

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เรื่องหามุมที่สัญญาณเข้ามา

ANGLE OF ARRIVAL ESTIMATOR



T117526



โดย

นายอดิพันธ์

ไชยสีหา

นางสาวอัสดา

นิติเสถียร

นายอานนท์

ตนะชื้อ

เลขหมู่.....

117526

เลขทะเบียน.....

วัน,เดือน,ปี - 5 ต.ค. 2554

b.....

i.....

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง หามุมที่สัญญาณเข้ามา  
ANGLE OF ARRIVAL ESTIMATOR

โดย

นายอดิฉันท์	ไชยสีหา	50011817
นางสาวอัสดา	นิตีเสถียร	50011906
นายอานนท์	ตนชื้อ	50011937

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการเผยแพร่

(ลงชื่อ).....ผู้ตรา

(ลงชื่อ).....ผู้ตรา

โครงการนปีการศึกษา 2553

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **เรื่องหามุมที่สัญญาณเข้ามา**

**ANGLE OF ARRIVAL ESTIMATOR**

ผู้จัดทำ

1. นาย อุดินันท์ ไชยสีหา 50011817
2. นางสาว อวิศดา นิตเสถียร 50011906
3. นาย อานนท์ คนชื้อ 50011937

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา

( ศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาและ รศ. ดร. สมพล โกศลวิตร ซึ่งให้คำปรึกษาแนะนำและให้ความช่วยเหลือในโครงการนี้มาโดยตลอด นอกจากนี้ยังได้รับความกรุณาอย่างยิ่งในด้านอุปกรณ์และให้ความกรุณาในการใช้ห้องทดลองจนเป็นผลสำเร็จ

ขอขอบคุณ พี่ๆ ทุกคนในห้องปฏิบัติการในการแนะนำเทคนิคและวิธีใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO เพื่อใช้ในการออกแบบคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และสมาชิกในห้องปฏิบัติการทุกท่าน ให้คำปรึกษาและข้อคิดที่ดีในการทำงานนี้พร้อมทั้งยังให้ความช่วยเหลือในการทดสอบชิ้นงานให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายสุดนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความรัก ความห่วงใย กำลังใจที่ดี รวมทั้งกำลังทรัพย์และทุกสิ่งทุกอย่างกับผู้จัดทำ

นายอดิษฐ์ ไชยสีหา  
นางสาววิศดา นิตเสถียร  
นายอานนท์ คนชื่อ

ผู้จัดทำ

## เครื่องหามุมที่สัญญาณเข้ามา

## ANGLE OF ARRIVAL ESTIMATOR

โดย	นายอดิฉันท์	ไชยสีหา	50011817
	นางสาวอวิสดา	นิติเสถียร	50011906
	นายอานนท์	ตนชื้อ	50011937

อาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์

## บทคัดย่อ

โครงการนี้ นำเสนอเครื่องมือในการหามุมของสัญญาณที่ต้องการในย่านความถี่สูงยิ่งภายในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เสาอากาศแบบทิศทางที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน 4 ตัว การหามุมของสัญญาณที่เข้ามา (Angle of Arrival) ใช้การจัดเก็บแบบรูปการแผ่พลังงานในแต่ละทิศเป็นข้อมูลในการตัดสินใจ อัตราส่วนของกำลังงานที่มากที่สุดของแบบรูปการแผ่กำลังงานในบริเวณที่เลือกไว้สามารถใช้บอกทิศทางของสัญญาณที่เข้ามาได้

## Abstract

This project is to present a device which searches for the direction of desired signal at ultrahigh frequency (UHF) band in the laboratory using four directional antennas with the same characteristics. To find angle of arrival uses radiation pattern of each direction collection. Greatest radiation pattern power ratio in an area could be used to define the direction of the incoming signal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	X
<b>บทที่ 1</b>	
<b>บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
<b>บทที่ 2</b>	
<b>ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>3</b>
2.1 สายอากาศยาคิ-อูดา (Yagi-Uda Antenna)	3
2.2 อัตราย้าย (Gain)	6
2.3 หลักการการวัดค่ามุมของสัญญาณ (Angle of Arrival)	6
2.4 ย่านความถี่วิทยุ	8
2.5 เทคนิคการแมทซิง (Matching techniques)	9
2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์	11
<b>บทที่ 3</b>	
<b>การออกแบบและการจัดทำโครงการ</b>	<b>15</b>
3.1 การออกแบบ	15
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	23
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	24
3.4 การออกแบบการทำงานของระบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

		หน้า
บทที่ 4	ผลการทดลอง	37
	4.1 การทดลอง	37
	4.2 ผลการทดลอง	46
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	76
	5.1 สรุปผล	76
	5.2 ข้อเสนอแนะ	77
บรรณานุกรม		78



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบของสายอากาศยาคิ-อุดะ	3
2.2	การทำงานของสายอากาศยาคิ-อุดะ	5
2.3	ตัวอย่างแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของบีมทั้งหมดในระนาบ E-plane ที่ความถี่ 2.45 GHZ	7
2.4	บาชูก้า บาลัน 1:1	10
2.5	การจำลองวงจรและการไหลของกระแสจากบาชูก้า บาลัน 1:1	10
2.6	การขีดขางของ P89V51RD2	12
2.7	การต่อ LCD เข้ากับอุปกรณ์ภายนอก	13
2.8	การจัดตำแหน่ง Address บน LCD	14
3.1	ส่วนประกอบของสายอากาศยาคิ-อุดะ(Yagi-Uda)	17
3.2	ส่วนประกอบของบาชูก้า บาลัน(Bazooka Balun)	18
3.3	การต่อวงจร RF switch	19
3.4	รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ต่อภายในวงจร RF switch	19
3.5	การต่อวงจรขยายสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ	20
3.6	การต่อวงจรแปลงสัญญาณจากสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุเป็นระดับแรงดันไฟ (กระแสตรง)	21
3.7	การต่อวงจรขยายสัญญาณหลังจากผ่านการแปลงสัญญาณแล้ว	21
3.8	การต่อวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	22
3.9	สายอากาศยาคิ-อุดะ จากการจำลองโดยโปรแกรม CST Microwave Studio	24
3.10	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาคิ-อุดะ(Yagi-Uda) ตัวที่ 1	27
3.11	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาคิ-อุดะ(Yagi-Uda) ตัวที่ 2	28
3.12	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาคิ-อุดะ(Yagi-Uda) ตัวที่ 3	28
3.13	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาคิ-อุดะ(Yagi-Uda) ตัวที่ 4	29

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.14	สายอากาศยาคี-อูตะ 4 ทิศทาง จากการจำลองโดยโปรแกรม CST microwave studio	30
3.15	ระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศ 4 ทิศทางที่ระยะห่าง 54 cm	31
3.16	ระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศ 4 ทิศทางที่ระยะห่าง 60 cm	32
3.17	ระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศ 4 ทิศทางที่ระยะห่าง 68 cm	32
3.18	ระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศ 4 ทิศทางที่ระยะห่าง 72 cm	33
3.19	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศทั้ง 4 ทิศทาง ที่ระยะห่าง 68 cm	34
3.20	แบบรูปการแผ่พลังงานบนกราฟเชิงเส้นของสายอากาศทั้ง 4 ทิศทาง ที่ระยะห่าง 68 cm	34
3.21	พอร์ตไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้งาน	35
3.22	ผังการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	36
4.1	สายอากาศยาคี-อูตะ 4 ทิศทาง ที่ใช้งานย่านความถี่ 558 MHz – 566 MHz	37
4.2	สายอากาศยาคี-อูตะ เดี่ยว ที่ใช้งานย่านความถี่ 558 MHz – 566 MHz	38
4.3	สายอากาศไดโพลมาตรฐานใช้ส่งสัญญาณ มีอัตราขยายเท่ากับ 2.15 dBi	38
4.4	การวางสายอากาศเพื่อวัดแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแต่ละตัว	39
4.5	การวัดแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแต่ละตัว	39
4.6	การวางสายอากาศเพื่อวัดแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแต่ละตัว	40
4.7	การวัดแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแต่ละตัว	40
4.8	การวางสายอากาศเพื่อวัดแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศ 4 ทิศทาง	41
4.9	การวางสายอากาศตัวส่งเพื่อวัดแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศ 4 ทิศทาง	41

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.10	ลายวงจร RF switch ที่รีดและฉายแสงแล้ว	42
4.11	ลายวงจร RF switch ที่ลงอุปกรณ์ IC แล้ว	43
4.12	ลายวงจร RF switch ที่เสร็จสมบูรณ์	43
4.13	วงจร RF detector ที่ยังไม่สมบูรณ์	44
4.14	วงจร RF detector ที่เสร็จสมบูรณ์	44
4.15	การทดสอบวงจร RF detector	45
4.16	วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล	45
4.17	ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศหมายเลข 1	46
4.18	ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศหมายเลข 2	47
4.19	ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศหมายเลข 3	48
4.20	ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศหมายเลข 4	49
4.21	ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศหมายเลข 1	50
4.22	ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศหมายเลข 2	51
4.23	ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศหมายเลข 3	52
4.24	ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศหมายเลข 4	53
4.25	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศหมายเลข 1 จากการวัดโดยเครื่อง Network analyzer	55
4.26	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศหมายเลข 2 จากการวัดโดยเครื่อง Network analyzer	55
4.27	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศหมายเลข 3 จากการวัดโดยเครื่อง Network analyzer	56
4.28	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศหมายเลข 4 จากการวัดโดยเครื่อง Network analyzer	56
4.29	ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศหมายเลข 1	57

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.30	ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศหมายเลข 2	58
4.31	ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศหมายเลข 3	59
4.32	ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศหมายเลข 4	60
4.33	ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศหมายเลข 1	61
4.34	ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศหมายเลข 2	62
4.35	ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศหมายเลข 3	63
4.36	ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศหมายเลข 4	64
4.37	แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศหมายเลข 1 จาก การวัดโดยเครื่อง Network analyzer	65
4.38	แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศหมายเลข 2 จาก การวัดโดยเครื่อง Network analyzer	66
4.39	แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศหมายเลข 3 จาก การวัดโดยเครื่อง Network analyzer	66
4.40	แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศหมายเลข 4 จาก การวัดโดยเครื่อง Network analyzer	67
4.41	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศทั้ง 4 ทิศทางที่ได้การวัดโดยเครื่อง Network analyzer	69
4.42	แบบรูปการแผ่พลังงานบนกราฟเชิงเส้นของสายอากาศทั้ง 4 ทิศทาง ที่ได้การวัด โดยเครื่อง Network analyzer	65
4.43	การทดสอบวงจร RF switch โดยเครื่อง Network analyzer	70
4.44	การทดสอบวงจร RF switch โดยเครื่อง	71
4.45	การทดสอบวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (ยังไม่ป้อน สัญญาณขาเข้า)	72
4.46	การทดสอบวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (เมื่อป้อน สัญญาณขาเข้า)	72

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.47	การทดสอบวงจร RF switch + วงจร RF detector	73
4.48	ผลการทดสอบวงจร RF switch + วงจร RF detector	73
4.49	วงจร RF switch วงจร RF detector และวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (เมื่อไม่มีการป้อนสัญญาณ)	74
4.50	วงจร RF switch วงจร RF detector และวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (เมื่อมีการป้อนสัญญาณ)	75



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คลื่นความถี่วิทยุ และการใช้งานในย่านต่างๆ	18
3.1	การเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติของสายอากาศทั้ง 4 ตัว	27
3.2	การเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติของสายอากาศที่ระยะห่าง 4 ระยะ	31
4.1	แสดงค่า Transmission loss ที่ได้จากการสวิตช์	70



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการสื่อสารไร้สายความเร็วสูงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในโลกแห่งเทคโนโลยีที่มีการแข่งขันกันสูง ปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นกับระบบการสื่อสารไร้สายทุกชนิดคือ การเดินทางของคลื่นวิทยุที่มาจากหลายทิศทางทั้งเดินทางเข้ามาโดยตรงและอาจเกิดจากการสะท้อนกับวัตถุต่างๆ สัญญาณทั้งสองอาจมาถึงสายอากาศรับโดยมีเฟสที่แตกต่างกัน ทำให้ขนาดของสัญญาณรวมน้อยลง หรืออาจมากขึ้นถ้าหากมีเฟสที่ตรงกัน ซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นได้เสมอ ด้วยเหตุผลดังกล่าว ชนิดและตำแหน่งของการติดตั้งสายอากาศจึงส่งผลโดยตรงกับคุณภาพของสัญญาณ ปัญหาต่างๆ เหล่านี้สามารถแก้ไขได้ด้วยวิธีการติดตั้งสายอากาศรับและส่งในตำแหน่งที่เหมาะสม หรืออีกวิธีหนึ่งก็คือการลดมุมในการรับและส่งสัญญาณให้แคบลง เพื่อเลือกเฉพาะสัญญาณในทิศทางที่ต้องการเท่านั้น ซึ่งต้องใช้สายอากาศที่มีคุณสมบัติการส่งคลื่นแบบมีทิศทาง ดังนั้นการทราบถึงความแรงและทิศทางของสัญญาณที่ถูกส่งมาจึงเป็นเรื่องจำเป็น เนื่องจากต้องติดตั้งสายอากาศรับให้หันไปในทิศทางที่มีความแรงของสัญญาณมากที่สุด

