

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์วิศวกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง

AF CIRCUIT CHARACTERISTICS ANALYZER

- | | | | | |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|----------|
| ชื่อนักศึกษา | 1. นายสุชาติ | จิตต์อาจ | รหัสประจำตัว | 39031235 |
| | 2. นายสุธี | ปิยะจิตติ | รหัสประจำตัว | 39031236 |
| | 3. นายสุรศักดิ์ | บุญประดิษฐ์ | รหัสประจำตัว | 39031237 |
| | 4. นางสาวหฤทัย | คินสกุล | รหัสประจำตัว | 39031238 |

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์

- | | | |
|--------------------|---------------|------------|
| 1. อาจารย์กิติพงศ์ | มะโน | 2639, 2640 |
| 2. ศศ.วิสุทธิ | อิทธิธรรม | 2638, 3940 |
| 3. อาจารย์ปิยะ | ศุภวาราสวัฒน์ | |

มกราคม 2639

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์กิติพงศ์ มะโน	
2. ศศ.วิสุทธิ อิทธิธรรม	
3. อาจารย์ปิยะ ศุภวาราสวัฒน์	
4. อาจารย์ประเสริฐ เคนพันก่อ	
5. อาจารย์พงษ์เกียรติ เชษฐพิทักษ์สกุล	

วัน เดือน ปีที่สอบ วันที่ 4 พฤษภาคม 2541 เวลา 18.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม



อธิการบดีรับรองแล้ว

ศาสตราจารย์ ดร. เทพหัสดิน ณ อยุธยา

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

เดือน พ.ค. พ.ศ. 41

เลขหมึก.....
เลขทะเบียน 30143
วัน, เดือน, ปี 8 ต.ย. 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง
AF CIRCUIT CHARACTERISTICS ANALYZER



ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตรบัณฑิต

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง
AF CIRCUIT CHARACTERISTICS ANALYZER

ผู้จัดทำ

- | | |
|-----------------|-------------|
| 1. นายสุชาติ | จิตต์อาจ |
| 2. นายสุธี | ปิยะจิตติ |
| 3. นายสุรศักดิ์ | บุญประดิษฐ์ |
| 4. นางสาวหฤทัย | คีนสกุล |

อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงนาม.....

(อาจารย์กิติพงศ์ มะโน)

ลงนาม.....

(ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

ลงนาม.....

(อาจารย์ปิยะ สุภราราสุวรรณ)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

ลงนาม.....

(ผศ.ดร.ธีรพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง
AF CIRCUIT CHARACTERISTICS ANALYZER

วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาทฤษฎี และหลักการเบื้องต้น ของเครื่องมือวัดชนิดต่างๆ และการทำงานของ เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียงได้
2. เพื่อออกแบบวงจร และโปรแกรมควบคุมการทำงาน เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรใน ย่านความถี่เสียงได้
3. เพื่อนำวงจรที่ออกแบบ ประกอบเป็นเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง ได้
4. เพื่อทดสอบการทำงาน ของเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียงได้
5. เพื่อลดความยุ่งยากและลดเวลาในการทดสอบวงจร

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถรู้ และเข้าใจทฤษฎี และหลักการ ทำงาน ของเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของ วงจรใน ย่านความถี่เสียงได้
2. รู้และเข้าใจหลักการออกแบบ และโปรแกรมควบคุมการทำงาน ของเครื่องวิเคราะห์ คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง
3. สามารถออกแบบวงจร, โปรแกรมควบคุมการทำงาน และจัดสร้างเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติ ของวงจรในย่านความถี่เสียงได้
4. ทดสอบการทำงานเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง และ จัดทำคู่มือ ประกอบการใช้งานของเครื่องได้
5. สามารถนำเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติ ของวงจรในย่านความถี่เสียงไปใช้งานจริงได้

เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง

นายสุชาติ	จิตต์อาจ
นายสุธี	ปิยะจิตติ
นายสุรศักดิ์	บุญประดิษฐ์
นางสาวหฤทัย	คินสกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์กิติพงศ์	มะโน
ผศ.วิสุทธิ	อธิพรธรรม
อาจารย์ปิยะ	ศุภวาราสุวัฒน์
ปีการศึกษา 2540	

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอ เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง ซึ่งสามารถต่อใช้งานกับเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปได้ โดยออกแบบ และพัฒนาขึ้นมา เพื่อใช้ในการตรวจสอบหาคุณสมบัติต่างๆ ของวงจรในย่านความถี่เสียง และวงจรกรองความถี่แบบต่างๆ ได้โดยอัตโนมัติ การทำงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนของฮาร์ดแวร์ ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้สำหรับทดสอบวงจร ประกอบด้วยส่วนแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ส่วนแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก ส่วนกำเนิดสัญญาณ ส่วนวัดค่าอาร์เอ็มเอส และส่วนวัดค่าอิมพีแดนซ์ ในส่วนที่สอง เป็นส่วนของการออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์ ซึ่งใช้เป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งหมดของฮาร์ดแวร์ โดยไมโครคอมพิวเตอร์ จะไปควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์อีกทีหนึ่ง และส่งสัญญาณข้อมูลกลับไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผล โดยผ่านพอร์ตอนุกรม และแสดงผลออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลออกทางเครื่องพิมพ์ และเก็บบันทึกข้อมูลลงบนแผ่นจานแม่เหล็ก เพื่อสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ในภายหลังได้

AF CIRCUIT CHARACTERISTICS ANALYZER

MR. SUCHART JITART
MR. SUTEE PIYAJITTI
MR. SURASAK BOONPRADIT
MISS HARUTAI DINSAKUL

ADVISORS

MR. KITIPONG MANO
Assist. Prof. WISUIT ATIPORNTHUM
MR. PIYA SUPAVARASUWAT

1997

ABSTRACT

The thesis presents the audio frequency characteristics analyzer which is designed and developed for examination the audio frequency circuits and filter circuits. The project can be divided into two parts ; hardware and software. Hardware composes of analog to digital converter, digital to analog converter, oscillator, true RMS meter and impedance examiner. The Microcomputer is used to control the operation of hardware. Function of this project is to send data signal to computer by through serial port for plotting the pattern of signal on monitor and printer. Each pattern can be recorded on disk.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลืออันดีจาก อาจารย์ที่ปรึกษาทุกท่าน ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา ในการดำเนินงาน และให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาด้วยดีเสมอมา รวมทั้งอาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่าน ที่ได้อำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงาน การใช้สถานที่ เครื่องมือ และวัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นในการจัดทำปริญญานิพนธ์

คณะผู้จัดทำ ใคร่ขอขอบคุณทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ บิดามารดา ผู้ให้การสนับสนุนด้านการศึกษามาโดยตลอด นอกจากนี้ ขอขอบคุณ อาจารย์กิติพงศ์ มะโน คุณฉัตรศักดิ์ พุดเฟือก คุณภักดี บุญประดิษฐ์ และเพื่อนๆ ทุกคน รวมทั้งบุคคลอื่นที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ที่ได้ช่วยให้คำปรึกษา แนะนำวิธีการแก้ไข ปัญหา จัดหาเครื่องมือต่างๆ รวมทั้งให้คำเสนอแนะด้านอื่นๆ จนกระทั่งปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วงด้วยดี

IV

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญภาพ	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปริญญาโท	1
1.2 ชี้ความสามารถของโครงการ	2
1.3 เนื้อหาโดยสังเขปของปริญญาโท	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	4
2.1 หลักการพื้นฐานของเครื่องมือวัด และทดสอบ	4
2.1.1 ความผิดพลาดในการวัด	4
2.1.2 การเลือกช่วงการวัดให้เหมาะสม	5
2.1.3 อุปกรณ์วัดแบบคิจิตอล	5
2.1.4 ค่าที่จะวัด และอุปกรณ์การวัด	5
2.1.5 การวัดค่าแรงดัน	6
2.1.6 อุปกรณ์วัดที่มีภาคอินพุตเป็นวงจรถยาย	8
2.2 ทฤษฎีการแปลงสัญญาณ	8
2.2.1 ทฤษฎีของการสุ่มข้อมูล	10
2.2.2 ทฤษฎีการคว้นไคซ์	11
2.2.3 วงจรแอมปลิงแอนด์โฮลด์	12
2.3 การเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณคิจิตอล	13
2.3.1 แบบใช้วงจรเปรียบเทียบขนานหรือแบบเฟลช	13
2.3.2 วงจรเอพูดีที่ใช้ในการอินทิเกรต	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.3.3 การเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบวงจรรดับ และ วงจรดีพูเอประกอบกัน	15
2.4 การเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก	16
2.4.1 แบ่งตามน้ำหนักที่อินพุต	16
2.4.2 R-2R แลคเคอร์	16
2.5 การใช้งานไอซีแปลงสัญญาณเบอร์ AD7521	17
2.5.1 คุณสมบัติของไอซีเบอร์ AD7521	17
2.5.2 ทฤษฎีการทำงาน	17
2.5.3 ความหมายต่าง ๆ ในตารางที่ควรรู้	19
2.5.4 การประยุกต์ใช้งาน	20
2.5.5 การปรับแต่งในแบบของยูนิโพลาร์	21
2.6 ค่าของอาร์เอ็มเอส	21
2.6.1 การวัดค่าทรู-อาร์เอ็มเอส	23
2.6.2 การใช้งาน ไอซีเบอร์ AD636JH	25
2.6.3 ค่าผิดพลาดในการแปลงสัญญาณ	26
2.7 หลักการของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ	27
2.7.1 เครื่องวัดความผิดเพี้ยน	28
2.7.2 เครื่องวิเคราะห์คลื่นสัญญาณ	29
2.7.3 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม	30
2.7.4 เครื่องวิเคราะห์ทางฟูเรียร์	32
2.8 หลักการของวงจรถอนสัญญาณ	33
2.8.1 วงจรถอนสัญญาณแบบตัวแอล	33
2.8.2 วงจรถอนสัญญาณแบบฟ็อด	34
2.8.3 การต่อวงจรถอนสัญญาณในย่านวัดแรงดัน	34
2.8.4 การชดเชยความถี่	35

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	37
3.1 การออกแบบวงจร	37
3.1.1 แผนผังการทำงานของเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจร ในย่านความถี่เสียง	37
3.1.2 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก	38
3.1.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	39
3.1.4 วงจรกำเนิดความถี่	40
3.1.5 วงจรวัดค่าอาร์เอ็มเอส	41
3.1.6 วงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า	42
3.1.7 วงจรวัดค่าอิมพีแดนซ์	44
3.2 การออกแบบโปรแกรม	45
3.2.1 แผนผังโปรแกรมของชุดไมโครคอมพิวเตอร์	45
3.2.2 แผนผังโปรแกรมของชุดไมโครคอนโทรลเลอร์	49
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง	53
4.1 การทดสอบวงจร	53
4.1.1 การทดลองวงจรกำเนิดความถี่ควบคุมด้วยแรงดัน	53
4.1.2 การทดลองวงจรวัดค่าอาร์เอ็มเอส	54
4.2 การทดสอบวงจรโดยเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจร ในย่านความถี่เสียง	55
4.2.1 การทดสอบชุดวงจรขยายสัญญาณ	60
4.2.2 การทดสอบชุดวงจรกรองความถี่โดยการคำนวณ	65
4.2.3 การทดลองการวัดค่าอิมพีแดนซ์	68
4.2.4 การทดลองการวัดค่าความผิดเพี้ยนของวงจร	68

VII

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางการแก้ไข และพัฒนา	70
5.1 บทสรุป	70
5.2 ปัญหา และแนวทางการแก้ไข	70
5.3 แนวทางพัฒนาโครงการ	71
ภาคผนวก ก ส่วนประกอบของเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรมี ในย่านความถี่เสียง	72
ภาคผนวก ข วงจรสมบูรณ, ลายวงจรพิมพ์ และการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์	78
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	88
ภาคผนวก ง โปรแกรมควบคุมการทำงาน	93
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน	120
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลทางเทคนิค	133
ภาคผนวก ช ผลการเปรียบเทียบการใช้งาน	154
ประวัติผู้แต่ง	160
บรรณานุกรม	164

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของไอซีเบอร์ AD7521	18
ตารางที่ 2.2 ลักษณะการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก	21
ตารางที่ 2.3 อัตราส่วนของค่าแรงดันพีค, อาร์เอ็มเอส และค่าเฉลี่ยของสัญญาณต่างๆ	23



สารบัญภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 คุณสมบัติการทำงาน ของคิิจิตอล โวลต์มิเตอร์สองตัวเปรียบเทียบกัน	8
รูปที่ 2.2 ระบบที่มีการประมวลผลข้อมูลทางคิิจิตอล	9
รูปที่ 2.3 การสุ่มตัวอย่างข้อมูล	10
รูปที่ 2.4 ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของการคว้นไคซ์ 4 บิต	11
รูปที่ 2.5 ความผิดพลาดคว้นไคซ์	12
รูปที่ 2.6 วงจรพื้นฐานของการแซมปลิงแอนคโฮลด์	13
รูปที่ 2.7 วงจรเหตุธิเบบวงจรมับเค็วที่สร้างขึ้นโดยวงจรมับขึ้น และวงจรถิพูเอ	15
รูปที่ 2.8 การจัดขาของไอซีเบอร์ AD7521	17
รูปที่ 2.9 วงจรภายในของตัวไอซีเบอร์ AD7521	20
รูปที่ 2.10 การประกยุคค์ใช้งานในแบบยูนิโพลาร์	20
รูปที่ 2.11 ค่าแรงดันที่เก็คขึ้นในสัญญาณไซน์	22
รูปที่ 2.12 แผนผังการทำงานภายในของไอซีเบอร์ AD636JH	25
รูปที่ 2.13 กราฟเปอร์เซ้นต์การผิดพลาดของการแปลงสัญญาณ	27
รูปที่ 2.14 แผนผังการทำงานเบ็องต้นของเครื่องวัดค่าความผิดพลาด	28
รูปที่ 2.15 วงจรพื้นฐานของเครื่องวิเคราะห์คล็็นสัญญาณ	29
รูปที่ 2.16 การอ่านค่าจากเครื่องวิเคราะห์คล็็นสัญญาณ	30
รูปที่ 2.17 แผนผังการทำงานของเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม	31
รูปที่ 2.18 แผนผังการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ทางฟูเรียร์	33
รูปที่ 2.19 วงจรวัดการลดทอนสัญญาณแบบตัวแอล	33
รูปที่ 2.20 วงจรลดทอนสัญญาณแบบพ็อดปรับค่าได้ละเอ็ยคกว่าแบบตัวแอล	34
รูปที่ 2.21 การออกแบบเล็อกย่านวัดวงจรถดทอนสัญญาณเพื่อ ให้สมบูรณแบบยั้งขึ้น	34
รูปที่ 2.22 วงจรลดทอนสัญญาณ สำหรับย่านวัดที่มีอ็ล็กทรอนิกส์โวลต์มิเตอร์ค่ออยู่	35
รูปที่ 2.23 วงจรลดทอนสัญญาณที่ชคเซยความถึ	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรมี ในย่านความถี่เสียง	37
รูปที่ 3.2 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก	39
รูปที่ 3.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	40
รูปที่ 3.4 วงจรกำเนิดความถี่ควบคุมด้วยแรงดัน	40
รูปที่ 3.5 วงจรวัดค่าแรงดัน RMS	42
รูปที่ 3.6 วงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า	43
รูปที่ 3.7 ลักษณะของไอซีเบอร์ DS1669	44
รูปที่ 3.8 วงจรวัดค่าอิมพีแดนซ์ซึ่งนำไอซีเบอร์ DS1669 มาประยุกต์ใช้	44
รูปที่ 3.9 ผังโปรแกรมการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์	45
รูปที่ 3.10 ผังโปรแกรมการรับค่า การหาค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร	46
รูปที่ 3.11 ผังโปรแกรมการรับค่า และแสดงผลการตอบสนองความถี่แบบเชิงเส้น	47
รูปที่ 3.12 ผังโปรแกรมการรับค่า และแสดงผลการตอบสนองความถี่แบบเดซิเบล	48
รูปที่ 3.13 ผังโปรแกรมการรับค่าข้อมูลจากเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์	49
รูปที่ 3.14 ผังโปรแกรมการทำงานการวัดผลตอบสนองความถี่	50
รูปที่ 3.15 ผังโปรแกรมการรับค่าข้อมูลการวัดค่าอิมพีแดนซ์จากคอมพิวเตอร์	51
รูปที่ 3.16 ผังโปรแกรมการทำงานของการวัดค่าอิมพีแดนซ์	52
รูปที่ 4.1 เาต์พุตของวงจรมีขนาดของสัญญาณ 100 มิลลิโวลต์อาร์เอ็มเอส	53
รูปที่ 4.2 รูปสัญญาณอินพุตของวงจรวัดค่าอาร์เอ็มเอสมีค่า 100 มิลลิโวลต์อาร์เอ็มเอส	54
รูปที่ 4.3 เาต์พุตของวงจรวัดค่าอาร์เอ็มเอสเมื่อวัดสัญญาณอินพุตค่า 100 มิลลิโวลต์อาร์เอ็มเอส	54
รูปที่ 4.4 รายการเลือกการใช้งานของเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรมี ในย่านความถี่เสียง	56
รูปที่ 4.5 การป้อนข้อมูลเกี่ยวกับชื่อ และรุ่นของวงจรที่นำมาทดสอบ	56
รูปที่ 4.6 การป้อนข้อมูลเลือกชนิดของวงจรที่ต้องการทดสอบ	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 4.7 การป้อนข้อมูลเลือกย่านความถี่ที่ต้องการทดสอบ	57
รูปที่ 4.8 การป้อนข้อมูลเลือกช่องการทดสอบ	58
รูปที่ 4.9 หน้าจอการแสดงผลแบบเชิงเส้น	58
รูปที่ 4.10 หน้าจอการแสดงผลแบบเดซิเบล	59
รูปที่ 4.11 ทำการเลือกรายการย่อยเพื่อบันทึกข้อมูล และแสดงผลออกทางเครื่องพิมพ์	60
รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบวงจรขยายสัญญาณแบบเชิงเส้น	61
รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบของวงจรขยายสัญญาณแบบเดซิเบล	61
รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบวงจรขยายสัญญาณแบบเชิงเส้น	62
รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบของวงจรขยายสัญญาณแบบเดซิเบล	63
รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบวงจรขยายสัญญาณแบบเชิงเส้น	64
รูปที่ 4.17 ผลการทดสอบของวงจรขยายสัญญาณแบบเดซิเบล	64
รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบวงจรกรองความถี่ที่ได้จากการคำนวณแบบเชิงเส้น	65
รูปที่ 4.19 ผลการทดสอบของวงจรกรองความถี่ที่ได้จากการคำนวณแบบเดซิเบล	66
รูปที่ 4.20 ผลการทดสอบวงจรกรองความถี่ที่ได้จากการคำนวณแบบเชิงเส้น	67
รูปที่ 4.21 ผลการทดสอบของวงจรกรองความถี่ที่ได้จากการคำนวณแบบเดซิเบล	67
รูปที่ 4.22 การเลือกรายการกวาดหาค่าอิมพีแดนซ์	68
รูปที่ 4.23 การเลือกรายการหาค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณ	69

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในยุคเริ่มแรกของระบบเครื่องมือวัดทดสอบนั้น จะเป็นระบบที่มีการแยกชุดทดสอบ ออกเป็นส่วนๆ ซึ่งต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เป็นจำนวนมาก เช่น มัลติมิเตอร์ (Multimeter), เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal generator), ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) , เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ (Spectrum analyzer) เป็นต้น ซึ่งจะเป็นระบบที่ยุ่งยาก และซับซ้อน เป็นอุปสรรคในการจัดหาเครื่องมือวัดทดสอบ เพราะมีราคาสูง คั้งนั้นในปัจจุบันนี้ ได้มีการ พัฒนาการใช้เครื่องมือวัดทดสอบ ที่มีพื้นฐานมาจากเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล หรือพีซี (Personal Computer : PC) เพราะให้ความสะดวกรวดเร็วกับผู้ใช้ เนื่องจากการได้ประโยชน์ จากการที่ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยงาน โดยไม่ก่อให้เกิดความสูญเสียค่าใช้จ่ายในการพัฒนาทาง ด้าน โปรแกรม และไม่เสียเวลามากนัก ซึ่งเครื่องมือเหล่านี้สามารถลดค่าใช้จ่ายในด้านแรงงาน, สามารถเพิ่มผลผลิต และสามารถลดความผิดพลาดในการอ่าน และการวัดที่เกิดขึ้น เนื่องจาก ความผิดพลาดของผู้ใช้ได้ โดยเครื่องมือวัดทดสอบนี้จะใช้ประโยชน์จากความสามารถของ ซอฟต์แวร์ ทำให้สามารถทำหน้าที่ต่างๆ ได้หลากหลาย

โดยทั่วๆ ไปแล้วอุปกรณ์ที่ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ ที่ถูกออกแบบสำหรับการใช้งาน จะถูกต่อเป็นสองลักษณะ คือ ใช้แผ่นการ์ดเสียบลงในช่องที่วางไว้บนแผ่นเมนบอร์ดของ เครื่องคอมพิวเตอร์ กับใช้สายต่อจากพอร์ตส่งสัญญาณข้อมูล จากนั้นอุปกรณ์ภายนอกที่ต่อ อยู่จะถูกควบคุมโดยซอฟต์แวร์ ที่ถูกสั่งการทำงานมาจากเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งประโยชน์ และเทคโนโลยีอันทันสมัยที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ได้เกิดเป็นแรงจูงใจ และเกิดความร่วมมือกัน ในกลุ่มโครงการเพื่อที่จะศึกษาเทคโนโลยีเหล่านั้น แล้วนำมาประยุกต์เพื่อที่จะได้เป็น ประโยชน์ในการศึกษา และการใช้งานในการวัด และทดสอบ เป็นการช่วยให้สามารถ ประหยัดค่าใช้จ่าย ในการสั่งซื้อเครื่องมือวัด และทดสอบมาจากต่างประเทศ เพราะอุปกรณ์ เหล่านี้มีราคาสูงมาก ซึ่งทำให้ผู้ใช้ไม่สามารถซื้อมาใช้กันอย่างทั่วไปได้

จากแรงจูงใจ และความร่วมมือกันก่อให้เกิดความคิดว่า ในการทดสอบวงจรขยาย สัญญาณ หรือวงจรกรองความถี่ชนิดต่างๆ ในย่านความถี่เสียง ใช้เวลาในการทดสอบวงจรมาก

และต้องมีการปรับแต่งเครื่องมือวัดให้เหมาะสมกับวงจรที่ต้องการทดสอบ เพื่อที่จะสามารถอ่านค่าที่วัดออกมาได้ถูกต้อง และมีความชัดเจนที่สุด จากหลักการ และทฤษฎีของเครื่องมือวัด จึงได้ประยุกต์สร้างเป็น ชุดเครื่องมือวัด และทดสอบที่ใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุม ซึ่งมีชื่อเรียกว่า เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง (AF Circuit Characteristics Analyzer) เพื่อใช้ทดสอบวงจร และเพื่อเพิ่มความสะดวก และมีประสิทธิภาพในการทดสอบ และเพื่อใช้เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัด ว่าเป็นไปตามทฤษฎี หรือมีข้อแตกต่างกันอย่างไรบ้าง

1.2 ซีดความสามารถของโครงการ

1. สามารถวัดหาการตอบสนองความถี่ของวงจรต่างๆ ในย่านความถี่เสียงได้
2. สามารถคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การผิดเพี้ยนของสัญญาณได้
3. สามารถบันทึกข้อมูลลงบนแผ่นงานแม่เหล็กได้ เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ในภายหลัง และสามารถเปิดข้อมูลเก่าที่บันทึกไว้ได้
4. สามารถแสดงผลการวัด ออกทางจอภาพของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ และแสดงผลออกทางเครื่องพิมพ์ได้
5. มีความผิดพลาดในการวัด ± 5 เปอร์เซ็นต์
6. สามารถหาค่า อินพุตอิมพีแดนซ์ และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจรได้

1.3 เนื้อหาโดยสังเขปของปฏิญานิพนธ์

ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและรายละเอียดเกี่ยวกับเทคนิคต่างๆ ในการสร้าง เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง ซึ่งได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ซึ่งในแต่ละบทมีเนื้อหาต่างๆ ดังนี้

บทที่ 2 เป็นรายละเอียดเกี่ยวกับทฤษฎี และหลักการทำงานของเครื่องมือวัดชนิดต่างๆ, การแปลงรูปสัญญาณ, การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล, การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก, การใช้งานไอซีแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก เบอร์ AD7521, การวัดค่าอาร์เอ็มเอส, การใช้งานไอซีเบอร์ AD636JH, การทดสอบอุปกรณ์ในย่านความถี่เสียง, การลดทอนสัญญาณ

บทที่ 3 เป็นการออกแบบวงจร, การสร้าง และการทำงาน โดยแบ่งออกเป็น การออกแบบวงจร และการออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงาน ในการออกแบบวงจรมานั้น จะกล่าวถึงการออกแบบวงจรต่างๆ ที่ใช้ในเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง และคำอธิบายการทำงานของแต่ละวงจร ส่วนการออกแบบโปรแกรมนั้น จะกล่าวถึงผังโปรแกรม และการออกแบบโปรแกรมในแต่ละโหมคการทำงาน ของเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง

บทที่ 4 เป็นการทดลอง, ผลการทดลอง และการทดสอบ โดยนำวงจรที่ออกแบบไว้แล้วในบทที่ 3 มาทำการทดลองว่าเป็นไปตามแนวทางที่ต้องการหรือไม่ โดยกล่าวถึงผลการทดลอง และการทดสอบ เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจร ในย่านความถี่เสียง และสรุปผลการทดลอง

บทที่ 5 เป็นบทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนาโครงการ โดยกล่าวถึงปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางในการแก้ไข ตลอดจนแนวทางในการพัฒนา เครื่องวิเคราะห์ คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง

ในภาคผนวก แสดงรายละเอียดของโปรแกรม และรายการอุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนสิ่งที่เป็นประโยชน์ที่ใช้จัดทำโครงการ แบ่งออกเป็น 6 ภาคผนวกประกอบด้วย

- | | |
|-----------|--|
| ภาคผนวก ก | ส่วนประกอบเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง |
| ภาคผนวก ข | วงจรสมบูรณ, ลายวงจรพิมพ์ และการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ |
| ภาคผนวก ค | รายการอุปกรณ์ |
| ภาคผนวก ง | โปรแกรมควบคุมการทำงาน |
| ภาคผนวก จ | คู่มือการใช้งาน |
| ภาคผนวก ฉ | รายละเอียดเกี่ยวกับคุณลักษณะของอุปกรณ์ |
| ภาคผนวก ช | ผลการทดลองเปรียบเทียบการใช้งาน |

บทที่ 2

ทฤษฎี และหลักการ

2.1 หลักการพื้นฐานของเครื่องมือวัด และทดสอบ

2.1.1 ความผิดพลาดในการวัด

ในการวัดค่าต่างๆ จะต้องจำกัดความผิดพลาดในการวัดให้มีค่าน้อยที่สุด จึงจำเป็นต้องทราบถึงโอกาสการเกิดความผิดพลาดของการวัด ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น

1. ความผิดพลาดจากระบบ

ความผิดพลาดจากระบบ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับคุณภาพการทำงานของอุปกรณ์วัด นั่นคือ ผลจากการขาดความแม่นยำในขณะออกแบบ การสร้าง ตลอดจนขั้นตอนประกอบ และปรับแต่งขั้นสุดท้าย หากระมัดระวังในเรื่องเหล่านี้ ความผิดพลาดก็จะน้อยลง

2. ความผิดพลาดจากสภาวะแวดล้อม

เป็นผลจากการวัด ณ ตำแหน่งที่ต่างๆ บนโลก ผลจากอุณหภูมิความชื้น สภาพสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จุดที่พบบ่อยที่สุด คือ สนามแม่เหล็กรอบๆ หม้อแปลงไฟฟ้า บางกรณีสนามแม่เหล็กโลกเอง ก็ก่อให้เกิดความผิดพลาดในการวัดขึ้น เช่น ถ้าอิเล็กทรอนิกส์ในออสซิลโลสโคป อาจเบี่ยงเบนได้จากสนามแม่เหล็กโลกจึงต้องมีการเพิ่มปุ่มควบคุม เพื่อแก้การเบี่ยงเบนของลำอิเล็กทรอนิกส์

3. ความผิดพลาดจากมนุษย์

เกิดจากผู้ใช้อย่างไม่เข้าใจแจ่มชัด ถึงวิธีการใช้เครื่องมือวัดดังกล่าว เช่น การไม่ทราบค่าความต้านทานอินพุต ในขณะที่ทำการตรวจวัดแรงดัน ทำให้ค่าที่อ่านได้ไม่ถูกต้อง

4. ความผิดพลาดจากการใช้งาน

มักเกิดจากการนำอุปกรณ์วัดนั้นไปใช้งานผิดประเภท หรือผิดวัตถุประสงค์ เช่น การใช้อุปกรณ์วัดที่มีค่าความต้านทานภายในพอๆ กับค่าความต้านทานภายในของวงจรที่จะวัด

5. ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในเชิงปฏิบัติ

อุปกรณ์ตรวจวัดส่วนมาก จะอาศัยหลักการทำงานเชิงแอนะล็อก และใช้หน้าปัดเป็นมิเตอร์แบบเข็มชี้ ซึ่งก็ขยันนับว่าใช้งานได้ดีมาก แต่ก็สามารถทำให้เกิดการผิดพลาดได้สังเกตว่ามัลติมิเตอร์ทั่วๆ ไป จะมีความแม่นยำต่างกัน ในระหว่างการวัดเชิงไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับไฟฟ้ากระแสสลับ ปัญหาจะอยู่ในช่วงต่ำๆ ของย่านการวัด และความผิดพลาดจะน้อยลงมากเมื่อวัดอยู่ในช่วงสูงๆ ของย่านการวัดนั้น ในการวัดจึงควรเลือกช่วงการวัดให้เหมาะสม

2.1.2 การเลือกช่วงการวัดให้เหมาะสม

สิ่งสำคัญของการเลือกช่วงการวัด คือ ต้องเลือกช่วงการวัดให้เหมาะสมกับค่าที่จะวัด ซึ่งหากทราบล่วงหน้า ก็สามารถหาอุปกรณ์วัดที่เหมาะสมมาใช้ในการวัดได้

2.1.3 อุปกรณ์วัดแบบดิจิตอล

ในการวัดเชิงดิจิตอล ความแม่นยำของการวัดจะเทียบกับค่าที่อ่านได้ นอกจากนี้โดยผลจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล จึงต้องคำนึงถึงบิตเล็กสุดด้วยว่ามีความแม่นยำเพียงใด ปกติแล้วความละเอียดของตัวเลขที่อ่านได้คือผิดพลาดไม่เกิน ± 1 หน่วยการวัด ในขณะที่ความแม่นยำของการวัดอาจมากถึง ± 2 หน่วยการวัด

กล่าวโดยสรุป ความแม่นยำของดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ ทั่วๆ ไปจะเป็นดังนี้

1. ในกรณีวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
 - 0.1 เปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าที่อ่านได้ ± 1 หน่วยการวัด
2. ในกรณีวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
 - 2 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับค่าที่อ่านได้ ± 7 หน่วยการวัด
3. ในกรณีวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรง
 - 0.35 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับค่าที่อ่านได้ ± 1 หน่วยการวัด
4. ในกรณีวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับ
 - 0.9 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับค่าที่อ่านได้ ± 3 หน่วยการวัด

2.1.4 ค่าที่จะวัด และอุปกรณ์การวัด

ค่าที่จะวัดอาจอยู่ในรูปของรูปคลื่นต่างๆ เหตุนี้จึงต้องมีอุปกรณ์วัดหลายๆ ชนิดตลอดจนวิธีการต่างๆ ในการวัด ซึ่งก็อาจให้ค่าแตกต่างกันไปด้วยแม้กับรูปคลื่นแบบเดียวกัน หากทราบถึงหลักการวัดที่ใช้ก็จะบอกถึงความหมายของค่าที่อ่านได้ เช่น มาตรการวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่ ที่ปราศจากวงจรเรกติไฟเออร์ จะให้ค่าวัดเป็นค่าเฉลี่ยเชิงคณิตศาสตร์ (Arithmetic mean) หากนำมาตราวัดนี้ไปใช้งานวัดรูปคลื่นแรงดันสัญญาณต่างๆ ผลการวัดจะแสดงเพียงองค์ประกอบเชิงไฟฟ้ากระแสตรงของค่าที่วัด นอกจากนี้หากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนมากับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนั้นมีค่าสูง ก็อาจทำให้มิเตอร์เกิดโอเวอร์โวลด์ แม้ว่าจะอ่านค่าไม่ได้ก็ตาม

ในการวัดแรงดัน หรือกระแสของไฟฟ้ากระแสสลับ ด้วยมาตรวัด แบบขดลวดเคลื่อนที่ จำเป็นต้องต่อชุดเรกติไฟร์อย่างอนุกรมกับมาตรวัด ซึ่งเป็นกรณีที่เกิดขึ้นเมื่อตั้งย่านการวัดแบบ AC แก่มาตรวัด ทำให้เข็มชี้ตามค่าไฟฟ้ากระแสตรงเฉลี่ยของค่าที่ผ่านการเรกติไฟร์แล้ว ค่าเฉลี่ยเชิงคณิตศาสตร์ ของการเรกติไฟร์แก่แรงดันรูปคลื่นไซน์ (V_a) คือ $0.318 V_{rms}$ ซึ่งก็คือค่าที่เข็มชี้แสดง สังเกตว่าค่าที่อ่านได้จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าอาร์เอ็มเอส (Root mean square : RMS) ของแรงดันไฟฟ้าสลับ ทำให้มาตรวัดอ่านค่าไฟฟ้ากระแสสลับได้ โดยปรับย่านเป็นค่าอาร์เอ็มเอสได้ แต่ย่านจะอ่านถูกต้องได้ในกรณีของรูปคลื่นไซน์เท่านั้น หากเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์จะต้องคูณด้วย 0.89 จึงบอกเป็นค่าอาร์เอ็มเอสได้ ส่วนในกรณีของรูปคลื่นสามเหลี่ยมค่าแท้จริงจะเป็น 0.36 เปอร์เซนต์ของค่าที่เข็มชี้แสดงเท่านั้น

อีกองค์ประกอบหนึ่ง ที่ควรคำนึงถึงนอกเหนือจากการวัดรูปคลื่น คือ ความถี่คิตจิตอล โวลต์มิเตอร์ ส่วนมากวัดปริมาณไฟฟ้ากระแสสลับได้ถูกต้องเพียงกรณีปริมาณไฟฟ้ากระแสสลับที่จะวัด มีความถี่ต่ำกว่า 400 เฮิร์ตซ์ ในขณะที่การใช้แอนะล็อกมิเตอร์ในระดับราคาเท่าๆ กัน จะอ่านค่าได้แม่นยำจนถึงย่านความถี่ช่วงหลายกิโลเฮิร์ตซ์

อาจทำการวัดค่าอาร์เอ็มเอสจากอุปกรณ์วัดไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยเพิ่มเติมวงจรพิเศษ เพื่อจะทำการคำนวณค่าอาร์เอ็มเอส จากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขาเข้าแล้วแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้อ่านได้ วงจรเหล่านี้มักใช้อุปกรณ์ไอซีต่างๆ

ในกรณีทำการวัดด้วยออสซิลโลสโคป จะคล่องตัวในการอ่านค่าต่างๆ เช่น ค่าสูงสุด ได้รวดเร็ว อย่างไรก็ดี การหาค่าอาร์เอ็มเอสก็ยังคงต้องอาศัยหลักการคำนวณอยู่

2.1.5 การวัดค่าแรงดัน

ในการวัดค่าแรงดันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. การวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

แท้จริงแล้วการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง มิได้ใช้งานง่าย ๆ ดังที่คาดคิดกัน โดยเฉพาะในกรณีมีค่าแรงดันต่ำมากจนไปปะปนกับสัญญาณรบกวน ซึ่งกรณีเช่นนี้ จำเป็นต้องใช้ อุปกรณ์วัดเฉพาะ และเทคนิคพิเศษในการวัด ในขณะที่แรงดันสูงมากๆ จำเป็นต้องมีการแบ่งผ่านแรงดันภายนอก (Prescaler) เช่น การใช้ตัวเก็บประจุมาแบ่งผ่านแรงดัน แต่ทั้งนี้ต้องระวังอันตรายจากการเข้าใกล้แหล่งไฟฟ้าแรงสูง ตลอดจนการคำนึงถึงค่าความต้านทานภายในของ อุปกรณ์วัด

โวลต์มิเตอร์ในทางทฤษฎีจะมีค่าความต้านทานภายในสูงมากจนนับค่าไม่ได้ (Infinite) แต่ในทางความเป็นจริงย่อมเป็นไปได้ นอกจากนี้อุปกรณ์วัดที่มีความต้านทานภายในสูงมากเกินไป จะก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนตัวมันเองทำให้ผลการวัดผิดพลาด โดยเหตุนี้ในทางปฏิบัติ ค่าความต้านทานภายในของอุปกรณ์วัด จะต้องมากกว่าความต้านทานคร่อมจุดที่จะตรวจวัดแรงดัน แต่ไม่จำเป็นต้องสูงมากเกินไป

ด้วยเหตุนี้จึงมีโวลต์มิเตอร์อยู่ 2 แบบ แบบแรกจะมีค่าความต้านทานภายในขึ้นกับช่วงการวัดที่ใช้ ในขณะที่อีกแบบจะมีค่าความต้านทานภายในคงที่ (โดยปกติอยู่ในช่วง 1 เมกะโอห์ม ถึง 10 เมกะโอห์ม) โดยแบบแรกจะพบในมัลติมิเตอร์ราคาถูก

2. การวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

อุปกรณ์วัดส่วนมาก มีค่าความต้านทานภายในในช่วงการวัดไฟฟ้ากระแสตรงเท่ากับ $20 \text{ k}\Omega/\text{V}$ ในขณะที่การวัดไฟฟ้ากระแสสลับจะลดลงเหลือ $5 \text{ k}\Omega/\text{V}$ ทั้งนี้เพราะ การวัดไฟฟ้ากระแสสลับด้วยมิเตอร์เข็มแบบขดลวดเคลื่อนที่นั้น จำเป็นต้องผ่านวงจรเรกติไฟเออร์ ซึ่งเป็นวงจรประกอบด้วยไดโอด โดยตัวไดโอดนั้นจะมีแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงพอสมควร ทำให้ไม่อาจวัดแรงดันช่วงน้อยๆ ได้

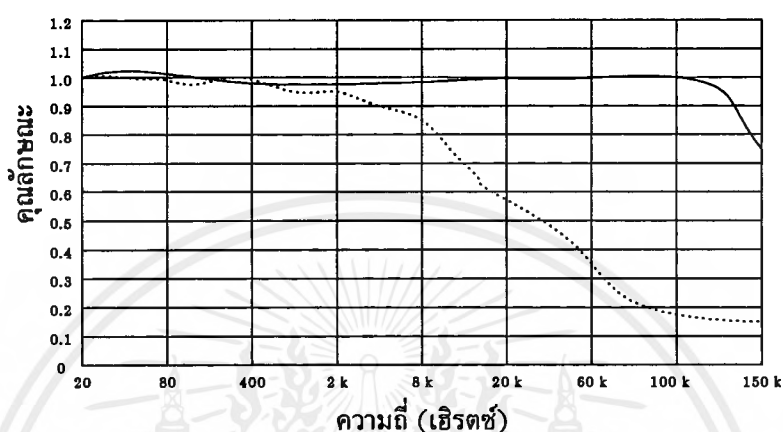
ในการแก้ปัญหาแรงดันคร่อมไดโอด (Threshold voltage) จึงใช้อุปกรณ์ไดโอด เป็นเพียงส่วนหนึ่งของวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ โดยทำงานร่วมกับความต้านทาน การจัดรูปแบบวงจรเช่นนี้ ทำให้มีกระแสไหลผ่านความต้านทาน จึงไปลดค่าความต้านทานภายในและความไวจึงลดลง แต่หากอุปกรณ์วัดนั้นมีวงจรขยายทางอินพุต ปัญหานี้จะลดลง เพราะภาคขยายอินพุตจะแบ่งแยกมิเตอร์ออกจากค่าที่วัด

ยังมีอีก 2 ปัญหาในการวัดไฟฟ้ากระแสสลับได้แก่

1. จะอ่านค่าเป็น RMS ได้ถูกต้อง เฉพาะเมื่อแรงดันนั้นเป็นรูปไซน์บริสุทธิ์
2. อุปกรณ์วัดอาจทำงานผิดพลาดเมื่อใช้งานที่ความถี่สูงๆ

ปัญหาแรกยังไม่ถึงกับผิดพลาดมาก เมื่อใช้กับมิเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่ เนื่องจากค่าเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ของแรงดัน ที่ผ่านวงจรเรกติไฟเออร์นั้น มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าที่แสดง ปัญหาที่สองก็ไม่ยุ่งยากหากใช้แอนะล็อกมิเตอร์ ทั้งนี้เพราะมันมีช่วงความถี่ใช้งานสูงกว่าดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ กล่าวคือ ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ส่วนมาก มีช่วงความถี่สูงสุดเพียง 400 เฮิร์ตซ์ การวัดสัญญาณเสียงจึงเป็นปัญหา จะเห็นว่าดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ราคาถูกทุกๆ ไป จะไม่มีการบอกค่าความถี่ใช้งานให้ทราบทั้งๆ ที่มีความหมายต่อผลการวัด

ในรูปที่ 2.1 แสดงถึงสเปกการทำงานของดิจิทัลโวลต์มิเตอร์สองตัว ที่มีช่วงความถี่ใช้งานต่างกัน ตัวแรกทำงานได้สูงถึง 100 กิโลเฮิรตซ์ ในขณะที่อีกตัวใช้งานในย่านความถี่ต่ำกว่า 1 กิโลเฮิรตซ์



รูปที่ 2.1 คุณสมบัติการทำงานของดิจิทัลโวลต์มิเตอร์สองตัวเปรียบเทียบกัน

2.1.6 อุปกรณ์วัดที่มีภาคอินพุตเป็นวงจรถยาย

อุปกรณ์วัดที่มีอินพุตเป็นวงจรถยายนั้น โดยทั่วไปจะมีค่าความต้านทานอินพุตสูงอย่างน้อย 1 เมกะโอห์มขึ้นไป และมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับช่วงการวัด จึงเหมาะแก่การวัดในวงจรที่มีค่าความต้านทานสูง อย่างไรก็ตามก็ยังมีขีดจำกัดการใช้งานอยู่ดี เช่น วงจรที่ใช้เฟดแมกมีข้อผิดพลาดในการวัด แม้จะมีค่าความต้านทานภายในสูงถึง 1 เมกะโอห์ม

สำหรับดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ มีค่าความต้านทานทางอินพุตสูง (ไม่เกิน 10 เมกะโอห์ม) อย่างไรก็ตาม ความแม่นยำจะขึ้นกับการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital converter) ด้วย โดยเหตุนี้ตัวเลขหลักสุดท้ายในดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ จึงมีความไม่แน่นอนอย่างน้อย ± 1 หน่วยการวัด

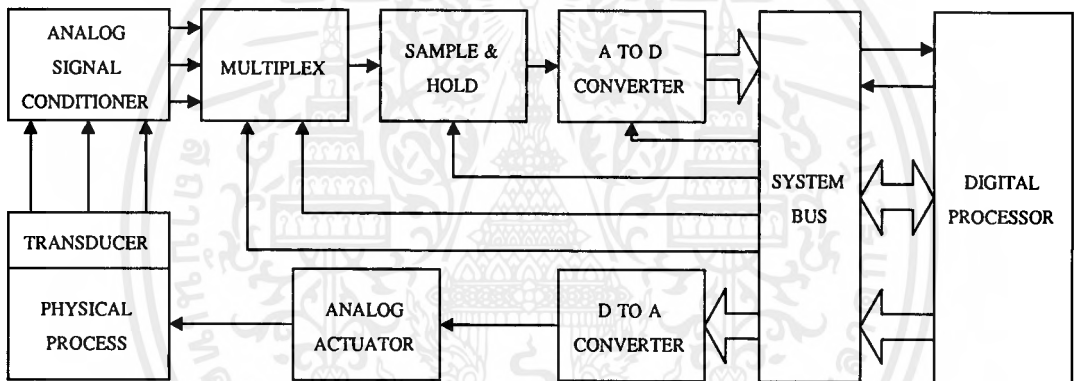
2.2 ทฤษฎีการแปลงสัญญาณ (Data Acquisition and Conversion)

รูปแบบของสัญญาณไฟฟ้า ที่เรากันเคยกันตั้งแต่ดั้งเดิมนั้น โดยมากมักจะอยู่ในรูปของสัญญาณแอนะล็อก แต่เดิมนั้นการที่จะนำเอาสัญญาณไฟฟ้ามาประมวลผล เพื่อให้เกิดรูปแบบที่ต้องการ กระทำได้โดยใช้อุปกรณ์ทางแอนะล็อกนั่นเอง แต่ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในช่องทางใดๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดิจิทัลได้ก้าวหน้าไปมาก ทำให้การประมวลผลสัญญาณทางดิจิทัล สามารถทำได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ และความเชื่อถือ

ดังนั้น ในการเปลี่ยนรูปแบบของสัญญาณ จึงได้มีความจำเป็นเกิดขึ้น จากสัญญาณแอนะล็อก ที่มีอยู่แล้ว ได้ถูกเปลี่ยนแปลงให้เป็นสัญญาณทางดิจิทัล โดยอุปกรณ์การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก และจะถูกประมวลผลโดยตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล เช่น คอมพิวเตอร์ เป็นต้น จากผลลัพธ์ที่ได้ อาจถูกนำมาแสดงผลโดยตรงเลย หรืออาจถูกเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณแอนะล็อกที่ใช้งานได้ การที่จะเปลี่ยนแปลงสัญญาณดิจิทัลกลับไปเป็นแอนะล็อก สามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก สำหรับระบบที่มีการประมวลผลข้อมูลทางดิจิทัล แสดงดังรูปที่ 2.2



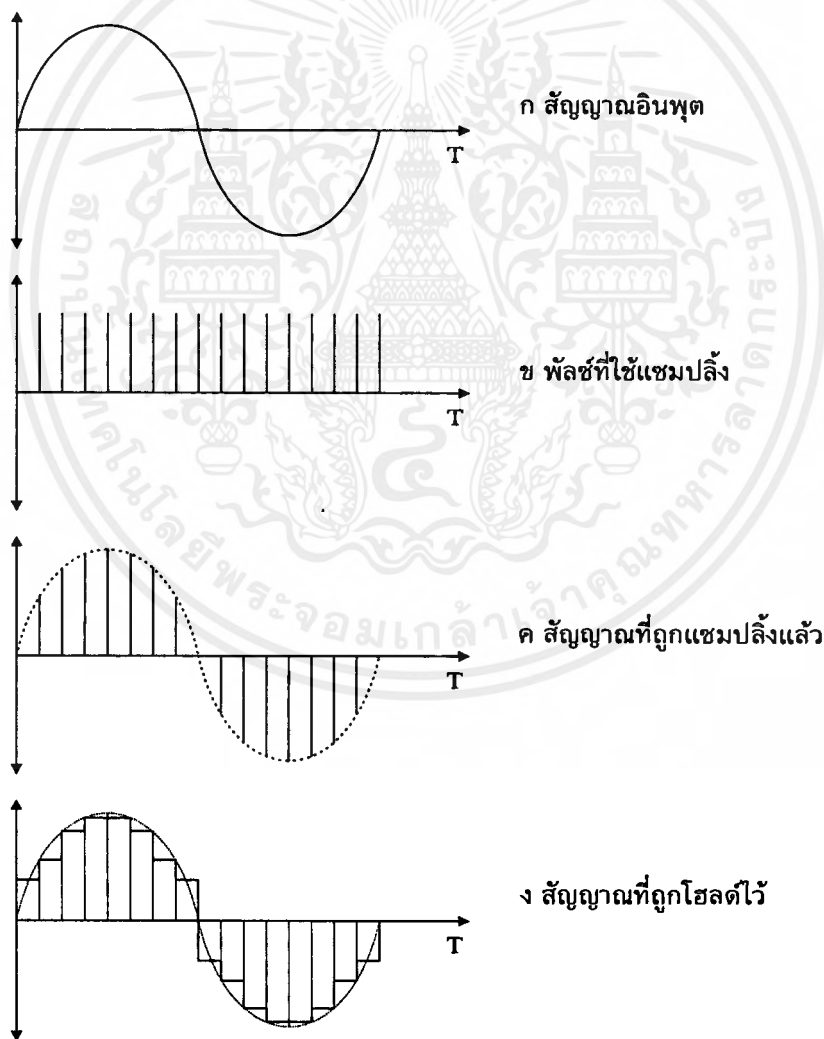
รูปที่ 2.2 ระบบที่มีการประมวลผลข้อมูลทางดิจิทัล

จากรูป สามารถอธิบายได้ คือ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในลักษณะใดๆ ก็ตาม (Physical Process) เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความเร็ว จะถูกเปลี่ยนให้มาเป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบแอนะล็อก โดยตัวแปลงที่มีรูปแบบเหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพนั้นสัญญาณทางไฟฟ้าก็จะถูกปรับให้อยู่ในรูปแบบ และขนาดที่เหมาะสมก่อนโดย Analog Signal Conditioner เช่น วงจรขยาย หรือวงจรกรองสัญญาณ เป็นต้น ในระบบข้อมูลที่ต้องการประมวลผลหลายข้อมูลในเวลาเดียวกัน แต่เนื่องจากเหตุที่ทำงานได้เร็วจึงไม่จำเป็นต้องใช้วงจรเหตุที่หลากหลาย ตัว แต่จะใช้วิธีแบ่งเวลา (Time sharing) โดยใช้วิธี Multiplexing วงจรแซมปลิงแอนด์โฮลด์ จะสุ่มขนาดของสัญญาณแอนะล็อกมา โดยจะทำการโฮลด์สัญญาณนั้นไว้ชั่วคราวเพื่อไม่ต้องใช้วงจรเหตุ จากนั้นข้อมูลดิจิทัลจะถูกส่งต่อไปยังบัสของระบบ ซึ่งตัวโปรเซสเซอร์จะทำการ

ประมวลผลข้อมูล แล้วเปลี่ยนข้อมูลผลลัพธ์กลับมา เพื่อควบคุมกิจกรรมทางกายภาพของระบบ โดยผ่านตัวกระทำทางกล (Analog actuator)

2.2.1 ทฤษฎีของการสุ่มข้อมูล

ในการสุ่มข้อมูลนั้นสัญญาณแอนะล็อกจะถูกสุ่มเป็นระยะคงที่ กลุ่มของสัญญาณที่สุ่มจะแทนด้วยความเร็วสูง ซึ่งเกิดจากการตัดต่อสัญญาณแอนะล็อกด้วยระยะเวลาอันสั้น ผลของการสุ่มด้วยความเร็ว จะเหมือนกับการคูณขบวนสัญญาณพัลส์กับสัญญาณแอนะล็อก ซึ่งจะได้สัญญาณที่มอดูเลต (Modulate) ระหว่างขบวนพัลส์กับสัญญาณแอนะล็อก ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และถ้าหากมีการ โฮลดสัญญาณที่สุ่มได้เอาไว้ เราจะได้สัญญาณดังรูปที่ 2.3



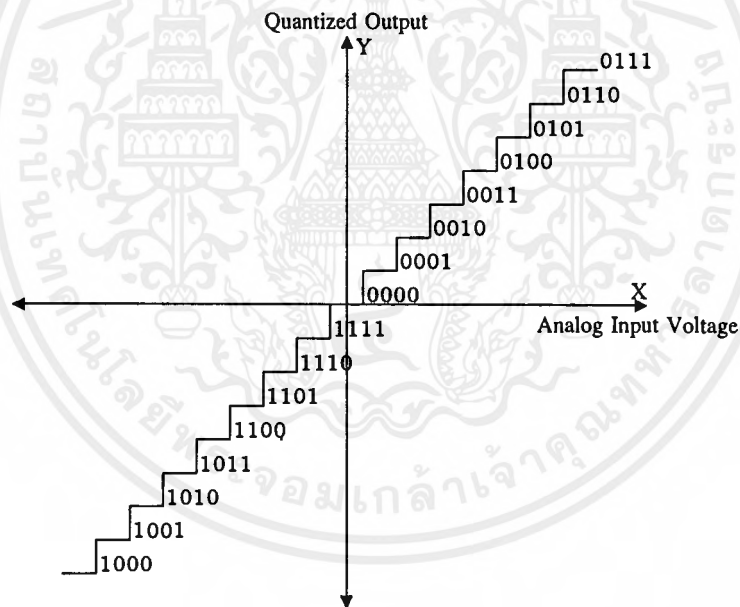
รูปที่ 2.3 การสุ่มตัวอย่างข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการสุ่มสัญญาณ หรือความถี่ของการสุ่มสัญญาณ ควรจะมีค่าเท่าใด ที่ข้อมูลที่สุ่มได้นี้จะเป็นตัวแทนที่ดีของสัญญาณต่อเนื่องนั้น ขึ้นอยู่กับความถี่สัญญาณแวนะลอกและจากทฤษฎีของการสุ่ม (Nyquist theorem) กล่าวไว้ว่า ถ้าสัญญาณต่อเนื่องที่มีความถี่ฮาร์มอนิก (Harmonic frequency) ไม่เกิน f แล้วสัญญาณดังกล่าวจะสามารถเปลี่ยนกลับมาเช่นเดิม โดยไม่สูญเสียรายละเอียดหรือผิดเพี้ยนไป ถ้าอัตราการสุ่มมากกว่า $2f$

2.2.2 ทฤษฎีการควันไทซ์ (Quantizing theorem)

การควันไทซ์ เป็นขบวนการที่แปลงสัญญาณแวนะลอกให้เป็นข้อมูลทางดิจิทัลที่เป็นสัดส่วนกับสัญญาณแวนะลอก เช่น อยู่ในรูปของรหัสไบนารี เป็นต้น หากนำเอาเอาต์พุตที่ได้จากการควันไทซ์ และขนาดของสัญญาณแวนะลอกมาเขียนเป็นกราฟจะได้รูปกราฟควันไทซ์ทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน (Quantized Transfer Function) ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของการควันไทซ์ 4 บิต

จุดสำคัญของการควันไทซ์นั้นได้แก่ รีโซลูชัน (Resolution) ของตัวควันไทซ์ ซึ่งจะสามารถกำหนดได้จากจำนวนบิตของเอาต์พุตรหัสดิจิทัล หรือจากกราฟรูปที่ 2.4 ก็คือส่วนกลับของความกว้างของขั้นบันไดทางแกนอนนั้นเอง

ค่าความกว้างของขั้นบันไดนี้จะสามารถคำนวณได้จาก

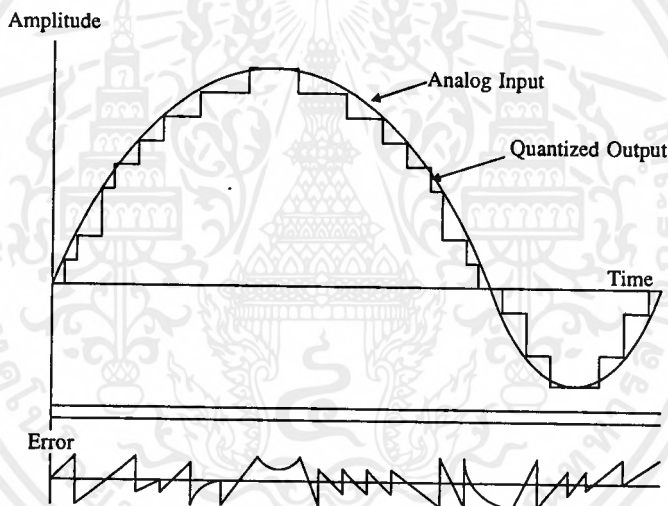
$$Q = \text{FSR}/2^n \quad (2.1)$$

โดยที่ Q = ค่าความกว้างของขั้นบันไดทางแกนนอน

FSR = ช่วงเต็มย่านของสัญญาณแอนะล็อก (Full Scale Range)

n = จำนวนบิตของรหัสดิจิทัล

จากสมการที่ (2.1) จะเห็นว่า เมื่อจำนวนบิตมากขึ้น ขนาดของ Q ก็จะลดลง และถ้าเรานำสัญญาณแอนะล็อกใด ๆ มาทำการควันไทซ์จะเห็นว่า เมื่อนำเอาผลที่ได้จากการควันไทซ์มาเปรียบเทียบกับสัญญาณแอนะล็อกนั้นแล้ว ก็จะพบว่าการผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งเรียกว่า ความผิดพลาดควันไทซ์ (Quantizing Error) ดังแสดงในรูปที่ 2.5

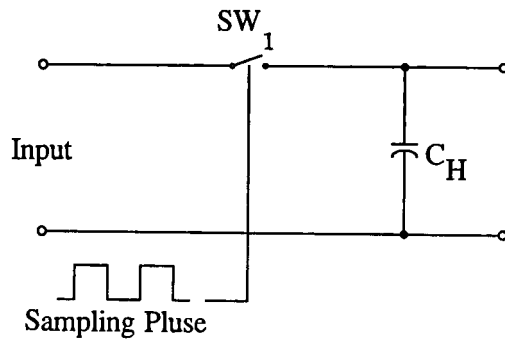


รูปที่ 2.5 ความผิดพลาดควันไทซ์

ความผิดพลาดนี้เป็นธรรมชาติของการควันไทซ์ ซึ่งจะทำให้แก้ไขไม่ได้ แต่จะลดค่าความผิดพลาดนี้ได้ โดยการเพิ่มจำนวนบิตของการควันไทซ์ ค่าความผิดพลาดนี้เองที่จะเป็นตัวกำหนดความแม่นยำในการใช้งาน DSP (Digital Signal Processing)

2.2.3 วงจรแซมปลิงแอนด์โฮลด์

วงจรแซมปลิงแอนด์โฮลด์ โดยพื้นฐานแล้วเป็นวงจร หรืออุปกรณ์เก็บแรงดัน (Voltage memory) ซึ่งใช้อุปกรณ์ที่สำคัญ คือ ตัวเก็บประจุดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 วงจรพื้นฐานของการแซมปลิงแอนด์โฮลด์

อิเล็กทรอนิกส์สวิตช์จะต่อสัญญาณแรงดันเข้ากับตัวเก็บประจุ ซึ่งสวิตช์จะถูกควบคุมจากการสุ่มสัญญาณพัลส์ ช่วงเวลาการตัดสวิตช์ และเวลาในการประจุแรงดันถึงค่าที่สุ่มมานั้น จะเรียกว่า อเพอร์เจอร์ไทม์ (Aperture time) ของแซมปลิงแอนด์โฮลด์

2.3 การเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D Converter)

วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital converter) ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีหลายแบบคือ

2.3.1 แบบใช้วงจรเปรียบเทียบขนานหรือแบบแฟลช

วงจรเอทูดิแบบนี้ใช้หลักการง่าย ๆ อีกทั้งยังเป็นวิธีที่เร็วที่สุด คือ ใช้วงจรเปรียบเทียบที่ต่อขนานกัน ประกอบด้วยออปแอมป์ที่ต่อเป็นวงจรเปรียบเทียบ และตัวต้านทานต่อไว้เพื่อแบ่งแรงดันที่ขาอินพุตแบบกลับเฟส ให้มีขนาดต่างๆ กันจากหลักการของ วงจรเปรียบเทียบทั่วๆ ไป เมื่อแรงดันอินพุตที่ขาอินพุตแบบไม่กลับเฟส มีค่าสูงกว่าที่ขาอินพุตแบบกลับเฟส เอาต์พุตจะได้แรงดันค่าสูง

