สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบค้นหาตำแหน่งด้วยคลื่นวิทยุ

Position Finding System Base on Radio Wave

โดย

นางสาวเพ็ญประภา ปัญสุวรรณวงศ์

นายรุ่งศักดิ์ เหลืองสิริธรรม

นายวรการ วงศ์สายเชื้อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....27882
วัน, เดือน, ปี 26 มิ.ย. 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบค้นหาตำแหน่งด้วยคลื่นวิทยุ

Position Finding System Base on Radio Wave

โดย

นางสาวเพ็ญประภา	ปัญสุวรรณวงศ์	36014302
นายรุ่งศักดิ์	เหลืองสิริธรรม	36014358
นายวรการ	วงศ์สายเชื้อ	36014370

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2539

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบค้นหาตำแหน่งด้วยคลื่นวิทยุ

Position Finding System Base on Radio Wave

ผู้จัดทำ

1.นางสาวเพ็ญประภา ปัญสุวรรณวงศ์ 36014302

2.นายรุ่งศักดิ์ เหลืองสิริธรรม 36014358

3.นายวรการ วงศ์สายเชื้อ 36014370

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบค้นหาตำแหน่งด้วยคลื่นวิทยุ

Position Finding System Base on Radio Wave

โดย นางสาวเพ็ญประภา ปัญสุวรรณวงศ์ 36014302
นายรุ่งศักดิ์ เหลืองสิริธรรม 36014358
นายวรการ วงศ์สายเชื้อ 36014370

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นระบบค้นหาตำแหน่ง โดยติดตั้งตัวส่งคลื่นวิทยุย่านวีเอชเอฟไว้กับสิ่งที่ต้องการค้นหาตำแหน่ง โดยจะใช้เครื่องรับสองชุด ซึ่งแต่ละชุดจะใช้มอเตอร์กระแสตรงควบคุมสายอากาศในการกวาดหาตำแหน่งของตัวส่งคลื่น ซึ่งสายอากาศแต่ละตัวจะรับคลื่นได้แรงที่สุดในทิศที่ชี้ไปยังตัวส่งคลื่น เมื่อลากเส้นตรงจากสายอากาศแต่ละตัวในทิศทางที่รับคลื่นได้แรงที่สุดมาตัดกันก็จะทราบตำแหน่งของตัวส่งได้ โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณและควบคุม

ABSTRACT

This project is a position finding system. An VHF transmitter is attached to a target object. Two receivers are used in this system. Each receiver has a dc motor to control an antenna scanning for the transmitter. Each antenna will receive the strongest signal in the direction to the transmitter. After drawing a line from each antenna, it will intersect at the point that the transmitter should be. A computer is used to calculate and control all of the system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 หลักการทำงานของระบบค้นหาตำแหน่งด้วยคลื่นวิทยุ	2
2.2 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ	4
2.3 ทฤษฎีสายอากาศ	6
2.4 สายอากาศยากิ	7
2.5 ทฤษฎีวงจรเครื่องรับระบบเอฟเอ็ม	8
2.6 การอินเตอร์เฟสกับเครื่องคอมพิวเตอร์ตามมาตรฐานของไอบีเอ็ม	9
2.7 หลักการทำงานของส่วนขับเคลื่อนสายอากาศ	15
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	18
3.1 วงจรภาครับ	18
3.2 วงจรแปลงสัญญาณไอเอฟเป็นระดับแรงดันไฟตรง	23
3.3 สายอากาศยากิแบบ ZL สเปเชียล	24
3.4 วงจรอินเตอร์เฟส	26
3.5 วงจรขับมอเตอร์สำหรับหมุนสายอากาศ	28
3.6 ส่วนตรวจนับมุมและส่งสัญญาณอินเตอร์รัพท์	31
บทที่ 4 ซอฟแวร์ของระบบค้นหาตำแหน่งด้วยคลื่นวิทยุ	32
4.1 กระบวนการรับข้อมูลความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศทั้งสองข้าง	34
4.2 กระบวนการคำนวณหาและแสดงตำแหน่งของเป้าหมาย	36
4.3 กระบวนการวาดรูปสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศทั้งสองข้าง	38
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	43
4.1 วงจรภาครับและวงจรแปลงสัญญาณไอเอฟเป็นระดับไฟตรง	43
4.2 สายอากาศยากิแบบ ZL สเปเชียล	50
4.3 ทดสอบการทำงานของระบบที่สมบูรณ์	50
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์	55
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
บรรณานุกรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบค้นหาตำแหน่งด้วยคลื่นวิทยุ	2
รูปที่ 2.2 การหาพิกัดตำแหน่งของเป้าหมาย	3
รูปที่ 2.3 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุแบบคลื่นดิน	4
รูปที่ 2.4 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุแบบคลื่นฟ้า	5
รูปที่ 2.5 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุแบบคลื่นอวกาศ	5
รูปที่ 2.6 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	6
รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของการแมตชิ่งอิมพีแดนซ์	7
รูปที่ 2.8 คุณสมบัติของตัวพาราซิติกในสายอากาศยากิ	8
รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องรับระบบเอฟเอ็ม	8
รูปที่ 2.10 แสดงส่วนแปลงระดับสัญญาณที่รับเข้ามาให้เป็นระดับไฟตรง	9
รูปที่ 2.11 การจัดเรียงชาบนช่องเสียบนำสัญญาณของเครื่องคอมพิวเตอร์	10
รูปที่ 2.12 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงแบบ H-bridge	15
รูปที่ 2.13 ทิศทางการไหลของกระแสในวงจรขับมอเตอร์	16
รูปที่ 2.14 ลักษณะของกระแสที่จ่ายให้แก่มอเตอร์	17
รูปที่ 3.1 วงจรฟรอนท์เอนด์	18
รูปที่ 3.2 วงจรเสมือนของวงจรฟรอนท์เอนด์เมื่อวิเคราะห์แบบไฟตรง	18
รูปที่ 3.3 วงจรเสมือนของวงจรฟรอนท์เอนด์เมื่อวิเคราะห์แบบไฟสลับ	19
รูปที่ 3.4 วงจรเสมือนของวงจรรูปที่ 3.3 เมื่อใช้ทฤษฎีของมิลเลอร์	19
รูปที่ 3.5 วงจรแปลงความแรงของสัญญาณไอเอฟให้เป็นระดับแรงดันไฟตรง	23
รูปที่ 3.6 วงจรเสมือนของวงจรรูปที่ 3.5 เมื่อวิเคราะห์แบบไฟสลับ	23
รูปที่ 3.7 วงจรที่สมบูรณ์ของเครื่องรับ	25
รูปที่ 3.8 แบบสร้างของสายอากาศยากิแบบ ZL สเปเชียล	26
รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมของวงจรอินเตอร์เฟส	26
รูปที่ 3.10 วงจรอินเตอร์เฟสที่สมบูรณ์	29
รูปที่ 3.11 วงจรขับมอเตอร์กระแสแบบ H-bridge	30
รูปที่ 3.12 วงจรสร้างพัลส์วิดธ์และส่วนรับสัญญาณควบคุมจากคอมพิวเตอร์	30
รูปที่ 3.13 ชุดจานหมุนตัดแสง	31
รูปที่ 4.1 หน้าจอสำหรับติดต่อกับผู้ใช้	32
รูปที่ 4.2 แผนภูมิการไหลของโปรแกรมหลัก	33
รูปที่ 4.3 แผนภูมิการไหลของกระบวนการรับข้อมูลความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศ	35
รูปที่ 4.4 แผนภูมิการไหลของโปรแกรมบริการการอินเตอร์รัพท์ของสายอากาศ	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.5 แผนภูมิการไหลของกระบวนการคำนวณหาและแสดงตำแหน่งของเป้าหมาย 36
รูปที่ 4.6 แผนภูมิการไหลของกระบวนการย่อยในการหามุมที่สายอากาศแต่ละข้างชี้ไปยังเป้าหมาย 39
รูปที่ 4.7 แผนภูมิการไหลของกระบวนการย่อยในการนำค่ามุมที่คำนวณได้มาตรวจสอบความผิดพลาด 40
รูปที่ 4.8 หน้าจอแสดงระยะห่างของเป้าหมายและมุมที่สายอากาศชี้ไปยังเป้าหมายในทิศทวนเข็มนาฬิกา 40
รูปที่ 4.9 แผนภูมิการไหลของกระบวนการวาดรูปสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศทั้งสองข้าง 41
รูปที่ 4.10 แผนภูมิการไหลของกระบวนการย่อยในการวาดรูปสัญญาณ 42
รูปที่ 4.11 หน้าจอแสดงผลของกระบวนการวาดรูปสัญญาณที่รับได้โดยสายอากาศทั้งสองข้าง 42
รูปที่ 5.1 ก. สเปกตรัมของสัญญาณเอฟเอ็มที่ป้อนเข้าที่อินพุทของฟรอนท์เอนด์ชุดที่ 1 43
ข. สเปกตรัมของสัญญาณเอฟเอ็มที่เอาท์พุทของฟรอนท์เอนด์ชุดที่ 1 43
รูปที่ 5.2 ก. สเปกตรัมของสัญญาณเอฟเอ็มที่ป้อนเข้าที่อินพุทของฟรอนท์เอนด์ชุดที่ 2 43
ข. สเปกตรัมของสัญญาณเอฟเอ็มที่เอาท์พุทของฟรอนท์เอนด์ชุดที่ 2 43
รูปที่ 5.3 ก. สเปกตรัมของภาคโลคัลออสซิลเลเตอร์ภาคแรกของเครื่องรับชุดที่ 1 44
ข. สเปกตรัมของภาคโลคัลออสซิลเลเตอร์ภาคแรกของเครื่องรับชุดที่ 2 44
รูปที่ 5.4 ก. สัญญาณไอเอฟ 10.7 MHz ที่เป็นเอาท์พุทของมิกเซอร์ภาคแรกของเครื่องรับชุดที่ 1 45
ข. สัญญาณไอเอฟ 10.7 MHz ที่เป็นเอาท์พุทของมิกเซอร์ภาคแรกของเครื่องรับชุดที่ 2 45
รูปที่ 5.5 ก. สัญญาณของภาคโลคัลออสซิลเลเตอร์ภาคที่สองของเครื่องรับชุดที่ 1 46
ข. สัญญาณของภาคโลคัลออสซิลเลเตอร์ภาคที่สองของเครื่องรับชุดที่ 2 46
รูปที่ 5.6 ก. สัญญาณไอเอฟ 455 kHz ที่เป็นเอาท์พุทของมิกเซอร์ภาคที่สองของเครื่องรับชุดที่ 1 47
ข. สัญญาณไอเอฟ 455 kHz ที่เป็นเอาท์พุทของมิกเซอร์ภาคที่สองของเครื่องรับชุดที่ 2 47
รูปที่ 5.7 ก. สัญญาณเบสแบนด์ที่เอาท์พุทของภาคดีเท็กสัญญาณเสียงของเครื่องรับชุดที่ 1 48
ข. สัญญาณเบสแบนด์ที่เอาท์พุทของภาคดีเท็กสัญญาณเสียงของเครื่องรับชุดที่ 2 48
รูปที่ 5.8 แสดงผลการแปลงสัญญาณไอเอฟเป็นระดับไฟตรง 49
รูปที่ 5.9 รูปแบบการรับคลื่นของสายอากาศตัวที่ 1 51
รูปที่ 5.10 รูปแบบการรับคลื่นของสายอากาศตัวที่ 2 51
รูปที่ 5.11 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศตัวที่ 1 52
รูปที่ 5.12 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศตัวที่ 2 53
รูปที่ 5.13 หน้าจอแสดงรูปแบบของคลื่นที่รับได้โดยสายอากาศทั้งสองข้างจากเป้าหมายในการทดลอง 54
รูปที่ 5.14 หน้าจอแสดงตำแหน่งเป้าหมายที่คำนวณได้จากการทดลอง 54
รูปที่ 6.1 แสดงบริเวณที่ระบบสามารถค้นหาตำแหน่งของเป้าหมายได้ 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ระบบสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุนั้นนับว่ามีความสำคัญอย่างมากต่อการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน มนุษย์ได้นำระบบสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุไปใช้ประโยชน์อย่างมากมายหลายด้าน ไม่ว่าจะใช้ในการติดต่อสื่อสารกันโดยตรงหรือนำไปประยุกต์ใช้งานด้านอื่น เช่น การควบคุมระยะไกลด้วยคลื่นวิทยุ (Remote Control) ระบบติดตามสัญญาณที่แรงที่สุด (Tracking System) ระบบค้นหาทิศทางของคลื่นวิทยุ (Directional Finding) และระบบค้นหาตำแหน่งด้วยคลื่นวิทยุ (Position Finding) เป็นต้น ซึ่งระบบต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาล้วนน่าสนใจและน่าศึกษาทดลองเพื่อนำมาใช้ประโยชน์จริง ระบบหนึ่งที่น่าสนใจและเป็นหัวข้อของโครงงานนี้คือ ระบบค้นหาตำแหน่งด้วยคลื่นวิทยุ ซึ่งเป็นระบบที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย เช่น ใช้ในการตรวจจับวิทยุสื่อสารเถื่อน ใช้จับทุจริตการสอบที่ใช้เครื่องมือสื่อสารเป็นอุปกรณ์ในการทุจริต และอาจพัฒนาไปใช้ในการติดตามเป้าหมายที่เป็นสิ่งมีชีวิต ซึ่งไม่สามารถใช้ระบบเรดาร์ในการค้นหาได้ เช่น การติดตามผู้ต้องหาของตำรวจ หรือการติดตามดูพฤติกรรมของสัตว์ โดยการใช้เครื่องส่งวิทยุเล็ก ๆ ไปติดไว้กับเป้าหมายที่เราต้องการติดตาม และใช้กระบวนการที่เหมาะสมในการรับสัญญาณจากเครื่องส่งเข้ามาวิเคราะห์หาตำแหน่งของเป้าหมายได้

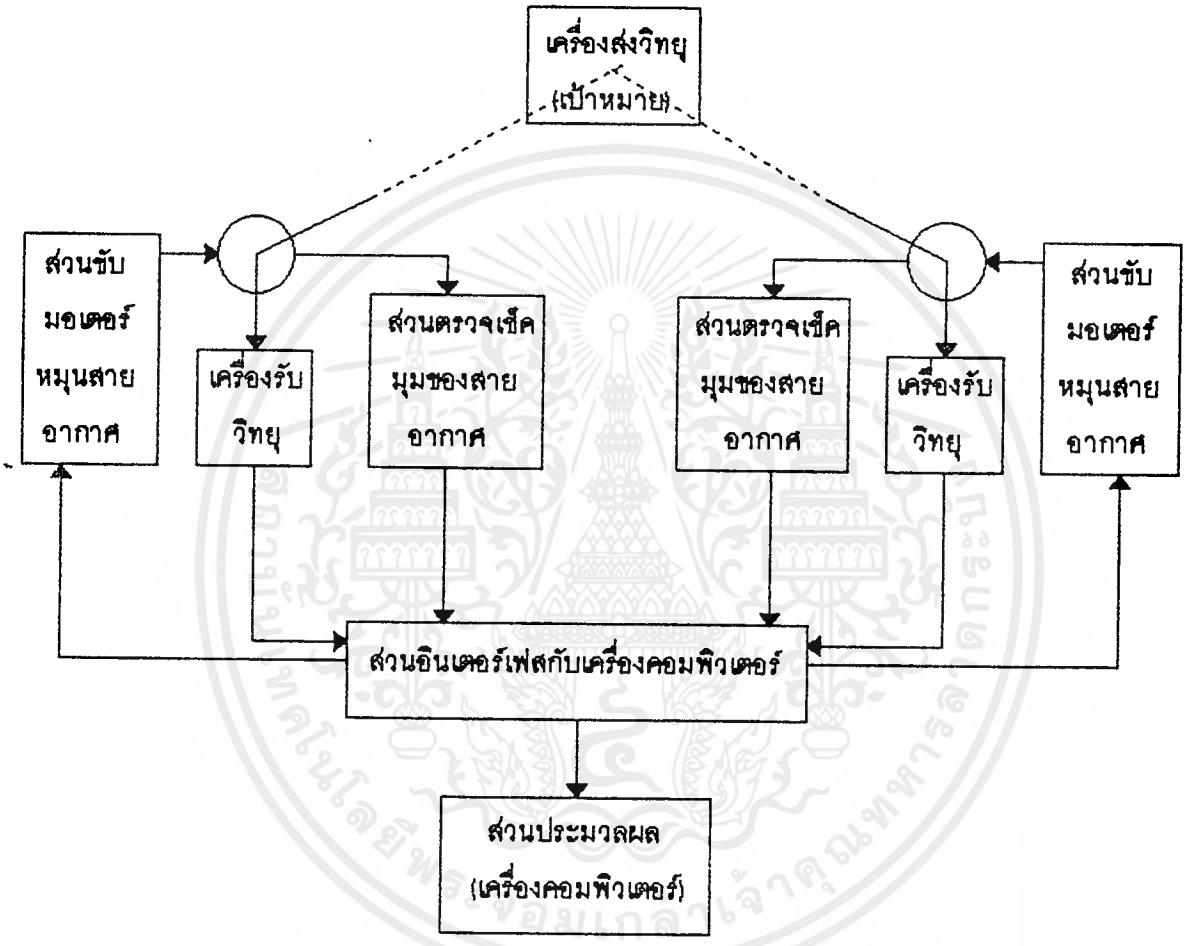
ในปัจจุบันระบบค้นหาตำแหน่งด้วยคลื่นวิทยุ ก็มีการใช้กันอยู่บ้างแต่ยังไม่แพร่หลายนัก ที่ใช้กันในเมืองไทยก็มีรถโมบายสำหรับจับวิทยุสื่อสารเถื่อนของการสื่อสารแห่งประเทศไทย ซึ่งใช้สายอากาศแบบหาทิศทางได้ในตัว (Sense Antenna) โดยไม่ต้องหมุนหา ซึ่งเป็นเทคโนโลยีชั้นสูงจึงมีราคาแพงมาก ในเมืองไทยยังไม่สามารถผลิตเองได้ แต่สำหรับระบบค้นหาตำแหน่งด้วยคลื่นวิทยุในโครงงานนี้จะเป็นการประยุกต์เอาระบบค้นหาทิศทางมาใช้โดยใช้สายอากาศแบบมีทิศทาง (Directional Antenna) หมุนกวาดรับสัญญาณจากเครื่องส่งไปรอบตัว ซึ่งเราจะสามารถรู้ทิศทางของเครื่องส่งได้จากทิศที่สายอากาศนั้นรับสัญญาณได้แรงที่สุดนั่นเอง ดังนั้นถ้าเราใช้สายอากาศแบบมีทิศทางสองชุดวางห่างกันด้วยระยะที่เหมาะสม แล้วหมุนรับสัญญาณจากเครื่องส่งที่เป้าหมาย เพื่อหาทิศทางที่สายอากาศแต่ละข้างชี้ไปยังเป้าหมาย ซึ่งเมื่อลากเส้นตรงในทิศที่สายอากาศแต่ละข้างชี้ไปยังเป้าหมายก็จะต้องมาตัดกัน ทำให้เรารู้ตำแหน่งของเป้าหมายได้ สำหรับหลักการโดยละเอียดและทฤษฎี รวมถึงการสร้าง การคำนวณ และการทดลองต่าง ๆ จะได้กล่าวถึงในบทต่อ ๆ ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 หลักการทำงานของระบบค้นหาตำแหน่งด้วยคลื่นวิทยุ

ระบบค้นหาตำแหน่งด้วยคลื่นวิทยุมีหลักการและส่วนประกอบต่าง ๆ ดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 2.1

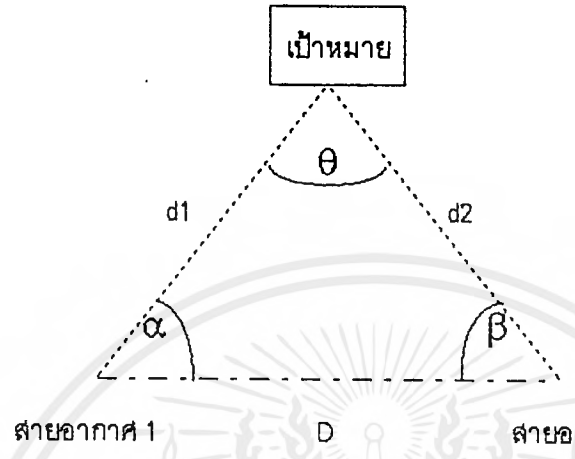


รูปที่2.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบค้นหาตำแหน่งด้วยคลื่นวิทยุ

ระบบค้นหาตำแหน่งด้วยคลื่นวิทยุจะใช้สายอากาศแบบมีทิศทาง (Directional Antenna) สองชุดวางห่างกันพอสมควร แล้วให้สายอากาศแต่ละชุดหมุนไปรอบ ๆ ตัวเพื่อรับคลื่นวิทยุจากเครื่องส่งของเป้าหมาย โดยส่วนประมวลผลจะควบคุมให้วงจรขับมอเตอร์แต่ละชุดหมุนสายอากาศไปทีละองศา โดยมีส่วนตรวจเช็คมุมของสายอากาศคอยส่งสัญญาณกลับไปให้ส่วนประมวลผลเช็คว่าหมุนไปกี่องศาแล้ว และเครื่องรับวิทยุก็จะรับสัญญาณจากสายอากาศในแต่ละทิศส่งไปยังส่วนอินเตอร์เฟสเพื่อทำการแปลระดับความแรงของสัญญาณที่รับได้เป็นข้อมูลดิจิตอลโดยใช้วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter) และส่งไปให้ส่วนประมวลผลทำการเก็บข้อมูลไว้ เมื่อสายอากาศหมุนรับคลื่นไปจนครบรอบ ส่วนประมวลผลก็จะนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจากสายอากาศทั้งสองชุดมาทำการประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งของ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป้าหมาย ซึ่งตำแหน่งของเป้าหมายจะอยู่ที่จุดตัดของแนวเส้นตรงสองเส้นที่ลากจากสายอากาศแต่ละชุดมาในทิศทางที่รับสัญญาณได้แรงที่สุดนั่นเอง เมื่อเรารู้พิกัดตำแหน่งของสายอากาศทั้งสองชุด เราก็สามารถคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของเป้าหมายโดยเทียบกับแผนที่ได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การหาพิกัดตำแหน่งของสายอากาศ

จากรูปที่ 2.2 เมื่อเราทราบมุมของทิศทางที่สายอากาศทั้งสองรับสัญญาณได้แรงที่สุดแล้วเราจะสามารถหาระยะห่างของเป้าหมายกับสายอากาศทั้งสองได้โดยใช้กฎของไซน์ ดังสมการที่ 2.1

$$\frac{D}{\sin\theta} = \frac{d1}{\sin\beta} = \frac{d2}{\sin\alpha} \qquad \text{..... (2.1)}$$

ฉะนั้น $d1 = \frac{D.\sin\beta}{\sin\theta}$ และ $d2 = \frac{D.\sin\alpha}{\sin\theta}$

โดยที่ D คือระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสอง

d1 คือระยะห่างระหว่างสายอากาศ 1 กับเป้าหมาย

d2 คือระยะห่างระหว่างสายอากาศ 2 กับเป้าหมาย

α คือมุมที่แนวเส้นตรงระหว่างเป้าหมายกับสายอากาศ 1 ทำกับแนวเส้นตรงระหว่างสายอากาศทั้งสอง

β คือมุมที่แนวเส้นตรงระหว่างเป้าหมายกับสายอากาศ 2 ทำกับแนวเส้นตรงระหว่างสายอากาศทั้งสอง

θ คือมุมที่มีค่าเท่ากับ $180 - \alpha - \beta$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ (Radio Wave Propagation)

คลื่นวิทยุที่ถูกส่งออกจากสายอากาศส่งอาจจะเดินทางไปถึงสายอากาศรับในรูปแบบต่าง ๆ กัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง ได้แก่

(1) ความถี่ที่ใช้งาน

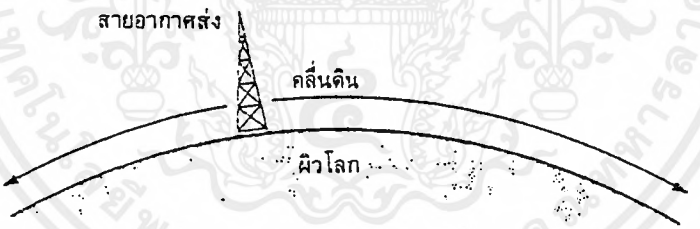
(2) ระยะทางระหว่างจุดส่งกับจุดรับ

(3) สภาพของบรรยากาศ

รูปแบบของการแพร่กระจายคลื่นวิทยุแบ่งออกเป็น

(1) คลื่นดิน (Ground Wave Propagation)

การแพร่กระจายคลื่นแบบนี้ คลื่นจะเดินทางไปตามความโค้งของผิวโลก โดยที่สายอากาศส่งและสายอากาศรับจะต้องอยู่ใกล้กับผิวโลก และที่ส่วนล่างของสายอากาศจะต้องต่ออยู่กับพื้นดิน (Ground) คลื่นดินนี้จะมีแต่องค์ประกอบในแนวตั้ง (Vertical Polarization) เพราะองค์ประกอบในแนวนอน (Horizontal Polarization) จะถูกทำให้ลัดวงจรกับพื้นดิน เมื่อคลื่นดินเดินทางไปตามผิวโลกพลังงานจะถูกดูดออกไปเพื่อจ่ายให้การสูญเสียในระหว่างที่เดินทางไปตามความโค้งของโลกโดยขึ้นอยู่กับความถี่ ความผิดปกติของผิวโลก และคุณสมบัติความนำแม่เหล็กไฟฟ้า ความลดทอนโดยผิวโลกจะเพิ่มขึ้นตามความถี่ที่สูงขึ้น ดังนั้นการแพร่กระจายคลื่นแบบคลื่นดินนี้จึงเหมาะสำหรับย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency) และย่านความถี่ปานกลาง (Medium Frequency) โดยที่มีความถี่ที่ไม่เกิน 2 MHz การแพร่กระจายคลื่น วิทยุแบบคลื่นดินแสดงดังรูปที่ 2.3

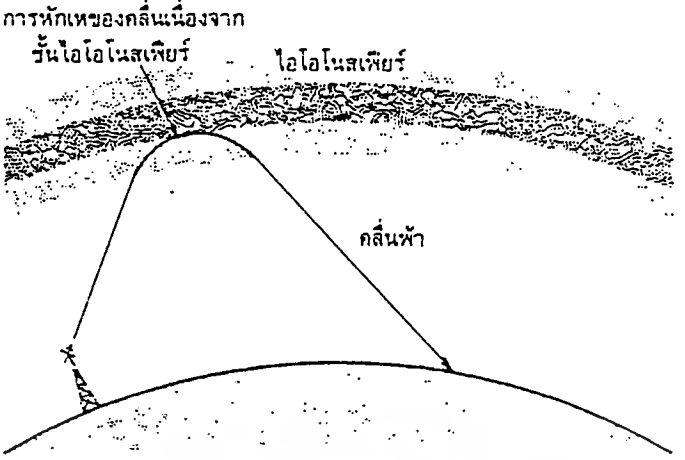


รูปที่ 2.3 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุแบบคลื่นดิน

(2) คลื่นฟ้า (Sky Wave Propagation)

การแพร่กระจายคลื่นแบบนี้ คลื่นวิทยุที่เดินทางออกจากสายอากาศส่งจะไปสะท้อนกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere Region) แล้วจึงเข้ามาถึงสายอากาศรับได้ โดยที่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นี้จะสามารถสะท้อนคลื่นที่มีความถี่ 2 - 30 MHz ส่วนคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า 30 MHz จะทะลุผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ไป ดังนั้นการแพร่กระจายคลื่นแบบคลื่นฟ้านี้จึงเหมาะสำหรับย่านความถี่ 2 - 30 MHz คลื่นฟ้าสามารถครอบคลุมระยะทางการสื่อสารได้ไกลเกือบ 4000 km แต่อย่างไรก็ดีสัญญาณที่รับได้อันเนื่องมาจากคลื่นฟ้านั้นจะได้รับผลของเฟดดิ้ง (Fading) ซึ่งความแรงของสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาทั้งนี้ก็เพราะว่าที่จุดรับนั้นคลื่นส่วนมากจะเดินทางมาในเส้นทางต่าง ๆ กัน การแพร่กระจายคลื่นวิทยุแบบคลื่นฟ้าแสดงดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

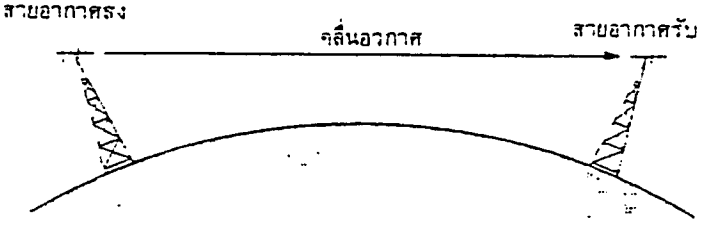


รูปที่ 2.4 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุแบบคลื่นฟ้า

(3) คลื่นอวกาศ (Space Wave Propagation)

การแพร่กระจายคลื่นแบบนี้คลื่นวิทยุจะเดินทางจากสายอากาศส่งไปยังสายอากาศรับในลักษณะเดินทางเป็นเส้นตรงหรือสะท้อนกลับจากผิวโลก และอยู่ในบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ซึ่งอยู่ระหว่างผิวโลกจนถึงความสูง 16 km จากผิวโลก คลื่นอวกาศจะประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อยที่สุด 2 ส่วนคือ คลื่นตรง (Direct Wave) และคลื่นสะท้อน (Reflect Wave) แม้ว่าคลื่นทั้งสองจะเดินทางออกจากสายอากาศส่งพร้อมกัน และมีเฟสเหมือนกันแต่มันอาจจะมาถึงสายอากาศรับในลักษณะเฟสตรงกัน (Inphase) หรือเฟสต่างกัน (Out of Phase) เพราะคลื่นทั้งสองเดินทางในระยะทางต่างกัน ดังนั้นที่จุดรับความแรงของสัญญาณอาจจะแรงขึ้นหรืออ่อนลงกว่าคลื่นตรงเพียงอย่างเดียวทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าคลื่นทั้งสองรวมกันหรือหักล้างกัน

คลื่นอวกาศส่วนใหญ่จะอยู่ในย่านความถี่ VHF (Very High Frequency) เพราะความถี่ในย่านนี้จะทะลุผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ทำให้เดินทางแบบคลื่นฟ้าไม่ได้ และไม่สามารถเดินทางแบบคลื่นดินด้วยเช่นกัน เพราะความถี่สูงมีการลดทอนเนื่องจากผิวโลกอย่างมาก นอกจากนี้คลื่นอวกาศยังอาจเรียกว่าเป็นการเดินทางของคลื่นในระยะสายตา (Line of Sight Propagation) เพราะการเดินทางของคลื่นแบบนี้จะถูกจำกัดด้วยระยะที่เรียกว่า ระยะสายตาระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ และถูกจำกัดด้วยความโค้งของโลกด้วย การแพร่กระจายคลื่นวิทยุแบบคลื่นอวกาศแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุแบบคลื่นอวกาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในโครงงานนี้เราเลือกใช้ความถี่ประมาณ 150 MHz ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่วิทยุสมัครเล่นอีกช่วงหนึ่ง ดังนั้นจะมีลักษณะการเดินทางของคลื่นเป็นแบบคลื่นอวกาศ

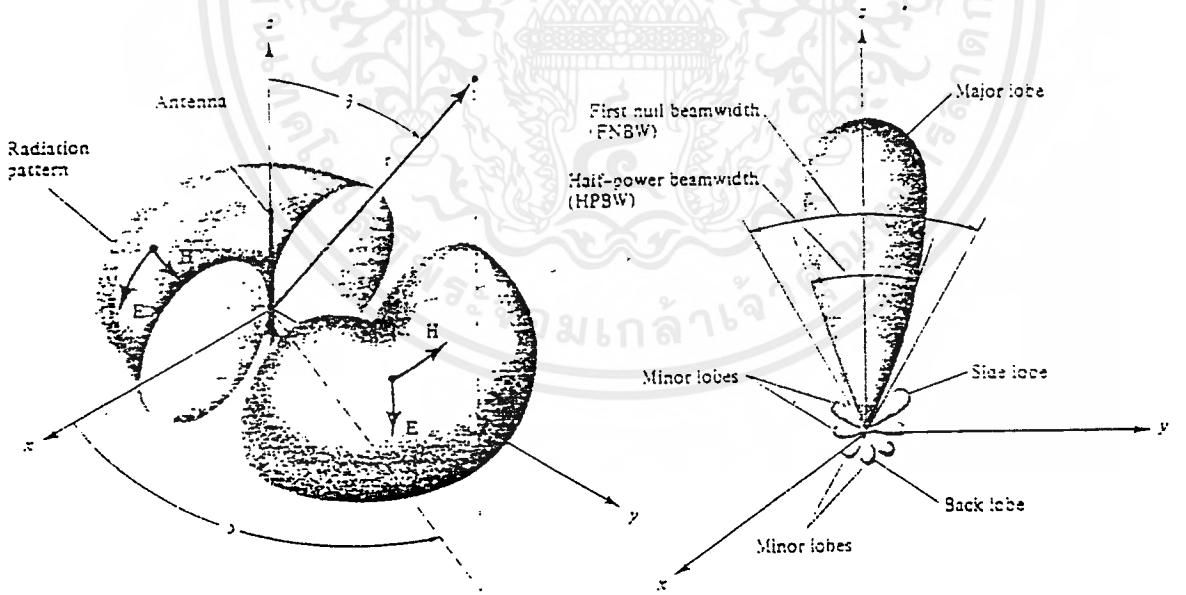
2.3 ทฤษฎีสายอากาศ

เราสามารถแบ่งชนิดของสายอากาศโดยใช้ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นเป็นเกณฑ์จะสามารถแบ่งได้ดังนี้

(1) สายอากาศแบบไอโซโทรปิค (Isotropic Antenna) เป็นสายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นได้ดีเท่ากันในทุกทิศทุกทาง เป็นสายอากาศในอุดมคติ ใช้เป็นพื้นฐานในการเปรียบเทียบอัตราขยาย (Gain) กับสายอากาศอื่น มีลักษณะเป็นตัวกำเนิดคลื่นแบบจุด (Point Source)

(2) สายอากาศแบบมีทิศทางในระนาบเดียว (Omnidirectional Antenna) เป็นสายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นในแนวมุมกวาด (Azimuth Plane) ได้ดีเท่ากันทุกทิศทุกทาง แต่มีการแพร่กระจายคลื่นในแนวมุมก้ม-เงย (Elevation Plane) ได้ดีในทิศทางใดทิศทางหนึ่งเท่านั้นดังรูปที่ 2.6 (1) ตัวอย่างสายอากาศแบบนี้ เช่น สายอากาศไดโพล เป็นต้น

(3) สายอากาศแบบมีทิศทาง (Directional Antenna) เป็นสายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นได้ดีเฉพาะในทิศทางใดทิศทางหนึ่งเท่านั้นทั้งในแนวมุมกวาดและในแนวมุมก้ม-เงย ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (2) สายอากาศแบบนี้ตัวอย่างเช่น สายอากาศแบบยากิ เป็นต้น



(1) (2)

รูปที่ 2.6 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ (1) แบบมีทิศทางในระนาบเดียว
(2) แบบมีทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในโครงงานนี้จะต้องใช้สายอากาศแบบมีทิศทางเดียว โดยได้เลือกใช้สายอากาศแบบยากิซึ่งเป็นสายอากาศที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย และเป็นสายอากาศที่มีทิศทางการรับคลื่นดีพอสมควร อิมพีแดนซ์ของสายอากาศอาจจะประกอบด้วยทั้งส่วนที่เป็นรีแอกทีฟ (Reactive) และส่วนที่เป็นรีซิสทีฟ (Resistive) โดยทั่วไปส่วนมากเราต้องการอิมพีแดนซ์ ที่มีเฉพาะส่วนที่เป็นรีซิสทีฟเท่านั้น (Z = R) แต่หายากในทางปฏิบัติ สายอากาศแบบไดโพลมีค่าอิมพีแดนซ์ ในสูญญากาศในทางทฤษฎีเป็น 73 โอห์ม ที่ความถี่รีโซแนนซ์ ถ้าความถี่ที่ป้อนให้กับไดโพลแปรค่าจากความถี่รีโซแนนซ์ ส่วนที่เป็นรีแอกทีฟจะปรากฏขึ้น เมื่อความถี่สูงกว่าความถี่รีโซแนนซ์มาก ๆ สายอากาศมีแนวโน้มที่จะประพฤติตัวเป็นอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (Inductive Reactance) และค่าอิมพีแดนซ์ คือ $Z = R + jX$ ในทำนองเดียวกัน เมื่อความถี่มีค่าน้อยกว่าความถี่รีโซแนนซ์ สายอากาศจะประพฤติตัวเป็นคาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์ (Capacitive Reactance) และค่าอิมพีแดนซ์คือ $Z = R - jX$ นอกจากนั้นที่ระยะซึ่งเข้าใกล้ผิวโลกส่วนที่เป็นรีซิสทีฟอาจจะมีค่าไม่เท่ากับ 73 โอห์ม แต่อาจจะแปรค่าจาก 30 ถึง 130 โอห์ม ถึงแม้ว่าจะใช้โคแอกเชียลเคเบิ้ลเป็นสายนำสัญญาณไปยังไดโพลก็มีโอกาสที่จะผิดพลาดได้วิธีที่ใช้กันมากในระบบวิทยุในการแมตชิ่งคอมเพล็กซ์โหลดอิมพีแดนซ์ (Complex Load Impedance) กับแหล่งจ่ายไฟแบบรีซิสทีฟคือแทรกวงจรแมตชิ่งระหว่างโหลดกับแหล่งจ่ายไฟดังรูปที่ 2.7 วงจรแมตชิ่งต้องมีอิมพีแดนซ์ที่เป็นคอมเพล็กซ์คอนจูเกต (Complex Conjugate) กับคอมเพล็กซ์โหลดอิมพีแดนซ์ ตัวอย่างเช่น ถ้าโหลดอิมพีแดนซ์ คือ $R + jX$ วงจรแมตชิ่งต้องมีอิมพีแดนซ์เป็น $R - jX$ ในทำนองเดียวกัน ถ้าโหลดคือ $R - jX$ วงจรแมตชิ่งต้องเป็น $R + jX$

รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของการแมตชิ่งอิมพีแดนซ์

2.4 สายอากาศยากิ (Yagi Antenna)

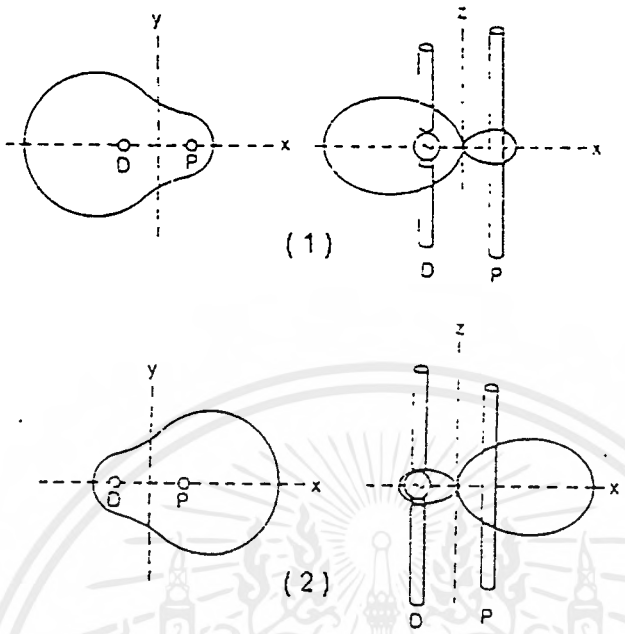
สายอากาศยากิเป็นสายอากาศแบบมีทิศทางอย่างหนึ่งที่ได้รับความนิยมใช้งานมานานตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่สองจนถึงปัจจุบัน ลักษณะโดยทั่วไปของสายอากาศยากิเป็นสายอากาศแบบพาราซิติกอาเรย์ (Parasitic Array) ซึ่งจะประกอบด้วย สายอากาศแบบไดโพลหลาย ๆ ตัววางเรียงกันอยู่ (Array) โดยจะมีสายอากาศไดโพลเพียงตัวเดียวเท่านั้นที่ถูกต่อกับแหล่งกำเนิดคลื่น เรียกว่า ตัวขับ (Driven Element) ส่วนสายอากาศไดโพลตัวอื่น ๆ ที่เหลือจะเป็นตัวพาราซิติก (Parasitic Element) คือ เป็นสายอากาศที่ไม่ได้ต่อเข้ากับสายนำแหล่งกำเนิดคลื่น แต่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นบนตัวมันได้ ซึ่งสายอากาศที่เป็นตัวพาราซิติกจะแบ่งได้เป็นสองแบบตามหน้าที่ดังนี้