เครื่องมือวัดหาทิศทางสัญญาณ ถูกสร้างขึ้นเพื่อค้นหาทิศทางการเข้ามาของสัญญาณในย่าน UHF ที่ช่วงความถี่ 560 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้จะเกี่ยวข้องกับความถี่ของไทยทีวีสีช่อง 3 โดยโครงสร้างของเครื่องมือนี้ประกอบด้วยสายอากาศยาคิ อูดะ ซึ่งประมวลผลโดยใช้โปรแกรมคำนวณอัตโนมัติ และแสดงผลออกมาในรูปแบบของจอ LCD ทำให้ง่ายในการอ่านค่าทิศทางของมุมและความแรงของคลื่น

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อเรียนรู้หลักการมุมของสัญญาณ (Angle of Arrival) และนำมาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาสายอากาศให้มีประสิทธิภาพในการทำงานตามที่ต้องการ
- 2) ศึกษาคุณสมบัติและโครงสร้างของสายอากาศยาคี อูคะ เพื่อออกแบบและสร้างสายอากาศที่ทำงานได้ในย่านความถี่ UHF ที่ช่วงความถี่ 560 MHz
- 3) เพื่อวัดหาคุณสมบัติของสายอากาศยาคี อูคะ
- 4) ศึกษาและทำการสร้างวงจรเลือกรับสัญญาณจากสายอากาศและทำการแปลงสัญญาณดังกล่าวให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลเพื่อนำไปใช้ในการประมวลผลต่อไป
- 5) ศึกษาการเขียนโปรแกรมควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51 ในการคำนวณ ประมวลผล และแสดงผลผ่านจอ LCD

## 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1) ศึกษาหลักการมุมของสัญญาณ (Angle of Arrival) ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครงการงาน
- 2) สร้างสายอากาศยาคี อูคะที่มีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบทิศทางที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน 4 ตัว
- 3) ทดสอบและรวบรวมคุณสมบัติของสายอากาศยาคี อูคะที่สร้าง เพื่อนำไปใช้เป็นตัวเปรียบเทียบสัญญาณที่จะเข้ามาในทิศทางต่างๆ
- 4) สร้างวงจร RF switch เพื่อควบคุมการเลือกรับสัญญาณจากสายอากาศทีละตัว
- 5) สร้างวงจร Power detector เพื่อใช้ในการแปลงสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุเป็นระดับแรงดันไฟฟ้า (ไฟกระแสตรง)
- 6) สร้างวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล
- 7) เขียน โปรแกรมควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51 และแสดงผลผ่านจอ LCD

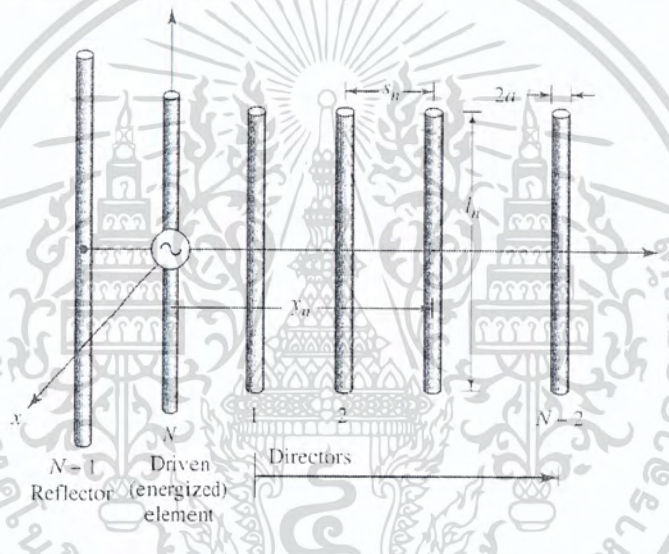
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 สายอากาศยาคิ-อูดา (Yagi-Uda Antenna)

สายอากาศที่นิยมใช้ในทางปฏิบัติในย่านความถี่ HF(3-30 MHz) VHF (30-300 MHz) และ UHF (300-3000 MHz) ได้แก่สายอากาศยาคิ-อูดา สายอากาศแบบนี้ประกอบไปด้วยลิเนียร์ไดโพล (Linear Dipole) หลายตัวแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของสายอากาศยาคิ-อูดา [2]

จะมีลิเนียร์ไดโพลอีลิเมนต์ตัวหนึ่งได้รับพลังงานจากสายส่ง (Feed transmission Line) ในขณะที่อีลิเมนต์อื่นๆ มีคุณสมบัติเป็นพาราซิติค เรดิเอเตอร์ (Parasitic radiators) ซึ่งกระแสในพาราซิติค เรดิเอเตอร์ถูกเหนี่ยวนำโดยการมีขวลคัปปลิงฟีด (Mutual coupling feed) องค์ประกอบที่นิยมใช้กันมากสำหรับสายอากาศยาคิคือ โฟลด์ดไดโพล (Folded dipole) สายอากาศนี้ได้รับการออกแบบมาเพื่อให้ทำงานเป็นเอนด์ไฟร์ อาร์เรย์ (End-fire array) ซึ่งคุณสมบัตินี้สามารถที่จะทำได้โดยใช้พาราซิติคอีลิเมนต์ ไว้ในทิศทางด้านหน้าของลำคลื่น เรียกว่าเป็นชิ้นส่วนไดเรกเตอร์ (Director element) และด้านหลังของลำคลื่น เรียกว่า ชิ้นส่วนตัว

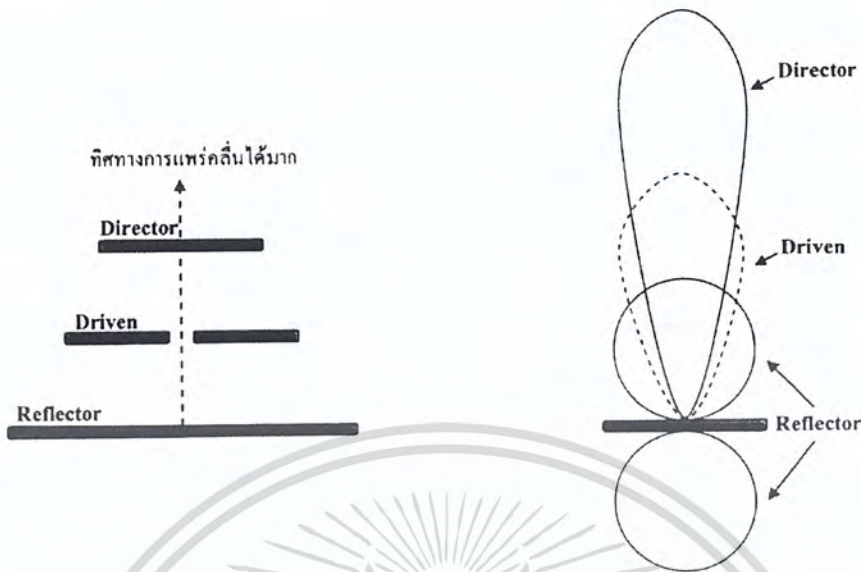
สะท้อนคลื่น (Reflector element) ซึ่งนิยมใช้เป็นสายอากาศเครื่องรับโทรทัศน์ที่ใช้กันอยู่ตามบ้านเรือน

กล่าวโดยสรุปได้ว่า คุณสมบัติของสายอากาศยาคี อูคะ พิจารณาได้ 3 ส่วนคือ

- 1) การจัดเรียงตัวของตัวสะท้อนคลื่น
- 2) ตัวป้อนสัญญาณ
- 3) ตัวกำหนดทิศทาง

จากการทดลองจำนวนมาก สรุปได้ว่าระยะระหว่างชิ้นส่วนตัวสะท้อนคลื่นและขนาด มีผลเล็กน้อยต่อฟอร์เวิร์ดเกน (Forward gain) และมีผลมากต่อแบคเวิร์ดเกน (Backward Gain) และอินพุทอิมพีแดนซ์ (Input impedance) และยังสามารถใช้ควบคุมหรือเพิ่มผลดีของคุณสมบัติของสายอากาศ โดยไม่มีผลต่ออัตราขยายของสายอากาศ

ค่าความยาวรัศมีขององค์ประกอบรับการป้อน (Driven element) นั้นจะมีผลเล็กน้อยต่อฟอร์เวิร์ดเกนและมีผลมากต่อแบคเวิร์ดเกน และรูปร่างทางเรขาคณิตของมันได้รับการเลือกเพื่อควบคุมอินพุทอิมพีแดนซ์ซึ่งโดยทั่วไปจะให้ค่าที่เป็นจริง ขนาดและระยะห่างของตัวกำหนดทิศทาง มีผลอย่างมากต่อฟอร์เวิร์ดเกน แบคเวิร์ดเกน และอินพุทอิมพีแดนซ์ และมันได้รับการพิจารณาว่าเป็นอีลีเมนต์ (Element) ที่สำคัญที่สุดของอาร์เรย์ (Array) ถ้านำสายอากาศหลายๆ ชุดมาต่อเรียงแถว เรียกว่าเป็นอาร์เรย์ อัตราขยายของสายอากาศจะมากขึ้น และสามารถควบคุมทิศทางการแพร่คลื่นได้ สายอากาศที่ไม่ได้ต่อเข้ากับสายนำสัญญาณ แต่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสหรือแรงดันบนตัวสายอากาศเราเรียกว่าพาราซิติค อีลีเมนต์ดังรูป 2.2



รูปที่ 2.2 การทำงานของสายอากาศยาคี อุตะ [2]

จากรูปที่ 2.1 อีลีเมนต์จะวางห่างจากไดโพลเป็นระยะห่างเท่ากับ  $\frac{1}{4}\lambda$  เราเรียกไดโพลว่า องค์ประกอบรับการป้อน ซึ่งมีความยาวเท่ากับ  $\frac{1}{2}\lambda$  ถ้าเรารับคลื่นเข้ามาจะเข้าที่ขึ้นส่วนไดเรกเตอร์ซึ่งมีความยาวสั้นกว่าขึ้นส่วนตัวถูกขับประมาณ 5% และความยาวของขึ้นส่วนไดเรกเตอร์จะอยู่ห่างจาก องค์ประกอบรับการป้อน ประมาณ 0.11 จะเกิดการเหนี่ยวนำ เฟสจะเปลี่ยนไป 90 องศา เมื่อคลื่นเหนี่ยวนำลงบน ไดโพล ก็จะมีเฟสกลับทางไป 180 องศา และจากไดโพลจะเหนี่ยวนำไปยังขึ้นส่วนตัวสะท้อน ซึ่งขึ้นส่วนตัวสะท้อนจะเหนี่ยวนำเกิดกระแสไหลในตัวเองแล้วจะแพร่คลื่นออกมาเหนี่ยวนำที่องค์ประกอบรับการป้อน ขึ้นส่วนตัวสะท้อนจะเปรียบเสมือนเป็นตัวสะท้อนคลื่นนั่นเอง และความยาวของขึ้นส่วนตัวสะท้อนจะยาวกว่าไดโพลประมาณ 5% ในการส่งออกอากาศนั้น สายอากาศยาคีอุตะ 3 อีลีเมนต์ จากรูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นการแพร่กระจายคลื่น และการเสริมของแบบรูปการแผ่พลังงานของขึ้นส่วนตัวสะท้อนกับขึ้นส่วนไดเรกเตอร์ ทำให้ได้รูปแบบรวมเป็นลักษณะบีมเดียว บีมวิดท์แคบลงอัตราขยายสูงขึ้น เราสามารถเพิ่มของขึ้น ไดเรกเตอร์ให้มีจำนวนมากขึ้นเพื่ออัตราขยายของสายอากาศให้สูงขึ้นไปอีกด้วย

## 2.2 อัตราขยาย (Gain)

อัตราขยายเป็นความสัมพันธ์ที่ได้มาจากค่าสภาพเจาะจงทิศทางโดยรวม ประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วยในขณะที่ค่าสภาพเจาะจงทิศทางอธิบายคุณสมบัติในการชี้ ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น

อัตราขยายกำลัง (Power gain) ของสายอากาศในทิศทางที่กำหนดให้ นั้นมีค่า เท่ากับ  $4\pi$  คูณอัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางนั้นต่อทิศทางกำลัง งานสุทธิที่สายอากาศรับจากขั้วต่อของเครื่องส่ง เมื่อไม่ได้กำหนดทิศทางไว้โดยเฉพาะ โดยทั่วไป แล้วจะคิดค่ากำลังขยายในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด ดังนั้น

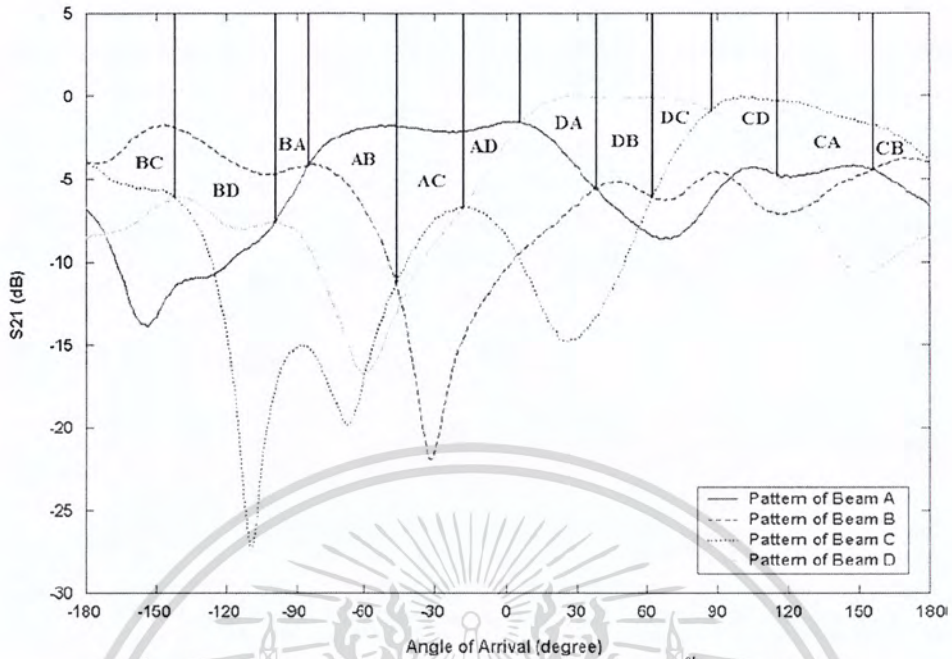
$$\text{อัตราขยาย} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.16)$$

