

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศติดตามเป้าหมายแบบแบนราบ
สำหรับการสื่อสารเคลื่อนที่ผ่านดาวเทียม

CHARACTERIZATION OF A TRACKING FLAT ANTENNA
FOR MOBILE SATELLITE COMMUNICATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2541

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 32606
วัน, เดือน, ปี 18 พ.ค. 2542

รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
หรือการเผยแพร่ทางอื่น ยกเว้นให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศติดตามเป้าหมายแบบแบนราบ
สำหรับการสื่อสารเคลื่อนที่ผ่านดาวเทียม
CHARACTERIZATION OF A TRACKING FLAT ANTENNA
FOR MOBILE SATELLITE COMMUNICATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2541

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศติดตามเป้าหมายแบบแบนราบสำหรับการสื่อสาร
เคลื่อนที่ผ่านดาวเทียม

**CHARACTERIZATION OF TRACKING FLAT ANTENNA FOR MOBILE
SATELLITE COMMUNICATION**

ผู้จัดทำ

- | | | |
|-----------------|-------------|----------|
| 1. นางสาวปนัดดา | แก้วสวัสดิ์ | 38014270 |
| 2. นายศิริธ | โอภาคเจริญ | 38014497 |

 อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาคุณลักษณะของเสาอากาศติดตามเป้าหมายแบบ
แบนราบสำหรับการสื่อสารเคลื่อนที่ผ่านดาวเทียม
CHARACTERIZATION OF A TRACKING FLAT
ANTENNA FOR MOBILE COMMUNICATION

โดย นางสาวปนัดดา แก้วสวัสดิ์ 38014270
นายสิริศ โอภาจรเจริญ 38014497

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศแถวลำดับระนาบแบบร่องซึ่งเป็นสายอากาศรับคลื่นที่ส่งจากเป้าหมายที่ความถี่ 12.6 กิกะเฮิร์ตซ์ คุณสมบัติของสายอากาศที่ทำการทดสอบประกอบด้วย รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น ค่าทวิกำลัง และค่าอิมพีแดนซ์ สัญญาณที่ได้รับได้จากสายอากาศจะถูกนำมาใช้ในระบบติดตามเป้าหมาย เพื่อใช้ในการควบคุมให้ลำคลื่นหลักของสายอากาศชี้ไปยังตำแหน่งของเป้าหมายตามที่ต้องการได้ สัญญาณที่รับได้จะไปผ่านตัวตรวจจับแอมพลิจูดเพื่อทำการแปลงเป็นสัญญาณกระแสตรง จากนั้นนำสัญญาณกระแสตรงที่ได้มาทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยใช้ตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และนำสัญญาณดิจิทัลที่ได้ไปประมวลผลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เพื่อทำการควบคุมสเต็ปมอเตอร์ให้ทำการปรับตำแหน่งของสายอากาศให้สามารถรับสัญญาณค่าสูงสุดได้ตลอดเวลา และจากผลการทดสอบ ระบบติดตามเป้าหมายสามารถควบคุมให้สายอากาศรับติดตามสัญญาณค่าสูงสุดได้

ABSTRACT

This project is to practically investigate the characteristics of a planar slot array antenna in which was designed and fabricated to operate at the frequency of 12.6 GHz. Radiation pattern, gain and impedance are measured. Then a tracking system employing a stepping motor will be designed and fabricated. By using microwave amplitude detector and analog to digital converter, received signals are converted and transferred to microcontroller to process and generate the control signal to control the stepping motor. The stepping motor will drive the antenna in order to direct the main beam to the target (transmitter) direction all the times.

From the experiment, it is obvious that the tracking system can control receiving antenna to follow transmitter.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ภาควิเคราะห์สัญญาณ	3
2.2.1 วงจรตรวจจับแอมพลิฟิเคชัน	3
2.2.2 วงจรขยายสัญญาณ	7
2.2.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	8
2.2 ภาควิควบคุมสายอากาศ	9
2.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	9
2.3.2 สเต็ปปีงมอเตอร์	13
2.3.3 วงจรขับมอเตอร์	18
2.3.4 การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเต็ปปีงมอเตอร์	20
บทที่ 3 การออกแบบและจัดสร้าง	23
3.1 การออกแบบและสร้างวงจขยายสัญญาณ	23
3.2 การออกแบบและสร้างวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์	24
3.3 การออกแบบไมโครคอนโทรลเลอร์	24
3.4 การออกแบบวงจรเชื่อมต่อร่วมและแหล่งจ่ายไฟ	25
บทที่ 4 ผลการทดสอบ	30
4.1 การทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ	30
4.2 การทดสอบตัวตรวจจับแอมพลิฟิเคชัน	44
4.3 การทดสอบวงจรตรวจจับแอมพลิฟิเคชัน วงจขยายสัญญาณ และวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	46
4.4 การทดสอบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลกับไมโครคอนโทรลเลอร์	48
4.5 การทดสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	51
4.6 การทดสอบระบบติดตามเป้าหมาย	55
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์	85
ภาคผนวก	87
ก. รายละเอียดของไอซีเบอร์ 741	88
ข. รายละเอียดของตัวตรวจจับแอมพลิฟิเคชันที่ใช้งาน	89
ค. รายละเอียดของไอซีเบอร์ ADC0804	91

	หน้า
ง. โปรแกรมควบคุมการขับเคลื่อนโดยทั่วไป	93
จ. โปรแกรมจำลองการทำงานการหาตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณมากที่สุดโดยรับค่าอินพุตจากสัญญาณดิจิทัลที่กำหนดในตาราง	94
ฉ. โปรแกรมของระบบติดตามสัญญาณดาวเทียมที่รับค่าจากสัญญาณแอนะล็อกอินพุต	96
กิตติกรรมประกาศ	99
บรรณานุกรม	100



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	แสดงไดอะแกรมของระบบติดตามเป้าหมายอัตโนมัติ	3
รูปที่ 2.2	แสดงกราฟความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างโวลเตจและกระแสของไดโอด	5
รูปที่ 2.3	แสดงวงจรถยายสัญญาณแบบกลับขั้ว	7
รูปที่ 2.4	แสดงวงจรถยายสัญญาณแบบไม่กลับขั้ว	8
รูปที่ 2.5	แสดงการจัดตำแหน่งขาต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	10
รูปที่ 2.6	แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	12
รูปที่ 2.7	แสดงโครงสร้างของสเต็ปปีงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาด 4 เฟส	14
รูปที่ 2.8	แสดงการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาด 4 เฟส	14
รูปที่ 2.9	แสดงโครงสร้างของสเต็ปปีงมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้	15
รูปที่ 2.10	แสดงเส้นแรงแม่เหล็กขณะกระตุ้นเฟส 1	16
รูปที่ 2.11	แสดงขั้นตอนการหมุนเมื่อมีการกระตุ้นเฟสจากเฟส 1 ไปยังเฟส 2	16
รูปที่ 2.12	แสดงโครงสร้างไฮบริดสเต็ปปีงมอเตอร์	17
รูปที่ 2.13	แสดงหลักการการทำงานของไฮบริดสเต็ปปีงมอเตอร์	18
รูปที่ 2.14	แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการขับมอเตอร์แบบ Unipolar	18
รูปที่ 2.15	แสดงวงจรขับที่ผ่านขดลวดหนึ่งของมอเตอร์	19
รูปที่ 2.16	แสดงวงจรบริดจ์สำหรับการขับแบบไบโพลาร์	19
รูปที่ 2.17	แสดงผลตอบสนองทรานเซียนของการกระตุ้นแบบ 1 เฟสและ 2 เฟส	21
รูปที่ 3.1	แสดงการใช้ไอซีเบอร์ 741 เป็นวงจรถยายแรงดันแบบกลับขั้ว	23
รูปที่ 3.2	แสดงการต่อวงจรถยาย วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลและ ไมโครคอนโทรลเลอร์	26
รูปที่ 3.3	แสดงการต่อวงจรที่สมบูรณ์แล้ว	27
รูปที่ 3.4	แสดงการต่อวงจรถยายมอเตอร์	28
รูปที่ 3.5	แสดงการต่อวงจรถยายมอเตอร์ที่สมบูรณ์แล้ว	29
รูปที่ 4.1	แสดงการจัดวางเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโดย ก)แสดงภาคส่งสัญญาณ และ ข)แสดงภาครับสัญญาณและสายอากาศทดสอบ	32
รูปที่ 4.2	แสดงการจัดวางเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโดย ก)แสดงภาคส่งสัญญาณ และ ข)แสดงภาครับสัญญาณและสายอากาศทดสอบ	33
รูปที่ 4.3	แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 12.5575 GHz	34

รูปที่ 4.4	แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 12.5575 GHz	35
รูปที่ 4.5	แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 12.6575 GHz	36
รูปที่ 4.6	แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 12.6575 GHz	37
รูปที่ 4.7	แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 12.7575 GHz	38
รูปที่ 4.8	แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 12.7575 GHz	39
รูปที่ 4.9	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับค่าทวิกำลัง	41
รูปที่ 4.10	แสดงค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศกรณีที่ไม่ได้ปรับจูน	42
รูปที่ 4.11	แสดงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศกรณีที่ไม่ได้ปรับจูน	42
รูปที่ 4.12	แสดงค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศกรณีที่ปรับจูนด้วยสลับ	43
รูปที่ 4.13	แสดงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศกรณีที่ปรับจูนด้วยสลับ	43
รูปที่ 4.14	แสดงการจัดอุปกรณ์การทดสอบตัวตรวจจับแอมป์ลิจูด	44
รูปที่ 4.15	การทดสอบวงจรตรวจจับแอมป์ลิจูด วงจรขยายสัญญาณ และวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	46
รูปที่ 4.16	แสดงการจัดอุปกรณ์การทดสอบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลกับไมโครคอนโทรลเลอร์	48
รูปที่ 4.17	แสดงผลการทดสอบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลมีค่า 2 โวลต์	50
รูปที่ 4.18	โฟล์ชาร์ตโปรแกรมควบคุมการขับสเต็ปมอเตอร์โดยทั่วไป	51
รูปที่ 4.19	โฟล์ชาร์ตโปรแกรมจำลองการทำงานการหาตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณมากที่สุด โดยรับค่าอินพุตจากสัญญาณดิจิทัลที่กำหนดในตาราง	52
รูปที่ 4.20	โฟล์ชาร์ตโปรแกรมของระบบติดตามสัญญาณควมที่รับค่าจากสัญญาณแอนะล็อกอินพุต	54
รูปที่ 4.21	แสดงการจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่ 4.6.1, 4.6.2 และ 4.6.3	55
รูปที่ 4.22	แสดงตำแหน่งของสายอากาศส่งและรับ	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า	
รูปที่ 4.23	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณ ในหน่วยโวลต์	57
รูปที่ 4.24	แสดงตำแหน่งของสายอากาศส่งและรับ	58
รูปที่ 4.25	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณ ในหน่วยโวลต์	59
รูปที่ 4.26	แสดงตำแหน่งของสายอากาศส่งและรับ	60
รูปที่ 4.27	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณ ในหน่วยโวลต์	61
รูปที่ 4.28	แสดงตำแหน่งของสายอากาศส่งและรับ	62
รูปที่ 4.29	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณ ในหน่วยโวลต์	63
รูปที่ 4.30	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณ ในหน่วยโวลต์ ก) ก่อนที่ตัวส่งจะมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง และ ข) หลังจากเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของตัวส่ง	66
รูปที่ 4.31	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณ ในหน่วยโวลต์ ก) ก่อนที่ตัวส่งจะมีการเปลี่ยนแปลงกำลังส่งและ ข) หลังจากเปลี่ยนแปลงกำลังส่งของตัวส่ง	69
รูปที่ 4.32	แสดงการจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่ 4.6.4, 4.6.5 และ 4.6.6	70
รูปที่ 4.33	แสดงตำแหน่งของสายอากาศส่งและรับ	71
รูปที่ 4.34	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณ ในหน่วยโวลต์	72
รูปที่ 4.35	แสดงตำแหน่งของสายอากาศส่งและรับ	73
รูปที่ 4.36	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณ ในหน่วยโวลต์	74
รูปที่ 4.37	แสดงตำแหน่งของสายอากาศส่งและรับ	75
รูปที่ 4.38	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณ ในหน่วยโวลต์	76
รูปที่ 4.39	แสดงตำแหน่งของสายอากาศส่งและรับ	77
รูปที่ 4.40	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณ ในหน่วยโวลต์	78
รูปที่ 4.41	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณ ในหน่วยโวลต์ ก) ก่อนที่ตัวส่งจะมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง และ ข) หลังจากเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของตัวส่ง	81

	หน้า
รูปที่ 4.42 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณ ในหน่วยโวลต์ ก) ก่อนที่ตัวส่งจะมีการเปลี่ยนแปลงกำลังส่ง และ ข) หลังจากเปลี่ยนแปลงกำลังส่งของตัวส่ง	84
รูปที่ ผ.1 แสดงรายละเอียดของไอซีเบอร์ 741	88
รูปที่ ผ.2 แสดงรายละเอียดของตัวตรวจจับแอมพลิจูด	89
รูปที่ ผ.3 แสดงรายละเอียดของไอซีเบอร์ ADC 0804	91



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	แสดงการกระตุ้นทีละเฟส	20
ตารางที่ 2.2	แสดงการกระตุ้นทีละ 2 เฟส	21
ตารางที่ 2.3	แสดงลำดับกระตุ้นแบบครึ่งสแต็ป	22
ตารางที่ 3.1	ตารางการลือกบิต	25
ตารางที่ 4.1	แสดงค่าทวีกำลังของสายอากาศทดสอบที่ความถี่ต่างๆ	40
ตารางที่ 4.2	แสดงผลการรับสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากตัวตรวจจับแอมป์ลิจูด	45
ตารางที่ 4.3	แสดงผลการทดสอบวงจรตรวจจับแอมป์ลิจูด วงจรขยายสัญญาณ และวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	47
ตารางที่ 4.4	แสดงผลการทดสอบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่ วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันนี้การสื่อสารดาวเทียมเป็นการสื่อสารที่ได้รับความนิยมมากและเข้ามามีบทบาทสำคัญในการดำรงชีวิตประจำวันเนื่องจากข้อได้เปรียบของการสื่อสารที่ใช้ดาวเทียมเป็นสถานีทวนสัญญาณที่อยู่ในระดับสูงมากจึงไม่มีสิ่งที่เป็นอุปสรรคมาขัดขวางการสื่อสาร

โดยทั่วไปการรับและการส่งสัญญาณดาวเทียมนั้นจะใช้สายอากาศซึ่งในกรณีที่รับสัญญาณจะต้องหันสายอากาศไปให้ตรงกับทิศทางหรือตำแหน่งที่สัญญาณส่งมา เพื่อให้สามารถรับสัญญาณได้อย่างเต็มที่ ซึ่งสำหรับกรณีที่ตำแหน่งการรับสัญญาณอยู่กับที่ การรับสัญญาณจะไม่มีปัญหาเกิดขึ้น แต่สำหรับกรณีที่ตำแหน่งของการรับสัญญาณมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาเช่น สายอากาศที่ติดตั้งบนรถยนต์ เพื่อให้รับสัญญาณสูงสุดได้สายอากาศจำเป็นที่จะต้องมีการปรับทิศทางและตำแหน่งเพื่อให้สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้อย่างเต็มที่ด้วย

ระบบที่ใช้ในการหมุนจานสายอากาศ เพื่อให้สามารถรับสัญญาณ ได้ตลอดเวลาโดยอัตโนมัติ เรียกว่า ระบบการติดตามการรับสัญญาณแบบอัตโนมัติ (Automatic Tracking System) ซึ่งมีใช้โดยทั่วไปในระบบเรดาร์ (Radar System) และใช้ในการรับสัญญาณดาวเทียมของสถานีภาคพื้นดิน

สำหรับสายอากาศที่ใช้ติดตั้งบนรถยนต์ที่มีการเคลื่อนที่นั้นตัวสายอากาศจะต้องมีคุณสมบัติแบนราบ (Low Profile) ไม่ต้านลม แข็งแรงพองตัวเองได้ (Self Support) และมีประสิทธิภาพสูง จากคุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้น สายอากาศแบบร่องบนผนังท่อนำคลื่น (Slotted-Waveguide Antenna) สามารถตอบสนองความต้องการดังกล่าวได้ ซึ่งจุดเด่นของสายอากาศชนิดนี้มีดังนี้

- มีโครงสร้างบาง
- ประสิทธิภาพสูง
 - ไม่มีการสูญเสียในระบบป้อนสัญญาณ
 - การสูญเสียต่ำเพราะโครงสร้างเป็นตัวนำล้วน
- ออกแบบได้ทั้งโพลาไรเซชันเชิงเส้นและโพลาไรเซชันวงกลม
- มีระดับโพลาไรเซชันไขว้ต่ำ
- มีความสามารถในการรองรับกำลังงานได้สูง
- สามารถออกแบบให้มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่มีระดับของพูข้าง (Side Lobe Level) ต่ำมากได้
- สายอากาศมีโครงสร้างปิด (Closed Boundary) สามารถทำการคำนวณออกแบบได้อย่างถูกต้อง
- สามารถหาวัดจุดดับ (ท่อนำคลื่น) ได้ไม่ยากและมีราคาไม่สูงนัก

ในการประยุกต์ใช้สายอากาศแบบร่องบนผนังท่อนำคลื่นเป็นสายอากาศเพื่อรับสัญญาณที่แพร่กระจายจากดาวเทียมซึ่งมีระดับสัญญาณต่ำมาก สายอากาศที่ใช้จะต้องมีค่าทวิกำลังที่สูงพอ นั่นหมายความว่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความว่า ความกว้างของลำคลื่นของสายอากาศจะต้องมีค่าน้อยทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง จึงต้องใช้สายอากาศแบบแถวลำดับระนาบ (Planar Array) เพื่อให้สามารถควบคุมรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) ได้ทุกระนาบ

สำหรับโครงการนี้มีจุดประสงค์เพื่อทำการออกแบบและสร้างระบบติดตามสัญญาณดาวเทียมแบบอัตโนมัติโดยภาครับสัญญาณจะใช้สายอากาศแถวลำดับระนาบแบบรองรับสัญญาณดาวเทียมที่มีความถี่ประมาณ 12.6 กิกะเฮิรตซ์ เมื่อสัญญาณผ่านตัวขยายสัญญาณและแปลงความถี่ให้ต่ำลงอยู่ในช่องแอล-แบนด์ (L-band) แล้วจะนำสัญญาณที่ได้ไปผ่านตัวตรวจจับแอมพลิฟายด์ (Detector) เพื่อทำการแปลงเป็นสัญญาณกระแสตรง จากนั้นนำสัญญาณกระแสตรงที่ได้มาทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลและนำสัญญาณดิจิทัลที่ได้ไปประมวลผลโดยไม่โครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการควบคุมสแต็ปปีงมอเตอร์ให้เปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศเพื่อให้สามารถรับสัญญาณดาวเทียมค่าสูงสุดได้ตลอดเวลา และเมื่อได้จัดสร้างระบบติดตามสัญญาณดาวเทียมเรียบร้อยแล้วจะมีการทดสอบเพื่อพิจารณาลักษณะการรับสัญญาณของสายอากาศในกรณีต่างๆ เช่น ในกรณีที่ตัวส่งและตัวรับอยู่กึ่งที่ และในกรณีที่ตัวส่งมีการเคลื่อนที่ส่วนตัวรับอยู่กึ่งที่

รายงานฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท โดยบทที่ 1 เป็นบทนำซึ่งจะกล่าวถึงประโยชน์ของระบบการติดตามการรับสัญญาณดาวเทียมอัตโนมัติ คุณลักษณะของสายอากาศแถวลำดับระนาบแบบรองรับบนผนังท่อนำคลื่น และกล่าวถึงวัตถุประสงค์และข้อกำหนดในการทำโครงการ

บทที่ 2 กล่าวถึงพื้นฐาน ของระบบติดตามการรับสัญญาณอัตโนมัติ ทฤษฎีหลักการทำงานของส่วนประกอบของระบบแต่ละส่วน

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและการสร้างส่วนประกอบต่างๆ การเลือกใช้อุปกรณ์และการต่อวงจรโดยรวม

บทที่ 4 กล่าวถึงการทดสอบและผลการทดสอบสายอากาศ ส่วนประกอบต่างๆของระบบ ผลการทดสอบระบบโดยรวมทั้งหมด เมื่อต่อรวมเข้าด้วยกันทั้งหมด และผลการทดสอบความแม่นยำในการติดตามสัญญาณ

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุปผลการทดลอง กล่าวถึง การสรุปผลการทดลองของโครงการนี้ ความละเอียดของโครงการ ข้อจำกัดในการออกแบบโครงการและข้อจำกัดในการเลือกใช้อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ระบบติดตามเป้าหมายอัตโนมัติ (Autotracking System) คือระบบที่สามารถรับสัญญาณได้ตลอดเวลาโดยการหมุนจานสายอากาศให้ไปรับสัญญาณได้อย่างอัตโนมัติซึ่งมีใช้กันทั่วไปในระบบเรดาร์ และการรับสัญญาณดาวเทียม

ระบบติดตามการรับสัญญาณแบบอัตโนมัติมีส่วนประกอบ 3 ส่วน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ภาครับสัญญาณ ได้แก่ ส่วนของสายอากาศที่ใช้รับสัญญาณจากดาวเทียม
2. ภาควิเคราะห์สัญญาณ เป็นส่วนของการตรวจจับสัญญาณ (ตัวตรวจจับแอมพลิฟายด์) ที่ได้มาจากภาครับสัญญาณ โดยนำมาวิเคราะห์หาตำแหน่งของดาวเทียมเพื่อให้ได้ความแม่นยำมากที่สุดแล้วส่งต่อไปให้ยังภาคควบคุมสายอากาศ
3. ภาคควบคุมสายอากาศ เป็นส่วนของการควบคุมการเคลื่อนที่ของสายอากาศทั้งหมดโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ และสเต็ปปีงมอเตอร์



รูปที่ 2.1 แสดงไดอะแกรมของระบบติดตามเป้าหมายอัตโนมัติ

2.1 ภาควิเคราะห์สัญญาณ

2.1.1 วงจรตรวจจับแอมพลิฟายด์ (Detector)

ตัวตรวจจับแอมพลิฟายด์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แปลงสัญญาณไมโครเวฟให้เป็นสัญญาณที่เห็นเป็นสัญญาณแรงดันโดยใช้คุณสมบัติแบบไม่เป็นเชิงเส้นของความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส (V-I) ของรอยต่อพีเอ็น (p-n junction) หรือ รอยต่อแบบชอตกกีแบเรียร์ (schottky-barrier junction) ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ (metal semiconductor junction) เพื่อให้ตัวตรวจจับแอมพลิฟายด์มีคุณภาพที่ดีนั้น จะต้องใช้ไดโอดที่มีพหุขั้วข้างน้อยจำนวนน้อย และมีค่าคาปาซิแตนซ์ของรอยต่อต่ำ ซึ่งชอตกกีแบเรียร์ไดโอดมีคุณสมบัติตามที่เราต้องการ

ตัวตรวจจับแอมพลิฟายด์ที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. มีค่าความต้านทานแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่เปลี่ยนแปลงได้ (Variable Nonlinear Resistance)

2. มีความถี่คutoff สูง (High Cutoff Frequency) ซึ่งความถี่คutoff หาได้จาก $f_c = \frac{1}{2\pi R_s C_{jo}}$

อุปกรณ์ที่มีค่าความต้านทานอนุกรมต่ำ (low series resistance) และมีค่าคาปาซิแตนซ์ของรอยต่อน้อย (low junction capacitance) จะมีความถี่คutoff สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ 3. มีความกว้างของรอยต่อน้อย (Low Barrier Height) 4. มีค่าแรงดันเบรคดาวน์สูง (High breakdown Voltage) เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

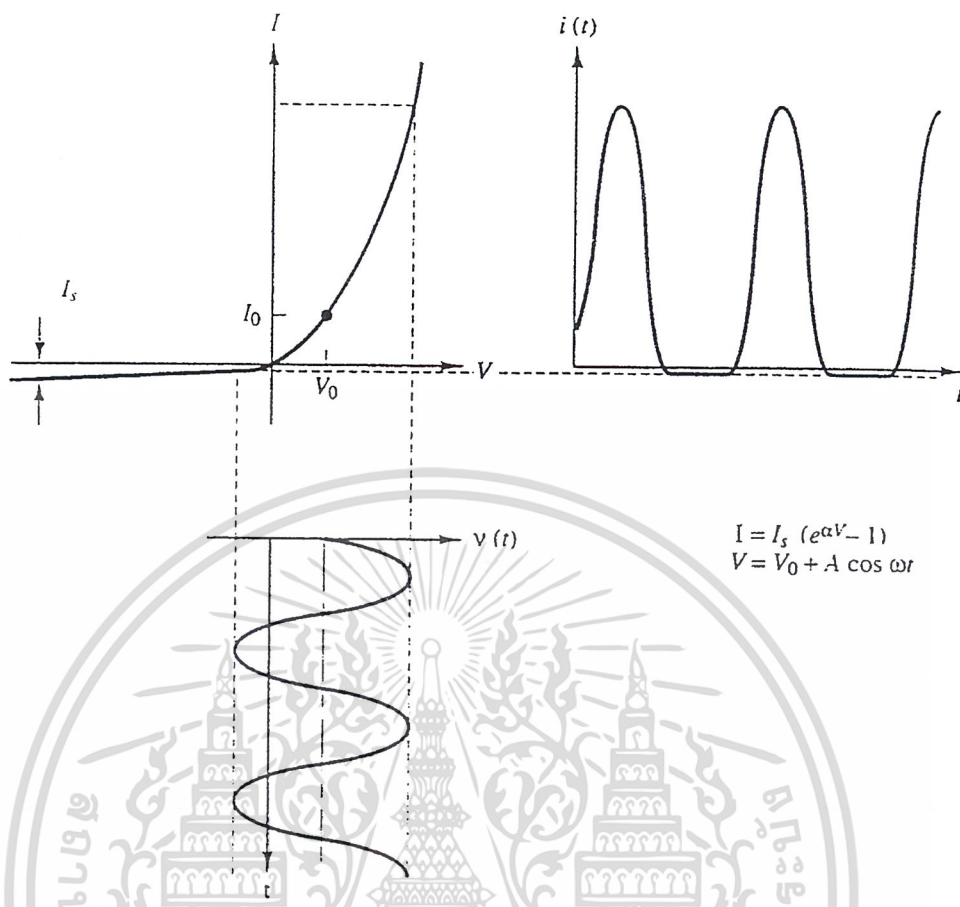
5. สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้อย่างรวดเร็วภายหลังจากการอิ่มตัวเนื่องจากสัญญาณที่มีค่ามาก (Quick Recovery After Saturation Caused By a Large Signal) ซึ่งเป็นรอยต่อแบบโลหะกับสารกึ่งตัวนำ จะเหมาะกว่ารอยต่อแบบพีเอ็น

ไดโอดที่ใช้เป็นตัวตรวจจับแอมพลิจูดจะมีความสัมพันธ์ระหว่างโวลเตจและกระแสแบบไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งมีสมการแสดงความสัมพันธ์ดังนี้

$$I = I(v) = I_s(e^{qv/\eta kt} - 1) \quad (2.1)$$

โดยที่	I_s	= ค่ากระแสอิ่มตัวของไดโอด
	q	= ค่าประจุของอิเล็กตรอน = $1.6021917 \times 10^{-19} C$
	v	= ค่าโวลเตจคร่อมรอยต่อ
	η	= ค่าคงที่มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2
	k	= ค่าคงที่ของโบลซ์แมนน์
	T	= ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างโวลเตจและกระแสของไดโอด

ถ้าให้อินพุตโวลเตจมีค่า

$$V = V_0 + \partial v \quad (2.2)$$

ซึ่ง ∂v แทนสัญญาณเอซซีทีที่มีค่าน้อยๆ

สมการที่ (2.1) สามารถกระจายเป็นอนุกรมของเทเลอร์ (Taylor series) รอบ V_0 ได้โดยแทนสมการ (2.2) ลงในสมการ (2.1) จะได้

$$\begin{aligned} I &= I(v) = I(V_0 + \partial v) \\ &= I(V_0) + \left. \frac{dI}{dV} \right|_{V_0} \partial v + \frac{1}{2} \left. \frac{d^2 I}{dV^2} \right|_{V_0} (\partial v)^2 + \dots \\ &= I_0 + \partial I \end{aligned} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ I_0 คือ ค่ากระแสคี่ที่ใช้ไบอัส (dc bias current) และ ∂I คือค่ากระแสคี่ที่มีค่าน้อยๆ

เมื่อแทน $\partial V = v$, $\partial I = I(V_0)$, $\frac{dI}{dV}|_{V_0} = a_1$, $\frac{1}{2} \frac{d^2 I}{dV^2}|_{V_0} = a_2$ ลงในสมการ (2.3) จะได้

สมการใหม่เป็น

$$i = a_1 v + a_2 v^2 + a_3 v^3 + \dots \quad (2.4)$$

เมื่อพิจารณาไดโอดที่ใช้เป็นตัวตรวจจับแอมพลิจูดในกรณีที่มีสัญญาณเอซี (v) เป็นสัญญาณที่ไม่มี
การมอดูเลต (Unmodulated Signal) และมีค่าเป็น

$$v = A \cos \omega_{RF} t \quad \text{หรือ} \quad A \sin \omega_{RF} t \quad (2.5)$$

ถ้า v มีค่าน้อยมากๆ จะได้ค่า i เป็น

$$i = a_1 v + a_2 v^2 + a_3 v^3 + \dots \cong a_1 A \cos \omega_{RF} t \quad (2.6)$$

ซึ่งจะพบว่าไม่มีสัญญาณคี่หรือมีแค่สัญญาณคี่ขนาดน้อยๆ ออกมา

ถ้า v เพิ่มขึ้น และพิจารณาเพียงแค่ 2 พจน์แรกของสมการ

$$i = a_1 v + a_2 v^2 \quad (2.7)$$

แทนค่า v จาก(2.5) ลง (2.7) จะได้

$$\begin{aligned} i &= a_1 A \cos \omega_{RF} t + a_2 A^2 \cos^2 \omega_{RF} t \\ &= a_1 A \cos \omega_{RF} t + \frac{a_2 A^2}{2} + \frac{a_2 A^2}{2} \cos 2\omega_{RF} t \end{aligned}$$

จะพบว่า กระแสคี่จะแปรผันกับค่า A^2 นั่นคือ

$$I_{dc} = \frac{a_2 A^2}{2}$$

สรุปได้ว่า ตัวตรวจจับแอมพลิจูดจะต้องทำงานอยู่ในช่วงกฎของกำลังสอง (square law region)

จึงจะสามารถให้สัญญาณเอาต์พุตที่มีสัญญาณคี่ออกมา

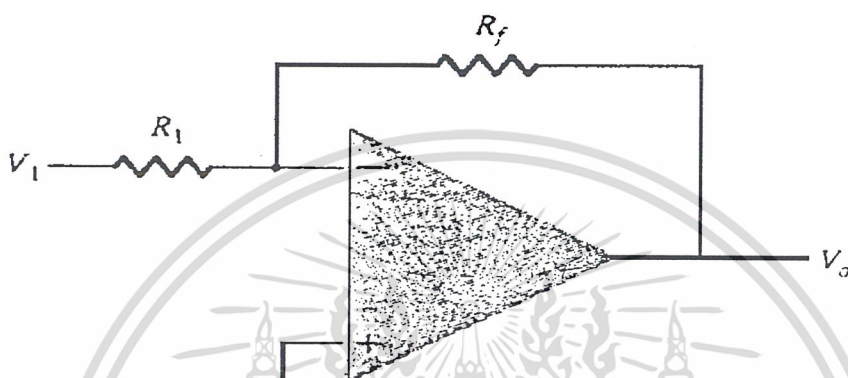
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 วงจรขยายสัญญาณ