(1) ตัวสะท้อน (Reflector) จะมีความยาวมากกว่าตัวขับประมาณ 5% ทำหน้าที่ลดความสามารถในการรับคลื่นที่เข้ามาทางด้านหลัง (Back lobe) ดังรูปที่ 2.8-(1) โดยทั่วไปตัวสะท้อนจะวางห่างจากตัวขับประมาณ 0.04λ สายอากาศแบบยากิมักจะมีตัวสะท้อนอยู่ตัวเดียว

(2) ตัวชี้ทิศทาง (Director) จะมีความยาวน้อยกว่าตัวขับประมาณ 5% ทำหน้าที่เพิ่มความสามารถในการรับคลื่นในทิศทางที่ต้องการ (Main lobe) ให้ดียิ่งขึ้น ดังรูปที่ 2.8-(2) สายอากาศแบบยากิอาจจะมีตัวชี้ทิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

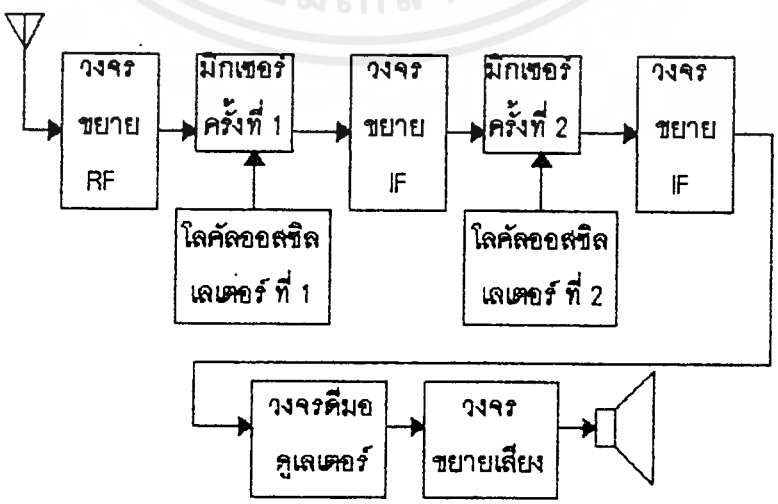
ทางได้หลายตัวตามความต้องการ ยิ่งมีตัวชี้ทิศทางหลายตัวก็จะทำให้คุณสมบัติในการรับคลื่นในทิศทางที่ต้องการดีขึ้น และอัตราขยายของสายอากาศก็จะเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 2.8 คุณสมบัติของตัวพาราซิติกในสายอากาศยากิ (1) ตัวสะท้อน (2) ตัวชี้ทิศทาง

2.5 ทฤษฎีวงจรเครื่องรับระบบเอฟเอ็ม (FM Receiver)

เครื่องรับที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นเครื่องรับเอฟเอ็มแบบดับเบิ้ลคอนเวอร์ชั่นซูเปอร์เฮตเทอโรไดน์(Double Conversion Superheterodyne) คำว่าซูเปอร์เฮตเทอโรไดน์ มาจากคำว่า ซูเปอร์โซนิกเฮตเทอโรไดน์ (Supersonic Heterodyne) หมายถึง ความถี่ที่ออกมาจากวงจรเฮตเทอโรไดน์นั้นมีความถี่สูงกว่าที่หูคนได้ยิน (Supersonic) ส่วนคำว่า ดับเบิ้ลคอนเวอร์ชั่น คือสัญญาณที่รับเข้ามาจะมีการแปลงความถี่สองครั้ง คือมีภาคมิกเซอร์ (Mixer) สองครั้ง ก่อนที่สัญญาณนั้นจะถูกดีมอดูเลท ดังรูปที่ 2.9

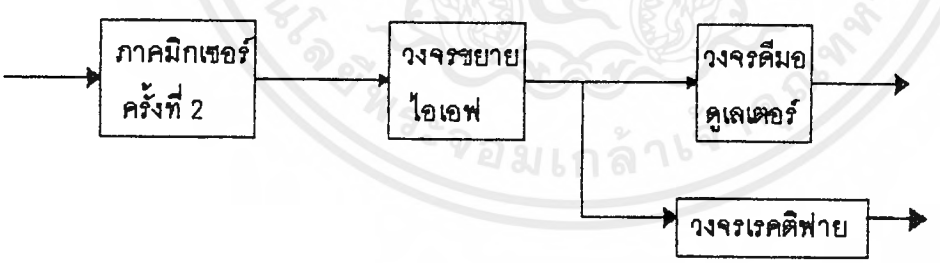


รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องรับระบบเอฟเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.10 สัญญาณที่รับเข้ามาผ่านทางสายอากาศจะมีระดับต่ำมากๆ เป็นไมโครโวลท์ จึงต้องมีการขยายให้มีระดับสัญญาณสูงขึ้นที่ภาคขยายความถี่วิทยุ (RF Amplifier) ต่อจากนั้นสัญญาณความถี่วิทยุที่ถูกขยายแล้วจะถูกส่งไปแปลงความถี่ที่ภาคมิกเซอร์ 2 ครั้งด้วยกัน โดยที่ภาคมิกเซอร์แรกความถี่วิทยุจะถูกแปลงให้มีความถี่ของคลื่นพาหะเป็น 10.7 MHz และที่ภาคมิกเซอร์ที่สองความถี่ 10.7 MHz จะถูกแปลงให้มีความถี่ของคลื่นพาหะเป็น 455 kHz ในที่สุด การแปลงความถี่ที่ภาคมิกเซอร์นั้นจะได้จากการผสมความถี่อินพุทของภาคมิกเซอร์กับความถี่ของโลคัลออสซิลเลเตอร์ ซึ่งที่เอาท์พุทของภาคมิกเซอร์จะได้ความถี่ออกมา 4 ค่า ได้แก่ (1) ความถี่ของสัญญาณอินพุท (2) ความถี่ของโลคัลออสซิเลเตอร์ (3) ความถี่ที่เป็นผลรวมระหว่างความถี่ของโลคัลออสซิเลเตอร์กับความถี่ของสัญญาณอินพุท และ (4) ความถี่ที่เป็นผลต่างระหว่างความถี่ของโลคัลออสซิเลเตอร์กับความถี่ของสัญญาณอินพุทซึ่งเรียกว่า ความถี่ไอเอฟ (Interme diate Frequency : IF) ซึ่งเป็นความถี่ที่ต้องการ ดังนั้นจะต้องมีวงจรจูนความถี่ไอเอฟ อยู่หลังภาคมิกเซอร์ทุกครั้งเพื่อเลือกเอาความถี่ไอเอฟเท่านั้นไปใช้ต่อ ความถี่ไอเอฟนี้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณเสียงโดยภาคดีมอดูเลเตอร์ และถูกขยายโดยภาคขยายเสียงจนสามารถส่งออกลำโพงได้ในที่สุด

สำหรับในโครงงานนี้เราต้องการตรวจวัดความแรงของสัญญาณที่รับเข้ามาซึ่งเป็นสัญญาณแบบเอฟเอ็ม ดังนั้นจะต้องวัดเอาจากความแรงของสัญญาณความถี่ไอเอฟ เพราะถ้าสัญญาณวิทยุเข้ามาแรงสัญญาณความถี่ไอเอฟก็จะแรงตาม ถ้าสัญญาณวิทยุเข้ามาเบา สัญญาณความถี่ไอเอฟก็จะเบาตามเช่นกัน แต่เนื่องจากสัญญาณความถี่ไอเอฟเป็นสัญญาณกระแสสลับ แต่ระดับความแรงที่เราจะนำไปแปลงเป็นข้อมูลดิจิตอลต้องเป็นไฟกระแสตรง ดังนั้นจะต้องนำสัญญาณความถี่ไอเอฟจากวงจรเครื่องรับมาผ่านภาคเรคติฟาย (Rectifier) เพื่อแปลงให้เป็นระดับไฟกระแสตรงอีกทีหนึ่ง ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงส่วนแปลงระดับสัญญาณที่รับเข้ามาให้เป็นระดับไฟตรง

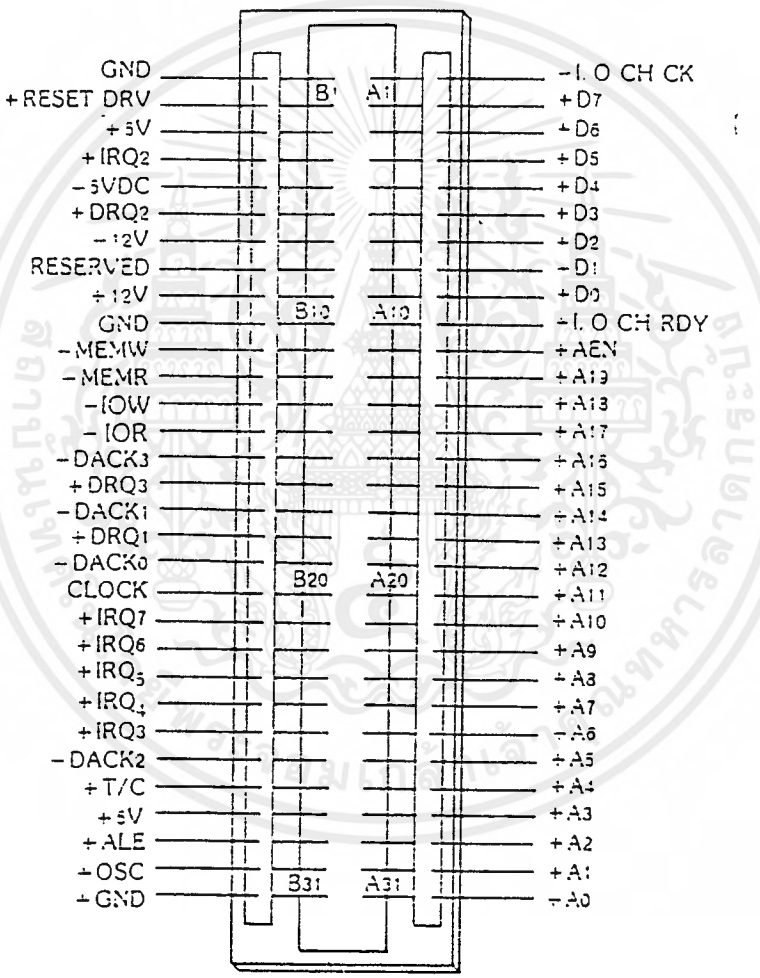
2.6 การอินเตอร์เฟสกับเครื่องคอมพิวเตอร์ตามมาตรฐานของไอบีเอ็ม (IBM PC Interfacing)

ในการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นตัวส่งสัญญาณออกไปควบคุมการทำงานของวงจรภายนอกหรือรับสัญญาณจากวงจรภายนอกเข้ามาประมวลผลนั้น ตามมาตรฐานของไอบีเอ็มได้ออกแบบให้มีช่องเสียบนำสัญญาณ (Slot) จำนวน 5 ช่องสำหรับให้วงจรภายนอกได้ติดต่อส่งผ่านสัญญาณกับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการสร้างวงจรอินเตอร์เฟสของวงจรภายนอกนั้นๆขึ้นมาบนการ์ดสำหรับเสียบเข้ากับช่องเสียบของเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องทำความรู้จักกับช่องเสียบนำสัญญาณของเครื่องคอมพิวเตอร์นี้เสียก่อน

ช่องเสียบนำสัญญาณของเครื่องคอมพิวเตอร์ตามมาตรฐานของไอบีเอ็มจะมีจำนวนขาทั้งสิ้น 62 ขา แบ่งออกเป็น 2 ข้างๆละ 31 ขา ส่วนการเรียกตำแหน่งขาของช่องเสียบนำสัญญาณเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับว่าขานั้นอยู่ข้างใด (ซ้าย หรือ ขวา) ของช่องเสียบนำสัญญาณ โดยขาที่อยู่ทางซ้ายของช่องเสียบนำสัญญาณจะเรียกโดยใช้อักษร B นำหน้าหมายเลขตำแหน่งของขา ส่วนขาที่อยู่ทางด้านขวาก็จะเรียกโดยใช้อักษร A นำหน้าหมายเลขตำแหน่งของขา ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การจัดเรียงขาบนช่องเสียบนำสัญญาณของเครื่องคอมพิวเตอร์

แต่ละขาของช่องเสียบนำสัญญาณเหล่านี้จะเชื่อมต่อกับสัญญาณต่างๆบนแผนบอร์ดทำให้การสร้างวงจรอินเตอร์เฟสกับเครื่องคอมพิวเตอร์ สามารถทำได้โดยสะดวก ซึ่งเส้นสัญญาณที่เชื่อมต่อกับขาของช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียบนำสัญญาณเหล่านี้จะประกอบด้วย เส้นสัญญาณของบัสแอดเดรส (Address Bus) บัสข้อมูล (Data Bus) บัสควบคุมสำหรับการเขียน/อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ หรือ พอร์ต I/O เส้นสัญญาณสำหรับขออินเตอร์รัพท์ของวงจรอินเตอร์เฟส เส้นสัญญาณสำหรับการขอ DMA สัญญาณฐานเวลา (Timing Signal) ต่างๆ ที่ใช้ในระบบ เส้นสัญญาณแสดงการรีเฟรชหน่วยความจำและสัญญาณสำหรับตรวจสอบความผิดพลาด (I/O CHCK)

นอกจากเส้นสัญญาณเหล่านี้แล้ว ช่องเสียบนำสัญญาณบนเมนบอร์ดยังต่อเชื่อมกับแหล่งจ่ายไฟต่างๆ ที่ใช้ในระบบอีกด้วย คือ +5 Vdc -5 Vdc +12 Vdc และ -12 Vdc

รายละเอียดเกี่ยวกับสัญญาณต่างๆ

OSC (Oscillator ; B30)

ขานี้เป็นเอาท์พุทที่เชื่อมต่อกับสัญญาณนาฬิกาที่มีค่าความถี่สูงสุดบนเมนบอร์ด คือ 14.31818 MHz ซึ่งมีคาบเวลาประมาณ 70 ns และมี Duty Cycle (ช่วงเวลาใน 1 คาบที่สัญญาณคล็อกมีลอจิกเป็น" 1" หารด้วยคาบเวลาทั้งหมด) ประมาณ 50%สัญญาณนาฬิกาอื่นๆ ของระบบ เช่น สัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้ 8088 หรือชิพซัพพอร์ตต่างๆนั้นจะถูกสร้างขึ้นโดยการหารสัญญาณนาฬิกานี้

CLK (Clock ; B20)

ขานี้เป็นสัญญาณเอาท์พุทซึ่งต่อกับสัญญาณนาฬิกาที่ถูกสร้างขึ้นโดยการหารสัญญาณ OSC ด้วย 3 ทำให้ได้ความถี่ประมาณ 4.77 MHz หรือมีช่วงเวลาใน 1 คาบเท่ากับ 210 ns สำหรับค่า Duty Cycle ของสัญญาณนี้จะมีค่าประมาณ 1/3 กล่าวคือใน 1 คาบจะมีช่วงเวลาที่เป็นลอจิก " 0 " เท่ากับ 2/3 ของคาบเวลาทั้งหมด (ประมาณ 140 ns)

RESET DRV (B2)

ขาสัญญาณนี้เป็นเอาท์พุท ซึ่งจะแอคทีฟ (เป็นลอจิก " 1") ในช่วงที่เราเริ่มจ่ายไฟให้กับระบบและจะยังคงแอคทีฟไปจนกว่าระบบต่างๆภายใน เครื่องคอมพิวเตอร์จะพร้อมที่จะทำงานได้ จากนั้นสัญญาณก็จะเปลี่ยนกลับไปเป็นลอจิก " 0 " นอกจากนี้ในระหว่างการทำงานของ เครื่องคอมพิวเตอร์ถ้าระดับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟตกลง สัญญาณนี้ก็จะถูกทำให้แอคทีฟเช่นกัน

A0-A19 (Address Bus ; A31-A12)

ขาสัญญาณทั้ง 20 ขานี้เป็นเอาท์พุท ซึ่งใช้สำหรับกำหนดแอดเดรสของหน่วยความจำหรืออุปกรณ์ I/O ที่ 8088 ต้องการติดต่อด้วย โดยที่สัญญาณ A0 จะมีนัยสำคัญต่ำสุด (Least Significant Bit ; LSB) และ A19 จะมีนัยสำคัญสูงสุด (Most Significant Bit ; MSB) สำหรับค่าแอดเดรสบนบัสแอดเดรส A0 - A19 นี้จะถูกกำหนดโดย 8088 ในระหว่างกระบวนการอ่าน/เขียนข้อมูลลงบนหน่วยความจำหรืออุปกรณ์ I/O แต่ในช่วงของกระบวนการ DMA นั้น DMA Controller จะเป็นผู้กำหนดค่าแอดเดรสบนบัสแอดเดรสเอง

สำหรับการอ้างแอดเดรสของพอร์ท I/O นั้น จะใช้เส้นแอดเดรสเพียง 16 เส้น คือ A0 - A15 ซึ่งจะทำให้อ้างแอดเดรสของพอร์ทได้ 64K พอร์ท โดยผ่านทางชุดคำสั่ง IN และ OUT อย่างไรก็ตามภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ นั้นจะใช้เส้นแอดเดรสของพอร์ทเพียง 10 เส้น คือจาก A0 - A9 และค่าแอดเดรสที่ใช้งานจะต้องอยู่ในช่วง 0200H - 03FFH เท่านั้น

เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D0-D7 (Data Bus ; A9-A2)

ขาสัญญาณนี้เป็นแบบสองทิศทาง (Bi-directional) ซึ่งต่อกับบัสข้อมูลของระบบ เพื่อทำหน้าที่ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างพอร์ท I/O กับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยที่บิท D0 จะมีนัยสำคัญต่ำสุดและบิท D7 มีนัยสำคัญสูงสุด

สำหรับในบัสไซเคิลของการเขียนข้อมูลที่สร้างขึ้นโดย 8088 นั้นข้อมูลจะถูกส่งออกมาบนบัสข้อมูลก่อนที่สัญญาณ IOW (ในกรณีที่ต้องการส่งข้อมูลให้กับพอร์ท) หรือ MEMW (ในกรณีที่ต้องการส่งข้อมูลให้กับหน่วยความจำ)จะเปลี่ยนจากลอจิก "0" ไปเป็นลอจิก "1" (ขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา) ซึ่งโดยทั่วไปขอบขาขึ้นของสัญญาณ IOW หรือ MEMW นี้จะถูกใช้เพื่อสั่งให้พอร์ท I/O หรือหน่วยความจำที่มีแอดเดรสตรงกับค่าแอดเดรสบนบัสแอดเดรสนั้น รับข้อมูลไปเก็บไว้

สำหรับในบัสไซเคิลของการอ่านข้อมูลที่สร้างขึ้นโดย 8088 นั้น พอร์ท I/O หรือหน่วยความจำที่ถูกอ้างถึงจะต้องส่งข้อมูลออกมาบนบัสข้อมูล ก่อนที่สัญญาณ IOR (ในกรณีที่ต้องการอ่านข้อมูลจากพอร์ท) หรือ MEMR (ในกรณีที่ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ) จะเปลี่ยนจากลอจิก " 0" ไปเป็นลอจิก " 1 " (ขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา)

ALE (Address Latch Enable ; B29)

ขาสัญญาณนี้เป็นสัญญาณเอาท์พุทที่ 8288 Bus Controller สร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับแสดงการเริ่มต้นของบัสไซเคิล และแสดงให้อุปกรณ์ภายนอกทราบว่าแอดเดรสที่ 8088 ต้องการจะติดต่อด้วยนั้นถูกส่งออกมาบนบัสแอดเดรสแล้ว โดยที่สัญญาณ ALE นี้จะเปลี่ยนจากลอจิก "1" เป็นลอจิก " 0" เมื่อค่าแอดเดรสที่ถูกต้องถูกส่งออกมาบนบัสข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นขอบขาลงของสัญญาณ ALE นี้จะถูกใช้ในการแลทช์ค่าแอดเดรสจากบัสแอดเดรส / ข้อมูล (Address/Data Bus ; AD0-AD7) ของ 8088 ทำให้สามารถแยกค่าแอดเดรส (A0-A19) และข้อมูล (D0-D7) ออกจากกันได้ อย่างไรก็ตามสัญญาณ ALE จะแอคทีฟเฉพาะบัสไซเคิลที่สร้างขึ้นโดย 8088 เท่านั้น โดยจะไม่แอคทีฟในระหว่างกระบวนการ DMA

I/O CHCK (I/O Channel Check ; A1)

ขาสัญญาณนี้เป็นอินพุทที่ใช้ในการแสดงความผิดพลาดเกี่ยวกับพาริตี้ ที่เกิดขึ้นในการทำงานของวงจรอินเตอร์เฟสหรืออุปกรณ์ I/O เมื่อขาสัญญาณนี้ได้รับลอจิก " 0" จะทำให้ 8088 ถูกอินเตอร์รัพท์แบบ Non-Maskable (NMI) อย่างไรก็ตามเราสามารถที่จะกำหนดให้วงจรภายในของเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำการขออินเตอร์รัพท์(เมื่อได้รับสัญญาณ I/O CHCK) หรือไม่ก็ได้ โดยการกำหนดลอจิกของบิทข้อมูลของพอร์ทที่ควบคุมการขออินเตอร์รัพท์แบบ NMI คือบิท D7 ของพอร์ท 00A0H ในกรณีที่บิท D7 ของพอร์ท 00A0H ถูกเซ็ตเป็น " 1 " ก็จะทำให้วงจรภายนอกขออินเตอร์รัพท์แบบ NMI ได้ (Enable) แต่ถ้าบิท D7 ของพอร์ท 00A0H ถูกเซ็ตเป็น" 0 " ก็จะเป็นการยกเลิก (Disable) การขออินเตอร์รัพท์แบบ NMI ดังนี้

Enable : ใช้คำสั่ง OUT ส่งข้อมูล 80H ไปยังพอร์ท 00A0H

Disable : ใช้คำสั่ง OUT ส่งข้อมูล 00H ไปยังพอร์ท 00A0H

และเนื่องจากยังมีอุปกรณ์อื่นที่สามารถขออินเตอร์รัพท์แบบ NMI ได้อีก ดังนั้นซอฟท์แวร์ที่ใช้งานจะต้องสามารถตรวจสอบได้ว่าการขออินเตอร์รัพท์นั้นเกิดขึ้นจากแหล่งใดได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I/O CHRDY (I/O Channel Ready ; A10)

ขานี้เป็นอินพุทที่ใช้เพิ่มช่วงเวลาในบัสไซเคิลในกรณีที่อุปกรณ์ I/O หรือหน่วยความจำที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการในบัสไซเคิลที่เกิดขึ้นนั้นไม่สามารถทำงานทันตามช่วงเวลาปกติของบัสไซเคิลนั้นๆได้ (ช่วงเวลาของบัสไซเคิลที่เกี่ยวกับหน่วยความจำใช้ช่วงเวลาเท่ากับช่วงเวลาของสัญญาณนาฬิกา 4 ลูกหรือ 840 ns ในขณะที่บัสไซเคิลที่เกี่ยวกับ I/O จะใช้ช่วงเวลาเท่ากับสัญญาณนาฬิกา 5 ลูก หรือ 1050 ns)

IRQ2-IRQ7 (Interrupt Request 2 Through 7 ; B4 และ B25-B21)

ขาสัญญาณทั้ง 6 นี้เป็นขาอินพุทใช้สำหรับการขออินเตอร์รัพท์จาก 8088 โดยสัญญาณเหล่านี้จะต่อเข้ากับ 8259A บนเมนบอร์ดโดยตรง โปรแกรมในส่วน BIOS ของ เครื่องคอมพิวเตอร์ จะทำการโปรแกรม 8259A ให้ IRQ2 มีลำดับความสำคัญสูงสุด (Highest Priority) และ IRQ7 มีลำดับความสำคัญต่ำสุด (Lowest Priority) ในกรณีที่มีการขออินเตอร์รัพท์เกิดขึ้น คือระดับลอจิกที่ขา IRQ ขาใดขาหนึ่ง ถูกเปลี่ยนจากลอจิก ' 0 ' ไปเป็นลอจิก ' 1 ' (ขอบขาขึ้นของสัญญาณ) 8259A ก็จะทำการส่งสัญญาณ INT ให้กับ 8088 เพื่อขออินเตอร์รัพท์

IOR (I/O Read ; B14)

ขาสัญญาณนี้เป็นเอาท์พุทแอคทีฟที่ลอจิก ' 0 ' ที่สร้างขึ้นโดย 8288 Bus Controller เพื่อใช้ในการแสดงว่าบัสไซเคิลที่เกิดขึ้นนี้เป็นบัสไซเคิลของการอ่านข้อมูลจากพอร์ท I/O เพื่อให้พอร์ท I/O ที่มีแอดเดรสตรงกับแอดเดรสบนบัสแอดเดรสส่งข้อมูลออกมาบนบัสข้อมูล โดยข้อมูลจะต้องถูกส่งออกมาบนบัสข้อมูลก่อนขอบขาขึ้นของสัญญาณ IOR ประมาณ 30 ns เพื่อให้มั่นใจได้ว่า 8088 สามารถรับข้อมูลได้ถูกต้อง

IOW (I/O Write ; B13)

ขาสัญญาณนี้เป็นเอาท์พุทแอคทีฟที่ลอจิก' 0 ' ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดย 8288 Bus Controller เพื่อใช้แสดงว่าบัสไซเคิลที่เกิดขึ้นนี้เป็นบัสไซเคิลของการเขียนข้อมูลลงบนพอร์ท I/ O เพื่อให้พอร์ท I/ O ที่มีแอดเดรสตรงกับแอดเดรสบนบัสแอดเดรสนั้นรับข้อมูลที่อยู่บนบัสข้อมูลไปเก็บไว้

MEMW (Memory Write ; B11)

ขานี้เป็นเอาท์พุทแอคทีฟที่ลอจิก ' 0 ' ซึ่ง 8288 Bus Controller สร้างขึ้นในระหว่างบัสไซเคิลในการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำของ 8088 สัญญาณ MEMW นี้จะถูกส่งออกมาเพื่อให้หน่วยความจำที่แอดเดรสตรงกับค่าแอดเดรสบนบัสแอดเดรสนั้น ทำการรับข้อมูลที่อยู่บนบัสข้อมูลไปเก็บไว้ โดยทั่วไปหน่วยความจำจะรับข้อมูลในช่วงขอบขาขึ้นของสัญญาณ MEMW

MEMR (Memory Read ; B12)

ขานี้เป็นเอาท์พุทจาก 8288 ซึ่งสัญญาณนี้จะแอคทีฟ (ลอจิก ' 0 ') ในระหว่างบัสไซเคิลของการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ 8088 เพื่อให้หน่วยความจำที่มีแอดเดรสตรงกับค่าแอดเดรสบนบัสแอดเดรสนั้นทำการส่งข้อมูลออกมาบนบัสข้อมูล โดยหน่วยความจำนั้นจะต้องส่งข้อมูลออกมาในช่วงเวลา 30 ns ก่อนที่สัญญาณ MEMW จะกลับเป็นลอจิก ' 1 ' ทั้งนี้ก็เพื่อให้ 8088 ได้รับข้อมูลที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DRQ1-DRQ3 (DMA Request 1-3 ; B18,B6 และ B16)

ขาสัญญาณทั้งสามนี้เป็นสัญญาณอินพุทแอคทีฟที่ลอจิก ' 1 ' ซึ่งอุปกรณ์ภายนอกสามารถใช้ในการขอ DMA จากระบบ โดยการป้อนระดับสัญญาณลอจิก ' 1 ' ให้กับขา DRQ ขาใดขาหนึ่ง (ขา DRQ ทั้งสามนี้จะต่อเข้ากับ DRQ1-DRQ3 ของ 8237A-5)

DACK0-DACK3 (DMA Acknowledge 0-3 ; B19,B17,B26 และ B15)

สัญญาณทั้ง 4 นี้เป็นเอาท์พุทแอคทีฟที่ลอจิก ' 0 ' ซึ่ง 8237A-5 สร้างขึ้นเพื่อแสดงให้วงจรภายนอกที่ขอ DMA ทราบว่าการขอ DMA นั้นได้รับการตอบสนองแล้ว และ 8237A-5 จะเข้าสู่กระบวนการ DMA เพื่อให้การส่งผ่านข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ I/O ที่ขอ DMA กับหน่วยความจำเกิดขึ้นได้โดยตรง (คือไม่ต้องผ่าน 8088) โดยสัญญาณ DACK นี้จะแอคทีฟในแซนเนลใดก็ขึ้นอยู่กับว่ากระบวนการ DMA ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นการตอบสนองการ DMA ในแซนเนลใด

AEN (Address Enable ; A11)

สัญญาณนี้เป็นเอาท์พุทที่ใช้ในการแสดงว่าบัสไซเคิลที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สัญญาณ AEN แอคทีฟ (ลอจิก ' 1 ') นั้น เป็นบัสไซเคิลของกระบวนการ DMA

สำหรับบนเมนบอร์ดของเครื่องคอมพิวเตอร์ จะใช้สัญญาณนี้ในการยกเลิก (Disable) 8288 Bus Controller และจะใช้ยกเลิกพอร์ท I/O ต่างๆที่ไม่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ DMA ที่จำเป็นต้องทำเช่นนี้ก็เพราะในระหว่างกระบวนการ DMA นั้น 8237A-5 จะส่งค่าแอดเดรสของหน่วยความจำออกมาบนบัสแอดเดรส และจะทำให้สัญญาณ IOR หรือ IOW แอคทีฟด้วย ดังนั้นถ้าไม่ทำการยกเลิกพอร์ท I/ O ที่ไม่เกี่ยวข้องไว้ ก็อาจจะทำให้พอร์ท I/O ที่มีแอดเดรสตรงกับค่าแอดเดรสบนบัสแอดเดรสนั้น ทำการอ่านหรือส่งข้อมูลออกมาบนบัสข้อมูล ทำให้เกิดความผิดพลาดได้

T/C (Terminal Count ; B27)

สัญญาณถูกสร้างขึ้นจากการนำเอาสัญญาณเอาท์พุทที่ขา EOP ของ 8237A-5 มากลับลอจิก (โดยใช้เกท Inverter) ทำให้สัญญาณ T/ C นี้แอคทีฟที่ลอจิก ' 1 '

บัสของแหล่งจ่ายไฟของระบบ

+5 Vdc (B3 และ B28)

ขาทั้งสองนี้ต่อกับแหล่งจ่ายไฟ DC +5V ของระบบ โดยจะมีค่าความผิดพลาด (Regulated) ไม่เกิน 5% คือจะอยู่ในช่วง +4.75 ถึง +5.25 Vdc

+12 Vdc (B9)

ขานี้จะต่อกับแหล่งจ่ายไฟ DC +12V ของระบบ โดยจะมีค่าความผิดพลาด (Regulated) ไม่เกิน 5% คือจะอยู่ในช่วง +11.4 ถึง +12.6 Vdc

-5 Vdc (B5)

ขานี้จะต่อกับแหล่งจ่ายไฟ DC -5V ของระบบ โดยจะมีค่าความผิดพลาด (Regulated) ไม่เกิน 10% คือจะอยู่ในช่วง -5.5 ถึง -4.5 Vdc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-12 Vdc (B7)

ขานี้จะต่อกับแหล่งจ่ายไฟ DC -12V ของระบบ โดยจะมีค่าความผิดพลาด (Regulated) ไม่เกิน 10% คือจะอยู่ในช่วง -13.2 ถึง -10.8 Vdc

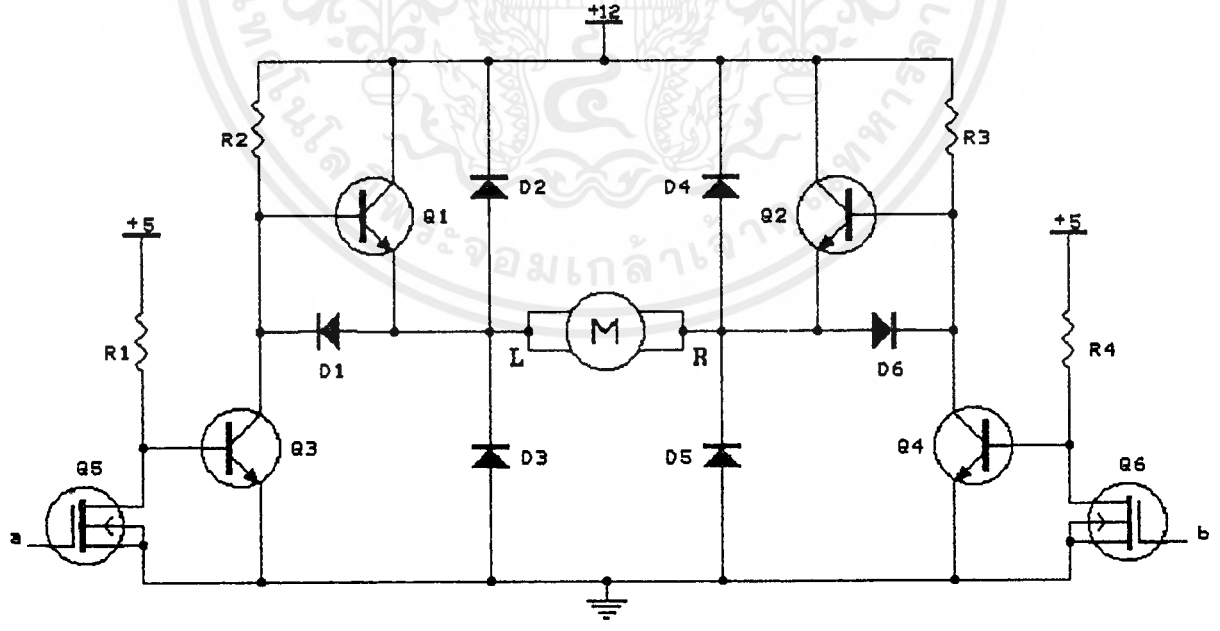
GND (B1,B10 และ B31)

ขาทั้งสามนี้จะต่อเข้ากับกราวนด์ (Ground) ของระบบ

2.7 หลักการทำงานของส่วนขับเคลื่อนสายอากาศ

ในโครงงานนี้สายอากาศจะต้องหมุนไปรอบๆตัวเพื่อรับคลื่นจากทุกๆทิศทาง ดังนั้นจะต้องใช้มอเตอร์มาช่วยในการหมุนสายอากาศ สำหรับในโครงงานนี้เราเลือกใช้มอเตอร์กระแสตรงในการขับสายอากาศให้หมุน เนื่องจากสายอากาศที่ใช้มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักพอสมควร ดังนั้นมอเตอร์ที่จะนำมาขับสายอากาศให้หมุนจะต้องมีแรงบิด (Torque) สูง ซึ่งสเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่มีแรงบิดสูงนั้นหายากและมีราคาแพงมาก แต่มอเตอร์กระแสตรงอาจจะมีปัญหาในเรื่องของแรงเฉื่อยของการหมุนขณะหยุดซึ่งจะทำให้แกนหมุนบิดไปอีกเล็กน้อยขณะหยุด ดังนั้นเราจะต้องเลือกใช้มอเตอร์กระแสตรงที่แรงบิดสูงมากๆ เพื่อขจัดปัญหาแรงเฉื่อยขณะหยุดออกไป

วงจรที่ใช้ขับมอเตอร์กระแสตรงในโครงงานนี้เป็นวงจรแบบ H-bridge เนื่องจากมีการตอบสนองในการสวิทช์ได้รวดเร็วกว่าใช้รีเลย์มาก และสามารถขับมอเตอร์ได้สองทิศทาง ลักษณะของวงจร H-bridge จะประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 4 ตัวต่อกันอยู่ในลักษณะวงจรบริดจ์ และมีอุปกรณ์อื่นๆต่อร่วมด้วยดังรูปที่ 2.12

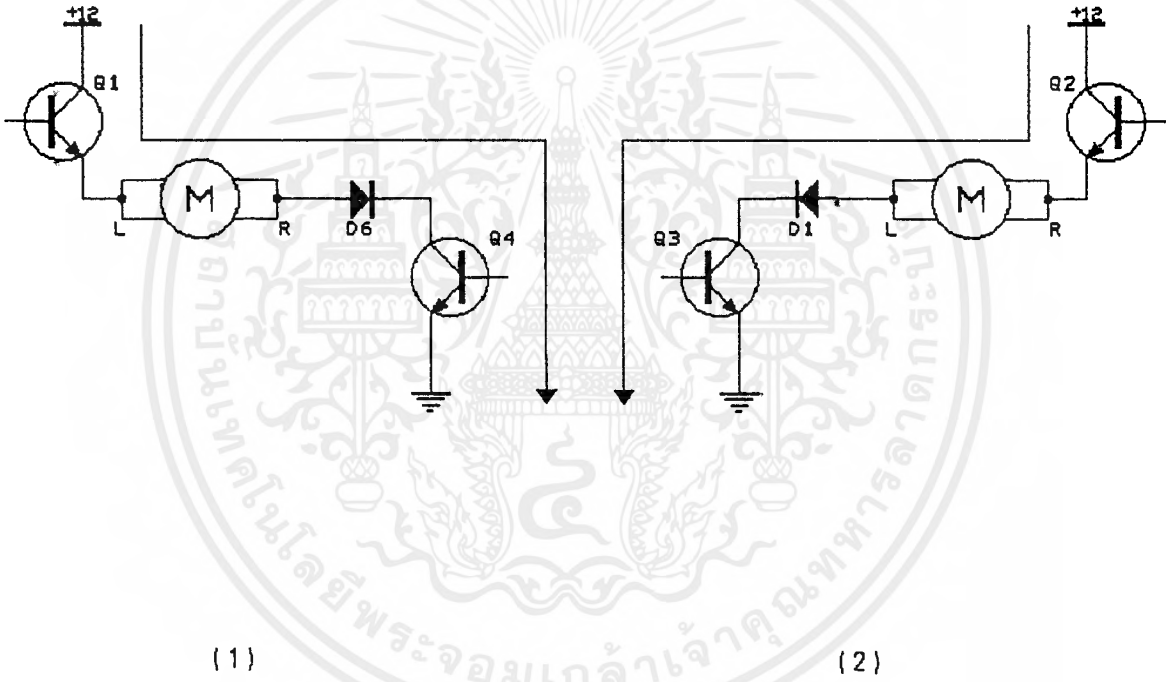


รูปที่ 2.12 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง แบบ H-bridge

ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวทำงานในโหมดสวิทชิ่ง คือมีสองสถานะได้แก่ คัทออฟ กับ อิ่มตัว วงจรนี้สามารถหมุนมอเตอร์ได้สองทิศทาง ซึ่งมอสเฟต Q5 และ Q6 จะทำหน้าที่ในการเลือกทิศทางการหมุนโดยเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวหนึ่งนำกระแสอีกตัวจะต้องไม่นำกระแส จากรูปเมื่อมอสเฟต Q5 ถูกทำให้นำกระแส กระแสที่ไหลผ่าน R1 จะไหลผ่าน Q5 ลงกราวนด์ไปเลย จึงไม่มีกระแสไปไบอัสขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q3 ดังนั้นทรานซิสเตอร์ Q3 จะไม่นำกระแส กระแสที่ไหลผ่าน R2 จึงไหลเข้าไปไบอัสขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 นำกระแส ในขณะเดียวกันมอสเฟต Q6 จะต้องไม่นำกระแสซึ่งจะทำให้กระแสที่ไหลผ่าน R4 ไหลเข้าไปไบอัสขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q4 ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q4 นำกระแส ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่าน R3 จะไหลผ่าน Q4 ลงกราวน์ทำให้ไม่มีกระแสไหลเข้าไปไบอัสขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q2 ดังนั้นทรานซิสเตอร์ Q2 จะไม่นำกระแส ในกรณีนี้จะมีทิศทางการไหลของกระแสจากขั้ว L ไปยังขั้ว R ของมอเตอร์ดังรูปที่ 2.13-(1) และเมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนในทิศตรงข้ามก็ต้องทำให้มอสเฟต Q6 นำกระแสและมอสเฟต Q5 ไม่นำกระแส ทิศทางการไหลของกระแสก็จะเป็นดังรูปที่ 2.13-(2)



