

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ เครื่องวัดกำลังส่งและเสตดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล  
Digital Power and SWR Meter

- |              |                |             |              |          |
|--------------|----------------|-------------|--------------|----------|
| ชื่อนักศึกษา | 1. นายชัยพฤกษ์ | คุณภาคไพศาล | รหัสประจำตัว | 41031108 |
|              | 2. นายณัฐพรชัย | อู่ณช้อน    | รหัสประจำตัว | 41031110 |
|              | 3. นายวิชิต    | ณ นคร       | รหัสประจำตัว | 41031124 |
|              | 4. นายสมศักดิ์ | นามหาไชย    | รหัสประจำตัว | 41031130 |

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.วิสุทธิ อธิพรธรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ปิยะ ศุภวาราสวัฒน์

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. ผศ.วิสุทธิ อธิพรธรรม	
2. อาจารย์ปิยะ ศุภวาราสวัฒน์	
3. อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์	
4. อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ	
5. อาจารย์สุชิน อาจหาญ	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันศุกร์ที่ 12 พฤษภาคม พ.ศ. 2543 เวลา 13.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 37210  
วัน, เดือน, ปี - 5 ก.ย. 2543

ภาควิชารับรองแล้ว  
ลงนาม.....  
(ผศ.วิสุทธิ อธิพรธรรม)  
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
วันที่ 12 เดือน พค. พ.ศ. 2543



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ปริญญานิพนธ์

เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบีบิลิวอาร์แบบดิจิทัล

DIGITAL POWER AND SWR METER



ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบีบลิวอาร์แบบดิจิทัล  
Digital Power and SWR Meter

## วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาทฤษฎี และหลักการของเครื่องวัดกำลังส่งวิทยุสื่อสาร
- 2) เพื่อออกแบบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล วงจรบวก และลบแรงดัน
- 3) เพื่อสร้างเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบีบลิวอาร์แบบดิจิทัล
- 4) เพื่อนำเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบีบลิวอาร์แบบดิจิทัลไปใช้งาน

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เกิดการเรียนรู้ทฤษฎี และหลักการของวงจรเครื่องวัดกำลังส่งวิทยุสื่อสาร
- 2) ได้วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล วงจรบวก และลบแรงดัน
- 3) ได้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบีบลิวอาร์แบบดิจิทัล
- 4) สามารถนำเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบีบลิวอาร์แบบดิจิทัล ไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล	
นักศึกษา	นายชัยพุกษ์	คุณภาคไพศาล
	นายณัฐพรชัย	อุ๋นซ็อน
	นายวิชิต	ณ นคร
	นายสมศักดิ์	นามหาไชย
อาจารย์ที่ปรึกษา	พศ.วิสุทธิ์	อธิพรธรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ปิยะ	ศุภวราสุวัฒน์
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรม โทecomนาคม	
ปีการศึกษา	2542	

#### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสนอโครงการเรื่องเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล โดยมีส่วนประกอบ คือ วงจรวัดค่าเอสดับบลิวอาร์, วงจรคำนวณค่าเอสดับบลิวอาร์ และวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการวัดค่าอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง, ค่ากำลังส่ง, ค่ากำลังงานสูญเสียจากการสะท้อนกลับ, ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแรงดัน, ค่ากำลังงานสูญเสียจากการไม่สมดุลย์, ค่าแรงดันฟอร์เวิร์ด และค่าแรงดันรีเวิร์ส ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบสายอากาศ โดยจะประกอบไปด้วยอินพุตหนึ่งอินพุตซึ่งต่อมาจากเครื่องส่งวิทยุ และเอาต์พุตหนึ่งเอาต์พุต ซึ่งต่อไปยังสายอากาศ ซึ่งจากการทดลองพบว่าสามารถวัดค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวได้จริงในช่วงความถี่ 144 – 146 เมกะเฮิรตซ์ โดยมีความผิดพลาดประมาณ  $\pm 5\%$

Thesis Title	Digital Power and SWR Meter	
Students	Mr.Chaiyapruk	Dunlapakpaisan
	Mr.Nattapornchai	Ounson
	Mr.Wichit	Na nakorn
	Mr.Somsak	Namahachai
Advisor	Assist. Prof. Wisuit	Atiporntum
Co-Advisor	Mr.Piya	Supavarasuwat
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education	
Program in	Telecommunication Engineering	
Academic Year	1999	

### ABSTRACT

This thesis presents the project of Digital Power and SWR Meter. The project consists of SWR meter circuit, SWR calculation value circuit and microcontroller circuit. It uses to measure a Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), transmission power, power return loss, voltage reflection coefficient, power mismatch loss, forward voltage, reverse voltage. It is parameter of antenna system. It has one input which connects from radio transmitter and one output which connects to antenna. It used easily from testing found that the measured parameter is frequency range 144 – 146 MHz is error about  $\pm 5\%$ .

## กิตติกรรมประกาศ

ปริยญาพันธบัตรฉบับนี้ถูกล่วงได้ด้วยดีเนื่องมาจากการให้ความร่วมมือของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน นอกจากนี้ยังได้รับความกรุณาจากคณาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมในด้านแนวคิด, ข้อเสนอแนะ, แนวทางแก้ไขปัญหา และความรู้ต่างๆ รวมทั้งห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ และหอสมุดกลาง ซึ่งอำนวยความสะดวกในการค้นคว้าต่างๆ และที่ควรระลึกถึงอย่างยิ่ง คือ บุพการีผู้สนับสนุนด้านการศึกษามาโดยตลอด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ชัดความสามารถของโครงการ	2
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 ทฤษฎีของสายนำสัญญาณ และสายอากาศ	4
2.2.1 สายนำสัญญาณ	4
2.2.2 คุณสมบัติต่างๆ ของสายนำสัญญาณ	5
2.2.3 การต่อตัวภาระเข้ากับสายนำสัญญาณ	8
2.2.4 สัมประสิทธิ์การสะท้อน	12
2.3 วงจรเอสดีบีบลิวอาร์มิเตอร์	15
2.3.1 ความสำคัญของค่าเอสดีบีบลิวอาร์	15
2.3.2 หลักการทำงานของเอสดีบีบลิวอาร์มิเตอร์	17
2.3.3 การสะท้อนกลับจากโหลดตัวความต้านทาน	18
2.3.4 ความสูญเสียที่เกิดจากกำลังงานย้อนกลับ	20
2.3.5 ความสูญเสียกำลังงานจากการมิสมแมทซ์	21
2.4 คุณสมบัติของออปแอมป์	22
2.4.1 คุณสมบัติของออปแอมป์	22
2.4.2 วงจรออปแอมป์พื้นฐาน	24
2.5 การใช้งาน แอล ซี ดี โมดูล	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.5.1 การต่อ แอล ซี ดี โมดูลเข้ากับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์	36
2.5.2 ชุดคำสั่งควบคุม และการแสดงข้อความ	38
2.5.3 หลักการพื้นฐานของแอล ซี ดี โมดูล	39
2.5.4 รายละเอียดของแต่ละคำสั่ง	40
2.6 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล	44
2.6.1 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบเฟลช	44
2.6.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ใช้ในการอินทิเกรต	46
2.6.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ใช้วงจรรีบ	51
2.6.4 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบการสุ่ม และการคงค่า	51
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	53
3.1 การทำงานของวงจรวัดเอสดับบลิวอาร์	53
3.2 การทำงานของวงจรบวกแรงดัน	54
3.3 การทำงานของวงจรลบแรงดัน	54
3.4 การทำงานของวงจรลดทอนแรงดัน	55
3.5 การทำงานของวงจรกลับเฟสแรงดัน	56
3.6 การทำงานของวงจรบัฟเฟอร์	56
3.7 การทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล	57
บทที่ 4 การทดลอง การทดสอบ และผลการทดลอง	61
4.1 การทดลองวัดค่ากำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์โดยใช้ตัวภาระเทียม	61
4.2 การทดลองวัดค่ากำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์โดยใช้สายอากาศซีโหลต	65
4.3 การทดลองวัดค่ากำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์โดยใช้สายอากาศสไลด์	69
4.4 การทดลองวัดค่ากำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์โดยใช้สายอากาศรับเบอร์ดีค	73
4.5 ค่าความผิดพลาดในการวัดค่าเอสดับบลิวอาร์ของเครื่องวัดกำลังส่ง และ เอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัลเปรียบเทียบกับเครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX – 200	77

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.6 ค่าความผิดพลาดในการวัดค่ากำลังส่งของเครื่องวัดกำลังส่ง และ เอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัลเปรียบเทียบกับเครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX – 200	79
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา	82
5.1 บทสรุป	82
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	82
5.3 แนวทางการพัฒนา	83
ภาคผนวก ก ส่วนประกอบของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล	84
ภาคผนวก ข วงจร และแผ่นวงจรพิมพ์	92
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	100
ภาคผนวก ง แผนผังการทำงาน และโปรแกรมของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์	103
ภาคผนวก จ รายละเอียดข้อมูล และคุณสมบัติของอุปกรณ์	119
ภาคผนวก ฉ คู่มือการใช้งาน เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล	158
บรรณานุกรม	
ประวัติผู้แต่ง	

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน	25
ตารางที่ 2.2 ค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรขยายกลับเฟสแบบมาตรฐาน	26
ตารางที่ 2.3 ค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส	28
ตารางที่ 2.4 ค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรลบแรงดัน	34
ตารางที่ 2.5 ขาสัญญาณของ แอล ซี ดี โมดูล	36
ตารางที่ 2.6 รายละเอียดของชุดคำสั่งควบคุม	39
ตารางที่ 2.7 ตำแหน่งแอดเดรสของ แอล ซี ดี ขนาด 4 แถวที่ใช้งานจริง	44
ตารางที่ 2.8 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบขนาน	45
ตารางที่ 4.1 ค่าความผิดพลาดในการวัดค่าเอสดับบลิวอาร์โดยใช้ตัวภาระเทียม	77
ตารางที่ 4.2 ค่าความผิดพลาดในการวัดค่าเอสดับบลิวอาร์โดยใช้สายอากาศซีโหลด	78
ตารางที่ 4.3 ค่าความผิดพลาดในการวัดค่าเอสดับบลิวอาร์โดยใช้สายอากาศสไลด์	78
ตารางที่ 4.4 ค่าความผิดพลาดในการวัดค่าเอสดับบลิวอาร์โดยใช้สายอากาศรับเบอร์ด็ค	79
ตารางที่ 4.5 ค่าความผิดพลาดในการวัดกำลังส่งโดยใช้ตัวภาระเทียม	79
ตารางที่ 4.6 ค่าความผิดพลาดในการวัดกำลังส่งโดยใช้สายอากาศซีโหลด	80
ตารางที่ 4.7 ค่าความผิดพลาดในการวัดกำลังส่งโดยใช้สายอากาศสไลด์	80
ตารางที่ 4.8 ค่าความผิดพลาดในการวัดกำลังส่งโดยใช้สายอากาศรับเบอร์ด็ค	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของสายนำสัญญาณ	4
รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลตลอดทั้งสายนำสัญญาณ	5
รูปที่ 2.3 ลักษณะสมบัติทางอิมพีแดนซ์ของสาย	6
รูปที่ 2.4 ค่า $Z_0$ ในวงจรทางไฟฟ้าของสาย	6
รูปที่ 2.5 ตัวการะที่ต่อกับสายนำสัญญาณที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $Z_0$	9
รูปที่ 2.6 กรณีไม่ได้สมดุลกับสายนำสัญญาณ	10
รูปที่ 2.7 เวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้า และกระแสของสายที่ลัดวงจร	11
รูปที่ 2.8 เวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้า และกระแสของสายที่เปิดวงจร	11
รูปที่ 2.9 เวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้า และกระแสของสายในกรณีที่มีตัวการะต่ออยู่	12
รูปที่ 2.10 กราฟเดี่ยวของ VSWR	14
รูปที่ 2.11 การเกิดคลื่นนิ่งในสายนำสัญญาณ	16
รูปที่ 2.12 วงจรออปแอมป์แบบต่างๆ	23
รูปที่ 2.13 อินพุต และเอาต์พุตของออปแอมป์	23
รูปที่ 2.14 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	24
รูปที่ 2.15 วงจรขยายกลับเฟสแบบมาตรฐาน	26
รูปที่ 2.16 วงจรขยายกลับเฟส	27
รูปที่ 2.17 วงจรขยายไม่กลับเฟส	28
รูปที่ 2.18 วงจรขยายแบบกลับเฟส และไม่กลับเฟส	29
รูปที่ 2.19 วงจรขยายแบบกลับเฟส	30
รูปที่ 2.20 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส	31
รูปที่ 2.21 วงจรขยายความแตกต่างเฟส	32
รูปที่ 2.22 การใช้ออปแอมป์เป็นวงจรลบแรงดัน	34
รูปที่ 2.23 การต่อแบบ MEMORY MAP	37
รูปที่ 2.24 การต่อแบบผ่าน 8255 PORT	38
รูปที่ 2.25 การต่อวงจรเปรียบเทียบแบบขนาน หรือแบบเฟส	45
รูปที่ 2.26 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโตนวอลล์	46
รูปที่ 2.27 ความชันของสัญญาณขึ้นบันได	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.28 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโโลปลูกู่	48
รูปที่ 2.29 แรงดันขาออกของวงจรอินทิเกรเตอร์เทียบกับเวลา	49
รูปที่ 2.30 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบเคลด้า-ซิกม่า	50
รูปที่ 2.31 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่สร้างขึ้นจากวงจรนับขึ้น/ลง	51
รูปที่ 2.32 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบประมาณค่า	52
รูปที่ 3.1 วงจรวัดวีเอสดีบลิวอาร์	53
รูปที่ 3.2 วงจรบวกแรงดัน	54
รูปที่ 3.3 วงจรลบแรงดัน	55
รูปที่ 3.4 วงจรลดทอนแรงดัน	55
รูปที่ 3.5 วงจรกลับเฟสแรงดัน	56
รูปที่ 3.6 วงจรบัฟเฟอร์	56
รูปที่ 3.7 สัญญาณแอนะล็อกจะถูกสุ่มในช่วงคลื่นเป็นระยะๆ	58
รูปที่ 3.8 ไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลเบอร์ ADC 0801	59
รูปที่ 3.9 การต่อ ADC 0801 ให้ใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง	59
รูปที่ 3.10 การสุ่มสัญญาณอินพุตแอนะล็อกเร็วขึ้น ทำให้เอาต์พุตที่ถูกสร้างขึ้นใหม่โดยตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกสมบูรณ์มากขึ้น	60
รูปที่ 4.1 ค่าเอสดีบลิวอาร์ที่วัดได้จากตัวการะเทียม โดยใช้เครื่องวัดเอสดีบลิวอาร์ ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200	62
รูปที่ 4.2 ค่ากำลังส่งที่วัดได้จากตัวการะเทียม โดยใช้เครื่องวัดเอสดีบลิวอาร์ ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200	63
รูปที่ 4.3 ค่าเอสดีบลิวอาร์ และค่ากำลังส่งที่วัดได้จากตัวการะเทียม โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบลิวอาร์แบบดิจิทัล	64
รูปที่ 4.4 ค่าแรงดันฟอร์เวิร์ด, ค่าแรงดันรีเวอร์ส และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแรงดันที่วัดได้จากตัวการะเทียม โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบลิวอาร์แบบดิจิทัล	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.5 ค่ากำลังงานสูญเสียจากการไม่สมดุลย์ และค่ากำลังงานสูญเสียจากการสะท้อนกลับที่วัดได้จากตัวภาระเทียม โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล	65
รูปที่ 4.6 ค่าเอสดับบลิวอาร์ที่วัดได้จากสายอากาศซีโหลด โดยใช้เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200	66
รูปที่ 4.7 ค่ากำลังส่งที่วัดได้จากสายอากาศซีโหลด โดยใช้เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200	67
รูปที่ 4.8 ค่าเอสดับบลิวอาร์ และค่ากำลังส่งที่วัดได้จากสายอากาศซีโหลด โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล	68
รูปที่ 4.9 ค่าแรงดันฟอร์เวิร์ด, ค่าแรงดันรีเวอร์ส และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแรงดันที่วัดได้จากสายอากาศซีโหลด โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล	68
รูปที่ 4.10 ค่ากำลังงานสูญเสียจากการไม่สมดุลย์ และค่ากำลังงานสูญเสียจากการสะท้อนกลับ ที่วัดได้จากสายอากาศซีโหลด โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล	69
รูปที่ 4.11 ค่าเอสดับบลิวอาร์ที่วัดได้จากสายอากาศสไลด์ โดยใช้เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200	70
รูปที่ 4.12 ค่ากำลังส่งที่วัดได้จากสายอากาศสไลด์ โดยใช้เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200	71
รูปที่ 4.13 ค่าเอสดับบลิวอาร์ และค่ากำลังส่งที่วัดได้จากสายอากาศสไลด์ โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล	72
รูปที่ 4.14 ค่าแรงดันฟอร์เวิร์ด, ค่าแรงดันรีเวอร์ส และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแรงดันที่วัดได้จากสายอากาศสไลด์ โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล	72
รูปที่ 4.15 ค่ากำลังงานสูญเสียจากการไม่สมดุลย์ และค่ากำลังงานสูญเสียจากการสะท้อนกลับที่วัดได้จากสายอากาศสไลด์ โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.16 ค่าเอสดับบลิวอาร์ที่วัดได้จากสายอากาศรับเบอร์ดีค โดยใช้ เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200	74
รูปที่ 4.17 ค่ากำลังส่งที่วัดได้จากสายอากาศรับเบอร์ดีค โดยใช้เครื่องวัด เอสดับบลิวอาร์ ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200	75
รูปที่ 4.18 ค่าเอสดับบลิวอาร์ และค่ากำลังส่งที่วัดได้จากสายอากาศรับเบอร์ดีค โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอล	76
รูปที่ 4.19 ค่าแรงดันฟอร์เวิร์ด, ค่าแรงดันรีเวอร์ส และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน แรงดันที่วัดได้จากสายอากาศรับเบอร์ดีค โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอล	76
รูปที่ 4.20 ค่ากำลังงานสูญเสียจากการไม่สมมูลย์ และค่ากำลังงานสูญเสียจาก การสะท้อนกลับที่วัดได้จากสายอากาศรับเบอร์ดีค โดยใช้เครื่องวัด กำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอล	77
รูปที่ ก.1 แผงวงจรภาคจ่ายไฟ	85
รูปที่ ก.2 แผงวงจรบวกแรงดัน, วงจรลบแรงดัน, วงจรลดทอนแรงดัน, วงจรกลับเฟสแรงดัน และวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล	85
รูปที่ ก.3 แผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ 89S8252	86
รูปที่ ก.4 แผงวงจรวัดกำลังส่ง	86
รูปที่ ก.5 ชุดเหนี่ยวนำแรงดัน	87
รูปที่ ก.6 การติดตั้งแผงวงจรลงกล่อง	87
รูปที่ ก.7 หน้ากล่องของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอล	88
รูปที่ ก.8 เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX200	88
รูปที่ ก.9 เครื่องวิทยุสื่อสารที่ใช้ในการทดลอง	89
รูปที่ ก.10 ตัวภาระเทียม	89
รูปที่ ก.11 การติดตั้งเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอลกับ ตัวภาระเทียม	90
รูปที่ ก.12 การติดตั้งเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอลกับ สายอากาศซีโพล	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ ก.13 การติดตั้งเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัลกับ สายอากาศสไลด์	91
รูปที่ ก.14 การติดตั้งเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัลกับ สายอากาศรับเบอร์ดัก	91
รูปที่ ข.1 วงจรเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล	93
รูปที่ ข.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ 89S8252	94
รูปที่ ข.3 วงจรภาคจ่ายไฟ	95
รูปที่ ข.4 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรวัดกำลังส่ง	95
รูปที่ ข.5 แผ่นวงจรพิมพ์ไมโครคอนโทรลเลอร์(ด้านบน)	96
รูปที่ ข.6 แผ่นวงจรพิมพ์ไมโครคอนโทรลเลอร์(ด้านล่าง)	97
รูปที่ ข.7 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล	98
รูปที่ ข.8 การลงอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์วงจรวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์ แบบดิจิทัล	99
รูปที่ ง.1 แผนผังการทำงานโดยรวม	104
รูปที่ ง.2 แผนผังการทำงาน	105
รูปที่ ฉ.1 ด้านหน้าของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล	159
รูปที่ ฉ.2 ด้านหลังของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล	159

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปริยญาณิพนธ์

ในวงการวิทยุสมัครเล่นมักได้ยินทางวิทยุบ่อยๆ ว่าเมื่อมีการทดลองสายอากาศผู้ทดลองมักกล่าวถึงค่าเอสดับบลิวอาร์ (Standing Wave Ratio) ว่าสูงเกินไปบ้าง พอดีบ้าง และนักวิทยุสมัครเล่นมักจะต้องวัดค่าเอสดับบลิวอาร์บ่อยครั้ง โดยเครื่องมือที่ใช้วัดค่าเอสดับบลิวอาร์ คือ วีเอสดับบลิวอาร์มิเตอร์ (Voltage Standing Wave Ratio Meter) เป็นเครื่องมือที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของคลื่นที่ส่งเข้าไป (Forward Power) และกำลังไฟฟ้าของคลื่นที่สะท้อนกลับ (Reflected Power) ซึ่งแสดงค่าความสัมพันธ์นี้ออกมาเป็นค่าเอสดับบลิวอาร์ และในการวัดค่าเอสดับบลิวอาร์นี้ จะมีความสำคัญมากในการใช้เครื่องส่งวิทยุ โดยหากว่าค่าเอสดับบลิวอาร์ในระบบสายอากาศมีค่าสูงมากอาจก่อให้เกิดผลเสียหายต่อสายนำสัญญาณ ในกรณีที่กำลังของเครื่องส่งมีค่าสูง และอุปกรณ์ต่างๆ ในเครื่องส่งวิทยุก็จะเสียหายได้เช่นกัน

เครื่องส่งวิทยุแต่ละรุ่นจะมีการจำกัดค่าเอสดับบลิวอาร์ให้ไม่เกินค่าที่เครื่องทนได้ เช่น เครื่องรุ่นเก่าๆ จะทนค่าเอสดับบลิวอาร์ได้ไม่เกินที่ 1.5 :1 แต่ในเครื่องรุ่นใหม่ที่วางจำหน่ายเอาต์พุตมีวงจรถดทอนกำลังของเครื่องส่งลง ในกรณีที่ค่าเอสดับบลิวอาร์มีค่าสูง จะสามารถทนได้ที่ไม่เกินค่า 4 :1

ดังนั้น การวัดค่าเอสดับบลิวอาร์จึงต้องการความแม่นยำ ความถูกต้องอย่างสูง และโดยส่วนมากวีเอสดับบลิวอาร์มิเตอร์มักจะแสดงผลค่าเอสดับบลิวอาร์ออกมาจากการเคลื่อนที่ของเข็มมิเตอร์ จึงทำให้การอ่านค่าออกมาไม่แม่นยำ แล้วแต่การมองของแต่ละคน ถ้าหากสามารถให้วีเอสดับบลิวอาร์มิเตอร์แสดงค่าออกมาเป็นตัวเลขโดยไม่ต้องเสียเวลาในการอ่านค่าจากเข็มทำให้เกิดความแม่นยำมากขึ้น

จากความต้องการดังกล่าวได้ก่อให้เกิดความคิดจัดทำโครงการเครื่องวัดค่าเอสดับบลิวอาร์ที่แสดงผลออกมาเป็นตัวเลขที่มีคุณสมบัติต่างๆ เหมือนกับวีเอสดับบลิวอาร์มิเตอร์แบบเข็ม แต่ค่าที่อ่านได้จะมีความคงที่ และแม่นยำในการอ่านมากกว่า นอกจากนี้ยังสามารถวัดค่ากำลังส่ง, ค่ากำลังงานสูญเสียจากการสะท้อนกลับ, ค่ากำลังงานสูญเสียจากการไม่สมดุล (Mismatch) และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน

## 1.2 ขีดความสามารถของโครงการ

โครงการนี้มีขีดความสามารถดังนี้

- 1) สามารถวัดค่าเอสดีบบลิวาร์ในย่านความถี่ 144 – 146 เมกะเฮิรตซ์
- 2) สามารถวัดค่ากำลังส่งในย่านความถี่ 144 – 146 เมกะเฮิรตซ์
- 3) สามารถใช้กับเครื่องส่งที่มีกำลังไม่เกิน 50 วัตต์
- 4) แสดงค่าวีเอสดีบบลิวาร์ออกมาเป็นตัวเลขในระบบดิจิทัล
- 5) แสดงค่ากำลังส่งออกมาเป็นตัวเลขในระบบดิจิทัล
- 6) แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนออกมาเป็นตัวเลขในระบบดิจิทัล
- 7) แสดงค่ากำลังงานสูญเสียจากการสะท้อนกลับออกมาเป็นตัวเลขในระบบดิจิทัล
- 8) แสดงค่ากำลังงานสูญเสียจากการไม่สมดุลออกมาเป็นตัวเลขในระบบดิจิทัล
- 9) มีค่าความผิดพลาดในการวัดไม่เกิน  $\pm 5\%$

## 1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

ในปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้มีข้อมูลทั้งทฤษฎี, วงจร และเทคนิคต่างๆ ในการสร้างเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบบลิวาร์แบบดิจิทัล โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ซึ่งในแต่ละบทมีเนื้อหา ดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการเป็นส่วนของข้อมูลทางทฤษฎี หลักการของสายอากาศ และสายนำสัญญาณ, วงจรวีเอสดีบบลิวาร์มิเตอร์, วงจรคำนวณค่าวีเอสดีบบลิวาร์, วงจรดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ และวงจรแสดงผล

บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน เป็นส่วนของหลักการออกแบบ และการสร้าง โดยกล่าวถึงหลักการออกแบบวงจรต่างๆ รวมทั้งหลักการทำงานในส่วนต่างๆ เช่น การออกแบบวงจรเครื่องวัดกำลังส่ง และวีเอสดีบบลิวาร์, การออกแบบวงจรบวกแรงดัน, การออกแบบวงจรลบแรงดัน, การออกแบบวงจรหาร และการออกแบบวงจรดิจิทัลโวลต์มิเตอร์

บทที่ 4 การทดลอง การทดสอบ และผลการทดลอง เป็นส่วนของการทดลอง และทดสอบ เนื่องจากในบทที่ 3 ได้มีการออกแบบ และสร้างมาแล้ว ในบทนี้จึงนำส่วนที่ได้ออกแบบ และสร้างมาแล้วนั้นมาทำการทดลองว่าเป็นไปตามแนวทางที่ต้องการหรือไม่

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหาแนวทางแก้ไข และพัฒนา เป็นส่วนของการสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และแนวทางในการพัฒนา

ภาคผนวก ก ส่วนประกอบของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบบลิวาร์แบบดิจิทัล

ภาคผนวก ข วงจร, ลายวงจรพิมพ์, การวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์

ภาคผนวก ง แผนผังการทำงาน และโปรแกรมของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบีบลิวอาร์

แบบดิจิทัล

ภาคผนวก จ รายละเอียดข้อมูล และรายการอุปกรณ์

ภาคผนวก ฉ คู่มือการใช้งานเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบีบลิวอาร์แบบดิจิทัล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎี และหลักการ

#### 2.1 กล่าวนำ

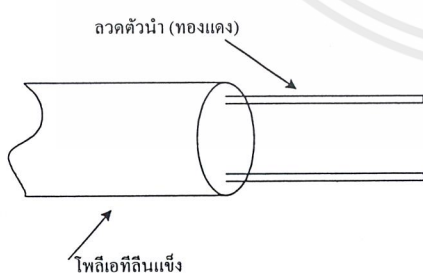
ในบทที่ 2 นี้มีเนื้อหากล่าวถึงทฤษฎี และหลักการต่างๆ ที่ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์โดยมีเนื้อหาเกี่ยวกับ ทฤษฎีของสายนำสัญญาณ และสายอากาศ วงจรเอสดับบลิวอาร์มิเตอร์ คุณสมบัติของอปแอมป์ การใช้งานแอลซีดีโมดูล วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

#### 2.2 ทฤษฎีของสายนำสัญญาณ และสายอากาศ

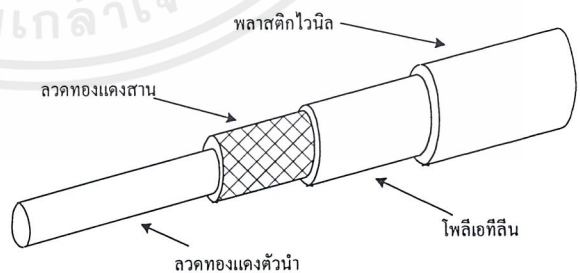
##### 2.2.1 สายนำสัญญาณ

สายนำสัญญาณทำหน้าที่ส่งพลังงานไฟฟ้าจากที่หนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยที่ความยาวของสายนำสัญญาณอาจมีได้หลายร้อยกิโลเมตรแล้วแต่กรณี ดังเช่น

- 1) ถ้าใช้สายระหว่างระบบสื่อสารขนาดใหญ่ เช่น โทรศัพท์ อาจมีความยาวถึงหลายร้อยกิโลเมตร
- 2) ถ้าใช้เป็นสายฟีดเดอร์ (Feeder) หรือสายนำสัญญาณในเครื่องส่ง หรือเครื่องรับวิทยุ มีความยาวหลายร้อยเมตร
- 3) ถ้าใช้เป็นส่วนหนึ่งในอุปกรณ์ด้าน UHF (Ultra High Frequency) มีความยาวที่ใช้เป็นเศษส่วนของเมตร



(ก) สายนำสัญญาณแบบเส้นคู่



(ข) สายนำสัญญาณแบบโคแอกเซียล

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของสายนำสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทหลักๆ ของสายนำสัญญาณที่ใช้มีอยู่ 2 แบบ คือ สายแบบเส้นคู่ (Two – Wire) และสายแบบโคแอกเชียล (Coaxial Cable) ดังแสดงลักษณะสายในรูปที่ 2.1 (ก) และ 2.1 (ข)

ฉนวนที่ใช้ระหว่างตัวนำทั้งสองมีได้หลายแบบ เช่น อากาศในกรณีที่เป็นสายเปลือย สารฉนวนพวกโพลีเอธิลีน เป็นต้น

โครงสร้างของตัวนำมีสัมประสิทธิ์ 4 ค่า ดังนี้

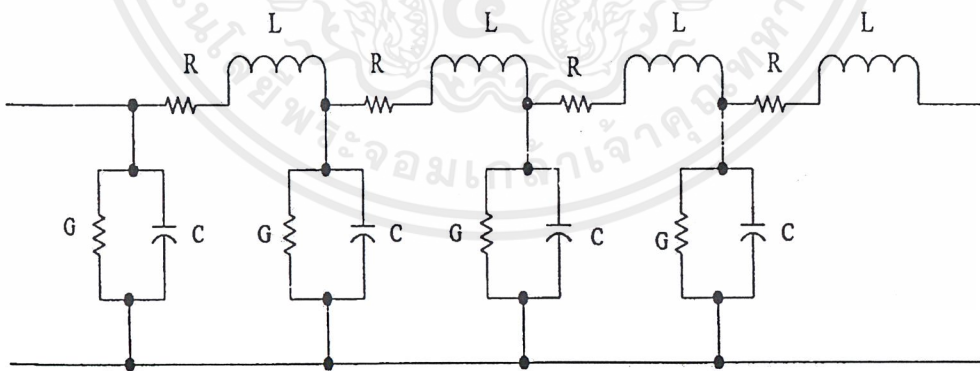
1) รีซิสแตนซ์ (Resistance) หรือความต้านทานทางไฟฟ้า แทนด้วยสัญลักษณ์  $R$  เป็นค่าความต้านทานของตัวนำ และมักใช้เป็นค่ารวมทั้งสองเส้น

2) อินดักแตนซ์ (Inductance) หรือความเหนี่ยวนำไฟฟ้า แทนด้วยสัญลักษณ์  $L$  มีค่าขึ้นอยู่กับพื้นที่ตัดขวางของตัวนำ

3) คอนดักแตนซ์ (Conductance) หรือความนำไฟฟ้า แทนด้วยสัญลักษณ์  $G$  มีค่าความนำของฉนวน เนื่องจากมีกระแสบางส่วนรั่วไหลระหว่างตัวนำสองเส้น

4) คาปาซิแตนซ์ (Capacitance) หรือค่าประจุไฟฟ้า แทนด้วยสัญลักษณ์  $C$  เป็นของทั้งฉนวน และตัวนำ

ค่าทั้ง 4 ค่านี้ มีค่าขึ้นอยู่กับขนาดทางกายภาพของตัวนำ และชนิดของฉนวนที่ใช้ นอกจากนี้ค่า  $R$  และ  $G$  ขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นที่เดินทางในสาย สามารถที่จะเขียนวงจรสมมูลย์ของสายนำสัญญาณแทนด้วยค่าทางไฟฟ้า 4 ค่าที่กระจายตลอดตามสาย โดยค่า  $R$  และ  $L$  ต่ออนุกรมกัน และค่า  $C$  และ  $G$  ต่อขนานกัน สามารถแสดงวงจรสมมูลย์ของสายนำสัญญาณ ได้ดัง รูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลย์ตลอดสายนำสัญญาณ

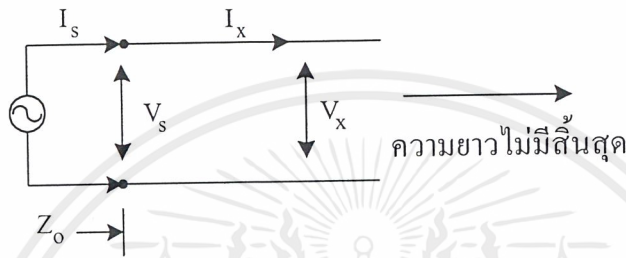
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2 คุณสมบัติต่างๆ ของสายนำสัญญาณ

คุณสมบัติของสายนำสัญญาณ เมื่อป้อนสัญญาณเข้ามาจะพิจารณาจากสัมประสิทธิ์ลำดับที่สอง (Secondary Coefficient) ซึ่งมีอยู่ 4 ค่าดังนี้

1) ลักษณะสมบัติทางอิมพีแดนซ์ของสาย

แทนด้วยสัญลักษณ์  $Z_o$  เป็นค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายที่มีความยาวไม่สิ้นสุด พิจารณา ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะสมบัติทางอิมพีแดนซ์ของสาย

จากรูปที่ 2.3 ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์มีค่าเท่ากับอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าคร่อมจุดส่ง ( $V_s$ ) กับกระแสที่ไหลบนสาย ( $I_s$ ) เขียนสมการได้เป็น

$$Z_o = \frac{V_s}{I_s} \tag{2.1}$$

หรืออาจคิดค่าที่ทุกจุดใดๆ บนสาย ค่าอัตราส่วน  $V_x / I_x$  เท่ากับ  $Z_o$  ได้ สมมติตัดสายให้มีความยาวที่จุดส่ง ดังรูปที่ 2.4 (ก)



(ก) ความยาวของสายไม่สิ้นสุด

(ข) ความยาวสายเหมาะสม

รูปที่ 2.4 ค่า  $Z_o$  ในวงจรทางไฟฟ้าของสาย

ส่วนที่เหลือของสายมีความยาวไม่สิ้นสุด ดังนั้น ค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดที่จุด 2 - 2' มีขนาดเท่ากับค่าลักษณะสมบัติทางอิมพีแดนซ์ของสาย จะทำให้อ่อนตัดสายที่จุด 1 - 1' มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $Z_0$  ดังนั้น ถ้านำตัวภาวะมาต่อที่จุด 1 - 1' ให้มีขนาดตัวภาวะเท่ากับ  $Z_0$  จะทำให้คุณสมบัติของสายไม่เปลี่ยนแปลง เหมือนรูปที่ 2.4 (ข) เรียกสายที่ถูกต่อด้วยตัวภาวะขนาด  $Z_0$  ว่ามีการต่อปลายสายที่ถูกตัดทิ้ง ทำให้วงจรสมมูลของสายไม่คิดค่าการลดทอน

ค่าลักษณะสมบัติทางอิมพีแดนซ์ของสายที่ใช้งานในความถี่คลื่นวิทยุ คำนวณได้จาก

$$Z_0 = \sqrt{L/C} \quad (2.2)$$

โดยค่า L และ C คือ อินдукแตนซ์ และคาปาซิแตนซ์ที่คิดต่อหนึ่งเมตรตามลำดับ

## 2) สัมประสิทธิ์การลดทอน (Attenuation Coefficient)

เมื่อมีกระแส หรือแรงดัน ไฟฟ้าเกิดขึ้นบนสายนำสัญญาณพบว่าขนาดจะถูกลดทอน หรือลดลงไปเรื่อยๆ เนื่องมาจากการเกิดการสูญเสียภายในสาย

การสูญเสียภายในสายแบ่งได้ 3 แบบ ดังนี้

2.1) การสูญเสียเนื่องจากตัวนำ

2.2) การสูญเสียเนื่องจากฉนวน

2.3) การสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งในสายแบบเส้นคู่จะมีการสูญเสียแบบนี้ แต่สายโคแอกเซียลขึ้นอยู่กับชนิดของตัวนำชั้นนอกที่ใช้ เช่น ถ้าเป็นท่อทองแดงจะไม่มี การสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่น ส่วนถ้าเป็นทองแดงสานจะมีบ้างในปริมาณเล็กน้อย

เนื่องจากการสูญเสียในแบบที่ 3 มีขนาดน้อย ทำให้ไม่ต้องคิดค่านี้ได้

ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนจะมีค่าไม่คงที่ แต่จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีความถี่สูงขึ้นมีอยู่ 2 ตัวแปร ที่มีผลคือ การสูญเสียเนื่องจากตัวนำเป็นสัดส่วนรากที่สองของความถี่ และการสูญเสียเนื่องจากฉนวน จะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับความถี่

โดยทั่วไปขนาดการสูญเสียในข้อ 1 มากกว่าข้อ 2 อยู่หลายเท่า ทำให้ค่าการสูญเสียเนื่องจากฉนวนสามารถไม่นำมาคิดได้

ดังนั้น สัมประสิทธิ์การลดทอนเป็นสัดส่วนรากที่สองของความถี่ สำหรับการใช้งานในย่าน VHF (Very High Frequency) หรือสูงกว่านี้ ค่าการสูญเสียของสายมีขนาดน้อยจนไม่คิดค่านี้ได้ ทำให้สายนำสัญญาณในย่านความถี่นี้ไม่มีการสูญเสีย

### 3) สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนเฟส (Phase Change Coefficient)

เมื่อมีกระแส หรือแรงดันไฟฟ้าไหลบนสายนำสัญญาณจะมีผลต่อเฟส คือ ทำให้เกิดเฟสที่ตามหลัง (Lag) กับเฟสเริ่มต้น ณ จุดส่ง ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนเฟส ( $\beta$ ) ของสายมีหน่วยเป็น เรเดียน หรือองศาต่อระยะทางหนึ่งเมตร

### 4) ความเร็วเฟส (Phase Velocity)

ค่าความเร็วเฟส ( $V_p$ ) ของสายนำสัญญาณเป็นความเร็วที่กระแส หรือแรงดันไฟฟ้าเดินทางไปบนสาย โดยที่คลื่นรูปไซน์เดินทางด้วยความเร็วหนึ่งความยาวคลื่นต่อรอบ และจากที่มี  $f$  รอบต่อวินาที (ความถี่) ทำให้หาความเร็วได้เป็น  $\lambda f$  เมตรต่อวินาที

ดังนั้น เขียนได้ว่า  $V_p = \lambda f$  เมตร/วินาที

$f$  แทน ความถี่ของคลื่นไซน์ และในระยะเวลาหนึ่งความยาวคลื่นมีการเปลี่ยนเฟสไป  $2\pi$  เรเดียน เกิดขึ้นจะได้  $\beta = 2\pi / \lambda$  เรเดียน

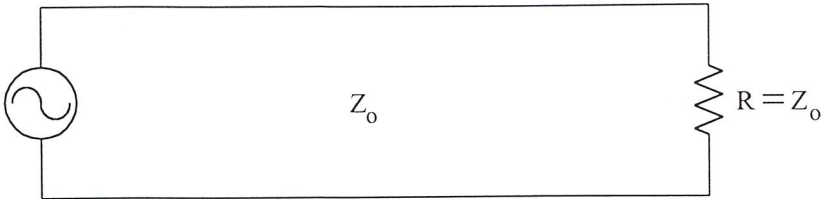
ดังนั้น  $\lambda = 2\pi / \beta$  และ  $V_p = (2\pi / \beta) f = \omega / \beta$

ที่ความถี่คลื่นวิทยุ  $V_p = \omega / \omega (\sqrt{LC}) = 1 / \sqrt{LC}$  เมตรต่อวินาที พบว่ามีค่าเท่ากับทุกความถี่ ความเร็วเฟสบนสายนำสัญญาณจะน้อยกว่าความเร็วแสง ( $C = 3 \times 10^8$  m/s) เสมอ โดยทั่วไปมีค่าประมาณ  $0.6C$  และ  $0.9C$

### 2.2.3 การต่อตัวภาระเข้ากับสายนำสัญญาณ

กรณีที่ค่า  $Z_0 = \sqrt{L/C}$  ของสายนำสัญญาณนั้น ต้องกำหนดไว้ว่าไม่มีความต้านทานในตัวนำ และไม่มีการรั่วไหลของกระแสระหว่างกัน โดยที่  $L$  คือ อินดักแตนซ์ และ  $C$  คือ คาปาซิแตนซ์ ค่า  $L$  จะลดลงเมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำมีขนาดเพิ่มขึ้น ค่า  $C$  จะลดลง เมื่อช่องว่างระหว่างตัวนำทั้งสองเพิ่มขึ้น

ในสายที่มีตัวนำขนาดใหญ่อยู่ใกล้กันมาก จะมีค่า  $Z_0$  ต่ำ หรือสายที่มีตัวนำขนาดเล็กอยู่ห่างกันมากจะมีค่า  $Z_0$  สูง ในการใช้งานจริง ค่า  $Z_0$  ของลวดตัวนำสองเส้นวางขนานกันมีค่าอยู่ระหว่าง 200 – 800 โอห์ม ส่วนสายโคแอกเซียลค่า  $Z_0$  มีค่าอยู่ระหว่าง 30 – 100 โอห์ม ถ้าต่อตัวภาระ (Load) ขนาดเท่ากับ  $Z_0$  เข้ากับสายนำสัญญาณที่มีค่าลักษณะคุณสมบัติทางสายเท่ากับ  $Z_0$  ซึ่งต่อกับแหล่งกำเนิดพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ตัวภาระที่ต่อกับสายนำสัญญาณที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $Z_0$

### 1) กรณีที่ได้สมมูลย์กับสาย

ถ้าต่อความต้านทานขนาดเท่ากับอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสาย เรียกการต่อในลักษณะนี้ว่า 'ได้สมมูลย์ (Match) ในสายนำสัญญาณที่ได้สมมูลย์ ค่าพลังงานที่ส่งจากแหล่งกำเนิดไปยังตัวภาระ จะถูกดูดกลืนหายไปที่ตัวภาระไม่มีการสะท้อนของพลังงานกลับไป ทำให้ไม่เกิดการสูญเสียพลังงานบนสาย เรียกได้ว่าการถ่ายทอดพลังงานอย่างสมบูรณ์

### 2) กรณีที่ไม่สมมูลย์กับสาย

ถ้าต่อความต้านทานที่มีขนาดไม่เท่ากับอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสาย เรียกลักษณะเช่นนี้ว่า 'ไม่ได้สมมูลย์' ดังรูปที่ 2.6 (ก)

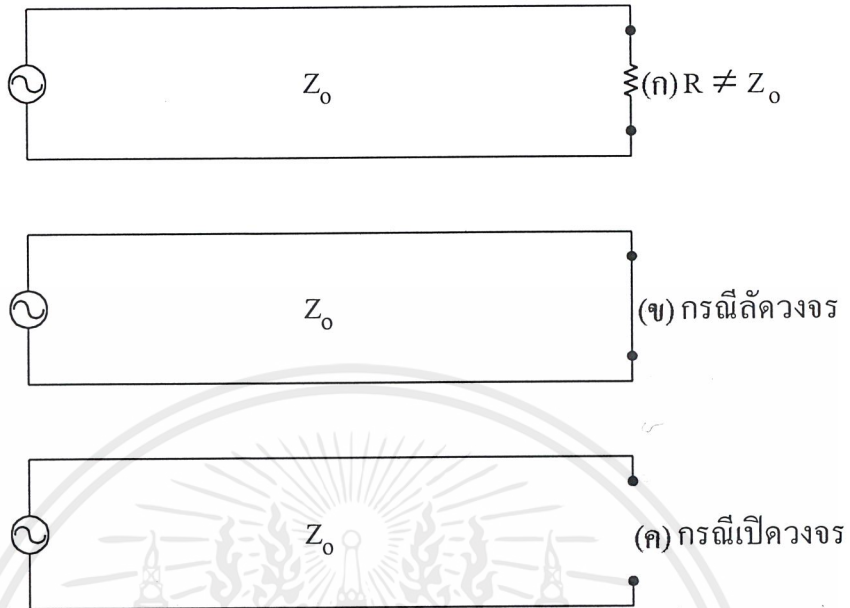
พลังงานที่มาถึงตัวภาระ  $R$  จะไม่ถูกดูดกลืนทั้งหมด (ต่างกับกรณี  $R = Z_0$  ที่พลังงานจะถูกดูดกลืนไปในตัวภาระทั้งหมด) ทำให้เหลือพลังงานบางส่วนที่สะท้อนกลับไปยังแหล่งกำเนิด เหมือนกับการปาลูกบอลไปกระทบกำแพง ซึ่งถ้าเกิดสภาวะไม่ได้สมมูลย์ระหว่างสายนำสัญญาณกับตัวภาระมากขึ้น (ค่า  $R$  แตกต่างกับค่า  $Z_0$  มากขึ้น) ค่าพลังงานที่สะท้อนกลับจะมากขึ้นตามไปด้วย

มีอยู่ 2 กรณีที่ถือว่าพลังงานทั้งหมดที่มาถึงตัวภาระถูกสะท้อนกลับหมด คือ

2.1) กรณีลัดวงจร รูปที่ 2.6 (ข)

2.2) กรณีเปิดวงจร รูปที่ 2.6 (ค)

โดยทั่วไป ถ้าแหล่งกำเนิดเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ค่าแรงดันไฟฟ้า ณ จุดใดๆ บนสายนำสัญญาณเป็นผลรวมทางพีชคณิตระหว่างแรงดันไฟฟ้าส่วนที่เดินทางไปหาตัวภาระกับส่วนที่สะท้อนกลับจากตัวภาระ แยกอธิบายแต่ละกรณีดังนี้

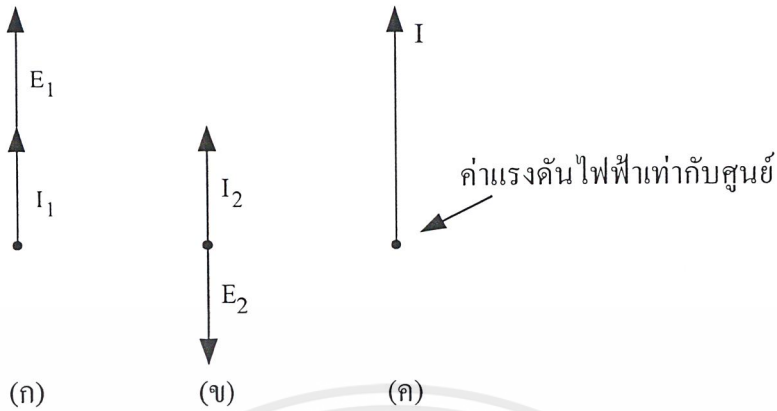


รูปที่ 2.6 กรณีไม่ได้สมดุลย์กับสายนำสัญญาณ

1) กรณีลัดวงจร กำหนดไว้ว่าแรงดันไฟฟ้าที่ตัวภาระต้องเท่ากับศูนย์ นั่นคือ แรงดันไฟฟ้าสะท้อนกลับมีขนาดเท่ากัน แต่ต่างเฟสกัน ทำให้ผลรวมเท่ากับศูนย์ พิจารณาเวกเตอร์ในรูปที่ 2.7 (ข)

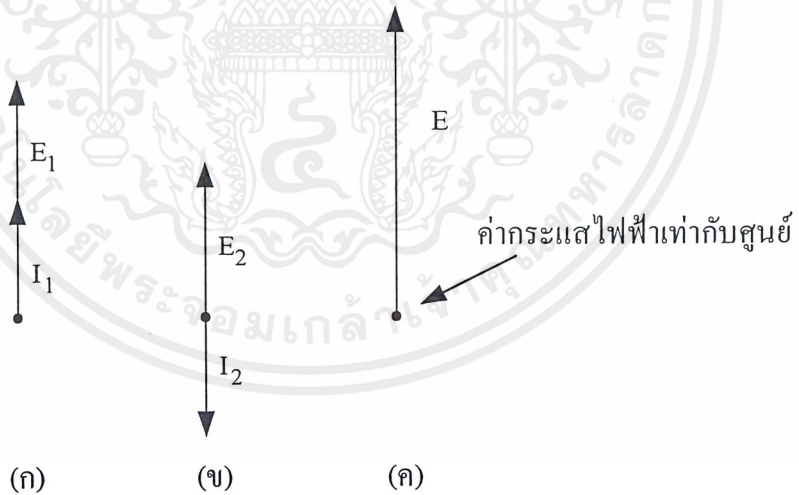
จากรูปที่ 2.7 เป็นการแสดงทั้งขนาด และทิศทางสำหรับกระแสในกรณีลัดวงจรจะไม่หายไปในตัวภาระ ในทางกลับกัน กระแสส่วนที่สะท้อนกลับจะไปเสริมค่ากระแสที่เดินทางมายังตัวภาระโดยมีขนาด และเฟสเหมือนกัน

2) กรณีเปิดวงจร กำหนดไว้ว่ากระแสที่ต้องผ่านตัวภาระต้องเท่ากับศูนย์ แสดงว่ากระแสที่สะท้อนกลับต้องมีเฟสต่างกับกระแสที่เดินทางมายังตัวภาระอยู่ 180 องศา และมีขนาดเท่ากัน ในทำนองเดียวกับกรณีลัดวงจร ค่าแรงดันไฟฟ้าส่วนที่สะท้อนกลับต้องมีเฟสเหมือนกับส่วนที่เดินทางมาจากตัวภาระ (ขนาดเท่ากัน) ทำให้เกิดการเสริมกันของแรงดันไฟฟ้าให้มากขึ้น



รูปที่ 2.7 เวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้า และกระแสที่ลัดวงจร

- (ก) แรงดันไฟฟ้า และกระแสที่เดินทางมาถึงตัวถาวร
- (ข) แรงดันไฟฟ้า และกระแสที่สะท้อนกลับจากตัวถาวร
- (ค) ผลรวม (ก) และ (ข) ที่ให้กระแสสูงขึ้น และแรงดันไฟฟ้าเท่ากับศูนย์



รูปที่ 2.8 เวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้า และกระแสที่ปิดวงจร

- (ก) แรงดันไฟฟ้า และกระแสที่เดินทางมาถึงตัวถาวร
- (ข) แรงดันไฟฟ้า และกระแสที่สะท้อนกลับจากตัวถาวร
- (ค) ผลรวม (ก) และ (ข) ที่ให้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น และกระแสเท่ากับศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โดยที่  $\rho$  แทนสัมประสิทธิ์การสะท้อน

$E_r$  แทนแรงดันไฟฟ้าที่สะท้อนกลับจากตัวภาระ

$E_f$  แทนแรงดันไฟฟ้าที่เดินทางมายังตัวภาระ

ค่า  $\rho$  จะเกี่ยวข้องกับตัวแปร 2 ค่า คือ  $Z_o$  และค่าตัวภาระที่ต่ออยู่ นอกจากนี้ค่า  $\rho$  จะต้องมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง และมากกว่าศูนย์เสมอ ถ้าตัวภาระที่ต่อเป็นค่าความต้านทานอย่างเดียว ( $R$ ) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนหาได้จาก

$$\rho = \frac{R - Z_o}{R + Z_o} \quad (2.4)$$

$R$  เป็นค่าความต้านทานที่นำมาต่อกับสายนำสัญญาณ ค่า  $\rho$  มีเครื่องหมายบวก เมื่อค่า  $R$  มากกว่า  $Z_o$  และเป็นเครื่องหมายลบ เมื่อค่า  $R$  น้อยกว่า  $Z_o$  การเปลี่ยนแปลงเครื่องหมายของ  $\rho$  แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงเฟสของแรงดันไฟฟ้าที่สะท้อนจากตัวภาระ

### 1) คลื่นนิ่ง (Standing Waves)

ถ้ามีตัวภาระที่ได้สมมูลย์กับสาย จะวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสได้เท่ากันตลอดทุกจุดบนสาย แต่ในกรณีที่ตัวภาระไม่ได้สมมูลย์ ทำให้ขนาดที่วัดได้เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งบนสาย เกิดรูปสัญญาณที่คล้ายคลึงกัน เรียกว่า คลื่นนิ่ง