เมื่อต้องการวงจรที่มีความละเอียดสูงขึ้น จำเป็นต้องใช้วงจรเปรียบเทียบเพิ่มขึ้น เช่น ถ้าต้องการความละเอียด 3 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบ 7 ตัว (8 ระดับ) ความละเอียด 4 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบ 15 ตัว (16 ระดับ) โดยหาวงจรเปรียบเทียบได้จาก $2^N - 1$ เมื่อ N แทนจำนวนบิต หรือความละเอียดที่ต้องการจะเห็นได้ว่าที่ความละเอียด 8 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบมากถึง 255 ตัว ซึ่งเป็นข้อเสียของวงจรเอทูดิแบบนี้ ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือ เอาต์พุตที่ไม่ได้เป็นฐานสองต้องมีวงจรเพิ่มเติมไปทำการเข้ารหัส

ข้อดีของวงจรเอทูดิแบบขนาน คือ ความเร็วสูงมาก บางครั้งจึงเรียกววงจรเอทูดิแบบนี้ว่าแบบแฟลช (Flash type A/D converter) วงจรเอทูดิชนิดนี้ใช้เวลาในการแปลงได้เร็วระดับนาโนวินาที

2.3.2 วงจรเอทูดิที่ใช้ในการอินทีเกรต

วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ที่ใช้เทคนิคการอินทีเกรตสัญญาณมี 4 แบบคือ

1. แบบสโลปเดียวหรือแบบแรมปี (Signal ramp หรือ Single slope A/D Converter)

วงจรเอทูดิแบบนี้ประกอบด้วยวงจรกำเนิดแรมปี, วงจรเปรียบเทียบ, วงจรนับ BCD หรือ นับเลขฐานสอง

วงจรเอทูดิแบบนี้เป็นหลักการเบื้องต้นของดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ ซึ่งถ้าใช้วงจรรับเลขฐานสองแทนแบบ BCD เอาต์พุตก็จะอ่านได้ค่าเลขฐานสองโดยตรง วงจรลักษณะนี้มักนำไปใช้งานในการเปลี่ยนเวลา เป็นขนาดของสัญญาณ หรืออาจใช้ในดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ แต่ไม่ใช้กับงานที่ต้องการความถูกต้องสูง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในแหล่งกำเนิดสัญญาณแรมปีขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และผลตอบสนองต่อสัญญาณอินพุต ทำให้ไม่มีความคงที่ ดังนั้น จึงมีการปรับปรุงให้ดีขึ้นกลายเป็นแบบสโลปคู่ (Dual slope)

2. แบบสโลปคู่ (Dual slope A/D Converter)

เอทูดิแบบสโลปคู่ ซึ่งวงจรส่วนใหญ่คล้ายกับแบบสโลปเดียวแต่มีสวิตซ์ที่อินพุตเพิ่มขึ้น เพื่อทำการเลือกกระหว่างแรงดันอินพุตกับแรงดันอ้างอิง (วงจรเปรียบเทียบต่อขาสัญญาณกลับกันกับแบบสโลปเดียว)

ข้อดี ของวงจรเปลี่ยนสัญญาณแบบสโลปคู่ คือ ความถูกต้องสูงราคาถูก เสถียรภาพทางด้านอุณหภูมิ ข้อเสีย คือ ความเร็วต่ำ ในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ 1 ครั้ง อาจใช้เวลาถึง 100 มิลลิวินาที (ในขณะที่แบบ “แฟลช” ใช้เวลาประมาณ 30 มิลลิวินาที)

3. แบบชาร์จบาลานซ์ (Charge Balance A/D Converter)

วงจรเปลี่ยนสัญญาณเอทูดิ แบบ ชาร์จบาลานซ์ใช้วงจรสำคัญคล้ายแบบสโลปคู่แน่นอน แต่แทนที่จะให้อินพุตไปมาระหว่างแรงดันที่ไม่รู้ค่า ก็ทำการแทรกพัลส์ต่อท้ายอ้างอิงมาโดยตรงที่จุ่มรวมของวงจรอินทีเกรต โดยที่จำนวนของพัลส์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันอินพุต ประโยชน์ของเทคนิคนี้ คือ แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุของวงจรอินทีเกรเตอร์ มีค่าใกล้เคียง

0 โวลต์ ดังนั้นจึงเกิดการผิดพลาดผลของกระแสรั่วไหล เอชทูชิชนิดนี้จึงมีความถูกต้องกว่าแบบสโโลปคู่

ข้อสรุปของวงจรเอชทูชิแบบอินทิเกรตสัญญาณ

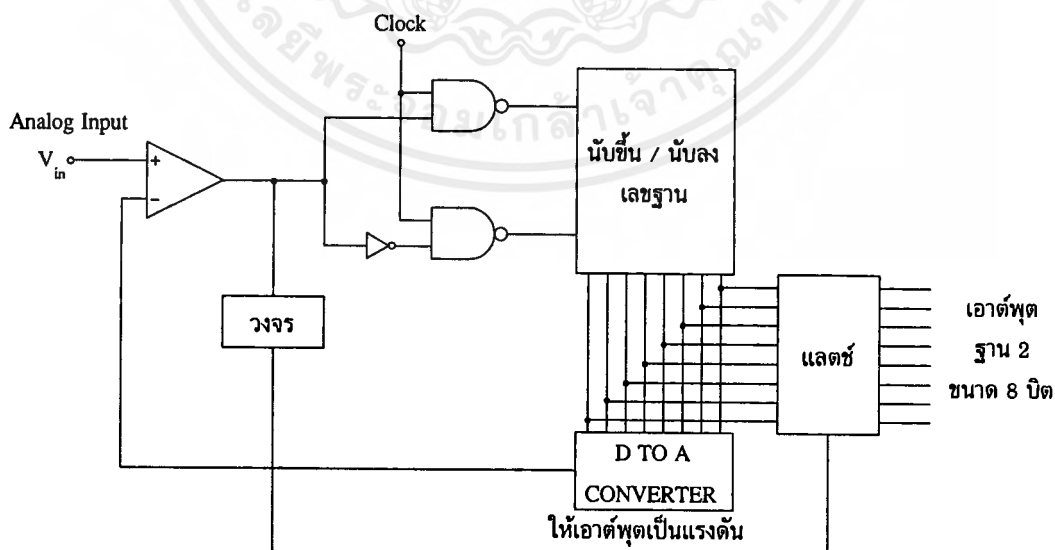
จุดสัญญาณของอินทิเกรตติงเทคนิค คือ อินพุตที่ให้กับวงจรอินทิเกรเตอร์ ต้องเป็นกระแสไอซีคอนเวอร์เตอร์ บางตัวอาจมีอินพุตให้สองขา แต่จะมีขาหนึ่งต่อกับจุด Summing point ใช้กับอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสโดยตรง

ถ้าให้อินพุตเป็นกระแสก็ไม่ต้องคำนึงถึงแรงดันออฟเซตของวงจรอินทิเกรเตอร์ แต่ถ้าใช้กับอินพุตที่เป็นแรงดัน (ที่ต้องมีตัวต้านทานต่ออนุกรมอยู่เพื่อให้ได้เป็นกระแส) ต้องปรับออฟเซตให้กับออปแอมป์เสียก่อน การใช้อินพุตเป็นกระแสที่ทำให้ย่านทางไฟฟ้ากระแสสลับกว้าง

2.3.3 การเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบวงจรนับ และวงจรดีทิวเอประกอบกัน

1. แบบวงจรนับเดียว (Single converter)

แท้ที่จริงแล้วสัญญาณแร่มปีเชิงเส้น (Linear ramp) อาจประกอบขึ้นด้วยสัญญาณขั้นบันไดเล็ก ๆ จำนวนมาก ที่เกิดจากการต่อเอาต์พุตของวงจรนับเข้ากับวงจรดีทิวเอ โดยขนาดของขั้นบันไดแต่ละขั้นขึ้นอยู่กับจำนวนบิต หรือความละเอียดของวงจรดีทิวเอ นั้น ๆ



รูปที่ 2.7 วงจรเอชทูชิแบบวงจรนับเดียวที่สร้างขึ้น โดยวงจรนับขึ้น และวงจรดีทิวเอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 แสดงการกำเนิดสัญญาณแรมปีเกี่ยวข้องกับวงจรมับ และวงจรถูกเอ(แทนวงจรถูกอินทีเกรเตอร์) เมื่อเริ่มแปลงสัญญาณวงจรมับจะถูกรีเซ็ตเอาต์พุตของวงจรถูกเอมีระดับ 0 เมื่อแรงดันถูกป้อนเข้าไปยังอินพุตของวงจรถูกเอเปรียบเทียบกับ เอาต์พุตก็จะขึ้นสู่ระดับ “High” และเปิดสัญญาณนาฬิกาไปสู่วงจรมับ แต่ละพัลส์ของสัญญาณนาฬิกาทำให้เกิดการนับ และเพิ่มแรงดันขึ้น 1 ชั้น

เมื่อเอาต์พุตของวงจรถูกเอมีค่ามากกว่าอินพุต V_{in} เอาต์พุตของวงจรถูกเอเปรียบเทียบกับก็กลายเป็น “Low” ทำให้สัญญาณนาฬิกาไม่อาจผ่านไปยังวงจรมับได้ ดังนั้น วงจรถูกเอจะทำการแลตช์ของวงจรมับ และรีเซ็ตวงจรมับให้เริ่มต้นรอบใหม่อีกครั้งหนึ่ง

2. แบบแบทเทกกิ่ง (Tracking A/D Converter)

การทำงานจะคล้ายกับใช้วงจรมับเดี่ยว แต่การนับจะไม่ได้เริ่มจากศูนย์แต่จะทำการนับขึ้นหรือนับลงจากค่าสุดท้ายไปยังค่าใหม่ แล้วแต่ค่าแรงดันอินพุตในรอบใหม่มีค่าสูงหรือต่ำกว่ารอบที่แล้ว

ข้อดีของเอทูดี้แบบแบทเทกกิ่ง คือ ทำงานได้เร็วขึ้น

2.4 การเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะล็อก (D/A Converter)

การเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะล็อก (D/A Converter) มีวิธีการที่นิยมใช้กัน 2 วิธีด้วยกัน วิธีแรกเรียกว่า แบบ Weighted-Current-Source และวิธีที่ 2 เรียกว่า แบบ R-2R Ladder

2.4.1 แบ่งตามน้ำหนักที่อินพุต (Binary Weighted Resistor Ladder)

ในการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลของเลขไบนารี ให้เป็นแรงดันแอนะล็อกนั้น จะต้องใช้ค่าแรงดันค่าหนึ่งๆ สำหรับหนึ่งบิตของเลขไบนารีที่เข้ามา โดยค่าแรงดันที่ตำแหน่งบิตจะเป็นสัดส่วนกับน้ำหนักไบนารีของบิตนั้นๆ

2.4.2 R-2R แลตเตอร์

ดีทูดี้ชนิดนี้เป็นอีกแบบหนึ่งซึ่งจะแก้ปัญหาในการหาความต้านทาน ซึ่งมีค่าที่แตกต่างกันมากๆ ให้เป็นวงจรถูกเอที่ใช้ค่าความต้านทานต่างกันเพียง 2 ค่าเท่านั้น โดยการต่อวงจรถูกเอที่เรียกว่า R-2R Network หรือ R-2R Ladder สัญญาณอินพุตแต่ละบิตที่ป้อนเข้าวงจรถูกเอจะทำให้เอาต์พุตที่ได้เปลี่ยนแปลงไป

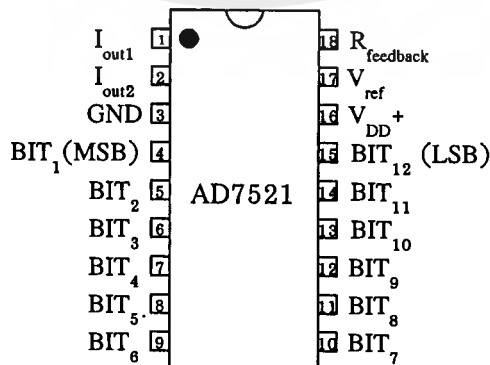
2.5 การใช้งานไอซีแปลงสัญญาณเบอร์ AD7521

2.5.1 คุณสมบัติของไอซีเบอร์ AD7521

1. มีความละเอียดสูงสุด 12 บิต หรือ เท่ากับ $2^{12} = 4096$ ระดับ
2. มีความเป็นเชิงเส้นที่ 8, 9 และ 10 บิต
3. การสูญเสียพลังงานต่ำประมาณ 20 มิลลิวัตต์
4. สามารถกำหนดช่วงเวลากระแสได้ ตั้งแต่ 50 นาโนวินาที ถึง 0.05 เปอร์เซ็นต์ของ ฟูลสเกลเรนจ์ (Full Scale Range : FSR)
5. ใช้แหล่งจ่ายได้ตั้งแต่ +5 โวลต์ ถึง +15 โวลต์
6. มีระบบป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ทางด้านดิจิทัลอินพุต
7. มีความเที่ยงตรงต่อสัญญาณอินพุตที่เป็น Diode-Transistor-Logic (DTL), Transistor-Transistor-Logic (TTL) และ Complementary Metal Oxide Semiconductor for Logic (CMOS)

2.5.2 ทฤษฎีการทำงาน

ไอซีเบอร์ AD7521 เป็นไอซีแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก แบบทวีคูณสัญญาณ มีเสถียรภาพการทำงานที่สูง เพราะภายในเป็นแผ่นฟิล์มตัวต้านทาน ที่ต่อแบบ R-2R แลคเคอร์เน็ตเวอร์ก และใช้มอสเฟตชนิด N (NMOS) ทำเป็นสวิตช์แบบ DPDT (Double Pole Double Throw) หรือที่เราเรียกว่า 2 ขั้ว 2 ทาง ซึ่งเป็นลักษณะมาตรฐานของวงจรคอนเวอร์เตอร์ทั่วไป ลักษณะการจัดขาของ AD7521 แสดงในรูปที่ 2.8 ส่วนคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ AD7521 แสดงดังในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.8 การจัดขาของไอซีเบอร์ AD7521

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของไอซีเบอร์ AD7521

PARAMETER	AD7520 (AD7530)	AD7521 (AD7531)	UNITS	LIMIT	TEST CONDITIONS	FIG.
DC ACCURACY (Note 1)						
Resolution	10	12	Bits			
Nonlinearity	0.2 (8-Bit)		% of FSR	Max	S, T, U: Over -55°C to +125°C	1
	0.1 (9-Bit)		% of FSR	Max		1
	0.05 (10-Bit)		% of FSR	Max	-10 V ≤ V _{REF} ≤ +10 V	1
Nonlinearity Tempco	2		PPM of FSR/°C	Max	-10 V ≤ V _{REF} ≤ +10 V	
Gain Error (Note 2)	0.3		% of FSR	Typ		
Gain Error Tempco (Note 2)	10		PPM of FSR/°C	Max		
Output Leakage Current (either output)	200 (300)		nA	Max	Over the specified temperature range	
Power Supply Reflection	0.005		% of FSR / %	Typ		2
AC ACCURACY						
Output Current Setting Time	500		nS	Typ	To 0.05% of FSR (All digital inputs low to high and high to low)	6
Feedthrough Error	10		mVpp	Max	V _{REF} = 20 Vpp, 100 KHz (50 KHz) All digital inputs low	5
REFERENCE INPUT						
Input Resistance (Note 3)	5K		Ω	Max	All digital inputs high I _{OUT1} at ground	
	10K			Max		
	20K			Max		
ANALOG OUTPUT						
Voltage Compliance (both outputs)	See absolute max. ratings					
Output Capacitance	I _{OUT1} 120		pF	Typ	All digital inputs high	4
	I _{OUT2} 37		pF	Typ		
	I _{OUT1} 37		pF	Typ	All digital inputs low	4
	I _{OUT2} 120		pF	Typ		
Output Noise (both outputs)	Equivalent to 10KΩ Johnson Noise			Typ		3
DIGITAL INPUTS						
Low State Threshold	0.8		V	Max	Over the specified temp range	1
High State Threshold	2.4		V	Min		
Input Current (low to high state)	1		μA	Typ		
Input Coding	Binary / Offset Binary				See Table 1&2 on pages 4 and 5	
POWER REQUIREMENTS						
Power Supply Voltage Range	+5 to +15		V			
IDD	5		nA	Typ	All digital inputs at GND	
	2		mA	Max	All digital inputs high or low	
Total Power Dissipation (Including the ladder)	20		mW	Typ		

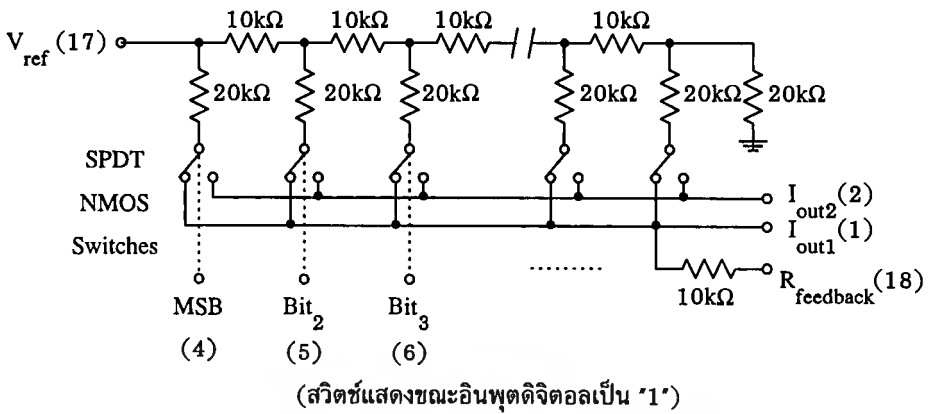
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 ความหมายต่าง ๆ ในตารางที่ควรรู้

1. ความไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linearity) คือ ความคลาดเคลื่อนของการถ่ายทอดแปลงสัญญาณจากดิจิตอลมาเป็นสัญญาณแอนะล็อก ซึ่งจะเริ่มจากสม่าเสมอจากสภาวะปกติ และจะเริ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยดูจากเปอร์เซ็นต์ของสเกลทั้งหมดในการทวิคูณสัญญาณ
2. ความละเอียด (Resolution) คือ ค่าของบิตที่มีนัยสำคัญต่ำที่สุด ตัวอย่างเช่น ยูนิโพลาร์จะคอนเวอร์ต n บิต ที่ความละเอียดเท่ากับ $[(2^n) (V_{ref})]$ และไบโพลาร์จะคอนเวอร์ต n บิต ที่ความละเอียดเท่ากับ $[(2^{(n-1)}) (V_{ref})]$
3. การตั้งฐานเวลา (Setting time) เวลาที่เอาต์พุตต้องการสำหรับการทำงานของดีทิวเอโดยกำหนดไว้ภายใน $1/2$ ของบิตที่มีนัยสำคัญต่ำที่สุด
4. อัตราขยาย (Gain) คือ อัตราส่วนดีทิวเอที่แรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์ของวงจรดีทิวเอ ต่อค่าแรงดันป้อนที่อินพุต
5. ข้อผิดพลาดในการส่งผ่าน (Feed through error) คือ สาเหตุมาจากค่าความจุในการคัปปลิงสัญญาณจาก V_{ref} ไปยังเอาต์พุต ในขณะที่สวิตช์ทุกตัว Off
6. ค่าความจุทางเอาต์พุต (Output capacitance) คือ ค่าความจุของ I_{out1} และ I_{out2} ให้ต่อจตุรรวมที่กราวด์
7. กระแสเอาต์พุตรั่วไหล (Output leakage current) คือ กระแสที่ปรากฏขึ้นที่จุด I_{out1} กับสัญญาณดิจิตอลทางด้านอินพุตในขณะเป็น “Low” และจุดต่อ I_{out2} เมื่อสัญญาณอินพุตทั้งหมดเป็น “High”

ภายในตัวไอซีเบอร์ AD7521 เป็นชิพแบบ CMOS ดังนั้น การทำงานกับสัญญาณทางด้านอินพุตที่มีกำลังงานต่ำ เช่น DTL (Diode-Transistor Logic), TTL (Transistor Transistor Logic) และ CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) จึงไม่ใช่ปัญหาของ AD7521

การต่อกระแส หรือแรงดันอ้างอิงจากภายนอกรวมทั้งออปแอมป์ จะกระทำได้ทั้งหมดก็ต่อเมื่อต้องการแรงดันเอาต์พุตไปประยุกต์ใช้งาน อย่างเช่น วงจรสมมูลในรูปที่ 2.9 แสดงถึงลักษณะของวงจรภายในไอซี AD7521 โดยจะเห็นมอสเฟตชนิด N (NMOS) สวิตช์ แบบ DPDT เป็นตัวนำทางกระแสที่ขาตัวด้านทานแบบแลคเคอร์กับบัสของ I_{out1} กับ I_{out2} ซึ่งจะทำให้การดึงสัญญาณลงกราวด์หรือกราวด์เทียม โดยรูปแบบการเก็บรักษาความเที่ยงตรงของกระแสที่ความต้านทานของขานแลคเคอร์นั้น จะขึ้นอยู่กับรหัสอินพุตที่ป้อนเข้ามา

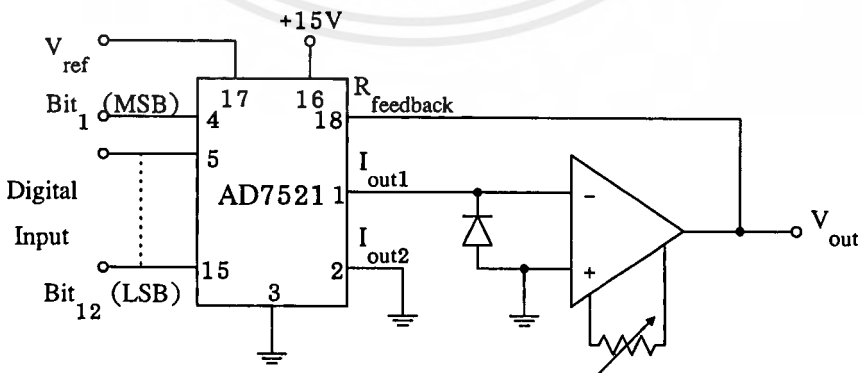


รูปที่ 2.9 วงจรภายในของตัวไอซีเบอร์ AD7521

ลักษณะการคอนเวอร์เตอร์ที่ผิดพลาดสามารถทำการวัดได้ ด้วยวิธีการแยกจุดต่อซึ่งกันและกัน ระหว่างบิตหลัก และเอาต์พุต โดยให้สวิทซ์ เริ่มแรกเป็น “High” เพื่อลดออฟเซตของการรบกวนให้น้อยลง

2.5.4 การประยุกต์ใช้งาน

จากวงจรที่แสดงในรูปที่ 2.10 เป็นการประยุกต์การทำงานแบบยูนิโพลาร์ไบนารี ซึ่งนำไอซี AD7521 มาต่อดังรูปโดยสามารถเลือก V_{ref} ได้ทั้งบวก และลบ ซึ่งภายในวงจรสามารถใช้วิธีทวิคูณสัญญาณได้ 2 ควอดแรนต์ (2-Quadrant) สัญญาณที่เป็นดิจิตอลอินพุต จะแปลงเป็นระดับสัญญาณแอนะล็อกเอาต์พุตได้โดยดูจากตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.10 การประยุกต์ใช้งานในแบบยูนิโพลาร์

ตารางที่ 2.2 ลักษณะการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก

Digital Input	Analog Output
1111111111	$-V_{ref} (1-2^{-n})$
1000000001	$-V_{ref} (1/2 + 2^{-n})$
1000000000	$-V_{ref} / 2$
0111111111	$-V_{ref} (1/2 - 2^{-n})$
0000000001	$-V_{ref} (2^{-n})$
0000000000	0

2.5.5 การปรับแต่งในแบบของยูนิโพลาร์

1. การปรับแรงดันออฟเซตให้เป็นศูนย์

1. การปรับแรงดันออฟเซตให้เป็นศูนย์ โดยจุดต่อทั้งหมดของสัญญาณอินพุตดิจิทัลจะต่อลงกราวด์

2. ปรับแรงดันออฟเซตให้เป็นศูนย์ โดยการปรับตัวต้านทานที่เอาต์พุตของออปแอมป์ และวัดแรงดันที่ V_{out} ให้ได้แรงดัน 0 โวลต์ หรือผิดพลาด ± 1 มิลลิโวลต์

2. การปรับเกน

1. ต่อสัญญาณอินพุตดิจิทัลกับ V_{dd} ทั้งหมด

2. สังเกตที่ V_{out} จะได้ค่าแรงดันเท่ากับ $-V_{ref}(1-2^{-n})$ เมื่อ n เท่ากับ 12

3. ลดแรงดัน V_{OUT} โดยการต่อตัวต้านทานอนุกรมที่มีค่าตั้งแต่ 0-500 โอห์ม ระหว่างแรงดันอ้างอิงกับจุด V_{ref}

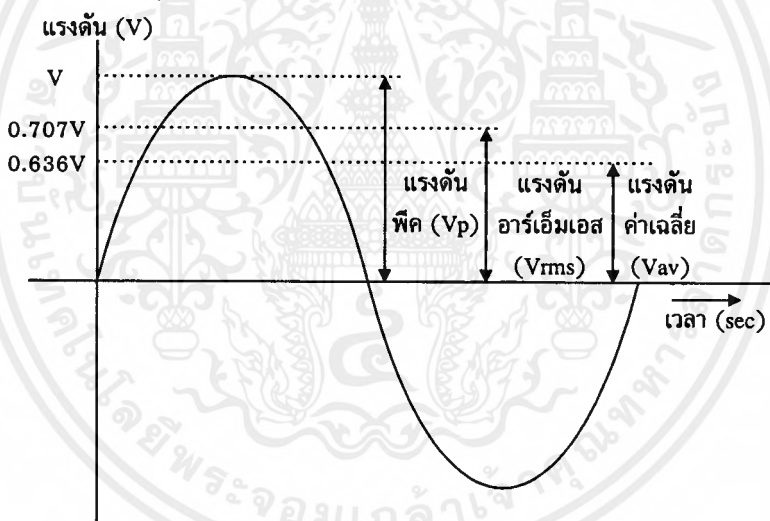
2.6 ค่าของอาร์เอ็มเอส

ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ในวงจรไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ สามารถวัดค่าแรงดันที่ถูกต้อง และเป็นค่าแรงดันที่แท้จริงได้ด้วย ทู-อาร์เอ็มเอสโวลต์มิเตอร์เพียงอย่างเดียว แต่เนื่องจากเครื่องมือวัดชนิดนี้มีราคาแพงมาก จึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมในการที่จะจัดหาใช้งาน

จุดสำคัญและคำจำกัดความของการวัดค่าแรงดันนี้ จะเป็นการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่แท้จริงเป็นค่าแรงดันอาร์เอ็มเอส (Root-Mean Square : RMS) ค่าแรงดันอาร์เอ็มเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอสนี้ คือค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ที่จ่ายให้กับโหลดความต้านทานบริสุทธิ์ แล้วทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่โหลดเท่ากับ การจ่ายค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโหลด เช่น แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์อาร์เอ็มเอส จ่ายให้กับหลอดไฟแล้ว ทำให้เกิดความสว่างขึ้นเท่ากับการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับหลอดไฟอันเดียวกัน ลักษณะของรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ไม่ใช่จุดสำคัญมากนัก สำหรับการวัดค่าออกมาเป็นอาร์เอ็มเอส ซึ่งสัญญาณคลื่นไซน์ค่าแรงดัน 220 โวลต์อาร์เอ็มเอส ก็จะมีผลแรงดันเท่ากันกับแรงดันสัญญาณรูปคลื่นฟันเลื่อย, คลื่นสี่เหลี่ยม หรือคลื่นสามเหลี่ยมที่มีค่าแรงดัน 220 โวลต์อาร์เอ็มเอส ในที่นี้หมายถึงถึงค่าแรงดันพีก (Peak) ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะมีค่าแรงดันสูงกว่าค่าแรงดันที่เป็นอาร์เอ็มเอส ในที่นี้ไม่รวมถึงค่าแรงดันของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม โดยที่ค่าอาร์เอ็มเอสเป็นสมการของค่าพีก



รูปที่ 2.11 ค่าแรงดันที่เกิดขึ้นในสัญญาณไซน์

ในค่าแรงดันของสัญญาณไซน์ จะมีองค์ประกอบอยู่อีกหนึ่งองค์ประกอบ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของค่าพีกต่อค่าอาร์เอ็มเอส เรียกค่าองค์ประกอบนี้ว่า พีกแฟกเตอร์ (Peak factor) นั่นคือ $\sqrt{2}$ หรือ (1.414) และในทุกๆ ช่วงของรูปร่างในแต่ละรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้น จะทำให้เกิดความแตกต่างของค่าพีกแฟกเตอร์ที่แตกต่างกันตลอดเวลา ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.3 หลังจากที่มีการกำหนดค่าอาร์เอ็มเอส ของสัญญาณรูปไซน์แล้วในมัลติมิเตอร์มาตรฐาน ก็จะมีวงจรรีกติไฟร์ สำหรับเปลี่ยนสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ให้กลายเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (สำหรับสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม) ค่าที่ได้จากการวัดด้วยมัลติมิเตอร์ ก็จะถูกต้องโดยอยู่ในรูปของแฟกเตอร์รูปสัญญาณ (Form factor) มีค่าเป็น 1.11 แสดงออกมาทางมัลติมิเตอร์ โดยที่ค่าของแฟกเตอร์รูปสัญญาณนี้ จะเป็นอัตราส่วนของค่าอาร์เอ็มเอส และค่าเฉลี่ย (Average value) ของสัญญาณแรงดันคลื่นไซน์ ดังแสดงในรูปที่ 2.11

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วนของค่าแรงดันพีค, อาร์เอ็มเอส และค่าเฉลี่ยของสัญญาณต่างๆ

รูปคลื่นสัญญาณ 1 โวลต์พีค	พีคแฟกเตอร์ (V_p/V_{rms})	ค่า RMS (โวลต์)
สัญญาณไซน์	1.414	0.707
สัญญาณสามเหลี่ยม	1.73	0.508
สัญญาณรบกวนขาว	3	0.333
สัญญาณสี่เหลี่ยม (ค่าแอมป์แฟกเตอร์ 1:1)	1	1.00
สัญญาณสี่เหลี่ยม (ค่าแอมป์แฟกเตอร์ 33:100)	2	0.25
สัญญาณสี่เหลี่ยม (ค่าแอมป์แฟกเตอร์ 1:100)	10	0.10
สัญญาณฟันเลื่อย (ค่าแอมป์แฟกเตอร์ 1:1)	2	0.495
สัญญาณฟันเลื่อย (ค่าแอมป์แฟกเตอร์ 1:4)	4.7	0.212

2.6.1 การวัดค่าทรู-อาร์เอ็มเอส

การวัดค่าสัญญาณ ออกมาเป็นค่าทรู-อาร์เอ็มเอส จะต้องอาศัยมัลติมิเตอร์ที่มีฟังก์ชันพิเศษสำหรับการวัดค่านี้โดยเฉพาะ และใช้วัดค่าแรงดันที่มีจำนวนของตัวเลขทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนยุ่งยาก ที่เกิดขึ้นกับการใช้มัลติมิเตอร์ธรรมดาในการวัด ลักษณะการวัดจะเป็นการประยุกต์ และเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จากเอาต์พุตของชุดแปลงแรงดัน ให้กลายเป็นค่าอาร์เอ็มเอส จะอาศัยวงจรแปลงแรงดันที่บรรจุอยู่ในไอซีสำเร็จรูป

โดยทั่วไปเมื่อต้องการหาค่าอาร์เอ็มเอส ของสัญญาณคลื่นไซน์บริสุทธิ์ ที่มีความถี่ไม่สูงมากนัก เช่น ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ก็สามารถหาค่าได้ง่ายๆ และมีความถูกต้องพอสมควร โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้แอนะล็อก หรือดิจิตอลเอซีโวลต์มิเตอร์วัดเอาได้เลย แต่ถ้าสัญญาณมีลักษณะแตกต่างไปจากนี้ก็อาจมีปัญหา เพราะมิเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะได้รับการปรับแต่ง (Calibrate) ความถูกต้องไว้สำหรับสัญญาณคลื่นไซน์ซึ่งมี “เครสแฟกเตอร์” (Crest factor) เท่ากับ 2 เท่านั้น ซึ่งค่าเครสแฟกเตอร์ คือ อัตราส่วนของค่าสูงสุด (Peak value) ต่อค่าอาร์เอ็มเอสของสัญญาณรายคาบนั้นๆ จึงเป็นไปได้ยาก ที่จะวัดค่าได้ถูกต้องเมื่อนำไปวัดสัญญาณรายคาบรูปแบบอื่นๆ ซึ่งมี “เครสแฟกเตอร์” ที่แตกต่างออกไป ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ในทางปฏิบัติ การวัดค่าอาร์เอ็มเอสของสัญญาณใดๆ ออกมานั้น ส่วนใหญ่ใช้หลักการเปลี่ยนค่าอาร์เอ็มเอสของสัญญาณที่ต้องการวัดให้อยู่ในรูปของแรงดันหรือกระแสไฟฟ้ากระแสตรง มีศัพท์ทางเทคนิคว่า “อาร์เอ็มเอส-ทู-ดีซี คอนเวอร์ชัน” (RMS-to-DC Conversion) โดยค่าแรงดันหรือกระแส ซึ่งมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อค่าอาร์เอ็มเอสที่ได้นี้ จะนำไปใช้ขั้ววงจรมิเตอร์เพื่อแสดงผลต่ออีกทีหนึ่ง ไม่ว่าจะเป็นมิเตอร์แบบแอนะล็อกหรือดิจิตอล ก็ใช้หลักการเดียวกันนี้

การเปลี่ยนค่าอาร์เอ็มเอสของสัญญาณใดๆ ไปเป็นแรงดันหรือกระแสไฟฟ้ากระแสตรงมีอยู่ 2 วิธีคือ

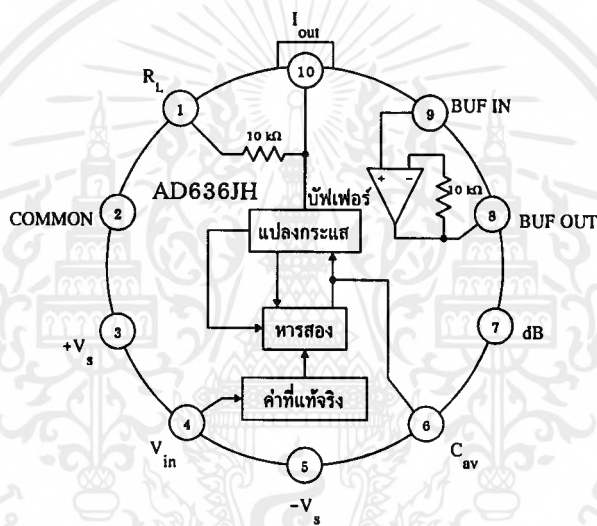
1. แบบแรกมี “เทอร์โมคัปเปิ้ล” (Thermocouple) เป็นอุปกรณ์สำคัญ โดยใช้วัดค่าความร้อนเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในหลอดทำความร้อน (Heater) ขณะถูกป้อนด้วยแรงดัน หรือกระแสอินพุตเมื่อเทอร์โมคัปเปิ้ล ซึ่งทำมาจากโลหะสองชนิดที่เหมาะสมนำมาเชื่อมต่อกัน เมื่อได้รับความร้อนมันก็จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่ปลายทั้งสอง ซึ่งมีค่าแปรผันโดยตรงต่อความร้อนที่ตัวเทอร์โมคัปเปิ้ลได้รับ

2. แบบที่สอง โดยใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่นำมาต่อรวมกันเป็นวงจรประมวลผลทางแอนะล็อก (Analog processing) ทำหน้าที่คำนวณค่าอาร์เอ็มเอสของสัญญาณอินพุต แล้วให้เอาต์พุตออกมาเป็นแรงดัน หรือกระแสไฟฟ้ากระแสตรง สามารถนำไปใช้งานได้เลย

แรงดันเอาต์พุต ของไอซีหรือวงจรแปลงแรงดัน จะถูกทำการคำนวณจากอัตราการสุ่มค่า ของสัญญาณทางอินพุตอย่างต่อเนื่อง ค่าของการสุ่มจะเป็นกำลังสองและค่าเฉลี่ย ของค่าที่เกินกว่ากำลังสองโดยมีคาบเวลาของสัญญาณแรงดันที่แน่นอน ราก (Root) ที่เกิดขึ้นมาจากผลอันนี้ คือค่า ทู-อาร์เอ็มเอส และสำหรับอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแรงดันในอาร์เอ็มเอสมิเตอร์ก็คือ ไอซีสำเร็จรูปได้แก่ตระกูลเบอร์ AD636 ซึ่งตัวอักษรตัวหลังจะเป็นตัวแสดงค่าผิดพลาดของไอซี

2.6.2 การใช้งานไอซีเบอร์ AD636JH

ไอซีเบอร์ AD636JH ทำหน้าที่เป็นตัวแปลงสัญญาณแรงดันอาร์เอ็มเอสให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงดังแสดงแผนผังโคจรแอมวงจรภายในของ AD636JH ไว้ในรูปแบบที่ 12 ซึ่งประกอบด้วยส่วนหลักๆ คือ วงจรเรกติไฟร์เออร์และวงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแส, วงจรยกกำลังสอง และหาร (Square/Divider) ที่ใช้พื้นฐานของวงจรขยายแบบลอคาลิทีม และแอนตี้ลอคาลิทีม ควบคุมการทำงานโดยใช้การป้อนกลับทางกระแส, วงจรแปลงกระแส (Current mirror)



รูปที่ 2.12 แผนผังการทำงานภายในของไอซีเบอร์ AD636JH

เมื่อสัญญาณอินพุตผ่านวงจรเรกติไฟร์เออร์ และเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแสแล้ว จะถูกนำมาคำนวณด้วยวงจรยกกำลังสองและวงจรหาร ซึ่งจะได้เอาต์พุตออกมาเป็นค่าอาร์เอ็มเอสแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่ขา 7 ส่วนเอาต์พุตแบบเชิงเส้นจะได้จากการนำค่าที่ถูกยกกำลังสองแล้วมาหาค่าเฉลี่ยโดยวงจร RC โลว์พาสเน็ตเวิร์ก ซึ่งมีตัวเก็บประจุ C_{av} ที่ต่ออยู่ภายนอกเป็นส่วนประกอบ ค่าเฉลี่ยที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นกระแสโดยวงจรแปลงกระแส แล้วให้เอาต์พุตออกมาทางขา 10 มีตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม ภายในไอซีทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสเอาต์พุตให้เป็นแรงดัน เมื่อทำการต่อขา 1 ลงกราวด์ นอกจากนั้นที่ขา 7 จะมีตัวต้านทานปรับค่าได้ VR_x ซึ่งต่ออยู่

ภายนอก ทำหน้าที่ปรับไปอัสของวงจรยกกำลังและหาร ซึ่งจะเป็นการตั้งค่าแรงดันอ้างอิงที่ระดับ 0 เดซิเบลให้แก่ไอซี

2.6.3 ค่าผิดพลาดในการแปลงสัญญาณ

ในทางปฏิบัติไม่ว่าจะเป็นการแปลงค่าสัญญาณใดๆ ก็ตาม ค่าที่ได้มักจะเบี่ยงเบนไปจากทฤษฎีอยู่บ้างเสมอ เนื่องจากในทางปฏิบัติยังมีข้อจำกัดต่างๆ ซึ่งยังทำไม่ได้ตามแบบทฤษฎี การแปลงค่าอาร์เอ็มเอสเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงก็เช่นเดียวกัน มีหลายสาเหตุที่ทำให้เกิดการผิดพลาดขึ้น ก็พอจะจำแนกออกได้เป็นดังนี้

1. ค่าผิดพลาดคงที่เนื่องจากอุปกรณ์

คงเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้เป็นส่วนประกอบในเครื่องมือวัดจะต้องมีความเที่ยงตรงสูง แต่ในขั้นตอนการผลิตอุปกรณ์ย่อมหนีไม่พ้นที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนเบี่ยงเบนไปจากค่าที่ได้ออกแบบเอาไว้ แต่อย่างไรก็ดีจะต้องอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถรับได้ สำหรับไอซีแปลงค่าอาร์เอ็มเอสเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเบอร์ AD636JH มีค่าเบี่ยงเบนสูงสุดไม่เกิน 1 มิลลิโวลต์

2. แบนด์วิดท์

ข้อจำกัดของทรู-อาร์เอ็มเอสขึ้นอยู่กับ การตอบสนองทางแบนด์วิดท์ของไอซีแปลงค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเบอร์ AD636JH แบนด์วิดท์นี้จะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันทางอินพุต ดังนั้น ในการใช้งานจึงควรทำการวัดสัญญาณ โดยใช้ย่านวัดที่ต่ำที่สุดที่ยังสามารถวัดได้ก่อน

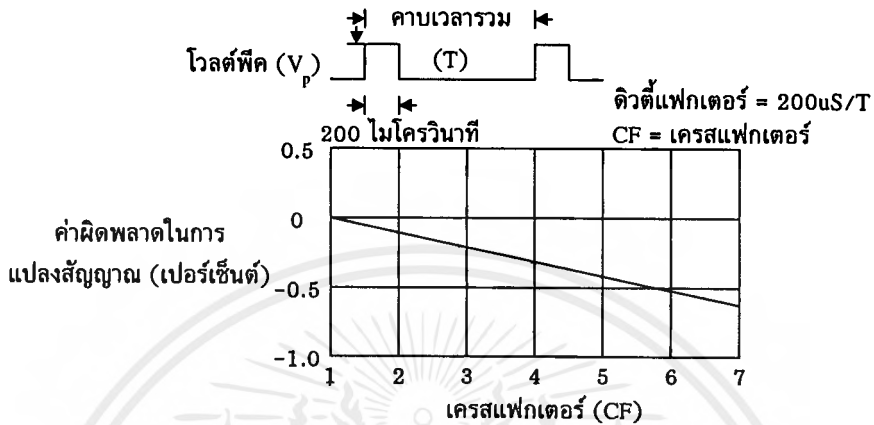
3. ค่าผิดพลาดทางไฟฟ้ากระแสตรง

ตัวเก็บประจุที่ปลีงสัญญาณทางอินพุต (C_{av}) จะเป็นตัวกำหนดความถี่ต่ำสุดของสัญญาณอินพุตที่มีเตอร์ยังคงแสดงผลได้ถูกต้อง และไม่สามารถหลีกเลี่ยงการใช้ตัวเก็บประจุ C_{av} ได้ トラバドที่ใช้ไอซีแปลงแรงดันอาร์เอ็มเอสเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเบอร์ AD636JH ในการแปลงสัญญาณ

4. เครสแฟกเตอร์

จากตารางที่ 2.3 ค่าครอสแฟกเตอร์ของคลื่นสี่เหลี่ยม จะมีค่าผกผันกับรากที่สองของค่าคิวตี้แฟกเตอร์ของมัน ในรูปที่ 2.13 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดในการแปลงสัญญาณ ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าครอสแฟกเตอร์ สาเหตุของค่าผิดพลาดนี้จะเกิดขึ้น ในกรณีของสัญญาณอินพุตที่มีคิวตี้แฟกเตอร์ต่ำมากๆ (พัลส์แคบมากๆ) ตัวเก็บประจุ C_{av} จะต้องทำงานหนักในการจับ

พลังงานที่บรรจุอยู่ในพัลส์ช่วงขณะนั้น และทำการเก็บรักษาประจุนั้นไว้ รอจนกว่าวงจรส่วนประมวลผลจะดึงเอาแรงดันไปอ่านค่าต่อไป



รูปที่ 2.13 กราฟเปอร์เซ็นต์การผิดพลาดของการแปลงสัญญาณ

ผลของค่าครอสแฟกเตอร์ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ หากนำมิเตอร์ไปวัดสัญญาณที่มีค่าครอสแฟกเตอร์สูงๆ โดยไม่ได้ตรวจสอบค่าสูงสุดหรือค่า “พีค” ให้ดีเสียก่อนค่าอาร์เอ็มเอสที่ระดับต่ำของสัญญาณจะหลอกให้ตั้งย่านวัดเอาไว้ต่ำๆ และตอนนี้ไอซี AD636JH จะถูกขับจนเกินความสามารถ (Over drive) ทำให้สัญญาณถูกขลิบ และเกิดความผิดเพี้ยนขึ้นอย่างมาก ค่าที่อ่านได้จึงอาจไม่ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริง

2.7 หลักการของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ

ในการวัดสัญญาณสามารถแยกออกเป็น 2 วิธีคือ

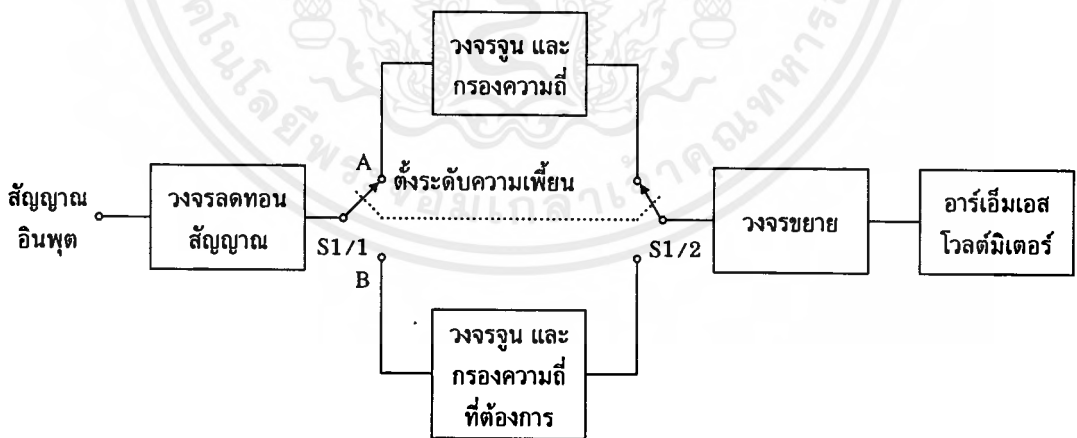
1. การวัดสัญญาณเชิงเวลา (Time domain) เป็นการวัดสัญญาณระหว่างแอมพลิจูด (Amplitude) กับเวลา (Time) ตัวอย่างเครื่องมือวัดชนิดนี้คือ ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
2. การวัดสัญญาณเชิงความถี่ (Frequency domain) หรือ จะเรียกว่าการวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum analysis) เป็นการวัดสัญญาณระหว่าง แอมพลิจูดกับความถี่ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมาก เพราะสะดวกในการอ่านค่าเชิงความถี่ต่างๆ ตัวอย่างเครื่องมือวัดชนิดนี้คือ เครื่องวัดความผิดเพี้ยน, เครื่องวิเคราะห์คลื่นสัญญาณ, เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม, และเครื่องวิเคราะห์ทางฟูเรียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 เครื่องวัดความผิดเพี้ยน (Distortion analyzer)

ความหมายของการเกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณ (Distortion) นั้น คือ การที่สัญญาณทางเอาต์พุต มีลักษณะที่ผิดเพี้ยนหรือแตกต่างไปจากสัญญาณทางอินพุต เช่น เมื่อป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal signal) เป็นสัญญาณอินพุตให้กับวงจรขยาย (Amplifier) เมื่อทำการขยายแล้วสัญญาณที่ออกมาที่เอาต์พุตจะมีขนาดแอมพลิจูดที่สูงขึ้น แต่จะมีลักษณะสัญญาณที่ผิดเพี้ยนไปจากอินพุตเดิม อันเนื่องมาจากวงจรขยายทั่วไปจะประกอบขึ้นจากอุปกรณ์ประเภทแอกตีฟ และอุปกรณ์พาสซีฟ อุปกรณ์เหล่านี้จะมีคุณสมบัติที่ไม่เป็นเชิงเส้น ความผิดเพี้ยนนี้สามารถวัดออกมาได้ว่ามีความผิดเพี้ยนมากน้อยเพียงใด ด้วยเครื่องมือวัดความผิดเพี้ยน

เมื่อทำการวัดสัญญาณทางเอาต์พุตของวงจรขยาย ด้วยเครื่องออสซิลโลสโคป จะพบว่าสัญญาณทางเอาต์พุตนั้นไม่ใช่สัญญาณคลื่นไซน์ที่สมบูรณ์เพราะจะประกอบด้วย สัญญาณที่มีความถี่ต่างๆ ปะปนกันมาเช่น จะประกอบด้วยความถี่มูลฐาน (Fundamental frequency : f) และความถี่ฮาร์โมนิกต่างๆ ของความถี่มูลฐาน เช่น ฮาร์โมนิกที่ 2 ($2f$), ฮาร์โมนิกที่ 3 ($3f$), ฮาร์โมนิกที่ 4 ($4f$) ตามลำดับเป็นต้น เมื่อรวมกันหลายความถี่ ก็จะได้รูปสัญญาณคลื่นไซน์ ที่ผิดเพี้ยนไปจากอินพุตเดิม มาปรากฏบนจอออสซิลโลสโคป



รูปที่ 2.14 แผนผังการทำงานเบื้องต้นของเครื่องวัดค่าความผิดเพี้ยน

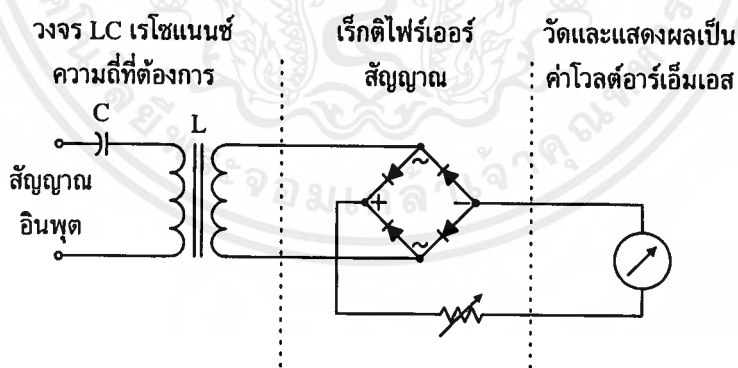
ลักษณะการวัดความเพี้ยนเบื้องต้นสังเกตจากรูปที่ 2.14 เมื่อทำการเลื่อนสวิตช์ S_1 มาที่ตำแหน่ง A สัญญาณอินพุตจะผ่านวงจรรูนแบนด์พาสฟิลเตอร์เพื่อปรับหาความถี่มูลฐาน ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่มูลฐานนี้ จะมีแอมพลิจูดสูงสุดในบรรดาความถี่ฮาร์มอนิกทั้งหลายที่ปะปนมา ส่วน วงจรลดทอนสัญญาณ จะใช้ปรับค่าแอมพลิจูดรวมให้เหมาะสมกับสเกลของโวลต์มิเตอร์ และ ค่าแอมพลิจูดของความถี่ฮาร์มอนิกอื่นๆ ก็จะมีค่าลดลงตามลำดับ และเมื่อเลือกสวิตช์ S_1 ไป ที่ตำแหน่ง B สัญญาณอินพุต ก็จะผ่านเข้าสู่วงจรจูนรีเจ็คชั่นฟิลเตอร์ เพื่อที่จะทำการหาค่าของ แอมพลิจูด ของความถี่มูลฐานอีกชั้นหนึ่งที่เด่นชัดมากขึ้น นั้นหมายความว่า ความถี่ฮาร์มอนิก จะถูกกันไว้ไม่ให้ผ่านออกไป ในขณะที่วงจรถอดทอนสัญญาณจะทำหน้าที่ปรับค่าแอมพลิจูด ของความถี่มูลฐานให้ได้ค่าสูงสุดที่สามารถอ่านได้จากโวลต์มิเตอร์ ซึ่งเมื่อวัดค่าต่างๆ ได้จาก เครื่องวัดความผิดเพี้ยนแล้วก็จะทำการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวม (Total Harmonic Distortion : THD) ได้

2.7.2 เครื่องวิเคราะห์คลื่นสัญญาณ (Wave analyzer)

การวัดค่าความผิดเพี้ยน, THD ที่ผ่านมาเป็น การวัดทางฮาร์มอนิกรวมทั้งหมดที่ว่าด้วย แอมพลิจูดของความถี่ทั้งหมด แต่ในบางครั้งถ้าต้องการวัดค่าแอมพลิจูด ของความถี่ฮาร์มอนิก ใดฮาร์มอนิกหนึ่งแยกจากกันต่างหาก จำเป็นต้องอาศัยการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ คลื่น สัญญาณ และวงจรพื้นฐาน หรือหลักการพื้นฐานการวัด ของเครื่องวิเคราะห์คลื่นสัญญาณก็ได้ แสดงไว้ในรูปที่ 2.15

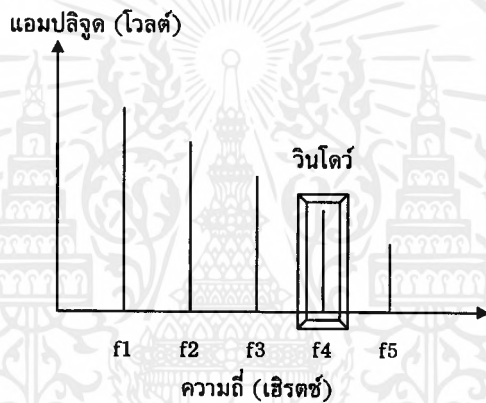


รูปที่ 2.15 วงจรพื้นฐานของเครื่องวิเคราะห์คลื่นสัญญาณ

จากรูป 2.15 หลักการพื้นฐานของการวิเคราะห์คลื่นสัญญาณส่วนแรก จะเป็นส่วนที่ ตรวจจับคลื่นความถี่ที่ต้องการ โดยมีลักษณะเป็นวงจรแทงค์ LC เรโซแนนซ์ ทำการปรับเอา ความถี่ฮาร์มอนิกที่ต้องการทำการวิเคราะห์ ให้สามารถผ่านวงจรจูนนี้เข้ามาสู่วงจรในส่วนที่

สอง เพื่อทำการเรีคตีไฟร์เออร์แบบเต็มคลื่น ให้กลายเป็นค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ให้สามารถวัดค่าได้ด้วยอาร์เอ็มเอสโวลต์มิเตอร์เป็นวงจรส่วนสุดท้าย ซึ่งสามารถปรับค่าได้เพื่อใช้ในการอ่านค่าแรงดันอินพุตสัญญาณคลื่นไซน์

ลักษณะการอ่านค่าของแอมพลิจูดของความถี่ต่างๆ ที่กำลังทำการวิเคราะห์ จะอ่านค่าโดยมองผ่านแผนผัง หรือส่วนใหญ่เรียกว่าวินโดว์ (Window) ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ซึ่งหลักการนี้อาจเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า นอน-เรียลไทม์อะนาไลเซอร์ (Non-Realtime-Analyzers) หมายถึง การอ่านค่าของแอมพลิจูดที่เวลาหนึ่งๆ นั้นสามารถอ่านค่าได้เพียงความถี่เดียว และเมื่อเวลาผ่านไปที่ความถี่ค่าๆ หนึ่งนี้ก็จะจะมีแอมพลิจูดที่คงที่ไม่ขึ้นกับเวลา



รูปที่ 2.16 การอ่านค่าจากเครื่องวิเคราะห์คลื่นสัญญาณ

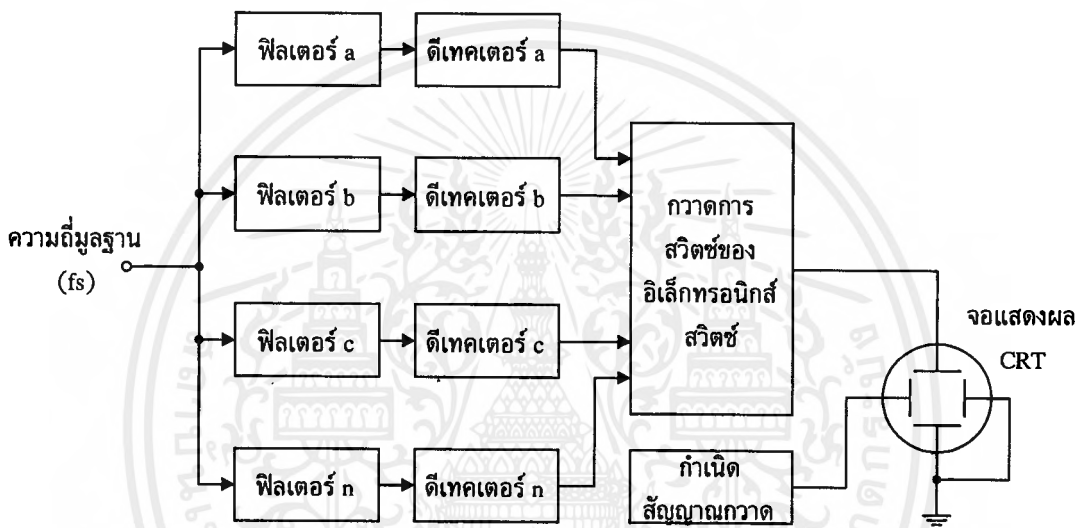
ประโยชน์หลักของเครื่องวิเคราะห์คลื่นสัญญาณ ที่มีการนำไปใช้งานจริง และกว้างขวาง รวมไปถึงจำเป็นต้องใช้ด้วยกันคือ

1. ใช้วัดค่าแอมพลิจูดของสัญญาณรบกวนและสัญญาณต่างๆ ที่ใช้ในการ อินเทอร์เน็ต
2. ใช้วัดค่าแอมพลิจูดของสัญญาณต่างๆ ที่มีแบนด์วิดท์แคบๆ

2.7.3 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum analyzer)

โดยปกติ เครื่องวิเคราะห์คลื่นสัญญาณนั้น เป็นแบบ นอน-เรียลไทม์อะนาไลเซอร์ที่ทำการวิเคราะห์คลื่นความถี่เฉพาะช่วง แต่สำหรับเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมนี้จะแตกต่างจากเครื่องวิเคราะห์คลื่นสัญญาณอย่างมาก กล่าวคือ เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมจะเป็นแบบ เรียลไทม์อะนาไลเซอร์ (Real-Time-Analyzer) ที่จะแสดงค่าแอมพลิจูดของคลื่นความถี่ทุกๆ ความถี่ ในช่วงความถี่ที่ต้องการวิเคราะห์พร้อมกันทั้งหมด แสดงออกมาเป็นภาพกราฟฟิก ทางจอเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงผลแบบ CRT แผนผังโคแอดแกรมหลักการเบื้องต้นของเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม แสดงไว้ในรูปที่ 2.17 เมื่อสัญญาณอินพุตถูกป้อนเข้าสู่วงจรกรองความถี่เพื่อแยกความถี่ต่างๆ ส่งไปให้อิเล็กทรอนิกส์วิตช์ เพื่อเลือกความถี่ในการสแกนออกทางจอภาพ CRT โดยวงจรสวิตช์เจนเนอเรเตอร์จะผลิตสัญญาณฟันเลื่อย (Sawtooth signal) เพื่อใช้ในการสแกนให้ได้เวลาเดียวกับการสวิตช์ ซึ่งการทำวิธีนี้นั้น วงจรกรองความถี่แต่ละวงจรจะต้องมีแบนด์วิดท์แคบๆ เพื่อให้ได้ความถี่ฮาร์โมนิกต่างๆ ที่แยกออกจากกันแล้วจริงๆ



