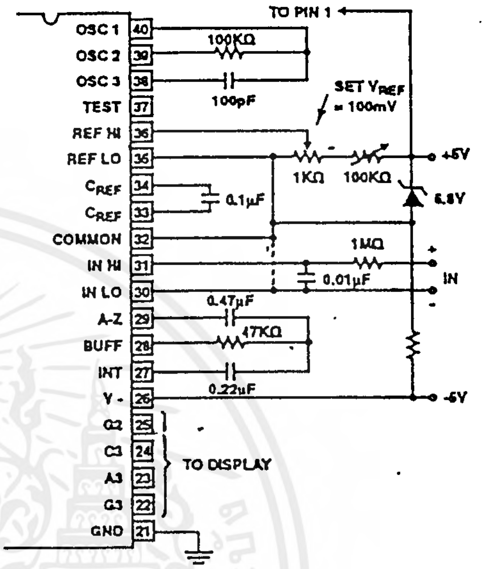
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)



IN LO is tied to supply COMMON establishing the correct common mode voltage. If COMMON is not shorted to GND, the input voltage may float with respect to the power supply and COMMON acts as a pre-regulator for the reference. If COMMON is shorted to GND, the input is single ended (referred to supply GND) and the pre-regulator is overridden.

FIGURE 13. ICL7107 WITH AN EXTERNAL BAND-GAP REFERENCE (1.2V TYPE)



Since low TC zeners have breakdown voltages ~ 6.8V, diode must be plasced across the total supply (10V). As in the case of Figure 14, IN LO may be tied to either COMMON or GND

FIGURE 14. ICL7107 WITH ZENER DIODE REFERENCE

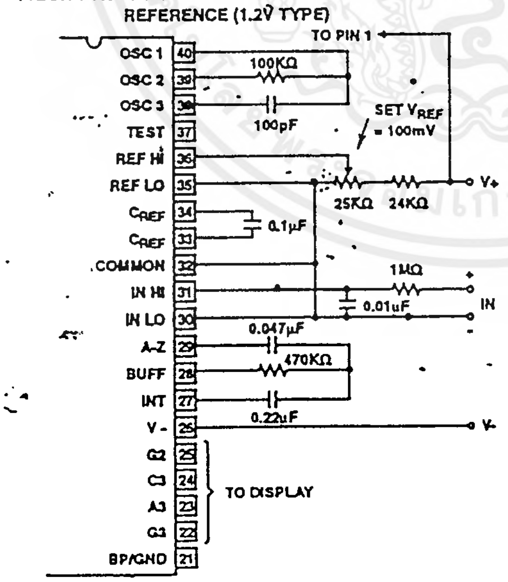
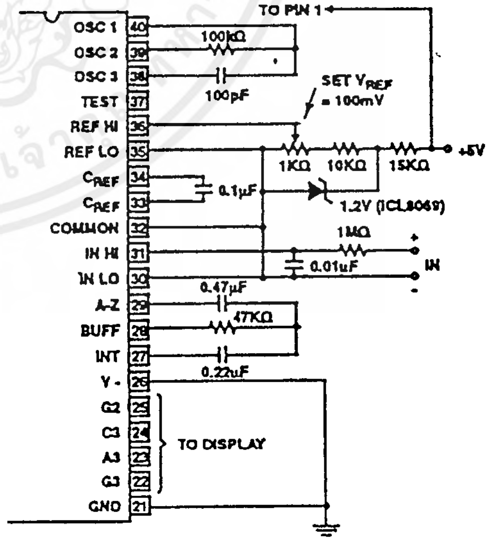


FIGURE 15. ICL7106 AND ICL7107: RECOMMENDED COMPONENT VALUES FOR 2.0V FULL-SCALE



An external reference must be used in this application, since the voltage between V+ and V- is insufficient for correct operation of the internal reference.

FIGURE 16. ICL7107 OPERATED FROM SINGLE +5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL081, TL082, TL084

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	TL08_M	TL08_C TL08_AC	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_{SC}	Continuous		
Power Dissipation Plastic Package (N, P) Derate above T_A = +47°C Ceramic Package (J, JG) 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 V, 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 = T_{low} to T_{high} [Note 3].)

Characteristics	Symbol	TL08_M Min	TL08_M Typ	TL08_M Max	TL08_C / TL08_AC Min	TL08_C / TL08_AC Typ	TL08_C / TL08_AC 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	
Input Offset Current (V_{CM} = 0) (Note 4)	I_{IO}							nA
TL08_		—	—	20	—	—	5.0	
TL08_A		—	—	—	—	—	3.0	
Input Bias Current (V_{CM} = 0) (Note 4)	I_{IB}							nA
TL08_		—	—	50	—	—	10	
TL08_A		—	—	—	—	—	7.0	
Large-Signal Voltage Gain (V_O = ±10 V, R_L ≥ 2.0 k)	A_{VOL}							V/mV
TL08_		15	—	—	15	—	—	
TL08_A		—	—	—	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; 0°C for TL081C, TL081AC, TL082C, TL082AC, TL084C, TL084AC
   T_{high} = +125°C for TL081M, TL082M, TL084M
   T_{high} = +70°C for TL081C, TL081AC, TL082C, TL082AC, TL084C, TL084AC
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 testing.

Figure 1. Unity Gain Voltage Follower

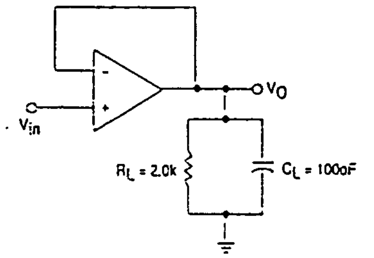
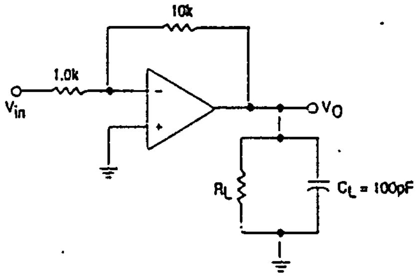


Figure 2. Inverting Gain of 10 Amplifier



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

TL081
TL082
TL084

JFET Input Operational Amplifiers

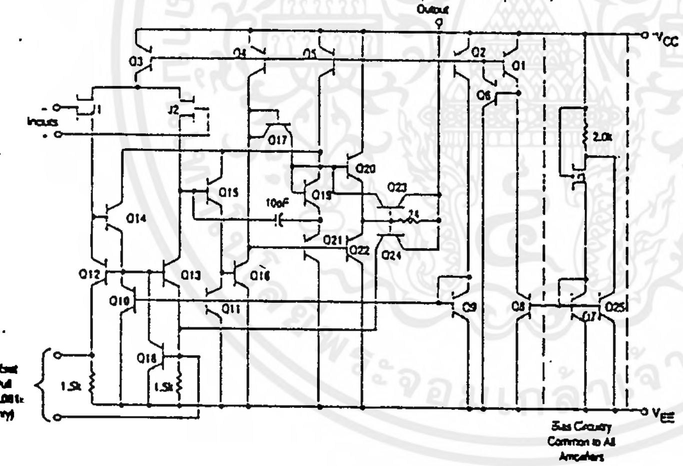
JFET INPUT
OPERATIONAL AMPLIFIERS

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° to +125°C and those with a "C" suffix are specified from 0° to +70°C.