### 2) อัตราส่วนคลื่นนิ่ง

อัตราส่วนค่าแรงดันไฟฟ้าที่มากที่สุดต่อค่าที่น้อยที่สุดที่ปรากฏบนสายนำสัญญาณ หรือแทนด้วยอัตราส่วน  $E_{max}$  ต่อ  $E_{min}$  เรียกว่า อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าคลื่นนิ่ง เขียนแทนว่า VSWR หรือใช้ SWR ก็ได้ดังสมการที่ 2.5

$$SWR = \frac{E_{max}}{E_{min}} \quad (2.5)$$

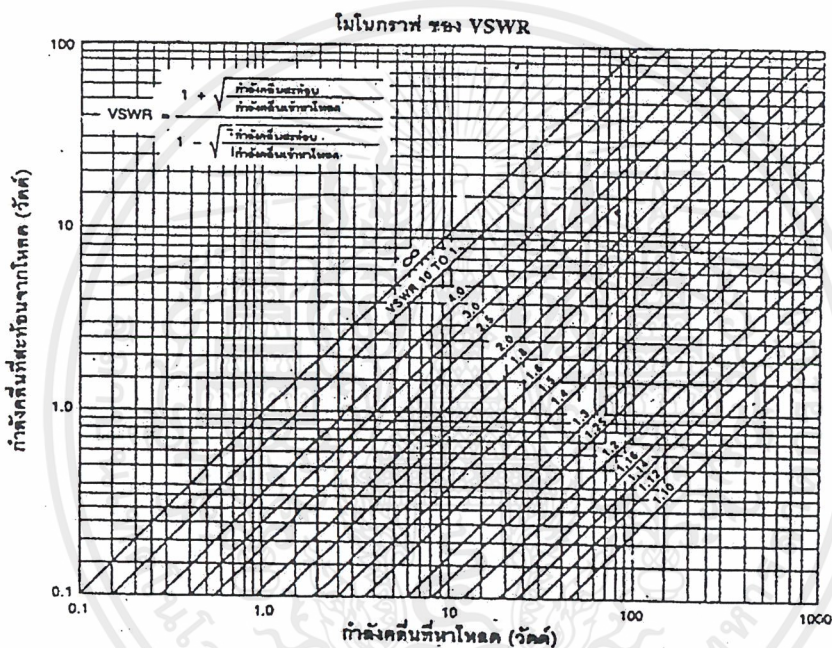
ในทำนองเดียวกัน ค่ากระแสที่มากที่สุดต่อค่ากระแสที่น้อยที่สุด ( $I_{max} / I_{min}$ ) หาได้เช่นเดียวกับ VSWR พิจารณารูปที่ 2.10 แสดงกราฟเดี่ยวของการหา VSWR โดยคิดกำลังคลื่นที่สะท้อน และส่วนที่มหาตัวภาระ (วัดโดยใช้ อาร์.เอฟ.วัตต์มิเตอร์)

นอกจากนี้ค่า SWR ยังใช้คุณสมบัติต่างๆ ของสายที่ไม่ได้สมมูลย์ได้ด้วย หรือใช้บอกถึงประสิทธิภาพของสายได้ โดยถ้าตัวภาระไม่มีค่ารีแอกแตนซ์อยู่เลย ค่า SWR จึงคิดได้จากอัตรา

ส่วนระหว่างความต้านทานของตัวภาระกับอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสาย ( $Z_0$ ) หรือแยกพิจารณาเป็นกรณี 2 แบบ คือ

$$SWR = R/Z_0 \text{ (ค่า } R \text{ มากกว่า } Z_0) \quad (2.6)$$

หรือ  $SWR = Z_0/R \text{ (ค่า } R \text{ น้อยกว่า } Z_0)$



รูปที่ 2.10 กราฟเดี่ยวของ VSWR

การไม่ได้สมดุลของสายนำสัญญาณเกิดมากขึ้น จะมีผลให้ความแตกต่างระหว่างค่า  $Z_0$  และ  $R$  มีมากขึ้น หรือค่า  $SWR$  มีขนาดมากขึ้น ส่วนสายที่มีการได้สมดุลกับตัวภาระอย่างสมบูรณ์ จะไม่มีคลื่นนิ่งเกิดขึ้นบนสาย และมีลักษณะคลื่นเป็นเส้นตรงตลอดความยาวของสาย บางกรณีค่า  $SWR$  สามารถหาจากสัมประสิทธิ์การสะท้อน ( $\rho$ ) ได้จากสูตรต่อไปนี้

$$SWR = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3) การวัดค่า VSWR

ค่า VSWR ในทางทฤษฎีคิดจากค่าแรงดันไฟฟ้ามากที่สุดกับค่าน้อยที่สุด แต่ในทางปฏิบัติ ใช้อุปกรณ์ หรือเครื่องมือที่เรียกว่าวีเอสดีบลิวอาร์มิเตอร์ หรือกัลวานอมิเตอร์ (Galvano meter) และนำค่านี้มาคำนวณหาขนาดอิมพีแดนซ์ของตัวภาระที่นำมาต่อได้

โดยถ้าตัวภาระมีอิมพีแดนซ์เป็นค่าความต้านทานอย่างเดียว จะมีวิธีคำนวณง่ายขึ้น สมมติให้  $Z_L = R_L = 3R_0$  จะได้ (กรณีที่  $R_L$  มากกว่า  $Z_0$ )

$$\rho = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{3R_0 - R_0}{3R_0 + R_0}$$

ดังนั้น

$$SWR = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} = \frac{1 + 1/2}{1 - 1/2} = 3 \quad (2.8)$$

ในทางกลับกัน ถ้าให้  $Z_L = R_L = 1/3R_0$  (กรณีที่  $R_L$  น้อยกว่า  $Z_0$ )

ดังนั้น

$$SWR = \frac{1 + (1/2)}{1 - (1/2)} = 3 \quad (\text{เหมือนกับกรณีที่ผ่านมา})$$

จะเห็นได้ว่าค่า VSWR ทั้งของอัตราส่วน  $R_L / Z_0$  หรือ  $Z_0 / R_L$  มีค่าเท่ากัน การคำนวณข้างต้นใช้เฉพาะกรณีไม่เกิดการสูญเสียในสาย และตัวภาระที่มาต่อเป็นตัวความต้านทานเท่านั้น

## 2.3 วงจรเอสดีบลิวอาร์มิเตอร์

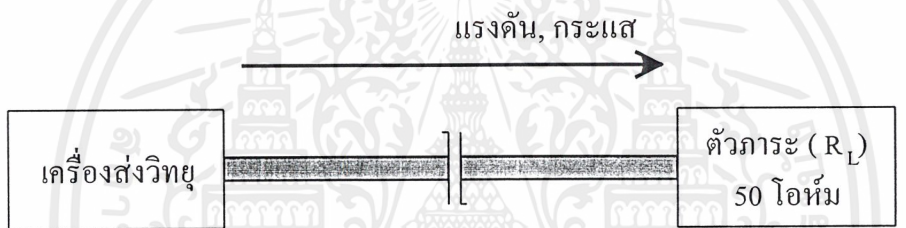
### 2.3.1 ความสำคัญของค่าเอสดีบลิวอาร์

นักวิทยุสมัครเล่นมักต้องการวัดกำลังส่งของเครื่องส่งวิทยุ และวัดค่าเอสดีบลิวอาร์ของระบบสายอากาศ การวัดค่ากำลังส่งมักจะทำเมื่อกำลังตรวจสอบ หรือปรับแต่งเครื่อง เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องส่งสามารถให้กำลังออกมาได้ตามที่ควรจะเป็น แต่การปรับแต่งให้เครื่องส่งจ่ายกำลังออกมาสูงสุดนั้นยังไม่พอ มักต้องการให้แน่ใจว่ากำลังส่งจะถูกแพร่คลื่นออกจากตัวสายอากาศได้เต็มที่ด้วย คือ ระบบสายอากาศต้องมีอิมพีแดนซ์ได้สมดุลระบบของเครื่องส่ง และสายนำสัญญาณ ซึ่งถูกออกแบบให้เป็น 50 โอห์ม ดังนั้น ระบบสายอากาศจะต้องมีอิมพีแดนซ์เป็น 50 โอห์ม

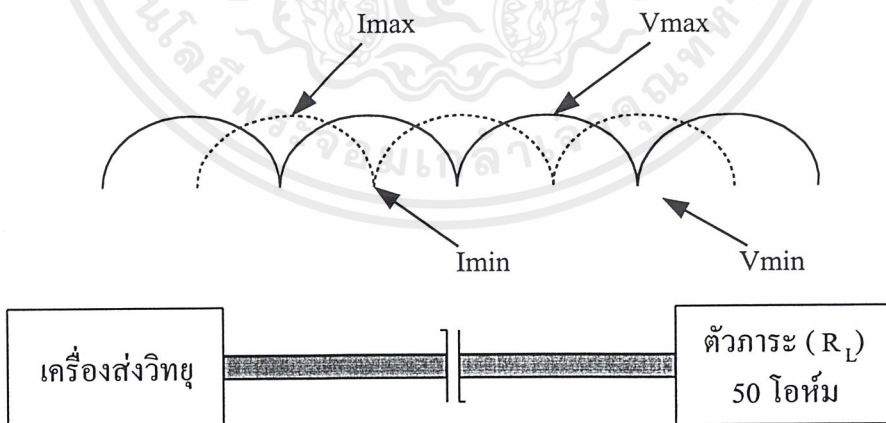
และต้องเรโซแนนซ์ (Resonance) กับความถี่ของเครื่องส่งจึงจะทำให้สายอากาศเหมือนกับเป็นตัวความต้านทานตัวหนึ่ง ซึ่งสามารถรับพลังงานคลื่นวิทยุที่ส่งผ่านมาจากสายนำสัญญาณได้

การที่อิมพีแดนซ์ของระบบสายอากาศไม่ได้สมดุลกับสายนำสัญญาณนั้นอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากสายอากาศไม่เรโซแนนซ์ (Non Resonance) ที่ความถี่นั้น หรือเนื่องจากสายอากาศมีอิมพีแดนซ์ต่างจาก 50 โอห์ม พลังงานคลื่นวิทยุส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับมามากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับระดับของการไม่ได้สมดุลกัน ดังนั้น สายอากาศจึงรับพลังงานวิทยุได้ไม่หมด

ถ้าสายนำสัญญาณมีการสูญเสียมาก และคลื่นสะท้อนกลับมีค่ามาก สายอากาศจะได้รับพลังงานคลื่นวิทยุน้อยลง เพราะว่าแทนที่คลื่นสะท้อนจะวิ่งกลับมาถึงตัวเครื่องส่งแล้วจะสะท้อนกลับไปหาสายอากาศได้เต็มที่อีก ต้องถูกลดทอนด้วยการสูญเสียในสายนำสัญญาณ หากสายอากาศมีอิมพีแดนซ์ต่างจาก 50 โอห์ม มากอาจทำให้ภาคเอาต์พุตของเครื่องส่งวิทยุเสียหายได้



(ก) เมื่อตัวภาระมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับสายนำสัญญาณจะไม่มีคลื่นสะท้อน



(ข) เมื่อตัวภาระมีค่าอิมพีแดนซ์ต่างจากสายนำสัญญาณจะมีคลื่นนิ่งเกิดขึ้น

รูปที่ 2.11 การเกิดคลื่นนิ่งในสายนำสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นที่ส่งเข้าไป และคลื่นที่สะท้อนกลับจะทำให้เกิดคลื่นนิ่ง (Standing Wave) ปรากฏขึ้นบนสายนำสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 2.11 ถ้าสามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้าคลื่นที่ป้อนเข้าไป และกำลังไฟฟ้าของคลื่นที่สะท้อนกลับ สามารถคำนวณหาอัตราส่วนหนึ่งที่เรียกว่า SWR หรือสัดส่วนของคลื่นนิ่งที่ได้ หากไม่มีคลื่นสะท้อนกลับเลย ค่าของ SWR จะมีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งหมายความว่าสายอากาศได้สมดุลย์พอดีกับสายนำสัญญาณ และสายอากาศจะทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุด SWR จะมีค่าเป็นอนันต์ เมื่อคลื่นสะท้อนกลับทั้งหมดจะเกิดขึ้น เมื่อตัวภาระมีค่าเป็นศูนย์ หรืออนันต์ (เช่น เปิดวงจร)

แต่ในทางปฏิบัติการทำให้สายอากาศมีค่า SWR เป็น 1:1 นั้นค่อนข้างยาก สิ่งที่ต้องระวังทำได้ คือ การพยายามปรับแต่งสายอากาศให้มี SWR ใกล้เคียงกับ 1:1 มากที่สุด ถ้าได้ขนาด 1.1 : 1 หรือน้อยกว่า 1.2 : 1 ก็นับว่าน่าพอใจ และมักไม่เกิน 2:1 ตลอดช่วงความถี่ใช้งาน การที่ SWR มากกว่า 2:1 ประสิทธิภาพของการส่งผ่านคลื่นวิทยุไปให้สายอากาศยิ่งแย่มากขึ้น โดยเฉพาะถ้าใช้สายนำสัญญาณยาวๆ ไม่ควรใช้งานเครื่องส่งวิทยุกับสายอากาศที่มี SWR สูงกว่า 3:1 เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเอาต์พุตของเครื่องส่งวิทยุเสียหายได้ และป้องกันไม่ให้สายนำสัญญาณเสียหายในกรณีที่เครื่องส่งมีกำลังสูง เช่น 200 วัตต์ เป็นต้น

### 2.3.2 หลักการทำงานของเอสดีบีบลิวอาร์มิเตอร์

วงจรถวาย SWR คือ วงจรที่ทำหน้าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกำลังไฟฟ้าของคลื่นที่ส่งเข้าไป และคลื่นที่สะท้อนกลับ แล้วแสดงค่าความสัมพันธ์นี้ออกมาเป็นค่า SWR บนส่วนแสดงผล โดยทั่วไปส่วนของกำลังที่ส่งเข้าไป และส่วนของกำลังที่สะท้อนกลับจะถูกแยกออกจากกันด้วย ดังนั้น เมื่อนำกำลังที่ส่งเข้าไป และส่วนของกำลังที่สะท้อนกลับ มาคำนวณตามสมการต่อไปนี้ จะได้ค่า SWR ออกมา

$$SWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (2.9)$$

หรือ  $SWR = \frac{R_L}{Z_0}$       เมื่อ  $R_L > Z_0$

หรือ  $SWR = \frac{Z_0}{R_L}$       เมื่อ  $Z_0 > R_L$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$SWR = \frac{\text{ค่ากระแสเดินไปข้างหน้า} + \text{กระแสสะท้อนกลับ}}{\text{ค่ากระแสเดินไปข้างหน้า} - \text{กระแสสะท้อนกลับ}}$$

### 2.3.3 การสะท้อนกลับจากโหลดตัวความต้านทาน

การต่อปลายสายด้วยโหลดตัวความต้านทาน ซึ่งไม่ใช่ค่าเรคเตอร์สติกอิมพีแดนซ์ของสาย นั้น ผลที่ได้ คือ กำลังงานจะถูกแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับมาตามสาย อีกส่วนหนึ่งจะสูญเสียที่โหลดเป็นความร้อน ในส่วนกำลังงานที่สะท้อนกลับจะมีปริมาณเล็กน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับแรงดัน (Voltage Reflection Coefficient)

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} \quad (2.10)$$

เมื่อ  $\Gamma$  = สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับแรงดัน

$V_r$  = แรงดันสะท้อนกลับ, V

$V_i$  = แรงดันตกกระทบ, V

จากสมการ ถ้าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับแรงดันมีค่าเป็นบวก แสดงว่าแรงดันสะท้อนกลับมีเฟสตรงกัน แต่ถ้ามีค่าเป็นลบ แสดงว่าแรงดันสะท้อนกลับมีเฟสตรงกันข้าม การหาค่าเปอร์เซ็นต์ของคลื่นแรงดันสะท้อนกลับสามารถหาได้จากสมการที่ 2.11

$$\text{เปอร์เซ็นต์แรงดันสะท้อนกลับ} = \Gamma \times 100$$

กำลังงานหาได้จากแรงดันยกกำลังสองหารด้วยค่าเรคเตอร์สติกอิมพีแดนซ์

$$P = \frac{V^2}{Z_o} \quad (2.11)$$

ดังนั้น สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับกำลังงาน (Power Reflection Coefficient) จะมีค่าเท่ากับกำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Gamma^2 = \frac{P_r}{P_i} \quad (2.12)$$

เมื่อ  $\Gamma^2 =$  สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับกำลังสอง

$P_r =$  กำลังงานสะท้อนกลับ, W

$P_i =$  กำลังงานตกกระทบ, W

เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ได้โดย

$$\text{เปอร์เซ็นต์กำลังงานสะท้อนกลับ} = \Gamma^2 \times 100$$

สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับแรงดัน ยังสามารถหาได้จากอัตราส่วนของผลต่าง และผลรวมระหว่างโวลต์กับคาแรคเตอร์อิมพีแดนซ์ของสาย

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.13)$$

โดยที่  $\Gamma =$  สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับแรงดัน

$Z_L =$  โวลต์ อิมพีแดนซ์,  $\Omega$

$Z_0 =$  คาแรคเตอร์อิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ,  $\Omega$

จากสูตร จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับแรงดันมีค่าเป็นบวก เมื่อ  $Z_L$  มากกว่า  $Z_0$  และมีค่าเป็นลบเมื่อ  $Z_L$  น้อยกว่า  $Z_0$  และนอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์ระหว่าง VSWR และ สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับแรงดัน ดังต่อไปนี้

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}}$$

$$VSWR = \frac{V_i + V_r}{V_i - V_r}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$VSWR = \frac{1 + V_r / V_i}{1 - V_r / V_i}$$

จากสมการที่ 2.10 จะได้สมการเป็น

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.14)$$

จะได้ค่า  $\Gamma$  เป็น

$$\Gamma = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \quad (2.15)$$

### 2.3.4 ความสูญเสียที่เกิดจากกำลังงานย้อนกลับ (Return Power Loss)

กำลังงานย้อนกลับเกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางไปตามสายนำสัญญาณ และไปกระทบโหลดที่ไม่สมดุล ทำให้กำลังงานบางส่วนย้อนกลับมาตามสายนำสัญญาณ ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของกำลังงานนี้มีชื่อเรียกว่า Return Loss และมีค่าตามสมการที่ 2.16

$$P_{return} = 10 \log \frac{P_i}{P_r} \quad (2.16)$$

เมื่อ  $P_{return}$  = กำลังงานย้อนกลับ, dB  
 $P_i$  = กำลังงานตกกระทบ (Incident Power), W  
 $P_r$  = กำลังงานสะท้อนกลับ (Reflected Power), W

เพราะว่า  $P = \frac{V^2}{R}$  W. จะได้สมการเป็น

$$P_{return} = 10 \log \frac{V_i^2 / Z_o}{V_r^2 / Z_o}$$

$$= 10 \log \frac{V_i^2}{V_r^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 10 \log \left( \frac{V_i}{V_r} \right)^2$$

จาก  $\log M^N = N \log M$  จะได้สมการใหม่ดังนี้

$$P_{return} = 10(2) \log \frac{V_i}{V_r}$$

$$P_{return} = 20 \log \frac{V_i}{V_r}$$

หารเศษ และส่วนเทอมใน  $\log$  ด้วย  $V_i$  จะได้

$$P_{return} = 20 \log \frac{1}{V_r / V_i}$$

จากสมการที่ 2.10 จะได้สมการใหม่เป็น

$$P_{return} = 20 \log \frac{1}{\Gamma} \quad (2.17)$$

กำลังงานที่สะท้อนกลับมาตามสายนั้นตามความจริง คือ ส่วนหนึ่งจากกำลังงานตกกระทบที่ส่งไปตามสายนำสัญญาณ ดังนั้น Return Power Loss เรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่า Two – way Power Loss

### 2.3.5 ความสูญเสียกำลังงานจากการไม่สมดุล (Mismatch Power Loss)

คำว่า Mismatch Loss เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า One-way Power Loss เป็นค่าความสูญเสียจากการสะท้อนกลับซึ่งเป็นผลจากการไม่สมดุล โดยสามารถหาค่ากำลังสูญเสียจากการไม่สมดุลของสายได้จากสมการ

$$P_{mismatch} = 10 \log \frac{P_i}{P_i - P_r} \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $P_{\text{mismatch}} =$  กำลังงานไม่สมดุล, dB  
 $P_i =$  กำลังงานตกกระทบ, W  
 $P_r =$  กำลังงานสะท้อนกลับ, W

หารทั้งเศษและส่วนด้วย  $P_i$   $P_{\text{mismatch}} = 10 \log \frac{1}{1 - P_r / P_i}$

จาก  $\Gamma^2 = \frac{P_r}{P_i}$  จะได้  $P_{\text{mismatch}} = 10 \log \frac{1}{1 - \Gamma^2}$  (2.19)

## 2.4 วงจรออปแอมป์พื้นฐาน

### 2.4.1 คุณสมบัติของออปแอมป์

ออปแอมป์ คือ อุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ออกแบบมาให้สามารถทำงานได้หลายรูปแบบ และให้ความสะดวกในการนำไปใช้งานอีกด้วย โดยสามารถประกอบเป็นวงจรได้โดยการต่อร่วมกับอุปกรณ์ภายนอกเพียงไม่กี่ตัวเท่านั้น ในอดีต ออปแอมป์จะประกอบขึ้นจากอุปกรณ์หลายตัวที่ถูกนำมาบรรจุไว้ในภาชนะชิ้นเดียวกัน ซึ่งนอกจากจะทำให้ออปแอมป์มีขนาดใหญ่แล้วยังอาจมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำด้วย แต่ในปัจจุบันสามารถใช้ออปแอมป์ในรูปแบบของวงจรรวม (Integrated Circuit : IC) ได้ตามที่องตลาด และจากคุณสมบัติไอซีออปแอมป์ที่ได้พัฒนาขึ้นทำให้อุปกรณ์ชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย

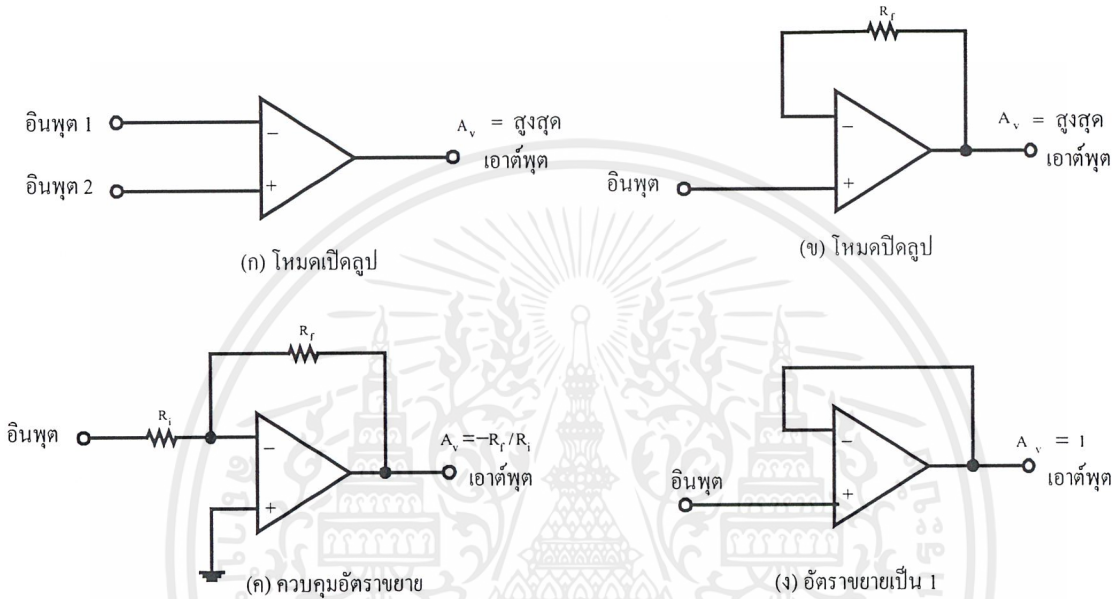
ออปแอมป์ในอุดมคติจะมีอัตราขยายเป็นอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติอัตราขยายอาจมีค่าสูงสุดเพียง 100,000 หรือ 1,000,000 เท่านั้น ซึ่งเรียกว่าอัตราขยายขณะเปิดรูป ( $A_v$ ) ดังรูปที่ 2.12 (ก) ในขณะที่เกิดความแตกต่างของแรงดันเพียงเล็กน้อยระหว่างขั้วอินพุตทั้งสอง เอาต์พุตจะสามารถให้สัญญาณสูงขึ้นหลายเท่า (ตามค่าของอัตราขยาย  $A_v$ ) หากแต่จะถูกจำกัดด้วยขนาดของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่ป้อนให้แก่ออปแอมป์ด้วย แต่เอาต์พุตจะไม่สามารถมีค่าสูงสุดเท่ากับแรงดันจากไฟเลี้ยงได้จริง ทำให้แรงดันเอาต์พุตสูงสุดอาจมีค่าประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ของแรงดันจากไฟเลี้ยงเท่านั้น

จากคุณสมบัติข้างต้นนั้น สามารถนำออปแอมป์ในขณะเปิดรูปไปทำการใช้งานเป็นตัวเปรียบเทียบ (Comparator) หรือวงจรเปรียบเทียบแรงดันได้ โดยเอาต์พุตจะเปลี่ยนทันทีเมื่อมีความแตกต่างของแรงดันเกิดขึ้นระหว่างขั้วอินพุตของออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

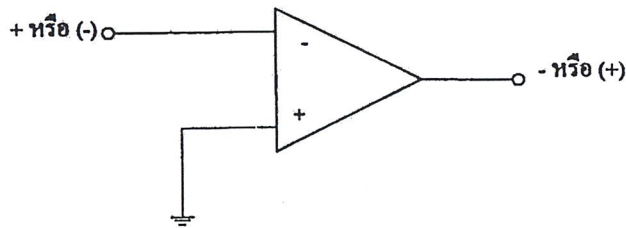
วงจรในรูป 2.12 (ค) แสดงการใช้โอปแอมป์โดยมีการป้อนสัญญาณเอาต์พุตกลับมายังอินพุตนอกจากนี้ยังสามารถควบคุมอัตราขยายแรงดัน  $A_v$  มีค่าดังสมการข้างล่าง

$$A_v = -R_f/R_i \tag{2.20}$$



รูปที่ 2.12 วงจรออปแอมป์แบบต่างๆ

โดยที่เครื่องหมายลบแสดงถึงการกลับเฟสของเอาต์พุตเมื่อเทียบกับอินพุต ส่วนวงจรในรูปที่ 2.12 (ง) แสดงการป้อนกลับในกรณีนี้  $A_v = 1$  คุณสมบัติที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้ คือ คุณสมบัติทั่วไปของออปแอมป์ที่จะนำมาใช้ในบทต่อไป และนอกจากนี้คุณสมบัติอีกประการ คือ เรื่องความสัมพันธ์ของขั้วต่างๆ ระหว่างอินพุต และเอาต์พุตของออปแอมป์ ซึ่งสรุปดังในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 อินพุต และเอาต์พุตของออปแอมป์

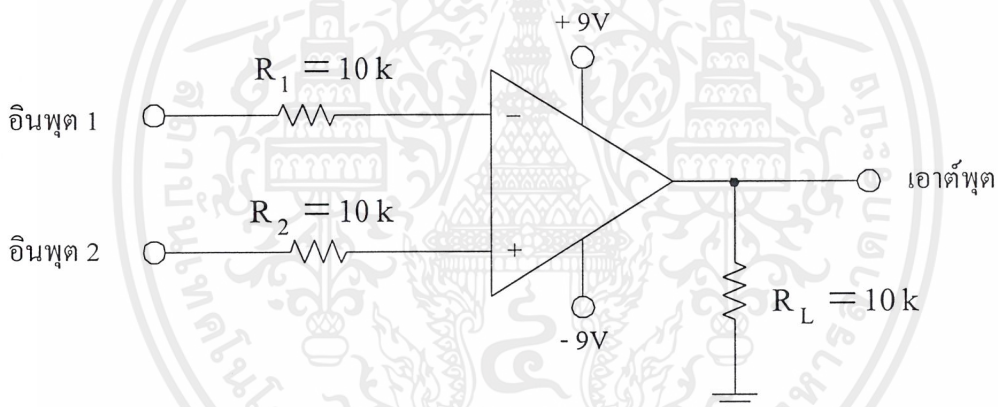
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.2 วงจรออปแอมป์พื้นฐาน

วงจรพื้นฐานของการนำออปแอมป์ไปใช้งาน ซึ่งวงจรเหล่านี้จะเป็นพื้นฐานที่ดีในการนำไปประกอบวงจรที่สลับซับซ้อนขึ้นไป โดยแบ่งออกเป็นชนิดการทำงานแบบลูปเปิด เช่น คอมพาราเตอร์ ตัวตรวจวัดระบบสัญญาณ เป็นต้น และแบบลูปปิด เช่น วงจรขยายแรงดัน เป็นต้น โดยจะใช้ ออปแอมป์เบอร์ 741

#### 1) วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

การทำงานเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันในขณะลูปเปิดนั้น ออปแอมป์สามารถเปรียบเทียบระดับสัญญาณระหว่างขั้วอินพุตทั้งสองได้ค่อนข้างแม่นยำ โดยใช้หลักการเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างขั้วอินพุต เมื่อแรงดันที่ขั้วลบมีค่าเป็นบวกสูงกว่าแรงดันอินพุตที่ขั้วบวก สัญญาณที่เอาต์พุตจะเป็นลบ และมีขนาดเกือบเท่ากับ  $-V_{cc}$  จากแหล่งจ่ายไฟ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.14 และตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.14 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

#### 2) วงจรเปรียบเทียบเฟสของสัญญาณ

วงจรเปรียบเทียบเฟสของสัญญาณอาจถูกใช้เป็นวงจรเปรียบเทียบเฟสของสัญญาณสองตัว ซึ่งแต่ละตัวอาจมีความถี่ไม่แน่นอน นั่นคือ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังนั้น เมื่อใดก็ตามที่เฟสและขนาดของสัญญาณอินพุตทั้งสองตรงกัน เอาต์พุตของออปแอมป์จะมีค่าเป็นศูนย์ทันที

ตารางที่ 2.1 ค่าเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

Input Voltage		Output Voltage
$V_1$	$V_2$	$\pm V_{sat}$
+1	+2	+8
+2	+1	-8
0	0	0
+1	-1	-8
-1	+1	+8
-1	-2	-8
-2	-1	+8

### 3) วงจรขยายกลับเฟส (Inverting Amplifier)

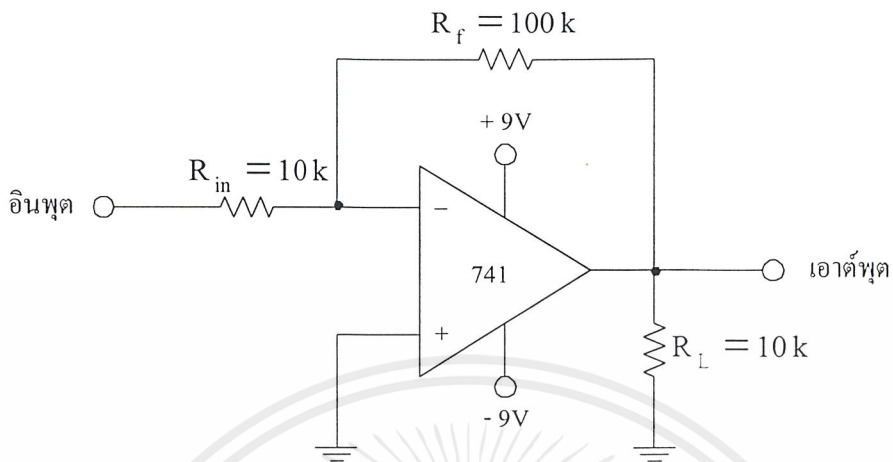
โดยทั่วไป วงจรขยายจะหมายถึงความถี่ที่เปลี่ยนระดับสัญญาณอินพุตน้อยๆ มาเป็นสัญญาณเอาต์พุตที่มีระดับขนาดสูงขึ้นกว่าเดิม ซึ่งสัญญาณที่ว่าจะอาจเป็นได้ทั้งแรงดัน หรือกระแส ในลักษณะเดียวกัน วงจรขยายออปแอมป์ คือ วงจรที่มีอัตราขยายแรงดันสูงมาก และยังมีลักษณะของการขยายเป็นเส้นตรง นั่นคือ อัตราส่วนระหว่างเอาต์พุตต่ออินพุตจะคงที่เสมอ (ในทางอุดมคติ) และนอกจากนี้ยังสามารถควบคุมอัตราขยายของออปแอมป์ได้ โดยใช้อุปกรณ์ภายนอกเพียงไม่กี่ตัวเท่านั้น

รูปที่ 2.15 แสดงวงจรขยายกลับเฟสแบบมาตรฐาน ซึ่งวิธีที่ใช้เป็นแบบลูปปิด เรียกว่า “การป้อนกลับแบบลบ” โดยนำเอาเอาต์พุตซึ่งกลับเฟสอินพุตมาป้อนที่จุดอินพุตอีกที ผลคือ วงจรภายในออปแอมป์จะพยายามปรับเอาต์พุต จนกระทั่งความต่างศักย์ระหว่างอินพุตมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ แต่ต้องเข้าใจว่าแรงดันระหว่างขั้วอินพุตจะต้องไม่เท่ากับศูนย์พอดี มิฉะนั้นแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับศูนย์โวลต์ด้วย กล่าวคือ ผลต่างระหว่าง  $V_{in}$  และ  $V_{out}$  ที่ขั้วอินพุตลบมีค่าต่ำพอที่จะทำให้เกิดแรงดันเอาต์พุตได้พอดีเท่านั้น

จากสมการของอัตราขยายแรงดัน  $A_v$

$$A_v = V_{out} / V_{in} \quad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 วงจรขยายกลับเฟสแบบมาตรฐาน

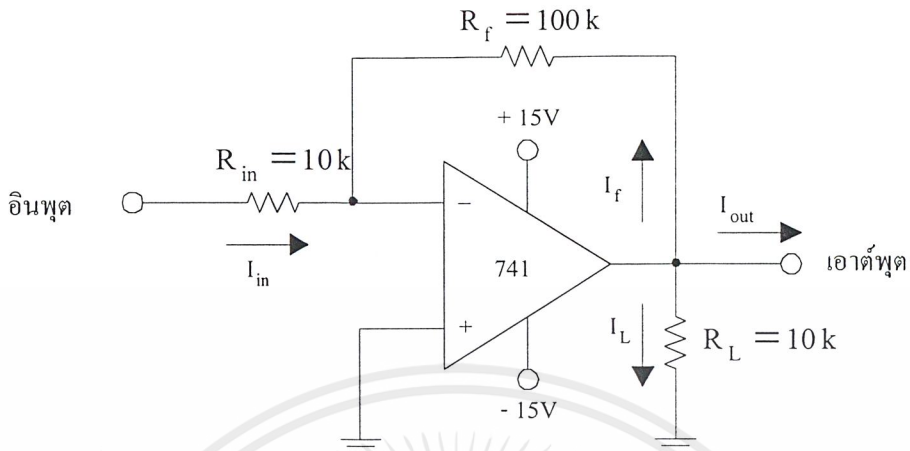
ตารางที่ 2.2 ค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรกลับเฟสแบบมาตรฐาน

แรงดันอินพุต	แรงดันเอาต์พุต
+ 0.3	- 3
- 0.3	+ 3
+ 0.52	- 5.2
- 0.52	+ 5.2

ในที่นี้จะพิสูจน์ให้เห็นว่า ค่าอัตราขยายแรงดัน  $A_v$  ของออปแอมป์เมื่อใช้ในโหมดของรูปปิด จะสามารถหาได้ด้วยสมการ

$$A_v = -R_f/R_{in} \quad (2.22)$$

พิจารณาวงจรในรูปที่ 2.16 ซึ่งเป็นวงจรเดียวกับรูปที่ 2.15 และจากข้อกำหนด 2 ข้อที่กำหนด คือ ความต่างศักย์ระหว่างขั้วอินพุตเท่ากับศูนย์ และกระแสเข้าที่ขั้วอินพุตใดๆ เท่ากับศูนย์



รูปที่ 2.16 วงจรขยายกลับเฟส

โดยใช้หลักการจากข้อกำหนดที่ 1 ซึ่งทำให้ขั้วอินพุตลบมีศักดาเทียบกับกราวด์ ซึ่งเรียกว่ากราวด์เสมือน สามารถเขียนได้ว่ากระแส  $I_{in}$  มีค่า

$$I_{in} = V_{in} / R_{in} = 1V / 10 \text{ k}\Omega = 0.1 \text{ mA}$$

จากข้อกำหนดที่ 2 พบว่า กระแสที่ผ่าน  $R_f$  จะเท่ากับกระแส  $I_{in}$  ดังนั้น จึงสามารถหาแรงดันที่เอาต์พุตเทียบกับกราวด์ได้โดยที่กระแส  $I_f$  จะมีค่า

$$I_f = -V_{out} / R_f \quad (2.23)$$

ดังนั้น

$$V_{in} / R_{in} = -V_{out} / R_f$$

นั่นคือ

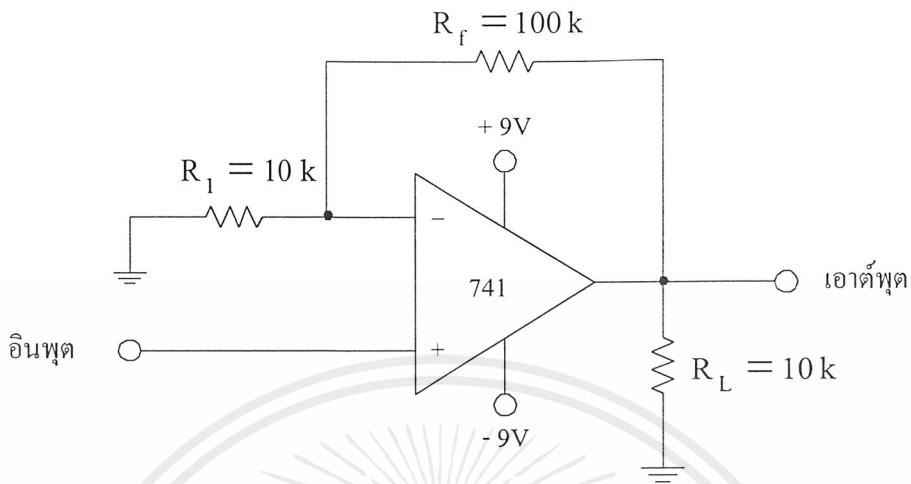
$$A_v = V_{out} / V_{in} = -R_f / R_{in}$$

ดังนั้น

$$V_{out} = A_v \cdot V_{in} = (-R_f / R_{in}) \times V_{in}$$

โดยที่เครื่องหมายลบแสดงการกลับเฟสของเอาต์พุตเทียบกับอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 วงจรขยายไม่กลับเฟส

ตารางที่ 2.3 ค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรขยายไม่กลับเฟส

แรงดันอินพุต	แรงดันเอาต์พุต
+ 0.3	+ 3.3
- 0.3	- 3.3
+ 0.52	+ 5.72
- 0.52	- 5.72

#### 4) วงจรขยายไม่กลับเฟส (Non Inverting Amplifier)

วงจรขยายไม่กลับเฟสจะแตกต่างกับวงจรขยายกลับเฟสในแง่ของอัตราขยาย และเฟสของเอาต์พุต แต่อย่างไรก็ตาม อัตราขยายแรงดันของวงจรขยายไม่กลับเฟสยังถูกควบคุมจากอุปกรณ์ภายนอกเช่นเดิม โดยจะวิเคราะห์ห้วงจรเพื่อหาค่าอัตราขยายสำหรับวงจรชนิดนี้

จากรูปที่ 2.17 แรงดันอินพุตจะถูกป้อนที่ขั้วบวก ในขณะที่สัญญาณอินพุตในวงจรขยายกลับเฟสจะถูกป้อนที่ขั้วลบ และมีแรงดัน  $V_A$  ซึ่งเกิดจากการแบ่งแรงดันของเอาต์พุตตกคร่อมตัวความต้านทาน  $R_1$  จากคุณสมบัติของออปแอมป์ ที่มีศักดาที่ขั้วอินพุตลบจะถูกบังคับให้มีขนาดเข้าใกล้ศักดาที่ขั้วอินพุตบวกเสมอ จะได้ว่า

$$V_{in} = V_A \quad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสามารถเขียนค่าขยายแรงดัน  $A_v$  ได้เท่ากับ

$$A_v = V_{out} / V_i$$

และเนื่องจาก  $V_i$  เกิดจากการแบ่งแรงดันของ  $V_{out}$  จะได้ว่า

$$V_i = (R_{in} + V_{out}) / (R_f + R_{in})$$

เมื่อจัดสมการใหม่จะได้

$$V_{out} = (R_f / V_i) + (R_{in} / R_{in}) \quad (2.25)$$

หรือ

$$A_v = V_{out} / V_i = (R_f / R_{in}) + 1$$

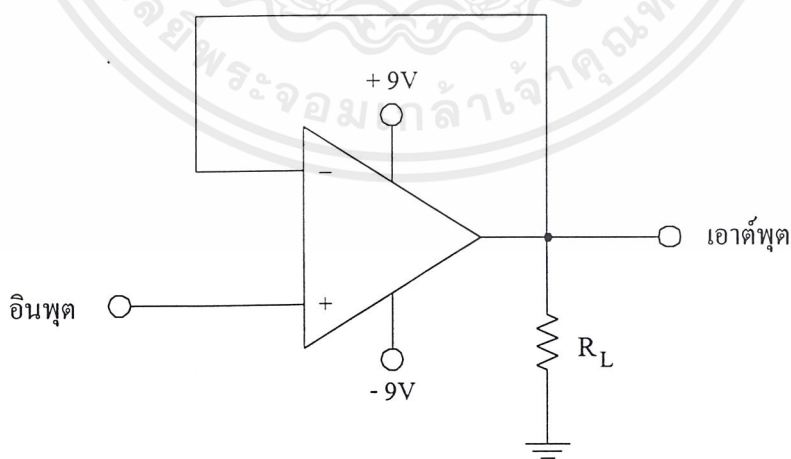
นั่นคือ

$$V_{out} = (R_f + 1) V_{in} / R_{in}$$

ตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างสำหรับ  $V_{in}$  และ  $V_{out}$  ของค่าต่างๆ ในวงจรขยายไม่กลับเฟส

### 5) วงจรตามแรงดัน (Voltage Follower)

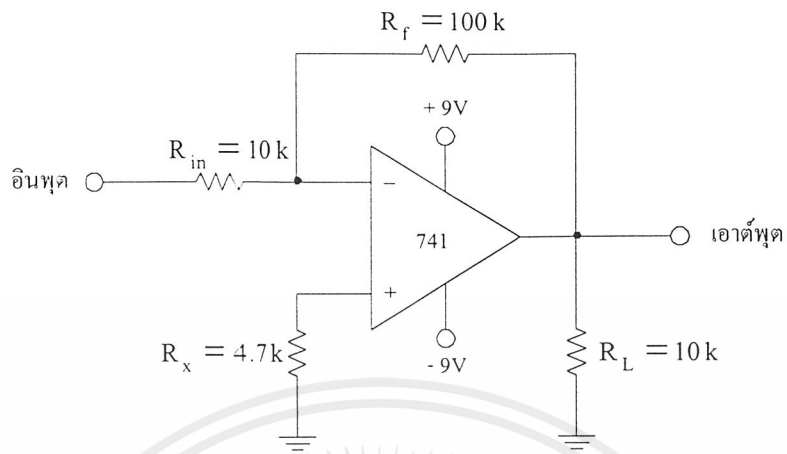
ในบางครั้ง อาจต้องการวงจรออปแอมป์ซึ่งให้อัตราการขยายเท่ากับหนึ่ง เพื่อนำไปใช้เป็นบัฟเฟอร์ (Buffer) ในกรณีนี้สามารถใช้วงจรขยายไม่กลับเฟส หรือกลับเฟสก็ได้



(ก) วงจรขยายไม่กลับเฟส

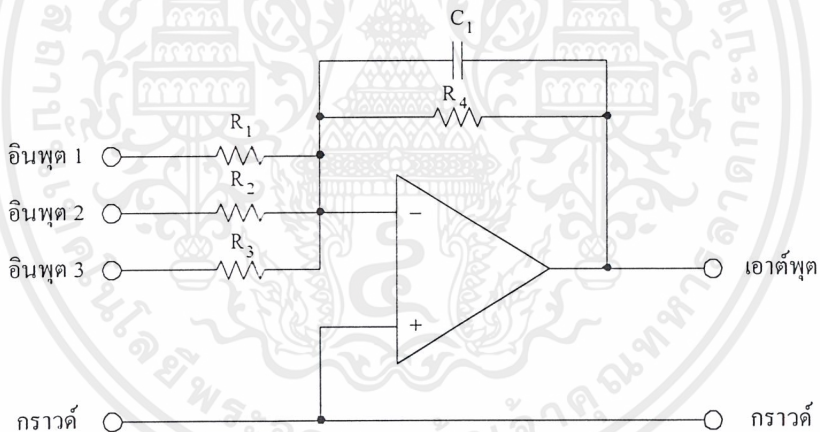
รูปที่ 2.18 วงจรขยายแบบกลับเฟส และไม่กลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) วงจรขยายกลับเฟส

รูปที่ 2.18 (ต่อ) วงจรขยายแบบกลับเฟส และ ไม่กลับเฟส



รูปที่ 2.19 วงจรขยายแบบกลับเฟส

วงจรวกแรงดันมีทั้งแบบกลับเฟส และ ไม่กลับเฟสอาศัยหลักการดังนี้

พิจารณาในวงจรรูปที่ 2.19 ด้วยคุณสมบัติของกราวด์เสมือนที่ขาอินพุตของวงจขยายกลับเฟส ทำให้สามารถกำหนดกระแสอินพุต  $I_{in}$  ได้

$$I_{in} = I_1 + I_2 + I_3 \tag{2.26}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_1 = V_1/R_1 ; I_2 = V_2/R_2 ; I_3 = V_3/R_3$$

$$I_{in} = (V_1/R_1) + (V_2/R_2) + (V_3/R_3) \quad (2.27)$$

จากคุณสมบัติของวงจรขยายแบบกลับเฟส  $I_{in} = I_f$

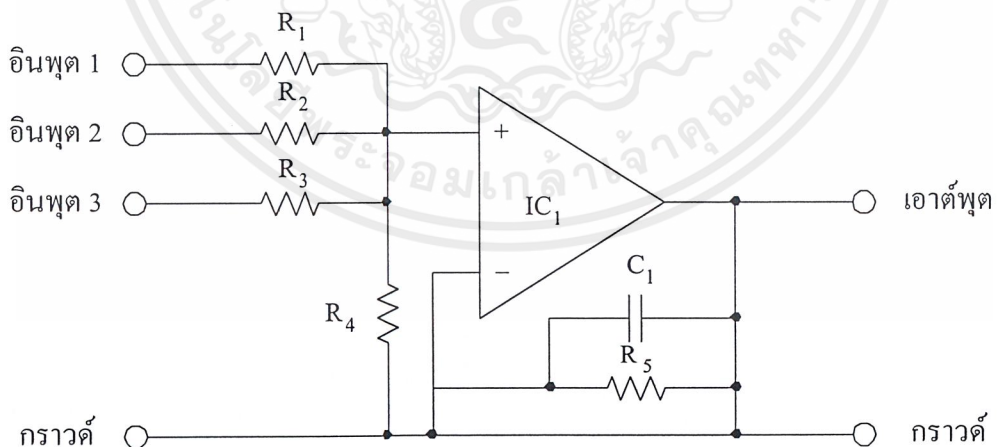
$$\begin{aligned} V_{out} &= -(I_1 + I_2 + I_3) \times R_f \\ &= -[(V_1 \times R_f / R_1) + (V_2 \times R_f / R_2) + (V_3 \times R_f / R_3)] \end{aligned}$$

ในที่นี้

$$R_f = R_{10} \text{ ดังนั้น}$$

$$V_{out} = -[(V_1 \times R_{10} / R_1) + (V_2 \times R_{10} / R_2) + (V_3 \times R_{10} / R_3)]$$

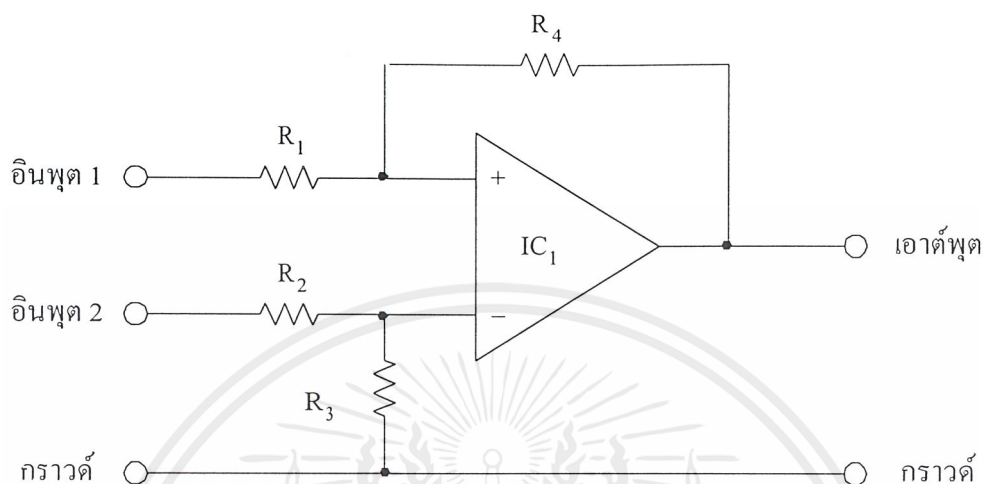
สำหรับวงจรบวกแรงดันแบบไม่กลับเฟส แสดงในรูปที่ 2.20 ตัวความต้านทาน  $R_1$  ถึง  $R_3$  ลดทอนแรงดันอินพุต และเพื่อให้เป็นวงจรบวกแรงดันจริงๆ ค่าของ  $R_1$  ถึง  $R_3$  และ  $R_4$  ต้องเท่ากันหมด



รูปที่ 2.20 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6) วงจรขยายความแตกต่างเฟส



รูปที่ 2.21 วงจรขยายความแตกต่างเฟส

## หลักการของวงจรขยายกลับเฟส

วงจรขยายความแตกต่าง (Differential Amplifier) เป็นวงจรที่ให้สัญญาณเอาต์พุตตามสัดส่วนของความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุตทั้งสอง หากสัญญาณที่เข้าด้านอินพุตขยายไม่กลับเฟส หรืออินพุตบวกรมีค่ามากกว่าสัญญาณที่ขาอินพุตขยายกลับเฟส หรืออินพุตลบสัญญาณเอาต์พุตจะมีค่าเป็นบวก ในทางตรงกันข้าม หากขนาดของสัญญาณที่ขาขยายกลับเฟสมากกว่าขาขยายไม่กลับเฟสสัญญาณเอาต์พุตจะมีค่าเป็นลบ ถ้าหากว่าสัญญาณของทั้งสองอินพุตมีค่าเท่ากันเอาต์พุตจะเป็นศูนย์

การจัดสัดส่วนของความต้านทาน เพื่อกำหนดอัตราขยายให้แก่วงจรมีความสำคัญมาก โดยสัญญาณเอาต์พุตของวงจรจะมีค่าเท่ากับ

$$V_{out} = R_f (V_1 - V_2)$$

โดยที่  $R_f$  ในวงจร คือ  $R_4$  ส่วน  $R_{in}$  คือ  $R_1$  และ  $R_2$  สำหรับ  $V_1$  คือ แรงดันที่ขาอินพุตขยายไม่กลับเฟส  $V_2$  คือ แรงดันที่ขาอินพุตขยายกลับเฟสหากต้องการให้เป็นวงจรลบต้องจัดให้ วงจรมีอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง นั่นคือ กำหนดให้  $R_f = R_{in}$  แต่หากต้องการให้มีการขยาย จัดให้  $R_f$  มีค่ามากกว่า  $R_{in}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### หลักการของวงจรลบแรงดัน

รูปที่ 2.27 เป็นวงจรลบแรงดัน โดยใช้โอปแอมป์ โดยทำการรวมวงจรขยายกลับเฟส และขยายไม่กลับเฟสเข้าด้วยกัน ผลคือ เกิดการหักล้างกันที่เอาต์พุต โดยแรงดันที่ขั้วอินพุตบวกจะเท่ากับ

$$V_+ = \frac{R_g}{R_2 + R_g} V_2 \quad (2.28)$$

การวิเคราะห์ห้วงจรขยายกลับเฟสทั่วไป โดยมี  $V_+$  เป็นแรงดันอ้างอิงที่ขั้วอินพุตบวก

$$\begin{aligned} \frac{V_1 - V_+}{R_1} &= \frac{-(V_o - V_+)}{R_f} \\ V_o - V_+ &= -\frac{R_f}{R_1} (V_1 - V_+) \\ V_o &= -\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f \cdot V_+}{R_1} + (V_+) \\ &= -\frac{R_f}{R_1} V_1 + \left(\frac{R_f}{R_1} + 1\right) (V_+) \\ &= -\frac{R_f}{R_1} V_1 + \left(\frac{R_f + R_1}{R_1}\right) \left(\frac{R_g}{R_2 + R_g}\right) V_2 \end{aligned}$$

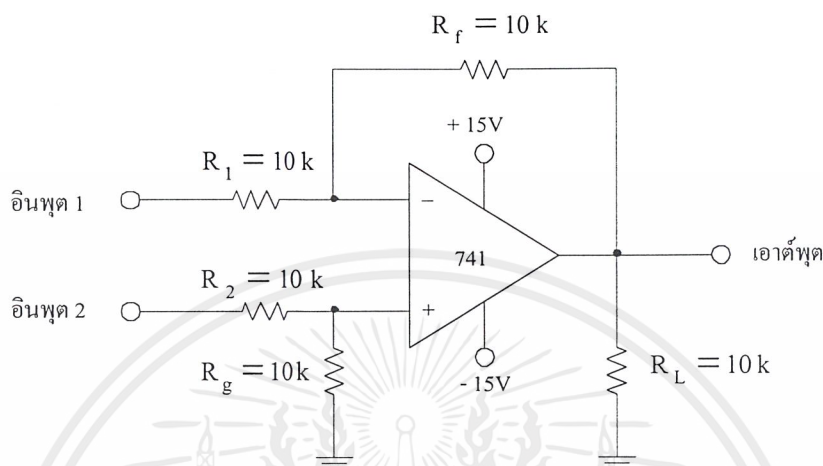
และหาก  $R_1 = R_2 = R_f = R_g$  จะได้

$$V_{out} = V_2 - V_1 \quad (2.29)$$

ส่วนรูปที่ 2.22 แสดงวงจรลบแรงดันที่มีการขยายสัญญาณที่เอาต์พุต ซึ่งยังคงใช้สมการของวงจรลบแรงดัน เมื่อ  $R_2 = R_g$  จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{out} = \frac{R_f}{R_g} (V_2 - V_1) \quad (2.30)$$