รูปที่ 2.17 แผนผังการทำงานของเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

การใช้งานต่างๆ ที่พอจะสรุปได้ของเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมคือ

1. ใช้วัดสเปกตรัมของคลื่นสัญญาณ ที่ต่อเนื่องต่างๆ (Continuous wave)
2. ใช้วัดเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตทางแอมพลิจูด (ระบบ AM)
3. ใช้วัดความเบี่ยงเบน ของการมอดูเลตทางความถี่ (ระบบ FM)
4. ใช้วัดสัญญาณรบกวน เช่น สัญญาณรบกวนอิมพัลส์ และสัญญาณรบกวนแรนดอม (Impulse and Random Noise)
5. ใช้วัดการตอบสนองความถี่ของวงจรฟิลเตอร์ชนิดต่างๆ

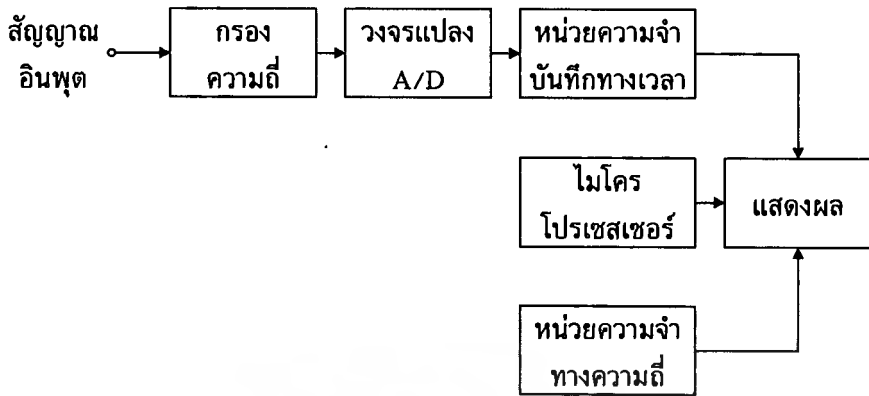
2.7.4 เครื่องวิเคราะห์ทางฟูรีเยร์ (Fourier analyzer)

หลักการวัดของการวิเคราะห์คลื่นสัญญาณทางฟูรีเยร์ จะใช้หลักการ และทฤษฎีของการประมวลผลของสัญญาณทางดิจิทัล (Digital Signal Processing : DSP) วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์สัญญาณมากกว่าการวิเคราะห์ทางสเปกตรัม กล่าวคือ การวิเคราะห์คลื่นสัญญาณทางฟูรีเยร์สามารถวัดค่าได้ที่มีความถี่ต่ำๆ ได้ (คือ สัญญาณที่มีแบนด์วิดท์ในการวัดกว้างกว่ามาก) และสามารถวัดสัญญาณที่มีความถี่ติดกัน หรือใกล้เคียงกันมากๆ ได้ (มีความละเอียดสูง)

เครื่องวิเคราะห์สัญญาณทางฟูรีเยร์นั้น มีพื้นฐานมาจากการคำนวณ Discrete Fourier Transform โดยใช้อัลกอริทึมแบบ FFT (Fast Fourier Transform) วิธีนี้จะใช้การสุ่มสัญญาณของสัญญาณอินพุตเชิงเวลา ให้เปลี่ยนเป็นสัญญาณทางดิจิทัล เหมือนกับการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล แล้วค่อยนำไปคำนวณหาความถี่ด้วยทฤษฎีของ DSP

แผนผังโคะแกรมของการวิเคราะห์สัญญาณทางฟูรีเยร์ แสดงไว้ในรูปที่ 2.18 เมื่อป้อนสัญญาณเข้าทางอินพุต สัญญาณจะผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เพื่อกำจัดความถี่นอกแบนด์วิดท์ออกก่อน แล้วจึงผ่านวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D) โดยการสุ่มสัญญาณย่อยจนหมดก่อน แล้วเก็บค่าไว้ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนไมโครโปรเซสเซอร์นั้น จะทำหน้าที่คำนวณจากไมโครโคมไปสู่อุปกรณ์ที่ไมโครโคม ซึ่งผลจากการคำนวณเป็นความถี่นี้จะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำความถี่ และสามารถแสดงผลออกทางจอ CRT หรือทางเครื่องพล็อตเตอร์ได้อีกด้วย

จากการที่เครื่องวิเคราะห์สัญญาณทางฟูรีเยร์ มีการทำงานเป็นระบบดิจิทัล ดังนั้นจึงสามารถอินเตอร์เฟสกับระบบคอมพิวเตอร์ หรือเครื่องมืออื่นๆ ในระบบที่มีลักษณะการทำงานแบบดิจิทัลได้อีก ซึ่งในปัจจุบันนี้ การสื่อสารข้อมูลทางคอมพิวเตอร์เป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ จากเหตุผลดังกล่าว เครื่องวิเคราะห์สัญญาณทางฟูรีเยร์ สามารถที่จะอินเตอร์เฟสข้อมูลกับระบบคอมพิวเตอร์ได้ทางพอร์ตมาตรฐาน IEEE-488 หรือ ทางพอร์ตเดียวกันนี้เองก็สามารถทำการอินเตอร์เฟส กับเครื่องมือชนิดอื่นที่มีพอร์ตอินเตอร์เฟส IEEE-488 เช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.18 แผนผังการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ทางฟูเรียร์

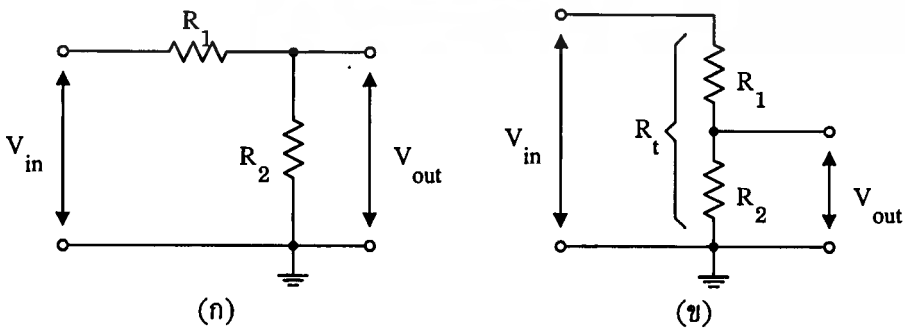
2.8 หลักการของวงจรลดทอนสัญญาณ

ประโยชน์ของวงจรลดทอนสัญญาณก็คือ ลดค่าที่ไม่พึงปรารถนา (Awkward value) ในรูปของสัญญาณด้านอินพุตให้ต่ำลงมา

2.8.1 วงจรลดทอนสัญญาณแบบตัวแอล (L)

วงจรลดทอนสัญญาณอย่างง่ายที่สุด คือ แบบตัวแอล ซึ่งความจริงแล้วมาจากทฤษฎีการแบ่งแรงดันอย่างง่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ประกอบด้วยตัวต้านทาน 2 ตัว (R_1 และ R_2) ต่อแบบอนุกรม อัตราการลดทอนสัญญาณตามรูป มีค่าเป็น ดังนี้

$$\text{อัตราส่วนการลดทอนระดับสัญญาณ} \quad A = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.2)$$

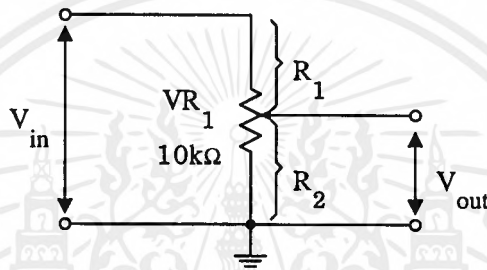


รูปที่ 2.19 วงจรวัดการลดทอนสัญญาณแบบตัวแอล

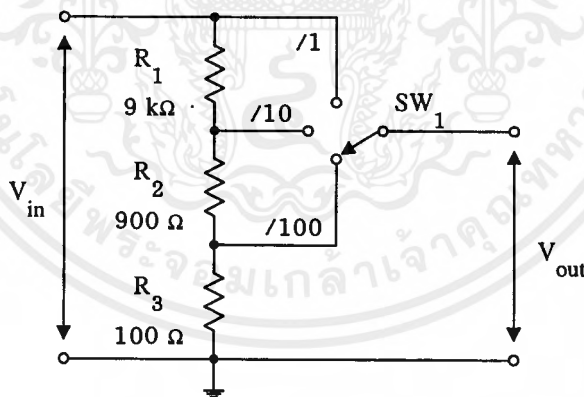
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 วงจรลดทอนสัญญาณแบบพ็อด (Pot)

วงจรลดทอนสัญญาณที่ปรับค่าได้อย่างง่าย เรียกว่า แบบพ็อด (Pot) ดังแสดงในรูปที่ 2.20 ซึ่งอาจใช้ขั้วลุ่มปรับควบคุมเหมือนดังที่ใช้ในระบบเครื่องเสียง หรือระดับเอาต์พุตปรับควบคุมการกำเนิดเสียงอย่างง่าย ฯลฯ จะพบว่าแบบ พ็อด นี้มีอัปเปอร์อาร์ม (Upper arm) และ โลเวอร์อาร์ม (Lower arm) ซึ่งเหมือนกับวงจรลดทอนสัญญาณแบบตัวแอล และวงจรที่ปรับค่าได้อีกอย่างคือ แบบที่ทำการสวิตช์แล้วเปลี่ยนค่าได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.21 สามารถแบ่งภาคเพื่อเลือกค่าวัดการลดทอนสัญญาณ ลำดับขั้นการออกแบบก็เหมือนกับแบบที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 2.20 วงจรลดทอนสัญญาณแบบพ็อดปรับค่าได้ละเอียดกว่าแบบตัวแอล



รูปที่ 2.21 การออกแบบเลือกย่านวัดวงจรลดทอนสัญญาณเพื่อให้สมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น

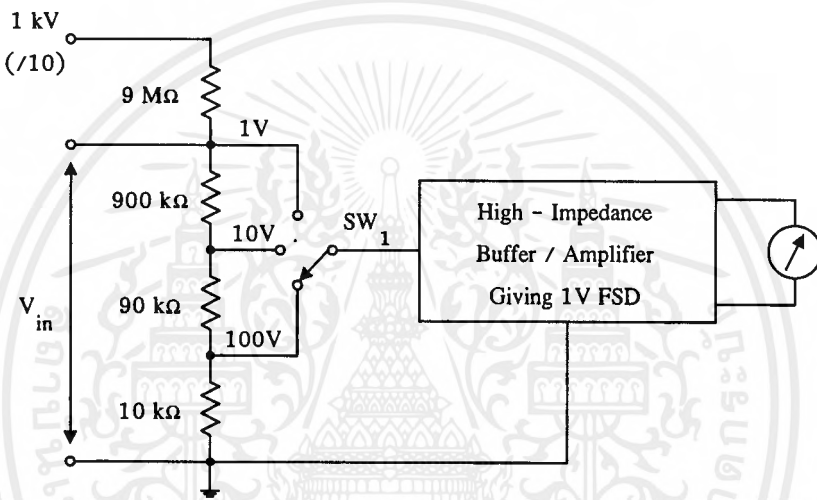
2.8.3 การต่อวงจรลดทอนสัญญาณในย่านวัดแรงดัน

การประยุกต์ใช้งานที่นิยมกัน ของวงจรลดทอนสัญญาณแบบตัวแอล ซึ่งปรับการทำงานได้หลายสแต็ปก็คือ Voltage ranger ที่อินพุตของอิล็กทรอนิกส์โวลต์มิเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.22 เป็นโวลต์มิเตอร์ที่วัดค่าจริงอ่านค่าได้จากหน้าปัทม์ซึ่งมีการกำหนด FSD (Full Scale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Deflection) ไว้ที่ 1 โวลต์ แต่เครื่องมือวัดถูกเปลี่ยนย่านให้แสดงค่าแรงดัน FSD อีกค่าหนึ่งได้ โดยการป้อนแรงดันเข้ากับโวลต์มิเตอร์ เทียบกับวงจรลดทอนสัญญาณแบบตัวแอลที่ถูกสวิตช์ ด้วยสเกลค่าที่เหมาะสม อัตราส่วนการลดทอน (V_{in} / V_{out}) ถูกเลือกโดยอาศัยหลักพื้นฐานคือ

$$a = \frac{FSD \text{ ที่ต้องการ}}{FSD \text{ ที่แท้จริงบนหน้าปัทม์}} \quad (2.3)$$

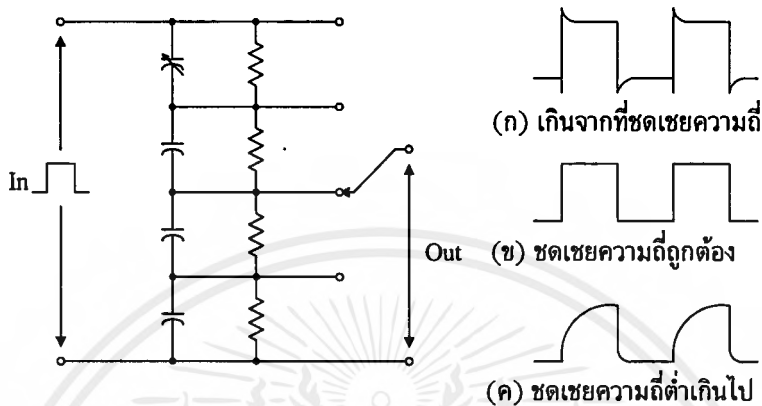


รูปที่ 2.22 วงจรลดทอนสัญญาณ ใช้สำหรับย่านวัดที่มีอิเล็กทรอนิกส์โวลต์มิเตอร์ต่ออยู่

2.8.4 การชดเชยความถี่

วงจรลดทอนสัญญาณแบบตัวแอลทุกแบบที่กล่าวมา แสดงให้เห็นจากรูป 2.20 ถึงรูปที่ 2.22 โดยจะมีความแม่นยำเฉพาะกับไฟฟ้ากระแสตรง (DC) หรือที่ความถี่ต่ำเท่านั้น หรือเมื่อทำให้ค่าความต้านทานต่ำลง ค่าสเตรคาปาซิเตอร์ (Stray capacitor) ที่ปรับค่าไม่ได้ต่อขนานกับตัวต้านทานทุกตัวจะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรลดทอนสัญญาณลดลง ในขณะที่ความถี่กลับเพิ่มขึ้น และในกรณีของวงจรลดทอนสัญญาณแบบตัวแอล สภาวะดังกล่าวอาจมีผลต่อการลดทอนโดยเฉพาะอย่างยิ่งจะมีผลอันนี้อย่างฉับพลัน เมื่อนำไปใช้กับตัวต้านทานค่าสูง ใช้สเตรคาปาซิเตอร์ค่า 2 พิโกฟารัด แทนความต้านทาน 800 กิโลโอห์ม ที่ความถี่ 100 กิโลเฮิรตซ์ ดังนั้นจึงถือเป็นสิ่งสำคัญ เพราะมีผลต่อค่าความต้านทานที่สูงกว่า 10 กิโลโอห์ม เป็นต้น ซึ่ง

สามารถแก้ปัญหานี้ได้โดย การขนานตัวต้านทานทุกตัวเข้าไป พร้อมกับเลือกค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 วงจรลดทอนสัญญาณที่ชดเชยความถี่

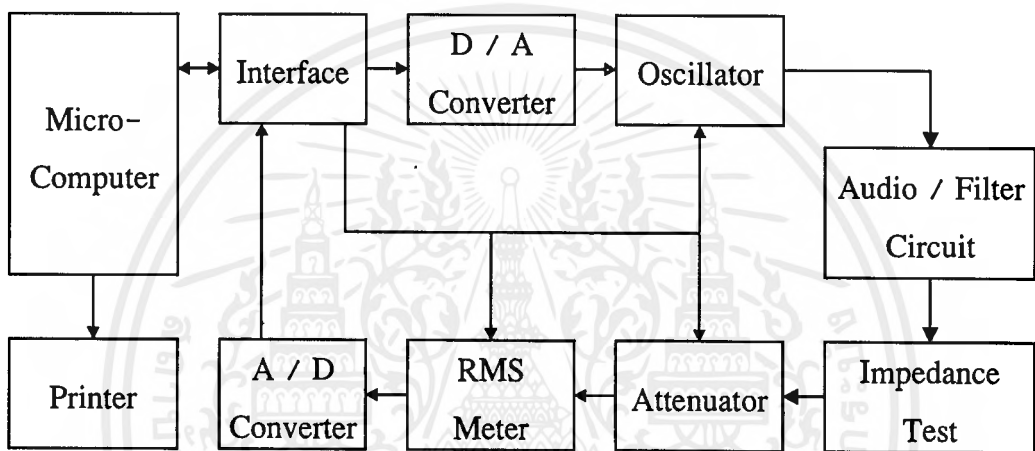
ตัวต้านทานแต่ละตัวที่ต่ออนุกรม จะถูกขนานด้วยตัวเก็บประจุ และรวมกันแล้วได้ค่ารีแอคแตนซ์ ในอัตราส่วนที่เท่ากับความต้านทานของวงจรลดทอนสัญญาณ ต่อค่าตัวเก็บประจุที่น้อยที่สุด (ให้รีแอคแตนซ์มากที่สุด) เข้ากับตัวต้านทานค่ามากที่สุด โดยค่าตัวเก็บประจุมีค่าอยู่ในย่าน 15 พิโกฟารัดถึง 50 พิโกฟารัด ซึ่งมากพอที่จะเกิด Swamp strays แต่ก็มีค่าเล็กพอเพื่อให้ได้อิมพีแดนซ์ที่สูง ซึ่งยอมรับกันได้ทางด้านสัญญาณอินพุตการชดเชยความถี่ ของวงจรลดทอนสัญญาณและการเอา 100 ไปหาร หรือเอาค่า 100 ไปหารทางด้านเอาต์พุตต่ออินพุตของ ออสซิลโลสโคป แล้วต่อค่า C_1 เข้าไปเพื่อปรับหารูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 2.23 (ข) ตามแผนผังการทำงาน

บทที่ 3

การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

3.1 การออกแบบวงจร

3.1.1 แผนผังของเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง

แผนผังการทำงาน ของเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียงประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. วงจรเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Interface) ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก โดยรับคำสั่งมาจากคีย์บอร์ดของเครื่องคอมพิวเตอร์ และไปทำการควบคุมวงจรต่างๆ เช่น วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล, วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก วงจรลดทอนสัญญาณ วงจรกำเนิดความถี่ ฯลฯ

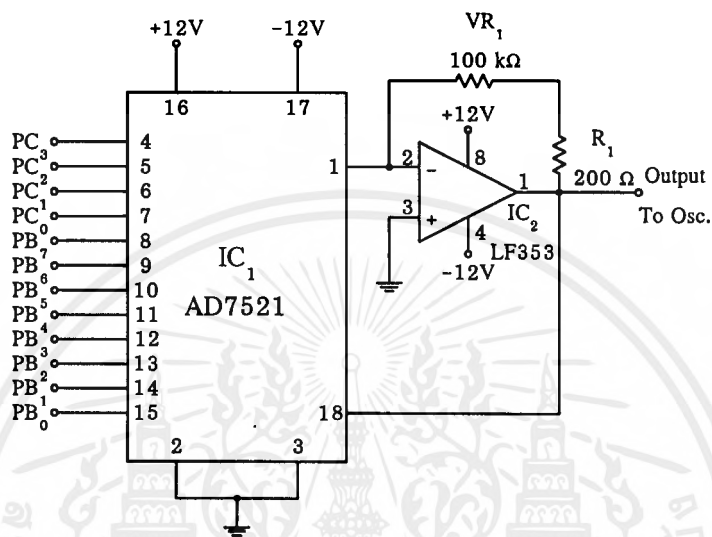
2. วงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัล เป็นสัญญาณแอนะล็อก (D/A Converter) ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณดิจิทัล เป็นสัญญาณแอนะล็อก เพื่อนำสัญญาณแอนะล็อกที่ได้ทางเอาต์พุตไปควบคุมวงจรถ่ายความถี่ (Voltage Control Oscillator : VCO) โดยวงจรแปลงสัญญาณนี้ใช้ไอซีเบอร์ AD7521 ที่มีความละเอียดขนาด 12 บิต (4096 ระดับ)

3. วงจรกำเนิดความถี่ (Oscillator) ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณทดสอบ ซึ่งถูกควบคุมโดยแรงดันจากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก เพื่อที่จะนำไปทดสอบวงจร
4. วงจรลดทอนสัญญาณ (Attenuator) ทำหน้าที่ลดทอนระดับสัญญาณให้มีค่าเหมาะสมกับวงจรวัดค่าอาร์เอ็มเอส
5. วงจรวัดค่าอาร์เอ็มเอส (RMS Meter) ทำหน้าที่วัดระดับสัญญาณไฟสลับ ออกมาเป็นค่าอาร์เอ็มเอส โดยใช้ไอซีแปลงสัญญาณเบอร์ AD636JH ซึ่งค่าที่แปลงออกมานั้นจะเป็นแรงดันไฟตรง
6. วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D Converter) ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกที่ได้จากวงจรวัดค่าอาร์เอ็มเอส ไปเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลนี้ใช้ไอซี เบอร์ AD574 ที่มีความละเอียดขนาด 12 บิต (4096 ระดับ)
7. ไมโครคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณ ที่รับมาจากวงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยผ่านวงจรเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ให้แสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ และทำหน้าที่รับข้อมูลจากคีย์บอร์ดมาประมวลผล เพื่อส่งไปควบคุมการทำงานของส่วนต่างๆ
9. วงจรทดสอบอิมพีแดนซ์ (Impedance Test) ทำหน้าที่เป็นตัววัดค่าความต้านทานอินพุต และเอาต์พุตของวงจร
8. เครื่องพิมพ์ (Printer) ทำหน้าที่แสดงผลข้อมูล โดยการพิมพ์

3.1.2 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก

รูปที่ 3.2 แสดงวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก วงจรนี้จะใช้ไอซีเบอร์ AD7521 ซึ่งเป็นไอซีแปลงสัญญาณขนาด 12 บิต การทำงานของวงจรคือ สัญญาณดิจิทัลจะถูกป้อนเข้ามาที่ขาบิตอินพุตของ IC₁ เบอร์ AD7521 ที่ขา 4 (MSB) ถึงขา 15 (LSB) ซึ่งมีขาสัญญาณ 12 เส้น (12 บิต) สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จาก IC₁ เบอร์ AD7521 จะอยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้านี้สามารถเลือกได้โดยต่อที่ขา 1 หรือที่ขา 2 (ถ้าต่อที่ขา 1 เมื่อทำการป้อนลอจิกอินพุต 1 หมด เอาต์พุต จะได้กระแสสูงสุดแต่ถ้าต่อที่ขา 2 ถ้าต้องการที่จะให้กระแสเอาต์พุตมีค่าสูงสุดต้องป้อนลอจิกอินพุตมีค่า 0 หมด) ในวงจรนี้ต่อขา 1 เป็นขาเอาต์พุต และต่อขา 2 ลงกราวด์ สัญญาณเอาต์พุต ที่ได้จากขา 1 จะถูกป้อนเข้าที่ขา 2 ของ IC₂ เบอร์ LF353 ซึ่งเป็นวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน ตัวต้านทานปรับค่าได้ VR₁ ค่า 100 กิโลโห์มมี

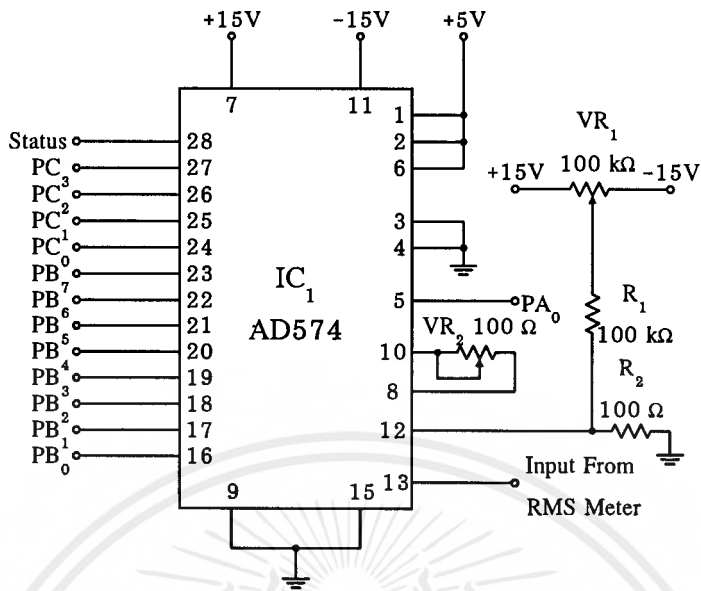
ไว้เพื่อปรับค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจร เอาต์พุตที่ได้จาก IC₂ เบอร์ LF353 ซึ่งเป็นแรงดันมีค่า 10 โวลต์ ซึ่งสามารถปรับค่าได้ 4096 ระดับโดยมีความละเอียดถึง 2.44 มิลลิโวลต์/บิต (เมื่อปรับค่า VR₁ ให้มีแรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ 10 โวลต์)



รูปที่ 3.2 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก

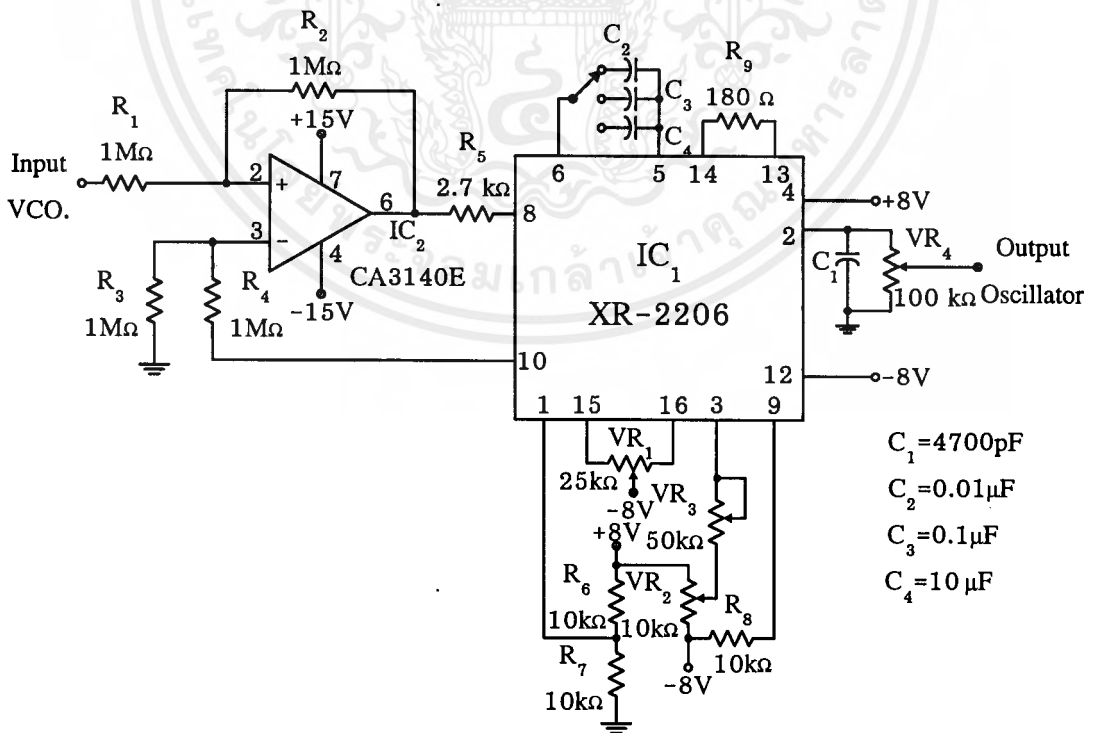
3.1.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

จากรูปที่ 3.3 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้ไอซีเบอร์ AD574 ซึ่งเป็นไอซีของบริษัท Analog Devices โดยมีคุณสมบัติพิเศษคือสามารถเลือกการแปลงสัญญาณได้ 8 บิต และ 12 บิตโดยการป้อนลอจิกเข้าที่ขา 2 ของไอซีเบอร์ AD574 (ป้อนลอจิก 1 สามารถแปลงสัญญาณได้ 12 บิต ถ้าป้อนลอจิก 0 แปลงสัญญาณได้ 8 บิต) การทำงานของวงจรคือ เมื่อมีสัญญาณแอนะล็อกเข้ามาทางอินพุตที่ขา 13 (0-10 โวลต์) หรือที่ขา 14 (0-20 โวลต์) ของ IC₁ แต่ในวงจรใช้ขา 13 โดยเมื่อมีสัญญาณอินพุตเข้ามา จะถูกอ่านเก็บค่าเอาไว้ เมื่อป้อนลอจิก 0 เข้าที่ขา 5 ของ IC₁ และจะแสดงผลออกมาที่ขา 27 (MSB) ถึงขา 16 (LSB) เมื่อป้อนลอจิก 1 เข้าที่ขา 5 อีกทีหนึ่ง ตัวต้านทานปรับค่าได้ VR₁ ค่า 100 กิโลโอห์ม ทำหน้าที่ปรับแรงดันออฟเซตเข้าที่ขา 12 ของไอซีส่วนตัวต้านทานปรับค่าได้ VR₂ ค่า 100 โอห์ม ทำหน้าที่ปรับแรงดันอ้างอิงให้กับตัวไอซีในการแสดงผล



รูปที่ 3.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

3.1.4 วงจรกำเนิดความถี่ (Oscillator)



- $C_1 = 4700\text{pF}$
- $C_2 = 0.01\mu\text{F}$
- $C_3 = 0.1\mu\text{F}$
- $C_4 = 10\mu\text{F}$

รูปที่ 3.4 วงจรกำเนิดความถี่ที่ควบคุมด้วยแรงดัน

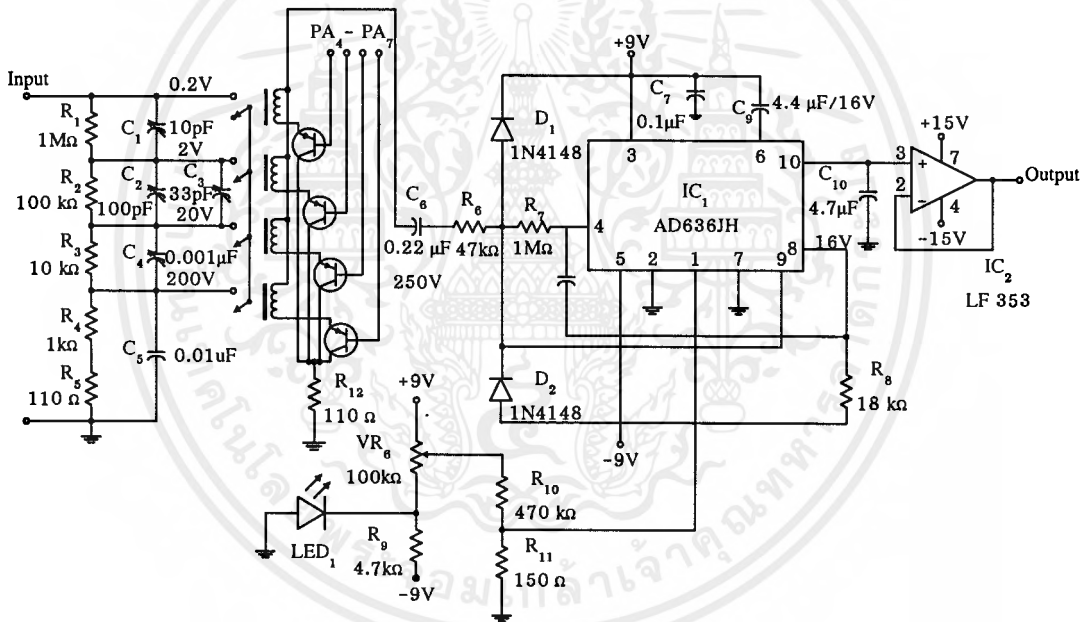
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 เป็นวงจรกำเนิดความถี่ซึ่งถูกควบคุมด้วยแรงดัน โดยใช้ IC₁ เบอร์ XR-2206 ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณไซน์ เพื่อใช้ในการทดสอบวงจร โดยความถี่ที่ถูกสร้างขึ้นถูกกำหนดโดยตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่ระหว่างขา 5 และขา 6 (Timing capacitor input) และตัวต้านทานที่ต่ออยู่ที่ขา 7 (Timing resistor output) ของไอซี เมื่อต้องการให้วงจรกำเนิดความถี่ ต้องต่อขา 9 เข้ากับแรงดัน -8 โวลต์ โดยผ่านทาง R₈ แรงดันที่ป้อนเข้ามาทางอินพุตที่จะนำมาควบคุมวงจรถ่ายกำเนิดความถี่ จะถูกเปลี่ยนให้เป็นกระแสโดย IC₂ เบอร์ CA3140E กระแสที่ได้ทางเอาต์พุตจะถูกป้อนเข้าที่ขา 8 ของ IC₁ ผ่านทาง R₅ เมื่อแรงดันสูงขึ้นทำให้ IC₁ กำเนิดความถี่สูงขึ้น โดยแรงดันอ้างอิงที่ขา 10 จะถูกต่ออยู่กับขาอินพุตไม่กลับเฟสของ IC₂ จากการแบ่งแรงดันโดย R₃ และ R₄ ตัวเก็บประจุ C₂ - C₄ เป็นตัวเก็บประจุที่ใช้ในการกำหนดย่านความถี่ของ IC₁ โดยวงจรที่ใช้มีการกำหนดย่านความถี่อยู่ 3 ย่านคือ ย่านความถี่ต่ำ ใช้ตัวเก็บประจุค่า 10 ไมโครฟารัด กำเนิดความถี่ในช่วง 10 เฮิรตซ์ ถึง 100 เฮิรตซ์ ในย่านความถี่กลาง ใช้ตัวเก็บประจุค่า 0.1 ไมโครฟารัด กำเนิดความถี่ในช่วง 100 เฮิรตซ์ ถึง 1 กิโลเฮิรตซ์ ย่านความถี่สูง ใช้ตัวเก็บประจุค่า 0.01 ไมโครฟารัด กำเนิดความถี่ในช่วง 1 กิโลเฮิรตซ์ ถึง 100 กิโลเฮิรตซ์ ตัวต้านทาน R₉ ที่ต่ออยู่ที่ขา 13 และขา 14 ของ IC₁ ค่า 180 โอห์ม ต่อไว้เพื่อปรับสัญญาณทางเอาต์พุตให้มีการผิดเพี้ยนน้อยที่สุด ตัวต้านทานปรับค่าได้ VR₁ ค่า 25 กิโลโอห์ม ใช้ในการปรับความสมดุลของระดับสัญญาณซีกรวม และซีกลบ VR₃ ค่า 50 กิโลโอห์ม ใช้ในการปรับค่าระดับความแรงของแอมพลิจูดของสัญญาณ VR₂ ค่า 10 กิโลโอห์ม ใช้ในการปรับระดับไฟตรงบนรูปสัญญาณสามเหลี่ยม ระดับสัญญาณเอาต์พุต ที่จะนำไปใช้ในการทดสอบวงจร มีค่า 100 มิลลิโวลต์อาร์เอ็มเอส โดยทำการปรับค่าความต้านทาน VR₄ ค่า 100 กิโลโอห์ม

3.1.5 วงจรวัดค่าอาร์เอ็มเอส

จากรูปที่ 3.5 เป็นวงจรแปลงสัญญาณไฟสลับเป็นค่าแรงดันอาร์เอ็มเอส ซึ่งในวงจรนี้ใช้ไอซีเบอร์ AD636JH ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษ คือ ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการวัดสัญญาณไฟสลับจะมีค่าเป็นแรงดันอาร์เอ็มเอสโดยตรง และไอซีเบอร์ที่ลงท้ายด้วย JH นี้มีค่าผิดพลาดในการวัด 1 เปอร์เซ็นต์ การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้คือ เมื่อมีสัญญาณไฟสลับผ่านเข้ามาทางอินพุต ผ่านวงจรลดทอนสัญญาณ และชดเชยความถี่ ด้วยอุปกรณ์ R₁ - R₅ และ C₁ - C₅ ตามลำดับ เพื่อให้มีค่าความแรงของระดับสัญญาณ และรูปร่างของสัญญาณเหมาะสมกับการวัด จากชุดลดทอนสัญญาณทำให้มีย่านการวัด 4 ย่านคือ 200 มิลลิโวลต์, 2 โวลต์, 20 โวลต์ และ 200 โวลต์ สัญญาณเมื่อผ่านวงจรลดทอนสัญญาณมาแล้วจะถูกปลีงผ่าน C₇ และ R₆

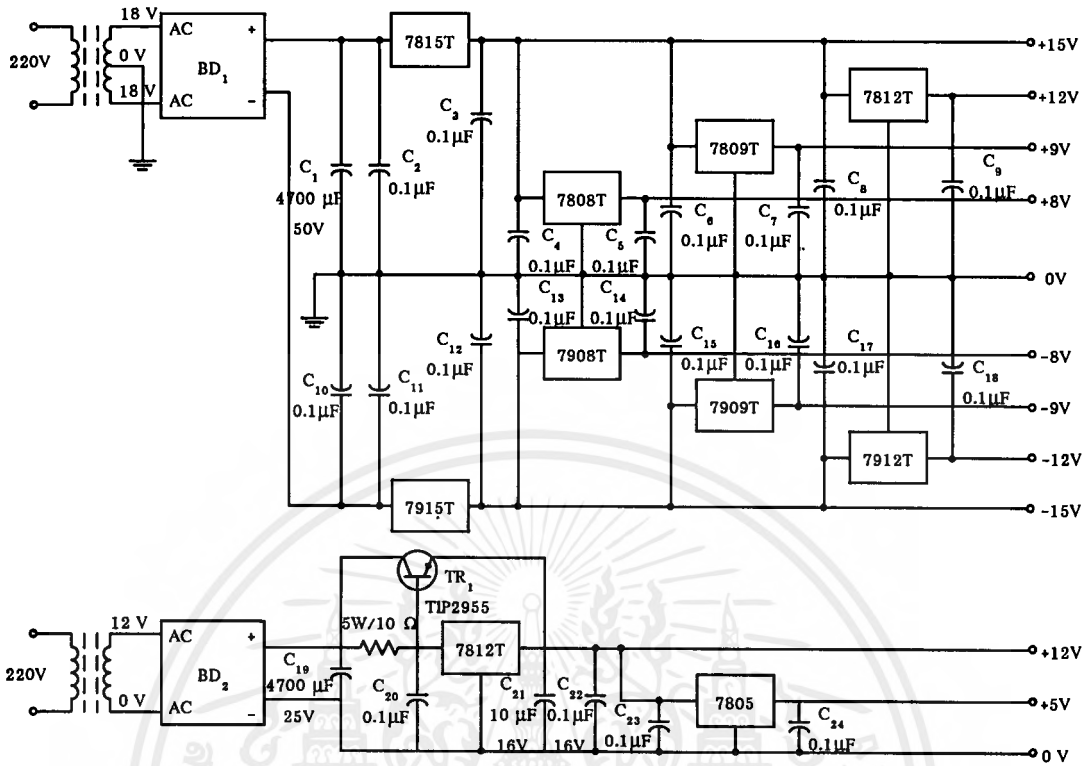
ส่วน D_1 และ D_2 ทำหน้าที่ป้องกันทางอินพุตของไอซีทางขา 9 ซึ่งอาจเกิดการผิดพลาด เนื่องจากการเลือกชุดลดทอนระดับสัญญาณไม่ถูกต้อง ระดับของสัญญาณทางอินพุตจะต้องมีความสัมพันธ์กับค่าแรงดันของตัวเก็บประจุ C_7 ด้วย เพราะถ้าหากว่าค่าแรงดันของตัวเก็บประจุ C_7 มีค่าต่ำกว่า อาจเกิดการเสียหายขึ้นที่ตัวเก็บประจุ C_7 ได้ ตัวเก็บประจุ C_9 ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันของค่าแรงดันเฉลี่ยทางเอาต์พุตของไอซี ให้มีระดับที่เหมาะสม ตัวเก็บประจุ C_{10} ทำหน้าที่ลดแรงดันริบเบิลของแรงดันสัญญาณทางเอาต์พุตขา 10 ของไอซี ตัวเก็บประจุ C_8 , C_9 และ C_{10} มีความสำคัญต่อการประมวลผลวัดเป็นอย่างมาก ซึ่งเป็นตัวกำหนดความถูกต้องของค่าแรงดันที่แสดงผลออกมาควรใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าผิดพลาดต่ำ โดยค่าแรงดันออฟเซตที่เอาต์พุตทางขา 10 ของไอซี สามารถปรับชดเชยด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ค่า 100 กิโลโอห์ม



รูปที่ 3.5 วงจรวัดค่าแรงดัน RMS

3.1.6 วงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ที่ทำหน้าที่จ่ายแรงดันให้กับวงจรในส่วนต่างๆ ของเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียงโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ แสดงดังในรูปที่ 3.6 ซึ่งมีการทำงานดังนี้

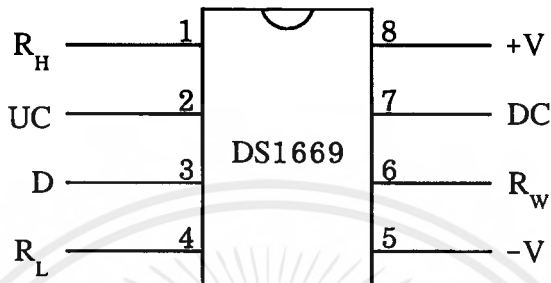


รูปที่ 3.6 วงจรแหล่งจ่ายกำลัง

เมื่อมีแรงดัน 220 โวลต์เข้ามาทางด้านขดปฐมภูมิ หม้อแปลงจะเกิดการเหนี่ยวนำ ทำให้มีแรงดันออกทางขดทุติยภูมิของหม้อแปลง เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับค่า 18-0-18 โวลต์ และ 12-0 โวลต์ โดยไฟสลับ 18-0-18 โวลต์เมื่อผ่านวงจรเร็กกูเลเตอร์ โดยใช้ไอซีเร็กกูเลเตอร์เบอร์ 7815 และ 7915 จะได้แรงดันไฟตรงค่า +15 โวลต์และ -15 โวลต์ ตามลำดับ เพื่อป้องกันกับวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และออปแอมป์ ไอซีเร็กกูเลเตอร์เบอร์ 7812 และ 7912 จะได้แรงดันไฟตรงค่า +12 โวลต์ และ -12 โวลต์ ตามลำดับ เพื่อป้องกันให้กับวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก ไอซีเร็กกูเลเตอร์เบอร์ 7809 และ 7909 จะได้แรงดันไฟตรงค่า +9 โวลต์ และ -9 โวลต์ ตามลำดับ เพื่อป้องกันให้กับวงจรวัดค่าอาร์เอ็มเอส ไอซีเร็กกูเลเตอร์เบอร์ 7808 และ 7908 จะได้แรงดันไฟตรงค่า +8 โวลต์ และ -8 โวลต์ ตามลำดับ เพื่อป้องกันให้กับวงจรกำเนิดความถี่ ส่วนไฟสลับค่า 12-0 โวลต์ เมื่อผ่านวงจรเร็กกูเลเตอร์ โดยใช้ไอซีเร็กกูเลเตอร์เบอร์ 7812 จะได้แรงดัน 12 โวลต์ ซึ่งให้กระแสสูงสุด 1 แอมป์ สามารถทำการขยายให้มีกระแสสูงขึ้นได้ โดยทำการต่อทรานซิสเตอร์เบอร์ TIP2955 เพื่อขยาย

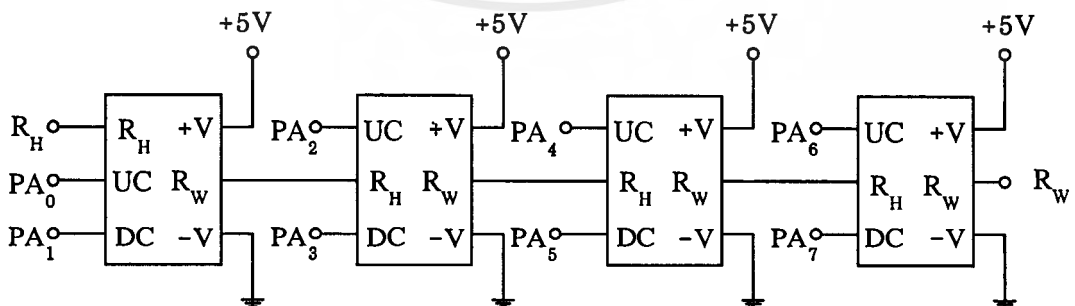
กระแส เพื่อป้อนให้กับบริเลย์ ที่ทำหน้าที่ตัดต่อเป็นตัวเลือกย่านการวัด ไอซีเร็กกูเลเตอร์เบอร์ 7805 เป็นแรงดันเพื่อป้อนให้กับวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

3.1.7 วงจรวัดค่าอิมพีแดนซ์



รูปที่ 3.7 ลักษณะของไอซีเบอร์ DS1669

ไอซีเบอร์ DS 1669 เป็นไอซีโพเทนชิโอมิเตอร์ ซึ่งสามารถปรับค่าความต้านทาน โดยสามารถประยุกต์ใช้เป็นตัววัดค่าอิมพีแดนซ์ ซึ่งสามารถวัดที่ขา R_w (Resistor wiper) เทียบกับ R_H (Resistor high End) หรือขา R_w (Resistor wiper) เทียบกับ R_L (Resistor low end) ไอซี DS 1669 นี้สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น และถ้าป้อนสัญญาณเข้าที่ขา DC (Down contact input) จะทำให้ค่าความต้านทานลดลง หรือสามารถเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานได้โดยใช้สัญญาณดิจิทัลควบคุมที่ขา D (Digital input) ซึ่งค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงนี้จะมีการเปลี่ยนแปลง 1/64 ของค่าความต้านทานในตัวไอซี

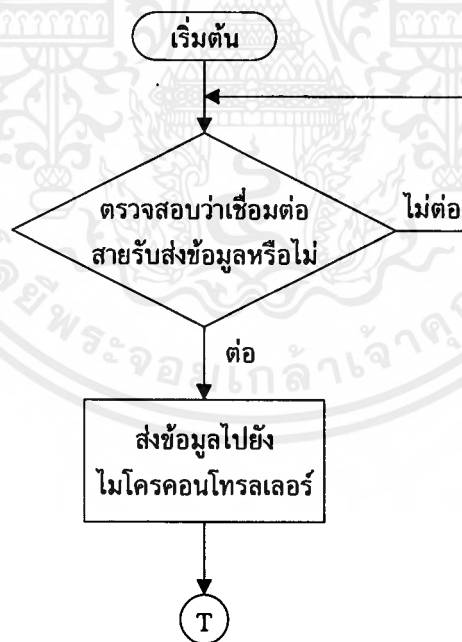


รูปที่ 3.8 วงจรวัดค่าอิมพีแดนซ์ซึ่งนำไอซีเบอร์ DS1669 มาประยุกต์ใช้

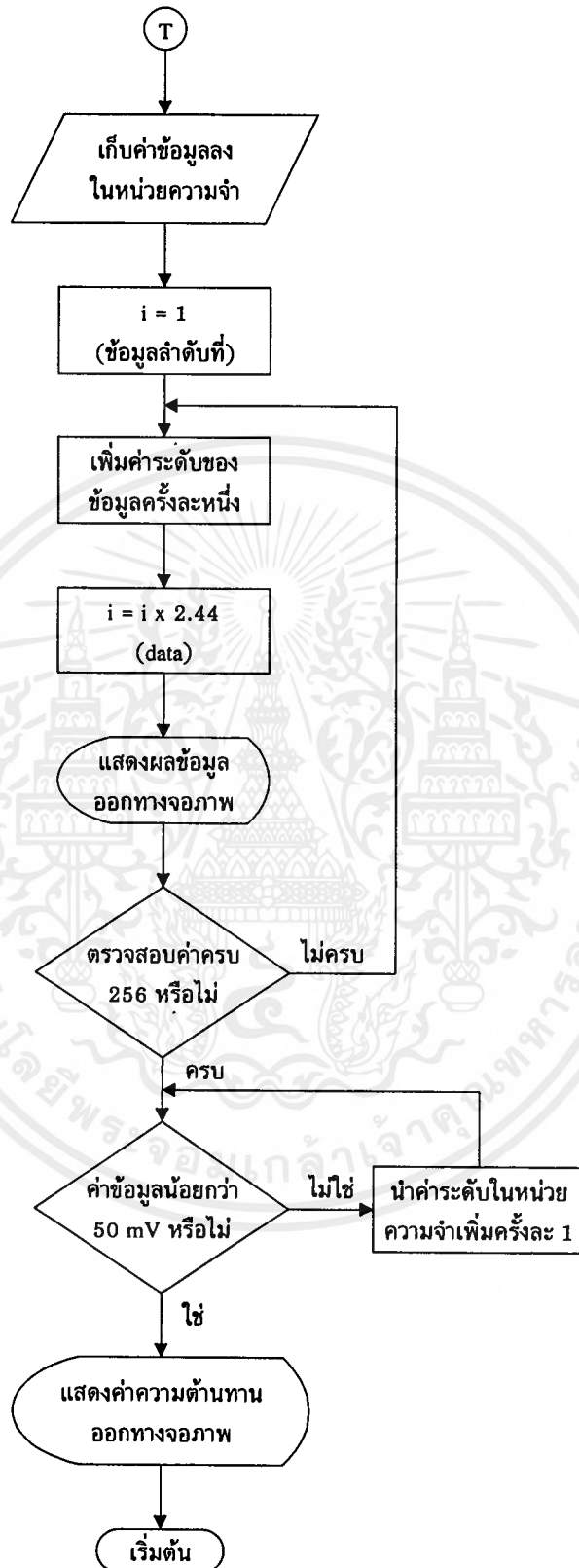
จากรูปที่ 3.8 เป็นวงจร วัดค่าอิมพีแดนซ์โดยประยุกต์ใช้ไอซี DS1669 ซึ่งไอซีนี้แต่ละตัวจะมีความต้านทาน 50 กิโลโอห์ม ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานได้ครั้งละ 1/64 ของความต้านทานในตัวมัน เมื่อต้องการเพิ่มความต้านทานให้มากขึ้นก็สามารถนำมาต่ออนุกรมกันได้ ซึ่งจากวงจรเมื่อนำมาต่อรวมกันจะมีความต้านทานรวมทั้งหมด 200 กิโลโอห์ม ไอซี DS1669 นี้สามารถที่จะทำให้เพิ่มหรือลดความต้านทานได้ที่ขา UC และ DC ซึ่งขา UC หรือ Up contact input จะเป็นการเพิ่มความต้านทาน ส่วนขา DC หรือ Down contact input จะเป็นตัวลดความต้านทาน จากวงจรจะใช้ PA₀-PA₇ เป็นตัวควบคุมการลดหรือเพิ่มค่าความต้านทาน ซึ่งสามารถวัดค่าความต้านทานได้ที่ขา R_H และ R_w

3.2 การออกแบบโปรแกรม

3.2.1 ฟังก์ชันโปรแกรมของชุดไมโครคอมพิวเตอร์

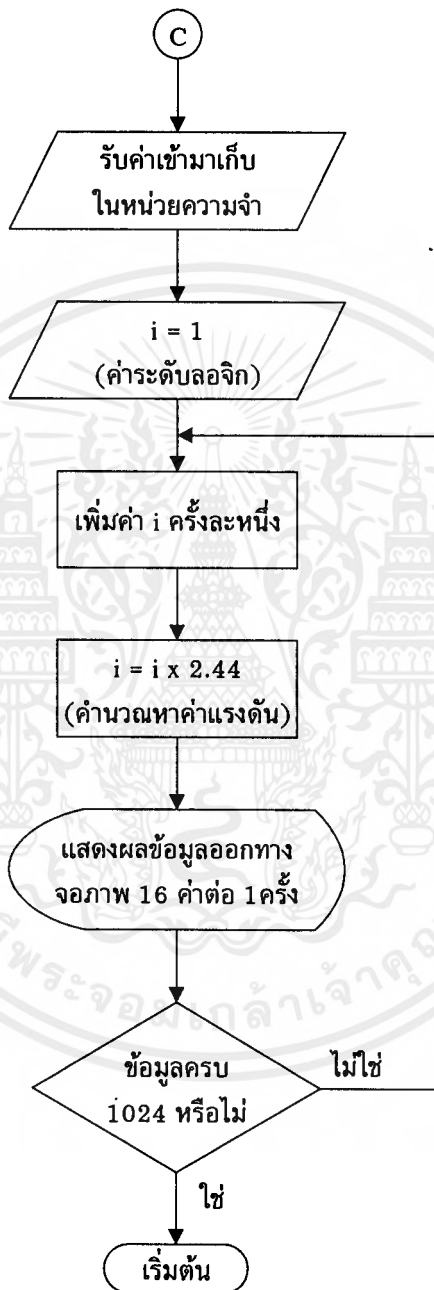


รูปที่ 3.9 ฟังก์ชันโปรแกรมการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์



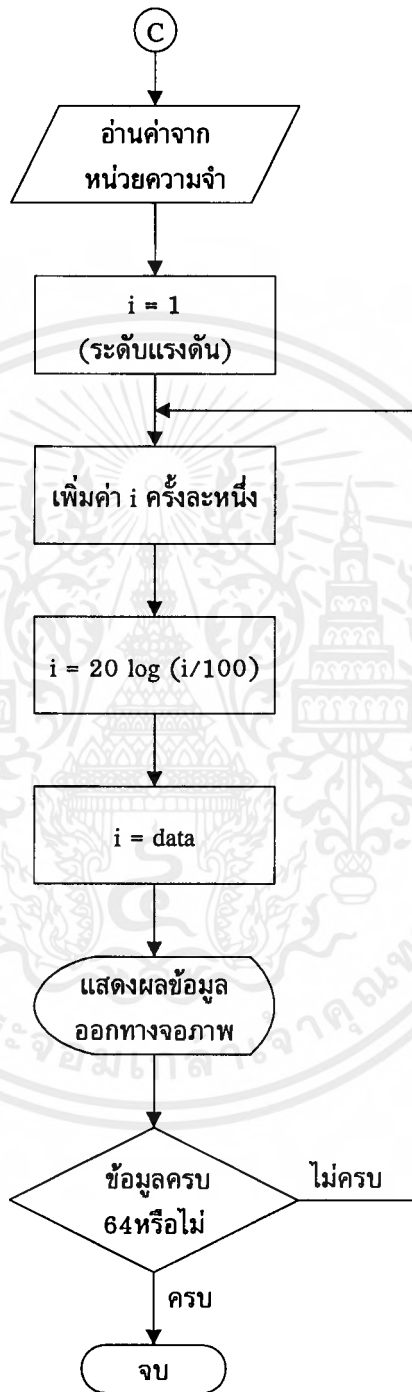
รูปที่ 3.10 ผังโปรแกรมการรับค่า และแสดงผลการหาค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ผังโปรแกรมการรับค่า และแสดงผลของผลการตอบสนองความถี่แบบเชิงเส้น

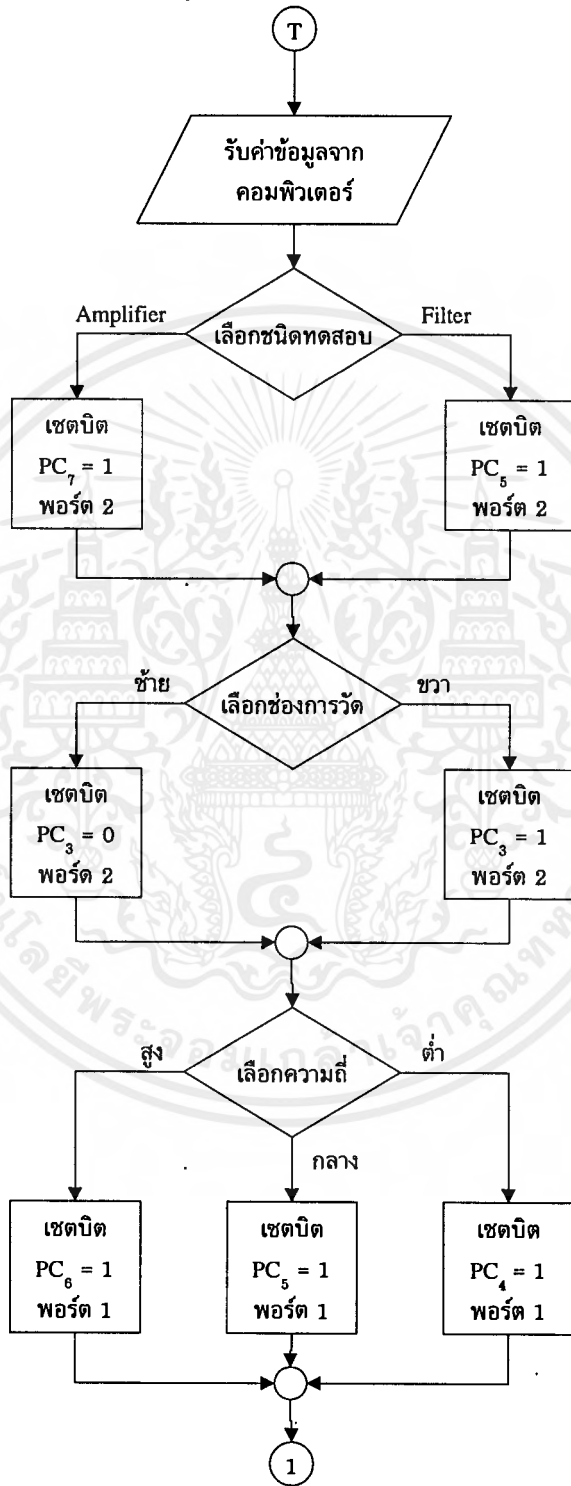
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ผังโปรแกรมการรับค่า และแสดงผลแบบเดซิเบล

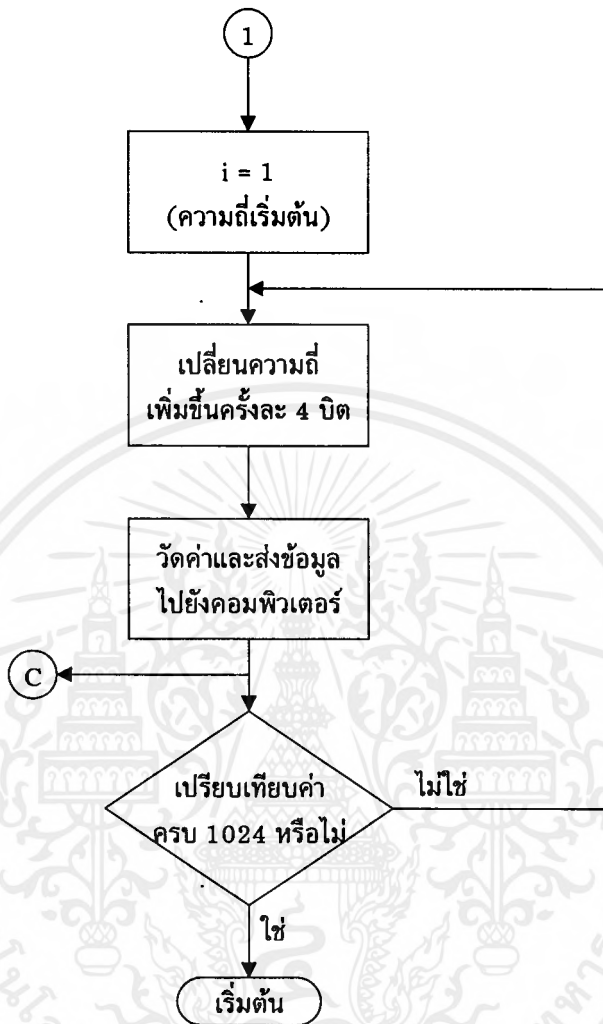
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ฟังก์ชันโปรแกรมของชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

