



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ      ดิจิตอลมัลติมิเตอร์  
 Digital Multimeter

ชื่อนักศึกษา      1. นายชนะ โโชค      สันต์สวัสดิ์      รหัสประจำตัว 42035259  
                          2. นายธีรชัย      เรณูมาร      รหัสประจำตัว 42035260  
                          3. นางสาวนุจรรณ      มงคลรัตน์      รหัสประจำตัว 42035262  
                          4. นายอรรถกฤษ      กุหลาบแก้ว      รหัสประจำตัว 42035284

หลักสูตร      ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต      สาขาวิชา      วิศวกรรมโทรคมนาคม  
 อาจารย์ที่ปรึกษา      ผศ.ดร.ธีระพล      เทพหัสดิน ณ อยุธยา  
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม      อาจารย์สุรพงษ์      สิริพงษ์คีติ

คณะกรรมการสอบปริญญาโท		ลายมือชื่อ
1. ผศ.ดร.ธีระพล	เทพหัสดิน ณ อยุธยา	
2. อาจารย์สุรพงษ์	สิริพงษ์คีติ	
3. อาจารย์พงษ์เกียรติ	เชษฐพิทักษ์สกุล	
4. อาจารย์ปิยะ	ศุภวราสุวัฒน์	
5. อาจารย์อมรชัย	ชัยชนะ	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ      วันเสาร์ที่ 28 เมษายน พ.ศ. 2544 เวลา 16.00 น.

สถานที่สอบ      ห้อง ก.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว  
 ลงนาม.....   
 (ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ 11 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2544



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

ดิจิทัลมัลติมิเตอร์

DIGITAL MULTIMETER



นายชนะโชค

สันต์สวัสดิ์

นายธีรน้อย

เรณูมาร

นางสาวนุจรวรรณ

มงคลรัตน์

นายอรรถกฤษ

กุหลาบแก้ว

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต

ป.ท.

พ.ศ. ๒๕๔๓

๒๕๔๓

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

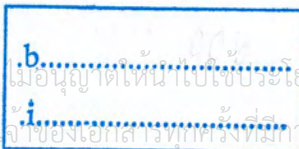
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๔๓

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 40189

วัน, เดือน, ปี 17 ส.ค. 2544



ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ปริญญานิพนธ์

เรื่อง คิจิตอลมัลติมิเตอร์

Digital Multimeter

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของไอซีคิจิตอลมัลติมิเตอร์
2. เพื่อศึกษาการทำงานของคิจิตอลมัลติมิเตอร์
3. เพื่อออกแบบ และสร้างคิจิตอลมัลติมิเตอร์
4. เพื่อทดสอบความแม่นยำในการวัดของคิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่สร้างขึ้นเอง
5. เพื่อนำคิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่สร้างขึ้น ไปใช้งาน

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้เกี่ยวกับการทำงานของไอซีคิจิตอลมัลติมิเตอร์
2. มีความรู้เกี่ยวกับคิจิตอลมัลติมิเตอร์
3. ได้วงจรต้นแบบ และเครื่องต้นแบบของคิจิตอลมัลติมิเตอร์
4. ทราบผลการทดลอง และทดสอบความแม่นยำของคิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่สร้างขึ้นเอง
5. ได้นำคิจิตอลมัลติมิเตอร์ไปใช้งาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	ดิจิทัลมัลติมิเตอร์	
นักศึกษา	นายชนะโชค	สันต์สวัสดิ์
	นายธีรนัย	เรณูมาร
	นางสาวนุจวรรณ	มงคลรัตน์
	นายอรรถกฤษ	กุหลาบแก้ว
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ธีระพล	เทพหัสดิน ณ อยุธยา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์สุรพงษ์	สิริพงษ์ดี
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม	
ปีการศึกษา	2543	

**บทคัดย่อ**

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอเครื่องดิจิทัลมัลติมิเตอร์ โดยได้มีส่วนประกอบ คือ วงจรวัดค่ากระแสไฟฟ้า วงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง วงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ วงจรวัดค่าความต้านทาน วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล วงจรภาคแสดงผลแบบ เจ็ดส่วน วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการวัดค่าความต้านทาน ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและค่ากระแสไฟฟ้า โดยสามารถเปลี่ยนย่านการวัดได้อัตโนมัติ ง่ายในการใช้งาน มีความเที่ยงตรงสูงและ เหมาะในการนำไปใช้งานในห้องทดลอง

<b>Thesis Title</b>	Digital Multimeter	
<b>Students</b>	Mr.Thanachoke	Sansawat
	Mr.Teranai	Ranumanr
	Miss Nujawan	Mongkolrat
	Mr.Attakit	Kulabkaeo
<b>Advisor</b>	Assist. Prof. Dr.Terapon	Tapehusadin na ayutaya
<b>Co-Advisor</b>	Mr.Surapong	Siripongdee
<b>Education Level</b>	Bachelor of Science in Industrial Education	
<b>Program in</b>	Telecommunication Engineering	
<b>Academic Year</b>	2000	

### ABSTRACT

This thesis presents the project of Digital Multimeter. The project consists of AC Current, DC voltmeter circuit, AC voltmeter circuit, Ohm meter circuit, Analog to Digital circuit, 7-Segment Display and Microcontroller circuit. The project use measure Ohm, AC volt, DC volt and Current. It can be auto range to measure and easily to user. It has high precision and convenient in laboratory.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถลุล่วงไปด้วยดี เนื่องมาจากการให้ความร่วมมือของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่านนอกจากนี้ ยังได้รับความกรุณาจากคณาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมในด้านแนวความคิด ข้อเสนอแนะและแนวทางที่จะแก้ไขปัญหา และความรู้ต่างๆรวมทั้งห้องสมุด คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งอำนวยความสะดวกในการค้นคว้าต่างๆ และที่ควรระลึกถึงอย่างยิ่ง คือ บุพการีผู้สนับสนุนด้านการศึกษา และเป็นผู้ให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ชัดความสามารถของโครงการ	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	1
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	3
2.1 พื้นฐานการใช้เครื่องวัดไฟฟ้า	3
2.1.1 วัตถุประสงค์ของการวัด	3
2.1.2 การหาค่าผิดพลาดจากการวัด	3
2.1.3 มาตรฐานของเครื่องมือวัด	4
2.1.4 ผลของอุณหภูมิ	4
2.1.5 ผลจากสนามแม่เหล็ก	4
2.1.6 สาเหตุอื่นๆ ของการวัดผิดพลาด	5
2.2 หลักการของเครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรง	5
2.2.1 หลักการและวงจรแอมป์มิเตอร์	5
2.2.1 แอมป์มิเตอร์หลายย่านวัด	7
2.2.3 ความผิดพลาดในการวัดกระแส	8
2.3 หลักการของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	8
2.3.1 หลักการของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	8
2.3.2 โวลต์มิเตอร์หลายย่านวัด	9
2.3.3 ความผิดพลาดในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า	11
2.3.4 อิเล็กทรอนิกส์โวลต์มิเตอร์	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.4 เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับ	17
2.4.1 หลักการพื้นฐานของเครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับ	17
2.4.2 วงจรเครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับ	19
2.4.3 ค่าความไวของเครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับ	25
2.5 เครื่องวัดความต้านทาน	25
2.5.1 หลักการของเครื่องวัดความต้านทาน	25
2.5.2 วงจรเครื่องวัดความต้านทาน	26
2.5.3 ความเที่ยงตรงของโอห์มมิเตอร์	29
2.6 ทฤษฎีของดิจิตอลมัลติมิเตอร์	29
2.6.1 หลักการของเครื่องวัดมัลติมิเตอร์	29
2.6.2 หลักการทำงานของโวลต์มิเตอร์ดิจิตอลและมัลติมิเตอร์ดิจิตอล	29
2.7 อุปกรณ์แสดงผลแบบดิจิตอล	32
2.8 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล	35
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	40
3.1 วงจรควบคุมการทำงานของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51	40
3.2 วงจรแสดงผลแบบ 7 ส่วนจำนวน 6 หลัก โดยใช้ไอซี MAX 7219	42
3.3 วงจรตรวจสอบการเลือกย่านวัด	43
3.4 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไอซี L7135	44
3.5 วงจรขยายบิตแบบอนุกรม โดยใช้ไอซี 74HC595	45
3.5.1 วงจรลดทอนแรงดันและขยายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	46
3.5.2 วงจรลดทอนแรงดันและขยายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	46
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	49
4.1 กล่าวนำ	49
4.2 การทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	49
4.2.1 การทดลอง โดยใช้เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19	49
4.2.2 การทดลอง โดยใช้เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.3 การทดลองวัดค่าแรงดัน ไฟฟ้ากระแสตรง	51
4.3.1 การทดลองโดยใช้เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19	51
4.3.2 การทดลองโดยใช้เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์	52
4.4 การทดลองวัดค่ากระแสไฟฟ้า	53
4.4.1 การทดลองโดยใช้เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19	53
4.4.2 การทดลองโดยใช้เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์	55
4.5 การทดลองวัดค่าความต้านทาน	56
4.5.1 การทดลองโดยใช้เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19	56
4.5.2 การทดลองโดยใช้เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์	57
4.6 การทดลองค่าความเที่ยงตรงในการวัดแรงดัน ไฟฟ้ากระแสสลับ	58
4.7 การทดลองค่าความเที่ยงตรงในการวัดแรงดัน ไฟฟ้ากระแสตรง	58
4.8 การทดลองค่าความเที่ยงตรงในการวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง	59
4.9 การทดลองค่าความเที่ยงตรงในการวัดค่าความต้านทาน	59
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และการพัฒนา	61
5.1 บทสรุป	61
5.2 ปัญหา และแนวทางแก้ไข	61
5.3 แนวทางการพัฒนา	62
ภาคผนวก ก ส่วนประกอบของดิจิตอลมัลติมิเตอร์	64
ภาคผนวก ข วงจรลายวงจรพิมพ์ และการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์	67
ภาคผนวก ค แผนผังการทำงานและ โปรแกรมของดิจิตอลมัลติมิเตอร์	74
ภาคผนวก ง คู่มือการใช้งานของดิจิตอลมัลติมิเตอร์	104
ภาคผนวก จ รายละเอียดข้อมูล	110
บรรณานุกรม	163
ประวัติผู้แต่ง	164

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.1 ค่าความเที่ยงตรงในการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยคิิจิตอลมัลติมิเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมัลติมิเตอร์แบบคิิจิตอลยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter	58
ตารางที่ 4.2 ค่าความเที่ยงตรงในการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยคิิจิตอลมัลติมิเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมัลติมิเตอร์แบบคิิจิตอลยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter	58
ตารางที่ 4.3 ค่าความเที่ยงตรงในการวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงโดยคิิจิตอลมัลติมิเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมัลติมิเตอร์แบบคิิจิตอลยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter	59
ตารางที่ 4.4 ค่าความเที่ยงตรงในการวัดความต้านทานโดยคิิจิตอลมัลติมิเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมัลติมิเตอร์แบบคิิจิตอลยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter	59

## สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 กฎการแบ่งกระแส	6
รูปที่ 2.2 วงจรเครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรง	6
รูปที่ 2.3 แอมป์มิเตอร์หลายย่านวัดต่อแบบอิดิวิดูวล	7
รูปที่ 2.4 แอมป์มิเตอร์หลายย่านวัดต่อแบบ อาร์ตันชันต์	7
รูปที่ 2.5 วงจรวัดกระแสเมื่อคิดค่าความต้านทานของมิเตอร์	8
รูปที่ 2.6 วงจรพื้นฐานของโวลต์มิเตอร์	9
รูปที่ 2.7 วงจรโวลต์มิเตอร์แบบหลายขอบเขตการวัด	10
รูปที่ 2.8 การแบ่งศักดาไฟฟ้าของความต้านทานต่ออนุกรม	11
รูปที่ 2.9 ผลกระทบจากการโหลดที่โวลต์มิเตอร์	12
รูปที่ 2.10 ส่วนของวงจรดิฟแอมป์	13
รูปที่ 2.11 ส่วนของเน็ตเวิร์กอินพุตไวด์แบนด์	14
รูปที่ 2.12 โวลต์มิเตอร์ชนิดใช้ฮอปแอมป์ต่อแบบไม่กลับเฟส	17
รูปที่ 2.13 พารามิเตอร์ของคลื่นไซน์	18
รูปที่ 2.14 วงจรเอซีโวลต์มิเตอร์โดยใช้ไดโอด	19
รูปที่ 2.15 โวลต์ชนิดวงจรแปลงไฟแบบครึ่งคลื่น	20
รูปที่ 2.16 การต่อโวลต์มิเตอร์ชนิดแบคเวิร์คไดโอดเข้ากับวงจรฮอปแอมป์	20
รูปที่ 2.17 วงจรเรียงกระแสแบบความถี่เที่ยงตรงสูง	22
รูปที่ 2.18 วงจรขยายชนิดที่มีการแปลงไฟแบบความถี่เที่ยงตรงสูง	23
รูปที่ 2.19 วงจรเรียงกระแสเต็มลูกคลื่นแบบบริดจ์	24
รูปที่ 2.20 วงจรแปลงไฟแบบเต็มคลื่น	24
รูปที่ 2.21 โอห์มมิเตอร์แบบต่ออนุกรม	26
รูปที่ 2.22 สเกลของโอห์มมิเตอร์แบบต่ออนุกรม (ก) และแบบต่อขนาน (ข)	27
รูปที่ 2.23 โอห์มมิเตอร์แบบต่อขนาน	28
รูปที่ 2.24 หลักการโวลต์มิเตอร์แบบคิจิตอล	30
รูปที่ 2.25 หลักการทำงานของมัลติมิเตอร์แบบคิจิตอล	32

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.26 การแสดงผลแบบส่วนแสดงผล 7 ส่วน	34
รูปที่ 2.27 หลักการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันเป็นความถี่	36
รูปที่ 2.28 รูปคลื่นขาออกของวงจรอินทิเกรเตอร์	37
รูปที่ 2.29 หลักการทำงานของวงจร แปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอล แบบสโโลปคู่	38
รูปที่ 3.1 วงจรการทำงานของ 89C51	40
รูปที่ 3.2 วงจรการทำงานของ MAX7219	42
รูปที่ 3.3 แผนผังเวลาในการติดต่อตัวแสดงผลแบบ 7 ส่วน	43
รูปที่ 3.4 วงจรตรวจสอบการเลือกโดยใช้สวิตช์	43
รูปที่ 3.5 วงจรการต่อใช้งาน ไอซี L7135	44
รูปที่ 3.6 วงจรขยายบิดเบือนอนุกรมโดยใช้ ไอซี 74HC595	45
รูปที่ 3.7 วงจรลดทอนและขยายแรงดัน ไฟฟ้ากระแสสลับ	46
รูปที่ 3.8 วงจรลดทอนและขยายแรงดัน ไฟฟ้ากระแสตรง	46
รูปที่ 3.9 วงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแสคงที่	47
รูปที่ 3.10 วงจรวัดกระแส	48
รูปที่ 3.11 วงจรจ่ายไฟ	48
รูปที่ 4.1 ค่าแรงดัน ไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากเครื่องมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter	51
รูปที่ 4.2 ค่าแรงดัน ไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์	52
รูปที่ 4.3 ค่าแรงดัน ไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากเครื่องมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter	53
รูปที่ 4.4 ค่าแรงดัน ไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์	54
รูปที่ 4.5 ค่ากระแส ไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากเครื่องมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter	55
รูปที่ 4.6 ค่ากระแส ไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์	56
รูปที่ 4.7 ค่าความต้านทานที่ได้จากเครื่องมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter	57
รูปที่ 4.8 ค่าความต้านทานที่ได้จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ ก.1 การติดตั้งวงจรภายในเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์	65
รูปที่ ก.2 รูปด้านหน้าของเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์	65
รูปที่ ก.3 รูปด้านหลังของเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์	66
รูปที่ ข.1 วงจรควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 และวงจรขยายย่านวัด	68
รูปที่ ข.2 วงจรภาคแสดงผล 7 ส่วน	69
รูปที่ ข.3 ลายวงจรพิมพ์ของวงจรควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 และวงจรขยายย่านวัด	70
รูปที่ ข.4 การวางอุปกรณ์ของวงจรควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 และวงจรขยายย่านวัด	71
รูปที่ ข.5 ลายวงจรพิมพ์ของวงจรภาคแสดงผล 7 ส่วน	72
รูปที่ ข.6 การลงอุปกรณ์ของวงจรภาคแสดงผล 7 ส่วน	73
รูปที่ ค.1 แผนผังการทำงานหลักของ โปรแกรมดิจิตอลมัลติมิเตอร์	75
รูปที่ ค.2 แผนผังการทำงานของ โปรแกรมย่อยวัดค่ากระแสไฟฟ้า	76
รูปที่ ค.3 แผนผังการทำงานของ โปรแกรมย่อยวัดค่าความต้านทาน	77
รูปที่ ค.4 แผนผังการทำงานของ โปรแกรมย่อยวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	78
รูปที่ ค.5 แผนผังการทำงานของ โปรแกรมย่อยวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	79
รูปที่ ค.6 โปรแกรมการทำงานของดิจิตอลมัลติมิเตอร์	80
รูปที่ ง.1 ส่วนประกอบของดิจิตอลมัลติมิเตอร์	105
รูปที่ ง.2 การเปลี่ยนย่านการวัดแบบอัตโนมัติ และแบบใช้มือกด	107

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันเครื่องมือวัดทางด้านดิจิทัลอิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกพัฒนาขึ้น และได้มีจำหน่ายในท้องตลาดมากขึ้นอยู่ทุกวัน แต่ราคานั้นยังมีจำหน่ายในราคาแพงอยู่มาก ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุที่จะต้องประยุกต์ใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการประมวลผลในการแสดงของเครื่องดิจิทัลมัลติมิเตอร์ ซึ่งโครงการนี้จะสามารถพัฒนาขึ้นในระดับของอุตสาหกรรมที่ใหญ่ขึ้น เพื่อจะได้มีเครื่องมือวัดทางดิจิทัลอิเล็กทรอนิกส์ผลิตใช้ในประเทศเอง

### 1.2 ขีดความสามารถของโครงการ

- 1) เป็นดิจิทัลมัลติมิเตอร์ขนาดแสดงผล 4 ½ หลัก แสดงผลด้วยส่วนแสดงผลแบบ 7 ส่วน
- 2) วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้  $\pm 1,000$  โวลต์
- 3) วัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงได้  $\pm 100$  แอมแปร์
- 4) วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ 1,000 โวลต์
- 5) วัดความต้านทานได้ 0 ถึง 10 เมกะโอห์ม

### 1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อมูลทั้งทฤษฎี วงจร และเทคนิคต่างๆ ในการที่จะออกแบบและสร้างดิจิทัลมัลติมิเตอร์ โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็นบท ซึ่งในแต่ละบทมีเนื้อหาดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทํางาน ซึ่งจะเป็นส่วนของข้อมูล ประกอบด้วยทฤษฎีของดิจิทัลมัลติมิเตอร์ หลักการของเครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรง หลักการของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง หลักการของเครื่องวัดความต้านทาน พื้นฐานการใช้เครื่องวัดไฟฟ้า อุปกรณ์แสดงผลแบบดิจิทัล การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก เป็นต้น

บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน เป็นหลักการออกแบบและการสร้าง โดยกล่าวถึงหลักการออกแบบวงจรต่างๆ เช่น การออกแบบวงจรโอห์มมิเตอร์ วงจรโวลต์มิเตอร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดลอง ทดสอบ และผลการทดลองเป็นส่วนของการทดลองทดสอบเนื่องจาก  
 ในบทที่ 3 ได้มีการออกแบบและสร้างมาแล้ว ในบทนี้จึงนำส่วนที่ได้ออกแบบ และสร้างมาแล้วนั้น  
 มาทำการทดลองว่าเป็นไปตามแนวทางที่ต้องการหรือไม่

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนาเป็นส่วนของการสรุป ปัญหา แนวทาง  
 แก้ไข และแนวทางในการพัฒนา

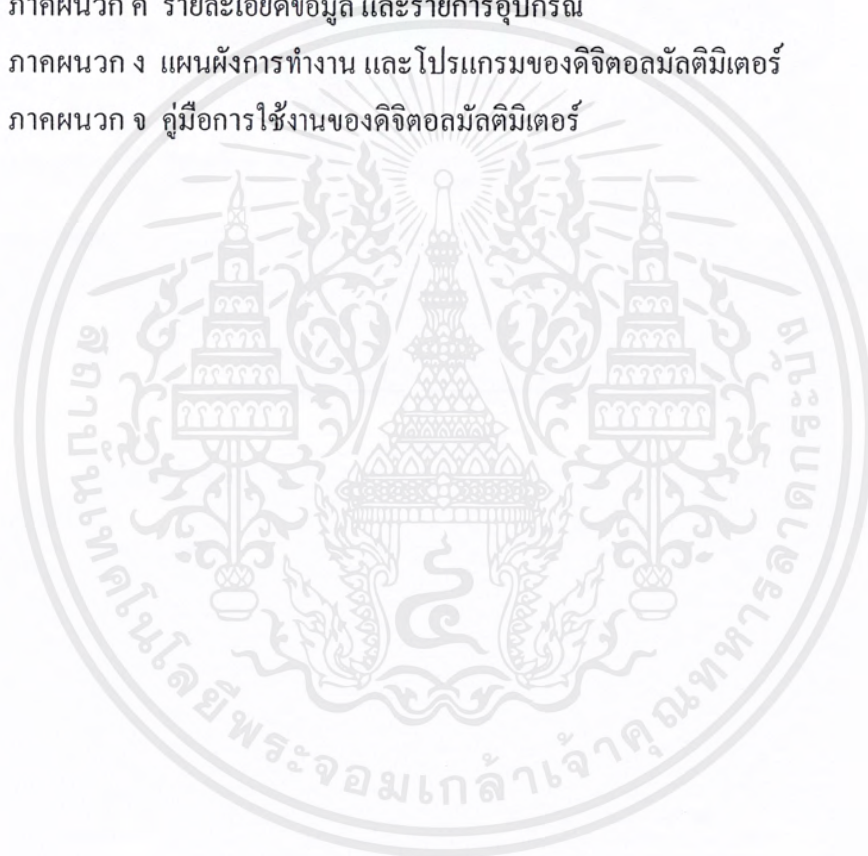
ภาคผนวก ก ส่วนประกอบของดิจิทัลมัลติมีเตอร์

ภาคผนวก ข วงจร ลายวงจรพิมพ์ และการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค รายละเอียดข้อมูล และรายการอุปกรณ์

ภาคผนวก ง แผนผังการทำงาน และ โปรแกรมของดิจิทัลมัลติมีเตอร์

ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งานของดิจิทัลมัลติมีเตอร์



## บทที่ 2

### ทฤษฎี และหลักการ

#### 2.1 ทฤษฎีพื้นฐานการใช้เครื่องวัดไฟฟ้า

##### 2.1.1 วัดอุปสงค์ของการวัด

การวัดเป็นการหาค่าทางไฟฟ้า และที่ไม่ใช่ไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดไฟฟ้า ค่าที่วัดได้จะได้รับการบันทึกไว้ หรือนำไปใช้หาค่าอื่นๆ หรือใช้ไปในการควบคุมเครื่องจักร ค่าทางไฟฟ้าเป็นค่าที่มองไม่เห็น จึงสามารถทราบค่าต่างๆ ได้โดยอาศัยเทคนิคการวัดที่ถูกต้อง

ตามโรงงานและโรงจักรไฟฟ้าต่างๆ จะมีการวัดค่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor) นอกจากนี้ยังมีการวัดอุณหภูมิของมอเตอร์ และเจนเนอเรเตอร์ (Generator) เพื่อนำค่าต่างๆ เหล่านี้ไปควบคุมการทำงานของเครื่องจักรได้ตามต้องการ เครื่องมือวัดไฟฟ้าในปัจจุบันได้รับการพัฒนาอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้การวัดค่าที่ถูกต้องและรวดเร็ว อย่างไรก็ตามในการวัดย่อมจะมีการผิดพลาดเกิดขึ้นได้ ดังนั้นผู้ที่ทำการวัดจะต้องคำนึงถึงค่าผิดพลาดต่างๆ ว่ามาจากแหล่งใดค่าเท่าไร และหาทางแก้ไข

##### 2.1.2 การหาค่าผิดพลาดจากการวัด

ในการวัดแต่ละครั้ง ค่าที่วัดได้อาจจะไม่ตรงกับค่าที่เป็นจริงเสมอไป ซึ่งสามารถจะแบ่งค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้เป็น ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (Absolute Error) และค่าผิดพลาดสัมพัทธ์ (Relative Error)

ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ คือ การแสดงให้เห็นถึงค่าที่วัดได้แตกต่างไปจากค่าที่เป็นจริงเท่าไร ซึ่งหาได้จากผลต่างๆ ของค่าที่วัดได้และค่าที่เป็นจริง

$$F = X_M - X_T \quad (2.1)$$

โดยค่า  $F$  คือ ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์

$X_M$  คือ ค่าที่วัดได้

$X_T$  คือ ค่าที่เป็นจริง

ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์จะมีเครื่องหมายได้ทั้งบวกและลบ เครื่องหมายบวกลบหมายถึงค่าที่วัดได้มากกว่าค่าที่เป็นจริง และเครื่องหมายลบหมายถึงค่าที่วัดได้น้อยกว่าค่าที่เป็นจริง

ค่าผิดพลาดสัมพัทธ์ ได้จากค่าที่วัดผิดพลาดไปจากค่าที่เป็นจริงเทียบกับค่าที่เป็นจริงโดยคิดเป็นร้อยละ

$$f = \frac{X_M - X_T}{X_T} \times 100\% \quad (2.2)$$

โดยที่  $f$  คือ ค่าผิดพลาดสัมพัทธ์

การเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดต่างๆ ว่าผิดไปจากค่าที่เป็นจริงมากหรือน้อยเพียงใดนั้น จะสามารถดูได้จากค่าผิดพลาดสัมพัทธ์

### 2.1.3 มาตรฐานของเครื่องมือวัด

ในการทำเครื่องวัดทุกชนิดนั้น ไม่สามารถที่จะทำให้สมบูรณ์แบบ จนไม่มีการผิดพลาดจากตัวเครื่องวัดเองได้ มาตรฐานของเครื่องวัดจะเป็นตัวเลขบอกถึงความเที่ยงตรงของตัวเครื่องวัดเอง เครื่องวัดที่มีมาตรฐานสูงๆ จะวัดค่าได้ผิดพลาดมากกว่าเครื่องวัดที่มีมาตรฐานต่ำๆ (ในกรณีเปรียบเทียบที่ย่านการวัดเดียวกัน)

มาตรฐานของเครื่องวัดจะบอกถึงเปอร์เซ็นต์การผิดพลาดของแต่ละย่านการวัด ในเครื่องวัดนั้นๆ เมื่อนำมาตรฐานของเครื่องวัดคูณกับย่านการวัดแต่ละย่าน จะได้ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์จากเครื่องวัดในย่านนั้นๆ

### 2.1.4 ผลของอุณหภูมิ

เครื่องวัดที่ใช้ขดลวดที่ทำด้วยทองแดงทุกชนิด เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจากอุณหภูมิมาตรฐาน (20 องศาเซลเซียส) ในขณะที่ทำการวัด จะทำให้ขดลวดเคลื่อนที่ ซึ่งทำด้วยทองแดงมีค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไป 0.4 เปอร์เซ็นต์ต่อองศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปนี้จะทำให้ค่าที่วัดได้ผิดพลาดจากความเป็นจริงไป นอกจากนั้นจากการที่ต่อเครื่องวัดภายใต้กระแสไฟฟ้านานๆ จะทำให้ค่าความต้านทานต่างๆ ในตัวเครื่องวัดเปลี่ยนแปลงไปด้วย

### 2.1.5 ผลจากสนามแม่เหล็ก

เครื่องวัดที่วางอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กขณะทำการวัด ย่อมทำให้เกิดการวัดผิดพลาดขึ้นได้ เนื่องจากสนามแม่เหล็กภายนอก จากการทดลองโดยการนำเอาเครื่องวัดวางไว้ที่กึ่งกลางขดลวดชุดหนึ่งที่มีรัศมี 1 เมตร และทำให้เกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Magnetic Voltage) 400 แอมแปร์ปรากฏว่าเข็มชี้ของเครื่องวัดนั้นแสดงค่าผิดไปจากค่าที่ทำการวัดจริงประมาณ 0.75 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ของย่านการวัดนั้นๆ

### 2.1.6 สาเหตุอื่นๆ ของการวัดผิดพลาด

ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว จากผลที่ทำให้เกิดการวัดผิดพลาดขึ้นของเครื่องวัดแต่ละชนิด เช่น ผลจากความถี่จะทำให้ค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (Inductive Reactance :  $X_L$ ) ของเครื่องวัดนั้นสูงขึ้น (ความถี่สูงกว่าที่กำหนด) หรือต่ำลง (ความถี่ต่ำกว่าที่กำหนด) ในตัวเครื่องวัดแบบใช้แผ่นเหล็กเคลื่อนที่ ผลจากรูปคลื่นไซน์ที่ผิดเพี้ยนไปทำให้ค่า เอฟเฟกตีฟ (Effective) ที่แสดงบนสเกลไม่ตรงกับความเป็นจริง จากการปรับสเกลของเครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่หรือการวางเครื่องวัดผิดไปจากที่กำหนดไว้

## 2.2 หลักการของเครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรง

### 2.2.1 หลักการและวงจรแอมป์มิเตอร์

แอมป์มิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดค่าปริมาณกระแสไฟฟ้า (I) ในวงจรโดยปกติแล้ว แอมป์มิเตอร์จะใช้ต่ออนุกรมกับวงจรที่จะวัดกระแสเสมอ เพื่อไม่ให้มีผลกระทบกับระดับกระแส ในวงจรแอมป์มิเตอร์จะต้องมีค่าความต้านทานต่ำกว่าความต้านทานรวมของวงจรมากๆ เครื่องวัดแบบเข็มซึ่งถูกนำมาใช้เป็นแอมป์มิเตอร์ ซึ่งการบายเบนของเข็มชี้ขึ้นนั้นเป็นส่วนโดยตรงกับกระแสที่ไหลผ่านขดลวด

กฎการแบ่งกระแส อัตราส่วนของกระแสจากทั้ง 2 สาขาจะเป็นส่วนกลับกับอัตราส่วนของความต้านทานของสาขาทั้ง 2 นั้น เขียนได้ว่า

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad (2.3)$$

อย่างไรก็ตามการบายเบนของเข็มชี้ที่มากที่สุด ต้องถูกกระทำได้โดยกระแสจำนวนน้อย และขดลวดที่ใช้เป็นเส้นลวดขนาดบาง ซึ่งจะถูกทำลายได้ง่ายถ้ามีกระแสสูงๆ ดังนั้นถ้ามีกระแสสูงๆ เครื่องวัดจะต้องปรับปรุงเพื่อให้วัดกระแสทั้งหมดได้ โดยต่อความต้านทานขนาน (Shunt Resistance :  $R_{sh}$ ) รอบๆ ขดลวดของมิเตอร์ เพื่อให้กระแสส่วนน้อยเท่านั้นไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่ของมิเตอร์

ถ้าส่วนเคลื่อนไหวในมิเตอร์มีความต้านทานภายในเป็น  $R_m$  ซึ่งแทน  $R_1$  และความต้านทานต่อขนาน  $R_{sh}$  ซึ่งแทน  $R_2$  สามารถเขียนสมการ

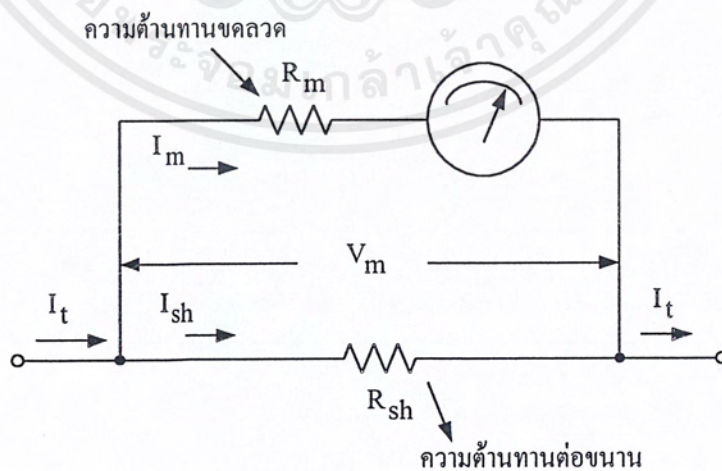
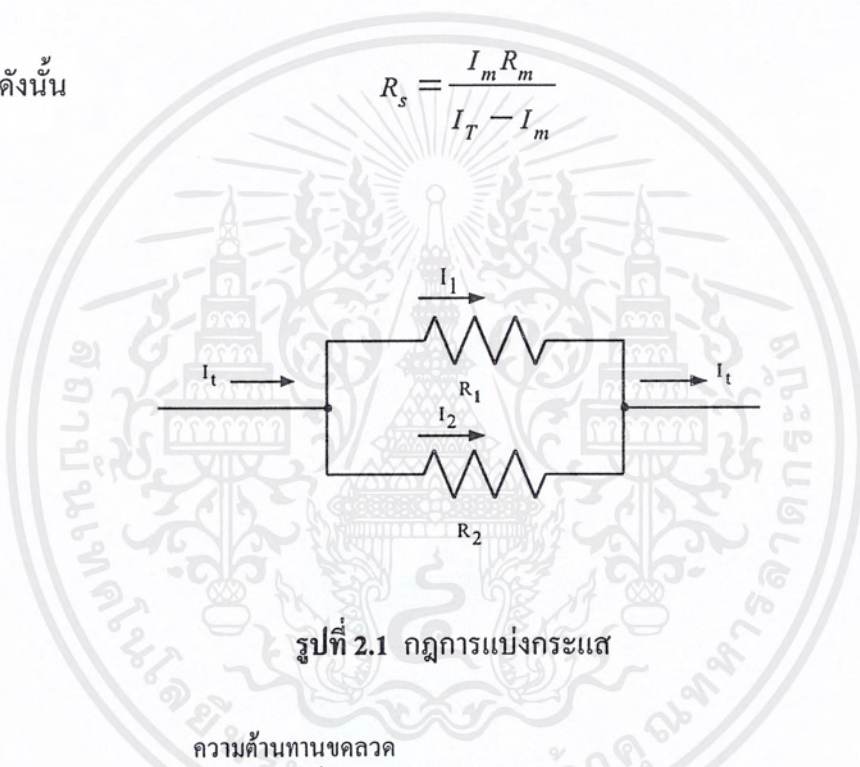
$$\frac{I_m}{I_{sh}} = \frac{R_{sh}}{R_m} \quad (2.4)$$

และถ้า  $I_{sh} = I_T - I_m$  แล้วจะได้

$$\frac{I_m}{I_T - I_m} = \frac{R_{sh}}{R_m}$$

ดังนั้น

$$R_s = \frac{I_m R_m}{I_T - I_m} \quad (2.5)$$

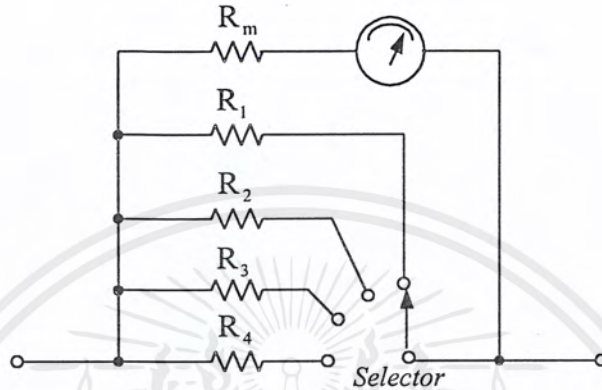


รูปที่ 2.2 วงจรเครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

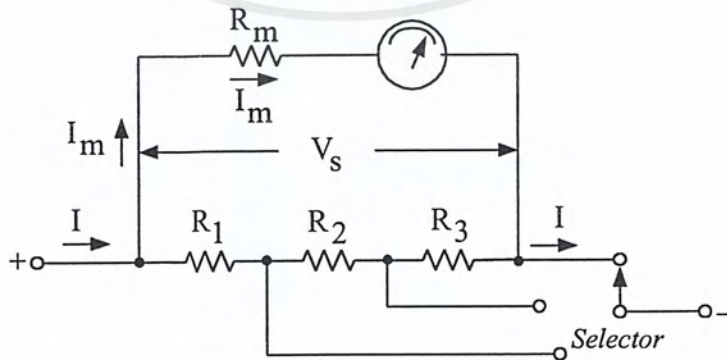
### 2.2.3 แอมป์มิเตอร์หลายย่านวัด

วงจรของแอมป์มิเตอร์หลายย่านวัด (Multirange Ammeter) หลายย่านวัดในรูปที่ 2.3 ใช้สวิตช์เป็นตัวเลือกความต้านทานต่อขานานที่มีค่าแตกต่างกันไป



รูปที่ 2.3 แอมป์มิเตอร์หลายย่านวัดต่อแบบอินดิวิดวล

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าสวิตช์เลือกความต้านทานต่อขานานเฉพาะแต่ละตัว เรียกการต่อวงจรของแอมป์มิเตอร์หลายย่านวัดนี้ว่า การต่อแบบ “อินดิวิดวล” (Individual) มีข้อดีคือ สะดวกและง่ายต่อการคำนวณออกแบบสร้าง แต่มีข้อเสีย คือ ในขณะที่ทำงานการวัดกระแสในวงจร ถ้าต้องการเปลี่ยนย่านวัด จะต้องปลดปลอยสายวัด ออกจากวงจรที่ทำการวัดกระแสอยู่เสียก่อนจึงทำการเปลี่ยนย่านวัดได้ ไม่เช่นนั้นจำนวนกระแสที่วัดจะไหลไปยังมิเตอร์ทั้งหมด ทำให้มิเตอร์ชำรุดได้ จึงได้มีการแก้ไขข้อบกพร่องนี้โดยการต่อความต้านทานเป็นแบบ “อาร์ตันชันต์” (Ayrton Shunt) ซึ่งจะมีความต้านทานต่อขานานอยู่กับมิเตอร์ตลอดเวลา เมื่อมีการวัดกระแสหรือขณะเปลี่ยนย่านวัด

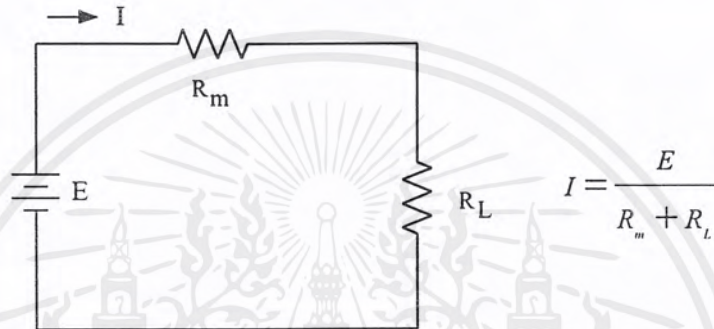


รูปที่ 2.4 แอมป์มิเตอร์หลายย่านวัดต่อแบบอาร์ตันชันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 ความผิดพลาดในการวัดกระแส

การใช้งานแอมป์มิเตอร์ ทำได้โดยต่อแอมป์มิเตอร์อนุกรมเข้ากับวงจรที่ต้องการวัดกระแส เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบที่จะมีต่อระดับกระแสในวงจรขณะทำการวัด แอมป์มิเตอร์จึงจะต้องมีความต้านทานต่ำกว่าความต้านทานของวงจรมากๆ ซึ่งตามอุดมคติแล้ว แอมป์มิเตอร์ควรจะต้องมีความต้านทานเป็นศูนย์ แต่ไม่มีมิเตอร์ตัวใดที่ทำได้อเช่นนั้น จึงเกิดความแตกต่างจากค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าจากการวัด สามารถนำมาเขียนใหม่เป็นวงจรที่รวมค่าความต้านทานของแอมป์มิเตอร์



รูปที่ 2.5 วงจรวัดกระแสเมื่อคิดค่าความต้านทานของมิเตอร์

ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากเครื่องมือวัดจะหาได้โดย

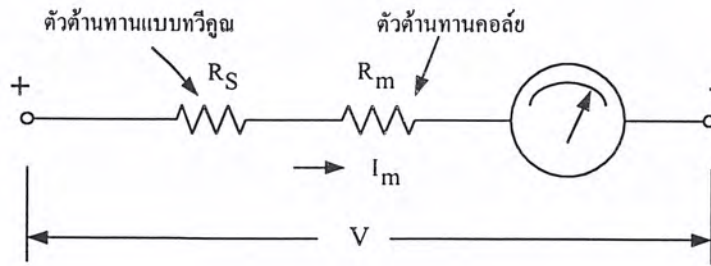
$$\text{เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด} = \frac{\text{ค่าตามอุดมคติ} - \text{ค่าที่วัดได้}}{\text{ค่าตามอุดมคติ}} \times 100 \quad (2.6)$$

## 2.3 หลักการของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

### 2.3.1 หลักการและวงจรเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับวัดค่าแรงดันไฟฟ้าหรือความต่างศักย์ไฟฟ้าในวงจร การบายเบนของเครื่องวัดแบบเข็มชี้ จะขึ้นอยู่กับจำนวนของกระแสที่ไหลผ่านตัวขดลวดเคลื่อนที่ กระแสที่ขดลวด จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันที่ตกคร่อมขดลวด ดังนั้นสเกลแรงดันของเครื่องวัดแบบเข็มชี้จึงสามารถปรับแต่งได้ เนื่องจากความต้านทานขดลวดมีขนาดเล็ก และแรงดันตกคร่อมขดลวดก็มีไม่มาก จึงสามารถใช้วัดแรงดันได้ค่าต่ำๆ แต่ถ้าต้องการขยายย่านการวัดให้สูงขึ้น ก็ทำได้โดยการต่อตัวความต้านทานโดยการต่ออนุกรมกับเครื่องวัด ซึ่งเรียกความต้านทานที่ต่อเพิ่มเข้าไปนี้ว่า “ความต้านทานตัวคูณ” (Multiplier Resistance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 วงจรพื้นฐานของโวลต์มิเตอร์

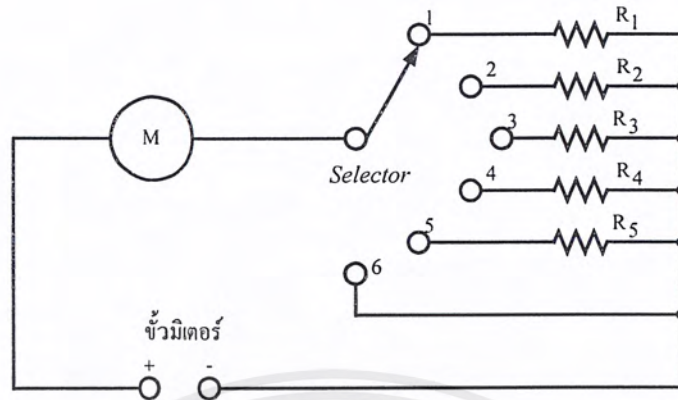
จากรูปที่ 2.6 จะได้ผลรวมความต้านทานของโวลต์มิเตอร์ คือ ความต้านทานตัวคูณบวก ความต้านทานขดลวด  $R_s + R_m$  และสามารถหาค่าความต้านทานอนุกรมได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad & V = I_m (R_s + R_m) \\ \text{จะได้} \quad & R_s = \left( \frac{V}{I_m} \right) - R_m \end{aligned} \quad (2.7)$$

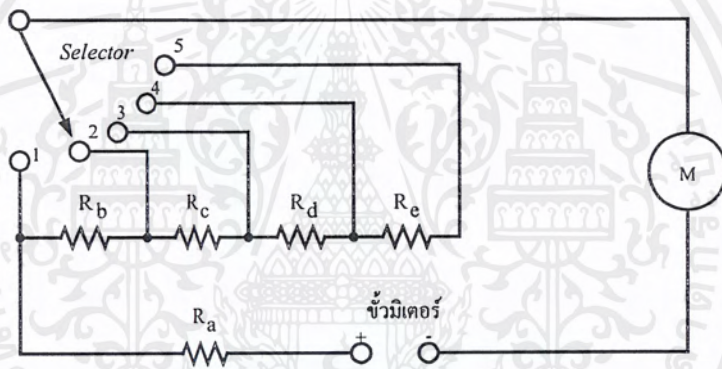
### 2.3.2 โวลต์มิเตอร์หลายย่านวัด

การเพิ่มย่านการวัดในการใช้งานของโวลต์มิเตอร์นั้นทำได้ง่ายๆ โดยการต่อความต้านทานอนุกรมกับมิเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ความต้านทานนี้จะจำกัดกระแสที่ไหลเข้ามิเตอร์ ดังนั้นมิเตอร์จะสามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้สูงกว่าที่จะใช้เพียงความต้านทานภายในมิเตอร์เท่านั้น ความต้านทานเหล่านี้ ซึ่งไม่ว่าจะต่อภายนอกหรือภายในวงจรก็ตามรวมกันเรียกว่า “มัลติพลี” (Multipliers) ค่าของความต้านทานมัลติพลีสามารถหาได้จากค่ากระแสเต็มสเกลของมิเตอร์ และจากย่านการวัดของแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการวัด ถ้าค่ากระแสที่ไหลผ่านมิเตอร์ขึ้นกับค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งานโดยตรงแล้ว สามารถหาค่ามัลติพลีได้จากกฎของโอห์มในสมการที่ 2.7

ในการสร้างโวลต์มิเตอร์แบบหลายย่านการวัดนั้น จะทำการใช้ส่วนเคลื่อนไหวในมิเตอร์เพียงตัวเดียว และใช้ความต้านทานมัลติพลีจำนวนหนึ่งกับสวิตช์หมุนเข้าประกอบด้วยซึ่งมีวงจรที่เป็นไปได้ 2 ลักษณะ ในรูปที่ 2.7 (ก) จะทำการเลือกความต้านทานเพิ่มค่าแบบตัวเดียวโดยใช้สวิตช์หมุนให้เหมาะกับการอนุกรมเข้ากับส่วนเคลื่อนไหวของมิเตอร์ รูปที่ 2.7 (ข) ความต้านทานมัลติพลีต่ออนุกรมกันอยู่หลายๆ ตัวในจุดต่อระหว่างความต้านทานแต่ละตัวต่อเข้ากับขั้วต่อสวิตช์เลือก



(ก) การต่อความต้านทานแบบขนาน



(ข) การต่อความต้านทานแบบอนุกรม

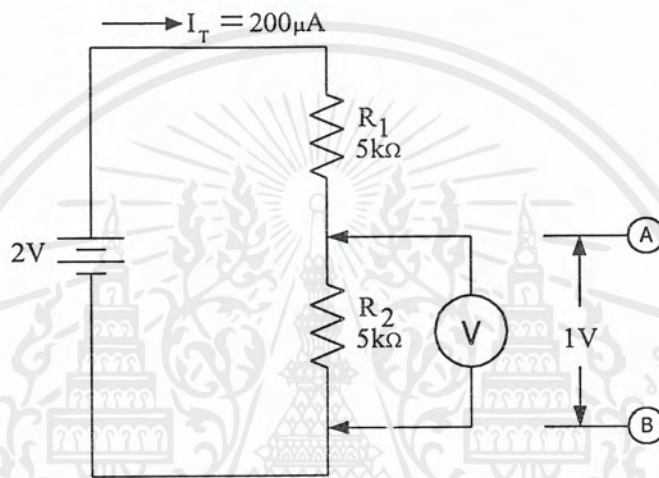
รูปที่ 2.7 วงจร โวลต์มิเตอร์แบบหลายขอบเขตการวัด

จากวงจรโครงสร้างในรูปที่ 2.7 (ข) มีราคาในการผลิตต่ำสุด เนื่องจากมีความต้านทาน ( $R_a$ ) เพียงตัวเดียวที่เป็นค่าไม่มาตรฐาน ซึ่งความต้านทานที่ไม่มาตรฐานนี้จะนำมาใช้ในการชดเชยค่าความต้านทานภายในของมิเตอร์ ซึ่งทำให้ความต้านทานภายในมิเตอร์มีค่าขึ้นมาเป็นค่ามาตรฐาน ในขณะที่ความต้านทานทุกตัวที่เหลือจะเป็นความต้านทานมาตรฐานทั้งสิ้น จึงทำให้ลดต้นทุนในการผลิตลงได้ ส่วนในโครงสร้างในรูปที่ 2.7 (ก) จะเป็นในทางกลับกันคือ ต้องการความต้านทานที่เป็นค่าไม่มาตรฐานทั้งสิ้น เพราะความต้านทานแต่ละตัวจะใช้ต่อกับความต้านทานภายในมิเตอร์เพียงตัวเดียวขณะใช้งาน (ความต้านทานมาตรฐาน คือ ความต้านทานที่มีขายในท้องตลาด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 ความผิดพลาดในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า

การใช้งานโวลต์มิเตอร์ขณะทำการวัดค่านั้นจะต่อขนานเข้ากับวงจรทดสอบ ซึ่งตรงข้ามกับการทำงานของแอมป์มิเตอร์ที่ต้องต่ออนุกรม ทั้งนี้ก็เนื่องจากโวลต์มิเตอร์ต้องการให้มีกระแสผ่านโวลต์มิเตอร์เป็นค่าจำกัด เพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อวงจรทดสอบที่นำมาใช้ ซึ่งจะรู้จักในลักษณะของผลกระทบจากการโหลดที่โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter Loading Effect) ผลจากโหลดนี้ จะดึงให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมแหล่งจ่ายตกลงมา ทำให้เกิดผลกระทบต่อการวัดค่า



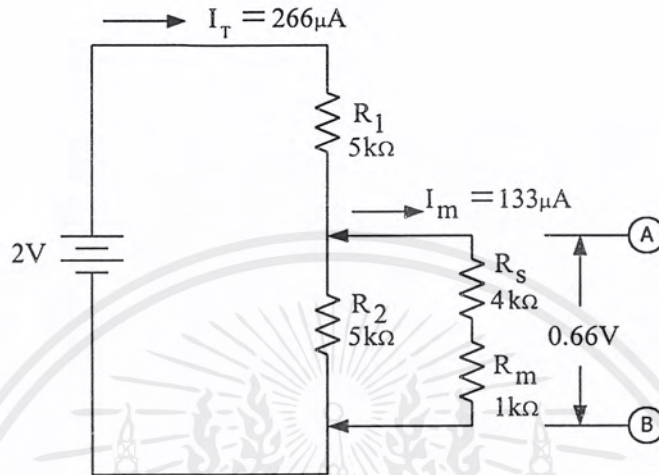
รูปที่ 2.8 การแบ่งศักดาไฟฟ้าของความต้านทานต่ออนุกรม

ผลกระทบนี้อธิบายได้ด้วยรูปที่ 2.8 ในรูปใช้โวลต์มิเตอร์แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมความต้านทานหนึ่งในสองตัวที่อนุกรมกันอยู่ ค่าแรงดันไฟฟ้าคร่อมจุด A และ B มีค่า 1 โวลต์ ขณะไม่ได้ต่อโวลต์มิเตอร์ และเนื่องจากค่าความต้านทานทั้ง 2 ตัวนั้นมีค่าเท่ากัน ดังนั้นในการแบ่งค่าแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟจึงเป็นครึ่งหนึ่งพอดี

เมื่อนำโวลต์มิเตอร์เข้ามาใช้งาน วงจรนี้ก็จะเปลี่ยนไป โดยที่จะแทนโวลต์มิเตอร์นี้ด้วยความต้านทานซึ่งต่อขนานอยู่กับ  $R_2$  ดังแสดงในรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่า โวลต์มิเตอร์จะไม่แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ถูกต้องของวงจรออกมา แต่ค่าที่ได้จะเกิดจากความบกพร่องในการวัด โดยค่าจริงเป็น 1 โวลต์ ขณะที่โวลต์มิเตอร์ค่าเป็น 0.66 โวลต์

ซึ่งตัวประกอบการโหลดที่โวลต์มิเตอร์ ซึ่งเรียกว่า ค่าความไว (Sensitivity) และแสดงค่าเป็นโอห์มต่อโวลต์

$$\text{ค่าความไว (Sensitivity)} = \frac{R_s R_m}{\text{ค่าศักดาไฟฟ้าเต็มสเกล}} \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.9 ผลกระทบจากการมีโหลดที่โวลต์มิเตอร์

ยิ่งค่าความไวของโวลต์มิเตอร์มากขึ้น ค่ากระแสจะลดต่ำลง และการโหลดจากวงจรก็จะลดต่ำลง โวลต์มิเตอร์ในอุดมคตินั้นจะมีค่าความไวโอห์มต่อโวลต์เป็นค่าสูงอนันต์ ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดผลกระทบใดๆ ขึ้นแก่วงจร ในห้องปฏิบัติการที่มีการควบคุมและในการใช้งานทั่วไป เครื่องมือวัดแบบแอนะล็อกจะมีค่าความไวถึง 20,000 โอห์มต่อโวลต์

มิเตอร์แบบแอนะล็อกนั้นจะไม่เที่ยงตรงที่ช่วงสเกลต่ำๆ ทั้งนี้เนื่องจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่เบร็งของขดลวด โดยค่าแรงบิดที่ใช้หมุนเข็มจะหมดไปกับแรงเสียดทานก่อนที่เข็มจะชี้ที่ค่าสเกลจริง เมื่อค่ากระแสไหลผ่านขดลวดเพิ่มขึ้นค่าแรงผลักก็จะเพิ่มขึ้นตาม และทำให้ผลกระทบจากความเสียดทานที่เบร็งลดลงด้วย

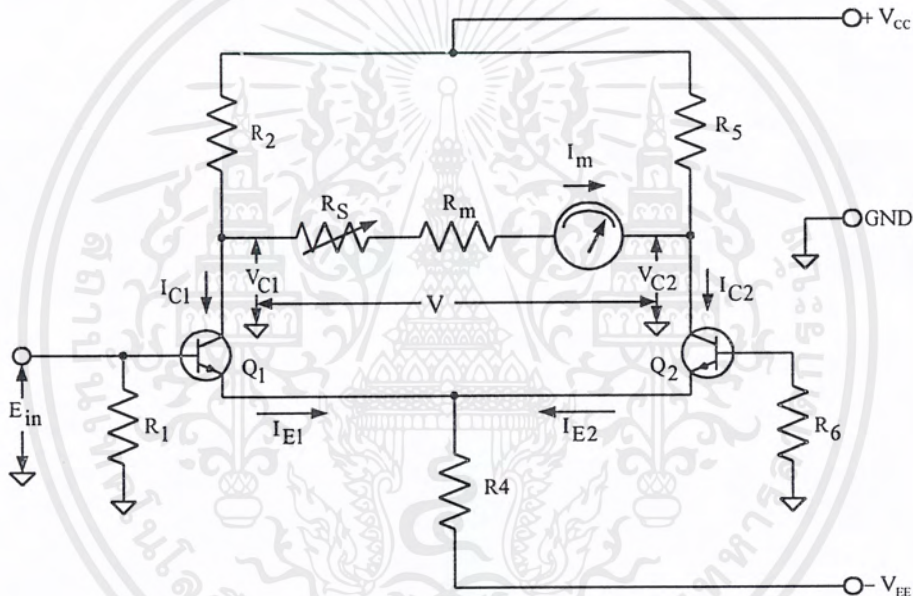
#### 2.3.4 อิเล็กทรอนิกส์โวลต์มิเตอร์

โวลต์มิเตอร์ประกอบด้วยขดลวดเคลื่อนที่และความต้านทานหลายๆ ค่า ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวจำกัดกระแส และจากที่เคยกล่าวมาแล้วว่าหลักการที่สำคัญ คือ ต้องมีความต้านทานภายในต่ำ เพื่อที่จะได้ใช้วัดค่าโหลดได้มากๆ และยังช่วยลดค่าความผิดพลาดอีกด้วย มิเตอร์ชนิดนี้ยังสามารถใช้วัดระดับแรงดันต่ำมากๆ ได้ด้วย ข้อจำกัดต่างๆ เหล่านี้จะเป็นจริงต้องใช้เครื่องมือที่สามารถขยายและแยกสัญญาณอินพุตออกจากการเคลื่อนไหวทางกลของมิเตอร์ได้ ตัวอย่างของอุปกรณ์เหล่านี้คือ อิเล็กทรอนิกส์โวลต์มิเตอร์ และอิเล็กทรอนิกส์มัลติมิเตอร์

### 1) อิเล็กทรอนิกส์วอลต์มิเตอร์แบบใช้ทรานซิสเตอร์

หลักการของอุปกรณ์ชนิดนี้คือการต่ออุปกรณ์วัดเข้ากับวงจรขยายความแตกต่าง (Differential Amplifier Circuit) วงจรชนิดนี้ทำการขยาย และแยกสัญญาณอินพุตออกจาก การเคลื่อนไหวของเครื่องวัด ดังรูปที่ 2.10

ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  และ  $Q_2$  ต่อรวมอยู่กับ  $R_2, R_5$  และ  $R_4$  สร้างวงจรขยายความแตกต่างที่ ระหว่างขาอิมิตเตอร์ทั้งสอง วงจรขยายนี้เกิดขึ้นเมื่อแรงดันที่ขาเบสของ  $Q_2$  เป็น 0 และป้อน สัญญาณแรงดันที่ขาเบสของ  $Q_1$  ค่าแรงดันที่ขาเบสทั้งสองจะถูกขยายและส่งผลไปถึงแรงดันที่ ขาคอลเล็กเตอร์



รูปที่ 2.10 ส่วนของวงจรขยายความแตกต่าง

วงจรขยายนี้ต้องใช้ไฟเลี้ยงทั้งบวกและลบ จุดร่วมของทั้งสองแหล่งจ่ายก็คือกราวด์ เมื่อต่อ ขาเบสของ  $Q_1$  และ  $Q_2$  ลงกราวด์ แรงดันคร่อมความต้านทาน  $R_4$  คือ

$$V_{R4} = 0 - V_{BE} - (-V_{EE}) \quad (2.9)$$

$V_{EE}$  มีค่าต่ำกว่า 0.7 โวลต์ กระแสที่ไหลผ่าน  $R_4$  คือ

$$I_{E1} + I_{E2} = \frac{V_{R4}}{R_4} \quad (2.10)$$

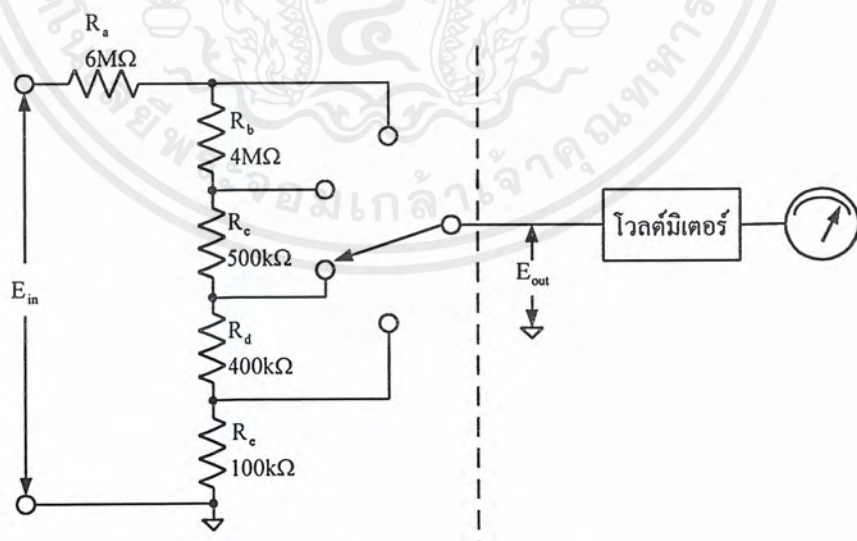
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $E_{in} = 0$  แล้ว  $I_{E1} = I_{E2}$  ถ้าทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวมีคุณสมบัติคล้ายกันแล้ว  $I_{c1} = I_{c2}$  และ  $V_{R5} = V_{R5}$