รูปที่ 2.22 การใช้ออปแอมป์เป็นวงจรลบแรงดัน

ตารางที่ 2.4 ค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรลบแรงดัน

Input Voltage		Output Voltage
$V_1$	$V_2$	Algebraic difference
+ 2	+ 4	+ 2
+ 4	+ 2	- 2
+ 4	- 2	- 6
- 2	+ 4	+ 6
- 4	+ 2	+ 6
+ 2	- 4	- 6
- 4	- 2	+ 2
- 2	- 4	- 2

สังเกตว่าวงจรนี้ทำหน้าที่คล้ายวงจรเปรียบเทียบ ต่างกันตรงที่สามารถขยายสัญญาณผลต่างได้ วงจรนี้มีข้อเสียที่อินพุตอิมพีแดนซ์ค่อนข้างต่ำในบางครั้ง จึงอาจจำเป็นต้องใช้วงจรตามแรงดันเป็นบัฟเฟอร์ก่อนเข้าวงจรลบแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 การใช้งาน แอล ซี ดี โมดูล

การใช้งาน แอล ซี ดี สำหรับการแสดงผลในเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ เป็นที่นิยม เนื่องจากความเหมาะสมหลายๆ ด้าน เช่น การใช้กระแสดำ สามารถแสดงผลเป็นตัวอักษรและตัวเลข หรือแสดงเป็นกราฟฟิค แต่จะมีปัญหาในด้านวงจร คือ มีระบบการทำงานที่ซับซ้อน และหาอุปกรณ์ได้ค่อนข้างยาก แต่ในปัจจุบันทางบริษัทผู้ผลิต แอล ซี ดี ได้มีการผลิต แอล ซี ดี ออกมาเป็นแบบ โมดูล กล่าวคือ มีทั้งตัว แอล ซี ดี และส่วนควบคุมมาให้ครบเรียกว่า แอล ซี ดี โมดูล ทำให้สามารถใช้งานได้ง่ายมากขึ้น

แอล ซี ดี โมดูล มีอยู่หลายชนิด หลายรุ่น และมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือ

- แบบ DOT MATRIX จะแสดงผลเป็นตัวอักษรขนาด 5×8 DOT และมีจำนวนตัวอักษรและบรรทัดแตกต่างกันในแต่ละรุ่น
- แบบ GRAPHIC จะแสดงผลในแบบ BIT MAP คือจะสร้างเป็นภาพใดๆก็ได้ตามต้องการ

การใช้งานโดยทั่วไปมักจะใช้แบบ DOT MATRIX มากกว่า เนื่องจากมีราคาถูกกว่า และเพียงพอต่อการใช้งานส่วนใหญ่ คุณสมบัติของ แอล ซี ดี โมดูล แบบ DOT MATRIX สามารถสรุปเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

- 1) มีให้เลือกหลายรุ่นตามความต้องการใช้งาน โดยมีจำนวนตัวอักษรและบรรทัดแตกต่างกันออกไป
- 2) ตัวอักษรแสดงด้วย DOT MATRIX ขนาด 5×8 DOT
- 3) สามารถต่อเข้ากับระบบการใช้งานได้ 2 แบบ คือ แบบ MEMORY MAP และแบบผ่านพอร์ต 8255 ซึ่งจะใช้ขาสัญญาณทั้งหมด 14 PIN
- 4) การใช้งานง่าย และสะดวกระบบเพียงแค่ส่งข้อมูลให้กับ แอล ซี ดี โมดูลเท่านั้นข้อความก็จะปรากฏบนแผงแสดงผล และจะค้างไว้ตลอดทำให้ไม่ต้องเสียเวลาของระบบ
- 5) มีคำสั่งพิเศษสำหรับอำนวยความสะดวกมากมาย เช่น CLEAR , DISPLAY , HOME , CURSOR ON OFF , BLANK CHARACTER และอื่นๆ อีก
- 6) สามารถแสดงผลเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ และตัวเลขได้ 160 ตัว และสัญลักษณ์พิเศษได้อีก 32 ตัว รวมทั้งสามารถกำหนดตัวอักษรที่ออกแบบเองได้อีก 8 ตัว
- 7) กินกระแสน้อย และมีน้ำหนักเบา ทำงานได้ด้วยไฟเลี้ยงเพียง 5 โวลต์ เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ขาสัญญาณของ แอล ซี ดี โมดูล

PIN	SYMBOL	LEVEL	FUNCTION
1	$V_{ss}$	-	0 V GND
2	$V_{cc}$	-	+ 5 V Power Supply
3	$V_{cc}$	-	+ V For Liquid Crystal Drive
4	RS	H/L	Register Select H: Data Input L: Instruction Input
5	R/W	H/L	H: Data Read L: Data Write
6	E	H	Enable Signal (L->H)
7	DB 0	H/L	Data Bus Bit 1
8	DB 1	H/L	Data Bus Bit 2
9	DB 2	H/L	Data Bus Bit 3
10	DB 3	H/L	Data Bus Bit 4
11	DB 4	H/L	Data Bus Bit 5
12	DB 5	H/L	Data Bus Bit 6
13	DB 6	H/L	Data Bus Bit 6
14	DB 7	H/L	Data Bus Bit 7

### 2.5.1 การต่อ แอล ซี ดี โมดูล เข้ากับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

แอล ซี ดี โมดูล จะต่อเข้ากับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ 2 แบบ คือ แบบ MEMORY MAP และแบบผ่านพอร์ต 8255 ซึ่งทั้งสองแบบนี้มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน โดยแต่ละแบบมีหลักการดังนี้

#### 1) การต่อแบบ MEMORY MAP

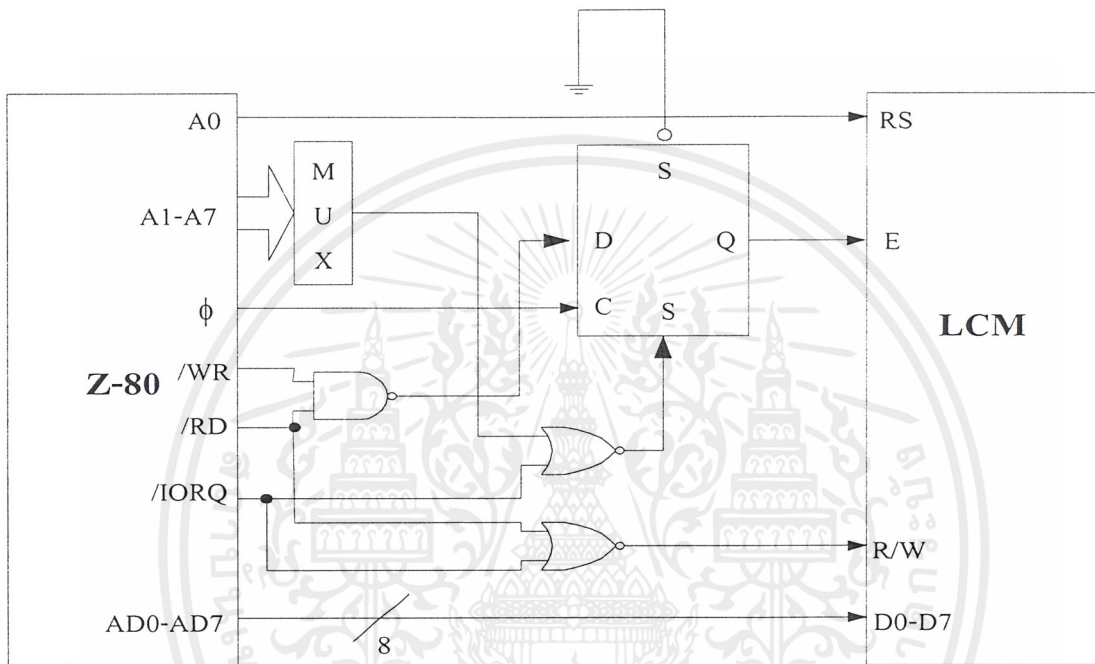
1.1) สามารถต่อเข้ากับ CHIP เบอร์ทั่วไปได้ เช่น 8051 หรือ Z80 โดยจะทำให้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์มองเห็น แอล ซี ดี โมดูล ในลักษณะของ MEMORY ได้ทันที

1.2) ผู้ใช้สามารถเขียน และอ่านข้อมูลได้จาก แอล ซี ดี โมดูล ได้ ทำให้มองเห็นเหมือนว่าเป็น MEMORY BUFFER ไปในตัว

1.3) เนื่องจากสามารถอ่านข้อมูลกลับได้ จึงทำให้สามารถตรวจสอบ FLAG ความพร้อมในขณะที่ แอล ซี ดี โมดูล กำลังทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.4) ใช้ได้กับบอร์ดที่มี LCD BUS มาให้พร้อมเท่านั้น
- 1.5) ทำให้กินพื้นที่หน่วยความจำไปส่วนหนึ่ง และต้องมีการ DECODE ที่ละเอียด
- 1.6) การจัดขาสัญญาณจะต้องเป็นไปตามแบบของ CHIP

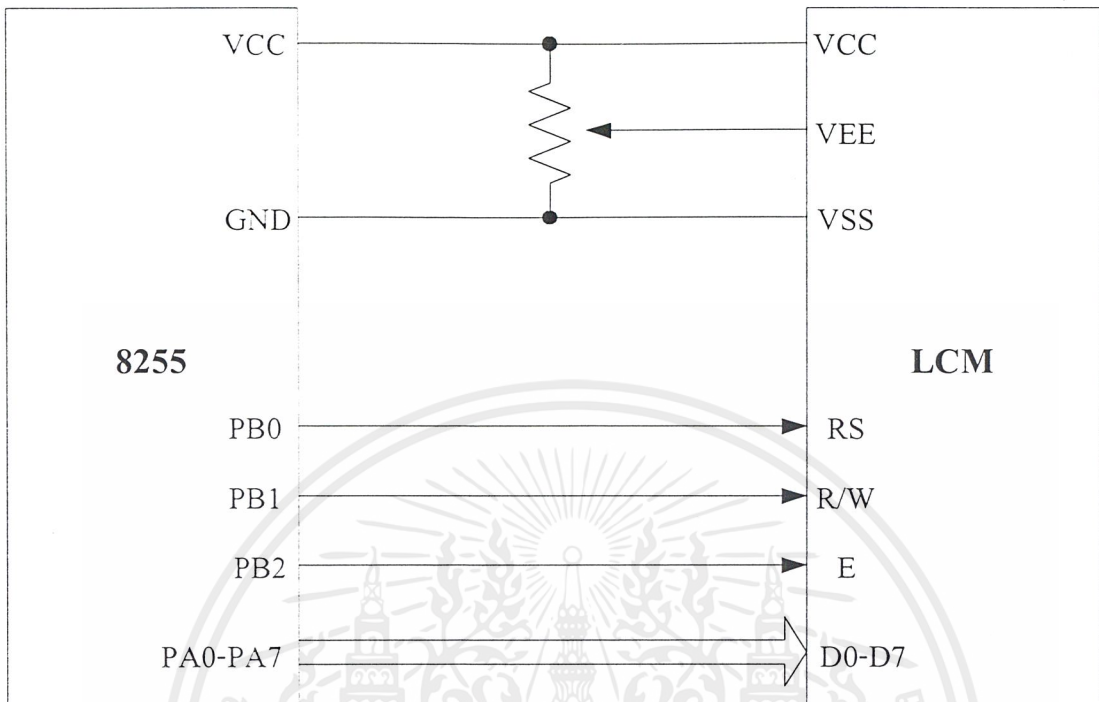


รูปที่ 2.23 การต่อแบบ MEMORY MAP

## 2) การต่อแบบผ่าน 8255 PORT หรือการต่อแบบ I/O PORT

- 2.1) สามารถต่อเข้ากับพอร์ตอินพุต หรือเอาต์พุตใดๆ ก็ได้ โดยใช้สายสัญญาณจำนวน 11 เส้น และใช้โปรแกรมเป็นตัวสร้างสัญญาณขึ้นมา ให้ตรงกับค่าของ แอล ซี ดี โมดูล
- 2.2) ผู้ใช้จะเขียนข้อมูลให้ แอล ซี ดี โมดูล ได้อย่างเดียว ซึ่งผู้ใช้ควรกำหนด MEMORY ส่วนหนึ่งให้เสมือน BUFFER ให้กับ แอล ซี ดี โมดูล
- 2.3) เนื่องจากไม่สามารถอ่านข้อมูลกลับได้ จึงต้องใช้การหน่วงเวลาของระบบเอง เพื่อให้ แอล ซี ดี โมดูล กระทำขบวนการต่างๆ
- 2.4) ใช้ได้กับบอร์ดทั่วไปที่มีพอร์ต
- 2.5) ไม่เปลืองส่วนของ MEMORY ในการใช้งาน
- 2.6) การจัดขาสัญญาณกระทำได้อย่างอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 การต่อแบบผ่าน 8255 PORT

## 2.5.2 ชุดคำสั่งควบคุม และการแสดงข้อความ

ขาสัญญาณ  $V_{EE}$  มีไว้สำหรับกำหนดความเข้มของตัวอักษร โดยถ้าต่อกับกราวด์จะมีความเข้มสูงสุด แต่ถ้าต่อกับ  $V_{CC}$  จะมีความเข้มต่ำสุด ปกติ แอล ซี ดี รุ่นธรรมดาอาจต่อกับกราวด์ไว้เลยก็ได้ ไม่ต้องใส่ VR ให้สิ้นเปลือง แต่ถ้าเป็นรุ่น STN (มุมมองกว้าง) ให้ใช้ความต้านทานค่า  $2\text{ k}\Omega$  ต่อลงกราวด์อีกทีเพื่อให้มีความเข้มที่เหมาะสม การเขียนหรืออ่านข้อมูลกับ แอล ซี ดี โมดูล ก็คือการกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ในการใช้งานของ แอล ซี ดี ตามชุดคำสั่งควบคุม และรวมไปถึงการเขียนข้อมูลที่เป็นข้อความ เพื่อให้ปรากฏบนแผงแสดงผลด้วย โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 รายละเอียดของชุดคำสั่งควบคุม

INSTRUCTION	R S	R/ W	DATA BIT								EXE. TIME	
			7	6	5	4	3	2	1	0		
CLEAR DISPLAY	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1640
CURSOR AT HOME	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*	1640
ENTRY MODE SET	0	0	0	0	0	0	0	1	I/ D	S		40
DISPLAY ON/OFF	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B		40
DISPLAY SHIFT	0	0	0	0	0	1	S/ C	R/ L	*	*		40
FUNCTION SET	0	0	0	0	1	D L	N	F	*	*		40
SET CGRAM ADD.	0	0	0	1	CGRAM ADDRESS						40	
SET DDRAM ADD.	0	0	1	DDRAM ADDRESS						40		
BUSY,ADD READ	0	1	B F	ADDRESS						00		
CGRAM,DDRAM WR	0	0	WRITE DATA						40			
CGRAM,DDRAM RD	1	1	READ DATA						40			

### 2.5.3 หลักการพื้นฐานของ แอล ซี ดี โมดูล

- 1) การเขียนข้อมูลให้กับ แอล ซี ดี โมดูล จะแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ INSTRUCTION และ DATA โดยจะกำหนดด้วยขาสัญญาณ RS คือถ้า RS = 0 จะหมายถึงส่งสัญญาณควบคุม (INSTRUCTION) หรืออ่านค่า FLAG สภาพการทำงานของ แอล ซี ดี โมดูล และถ้า RS มีค่าเท่ากับหนึ่ง จะหมายถึงการเขียนหรืออ่านข้อมูลกับ แอล ซี ดี โมดูล
- 2) หลักในการเขียนข้อมูลต่างๆ ให้กับ แอล ซี ดี โมดูล นี้ คือ เมื่อมีการเขียนข้อมูลไปแล้วตัว แอล ซี ดี โมดูล จะต้องใช้เวลาในการทำงานชั่วขณะหนึ่ง ซึ่งระบบไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถตรวจสอบได้จาก BUSY FLAG (BF) และถ้าเรียบร้อยแล้วจึงจะสามารถเขียนข้อมูลลำดับต่อไปได้ ในกรณีที่ต่อวงจรแบบ I/O PORT คือ ไม่สามารถอ่านข้อมูลย้อนกลับได้ ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จำเป็นต้องใช้วิธีการหน่วงเวลาแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) การเขียนข้อมูลให้กับ แอล ซี ดี โมดูล นี้สามารถทำได้ทั้งแบบ 8 บิต และ 4 บิต โดยแบบ 4 บิต จะใช้สายสัญญาณ DATA เพียง 4 เส้น คือ DB4 – DB7 การเขียนข้อมูลจะกระทำเหมือน 8 บิต แต่ต้องเขียน 2 ครั้ง คือ DB4 – DB7 ก่อนแล้วตามด้วย DB0 – DB3 และจะต้องกำหนดคุณสมบัติตามค่า DL ในคำสั่ง FUNCTION SET ด้วย
- 4) DDRAM (Display Data RAM) คือ หน่วยความจำภายในตัว แอล ซี ดี โมดูล ที่เป็น Buffer ของข้อมูล โดยถ้าเขียนรหัส ASCII ใดๆ ลงในหน่วยความจำนี้ จะปรากฏที่แผงแสดงผลทันที
- 5) CGRAM (Character Generator RAM) คือ หน่วยความจำภายในตัว แอล ซี ดี โมดูล สำหรับเก็บภาพอักษรที่ผู้ใช้สามารถสร้างได้เอง โดยจะอ้าง Address ได้ทั้งหมด 64 Byte คือ 8 ตัวอักษร และ 8 Row

## 2.5.4 รายละเอียดของแต่ละคำสั่ง

### 1) CLEAR DISPLAY

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

สำหรับการ CLEAR DISPLAY จะทำการเขียนตัวอักษร SPACE ลงไปใน DDRAM ทั้งหมด และกำหนดค่า DDRAM ADDRESS ให้เป็น 0 พร้อมทั้ง CURSOR จะเลื่อนกลับไปยังตำแหน่งซ้ายบนสุดของจอภาพ

### 2) CURSOR AT HOME

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	*

สำหรับกำหนดค่า DDRAM ADDRESS ให้เป็น 0 พร้อมทั้ง CURSOR จะเลื่อนกลับไปยังตำแหน่งซ้ายบนสุดของจอภาพ โดยข้อมูลใน DDRAM ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

### 3) ENTRY MODE SET

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S

I/D = 0 กำหนดทิศทางของ CURSOR และ DDRAM ให้เป็นแบบ Decrement I/D = 1

กำหนดทิศทางของ CURSOR และ DDRAM ให้เป็นแบบ Increment

S = 0 เมื่อเขียนข้อมูลแล้ว ตัว CURSOR จะถูกเลื่อนไปในทิศทางของค่า I/D

S = 1 เมื่อเขียนข้อมูลแล้ว ตัว CURSOR จะอยู่กับที่ และตัวอักษรจะไปในทิศทางของค่า I/D

การกำหนด I/D และ S นี้ให้กำหนดก่อนการเขียนข้อมูลใน DDRAM และเมื่อกำหนดแล้ว จะไม่ต้องใช้คำสั่ง CLEAR DISPLAY อีก

### 4) DISPLAY ON/OFF

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	1	D	C	B

D = 0 กำหนดให้ OFF DISPLAY

D = 1 กำหนดให้ ON DISPLAY

C = 0 กำหนดให้ OFF CURSOR

C = 1 กำหนดให้ ON CURSOR โดย CURSOR จะเป็นเส้นจิกได้ตัวอักษร

B = 0 กำหนดให้ไม่มีการกระพริบที่ตำแหน่ง CURSOR

B = 1 กำหนดให้มีการกระพริบที่ตำแหน่ง CURSOR (เป็นรูปสี่เหลี่ยม)

### 5) DISPLAY SHIFT

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*

S/C = 0 กำหนดให้เลื่อน CURSOR ตามทิศทาง R/L ไป 1 ตำแหน่ง

S/C = 1 กำหนดให้เลื่อนข้อความบนแผงแสดงตามทิศทาง R/L ไป 1 COLUMN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R/L = 0 กำหนดให้มีทิศทางไปทางซ้าย

R/L = 1 กำหนดให้มีทิศทางไปทางขวา

#### 6) FUNCTION SET

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*

DL = 0 กำหนดให้การติดต่อกับ แอล ซี ดี โมดูล เป็นแบบ 4 บิต

DL = 1 กำหนดให้การติดต่อกับ แอล ซี ดี โมดูล เป็นแบบ 8 บิต

N = 0 กำหนดจำนวนบรรทัดแบบ 1/8 DUTY และ 1/11 DUTY

N = 1 กำหนดจำนวนบรรทัดแบบ 1/16 DUTY

F = 0 กำหนดให้ตัวอักษรเป็นแบบ 5×7 DOTS

F = 1 กำหนดให้ตัวอักษรเป็นแบบ 5×10 DOTS

#### 7) SET CGRAM ADDRESS

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	1	CGRAM ADDRESS					

สำหรับการกำหนด ADDRESS ของ CGRAM เมื่อได้ทำการกำหนดไว้แล้วการอ่านและเขียน DATA ที่ต่อจากนี้ จะเป็นไปตาม ADDRESS ที่กำหนดทันที

#### 8) SET DDRAM ADDRESS

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	1	DDRAM ADDRESS						

การกำหนด ADDRESS ของ DDRAM เมื่อได้ทำการกำหนดไว้แล้วการอ่านและเขียน DATA ที่ต่อจากนี้ จะเป็นไปตาม ADDRESS ที่กำหนดทันที

### 9) BUSY FLAG AND ADDRESS READ

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	1	BF	ADDRESS						

สำหรับการอ่านค่า BUSY FLAG ซึ่งบอกถึงความพร้อมของ LCD MODULE ในการรับข้อมูล ถ้า BF = 0 หมายความว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลต่อไปได้ ถ้า BF = 1 หมายความว่ายังไม่พร้อม นอกจากนี้ยังเป็นการอ่านค่า ADDRESS ของ CGRAM หรือ DDRAM ด้วย

### 10) WRITE DATA TO CGRAM OR DDRAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	0	DATA							

การเขียนข้อมูลลงบนหน่วยความจำ CGRAM หรือ DDRAM โดยเมื่อทำการเขียนแล้ว ADDRESS จะถูกเพิ่มหรือลงโดยอัตโนมัติตามที่กำหนดจากค่า I/D ในคำสั่ง ENTRY MODE SET และการเขียนจะเป็น CGRAM หรือ DDRAM ขึ้นกับว่าก่อนหน้าคำสั่งนี้มีการกำหนด ADDRESS ที่ใด

### 11) READ DATA FROM CGRAM OR DDRAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	1	DATA							

การอ่านข้อมูลลงบนหน่วยความจำ CGRAM หรือ DDRAM โดยเมื่อทำการเขียนแล้ว ADDRESS จะถูกเพิ่มหรือลงโดยอัตโนมัติตามที่กำหนดจากค่า I/D ในคำสั่ง ENTRY MODE SET และการอ่านจะเป็น CGRAM หรือ DDRAM ก็ขึ้นกับว่าก่อนหน้าคำสั่งนี้มีการกำหนด ADDRESS ที่ใด

ตารางที่ 2.7 ตำแหน่งของ Address ของแอล ซี ดี ขนาด 4 แถวที่ใช้งานจริง

8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	0	1	2	3
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	0	1	2	3
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	A	A	A	A	A	A	A	A
4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	0	1	2	3	4	5	6	7
D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E
4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	0	1	2	3	4	5	6	7

## 2.6 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

การทำงานของไอซีตัวเดียวจำเป็นต้องอาศัยสัญญาณดิจิทัลในการควบคุมการทำงานและประมวลผล เมื่อมีความจำเป็นต้องใช้งานไอซีตัวเดียวร่วมกับสัญญาณแอนะล็อก ต้องอาศัยกระบวนการเปลี่ยนแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลหรือวงจรดีทิวเอเข้ามาช่วย โดยวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไปมีดังต่อไปนี้

### 2.6.1 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบเฟลช

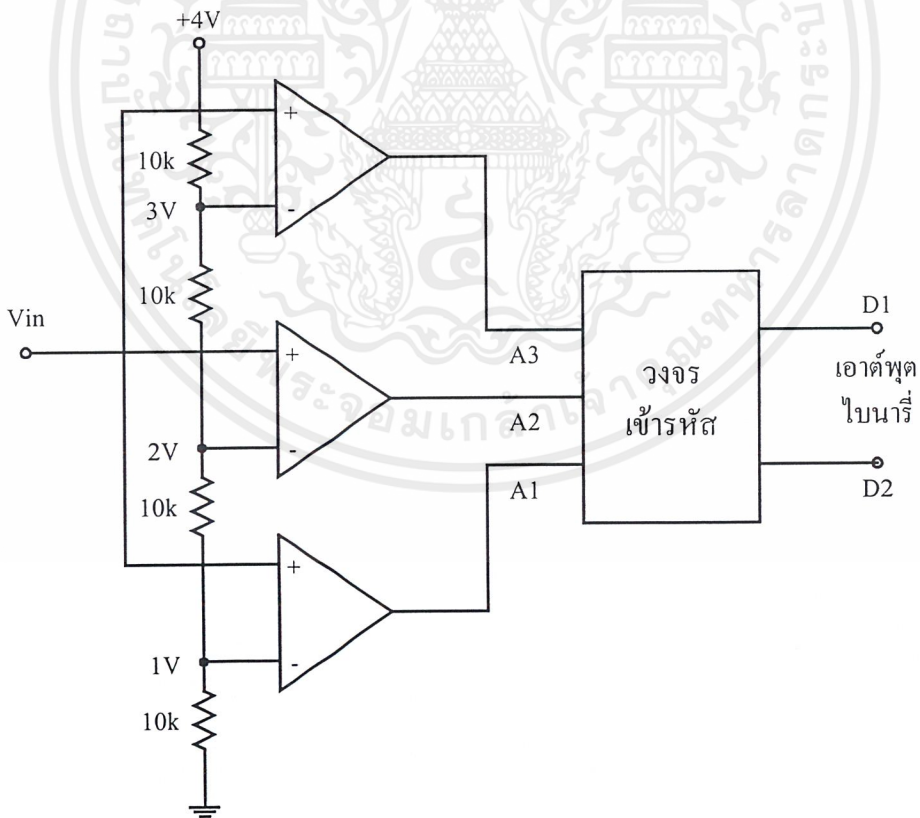
วงจรเอชดีแบบนี้ใช้หลักการง่ายๆ อีกทั้งยังเป็นวิธีที่เร็วที่สุด คือ ใช้วงจรเปรียบเทียบที่ต่อขนานกัน ดังรูปที่ 2.25

ในรูปที่ 2.25 ประกอบด้วยออปแอมป์ที่ต่อเป็นวงจรเปรียบเทียบ และตัวความต้านทานที่ต่อเอาไว้เพื่อแบ่งแรงดันที่ขาอินพุตแบบกลับเฟส (Inverting) ให้มีขนาดต่างๆ กัน โดยจากหลักการของวงจรเปรียบเทียบต่างๆ ไป เมื่อแรงดันอินพุตที่ขาอินพุตแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting) มีค่าแรงดันสูงกว่าที่ขาอินพุตแบบกลับเฟส เอาต์พุตจะได้แรงดันค่าสูงสุดดังตารางที่ 2.8 ซึ่งผลในตารางที่ 2.8 นั้นเป็นการเปรียบเทียบค่าระดับสัญญาณที่ได้โดยมีการกำหนดค่าอินพุตให้มีค่าเป็นแรงดันขนาดคงที่ตามขนาดของค่าอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบวงจรถ่าน

ตารางที่ 2.8 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบขนาน

แรงดันอินพุต Vin (โวลต์)	เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ			เอาต์พุตเลขฐานสอง	
	A1	A2	A3	D1	D2
0 – 1	0	0	0	0	0
1 – 2	1	0	0	0	1
2 – 3	1	1	0	1	0
3 – 4	1	1	1	1	1

เมื่อต้องการวงจรที่มีความละเอียดสูงขึ้น จำเป็นต้องใช้วงจรเปรียบเทียบเพิ่มขึ้น เช่น ถ้าต้องการความละเอียด 3 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบ 7 ตัว ความละเอียด 4 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบ 15 ตัว (16 ระดับ) โดยหาวงจรเปรียบเทียบได้จาก 2 ถึง 1 เมื่อ N แทนจำนวนบิต หรือความละเอียดที่ต้องการ



รูปที่ 2.25 การต่อวงจรเปรียบเทียบแบบขนาน หรือแบบเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

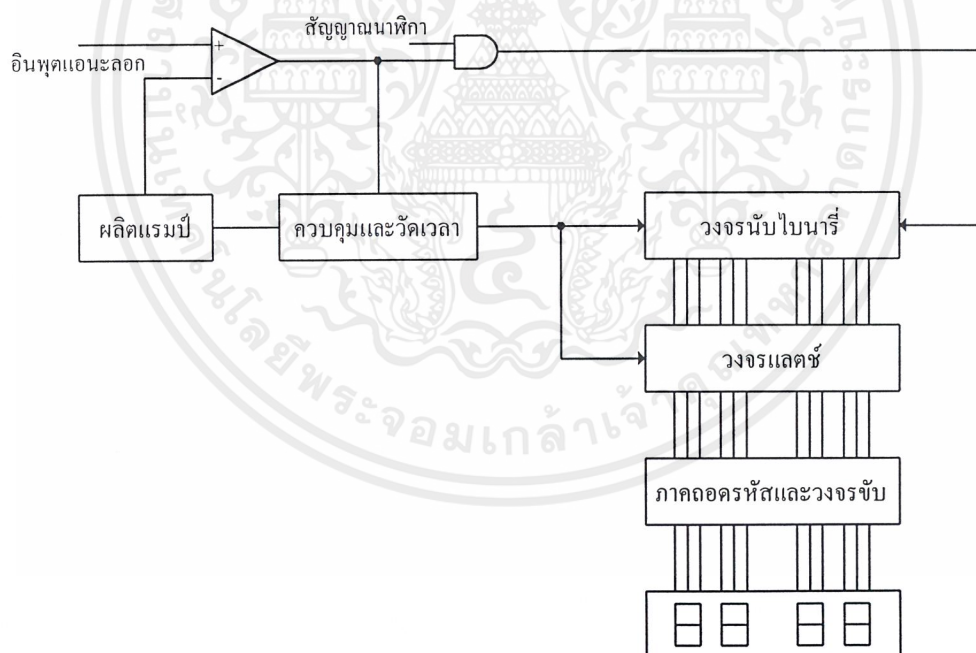
จะเห็นได้ว่าที่ความละเอียด 8 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบมากถึง 255 ตัว ซึ่งเป็นข้อเสียของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบนี้ ข้อเสียอีกประการหนึ่ง คือ เอาต์พุตที่ไม่ได้เป็นเลขฐานสองต้องมีวงจรเพิ่มเติมไปทำการเข้ารหัส ข้อดีของวงจรเอชดีแบบนี้คือ ความเร็วสูงมาก บางครั้งจึงเรียกวงจรลักษณะนี้ว่า แฟลช (Flash) จะทำให้วงจรชนิดนี้ใช้เวลาในการแปลงได้เร็วในระดับนาโนวินาที

## 2.6.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลที่ใช้ในการอินทิเกรต

วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลที่ใช้เทคนิคการอินทิเกรตสัญญาณมี 4 แบบ คือ

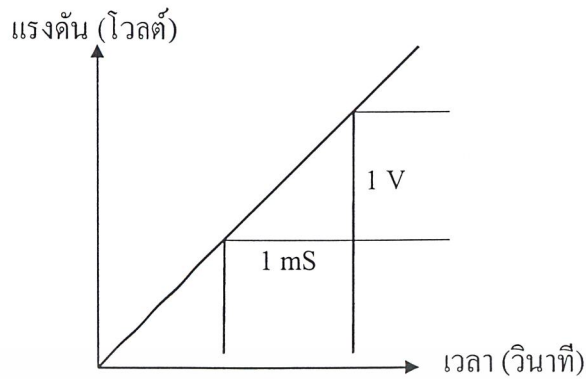
### 1) วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบสโลปหรือแบบเรมป์เดียว

วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.26 ประกอบด้วยวงจรกำเนิดสัญญาณซึ้นบันได, วงจรเปรียบเทียบ, วงจรนับ BCD หรือนับเลขฐานสอง



รูปที่ 2.26 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบสโลปเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

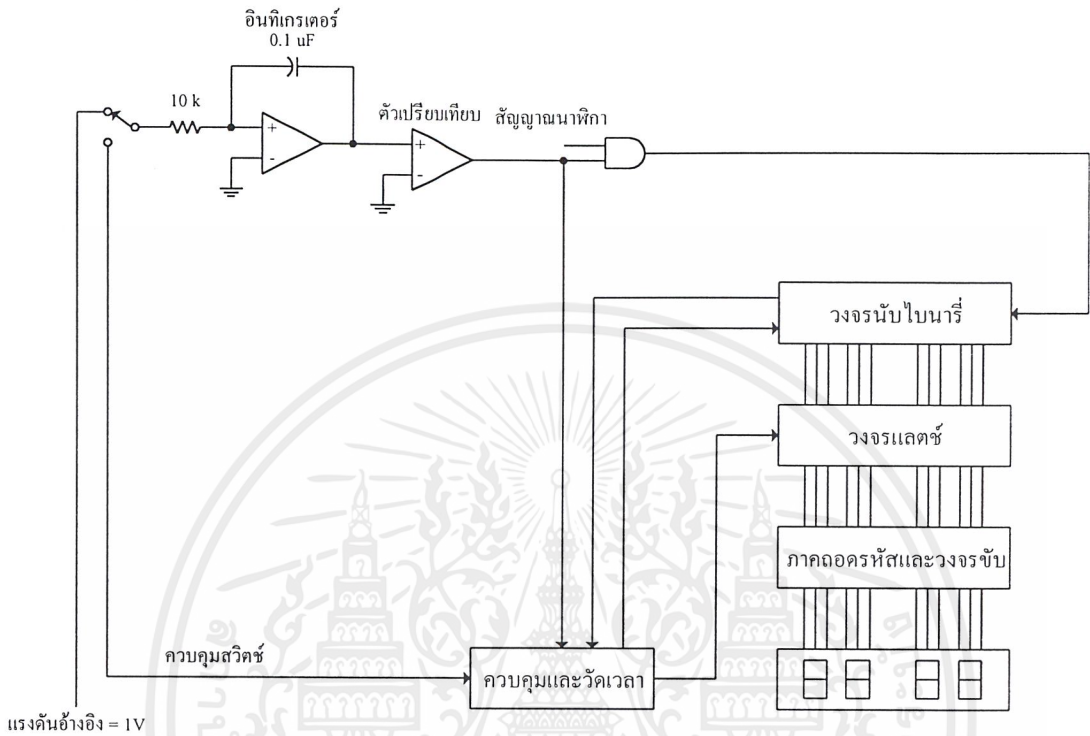


รูปที่ 2.27 ความชันของสัญญาณขั้นบันได

เมื่อเริ่มทำการเปลี่ยนสัญญาณ สัญญาณขั้นบันได และวงจรมันจะถูกรับให้เป็นศูนย์ แรงดันแอนะล็อกถูกป้อนไปยังวงจรเปรียบเทียบทางเข้าแบบไม่กลับเฟส เมื่อแรงดันขาเข้าที่ขานี้ เป็นบวกมากกว่าที่แรงดันขาเข้าแบบกลับเฟส วงจรเปรียบเทียบให้ระดับขาออกเป็นระดับ 1 ทำให้ ไอซีแอนด์เกตปล่อยสัญญาณนาฬิกาไปยังวงจรมันได้ และทำให้สัญญาณขั้นบันไดมีแรงดันเป็น บวกมากขึ้นเรื่อยๆ จนมากกว่าระดับแรงดันขาเข้า ระดับแรงดันขาออกจากวงจรเปรียบเทียบจะตก เป็นระดับที่ 0 บิต แอนด์เกตไม่มีสัญญาณผ่านมาในวงจรมัน วงจรมันจะหยุดนับ และเก็บค่าไว้ที่ วงจรแลตช์ จากนั้นจึงทำการปรับวงจรมันและวงจรมันกำเนิดสัญญาณขั้นบันได

วงจรมันในลักษณะนี้มักนำไปใช้ในการเปลี่ยนเวลาเป็นขนาดของสัญญาณหรืออาจใช้ใน ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ แต่ไม่ใช่กับงานที่ต้องการความถูกต้องสูง หรือการใช้งานที่ต้องการความ ละเอียดมากในการใช้งาน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในแหล่งกำเนิดสัญญาณขั้นบันไดขึ้นกับ อุณหภูมิ และผลตอบสนองต่อสัญญาณขาเข้า ทำให้ไม่มีความคงที่ ดังนั้น จึงมีการปรับปรุงพัฒนา ให้วงจรมันเสถียรภาพเพิ่มขึ้น สามารถใช้ในวงจรมันที่ต้องการความถูกต้องสูงได้ แสดงชัดเจนลักษณะ การสูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นให้ดีขึ้น จึงกลายเป็นวงจรแปลงสัญญาณ แอนะล็อกเป็นดิจิตอลที่ใช้การอินทิเกรตแบบสโโลปคู่ที่มีการทำงานที่ไม่ยุ่งยาก และมีการทำให้ ประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงาน ซึ่งเป็นวงจรมันที่มีลักษณะเหมาะสมในการใช้งาน การออกแบบ ไม่มีความยุ่งยาก ผลกระทบทางอุณหภูมิมีน้อยกว่าวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบ อื่นๆ มาก

## 2) วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโลปคู่



รูปที่ 2.28 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโลปคู่

รูปที่ 2.28 แสดงผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโลปคู่ วงจรส่วนใหญ่คล้ายกับแบบสโลปเดี่ยว ซึ่งมีสวิตช์ที่ขาเข้าเพิ่มเติม เพื่อทำการเลือกกระหว่าค่าแรงดันขาเข้ากับแรงดันอ้างอิง ซึ่งวงจรเปรียบเทียบขาเข้ากับอินพุตกลับเฟสกับกับแบบสโลปเดี่ยว

ส่วนแรกของวงจร คือ วงจรกำเนิดสัญญาณขึ้นบันได หรือวงจรอินทิเกรต ที่แรงดันระดับขาเข้าแบบกลับของออปแอมป์ที่มีสภาพเป็นกราวด์เสมือน (Virtual Ground) ถ้ามีแรงดันขาเข้ามีค่า 2 โวลต์ จะได้กระแสไหลผ่านตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม เท่ากับ 0.2 มิลลิแอมป์ ไปยังจุดรวม (Summing Point) เนื่องจากค่าความต้านทานอินพุตของออปแอมป์นั้นสูงมาก กระแสที่ไหลจึงเกิดขึ้นผ่านตัวเก็บประจุ

ขณะที่ตัวเก็บประจุทำการเก็บประจุ แรงดันที่ขาเข้าของออปแอมป์จะยังเป็นลบมากขึ้นเรื่อยๆ เพื่อรักษาระดับกระแสให้คงที่ แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจึงได้เป็นสัญญาณขึ้นบันไดที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น (Linear Ramp)

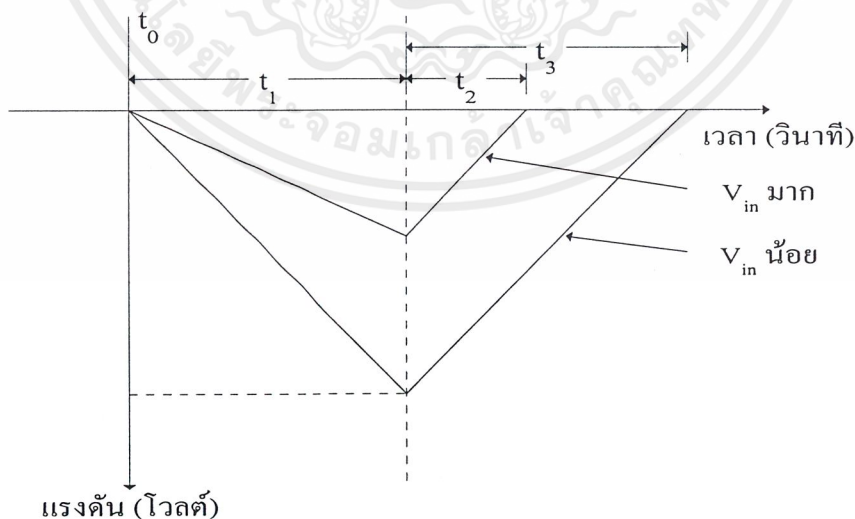
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าแรงดันอินพุตเป็นบวก วงจรอินทิเกรเตอร์จะให้แรงดันขาออกเป็นสัญญาณขึ้นบันไดทางลาดดังแสดงไว้ในช่วง  $t_1$  ดังรูปที่ 2.29 หากแรงดันขาเข้าเป็นลบ ทำให้แรงดันขาออกได้เริ่มเป็นทางบวก

จากวงจรในรูปที่ 2.28 เมื่อสวิตช์ต่อกับสัญญาณอินพุตจะทำให้มีแรงดันบวกจากขาเข้าป้อนสู่วงจรมินิอินทิเกรเตอร์ ได้แรงดันขาออกเป็นสัญญาณขึ้นบันไดทางลบ วงจรเปรียบเทียบจะได้แรงดันทางลบจากวงจรมินิอินทิเกรเตอร์ แล้วให้แรงดันออกเป็นบวก ทำการเปิดแอนด์เกต ให้สัญญาณนาฬิกาเข้าไปสู่วงจรมินิอินทิเกรเตอร์ วงจรมินิอินทิเกรเตอร์จะนับไปยังค่าที่กำหนดไว้ครั้งที่  $t_1$  แล้วทำการสวิตช์ต่อเข้ากับแรงดันอ้างอิง ในช่วงที่วงจรมินิอินทิเกรเตอร์นับด้วยค่าคงที่นั้น

วงจรมินิอินทิเกรเตอร์จะให้สัญญาณขึ้นบันไดทางลบ ที่มีค่าได้สูงสุดตามแต่ละระดับแรงดันขาเข้า เมื่อทำการสวิตช์ขาเข้าของวงจรมินิอินทิเกรเตอร์ทำให้ไปที่ค่าแรงดันอ้างอิงค่าลบ แรงดันของวงจรจึงได้เป็นสัญญาณขึ้นบันไดทางบวก คือ ช่วง  $t_2$  ในรูปที่ 2.29 พร้อมกับปรับค่าของวงจรมินิอินทิเกรเตอร์ลงเป็นศูนย์เพื่อเริ่มนับใหม่

เมื่อแรงดันขาออกของวงจรมินิอินทิเกรเตอร์เพิ่มขึ้นถึงแรงดันศูนย์อีกครั้ง แรงดันขาออกของวงจรเปรียบเทียบจะเป็นลบ หรือเป็นศูนย์ วงจรควบคุมจับการเปลี่ยนแปลงอันนี้ได้ส่งสัญญาณสตrobe ไปห้วงจรมินิอินทิเกรเตอร์เก็บค่าที่ได้ไว้ที่วงจรมินิอินทิเกรเตอร์เก็บค่า จากนั้นจึงปรับให้เป็นศูนย์ แล้วทำการสวิตช์ให้แก่ค่าอินพุตของวงจรมินิอินทิเกรเตอร์ต่อกับแรงดันอินพุต ซึ่งเป็นการเริ่มเปลี่ยนสัญญาณอีกรอบหนึ่ง จำนวนที่นับได้ที่เก็บไว้ที่วงจรมินิอินทิเกรเตอร์เก็บค่าจะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับแรงดันขาเข้า  $V_{in}$



รูปที่ 2.29 แรงดันขาออกของวงจรมินิอินทิเกรเตอร์เทียบกับเวลา

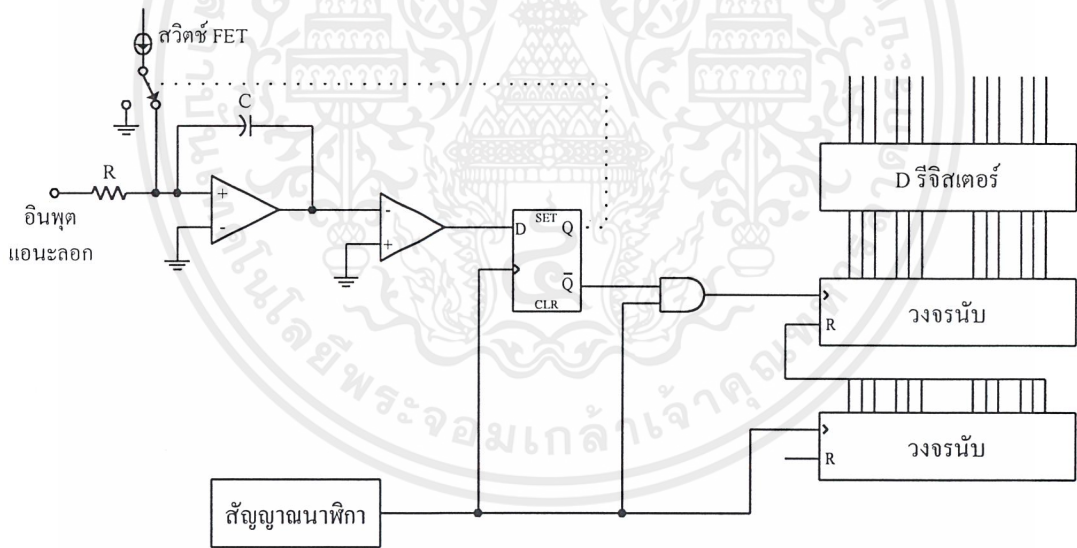
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของวงจรแปลงสัญญาณแบบสโลปคู่ คือ ความถูกต้องสูง, ราคาถูก เสถียรภาพทางด้านอุณหภูมิ ข้อเสีย คือ ความเร็วต่ำ ในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ 1 ครั้ง อาจใช้เวลาถึง 100 มิลลิวินาที ในขณะที่แบบเฟลซใช้เวลาประมาณ 30 มิลลิวินาที

3) วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบประจุมคูลย์

วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบประจุมคูลย์ ใช้วงจรสำคัญคล้ายกับแบบสโลปคู่ แต่แทนที่จะใช้ขาเข้าสวิตช์ไปมาระหว่างแรงดันที่ไม่รู้ค่ากับแรงดันอ้างอิง จะทำการแทรกพัลส์ของกระแสอ้างอิงมาโดยตรงที่จุดรวมของวงจรอินทิเกรเตอร์ในช่วงเวลาที่คงที่ โดยที่จำนวนของพัลส์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันอินพุตที่ไม่รู้ค่า ประโยชน์ของเทคนิคนี้ คือ ค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุของวงจรอินทิเกรเตอร์จะมีค่าใกล้เคียงศูนย์โวลต์ ดังนั้น ทำให้ไม่เกิดการผิดพลาดจากผลของกระแสรั่วไหล วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลชนิดนี้จึงมีความถูกต้องกว่าแบบสโลปคู่

4) วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกแบบเดคด้า-ซิกม่า



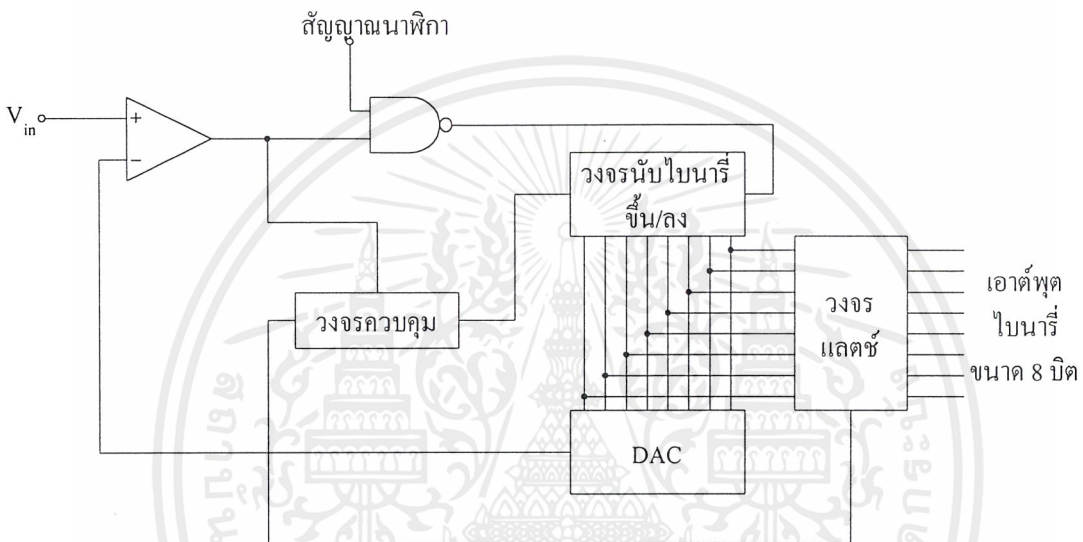
รูปที่ 2.30 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบเดคด้า-ซิกม่า

จากวงจรรูปที่ 2.30 เมื่อมีแรงดันอินพุตป้อนเข้ามาที่วงจรอินทิเกรเตอร์ จะให้ค่าแรงดันเอาต์พุตไปเข้าวงจรเปรียบเทียบ เพื่อเปรียบเทียบกับแรงดันคงที่จากกราวด์ โดยที่พัลส์ของกระแสที่ได้ขึ้นอยู่กับเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ โดยสวิตช์ที่ทำงานจากเฟลท (FET) จะควบคุมให้กระแสเข้าไปยังที่จุดรวม หรือลงกราวด์ไป ส่วนวงจรรีบจำนวนพัลส์ด้วยหลักการที่คล้ายกัน

### 2.6.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลที่ใช้วงจรรีบ

#### 1) วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบแทรกกิ่ง

การทำงานจะคล้ายกับใช้วงจรรีบเดี่ยว แต่การนับจะไม่ได้เริ่มจากศูนย์ แต่จะทำการนับขึ้นหรือนับลงจากค่าสุดท้ายไปยังค่าใหม่ แล้วแต่ที่ว่าค่าแรงดันอินพุตในรอบใหม่มีค่าสูงหรือต่ำกว่ารอบที่แล้ว ข้อดีของเอทูดิแบบแทรกกิ่ง คือ การทำงานได้เร็วขึ้น



รูปที่ 2.31 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลที่สร้างขึ้นจากวงจรรีบขึ้น/ลง และวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะล็อก

#### 2) วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบการปรับค่า

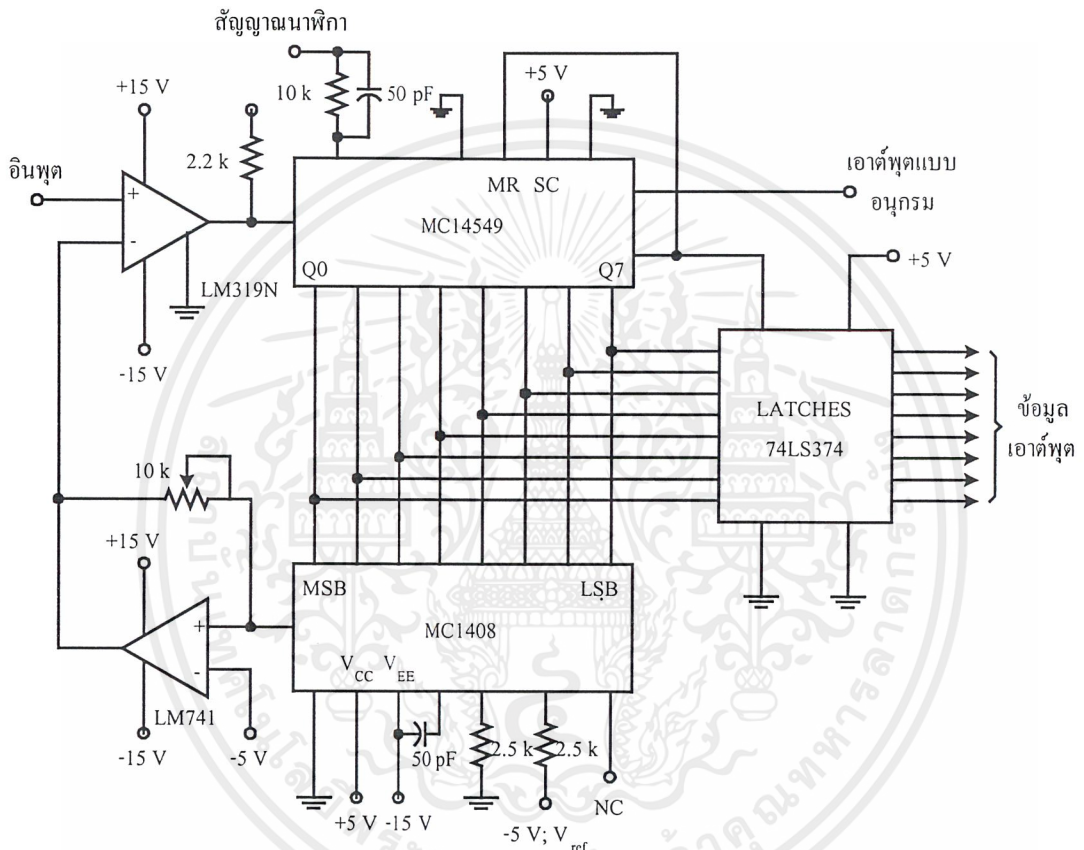
วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบนี้ มีข้อได้เปรียบทางด้านความละเอียด เพราะมีความละเอียดเป็น  $n$  บิต สามารถกำหนดได้จากสัญญาณนาฬิกา  $n$  ลูก เช่น วงจรแปลงขนาด 8 บิต ต้องการพัลส์นาฬิกา 8 ลูก ในขณะที่แบบใช้วงจรรีบต้องการพัลส์ถึง 256 ลูก วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบประมาณค่าแสดงดังรูปที่ 2.32