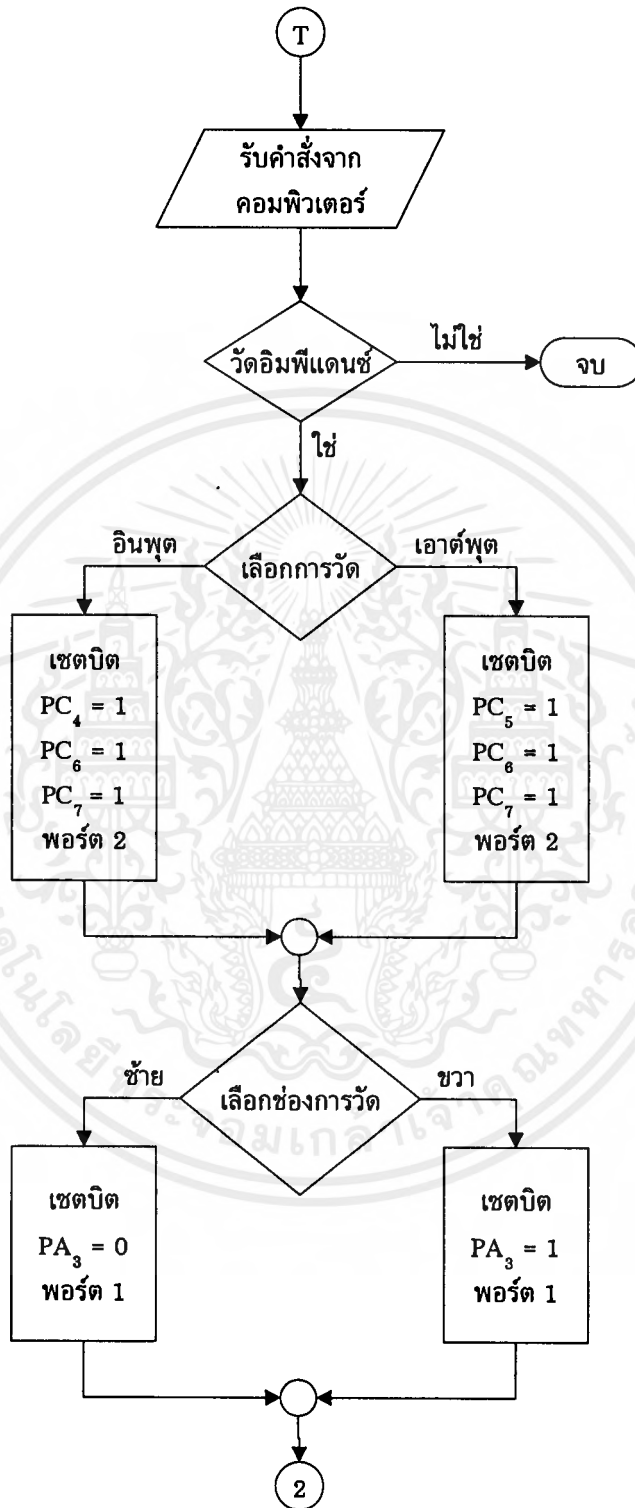


รูปที่ 3.13 ฟังก์ชันโปรแกรมการรับค่าข้อมูลจากเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

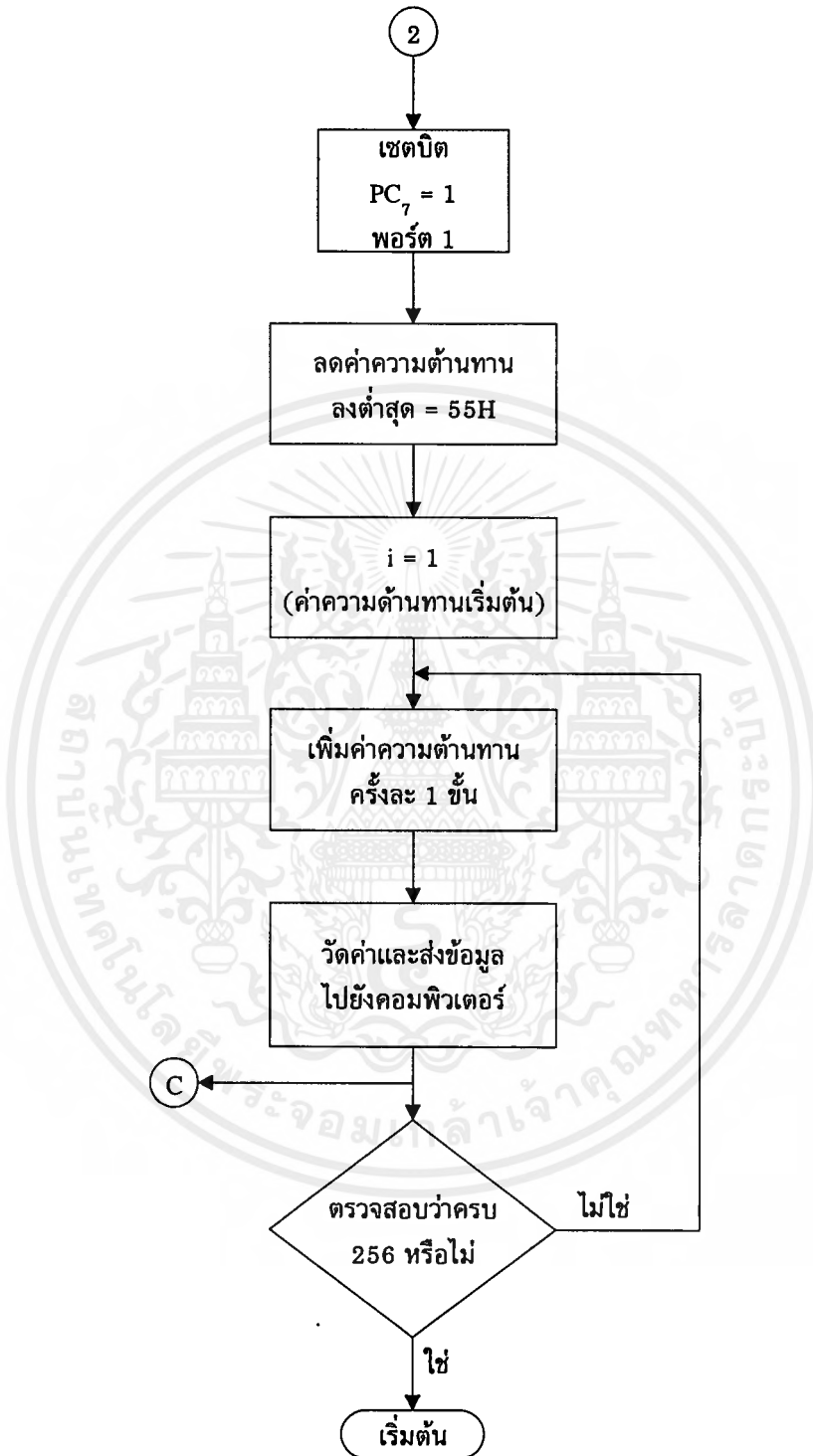


รูปที่ 3.14 ผังโปรแกรมการทำงานการวัดผลตอบสนองความถี่



รูปที่ 3.15 ผังโปรแกรมการรับค่าข้อมูลการวัดค่าอิมพีแดนซ์จากคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 ผังโปรแกรมการทำงานของการวัดค่าอิมพีแดนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

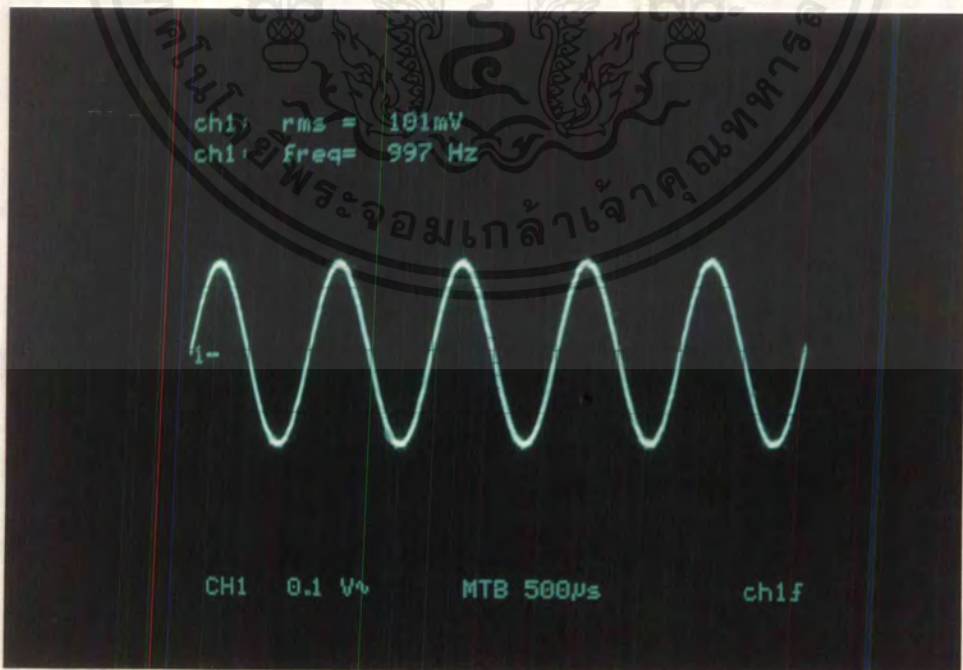
การทดลอง และผลการทดลอง

4.1 การทดลองวงจร

4.1.1 การทดลองวงจรกำหนดความถี่ควบคุมด้วยแรงดัน

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อแหล่งจ่ายให้กับวงจรกำเนิดความถี่ และออปแอมป์
2. จากนั้นนำแหล่งจ่ายที่สามารถปรับค่าได้ ต่อเข้ากับขาอินพุตของออปแอมป์ (ขา 2)
3. นำตัวเก็บประจุใส่ในวงจรกำเนิดความถี่
4. ทำการเลือกย่านการกำเนิดความถี่โดยการสั่งให้รีเลย์เลือกย่านความถี่ทำงาน
5. ทำการปรับค่าแรงดันอินพุตที่ป้อนให้กับออปแอมป์ซึ่งมีค่าไม่เกิน 10 โวลต์
6. ใช้ออสซิลโลสโคปทำการวัดความถี่ทางเอาต์พุต
7. ปรับตัวต้านทานค่า 100 กิโลโอห์ม เพื่อให้ได้แอมพลิจูดของสัญญาณมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิโวลต์อาร์เอ็มเอส

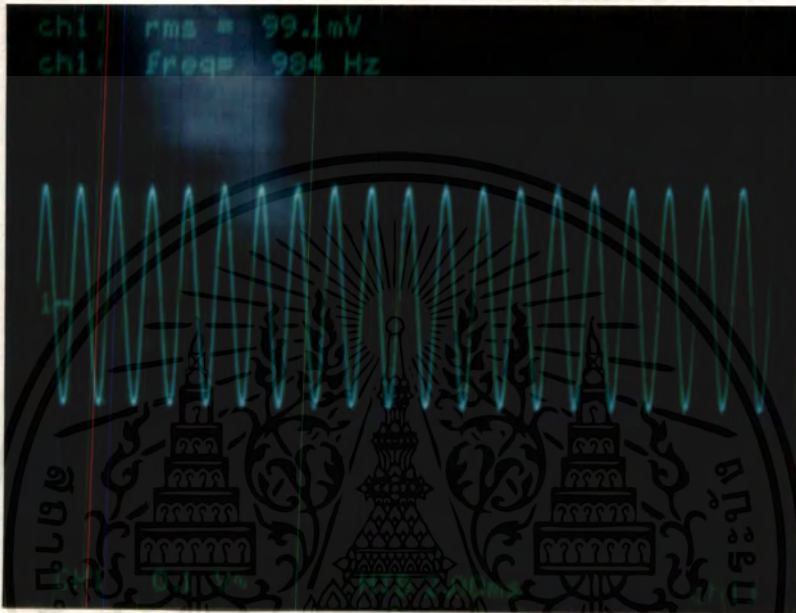


รูปที่ 4.1 เอาต์พุตของวงจรกำเนิดความถี่ที่มีความแรงของสัญญาณ 100 มิลลิโวลต์อาร์เอ็มเอส

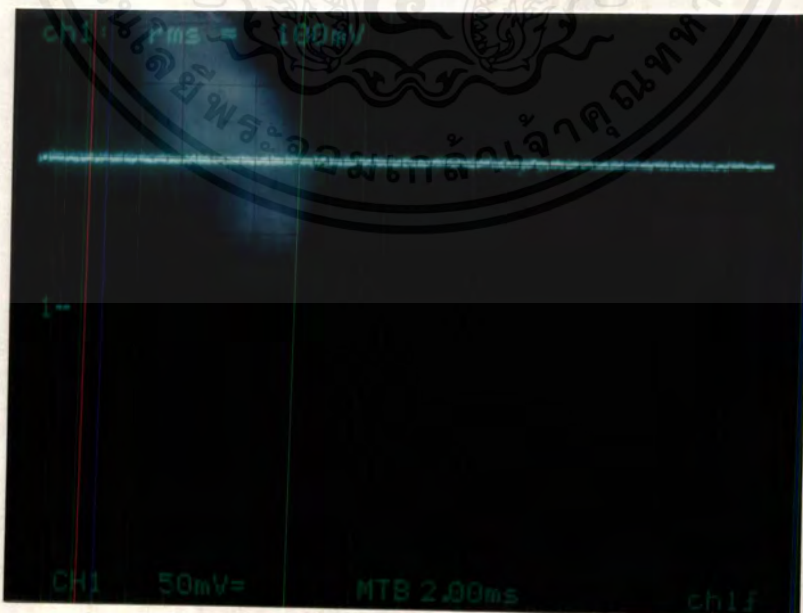
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การทดลองวงจรวัดค่าอาร์เอ็มเอส

ทำการป้อนสัญญาณที่มีแอมพลิจูดค่า 100 มิลลิโวลต์อาร์เอ็มเอส ให้กับวงจรวัดค่าอาร์เอ็มเอส จากนั้นนำออสซิลโลสโคปวัดค่าแรงดันไฟตรงทางด้านเอาต์พุตของวงจร ซึ่งผลการทดลองได้ผลตามรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 รูปสัญญาณที่ป้อนอินพุตของวงจรวัดค่าอาร์เอ็มเอสมีค่า 100 มิลลิโวลต์อาร์เอ็มเอส



รูปที่ 4.3 เอาต์พุตวงจรวัดค่าอาร์เอ็มเอสเมื่อวัดสัญญาณอินพุตค่า 100 มิลลิโวลต์อาร์เอ็มเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองวงจรด้วยเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง

การทดสอบวงจรม่านความถี่เสียง (Audio frequency) แบ่งออกเป็น ส่วนคือ

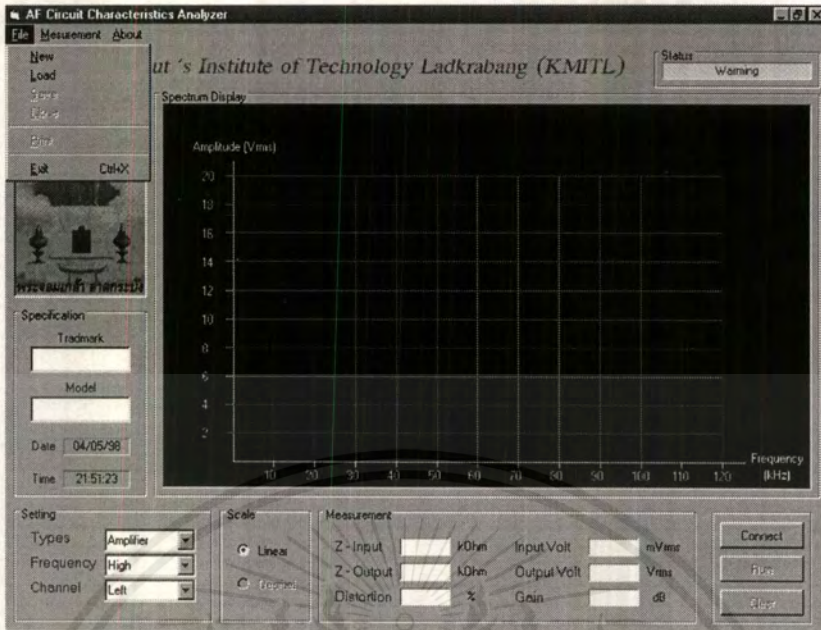
1. วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier)
2. วงจรกรองความถี่ (Filter)

อุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อปฏิบัติการทดสอบวงจร

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ PC และ โปรแกรมการทดสอบ
2. เครื่องทดสอบวงจร
3. สายต่อวงจรรับส่งสัญญาณ และสายนำสัญญาณ
4. วงจรที่นำมาทดสอบ

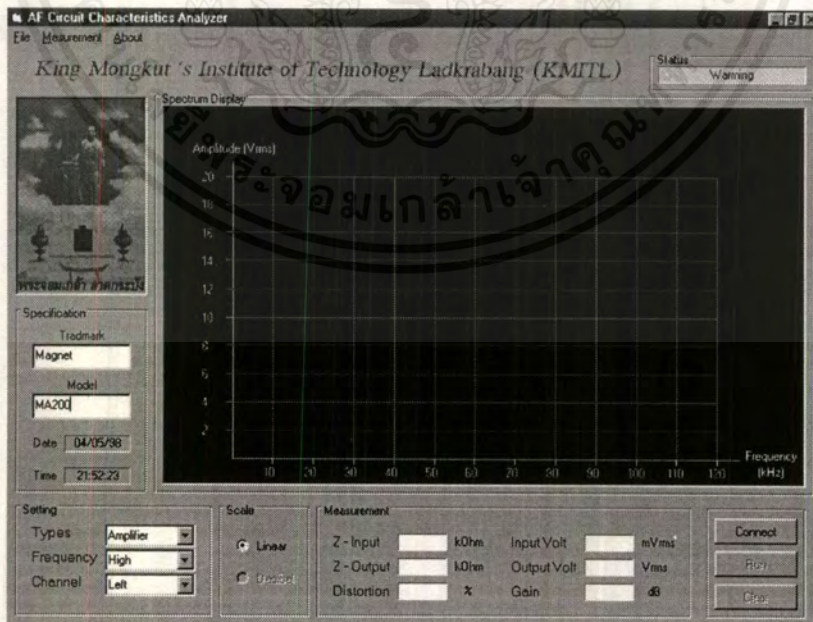
ลำดับขั้นตอนการใช้งานเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง

1. ต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรมการทดสอบ กับเครื่องทดสอบโดยใช้สายรับส่งสัญญาณอนุกรม RS-232
2. ต่อสายสัญญาณระหว่างเครื่องทดสอบ และวงจรที่ต้องการนำมาทดสอบ
3. จ่ายไฟให้กับวงจรที่นำมาทดสอบ
4. เปิดสวิทซ์ไฟฟ้าที่เครื่องทดสอบ และเครื่องคอมพิวเตอร์
5. เมื่อไมโครคอมพิวเตอร์เข้าสู่โปรแกรม WINDOWS 95
เลือกโปรแกรมทดสอบวิเคราะห์วงจรจาก Short Cut หรือ Taskbar ที่ได้ติดตั้งไว้แล้ว
เพื่อเปิดโปรแกรมจนแสดงรายการหลักดังรูป 4.4



รูปที่ 4.4 รายการเลือกใช้งานของเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง

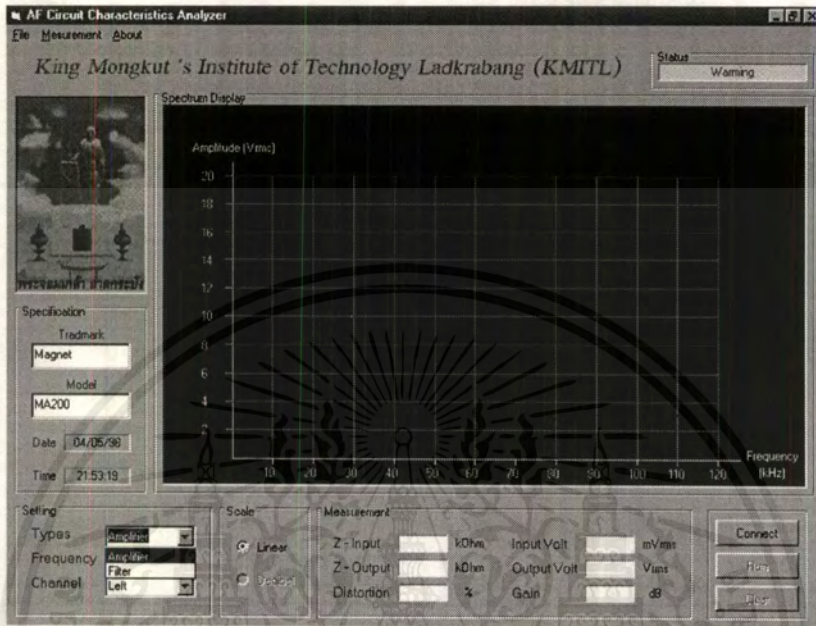
6. เลื่อนเมาส์มาที่รายการเพื่อป้อนข้อมูลเกี่ยวกับยี่ห้อ และรุ่นของวงจรที่นำมาทดสอบ จากนั้นเลื่อนเมาส์มาที่ Specification เพื่อป้อนข้อมูลเกี่ยวกับวงจรที่ต้องการนำมาทดสอบ



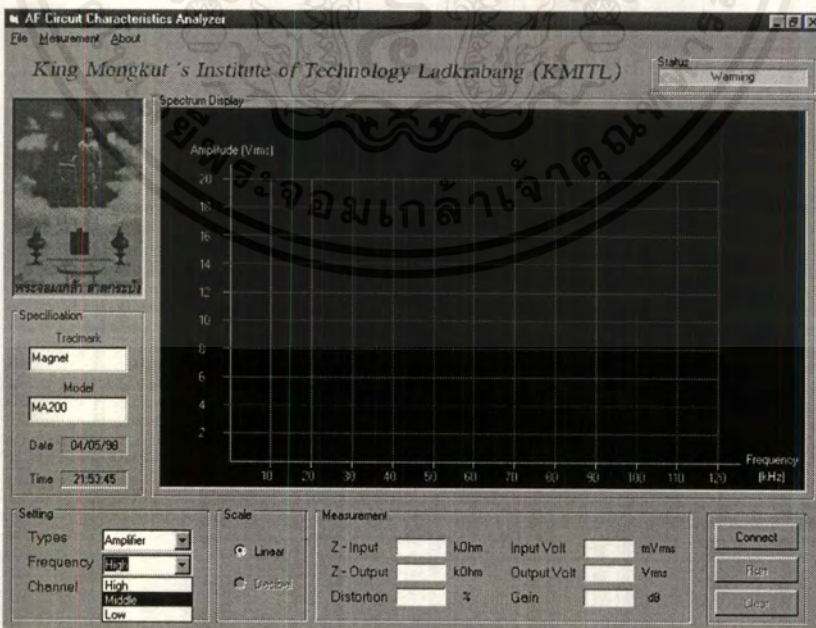
รูปที่ 4.5 การป้อนข้อมูลเกี่ยวกับยี่ห้อ และรุ่นของวงจรที่นำมาทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เลื่อนเมาส์มาที่รายการย่อย เพื่อใส่ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบจากนั้น ป้อนข้อมูลเบื้องต้นที่ส่วนของ Setting ทั้ง 3 ส่วน

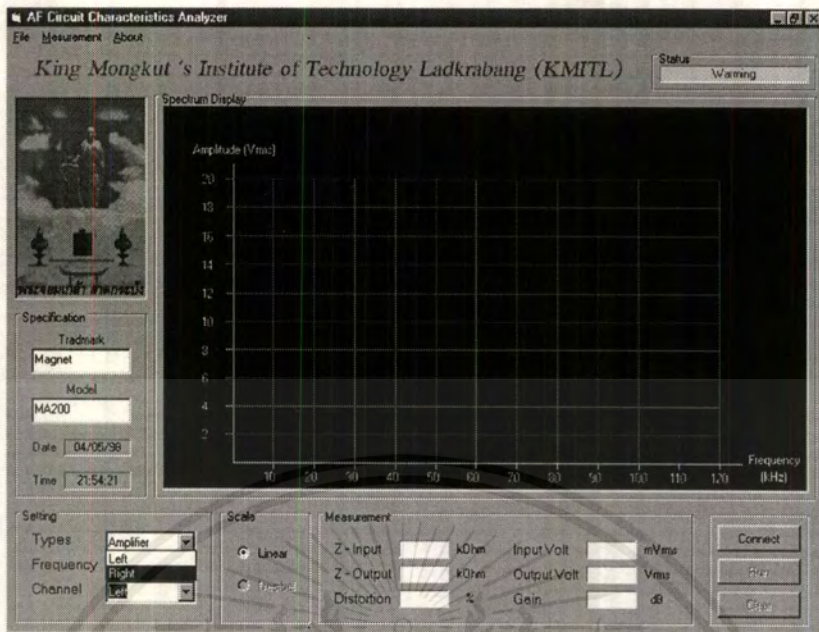


รูปที่ 4.6 การป้อนข้อมูลเลือกชนิดของวงจรที่ต้องการทดสอบ



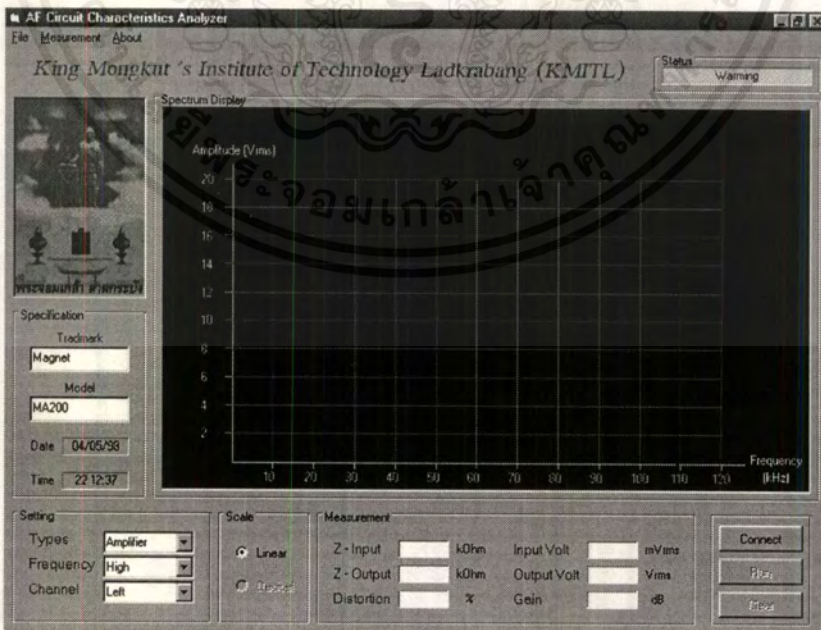
รูปที่ 4.7 การป้อนข้อมูลเลือกย่านความถี่ที่ต้องการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



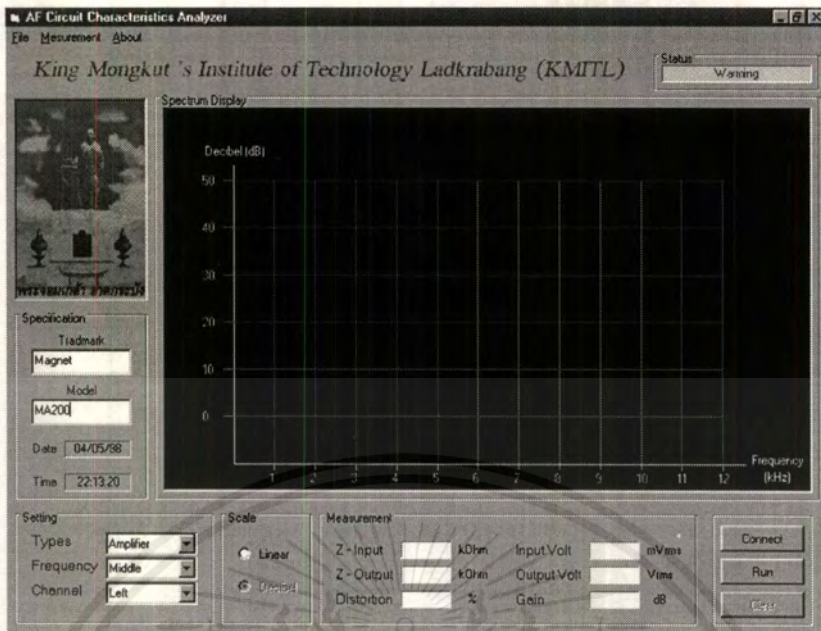
รูปที่ 4.8 การป้อนข้อมูลเลือกช่องการทดสอบ

8. เลื่อนเมาส์ไปที่รายการเลือกย่อย Scale เพื่อใส่ข้อมูลเกี่ยวกับการกำหนดตัวเลือกการแสดงผล



รูปที่ 4.9 หน้าจอการแสดงผลแบบเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 หน้าจอการแสดงผลแบบเดซิเบล

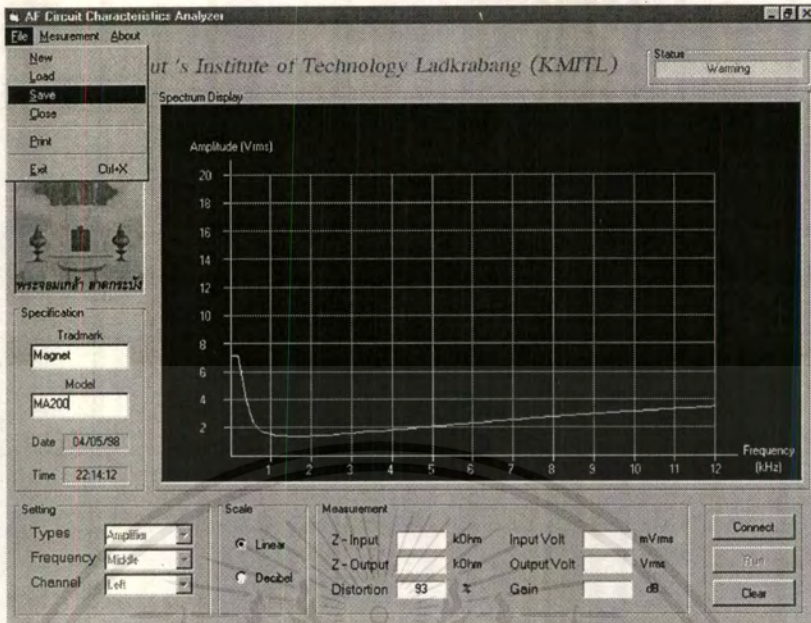
9. เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ทำการกดปุ่ม Remote ก่อนเพื่อที่จะทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ติดต่อกับชุดทดสอบวงจร จากนั้นจึงทำการ Run โปรแกรม

10. เอาต์พุตที่แสดงผลจะเป็นผลตอบสนองของวงจร

- Spectrum ; กราฟแสดงผลการตอบสนองของวงจร
- Vin ; แรงดันอินพุต (V_{rms})
- Vout ; แรงดันเอาต์พุต (V_{rms})
- Distortion ; เปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ
- Gain ; อัตราการขยายของวงจร (dB)
- Z-Input ; อินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจร (Ohm)
- Z-output ; เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจร (Ohm)

11. เมื่อต้องการวัดค่าอิมพีแดนซ์ทำได้โดยได้โดยทำการเลือกที่เมนู Measurement

12. สามารถทำการบันทึกข้อมูล แสดงผลของข้อมูลออกทางเครื่องพิมพ์ได้ โดยทำการเลือกที่เมนูย่อย



รูปที่ 4.11 ทำการเลือกเมนูย่อยเพื่อบันทึกข้อมูล และแสดงผลออกทางเครื่องพิมพ์

13. เมื่อต้องการออกจาก โปรแกรมโดยทำการเลื่อนเมาส์ไปที่ EXIT หรือ X มุมขวา

4.2.1 การทดสอบชุดวงจรขยายสัญญาณ

อุปกรณ์การทดลอง

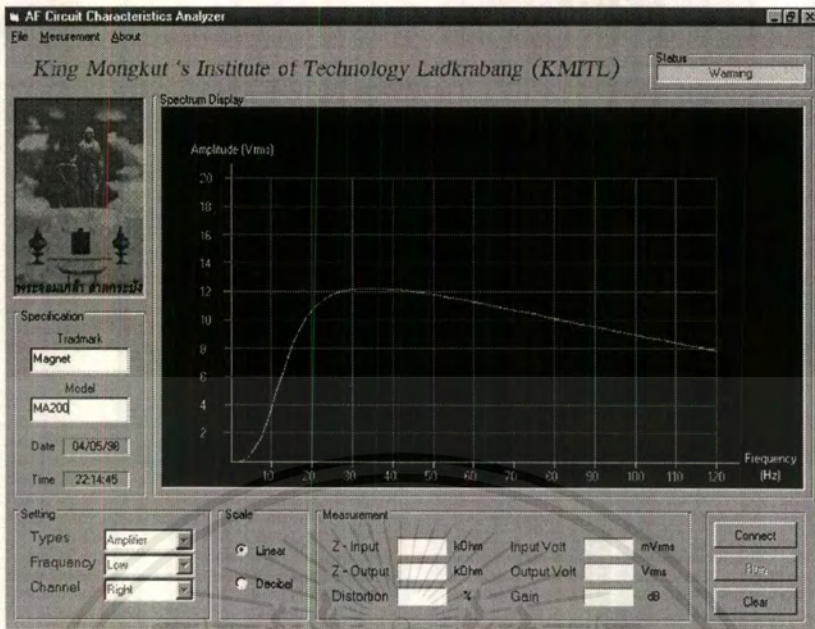
1. วงจรขยายสัญญาณ ยี่ห้อ Magnet รุ่น MA-200
2. ปริ๊อมพลิไฟร์ ยี่ห้อ Magnet รุ่น PR-5

การออกแบบการทดลอง

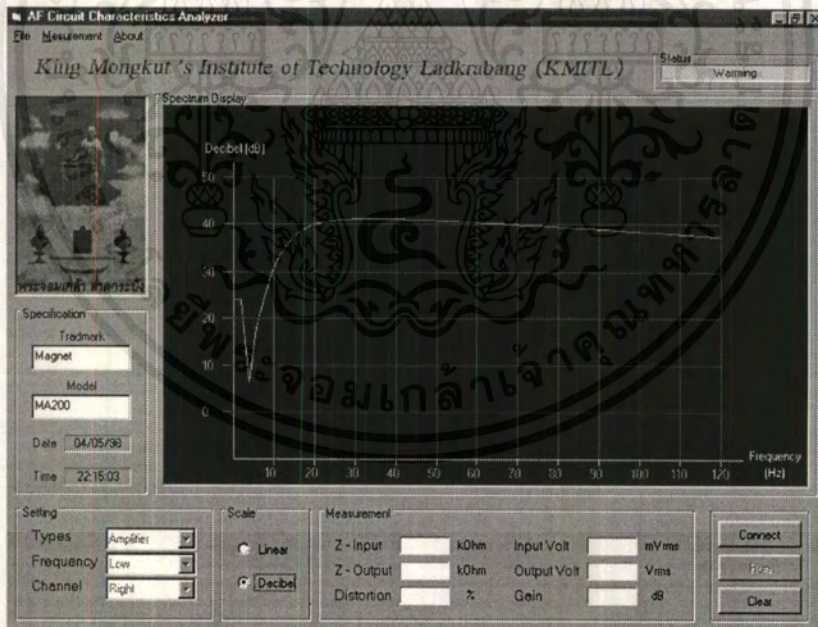
1. ทำการเลือกเมนูไปที่ Amplifier
2. เลือกย่านความถี่ทดสอบไปที่ Low Frequency

ผลการทดลอง

ข้อมูลที่ได้จากการวัดผล และทดสอบวงจรขยาย ด้วยเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง สามารถดูผลการทดลองได้จากเพิ่มข้อมูลชื่อ Magnetlow.Spc ดังรูปที่ 4.12 และการแสดงผลแบบเดซิเบล ดูได้จากรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบวงจรขยายสัญญาณแบบเชิงเส้น



รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบของวงจรขยายสัญญาณแบบเดซิเบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์การทดลอง

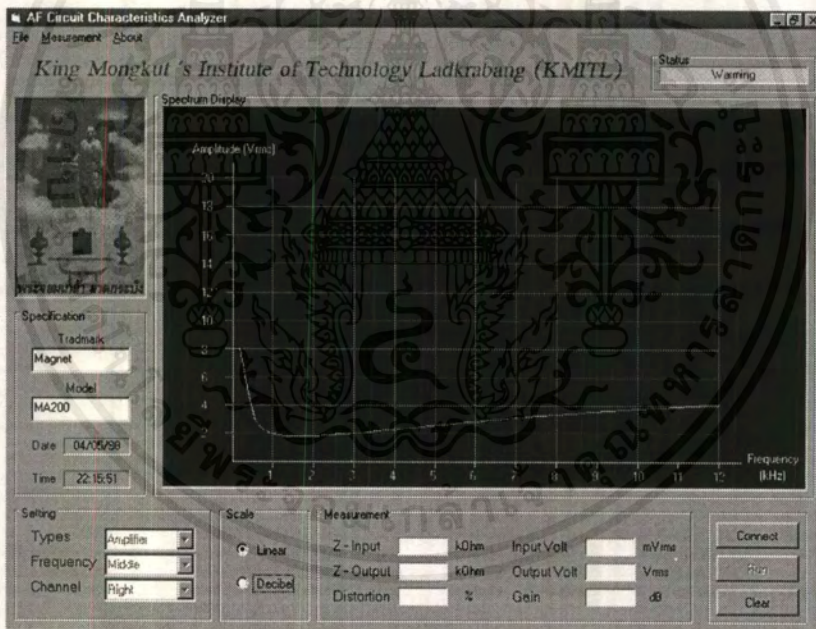
1. วงจรขยายสัญญาณ ยี่ห้อ Magnet รุ่น MA-200
2. ปริแอมพลิไฟร์ ยี่ห้อ Magnet รุ่น PR-5

การออกแบบการทดลอง

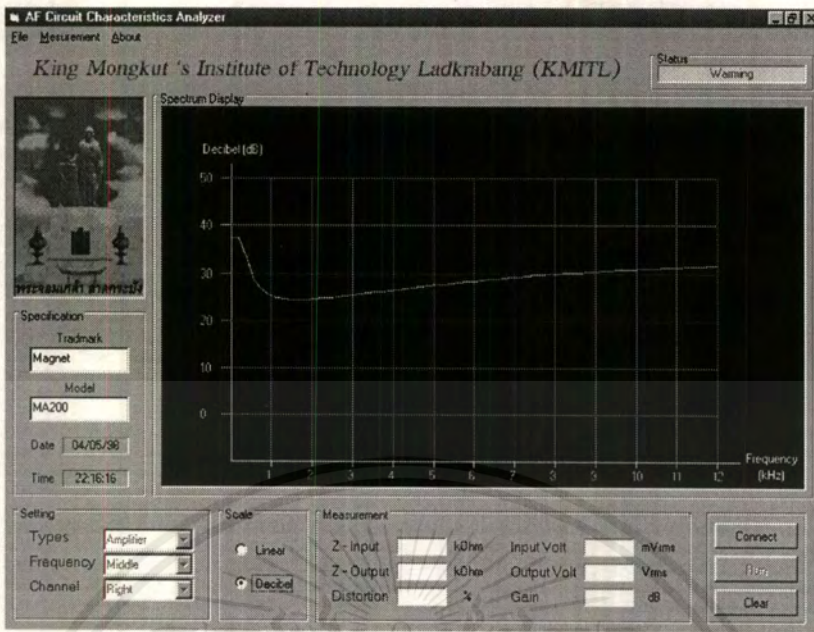
1. ทำการเลือกเมนูไปที่ Amplifier
2. เลือกย่านความถี่ทดสอบไปที่ Middle Frequency

ผลการทดลอง

ข้อมูลที่ได้จากการวัดผลและทดสอบวงจรขยาย ด้วยเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง สามารถดูผลการทดลองได้จากเพิ่มข้อมูลชื่อ MagnetMiddle.Spc ดังรูปที่ 4.14 และการแสดงผลแบบเดซิเบล ดูได้จากรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบวงจรขยายสัญญาณแบบเชิงเส้น



รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบของวงจรรขยายสัญญาณแบบเคซีเบล

อุปกรณ์การทดลอง

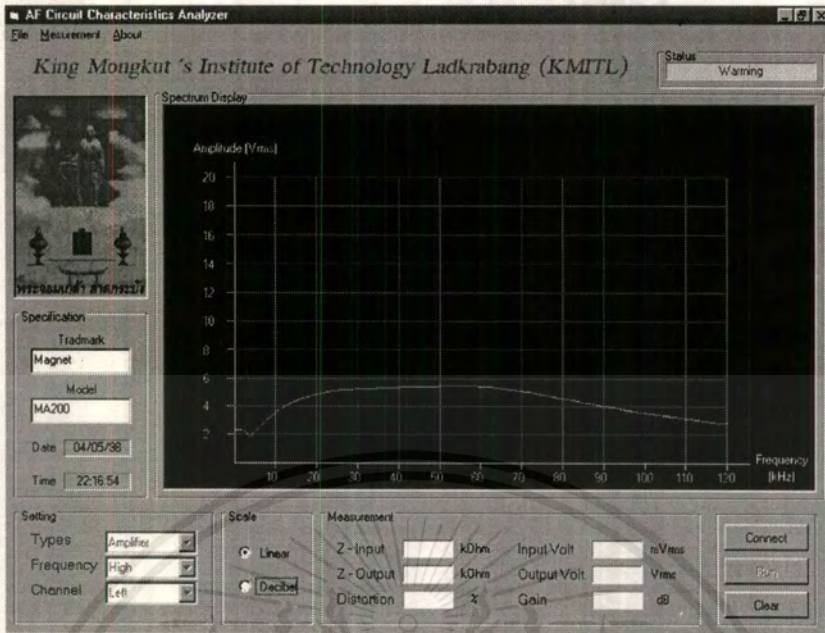
1. วงจรรขยายสัญญาณ ยี่ห้อ Magnet รุ่น MA-200
2. ปริ๊อมป์ไฟร์ ยี่ห้อ Magnet รุ่น PR-5

การออกแบบการทดลอง

1. ทำการเลือกเมนูไปที่ Amplifier
2. เลือกย่านความถี่ทดสอบไปที่ High Frequency

ผลการทดลอง

ข้อมูลที่ได้จากการวัดผลและทดสอบวงจรรขยาย ด้วยเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรรในย่านความถี่เสียง สามารถดูผลการทดลองได้จากเพิ่มข้อมูลชื่อ Magnethigh.Spc ดังรูปที่ 4.16 และการแสดงผลแบบเคซีเบล ดูได้จากรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบวงจรขยายสัญญาณแบบเชิงเส้น



รูปที่ 4.17 ผลการทดสอบของวงจรขยายสัญญาณแบบเดซิเบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การทดสอบชุดวงจรกรองความถี่โดยการคำนวณ

วงจร Low Pass Filter

1. คำนวณวงจรกรองความถี่ Low Pass Filter เพื่อที่จะนำมาทดสอบ

$$f = 1/2\pi RC$$

$$f = 1 / [2\pi(50k\Omega)(0.1\mu F)]$$

$$= 31.84 \text{ Hz}$$

2. นำวงจรกรองความถี่ที่ได้ทำการคำนวณ มาทำการทดสอบ และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลองว่าตรงกับที่คำนวณหรือไม่

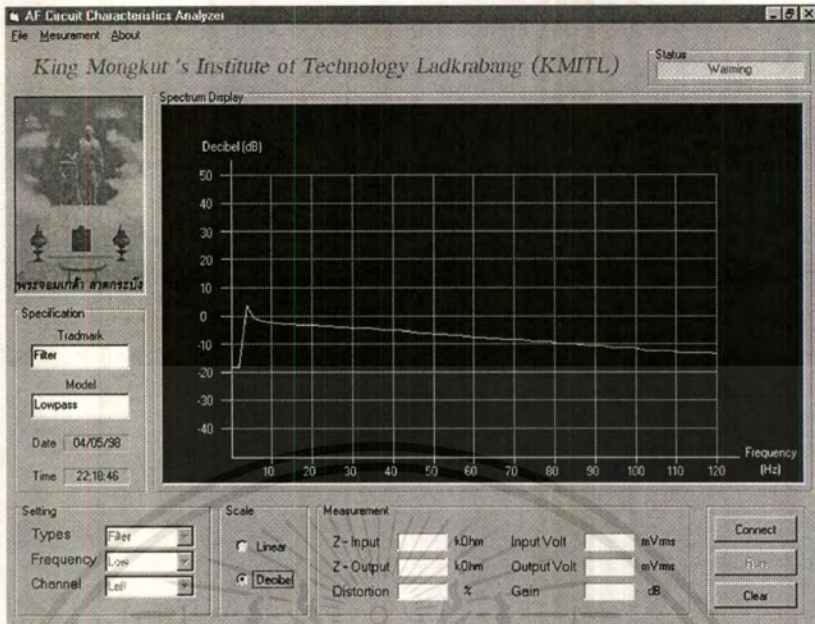
ผลการทดลอง

ข้อมูลที่ได้จากการวัดผล และทดสอบวงจรกรองความถี่ ด้วยเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง สามารถดูผลการทดลองได้จากแฟ้มข้อมูลชื่อ Filterlow.Spc ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบวงจรกรองความถี่ที่ได้จากการคำนวณแบบเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ผลการทดสอบของวงจรกรองความถี่ต่ำที่ได้จากการคำนวณแบบเดซิเบล

วงจร High Pass Filter

1. คำนวณวงจรกรองความถี่ High Pass Filter เพื่อที่จะนำมาทดสอบ

$$f = 1/2\pi RC$$

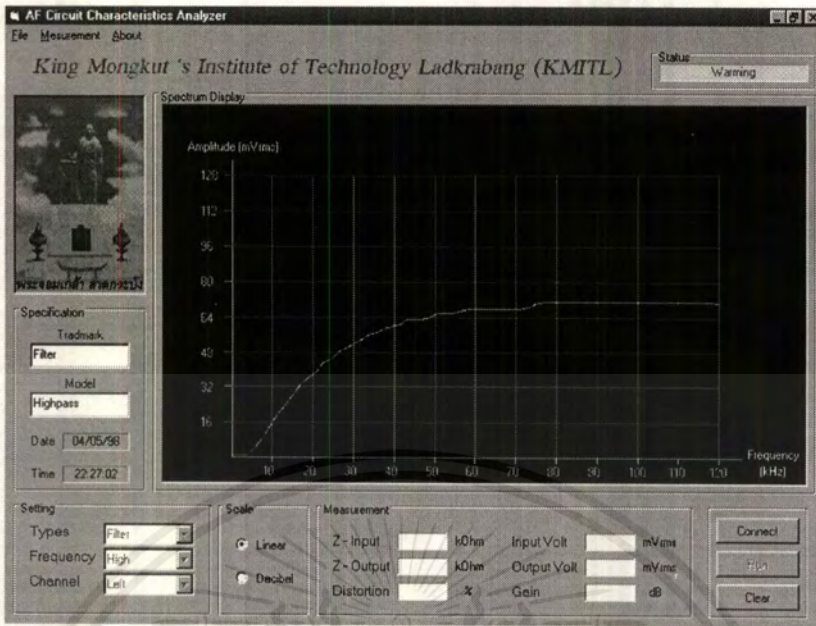
$$f = 1 / [2\pi(4.7k\Omega)(0.001\mu F)]$$

$$= 33.879 \text{ kHz}$$

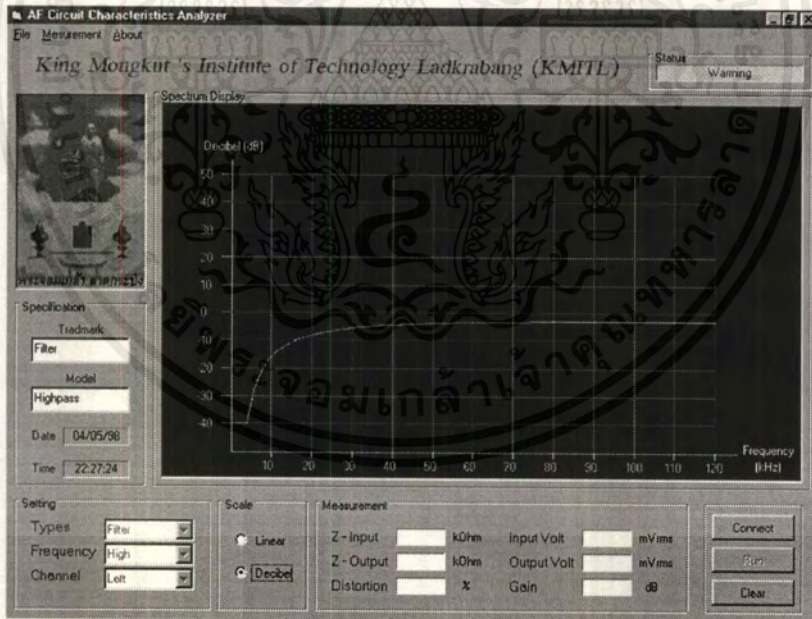
2. นำวงจรกรองความถี่ต่ำที่ได้ทำการคำนวณ มาทำการทดสอบ และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลองว่าตรงกับที่คำนวณหรือไม่

ผลการทดลอง

ข้อมูลที่ได้จากการวัดผล และทดสอบวงจรกรองความถี่ ด้วยเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง สามารถดูผลการทดลองได้จากแฟ้มข้อมูลชื่อ Filterhigh.Spc ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ผลการทดสอบของวงจรความถี่ที่ได้จากการคำนวณแบบเชิงเส้น

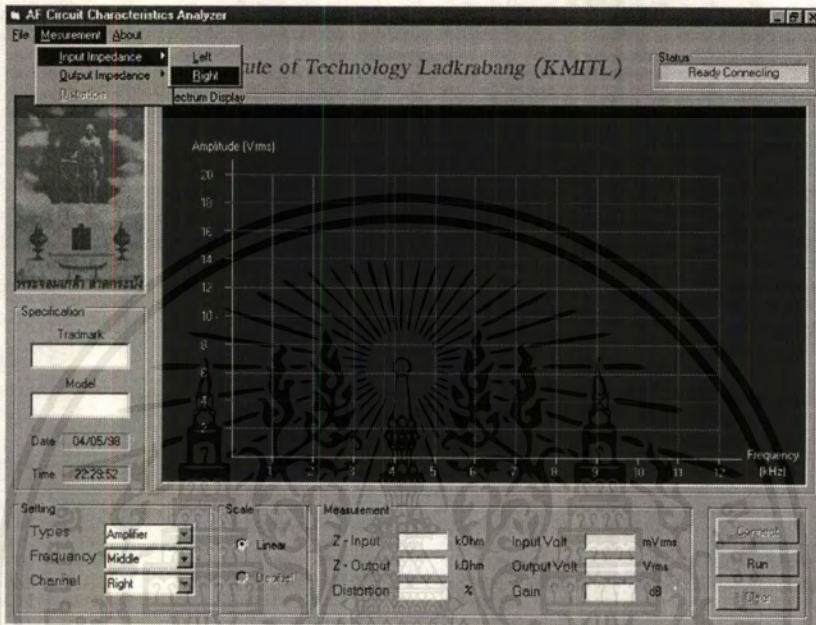


รูปที่ 4.21 ผลการทดสอบของวงจรความถี่ที่ได้จากการคำนวณแบบเดซิเบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การทดลอง การวัดค่าอิมพีแดนซ์

1. วัดความสามารถของการวัดค่าอิมพีแดนซ์ 3 - 180 กิโลโอห์ม
2. ทำการเลือกที่รายการย่อย Measurement



รูปที่ 4.22 การเลือกรายการกวาดหาค่าอิมพีแดนซ์

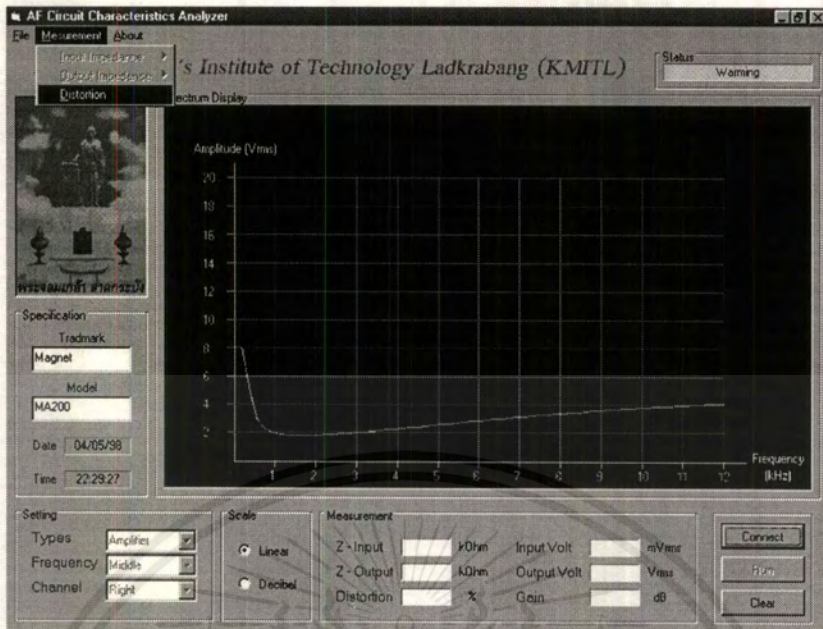
4.2.4 การทดลองการวัดค่าความผิดเพี้ยนของวงจร

1. สูตรคำนวณหาค่าความผิดเพี้ยน (THD)

$$\begin{aligned} \text{THD} &= \frac{\sqrt{\sum (E_n)^2}}{\sqrt{E_1^2 + \sum (E_n)^2}} \\ &= \frac{\sqrt{E_2^2 + E_3^2 + E_4^2 + \dots + E_n^2}}{E_f} \end{aligned}$$

2. เลือกรายการย่อย เพื่อทำการวัดค่าความผิดเพี้ยน เครื่องคอมพิวเตอร์ จะแสดงค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 การเลือกรายการการหาค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา

5.1 บทสรุป

ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตของวงจรมอเตอร์ในย่านความถี่เสียง ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นตัวควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ให้ทำงาน โดยมีการสั่งการทำงาน มาจากคีย์บอร์ดของเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครื่องมีโหมดการทำงานอยู่ 2 โหมดคือ โหมดการแสดงผลแบบเชิงเส้น และแบบเคซิเบล โดยในการทำงานเบื้องต้นของเครื่อง คือ เปิดเครื่อง และเข้าสู่โปรแกรมการทำงาน ขั้นแรกป้อนข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับยี่ห้อ และรุ่นของวงจรมอเตอร์ที่นำมาทดสอบ จากนั้นทำการเลือกชนิดของวงจรมอเตอร์ที่ต้องการทดสอบ และทำการเลือกย่านความถี่ที่ทดสอบ โดยสามารถเลือกได้ 3 ย่านคือ ย่านความถี่ต่ำ ย่านความถี่กลาง และย่านความถี่สูง โดยสามารถเลือกความถี่ในการทดสอบได้สูงสุดประมาณ 100 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ในย่านความถี่เสียง เมื่อเลือกความถี่ที่ต้องการทดสอบแล้ว ต่อจากนั้นก็เลือกรูปแบบการแสดงผลให้มีการแสดงผลแบบเชิงเส้นหรือแบบเคซิเบล นอกจากนั้นโปรแกรมยังสามารถเก็บบันทึกข้อมูลในแผ่นจานแม่เหล็กได้ และยังสามารถแสดงผลออกทางเครื่องพิมพ์ได้อีกด้วย

อย่างไรก็ตาม เครื่องวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตของวงจรมอเตอร์ในย่านความถี่เสียง ที่จัดทำยังมีข้อบกพร่องอยู่บ้าง คณะผู้จัดทำได้รวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้น แนวทางแก้ไข และแนวทางในการพัฒนา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.2 ปัญหา และแนวทางการแก้ไข

1. วงจรมอเตอร์แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ที่ใช้ไอซีเบอร์ AD574 มีการแสดงผลที่ไม่แน่นอน อันเนื่องมาจากวงจรมอเตอร์แหล่งจ่ายกำลัง กรองกระแสไม่เรียบทำให้วงจรมอเตอร์เกิดการรบกวนกันของสัญญาณความถี่สูง

แก้ไขปัญหานี้โดย ทำการต่อตัวเก็บประจุค่า 0.1 ไมโครฟารัด ที่ขาแรงดันอินพุตและเอาต์พุตของไอซีเรกูเลต

2. ในส่วนของวงจรมอเตอร์แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ที่ขา 5 ซึ่งเป็นขาที่กำหนดการแปลงสัญญาณของไอซี โดยในวงจรมอเตอร์ใช้ไอซีกำเนิดสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมเบอร์ 555

ป้อนพัลส์ให้กับวงจรแปลงสัญญาณ ซึ่งได้ทำการทดลองแล้วผลปรากฏว่าวงจรไม่สามารถทำการแปลงสัญญาณได้

แก้ไขปัญหาโดย ทำการต่อขา 5 ของไอซีเข้ากับขาพอร์ต PA₀ เพื่อให้โปรแกรมเป็นตัวกำหนดลอจิกสำหรับการแปลงสัญญาณ

3. วงจรกำเนิดความถี่ทดสอบ มีระดับแรงดันของสัญญาณเอาต์พุตแรงเกินไป เมื่อทำการป้อนสัญญาณให้กับอินพุตของวงจรที่นำมาทดสอบ ทำให้รูปสัญญาณเกิดการผิดเพี้ยนขึ้นที่เอาต์พุต ของวงจรทดสอบ

แก้ไขปัญหาโดย นำตัวต้านทานปรับค่าได้ค่า 10 กิโลโอห์ม ต่อที่เอาต์พุตของวงจรกำเนิดความถี่เพื่อลดทอนระดับสัญญาณให้มีค่า 100 มิลลิโวลต์อาร์เอ็มเอส

4. ระดับแรงดันเอาต์พุตของวงจรวัดค่าอาร์เอ็มเอส มีความแรงของระดับสัญญาณน้อย จึงเกิดการไหลจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ทำให้เกิดการแปลงสัญญาณผิดพลาด

แก้ไขปัญหาโดย ใช้ไอซีเบอร์ LF353 ต่อเป็นวงจรบัฟเฟอร์ แล้วนำไปต่อที่ขาเอาต์พุตของวงจรวัดค่าอาร์เอ็มเอส เพื่อเพิ่มความแรงของระดับสัญญาณ


5.3 แนวทางพัฒนาโครงการงาน

1. วงจรวัดค่าอาร์เอ็มเอส มีการวัดค่าที่เต็มย่านวัดประมาณ 2 โวลต์ ส่วนวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล มีการแปลงสัญญาณเต็มย่านที่ 10 โวลต์ ทำให้การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลได้ประมาณ 819 ระดับ ในการพัฒนาควรทำการปรับปรุงวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ให้มีการแปลงสัญญาณเต็มย่านที่ค่า 2 โวลต์ เพื่อที่จะสามารถวัดค่าได้ละเอียดมากขึ้น