เป็นวงจรที่ใช้ขยายสัญญาณให้สูงขึ้น ซึ่งแบ่งออกเป็น

1. วงจรขยายสัญญาณแบบกลับขั้ว
2. วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับขั้ว

วงจรขยายสัญญาณแบบกลับขั้วมีรูปวงจรดังนี้



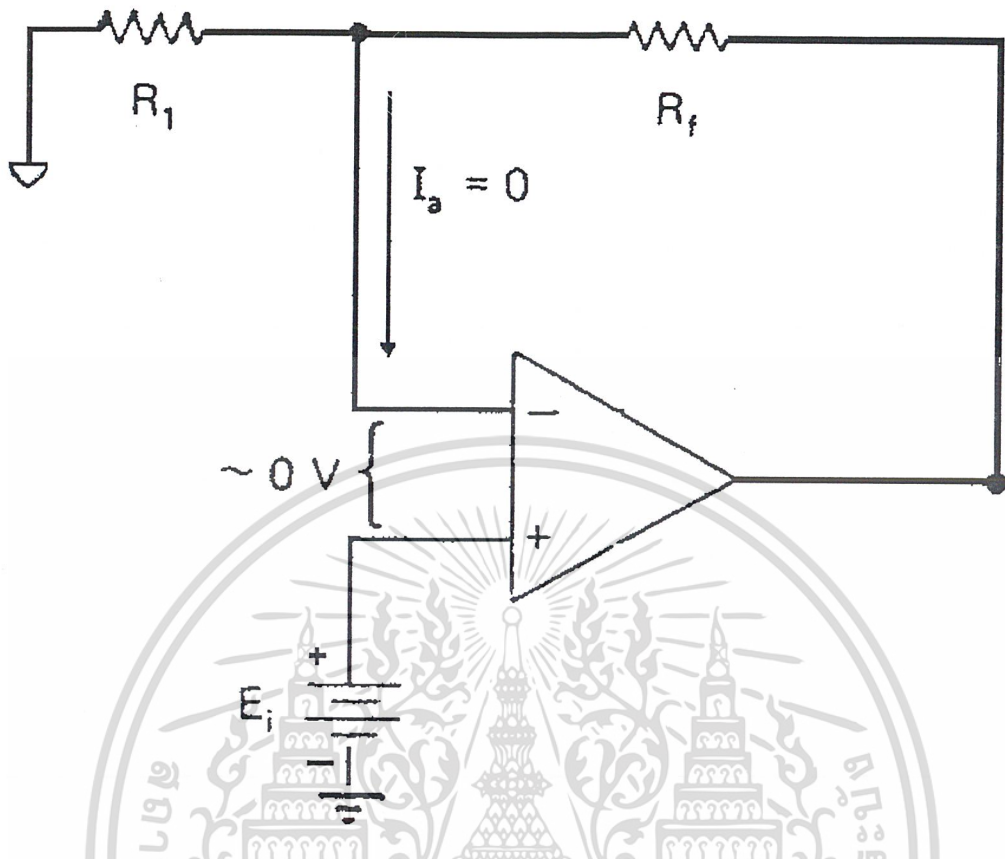
รูปที่ 2.3 แสดงวงจรขยายสัญญาณแบบกลับขั้ว

ซึ่งสามารถหาอัตราขยายแรงดันได้จาก

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R_i}$$

วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับขั้วมีรูปวงจรดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับขั้ว

ซึ่งสามารถหาอัตราขยายแรงดันได้จาก

$$\frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

2.2.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลมีหลายแบบดังนี้

1.แบบแฟลช หรือแบบใช้วงจรเปรียบเทียบขนาน (Parallel Comparator Simultaneous

Flash)

2.แบบสโลปเดี่ยว หรือ แบบเรมปี (Single Ramp Single Slope)

3.แบบสโลปคู่ (Dual-slope A/D Convertors)

4.แบบชาร์จบาลานซ์ (Charge Balance)

5.แบบใช้จวนับเดี่ยว (Single Counter)

6.แบบใช้การประมาณค่า (Successive Approximation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และเผยแพร่โดยมูลนิธิส่งเสริมวิชาการไทย ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เชิงพาณิชย์และต้องขอยกเลิกเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งแบบที่จะกล่าวถึงในที่นี้และที่นิยมใช้มากคือแบบที่ 1 และ 5

1.แบบแฟลช ประกอบด้วยออปแอมป์ที่ต่อเนื่องเป็นวงจรเปรียบเทียบ และตัวต้านทานต่อจั่ว เพื่อแบ่งแรงดันที่ขาอินพุตแบบกลับให้มีขนาดต่าง ๆ กัน จากหลักการทำงานของวงจรเปรียบเทียบทั่วไป เมื่อแรงดันอินพุตที่ขาอินพุตแบบไม่กลับ มีค่าสูงกว่าที่ขาอินพุตแบบกลับเอาต์พุต จะได้แรงดันค่าสูง ซึ่งเอาต์พุตที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบจะนำไปเข้ารหัสเป็นเลขฐานสองต่อไป วงจรแปลงสัญญาณแบบนี้ใช้หลักการง่าย ๆ และเป็นวิธีที่เร็วที่สุดคือใช้วงจรเปรียบเทียบที่ต่อขนานกัน แต่เมื่อต้องการวงจรที่มีความละเอียดสูงขึ้น จำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์เปรียบเทียบมากขึ้น เช่น ถ้าต้องการวงจรที่มีความละเอียดสูงขึ้น จำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์เปรียบเทียบมากขึ้น

2.แบบใช้การประมาณค่า วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบนี้มีข้อได้เปรียบทางด้านความละเอียด เพราะความละเอียด n บิตสามารถกำหนดได้จากสัญญาณนาฬิกา n ลูก วงจรนี้จะมีความเร็วสูง ความละเอียดสูงจึงเป็นวงจรที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย

2.3 ภาคควบคุมสายอากาศ

2.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

คุณสมบัติทั่วไปที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีดังนี้

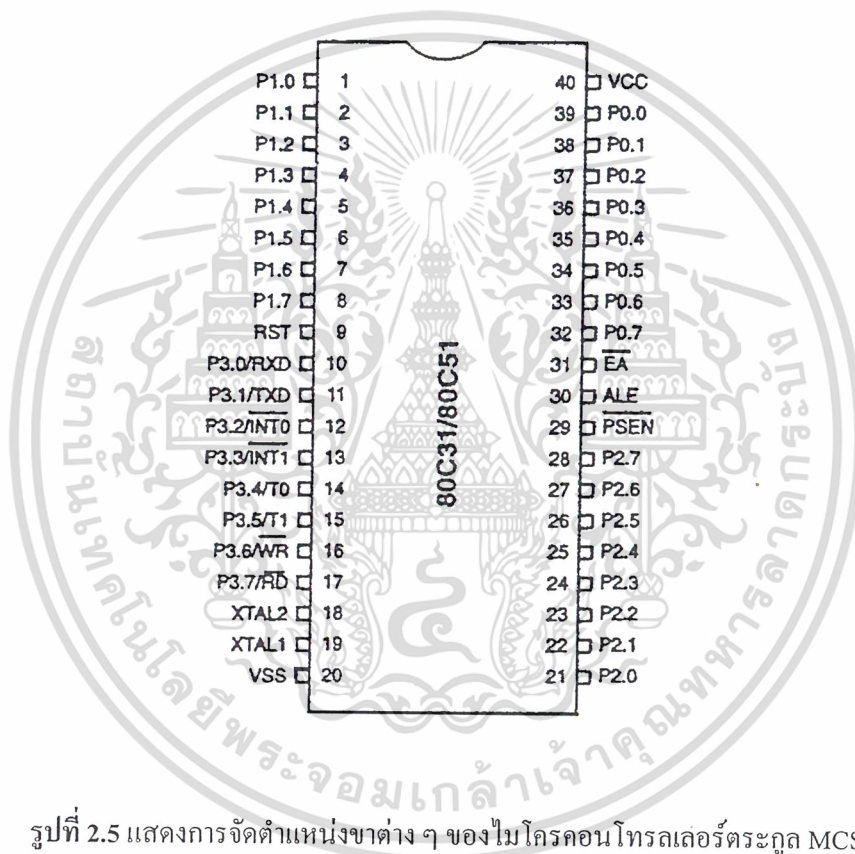
- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต
- มีวงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาภายในไอซี
- มีขาสัญญาณอินพุตเอาต์พุตจำนวน 32 บิต
- สามารถเชื่อมต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอก (external data memory) โดยอ้างตำแหน่งแอดเดรสได้ถึง 64 K
- สามารถเชื่อมต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (external program memory) โดยการอ้างตำแหน่งแอดเดรสได้ถึง 64 K
- มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในในตัว (on -ship program memory) ขนาด 4 K โดยเฉพาะเบอร์ 8052 จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้ถึง 8K สำหรับเบอร์ 8031 และ M8032 จะไม่มีหน่วยความจำในส่วนนี้
- มีหน่วยความจำข้อมูลภายในตัว (on-ship data memory) ขนาด 128 ไบต์ โดยเฉพาะเบอร์ 8032 และ 8052 จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้ถึง 256 ไบต์
- หน่วยความจำข้อมูลภายในบางส่วนสามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ด้วย ทำให้การควบคุมหรือการตรวจสอบสถานะบิตทำได้ง่าย ส่งผลให้การเขียนโปรแกรมทำได้ง่ายมากขึ้น
- มีไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ (timer/counter) ขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว โดยเฉพาะเบอร์ 8032 หรือ 8052 จะมีไทมเมอร์/เคาน์เตอร์จำนวน 3 ตัว
- การอินเตอร์รัปต์สามารถทำได้จาก 5 แหล่งกำเนิด โดยเฉพาะเบอร์ 8032 และ 8052 จะทำการอินเตอร์รัปต์ได้จาก 6 แหล่งกำเนิด โดยการอินเตอร์รัปต์ยังสามารถจัดลำดับความสำคัญได้เป็น 2 ระดับ
- มีพอร์ตสื่อสารอนุกรมภายในตัวเอง ซึ่งทำงานเป็นแบบฟูลดูเพล็กซ์ (full duplex)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีคำสั่งในการคำนวณทางคณิตศาสตร์และทางตรรกศาสตร์
- คำสั่งโดยส่วนใหญ่ใช้เวลาในการทำงานเพียง 1 ไมโครวินาที เมื่อใช้คริสตอลความถี่ 12 เมกะเฮิร์ตซ์
- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ เพียงชุดเดียว

โครงสร้างภายนอกของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีตำแหน่งขาพื้นฐานที่เหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 สำหรับหน้าที่การใช้งานของแต่ละขามีดังนี้



รูปที่ 2.5 แสดงการจัดตำแหน่งขาต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ขา V_{cc} เป็นขาป้อนแรงดันไฟเลี้ยง +5 โวลต์

ขา V_{ss} เป็นขากาวด์

ขาพอร์ต 0 (Port 0) มี 8 ขา ได้แก่ ขา P0.0 – P0.7 เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทางสำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้ขาพอร์ตเหล่านั้นอยู่ในสถานะปล่อยลอย ซึ่งในสถานะนี้เองที่สามารถนำมาใช้เป็นพอร์ตอินพุตอิมพีแดนซ์สูงได้ นอกจากพอร์ตนี้จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแล้วมันยังถูกใช้งานในการติดต่อกับ

หน่วยความจำภายนอกด้วย โดยทำหน้าที่ในการกำหนดตำแหน่งแอดเดรสไบต์ต่ำ (A0-A7) ซึ่งจะใช้งานเป็นแบบมัลติเพล็กซ์กับการรับส่งข้อมูลขนาด 8 บิต (D0-D7) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาและเรียนรู้เท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาพอร์ต 1 (Port 1) มี 8 ขา ได้แก่ ขา P1.0-P1.7 เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทาง สำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากนี้สำหรับเบอร์ 8032 และ 8052 ขาพอร์ต P1.0 และ P1.1 จะถูกนำมาใช้งานเป็นขา T2 และ T2EX ตามลำดับด้วย

ขาพอร์ต 2 (Port 2) มี 8 ขา ได้แก่ ขา P2.0-P2.7 เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทาง สำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากพอร์ตนี้จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแล้วมันยังถูกใช้งานในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกด้วย โดยทำหน้าที่ในการกำหนดตำแหน่งแอดเดรสไบต์สูง (A8-A15)

ขาพอร์ต 3 (Port 3) มี 8 ขา ได้แก่ P3.0-P3.7 เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทางสำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแล้วมันยังถูกใช้งานในหน้าที่พิเศษต่าง ๆ

ขา รีเซต (RST) ใช้สำหรับการรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการรีเซ็ตต้องคงสถานะเป็น 1 อย่างน้อยนาน 2 เมกซีคล็อกไซเคิล ในขณะที่ออสซิลเลเตอร์ยังทำงานอยู่

ขา ALE/PROG เป็นขาสัญญาณเพื่อทำหน้าที่ควบคุมการแลตช์ (latch) ค่าตำแหน่งแอดเดรสไบต์ต่ำ (Address Latch Enable) เมื่อต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก นอกจากนี้ขา ALE ยังทำหน้าที่เป็นอินพุตรับพัลส์ในการโปรแกรม (program pulse input) ในส่วนของหน่วยความจำ EPROM สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 ที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในเป็น EPROM

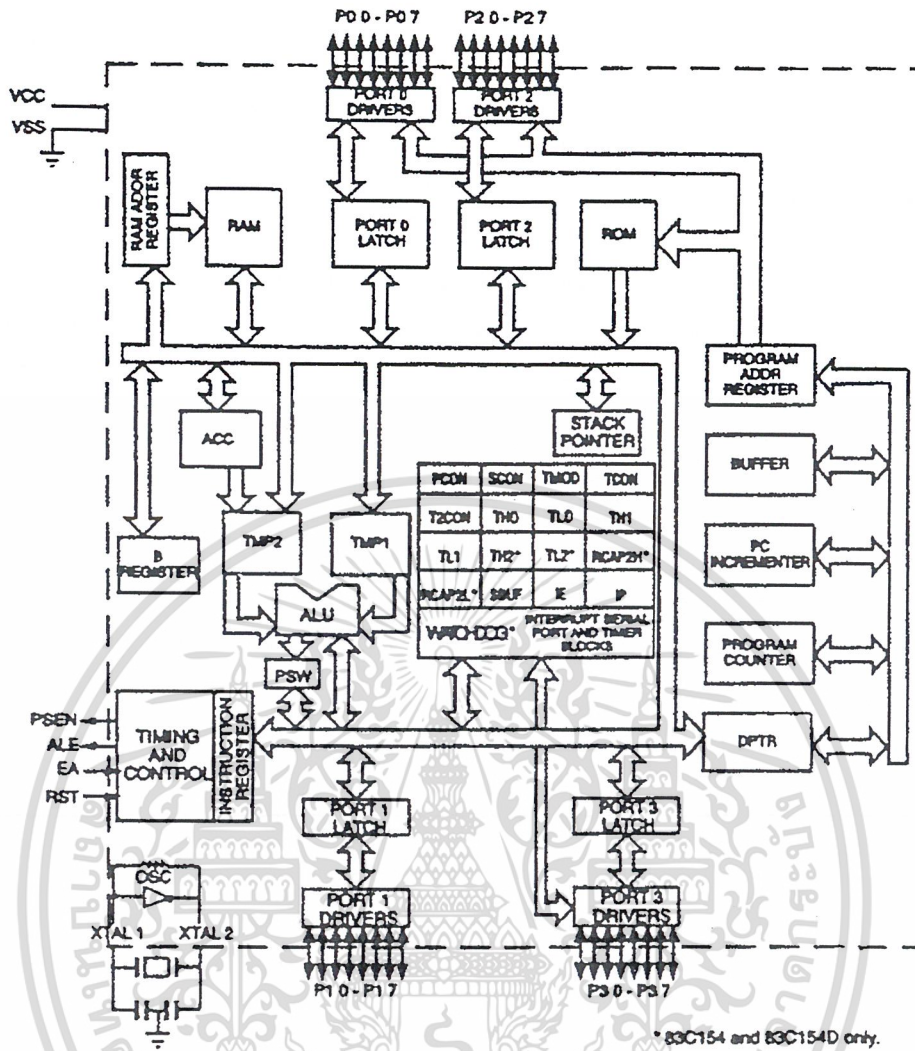
ขา PSEN (Program Store Enable) ทำหน้าที่เป็นสัญญาณสไตรบเพื่ออ่านคำสั่งจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอก ขา ALE จะส่งสัญญาณสไตรบจำนวน 2 ครั้งในแต่ละเมกซีคล็อกไซเคิล แต่ในขณะที่ติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก จะไม่มีกานส่งสัญญาณสไตรบแต่อย่างใด

ขา EA/VPP (External Access enable/VPP) เป็นขาสำหรับการเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมจากภายในหรือจากภายนอก โดยถ้ามีสถานะเป็น 0 จะหมายถึงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอกที่ตำแหน่งแอดเดรส 0-0FFFH(0-1FFFH ถ้าเป็นเบอร์ 8052) อย่างไรก็ตามถ้าบิตป้องกัน (security bit) ในหน่วยความจำ EPROM ถูกโปรแกรมไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะไม่รับคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอกเลย นอกจากนี้ขา ALE ยังทำหน้าที่รับแรงดันไฟสำหรับการ โปรแกรม (Vpp) ขนาด 21 โวลต์ เพื่อใช้ในระหว่างการโปรแกรม EPROM

ขา XTAL1 และ ขา XTAL2 เป็นขาอินพุตและเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์ตติ้งออสซิลเลเตอร์แอมพลิไฟเออร์ (inverting oscillator amplifier) สำหรับใช้ติดต่อกับคริสตัลภายนอก

โครงสร้างภายในของ MCS-51

โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แสดงดังรูปที่ 2.7 โดยส่วนที่มีเครื่องหมายดอกจัน (*) จะมีเฉพาะในเบอร์ 8032 และ 8052 เท่านั้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

การจัดหน่วยความจำ

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แบ่งชนิดหรือหน้าที่ของหน่วยความจำออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรม (program memory) และหน่วยความจำข้อมูล (data memory)

หน่วยความจำโปรแกรมจะใช้สำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งบางเบอร์จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้อยู่ภายในตัว โดยอาจจะมีย่านไม่เท่ากันหรือเป็นหน่วยความจำต่างชนิดกัน เช่น บางเบอร์เป็น ROM และบางเบอร์อาจเป็น EPROM และบางเบอร์อาจไม่มีหน่วยความจำในส่วนนี้เลย โปรแกรมการทำงานจะถูกเก็บไว้ยังหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับหน่วยความจำข้อมูลจะใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือค่าตัวแปรต่าง ๆ จากการทำงานของโปรแกรม ซึ่งใน MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้อยู่จำนวนหนึ่ง แต่อาจมีขนาดมากน้อยต่างกันไปในแต่ละเบอร์

หน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรมภายในและหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก หน่วยความจำโปรแกรมภายในจะถูกใช้งานถ้าขาสัญญาณ EA มีค่าเป็น 1 โดยจะถูกใช้งานในช่วงแอดเดรส 0-0FFFF (หรือช่วงแอดเดรส 0-1FFFF ในเบอร์ 8052) นอกเหนือจากช่วงแอดเดรสนี้จะใช้หน่วยความจำโปรแกรมทั้งหมด ในกรณีตรงกันข้ามถ้าขาสัญญาณ EA มีค่าเป็น 0 ในช่วงแอดเดรส 0-0FFFF (หรือช่วงแอดเดรส 0-1FFFF ในเบอร์ 8052) จะถูกใช้จากหน่วยความจำภายนอกหรือกล่าวได้ว่าถ้าขาสัญญาณ EA มีค่าเป็น 0 จะเป็นการเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมดตลอดช่วงแอดเดรส

หน่วยความจำข้อมูล

หน่วยความจำข้อมูลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำข้อมูลภายในและหน่วยความจำข้อมูลภายนอก สำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายในยังแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนย่อย คือส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป และส่วนที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษหรือ SFR(Special Function Register) โดยส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปจะถูกใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือค่าตัวแปรต่าง ๆ จากการทำงานของโปรแกรมส่วนรีจิสเตอร์พิเศษจะถูกใช้งานเป็นรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานและบอกสถานะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 ไบต์เป็นอย่างน้อย และบางเบอร์อาจมีถึงขนาด 256 ไบต์

2.3.2 สเต็ปปีงมอเตอร์

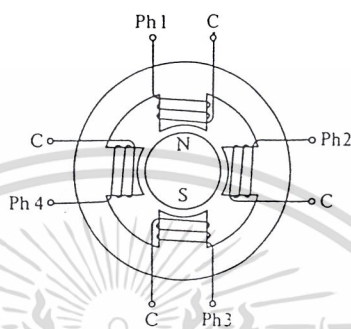
สเต็ปปีงมอเตอร์ เปรียบเสมือนทรานส์ดิวเซอร์แบบแปลงไฟฟ้าไปเป็นเชิงกล ซึ่งมีอินพุตเป็นกลุ่มของไบนารีโวลต์เตจและเอาต์พุตเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่ในเชิงมุมเป็นสเต็ป ด้วยลักษณะการเคลื่อนที่ดังกล่าวสเต็ปปีงมอเตอร์จึงได้รับการนำมาประยุกต์ใช้ในงานต่างๆเช่น ใช้เป็นตัวป้อนกระดาศและกำหนดช่วงห่างของบรรทัดในไลน์ปริ้นเตอร์ x-y พล็อตเตอร์ ขับเครื่องจักรกลที่คอนโทรลด้วยคอมพิวเตอร์ แรนด้อม-แอกเซสดีสค์เมโมรี่จนกระทั่งถึงหุ่นยนต์ โดยขนาดของสเต็ปปีง อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.1° ถึง 30°

สเต็ปปีงมอเตอร์แบ่งออกไปได้หลายชนิดด้วยกัน เช่น Variable Reluctance (VR), Permanent Magnet (PM) และแบบไฮบริด (Hybrid) โดยมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

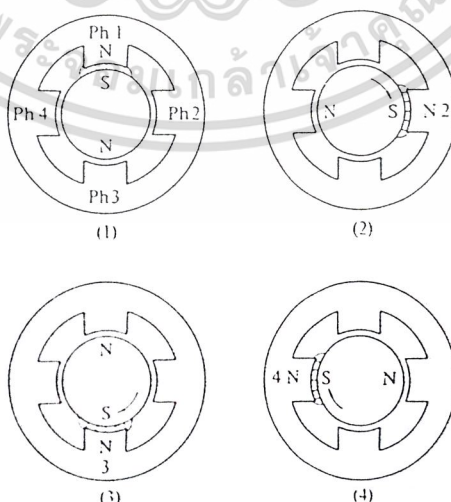
1. สเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Stepmotor)

สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดนี้ใช้แม่เหล็กถาวรเป็นโรเตอร์และซี่ฟันของสเตเตอร์ล้อมรอบ ซี่ฟันของสเตเตอร์ถูกพันด้วยขดลวดสำหรับสร้างสนามแม่เหล็ก เมื่อต้องการให้สเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมีขนาดมุมสเต็ปเล็กลงจะต้องเพิ่มจำนวนขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์เนื่องจากการสร้างแม่เหล็กถาวรให้มีโครงสร้างแบบมีขั้วแม่เหล็กหลายขั้วทำได้ยาก



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาด 4 เฟส

ตัวอย่างการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร สมมติว่ามอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาด 4 เฟส มีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวรทรงกระบอกและมีสเตเตอร์ 4 ซี่ฟัน ซึ่งรอบๆ ฟันด้วยขดลวดมีรูปแบบการทำงานพื้นฐานคือ เมื่อสร้างสัญญาณกระตุ้นตามลำดับเฟส โรเตอร์จะหมุนไปตามทิศทางของการกระตุ้น ดังรูป 2.8 เป็นการแสดงตำแหน่งของโรเตอร์ในแต่ละสเต็ป หลังจากกระตุ้นที่เฟส 1-2-3-4 ตามลำดับ มอเตอร์จะหมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

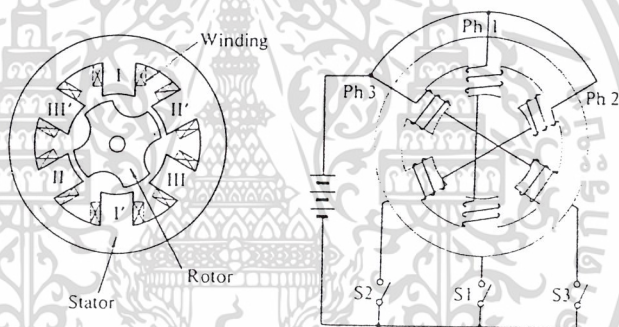


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.8 แสดงการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาด 4 เฟส
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียของสเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรคือ ขนาดมูมสเต็ปิ่งใหญ่ ทำให้มีความละเอียดของสเต็ปิ่งต่อรอบน้อย เนื่องจากโครงสร้างของโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร การสร้างแม่เหล็กถาวรให้มีหลายขั้วทำได้ยาก ทำให้ไม่สามารถสร้างสเต็ปิ่งขนาดเล็กได้ สเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร ส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างขนาดเล็กทำให้ค่าทอร์กที่ให้ต่อหน่วยปริมาตรมีค่าต่ำ ถ้าต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพในเรื่องของทอร์ก แม่เหล็กถาวรที่ใช้ต้องทำจากสารแม่เหล็กที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กสูงและสารแม่เหล็กที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กมาราคาสูง สารแม่เหล็กราคาถูกเช่น เฟอร์ไรท์ มีสภาพความเป็นแม่เหล็กน้อยจึงทำให้ค่าของทอร์กต่ำ

2. สเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ได้ (Variable Reluctance)

โครงสร้างของสเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ได้ มีโรเตอร์และสเตเตอร์ทำจากเหล็กผสมซิลิคอน ซึ่งเป็นสารแม่เหล็กที่มีค่าความซึมซับ (permeability) สูง สามารถให้เส้นแรงแม่เหล็กจำนวนมากไหลผ่านได้

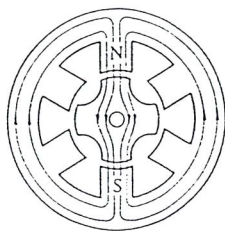


รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างของสเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ได้

ในรูปเป็นสเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ได้ขนาด 3 เฟสโดยโครงสร้างของโรเตอร์มี 4 ขั้วเฟสและสเตเตอร์มี 6 ขั้วเฟส แต่ละเฟสของสเตเตอร์มี 2 ขั้วเฟสอยู่ตรงข้ามกัน โดยจะพันขดลวดแบบอนุกรมกันในแต่ละขั้ว ดังนั้น ทั้ง 2 ขั้วเฟสของเฟสหนึ่งของสเตเตอร์จะมีขั้วตรงข้ามกัน ถ้ามีการกระตุ้นเฟสเกิดขึ้นขั้ว I', I I', I I I' จะเป็นขั้วได้และขั้ว I, I I, I I I จะเป็นขั้วเหนือ การทำงานจะเริ่มจากการกระตุ้นที่เฟส 1 ก่อน (S1 "ON") ซึ่งจะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นดังรูปที่ 2.10

ตัวโรเตอร์จะพยายามวางตำแหน่งตัวเองให้อยู่ในทิศทางที่ทำให้เกิดค่าความต้านทานแม่เหล็กน้อยที่สุดไปในแนวขั้ว I-I'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กขณะกระตุ้นเฟส 1

ในขณะที่เริ่มต้นที่จะกระตุ้นเฟส II (S1 “OFF”,S2 “ON”) ดังรูปที่ 2.11 เส้นแรงแม่เหล็กจะไม่อยู่ในแนวทางเดินที่สะดวกจึงทำให้ค่าความต้านทานแม่เหล็กมีค่าสูง ตัวโรเตอร์ก็จะพยายามปรับตัวเองเพื่อให้ค่าความต้านทานแม่เหล็กลดน้อยที่สุดด้วยการหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาซึ่งแรงบิดที่ใช้หมุนเกิดจากแรงของเส้นแรงแม่เหล็กแล้วจะไปหยุดที่ตำแหน่งความต้านทานแม่เหล็กลดน้อยที่สุดนั่นคือจะหมุนไป 1 สเต็ป



รูปที่ 2.11 แสดงขั้นตอนการหมุนเมื่อมีการกระตุ้นเฟสจากเฟส 1 ไปยังเฟส 2

คุณสมบัติพื้นฐานสำหรับ โครงสร้างของสเต็ปมอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ได้

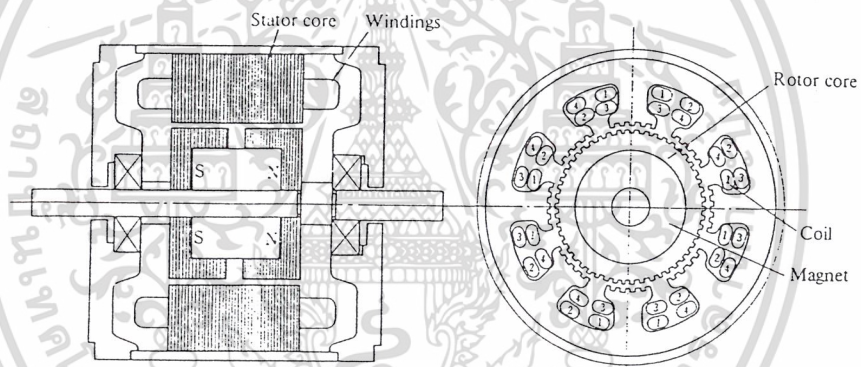
- 1) ช่องว่างอากาศระหว่างซี่ฟันขณะ โรเตอร์และสเตเตอร์ต้องเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อให้ค่าทอร์คมากขึ้นและมีความถูกต้องแม่นยำทางตำแหน่งดีขึ้น
- 2) โครงสร้างของการสเต็ปมีความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสเต็ปของการหมุนโรเตอร์รอบ (s) มุมที่เปลี่ยนไปใน 1 สเต็ป (θ_s) จำนวนเฟสของสเตเตอร์ (m) และจำนวนฟันของโรเตอร์ (N_r) หาได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน $s = \frac{360}{\theta_s} = mN_r$ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อลดขนาดมมสตีปลงจำนวนซี่ฟันของโรเตอร์ต้องเพิ่มขึ้น ซึ่งฟันของสเตเตอร์จะต้องเพิ่มขึ้นด้วย โดยโครงสร้างแต่ละขั้วของเฟสใดๆจะมีหลายซี่ฟัน แต่จำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์ไม่ใช่องค์ประกอบโดยตรงที่จะกำหนดมมสตีปลงของสตีปิ้งมอเตอร์

3. สตีปิ้งมอเตอร์แบบไฮบริด (Hybrid Stepmotor)

เป็นรูปแบบหนึ่งของสตีปิ้งมอเตอร์ซึ่งมีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร ไฮบริดหมายถึงการทำงานร่วมกันของมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรและมอเตอร์แบบแปรค่ารีล็กแทนซ์ได้ ไฮบริดสตีปิ้งมอเตอร์มีโครงสร้างของสเตเตอร์คล้ายกับโครงสร้างของสตีปิ้งมอเตอร์แบบแปรค่ารีล็กแทนซ์ได้ แต่การต่อขดลวดต่างกัน โดยในหนึ่งเฟสของสตีปิ้งมอเตอร์แบบแปรค่ารีล็กแทนซ์ได้ จะมีสองขดลวดและขดลวดทั้งสองจะพันอยู่ที่ขั้วเดียวกัน โดยที่ขั้วหนึ่งจะไม่ใช่ของเฟสใดเฟสหนึ่ง โครงสร้างของขดลวดสองขดลวดที่ถูกพันที่ขั้วเดียวกัน ถูกเรียกว่าเป็นรูปแบบของไบไฟลาร์ (bifilar) ซึ่งจะให้ขั้วแม่เหล็กที่แตกต่างกันในการกระตุ้นแต่ละครั้ง