### 2.6.4 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบการสุ่ม และการคงค่า

วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลต้องการเวลาในการแปลงสัญญาณหรือที่เรียกว่า Conversion Time เพื่อเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลที่เหมาะสม ถ้าสัญญาณแอนะล็อกมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างช่วงเวลาที่แปลงเอาต์พุตของค่าวงจรมีการเปลี่ยนสัญญาณ อาจเกิดความผิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาด จึงต้องมีการป้องกันด้วยการสุ่ม และคงค่าสัญญาณ เพื่อใช้จับค่าของสัญญาณแอนะล็อกที่จุดเริ่มของการเปลี่ยนสัญญาณแล้วเก็บไว้ ตัวเก็บประจุระหว่างช่วงเวลาการแปลงหลังจากการเปลี่ยนสัญญาณเสร็จสิ้นจึงจับค่าสัญญาณแอนะล็อกค่าใหม่มาเก็บไว้อีกครั้ง เป็นเช่นนี้ต่อเรื่อยไป



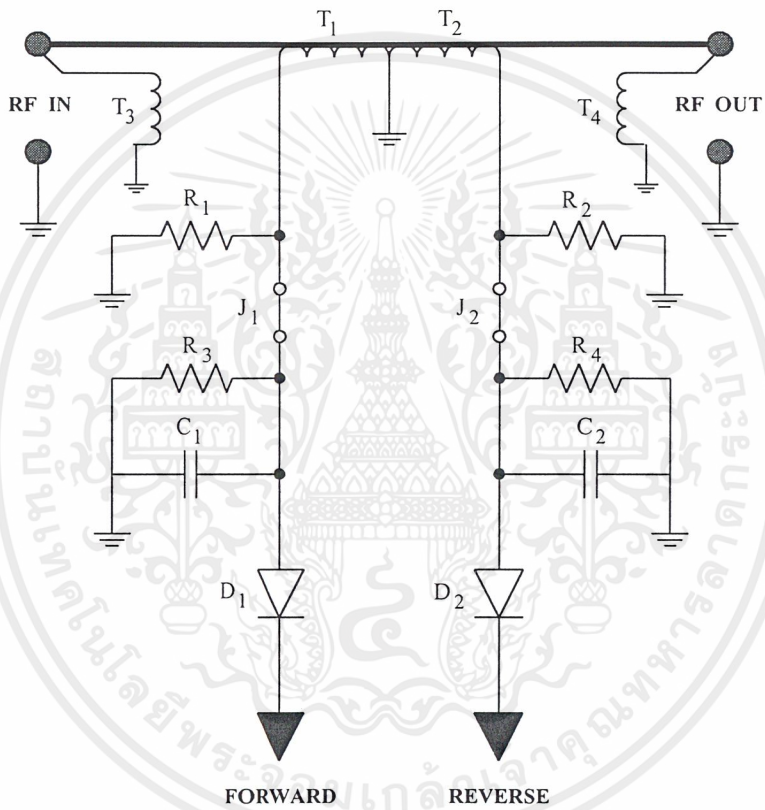
รูปที่ 2.32 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบประมาณค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

## การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

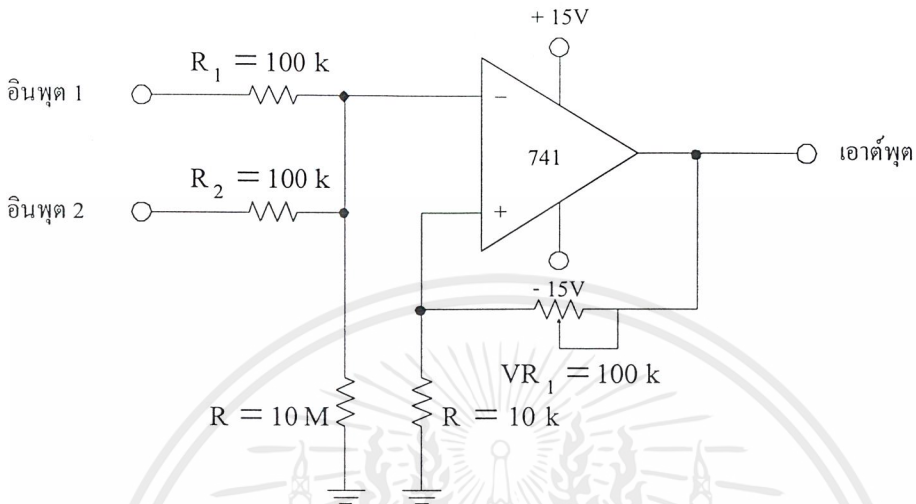
### 3.1 หลักการทำงานของวงจรเหนี่ยวนำแรงดัน



รูปที่ 3.1 วงจรเหนี่ยวนำแรงดัน

จากรูปที่ 3.1 เป็นการทำงานของวงจรเหนี่ยวนำแรงดันจะใช้ขดลวดเป็นตัวเหนี่ยวนำ สัญญาณที่ส่งผ่านสายนำสัญญาณ โดยจะได้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ จากนั้นนำค่าแรงดันทั้งสองผ่านไดโอดเพื่อแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง คือ แสดงค่าแรงดันฟอร์เวิร์ด และค่าแรงดันรีเวอร์ส

### 3.2 หลักการทำงานของวงจรวกแรงดัน

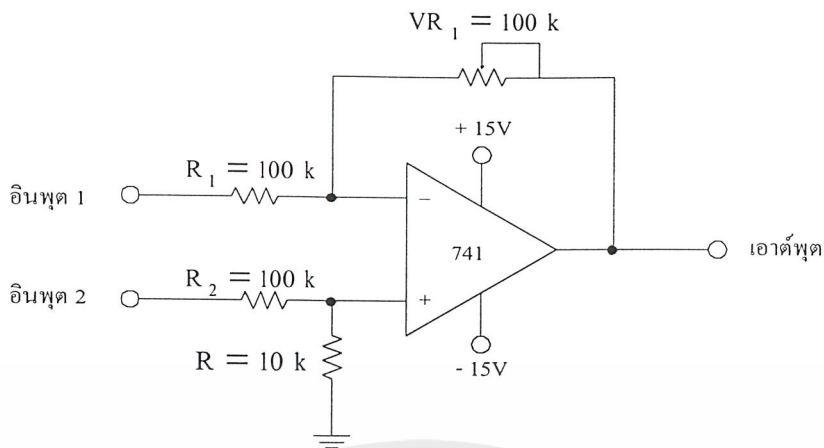


รูปที่ 3.2 วงจรวกแรงดัน

จากรูปที่ 3.2 เป็นวงจรวกแรงดัน ซึ่งทำการจัดให้เอาต์พุตมีอัตราขยายแรงดันเท่ากับ 1 โดยจัดให้  $R_1 = R_2$  เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่อินพุตที่ 1 และ 2 ออปแอมป์จะทำการบวกแรงดันของอินพุตทั้ง 2 แล้วแสดงค่าออกมาทางด้านเอาต์พุต โดยมีอัตราขยายแรงดันเท่ากับ 1 ในการกำหนดอัตราขยายแรงดันของวงจรมันขึ้นอยู่กับ VR เป็นตัวกำหนดเพื่อปรับแต่ง  $V_{out}$  ให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยให้  $V_1 + V_2 = V_{out}$

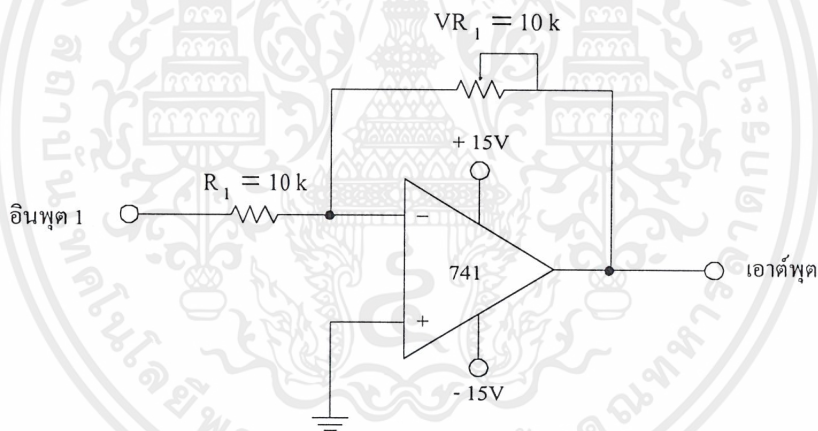
### 3.3 หลักการทำงานของวงจรลบแรงดัน

จากรูปที่ 3.3 เป็นวงจรลบแรงดัน ซึ่งทำการจัดให้เอาต์พุตมีอัตราขยายแรงดันเท่ากับ 1 โดยจัดให้  $R_1 = R_2$  เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่อินพุตที่ 1 และ 2 ออปแอมป์จะทำการเปรียบเทียบอินพุตทั้ง 2 โดย  $V_2 - V_1 = V_{out}$  โดยมีอัตราขยายแรงดันเท่ากับ 1 ในการกำหนดอัตราขยายแรงดันของวงจรมันขึ้นอยู่กับ VR เป็นตัวกำหนด



รูปที่ 3.3 วงจรลบแรงดัน

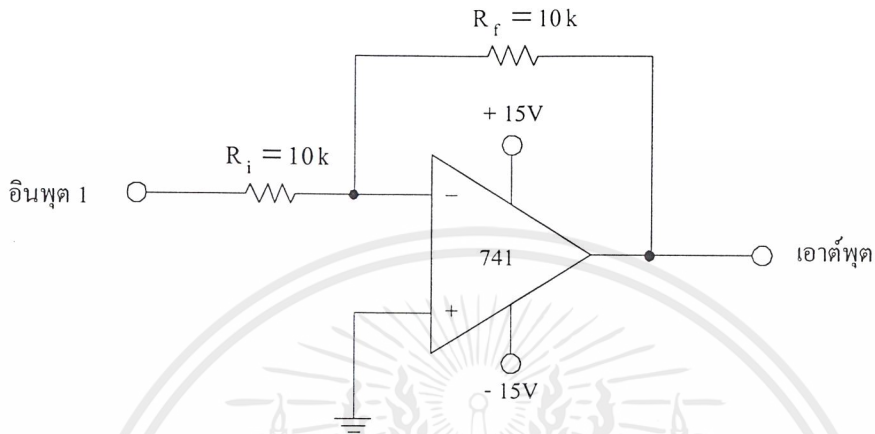
### 3.4 หลักการทำงานของวงจรลดทอนแรงดัน



รูปที่ 3.4 วงจรลดทอนแรงดัน

จากรูปที่ 3.4 เป็นการกลับค่าแรงดันที่ได้จากวงจรบวกแรงดัน แล้วทำการหารสามเพื่อให้สามารถใช้กับการจัดค่าเอสดับบลิวาร์สูงๆ ได้เนื่องจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลมีแรงดันอ้างอิงไม่เกิน 5 โวลต์ และแรงดันอ้างอิงที่ได้จากเอสดับบลิวาร์มีค่าสูงสุดที่ 5 โวลต์ จึงจำเป็นต้องลดทอนค่าแรงดันลงเพื่อให้วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล สามารถแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลได้ เนื่องจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลนั้นใช้แรงดันอ้างอิงที่ 5 โวลต์ เป็นค่าสูงสุดในการแปลงสัญญาณ  $V_{IN}$

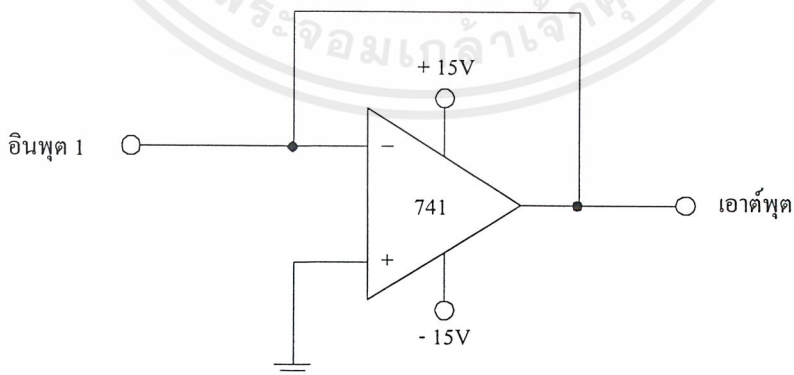
### 3.5 หลักการทำงานของวงจรกลับเฟสแรงดัน



รูปที่ 3.5 วงจรกลับเฟสแรงดัน

รูปที่ 3.5 เป็นวงจรที่อาศัยการทำงานของวงจรขยายแบบกลับเฟส ซึ่งวงจรนี้จะมีอัตราขยายเป็น 1 คือค่า  $R_i = R_f$  จึงเสมือนว่าวงจรไม่มีการขยาย แต่จะกลับเฟสแรงดันที่ได้จากอินพุต ถ้าอินพุตเป็นบวกจะได้เอาต์พุตเป็นลบ และถ้าอินพุตเป็นลบจะได้เอาต์พุตเป็นบวก

### 3.6 หลักการทำงานของวงจรบัฟเฟอร์



รูปที่ 3.6 วงจรบัฟเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัพเฟอร์เป็นวงจรที่ทำให้อิมพีแดนซ์ของวงจรบวก และลบแรงดันเท่ากับเอสดับบลิวอาร์ที่วัดได้จะทำให้ไม่เกิดการโหลดแรงดันเอสดับบลิวอาร์ที่วัดได้ เพื่อไม่ให้ค่าแรงดันที่ได้เปลี่ยนไป และบัพเฟอร์ที่วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลก็มีการทำงานเช่นเดียวกัน

### 3.7 หลักการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล

การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล ถ้าสัญญาณถูกแปลงเป็นจำนวนทางดิจิตอลโดยการสุ่ม หรือแซมปลิง ดังรูปที่ 3.7 ถ้ามีเอาต์พุต 8 เส้น แต่ละเส้นจะแสดงสถานะเป็น 1 หรือ 0 จะมีความแตกต่างทางรหัสไบนารีทั้งหมด  $2^8$  หรือ 256 รหัส

#### 3.7.1 ค่าความละเอียด และความเที่ยงตรง

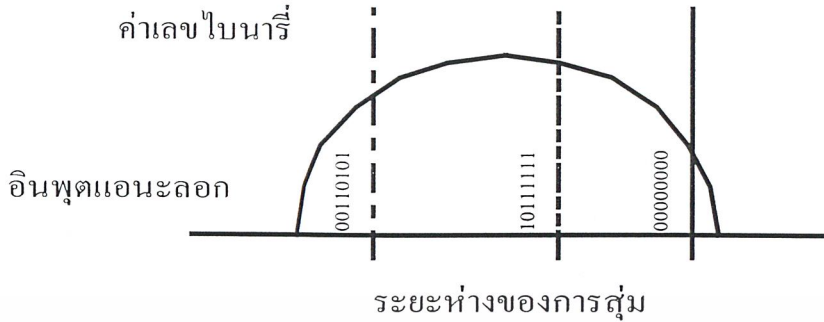
ค่าความละเอียดของตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล จะอธิบายเป็นระยะห่างที่น้อยที่สุดของค่าแรงดันเอาต์พุตที่เพิ่มขึ้น ซึ่งถูกกำหนดโดยตัวแปลงสัญญาณนั้น ระยะห่างยิ่งน้อย ค่าความละเอียดยิ่งสูงขึ้น โดยค่าความละเอียดแปรผันตรงกับจำนวนของบิตเอาต์พุต ถ้าตัวแปลงสัญญาณมีความแตกต่างทางรหัสเอาต์พุต 256 ระดับ ระดับสัญญาณอินพุตถูกแทนเป็นไบนารีจาก 00000000 ถึง 11111111 ถ้าอินพุตเริ่มต้นจาก 0 – 5 โวลต์ ค่าความละเอียดจะเท่ากับ

$$\frac{5}{256} = 0.0195$$

ถ้าเอาต์พุตไบนารีเป็น 00000001 จะแทน 0.0195 โวลต์ ในทำนองเดียวกันถ้าเอาต์พุตไบนารีเป็น 00000010 จะแทน 0.039 โวลต์ ถ้าต้องการทราบค่าไบนารีของ 3.042 จะมีค่าเท่ากับ

$$\frac{3.042}{0.0195} = 156$$

เมื่อทำการเปลี่ยนเป็นรหัสไบนารีมีค่าเท่ากับ 10011100



รูปที่ 3.7 สัญญาณแอนะล็อกจะถูกสุ่มในช่วงคลื่นเป็นระยะๆ

### 3.7.2 ไอซีแปลงรหัสสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ADC 0801

ADC 0801 เป็นไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 8 บิต ซึ่งตำแหน่งขาต่างๆ ของ ADC 0801 แสดงดังรูปที่ 3.8 สัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในวงจรนี้ทำได้ 2 ทาง คือ ใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกค่า 100 ถึง 800 กิโลเฮิร์ต ป้อนเข้าขา 4 อีกวิธีหนึ่ง คือ ใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายในจากขา 19 โดยสามารถกำหนดสัญญาณนาฬิกาได้จาก RC ภายนอกโดยค่าความถี่หาได้จากสมการ

$$f = \frac{1}{1.1RC} \tag{3.1}$$

f = ความถี่เอาต์พุตที่ได้ หน่วยเป็นเฮิร์ต

R = ค่าความต้านทาน หน่วยเป็นโอห์ม

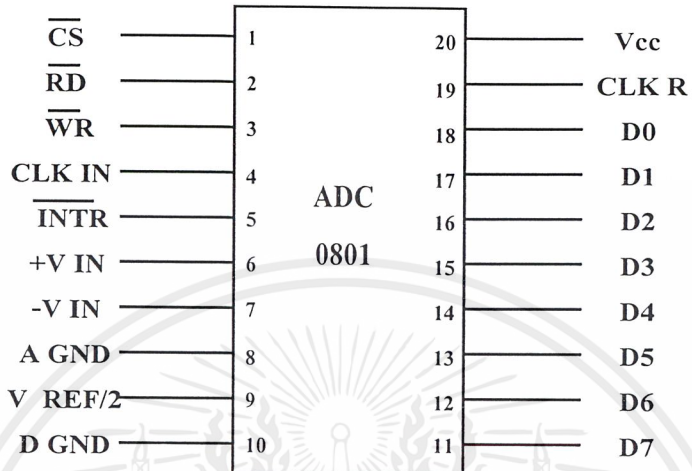
C = ค่าตัวเก็บประจุ หน่วยเป็นฟารัด

ความถี่สัญญาณนาฬิกามีค่ามากมีผลทำให้สัญญาณดิจิทัลทางเอาต์พุตใกล้เคียงกับสัญญาณแอนะล็อกทางอินพุตมากขึ้นด้วยดังแสดงในรูปที่ 3.9

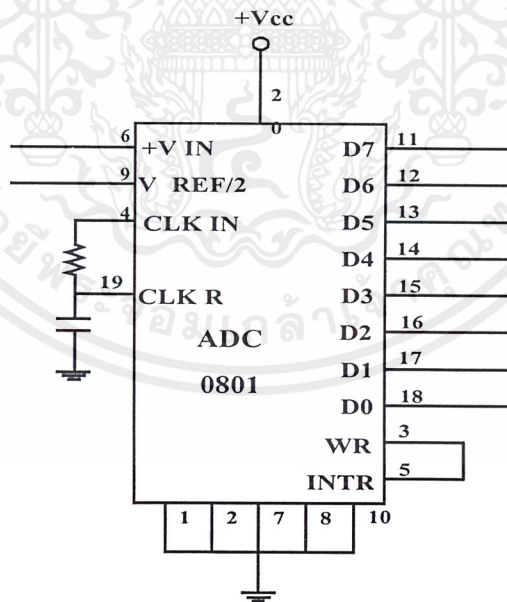
ขา 5 ของไอซี ADC 0801 เป็นขา  $\overline{INTR}$  หรือบางที่เรียกว่า ขา EOC จะให้เอาต์พุตเป็นต่ำเมื่อการแปลงเสร็จสิ้นสมบูรณ์ การกำหนดแรงดันอ้างอิงสามารถกำหนดได้ที่ขา 9 ถ้าต้องการแรงดันอ้างอิงที่ 3 โวลต์ จะต้องป้อนแรงดัน 1.5 โวลต์ ที่ขา 9

การให้ไอซีสามารถทำงานอย่างต่อเนื่องนั้น ขา  $\overline{CS}$  ขา  $\overline{RD}$  จะต้องต่อลงกราวด์ ส่วนขา  $\overline{WR}$  จะต้องต่อเข้ากับขา  $\overline{INTR}$  ดังแสดงดังรูปที่ 3.9 การต่อแบบนี้ทำให้เมื่อ  $\overline{INTR}$  อยู่ในสถานะต่ำ ขา  $\overline{WR}$  เป็นต่ำด้วย ทำให้ไอซีถูกรีเซ็ต และเมื่อ  $\overline{INTR}$  กลับมาอยู่ที่สถานะ HIGH อีกครั้ง ขา  $\overline{WR}$  จะ

กลายเป็น HIGH ไปด้วย การแปลงสัญญาณจะเริ่มต้นอีกครั้ง บางครั้งขบวนการเปลี่ยนสัญญาณอาจจะไม่ทำงาน ตอนเริ่มก็ได้ จึงต้องป้อนพัลส์ลบเข้าทางขา  $\overline{WR}$  เพื่อให้ไอซีเริ่มทำงาน

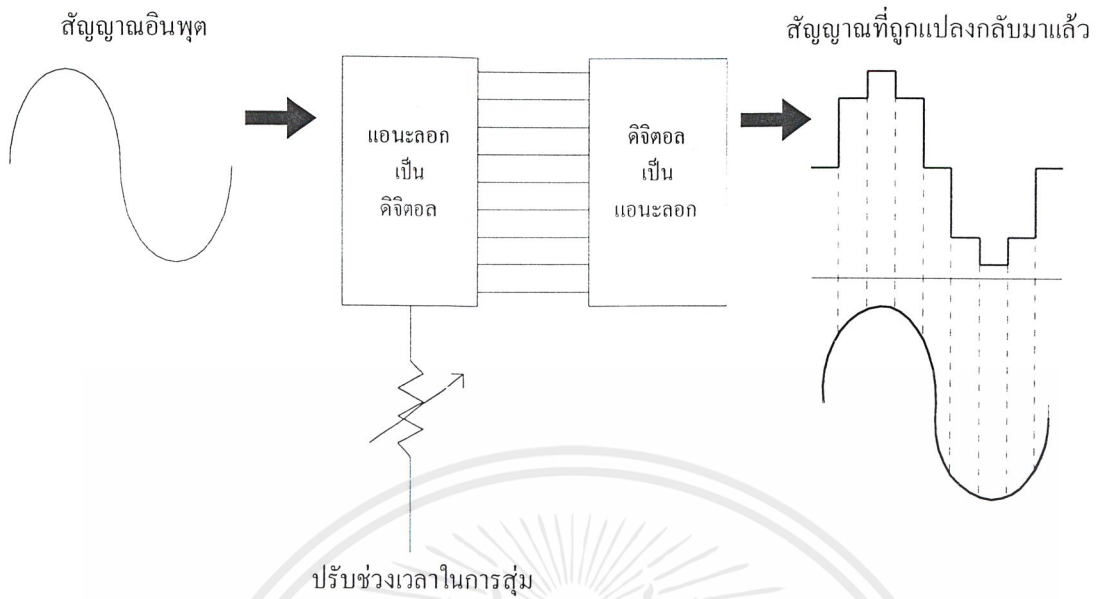


รูปที่ 3.8 ไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลเบอร์ ADC 0801



รูปที่ 3.9 การต่อ ADC 0801 ให้ใช้งานอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การสุ่มสัญญาณอินพุตแอนะล็อกเร็วขึ้น ทำให้เอาต์พุตที่ถูกสร้างใหม่ โดยตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะล็อกสมบูรณ์มากขึ้น

## บทที่ 4

### การทดลอง การทดสอบ และผลการทดลอง

ในการทดลองที่จัดทำขึ้นนี้ จัดทำขึ้นเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์ดิจิตอลมิเตอร์ ที่ได้จัดสร้างขึ้น โดยจะต้องใช้อุปกรณ์ประกอบการทดลองต่างๆ ดังนี้ คือ เครื่องส่งวิทยุ เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์ดิจิตอลมิเตอร์ ตัวภาระเทียม สายอากาศชนิดต่าง ๆ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง ได้แก่ การวัดค่าความเที่ยงตรงของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอลเปรียบเทียบกับเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบแอนะล็อก การวัดค่ากำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์ของตัวภาระเทียม, สายอากาศแบบซีโพล, สายอากาศสไลด์, สายอากาศรับเบอร์ดีค

#### 4.1 การทดลองวัดค่ากำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์โดยใช้ตัวภาระเทียม

##### 4.1.1 การทดลองวัดค่ากำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์จากตัวภาระเทียม โดยใช้เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200

###### ลำดับขั้นการทดลอง

- 1) ประกอบเครื่องส่งวิทยุ และตัวภาระเทียม เข้ากับชุดเอสดับบลิวอาร์ ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200 โดยใช้สายนำสัญญาณ RG-58 ต่อระหว่างจุด ANT ของเครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์กับตัวภาระเทียม
- 2) ใช้สายนำสัญญาณ RG-58 ต่อระหว่างจุด TX ของเครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์เข้ากับเครื่องส่งวิทยุ
- 3) ต่อแหล่งจ่ายไฟ 13.8 โวลต์ เข้ากับเครื่องส่งวิทยุ
- 4) เปิดสวิตช์ของเครื่องส่งวิทยุ
- 5) เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200
  - 5.1) เลื่อนสวิตช์เลือกกำลังไปที่ย่าน 200 วัตต์
  - 5.2) ปรับกำลังส่งของเครื่องส่งวิทยุให้อยู่ที่ตำแหน่ง HI
  - 5.3) เลื่อนสวิตช์ฟังก์ชันไปที่ตำแหน่ง CAL และกดคีย์เครื่องส่งวิทยุ ปรับปุ่ม CAL เพื่อให้เข็มของเครื่องวัดอยู่ที่ตำแหน่ง CAL

5.4) เลื่อนสวิตช์ฟังก์ชันไปที่ตำแหน่ง SWR กดคีย์เครื่องส่งวิทยุ และทำการอ่านค่าเอสดับบลิวอาร์

5.5) เลื่อนสวิตช์ฟังก์ชันไปที่ตำแหน่ง POWER และเลื่อนสวิตช์ POWER ไปที่ตำแหน่ง FWD กดคีย์เครื่องส่งวิทยุ และทำการอ่านค่ากำลังส่ง

#### ผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 ค่าเอสดับบลิวอาร์ที่วัดได้จากตัวการะเทียม โดยใช้เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200



รูปที่ 4.2 ค่ากำลังส่งที่วัดได้จากตัวการะเทียม โดยใช้เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200

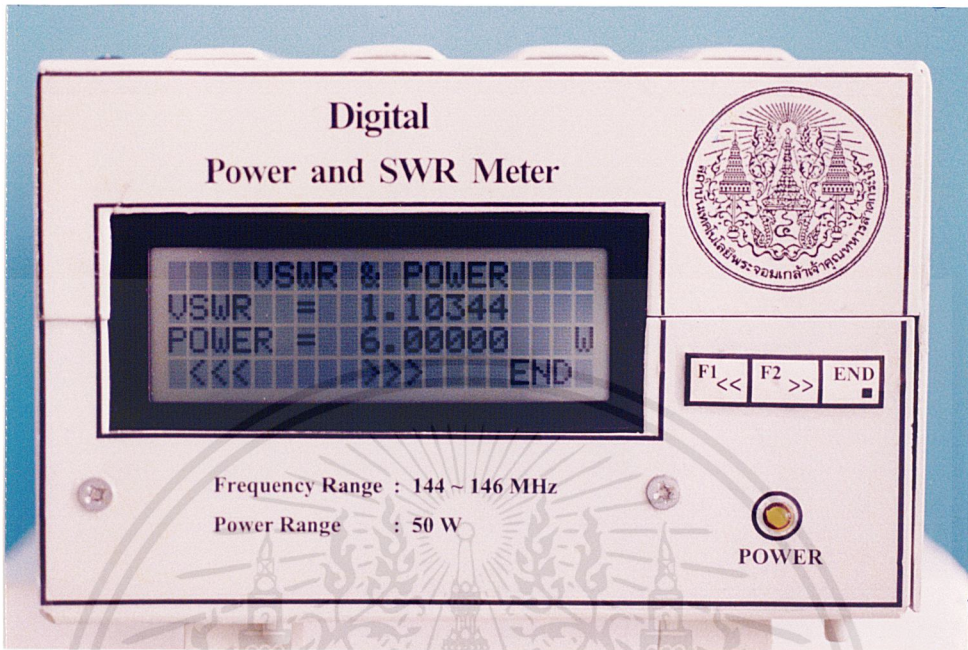
#### 4.1.2 การทดลองวัดค่าเอสดับบลิวอาร์จากตัวการะเทียม โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่ง และ เอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอล

##### ลำดับขั้นการทดลอง

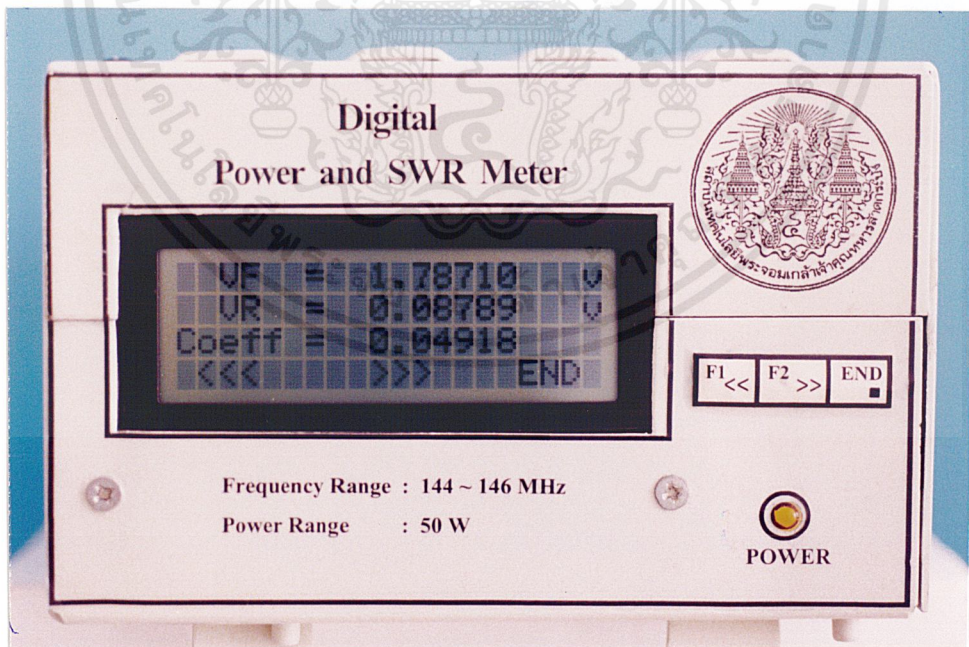
- 1) ประกอบเครื่องส่งวิทยุ และตัวการะเทียมเข้ากับเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอล โดยใช้สายนำสัญญาณ RG-58 ต่อระหว่างจุด ANT ของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอลกับตัวการะเทียม
- 2) ต่อสายนำสัญญาณ RG-58 ระหว่างจุด TX ของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอลเข้ากับเครื่องส่งวิทยุ
- 3) ต่อแหล่งจ่ายไฟ 13.8 โวลต์ เข้ากับเครื่องส่งวิทยุ
- 4) เปิดสวิทช์ของเครื่องส่งวิทยุ
- 5) เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอล
- 6) เปิดสวิทช์เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลอง

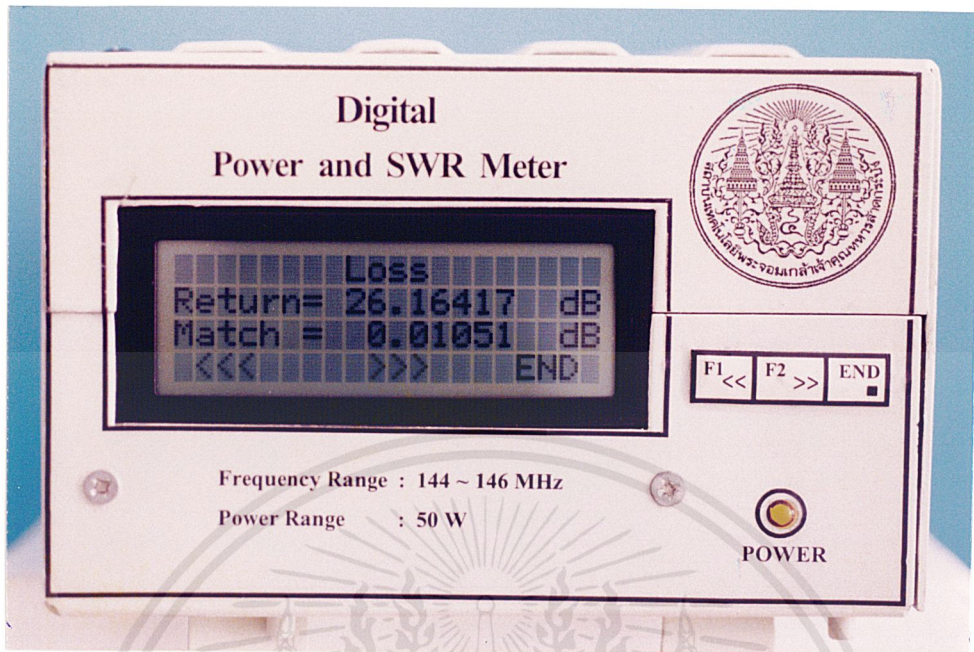


รูปที่ 4.3 ค่าเอสดับบลิวอาร์ และค่ากำลังส่งที่วัดได้จากตัวภาชนะเทียม โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่งและเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล



รูปที่ 4.4 ค่าแรงดันฟอร์เวิร์ด, ค่าแรงดันรีเวอร์ส และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแรงดันที่วัดได้จากตัวภาชนะเทียม โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่งและเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ค่ากำลังงานสูญเสียจากการไม่สมดุล และค่ากำลังงานสูญเสียจากการสะท้อนกลับที่วัดได้จากตัวการะเทียม โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล

## 4.2 การทดลองวัดค่ากำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์โดยใช้สายอากาศซีโหลด

### 4.2.1 การทดลองวัดค่ากำลังส่งและเอสดับบลิวอาร์จากตัวสายอากาศซีโหลด โดยใช้เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200

#### ลำดับขั้นการทดลอง

1) ประกอบเครื่องส่งวิทยุ และสายอากาศซีโหลด เข้ากับชุดเอสดับบลิวอาร์ ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200 โดยใช้สายนำสัญญาณ RG-58 ต่อระหว่างจุด ANT ของเครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ กับสายอากาศซีโหลด

2) ใช้สายนำสัญญาณ RG-58 ต่อระหว่างจุด TX ของเครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์เข้ากับเครื่องส่งวิทยุ

3) ต่อแหล่งจ่ายไฟ 13.8 โวลต์ เข้ากับเครื่องส่งวิทยุ

4) เปิดสวิทช์ของเครื่องส่งวิทยุ

5) เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200

5.1) เลื่อนสวิทช์เลือกกำลังไปที่ย่าน 200 วัตต์

5.2) ปรับกำลังส่งของเครื่องส่งวิทยุให้อยู่ที่ตำแหน่ง HI

5.3) เลื่อนสวิตช์ฟังก์ชันไปที่ตำแหน่ง CAL และกดคีย์เครื่องส่งวิทยุ ปรับปุ่ม CAL เพื่อให้เข็มของเครื่องวัดอยู่ที่ตำแหน่ง CAL

5.4) เลื่อนสวิตช์ฟังก์ชันมาที่ตำแหน่ง SWR กดคีย์เครื่องส่งวิทยุ และทำการอ่านค่าเอสดับบลิวอาร์

5.5) เลื่อนสวิตช์ฟังก์ชันไปที่ตำแหน่ง POWER และเลื่อนสวิตช์ POWER ไปที่ตำแหน่ง FWD กดคีย์เครื่องส่งวิทยุ และทำการอ่านค่ากำลังส่ง

### ผลการทดลอง



รูปที่ 4.6 ค่าเอสดับบลิวอาร์ที่วัดได้จากสายอากาศซีโพลด โดยใช้เครื่องเอสดับบลิวอาร์ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200



รูปที่ 4.7 ค่ากำลังส่งที่วัดได้จากสายอากาศซีโพลด โดยใช้เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200

#### 4.2.2 การทดลองวัดค่าเอสดับบลิวอาร์จากสายอากาศซีโพลด โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอล

##### ลำดับขั้นการทดลอง

1) ต่อเครื่องส่งวิทยุ และสายอากาศซีโพลด เข้ากับเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอล โดยใช้สายนำสัญญาณ RG-58 ต่อระหว่างจุด ANT ของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอลกับสายอากาศซีโพลด

2) ใช้สายนำสัญญาณต่อระหว่างจุด TX ของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอลเข้ากับเครื่องส่งวิทยุ

3) ต่อแหล่งจ่ายไฟ 13.8 โวลต์ เข้ากับเครื่องส่งวิทยุ

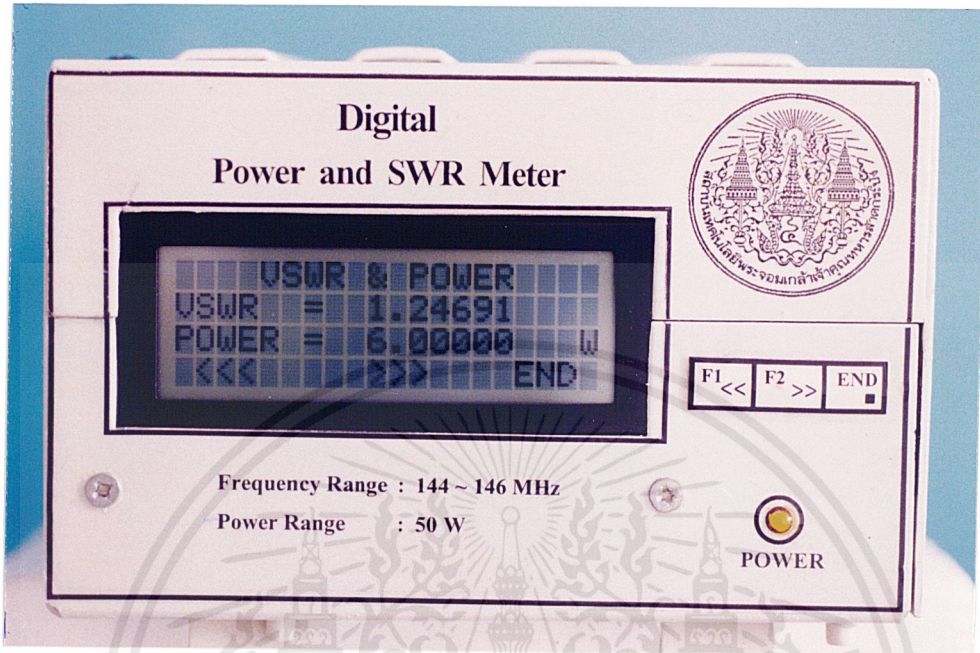
4) เปิดสวิทช์ของเครื่องส่งวิทยุ

5) เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอล

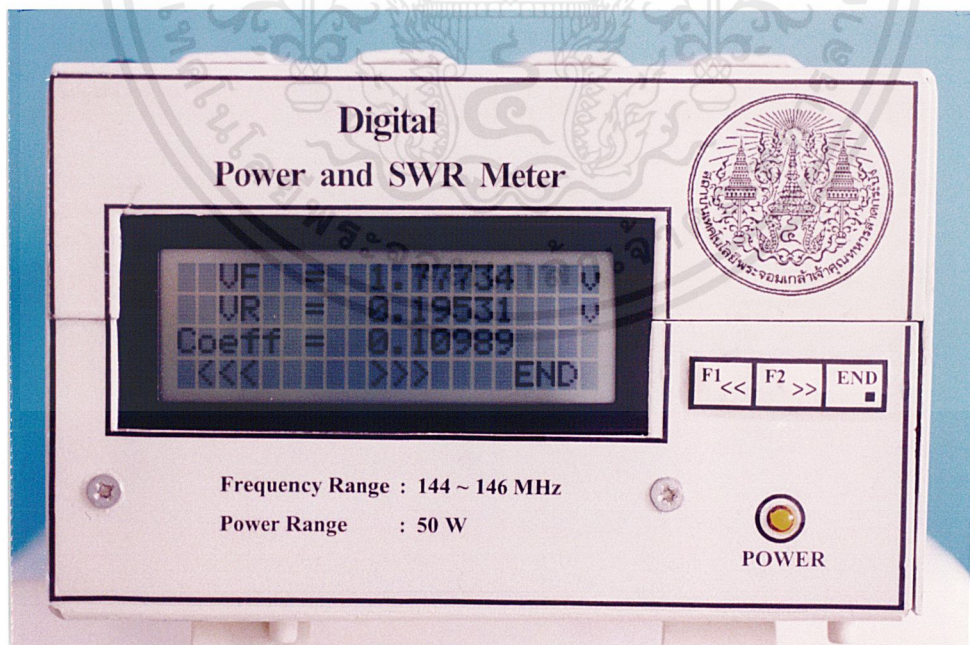
5.1) เปิดสวิทช์เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอล

5.2) กดสวิทช์รีเซ็ต

## ผลการทดลอง

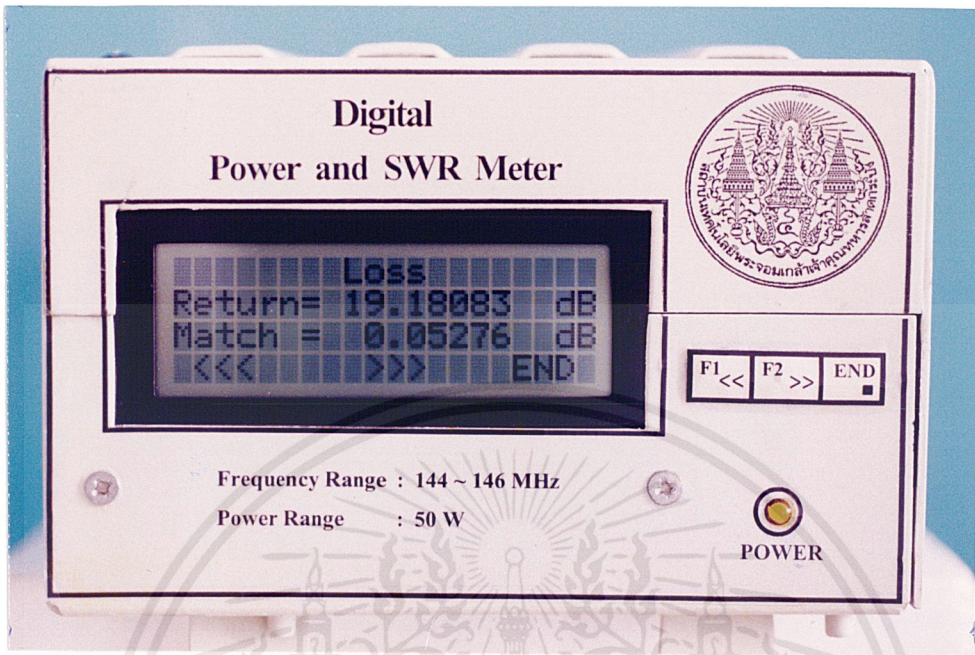


รูปที่ 4.8 ค่าเอสดับบลิวอาร์ และค่ากำลังส่งที่วัดได้จากสายอากาศซีโพลด โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่งและเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล



รูปที่ 4.9 ค่าแรงดันฟอร์เวิร์ด, ค่าแรงดันรีเวอร์ส และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแรงดันที่วัดได้จากสายอากาศซีโพลด โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่งและเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ค่ากำลังงานสูญเสียจากการไม่สมดุล และค่ากำลังงานสูญเสียจากการสะท้อนกลับที่วัดได้จากสายอากาศซีโพลด โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล

### 4.3 การทดลองวัดค่ากำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์โดยใช้สายอากาศสไลด์

#### 4.3.1 การทดลองวัดค่ากำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์จากสายอากาศสไลด์ โดยใช้เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200

ลำดับขั้นการทดลอง

1) ประกอบเครื่องส่งวิทยุ และสายอากาศสไลด์ เข้ากับชุดเอสดับบลิวอาร์ ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200 โดยใช้สายนำสัญญาณ RG-58 ต่อระหว่างจุด ANT ของเครื่องวัด เอสดับบลิวอาร์ กับสายอากาศสไลด์

2) ใช้สายนำสัญญาณ RG-58 ต่อระหว่างจุด TX ของเครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์เข้ากับเครื่องส่งวิทยุ

3) ต่อแหล่งจ่ายไฟ 13.8 โวลต์ เข้ากับเครื่องส่งวิทยุ

4) เปิดสวิทช์ของเครื่องส่งวิทยุ

5) เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200

5.1) เลื่อนสวิทช์เลือกกำลังไปที่ย่าน 20 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2) ปรับกำลังส่งของเครื่องส่งวิทยุให้อยู่ที่ตำแหน่ง HIGH

5.3) เลื่อนสวิตช์ฟังก์ชันไปที่ตำแหน่ง CAL และกดคีย์เครื่องส่งวิทยุ ปรับปุ่ม CAL เพื่อให้เข็มของเครื่องวัดอยู่ที่ตำแหน่ง CAL

5.4) เลื่อนสวิตช์ฟังก์ชันมาที่ตำแหน่ง SWR กดคีย์เครื่องส่งวิทยุ และทำการอ่านค่าเอสดับบลิวอาร์

5.5) เลื่อนสวิตช์ฟังก์ชันไปที่ตำแหน่ง POWER และเลื่อนสวิตช์ POWER ไปที่ตำแหน่ง FWD กดคีย์เครื่องส่งวิทยุ และทำการอ่านค่ากำลังส่ง

#### ผลการทดลอง



รูปที่ 4.11 ค่าเอสดับบลิวอาร์ที่วัดได้จากสายอากาศสโกลด์ โดยใช้เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200



รูปที่ 4.12 ค่ากำลังส่งที่วัดได้จากสายอากาศสไลด์ โดยใช้เครื่องวัดเอสดีบิลิวอาร์ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200

#### 4.3.2 การทดลองวัดค่าเอสดีบิลิวอาร์จากสายอากาศสไลด์ โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบิลิวอาร์แบบดิจิตอล

##### ลำดับขั้นการทดลอง

1) ประกอบเครื่องส่งวิทยุ และสายอากาศสไลด์ โดยทำการต่อเข้ากับเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบิลิวอาร์แบบดิจิตอล โดยใช้สายนำสัญญาณ RG-58 ต่อระหว่างจุด ANT ของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบิลิวอาร์แบบดิจิตอล กับสายอากาศสไลด์

2) ใช้สายนำสัญญาณ RG-58 ต่อระหว่างจุด TX ของเครื่องวัดกำลังส่งและเอสดีบิลิวอาร์แบบดิจิตอลเข้ากับเครื่องส่งวิทยุ

3) ต่อแหล่งจ่ายไฟ 13.8 โวลต์ เข้ากับเครื่องส่งวิทยุ

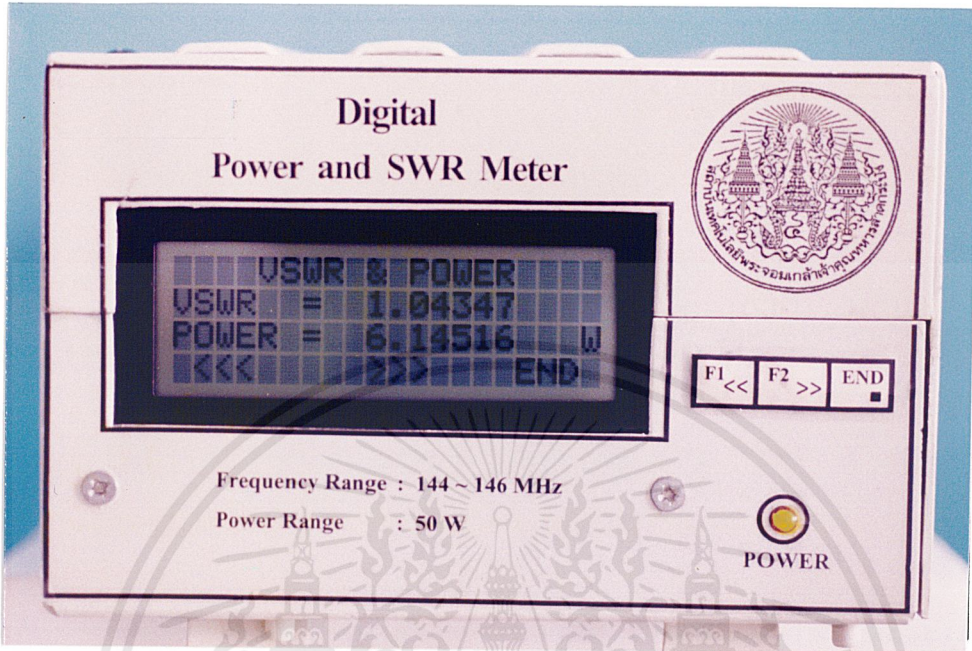
4) เปิดสวิตช์ของเครื่องส่งวิทยุ

5) เครื่องวัดกำลังส่งและเอสดีบิลิวอาร์แบบดิจิตอล

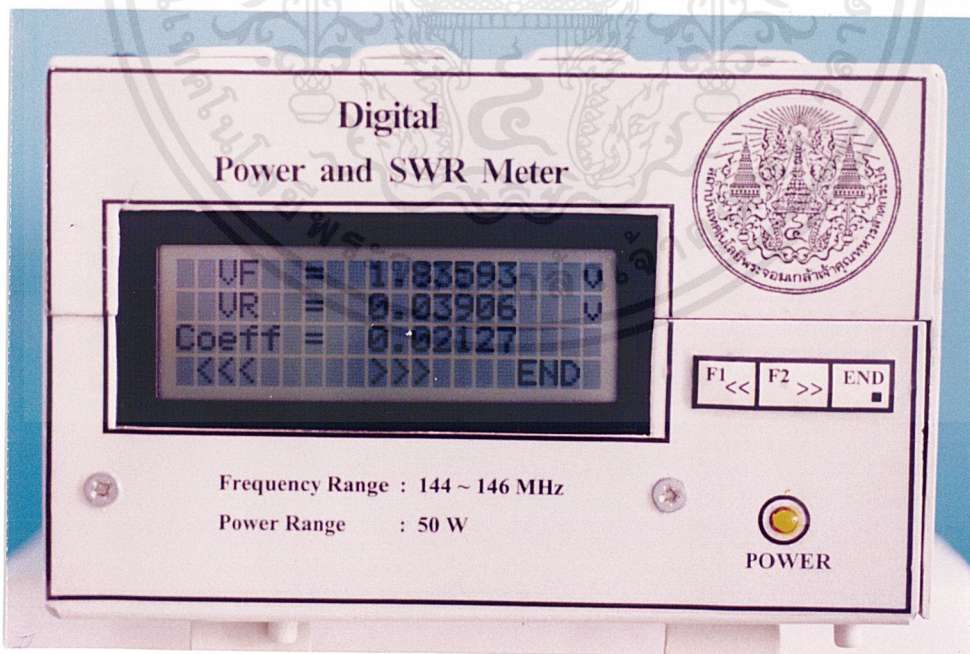
5.1) เปิดสวิตช์เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบิลิวอาร์แบบดิจิตอล

5.2) กดสวิตช์รีเซ็ต

## ผลการทดลอง

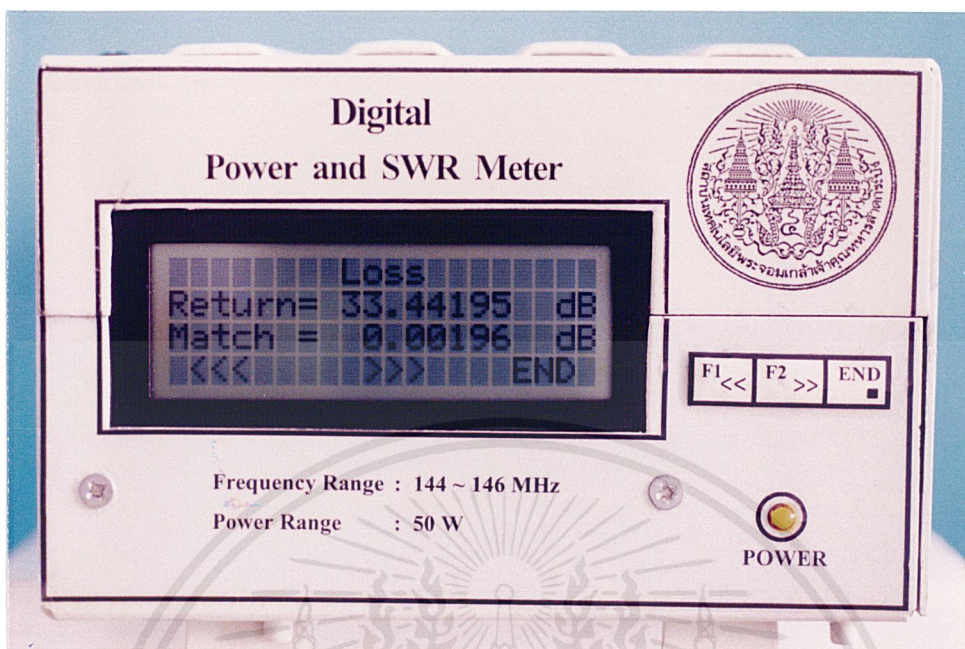


รูปที่ 4.13 ค่าเอสดับบลิวอาร์ และค่ากำลังส่งที่วัดได้จากสายอากาศสไลด์ โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่งและเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล



รูปที่ 4.14 ค่าแรงดันฟอร์เวิร์ด, ค่าแรงดันรีเวอร์ส และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแรงดันที่วัดได้จากสายอากาศสไลด์ โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่งและเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ค่ากำลังงานสูญเสียจากการไม่สมดุล และค่ากำลังงานสูญเสียจากการสะท้อนกลับที่วัดได้จากสายอากาศสไลด์ โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล

#### 4.4 การทดลองวัดค่ากำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์โดยใช้สายอากาศรับเบอร์ดัก

##### 4.4.1 การทดลองวัดค่ากำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์จากสายอากาศรับเบอร์ดัก โดยใช้เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200

###### ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1) ประกอบเครื่องส่งวิทยุ และสายอากาศรับเบอร์ดัก เข้ากับชุดเอสดับบลิวอาร์ ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200 โดยใช้สายนำสัญญาณ RG-58 ต่อระหว่างจุด ANT ของเครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ กับสายอากาศรับเบอร์ดัก

2) ใช้สายนำสัญญาณ RG-58 ต่อระหว่างจุด TX ของเครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์เข้ากับเครื่องส่งวิทยุ

3) ต่อแหล่งจ่ายไฟ 13.8 โวลต์ เข้ากับเครื่องส่งวิทยุ

4) เปิดสวิทช์ของเครื่องส่งวิทยุ

5) เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200

5.1) เลื่อนสวิทช์เลือกกำลังไปที่ย่าน 20 วัตต์

5.2) ปรับกำลังส่งของเครื่องส่งวิทยุให้อยู่ที่ตำแหน่ง MID

5.3) เลื่อนสวิตช์ฟังก์ชันไปที่ตำแหน่ง CAL และกดคีย์เครื่องส่งวิทยุ ปรับปุ่ม CAL เพื่อให้เข็มของเครื่องวัดอยู่ที่ตำแหน่ง CAL

5.4) เลื่อนสวิตช์ฟังก์ชันมาที่ตำแหน่ง SWR กดคีย์เครื่องส่งวิทยุ และทำการอ่านค่าเอสดับบลิวอาร์

5.5) เลื่อนสวิตช์ฟังก์ชันไปที่ตำแหน่ง POWER และเลื่อนสวิตช์ POWER ไปที่ตำแหน่ง FWD กดคีย์เครื่องส่งวิทยุ และทำการอ่านค่ากำลังส่ง

#### ผลการทดลอง



รูปที่ 4.16 ค่าเอสดับบลิวอาร์ที่วัดได้จากสายอากาศรับเบอร์ดัก โดยใช้เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200



รูปที่ 4.17 ค่ากำลังส่งที่วัดได้จากสายอากาศรับเบอร์ดัก โดยใช้เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200

#### 4.4.2 การทดลองวัดค่าเอสดับบลิวอาร์จากสายอากาศรับเบอร์ดัก โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอล

ลำดับขั้นการทดลอง

1) ประกอบเครื่องส่งวิทยุ และสายอากาศสไลด์ ทำการต่อเข้ากับเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอล โดยใช้สายนำสัญญาณ RG-58 ต่อระหว่างจุด ANT ของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอลกับสายอากาศสไลด์

2) ใช้สายนำสัญญาณ RG-58 ต่อระหว่างจุด TX ของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอลเข้ากับเครื่องส่งวิทยุ

3) ต่อแหล่งจ่ายไฟ 13.8 โวลต์ เข้ากับเครื่องส่งวิทยุ

4) เปิดสวิทช์ของเครื่องส่งวิทยุปรับกำลังส่งเครื่องไว้ที่ MID

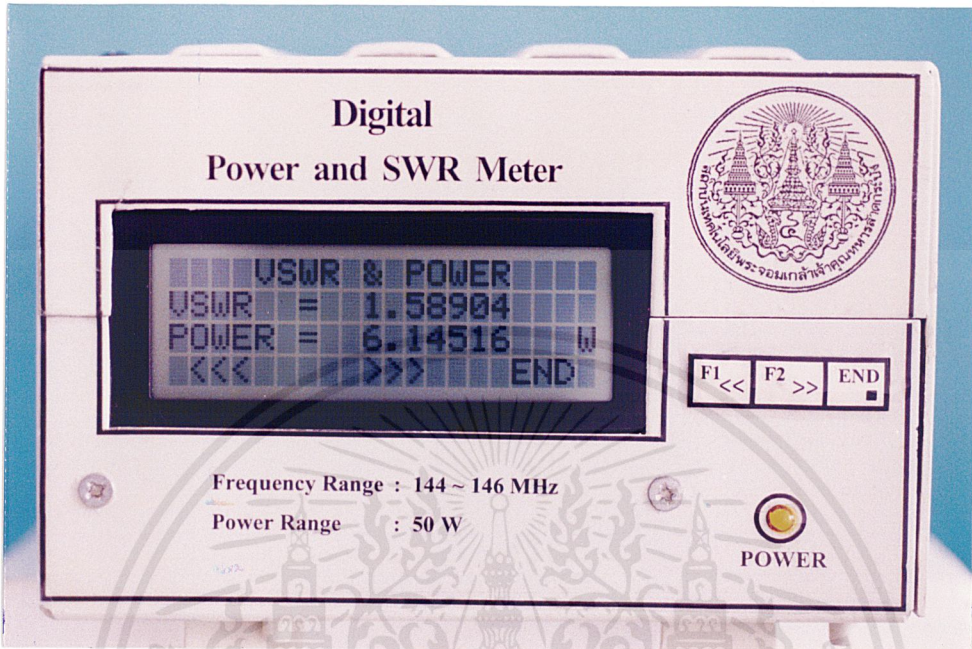
5) เครื่องวัดกำลังส่งและเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอล

5.1) เปิดสวิทช์เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิตอล

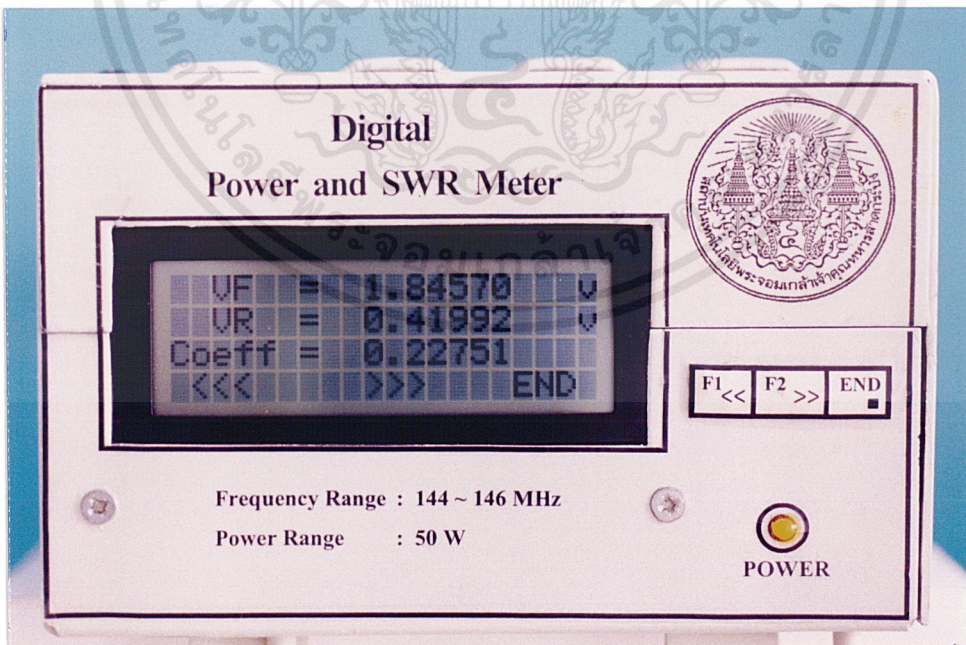
5.2) กดสวิทช์รีเซ็ต

5.3) กดคีย์เครื่องส่งวิทยุ

## ผลการทดลอง

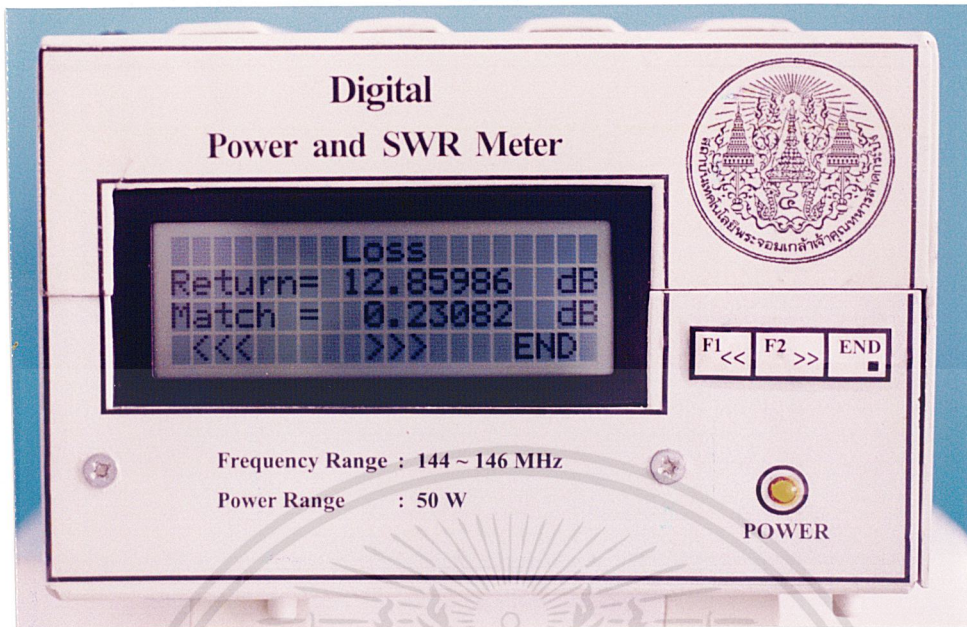


รูปที่ 4.18 ค่าเอสดับบลิวอาร์ และค่ากำลังส่งที่วัดได้จากสายอากาศรับเบอร์ตัด โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล



รูปที่ 4.19 ค่าแรงดันฟอร์เวิร์ด, ค่าแรงดันรีเวอร์ส และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแรงดันที่วัดได้จากสายอากาศรับเบอร์ตัด โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ค่ากำลังงานสูญเสียจากการไม่สมดุล และค่ากำลังงานสูญเสียจากการสะท้อนกลับที่วัดได้จากสายอากาศรับเบอร์ด์ค โดยใช้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล

#### 4.5 ค่าความผิดพลาดในการวัดค่าเอสดับบลิวอาร์ของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัลเปรียบเทียบกับ เครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200

##### 4.5.1 การวัดค่าเอสดับบลิวอาร์โดยใช้ตัวหาระเทียบ

ตารางที่ 4.1 ค่าความผิดพลาดในการวัดค่าเอสดับบลิวอาร์โดยใช้ตัวหาระเทียบ

ลำดับ	เครื่องวัดรุ่น SX-200	เครื่องวัดแบบดิจิทัล	ค่าความแตกต่าง	เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด
1	1.10	1.10344	0.00344	0.31
2	1.10	1.06666	0.03334	3.03
3	1.10	1.03296	0.06704	6.09
4	1.10	1.04444	0.05556	5.05
5	1.10	1.04444	0.05556	5.05
เฉลี่ย	1.10	1.05838	0.04298	3.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.2 การวัดค่าเอสดับบลิวอาร์โดยใช้สายอากาศซีโพลด

ตารางที่ 4.2 ค่าความผิดพลาดในการวัดค่าเอสดับบลิวอาร์โดยใช้สายอากาศซีโพลด

ลำดับ	เครื่องวัด รุ่น SX-200	เครื่องวัดแบบ ดิจิทัล	ค่าความแตกต่าง	เปอร์เซ็นต์ ค่าความผิดพลาด
1	1.35	1.24691	0.10309	7.63
2	1.35	1.25925	0.09075	6.72
3	1.35	1.27848	0.07152	5.29
4	1.35	1.23456	0.11544	8.51
5	1.35	1.25000	0.10000	7.40
เฉลี่ย	1.35	1.25384	0.09616	7.11

#### 4.5.3 การวัดค่าเอสดับบลิวอาร์โดยใช้สายอากาศสไลด์

ตารางที่ 4.3 ค่าความผิดพลาดในการวัดค่าเอสดับบลิวอาร์โดยใช้สายอากาศสไลด์

ลำดับ	เครื่องวัด รุ่น SX-200	เครื่องวัดแบบ ดิจิทัล	ค่าความแตกต่าง	เปอร์เซ็นต์ ค่าความผิดพลาด
1	1.15	1.04347	0.10653	9.26
2	1.15	1.03225	0.11775	10.23
3	1.15	1.04395	0.10605	9.22
4	1.15	1.03255	0.11745	10.21
5	1.15	1.04347	0.10653	9.26
เฉลี่ย	1.15	1.03913	0.11086	9.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.4 การวัดค่าเอสดับบลิวอาร์โดยใช้สายอากาศรับเบอร์ดัก

ตารางที่ 4.4 ค่าความผิดพลาดในการวัดค่าเอสดับบลิวอาร์โดยใช้สายอากาศรับเบอร์ดัก

ลำดับ	เครื่องวัด รุ่น SX-200	เครื่องวัดแบบ ดิจิทัล	ค่าความแตกต่าง	เปอร์เซ็นต์ ค่าความผิดพลาด
1	1.55	1.58904	0.03904	2.60
2	1.55	1.57534	0.02534	1.63
3	1.55	1.61111	0.06111	3.94
4	1.55	1.56756	0.01756	1.13
5	1.55	1.61111	0.06111	3.94
เฉลี่ย	1.55	1.59083	0.04083	2.64

#### 4.6 การทดลองหาค่าความผิดพลาดในการวัดค่ากำลังส่งของ เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัลเปรียบเทียบกับเครื่องวัดเอสดับบลิวอาร์ ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-200

##### 4.6.1 การวัดค่ากำลังส่งโดยใช้ตัวหาระเทียม

ตารางที่ 4.5 ค่าความผิดพลาดในการวัดกำลังส่งโดยใช้ตัวหาระเทียม

ลำดับ	เครื่องวัด รุ่น SX-200	เครื่องวัดแบบ ดิจิทัล	ค่าความแตกต่าง	เปอร์เซ็นต์ ค่าความผิดพลาด
1	6.00	6.00000	0.00000	0.00
2	6.00	6.00000	0.00000	0.00
3	6.00	6.00000	0.00000	0.00
4	6.00	6.00000	0.00000	0.00
5	6.00	6.00000	0.00000	0.00
เฉลี่ย	6.00	6.00000	0.00000	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6.2 การวัดค่ากำลังส่งโดยใช้สายอากาศซีโหลด

ตารางที่ 4.6 ค่าความผิดพลาดในการวัดกำลังส่งโดยใช้สายอากาศซีโหลด

ลำดับ	เครื่องวัด รุ่น SX-200	เครื่องวัดแบบ ดิจิทัล	ค่าความแตกต่าง	เปอร์เซ็นต์ ค่าความผิดพลาด
1	6.00	6.00000	0.00000	0.00
2	6.00	6.00000	0.00000	0.00
3	6.00	6.00000	0.00000	0.00
4	6.00	6.00000	0.00000	0.00
5	6.00	6.00000	0.00000	0.00
เฉลี่ย	6.00	6.00000	0.00000	0.00

#### 4.6.3 การวัดค่ากำลังส่งโดยใช้สายอากาศสไลด์

ตารางที่ 4.7 ค่าความผิดพลาดในการวัดกำลังส่งโดยใช้สายอากาศสไลด์

ลำดับ	เครื่องวัด รุ่น SX-200	เครื่องวัดแบบ ดิจิทัล	ค่าความแตกต่าง	เปอร์เซ็นต์ ค่าความผิดพลาด
1	6.00	6.14516	0.14516	2.41
2	6.00	6.14516	0.14516	2.41
3	6.00	6.09032	0.09032	1.50
4	6.00	6.14516	0.14516	2.41
5	6.00	6.14516	0.14516	2.41
เฉลี่ย	6.00	6.13419	0.13419	2.22

#### 4.6.4 การวัดค่ากำลังส่งโดยใช้สายอากาศรับเบอร์ดัก

ตารางที่ 4.8 ค่าความผิดพลาดในการวัดกำลังส่งโดยใช้สายอากาศรับเบอร์ดัก

ลำดับ	เครื่องวัด รุ่น SX-200	เครื่องวัดแบบ ดิจิทัล	ค่าความแตกต่าง	เปอร์เซ็นต์ ค่าความผิดพลาด
1	6.00	6.14516	0.14516	2.41
2	6.00	6.00000	0.00000	0.00
3	6.00	6.14516	0.14516	2.41
4	6.00	6.14516	0.14516	2.41
5	6.00	6.14516	0.14516	2.41
เฉลี่ย	6.00	6.11612	0.11612	1.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา

#### 5.1 บทสรุป

ปริยฐานิพนธ์ เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัลนี้ นำเอาหลักการพื้นฐานในการหาค่าเอสดับบลิวอาร์ ซึ่งจะได้จากการนำค่าแรงดันฟอร์เวิร์ด และค่าแรงดันรีเวิร์สที่ได้จากชุดเหนี่ยวนำมาทำการคำนวณโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ซึ่งจะได้ค่ากำลังส่ง, ค่ากำลังงานสูญเสียจากการสะท้อนกลับ, ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแรงดัน, ค่ากำลังงานสูญเสียจากการมิสมแมทซ์, ค่าแรงดันฟอร์เวิร์ด และค่าแรงดันรีเวิร์สออกมา ซึ่งจะแสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ออกทางจอ แอล ซี ดี แบบ 4 บรรทัด

ส่วนที่สำคัญของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัลนี้ คือ ชุดเหนี่ยวนำจะสร้างค่าแรงดันฟอร์เวิร์ด และค่าแรงดันรีเวิร์สเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง วงจรบวก และลบแรงดันจะนำค่าที่ได้จากชุดเหนี่ยวนำมาทำการบวกกันจะได้ค่า  $V_{max}$  และลบกันจะได้ค่า  $V_{min}$  เนื่องจากค่า  $V_{max}$  และ  $V_{min}$  มีค่าสูงเกินไปจึงต้องทำการลดระดับแรงดันให้ต่ำลงโดยวงจรลดทอนแรงดันผ่านวงจรบัฟเฟอร์เพื่อเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 8 บิต จากนั้นเข้าสู่การประมวลผล โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะได้จากการประมวลผลโดยการเขียนโปรแกรมภาษาซี จากนั้นก็จะแสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ออกทางจอ แอล ซี ดี

จากการทำงานของวงจรต่างๆ เหล่านี้ จะทำให้เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัลสามารถวัดค่าวีเอสดับบลิวอาร์, ค่ากำลังส่ง, ค่ากำลังงานสูญเสียจากการสะท้อนกลับ, ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแรงดัน, ค่ากำลังงานสูญเสียจากการมิสมแมทซ์, ค่าแรงดันฟอร์เวิร์ด และค่าแรงดันรีเวิร์สได้

#### 5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำโครงการ และแนวทางแก้ไข

1) การเลือกใช้ไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่มีความละเอียดสูง

**แนวทางแก้ไข** ขอคำปรึกษาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งท่านได้แนะนำให้ทดลองใช้ไอซีที่ใช้กับเครื่องวัดแบบดิจิทัล เพราะมีความละเอียดสูง

2) การเขียน โปรแกรมที่ใช้ในการวัดค่ากำลังส่งทำได้ยาก เพราะไม่มีสูตรในการคำนวณ  
**แนวทางแก้ไข** ทำการพัฒนาวงจรให้วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลสามารถ  
 ใช้งานกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้มากกว่า 5 โวลต์ ทำการวัดค่าแรงดันฟอ์เวิร์ดในแต่ละย่าน  
 กำลังส่งนำมาเปรียบเทียบกับระดับของไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล จากนั้นทำการ  
 คำนวณหาค่ากำลังส่งของแต่ละย่านวัดโดยอาศัยค่าแรงดัน ฟอ์เวิร์ดที่วัดได้

3) การเขียน โปรแกรมโดยใช้ภาษาแอสเซมบลีในการคำนวณทำได้ยาก  
**แนวทางแก้ไข** เขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาซี เพราะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการคำนวณมากมี  
 ความสะดวกในการเขียนโปรแกรม

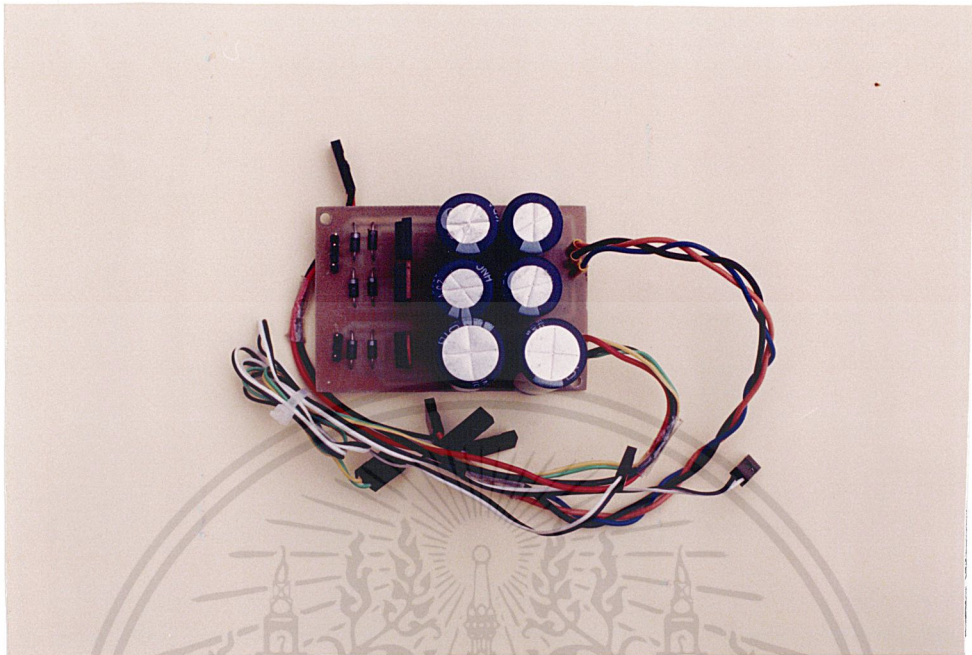
### 5.3 แนวทางการพัฒนา

- 1) การพัฒนาให้สามารถวัดกำลังส่งคลื่นด้านสะท้อนกลับได้
- 2) การพัฒนาเพิ่มย่านในการวัดให้สามารถวัดค่ากำลังส่งได้สูงขึ้น
- 3) การพัฒนาขนาดของเครื่องให้เล็กลง

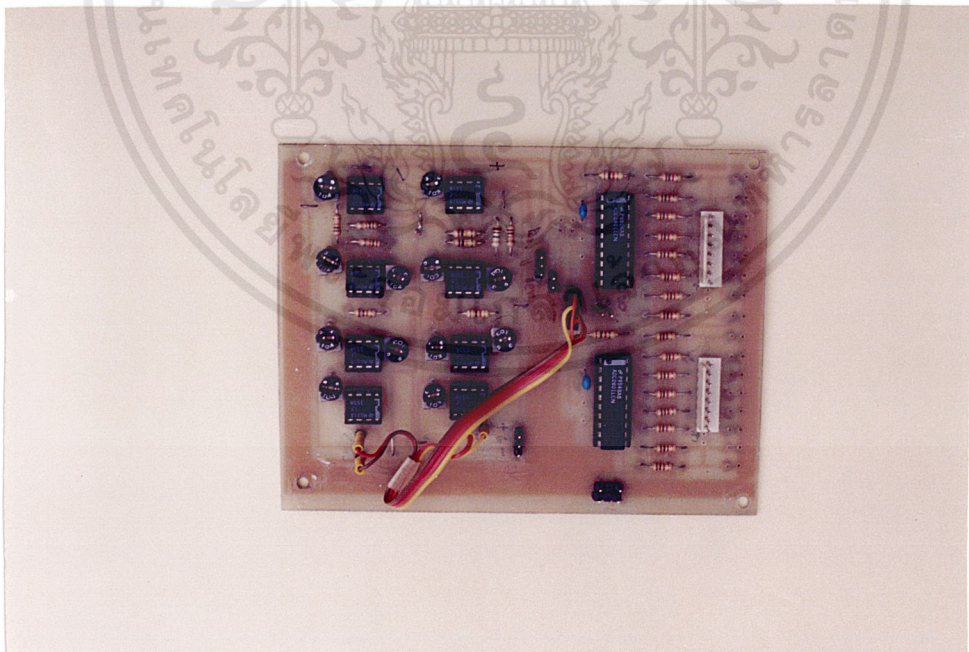
ภาคผนวก ก

ส่วนประกอบของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

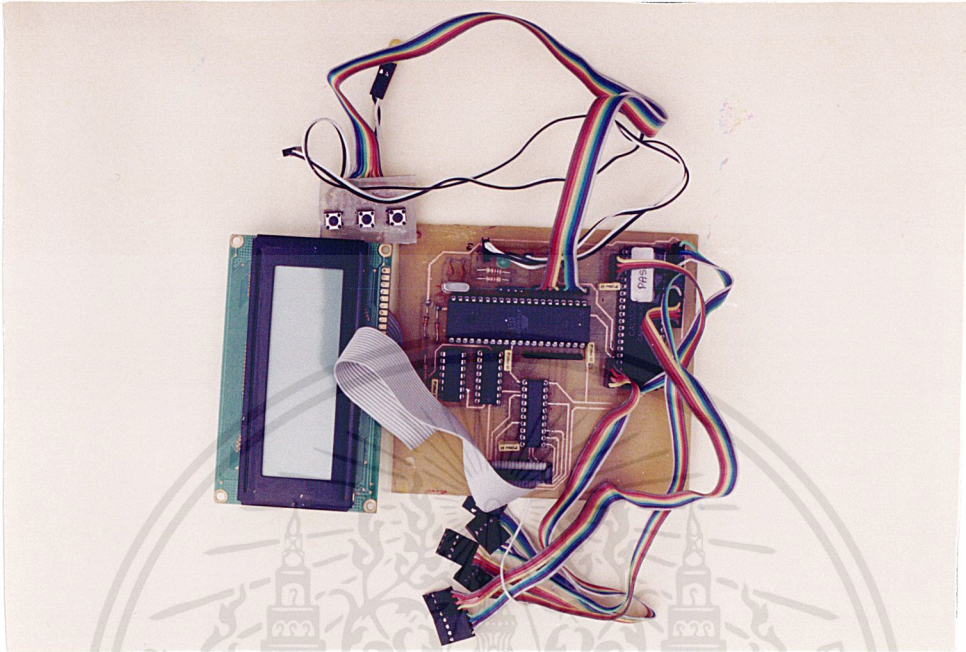


รูปที่ ก.1 แผงวงจรภาคจ่ายไฟ

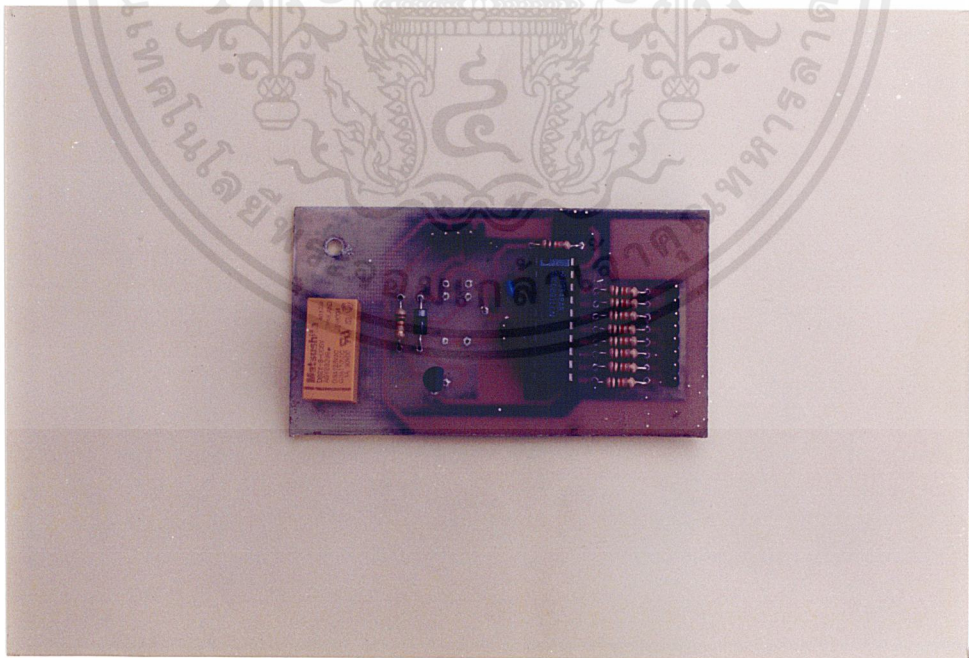


รูปที่ ก.2 แผงวงจรบวกแรงดัน, วงจรลบแรงแรงดัน, วงจรลดทอนแรงดัน, วงจรกลับเฟสแรงดัน และวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

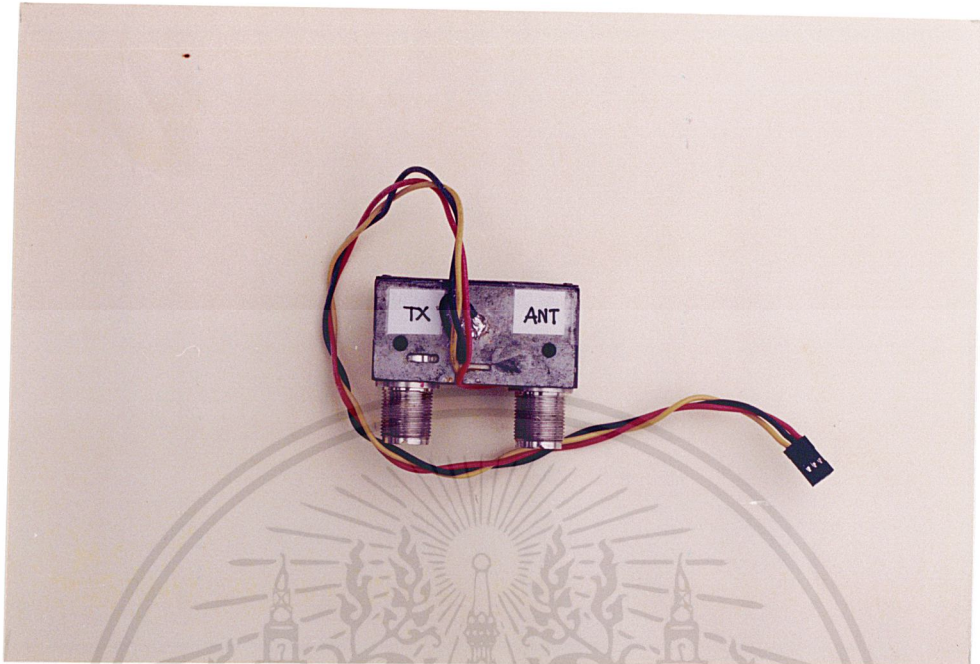


รูปที่ ก.3 แผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ 89S8252

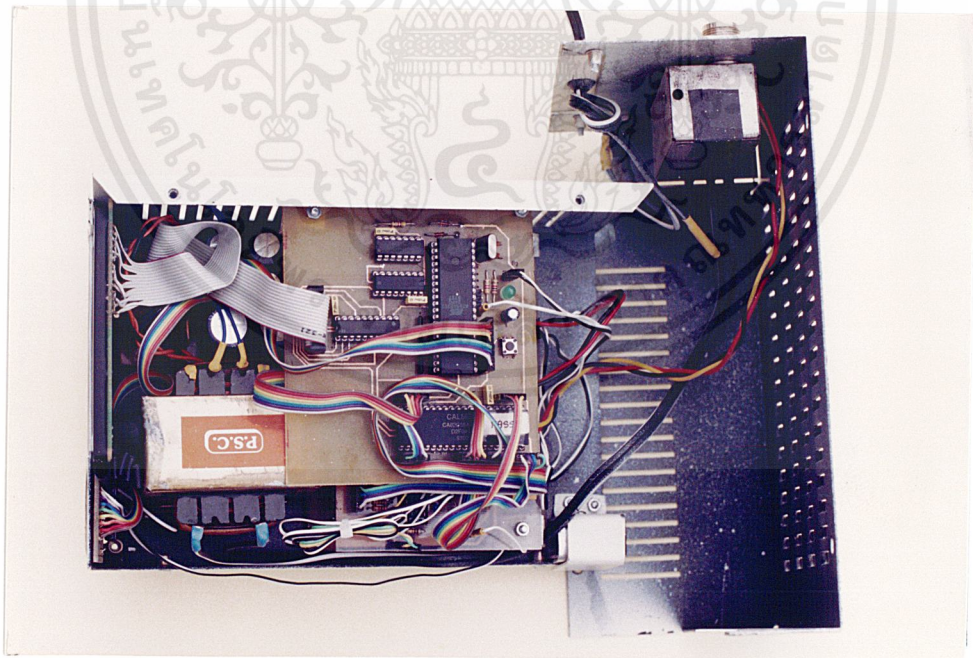


รูปที่ ก.4 แผงวงจรวัดค่ากำลังส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

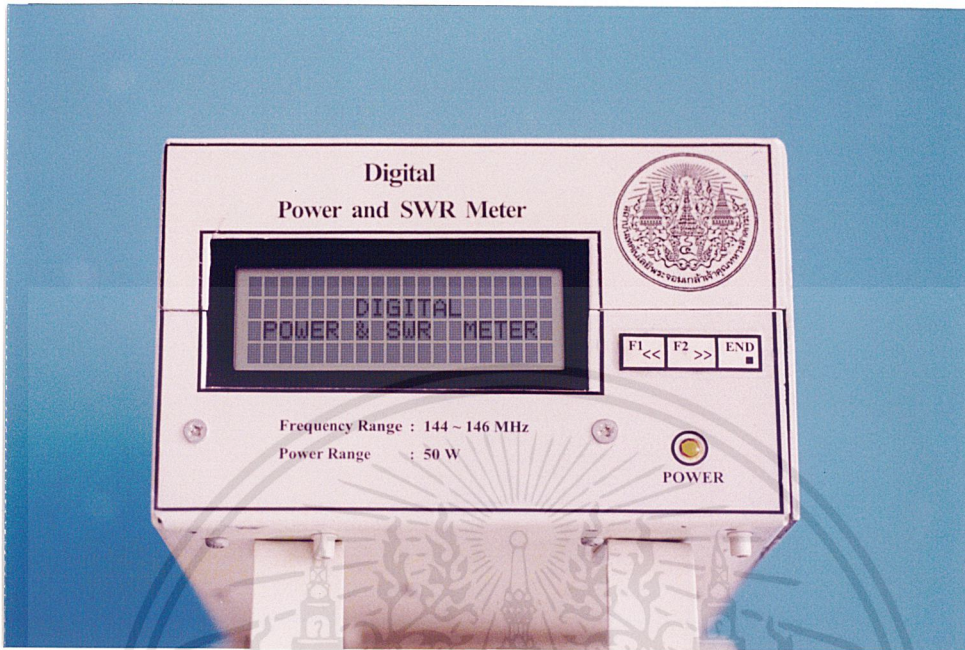


รูปที่ ก.5 ชุดเหนี่ยวนำแรงดัน



รูปที่ ก.6 การติดตั้งแผงวงจรกล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.7 เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบิลิวอาร์แบบดิจิทัล



รูปที่ ก.8 เครื่องวัดเอสดีบิลิวอาร์ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX - 200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

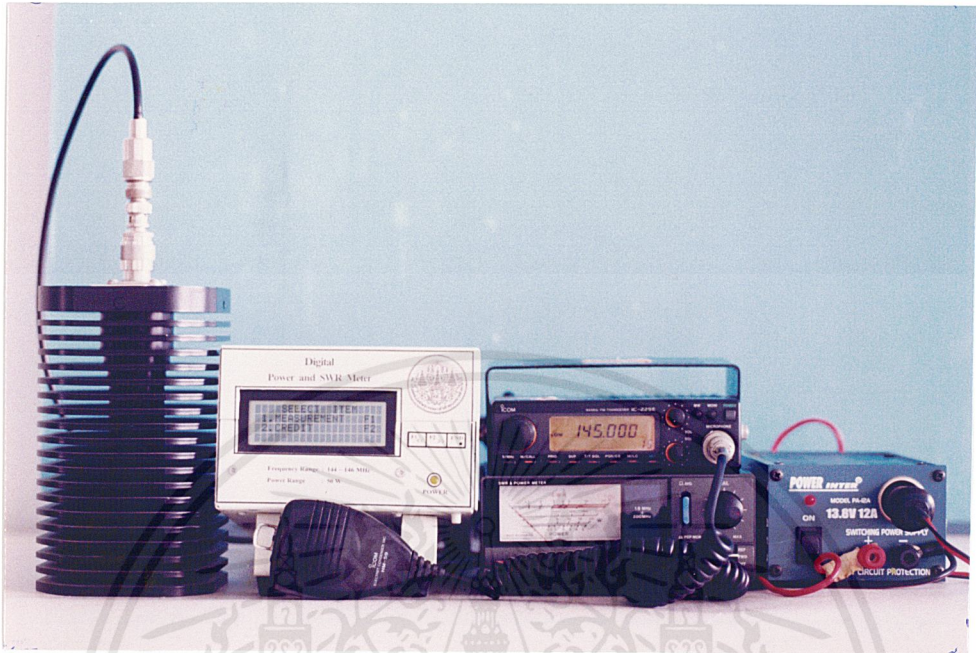


รูปที่ ก.9 เครื่องวิทยุสื่อสารที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ ก.10 ตัวภาชนะเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

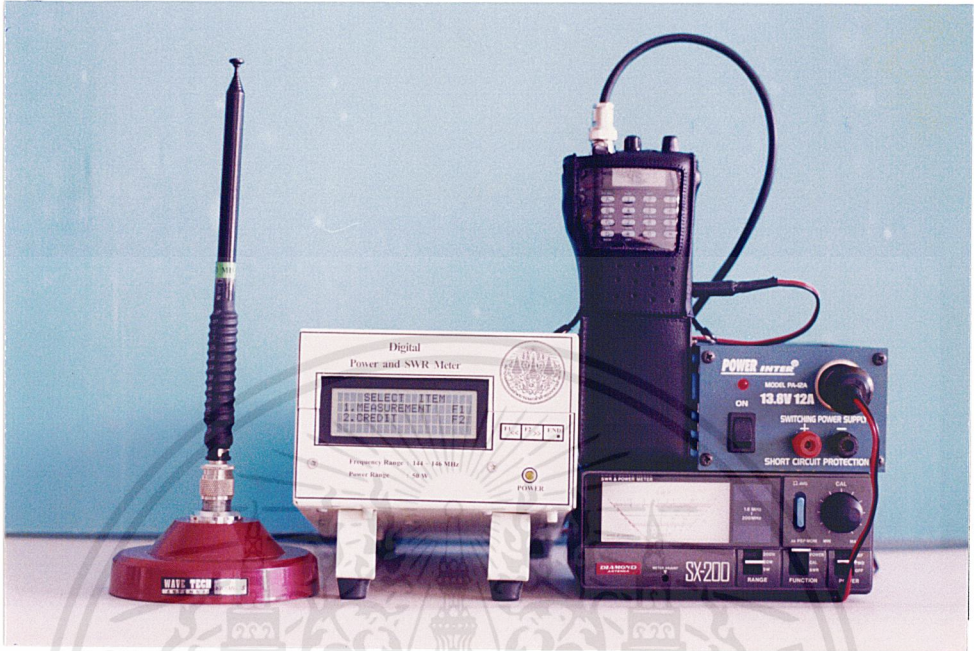


รูปที่ ก.11 การติดตั้งเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบับลิวอาร์แบบดิจิตอลกับตัวภาชนะเทียม

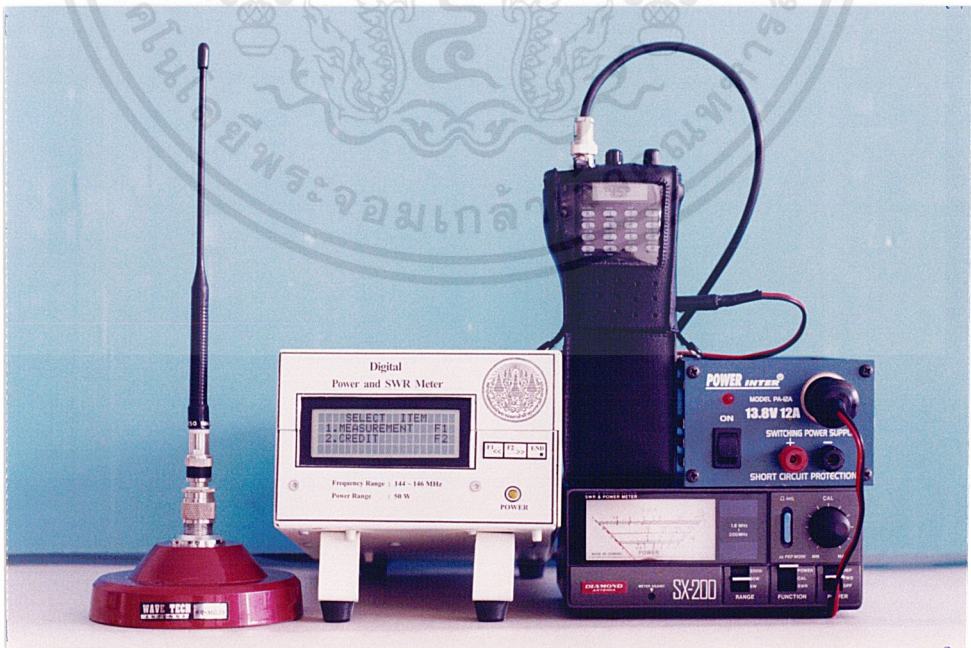


รูปที่ ก.12 การติดตั้งเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบับลิวอาร์แบบดิจิตอลกับสายอากาศซีโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.13 การติดตั้งเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวาร์แบบดิจิตอลกับสายอากาศสไลด์

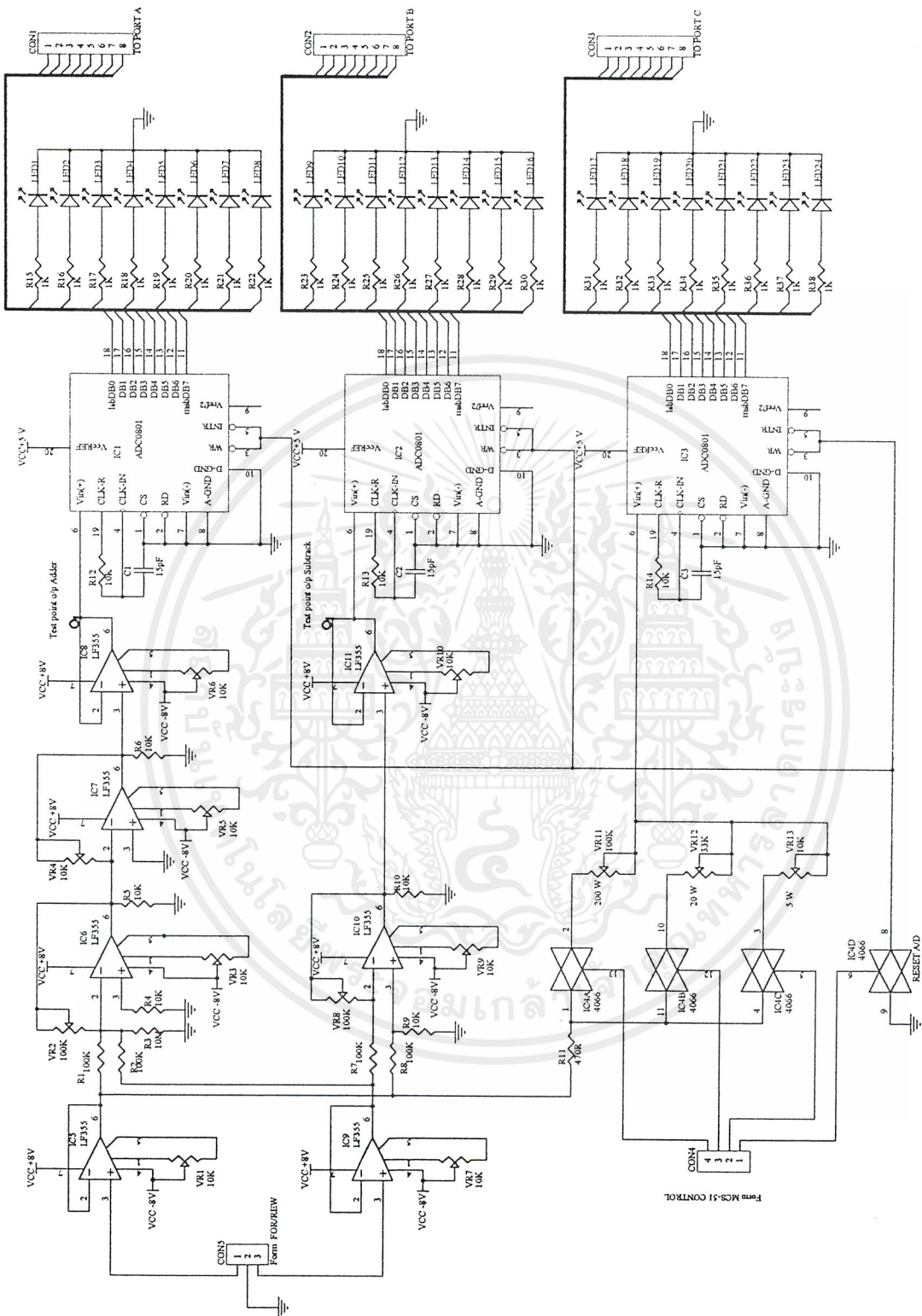


รูปที่ ก.14 การติดตั้งเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวาร์แบบดิจิตอลกับสายอากาศรับเบอร์ดัก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

วงจร, ลายวงจรพิมพ์, การวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์

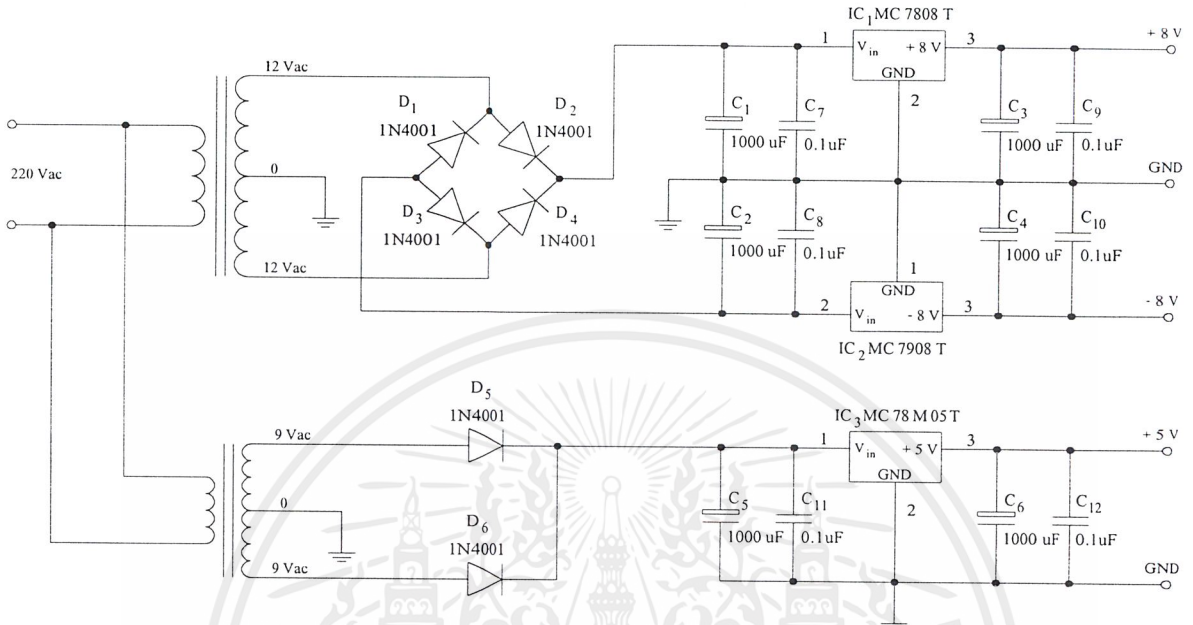
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



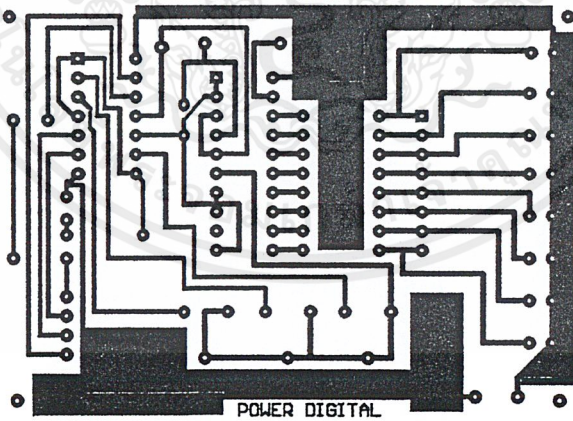
รูปที่ ข.1 วงจรรวมเครื่องวัดค่าถึงส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



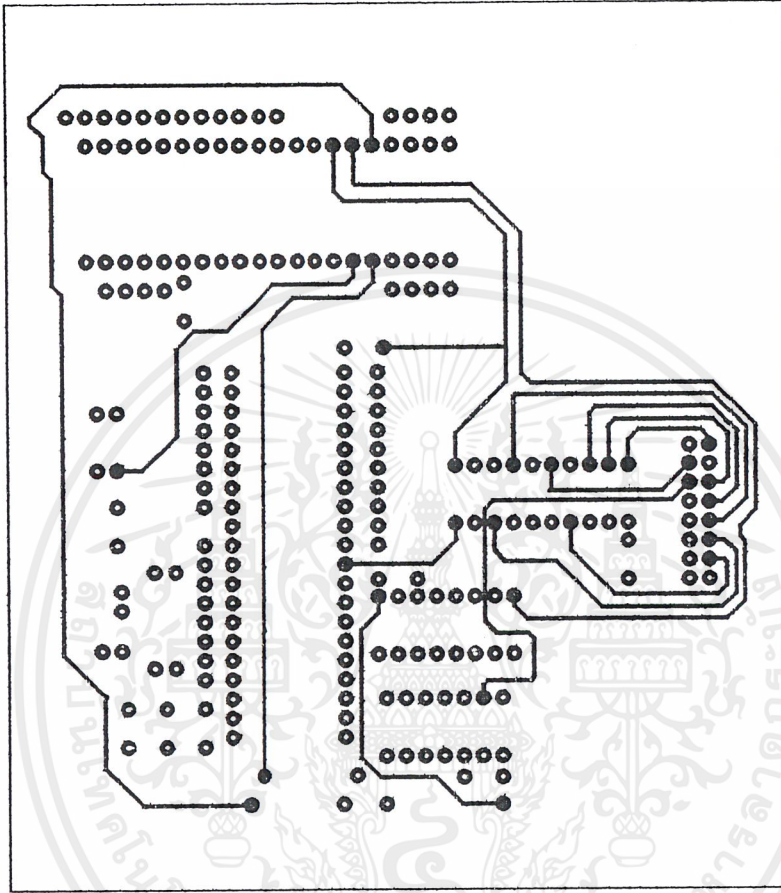


รูปที่ ข.3 วงจรภาคจ่ายไฟ



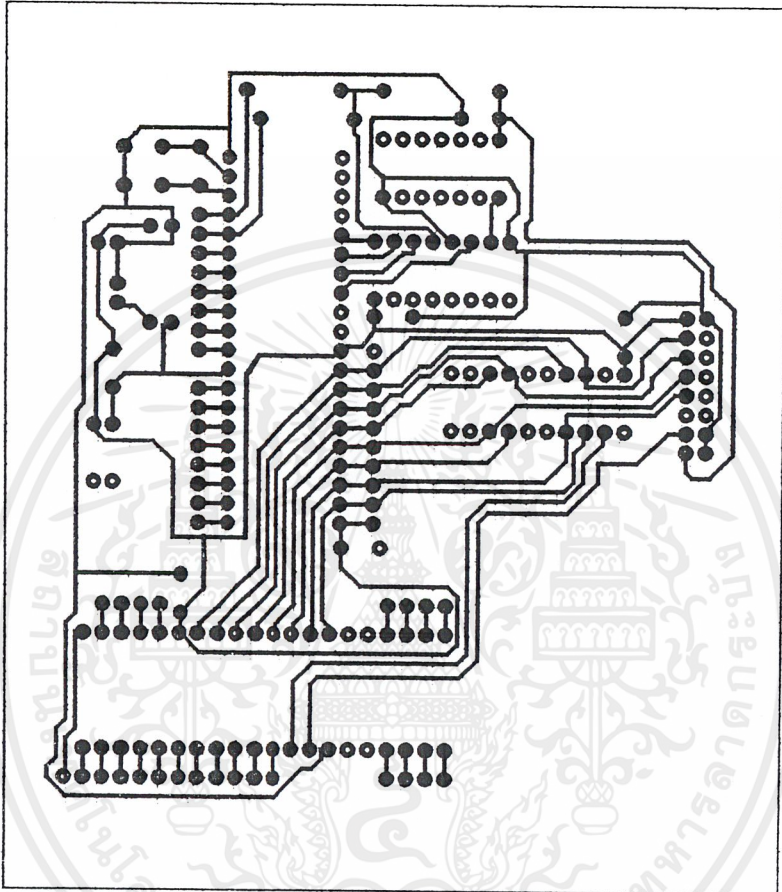
รูปที่ ข.4 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรวัดกำลังส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