2. ควรปรับปรุงวงจรกำเนิดความถี่ ให้มีการกำเนิดความถี่ที่เป็นเชิงเส้น และมีระดับความแรงของระดับสัญญาณที่ใช้กันทั่วไปในการทดสอบ

3. วงจรวัดค่าอิมพีแดนซ์ ควรปรับปรุงให้มีการวัดค่าที่ละเอียดยิ่งขึ้น โดยสามารถหาไอซีเบอร์ใหม่ๆ มาใช้แทนไอซีเบอร์ DS1669 วงจรเดิม

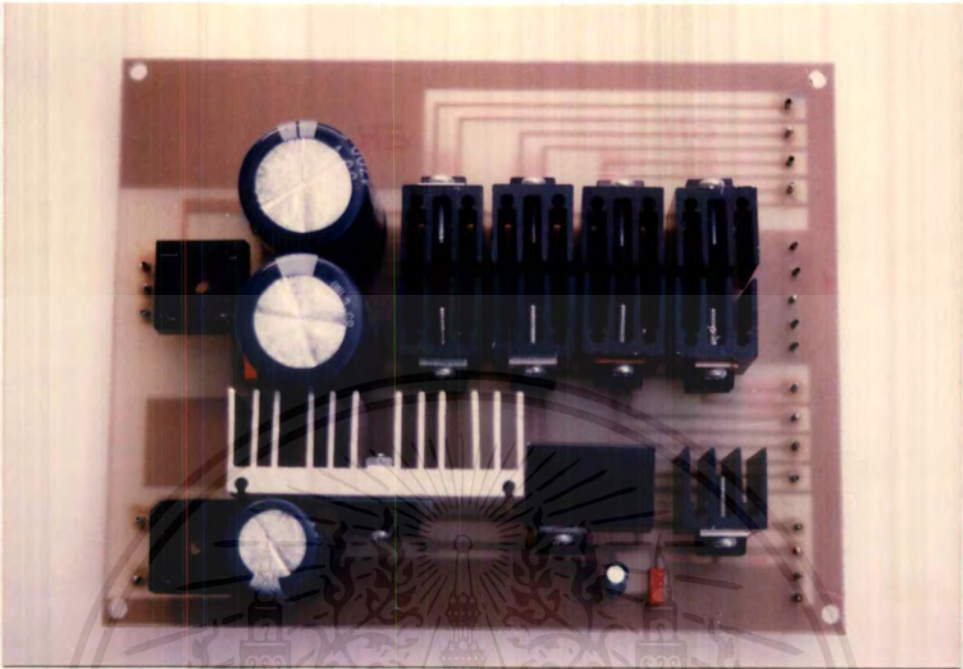
4. ควรออกแบบวงจรให้มีสัญญาณรบกวนให้น้อยที่สุดเพื่อเสถียรภาพของวงจร



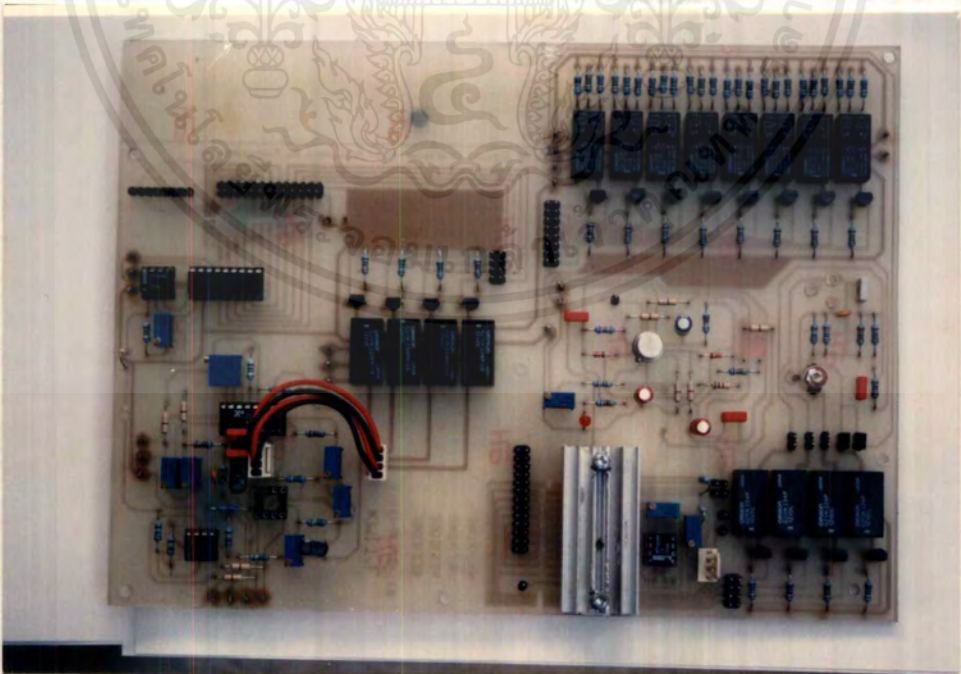
ภาคผนวก ก

ส่วนประกอบของเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

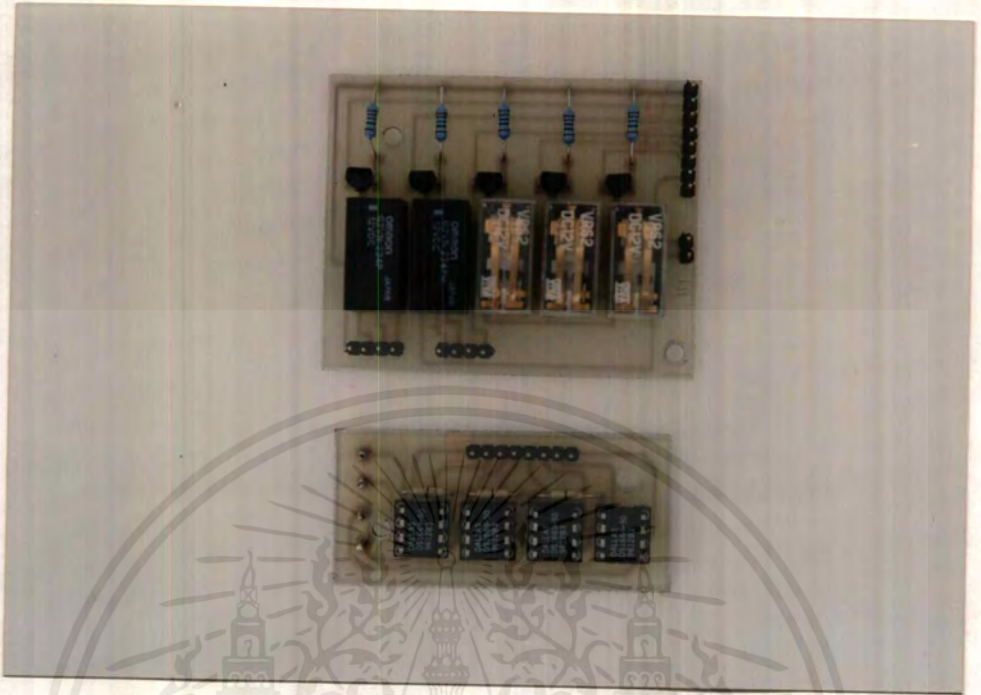


รูปที่ ก.1 แผงวงจรภาคจ่ายกำลังไฟฟ้า

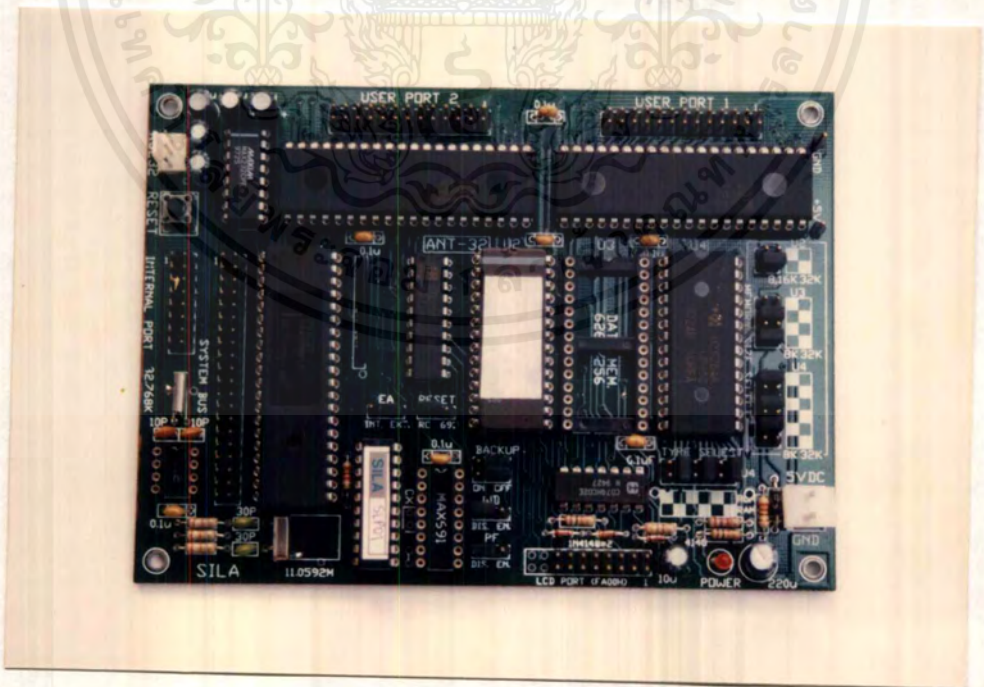


รูปที่ ก.2 แผงวงจรรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

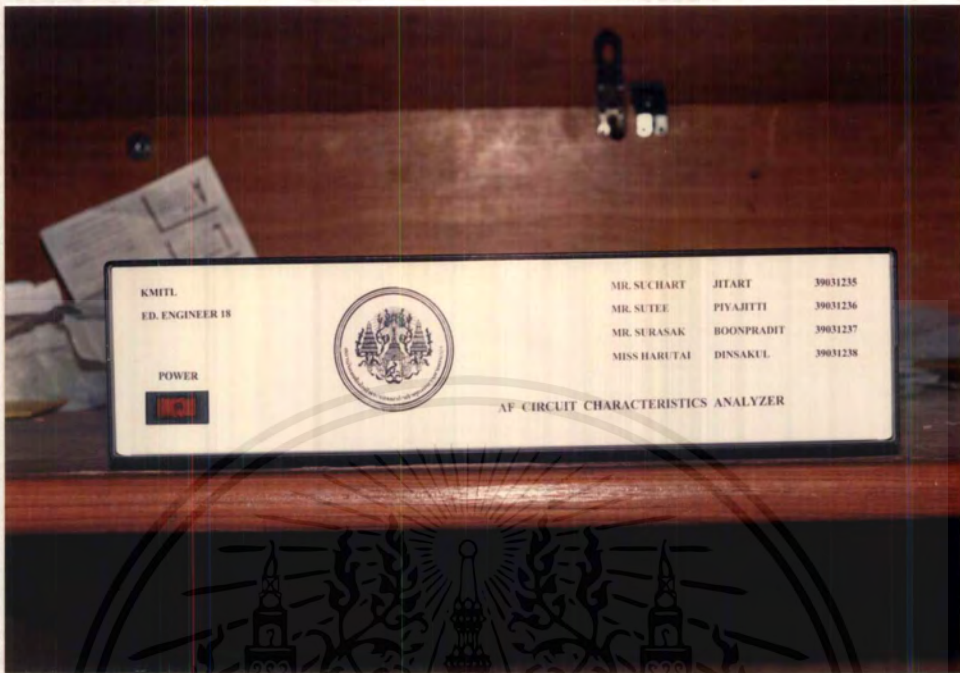


รูปที่ ก.3 แผงวงจรวัดค่าอิมพีแดนซ์ และชุดรีเลย์ตัดต่อ



รูปที่ ก.4 แผงวงจรเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

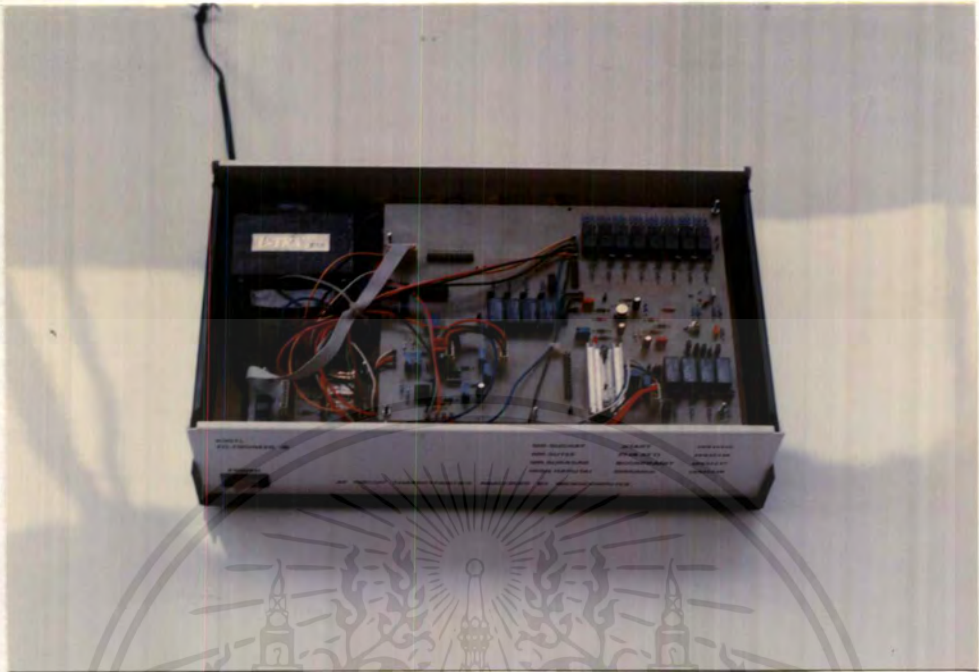


รูปที่ ก.5 ด้านหน้าของชิ้นงาน



รูปที่ ก.6 ด้านหลังของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

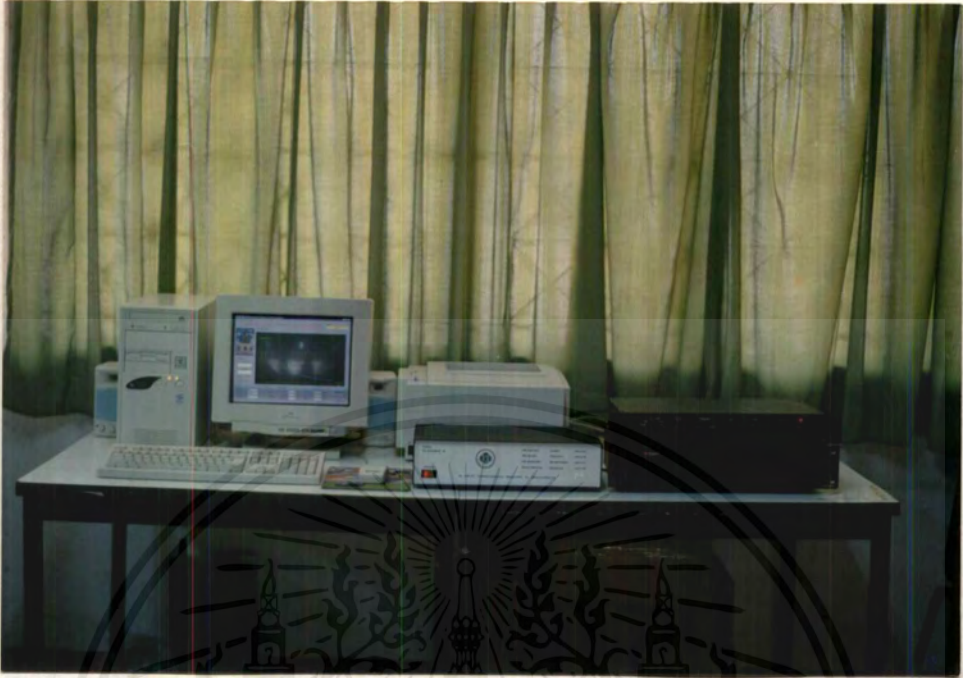


รูปที่ ก.7 การติดตั้ง และการเดินสายภายในกล่อง



รูปที่ ก.8 แผ่นโปรแกรม และสายเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.9 การต่อใช้งาน เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง

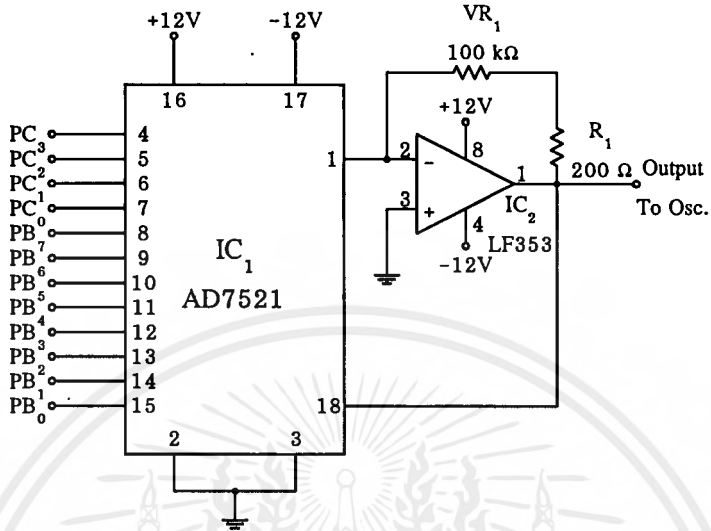
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



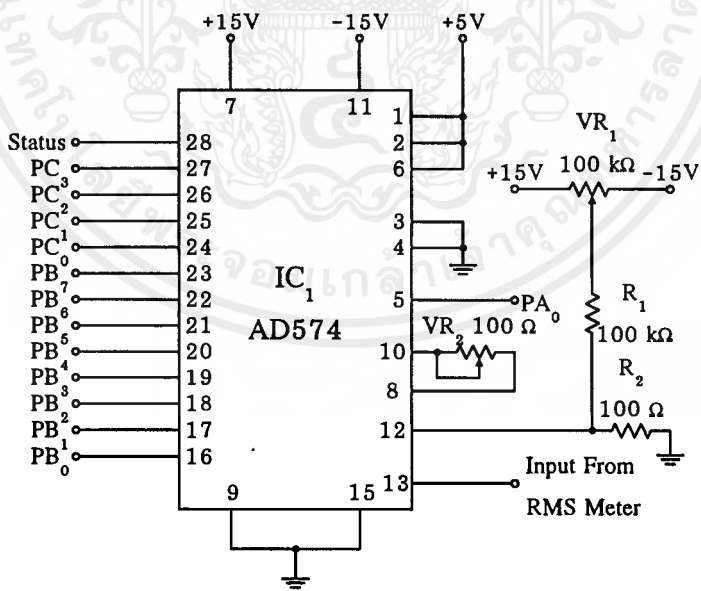
ภาคผนวก ข

วงจร ลายวงจรมพิมพ์ และการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรมพิมพ์

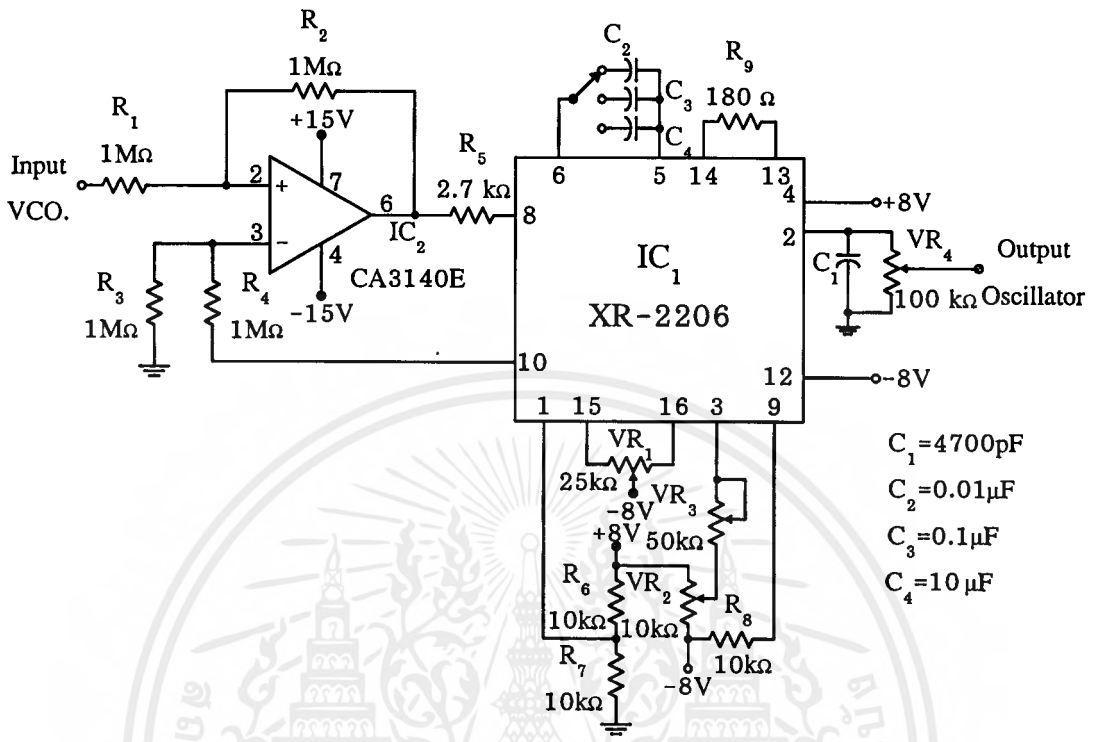
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



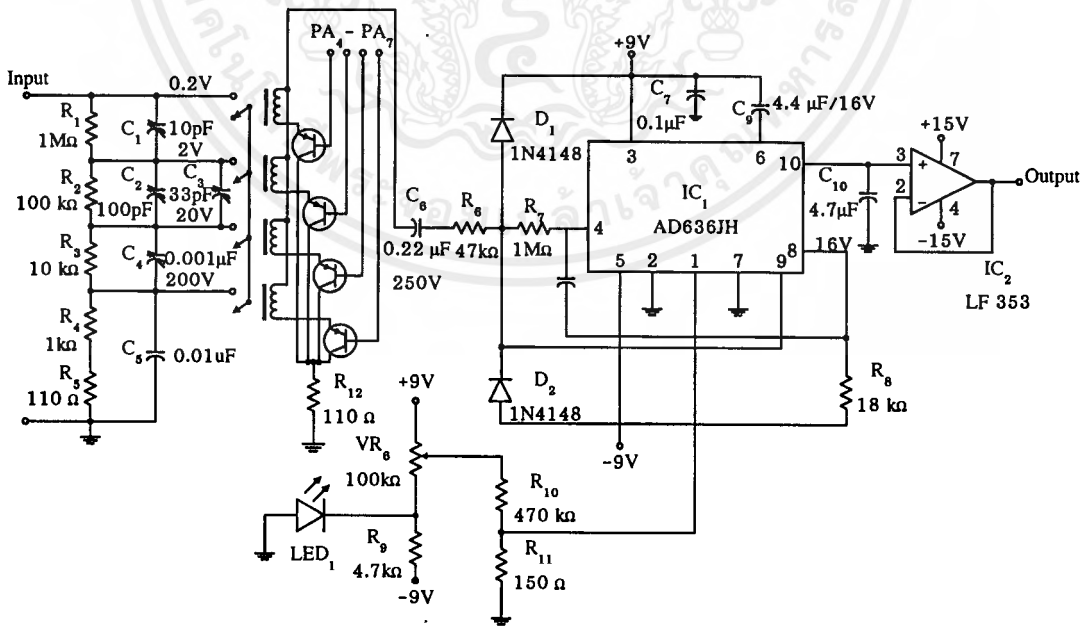
รูปที่ ข.1 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก



รูปที่ ข.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

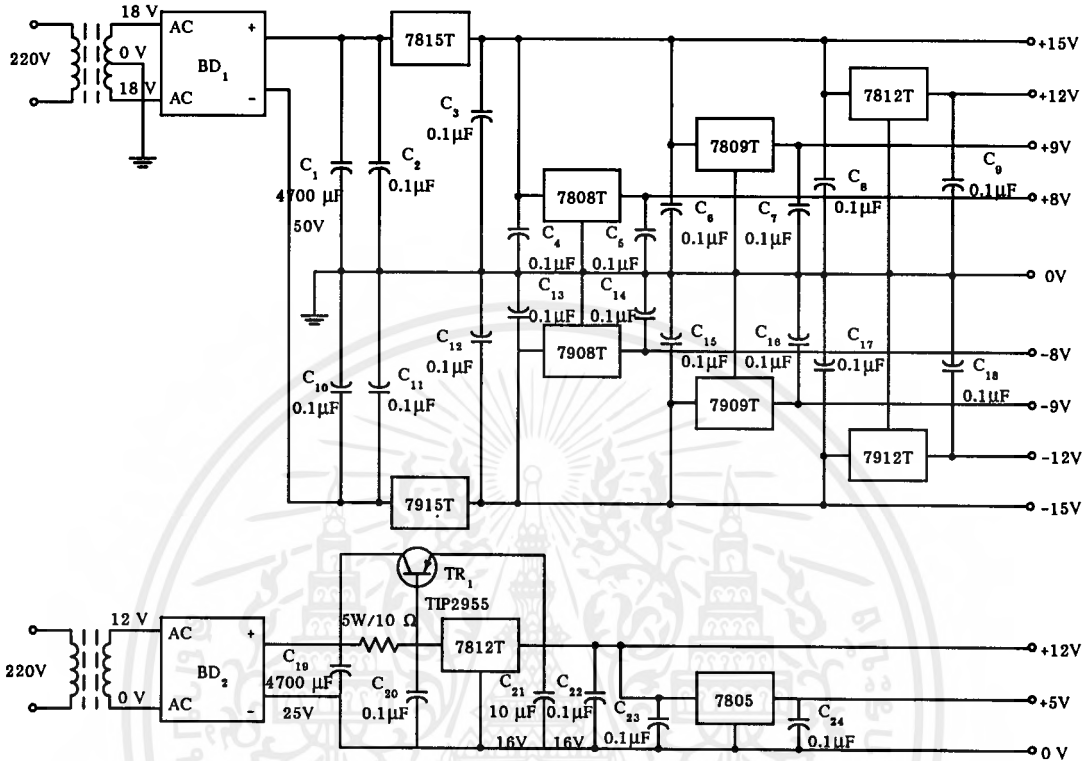


รูปที่ ข.3 วงจรกำเนิดความถี่ควบคุมด้วยแรงดัน

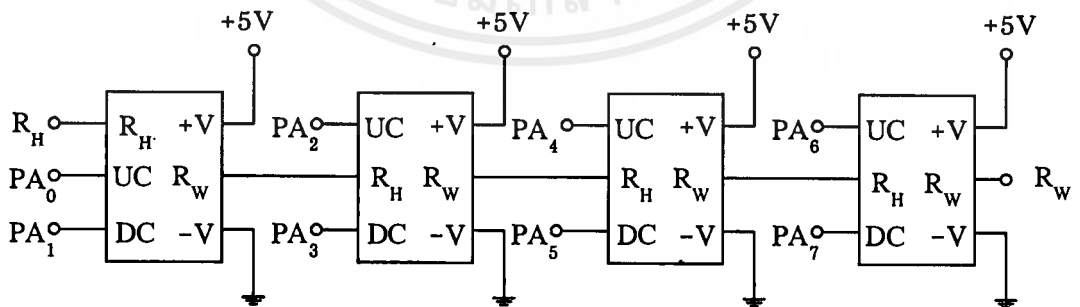


รูปที่ ข.4 วงจรวัดค่าอาร์เอ็มเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

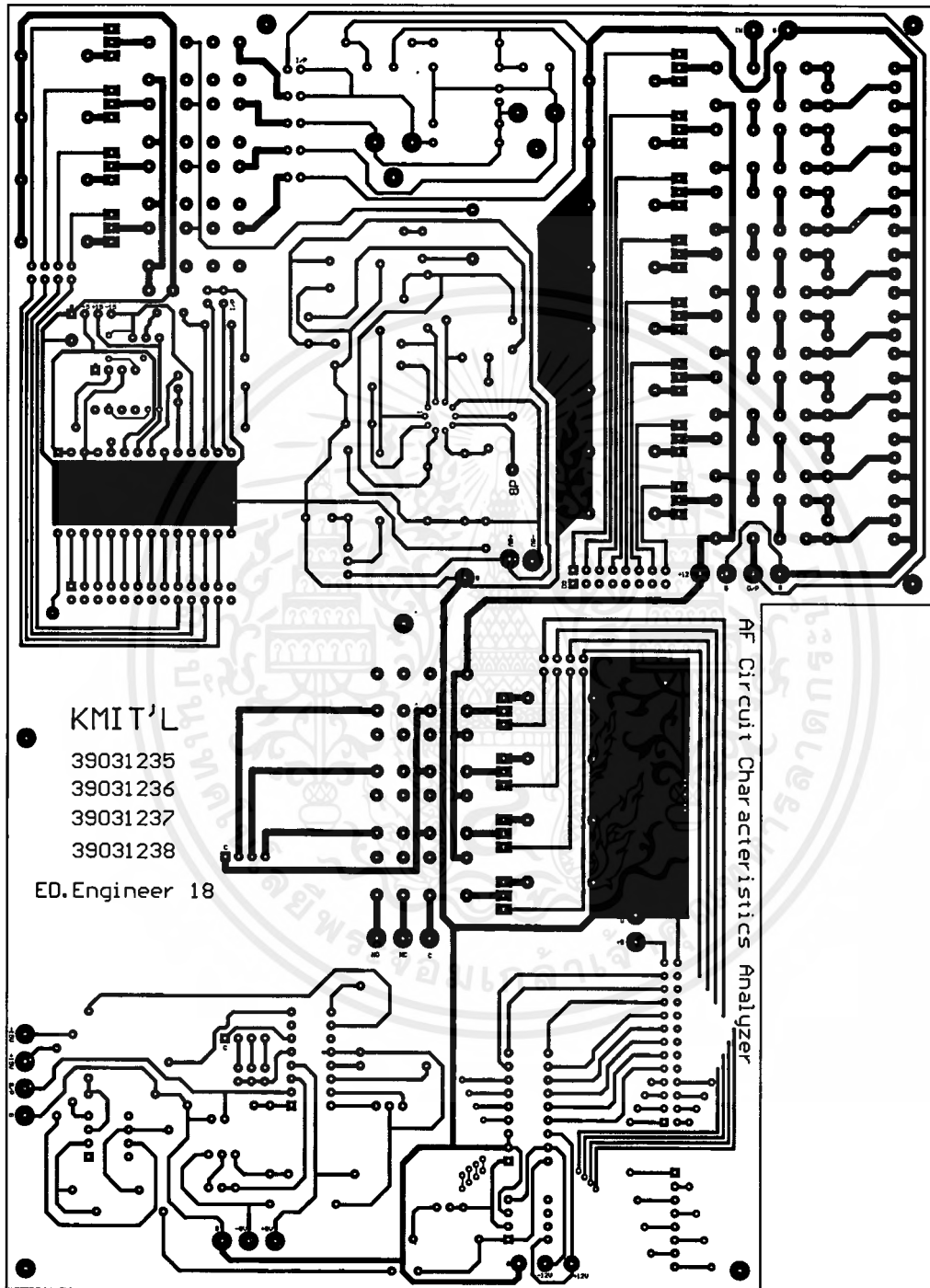


รูปที่ ข.5 วงจรแหล่งจ่ายกำลัง



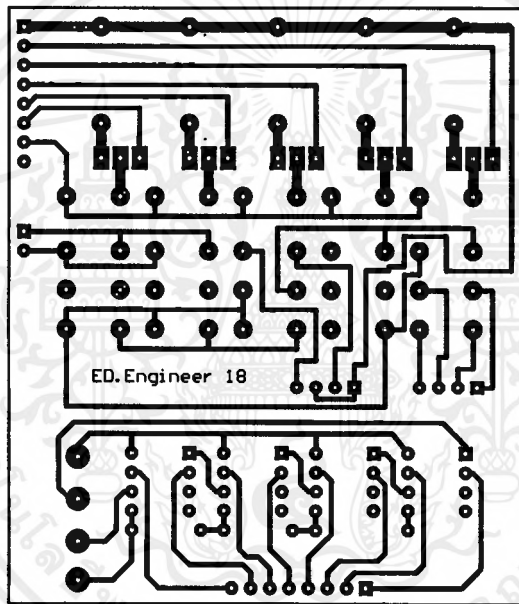
รูปที่ ข.6 วงจรวัดค่าอิมพีแดนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



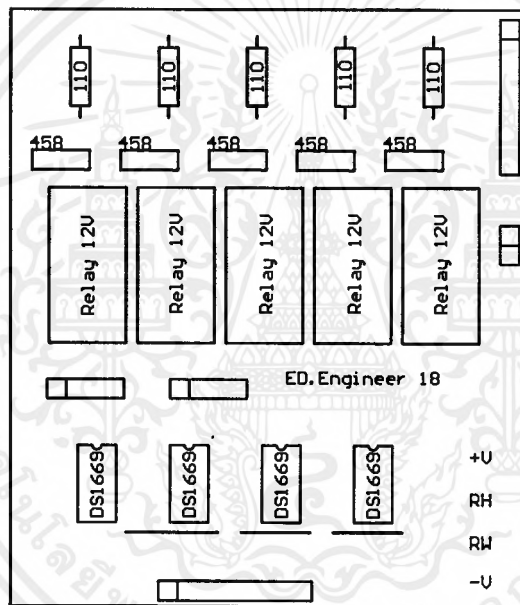
รูปที่ ข.7 ลายวงจรพิมพ์ของวงจรสมบูรณ (ขนาด 75 %)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



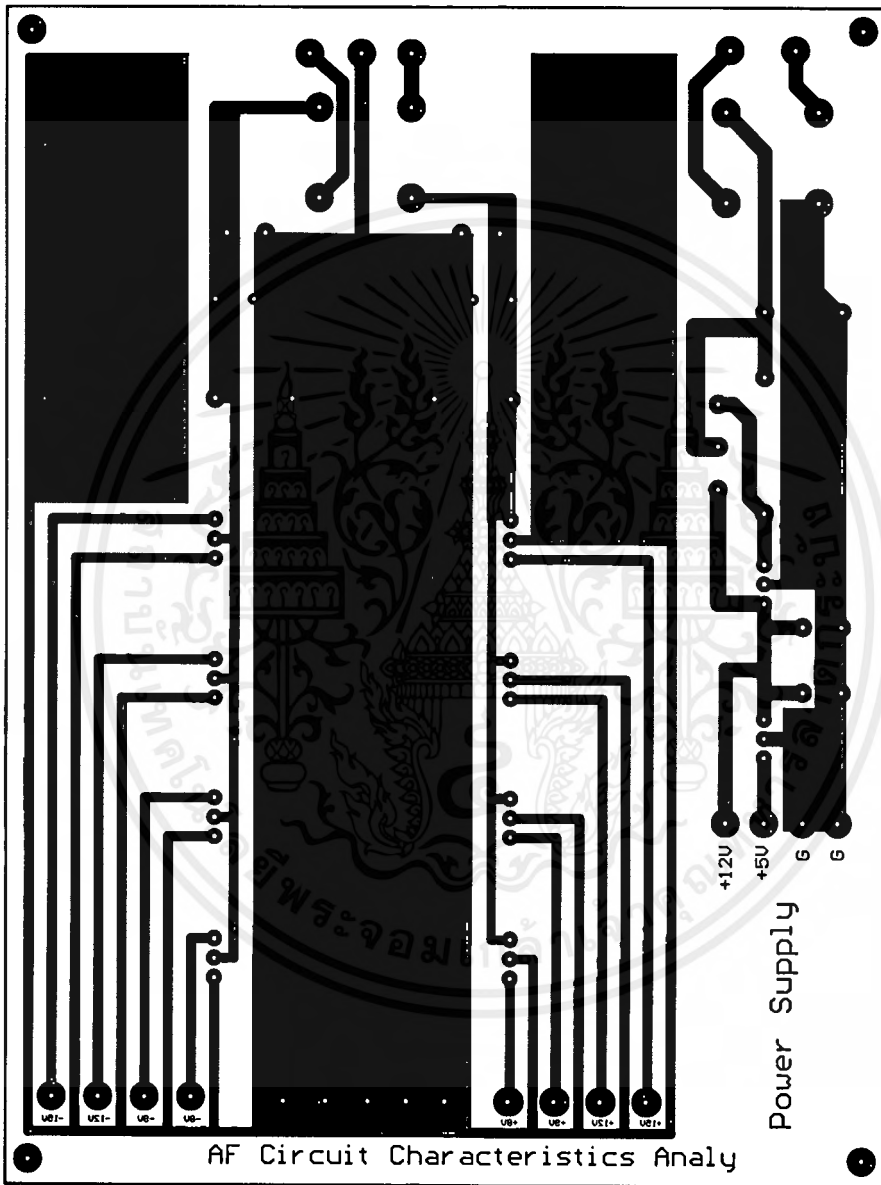
รูปที่ ข.9 ลายวงจรพิมพ์ของวงจรวัดค่าอิมพีแดนซ์และซูครีเลย์ต์ตัดต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



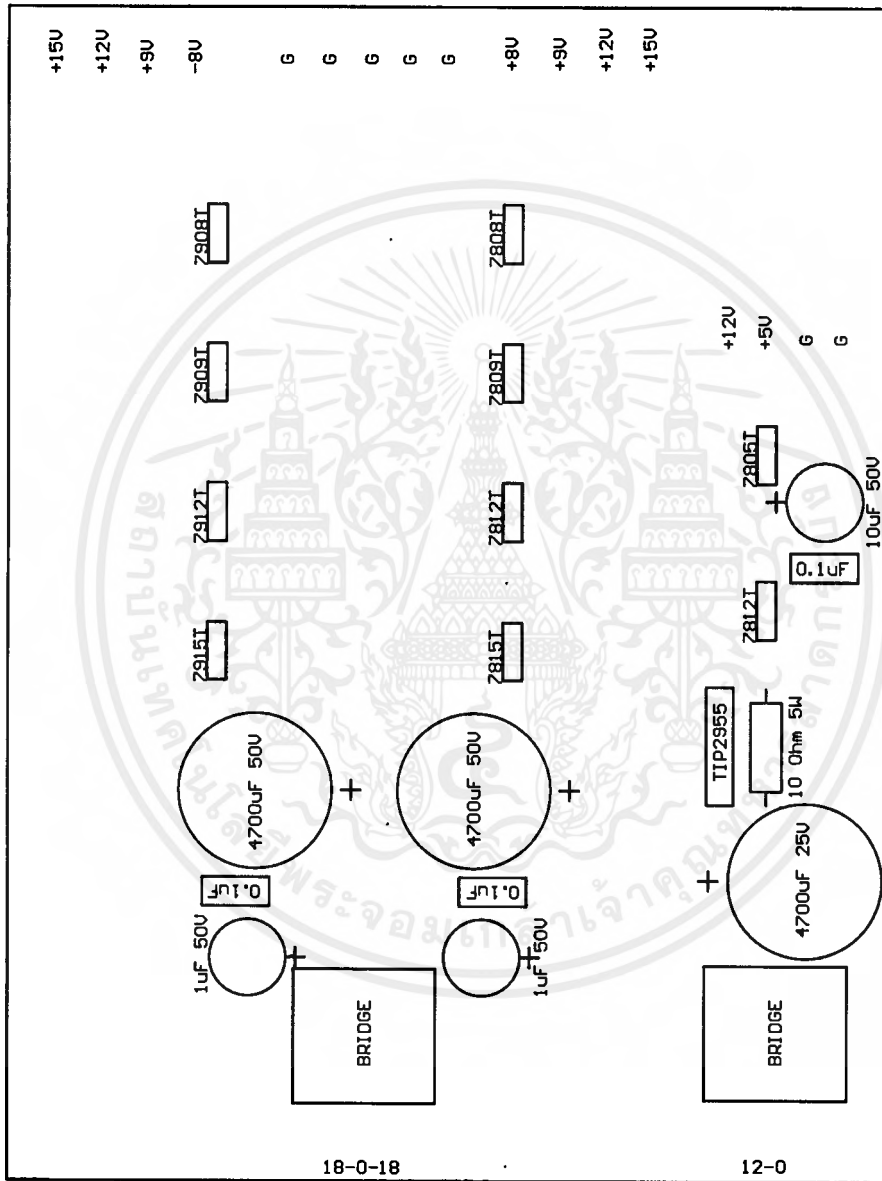
รูปที่ ข.10 การวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรวัดค่าอิมพีแดนซ์และหุตรีเลข์ตัดต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.11 ลายวงจรพิมพ์ของภาคแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.12 การวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ของภาคแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์

ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า / เบอร์	จำนวน
IC ₁	D to A	AD7521	1
IC ₂	Op-Amp	LF353	1
VR ₁	Trimpot	100 kΩ	1
R ₁	Carbon	200 Ω	1

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรกำเนิดความถี่ควบคุมด้วยแรงดัน

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า / เบอร์	จำนวน
IC ₁	Oscillator	XR-2206	1
IC ₂	Op-Amp	CA3140E	1
VR ₁	Trimpot	25 kΩ	1
VR ₂	Trimpot	10 kΩ	1
VR ₃	Trimpot	50 kΩ	1
VR ₄	Trimpot	100 kΩ	1
R ₁ , R ₂ , R ₃ , R ₄	Carbon	1 MΩ	4
R ₆ , R ₇	Carbon	10 kΩ	2
R ₈	Carbon	10 kΩ	1
R ₉	Carbon	180 Ω	1
C ₁	WIMA	470 pF	1
Cx ₁	WIMA	0.1 μF	1
Cx ₂	WIMA	0.01 μF	1
Cx ₃	Electrolytic	10 μF/16V	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรวัดค่าอาร์เอ็มเอส

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า / เบอร์	จำนวน
IC ₁	RMS Converter	AD636JH	1
VR ₁	Trimpot	100 kΩ	1
R ₁ , R ₇	Carbon	1 MΩ	2
R ₂	Carbon	100 kΩ	1
R ₃	Carbon	10 kΩ	1
R ₄	Carbon	1 kΩ	1
R ₅	Carbon	110 Ω	1
R ₆	Carbon	47 kΩ	1
R ₈	Carbon	18 kΩ	1
R ₉	Carbon	4.7 kΩ	1
R ₁₀	Carbon	470 kΩ	1
R ₁₁	Carbon	150 Ω	1
C ₁	Trimmer	10 pF	1
C ₂	Trimmer	100 pF	1
C ₃	Ceramic	33 pF	1
C ₄	WIMA	0.001 μF	1
C ₅	WIMA	0.01 μF	1
C ₆	WIMA	0.22 μF/250V	1
C ₇	WIMA	0.1 μF	1
C ₈	Electrolytic	47 μF/16V	1
C ₉ , C ₁₀	Electrolytic	4.7 μF/16V	2
D ₁ , D ₂	Diode	1N4148	2
LED ₁	Light Emitting Diode	Red	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 รายการอุปกรณ์ของวงจรวัดค่าอิมพีแดนซ์

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า / เบอร์	จำนวน
IC ₁ , IC ₂ , IC ₃ , IC ₄	Potentiometer	DS1669-50	4
RY ₁ -RY ₅	Relay	12V	5
TR ₁ -TR ₅	Transistor	2SC458	5

ตารางที่ ค.5 รายการอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า / เบอร์	จำนวน
IC ₁	Regulator	7815T	1
IC ₂	Regulator	7915T	1
IC ₃ , IC ₁₀	Regulator	7812T	2
IC ₄	Regulator	7912T	1
IC ₅	Regulator	7809T	1
IC ₆	Regulator	7909T	1
IC ₇	Regulator	7808T	1
IC ₈	Regulator	7908T	1
IC ₉	Regulator	7805T	1
C ₁ - C ₂₃	WIMA	0.1 μ F	23
C ₂₄ , C ₂₅	Electrolytic	4700 μ F/50V	2
C ₂₆	Electrolytic	4700 μ F/25V	1
C ₂₇	Electrolytic	10 μ F/50V	1
C ₂₈ , C ₂₉	Electrolytic	1 μ F/50V	2
BD ₁ , BD ₂	Bridge-Diode	100 V/5A	2
TR ₁	Transistor	TIP2955	1
T ₁	Transformer	Sec 18-0-18, 12-0 /3A	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 รายการอุปกรณ์ของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

อุปกรณ์	ชนิด	ค่า / เบอร์	จำนวน
IC ₁	A to D	AD574	1
VR ₁	Trimpot	100 kΩ	1
VR ₂	Trimpot	100 Ω	1
R ₁	Carbon	100 kΩ	1
R ₂	Carbon	100 Ω	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง

โปรแกรมการทำงานของเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมไมโครคอมพิวเตอร์

```

Dim Data(1024) As Integer
Dim j As Integer
Dim Initial As Integer
Dim Average(256) As Integer
Dim CountNum As Integer
Dim PlotAverage As Integer
Dim Typ, Freq, Channel As String
Dim mystr As String
Dim IMPD As String
*****
* Header File
*****
Dim TradmarkN As String
Dim ModelN As String
Dim DateN As String
Dim TimeN As String
Dim InputImpedance As String
Dim OutputImpedance As String
Dim Distortion As String
Dim FreqOfSelect As String
Dim TypeOfSelect As String
Dim ChannelOfSelect As String
Dim TypeOfGraph As String
Dim Mul As Integer

*****
* Impedance Scale
*****
Private Sub PlotScale2(Mode As Integer)
Dim DataScale As Integer
Dim P As Integer
DataScale = 0
Picture1.Line (1000, 800)-(1000, 5096) 'Line Y
Picture1.Line (1000, 5096)-(8500, 5096) 'Line X
'Plot Y Plan
DataScale = 128
For i = 1000 To 5096 - ((5096 - 1000) / 8) Step (5096 - 1000) / 8
Picture1.Line (900, i)-(1000, i), RGB(255, 255, 128)
Picture1.Line (1000, i)-(8168, i), QBColor(3)
Picture1.Line (500, i - 100)-(500, i - 100)
Picture1.Print DataScale
DataScale = DataScale - 16
Next i
Label13.Caption = "Amplitude (mVrms)"
'Plot X Plan
DataScale = 18
For i = 1000 + Int(7168 / 10) To 8168 Step Int(7168 / 10)
Picture1.Line (i, 5096)-(i, 5196), QBColor(14)
Picture1.Line (i, 1000)-(i, 5096), QBColor(3)
Picture1.Line (i - 180, 5196)-(i - 180, 5196)
Picture1.Print DataScale
DataScale = DataScale + 18
Next i
Label14.Caption = "Impedance"
label20.Caption = "(kOhm)"
End Sub

Private Sub PlotScale(Mode As Integer)
Dim DataScale As Integer
Dim P As Integer
DataScale = 0
Picture1.Line (1000, 800)-(1000, 5096), RGB(255, 180, 0) 'Line Y
Picture1.Line (1000, 5096)-(8500, 5096), RGB(255, 180, 0) 'Line X
*****
* Plot Scale Y
*****

```

```

If Option2.Value = True Then
'Plot Log
If List1.Text = "Filter" Then
  DataScale = 50
  P = 1

  For i = 1000 To 5096 - Int((5096 - 1000) / 20) Step Int((5096 - 1000) / 10)
    Picture1.Line (850, i)-(1000, i)
    Picture1.Line (1000, i)-(8168, i), QBColor(3)
    Picture1.Line (500, i - 100)-(500, i - 100)
    Picture1.Print DataScale
    DataScale = DataScale - 10
  Next i
  Label13.Caption = "Decibel (dB)"

Else
  DataScale = 50
  For i = 1000 To 5096 - Int((5096 - 1000) / 20) Step Int((5096 - 1000) / 6)
    Picture1.Line (850, i)-(1000, i)
    Picture1.Line (1000, i)-(8168, i), QBColor(3)
    Picture1.Line (500, i - 100)-(500, i - 100)
    Picture1.Print DataScale
    DataScale = DataScale - 10
  Next i
  Label13.Caption = "Decibel (dB)"
End If

Else
'Plot Linear
If List1.Text = "Filter" Then
  DataScale = 128
  For i = 1000 To 5096 - ((5096 - 1000) / 8) Step (5096 - 1000) / 8
    Picture1.Line (900, i)-(1000, i)
    Picture1.Line (1000, i)-(8168, i), QBColor(3)
    Picture1.Line (500, i - 100)-(500, i - 100)
    Picture1.Print DataScale
    DataScale = DataScale - 16
  Next i
  Label13.Caption = "Amplitude (mVrms)"
  Label22.Caption = "mVrms"
Else
  DataScale = 20
  For i = 1000 To 5096 - Int((5096 - 1000) / 20) Step Int((5096 - 1000) / 10)
    Picture1.Line (900, i)-(1000, i)
    Picture1.Line (1000, i)-(8168, i), QBColor(3)
    Picture1.Line (500, i - 100)-(500, i - 100)
    Picture1.Print DataScale
    DataScale = DataScale - 2
  Next i
  Label13.Caption = "Amplitude (Vrms)"
  Label22.Caption = "Vrms"
End If
End If
*****
'*   Plot Scale X
*****
If List2.Text = "High" Then
  DataScale = 10
  For i = 1000 + Int(7168 / 12) To 8168 Step Int(7168 / 12)
    Picture1.Line (i, 5096)-(i, 5196)
    Picture1.Line (i, 1000)-(i, 5096), QBColor(3)
    Picture1.Line (i - 180, 5196)-(i - 180, 5196)
    Picture1.Print DataScale
    DataScale = DataScale + 10
  Next i
  label20.Caption = "(kHz)"
ElseIf List2.Text = "Low" Then
  DataScale = 10
  For i = 1000 + Int(7168 / 12) To 8168 Step Int(7168 / 12)

```

```

Picture1.Line (i, 5096)-(i, 5196)
Picture1.Line (i, 1000)-(i, 5096), QBColor(3)
Picture1.Line (i - 180, 5196)-(i - 180, 5196)
Picture1.Print DataScale
DataScale = DataScale + 10
Next i
label20.Caption = "(Hz)"
Else
DataScale = 1
For i = 1000 + Int(7168 / 12) To 8168 Step Int(7168 / 12)
Picture1.Line (i, 5096)-(i, 5196)
Picture1.Line (i, 1000)-(i, 5096), QBColor(3)
Picture1.Line (i - 120, 5196)-(i - 120, 5196)
Picture1.Print DataScale
DataScale = DataScale + 1
Next i
label20.Caption = "(kHz)"
End If
End Sub

```

```

Private Sub Command1_Click()
Picture1.Cls
PlotScale (1)
Command1.Enabled = False
Command2.Enabled = True
Command3.Enabled = True
List1.Enabled = True
List2.Enabled = True
List3.Enabled = True
SSPanel4.Enabled = True
SSPanel5.Enabled = True
SSPanel6.Enabled = True
Text1.Enabled = True
Text2.Enabled = True
Option1.Enabled = True
Option1.Refresh
Option2.Enabled = False
Mu13.Enabled = False
Mu14.Enabled = False
Mu22.Enabled = False
Mu23.Enabled = False
Mu24.Enabled = False
Mu16.Enabled = False
SSPanel11.Caption = "Warming"
Timer2.Enabled = False
Timer4.Enabled = False
'MSComm1.PortOpen = False
'MSComm1.PortOpen = True
Text1.Text = ""
Text2.Text = ""
SSPanel1.Caption = ""
SSPanel2.Caption = ""
SSPanel3.Caption = ""
SSPanel4.Caption = ""
SSPanel5.Caption = ""
SSPanel6.Caption = ""
End Sub

```

```

Private Sub Command2_Click()
Dim OutSelect As String
MSComm1.PortOpen = True
Command1.Enabled = True
Command2.Enabled = False
Command3.Enabled = False

```

```

If List1.Text = "Amplifier" Then
Type = "A"
TypeOfSelect = 1
Elseif List1.Text = "Filter" Then

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Typ = "F"
TypeOfSelect = 2
End If

```

```

If List2.Text = "High" Then
Freq = "H"
FreqOfSelect = 1
ElseIf List2.Text = "Middle" Then
Freq = "M"
FreqOfSelect = 2
ElseIf List2.Text = "Low" Then
Freq = "L"
FreqOfSelect = 3
End If

```

```

If List3.Text = "Left" Then
Channel = "L"
ChannelOfSelect = 1
ElseIf List3.Text = "Right" Then
Channel = "R"
ChannelOfSelect = 2
End If

```

```

OutSelect = "T" + Channel + Typ + Freq
j = 1
Initial = 1000
Picture1.Line (1000, 5096)-(1000, 5096)
CountNum = 1
PlotAverage = 16
MSComm1.Output = OutSelect
Timer2.Enabled = True
Command1.Enabled = True
Command1.SetFocus
Command2.Enabled = False
Option2.Enabled = False
Option1.Enabled = False
List1.Enabled = False
List2.Enabled = False
List3.Enabled = False
Picture1.Cls
PlotScale (1)
SSPanel11.Caption = "Busy"

```

```

If Command1.Visible = True Then
Command2.Enabled = True
List1.Enabled = True
List2.Enabled = True
List3.Enabled = True
Option1.Enabled = True
Option2.Enabled = False
Picture1.Cls 'surasak
List1.Enabled = True 'surasak
List2.Enabled = True 'surasak
List3.Enabled = True 'surasak
Exit Sub
End If
End Sub

```

```

Private Sub Command3_Click()
MSComm1.PortOpen = True
MSComm1.Output = "C"
SSPanel11.Caption = "Wait To Connect"
Timer3.Enabled = True
End Sub

```

```

Private Sub Form_Activate()
PlotScale (1)
j = 1
Initial = 1000

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Picture1.Line (1000, 5096)-(1000, 5096)
CountNum = 1
PlotAverage = 16
Option2.Enabled = False
Mu13.Enabled = False
Mu14.Enabled = False
Mu16.Enabled = False
Mu22.Enabled = False
Mu23.Enabled = False
Mu24.Enabled = False
Timer1.Enabled = True
End Sub

```

```

Private Sub Form_Load()
List1.AddItem "Amplifier"
List1.AddItem "Filter"
List2.AddItem "High"
List2.AddItem "Middle"
List2.AddItem "Low"
List3.AddItem "Left"
List3.AddItem "Right"
'Logo_Title.Show
End Sub

```

```

Private Sub List1_Click()
Picture1.Cls
PlotScale (1)
End Sub

```

```

Private Sub List2_Click()
Picture1.Cls
PlotScale (1)
End Sub

```

```

Private Sub Mu11_Click()
Option1.Enabled = True
Option2.Enabled = False
Mu13.Enabled = False
Mu14.Enabled = True
Mu16.Enabled = False
Mu22.Enabled = True
Mu23.Enabled = True
Mu24.Enabled = False
Text1.Visible = True
Text1.Visible = True
End Sub

```

```

Private Sub Mu12_Click()
Dim InData As String
Dim Datalog(64), Dataplot(64) As Integer
file1.Filter = "SPC File (*.SPC)|*.SPC"
file1.ShowOpen
If file1.filename = "" Then Exit Sub
On Error GoTo ex
Open file1.filename For Input As #1
Input #1, InData

If InData <> "SPC File" Then
Close #1
Msg = "This File Not SPC File ?"
Style = vbCritical + vbDefaultButton2
Title = "Not File"
'Help = "DEMO.HLP"
Ctxt = 1000
Response = MsgBox(Msg, Style, Title, Help, Ctxt)

```

```

Exit Sub
End If

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Input #1, TradmarkN
Input #1, ModelN
Input #1, DateN
Input #1, TimeN
Input #1, InputImpedance
Input #1, OutputImpedance
Input #1, Distortion
Input #1, FreqOfSelect
Input #1, TypeOfSelect
Input #1, ChannelOfSelect
Input #1, TypeOfGraph

```

```

For i = 1 To 64
  Input #1, InData
  Average(i) = Str(InData)
Next i
Close #1

```

```

Text1.Text = TradmarkN
Text2.Text = ModelN
SSPanel9.Caption = DateN
SSPanel10.Caption = TimeN
SSPanel1.Caption = InputImpedance
SSPanel2.Caption = OutputImpedance
SSPanel3.Caption = Distortion
List2.Text = FreqOfSelect
List1.Text = TypeOfSelect
List3.Text = ChannelOfSelect

```

```

If TypeOfGraph = "Linear" Then
  Option1.Value = True
Elseif TypeOfGraph = "dB" Then
  Option2.Value = True
End If
If List1.Text = "Amplifier" Then
  Mul = 10
Else
  Mul = 32
End If

```

```

*****

```

```

For i = 1 To 64
  If Mul = 10 Then
    If Average(i) = 0 Then
      Average(i) = Average(i) + (1)
    End If
    Dataplot(i) = (Average(i) * 0.2048) 'Amplifier
    Datalog(i) = (20 * (Log(Average(i) / 100) / Log(10))) * 81.92
  Elseif Mul = 32 Then
    If Average(i) = 0 Then
      Average(i) = Average(i) + (1)
    End If
    Dataplot(i) = (Average(i) * 32) 'Filter
    Datalog(i) = (20 * (Log(Average(i) / 100) / Log(10))) * 40.96
  End If
Next i

```

```

Picture1.Cls
PlotScale (1)
j = 1
Initial = 1000
Picture1.Line (1000, 5096)-(1000, 5096)
CountNum = 1
PlotAverage = 16
If TypeOfGraph = "dB" Then
  For i = 1 To 64
    If i = 1 Then
      Picture1.Line (1000, 5096 + Datalog(1))-(1000, 5096 + Datalog(1)), QBColor(11)
      Initial = Initial + (7 * 16)
      Picture1.Line -(Initial, 5096 + Datalog(i)), QBColor(11)
    Else

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Picture1.Line -(Initial, 5096 + Datalog(i)), QBColor(11)
End If
Initial = Initial + (7 * 16)
Next i
Else
If TypeOfGraph = "Linear" Then
For i = 1 To 64
If i = 1 Then
Picture1.Line (1000, 5096 - Int(Dataplot(1)))-(1000, 5096 - (Dataplot(1))), QBColor(11)
Initial = Initial + (7 * 16)
Picture1.Line -(Initial, 5096 - (Dataplot(i))), QBColor(11)
Else
Picture1.Line -(Initial, 5096 - (Dataplot(i))), QBColor(11)
End If
Initial = Initial + (7 * 16)
Next i
End If
End If

```

```

Option2.Enabled = True
Option1.Enabled = True
List1.Enabled = False
List2.Enabled = False
List3.Enabled = False
Command1.Enabled = True
Command2.Enabled = False
Mu13.Enabled = True
Mu14.Enabled = True
Mu16.Enabled = True
Mu24.Enabled = True
MSComm1.PortOpen = False

```

```

If List2.Text = "middle" Then
Mu24.Enabled = True
End If
ex: Exit Sub
End Sub

```

```

Private Sub Mu13_Click()
file1.ShowSave
Open file1.filename For Output As #1
file1.Filter = "SPC File (*.SPC)|*.SPC|"
TrademarkN = Text1.Text
ModelN = Text2.Text
DateN = SSPanel9.Caption
TimeN = SSPanel10.Caption
InputImpedance = SSPanel1.Caption
OutputImpedance = SSPanel2.Caption
Distortion = SSPanel3.Caption
FreqOfSelect = List2.Text
TypeOfSelect = List1.Text
ChannelOfSelect = List3.Text
Option2.Enabled = False

```

```

If Option1.Value = True Then
TypeOfGraph = "Linear"
ElseIf Option2.Value = True Then
TypeOfGraph = "dB"
End If

```

```

'Write Header to File
Write #1, "SPC File"
Write #1, TrademarkN
Write #1, ModelN
Write #1, DateN
Write #1, TimeN
Write #1, InputImpedance
Write #1, OutputImpedance
Write #1, Distortion

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Write #1, FreqOfSelect
Write #1, TypeOfSelect
Write #1, ChannelOfSelect
Write #1, TypeOfGraph