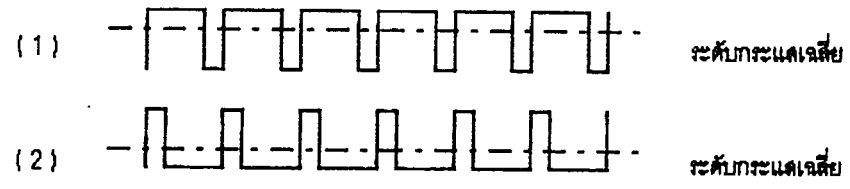
(1) (2)

รูปที่ 2.13 ทิศทางการไหลของกระแสในวงจรขับมอเตอร์
(1) ไหลจากขั้ว L ไปขั้ว R (2) ไหลจากขั้ว R ไปขั้ว L

สำหรับกระแสที่ขับมอเตอร์นั้นเราป้อนเป็นแบบพัลส์วิดธ์ (pulse width) เพื่อให้สามารถปรับความเร็วในการหมุนของสายอากาศให้ได้ตามความเหมาะสมที่สุด และการจ่ายกระแสเป็นแบบพัลส์วิดธ์นี้ยังช่วยทำให้ทรานซิสเตอร์ในวงจรบริดจ์ไม่พังเร็วอีกด้วย ถ้าเราต้องการให้มอเตอร์หมุนเร็วก็จ่ายกระแสเป็นพัลส์ที่กว้างหรือมีดิวตี้ไซเคิล (duty cycle) มาก ถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนช้าลงก็จ่ายกระแสเป็นพัลส์ที่แคบลง หรือมีดิวตี้ไซเคิ้ลน้อยดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.14 ลักษณะของกระแสที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ (1) พัลส์กว้าง (2) พัลส์แคบ

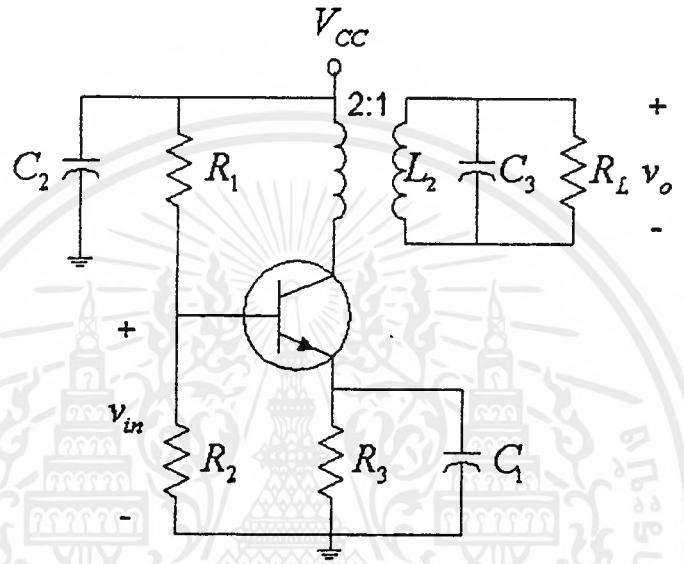
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

27882

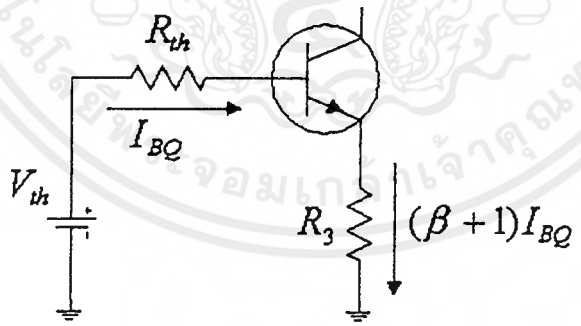
บทที่ 3
การสร้างและการคำนวณ

3.1 วงจรภาครับ

วงจรส่วนแรกสุดคือภาคขยายความถี่วิทยุหรือฟรอนท์เอนด์ใช้ทรานซิสเตอร์ความถี่สูงเบอร์ 2SC3358 จัดวงจรไบแอสทำงานในคลาสเอ ค่า R1,R2,R3 เป็นตัวกำหนดจุดไบแอสในการทำงานของวงจรขยาย วงจรฟรอนเอนด์แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วงจรฟรอนท์เอนด์



รูปที่ 3.2 วงจรเสมือนของวงจรฟรอนท์เอนด์เมื่อวิเคราะห์แบบไฟตรง

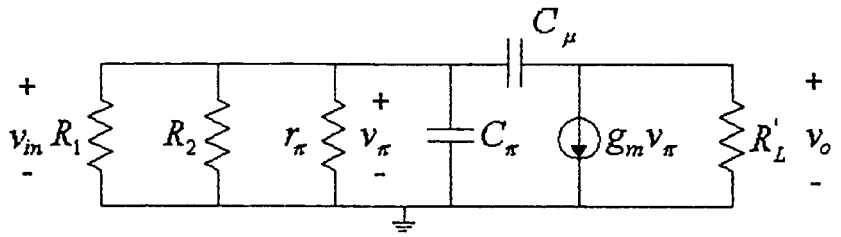
วิเคราะห์วงจรฟรอนท์เอนด์แบบไฟตรงจากรูปที่ 3.2 ได้ดังนี้

$$V_{th} = I_{BQ}R_{th} + V_{BE} + (\beta+1)I_{BQ}R_3$$

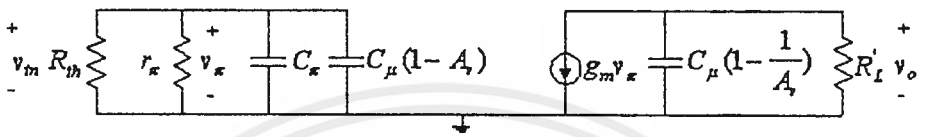
$$\therefore\ I_{BQ} = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (\beta+1)R_3} \qquad (3.1)$$

โดยที่ $V_{th} = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2}$ และ $R_{th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจรเสมือนของวงจรฟรอนท์เอนด์เมื่อวิเคราะห์แบบไฟสลับ



รูปที่ 3.4 วงจรเสมือนของวงจรรูปที่ 3.3 เมื่อใช้ทฤษฎีของมิลเลอร์

เมื่อวิเคราะห์วงจรฟรอนท์เอนด์แบบไฟสลับจะได้ดังรูปที่ 3.3 และเมื่อใช้ทฤษฎีของมิลเลอร์ช่วยจะได้ดังรูปที่ 3.4 สามารถหาค่าอัตราขยายแรงดัน (A_v) และความถี่คัทออฟ (f_c) ได้ดังนี้

$$A_v = \frac{v_o}{v_{in}} = \frac{-g_m v_\pi}{\left[\ \frac{1}{R_L'} + sC_\mu(1-\frac{1}{A_v})\ \right] v_{in}} \qquad (3.2)$$

โดยที่ $v_{in} = v_\pi$ และ $\frac{1}{R_L'} >> sC_\mu(1-\frac{1}{A_v})$

$$\therefore A_v = -g_m R_L' \qquad (3.3)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_{in} C_{in}} \qquad (3.4)$$

โดยที่ $R_{in} = R_{th} // r_\pi = \frac{R_{th} r_\pi}{R_{th} + r_\pi}$

และ $C_{in} = C_\pi + C_\mu(1-A_v) = \left(\ \frac{g_m}{2\pi f_T} - C_\mu\ \right) + C_\mu(1-A_v) = \frac{g_m}{2\pi f_T} - C_\mu A_v$

ถ้ากำหนดให้อัตราขยายแรงดันเท่ากับ 100 และความถี่คัทออฟเท่ากับ 150 MHz จะสามารถหาค่าของ R1,R2,R3 ได้ดังนี้

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_v = -100$$

$$R_L' = a^2 R_L = 2^2 \times 690 = 2760\Omega$$

โดยที่ a คือ turn ratio ของขดลวด และ R_L คือ Z_{in} ของไอซีเบอร์ MC3362

$$g_m = -\frac{A_v}{R_L'} = \frac{100}{2760} = 0.036$$

$$f_c = 150MHz = \frac{1}{2\pi R_{in} C_{in}}$$

จะได้ $R_{in} C_{in} = 10^{-9}$

$$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} = \frac{\beta I_{BQ}}{V_T} \qquad (3.5)$$

จะได้ $I_{BQ} = \frac{g_m V_T}{\beta} = \frac{0.036 \times 26 \times 10^{-3}}{100} = 9.36 \times 10^{-6} A = 9.36\mu A$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 100 \times 9.36 = 936\mu A$$

$$V_{cQ} = V_{cc} - I_{cQ} R_3 \qquad (3.6)$$

$$\therefore R_3 = \frac{V_{cc} - V_{cQ}}{I_{cQ}} = \frac{5 - 2.5}{936 \times 10^{-6}} = 2670\Omega$$

$$C_{in} = \frac{g_m}{2\pi f_T} - C_\mu A_v = \frac{0.036}{2\pi \times 7000 \times 10^6} - (0.1 \times 10^{-12})(-100) = 10.8pF$$

$$R_{in} = \frac{10^{-9}}{C_{in}} = \frac{10^{-9}}{10.8 \times 10^{-12}} = 92.6\Omega$$

$$r_\pi = \frac{V_T}{I_{BQ}} = \frac{26 \times 10^{-3}}{9.36 \times 10^{-6}} = 2800\Omega$$

$$R_{th} = \frac{r_\pi R_{in}}{r_\pi - R_{in}} = \frac{2800 \times 92.6}{2800 - 92.6} = 95.8\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (3.1) $I_{BQ} = \dfrac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (\beta + 1)R_3}$

$$I_{BQ}\left[R_{th} + (\beta + 1)R_3\right] + V_{BE} = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2}$$

$$R_1\left\{I_{BQ}\left[R_{th} + (\beta + 1)R_3\right] + V_{BE}\right\} + R_2\left\{I_{BQ}\left[R_{th} + (\beta + 1)R_3\right] + V_{BE}\right\} = R_2 V_{CC}$$

$$\therefore R_1 = \frac{R_2\left\{V_{CC} - I_{BQ}\left[R_{th} + (\beta + 1)R_3\right] + V_{BE}\right\}}{I_{BQ}\left[R_{th} + (\beta + 1)R_3\right] + V_{BE}} \qquad (3.7)$$

$$I_{BQ}\left[R_{th} + (\beta + 1)R_3\right] + V_{BE} = 9.36 \times 10^{-6}\left[95.8 + (100 + 1)(2670)\right] + 0.7 = 2.525 + 0.7 = 3.225$$

$$\therefore R_1 = \frac{R_2(5 - 3.225)}{3.225} = 0.55R_2$$

$$R_{th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{0.55R_2^2}{0.55R_2 + R_2} = \frac{0.55}{1.55}R_2 = 95.8$$

$$\therefore R_2 = 95.8 \times \frac{1.55}{0.55} = 270\Omega$$

และ $$R_1 = 0.55 \times 270 = 148.5\Omega \approx 150\Omega$$

L2 และ C3 ทำหน้าที่เป็นส่วนจูนความถี่เพื่อให้ขยายสัญญาณเฉพาะความถี่ที่ต้องการคือ 145 MHz อย่างเดียว ซึ่งค่า L2 และ C3 สามารถคำนวณได้จาก

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_3}} \qquad (3.8)$$

กำหนดให้ค่า L2 = 0.15μH

จะได้ $C_3 = \dfrac{1}{4\pi^2 f^2 L_2} = \dfrac{1}{4\pi^2 (145 \times 10^6)^2 (0.15 \times 10^{-6})} = 8.03pF$

การสร้างตัว L จะต้องใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาที่เป็นฉนวนมาพันเป็นขด โดยสามารถคำนวณหาจำนวนรอบในการพันเพื่อให้ได้ค่า L ตามต้องการจากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n = \sqrt{\frac{L(9a + 10b)}{a^2}} \qquad (3.9)$$

a คือ รัศมีของแกน มีหน่วยเป็นนิ้ว กำหนดให้เท่ากับ 0.15625 นิ้ว

b คือ ความยาวของการพันขดลวด มีหน่วยเป็นนิ้ว กำหนดให้เท่ากับ 0.125 นิ้ว

$$\text{จะได้} \quad n = \sqrt{\frac{0.15[9(0.15625) + 10(0.125)]}{(0.15625)^2}} = 4 \text{ รอบ}$$

วงจรตั้งแต่ภาคมิกเซอร์เป็นต้นไปจะใช้ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ MC3362 ซึ่งเป็นไอซีที่ออกแบบมาให้ใช้งานเป็นเครื่องรับเอฟเอ็มโดยเฉพาะ ภายในไอซีมีภาคมิกเซอร์สองภาคเป็นระบบดูอัลคอนเวอร์ชันและมีภาคโลคัลออสซิลเลเตอร์สองภาคด้วย รวมทั้งมีภาคดีเท็กสัญญาณเสียงพร้อมอยู่แล้ว

ไอซีเบอร์นี้ใช้งานสะดวกโดยใช้อุปกรณ์ภายนอกต่อร่วมด้วยเพียงไม่กี่ตัวก็ทำงานได้ ภาคโลคัลออสซิลเลเตอร์ภาคแรกเป็นแบบวีซีโอออกแบบให้ต่อวงจร LC รีโซแนนซ์ภายนอก เพื่อเป็นตัวกำหนดความถี่ของโลคัลออสซิลเลเตอร์ ซึ่งในที่นี้ต้องการความถี่ของโลคัลออสซิลเลเตอร์ภาคแรกประมาณ 155.7 MHz เพื่อให้มิกซ์กับสัญญาณอินพุทความถี่ 145 MHz แล้วได้สัญญาณไอเอฟ 10.7 MHz แต่ความถี่ของโลคัลออสซิลเลเตอร์สามารถปรับให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้อีกโดยใช้ VR1 เป็นตัวปรับความถี่ โดยการปรับแรงดันที่จ่ายให้ภาคกำเนิดความถี่ควบคุมแรงดัน (Voltage Control Oscillator) ภายในตัวไอซี เมื่อทำการมิกซ์ครั้งที่ 1 จะได้เป็นความถี่ 10.7 MHz ออกมาที่ขา 20 แล้วผ่านตัวกรองความถี่โดยใช้เซรามิกฟิลเตอร์ CFU1 ขนาด 10.7 MHz ป้อนกลับเข้าไปในไอซีทางขา 18 และ 19 เพื่อมิกซ์ครั้งที่ 2

วงจรโลคัลออสซิลเลเตอร์ชุดที่ 2 ใช้คริสตอลความถี่ 10.245 MHz เป็นตัวกำเนิดความถี่เข้าที่ขา 3 และขา 4 เพื่อมิกซ์กับความถี่ 10.7 MHz เหลือเป็นความถี่ 455 kHz ออกมาที่ขา 5 ผ่านเซรามิกฟิลเตอร์ 455 kHz กลับมาที่ขา 7 เพื่อป้อนให้ภาคลิมิตเตอร์และภาคดีเท็กเตอร์ต่อไป

ตัวต้านทานปรับค่า VR2 ต่ออยู่ที่ขา 10 อันเป็นจุดตรวจสอบระดับสัญญาณทำหน้าที่เป็นตัวปรับสเควลช์ คือ ให้ตัดเอาท์พุทหากตรวจไม่พบคลื่นพาหะ โดยจะมีภาคตรวจจับคลื่นพาห์จากขา 10 ไปขา 11 ภายในไอซี ซึ่งจะให้เอาท์พุทไปควบคุมภาคขยายเสียงต่อไป

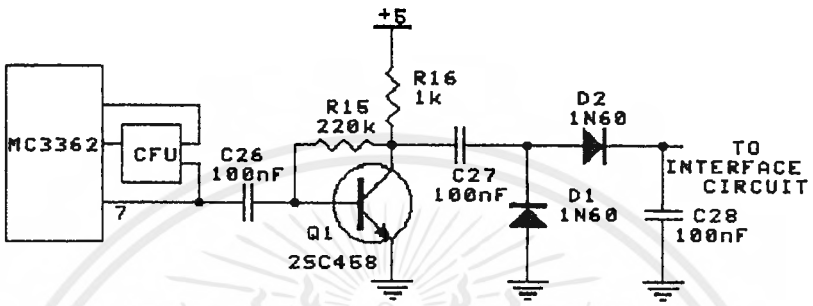
การดีเท็กระบบเอฟเอ็มของ MC 3362 เป็นแบบควอดราเจอร์ดีเท็กเตอร์ มีขดลวด L4 เป็นดิสคริมมิเนเตอร์ ความถี่ 455 kHz ซึ่งใช้หม้อแปลง IF ของวิทยุเอเอ็มธรรมดาที่มีแกนปรับสีดำ เอาท์พุทที่เป็นสัญญาณความถี่เสียงที่ได้ออกมาที่ขา 13 ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ อันประกอบด้วย R13 , R14 , C10 และ C11

สัญญาณความถี่เสียงจากวงจรกรองความถี่ถูกส่งต่อไปให้ IC3 เบอร์ LM386N ทำการขยายกำลังเพื่อขับออกลำโพง ตัวต้านทานปรับค่า VR3 เป็นตัวปรับระดับความดังของสัญญาณเสียง ส่วนที่ขา 1 ของ IC3 จะต่ออยู่กับทรานซิสเตอร์ Q2 ซึ่งจะถูกควบคุมจากวงจรตรวจจับคลื่นพาหะอีกทีหนึ่ง ทำหน้าที่เป็นวงจรสเควลช์ โดยจะควบคุมให้ IC3 ทำงานเฉพาะเมื่อมีการตรวจจับคลื่นพาหะได้เท่านั้น (ขา 1 ของ LM386N ต่อลงกราวด์ ภาคขยายจะไม่ทำงาน) เพื่อเป็นการตัดเสียงช่วงเวลาที่ไม่ได้รับสัญญาณใด ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

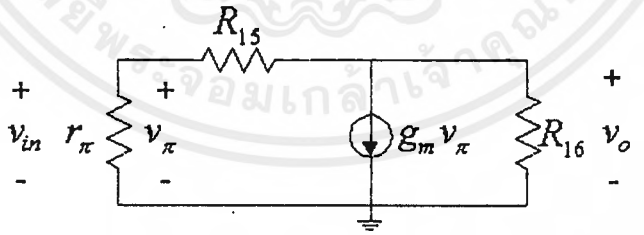
3.2 วงจรแปลงความแรงของสัญญาณไอเอฟให้เป็นระดับแรงดันไฟตรง

ในโครงงานนี้จะอาศัยวัดความแรงของสัญญาณไอเอฟความถี่ 455 kHz ที่ผ่านเซรามิกฟิลเตอร์มาแล้ว ก่อนเข้าที่ขา 7 ของไอซี MC 3362 นั่นเอง ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรแปลงความแรงของสัญญาณไอเอฟให้เป็นระดับแรงดันไฟตรง

จากรูปที่ 3.5 สัญญาณไอเอฟ 455 kHz จะนำมาขยาย โดยใช้วงจรขยายแบบป้อนกลับจากคอลเลกเตอร์ วงจรเสมือนเมื่อวิเคราะห์แบบไฟสลับแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรเสมือนของวงจรรูปที่ 3.5 เมื่อวิเคราะห์แบบไฟสลับ

ใช้การวิเคราะห์วงจรคล้ายกับวงจรฟรอนท์เอนด์ จะได้

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_{15} + (\beta + 1) R_{16}} = \frac{5 - 0.7}{220k + (215 + 1)1k} \approx 0.01mA \qquad (3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (3.5) $$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} = \frac{\beta I_{BQ}}{V_T} = \frac{215 \times 0.01mA}{26mV} = 0.0827$$

$$\frac{v_o - v_{in}}{R_{15}} + g_m v_\pi + \frac{v_o}{R_{16}} = 0$$

โดยที่ $v_{in} = v_\pi$

$$\therefore A_v = \frac{v_o}{v_{in}} = \frac{(1 - g_m R_{15}) R_{16}}{R_{15} + R_{16}} \qquad (3.11)$$

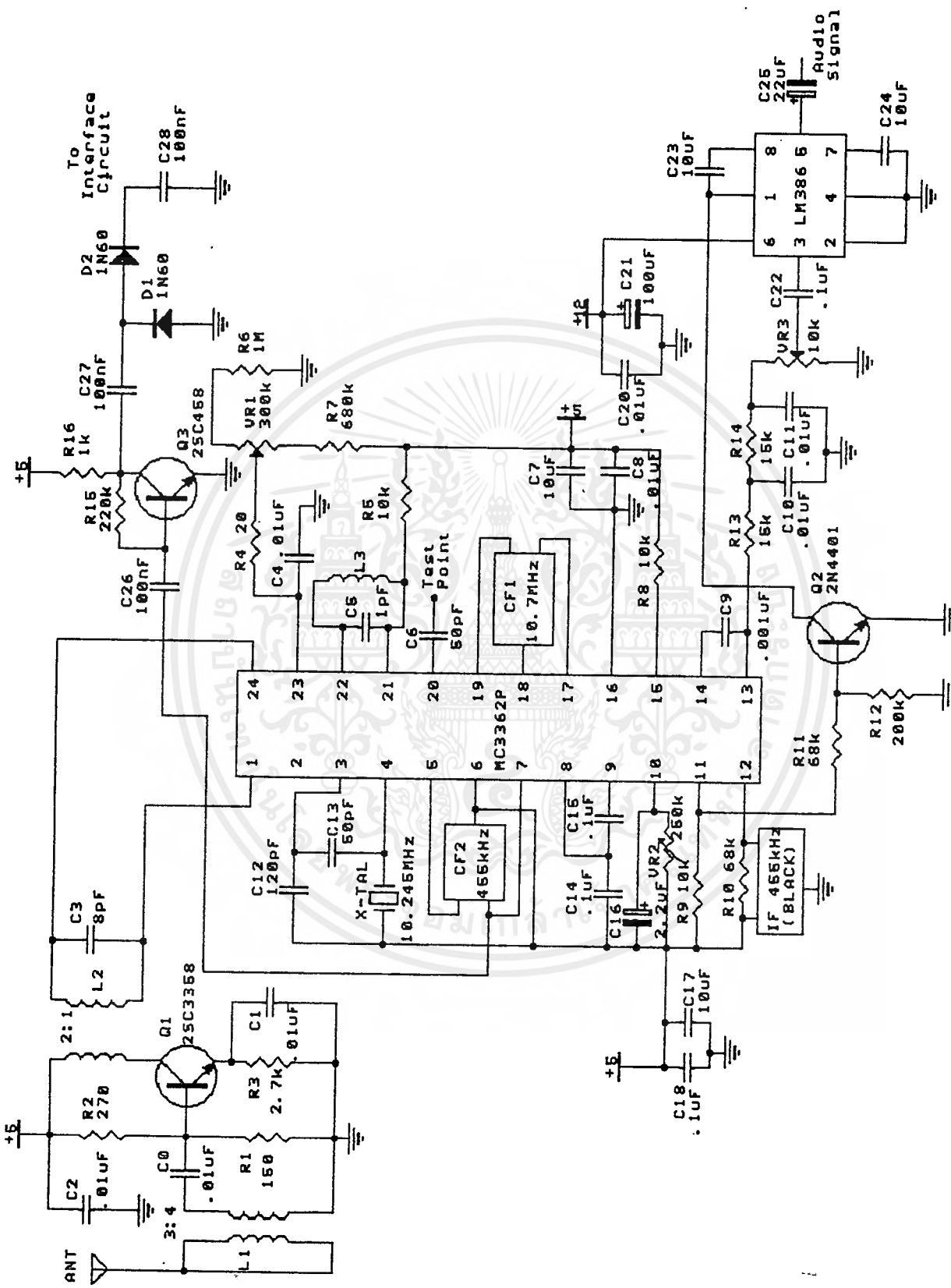
แทนค่าแล้วจะได้ $$A_v = \frac{(1 - 0.0827 \times 220k)1k}{220k + 1k} = -82.3$$

จากนั้นจะถูกเรคติฟายโดยไดโอด D1 และ D2 คือเมื่อไซเคิลบวกเข้ามาสัญญาณจะผ่านไดโอด D2 ไปได้ และจะถูก C28 ชาร์จเอาไว้ เมื่อไซเคิลลบเข้ามาสัญญาณจะถูกช็อตลงกราวด์โดยไดโอด D1 ซึ่งช่วงนี้ C28 จะค่อย ๆ ดิสชาร์จออกมาทำให้ได้เป็นไฟตรง เพื่อส่งไปแปลงเป็นข้อมูลดิจิตอลโดยวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอลที่ส่วนอินเตอร์เฟสต่อไป วงจรที่สมบูรณ์ของเครื่องรับแสดงดังรูปที่ 3.7

3.3 สายอากาศยากิแบบ ZL สเปเชียล

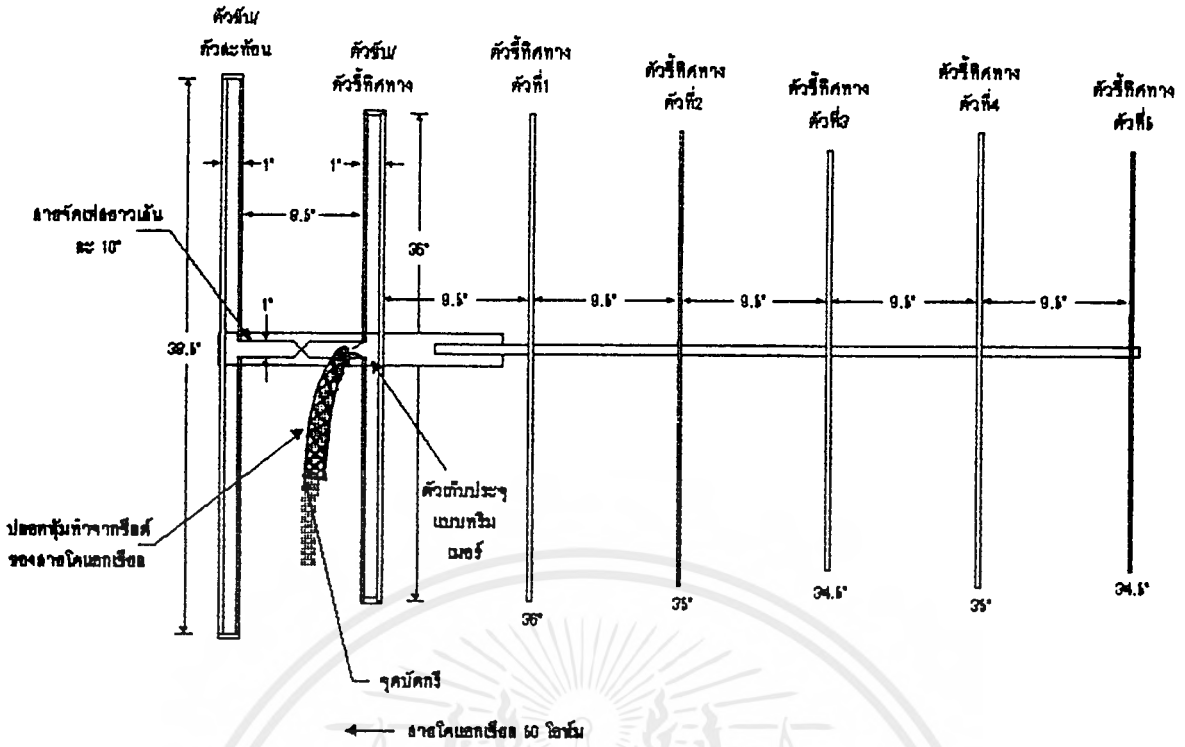
สายอากาศที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นสายอากาศยากิแบบ ZL สเปเชียล ลักษณะจะประกอบด้วยสายอากาศแบบโฟลเดดไดโพล (Folded Dipole) สองตัวที่มีความยาวไม่เท่ากัน ตัวหนึ่งยาว $\lambda/2$ อีกตัวหนึ่งสั้นกว่าเล็กน้อย วางห่างกันประมาณ $\lambda/8$ และป้อนสัญญาณให้ไดโพลทั้งสองตัวมีเฟสต่างกัน 135 องศา การที่สายอากาศโฟลเดดไดโพลมีความยาวไม่เท่ากัน และถูกป้อนสัญญาณโดยตรงทั้งคู่ ทำให้ไดโพลตัวยาวทำหน้าที่เป็นทั้งตัวขับ (Driven Element) และตัวสะท้อน (Reflector) ส่วนตัวที่สั้นกว่าก็ทำหน้าที่เป็นทั้งตัวขับและตัวชี้ทิศทาง (Director) ลักษณะการจัดเช่นนี้ทำให้ได้การแพร่กระจายคลื่นที่มีอัตราขยายสูงสุดพุ่งไปทางด้านไดโพลตัวที่สั้นกว่า สายอากาศแบบ ZL สเปเชียลจะให้อัตราขยายสูงกว่าสายอากาศยากิธรรมดาที่ใช้ตัวขับและตัวสะท้อนมาก การใช้โครงสร้างเป็นโฟลเดดไดโพลช่วยให้แถบความถี่ใช้งานกว้าง และไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ (เช่น SWR อัตราขยาย ความถี่กลาง) ไปมากนักเมื่ออยู่ใกล้วัตถุอื่น เช่น กำแพงหรือวัตถุที่เป็นโลหะ นอกจากนี้ยังช่วยให้อิมพีแดนซ์ที่จุดต่อสายมีค่าสูงประมาณ 70 โอห์ม จึงสามารถต่อเข้ากับสายนำสัญญาณ 50 โอห์มหรือ 75 โอห์มได้โดยตรงโดยที่ค่า SWR ไม่สูงนัก ดังแสดงในรูปที่ 2.9 เราสามารถเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศแบบ ZL สเปเชียลให้สูงขึ้นได้โดยเพิ่มอีลีเมนต์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวชี้ทิศทางเข้าไปทางด้านหน้า แต่ไม่ต้องเพิ่มอีลีเมนต์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนเข้าไปอีก เพราะโฟลเดดไดโพลตัวที่ยาวกว่าทำหน้าที่นี้อยู่แล้ว แบบสร้างของสายอากาศที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในโครงงานนี้เป็นดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 วงจรที่สมบูรณ์ของเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

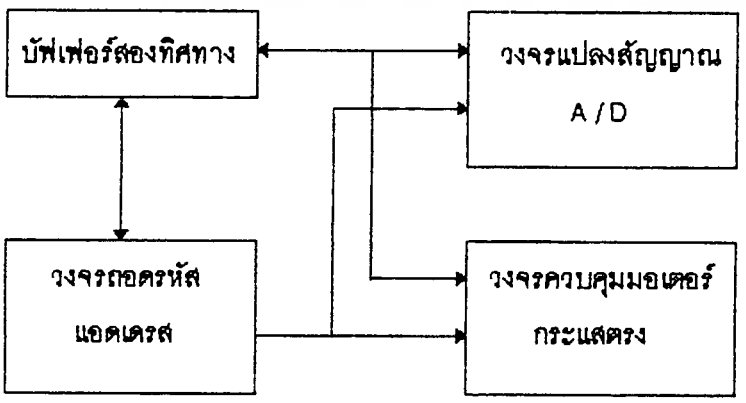


รูปที่ 3.8 แบบสร้างของสายอากาศยากิแบบ ZL สเปเชียล

จากรูปที่ 3.8 อีลีเมนท์แต่ละตัวจะใช้ลวดอลูมิเนียมกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/16 นิ้ว ตัดให้มีความยาวตามรูป ที่จุดต่อสายโคแอกเชียลกับอีลีเมนท์ที่เป็นตัวขับจะมีตัวเก็บประจุต่อคร่อมอยู่เพื่อทำหน้าที่ปรับค่า SWR บริเวณต้นสายโคแอกเชียลจะมีปลอกหุ้มสายโคแอกเชียลอีกทีเพื่อทำหน้าที่เป็นบาลันแบบบาซูก้า เพื่อป้องกันไม่ให้มีการแพร่กระจายคลื่นจากซีลด์ของสายโคแอกเชียล ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องจากการต่อสายนำสัญญาณแบบไม่สมดุล (Unbalance) เข้ากับสายอากาศแบบสมดุล (Balance)

3.4 วงจรอินเตอร์เฟส

การทำงานของวงจรอินเตอร์เฟสระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกต่างๆ แบ่งการทำงานเป็น 4 ส่วน ตามบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมของวงจรอินเตอร์เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 วงจรถอดรหัสแอดเดรส มีส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ

1) ไอซี 74LS138 (3 To 8 Line Decoder) จะใช้สัญญาณ A0 - A2 จากสล็อตของ IBM PC ต่อเข้ากับขาเลือก (select) A , B และ C ตามลำดับ เมื่อขา อีนาเบิลทั้งหมดแอคทีฟ (E1 ต่อกราวนด์เป็น " LOW " , E3 ต่อไฟเลี้ยงเป็น " HIGH " และ E2 ได้มาจากเอาท์พุทของไอซี 74LS688 เป็น " LOW ") จะสามารถถอดรหัสแอดเดรสที่ต่างกันได้ 8 เลขหมาย ทำให้เลือกอุปกรณ์ภายนอกที่จะติดต่อได้ตามต้องการ 8 อุปกรณ์ ในที่นี้เรามีอุปกรณ์ภายนอกที่ต้องการติดต่ออยู่ 3 อุปกรณ์ จึงกำหนดเอาท์พุทของวงจรให้กับอุปกรณ์ต่างๆดังนี้

- Y0 ติดต่อกับ วงจรแปลงสัญญาณ A / D ที่รับสัญญาณจากเครื่องรับวิทยุทางซ้าย (0200H)
- Y1 ติดต่อกับ วงจรแปลงสัญญาณ A / D ที่รับสัญญาณจากเครื่องรับวิทยุทางขวา (0201H)
- Y2 ติดต่อกับ วงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง (0202H)

2) ดิพสวิทช์ (SW - DIP8) จะใช้สำหรับตั้งค่าแอดเดรสเริ่มต้นที่จะใช้อ้างอิงถึงอุปกรณ์ภายนอกแต่ละตัว โดยที่สถานะของดิพสวิทช์แต่ละบิท จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณ A3 - A9 ที่ไอซี 74LS688 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ใช้ในการอ้างถึงอุปกรณ์ภายนอกตามที่ IBM PC กำหนดที่เหลืออีก 7 บิท(เนื่องจาก A0 - A2 ถูกใช้เป็นอินพุทของไอซี 74LS138 ไปแล้ว) ดังนั้นบิทที่ 8 ของดิพสวิทช์จะตั้งให้เป็น " ON " ไว้ก่อน และเนื่องจาก IBM PC กำหนดแอดเดรสสำหรับอ้างอิงถึงอุปกรณ์ภายนอกอยู่ระหว่างแอดเดรส 0200H ถึง 03FFH นั้น ซึ่งเท่ากับใช้ A0 (LSB) - A9 (MSB) เป็นตัวกำหนด (10 0000 0000 ถึง 11 1111 1111) นั่นคือ A9 จะต้องเป็น "1" เสมอดังนั้นเราต้องให้ขา 7 ของดิพสวิตช์ " ON " ด้วย ส่วนขา 1 - 6 ของดิพสวิตช์ถ้าให้เป็น " OFF " หมด ก็จะได้แอดเดรสอ้างอิงที่เริ่มต้นด้วย 0200H ตามต้องการ (10 0000 0000) แต่ถ้าเราต้องการให้แอดเดรสเริ่มต้นเป็น 0300H ก็เพียงแต่ทำให้บิท 6 ของดิพสวิทช์เป็น "1" เท่านั้น (11 0000 0000)

3) ไอซี 74LS688 (8 Bit Equal To Comparator With OC) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณดิจิตอล 8 บิท แบบบิทต่อบิท ระหว่างสัญญาณที่ขา Q0 - Q7 (ได้มาจากค่าที่กำหนดไว้ที่ดิพสวิตช์) กับสัญญาณที่เข้ามาที่ขา P0 - P7 (P0 - P6 มาจาก A3 - A9 ส่วน P7 ได้มาจากเอาท์พุทของ NAND GATE ระหว่างสัญญาณ IOR และ IOW) ถ้าขา 1 (IORD) มีสถานะเป็น " LOW " และ ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบปรากฏว่าเท่ากันจะได้เอาท์พุทของวงจรเป็น " LOW " ออกมาที่ขา 19 ซึ่งสัญญาณนี้จะไปกระตุ้นขาอีนาเบิลของ ไอซี 74LS138 และไอซี 74LS245 ให้แอคทีฟด้วย

3.4.2 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล

ประกอบด้วยไอซี ADC0804 2 ตัวโดยที่ตัวหนึ่งจะรับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจากวงจรเครื่องรับวิทยุทางซ้ายอีกตัวหนึ่งก็จะรับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจากวงจรเครื่องรับวิทยุทางขวา (วงจรเครื่องรับวิทยุ , วงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรงที่ใช้ในการหมุนของสายอากาศและสายอากาศ จะมีอย่างละ 2 ชุด)

การกระตุ้นให้วงจรนี้เริ่มทำการแปลงสัญญาณ ทำได้โดยการให้สัญญาณที่ขา CS และ WR แอคทีฟมีสถานะเป็น " LOW " โดยต่อขา CS ลงกราวนด์ ส่วนสัญญาณที่จะมากระตุ้นขา WR นั้นได้มาจากเอาท์พุทของโมดูลตัดแสงซึ่งเป็นตัวนับองศาของการหมุนสายอากาศ เมื่อสายอากาศหมุนไปทุกๆ 1 องศา จะมีพัลส์มากระตุ้นขา WR (อาจจะเป็นทางซ้ายหรือทางขวา) ให้แอคทีฟมีสถานะเป็น " LOW " เวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณ (conversion time) ของไอซี ADC0804 นี้จะมีค่าประมาณ 100 ไมโครวินาที นั่นคือ เมื่อเวลาตั้งแต่เริ่มแปลงสัญญาณผ่านไป 100 ไมโครวินาที จะมีสัญญาณสถานะ " LOW " ออกมาที่ขา INTR ส่งออกไปให้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องคอมพิวเตอร์รับรู้ว่าสิ้นสุดการแปลงข้อมูลแล้ว (End Of Conversion : EOC) เพื่อที่ว่าเครื่องคอมพิวเตอร์จะได้ไปทำโปรแกรมสำหรับอ่านข้อมูลที่แปลงได้ต่อไป

การอ่านข้อมูลจากไอซี ADC0804 ออกมายังบัสข้อมูล ทำได้โดยการทำให้สัญญาณที่ขา CS และ RD มีสถานะเป็น " LOW " ซึ่งขา CS จะต่อกับกราวนด์อยู่แล้ว ส่วนสัญญาณที่จะมากระตุ้นขา RD นั้นได้มาจากเอาท์พุทของไอซี 74LS138 เพื่อเป็นการเลือกว่าจะติดต่อกับวงจรแปลงสัญญาณตัวใด ถ้า Y0 มีสถานะเป็น " LOW " วงจรแปลงสัญญาณทางซ้ายก็จะแอคทีฟ และ ถ้า Y1 มีสถานะเป็น " LOW " วงจรแปลงสัญญาณทางขวาก็จะแอคทีฟ ซึ่งทั้งสองวงจรนี้จะไม่แอคทีฟพร้อมกัน สัญญาณที่ได้จากการแปลงแล้วนั้นจะถูกอ่านจากขา DB0 - DB7 ออกมาบนบัสข้อมูล ซึ่งการอ่านข้อมูลนี้จะทำเมื่อขา INTR มีสถานะเป็น " LOW " แล้ว