- Input Offset Voltage Options of 6.0 mV 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

Representative Circuit Schematic (Each Amplifier)

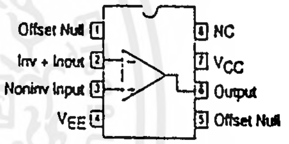


P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 626

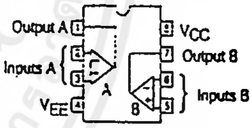
JG SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 693

D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751
(SO-8)

PIN CONNECTIONS



TL081 (Top View)

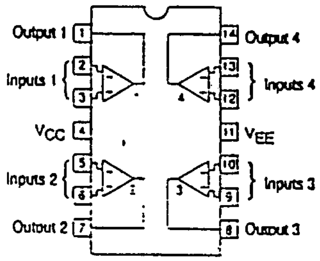


TL082 (Top View)

N SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 632
(TL084 Only)

J SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646
(TL084 Only)

PIN CONNECTIONS



TL084 (Top View)

ORDERING INFORMATION

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL081, TL082, TL084

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	TL08_M	TL08_C TL08_AC	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_{SC}	Continuous		
Power Dissipation				
Plastic Package (N, P)	P_D	—	680	mW
Derate above T_A = +47°C	$1/\theta_{JA}$	—	10	mW/°C
Ceramic Package (J, JG)	P_D	680	680	mW
Derate above T_A = +82°C	$1/\theta_{JA}$	10	10	mW/°C
Operating Ambient Temperature Range	T_A	−55 to +125	0 to +70	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	−55 to +150	−55 to +150	°C

NOTES: 1. The magnitude of the input voltage must not exceed the magnitude of the supply voltage or 15 V, 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 = T_{low} to T_{high} [Note 3].)

Characteristics	Symbol	TL08_M Min	TL08_M Typ	TL08_M Max	TL08_C TL08_AC Min	TL08_C TL08_AC Typ	TL08_C TL08_AC 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	
Input Offset Current (V_{CM} = 0) (Note 4)	I_{IO}							nA
TL08_		—	—	20	—	—	5.0	
TL08_A		—	—	—	—	—	3.0	
Input Bias Current (V_{CM} = 0) (Note 4)	I_{IB}							nA
TL08_		—	—	50	—	—	10	
TL08_A		—	—	—	—	—	7.0	
Large-Signal Voltage Gain (V_O = ±10 V, R_L ≥ 2.0 k)	A_{VOL}							V/mV
TL08_		15	—	—	15	—	—	
TL08_A		—	—	—	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; 0°C for TL081C, TL081AC, TL082C, TL082AC, TL084C, TL084AC
T_{high} = +125°C for TL081M, TL082M, TL084M; T_{high} = +70°C for TL081C, TL081AC, TL082C, TL082AC, TL084C, TL084AC
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 testing.

Figure 1. Unity Gain Voltage Follower

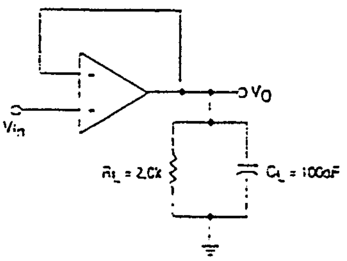
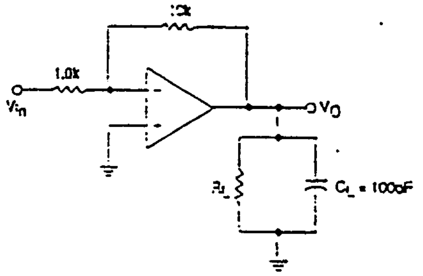
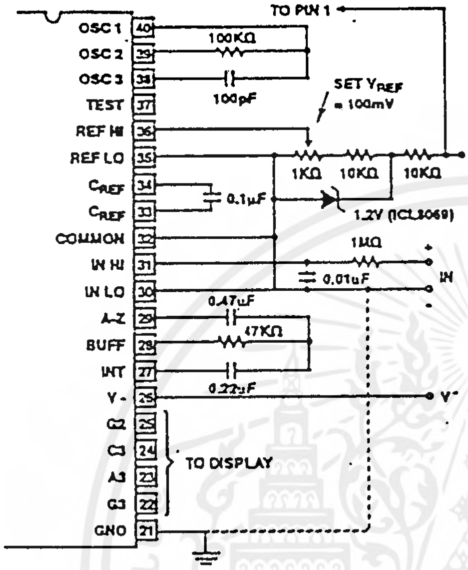


Figure 2. Inverting Gain of 10 Amplifier



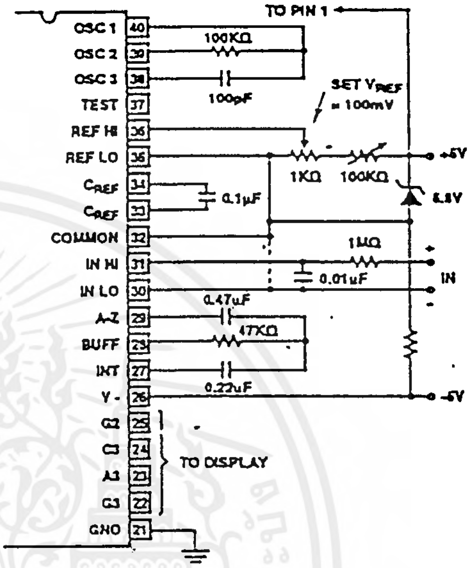
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)



IN LO is tied to supply COMMON establishing the correct common mode voltage. If COMMON is not shorted to GND, the input voltage may float with respect to the power supply and COMMON acts as a pre-regulator for the reference. If COMMON is shorted to GND, the input is single ended (referred to supply GND) and the pre-regulator is overridden.

FIGURE 13. ICL7107 WITH AN EXTERNAL BAND-GAP REFERENCE (1.2V TYPE)



Since low TC zeners have breakdown voltages ~ 6.8V, diode must be plasced across the total supply (10V). As in the case of Figure 14, IN LO may be tied to either COMMON or GND

FIGURE 14. ICL7107 WITH ZENER DIODE REFERENCE

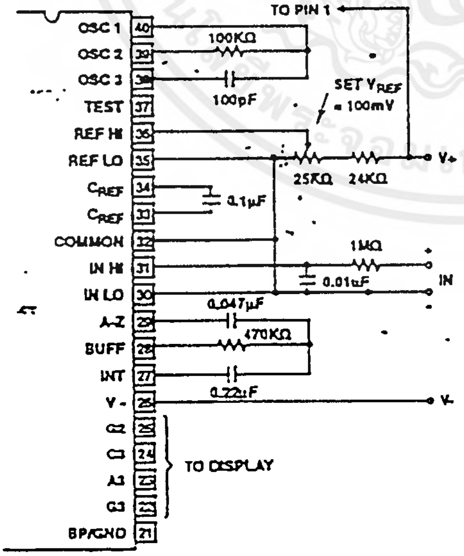
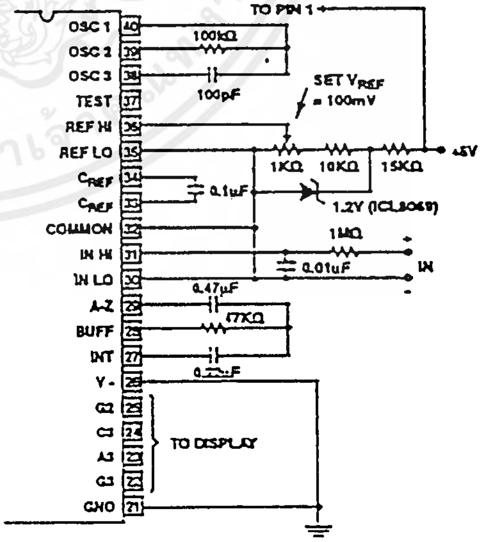


FIGURE 15. ICL7106 AND ICL7107: RECOMMENDED COMPONENT VALUES FOR 2.0V FULL-SCALE



An external reference must be used in this application, since the voltage between V+ and V- is insufficient for correct operation of the internal reference.