```

```

For i = 1 To 64
  Write #1, Average(i)
Next i
Close #1

```

```
End Sub
```

```
Private Sub Mu14_Click()
```

```

Picture1.Cls
PlotScale (1)
Option1.Enabled = True
Option1.Refresh
Option2.Enabled = False
Mu13.Enabled = False
Mu14.Enabled = False
Mu22.Enabled = False
Mu23.Enabled = False
Mu24.Enabled = False
Mu16.Enabled = False
List1.Enabled = True
List2.Enabled = True
List3.Enabled = True
Command1.Enabled = False
Command2.Enabled = True
Command3.Enabled = True
SSPanel4.Enabled = True
SSPanel5.Enabled = True
SSPanel6.Enabled = True
Text1.Refresh
Text2.Refresh
Text1.Enabled = True
Text2.Enabled = True
Timer2.Enabled = False
Timer4.Enabled = False
Text1.Text = ""
Text2.Text = ""
SSPanel1.Caption = ""
SSPanel2.Caption = ""
SSPanel3.Caption = ""
SSPanel4.Caption = ""
SSPanel5.Caption = ""
SSPanel6.Caption = ""
End Sub

```

```
Private Sub Mu16_Click()
```

```

Dim InData As String
Dim Datalog(64), Dataplot(64) As Integer
Dim i As Integer
Dim mV As Integer
Dim DataScale As Integer
Dim P As Integer

```

```

On Error GoTo ex
Open file1.filename For Input As #1
Input #1, InData

```

```

Input #1, TrademarkN
Input #1, ModelN
Input #1, DateN
Input #1, TimeN
Input #1, InputImpedance
Input #1, OutputImpedance
Input #1, Distortion
Input #1, FreqOfSelect

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```
Printer.Print ; Spc(40); TrademarkN
```

```
Printer.Print Spc(70); ""
Printer.Print Spc(20); "Model:"
Printer.Print ; Spc(40); ModelN
```

```
Printer.Print Spc(70); ""
Printer.Print Spc(20); "Date:"
Printer.Print ; Spc(40); Date
```

```
Printer.Print Spc(70); ""
Printer.Print Spc(20); "Time:"
Printer.Print Spc(40); Time()
```

```
Printer.Print Spc(70); ""
Printer.Print Spc(20); "Input Impedance:"
Printer.Print Spc(40); InputImpedance
```

```
Printer.Print Spc(70); ""
Printer.Print Spc(20); "Output Impedance:"
Printer.Print Spc(40); OutputImpedance
```

```
Printer.Print Spc(70); ""
Printer.Print Spc(20); "Distortion (%):"
Printer.Print Spc(40); Distortion
```

```
Printer.Print Spc(70); ""
Printer.Print Spc(20); "Range Frequency:"
Printer.Print Spc(40); FreqOfSelect
```

```
Printer.Print Spc(70); ""
Printer.Print Spc(20); "Type:"
Printer.Print Spc(40); TypeOfSelect
```

```
Printer.Print Spc(70); ""
Printer.Print Spc(20); "Channel:"
Printer.Print Spc(40); ChannelOfSelect
```

```
*****
'Show Scale
*****
```

```
'Linear
Printer.Print Spc(70); ""
If Option1.Value = True Then
Printer.Print Spc(20); "Scale Plot"
Printer.Print Spc(40); "Linear"
```

```
'Decibel
Printer.Print Spc(70); ""
ElseIf Option2.Value = True Then
Printer.Print Spc(20); "Scale Plot"
Printer.Print Spc(40); "Decibel(dB)"
End If
```

```
If List1.Text = "Amplifier" Then
Mul = 10
Else
Mul = 32
End If
```

```
*****
```

```
'Linear
*****
```

```
If Option1.Value = True Then
For i = 1 To 64
If Mul = 10 Then
If Average(i) = 0 Then
Average(i) = Average(i) + (1)
End If
Dataplot(i) = (Average(i) * 0.2048) 'Amplifier
Datalog(i) = (20 * (Log(Average(i) / 100) / Log(10))) * 81.92
ElseIf Mul = 32 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

If Average(i) = 0 Then
  Average(i) = Average(i) + (1)
End If
Datalog(i) = (Average(i) * 32) * Filter
Datalog(i) = (20 * (Log(Average(i) / 100) / Log(10))) * 40.96
End If
Next i

PlotScale (1)
j = 1
Initial = 1000
Printer.Line (1000, 5096)-(1000, 5096)
CountNum = 1
PlotAverage = 16
If TypeOfGraph = "dB" Then
  For i = 1 To 64
    If i = 1 Then
      Printer.Line (1000, 5096 + Datalog(1))-(1000, 5096 + Datalog(1)), QBColor(0)
      Initial = Initial + (7 * 16)
      Printer.Line -(Initial, 5096 + Datalog(i)), QBColor(0)
    Else
      Printer.Line -(Initial, 5096 + Datalog(i)), QBColor(0)
    End If
    Initial = Initial + (7 * 16)
  Next i
Else
  If TypeOfGraph = "Linear" Then
    For i = 1 To 64
      If i = 1 Then
        Printer.Line (1000, 5096 - Int(Dataplot(1)))-(1000, 5096 - (Dataplot(1))), QBColor(0)
        Initial = Initial + (7 * 16)
        Printer.Line -(Initial, 5096 - (Dataplot(i))), QBColor(0)
      Else
        Printer.Line -(Initial, 5096 - (Dataplot(i))), QBColor(0)
      End If
      Initial = Initial + (7 * 16)
    Next i
  End If
End If
End If
*****
'Decibel
*****
If Option2.Value = True Then
  For i = 1 To 64
    If Mul = 10 Then
      Datalog(i) = ((20 * (Log((Average(i) * 2.44) / 100) / Log(10))) * 68.267)
      If Datalog(i) < 0 Then
        Datalog(i) = Datalog(i) * -1
      End If
    Else
      Datalog(i) = ((20 * (Log((Average(i) * 2.44) / 100) / Log(10))) * 40.96)
      If Datalog(i) = 0 Then
        Datalog(i) = Datalog(i) + -1
      End If
    End If
  Next i

  j = 1
  Initial = 1000
  Printer.Line (1000, 5096)-(1000, 5096)
  CountNum = 1
  PlotAverage = 16

  If Mul = 10 Then
    For i = 1 To 64
      If i = 1 Then

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Printer.Line (1000, 4984 - Datalog(1))-(1000, 4984 - Datalog(1)), QBColor(0)
Initial = Initial + (7 * 16) 'no +(7*16)curve shift left
Printer.Line -(Initial, 4984 - Datalog(i)), QBColor(0)
Else
Printer.Line -(Initial, 4984 - Datalog(i)), QBColor(0)
End If
Initial = Initial + (7 * 16) 'Convert 7 more 7 Scale Long Right
Next i

```

```

Elseif Mul = 32 Then
For i = 1 To 64
If i = 1 Then
Printer.Line (1000, 3360 - Datalog(1))-(1000, 3360 - Datalog(1)), QBColor(0)
Initial = Initial + (7 * 16) 'no +(7*16)curve shift left
Printer.Line -(Initial, 3360 - Datalog(i)), QBColor(0)
Else
Printer.Line -(Initial, 3360 - Datalog(i)), QBColor(0)
End If
Initial = Initial + (7 * 16) 'Convert 7 more 7 Scale Long Right
Next i

```

```

End If
End If

```

```

DataScale = 0
Printer.Line (1000, 800)-(1000, 5096), RGB(0, 0, 0) 'Line Y
Printer.Line (1000, 5096)-(8500, 5096), RGB(0, 0, 0) 'Line X
*****
* Plot Scale Y
*****

```

```

If Option2.Value = True Then

```

```

'Plot Log

```

```

If List1.Text = "Filter" Then

```

```

DataScale = 50

```

```

P = 1

```

```

For i = 1000 To 5096 - Int((5096 - 1000) / 20) Step Int((5096 - 1000) / 10)

```

```

Printer.Line (850, i)-(1000, i)

```

```

Printer.Line (1000, i)-(8168, i), QBColor(0)

```

```

Printer.Line (500, i - 100)-(500, i - 100)

```

```

Printer.Print DataScale

```

```

DataScale = DataScale - 10

```

```

Next i

```

```

Label13.Caption = "Decibel (dB)"

```

```

Else

```

```

DataScale = 50

```

```

For i = 1000 To 5096 - Int((5096 - 1000) / 20) Step Int((5096 - 1000) / 6)

```

```

Printer.Line (850, i)-(1000, i)

```

```

Printer.Line (1000, i)-(8168, i), QBColor(0)

```

```

Printer.Line (500, i - 100)-(500, i - 100)

```

```

Printer.Print DataScale

```

```

DataScale = DataScale - 10

```

```

Next i

```

```

Label13.Caption = "Decibel (dB)"

```

```

End If

```

```

Else

```

```

'Plot Linear

```

```

If List1.Text = "Filter" Then

```

```

DataScale = 128

```

```

For i = 1000 To 5096 - ((5096 - 1000) / 8) Step (5096 - 1000) / 8

```

```

Printer.Line (900, i)-(1000, i)

```

```

Printer.Line (1000, i)-(8168, i), QBColor(0)

```

```

Printer.Line (500, i - 100)-(500, i - 100)

```

```

Printer.Print DataScale

```

```

DataScale = DataScale - 16

```

```

Next i

```

```

Label13.Caption = "Amplitude (mVrms)"

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Label22.Caption = "mVrms"
Else
DataScale = 20
For i = 1000 To 5096 - Int((5096 - 1000) / 20) Step Int((5096 - 1000) / 10)
Printer.Line (900, i)-(1000, i)
Printer.Line (1000, i)-(8168, i), QBColor(0)
Printer.Line (500, i - 100)-(500, i - 100)
Printer.Print DataScale
DataScale = DataScale - 2
Next i
Label13.Caption = "Amplitude (Vrms)"
Label22.Caption = "Vrms"
End If
End If
'*****
'* Plot Scale X
'*****
If List2.Text = "High" Then
DataScale = 10
For i = 1000 + Int(7168 / 12) To 8168 Step Int(7168 / 12)
Printer.Line (i, 5096)-(i, 5196)
Printer.Line (i, 1000)-(i, 5096), QBColor(0)
Printer.Line (i - 180, 5196)-(i - 180, 5196)
Printer.Print DataScale
DataScale = DataScale + 10
Next i
label20.Caption = "(kHz)"
ElseIf List2.Text = "Low" Then
DataScale = 10
For i = 1000 + Int(7168 / 12) To 8168 Step Int(7168 / 12)
Printer.Line (i, 5096)-(i, 5196)
Printer.Line (i, 1000)-(i, 5096), QBColor(0)
Printer.Line (i - 180, 5196)-(i - 180, 5196)
Printer.Print DataScale
DataScale = DataScale + 10
Next i
label20.Caption = "(Hz)"
Else
DataScale = 1
For i = 1000 + Int(7168 / 12) To 8168 Step Int(7168 / 12)
Printer.Line (i, 5096)-(i, 5196)
Printer.Line (i, 1000)-(i, 5096), QBColor(0)
Printer.Line (i - 120, 5196)-(i - 120, 5196)
Printer.Print DataScale
DataScale = DataScale + 1
Next i
label20.Caption = "(kHz)"
End If

ex: Exit Sub

End Sub

Private Sub Mu17_Click()
End
End Sub

Private Sub Mu18_Click()
If MSComm1.PortOpen = True Then
MSComm1.PortOpen = False
End If
End
End Sub

Private Sub MU221_Click()
Picture1.Cls
PlotScale2 (1)
Command1.Enabled = True
Command2.Enabled = False

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Command3.Enabled = False
Option1.Enabled = False
Option2.Enabled = False
MSComm1.PortOpen = True
MSComm1.Output = "PLFMI"
Timer4.Enabled = True
Label22.Caption = "mVrms"
j = 0
IMPD = "INPUT"
SSPanel11.Caption = "Busy"
SSPanel4.Caption = "100"
End Sub

```

```

Private Sub MU222_Click()
Picture1.Cls
PlotScale2 (1)
Command1.Enabled = True
Command2.Enabled = False
Command3.Enabled = False
Option1.Enabled = False
Option2.Enabled = False
MSComm1.PortOpen = True
MSComm1.Output = "PRFMI"
Timer4.Enabled = True
Label22.Caption = "mVrms"
j = 0
IMPD = "INPUT"
SSPanel11.Caption = "Busy"
SSPanel4.Caption = "100"
End Sub

```

```

Private Sub MU231_Click()
Picture1.Cls
PlotScale2 (1)
Command1.Enabled = True
Command2.Enabled = False
Command3.Enabled = False
Option1.Enabled = False
Option2.Enabled = False
MSComm1.PortOpen = True
MSComm1.Output = "PLFMO"
Timer4.Enabled = True
Label22.Caption = "mVrms"
j = 0
IMPD = "OUTPUT"
SSPanel11.Caption = "Busy"
SSPanel4.Caption = "100"
End Sub

```

```

Private Sub MU232_Click()
Picture1.Cls
PlotScale2 (1)
Command1.Enabled = True
Command2.Enabled = False
Command3.Enabled = False
Option1.Enabled = False
Option2.Enabled = False
MSComm1.PortOpen = True
MSComm1.Output = "PRFMO"
Timer4.Enabled = True
Label22.Caption = "mVrms"
j = 0
IMPD = "OUTPUT"
SSPanel11.Caption = "Busy"
SSPanel4.Caption = "100"
End Sub

```

```

Private Sub Mu24_Click()
Dim aa As Currency

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Dim ab As Currency
Dim ac As Currency
Dim ad As Currency
Dim ae As Currency
Dim af As Currency
Dim ag As Currency
Dim ah As Integer
Dim Distortion(64) As Integer
Mu24.Enabled = False
If List2.Text = "Middle" Then
    i = 6
    Distortion(i) = (Average(i)) 'Calculate Distortion
    aa = Distortion(i)
    aa = aa ^ 2
    i = 12
    Distortion(i) = (Average(i)) 'Calculate Distortion
    ab = Distortion(i)
    ab = ab ^ 2
    i = 18
    Distortion(i) = (Average(i)) 'Calculate Distortion
    ac = Distortion(i)
    ac = ac ^ 2
    i = 24
    Distortion(i) = (Average(i)) 'Calculate Distortion
    ad = Distortion(i)
    ad = ad ^ 2
    i = 30
    Distortion(i) = (Average(i)) 'Calculate Distortion
    ae = Distortion(i)
    ae = ae ^ 2
    af = ab + ac + ad + ae
    mysqr = Sqr(af) 'square root
    af = mysqr
    ag = aa + ab + ac + ad + ae
    mysqr = Sqr(ag) 'square root
    ag = mysqr
    ah = (af / ag) * 100
    SSPanel3.Caption = ah
End If
End Sub

Private Sub Mu32_Click()
User_Manual.Show
End Sub

Private Sub Mu33_Click()
Pre_Resume.Show
End Sub

Private Sub Option1_Click()
Dim Dataplot(64) As Integer
Picture1.Cls
PlotScale (1)
Mu13.Enabled = True
Mu14.Enabled = False
Command1.Enabled = True
Mu14.Enabled = True
j = 1
Initial = 1000
Picture1.Line (1000, 5096)-(1000, 5096)
CountNum = 1
PlotAverage = 16

If List1.Text = "Amplifier" Then
    Mul = 10
Else
    Mul = 32
End If

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

For i = 1 To 64
  If Mul = 10 Then
    Dataplot(i) = (Average(i) * 0.2048) 'Amplifier
  Elseif Mul = 32 Then
    Dataplot(i) = (Average(i) * 32) 'Filter
  End If
Next i

For i = 1 To 64
  If i = 1 Then
    Picture1.Line (1000, 5096 - Int(Dataplot(1)))-(1000, 5096 - (Dataplot(1))), QBColor(11)
    Initial = Initial + (7 * 16)
    Picture1.Line -(Initial, 5096 - (Dataplot(i))), QBColor(11)
  Else
    Picture1.Line -(Initial, 5096 - (Dataplot(i))), QBColor(11)
  End If
  Initial = Initial + (7 * 16)
Next i

End Sub

Private Sub Option2_Click()
  Dim i As Integer
  Dim Datalog(64) As Integer
  Dim mV As Integer
  Picture1.Cls
  PlotScale (1)
  Mu13.Enabled = False
  Mu14.Enabled = True
  Command1.Enabled = True

  For i = 1 To 64
    If Mul = 10 Then
      Datalog(i) = ((20 * (Log((Average(i) * 2.44) / 100) / Log(10))) * 68.267)
      If Datalog(i) < 0 Then
        Datalog(i) = Datalog(i) * -1
      End If

    Elseif Mul = 32 Then
      Datalog(i) = ((20 * (Log((Average(i) * 2.44) / 100) / Log(10))) * 40.96)
      If Datalog(i) = 0 Then
        Datalog(i) = Datalog(i) + -1
      End If
    End If
  Next i

  j = 1
  Initial = 1000
  Picture1.Line (1000, 5096)-(1000, 5096)
  CountNum = 1
  PlotAverage = 16

  If Mul = 10 Then
    For i = 1 To 64
      If i = 1 Then
        Picture1.Line (1000, 4984 - Datalog(1))-(1000, 4984 - Datalog(1)), QBColor(11)
        Initial = Initial + (7 * 16) 'no +(7*16)curve shift left
        Picture1.Line -(Initial, 4984 - Datalog(i)), QBColor(11)
      Else
        Picture1.Line -(Initial, 4984 - Datalog(i)), QBColor(11)
      End If
      Initial = Initial + (7 * 16) 'Convert 7 more 7 Scale Long Right
    Next i

  Elseif Mul = 32 Then
    For i = 1 To 64
      If i = 1 Then
        Picture1.Line (1000, 3360 - Datalog(1))-(1000, 3360 - Datalog(1)), QBColor(11)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Initial = Initial + (7 * 16) 'no +(7*16)curve shift left
Picture1.Line -(Initial, 3360 - Datalog(i)), QBColor(11)
Else
Picture1.Line -(Initial, 3360 - Datalog(i)), QBColor(11)
End If
Initial = Initial + (7 * 16) 'Convert 7 more 7 Scale Long Right
Next i

End If
End Sub

Private Sub Picture1_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
Dim X1, Y1 As Integer
Dim Col As String
Dim R, G, B As String
X1 = CInt(X)
Y1 = CInt(Y)
Col = Hex(Picture1.Point(X, Y))
R = Right(Col, 2)
Col = Left(Col, 4)
G = Right(Col, 2)
Col = Left(Col, 2)
B = Right(Col, 2)
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
SSPanel10.Caption = Time()
SSPanel9.Caption = Date
End Sub

Private Sub Timer2_Timer()
Dim k, J2 As String
Dim S1, S2, S3 As String
Dim N1, N2, N3 As Integer
Dim Step As Integer
Dim Sum, mV As Integer
Dim Dataplot(64) As Integer
Dim Da(64) As Integer
SSPanel4.Enabled = True
SSPanel4.Caption = "100"
SSPanel5.Enabled = True
SSPanel6.Enabled = True

If List1.Text = "Amplifier" Then
Mul = 10 'Amplifier
Else
Mul = 32 'Filter
End If

Step = 7

k = MSComm1.Input

If Len(k) = 4 Then
S1 = Mid(k, 2, 1)
S2 = Mid(k, 3, 1)
S3 = Mid(k, 4, 1)
N1 = Asc(S1)
N2 = Asc(S2)
N3 = Asc(S3)
If (N1 > 57) And (N1 < 65) Then
N1 = N1 + 7
End If
If (N2 > 57) And (N2 < 65) Then
N2 = N2 + 7
End If
If (N3 > 57) And (N3 < 65) Then
N3 = N3 + 7
End If

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

S1 = Chr(N1)
S2 = Chr(N2)
S3 = Chr(N3)
k = S1 + S2 + S3
Data(j) = Val("&H" + k)
*****
'* Calculate AveragerData = 16 data
*****
J2 = j Mod 16
If J2 = 0 Then
  For i = j - 15 To j
    Sum = Sum + Data(i)
  Next i

  Sum = (Sum / PlotAverage)

  If Mul = 10 Then
    Dataplot(j / PlotAverage) = (((Sum * 2.44) * 10) * 0.2048) 'Amplifier
    mV = (Sum * 2.44) * 10
    Average(j / PlotAverage) = mV
    Data(j / PlotAverage) = Int(20 * ((Log((mV) / 100)) / Log(10))) 'Calculate dB
    SSPanel6.Caption = Data(j / PlotAverage) 'Show dB
    SSPanel5.Caption = (mV / 1000)

  ElseIf Mul = 32 Then
    Dataplot(j / PlotAverage) = ((Sum * 2.44) * 32) 'Filter
    mV = (Sum * 2.44)
    Average(j / PlotAverage) = mV
    Data(j / PlotAverage) = Int(20 * ((Log((mV) / 100)) / Log(10))) 'Calculate dB
    SSPanel6.Caption = Data(j / PlotAverage) 'Show dB
    SSPanel5.Caption = mV
  End If

*****
'* Plot Graph
*****
If j = 16 Then
  Picture1.Line (1000, 5096 - (Dataplot(1)))-(1000, 5096 - (Dataplot(1))), QBColor(11)
  Initial = Initial + Step
  Picture1.Line -(Initial, 5096 - (Dataplot(j / PlotAverage))), QBColor(11)
Else
  Picture1.Line -(Initial, 5096 - (Dataplot(j / PlotAverage))), QBColor(11)
End If
End If
j = j + 1
Initial = Initial + Step
CountNum = CountNum + 1
End If
If j > 1024 Then
  Timer2.Enabled = False
  Option1.Enabled = True
  Option2.Enabled = True
  List1.Enabled = True
  List2.Enabled = True
  List3.Enabled = True
  SSPanel11.Caption = "Analysis Complete"
  Mu13.Enabled = True
  Command1.Enabled = True
  MSComm1.PortOpen = False
End If
Option1.Enabled = True
End Sub

Private Sub Timer3_Timer()
Dim Data As String
Data = MSComm1.Input
If Data = "A" Then
  Command2.Enabled = True
  Timer3.Enabled = False

```

```

MSComm1.Output = "R"
MSComm1.PortOpen = False
SSPanel11.Caption = "Ready Connecting"
Command3.Enabled = False
Mu22.Enabled = True
Mu23.Enabled = True
Else
MsgBox "Please Check Line Connect"
Timer3.Enabled = False
MSComm1.PortOpen = False
End If
End Sub

```

```

Private Sub Timer4_Timer()
Dim k, J2 As String
Dim S1, S2, S3 As String
Dim N1, N2, N3 As Integer
Dim Step As Integer
Dim Sum, mV As Long
Dim Dataplot(64) As Integer
Dim DataMax, NumMax As Integer

```

```
Step = 28
```

```
k = MSComm1.Input
```

```

If Len(k) = 4 Then
S1 = Mid(k, 2, 1)
S2 = Mid(k, 3, 1)
S3 = Mid(k, 4, 1)
N1 = Asc(S1)
N2 = Asc(S2)
N3 = Asc(S3)
If (N1 > 57) And (N1 < 65) Then
N1 = N1 + 7
End If
If (N2 > 57) And (N2 < 65) Then
N2 = N2 + 7
End If
If (N3 > 57) And (N3 < 65) Then
N3 = N3 + 7
End If
S1 = Chr(N1)
S2 = Chr(N2)
S3 = Chr(N3)
k = S1 + S2 + S3
j = j + 1
Data(j) = Val("&H" + k)
SSPanel5.Caption = (Data(j) * 2.44)

```

```
*****
```

```
* Calculate = 256 data for impedance
```

```
*****
```

```

If j = 1 Then
Picture1.Line (1000, 5096 - (Data(1)))-(1000, 5096 - (Data(1))), QBColor(11)
Initial = Initial + Step
Picture1.Line -(Initial, 5096 - (Data(j) * 2.44 * 32)), QBColor(11)
Else
Picture1.Line -(Initial, 5096 - (Data(j) * 2.44 * 32)), QBColor(11)
End If

```

```

Initial = Initial + Step
CountNum = CountNum + 1

```

```

If j > 255 Then
Timer4.Enabled = False
Option1.Enabled = True
Option2.Enabled = True
List1.Enabled = True

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
List2.Enabled = True
List3.Enabled = True
SSPanel1.Caption = "Analysis Complete"
Mu13.Enabled = True
```

```
For i = 1 To 256
  If Data(i) > 50 Then
    If Data(i) < DataMax Then
      DataMax = Data(i)
      NumMax = i
    End If
  End If
Next i
Option2.Enabled = False
```

```
If IMPD = "INPUT" Then
  SSPanel1.Caption = (DataMax * 700) / 100 'kiloOhm
Else
  SSPanel2.Caption = (DataMax * 700) / 100 'kiloOhm
End If
End If
End If
End Sub
```



โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

```

*****
;* ANALYZER.ASM *
;* Complie With SXA51 *
;* Program By Ed.Engineer18 *
;* March 20, 1997 *
*****
        ORG 0000H

ST:     PA1 EQU 0F800H
        PB1 EQU 0F801H
        PC1 EQU 0F802H
        PCON1 EQU 0F803H
        PA2 EQU 0FC00H
        PB2 EQU 0FC01H
        PC2 EQU 0FC02H
        PCON2 EQU 0FC03H

        PC1BUF EQU 50H
        PA2BUF EQU 51H
        BUF1 EQU 55H
        BUF2 EQU 56H
*****
; MAIN PROGRAM
*****
        CALL DELAY ;Initial Board
        CALL DELAY
        CALL DELAY
        CALL DELAY
        MOV DPTR,#PCON1 ;Set 8255 Port User1
        MOV A,#80H ;PA=OUT, PB=OUT, PC=OUT
        MOVX @DPTR,A
        MOV DPTR,#PCON2 ;Set 8255 Port User2
        MOV A,#83H ;PA=OUT, PB=IN, PCL=IN, PCH=OUT
        MOVX @DPTR,A

        MOV SCON,#52H ;Set Serial Port Mode=1
        MOV TMOD,#20H ;Set Timer1 Mode = 2
        MOV TH1,#0FDH ;Baud Rate = 9600
        SETB TR1 ;Enabled Timer1
        MOV R0,#PC1BUF
        MOV A,#0
        MOV @R0,A
        CALL DELAY
        CALL DELAY
        CALL DELAY
        CALL DELAY

*****
; Check Connect From Computer
*****
REMOTE: CALL RECEIVE
        CJNE A,#'C',REMOTE ;Check Data "C" Form Computer
        MOV A,#'A'
        CALL SEND ;Send "A" to Computer
RETURN: CALL RECEIVE
        CJNE A,#'R',RETURN ;Check Data "R" Form Computer is Response

MAIN: CALL RECEIVE
        CJNE A,#'T',RES ;Spectrum
        CALL RESPON
        SJMP CLEAR
RES: CJNE A,#'P',MAIN ;Impedance
        CALL IMP
CLEAR: MOV A,#0 ;Clear All Port OutPut
        MOV DPTR,#PA1
        MOVX @DPTR,A
        MOV DPTR,#PB1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#PC1
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#PA2
MOVX @DPTR,A
SJMP REMOTE

;*****
; RECEIVE IMPEDANCE FORM COMPUTER
;*****
IMP: CALL RECEIVE
    CALL SETCH      ;Set Channel
    CALL RECEIVE
    CALL SETTY     ;Set Type
    CALL RECEIVE
    CALL SETFREQ   ;Set Frequency
    CALL RECEIVE
    CALL SETINOUT  ;Set Input Or Output
    MOV R0,#0AH
E:   CALL DELAY2
    DJNZ R0,E
    LCALL FREQ_R
    LCALL SIMP
    RET

;*****
; CHANGE RESISTOR DS1669
;*****
SIMP: MOV A,#0A1H
    MOV DPTR,#PC1
    MOVX @DPTR,A

    MOV DPTR,#PA1
    MOV A,#55H
    MOVX @DPTR,A
    LCALL DELAY3
    LCALL DELAY3
    LCALL DELAY3
    LCALL DELAY3
    LCALL DELAY3
    LCALL DELAY3
    LCALL DELAY3
    LCALL DELAY3
    LCALL DELAY3
    LCALL DELAY3
    LCALL DELAY3
    LCALL DELAY3

    MOV R4,#40H
TS1: MOV A,#0FEH
    MOVX @DPTR,A
    MOV A,#0FFH
    LCALL READ_AD
    DJNZ R4,TS1

    MOV R4,#40H
TS2: MOV A,#0FBH
    MOVX @DPTR,A
    MOV A,#0FFH
    LCALL READ_AD
    DJNZ R4,TS2

    MOV R4,#40H
TS3: MOV A,#0EFH
    MOVX @DPTR,A
    MOV A,#0FFH
    LCALL READ_AD
    DJNZ R4,TS3

    MOV R4,#40H
TS4: MOV A,#0BFH

```

```

MOVX @DPTR,A
MOV A,#0FFH
LCALL READ_AD
DJNZ R4,TS4

```

```

MOV DPTR,#PA1
MOV A,#55H
MOVX @DPTR,A
LCALL DELAY3
LCALL DELAY3
LCALL DELAY3
LCALL DELAY3
LCALL DELAY3
LCALL DELAY3
LCALL DELAY3
LCALL DELAY3
LCALL DELAY3
LCALL DELAY3
RET

```

```

;*****
; CHANGE FREQ RESPONCE
;*****

```

```

FREQ_R: MOV DPTR,#PB1
MOV A,#0A0H
MOVX @DPTR,A

```

```

MOV R0,#PC1BUF
MOV A,@R0
ANL A,#0F0H
ADD A,#01H
MOV @R0,A
MOV DPTR,#PC1
MOVX @DPTR,A
RET

```

```

;*****
; SELECT INPUT/OUTPUT
;*****

```

```

SETINOUT:PUSH DPH
PUSH DPL
CJNE A,#'I',OUT ;Check Input
MOV DPTR,#PC2
ORL A,#0D0H
MOV @R0,A
MOVX @DPTR,A
SJMP EX

```

```

OUT: CJNE A,#'O',EX ;Check Output

```

```

MOV DPTR,#PC2
ORL A,#0E0H
MOV @R0,A
MOVX @DPTR,A
EX: POP DPL
POP DPH
RET

```

```

;*****
; RECEIVE COMMAND FROM COMPUTER
;*****

```

```

RESPON: CALL RECEIVE
CALL SETCH ;Set Channel
CALL RECEIVE
CALL SETTY ;Set Type
CALL RECEIVE
CALL SETFREQ ;Set Frequency

```

```

MOV R0,#1AH
L: CALL DELAY2
DJNZ R0,L
CALL FREQ ;Start

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

RET
;*****
; CHANGE FREQUENCY 12 BIT
;*****
FREQ: MOV R4,#0
MOV R3,#0
FREQ1: MOV A,R3
MOV DPTR,#PB1
MOVX @DPTR,A
MOV R0,#PC1BUF
MOV A,@R0
ORL A,R4
MOV DPTR,#PC1
MOVX @DPTR,A
CALL DELAY
CALL READ_AD
INC R3
INC R3
INC R3
INC R3
CJNE R3,#0,NO
INC R4
NO: CJNE R4,#10H,FREQ1
RET
;*****
; SELECT CHANNEL LEFT/RIGHT
;*****
SETCH: PUSH DPH
PUSH DPL
CJNE A,#'L',RIG ;Check Left Channel
MOV DPTR,#PA2
MOV R0,#PA2BUF
MOV A,@R0
ANL A,#0F7H
MOV @R0,A
MOVX @DPTR,A
SJMP EXCH
RIG: CJNE A,#'R',EXCH ;Check Right Channel
MOV DPTR,#PA2
MOV R0,#PA2BUF
MOV A,@R0
SETB ACC.3
MOV @R0,A
MOVX @DPTR,A
EXCH: POP DPL
POP DPH
RET
;*****
; SELECT TYPES AMPLIFIER/FILTER
;*****
SETTY: PUSH DPH
PUSH DPL
CJNE A,#'A',FIL ;Check Type Amplifier
MOV DPTR,#PA2
MOV R0,#PA2BUF
MOV A,@R0
ORL A,#40H
MOV @R0,A
MOVX @DPTR,A
SJMP EXTY
FIL: CJNE A,#'F',EXTY ;Check Type Filter
MOV DPTR,#PA2
MOV R0,#PA2BUF
MOV A,@R0
ORL A,#20H
MOV @R0,A
MOVX @DPTR,A
EXTY: POP DPL
POP DPH

```

```

RET
;*****
; SELECT FREQUENCY LOW/MID/HIGH
;*****
SETFREQ:PUSH DPH
PUSH DPL
CJNE A,#'H',MID ;Check High Frequency
MOV DPTR,#PC1
MOV A,#40H
MOVX @DPTR,A
SJMP EXFREQ
MID: CJNE A,#'M',LOWF ;Check Mid Frequency
MOV DPTR,#PC1
MOV A,#20H
MOVX @DPTR,A
SJMP EXFREQ
LOWF: CJNE A,#'L',EXFREQ ;Check Low Frequency
MOV DPTR,#PC1
MOV A,#10H
MOVX @DPTR,A
EXFREQ: MOV R0,#PC1BUF
MOV @R0,A
POP DPL
POP DPH
RET
;*****
; READ A/D
;*****
READ_AD:PUSH DPH
PUSH DPL
MOV DPTR,#PA2
MOV R0,#PA2BUF
MOV A,@R0
ANL A,#0FEH
MOV @R0,A
MOVX @DPTR,A ;Set ADC Convert Data
CALL DELAY
NO_STS: MOV A,@R0
ORL A,#01H
MOV @R0,A
MOV DPTR,#PA2
MOVX @DPTR,A ;Set ADC Read Data
CALL DELAY
MOV DPTR,#PB2
MOVX A,@DPTR ;Read bit 0-7
MOV R6,A ;Store To Buffer
MOV DPTR,#PC2
MOVX A,@DPTR ;Read bit 8-11
ANL A,#0FH
MOV R7,A ;Store To Buffer
CALL CONV ;Call Convert To Send Hex Data
POP DPL
POP DPH
RET
;*****
; Send Data To Microcomputer RS232
; Convert Data To Hex
;*****
CONV: MOV A,#'X'
CALL SEND

MOV A,R7
ANL A,#0FH
ADD A,#30H
CALL SEND ;Send X--

MOV A,R6
ANL A,#0F0H
SWAP A

```

```

ADD A,#30H
CALL SEND ;Send -X-

MOV A,R6
ANL A,#0FH
ADD A,#30H
CALL SEND ;Send --X
RET
;*****
; RS232 Send and Receive
;*****
SEND: JNB TI,SEND
CLR TI
MOV SBUF,A
RET
RECEIVE:JNB RI,RECEIVE
CLR RI
MOV A,SBUF
RET

;*****
; DELAY
;*****
DELAY: MOV R2,#080H
DELAY11:MOV R1,#0
DJNZ R1,$
DJNZ R2,DELAY11
RET

DELAY2: MOV R2,#0FFH
DELAY21:MOV R1,#0
DJNZ R1,$
DJNZ R2,DELAY21
RET

DELAY3: MOV R2,#06H
DE31: MOV R1,#0
DE32: MOV R0,#0
DJNZ R0,$
DJNZ R1,DE32
DJNZ R2,DE31
RET

END

```



ภาคผนวก จ

คู่มือการใช้งานเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง

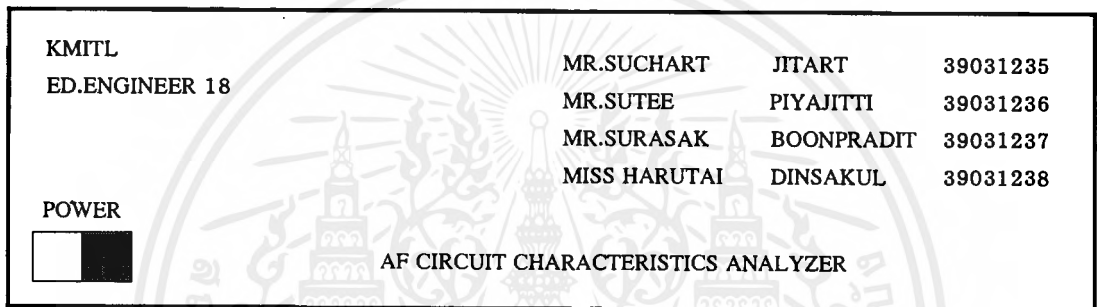
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน

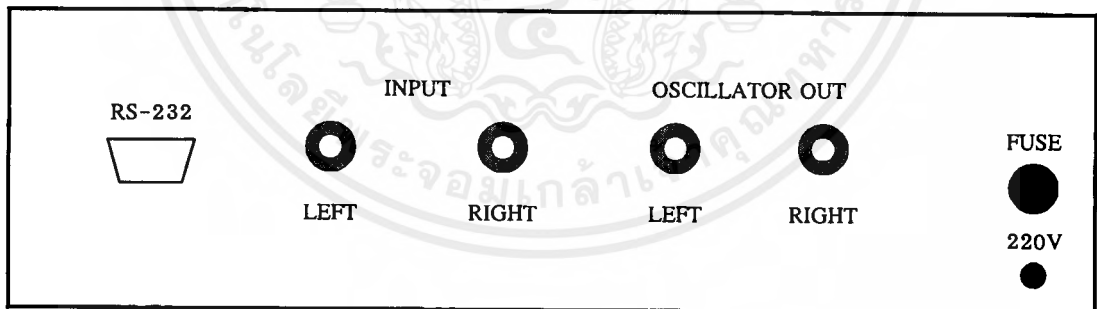
เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง

AF CIRCUIT CHARACTERISTICS ANALYZER

หน้าปัทม์ของเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง



รูปที่ จ.1 ด้านหน้าของเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง



รูปที่ จ.2 ด้านหลังของเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง

จากรูปที่ จ.1 และ จ.2 แสดงด้านหน้าและด้านหลังของเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียงซึ่งประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- POWER
- PC PORT RS-232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- INPUT
- OSCILLATOR OUT

หน้าที่ของส่วนประกอบแต่ละส่วน

- POWER ทำหน้าที่ปิดเปิดเครื่อง
- PC PORT RS-232 ทำหน้าที่เชื่อมต่อ เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจร
ในย่านความถี่เสียง กับเครื่องคอมพิวเตอร์โดยมีการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม
- INPUT ใช้สำหรับต่อกับเอาต์พุตของวงจรที่ต้องการทดสอบ
- OSCILLATOR OUT เป็นช่องที่ใช้สำหรับต่อกับอินพุตของวงจรที่ต้องการ
ทดสอบ

การทดสอบวงจรในย่านความถี่เสียง โดยเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรใน
ย่านความถี่เสียง

การทดสอบวงจรย่านความถี่เสียง (Audio Frequency) แบ่งออกเป็นส่วนคือ

1. วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier)
2. วงจรกรองความถี่ (Filter)

ประโยชน์ของเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง

1. สามารถ วัดการตอบสนองความถี่ของวงจรขยายสัญญาณ ได้
2. สามารถวัดการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ได้
3. สามารถวัดอินพุต และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ได้
4. สามารถวัดค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณได้

อุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อปฏิบัติการทดสอบวงจร

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ PC และ โปรแกรมการทดสอบ
2. เครื่องทดสอบวงจร
3. สายต่อวงจรรับส่งสัญญาณและสายนำสัญญาณ
4. วงจรที่นำมาทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ขั้นตอนการใช้งาน เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง

1.1 ต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรมการทดสอบ กับเครื่องทดสอบโดยใช้สายรับส่งสัญญาณอนุกรม RS-232

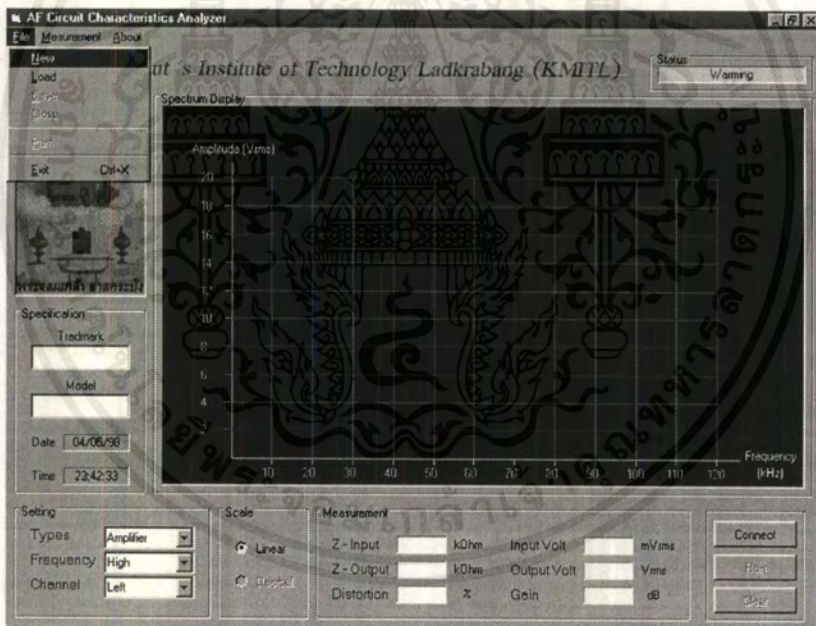
1.2 ต่อสายนำสัญญาณ ระหว่างเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง กับวงจรที่ต้องการนำมาทดสอบ

1.3 จ่ายไฟให้กับวงจรที่นำมาทดสอบ

1.4 เปิดสวิตซ์ไฟฟ้าที่เครื่องทดสอบ และเครื่องคอมพิวเตอร์

1.5 เมื่อไมโครคอมพิวเตอร์เข้าสู่โปรแกรม Windows 95

เลือกโปรแกรมทดสอบวิเคราะห์ห้วงจรจาก Short Cut หรือ Taskbar ที่ได้ติดตั้งไว้แล้ว เพื่อเปิดโปรแกรมจนแสดงรายการหลักดังรูป

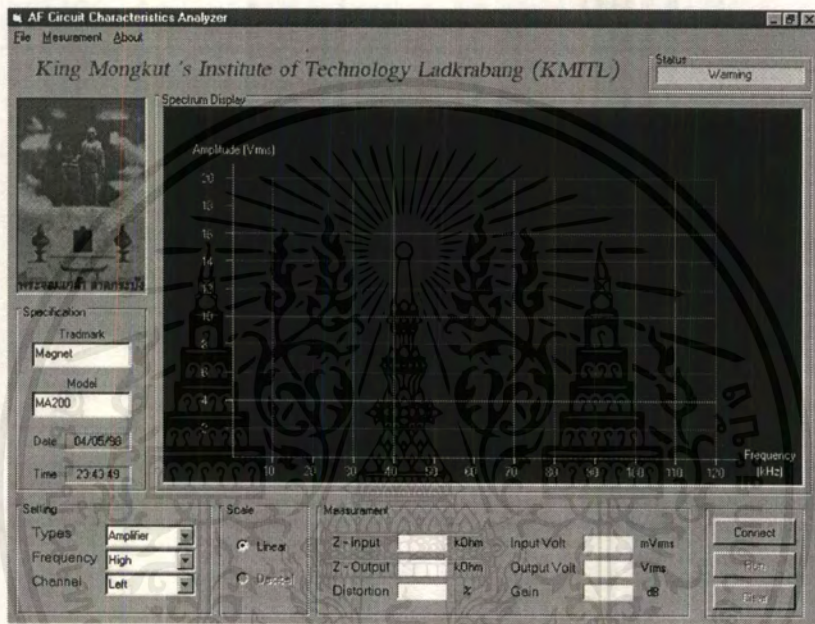


รูปที่ จ.3 เมนูการใช้งาน ของเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในย่านความถี่เสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

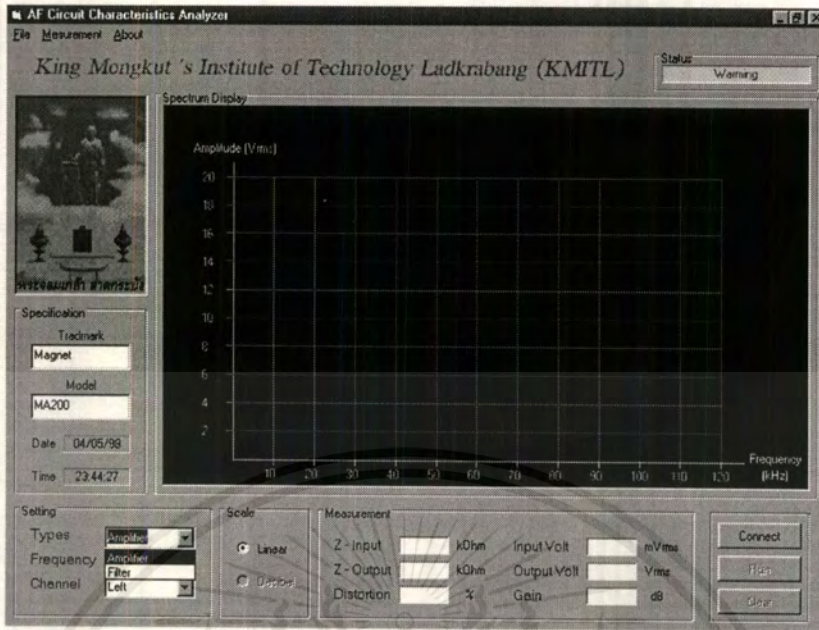
2. การวัดการตอบสนองความถี่ของวงจรขยายสัญญาณ และการวัดการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่

2.1 เลื่อนเมาส์มาที่รายการย่อยเพื่อป้อนข้อมูลเกี่ยวกับยี่ห้อ และรุ่นของวงจรที่นำมาทดสอบจากนั้นเลื่อนเมาส์มาที่ Specification เพื่อป้อนข้อมูลเกี่ยวกับวงจรที่ต้องการนำมาทดสอบ

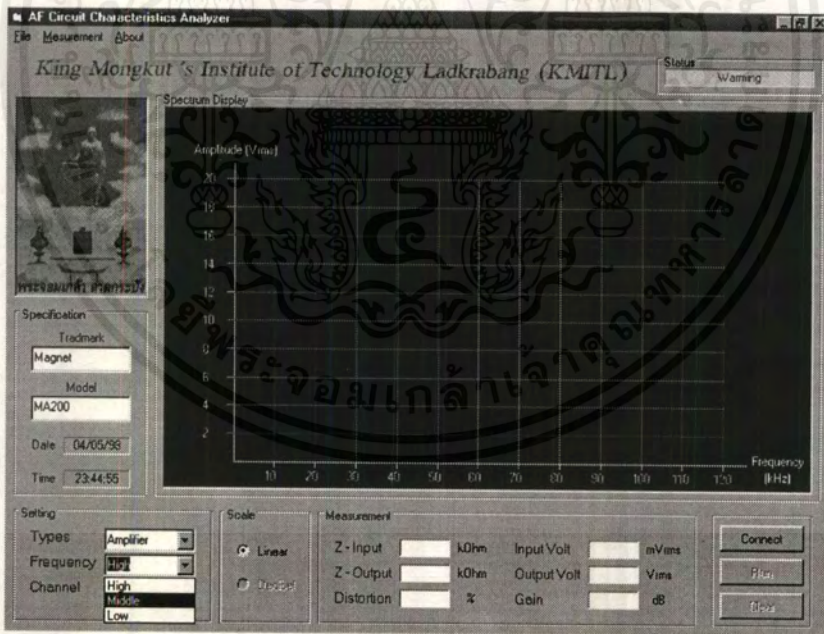


รูปที่ จ.4 การป้อนข้อมูลเกี่ยวกับยี่ห้อ และรุ่นของวงจรที่นำมาทดสอบ

2.2 เลื่อนเมาส์มาที่รายการย่อย เพื่อใส่ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบจากนั้น ป้อนข้อมูลเบื้องต้นที่ส่วนของ Setting ทั้ง 3 ส่วน

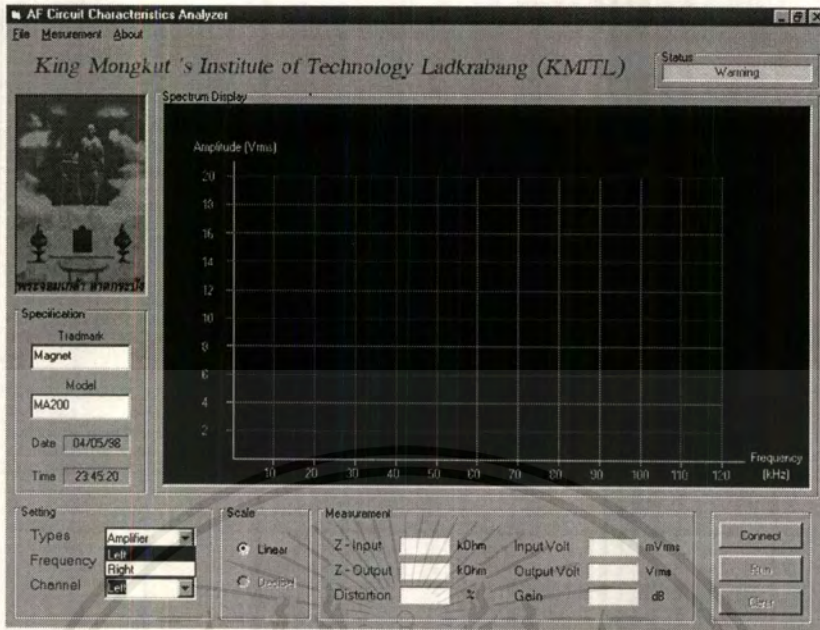


รูปที่ จ.5 การป้อนข้อมูลเลือกชนิดของวงจรที่ต้องการทดสอบ



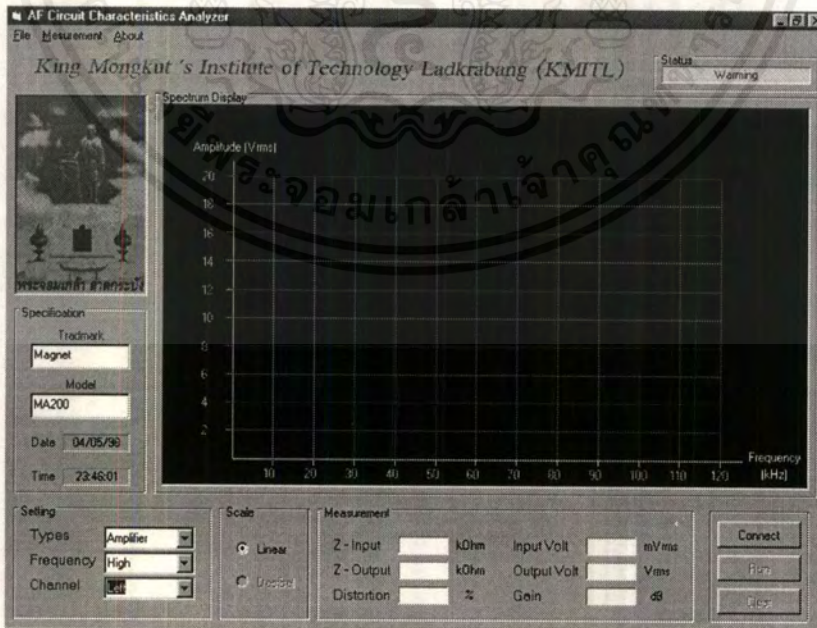
รูปที่ จ.6 การป้อนข้อมูลเลือกย่านความถี่ที่ต้องการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



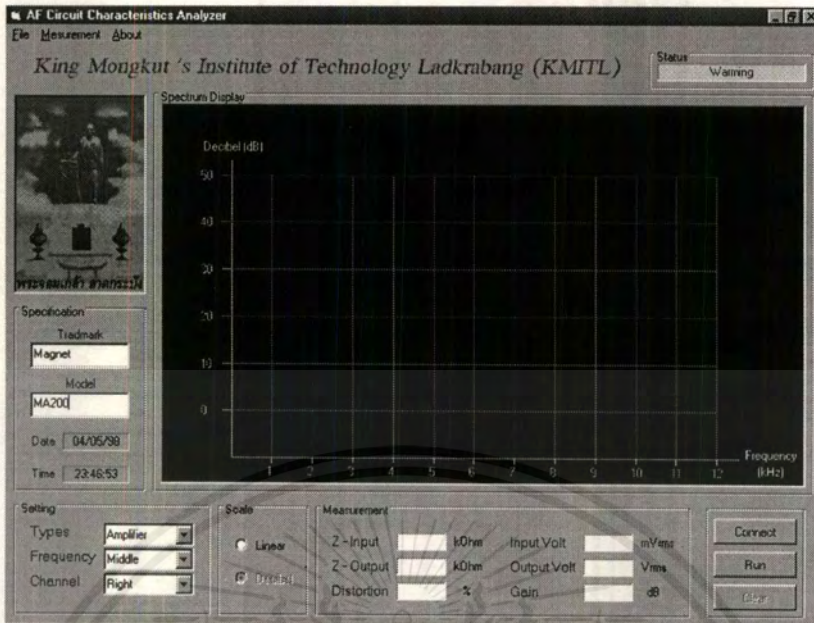
รูปที่ จ.7 การป้อนข้อมูลเลือกช่องการทดสอบ

2.3 เลื่อนเมาส์มาที่รายการย่อย Scale เพื่อใส่ข้อมูลเกี่ยวกับการกำหนดตัวเลขการแสดงผล



รูปที่ จ.8 หน้าจอการแสดงผลแบบเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

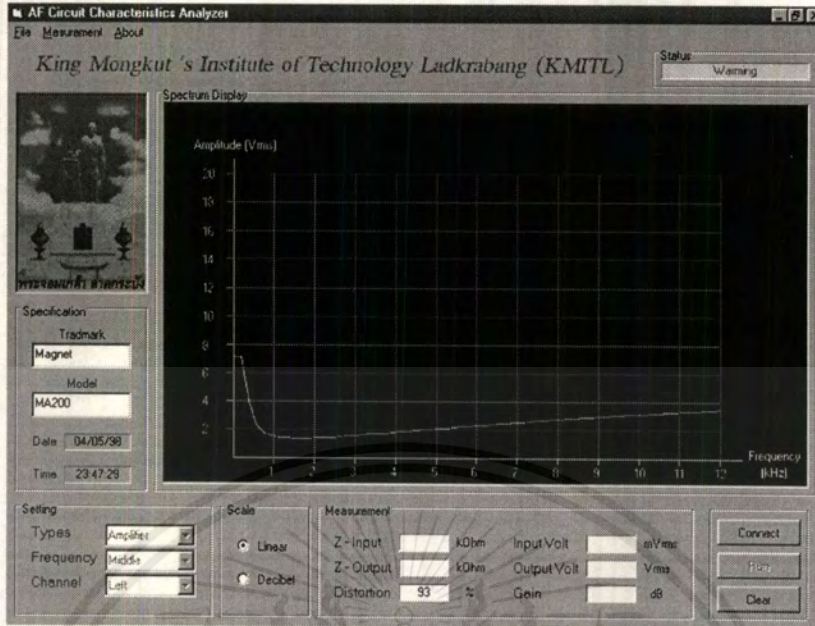


รูปที่ จ.9 หน้าจอการแสดงผลแบบเดซิเบล

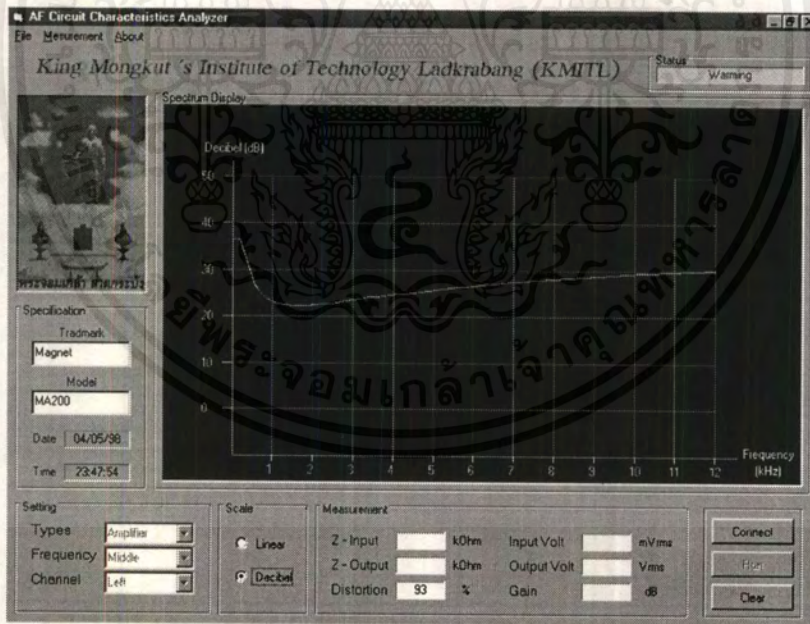
2.4 เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการกดปุ่ม Connect เพื่อที่จะทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ติดต่อกับชุดทดสอบวงจร จากนั้นจึงทำการ Run โปรแกรม

2.5 โปรแกรมจะแสดง Spectrum ของวงจรออกมาเป็นกราฟแสดงผลการตอบสนองความถี่ของวงจร

2.6 โปรแกรมจะแสดงค่าแรงดันอินพุต (V_{rms}) แรงดันเอาต์พุต (V_{rms}) และอัตราเกณฑ์การขยายของวงจร (dB)



รูปที่ จ.10 หน้าจอแสดงการทดสอบวงจร และรับค่ามาแสดงผล

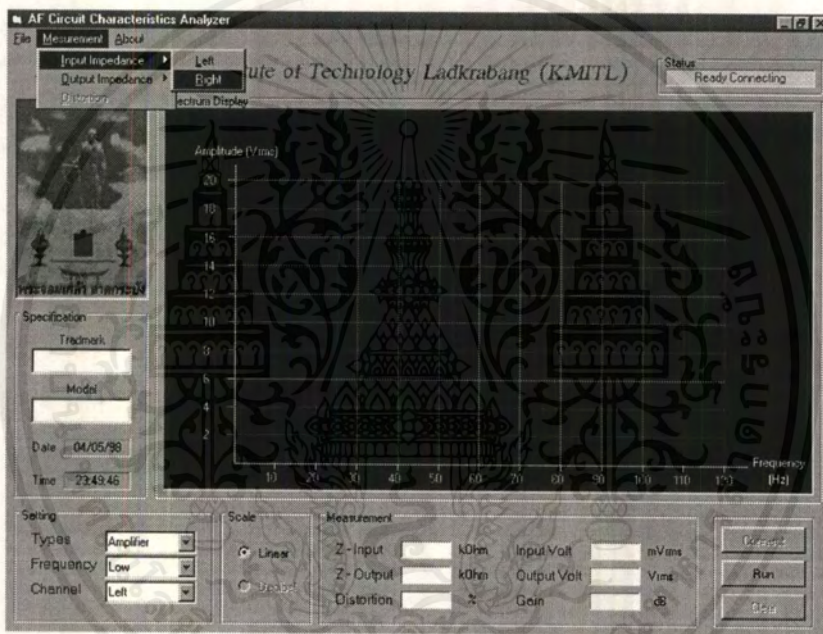


รูปที่ จ.11 หน้าจอการแสดงผลของการทดสอบวงจรแบบเดซิเบล (Decibel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การวัดค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรสามารถวัด ได้โดยทำตามขั้นตอนดังนี้

- 3.1 เลือกรายการ Measurement
- 3.2 เลือก Input Impedance หรือ Output Impedance ตามต้องการ
- 3.3 เลือกช่องสัญญาณ Left หรือ Right ที่ต้องการทดสอบ
- 3.4 โปรแกรมจะทำการกวาดหาค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรโดยอัตโนมัติ
- 3.5 เมื่อโปรแกรมกวาดหาค่าอิมพีแดนซ์เสร็จแล้วจะแสดงค่าอิมพีแดนซ์ออกมา
- 3.6 โปรแกรมจะแสดงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร



รูปที่ จ.12 การเลือกรายการกวาดหาค่าอิมพีแดนซ์

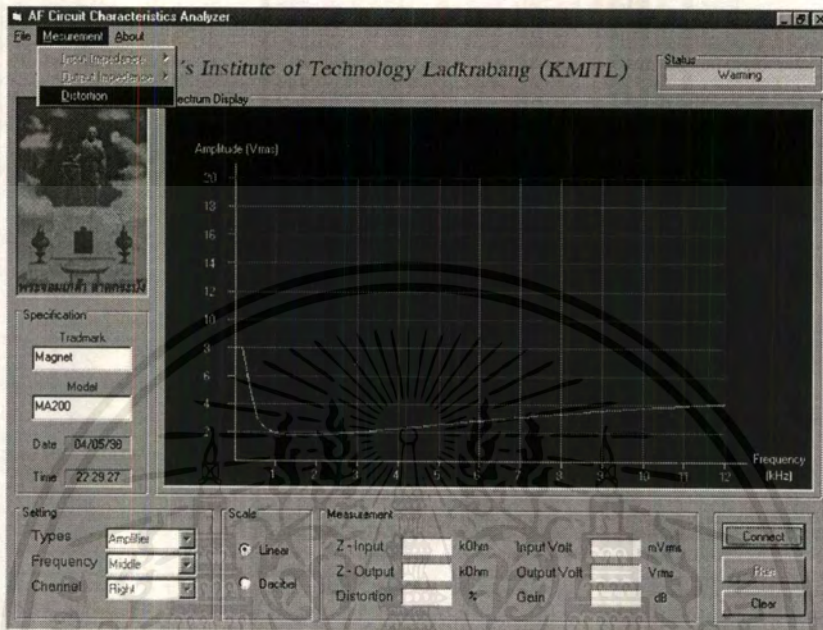
4. การวัดค่าความผิดเพี้ยนของวงจร

4.1 สูตรคำนวณหาค่าความผิดเพี้ยน (THD)

$$\begin{aligned} \text{THD} &= \frac{\sqrt{\sum (E_n)^2}}{\sqrt{E_1^2 + \sum (E_n)^2}} \\ &= \frac{\sqrt{E_2^2 + E_3^2 + E_4^2 + \dots + E_n^2}}{E_f} \end{aligned}$$

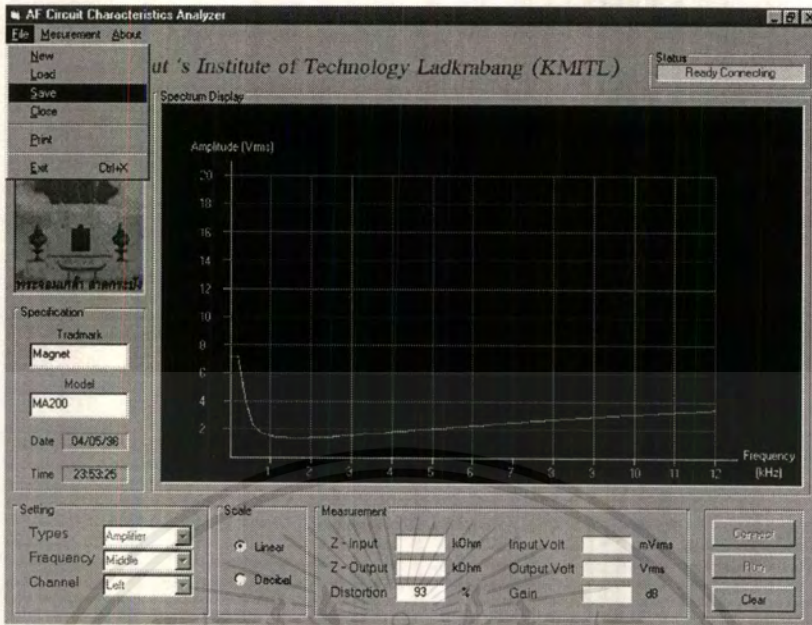
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 เลือกรายการย่อย เพื่อทำการวัดค่าความผิดเพี้ยน เครื่องคอมพิวเตอร์ จะแสดงค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์



รูปที่ จ.13 การเลือกรายการการหาค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณ

5. เมื่อต้องการทำการบันทึกข้อมูลลงบนแผ่นดิสก์ และแสดงผลของข้อมูล ออกทางเครื่องพิมพ์ได้ สามารถทำได้โดยทำการเลือกที่รายการย่อย



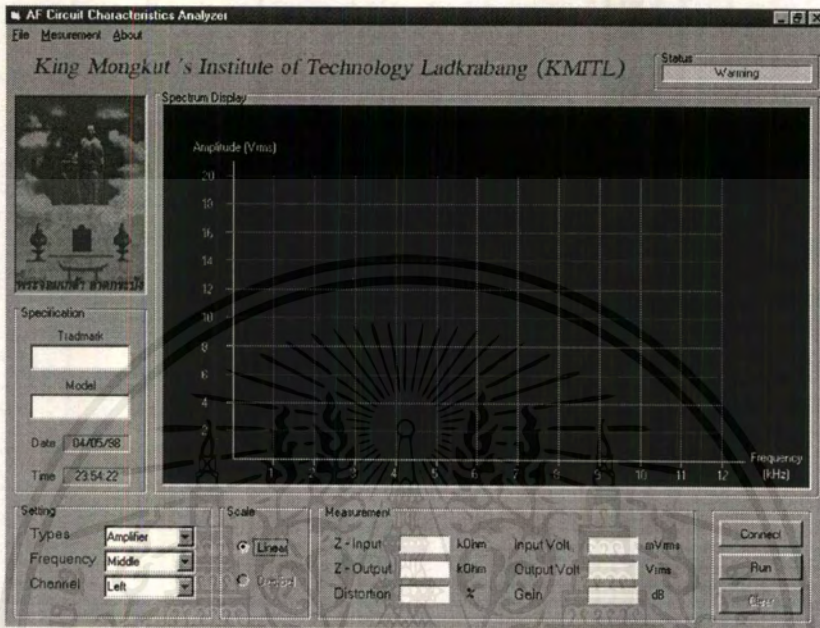
รูปที่ จ.14 การเลือกรายการย่อยเพื่อทำการบันทึกข้อมูล



รูปที่ จ.15 การเลือกรายการย่อยแสดงผลออกทางเครื่องพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ในทุกครั้งที่ต้องการเปลี่ยนการทำงาน หรือต้องการทดสอบวงจรใหม่ต้องทำการลบ
ล้างข้อมูลเก่าเสียก่อนโดยทำการกดปุ่ม Clear ด้านล่างของโปรแกรม



รูปที่ จ.16 การลบล้างข้อมูลเก่าโดยการกดปุ่ม Clear

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ฉ

รายละเอียดเกี่ยวกับคุณลักษณะของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Complete 12-Bit A/D Converter

AD574A*

FEATURES

Complete 12-Bit A/D Converter with Reference and Clock

8- and 16-Bit Microprocessor Bus Interface

Guaranteed Linearity Over Temperature

0°C to +70°C – AD574AJ, K, L

–55°C to +125°C – AD574AS, T, U

No Missing Codes Over Temperature

35 μ s Maximum Conversion Time

Buried Zener Reference for Long-Term Stability and Low Gain T.C. 10 ppm/°C max AD574AL

12.5 ppm/°C max AD574AU

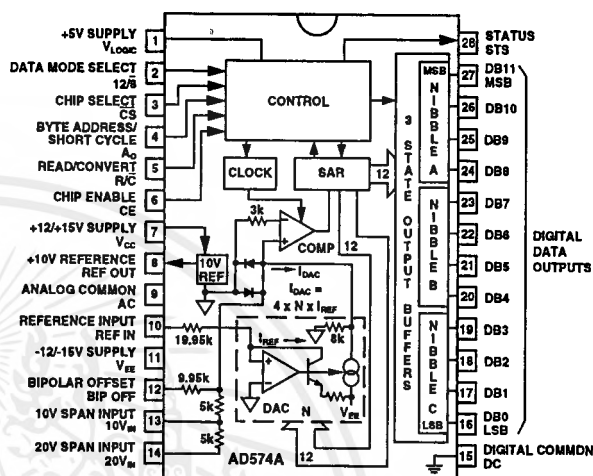
Ceramic DIP, Plastic DIP or PLCC Package

Available in Higher Speed, Pinout-Compatible Versions

(15 μ s AD674B, 80 μ s AD774B; 10 μ s (with SHA) AD1674)

Available in Versions Compliant with MIL-STD-883 and JAN QPL

BLOCK DIAGRAM AND PIN CONFIGURATION



PRODUCT DESCRIPTION

The AD574A is a complete 12-bit successive-approximation analog-to-digital converter with 3-state output buffer circuitry for direct interface to an 8- or 16-bit microprocessor bus. A high precision voltage reference and clock are included on-chip, and the circuit guarantees full-rated performance without external circuitry or clock signals.