3.4.3 วงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง (DC motor)

วงจรนี้ใช้ไอซี 74LS374 (Octal D Type Flip-Flop 3 State) ซึ่งต่อขา 1 (output enable) กับกราวนด์เพื่อให้ แอคทีฟที่สถานะ " LOW " เมื่อมีอินพุทที่เป็นคำสั่งจากเครื่องคอมพิวเตอร์บนบัสข้อมูลมาเข้าทางขา D0 - D3 จะได้เอาท์พุทออกไปควบคุมมอเตอร์ทางขา Q0 - Q3 ก็ต่อเมื่อมีสัญญาณสถานะ " HIGH " มากระตุ้นที่ขา CLK (ใช้ ไอซี 74LS00 เป็น Inverter แปลงสัญญาณสถานะ " LOW " จากไอซี 74LS138 ให้มีสถานะเป็น " HIGH ") ในช่วงขอบขาขึ้นของสัญญาณคล็อก เมื่อสัญญาณอินพุทที่เข้าขา D เป็น " HIGH " จะได้เอาท์พุทที่ออกจากขา Q เป็น " HIGH " ด้วย ในทางตรงกันข้าม ถ้าอินพุทที่เข้าขา D เป็น " LOW " เอาท์พุทที่ออกจากขา Q ก็จะเป็น " LOW " ด้วย เอาท์พุทที่มีสถานะเป็น " HIGH " จะควบคุมการทำงานของมอเตอร์ได้ดังนี้

- Q0 ควบคุมให้ มอเตอร์ทางซ้ายหมุนตามเข็มนาฬิกา (Forward)
- Q1 ควบคุมให้ มอเตอร์ทางซ้ายหมุนทวนเข็มนาฬิกา (Backward)
- Q2 ควบคุมให้ มอเตอร์ทางขวาหมุนตามเข็มนาฬิกา (Forward)
- Q3 ควบคุมให้ มอเตอร์ทางขวาหมุนทวนเข็มนาฬิกา (Backward)

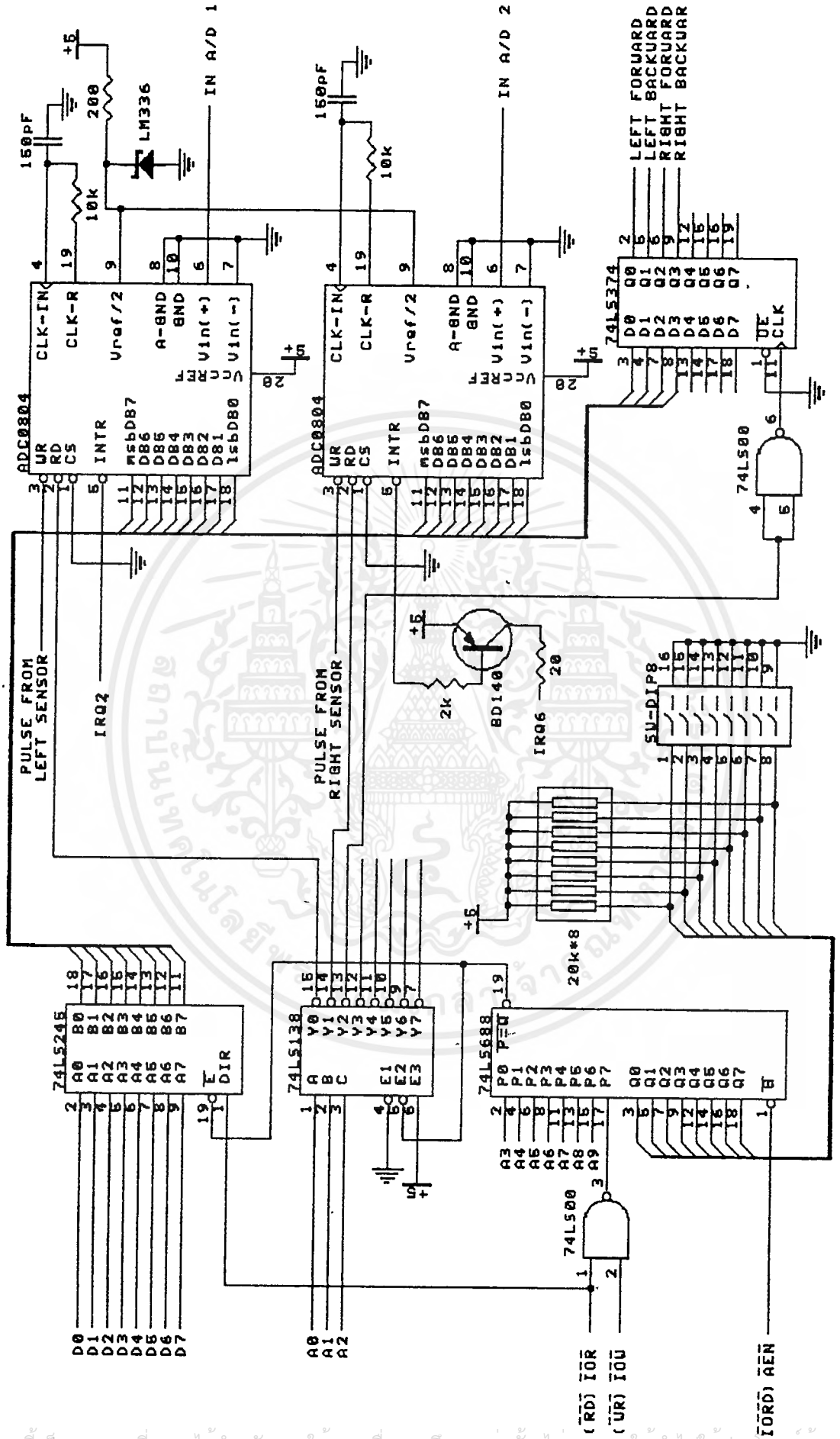
3.4.4 บัฟเฟอร์สองทิศทาง

วงจรนี้ใช้ไอซี 74LS245 (Octal 3 State Bus Transceiver) ขา B0 - B7 ต่อกับบัสข้อมูลที่ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ส่วนขา A0 - A7 ต่อกับด้านเครื่องคอมพิวเตอร์ การกำหนดทิศทางการถ่ายโอนข้อมูลสามารถทำได้ด้วยสัญญาณลอจิกที่ขา DIR คือ ถ้ามีลอจิกเป็น " 0 " จะเป็นการอ่านข้อมูลจากบัสข้อมูลเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ ถ้ามีลอจิกเป็น " 1 " จะเป็นการส่งคำสั่งจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไป ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกต่างๆ ซึ่งการถ่ายโอนข้อมูลจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อขาอีนาเบิลแอคทีฟเท่านั้น (ได้รับสัญญาณสถานะ "LOW " จากไอซี 74LS688) ส่วนการที่จะติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกตัวใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับว่าวงจรถอดรหัสจะได้แอดเดรสของอุปกรณ์ตัวใดออกมา วงจรอินเตอร์เฟสที่สมบูรณ์แสดงดังรูปที่ 3.10

3.5 วงจรขับมอเตอร์สำหรับหมุนสายอากาศ

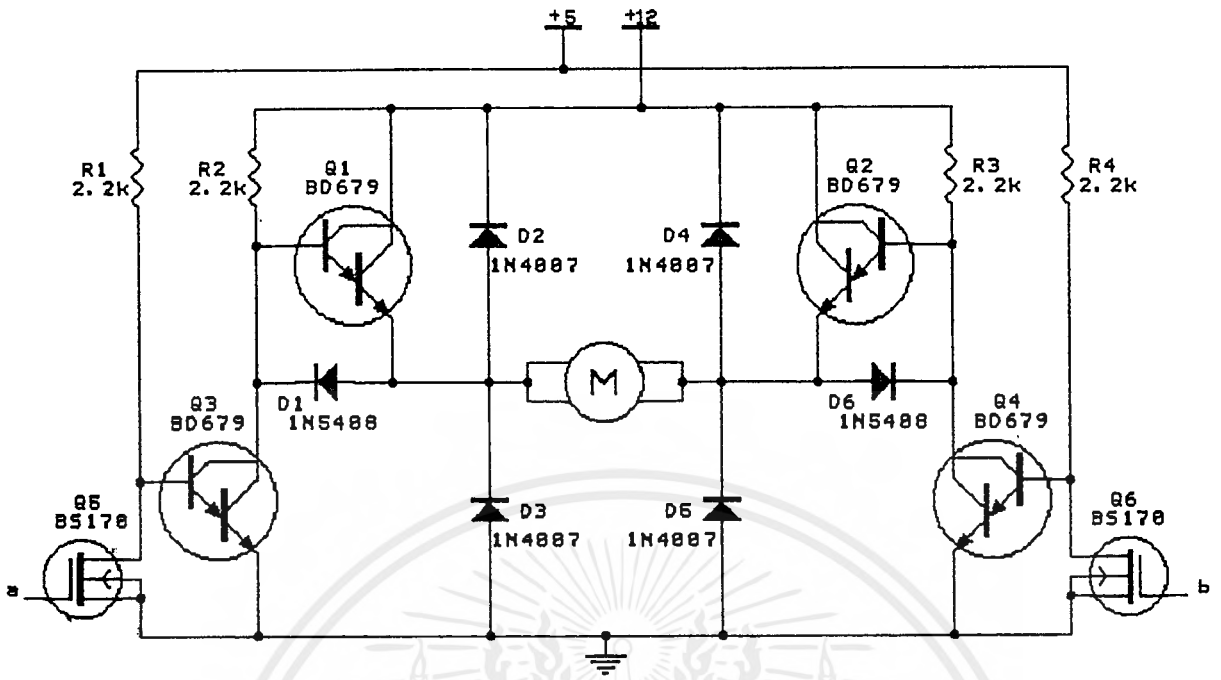
วงจรขับมอเตอร์แบบ H-bridge สำหรับขับมอเตอร์หนึ่งตัวจะประกอบด้วยทรานซิสเตอร์กำลังเบอร์ BD679 ทั้งหมด 4 ตัวต่อกันในลักษณะบริดจ์ และมีมอสเฟตเบอร์ BS170 จำนวน 2 ตัวต่ออยู่กับวงจรบริดจ์ดังรูปที่ 3.11 เพื่อเป็นตัวเลือกทิศทางการหมุนของมอเตอร์ นอกจากนี้ยังมีไดโอดเบอร์ 1N4007 จำนวน 4 ตัว และไดโอดเบอร์ 1N5408 อีก 2 ตัวต่ออยู่ในวงจรบริดจ์ด้วยเพื่อป้องกันการไหลของกระแสในทิศทางที่ไม่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



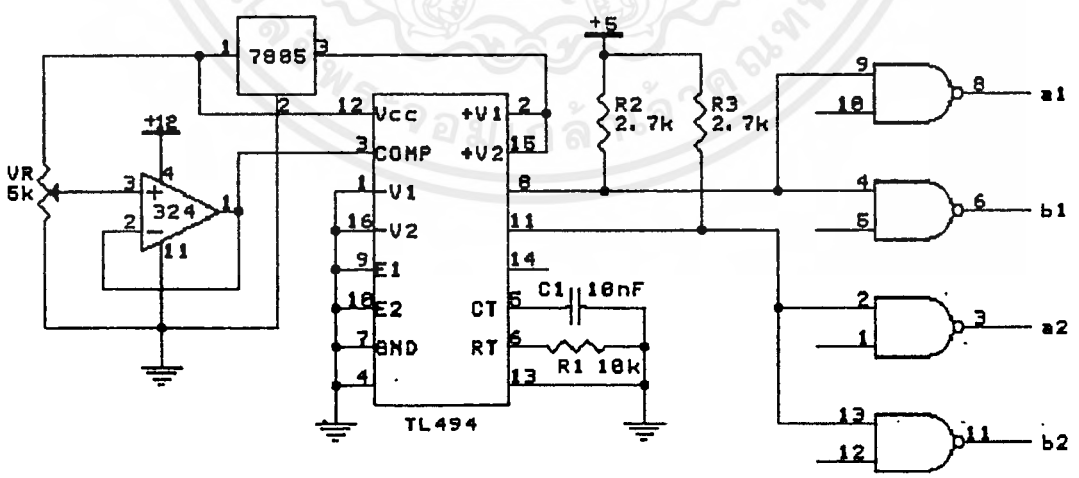
รูปที่ 3.10 วงจรอินเตอร์เฟสที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 วงจรขับมอเตอร์แบบ H-bridge

ส่วนวงจรสร้างพัลส์วิดธ์เพื่อจ่ายกระแสให้กับวงจรขับนั้นจะใช้ไอซีเบอร์ TL494 ซึ่งเป็นไอซีกำเนิดสัญญาณพัลส์วิดธ์ ขา 3 ของไอซีนี้จะรับระดับแรงดันเข้ามาแปลงเป็นความกว้างของพัลส์ โดยมีตัวต้านทานปรับค่าได้ต่ออยู่ระหว่างแรงดัน 12 โวลท์กับกราวด์สำหรับปรับค่าแรงดันที่จะป้อนให้ขา 3 ของไอซีเพื่อใช้สำหรับปรับความกว้างของพัลส์วิดธ์นั่นเอง ระหว่างตัวต้านทานปรับค่าได้กับขา 3 ของไอซี TL494 จะมีออปแอมป์ที่ต่อเป็นบัฟเฟอร์คั่นอยู่ ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 วงจรสร้างพัลส์วิดธ์และส่วนรับสัญญาณควบคุมจากคอมพิวเตอร์

ไอซี TL494 จะให้พัลส์วิดธ์ออกมาที่ขา 8 และ ขา 11 ซึ่งที่ขาทั้งสองของไอซีนี้จะต่อความต้านทานเพิ่มกระแส (Pull up resistor) ไว้ด้วย โดยสัญญาณพัลส์วิดธ์ที่ขา 8 จะแยกต่อเข้ากับขา 9 และขา 4 ของไอซีเบอร์ 74LS00 ส่วนสัญญาณพัลส์วิดธ์ที่ขา 11 จะแยกต่อเข้ากับขา 2 และขา 13 ของไอซีเบอร์ 74LS00 ซึ่งเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินพุทขาหนึ่งของแนนด์เกทแต่ละตัวนั่นเอง ส่วนขา 1 ,5 ,10 และ 12 ของ 74LS00 ซึ่งเป็นขาอินพุทขาที่เหลือของแนนด์เกทแต่ละตัวจะต่ออยู่กับส่วนควบคุมมอเตอร์ของวงจรอินเตอร์เฟส ที่ขา 6 และขา 8 ของ 74LS00 ซึ่งเป็นเอาท์พุทของแนนด์เกทสองตัวแรกจะต่อเข้ากับขาเกทของมอสเฟทสองแต่ละตัวของวงจรขับมอเตอร์ข้างซ้ายในทำนองเดียวกันขา 3 และขา 11 ซึ่งเป็นเอาท์พุทของแนนด์เกทอีกสองตัวจะต่อเข้ากับขาเกทของมอสเฟทแต่ละตัวของวงจรขับมอเตอร์ข้างขวา

3.6 ส่วนตรวจนับมุมและส่งสัญญาณอินเตอร์รัพท์

เมื่อสายอากาศแต่ละข้างหมุนไปทุก ๆ หนึ่งองศาจะต้องมีการส่งสัญญาณมาให้เครื่องคอมพิวเตอร์รู้เพื่อทำการนับองศาการหมุนและทำการรับข้อมูลความแรงที่แปลงเป็นดิจิตอลได้ ซึ่งในโครงงานนี้เราใช้ชุดจานหมุนตัดแสงทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณเมื่อสายอากาศหมุนไปได้ทุก ๆ หนึ่งองศา ชุดจานหมุนตัดแสงนี้ประกอบด้วยจานตัดแสงกับตัวเซนเซอร์แสง ตัวจานตัดแสงจะใช้แผ่นพลาสติกใสตัดเป็นวงกลม ที่ขอบจานจะขีดด้วยแถบทึบแสงในแนวรัศมีตลอดรอบวงจำนวน 72 แถบ จานตัดแสงนี้จะติดอยู่บนชุดเฟืองทด 5 เท่าที่ต่ออยู่กับแกนหมุนของสายอากาศ เมื่อสายอากาศหมุนไป 1 รอบจะทำให้จานตัดแสงหมุนไป 5 รอบซึ่งทำให้ขีดทึบแสงบนจานตัดแสงตัดผ่านตัวเซนเซอร์แสงไปทั้งหมด 360 ครั้งพอดี ส่วนตัวเซนเซอร์แสงที่ใช้นั้นจะมีรูปร่างเป็นเกือกม้า ข้างหนึ่งของเกือกม้าจะมีตัวส่งแสงอินฟาเรด และอีกข้างจะมีตัวรับแสงอินฟาเรดวางหันหน้าเข้าหากัน ถ้าไม่มีวัสดุทึบแสงมาขวางระหว่างขาสองข้างของเกือกม้ามันก็จะให้สัญญาณเอาท์พุทออกมาเป็น 5 โวลท์ แต่ถ้ามีวัสดุทึบแสงมาขวางระหว่างกลางของเกือกม้าก็จะให้สัญญาณเอาท์พุทออกมาเป็น 0 โวลท์ ดังนั้นเมื่อสายอากาศแต่ละข้างหมุนไปครบ 1 รอบ จะทำให้ขีดทึบแสงหมุนตัดตัวเซนเซอร์แสงครบ 360 ครั้งพอดี ก็จะเกิดสัญญาณพัลส์ 0 สลับกับ 5 โวลท์ 360 ลูกพอดี ซึ่งพัลส์แต่ละลูกก็จะบอกให้ทราบถึงการหมุนไปของสายอากาศในแต่ละองศานั่นเอง ลักษณะของชุดจานหมุนตัดแสงที่สร้างขึ้นจริงเป็นดังรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 ชุดจานหมุนตัดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ซอฟแวร์ของระบบค้นหาตำแหน่งด้วยคลื่นวิทยุ

เนื่องจากเราใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการควบคุมการทำงานของฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ ของระบบ ดังนั้น โปรแกรมสำหรับการควบคุมการทำงานจึงสามารถใช้ภาษาชั้นสูงซึ่งง่ายต่อการเข้าใจได้ เราเลือกใช้ภาษาซี ในการเขียนโปรแกรมสำหรับระบบนี้ เนื่องจากภาษาซีมีฟังก์ชันพิเศษมากมายให้เราสามารถใช้งานและเข้าถึงฮาร์ดแวร์ส่วนต่าง ๆ ของเครื่องคอมพิวเตอร์ (เช่น พอร์ทรับส่งข้อมูลในส่วนเพิ่มขยายและฮาร์ดแวร์อินเตอร์รัพท์) ได้สะดวกกว่าภาษาอื่น ๆ ในระดับเดียวกัน

ลักษณะของโปรแกรมที่เขียนขึ้นจะทำงานในโหมดภาพ (Graphic Mode) โดยมีหน้าจอสำหรับติดต่อกับผู้ใช้ (User Screen) ดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 หน้าจอสำหรับติดต่อกับผู้ใช้

และเพื่อความสะดวกในการใช้งานของผู้ใช้ จึงกำหนดให้ใช้เมาส์ในการเลือกเมนูการทำงานต่าง ๆ ของระบบ

- Start หมายถึง เริ่มสั่งให้สายอากาศทั้งสองข้างกวาดรับสัญญาณจากเป้าหมาย และนำข้อมูลความแรงของสัญญาณที่รับได้มาเก็บไว้ในไฟล์

- Plot หมายถึง ให้นำข้อมูลความแรงที่ได้จากสายอากาศแต่ละข้างมาวาดบนกราฟวงกลม(Polar Graph) เพื่อดูรูปคลื่นที่รับเข้ามาในทิศทางต่าง ๆ

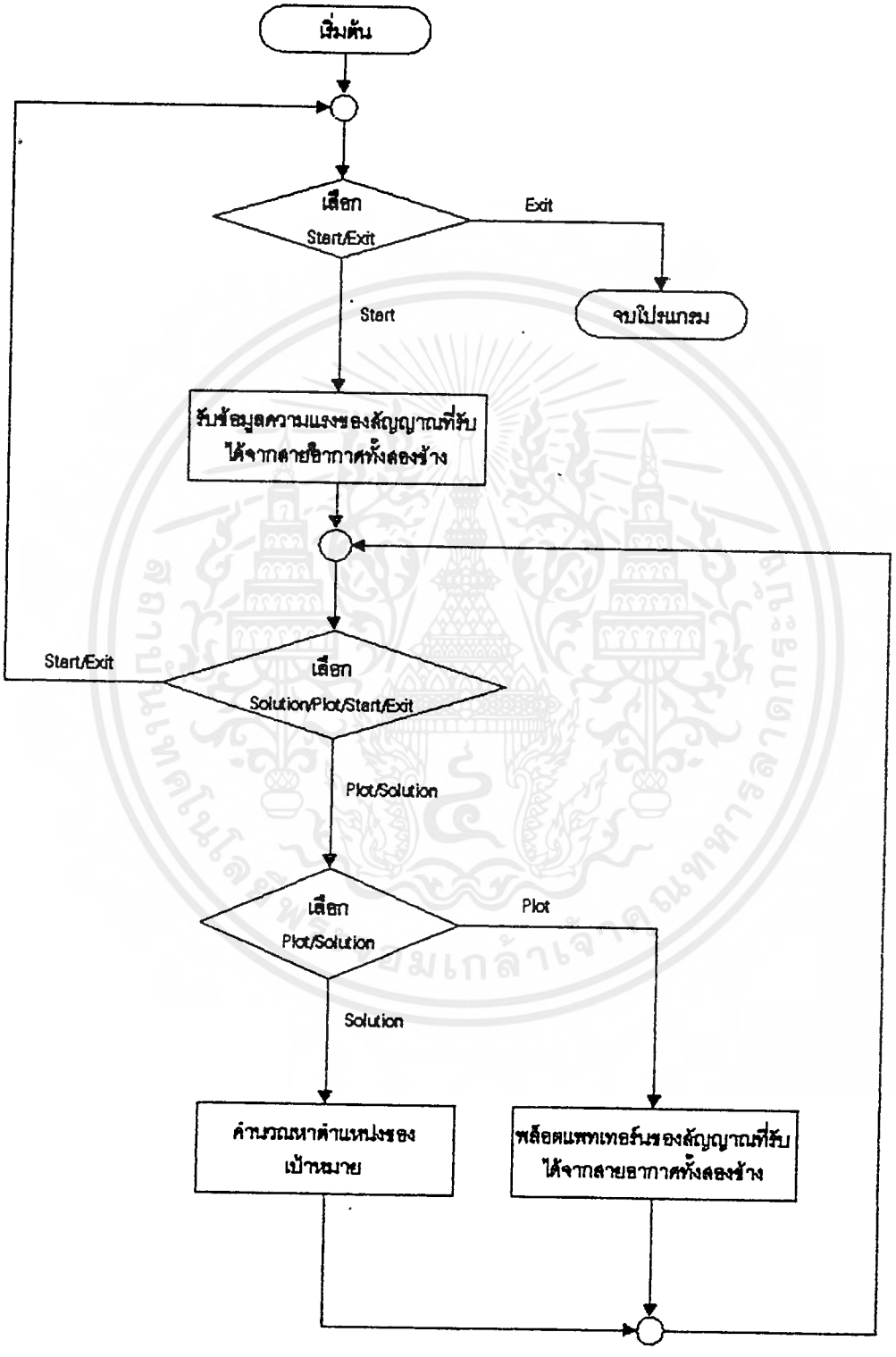
- Solution หมายถึง ให้นำข้อมูลความแรงที่ได้จากสายอากาศแต่ละข้างมาทำการคำนวณเพื่อหาตำแหน่งของเป้าหมายโดยจะแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นระยะห่างของเป้าหมายกับสายอากาศแต่ละข้างและมุม

เอกสารนี้เป็นการเผยแพร่สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สายอากาศชี้ไปยังเป้าหมายในทิศทางเข็มนาฬิกา

- Exit หมายถึง เลิกใช้งานและออกจากโปรแกรม

อัลกอริทึมโดยรวมของโปรแกรมจะสามารถแสดงได้ดังแผนภูมิการไหล (Flow Chart) ในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แผนภูมิการไหลของโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภูมิการไหลรูปที่ 4.2 เมื่อเริ่มต้นการทำงานจะสามารถเลือกเมนูได้เพียง Start หรือ Exit เท่านั้น เมื่อเสร็จจากกระบวนการนี้แล้วก็จะสามารถเลือกเมนูได้ทุกเมนูบนหน้าจอ ถ้าเลือก Start หรือ Exit โปรแกรมก็จะวนกลับไปทำงานตามที่ได้กล่าวมาอีก ถ้าเลือกเมนู Plot โปรแกรมจะไปทำกระบวนการวาดรูปสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศทั้งสองข้าง หรือถ้าเลือกเมนู Solution โปรแกรมจะไปทำกระบวนการคำนวณหาตำแหน่งเป้าหมาย เมื่อเสร็จจากกระบวนการ Plot หรือ Solution แล้ว โปรแกรมก็จะวนกลับไปรอการเลือกเมนูทั้งหมดอยู่จนกว่าจะมีการเลือกเมนู Exit ก็จะเลิกการทำงานต่าง ๆ และออกจากโปรแกรม จะเห็นได้ว่าโปรแกรมจะมีกระบวนการหลัก ๆ อยู่ 3 กระบวนการได้แก่

1. กระบวนการรับข้อมูลความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศทั้งสองข้าง
2. กระบวนการคำนวณหาและแสดงตำแหน่งของเป้าหมาย
3. กระบวนการวาดรูปสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศทั้งสองข้าง

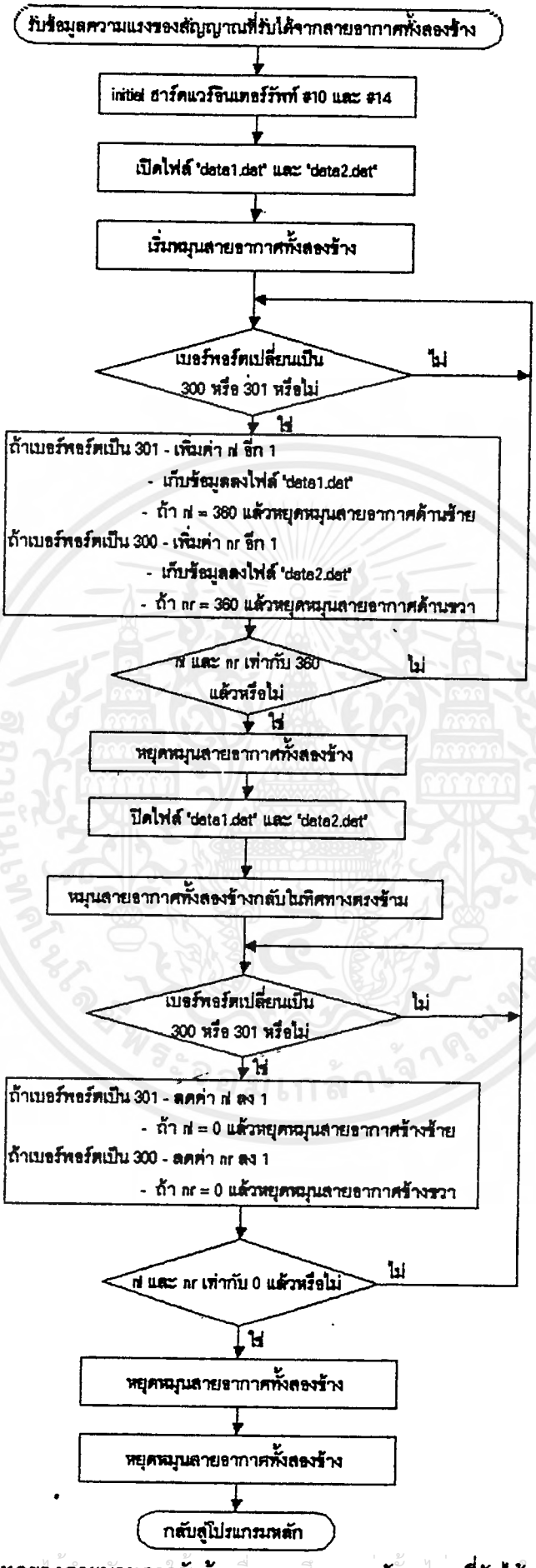
4.1 กระบวนการรับข้อมูลความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศทั้งสองข้าง

รายละเอียดของกระบวนการนี้สามารถแสดงได้ด้วยแผนภูมิการไหลดังรูปที่ 4.3 จากแผนภูมิการไหลของกระบวนการรับข้อมูลความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศทั้งสองข้างขั้นแรกจะทำการจัดเตรียมกำหนดเวกเตอร์สำหรับฮาร์ดแวร์อินเตอร์รัพท์หมายเลข 10 และหมายเลข 14 ก่อน โดยที่ฮาร์ดแวร์อินเตอร์รัพท์หมายเลข 10 จะสัมพันธ์กับสัญญาณอินเตอร์รัพท์ที่เข้ามาในช่องเสียบนำสัญญาณ IRQ2 และหมายเลข 14 จะสัมพันธ์กับสัญญาณอินเตอร์รัพท์ที่เข้ามาในช่องเสียบนำสัญญาณ IRQ6 จากนั้นจะเปิดไฟล์ "data1.dat "สำหรับเก็บข้อมูลความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศด้านซ้ายและเปิดไฟล์ "data2.dat " สำหรับเก็บข้อมูลความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศด้านขวา แล้วจึงเริ่มหมุนสายอากาศทั้งสองข้างพร้อม ๆ กันในทิศทวนเข็มนาฬิกาเพื่อกวาดหาตำแหน่งของเครื่องส่งวิทยุ เมื่อสายอากาศแต่ละข้างหมุนไปทุก ๆ 1 องศาก็จะมีสัญญาณอินเตอร์รัพท์ถูกส่งมาจากวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล ทำให้โปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์ที่สัมพันธ์กับสายอากาศแต่ละข้างทำการอ่านข้อมูลจากพอร์ทของวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอลที่สัมพันธ์กันเข้ามาและส่งค่าข้อมูลที่อ่านได้กับหมายเลขพอร์ทของวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอลนั้นกลับมา แผนภูมิการไหลของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์เป็นดังรูปที่4.4 เมื่อโปรแกรมของกระบวนการนี้ตรวจพบว่ามีการส่งหมายเลขพอร์ทของวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอลชุดใดชุดหนึ่งซึ่งได้แก่ พอร์ทหมายเลข 300 และ 301 กลับมาจากโปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์แล้วก็จะทำขั้นตอนดังต่อไปนี้

- เพิ่มค่าการนับมุมกวาดของสายอากาศข้างนั้น ๆ
- นำค่าข้อมูลที่ส่งกลับมาจากโปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์ซึ่งคือค่าข้อมูลความแรงของสัญญาณ ณ มุม นั้น ๆ มาเก็บลงในไฟล์ที่สัมพันธ์กัน
- ถ้าค่าการนับมุมกวาดของสายอากาศขณะนั้นเป็น 360 องศาแล้ว ก็หยุดหมุนสายอากาศข้างนั้น

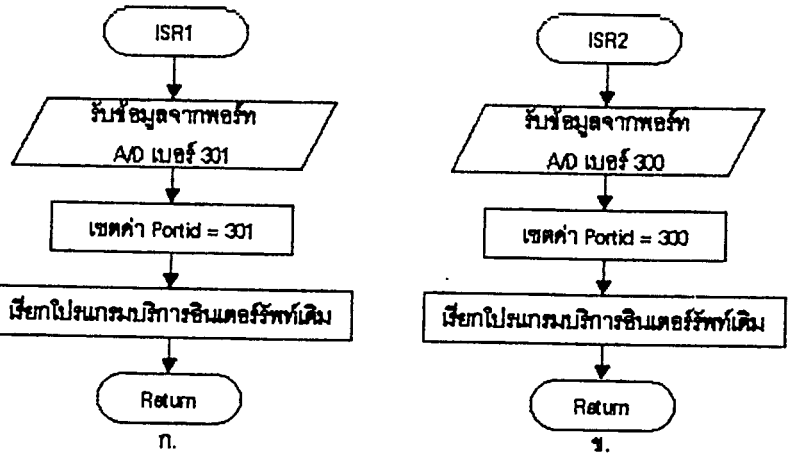
โปรแกรมจะวนทำกระบวนการเช่นนี้เรื่อยไปจนกระทั่งค่าการนับมุมกวาดของสายอากาศทั้งสองข้างเป็น 360องศา สายอากาศทั้งสองข้างก็จะหยุดหมุน จากนั้นทำการปิดไฟล์ที่เก็บข้อมูลทั้งหมดแล้วทำการหมุนสายอากาศทั้งสองข้างกลับมายังตำแหน่งเริ่มต้น โดยใช้การอินเตอร์รัพท์ในการนับมุมกวาดถอยหลังกลับมาที่ตำแหน่ง 0 องศาในทำนองเดียวกับการรับข้อมูล เมื่อสายอากาศทั้งสองข้างหมุนกลับมายังตำแหน่ง 0 องศาแล้วก็จะหยุดหมุน จากนั้นก็ทำการคืนค่าเวกเตอร์อินเตอร์รัพท์ของฮาร์ดแวร์ให้กับระบบเดิม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แผนภูมิการไหลของกระบวนการรับข้อมูลความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศทั้งสองข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

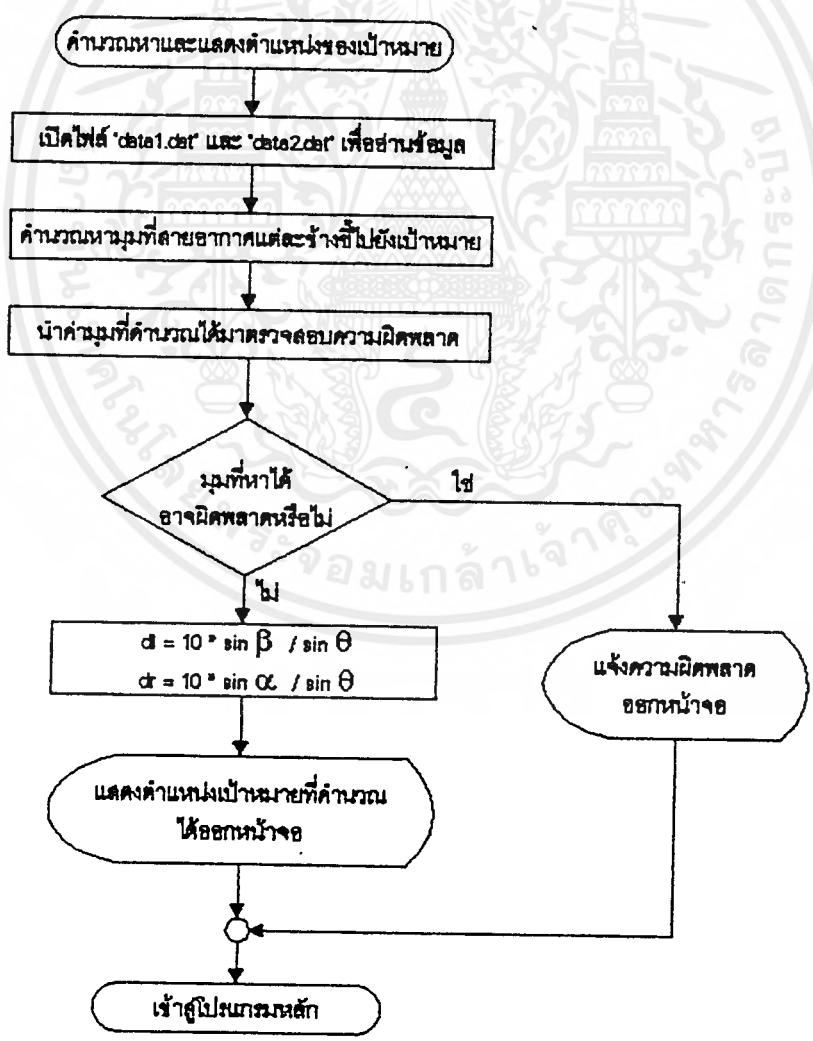


รูปที่ 4.4 ก. แผนภูมิการไหลของโปรแกรมบริการการอินเตอร์รัพท์ของสายอากาศข้างซ้าย

ข. แผนภูมิการไหลของโปรแกรมบริการการอินเตอร์รัพท์ของสายอากาศข้างขวา

4.2 กระบวนการคำนวณหาและแสดงตำแหน่งของเป้าหมาย

รายละเอียดของกระบวนการนี้สามารถแสดงได้ด้วยแผนภูมิการไหลดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แผนภูมิการไหลของกระบวนการคำนวณหาและแสดงตำแหน่งของเป้าหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภูมิการไหลของกระบวนการนี้จะเริ่มต้นด้วยการเปิดไฟล์ที่เก็บข้อมูลความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศทั้งสองข้างเพื่ออ่าน จากนั้นจะทำกระบวนการย่อยในการคำนวณหามุมที่สายอากาศแต่ละข้างชี้ไปยังเป้าหมาย ซึ่งมีหลักการคร่าว ๆ คือการเปรียบเทียบหามุมที่มีข้อมูลความแรงมากที่สุดนั่นเอง แต่เนื่องจากเราเก็บความแรงของสัญญาณที่รับได้จากเป้าหมายทุกๆ องศาโดยแปลงเป็นข้อมูลดิจิตอล ซึ่งวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอลที่ใช้สามารถแปลงระดับสัญญาณที่เข้ามามากที่สุด 5 โวลท์ ให้เป็น 256 ระดับ เท่ากับว่าแต่ละระดับจะมีความแตกต่างกัน 19.6 มิลลิโวลท์ และเนื่องจากบีมของสายอากาศกว้าง ระดับสัญญาณที่ได้บริเวณใกล้ ๆ จุดสูงสุดของบีมหลักอาจแตกต่างกันน้อยกว่า 19.6 มิลลิโวลท์. ซึ่งเมื่อแปลงเป็นข้อมูลดิจิตอลแล้วจะทำให้ได้ค่าเท่ากันหมด ดังนั้นอัลกอริทึมในการหามุมที่สายอากาศแต่ละข้างชี้ไปยังเป้าหมาย เราจะหามุมแรกและมุมสุดท้ายที่มีค่าข้อมูลความแรงมากที่สุด (คิดว่ามีค่ามากที่สุดหลายค่าเป็นช่วง ๆ) แล้วหาค่ามุมกึ่งกลางระหว่างมุมทั้งสองนั้นเป็นค่ามุมที่สายอากาศชี้ไปยังเป้าหมาย ดังแผนภูมิการไหลในรูปที่ 4.6 จากแผนภูมิการไหลรูปที่ 4.6 เป็นกระบวนการย่อยในการหามุมที่สายอากาศแต่ละข้างชี้ไปยังเป้าหมาย ช่วงแรกนั้นจะเป็นการอ่านข้อมูลที่เก็บไว้ในไฟล์ออกมาทีละองศาจนครบ 360 องศาเพื่อนำมาเปรียบเทียบกันและหาค่ามุมแรกที่มีค่าข้อมูลสูงสุด ช่วงหลังจะกลับไปอ่านข้อมูลตั้งแต่ต้นไฟล์ใหม่ทีละองศาจนครบ 360 องศา เพื่อหามุมที่สองซึ่งเป็นมุมสุดท้ายที่มีค่าข้อมูลเท่ากับค่าข้อมูลสูงสุด เมื่อหาได้แล้วจึงปิดไฟล์ข้อมูล และนำค่ามุมทั้งสองมาหาค่าเฉลี่ยมุมกึ่งกลางและส่งค่ามุมกึ่งกลางนี้ซึ่งเป็นค่ามุมที่สายอากาศข้างนั้น ๆ ชี้ไปยังเป้าหมายกลับมา

หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการย่อยในการหามุมที่สายอากาศทั้งสองข้างชี้ไปยังเป้าหมายแล้ว ก็จะไปทำกระบวนการย่อยในการนำค่ามุมที่สายอากาศทั้งสองข้างชี้ไปยังเป้าหมายนั้นมาตรวจสอบความผิดพลาด เนื่องจากหลักการในการหาตำแหน่งเป้าหมายนี้จะใช้วิธีจำลองเป็นรูปสามเหลี่ยมขึ้นมาโดยการลากเส้นจากสายอากาศทั้งสองข้างในทิศทางที่ชี้ไปยังเป้าหมายมาตัดกันจึงได้ตำแหน่งของเป้าหมาย ดังนั้นถ้าเป้าหมายอยู่ในแนวเส้นวิกฤต (Critical Line) คือแนวเส้นตรงระหว่างสายอากาศทั้งสองนั้น จะไม่สามารถหาจุดตัดหรือไม่สามารถหาตำแหน่งเป้าหมายได้นั่นเอง นอกจากนี้ความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้อีกคือ กรณีที่ค่ามุมที่สายอากาศทั้งสองข้างชี้ไปยังเป้าหมายซึ่งได้จากการคำนวณนั้นมีแนวขนานกันหรือเบนออกจากกันเล็กน้อย ซึ่งก็ไม่สามารถหาจุดตัดได้และไม่สามารถหาตำแหน่งเป้าหมายได้เช่นกัน กระบวนการตรวจสอบความผิดพลาดในการค้นหาตำแหน่งเป้าหมายตามที่กล่าวมาสามารถแสดงได้ด้วยแผนภูมิการไหลดังรูปที่ 4.7

หลังจากผ่านกระบวนการย่อยในการตรวจสอบความผิดพลาดแล้ว ถ้าค่ามุมที่สายอากาศทั้งสองข้างชี้ไปยังเป้าหมายไม่ผิดพลาดแล้ว ก็จะนำมาคำนวณตามกฎของไซน์เพื่อหาระยะของเป้าหมายกับสายอากาศทั้งสองข้างดังนี้

$$dl = 10 * \sin\beta / \sin\theta \qquad .....(4.1)$$

$$dr = 10 * \sin\alpha / \sin\theta \qquad .....(4.2)$$

เมื่อ dl คือระยะห่างระหว่างเป้าหมายกับสายอากาศด้านซ้าย

dr คือระยะห่างระหว่างเป้าหมายกับสายอากาศด้านขวา

10 คือระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสองข้างซึ่งเท่ากับ 10 เมตร

α, β, θ คือค่ามุมที่แสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

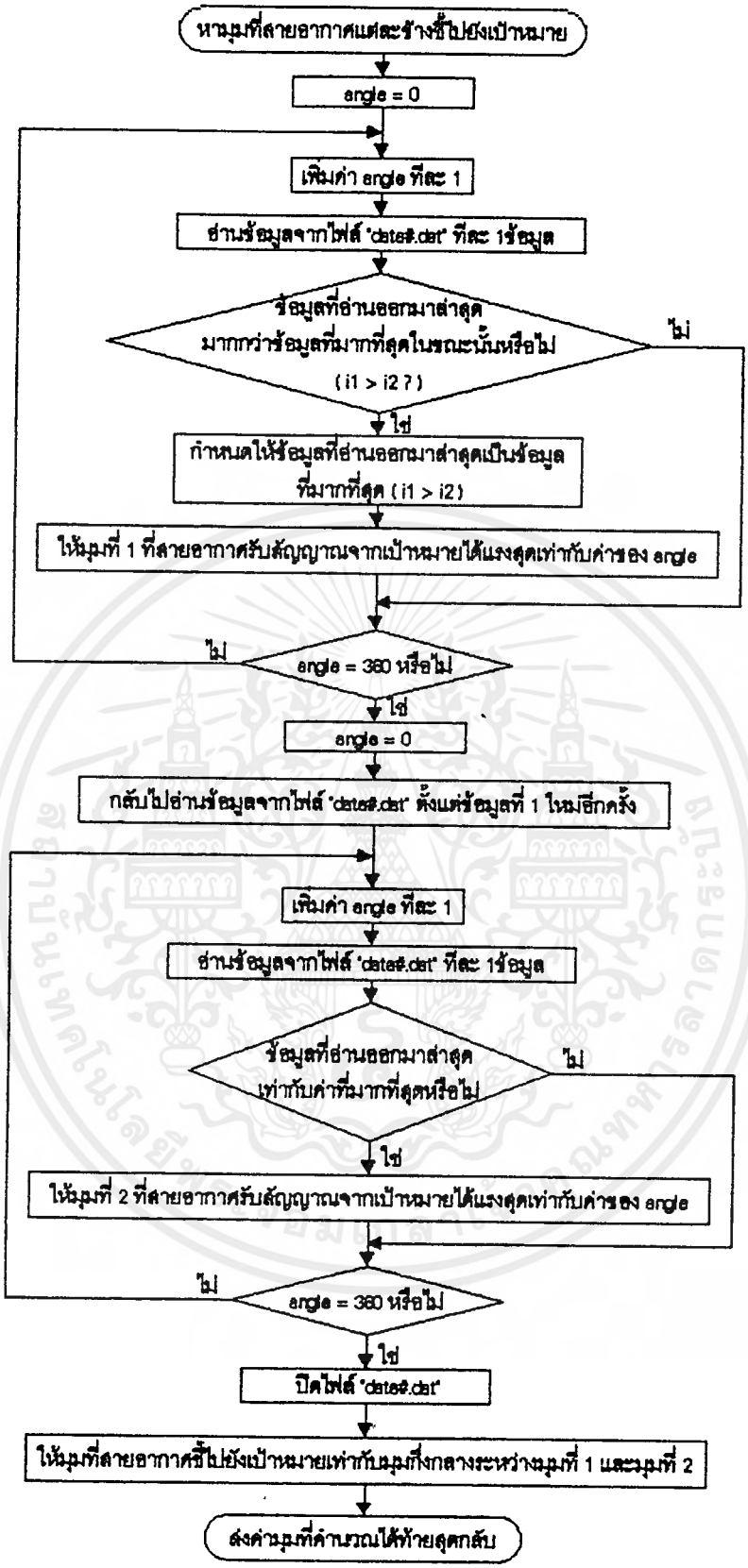
จากนั้นก็แสดงตำแหน่งเป้าหมายออกหน้าจอโดยบอกเป็นระยะห่างของเป้าหมายถึงสายอากาศทั้งสองข้างที่คำนวณได้และมุมที่สายอากาศชี้ไปยังเป้าหมายในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาดังตัวอย่างในรูปที่ 4.8 ก. แต่ถ้ามีความผิดพลาดหลังจากกระบวนย่อยในการตรวจสอบความผิดพลาดแล้วจะแจ้งความผิดพลาดออกหน้าจอแสดงผลเช่นกันดังรูปที่ 4.8 ข.

4.3 กระบวนการวาดรูปสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศทั้งสองข้าง

รายละเอียดของกระบวนการนี้สามารถแสดงได้ด้วยแผนภูมิการไหลดังรูปที่ 4.9 ส่วนสำคัญของกระบวนการนี้คือกระบวนการย่อยในการวาดรูปสัญญาณซึ่งสามารถแสดงได้ดังแผนภูมิการไหลในรูปที่ 4.10

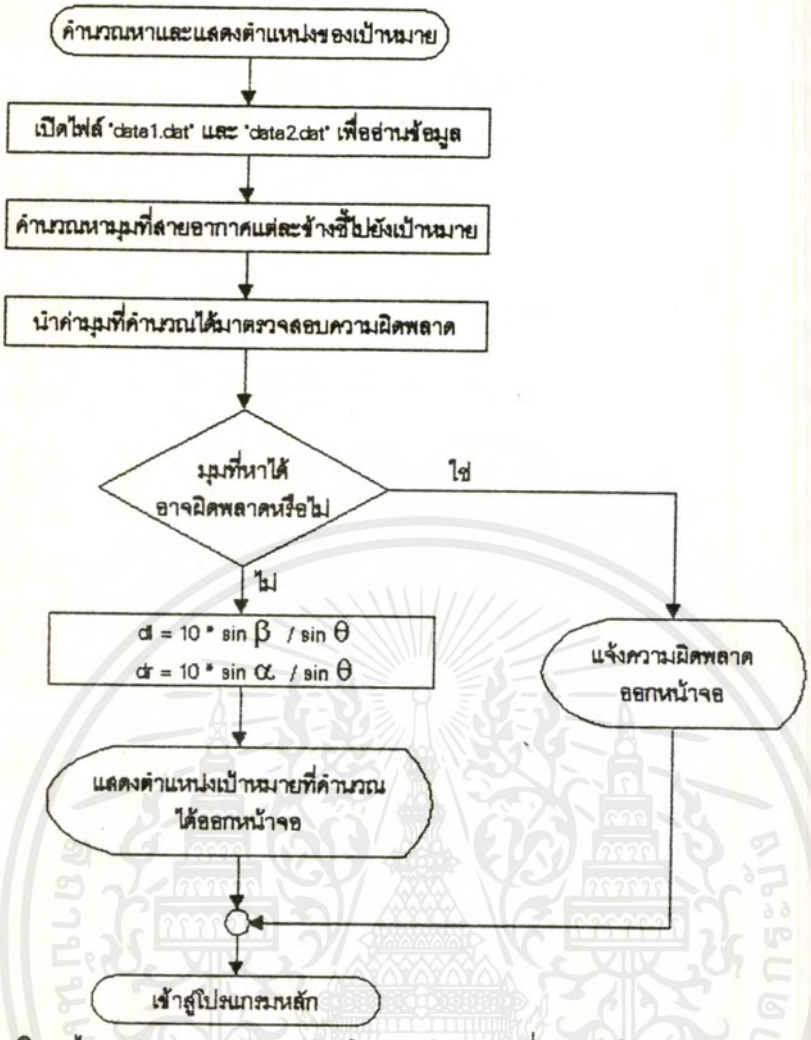
จากแผนภูมิการไหลของกระบวนการย่อยในการวาดรูปสัญญาณ เริ่มต้นจะอ่านข้อมูลความแรงที่เก็บไว้ออกมาทีละองศามาแปลงเป็นค่าเดซิเบล จากนั้นก็แปลงค่าเดซิเบลนั้นให้เป็นจุดพิกัดบนโพลาร์กราฟและลากเส้นตรงเชื่อมต่อกันระหว่างจุดของมุมองศาที่อยู่ติดกันจนครบ 360 องศาก็ลากเส้นตรงต่อกับจุดแรกด้วยก็จะได้รูปสัญญาณบนโพลาร์กราฟของสายอากาศแต่ละข้างตามทิศทางที่รับได้ แล้วปิดไฟล์ข้อมูลก็เป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการย่อยนี้ ตัวอย่างหน้าจอแสดงผลของกระบวนการวาดรูปสัญญาณที่รับได้โดยสายอากาศทั้งสองข้างเป็นดังรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

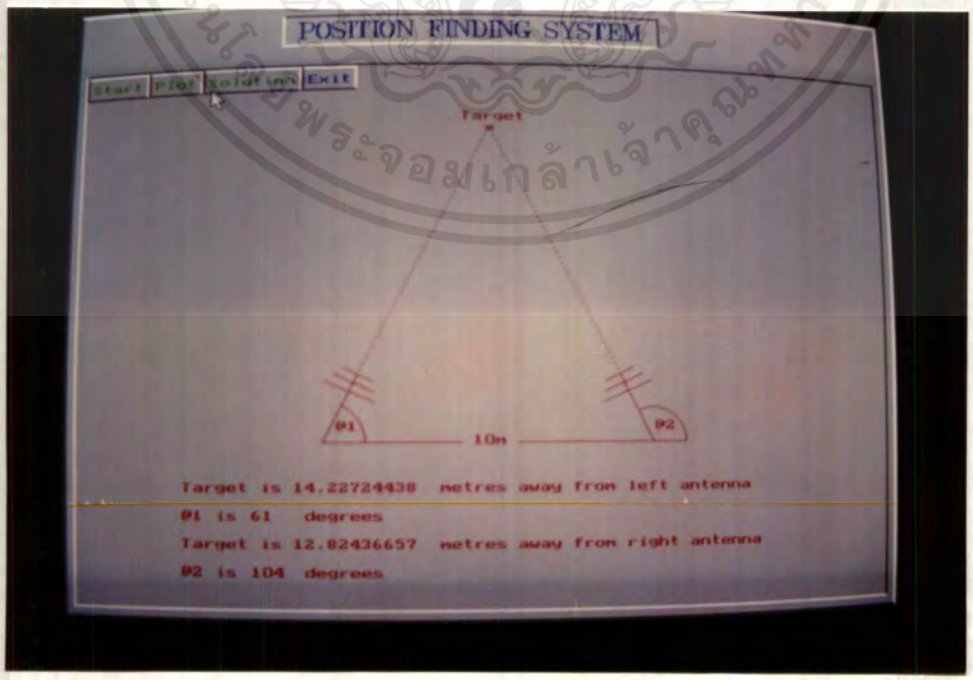


รูปที่ 4.6 แผนภูมิการไหลของกระบวนการย่อยในการหามุมที่สายอากาศแต่ละข้างชี้ไปยังเป้าหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

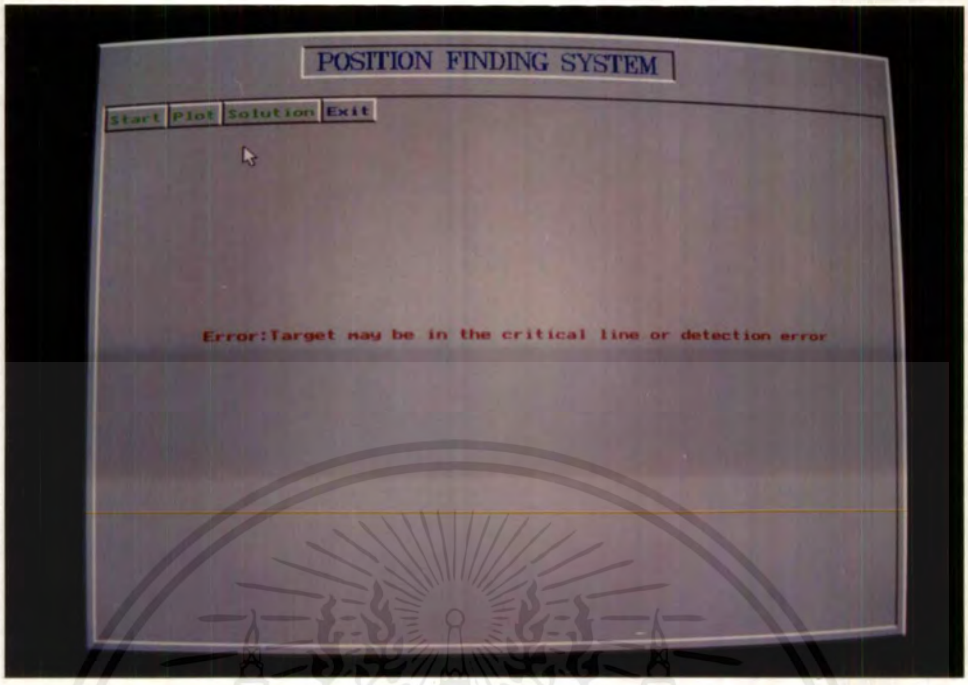


รูปที่ 4.7 แผนภูมิการไหลของกระบวนการย่อยในการนำค่ามุมที่คำนวณได้มาตรวจสอบความผิดพลาด

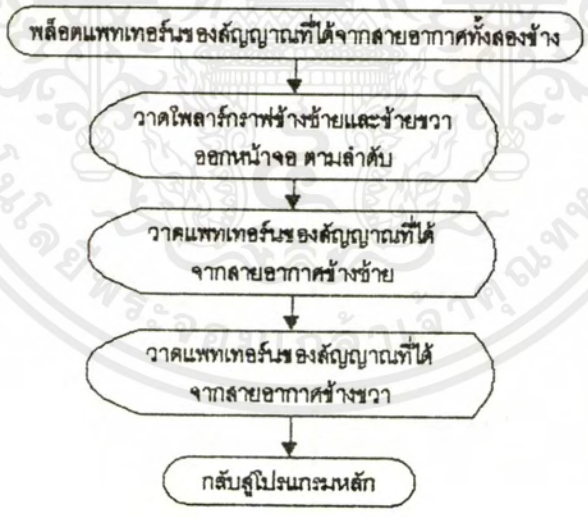


รูปที่ 4.8 ก. หน้าจอแสดงระยะห่างของเป้าหมายและมุมที่สายอากาศชี้ไปยังเป้า หมายในทิศทวนเข็มนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

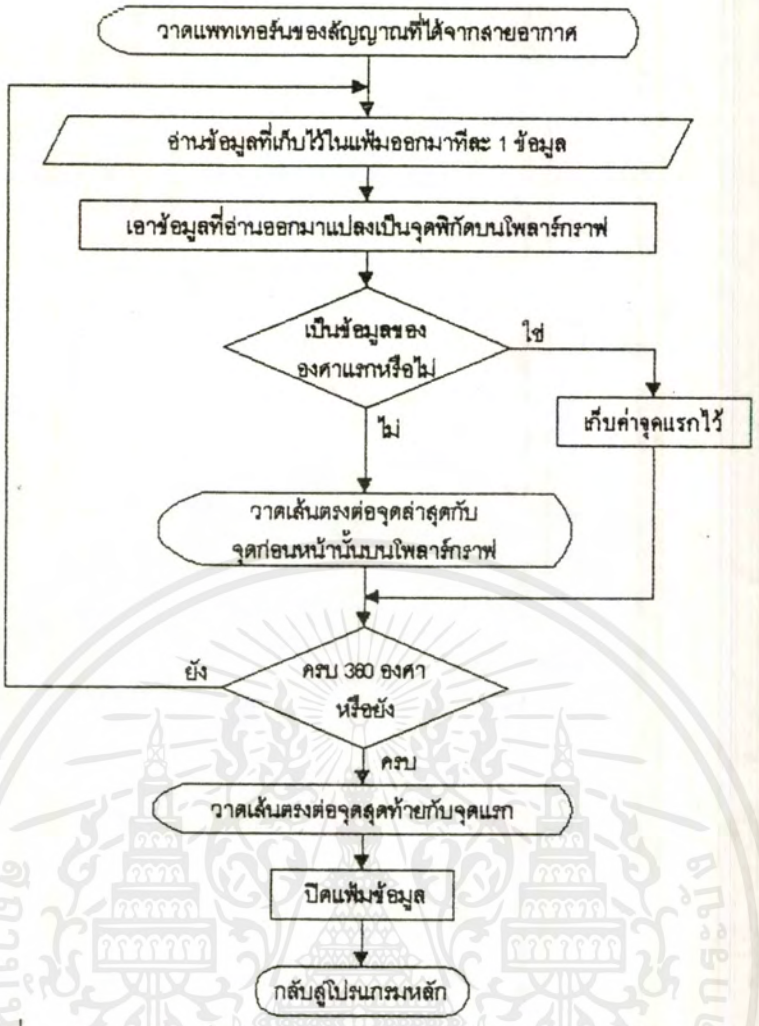


รูปที่ 4.8 ข. หน้าจอแสดงความผิดพลาด

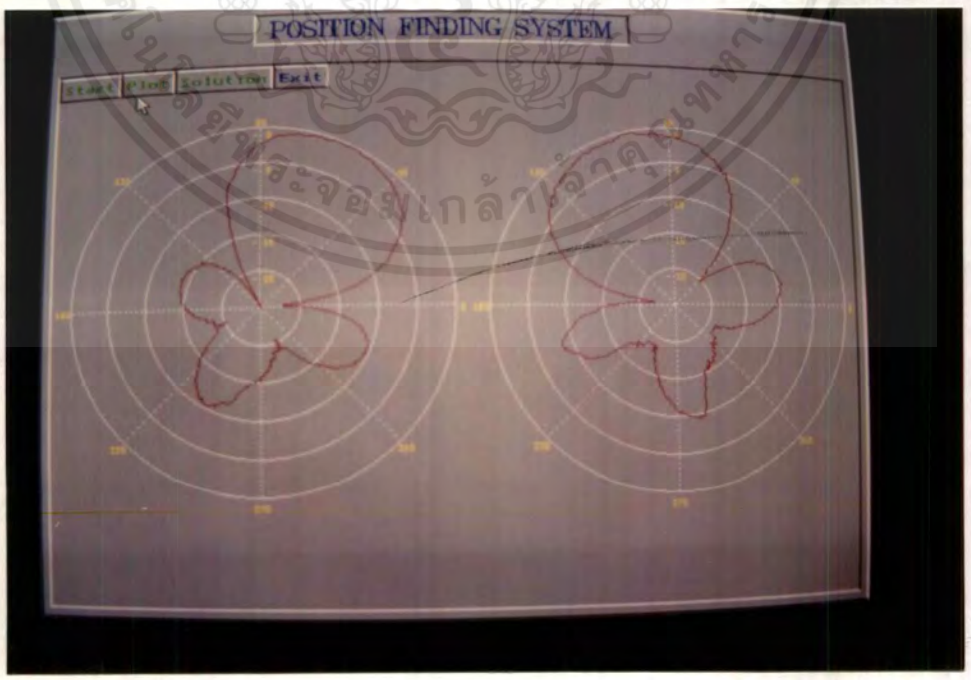


รูปที่ 4.9 แผนภูมิการไหลของกระบวนการวาดรูปสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศทั้งสองข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แผนภูมิการไหลของกระบวนการย่อยในการวาดรูปสัญญาณ



รูปที่ 4.11 หน้าจอแสดงผลของกระบวนการวาดรูปสัญญาณที่รับได้โดยสายอากาศทั้งสองข้าง

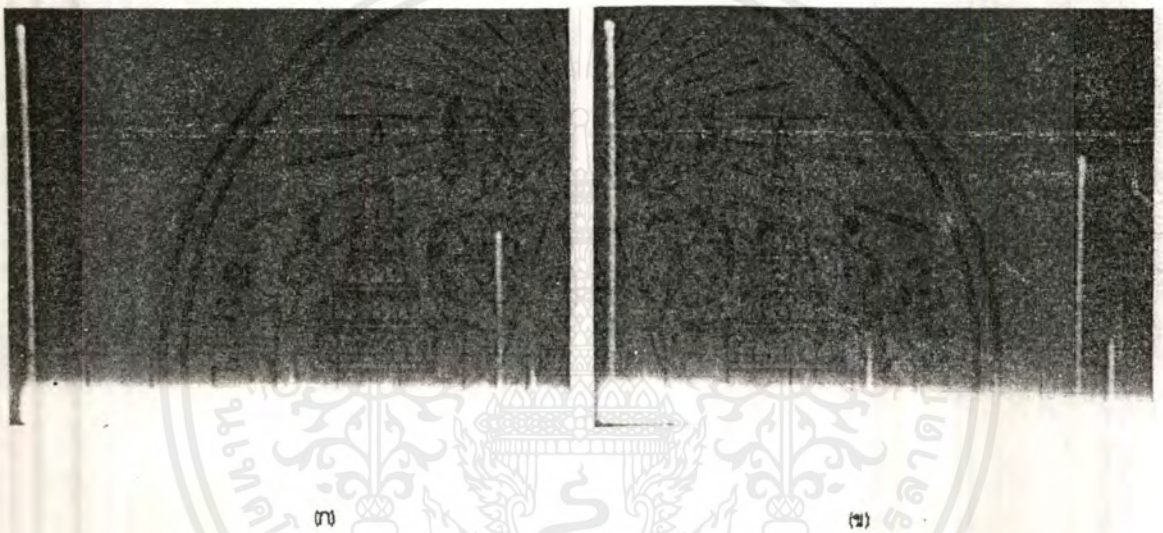
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การทดลองและผลการทดลอง

5.1 วงจรภาครับและวงจรแปลงสัญญาณไอเอฟเป็นระดับไฟตรง

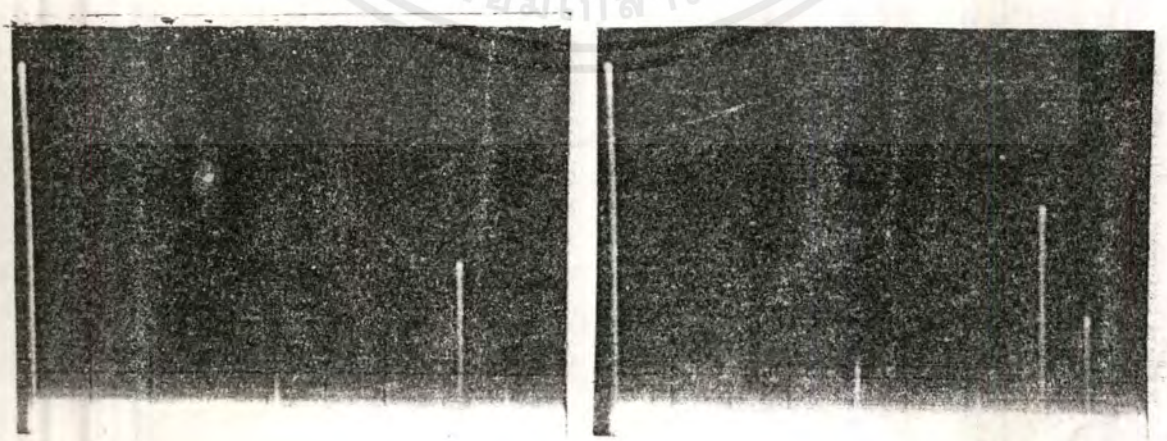
การทดสอบในส่วนวงจรภาครับมีระดับขั้นตอนดังนี้

1. ทดสอบภาคฟรอนท์เอนด์ โดยการใช้เครื่องสังเคราะห์ความถี่ (Frequency Synthesizer) ป้อนสัญญาณเอฟเอ็มที่ความถี่พาหะ 145 MHz มอดูเลทกับสัญญาณเบสแบนด์ 1kHz เข้าที่อินพุทของฟรอนท์เอนด์ แล้วใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyser) ดูสเปกตรัมที่เอาท์พุทของฟรอนท์เอนด์แต่ละชุดจะได้ผลดังรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2



(ก) (ข)

รูปที่ 5.1 ก. สเปกตรัมของสัญญาณเอฟเอ็มที่ป้อนเข้าที่อินพุทของฟรอนท์เอนด์ชุดที่ 1
ข. สเปกตรัมของสัญญาณเอฟเอ็มที่เอาท์พุทของฟรอนท์เอนด์ชุดที่ 1



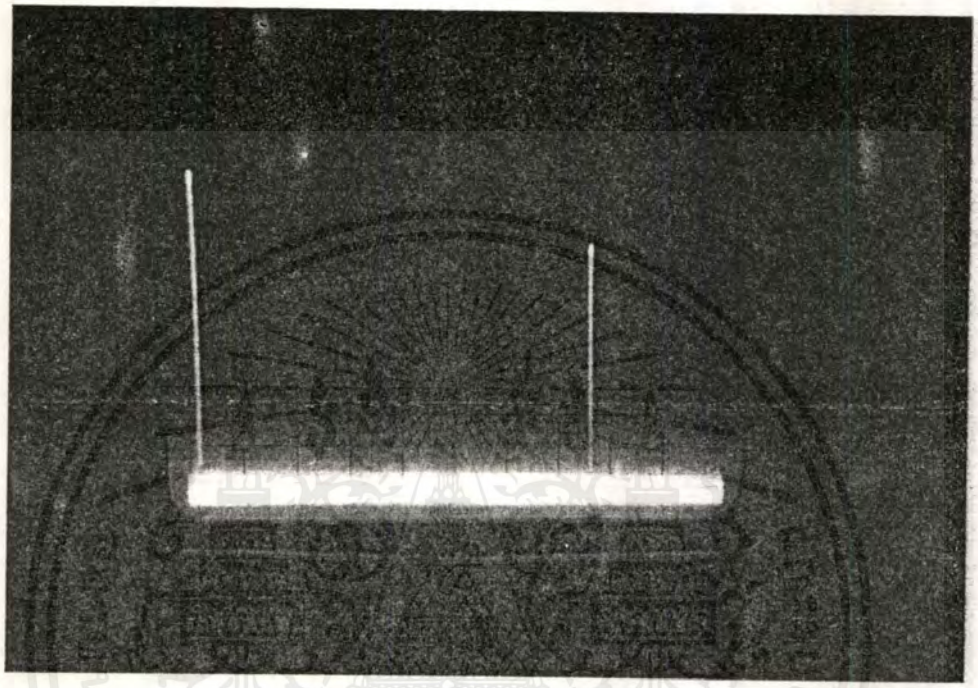
(ก) (ข)

รูปที่ 5.2 ก. สเปกตรัมของสัญญาณเอฟเอ็มที่ป้อนเข้าที่อินพุทของฟรอนท์เอนด์ชุดที่ 2
ข. สเปกตรัมของสัญญาณเอฟเอ็มที่เอาท์พุทของฟรอนท์เอนด์ชุดที่ 2

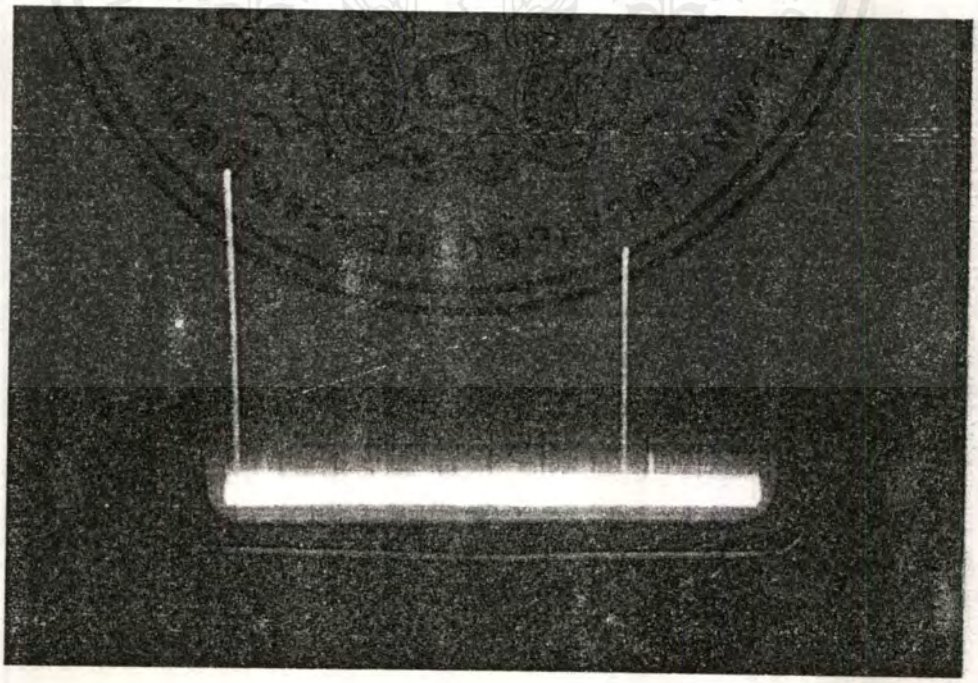
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 วงจรฟรอนท์เอนด์ที่สร้างได้มีอัตราขยายประมาณ 12 dB เทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณต่างกันอยู่ 8 dB

2. ทำการวัดความถี่ของภาคโลคัลออสซิลเลเตอร์ภาคแรกโดยปรับ VR1 ให้ได้ค่าความถี่กลางประมาณ 155.7 MHz แล้วใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมวัดที่ขา 20 ของไอซีเบอร์ MC3362 ของเครื่องรับแต่ละชุด จะได้ผลดังรูปที่ 5.3



(ก)



(ข)

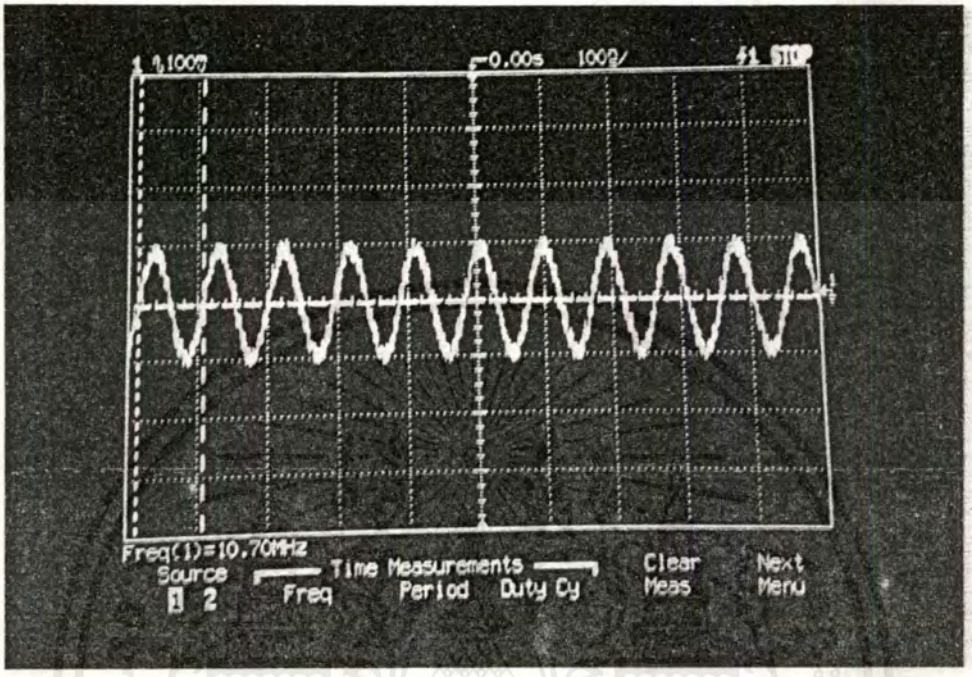
รูปที่ 5.3 ก. สเปกตรัมของภาคโลคัลออสซิลเลเตอร์ภาคแรกของเครื่องรับชุดที่ 1

ข. สเปกตรัมของภาคโลคัลออสซิลเลเตอร์ภาคแรกของเครื่องรับชุดที่ 2

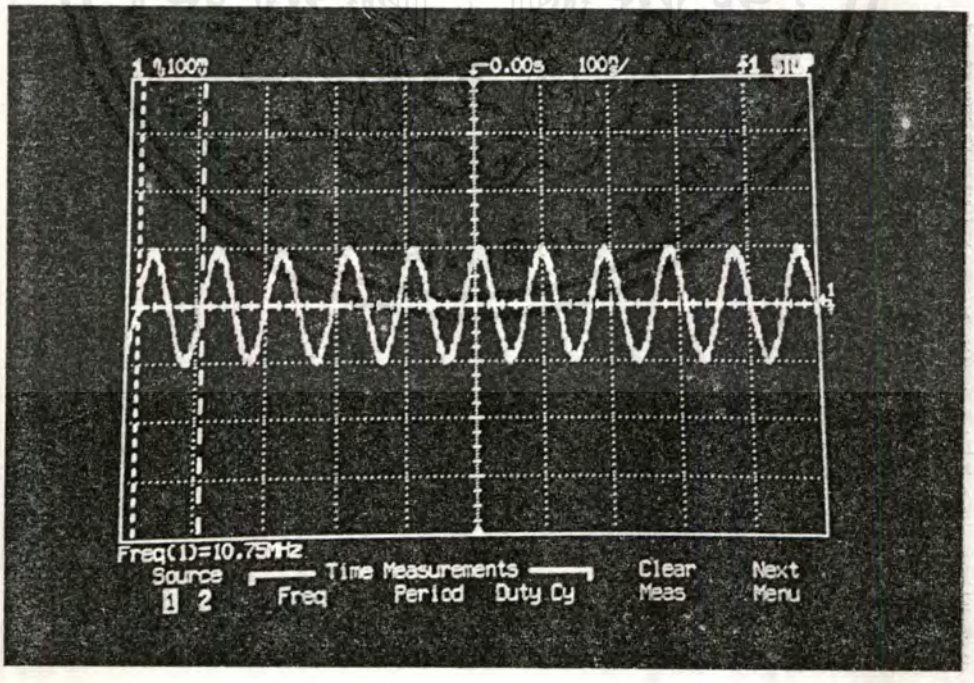
*หมายเหตุ รูปผลการทดลองที่วัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความถี่ปรับสเกลไว้ที่ 20 MHz ต่อช่องในแนวนอนและ 10 dB ต่อช่องในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการวัดเอาท์พุทของภาคมิกเซอร์ภาคแรก โดยใช้ออสซิลโลสโคปวัดที่ขา 17 ของไอซีเบอร์ MC3362 จะได้สัญญาณไอเอฟที่มีความถี่ประมาณ 10.7 MHz ดังรูปที่ 5.4



(ก)

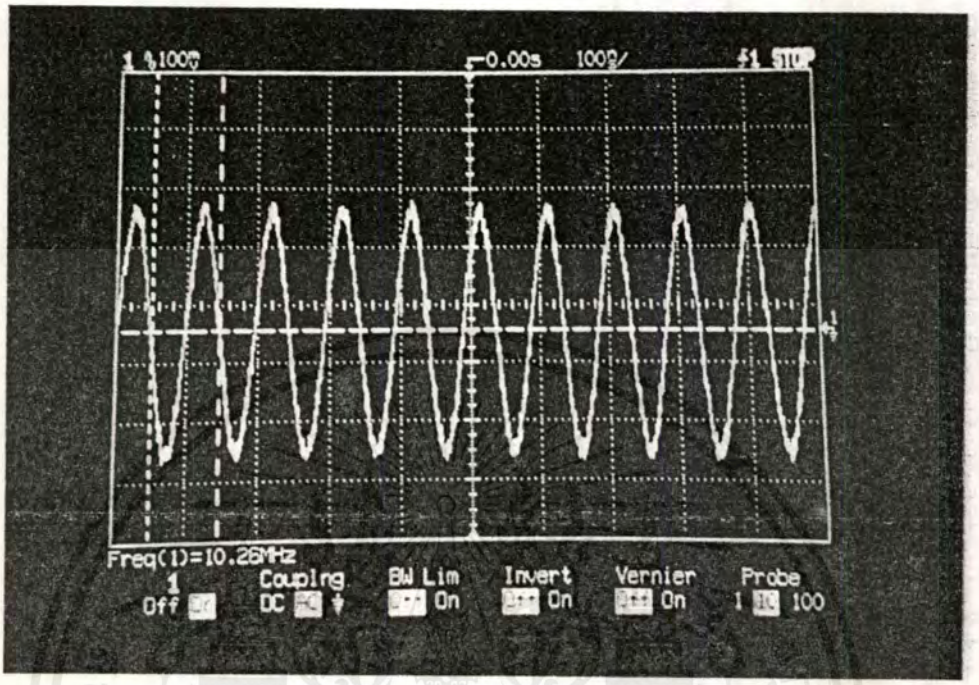


(ข)