FIGURE 16. ICL7107 OPERATED FROM SINGLE +5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications

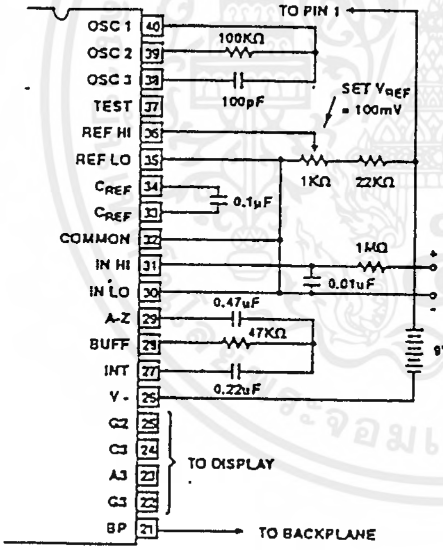
The ICL7106 and ICL7107 may be used in a wide variety of configurations. The circuits which follow show some of the possibilities, and serve to illustrate the exceptional versatility of these A/D converters.

The following application notes contain very useful information on understanding and applying this part and are available from Harris semiconductor.

Application Notes

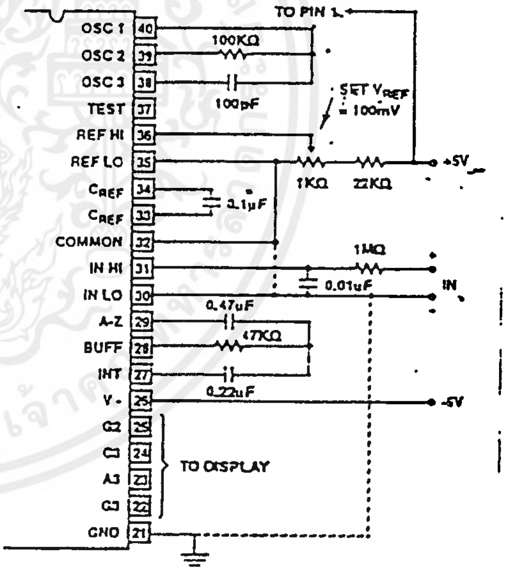
- A016 "Selecting A/D Converters"
- A017 "The Integrating A/D Converter"
- A018 "Do's and Don'ts of Applying A/D Converters"
- A023 "Low Cost Digital Panel Meter Designs"
- A032 "Understanding the Auto-Zero and Common Mode Performance of the ICL7106/7/9 Family"
- A046 "Building a Battery-Operated Auto Ranging DVM with the ICL7106"
- A052 "Tips for Using Single Chip $3^1/_2$ Digit A/D Converters"

Typical Applications



Values shown are for 200mV full-scale, 3 readings/sec., floating supply voltage (9V battery).

FIGURE 11. ICL7106 USING THE INTERNAL REFERENCE



Values shown are for 200mV full-scale, 3 readings/sec. IN LO may be tied to either COMMON for inputs floating with respect to supplies, or GND for single ended inputs. (See discussion under Analog COMMON.)

FIGURE 12. ICL7107 USING THE INTERNAL REFERENCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Component Value Selection

Integrating Resistor

Both the buffer amplifier and the integrator have a class A output stage with 100μA of quiescent current. They can supply 4μA of drive current with negligible nonlinearity. The integrating resistor should be large enough to remain in this very linear region over the input voltage range, but small enough that undue leakage requirements are not placed on the PC board. For 2V full-scale, 470kΩ is near optimum and similarly a 47kΩ for a 200mV scale.

Integrating Capacitor

The integrating capacitor should be selected to give the maximum voltage swing that ensures tolerance buildup will not saturate the integrator swing (approximately. 0.3V from either supply). In the ICL7106 or the ICL7107, when the analog COMMON is used as a reference, a nominal +2V full-scale integrator swing is fine. For the ICL7107 with +5V supplies and analog COMMON tied to supply ground, a ±3.5V to +4V swing is nominal. For three readings/second (48kHz clock) nominal values for C_{INT} are 0.22μF and 0.10μF, respectively. Of course, if different oscillator frequencies are used, these values should be changed in inverse proportion to maintain the same output swing.

An additional requirement of the integrating capacitor is that it must have a low dielectric absorption to prevent roll-over errors. While other types of capacitors are adequate for this application, polypropylene capacitors give undetectable errors at reasonable cost.

Auto-Zero Capacitor

The size of the auto-zero capacitor has some influence on the noise of the system. For 200mV full-scale where noise is very important, a 0.47μF capacitor is recommended. On the 2V scale, a 0.047μF capacitor increases the speed of recovery from overload and is adequate for noise on this scale.

Reference Capacitor

A 0.1μF capacitor gives good results in most applications. However, where a large common mode voltage exists (i.e. the REF LO pin is not at analog COMMON) and a 200mV scale is used, a larger value is required to prevent roll-over error. Generally 1.0μF will hold the roll-over error to 0.5 count in this instance.

Oscillator Components

For all ranges of frequency a 100kΩ resistor is recommended and the capacitor is selected from the equation

$$f = \frac{0.45}{RC} \text{ For 48kHz Clock (3 Readings/second).}$$

C = 100pF

Reference Voltage

The analog input required to generate full-scale output (2000 counts) is: $V_{IN} = 2V_{REF}$. Thus, for the 200mV and 2V scale, V_{REF} should equal 100mV and 1V, respectively. However, in many applications where the A/D is connected to a transducer, there will exist a scale factor other than unity between the input voltage and the digital reading. For instance, in a weighing system, the designer might like to have a full-scale reading when the voltage from the transducer is 0.662V. Instead of dividing the input down to 200mV, the designer should use the input voltage directly and select V_{REF} = 0.341V. Suitable values for integrating resistor and capacitor would be 120kΩ and 0.22μF. This makes the system slightly quieter and also avoids a divider network on the input. The ICL7107 with ±5V supplies can accept input signals up to ±4V. Another advantage of this system occurs when a digital reading of zero is desired for $V_{IN} \neq 0$. Temperature and weighing systems with a variable tare are examples. This offset reading can be conveniently generated by connecting the voltage transducer between IN HI and COMMON and the variable (or fixed) offset voltage between COMMON and IN LO.