เมื่อ  $U(\theta, \phi)$  = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น  
 $P_{in}$  = กำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ

โดยทั่วไปแล้วมักจะพูดถึงอัตราขยายสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของ อัตราการขยายกำลังในทิศทางที่กำหนดให้ต่ออัตราการขยายกำลังของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบ ในทิศทางนั้น เมื่อกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศนั้นต้องเท่ากับสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบอาจจะเป็น สายอากาศไดโพล สายอากาศปากแตร แต่โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบจะเป็น ไอโซทรอปิกพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย

## 2.3 หลักการการวัดค่ามุมของสัญญาณ (Angle of Arrival)

หลักการวัดค่ามุมของสัญญาณ หาได้จากการเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนของความ แรงของสัญญาณ (Path gain) ที่สายอากาศรับได้ ซึ่งได้มากจากบีมของสายอากาศที่มีค่าความแรงของ สัญญาณที่สายอากาศรับรับได้มากที่สุดสองค่าแรกกับอัตราส่วนของความแรงสายอากาศ (Gain) ซึ่ง มีความสอดคล้องกัน เมื่อรู้บริเวณและช่วงของมุมที่บริเวณนั้นแล้วตามหลักการการวัดค่ามุมของ สัญญาณ จะต้องหาค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุดระหว่างค่าอัตราส่วนของความแรงของสัญญาณที่ สายอากาศรับได้กับอัตราส่วนแกนของสายอากาศที่มีความเกี่ยวข้องอยู่ในบริเวณนั้นตัวอย่าง หลักการการวัดค่ามุมของสัญญาณทำได้ดังนี้



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของบีมทั้งหมดในระนาบ E-plane ที่ความถี่ 2.45 GHz

- 1) จากข้อมูลวัดได้ หาแมกนิจูดสูงสุดจากบีมทั้งหมด (จากรูปที่ 2.3 คือบีม A)
- 2) หาแมกนิจูดที่มีค่าสูงสุดรองลงมาจากบีมที่เหลือ (จากรูปที่ 2.3 คือบีม B)
- 3) จากข้อมูลข้อ 1 และ 2 ทำให้ทราบว่า มุมของคลื่นเดินทางเข้ามาจะอยู่ในขอบเขตของ AB คำนวณหาอัตราส่วนของบีม A และบีม B ตามหลักการการวัดค่ามุมของสัญญาณ
- 4) อัตราส่วนของบีม A และบีม B หาได้จากแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ โดยที่แต่ละขอบเขตจะมีช่วงของมุม
- 5) อัตราส่วนสองอัตราส่วนนี้จะนำมาเปรียบเทียบและหาค่าความแตกต่างที่มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งจะเป็นมุมที่สัญญาณเดินทางเข้ามา

## 2.4 ย่านความถี่วิทยุ

ความถี่วิทยุ หรือ ย่านความถี่วิทยุ หรือที่นิยมเรียกย่อ ๆ ว่า RF (Radio frequency) นั้นหมายถึง ช่วงสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า หรือย่านความถี่แม่เหล็กไฟฟ้านั่นเอง ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นสามารถถูกสร้างออกมา โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับให้แก่สายอากาศ โดยมีสเปกตรัมของความถี่วิทยุเป็นดังนี้

ตารางที่ 2.1 คลื่นความถี่วิทยุและการใช้งานในย่านต่างๆ

ชื่อย่านความถี่	ความถี่และความยาวคลื่น	ตัวอย่างการใช้งาน
ELF (Extremely low frequency)	3-30 Hz 100,000 km - 10,000 km	การสื่อสารกับเรือดำน้ำ
SLF (Super low frequency)	30-300 Hz 10,000 km - 1000 km	การสื่อสารกับเรือดำน้ำ
ULF (Ultra low frequency)	300-3000 Hz 1000 km - 100 km	การสื่อสารในเมือง
VLF (Very low frequency)	3-30 kHz 100 km - 10 km	การสื่อสารใต้น้ำ, Avalanche beacons, ระบบติดตามอัตราการเดินของหัวใจแบบไร้สาย, ธรณีฟิสิกส์ (Geophysics)
LF (Low frequency)	30-300 kHz 10 km - 1 km	วิทยุนำร่อง, สัญญาณเวลา, ออกอากาศวิทยุ AM คลื่นยาว
MF (Medium frequency)	300-3000 kHz 1 km - 100 m	ส่งกระจายเสียงวิทยุ AM คลื่นความยาวกลาง
HF (High frequency)	3-30 MHz 100 m - 10 m	วิทยุคลื่นสั้น, วิทยุสมัครเล่น และ การสื่อสารทางการบินที่ระยะข้ามเส้นขอบฟ้า
VHF (Very high frequency)	30-300 MHz 10 m - 1 m	ส่งกระจายเสียงวิทยุ FM, ส่งสัญญาณออกอากาศโทรทัศน์ (บังคับได้ตั้งแต่ช่อง 1 ถึงช่อง 12 หรือบางกรณีส่งได้ถึงช่อง 13) และ การสื่อสารแบบแนวตรงไม่โดนบดบัง (Line-of-sight) จากพื้นสู่อากาศ และ จากอากาศสู่อากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UHF (Ultra high frequency)	300-3000 MHz 1 m - 100 mm	ส่งสัญญาณออกอากาศโทรทัศน์ (บังคับได้ตั้งแต่ช่อง 13 ถึงช่อง 84) , โทรศัพท์มือถือ, wireless LAN, บลูทูธ, และวิทยุสองทาง เช่น วิทยุ FRS และ วิทยุ GMRS
SHF (Super high frequency)	3-30 GHz 100 mm - 10 mm	อุปกรณ์ไมโครเวฟ, wireless LAN, เเรดาห์สมัยใหม่
EHF (Extremely high frequency)	30-300 GHz 10 mm - 1 mm	ดาราศาสตร์วิทยุ, high-speed microwave radio relay

สำหรับการส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบ VHF และ UHF ถ้าออกอากาศในระบบอนาล็อก จะส่งสัญญาณในลักษณะคู่ขนานได้ และในอนาคต เมื่อโทรทัศน์ภาคพื้นดินยุติการส่งแบบอนาล็อก เพื่อเปลี่ยนแปลงเป็นดิจิทัล ระบบ VHF จะไม่สามารถออกอากาศหรือส่งระบบต่อไปได้ คงจะต้องถูกบังคับให้ส่งโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินในระบบ UHF เพียงระบบเดียวเท่านั้น

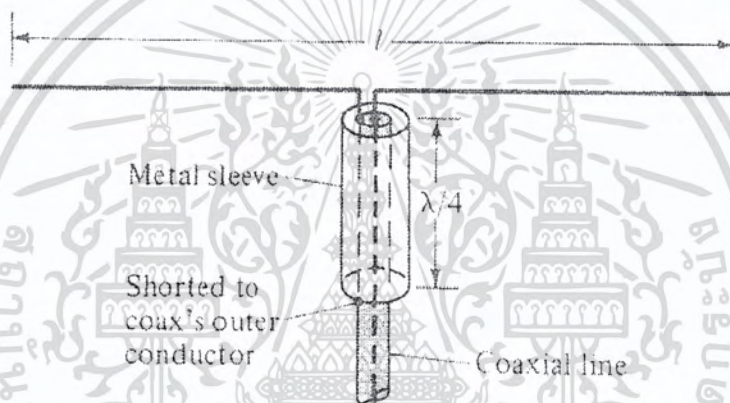
## 2.5 เทคนิคการแมตชิ่ง (Matching techniques)

การทำงานของระบบสายอากาศในช่วงความถี่หนึ่ง จะไม่ขึ้นอยู่กับผลตอบสนองทางความถี่ (Frequency response) ขององค์ประกอบของตัวเองโดยสมบูรณ์ แต่จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางความถี่ของทั้งสายอากาศและสายส่ง ในทางปฏิบัติอิมพีแดนซ์ของสายส่งเป็นค่าจำนวนจริง ในขณะที่อิมพีแดนซ์ขององค์ประกอบสายอากาศเป็นค่าเชิงซ้อน ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางด้านความถี่จะไม่เหมือนกัน ดังนั้นการคัปปลิงแมตชิ่งของระบบจะต้องถูกออกแบบให้มีความแมตชิ่งกับคุณสมบัติของอุปกรณ์ทั้งสองในช่วงความถี่นั้นๆ

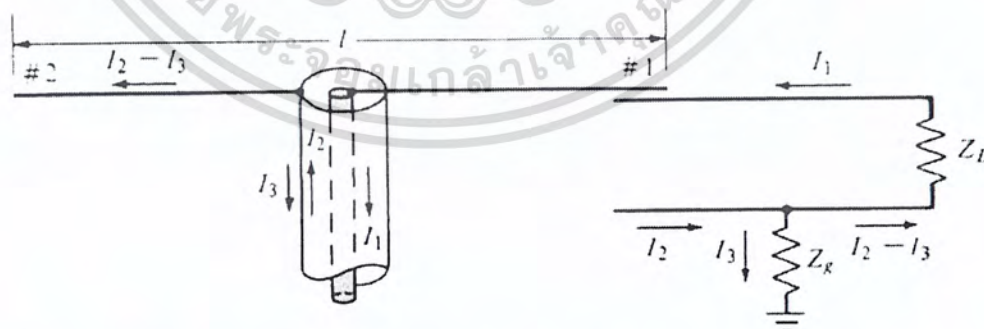
การแมตชิ่งของระบบทำได้หลายวิธี โดยสามารถใช้สายส่งต่อเข้ากับส่วนประกอบของสายอากาศซึ่งสามารถออกแบบให้มีคุณลักษณะทางความถี่ที่เหมาะสมซึ่งกันและกันได้

### 2.5.1 บาซูก้า บาดัน 1:1 (Bazooka balance 1:1)

สายนำสัญญาณคู่ 1 อัน เป็นสายที่มีคุณสมบัติสมมาตรกัน ในขณะที่สายโคแอกเซียลเป็นสายที่ไม่บาลานซ์ เพราะตัวนำภายในและภายนอกของสายโคแอกเซียลไม่คัปปลิงกับสายอากาศ จึงทำให้ไม่มีความบาลานซ์กัน ผลลัพธ์ก็คือกระแสรวมจะไหลไปยังกราวด์ของส่วนนอกของตัวเหนี่ยวนำ ดังรูปที่ 2.14 ปริมาณของกระแส  $I_3$  ที่ไหลอยู่ที่พื้นผิวด้านนอกของตัวนำด้านนอกซึ่งจะคำนวณค่าอิมพีแดนซ์  $Z_{\Sigma}$  จากผิวด้านนอกไปยังกราวด์ ถ้าสามารถทำให้  $Z_{\Sigma}$  มีค่ามากได้ ค่า  $I_3$  จะถูกลดลงอย่างเห็นได้ชัด เครื่องมือที่สามารถใช้ในการทำให้บาลานซ์ โดยการหักล้างกระแสด้านนอก มีชื่อว่าบาดัน



รูปที่ 2.4 บาซูก้า บาดัน 1:1 [2]



รูปที่ 2.5 การจำลองวงจรและการไหลของกระแสจากบาซูก้า บาดัน 1:1 [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บาลันประเภทหนึ่งที่ถูกแสดงในรูป 2.14 เรียกว่า บาลันบาตัน ในทางกลศาสตร์จะใช้ ปลายโลหะมีความยาว  $0.25\lambda$  จากนั้นเชื่อมที่ปลายด้านหนึ่งกับกราวด์ของสายโคแอกเชียลในทางไฟฟ้า อินพุตอิมพีแดนซ์ที่ปลายด้านเปิดของสายส่งที่ถูกเชื่อมซึ่งมีความยาว  $0.25\lambda$  โดยจะมีค่าเท่ากับ  $Z_0$  อินพุตอิมพีแดนซ์ที่กล่าวถึงนี้จะมีค่ามาก ดังนั้นถ้ากระแส  $I_3$  ไม่ถูกกำจัดโดยถาวรก็จะถูกขยับขังไว้ และจะทำให้ระบบมีความบาลานซ์

## 2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในปริญาณิพนธ์นี้ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ของบริษัท Phillips เบอร์ CP-SPI/RD2 V1.0 ซึ่งมี CPU ประจำบอร์ดคือ P89C51RD2