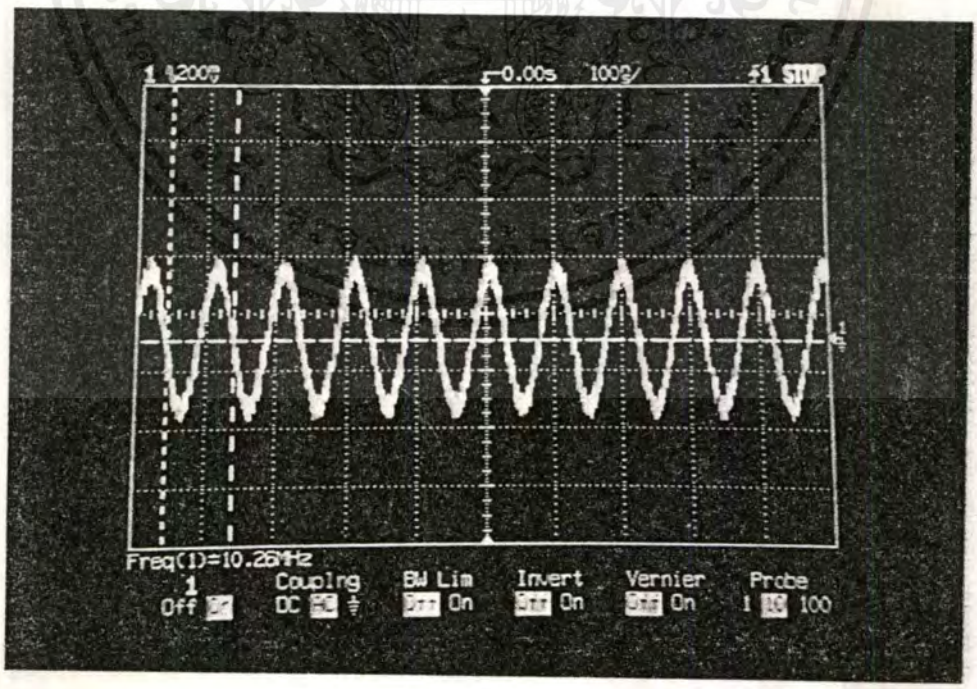
รูปที่ 5.4 ก. สัญญาณไอเอฟ 10.7 MHz ที่เป็นเอาท์พุทของมิกเซอร์ภาคแรกของเครื่องรับชุดที่ 1
ข. สัญญาณไอเอฟ 10.7 MHz ที่เป็นเอาท์พุทของมิกเซอร์ภาคแรกของเครื่องรับชุดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการวัดความถี่ของภาคโลคัลออสซิลเลเตอร์ภาคที่สองโดยใช้ออสซิลโลสโคปวัดที่ขา 4 ของไอซี เบอร์ MC3362 จะได้สัญญาณดังรูปที่ 5.5



(ก)



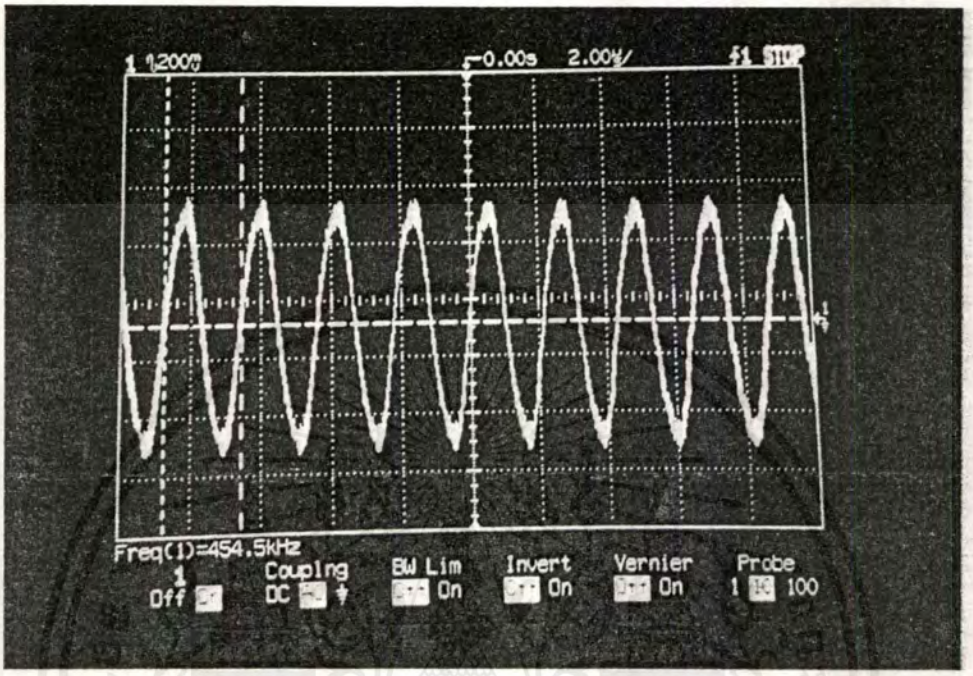
(ข)

รูปที่ 5.5 ก. สัญญาณของภาคโลคัลออสซิลเลเตอร์ภาคที่สองของเครื่องรับชุดที่ 1

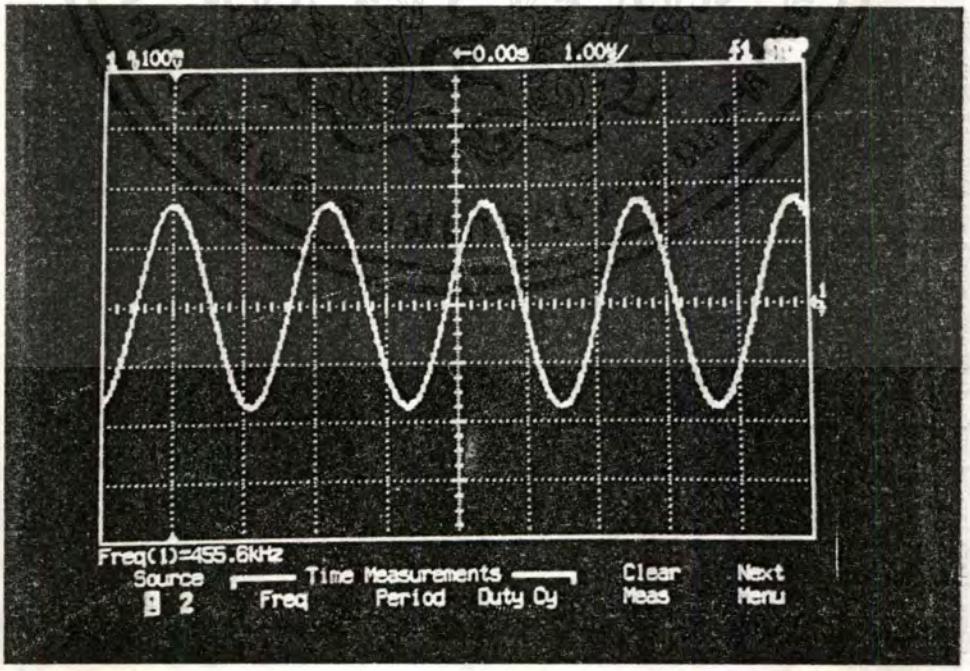
ข. สัญญาณของภาคโลคัลออสซิลเลเตอร์ภาคที่สองของเครื่องรับชุดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.ทำการวัดเอาท์พุทของภาคมิกเซอร์ภาคที่สอง โดยใช้ออสซิลโลสโคปวัดที่ขา 6 ของไอซีเบอร์ MC3362 จะได้สัญญาณไอเอฟที่มีความถี่ประมาณ 455 kHz ดังรูปที่ 5.6



(ก)

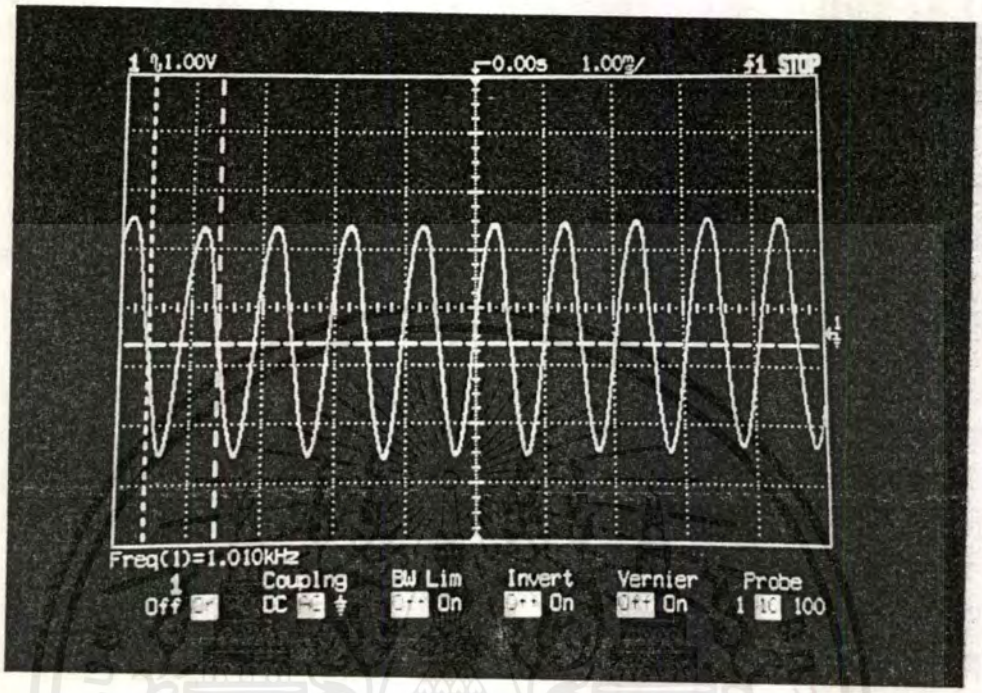


(ข)

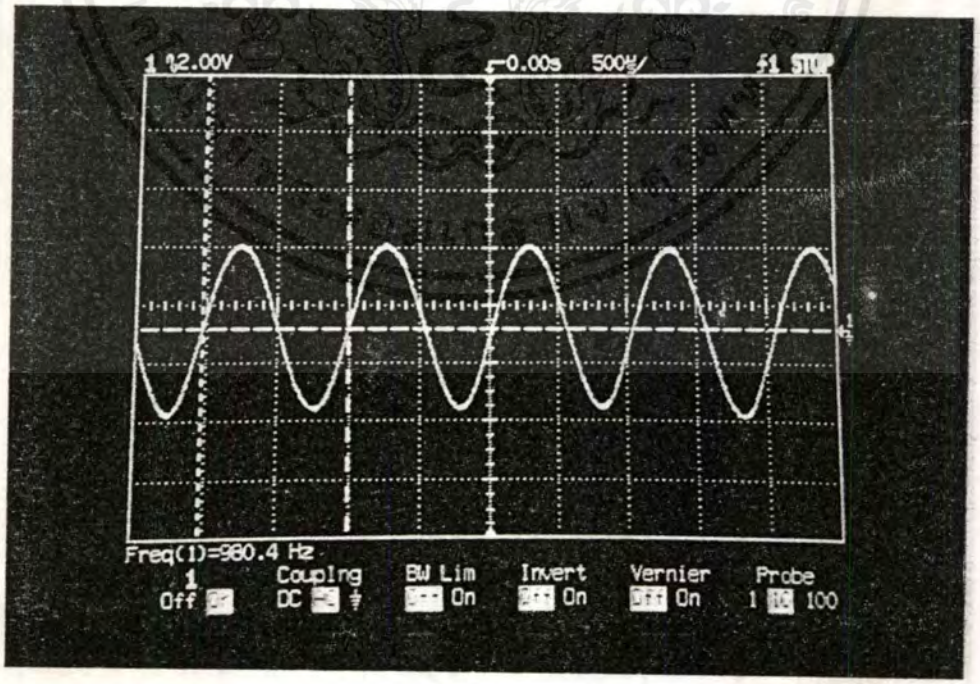
รูปที่ 5.6 ก. สัญญาณไอเอฟ 455 kHz ที่เป็นเอาท์พุทของมิกเซอร์ภาคที่สองของเครื่องรับชุดที่ 1
ข. สัญญาณไอเอฟ 455 kHz ที่เป็นเอาท์พุทของมิกเซอร์ภาคที่สองของเครื่องรับชุดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการวัดเอาท์พุทของภาคดีเทกสัญญาณเบสแบนด์โดยใช้ออสซิลโลสโคปวัดที่ขา 13 ของไอซีเบอร์ MC3362จะได้สัญญาณเบสแบนด์ 1 kHz ดังรูปที่ 5.7



(ก)

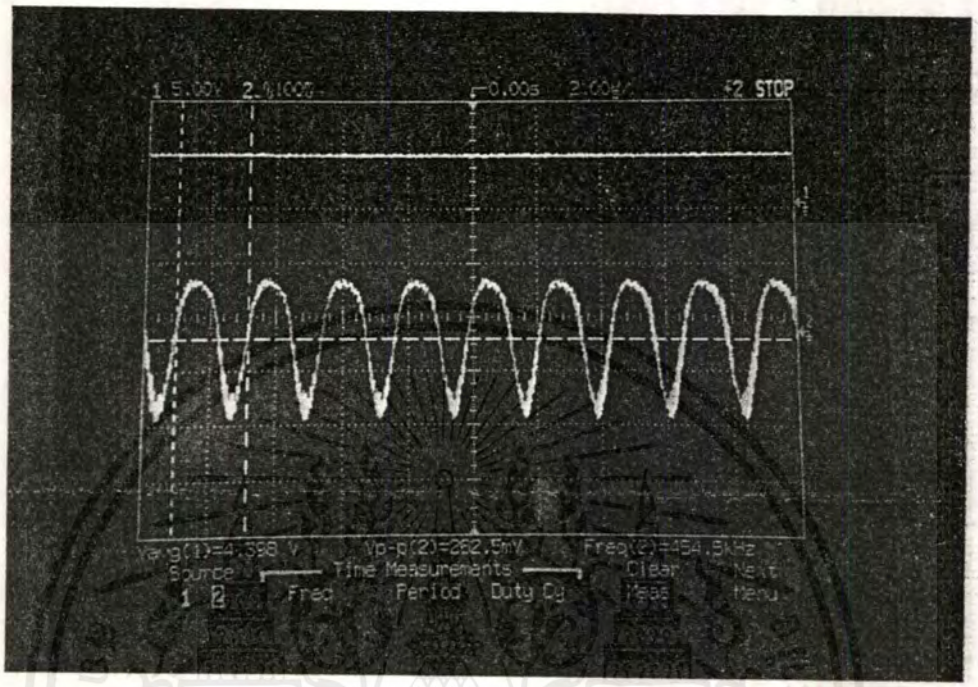


(ข)

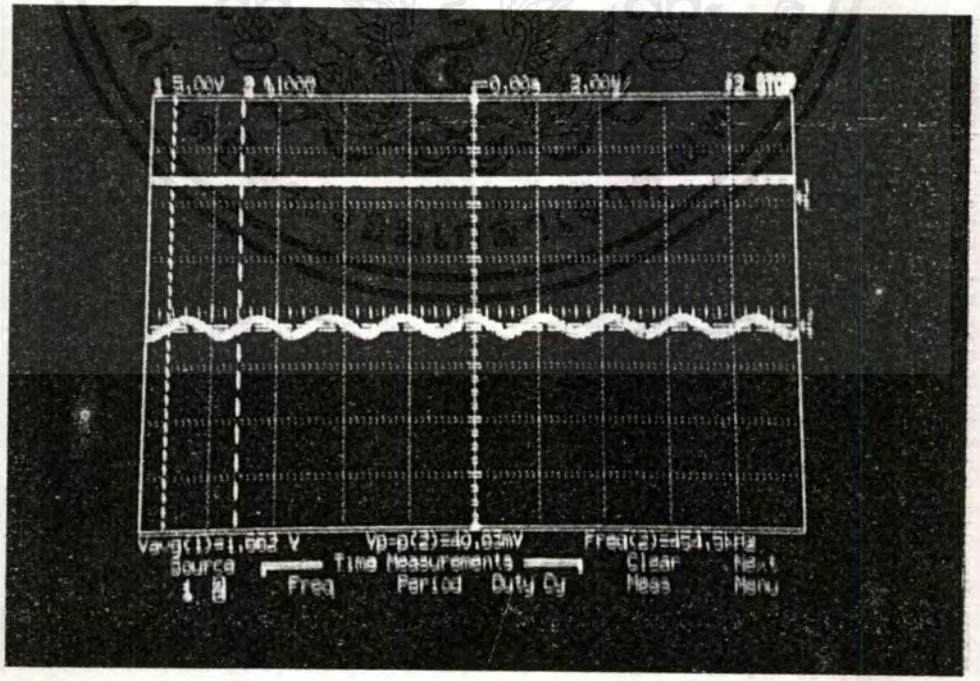
รูปที่ 5.7 ก. สัญญาณเบสแบนด์ที่เอาท์พุทของภาคดีเท็กสัญญาณเสียงของเครื่องรับชุดที่ 1
ข. สัญญาณเบสแบนด์ที่เอาท์พุทของภาคดีเท็กสัญญาณเสียงของเครื่องรับชุดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของการทดสอบวงจรแปลงสัญญาณไอเอฟเป็นระดับไฟตรงนั้นปรากฏว่าสามารถทำงานได้ตามต้องการคือถ้าปรับสัญญาณอินพุทของภาครับเข้าแรง ๆ ระดับไฟตรงก็จะมีระดับสูงและเมื่อปรับสัญญาณอินพุทของภาครับเข้ามาค่อย ๆ ระดับไฟตรงก็จะมีระดับต่ำ ๆ ดังรูปที่ 5.8



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.8 แสดงผลการแปลงสัญญาณไอเอฟเป็นระดับไฟตรง

ก. เมื่อสัญญาณอินพุทเข้ามาแรง

ข. เมื่อสัญญาณอินพุทเข้ามาค่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 สายอากาศแบบ ZL สเปเชียลที่สร้างขึ้น

เนื่องจากสายอากาศที่ใช้เป็นสายอากาศที่สร้างขึ้นเอง ดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบรูปแบบการรับคลื่นของสายอากาศแต่ละชุด โดยการทดสอบแบบสนามไฟฟ้าระยะไกล (Far Field) จะได้รูปแบบการรับคลื่นของสายอากาศตัวที่ 1 และ 2 ดังแสดงในรูปที่ 5.9 และ 5.10 ตามลำดับ

นอกจากรูปแบบการรับคลื่นแล้ว ยังมีคุณสมบัติที่สำคัญของสายอากาศที่สำคัญอย่างหนึ่งคืออัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR:Standing Wave Ratio) ซึ่งได้ทำการวัดค่า SWR ของสายอากาศทั้งสองตัวด้วยเครื่องเนทเวิร์คอนาไลเซอร์ (Network Analyser) ซึ่งสายอากาศตัวที่ 1 ได้ค่า SWR 1 : 1.1412 ส่วนสายอากาศตัวที่2 ได้ค่า SWR 1 : 1.1059 ดังรูปที่ 5.11 และ 5.12 ตามลำดับ

5.3 ทดสอบการทำงานของระบบที่สมบูรณ์

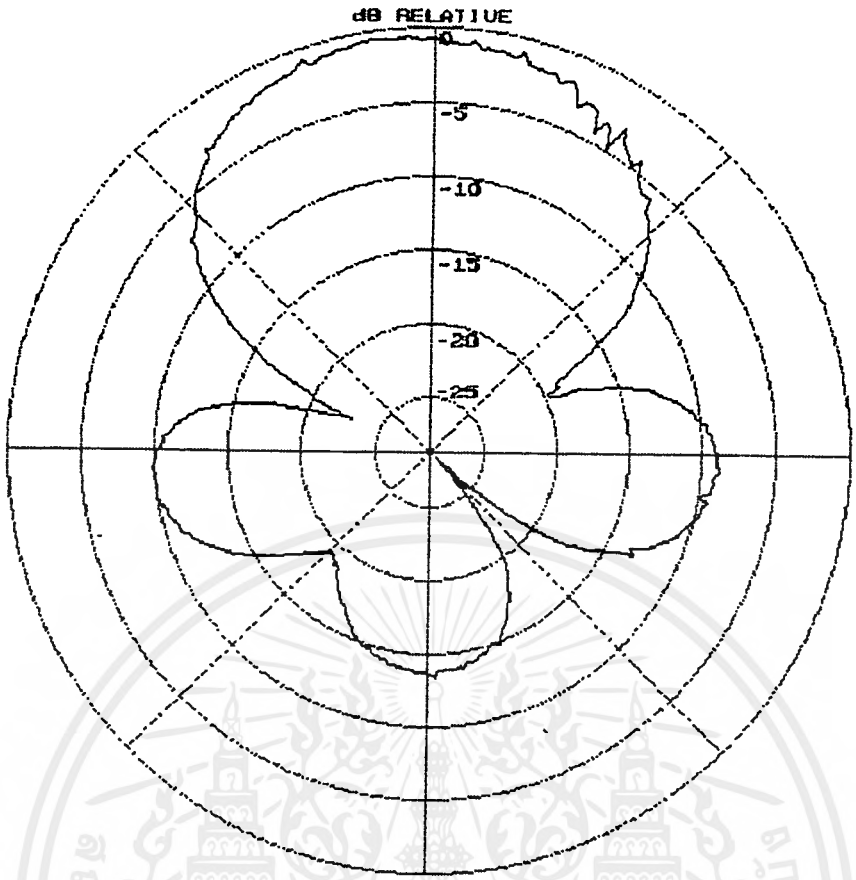
การทดสอบการทำงานของระบบค้นหาตำแหน่งด้วยคลื่นวิทยุที่สมบูรณ์ เริ่มต้นด้วยการจัดเตรียมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบเข้ากันจนเรียบร้อยโดยสายอากาศทั้งสองชุดวางห่างกัน 10 เมตร จากนั้นใช้เครื่องกำเหนิดสัญญาณที่ความถี่ 145 MHz เป็นเป้าหมายส่งสัญญาณออกจากสายอากาศส่ง แล้วสั่งให้ระบบทำการหมุนสายอากาศรับของระบบทั้งสองข้างเพื่อค้นหาตำแหน่งของเป้าหมาย โดยทดลองเปลี่ยนตำแหน่งของเป้าหมายไปตามจุดต่างๆ เท่าที่จะทำได้ แล้วดูผลลัพธ์ตำแหน่งเป้าหมายที่หาได้ ณ จุดต่างๆ ซึ่งให้ผลดังนี้

-ถ้าเป้าหมายอยู่ภายในรัศมี 10 เมตรผลลัพธ์ตำแหน่งเป้าหมายที่ได้จะมีความผิดพลาดค่อนข้างมาก

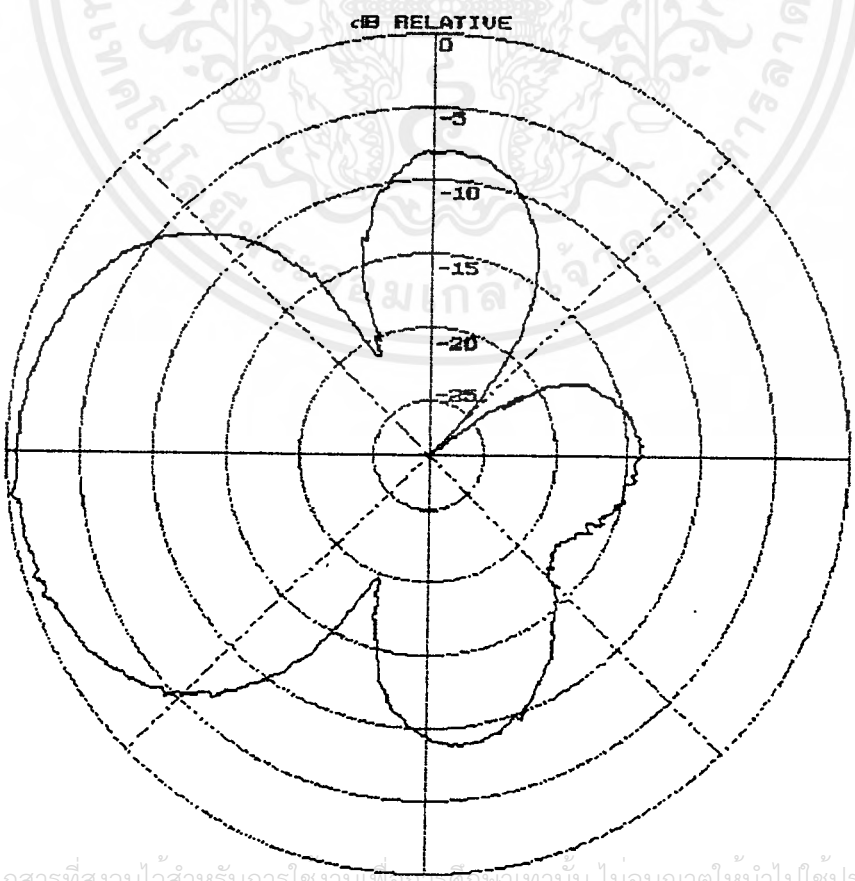
-ถ้าตำแหน่งเป้าหมายอยู่ในช่วงมุมกวาดประมาณ ±20 องศาของสายอากาศที่อยู่ใกล้เป้าหมาย ผลลัพธ์ตำแหน่งเป้าหมายที่หาได้ก็จะมีความผิดพลาดมากเช่นกัน

-ถ้าเป้าหมายอยู่ในตำแหน่งอื่นนอกเหนือจากสองบริเวณข้างบน ผลลัพธ์ตำแหน่งเป้าหมายที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับตำแหน่งจริงพอสมควร ในที่นี้ได้เก็บผลในกรณีที่เป้าหมายอยู่ห่างจากสายอากาศรับทั้งสองชุด 15 เมตร ซึ่งเป็นกรณีที่ให้ผลลัพธ์ตำแหน่งเป้าหมายได้ใกล้เคียงที่สุด รูปแบบของคลื่นที่รับได้จากเป้าหมายโดยสายอากาศทั้งสองชุดในกรณีนี้แสดงดังรูปที่ 5.13 และผลลัพธ์ในการคำนวณหาตำแหน่งของเป้าหมายแสดงได้ดังรูปที่ 5.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

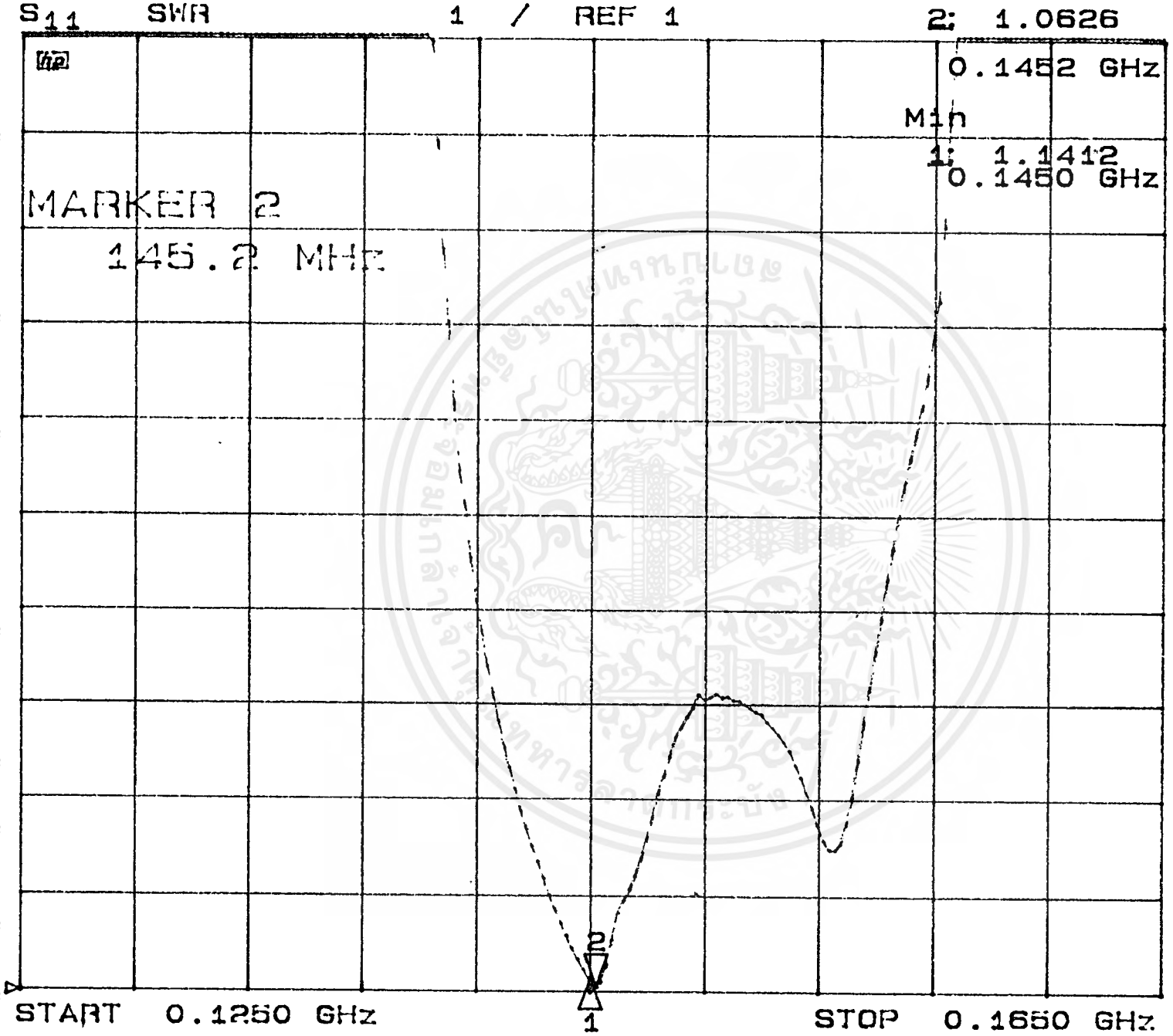


รูปที่ 5.9 รูปแบบการรับคลื่นของสายอากาศตัวที่ 1



รูปที่ 5.10 รูปแบบการรับคลื่นของสายอากาศตัวที่ 2

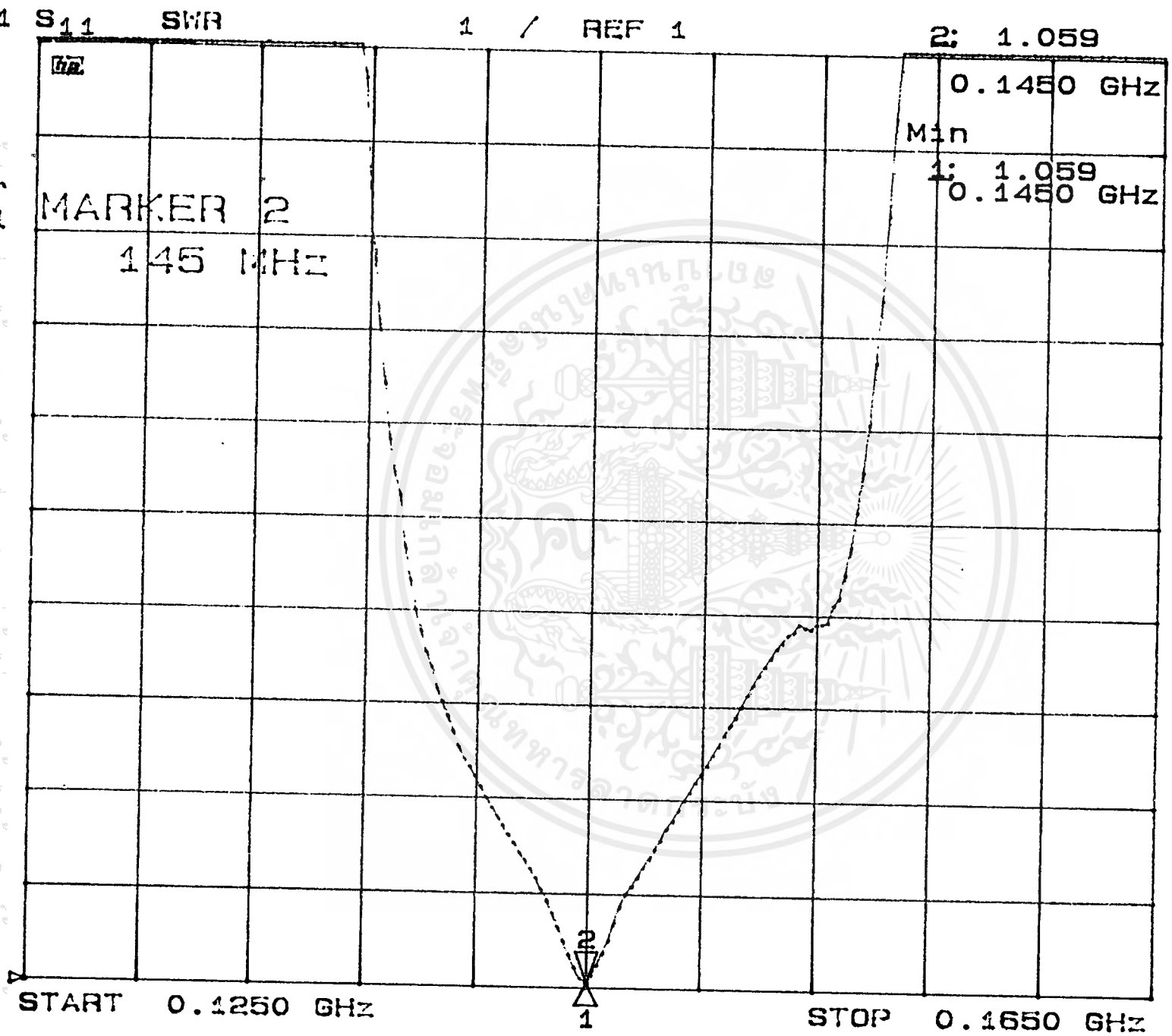
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



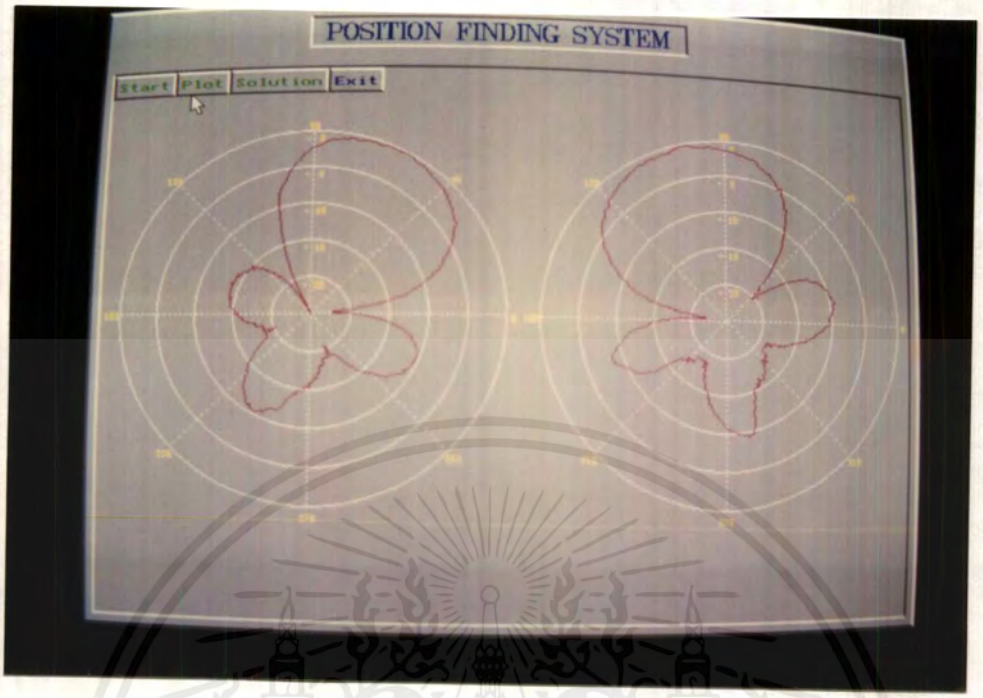
รูปที่ 5.11

ค่า SWR ของสายอากาศ

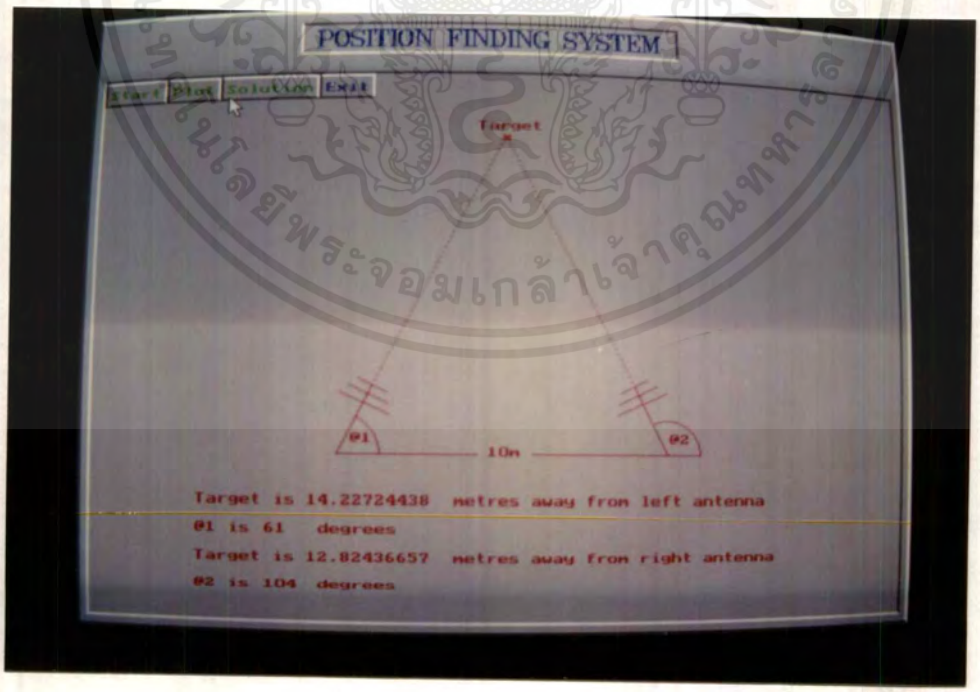
ตำแหน่งที่ 1 ที่วัดได้



รูปที่ 5.12
ค่า SWR ของสายอากาศ
ตัวที่ 2 ที่วัดได้



รูปที่ 5.13 หน้าจอแสดงรูปแบบของคลื่นที่รับได้โดยสายอากาศทั้งสองข้างจากเป้าหมายในการทดลอง



รูปที่ 5.14 หน้าจอแสดงตำแหน่งของเป้าหมายที่คำนวณได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
บทสรุปและวิจารณ์

จากผลการทดสอบการทำงานของวงจรและอุปกรณ์แต่ละส่วน สรุปผลได้ดังนี้

1. วงจรขับมอเตอร์หมุนสายอากาศสามารถทำงานได้ตามต้องการอย่างมีประสิทธิภาพ

2. วงจรอินเตอร์เฟสสามารถทำงานได้ตามต้องการอย่างมีประสิทธิภาพ และทำงานได้สอดคล้องกับซอฟแวร์ที่เขียนขึ้น

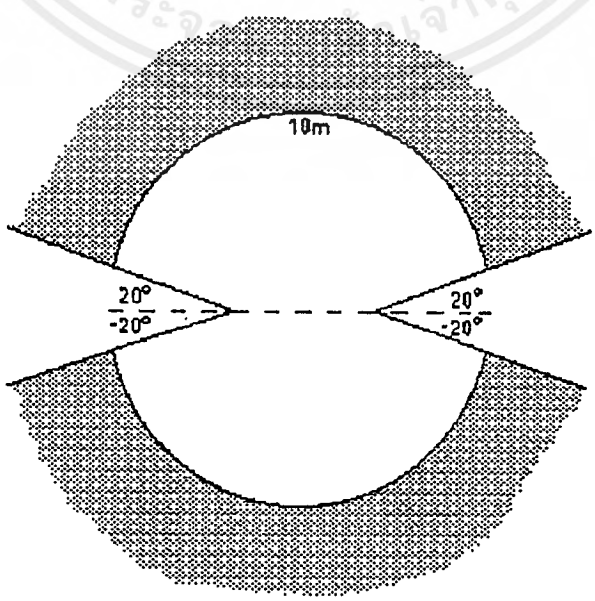
3. วงจรเครื่องรับทั้งสองชุดทำงานได้ดีพอสมควร โดยเครื่องรับชุดที่ 1 และ 2 มีค่าความไวในการรับสัญญาณที่ - 90 dBm และ - 70 dBm ตามลำดับ

4. วงจรฟรอนท์เอนด์ที่สร้างขึ้นนั้นให้ผลในการขยายสัญญาณต่ำกว่าที่คำนวณออกแบบไว้พอสมควร ทั้งนี้เพราะค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณใช้ค่าโดยทั่วไป (Typical) ซึ่งอาจไม่แม่นยำ เช่น อัตราขยายกระแสภายใน (β) ของทรานซิสเตอร์ นอกจากนั้นยังอาจมีผลเนื่องจากคาปาซิแตนซ์แฝงหรือค่าอินดักแตนซ์แฝง ซึ่งมักเกิดขึ้นในวงจรความถี่สูง ทำให้เกิดการลดทอนของวงจรขยายได้ แต่อย่างไรก็ตามก็สามารถขยายสัญญาณได้พอสมควร