ICL7107 Power Supplies

The ICL7107 is designed to work from ±5V supplies. However, if a negative supply is not available, it can be generated from the clock output with 2 diodes, 2 capacitors, and an inexpensive I.C. Figure 10 shows this application. See ICL7660 data sheet for an alternative.

In fact, in selected applications no negative supply is required. The conditions to use a single +5V supply are:

1. The input signal can be referenced to the center of the common mode range of the converter.
2. The signal is less than ±1.5V.
3. An external reference is used.

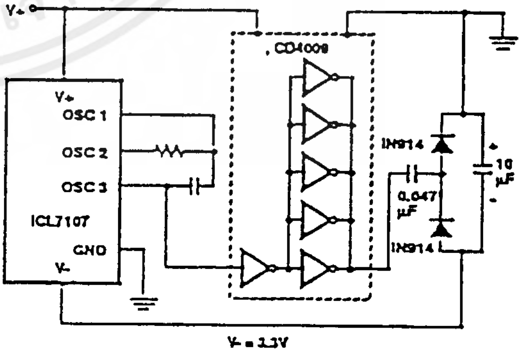


FIGURE 10. GENERATING NEGATIVE SUPPLY FROM +5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

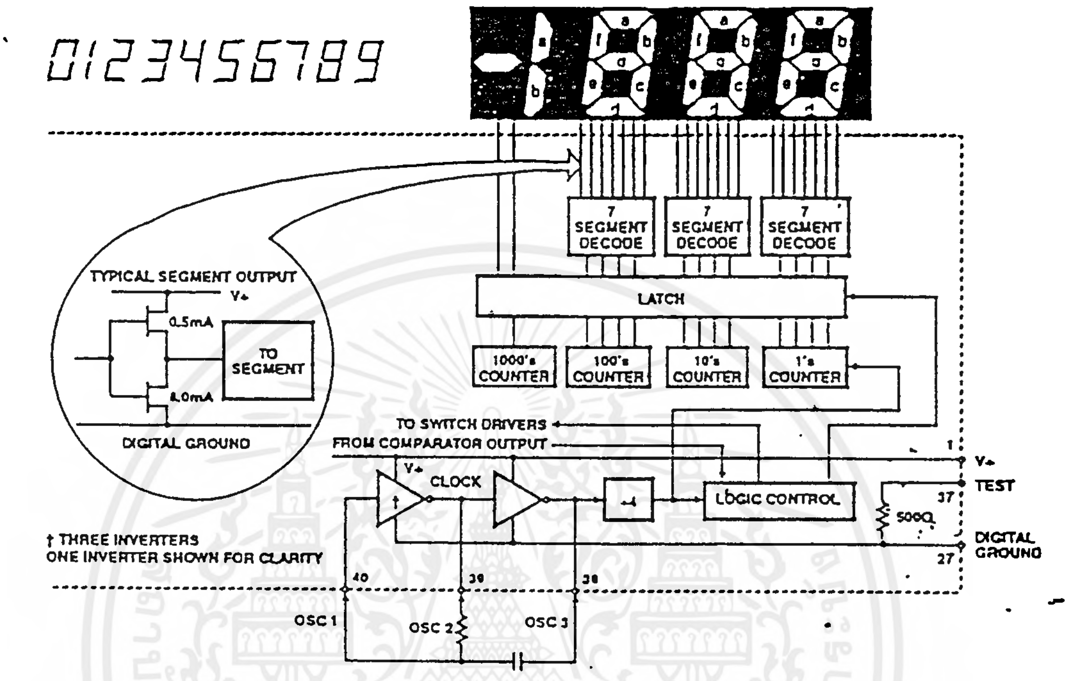


FIGURE 8. ICL7107 DIGITAL SECTION

System Timing

Figure 9 shows the clocking arrangement used in the ICL7106 and ICL7107. Two basic clocking arrangements can be used:

1. An external oscillator connected to pin 40.
2. An R-C oscillator using all three pins.

The oscillator frequency is divided by four before it clocks the decade counters. It is then further divided to form the three convert-cycle phases. These are signal integrate (1000 counts), reference de-integrate (0 to 2000 counts) and auto-zero (1000 to 3000 counts). For signals less than full-scale, auto-zero gets the unused portion of reference de-integrate. This makes a complete measure cycle of 4,000 counts (16,000 clock pulses) independent of input voltage. For three readings/second, an oscillator frequency of 48kHz would be used.

To achieve maximum rejection of 60Hz pickup, the signal integrate cycle should be a multiple of 60Hz. Oscillator frequencies of 240kHz, 120kHz, 80kHz, 60kHz, 48kHz, 40kHz, $33^1/_3$kHz, etc. should be selected. For 50Hz rejection, Oscillator frequencies of 200kHz, 100kHz, $66^2/_3$kHz, 50kHz, 40kHz, etc. would be suitable. Note that 40kHz (2.5 readings/second) will reject both 50Hz and 60Hz (also 400Hz and 440Hz).

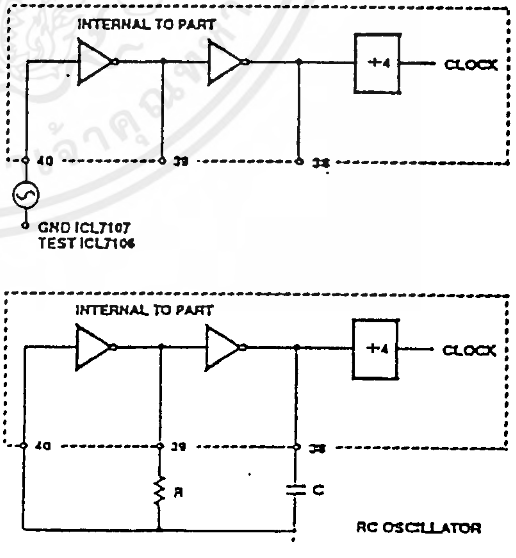


FIGURE 9. CLOCK CIRCUITS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The second function is a "lamp test". When TEST is pulled high (to V+) all segments will be turned on and the display should read "1888". The TEST pin will sink about 15mA under these conditions.

CAUTION: In the lamp test mode, the segments have a constant DC voltage (no square-wave). This may burn the LCD display if maintained for extended periods.

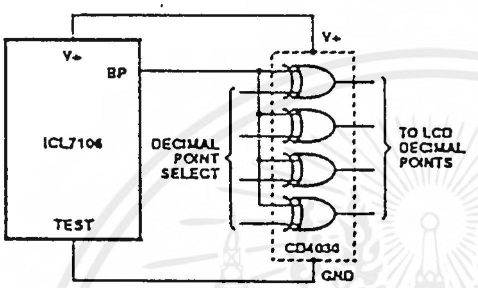


FIGURE 6. EXCLUSIVE 'OR' GATE FOR DECIMAL POINT DRIVE

Digital Section

Figures 7 and 8 show the digital section for the ICL7106 and ICL7107, respectively. In the ICL7106, an internal digital ground is generated from a 6V Zener diode and a large P-channel source follower. This supply is made stiff to absorb the relative large capacitive currents when the back plane (BP) voltage is switched. The BP frequency is the clock frequency divided by 800. For three readings/second this is a 60Hz square wave with a nominal amplitude of 5V. The segments are driven at the same frequency and amplitude and are in phase with BP when OFF, but out of phase when ON. In all cases negligible DC voltage exists across the segments.