สถานะเช่นนี้ ทำให้แรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์ของ  $Q_1$  มีค่าเท่ากับแรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์ของ  $Q_2$  ถ้ามีเตอร์หรือเครื่องมือจับสัญญาณแรงดันถูกต่อเข้าไประหว่างขาคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ทั้งสอง เครื่องวัดจะแสดงผลต่างแรงดันเท่ากับ 0 และเพราะว่าเราต้องคงค่าแรงดันตกคร่อม  $R_4$  เพื่อเลี้ยง  $V_{BE}$  ของทรานซิสเตอร์  $Q_2$  แหล่งจ่ายไฟบวกที่ป้อนเข้าขาเบสของ  $Q_1$  จะทำให้กระแสที่ผ่าน  $Q_1$  เพิ่มขึ้น และลดกระแสที่ผ่าน  $Q_2$  จะทำให้แรงดันคร่อม  $R_2$  มีค่ามากขึ้น และลดแรงดันตกคร่อม  $R_5$  และทำให้แรงดันที่คอลเล็กเตอร์ของ  $Q_1$  และ  $Q_2$  มีค่าเพิ่มขึ้น

ผลที่เกิดขึ้น คือ ผลต่างของแรงดันระหว่างขาคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ทั้งสอง ซึ่งเครื่องวัดจะแสดงผลต่างแรงดันบวกที่ขาคอลเล็กเตอร์ของ  $Q_2$  และแรงดันลบที่ขาคอลเล็กเตอร์ของ  $Q_1$  แรงดันที่วัดได้จากเครื่องวัดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันอินพุต  $E_{in}$  ซึ่งทำให้อ่านค่าสัญญาณแรงดัน  $E_{in}$  ซึ่งทำให้อ่านค่าสัญญาณแรงดัน  $E_{in}$  จากเครื่องวัดได้

วงจรแบ่งแรงดันนี้ สร้างขึ้นจากวงจรตัวต้านทาน ซึ่งจำกัดแรงดันที่จะเข้าสู่วงจรดิฟเฟอเรนเชียลทั้งเป็นตัวกำหนดระดับสัญญาณของเครื่องมือ วงจรแบ่งแรงดันนี้จะประกอบไปด้วยตัวต้านทาน  $R_2$  ถึง  $E_c$  โดยซึ่งแบ่งแรงดันเพื่อทำการวัดก่อนที่จะป้อนเข้าสู่อินพุตของทรานซิสเตอร์ ดังรูปที่ 2.11 การทำเช่นนี้จะจำกัดอินพุตของทรานซิสเตอร์ให้มีค่าไม่เกิน 1 โวลต์ เมื่อสวิตช์เลือกอยู่ในตำแหน่งที่ทำการวัดแรงดัน



รูปที่ 2.11 ส่วนของวงจรขยายภาคอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างเล็กๆ ชนิดนี้ มีข้อดีตรงที่สามารถให้ค่าความต้านทานอินพุตแก่วงจรที่วัดนั้น น้อยมากโดยไม่ขึ้นกับการตั้งระดับแรงดัน เพราะฉะนั้นปัญหาเรื่องความไม่เสถียรภาพของ อิเล็กทรอนิกส์โวลต์ก็หมดไปและสิ่งที่สำคัญคือ ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของอิเล็กทรอนิกส์ โวลต์มิเตอร์

เมื่อนำวงจรแบ่งแรงดัน ไปใช้กับทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์จะทำให้ความต้านทานทาง อินพุตของทรานซิสเตอร์ และจะทำให้มีผลกระทบต่ออินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องมือวัด เพราะว่า ความต้านทานที่ขาเบสนั้นจะต่อขนานอยู่กับวงจรแบ่งแรงดัน จึงทำให้เกิดค่าความผิดพลาดในส่วน วงจรแบ่งแรงดันในรูปของภาระของวงจรขยาย

## 2) อิเล็กทรอนิกส์โวลต์มิเตอร์แบบใช้ออปแอมป์

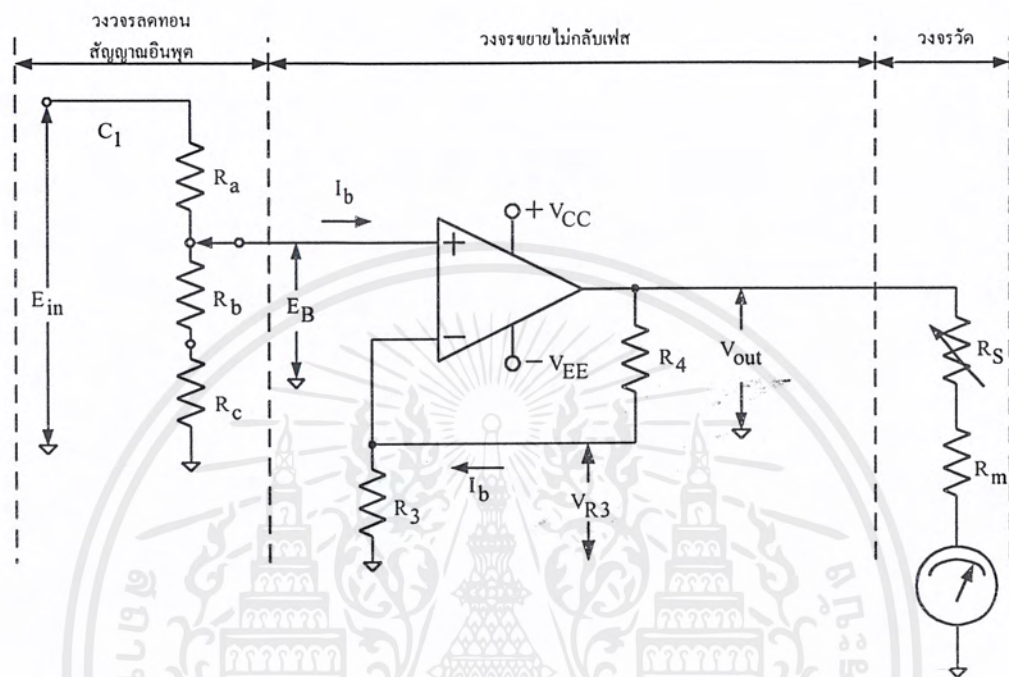
ด้วยข้อดีหลายประการของวงจรรวม ทำให้นำเอาออปแอมป์ซึ่งมีเสถียรภาพเพียงพอที่จะ นำมาใช้เป็นอิเล็กทรอนิกส์โวลต์มิเตอร์ ความต้านทานของอินพุตของออปแอมป์มีค่าสูงมาก ซึ่งใน ขณะที่กระแสอินพุตของพวกทรานซิสเตอร์มีค่าประมาณ 0.2 แอมแปร์ แต่เฟดต่อกับออปแอมป์มี ค่ากระแสอินพุตเพียง 50 พิโคแอมแปร์ หรือน้อยกว่านี้ ความต้านทานของเอาต์พุตของออปแอมป์มี ค่าประมาณ 0 โอห์ม จึงสามารถจ่ายกระแสให้แก่เครื่องมือที่วัดได้

อิเล็กทรอนิกส์โวลต์มิเตอร์ ที่ออกแบบให้ใช้ออปแอมป์มีโครงสร้างของวงจร 3 แบบ คือ วงจรตามแรงดัน (Voltage Follower) วงจรขยายไม่กลับเฟส (Noninverting) และวงจรแปลงแรงดัน เป็นกระแส (Voltage-to-Current Converters)

วงจรออปแอมป์แบบตามแรงดัน มีลักษณะคล้ายกับวงจรชนิดทรานซิสเตอร์ตัวเดียวแบบ อิมิตเตอร์ ฟอลโลว์เวอร์ (Emitter Follower) ซึ่งจุดเด่นคือ สามารถเปลี่ยนอินพุตอิมพีแดนซ์ที่สูงๆ ให้กลายเป็นเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ที่มีค่าต่ำโดยไม่มีภาระขยาย จากรูปที่ 2.12 อัตราขยายของออปแอมป์ ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 โดยต่อเอาต์พุตของออปแอมป์ไปยังอินพุตของวงจร การทำเช่นนี้จะทำ ให้วงจรตามแรงดัน สร้างสัญญาณเอาต์พุตที่เหมือนกับสัญญาณอินพุตขึ้น ซึ่งต่างกับแบบใช้ ทรานซิสเตอร์ชนิดอิมิตเตอร์ฟอลโลว์เวอร์ เพราะออปแอมป์แบบวงจรตามแรงดันนี้จะไม่มีแรงดัน ตกคร่อมระหว่างเบสและอิมิตเตอร์ในขณะที่ได้รับสัญญาณอินพุต เพราะฉะนั้นแรงดันที่เอาต์พุตจะ เท่ากับแรงดันที่อินพุตเสมอ

เครื่องมือนี้จะต่อเข้ากับเอาต์พุตของออปแอมป์ โดยผ่านวงจรความต้านทานอนุกรม ซึ่งค่า ความต้านทาน  $R_m$  นี้เป็นความต้านทานภายในของเครื่องมือวัด ซึ่งเกิดจากคุณสมบัติของตัวเครื่องมือวัด  $R_s$  คือ ความต้านทานอนุกรมกันที่จะทำหน้าที่จำกัดกระแส เพื่อปรับค่าการอ่านของเครื่องมือวัด วงจรแบ่งแรงดันต้องต่อเข้ากับอินพุตของวงจรขยายไม่กลับเฟส

เมื่อต้องการใช้เครื่องวัดในการวัดแรงดันที่มีค่าต่ำกว่าค่าที่เครื่องวัดจะแสดงได้ นั้นจะใช้การแยก และขยายสัญญาณกับวงจรออปแอมป์ได้ โดยใช้วงจรขยายแบบไม่กลับเฟสในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โวลต์มิเตอร์ชนิดใช้ออปแอมป์ต่อแบบไม่กลับเฟส

วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส เป็นวงจรที่ง่าย ส่วนป้อนกลับประกอบด้วย  $R_4$  และ  $R_3$  ทำการป้อนกระแสเอาต์พุตของออปแอมป์ไปยังกลับเฟสอินพุต โดยเป็นตัวกำหนดองค์ประกอบของอัตราขยาย อัตราขยายของวงจรคำนวณได้จากสมการ

$$A_v = \frac{R_3 + R_4}{R_3} \quad (2.11)$$

วงจรแบ่งกระแส 1 จะถูกเลือกค่าที่มากจนกระทั่งกระแสไบอัสอินพุตของออปแอมป์  $I_b$  ไม่มีผลต่อแรงดันป้อนกลับ ความต้านทานรวมของวงจร  $(R_3 + R_4)$  คำนวณจาก

$$R_3 + R_4 = \frac{V_{out}}{I_b} \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันตกคร่อม  $R_3$  จะมีค่าเท่ากับ  $E_{in}$  และคำนวณค่าโดย

$$R_3 = \frac{E_{in}}{I} \quad (2.14)$$

ถ้าไม่นับความผิดพลาดที่เกิดจากตัวเครื่องวัด หรือความคลาดเคลื่อนของความต้านทานก็จะมีค่าความผิดพลาดที่เกิดจากอัตราขยายในของออปแอมป์ อย่างไรก็ตามในวงจรทั้งสองค่าความผิดพลาดจะถูกตัดทิ้งเมื่อเทียบกับความผิดพลาดที่เกิดจากตัวเครื่องวัด

วงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแส เป็นการปรับปรุงมาจากวงจรขยายไม่กลับเฟสในรูปที่ 2.12 แต่ในวงจรชนิดนี้ต่อเครื่องวัดเข้าไปแทนที่  $R_4$  ส่วน  $R_3$  ใช้ความต้านทานแบบปรับค่าได้ และในกรณีเดียวกับแบบขยายไม่กลับเฟส ที่แรงดันคร่อม  $R_3$  จะมีค่าเท่ากับแรงดันอินพุต  $E_{in}$  ถ้าสัญญาณอินพุตมีการเปลี่ยนแปลง  $V_{R_3}$  ก็จะเปลี่ยนตามไปด้วย ดังนั้นกระแสที่ผ่านเครื่องวัดก็จะมีเท่ากัน

กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดก็คือค่าของแรงดันอินพุต ส่วน  $R_3$  นั้นมีไว้เพื่อการปรับตั้งเครื่องวัด โดยการป้อนแรงดันอินพุตไปที่ขาอินเวอร์ตติ้งของออปแอมป์ และทำการปรับค่า  $R_3$  จนได้ค่าเท่ากับค่าที่ป้อนเข้าไป สำหรับการวัดในวงจรต่างๆ ไปนั้น ในส่วนของแรงดันตกคร่อม  $R_{in} + R_3$  จะมีค่าต่ำกว่าไฟเลี้ยงวงจร  $V_{cc}$  เสมอ

## 2.4 เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

### 2.4.1 หลักการพื้นฐานเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ในการทำงานพื้นฐานต้องทำการเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เพราะว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะมีการสลับเฟสทั้งบวกและลบอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้กับเครื่องวัดได้ จึงต้องมีการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยการใช้ไดโอดทำหน้าที่เป็นวงจรเรียงกระแส

เครื่องวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ จะเกิดปัญหาบางอย่าง ซึ่งไม่เหมือนกับการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ปัญหาเกิดจากความจริงที่ว่าแรงดันกระแสสลับมีค่าตัวแปรเพิ่มขึ้นมาอีกนอกเหนือจากขนาด ซึ่งตัวแปรที่เพิ่มนี้จะมีผลต่อการวัด เพราะฉะนั้นมาเริ่มวิเคราะห์ที่รูปคลื่นกระแสสลับอย่างง่ายก่อน คือ คลื่นไซน์

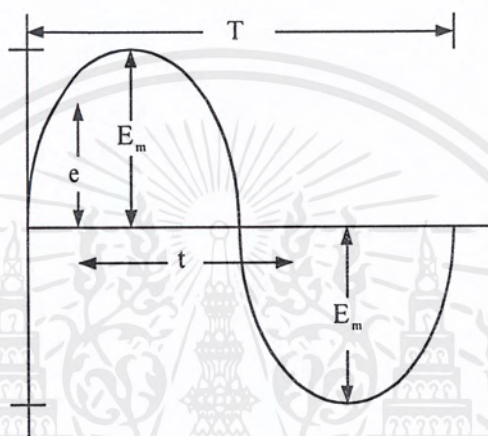
#### การวิเคราะห์คลื่นไซน์

จากรูปที่ 2.13 แสดงค่าตัวแปรต่างๆ ของคลื่นไซน์ แรงดันของคลื่นจะเพิ่มจาก 0 ไปถึงค่าบวกมากที่สุดแล้วก็กลับมาที่ 0 หลังจากนั้นก็ลดลงจาก 0 ไปยังค่าลบมากที่สุด แล้วก็กลับมา

ที่ 0 ทางเดินครบหนึ่งเรียกว่า 1 ไซเคิล หรือ 1 รอบ เวลาที่ใช้ใน 1 ไซเคิล เรียกว่า คาบเวลา (T) จำนวนรอบใน 1 วินาทีเรียกว่า ความถี่

ค่าขณะใดขณะหนึ่งของแรงดันของคลื่นไซน์ หาได้จากสมการ

$$e = E_m \sin(\omega t) \quad (2.15)$$



รูปที่ 2.13 พารามิเตอร์ของคลื่นไซน์

- โดยที่  $e$  คือ ค่าขณะใดขณะหนึ่ง (โวลต์)
- $E_m$  คือ ค่าสูงสุด (โวลต์, peak value)
- $\omega$  คือ ความถี่เชิงมุม (เรเดียน / วินาที)
- $t$  คือ เวลา (วินาที)

และต่อไปนี้เป็น คุณสมบัติบางประการของคลื่นไซน์

ค่ายอดถึงยอด (Peak-to-peak :  $E_{pp}$ ) เป็นค่าแรงดันยอดบวกถึงยอดลบของรูปคลื่น มีเป็นค่า 2 เท่าของค่าสูงสุด  $E_{pp} = 2 E_m$

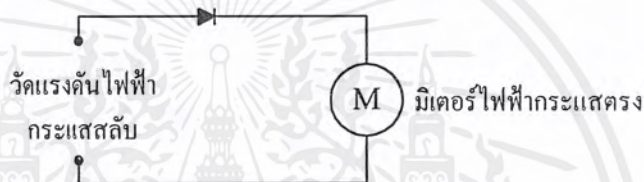
ค่าเฉลี่ย (Average value :  $E_{avg}$ ) ค่าเฉลี่ยของแรงดันใดๆ กำหนดโดยผลบวกทางพีชคณิตของพื้นที่ภายใต้เส้นโค้ง แสดงค่าแรงดันหารด้วยคาบในหน่วยเรเดียน ในกรณีของคลื่นมีค่าเป็นศูนย์ เพราะส่วนบวกมีค่าเท่ากับส่วนลบ ดังนั้นพื้นที่ทั้งหมดเท่ากับศูนย์

ค่าประสิทธิภาพ (Root-mean-square :  $E_{rms}$ ) ของกระแสสลับ คือ ค่าของแรงดันกระแสสลับซึ่งมีผลทางความร้อนเท่ากับแรงดันไฟกระแสตรง

จากค่าทั้งสามค่าที่กล่าวมา ค่าประสิทธิภาพมีความสำคัญที่สุด เพราะมันเป็นเพียงปริมาณเดียวที่เปรียบเทียบผลโดยตรงระหว่างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง และสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ โดยไม่สนใจรูปคลื่นเลย

#### 2.4.2 วงจรเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าโดยทั่วไปจะใช้หลักการ การเคลื่อนไหวของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ในการอ่านค่าออกมา ดังนั้นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ จะต้องถูกแปลงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ก่อนที่จะแสดงค่าออกมาได้ โดยการใช้ไดโอดทำหน้าที่เป็นวงจรเรียงกระแส โดยการแปลงนี้ค่าประสิทธิภาพของรูปคลื่นจะต้องเหมือนเดิม ซึ่งวิธีการแปลงนั้นมีดังนี้



รูปที่ 2.14 วงจรเอซีโวลต์มิเตอร์โดยใช้ไดโอด

##### 1) เครื่องวัดแบบวงจรกรองครึ่งลูกคลื่น

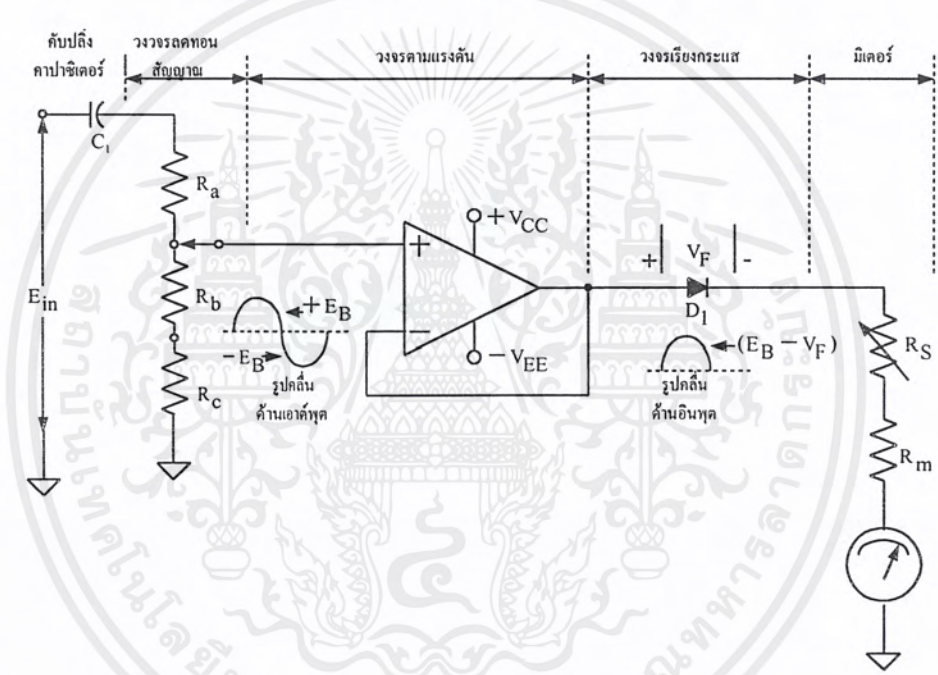
การแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ทำโดยใช้ไดโอดมาทำเป็นวงจรเรียงกระแสซึ่งวงจรกรองนี้ เป็นวงจรทำหน้าที่ตัดลูกคลื่นทางด้านลบเมื่อใช้โดยลำพัง ดังนั้นจึงแปลงรูปคลื่นเป็นกระแสตรงแบบพัลส์ ขบวนการนี้เรียกว่า การเรียงกระแสแบบครึ่งลูกคลื่น เพราะว่าหลังจากผ่านวงจรเรียงกระแสแล้ว ระดับของสัญญาณนั้นจะเหลือเพียงครึ่งของคลื่น ไซน์เมื่อเริ่มต้น

ไอซีออปแอมป์ เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ใช้แปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้การเรียงกระแสของไดโอด ต่อวงจรเรียงกระแสอนุกรมกับเครื่องวัดแรงดันต้นแบบ โวลต์มิเตอร์ชนิดวงจรแปลงไฟแบบครึ่งคลื่น ดังรูปที่ 2.15 จะทำให้เครื่องวัดกลายเป็นเครื่องวัดแรงดันแบบวงจรเรียงกระแสครึ่งลูกคลื่น

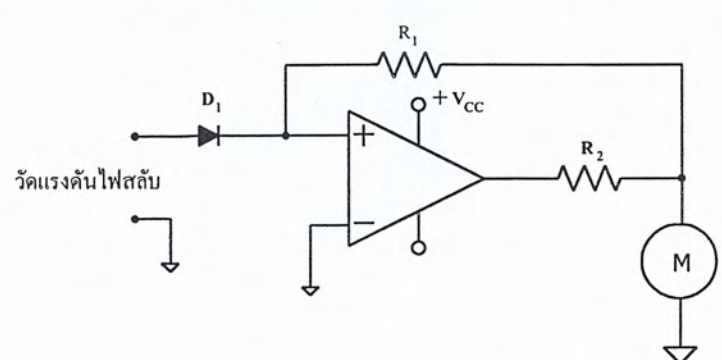
ในการออกแบบสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับจะถูกป้อนเป็นอินพุตของวงจรแบ่งแรงดันผ่านค่าตัวเก็บประจุ  $C_1$  ตัวเก็บประจุ  $C_1$  ต่อที่อินพุตของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อป้องกันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่ต้องการไปกวนการวัด พิจารณาที่เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนของวงจรแบ่งแรงดันนี้จะป้อนค่าตัวเลขของอินพุตได้หลายค่าโดยใช้สวิทช์เลือก รูปคลื่นที่

นอกจากวงจรแบ่งแรงดันจะถูกป้อนตรงไปที่ขานันอินเวอร์ตติ้งของออปแอมป์ เอาต์พุตของวงจรขยายจะถูกป้อนกลับมาที่ขานินเวอร์ตติ้ง ทำให้อัตราขยายของวงจรขยายมีค่าเท่ากับหนึ่ง

วงจรเรียงกระแสอาจจะถูกต่อเข้าที่อินพุตของออปแอมป์ด้วย ซึ่งจะแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ก่อนที่จะไปมีผลบนเครื่องวัด โดยการต่อวงจรเรียงกระแสก่อนที่จะต่อเข้าออปแอมป์ วงจรขยายจะมีผลต่อค่าไฟฟ้ากระแสตรงและช่วงแบนด์วิธ (Bandwidth) ของวงจรขยายจะไม่ได้ค่าตามที่ออกแบบไว้ การออกแบบนี้ไม่นิยม ดังรูปที่ 2.15 เพราะว่าคุณสมบัติที่ไม่สม่ำเสมอของวงจรเรียงกระแสแบบใช้ไดโอด แต่ต่อวงจรแบบเบคเวิร์คเป็นข้อยกเว้นและใช้งานได้ดีในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่สูงๆ



รูปที่ 2.15 โวลต์มิเตอร์ชนิดวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งลูกคลื่น



รูปที่ 2.16 การต่อโวลต์มิเตอร์ชนิดเบคเวิร์คไดโอดเข้ากับวงจรออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดแบบแอนะล็อก เป็นเครื่องมือที่สามารถแสดงแรงดันเฉลี่ย ซึ่งเป็นค่าเอาต์พุตของวงจรกรองซึ่งมีค่า

$$E_{avg} = \frac{E_m}{\pi} = 0.318 E_m \quad (2.16)$$

เมื่อ  $E_m = 1.41 E_{rms}$

แล้ว  $E_{avg} = 0.318(1.41) E_{rms} = 0.45 E_{rms}$

หรือ  $E_{rms} = \frac{E_{avg}}{0.45}$

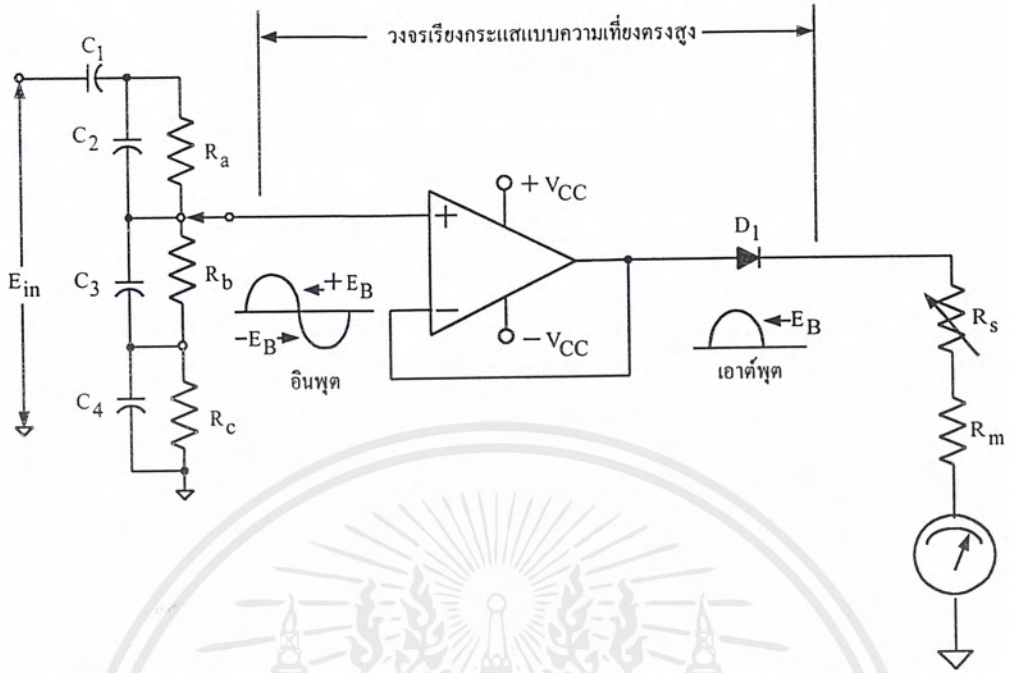
$$E_{rms} = 2.22 E_{avg} \quad (2.17)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ (Form Factor) มีค่า 2.22 ซึ่งเป็นอัตราส่วนของ  $E_{rms}/E_{avg} = 2.22$

ค่าสัมประสิทธิ์เป็นตัวปรับสเกล  $E_{rms}$  ของเครื่องวัด ในขณะที่วัดค่าเฉลี่ยอยู่ แต่ว่าแรงดันตกคร่อมวงจรกรองในรูปที่ 2.15 เป็นตัวกำหนดค่าความผิดพลาด เมื่อต่อโคโอดแบบไบอัสตรง จะมีค่าแรงดันตกคร่อม  $V_F$  เท่ากับ 0.7 โวลต์ จะเพิ่มขึ้นเมื่อ  $I_F$  เพิ่มขึ้นและถ้าลด  $I_F$  ลงต่ำมากๆ ก็ยังคงมีค่า  $V_F$  จะแปรผันตามอุณหภูมิด้วย สามารถคำนวณค่า  $V_F$  ในการออกแบบได้ แต่ไม่สามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงของวงจรได้

เพื่อหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อน การป้อนกลับของวงจรตามแรงดัน ไปยังขาอินเวอร์ตติ้งแทนที่จะต่อจากเอาต์พุตของวงจรขยายก็ต่อจากขาคาโรคของตัวกรองแทนดังรูปที่ 2.17 ผลที่ได้คือเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจะเหมือนกับครึ่งบวกของคลื่น แรงดันอินพุตจะไม่มี  $V_F$  คร่อมระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต เพราะว่าขาอินเวอร์ตติ้งจะต่อกับขานันอินเวอร์ตติ้ง โดยผ่านอินพุตไป เมื่อวัดจากขาคาโรคของวงจรเรียงกระแสโดยใช้ขาอินเวอร์ตติ้งอินพุตเป็นหลัก แรงดันที่ได้จากเครื่องวัดจะมีค่าเท่ากับแรงดันอินพุตของวงจรขยาย โครงสร้างของวงจรแบบนี้คือ วงจรเรียงกระแสแบบความเที่ยงตรงสูง (Precision Rectifier Circuit)

จะเห็นว่า  $C_2$ ,  $C_3$  และ  $C_4$  ต่อคร่อมวงจรแบ่งแรงดันดังรูปที่ 2.17 ตัวเก็บประจุไฟฟ้าเหล่านี้มักจะต้องใช้ในระบบเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อชดเชยความจุไฟฟ้าของออปแอมป์



รูปที่ 2.17 วงจรเรียงกระแสแบบความถี่ขงตรงสูง

ถ้าจะวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยมีระดับต่ำกว่าค่าที่จะแสดงได้ จะต้องทำการขยายย่านการวัดก่อนที่จะผ่านวงจรกระแส แล้วจึงป้อนเข้าเครื่องวัด ดังรูปที่ 2.17 ซึ่งต่อวงจรขยายกับวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งลูกคลื่น แต่ถ้าตัดไดโอดออกจะเห็นว่าวงจรนี้จะเป็นวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส ซึ่งมีอัตราขยายคือ

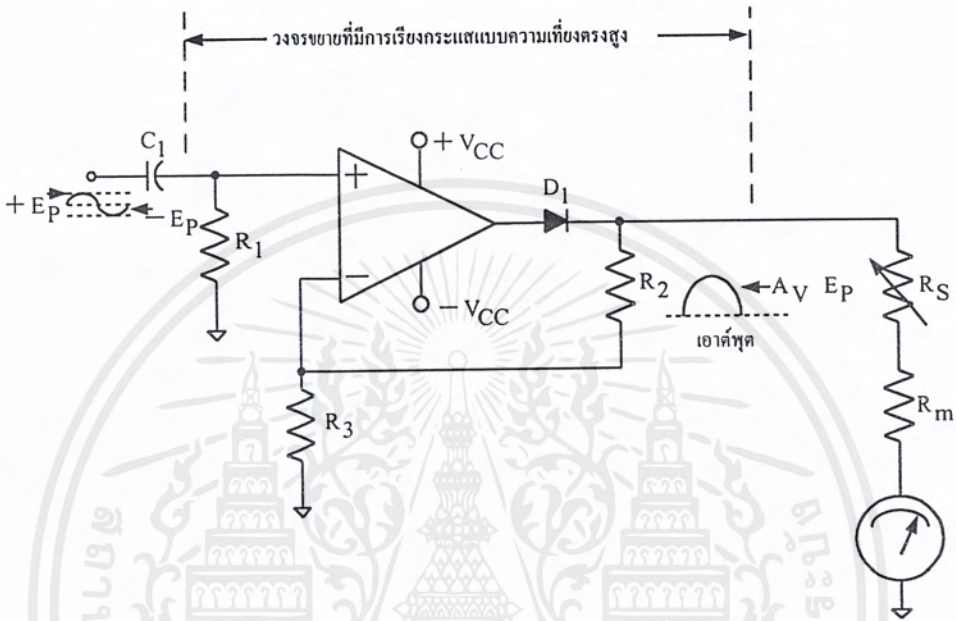
$$A_V = \frac{R_2 + R_3}{R_3} \tag{2.18}$$

แต่ถ้ามีไดโอดต่ออยู่ด้วย จะทำให้คลื่นซีกบวกเท่านั้นที่ถูกขยาย ซึ่งส่วนป้อนกลับจะทำให้การขยายไม่มีแรงดันตกคร่อมขณะทำการวัดอยู่

2) เครื่องวัดแบบใช้วงจรกรองชนิดเต็มลูกคลื่น

เมื่อเราใช้วงจรชนิดนี้ ทั้งซีกบวก และซีกลบของลูกคลื่นจะถูกเรียงกระแสให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ดังรูปที่ 2.18 โดยทั่วไปวงจรชนิดนี้จะเป็นวงจรแบบวงจรบริดจ์ วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์นี้จะปล่อยให้ซีกบวกของคลื่นไซน์ผ่านไปและกลับซีกลบของคลื่นไซน์มา จากรูปที่ 2.18 เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นบวกไดโอด  $D_1$  และ  $D_4$  จะนำกระแสผ่านขั้วลบไปยังขั้วบวกของ

เครื่องมือวัด และเมื่อสัญญาณอินพุตเป็นลบ ไดโอด  $D_1$  และ  $D_4$  จะถูกไบอัสกลับ ไดโอด  $D_2$  และ  $D_3$  จะนำกระแสผ่านเครื่องวัด จากขั้วลบไปยังขั้วบวกเหมือนกัน ทำให้ผลรวมของกระแสจะเป็นคลื่นซีกบวกพอดีๆ กันไปโดยไม่ต้องมีช่องว่าง



รูปที่ 2.18 วงจรขยายชนิดที่มีการแปลงไฟแบบความเที่ยงตรงสูง

เมื่อใช้วงจรกรองแบบเต็มลูกคลื่น ค่าสัมประสิทธิ์จะมีค่าเท่ากับ 1.11 เพราะว่า

$$E_{avg} = \frac{E_m}{2\pi} = 0.636 E_m \tag{2.19}$$

เมื่อ  $E_m = 1.414 E_{rms}$

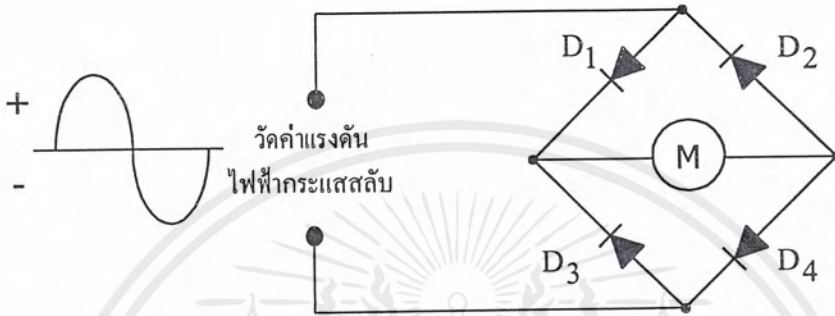
แล้ว  $E_{avg} = 0.636(1.414) E_{rms} = 0.9 E_{rms}$

หรือ  $E_{rms} = \frac{E_{avg}}{0.9}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_{rms} = 1.11 E_{avg} \tag{2.20}$$

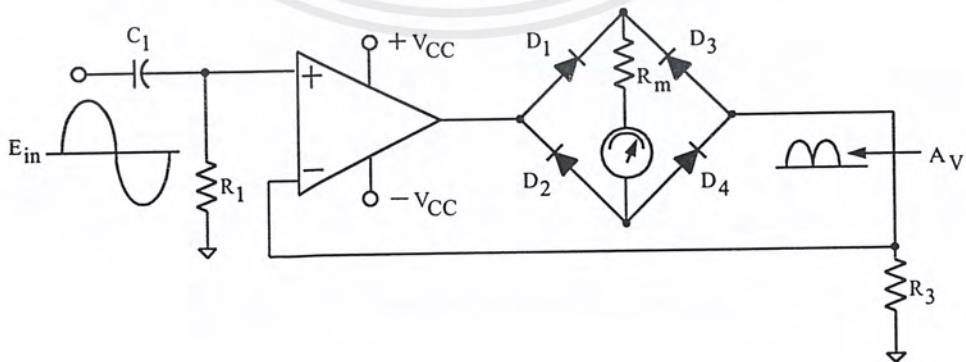
และจากที่กล่าวมาแล้วว่า เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบวงจรเรียงกระแส จะปรับและอ่านค่าประสิทธิผลในขณะที่วัดค่าเฉลี่ย



รูปที่ 2.19 วงจรเรียงกระแสเต็มลูกคลื่นแบบบริดจ์

วงจรดังรูปที่ 2.19 ใช้วงจรบริดจ์เพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งวงจรนี้เป็นวงจรง่ายๆ ในการแปลงแรงดันเป็นกระแสโดยใช้การเรียงกระแส ซึ่งในการออกแบบรูปวงจรนี้แรงดันที่ตกคร่อม  $R_3$  จะมีค่าเท่ากับแรงดันอินพุตเสมอ

เมื่ออินพุตเพิ่มขึ้นหรือลดลง  $V_{R3}$  จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นจึงต้องจำกัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของไดโอด และแรงดันตกคร่อม  $V_{DF1} + V_{DF4}$  เมื่อคลื่นซีกบวกเข้ามาที่ไดโอด  $D_1$  และ  $D_4$  จะถูกไบอัสตรงทำให้กระแสไหลผ่านเครื่องวัดจากบวกไปลบ และเมื่ออินพุตเข้ามาเป็นซีกลบ ไดโอด  $D_2$  และ  $D_3$  จะถูกไบอัสกลับ ทำให้กระแสไหลจากบวกไปลบ



รูปที่ 2.20 วงจรแปลงไฟแบบเต็มคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 ค่าความไวของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

ค่าความไวของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ คือค่าความไวในการวัดของเครื่องวัดทางไฟฟ้ากระแสสลับมีหน่วยเป็นโอห์มต่อโวลต์ ( $\Omega/V$ ) ซึ่งสามารถหาได้จาก

วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

$$SEN_{(AC)} = \frac{0.45}{I_F} \quad (2.21)$$

วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

$$SEN_{(AC)} = \frac{0.9}{I_F} \quad (2.22)$$

โดย  $SEN_{(AC)}$  คือ ค่าความไวทางไฟฟ้ากระแสสลับ มีหน่วยเป็นโอห์มต่อโวลต์ ( $\Omega/V$ )  
 $I_F$  คือ ค่ากระแสไฟตรงเต็มสเกลมิเตอร์ มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)

## 2.5 เครื่องวัดความต้านทาน

### 2.5.1 หลักการเครื่องวัดความต้านทาน

การใช้งานมิเตอร์แบบแอนะล็อกนั้น ยังสามารถใช้วัดค่าความต้านทานได้ด้วย โดยที่ค่าความต้านทานซึ่งหาได้จากกฎของโอห์มนั้น เป็นค่าคงที่ระหว่างความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดันไฟฟ้าที่กระแสนั้น ดังนั้นถ้าเรารู้ค่ากระแสไหลผ่านอุปกรณ์ใดๆ และรู้ค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมอุปกรณ์นั้น ซึ่งได้จากการใช้มิเตอร์วัด จากค่าทั้ง 2 นี้ สามารถคำนวณหาค่าความต้านทานตามกฎของโอห์ม แสดงได้ดังนี้

$$R = \frac{E}{I} \quad (2.23)$$

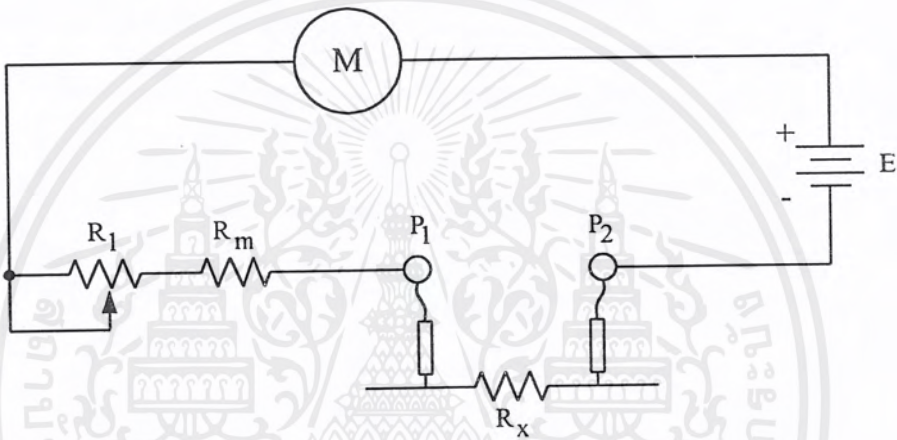
วิธีการหาค่าความต้านทานโดยใช้แอมป์มิเตอร์ และ โวลต์มิเตอร์ เป็นการหาค่าทางอ้อมโดยใช้การคำนวณส่วนการอ่านค่าจากมิเตอร์เป็นการหาค่าความต้านทานโดยตรง

โดยการตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าหรือค่ากระแสให้เป็นค่าคงที่ไว้ แล้วปรับค่าอีกค่าที่เหลือ สามารถวัดสเกลมิเตอร์โดยให้มิเตอร์ทำการคำนวณค่าแทน มีโอห์มมิเตอร์แบบแอนะล็อกที่นิยมใช้กัน 2 แบบ คือ โอห์มมิเตอร์แบบต่ออนุกรม และ โอห์มมิเตอร์แบบต่อขนาน

## 2.5.2 วงจรเครื่องวัดความต้านทาน

### 1) โอห์มมิเตอร์แบบต่ออนุกรม

โอห์มมิเตอร์แบบต่ออนุกรมเตรียมจากแหล่งจ่ายไฟคงที่ และปรับค่าการวัดความต้านทานจากการเปลี่ยนค่ากระแส ในรูปที่ 2.21 แสดงวงจรพื้นฐานของโอห์มมิเตอร์แบบต่ออนุกรม



รูปที่ 2.21 โอห์มมิเตอร์แบบต่ออนุกรม

แบตเตอรี่ (E) ที่ต่ออนุกรมอยู่กับความต้านทานปรับค่าได้ ( $R_1$ ) ความต้านทานของมิเตอร์ค่าหนึ่ง ( $R_m$ ) และส่วนเคลื่อนไหวนิโอมิเตอร์ขนาด 0 ถึง 1 มิลลิแอมแปร์ ส่วนจุดทดสอบ  $P_1$  และ  $P_2$  แทนด้วยสายวัด (Probe) ซึ่งต่อคร่อมกับความต้านทานที่ไม่ทราบค่า ( $R_x$ ) ที่ต้องการวัดอยู่ ถ้ามิเตอร์อ่านกระแสได้ 1 มิลลิแอมป์ ที่เต็มสเกล ค่า  $R_1$  และ  $R_m$  จะเป็นดังนี้

$$\frac{E}{R_1 + R_m} = 1mA \quad (2.24)$$

ดังนั้นการทำงานที่เต็มสเกลจะบรรลุได้ก็เมื่อสายวัดมีขนาดสั้นๆ ด้วย จากการวัดนี้แสดงว่าค่า  $R_x$  เป็น ศูนย์โอห์ม และทำการกำหนดมิเตอร์สเกลไว้ตามนั้น

เมื่อค่าความต้านทานระหว่างจุด  $P_1$  และ  $P_2$  มีค่ามากกว่าศูนย์ขึ้นไปแล้ว กระแสในมิเตอร์จะลดลงอย่างเป็นสัดส่วน ซึ่งกระแสในมิเตอร์แสดงได้ดังนี้

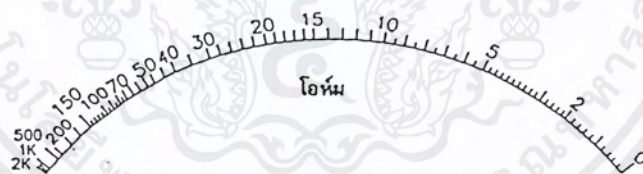
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_m = \frac{E}{R_x + R_1 + R_m} \quad (2.25)$$

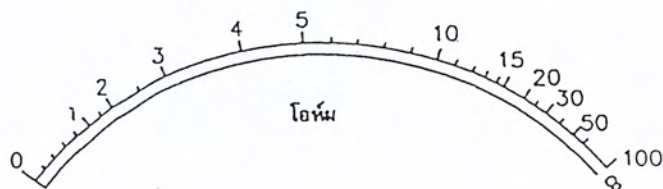
หากค่า  $R_x$  มีค่าเท่ากับ  $R_1 + R_m$  จะได้ว่ามิเตอร์อ่านค่าเป็น

$$\begin{aligned} I_m &= \frac{E}{(R_1 + R_m) + R_1 + R_m} \\ &= \frac{E}{2R_1 + 2R_m} \\ 2I_m &= \frac{E}{R_1 + R_m} \end{aligned} \quad (2.26)$$

กล่าวได้ว่า มิเตอร์จะแสดงค่าที่ครึ่งสเกล และที่จุดนี้สามารถกำหนดค่าความต้านทานที่เหมาะสมไว้ถ้าความต้านทานรวมภายในมิเตอร์เป็น 100 โอห์มแล้ว ที่จุดนี้ก็จะกำหนดสเกลที่ค่า 100 โอห์มด้วย ซึ่งวิธีการปรับตั้งสเกลเช่นนี้ใช้กับขอบเขตของความต้านทานกว้างๆ ซึ่งจะสามารถสร้างสเกลมิเตอร์ของความต้านทานไม่ทราบค่าได้ สเกลมิเตอร์แสดงไว้ดังรูปที่ 2.22



ก) สเกลของโอห์มมิเตอร์แบบต่ออนุกรม

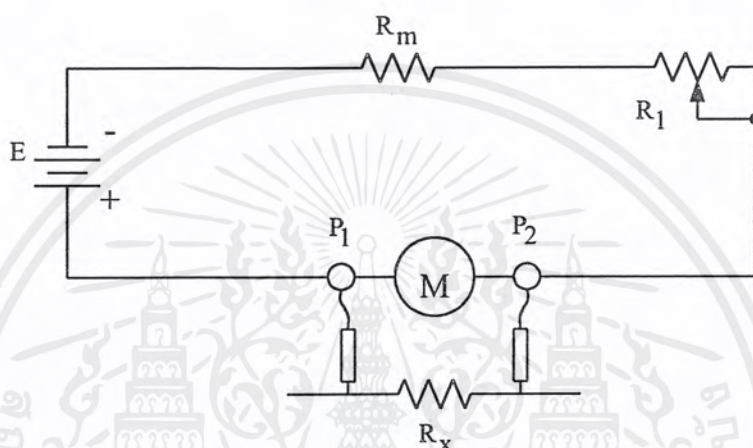


ข) สเกลของโอห์มมิเตอร์แบบต่อขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) โห้หมมิเตอร์แบบต่อขนาน

เมื่อทำการวัดค่าความต้านทานที่ค่าต่ำมากๆ โห้หมมิเตอร์แบบต่อขนานจะทำงานได้ดีกว่า โห้หมมิเตอร์แบบต่ออนุกรม โห้หมมิเตอร์แบบต่อขนานจะอาศัยความต้านทานภายในของส่วนเคลื่อนที่ของมิเตอร์ ( $R_m$ ) ในการวัดค่าความต้านทาน วงจรของ โห้หมมิเตอร์แบบต่อขนานแสดงไว้ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 โห้หมมิเตอร์แบบต่อขนาน

ในทางปฏิบัติ กระแสในโห้หมมิเตอร์จะถูกปรับด้วยความต้านทาน  $R_1$  เพื่อให้ทำงานที่เต็มสเกลของมิเตอร์ขณะที่แยกสายวัดออกจากกัน ค่าที่ได้จะเป็นความต้านทานไม่รู้ค่า  $R_x$  ที่ค่าอนันต์ และทำการกำหนดสเกลได้ตามนั้น

เมื่อต่อความต้านทานไม่ทราบค่าไว้ระหว่างสายวัด ตัวต้านทาน  $R_x$  จะทำตัวเสมือนตัวแบ่งกระแสและปล่อยส่วนของกระแสบางส่วนให้ไหลแยกออกจากมิเตอร์ เป็นการลดการอ่านค่าของมิเตอร์ลงอย่างเป็นสัดส่วนเมื่อให้ค่า  $R_x$  เท่ากับ  $R_m$  จำนวนกระแสที่ถูกแบ่งมาโดยความต้านทานไม่ทราบค่านั้นจะเท่ากับจำนวนกระแสที่อ่านได้จากมิเตอร์ และเข็มมิเตอร์จะชี้แสดงค่าที่ครึ่งสเกล แต่ถ้าความต้านทานภายในมิเตอร์เป็น 100 โอห์ม แล้ว  $R_x$  ก็จะมีค่า 100 โอห์ม ด้วย กำหนดค่านี้ลงบนสเกลและทำการปรับตั้งสเกลตามวิธีการนี้ต่อไป เมื่อสำเร็จแล้วจะได้สเกลดังแสดงในรูปที่ 2.22 (ข)

สังเกตได้ว่า สเกลของโห้หมมิเตอร์แบบต่อขนานจะปรับค่าจากซ้ายไปขวา ซึ่งตรงข้ามกับโห้หมมิเตอร์แบบต่ออนุกรมที่ปรับค่าจากขวาไปซ้าย และเช่นกัน จะได้สเกลของมิเตอร์ที่อัดแน่นบริเวณค่า  $R_x$  เข้าใกล้ค่าอนันต์ ข้อเสียตามธรรมชาติของวงจรมีอยู่ที่ต้องต่อแบตเตอรี่อยู่ในวงจรตลอดเวลา ดังนั้นถ้าไม่ปิดมิเตอร์เมื่อไม่ได้ใช้งานแล้วแบตเตอรี่จะเสื่อมลงอย่างรวดเร็วมาก

### 2.5.3 ความเที่ยงตรงของโอห์มมิเตอร์

ความเที่ยงตรงของโอห์มมิเตอร์ (Ohmmeter Accuracy) เป็นความผิดพลาดในการวัดค่าความต้านทานโดยใช้มิเตอร์แบบแอนะล็อก ความไม่เป็นเชิงเส้นของสเกลมิเตอร์จะทำให้เกิดความเครียดกลับพันในการวัดค่าบริเวณเข้าใกล้ค่าอนันต์ นั่นคือ การเปลี่ยนตำแหน่งของเข็มชี้เพียงเล็กน้อยในบริเวณนี้ จะทำให้ค่าความต้านทานที่ได้มีขนาดแตกต่างกันมาก

ส่วนปัญหาอีกข้อ เกิดขึ้นที่โรงงานนั้นกำหนดความเที่ยงตรงของมิเตอร์เอง ความเที่ยงตรงตามพิกัดของโรงงานซึ่งเป็นผู้ผลิตมิเตอร์ ซึ่งมักจะยึดเอาการแสดงค่าที่แรงดันไฟตรงที่เต็มสเกลค่าความผิดพลาดที่เกิดจะหาได้ในบริเวณที่ตัดสินใจไม่ได้ ซึ่งเกิดจากข้อจำกัดทางกลของมิเตอร์ที่อธิบายได้ดังส่วนโค้งความผิดพลาด ความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานที่เบริงของการแขวนแบบเคียวหรือแบบแถบจึงดึง ทำให้เกิดผลฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) ซึ่งมิเตอร์ต้องเอาชนะผลนี้ก่อนที่เข็มชี้จะมาถึงจุดแสดงค่าตำแหน่งสุดท้าย เข็มชี้สามารถตกไปอยู่ในด้านใดด้านหนึ่งของส่วนโค้งผิดพลาด หรือภายในบริเวณนั้นไม่ว่าสเกลที่ใช้จะเป็นแบบแสดงค่าขึ้นหรือลงก็ตาม

## 2.6 ทฤษฎีของดิจิตอลมัลติมิเตอร์

### 2.6.1 หลักการของเครื่องวัดมัลติมิเตอร์

มัลติมิเตอร์ (Multimeter) เป็นการเอาศัพท์ 2 คำมาเชื่อมกัน โดยมีคำว่า “มัลติ” (Multi) ซึ่งแปลว่า รวม และ “มิเตอร์” (Meter) ซึ่งแปลว่า เครื่องวัดหรือมาตรวัด รวมความแล้วจะหมายถึง เครื่องวัดและทดสอบที่มีความสามารถหลายๆ อย่างรวมอยู่ด้วยกัน เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆ ที่เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

เพราะแต่เดิมนั้นวิชาไฟฟ้า จะมีการแบ่งมิเตอร์ออกไปเป็นประเภทต่างๆ เช่น มิเตอร์ที่ใช้ในการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าหรือค่าแรงดันไฟฟ้าเรียกว่า “โวลต์มิเตอร์” (Voltmeter) มิเตอร์ที่ใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้าเรียกว่า “แอมป์มิเตอร์” (Ammeter) และมิเตอร์ที่ใช้วัดค่าความต้านทานเรียกว่า “โอห์มมิเตอร์” (Ohmmeter) เป็นต้น

ในการแยกประเภทมิเตอร์ออกเป็นหลายๆ แบบ ทำให้ค่าใช้จ่ายของการซื้อมิเตอร์แต่ละแบบมาใช้งานแพงมาก เมื่อเทียบกับเครื่องวัดที่เรียกว่ามัลติมิเตอร์ เพราะเครื่องวัดหรือมิเตอร์โดยทั่วไปที่ใช้กันอยู่เรียกว่ามิเตอร์แบบแอนะล็อก มีอุปกรณ์สำคัญที่ใช้งาน คือ ขดลวดเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นขดลวดเหนี่ยวนำวางอยู่ในสนามแม่เหล็กถ่วงกึ่งๆ ซึ่งไม่ว่าเครื่องนั้นจะเป็นมิเตอร์แบบโวลต์มิเตอร์ แอมป์มิเตอร์ หรือโอห์มมิเตอร์ล้วนแต่ต้องใช้ขดลวดเคลื่อนที่ทั้งนั้น จึงมีผู้คิดขึ้นมาว่าเมื่อมิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้งานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ล้วนแต่ใช้ขดลวดเคลื่อนที่กันทั้งนั้น แล้วทำไมจึงไม่ใช่

ขดลวดเคลื่อนที่ร่วมกัน แล้วเปลี่ยนเพียงอุปกรณ์ต่างๆ มาต่อให้เป็น โวลต์มิเตอร์ แอมป์มิเตอร์หรือ โอห์มมิเตอร์ เท่านั้น การสร้างมิเตอร์ที่เรียกว่า “มัลติมิเตอร์” จึงเริ่มต้นขึ้นจากแนวคิดนี้

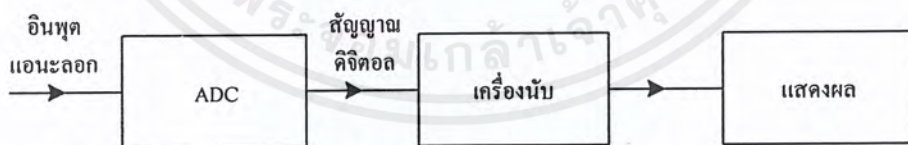
อย่างไรก็ตามมัลติมิเตอร์เป็นมิเตอร์ที่เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์ เพราะอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นงานที่มีความละเอียด หากเทียบกับงานของช่างไฟฟ้ากำลังแล้ว รายละเอียดของงานอิเล็กทรอนิกส์จะมีมากกว่าในงานช่างไฟฟ้ากำลังจึงต้องมีเครื่องมือวัดที่วัดกระแสต่างๆ ได้ วัดค่าความต้านของฉนวนไฟฟ้าได้ ซึ่งเครื่องมือเหล่านั้นไม่ต้องการรายละเอียดมากนัก ดังนั้นจึงพบว่าเครื่องมือวัดของช่างไฟฟ้าจึงเป็นมิเตอร์ที่เรียกว่าแคลมป์มิเตอร์ (Clamp Meter)

หากสรุปขอบเขตความสามารถของมัลติมิเตอร์โดยทั่วไปสามารถสรุปความสามารถในการวัดในรูปแบบต่างๆ ได้ดังนี้

1. วัดค่ากระแสไฟฟ้า (DC mA)
2. วัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Volt)
3. วัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Volt)
4. วัดค่าความต้านทาน (Resistance)

## 2.6.2 หลักการทำงานของโวลต์มิเตอร์ดิจิตอลและมัลติมิเตอร์ดิจิตอล

โดยพื้นฐานของโวลต์มิเตอร์แบบดิจิตอล (Digital Voltmeter) นั้น จะใช้เป็นเครื่องแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลที่ต่อเข้ากับเครื่องวัดและส่วนภาคแสดงผล ดังรูปที่ 2.24 แรงดันที่วัดเป็นปริมาณแอนะล็อก ซึ่งเป็นตัวอย่างในช่วงเวลาหนึ่งและถูกแปลงผันด้วยวงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล นั่นคือ เป็นอนุกรมของพัลส์กับพัลส์จำนวนหนึ่งซึ่งสัมพันธ์กับขนาดของแรงดันแอนะล็อก พัลส์เหล่านี้จะถูกนับโดยเครื่องนับและแสดงผลเป็นตัวเลข



รูปที่ 2.24 หลักการ โวลต์มิเตอร์แบบดิจิตอล

โวลต์มิเตอร์ดิจิตอลให้ค่าอ่านตัวเลข ซึ่งสามารถจัดการแทรกแซงและความผิดพลาดจากการเชื่อมต่อสายตาที่เกิดจากการอ่านจอแสดงผลแอนะล็อกได้ การแสดงผลเป็นแบบไบนารี (Binary) และโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง  $3\frac{1}{2} - 8\frac{1}{2}$  หลัก จำนวนครึ่งถูกใช้เป็นคุณสมบัติเฉพาะ เพราะตัวเลขน้อยสำคัญมากที่สุดมีค่าได้แค่ 0 หรือ 1 เท่านั้น ส่วนตัวเลขหลักอื่นๆ ทั้งหมดมีค่าได้ระหว่าง

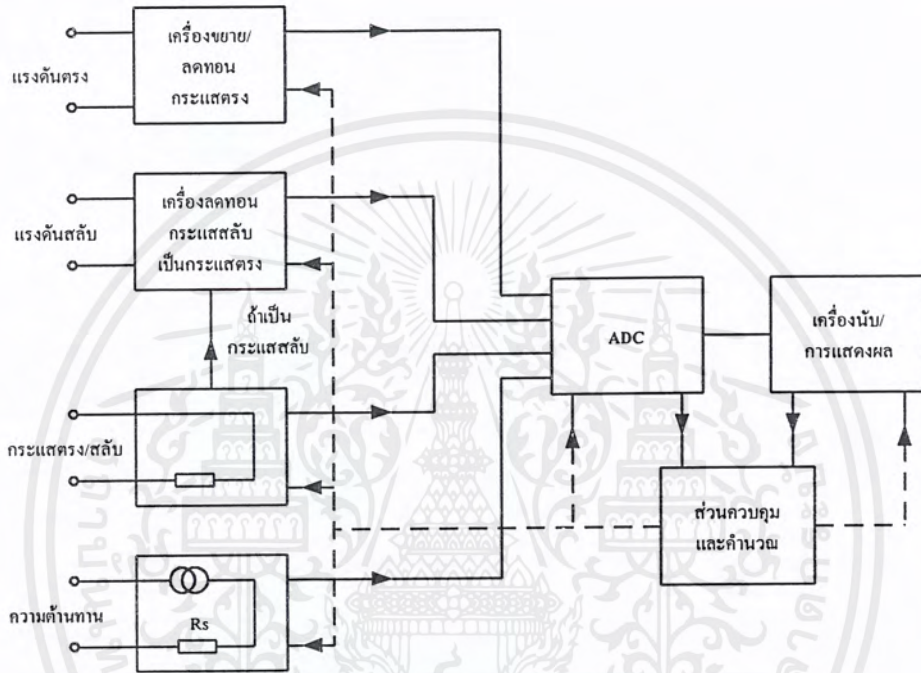
0 ถึง 9 การแยกชุดของเครื่องวัดประเภทนี้คือ การเปลี่ยนแรงดันที่ไปเปลี่ยนนัยสำคัญน้อยที่สุดของการแสดงผลในมิเตอร์ การแสดงผลตัวเลข  $3\frac{1}{2}$  หลัก มีย่านวัดจาก 1 ถึง 1999 ในการแสดงผล ฉะนั้นจึงมีการแยกชุด 1 ใน 1999 ส่วนการแสดงผลตัวเลข  $8\frac{1}{2}$  หลัก มีย่านวัดจาก 1 ถึง 19,999,999 ดังนั้นการแยกชุดจึงเท่ากับ 1 ใน  $2 \times 10^8$  ตามธรรมดาแล้วตัวเลขมิเตอร์  $3\frac{1}{2}$  หลัก จะมีความถูกต้อง  $\pm 0.1$  เปอร์เซ็นต์ ของค่าอ่านบวกของตัวเลข 1 หลัก ในขณะที่การแสดงผลตัวเลข  $8\frac{1}{2}$  หลัก มีความถูกต้องถูกต้อง 0.0001 เปอร์เซ็นต์ ของค่าอ่านบวก 0.00003 เปอร์เซ็นต์ ของค่าอ่านเต็มสเกล เครื่องวัดแบบนี้มักจะมีความต้านทานอินพุต 10 เมกะโอห์มหรือสูงกว่า และมีความจุ 40 พิโคฟารัด และมีเสถียรภาพดี ย่านวัดแรงดันแตกต่างกันตั้งแต่ประมาณ 100 มิลลิโวลต์ ถึง 1000 โวลต์ โดยมีขอบเขตการแยกชุดระหว่าง 1 ไมโครโวลต์ เมื่อขึ้นอยู่กับแบบของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล ดังนั้นมิเตอร์จะใช้สุ่มแรงดันแอนะล็อกหรือจะรวมเข้ากับเวลาที่กำหนด แบบประมาณสี่บิตเป็นตัวอย่างโวลต์มิเตอร์วัดสัญญาณตัวอย่าง มักมีเวลาที่ใช้ในการแปลงผันประมาณ 10 ไมโครวินาที และแบบการแปลงไฟกระพริบจะประมาณ 10 นาโนวินาที ยิ่งเวลาในการแปลงผันน้อยเท่าใด เครื่องวัดจะยิ่งตอบสนองการเปลี่ยนแปลงอินพุตหรือค่าออกฉับพลันได้มากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นเมื่อเป็นที่คาดว่าจะเกิดสถานการณ์เช่นนี้ มิเตอร์แอนะล็อกจะใช้งานได้ดีกว่า