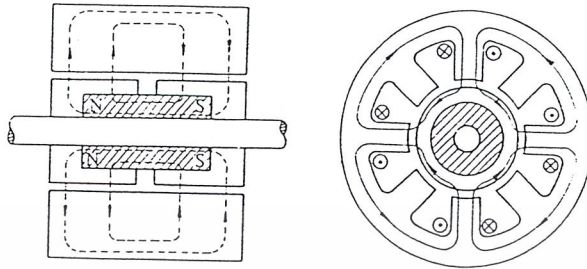


รูปที่ 2.12 แสดง โครงสร้างไฮบริดสตีปิ้งมอเตอร์

คุณสมบัติที่สำคัญของไฮบริดสตีปิ้งมอเตอร์ คือ โครงสร้างของมอเตอร์มีแม่เหล็กถาวรอยู่ที่กึ่งกลางระหว่างเฟสทั้งสอง การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กทำได้โดยใช้สนามแม่เหล็กซึ่งสร้างจากสเตเตอร์ซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กแบบเฮเทอโพลาร์ (Heteropolar field) ดังนั้นทอร์กเกิดจากการทำงานร่วมกันของสนามแม่เหล็กสองชนิด คือสนามจากแม่เหล็กถาวรและสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่เกิดจากการกระตุ้นขดลวดแต่ละขด โครงสร้างของซี่ฟันของสเตเตอร์จะใหญ่กว่าซี่ฟันของโรเตอร์เล็กน้อย เพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำทางตำแหน่งของการเคลื่อนที่

หลักการทำงานของไฮบริดสตีปิ้งมอเตอร์ แตกต่างจากสตีปิ้งมอเตอร์แบบแปรค่ารีล็กแทนซ์ได้คือ แรงบิดที่เกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็กจะไม่ขึ้นอยู่กับกระแสที่ผ่านขดลวดอย่างเฉยแต่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของซี่ฟันด้วย ซึ่งซี่ฟันถูกออกแบบเพื่อให้ได้โครงสร้างขนาดเล็ก และใช้แม่เหล็กถาวรเป็นแกนกลางเพื่อลดผลของการออสซิลเลตทางแมคคานิคส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่สิ่งนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงหลักการทำงานของไฮบริดสเต็ปปีงมอเตอร์

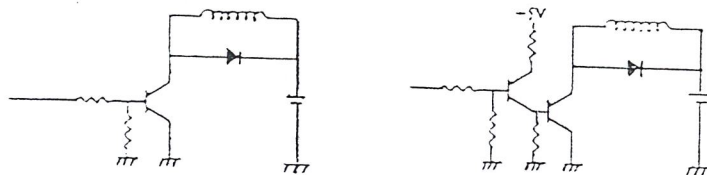
ข้อดีของไฮบริดสเต็ปปีงมอเตอร์ คือมีขนาดสเต็ปขนาดเล็กมีความละเอียดของสเต็ปต่อรอบสูง มีค่าทอร์คสูงกว่าสเต็ปปีงมอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ได้ แต่สเต็ปปีงมอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ได้มีแรงเฉื่อยทางแมคคานิคส์น้อยกว่าสเต็ปปีงมอเตอร์แบบไฮบริด

นอกจากสเต็ปปีงมอเตอร์ทั้งสามชนิดที่กล่าวมาแล้วยังมีสเต็ปปีงมอเตอร์ชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึงอีกเช่น ลิเนียร์สเต็ปปีงมอเตอร์ ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่ได้รับการออกแบบให้มีการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้นอิเล็กทรอนิกส์โรตารีไฮดรอลิกสเต็ปปีงมอเตอร์ ซึ่งเป็นสเต็ปปีงมอเตอร์กำลังสูงสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม เป็นต้น

2.3.3 วงจรขับมอเตอร์

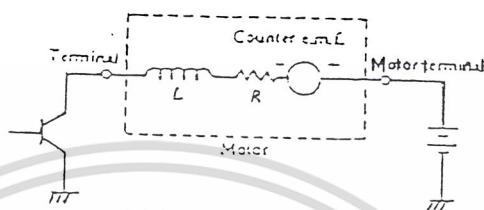
1. วงจรขับแบบจ่ายกระแสทิศทางเดียว (Unipolar Drive)

วงจรขับแบบยูนิโพลาร์ เป็นการนำสัญญาณเอาต์พุตของวงจรถลจิกซีควเอนเซอร์ ส่งไปที่วงจรถับเพื่อทำการจ่ายกระแสที่ไหลผ่านเข้ายังขดลวดแต่ละเฟสของมอเตอร์โดยตรงและเป็นการจ่ายกระแสในทิศทางเดียว ตัวอย่างวงจรขับเบื้องต้นแสดงในรูปที่ 2.14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.14 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการขับมอเตอร์แบบ Unipolar
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดแต่สิ่งหนึ่งและต้องอย่างองเงงเงงเงงของเอกสารทุกสิ่งที่มีการนำไปใช้

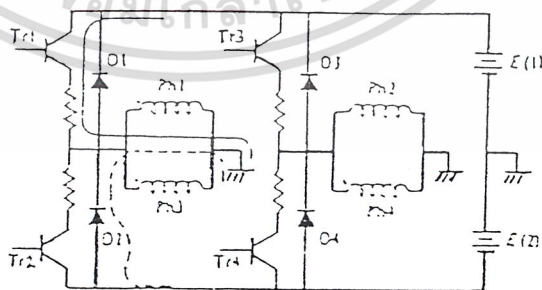
วงจรขับเคลื่อนแต่ละเฟสสามารถแสดงไว้ในรูปที่ 2.15 แต่ละขดลวดของสเต็ปป์มอเตอร์มี inductive ซึ่งเป็นผลรวมของ R และ L ที่ต่ออนุกรมกันนอกจากนั้นยังมี emf .เมื่อมอเตอร์มีการหมุนตัว ในการออกแบบวงจรขับเคลื่อนจะพิจารณาเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องทั้งหมด เพื่อการกำหนดพาวเวอร์ทรานซิสเตอร์ สเต็ปป์มอเตอร์และแหล่งจ่ายแรงดันที่เหมาะสม เช่น ขณะที่อุณหภูมิมากกว่า 100 °C R จะเพิ่มขึ้น 20-25%



รูปที่ 2.15 แสดงวงจรขับที่ผ่านขดลวดหนึ่งของมอเตอร์

2. วงจรขับแบบจ่ายกระแสสองทิศทาง (Bipolar Drive)

ประสิทธิภาพของมอเตอร์จะดีหากขดลวดทุกขดถูกกระตุ้นอย่างสม่ำเสมอในช่วงเวลาที่จำกัดและสร้างทอร์ก ขนาดที่เหมาะสมโดยเฉพาะมอเตอร์ขนาดเล็กในการขับเคลื่อน 4 เฟสไฮบริดจ์มอเตอร์ การขับแบบไบโพลาร์จะเป็นวงจรที่ดีที่สุดเนื่องจากขดลวดทั้ง 4 จะถูกจ่ายกระแสอย่างสม่ำเสมอ ในการขับแบบไบโพลาร์โดยใช้วงจรบริดจ์ มีลักษณะวงจรพื้นฐาน 2 แบบ คือ ใช้แหล่งจ่ายไฟ 2 แหล่งและแบบแหล่งจ่ายไฟแหล่งเดียว มีลักษณะของวงจรดังนี้



รูปที่ 2.16 แสดงวงจรบริดจ์สำหรับการขับแบบไบโพลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเต็ปปีงมอเตอร์

การที่จะทำให้สเต็ปปีงมอเตอร์หมุนได้อย่างต่อเนื่องเหมือนกับการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงนั้นจะต้องมีการจ่ายพัลส์เป็นลำดับอย่างต่อเนื่อง วิธีการที่จะกระตุ้นเฟสมีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งแบ่งตามพื้นฐานได้เป็น 3 รูปแบบ คือ

1. การกระตุ้นทีละเฟส (Single-phase excitation)

ตามตารางที่ 2.1 แสดงถึงลำดับการกระตุ้นขดลวดทีละเฟสสำหรับมอเตอร์ 3 และ 4 เฟส โดยที่บัพในตารางหมายถึงสถานะที่ถูกกระตุ้นและสี่ขาวแสดงถึงเฟสที่ไม่ได้จ่ายกระแสให้ มอเตอร์มีการหมุนตามเข็มเมื่อลำดับของการกระตุ้นคือ เฟส 1-เฟส 2-เฟส 3-เฟส 1... และมีการหมุนทวนเข็มเมื่อกลับลำดับการกระตุ้นใหม่เป็น เฟส 3-เฟส 2-เฟส 1-เฟส 3...

(1) มอเตอร์ 3 เฟส

	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	■			■			■		
Phase 2		■			■			■	
Phase 3			■			■			■

(2) มอเตอร์ 4 เฟส

	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	■				■				■
Phase 2		■				■			
Phase 3			■				■		
Phase 4				■				■	

สัญลักษณ์ R คือ Reset

ตารางที่ 2.1 แสดงการกระตุ้นทีละเฟส

2. การกระตุ้นทีละ 2 เฟส (Two-phase excitation)

ตามตารางที่ 2.2 แสดงถึงลำดับการกระตุ้นขดลวดทีละ 2 เฟส สำหรับมอเตอร์ 3 และ 4 เฟส โดยการกระตุ้นนี้เป็นความสัมพันธ์ของตำแหน่งสมมูลระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ซึ่งเมื่อกระแสกระตุ้นเปลี่ยนจากเฟสหนึ่งไปเฟสอื่น คือเมื่อเฟส 2 ไม่ถูกกระตุ้นเฟส 1 ก็จะถูกกระตุ้นแทนโดยที่เฟส 3 ยังคงถูกกระตุ้นอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) มอเตอร์ 3 เฟส

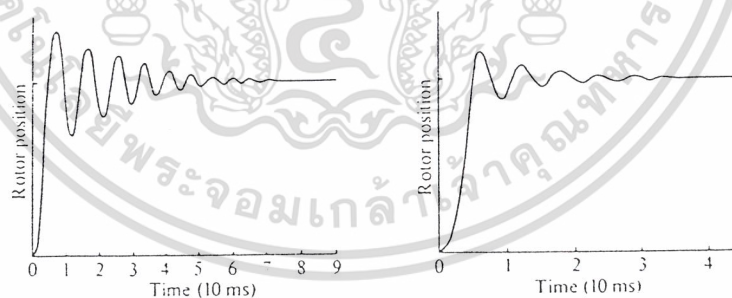
Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	█	█	→	█		█	█		
Phase 2		█	→	█		█		█	█
Phase 3	█		█	█		█	█		█

(2) มอเตอร์ 4 เฟส

Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	█	█			█	█			█
Phase 2		█	█		█		█	█	
Phase 3			█	█			█	█	
Phase 4	█			█	█			█	█

ตารางที่ 2.2 แสดงการกระตุ้นทีละ 2 เฟส

ลักษณะแตกต่างที่สำคัญระหว่างกระตุ้นทีละเฟสกับการกระตุ้นทีละ 2 เฟสนั้นสามารถดูได้จากกราฟของผลตอบสนองทรานเซียน (transient response) ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงผลตอบสนองทรานเซียนของการกระตุ้นแบบ 1 เฟสและ 2 เฟส

ตามรูปในการกระตุ้นทีละ 2 เฟส สัญญาณการแกว่งจะเร็วกว่าการกระตุ้นทีละเฟส เนื่องจากผลแรงเสียดทานทางกลของโรเตอร์ 2 เฟสนั้นเอง เนื่องจากการแกว่งของกระแสที่กระตุ้นขดลวดของมอเตอร์ทำให้ทอร์ก (torque) ที่ได้ไม่คงที่ด้วย ดังนั้น การต้นของการเคลื่อนที่ของโรเตอร์จึงเป็นผลมาจากการแกว่งของกระแสในแต่ละเฟสนั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป (Half-step excitation)

การกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ปเป็นการรวมกันระหว่างการกระตุ้นทีละเฟสกับการกระตุ้นทีละ 2 เฟส โดยลำดับการกระตุ้นสำหรับมอเตอร์ 3 เฟส แสดงในตารางที่ 3 จำนวนของคล็อกสเตต (clock state) มี 2 ทาง คือ A และ B

Clock state (A)	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Clock state (B)	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Phase 1		■	■			■	■	■		
Phase 2			■	■				■	■	
Phase 3				■	■				■	■

ตารางที่ 2.3 แสดงลำดับกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป

ในทาง A การเลื่อนตำแหน่งถูกกำหนดจากการกระตุ้นแบบเฟสเดียวเท่านั้น ส่วน 2 เฟสที่เหลือ ถูกกระตุ้นขณะเคลื่อนที่จากจุดสมดุลหนึ่งไปยังจุดสมดุลอื่นๆ โดยการกระตุ้นแบบ 2 เฟส นั้นถูกใช้เพื่อไม่ให้เกิดการแกว่งขึ้น ส่วนในทาง B การเลื่อนตำแหน่งจะใช้ทั้งการกระตุ้นแบบทีละเฟสและแบบ 2 เฟส ซึ่งทาง B นี้ ถึงจะเป็นการกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป

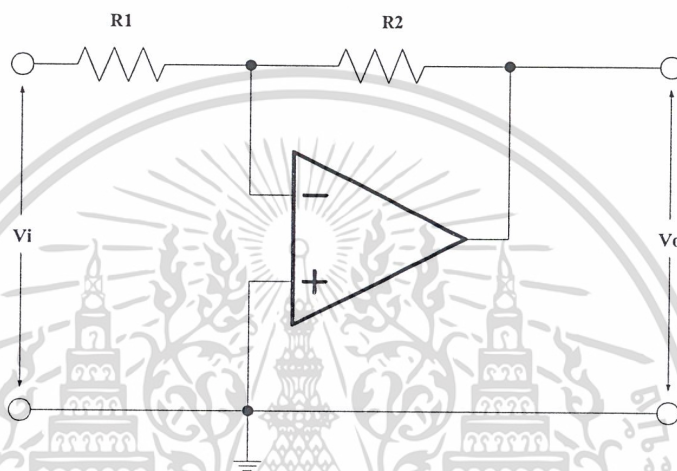
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและจัดสร้าง

3.1 การออกแบบและสร้างวงจรขยายสัญญาณ

เนื่องจากเอาต์พุตที่ได้ออกมาจากส่วนวงจรตรวจจับแอมป์ลิจูดเป็นลบ และไอซีเบอร์ 741 สามารถหาได้ง่าย ราคาถูก ดังนั้นจึงเลือกไอซีเบอร์ 741 เป็นตัวขยายสัญญาณ โดยใช้เป็นวงจรขยายแบบกลับขั้ว โดยมีลักษณะรูปวงจรดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงการใช้ไอซีเบอร์ 741 เป็นวงจรขยายแรงดันแบบกลับขั้ว

โดยวงจรขยายสัญญาณแบบกลับขั้วนี้ แรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีขั้วตรงข้ามกันกับขั้วของแรงดันอินพุตที่ป้อนเข้ามา

เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากส่วนตรวจจับแอมป์ลิจูดมีค่าระดับสัญญาณที่ต่ำมาก ดังนั้นเพื่อให้สัญญาณมีค่าสูงพอที่จะเข้าวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลได้ จึงใช้วงจรขยายสัญญาณ ซึ่งมีอัตราขยายประมาณ 220 เท่า ซึ่งสามารถคำนวณค่า R_f และ R_i ได้จากสูตรในทฤษฎีของวงจรขยายได้ดังนี้

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_f}{R_i}$$

เมื่อใช้ $R_i = 10k\Omega$ และ $R_f = 2200k\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบและสร้างวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

การใช้ไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (ADC0804) จำเป็นจะต้องรู้จักเกี่ยวกับการทำงานของ ADC0804 ก่อน ดังนี้

ADC0804 เป็นไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบ Successive Approximation

มีคุณสมบัติดังนี้

1. ทำงานร่วมกันกับไมโครโปรเซสเซอร์ได้ง่าย
2. มีอินพุตผลต่างแรงดันแอนะล็อก
3. ระดับสัญญาณทางด้านอินพุตและเอาต์พุตสอดคล้องทั้งแรงดันที่ทีแอลและมอส
4. ทำงานด้วยแรงดันอ้างอิง 2.5 โวลต์
5. มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายในตัวไอซีเอง
6. มีย่านระดับแรงดันอินพุต 0 ถึง 5 โวลต์
7. มี 20 ขา
8. มีความเร็วในการเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (Conversion time) = 100 μ s

การเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 นั้น ในการทำงานร่วมกันจำเป็นต้องเริ่ม start A/D ก่อนโดยทำให้ขา WR เป็น Low ความเร็วในการแปลงสัญญาณเท่ากับ 100 μ s เมื่อแปลงเสร็จแล้วก็จะมีสัญญาณออกมาที่ขา INTR เป็นระดับลอจิกสูง (High) ดังนั้น ในการเขียนโปรแกรมต้องทำการเขียนพอร์ต A/D ก่อนนั่นคือทำให้ WR และ CS ของ A/D ทำงาน หลังจากนั้นก็รอขา INTR เป็นระดับลอจิกสูง (High) แล้วจึงอ่านข้อมูลเข้าไปเก็บเป็นการสิ้นสุดการทำงาน 1 รอบ หรืออีกวิธีหนึ่งเมื่อทำการ start A/D แล้วให้วนลูปรอจนกว่าจะกินเวลาครบ 100 μ s แล้วจึงมาอ่านค่า A/D ไปเก็บ

3.3 การออกแบบไมโครคอนโทรลเลอร์

สำหรับโครงงานนี้ เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 AT89C51 ซึ่งมีลักษณะการจัดวางขาเหมือนดังรูปที่ 2.5

AT89C51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ที่สามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์พีซีทำการลบและเขียนโปรแกรมได้โดยตรงเรียกว่า “ซิสเต็มโปรแกรมมิ่ง” หรือใช้เครื่องโปรแกรม(ยูนิเวอร์แซลโปรแกรมเมอร์) ในตัว 89C51 มีหน่วยความจำแบบแฟลชอยู่ภายในขนาด 4 กิโลไบต์ สามารถโปรแกรมทับลงไปได้อีกนับพันครั้งเหมือนกับการโปรแกรมในลักษณะเดียวกับ EEPROM

AT89C51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด (CMOS) 8 บิต ประสิทธิภาพสูงกินไฟต่ำ มีโครงสร้างที่ใช้งานได้เหมือนกับ 80C51, MCS51 ใช้ทดแทนได้ทั้งทางด้านชุดคำสั่งและการจัดเรียงขาโดยมีรูปแบบตัวถังบรรจุและการจัดเรียงขาในแบบ DIP, PLCC และ QFR

นอกจากนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 มีโหมดการป้องกันการเขียนแบบด้วยโปรแกรมเมมเมอรีล๊อคบิต ดังแสดงการเซตรหัสการล๊อคไว้ในตารางที่ 3.1 AT89C51 จะสามารถใช้โหมดการป้องกันได้ 3 ระดับ ความหมายในตารางที่ 2 อักษร U (UNPROGRAMED) หมายถึง การกำหนดไม่ให้ล๊อค ส่วนอักษร P (PROGRAMED) คือ เป็นการให้คุณสมบัติของการป้องกันแบบล๊อคบิตและ LBI คือการล๊อคบิตที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

การโปรแกรมการล๊อคบิต AT89C51/52				ประเภทของการป้องกัน	การโปรแกรมการล๊อคบิต AT89C1051/2051		
ระดับการล๊อค	LB ₁	LB ₂	LB ₃		ระดับการล๊อค	LB ₁	LB ₂
1	U	U	U	ไม่มีการตั้งโปรแกรมล๊อคใดๆ	1	U	U
2	P	U	U	ไม่สามารถใช้คำสั่ง MOVC จากโปรแกรมหน่วยความจำภายนอกมาอ่านรหัสคำสั่งภายในออกมาได้ นอกจากนั้นการโปรแกรมหรือเขียนคำสั่งใดๆ ลงบนหน่วยความจำพลจะทำได้	2	P	U
3	P	P	P	เช่นเดียวกับแบบที่ 2 และการตรวจสอบรหัส (Verify) จะทำไม่ได้	3	P	P
4	P	P	P	เช่นเดียวกับแบบที่ 3 และการอ่านจากภายนอกเช่น ROM ทำไม่ได้			

ตารางที่ 3.1 ตารางการล๊อคบิต

3.4 การออกแบบวงจรเชื่อมต่อรวมและแหล่งจ่ายไฟ

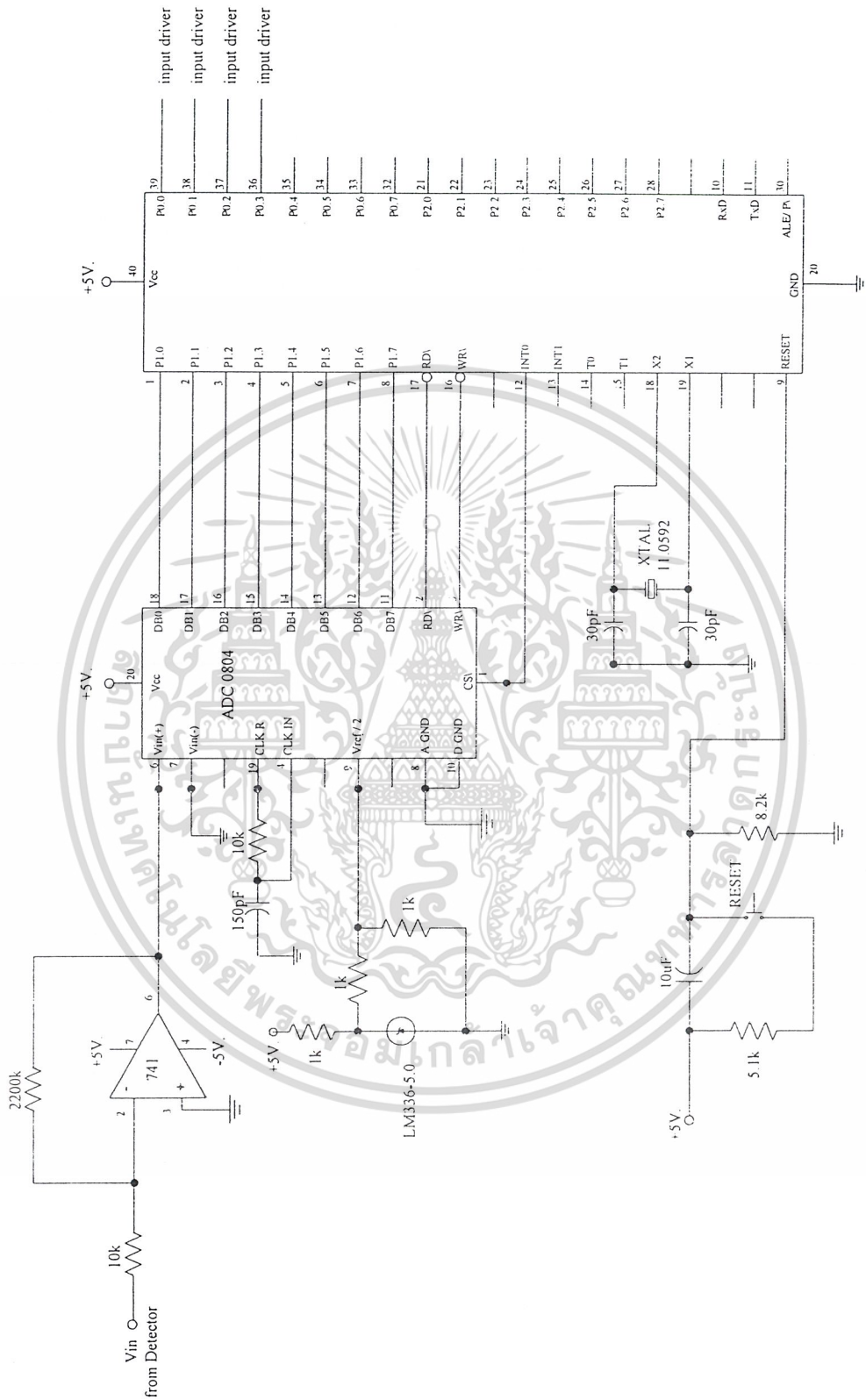
วงจรประกอบด้วยวงจรขยายสัญญาณ วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (ADC 0804) และมีวงจรที่ควบคุมแรงดันอ้างอิง 5 โวลต์ ให้กับ ADC 0804 โดยใช้ LM336 5V ซึ่งเป็นไดโอดแรงดันอ้างอิง (Voltage Reference Diode) ปรับแรงดันอ้างอิง 5 V ที่ขา Vref/2 ของ ADC 0804 และ ADC 0804 จะส่งสัญญาณที่แปลงมาได้ไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 จากขา D0 ถึง D7 ไปที่พอร์ตหนึ่งของ AT89C51 ซึ่งใน AT89C51 จะมีโปรแกรมควบคุมวงจรจับมอดเตอร์และติดตามระดับสัญญาณสูงสุด AT89C51 จะส่งสัญญาณควบคุมวงจรจับมอดเตอร์ออกทางพอร์ตสอง ซึ่งวงจรจับมอดเตอร์จะประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์ MJE3055 และ 2N2222 เพื่อทำการขยายกระแส และใช้แหล่งจ่ายไฟขนาด 12 V โดยจะรับสัญญาณดิจิทัลที่ออกจากพอร์ตสองไมโครคอนโทรลเลอร์

สำหรับแหล่งจ่ายไฟที่ใช้กับภาคควบคุมจะใช้หม้อแปลงแปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 220 V เป็นไฟกระแสตรง 12 V แล้วใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์เบอร์ 7805 แปลงแรงดันไฟเป็น +5 V และไอซีเรกกูเลเตอร์เบอร์ 7905 แปลงแรงดันไฟเป็น -5 V เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจรขยายสัญญาณ (+5 V, -5 V, GND) วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (+5 V, GND) และไมโครคอนโทรลเลอร์ (+5 V, GND)

แหล่งจ่ายไฟที่ใช้กับวงจรจับมอดเตอร์จะใช้หม้อแปลงแปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 220 V เป็นไฟกระแสตรง 6 V เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจรจับมอดเตอร์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ก็ตาม ยี่สิบห้าปีหลังจากที่เผยแพร่เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะมีลักษณะการต่อวงจรดังรูป

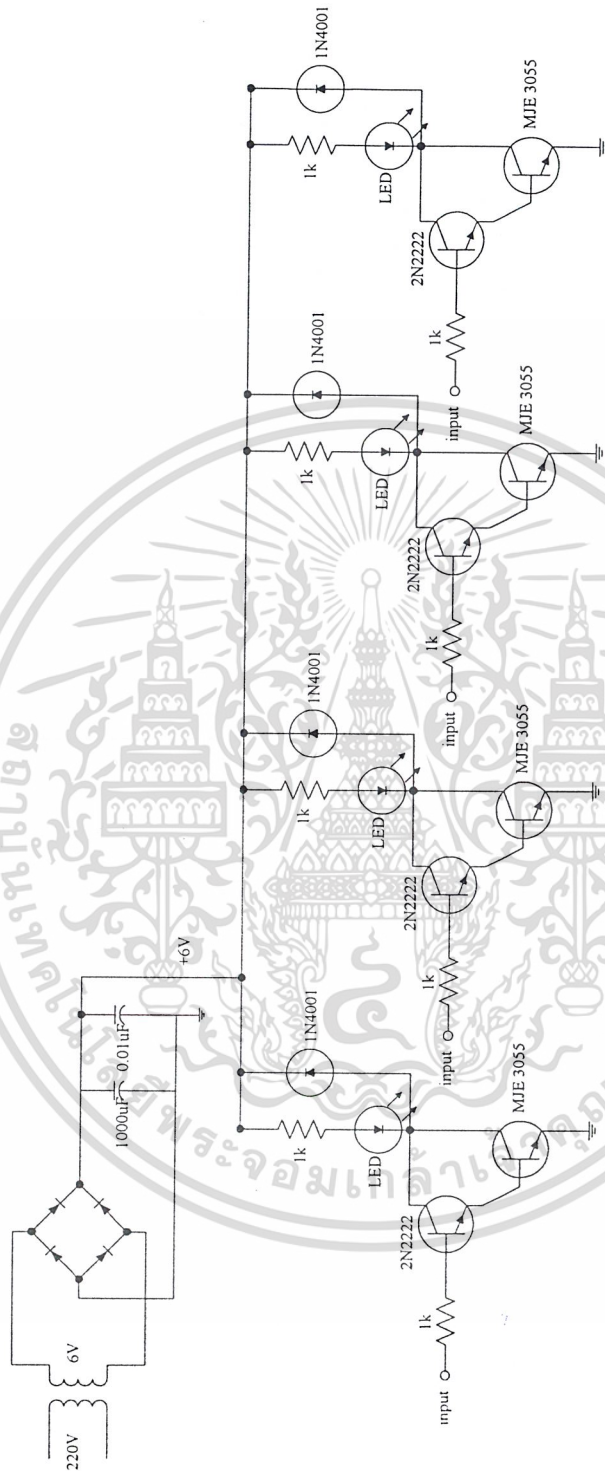


รูปที่ 3.2 แสดงการต่อวงจรขยาย วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ได้เห็นว่าประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



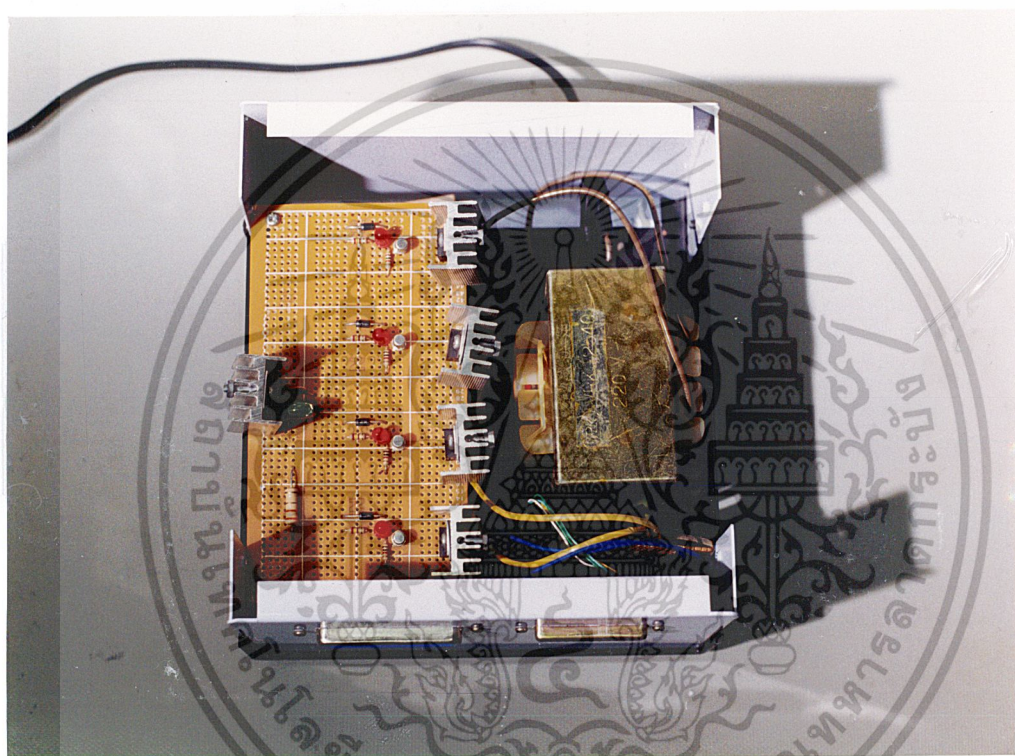
รูปที่ 3.3 แสดงการต่อวงจรที่สมบูรณ์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงการต่อวงจรขั้วมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงการต่อวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ที่สมบูรณ์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

การทดลองที่ 4.1 การทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ

เนื่องจากโครงการนี้ในส่วนของภาครับสัญญาณของระบบติดตามเป้าหมาย ได้ใช้สายอากาศแถวลำดับระนาบแบบร่องซึ่งเป็นสายอากาศที่ได้มีการออกแบบและสร้างไว้ก่อนแล้วซึ่งสายอากาศแถวลำดับระนาบแบบร่องดังกล่าวมีคุณลักษณะดังนี้

(1) แบบของแถวลำดับระนาบ

ระนาบที่เป็นแถวลำดับแบบเรโซแนนซ์จะอยู่ในแนวของระนาบของสนามไฟฟ้า ซึ่งระยะห่างระหว่างกึ่งกลางร่องจะห่างกันเป็นระยะทางครึ่งความยาวคลื่นในท่อนำคลื่นสาขา ส่วนระนาบที่เป็นแถวลำดับแบบคลื่นจรจะอยู่ในแนวระนาบสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะต้องมีโหนดที่เข้าสู่ต่อเข้ากับปลายท่อนำคลื่นทุกสาขา (หรือปลายท่อนำคลื่นหลัก) ซึ่งข้อกำหนดระยะห่างระหว่างกึ่งกลางร่องจะมีค่าไม่เท่ากับครึ่งความยาวคลื่นในท่อนำคลื่นสาขา ในที่นี้มีค่าเป็น 12.324 มม.