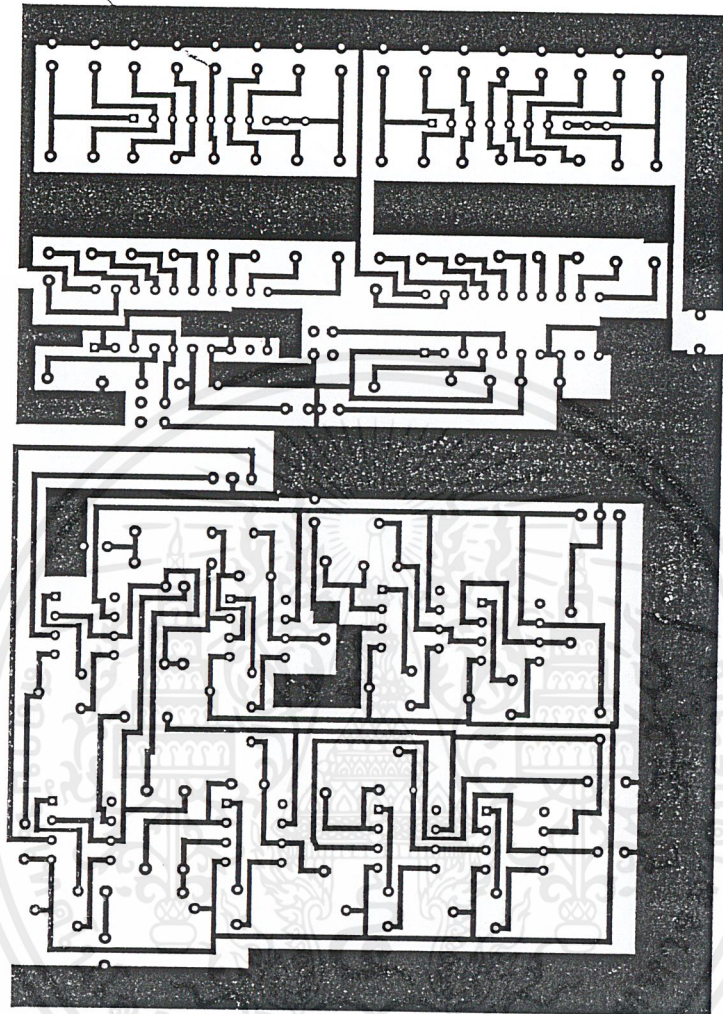
รูปที่ ข.5 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ (ด้านบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



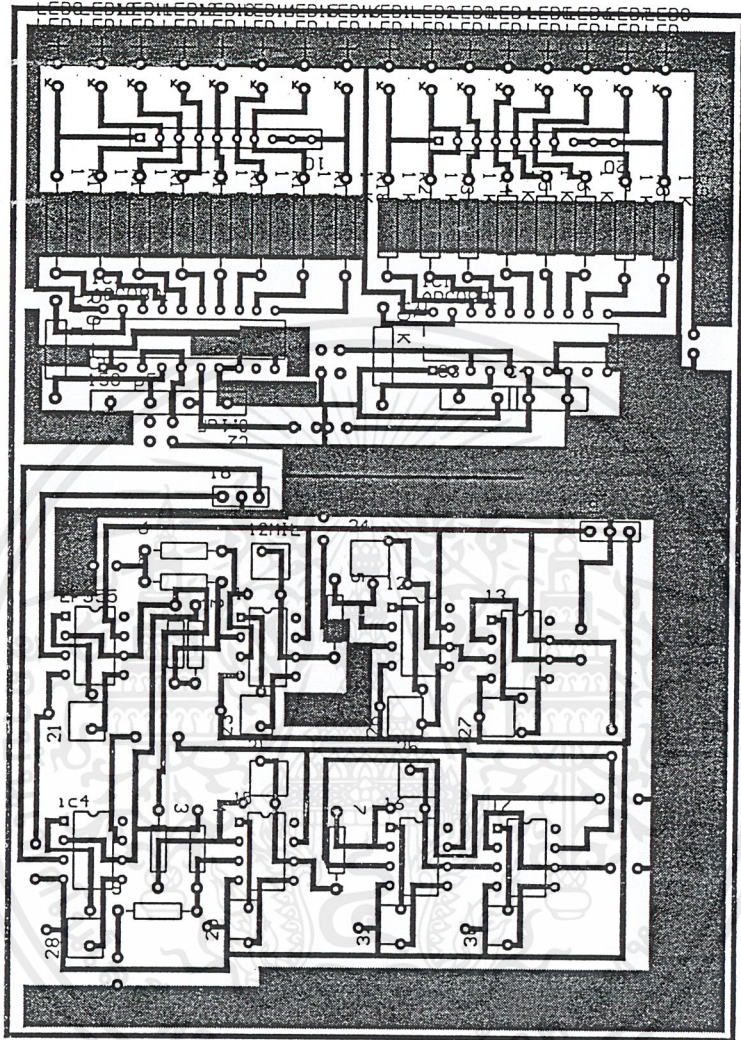
รูปที่ ข.6 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ (ด้านล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.7 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.8 การลงอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์วงจรวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1. รายการอุปกรณ์ภาคจ่ายไฟ

หม้อแปลง 12-0-12 และ 9-0-9	1	ตัว
DIODE 1N4001	6	ตัว
C 1000 0 50 V	1	ตัว
C 0.1 u 50 V	6	ตัว
IC 7808	1	ตัว
IC 7908	1	ตัว
IC 7805	1	ตัว
ฟิวส์ 3 A 250 V <sub>AC</sub>	1	ตัว
สวิตช์ AC 250 V	1	ตัว

### 2. รายการอุปกรณ์วงจรบวกแรงดัน

IC L 355	7	ตัว
R 10 k $\Omega$	7	ตัว
R 100 k $\Omega$	4	ตัว
R 1 M $\Omega$	1	ตัว
VR 10 k $\Omega$	9	ตัว
VR 100 k $\Omega$	2	ตัว

### 3. รายการอุปกรณ์วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

R 1 k $\Omega$	24	ตัว
R 10 k $\Omega$	3	ตัว
C 15 p	3	ตัว
IC 0801	3	ตัว
LED	14	ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. รายการอุปกรณ์วงจรวัดกำลังส่ง

IC CD4066	1	ตัว
IC 0801	1	ตัว
LED	14	ตัว
C 15 p	3	ตัว
R 1 k $\Omega$	24	ตัว
R 10 k $\Omega$	3	ตัว
R 470 $\Omega$	1	ตัว
VR 100 k $\Omega$	1	ตัว
VR 33 k $\Omega$	1	ตัว
VR 10 k $\Omega$	1	ตัว

#### 5. รายการอุปกรณ์วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051

IC 8051	1	ตัว
IC 8255	1	ตัว
IC 74ALS373	1	ตัว
IC 74ALS138	1	ตัว
IC 7404	1	ตัว
DIODE 1N4001	2	ตัว
X-TAL 12 MHz	1	ตัว
C 10 u 25 V	1	ตัว
C 20 p	2	ตัว
R 4.7 k $\Omega$	2	ตัว
สวิตช์กดติดปล่อยดับ	1	ตัว
แอล ซี ดี โมดูล ขนาด 20 ตัวอักษร 4 บรรทัด		

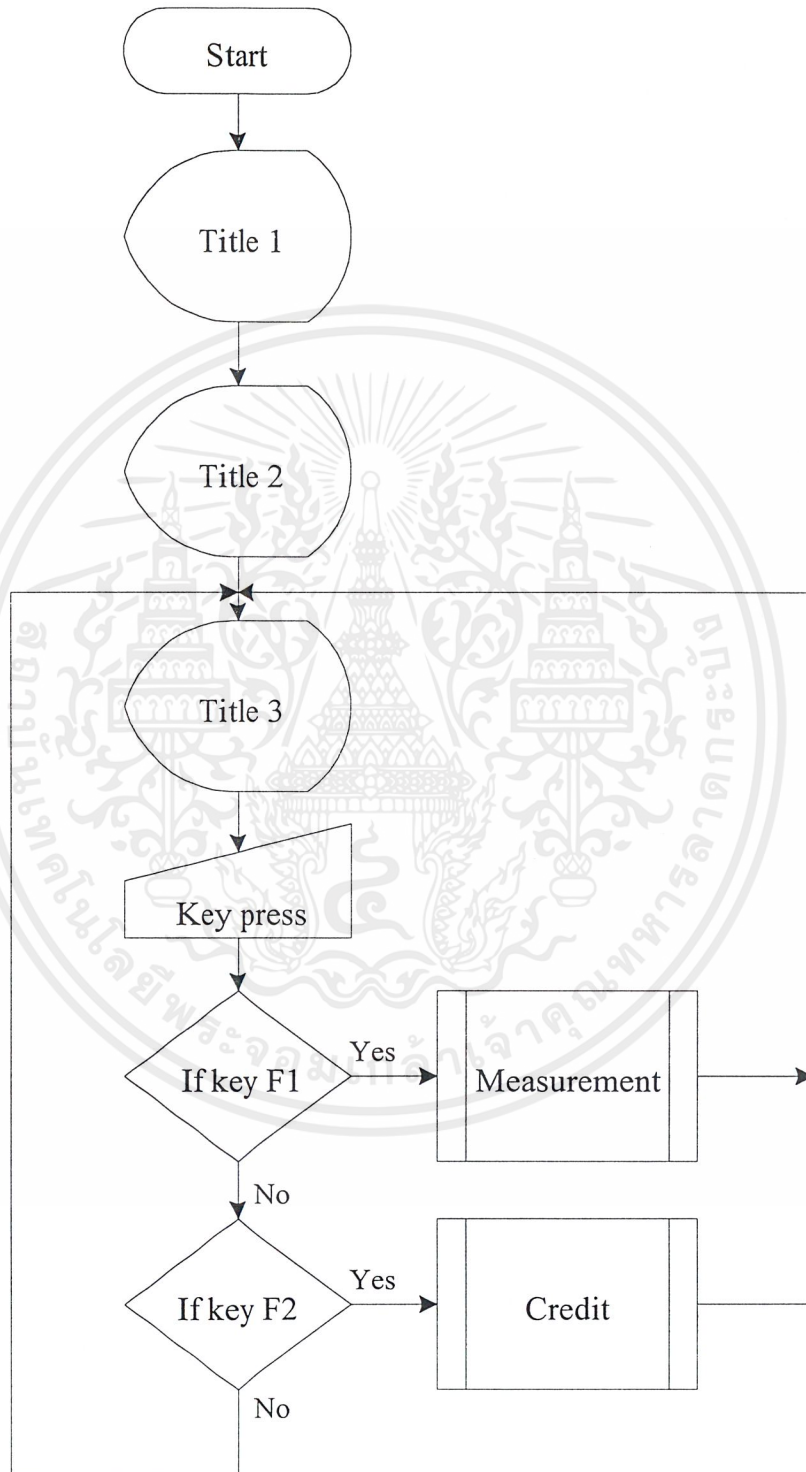
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง

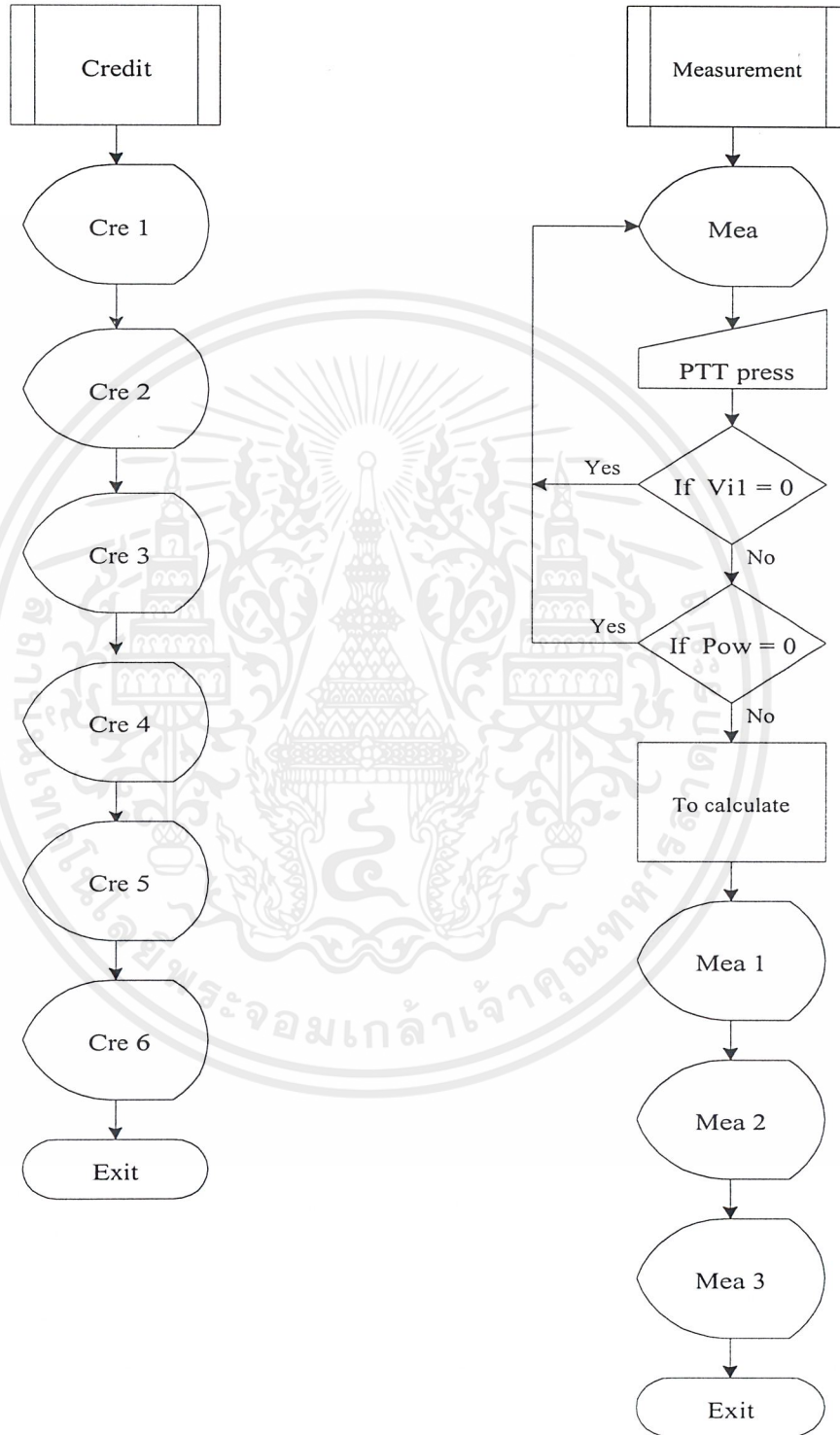
**แผนผังการทำงาน และโปรแกรมของเครื่องวัดกำลังส่ง  
และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑.1 แผนผังการทำงาน โดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.2 แผนผังการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรมของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล

```

/*  Filename      SWR.C
   Description    DIGITAL POWER & SWR METER
   Hardware       MCS-51 Board
   Compiler       Franklin v3.2
   Engineer       Nuttapornchai Ounsorn
   KMITL ED.ENGINEER 20 version 5.0 06/05/2000

#pragma cd
#include <reg51.h>
#include <math.h>
float volt_cof,
      mis_loss,
      ret_loss,
      vswr, vmin, vmax, power,
      vf, vr, store,
      sqrvolt_cof;

sbit BF = ACC^7;
sbit P1_0 = P1^0;
sbit P1_1 = P1^1;
sbit P1_2 = P1^2;
sbit RES = P3^0;
int i, j, k, a, c;
unsigned char vi1, vi2, vref, pow;
unsigned char msb, lsb, m, lev;
void delay(int count);
void measure(void);
void set8255(void);
void indata(void);
void again(void);
void wait(void);
void dtlcd(float fd, int row);
void clear_lcd(void);
void ptext(char ab[4][20]);
void out_dtlcd(char ab[7], int num);
char getstr(int num);
int check_key(void);
int xch(unsigned char m);
int change_data(unsigned char lev);
void debounce(void);
void delay(int count);
void get_vswr(void);
void get_vcoef(void);
void get_misloss(void);
void get_retloss(void);
void credit(void);
unsigned char xdata *ptrdat;
unsigned char xdata *waitda;
int power50(unsigned char b);
void multi(int step);
void plus(float refer);
void w0_5(void);
void w1_5(void);
void w2_5(void);
void w3_0(void);
void w5_0(void);

```

```

void w6_0(void);
void w15(void);
void w30(void);
void range50(int got);
int power50(unsigned char b)
{ /*RANGE 50 WATTS*/
    int got;
    if ((b >=0x01) && (b <= 0x21)) got = 1; else
    if ((b >=0x22) && (b <= 0x32)) got = 2; else
    if ((b >=0x33) && (b <= 0x48)) got = 3; else
    if ((b >=0x49) && (b <= 0x52)) got = 4; else
    if ((b >=0x53) && (b <= 0x61)) got = 5; else
    if ((b >=0x62) && (b <= 0x70)) got = 6; else
    if ((b >=0x71) && (b <= 0xb0)) got = 7; else
    if ((b >=0xb1) && (b <= 0xff)) got = 8; else got = 0;
    return(got);
}
void range50(int got)
{
    switch(got)
    {
    case 0 : power = 0.0;
            break;
    case 1 : w0_5();
            break;
    case 2 : w1_5();
            break;
    case 3 : w2_5();
            break;
    case 4 : w3_0();
            break;
    case 5 : w5_0();
            break;
    case 6 : w6_0();
            break;
    case 7 : w15();
            break;
    case 8 : w30();
            break;
    }
}
void w0_5(void)
{
    if ((pow == 0x1f) || (pow == 0x20) || (pow == 0x21))
    power = 0.5;
    else
    {
    i = pow - 0x00;
    store = 0.01612903226;
    multi(i);
    plus(0.0);
    }
}
void w1_5(void)
{
    if ((pow == 0x30) || (pow == 0x31) || (pow == 0x32))
    power = 1.5;
}

```

```

        else
        {
            i = pow - 0x21;
            store = 0.0666666667 ;
            multi(i);
            plus(0.5);
        }
    }
void w2_5(void)
{
    if ((pow == 0x46) || (pow == 0x47) || (pow == 0x48))
        power = 2.5;
    else
    {
        i = pow - 0x32;
        store = 0.05;
        multi(i);
        plus(1.5);
    }
}
void w3_0(void)
{
    if ((pow == 0x50) || (pow == 0x51) || (pow == 0x52))
        power = 3.0;
    else
    {
        i = pow - 0x48;
        store = 0.0625;
        multi(i);
        plus(2.5);
    }
}
void w5_0(void)
{
    if ((pow == 0x5f) || (pow == 0x60) || (pow == 0x61))
        power = 5.0;
    else
    {
        i = pow - 0x52;
        store = 0.0666666667;
        multi(i);
        plus(3.0);
    }
}
void w6_0(void)
{
    if ((pow == 0x6e) || (pow == 0x6f) || (pow == 0x70))
        power = 6.0;
    else
    {
        i = pow - 0x61;
        store = 0.07692307692;
        multi(i);
        plus(5.0);
    }
}
void w15(void)

```

```

{
    if ((pow == 0xae) || (pow == 0xaf) || (pow == 0xb0))
        power = 15.0;
    else
    {
        i = pow - 0x70;
        store = 0.1451612903;
        multi(i);
        plus(6.0);
    }
}
void w30(void)
{
    if ((pow == 0xf0) || (pow == 0xf1) || (pow == 0xf2))
/*f7*/
        power = 30.0;
    else
    {
        i = pow - 0xb0;
        store = 0.234375;
        multi(i);
        plus(15.0);
    }
}
void multi(int step)
{
    power = (float)store * step;
}
void plus(float refer)
{
    power = (float)refer + power;
}
int check_key(void)
{
    int inpl;
m2:   inpl = 0;
    if (P1_0==0)
    {
        debounce();
        inpl = 1;
        return(inpl);
    }
    else
        if (P1_1==0)
        {
            debounce();
            inpl = 2;
            return(inpl);
        }
        else
            if (P1_2==0)
            {
                debounce();
                inpl = 3;
                return(inpl);
            }
            if ((inpl!=1) || (inpl!=2) || (inpl!=3))

```

```

        goto m2;
    }
    void debound(void)
    {
    w_key:  delay(50);
            if ((P1_0==0) || (P1_1==0) || (P1_2==0))
                goto w_key;
    }
    void ptext(char ab[4][20])
    {
        for (i=0;i<4;i=i+1)
            for (j=0;j<20;j=j+1)
            {
                ptrdat = 0xf002;
                *ptrdat = (ab[i][j]);
                wait();
            }
    }
    void dtlcd(float fd,int row)
    {
        int dint,dint1,dint2;
        float resal,resal1;
        char tab[8];
        resal = fd;
        dint = resal;
        if(dint<=9)
        {
            tab[0] = 0x20;
            tab[1] = getstr(dint);
            tab[2] = 0x2e;
        }
        else
        {
            resal1 = (float)dint/10;
            dint1 = resal1;
            tab[0] = getstr(dint1);
            dint2 = dint;
            dint2 = dint2 - (dint1*10);
            tab[1] = getstr(dint2);
            tab[2] = 0x2e;
        }
        k=2;
        do
        {
            k=k+1;
            resal = resal - dint;
            resal = resal*10;
            dint = resal;
            tab[k] = getstr(dint);
        }while(k<8);
        out_dtlcd(tab,row);
    }
    char getstr(int num)
    {
        char strout ;
        switch (num)

```

```

{
case 0 : strout = 0x30;
        break;
case 1 : strout = 0x31;
        break;
case 2 : strout = 0x32;
        break;
case 3 : strout = 0x33;
        break;
case 4 : strout = 0x34;
        break;
case 5 : strout = 0x35;
        break;
case 6 : strout = 0x36;
        break;
case 7 : strout = 0x37;
        break;
case 8 : strout = 0x38;
        break;
case 9 : strout = 0x39;
        break;
}
return(strout);
}
void out_dtlcd(char ab[8],int num)
{
    ptrdat = 0xf000;
    switch (num)
    {
    case 1 : *ptrdat = 0x88;
            wait();
            break;
    case 2 : *ptrdat = 0xc8;
            wait();
            break;
    case 3 : *ptrdat = 0x9c;
            wait();
            break;
    }
    for (i=0;i<8;i=i+1)
    {
        ptrdat = 0xf002;
        *ptrdat = (ab[i]);
        wait();
    }
}
void int_lcd(void)
{
    ptrdat = 0xf000;
    *ptrdat = 0x38;
    wait();
    *ptrdat = 0x0c;
    wait();
    *ptrdat = 0x06;
    wait();
    *ptrdat = 0x01;
    wait();
}

```

```

        *ptrdat = 0x80;
        wait();
    }
void delay(int count)
{
    int i,j;
    for(i=0;i<count;i++)
        for(j=0;j<500;j++);
} /* end of delay function */
void clear_lcd(void)
{
    ptrdat = 0xf000;
    *ptrdat = 0x01;
    wait();
    *ptrdat = 0x80;
    wait();
}
void wait(void)
{
    bit check;
    do
    {
        waitda = 0xf001;
        ACC = *waitda;
        check = BF;
    }
    while(check);
}
int change_data(unsigned char lev)
{
    msb = lev;
    lsb = lev & 0x0f;
    lsb = xch(lsb);
    for(i=0;i<4;i++)
    {
        msb = msb >> 1;
    }
    msb = xch(msb);
    msb = msb*16;
    c = msb + lsb;
    return(c);
}
int xch(unsigned char m)
{
    switch(m)
    {
        case 0 : a = 0;
                break;
        case 1 : a = 1;
                break;
        case 2 : a = 2;
                break;
        case 3 : a = 3;
                break;
        case 4 : a = 4;
                break;
        case 5 : a = 5;
    }
}

```

```

        break;
    case 6 : a = 6;
        break;
    case 7 : a = 7;
        break;
    case 8 : a = 8;
        break;
    case 9 : a = 9;
        break;
    case 0xa : a = 10;
        break;
    case 0xb : a = 11;
        break;
    case 0xc : a = 12;
        break;
    case 0xd : a = 13;
        break;
    case 0xe : a = 14;
        break;
    case 0xf : a = 15;
        break;
    }
    return(a);
}
void indata(void)
{
in:   ptrdat = 0xe000;
      vil = *ptrdat;
      if (vil == 0x00)
      goto in;
      else
      {
in1:  vref = vil;
      ptrdat = 0xe001;
      vi2 = *ptrdat;
      ptrdat = 0xe002;
      pow = *ptrdat;
      }
      if ((vi2 == 0x00) || (pow == 0x00))
      {
      again();
      goto in;
      }
      else
      {
      vmax = change_data(vil) ;
      vmin = change_data(vi2) ;
      k = power50(pow);
      range50(k);
      vmax = vmax * 0.01953125;
      vmin = vmin * 0.01953125;
      vf = ((vmax+vmin)/2);
      vr = vmax - vf ;
      }
}
void title1(void)
{

```

```

code char tab[4][20] ={      {"",
{"",          ED.ENGINEER 20  ""},
{"",          KMITL 2000      ""},
{"",          ""               ""}};

ptext(tab);
delay(400);
}
void title2(void)
{
code char tab[4][20] ={      {"",
{"",          POWER & SWR METER ""},
{"",          DIGITAL           ""},
{"",          ""               ""}};

ptext(tab);
delay(400);
}
void mainmenu(void)
{
code char tab[4][20] ={      {"",          SELECT ITEM    ""},
{"",          2.CREDIT        F2    ""},
{"",          1.MEASUREMENT   F1    ""},
{"",          ""               ""}};

ptext(tab);
}
void mea(void)
{
code char tab[4][20] ={      {"",
{"",          *PRESS PTT 2 sec * ""},
{"",          READY             ""},
{"",          ""               ""}};

ptext(tab);
}
void again(void)
{
code char tab[4][20] ={      {"",
{"",          Again PLEASE !    ""},
{"",          *PRESS PTT 2 sec * ""},
{"",          ""               ""}};

ptext(tab);
}
void meal(void)
{
code char tab[4][20] ={      {"",          VSWR & POWER    ""},
{"",          POWER =          W    ""},
{"",          VSWR =           ""},
{"",          <<<          >>>    END ""}};

ptext(tab);
get_vswr();
dtlcd(power,3);
}
void mea2(void)
{
code char tab[4][20] ={      {"",          VF =          v    ""},
{"",          Coeff =         ""},
{"",          VR =           v    ""},
{"",          <<<          >>>    END ""}};

ptext(tab);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

dtlcd(vf,1);
dtlcd(vr,2);
dtlcd(volt_cof,3);
}
void mea3(void)
{
    code char tab[4][20] ={
        {"          Loss          "},
        {" Match = dB "},
        {" Return = dB "},
        {" <<< >>> END "}};

    ptext(tab);
    get_misloss();
    get_retloss();
}
void cre1(void)
{
    code char tab[4][20] ={
        {" Speacial Thank "},
        {" Assist.Prof.Wisuit "},
        {" Advisor: "},
        {" Atiporntam "}};

    ptext(tab);
}
void cre2(void)
{
    code char tab[4][20] ={
        {" Speacial Thank "},
        {" Mr.Piya "},
        {" Co-Advisor: "},
        {" Supavarasuwat "}};

    ptext(tab);
}
void cre3(void)
{
    code char tab[4][20] ={
        {" Project Group "},
        {" 1. "},
        {" Mr.Chaiyapruk "},
        {" Dunlapakpaisan "}};

    ptext(tab);
}
void cre4(void)
{
    code char tab[4][20] ={
        {"          2.          "},
        {" Mr.Nuttapornchai "},
        {" HS5IGB "},
        {" Ounsorn "}};

    ptext(tab);
}
void cre5(void)
{
    code char tab[4][20] ={
        {"          3.          "},
        {" Mr.Wichit Nanakorn "},
        {" HS8IGN "},
        {" " "}};

    ptext(tab);
}
void cre6(void)
{

```

```

code char tab[4][20] ={      {"   4.           "},
                           {"   Mr.Somsak Namhachai  "},
                           {"   HS4LPT           "},
                           {"                               "}};

ptext(tab);
}
void get_vswr(void)
{
    vswr = (vmax)/(vmin);
    dtlcd(vswr,2);
}
void get_vcoef(void)
{
    volt_cof = fabs((vswr-1)/(vswr+1));
}
void get_misloss(void)
{
    sqrvolt_cof = volt_cof * volt_cof;
    mis_loss = -10 * (log10(1- sqrvolt_cof));
    dtlcd(mis_loss,3);
}
void get_retloss(void)
{
    ret_loss = 20 * log10(1/volt_cof);
    dtlcd(ret_loss,2);
}
void reset(void)
{
    RES = 1;
    delay(50);
    RES = 0;
}
void head_title(void)
{
    int select;
    delay(100);
    title1();
    title2();
st2:   mainmenu();
        for (i=0;i<1000;i=i+1)
            for (j=0;j<500;j=j+1)
            {
                if ((P1_0==0) || (P1_1==0) || (P1_2==0))
                    goto start;
            }
        goto st2;
start:  reset();
        select = check_key();
        switch(select)
        {
            case 1 : measure();
                    break;
            case 2 : credit();
                    break;
        }
        clear_lcd();
        goto st2;
}

```

```

}
void measure(void)
{
    int key;
    clear_lcd();
    mea();
    delay(30);
    indata();
    delay(150);
p1:   clear_lcd();
      mea1();
      get_vcoef();
ag1:  key = check_key();
      if (key == 2)
          goto p2;
      else
          if (key == 3)
              goto exit;
          else
              if (key == 1)
                  goto p3;
p2:   clear_lcd();
      mea2();
ag2:  key = check_key();
      if (key == 2)
          goto p3;
      else
          if (key == 3)
              goto exit;
          else
              if (key == 1)
                  goto p1;
p3:   clear_lcd();
      mea3();
ag3:  key = check_key();
      if (key == 2)
          goto p1;
      else
          if (key == 3)
              goto exit;
          else
              if (key == 1)
                  goto p2;
exit: clear_lcd();
      delay(10);
}
void credit(void)
{
    clear_lcd();
    cre1();
    delay(200);
    cre2();
    delay(200);
    cre3();
    delay(200);
    cre4();
    delay(200);
}