โวลต์มิเตอร์ดิจิทัลพื้นฐาน คือมิเตอร์กระแสตรงซึ่งสามารถใช้ในการวัดแรงดันได้ด้วยการ ใช้วงจรการเรียงกระแสแบบเดียวกับเครื่องวัดขดลวดเคลื่อนที่แม่เหล็กถาวร การเรียงกระแสแบบนี้ให้ค่าเฉลี่ย และเนื่องจากเครื่องวัดมักมีสเกลให้อ่านค่าประสิทธิผล จึงต้องหาค่าแก้ (Correction) สำหรับรูปคลื่นที่ไม่เป็นไซน์ซุซชอยด์ ความถูกต้องมักผันแปรจากประมาณ 45 เฮิร์ตซ์ ถึง 10 กิโลเฮิร์ตซ์ ในเครื่องแสดงผลตัวเลข  $3\frac{1}{2}$  หลัก และจาก 10 เฮิร์ตซ์ ถึง 100 กิโลเฮิร์ตซ์ ในการแสดงผลตัวเลข  $8\frac{1}{2}$  หลัก ย่านวัดแรงดันจะผันแปรจากค่าอ่านเต็มสเกลประมาณ 100 มิลลิโวลต์ ถึง 1000 โวลต์ กับอิมพีแดนซ์อินพุตประมาณ 10 เมกะโอห์ม กับ 100 พิโคฟารัด

การวัดค่ากระแสตรงหรือค่ากระแสสลับอาจวัดได้ด้วยโวลต์มิเตอร์ที่ใช้วัดความต่างศักย์ตัดผ่านตัวต้านทานมาตรฐาน ความถูกต้องมักอยู่ประมาณ  $\pm 0.2$  เปอร์เซ็นต์ ของค่าอ่านบวกตัวเลข 2 หลัก ในกระแสตรง และ  $\pm 1$  เปอร์เซ็นต์ ของค่าอ่านบวกตัวเลข 2 หลัก ขึ้นไปในกระแสสลับ ทั้งกระแสตรงและกระแสสลับจะมีย่านวัดจากประมาณ 200 ไมโครแอมแปร์ จนถึง 2 แอมแปร์และแรงดันตกคร่อมเครื่องวัดน้อยกว่า 0.3 โวลต์ โดยมีย่านความถี่ประมาณ 45 เฮิร์ตซ์ ถึง 1 กิโลเฮิร์ตซ์

อาจใช้โวลต์มิเตอร์ดิจิทัล วัดความต้านทานได้ด้วยการให้กระแสที่ทราบค่า ไหลผ่านความต้านทานที่ไม่ทราบค่า แล้วจึงใช้โวลต์มิเตอร์วัดผลความต่างศักย์ตัดผ่านที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม เครื่องวัดที่มีความเที่ยงตรงสูงมักใช้วิธีการแตกต่างกัน กระแสไหลผ่านตัวต้านทานมาตรฐาน และตัวต้านทานที่ไม่ทราบค่าแล้วเปรียบเทียบความต้านทานต่างศักย์ตัดผ่านตัวต้านทานทั้งสอง

เพราะกระแสที่ตัดผ่านตัวต้านทานทั้งคู่นั้นเหมือนกัน อัตราส่วนความต่างศักย์จึงเท่ากับอัตราส่วนของความต้านทาน ความถูกต้องผันแปรจากประมาณ  $\pm 0.1$  เปอร์เซ็นต์ ของค่าอ่านบวกหนึ่งตัวเลข ในมิเตอร์ตัวเลข  $3\frac{1}{2}$  หลัก ถึง  $\pm 0.0002$  เปอร์เซ็นต์ ของค่าอ่านบวก  $\pm 0.0004$  เปอร์เซ็นต์ ของค่าการอ่านเต็มสเกล สำหรับการแสดงผลตัวเลข  $8\frac{1}{2}$  หลัก ย่านค่าความต้านทานจากประมาณ 200 โอห์ม ถึง 1000 เมกะโอห์ม



รูปที่ 2.25 หลักการทำงานของมัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล

รูปที่ 2.25 แสดงแผนภาพของมัลติมิเตอร์ดิจิทัลซึ่งใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ค่ากระแสไฟฟ้า และค่าความต้านทาน วิธีการวัดแบบต่างๆ ดังได้กล่าวมาแล้ว มิเตอร์ดิจิทัลบางประเภทให้สัญญาณเอาต์พุตดิจิทัลที่ใช้ป้อนเข้าเครื่องบันทึกข้อมูลหรือคอมพิวเตอร์ได้

## 2.7 อุปกรณ์แสดงผลแบบดิจิทัล

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับส่วนแสดงผล 7 ส่วน

เครื่องมือวัดทางแอนะล็อกจะพบได้ทั่วไปในห้องทดลอง ซึ่งเครื่องมือเหล่านี้ถูกกำจัดด้วยข้อจำกัดทางกล ในการวัดแบบแอนะล็อกทุกอย่างขึ้นอยู่กับผู้สังเกตเป็นสำคัญ ผลจากการมองและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนไปจะทำให้ค่าที่อ่านได้ต่างกันแม้จะวัดในครั้งเดียวกัน ความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนใหญ่เกิดจากความเสียหายของสายตาในการมองเข็มวัด สเกลและความรู้สึกที่ว่าวัดอย่างดีที่สุดแล้ว ในการวัดเมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นก็ชัดเจนความผิดพลาดนั้นด้วยการบันทึกค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริงที่จำได้ลงไป

ยิ่งไปกว่านั้นมิเตอร์จะไม่แสดงค่าที่ซ้ำกันในการวัดแบบเดียวกัน 2 ครั้ง เนื่องจากเข็มชี้ต้องมีการเคลื่อนที่ ดังนั้นความคลาดเคลื่อนทางกล จึงเกิดจากความฝืดของขดลวดเคลื่อนที่ และความร้อนซึ่งทำให้มีผลในการด้านการเคลื่อนที่

ในทางตรงกันข้าม การอ่านค่าแบบดิจิตอลจะได้ค่าที่เที่ยงตรง ผู้สังเกตทุกคนจะเห็นเหมือนกันหมด การอ่านค่าโดยตัวเลขจะลดความผิดพลาดของมนุษย์ และความเบี่ยงเบนในการวัดเป็นเวลานาน เพราะมีตัวเลขยืนยันให้เห็น

ดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์ ยังมีประโยชน์อื่นๆ อีกซึ่งทางแอนะล็อกไม่มี เช่น ในการคำนวณเกี่ยวกับคลื่น

### อุปกรณ์แสดงผลแบบดิจิตอล

อุปกรณ์แสดงผลทางดิจิตอลเครื่องแรก ทำจากวงล้อจำนวนมาก ไปจนถึงเทคนิคในการควบคุมในปัจจุบันนิยมใช้แอลอีดี และแอลซีดีมากทำให้การอ่านค่าแน่นอนยิ่งขึ้น

จอแสดงผลที่ใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent) ภายในจะถูกเชื่อมด้วยเส้นใยที่เปราะบาง ดังนั้นอายุการใช้งานเพียงไม่กี่ชั่วโมง แม้ว่าจะใช้กระแสต่ำสุดแล้วก็ตาม นอกจากอายุการใช้งานที่สั้นแล้ว เวลาการตอบสนองความร้อนของไส้หลอดจะทำให้เกิดปัญหาในการต้องรอเป็นเวลานาน แม้ว่าการใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์ จะมีอยู่น้อยมากแล้วก็ตาม แต่ก็เป็นพื้นฐานการสร้างจอแสดงผลแบบ 7 ส่วนซึ่งนิยมใช้ในการอ่านค่าแบบดิจิตอลในปัจจุบัน

แกสดีสซาร์ฟลาสมา แสงสว่างที่ทำให้เกิดการอ่านค่าได้นั้น เกิดการไอออไนเซชันของก๊าซเฉื่อยเช่น นีออน อาร์กอน โปรท จำนวนเล็กน้อย จะใช้ในการจัดการกับพลังงานไอออไนเซชันและการเปล่งสเปกตรัม อุปกรณ์แสดงผลถูกสร้างให้มีหลายรูปแบบ บางแบบจะมีขั้วไฟฟ้าอยู่ด้านนอก แสงสว่างที่เกิดขึ้นจะชัดมากและขึ้นอยู่กับการเปิดปิดของอุปกรณ์ฟลาสมา ซึ่งทำให้เกิดการมัลติเพล็กซ์ อุปกรณ์ที่มีความทนทาน และค่าที่อ่านได้น่าพอใจมาก คือ หลอดนิกเซอร์ (Nixie) เป็นจอแสดงผลแบบนีออน มีขั้วคาโทดอยู่ภายใน 9 ขั้ว ลักษณะของแต่ละขั้วจะแทนตัวเลข 1 ตัว คาโทดจะเรียงกันหลังตัวอื่นๆ ทางตั้งฉากกับระยะสายตา เมื่อคาโทดถูกเลือกก็จะถูกกระตุ้นให้สว่างเป็นรูปร่างของตัวเลข ต่างๆ ความจริงแล้วตัวเลขทั้ง 9 อยู่ในระนาบที่ต่างกัน

ข้อเสียของจอแสดงผลแบบฟลาสมา คือ พลังงานไอออไนเซชันที่สูงในการจุดไส้หลอด ซึ่งอาจเป็น 150 โวลต์ ถึง 200 โวลต์ จึงสร้างปัญหาในการอินเทอร์เฟสเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำ

ในปัจจุบัน แต่ในระยะเวลาไม่นานการอ่านค่าและจอแสดงผลแบบพลาสมาก็ถูกประยุกต์ให้ทำงานได้ดีขึ้น

การอ่านค่าด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์สูญญากาศ จะเป็นผลมาจากความกว้างหน้าต่างเทคโนโลยี หลอดสูญญากาศ การอ่านค่าแบบฟลูออเรสเซนต์ ประกอบด้วยอาโนดจำนวนมาก ฉาบด้วยสารเรืองแสง เหมือนกับสารที่พบในหลอดฟลูออเรสเซนต์

ตารางความจริงสำหรับ ส่วนแสดงผล 7 ส่วน



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a		x	x		x	x	x	x	x
b	x	x	x	x			x	x	x
c	x		x	x	x	x	x	x	x
d		x	x		x			x	x
e		x				x		x	
f				x	x	x		x	x
g		x	x	x	x	x		x	x

รูปที่ 2.26 การแสดงผลแบบส่วนแสดงผล 7 ส่วน

อาโนดจะเรืองแสงออกมาเมื่อถูกกระตุ้นโดยแรงดันจากคาโทด ส่วนของตัวเลขจะถูกสร้างแบบ 7 ส่วนตาม รูปที่ 2.26 ขณะที่อุปกรณ์การอ่านค่า มีข้อบกพร่องจากหลอดสูญญากาศ รวมทั้งใส่หลอดที่เปลืองอายุการใช้งานที่สั้น และจอแสดงผลคอมพิวเตอร์

อิเล็กทรอนิกส์เชิงดิจิทัล คิสเพลย์ ใช้สารเรืองแสงเหมือนกัน อุปกรณ์แสดงผลแบบนี้เป็นตัวเก็บประจุแทนที่จะเป็นหลอดอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อจ่ายไฟกระแสกลับให้ ความจุไฟฟ้าจะแทนกระแสที่กระตุ้น ให้เกิดการเรืองแสง

แอลอีดีพัฒนาจากความก้าวหน้าทางอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ จะเป็นตัวทำงานในอุปกรณ์แสดงผลทางดิจิทัลมีความสว่างสูงที่เข้ากันได้กับแรงดันของวงจรรวมโซลิดสเตต (Solid State) และระดับกระแส และใช้งานได้นาน เดิมแอลอีดีมีแค่สีแดง แต่ในปัจจุบันมีให้เลือกมากมายหลายสี เช่น แดง ส้ม เหลือง เขียว และน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอลซีดีไม่กระจายแสง แต่ใช้การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของผลึก ในการสะท้อนแสงแทน จะเห็นแอลซีดีสว่างเมื่อแอลอีดีดับลง หรืออีกนัยหนึ่ง อุปกรณ์แสดงผลแบบแอลซีดีจะทำการอ่าน ได้ยากในที่ระดับแสงต่ำ ซึ่งแอลอีดีให้ความสามารถในการอ่านค่าสูงสุด เนื่องจากไม่ใช่ขั้วไฟฟ้า แอลซีดีจึงเป็นที่นิยม และสามารถพกได้ โดยใช้แบตเตอรี่เป็นตัวจ่ายพลังงาน

## 2.8 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล

วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter : A/D) ทำหน้าที่ แปลงแรงดันหรือกระแสที่เป็นสัญญาณแอนะล็อกไปเป็นตัวเลขหรือสัญญาณดิจิตอล วงจรสโลปคู่ แบบแปลงแรงดันเป็นความถี่ (Voltage to Frequency Converter) และแบบประมาณครั้งละบิต (Successive approximation)

วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล แบบสโลปคู่เป็นแบบที่ทำได้ง่ายที่สุด ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพดีมาก สามารถแปลงสัญญาณได้อย่างเที่ยงตรง แต่มีข้อเสียตรงที่ใช้เวลา ในการแปลงสัญญาณนานมาก จึงไม่เหมาะในการใช้วัดแรงดันในช่วงเวลาสั้นๆ เช่น การวัดแรงดัน ของรูปคลื่น ณ จุดเวลาใดเวลาหนึ่ง แบบสโลปคู่เหมาะสำหรับใช้วัดค่าเฉลี่ยของแรงดัน และ กระแสจึงใช้กันมากในมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล และเครื่องมือวัดแสดงผลเป็นแบบตัวเลขทั่วๆ ไป วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล แบบสโลปคู่ที่เป็นไอซีสำเร็จรูปมีด้วยกันหลายเบอร์ ราคาไม่แพงนัก ส่วนมากให้ความแม่นยำในการแปลงสัญญาณดีกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีทั้งแบบแปลง เป็นตัวเลขขนาด  $3\frac{1}{2}$  หลัก (แสดงผลได้สูงสุดเป็น 1999) และตัวเลขขนาด  $4\frac{1}{2}$  หลัก (แสดงผล ได้สูงสุดเป็น 1999) หลัก สุดท้ายจะแสดงค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น จึงเรียกง่ายๆ ว่าตัวเลขครึ่งหลัก

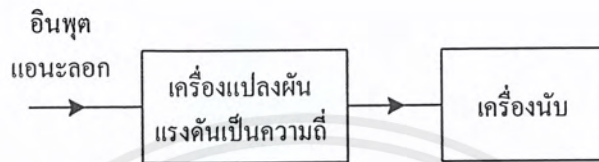
วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล แบบแปลงแรงดันความถี่ และแบบประมาณ ครั้งละบิตนั้น มีข้อดีตรงที่สามารถแปลงสัญญาณได้ไ้รวดเร็ว มีความแม่นยำดี เพียงแต่วงจรจะมีความซับซ้อนมากกว่าจึงมีราคาที่แพง ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสร้างวงจรรวมพัฒนาขึ้นมาก สามารถซื้อหาไอซีที่เป็น วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล แบบนี้ได้ง่ายขึ้น และในราคาที่ ไม่แพง และในอนาคตจะมีราคาที่ถูกลง

### วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล แบบสโลปคู่

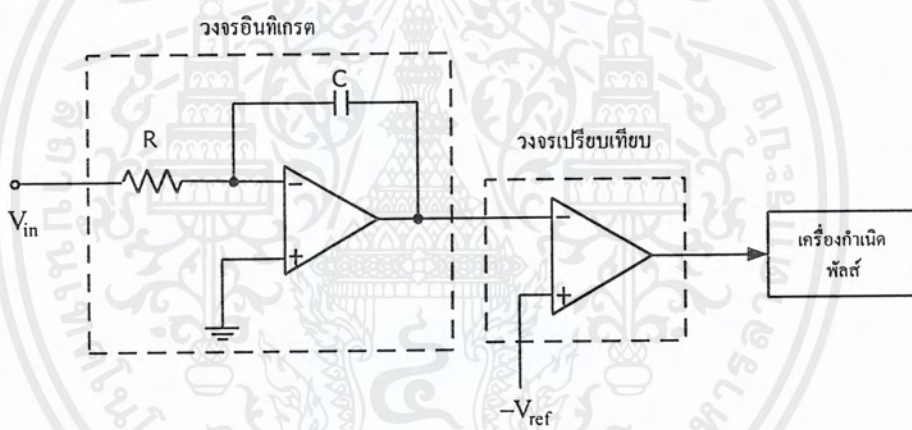
ในวงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบแรงดันเป็นความถี่ แรงดันแอนะล็อก อินพุตจะถูกแปลงเป็นชุดพัลส์ ที่มีความถี่เป็นสัดส่วนกับขนาดของแรงดันอินพุต ฉะนั้นความถี่จึง พิจารณาจากการนับจำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่กำหนด

รูปที่ 2.27 (ก) แสดงแผนภาพของวงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลแบบ แปลงแรงดันเป็นความถี่ และรูปที่ 2.27 (ข) จะเป็นแบบวงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล

ที่ใช้กับองค์ประกอบ โดยการแปลงแรงดันเป็นความถี่ วงจรอินทิเกรตถูกนำมาใช้เพื่อรวมแรงดันอินพุตแอนะล็อก  $V_{in}$  ตลอดช่วงเวลาที่ใช้สำหรับเอาต์พุตวงจรอินทิเกรตจาก 0 ถึง  $-V_{ref}$  เวลานี้เท่ากับ  $RC v_{ref}/v_{in}$  ตอนท้ายเวลานี้ทำให้ตัวกำเนิดพัลส์ปล่อยพัลส์เดี่ยวเนื่องจากอินพุตไปวงจรอินทิเกรตยังคงปรากฏอยู่ กระบวนการจึงกระทำซ้ำเอง และผลคือลำดับพัลส์กับความถี่ที่พิจารณาจาก  $V_{in}$



(ก) วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบแรงดันเป็นความถี่



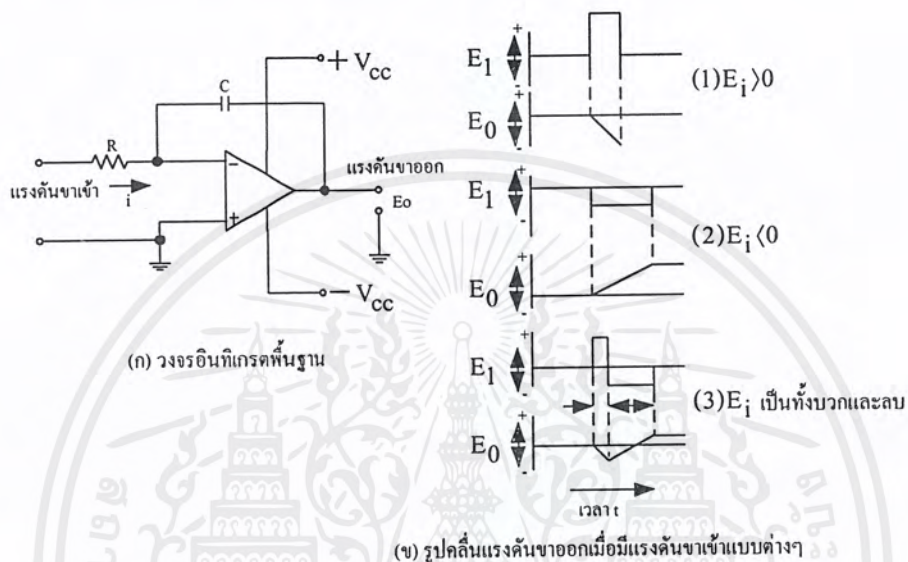
(ข) เครื่องแปลงแรงดันเป็นความถี่

รูปที่ 2.27 หลักการทำงานของวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่

จากวงจรในรูปที่ 2.27 ซึ่งเป็นวงจรอินทิเกรเตอร์แบบพื้นฐาน และออปแอมป์ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายสัญญาณแตกต่างตัวด้านทานและ ตัวเก็บประจุในวงจรเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ทำให้เกิดการบรรจุประจุเข้าไปใน C ทำให้ได้รูปคลื่นแรงดันขาออกซึ่งเท่ากับเป็นการรวมสัญญาณอินพุต

สมมุติว่ามีแรงดัน  $E_i$  ป้อนเข้าทางอินพุตจะทำให้เกิดมีกระแส ซึ่งมีค่า  $E_i/R$  ไหลผ่านตัวด้านทานเข้าไปในวงจร และกระแสนี้จะไม่ไหลผ่านไปประจุกตัวเก็บประจุทั้งหมด ทำให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุจะสูงขึ้นเรื่อยๆ ขั้วลบของออปแอมป์จะมีแรงดันไฟฟ้าเป็น 0 โวลต์ เท่ากับ

ขั้วบวกซึ่งต่อลงกราวด์ ดังนั้นแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุจึงเป็นแรงดันลบเมื่อเทียบกับกราวด์ แรงดันด้านขาออก  $E_0$  ซึ่งเท่ากับแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุจึงเป็นค่าลบ แรงดันนี้จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เป็นเส้นตรง และแรงดันขาออกของวงจรถึงเหมือนกับเป็นการรวมแรงดันที่ขาเข้า เพราะว่าเมื่อค่าจากการรวมคงที่จะได้เส้นตรงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา



รูปที่ 2.28 รูปคลื่นขาออกของวงจรรวมอินทิเกรเตอร์

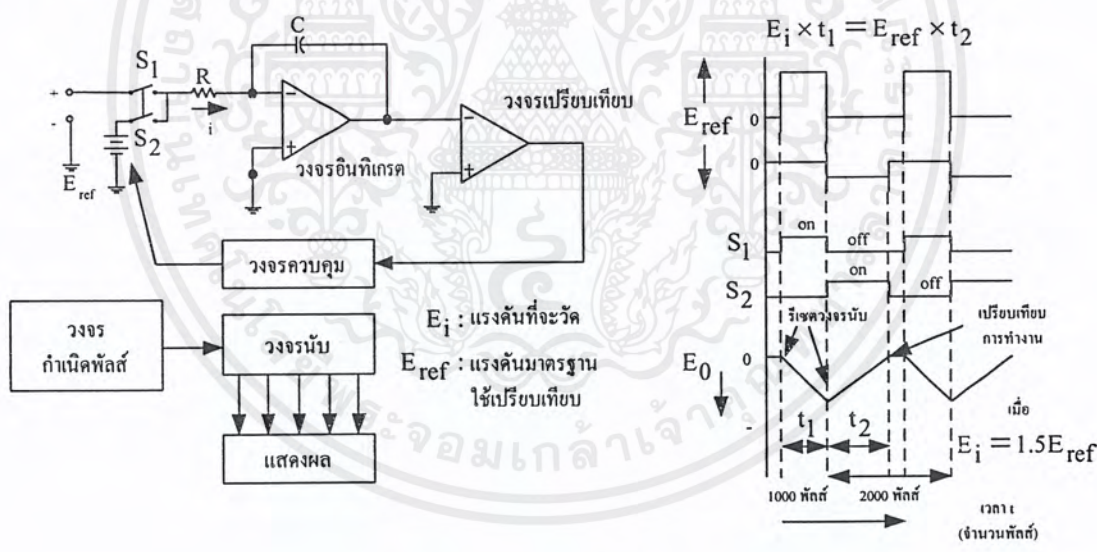
รูปที่ 2.28 แสดงรูปคลื่นขาออกของวงจรรวมอินทิเกรเตอร์ เมื่อป้อนแรงดันอินพุตค่าต่างๆ เช่น กรณีอินพุตเป็นบวก กรณีอินพุตเป็นลบ และกรณีที่อินพุตเป็นทั้งบวก และลบ โดยบวกนาน  $t_1$  นาที และเป็นลบนาน  $t_2$  วินาที จะเห็นว่า ถ้าอินพุตเป็นบวก เอาต์พุตจะเป็นเส้นตรงที่มีสโลปเป็นลบ และถ้าอินพุตเป็นลบจะได้เป็นสโลปบวก การรวมกันขึ้น และลงแบบนี้จะได้เส้นตรงสโลปคู่

รูปที่ 2.29 เป็นรูปแสดงหลักการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโลปคู่ อินพุตของวงจรรวมอินทิเกรเตอร์เป็นแรงดันไฟที่จะวัด  $E_i$  และอีกอินพุตหนึ่งเป็นแรงดันไฟมาตรฐาน  $E_{REF}$  อินพุตทั้งสองนี้จะมีขั้วสลับกันเสมอ และจะผลัดกันต่อเข้ากับวงจรรวมอินทิเกรเตอร์ ทำให้มีการรวมกันขึ้น และลงเป็นจังหวะตลอดเวลา เอาต์พุต  $E_0$  ของวงจรรวมอินทิเกรเตอร์จะต่อเข้ากับวงจรเปรียบเทียบ ซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับแรงดัน  $E_0$  เมื่อใดเป็น 0 โวลต์

วงจรควบคุมในวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรทั้งหมดที่สำคัญ จะควบคุมสวิตช์  $S_1$  และ  $S_2$  เพื่อติดต่อกับอินพุตให้กับวงจรรวมอินทิเกรเตอร์การทำงานของวงจรเริ่มจาก เมื่อแรงดัน  $E_0 = 0$  โวลต์ วงจรควบคุมจะปิดสวิตช์ เพื่อให้ แรงดันที่วัด

$E_i$  ต่อกับวงจรอินทิเกรเตอร์ วงจรควบคุมจะปล่อยให้วงจรอินทิเกรเตอร์ ทำการอินทิเกรตสัญญาณ  $E_i$  เป็นระยะเวลา  $t_1$  วินาที การจับเวลา  $t_1$  นี้ ทำได้ไม่ยากนัก โดยทั่วไป มักจะใช้วงจรรนับพัลส์ ที่มีความถี่คงที่ จนได้ค่าที่กำหนดไว้ เช่น พัลส์ความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์ ได้ 1000 ลูก จะใช้เวลา 0.1 วินาที เป็นต้น

เมื่อครบเวลา  $t_1$  วินาที วงจรควบคุมจะเปิดสวิตช์  $S_1$  ขณะแรงดันเอาต์พุตของอินทิเกรเตอร์  $E_0$  จะมีค่าแปรผันกับแรงดัน เช่น ถ้า  $E_i = 1$  โวลต์ ให้  $E_0 = 1.5$  โวลต์ ถ้า  $E_i = 2$  โวลต์ ซึ่งจะได้  $E_0 = -3.0$  โวลต์ เป็นต้น จากนั้นวงจรควบคุมจะเปิดสวิตช์  $S_2$  เพื่อต่อแรงดันไฟมาตรฐาน  $E_{REF}$  จะมีขั้วตรงข้ามกับ  $E_i$  แล้วสมมุติให้  $E_{REF}$  เป็นแรงดันลบ ตอนนี้งจรอินทิเกรเตอร์จะอินทิเกรตสัญญาณ ทำให้เกิดเส้นตรงที่มีสโลปตรงข้าม แรงดัน  $E_0$  จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนในที่สุด  $E_0 = 0$  โวลต์ ในช่วงเวลานี้ สมมุติว่าใช้เวลา  $t_2$  ขณะเดียวกัน วงจรรนับจะนับพัลส์ไปเรื่อยๆ เมื่อ  $= 0$  โวลต์ วงจรเปรียบเทียบจะตรวจจับเหตุการณ์นี้ แล้วส่งสัญญาณไปยังวงจรควบคุม วงจรควบคุมจะเปิดสวิตช์  $S_2$  และให้วงจรรนับหยุดนับพัลส์ ค่าที่นับได้ในวงจรรนับ ในขณะนั้นจะเท่ากับค่าแรงดันที่ต้องการวัดพอดี



(ก) แผนผังการทำงานของวงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอล แบบสโลปคู่

(ข) แผนผังเวลา

**รูปที่ 2.29** หลักการทำงานของวงจร แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล แบบสโลปคู่

ที่เป็นเช่นนี้ เพราะว่าแรงดัน  $E_{REF}$  มีค่าคงที่ ช่วงเวลา  $t_2$  ในการอินทิเกรตสัญญาณจนแรงดัน เป็นศูนย์จะแปรผันกับแรงดันขาเข้า  $E_i$  ถ้า  $E_i$  มีค่ามาก ค่า  $E_0$  หลังจากการอินทิเกรตครั้งแรกจะมาก จึงใช้เวลา  $t_2 = 1.5 t_1$  หรือเท่ากับกรนับพัลส์ 1500 ลูก สังเกตเห็นว่าค่านับพัลส์นี้ตรงกับค่าแรงดัน

$E_i$  ซึ่งเป็นแรงดันที่ต้องการวัด เช่น  $E_i = 1.000$  โวลต์ โดยจะได้ค่าของการนับพัลส์ 1000 ลูก และถ้า  $E_i = 1.500$  โวลต์ ได้ค่าของการนับพัลส์เป็น 1500 ลูก เป็นต้น

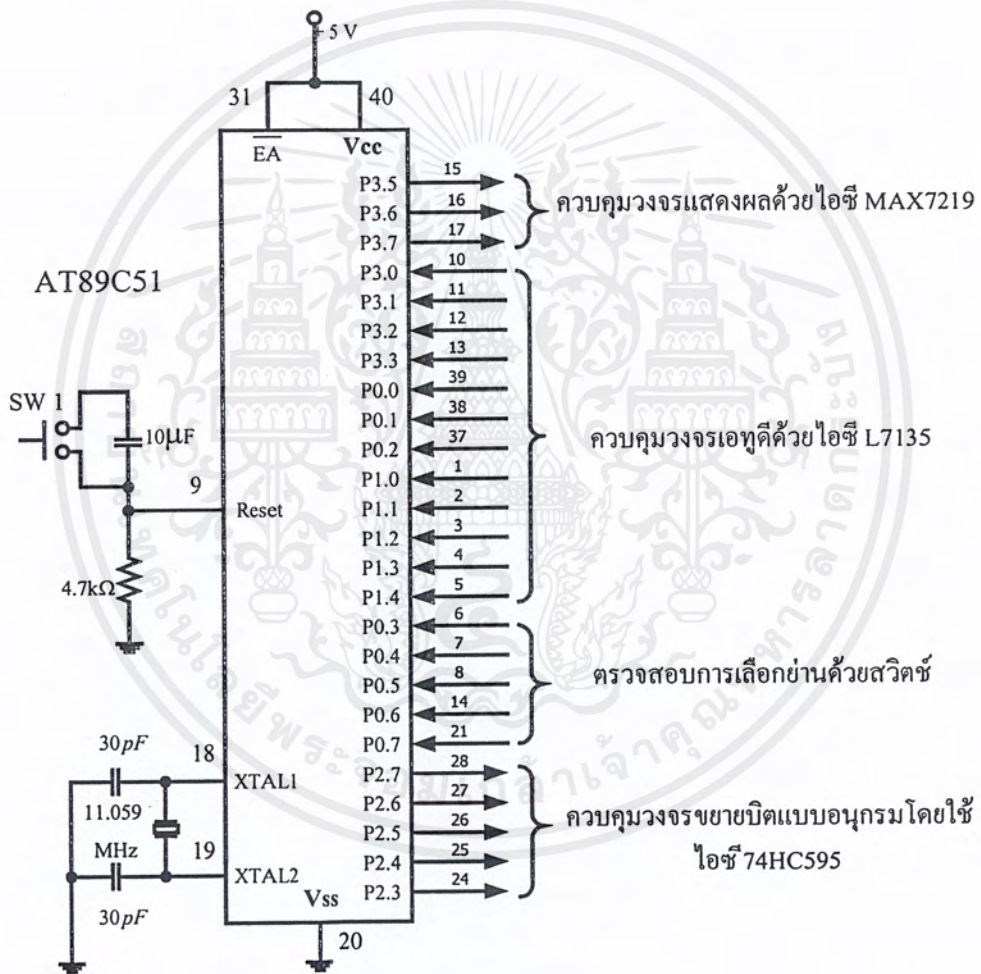
ค่าของวงจรนี้ยังสามารถส่งออกไปที่แลตซ์ (Latch) และถอรหัสเพื่อที่จะแสดงผลด้วย ส่วนแสดงผล 7 ส่วนอีกทีหนึ่ง ทำให้สามารถอ่านค่าแรงดันเป็นตัวเลขได้โดยตรง

ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป มักแสดงผลสูงสุดเป็น 1999 แสดงว่า  $t_2$  จะเท่ากับการนับพัลส์ไม่เกิน 2000 ลูก ถ้าในวงจรจะใช้พัลส์ความถี่ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ ในการที่จะวัดครั้งหนึ่ง จะต้องมีการอินทิเกรต 2 ครั้งกินเวลา  $t_1 + t_2$  หรือเท่ากับการนับพัลส์ จำนวนสูงสุดไม่เกิน  $1000 + 2000$  ลูก ซึ่งจะกินเวลา 0.3 วินาที นับว่าเป็นเวลาที่ยาวนานพอสมควร ในหนึ่งวินาทีจะทำการวัดได้ไม่เกิน 3 ครั้ง ถ้าเป็นดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่แสดงผลสูงสุดเป็น 19999 ยิ่งมีการนับพัลส์เป็นจำนวนมากขึ้นถึง 10 เท่า ถ้าใช้พัลส์ความถี่ 10 กิโลเฮิร์ตซ์เท่าเดิม จะต้องใช้เวลาถึง 3 วินาที ในการวัดครั้งหนึ่งยาวนานเกินไป ดังนั้นต้องเพิ่มความถี่ของพัลส์ให้สูงขึ้น เช่น 100 กิโลเฮิร์ตซ์ เป็นต้น

# บทที่ 3

## การออกแบบและการสร้าง

### 3.1 วงจรควบคุมการทำงานของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51



รูปที่ 3.1 วงจรการทำงานของ AT89C51

การทำงานของวงจรถามการทำงานของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 จะอธิบายได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วงจรประกอบด้วย

#### 1. บิตควบคุมวงจรแสดงผลโดยใช้ MAX7219 โดยใช้พอร์ต

P3.5 ควบคุมการส่งข้อมูล

P3.6 ควบคุมการโหลดข้อมูลลงไอซี

P3.7 ควบคุมสัญญาณนาฬิกาในการโหลดข้อมูลลงไอซี MAX7219

#### 2. บิตควบคุมวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยไอซี L7135 โดยการใช้

พอร์ต

P0.0 ตรวจสอบสัญญาณไม่ว่าง

P0.1 ตรวจสอบความเป็นเนกาทีฟของแรงดัน

P0.2 ตรวจสอบแรงดันไฟกระแสตรงเกิน 2 โวลต์

P1.0 – P1.4 ตรวจสอบดิจิทัลที่เป็นข้อมูล

P3.0 – P3.3 ข้อมูลเป็นรหัส BCD 8421

#### 3. บิตตรวจสอบการเลือกย่านด้วยสวิทช์

P0.1 ตรวจสอบการเลือกย่านการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

P0.2 ตรวจสอบการเลือกย่านการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

P0.3 ตรวจสอบการเลือกย่านการวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง

P0.4 ตรวจสอบการเลือกย่านการวัดความต้านทาน

P0.5 สวิทช์เลือกแบบอัตโนมัติหรือแบบใช้มือกด

#### 4. ควบคุมวงจรรขยายบิตอนุกรมโดยใช้ไอซี 74HC595

P2.7 ควบคุมการส่งข้อมูล

P2.6 ควบคุมการเลื่อนข้อมูลในไอซี 74HC595

P2.5 ควบคุมการส่งข้อมูลออกทางบิตขาออกขนาด 8 บิตตัวที่ 1

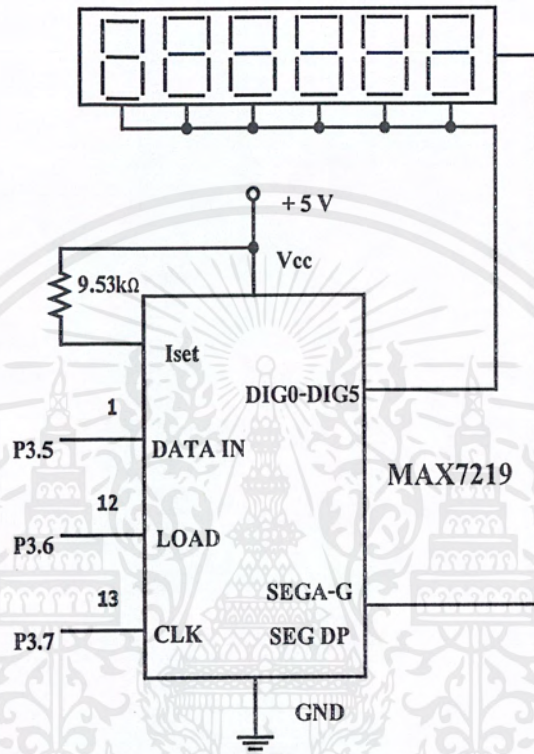
P2.4 ควบคุมการส่งข้อมูลออกทางบิตขาออกขนาด 8 บิตตัวที่ 2

P2.3 ควบคุมการส่งข้อมูลออกทางบิตขาออกขนาด 8 บิตตัวที่ 3

\*หมายเหตุ วงจรควบคุมวงจรรขยายบิตแบบอนุกรมนี้จะนำบิตที่ได้ไปควบคุมวงจรถูกเลือกย่านการวัดอัตโนมัติ และแสดงผลย่านการวัด

### 3.2 วงจรแสดงผลแบบ 7 ส่วน จำนวน 6 หลัก โดยใช้ไอซี MAX 7219

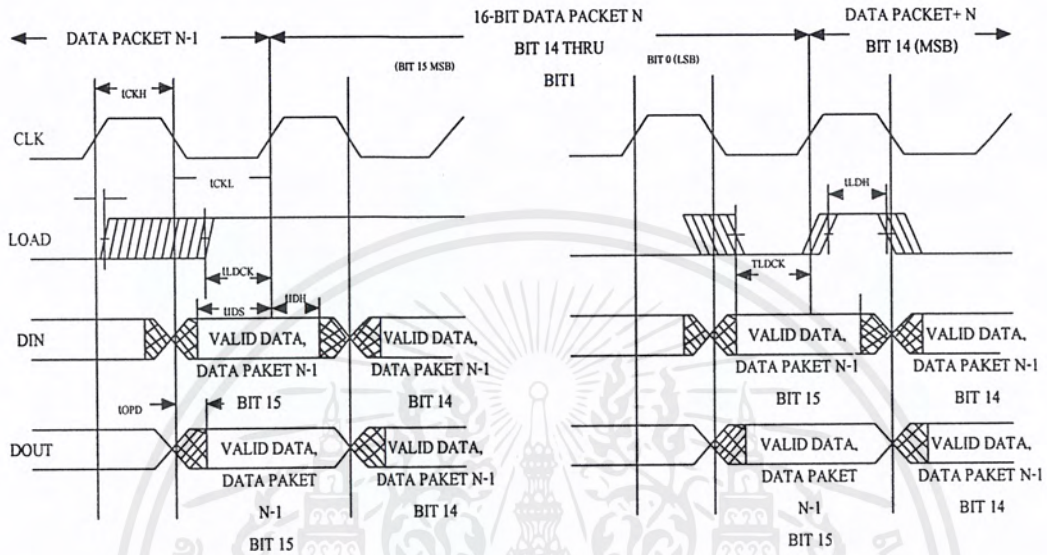
การทำงานของวงจรแสดงผลแบบ 7 ส่วน 6 หลัก โดยใช้ไอซี MAX 7219



รูปที่ 3.2 วงจรการทำงานของ MAX 7219

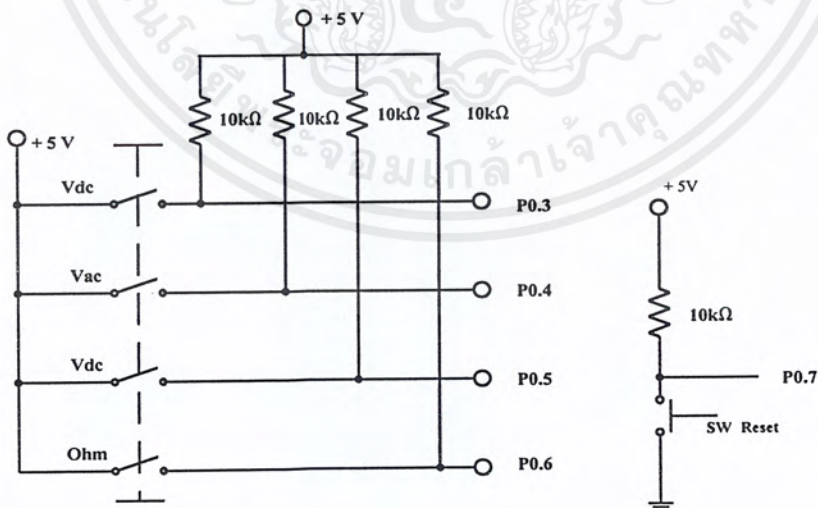
การส่งข้อมูลให้กับไอซี MAX7219 แสดงผลได้นั้นต้องตั้งค่าตำแหน่งรีจิสเตอร์ ในตัว ไอซี MAX7219 ก่อนซึ่งตำแหน่งแอดเดรสแสดงในภาคผนวก

การทำงานของวงจรแสดงผลแบบ 7 ส่วน 6 หลัก โดยใช้ไอซี MAX721 การส่งข้อมูลให้กับไอซี MAX7219 เพื่อให้ ขั้วส่วนแสดงผลแบบ 7 ส่วน ให้แสดงผลจะทำการส่งแบบอนุกรมซึ่งมีแผนผังเวลา ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนผังเวลาในการติดต่อตัวแสดงผลแบบ 7 ส่วน

### 3.3 วงจรตรวจสอบการเลือกย่านโดยใช้สวิตช์



รูปที่ 3.4 วงจรตรวจสอบการเลือกโดยใช้สวิตช์

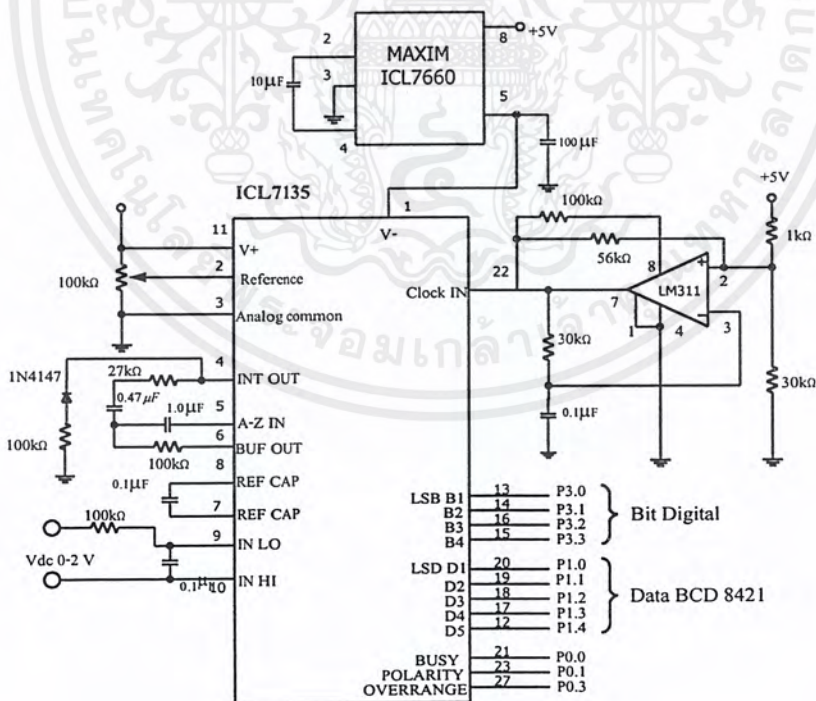
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงาน คือ การเลือกย่านจะเลือกย่านโดยใช้สวิตช์ตรวจสอบว่าขณะนี้ต้องการวัดย่าน การวัดย่านใด สมมติว่าถ้าต้องการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง P0.3 จะได้รับลอจิก “ 1 ” ส่วนที่ P0.4, P0.5, P0.6 จะเป็นลอจิก “ 0 ”

ส่วนสวิตช์แบบอัตโนมัติ หรือแบบใช้มือกดนั้นในขณะที่เปิดเครื่องสวิตช์จะอยู่ในสภาวะอัตโนมัติ ถ้ากดสวิตช์ P0.7 เท่ากับลอจิก 0 ก็จะเป็นการเลือกย่านแบบใช้มือกด ถ้ากดสวิตช์จะกลับเข้าสู่สภาวะอัตโนมัติอีกครั้ง

### 3.4 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยใช้ไอซี L7135

แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยใช้ไอซี L7135 จากข้อมูลจะเป็นการรวมสัญญาณแล้วสัญญาณมาเข้ารหัสใช้เป็นรหัส BCD 8421 จำนวน  $4\frac{1}{2}$  ดิจิต โดยจากการคำนวณระดับบิตขนาด  $4\frac{1}{2}$  หากความแตกต่างอยู่เท่ากับ 20,000 ระดับหรือคิดเป็นจำนวนการแปลงระดับประมาณ 14.3 บิต ซึ่งละเอียดมากโดยที่ไอซี LM311 ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณนาฬิกาให้กับไอซี L7135 และไอซี L7660 ทำหน้าที่ผลิตแรงดันไฟฟ้า -5 โวลต์ให้กับไอซี L7135 โดยการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51



รูปที่ 3.5 วงจรการต่อใช้งานไอซี L7135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Port P3.0- P3.3 เป็นข้อมูล BCD 8421

Port P1.0- P1.5 เป็นตัวแสดงสถานะของดิจิทัล

Port P0.0 เป็นตัวแสดงสถานะสัญญาณไม่ว่าง

Port P0.1 เป็นตัวแสดงสถานะสัญญาณ Pol

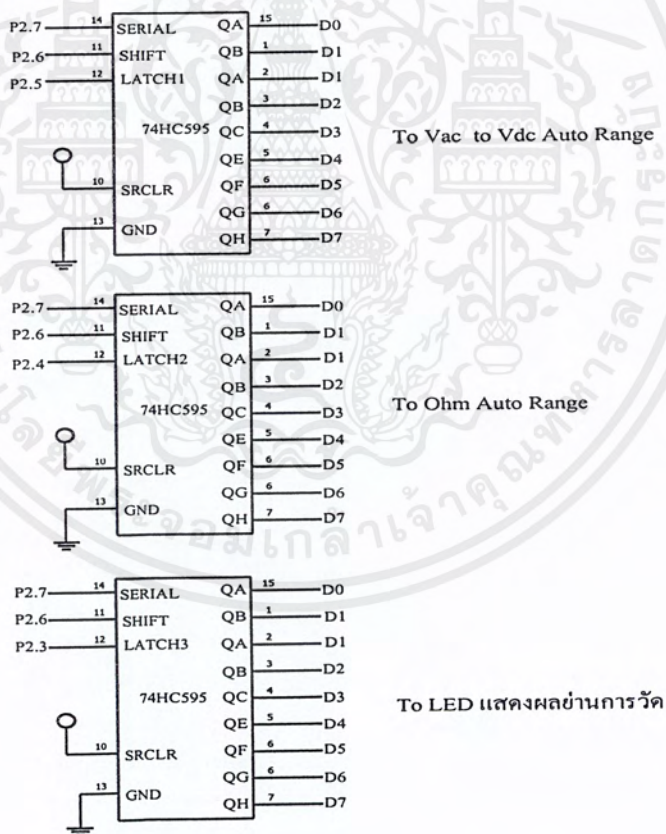
Port P0.2 เป็นตัวแสดงสถานะสัญญาณเอาเลทต์

โดยที่ไอซี L7135 วัดแรงดันได้อย่างเดียวและวัดได้ทีค่าแรงดันน้อยทำให้ต้องทำการขยาย

ย่านวัด

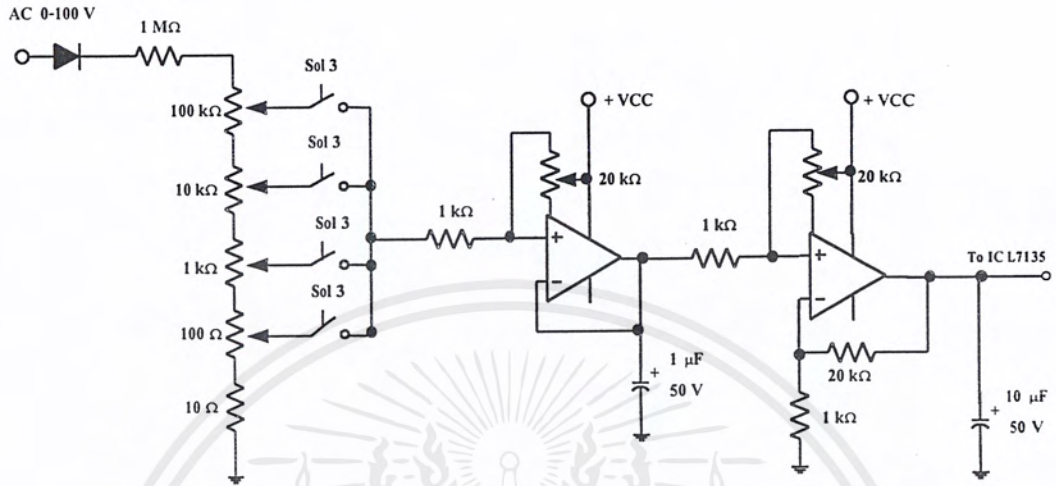
### 3.5 วงจรขยายบิตแบบอนุกรมโดยใช้ไอซี 74HC595

การทำงาน การที่จะทำให้ไอซี 74HC595 นำบิตที่ด้านขาออกมาได้นั้นจะต้องนำข้อมูลเข้าแบบอนุกรม



รูปที่ 3.6 วงจรขยายบิตแบบอนุกรมโดยใช้ไอซี 74HC595

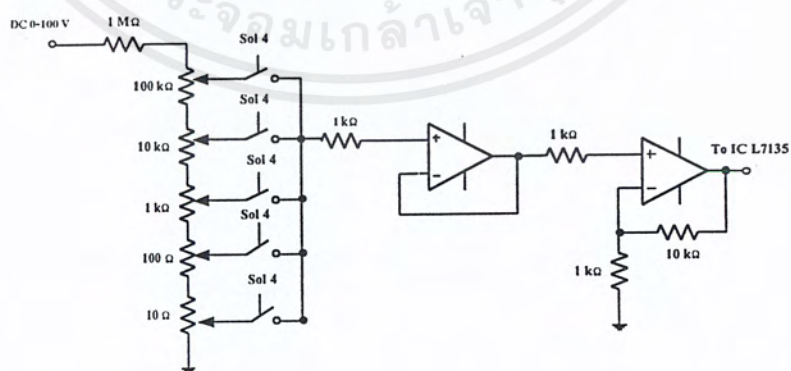
### 3.5.1 วงจรลดทอนแรงดันและขยายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 3.7 วงจรลดทอนและขยายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

วงจรจะนำการลดทอนแรงดันให้เหลือค่าต่างๆ โดยจะจัดขยายแบบกลับเฟสโดยใช้ออปแอมป์เบอร์ OP-07 ในการขยายเป็นลักษณะสัญญาณในรูปสัญญาณในรูปสัญญาณ AC ให้แรงดันที่ได้ลดทอนแล้วกับแรงดันที่ยังไม่ได้ลดทอนมีอัตราส่วนที่เหมาะสมและทำการส่งสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเป็น DC ส่งไปวัดแรงดันที่ ไอซี L7135 โดยที่ AD6365H จะวัดค่าที่ได้เป็นแรงดัน RMS

### 3.5.2 วงจรลดทอนแรงดันและขยายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง



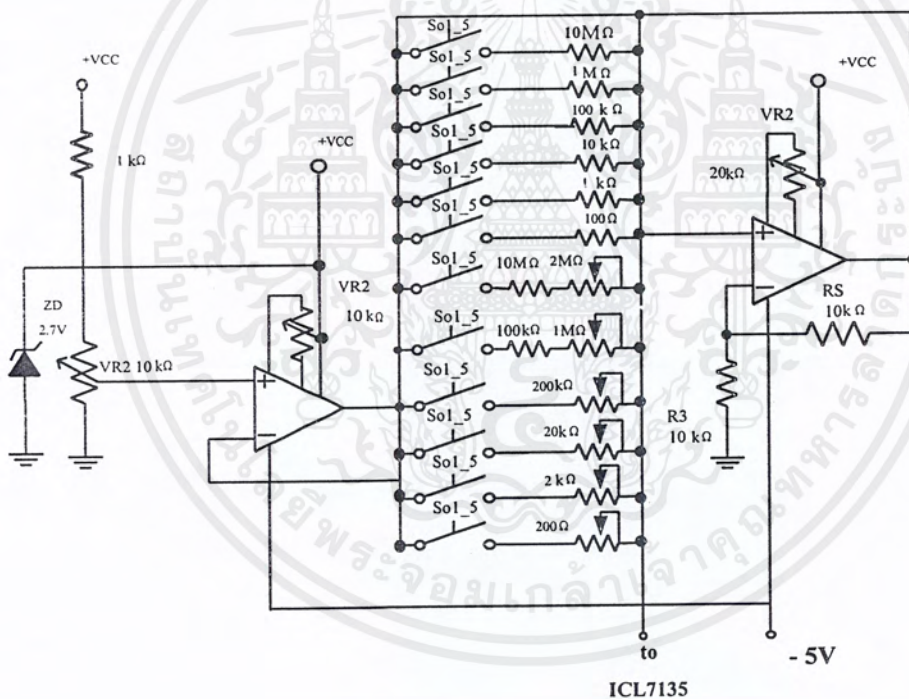
รูปที่ 3.8 วงจรลดทอนแรงดันและขยายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรจะทำการลดทอนแรงดันให้เหลือต่ำๆโดยจะจัดการขยายแบบกลับเฟสโดยใช้ ออปแอมป์เบอร์ OP-07 ในการขยายจะทำการขยายเป็นลักษณะสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงให้แรงดันที่ได้ลดทอนแล้วกับแรงดันมา ยังไม่ได้ลดทอนมีอัตราส่วนที่เหมาะสมและทำการส่งแรงดันไปจัดแรงดันที่ไอซี L 7135

### 3.5.3 วงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแสคงที่

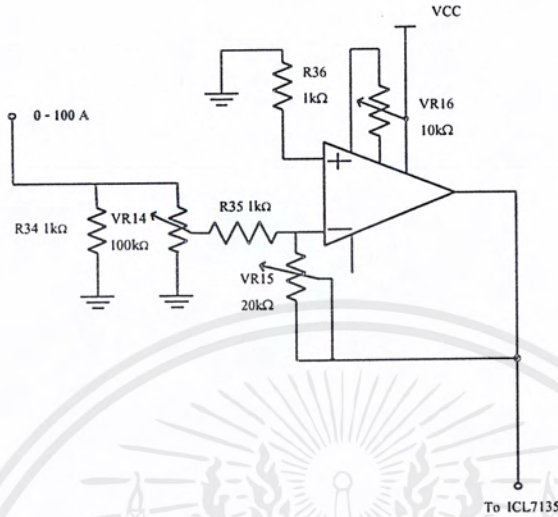
การทำงานกำหนดกระแสให้คงที่ว่าค่าความต้านทานที่จะวัดเปลี่ยนไปก็ตาม แรงดันก็จะเพิ่มขึ้นเองทำให้นำแรงดันที่ได้ไปแสดงผลเป็นค่าความต้านทานที่วัดได้โดยจะส่งไปวัดที่ ไอซี L7135



รูปที่ 3.9 วงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแสคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

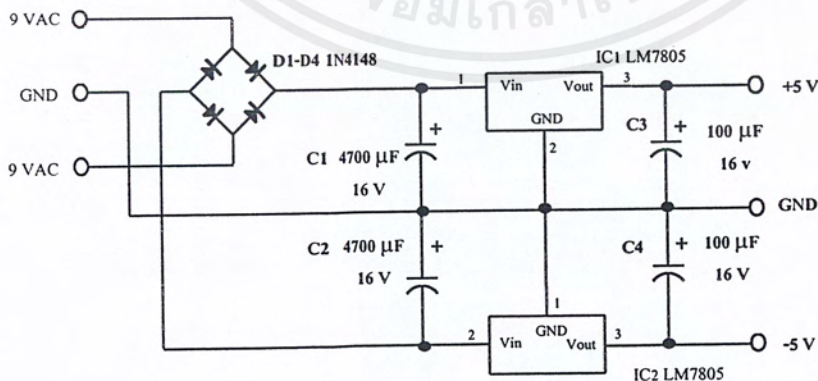
### 3.5.4 วงจรวัดกระแส



รูปที่ 3.10 วงจรวัดกระแส

วงจรจะประกอบด้วย “เซ็นต์มิเตอร์” เป็นอุปกรณ์หลักโดยที่เซ็นมิเตอร์ขนาด 100 แอมแปร์ ให้แรงดัน 0.0006 โวลต์ต่อกระแสไหลผ่านตัวมัน 1 แอมแปร์ ดังนั้นจึงนำแรงดันที่ได้มาจัดการขยายแบบไม่กลับเฟสให้เหมาะสมแล้วนำไปจัดแรงดันที่ ไอซี L7135

### 3.5.5 วงจรกำเนิดแรงดัน



รูปที่ 3.11 วงจรกำเนิดแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกำเนิดแรงดันประกอบด้วยไดโอด D1-D4 ทำหน้าที่เรียงกระแสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 9 โวลต์ ส่วน C1 และ C2 ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ไม่เรียบ IC1 จะทำหน้าที่จำกัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เหลือบวก 5 โวลต์ และ IC2 จะทำหน้าที่เดียวกับ IC1 แต่จะต่างจาก IC1 คือจะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเหลือลบ 5 โวลต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 กล่าวนำ

ในการทดลองการทำงานของเครื่องดิจิทัลมัลติมิเตอร์จะต้องใช้อุปกรณ์ประกอบการทดลองต่างๆ คือ เครื่องมัลติมิเตอร์แบบดิจิทัลยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter เครื่องดิจิทัลมัลติมิเตอร์ เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 0-30 โวลต์ หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบปรับค่าได้ ตัวความต้านทานค่าต่างๆ และวงจรเรียงกระแส โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง ได้แก่ การวัดค่ากระแส การวัดค่า แรงดันกระแสตรง การวัดค่าแรงดันกระแสสลับ การวัดค่าความต้านทาน