(2) ความถี่ที่ออกแบบ

ในการออกแบบสายอากาศแบบร่องบนผนังท่อนำคลื่นนั้น สิ่งที่สำคัญที่สุดก็คือ การกำหนดความถี่ที่ออกแบบ ซึ่งเลือกความถี่ (f_0) 12.6575 GHz ซึ่งเป็นความถี่กลางของการแพร่กระจายคลื่นย่านความถี่เคชของดาวเทียมไทยคม

(3) การเลือกท่อนำคลื่น

ท่อนำคลื่นหลักมีขนาดของผนังด้านกว้างภายใน (a) เท่ากับ 17.6 มม. และผนังด้านแคบภายใน (b) เท่ากับ 6.0 มม. มีความถี่คัทออฟ (f_c) ของคลื่นโหมด TE_{10} เป็น 8.52 GHz (จาก $f_c = c/2a$ เมื่อ $c = 3 \times 10^8$ m/s คือความเร็วแสงในอากาศ) จะเห็นว่า $f_0 = 1.48f_c$ ซึ่งอยู่ในช่วงใช้งานที่เหมาะสมของท่อนำคลื่นนี้ ($1.3f_c \leq f_0 \leq 1.9f_c$) ที่ความถี่ 12.6575 GHz ท่อนำคลื่นนี้จะให้ความยาวคลื่น (Guided Wavelength: λ_g) 3 มม. (จาก $\lambda_g = \lambda_0 / \sqrt{1 - (\lambda_0/2a)^2}$ (เมื่อ λ_0 คือความยาวคลื่นในอากาศ))

ท่อนำคลื่นสาขามีขนาดของผนังด้านกว้างภายใน (a) 14 มม. และขนาดของผนังด้านแคบภายใน (b) 6.00 มม.

(4) ขนาดของสายอากาศ

ขนาดของสายอากาศจะกำหนดให้มีขนาด 32 ร่อง X 32 ร่อง คือมีท่อนำคลื่นสาขา 32 สาขา แต่ละสาขาจะมี 32 ร่องทำให้สายอากาศมีมิติประมาณ 52 cm X 50 cm

การศึกษาคุณสมบัติของสายอากาศแถวลำดับระนาบแบบร่องเช่นรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) ค่าทวีกำลัง (Gain) อิมพีแดนซ์ (Impedance) และค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) เพื่อนำผลที่ได้มาพิจารณาว่าจำเป็นจะต้องมีการปรับปรุงสายอากาศให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการหรือไม่ ซึ่งการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศมีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

ได้ทำการทดสอบบริเวณคาบฟ้าตึกสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สจล. ภาคส่งประกอบด้วย เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายรุ่น HP8720C ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดสัญญาณไมโครเวฟซึ่งจะตั้งให้ทำงานที่ โหมดส่งคลื่นต่อเนื่อง (Continuous Wave: CW) มีกำลังส่ง 10 dB_m (10 mW) สายอากาศส่งเป็นสายอากาศ Double Ridge Waveguide Horn Antenna ส่วนภาครับจะประกอบด้วยสายอากาศทดสอบติดตั้งอยู่บนแท่น หมุน (Turn Table) ซึ่งจะมีตัวควบคุมการหมุนอยู่ในตัวอาคารชั้นถัดลงมา ตัวสายอากาศทดสอบจะต่อกับ LNB (Low Noise Blockdown Converter) เพื่อแปลงความถี่ไมโครเวฟที่รับได้ลงสู่ย่านแอล (L-Band: 1-2GHz) และขยายความแรงของสัญญาณด้วย เนื่องจากระยะทางจากสายอากาศทดสอบไปยังเครื่องรับต้องใช้สายนำสัญญาณยาวถึง 10 เมตร ดังนั้นถ้าส่งผ่านสัญญาณที่ความถี่ไมโครเวฟเลยจะมีการสูญเสียในสายส่งมากจึงต้องแปลงความถี่ลงเพื่อลดการสูญเสียในสายส่งในการที่จะให้ LNB ทำงานต้องมีไฟกระแสตรง 18 โวลต์ไปเลี้ยงจึงต้องมีตัวป้อนไฟเลี้ยงย้อนกลับเข้าไปในสายส่ง แต่สัญญาณที่จะเข้าเครื่องรับจะต้องมี เฉพาะสัญญาณย่านแอล (ห้ามไฟกระแสตรงเข้าเด็ดขาด) จึงต้องมีวงจรกันไฟกระแสตรงไม่ให้เข้าเครื่องรับซึ่งเป็นเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer) รุ่น HP8566B

ในการทดสอบจริงจะต้องปรับโพลาไรเซชันของสายอากาศทั้งสองให้ตรงกันเสียก่อนจึงจะเริ่มทำการทดสอบได้

ในการหาสนามระยะไกล (Far Field :R) ของสายอากาศเพื่อหาระยะทดสอบ (Test Range) ที่เหมาะสมจะหาจาก

$$R \geq 2D^2/\lambda_0$$

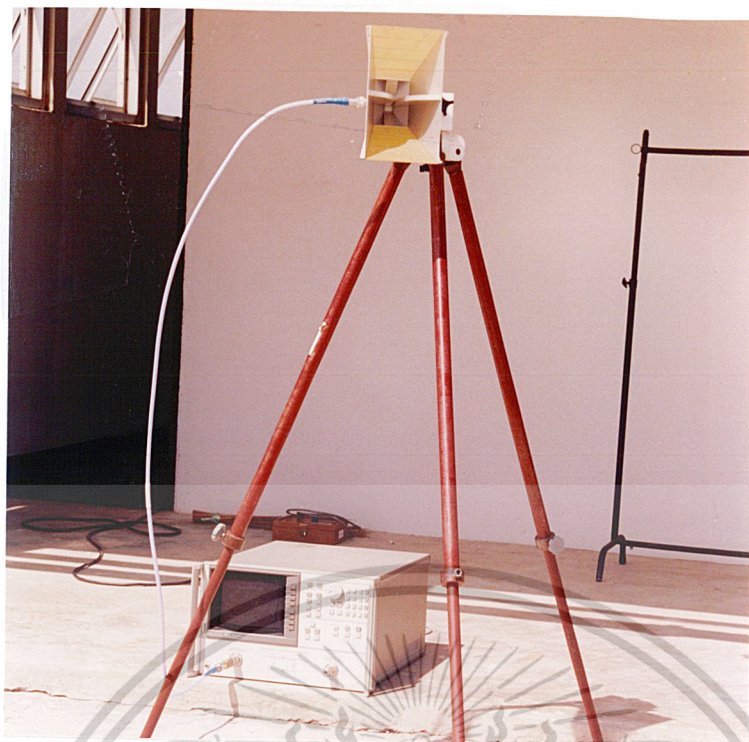
เมื่อ D คือ มิติที่ใหญ่ที่สุดของสายอากาศ

λ_0 คือ ความยาวคลื่นในอากาศที่ความถี่ 12.6575 GHz

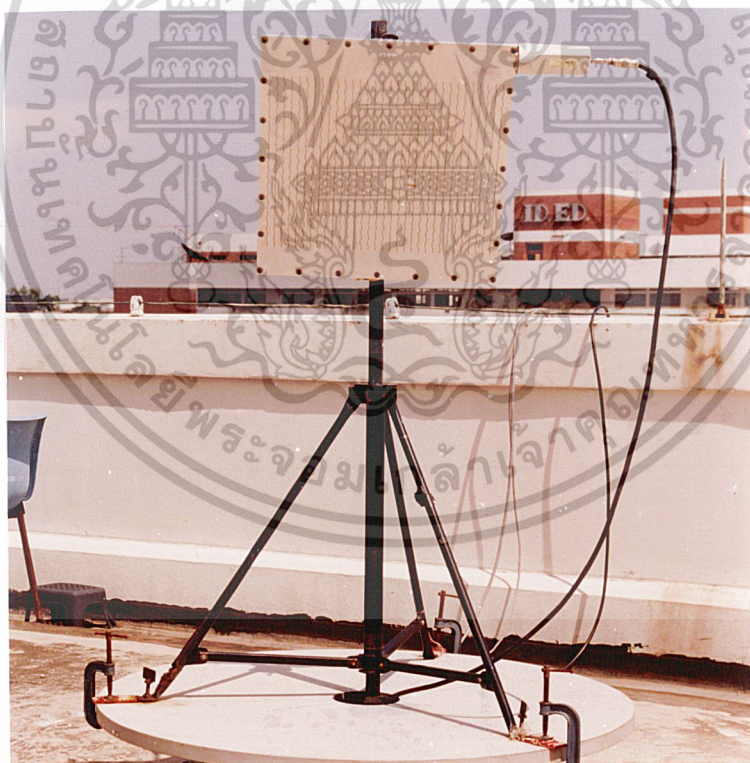
สนามระยะไกลของสายอากาศทดสอบ $R \geq 22.8\text{m}$ เมื่อ $D = 52 \text{ cm}$

ในการทดสอบนี้ให้ระยะทดสอบ 37 m และอ่านค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ทุกๆ 1° เพื่อนำไปพล็อตกราฟซึ่งจะแสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 12.5575, 12.6575, 12.7575 GHz ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก)

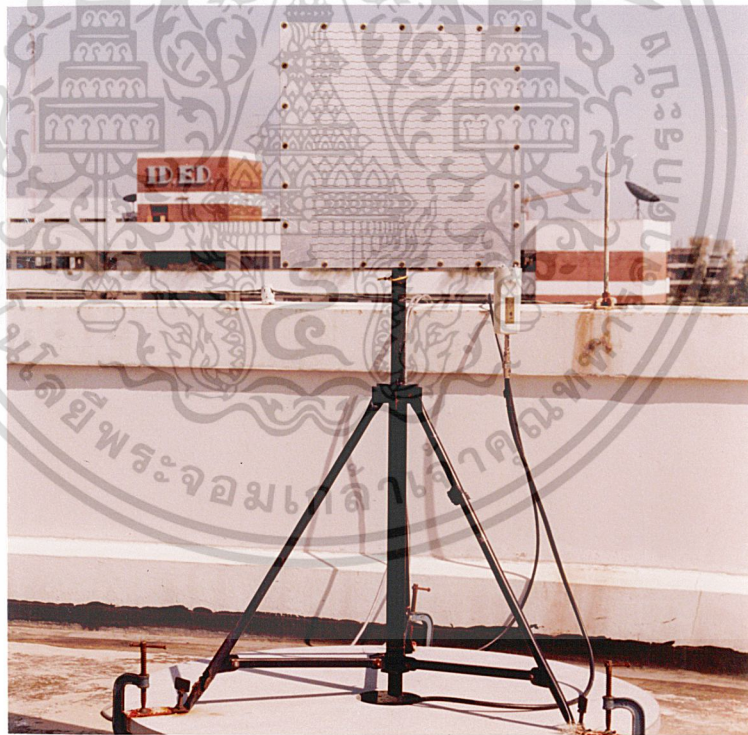


ข)

รูปที่ 4.1 แสดงการจัดวางเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโดย ก)แสดงภาคส่งสัญญาณ และ ข)แสดงภาครับสัญญาณและสายอากาศทดสอบ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

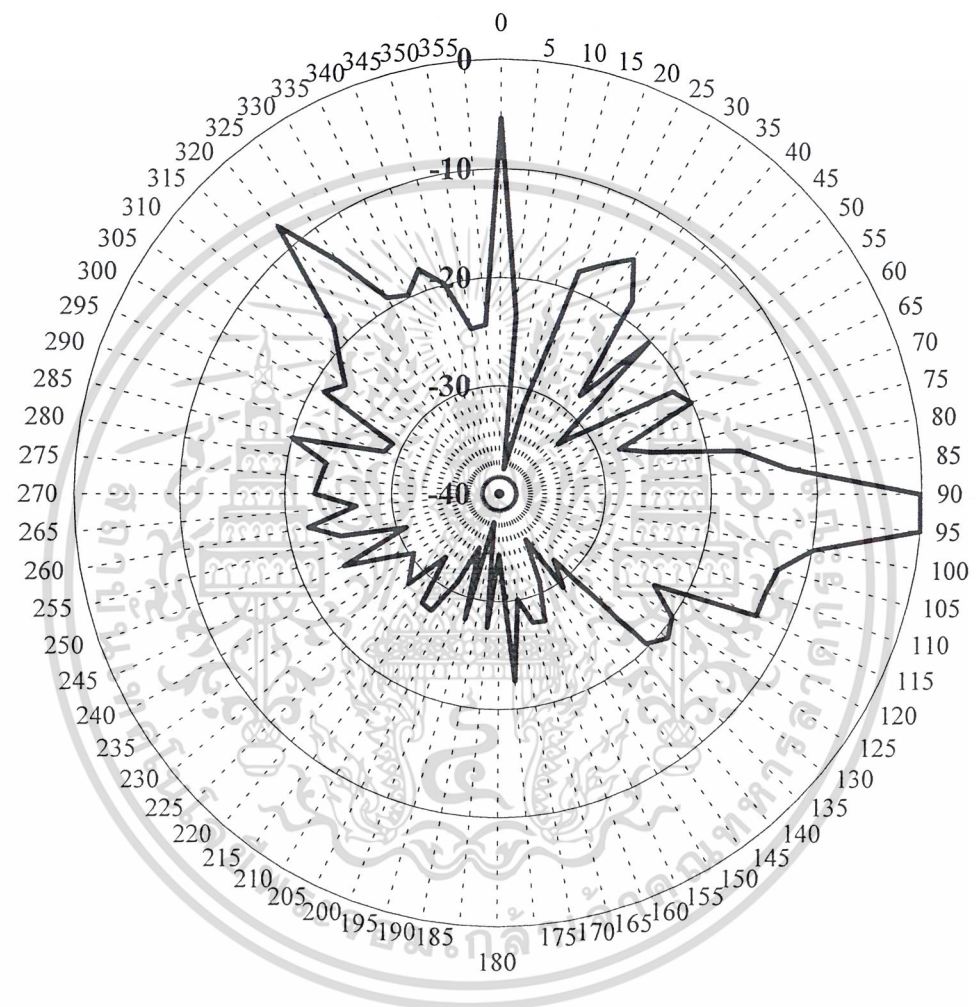


ก)

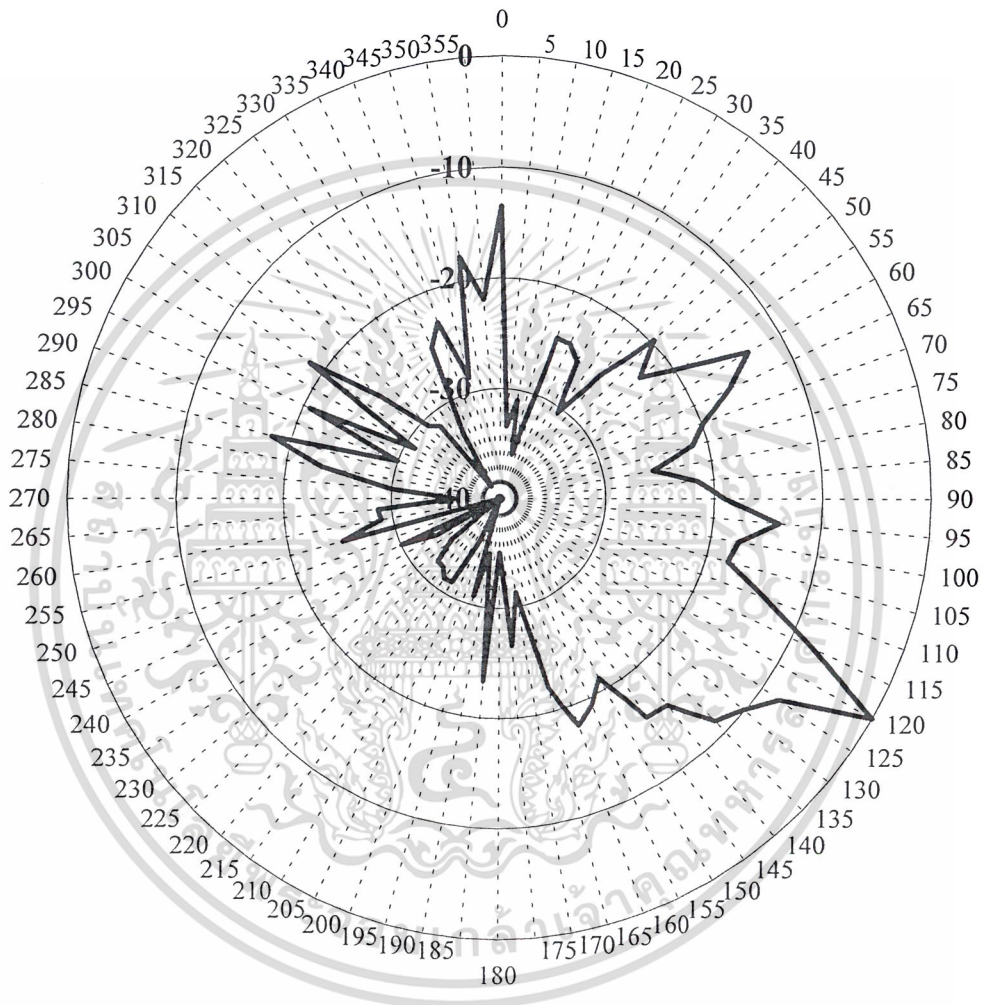


ข)

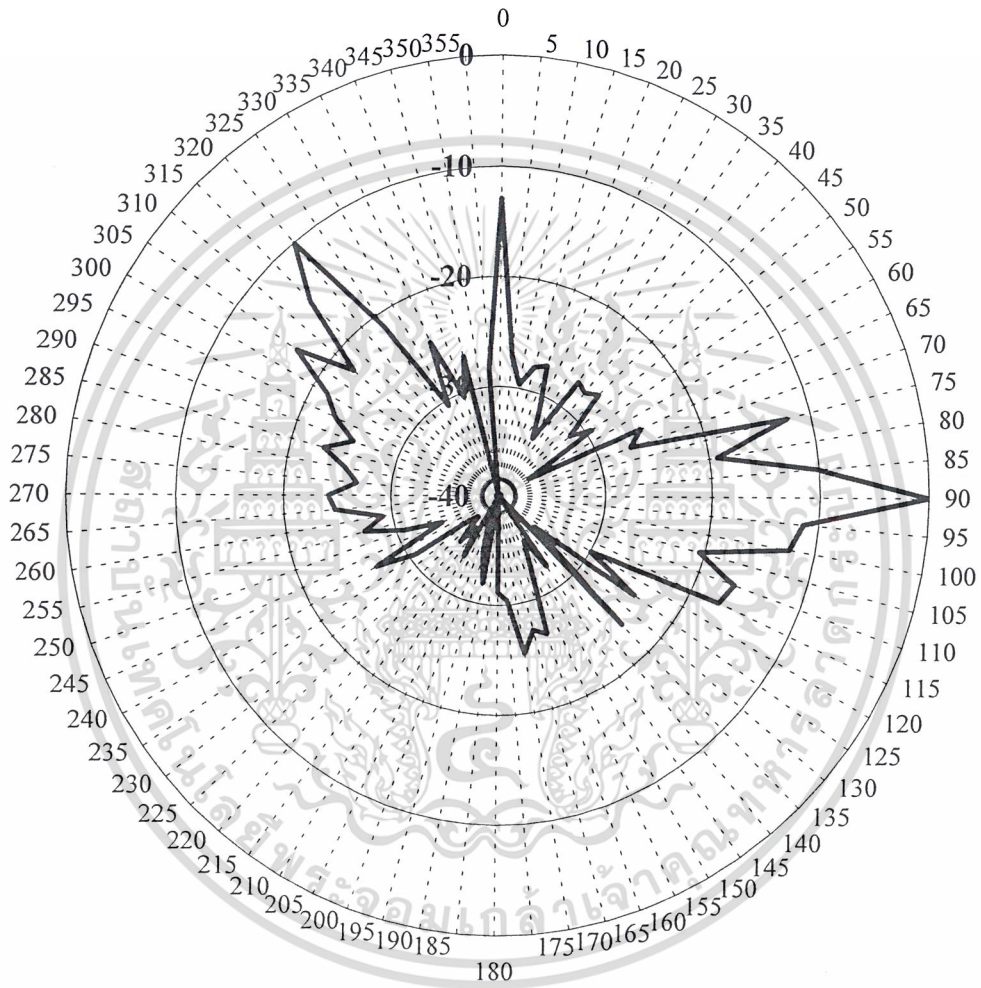
รูปที่ 4.2 แสดงการจัดวางเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ
 สนามแม่เหล็กของสายอากาศ โดย ก)แสดงภาควัดสัญญาณ และ ข)แสดงภาควัดรับสัญญาณและสายอากาศ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายกเว้นกรณีอื่น มิฉะนั้นจะถือว่าเป็นการค้า
 ทดสอบ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รูปที่ 4.3 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 12.5575 GHz
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งระดับของกำลังงานที่รับได้แรงที่สุดมีค่า -14 dB_m ที่มุม 95 องศา



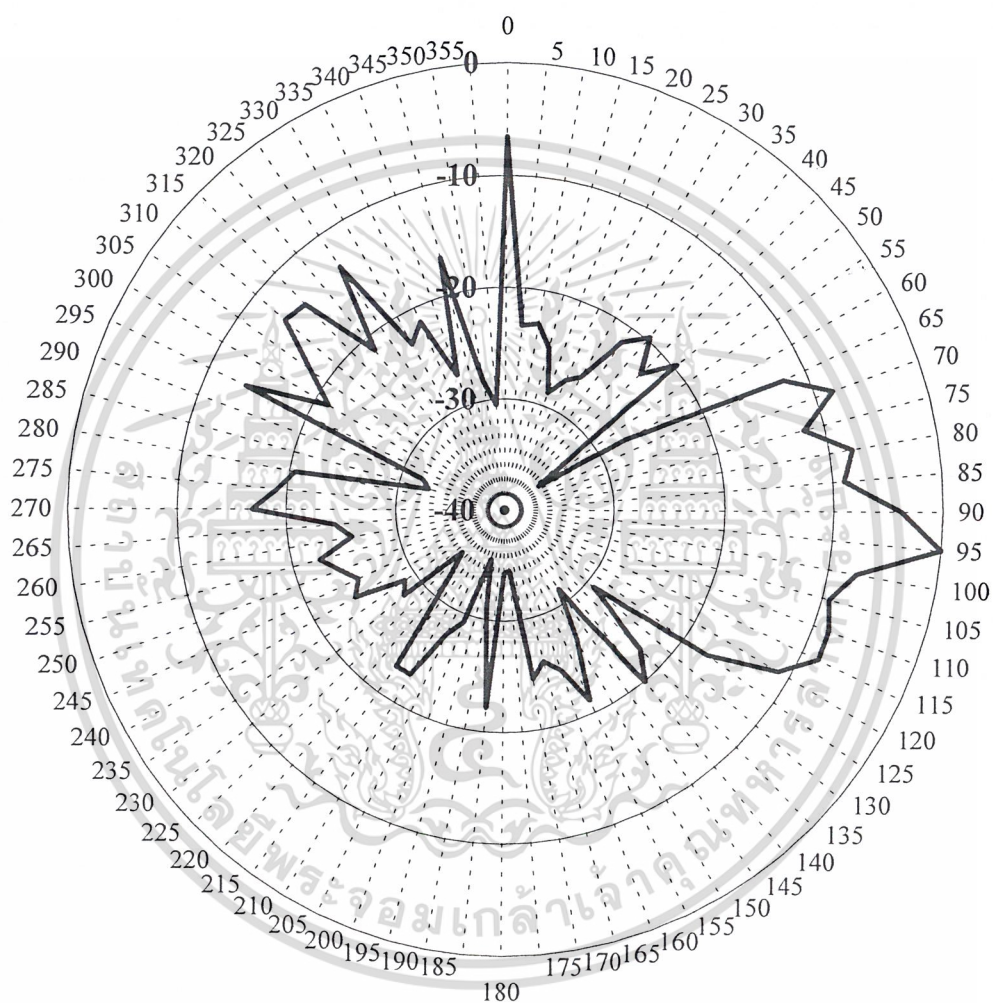
รูปที่ 4.4 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 12.5575 GHz เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า ระดับของกำลังงานที่รับได้แรงที่สุดมีค่า -11.92 วัตต์ 120 องศา ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



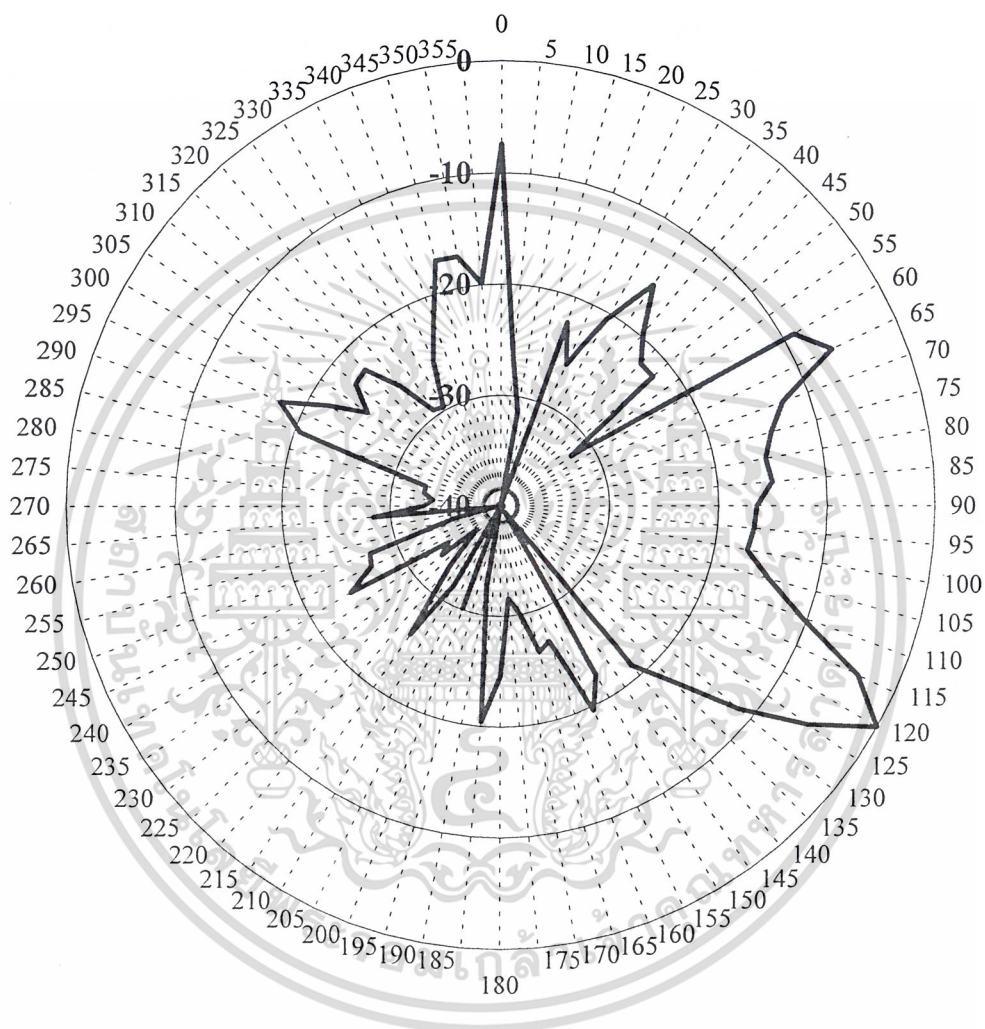
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 4.5 แสดงรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 12.6575 GHz ด้านการคำนวณ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีก ระดับของกำลังงานที่รับได้แรงที่สุดมีค่า -9.83 dB_m ที่มุม 90 องศาครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รูปที่ 4.6 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 12.6575 GHz
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกระดับของกำลังงานที่รับได้แรงที่สุดมีค่า -12.08 dBm ที่มุม 115 องศา



รูปที่ 4.7 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 12.7575 GHz เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ระดับของกำลังงานที่รับได้แรงที่สุดมีค่า -13.16 dB_m ที่มุม 95 องศา ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 12.7575 GHz เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ระบุของกำลังงานที่รับได้แรงที่สุดมีค่า -9.58 dB_m ที่มุม 120 องศา ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ได้ในระนาบสนามไฟฟ้าจะมีลวดลายหลักอยู่ที่มุม 90 องศาเมื่อวัดจากแนวระดับ ส่วนในระนาบสนามแม่เหล็กจะมีลวดลายหลักอยู่ที่มุม 60 องศาเมื่อวัดจากแนวระดับ แต่จากรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่นำมาแสดงจะพบว่ามีลวดลายรอง (Minor lobe) อยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการเป็นสายอากาศชี้ทิศทางต่ำลงไป

2.การทดสอบค่าทวีกำลัง(Gain)

สิ่งสำคัญในการทดสอบค่าทวีกำลังของสายอากาศทดสอบก็คือจะต้องมีสายอากาศมาตรฐานที่ทราบค่าทวีกำลังที่ความถี่ทดสอบซึ่งสายอากาศมาตรฐานที่ใช้เป็นแบบ Double Ridge Waveguide Horn Antenna ซึ่งมีค่าทวีกำลังที่ความถี่ 12.6575 GHz เท่ากับ 13.248 dB_i

ในการทดสอบค่าทวีกำลังของสายอากาศแถวลำดับระนาบแบบร่องจะมีการจัดวางเพื่อทำการทดสอบเหมือนกับการทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นโดยจัดให้สายอากาศส่งและสายอากาศรับมีโพลาริเซชันที่ตรงกันเพียงแต่หลังจากที่ได้อ่านสัญญาณ (P_{test}) ที่รับได้จากสายอากาศทดสอบที่ตำแหน่งลวดลายหลักแล้วก็จะนำสายอากาศอ้างอิงไปแทนที่สายอากาศทดสอบแล้วอ่านค่าสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศอ้างอิง (P_{ref}) ที่ตำแหน่งลวดลายหลักเช่นกันจากนั้นก็คำนวณค่าทวีกำลังของสายอากาศทดสอบ (G_{test}) ได้จาก