5. วงจรแปลงสัญญาณไอเอฟเป็นระดับไฟตรงสามารถทำงานได้ถูกต้อง แต่ความแรงของสัญญาณต้องไม่เกิน 262 mV_{pp} จึงจะได้ผลถูกต้อง

6. สายอากาศยากิแบบ ZL สเปเชียลทั้งสองชุด ให้อัตราส่วนคลื่นนิ่งค่อนข้างต่ำใช้ได้ แต่รูปแบบการรับคลื่นจากที่ทดสอบได้ยังไม่ค่อยดีนัก เพราะมีมลักยังกว้างมาก แต่ก็พอใช้งานตามต้องการได้

และจากผลที่ได้จากการทดลองทำการค้นหาตำแหน่งของเครื่องส่งเป้าหมาย ปรากฏว่าจะให้ผลใกล้เคียงเมื่อเป้าหมายอยู่นอกรัศมีประมาณ 10 เมตรขึ้นไปและต้องอยู่นอกช่วงมุมกวาดประมาณ ±20 องศาของสายอากาศที่อยู่ใกล้เป้าหมาย ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1แสดงบริเวณที่ระบบสามารถค้นหาตำแหน่งของเป้าหมายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.1 บริเวณที่แรเงาคือบริเวณที่ระบบค้นหาตำแหน่งที่สร้างขึ้นสามารถค้นหาตำแหน่งของเป้าหมายได้ใกล้เคียงที่สุด แต่ถ้าเป้าหมายอยู่นอกบริเวณนี้ผลที่ได้จะไม่ใกล้เคียงหรืออาจจะผิดพลาดไม่สามารถหาตำแหน่งได้เลย เหตุที่รัศมีในการทำงานมีข้อจำกัดสอดคล้องกับข้อสรุปที่กล่าวไว้ในข้อ 5. คือถ้าเครื่องส่งเป้าหมายอยู่ใกล้กว่านี้ สัญญาณไอเอฟที่ได้จะแรงเกินไป ทำให้วงจรขยายก่อนแปลงเป็นไฟตรงเกิดการอิ่มตัว เมื่อแปลงเป็นไฟตรงจะไม่ได้ระดับที่ถูกต้อง ส่วนสาเหตุที่ช่วงมุมกวาดบางช่วงไม่สามารถหาเป้าหมายได้นั้นก็สอดคล้องกับข้อสรุปที่กล่าวไว้ในข้อ 6. คือบีมหลักของสายอากาศกว้างมาก เมื่อสายอากาศทั้งสองข้างชี้ไปเป็นมุมใกล้เคียงกัน ทิศที่รับสัญญาณได้แรงสุดของสายอากาศทั้งสองอาจไม่ชี้มาตัดกัน ทำให้ซอฟแวร์ไม่สามารถคำนวณได้

เนื่องจากโครงงานนี้เป็นเพียงการทดลองสร้างเพื่อศึกษาแนวทางและความเป็นไปได้ของระบบค้นหาตำแหน่งด้วยคลื่นวิทยุ ซึ่งจากผลการทำงานของระบบที่สร้างขึ้นก็เป็นไปตามแนวทางที่น่าพอใจแต่อาจจะไม่ดีนัก ทั้งนี้เพราะอุปกรณ์ส่วนใหญ่จะสร้างขึ้นเองเพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย ซึ่งประสิทธิภาพอาจด้อยไปบ้าง ถ้าจะนำไปพัฒนาให้ใช้งานได้จริง ควรจะเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศและวงจรเครื่องรับ โดยอาจจะใช้ของที่มีขายตามท้องตลาดที่ได้มาตรฐาน ส่วนวงจรส่วนอื่น ๆ สามารถใช้ตามโครงงานนี้ได้เลย เพราะมีประสิทธิภาพดีแล้ว

ในโครงงานนี้ใช้สายอากาศสองชุดในการกวาดหมุนรับคลื่นจากเป้าหมาย จะมีข้อเสียคือเมื่อเป้าหมายอยู่ในแนวเดียวกันกับสายอากาศทั้งสองชุด จะไม่สามารถหาเป้าหมายได้ เพราะจะไม่มีจุดตัดตามหลักการในหัวข้อ 2.1 แนวทางที่น่าศึกษาและพัฒนาโครงงานนี้ต่อไปคือทดลองเพิ่มสายอากาศเป็นสามชุดวางเป็นมุมฉาก แล้วจับคู่สายอากาศทีละสองชุดโดยใช้หลักการคำนวณเหมือนเดิม จะสามารถแก้ไขข้อเสียข้างต้นได้ และควรจะปรับปรุงให้ระบบสามารถปรับเลื่อนหาความถี่ของเป้าหมายได้ เพื่อให้สามารถใช้งานได้กว้างขึ้น นอกจากนี้ควรจะเพิ่มส่วนลดทอนความแรงของสัญญาณในกรณีที่เป้าหมายอยู่ใกล้เกินไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ 1 "userscreen.c" เป็นโปรแกรมหลักของระบบ(สอดคล้องกับแผนภูมิการไหลรูปที่ 4.1)

```
#include <conio.h>
#include <stdio.h>
#include <graphics.h>
#include <dos.h>
#include "click.c"
void  main()
{
  int gdriver=DETECT,gmode;
  registerbgidriver(EGAVGA_driver);
  initgraph(&gdriver,&gmode,"");
  if(!mouse_installed())
  {
      closegraph();
      printf("Error resetting mouse\n");
      exit(1);
  }
  setmouse(320,200);
  setregion(0,0,630,460);
  screen();
  mouse_display();
  do{
        do m = getmouse() while(!m.status);
        switch(state)
        {
            case 1:check_startclick();check_exitclick();break;
            case 2:check_startclick();check_plotclick();
                   check_solutionclick();check_exitclick();
        }
    }while(1);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ 2 "click.c" เป็นโมดูลตรวจสอบการคลิก

```
#include<graphics.h>
#include "isr.c"
#include "plotpola.c"
#include "process.c"
#include "blk&bt.c"
#include "grapmous.c"
struct MOUSETYPE m;
int state=1;
void stop(void);
void click_plot(void);
void click_solution(void);
void check_startclick(void);
void check_plotclick(void);
void check_solutionclick(void);
void check_exitclick(void);
/*************/
void click_start(void)
{
  mouse_hide();
  button(25,67,"Start",5,8,8,15);
  button(74,67,"Plot",4,8,15,8);
  button(115,67,"Solution",8,8,15,8);
  button(188,67,"Exit",4,8,15,8);
  mouse_display();
  setcolor(7);
  bar(20,80,619,459);
  setcolor(4);
  outtextxy(200,180,"System is scanning for a target");
  outtextxy(140,220,"Plese wait or Press stop to cancle scanning
process");
  getdata();
  stop();
}
void stop(void)
{
  mouse_hide();
  button(25,67,"Start",5,2,15,8);
  button(74,67,"Plot",4,2,15,8);
  button(115,67,"Solution",8,2,15,8);
  button(188,67,"Exit",4,1,15,8);
  mouse_display();
  setcolor(7);
  bar(130,150,600,280);
  setcolor(4);
  outtextxy(100,160,"Press 'Start' to rescan again");
  outtextxy(100,180,"Press 'Plot' to see radiation pattern of the two
antennas");
  outtextxy(100,200,"Press 'Solution' to show solution of position
finding");
  state=2;
}
void click_plot(void)
{
  mouse_hide();
  button(74,67,"Plot",4,2,8,15);delay(50);
  button(74,67,"Plot",4,2,15,8);
  mouse_display();
  setcolor(7);
  bar(20,80,620,459);
  polargraph(175,250,140);
  polargraph(480,250,140);
  plot();
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void click_solution(void)
{
  mouse_hide();
  button(115,67,"Solution",8,2,8,15);delay(50);
  button(115,67,"Solution",8,2,15,8);
  mouse_display();
  setcolor(7);
  bar(20,80,627,459);
  setcolor(4);
  solve();
}
void check_startclick(void)
{
   if((m.x>=22)&&(m.x<=66)&&(m.y>=62)&&(m.y<=77))
   {
       click_start();
   }
}
void check_plotclick(void)
{
   if((m.x>=71)&&(m.x<=107)&&(m.y>=62)&&(m.y<=77))
   {
       click_plot();
   }
}
void check_solutionclick(void)
{
   if((m.x>=112)&&(m.x<=180)&&(m.y>=62)&&(m.y<=77))
   {
       click_solution();
   }
}
void check_exitclick(void)
{
   if((m.x>=185)&&(m.x<=221)&&(m.y>=62)&&(m.y<=77))
   {
       mouse_hide();
       closegraph();
       exit(1);
   }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ 3 "isr.c" เป็นโปรแกรมย่อยการรับข้อมูลความแรงจากสายอากาศทั้งสองข้าง

```
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <dos.h>
#define vect1 10
#define vect2 14
void getdata(void);
void interrupt isr1(void);
void interrupt isr2(void);
void interrupt (*oldint1)(void);
void interrupt (*oldint2)(void);
volatile int data,portid=0;
FILE *datafile1,*datafile2;
/*ฟังก์ชั่น getdata สอดคล้องกับแผนภูมิการไหลที่ 4.3*/
void getdata(void)
{
 int n1=0,nr=0;
 oldint1 = getvect(vect1);
 oldint2 = getvect(vect2);
 setvect(vect1,isr1);
 setvect(vect2,isr2);
 datafile1 = fopen("data1.dat","wb");
 datafile2 = fopen("data2.dat","wb");
 outportb(0x302,0x03);   /*start rotating antenna*/
 do{
      switch(portid)
      {
       case 301:n1++;
                fwrite(&data,sizeof(data),1,datafile1);
                if(n1==360)
                 outportb(0x302,0x02); /*stop antenna #1*/
                portid=0;
                break;
       case 300:nr++;
                fwrite(&data,sizeof(data),1,datafile2);
                if(nr==360)
                 outportb(0x302,0x01); /*stop antenna #2*/
                portid=0;
      }
   }while((n1<=360)||(nr<=360));
 outportb(0x302,0x00);
 fclose(datafile1);
 fclose(datafile2);
 outportb(0x302,0x0C);   /*return to the first position*/
 do{
      switch(portid)
      {
       case 301:n1--;
                if(n1==0)
                 outportb(0x302,0x04);
                portid=0;
                break;
       case 300:nr--;
                if(nr==0)
                 outportb(0x302,0x08);
                portid=0;
      }
   }while((n1>=0)||(nr>=0));
 outportb(0x302,0x00);
 setvect(vect1,oldint1);
 setvect(vect2,oldint2);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/*อินเทอร์รัพท์ฟังก์ชั่น isr1 และ isr2 สอดคล้องกับแผนภูมิการไหลที่ 4.4 ก , ข ตามลำดับ*/
void interrupt isr1(void)          /*interrupt service routine 1*/
{
  data = inportb(0x301);
  portid = 301;
  oldint1();
}
void interrupt isr2(void)          /*interrupt service routine 2*/
{
  data = inportb(0x300);
  portid = 300;
  oldint2();
}
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ 4 "process.c" เป็นโปรแกรมย่อยของกระบวนการคำนวณหาและแสดงตำแหน่งของเป้าหมาย

```
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
#include<math.h>
#include<graphics.h>
#include<conio.h>
#define pi 3.141592654
FILE *datafile1,*datafile2;
float compare(FILE *datafile);
int errorcheck(int rg,int lf);
void draw(void);
/*ฟังก์ชั่น solve สอดคล้องกับแผนภูมิการไหลที่ 4.5*/
void solve(void)
{
 float lftang,rgtang,vertexang,dl,dr;
 char strdl[25],strdr[25],strlfang[3],strrtang[3];
 datafile1 = fopen("data1.dat","rb");
 datafile2 = fopen("data2.dat","rb");
 lftang = compare(datafile1);
 rgtang = compare(datafile2);
 vertexang = errorcheck(rgtang,lftang);
 if(vertexang==0)
   outtextxy(100,240,"Error:Target may be in the critical line or
detection error");
 else
 {
   if(rgtang<180)
       dl = 10*(sin(pi*(180-rgtang)/180)/sin(pi*vertexang/180));
   else
       dl = 10*(sin(pi*(rgtang-180)/180)/sin(pi*vertexang/180));
   if(lftang<180)
       dr = 10*(sin(pi*lftang/180)/sin(pi*vertexang/180));
   else
       dr = 10*(sin(pi*(360-lftang)/180)/sin(pi*vertexang/180));
   gcvt(dl,10,strdl);
   gcvt(dr,10,strdr);
   gcvt(lftang,3,strlfang);
   gcvt(rgtang,3,strrtang);
   draw();
   outtextxy(100,380,"Target is                metres away from left
antenna");
   outtextxy(180,380,strdl);
   outtextxy(100,420,"Target is                metres away from right
antenna");
   outtextxy(180,420,strdr);
   outtextxy(100,400,"@1 is      degrees");
   outtextxy(150,400,strlfang);
   outtextxy(100,440,"@2 is      degrees");
   outtextxy(150,440,strrtang);
 }
}
/*ฟังก์ชั่น compare สอดคล้องกับแผนภูมิการไหลที่ 4.6*/
float compare(FILE *datafile)
{
 volatile int i1=0,i2,angle=0;
 float dirang=0,peakang1=0,peakang2=0;
 do{
      angle++;
      fread(&i2,sizeof(i2),1,datafile);
      if(i2>i1)
      {
        i1 = i2;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        peakang1 = angle;
      }
   }while(angle!=360);
 angle=0;
 fseek(datafile,0L,SEEK_SET);
 do{
      angle++;
      fread(&i2,sizeof(i2),1,datafile);
      if(i2==i1)
      {
        peakang2 = angle;
      }
   }while(angle!=360);
 fclose(datafile);
 dirang = (peakang1+peakang2)/2;
 return dirang;
}
/*ฟังก์ชั่น errorcheck สอดคล้องกับแผนภูมิการไหลที่ 4.7*/
int errorcheck(int rg,int lf)
{
  if((lf==180)||(lf==360)||(rg==180)||(rg==360)||(lf==rg))
      return 0;
  else
  {
      if(lf<180)
      {
         if((rg>lf)&&(rg<180)) return rg-lf;
         else return 0;
      }
      else
      {
         if((lf>rg)&&(rg>180)) return lf-rg;
         else return 0;
      }
  }
}
/*ฟังก์ชั่นวาดรูปแสดงตำแหน่งเป้าหมายเป็นลักษณะสามเหลี่ยม*/
void draw(void)
{
  int i;
  line(200,350,300,350);line(340,350,465,350);outtextxy(308,345,"10m");
  line(200,350,225,300);line(440,350,415,300);
  for(i=0;i<3;i++)
   line(215-7*i,295+5*i,235+i,305+8*i);
  for(i=0;i<3;i++)
   line(425+7*i,295+5*i,405-i,305+8*i);
  arc(200,350,0,64,30);
  arc(440,350,0,115,25);
  outtextxy(210,335,"@1                                    @2");
  setlinestyle(DOTTED_LINE,1,1);
  line(225,300,320,110);line(415,300,320,110);
  outtextxy(300,98,"Target"); outtextxy(317,108,"*");
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ 5 "plotpola.c" เป็นโปรแกรมย่อยของกระบวนการวาดรูปสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศทั้งสองข้าง

```
#include <graphics.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <math.h>
#define pi 3.141592654
#define ratio 58.174803 /*ratio = 10*polargraph's radius/max strengh in
                          dBm*/
FILE *datafile1,*datafile2;
void polargraph(int xc,int yc,int rc);
void sigplot(int xc,int yc,FILE *datafile);
/*ฟังก์ชั่น plot สอดคล้องกับแผนภูมิการไหลรูปที่ 4.9*/
void plot(void)
{
  polargraph(175,250,140);
  polargraph(480,250,140);
  datafile1 = fopen("data1.dat","rb");
  datafile2 = fopen("data2.dat","rb");
  sigplot(175,250,datafile1);
  sigplot(480,250,datafile2);
  fclose(datafile1);
  fclose(datafile2);
}
/*ฟังก์ชั่นวากรูปโพลาร์กราฟ*/
void polargraph(int xc,int yc,int rc)
{
 int i;
 char str[3];
 setlinestyle(DOTTED_LINE,1,1);
 for(i=1;i<6;i++)
 {
   setcolor(15);
   circle(xc,yc,rc*i/5);
   setcolor(14);
   settextjustify(CENTER_TEXT,CENTER_TEXT);
   settextstyle(2,HORIZ_DIR,2);
   gcvt((5-i)*5,2,str);                  //dB
   outtextxy(xc+5,yc+5-rc*i/5,str); //dB
   outtextxy(xc-5,yc+5-rc*i/5,"-"); //dB
 }
 for(i=1;i<5;i++)
 {
   setcolor(15);
   line(xc+rc*cos(pi*i/4),yc-rc*sin(pi*i/4),
        xc-rc*cos(pi*i/4),yc+rc*sin(pi*i/4));
   setcolor(14);
   settextjustify(CENTER_TEXT,CENTER_TEXT);
   settextstyle(2,HORIZ_DIR,2);
   gcvt((i-1)*45,3,str);                 //upper angle
   outtextxy(xc+(rc+5)*cos(pi*(i-1)/4),yc-(rc+5)*sin(pi*(i-1)/4),str);
   gcvt(180+(i-1)*45,3,str);             //lower angle
   outtextxy(xc-(rc+7)*cos(pi*(i-1)/4),yc+(rc+7)*sin(pi*(i-1)/4),str);
   settextjustify(LEFT_TEXT,TOP_TEXT);
   settextstyle(0,HORIZ_DIR,1);
 }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/*ฟังก์ชั่น sigplot graph สอดคล้องกับแผนภูมิการไหลรูปที่ 4.10*/
void sigplot(int xc,int yc,FILE *datafile)
{
 int  r,x,y,x1,y1,strengh,ang=1;
 setcolor(4);
 setlinestyle(SOLID_LINE,1,1);
 while(!feof(datafile))
 {
   fread(&strengh,sizeof(strengh),1,datafile);
   r = ratio*log10(strengh+1);  /*add strengh by 1 to avoid zero log
error*/
   x = xc+r*cos(pi*ang/180);
   y = yc-r*sin(pi*ang/180);
   if(ang==1)
   {
      x1=x; y1=y;
      moveto(x1,y1);
   }
   else
   {
      lineto(x,y);
   }
   ang++;
 }
 lineto(x1,y1);
 fclose(datafile);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ 6 "blk&bt.c" เป็นโมดูลสำหรับการวาดบล็อกหน้าจอและปุ่มสำหรับเลือกการทำงานต่างๆ