#### 4.2 การทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

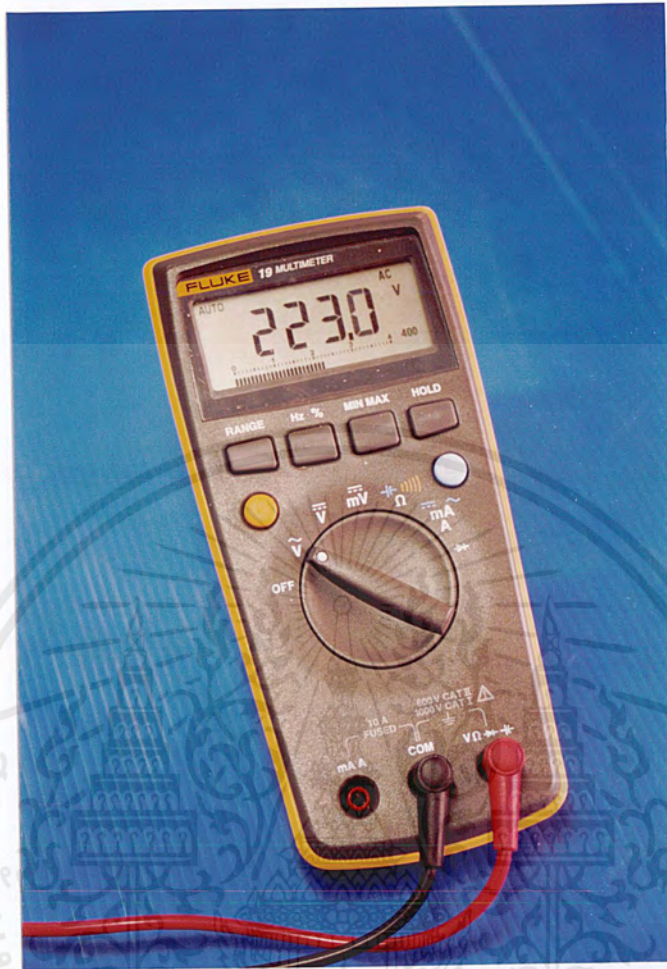
##### 4.2.1 การทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้เครื่องดิจิทัลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter

###### ลำดับขั้นการทดลอง

- 1) ต่อสายไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับแบบปรับค่าได้ เข้ากับขั้วไฟฟ้ากระแสสลับแรงดัน 220 โวลต์
- 2) เปิดสวิตช์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับแบบปรับค่าได้ เข้ากับขั้วไฟฟ้ากระแสสลับแรงดัน 220 โวลต์
- 3) ปรับสวิตช์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับแบบปรับค่าได้ ให้มีแรงดันด้านขาออกมีค่า 5 10 20 50 100 200 และ 250 โวลต์ตามลำดับ
- 4) ปรับสวิตช์เครื่องมัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter ไปที่ย่านการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
- 5) นำปลายสายวัดต่อกับ ขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับแบบปรับค่าได้ และทำการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า

###### ผลการทดลอง

ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่วัดได้ จากหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับแบบปรับค่าได้ โดยใช้เครื่องดิจิทัลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากเครื่องมัลติมิเตอร์แบบดิจิทัลยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter

#### 4.2.2 การทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้เครื่องดิจิทัลมัลติมิเตอร์ ลำดับขั้นการทดลอง

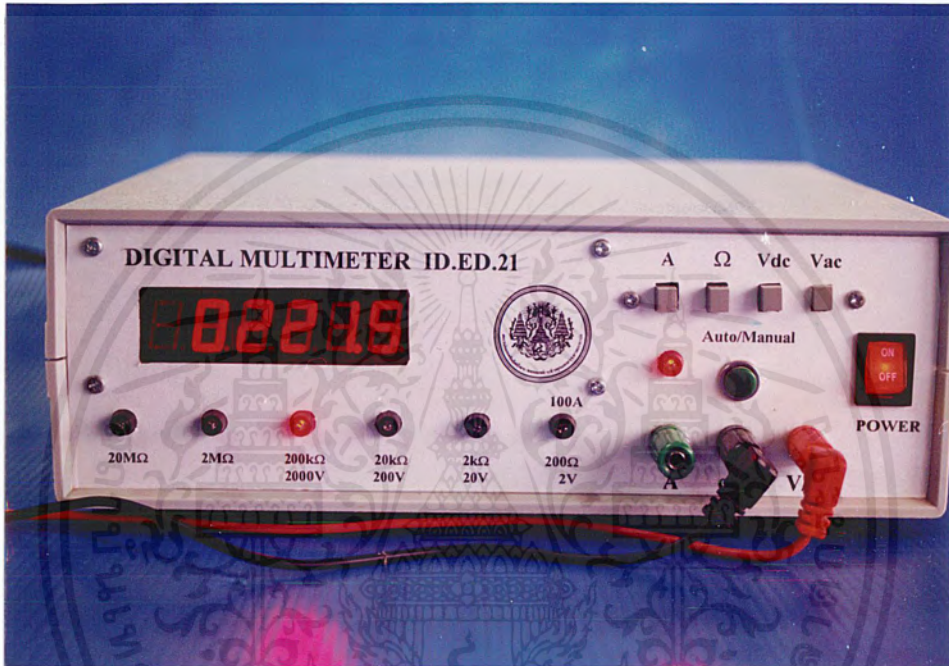
- 1) ต่อสายไฟของหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับแบบปรับค่าได้เข้ากับขั้วไฟฟ้ากระแสสลับแรงดัน 220 โวลต์
- 2) เปิดสวิตช์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับแบบปรับค่าได้เข้ากับขั้วไฟฟ้ากระแสสลับแรงดัน 220 โวลต์
- 3) ปรับสวิตช์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับแบบปรับค่าได้ให้มีแรงดันด้านขาออกมีค่า 5, 10, 20, 50, 100, 200 และ 250 โวลต์ ตามลำดับ
- 4) ปรับสวิตช์เครื่องดิจิทัลมัลติมิเตอร์ไปที่ ย่านการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) นำปลายสายวัดต่อกับขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับแบบปรับค่าได้และทำการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า

ผลการทดลอง

แสดงค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่วัดได้จากของหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับแบบปรับค่าได้ โดยใช้เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่วัดได้จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์

### 4.3 การทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

4.3.1 การทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้เครื่องมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter

ลำดับขั้นการทดลอง

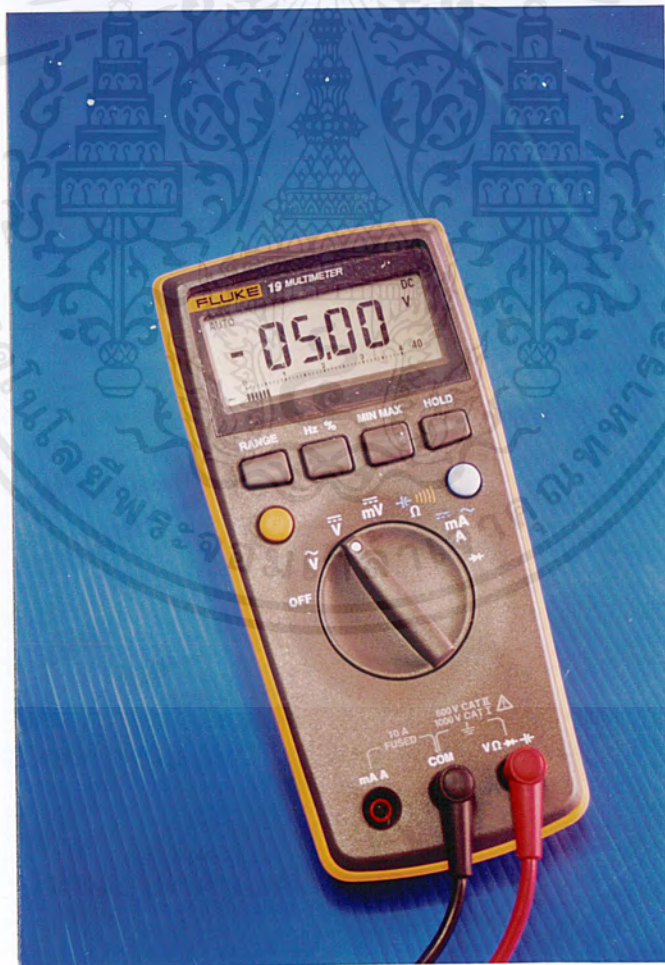
- 1) ต่อดวงจรรีขงกระแสเข้ากับหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบปรับค่าได้เป็นเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้
- 2) ต่อสายไฟของเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้เข้ากับขั้วไฟฟ้ากระแสสลับแรงดัน 220 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) เปิดสวิตช์ของเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้เข้ากับขั้วไฟฟ้ากระแสสลับแรงดัน 220 โวลต์
- 4) ปรับสวิตช์ของเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้ให้มีแรงดันด้านขาออก มีค่า 5, 10, 20, 50, 100, 200 และ 250 โวลต์ตามลำดับ
- 5) ปรับสวิตช์เครื่องมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter ไปที่ย่านการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
- 6) นำปลายสายวัดต่อกับขั้วของเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้และทำการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า

#### ผลการทดลอง

ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่วัดได้จากของเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้ โดยใช้เครื่องมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่วัดได้จากเครื่องมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.2 การทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ลำดับขั้นการทดลอง

- 1) ต่อดวงจรรีเลย์กระแสเข้ากับหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบปรับค่าได้ เป็นเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้
- 2) ต่อสายไฟของเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้เข้ากับขั้วไฟฟ้ากระแสสลับแรงดัน 220 โวลต์
- 3) เปิดสวิตช์ของเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้เข้ากับขั้วไฟฟ้ากระแสสลับแรงดัน 220 โวลต์
- 4) ปรับสวิตช์ของเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้ให้มีแรงดันด้านขาออก มีค่า 5,10, 20, 50, 100, 200 และ 250 โวลต์ ตามลำดับ
- 5) ปรับสวิตช์เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ไปที่ขานการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
- 6) นำปลายสายวัดต่อกับขั้วของเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้และทำการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า

#### ผลการทดลอง

ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่วัดได้จากของเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้ โดยใช้เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ดังรูปที่ 4.4

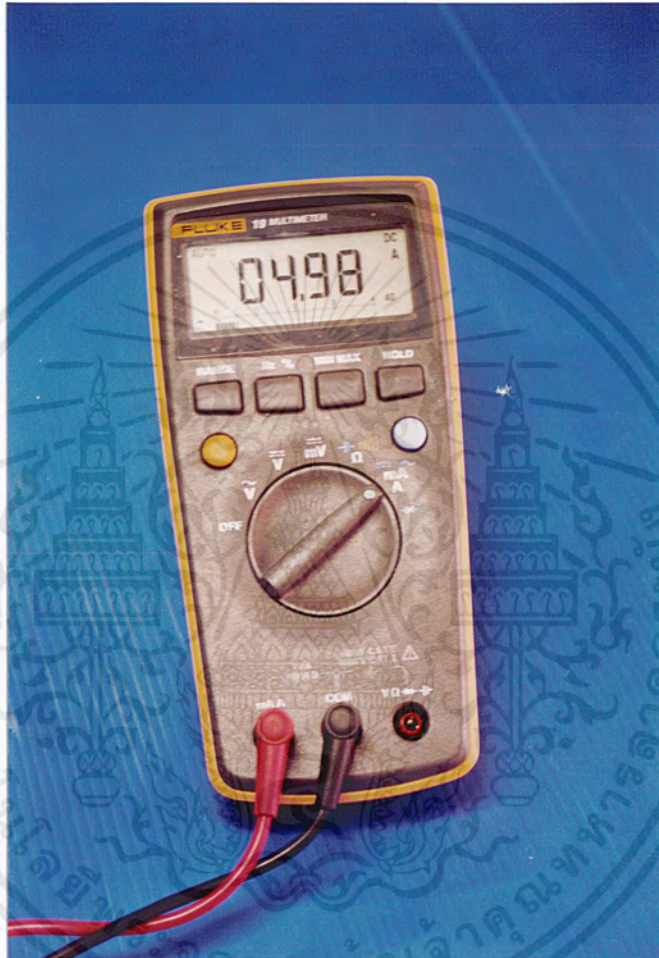


รูปที่ 4.4 ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.4 การทดลองวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรง

### 4.4.1 การทดลองวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้เครื่องมือวัดแบบดิจิตอล ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter



รูปที่ 4.5 ค่าของกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากเครื่องมือวัดแบบดิจิตอล ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter

#### ลำดับขั้นการทดลอง

- 1) ต่อสายไฟของเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้เข้ากับขั้วไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดัน 220 โวลต์
- 2) เปิดสวิตช์ของเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้
- 3) ปรับสวิตช์ของเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้ให้มีกระแสด้านขาออกมีค่า 1, 3, 5, 7 และ 9 โวลต์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ปรับสวิตช์เครื่องมัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter ไปที่ ย่านการวัดกระแสตรง

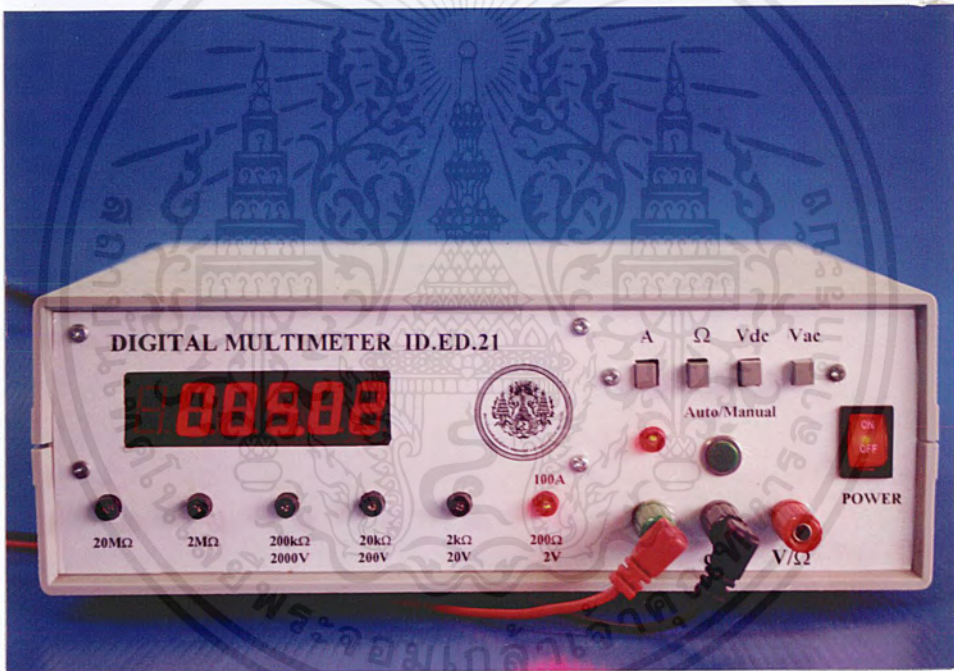
5) ต่อตัวความต้านทานอนุกรมเข้ากับเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรง

6) นำปลายสายวัดต่อกับขั้วของตัวความต้านทานด้านบวกและนำปลายสายด้านลบต่อกับเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้แล้วทำการอ่านค่า กระแสไฟฟ้า

#### ผลการทดลอง

ค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่วัดได้จากเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้ โดยใช้เครื่องมัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter ดังรูปที่ 4.5

#### 4.4.2 การทดลองวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้เครื่องดิจิทัลมัลติมิเตอร์



รูปที่ 4.6 ค่าของกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากเครื่องดิจิทัลมัลติมิเตอร์

#### ลำดับขั้นการทดลอง

- 1) ต่อสายไฟของเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้เข้ากับขั้วไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดัน 220 โวลต์
- 2) เปิดสวิตช์ของเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้
- 3) ปรับสวิตช์ของเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้ให้มีกระแสออกมีค่าเป็น 1, 3, 5, 7, และ 9 โวลต์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) ปรับสวิตช์เครื่องแบบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ไปที่ย่านการวัดกระแสตรง
- 5) ต่อตัวความต้านทานอนุกรมเข้ากับเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรง
- 6) นำปลายสายวัดต่อกับขั้วของตัวความต้านทานด้านบวก และนำปลายสายด้านลบต่อกับเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้แล้วทำการอ่านค่ากระแสไฟฟ้า

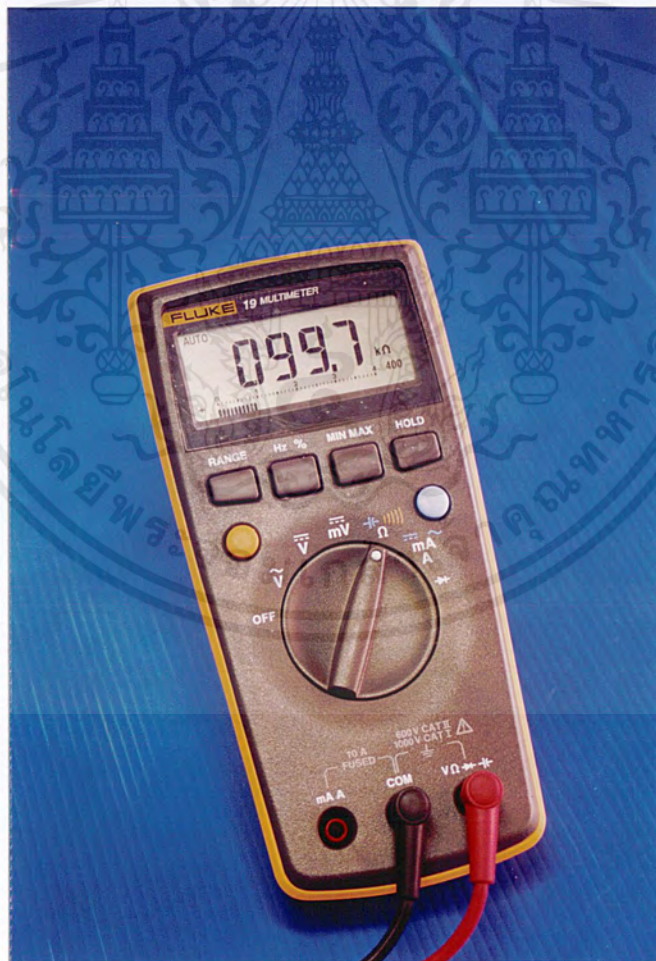
#### ผลการทดลอง

ค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่วัดได้จากเครื่องไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้ โดยใช้เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ดังรูปที่ 4.6

## 4.5 การทดลองวัดค่าความต้านทาน

### 4.5.1 การทดลองวัดค่าความต้านทานโดยใช้เครื่องมือวัดแบบดิจิตอลยี่ห้อ FLUKE

#### รูปที่ 19 Multimeter



รูปที่ 4.7 ค่าความต้านทานที่ได้จากเครื่องมือวัดแบบดิจิตอลยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ลำดับขั้นตอนการทดลอง

- 1) ปรับสวิตช์ของเครื่องมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter ไปที่ย่านการวัดความต้านทาน
- 2) นำปลายสายวัดเครื่องมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter ต่อเข้ากับความต้านทานค่า 100Ω, 1kΩ, 2kΩ, 10kΩ, 50kΩ, 100KΩ, 200kΩ, 500kΩ, 1MΩ และ 10MΩ
- 3) อ่านค่าจากส่วนแสดงผล

### ผลการทดลอง

ค่าความต้านทานโดยใช้เครื่องมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter ดังรูปที่ 4.7

### 4.5.2 การทดลองวัดค่าความต้านทานโดยใช้เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์



รูปที่ 4.8 ค่าความต้านทานที่ได้จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์

### ลำดับขั้นตอนการทดลอง

- 1) ปรับสวิตช์ของเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ไปที่ย่านการวัดความต้านทาน
- 2) นำปลายสายวัดของเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ต่อเข้ากับความต้านทานที่มีค่า 100Ω, 1kΩ, 2kΩ, 10kΩ, 50kΩ, 100KΩ, 200kΩ, 500kΩ, 1MΩ และ 10MΩ ตามลำดับ
- 3) อ่านค่าจากส่วนแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลอง

ค่าความต้านทาน โดยใช้เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ดังรูปที่ 4.8

#### 4.6 การทดลองค่าความเที่ยงตรงในการวัดแรงดันไฟกระแสสลับ

ตารางที่ 4.1 ค่าความเที่ยงตรงในการวัดแรงดันไฟกระแสสลับ โดยดิจิตอลมัลติมิเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter

แรงดันจากเครื่องจ่าย VAC	ค่าที่ FLUKE วัดได้	ค่าที่ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดได้
5 V	05.00V	05.007V
10V	10.00V	10.004V
20V	20.00V	20.003V
50V	050.0V	050.01V
100V	100.0V	100.00V
200V	200.0V	200.00V
250V	250.0V	250.00V

#### 4.7 การทดลองค่าความเที่ยงตรงในการวัดแรงดันไฟกระแสตรง

ตารางที่ 4.2 ค่าความเที่ยงตรงในการวัดแรงดันไฟกระแสตรง โดยดิจิตอลมัลติมิเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter

แรงดันจากเครื่องจ่าย VDC	ค่าที่ FLUKE วัดได้	ค่าที่ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดได้
5 V	05.00V	05.004V
10V	10.00V	10.002V
20V	20.00V	20.001V
50V	050.0V	050.00V
100V	100.0V	100.0V
200V	200.0V	200.00V
250V	250.0V	250.0V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.8 การทดลองค่าความเที่ยงตรงในการวัดกระแสไฟฟ้าไฟฟ้ากระแสตรง

ตารางที่ 4.3 ค่าความเที่ยงตรงในการวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง โดยดิจิตอลมัลติมิเตอร์  
เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19  
Multimeter

ค่ากระแสจากเครื่องจ่ายไฟฟ้า กระแสตรง	ค่าที่ FLUKE วัดได้	ค่าที่ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดได้
1A	1000mA	001.01A
3A	3000mA	003.02A
5A	05.00A	005.01A
7A	07.00A	007.00A
9A	09.00A	009.00A

#### 4.9 การทดลองค่าความเที่ยงตรงการวัดความต้านทาน

ตารางที่ 4.4 ค่าความเที่ยงตรงในการวัดความต้านทาน โดยดิจิตอลมัลติมิเตอร์  
เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19  
Multimeter

ค่าความต้านทาน( $\Omega$ )	ค่าที่ FLUKE วัดได้	ค่าที่ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดได้
100 $\Omega$	100.0 $\Omega$	100.00 $\Omega$
1k $\Omega$	1000 $\Omega$	1.0002k $\Omega$
2k $\Omega$	2000 $\Omega$	2.0001k $\Omega$
10k $\Omega$	10.00k $\Omega$	10.001k $\Omega$
50k $\Omega$	50.00k $\Omega$	050.02k $\Omega$
100k $\Omega$	100.0k $\Omega$	100.03k $\Omega$
200k $\Omega$	200.0k $\Omega$	200.20k $\Omega$
500k $\Omega$	500.0k $\Omega$	0.5001M $\Omega$
1M $\Omega$	1.000M $\Omega$	1.0020M $\Omega$
10M $\Omega$	10.00M $\Omega$	10.000M $\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการทดลอง

จากการทดลองที่ 4.5 ค่าความเที่ยงตรงในการวัดแรงดันไฟกระแสสลับโดยดิจิตอลมัลติมิเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter มีความผิดพลาด 0.02 เปอร์เซ็นต์ และในการทดลองที่ 4.6 การทดลองค่าความเที่ยงตรงในการวัดแรงดันไฟกระแสตรงโดยดิจิตอลมัลติมิเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter มีความผิดพลาด 0.005 เปอร์เซ็นต์

จากการทดลองที่ 4.7 ค่าความเที่ยงตรงในการวัดไฟฟ้ากระแสตรงโดยดิจิตอลมัลติมิเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter มีความผิดพลาด 0.02 เปอร์เซ็นต์ และในการทดลองที่ 4.8 ค่าความเที่ยงตรงการวัดความต้านทานโดยดิจิตอลมัลติมิเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลยี่ห้อ FLUKE รุ่น 19 Multimeter มีความผิดพลาด 0.04 เปอร์เซ็นต์



## บทที่ 5

### บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา

#### 5.1 บทสรุป

ปริญญานิพนธ์ดิจิทัลมัลติมิเตอร์รับค่าที่ได้จากตัวความต้านทาน หรือแรงดันไฟฟ้า หรือกระแสไฟฟ้า จะมีวงจรควบคุมการทำงานของดิจิทัลมัลติมิเตอร์ ซึ่งมีวงจรควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 คือตรวจสอบการเลือกย่านโดยใช้สวิทช์ตรวจสอบว่าต้องการเลือกย่านการวัดย่านใด ส่วนสวิทช์อัตโนมัติหรือแบบใช้มือกดขณะเปิดเครื่องสวิทช์จะเป็นแบบอัตโนมัติ ถ้ากดสวิทช์อีกทีครั้งจะเลือกเป็นแบบใช้มือกด ควบคุมวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยไอซี L7135 จากข้อมูลจะเป็นสัญญาณรวมแล้วนำมาเข้ารหัส โดยคำนวณระดับบิตหรือคิดเป็นจำนวนการแปลงระดับโดยไอซี LM311 จะทำหน้าที่ผลิตสัญญาณนาฬิกาให้กับไอซี L7135 และไอซี L7660 ผลิตแรงดัน -5 โวลต์ ให้กับ ไอซี L7135 โดยต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 และควบคุมวงจรขยายบิตอนุกรมโดยใช้ไอซี 74HC595 ซึ่งจะมีวงจร ลดทอนแรงดันไฟฟ้าต่ำและขยายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ วงจรลดทอนแรงดันและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง วงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแสที่ วงจรวัดกระแส และควบคุมวงจรแสดงผลแบบ 7 ส่วน จำนวน 6 หลักโดยใช้ไอซี MAX7219 ก็จะส่งข้อมูลแบบอนุกรมให้กับไอซี MAX7219 เพื่อใช้ไปขับส่วนแสดงผลแบบ 7 ส่วนออกมาทางไดโอดเปล่งแสง ขนาด  $4\frac{1}{2}$  บิต

ส่วนที่สำคัญของดิจิทัลมัลติมิเตอร์นี้ คือ วงจรควบคุมการทำงานของดิจิทัลมัลติมิเตอร์ ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 วงจรแสดงผลแบบ 7 ส่วน จำนวน 6 หลักโดยใช้ไอซี MAX7219 วงจรตรวจสอบการเลือกย่านโดยใช้สวิทช์ วงจรการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยใช้ไอซี L7135 วงจรขยายบิตแบบอนุกรม โดยใช้หลักการของวงจรดังกล่าวนี้ จึงทำให้ดิจิทัลมัลติมิเตอร์นี้สามารถรับค่าและแสดงผลออกทางตัวแสดงผลแบบ 7 ส่วน

#### 5.2 ปัญหา และแนวทางแก้ไข

ในการจัดทำโครงการงานดิจิทัลมัลติมิเตอร์ สามารถสรุปปัญหา และแนวทางแก้ไข ได้ดังนี้

- 1) ลายวงจรที่จุดกราวด์มีขนาดเล็ก ทำให้เกิดการผิดพลาด

**แนวทางแก้ไข** ออกแบบลายวงจรใหม่ให้จุดกราวด์ของวงจรมีขนาดใหญ่ขึ้น

- 2) ไอซีแต่ละตัวมีจุดครวครวร่วมกันทำให้สัญญาณเกิดการรบกวนกัน  
แนวทางแก้ไข แยกครวครวของไอซีแต่ละตัวออกจากกัน

### 5.3 แนวการพัฒนา

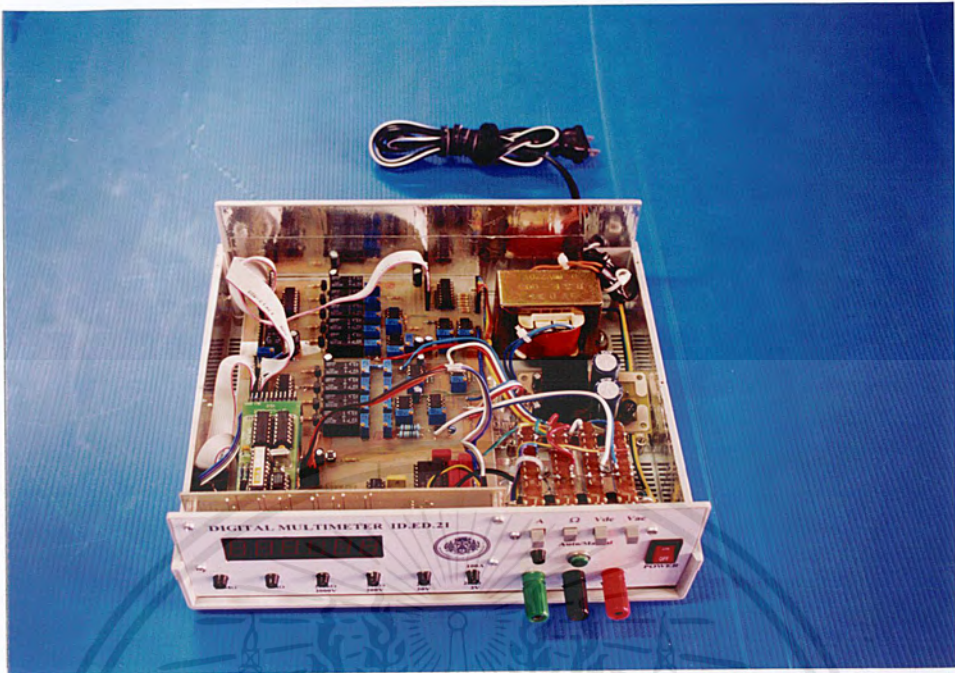
- 1) สามารถวัดค่า กำลังงาน ความถี่ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้
- 2) ควรพัฒนาขนาดของเครื่องให้เล็กลง



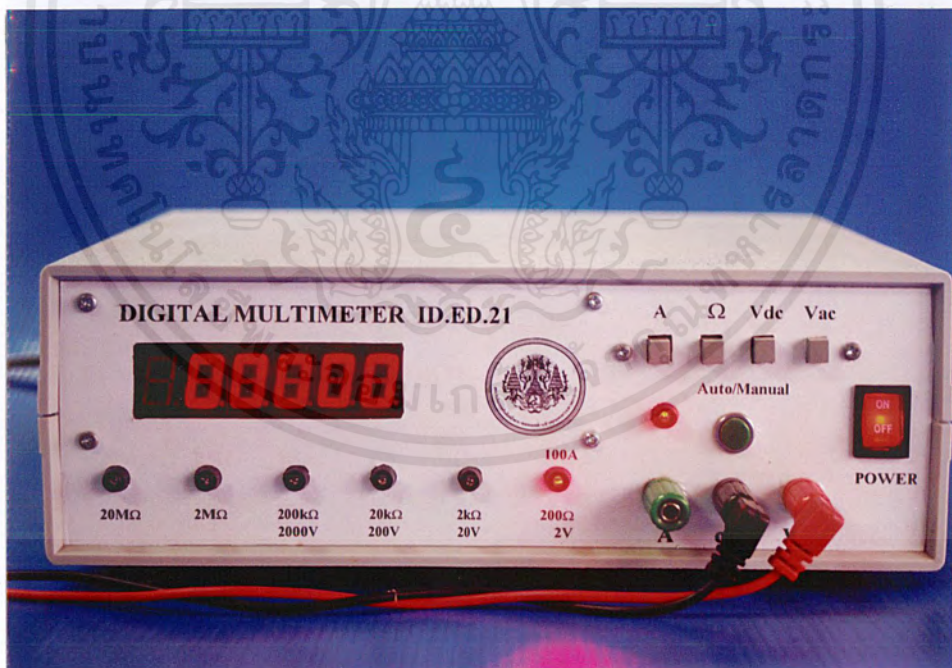
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

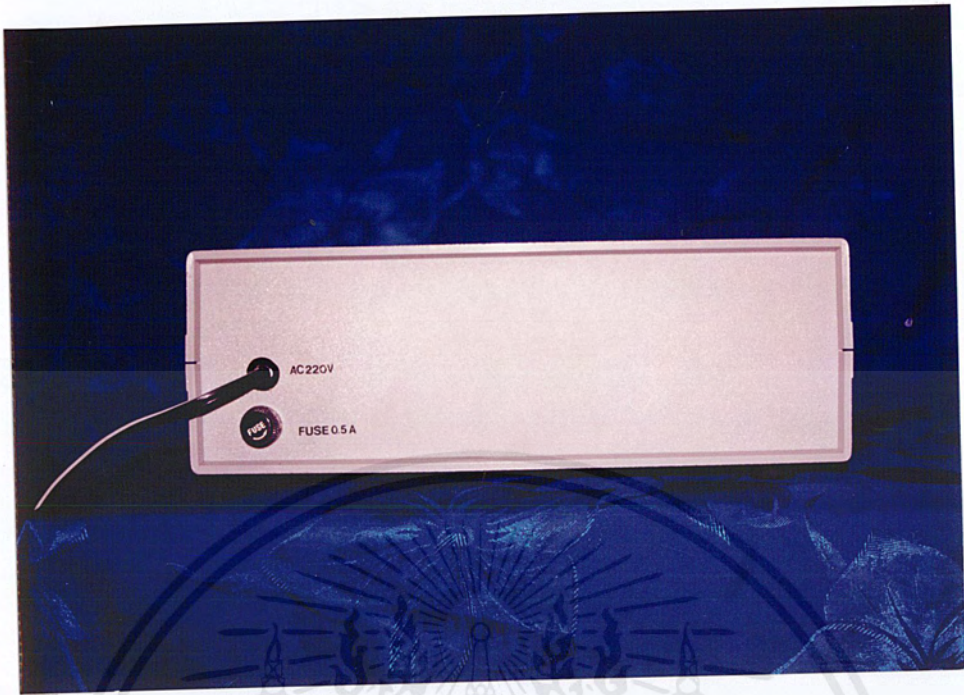


รูปที่ ก.1 การติดตั้งวงจรภายในเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์



รูปที่ ก.2 รูปด้านหน้าของเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



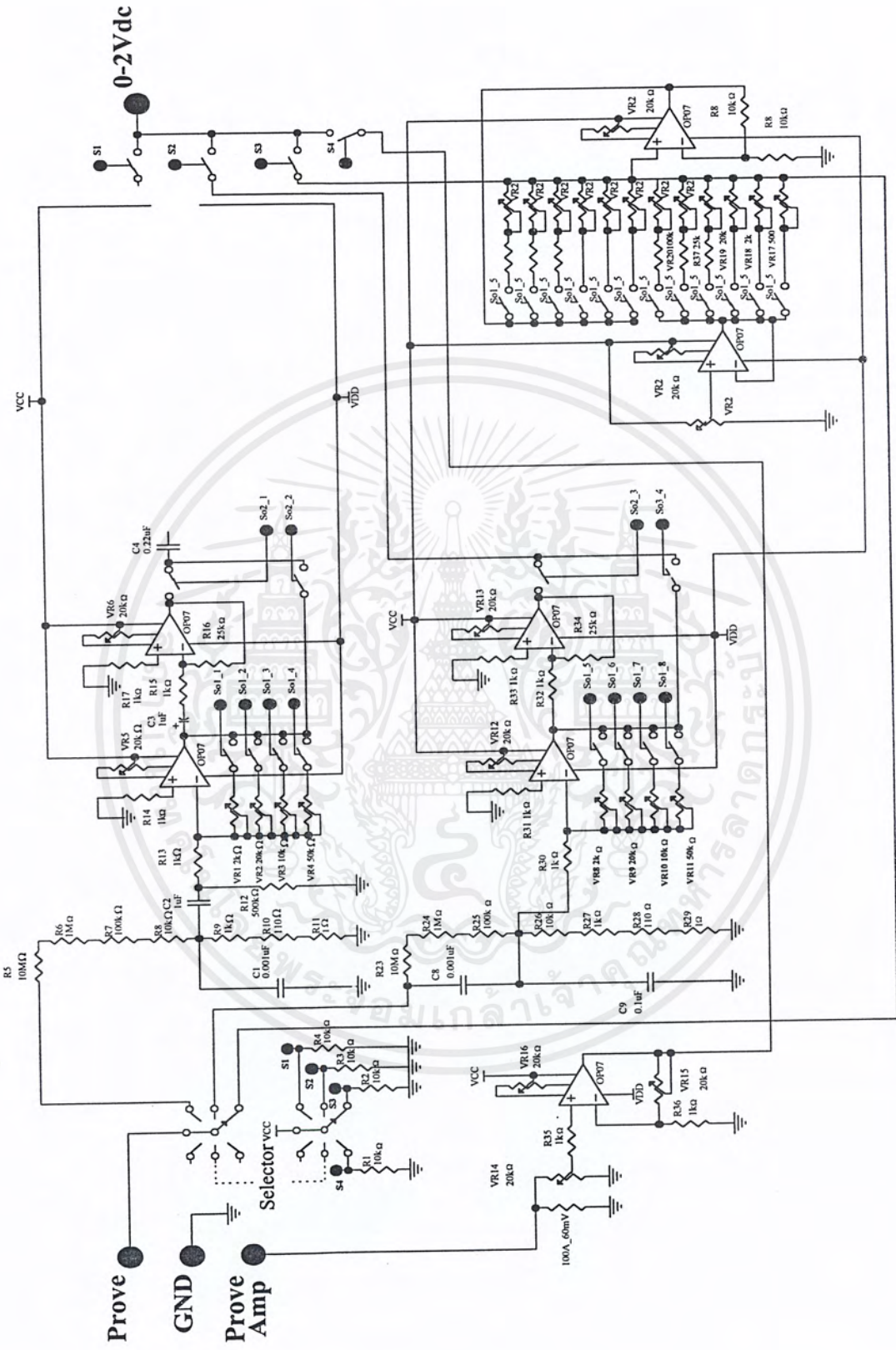
รูปที่ ก.3 รูปด้านหลังของเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



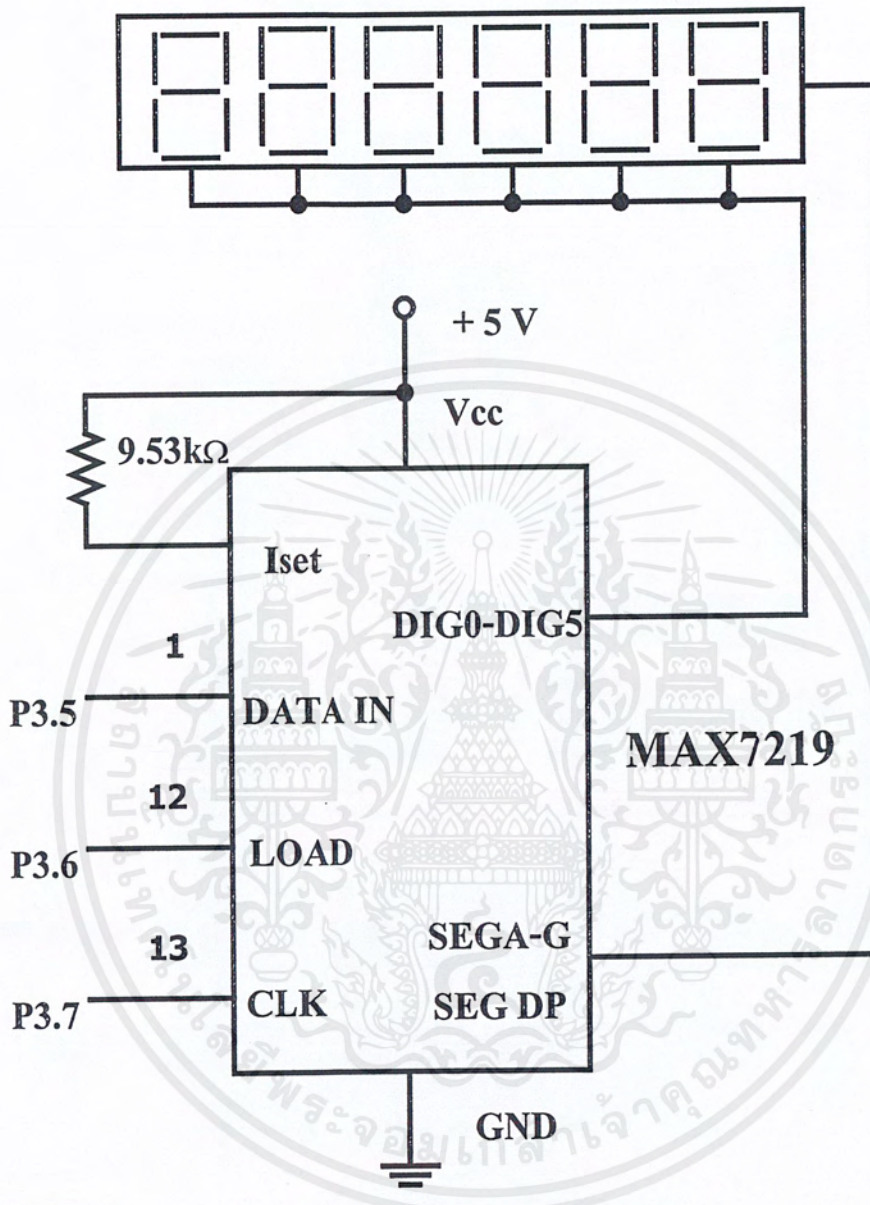
**ภาคผนวก ข**  
**วงจร และแผ่นวงจรพิมพ์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



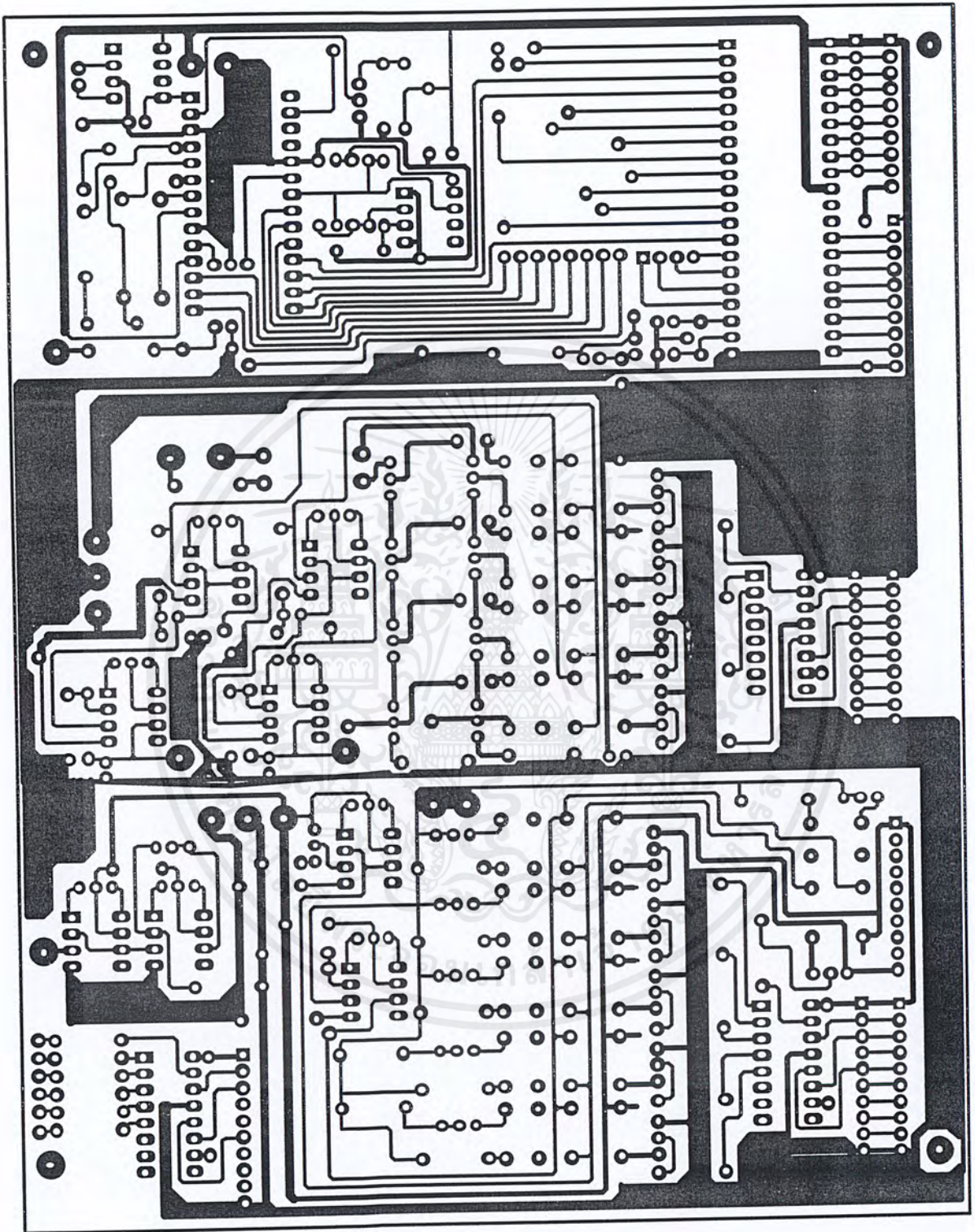
รูปที่ ข.1 วงจรควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 และวงจรขยายย่านวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2 วงจรภาคแสดงผลแบบ 7 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

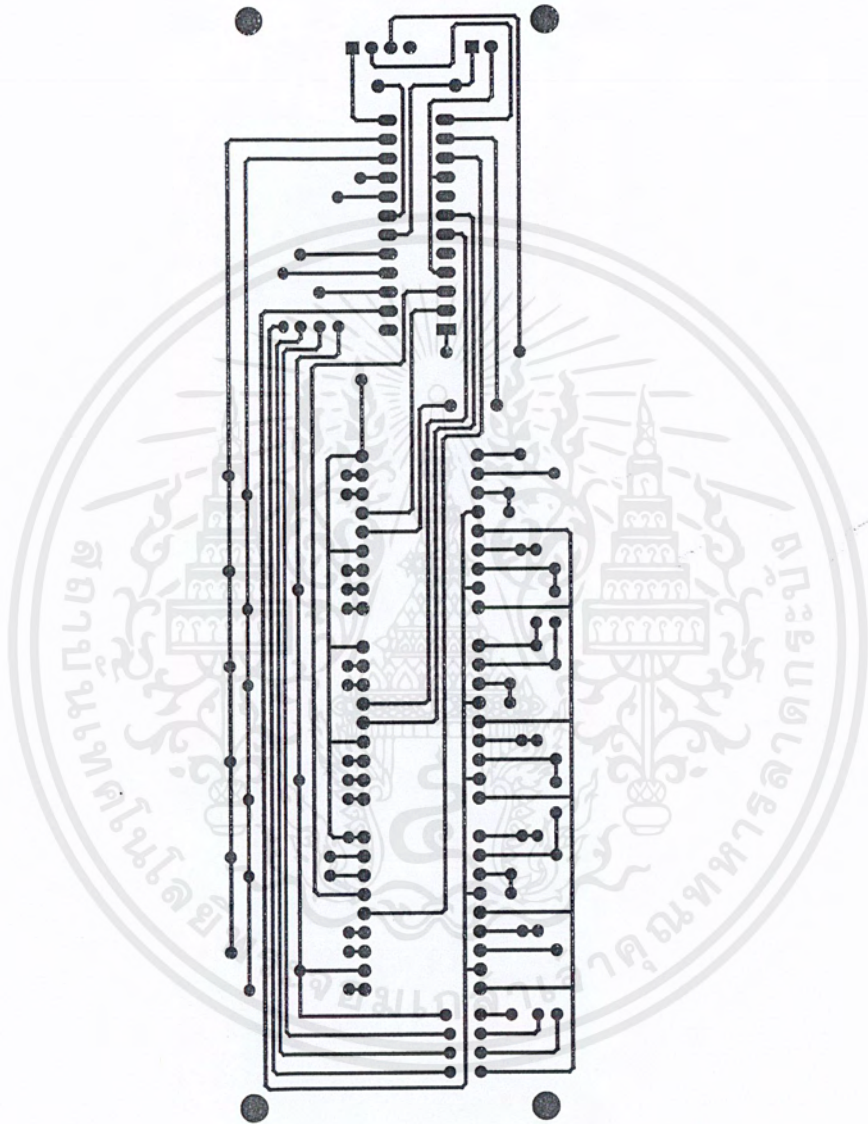


รูปที่ ข.3 ลายวงจรพิมพ์ของวงจรควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51

และวงจรขยายย่านวัด

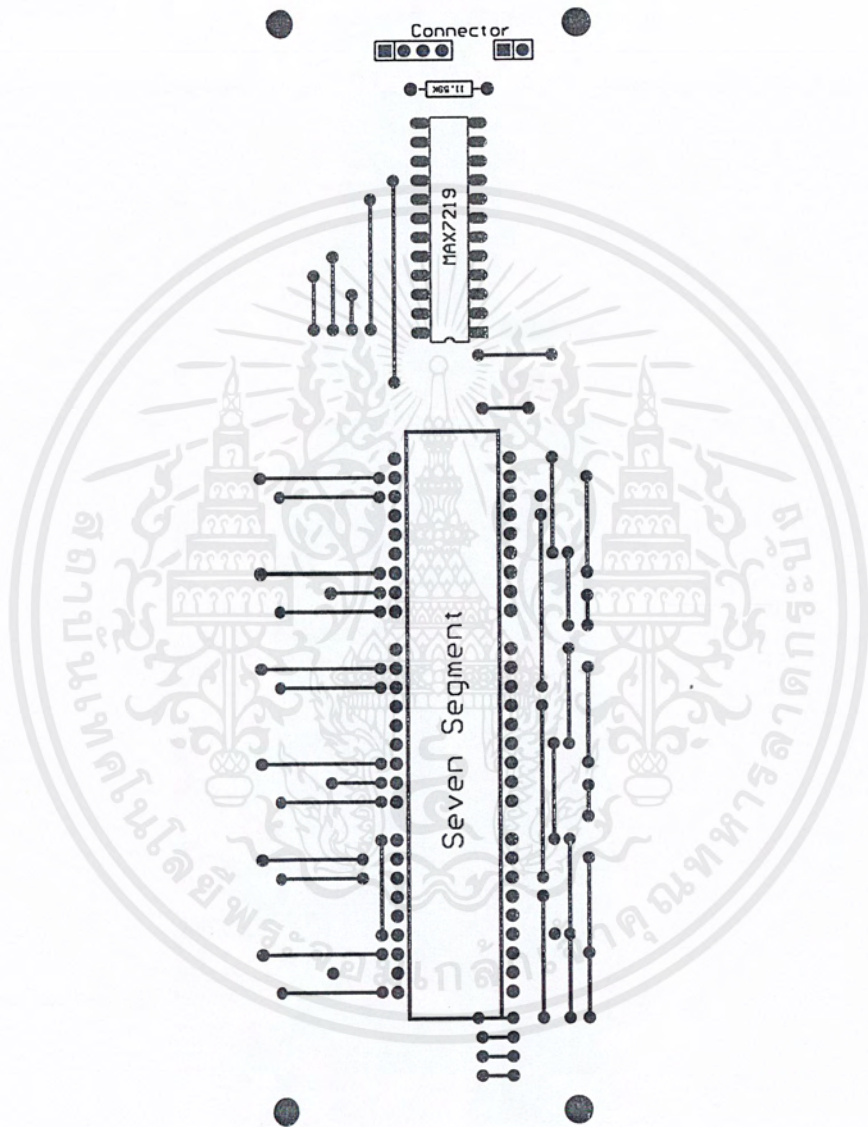
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ ข.5 ตายวงจรพิมพ์ของวงจรภาคแสดงผลแบบ 7 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

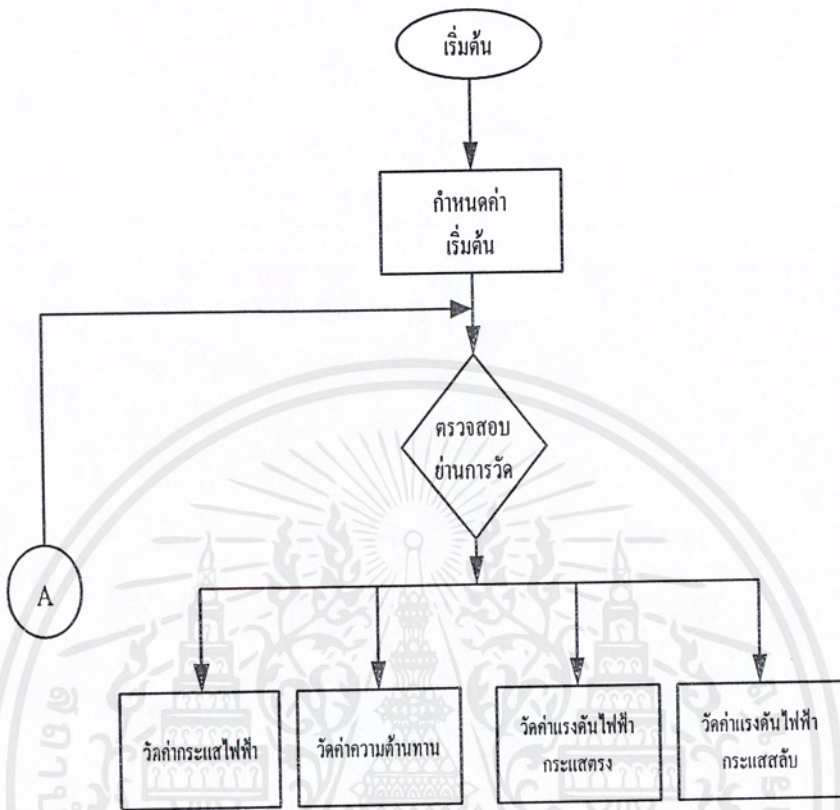


รูปที่ ข.6 การลงอุปกรณ์ของวงจรภาคแสดงผลแบบ 7 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

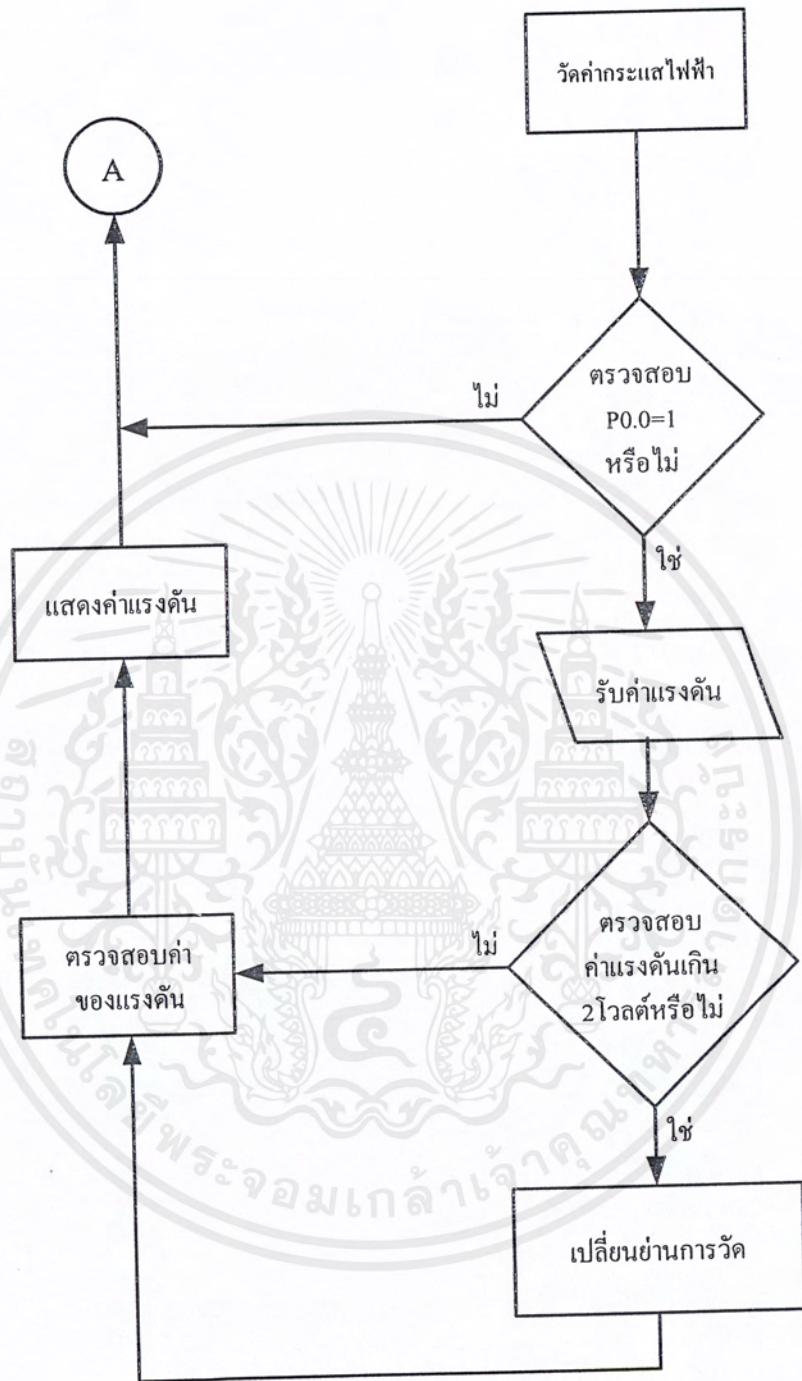


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓.1 แผนผังการทำงานหลักของโปรแกรมดิจิทัลมัลติมิเตอร์

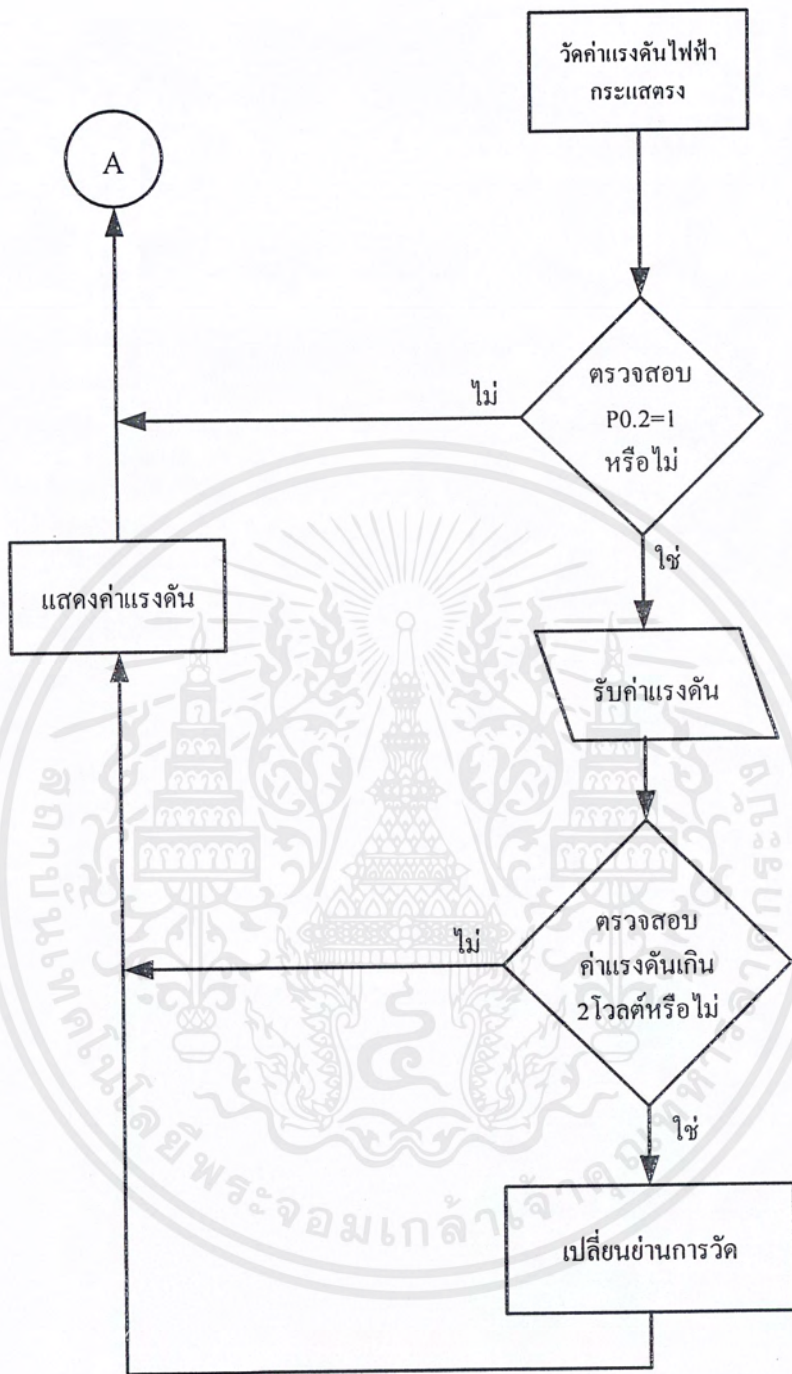
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมย่อยวัดค่ากระแสไฟฟ้า