### 2.6.1 คุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญของ P89C51RD2

- 1) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิต ที่เข้ากันได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 พื้นฐาน
- 2) หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบแฟลช สามารถลบและเขียนใหม่ได้ถึงหนึ่งหมื่นครั้ง ขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมสูงถึง 64 กิโลไบต์
- 3) หน่วยความจำข้อมูลแรมภายในมีขนาด 1 กิโลไบต์
- 4) โปรแกรมข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมแบบ In-system programming (ISP: In-system programming)
- 5) ความถี่สัญญาณนาฬิกาสูงสุด 40 MHz ในกรณีทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาภายใน 12 ลูกต่อแมกซ์ซินไซเกิลและ 20MHz ในกรณีทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาภายใน 6 ลูกต่อแมกซ์ซินไซเกิล
- 6) P89C51RD2 ได้รับการกำหนดให้ทำงานเบื้องต้นในโหมดสัญญาณนาฬิกา 12 ลูกต่อแมกซ์ซินไซเกิล สามารถเลือกเปลี่ยนเป็น 6 สัญญาณนาฬิกาต่อแมกซ์ซินไซเกิลได้ด้วยโปรแกรมแบบ ISP แต่เมื่อเปลี่ยนแล้ว หากต้องการเปลี่ยนกลับเป็น 12 สัญญาณนาฬิกาต้องใช้การโปรแกรมแบบขนาน
- 7) ขาพอร์ต 8 บิต 4 พอร์ต แบบกึ่งสองทิศทาง (quasi-bidirectional) เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต



## 2.6.2 การติดต่อกับกับโมดูล LCD ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

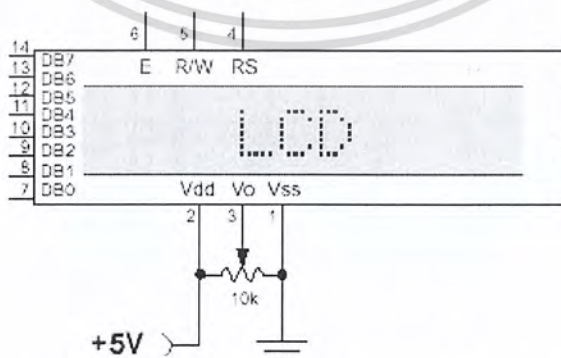
### 2.6.2.1 จอแสดงผลแบบ LCD

จอแสดงผลที่ใช้นั้นเป็นจอแสดงผลแบบ dot-matrix ขนาด 2×16 ตัวอักษร (2 บรรทัด บรรทัดละ 16 ตัวอักษร) ความละเอียดในแต่ละตัวอักษรเท่ากับ 5×8 ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้จอ LCD ลักษณะดังกล่าวมาอ้างอิงในการเรียนรู้และการเขียนโปรแกรมควบคุม

การแสดงผลบน LCD panel จะแสดงในลักษณะในลักษณะจุด ซึ่งในแต่ละตำแหน่งจะมี 5×8 จุด การควบคุมให้แสดงผลอักษรมาตรฐานสามารถทำได้โดยการส่งรหัส ASCII ไปให้กับ LCD controller ได้เลย แต่ในกรณีที่ต้องการให้แสดงผลอักษรหรืออักขระต่างๆ ที่ไม่ได้อยู่ในตารางมาตรฐาน จะต้องทำการถอดรหัสเอง การถอดรหัสดังกล่าว สามารถทำได้ในลักษณะเดียวกันกับการถอดรหัสของ Dot-matrix

### 2.6.2.2 โครงสร้างภายในของ LCD Module

จอแสดงผลแบบ LCD จะมีส่วนประกอบหลัก คือ ส่วนแสดงผล (หน้าจอ) ซึ่งจะเรียกว่า “LCD panel” และส่วนควบคุม ซึ่งจะเรียกว่า “LCD controller” เมื่อนำทั้ง 2 ส่วนนี้มารวมกันจะเรียกว่า “LCD module” สำหรับ LCD controller จะเป็นไอซีที่ถูกออกแบบมาให้ทำหน้าที่ควบคุมการแสดงผลทั้งหมดของ LCD panel ในการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการแสดงผลของ LCD panel จะเป็นการเข้าถึงไอซี ของ LCD controller เพื่อทำการรับส่งข้อมูลกันกับ Microcontroller โดย Microcontroller จะเป็นตัวควบคุมจังหวะการทำงานต่างๆ



รูปที่ 2.7 การต่อ LCD เข้ากับอุปกรณ์ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับส่งข้อมูลและสัญญาณควบคุมต่างๆ ผ่านทางขาสัญญาณ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) ขา 1. Vss :กราวด์ (GND)
- 2) ขา 2. Vdd : รับไฟ +5V เพื่อเลี้ยงส่วนต่างๆทั้งหมดใน LCD Module
- 3) ขา 3.VEE : รับแรงดันสำหรับปรับเปลี่ยนความเข้มของ LCD Panel
- 4) ขา 4. RS (Register Select) : รับสัญญาณลอจิก เพื่อทำการเลือกการติดต่อกับรีจิสเตอร์ โดยถ้า เป็น “0” จะติดต่อกับรีจิสเตอร์ IR(Instrunction Register) ถ้าเป็น “1” จะติดต่อกับรีจิสเตอร์ DR (Data Register)
- 5) ขา 5. R/W(Read or Write) รับสัญญาณลอจิกเพื่อเลือกการติดต่อ ว่าต้องการติดต่อเพื่ออ่านข้อมูลหรือเขียนข้อมูล โดย “0” จะเขียนข้อมูล “1” จะอ่านข้อมูล
- 6) ขา 6. E (Enable) รับสัญญาณลอจิกเพื่อกำหนดจังหวะการอ่านข้อมูลและเขียนข้อมูล
- 7) ขา 7-14. DB0 – DB7 (Data Bus) เป็นขาข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอกขนาด 8 บิต

การจัดแอดเดรสของหน่วยความจำแสดงผลของ โมดูล LCD 16 ตัวอักษร 2 บรรทัดมีดังนี้

#### บรรทัดที่ 1

- 1) แอดเดรสเริ่มตั้งแต่ 0x00 0x01 0x02 .... 0x0F
- 2) คำสั่งในการอ้างถึง จะเริ่มตั้งแต่ 0x80 0x81 0x82 .....0x8F

#### บรรทัดที่ 2

- 1) แอดเดรสเริ่มตั้งแต่ 0x40 0x41 0x42 .... 0x4F
- 2) คำสั่งในการอ้างถึง จะเริ่มตั้งแต่ 0xC0 0xC1 0xC2 .... 0xCF

0x00	0x01	0x02	0x03	0x04	0x05	0x06	0x07	0x08	0x09	0x0A	0x0B	0x0C	0x0D	0x0E	0x0F
0x40	0x41	0x42	0x43	0x44	0x45	0x46	0x47	0x48	0x49	0x4A	0x4B	0x4C	0x4D	0x4E	0x4F

รูป 2.8 การจัดตำแหน่ง address บน LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

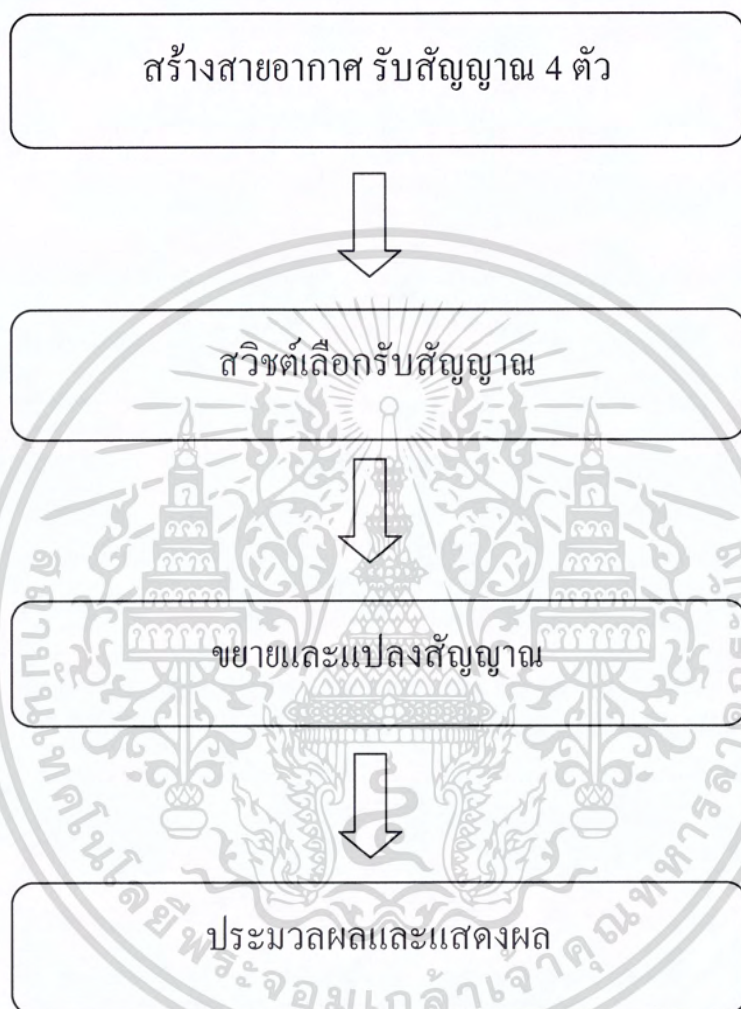
### การออกแบบและการจัดทำโครงงาน

#### 3.1 การออกแบบ

โครงงานนี้เป็นการออกแบบสายอากาศแบบทิศทางโดยสายอากาศที่เลือกใช้เป็นสายอากาศ ยากิ อูตะ การสร้างจะให้ความสนใจในส่วนของ ค่าความยาวขององค์ประกอบรับการป้อน ความยาวของชิ้นส่วนไดเรกเตอร์ความยาวของชิ้นส่วนตัวสะท้อนระยะห่างระหว่างแต่ละส่วนประกอบ ขนาดของบอดี้ที่ใช้ และระยะห่างของสายอากาศแต่ละต้น โดยค่าดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดแบบรูปของการแผ่พลังงานของสายอากาศ อิมพีแดนซ์ของตัวสายอากาศ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ค่าการสูญเสียเนื่องมาจากการย้อนกลับ และค่าความกว้างของความถี่ที่ใช้งานของสายอากาศ

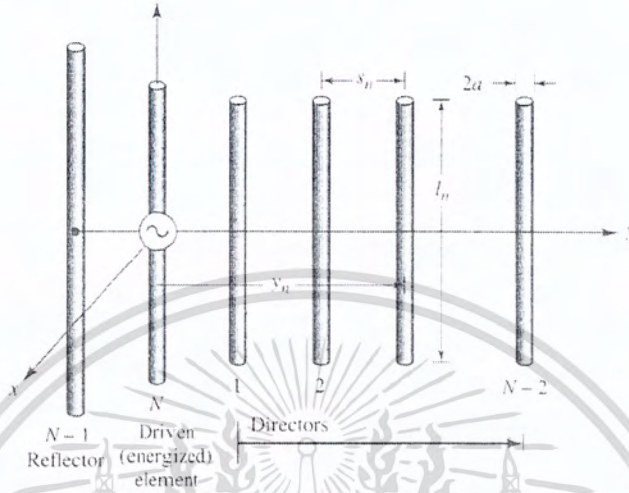
สายอากาศที่ทำการสร้างขึ้นนี้ ผู้จัดทำต้องการที่จะออกแบบเพื่อนำมาใช้เป็นภาครับ โดยนำมาใช้ในช่วงความถี่ 558 MHz – 566 MHz สายอากาศจะถูกสร้างขึ้นจำนวน 4 ตัว โดยให้มีบีมหลักหันไปทิศทางต่างๆกัน ในระนาบเดียวกันห่างกันทีละ 90 องศา 4 ทิศทาง การสร้างสายอากาศยากิ-อูตะนั้นจะใช้โปรแกรม CST Microwave Studio ในการออกแบบรูปร่างและขนาด แล้วทำการจำลองและศึกษาการตอบสนองของสายอากาศในโปรแกรม CST Microwave Studio เพื่อให้สามารถทำงานในช่วงความถี่ที่ต้องการ จึงต้องปรับแต่งส่วนต่างๆ ของสายอากาศเพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุด หรือใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ แล้วนำขนาดของสายอากาศที่จำลองในโปรแกรม CST Microwave Studio มาสร้างเป็นตัวจริงเพื่อใช้เปรียบเทียบผลกับค่าที่ได้จากการออกแบบโดยใช้โปรแกรมต่อไป

## บล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 การออกแบบและสร้างสายอากาศยาคี-ฮูตะ

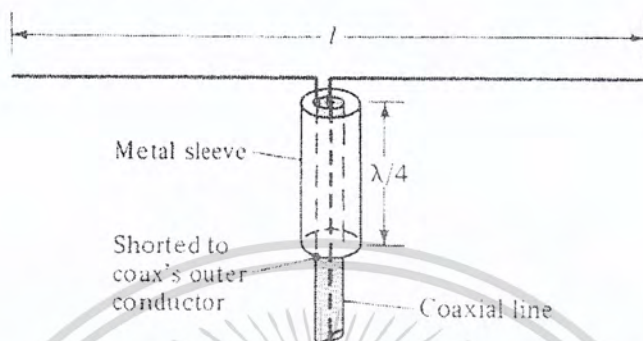


รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของสายอากาศยาคี ฮูตะ [2]

ในการออกแบบสายอากาศยาคี ฮูตะนั้น จะมีค่าตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ การออกแบบและการสร้าง ดังต่อไปนี้

- 1) ค่าความยาวของ องค์ประกอบรับการป้อน =  $0.45\lambda - 0.49\lambda$
- 2) ค่าความยาวของ ชิ้นส่วนไดเรกเตอร์ =  $0.4\lambda - 0.45\lambda$
- 3) ค่าความยาวของ ชิ้นส่วนตัวสะท้อน  $> 0.49\lambda$
- 4) ระยะห่างระหว่าง องค์ประกอบรับการป้อนกับชิ้นส่วนไดเรกเตอร์ =  $0.4\lambda - 0.45\lambda$
- 5) ระยะห่างระหว่าง องค์ประกอบรับการป้อนกับชิ้นส่วนตัวสะท้อน =  $0.3\lambda - 0.4\lambda$