Figure 8 is the Digital Section of the ICL7107. It is identical to the ICL7106 except that the regulated supply and back plane drive have been eliminated and the segment drive has been increased from 2mA to 8mA, typical for instrument size common anode LED displays. Since the 1000 output (pin 19) must sink current from two LED segments, it has twice the drive capability or 16mA.

In both devices, the polarity indication is "on" for negative analog inputs. If IN LO and IN HI are reversed, this indication can be reversed also, if desired.

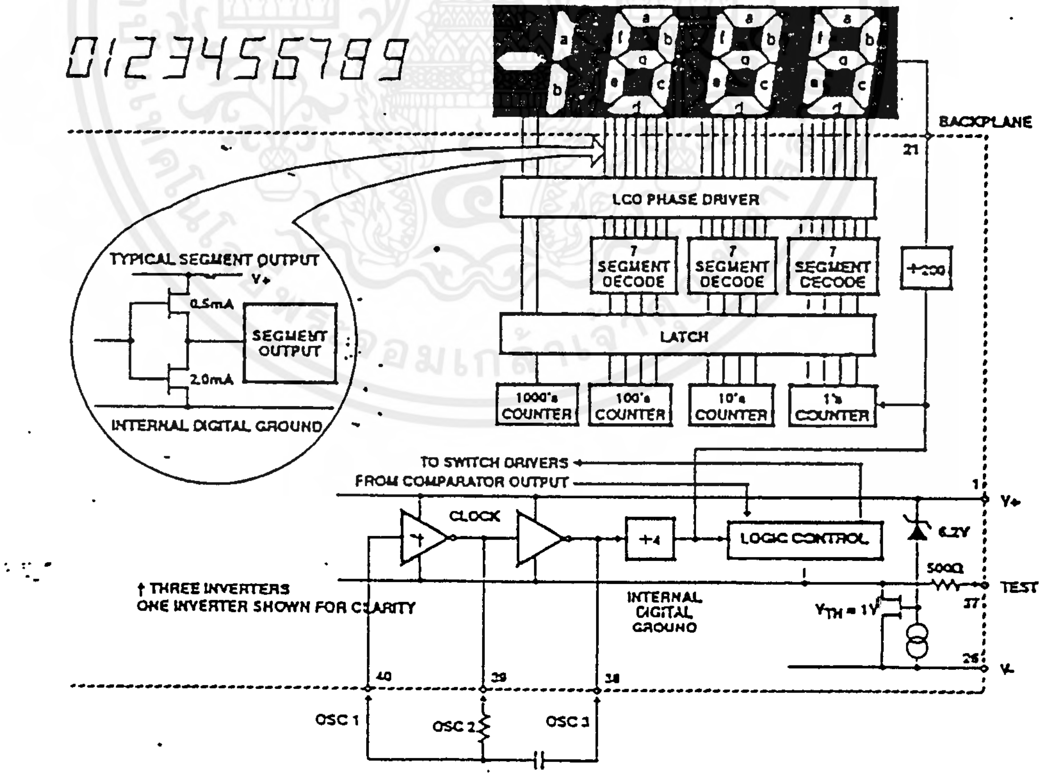


FIGURE 7. ICL7106 DIGITAL SECTION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Differential Reference

The reference voltage can be generated anywhere within the power supply voltage of the converter. The main source of common mode error is a roll-over voltage caused by the reference capacitor losing or gaining charge to stray capacity on its nodes. If there is a large common mode voltage, the reference capacitor can gain charge (increase voltage) when called up to de-integrate a positive signal but lose charge (decrease voltage) when called up to de-integrate a negative input signal. This difference in reference for positive or negative input voltage will give a roll-over error. However, by selecting the reference capacitor such that it is large enough in comparison to the stray capacitance, this error can be held to less than 0.5 count worst case. (See Component Value Selection.)

Analog COMMON

This pin is included primarily to set the common mode voltage for battery operation (ICL7106) or for any system where the input signals are floating with respect to the power supply. The COMMON pin sets a voltage that is approximately 2.8V more negative than the positive supply. This is selected to give a minimum end-of-life battery voltage of about 6V. However, analog COMMON has some of the attributes of a reference voltage. When the total supply voltage is large enough to cause the zener to regulate (>7V), the COMMON voltage will have a low voltage coefficient (0.001%/V), low output impedance (≅15Ω), and a temperature coefficient typically less than 80ppm/°C.

The limitations of the on chip reference should also be recognized, however. With the ICL7107, the internal heating which results from the LED drivers can cause some degradation in performance. Due to their higher thermal resistance, plastic parts are poorer in this respect than ceramic. The combination of reference Temperature Coefficient (TC), internal chip dissipation, and package thermal resistance can increase noise near full-scale from 25μV to 80μVp-p. Also the linearity in going from a high dissipation count such as 1000 (20 segments on) to a low dissipation count such as 1111(8 segments on) can suffer by a count or more. Devices with a positive TC reference may require several counts to pull out of an over-range condition. This is because over-range is a low dissipation mode, with the three least significant digits blanked. Similarly, units with a negative TC may cycle between over-range and a non-over-range count as the die alternately heats and cools. All these problems are of course eliminated if an external reference is used.

The ICL7106, with its negligible dissipation, suffers from none of these problems. In either case, an external reference can easily be added, as shown in Figure 4.

Analog COMMON is also used as the input low return during auto-zero and de-integrate. If IN LO is different from analog COMMON, a common mode voltage exists in the system and is taken care of by the excellent CMRR of the converter. However, in some applications IN LO will be set at a fixed known voltage (power supply common for instance). In this application, analog COMMON should be tied to the same point, thus removing the common mode voltage from the converter. The same holds true for the reference voltage. If reference can be conveniently tied to analog COMMON, it should be since this removes the common mode voltage from the reference system.

Within the IC, analog COMMON is tied to an N channel FET that can sink approximately 30mA of current to hold the voltage 2.8V below the positive supply (when a load is trying to pull the common line positive). However, there is only 10μA of source current, so COMMON may easily be tied to a more negative voltage thus overriding the internal reference.

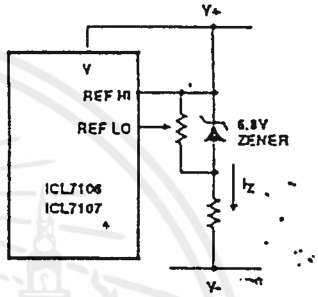


FIGURE 4A.

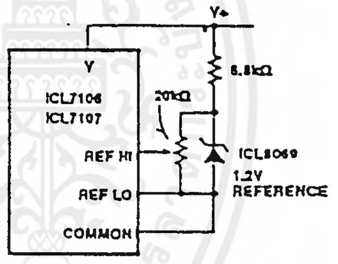


FIGURE 4B.

FIGURE 4. USING AN EXTERNAL REFERENCE

TEST

The TEST pin serves two functions. On the ICL7106 it is coupled to the internally generated digital supply through a 500Ω resistor. Thus it can be used as the negative supply for externally generated segment drivers such as decimal points or any other presentation the user may want to include on the LCD display. Figures 5 and 6 show such an application. No more than a 1mA load should be applied.