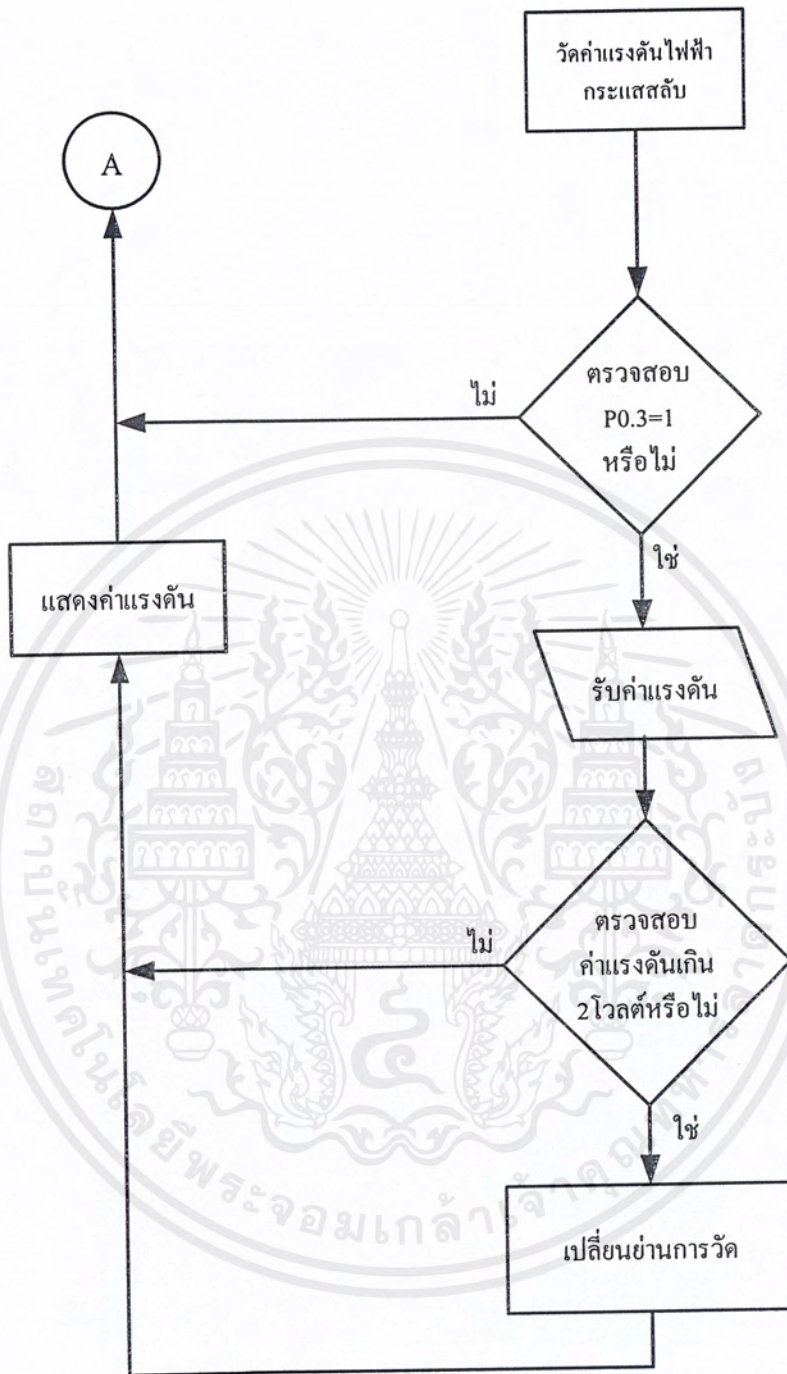
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ ๓.๔ แผนผังการทำงานของโปรแกรมย่อยวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓.๕ แผนผังการทำงานของโปรแกรมย่อยวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

; FILENAME          PROJECT.ASM
; DESCRIPTION       DIGITAL MULTIMETER
; HARDWARE          DIGITAL V1.0
; ASSEMBLER        SXA51
; START-DATE       18/01/01
; INSTITUTION      King Mongkut's Institute of Technology
                   Ladkrabang (KMITL)
; FACULTY          Industrial Education 21
                   ED.Engineer

;
; ***** START PROGRAM *****
;
MXDAT      EQU     P3.5                ;CONTRON_BIT MAX7219
MXLDB      EQU     P3.6
MXCLK      EQU     P3.7
;
BUSY       EQU     P0.0                ;CONTRON_BIT ICL7135
POL        EQU     P0.1
OVER       EQU     P0.2
DIG11     EQU     P1.0
DIG22     EQU     P1.1
DIG33     EQU     P1.2
DIG44     EQU     P1.3
DIG55     EQU     P1.4
;
SELECT1    EQU     P0.7                ;SELECT_Vdc, Vac, Adc & OHM
SELECT2    EQU     P0.6
SELECT3    EQU     P0.5
SELECT4    EQU     P0.4
;
SWITCH     EQU     P0.3                ;SWITCH_SELECT_Vdc, Vac, Adc&OHM
;
SERIAL     EQU     P2.7                ;CONTRON_BIT 74HC595
SHIFT      EQU     P2.6
LATCH1     EQU     P2.5                ;O
LATCH2     EQU     P2.4                ;V
LATCH3     EQU     P2.1                ;LED
;
DIG1       EQU     20H                 ;ADDRESS DATA_MEMORY DIGIT
DIG2       EQU     21H
DIG3       EQU     22H
DIG4       EQU     23H
DIG5       EQU     24H
DIG6       EQU     25H
;
                   ORG     0000H
                   CALL   DELAY
                   MOV    A, #07EH
                   MOV    DIG1,A        ;CLR ALL DIG = FFH
                   MOV    DIG2,A
                   MOV    DIG3,A
                   MOV    DIG4,A
                   MOV    DIG5,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    DIG6,#00H
CALL   READMAX           ;DISPLAY MAX7219
;
SETB   SELECT1
SETB   SELECT2
SETB   SELECT3
MOV    R0,#00H
CALL   SER_OUT
CLR    LATCH1
CLR    LATCH2
CL     LATCH3
SETB   LATCH1
SETB   LATCH2
SETB   LATCH3
;
;
; ***** START PROGRAM *****
;
SELECT: SETB           SWITCH
        SETB   SELECT1
        SETB   SELECT2
        SETB   SELECT3
        JB     SWITCH,$
        JNB    SELECT1,ADC1      ;SELECT Vdc,Vac,Adc & OHM
        JNB    SELECT2,OHM1
        JNB    SELECT3,VDC_A
        AJMP   SELECT
ADC1:   AJMP           ADC
OHM1:   AJMP           OHM_A
;
; ***** VDC AUTO *****
;
VDC_A:  MOV    R0,#00H
        CALL   SER_OUT
        CLR    LATCH2
        SETB   LATCH2
        MOV    R0,#00000011B     ;LOAD_DATA 74HC595
        CALL   SER_OUT
        CLR    LATCH3
        SETB   LATCH3
        MOV    R0,#00000001B     ;LOAD_DATA 74HC595
        CALL   SER_OUT
        CLR    LATCH1
        SETB   LATCH1
        CALL   DELAY123
        SETB   SWITCH
        JB     SWITCH,$
;
VDC_A2V: SETB           SWITCH
        JB     SWITCH,VDC1_20V
        JNB    SELECT3,VDC_A2V_1 ;SELECT1 = 0 GOTO SELECT
        SETB   SELECT3
        AJMP   SELECT

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

VDC_A2V_1:  MOV    R0,#00000001B      ;LOAD_DATA 74HC595
            CALL   SER_OUT
            CLR    LATCH1
            SETB   LATCH1
            CALL   READ      ;READ ICL7135
            CLR    DIG5.7
            CALL   DETEC      ;DETEC DATA
= 0 POL = +0
            CJNE   A,#00H,VDC_A2V_2
            CLR    DIG6.0
            AJMP   VDC_A2V_3
VDC_A2V_2:  CALL   SETPOL2      ;SETPOL POL = 0+ POL
= 1-
VDC_A2V_3:  SETB   DIG5.7      ;SETDATA DIG
MAX = 2VDC
            CALL   READMAX     ;DISPLAY
MAX7219
            JB    OVER,VDC_A20V_M ;OVER = 1. GOTO Vmax = 20VDC
            AJMP   VDC_A2V     ;GOTO
READLOOP Vmax = 2VDC
;
VDC1_20V:  AJMP   VDC
;
VDC_A20V_M: MOV    R0,#00000010B
            ;LOAD_DATA 74HC595
            CALL   SER_OUT
            CLR    LATCH1
            SETB   LATCH1
            CALL   DELAY123
VDC_A20V:  SETB   SWITCH
            JB    SWITCH,$
            MOV   R0,#00H
            CALL   SER_OUT
            CLR    LATCH2
            SETB   LATCH2
            MOV   R0,#00000101B ;LOAD_DATA 74HC595
            CALL   SER_OUT
            CLR    LATCH3
            SETB   LATCH3
            MOV   R0,#00000010B ;LOAD_DATA
74HC595
            CALL   SER_OUT
            CLR    LATCH1
            SETB   LATCH1
            CALL   DELAY
;
VDC_A20V1:  JB    SWITCH,VDC1_200V
            JNB   SELECT3,VDC_A20V_11 ;SELECT1 = 0 GOTO SELECT
            SETB   SELECT3
            AJMP   SELECT
VDC_A20V_11: MOV    R0,#00000010B
;LOAD_DATA 74HC595
            CALL   SER_OUT
            CLR    LATCH1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                SETB    LATCH1
                CALL    READ                ;READ ICL7135
                CLR     DIG4.7
VDC_A20V_21:    CALL     SETPOL2            ;SETPOL POL = 0+
POL = 1-
VDC_A20V_31:    CALL     DETEC_V
                CJNE   A,#00H,VDC_A20V_41
                AJMP   VDC_A

VDC_A20V_41:    SETB     DIG4.7            ;SETDATA DIG MAX
= 2VDC
                CALL    READMAX            ;DISPLAY MAX7219
                JB     OVER,VDC_A200V_M    ;OVER = 1 GOTO Vmax = 20VDC
                AJMP   VDC_A20V            ;GOTO READLOOP Vmax = 2VDC
VDC1_200V:     AJMP    VDC_20V
;
VDC_A200V_M:   MOV     R0,#00000100B      ;LOAD_DATA
74HC595
                CALL    SER_OUT
                CLR     LATCH1
                SETB   LATCH1
                CALL    DELAY123
VDC_A200V:     SETB   SWITCH
                JB     SWITCH,$
                MOV    R0,#00H
                CALL    SER_OUT
                CLR     LATCH2
                SETB   LATCH2
                MOV    R0,#00001001B
;LOAD_DATA 74HC595
                CALL    SER_OUT
                CLR     LATCH3
                SETB   LATCH3
                MOV    R0,#00000100B      ;LOAD_DATA
74HC595
                CALL    SER_OUT
                CLR     LATCH1
                SETB   LATCH1
                CALL    DELAY
;
VDC_A200V1:    JB     SWITCH,VDC1_2000V
                JNB    SELECT3,VDC_A200V_1 ;SELECT1
= 0 GOTO SELECT
                SETB   SELECT3
                AJMP   SELECT
VDC_A200V_11: MOV    R0,#00000100B
;LOAD_DATA 74HC595
                CALL    SER_OUT
                CLR     LATCH1
                SETB   LATCH1
                CALL    READ                ;READ ICL7135
                CLR     DIG3.7

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

VDC_A200V_21:CALL          SETPOL2          ;SETPOL POL
= 0+ POL = 1-
VDC_A200V_31:CALL          DETEC_V
          CJNE          A,#00H,VDC_A200V_41
          AJMP          VDC_A20V_M
VDC_A200V_41:SETB          DIG3.7
;SETDATA DIG MAX = 2VDC
          CALL          READMAX          ;DISPLAY
MAX7219
          JB           OVER,VDC_A200VV_M ;OVER = 1
GOTO Vmax = 20VDC
          AJMP          VDC_A200V      ;GOTO
READLOOP Vmax=2VDC
VDC1_2000V:          AJMP          VDC_200V
;
VDC_A200VV_M:MOV          R0,#00001000B      ;LOAD_DATA 74HC595
          CALL          SER_OUT
          CLR           LATCH1
          SETB          LATCH1
          CALL          DELAY123

VDC_2000VV:          SETB          SWITCH
          JB           SWITCH,$
          MOV          R0,#00H
          CALL          SER_OUT
          CLR           LATCH2
          SETB          LATCH2
          MOV          R0,#00010001B
;LOAD_DATA 74HC595
          CALL          SER_OUT
          CLR           LATCH3
          SETB          LATCH3
          MOV          R0,#00001000B      ;LOAD_DATA
74HC595
          CALL          SER_OUT
          CLR           LATCH1
          SETB          LATCH1
          CALL          DELAY
;
VDC_2VV3:          JB           SWITCH,VDC2_2000V
          JNB          SELECT3,VDC_2VV_13 ;SELECT1 =
0 GOTO SELECT
          SETB          SELECT3
          AJMP          SELECT
VDC_2VV_13:          MOV          R0,#00001000B
;LOAD_DATA 74HC595
          CALL          SER_OUT
          CLR           LATCH1
          SETB          LATCH1
          CALL          READ          ;READ
ICL7135
          CLR           DIG2.7

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

VDC_2VV_23:      CALL          SETPOL2          ;SETPOL
POL = 0+ POL = 1-
VDC_2VV_44:      CALL          DETEC_V
                  CJNE          A,#00H,VDC_2VV_33
                  AJMP          VDC_A200V_M
VDC_2VV_33:      SETB          DIG2.7          ;SETDATA
DIG MAX = 2VDC
                  CALL          READMAX          ;DISPLAY
MAX7219
                  JB           OVER,V_OVERVDC_2VV3 ;OVER = 1
                  GOTO Vmax = 20VDC
                  AJMP          VDC_2000VV      ;GOTO READLOOP
Vmax = 2VDC
V_OVERVDC_2VV3:
                  CALL V_OVER
                  AJMP          VDC_2000VV
VDC2_2000V:      AJMP          VDC_2000V
;
; ***** OHM AUTO *****
;
OHM_A:           MOV           R0,#00000001B
                  CALL          SER_OUT
                  CLR           LATCH2
                  SETB          LATCH2
74HC595          MOV           R0,#00000011      ;LOAD_DATA
                  CALL          SER_OUT
                  CLR           LATCH3
                  SETB          LATCH3
                  MOV           R0,#00000000B      ;LOAD_DATA 74HC595
                  CALL          SER_OUT
                  CLR           LATCH1
                  SETB          LATCH1
                  SETB          SWITCH
                  JB           SWITCH,$
                  CALL          DELAY123
;
OHM_A2:          SETB          SWITCH
                  JB           SWITCH,OHM_2011
                  JNB          SELECT2,OHM_A2_1 ;SELECT1 = 0 GOTO SELECT
                  SETB          SELECT2
                  AJMP          SELECT
OHM_A2_1:        MOV           R0,#00000001B
                  CALL          SER_OUT
                  CLR           LATCH2
                  SETB          LATCH2
                  CALL          READ              ;READ
ICL7135
                  JB           OVER,OHM_A20      ;OVER = 1 GOTO
Vmax = 20VDC
                  SETB          DIG3.7          ;SETDATA
DIG MAX = 2VDC

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CALL READMAX ;DISPLAY
MAX7219
AJMP OHM_2 ;GOTO
READLOOP Vmax = 2VDC
;
OHM_2011: AJMP OHM
;
OH_A20: MOV R0,#00000010B
CALL SER_OUT
CLR LATCH2
SETB LATCH2
MOV R0,#00000101B
;LOAD_DATA 74HC595
CALL SER_OUT
CLR LATCH3
SETB LATCH3
MOV R0,#00000000B
;LOAD_DATA 74HC595
CALL SER_OUT
CLR LATCH1
SETB LATCH1
SETB SWITCH
JB SWITCH,$
CALL DELAY123
;
OHM_A21: SETB SWITCH
JB SWITCH,OHM_201
JNB SELECT2,OHM_A2_11 ;SELECT1 = 0
GOTO SELECT
SETB SELECT2
AJMP SELECT
OHM_A2_11: MOV R0,#00000010B
CALL SER_OUT
CLR LATCH2
SETB LATCH2
CALL READ ;READ
ICL7135
JB OVER,OHM_A200 ;OVER = 1
GOTO Vmax = 20VDC
SETB DIG2.7 ;SETDATA DIG MAX = 2VDC
CALL READMAX ;DISPLAY
MAX7219
AJMP OHM_A21 ;GOTO
READLOOP Vmax = 2VDC
;
OHM_201: AJMP OHM_20
;
OHM_A200: MOV R0,#00000100B
CALL SER_OUT
CLR LATCH2
SETB LATCH2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV R0,#00001000B ;LOAD_DATA
74HC595
CALL SER_OUT
CLR LATCH3
SETB LATCH3
MOV R0,#00000000B
;LOAD_DATA 74HC595
CALL SER_OUT
CLR LATCH1
SETB LATCH1
SETB SWITCH
JB SWITCH,$
CALL DELAY123
;
OHM_A22: SETB SWITCH
JB SWITCH,OHM_2001
JNB SELECT2,OHM_A2_12 ;SELECT1 = 0
GOTO SELECT
SETB SELECT2
AJMP SELECT
OHM_A2_12: MOV R0,#00000100B
CALL SER_OUT
CLR LATCH2
SETB LATCH2
CALL READ ;READ ICL7135
JB OVER,OHM_A2000 ;OVER = 1
GOTO Vmax = 20VDC
SETB DIG4.7 ;SETDATA DIG
MAX = 2VDC
CALL READMAX ;DISPLAY
MAX7219
AJMP OHM_A22 ;GOTO
READLOOP Vmax = 2VDC
;
OHM_2001: AJMP OHM_200
OHM_A2000: MOV R0,#00001000B
CALL SER_OUT
CLR LATCH2
SETB LATCH2
MOV R0,#00010000B ;LOAD_DATA
74HC595
CALL SER_OUT
CLR LATCH3
SETB LATCH3
MOV R0,#00000000B ;LOAD_DATA
74HC595
CALL SER_OUT
CLR LATCH1
SETB LATCH1
SETB SWITCH
JB SWITCH,$
CALL DELAY123
;
OHM_A23: SETB SWITCH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        JB          SWITCH,OHM_20001
        JNB         SELECT2,OHM_A2_13      ;SELECT1
= 0 GOTO SELECT
        SETB       SELECT2

        AJMP       SELECT
OHM_A2_13:      MOV          R0,#00001000B
        CALL      SER_OUT
        CLR       LATCH2
        SETB     LATCH2
        CALL      READ          ;READ ICL7135
        JB       OVER,OHM_A20000    ;OVER = 1
GOTO Vmax = 20VDC
        SETB     DIG3.7          ;SETDATA DIG
MAX = 2VDC
        CALL     READMAX        ;DISPLAY
MAX7219
        AJMP     OHM_A23        ;GOTO READLOOP Vmax = 2VDC
;
OHM_20001:     AJMP     OHM_2000
OHM_A20000:    MOV          R0,#00010000B
        CALL     SER_OUT
        CLR     LATCH2
        SETB   LATCH2
        MOV     R0,#00100000B    ;LOAD_DATA
74HC595
        CALL     SER_OUT
        CLR     LATCH3
        SETB   LATCH3
        MOV     R0,#00000000B    ;LOAD_DATA
74HC595
        CALL     SER_OUT
        CLR     LATCH1
        SETB   LATCH1
        SETB   SWITCH
        JB     SWITCH,$
        CALL    DELAY123
;
OHM_A24:      SETB     SWITCH
        JB     SWITCH,OHM_200001
        JNB    SELECT2,OHM_A2_14 ;SELECT1 = 0
GOTO SELECT
        SETB     SELECT2
        AJMP     SELECT
OHM_A2_14:    MOV          R0,#00010000B
        CALL     SER_OUT
        CLR     LATCH2
        SETB   LATCH2
        CALL     READ          ;READ ICL7135
        JB     OVER,OHM_A200000    ;OVER = 1
GOTO Vmax = 20VDC
        SETB     DIG2.7          ;SETDATA DIG
MAX = 2VDC

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MAX7219          CALL          READMAX          ;DISPLAY
READLOOP Vmax = 2VDC
                AJMP          OHM_A24          ;GOTO
                ;
OHM_200001:      AJMP          OHM_20000
                ;
OHM_A200000:     MOV           R0,#00100000B
                CALL          SER_OUT
                CLR           LATCH2
                SETB          LATCH2
                MOV           R0,#01000000B    ;LOAD_DATA
74HC595
                CALL          SER_OUT
                CLR           LATCH3
                SETB          LATCH3
74HC595
                MOV           R0,#00000000B    ;LOAD_DATA
                CALL          SER_OUT
                CLR           LATCH1
                SETB          LATCH1
                SETB          SWITCH
                JB             SWITCH,$
                CALL          DELAY123
                ;
OHM_A25:         SETB          SWITCH
                JB             SWITCH,OHM_1234
                JNB          SELECT2,OHM_A2_15 ;SELECT1 = 0 GOTO SELECT
                SETB          SELECT2
                AJMP          SELECT
OHM_A2_15:       MOV           R0,#00100000B
                CALL          SER_OUT
                CLR           LATCH2
                SETB          LATCH2
                CALL          READ              ;READ ICL7135
                JB             OVER,OHM_OVER   ;OVER = 1 GOTO
Vmax = 20VDC
                SETB          DIG4.7          ;SETDATA DIG
MAX = 2VDC
                CALL          READMAX          ;DISPLAY
MAX7219
                AJMP          OHM_25          ;GOTO READLOOP
Vmax = 2VDC
OHM_1234:        AJMP          OHM_200000
OHM_OVER:        CALL          V_OVER
                AJMP          OHM_A
                ;
                ; ***** VDC *****
                ;
VDC:             MOV           R0,#00H
                CALL          SER_OUT
                CLR           LATCH2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SETB          LATCH2
MOV           R0,#00000010B   ;LOAD_DATA
74HC595
CALL         SER_OUT
CLR  LATCH3
SETB          LATCH3
MOV  R0,#00000001B   ;LOAD_DATA 74HC595
CALL         SER_OUT
CLR          LATCH1
SETB          LATCH1
CALL         DELAY
SETB          SWITCH
JB           SWITCH,$
CALL         DELAY
;
VDC_2V:      SETB          SWITCH
JB           SWITCH,VDC_20V
JNB          SELECT3,VDC_2V_1 ;SELECT1 = 0
GOTO SELECT
SETB          SELECT3
AJMP  SELECT
VDC_2V_1:   MOV           R0,#00000001B   ;LOAD_DATA
74HC595
CALL         SER_OUT
CLR          LATCH1
SETB          LATCH1
CALL         READ           ;READ ICL7135
CLR          DIG5.7
CALL         DETEC         ;DETEC DATA =
0 POL = +0
CJNE        A,#00H,VDC_2V_2
CLR          DIG6.0
AJMP  VDC_2V_3
VDC_2V_2:   CALL         SETPOL2           ;SETPOL POL = 0+
POL = 1-
VDC_2V_3:   SETB          DIG5.7           ;SETDATA DIG MAX =
2VDC
CALL         READMAX        ;DISPLAY MAX7219
JB           OVER,V_OVERVDC_2V ;OVER = 1 GOTO Vmax = 20VDC
AJMP  VDC_2V           ;GOTO READLOOP Vmax = 2VDC
V_OVERVDC_2V:
CALL         V_OVER
SJMP        VDC
;
VDC_20V:   SETB          SWITCH
JB           SWITCH,$
MOV          R0,#00H
CALL         SER_OUT
CLR          LATCH2
SETB          LATCH2
MOV          R0,#00000100B   ;LOAD_DATA
74HC595

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CALL SER_OUT
CLR LATCH3
SETB LATCH3
MOV R0,#00000010B ;LOAD_DATA
74HC595

CALL SER_OUT
CLR LATCH1
SETB LATCH1
CALL DELAY
;
VDC_2V1: JB SWITCH,VDC_200V
JNB SELECT3,VDC_2V_11 ;SELECT1 = 0
GOTO SELECT
SETB SELECT3
AJMP SELECT
VDC_2V_11: MOV R0,#00000010B ;LOAD_DATA
74HC595

CALL SER_OUT
CLR LATCH1
SETB LATCH1
CALL READ ;READ
ICL7135

CLR DIG4.7
CALL DETEC ;DETEC DATA
= 0 POL = +0
CJNE A,#00H,VDC_2V_21
CLR DIG6.0
AJMP VDC_2V_31
VDC_2V_21: CALL SETPOL2 ;SETPOL POL
= 0+ POL = 1-
VDC_2V_31: SETB DIG4.7 ;SETDATA DIG
MAX = 2VDC
CALL READMAX ;DISPLAY MAX7219
JB OVER,V_OVERVDC_2V1;OVER = 1
GOTO Vmax = 20VDC
AJMP VDC_20V ;GOTO READLOOP Vmax =
2VDC
V_OVERVDC_2V1:
CALL V_OVER

SJMP VDC_20V
;
VDC_200V: SETB SWITCH
JB SWITCH,$
MOV R0,#00H
CALL SER_OUT
CLR LATCH2
SETB LATCH2
MOV R0,#00001000B ;LOAD_DATA
74HC595

CALL SER_OUT
CLR LATCH3
SETB LATCH3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

74HC595      MOV          R0,#00000100B      ;LOAD_DATA

              CALL          SER_OUT
              CLR           LATCH1
              SETB          LATCH1
              CALL          DELAY
              ;
VDC_2V2:     JB           SWITCH,VDC_2000V
              JNB          SELECT3,VDC_2V_12 ;SELECT1 = 0
GOTO SELECT

              SETB          SELECT3
              AJMP         SELECT
VDC_2V_12:   MOV          R0,#00000100B      ;LOAD_DATA
74HC595      CALL          SER_OUT
              CLR           LATCH1
              SETB          LATCH1
              CALL          READ              ;READ
ICL7135
              CLR          DIG3.7
              CALL          DETEC              ;DETEC DATA
= 0 POL = +0
              CJNE         A,#00H,VDC_2V_22
              CLR          DIG6.0
              AJMP         VDC_2V_32
VDC_2V_22:   CALL          SETPOL2 ;SETPOL POL = 0+ POL
= 1-
VDC_2V_32:   SETB          DIG3.7 ;SETDATA DIG
MAX = 2VDC
              CALL          READMAX           ;DISPLAY
MAX7219
              JB           OVER,V_OVERVDC_2V2;OVER = 1
GOTO Vmax = 20VDC
              AJMP         VDC_200V ;GOTO READLOOP Vmax = 2VDC
V_OVERVDC_2V2:
              CALL          V_OVER
              SJMP         VDC_200V
              ;
VDC12:      AJMP         VDC
              ;
VDC_2000V:   SETB          SWITCH
              JB           SWITCH,$
              MOV          R0,#00H
              CALL          SER_OUT
              CLR          LATCH2
              SETB          LATCH2
              MOV          R0,#00010000B      ;LOAD_DATA
74HC595      CALL          SER_OUT
              CLR          LATCH3
              SETB          LATCH3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

```

74HC595      MOV          R0,#00001000B      ;LOAD_DATA

              CALL          SER_OUT
              CLR           LATCH1
              SETB          LATCH1
              CALL          DELAY
VDC_2V3:     JB           SWITCH,VDC13
              JNB          SELECT3,VDC_2V_13 ;SELECT1 = 0 GOTO SELECT
              SETB          SELECT3
              AJMP         SELECT
VDC_2V_13:   MOV          R0,#00001000B      ;LOAD_DATA
74HC595      CALL          SER_OUT
              CLR           LATCH1
              SETB          LATCH1
              CALL          READ             ;READ
ICL7135      CLR          DIG2.7
              CALL          DETEC           ;DETEC DATA
= 0 POL = +0
              CJNE         A,#00H,VDC_2V_23
              CLR          DIG6.0
              AJMP         VDC_2V_33
VDC_2V_23:   CALL          SETPOL2         ;SETPOL POL
= 0+ POL = 1-
VDC_2V_33:   SETB          DIG2.7         ;SETDATA DIG
MAX = 2VDC
              CALL          READMAX        ;DISPLAY
MAX7219      JB           OVER,V_OVERVDC_2V3;OVER = 1
GOTO Vmax = 20VDC
              AJMP         VDC_2000V     ;GOTO
READLOOP Vmax = 2VDC
V_OVERVDC_2V3:
              CALL          V_OVER
              SJMP         VDC_2000V
VDC13:      AJMP         VDC_A
;
; ***** ADC *****
;
ADC:         MOV          R0,#00H          ;LOAD_DATA
74HC595      CALL          SER_OUT
              CLR          LATCH1
              CLR          LATCH2
              SETB         LATCH1
              SETB         LATCH2
              MOV          R0,#00000010B   ;LOAD_DATA
74HC595      CALL          SER_OUT
              CLR          LATCH3
              SETB         LATCH3
;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ADC_100A:      JNB          SELECT1,ADC_100A_1;SELECT3 = 0
GOTO SELECT

                SETB          SELECT1
                AJMP          SELECT

ADC_100A_1:    CALL          READ          ;READ
ICL7135

                MOV           DIG5,#00H
                CLR           DIG2.7
                CALL          DETEC          ;DETEC DATA
= 0 POL = +0

                CJNE          A,#00H,ADC_100A_2
                CLR           DIG6.0
                AJMP          ADC_100A_3

ADC_100A_2:    CALL          SETPOL1          ;SETPOL POL
= 0+ POL = 1-

ADC_100A_3:    SETB          DIG2.7          ;SETDATA DIG
MAX = 100A
                CALL          READMAX          ;DISPLAY
MAX7219
                AJMP          ADC_100A
                ;
; ***** OHM *****
;
OHM:           MOV           R0,#00000001B
                CALL          SER_OUT
                CLR          LATCH2
                SETB         LATCH2
                MOV           R0,#00000010B    ;LOAD_DATA
74HC595
                CALL          SER_OUT
                CLR          LATCH3
                SETB         LATCH3
                MOV           R0,#00000000B    ;LOAD_DATA
74HC595
                CALL          SER_OUT
                CLR          LATCH1
                SETB         LATCH1
                SETB         SWITCH
                JB           SWITCH,$

                CALL          DELAY
                ;
OHM_2:         SETB         SWITCH
                JB           SWITCH,OHM_2_0
                JNB          SELECT2,OHM_2_1    ;SELECT1 = 0
GOTO SELECT

                SETB         SELECT2
                AJMP          SELECT

OHM_2_1:      MOV           R0,#00000001B
                CALL          SER_OUT
                CLR          LATCH2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                SETB          LATCH2
                CALL          READ          ;READ ICL7135
                SETB  DIG3.7      ;SETDATA DIG MAX = 2VDC
                CALL          READMAX      ;DISPLAY
MAX7219
                AJMP         OHM_2          ;GOTO
READLOOP Vmax = 2VDC
                ;
OHM_20:         MOV          R0,#0000010B
                CALL        SER_OUT
                CLR         LATCH2
                SETB       LATCH2
                MOV        R0,#00000100B    ;LOAD_DATA
74HC595
                CALL        SER_OUT
                CLR         LATCH3
                SETB       LATCH3
                MOV        R0,#00000000B    ;LOAD_DATA
74HC595
                CALL        SER_OUT
                CLR         LATCH1
                SETB       LATCH1
                SETB       SWITCH
                JB          SWITCH,$
                CALL        DELAY
                ;
OHM_21:         SETB       SWITCH
                JB          SWITCH,OHM_200
                JNB        SELECT2,OHM_2_11 ;SELECT1 = 0 GOTO SELECT
                SETB       SELECT2
                AJMP       SELECT
OHM_2_11:      MOV          R0,#0000010B
                CALL        SER_OUT
                CLR         LATCH2
                SETB       LATCH2
                CALL        READ          ;READ ICL7135
                SETB       DIG2.7      ;SETDATA DIG
MAX = 2VDC
                CALL        READMAX      ;DISPLAY
MAX7219
                AJMP         OHM_21          ;GOTO
READLOOP Vmax = 2VDC
                ;
OHM_200:       MOV          R0,#00000100B
                CALL        SER_OUT
                CLR         LATCH2
                SETB       LATCH2
                MOV        R0,#00001000B    ;LOAD_DATA
74HC595
                CALL        SER_OUT
                CLR         LATCH3
                SETB       LATCH3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

74HC595      MOV                R0,#00000000B      ;LOAD_DATA

              CALL                SER_OUT
              CLR                  LATCH1
              SETB                 LATCH1
              SETB                 SWITCH
              JB                   SWITCH,$
              CALL                DELAY
              ;
OHM_22:      SETB                 SWITCH
              JB                   SWITCH,OHM_2000
              JNB                 SELECT2,OHM_2_12 ;SELECT1 = 0
GOTO SELECT

              SETB                 SELECT2
              AJMP                SELECT
OHM_2_12:    MOV                R0,#00000100B
              CALL                SER_OUT
              CLR                  LATCH2
              SETB                 LATCH2
              CALL                READ            ;READ
ICL7135      SETB                 DIG4.7          ;SETDATA DIG MAX = 2VDC
              CALL                READMAX       ;DISPLAY
MAX7219      AJMP                OHM_22         ;GOTO
READLOOP Vmax = 2VDC
              ;
OHM_2000:    MOV                R0,#00001000B
              CALL                SER_OUT
              CLR                  LATCH2
              SETB                 LATCH2
              MOV                 R0,#00010000B ;LOAD_DATA
74HC595      CALL                SER_OUT
              CLR                  LATCH3

              SETB                 LATCH3
              MOV                 R0,#00000000B ;LOAD_DATA
74HC595      CALL                SER_OUT
              CLR                  LATCH1
              SETB                 LATCH1
              SETB                 SWITCH
              JB                   SWITCH,$
              CALL                DELAY
              ;
OHM_23:      SETB                 SWITCH
              JB                   SWITCH,OHM_2000
              JNB                 SELECT2,OHM_2_13 ;SELECT1 = 0
GOTO SELECT

              SETB                 SELECT2
              AJMP                SELECT

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

OHM_2_13:      MOV          R0,#00001000B
               CALL        SER_OUT
               CLR         LATCH2
               SETB        LATCH2
               CALL        READ          ;READ
ICL7135
               SETB        DIG3.7      ;SETDATA DIG
MAX = 2VDC
               CALL        READMAX     ;DISPLAY
MAX7219
               AJMP       OHM_23      ;GOTO
READLOOP Vmax = 2VDC
;
OHM_20000:    MOV          R0,#00010000B
               CALL        SER_OUT
               CLR         LATCH2
               SETB        LATCH2
               MOV         R0,#00100000B ;LOAD_DATA
74HC595
               CALL        SER_OUT
               CLR         LATCH3
               SETB        LATCH3
               MOV         R0,#00000000B ;LOAD_DATA
74HC595
               CALL        SER_OUT
               CLR         LATCH1
               SETB        LATCH1
               SETB        SWITCH
               JB          SWITCH,$
               CALL        DELAY
;
OHM_24:      SETB        SWITCH
               JB          SWITCH,OHM_20000
               JNB        SELECT2,OHM_2_14 ;SELECT1 = 0
GOTO SELECT
               SETB        SELECT2
               AJMP       SELECT
OHM_2_14:    MOV          R0,#00010000B
               CALL        SER_OUT
               CLR         LATCH2
               SETB        LATCH2
               CALL        READ          ;READ ICL7135
               SETB        DIG2.7      ;SETDATA DIG
MAX = 2VDC
               CALL        READMAX     ;DISPLAY MAX7219
               AJMP       OHM_24      ;GOTO
READLOOP Vmax = 2VDC
;
OHM_20000:    MOV          R0,#00100000B
               CALL        SER_OUT
               CLR         LATCH2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SETB LATCH2
MOV R0,#01000000B ;LOAD_DATA
74HC595

CALL SER_OUT
CLR LATCH3
SETB LATCH3
MOV R0,#00000000B ;LOAD_DATA
74HC595

CALL SER_OUT
CLR LATCH1
SETB LATCH1
SETB SWITCH
JB SWITCH,$
CALL DELAY
;

OHM_25: SETB SWITCH
JB SWITCH,OHM_123
JNB SELECT2,OHM_2_15 ;SELECT1 = 0
GOTO SELECT

SETB SELECT2
AJMP SELECT
OHM_2_15: MOV R0,#00100000B
CALL SER_OUT
CLR LATCH2
SETB LATCH2
CALL READ ;READ
ICL7135
SETB DIG4.7 ;SETDATA DIG MAX =
2VDC
CALL READMAX ;DISPLAY
MAX7219
AJMP OHM_25 ;GOTO
READLOOP Vmax = 2VDC
OHM_123: AJMP OHM
;
; ***** MANNUNT *****
;
MAN_VAC: NOP
MAN_VDC: NOP
MAN_OHM: NOP
VACOVER: AJMP SELECT
;
; ***** OVER *****
;
V_OVER: MOV 30H,#0FFH
V_OVER1: MOV A,#00H
MOV DIG1,A ;CLR ALL DIG = FFH
MOV DIG2,A
MOV DIG3,#70H
MOV DIG4,#0EFH
MOV DIG5,A
MOV DIG6,A
CALL READMAX ;DISPLAY
MAX7219

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

V_OVER2:      JB          OVER, V_OVER
              RET

;
; ***** MAIN READ ICL7135 *****
;
READ:         JB          BUSY, READ1
;READ_DATA ICL7135
              RET
READ1:        CALL        READ_LOOP
              RET

;
; ***** SETPOL001 *****
;
SETPOL1:      JB          POL, SETPOL01 ;SETPOL POL =
0+ POL = 1-
              CLR        DIG6.0
              RET SETPOL01:
              SETB       DIG6.0
              RET
;
SETPOL2:      JB          POL, SETPOL02 ;SETPOL
POL = 0- POL = 1+
              SETB       DIG6.0
              RET
SETPOL02:     CLR        DIG6.0
              RET
;
; ***** DETEC *****
;
DETEC:        MOV        A, DIG1 ;DETEC
DATA = 0 CLR A
              CJNE       A, #07EH, RETG
              MOV        A, DIG2
              CJNE       A, #07EH, RETG
              MOV        A, DIG3
              CJNE       A, #07EH, RETG

              MOV        A, DIG4
              CJNE       A, #07EH, RETG
              MOV        A, DIG5
              CJNE       A, #07EH, RETG
              CLR        A
              CLR        DIG6.0
RETG:         RET
DETEC_V:      MOV        A, DIG5
              CJNE       A, #07EH, RETG
              MOV        A, DIG4
              CJNE       A, #07EH, RETG
              CLR        A
              RET

;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

; ***** ICL7135 READ_LOOP *****
;
READ_LOOP:      JB          DIG55, READ_LOOP1
                ;READLOOP_DATA
                JB          DIG44, READ_LOOP2
                JB          DIG33, READ_LOOP3
                JB          DIG22, READ_LOOP4
                JB          DIG11, READ_LOOP5
                RET

;
READ_LOOP1:     CALL READ_LOOP6          ;DATA_DIG5
                MOV        DIG5, A
                RET
;
READ_LOOP2:     CALL          READ_LOOP6
;DATA_DIG4
                MOV        DIG4, A
                RET
;
READ_LOOP3:     CALL          READ_LOOP6
;DATA_DIG3
                MOV        DIG3, A
                RET
;
READ_LOOP4:     CALL          READ_LOOP6          ;DATA_DIG2
                MOV        DIG2, A
                RET
;
READ_LOOP5:     CALL          READ_LOOP6
;DATA_DIG1
                MOV        DIG1, A
                RET
;
READ_LOOP6:     MOV          A, P3
;READ_DATA 7-SEGMENT
                ANL        A, #0FH
                MOV        DPTR, #DATA
                MOVC       A, @A+DPTR
                RET

;
; ***** SER_OUT *****
;
SER_OUT:        SETB        SERIAL          ;DATA
SER_OUT
                SETB        SHIFT
                SETB        LATCH1

                SETB        LATCH2
                SETB        LATCH3
                MOV        R2, #08H
                MOV        A, R0
SER_OUT1:      RLC          A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV SERIAL,C
CLR SHIFT
SETB SHIFT
DJNZ R2,SER_OUT1
RET

;
; ***** READ MAX7219 *****
;
READMAX: CALL MXSET ;DISPLAY
MAX7219
CALL MXLOAD
RET

;
; ***** MXSET SUB *****
; FIRST PARAMETER SET (MAX7219)
;

MXSET: CLR MXCLK ;FALLING
CLOCK EDGE
CLR MXLDB
;
MOV R0,#0FH ;DISPLAY TEST -
NORMAL (XXXXXX0)
MOV R1,#00H
CALL MXBYTE
;
MOV R0,#0CH ;SHUTDOWN
- NORMAL (XXXXXX1)
MOV R1,#01H
CALL MXBYTE
;
MOV R0,#09H ;DECODE MODE - NO
DECODE (0000000)
MOV R1,#00H
CALL MXBYTE
;
MOV R0,#0AH
; INTENSITY - MIN-MAX (00-0FH)
MOV R1,#08H
CALL MXBYTE
;
MOV R0,#0BH ;SCAN
LIMIT - 6 DIGIT (05H)
MOV R1,#05H
CALL MXBYTE
RET

;
; ***** MXBYTE SUB *****
; SEND ADDRESS,DATA TO MAX7219
; IN = R0 ADDRESS (B0-B3)
; = R1 DATA
;
;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MXBYTE:      MOV          R2, #8          ;SEND
ADDRESS
              MOV          A, R0
MXBYTE1:     RLC
              MOV          MXDAT, C
              SETB         MXCLK
              CLR          MXCLK
              DJNZ        R2, MXBYTE1
              ;
              MOV          R2, #8          ;SEND
DATA
MXBYTE2:     MOV          A, R1
              RLC
              MOV          MXDAT, C
              SETB         MXCLK
              CLR          MXCLK
              DJNZ        R2, MXBYTE2
              ;
              SETB         MXLDB          ;LOAD BIT
              CLR          MXLDB
              RET
;
; ***** MXLOAD SUB *****
; LOAD DISBUF TO DISPLAY (MAX7219)
;
MXLOAD:      MOV          R0, #1          ;SEND 0
              MOV          R1, DIG1
              CALL         MXBYTE
              MOV          R0, #2          ;SEND 1
              MOV          R1, DIG2
              CALL         MXBYTE
              MOV          R0, #3          ;SEND 2
              MOV          R1, DIG3
              CALL         MXBYTE
              MOV          R0, #4          ;SEND 3
              MOV          R1, DIG4
              CALL         MXBYTE
              MOV          R0, #5          ;SEND 4
              MOV          R1, DIG5
              CALL         MXBYTE
              MOV          R0, #6          ;SEND 5
              MOV          R1, DIG6
              CALL         MXBYTE
              RET
;
; ***** DELAY TIME *****
;
DELAY:       MOV          R1, #020H
;DELAY_TIME
DELAY1:      MOV          R2, #0FFH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        DJNZ      R2, $
        DJNZ      R1, DELAY1
        RET
DELAY123:      MOV      R3, #025H
DELAY3:        CALL     DELAY
                DJNZ      R3, DELAY3
                RET
;
; ***** DATA CODE 7-SEGMENT *****
;
DATA:         DB      07EH, 030H, 06DH, 079H      ;DATA
7-SEGMENT
                DB      033H, 05BH, 05FH, 070H
                DB      07FH, 07BH
;
; ***** END *****
;
                END

```

รูปที่ ก.6 โปรแกรมการทำงานดิจิทัลมัลติมิเตอร์

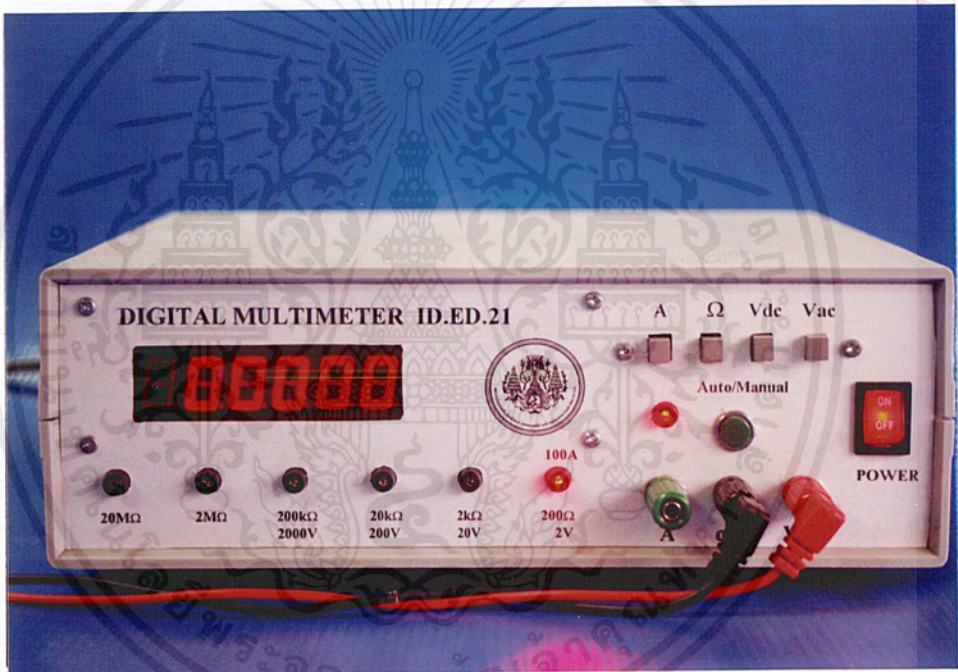
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คู่มือการใช้งาน ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ DIGITAL MULTIMETER

ส่วนประกอบต่างๆ ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์



รูปที่ ง.1 ส่วนประกอบของดิจิตอลมัลติมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

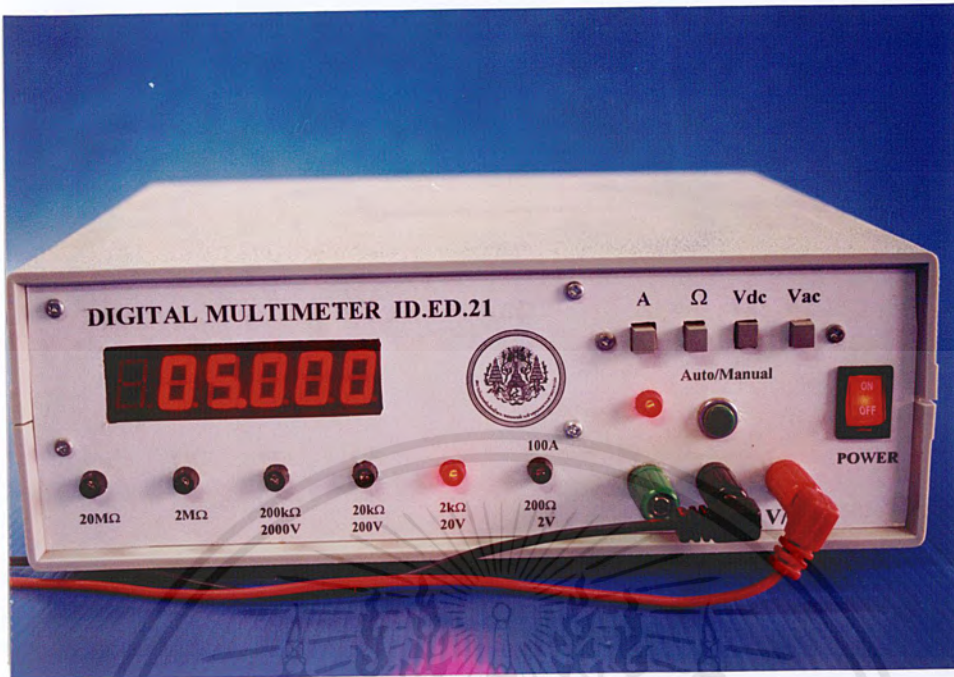
รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ส่วนแสดงผล 7 ส่วน
- แอลอีดีแสดงย่านการวัด
- สวิตช์เลือกการวัด A,  $\Omega$ , Vdc และ Vac
- สวิตช์ Auto/Manual
- แอลอีดีแสดง Auto/Manual
- สวิตช์ POWER
- จุดต่อ Com
- จุดต่อ A
- จุดต่อ V/ $\Omega$
- AC 220 V
- FUSE

หน้าที่ของส่วนประกอบแต่ละส่วน

1. ส่วนแสดงผล 7 ส่วน เป็นส่วนแสดงผล
2. แอลอีดีแสดงย่านการวัด เป็นส่วนแสดงย่านการวัด
3. สวิตช์เลือกการวัด A  $\Omega$  Vdc และ Vac เป็นสวิตช์เลือกการวัดค่ากระแส การวัดค่าความต้านทาน การวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
4. สวิตช์ Auto/Manual เป็นส่วนของสวิตช์เลือกการเปลี่ยนย่านการวัดอัตโนมัติหรือการเลือกเปลี่ยนย่านการวัดด้วยตัวเอง
5. แอลอีดีแสดง Auto/Manual เป็นส่วนของแอลอีดีแสดงสถานะการทำงานของสวิตช์เลือกการเปลี่ยนย่านการวัดอัตโนมัติหรือการเลือกเปลี่ยนย่านการวัดด้วยตัวเอง
6. สวิตช์ POWER เป็นสวิตช์เปิดปิดเครื่อง
7. จุดต่อ COM เป็นจุดต่อสายวัดในขั้วลบ
8. จุดต่อ A เป็นจุดต่อสายวัดในการวัดค่ากระแสไฟฟ้า
9. จุดต่อ V/ $\Omega$  เป็นจุดต่อสายวัดในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง การวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ และการวัดค่าความต้านทาน
10. AC 220V สายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์
11. FUSE เป็นอุปกรณ์ป้องกันการช็อต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) การเปลี่ยนย่านการวัดแบบอัตโนมัติ



ข) การเปลี่ยนย่านการวัดแบบใช้มือกด

รูปที่ ง.2 การเปลี่ยนย่านการวัดแบบอัตโนมัติและเปลี่ยนย่านการวัดแบบใช้มือกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนการใช้งานดิจิทัลมัลติมิเตอร์ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้า

1. กดสวิตช์ POWER เพื่อเปิดเครื่อง
2. กดสวิตช์เลือกย่านการวัดที่ A เพื่อเลือกการวัดค่ากระแสไฟฟ้า ให้ส่วนแสดงผล 7 ส่วน แสดงผล 000.00 และแอลอีดีแสดงย่านการวัดที่ 100 A
3. ทำการต่อสายวัด โดยขั้วลบต่อที่ COM ขั้วบวกต่อที่ A
4. ทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถวัดค่า 0 ถึง 100 แอมแปร์

### ขั้นตอนการใช้งานดิจิทัลมัลติมิเตอร์ในการวัดค่าความต้านทาน

1. กดสวิตช์ POWER เพื่อเปิดเครื่อง
2. กดสวิตช์เลือกย่านการวัดที่  $\Omega$  เพื่อเลือกการวัดค่าความต้านทานให้ส่วนแสดงผล 7 ส่วน แสดงผล 000.00 และแอลอีดีแสดงย่านการวัดที่ 200  $\Omega$
3. ทำการต่อสายวัด โดยขั้วลบต่อที่ COM ขั้วบวกต่อที่ V/ $\Omega$
4. ทำการวัดค่าความต้านทาน สามารถวัดความต้านทาน 0 ถึง 20 เมกะโอห์ม โดยเครื่องจะทำการเปลี่ยนย่านการวัดโดยอัตโนมัติ
5. ถ้าต้องการเปลี่ยนย่านการวัดด้วยตัวเอง ให้กดสวิตช์ Auto/Manual แอลอีดีแสดงสถานะ Auto/Manual จะดับลง กดสวิตช์ Auto/Manual เพื่อเปลี่ยนย่านการวัดด้วยตัวเอง และถ้าต้องการกลับมาเปลี่ยนการวัดโดยอัตโนมัติ ให้กดสวิตช์ Auto/Manual จนแอลอีดีแสดงสถานะ Auto/Manual ติดขึ้นอีกครั้ง เครื่องก็จะทำการเปลี่ยนย่านวัดโดยอัตโนมัติ

### ขั้นตอนการใช้งานดิจิทัลมัลติมิเตอร์ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

1. กดสวิตช์ POWER เพื่อเปิดเครื่อง
2. กดสวิตช์เลือกย่านการวัดที่ Vdc เพื่อเลือกการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ให้ส่วนแสดงผล 7 ส่วน แสดงผล 0.0000 และแอลอีดีแสดงย่านการวัดที่ 2 V
3. ทำการต่อสายวัด โดยขั้วลบต่อที่ COM ขั้วบวกต่อที่ V/ $\Omega$
4. ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง สามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้า 0 ถึง 2000 โวลต์ โดยเครื่องจะทำการเปลี่ยนย่านการวัดโดยอัตโนมัติ
5. ถ้าต้องการเปลี่ยนย่านการวัดด้วยตัวเอง ให้กดสวิตช์ Auto/Manual แอลอีดีแสดงสถานะ Auto/Manual จะดับลง กดสวิตช์ Auto/Manual เพื่อเปลี่ยนย่านการวัดด้วยตัวเอง และถ้าต้องการกลับมาเปลี่ยนการวัดโดยอัตโนมัติ ให้กดสวิตช์ Auto/Manual จนแอลอีดีแสดงสถานะ Auto/Manual ติดขึ้นอีกครั้ง เครื่องก็จะทำการเปลี่ยนย่านวัดโดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนการใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

1. กดสวิตช์ POWER เพื่อเปิดเครื่อง
2. กดสวิตช์เลือกย่านการวัดที่ Vac เพื่อเลือกการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ให้ส่วนแสดงผล 7 ส่วน แสดงผล 0.0000 และแอลอีดีแสดงย่านการวัดที่ 2 V
3. ทำการต่อสายวัด โดยขั้วลบต่อที่ COM ขั้วบวกต่อที่ V/ $\Omega$
4. ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง สามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้า 0 ถึง 2000 โวลต์ โดยเครื่องจะทำการเปลี่ยนย่านการวัดโดยอัตโนมัติ
5. ถ้าต้องการเปลี่ยนย่านการวัดด้วยตัวเอง ให้กดสวิตช์ Auto/Manual แอลอีดีแสดงสถานะ Auto/Manual จะดับลง กดสวิตช์ Auto/Manual เพื่อเปลี่ยนย่านการวัดด้วยตัวเอง และถ้าต้องการกลับมาเปลี่ยนการวัดโดยอัตโนมัติ ให้กดสวิตช์ Auto/Manual จนแอลอีดีแสดงสถานะ Auto/Manual ติดขึ้นอีกครั้ง เครื่องก็จะทำการเปลี่ยนย่านวัดโดยอัตโนมัติ



**ภาคผนวก จ**  
**รายละเอียดข้อมูล และรายการอุปกรณ์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MAXIM

## 4½ Digit A/D Converter with Multiplexed BCD Outputs

ICL7135

### General Description

The Maxim ICL7135 is a high precision monolithic 4½ digit A/D converter. Dual slope conversion reliability is combined with ±1 in 20,000 count accuracy and a 2,000V full scale capability. It features high impedance differential inputs, nearly ideal differential linearity, true ratiometric operation, auto zero and auto-polarity. The multiplexed BCD outputs and digit drivers provide easy interface to external display drivers like the Maxim ICM7211A. The only other external components needed to make precision DVM/DPMs are a reference and a clock. For more complex systems the BCD outputs are enhanced by STROBE, OVERRANGE, UNDERRANGE, RUN/HOLD and BUSY lines providing easy interface to microprocessors and UARTs. This interfacing capability makes the ICL7135 an ideal device for use in microprocessor based data acquisition and control systems.

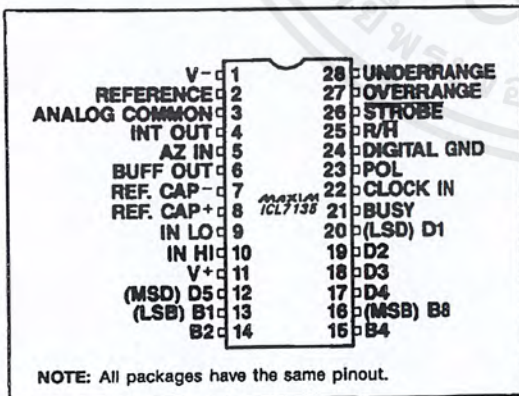
The ICL7135 has auto-zero accuracy better than 10µV, zero drift of 0.5µV/°C, input bias current of 10pA max. and rollover error of less than 1 count.

### Applications

This device is used in a wide range of measurement applications involving the manipulation and display of analog data:

- |             |                    |
|-------------|--------------------|
| Pressure    | Weight             |
| Voltage     | Current            |
| Resistance  | Speed              |
| Temperature | Material Thickness |

### Pin Configuration



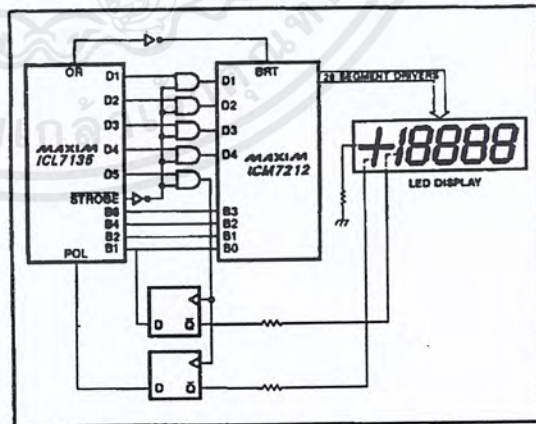
### Features

- ◆ Improved 2nd Source (See our "Maxim Advantage™" Page 3)
- ◆ ±20,000 Count Resolution
- ◆ Guaranteed ±1 Count accuracy
- ◆ Over-range, under-range signals for auto-range capability
- ◆ Easy interface to UARTs and µPs
- ◆ TTL compatible, Multiplexed BCD outputs
- ◆ True differential input. Zero reading guaranteed for 0 volt input
- ◆ True polarity at zero for precise null detection
- ◆ Monolithic CMOS design

### Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PACKAGE
ICL7135CJI	0°C to 70°C	28 Lead CERDIP
ICL7135CPI	0°C to 70°C	28 Lead Plastic DIP
ICL7135CQI	0°C to 70°C	28 Lead Plastic chip carrier
ICL7135C/D	0°C to 70°C	Dice

### Typical Operating Circuit



The "Maxim Advantage™" signifies an upgraded quality level. At no additional cost we offer a second-source device that is subject to the following: guaranteed performance over temperature along with tighter test specifications on many key parameters; and device enhancements, when needed, that result in improved performance without changing the functionality.

MAXIM

Maxim Integrated Products

1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL7135

## 4½ Digit A/D Converter with Multiplexed BCD Outputs

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Power Dissipation (Note 2)	
CERDIP Package	1000mW
Plastic Package	800mW
Operating Temperature	0°C to +70°C
Storage Temperature	-65°C to +160°C

Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	300°C
Supply Voltage V+	+6V
V-	-9V
Analog Input Voltage (either input) (Note 1)	V+ to V-
Reference Input Voltage (either input)	V+ to V-
Clock Input	Gnd to V+

Note 1: Input voltages may exceed the supply voltages provided the input current is limited to +100µA.

Note 2: Dissipation rating assumes device is mounted with all leads soldered to printed circuit board.

Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### ICL7135 ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Note 1)

(V+ = +5V, V- = -5V, TA = 25°C, Clock Frequency Set for 3 Reading/Sec)

		CHARACTERISTICS	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
ANALOG		Zero Input Reading		VIN = 0.0V Full Scale = 2.000V	-0.0000	±0.0000	+0.0000	Digital Reading	
		Ratiometric Reading (2)		VIN = VREF Full Scale = 2.000V	+0.9998	+0.9999	+1.0000	Digital Reading	
		Linearity over ± Full Scale (error of reading from best straight line)		-2V ≤ VIN ≤ +2V		0.5	1	Digital Count Error	
		Differential Linearity (difference between worse case step of adjacent counts and ideal step)		-2V ≤ VIN ≤ +2V		.01		LSB	
		Rollover error (Difference in reading for equal positive & negative voltage near full scale)		-VIN ≅ +VIN ≅ 2V		0.5	1	Digital Count Error	
	(Note 1) (Note 2)	Noise (P-P value not exceeded 95% of time)	en	VIN = 0V Full Scale = 2.000V		15		µV	
		Leakage Current at Input	IILK	VIN = 0V		1	10	pA	
		Zero Reading Drift		VIN = 0V 0° ≤ TA ≤ 70°C		0.5	2	µV/°C	
		Scale Factor Temperature Coefficient (3)	TC	VIN = +2V 0° ≤ TA ≤ 70°C (ext. ref. 0 ppm/°C)		2	5	ppm/°C	
	DIGITAL	INPUTS	Clock In, Ruin/Hold	VINH VINL IINL IINH	VIN = 0 VIN = +5V	2.8	2.2 1.6 0.02 0.1	0.8 0.1 10	V mA µA
All Outputs B1, B2, B4, B8, D1, D2, D3, D4, D5			VOL VOH	IOL = 1.6mA IOH = -1mA	2.4	0.25 4.2	0.40	V V	
SUPPLY		+5V Supply Range	V+			+4	+5	+6	V
		-5V Supply Range	V-			-3	-5	-8	V
		+5V Supply Current	I+	fc = 0			1.1	3.0	mA
		-5V Supply Current	I-	fc = 0			0.8	3.0	mA
		Power Dissipation Capacitance	Cpd	vs. Clock Freq				40	pF
Clock		Clock Freq. (Note 4)				DC	2000	1200	kHz

Note 1: Tested in 4½ digit (20,000 count) circuit shown in Fig. 1, clock frequency 120kHz.

Note 2: Tested with a low dielectric absorption integrating capacitor. See Component Selection Section.

Note 3: The temperature range can be extended to +70°C and beyond as long as the auto-zero and reference capacitors are increased to absorb the higher leakage of the ICL7135.

Note 4: This specification relates to the clock frequency range over which the ICL7135 will correctly perform its various functions. See "Max Clock Frequency" below for limitations on the clock frequency range in a system.

The electrical characteristics above are a reproduction of a portion of Intersil's copyrighted (1983/1984) data book. This information does not constitute any representation by Maxim that Intersil's products will perform in accordance with these specifications. The "Electrical Characteristics Table" along with the descriptive excerpts from the original manufacturer's data sheet have been included in this data sheet solely for comparative purposes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 4½ Digit A/D Converter with Multiplexed BCD Outputs

ICL7135

- ◆ Guaranteed 2mA Max Supply Current
- ◆ Key Parameters Guaranteed Over Temperature
- ◆ Significantly Improved ESD Protection (Note 6)
- ◆ Low Noise
- ◆ Maxim Quality and Reliability

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS:** This device conforms to the Absolute Maximum Ratings on adjacent page.  
**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** Specifications below satisfy or exceed all "tested" parameters on adjacent page.  
 (V<sup>+</sup> = +5V, V<sup>-</sup> = -5V, T<sub>A</sub> = 25°C, Clock Frequency Set for 3 Reading/Sec)

Characteristics		Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Units	
ANALOG	Zero Input Reading		V <sub>IN</sub> = 0.0V, Full Scale = 2.000V 0° ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C	-0.0000	±0.0000	+0.0000	Digital Reading	
	Ratiometric Reading (Note 2)		V <sub>IN</sub> = V <sub>REF</sub> , Full Scale = 2.000V T <sub>A</sub> = 25°C 0° ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C	+0.9998 +0.9995	+0.9999 +0.9999	+1.0000 +1.0005	Digital Reading	
	Linearity over ± Full Scale (error of reading from best straight line)		-2V ≤ V <sub>IN</sub> ≤ +2V		0.5	1	Digital Count Error	
	Differential Linearity (difference between worse case step of adjacent counts and ideal step)		-2V ≤ V <sub>IN</sub> ≤ +2V		.01		LSB	
	Rollover error (Difference in reading for equal positive & negative voltage near full scale)		-V <sub>IN</sub> = +V <sub>IN</sub> = 2V		0.5	1	Digital Count Error	
	Noise (P-P value not exceeded 95% of time)	e <sub>n</sub>	V <sub>IN</sub> = 0V, Full Scale = 2.000V		15		μV	
	Leakage Current at Input	I <sub>ILK</sub>	V <sub>IN</sub> = 0V T <sub>A</sub> = 25°C 0° ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C		1	10 250	pA pA	
Zero Reading Drift		V <sub>IN</sub> = 0V 0° ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C		0.5	2	μV/°C		
Scale Factor Temperature Coefficient (Note 3)	TC	V <sub>IN</sub> = +2V 0° ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C (ext. ref. 0 ppm/°C)		2	5	ppm/°C		
INPUTS	Clock In, Run/Hold	V <sub>INH</sub>	0° ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C	2.8	2.2		V	
		V <sub>INL</sub>	0° ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C		1.6	0.8	V	
		I <sub>INH</sub>	V <sub>IN</sub> = 0 0° ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C V <sub>IN</sub> = +5V 0° ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C		0.02 0.1	0.1 10	mA μA	
DIGITAL	OUTPUTS B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , B <sub>4</sub> , B <sub>8</sub> D <sub>1</sub> , D <sub>2</sub> , D <sub>3</sub> , D <sub>4</sub> , D <sub>5</sub> BUSY, STROBE OVER-RANGE, UNDER-RANGE POLARITY	V <sub>OL</sub>	I <sub>OL</sub> = 1.6mA	2.4	0.25	0.40	V	
		V <sub>OH</sub>	I <sub>OH</sub> = -1mA		4.2		V	
		V <sub>OH</sub>	I <sub>OH</sub> = -10μA	4.9	4.99		V	
	SUPPLY	+5V Supply Range	V <sup>+</sup>		+4	+5	+6	V
		-5V Supply Range	V <sup>-</sup>		-3	-5	-8	V
+5V Supply Current		I <sup>+</sup>	I <sub>C</sub> = 0 T <sub>A</sub> = 25°C 0° ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C		1.1	2.0 3.0	mA mA	
-5V Supply Current		I <sup>-</sup>	I <sub>C</sub> = 0 T <sub>A</sub> = 25°C 0° ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C		0.8	2.0 3.0	mA mA	
Power Dissipation Capacitance	C <sub>PD</sub>	(Note 5)		40		pF		
CLOCK	Clock Freq. (Note 4)			DC	2000	1200	kHz	

Note 1: Tested in 4½ digit (20,000 count) circuit shown in Fig. 1, clock frequency 120kHz.  
 Note 2: Tested with a low dielectric absorption integrating capacitor. See Component Selection Section.  
 Note 3: The Temperature range can be extended to +70°C and beyond as long as the auto-zero and reference capacitors are increased to absorb the higher leakage of the ICL7135.  
 Note 4: This specification relates to the clock frequency range over which the ICL7135 will correctly perform its various functions. See "Clock Frequency" below for limitations on the clock frequency range in a system.  
 Note 5: +5V Supply current for I<sub>C</sub> ≠ 0 is I<sup>+</sup> = I<sub>C</sub> + I<sub>C</sub> × (C<sub>PD</sub> × 5V × f<sub>C</sub>).  
 Note 6: All pins are designed to withstand electrostatic discharge (ESD) levels in excess of 2000V. (Test circuit per Mil Std 883, Method 3015.1)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL7135

## 4½ Digit A/D Converter with Multiplexed BCD Outputs

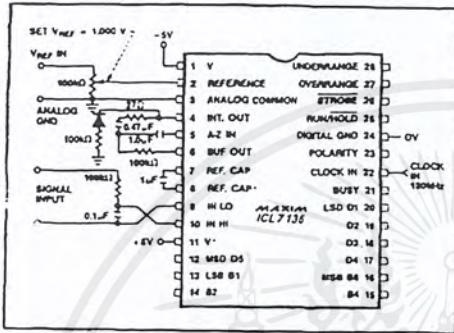


Figure 1. ICL7135 Test Circuit

### Detailed Description

#### General Operation

The ICL7135 is divided into an Analog section and a Digital section. The digital section includes the counters, input and output interfaces, and control logic which controls the timing of each measurement cycle. Each measurement is divided into four phases: 1) auto-zero (AZ), 2) signal integrate (INT), 3) reference deintegrate (DE), and 4) zero integrator (ZI). The digital section controls the operation of the analog section during each of these phases, using counters and the state of the comparator to determine when to start each of the four phases.

#### Auto-Zero Phase

During auto-zero Input HI and Input LO are disconnected from the input pins and are internally shorted to Analog COMMON. The output of the comparator is connected to the inverting input of the Integrator, and at the same time the non-inverting input of the integrator is connected to the input of the buffer. This feedback loop charges the autozero capacitor, CAZ, to compensate for the offset voltages of the buffer amplifier, integrator, and comparator. Also during auto-zero, the reference capacitor is connected to the voltage reference and is charged to the reference voltage. The auto-zero cycle is a minimum of 9800 clock cycles, except after an over-range reading. After an over-range, the extended zero integrate phase reduces the auto-zero phase to 3800 clock cycles.

#### Signal Integrate Phase

At the end of the auto-zero phase the auto-zero loop is opened, and the Input High and Input Low are switched to the external pins IN-HI and IN-LO. The analog section integrates the differential voltage between Input High and Input Low. The differential voltage must be within the ICL7135's common mode range. The voltage on the inte-

grator capacitor at the end of signal integrate is directly proportional to the differential voltage between Input High and Input Low, and is also directly proportional to the length of the signal integrate phase. The signal integrate phase lasts precisely 10,000 clock cycles. At the end of this phase the input signal polarity is determined.

#### De-Integrate Phase

At the end of signal integrate, Input High and Input Low are disconnected from the external pins. The integrator non-inverting input pin is then internally connected to Analog Common and the buffer input is connected to one side of the reference capacitor. The other side of the reference capacitor is connected to Analog Common. The polarity at the output of the integrator (as detected by the comparator at the end of signal integrate phase) determines which terminal of the reference capacitor is connected to the buffer input. The reference capacitor polarity is chosen so that the integrator output will always return towards Analog Common. Since the reference capacitor was charged to the reference voltage during the auto-zero phase, the integrator input voltage is now the reference voltage. The De-Integrate phase lasts for 20,001 counts, or until the comparator detects that the integrator output has crossed zero, whichever occurs first. The time required to return to zero is proportional to the input signal and is inversely proportional to the reference voltage. The number of clock cycles required to return to zero is counted by the digital section and is latched as the measurement result.

$$\text{Displayed reading} = 10,000 \times \frac{V_{IN}}{V_{REF}}$$

#### Zero Integrator Phase

The last of the four phases is the zero integrator phase. The non-inverting Input of the integrator is internally shorted to Analog Common and the buffer input is internally connected to the output of the comparator. This closes a loop that forces the integrator output to zero. Normally this phase lasts only 100 to 200 counts, sufficient time to remove the small residual charge on the integrator capacitor caused by the comparator delay and the one count delay created by sampling the comparator output only once per clock cycle. However, an overrange condition will exist when the integrator output does not return to zero by the end of the De-Integrate phase, and can leave a residual voltage on the integrator capacitor. In this case, the Zero Integrator phase is increased to 6200 counts to ensure that the integrator capacitor is fully discharged before the next measurement cycle is started.

### Analog Section

#### Analog COMMON

Analog COMMON is the Analog ground reference for the ICL7135. If Input Low is at a voltage other than Analog

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4½ Digit A/D Converter with Multiplexed BCD Outputs

ICL7135

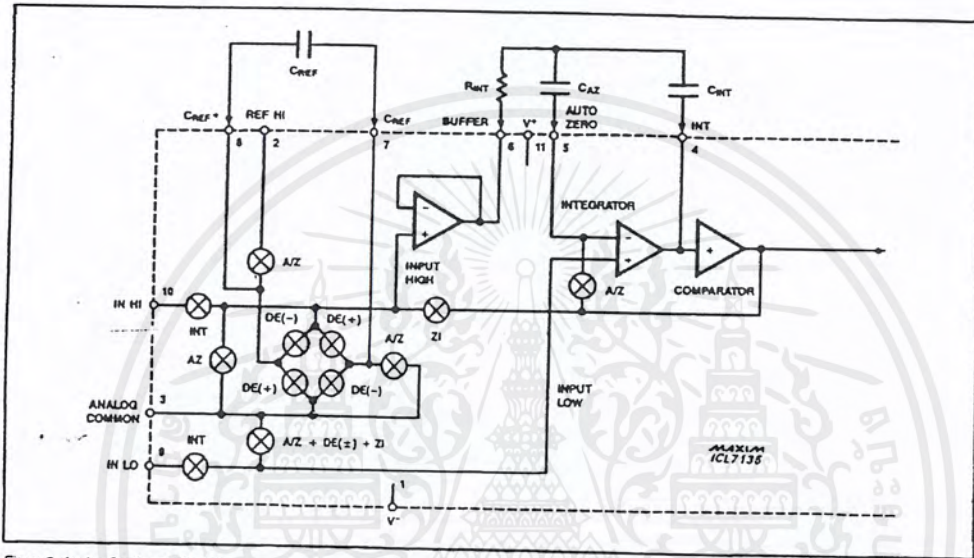


Figure 2. Analog Section of ICL7135

COMMON a common mode voltage will be introduced and, although the ICL7135 has an excellent CMRR, Input Low and Analog COMMON should be connected together whenever possible. Analog COMMON is also the reference point for the reference voltage. The Analog Common voltage is normally connected to the system ground when using  $\pm 5V$  supplies. When the ICL7135 is operated from a single supply voltage the Analog Common should be connected to a voltage source approximately halfway between  $V^+$  and ground.

### Input Buffer

The ICL7135 input buffer is a CMOS buffer with a common mode input voltage range of approximately  $V^- - 1.0V$  to  $V^+ + 1.5V$ . The quiescent current is approximately  $100\mu A$  and the buffer can deliver up to  $40\mu A$  of output current with excellent linearity.

### Integrator

The integrator amplifier, similar to the buffer amplifier, can deliver  $20\mu A$  of output current with high linearity, while swinging to within  $0.3V$  of either supply rail. The integrator's non-inverting terminal is connected to IN LO during the signal integrate phase, so the voltage on the IN LO terminal sets the starting point for the integrator output during signal integrate. If IN LO is at a voltage other than ground, this will limit the maximum allowable swing at the integrator output, and the value of the integrating capacitor should be increased. (Refer to Component Selection)

### Comparator

The comparator monitors the voltage on the integrator capacitor during deintegrate. The digital section samples the comparator output once per clock cycle and terminates the deintegrate cycle when the comparator changes its state as the integrator voltage passes through zero. The offset voltage of the comparator is not critical since the auto-zero phase compensates for the offset. The output of the comparator is the only output from the analog section to the digital section.

### Digital Section

As shown in Figure 3, the digital section consists of counters, latches, output multiplexer, and control logic. The control logic monitors the counters and the comparator to determine the start of each phase, and sends control signals to the analog section to drive the analog switches to the proper state for each measurement phase. The control section also responds to the external input, RUN/HOLD, and creates the control outputs; OVERRANGE, INDFRANGE, BUSY, and STROBE.

### RUN/HOLD

When RUN/HOLD is high or open the ICL7135 will continuously perform conversions with each measurement being  $40,002$  clock cycles long. When RUN/HOLD goes low, the ICL7135 will complete the measurement in progress then remain in the auto-zero cycle, holding the last reading. If RUN/HOLD goes high after the maximum period assigned to deintegrate, a new conversion will start, with a delay of  $1$  to  $10,001$  clock cycles between the

MAXIM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL7135

### 4½ Digit A/D Converter with Multiplexed BCD Outputs

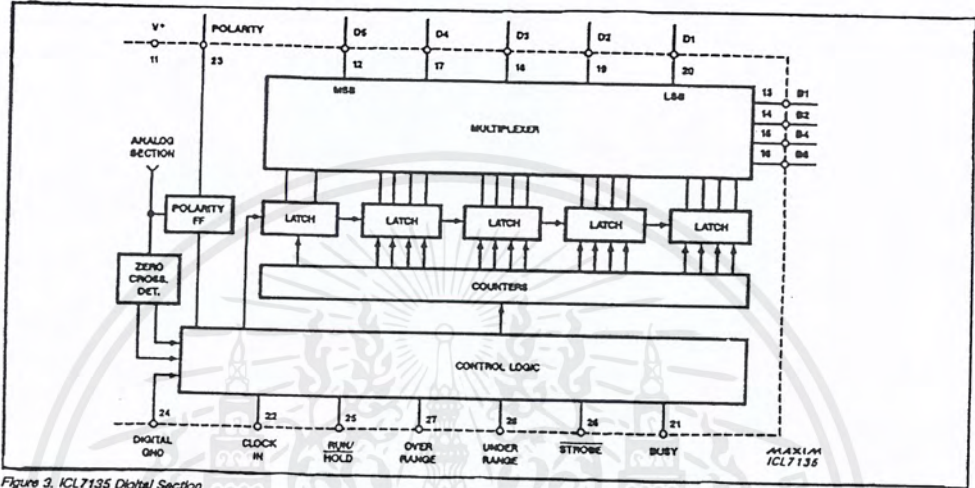


Figure 3. ICL7135 Digital Section

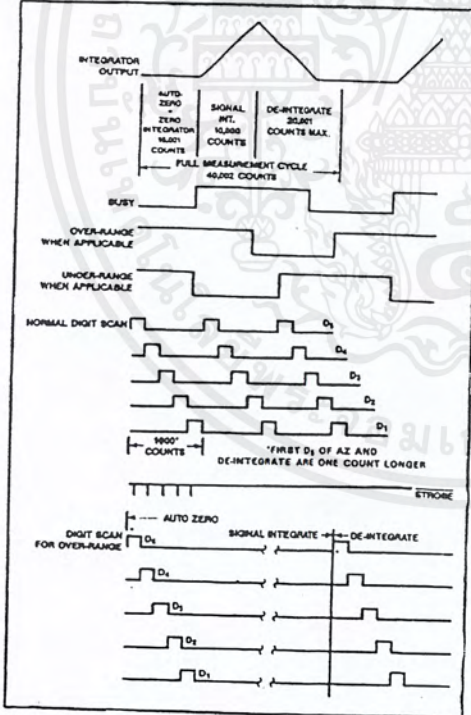


Figure 4. Timing Diagram

rising edge of the RUN/HOLD input and the BUSY output. A RUN/HOLD pulse during the unused portion of deintegrate phase will be ignored, but when in the auto-zero phase a positive pulse of only 300ns (typical) will start the conversion. Figure 5 shows a simple method of obtaining one, and only one, conversion for each measurement request.

#### BUSY

BUSY is a status output that goes high at the beginning of signal integrate and stays high until the first clock pulse after zero crossing during De-integrate (or end of De-Integrate if overranged). The internal data latches are loaded during the next clock cycle after the falling edge of BUSY. Since BUSY is high for the 10,000 counts of signal integrate + number of counts during De-Integrate + 1 clock cycle, a simple way of sending conversion data down a single pair of wires is to logically 'AND' BUSY with the clock and to subtract 10,001 counts from the number received. Figure 6 shows a system using this method to remotely display data.

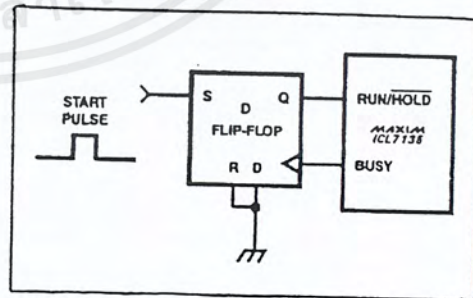


Figure 5. External RUN/HOLD Latch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4½ Digit A/D Converter with Multiplexed BCD Outputs

ICL7135

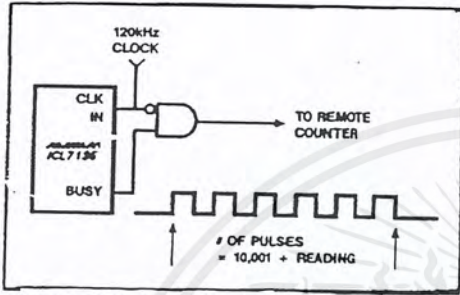


Figure 6: Serial Pulse Stream for Remote Reading

### Digit Outputs

The digit outputs go high sequentially, D5 to D1, for a period of 200 clock cycles per digit. The 5 digits are continuously scanned except after an over-range measurement. After an over-range reading the digit scan stops after the strobe sequence, and remains stopped until the start of De-Integrate. For a continuous series of over-range readings, the digits will be scanned for 21,000 counts out of 40,002, resulting in a flashing display as an over-range indicator. D5 is the most significant digit.

### BCD Outputs

The 4 BCD output pins are positive logic signals whose BCD data corresponds to the currently active digit strobe. The ICL7135 does not have inter-digit blanking and the BCD data changes simultaneously with the edges of the digit outputs.

### STROBE

The STROBE output is a negative going pulse that is useful for latching the multiplexed BCD outputs into external BCD latches. Five negative going STROBE pulses occur in the center of the data corresponding to each of the 5 digits of measurement results, once and only once after the end of each conversion (immediately after the falling edge of BUSY). The BCD data is valid at both edges of STROBE, and data can be latched in either a level sensitive latch, or an edge triggered latch. Figures 11, 12 and 14 show the use of STROBE to latch the BCD data. STROBE pulse width is 1µs less than ½ clock period.

### Over-range and Under-range Outputs

These active high status outputs are set to a high level at the end of BUSY if the measurement result is 1800 or less (Under-range), or greater than 19,999 (Over-range). Under-range is reset at the beginning of the signal integrate phase; over-range is reset at the beginning of the de-integrate phase.

### Polarity

The Polarity output is updated at the beginning of each de-integrate phase, and is high for a positive input signal. The Polarity output is valid for all inputs, including ±0 and overrange signals.

### Component Selection

The analog component values must be selected with care to achieve optimum performance in each application. Factors that affect the proper values include the reading rate, input common mode voltage, the full scale and reference voltages, and the power supply voltages.

### Integrating Resistor

Good linearity is obtained when the integrating resistor value is chosen such that the buffer's maximum output current is between 5 and 40µA. The quiescent current of the buffer is 100µA, and it can supply 20µA of output current with excellent linearity. The buffer's maximum output current occurs with a full scale input voltage, and the integrating resistor value may be calculated as:

$$R_{INT} = \frac{\text{full scale voltage}}{20\mu A}$$

### Integrating Capacitor

The maximum swing of the integrator during the signal integrate phase can be calculated as:

$$V_{swing} = \frac{I_{INT} \times T_{INT}}{C_{INT}}$$

Where  $I_{INT} = 20\mu A$  if  $R_{INT}$  is chosen as described above and  $T_{INT} = 10,000$  clock periods (83.3ms for 120kHz clock frequency). The integrator swing range should be maximized while avoiding saturation of the integrator output. Normally the integrator will not saturate until its output is within 0.3V of either supply, but for the best integral linearity the integrator's output should remain at least 1V away from either supply. For ±5V supply and Analog Common and IN LO connected to ground, a ±3.5V to ±4V swing range is optimum. Rearranging the above formula and inserting values as described above,  $C_{INT}$  may be calculated as:

$$C_{INT} = \frac{20\mu A \times 83.3ms}{3.5V} = 0.47\mu F$$

The integrator swing must be reduced if either Analog Common or IN LO is not grounded, or if the supply voltage is less than ±5V.

The integrating capacitor must have low dielectric absorption to obtain low integral nonlinearity, rollover, and ratiometric errors. The result of measurements with the reference tied to the IN HI is a good indication of the

MAXIM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4½ Digit A/D Converter with Multiplexed BCD Outputs

ICL7135

amount of dielectric absorption in the integrating capacitor. A good integrating capacitor will result in a reading of 9999, and any deviation from this reading is probably due to dielectric absorption. Polypropylene capacitors have been found to be suitable, as have Teflon capacitors. Polystyrene and polycarbonate capacitors may also be used in less critical applications.

### Auto-Zero Capacitor

The size of the auto-zero capacitor will have a significant effect on the overall system noise, with larger auto-zero capacitors resulting in a quieter system. The dielectric absorption of the auto-zero capacitor affects only the speed of settling at power-up or recovery from overload and nearly any capacitor type can be used. The zero integrator phase of the ICL7135 allows the use of large auto-zero capacitors while avoiding the "over-range hangover" and hysteresis effects that occur in A/D converters without the zero integrator phase.

### Reference Capacitor

Like the auto-zero capacitor, the reference capacitor's dielectric absorption is rarely critical. Low dielectric absorption reference capacitors are only required where fast settling time is needed in systems with a rapidly changing reference voltage such as ratiometric ohms measurement in multimeters.

The reference capacitor DOES need to be a low leakage capacitor since it must store the reference voltage while floating during both the signal integrate and the reference deintegrate phases. Any leakage or charge loss during these two phases results in an effective change in the scale factor of the ICL7135. Low cost film capacitors such as polyester or polystyrene have been found to be suitable in most applications.

In addition to leakage requirements, another effect that sets a lower limit on the value of the reference capacitor is the "charge suckout" caused by stray capacitance on the reference capacitor terminals. For a negative polarity

input signal, the reference capacitor does not shift its common mode voltage, but with a positive polarity input signal it undergoes a negative common mode shift equal to the reference voltage. If there are stray capacitances on the reference capacitor terminals, some of the charge on the reference capacitor will be used to charge these stray capacitances as the reference capacitor makes this common mode voltage shift. This loss of charge reduces the voltage on the reference capacitor, and causes positive polarity signals to have a higher measured result than a corresponding negative voltage. This error can be reduced by minimizing the stray capacitance on the reference capacitor terminals, and by increasing the value of the reference capacitor.

### Reference Voltage

The full scale reading of 20,000 will occur when  $V_{IN} = 2 \times V_{REF}$ . Since the 20,000 count resolution of the ICL7135 is equivalent to a 50ppm resolution, a high stability reference is recommended for high accuracy absolute measurements. Figure 7 shows two suitable methods of generating the reference voltage.

### Rollover Resistor and Diode

The ICL7135 is tested for rollover using the circuit of Figure 1, with the 100kΩ resistor and diode in the circuit. The diode is noncritical, and is typically a low cost 1N4148. The resistor value is dependent on many factors including integrator swing, clock frequency, and the amount of rollover error due to "charge suckout" on the reference capacitor. 100kΩ is the optimum value for most circuits and is the value used in testing the ICL7135.

### Speedup Resistor

The 27Ω speedup resistor in series with the integrating capacitor adds a pedestal voltage on top of the integrating capacitor voltage. This pedestal voltage causes zero crossing to occur earlier than would occur without the resistor. The effect of the earlier zero crossing is to give the comparator an overdrive voltage, speeding its response and reducing the conversion error due to comparator delay. If the integrator current is changed, the speedup resistor value should be changed so that the  $I_{INT} \times R_{SPEEDUP} = 500\mu V$ .

### Clock Frequency

The clock source should be free of short-term phase and frequency jitter during the conversion period, but long term stability is not critical. The clock frequency is chosen to obtain the desired conversion rate, and to maximize the normal mode rejection of power line frequency interference. The conversion rate is directly proportional to the clock frequency, with each conversion taking 40,002 clock cycles. For maximum normal mode rejection

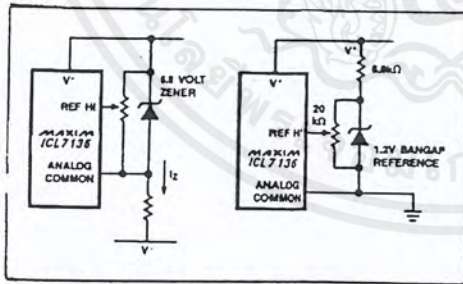


Figure 7. External Reference Voltage

## 4½ Digit A/D Converter with Multiplexed BCD Outputs

tion, the signal integration period should be an integral multiple of the power line cycles.

$$\text{Reading Rate (in readings per second)} = \frac{f_{\text{CLK}}}{40,002}$$

$$f_{\text{CLK}} \text{ for maximum normal mode rejection} = \frac{f_{\text{LINE}} \times 10,000}{N}$$

Where  $f_{\text{LINE}}$  is the line frequency, normally 50Hz or 60Hz and N is the number of line cycles that occur during a signal integration period. For maximum normal mode rejection, N should be an integer.

For 60Hz rejection, suitable clock frequencies include 300kHz, 200kHz, 150kHz, 120kHz, 100kHz, and 75kHz. Suitable frequencies for use with 50Hz power include 250kHz, 166.67kHz, 125kHz, and 100kHz. The two most common clock frequencies are 120kHz (3 readings per second) and 100kHz (2½ readings per second). Note that a 100kHz clock frequency rejects both 50Hz and 60Hz normal mode signals.

The maximum clock rate is limited by the maximum rate at which the digital logic will correctly function (typically 2MHz), and by the speed of response of the comparator. The comparator delay, about 3µs, has the same effect on the measurement result as does an offset voltage with the same polarity of the input signal. At the recommended clock frequency of 120kHz, this small offset is slightly less than ½ count. At higher clock frequencies the value of the speedup resistor in series with the integration capacitor (normally 27Ω) should be increased. At frequencies above 120kHz, ringing on the integrator output may cause nonlinearities in the first few counts.

The minimum clock frequency is limited by the leakage of the auto-zero and reference capacitors. While seldom desired, measurement cycles as long as 10 seconds can be performed with negligible error at room temperature. Figures 8A and 8B show two methods of generating a suitable clock signal for the ICL7135.

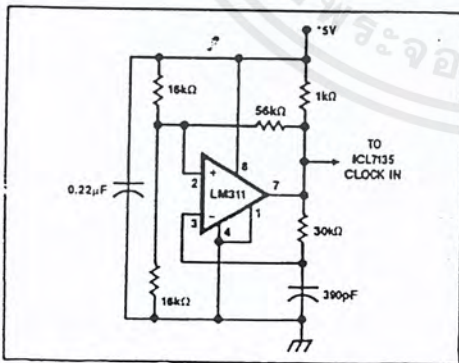


Figure 8A. LM311 Clock Source

### Application Hints

#### Grounds

As with all sensitive analog circuitry, it is important to keep the Digital Ground separate from the analog ground (called Analog Common on the ICL7135) to minimize errors caused by the coupling of noise from the digital circuitry into the sensitive analog section. Analog Common should be connected to Digital Ground at only one point, and return currents from digital loads must not flow through the analog ground lines. Avoid any unnecessary current flow in the analog ground path.

#### Single 5V Supply Operation

The ICL7135 normally uses ±5V supplies, however, in some applications the negative supply is not needed. Specifically, the negative 5V supply is not required if the input signal can be referenced to the center of the ICL7135's common mode voltage range AND the signal voltage is less than ±1.5V. The integrator swing must be reduced, and there will be a slight increase in system noise and nonlinearity. See Figure 9 for recommended component values.

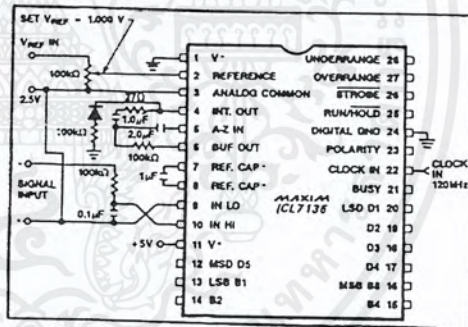


Figure 9. Single +5V Supply Operation

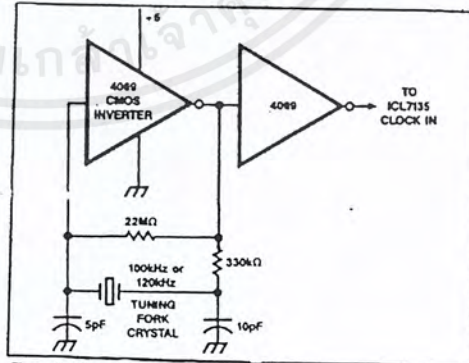


Figure 8B. Crystal Oscillator Clock Source

MAXIM

ICL7135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL7135

## 4½ Digit A/D Converter with Multiplexed BCD Outputs

### Generating a Negative Supply from +5V

Figures 10A and 10B show two methods of generating a negative supply for the ICL7135. The Maxim ICL7660 will supply 2mA (the maximum supply current of the ICL7135) at 4.85V drop, while the circuit using the CMOS inverter will deliver approximately -3.5V. If the CMOS inverter is used to generate a minus supply, the integrator swing should be reduced to 2.5 to 3V.

### Noise

The normal system noise around zero is about 15µV peak-to-peak (not exceeded 95% of the time). Near full scale, the noise increases to about 30µV. The main noise source is the auto-zero loop, and increasing the value of the auto-zero capacitor will reduce the noise. Other noise sources include the buffer and integrator noise; comparator noise; and stray pickup in the input circuitry, the integrator, and the reference capacitor. The noise caused by stray pickup of interfering signals can be reduced by a tight layout and shielding. If the interfering signal frequency is constant, the effects of stray pickup in the input and integrator can be reduced by choosing a clock frequency such that the signal integration period is an integral multiple of the interfering signal's period. Since the length of the de-integration period depends on the input signal level, no single clock frequency can be chosen to reject interfering signals during the de-integrate phase.

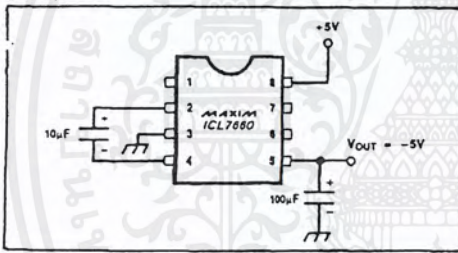


Figure 10A. Generating a Negative Supply

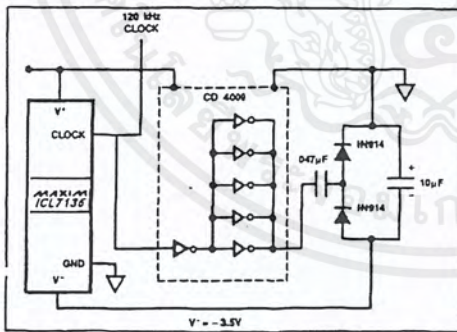


Figure 10B. Generating a Negative Supply

### Typical Applications

Figure 11 uses Maxim's ICL7211 LCD display driver to drive 4 digits of LCD display. The backplane signal of the ICL7211 and the CMOS exclusive OR gates are used to drive the ½ digit and the polarity sign. The four AND gates combine the digit outputs with the STROBE output to generate the digit select signals that latch data into the ICL7211. Since the Strobe occurs in the middle of each digit's data there is ample data setup and hold time to ensure that valid data is latched. The OR gates will force the BCD data to all ones when over-range goes high. The ICL7211A will blank the display when all ones (hex F) is loaded.

The typical operating circuit on the first page of this data sheet shows a 4½ digit A/D with LED drive using the Maxim ICL7212 display driver. In this case the polarity and ½ digit segments are driven by D flip-flops that latch polarity and ½ digit data at the end of each measurement. The ICL7135 Overrange output drives the ICM7212 Brightness input, blanking the four least significant digits when the input voltage is greater than full scale.

Some applications require non-multiplexed, latched BCD outputs. The circuit shown in Figure 12 will demultiplex and latch the ICL7135 output. If only the first rank of latches is used, the data should not be used during the 800 clock cycle update period that takes place at the end of each conversion since during this update period the

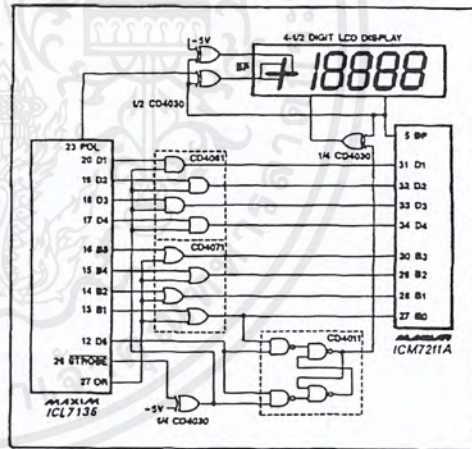


Figure 11. LCD Display with Digit Blanking on Overrange

## 4½ Digit A/D Converter with Multiplexed BCD Outputs

### Interfacing With UARTs and Microprocessors

ICL7135

most significant digit (MSD) data will correspond to the new reading and the least significant digit (LSD) data will be old data from the previous conversion. The second rank of latches shown in dotted lines will eliminate this problem by updating all digits simultaneously with the rising edge of D5.

There are many different possible ways of interfacing the ICL7135 to a microprocessor. Figure 13 shows a method that uses only 8 I/O lines. The digit outputs drive a priority encoder, which converts the 1-of-5 format of the digit outputs to a 3 bit binary code. When no digit is active (as in over-range), the binary output code is 0, otherwise the output corresponds to the digit number of the active digit. By sensing BUSY as either an input or as an interrupt, the microprocessor can detect when new data is available.

Another possible interface scheme is to sense only digit D5, then use time delays to choose when to read the other digits' data.

Figure 14 shows a simple interface between a UART and a free running ICL7135. The transmission of the five data words is started by the five STROBE pulses. The digit 5 word is 0000XXXX, digit 4 is 1000XXXX, digit 3 is 0100XXXX, etc. The polarity is transmitted indirectly by using it to drive the Even Parity Enable Pin (EPE). A parity flag at the receiver can be decoded as a positive signal, no flag as negative, if EPE of the receiver is held low. Figure 15 shows a more complex arrangement. DR goes high when the UART receives a byte via the send input, RRI. Since DR is connected to the ICL7135's RUN/HOLD input this starts a new conversion. At the end of the conversion the falling edge of BUSY resets DR via the UART's DRR input. The transmit sequence is again started by STROBE. A quad 2-input multiplexer is used to superimpose polarity, over-range, and under-range onto the D5 word since in this instance it is known that  $B_2 = B_4 = B_6 = 0$ .

To insure proper operation, it is necessary that the UART clock be fast enough that each word is transmitted before the next STROBE pulse arrives.

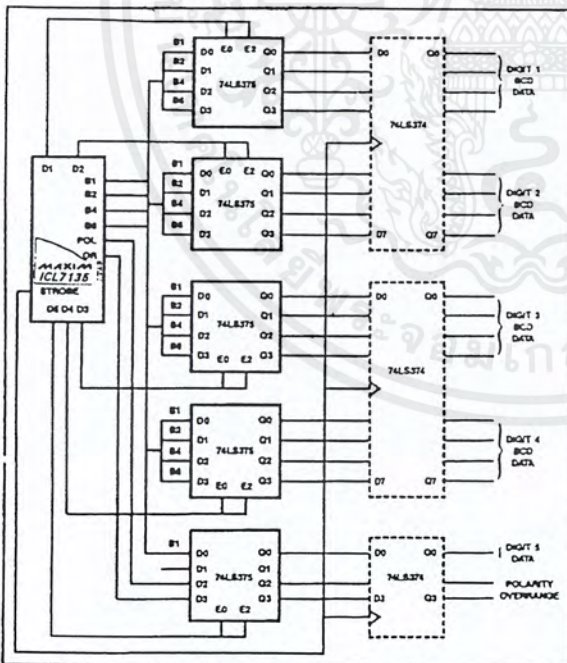


Figure 12. Non-Multiplexed, Latched BCD Output

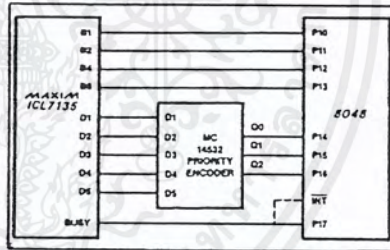


Figure 13.  $\mu$ P Interface

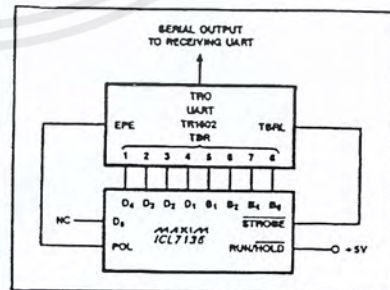


Figure 14. ICL7135 to UART Interface

# 4 1/2 Digit A/D Converter with Multiplexed BCD Outputs

ICL7135

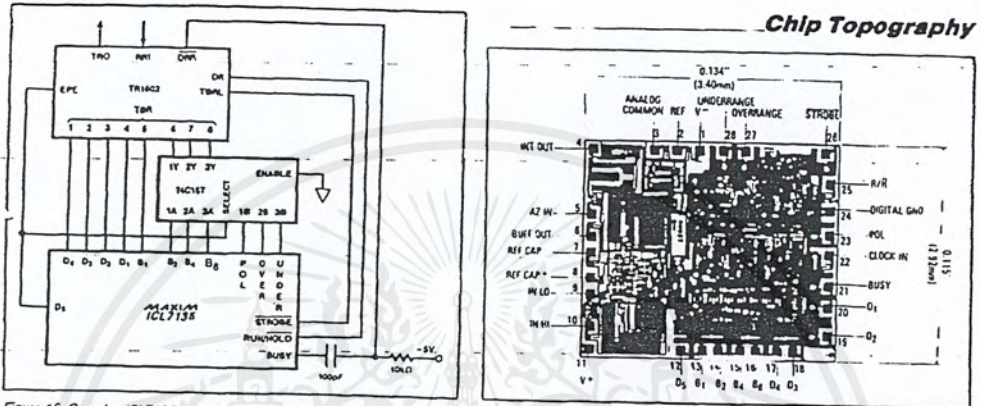
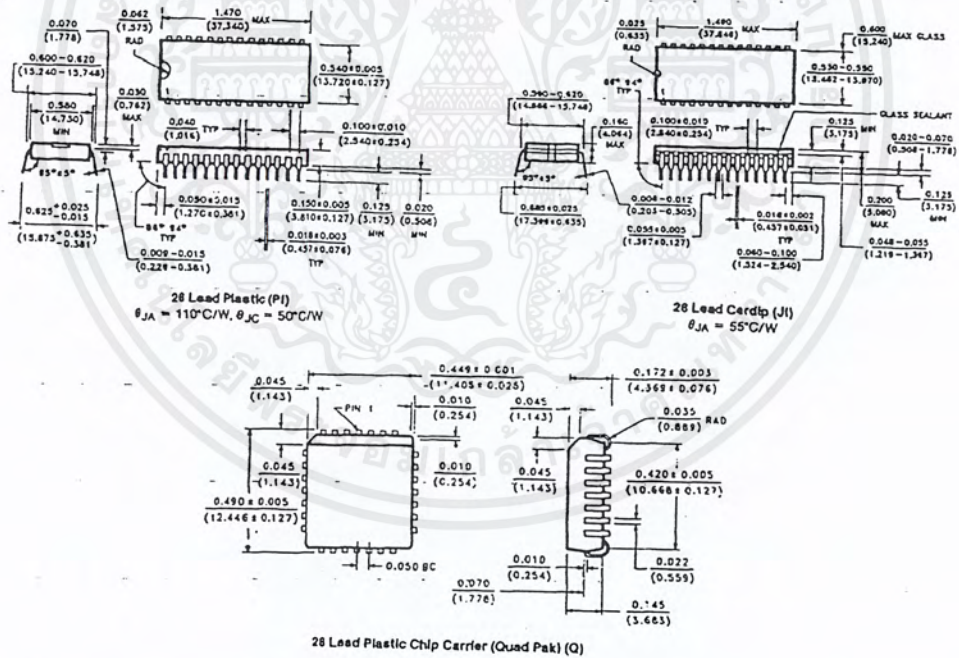


Figure 15. Complex ICL7135 to UART Interface



Maxim cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim product. No circuit patent licenses are implied. Maxim reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time.

12 Maxim Integrated Products, 120 San Gabriel Drive, Sunnyvale, CA 94086 (408) 737-7600

© 1994 Maxim Integrated Products

Printed USA

MAXIM is a registered trademark of Maxim Integrated Products.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19-4452 Rev. 1.5.92

# MAXIM

## Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Driver

MAX7219

### General Description

The MAX7219 is a compact, serial input/output common-cathode display driver that interfaces microprocessors ( $\mu$ Ps) to 7-segment numeric LED displays of up to 8 digits, bar-graph displays, or 64 individual LEDs. Included on-chip are a BCD code-B decoder, multiplex scan circuitry, segment and digit drivers, and an 8x8 static RAM that stores each digit. Only one external resistor is required to set the segment current for all LEDs.

A convenient 3-wire serial interface connects to all common  $\mu$ Ps. Individual digits may be addressed and updated without rewriting the entire display. The MAX7219 also allows the user to select code-B decoding or no-decode for each digit.

The MAX7219 includes a 150 $\mu$ A low-power shutdown mode, analog and digital brightness control, a scan-limit register which allows the user to display from 1 to 8 digits, and a test mode which forces all LEDs on.

### Applications

- Bar-Graph Displays
- 7-Segment Displays
- Industrial Controllers
- Panel Meters
- LED Matrix Displays

### Features

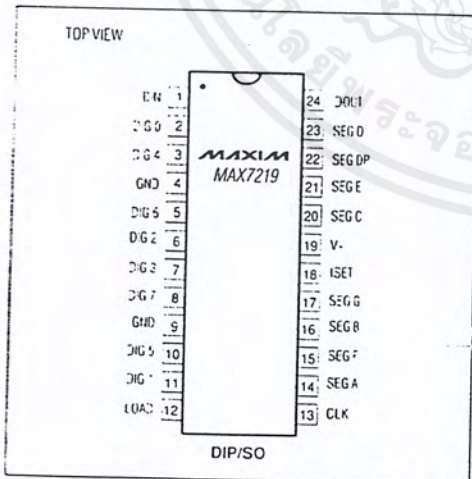
- ◆ 10MHz Serial Interface
- ◆ Individual LED Segment Control
- ◆ Decode/No-Decode Digit Selection
- ◆ 150 $\mu$ A Low-Power Shutdown (Data Retained)
- ◆ Digital and Analog Brightness Control
- ◆ Display Blanked on Power-Up
- ◆ 24-Pin DIP and SO Packages
- ◆ Drives Common-Cathode LED Display

### Ordering Information

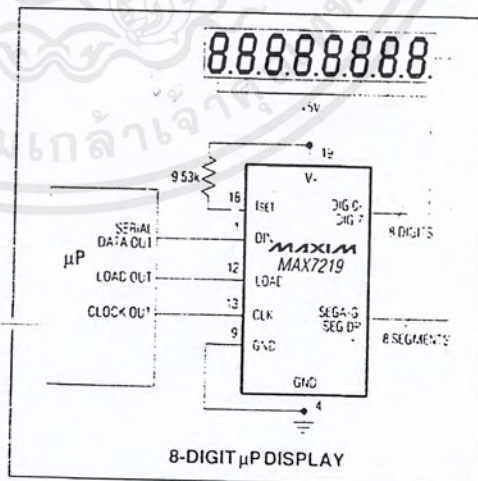
PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX7219CNG	0°C to +70°C	24 Narrow Plastic DIP
MAX7219CWG	0°C to +70°C	24 Wide SO
MAX7219C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX7219ENG	-40°C to +85°C	24 Narrow Plastic DIP
MAX7219EWG	-40°C to +85°C	24 Wide SO
MAX7219ERG	-40°C to +85°C	24 Narrow CERDIP

\* Contact factory for dice specifications.

### Pin Configuration



### Typical Application Circuit



**MAXIM**

Maxim Integrated Products 1

Call toll free 1-800-998-8800 for free samples or literature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Driver

MAX7219

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

V- Voltage	7V	Operating Temperature Ranges	
DIG0-DIG7 Sink Current	500mA	MAX7219C_G	0°C to +70°C
SEG A-G, DP Source Current	100mA	MAX7219E_G	-40°C to +85°C
Input Voltage (any pin)	V+ + 0.3V to -0.3V	Storage Temperature Range	-65°C to +160°C
Continuous Power Dissipation (TA = +85°C)		Lead Temperature (soldering, 10 sec)	+300°C
Narrow Plastic DIP	0.87W		
Wide SO	0.76W		
CERDIP	1.1W		

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V- = 5V ±10%, RSET = 9.53kΩ ±1%, TA = TMIN to TMAX, unless otherwise noted)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Operating Supply Voltage	V+		4.0		6.0	V
Shutdown Supply Current	I <sub>0</sub>	DIN, CLK and LOAD = GND or V+, shutdown register set to 0, TA = +25°C			150	μA
Operating Supply Current	I <sub>OP</sub>	RSET = infinity			8	mA
Display Scan Rate	f <sub>OSC</sub>	All segments and decimal points on, ISEGO = -40mA		330		mA
Digit Drive Sink Current	I <sub>DIGI</sub>	V- = 5V, 8 digits scanned	500	1300	2000	Hz
Segment Drive Current: Source	I <sub>SEGO</sub>	TA = +25°C, V- = 5V, V <sub>OUT</sub> = 0.65V	320			mA
Segment Drive Current: Matching		TA = +25°C, V+ = 5V, V <sub>OUT</sub> = V+ - 1V	-30	-37	-40	mA
Digit Drive Source Current	I <sub>DIGO</sub>	Digit: off, V <sub>OL</sub> = V+ - 0.3V	-2	3.0		%
Segment Drive Current Sink	I <sub>SEGI</sub>	Segment: off, V <sub>OL</sub> = 0.3V	5			mA
<b>LOGIC INPUTS</b>						
Input Current	I <sub>I</sub>	DIN, CLK and LOAD VIN = 0V VIN = V+			-1 1	μA
Logic 1 Input Voltage	V <sub>IH</sub>		3.5			V
Logic 0 Input Voltage	V <sub>IL</sub>				0.8	V
Hysteresis Voltage		DIN, CLK, and LOAD		1.0		V
Output High Voltage	V <sub>OH</sub>	DOUT I <sub>OUT</sub> = -1mA, I <sub>OUT</sub> = -1μA	V+ - 1.0			V
Output Low Voltage	V <sub>OL</sub>	DOUT, -I <sub>OUT</sub> = 1mA		V+		V
Data-Hold Time DATAIN to Clock	t <sub>DH</sub>		0	-5	0.4	ns
Data-Setup Time DATAIN to Clock	t <sub>DS</sub>		25			ns
Clock-to-Serial Output Prop Delay	t <sub>OPD</sub>	C <sub>LOAD</sub> = 50pF			25	ns
Clock Low Time	t <sub>CKL</sub>		50			ns
Clock High Time	t <sub>CKH</sub>		50			ns
Data-to-Segment Prop Delay (Note 1)	t <sub>DSPD</sub>	C <sub>LOAD</sub> = 50pF	0		2.25	ns
Load-Rising Edge to Next Clock Rising Edge	t <sub>LDCK</sub>		50			ns
Clock-to-Load Rising Edge Setup Time	t <sub>CKLD</sub>		0			ns
Load Low Time	t <sub>LDL</sub>		50			ns
Load High Time	t <sub>LDH</sub>		50			ns

Note 1: Guaranteed by design.

2

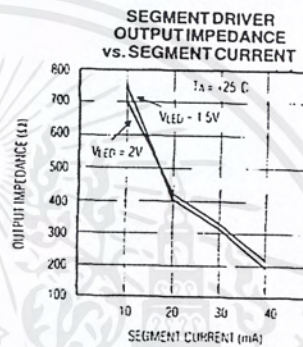
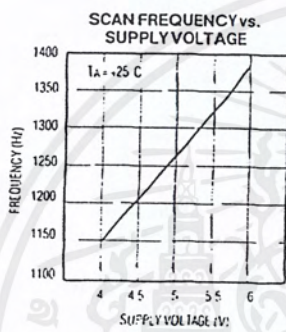
MAXIM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Driver

### Typical Operating Characteristics

MAX7219



### Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1	DIN	Serial Data Input. Data is loaded into an internal 16-bit shift register on the rising edge of CLK.
2, 3, 5-8, 10, 11	DIG0-7	8 digit drive lines that sink current from the display.
4, 9	GND	Ground (both GND pins must be connected).
12	LOAD	Load Data Input. On LOAD's rising edge, the last 16 bits of serial input data are latched.
13	CLK	Clock Input. 10MHz maximum rate. On CLK's rising edge, data is shifted into the internal shift register. On CLK's falling edge, data is clocked out of DOUT.
14-17, 20-23	SEG A-G, DP	7-segment drive and decimal point lines that source current to the display.
18	ISET	Connect to V+ through a resistor (RSET) to set the peak segment current. (Refer to "Selecting RSET Resistor" section).
19	V-	Supply Voltage.
24	DOUT	Serial Data Output. The data into DIN is valid at DOUT 16.5 clock cycles later.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Driver

MAX7219

Block Diagram

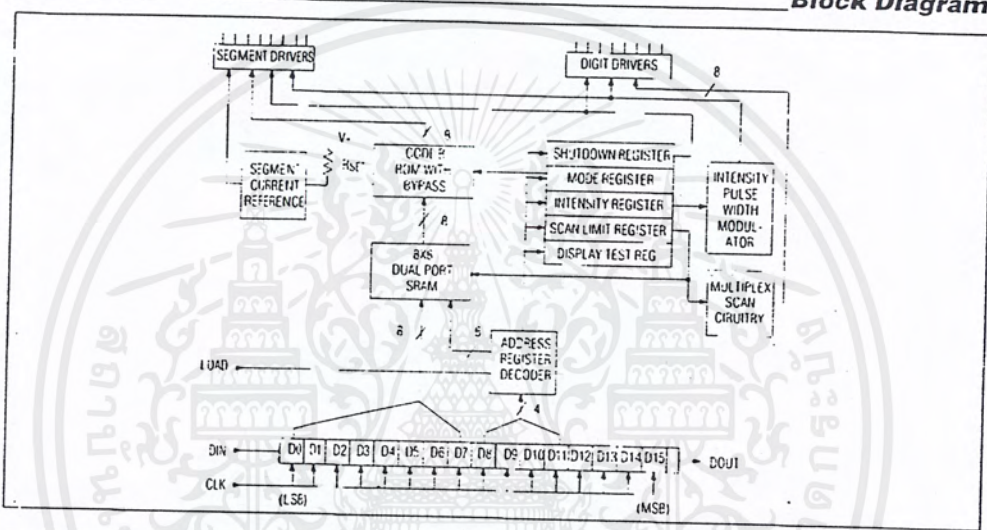


TABLE 1. SERIAL DATA FORMAT (16 BITS)

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
X	X	X	X	ADDRESS				MSB		DATA						LSB

X = non-care bit

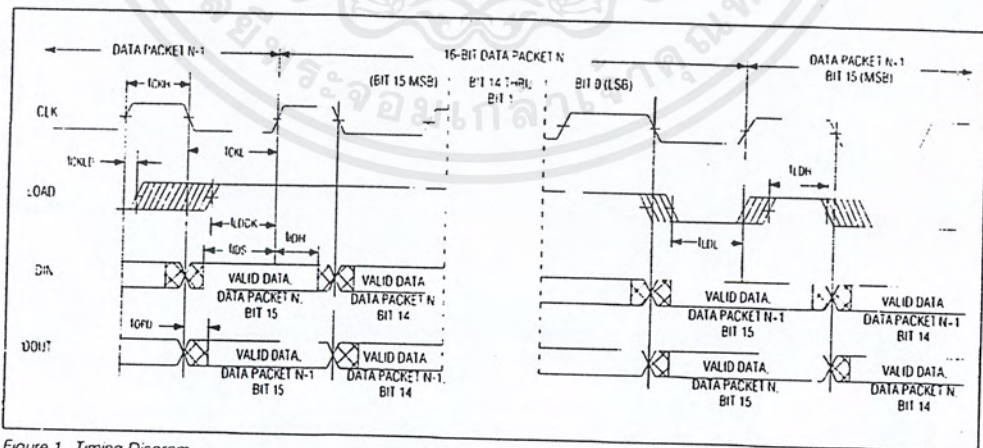


Figure 1. Timing Diagram

4

MAXIM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Driver

### Detailed Description

#### Serial Addressing Modes

Serial data at DIN, sent in 16-bit packets, is shifted into the internal 16-bit shift register with each rising edge of CLK. The data is then latched into either the digit or control registers on the rising edge of LOAD. LOAD must go high concurrently with or after the 16th rising clock edge, but before the next rising clock edge or data will be lost. Data at DIN is propagated through the shift register and appears at DOUT 16.5 clock cycles later. Data is clocked out on the falling edge of CLK. Data bits are labeled D0-D15 (Table 1). D8-D11 contain the register address, D0-D7 contain the data, and D12-D15 are 'don't care' bits. The first bit received is D15, the most significant bit (MSB).

#### Digit and Control Registers

Table 2 lists the 14 addressable digit and control registers. The digit registers are realized with an on-chip, 8x8 dual-port SRAM. They are addressed directly so that individual digits can be updated and retain data as long as V<sub>CC</sub> typically exceeds 2V. The control registers consist of: decode mode, display intensity, scan limit (number of scanned digits), shutdown, and display test (all LEDs on). A no-operation (no-op) register is also included, which allows data to be passed from DIN to DOUT when devices are cascaded without changing the display or affecting any control registers.

#### Shutdown Mode

When the MAX7219 is in shutdown mode, the scan oscillator is halted, all segment current sources are pulled to ground, and all digit drivers are pulled to V<sub>CC</sub>, thereby blanking the display. Data in the digit and control registers remains unaltered. Shutdown can be used to save power or as an alarm to flash the display by successively entering and leaving the shutdown mode. For minimum supply current in shutdown mode, logic inputs should be at ground or V<sub>CC</sub> (CMOS logic levels).

Typically, it takes less than 250µs for the MAX7219 to leave shutdown mode. Note that the display driver can still be programmed while in shutdown mode, and that shutdown mode can be overridden by the display-test function.

Table 4. Decode-Mode Register Examples (Address (Hex) = X9)

	REGISTER DATA								(HEX CODE)
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
NO DECODE FOR DIGITS 7-0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
CODE B DECODE FOR DIGIT 0 NO DECODE FOR DIGITS 7-1	0	0	0	0	0	0	0	1	01
CODE B DECODE FOR DIGITS 3-0 NO DECODE FOR DIGITS 7-4	0	0	0	0	1	1	1	1	0F
CODE B DECODE FOR DIGITS 7-0	1	1	1	1	1	1	1	1	FF

Table 2. Register Address Map

REGISTER	ADDRESS					HEX CODE
	D15-D12	D11	D10	D9	D8	
NO-OP	X	0	0	0	0	X0
DIGIT 0	X	0	0	0	1	X1
DIGIT 1	X	0	0	1	0	X2
DIGIT 2	X	0	0	1	1	X3
DIGIT 3	X	0	1	0	0	X4
DIGIT 4	X	0	1	0	1	X5
DIGIT 5	X	0	1	1	0	X6
DIGIT 6	X	0	1	1	1	X7
DIGIT 7	X	1	0	0	0	X8
DECODE MODE	X	1	0	0	1	X9
INTENSITY	X	1	0	1	0	XA
SCAN LIMIT	X	1	0	1	1	XB
SHUTDOWN	X	1	1	0	0	XC
DISPLAY TEST	X	1	1	1	1	XF

Table 3. Shutdown Register Format (Address (Hex) = XC)

	ADDR CODE (HEX)	REGISTER DATA							
		D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
SHUTDOWN MODE	XC	X	X	X	X	X	X	X	0
NORMAL OPERATION	XC	X	X	X	X	X	X	X	1

#### Initial Power-Up

On initial power-up, all control registers are reset, the display is blanked, and the MAX7219 enters shutdown mode. Therefore the user must program the display driver prior to display use since it will initially be set to scan one digit, it will not decode data in the data registers, and the intensity register will be set to its minimum value.

#### Decode-Mode Register

The decode-mode register sets BCD code B (0-9, E, H, L, P, and -) or no-decode operation for each digit. Each bit in the register corresponds to one digit. A logic high selects code B decoding while a logic low bypasses the decoder. Examples of the decode mode control-register format are shown in Table 4.