The AD574A design is implemented using Analog Devices' Bipolar/ I^2L process, and integrates all analog and digital functions on one chip. Offset, linearity and scaling errors are minimized by active laser-trimming of thin-film resistors at the wafer stage. The voltage reference uses an implanted buried Zener for low noise and low drift. On the digital side, I^2L logic is used for the successive-approximation register, control circuitry and 3-state output buffers.

The AD574A is available in six different grades. The AD574AJ, K, and L grades are specified for operation over the 0°C to +70°C temperature range. The AD574AS, T, and U are specified for the –55°C to +125°C range. All grades are available in a 28-pin hermetically-sealed ceramic DIP. Also, the J, K, and L grades are available in a 28-pin plastic DIP and PLCC, and the J and K grades are available in ceramic LCC.

The S, T, and U grades in ceramic DIP or LCC are available with optional processing to MIL-STD-883C Class B; the T and U grades are available as JAN QPL. The Analog Devices' Military Products Databook should be consulted for details on /883B testing of the AD574A.

*Protected by U.S. Patent Nos. 3,803,590; 4,213,806; 4,511,413; RE 28,633.

REV. B

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The AD574A interfaces to most 8- or 16-bit microprocessors. Multiple-mode three-state output buffers connect directly to the data bus while the read and convert commands are taken from the control bus. The 12 bits of output data can be read either as one 12-bit word or as two 8-bit bytes (one with 8 data bits, the other with 4 data bits and 4 trailing zeros).
2. The precision, laser-trimmed scaling and bipolar offset resistors provide four calibrated ranges: 0 volts to +10 volts and 0 volts to +20 volts unipolar, –5 volts to +5 volts and –10 volts to +10 volts bipolar. Typical bipolar offset and full-scale calibration errors of $\pm 0.1\%$ can be trimmed to zero with one external component each.
3. The internal buried Zener reference is trimmed to 10.00 volts with 0.2% maximum error and 15 ppm/°C typical T.C. The reference is available externally and can drive up to 1.5 mA beyond the requirements of the reference and bipolar offset resistors.
4. AD674B (15 μ s) and AD774B (8 μ s) provide higher speed, pin compatibility; AD1674 (10 μ s) includes on-chip Sample-and-Hold Amplifier (SHA).

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 617/329-4700 Fax: 617/326-8703

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD574A—SPECIFICATIONS (@ +25°C with $V_{CC} = +15\text{ V}$ or $+12\text{ V}$, $V_{LOGIC} = +5\text{ V}$, $V_{EE} = -15\text{ V}$ or -12 V unless otherwise noted)

Model	AD574AJ			AD574AK			AD574AL			Units
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
RESOLUTION			12			12			12	Bits
LINEARITY ERROR @ +25°C			±1			±1/2			±1/2	LSB
T_{MIN} to T_{MAX}			±1			±1/2			±1/2	LSB
DIFFERENTIAL LINEARITY ERROR (Minimum Resolution for Which No Missing Codes are Guaranteed)										
T_{MIN} to T_{MAX}	11			12			12			Bits
UNIPOLAR OFFSET (Adjustable to Zero)			±2			±1			±1	LSB
BIPOLAR OFFSET (Adjustable to Zero)			±4			±4			±2	LSB
FULL-SCALE CALIBRATION ERROR (With Fixed 50 Ω Resistor from REF OUT to REF IN) (Adjustable to Zero)			0.25			0.25			0.125	% of FS
TEMPERATURE RANGE	0		+70	0		+70	0		+70	°C
TEMPERATURE COEFFICIENTS (Using Internal Reference)										
T_{MIN} to T_{MAX}										
Unipolar Offset			±2 (10)			±1 (5)			±1 (5)	LSB (ppm/°C)
Bipolar Offset			±2 (10)			±1 (5)			±1 (5)	LSB (ppm/°C)
Full-Scale Calibration			±9 (50)			±5 (27)			±2 (10)	LSB (ppm/°C)
POWER SUPPLY REJECTION										
Max Change in Full-Scale Calibration										
$V_{CC} = 15\text{ V} \pm 1.5\text{ V}$ or $12\text{ V} \pm 0.6\text{ V}$			±2			±1			±1	LSB
$V_{LOGIC} = 5\text{ V} \pm 0.5\text{ V}$			±1/2			±1/2			±1/2	LSB
$V_{EE} = -15\text{ V} \pm 1.5\text{ V}$ or $-12\text{ V} \pm 0.6\text{ V}$			±2			±1			±1	LSB
ANALOG INPUT										
Input Ranges										
Bipolar	-5		+5	-5		+5	-5		+5	Volts
	-10		+10	-10		+10	-10		+10	Volts
Unipolar	0		+10	0		+10	0		+10	Volts
	0		+20	0		+20	0		+20	Volts
Input Impedance										
10 Volt Span	3	5	7	3	5	7	3	5	7	kΩ
20 Volt Span	6	10	14	6	10	14	6	10	14	kΩ
DIGITAL CHARACTERISTICS ¹ (T_{MIN} - T_{MAX})										
Inputs ² (CE, CS, R/C, A ₀)										
Logic "1" Voltage	+2.0		+5.5	+2.0		+5.5	+2.0		+5.5	Volts
Logic "0" Voltage	-0.5		+0.8	-0.5		+0.8	-0.5		+0.8	Volts
Current	-20		+20	-20		+20	-20		+20	μA
Capacitance		5			5			5		pF
Output (DB11-DB0, STS)										
Logic "1" Voltage ($I_{SOURCE} \leq 500\ \mu\text{A}$)	+2.4			+2.4			+2.4			Volts
Logic "0" Voltage ($I_{SINK} \leq 1.6\text{ mA}$)			+0.4			+0.4			+0.4	Volts
Leakage (DB11-DB0, High-Z State)	-20		+20	-20		+20	-20		+20	μA
Capacitance		5			5			5		pF
POWER SUPPLIES										
Operating Range										
V_{LOGIC}	+4.5		+5.5	+4.5		+5.5	+4.5		+5.5	Volts
V_{CC}	+11.4		+16.5	+11.4		+16.5	+11.4		+16.5	Volts
V_{EE}	-11.4		-16.5	-11.4		-16.5	-11.4		-16.5	Volts
Operating Current										
I_{LOGIC}		30	40		30	40		30	40	mA
I_{CC}		2	5		2	5		2	5	mA
I_{EE}		18	30		18	30		18	30	mA
POWER DISSIPATION		390	725		390	725		390	725	mW
INTERNAL REFERENCE VOLTAGE										
Output Current (Available for External Loads) ³ (External Load Should not Change During Conversion)	9.98	10.0	10.02	9.98	10.0	10.02	9.99	10.0	10.01	Volts mA
PACKAGE OPTIONS ⁴										
Ceramic (D-28)			AD574ASD			AD574AKD			AD574ALD	
Plastic (N-28)			AD574AJN			AD574AKN			AD574ALN	
PLCC (P-28A)			AD574AJP			AD574AKP				
LCC (E-28A)			AD574AJE			AD574AKE				

NOTES:

¹Detailed Timing Specifications appear in the Timing Section.²12/8 Input is not TTL-compatible and must be hard wired to V_{LOGIC} or Digital Common.³The reference should be buffered for operation on $\pm 12\text{ V}$ supplies.⁴D = Ceramic DIP; N = Plastic DIP; P = Plastic Leaded Chip Carrier.

Specifications subject to change without notice.

Model	AD574AS			AD574AT			AD574AU			Units
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
RESOLUTION			12			12			12	Bits
LINEARITY ERROR @ +25°C			±1			±1/2			±1/2	LSB
T_{MIN} to T_{MAX}			±1			±1			±1	LSB
DIFFERENTIAL LINEARITY ERROR (Minimum Resolution for Which No Missing Codes are Guaranteed)										
T_{MIN} to T_{MAX}	11			12			12			Bits
UNIPOLAR OFFSET (Adjustable to Zero)			±2			±1			±1	LSB
BIPOLAR OFFSET (Adjustable to Zero)			±4			±4			±2	LSB
FULL-SCALE CALIBRATION ERROR (With Fixed 50 Ω Resistor from REF OUT to REF IN) (Adjustable to Zero)			0.25			0.25			0.125	% of FS
TEMPERATURE RANGE	-55		+125	-55		+125	-55		+125	°C
TEMPERATURE COEFFICIENTS (Using Internal Reference) (T_{MIN} to T_{MAX})										
Unipolar Offset			±2 (5)			±1 (2.5)			±1 (2.5)	LSB (ppm/°C)
Bipolar Offset			±4 (10)			±2 (5)			±1 (2.5)	LSB (ppm/°C)
Full-Scale Calibration			±20 (50)			±10 (25)			±5 (12.5)	LSB (ppm/°C)
POWER SUPPLY REJECTION										
Max Change in Full-Scale Calibration										
$V_{CC} = 15 V \pm 1.5 V$ or $12 V \pm 0.6 V$			±2			±1			±1	LSB
$V_{LOGIC} = 5 V \pm 0.5 V$			±1/2			±1/2			±1/2	LSB
$V_{EE} = -15 V \pm 1.5 V$ or $-12 V \pm 0.6 V$			±2			±1			±1	LSB
ANALOG INPUT										
Input Ranges										
Bipolar	-5		+5	-5		+5	-5		+5	Volts
	-10		+10	-10		+10	-10		+10	Volts
Unipolar	0		+10	0		+10	0		+10	Volts
	0		+20	0		+20	0		+20	Volts
Input Impedance										
10 Volt Span	3	5	7	3	5	7	3	5	7	kΩ
20 Volt Span	6	10	14	6	10	14	6	10	14	kΩ
DIGITAL CHARACTERISTICS ¹ (T_{MIN} - T_{MAX})										
Inputs ² (CE, CS, R/C, A ₀)										
Logic "1" Voltage	+2.0		+5.5	+2.0		+5.5	+2.0		+5.5	Volts
Logic "0" Voltage	-0.5		+0.8	-0.5		+0.8	-0.5		+0.8	Volts
Current	-20		+20	-20		+20	-20		+20	μA
Capacitance		5			5			5		pF
Output (DB11-DB0, STS)										
Logic "1" Voltage ($I_{SOURCE} \leq 500 \mu A$)	+2.4			+2.4			+2.4			Volts
Logic "0" Voltage ($I_{SINK} \leq 1.6 mA$)			+0.4			+0.4			+0.4	Volts
Leakage (DB11-DB0, High-Z State)	-20		+20	-20		+20	-20		+20	μA
Capacitance		5			5			5		pF
POWER SUPPLIES										
Operating Range										
V_{LOGIC}	+4.5		+5.5	+4.5		+5.5	+4.5		+5.5	Volts
V_{CC}	+11.4		+16.5	+11.4		+16.5	+11.4		+16.5	Volts
V_{EE}	-11.4		-16.5	-11.4		-16.5	-11.4		-16.5	Volts
Operating Current										
I_{LOGIC}		30	40		30	40		30	40	mA
I_{CC}		2	5		2	5		2	5	mA
I_{EE}		18	30		18	30		18	30	mA
POWER DISSIPATION		390	725		390	725		390	725	mW
INTERNAL REFERENCE VOLTAGE										
Output Current (Available for External Loads) ³ (External Load Should not Change During Conversion)	9.98	10.0	10.02	9.98	10.0	10.02	9.99	10.0	10.01	Volts mA
PACKAGE OPTION ⁴										
Ceramic (D-28)			AD574ASD			AD574ATD			AD574AUD	

NOTES

¹Detailed Timing Specifications appear in the Timing Section.²12/8 Input is not TTL-compatible and must be hard wired to V_{LOGIC} or Digital Common.³The reference should be buffered for operation on $\pm 12 V$ supplies.⁴D = Ceramic DIP.

Specifications subject to change without notice.

THE AD574A OFFERS GUARANTEED MAXIMUM LINEARITY ERROR OVER THE FULL OPERATING TEMPERATURE RANGE

DEFINITIONS OF SPECIFICATIONS

LINEARITY ERROR

Linearity error refers to the deviation of each individual code from a line drawn from "zero" through "full scale". The point used as "zero" occurs 1/2 LSB (1.22 mV for 10 volt span) before the first code transition (all zeros to only the LSB "on"). "Full scale" is defined as a level 1 1/2 LSB beyond the last code transition (to all ones). The deviation of a code from the true straight line is measured from the middle of each particular code.

The AD574AK, L, T, and U grades are guaranteed for maximum nonlinearity of $\pm 1/2$ LSB. For these grades, this means that an analog value which falls exactly in the center of a given code width will result in the correct digital output code. Values nearer the upper or lower transition of the code width may produce the next upper or lower digital output code. The AD574AJ and S grades are guaranteed to ± 1 LSB max error. For these grades, an analog value which falls within a given code width will result in either the correct code for that region or either adjacent one.

Note that the linearity error is not user-adjustable.

DIFFERENTIAL LINEARITY ERROR (NO MISSING CODES)

A specification which guarantees no missing codes requires that every code combination appear in a monotonic increasing sequence as the analog input level is increased. Thus every code must have a finite width. For the AD574AK, L, T, and U grades, which guarantee no missing codes to 12-bit resolution, all 4096 codes must be present over the entire operating temperature ranges. The AD574AJ and S grades guarantee no missing codes to 11-bit resolution over temperature; this means that all code combinations of the upper 11 bits must be present; in practice very few of the 12-bit codes are missing.

UNIPOLAR OFFSET

The first transition should occur at a level 1/2 LSB above analog common. Unipolar offset is defined as the deviation of the actual transition from that point. This offset can be adjusted as discussed on the following two pages. The unipolar offset temperature coefficient specifies the maximum change of the transition point over temperature, with or without external adjustment.

BIPOLAR OFFSET

In the bipolar mode the major carry transition (0111 1111 1111 to 1000 0000 0000) should occur for an analog value 1/2 LSB below analog common. The bipolar offset error and temperature coefficient specify the initial deviation and maximum change in the error over temperature.

QUANTIZATION UNCERTAINTY

Analog-to-digital converters exhibit an inherent quantization uncertainty of $\pm 1/2$ LSB. This uncertainty is a fundamental characteristic of the quantization process and cannot be reduced for a converter of given resolution.

LEFT-JUSTIFIED DATA

The data format used in the AD574A is left-justified. This means that the data represents the analog input as a fraction of full-scale, ranging from 0 to $\frac{4095}{4096}$. This implies a binary point to the left of the MSB.

FULL-SCALE CALIBRATION ERROR

The last transition (from 1111 1111 1110 to 1111 1111 1111) should occur for an analog value 1 1/2 LSB below the nominal full scale (9.9963 volts for 10.000 volts full scale). The full-scale calibration error is the deviation of the actual level at the last transition from the ideal level. This error, which is typically 0.05% to 0.1% of full scale, can be trimmed out as shown in Figures 3 and 4.

TEMPERATURE COEFFICIENTS

The temperature coefficients for full-scale calibration, unipolar offset, and bipolar offset specify the maximum change from the initial (25°C) value to the value at T_{MIN} or T_{MAX} .

POWER SUPPLY REJECTION

The standard specifications for the AD574A assume use of +5.00 V and ± 15.00 V or ± 12.00 V supplies. The only effect of power supply error on the performance of the device will be a small change in the full-scale calibration. This will result in a linear change in all lower order codes. The specifications show the maximum full-scale change from the initial value with the supplies at the various limits.

CODE WIDTH

A fundamental quantity for A/D converter specifications is the code width. This is defined as the range of analog input values for which a given digital output code will occur. The nominal value of a code width is equivalent to 1 least significant bit (LSB) of the full-scale range or 2.44 mV out of 10 volts for a 12-bit ADC.

AD574A

CIRCUIT OPERATION

The AD574A is a complete 12-bit A/D converter which requires no external components to provide the complete successive-approximation analog-to-digital conversion function. A block diagram of the AD574A is shown in Figure 1.

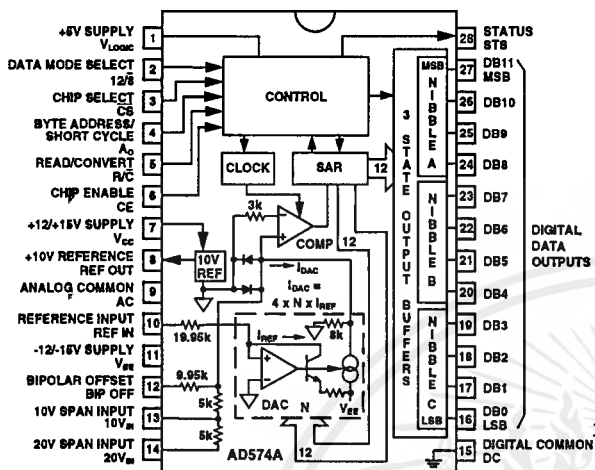


Figure 1. Block Diagram of AD574A 12-Bit A-to-D Converter

When the control section is commanded to initiate a conversion (as described later), it enables the clock and resets the successive-approximation register (SAR) to all zeros. Once a conversion cycle has begun, it cannot be stopped or restarted and data is not available from the output buffers. The SAR, timed by the clock, will sequence through the conversion cycle and return an end-of-convert flag to the control section. The control section will then disable the clock, bring the output status flag low, and enable control functions to allow data read functions by external command.

During the conversion cycle, the internal 12-bit current output DAC is sequenced by the SAR from the most significant bit (MSB) to least significant bit (LSB) to provide an output current which accurately balances the input signal current through the 5 kΩ (or 10 kΩ) input resistor. The comparator determines whether the addition of each successively-weighted bit current causes the DAC current sum to be greater or less than the input current; if the sum is less, the bit is left on; if more, the bit is turned off. After testing all the bits, the SAR contains a 12-bit binary code which accurately represents the input signal to within ±1/2 LSB.

The temperature-compensated buried Zener reference provides the primary voltage reference to the DAC and guarantees excellent stability with both time and temperature. The reference is trimmed to 10.00 volts ±0.2%; it can supply up to 1.5 mA to an external load in addition to the requirements of the reference input resistor (0.5 mA) and bipolar offset resistor (1 mA) when the AD574A is powered from ±15 V supplies. If the AD574A is used with ±12 V supplies, or if external current must be supplied over the full temperature range, an external buffer amplifier is recommended. Any external load on the AD574A reference must remain constant during conversion. The thin-film application resistors are trimmed to match the full-scale output current of the DAC. There are two 5 kΩ input scaling resistors to allow either a 10 volt or 20 volt span. The 10 kΩ bipolar offset resistor is grounded for unipolar operation and connected to the 10 volt reference for bipolar operation.

DRIVING THE AD574 ANALOG INPUT

The internal circuitry of the AD574 dictates that its analog input be driven by a low source impedance. Voltage changes at the current summing node of the internal comparator result in abrupt modulations of the current at the analog input. For accurate 12-bit conversions the driving source must be capable of holding a constant output voltage under these dynamically changing load conditions.

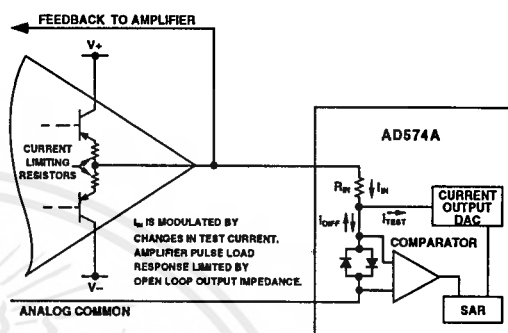


Figure 2. Op Amp - AD574A Interface

The output impedance of an op amp has an open-loop value which, in a closed loop, is divided by the loop gain available at the frequency of interest. The amplifier should have acceptable loop gain at 500 kHz for use with the AD574A. To check whether the output properties of a signal source are suitable, monitor the AD574's input with an oscilloscope while a conversion is in progress. Each of the 12 disturbances should subside in 1 μs or less.

For applications involving the use of a sample-and-hold amplifier, the AD585 is recommended. The AD711 or AD544 op amps are recommended for dc applications.

SAMPLE-AND-HOLD AMPLIFIERS

Although the conversion time of the AD574A is a maximum of 35 μs, to achieve accurate 12-bit conversions of frequencies greater than a few Hz requires the use of a sample-and-hold amplifier (SHA). If the voltage of the analog input signal driving the AD574A changes by more than 1/2 LSB over the time interval needed to make a conversion, then the input requires a SHA.

The AD585 is a high linearity SHA capable of directly driving the analog input of the AD574A. The AD585's fast acquisition time, low aperture and low aperture jitter are ideally suited for high-speed data acquisition systems. Consider the AD574A converter with a 35 μs conversion time and an input signal of 10 V p-p: the maximum frequency which may be applied to achieve rated accuracy is 1.5 Hz. However, with the addition of an AD585, as shown in Figure 3, the maximum frequency increases to 26 kHz.

The AD585's low output impedance, fast-loop response, and low droop maintain 12-bits of accuracy under the changing load conditions that occur during a conversion, making it suitable for use in high accuracy conversion systems. Many other SHAs cannot achieve 12-bits of accuracy and can thus compromise a system. The AD585 is recommended for AD574A applications requiring a sample and hold.

An alternate approach is to use the AD1674, which combines the ADC and SHA on one chip, with a total throughput time of 10 μs.

AD574A

The full-scale trim is done by applying a signal 1 1/2 LSB below the nominal full scale (9.9963 for a 10 V range). Trim R2 to give the last transition (1111 1111 1110 to 1111 1111 1111).

BIPOLAR OPERATION

The connections for bipolar ranges are shown in Figure 5. Again, as for the unipolar ranges, if the offset and gain specifications are sufficient, one or both of the trimmers shown can be replaced by a 50 Ω ± 1% fixed resistor. Bipolar calibration is similar to unipolar calibration. First, a signal 1/2 LSB above negative full scale (-4.9988 V for the ± 5 V range) is applied and R1 is trimmed to give the first transition (0000 0000 0000 to 0000 0000 0001). Then a signal 1/2 LSB below positive full scale (+4.9963 V the ± 5 V range) is applied and R2 trimmed to give the last transition (1111 1111 1110 to 1111 1111 1111).

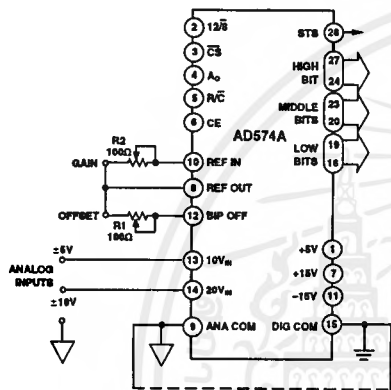


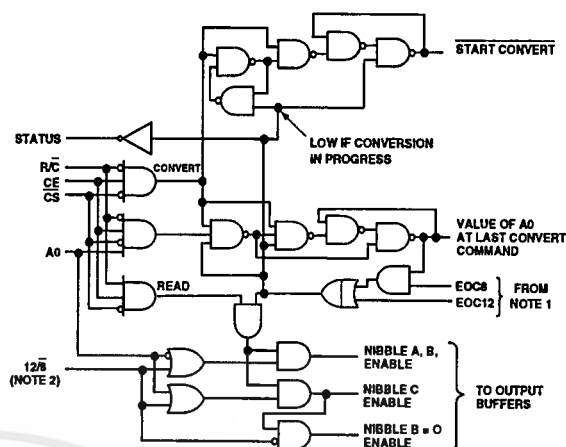
Figure 5. Bipolar Input Connections

CONTROL LOGIC

The AD574A contains on-chip logic to provide conversion initiation and data read operations from signals commonly available in microprocessor systems. Figure 6 shows the internal logic circuitry of the AD574A.

The control signals CE, CS, and R/C control the operation of the converter. The state of R/C when CE and CS are both asserted determines whether a data read (R/C = 1) or a convert (R/C = 0) is in progress. The register control inputs A0 and 12B control conversion length and data format. The A0 line is usually tied to the least significant bit of the address bus. If a conversion is started with A0 low, a full 12-bit conversion cycle is initiated. If A0 is high during a convert start, a shorter 8-bit conversion cycle results. During data read operations, A0 determines whether the three-state buffers containing the 8 MSBs of the conversion result (A0 = 0) or the 4 LSBs (A0 = 1) are enabled. The 12B pin determines whether the output data is to be organized as two 8-bit words (12B tied to DIGITAL COMMON) or a single 12-bit word (12B tied to VLOGIC). The 12B pin is not TTL-compatible and must be hard-wired to either VLOGIC or DIGITAL COMMON. In the 8-bit mode, the byte addressed when A0 is high contains the 4 LSBs from the conversion followed by four trailing zeroes. This organization allows the data lines to be overlapped for direct interface to 8-bit buses without the need for external three-state buffers.

It is not recommended that A0 change state during a data read operation. Asymmetrical enable and disable times of the three-state buffers could cause internal bus contention resulting in potential damage to the AD574A.



NOTE 1: WHEN START CONVERT GOES LOW, THE EOC (END OF CONVERSION) SIGNALS GO LOW. EOC8 RETURNS HIGH AFTER AN 8-BIT CONVERSION CYCLE IS COMPLETE, AND EOC12 RETURNS HIGH WHEN ALL 12-BITS HAVE BEEN CONVERTED. THE EOC SIGNALS PREVENT DATA FROM BEING READ DURING CONVERSIONS.
NOTE 2: 12B IS NOT A TTL-COMPATIBLE INPUT AND SHOULD ALWAYS BE WIRED DIRECTLY TO VLOGIC OR DIGITAL COMMON.

Figure 6. AD574A Control Logic

An output signal, STS, indicates the status of the converter. STS goes high at the beginning of a conversion and returns low when the conversion cycle is complete.

Table I. AD574A Truth Table

CE	CS	R/C	12B	A0	Operation
0	X	X	X	X	None
X	1	X	X	X	None
1	0	0	X	0	Initiate 12-Bit Conversion
1	0	0	X	1	Initiate 8-Bit Conversion
1	0	1	Pin 1	X	Enable 12-Bit Parallel Output
1	0	1	Pin 15	0	Enable 8 Most Significant Bits
1	0	1	Pin 15	1	Enable 4 LSBs + 4 Trailing Zeroes

TIMING

The AD574A is easily interfaced to a wide variety of microprocessors and other digital systems. The following discussion of the timing requirements of the AD574A control signals should provide the system designer with useful insight into the operation of the device.

Table II. Convert Start Timing—Full Control Mode

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Units
tDSC	STS Delay from CE			400	ns
tHEC	CE Pulse Width	300			ns
tSSC	CS to CE Setup	300			ns
tHSC	CS Low During CE High	200			ns
tSRC	R/C to CE Setup	250			ns
tHRC	R/C Low During CE High	200			ns
tSAC	A0 to CE Setup	0			ns
tHAC	A0 Valid During CE High	300			ns
tC	Conversion Time				
	8-Bit Cycle	10		24	µs
	12-Bit Cycle	15		35	µs

Figure 7 shows a complete timing diagram for the AD574A convert start operation. R/\overline{C} should be low before both CE and \overline{CS} are asserted; if R/\overline{C} is high, a read operation will momentarily occur, possibly resulting in system bus contention. Either CE or \overline{CS} may be used to initiate a conversion; however, use of CE is recommended since it includes one less propagation delay than \overline{CS} and is the faster input. In Figure 7, CE is used to initiate the conversion.

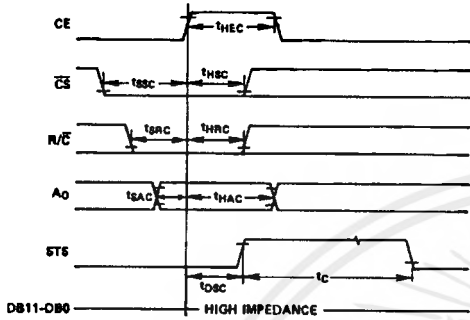


Figure 7. Convert Start Timing

Once a conversion is started and the STS line goes high, convert start commands will be ignored until the conversion cycle is complete. The output data buffers cannot be enabled during conversion.

Figure 8 shows the timing for data read operations. During data read operations, access time is measured from the point where CE and R/\overline{C} both are high (assuming \overline{CS} is already low). If \overline{CS} is used to enable the device, access time is extended by 100 ns.

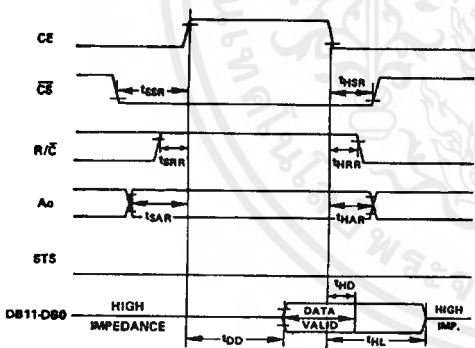


Figure 8. Read Cycle Timing

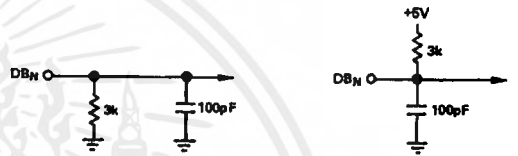
In the 8-bit bus interface mode ($12/\overline{8}$ input wired to DIGITAL COMMON), the address bit, A_0 , must be stable at least 150 ns prior to \overline{CE} going high and must remain stable during the entire read cycle. If A_0 is allowed to change, damage to the AD574A output buffers may result.

Table III. Read Timing—Full Control Mode

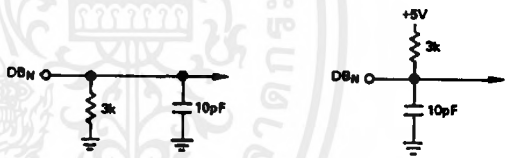
Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Units
t_{DD}^1	Access Time (from CE)			200	ns
t_{HD}	Data Valid After CE Low	25			ns
t_{HL}^2	Output Float Delay			100	ns
t_{SSR}	\overline{CS} to CE Setup	150			ns
t_{SRR}	R/\overline{C} to CE Setup	0			ns
t_{SAR}	A_0 to CE Setup	150			ns
t_{HSR}	\overline{CS} Valid After CE Low	50			ns
t_{HRR}	R/\overline{C} High After CE Low	0			ns
t_{HAR}	A_0 Valid After CE Low	50			ns

NOTES

¹ t_{DD} is measured with the load circuit of Figure 9 and defined as the time required for an output to cross 0.4 V or 2.4 V.
² t_{HL} is defined as the time required for the data lines to change 0.5 V when loaded with the circuit of Figure 10.



a. High-Z to Logic 1 b. High-Z to Logic 0
 Figure 9. Load Circuit for Access Time Test



a. Logic 1 to High-Z b. Logic 0 to High-Z
 Figure 10. Load Circuit for Output Float Delay Test

“STAND-ALONE” OPERATION

The AD574A can be used in a “stand-alone” mode, which is useful in systems with dedicated input ports available and thus not requiring full bus interface capability.

In this mode, CE and $12/\overline{8}$ are wired high, \overline{CS} and A_0 are wired low, and conversion is controlled by R/\overline{C} . The three-state buffers are enabled when R/\overline{C} is high and a conversion starts when R/\overline{C} goes low. This allows two possible control signals—a high pulse or a low pulse. Operation with a low pulse is shown in Figure 11. In this case, the outputs are forced into the high impedance state in response to the falling edge of R/\overline{C} and return

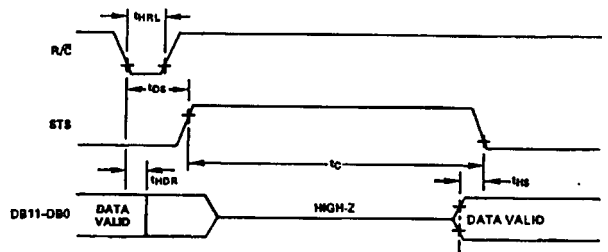


Figure 11. Low Pulse for R/\overline{C} —Outputs Enabled After Conversion

AD574A

to valid logic levels after the conversion cycle is completed. The STS line goes high 600 ns after R/\bar{C} goes low and returns low 300 ns after data is valid.

If conversion is initiated by a high pulse as shown in Figure 12, the data lines are enabled during the time when R/\bar{C} is high. The falling edge of R/\bar{C} starts the next conversion, and the data lines return to three-state (and remain three-state) until the next high pulse of R/\bar{C} .

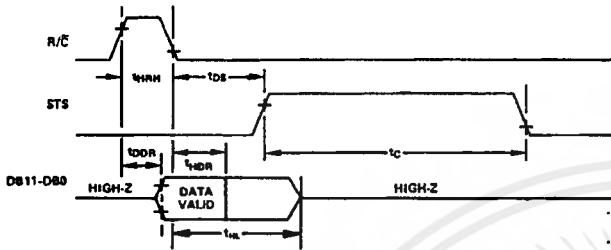


Figure 12. High Pulse for R/\bar{C} —Outputs Enabled While R/\bar{C} High, Otherwise High-Z

Table IV. Stand-Alone Mode Timing

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Units
t_{HRL}	Low R/\bar{C} Pulse Width	250			ns
t_{DS}	STS Delay from R/\bar{C}			600	ns
t_{HDR}	Data Valid After R/\bar{C} Low	25			ns
t_{HL}	Output Float Delay			150	ns
t_{HS}	STS Delay After Data Valid	300		1000	ns
t_{HRH}	High R/\bar{C} Pulse Width	300			ns
t_{DDR}	Data Access Time			250	ns

Usually the low pulse for R/\bar{C} stand-alone mode will be used. Figure 13 illustrates a typical stand-alone configuration for 8086 type processors. The addition of the 74F/S374 latches improves bus access/release times and helps minimize digital feedthrough to the analog portion of the converter.

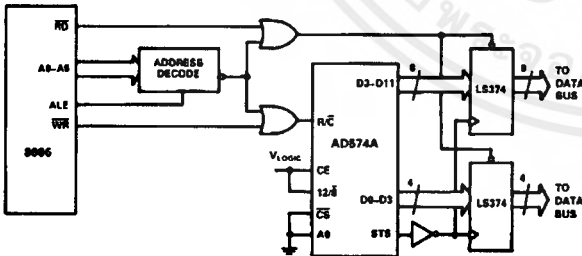


Figure 13. 8086 Stand-Alone Configuration

INTERFACING THE AD574A TO MICROPROCESSORS

The control logic of the AD574A makes direct connection to most microprocessor system buses possible. While it is impossible to describe the details of the interface connections for every microprocessor type, several representative examples will be described here.

GENERAL A/D CONVERTER INTERFACE CONSIDERATIONS

A typical A/D converter interface routine involves several operations. First, a write to the ADC address initiates a conversion. The processor must then wait for the conversion cycle to complete, since most ADCs take longer than one instruction cycle to complete a conversion. Valid data can, of course, only be read after the conversion is complete. The AD574A provides an output signal (STS) which indicates when a conversion is in progress. This signal can be polled by the processor by reading it through an external three-state buffer (or other input port). The STS signal can also be used to generate an interrupt upon completion of conversion, if the system timing requirements are critical (bear in mind that the maximum conversion time of the AD574A is only 35 microseconds) and the processor has other tasks to perform during the ADC conversion cycle. Another possible time-out method is to assume that the ADC will take 35 microseconds to convert, and insert a sufficient number of "do-nothing" instructions to ensure that 35 microseconds of processor time is consumed.

Once it is established that the conversion is finished, the data can be read. In the case of an ADC of 8-bit resolution (or less), a single data read operation is sufficient. In the case of converters with more data bits than are available on the bus, a choice of data formats is required, and multiple read operations are needed. The AD574A includes internal logic to permit direct interface to 8-bit or 16-bit data buses, selected by connection of the $12/\bar{8}$ input. In 16-bit bus applications ($12/\bar{8}$ high) the data lines (DB11 through DB0) may be connected to either the 12 most significant or 12 least significant bits of the data bus. The remaining four bits should be masked in software. The interface to an 8-bit data bus ($12/\bar{8}$ low) is done in a left-justified format. The even address (A0 low) contains the 8 MSBs (DB11 through DB4). The odd address (A0 high) contains the 4 LSBs (DB3 through DB0) in the upper half of the byte, followed by four trailing zeroes, thus eliminating bit masking instructions.

It is not possible to rearrange the AD574A data lines for right justified 8-bit bus interface.

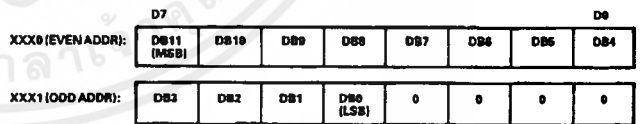


Figure 14. AD574A Data Format for 8-Bit Bus

SPECIFIC PROCESSOR INTERFACE EXAMPLES

Z-80 System Interface

The AD574A may be interfaced to the Z-80 processor in an I/O or memory mapped configuration. Figure 15 illustrates an I/O or mapped configuration. The Z-80 uses address lines A0-A7 to decode the I/O port address.

An interesting feature of the Z-80 is that during I/O operations a single wait state is automatically inserted, allowing the AD574A to be used with Z-80 processors having clock speeds up to 4 MHz. For applications faster than 4 MHz use the wait state generator in Figure 16. In a memory mapped configuration the AD574A may be interfaced to Z-80 processors with clock speeds of up to 2.5 MHz.

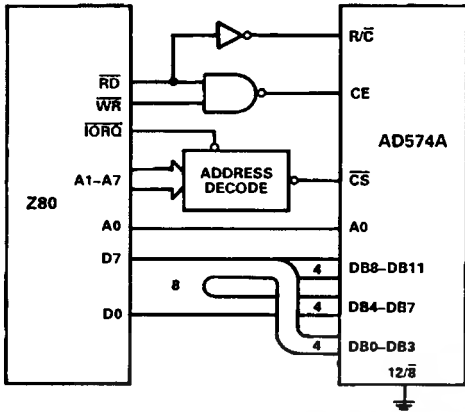


Figure 15. Z80—AD574A Interface

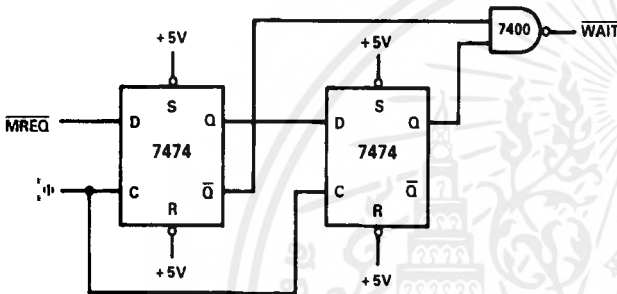


Figure 16. Wait State Generator

IBM PC Interface

The AD574A appears in Figure 17 interfaced to the 4 MHz 8088 processor of an IBM PC. Since the device resides in I/O space, its address is decoded from only the lower ten address lines and must be gated with AEN (active low) to mask out internal DMA cycles which use the same I/O address space. This active low signal is applied to CS. IOR and IOW are used to initiate the conversion and read, and are gated together to drive the chip enable, CE. Because the data bus width is limited to 8 bits, the AD574A data resides in two adjacent addresses selected by A0.

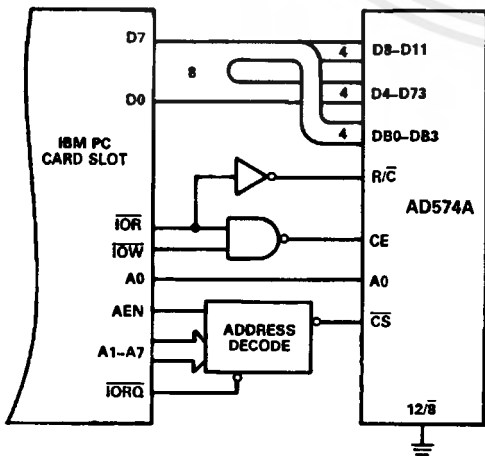


Figure 17. IBM PC—AD574A Interface

Note: Due to the large number of options that may be installed in the PC, the I/O bus loading should be limited to one Schottky TTL load. Therefore, a buffer/driver should be used when interfacing more than two AD574As to the I/O bus.

8086 Interface

The data mode select pin ($12/\bar{8}$) of the AD574A should be connected to V_{LOGIC} to provide a 12-bit data output. To prevent possible bus contention, a demultiplexed and buffered address/data bus is recommended. In the cases where the 8-bit short conversion cycle is not used, A0 should be tied to digital common. Figure 18 shows a typical 8086 configuration.

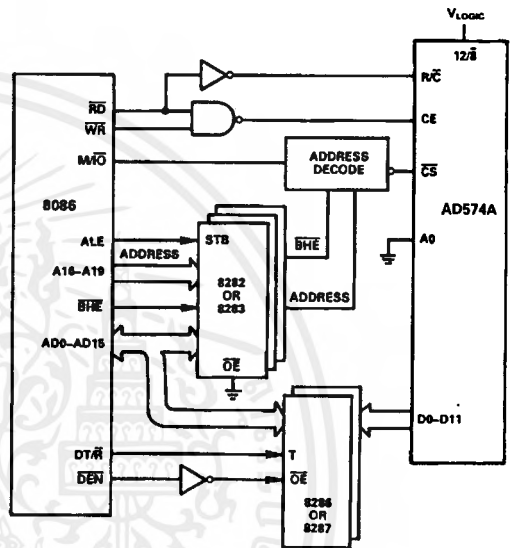


Figure 18. 8086—AD574A with Buffered Bus Interface

For clock speeds greater than 4 MHz wait state insertion similar to Figure 16 is recommended to ensure sufficient CE and R/C pulse duration.

The AD574A can also be interfaced in a stand-alone mode (see Figure 13). A low going pulse derived from the 8086's WR signal logically ORed with a low address decode starts the conversion. At the end of the conversion, STS clocks the data into the three-state latches.

68000 Interface

The AD574, when configured in the stand-alone mode, will easily interface to the 4 MHz version of the 68000 microprocessor. The 68000 R/W signal combined with a low address decode initiates conversion. The UDS or LDS signal, with the decoded address, generates the DTACK input to the processor, latching in the AD574A's data. Figure 19 illustrates this configuration.

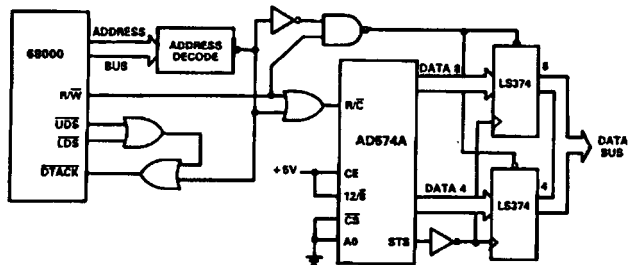
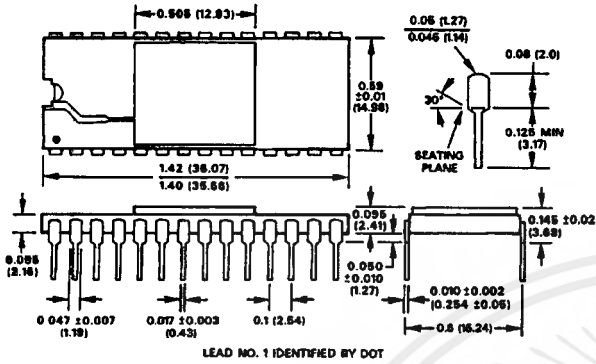


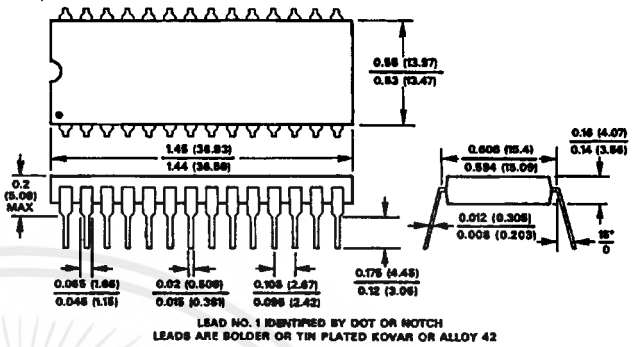
Figure 19. 68000—AD574A Interface

OUTLINE DIMENSIONS
Dimensions shown in inches and (mm).

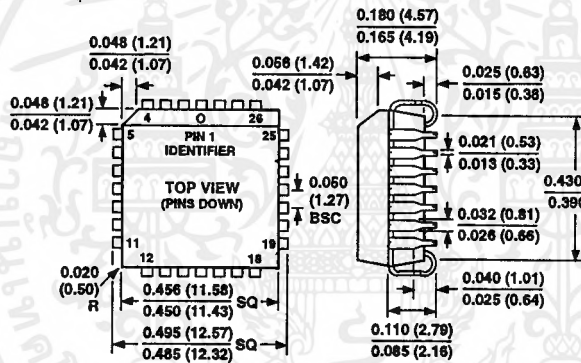
28-Pin Ceramic DIP Package (D-28)



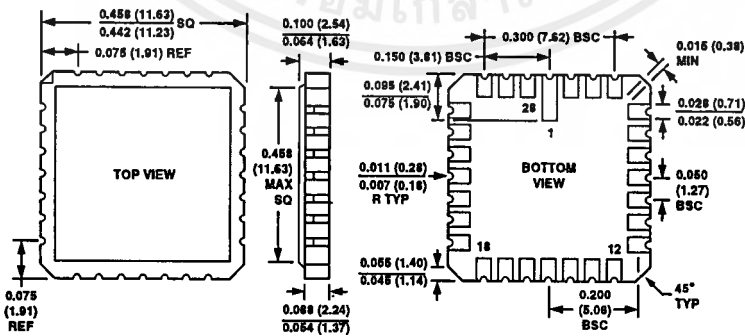
28-Lead Plastic DIP Package (N-28A)



28-Terminal PLCC Package (P-28A)



28-Terminal LCC Package (E-28A)



FEATURES

- True RMS-to-DC Conversion
- 200 mV Full Scale
- Laser-Trimmed to High Accuracy
 - 0.5% max Error (AD636K)
 - 1.0% max Error (AD636J)
- Wide Response Capability:
 - Computes RMS of AC and DC Signals
 - 1 MHz -3 dB Bandwidth: $V_{RMS} > 100$ mV
 - Signal Crest Factor of 6 for 0.5% Error
- dB Output with 50 dB Range
- Low Power: 800 μ A Quiescent Current
- Single or Dual Supply Operation
- Monolithic Integrated Circuit
- Low Cost
- Available in Chip Form

PRODUCT DESCRIPTION

The AD636 is a low power monolithic IC which performs true rms-to-dc conversion on low level signals. It offers performance which is comparable or superior to that of hybrid and modular converters costing much more. The AD636 is specified for a signal range of 0 mV to 200 mV rms. Crest factors up to 6 can be accommodated with less than 0.5% additional error, allowing accurate measurement of complex input waveforms.

The low power supply current requirement of the AD636, typically 800 μ A, allows it to be used in battery-powered portable instruments. A wide range of power supplies can be used, from ± 2.5 V to ± 16.5 V or a single +5 V to +24 V supply. The input and output terminals are fully protected; the input signal can exceed the power supply with no damage to the device (allowing the presence of input signals in the absence of supply voltage) and the output buffer amplifier is short-circuit protected.

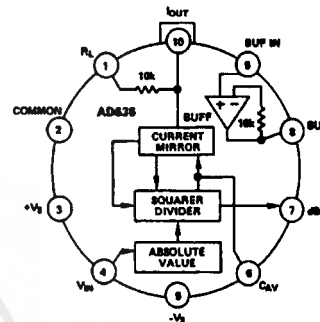
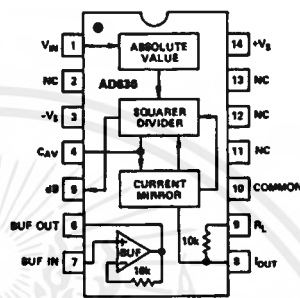
The AD636 includes an auxiliary dB output. This signal is derived from an internal circuit point which represents the logarithm of the rms output. The 0 dB reference level is set by an externally supplied current and can be selected by the user to correspond to any input level from 0 dBm (774.6 mV) to -20 dBm (77.46 mV). Frequency response ranges from 1.2 MHz at a 0 dBm level to over 10 kHz at -50 dBm.

The AD636 is designed for ease of use. The device is factory-trimmed at the wafer level for input and output offset, positive and negative waveform symmetry (dc reversal error), and full-scale accuracy at 200 mV rms. Thus no external trims are required to achieve full-rated accuracy.

AD636 is available in two accuracy grades; the AD636J total error of ± 0.5 mV $\pm 0.06\%$ of reading, and the AD636K

PIN CONNECTIONS & FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

"D" Package (TO-116) "H" Package (TO-100)



is accurate within ± 0.2 mV to $\pm 0.3\%$ of reading. Both versions are specified for the 0°C to $+70^\circ\text{C}$ temperature range, and are offered in either a hermetically sealed 14-pin DIP or a 10-pin TO-100 metal can. Chips are also available.

PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The AD636 computes the true root-mean-square of a complex ac (or ac plus dc) input signal and gives an equivalent dc output level. The true rms value of a waveform is a more useful quantity than the average rectified value since it is a measure of the power in the signal. The rms value of an ac-coupled signal is also its standard deviation.
2. The 200 millivolt full-scale range of the AD636 is compatible with many popular display-oriented analog-to-digital converters. The low power supply current requirement permits use in battery powered hand-held instruments.
3. The only external component required to perform measurements to the fully specified accuracy is the averaging capacitor. The value of this capacitor can be selected for the desired trade-off of low frequency accuracy, ripple, and settling time.
4. The on-chip buffer amplifier can be used to buffer either the input or the output. Used as an input buffer, it provides accurate performance from standard 10 M Ω input attenuators. As an output buffer, it can supply up to 5 milliamps of output current.
5. The AD636 will operate over a wide range of power supply voltages, including single +5 V to +24 V or split ± 2.5 V to ± 16.5 V sources. A standard 9 V battery will provide several hundred hours of continuous operation.