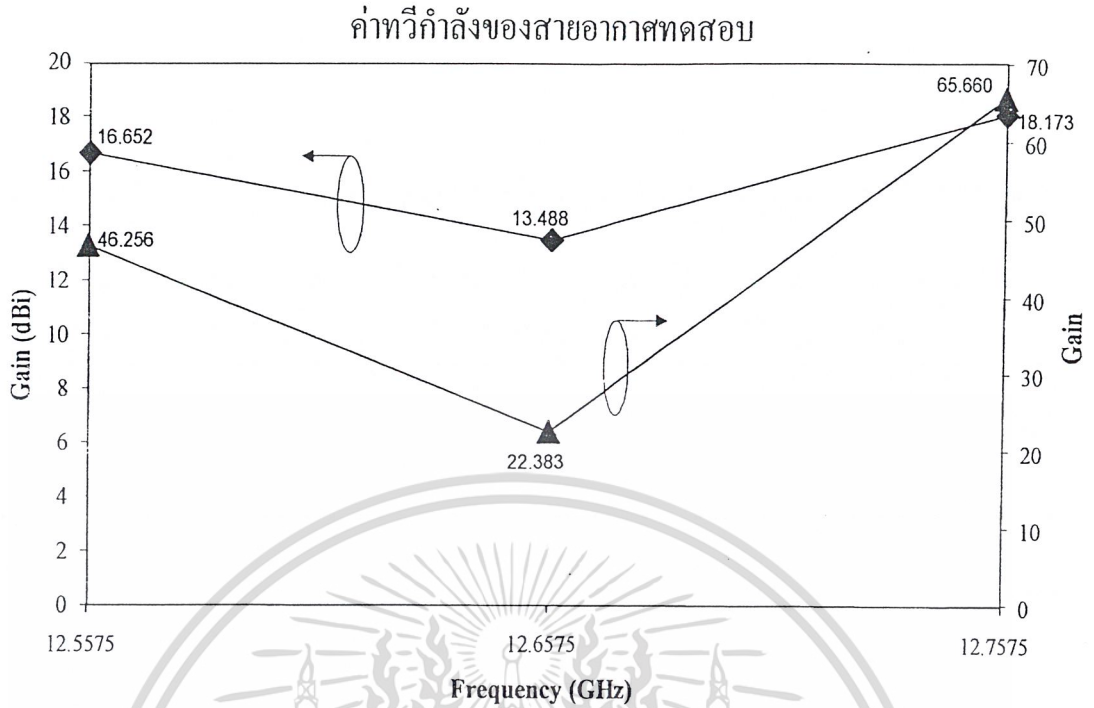
$$G_{test} (dB_i) = P_{test} (dB_m) - P_{ref} (dB_m) + G_{ref} (dB_i)$$

เมื่อ G_{ref} คือ ค่าทวีกำลังของสายอากาศอ้างอิงในที่นี้เท่ากับ 13.248 dB_i สำหรับสายอากาศ Double Ridge Waveguide Horn Antenna

จากการทดสอบตามวิธีที่กล่าวมาสายอากาศระนาบแบบร่องบนผนังท่อนำคลื่นจะมีค่าทวีกำลัง 11.248 dB_i แต่เนื่องจากค่าทวีกำลังที่คำนวณได้จากวิธีนี้จะเป็นค่าทวีกำลังที่ได้จากการวัดซึ่งจะมีผลจากค่า Reflection Coefficient รวมอยู่ด้วย ดังนั้นถ้าเราต้องการหาค่าทวีกำลังที่แท้จริงของสายอากาศแถวลำดับระนาบแบบร่องจะต้องนำ (1-Γ²) ไปหารค่าทวีกำลังที่คำนวณได้จากสมการด้านบนผลลัพธ์ที่ได้คือค่าทวีกำลังที่แท้จริงของสายอากาศแถวลำดับระนาบแบบร่องซึ่งจากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 13.5 dB_i โดยมีผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1

Frequency (GHz)	Γ (ไม่มีหน่วย)	G _r (ไม่มีหน่วย)	G _r (dB _i)
12.5575	0.499	46.256	16.652
12.6575	0.636	22.383	13.499
12.7575	0.355	65.660	18.173

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีก **ตารางที่ 4.1** แสดงค่าทวีกำลังของสายอากาศทดสอบที่ความถี่ต่างๆ ซึ่งมีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความถี่กำลัง

3.การทดสอบความถี่เรโซแนนท์ (Resonant Frequency Response)

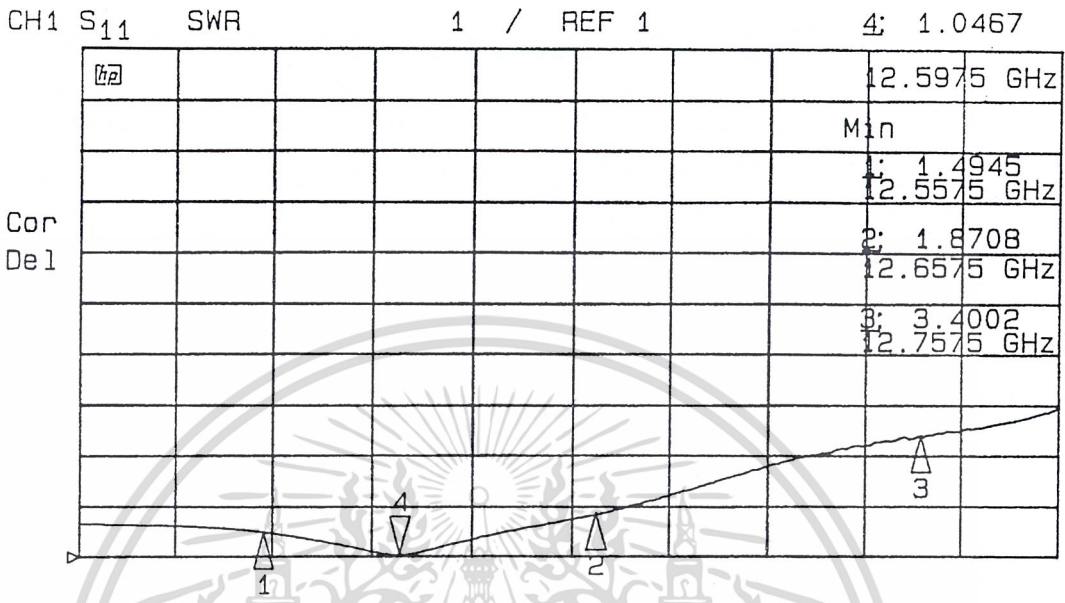
โดยอาศัยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) รุ่น HPB720C ในการทดสอบความถี่เรโซแนนท์ของสายอากาศนี้จะสามารถแสดงผลในรูปของค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return Loss) อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio : SWR) หรืออิมพีแดนซ์ของสายอากาศอย่างใดอย่างหนึ่งก็ได้ แต่ทั้ง 3 ค่านี้ก็มีข้อเด่นในการแสดงผลที่ต่างกันกล่าวคือ ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับก็สามารถแสดงผลได้ทุกค่าตลอดย่านความถี่ อัตราส่วนคลื่นนิ่งเป็นค่าที่โดยทั่วไปจะคุ้นเคยกันมากที่สุดและในการหาแถบความถี่ของสายอากาศก็มักจะหาจากค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (เช่นระบุว่าสายอากาศมีแถบความถี่กว้างเท่าไรที่ให้อัตราส่วนคลื่นนิ่งไม่เกิน 2:1) แต่ข้อดีของอัตราส่วนคลื่นนิ่งคือ ในบางแถบความถี่จะมีความสูงมากจนแสดงผลได้ไม่ครบถ้วน ส่วนค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศก็จะแสดงทั้งค่าความต้านทานและค่ารีแอคแตนซ์ซึ่งจะใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีและใช้ในการคำนวณเพื่อปรับจูนสายอากาศในกรณีที่ค่าอิมพีแดนซ์แตกต่างจากค่าที่ออกแบบไว้และจากเหตุผลที่ได้กล่าวมาในการแสดงผลการทดสอบความถี่เรโซแนนท์ก็จะแสดงผลทั้ง 3 ค่า โดยจะแสดงค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับและอิมพีแดนซ์ของสายอากาศในกรณีที่ยังไม่ได้ปรับจูนและกรณีที่จูนด้วยสลับ โดยแสดงค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งและอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

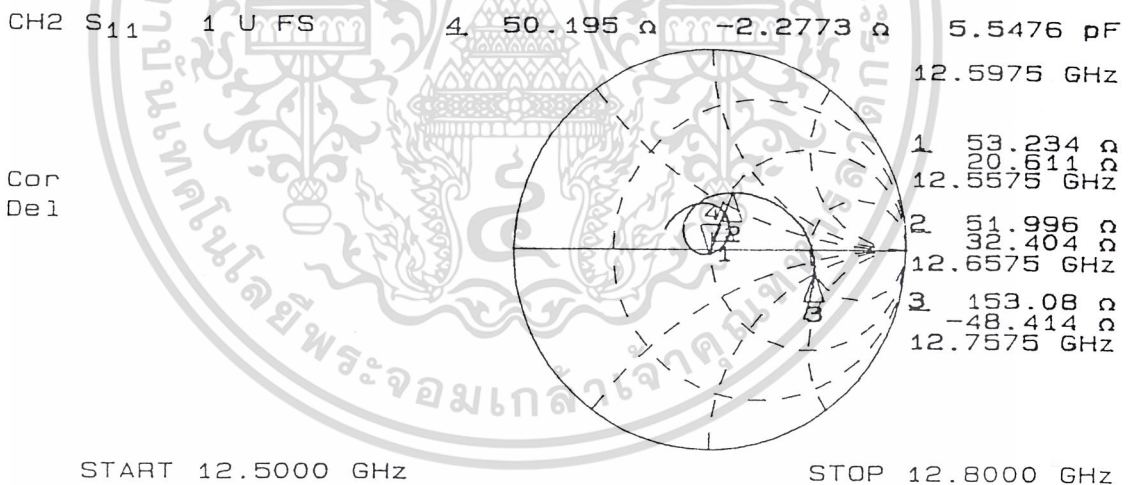
3.1 กรณีที่ไม่ได้ปรับจูน (Without Stub Tuner)

เป็นการแสดงผลการทดสอบสายอากาศที่ประกอบเสร็จโดยไม่ได้ปรับจูนอะไรเลย ได้ผลดังรูปที่

4.10 และรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 แสดงอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศกรณีที่ไม่ได้ปรับจูน

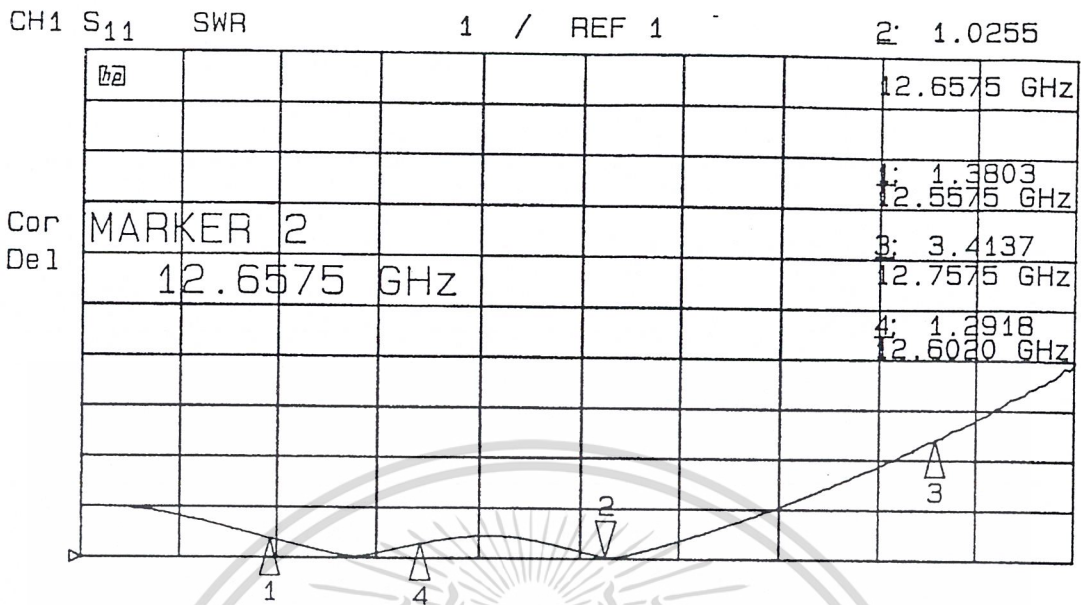


รูปที่ 4.11 แสดงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศกรณีที่ไม่ได้ปรับจูน

3.2 กรณีที่ปรับจูนด้วยสตัป (Stub Tuner)

จากผลการทดสอบในรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าที่ความถี่ออกแบบ (มาร์คเกอร์ 2) ค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศมีค่าเป็นบวกแสดงว่ามีสภาพเป็นอินดักแตนซ์ ดังนั้นจึงต้องจูนให้สนามไฟฟ้าในท่อนำหลักแรงขึ้น (เพิ่มสภาพคาปาซิแตนซ์) เพื่อชดเชยสภาพอินดักแตนซ์ให้สายอากาศมีเฉพาะค่าความต้านทานโดย

เอกสารนี้เป็นการขียนเนื้อหาโดยอิงจากเอกสารที่แนบมา ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 เนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศกรณิที่ปรับจูนด้วยสตัดับ



รูปที่ 4.13 แสดงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศกรณิที่ปรับจูนด้วยสตัดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.2 การทดสอบตัวตรวจจับแอมป์ลิจูด

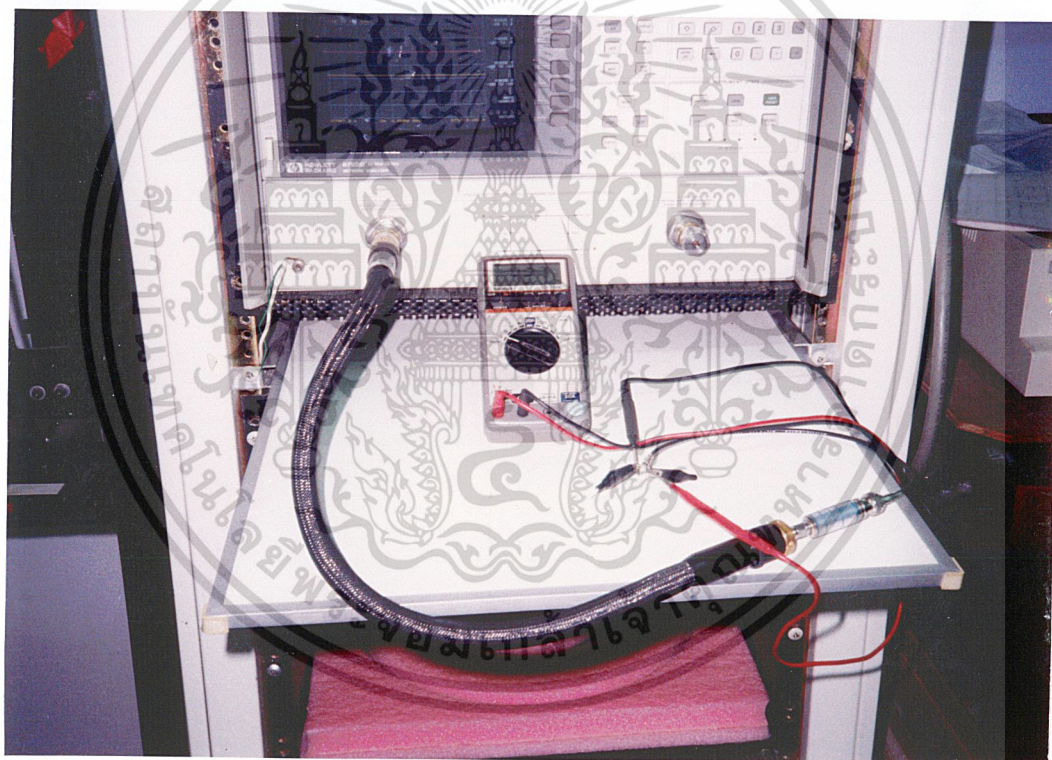
ตัวตรวจจับแอมป์ลิจูดที่ใช้เป็นตัวตรวจจับแอมป์ลิจูดแบบโคแอกเซียลของบริษัท WILTRON รุ่น 75KC0 สามารถรับสัญญาณความถี่ได้ในช่วง 0.01-40 GHz ลักษณะตัวตรวจจับแอมป์ลิจูดและรายละเอียดต่างๆ อยู่ในภาคผนวก ก

การทดสอบตัวตรวจจับแอมป์ลิจูดสามารถทำได้โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ต่อตัวตรวจจับแอมป์ลิจูดเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Spectrum Analyzer) ซึ่งใช้เป็นตัวกำเนิดสัญญาณไมโครเวฟเพื่อใช้เป็นสัญญาณอินพุตให้กับวงจรส่วนตรวจจับแอมป์ลิจูด

2. ป้อนสัญญาณไมโครเวฟที่มีความถี่ 2 กิกะเฮิร์ตซ์ แต่เปลี่ยนค่ากำลังงานของสัญญาณไมโครเวฟที่เข้ามาตามตารางผลการทดลองที่ 4.2

3. ทำการบันทึกผลการทดลองที่ได้



รูปที่ 4.14 แสดงการจัดอุปกรณ์การทดสอบตัวตรวจจับแอมป์ลิจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

จะได้ค่าตามตารางที่ 4.2

ความแรงของสัญญาณ (dB _m)	เอาต์พุตจากตัวตรวจจับแอมป์ลิจูด (mV)
-35	-0.1
-30	-0.3
-25	-1.1
-20	-3.6
-15	-10.8
-10	-27.7
-5	-67.3
0	-148.4
5	-302
10	-579

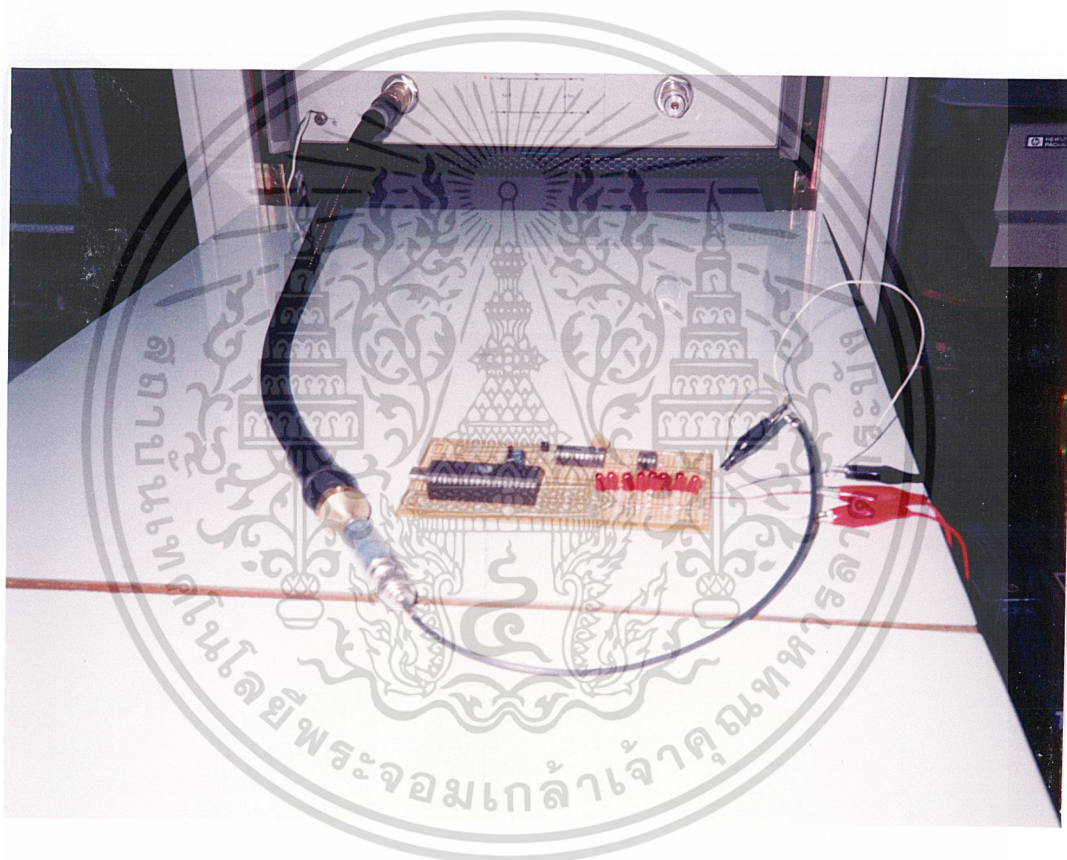
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการรับสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากตัวตรวจจับแอมป์ลิจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.3 การทดสอบวงจรตรวจจับแอมพลิฟิวด วงจรขยายสัญญาณ และวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

สำหรับการทดสอบโดยรวมนั้นจะมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. ทำการต่อวงจรตรวจจับแอมพลิฟิวดเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โคจรข่าย
2. เอาต์พุตจากวงจรตรวจจับแอมพลิฟิวดต่อเข้ากับวงจขยายสัญญาณและวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล



รูปที่ 4.15 การทดสอบวงจรตรวจจับแอมพลิฟิวด วงจรขยายสัญญาณ และวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

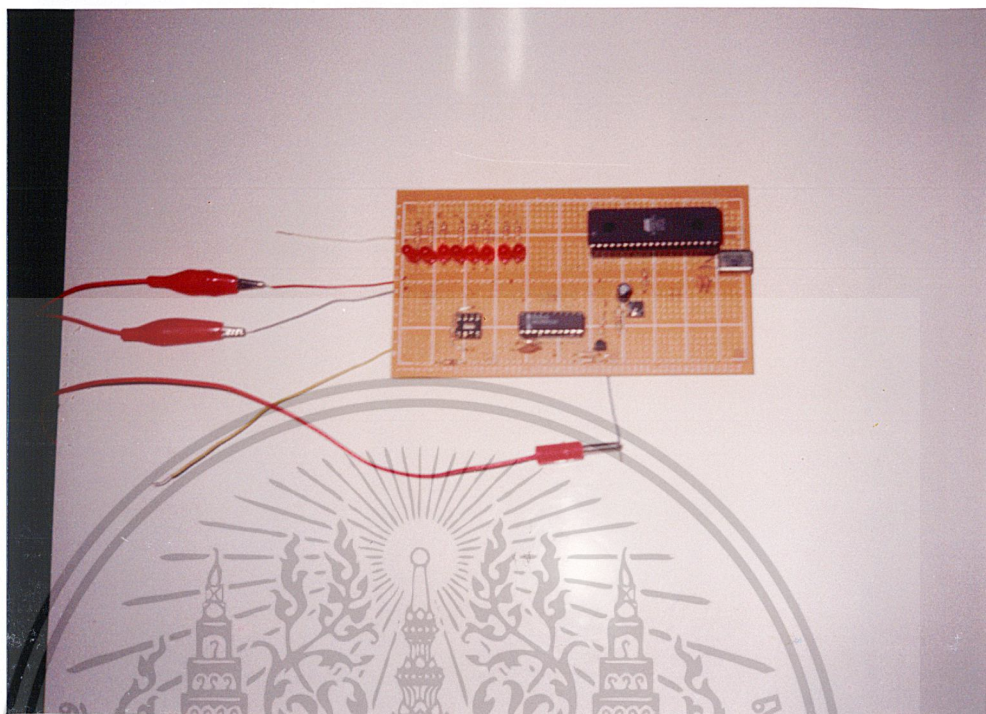
จะได้ค่าตามตารางที่ 4.3

ความแรงของสัญญาณ (dB _m)	ก่อนเข้าวงจร ขยาย (mV)	ออกจากวงจร ขยาย (V)	สัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากวงจรแปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital							
			D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀
-35	-0.2	0.137	0	0	0	0	1	0	1	0
-30	-0.7	0.183	0	0	0	0	1	1	0	1
-25	-0.9	0.329	0	0	0	1	1	0	0	0
-20	-2.8	0.786	0	0	1	1	1	0	0	0
-15	-8.6	2.15	1	0	0	1	0	1	0	0
-10	-23.9	4.36	1	1	1	1	1	1	1	1
-5	-64.3	4.36	1	1	1	1	1	1	1	1
0	-146.9	4.36	1	1	1	1	1	1	1	1
5	-302	4.36	1	1	1	1	1	1	1	1
10	-584	4.36	1	1	1	1	1	1	1	1

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบวงจรตรวจจับแอมป์ลิฟิเคชัน วงจรขยายสัญญาณ และวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.4 การทดสอบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลกับไมโครคอนโทรลเลอร์
มีลักษณะการต่อวงจรเพื่อทำการทดสอบดังรูป



รูปที่ 4.16 แสดงการจัดอุปกรณ์การทดสอบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลกับไมโครคอนโทรลเลอร์

โปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบมีลักษณะดังนี้

```

ORG 0000H
MAIN: MOV P1,#0FFH
      CLR P3.2
      MOVX @DPTR,A
      CALL DELAY
      CLR RD
      MOV A,P1
      MOV P2,A
      MOV PCON,#02H
DELAY: MOV R0,#30H
LOOP:  DJNZ R0,LOOP
      NOP

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

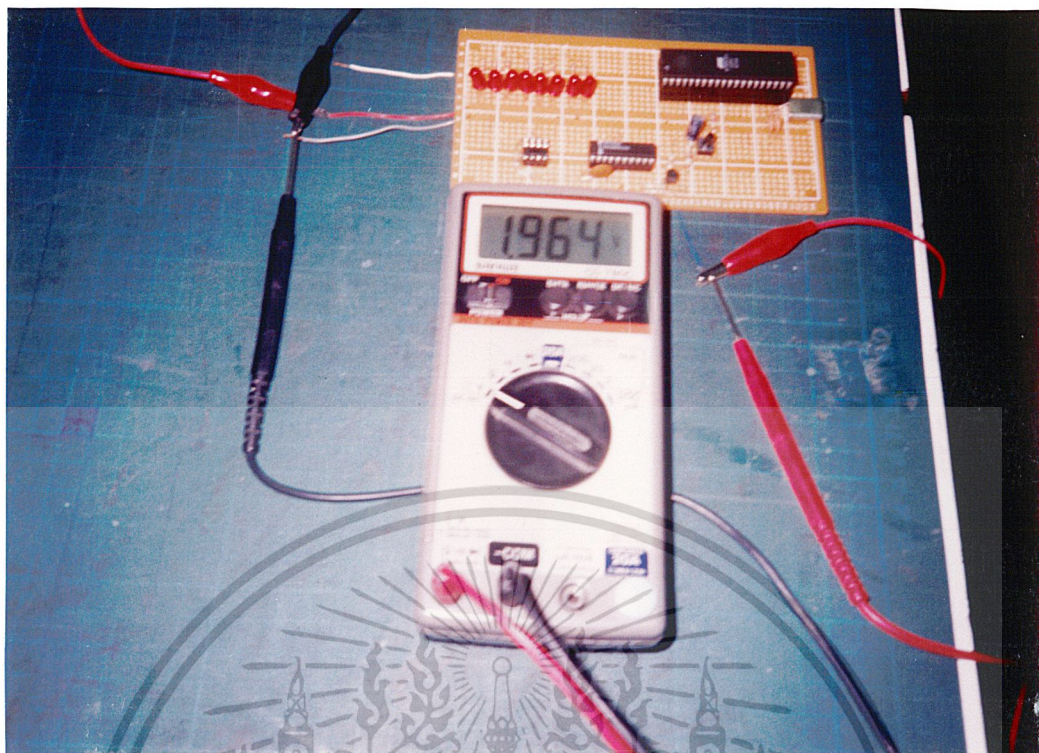
จากโปรแกรมจะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลจะเป็นสัญญาณอินพุตเข้าทางพอร์ต 1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งสามารถค่าสัญญาณดิจิทัลอินพุตที่เข้ามาได้จากการติดและดับของ LED (ตีความถึง “1”, ดับหมายถึง “0”) ทำการส่งสัญญาณดิจิทัลอินพุตค่าเดียวกันนี้ไปออกเป็นเอาต์พุตที่พอร์ต 2 ด้วยซึ่งเราสามารถดูค่าสัญญาณดิจิทัลเอาต์พุตได้จากการใช้ดิจิทัลมิเตอร์วัดที่พอร์ต 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ (+5 V หมายถึง “1”, 0 V หมายถึง “0”) ซึ่งจะได้ผลการทดสอบออกมาดังตารางต่อไปนี้

ผลการทดลอง

สัญญาณอินพุต (V)	ค่าที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล $D_7 D_6 D_5 D_4 D_3 D_2 D_1 D_0$	สัญญาณเอาต์พุตออกจากพอร์ต 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ $D_7 D_6 D_5 D_4 D_3 D_2 D_1 D_0$
0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0
1	0 0 0 0 1 0 1 1	0 0 0 0 1 0 1 1
2	0 1 0 1 0 1 1 0	0 1 0 1 0 1 1 0
3	1 0 1 1 0 0 1 0	1 0 1 1 0 0 1 0
4	1 1 1 1 1 1 0 1	1 1 1 1 1 1 0 1
5	1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่ วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงผลการทดสอบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลมีค่า 2 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.5 การทดสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
 (1) โปรแกรมควบคุมการขับเคลื่อนปีังมอเตอร์โดยทั่วไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.18 ไฟล์ซอร์ส โปรแกรมควบคุมการขับเคลื่อนปีังมอเตอร์โดยทั่วไป
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

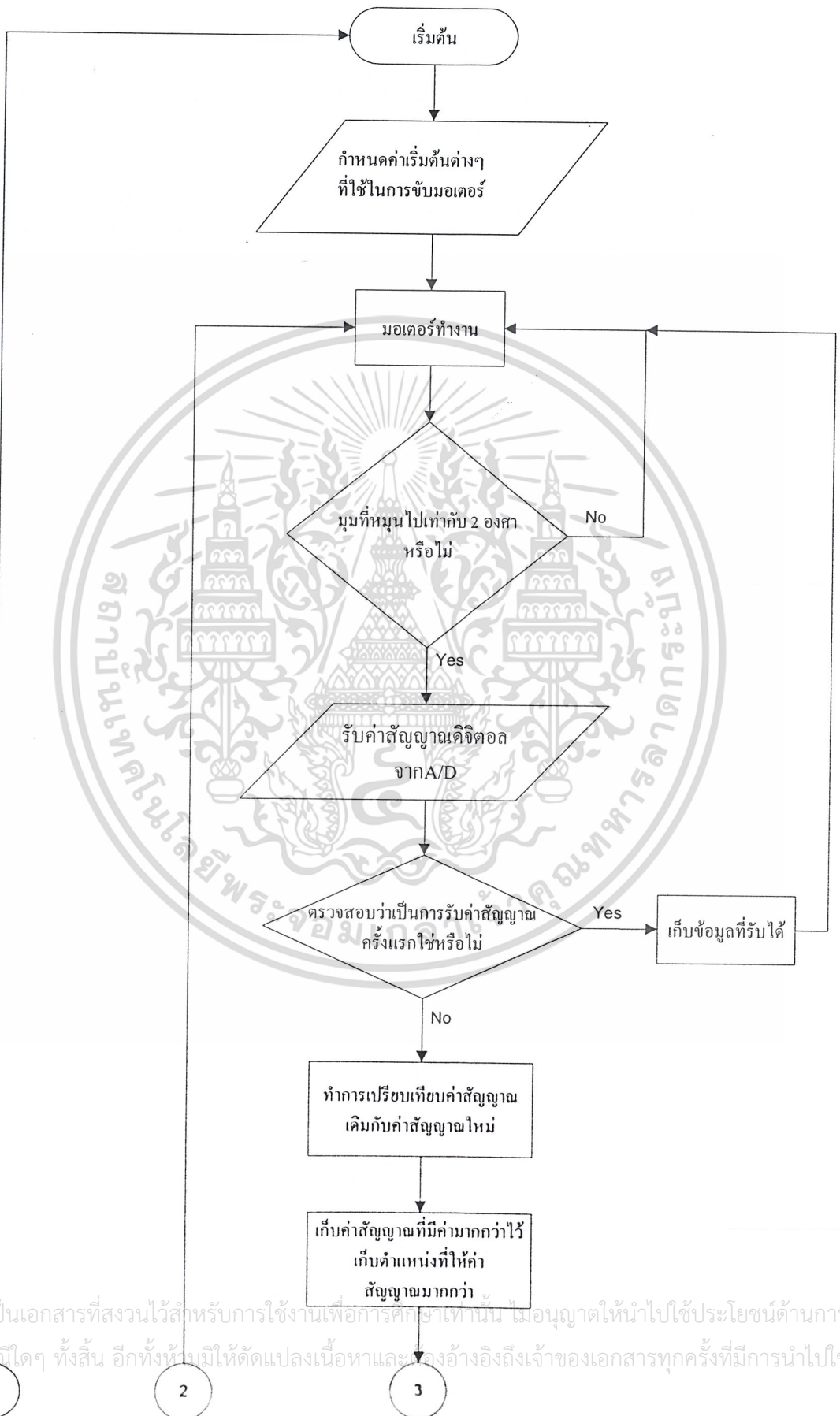
(2) โปรแกรมจำลองการทำงานการหาตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณมากที่สุดโดยรับค่าอินพุตจากสัญญาณดิจิทัลที่กำหนดในตาราง



รูปที่ 4.19 โปรแกรมจำลองการทำงานการหาตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณมากที่สุดโดยรับค่าอินพุตจากสัญญาณดิจิทัลที่กำหนดในตาราง

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) โปรแกรมของระบบติดตามสัญญาณดาวเทียมที่รับค่าจากสัญญาณแอนะล็อกอินพุต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและเชื่อมโยงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.20 ไฟล์ชาร์ตโปรแกรมของระบบติดตามสัญญาณความถี่ที่รับค่าจากสัญญาณแอนะล็อกอินพุตได้
ไม่ว่ากรณีใดๆ พึงเห็น ขัดพินิจ ไม่รับผิดชอบแต่อย่างใด

การทดลองที่ 4.6 การทดสอบระบบติดตามเป้าหมาย

การทดลองที่ 4.6.1

เมื่อใช้สายอากาศส่งเป็นสายอากาศแบบปากแตร และสายอากาศรับเป็นสายอากาศแบบปากแตร วางห่างกัน 3 เมตร สายอากาศส่งและสายอากาศรับอยู่กับที่ ทำการเก็บค่าสัญญาณที่รับได้ที่มุมทุก ๆ 2 องศา สามารถนำค่าสัญญาณที่รับได้จากแต่ละตำแหน่งซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัลที่ถูกประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์มาทำการแปลงเป็นสัญญาณไฟกระแสตรง (มีหน่วยเป็นโวลต์) ทำการพล็อตกราฟเพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับค่าระดับสัญญาณที่รับได้ในหน่วยโวลต์ มีลักษณะการจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.21 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่ 4.6.1, 4.6.2 และ 4.6.3
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกทงห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเนื้อหาทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.6.1.1

สายอากาศรับหันบีมหลักทำมุม 90 องศา กับสายอากาศส่ง ดังรูป



Transmitter

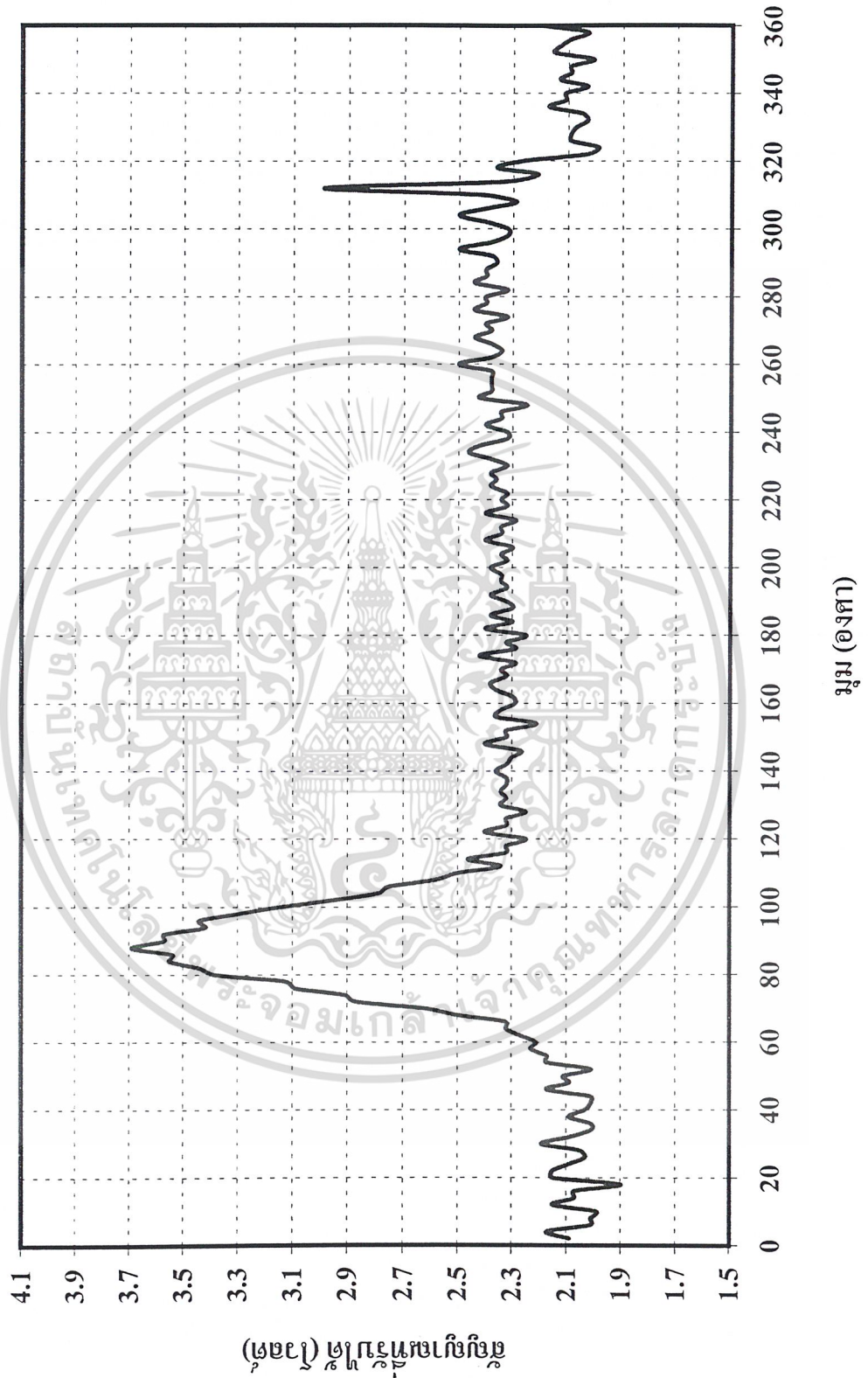
Receiver

รูปที่ 4.22 แสดงตำแหน่งของสายอากาศส่งและรับ

จากการทดสอบและพิจารณารูปกราฟรูปที่ 4.23 ระบบติดตามเป้าหมายสามารถประมวลผลได้ว่าตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดอยู่ที่มุม 88 องศา และสามารถทำการเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศรับให้ตรงกับตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดนั้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

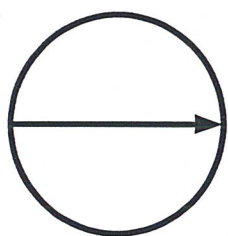
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณในหน่วยโวลต์ แสดงดังรูป



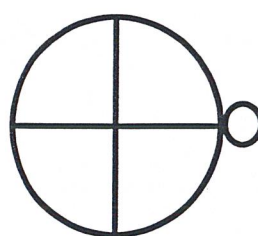
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.23 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณในหน่วยโวลต์
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.6.1.2

สายอากาศรับหันบีมหลักทำมุม 180 องศา กับสายอากาศส่ง ดังรูป



Transmitter



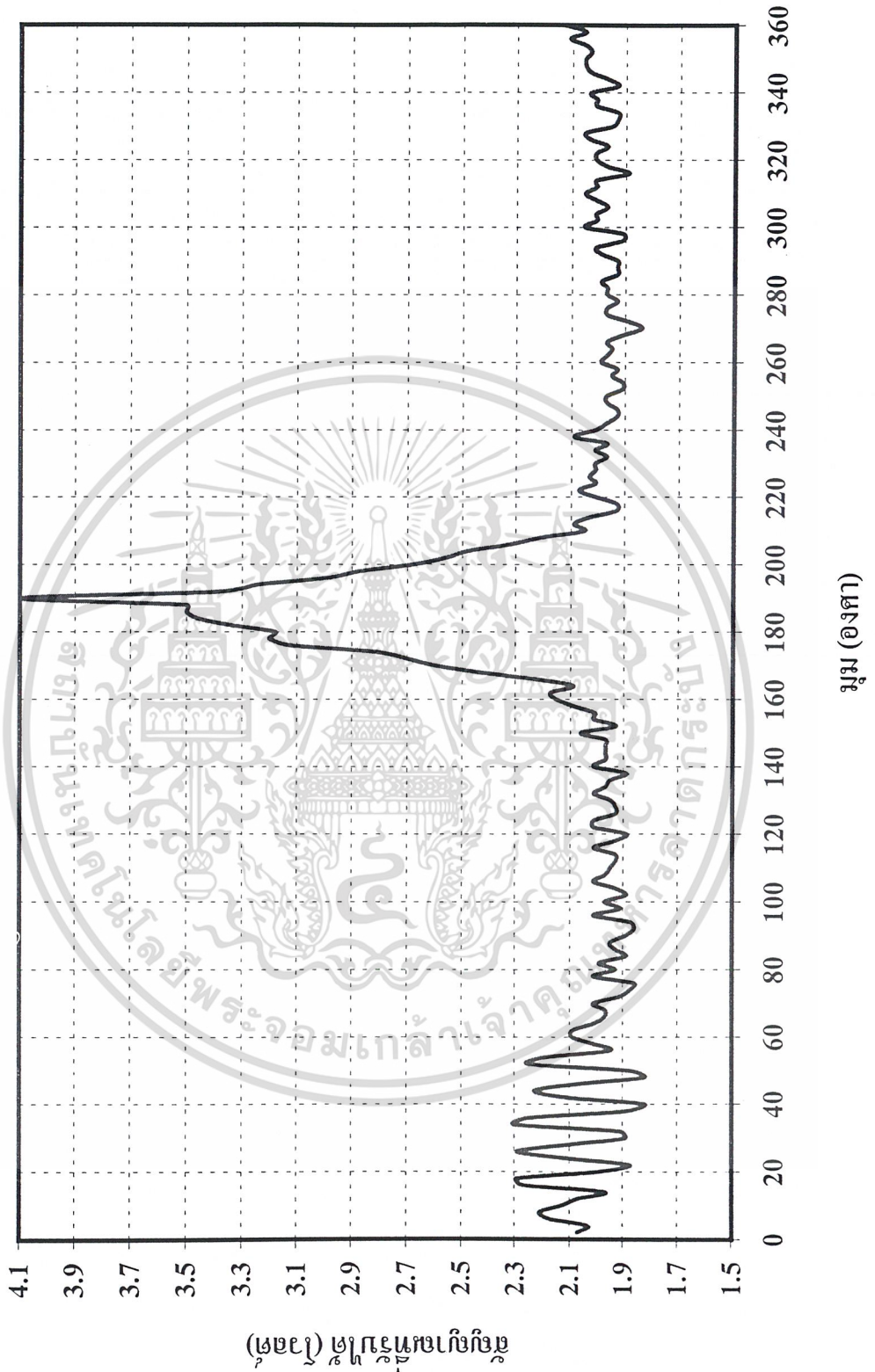
Receiver

รูปที่ 4.24 แสดงตำแหน่งของสายอากาศส่งและรับ

จากการทดสอบและพิจารณารูปกราฟรูปที่ 4.25 พบว่า ระบบติดตามเป้าหมายสามารถประมวลผลได้ว่าตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดอยู่ที่มุม 190 องศา และสามารถทำการเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศรับให้ตรงกับตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงสุดนั้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

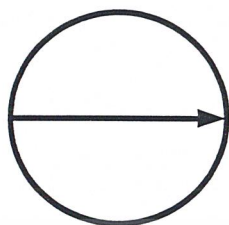
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณในหน่วยโวลต์ แสดงดังรูป



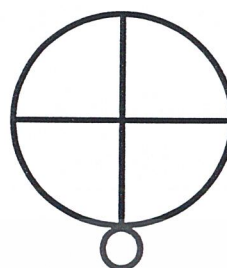
รูปที่ 4.25 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณในหน่วยโวลต์
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.6.1.3

สายอากาศรับหันทึ่มหลักทำมุม 270 องศา กับสายอากาศส่ง ดังรูป



Transmitter



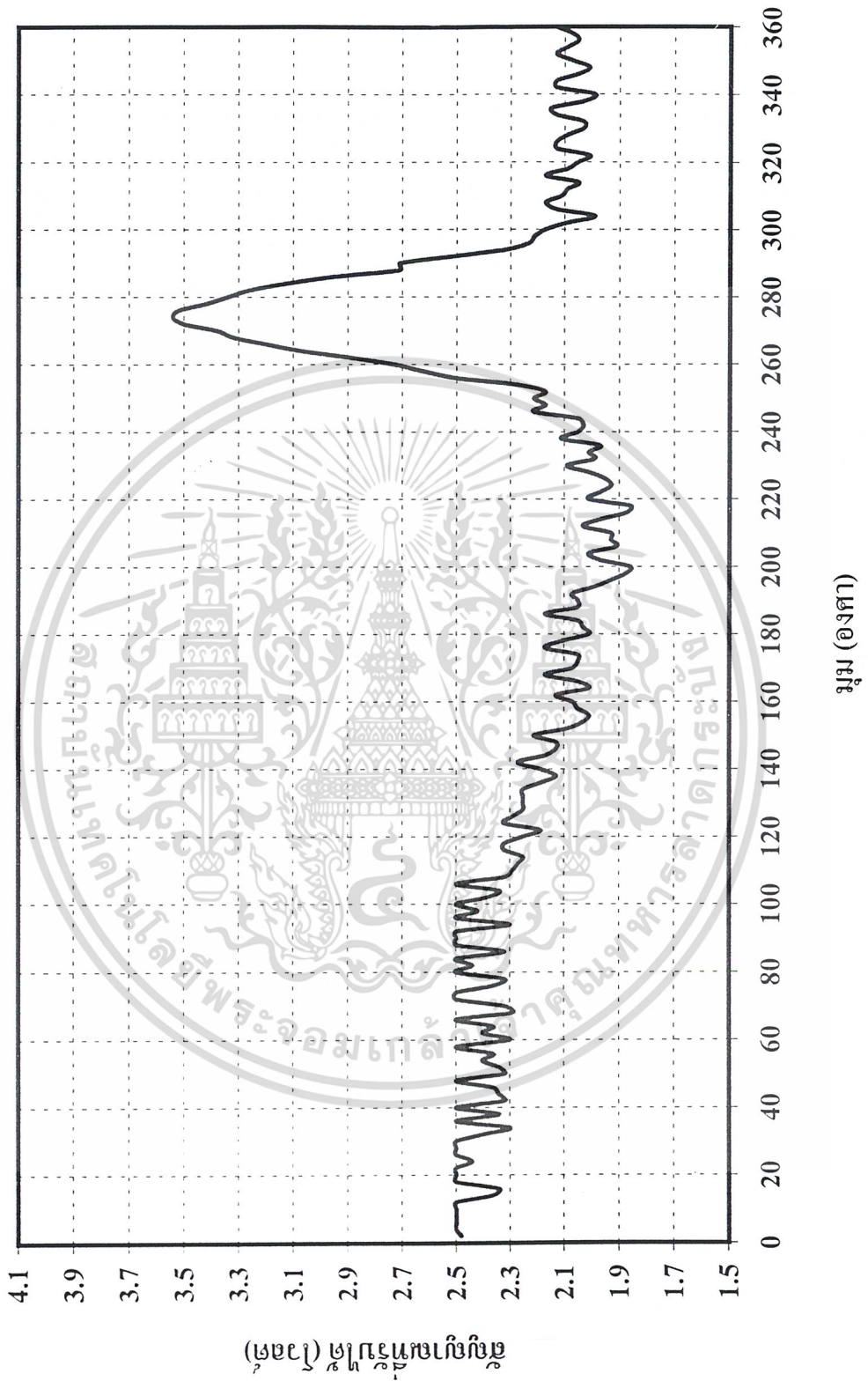
Receiver

รูปที่ 4.26 แสดงตำแหน่งของสายอากาศส่งและรับ

จากการทดสอบและพิจารณารูปกราฟรูปที่ 4.27 พบว่า ระบบติดตามเป้าหมายสามารถประมวลผลได้ว่าตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดอยู่ที่มุม 274 องศา และสามารถทำการเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศรับให้ตรงกับตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดนั้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

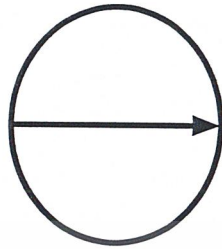
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณในหน่วยโวลต์ แสดงดังรูป



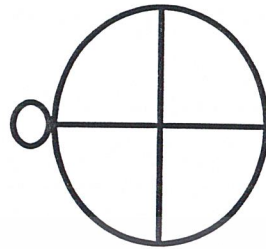
รูปที่ 4.27 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณในหน่วยโวลต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.6.1.4

สายอากาศรับหันทันพีมหลักทำมุม 360 องศา กับสายอากาศส่ง ดังรูป



Transmitter



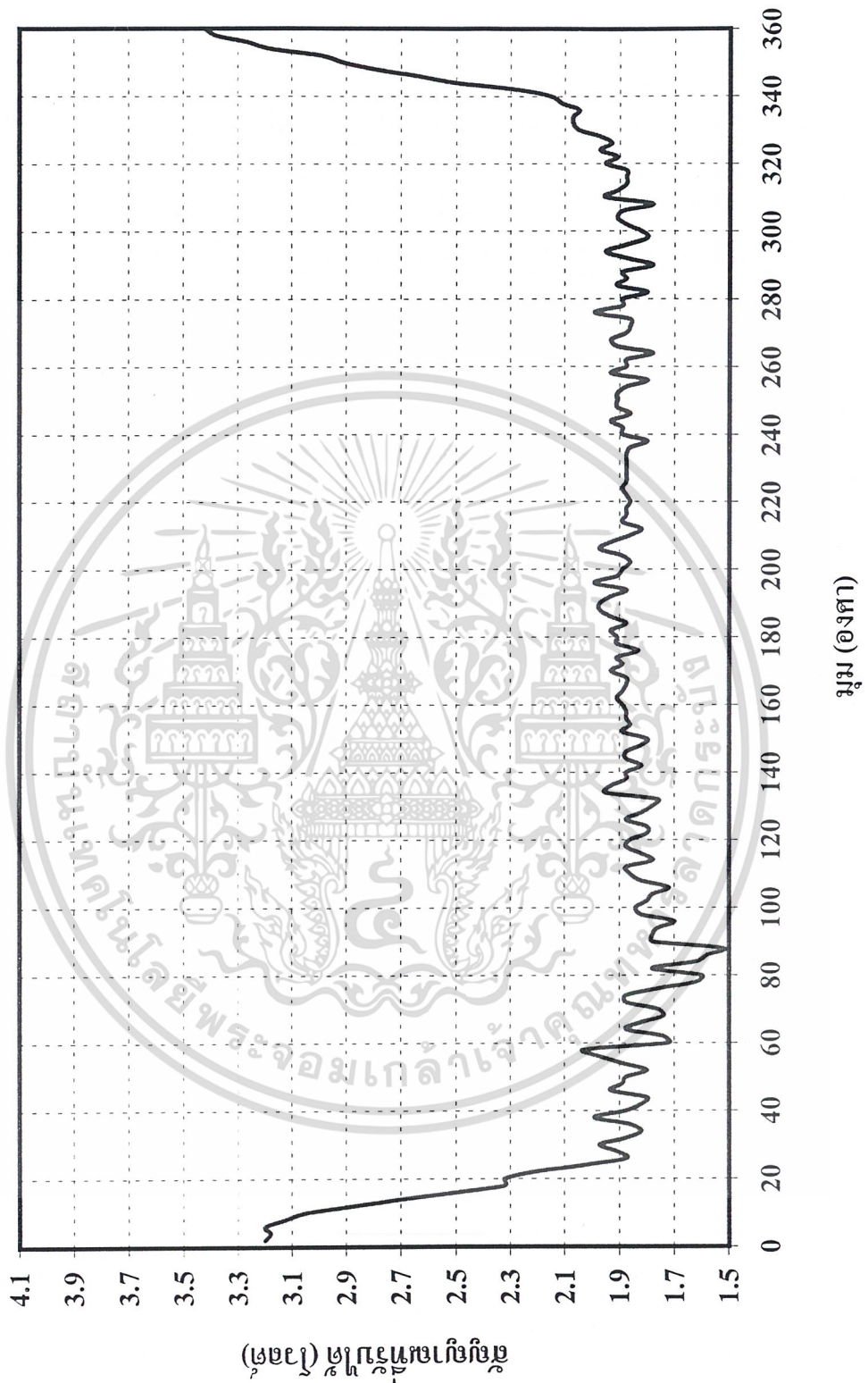
Receiver

รูปที่ 4.28 แสดงตำแหน่งของสายอากาศส่งและรับ

จากการทดสอบและพิจารณารูปกราฟรูปที่ 4.29 พบว่า ระบบติดตามเป้าหมายสามารถประมวลผลได้ว่าตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดอยู่ที่มุม 360 องศา และสามารถทำการเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศรับให้ตรงกับตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดนั้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณในหน่วยโวลต์ แสดงดังรูป



รูปที่ 4.29 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณในหน่วยโวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

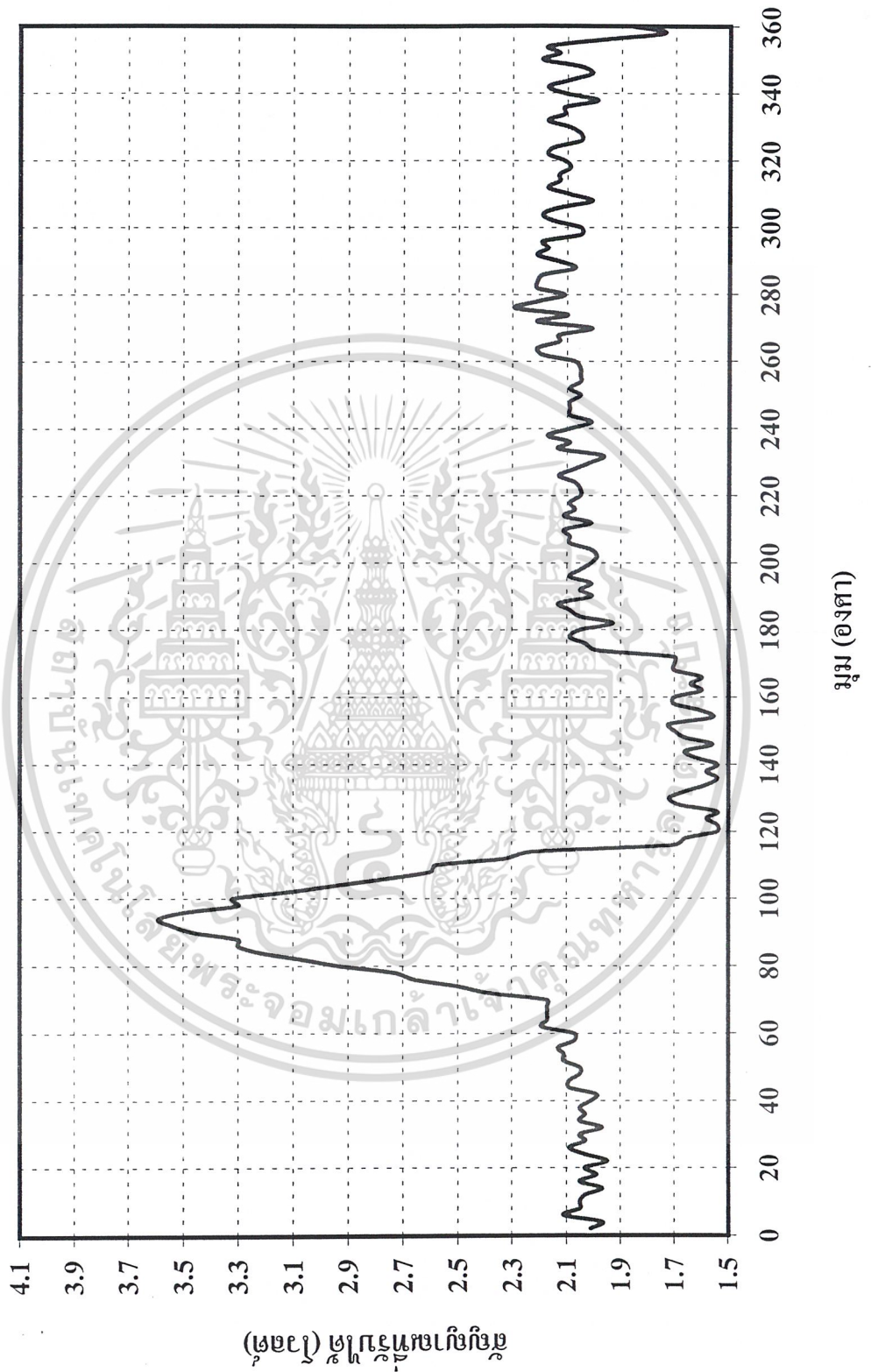
การทดลองที่ 4.6.2

เมื่อใช้สายอากาศส่งเป็นสายอากาศแบบปากแตร และสายอากาศรับเป็นสายอากาศแบบปากแตร วางห่างกัน 3 เมตร โดยสายอากาศส่งมีการเปลี่ยนตำแหน่งไปหลังจากที่สายอากาศรับเก็บตำแหน่งและค่าสัญญาณตรงตำแหน่งแรกของสายอากาศส่งไว้แล้ว เพื่อพิจารณาว่า ระบบติดตามเป้าหมายสามารถจะติดตามตำแหน่งของค่าระดับสัญญาณค่าสูงสุดที่เปลี่ยนแปลงไปที่ตำแหน่งใหม่ได้หรือไม่ ทำการเก็บค่าสัญญาณที่รับได้ที่มุมทุก 2 องศาโดยจะแบ่งออกเป็นสองกราฟ กราฟที่หนึ่งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับค่าระดับสัญญาณที่รับได้ในครั้งแรก กราฟที่สองจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับค่าระดับสัญญาณที่รับได้เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสายอากาศส่ง

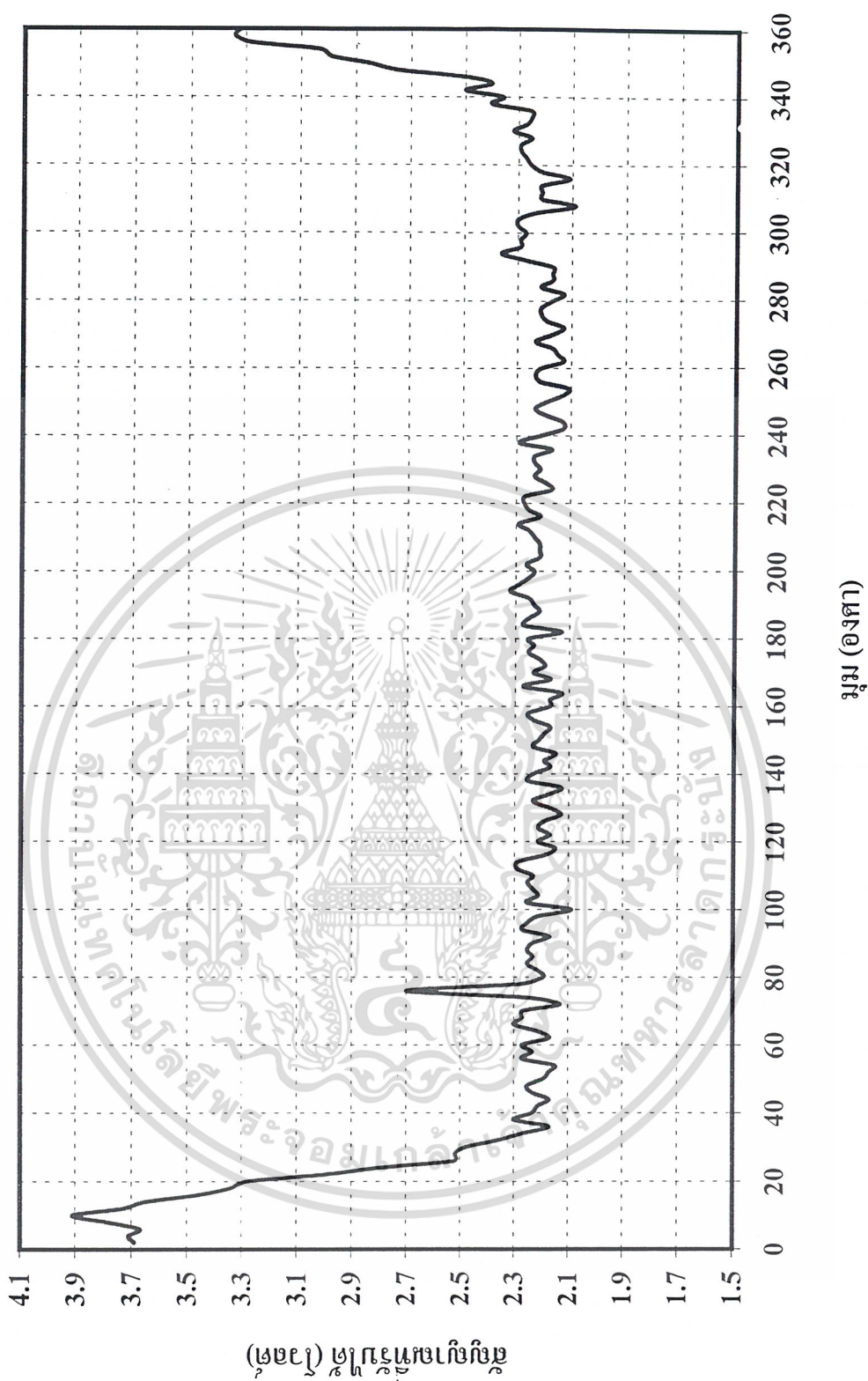
จากรูปกราฟ 4.30 ก) ระบบติดตามเป้าหมายสามารถประมวลผลได้ว่าตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงสุดอยู่ที่มุม 94 องศา และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสายอากาศส่งแล้ว จากรูปกราฟ 4.30 ข) ระบบติดตามเป้าหมาย สามารถประมวลผลได้ว่าตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงสุดตำแหน่งใหม่อยู่ที่มุม 10 องศา และสามารถทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศรับให้ตรงกับตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงสุดนั้นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข)

รูปที่ 4.30 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณในหน่วยโวลต์

ก) ก่อนที่ตัวส่งจะมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง และ ข) หลังจากที่มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของตัวส่ง เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำมาตีพิมพ์หรือเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

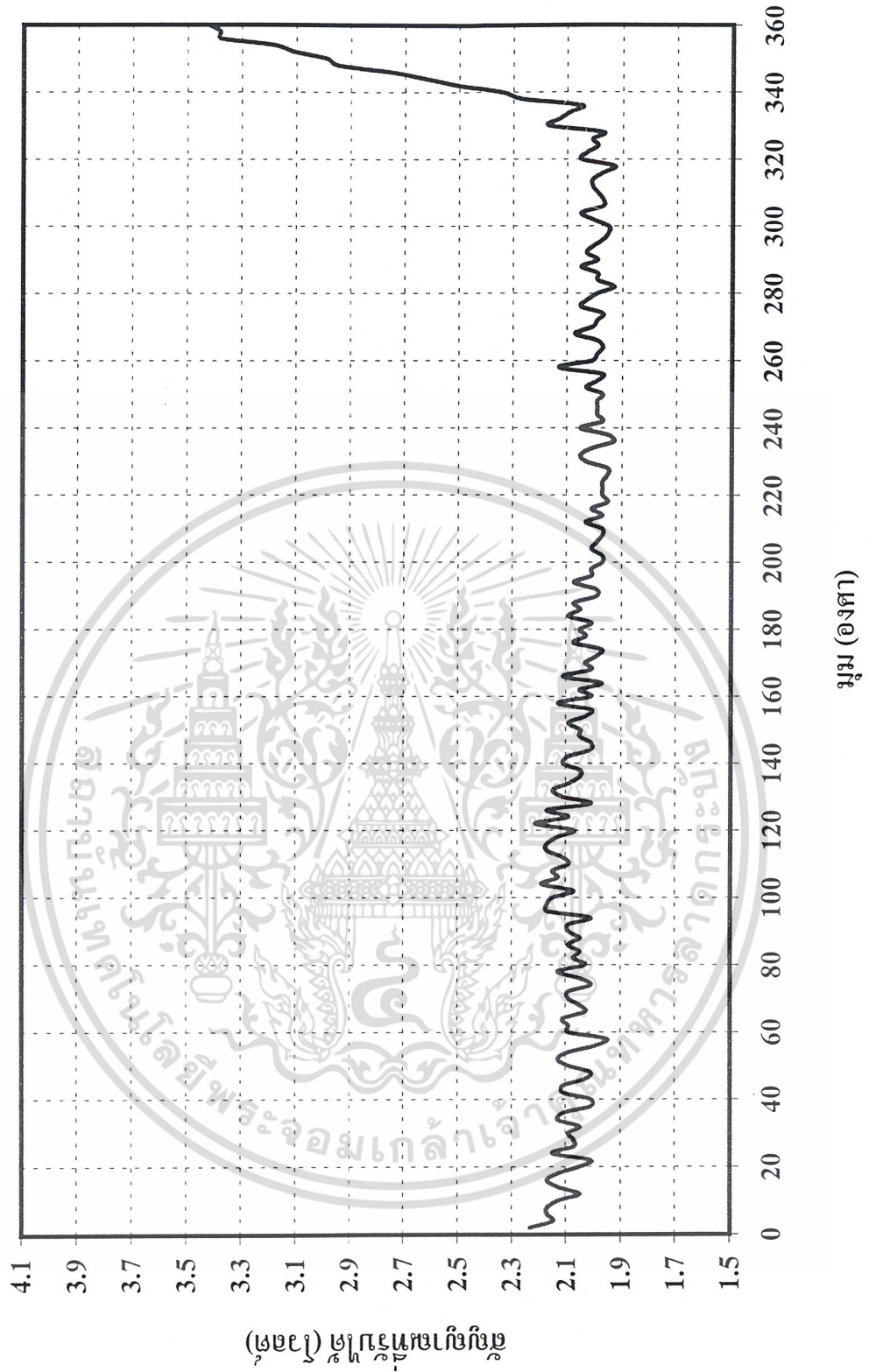
การทดลองที่ 4.6.3

เมื่อใช้สายอากาศส่งเป็นสายอากาศแบบปากแตร และสายอากาศรับเป็นสายอากาศแบบปากแตร วางห่างกัน 3 เมตร โดยสายอากาศส่งมีการเปลี่ยนกำลังส่งของสายอากาศส่งให้ต่ำลงจาก -15 dB_m เป็น -35 dB_m ไปหลังจากที่สายอากาศรับเก็บตำแหน่งและค่าสัญญาณตรงตำแหน่งแรกของสายอากาศส่งไว้แล้ว เพื่อพิจารณาว่า ระบบติดตามเป้าหมายสามารถจะติดตามตำแหน่งของค่าระดับสัญญาณค่าสูงสุดที่เปลี่ยนแปลงไปที่ตำแหน่งใหม่ได้หรือไม่ ทำการเก็บค่าสัญญาณที่รับได้ที่มุมทุก 2 องศาโดยจะแบ่งออกเป็นสองกราฟ กราฟที่หนึ่งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับค่าระดับสัญญาณที่รับได้ในครั้งแรก กราฟที่สองจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับค่าระดับสัญญาณที่รับได้เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสายอากาศส่ง

จากรูปกราฟ 4.31 ก) ระบบติดตามเป้าหมายสามารถประมวลผลได้ว่าตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดอยู่ที่มุม 94 องศา และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงกำลังส่งของสายอากาศส่งแล้ว จากรูปกราฟ 4.31 ข) ระบบติดตามเป้าหมาย สามารถประมวลผลได้ว่าตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดตำแหน่งใหม่อยู่ที่มุม 360 องศา และสามารถทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศรับให้ตรงกับตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดนั้นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข)

รูปที่ 4.31 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณในหน่วยโวลต์

ก) ก่อนที่ตัวส่งจะมีการเปลี่ยนแปลงกำลังส่งและ ข) หลังจากเปลี่ยนแปลงกำลังส่งของตัวส่ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.6.4

เมื่อใช้สายอากาศส่งเป็นสายอากาศแบบปากแตร และสายอากาศรับเป็นสายอากาศแบบแถว ลำดับระนาบแบบร่อง วางห่างกัน 2 เมตร สายอากาศส่งและสายอากาศรับอยู่กับที่ ทำการเก็บค่าสัญญาณที่รับได้ที่มุมทุก 2 องศา สามารถนำค่าสัญญาณที่รับได้จากแต่ละตำแหน่งซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัลที่ไม่โคเรลคอนโทรลเลอร์ใช้ในการประมวลผลมาทำการแปลงเป็นสัญญาณไฟกระแสดตรง (มีหน่วยเป็นโวลต์) ทำการพล็อตกราฟเพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับค่าระดับสัญญาณที่รับได้ในหน่วยโวลต์ มีลักษณะการจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 4.32 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่ 4.6.4, 4.6.5 และ 4.6.6

การทดลองที่ 4.6.4.1

สายอากาศรับหันทันปริมหลักทำมุม 90 องศา กับสายอากาศส่ง ดังรูป

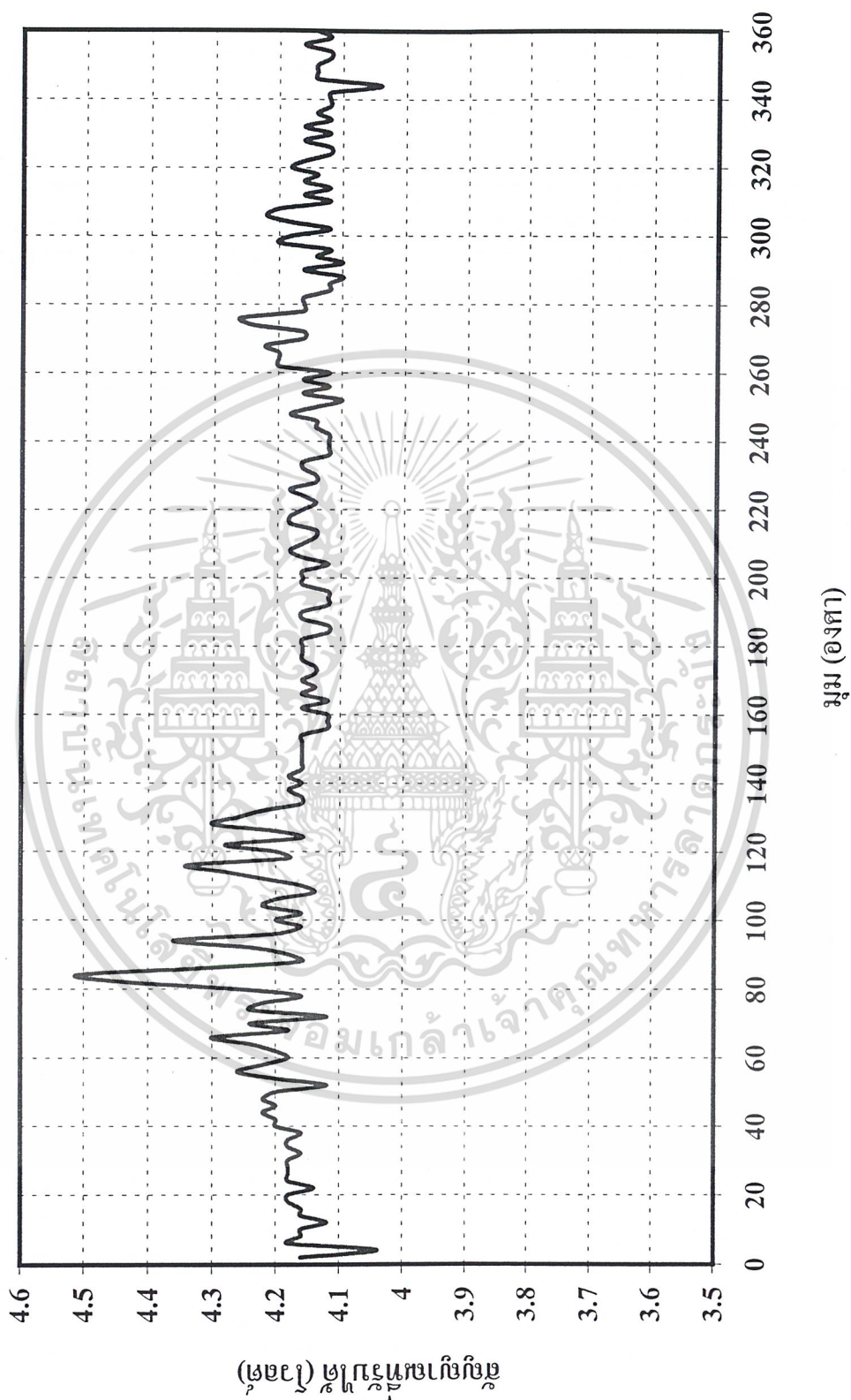


รูปที่ 4.33 แสดงตำแหน่งของสายอากาศส่งและรับ

จากการทดสอบและพิจารณารูปกราฟรูปที่ 4.34 ระบบติดตามเป้าหมายสามารถประมวลผลได้ว่าตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดอยู่ที่มุม 84 องศา และสามารถทำการเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศรับให้ตรงกับตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดนั้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณในหน่วยโวลต์ แสดงดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.34 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณ ในหน่วยโวลต์

การทดลองที่ 4.6.4.2

สายอากาศรับหั่นบีบหลักทำมุม 180 องศา กับสายอากาศส่ง ดังรูป

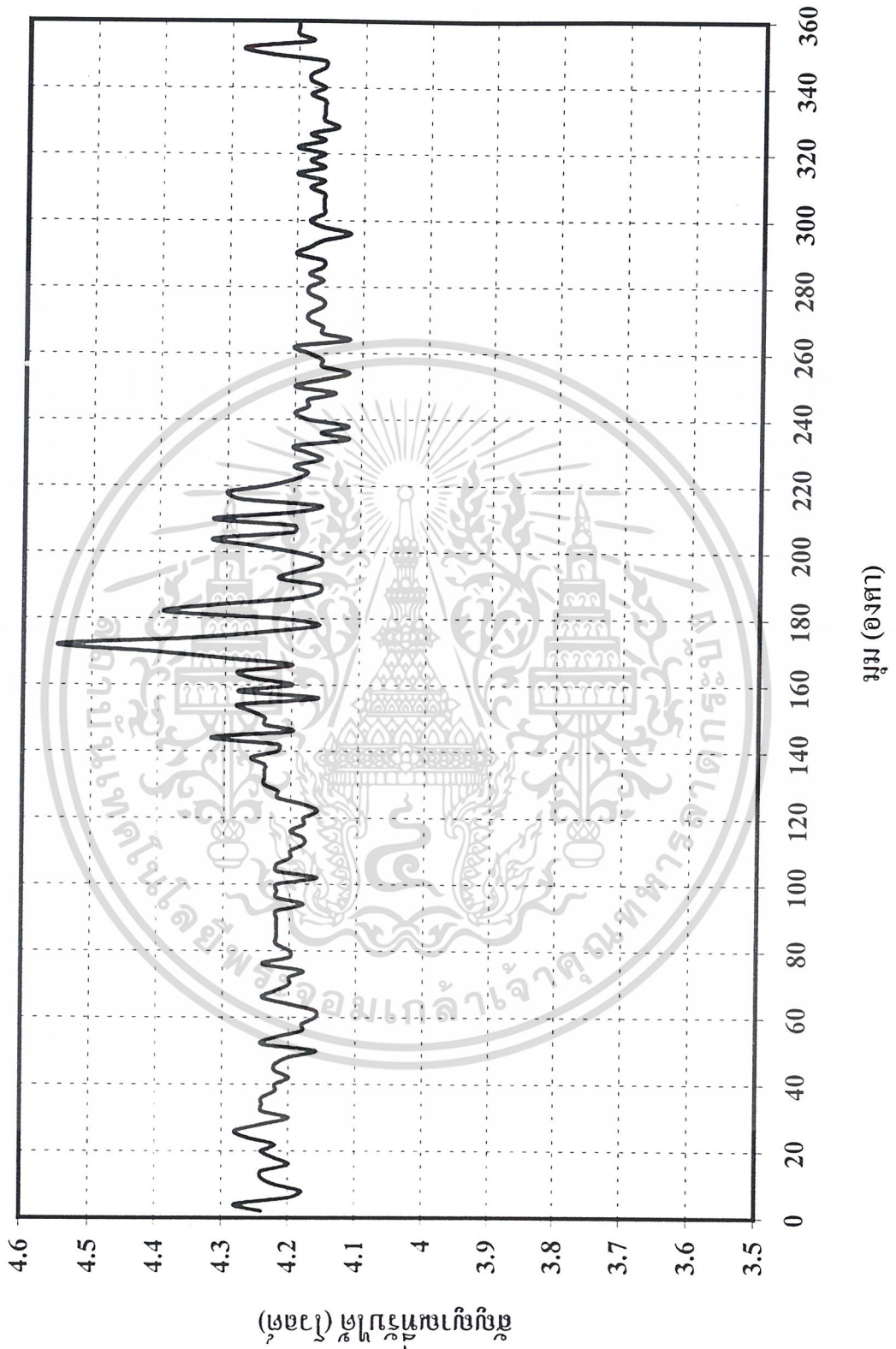


รูปที่ 4.35 แสดงตำแหน่งของสายอากาศส่งและรับ

จากการทดสอบและพิจารณารูปกราฟรูปที่ 4.36 พบว่า ระบบติดตามเป้าหมายสามารถประมวลผลได้ว่าตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดอยู่ที่มุม 172 องศา และสามารถทำการเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศรับให้ตรงกับตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดนั้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

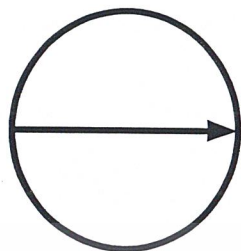
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณในหน่วยโวลต์ แสดงดังรูป



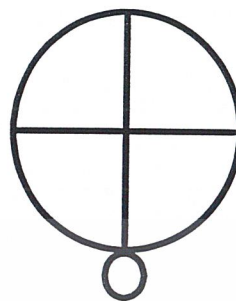
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.36 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณในหน่วยโวลต์
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากไม่มีเหตุขัดแย้งเนื้อหาและต้องอ้างอิงแก่เจ้าของเอกสารที่ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.6.4.3

สายอากาศรับหันทันบีมหลักทำมุม 270 องศา กับสายอากาศส่ง ดังรูป



Transmitter



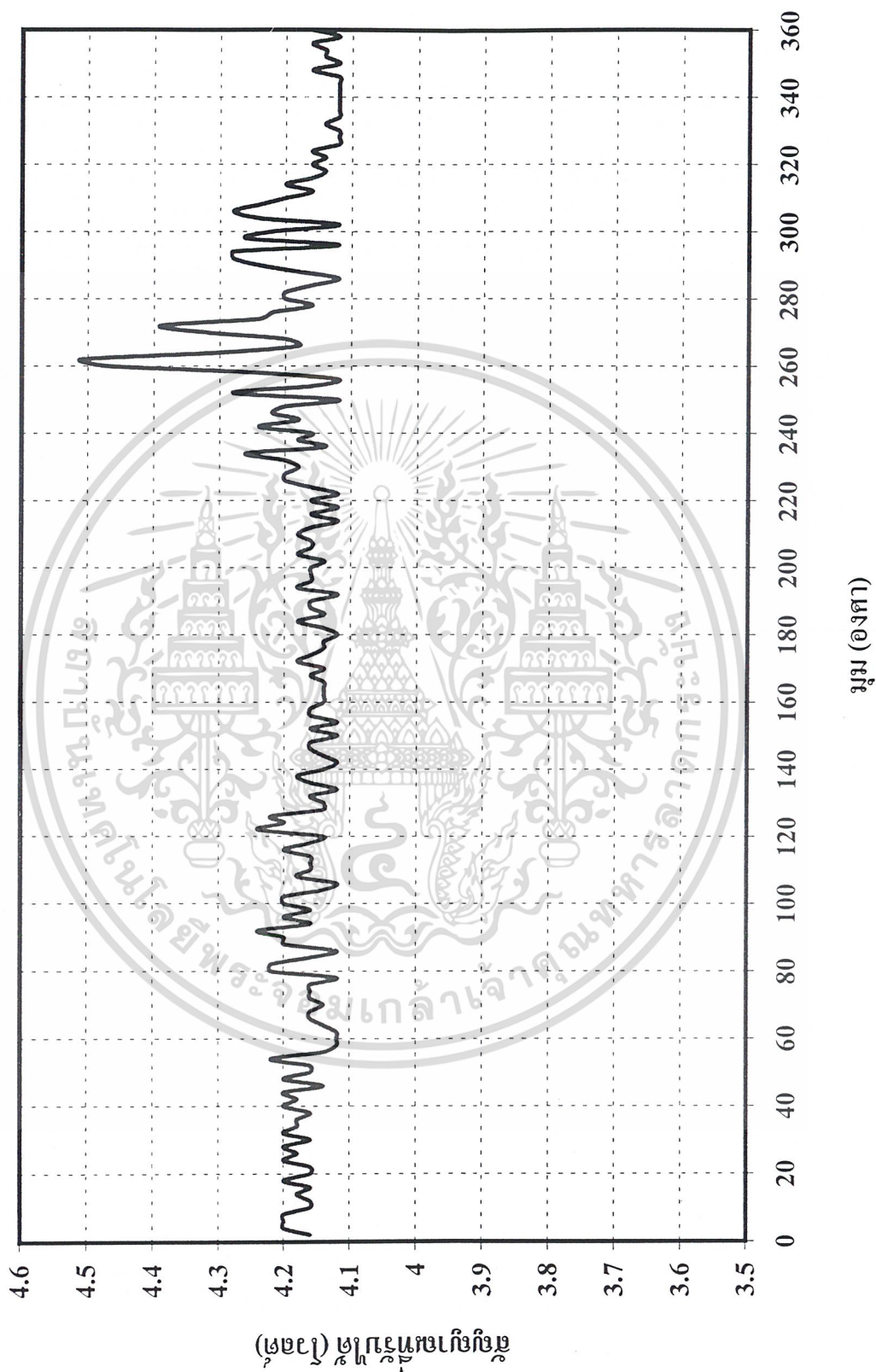
Receiver

รูปที่ 4.37 แสดงตำแหน่งของสายอากาศส่งและรับ

จากการทดสอบและพิจารณารูปกราฟรูปที่ 4.38 พบว่า ระบบติดตามเป้าหมายสามารถประมวลผลได้ว่าตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดอยู่ที่มุม 262 องศา และสามารถทำการเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศรับให้ตรงกับตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงสุดนั้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

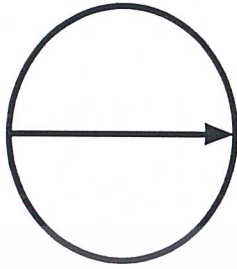
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณในหน่วยโวลต์ แสดงดังรูป



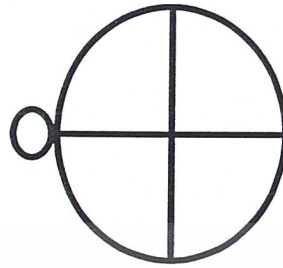
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 4.38 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณในหน่วยโวลต์

การทดลองที่ 4.6.4.4

สายอากาศรับหันทันหันปัดทำมุม 360 องศา กับสายอากาศส่ง ดังรูป



Transmitter



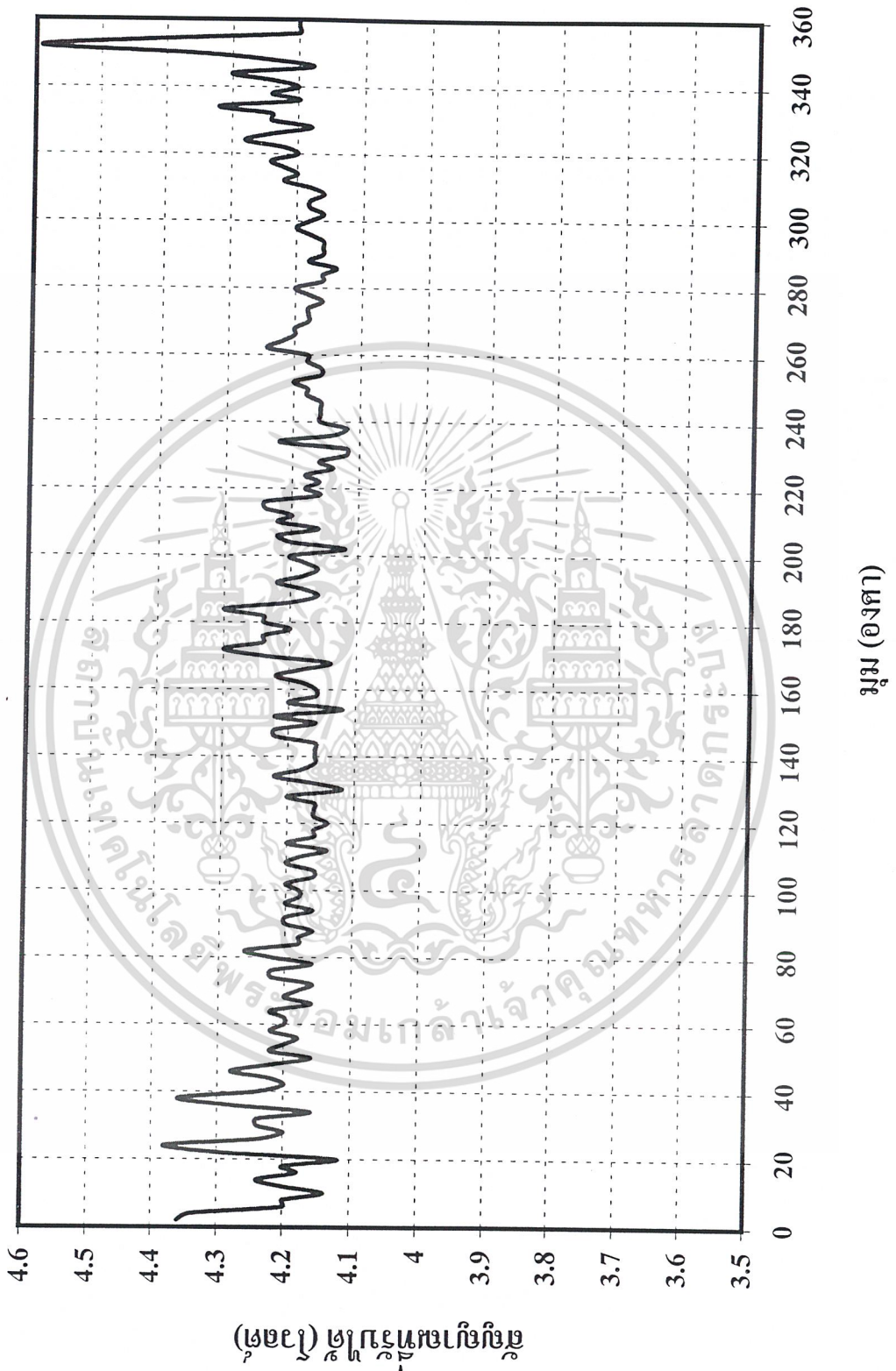
Receiver

รูปที่ 4.39 แสดงตำแหน่งของสายอากาศส่งและรับ

จากการทดสอบและพิจารณารูปกราฟรูปที่ 4.40 พบว่า ระบบติดตามเป้าหมายสามารถประมวลผลได้ว่าตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดอยู่ที่มุม 352 องศา และสามารถทำการเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศรับให้ตรงกับตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงสุดนั้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณในหน่วยโวลต์ แสดงคิงรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.40 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณในหน่วยโวลต์
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกกฎหมายให้ผิดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

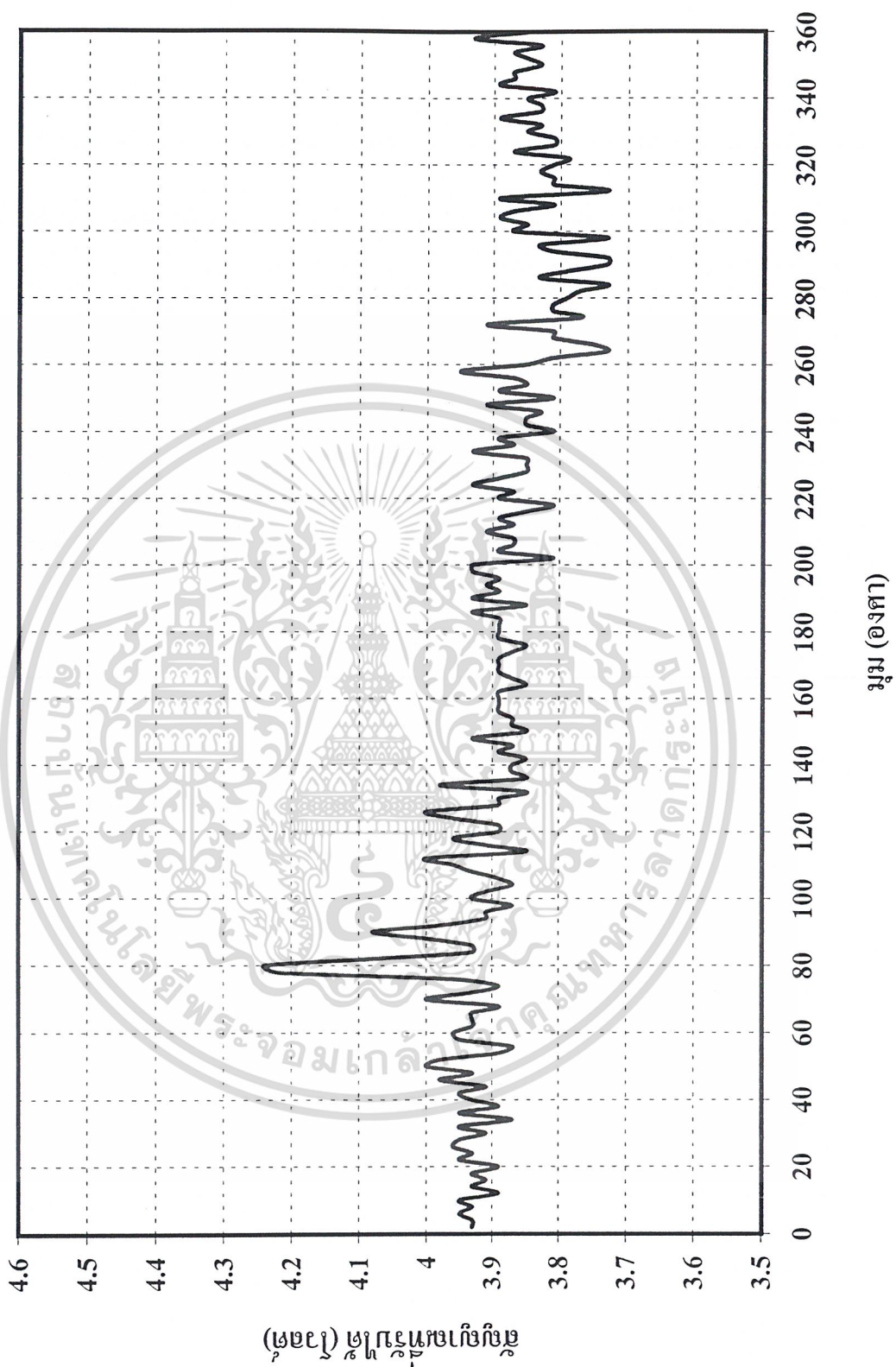
การทดลองที่ 4.6.5