MAX7219

## Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Driver

Table 5. Code B Font

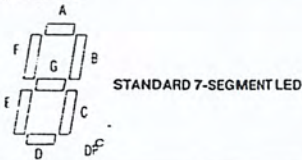
7-SEGMENT CHARACTER	REGISTER DATA						DP*	ON SEGMENTS = 1						
	D7*	D6-D4	D3	D2	D1	D0		A	B	C	D	E	F	G
0	X	0	0	0	0	0		1	1	1	1	1	1	0
1	X	0	0	0	1			0	1	1	0	0	0	0
2	X	0	0	1	0			1	1	0	1	1	0	1
3	X	0	0	1	1			1	1	1	1	0	0	1
4	X	0	1	0	0			0	1	1	0	0	1	1
5	X	0	1	0	1			1	0	1	1	0	1	1
6	X	0	1	1	0			1	0	1	1	1	1	1
7	X	0	1	1	1			1	1	1	0	0	0	0
8	X	1	0	0	0			1	1	1	1	1	1	1
9	X	1	0	0	1			1	1	1	1	0	1	1
-	X	1	0	1	0			0	0	0	0	0	0	1
E	X	1	0	1	1			1	0	0	1	1	1	1
H	X	1	1	0	0			0	1	1	0	1	1	1
L	X	1	1	0	1			0	0	0	1	1	1	0
P	X	1	1	1	0			1	1	0	0	1	1	1
blank	X	1	1	1	1			0	0	0	0	0	0	0

\* The decimal point is set by bit D7 = 1

When the code B decode mode is used, the decoder looks only at the lower nibble of the data in the digit registers (D3-D0), disregarding bits D4-D6. D7, which sets the decimal point (SEG DP), is independent of the decoder and is positive logic (D7=1 turns the decimal point on). The code-B font is listed in Table 5.

When no-decode is selected, data bits D7-D0 correspond to the segment lines of the MAX7219. Table 6 shows the one-to-one pairing of each data bit to the appropriate segment line.

Table 6. No-decode Mode Data Bits and Corresponding Segment Lines



CORRESPONDING SEGMENT LINE	REGISTER DATA							
	DP	A	B	C	D	E	F	G
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

### Intensity Control and Interdigit Blanking

The MAX7219 allows the display brightness to be controlled with an external resistor (RSET) connected between V+ and ISET, and digitally using the intensity register. The peak current sourced from the segment drivers will nominally be 100 times the current entering ISET. This resistor can either be fixed, or variable to allow brightness adjustment from the front panel. Its minimum value should be 9.53kΩ, which typically sets the segment current at 37mA.

Digital control of segment current is provided by an internal pulse-width modulated DAC, which is loaded from the lower nibble of the intensity register. The DAC scales the average segment current in 16 steps from a maximum of 31/32, down to 1/32 of the peak current set by RSET. The intensity register format is listed in Table 7. Maximum brightness occurs with a duty cycle of 31/32 because the interdigit blanking time is set to 1/32 of a cycle. Interdigit blanking time can be increased by decreasing the duty cycle.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Driver

Table 7. Intensity Register Format (Address (Hex) = XA)

DUTY CYCLE	REGISTER DATA								(HEX CODE)
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
1/32 (min on)	X	X	X	X	0	0	0	0	X0
3/32	X	X	X	X	0	0	0	1	X1
5/32	X	X	X	X	0	0	1	0	X2
7/32	X	X	X	X	0	0	1	1	X3
9/32	X	X	X	X	0	1	0	0	X4
11/32	X	X	X	X	0	1	0	1	X5
13/32	X	X	X	X	0	1	1	0	X6
15/32	X	X	X	X	0	1	1	1	X7
17/32	X	X	X	X	1	0	0	0	X8
19/32	X	X	X	X	1	0	0	1	X9
21/32	X	X	X	X	1	0	1	0	XA
23/32	X	X	X	X	1	0	1	1	XB
25/32	X	X	X	X	1	1	0	0	XC
27/32	X	X	X	X	1	1	0	1	XD
29/32	X	X	X	X	1	1	1	0	XE
31/32 (max on)	X	X	X	X	1	1	1	1	XF

### Scan-Limit Register

The scan-limit register sets how many digits are displayed, from 1 to 8. They are displayed in a multiplexed manner with a typical display scan rate of 1300Hz with 8 digits displayed. If fewer digits are displayed, the scan rate is  $8f_{OSC}/N$ , where N is the number of digits scanned. Since the number of scanned digits affects the display brightness, the scan-limit register should not be used to blank portions of the display (such as leading zero suppression). The scan-limit register format is listed in Table 8.

If the scan-limit register is set for three digits or less, individual digit drivers will dissipate excessive amounts of power. Consequently, the value of the RSET resistor must be adjusted according to the number of digits displayed, to limit individual digit driver power dissipation. Table 9 lists the number of digits displayed and the corresponding maximum recommended segment current when the internal digit drivers are used.

### Display-Test Register

The display-test register operates in two modes: normal and display test. Display-test mode turns all LEDs on by overriding – but not altering – all controls and digit registers (including the shutdown register). In display-test mode, 8 digits are scanned and the duty cycle is 31/32. Table 9 lists the display-test register format.

Table 8. Scan-Limit Register Format (Address (Hex) = XB)

	REGISTER DATA								(HEX CODE)
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
*DISPLAY DIGIT 0 ONLY	X	X	X	X	0	0	0	0	X0
*DISPLAY DIGITS 0 & 1	X	X	X	X	0	0	1	0	X1
*DISPLAY DIGITS 0 1 2	X	X	X	X	0	1	0	0	X2
DISPLAY DIGITS 0 1 2 3	X	X	X	X	0	1	1	0	X3
DISPLAY DIGITS 0 1 2 3 4	X	X	X	X	1	0	0	0	X4
DISPLAY DIGITS 0 1 2 3 4 5	X	X	X	X	1	0	1	0	X5
DISPLAY DIGITS 0 1 2 3 4 5 6	X	X	X	X	1	1	0	0	X6
DISPLAY DIGITS 0 1 2 3 4 5 6 7	X	X	X	X	1	1	1	0	X7

\* See "Scan-Limit Register" text for application.

Table 9. Maximum Segment Current for 1, 2 or 3 Digit Displays

NUMBER OF DIGITS DISPLAYED	MAXIMUM SEGMENT CURRENT
1	10mA
2	20mA
3	30mA

Table 10. Display-Test Register Format (Address (Hex) = XF)

	REGISTER DATA							
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
NORMAL OPERATION	X	X	X	X	X	X	X	0
DISPLAY TEST MODE	X	X	X	X	X	X	X	1

Note: The MAX7219 remains in display-test mode (all LEDs on) until the display-test register is reconfigured for normal operation.

### No-Op Register

The no-op register is used when cascading MAX7219s. Connect all devices' LOAD inputs together and connect DOUT to DIN on adjacent MAX7219s. DOUT is a CMOS logic level output that easily drives DIN of a successively cascaded MAX7219. Refer to the "Serial Addressing Modes" section for detailed information on serial input/output timing. For example, if four MAX7219s are cascaded, then to write to the fourth chip, send the desired 16-bit word, followed by three no-op codes (hex X0XX, see Table 2). When load goes high, data is latched in all devices. The first three chips receive no-op commands, and the fourth receives the intended data.

MAX7219

## Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Driver

### Applications Information Supply Bypassing and Wiring

To minimize power-supply ripple due to the peak digit driver currents, connect a 10µF electrolytic and a 0.1µF ceramic capacitor between V+ and GND as close to the device as possible. The MAX7219 should be placed in close proximity to the LED display, and connections should be kept as short as possible to minimize the effects of wiring inductance and electromagnetic interference. Also, both GND pins must be connected to ground.

### Selecting RSET Resistor and Using External Drivers

The current per segment is approximately 100 times the current in ISET. To select RSET, see Table 11. The MAX7219's maximum allowable segment current is 40mA. For an LED forward voltage drop of 2.5V, RSET must be greater than 9.53k. For segment current levels above the MAX7219 limits, external drivers will be needed. In this application, the MAX7219 serves as only a controller for other high-current drivers or transistors. Therefore, to conserve power in the MAX7219, use RSET = 47k when using external current sources as segment drivers.

The example in Figure 2 uses the MAX7219's segment drivers, a MAX333 single-pole double-throw analog switch, and external transistors to drive 4.0" AND4107SCL common-cathode displays. The 5.6V zener diode has been added in series with the decimal point LED because the decimal point LED forward voltage is typically 4.2V, while for all other segments the LED forward voltage is typically 8V. Note that since external transistors are used to sink current (DIG 0 and DIG 1 are used as logic switches), peak segment currents of 40mA are allowed even though only two digits are displayed. In applications where the MAX7219's digit drivers are used to sink current and fewer than four digits are displayed see Table 9 which specifies the maximum allow-

Table 11. RSET vs. Segment Current and LED Forward Voltage

ISEG (mA)	VLED (V)				
	1.5	2	2.5	3	3.5
40	11.3	10.4	9.8	8.9	7.8
30	16.3	15	14	12.9	11.4
20	26.2	24.6	22.8	20.9	18.6
10	60.1	56	51.7	47	41.9

able segment current. RSET must be selected accordingly (see Table 11).

Refer to the "Power Dissipation" section to calculate acceptable limits for ambient temperature, segment current, and the LED forward-voltage drop.

Table 12. Package Thermal Resistance Data

PACKAGE	THERMAL RESISTANCE (θJA)
24 Narrow DIP	+75°C/W
24 Wide SO	+85°C/W
24 CERDIP	-60°C/W
Maximum Junction Temperature (TJ) = +150°C	
Maximum Ambient Temperature (TA) = +85°C	

### Computing Power Dissipation

The upper limit for power dissipation (PD) for the MAX7219 is determined from the following equation:

$$PD = (V+ \times 8mA) + (V+ - VLED)(DUTY \times ISEG \times N)$$

where:

V+ = Supply Voltage

DUTY = Duty Cycle set by intensity register

N = number of segments driven (worst case is 8)

VLED = LED forward voltage

ISEG = Segment Current set by RSET

Dissipation Example:

ISEG = 40mA, N = 8, DUTY = 31/32, VLED = 1.8V at 40mA, V+ = 5.25V

$$PD = 5.25V(8mA) + (5.25V - 1.8V)(31/32 \times 40mA \times 8) = 1.11W$$

Thus, for a CERDIP package (θJA = +60°C/W from table 12), the maximum allowed ambient temperature TA is given by:

$$TJmax = TA + PD \times \thetaJA$$

$$+150^\circ C = TA + 1.11W \times +60^\circ C/W$$

$$TA = +83.4^\circ C$$

### Cascading Drivers

The example in Figure 3 drives 16 digits using a 3-wire µP interface. If the number of digits is not a multiple of 8, set both drivers' scan-limit registers to the same number so one display will not appear brighter than the other. For example, if 12 digits are needed, use 6 digits per display

## Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Driver

MAX7219

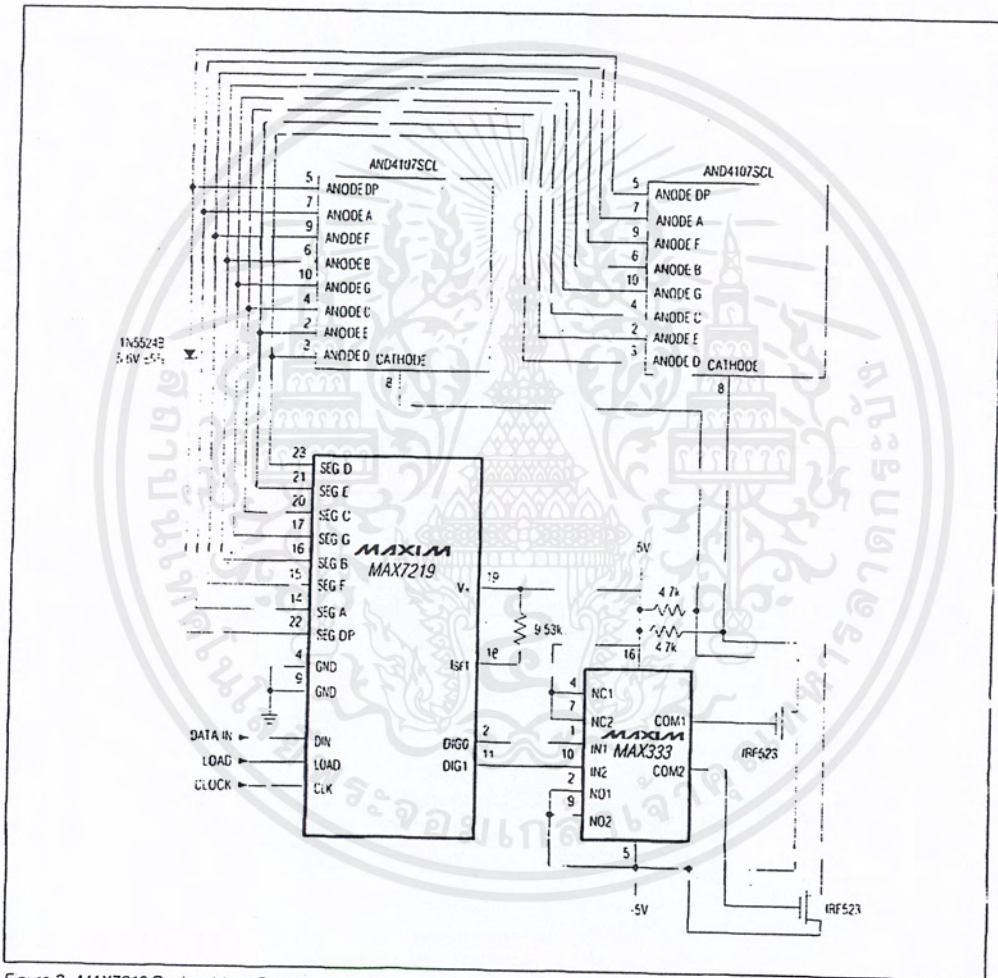


Figure 2. MAX7219 Driving 4 Inch Displays

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Driver

MAX7219

with both scan-limit registers set for 6 digits so that both displays have a 1/6 duty cycle per digit. If 11 digits are needed, set both scan-limit registers for 6 digits and leave one digit driver unconnected. If one display is set

for 6 digits and the other for 5 digits, the second display will appear brighter because its duty cycle per digit will be 1/5 while the first display's will be 1/6. Refer to the "No Op Register" section for additional information

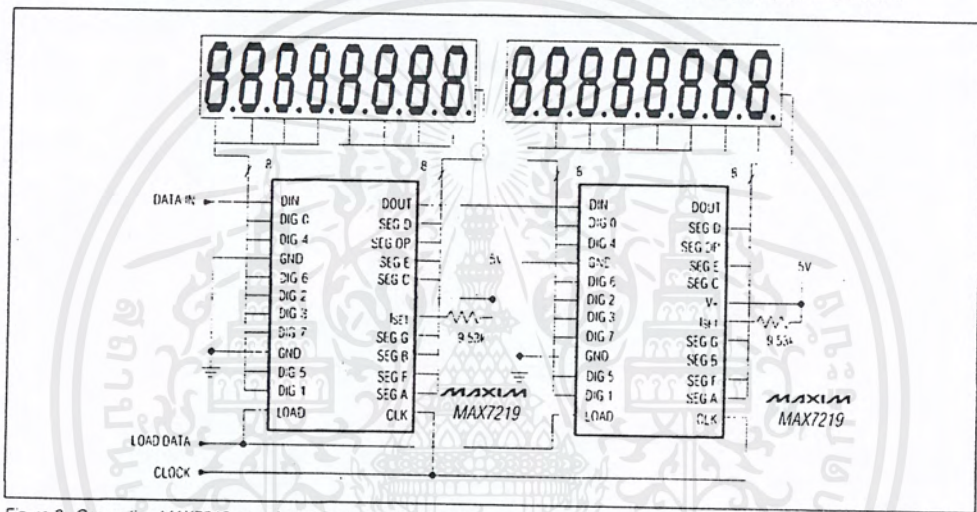
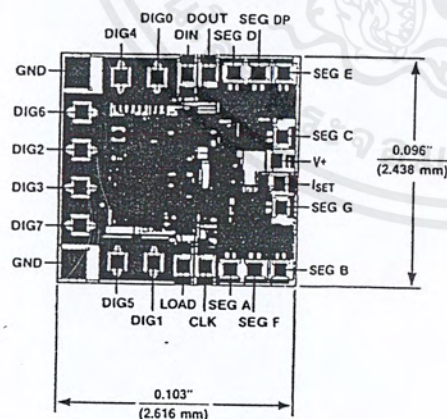


Figure 3 Cascading MAX7219s to drive 16 7-segment LED digits.

### Chip Topography



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# Ultralow Offset Voltage Operational Amplifier

## OP07

### FEATURES

- Low  $V_{OS}$  ..... 25 $\mu$ V Max
- Low  $V_{OS}$  Drift ..... 0.6 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C Max
- Ultra-Stable vs Time ..... 1.0 $\mu$ V/Month Max
- Low Noise ..... 0.6 $\mu$ V $_{p-p}$  Max
- Wide Input Voltage Range .....  $\pm$ 14V
- Wide Supply Voltage Range .....  $\pm$ 3V to  $\pm$ 18V
- Fits 725, 108A/308A, 741, AD510 Sockets
- 125 $^{\circ}$ C Temperature-Tested Dice

### ORDERING INFORMATION <sup>†</sup>

$T_A = +25^{\circ}$ C $V_{OS}$ MAX ( $\mu$ V)	PACKAGE				OPERATING TEMPERATURE RANGE
	TO-99	CERDIP 8-PIN	PLASTIC 8-PIN	LCC 20-CONTACT	
25	OP07AJ*	OP07AZ*	—	—	MIL
75	OP07EJ	OP07EZ	OP07EP	—	COM
75	OP07J*	OP07Z*	—	OP07RC/883	MIL
150	OP07CJ	OP07CZ	OP07CP	—	XIND
150	—	—	OP07CS <sup>††</sup>	—	XIND
150	OP07DJ	—	OP07DP	—	XIND

\* For devices processed in total compliance to MIL-STD-883, add /883 after part number. Consult factory for 883 data sheet.

<sup>†</sup> Burn-in is available on commercial and industrial temperature range parts in CerDIP, plastic DIP, and TO-can packages.

<sup>††</sup> For availability and burn-in information on SO and PLCC packages, contact your local sales office.

### GENERAL DESCRIPTION

The OP-07 has very low input offset voltage (25 $\mu$ V max for OP-07A) which is obtained by trimming at the wafer stage. These low offset voltages generally eliminate any need for external nulling. The OP-07 also features low input bias current ( $\pm$ 2nA for OP-07A) and high open-loop gain (300V/mV for OP-07A). The low offsets and high open-loop gain make the OP-07 particularly useful for high-gain instrumentation applications.

The wide input voltage range of  $\pm$ 13V minimum combined with high CMRR of 110dB (OP-07A) and high input impedance provides high accuracy in the noninverting circuit configuration. Excellent linearity and gain accuracy can be maintained

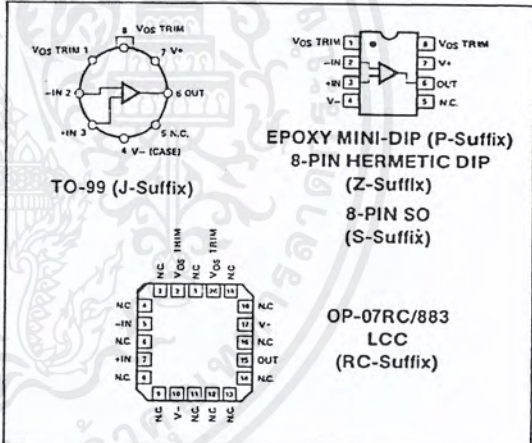
even at high closed-loop gains.

Stability of offsets and gain with time or variations in temperature is excellent. The accuracy and stability of the OP-07, even at high gain, combined with the freedom from external nulling have made the OP-07 a new Industry standard for instrumentation and military applications.

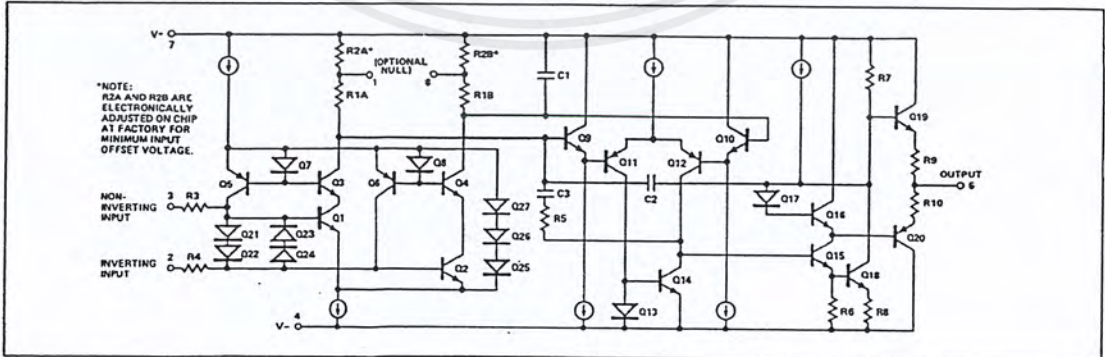
The OP-07 is available in five standard performance grades. The OP-07A and the OP-07 are specified for operation over the full military range of  $-55^{\circ}$ C to  $+125^{\circ}$ C; the OP-07E is specified for operation over the  $0^{\circ}$ C to  $+70^{\circ}$ C range, and OP-07C and D over the  $-40^{\circ}$ C to  $+85^{\circ}$ C temperature range.

The OP-07 is available in hermetically-sealed TO-99 metal can or ceramic 8-pin Mini-DIP, and in epoxy 8-pin Mini-DIP. It is a direct replacement for 725, 108A, and OP-05 amplifiers; 741-types may be directly replaced by removing the 741's nulling potentiometer. The OP-207, a dual OP-07, is available for applications requiring close matching of two OP-07 amplifiers. For improved specifications, see the OP-77/OP-177.

### PIN CONNECTIONS



### SIMPLIFIED SCHEMATIC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# OP07

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Note 1)

Supply Voltage .....	±22V
Differential Input Voltage .....	±30V
Input Voltage (Note 2) .....	±22V
Output Short-Circuit Duration .....	Indefinite
Storage Temperature Range	
J, RC and Z Packages .....	-65°C to +150°C
P Package .....	-65°C to +125°C
Operating Temperature Range	
OP-07A, OP-07, OP-07RC .....	-55°C to +125°C
OP-07E .....	0°C to +70°C
OP-07C, OP-07D .....	-40°C to +85°C
Lead Temperature (Soldering, 60 sec) .....	+300°C
Junction Temperature (T <sub>J</sub> ) .....	+150°C

PACKAGE TYPE	θ <sub>JA</sub> (Note 3)	θ <sub>JC</sub>	UNITS
TO-99 (J)	150	18	°C/W
8-Pin Hermetic DIP (Z)	148	16	°C/W
8-Pin Plastic DIP (P)	103	43	°C/W
20-Contact LCC	98	38	°C/W
8-Pin SO (S)	158	43	°C/W

**NOTES:**

1. Absolute maximum ratings apply to both DICE and packaged parts, unless otherwise noted.
2. For supply voltages less than ±22V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
3. θ<sub>JA</sub> is specified for worst case mounting conditions, i.e., θ<sub>JA</sub> is specified for device in socket for TO, CerDIP, P-DIP, and LCC packages; θ<sub>JA</sub> is specified for device soldered to printed circuit board for SO package.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS at V<sub>S</sub> = ±15V, T<sub>A</sub> = 25°C, unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-07A			OP-07			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	V <sub>OS</sub>	(Note 1)	—	10	25	—	30	75	μV
Long-Term Input Offset Voltage Stability	ΔV <sub>OS</sub> /Time	(Note 2)	—	0.2	1.0	—	0.2	1.0	μV/Mo
Input Offset Current	I <sub>OS</sub>		—	0.3	2.0	—	0.4	2.8	nA
Input Bias Current	I <sub>B</sub>		—	±0.7	±2.0	—	±1.0	±3.0	nA
Input Noise Voltage	e <sub>np-p</sub>	0.1Hz to 10Hz (Note 3)	—	0.35	0.6	—	0.35	0.6	μV <sub>p-p</sub>
Input Noise Voltage Density	e <sub>n</sub>	f <sub>O</sub> = 10Hz (Note 3)	—	10.3	18.0	—	10.3	18.0	nV/√Hz
		f <sub>O</sub> = 100Hz (Note 3)	—	10.0	13.0	—	10.0	13.0	
		f <sub>O</sub> = 1000Hz (Note 3)	—	9.6	11.0	—	9.6	11.0	
Input Noise Current	i <sub>np-p</sub>	0.1Hz to 10Hz (Note 3)	—	14	30	—	14	30	pA <sub>p-p</sub>
Input Noise Current Density	i <sub>n</sub>	f <sub>O</sub> = 10Hz (Note 3)	—	0.32	0.80	—	0.32	0.80	pA/√Hz
		f <sub>O</sub> = 100Hz (Note 3)	—	0.14	0.23	—	0.14	0.23	
		f <sub>O</sub> = 1000Hz (Note 3)	—	0.12	0.17	—	0.12	0.17	
Input Resistance — Differential-Mode	R <sub>IN</sub>	(Note 4)	30	80	—	20	60	—	MΩ
Input Resistance — Common-Mode	R <sub>INCM</sub>		—	200	—	—	200	—	GΩ
Input Voltage Range	I <sub>VR</sub>		±13	±14	—	±13	±14	—	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	V <sub>CM</sub> = ±13V	110	126	—	110	126	—	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	V <sub>S</sub> = ±3V to ±18V	—	4	10	—	4	10	μV/V
Large-Signal Voltage Gain	A <sub>VO</sub>	R <sub>L</sub> ≥ 2kΩ, V <sub>O</sub> = ±10V	300	500	—	200	500	—	V/mV
		R <sub>L</sub> ≥ 500Ω, V <sub>O</sub> = ±0.5V, V <sub>S</sub> = ±3V (Note 4)	150	400	—	150	400	—	
Output Voltage Swing	V <sub>O</sub>	R <sub>L</sub> ≥ 10kΩ	±12.5	±13.0	—	±12.5	±13.0	—	V
		R <sub>L</sub> ≥ 2kΩ	±12.0	±12.8	—	±12.0	±12.8	—	
		R <sub>L</sub> ≥ 1kΩ	±10.5	±12.0	—	±10.5	±12.0	—	
Slew Rate	SR	R <sub>L</sub> ≥ 2kΩ (Note 3)	0.1	0.3	—	0.1	0.3	—	V/μs
Closed-Loop Bandwidth	BW	A <sub>VCL</sub> = +1 (Note 3)	0.4	0.6	—	0.4	0.6	—	MHz
Open-Loop Output Resistance	R <sub>O</sub>	V <sub>O</sub> = 0, I <sub>O</sub> = 0	—	60	—	—	60	—	Ω
Power Consumption	P <sub>d</sub>	V <sub>S</sub> = ±15V, No Load	—	75	120	—	75	120	mW
		V <sub>S</sub> = ±3V, No Load	—	4	6	—	4	6	
Offset Adjustment Range		R <sub>P</sub> = 20kΩ	—	±4	—	—	±4	—	mV

**NOTES:**

1. OP-07A grade V<sub>OS</sub> is measured approximately one minute after application of power. For all other grades V<sub>OS</sub> is measured approximately 0.5 seconds after application of power.
2. Long-Term Input Offset Voltage Stability refers to the averaged trend line of V<sub>OS</sub> vs. Time over extended periods after the first 30 days of operation.
3. Sample tested.
4. Guaranteed by design.

Excluding the initial hour of operation, changes in V<sub>OS</sub> during the first 30 operating days are typically 2.5μV — refer to typical performance curves. Parameter is sample tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP07

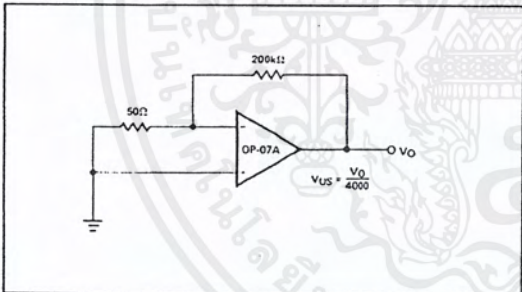
**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** at  $V_S = \pm 15V$ ,  $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ , unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-07A			OP-07			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	$V_{OS}$	(Note 1)	—	25	60	—	60	200	$\mu V$
Average Input Offset Voltage Drift Without External Trim	$TCV_{OS}$	(Note 2)	—	0.2	0.6	—	0.3	1.3	$\mu V/^\circ C$
With External Trim	$TCV_{OSn}$	$R_p = 20k\Omega$ (Note 3)	—	0.2	0.6	—	0.3	1.3	$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	$I_{OS}$		—	0.8	4	—	1.2	5.6	nA
Average Input Offset Current Drift	$TCI_{OS}$	(Note 2)	—	5	25	—	8	50	$pA/^\circ C$
Input Bias Current	$I_B$		—	$\pm 1$	$\pm 4$	—	$\pm 2$	$\pm 6$	nA
Average Input Bias Current Drift	$TCI_B$	(Note 2)	—	8	25	—	13	50	$pA/^\circ C$
Input Voltage Range	IVR		$\pm 13$	$\pm 13.5$	—	$\pm 13$	$\pm 13.5$	—	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 13V$	106	123	—	106	123	—	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$	—	5	20	—	5	20	$\mu V/V$
Large-Signal Voltage Gain	$A_{VO}$	$R_L \geq 2k\Omega$ , $V_O = \pm 10V$	200	400	—	150	400	—	V/mV
Output Voltage Swing	$V_O$	$R_L \geq 2k\Omega$	$\pm 12$	$\pm 12.6$	—	$\pm 12$	$\pm 12.6$	—	V

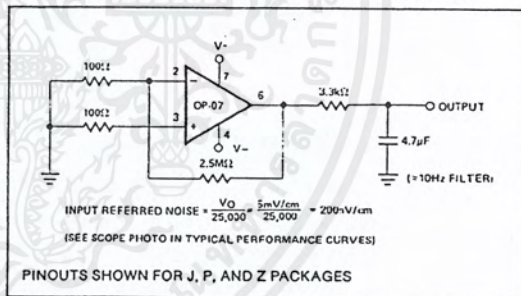
NOTES:

- OP-07A grade  $V_{OS}$  is measured approximately one minute after application of power. For all other grades  $V_{OS}$  is measured approximately 0.5 seconds after application of power.
- Sample tested.
- Guaranteed by design.

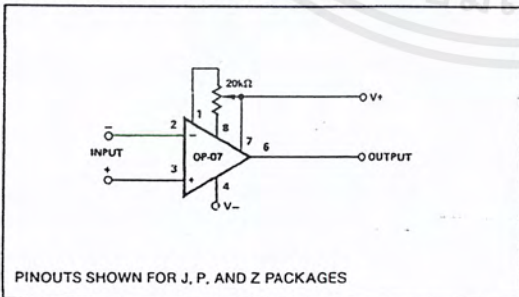
TYPICAL OFFSET VOLTAGE TEST CIRCUIT



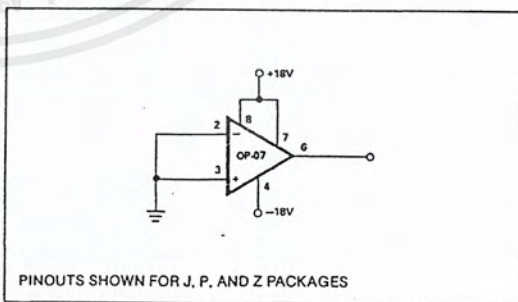
TYPICAL LOW-FREQUENCY NOISE TEST CIRCUIT



OPTIONAL OFFSET NULLING CIRCUIT



BURN-IN CIRCUIT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## OP07

ELECTRICAL CHARACTERISTICS at  $V_S = \pm 15V$ ,  $T_A = 25^\circ C$ , unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-07E			OP-07C			OP-07D			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	$V_{OS}$	(Note 1)	—	30	75	—	60	150	—	60	150	$\mu V$
Long-Term $V_{OS}$ Stability	$V_{OS}/\text{Time}$	(Note 2)	—	0.3	1.5	—	0.4	2.0	—	0.5	3.0	$\mu V/\text{Mo}$
Input Offset Current	$I_{OS}$		—	0.5	3.8	—	0.8	6.0	—	0.8	6.0	nA
Input Bias Current	$I_B$		—	$\pm 1.2$	$\pm 4.0$	—	$\pm 1.8$	$\pm 7.0$	—	$\pm 2.0$	$\pm 12$	nA
Input Noise Voltage	$e_{np-p}$	0.1Hz to 10Hz (Note 3)	—	0.35	0.6	—	0.38	0.65	—	0.38	0.65	$\mu V_{p-p}$
Input Noise Voltage Density	$e_n$	$f_O = 10\text{Hz}$	—	10.3	18.0	—	10.5	20.0	—	10.5	20.0	$nV/\sqrt{\text{Hz}}$
		$f_O = 100\text{Hz}$ (Note 3)	—	10.0	13.0	—	10.2	13.5	—	10.3	13.5	
		$f_O = 1000\text{Hz}$	—	9.6	11.0	—	9.8	11.5	—	9.8	11.5	
Input Noise Current	$i_{np-p}$	0.1Hz to 10Hz (Note 3)	—	14	30	—	15	35	—	15	35	$pA_{p-p}$
Input Noise Current Density	$i_n$	$f_O = 10\text{Hz}$	—	0.32	0.80	—	0.35	0.90	—	0.35	0.90	$pA/\sqrt{\text{Hz}}$
		$f_O = 100\text{Hz}$ (Note 3)	—	0.14	0.23	—	0.15	0.27	—	0.15	0.27	
		$f_O = 1000\text{Hz}$	—	0.12	0.17	—	0.13	0.18	—	0.13	0.18	
Input Resistance — Differential-Mode	$R_{IN}$	(Note 4)	15	50	—	8	33	—	7	31	—	M $\Omega$
Input Resistance — Common-Mode	$R_{INCM}$		—	160	—	—	120	—	—	120	—	G $\Omega$
Input Voltage Range	IVR		$\pm 13$	$\pm 14$	—	$\pm 13$	$\pm 14$	—	$\pm 13$	$\pm 14$	—	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 13V$	106	123	—	100	120	—	94	110	—	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 16V$	—	5	20	—	7	32	—	7	32	$\mu V/V$
Large-Signal Voltage Gain	$A_{VO}$	$R_L \geq 2k\Omega$ , $V_O = \pm 10V$	200	500	—	120	400	—	120	400	—	V/mV
		$R_L \geq 500\Omega$ , $V_O = \pm 0.5V$	150	400	—	100	400	—	—	400	—	
		$V_S = \pm 3V$ (Note 4)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Output Voltage Swing	$V_O$	$R_L \geq 10k\Omega$	$\pm 12.5$	$\pm 13.0$	—	$\pm 12.0$	$\pm 13.0$	—	$\pm 12.0$	$\pm 13.0$	—	V
		$R_L \geq 2k\Omega$	$\pm 12.0$	$\pm 12.8$	—	$\pm 11.5$	$\pm 12.8$	—	$\pm 11.5$	$\pm 12.8$	—	
		$R_L \geq 1k\Omega$	$\pm 10.5$	$\pm 12.0$	—	—	$\pm 12.0$	—	—	$\pm 12.0$	—	
Slew Rate	SR	$R_L \geq 2k\Omega$ (Note 3)	0.1	0.3	—	0.1	0.3	—	0.1	0.3	—	V/ $\mu s$
Closed-Loop Bandwidth	BW	$A_{VC} = +1$ (Note 5)	0.4	0.6	—	0.4	0.6	—	0.4	0.6	—	MHz
Open-Loop Output Resistance	$R_O$	$V_O = 0$ , $I_O = 0$	—	60	—	—	60	—	—	60	—	$\Omega$
Power Consumption	$P_d$	$V_S = \pm 15V$ , No Load	—	75	120	—	80	150	—	80	150	mW
		$V_S = \pm 3V$ , No Load	—	4	6	—	4	8	—	4	8	
Offset Adjustment Range		$R_P = 20k\Omega$	—	$\pm 4$	—	—	$\pm 4$	—	—	$\pm 4$	—	mV

## NOTES:

- Input Offset Voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.
- Long-Term Input Offset Voltage Stability refers to the averaged trend line of  $V_{OS}$  vs. Time over extended periods after the first 30 days of operation. Excluding the initial hour of operation, changes in  $V_{OS}$  during the first 30 operating days are typically  $2.5\mu V$  — refer to typical performance curves. Parameter is sample tested.
- Sample tested.
- Guaranteed by design.
- Guaranteed but not tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP07

ELECTRICAL CHARACTERISTICS at  $V_S = \pm 15V$ ,  $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$  for OP-07E, and  $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$  for OP-07C/D, unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-07E			OP-07C			OP-07D			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	$V_{OS}$	(Note 1)	—	45	130	—	85	250	—	85	250	$\mu V$
Average Input Offset Voltage Drift Without External Trim	$TCV_{OS}$	(Note 3)	—	0.3	1.3	—	0.5	1.8	—	0.7	2.5	$\mu V/^\circ C$
With External Trim	$TCV_{OSn}$	$R_P = 20k\Omega$ (Note 3)	—	0.3	1.3	—	0.4	1.6	—	0.7	2.5	$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	$I_{OS}$		—	0.9	5.3	—	1.6	8.0	—	1.6	8.0	nA
Average Input Offset Current Drift	$TCI_{OS}$	(Note 2)	—	8	35	—	12	50	—	12	50	$pA/^\circ C$
Input Bias Current	$I_B$		—	$\pm 1.5$	$\pm 5.5$	—	$\pm 2.2$	$\pm 9.0$	—	$\pm 3.0$	$\pm 14$	nA
Average Input Bias Current Drift	$TCI_B$	(Note 2)	—	13	35	—	18	50	—	18	50	$pA/^\circ C$
Input Voltage Range	IVR		$\pm 13.0$	$\pm 13.5$	—	$\pm 13.0$	$\pm 13.5$	—	$\pm 13.0$	$\pm 13.5$	—	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 13V$	103	123	—	97	120	—	94	106	—	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$	—	7	32	—	10	51	—	10	51	$\mu V/V$
Large-Signal Voltage Gain	$A_{VO}$	$R_L \geq 2k\Omega$ $V_O = \pm 10V$	180	450	—	100	400	—	100	400	—	V/mV
Output Voltage Swing	$V_O$	$R_L \geq 2k\Omega$	$\pm 12$	$\pm 12.6$	—	$\pm 11$	$\pm 12.6$	—	$\pm 11$	$\pm 12.6$	—	V

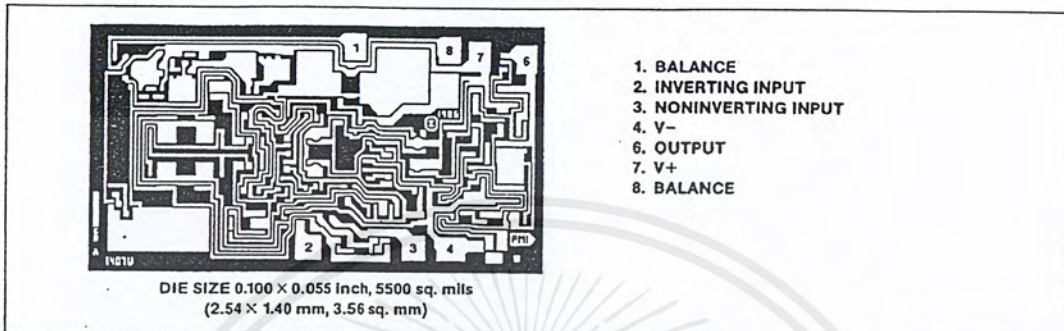
## NOTES:

1. Input offset voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.
2. Sample tested.
3. Guaranteed by design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## OP07

## DICE CHARACTERISTICS (125°C TESTED DICE AVAILABLE)



WAFER TEST LIMITS at  $V_S = \pm 15V$ ,  $T_A = 25^\circ C$  for OP-07N, OP-07G and OP-07GR devices;  $T_A = 125^\circ C$  for OP-07NT and OP-07GT devices, unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-07NT LIMIT	OP-07N LIMIT	OP-07GT LIMIT	OP-07G LIMIT	OP-07GR LIMIT	UNITS
Input Offset Voltage	$V_{OS}$		140	40	210	80	150	$\mu V$ MAX
Input Offset Current	$I_{OS}$		4.0	2.0	5.6	2.8	6.0	nA MAX
Input Bias Current	$I_B$		$\pm 4$	$\pm 2$	$\pm 6$	$\pm 3$	$\pm 7$	nA MAX
Input Resistance Differential-Mode	$R_{IN}$	(Note 2)	—	20	—	20	8	M $\Omega$ MIN
Input Voltage Range	IVR		$\pm 13$	$\pm 13$	$\pm 13$	$\pm 13$	$\pm 13$	V MIN
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 13V$	100	110	100	110	100	dB MIN
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$	20	10	20	10	30	$\mu V/V$ MAX
Output Voltage Swing	$V_O$	$R_L = 10k\Omega$	—	$\pm 12.5$	—	$\pm 12.0$	$\pm 12.0$	V MIN
		$R_L = 2k\Omega$	$\pm 12.0$	$\pm 12.0$	$\pm 12.0$	$\pm 11.5$	$\pm 11.5$	
		$R_L = 1k\Omega$	—	$\pm 10.5$	—	$\pm 10.5$	—	
Large-Signal Voltage Gain	$A_{VO}$	$R_L = 2k\Omega$ $V_O = \pm 10V$	200	200	150	120	120	V/mV MIN
Differential Input Voltage			$\pm 30$	$\pm 30$	$\pm 30$	$\pm 30$	$\pm 30$	V MAX
Power Consumption	$P_d$	$V_{OUT} = 0V$	—	120	—	120	150	mW MAX

## NOTES:

1. For  $25^\circ C$  characteristics of OP-07NT and OP-07GT, see OP-07N and OP-07G characteristics, respectively. 2. Guaranteed by design.

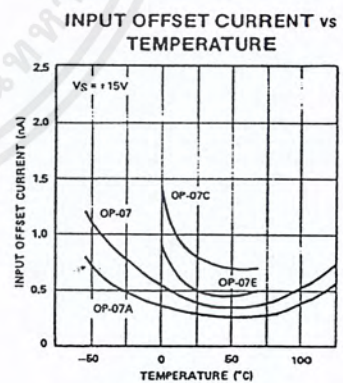
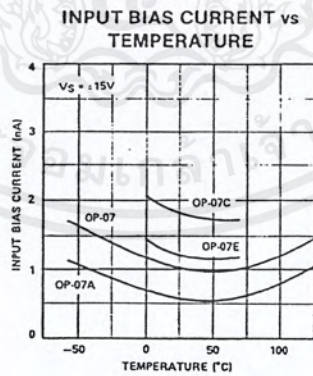
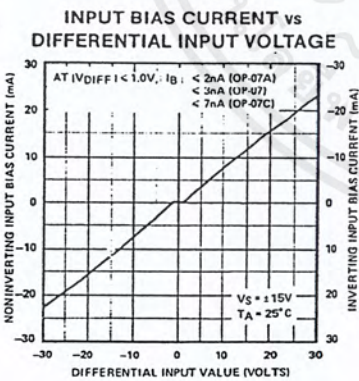
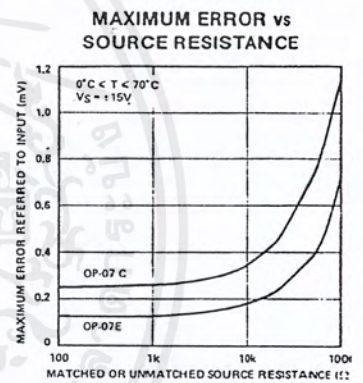
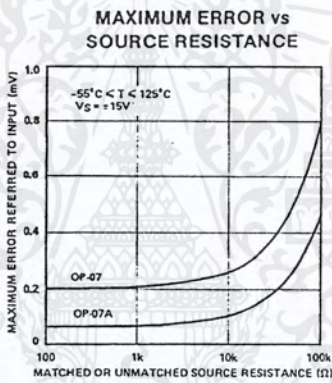
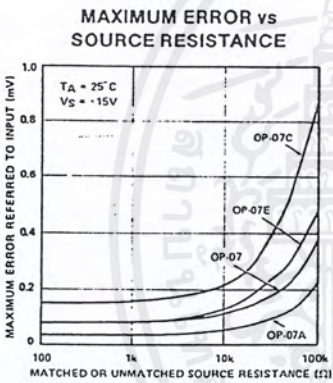
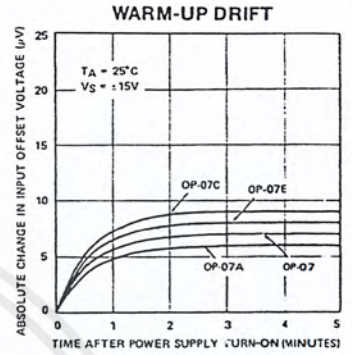
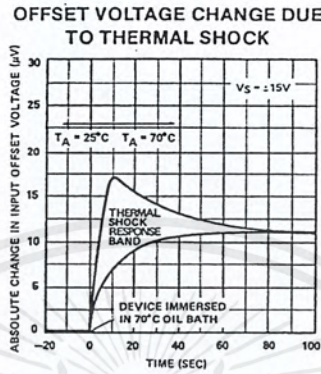
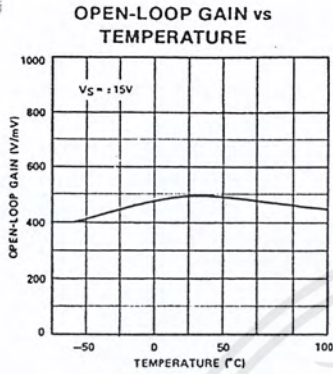
Electrical tests are performed at wafer probe to the limits shown. Due to variations in assembly methods and normal yield loss, yield after packaging is not guaranteed for standard product dice. Consult factory to negotiate specifications based on dice lot qualification through sample lot assembly and testing.

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS at  $V_S = \pm 15V$ ,  $T_A = +25^\circ C$ , unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-07NT TYPICAL	OP-07N TYPICAL	OP-07GT TYPICAL	OP-07G TYPICAL	OP-07GR TYPICAL	UNITS
Average Input Offset Voltage Drift	$TCV_{OS}$	$R_S = 50\Omega$	0.2	0.2	0.3	0.3	0.7	$\mu V/^\circ C$
Nullified Input Offset Voltage Drift	$TCV_{OSn}$	$R_S = 50\Omega$ , $R_P = 20k\Omega$	0.2	0.2	0.3	0.3	0.7	$\mu V/^\circ C$
Average Input Offset Current Drift	$TCI_{OS}$		5	5	8	8	12	$pA/^\circ C$
Slew Rate	SR	$R_L \geq 2k\Omega$	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	V/ $\mu s$
Closed-Loop Bandwidth	BW	$A_{VCL} = +1$	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

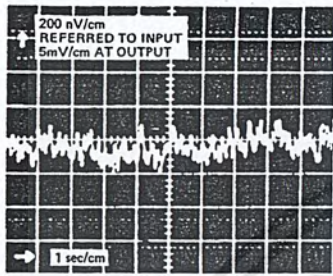


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

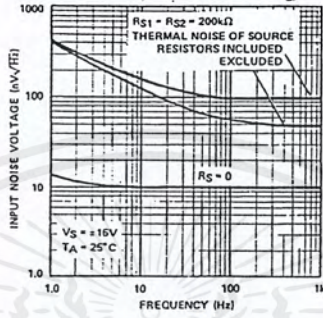
OP07

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

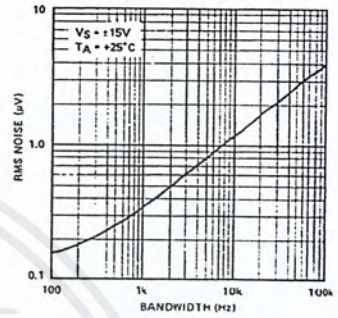
OP-07 LOW FREQUENCY NOISE



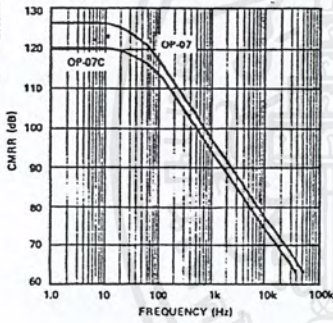
TOTAL INPUT NOISE VOLTAGE vs FREQUENCY



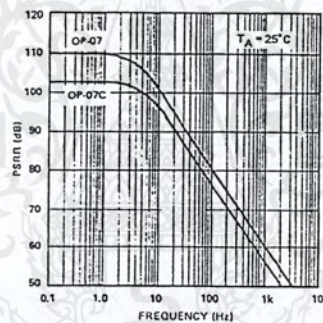
INPUT WIDEBAND NOISE vs BANDWIDTH (0.1Hz TO FREQUENCY INDICATED)



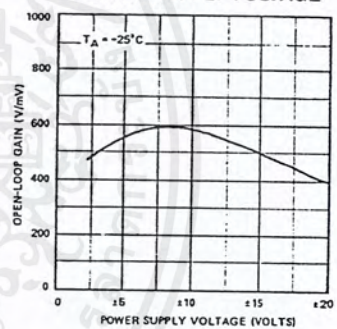
CMRR vs FREQUENCY



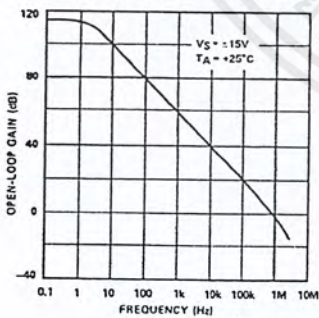
PSRR vs FREQUENCY



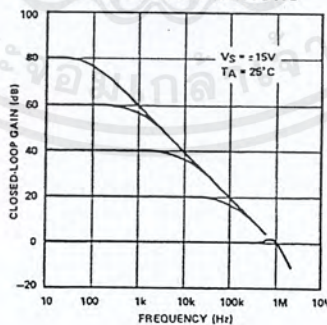
OPEN-LOOP GAIN vs POWER SUPPLY VOLTAGE



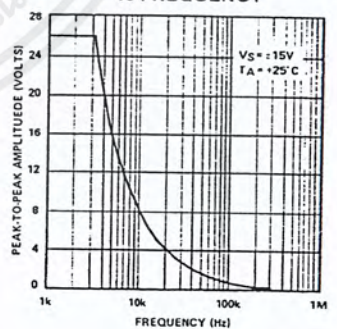
OPEN-LOOP FREQUENCY RESPONSE



CLOSED-LOOP RESPONSE FOR VARIOUS GAIN CONFIGURATIONS



MAXIMUM OUTPUT SWING vs FREQUENCY

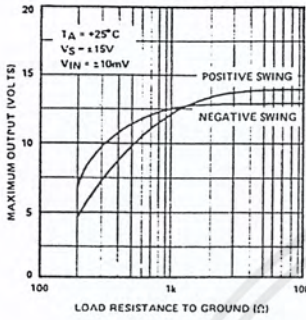


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

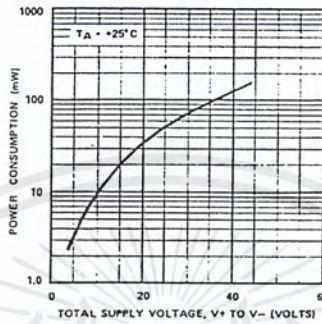
OP07

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

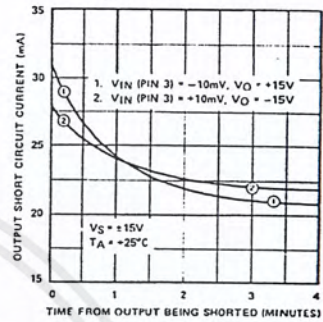
**MAXIMUM OUTPUT VOLTAGE vs LOAD RESISTANCE**



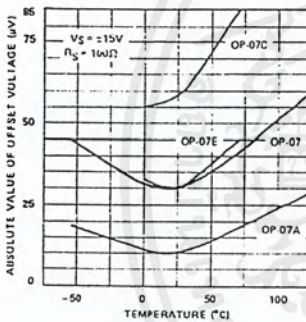
**POWER CONSUMPTION vs POWER SUPPLY**



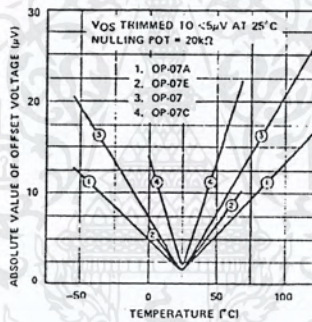
**OUTPUT SHORT-CIRCUIT CURRENT vs TIME**



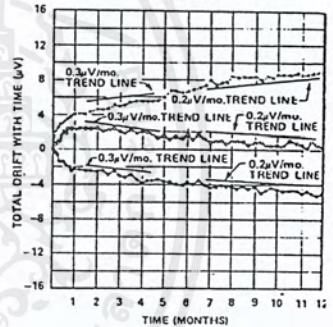
**UNTRIMMED OFFSET VOLTAGE vs TEMPERATURE**



**TRIMMED OFFSET VOLTAGE vs TEMPERATURE**

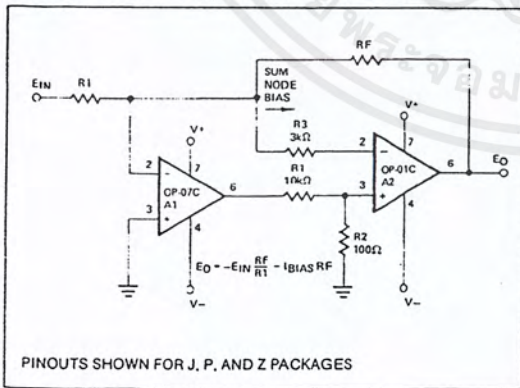


**OFFSET VOLTAGE STABILITY vs TIME**

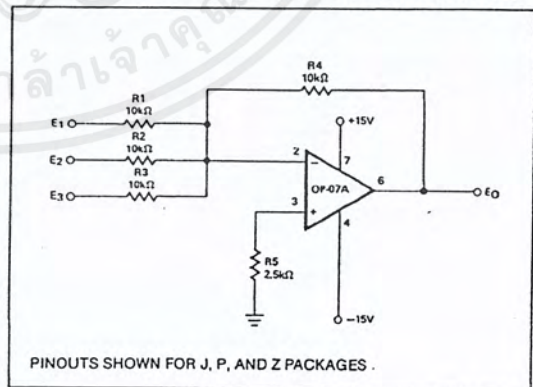


TYPICAL APPLICATIONS

**HIGH SPEED, LOW  $V_{OS}$ , COMPOSITE AMPLIFIER**



**ADJUSTMENT-FREE PRECISION SUMMING AMPLIFIER**

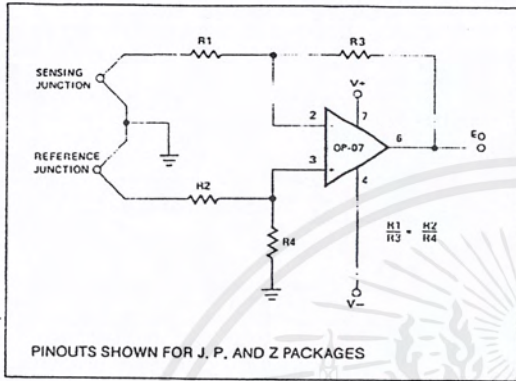


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

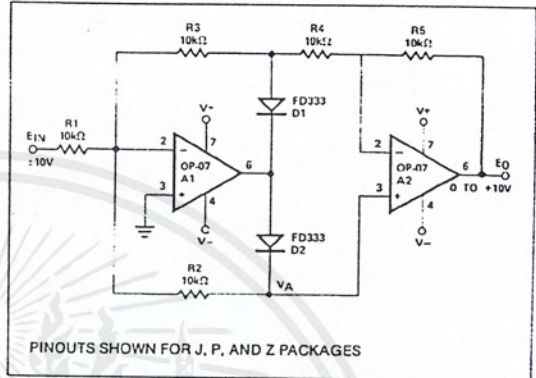
# OP07

## TYPICAL APPLICATIONS

### HIGH-STABILITY THERMOCOUPLE AMPLIFIER



### PRECISION ABSOLUTE-VALUE CIRCUIT



### APPLICATIONS INFORMATION

OP-07 series units may be substituted directly into 725, 108A/308A\* and OP-05 sockets with or without removal of external compensation or nulling components. Additionally, the OP-07 may be used in unnulling 741-type sockets. However, if conventional 741 nulling circuitry is in use, it should be modified or removed to enable proper OP-07 operation. OP-07 offset voltage may be nulled to zero through use of a potentiometer (see offset nulling circuit diagram).

The OP-07 provides stable operation with load capacitance of up to 500pF and  $\pm 10V$  swings; larger capacitances should be decoupled with a 50 $\Omega$  decoupling resistor.

Stray thermoelectric voltages generated by dissimilar metals at the contacts to the input terminals can degrade drift performance. Therefore, best operation will be obtained when both input contacts are maintained at the same temperature, preferably close to the package temperature.

\*TO-99 Package only

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DATA SHEET

For a complete data sheet, please also download:

- The IC06 74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Family Specifications
- The IC06 74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Package Information
- The IC06 74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Package Outlines

## 74HC/HCT595

8-bit serial-in/serial or parallel-out  
shift register with output latches;  
3-state

Product specification  
Supersedes data of September 1993  
File under Integrated Circuits, IC06

1998 Jun 04

Philips  
Semiconductors



**PHILIPS**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจาก Philips  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8-bit serial-in/serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

74HC/HCT595

### FEATURES

- 8-bit serial input
- 8-bit serial or parallel output
- Storage register with 3-state outputs
- Shift register with direct clear
- 100 MHz (typ) shift out frequency
- Output capability:
  - parallel outputs; bus driver
  - serial output; standard
- I<sub>CC</sub> category: MSI.

### APPLICATIONS

- Serial-to-parallel data conversion
- Remote control holding register.

### DESCRIPTION

The 74HC/HCT595 are high-speed Si-gate CMOS devices and are pin compatible with low power Schottky TTL (LSTTL). They are specified in compliance with JEDEC standard no. 7A.

The "595" is an 8-stage serial shift register with a storage register and 3-state outputs. The shift register and storage register have separate clocks.

Data is shifted on the positive-going transitions of the SH<sub>CP</sub> input. The data in each register is transferred to the storage register on a positive-going transition of the ST<sub>CP</sub> input. If both clocks are connected together, the shift register will always be one clock pulse ahead of the storage register.

The shift register has a serial input (D<sub>S</sub>) and a serial standard output (Q<sub>7</sub>') for cascading. It is also provided with asynchronous reset (active LOW) for all 8 shift register stages. The storage register has 8 parallel 3-state bus driver outputs. Data in the storage register appears at the output whenever the output enable input (OE) is LOW.

### QUICK REFERENCE DATA

GND = 0 V; T<sub>amb</sub> = 25 °C; t<sub>r</sub> = t<sub>f</sub> = 6 ns.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYP.		UNIT
			HC	HCT	
t <sub>PHL</sub> /t <sub>PLH</sub>	propagation delay	C <sub>L</sub> = 15 pF; V <sub>CC</sub> = 5 V			
	SH <sub>CP</sub> to Q <sub>7</sub> '		16	21	ns
	ST <sub>CP</sub> to Q <sub>n</sub>		17	20	ns
	MR to Q <sub>7</sub> '		14	19	ns
f <sub>max</sub>	maximum clock frequency SH <sub>CP</sub> , ST <sub>CP</sub>		100	57	MHz
C <sub>I</sub>	input capacitance		3.5	3.5	pF
C <sub>PD</sub>	power dissipation capacitance per package	notes 1 and 2	115	130	pF

### Notes

1. C<sub>PD</sub> is used to determine the dynamic power dissipation (P<sub>D</sub> in μW):

$$P_D = C_{PD} \times V_{CC}^2 \times f_i + \sum (C_L \times V_{CC}^2 \times f_o) \text{ where:}$$

f<sub>i</sub> = input frequency in MHz

f<sub>o</sub> = output frequency in MHz

∑(C<sub>L</sub> × V<sub>CC</sub><sup>2</sup> × f<sub>o</sub>) = sum of outputs

C<sub>L</sub> = output load capacitance in pF

V<sub>CC</sub> = supply voltage in V

2. For HC the condition is V<sub>I</sub> = GND to V<sub>CC</sub>; for HCT the condition is V<sub>I</sub> = GND to V<sub>CC</sub> - 1.5 V.