### 3.1.2 การออกแบบและสร้างบาลัน



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของบาลูก้า บาลัน

บาลูก้า บาลันที่ใช้จะมีขนาดเท่ากับ  $0.25\lambda$  โดย  $\lambda$  ที่นำมาคิดจะเป็น  $\lambda$  ที่เดินทางในสายนำสัญญาณ สายนำสัญญาณที่เลือกใช้คือสายเบอร์ RG-174 มีค่า velocity of Prop. เท่ากับ 66% ดังนั้นความยาวของแกนบาลูก้า บาลันจึงมีค่าเท่ากับ 8.85 เซนติเมตร การเชื่อมต่อสามารถดูได้จากรูปที่ 3.2

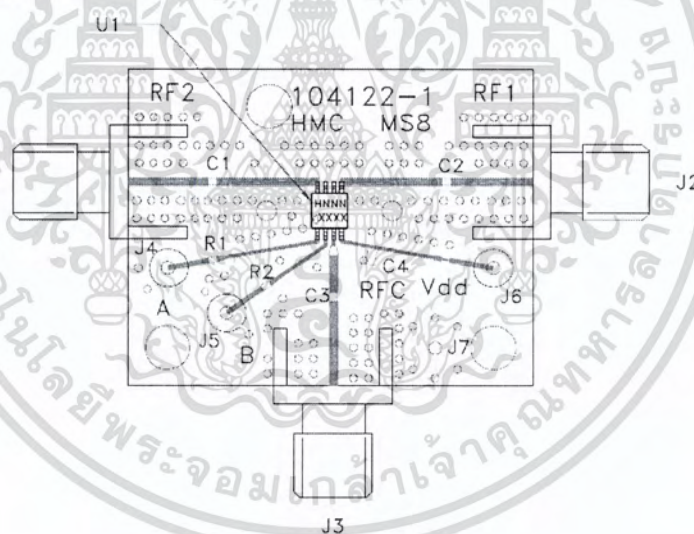
### 3.1.3 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างสายอากาศยาคิ อุตะ

1. ศึกษาการใช้โปรแกรม CST Microwave Studio
2. ศึกษาสายอากาศตามคุณสมบัติที่ต้องการสร้าง
3. ทำการจำลองรูปร่างสายอากาศจากโปรแกรม CST Microwave Studio
4. ศึกษาผลตอบสนองของสายอากาศจากโปรแกรม CST Microwave Studio
5. ทำการปรับแต่งค่าต่างๆของสายอากาศเพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการและเหมาะสมแก่การนำไปสร้างจริง
6. นำสายอากาศที่สร้างขึ้นไปวัดค่าคุณสมบัติต่างๆโดยเครื่อง Network Analyzer เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม CST Microwave Studio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.4 ขั้นตอนการออกแบบและการสร้างวงจร RF switch

1. ศึกษาการใช้โปรแกรม Microsoft Office Visio 2007
2. ศึกษาและเลือกใช้ IC ที่เหมาะสม ในที่นี้ใช้ IC เบอร์ HMC336MS8G / 336MS8GE ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4
3. ทำการออกแบบลายวงจร RF switch จากโปรแกรม Microsoft Office Visio 2007
4. นำลายวงจรที่ได้จากโปรแกรม Microsoft Office Visio 2007 มาสร้างเป็นวงจร RF switch
5. ทำการทดสอบสวิตช์โดยทดลองเลือกสวิตช์ดูว่าวงจรสามารถทำงานได้ดีทั้ง 4 ทางหรือไม่



รูปที่ 3.3 การต่อวงจร RF switch

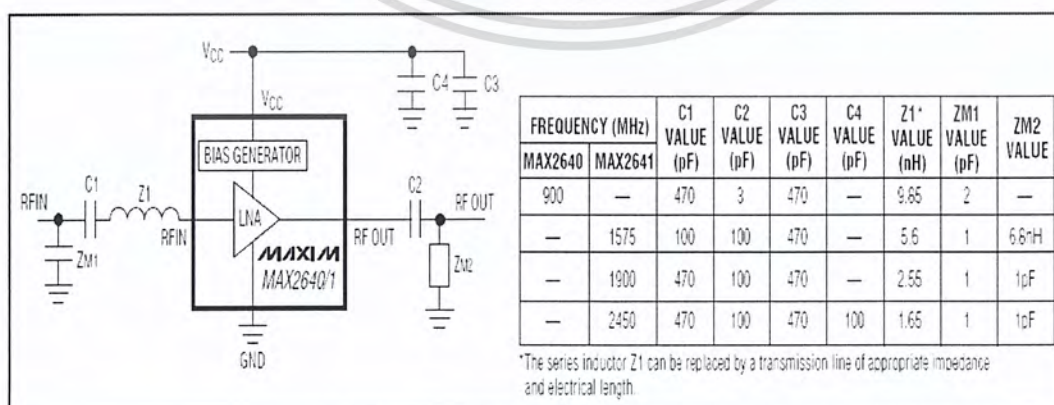
Item	Description
J1 - J3	PCB Mount SMA RF Connector
J4 - J7	DC Pin
C1 - C3	100 pF Capacitor, 0402 Pkg.
C4	10k pF Capacitor, 0603 Pkg.
R1 - R2	100 Ohm Resistor, 0402 Pkg.
U1	HMC336MS8G / HMC336MS8GE SPDT Switch
PCB [2]	104122 Evaluation PCB 1.05"x1.30"

รูปที่ 3.4 รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ต่อภายในวงจร RF switch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

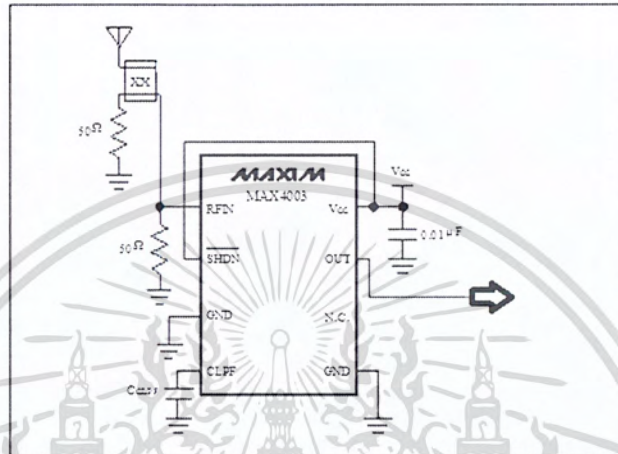
### 3.1.5 ขั้นตอนการออกแบบและการสร้างวงจร RF detector

- 1) ศึกษาและเลือกใช้ IC ที่เหมาะสมกับ วงจร RF detector ที่ต้องการ โดยวงจร RF detector ในที่นี้ประกอบด้วย
  - 1) วงจรที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ IC ที่ใช้คือ MAX 2640
  - 2) วงจรแปลงสัญญาณจากสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุเป็นระดับแรงดันไฟฟ้า (กระแสตรง) IC ที่ใช้คือ MAX 4003
  - 3) ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณหลังจากผ่านการแปลงสัญญาณแล้ว IC ที่ใช้คือ MAX 4476
- 2) ทำการออกแบบลายวงจร RF detector ด้วยโปรแกรม Microsoft Office Visio 2007
- 3) นำลายวงจรที่ได้จากโปรแกรม Microsoft Office Visio 2007 มาสร้างเป็นวงจร RF detector
- 4) ทำการทดสอบวงจร โดยการป้อนสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุเป็นสัญญาณขาเข้าและ ทำการวัดที่สัญญาณขาออกว่า ได้เป็นระดับแรงดันไฟฟ้า (กระแสตรง) หรือไม่

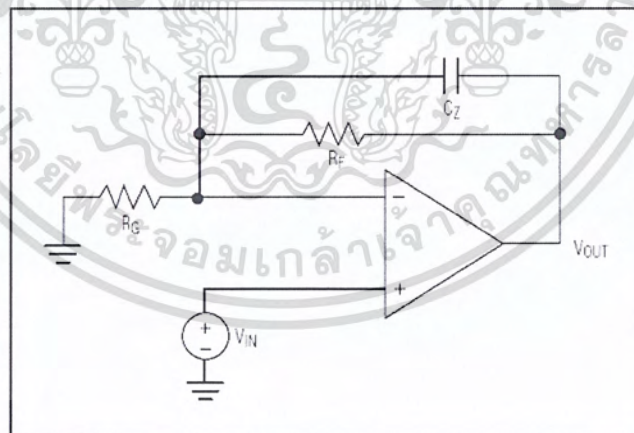


### รูปที่ 3.5 การต่อวงจรขยายสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรแปลงสัญญาณจากสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุเป็นระดับแรงดันไฟกระแสตรง



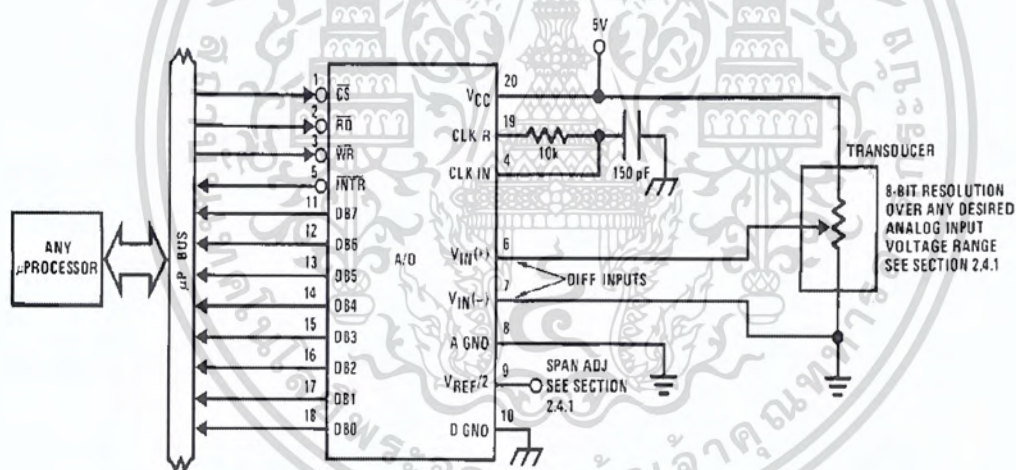
รูปที่ 3.7 การต่อวงจรขยายสัญญาณหลังจากผ่านการแปลงสัญญาณแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.6 ขั้นตอนการออกแบบและการสร้างวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณ

#### ดิจิทัล (Analog to Digital, A/D)

- 1) ศึกษาการใช้โปรแกรม Protel 99 SE
- 2) ศึกษาและเลือกใช้ IC ตามความเหมาะสม โดย IC ที่เลือกใช้คือ ADC0804 แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ขนาด 8 บิต
- 3) นำลายวงจรที่ได้จากโปรแกรม Protel 99 SE มาสร้างเป็นวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล
- 4) ทำการทดสอบวงจรที่ได้โดยต่อลายวงจรตาม รูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การต่อวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

### 3.1.7 ขั้นตอนการควบคุมและสั่งงานไมโครคอนโทรลเลอร์

1. ศึกษาวิธีการเขียนไมโครคอนโทรลเลอร์
2. ศึกษาการเขียนไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย Visual C
3. ทำการเขียนโปรแกรมแสดงผลและควบคุมสายอากาศโดยใช้ Visual C
4. นำ code ที่ได้จากการเขียน visual c มาลงในไมโครคอนโทรลเลอร์
5. ทำการแสดงผลที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านจอ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 1) เครื่อง Network Analyzer รุ่น HP8720C 50MHz – 20GHz
- 2) ชุดคาร์บริเบรท 85022 B. 3.5 mm.
- 3) SMA connector
- 4) สายนำสัญญาณเบอร์ RG-174
- 5) แผ่นอะคริลิก
- 6) แท่งทองเหลือง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.4 cm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.5cm
- 7) ตะไบเหล็ก
- 8) ตะกั่ว
- 9) กรรไกร คัตเตอร์
- 10) หัวแร้ง
- 11) กาว
- 12) เลื่อย
- 13) แผ่นทองแดง
- 14) น้ำยาคัดแผ่นปรินต์
- 15) Resistor, Capacitor, Inductor

### 3.3 การจัดเก็บผลทดลอง

การวิเคราะห์รูปแบบของสายอากาศ จะมีคุณสมบัติต่างๆที่สำคัญที่ต้องพิจารณาคือ ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวสายอากาศ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับค่า อัตราขยายของสายอากาศและรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศ

โดยในการวิเคราะห์จะใช้ขนาดของสายอากาศที่ได้คำนวณไว้แล้วมาวิเคราะห์ ด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio และทำการปรับแต่งค่าต่างๆของสายอากาศเพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการและเหมาะสมแก่การนำไปสร้างจริง ในการจัดเก็บผลการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือทำการเปรียบเทียบหาขนาดที่เหมาะสมของสายอากาศแบบตัวเดียวก่อน แล้วจึงค่อยนำสายอากาศดังกล่าวมาประกอบรวมกันให้หันไปทิศทางต่างๆกันทีละ 90 องศา 4 ทิศทาง

#### 3.3.1 ผลการทดลองสายอากาศยาคี-อูตะเดี่ยว



รูปที่ 3.9 สายอากาศยาคี-อูตะ จากการจำลองโดยโปรแกรม CST Microwave Studio

การเปรียบเทียบสายอากาศยาคี-อูตะแบบตัวเดียวที่มีขนาดของส่วนประกอบต่างๆกัน ดังนี้

สายอากาศจำลองตัวที่ 1 :