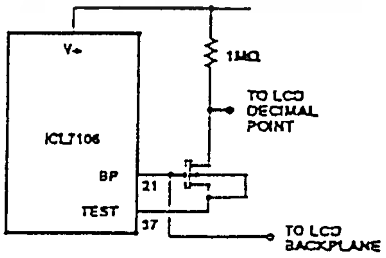


FIGURE 5. SIMPLE INVERTER FOR FIXED DECIMAL POINT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Detailed Description

Analog Section

Figure 3 shows the Analog Section for the ICL7106 and ICL7107. Each measurement cycle is divided into three phases. They are (1) auto-zero (A-Z), (2) signal integrate (INT) and (3) de-integrate (DE).

Auto-Zero Phase

During auto-zero three things happen. First, input high and low are disconnected from the pins and internally shorted to analog COMMON. Second, the reference capacitor is charged to the reference voltage. Third, a feedback loop is closed around the system to charge the auto-zero capacitor C_{AZ} to compensate for offset voltages in the buffer amplifier, integrator, and comparator. Since the comparator is included in the loop, the A-Z accuracy is limited only by the noise of the system. In any case, the offset referred to the input is less than 10μV.

Signal Integrate Phase

During signal integrate, the auto-zero loop is opened, the internal short is removed, and the internal input high and low are connected to the external pins. The converter then integrates the differential voltage between IN HI and IN LO for a fixed time. This differential voltage can be within a wide common mode range: up to 1V from either supply. If, on the other hand, the input signal has no return with respect to the converter power supply, IN LO can be tied to analog COMMON to establish the correct common mode voltage. At the end of this phase, the polarity of the integrated signal is determined.

De-Integrate Phase

The final phase is de-integrate, or reference integrate. Input low is internally connected to analog COMMON and input high is connected across the previously charged reference capacitor. Circuitry within the chip ensures that the capacitor will be connected with the correct polarity to cause the integrator output to return to zero. The time required for the output to return to zero is proportional to the input signal. Specifically the digital reading displayed is:

$$\text{DISPLAY COUNT} = 1000\left(\frac{V_{IN}}{V_{REF}}\right).$$

Differential Input

The input can accept differential voltages anywhere within the common mode range of the input amplifier, or specifically from 0.5V below the positive supply to 1.0V above the negative supply. In this range, the system has a CMRR of 86dB typical. However, care must be exercised to assure the integrator output does not saturate. A worst case condition would be a large positive common mode voltage with a near full-scale negative differential input voltage. The negative input signal drives the integrator positive when most of its swing has been used up by the positive common mode voltage. For these critical applications the integrator output swing can be reduced to less than the recommended 2V full-scale swing with little loss of accuracy. The integrator output can swing to within 0.3V of either supply without loss of linearity.

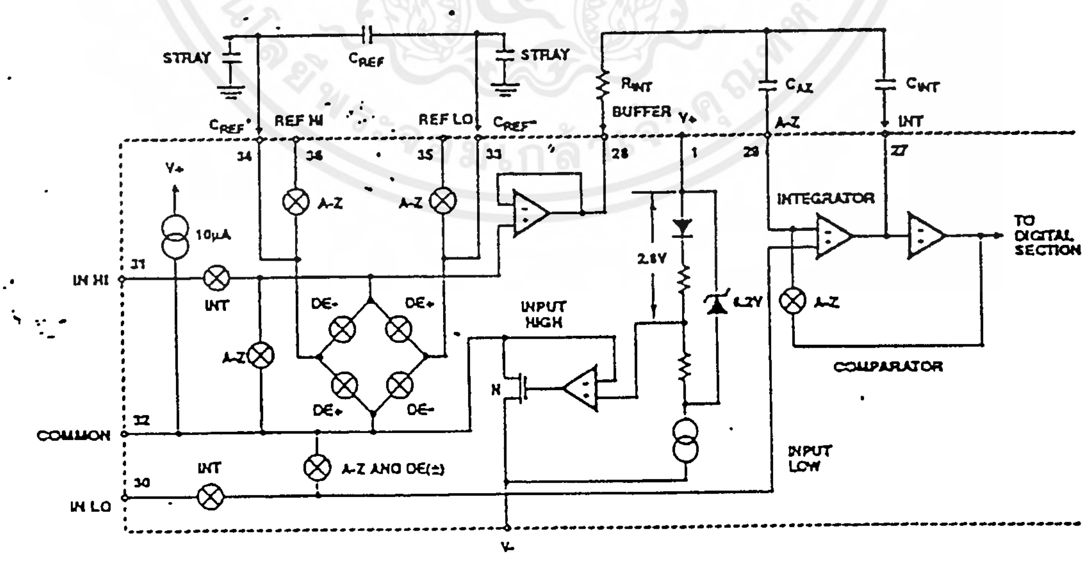


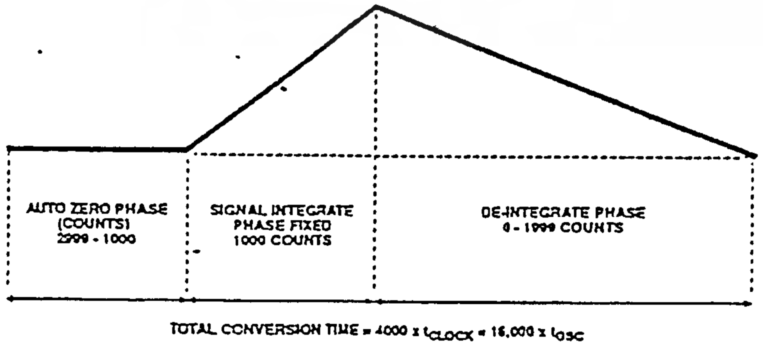
FIGURE 3. ANALOG SECTION OF ICL7106 AND ICL7107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design Information Summary Sheet