```
#include<graphics.h>
void block(int l,int t,int r,int b,int thick,int trclr,int blclr);
void button(int xt,int yt,char far *str,int txtlong,int txtclr,int
trclr,int blclr);
void screen(void);
/***************************/
void border(int xs,int ys,int xd,int yd,int side,int thick,int clr)
{
  int n;
  setcolor(clr);
  for(n=1;n<thick;n++)
  {
      setlinestyle(SOLID_LINE,1,1);
      switch(side)
      {
       case 1:line(xs-n,ys-n,xd+n,yd-n);break;//top
       case 2:line(xs+n,ys-n,xd+n,yd+n);break;//right
       case 3:line(xs-n,ys-n,xd-n,yd+n);break;//left
       case 4:line(xs-n,ys+n,xd+n,yd+n);break;//buttom
      }
  }
}
void block(int l,int t,int r,int b,int thick,int trclr,int blclr)
{
  border(l,t,r,t,1,thick,trclr);
  border(r,t,r,b,2,thick,trclr);
  border(l,t,l,b,3,thick,blclr);
  border(l,b,r,b,4,thick,blclr);
}
void button(int xt,int yt,char far *str,int txtlong,int txtclr,int
trclr,int blclr)
{
  settextstyle(0,HORIZ_DIR,1);
  setcolor(txtclr);
  outtextxy(xt,yt,str);
  block(xt-3,yt-5,xt+txtlong*8+1,yt+10,3,trclr,blclr);
}
void screen(void)
{
  setfillstyle(SOLID_FILL,7);
  bar(20,60,629,469);
  block(20,60,629,469,3,8,15);
  block(18,58,631,471,6,7,7);
  bar(13,8,636,53);
  block(13,8,636,476,4,15,8);
  block(170,18,450,40,3,8,15);
  settextstyle(1,HORIZ_DIR,2);
  setcolor(1);
  outtextxy(180,16,"POSITION FINDING SYSTEM");
  button(25,67,"Start",5,2,15,8);
  button(74,67,"Plot",4,8,15,8);
  button(115,67,"Solution",8,8,15,8);
  button(188,67,"Exit",4,1,15,8);
  setcolor(1);
  outtextxy(100,160,"Press 'Start' to begin finding the target");
  outtextxy(100,180,"Press 'Exit' to exit the program");
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ 7 "graphmous.c" เป็นโปรแกรมจัดการเกี่ยวกับการเรียกใช้เมาส์

```
#include<dos.h>
#include<graphics.h>
struct MOUSETYPE{  int x;
                   int y;
                   int status;
                };
int mouse_installed(void);
void mouse_display(void);
void mouse_hide(void);
void setregion(int x1,int y1,int x2,int y2);
struct MOUSETYPE getmouse(void);
void setmouse(int x,int y);

int mouse_installed(void)
{
 _AX = 0;
 geninterrupt(0x33);
 if(_AX==0) return 0;
 else return 1;
}

void mouse_display(void)
{
 _AX = 0X01;
 geninterrupt(0x33);
}

void mouse_hide(void)
{
 _AX = 0X02;
 geninterrupt(0x33);
}

void setregion(int x1,int y1,int x2,int y2)
{
  _CX = x1;
  _DX = x2;
  _AX = 0x07;
  geninterrupt(0x33);
  _CX = y1;
  _DX = y2;
  _AX = 0x08;
  geninterrupt(0x33);
}

struct MOUSETYPE getmouse(void)
{
 struct MOUSETYPE m;
 _AX = 0x03;
 geninterrupt(0x33);
 m.status = _BX;
 m.x      = _CX;
 m.y      = _DX;
 return m;
}

void setmouse(int x,int y)
{
 _CX = x;
 _DX = y;
 _AX = 0x04;
 geninterrupt(0x33);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

MC3362

LOW-POWER NARROWBAND FM RECEIVER

... includes dual FM conversion with oscillators, mixers, quadrature discriminator, and meter drive/carrier detect circuitry. The MC3362 also has buffered first and second local oscillator outputs and a comparator circuit for FSK detection.

- Complete Dual Conversion Circuitry
- Low Voltage: V_{CC} = 2.0 to 6.0 Vdc
- Low Drain Current (3.6 mA (Typ) @ V_{CC} = 3.0 Vdc)
- Excellent Sensitivity: Input Voltage 0.6 μVrms (Typ) for 12 dB SINAD
- Externally Adjustable Carrier Detect Function
- Low Number of External Parts Required
- Manufactured Using Motorola's MOSAIC® Process Technology
- MC13135 is Preferred for New Designs

LOW-POWER DUAL CONVERSION FM RECEIVER

SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUIT

P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 724

DW SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751E
(SO-24L)

8

FIGURE 1 — TYPICAL APPLICATION IN A PLL FREQUENCY SYNTHESIZED RECEIVER

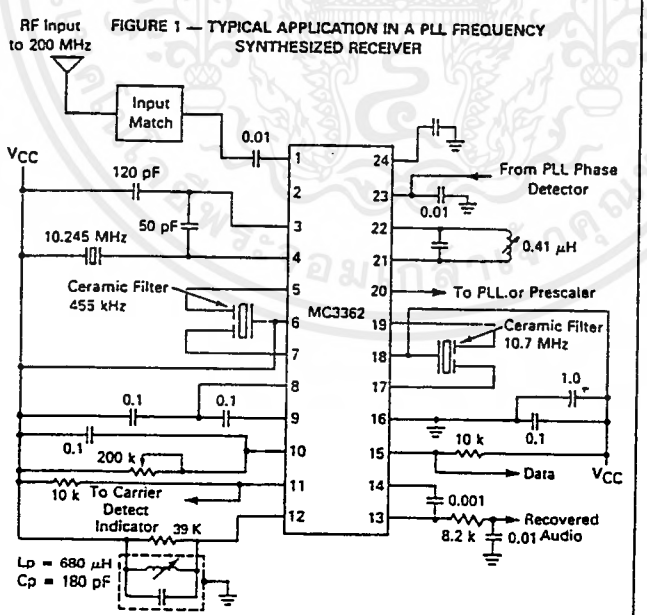
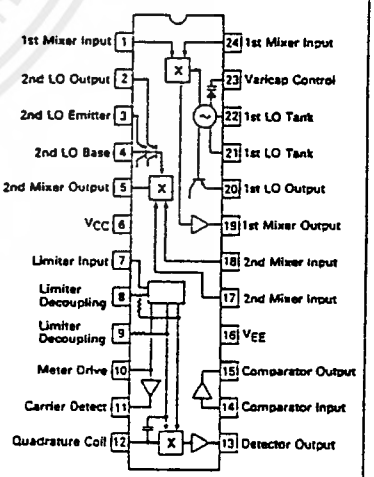


FIGURE 2 — PIN CONNECTIONS AND FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

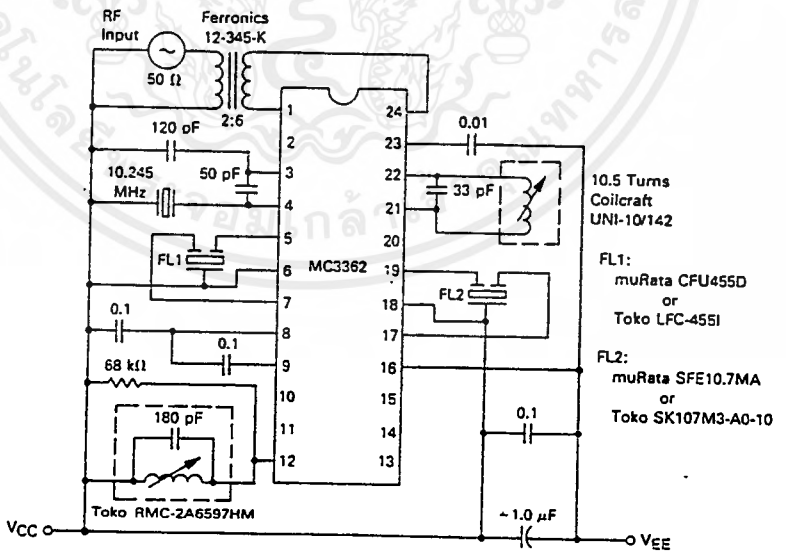
MAXIMUM RATINGS (T_A = 25°C, unless otherwise noted)

Rating	Pin	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage (See Diagram)	6	$V_{CC(max)}$	7.0	Vdc
Operating Supply Voltage Range (Recommended)	6	V_{CC}	2.0 to 6.0	Vdc
Input Voltage (V_{CC} ≥ 5.0 Vdc)	1, 24	V_{1-24}	1.0	Vrms
Junction Temperature	—	T_J	150	°C
Operating Ambient Temperature Range	—	T_A	−40 to +85	°C
Storage Temperature Range	—	T_{stg}	−65 to +150	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = 5.0 Vdc, f_o = 49.7 MHz, Deviation = 3.0 kHz, T_A = 25°C, Test Circuit of Figure 3 unless otherwise noted)

Characteristic	Pin	Min	Typ	Max	Units
Drain Current (Carrier Detect Low — See Figure 5)	6	—	4.5	7.0	mA
Input for −3.0 dB Limiting		—	0.7	2.0	µVrms
Input for 12 dB SINAD (See Figure 9)		—	0.6	—	µVrms
Series Equivalent Input Impedence		—	450–j350	—	Ω
Recovered Audio (RF signal level = 10 mV)	13	—	350	—	mVrms
Noise Output (RF signal level = 0 mV)	13	—	250	—	mVrms
Carrier Detect Threshold (below V_{CC})	10	—	0.64	—	Vdc
Meter Drive Slope	10	—	100	—	nA/dB
Input for 20 dB (S + N)/N (See Figure 7)		—	0.7	—	µVrms
First Mixer 3rd Order Intercept (Input)		—	−22	—	dBm
First Mixer Input Resistance (Rp)		—	690	—	Ω
First Mixer Input Capacitance (Cp)		—	7.2	—	pF
Conversion Voltage Gain, First Mixer		—	18	—	dB
Conversion Voltage Gain, Second Mixer		—	21	—	
Dector Output Resistance	13	—	1.4	—	kΩ

FIGURE 3 — TEST CIRCUIT



NOTE: See AN980 for Additional Design Information.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 4 — I_{METER} versus INPUT

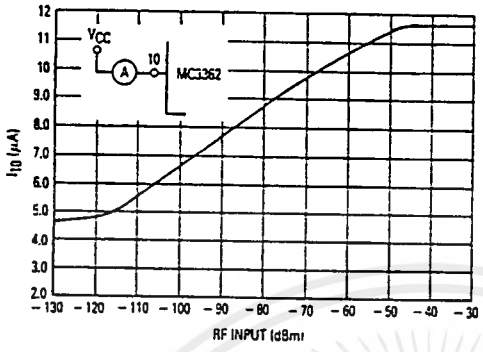


FIGURE 5 — DRAIN CURRENT, RECOVERED AUDIO versus SUPPLY

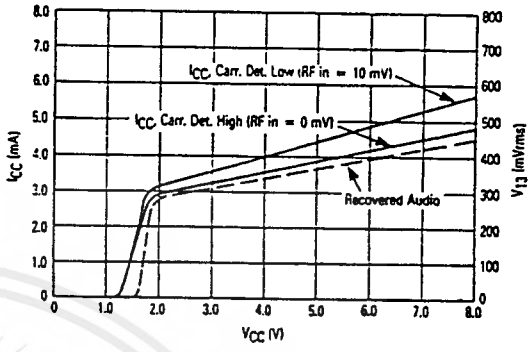


FIGURE 6 — SIGNAL LEVELS

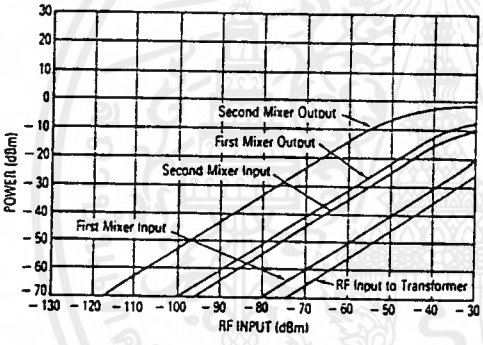


FIGURE 7 — S+N, N, AMR versus INPUT

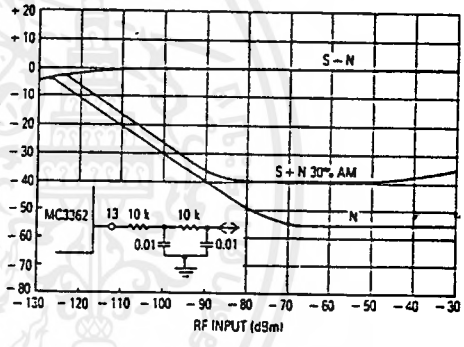


FIGURE 8 — 1ST MIXER 3RD ORDER INTERMODULATION

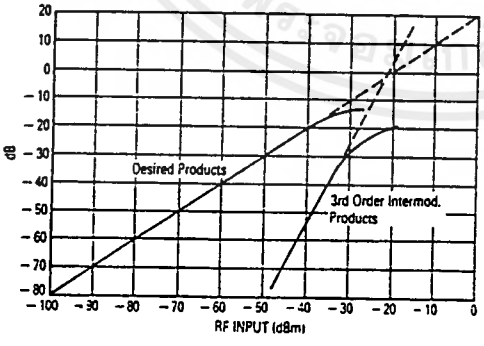
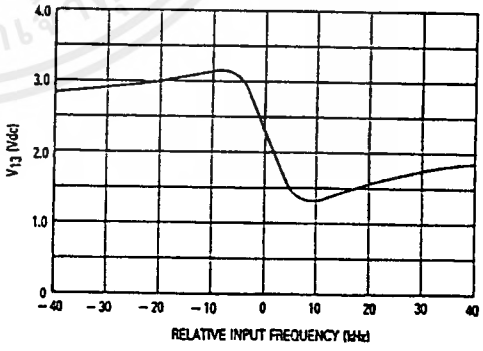


FIGURE 9 — DETECTOR OUTPUT versus FREQUENCY



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 10 — PC BOARD TEST CIRCUIT
(LC Oscillator Configuration Used in PLL Synthesized Receiver)

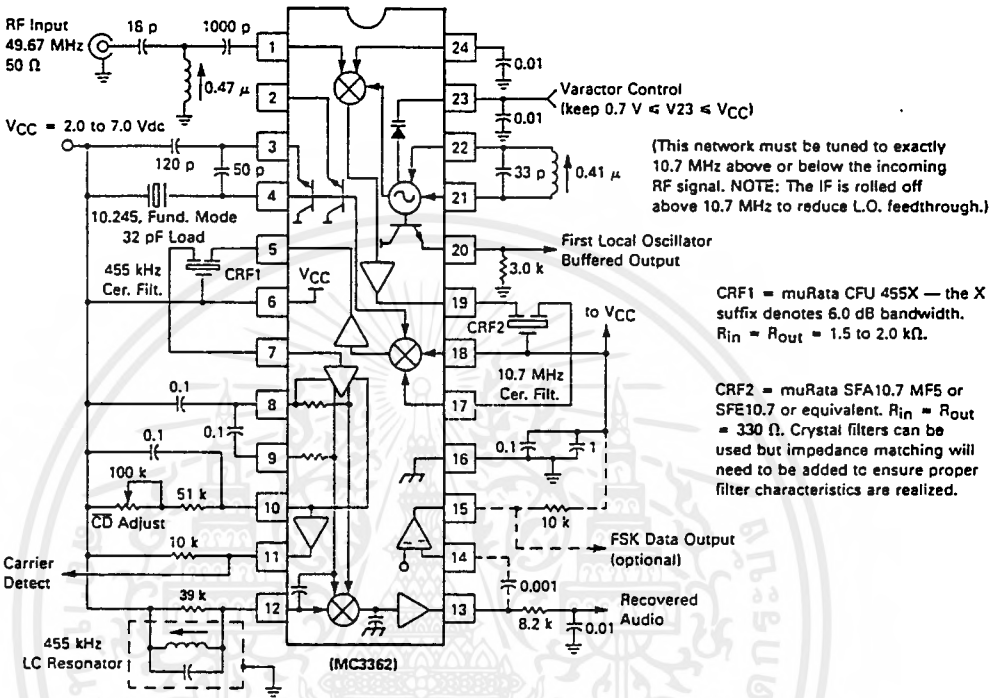
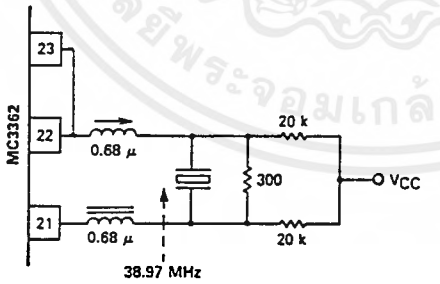


FIGURE 10A — CRYSTAL OSCILLATOR CONFIGURATION FOR SINGLE CHANNEL APPLICATION



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

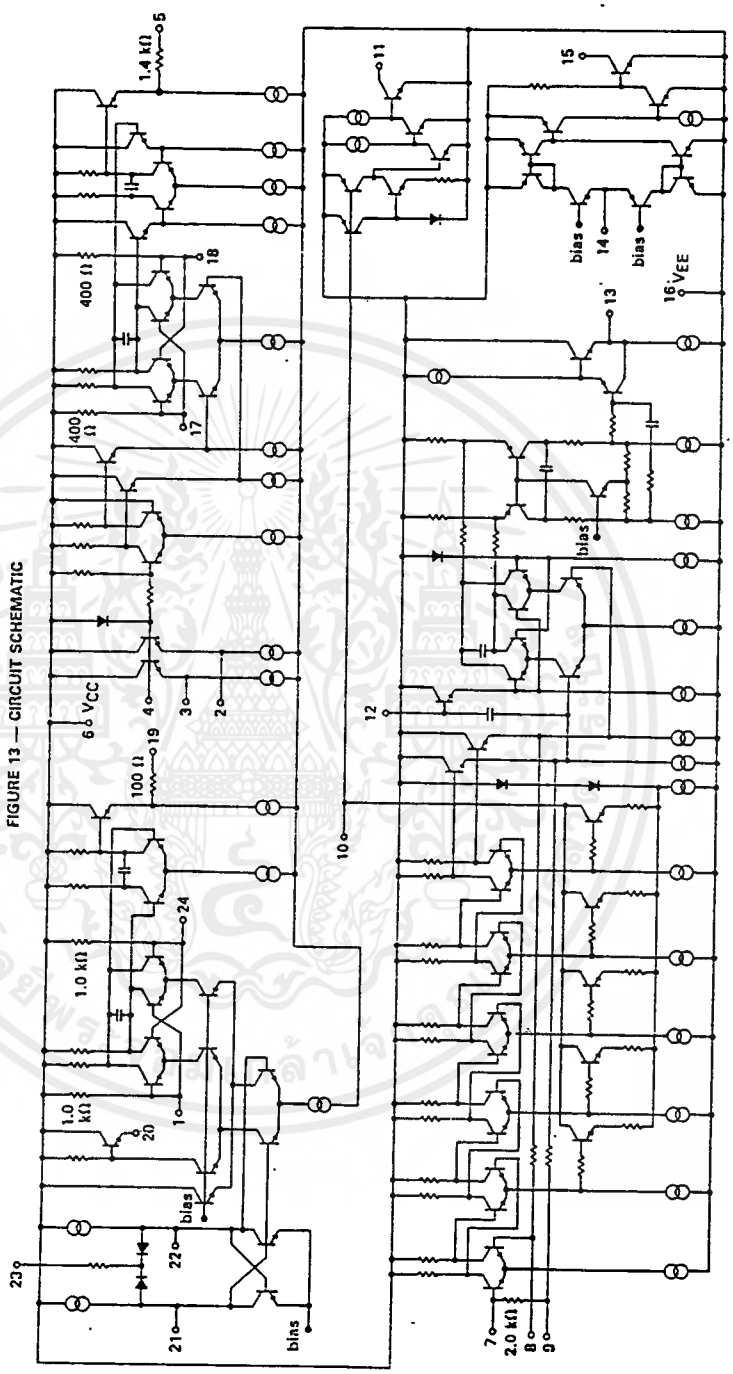


FIGURE 13 — CIRCUIT SCHEMATIC

8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor Corporation

ADC0801, ADC0802, ADC0803, ADC0804, ADC0805 8-Bit μP Compatible A/D Converters

General Description

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

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

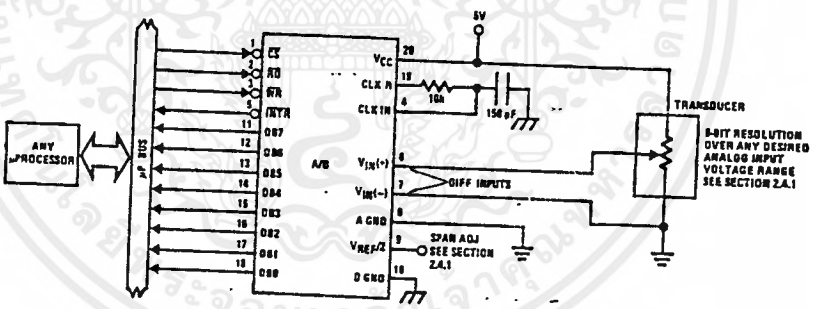
Features

- Compatible with 8080 μP derivatives—no interfacing logic needed - access time - 135 ns
- Easy interface to all microprocessors, or operates "stand alone"
- Differential analog voltage inputs
- Logic inputs and outputs meet both MOS and TTL voltage level specifications
- Works with 2.5V (LM336) voltage reference
- On-chip clock generator
- 0V to 5V analog input voltage range with single 5V supply
- No zero adjust required
- 0.3" standard width 20-pin DIP package
- 20-pin molded chip carrier or small outline package
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC}, 2.5 V_{DC}, or analog span adjusted voltage reference

Key Specifications

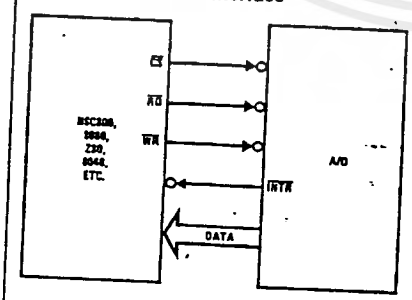
- Resolution: 8 bits
- Total error: ±¼ LSB, ±½ LSB and ±1 LSB
- Conversion time: 100 μs

Typical Applications



TL/H/5671–1

8080 Interface



TL/H/5671–31

Part Number	Error Specification (Includes Full-Scale, Zero Error, and Non-Linearity)		
	Full-Scale Adjusted	$V_{REF}/2$ = 2.500 V_{DC} (No Adjustments)	$V_{REF}/2$ = No Connection (No Adjustments)
ADC0801	±¼ LSB		
ADC0802		±½ LSB	
ADC0803	±½ LSB		
ADC0804		±1 LSB	
ADC0805			±1 LSB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

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

Supply Voltage (V_{CC}) (Note 3)	6.5V
Voltage	
Logic Control Inputs	−0.3V to +18V
At Other Input and Outputs	−0.3V to (V_{CC}+0.3V)
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260°C
Dual-In-Line Package (ceramic)	300°C
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C
Package Dissipation at T_A = 25°C	875 mW
ESD Susceptibility (Note 10)	800V

Operating Ratings (Notes 1 & 2)

Temperature Range	$T_{MIN} \le T_A \le T_{MAX}$
ADC0801/02LJ	−55°C ≤ T_A ≤ +125°C
ADC0801/02/03/04LCJ	−40°C ≤ T_A ≤ +85°C
ADC0801/02/03/05LCN	−40°C ≤ T_A ≤ +85°C
ADC0804LCN	0°C ≤ T_A ≤ +70°C
ADC0802/03/04LCV	0°C ≤ T_A ≤ +70°C
ADC0802/03/04LCWM	0°C ≤ T_A ≤ +70°C
Range of V_{CC}	4.5 V_{DC} to 6.3 V_{DC}

Electrical Characteristics

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

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ADC0801: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			±¼	LSB
ADC0802: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2$ = 2.500 V_{DC}			±½	LSB
ADC0803: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			±½	LSB
ADC0804: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2$ = 2.500 V_{DC}			±1	LSB
ADC0805: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2$-No Connection			±1	LSB
$V_{REF}/2$ Input Resistance (Pin 9)	ADC0801/02/03/05 ADC0804 (Note 9)	2.5 0.75	8.0 1.1		kΩ kΩ
Analog Input Voltage Range	(Note 4) V(+) or V(−)	Gnd−0.05		V_{CC}+0.05	V_{DC}
DC Common-Mode Error	Over Analog Input Voltage Range		±1/16	±⅛	LSB
Power Supply Sensitivity	V_{CC} = 5 V_{DC} ±10% Over Allowed V_{IN}(+) and V_{IN}(−) Voltage Range (Note 4)		±1/16	±⅛	LSB

AC Electrical Characteristics

The following specifications apply for V_{CC} = 5 V_{DC} and T_A = 25°C unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
T_C	Conversion Time	f_{CLK} = 640 kHz (Note 6)	103		114	µs
T_C	Conversion Time	(Note 5, 6)	66		73	$1/f_{CLK}$
f_{CLK}	Clock Frequency Clock Duty Cycle	V_{CC} = 5V, (Note 5) (Note 5)	100 40	640	1460 60	kHz %
CR	Conversion Rate in Free-Running Mode	$\overline{INTR}$ tied to $\overline{WR}$ with $\overline{CS}$ = 0 V_{DC}, f_{CLK} = 640 kHz	8770		9708	conv/s
$t_{W(\overline{WR})L}$	Width of $\overline{WR}$ Input (Start Pulse Width)	$\overline{CS}$ = 0 V_{DC} (Note 7)	100			ns
t_{ACC}	Access Time (Delay from Falling Edge of $\overline{RD}$ to Output Data Valid)	C_L = 100 pF		135	200	ns
t_{1H}, t_{0H}	TRI-STATE Control (Delay from Rising Edge of $\overline{RD}$ to Hi-Z State)	C_L = 10 pF, R_L = 10k (See TRI-STATE Test Circuits)		125	200	ns
t_{WI}, t_{RI}	Delay from Falling Edge of $\overline{WR}$ or $\overline{RD}$ to Reset of $\overline{INTR}$			300	450	ns
C_{IN}	Input Capacitance of Logic Control Inputs			5	7.5	pF
C_{OUT}	TRI-STATE Output Capacitance (Data Buffers)			5	7.5	pF
CONTROL INPUTS [Note: CLK IN (Pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately]						
V_{IN} (1)	Logical "1" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	V_{CC} = 5.25 V_{DC}	2.0		15	V_{DC}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Electrical Characteristics (Continued)

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

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

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

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

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

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

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

Note 6: With an asynchronous start pulse, up to 8 clock periods may be required before the internal clock phases are proper to start the conversion process. The start request is internally latched, see *Figure 2* and section 2.0.

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

Note 8: None of these A/Ds requires a zero adjust (see section 2.5.1). To obtain zero code at other analog input voltages see section 2.5 and *Figure 5*.

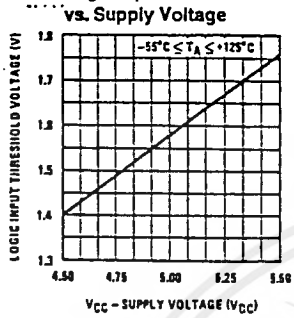
Note 9: The $V_{REF}/2$ pin is the center point of a two resistor divider connected from V_{CC} to ground. Each resistor is 2.2k, except for the ADC0804LCJ where each resistor is 16k. Total ladder input resistance is the sum of the two equal resistors.

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

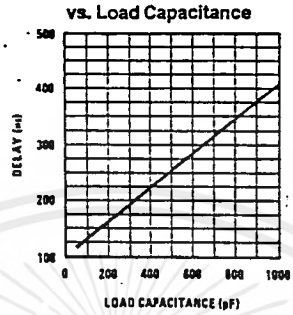
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

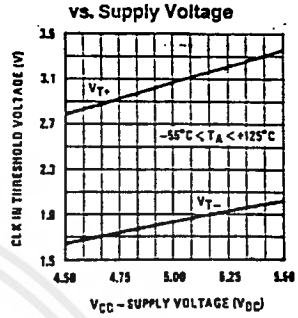
Logic Input Threshold Voltage vs. Supply Voltage



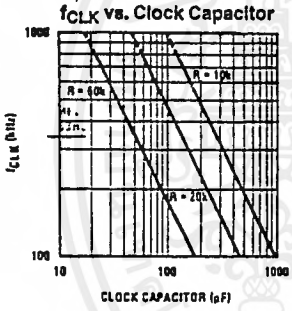
Delay From Falling Edge of $\overline{RD}$ to Output Data Valid vs. Load Capacitance



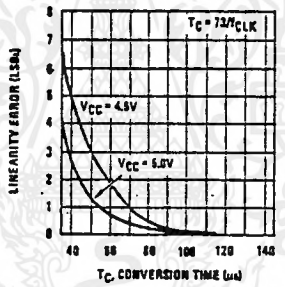
CLK IN Schmitt Trip Levels vs. Supply Voltage



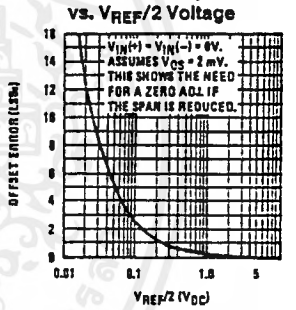
f_{CLK} vs. Clock Capacitor



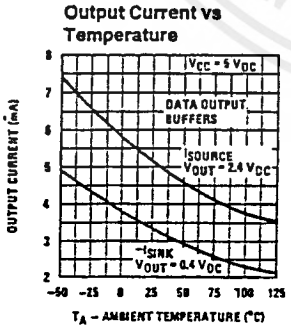
Full-Scale Error vs Conversion Time



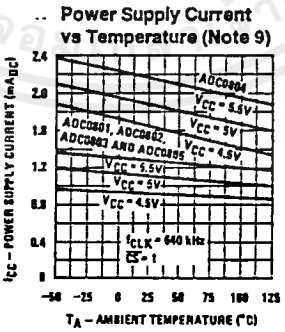
Effect of Unadjusted Offset Error vs. $V_{REF}/2$ Voltage



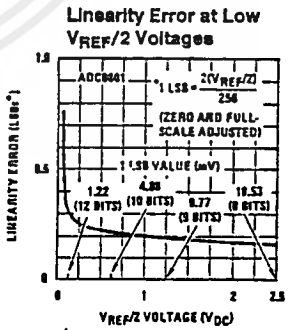
Output Current vs Temperature



Power Supply Current vs Temperature (Note 9)



Linearity Error at Low $V_{REF}/2$ Voltages



TL/H/5671–2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

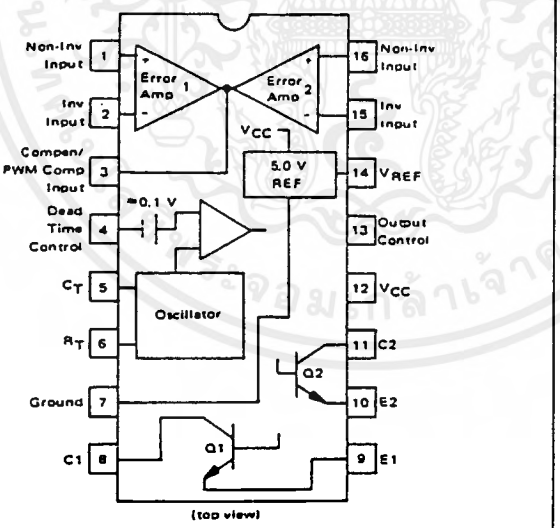
MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

TL494

SWITCHMODE PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUITS

The TL494 is a fixed frequency, pulse width modulation control circuit designed primarily for Switchmode power supply control. This device features:

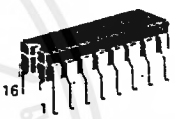
- Complete Pulse Width Modulation Control Circuitry
- On-Chip Oscillator With Master Or Slave Operation
- On-Chip Error Amplifiers
- On-Chip 5 Volt Reference
- Adjustable Dead-Time Control
- Uncommitted Output Transistors Rated to 500 mA Source Or Sink
- Output Control For Push-Pull Or Single-Ended Operation
- Undervoltage Lockout



The TL494C is specified over the commercial operating range of 0°C to 70°C. The TL494I is specified over the industrial range of −25°C to 85°C. The TL494M is specified over the full military range of −55°C to 125°C.

SWITCHMODE
PULSE WIDTH MODULATION
CONTROL CIRCUITS

SILICON MONOLITHIC
INTEGRATED CIRCUITS



J SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 620

N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 648

ORDERING INFORMATION

Device	Temperature Range	Package
TL494CN TL494CJ	0° to +70°C	Plastic DIP Ceramic DIP
TL494IN TL494IJ	−25° to +85°C	Plastic DIP Ceramic DIP
TL494MJ	−55° to −125°C	Ceramic DIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 1 — BLOCK DIAGRAM

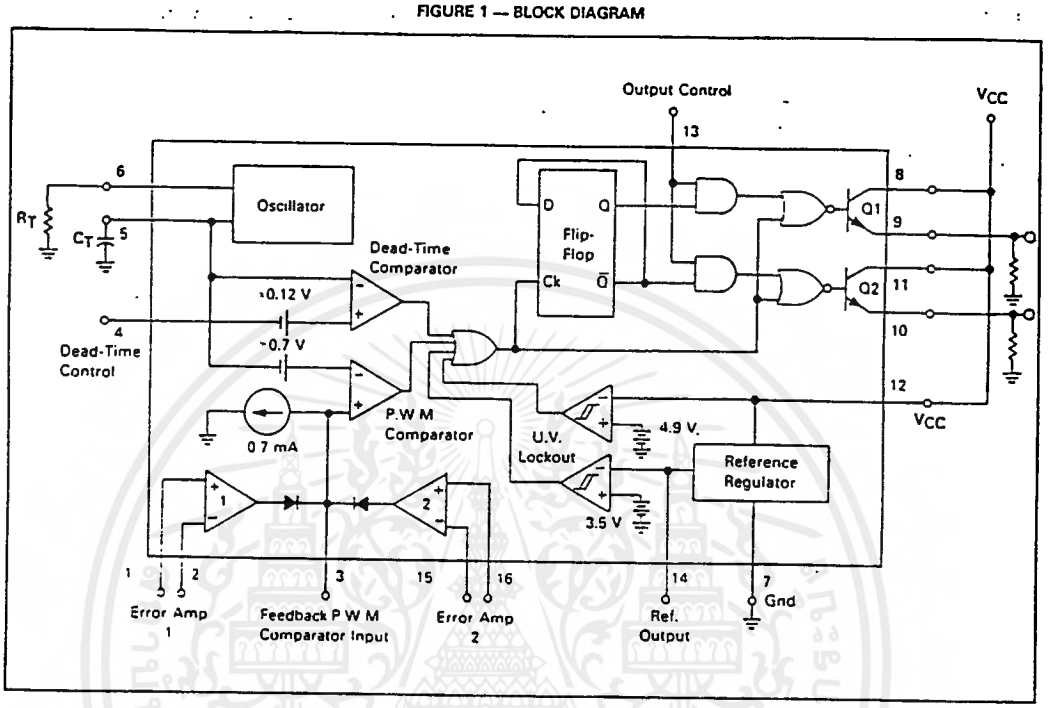
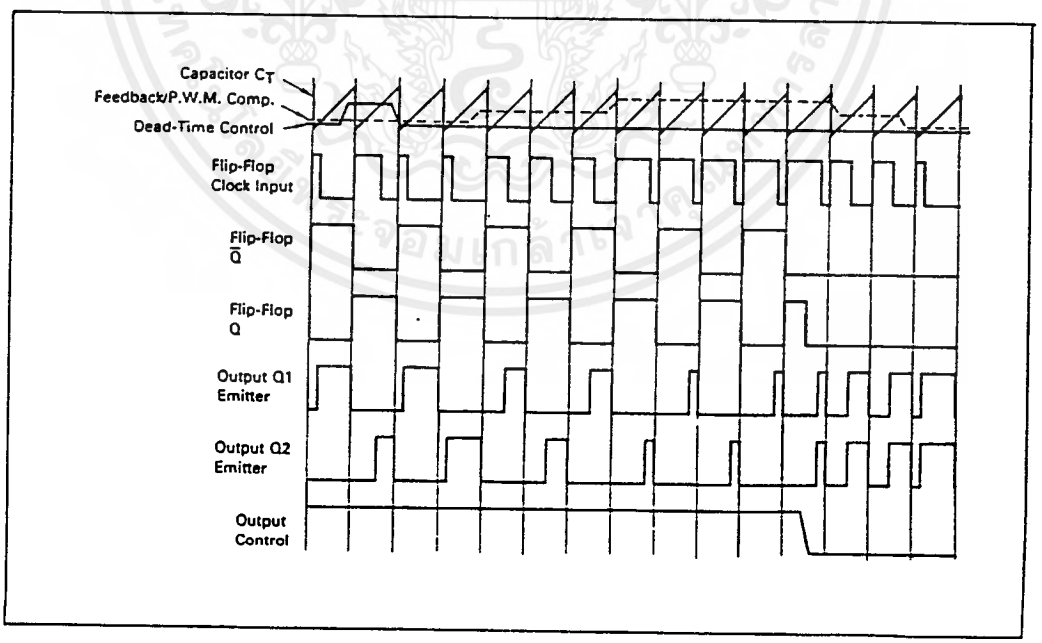


FIGURE 2 — TIMING DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Description

The TL494 is a fixed-frequency pulse width modulation control circuit, incorporating the primary building blocks required for the control of a switching power supply. (See Figure 1.) An internal-linear sawtooth oscillator is frequency-programmable by two external components, R_T and C_T. The approximate oscillator frequency is determined by:

$$f_{osc} \approx \frac{1.1}{R_T \bullet C_T}$$

For more information refer to Figure 4.

Output pulse width modulation is accomplished by comparison of the positive sawtooth waveform across capacitor C_T to either of two control signals. The NOR gates, which drive output transistors Q1 and Q2, are enabled only when the flip-flop clock-input line is in its low state. This happens only during that portion of time when the sawtooth voltage is greater than the control signals. Therefore, an increase in control-signal amplitude causes a corresponding linear decrease of output pulse width. (Refer to the timing diagram shown in Figure 2.)

The control signals are external inputs that can be fed into the dead-time control, the error amplifier inputs, or the feedback input. The dead-time control comparator has an effective 120 mV input offset which limits the minimum output dead time to approximately the first 4% of the sawtooth-cycle time. This would result in a maximum duty cycle on a given output of 96% with the output control grounded, and 48% with it connected to the reference line. Additional dead time may be imposed on the output by setting the dead time-control input to a fixed voltage, ranging between 0 to 3.3 V.

The pulse width modulator comparator provides a means for the error amplifiers to adjust the output pulse width from the maximum percent on-time, established by the dead time control input, down to zero, as the voltage at the feedback pin varies from 0.5 to 3.5 V. Both error amplifiers have a common-mode input range from −0.3 V to (V_{CC} − 2 V), and may be used to sense power-supply output voltage and current. The error-amplifier outputs are active high and are ORed together at the non-inverting input of the pulse-width modulator comparator. With this configuration, the amplifier that demands minimum output on time, dominates control of the loop.

When capacitor C_T is discharged, a positive pulse is generated on the output of the dead-time comparator, which clocks the pulse-steering flip-flop and inhibits the output transistors, Q1 and Q2. With the output-control connected to the reference line, the pulse-steering flip-flop directs the modulated pulses to each of the two output transistors alternately for push-pull operation. The output frequency is equal to half that of the oscillator. Output drive can also be taken from Q1 or Q2, when single-ended operation with a maximum on-time of less than 50% is required. This is desirable when the output transformer has a ringback winding with a catch diode used for snubbing. When higher output-drive currents are required for single-ended operation, Q1 and Q2 may be connected in parallel, and the output-mode pin must be tied to ground to disable the flip-flop. The output frequency will now be equal to that of the oscillator.

The TL494 has an internal 5 V reference capable of sourcing up to 10 mA of load current for external bias circuits. The reference has an internal accuracy of ±5.0% with a typical thermal drift of less than 50 mV over an operating temperature range of 0 to 70°C.

FIGURE 3 — FUNCTIONAL TABLE

Input Output Control	Output Function	$\frac{f_{out}}{f_{osc}}$ ≈
Grounded	Single-ended P.W.M. at Q1 and Q2	1
At V_{ref}	Push-pull operation	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIMUM RATINGS (Full operating ambient temperature range applies unless otherwise noted)

Rating	Symbol	TL494C	TL494I	TL494M	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC}	42	42	42	V
Collector Output Voltage	V_{C1}, V_{C2}	42	42	42	V
Collector Output Current (each transistor) (1)	I_{C1}, I_{C2}	500	500	500	mA
Amplifier Input Voltage Range	V_{IR}	−0.3 to 42	−0.3 to 42	−0.3 to 42	V
Power Dissipation @ $T_A \leq 45°C$	P_D	1000	1000	1000	mW
Operating Junction Temperature Plastic Package Ceramic Package	T_J	 125 150	 125 150	 — 150	 °C °C
Operating Ambient Temperature Range	T_A	0 to 70	−25 to 85	−55 to 125	°C
Storage Temperature Range Plastic Package Ceramic Package	T_{stg}	 −55 to 125 −65 to 150	 −55 to 125 −65 to 150	 — −65 to 150	°C

NOTE 1: Maximum thermal limits must be observed

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristics	Symbol	N Suffix Plastic Package	J Suffix Ceramic Package	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	80	100	°C/W
Derating Ambient Temperature	T_A	45	50	°C

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Condition/Value	Symbol	TL494			Unit
		Min	Typ	Max	
Power Supply Voltage	V_{CC}	7.0	15	40	V
Collector Output Voltage	V_{C1}, V_{C2}	—	30	40	V
Collector Output Current (each transistor)	I_{C1}, I_{C2}	—	—	200	mA
Amplifier Input Voltage	V_{in}	−0.3	—	V_{CC} − 2.0	V
Current Into Feedback Terminal	I_{fb}	—	—	0.3	mA
Reference Output Current	I_{ref}	—	—	10	mA
Timing Resistor	R_T	1.8	30	500	kΩ
Timing Capacitor	C_T	0.0047	0.001	10	µF
Oscillator Frequency	f_{osc}	1.0	40	200	kHz

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = 15 V, C_T = 0.01 µF, R_T = 12 kΩ unless otherwise noted.)
For typical values T_A = 25°C, for min max values T_A is the operating ambient temperature range that applies unless otherwise noted.

Characteristic	Symbol	TL494C,I			TL494M			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
REFERENCE SECTION								
Reference Voltage (I_O = 1.0 mA)	V_{ref}	4.75	5.0	5.25	4.75	5.0	5.25	V
Line Regulation (V_{CC} = 7.0 V to 40 V)	Reg_{line}	—	2.0	25	—	2.0	25	mV
Load Regulation (I_O = 1.0 mA to 10 mA)	Reg_{load}	—	3.0	15	—	3.0	15	mV
Short-Circuit Output Current (V_{ref} = 0 V)	I_{SC}	15	35	75	15	35	75	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = 15 V, C_T = 0.01 μF, R_T = 12 kΩ unless otherwise noted.)
For typical values T_A = 25°C, for min-max values T_A is the operating ambient temperature range that applies unless otherwise noted.

Characteristic	Symbol	TL494C,I			TL494M			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
OUTPUT SECTION								
Collector Off-State Current (V_{CC} = 40 V, V_{CE} = 40 V)	$I_{C(off)}$	—	2.0	100	—	2.0	100	μA
Emitter Off-State Current (V_{CC} = 40 V, V_C = 40 V, V_E = 0 V)	$I_{E(off)}$	—	—	- 100	—	—	- 150	μA
Collector-Emitter Saturation Voltage (2) Common-Emitter (V_E = 0 V, I_C = 200 mA)	$V_{SAT(C)}$	—	1.1	1.3	—	1.1	1.5	V
Emitter-Follower (V_C = 15 V, I_E = - 200 mA)	$V_{SAT(E)}$	—	1.5	2.5	—	1.5	2.5	V
Output Control Pin Current Low State (V_{OC} ≤ 0.4 V)	I_{OCL}	—	10	—	—	10	—	μA
High State (V_{OC} = V_{ref})	I_{OCH}	—	0.2	3.5	—	0.2	3.5	mA
Output Voltage Rise Time Common-Emitter (See Figure 13)	t_r	—	100	200	—	100	200	ns
Emitter-Follower (See Figure 14)		—	100	200	—	100	200	ns
Output Voltage Fall Time Common-Emitter (See Figure 13)	t_f	—	25	100	—	25	100	ns
Emitter-Follower (See Figure 14)		—	40	100	—	40	100	ns

Characteristic	Symbol	TL494			Unit
		Min	Typ	Max	
ERROR AMPLIFIER SECTIONS					
Input Offset Voltage ($V_{O\ (Pin\ 3)}$ = 2.5 V)	V_{IO}	—	2.0	10	mV
Input Offset Current ($V_{O\ (Pin\ 3)}$ = 2.5 V)	I_{IO}	—	5.0	250	nA
Input Bias Current ($V_{O\ (Pin\ 3)}$ = 2.5 V)	I_{IB}	—	- 0.1	- 1.0	μA
Input Common-Mode Voltage Range (V_{CC} = 40 V, T_A = 25°C)	V_{ICR}	- 0.3 to V_{CC} - 2.0	—	—	V
Open-Loop Voltage Gain (ΔV_O = 3.0 V, V_O = 0.5 to 3.5 V, R_L = 2.0 kΩ)	A_{VOL}	70	95	—	dB
Unity-Gain Crossover Frequency (V_O = 0.5 to 3.5 V, R_L = 2.0 kΩ)	f_C	—	350	—	kHz
Phase Margin at Unity-Gain (V_O = 0.5 to 3.5 V, R_L = 2.0 kΩ)	ϕ_m	—	65	—	deg.
Common-Mode Rejection Ratio (V_{CC} = 40 V)	CMRR	65	90		dB
Power Supply Rejection Ratio (ΔV_{CC} = 33 V, V_O = 2.5 V, R_L = 2.0 kΩ)	PSRR	—	100	—	dB
Output Sink Current ($V_{O\ (Pin\ 3)}$ = 0.7 V)	I_O	0.3	0.7	—	mA
Output Source Current ($V_{O\ (Pin\ 3)}$ = 3.5 V)	I_O	2.0	4.0	—	mA

NOTE 2: Low duty cycle pulse techniques are used during test to maintain junction temperature as close to ambient temperatures as possible.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = 15 V, C_T = 0.01 μF, R_T = 12 kΩ unless otherwise noted.)
For typical values T_A = 25°C, for min/max values T_A is the operating ambient temperature range that applies unless otherwise noted.

Characteristic	Symbol	TL494			Unit
		Min	Typ	Max	
PWM COMPARATOR SECTION (Test Circuit Figure 12)					
Input Threshold Voltage (Zero duty cycle)	V_{TH}	—	3.5	4.5	V
Input Sink Current ($V_{(Pin\ 3)}$ = 0.7 V)	I_{I-}	0.3	0.7	—	mA
DEAD-TIME CONTROL SECTION (Test Circuit Figure 12)					
Input Bias Current (Pin 4) ($V_{Pin\ 4}$ = 0 to 5.25 V)	$I_{IB\ (DT)}$	—	−2.0	−10	μA
Maximum Duty Cycle, Each Output, Push-Pull Mode ($V_{Pin\ 4}$ = 0 V, C_T = 0.01 μF, R_T = 12 kΩ) ($V_{Pin\ 4}$ = 0 V, C_T = 0.001 μF, R_T = 30 kΩ)	DC_{max}	45 —	48 45	50 50	%
Input Threshold Voltage (Pin 4) (Zero Duty Cycle) (Maximum Duty Cycle)	V_{TH}	— 0	2.8 —	3.3 —	V
OSCILLATOR SECTION					
Frequency (C_T = 0.001 μF, R_T = 30 kΩ)	f_{osc}	—	40	—	kHz
Standard Deviation of Frequency* (C_T = 0.001 μF, R_T = 30 kΩ)	σf_{osc}	—	3.0	—	%
Frequency Change with Voltage (V_{CC} = 7.0 V to 40 V, T_A = 25°C)	$\Delta f_{osc}\ (\Delta V)$	—	0.1	—	%
Frequency Change with Temperature (ΔT_A = T_{low} to T_{high}) (C_T = 0.01 μF, R_T = 12 kΩ)	$\Delta f_{osc}\ (\Delta T)$	—	—	12	%
UNDERVOLTAGE LOCKOUT SECTION					
Turn-On Threshold (V_{CC} increasing, I_{ref} = 1.0 mA)	V_{th}	5.5	6.43	7.0	V
TOTAL DEVICE					
Standby Supply Current (Pin 6 at V_{ref}, All Other Inputs and Outputs Open) (V_{CC} = 15 V) (V_{CC} = 40 V)	I_{CC}	— —	5.5 7.0	10 15	mA
Average Supply Current ($V_{(Pin\ 4)}$ = 2.0 V) (See Figure 12) (C_T = 0.01 μF, R_T = 12 kΩ, V_{CC} = 15 V)	—	—	7.0	—	mA

* Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula, $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{N} (x_n - \bar{x})^2}{N-1}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3

FIGURE 4 — OSCILLATOR FREQUENCY versus TIMING RESISTANCE

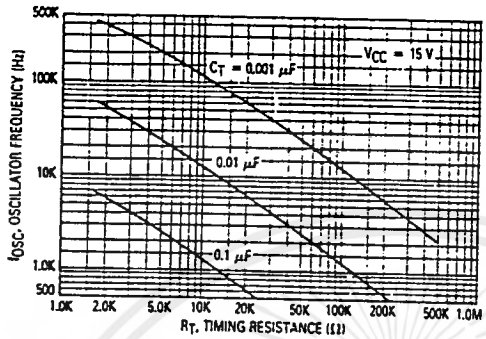


FIGURE 5 — OPEN-LOOP VOLTAGE GAIN AND PHASE versus FREQUENCY

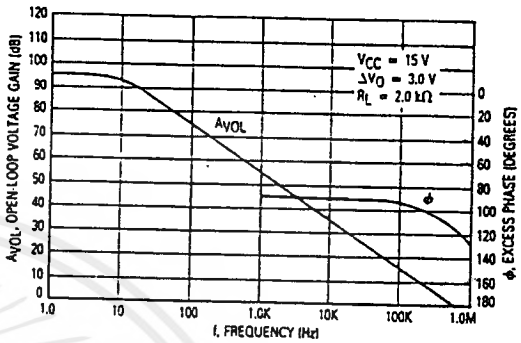


FIGURE 6 — PERCENT DEAD-TIME versus OSCILLATOR FREQUENCY

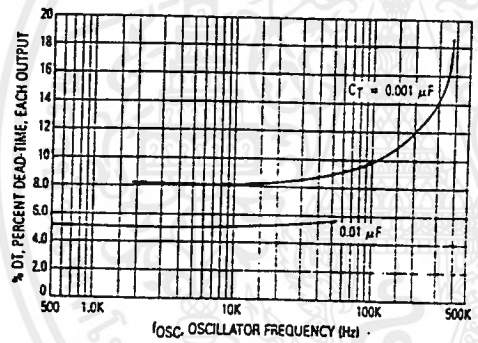


FIGURE 7 — PERCENT DUTY CYCLE versus DEAD-TIME CONTROL VOLTAGE

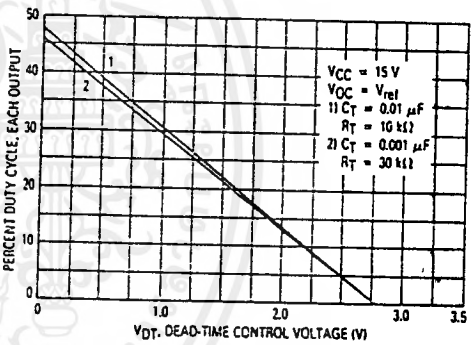


FIGURE 8 — EMITTER FOLLOWER CONFIGURATION OUTPUT SATURATION VOLTAGE versus EMITTER CURRENT

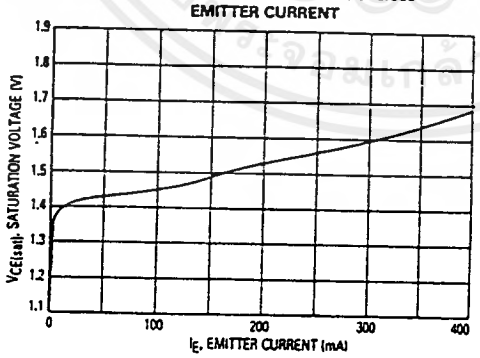
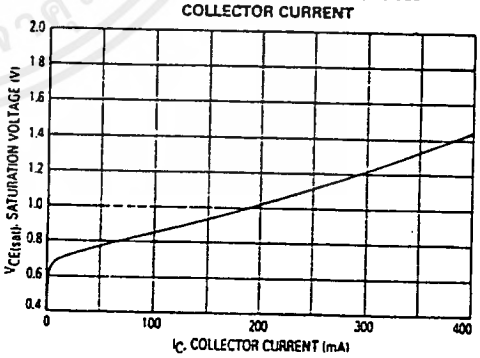


FIGURE 9 — COMMON EMITTER CONFIGURATION OUTPUT SATURATION VOLTAGE versus COLLECTOR CURRENT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

BD675, BD675A
BD677*, BD677A*
BD679*, BD679A*
BD681*

*Motorola preferred device

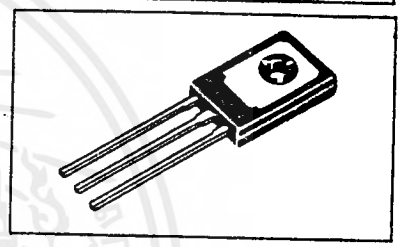
PLASTIC MEDIUM-POWER SILICON NPN DARLINGTONS

. . . for use as output devices in complementary general-purpose amplifier applications.

- High DC Current Gain – h_{FE} = 750 (Min) @ I_C = 1.5 and 2.0 Adc
- Monolithic Construction
- BD675, 675A, 677, 677A, 679, 679A, 681 are complementary with BD676, 676A, 678, 678A, 680, 680A, 682
- BD 677, 677A, 679, 679A are equivalent to MJE 800, 801, 802, 803

4.0 AMPERE
DARLINGTON
POWER TRANSISTORS
NPN SILICON

60, 80, 100 VOLTS
40 WATTS



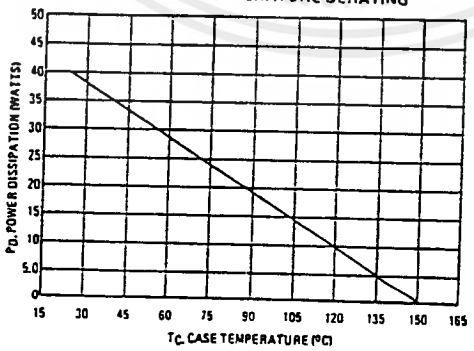
MAXIMUM RATINGS

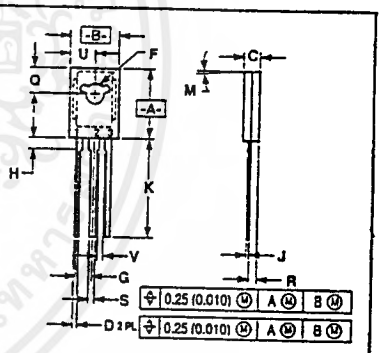
Rating	Symbol	BD675 BD675A	BD677 BD677A	BD679 BD679A	BD681	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	45	60	80	100	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB}	45	60	80	100	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	5.0				Vdc
Collector Current	I_C	4.0				Adc
Base Current	I_B	0.1				Adc
Total Device Dissipation @ T_C = 25 °C Derate above 25 °C	P_D	40 0.32				Watts W/°C
Operating and Storage Junction Temperating Range	T_J, T_{stg}	−55 to +150				°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max.	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	θ_{JC}	3.13	°C/W

FIGURE 1 – POWER TEMPERATURE DERATING





NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. 077-01 THRU -06 OBSOLETE, NEW STANDARD 077-07.

DIM	MILLIMETERS MIN	MILLIMETERS MAX	INCHES MIN	INCHES MAX
A	10.80	11.04	0.425	0.435
B	7.53	7.74	0.295	0.305
C	2.42	2.66	0.095	0.105
D	0.51	0.66	0.020	0.026
F	2.93	3.30	0.115	0.130
G	2.29 BSC		0.090 BSC	
H	1.27	2.41	0.050	0.095
J	0.39	0.63	0.015	0.025
K	14.61	16.53	0.575	0.665
M	3° TYP		3° TYP	
Q	3.76	4.01	0.148	0.158
R	1.15	1.39	0.045	0.055
S	0.64	0.88	0.025	0.035
U	3.69	3.93	0.145	0.155
V	1.02	—	0.040	—

STYLE 1:
PIN 1. EMITTER
2. COLLECTOR
3. BASE

CASE 77-07
TO-225AA TYPE

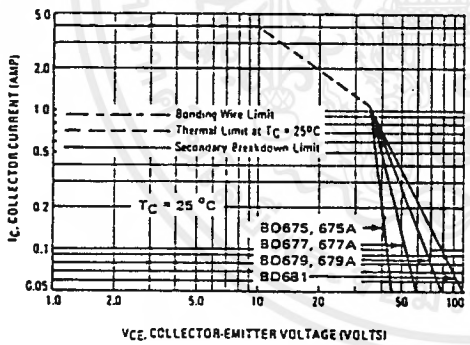
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_C = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic		Symbol	Min	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
Collector-Emitter Breakdown Voltage(1) (I_C = 50 mAdc, I_B = 0)	BD675, 675A BD677, 677A BD679, 679A BD681	BV_{CEO}	45 60 80 100	– – – –	Vdc
Collector Cutoff Current (V_{CE} = Half Rated V_{CEO}, I_B = 0)		I_{CEO}	–	500	μAdc
Collector Cutoff Current (V_{CB} = Rated BV_{CEO}, I_E = 0) (V_{CB} = Rated BV_{CEO}, I_E = 0, T_C = 100°C)		I_{CBO}	– –	0.2 2.0	mAdc
Emitter Cutoff Current (V_{BE} = 5.0 Vdc, I_C = 0)		I_{EBO}	–	2.0	mAdc
ON CHARACTERISTICS					
DC Current Gain(1) (I_C = 1.5 Adc, V_{CE} = 3.0 Vdc) (I_C = 2.0 Adc, V_{CE} = 3.0 Vdc)	 BD675, 677, 679, 681 BD 675A, 677A, 679A	h_{FE}	 750 750	 – –	–
Collector-Emitter Saturation Voltage(1) (I_C = 1.5 Adc, I_B = 30 mAdc) (I_C = 2.0 Adc, I_B = 40 mAdc)	 BD 677, 679, 681 BD 675A, 677A, 679A	$V_{CE(sat)}$	 – –	 2.5 2.8	Vdc
Base-Emitter On Voltage(1) (I_C = 1.5 Adc, V_{CE} = 3.0 Vdc) (I_C = 2.0 Adc, V_{CE} = 3.0 Vdc)	 BD 677, 679, 681 BD 675A, 677A, 679A	$V_{BE(on)}$	 – –	 2.5 2.5	Vdc
DYNAMIC CHARACTERISTICS					
Small-Signal Current Gain (I_C = 1.5 Adc, V_{CE} = 3.0 Vdc, f = 1.0 MHz)		h_{fe}	1.0	–	–

(1)Pulse Test: Pulse Width ≤ 300 μs, Duty Cycle ≤ 2.0%.

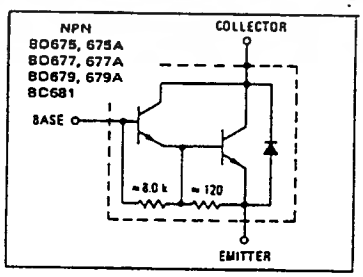
FIGURE 2 – DC SAFE OPERATING AREA



There are two limitations on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and secondary breakdown. Safe operating area curves indicate I_C–V_{CE} limits of the transistor that must be observed for reliable operation; e.g., the transistor must not be subjected to greater dissipation than the curves indicate.

At high case temperatures, thermal limitations will reduce the power that can be handled to values less than the limitations imposed by secondary breakdown.

FIGURE 3 DARLINGTON CIRCUIT SCHEMATIC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้จะสำเร็จลงไม่ได้ถ้าไม่ได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากบุคคลและหน่วยงานต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ

รศ.ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์

ดร.ทองทด วานิชศรี

สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์

โรงปฏิบัติงานภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

และขอขอบคุณ

นายทวีศักดิ์ ตุลยเดชาภา

นายชัยอนันต์ ดวงจันทร์

นางสาวสุภรา แตงจาง

นายทรงชัย เปรมประสพโชค

นายบุริม ณ บางช้าง

ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ พร้อมทั้งให้คำแนะนำในการทำโครงงาน ตลอดจนการทำรายงานในครั้งนี้

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory: Analysis and Design," John Wiley & Sons,1982.

[2] Adel S. Sedra , Kenneth C. Smith , "Microelectronic Circuits," Saunders College Publishing , 1991.

[3] ยืน ภู่วรวรรณ , "เทคโนโลยีฮาร์ดแวร์ IBM PC," ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2533.

[4] จิติ หนูแก้ว, "เทคนิคการเชื่อมต่อ IBM PC," ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2535.

[5] อาณัติ พงษ์สุทธิรักษ์และวัชระ มนูญพร, "ออกแบบสร้างเครื่องรับวิทยุสมัครเล่น 142-148 MHz",เซมิคอนเดอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 112 , ธันวาคม 2534 , หน้า 48-53.

[6] สุชาติ กังวารจิตต์, "เครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร", ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2536.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้