ความยาวของ องค์ประกอบรับการป้อน = 23 cm = 0.43  $\lambda$

ความยาวของ ชั้นส่วนไดเรกเตอร์ = 20 cm = 0.37  $\lambda$

ความยาวของ ชั้นส่วนตัวสะท้อน = 28 cm = 0.52  $\lambda$

ระยะห่างระหว่าง องค์ประกอบรับการป้อน กับ ชั้นส่วนไดเรกเตอร์ = 13.5 cm = 0.25  $\lambda$

ระยะห่างระหว่าง องค์ประกอบรับการป้อน กับ ชั้นส่วนตัวสะท้อน = 13 cm = 0.24  $\lambda$

สายอากาศจำลองตัวที่ 2 :

ความยาวของ องค์ประกอบรับการป้อน = 23 cm = 0.43  $\lambda$

ความยาวของ ชั้นส่วนไดเรกเตอร์ = 20 cm = 0.37  $\lambda$

ความยาวของ ชั้นส่วนตัวสะท้อน = 30 cm = 0.56  $\lambda$

ระยะห่างระหว่าง องค์ประกอบรับการป้อน กับ ชั้นส่วนไดเรกเตอร์ = 13.4 cm = 0.25  $\lambda$

ระยะห่างระหว่าง องค์ประกอบรับการป้อน กับ ชั้นส่วนตัวสะท้อน = 13.4 cm = 0.25  $\lambda$

สายอากาศจำลองตัวที่ 3 :

ความยาวของ องค์ประกอบรับการป้อน = 23 cm = 0.43  $\lambda$

ความยาวของ ชั้นส่วนไดเรกเตอร์ = 20 cm = 0.37  $\lambda$

ความยาวของ ชั้นส่วนตัวสะท้อน = 28 cm = 0.52  $\lambda$

ระยะห่างระหว่าง องค์ประกอบรับการป้อน กับ ชั้นส่วนไดเรกเตอร์ = 13.5 cm = 0.25  $\lambda$

ระยะห่างระหว่าง องค์ประกอบรับการป้อน กับ ชั้นส่วนตัวสะท้อน = 12.5 cm = 0.23  $\lambda$

สายอากาศจำลองตัวที่ 4 :

ความยาวของ องค์ประกอบรับการป้อน = 23 cm = 0.43  $\lambda$

ความยาวของ ชั้นส่วนไดเรกเตอร์ = 20 cm = 0.37  $\lambda$

ความยาวของ ชั้นส่วนตัวสะท้อน = 30 cm = 0.52  $\lambda$

ระยะห่างระหว่าง องค์ประกอบรับการป้อน กับ ชั้นส่วนไดเรกเตอร์ = 13.5 cm = 0.25  $\lambda$

ระยะห่างระหว่าง องค์ประกอบรับการป้อน กับ ชั้นส่วนตัวสะท้อน = 13.5 cm = 0.25  $\lambda$

การเปรียบเทียบสายอากาศทั้ง 4 ตัวจะทำการเปรียบเทียบโดยคำนึงถึงคุณสมบัติของสายอากาศดังต่อไปนี้

### 3.3.1.1 ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวสายอากาศ

โดยทั่วไปแล้วค่าอิมพีแดนซ์ของตัวสายอากาศจะมีค่าที่เหมาะสมต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน แต่ในที่นี้ ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวสายอากาศ ที่ต้องการคือ 50  $\Omega$

### 3.3.1.2 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง

อัตราส่วนคลื่นนิ่ง คือค่าแรงดัน  $V_{max}$  และแรงดัน  $V_{min}$  ของคลื่นที่ได้จากการรวมกันของคลื่นตกกระทบ และคลื่นสะท้อนที่มีเฟสตรงกันและตรงข้ามกันตามลำดับ โดยการนำอัตราส่วนของแรงดันสูงสุดต่อแรงดันต่ำสุด ก็จะเรียกว่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน โดยพิจารณาอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันนี้ไม่ควรเกิน 2 แต่ถ้าจะให้ดีกว่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1-1.8

### 3.3.1.3 พิจารณาค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ

โดยปกติแล้วค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับจะมีค่าที่น้อยกว่าประมาณ -10 dB ซึ่งต้องพิจารณาในช่วงของความถี่ที่ใช้งาน

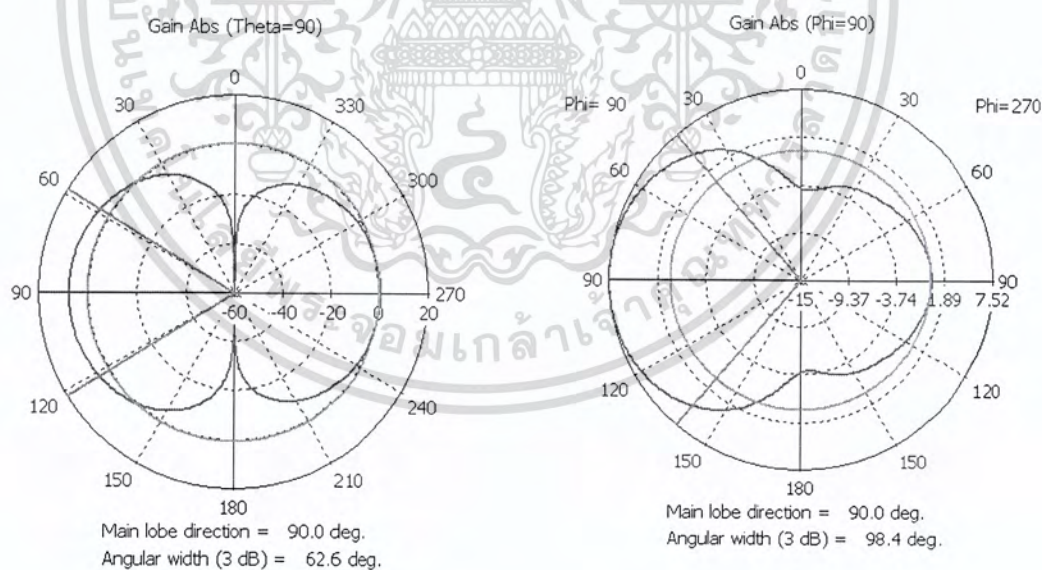
### 3.3.1.4 ค่าอัตราขยายของสายอากาศ

อัตราขยายของสายอากาศจะเป็นตัวบอกความแรงของ บีบหลัก

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติของสายอากาศทั้ง 4 ตัว

สายอากาศ	ค่าอิมพีแดนซ์ Impedance ( $\Omega$ )	ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง SWR	ค่าการสูญเสีย เนื่องจากการย้อนกลับ Return Loss(dB)	ค่าอัตราการขยาย ของสายอากาศ Gain(dB)
1	50.18	1.076	-28.77	7.511
2	51.94	1.159	-22.69	7.185
3	48.78	1.068	-29.74	7.605
4	75.17	2.113	-8.93	6.621

### 3.3.1.5 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศจำลองทั้ง 4 ตัว

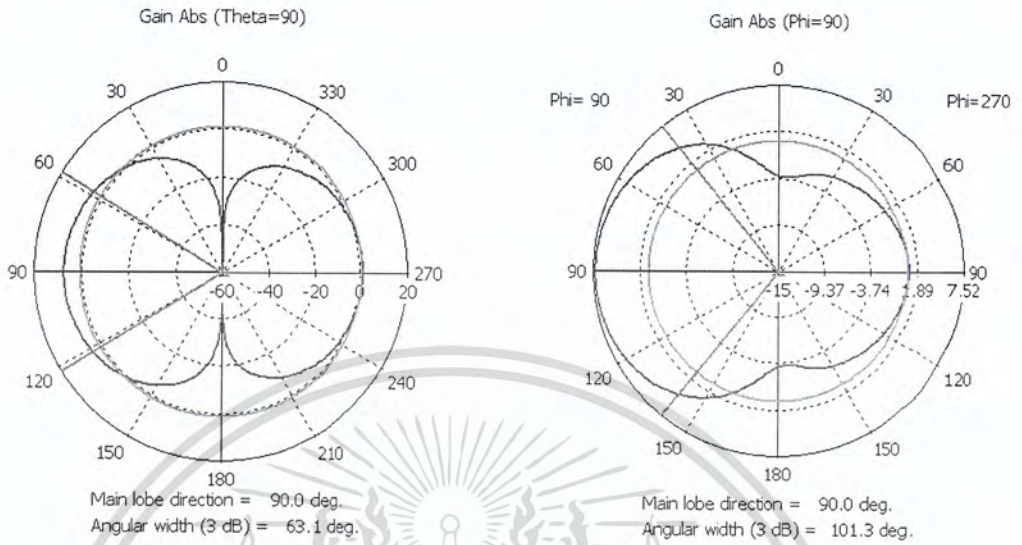


ระนาบสนามไฟฟ้า

ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.10 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาคี อูตะจำลองตัวที่ 1

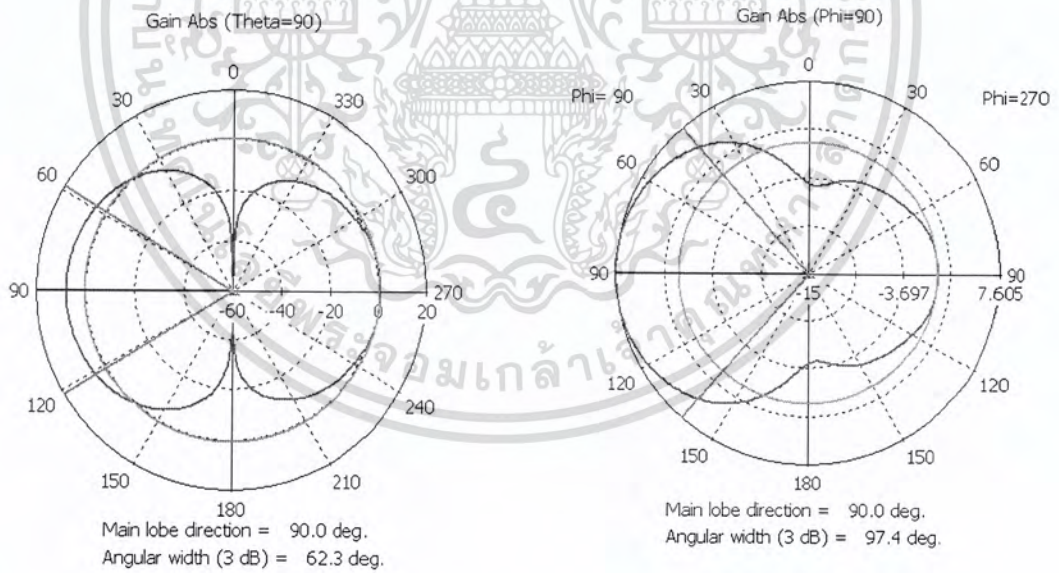
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ระนาบสนามไฟฟ้า

ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.11 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาคี-อูตะจำลองตัวที่ 2

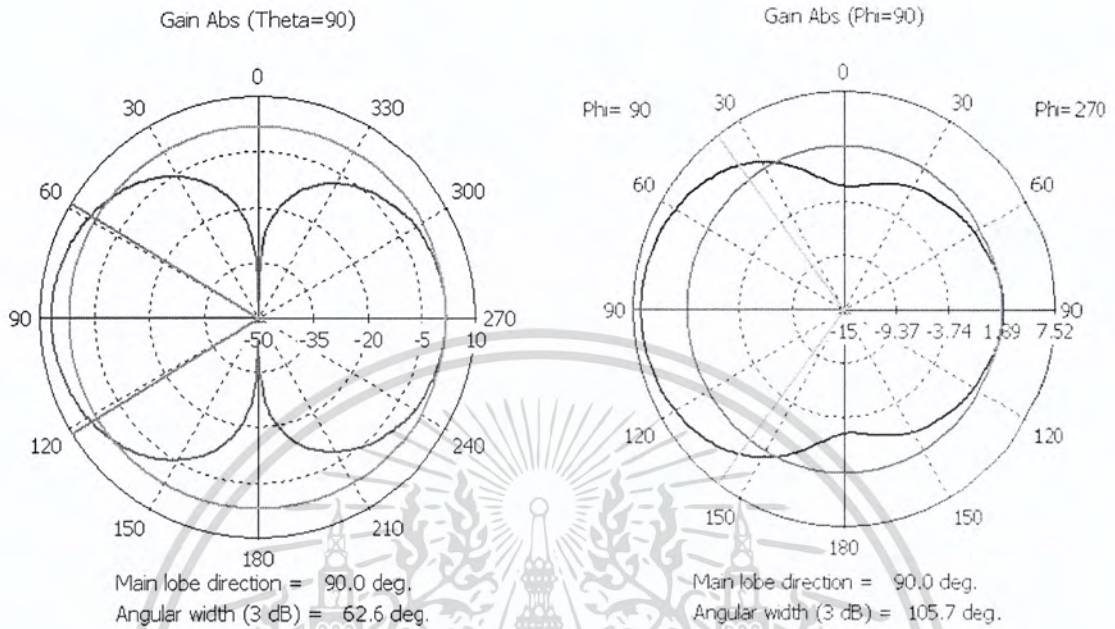


ระนาบสนามไฟฟ้า

ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาคี-อูตะจำลองตัวที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