- OSCILLATOR FREQUENCY
  $f_{OSC} = 0.45/RC$
  $C_{OSC} > 50pF$; $R_{OSC} > 50K\Omega$
  f_{OSC} Typ. = 48KHz
- OSCILLATOR PERIOD
  $t_{OSC} = RC/0.45$
- INTEGRATION CLOCK FREQUENCY
  $f_{CLOCK} = f_{OSC}/4$
- INTEGRATION PERIOD
  $t_{INT} = 1000 \times (4/f_{OSC})$
- 60/50Hz REJECTION CRITERION
  t_{INT}/t_{60Hz} or t_{INT}/t_{50Hz} = Integer
- OPTIMUM INTEGRATION CURRENT
  $I_{INT} = 4.0\mu A$
- FULL-SCALE ANALOG INPUT VOLTAGE
  V_{INFS} Typically = 200mV or 2.0V
- INTEGRATE RESISTOR
  $$R_{INT} = \frac{V_{INFS}}{I_{INT}}$$
- INTEGRATE CAPACITOR
  $$C_{INT} = \frac{(t_{INT})(I_{INT})}{V_{INT}}$$
- INTEGRATOR OUTPUT VOLTAGE SWING
  $$V_{INT} = \frac{(t_{INT})(I_{INT})}{C_{INT}}$$
- V_{INT} MAXIMUM SWING:
  $(V- + 0.5V) < V_{INT} < (V+ - 0.5V)$, V_{INT} typically = 2.0V
- DISPLAY COUNT
  $$COUNT = 1000 \times \frac{V_{IN}}{V_{REF}}$$
- CONVERSION CYCLE
  $t_{CYC} = t_{CLOCK} \times 4000$
  $t_{CYC} = t_{OSC} \times 16{,}000$
  when $f_{OSC} = 48KHz$; $t_{CYC} = 333ms$
- COMMON MODE INPUT VOLTAGE
  $(V- + 1.0V) < V_{IN} < (V+ - 0.5V)$
- AUTO-ZERO CAPACITOR
  $0.01\mu F < C_{AZ} < 1.0\mu F$
- REFERENCE CAPACITOR
  $0.1\mu F < C_{REF} < 1.0\mu F$
- V_{COM}
  Biased between Vi and V-.
- $V_{COM} \cong V+ - 2.8V$
  Regulation lost when V+ to V- < ≅6.8V.
  If V_{COM} is externally pulled down to (V + to V -)/2, the V_{COM} circuit will turn off.
- ICL7106 POWER SUPPLY: SINGLE 9V
  V+ - V- = 9V
  Digital supply is generated internally
  $V_{GND} \cong V+ - 4.5V$
- ICL7106 DISPLAY: LCD
  Type: Direct drive with digital logic supply amplitude.
- ICL7107 POWER SUPPLY: DUAL ±5.0V
  V+ = +5.0V to GND
  V- = -5.0V to GND
  Digital Logic and LED driver supply V+ to GND
- ICL7107 DISPLAY: LED
  Type: Non-Multiplexed Common Anode

Typical Integrator Amplifier Output Waveform (INT Pin)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Specifications (Note 3) (Continued)

PARAMETERS	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
ICL7107 ONLY					
Segment Sinking Current	V+ = 5V, Segment Voltage = 3V				
(Except Pin 19 and 20)		5	8	-	mA
Pin 19 Only		10	16	-	mA
Pin 20 Only		4	7	-	mA

NOTES:
1. Input voltages may exceed the supply voltages provided the input current is limited to ±100µA.
2. Dissipation rating assumes device is mounted with all leads soldered to printed circuit board.
3. Unless otherwise noted, specifications apply to both the ICL7106 and ICL7107 at T_A = +25°C, f_{CLOCK} = 48kHz. ICL7106 is tested in the circuit of Figure 1. ICL7107 is tested in the circuit of Figure 2.
4. Back plane drive is in phase with segment drive for 'off' segment, 180° out of phase for 'on' segment. Frequency is 20 times conversion rate. Average DC component is less than 50mV.
5. Not tested, guaranteed by design.

Typical Applications and Test Circuits

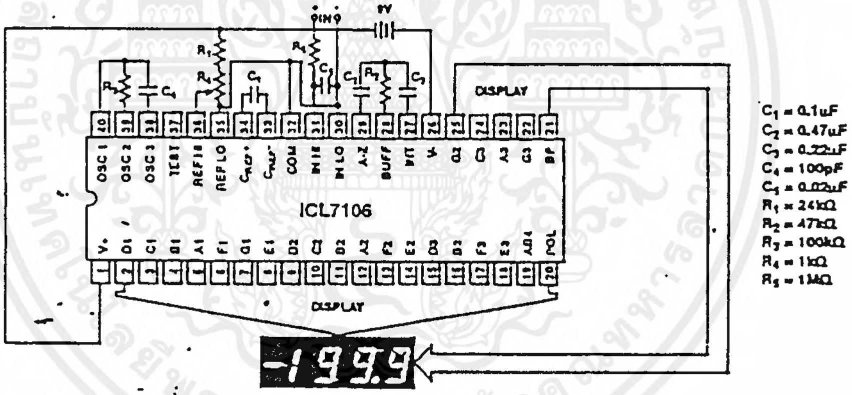


FIGURE 1. ICL7106 TEST CIRCUIT AND TYPICAL APPLICATION WITH LCD DISPLAY COMPONENTS SELECTED FOR 200mV FULL-SCALE

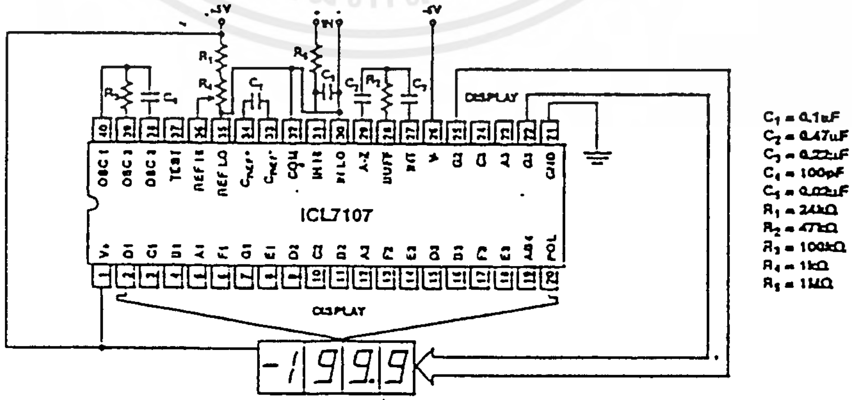


FIGURE 2. ICL7107 TEST CIRCUIT AND TYPICAL APPLICATION WITH LED DISPLAY COMPONENTS SELECTED FOR 200mV FULL-SCALE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications ICL7106, ICL7107

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage
- ICL7106, V+ to V- 15V
- ICL7107, V+ to GND 6V
- ICL7107, V- to GND .... -9V

Analog Input Voltage (Either Input) (Note 1) .... V+ to V-
Reference Input Voltage (Either Input) .... V+ to V-
Clock Input
- ICL7106 .... TEST to V+
- ICL7107 .... GND to V+

Thermal Information

Thermal Resistance (MAX, See Note 1) θ_{JA}
- 40 Pin Plastic Package .... 50°C/W
- 44 Pin MQFP Package .... 80°C/W

Maximum Power Dissipation
- ICL7106 .... 1.0W
- ICL7107 .... 1.2W

Operating Temperature Range .... 0°C to +70°C
Storage Temperature Range .... -65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering 10s Max) .... +265°C
Junction Temperature .... +150°C

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

Electrical Specifications (Note 3)