```

```
    cre5();
    delay(200);
    cre6();
    delay(200);
}
void set8255(void)
{
    ptrdat = 0xe003;
    *ptrdat = 0x9b;
}
main()
{
    int_lcd();
    set8255();
    head_title();
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



November 1999

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

### General Description

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

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

### Features

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

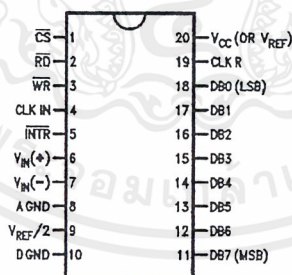
- Differential analog voltage inputs
- Logic inputs and outputs meet both MOS and TTL voltage level specifications
- Works with 2.5V (LM336) voltage reference
- On-chip clock generator
- 0V to 5V analog input voltage range with single 5V supply
- No zero adjust required
- 0.3" standard width 20-pin DIP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

### Key Specifications

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

### Connection Diagram

ADC080X  
Dual-In-Line and Small Outline (SO) Packages



CS005671-30

See Ordering Information

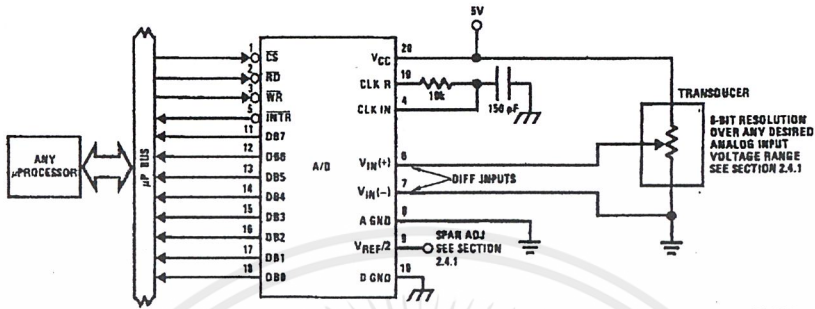
### Ordering Information

TEMP RANGE		0 C TO 70 C	0 C TO 70 C	40 C TO +85 C
ERROR	$\pm 1/4$ Bit Adjusted			ADC0801LCN
	$\pm 1/2$ Bit Unadjusted	ADC0802LCWMM		ADC0802LCN
	$\pm 1/2$ Bit Adjusted		ADC0804LCN	ADC0803LCN
	$\pm 1$ Bit Unadjusted	ADC0804LCWMM		ADC0805LCN/ADC0804LCJ
PACKAGE OUTLINE		M20B—Small Outline	N20A—Molded DIP	

TRI-STATE<sup>®</sup> is a registered trademark of National Semiconductor Corp.  
Z-80<sup>®</sup> is a registered trademark of Zilog Corp.

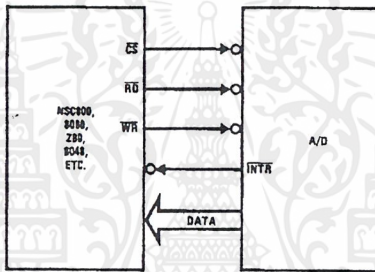
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications



DS005871-1

8080 Interface



DS005871-31

**Error Specification (Includes Full-Scale, Zero Error, and Non-Linearity)**

Part Number	Full-Scale Adjusted	$V_{REF/2} = 2.500 V_{DC}$ (No Adjustments)	$V_{REF/2} = \text{No Connection}$ (No Adjustments)
ADC0801	$\pm 1/4$ LSB		
ADC0802		$\pm 1/2$ LSB	
ADC0803	$\pm 1/2$ LSB		
ADC0804		$\pm 1$ LSB	
ADC0805			$\pm 1$ LSB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Absolute Maximum Ratings** (Notes 1, 2)

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

Supply Voltage ( $V_{CC}$ ) (Note 3)	6.5V
Voltage	
Logic Control Inputs	0.3V to +18V
At Other Input and Outputs	0.3V to ( $V_{CC}+0.3V$ )
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260 C
Dual-In-Line Package (ceramic)	300 C
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215 C

Infrared (15 seconds)	220 C
Storage Temperature Range	65 C to +150 C
Package Dissipation at $T_A=25$ C	875 mW
ESD Susceptibility (Note 10)	800V

**Operating Ratings** (Notes 1, 2)

Temperature Range	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$
ADC0804LCJ	40 C $\leq T_A \leq$ 85 C
ADC0801/02/03/05LCN	40 C $\leq T_A \leq$ 85 C
ADC0804LCN	0 C $\leq T_A \leq$ 70 C
ADC0802/04LCMM	0 C $\leq T_A \leq$ 70 C
Range of $V_{CC}$	4.5 $V_{DC}$ to 6.3 $V_{DC}$

**Electrical Characteristics**

The following specifications apply for  $V_{CC}=5 V_{DC}$ ,  $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$  and  $f_{CLK}=640$  kHz unless otherwise specified.

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ADC0801: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			$\pm 1/4$	LSB
ADC0802: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF/2}=2.500 V_{DC}$			$\pm 1/2$	LSB
ADC0803: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			$\pm 1/2$	LSB
ADC0804: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF/2}=2.500 V_{DC}$			$\pm 1$	LSB
ADC0805: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF/2}$ -No Connection			$\pm 1$	LSB
$V_{REF/2}$ Input Resistance (Pin 9)	ADC0801/02/03/05	2.5	8.0		k $\Omega$
	ADC0804 (Note 9)	0.75	1.1		k $\Omega$
Analog Input Voltage Range	(Note 4) $V(+)$ or $V(-)$	Gnd-0.05		$V_{CC}+0.05$	$V_{DC}$
DC Common-Mode Error	Over Analog Input Voltage Range		$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB
Power Supply Sensitivity	$V_{CC}=5 V_{DC} \pm 10\%$ Over Allowed $V_{IN}(+)$ and $V_{IN}(-)$ Voltage Range (Note 4)		$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB

**AC Electrical Characteristics**

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

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$T_C$	Conversion Time	$f_{CLK}=640$ kHz (Note 6)	103		114	$\mu$ s
$T_C$	Conversion Time	(Notes 5, 6)	66		73	$1/f_{CLK}$
$f_{CLK}$	Clock Frequency	$V_{CC}=5V$ , (Note 5)	100	640	1460	kHz
	Clock Duty Cycle		40		60	%
CR	Conversion Rate in Free-Running Mode	$\overline{INTR}$ tied to $\overline{WR}$ with $\overline{CS}=0 V_{DC}$ , $f_{CLK}=640$ kHz	8770		9708	conv/s
$t_{W(WR)L}$	Width of $\overline{WR}$ Input (Start Pulse Width)	$\overline{CS}=0 V_{DC}$ (Note 7)	100			ns
$t_{ACC}$	Access Time (Delay from Falling Edge of $\overline{RD}$ to Output Data Valid)	$C_L=100$ pF		135	200	ns
$t_{1H}, t_{0H}$	TRI-STATE Control (Delay from Rising Edge of $\overline{RD}$ to Hi-Z State)	$C_L=10$ pF, $R_L=10k$ (See TRI-STATE Test Circuits)		125	200	ns
$t_{WI}, t_{RI}$	Delay from Falling Edge of $\overline{WR}$ or $\overline{RD}$ to Reset of $\overline{INTR}$			300	450	ns
$C_{IN}$	Input Capacitance of Logic Control Inputs			5	7.5	pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## AC Electrical Characteristics (Continued)

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

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$C_{OUT}$	TRI-STATE Output Capacitance (Data Buffers)			5	7.5	pF
<b>CONTROL INPUTS [Note: CLK IN (Pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately]</b>						
$V_{IN} (1)$	Logical "1" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	$V_{CC}=5.25 V_{DC}$	2.0		15	$V_{DC}$
$V_{IN} (0)$	Logical "0" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	$V_{CC}=4.75 V_{DC}$			0.8	$V_{DC}$
$I_{IN} (1)$	Logical "1" Input Current (All Inputs)	$V_{IN}=5 V_{DC}$		0.005	1	$\mu A_{DC}$
$I_{IN} (0)$	Logical "0" Input Current (All Inputs)	$V_{IN}=0 V_{DC}$	1	0.005		$\mu A_{DC}$
<b>CLOCK IN AND CLOCK R</b>						
$V_{T+}$	CLK IN (Pin 4) Positive Going Threshold Voltage		2.7	3.1	3.5	$V_{DC}$
$V_T$	CLK IN (Pin 4) Negative Going Threshold Voltage		1.5	1.8	2.1	$V_{DC}$
$V_H$	CLK IN (Pin 4) Hysteresis ( $V_{T+}$ ) ( $V_T$ )		0.6	1.3	2.0	$V_{DC}$
$V_{OUT} (0)$	Logical "0" CLK R Output Voltage	$I_O=360 \mu A$ $V_{CC}=4.75 V_{DC}$			0.4	$V_{DC}$
$V_{OUT} (1)$	Logical "1" CLK R Output Voltage	$I_O=360 \mu A$ $V_{CC}=4.75 V_{DC}$	2.4			$V_{DC}$
<b>DATA OUTPUTS AND INTR</b>						
$V_{OUT} (0)$	Logical "0" Output Voltage Data Outputs	$I_{OUT}=1.6 mA, V_{CC}=4.75 V_{DC}$			0.4	$V_{DC}$
	INTR Output	$I_{OUT}=1.0 mA, V_{CC}=4.75 V_{DC}$			0.4	$V_{DC}$
$V_{OUT} (1)$	Logical "1" Output Voltage	$I_O=360 \mu A, V_{CC}=4.75 V_{DC}$	2.4			$V_{DC}$
$V_{OUT} (1)$	Logical "1" Output Voltage	$I_O=10 \mu A, V_{CC}=4.75 V_{DC}$	4.5			$V_{DC}$
$I_{OUT}$	TRI-STATE Disabled Output Leakage (All Data Buffers)	$V_{OUT}=0 V_{DC}$ $V_{OUT}=5 V_{DC}$	3		3	$\mu A_{DC}$ $\mu A_{DC}$
$I_{SOURCE}$		$V_{OUT}$ Short to Gnd, $T_A=25 C$	4.5	6		$mA_{DC}$
$I_{SINK}$		$V_{OUT}$ Short to $V_{CC}$ , $T_A=25 C$	9.0	16		$mA_{DC}$
<b>POWER SUPPLY</b>						
$I_{CC}$	Supply Current (Includes Ladder Current)	$f_{CLK}=640 kHz$ , $V_{REF}/2=NC, T_A=25 C$ and $\overline{CS}=5V$				
	ADC0801/02/03/04LCJ/05 ADC0804LCN/LCWM			1.1 1.9	1.8 2.5	mA mA

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

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

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

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

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

Note 6: With an asynchronous start pulse, up to 8 clock periods may be required before the internal clock phases are proper to start the conversion process. The start request is internally latched, see Figure 4 and section 2.0.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Electrical Characteristics (Continued)

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

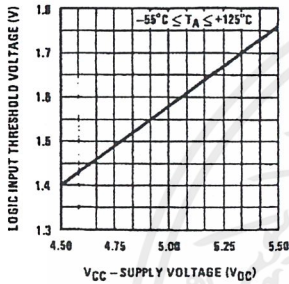
Note 8: None of these A/Ds requires a zero adjust (see section 2.5.1). To obtain zero code at other analog input voltages see section 2.5 and Figure 7.

Note 9: The VREF/2 pin is the center point of a two-resistor divider connected from VCC to ground. In all versions of the ADC0801, ADC0802, ADC0803, and ADC0805, and in the ADC0804LCJ, each resistor is typically 16 kΩ. In all versions of the ADC0804 except the ADC0804LCJ, each resistor is typically 2.2 kΩ.

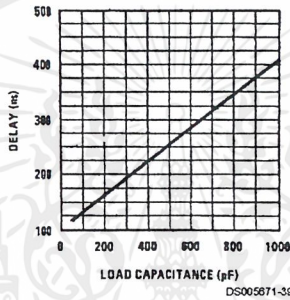
Note 10: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.

Typical Performance Characteristics

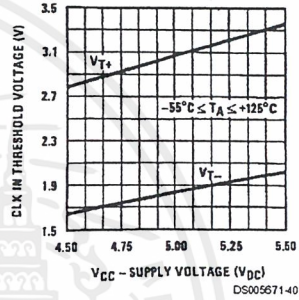
Logic Input Threshold Voltage vs. Supply Voltage



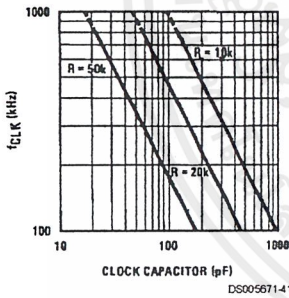
Delay From Falling Edge of RD to Output Data Valid vs. Load Capacitance



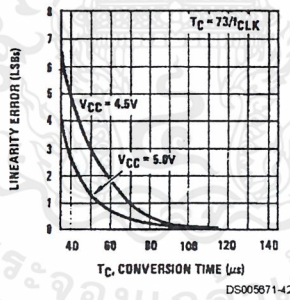
CLK IN Schmitt Trip Levels vs. Supply Voltage



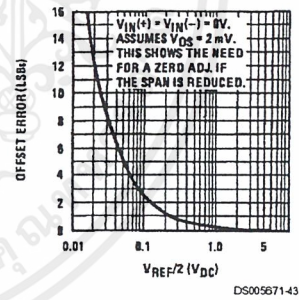
fCLK vs. Clock Capacitor



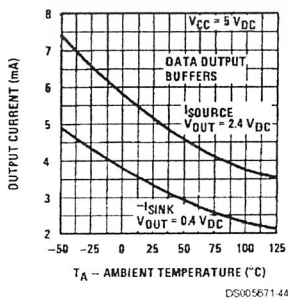
Full-Scale Error vs Conversion Time



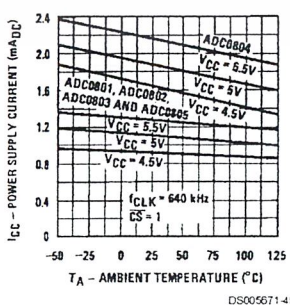
Effect of Unadjusted Offset Error vs. VREF/2 Voltage



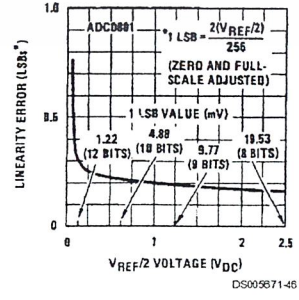
Output Current vs Temperature



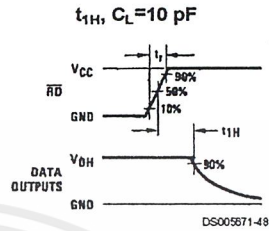
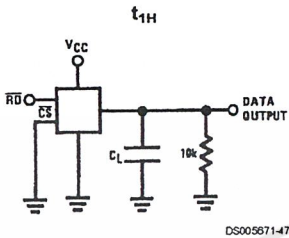
Power Supply Current vs Temperature (Note 9)



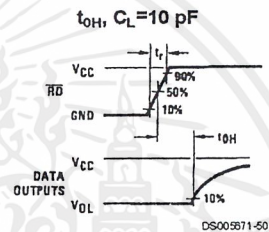
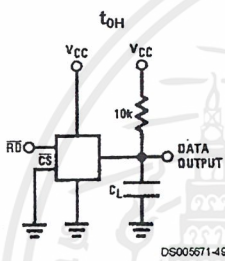
Linearity Error at Low VREF/2 Voltages



### TRI-STATE Test Circuits and Waveforms

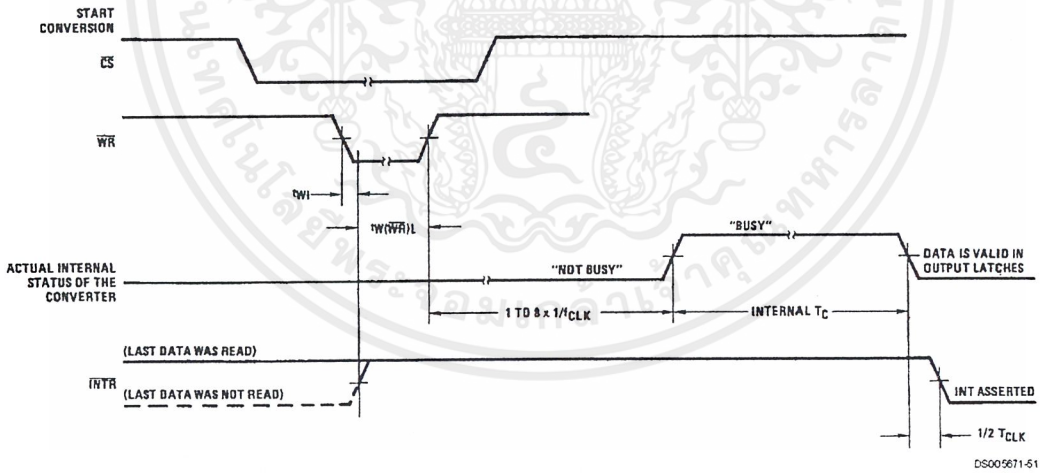


$t_f = 20 \text{ ns}$



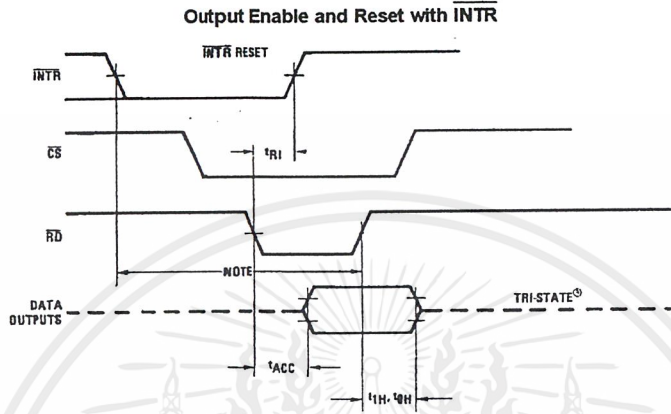
$t_f = 20 \text{ ns}$

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

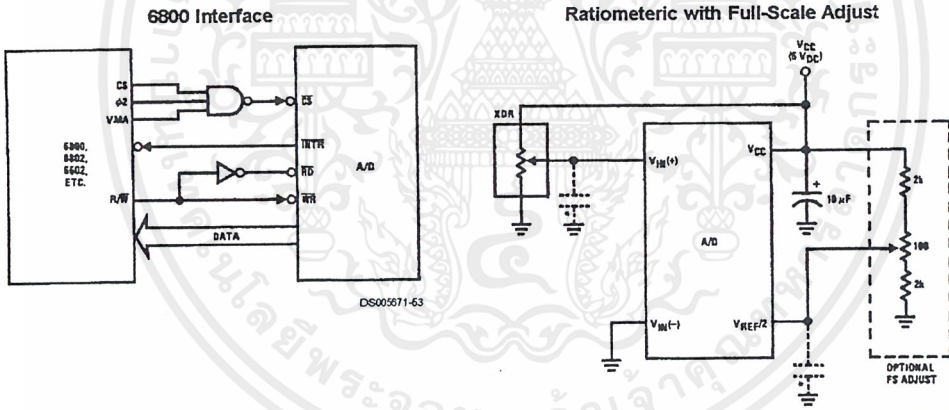
**Timing Diagrams** (All timing is measured from the 50% voltage points) (Continued)



DS005671-52

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

**Typical Applications**



DS005671-63

DS005671-54

Note: before using caps at  $V_{DDM}$  or  $V_{REF/2}$ , see section 2.3.2 Input Bypass Capacitors.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Functional Description (Continued)**

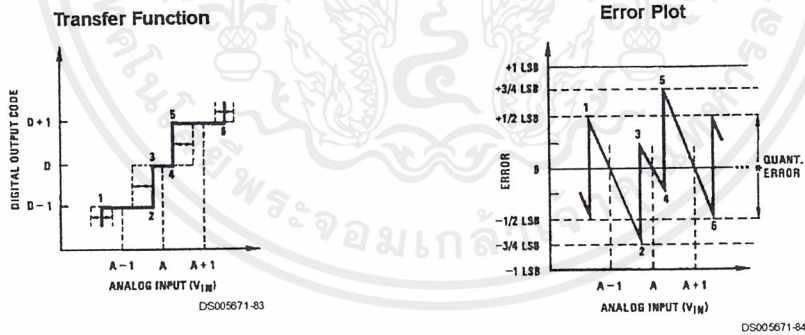
Figure 2 shows a worst case error plot for the ADC0801. All center-valued inputs are guaranteed to produce the correct output codes and the adjacent risers are guaranteed to be no closer to the center-value points than  $\pm 1/4$  LSB. In other words, if we apply an analog input equal to the center-value  $\pm 1/4$  LSB, we *guarantee* that the A/D will produce the correct digital code. The maximum range of the position of the code transition is indicated by the horizontal arrow and it is guaranteed to be no more than  $1/2$  LSB.

The error curve of Figure 3 shows a worst case error plot for the ADC0802. Here we guarantee that if we apply an analog input equal to the LSB analog voltage center-value the A/D will produce the correct digital code.

Next to each transfer function is shown the corresponding error plot. Many people may be more familiar with error plots than transfer functions. The analog input voltage to the A/D is provided by either a linear ramp or by the discrete output steps of a high resolution DAC. Notice that the error is continuously displayed and includes the quantization uncertainty of the A/D. For example the error at point 1 of Figure 1 is  $+1/2$  LSB because the digital code appeared  $1/2$  LSB in advance of the center-value of the tread. The error plots always have a constant negative slope and the abrupt upside steps are always 1 LSB in magnitude.



**FIGURE 1. Clarifying the Error Specs of an A/D Converter Accuracy =  $\pm 0$  LSB: A Perfect A/D**



**FIGURE 2. Clarifying the Error Specs of an A/D Converter Accuracy =  $\pm 1/4$  LSB**

Functional Description (Continued)

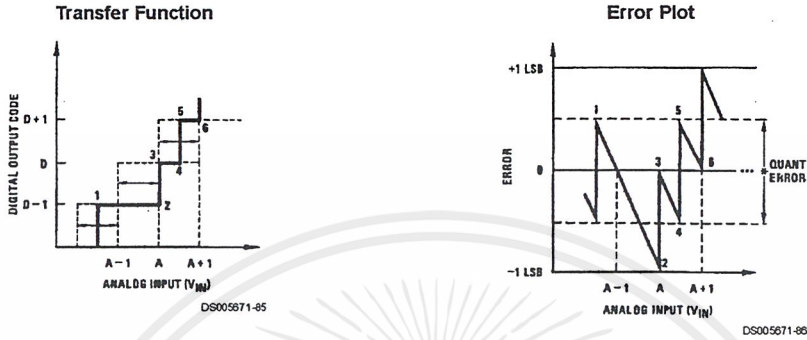


FIGURE 3. Clarifying the Error Specs of an A/D Converter  
Accuracy =  $\pm 1/2$  LSB

2.0 FUNCTIONAL DESCRIPTION

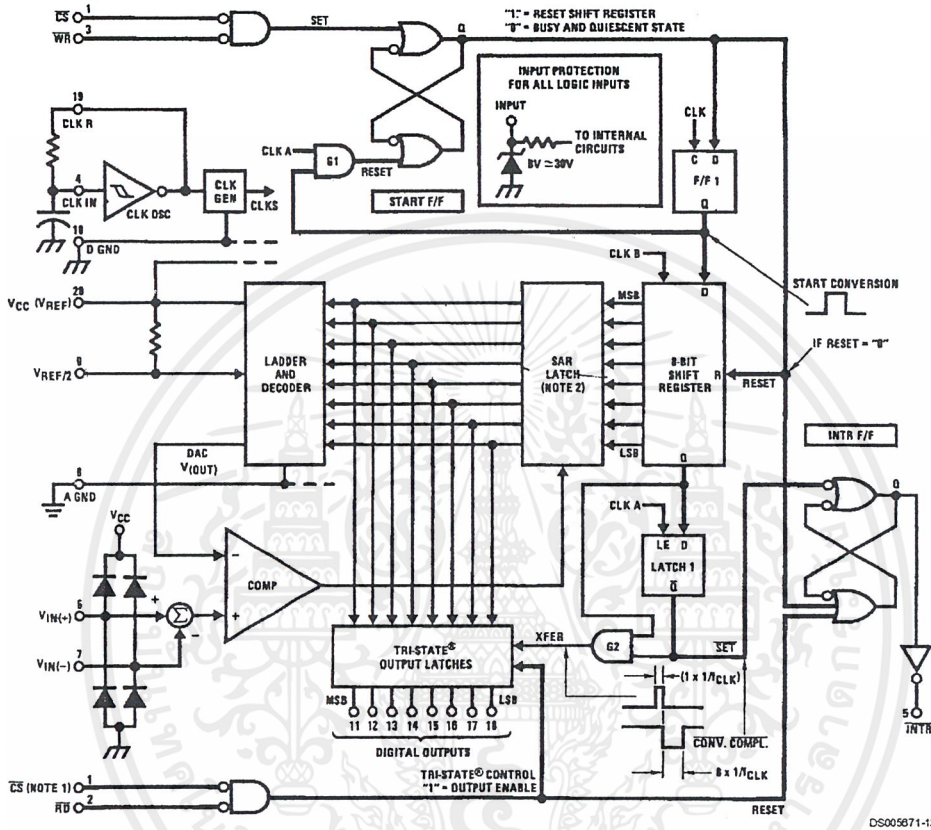
The ADC0801 series contains a circuit equivalent of the 256R network. Analog switches are sequenced by successive approximation logic to match the analog difference input voltage  $[V_{IN(+)} - V_{IN(-)}]$  to a corresponding tap on the R network. The most significant bit is tested first and after 8 comparisons (64 clock cycles) a digital 8-bit binary code (1111 1111 = full-scale) is transferred to an output latch and then an interrupt is asserted ( $\overline{INTR}$  makes a high-to-low transition). A conversion in process can be interrupted by issuing a second start command. The device may be operated in the free-running mode by connecting  $\overline{INTR}$  to the  $\overline{WR}$  input with  $\overline{CS} = 0$ . To ensure start-up under all possible conditions, an external  $\overline{WR}$  pulse is required during the first power-up cycle.

On the high-to-low transition of the  $\overline{WR}$  input the internal SAR latches and the shift register stages are reset. As long as the  $\overline{CS}$  input and  $\overline{WR}$  input remain low, the A/D will remain in a reset state. Conversion will start from 1 to 8 clock periods after at least one of these inputs makes a low-to-high transition.

A functional diagram of the A/D converter is shown in Figure 4. All of the package pinouts are shown and the major logic control paths are drawn in heavier weight lines.

The converter is started by having  $\overline{CS}$  and  $\overline{WR}$  simultaneously low. This sets the start flip-flop (F/F) and the resulting "1" level resets the 8-bit shift register, resets the Interrupt ( $\overline{INTR}$ ) F/F and inputs a "1" to the D flop, F/F1, which is at the input end of the 8-bit shift register. Internal clock signals then transfer this "1" to the Q output of F/F1. The AND gate, G1, combines this "1" output with a clock signal to provide a reset signal to the start F/F. If the set signal is no longer present (either  $\overline{WR}$  or  $\overline{CS}$  is a "1") the start F/F is reset and the 8-bit shift register then can have the "1" clocked in, which starts the conversion process. If the set signal were to still be present, this reset pulse would have no effect (both outputs of the start F/F would momentarily be at a "1" level) and the 8-bit shift register would continue to be held in the reset mode. This logic therefore allows for wide  $\overline{CS}$  and  $\overline{WR}$  signals and the converter will start after at least one of these signals returns high and the internal clocks again provide a reset signal for the start F/F.

Functional Description (Continued)



Note 13: CS shown twice for clarity.

Note 14: SAR = Successive Approximation Register.

FIGURE 4. Block Diagram

After the "1" is clocked through the 8-bit shift register (which completes the SAR search) it appears as the input to the D-type latch, LATCH 1. As soon as this "1" is output from the shift register, the AND gate, G2, causes the new digital word to transfer to the TRI-STATE output latches. When LATCH 1 is subsequently enabled, the Q output makes a high-to-low transition which causes the INTR F/F to set. An inverting buffer then supplies the INTR input signal.

Note that this SET control of the INTR F/F remains low for 8 of the external clock periods (as the internal clocks run at 1/8 of the frequency of the external clock). If the data output is continuously enabled (CS and RD both held low), the INTR output will still signal the end of conversion (by a high-to-low transition), because the SET input can control the Q output of the INTR F/F even though the RESET input is constantly at a "1" level in this operating mode. This INTR output will therefore stay low for the duration of the SET signal, which is 8 periods of the external clock frequency (assuming the A/D is not started during this interval).

When operating in the free-running or continuous conversion mode (INTR pin tied to WR and CS wired low—see also section 2.8), the START F/F is SET by the high-to-low transition of the INTR signal. This resets the SHIFT REGISTER

which causes the input to the D-type latch, LATCH 1, to go low. As the latch enable input is still present, the Q output will go high, which then allows the INTR F/F to be RESET. This reduces the width of the resulting INTR output pulse to only a few propagation delays (approximately 300 ns).

When data is to be read, the combination of both CS and RD being low will cause the INTR F/F to be reset and the TRI-STATE output latches will be enabled to provide the 8-bit digital outputs.

2.1 Digital Control Inputs

The digital control inputs (CS, RD, and WR) meet standard T<sup>2</sup>L logic voltage levels. These signals have been renamed when compared to the standard A/D Start and Output Enable labels. In addition, these inputs are active low to allow an easy interface to microprocessor control busses. For non-microprocessor based applications, the CS input (pin 1) can be grounded and the standard A/D Start function is obtained by an active low pulse applied at the WR input (pin 3) and the Output Enable function is caused by an active low pulse at the RD input (pin 2).

Functional Description (Continued)

2.2 Analog Differential Voltage Inputs and Common-Mode Rejection

This A/D has additional applications flexibility due to the analog differential voltage input. The  $V_{IN(+)}$  input (pin 7) can be used to automatically subtract a fixed voltage value from the input reading (tare correction). This is also useful in 4 mA–20 mA current loop conversion. In addition, common-mode noise can be reduced by use of the differential input.

The time interval between sampling  $V_{IN(+)}$  and  $V_{IN(-)}$  is  $4^{-1} 2$  clock periods. The maximum error voltage due to this slight time difference between the input voltage samples is given by:

$$\Delta V_e(\text{MAX}) = (V_P) (2\pi f_{cm}) \left( \frac{4.5}{f_{CLK}} \right)$$

where:

- $\Delta V_e$  is the error voltage due to sampling delay
- $V_P$  is the peak value of the common-mode voltage
- $f_{cm}$  is the common-mode frequency

As an example, to keep this error to  $1/4$  LSB ( $-5$  mV) when operating with a 60 Hz common-mode frequency,  $f_{cm}$ , and using a 640 kHz A/D clock,  $f_{CLK}$ , would allow a peak value of the common-mode voltage,  $V_P$ , which is given by:

$$V_P = \frac{[\Delta V_e(\text{MAX}) (f_{CLK})]}{(2\pi f_{cm}) (4.5)}$$

or

$$V_P = \frac{(5 \times 10^{-3}) (640 \times 10^3)}{(6.28) (60) (4.5)}$$

which gives

$$V_P \approx 1.9V.$$

The allowed range of analog input voltages usually places more severe restrictions on input common-mode noise levels.

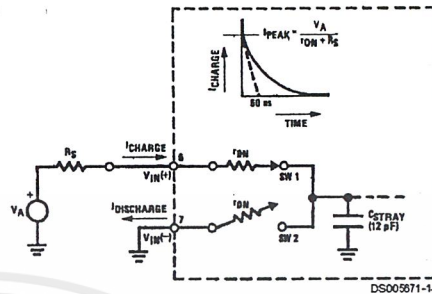
An analog input voltage with a reduced span and a relatively large zero offset can be handled easily by making use of the differential input (see section 2.4 Reference Voltage).

2.3 Analog Inputs

2.3.1 Input Current

Normal Mode

Due to the internal switching action, displacement currents will flow at the analog inputs. This is due to on-chip stray capacitance to ground as shown in Figure 5.



$\tau_{ON}$  of SW 1 and SW 2  $\approx 5$  k $\Omega$   
 $\tau = \tau_{ON} C_{STRAY} \approx 5$  k $\Omega$  x 12 pF = 60 ns

FIGURE 5. Analog Input Impedance

The voltage on this capacitance is switched and will result in currents entering the  $V_{IN(+)}$  input pin and leaving the  $V_{IN(-)}$  input which will depend on the analog differential input voltage levels. These current transients occur at the leading edge of the internal clocks. They rapidly decay and *do not cause errors* as the on-chip comparator is strobed at the end of the clock period.

Fault Mode

If the voltage source applied to the  $V_{IN(+)}$  or  $V_{IN(-)}$  pin exceeds the allowed operating range of  $V_{CC}+50$  mV, large input currents can flow through a parasitic diode to the  $V_{CC}$  pin. If these currents can exceed the 1 mA max allowed spec, an external diode (1N914) should be added to bypass this current to the  $V_{CC}$  pin (with the current bypassed with this diode, the voltage at the  $V_{IN(+)}$  pin can exceed the  $V_{CC}$  voltage by the forward voltage of this diode).

2.3.2 Input Bypass Capacitors

Bypass capacitors at the inputs will average these charges and cause a DC current to flow through the output resistances of the analog signal sources. This charge pumping action is worse for continuous conversions with the  $V_{IN(+)}$  input voltage at full-scale. For continuous conversions with a 640 kHz clock frequency with the  $V_{IN(+)}$  input at 5V, this DC current is at a maximum of approximately 5  $\mu$ A. Therefore, *bypass capacitors should not be used at the analog inputs or the  $V_{REF/2}$  pin* for high resistance sources ( $> 1$  k $\Omega$ ). If input bypass capacitors are necessary for noise filtering and high source resistance is desirable to minimize capacitor size, the detrimental effects of the voltage drop across this input resistance, which is due to the average value of the input current, can be eliminated with a full-scale adjustment while the given source resistor and input bypass capacitor are both in place. This is possible because the average value of the input current is a precise linear function of the differential input voltage.

2.3.3 Input Source Resistance

Large values of source resistance where an input bypass capacitor is not used, *will not cause errors* as the input currents settle out prior to the comparison time. If a low pass filter is required in the system, use a low valued series resistor ( $\leq 1$  k $\Omega$ ) for a passive RC section or add an op amp RC active low pass filter. For low source resistance applications, ( $\leq 1$  k $\Omega$ ), a 0.1  $\mu$ F bypass capacitor at the inputs will prevent noise pickup due to series lead inductance of a long wire. A

## Functional Description (Continued)

100 $\Omega$  series resistor can be used to isolate this capacitor—both the R and C are placed outside the feedback loop—from the output of an op amp, if used.

### 2.3.4 Noise

The leads to the analog inputs (pins 6 and 7) should be kept as short as possible to minimize input noise coupling. Both noise and undesired digital clock coupling to these inputs can cause system errors. The source resistance for these inputs should, in general, be kept below 5 k $\Omega$ . Larger values of source resistance can cause undesired system noise pickup. Input bypass capacitors, placed from the analog inputs to ground, will eliminate system noise pickup but can create analog scale errors as these capacitors will average the transient input switching currents of the A/D (see section 2.3.1.). This scale error depends on both a large source resistance and the use of an input bypass capacitor. This error can be eliminated by doing a full-scale adjustment of the A/D (adjust  $V_{REF/2}$  for a proper full-scale reading—see section 2.5.2 on Full-Scale Adjustment) with the source resistance and input bypass capacitor in place.

## 2.4 Reference Voltage

### 2.4.1 Span Adjust

For maximum applications flexibility, these A/Ds have been designed to accommodate a 5  $V_{DC}$ , 2.5  $V_{DC}$  or an adjusted voltage reference. This has been achieved in the design of the IC as shown in Figure 6.

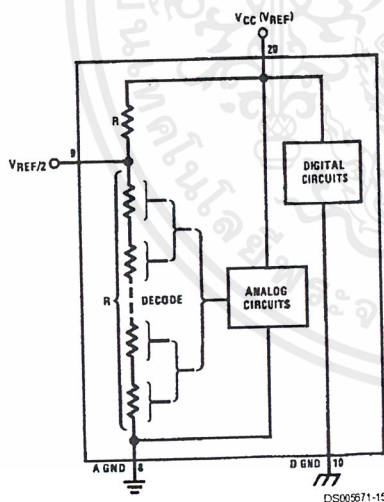


FIGURE 6. The  $V_{REFERENCE}$  Design on the IC

Notice that the reference voltage for the IC is either  $\frac{1}{2}$  of the voltage applied to the  $V_{CC}$  supply pin, or is equal to the voltage that is externally forced at the  $V_{REF/2}$  pin. This allows for a ratiometric voltage reference using the  $V_{CC}$  supply, a 5  $V_{DC}$  reference voltage can be used for the  $V_{CC}$  supply or a voltage less than 2.5  $V_{DC}$  can be applied to the  $V_{REF/2}$  input for increased application flexibility. The internal gain to the  $V_{REF/2}$  input is 2, making the full-scale differential input voltage twice the voltage at pin 9.

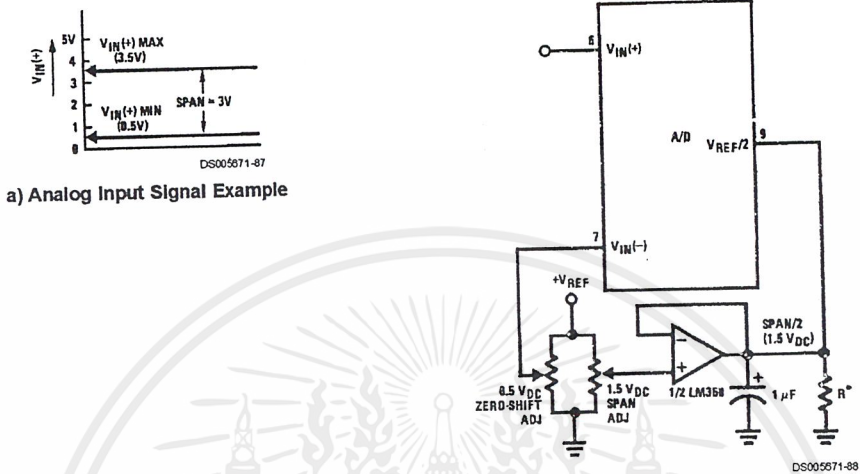
An example of the use of an adjusted reference voltage is to accommodate a reduced span—or dynamic voltage range of the analog input voltage. If the analog input voltage were to range from 0.5  $V_{DC}$  to 3.5  $V_{DC}$ , instead of 0V to 5  $V_{DC}$ , the span would be 3V as shown in Figure 7. With 0.5  $V_{DC}$  applied to the  $V_{IN}(-)$  pin to absorb the offset, the reference voltage can be made equal to  $\frac{1}{2}$  of the 3V span or 1.5  $V_{DC}$ . The A/D now will encode the  $V_{IN}(+)$  signal from 0.5V to 3.5  $V_{DC}$  with the 0.5V input corresponding to zero and the 3.5  $V_{DC}$  input corresponding to full-scale. The full 8 bits of resolution are therefore applied over this reduced analog input voltage range.

### 2.4.2 Reference Accuracy Requirements

The converter can be operated in a ratiometric mode or an absolute mode. In ratiometric converter applications, the magnitude of the reference voltage is a factor in both the output of the source transducer and the output of the A/D converter and therefore cancels out in the final digital output code. The ADC0805 is specified particularly for use in ratiometric applications with no adjustments required. In absolute conversion applications, both the initial value and the temperature stability of the reference voltage are important factors in the accuracy of the A/D converter. For  $V_{REF/2}$  voltages of 2.4  $V_{DC}$  nominal value, initial errors of  $\pm 10$  mV $_{DC}$  will cause conversion errors of  $\pm 1$  LSB due to the gain of 2 of the  $V_{REF/2}$  input. In reduced span applications, the initial value and the stability of the  $V_{REF/2}$  input voltage become even more important. For example, if the span is reduced to 2.5V, the analog input LSB voltage value is correspondingly reduced from 20 mV (5V span) to 10 mV and 1 LSB at the  $V_{REF/2}$  input becomes 5 mV. As can be seen, this reduces the allowed initial tolerance of the reference voltage and requires correspondingly less absolute change with temperature variations. Note that spans smaller than 2.5V place even tighter requirements on the initial accuracy and stability of the reference source.

In general, the magnitude of the reference voltage will require an initial adjustment. Errors due to an improper value of reference voltage appear as full-scale errors in the A/D transfer function. IC voltage regulators may be used for references if the ambient temperature changes are not excessive. The LM336B 2.5V IC reference diode (from National Semiconductor) has a temperature stability of 1.8 mV typ (6 mV max) over  $0 \leq T_A \leq +70$  C. Other temperature range parts are also available.

Functional Description (Continued)



\*Add if  $V_{REF/2} \leq 1 V_{DC}$  with LM358 to draw 3 mA to ground.

b) Accommodating an Analog Input from 0.5V (Digital Out = 00<sub>HEX</sub>) to 3.5V (Digital Out = FF<sub>HEX</sub>)

FIGURE 7. Adapting the A/D Analog Input Voltages to Match an Arbitrary Input Signal Range

2.5 Errors and Reference Voltage Adjustments

2.5.1 Zero Error

The zero of the A/D does not require adjustment. If the minimum analog input voltage value,  $V_{IN(MIN)}$ , is not ground, a zero offset can be done. The converter can be made to output 0000 0000 digital code for this minimum input voltage by biasing the A/D  $V_{IN(-)}$  input at this  $V_{IN(MIN)}$  value (see Applications section). This utilizes the differential mode operation of the A/D.

The zero error of the A/D converter relates to the location of the first riser of the transfer function and can be measured by grounding the  $V_{IN(-)}$  input and applying a small magnitude positive voltage to the  $V_{IN(+)}$  input. Zero error is the difference between the actual DC input voltage that is necessary to just cause an output digital code transition from 0000 0000 to 0000 0001 and the ideal  $1/2$  LSB value ( $1/2$  LSB = 9.8 mV for  $V_{REF/2} = 2.500 V_{DC}$ ).

2.5.2 Full-Scale

The full-scale adjustment can be made by applying a differential input voltage that is  $1/2$  LSB less than the desired analog full-scale voltage range and then adjusting the magnitude of the  $V_{REF/2}$  input (pin 9 or the  $V_{CC}$  supply if pin 9 is not used) for a digital output code that is just changing from 1111 1110 to 1111 1111.

2.5.3 Adjusting for an Arbitrary Analog Input Voltage Range

If the analog zero voltage of the A/D is shifted away from ground (for example, to accommodate an analog input signal that does not go to ground) this new zero reference should be properly adjusted first. A  $V_{IN(+)}$  voltage that equals this desired zero reference plus  $1/2$  LSB (where the LSB is calculated for the desired analog span,  $1$  LSB = analog span/256)

is applied to pin 6 and the zero reference voltage at pin 7 should then be adjusted to just obtain the 00<sub>HEX</sub> to 01<sub>HEX</sub> code transition.

The full-scale adjustment should then be made (with the proper  $V_{IN(-)}$  voltage applied) by forcing a voltage to the  $V_{IN(+)}$  input which is given by:

$$V_{IN(+)} \text{ fs adj} = V_{MAX} - 1.5 \left[ \frac{V_{MAX} - V_{MIN}}{256} \right]$$

where:

$V_{MAX}$  = The high end of the analog input range and

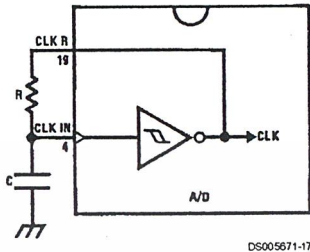
$V_{MIN}$  = the low end (the offset zero) of the analog range. (Both are ground referenced.)

The  $V_{REF/2}$  (or  $V_{CC}$ ) voltage is then adjusted to provide a code change from FE<sub>HEX</sub> to FF<sub>HEX</sub>. This completes the adjustment procedure.

2.6 Clocking Option

The clock for the A/D can be derived from the CPU clock or an external RC can be added to provide self-clocking. The CLK IN (pin 4) makes use of a Schmitt trigger as shown in Figure 8.

## Functional Description (Continued)



$$f_{\text{CLK}} \approx \frac{1}{1.1 RC}$$

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

FIGURE 8. Self-Clocking the A/D

Heavy capacitive or DC loading of the clock R pin should be avoided as this will disturb normal converter operation. Loads less than 50 pF, such as driving up to 7 A/D converter clock inputs from a single clock R pin of 1 converter, are allowed. For larger clock line loading, a CMOS or low power TTL buffer or PNP input logic should be used to minimize the loading on the clock R pin (do not use a standard TTL buffer).

### 2.7 Restart During a Conversion

If the A/D is restarted ( $\overline{\text{CS}}$  and  $\overline{\text{WR}}$  go low and return high) during a conversion, the converter is reset and a new conversion is started. The output data latch is not updated if the conversion in process is not allowed to be completed, therefore the data of the previous conversion remains in this latch. The  $\overline{\text{INTR}}$  output simply remains at the "1" level.

### 2.8 Continuous Conversions

For operation in the free-running mode an initializing pulse should be used, following power-up, to ensure circuit operation. In this application, the  $\overline{\text{CS}}$  input is grounded and the  $\overline{\text{WR}}$  input is tied to the  $\overline{\text{INTR}}$  output. This  $\overline{\text{WR}}$  and  $\overline{\text{INTR}}$  node should be momentarily forced to logic low following a power-up cycle to guarantee operation.

### 2.9 Driving the Data Bus

This MOS A/D, like MOS microprocessors and memories, will require a bus driver when the total capacitance of the data bus gets large. Other circuitry, which is tied to the data bus, will add to the total capacitive loading, even in TRI-STATE (high impedance mode). Backplane bussing also greatly adds to the stray capacitance of the data bus.

There are some alternatives available to the designer to handle this problem. Basically, the capacitive loading of the data bus slows down the response time, even though DC specifications are still met. For systems operating with a relatively slow CPU clock frequency, more time is available in which to establish proper logic levels on the bus and therefore higher capacitive loads can be driven (see typical characteristics curves).

At higher CPU clock frequencies time can be extended for I/O reads (and/or writes) by inserting wait states (8080) or using clock extending circuits (6800).

Finally, if time is short and capacitive loading is high, external bus drivers must be used. These can be TRI-STATE buffers

(low power Schottky such as the DM74LS240 series is recommended) or special higher drive current products which are designed as bus drivers. High current bipolar bus drivers with PNP inputs are recommended.

### 2.10 Power Supplies

Noise spikes on the  $V_{\text{CC}}$  supply line can cause conversion errors as the comparator will respond to this noise. A low inductance tantalum filter capacitor should be used close to the converter  $V_{\text{CC}}$  pin and values of 1  $\mu\text{F}$  or greater are recommended. If an unregulated voltage is available in the system, a separate LM340LAZ-5.0, TO-92, 5V voltage regulator for the converter (and other analog circuitry) will greatly reduce digital noise on the  $V_{\text{CC}}$  supply.

### 2.11 Wiring and Hook-Up Precautions

Standard digital wire wrap sockets are not satisfactory for breadboarding this A/D converter. Sockets on PC boards can be used and all logic signal wires and leads should be grouped and kept as far away as possible from the analog signal leads. Exposed leads to the analog inputs can cause undesired digital noise and hum pickup, therefore shielded leads may be necessary in many applications.

A single point analog ground that is separate from the logic ground points should be used. The power supply bypass capacitor and the self-clocking capacitor (if used) should both be returned to digital ground. Any  $V_{\text{REF}}/2$  bypass capacitors, analog input filter capacitors, or input signal shielding should be returned to the analog ground point. A test for proper grounding is to measure the zero error of the A/D converter. Zero errors in excess of  $\pm 4$  LSB can usually be traced to improper board layout and wiring (see section 2.5.1 for measuring the zero error).

## 3.0 TESTING THE A/D CONVERTER

There are many degrees of complexity associated with testing an A/D converter. One of the simplest tests is to apply a known analog input voltage to the converter and use LEDs to display the resulting digital output code as shown in Figure 9.

For ease of testing, the  $V_{\text{REF}}/2$  (pin 9) should be supplied with 2.560  $V_{\text{DC}}$  and a  $V_{\text{CC}}$  supply voltage of 5.12  $V_{\text{DC}}$  should be used. This provides an LSB value of 20 mV.

If a full-scale adjustment is to be made, an analog input voltage of 5.090  $V_{\text{DC}}$  ( $5.120 - 1 \pm 2$  LSB) should be applied to the  $V_{\text{IN}}(+)$  pin with the  $V_{\text{IN}}(-)$  pin grounded. The value of the  $V_{\text{REF}}/2$  input voltage should then be adjusted until the digital output code is just changing from 1111 1110 to 1111 1111. This value of  $V_{\text{REF}}/2$  should then be used for all the tests.

The digital output LED display can be decoded by dividing the 8 bits into 2 hex characters, the 4 most significant (MS) and the 4 least significant (LS). Table 1 shows the fractional binary equivalent of these two 4-bit groups. By adding the voltages obtained from the "VMS" and "VLS" columns in Table 1, the nominal value of the digital display (when  $V_{\text{REF}}/2 = 2.560\text{V}$ ) can be determined. For example, for an output LED display of 1011 0110 or B6 (in hex), the voltage values from the table are  $3.520 + 0.120$  or 3.640  $V_{\text{DC}}$ . These voltage values represent the center-values of a perfect A/D converter. The effects of quantization error have to be accounted for in the interpretation of the test results.

Functional Description (Continued)

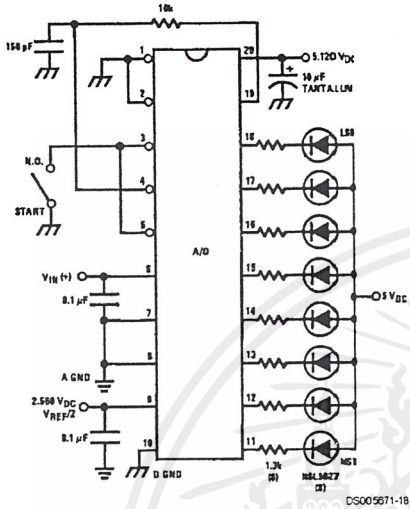


FIGURE 9. Basic A/D Tester

For a higher speed test system, or to obtain plotted data, a digital-to-analog converter is needed for the test set-up. An accurate 10-bit DAC can serve as the precision voltage source for the A/D. Errors of the A/D under test can be expressed as either analog voltages or differences in 2 digital words.

A basic A/D tester that uses a DAC and provides the error as an analog output voltage is shown in Figure 8. The 2 op amps can be eliminated if a lab DVM with a numerical subtraction feature is available to read the difference voltage, "A-C", directly. The analog input voltage can be supplied by a low frequency ramp generator and an X-Y plotter can be used to provide analog error (Y axis) versus analog input (X axis).

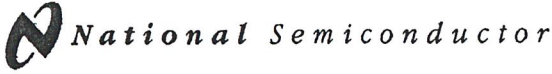
For operation with a microprocessor or a computer-based test system, it is more convenient to present the errors digitally. This can be done with the circuit of Figure 11, where the output code transitions can be detected as the 10-bit DAC is incremented. This provides 1/4 LSB steps for the 8-bit A/D under test. If the results of this test are automatically plotted with the analog input on the X axis and the error (in LSB's) as the Y axis, a useful transfer function of the A/D under test results. For acceptance testing, the plot is not necessary and the testing speed can be increased by establishing internal limits on the allowed error for each code.

4.0 MICROPROCESSOR INTERFACING

To discuss the interface with 8080A and 6800 microprocessors, a common sample subroutine structure is used. The microprocessor starts the A/D, reads and stores the results of 16 successive conversions, then returns to the user's program. The 16 data bytes are stored in 16 successive memory locations. All Data and Addresses will be given in hexadecimal form. Software and hardware details are provided separately for each type of microprocessor.

4.1 Interfacing 8080 Microprocessor Derivatives (8048, 8085)

This converter has been designed to directly interface with derivatives of the 8080 microprocessor. The A/D can be mapped into memory space (using standard memory address decoding for CS and the MEMR and MEMW strobes) or it can be controlled as an I/O device by using the I/O R and I/O W strobes and decoding the address bits A0 → A7 (or address bits A8 → A15 as they will contain the same 8-bit address information) to obtain the CS input. Using the I/O space provides 256 additional addresses and may allow a simpler 8-bit address decoder but the data can only be input to the accumulator. To make use of the additional memory reference instructions, the A/D should be mapped into memory space. An example of an A/D in I/O space is shown in Figure 12.



## LF155/LF156/LF157 Series Monolithic JFET Input Operational Amplifiers

### General Description

These are the first monolithic JFET input operational amplifiers to incorporate well matched, high voltage JFETs on the same chip with standard bipolar transistors (BI-FET™ Technology). These amplifiers feature low input bias and offset currents/low offset voltage and offset voltage drift, coupled with offset adjust which does not degrade drift or common-mode rejection. The devices are also designed for high slew rate, wide bandwidth, extremely fast settling time, low voltage and current noise and a low 1/f noise corner.

### Advantages

- Replace expensive hybrid and module FET op amps
- Rugged JFETs allow blow-out free handling compared with MOSFET input devices
- Excellent for low noise applications using either high or low source impedance—very low 1/f corner
- Offset adjust does not degrade drift or common-mode rejection as in most monolithic amplifiers
- New output stage allows use of large capacitive loads (5,000 pF) without stability problems
- Internal compensation and large differential input voltage capability

### Applications

- Precision high speed integrators
- Fast D/A and A/D converters
- High impedance buffers
- Wideband, low noise, low drift amplifiers
- Logarithmic amplifiers

- Photocell amplifiers
- Sample and Hold circuits

### Common Features

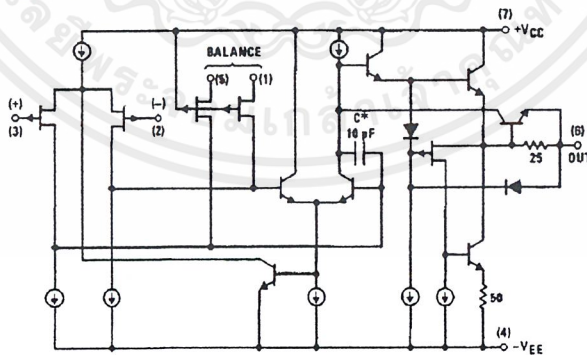
(LF155A, LF156A, LF157A)

- Low input bias current 30 pA
- Low Input Offset Current 3 pA
- High input impedance  $10^{12}\Omega$
- Low input offset voltage 1 mV
- Low input offset voltage temp. drift  $3 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- Low input noise current  $0.01 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
- High common-mode rejection ratio 100 dB
- Large dc voltage gain 106 dB

### Uncommon Features

	LF155A	LF156A	LF157A ( $A_v = 5$ )	Units
■ Extremely fast settling time to 0.01%	4	1.5	1.5	$\mu\text{s}$