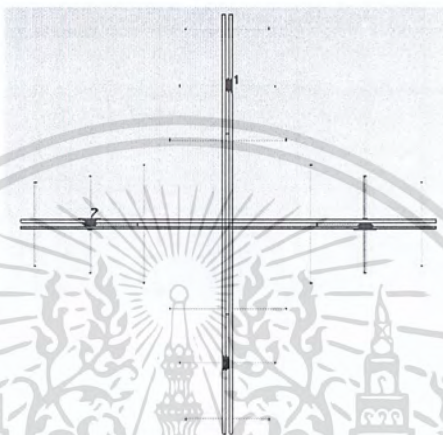
ระนาบสนามไฟฟ้า

ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.13 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาคี-ฮูอะจำลองตัวที่ 4

จากตารางที่ 3.1 และ รูปที่ 3.4 -3.7 ที่ได้แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศยาคี-ฮูอะ ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 4 ที่ได้จากการจำลอง จากโปรแกรม CST Microwave Studio ในขนาดต่างๆกัน จะเห็นได้ว่าการกำหนดขนาดของสายอากาศตัวที่ 1 มีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำมาสร้างจริง และนำมาจำลองการสร้างแบบเชื่อมต่อกันให้หันไปทิศทางต่างๆ ในระนาบเดียวกันทีละ 90 องศา

### 3.3.2 ผลการทดลองสายอากาศยาคี-อูตะ 4 ทิศทาง



รูปที่ 3.14 สายอากาศยาคี-อูตะ 4 ทิศทาง จากการจำลอง โดยโปรแกรม CST Microwave Studio

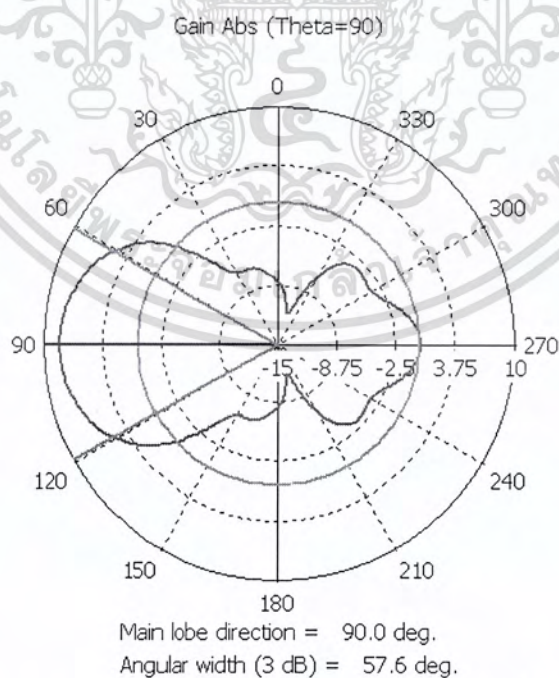
ในการเปรียบเทียบสายอากาศยาคี-อูตะ 4 ทิศทาง จะเปรียบเทียบจากระยะการวางจาก องค์ประกอบรับการป้อน ตัวบน ถึง องค์ประกอบรับการป้อนตัวล่างซึ่งจะมีระยะเท่ากับระยะจาก องค์ประกอบรับการป้อน ตัวซ้าย ถึง องค์ประกอบรับการป้อน ตัวขวา

โดย ระยะที่เลือกทำการเปรียบเทียบคือ 54 cm , 60 cm ,68 cm และ72 cm การเปรียบเทียบระยะความห่างทั้ง 4 จะทำการเปรียบเทียบโดยคำนึงถึงคุณสมบัติของสายอากาศ เหมือนกับการเปรียบเทียบสายอากาศยาคี-อูตะในหัวข้อที่ 3.3.1.1 ถึงหัวข้อที่ 3.3.1.5 แต่จะให้ความสำคัญกับแบบรูปการแผ่พลังงานของระนาบไฟฟ้าเป็นหลัก

ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติของสายอากาศที่ระยะห่าง 4 ระยะ

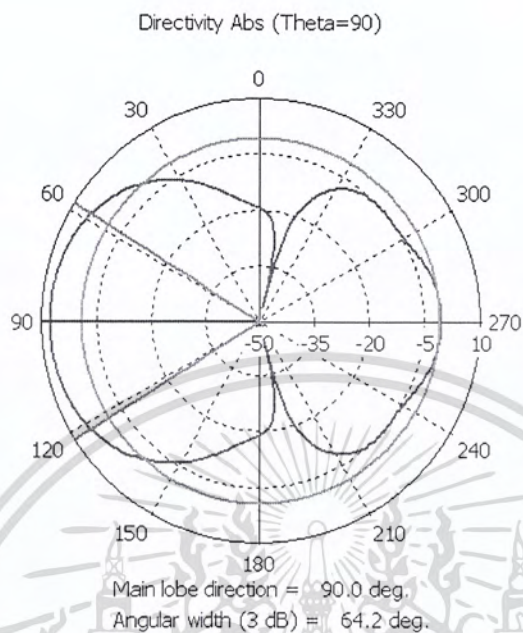
ระยะห่าง(cm)	ค่าอัตราส่วนคลื่น นิ่ง SWR	ค่าการสูญเสีย เนื่องจากการ ย้อนกลับ Return Loss	ค่าอัตราขยาย ของสายอากาศ Gain(dB)
54	1.111	-25.55	8.210
60	1.071	-29.41	7.537
68	1.080	-28.35	7.053
72	1.078	-28.60	7.399

### 3.3.2.1 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศ 4 ทิศทาง

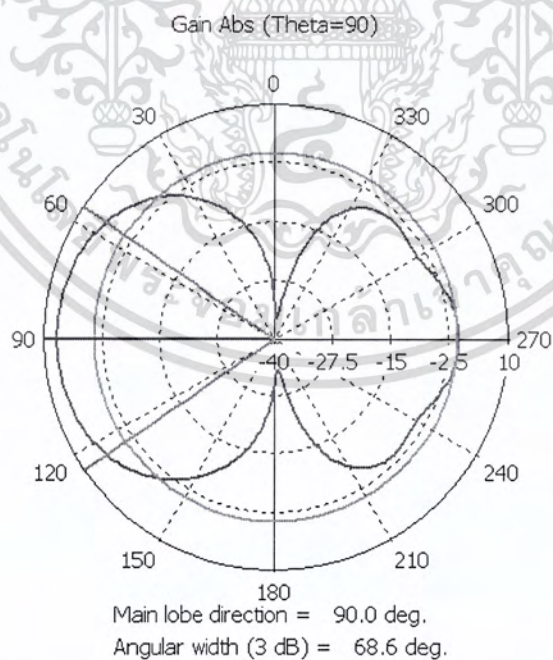


รูปที่ 3.15 ระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศ 4 ทิศทางที่ระยะห่าง 54 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

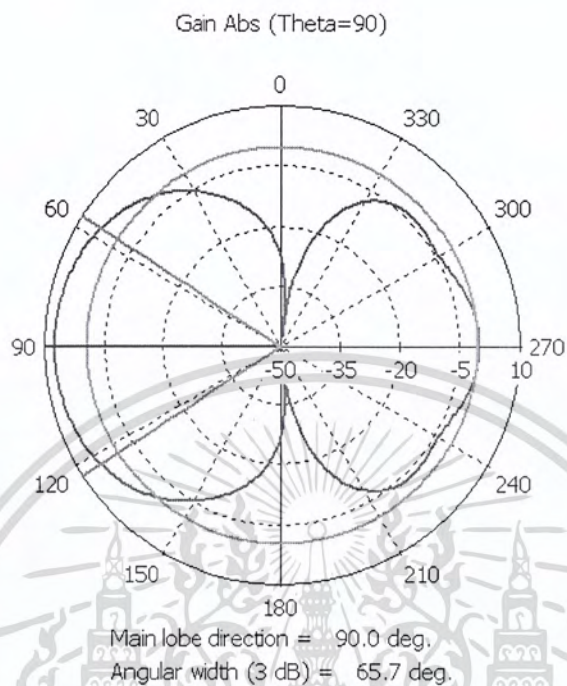


รูปที่ 3.16 ระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศ 4 ทิศทางที่ระยะห่าง 60 cm



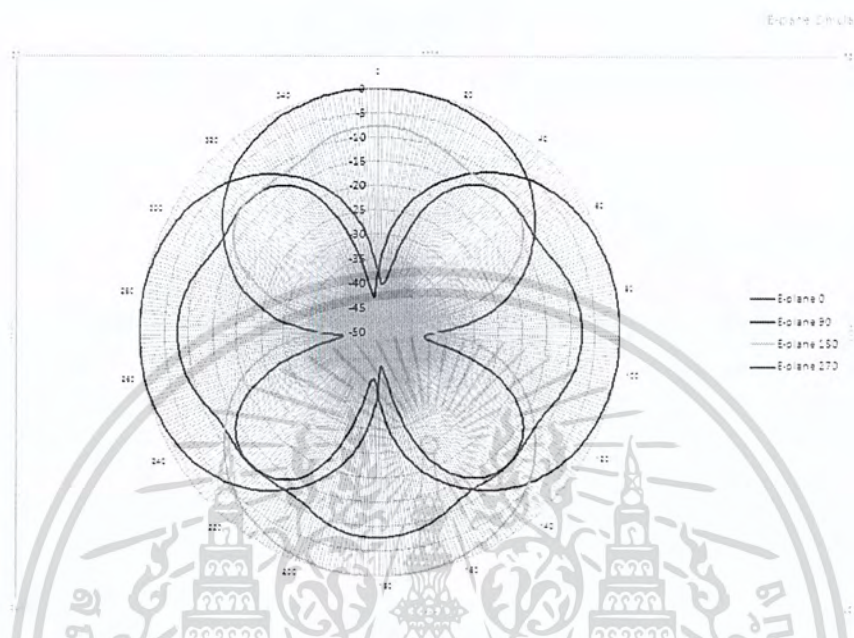
รูปที่ 3.17 ระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศ 4 ทิศทางที่ระยะห่าง 68 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

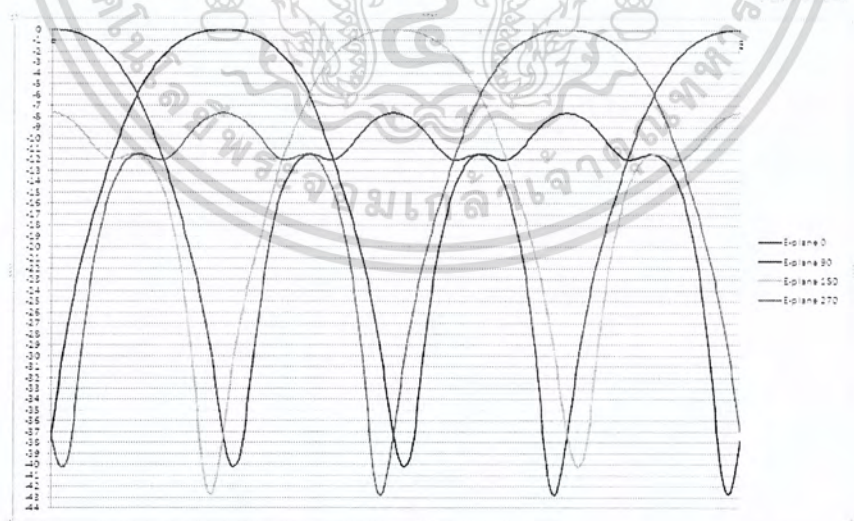


รูปที่ 3.18 ระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศ 4 ทิศทางที่ระยะห่าง 72 cm

จากตารางที่ 3.2 และ รูปที่ 3.9 - 3.12 ที่ได้แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศยาคิ-อูตะที่ระยะห่างต่างๆกัน 4 ระยะ ที่ได้จากการจำลอง จากโปรแกรม CST Microwave Studio จะเห็นได้ว่าการกำหนดระยะห่างที่ 68 cm มีค่า beam width มากที่สุด ส่วนคุณสมบัติอื่นๆ ก็มีค่าไม่แตกต่างกันมากนักกับที่ระยะห่างอื่นๆ ดังนั้นที่ระยะห่าง 68 cm จึงมีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำมาสร้างจริง



รูปที่ 3.19 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศทั้ง 4 ทิศทาง ที่ระยะห่าง 68 cm

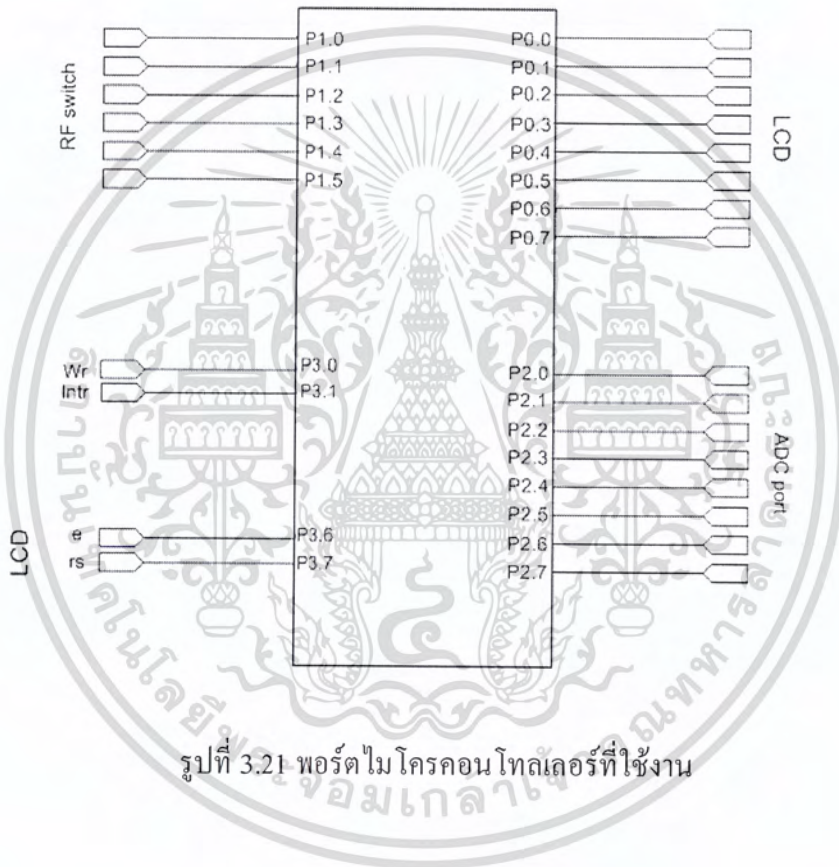


รูปที่ 3.20 แบบรูปการแผ่พลังงานบนกราฟเชิงเส้นของสายอากาศทั้ง 4 ทิศทาง ที่ระยะห่าง 68 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