เมื่อใช้สายอากาศส่งเป็นสายอากาศแบบปากแตรและสายอากาศรับเป็นสายอากาศแบบแถวลำดับระนาบแบบร่อง วางห่างกัน 2 เมตร โดยสายอากาศส่งมีการเปลี่ยนตำแหน่งไปหลังจากที่สายอากาศรับเก็บตำแหน่งและค่าสัญญาณตรงตำแหน่งแรกของสายอากาศส่งไว้แล้ว เพื่อพิจารณาว่า ระบบติดตามเป้าหมายสามารถจะติดตามตำแหน่งของตัวส่งที่เปลี่ยนแปลงไปที่ตำแหน่งใหม่ได้หรือไม่ ทำการเก็บค่าสัญญาณที่รับได้ที่มุมทุก 2 องศา โดยจะแบ่งออกเป็นสองกราฟ กราฟที่หนึ่งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับค่าระดับสัญญาณที่รับได้ในครั้งแรก กราฟที่สองจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับค่าระดับสัญญาณที่รับได้เมื่อทำการเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศส่ง

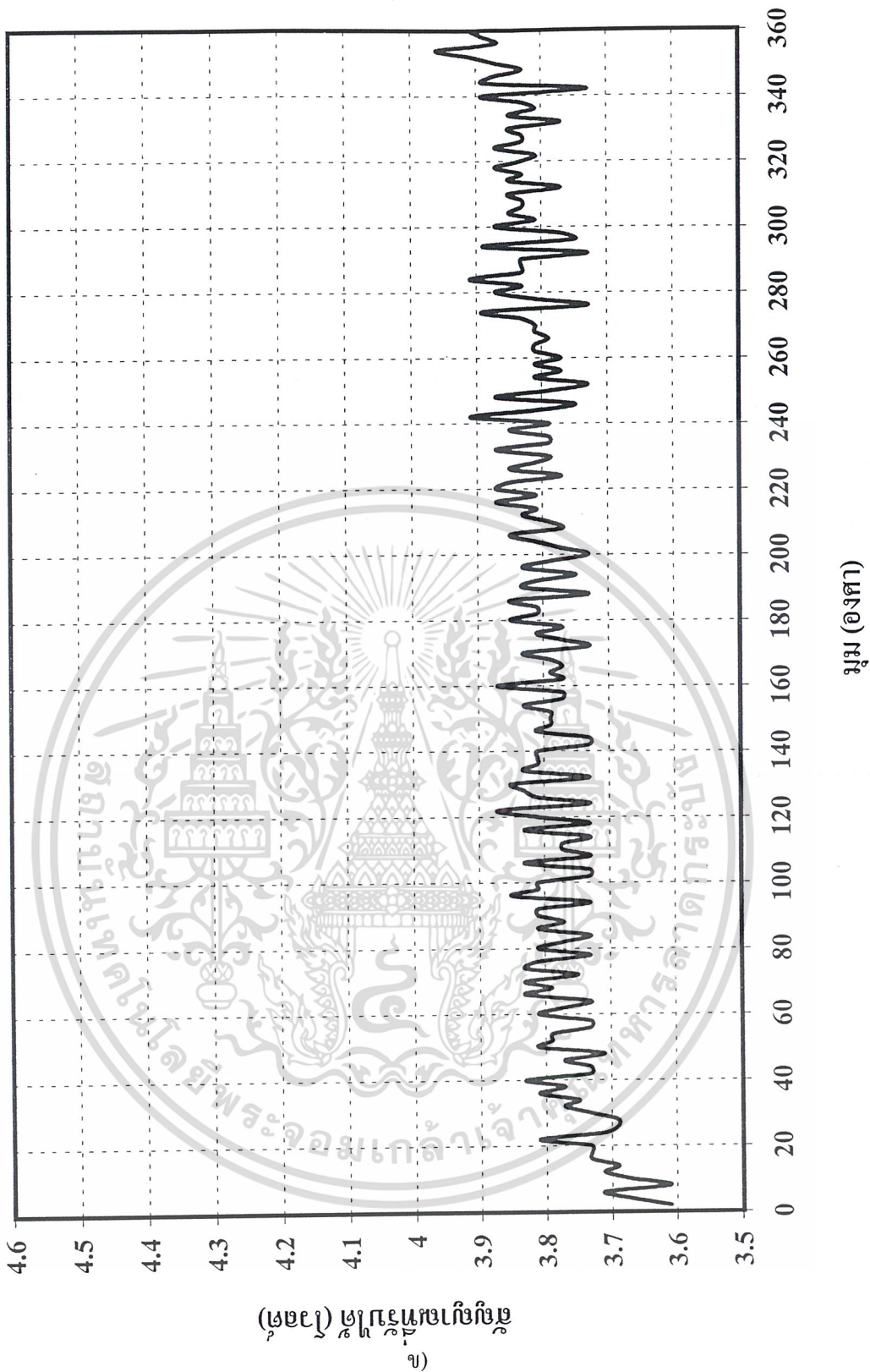
จากรูปกราฟ 4.41 ก) ระบบติดตามเป้าหมายสามารถประมวลผลได้ว่าตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดอยู่ที่มุม 80 องศา และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสายอากาศส่งแล้ว จากรูปกราฟ 4.41 ข) ระบบติดตามเป้าหมาย สามารถประมวลผลได้ว่าตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดตำแหน่งใหม่อยู่ที่มุม 354 องศา และสามารถทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศรับให้ตรงกับตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดนั้นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.41 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณในหน่วยโวลต์
 ก) ก่อนที่ตัวส่งจะมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง และ ข) หลังจากที่มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของตัวส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.6.6

เมื่อใช้สายอากาศส่งเป็นสายอากาศแบบปากแตร และสายอากาศรับเป็นสายอากาศแบบแถว ลำดับระนาบแบบร่อง วางห่างกัน 2 เมตร โดยสายอากาศส่งมีการเปลี่ยนกำลังส่งของสายอากาศส่งให้ต่ำลงจาก -10 dB_m เป็น -20 dB_m หลังจากที่สายอากาศรับเก็บตำแหน่งและค่าสัญญาณตรงตำแหน่งแรกของสายอากาศส่งไว้แล้ว เพื่อพิจารณาว่า ระบบติดตามเป้าหมายสามารถจะติดตามตำแหน่งของค่าระดับสัญญาณค่าสูงสุดที่เปลี่ยนแปลงไปที่ตำแหน่งใหม่ได้หรือไม่ ทำการเก็บค่าสัญญาณที่รับได้ที่มุมทุก 2 องศาโดยจะแบ่งออกเป็นสองกราฟ กราฟที่หนึ่งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับค่าระดับสัญญาณที่รับได้ในครั้งแรก กราฟที่สองจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับค่าระดับสัญญาณที่รับได้เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงกำลังส่งของสายอากาศส่ง

จากรูปกราฟ 4.42 ก) ระบบติดตามเป้าหมายสามารถประมวลผลได้ว่าตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดอยู่ที่มุม 82 องศา และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงกำลังส่งของสายอากาศส่งแล้ว จากรูปกราฟ 4.42 ข) ระบบติดตามเป้าหมาย สามารถประมวลผลได้ว่าตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดตำแหน่งใหม่อยู่ที่มุม 360 องศา และสามารถทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศรับให้ตรงกับตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณสูงที่สุดนั้นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและวิจารณ์

5.1 บทสรุป

จากการทดลองในบทที่ 4 การทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศพบว่า รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าจะมีลำคลื่นหลักอยู่ที่มุม 90 องศา เมื่อวัดในแนวระดับ ส่วนในระนาบสนามแม่เหล็กจะมีลำคลื่นหลักอยู่ที่มุม 60 องศา เมื่อวัดจากแนวระดับ ค่าทวิกำลังของสายอากาศที่ความถี่ 12.6575 กิกะเฮิร์ตซ์ เท่ากับ 13.5 dB_i และเมื่อทำการปรับปรุงด้วยสตัดแล้วจะได้อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศมีค่า 1.02:1

การทดลองที่ 4.2 เป็นการทดสอบวงจรตรวจจับแอมพลิฟายด์ที่ทำงานที่ความถี่ 2 กิกะเฮิร์ตซ์ ปรากฏว่าสามารถตรวจจับสัญญาณได้โดยมีขนาดของสัญญาณกระแสตรงเอาต์พุตเป็นมิลลิโวลต์ ส่วนการทดลองที่ 4.3 เป็นการทดสอบวงจรตรวจจับแอมพลิฟายด์ วงจรขยายสัญญาณ และวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งวงจรขยายสัญญาณนี้เป็นส่วนที่ใช้ขยายสัญญาณจากวงจรตรวจจับแอมพลิฟายด์ให้สูงขึ้นโดยใช้อัตราขยาย 220 เท่า เพื่อให้ขนาดสัญญาณแรงพอที่จะเข้าวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งได้กำหนดช่วงของสัญญาณอินพุตที่ไว้ตั้งแต่ 0 โวลต์ จนถึงประมาณ 5 โวลต์ และสัญญาณดิจิทัลที่ได้จะมีการเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณไมโครเวฟอินพุต การทดลองที่ 4.4 เป็นการทดสอบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งสัญญาณดิจิทัลที่เข้าที่พอร์ตหนึ่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีค่าเดียวกับสัญญาณดิจิทัลเอาต์พุตที่ออกจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล แสดงว่าไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถควบคุมการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลได้ สำหรับการทดลองที่ 4.5 เป็นการทดสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้โปรแกรมควบคุม พบว่าโปรแกรมสามารถควบคุมการขับสเต็ปมอเตอร์ให้มีการเคลื่อนที่ได้ และสามารถจำลองการทำงานการหาตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณมากที่สุดโดยรับค่าอินพุตจากสัญญาณดิจิทัลที่กำหนดในตาราง

จากการทดลองที่ 4.6 เป็นการทดสอบระบบติดตามเป้าหมาย ซึ่งระบบติดตามเป้าหมายสามารถติดตามสัญญาณค่าสูงที่สุดได้ และเมื่อตัวส่งมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งและกำลังส่ง ระบบติดตามเป้าหมายสามารถควบคุมให้สายอากาศรับปรับทิศทางให้บีมหลักของสายอากาศรับสามารถรับสัญญาณค่าสูงที่สุดได้ตลอดเวลา

5.2 บทวิเคราะห์และแนวทางแก้ปัญหาเพื่อพัฒนาต่อไป

จากการทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศจะพบว่ามีลำคลื่นรอง (Minor lobe) อยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากจากความผิดพลาดในการออกแบบและสร้างสายอากาศในปีการศึกษาที่ผ่านมา มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการเป็นสายอากาศชี้ทิศทางต่ำลงไป และสภาพแวดล้อมในการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นนั้น คือ คาเฟ่ตึกสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สจล. ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดคลื่นสะท้อนได้หลายทาง เช่น พื้นและกำแพง ถึงแม้จะจัดตำแหน่งการทดสอบเพื่อลดผลของคลื่น

สะท้อนแต่ไม่สามารถลดจนหมดได้ ดังนั้นจึงมีผลต่อการทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ การทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ถูกต้องจริงๆ จะต้องทดสอบในห้องทดสอบไม่สะท้อน (Anaechoic Chamber) ซึ่งในขณะนี้ยังไม่มีในประเทศไทย

สำหรับการทดสอบระบบติดตามเป้าหมายเป็นการทดสอบที่ทำได้ในระยะทางไกล ๆ เท่านั้น เนื่องจากตัวตรวจจับแอมพลิฟายเออร์ที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ ไม่สามารถใช้กับระยะทางไกล ๆ ได้ เพราะจะมีผลทำให้ค่าสัญญาณที่เข้ามาจะมีระดับสัญญาณที่ต่ำมาก และเมื่อผ่านวงจรขยายสัญญาณแล้วจะทำให้ค่าระดับสัญญาณที่ได้ออกมามีค่าใกล้เคียงกันเกือบทุกตำแหน่ง ดังนั้นถ้าเราใช้ตัวตรวจจับแอมพลิฟายเออร์ที่มีประสิทธิภาพดีกว่าตัวที่ใช้อยู่ก็จะทำให้สามารถนำโครงการนี้ไปใช้กับการรับสัญญาณในระยะทางไกลเพิ่มขึ้นได้

จากการทดสอบระบบติดตามเป้าหมายเมื่อใช้สายอากาศรับเป็นสายอากาศแบบปากแตร พบว่าระบบติดตามเป้าหมายสามารถติดตามเป้าหมายได้อย่างถูกต้องและได้ตำแหน่งของเป้าหมายที่แม่นยำกว่า เนื่องจากสายอากาศแบบปากแตรมีค่าทวิกำลังของสายอากาศดีกว่าค่าทวิกำลังของสายอากาศแบบแถว ลำดับระนาบแบบร่อง อันมีผลเนื่องมาจากการออกแบบและจัดสร้างสายอากาศแบบแถวลำดับระนาบแบบร่องในปีการศึกษาที่ผ่านมา

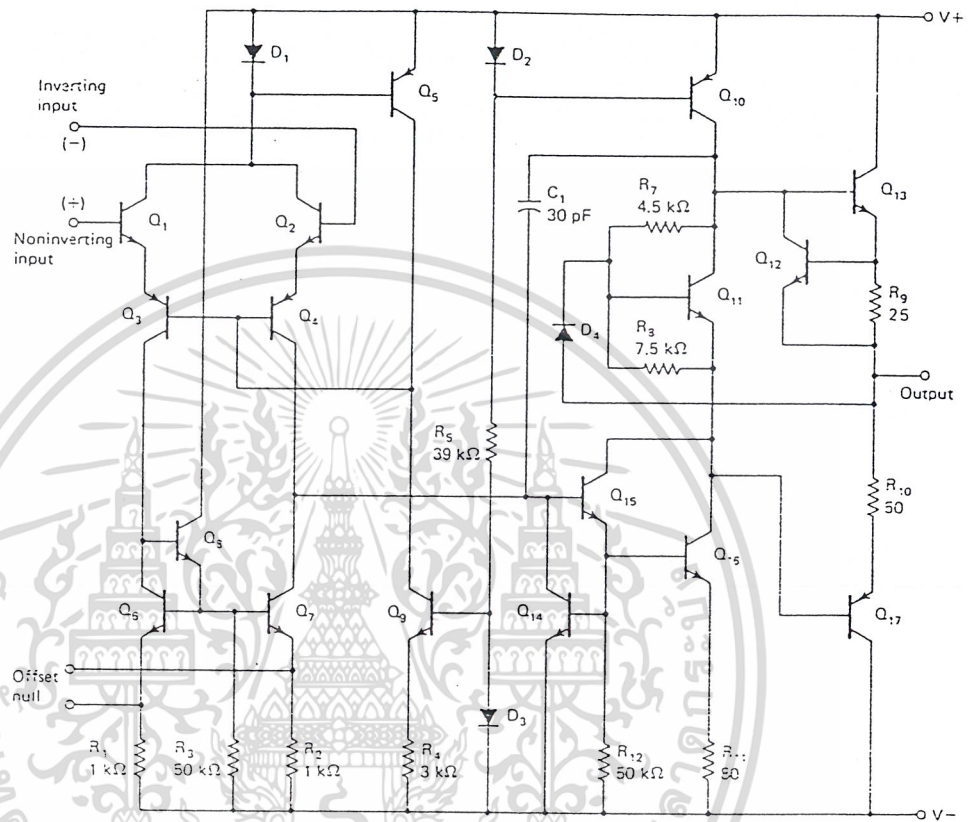


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

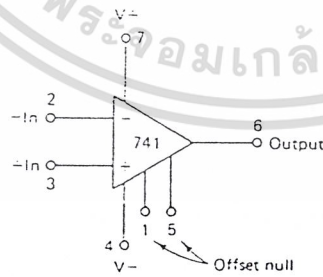


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

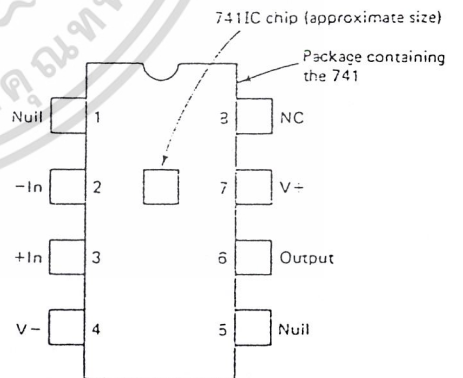
Schematic-Symbol-Package



(a) Schematic diagram of a 741



(b) Circuit symbol for a 741



(c) The 741 chip is shown packaged in an 8-pin dual-in-line package (top view)

Schematic, circuit symbol, and package for a 741 general-purpose op amp.

ภาพที่ ผ.1 แสดงโคจรแอมป์ของไอซีเบอร์ 741

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INSTRUCTION SHEET FOR WILTRON RF DETECTORS

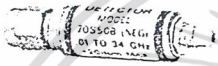


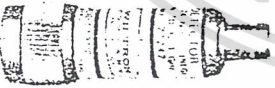
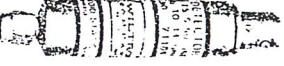
1. GENERAL INFORMATION

WILTRON RF Detectors are available in a variety of frequency ranges, impedances, output polarities, and connector types. The WILTRON Series includes general purpose, extended

bandwidth, instrumentation, and OEM detectors.

Table 1 contains a brief description of each series of RF Detectors. Table 2 provides detailed specifications.

Table 1. RF Detector Series, Summary

SERIES MODEL NUMBER	DESCRIPTION
70 SERIES 	Extended Bandwidth. Frequency range, 10 MHz to 40 GHz. K male input connector. SMC male output connector.
71 SERIES 	General Purpose. Frequency range, 100 kHz to 3 GHz with 50-ohm impedance and 100 kHz to 2 GHz with 75-ohm impedance. Positive or Negative output voltage. BNC input and output connectors.
73 SERIES 	General Purpose. Frequency range, 100 kHz to 4 GHz with 50-ohm impedance and 100 kHz to 2 GHz with 75-ohm impedance. Type N input connector, BNC output connector.
74 SERIES 	General Purpose. Wideband frequency range, 10 MHz to 12.4 GHz. 50-ohm impedance. Type N input connector, BNC output connector.
75 SERIES 	Extended Bandwidth. Frequency range, 10 MHz to 40.0 GHz. Type N, GPC-7 or K male input connector. BNC output connector. 50-ohm impedance.

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 490 JANVIS DRIVE, MORGAN HILL, CA 95037-2809 นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
TEL. (408) 778-2000, FAX (408) 778-2959 WILTRON MFG, FAX 408-778-0259
ไม่ว่ากรณีใดๆ พงษ์สัน อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2. Specifications

Model	Frequency Range	Flatness (dB)	Connectors		Impedance (Ohms)	SWR Maximum	Low Level Sensitivity at -30 dBm (mV/μW)	High Level Sensitivity at +13 dBm (Volts, Min.)	Input Max. (mW)	Output Capacitance (pF)
			In	Out						
70KA50	0.01-20 GHz	± 0.5	K(m)	SMC(m)	50	1.33	0.5	1	100	30
70KB50	0.01-26.5 GHz	±0.5 to 20 GHz	K(m)	SMC(m)	50	1.33 to 20 GHz 1.5 to 26.5 GHz	0.5	1	100	30
70KC50	0.01-40 GHz	± 0.5 to 20 GHz ±1 to 26.5 GHz ±1.5 to 40 GHz	K(m)	SMC(m)	50	1.33 to 20 GHz 1.5 to 26.5 GHz 1.9 to 40 GHz	0.5	1	100	30
71B50	100 kHz-3 GHz	±0.5	BNC(m)	BNC(f)	50	1.2	0.35	1	100	500
71B75	100 kHz-2 GHz	±0.5	BNC(m)	BNC(f)	75	1.25	0.35	1	100	500
73N50	100 kHz-4 GHz	±0.5	N(m)	BNC(f)	50	1.2	0.35	1	100	500
73N75	100 kHz-2 GHz	±0.5	N(m)	BNC(f)	75	1.2	0.35	1	100	500
74N50B	0.01-12.4 GHz	±0.5	N(m)	BNC(f)	50	1.25 to 4.5 GHz 1.35 to 7 GHz 1.5 to 12.4 GHz	0.4	1	100	20
75A50	0.01-18.5 GHz	±0.5 to 12.4 GHz ±1 to 18.5 GHz	GPC-7	BNC(f)	50	1.25 to 4.5 GHz 1.35 to 7 GHz 1.5 to 12.4 GHz 1.6 to 18.5 GHz	0.4	1	100	20
75N50B	0.01-18.5 GHz	±0.5 to 12.4 GHz ±1 to 18.5 GHz	N(m)	BNC(f)	50	1.25 to 4.5 GHz 1.35 to 7 GHz 1.5 to 12.4 GHz 1.6 to 18.5 GHz	0.4	1	100	20
75KA50	0.01-20 GHz	±0.5	K(m)	BNC(f)	50	1.33	0.4	1	100	20
75KB50	0.01-26.5 GHz	±0.5 to 20 GHz ±1 to 26.5 GHz	K(m)	BNC(f)	50	1.33 to 20 GHz 1.5 to 26.5 GHz	0.4	1	100	20
75KC50	0.01-40 GHz	±0.5 to 20 GHz ±1 to 26.5 GHz ±1.5 to 40 GHz	K(m)	BNC(f)	50	1.33 to 20 GHz 1.5 to 26.5 GHz 1.9 to 40 GHz	0.4	1	100	20

HANDLING PRECAUTIONS

CAUTION

Static electricity can damage the RF detector. Before picking up the RF detector, discharge body static electricity by touching the grounded chassis of the instrument used with the detector. Also, check that interconnecting cables and associated equipment are discharged before connecting them to the RF detector.

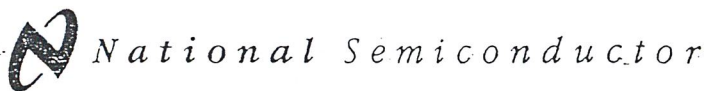
3. DIODE REPLACEMENT

WILTRON RF Detector Series 70, 71, 73, 74, and 75 have field-replaceable diodes. Table 3 lists the diode part numbers. To replace a diode, follow the steps in the applicable RF detector series diode replacement procedure.

Table 3. Diode Part Numbers

Series	Negative Polarity	Positive Polarity
70K Series (≤20 GHz)	A16177	A18948
70K Series (>20 GHz)	A16176	A18873
71 and 73 Series	10-A2X985	10A2X985
74N50B	A18735	A18736
75A50	10-75	10-75
75N50B	B16132	A18694
75K Series (≤20 GHz)	A16177	A18948
75K Series (>20 GHz)	A16176	A18873

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805 8-Bit μ P Compatible A/D Converters

General Description

The ADC0801, ADC0802, ADC0803, ADC0804 and ADC0805 are CMOS 8-bit successive approximation A/D converters that use a differential potentiometric ladder—similar to the 256R products. These converters are designed to allow operation with the NSC800 and INS8080A derivative control bus with TRI-STATE[®] 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

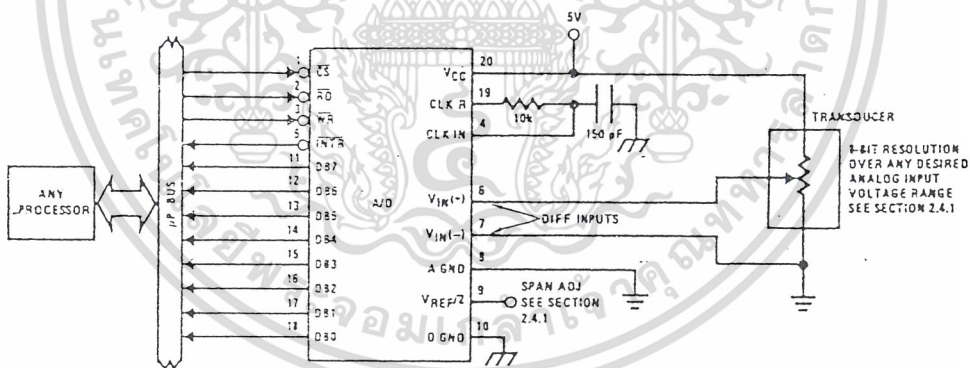
- Compatible with 8080 μ P derivatives—no interfacing logic needed - access time - 135 ns
- Easy interface to all microprocessors, or operates "stand alone"

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

Key Specifications

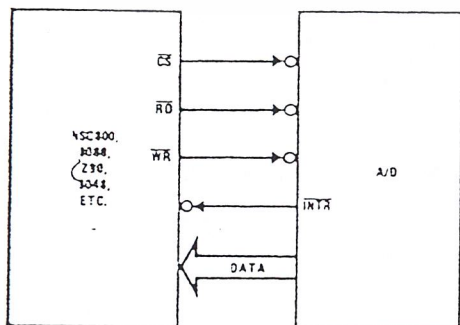
- Resolution: 8 bits
- Total error: $\pm 1/4$ LSB; $\pm 1/2$ LSB and ± 1 LSB
- Conversion time: 100 μ s

Typical Applications



TL/H/5671-1

8080 Interface



TL/H/5671-1

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

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

Supply Voltage (V_{CC}) (Note 3)	6.5V
Voltage	
Logic Control Inputs	-0.3V to +18V
At Other Input and Outputs	-0.3V to ($V_{CC} + 0.3V$)
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260°C
Dual-In-Line Package (ceramic)	300°C
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

Storage Temperature Range	-55°C to +150°C
Package Dissipation at $T_A = 25^\circ\text{C}$	875 mW
ESD Susceptibility (Note 10)	800V

Operating Ratings (Notes 1 & 2)

Temperature Range	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$
ADC0801/02LJ, ADC0802LJ/883	-55°C $\leq T_A \leq$ +125°C
ADC0801/02/03/04LCJ	-40°C $\leq T_A \leq$ +85°C
ADC0801/02/03/05LCN	-40°C $\leq T_A \leq$ +85°C
ADC0804LCN	0°C $\leq T_A \leq$ +70°C
ADC0802/03/04LCV	0°C $\leq T_A \leq$ +70°C
ADC0802/03/04LCWM	0°C $\leq T_A \leq$ +70°C
Range of V_{CC}	4.5 V_{DC} to 6.3 V_{DC}

Electrical Characteristics

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

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ADC0801: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			$\pm 1/4$	LSB
ADC0802: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2 = 2.500 V_{DC}$			$\pm 1/2$	LSB
ADC0803: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			$\pm 1/2$	LSB
ADC0804: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2 = 2.500 V_{DC}$			± 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		k Ω k Ω
Analog Input Voltage Range	(Note 4) $V(+)$ or $V(-)$	Gnd-0.05		$V_{CC} \pm 0.05$	V_{DC}
DC Common-Mode Error	Over Analog Input Voltage Range		$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB
Power Supply Sensitivity	$V_{CC} = 5 V_{DC} \pm 10\%$ Over Allowed $V_{IN}(+)$ and $V_{IN}(-)$ Voltage Range (Note 4)		$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB

AC Electrical Characteristics

The following specifications apply for $V_{CC} = 5 V_{DC}$ and $T_A = 25^\circ\text{C}$ 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
$t_{W(\overline{WR})}$	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}

ง. โปรแกรมควบคุมการขับมอเตอร์โดยทั่วไป