8-bit serial-in/serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

74HC/HCT595

ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
74HC595N	DIP16	plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil); long body	SOT38-1
74HC595D	SO16	plastic small outline package; 16 leads; body width 3.9 mm	SOT109-1
74HC595DB	SSOP16	plastic shrink small outline package; 16 leads; body width 5.3 mm	SOT338-1
74HC595PW	TSSOP16	plastic thin shrink small outline package; 16 leads; body width 4.4 mm	SOT403-1
74HCT595N	DIP16	plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil); long body	SOT38-1
74HCT595D	SO16	plastic small outline package; 16 leads; body width 3.9 mm	SOT109-1

PINNING

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
Q <sub>0</sub> to Q <sub>7</sub>	15, 1 to 7	parallel data output
GND	8	ground (0 V)
Q <sub>7</sub> '	9	serial data output
MR	10	master reset (active LOW)
SH <sub>CP</sub>	11	shift register clock input
ST <sub>CP</sub>	12	storage register clock input
OE	13	output enable (active LOW)
D <sub>S</sub>	14	serial data input
V <sub>CC</sub>	16	positive supply voltage

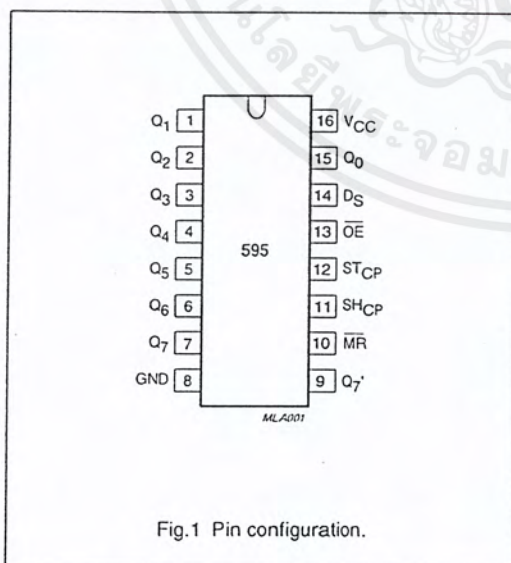


Fig.1 Pin configuration.

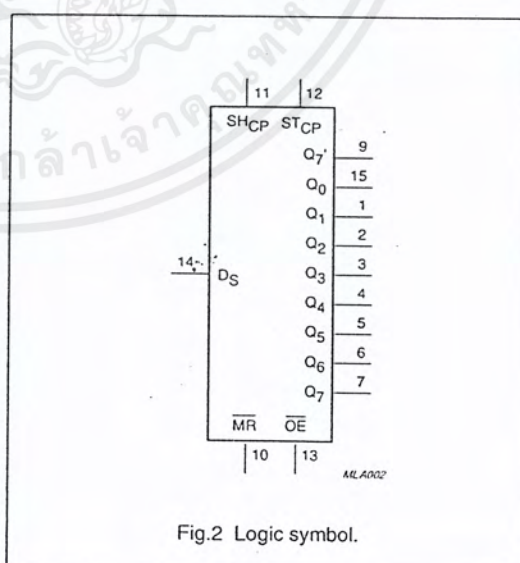


Fig.2 Logic symbol.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-bit serial-in/serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

74HC/HCT595

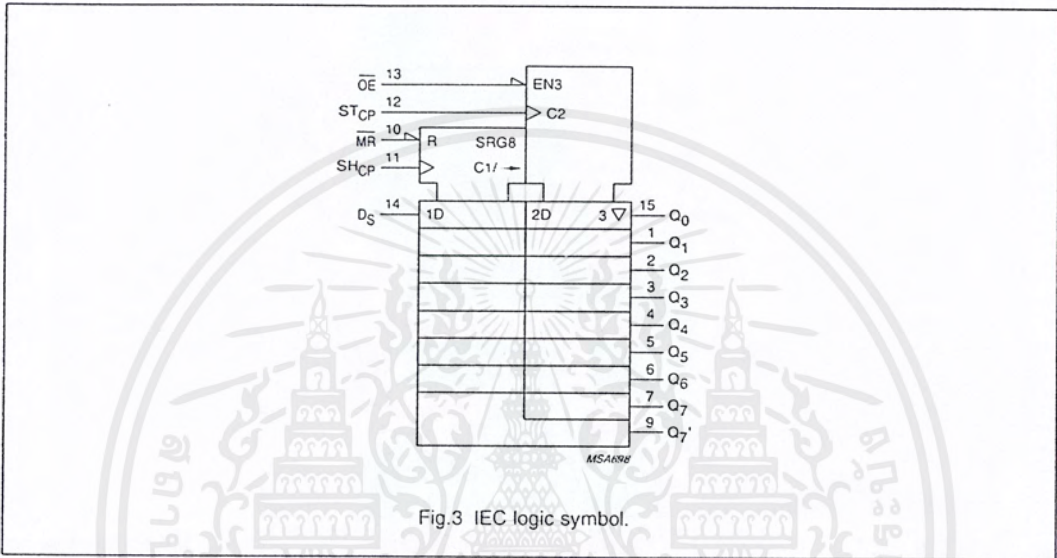


Fig.3 IEC logic symbol.

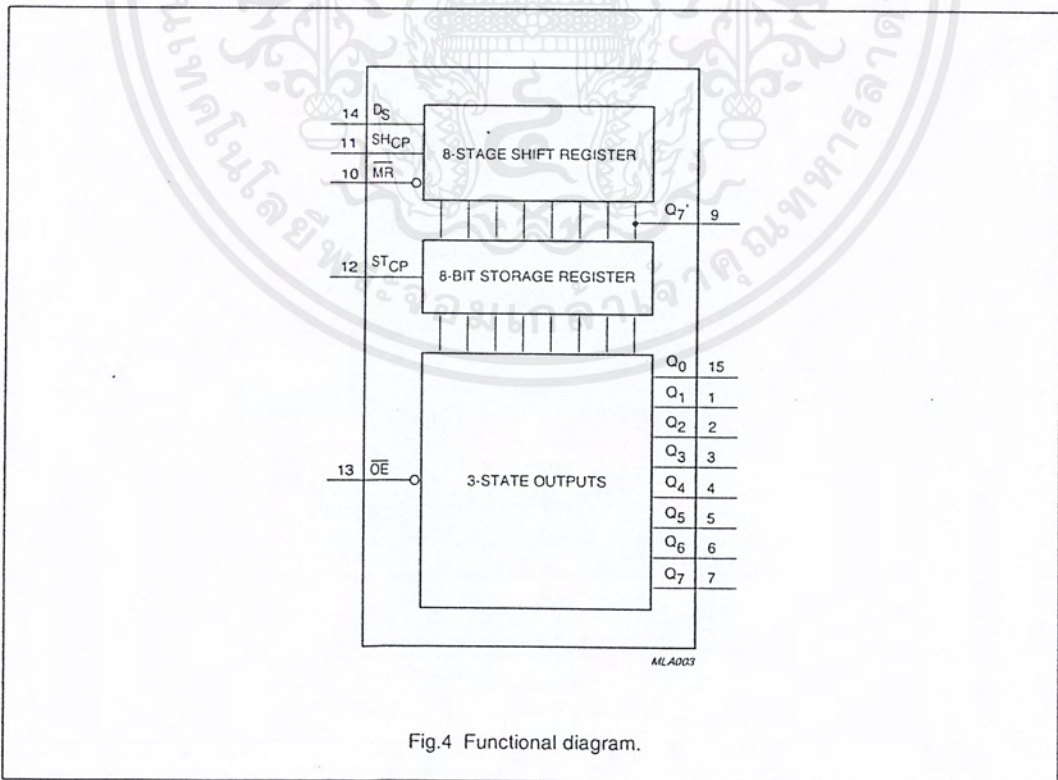
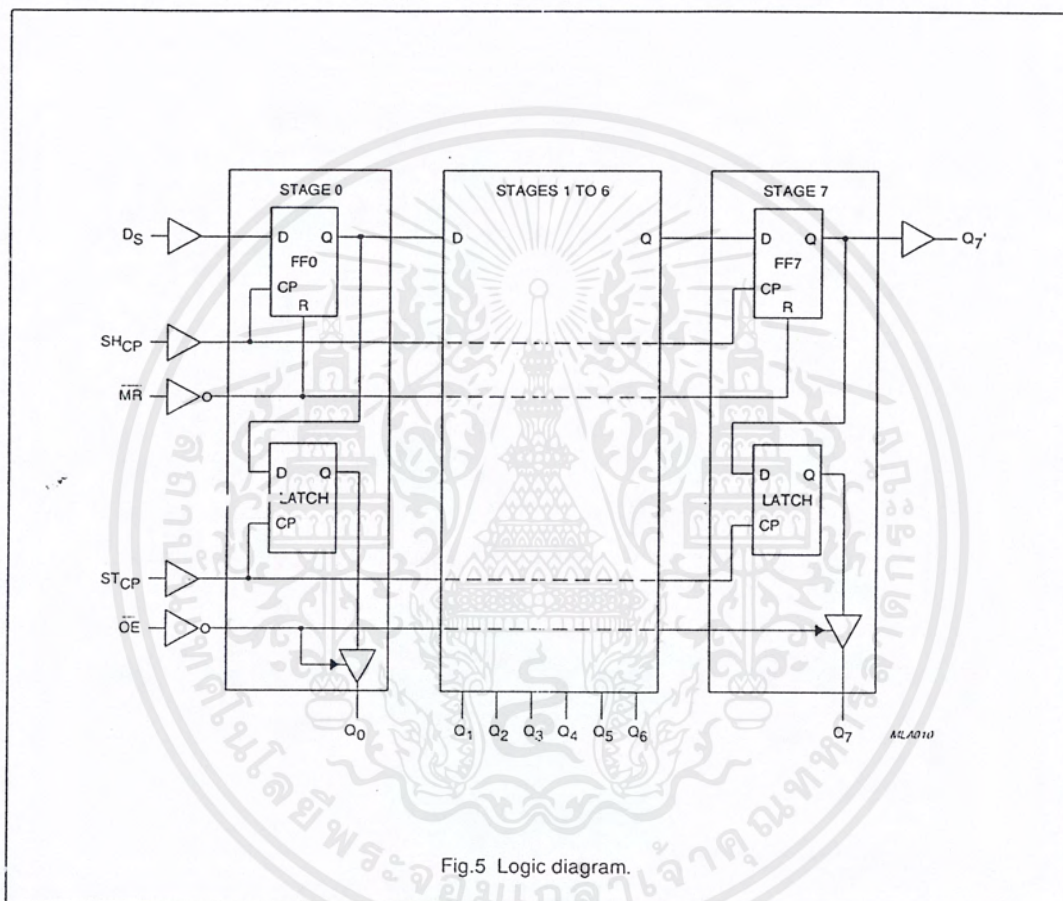


Fig.4 Functional diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-bit serial-in/serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

74HC/HCT595



8-bit serial-in/serial or parallel-out shift  
register with output latches; 3-state

74HC/HCT595

FUNCTION TABLE

INPUTS					OUTPUTS		FUNCTION
SH <sub>CP</sub>	ST <sub>CP</sub>	$\overline{OE}$	$\overline{MR}$	D <sub>S</sub>	Q <sub>7'</sub>	Q <sub>N</sub>	
X	X	L	L	X	L	NC	a LOW level on $\overline{MR}$ only affects the shift registers
X	↑	L	L	X	L	L	empty shift register loaded into storage register
X	X	H	L	X	L	Z	shift register clear. Parallel outputs in high-impedance OFF-state
↑	X	L	H	H	Q <sub>6'</sub>	NC	logic high level shifted into shift register stage 0. Contents of all shift register stages shifted through, e.g. previous state of stage 6 (internal Q <sub>6'</sub> ) appears on the serial output (Q <sub>7'</sub> )
X	↑	L	H	X	NC	Q <sub>n'</sub>	contents of shift register stages (internal Q <sub>n'</sub> ) are transferred to the storage register and parallel output stages
↑	↑	L	H	X	Q <sub>6'</sub>	Q <sub>n'</sub>	contents of shift register shifted through. Previous contents of the shift register is transferred to the storage register and the parallel output stages.

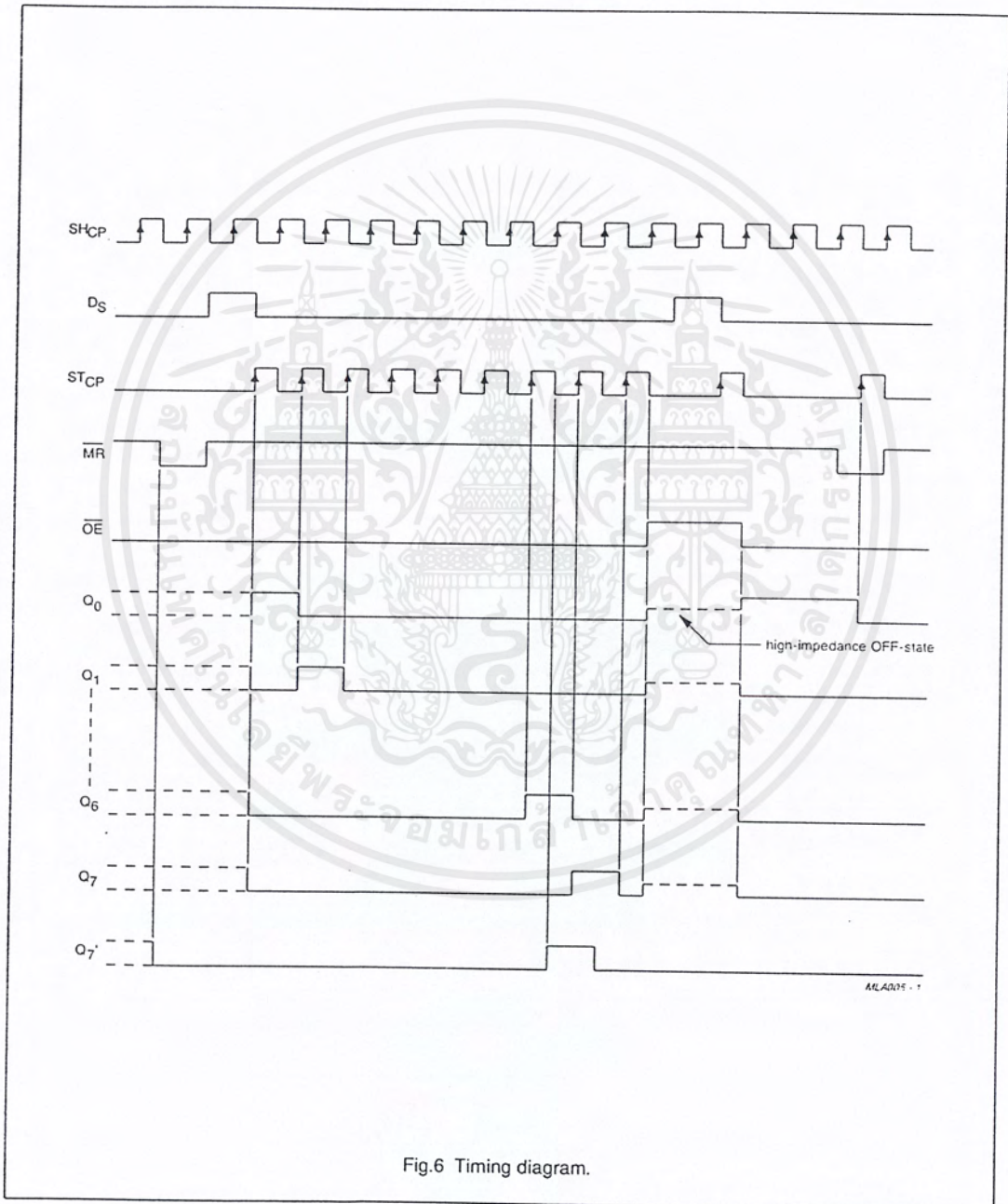
## Notes

- H = HIGH voltage level; L = LOW voltage level  
 ↑ = LOW-to-HIGH transition; ↓ = HIGH-to-LOW transition  
 Z = high-impedance OFF-state; NC = no change  
 X = don't care.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-bit serial-in/serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

74HC/HCT595



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-bit serial-in/serial or parallel-out shift  
register with output latches; 3-state

74HC/HCT595

## DC CHARACTERISTICS FOR 74HC

For the DC characteristics see chapter "74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Family Specifications".

Output capability: parallel outputs, bus driver, serial output, standard  $I_{CC}$  category: MSI.

## AC CHARACTERISTICS FOR 74HC

GND = 0 V;  $t_r = t_f = 6$  ns;  $C_L = 50$  pF.

SYMBOL	PARAMETER	$T_{amb}$ (°C)						UNIT	TEST CONDITION		
		+25			-40 to +85		-40 to +125		$V_{CC}$ (V)	WAVEFORMS	
		min	typ	max	min	max	min				max
$t_{PHL}/t_{PLH}$	propagation delay SH <sub>CP</sub> to Q <sub>7</sub> '	-	52	160	-	200	-	240	ns	2.0 4.5 6.0	Fig.7
		-	19	32	-	40	-	48			
		-	15	27	-	34	-	41			
$t_{PHL}/t_{PLH}$	propagation delay ST <sub>CP</sub> to Q <sub>n</sub>	-	55	175	-	220	-	265	ns	2.0 4.5 6.0	Fig.8
		-	20	35	-	44	-	53			
		-	16	30	-	37	-	45			
$t_{PHL}$	propagation delay MR to Q <sub>7</sub> '	-	47	175	-	220	-	265	ns	2.0 4.5 6.0	Fig.10
		-	17	35	-	44	-	53			
		-	14	30	-	37	-	45			
$t_{PZH}/t_{PZL}$	3-state output enable time OE to Q <sub>n</sub>	-	47	150	-	190	-	225	ns	2.0 4.5 6.0	Fig.11
		-	17	30	-	38	-	45			
		-	14	26	-	33	-	38			
$t_{PHZ}/t_{PLZ}$	3-state output disable time OE to Q <sub>n</sub>	-	41	150	-	190	-	225	ns	2.0 4.5 6.0	Fig.11
		-	15	30	-	38	-	45			
		-	12	26	-	33	-	38			
$t_w$	shift clock pulse width HIGH or LOW	75	17	-	95	-	110	-	ns	2.0 4.5 6.0	Fig.7
		15	6	-	19	-	22	-			
		13	5	-	16	-	19	-			
$t_w$	storage clock pulse width HIGH or LOW	75	11	-	95	-	110	-	ns	2.0 4.5 6.0	Fig.8
		15	4	-	19	-	22	-			
		13	3	-	16	-	19	-			
$t_w$	master reset pulse width LOW	75	17	-	95	-	110	-	ns	2.0 4.5 6.0	Fig.10
		15	6.0	-	19	-	22	-			
		13	5.0	-	16	-	19	-			
$t_{su}$	set-up time D <sub>S</sub> to SH <sub>CP</sub>	50	11	-	65	-	75	-	ns	2.0 4.5 6.0	Fig.9
		10	4.0	-	13	-	15	-			
		9.0	3.0	-	11	-	13	-			
$t_{su}$	set-up time SH <sub>CP</sub> to ST <sub>CP</sub>	75	22	-	95	-	110	-	ns	2.0 4.5 6.0	Fig.8
		15	8	-	19	-	22	-			
		13	7	-	16	-	19	-			

8-bit serial-in/serial or parallel-out shift  
register with output latches; 3-state

74HC/HCT595

SYMBOL	PARAMETER	T <sub>amb</sub> (°C)								UNIT	TEST CONDITION	
		+25			-40 to +85		-40 to +125		V <sub>CC</sub> (V)		WAVEFORMS	
		min	typ	max	min	max	min	max				
t <sub>h</sub>	hold time D <sub>S</sub> to SH <sub>CP</sub>	3	-6	-	3	-	3	-	ns	2.0	Fig.9	
		3	-2	-	3	-	3	-				
		3	-2	-	3	-	3	-				
t <sub>rem</sub>	removal time MR to SH <sub>CP</sub>	50	-19	-	65	-	75	-	ns	2.0	Fig.10	
		10	-7	-	13	-	15	-				
		9	-6	-	11	-	13	-				
f <sub>max</sub>	maximum clock pulse frequency SH <sub>CP</sub> or ST <sub>CP</sub>	9	30	-	4.8	-	4	-	MHz	2.0	Figs 7 and 8	
		30	91	-	24	-	20	-				
		35	108	-	28	-	24	-				

---

**8-bit serial-in/serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state**


---

**74HC/HCT595****DC CHARACTERISTICS FOR 74HCT**

For the DC characteristics see chapter "74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Family Specifications".

Output capability: parallel outputs, bus driver; serial output, standard  $I_{CC}$  category: MSI.

**Note to HCT types**

The value of additional quiescent supply current ( $\Delta I_{CC}$ ) for a unit load of 1 is given in the family specifications. To determine  $\Delta I_{CC}$  per input, multiply this value by the unit load coefficient shown in the table below.

GND = 0 V;  $t_r = t_f = 6$  ns;  $C_L = 50$  pF.

INPUT	UNIT LOAD COEFFICIENT
$D_S$	0.25
$\overline{MR}$	1.50
$SH_{CP}$	1.50
$ST_{CP}$	1.50
OE	1.50

8-bit serial-in/serial or parallel-out shift  
register with output latches; 3-state

74HC/HCT595

## AC CHARACTERISTICS FOR 74HCT

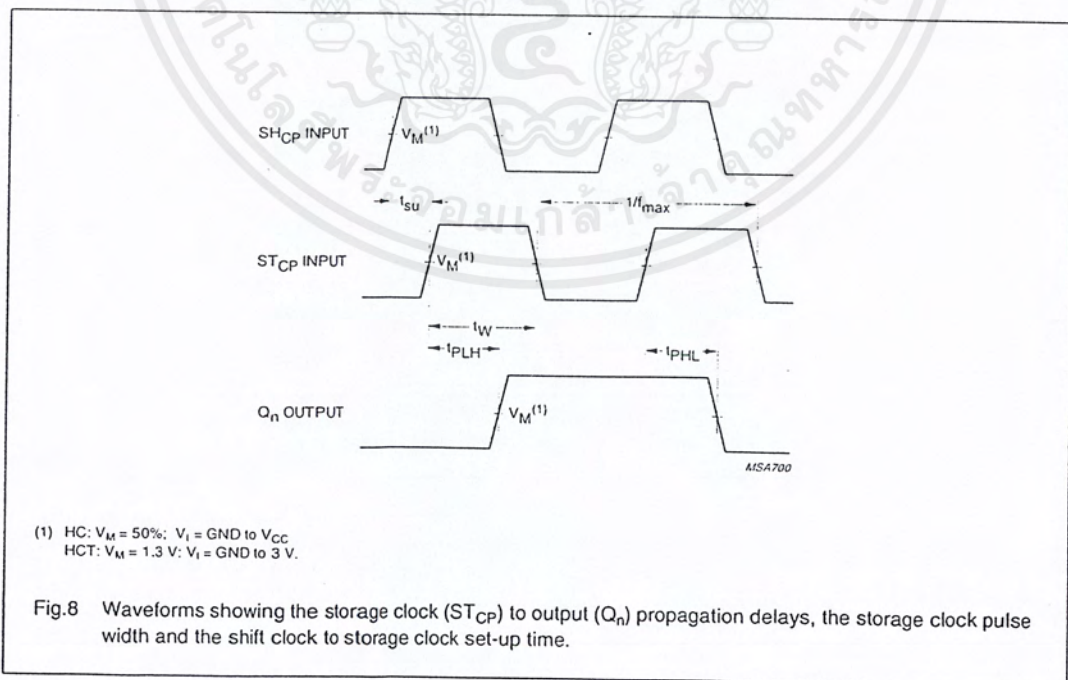
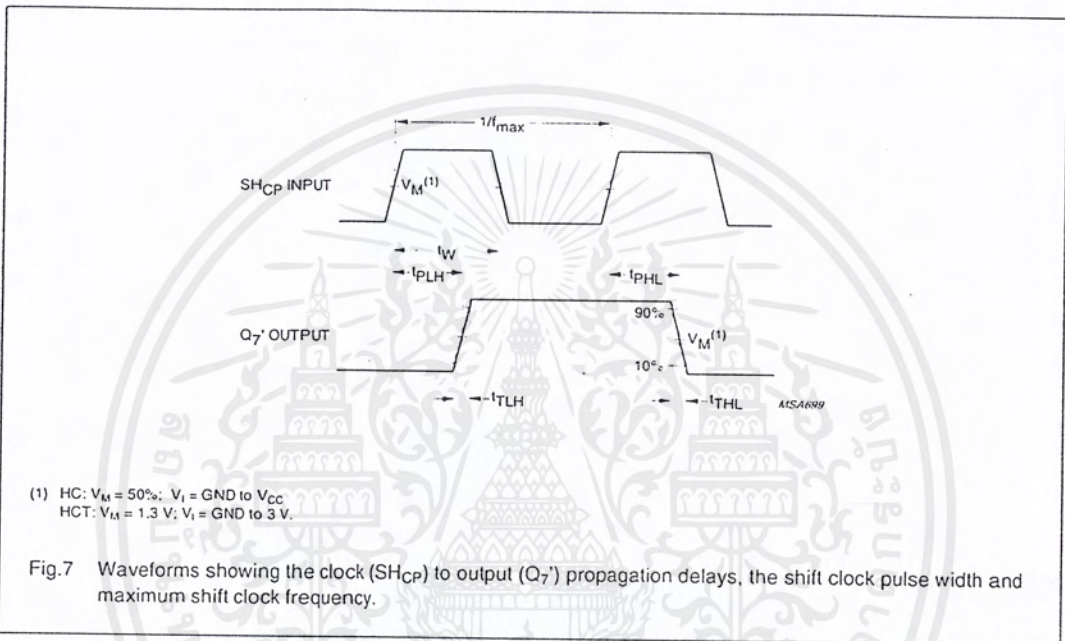
GND = 0 V;  $t_r = t_f = 6$  ns;  $C_L = 50$  pF.

SYMBOL	PARAMETER	T <sub>amb</sub> (°C)							UNIT	TEST CONDITION	
		+25			-40 to +85		-40 to +125			V <sub>CC</sub> (V)	WAVEFORMS
		min	typ	max	min	max	min	max			
t <sub>PHL</sub> / t <sub>PLH</sub>	propagation delay SH <sub>CP</sub> to Q <sub>7</sub> '	-	25	42	-	53	-	63	ns	4.5	Fig.7
t <sub>PHL</sub> / t <sub>PLH</sub>	propagation delay ST <sub>CP</sub> to Q <sub>n</sub>	-	24	40	-	50	-	60	ns	4.5	Fig.8
t <sub>PHL</sub>	propagation delay MR to Q <sub>7</sub> '	-	23	40	-	50	-	60	ns	4.5	Fig.10
t <sub>PZH</sub> / t <sub>PZL</sub>	3-state output enable time $\overline{OE}$ to Q <sub>n</sub>	-	21	35	-	44	-	53	ns	4.5	Fig.11
t <sub>PHZ</sub> / t <sub>PLZ</sub>	3-state output disable time $\overline{OE}$ to Q <sub>n</sub>	-	18	30	-	38	-	45	ns	4.5	Fig.11
t <sub>w</sub>	shift clock pulse width HIGH or LOW	16	6	-	20	-	24	-	ns	4.5	Fig.7
t <sub>w</sub>	storage clock pulse width HIGH or LOW	16	5	-	20	-	24	-	ns	4.5	Fig.8
t <sub>w</sub>	master reset pulse width LOW	20	8	-	25	-	30	-	ns	4.5	Fig.10
t <sub>su</sub>	set-up time D <sub>S</sub> to SH <sub>SP</sub>	16	5	-	20	-	24	-	ns	4.5	Fig.9
t <sub>su</sub>	set-up time SH <sub>CP</sub> to ST <sub>CP</sub>	16	8	-	20	-	24	-	ns	4.5	Fig.8
t <sub>h</sub>	hold time D <sub>S</sub> to SH <sub>CP</sub>	3	-2	-	3	-	3	-	ns	4.5	Fig.9
t <sub>rem</sub>	removal time MR to SH <sub>CP</sub>	10	-7	-	13	-	15	-	ns	4.5	Fig.10
f <sub>max</sub>	maximum clock pulse frequency SH <sub>CP</sub> or ST <sub>CP</sub>	30	52	-	24	-	20	-	MHz	4.5	Figs 7 and 8

8-bit serial-in/serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

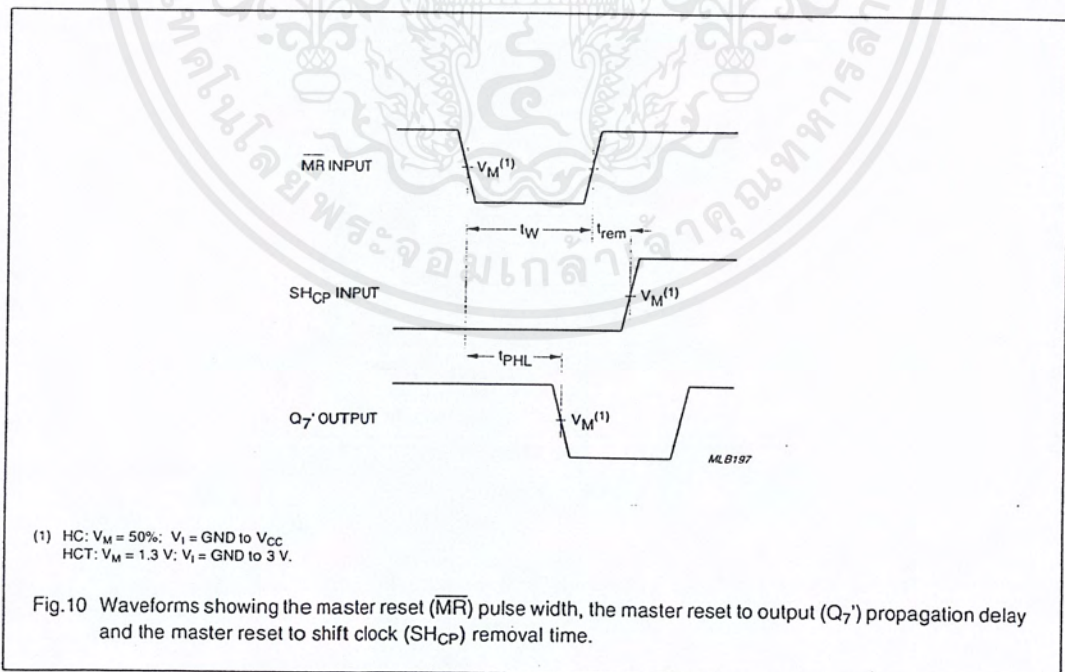
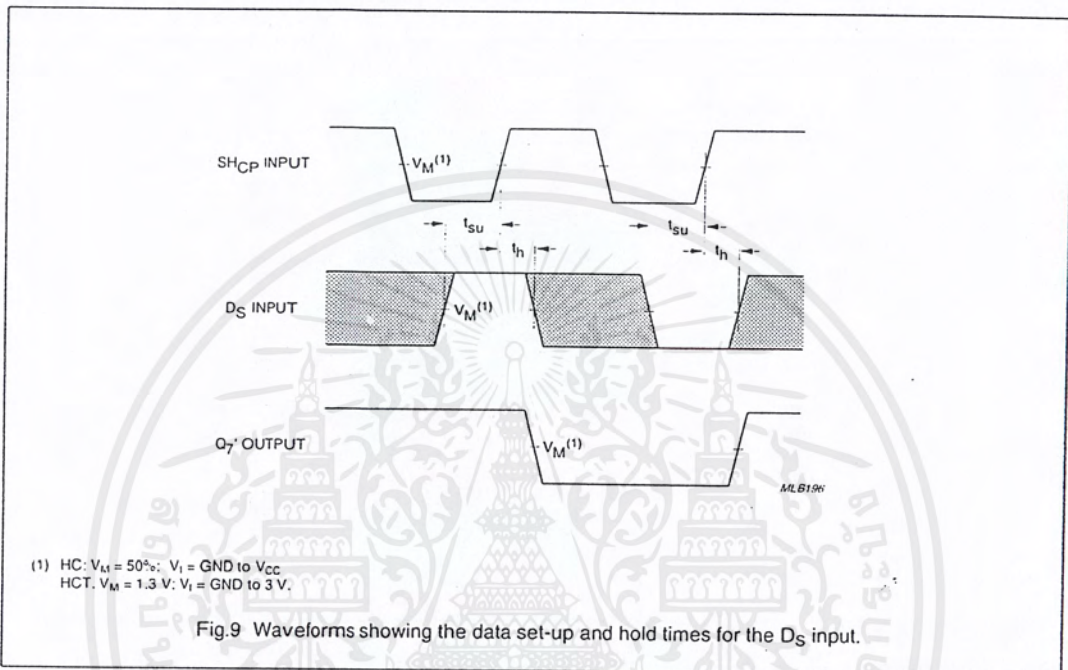
74HC/HCT595

AC WAVEFORMS



8-bit serial-in/serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

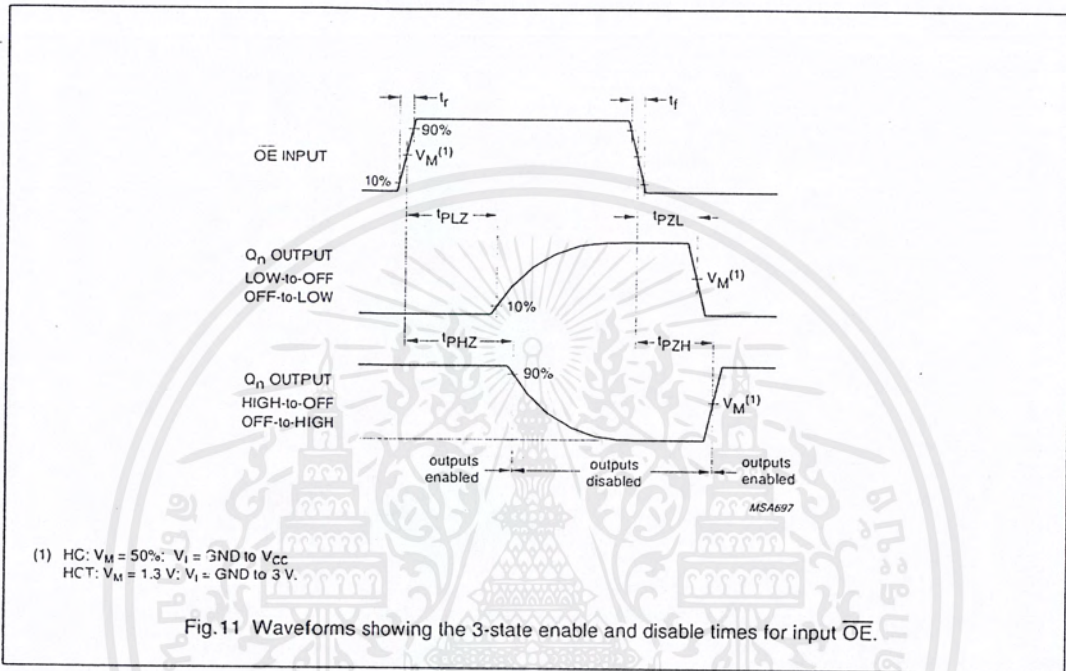
74HC/HCT595



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-bit serial-in/serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

74HC/HCT595



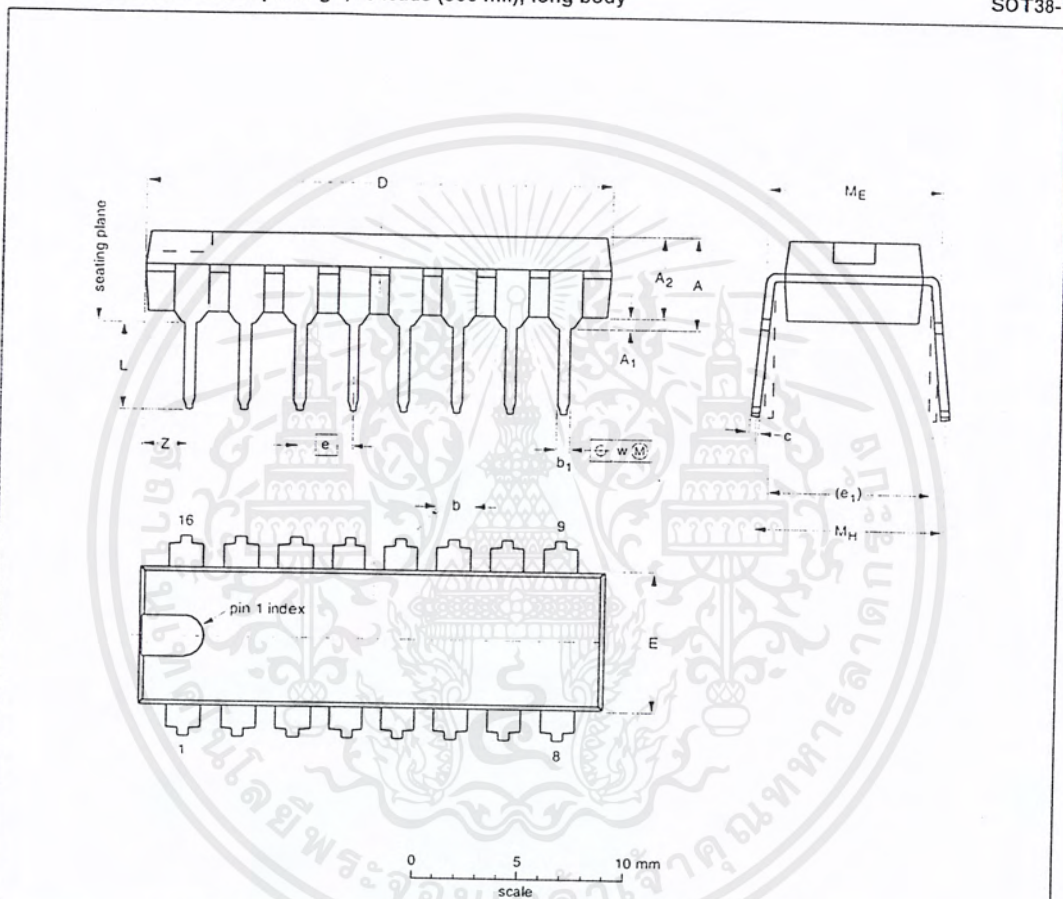
8-bit serial-in/serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

74HC/HCT595

PACKAGE OUTLINES

DIP16: plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil); long body

SOT38-1



DIMENSIONS (inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A1 min.	A2 max.	b	b1	c	D (1)	E (1)	e	e1	L	ME	MH	w	Z (1) max.
mm	4.7	0.51	3.7	1.40 1.14	0.53 0.38	0.32 0.23	21.8 21.4	6.48 6.20	2.54	7.62	3.9 3.4	8.25 7.80	9.5 8.3	0.254	2.2
inches	0.19	0.020	0.15	0.055 0.045	0.021 0.015	0.013 0.009	0.86 0.84	0.26 0.24	0.10	0.30	0.15 0.13	0.32 0.31	0.37 0.33	0.01	0.087

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.25 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ		
SOT38-1	050G09	MO-001AE			92-10-02 95-01-19

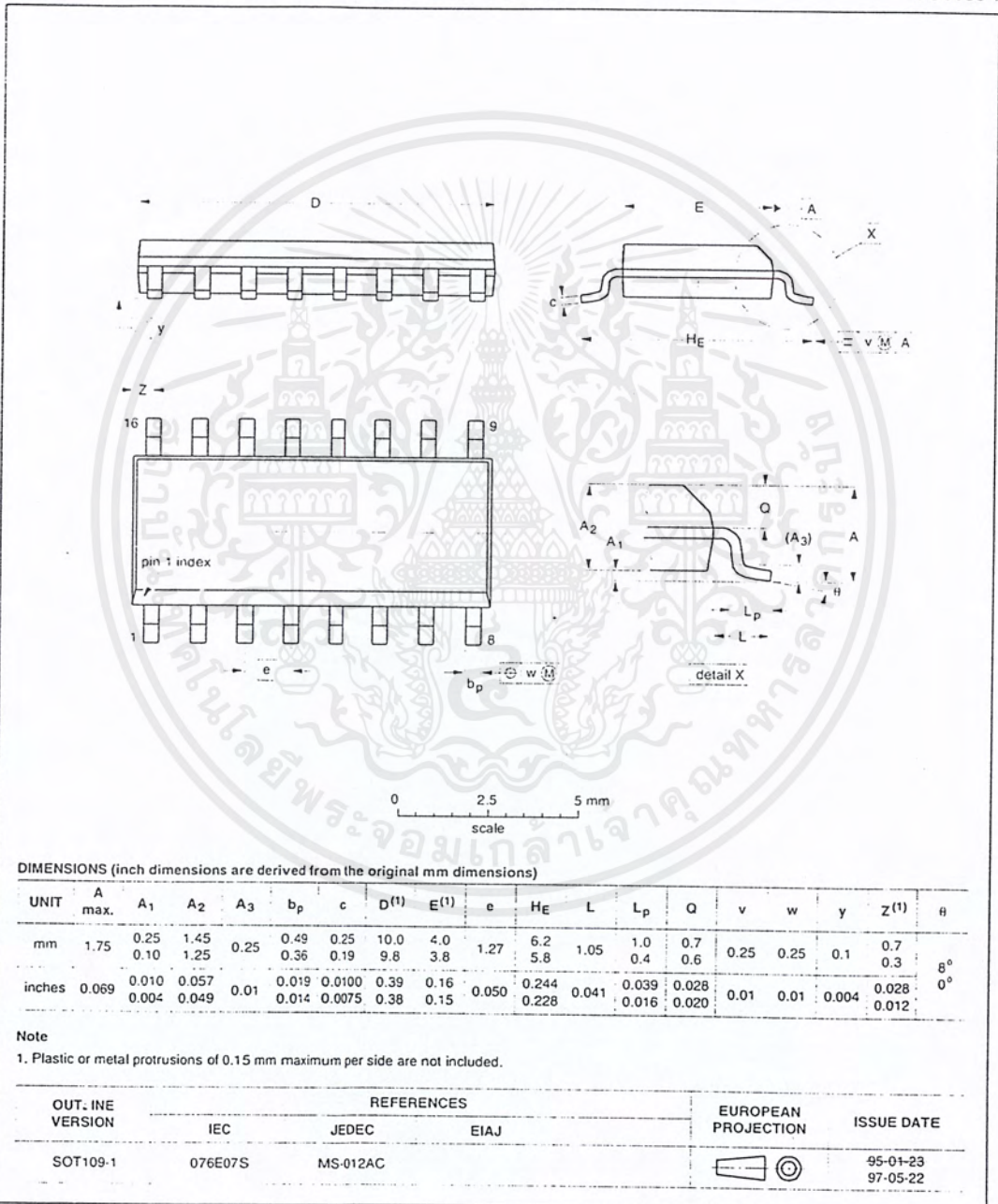
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-bit serial-in/serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

74HC/HCT595

SO16: plastic small outline package; 16 leads; body width 3.9 mm

SOT109-1



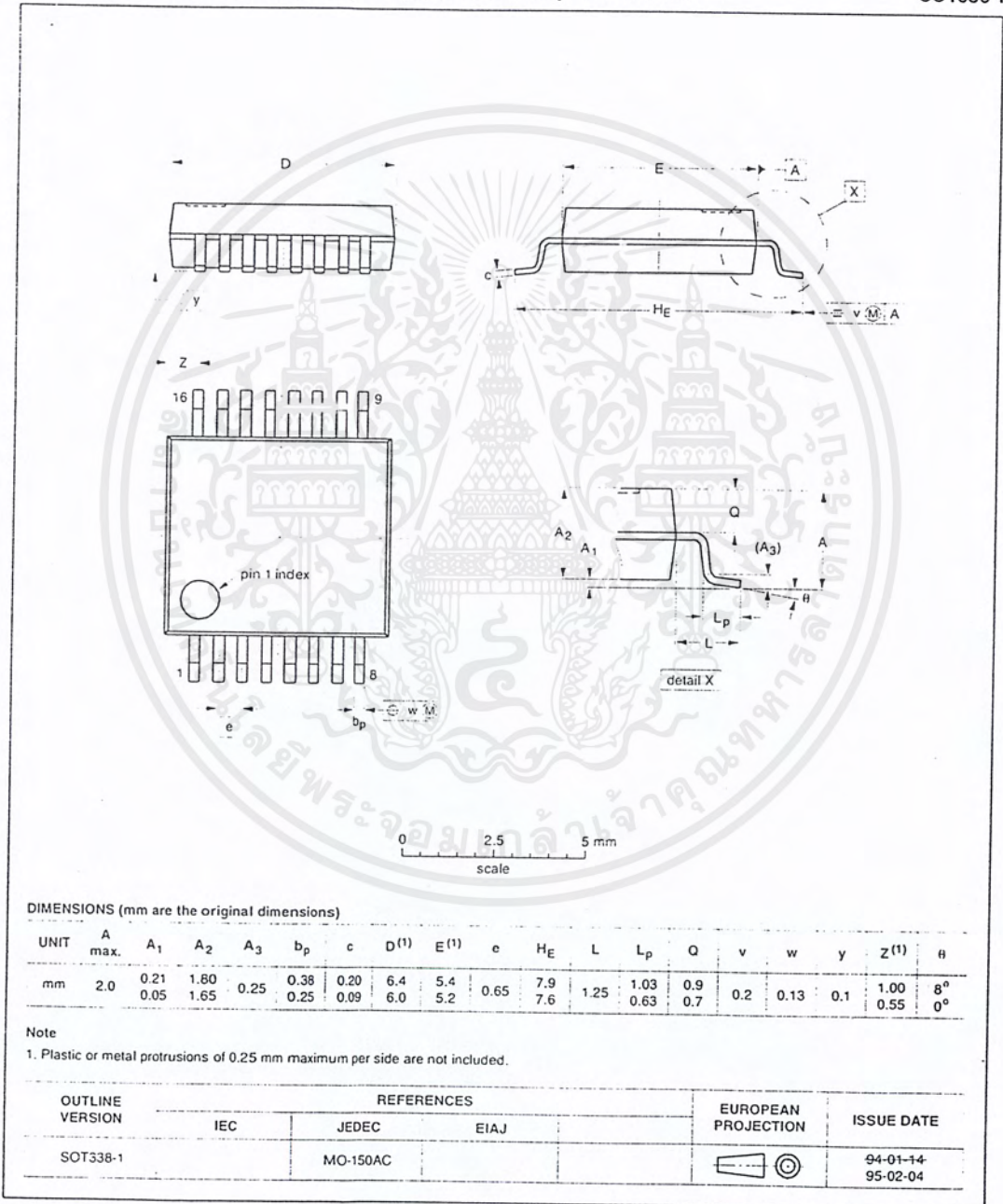
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-bit serial-in/serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

74HC/HCT595

SSOP16: plastic shrink small outline package; 16 leads; body width 5.3 mm

SOT338-1



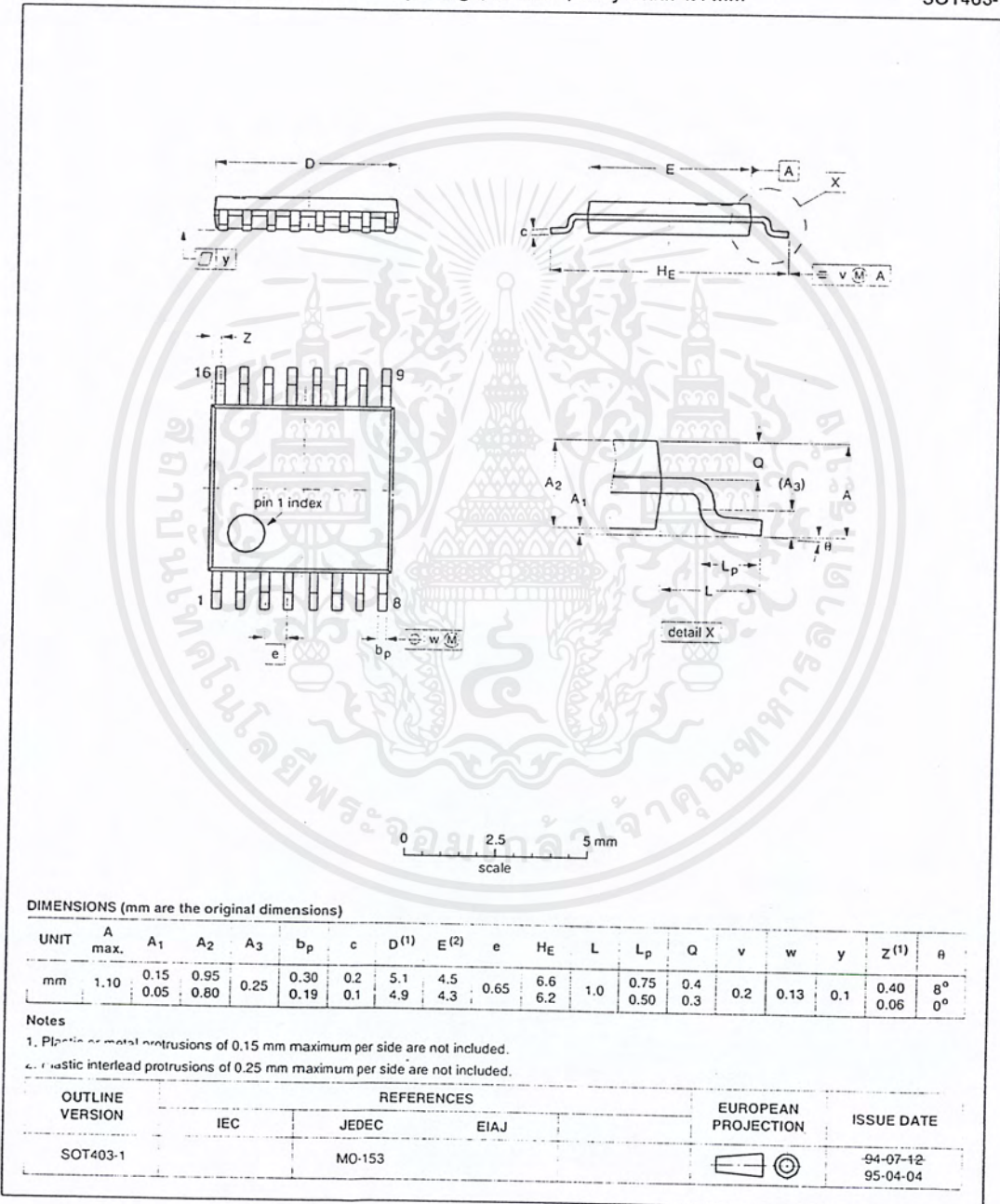
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-bit serial-in/serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

74HC/HCT595

TSSOP16: plastic thin shrink small outline package; 16 leads; body width 4.4 mm

SOT403-1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8-bit serial-in/serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

74HC/HCT595

### SOLDERING

#### Introduction

There is no soldering method that is ideal for all IC packages. Wave soldering is often preferred when through-hole and surface mounted components are mixed on one printed-circuit board. However, wave soldering is not always suitable for surface mounted ICs, or for printed-circuits with high population densities. In these situations reflow soldering is often used.

This text gives a very brief insight to a complex technology. A more in-depth account of soldering ICs can be found in our "Data Handbook IC26; Integrated Circuit Packages" (order code 9398 652 90011).

#### DIP

##### SOLDERING BY DIPPING OR BY WAVE

The maximum permissible temperature of the solder is 260 °C; solder at this temperature must not be in contact with the joint for more than 5 seconds. The total contact time of successive solder waves must not exceed 5 seconds.

The device may be mounted up to the seating plane, but the temperature of the plastic body must not exceed the specified maximum storage temperature ( $T_{stg\ max}$ ). If the printed-circuit board has been pre-heated, forced cooling may be necessary immediately after soldering to keep the temperature within the permissible limit.

##### REPAIRING SOLDERED JOINTS

Apply a low voltage soldering iron (less than 24 V) to the lead(s) of the package, below the seating plane or not more than 2 mm above it. If the temperature of the soldering iron bit is less than 300 °C it may remain in contact for up to 10 seconds. If the bit temperature is between 300 and 400 °C, contact may be up to 5 seconds.

### SO, SSOP and TSSOP

#### REFLOW SOLDERING

Reflow soldering techniques are suitable for all SO, SSOP and TSSOP packages.

Reflow soldering requires solder paste (a suspension of fine solder particles, flux and binding agent) to be applied to the printed-circuit board by screen printing, stencilling or pressure-syringe dispensing before package placement.

Several techniques exist for reflowing; for example, thermal conduction by heated belt. Dwell times vary between 50 and 300 seconds depending on heating method.

Typical reflow temperatures range from 215 to 250 °C. Preheating is necessary to dry the paste and evaporate the binding agent. Preheating duration: 45 minutes at 45 °C.

#### WAVE SOLDERING

Wave soldering can be used for all SO packages. Wave soldering is **not** recommended for SSOP and TSSOP packages, because of the likelihood of solder bridging due to closely-spaced leads and the possibility of incomplete solder penetration in multi-lead devices.

If wave soldering is used - **and cannot be avoided for SSOP and TSSOP packages** - the following conditions must be observed:

- A double-wave (a turbulent wave with high upward pressure followed by a smooth laminar wave) soldering technique should be used.
- The longitudinal axis of the package footprint must be parallel to the solder flow and must incorporate solder thieves at the downstream end.

## 8-bit serial-in/serial or parallel-out shift register with output latches; 3-state

74HC/HCT595

### Even with these conditions:

- Only consider wave soldering SSOP packages that have a body width of 4.4 mm, that is SSOP16 (SOT369-1) or SSOP20 (SOT266-1).
- Do not consider wave soldering TSSOP packages with 48 leads or more, that is TSSOP48 (SOT362-1) and TSSOP56 (SOT364-1).

During placement and before soldering, the package must be fixed with a droplet of adhesive. The adhesive can be applied by screen printing, pin transfer or syringe dispensing. The package can be soldered after the adhesive is cured.

Maximum permissible solder temperature is 260 °C, and maximum duration of package immersion in solder is 10 seconds, if cooled to less than 150 °C within 6 seconds. Typical dwell time is 4 seconds at 250 °C.

A mildly-activated flux will eliminate the need for removal of corrosive residues in most applications.

### REPAIRING SOLDERED JOINTS

Fix the component by first soldering two diagonally-opposite end leads. Use only a low voltage soldering iron (less than 24 V) applied to the flat part of the lead. Contact time must be limited to 10 seconds at up to 300 °C. When using a dedicated tool, all other leads can be soldered in one operation within 2 to 5 seconds between 270 and 320 °C.

### DEFINITIONS

Data sheet status	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
Limiting values	
Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
Application information	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	

### LIFE SUPPORT APPLICATIONS

These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.

## บรรณานุกรม

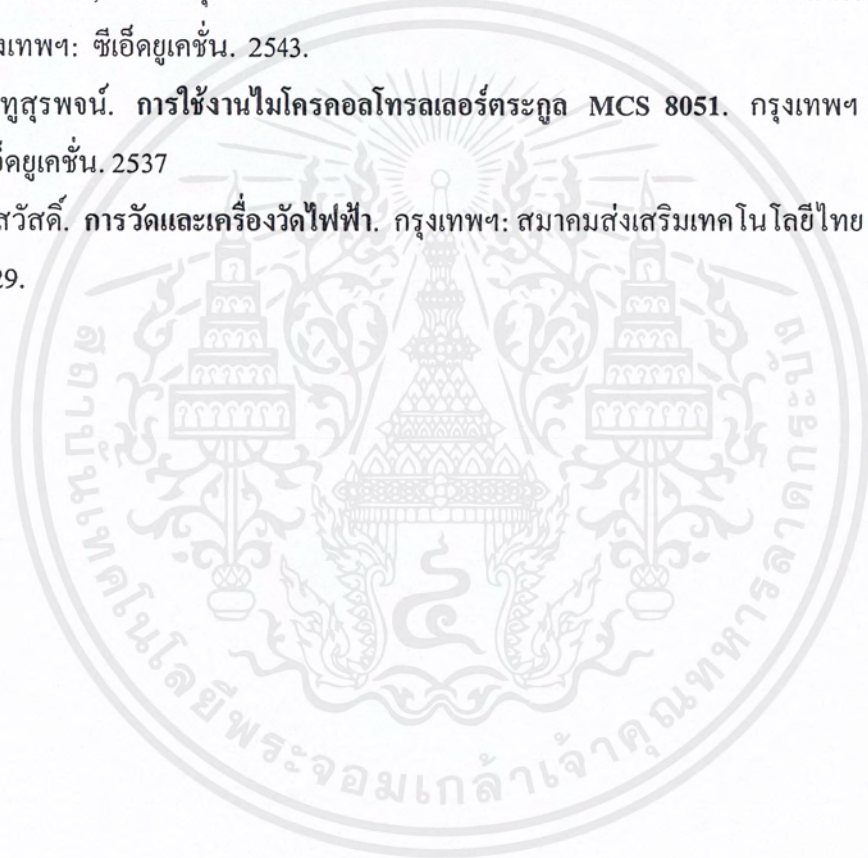
เจน สงสมพันธ์. การใช้และการซ่อมมัลติมิเตอร์แบบมืออาชีพ. กรุงเทพฯ : สถาบันอิเล็กทรอนิกส์.  
2537.

ชิตเชื้อ กนกเพชรรัตน์. เครื่องมือวัดเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: บริษัทสยามสปอร์ตซินดิเคท จำกัด.  
2539.

บอสตัน คับบลิว, พิสมัย สุภัทรานนท์ แปล การวัดและทดสอบทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์.  
กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2543.

สุนทร วิฑูสุรพจน์. การใช้งานไมโครคอลโทรลเลอร์ตระกูล MCS 8051. กรุงเทพฯ :  
ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2537

เอก ชัยสวัสดิ์. การวัดและเครื่องวัดไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.  
2529.



## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นายชนะโชค สันต์สวัสดิ์
วันเดือนปีเกิด	8 มกราคม 2522
สถานที่เกิด	เชียงใหม่
ภูมิลำเนาเดิม	เชียงใหม่
ที่อยู่ปัจจุบัน	182/4 หมู่ที่1 ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300
โทรศัพท์	053-409272
<b>ประวัติการศึกษา</b>	
ประถมศึกษา	โรงเรียนปิ่นสร้อยแยลลวีวิทยาลัย
มัธยมศึกษา	โรงเรียนปิ่นสร้อยแยลลวีวิทยาลัย
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
คติพจน์	หนทางหมิ่นลี้ ย่อมมีก้าวแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

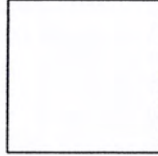
## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญานิพนธ์	นายธีรนัย เรณูมาร
วันเดือนปีเกิด	22 พฤษภาคม พ.ศ.2522
สถานที่เกิด	จังหวัดพิษณุโลก
ภูมิลำเนา	จังหวัดพิษณุโลก
ที่อยู่ปัจจุบัน	37/2 หมู่ 4 ต.หัวรอ อ.เมือง จ.พิษณุโลก
โทรศัพท์	055-243587
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดตาปะขาวหาย
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลก
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคพายัพ จ.เชียงใหม่
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม รางวัลชนะเลิศสิ่งประดิษฐ์ คนรุ่นใหม่ ประเภทบรรเทา สาธารณภัยและการแพทย์ ปี พ.ศ.2539
ผลงานที่ได้รับ	
คติพจน์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นางสาวนุจรรณ มงคลรัตน์
วันเดือนปีเกิด	19 มกราคม พ.ศ.2521
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
ภูมิลำเนา	กรุงเทพฯ
ที่อยู่ปัจจุบัน	66/1295 หมู่ 2 แขวงคูฝั่งเหนือ เขตหนองจอก จ.กรุงเทพฯ
โทรศัพท์	(02)9897180
<b>ประวัติการศึกษา</b>	
ประถมศึกษา	โรงเรียนสามเสนนอก (ป.1-ป.6)
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนศรีอยุธยา (ม.1-ม.3)
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนศรีอยุธยา (ม.4)
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับ	-
คดิพจน์	คบคนพาล พาลพาไปหาผิด คบบัณฑิต บัณฑิตพาไปหาผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นายอรรถกฤษ กุหลาบแก้ว
วันเดือนปีเกิด	7 มีนาคม 2522
สถานที่เกิด	นครปฐม
ภูมิลำเนาเดิม	นครปฐม
ที่อยู่ปัจจุบัน	74 หมู่ที่ 9 ต.หนองปากโลง อ.เมือง จ.นครปฐม 73000
โทรศัพท์	01-4246252
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดพระปฐมเจดีย์
มัธยมศึกษา	โรงเรียนศรีวิชัยวิทยา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคนครปฐม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคนครปฐม
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
คติพจน์	ถ้าอยากเปลี่ยนแปลง คุณต้องเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้