REV. A

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 617/329-4700 Fax: 617/326-8703

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD636—SPECIFICATIONS (@ +25°C, and +V_S = +3 V, -V_S = -5 V, unless otherwise noted)

Model	AD636J			AD636K			Units
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
TRANSFER FUNCTION	$V_{OUT} = \sqrt{\text{avg.}(V_{IN})^2}$			$V_{OUT} = \sqrt{\text{avg.}(V_{IN})^2}$			
CONVERSION ACCURACY							
Total Error, Internal Trim ^{1,2} vs: Temperature, 0°C to +70°C vs. Supply Voltage dc Reversal Error at 200 mV Total Error, External Trim ¹			±0.5 ±1.0 ±0.1 ±0.01			±0.2 ±0.5 ±0.1 ±0.005	mV ±% of Reading mV ±% of Reading/°C % of Reading mV ±% of Reading
ERROR VS. CREST FACTOR ³ Crest Factor 1 to 2 Crest Factor = 3 Crest Factor = 6	Specified Accuracy -0.2 -0.5			Specified Accuracy -0.2 -0.5			% of Reading % of Reading
AVERAGING TIME CONSTANT	25			25			ms/μF CAV
INPUT CHARACTERISTICS							
Signal Range, All Supplies Continuous rms Level Peak Transient Inputs +3 V, -5 V Supply ±2.5 V Supply ±5 V Supply Maximum Continuous Nondestructive Input Level (All Supply Voltages) Input Resistance Input Offset Voltage		0 to 200			0 to 200		mV rms V pk V pk V pk V pk kΩ mV
FREQUENCY RESPONSE ^{2,4}							
Bandwidth for 1% Additional Error (0.09 dB) V _{IN} = 10 mV V _{IN} = 100 mV V _{IN} = 200 mV ±3 dB Bandwidth V _{IN} = 10 mV V _{IN} = 100 mV V _{IN} = 200 mV		14 90 130			14 90 130		kHz kHz kHz kHz MHz MHz
OUTPUT CHARACTERISTICS ²							
Offset Voltage, V _{IN} = COM vs. Temperature vs. Supply Voltage Swing +3 V, -5 V Supply ±5 V to ±16.5 V Supply Output Impedance			±0.5			±0.2	mV μV/°C mV/V V V kΩ
dB OUTPUT							
Error, V _{IN} = 7 mV to 300 mV rms Scale Factor Scale Factor Temperature Coefficient I _{REF} for 0 dB = 0.1 V rms I _{REF} Range			±0.3 -3.0 +0.33 -0.033			±0.1 -3.0 +0.33 -0.033	dB mV/dB % of Reading/°C dB/°C μA μA
I _{OUT} TERMINAL							
I _{OUT} Scale Factor I _{OUT} Scale Factor Tolerance Output Resistance Voltage Compliance	-20 8	100 ±10 10	+20 12	-20 8	100 ±10 10	+20 12	μA/V rms % kΩ V
BUFFER AMPLIFIER							
Input and Output Voltage Range Input Offset Voltage, R _S = 10k Input Bias Current Input Resistance Output Current Short Circuit Current Small Signal Bandwidth Slew Rate ⁵	-V _S to (+V _S -2 V)	±0.8 100 10 ⁸	±2 300	-V _S to (+V _S -2 V)	±0.5 100 10 ⁸	±1 300	V mV nA Ω mA MHz V/μs
POWER SUPPLY							
Voltage, Rated Performance Dual Supply Single Supply Quiescent Current ⁶	+2, -2.5 +5	+3, -5 ±16.5 +24	±16.5 +24	+2, -2.5 +5	+3, -5 ±16.5 +24	±16.5 +24	V V V mA

Model	AD636J			AD636K			Units
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
TEMPERATURE RANGE							
Rated Performance	0		+70	0		+70	°C
Storage	-55		+150	-55		+150	°C
TRANSISTOR COUNT	62			62			

NOTES
¹Accuracy specified for 0 mV to 200 mV rms, dc or 1 kHz sine wave input. Accuracy is degraded at higher rms signal levels.
²Measured at Pin 8 of DIP (I_{OUT}), with Pin 9 tied to common.
³Error vs. crest factor is specified as additional error for a 200 mV rms rectangular pulse trim, pulse width = 200 μ s.
⁴Input voltages are expressed in volts rms.
⁵With 10 k Ω pull down resistor from Pin 6 (BUF OUT) to $-V_S$.
⁶With BUF input tied to Common.

Specifications subject to change without notice.

All min and max specifications are guaranteed. Specifications shown in boldface are tested on all production units at final electrical test and are used to calculate outgoing quality levels.

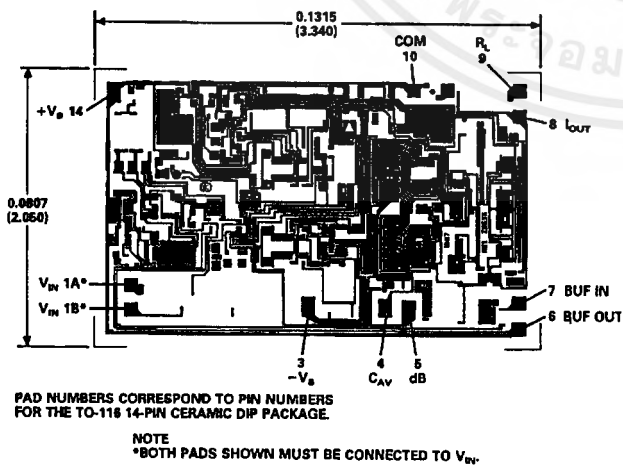
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS¹

Supply Voltage
 Dual Supply ± 16.5 V
 Single Supply +24 V
 Internal Power Dissipation² 500 mW
 Maximum Input Voltage ± 12 V Peak
 Storage Temperature Range N, R -55°C to +150°C
 Operating Temperature Range
 AD636J/K 0°C to +70°C
 Lead Temperature Range (Soldering 60 sec) +300°C
 ESD Rating 1000 V

NOTES
¹Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.
²10-Pin Header: $\theta_{JA} = 150^\circ\text{C/Watt}$.
 14-Pin Side Brazed Ceramic DIP: $\theta_{JA} = 95^\circ\text{C/Watt}$.

METALIZATION PHOTOGRAPH

Contact factory for latest dimensions.
 Dimensions shown in inches and (mm).



ORDERING GUIDE

Model	Temperature Range	Package Description	Package Option
AD636JD	0°C to +70°C	Side Brazed Ceramic DIP	D-14
AD636KD	0°C to +70°C	Side Brazed Ceramic DIP	D-14
AD636JH	0°C to +70°C	Header	H-10A
AD636KH	0°C to +70°C	Header	H-10A
AD636J Chip	0°C to +70°C	Chip	
AD636K Chip	0°C to +70°C	Chip	

STANDARD CONNECTION

The AD636 is simple to connect for the majority of high accuracy rms measurements, requiring only an external capacitor to set the averaging time constant. The standard connection is shown in Figure 1. In this configuration, the AD636 will measure the rms of the ac and dc level present at the input, but will show an error for low frequency inputs as a function of the filter capacitor, C_{AV} , as shown in Figure 5. Thus, if a 4 μ F capacitor is used, the additional average error at 10 Hz will be 0.1%, at 3 Hz it will be 1%. The accuracy at higher frequencies will be according to specification. If it is desired to reject the dc input, a capacitor is added in series with the input, as shown in Figure 3; the capacitor must be nonpolar. If the AD636 is driven with power supplies with a considerable amount of high frequency ripple, it is advisable to bypass both supplies to ground with 0.1 μ F ceramic discs as near the device as possible. C_F is an optional output ripple filter, as discussed elsewhere in this data sheet.

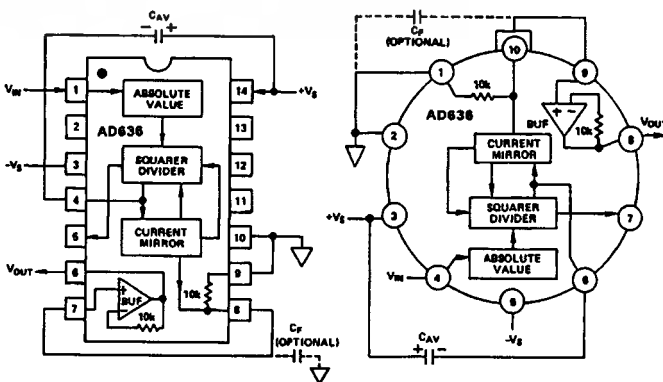


Figure 1. Standard RMS Connection

Applying the AD636

The input and output signal ranges are a function of the supply voltages as detailed in the specifications. The AD636 can also be used in an unbuffered voltage output mode by disconnecting the input to the buffer. The output then appears unbuffered across the 10k resistor. The buffer amplifier can then be used for other purposes. Further, the AD636 can be used in a current output mode by disconnecting the 10k resistor from the ground. The output current is available at Pin 8 (Pin 10 on the "H" package) with a nominal scale of 100 μ A per volt rms input, positive out.

OPTIONAL TRIMS FOR HIGH ACCURACY

If it is desired to improve the accuracy of the AD636, the external trims shown in Figure 2 can be added. R4 is used to trim the offset. The scale factor is trimmed by using R1 as shown. The insertion of R2 allows R1 to either increase or decrease the scale factor by $\pm 1.5\%$.

The trimming procedure is as follows:

1. Ground the input signal, V_{IN} , and adjust R4 to give zero volts output from Pin 6. Alternatively, R4 can be adjusted to give the correct output with the lowest expected value of V_{IN} .
2. Connect the desired full-scale input level to V_{IN} , either dc or a calibrated ac signal (1 kHz is the optimum frequency); then trim R1 to give the correct output from Pin 6, i.e., 200 mV dc input should give 200 mV dc output. Of course, a ± 200 mV peak-to-peak sine wave should give a 141.4 mV dc output. The remaining errors, as given in the specifications, are due to the nonlinearity.

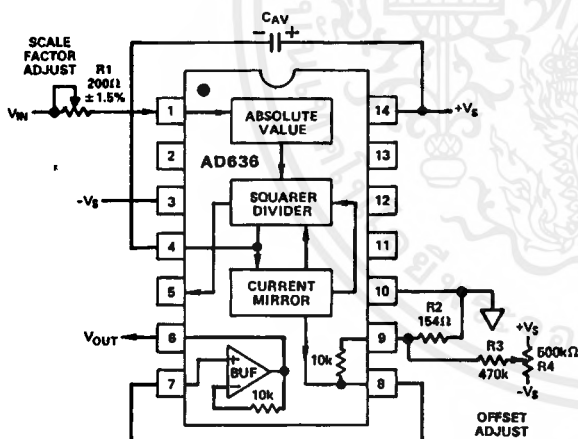


Figure 2. Optional External Gain and Output Offset Trims

SINGLE SUPPLY CONNECTION

The applications in Figures 1 and 2 assume the use of dual power supplies. The AD636 can also be used with only a single positive supply down to +5 volts, as shown in Figure 3. Figure 3 is optimized for use with a 9 volt battery. The major limitation of this connection is that only ac signals can be measured since the input stage must be biased off ground for proper operation. This biasing is done at Pin 10; thus it is critical that no extraneous signals be coupled into this point. Biasing can be accomplished by using a resistive divider between + V_S and ground. The values of the resistors can be increased in the interest of lowered power consumption, since only 1 microamp of current flows into Pin 10 (Pin 2 on the "H" package). Alternately, the

COM pin of some CMOS ADCs provides a suitable artificial ground for the AD636. AC input coupling requires only capacitor C2 as shown; a dc return is not necessary as it is provided internally. C2 is selected for the proper low frequency break point with the input resistance of 6.7 k Ω ; for a cut-off at 10 Hz, C2 should be 3.3 μ F. The signal ranges in this connection are slightly more restricted than in the dual supply connection. The load resistor, R_L , is necessary to provide current sinking capability.

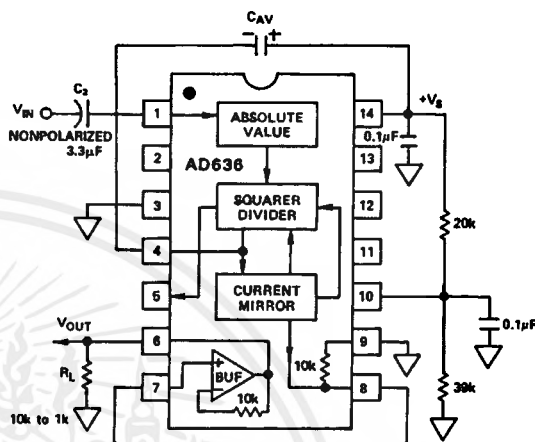


Figure 3. Single Supply Connection

CHOOSING THE AVERAGING TIME CONSTANT

The AD636 will compute the rms of both ac and dc signals. If the input is a slowly-varying dc voltage, the output of the AD636 will track the input exactly. At higher frequencies, the average output of the AD636 will approach the rms value of the input signal. The actual output of the AD636 will differ from the ideal output by a dc (or average) error and some amount of ripple, as demonstrated in Figure 4.

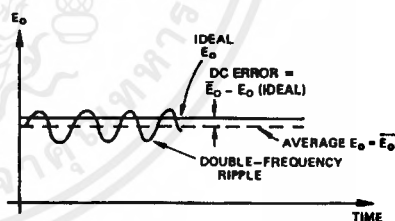


Figure 4. Typical Output Waveform for Sinusoidal Input

The dc error is dependent on the input signal frequency and the value of C_{AV} . Figure 5 can be used to determine the minimum value of C_{AV} which will yield a given % dc error above a given frequency using the standard rms connection.

The ac component of the output signal is the ripple. There are two ways to reduce the ripple. The first method involves using a large value of C_{AV} . Since the ripple is inversely proportional to C_{AV} , a tenfold increase in this capacitance will effect a tenfold reduction in ripple. When measuring waveforms with high crest factors, (such as low duty cycle pulse trains), the averaging time constant should be at least ten times the signal period. For example, a 100 Hz pulse rate requires a 100 ms time constant, which corresponds to a 4 μ F capacitor (time constant = 25 ms per μ F).

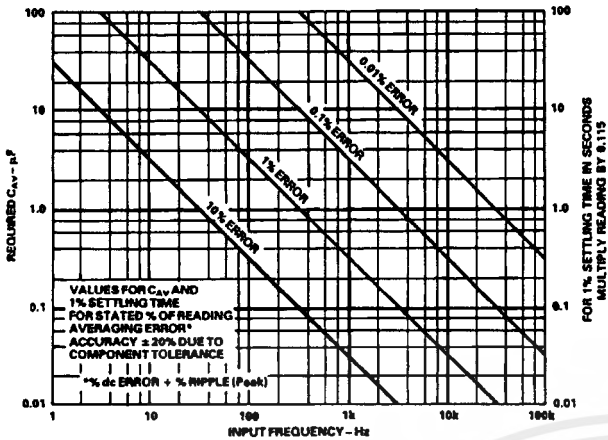


Figure 5. Error/Settling Time Graph for Use with the Standard rms Connection

The primary disadvantage in using a large C_{AV} to remove ripple is that the settling time for a step change in input level is increased proportionately. Figure 5 shows the relationship between C_{AV} and 1% settling time is 115 milliseconds for each microfarad of C_{AV}. The settling time is twice as great for decreasing signals as for increasing signals (the values in Figure 5 are for decreasing signals). Settling time also increases for low signal levels, as shown in Figure 6.

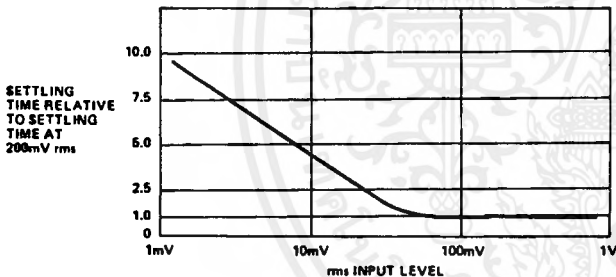


Figure 6. Settling Time vs. Input Level

A better method for reducing output ripple is the use of a "post-filter." Figure 7 shows a suggested circuit. If a single pole filter is used (C₃ removed, R_X shorted), and C₂ is approximately 5 times the value of C_{AV}, the ripple is reduced as shown in Figure 8, and settling time is increased. For example, with C_{AV} = 1 μF and C₂ = 4.7 μF, the ripple for a 60 Hz input is reduced from 10% of reading to approximately 0.3% of reading. The settling time, however, is increased by approximately a factor of 3. The values of C_{AV} and C₂ can therefore be reduced to permit faster settling times while still providing substantial ripple reduction.

The two-pole post-filter uses an active filter stage to provide even greater ripple reduction without substantially increasing the settling times over a circuit with a one-pole filter. The values of C_{AV}, C₂, and C₃ can then be reduced to allow extremely fast settling times for a constant amount of ripple. Caution should be exercised in choosing the value of C_{AV}, since the dc error is dependent upon this value and is independent of the post filter.

For a more detailed explanation of these topics refer to the *RMS-to-DC Conversion Application Guide, 2nd Edition*, available from Analog Devices.

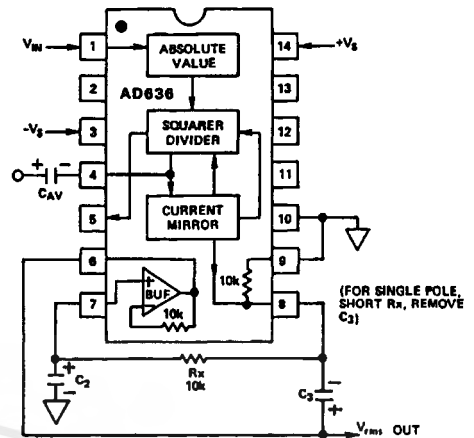


Figure 7. 2 Pole "Post" Filter

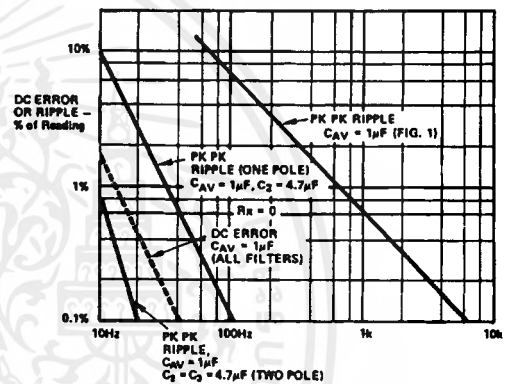


Figure 8. Performance Features of Various Filter Types

RMS MEASUREMENTS

AD636 PRINCIPLE OF OPERATION

The AD636 embodies an implicit solution of the rms equation that overcomes the dynamic range as well as other limitations inherent in a straightforward computation of rms. The actual computation performed by the AD636 follows the equation:

$$V_{rms} = Avg. \left[\frac{V_{IN}^2}{V_{rms}} \right]$$

Figure 9 is a simplified schematic of the AD636; it is subdivided into four major sections: absolute value circuit (active rectifier), squarer/divider, current mirror, and buffer amplifier. The input voltage, V_{IN}, which can be ac or dc, is converted to a unipolar current I₁, by the active rectifier A₁, A₂. I₁ drives one input of the squarer/divider, which has the transfer function:

$$I_4 = \frac{I_1^2}{I_3}$$

The output current, I₄, of the squarer/divider drives the current mirror through a low-pass filter formed by R₁ and the externally connected capacitor, C_{AV}. If the R₁, C_{AV} time constant is much greater than the longest period of the input signal, then I₄ is effectively averaged. The current mirror returns a current I₃, which equals Avg. [I₄], back to the squarer/divider to complete the implicit rms computation. Thus:

$$I_4 = Avg. \left[\frac{I_1^2}{I_4} \right] = I_1 \text{ rms}$$

AD636

The current mirror also produces the output current, I_{OUT} , which equals $2I_4$. I_{OUT} can be used directly or converted to a voltage with R_2 and buffered by A_4 to provide a low impedance voltage output. The transfer function of the AD636 thus results:

$$V_{OUT} = 2 R_2 I_{rms} = V_{IN} rms$$

The dB output is derived from the emitter of Q_3 , since the voltage at this point is proportional to $-\log V_{IN}$. Emitter follower, Q_5 , buffers and level shifts this voltage, so that the dB output voltage is zero when the externally supplied emitter current (I_{REF}) to Q_5 approximates I_3 .

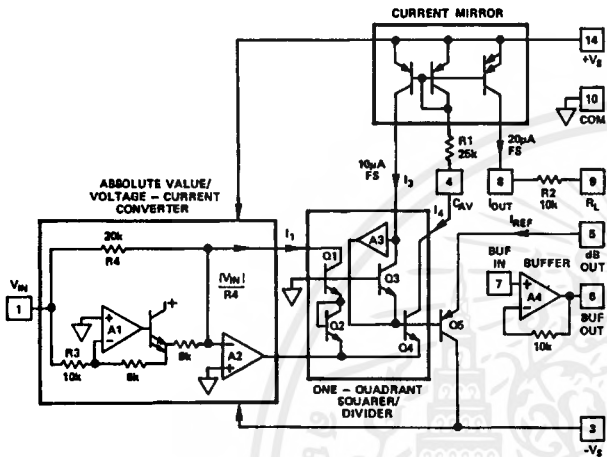


Figure 9. Simplified Schematic

THE AD636 BUFFER AMPLIFIER

The buffer amplifier included in the AD636 offers the user additional application flexibility. It is important to understand some of the characteristics of this amplifier to obtain optimum performance. Figure 10 shows a simplified schematic of the buffer.

Since the output of an rms-to-dc converter is always positive, it is not necessary to use a traditional complementary Class AB output stage. In the AD636 buffer, a Class A emitter follower is used instead. In addition to excellent positive output voltage swing, this configuration allows the output to swing fully down to ground in single-supply applications without the problems associated with most IC operational amplifiers.

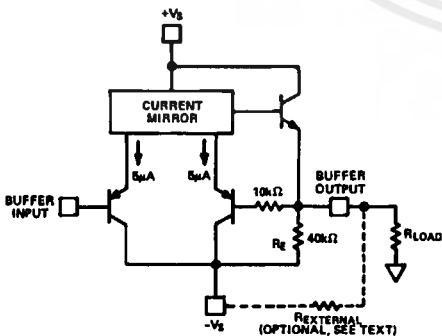


Figure 10. AD636 Buffer Amplifier Simplified Schematic

When this amplifier is used in dual-supply applications as an input buffer amplifier driving a load resistance referred to ground, steps must be taken to insure an adequate negative voltage swing. For negative outputs, current will flow from the load resistor through the 40 kΩ emitter resistor, setting up a voltage divider between $-V_S$ and ground. This reduced effective $-V_S$, will

limit the available negative output swing of the buffer. Addition of an external resistor in parallel with R_E alters this voltage divider such that increased negative swing is possible.

Figure 11 shows the value of $R_{EXTERNAL}$ for a particular ratio of V_{PEAK} to $-V_S$ for several values of R_{LOAD} . Addition of $R_{EXTERNAL}$ increases the quiescent current of the buffer amplifier by an amount equal to $R_{EXT}/-V_S$. Nominal buffer quiescent current with no $R_{EXTERNAL}$ is 30 µA at $-V_S = -5$ V.

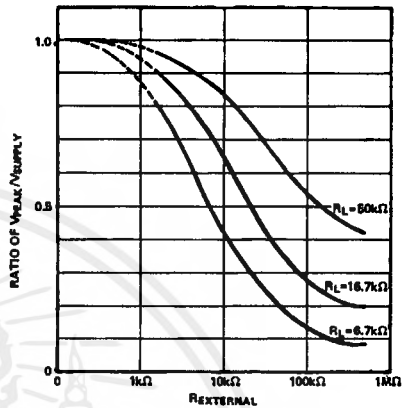


Figure 11. Ratio of Peak Negative Swing to $-V_S$ vs. $R_{EXTERNAL}$ for Several Load Resistances

FREQUENCY RESPONSE

The AD636 utilizes a logarithmic circuit in performing the implicit rms computation. As with any log circuit, bandwidth is proportional to signal level. The solid lines in the graph below represent the frequency response of the AD636 at input levels from 1 millivolt to 1 volt rms. The dashed lines indicate the upper frequency limits for 1%, 10%, and ± 3 dB of reading additional error. For example, note that a 1 volt rms signal will produce less than 1% of reading additional error up to 220 kHz. A 10 millivolt signal can be measured with 1% of reading additional error (100 µV) up to 14 kHz.

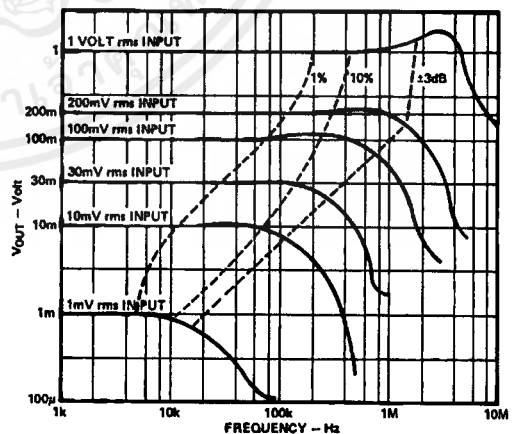


Figure 12. AD636 Frequency Response

AC MEASUREMENT ACCURACY AND CREST FACTOR

Crest factor is often overlooked in determining the accuracy of an ac measurement. Crest factor is defined as the ratio of the peak signal amplitude to the rms value of the signal ($C.F. = V_p / V_{rms}$). Most common waveforms, such as sine and triangle waves, have relatively low crest factors (<2). Waveforms which

resemble low duty cycle pulse trains, such as those occurring in switching power supplies and SCR circuits, have high crest factors. For example, a rectangular pulse train with a 1% duty cycle has a crest factor of 10 (C.F. = $1/\sqrt{\eta}$).

Figure 13 is a curve of reading error for the AD636 for a 200 mV rms input signal with crest factors from 1 to 7. A rectangular pulse train (pulse width 200 μ s) was used for this test since it is the worst-case waveform for rms measurement (all the energy is contained in the peaks). The duty cycle and peak amplitude were varied to produce crest factors from 1 to 7 while maintaining a constant 200 mV rms input amplitude.

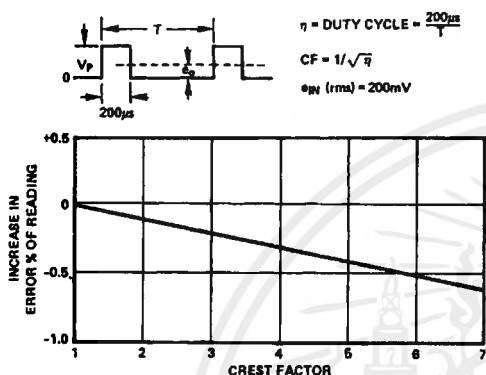


Figure 13. Error vs. Crest Factor

A COMPLETE AC DIGITAL VOLTMETER

Figure 14 shows a design for a complete low power ac digital voltmeter circuit based on the AD636. The 10 M Ω input attenuator allows full-scale ranges of 200 mV, 2 V, 20 V and 200 V rms. Signals are capacitively coupled to the AD636 buffer amplifier, which is connected in an ac bootstrapped configuration to minimize loading. The buffer then drives the 6.7 k Ω input impedance of the AD636. The COM terminal of the ADC chip provides the false ground required by the AD636 for single supply operation. An AD589 1.2 volt reference diode is used to provide a stable 100 millivolt reference for the ADC in the linear rms mode; in the dB mode, a 1N4148 diode is inserted in series to provide correction for the temperature coefficient of the dB scale factor. Calibration of the meter is done by first adjusting offset pot R17 for a proper zero reading, then adjusting the R13 for an accurate readout at full scale.

Calibration of the dB range is accomplished by adjusting R9 for the desired 0 dB reference point, then adjusting R14 for the desired dB scale factor (a scale of 10 counts per dB is convenient).

Total power supply current for this circuit is typically 2.8 mA using a 7106-type ADC.

A LOW POWER, HIGH INPUT IMPEDANCE dB METER

Introduction

The portable dB meter circuit featured here combines the functions of the AD636 rms converter, the AD589 voltage reference, and a μ A776 low power operational amplifier. This meter offers excellent bandwidth and superior high and low level accuracy while consuming minimal power from a standard 9 volt transistor radio battery.

In this circuit, the built-in buffer amplifier of the AD636 is used as a "bootstrapped" input stage increasing the normal 6.7 k Ω input Z to an input impedance of approximately $10^{10}\Omega$.

Circuit Description

The input voltage, V_{IN} , is ac coupled by C4 while resistor R8, together with diodes D1, and D2, provide high input voltage protection.

The buffer's output, Pin 6, is ac coupled to the rms converter's input (Pin 1) by capacitor C2. Resistor, R9, is connected between the buffer's output, a Class A output stage, and the negative output swing. Resistor R1, is the amplifier's "bootstrapping" resistor.

With this circuit, single supply operation is made possible by setting "ground" at a point between the positive and negative sides of the battery. This is accomplished by sending 250 μ A from the positive battery terminal through resistor R2, then through the 1.2 volt AD589 bandgap reference, and finally back to the negative side of the battery via resistor R10. This sets ground at 1.2 volts +3.18 volts ($250 \mu\text{A} \times 12.7 \text{k}\Omega$) = 4.4 volts below the positive battery terminal and 5.0 volts ($250 \mu\text{A} \times 20 \text{k}\Omega$) above the negative battery terminal. Bypass capacitors C3 and C5 keep both sides of the battery at a low ac impedance to ground. The AD589 bandgap reference establishes the 1.2 volt regulated reference voltage which together with resistor R3 and trimming potentiometer R4 set the zero dB reference current I_{REF} .

Performance Data

0 dB Reference Range = 0 dBm (770 mV) to -20 dBm (77 mV) rms

0 dBm = 1 milliwatt in 600 Ω

Input Range (at $I_{REF} = 770 \text{ mV}$) = 50 dBm

Input Impedance = approximately $10^{10} \Omega$

V_{SUPPLY} Operating Range +5 V dc to +20 V dc

$I_{QUIESCENT} = 1.8 \text{ mA}$ typical

Accuracy with 1 kHz sine wave and 9 volt dc supply:

0 dB to -40 dBm $\pm 0.1 \text{ dBm}$

0 dBm to -50 dBm $\pm 0.15 \text{ dBm}$

+10 dBm to -50 dBm $\pm 0.5 \text{ dBm}$

Frequency Response $\pm 3 \text{ dBm}$:

Input

0 dBm = 5 Hz to 380 kHz

-10 dBm = 5 Hz to 370 kHz

-20 dBm = 5 Hz to 240 kHz

-30 dBm = 5 Hz to 100 kHz

-40 dBm = 5 Hz to 45 kHz

-50 dBm = 5 Hz to 17 kHz

Calibration

1. First calibrate the zero dB reference level by applying a 1 kHz sine wave from an audio oscillator at the desired zero dB amplitude. This may be anywhere from zero dBm (770 mV rms - 2.2 volts p-p) to -20 dBm (77 mV rms 220 mV - p-p). Adjust the I_{REF} cal trimmer for a zero indication on the analog meter.
2. The final step is to calibrate the meter scale factor or gain. Apply an input signal -40 dB below the set zero dB reference and adjust the scale factor calibration trimmer for a 40 μ A reading on the analog meter.

The temperature compensation resistors for this circuit may be purchased from: *Tel Labs Inc.*, 154 Harvey Road, P.O. Box 375, Londonderry, NH 03053, Part #Q332A 2 k Ω 1% +3500 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ or from *Precision Resistor Company*, 109 U.S. Highway 22, Hillside, NJ 07205, Part #PT146 2 k Ω 1% +3500 ppm/ $^{\circ}\text{C}$.

AD636

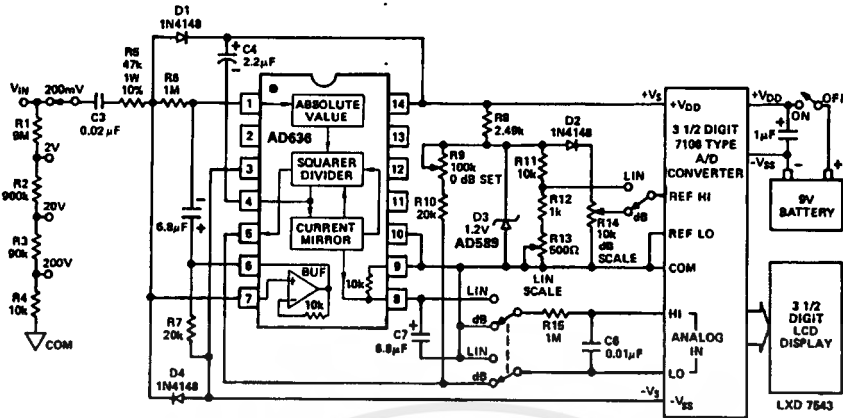
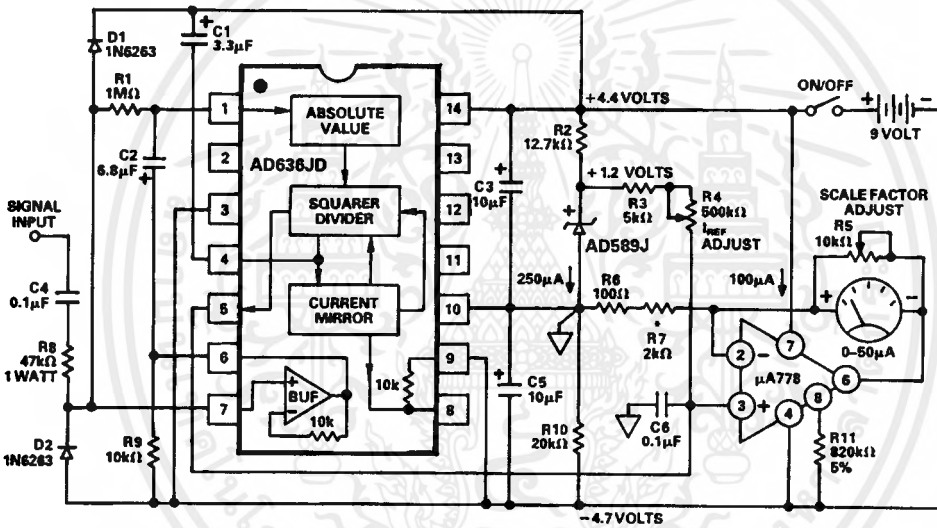


Figure 14. A Portable, High Z Input, RMS DPM and dB Meter Circuit



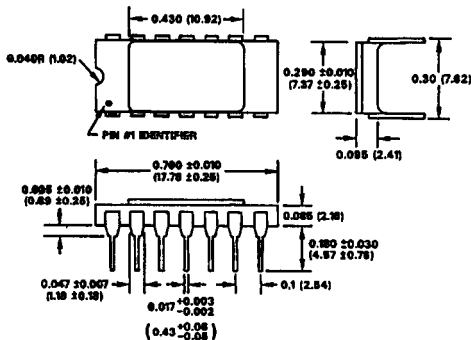
ALL RESISTORS 1/4 WATT 1% METAL FILM UNLESS OTHERWISE STATED EXCEPT * WHICH IS 2kΩ + 3500ppm 1% TC RESISTOR.

Figure 15. A Low Power, High Input Impedance dB Meter

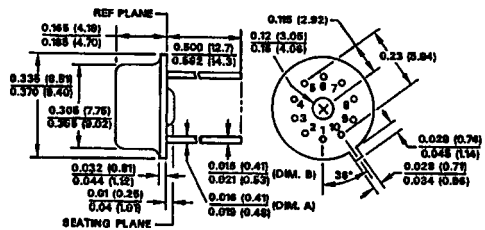
OUTLINE DIMENSIONS

Dimensions-shown in inches and (mm).

D Package (TO-116)



H Package (TO-100)

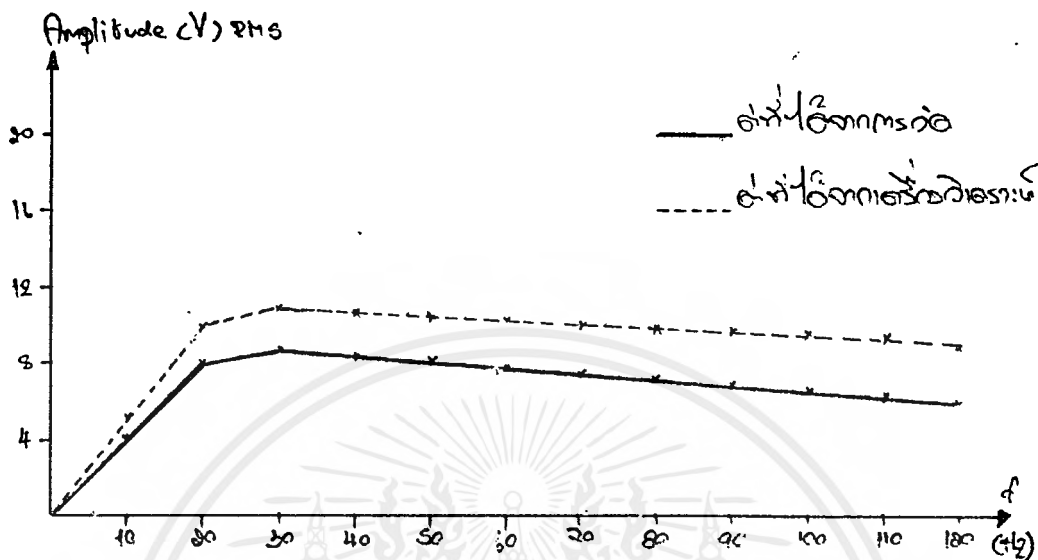




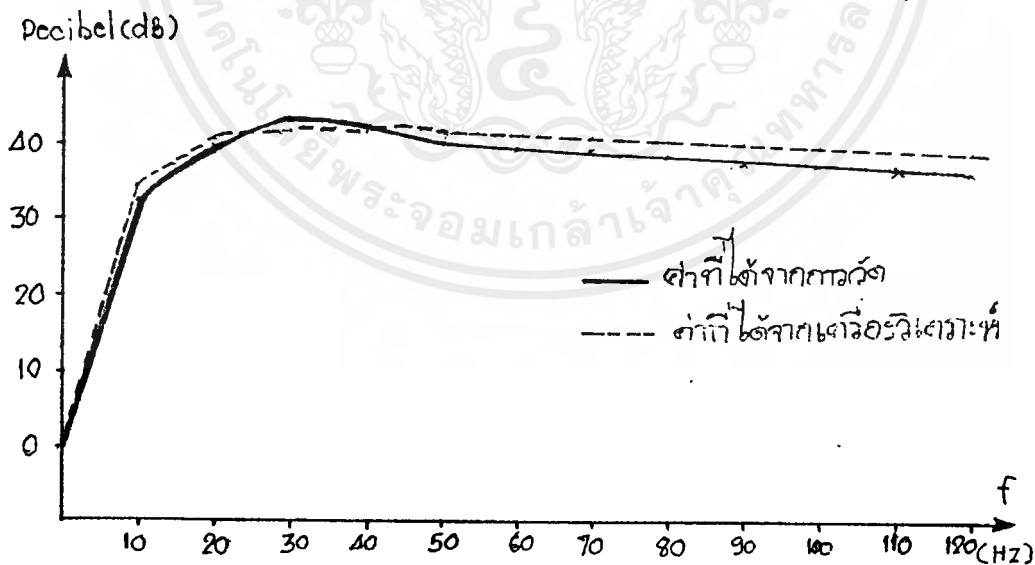
ภาคผนวก ข

ผลการทดลองเปรียบเทียบการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

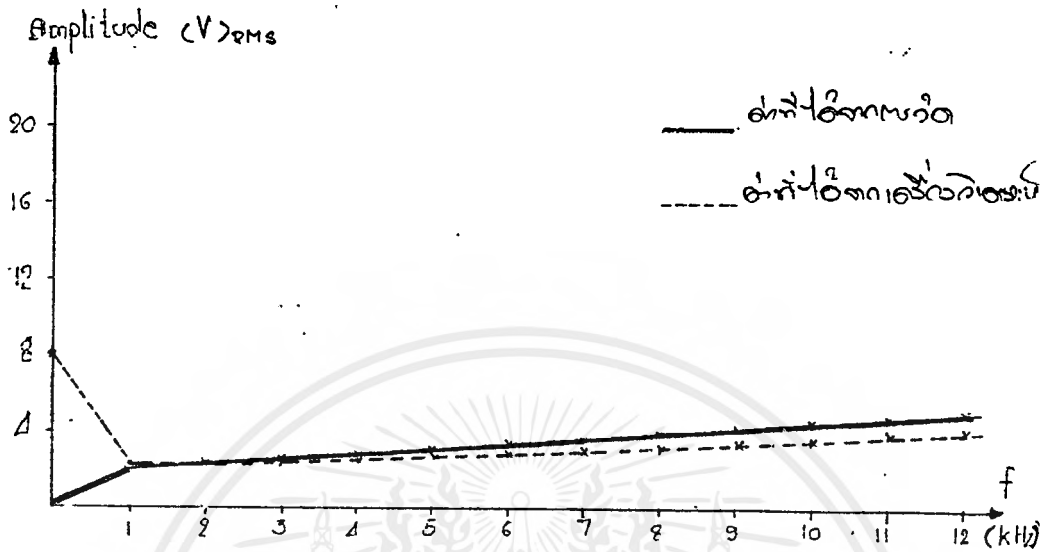


รูปที่ ข.1 การเปรียบเทียบการวัดวงจรขยายสัญญาณย่าน Low frequency แบบเชิงเส้น

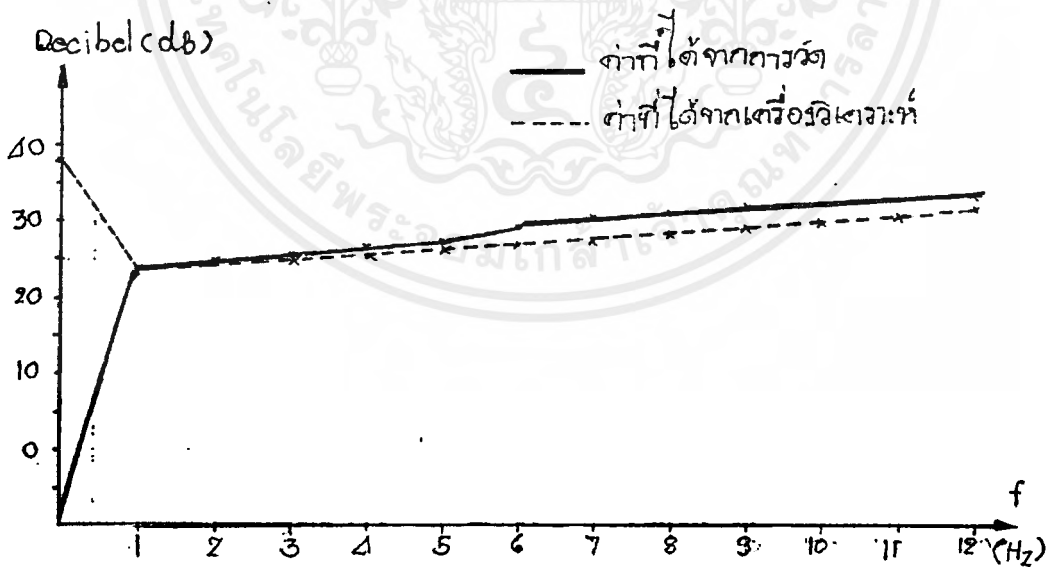


รูปที่ ข.2 การเปรียบเทียบการวัดวงจรขยายสัญญาณย่าน Low frequency แบบเดซิเบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

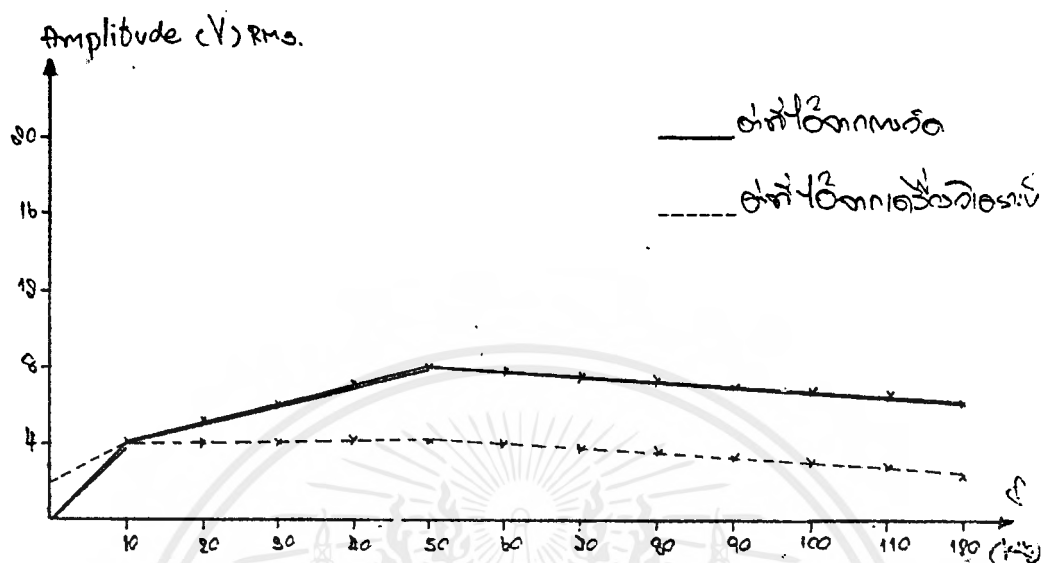


รูปที่ ข.3 การเปรียบเทียบการวัดวงจรขยายสัญญาณย่าน Middle frequency แบบเชิงเส้น

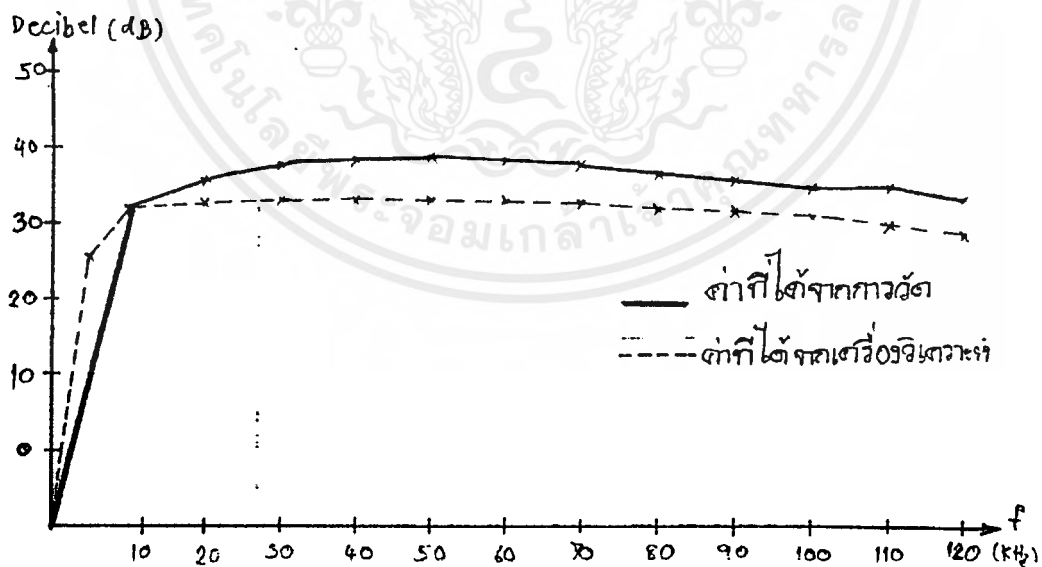


รูปที่ ข.4 การเปรียบเทียบการวัดวงจรขยายสัญญาณย่าน Middle frequency แบบเดซิเบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

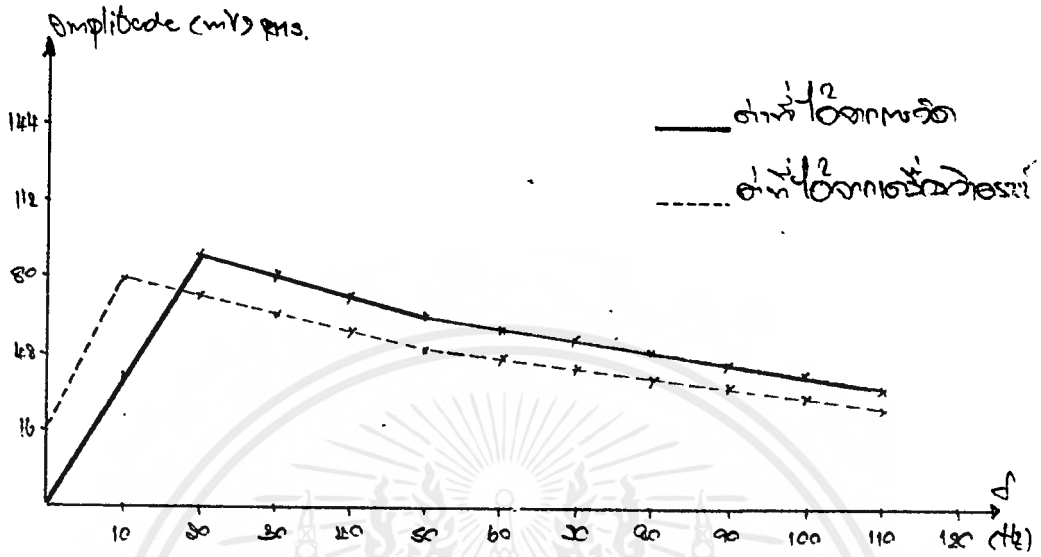


รูปที่ ๕.5 การเปรียบเทียบการวัดวงจรมหาสัญญาณย่าน High frequency แบบเชิงเส้น

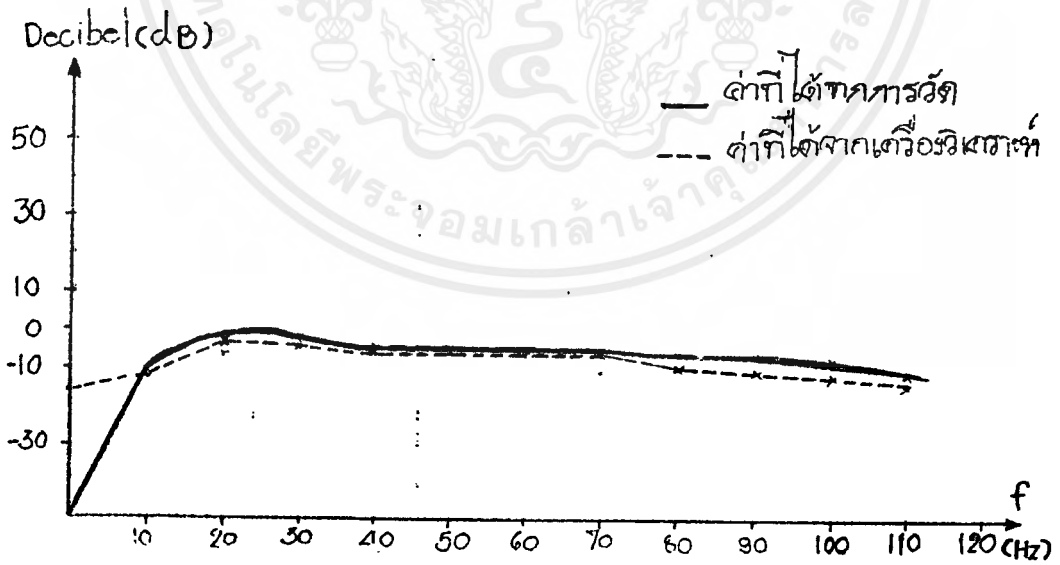


รูปที่ ๕.6 การเปรียบเทียบการวัดวงจรมหาสัญญาณย่าน High frequency แบบเดซิเบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

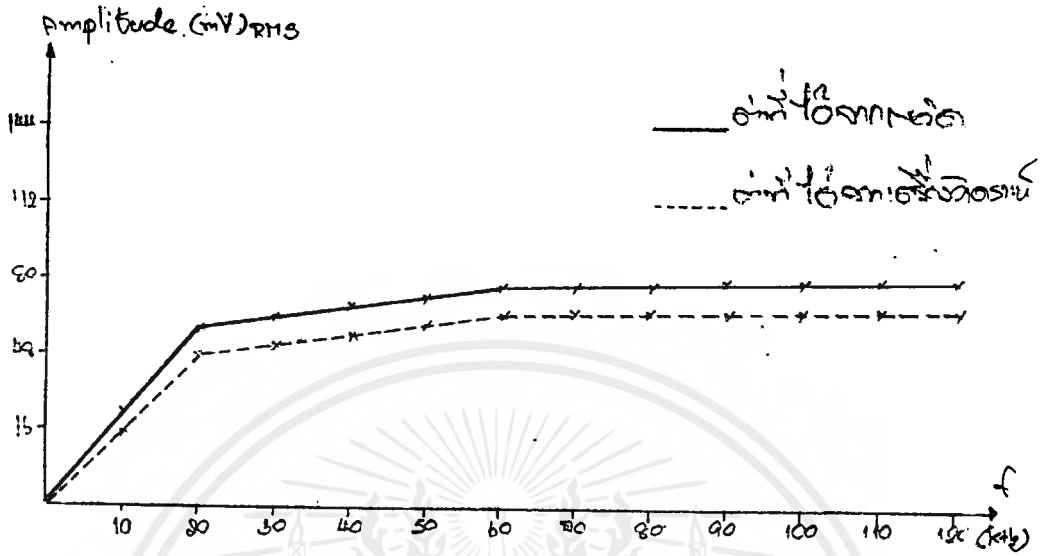


รูปที่ ๗.๗ การเปรียบเทียบการวัดวงจรรองความถี่ต่ำผ่านแบบเชิงเส้น

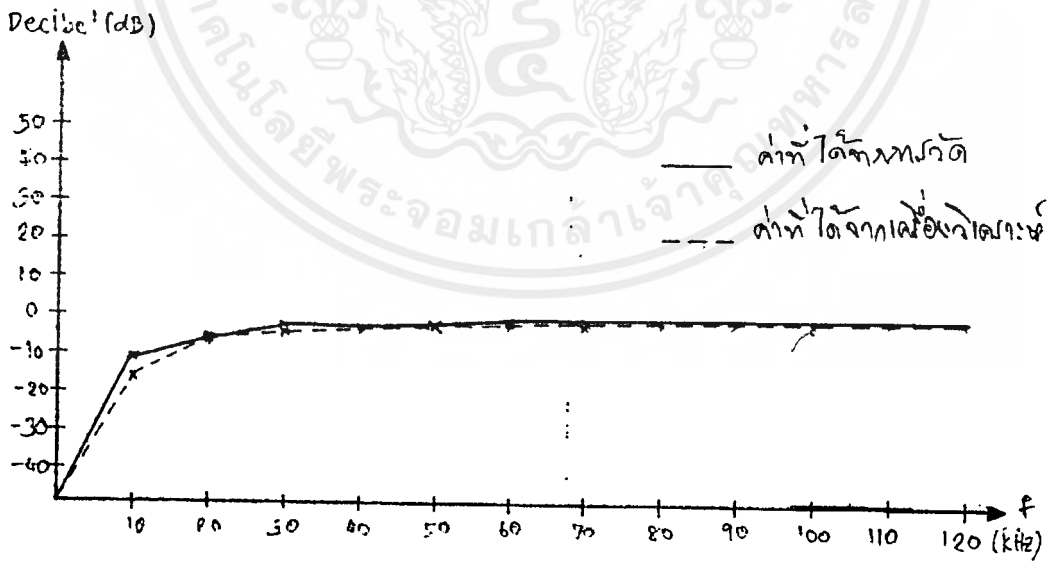


รูปที่ ๗.๘ การเปรียบเทียบการวัดวงจรรองความถี่ต่ำผ่านแบบเดซิเบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๙.๙ การเปรียบเทียบการวัดวงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบเชิงเส้น



รูปที่ ๙.๑๐ การเปรียบเทียบการวัดวงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบเดซิเบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นายสุชาติ จิตต์อาจ
วัน เดือน ปีเกิด	13 ธันวาคม 2517
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ภูมิลำเนาเดิม	14/1 หมู่ 2 แขวงสามวาตะวันตก เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร 10510
ที่อยู่ปัจจุบัน	14/1 หมู่ 2 แขวงสามวาตะวันตก เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร 10510
โทรศัพท์	
<u>ประวัติการศึกษา</u>	
ประถมศึกษา	โรงเรียนสุเหร่าสามวา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนเศรษฐบุตรบำเพ็ญ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คติพจน์	ลำบากก่อนสบายที่หลังดีกว่า สบายก่อนแล้วมาลำบากที่หลัง

ประวัติผู้แต่ง

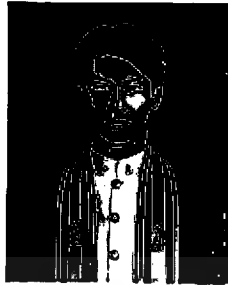


ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นายสุรี ปิยะจิตติ
วัน เดือน ปีเกิด	17 กุมภาพันธ์ 2519
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ภูมิลำเนาเดิม	86 หมู่ 1 ต. บางแก้ว อ. เมือง จ. สมุทรสงคราม 75000
ที่อยู่ปัจจุบัน	86 หมู่ 1 ต. บางแก้ว อ. เมือง จ. สมุทรสงคราม 75000
โทรศัพท์	034-715006

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนอนุบาลสมุทรสงคราม
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนถาวรานุกูล
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสงคราม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสงคราม
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คติพจน์	ความสำเร็จ ไม่มีที่สิ้นสุด

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นายสุรศักดิ์ บุญประดิษฐ์
วัน เดือน ปีเกิด	23 มกราคม 2519
สถานที่เกิด	จังหวัดฉะเชิงเทรา
ภูมิลำเนาเดิม	193/24 ถ. มหาจักรพรรดิ ซอย 9 ต. หน้าเมือง อ. เมือง จ. ฉะเชิงเทรา 24000
ที่อยู่ปัจจุบัน	193/24 ถ. มหาจักรพรรดิ ซอย 9 ต. หน้าเมือง อ. เมือง จ. ฉะเชิงเทรา 24000
โทรศัพท์	---
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนเทพประสิทธิ์วิทยา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนพุทธโสธร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ศติพจน์	สูงสุดกลับสู่สามัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นางสาวหฤทัย	ดีนสกุล
วัน เดือน ปีเกิด	22 มีนาคม 2519	
สถานที่เกิด	จังหวัดราชบุรี	
ภูมิลำเนาเดิม	23 หมู่ 2 ต. บ้านปราโมทย์ อ. บางคนที จ. สมุทรสงคราม 75120	
ที่อยู่ปัจจุบัน	23 หมู่ 2 ต. บ้านปราโมทย์ อ. บางคนที จ. สมุทรสงคราม 75120	
โทรศัพท์	---	
<u>ประวัติการศึกษา</u>		
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดปราโมทย์พิศสะอาดราชบุรีบำรุง	
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนราชโบริกานุเคราะห์	
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี	
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี	
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม	
คติพจน์	หนทางแห่งความสำเร็จไม่ต้องราบเรียบเสมอไป	

บรรณานุกรม

1. สุเจตน์ จันทรัมย์, ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยว 8051, กรุงเทพมหานคร:มหาวิทยาลัยมหา
นคร, 2535, หน้า 1-82
2. ผศ. สมยศ จุณณะปิยะ, การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51, กรุงเทพมหานคร
: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537
3. เขมิกอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, โครงการเครื่องจ่ายไฟ, กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น
จำกัด, 2538, หน้า 35-42
4. เขมิกอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ศุภกิจ อ่ำพาส, Circuit Notebook, กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ด
ยูเคชั่น จำกัด, 2536, เล่มที่ 125 หน้า 144-145
5. เขมิกอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, อุปกรณ์นำใช้ไอซีนำสน เบอร์ AD7521, กรุงเทพมหานคร
: ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2536, เล่มที่ 126 หน้า 144-146
6. เขมิกอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, อุดม อุเทนรัตน์, ทรู-อาร์เอ็มเอสไมเตอร์, กรุงเทพมหานคร
: ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2537, เล่มที่ 142 หน้า 24-34
7. เขมิกอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, เสกสิทธิ์ คำชมภู, dB และ RMS โวลต์มิเตอร์จับมือถือ,
กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2538, เล่มที่ 150 หน้า 58-66
8. เขมิกอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, สมโภชน์ อุทัยวิวัฒน์กุล, หลักการและความหมายของ
เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ, กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2539, เล่มที่ 158
หน้า 118-124
9. คอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์เวิลด์, วราวุธ เลิศศรี, การออกแบบวงจรลดทอนสัญญาณ,
กรุงเทพมหานคร: คอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์เวิลด์ จำกัด, 2536, เล่มที่ 140
หน้า 69-75
10. โครงการเครื่องมือวัด, ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์, กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด,
2539, หน้า 127-134
11. บริษัท คีลารีเสิร์ช จำกัด, คู่มือบอร์ด ANT-32, กรุงเทพมหานคร: หน้า 1-38