■ Fast slew rate	5	12	50	$\text{V}/\mu\text{s}$
■ Wide gain bandwidth	2.5	5	20	MHz
■ Low input noise voltage	20	12	12	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$

### Simplified Schematic



\*3 pF in LF157 series.

## Absolute Maximum Ratings

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

(Note 8)

	LF155A/6A/7A	LF155/6/7	LF355B/6B/7B LF255/6/7	LF355/6/7 LF355A/6A/7A
Supply Voltage	±22V	±22V	±22V	±18V
Differential Input Voltage	±40V	±40V	±40V	±30V
Input Voltage Range (Note 2)	±20V	±20V	±20V	±16V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
$T_{jMAX}$				
H-Package	150°C	150°C	115°C	115°C
N-Package			100°C	100°C
M-Package			100°C	100°C
Power Dissipation at $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Notes 1 and 9)				
H-Package (Still Air)	560 mW	560 mW	400 mW	400 mW
H-Package (400 LF/Min Air Flow)	1200 mW	1200 mW	1000 mW	1000 mW
N-Package			670 mW	670 mW
M-Package			380 mW	380 mW
Thermal Resistance (Typical) $\theta_{JA}$				
H-Package (Still Air)	160°C/W	160°C/W	160°C/W	160°C/W
H-Package (400 LF/Min Air Flow)	65°C/W	65°C/W	65°C/W	65°C/W
N-Package			130°C/W	130°C/W
M-Package			195°C/W	195°C/W
(Typical) $\theta_{JC}$				
H-Package	23°C/W	23°C/W	23°C/W	23°C/W
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Soldering Information (Lead Temp.)				
Metal Can Package				
Soldering (10 sec.)	300°C	300°C	300°C	300°C
Dual-In-Line Package				
Soldering (10 sec.)		260°C	260°C	260°C
Small Outline Package				
Vapor Phase (60 sec.)			215°C	215°C
Infrared (15 sec.)			220°C	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.				
ESD tolerance (100 pF discharged through 1.5 k $\Omega$ )	1000V	1000V	1000V	1000V

## DC Electrical Characteristics (Note 3) $T_A = T_j = 25^\circ\text{C}$

Symbol	Parameter	Conditions	LF155A/6A/7A			LF355A/6A/7A			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
$V_{OS}$	Input Offset Voltage	$R_S = 50\Omega$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ Over Temperature		1	2 2.5		1	2 2.3	mV mV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Average TC of Input Offset Voltage	$R_S = 50\Omega$		3	5		3	5	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
$\Delta TC/\Delta V_{OS}$	Change in Average TC with $V_{OS}$ Adjust	$R_S = 50\Omega$ , (Note 4)		0.5			0.5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ per mV
$I_{OS}$	Input Offset Current	$T_j = 25^\circ\text{C}$ , (Notes 3, 5) $T_j \leq T_{HIGH}$		3	10 10		3	10 1	pA nA
$I_B$	Input Bias Current	$T_j = 25^\circ\text{C}$ , (Notes 3, 5) $T_j \leq T_{HIGH}$		30	50 25		30	50 5	pA nA
$R_{IN}$	Input Resistance	$T_j = 25^\circ\text{C}$		$10^{12}$			$10^{12}$		$\Omega$
$A_{VOL}$	Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15\text{V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_O = \pm 10\text{V}$ , $R_L = 2\text{k}$ Over Temperature	50	200		50	200		V/mV V/mV
$V_O$	Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15\text{V}$ , $R_L = 10\text{k}$ $V_S = \pm 15\text{V}$ , $R_L = 2\text{k}$	±12 ±10	±13 ±12		±12 ±10	±13 ±12		V V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DC Electrical Characteristics** (Note 3)  $T_A = T_J = 25^\circ\text{C}$  (Continued)

Symbol	Parameter	Conditions	LF155A/6A/7A			LF355A/6A/7A			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
$V_{CM}$	Input Common-Mode Voltage Range	$V_S = \pm 15\text{V}$	$\pm 11$	+15.1 -12		$\pm 11$	+15.1 -12		V V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio		85	100		85	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 6)	85	100		85	100		dB

**AC Electrical Characteristics**  $T_A = T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ 

Symbol	Parameter	Conditions	LF155A/355A			LF156A/356A			LF157A/357A			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
SR	Slew Rate	LF155A/6A; $A_V = 1$ , LF157A; $A_V = 5$	3	5		10	12		40	50		V/ $\mu\text{s}$ V/ $\mu\text{s}$
GBW	Gain Bandwidth Product			2.5		4	4.5		15	20		MHz
$t_s$	Settling Time to 0.01%	(Note 7)		4			1.5			1.5		$\mu\text{s}$
$e_n$	Equivalent Input Noise Voltage	$R_S = 100\Omega$ $f = 100\text{ Hz}$ $f = 1000\text{ Hz}$		25 20			15 12			15 12		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
$i_n$	Equivalent Input Noise Current	$f = 100\text{ Hz}$ $f = 1000\text{ Hz}$		0.01 0.01			0.01 0.01			0.01 0.01		pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
$C_{iN}$	Input Capacitance			3			3			3		pF

**DC Electrical Characteristics** (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF155/6/7			LF255/6/7 LF355B/6B/7B			LF355/6/7			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
$V_{OS}$	Input Offset Voltage	$R_S = 50\Omega$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ Over Temperature		3	5 7		3	5 6.5		3	10 13	mV mV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Average TC of Input Offset Voltage	$R_S = 50\Omega$		5			5			5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
$\Delta TC/\Delta V_{OS}$	Change in Average TC with $V_{OS}$ Adjust	$R_S = 50\Omega$ , (Note 4)		0.5			0.5			0.5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ per mV
$I_{OS}$	Input Offset Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , (Notes 3, 5) $T_J \leq T_{HIGH}$		3	20 20		3	20 1		3	50 2	pA nA
$I_B$	Input Bias Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , (Notes 3, 5) $T_J \leq T_{HIGH}$		30	100 50		30	100 5		30	200 8	pA nA
$R_{iN}$	Input Resistance	$T_J = 25^\circ\text{C}$		$10^{12}$			$10^{12}$			$10^{12}$		$\Omega$
$A_{VOL}$	Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15\text{V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_O = \pm 10\text{V}$ , $R_L = 2\text{k}$ Over Temperature	50	200		50	200		25	200		V/mV V/mV
$V_O$	Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15\text{V}$ , $R_L = 10\text{k}$ $V_S = \pm 15\text{V}$ , $R_L = 2\text{k}$	$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 13$ $\pm 12$		$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 13$ $\pm 12$		$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 13$ $\pm 12$		V V
$V_{CM}$	Input Common-Mode Voltage Range	$V_S = \pm 15\text{V}$	$\pm 11$	+15.1 -12		$\pm 11$	+15.1 -12		+10	+15.1 -12		V V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio		85	100		85	100		80	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 6)	85	100		85	100		80	100		dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DC Electrical Characteristics**  $T_A = T_j = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ 

Parameter	LF155A/155, LF255, LF355A/355B		LF355		LF156A/156, LF256/356B		LF356A/356		LF157A/157 LF257/357B		LF357A/357		Units
	Typ	Max	Typ	Max	Typ	Max	Typ	Max	Typ	Max	Typ	Max	
Supply Current	2	4	2	4	5	7	5	10	5	7	5	10	mA

**AC Electrical Characteristics**  $T_A = T_j = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ 

Symbol	Parameter	Conditions	LF155/255/ 355/355B	LF156/256, LF356B	LF156/256/ 356/356B	LF157/257, LF357B	LF157/257/ 357/357B	Units
			Typ	Min	Typ	Min	Typ	
SR	Slew Rate	LF155/6: $A_V=1$ , LF157: $A_V=5$	5	7.5	12	30	50	V/ $\mu\text{s}$ V/ $\mu\text{s}$
GBW	Gain Bandwidth Product		2.5		5		20	MHz
$t_s$	Settling Time to 0.01%	(Note 7)	4		1.5		1.5	$\mu\text{s}$
$e_n$	Equivalent Input Noise Voltage	$R_S = 100\Omega$ $f = 100\text{ Hz}$ $f = 1000\text{ Hz}$	25 20		15 12		15 12	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
$i_n$	Equivalent Input Current Noise	$f = 100\text{ Hz}$ $f = 1000\text{ Hz}$	0.01 0.01		0.01 0.01		0.01 0.01	pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
$C_{IN}$	Input Capacitance		3		3		3	pF

**Notes for Electrical Characteristics**

**Note 1:** The maximum power dissipation for these devices must be derated at elevated temperatures and is dictated by  $T_{jMAX}$ ,  $\theta_{JA}$ , and the ambient temperature,  $T_A$ . The maximum available power dissipation at any temperature is  $P_d = (T_{jMAX} - T_A) / \theta_{JA}$  or the  $25^\circ\text{C}$   $P_{dMAX}$ , whichever is less.

**Note 2:** Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

**Note 3:** Unless otherwise stated, these test conditions apply:

	LF155A/6A/7A LF155//6/7	LF255//6/7	LF355A/6A/7A	LF355B/6B/7B	LF355//6/7
Supply Voltage, $V_S$	$\pm 15\text{V} \leq V_S \leq \pm 20\text{V}$	$\pm 15\text{V} \leq V_S \leq \pm 20\text{V}$	$\pm 15\text{V} \leq V_S \leq \pm 18\text{V}$	$\pm 15\text{V} \leq V_S \leq \pm 20\text{V}$	$V_S = \pm 15\text{V}$
$T_A$	$-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$	$-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$
$T_{HIGH}$	$+125^\circ\text{C}$	$+85^\circ\text{C}$	$+70^\circ\text{C}$	$+70^\circ\text{C}$	$+70^\circ\text{C}$

and  $V_{OS}$ ,  $I_B$  and  $I_{OS}$  are measured at  $V_{CM} = 0$ .

**Note 4:** The Temperature Coefficient of the adjusted input offset voltage changes only a small amount (0.5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  typically) for each mV of adjustment from its original unadjusted value. Common-mode rejection and open loop voltage gain are also unaffected by offset adjustment.

**Note 5:** The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every  $10^\circ\text{C}$  increase in the junction temperature,  $T_j$ . Due to limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation,  $P_d$ .  $T_j = T_A + \theta_{JA} P_d$  where  $\theta_{JA}$  is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

**Note 6:** Supply Voltage Rejection is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously, in accordance with common practice.

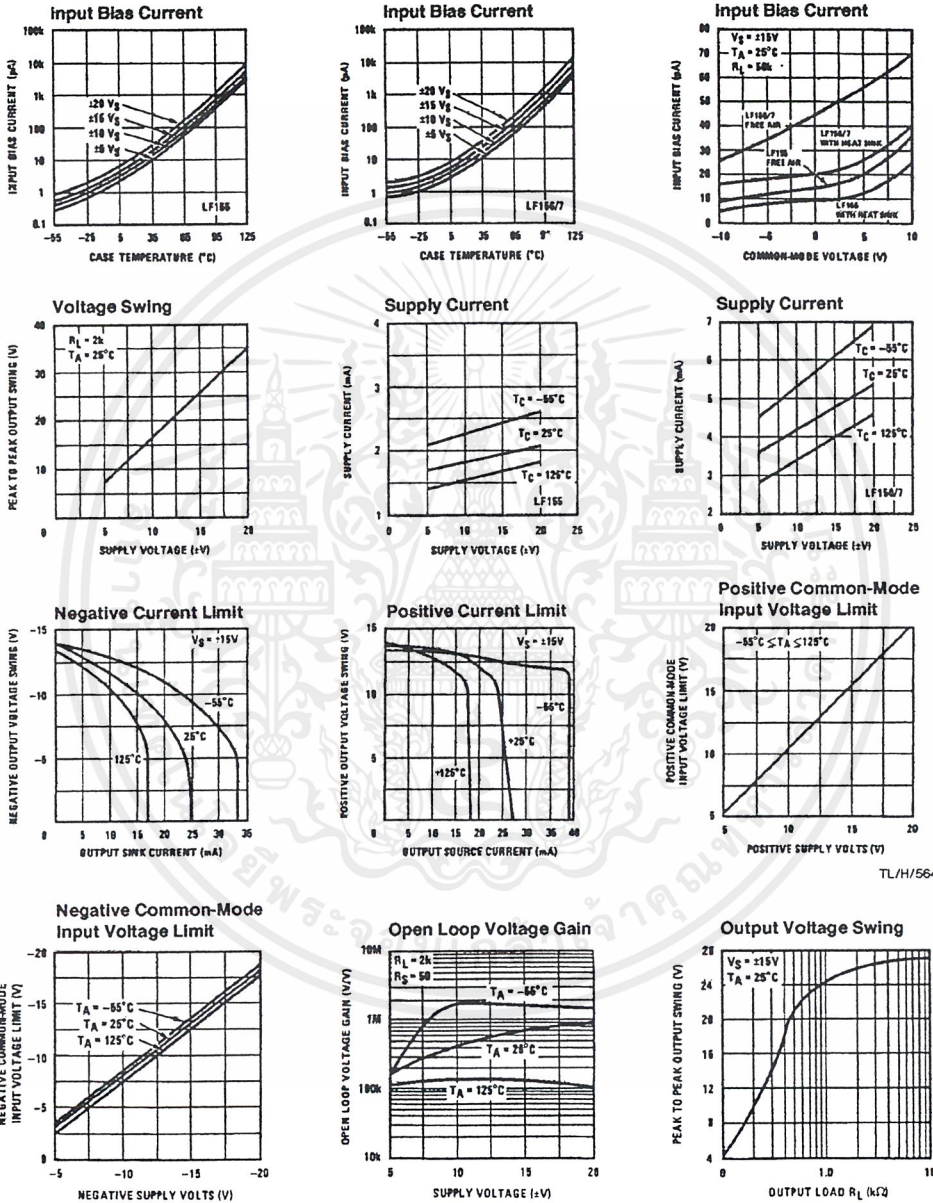
**Note 7:** Settling time is defined here, for a unity gain inverter connection using 2 k $\Omega$  resistors for the LF155/6. It is the time required for the error voltage (the voltage at the inverting input pin on the amplifier) to settle to within 0.01% of its final value from the time a 10V step input is applied to the inverter. For the LF157,  $A_V = -5$ , the feedback resistor from output to input is 2 k $\Omega$  and the output step is 10V (See Settling Time Test Circuit).

**Note 8:** Refer to RETS155AX for LF155A, RETS155X for LF155, RETS156AX for LF156A, RETS156X for LF156, RETS157A for LF157A and RETS157X for LF157 military specifications.

**Note 9:** Max. Power Dissipation is defined by the package characteristics. Operating the part near the Max. Power Dissipation may cause the part to operate outside guaranteed limits.

### Typical DC Performance Characteristics

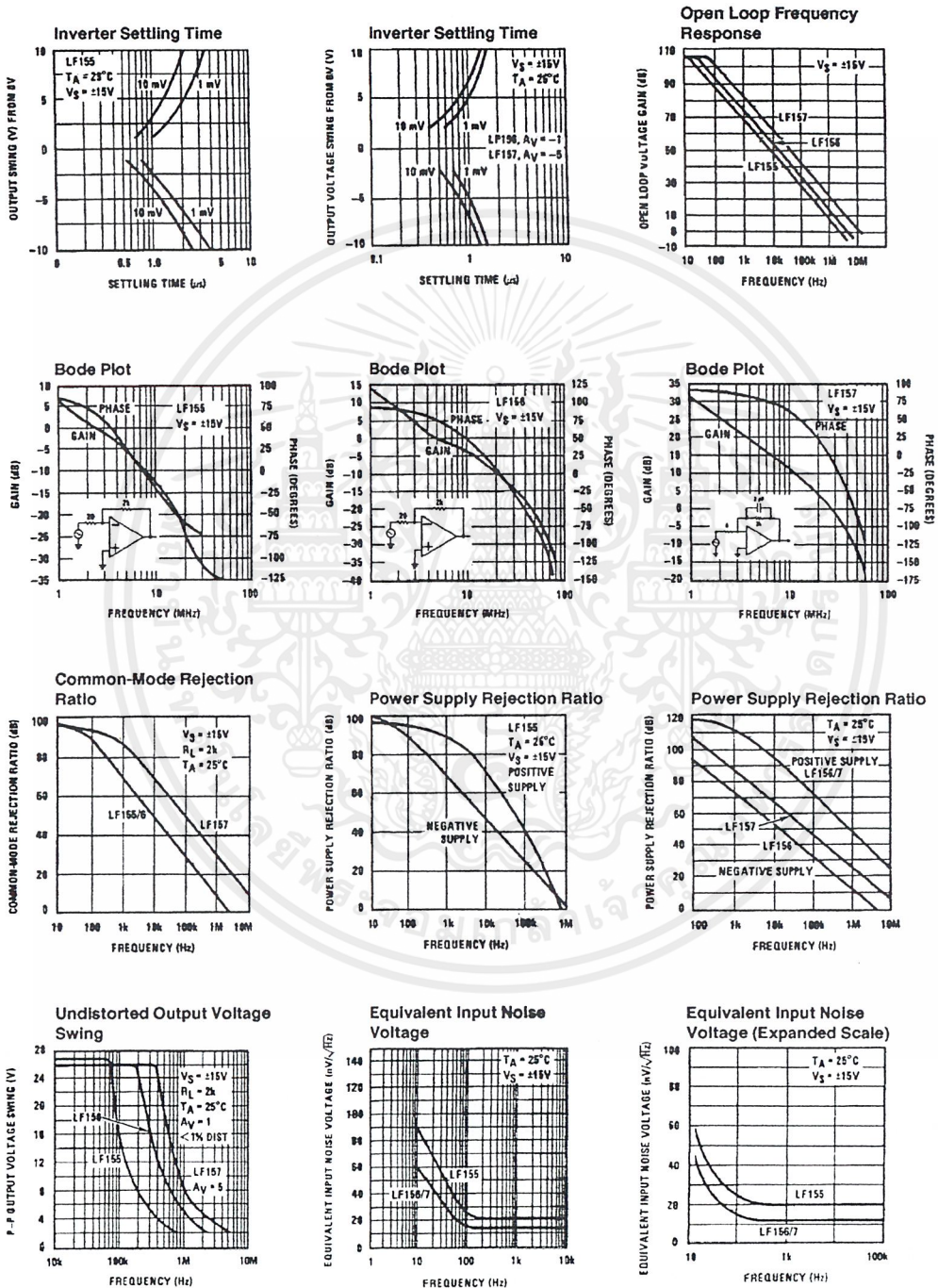
Curves are for LF155, LF156 and LF157 unless otherwise specified.



TL/H/5646-2

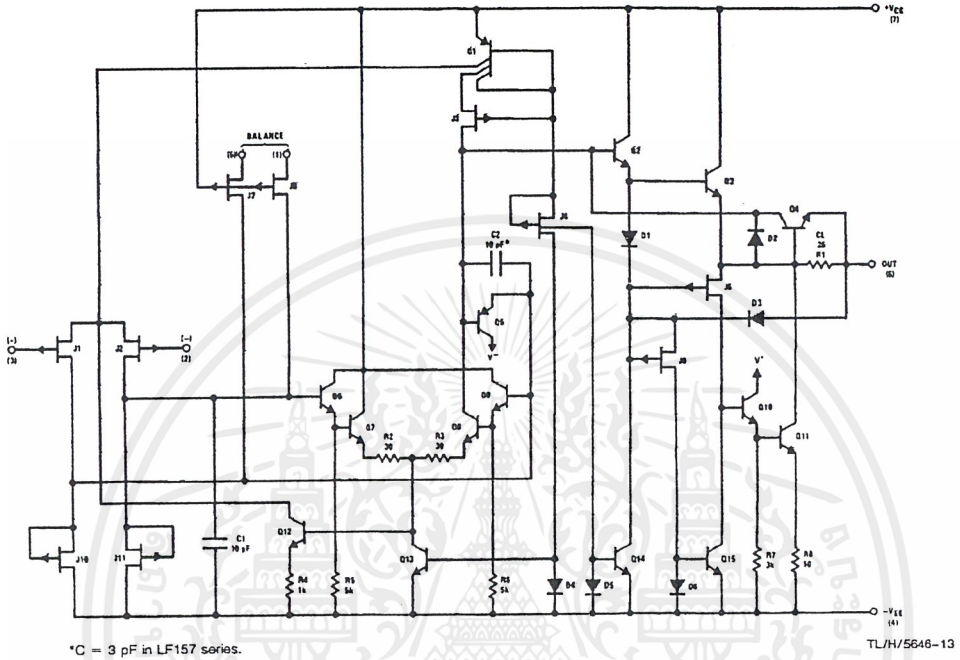
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical AC Performance Characteristics (Continued)



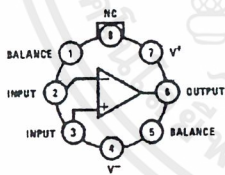
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Detailed Schematic



Connection Diagrams (Top Views)

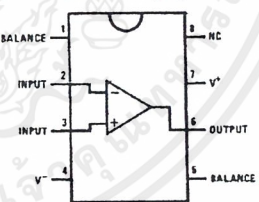
Metal Can Package (H)



TL/H/5646-14

Order Number LF156AH, LF155H, LF156H, LF255H, LF256H, LF257H, LF355AH, LF356AH, LF357AH, LF356BH, LF355H, LF356H, LF357H, LM155AH/883, LM155H/883, LM156AH/883, LM156H/883, LM157AH/883 or LM157H/883\*  
See NS Package Number H08C

Dual-In-Line Package (M and N)



TL/H/5646-29

Order Number LF355M, LF356M, LF357M, LF355BM, LF356BM, LF355BN, LF356BN, LF357BN, LF355N, LF356N or LF357N  
See NS Package Number M08A or N08E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Application Hints

The LF155/6/7 series are op amps with JFET input devices. These JFETs have large reverse breakdown voltages from gate to source and drain eliminating the need for clamps across the inputs. Therefore large differential input voltages can easily be accommodated without a large increase in input current. The maximum differential input voltage is independent of the supply voltages. However, neither of the input voltages should be allowed to exceed the negative supply as this will cause large currents to flow which can result in a destroyed unit.

Exceeding the negative common-mode limit on either input will force the output to a high state, potentially causing a reversal of phase to the output. Exceeding the negative common-mode limit on both inputs will force the amplifier output to a high state. In neither case does a latch occur since raising the input back within the common-mode range again puts the input stage and thus the amplifier in a normal operating mode.

Exceeding the positive common-mode limit on a single input will not change the phase of the output however, if both inputs exceed the limit, the output of the amplifier will be forced to a high state.

These amplifiers will operate with the common-mode input voltage equal to the positive supply. In fact, the common-mode voltage can exceed the positive supply by approximately 100 mV independent of supply voltage and over the full operating temperature range. The positive supply can therefore be used as a reference on an input as, for example, in a supply current monitor and/or limiter.

Precautions should be taken to ensure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

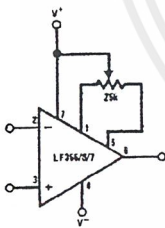
All of the bias currents in these amplifiers are set by FET current sources. The drain currents for the amplifiers are therefore essentially independent of supply voltage.

As with most amplifiers, care should be taken with lead dress, component placement and supply decoupling in order to ensure stability. For example, resistors from the output to an input should be placed with the body close to the input to minimize "pickup" and maximize the frequency of the feedback pole by minimizing the capacitance from the input to ground.

A feedback pole is created when the feedback around any amplifier is resistive. The parallel resistance and capacitance from the input of the device (usually the inverting input) to ac ground set the frequency of the pole. In many instances the frequency of this pole is much greater than the expected 3 dB frequency of the closed loop gain and consequently there is negligible effect on stability margin. However, if the feedback pole is less than approximately six times the expected 3 dB frequency a lead capacitor should be placed from the output to the input of the op amp. The value of the added capacitor should be such that the RC time constant of this capacitor and the resistance it parallels is greater than or equal to the original feedback pole time constant.

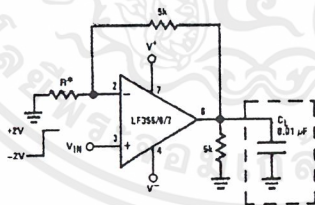
### Typical Circuit Connections

V<sub>OS</sub> Adjustment



- V<sub>OS</sub> is adjusted with a 25k potentiometer
- The potentiometer wiper is connected to V<sup>+</sup>
- For potentiometers with temperature coefficient of 100 ppm/°C or less the additional drift with adjust is ≈ 0.5 μV/°C/mV of adjustment
- Typical overall drift: 5 μV/°C ± (0.5 μV/°C/mV of adj.)

Driving Capacitive Loads



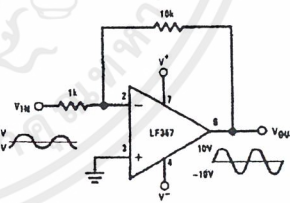
\*LF155/6 R = 5k  
LF157 R = 1.25k

Due to a unique output stage design, these amplifiers have the ability to drive large capacitive loads and still maintain stability. C<sub>L(MAX)</sub> ≈ 0.01 μF.

Overshoot ≤ 20%

Settling time (t<sub>s</sub>) ≈ 5 μs

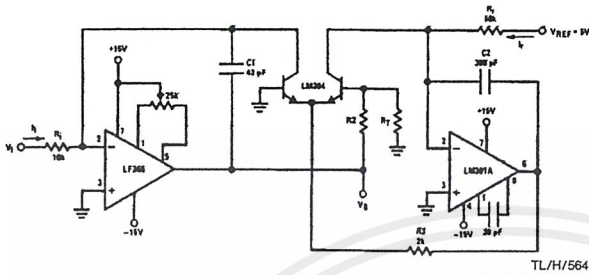
LF157. A Large Power BW Amplifier



TL/H/5646-15  
For distortion ≤ 1% and a 20 V<sub>p-p</sub> V<sub>OUT</sub> swing, power bandwidth is: 500 kHz.

Typical Applications (Continued)

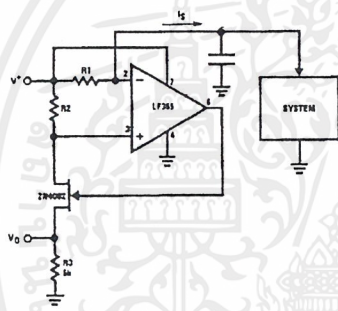
Fast Logarithmic Converter



- Dynamic range:  $100 \mu\text{A} \leq I_i \leq 1 \text{ mA}$  (5 decades),  $|V_O| = 1\text{V/decade}$
- Transient response:  $3 \mu\text{s}$  for  $\Delta I_i = 1 \text{ decade}$
- $C_1, C_2, R_2, R_3$ : added dynamic compensation
- $V_{OS}$  adjust the LF308 to minimize quiescent error
- $R_T$ : Tel Labs type Q81 +  $0.3\%/^{\circ}\text{C}$

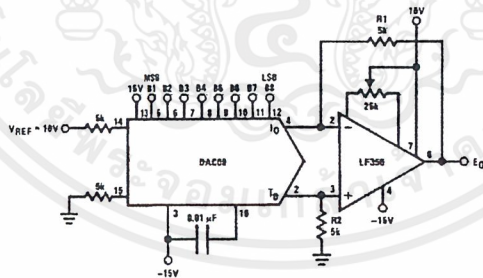
$$|V_{OUT}| = \left[ 1 + \frac{R_2}{R_T} \right] \frac{kT}{q} \ln V_i \left[ \frac{R_T}{V_{REF} R_1} \right] = \log V_i \frac{1}{R_1 R_T} R_2 = 15.7\text{k}, R_T = 1\text{k}, 0.3\%/^{\circ}\text{C} \text{ (for temperature compensation)}$$

Precision Current Monitor



- $V_O = 5 R_1/R_2$  (V/mA of  $I_S$ )
- $R_1, R_2, R_3$ : 0.1% resistors
- Use LF155 for
  - Common-mode range to supply range
  - Low  $I_B$
  - Low  $V_{OS}$
  - Low Supply Current

8-Bit D/A Converter with Symmetrical Offset Binary Operation



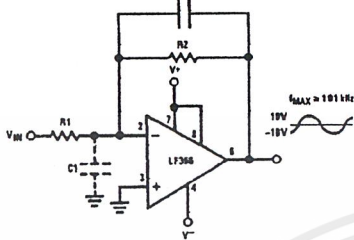
- $R_1, R_2$  should be matched within  $\pm 0.05\%$
- Full-scale response time:  $3 \mu\text{s}$

$E_O$	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	Comments
+9.920	1	1	1	1	1	1	1	1	Positive Full-Scale
+0.040	1	0	0	0	0	0	0	0	(+) Zero-Scale
-0.040	0	1	1	1	1	1	1	1	(-) Zero-Scale
-9.920	0	0	0	0	0	0	0	0	Negative Full-Scale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

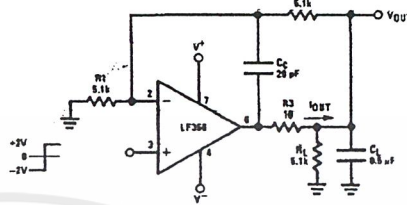
Typical Applications (Continued)

Wide BW Low Noise, Low Drift Amplifier



- Power BW:  $f_{MAX} = \frac{S_f}{2\pi V_p} \approx 101 \text{ kHz}$
- Parasitic input capacitance  $C_1 \approx 3 \text{ pF}$  for LF155, LF156 and LF157 plus any additional layout capacitance) interacts with feedback elements and creates undesirable high frequency pole. To compensate add  $C_2$  such that:  $R_2 C_2 \approx R_1 C_1$ .

Isolating Large Capacitive Loads

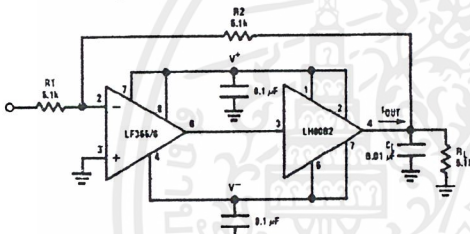


- Overshoot 6%
- $I_s$  10  $\mu\text{s}$
- When driving large  $C_L$ , the  $V_{OUT}$  slew rate determined by  $C_L$  and  $I_{OUT(MAX)}$ :  

$$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta T} = \frac{I_{OUT}}{C_L} \approx \frac{0.02}{0.5} \text{ V}/\mu\text{s} = 0.04 \text{ V}/\mu\text{s}$$
 (with  $C_L$  shown)

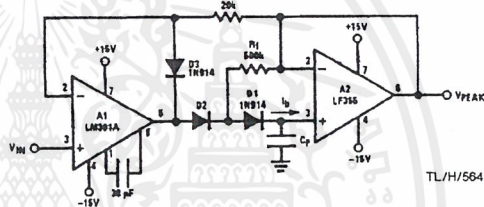
TL/H/5646-22

Boosting the LF156 with a Current Amplifier



- $I_{OUT(MAX)} \approx 150 \text{ mA}$  (will drive  $R_L \geq 100\Omega$ )
- $\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta T} = \frac{0.15}{10^{-2}} \text{ V}/\mu\text{s}$  (with  $C_L$  shown)
- No additional phase shift added by the current amplifier

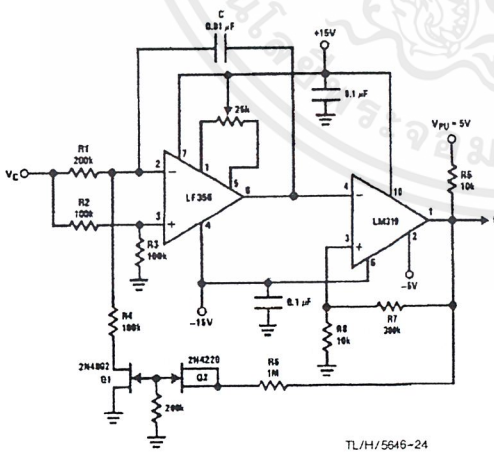
Low Drift Peak Detector



TL/H/5646

- By adding  $D_1$  and  $R_f$ ,  $V_{D1} = 0$  during hold mode. Leakage of  $D_2$  provided by feedback path through  $R_f$ .
- Leakage of circuit is essentially  $I_b$  (LF155, LF156) plus capacitor leakage of  $C_p$ .
- Diode  $D_3$  clamps  $V_{OUT}$  (A1) to  $V_{IN} - V_{D3}$  to improve speed and to limit reverse bias of  $D_2$ .
- Maximum input frequency should be  $<< \frac{1}{4\pi R_f C_{D2}}$  where  $C_{D2}$  is the shunt capacitance of  $D_2$ .

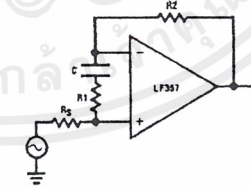
3 Decades VCO



TL/H/5646-24

- $f = \frac{V_C (R_B + R_7)}{(8 V_{PU} R_B R_1) C}$   $0 \leq V_C \leq 30\text{V}$ ,  $10 \text{ Hz} \leq f \leq 10 \text{ kHz}$
- $R_1, R_4$  matched. Linearity 0.1% over 2 decades.

Non-Inverting Unity Gain Operation for LF157



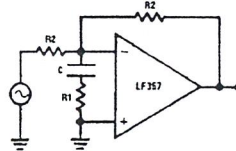
$$R_1 C \geq \frac{1}{(2\pi) (5 \text{ MHz})}$$

$$R_1 = \frac{R_2 + R_S}{4}$$

$$A_{V(DC)} = 1$$

$$f_{-3 \text{ dB}} \approx 5 \text{ MHz}$$

Inverting Unity Gain for LF157



$$R_1 C \geq \frac{1}{(2\pi) (5 \text{ MHz})}$$

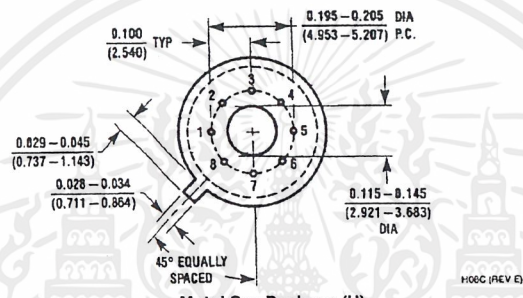
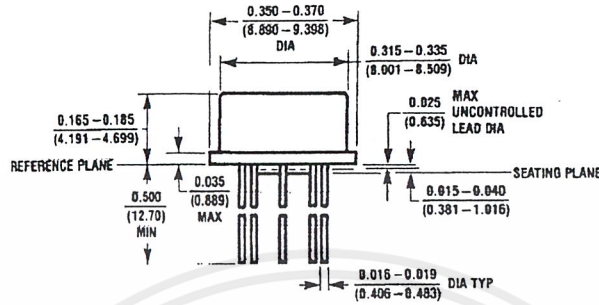
$$R_1 = \frac{R_2}{4}$$

$$A_{V(DC)} = -1$$

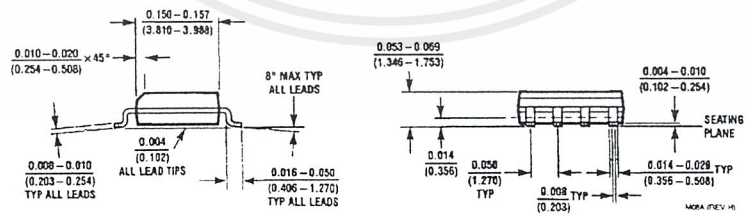
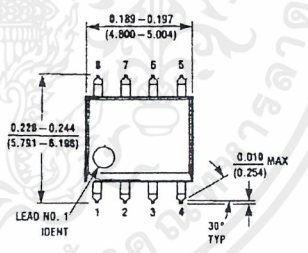
$$f_{-3 \text{ dB}} \approx 5 \text{ MHz}$$

TL/H/5646-25

**Physical Dimensions** inches (millimeters)



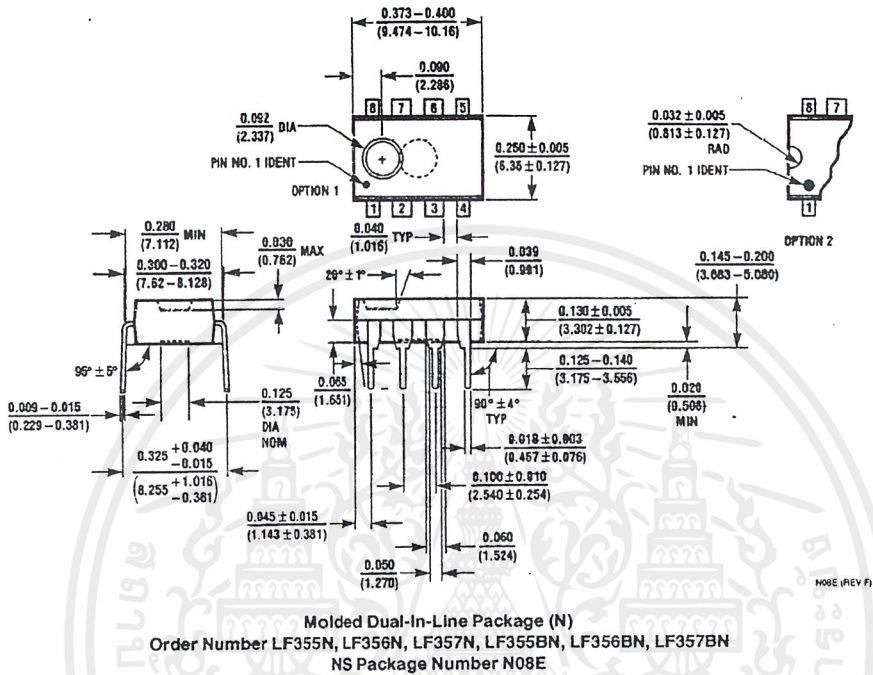
**Metal Can Package (H)**  
 Order Number LF156AH, LF155H, LF156H, LF255H, LF256H, LF257H, LF355AH, LF356AH, LF357AH, LF356BH,  
 LF355H, LF356H or LF357H  
 NS Package Number H08C



**Small Outline Package (M)**  
 Order Number LF355M, LF356M, LF357M, LF355BM or LF356BM  
 NS Package Number M08A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

**National Semiconductor Corporation**  
 1111 West Bardin Road  
 Arlington, TX 76017  
 Tel: 1(800) 272-9959  
 Fax: 1(800) 737-7018

**National Semiconductor Europe**  
 Fax: (+49) 0-180-530 85 86  
 Email: cnwge@levm2.nsc.com  
 Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85  
 English Tel: (+49) 0-180-532 78 32  
 Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58  
 Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80

**National Semiconductor Hong Kong Ltd.**  
 13th Floor, Straight Block,  
 Ocean Centre, 5 Canton Rd.  
 Tsimshatsui, Kowloon  
 Hong Kong  
 Tel: (852) 2737-1600  
 Fax: (852) 2736-9960

**National Semiconductor Japan Ltd.**  
 Tel: 81-043-299-2309  
 Fax: 81-043-299-2408

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Features

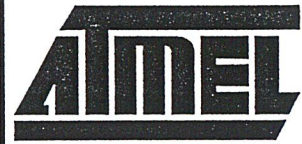
- Compatible with MCS-51™ Products
- 8K Bytes of In-System Reprogrammable Downloadable Flash Memory
  - SPI Serial Interface for Program Downloading
  - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- 2K Bytes EEPROM
  - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
- 4.0V to 6V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-Level Program Memory Lock
- 256 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Three 16-bit Timer/Counters
- Nine Interrupt Sources
- Programmable UART Serial Channel
- SPI Serial Interface
- Low Power Idle and Power Down Modes
- Interrupt Recovery From Power Down
- Programmable Watchdog Timer
- Dual Data Pointer
- Power Off Flag

## Description

The AT89S8252 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 8K bytes of Downloadable Flash programmable and erasable read only memory and 2K bytes of EEPROM. The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry standard 80C51 instruction set and pinout. The on-chip Downloadable Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system through an SPI serial interface or by a conventional non-volatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Downloadable Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89S8252 is a powerful microcomputer which provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The AT89S8252 provides the following standard features: 8K bytes of Downloadable Flash, 2K bytes of EEPROM, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, programmable watchdog timer, two Data Pointers, three 16-bit timer/counters, a six-vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the AT89S8252 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power Down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or hardware reset.

The Downloadable Flash can be changed a single byte at a time and is accessible through the SPI serial interface. Holding RESET active forces the SPI bus into a serial programming interface and allows the program memory to be written to or read from unless Lock Bit 2 has been activated.

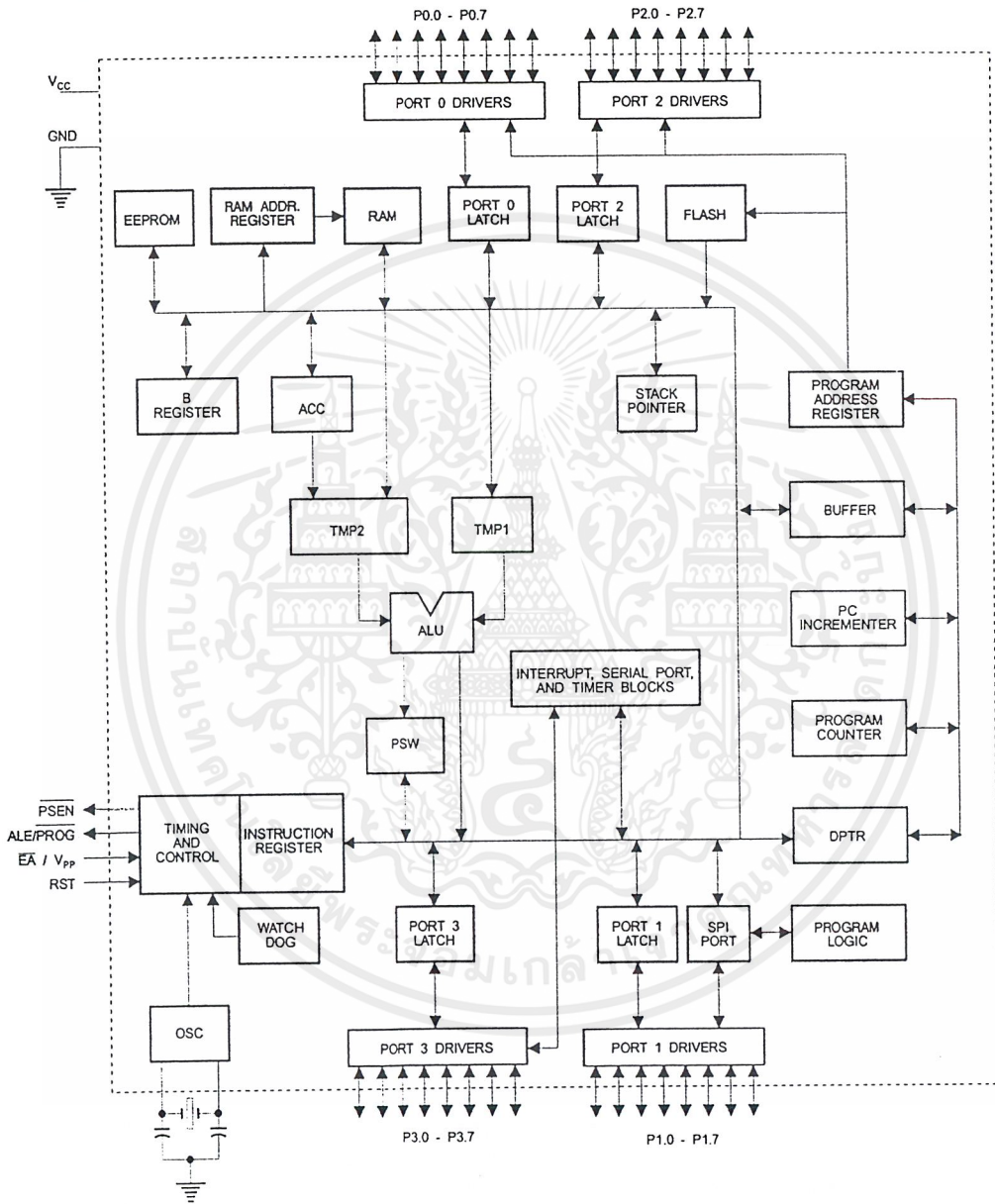


**8-Bit  
Microcontroller  
with 8K Bytes  
Flash**

**AT89S8252**



Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Furthermore, P1.4, P1.5, P1.6, and P1.7 can be configured as the SPI slave port select, data input/output and shift clock input/output pins as shown in the following table.

Port Pin	Alternate Functions
P1.0	T2 (external count input to Timer/Counter 2), clock-out
P1.1	T2EX (Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control)
P1.4	$\overline{SS}$ (Slave port select input)
P1.5	MOSI (Master data output, slave data input pin for SPI channel)
P1.6	MISO (Master data input, slave data output pin for SPI channel)
P1.7	SCK (Master clock output, slave clock input pin for SPI channel)

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

#### Port 2

Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, Port 2 uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

#### Port 3

Port 3 is an 8 bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89S8252, as shown in the following table.

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{INT0}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{INT1}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	$\overline{WR}$ (external data memory write strobe)
P3.7	$\overline{RD}$ (external data memory read strobe)

#### RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

#### ALE/PROG

Address Latch Enable is an output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input (PROG) during Flash programming.

In normal operation, ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE pulse is skipped during each access to external data memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

#### PSEN

Program Store Enable is the read strobe to external program memory.

When the AT89S8252 is executing code from external program memory, PSEN is activated twice each machine cycle, except that two PSEN activations are skipped during each access to external data memory.

#### $\overline{EA}/V_{PP}$

External Access Enable.  $\overline{EA}$  must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed,  $\overline{EA}$  will be internally latched on reset.

$\overline{EA}$  should be strapped to  $V_{CC}$  for internal program executions. This pin also receives the 12-volt programming enable voltage ( $V_{PP}$ ) during Flash programming when 12-volt programming is selected.

**XTAL1**

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

**XTAL2**

Output from the inverting oscillator amplifier.

**Special Function Registers**

A map of the on-chip memory area called the Special Function Register (SFR) space is shown in Table 1.

Note that not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Read accesses to these addresses will in general return random data, and write accesses will have an indeterminate effect.

**Table 1.** AT89S8252 SFR Map and Reset Values

0F8H									0FFH
0F0H	B 00000000								0F7H
0E8H									0EFH
0E0H	ACC 00000000								0E7H
0D8H									0DFH
0D0H	PSW 00000000					SPCR 000001XX			0D7H
0C8H	T2CON 00000000	T2MOD XXXXXX00	RCAP2L 00000000	RCAP2H 00000000	TL2 00000000	TH2 00000000			0CFH
0C0H									0C7H
0B8H	IP XX000000								0BFH
0B0H	P3 11111111								0B7H
0A8H	IE 0X000000		SPSR 00XXXXXX						0AFH
0A0H	P2 11111111								0A7H
98H	SCON 00000000	SBUF XXXXXXXX							9FH
90H	P1 11111111					WMCON 00000010			97H
88H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000			8FH
80H	P0 11111111	SP 00000111	DP0L 00000000	DP0H 00000000	DP1L 00000000	DP1H 00000000	SPDR XXXXXXXX	PCON 0XX0000	87H

## Quad bilateral switches

## 74HC/HCT4066

## FEATURES

- Very low "ON" resistance:  
50  $\Omega$  (typ.) at  $V_{CC} = 4.5$  V  
45  $\Omega$  (typ.) at  $V_{CC} = 6.0$  V  
35  $\Omega$  (typ.) at  $V_{CC} = 9.0$  V
- Output capability: non-standard
- $I_{CC}$  category: SSI.

The 74HC/HCT4066 have four independent analog switches. Each switch has two input/output terminals (nY, nZ) and an active HIGH enable input (nE). When nE is LOW the belonging analog switch is turned off.

The "4066" is pin compatible with the "4016" but exhibits a much lower "ON" resistance. In addition, the "ON" resistance is relatively constant over the full input signal range.

## GENERAL DESCRIPTION

The 74HC/HCT4066 are high-speed Si-gate CMOS devices and are pin compatible with the "4066" of the "4000B" series. They are specified in compliance with JEDEC standard no. 7A.

## QUICK REFERENCE DATA

$GND = 0$  V;  $T_{amb} = 25$  °C;  $t_r = t_f = 6$  ns

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYPICAL		UNIT
			HC	HCT	
$t_{PZH}/t_{PZL}$	turn-on time nE to $V_{os}$	$C_L = 15$ pF; $R_L = 1$ k $\Omega$ ; $V_{CC} = 5$ V	11	12	ns
$t_{PHZ}/t_{PLZ}$	turn-off time nE to $V_{os}$		13	16	ns
$C_I$	input capacitance		3.5	3.5	pF
$C_{PD}$	power dissipation capacitance per switch	notes 1 and 2	11	12	pF
$C_S$	max. switch capacitance		8	8	pF

## Notes

1.  $C_{PD}$  is used to determine the dynamic power dissipation ( $P_D$  in  $\mu$ W):

- a)  $P_D = C_{PD} \times V_{CC}^2 \times f_i + \sum \{(C_L + C_S) \times V_{CC}^2 \times f_o\}$  where:
- b)  $f_i$  = input frequency in MHz
- c)  $f_o$  = output frequency in MHz
- d)  $\sum \{(C_L + C_S) \times V_{CC}^2 \times f_o\}$  = sum of outputs
- e)  $C_L$  = output load capacitance in pF
- f)  $C_S$  = maximum switch capacitance in pF
- g)  $V_{CC}$  = supply voltage in V

2. For HC the condition is  $V_I = GND$  to  $V_{CC}$   
For HCT the condition is  $V_I = GND$  to  $V_{CC} - 1.5$  V

## Quad bilateral switches

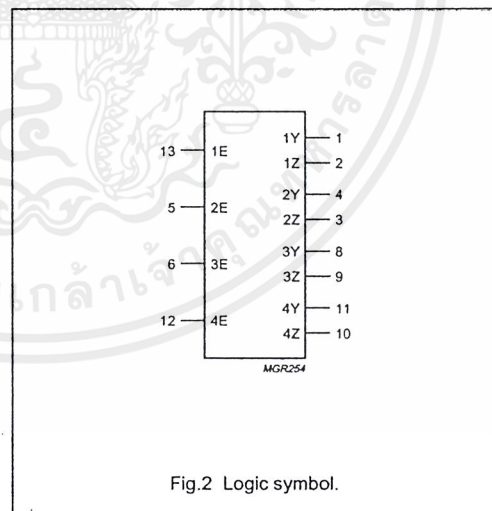
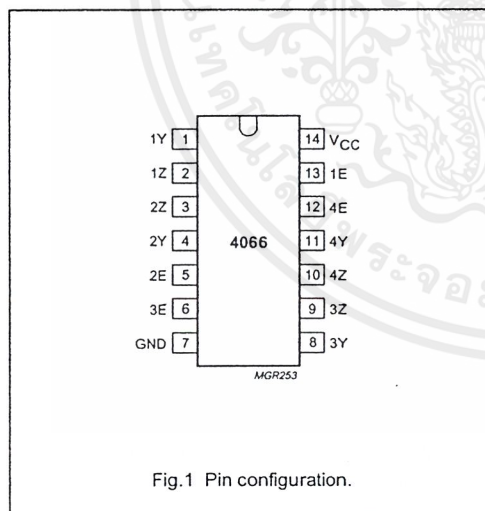
## 74HC/HCT4066

## ORDERING INFORMATION

.TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
74HC4066	DIP14	plastic dual in-line package; 14 leads (300 mil)	SOT27-1
74HC4066	SO14	plastic small outline package; 14 leads; body width 3.9 mm	SOT108-1
74HC4066	SSOP14	plastic shrink small outline package; 14 leads; body width 5.3 mm	SOT337-1
74HC4066	TSSOP14	plastic thin shrink small outline package; 14 leads; body width 4.4 mm	SOT402-1
74HCT4066	DIP14	plastic dual in-line package; 14 leads (300 mil)	SOT27-1
74HCT4066	SO14	plastic small outline package; 14 leads; body width 3.9 mm	SOT108-1
74HCT4066	SSOP14	plastic shrink small outline package; 14 leads; body width 5.3 mm	SOT337-1
74HCT4066	TSSOP14	plastic thin shrink small outline package; 14 leads; body width 4.4 mm	SOT402-1

## PIN DESCRIPTION

PIN NO.	SYMBOL	NAME AND FUNCTION
1, 4, 8, 11	1Y to 4Y	independent inputs/outputs
2, 3, 9, 10	1Z to 4Z	independent inputs/outputs
7	GND	ground (0 V)
13, 5, 6, 12	1E to 4E	enable inputs (active HIGH)
14	V <sub>CC</sub>	positive supply voltage



Quad bilateral switches

74HC/HCT4066

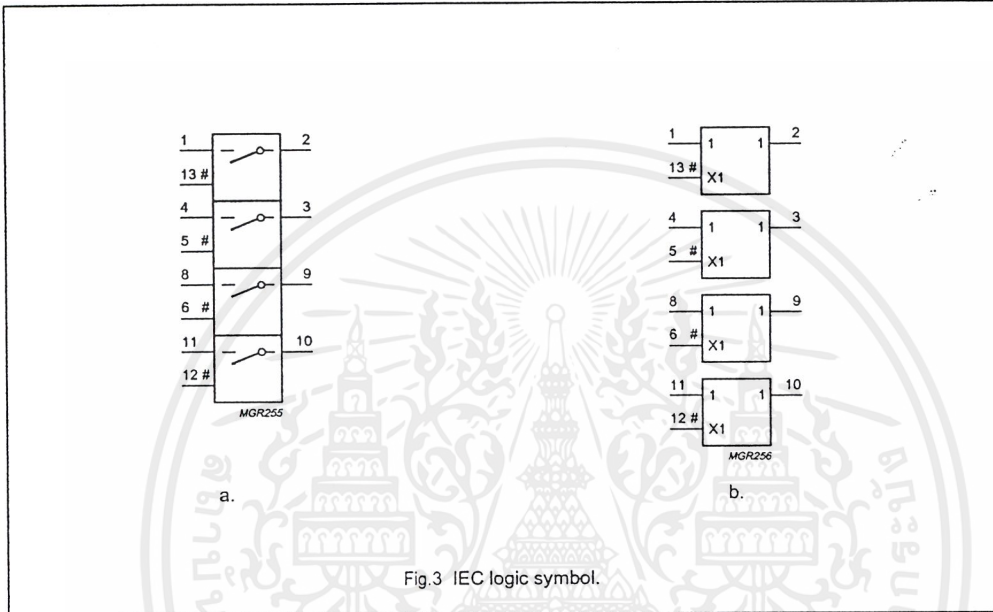


Fig.3 IEC logic symbol.

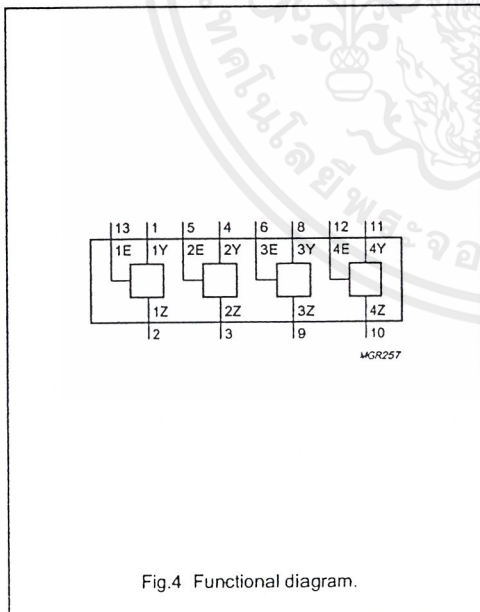


Fig.4 Functional diagram.

FUNCTION TABLE

INPUT NE	SWITCH
L	off
H	on

Note

1. H = HIGH voltage level; L = LOW voltage level.

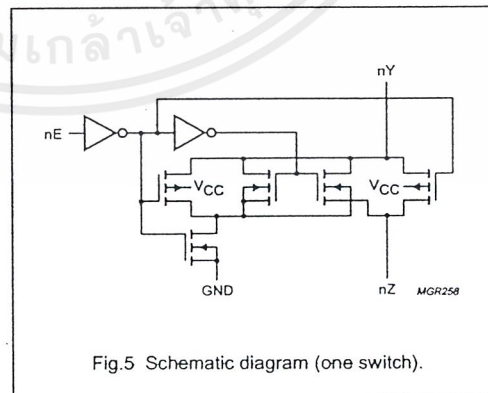


Fig.5 Schematic diagram (one switch).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Quad bilateral switches

## 74HC/HCT4066

## RATINGS

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134) Voltages are referenced to GND (GND = 0 V)

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	MAX.	UNIT	CONDITIONS
$V_{CC}$	DC supply voltage	-0.5	+11.0	V	
$\pm I_{IK}$	DC digital input diode current		20	mA	for $V_I < -0.5$ V or $V_I > V_{CC} + 0.5$ V
$\pm I_{SK}$	DC switch diode current		20	mA	for $V_S < -0.5$ V or $V_S > V_{CC} + 0.5$ V
$\pm I_S$	DC switch current		25	mA	for $-0.5$ V $< V_S < V_{CC} + 0.5$ V
$\pm I_{CC}$ ; $\pm I_{GND}$	DC $V_{CC}$ or GND current		50	mA	
$T_{stg}$	storage temperature range	-65	+150	°C	
$P_{tot}$	power dissipation per package				for temperature range: -40 to +125 °C 74HC/HCT
	plastic DIL		750	mW	above +70 °C: derate linearly with 12 mW/K
	plastic mini-pack (SO)		500	mW	above +70 °C: derate linearly with 8 mW/K
$P_S$	power dissipation per switch		100	mW	

## Note

- To avoid drawing  $V_{CC}$  current out of terminal nZ, when switch current flows in terminal nY, the voltage drop across the bidirectional switch must not exceed 0.4 V. If the switch current flows into terminal nZ, no  $V_{CC}$  current will flow out of terminal nY. In this case there is no limit for the voltage drop across the switch, but the voltages at nY and nZ may not exceed  $V_{CC}$  or GND.

## RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

SYMBOL	PARAMETER	74HC			74HCT			UNIT	CONDITIONS
		min.	typ.	max.	min.	typ.	max.		
$V_{CC}$	DC supply voltage	2.0	5.0	10.0	4.5	5.0	5.5	V	
$V_I$	DC input voltage range	GND		$V_{CC}$	GND		$V_{CC}$	V	
$V_S$	DC switch voltage range	GND		$V_{CC}$	GND		$V_{CC}$	V	
$T_{amb}$	operating ambient temperature range	-40		+85	-40		+85	°C	see DC and AC CHARACTERISTICS
$T_{amb}$	operating ambient temperature range	-40		+125	-40		+125	°C	
$t_r, t_f$	input rise and fall times		6.0	1000		6.0	500	ns	$V_{CC} = 2.0$ V $V_{CC} = 4.5$ V $V_{CC} = 6.0$ V $V_{CC} = 10.0$ V

## Quad bilateral switches

## 74HC/HCT4066

## DC CHARACTERISTICS FOR 74HC/HCT

For 74HC:  $V_{CC} = 2.0, 4.5, 6.0$  and  $9.0$  V; For 74HCT:  $V_{CC} = 4.5$  V

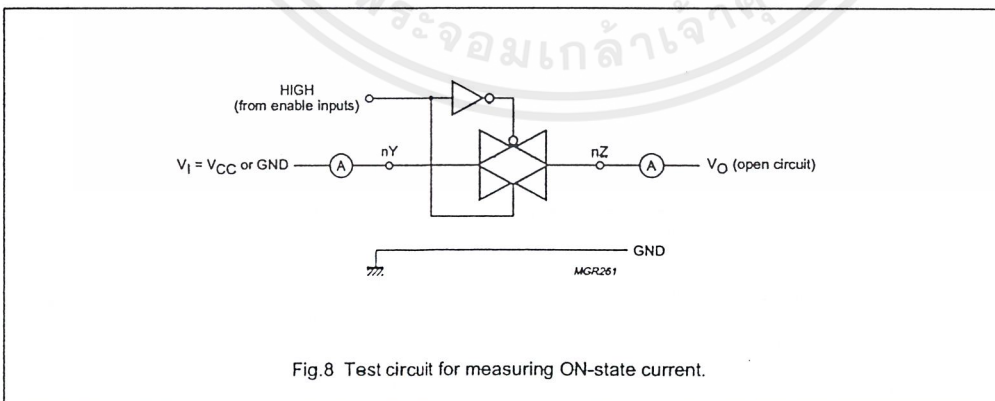
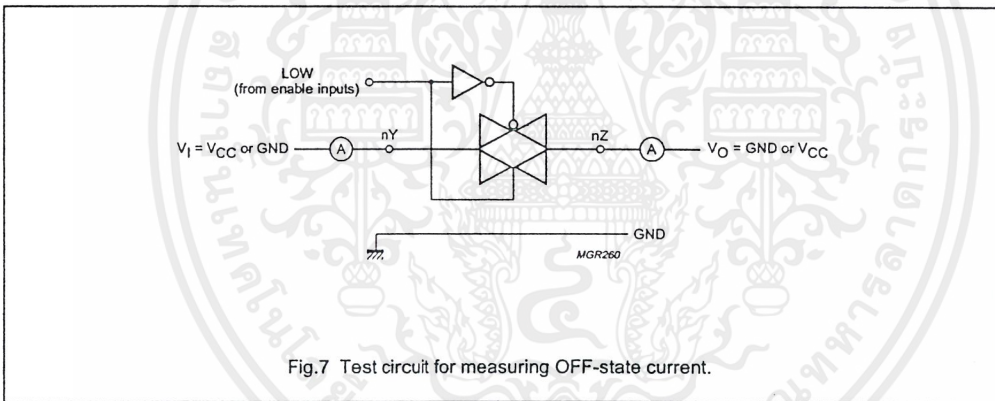
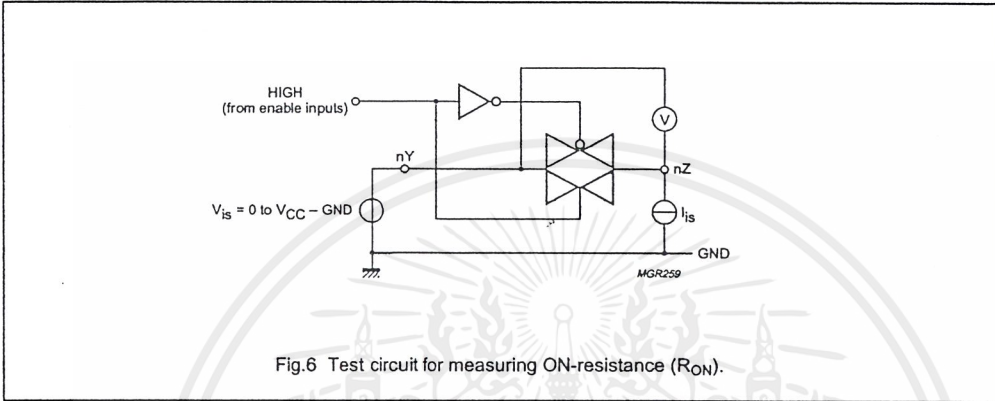
SYMBOL	PARAMETER	$T_{amb}$ (°C)						UNIT	TEST CONDITIONS				
		74HC/HCT							$V_{CC}$ (V)	$I_S$ ( $\mu$ A)	$V_{IS}$	$V_I$	
		+25			-40 to +85		-40 to +125						
		min.	typ.	max.	min.	max.	min.						max.
$R_{ON}$	ON-resistance (peak)		–	–		–	–	$\Omega$	2.0	100	$V_{CC}$ to GND	$V_{IH}$ or $V_{IL}$	
			54	95		118	142	$\Omega$	4.5	1000			
			42	84		105	126	$\Omega$	6.0	1000			
			32	70		88	105	$\Omega$	9.0	1000			
$R_{ON}$	ON-resistance (rail)		80	–		–	–	$\Omega$	2.0	100	GND	$V_{IH}$ or $V_{IL}$	
			35	75		95	115	$\Omega$	4.5	1000			
			27	65		82	100	$\Omega$	6.0	1000			
			20	55		70	85	$\Omega$	9.0	1000			
$R_{ON}$	ON-resistance (rail)		100	–		–	–	$\Omega$	2.0	100	$V_{CC}$	$V_{IH}$ or $V_{IL}$	
			42	80		106	128	$\Omega$	4.5	1000			
			35	75		94	113	$\Omega$	6.0	1000			
			27	60		78	95	$\Omega$	9.0	1000			
$\Delta R_{ON}$	maximum variation of ON-resistance between any two channels		–					$\Omega$	2.0		$V_{CC}$ to GND	$V_{IH}$ or $V_{IL}$	
			5					$\Omega$	4.5				
			4					$\Omega$	6.0				
			3					$\Omega$	9.0				

## Note

- At supply voltages approaching 2 V, the analog switch ON-resistance becomes extremely non-linear. Therefore it is recommended that these devices be used to transmit digital signals only, when using these supply voltages.

Quad bilateral switches

74HC/HCT4066



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

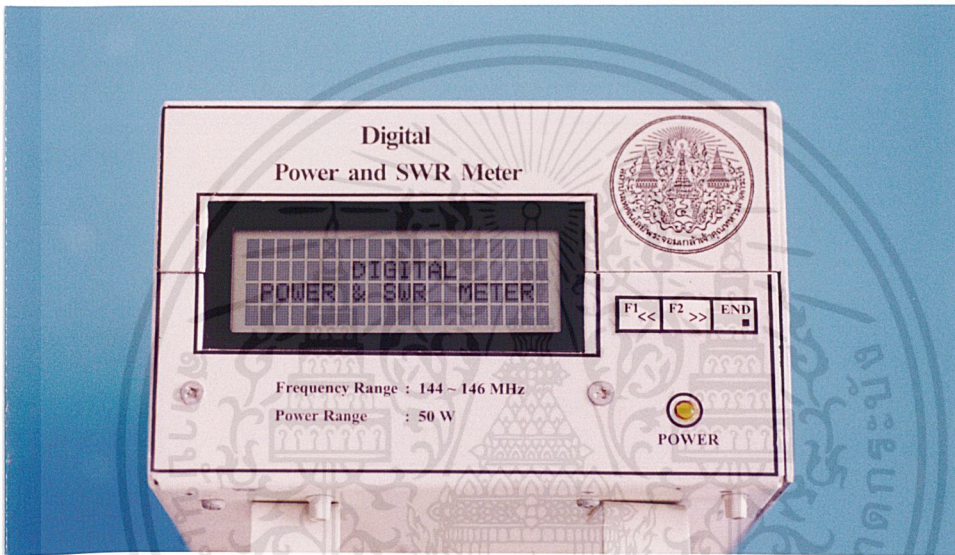
ภาคผนวก ฉ

## คู่มือการใช้งานเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบีบลิวาร์แบบดิจิทัล

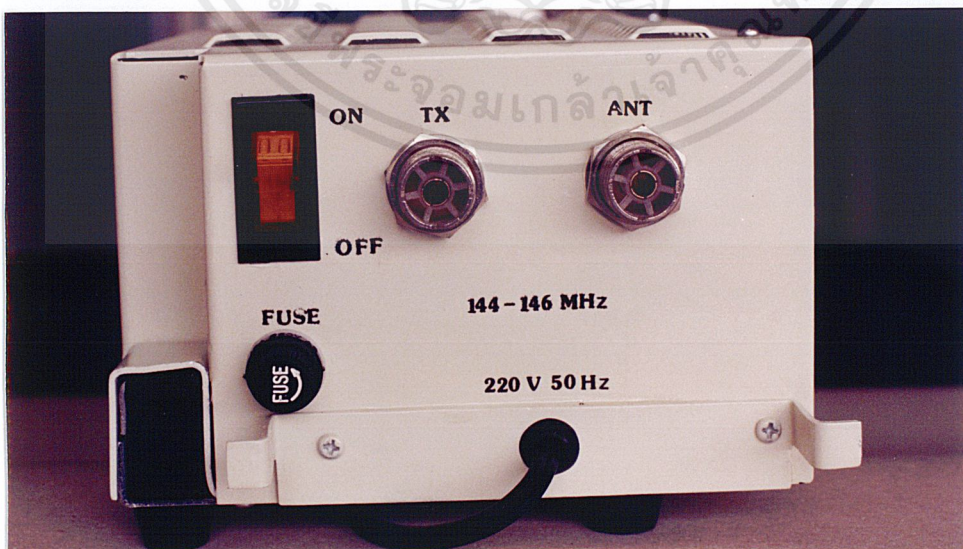
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คู่มือการใช้งาน**  
**เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบีบลิวาร์แบบดิจิตอล**  
**Digital Power and SWR Meter**

ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่อง






รูปที่ ๑.1 ด้านหน้าของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบีบลิวาร์แบบดิจิตอล






รูปที่ ๑.2 ด้านหลังของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดีบีบลิวาร์แบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ ฉ.1 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล ซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้

- จอแสดงผลแบบผลึกเหลว ขนาด 20 ตัวอักษร 4 บรรทัด
- ไดโอดเปล่งแสงสีเหลือง แสดงสภาวะการทำงานของเครื่อง
- ปุ่มกด   
- ขั้วต่อสายอากาศ (ANT)
- ขั้วต่อเครื่องส่งวิทยุ (TX)
- สายไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต
- สวิตช์เปิด – ปิด เครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล
- ครอบอกฟิวส์ 220 โวลต์ 3 แอมป์

#### หน้าที่ของส่วนประกอบแต่ละส่วน

- 1) จอแสดงผลแบบผลึกเหลว เป็นส่วนแสดงผลของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล โดยแสดงค่าต่างๆ ดังนี้ คือ ค่ากำลังส่ง ค่าเอสดับบลิวอาร์ ค่าแรงดันพอร์เวิร์ด ค่าแรงดันรีเวอร์ส
- 2) ไดโอดเปล่งแสงสีเหลืองขณะที่เปล่งแสงแสดงว่าเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัลอยู่สภาวะปกติ และกำลังทำงานอยู่
- 3) ปุ่ม    เป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่อง
- 4) ขั้วต่อสายอากาศ (ANT) เป็นส่วนที่ใช้สำหรับต่อสายอากาศที่ต้องการวัดทดสอบ
- 5) ขั้วต่อเครื่องส่งวิทยุ (TX) เป็นส่วนที่ใช้สำหรับต่อเครื่องส่งวิทยุในย่านความถี่ 144 – 146 เมกะเฮิร์ต กำลังส่งไม่เกิน 50 วัตต์
- 6) สายไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตใช้สำหรับต่อไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต เพื่อให้เครื่องทำงาน
- 7) สวิตช์เปิด – ปิดเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัลใช้สำหรับเปิด - ปิดเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์แบบดิจิทัล
- 8) ครอบอกฟิวส์ 220 โวลต์ 3 แอมป์เป็นส่วนที่ป้องกันเครื่องไม่ให้เกิดความเสียหาย เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเกิน

### ขั้นตอนการใช้งานของเครื่องวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์มิเตอร์แบบดิจิทัล

- 1) ต่อสายอากาศ หรือตัวภาระเทียมที่ต้องการทดสอบเข้ากับขั้วต่อสายอากาศ (ANT)
- 2) ต่อเครื่องส่งวิทยุในย่านความถี่ 144 – 146 เมกะเฮิร์ต เข้าที่ขั้วต่อเครื่องส่งวิทยุ (TX)
- 3) เสียบปลั๊กไฟของเครื่อง เข้ากับเต้ารับไฟแรงดัน 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต
- 4) ตรวจสอบความเรียบร้อยของสายต่างๆ ที่ต่อตามข้อ 1 และ 2 อีกครั้ง
- 5) เปิดสวิทช์ของเครื่อง ให้อยู่ในตำแหน่ง (ON) โด โอดเปล่งแสงสีเหลืองจะเปล่งแสงว่าเครื่องพร้อมที่จะทำงานแล้ว
- 6) เปิดเครื่องวิทยุที่นำมาต่อเข้ากับเครื่อง ปรับความถี่ไปยังช่องที่ไม่มีการใช้งาน
- 7) ที่หน้าจอเครื่องจะแสดงรายการการทำงานให้เลือกมี 2 รายการดังนี้
  - 7.1) MEASUREMENT เป็นการทำงานในส่วนของการวัดกำลังส่ง และเอสดับบลิวอาร์
  - 7.2) CREDIT เป็นการทำงานในส่วนของการแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับผู้สร้าง
- 8) เลือกรายการการทำงานในส่วนของการวัดกำลังส่งและเอสดับบลิวอาร์ กดปุ่ม F1
- 9) ในขณะนี้หน้าจอจะแสดงข้อความพร้อมที่จะใช้งานให้กดคีย์ส่งของเครื่องส่งวิทยุค้างไว้เป็นเวลา 2 วินาที
- 10) จากข้อ 9. หากกดคีย์ค้างไม่ถึง 2 วินาที เครื่องจะแสดงข้อความให้กดคีย์ส่งของเครื่องส่งวิทยุอีกครั้ง
- 11) จากนั้นเครื่องจะแสดงค่าต่างๆ ที่วัดได้ดังนี้
  - 11.1) หน้าจอแรกจะแสดงค่าของกำลังส่ง มีหน่วยเป็นวัตต์ และค่าของเอสดับบลิวอาร์
  - 11.2) หน้าจอที่สองจะแสดงค่าของแรงดันฟอร์เวิร์ด มีหน่วยเป็น โวลต์, แรงดันรีเวอร์ส มีหน่วยเป็น โวลต์ และค่าของสัมประสิทธิ์การสะท้อนแรงดัน
  - 11.3) หน้าจอที่สามจะแสดงค่าของค่ากำลังงานสูญเสียจากการไม่สมดุล มีหน่วยเป็น เดซิเบล และค่ากำลังงานสูญเสียจากการสะท้อนกลับ มีหน่วยเป็นเดซิเบล\*\*\*
- 12) เมื่อเลิกใช้งานแล้วควรปิดสวิทช์ให้เรียบร้อย ถอดปลั๊กไฟ ปิดสวิทช์เครื่องส่ง และถอดสายต่อที่ต่อเข้ากับขั้วต่อออกทั้งหมด

\*\*\*หมายเหตุ ที่บรรทัดล่างสุดของหน้าจอแสดงผลในแต่ละหน้าจะมีคีย์ที่ใช้ในการเลือกดูการแสดงผลในหน้าถัดไป (>>) , หน้าก่อนหน้า (<<) หรือจบ (END) การแสดงค่าเพียงเท่านั้น และจะกลับไปหน้าจอหลักเพื่อเลือกการทำงานต่อไป หากต้องการวัดค่าต่างๆ อีกครั้งให้ทำตามข้อ 8 ถึงข้อ 11

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญานិพนธ์

นายชัยพฤกษ์ คุณภาคไพศาล

วันเดือนปีเกิด

27 พฤษภาคม 2522

สถานที่เกิด

ฉะเชิงเทรา

ภูมิลำเนาเดิม

35 หมู่ที่ 3 ต.ท่าทองกลาง อ.บางคล้า

จ.ฉะเชิงเทรา 24110

ที่อยู่ปัจจุบัน

35 หมู่ที่ 3 ต.ท่าทองกลาง อ.บางคล้า

จ.ฉะเชิงเทรา 24110

เบอร์โทรศัพท์

01-8126447

### ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนดาราจรัส

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนเบญจมาราชรังสฤษฎิ์

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)

วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)

วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา

ปริญญาตรี

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

ผลงานที่ได้รับรางวัล

-

คติพจน์

จงยิ้มเมื่อถูกเย้ย

จงเฉยเมื่อถูกเหยียบ

จงเงียบเมื่อถูกขย

จงตอบแทนเมื่อมีโอกาส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญานិพนธ์

นายณัฐพรชัย อุ่นซ็อน

วันเดือนปีเกิด

5 กุมภาพันธ์ 2521

สถานที่เกิด

เชียงใหม่

ภูมิลำเนาเดิม

199/50 หมู่ 2. ต.ช้างเผือก อ.เมือง

จ.เชียงใหม่ 50300

ที่อยู่ปัจจุบัน

199/50 หมู่ 2. ต.ช้างเผือก อ.เมือง

จ.เชียงใหม่ 50300

เบอร์โทรศัพท์

053 - 213627

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนมงฟอร์ตวิทยาลัย

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนมงฟอร์ตวิทยาลัย

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)

วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)

วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่

ปริญญาตรี

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

ผลงานที่ได้รับรางวัล

-

คติพจน์

ความกตัญญูเป็นคุณสมบัติของบัณฑิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร

นายวิจิต ฉนกร

วันเดือนปีเกิด

6 พฤศจิกายน 2520

สถานที่เกิด

สุราษฎร์ธานี

ภูมิลำเนาเดิม

30/5 หมู่ที่ 1 ต.เขานิพันธ์ อ.เวียงสระ

ที่อยู่ปัจจุบัน

จ. สุราษฎร์ธานี 84190

30/5 หมู่ที่ 1 ต.เขานิพันธ์ อ.เวียงสระ

จ. สุราษฎร์ธานี 84190

เบอร์โทรศัพท์

01-6768439

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนบ้านเขานิพันธ์

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนเวียงสระ

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)

วิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)

วิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี

ปริญญาตรี

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

ผลงานที่ได้รับรางวัล

-

คติพจน์

อัจฉริยภาพเปรียบเสมือนมรดก

ความเพียรพยายามเปรียบเสมือนหินลับมีด

มีดที่คมกริบหากมิได้ลับมานานวัน

ก็จะขึ้นสนิมกลายเป็นเศษสวะได้เหมือนกัน...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นายสมศักดิ์ นามหาไชย
วันเดือนปีเกิด	2 ตุลาคม 2518
สถานที่เกิด	ร้อยเอ็ด
ภูมิลำเนาเดิม	3 หมู่ 14 ต.หนองแวง อ.เกษตรวิสัย จ.ร้อยเอ็ด 45150
ที่อยู่ปัจจุบัน	3 หมู่ 14 ต.หนองแวง อ.เกษตรวิสัย จ.ร้อยเอ็ด 45150
เบอร์โทรศัพท์	043 - 589113
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านหัวหนองแวง
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนหนองผึ้งวิทยาคาร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคร้อยเอ็ด
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคร้อยเอ็ด
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
คติพจน์	ความยิ่งใหญ่ของอุดมการณ์ มิได้อยู่ที่การชนะผู้อื่น แต่อยู่ที่การชนะตนเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้