```

ORG 0000H

MOV R2,#0E1H ;Define step/cycle = 200
LOOP2:MOV DPTR,#TABLE ;Define table for driving motor
MOV R4,#10H
LOOP1:CLR C
MOVC A,@A+DPTR ;Read data from table for operate
MOV P2,A ;Move data out at port 2
CALL DELAY
INC DPTR
DJNZ R4,LOOP1
DJNZ R2,LOOP2

DELAY:MOV R0,#20H
DEL1:MOV R1,#20H
DEL2:MOV R3,#20H
DEL3:DJNZ R3,DEL3
DJNZ R1,DEL2
DJNZ R0,DEL1
RET

TABLE:DB 09H, 0CH, 06H, 03H
DB 09H, 0CH, 06H, 03H
DB 09H, 0CH, 06H, 03H
DB 09H, 0CH, 06H, 03H, 0FFH

END

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ. โปรแกรมจำลองการทำงานการหาตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณมากที่สุดโดยรับค่าอินพุตจากสัญญาณดิจิทัลที่กำหนดในตาราง

```

                                ORG 0000H

MAIN:
;#####
;Initail value for driving step motor
;
INITIAL_VALUE:    MOV    R1,#00H
                  MOV    R3,#00H
                  MOV    R4,#00H
                  MOV    R5,#00H
                  MOV    R6,#00H
;
;#####
;Motor operate
;
DRIVE_MOTOR:     MOV    R2,#10H
                  MOV    DPTR,#TABLE
LOOP1:           MOV    A,#00H
                  MOVX   A,@DPTR
                  MOV    P1,A
                  INC    R3
                  LCALL  DELAY
                  INC    DPTR
                  DJNZ   R2,LOOP1
                  INC    R1
;
;#####
;For the first value
;
GET_VALUE_FROM_TABLE:
                  CJNE   R1,#01H,COMPARE_VALUE
                  LCALL  CALL_VALUE
                  MOV    R4,A
                  MOV    A,R3
                  MOV    R5,A
                  CJNE   R1,#0E1H,DRIVE_MOTOR
;
;#####
;For the other value
;
COMPARE_VALUE:   LCALL  CALL_VALUE1
                  MOV    R6,#00H
                  MOV    R6,A
                  MOV    A,R4
                  CLR    C
                  SUBB   A,R6
                  JC     GET_NEW_VALUE
                  CJNE   R1,#0E1H,DRIVE_MOTOR
                  LCALL  TURN_TO_MAX
;
;#####
;Compare the maximum value with new value
;
GET_NEW_VALUE:   MOV    A,R6
                  MOV    R4,A
                  MOV    A,R3
                  MOV    R5,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;#####

;Compare the number of steps
;
                CJNE  R1,#0E1H,DRIVE_MOTOR
                LCALL TURN_TO_MAX
;#####
;Motor turn to the position that give the maximum value
;
TURN_TO_MAX:   MOV    A,#00H
                MOV    A,R5
                MOV    B,#10H
                MOV    PSW,#00H
                DIV    AB
                MOV    R5,A
LOOP2:         MOV    R2,#10H
                MOV    DPTR,#TABLE
                MOV    A,#00H
LOOP1:         MOVX   A,DPTR
                MOV    P1,A
                LCALL  DELAY
                INC    DPTR
                DJNZ   R2,LOOP1
                DJNZ   R5,LOOP2
;
;#####
;Subroutine define delay time for rotate motor
;
DELAY:         MOV    R6,#7FH
DEL2:         MOV    R7,#7FH
DEL1:         DJNZ   R7,DEL1
                DJNZ   R6,DEL2
                RET
;
;#####
;Subroutine call digital data from table
;
CALL_VALUE:   MOV    R0,#20H
CALL_VALUE1:  MOV    A,@R0
                INC    R0
                RET
;
;#####
;Table for rotate motor in 2 phase
;
TABLE:        DB     09H, 0CH, 06H, 03H
                DB     09H, 0CH, 06H, 03H
                DB     09H, 0CH, 06H, 03H
                DB     09H, 0CH, 06H, 03H, 0FFH

                END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ. โปรแกรมของระบบติดตามสัญญาณความเร็วที่รับค่าจากสัญญาณแอนะล็อกอินพุต

```

                                ORG 0000H
MAIN:
;#####
;Initail value for driving motor
;
INITIAL_VALUE:    MOV    R1,#00H
                  MOV    R3,#00H
                  MOV    R4,#00H
                  MOV    R5,#00H
                  MOV    R6,#00H
;
;#####
;1 step = 2 degree
;
DRIVE_MOTOR      MOV    R7,#05H
LOOP2:           MOV    R2,#04H
                  MOV    DPTR,#TABLE
LOOP1:           MOV    A,#00H
                  MOVC   A,@A+DPTR
                  MOV    P2,A
                  LCALL  DELAY
                  INC    DPTR
                  DJNZ   R2,LOOP1
                  DJNZ   R7,LOOP2
                  INC    R3
;
;#####
;For receive first analog value
;
GET_VALUE:       CJNE   R3,#01H,COMPARE_VALUE
                  LCALL  A_D
                  MOV    R4,A
                  MOV    A,R3
                  MOV    R5,A
                  MOV    P1,A
                  CJNE   R3,#0B4H,DRIVE_MOTOR
;
;#####
;If the value is not a first value
;
COMPARE_VALUE:   LCALL  A_D
                  MOV    R6,#00H
                  MOV    R6,A
                  MOV    A,R4
                  CJNE   A,06H,JUMP
JUMP:            JC     GET_NEW_VALUE
                  MOV    A,R5
                  MOV    P1,A
                  CJNE   R3,#0B4H,DRIVE_MOTOR
                  LCALL  TURN_TO_MAX
;
;#####
;Move the maximum value in Register 4 and the position that give
;maximum value in Register 6
;
GET_NEW_VALUE:   MOV    A,R6
                  MOV    R4,A
                  MOV    A,R3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอให้ติดต่อแจ้งเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    R5,A
MOV    P1,A
CJNE  R3,#0B4H,DRIVE_MOTOR
LCALL  TURN_TO_MAX
;
;#####
;Motor move to the position that give maximum value
;
TURN_TO_MAX:    MOV    R7,#05H
LOOP3:         MOV    R2,#04H
              MOV    DPTR,#TABLE
LOOP4:         MOV    A,#00H
              MOVC   A,@A+DPTR
              MOV    P2,A
              LCALL  DELAY
              INC    DPTR
              DJNZ  R2,LOOP4
              DJNZ  R7,LOOP3
              DJNZ  R5,TURN_TO_MAX
              SJMP  COMPARE_MAX
;
;#####
;Compare value at the position that used to be the maximum position
;with maximum value in Register 4
;
COMPARE_MAX:    LCALL  A_D
              MOV    R1,A
              MOV    R6,#00H
              MOV    R6,A
              CJNE  A,04H,JUMP2
JUMP2:         JC     TRACKING
              SJMP  COMPARE_MAX
;
;#####
; Compare value at the position that used to be the maximum position
;with the reference value
;
TRACKING:      CLR    A
              MOV    A,R1
              CJNE  A,#7FH,JUMP3
JUMP3:         JC     MAIN
              SJMP  COMPARE_MAX
;#####
;Subroutine for convert analog signal to digital signal
;
A_D:          MOV    P1,#0FFH
              CLR    P3.2
              MOVX  @DPTR,A
              CALL  DELAY1
              CLR    RD
              MOV    A,P1
              SETB  RD
              SETB  P3.2
              MOV    P1,#00H
              RET
DELAY1:      MOV    R0,#40H
LOOP:        NOP
              DJNZ  R0,LOOP
              RET
;#####

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;Subroutine define delay time for rotate step motor (0.015S)
;
DELAY:          MOV    R0,#55H
DEL2:          MOV    R6,#55H
DEL1:          DJNZ   R6,DEL1
                DJNZ   R0,DEL2
                RET
;
;#####
;Table for driving motor with 2 phase
;
TABLE:         DB     09H, 0CH, 06H, 03H, 0FFH
                END

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ จากหลายท่าน ดังนี้

รศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

คุณชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

คุณคมศักดิ์ เมฆสมุทร

คุณอาทิตย์ เหมือนชู

คุณไพศาล งามจรรยาพร

คุณสุกฤดี มัชคาม

คุณสุรพล ตันอร่าม

ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในการทำงาน คณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณในความกรุณา ณ ที่นี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] A. I. Lenov and K. I. Fomichev, Monopulse Radar, Artech House Inc., 1984
- [2] R. F. Coughlin and F. F. Dirscoll, Operational Amplifiers and Linear Intergrated Circuit, 3th ed., Prentice Hall International, ch3
- [3] S. Yamamoto, K. Tanaka, H. Wakana and S. Ohmori, “An Antenna Tracking Method forLand – Mobile Satellite Communication System”, Electronics and Communication in Japan, Part I, vol 78, pp.91-101, 1995
- [4] บัณฑิต วิจารณ์ารยานนท์, วิศวกรรมไมโครเวฟ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536
- [5] สมยศ จุณณะปิยะ, การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [6] คมศักดิ์ เมฆสมุทร, “การออกแบบสายอากาศแบบแถวลำดับระนาบแบบร่องบนผนังท่อนำคลื่น”, วิทยานิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2540
- [7] ชาตรี บุตรชา, วัลย์วิภา บัวสมบุรณ์ และ วิมลศรี รอดศิริ, “การออกแบบสายอากาศแบบแถวลำดับระนาบแบบร่องที่มีลำคลื่นเอียง”, วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2540
- [8] นิรันดร์ บัวทอง, สุภชัย ศุภลักษณ์เมธา และเสกสรรค์ วงษ์ปัญญา, “ตัวควบคุมปรับเฟสของสายอากาศอาร์เรย์”, วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2540
- [9] บรรลือ ศรีวรพีเชร, ศานิต คงศักดิ์ และอาคม คมรัักษ์, “ระบบติดตามตำแหน่งดาวเทียมด้วยสเตปมอเตอร์”, วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2536
- [10] วรรณวิไล สุขภักดิ์ และหฤทัย แยมกลีกร, “ระบบติดตามเป้าหมายอัตโนมัติแบบโมโนพัลส์”, วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้