PARAMETERS	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SYSTEM PERFORMANCE					
Zero Input Reading	V_{IN} = 0.0V, Full-Scale = 200mV	-000.0	±000.0	+000.0	Digital Reading
Ratiometric Reading	$V_{IN} = V_{REF}$, V_{REF} = 100mV	999	999/1000	1000	Digital Reading
Rollover Error	$-V_{IN} = +V_{IN} \cong$ 200mV Difference in Reading for Equal Positive and Negative Inputs Near Full-Scale	-	±0.2	±1	Counts
Linearity	Full-Scale = 200mV or Full-Scale = 2V Maximum Deviation from Best Straight Line Fit (Note 5)	-	±0.2	±1	Counts
Common Mode Rejection Ratio	V_{CM} = 1V, V_{IN} = 0V, Full-Scale = 200mV (Note 5)	-	50	-	µV/V
Noise	V_{IN} = 0V, Full-Scale = 200mV (Pk-Pk Value Not Exceeded 95% of Time)	-	15	-	µV
Leakage Current Input	V_{IN} = 0 (Note 5)	-	1	10	pA
Zero Reading Drift	V_{IN} = 0, 0° < T_A < +70°C (Note 5)	-	0.2	1	µV/°C
Scale Factor Temperature Coefficient	V_{IN} = 199mV, 0° < T_A < +70°C, (Ext. Ref. 0ppm/°C) (Note 5)	-	1	5	ppm/°C
End Power Supply Character V+ Supply Current	V_{IN} = 0 (Does Not Include LED Current for ICL7107)	-	0.8	1.8	mA
End Power Supply Character V- Supply Current	ICL7107 Only	-	0.6	1.8	mA
COMMON Pin Analog Common Voltage	25kΩ Between Common and Positive Supply (With Respect to + Supply)	2.4	2.8	3.2	V
Temperature Coefficient of Analog Common	25kΩ Between Common and Positive Supply (With Respect to + Supply)	-	80	-	ppm/°C
DISPLAY DRIVER ICL7106 ONLY					
Pk-Pk Segment Drive Voltage Pk-Pk Backplane Drive Voltage	V+ to V- = 9V, (Note 4)	4	5	6	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

TL081
TL082
TL084

JFET INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

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° to +125°C and those with a "C" suffix are specified from 0° to +70°C.

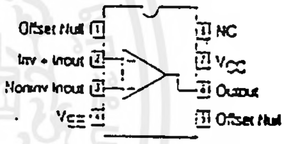
- Input Offset Voltage Options of 6.0 mV and 15 mV Max
- Low Input Bias Current: 30 pA
- Low Input Offset Current: 5.0 pA
- Wide Gain Bandwidth: 4.0 MHz
- High Slew Rate: 13 V/μs
- Low Supply Current: 1.4 mA per Amplifier
- High Input Impedance: 10^{12} Ω

P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 626

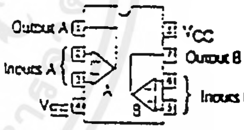
JG SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 693

D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751
(SO-8)

PIN CONNECTIONS

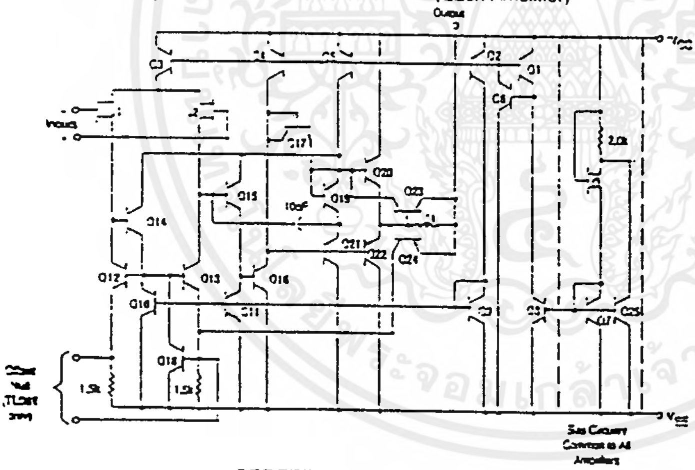


TL081 (Top View)

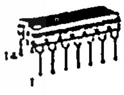


TL082 (Top View)

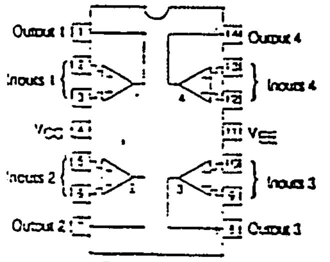
Representative Circuit Schematic (Each Amplifier)



N SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 632
(TL084 Only)


J SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646
(TL084 Only)

PIN CONNECTIONS



TL084 (Top View)

ORDERING INFORMATION

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายคทาวุฒิ วันเพ็ญ
วันเดือนปีเกิด	13 กันยายน พ.ศ. 2517
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพฯ
ภูมิลำเนา	จังหวัดลำปาง
ที่อยู่ปัจจุบัน	82 ซอยประชานฤมิตร ถนนประชาราษฎร์สาย 1 แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์	02-587-1449
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวิชชานารี จังหวัดลำปาง
มัธยมศึกษา	โรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย จังหวัดลำปาง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคลำปาง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคพายัพ
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คติพจน์	อย่าเอาความล้มเหลวของวันวานมาทำ พยายามของวันพรุ่งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายธงชัย วงษ์พันธ์
วันเดือนปีเกิด	17 สิงหาคม พ.ศ. 2511
สถานที่เกิด	จังหวัดกำแพงเพชร
ภูมิลำเนา	จังหวัดกำแพงเพชร
ที่อยู่ปัจจุบัน	300 หมู่ 12 เขตประเวศ กรุงเทพฯ 10250
โทรศัพท์	(02) 321-2222
สถานที่ทำงาน	ชุมสายโทรศัพท์อ่อนนุช
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนปราสาทอนุสรณ์ จังหวัดกำแพงเพชร
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนคณฑีพิทยาคม จังหวัดกำแพงเพชร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคกำแพงเพชร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคนครสวรรค์
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
	ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คติพจน์	จงใฝ่ฝันแต่อย่าเพ้อฝัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายปริยตม์ ชั้นประเสริฐ
วันเดือนปีเกิด	1 ธันวาคม พ.ศ. 2516
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
ภูมิลำเนา	กรุงเทพฯ
ที่อยู่ปัจจุบัน	1038 หมู่ที่12 แขวงบางนา เขตพระโขนง กรุงเทพฯ 10260
โทรศัพท์	(02)396-0774
เพจเจอร์	152-430-8467
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนอนุบาลพิบูลเวศน์
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนราชวินิตบางแก้ว
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตนนทบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ สาขาช่างอิเล็กทรอนิกส์
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คติพจน์	ชีวิตมนุษย์เปรียบเหมือนล้อที่เดินไปข้างหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายวัฒนา ไพศาลเจริญพงศ์
วันเดือนปีเกิด	12 สิงหาคม พ.ศ. 2518
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
ภูมิลำเนา	กรุงเทพฯ
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 324/46 หมู่บ้านเดชา 2 แขวงหัวหมาก เขตบางกระปิ กรุงเทพฯ 10240
โทรศัพท์	(02) 376-3644
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนณัฏฐเวศม์
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนเทพลีลา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	โรงเรียนเทคโนโลยีช่างอุตสาหกรรมกรุงเทพฯ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คติพจน์	จงพอใจในสิ่งที่ตัวเองมีอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. อาภรณ์ เก่งพล และ ดร. โอซามุ นิชิโนะ. "เครื่องวัดและการวัดทางไฟฟ้า", สำนักพิมพ์ ดวงกมล, พ.ศ. 2537

2. ชูชัย ธนสารตั้งเจริญ และทินกร คุ๊ก. "การสื่อสารข้อมูล", สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, พ.ศ. 2536

3. น.ต.ดร. ไพศาล สงวนหมู่ และรศ.ยืน ภู่วรวรรณ."การสื่อสารข้อมูลและไมโครคอมพิวเตอร์ -เนตเวอร์ค", บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, พ.ศ. 2531

ห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้