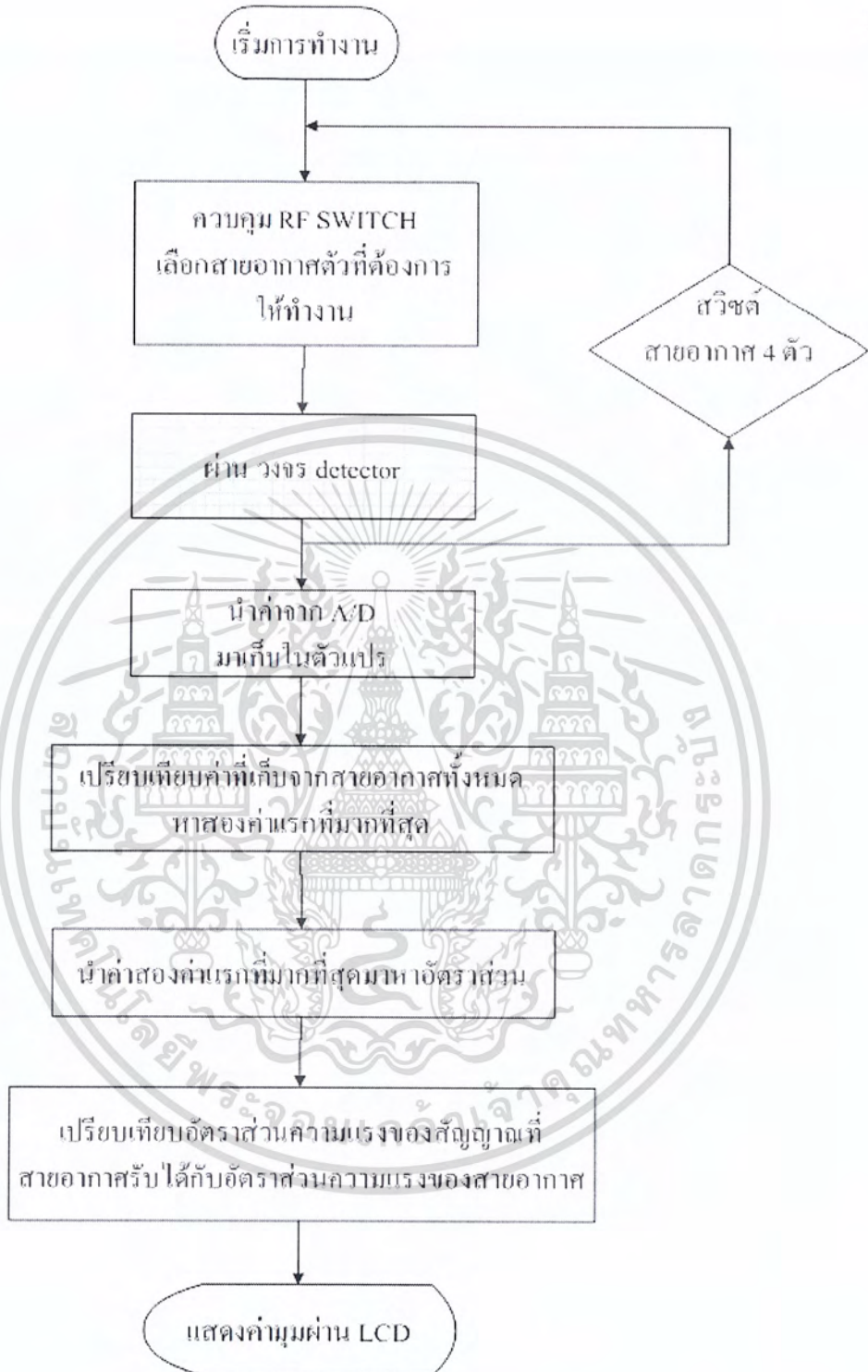
### 3.4 การออกแบบการทำงานของระบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

การทำงานของสายอากาศเพื่อหาค่ามุนั้นได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการควบคุมการทำงานของ RF Switch เพื่อเลือกการใช้งานของสายอากาศ จากนั้นกำหนดให้รับค่าจากวงจร A/D และนำค่าที่ได้ไปประมวลผลเพื่อหาค่ามุนที่ต้องการ แสดงเป็นผังการทำงาน



รูปที่ 3.21 พอร์ตไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 ผังการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

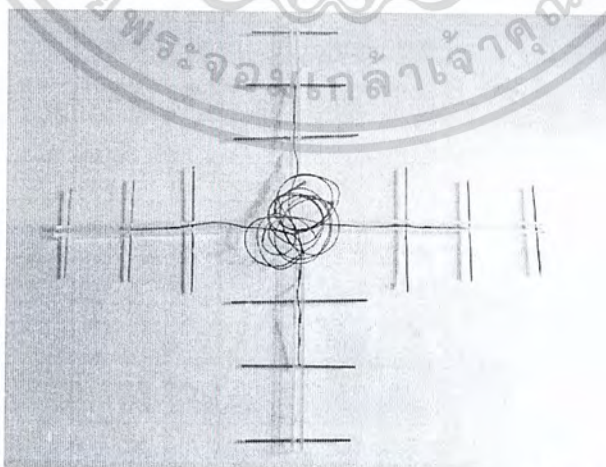
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลอง

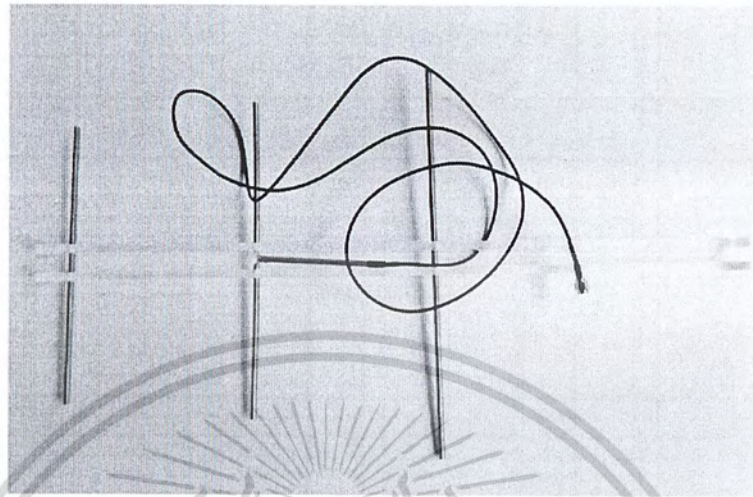
จากบทที่ 3 ทำการสร้างสายอากาศตามที่ออกแบบแล้วโดยให้สายอากาศทำงานได้ดีในช่วงความถี่เท่ากับ 558 MHz – 566 MHz โดยมีขนาดของตัวสายอากาศดังนี้

การออกแบบจะกำหนดให้ องค์ประกอบรับการป้อนมีความยาวเท่ากับ 23 cm หรือ  $0.43\lambda$  ความยาวของชิ้นส่วนไดเรกเตอร์เท่ากับ 20 cm หรือ  $0.37\lambda$  ความยาวของ ชิ้นส่วนตัวสะท้อนเท่ากับ 28 cm หรือ  $0.52\lambda$  ระยะห่างระหว่าง องค์ประกอบรับการป้อนกับ ชิ้นส่วนไดเรกเตอร์เท่ากับ 13.5 cm หรือ  $0.25\lambda$  ระยะห่างระหว่าง องค์ประกอบรับการป้อนกับ ชิ้นส่วนตัวสะท้อนเท่ากับ 13 cm หรือ  $0.24\lambda$  และมีบาชูก้า บาตัน (Bazooka Balance) ยาว 8.85 cm โดยทั้งบาชูก้า บาตัน แต่ละ Element สร้างจากแท่งทองเหลือง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.4 cm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.5 cm มีแผ่นอะคริลิก ขนาด  $0.6\text{ cm} \times 49.5\text{ cm} \times 3\text{ cm}$  2 แผ่นที่ห่างกัน 1 cm เป็นแกนกลาง และมีสายนำสัญญาณเบอร์ RG-174 เป็นสายนำสัญญาณ



รูปที่ 4.1 สายอากาศขั้ว-อูตะ 4 ทิศทางที่ใช้งานย่านความถี่ 558 MHz – 566 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

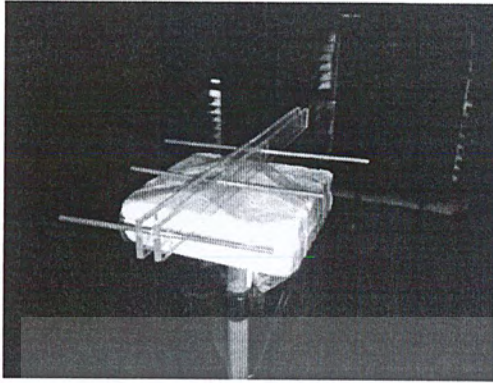


รูปที่ 4.2 สายอากาศขยาคี อุดะเดี่ยวที่ใช้งานย่านความถี่ 558 – 566 MHz

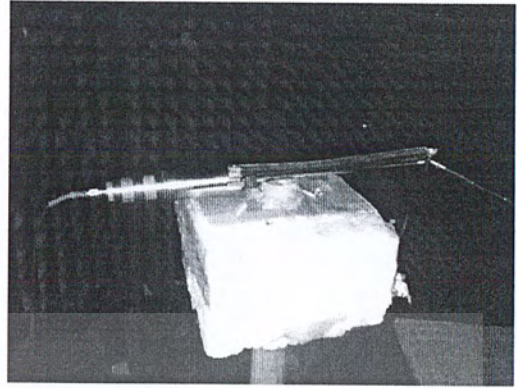


รูปที่ 4.3 สายอากาศไดโพลมาตรฐานใช้ส่งสัญญาณ มีอัตราขยายเท่ากับ 2.15 dBi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

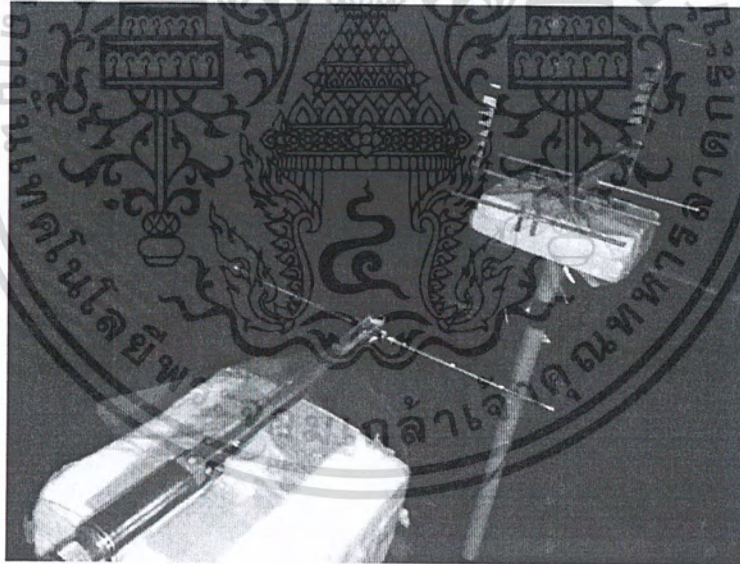


(ก)



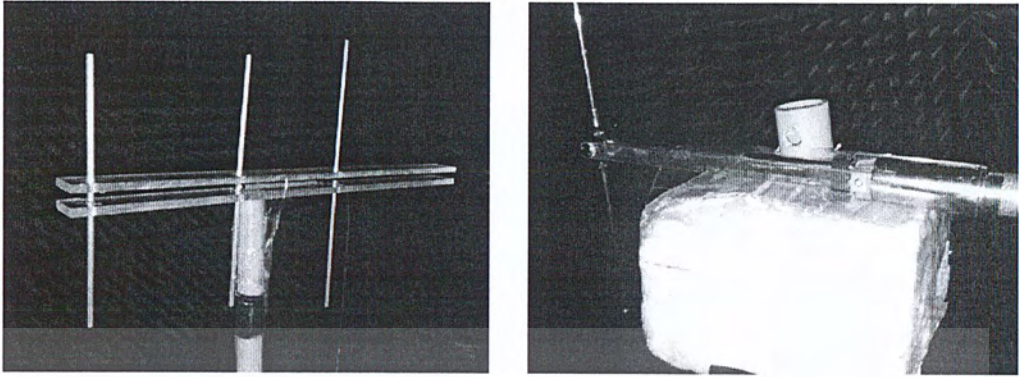
(ข)

รูปที่ 4.4 การวางสายอากาศเพื่อวัดแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแต่ละตัว

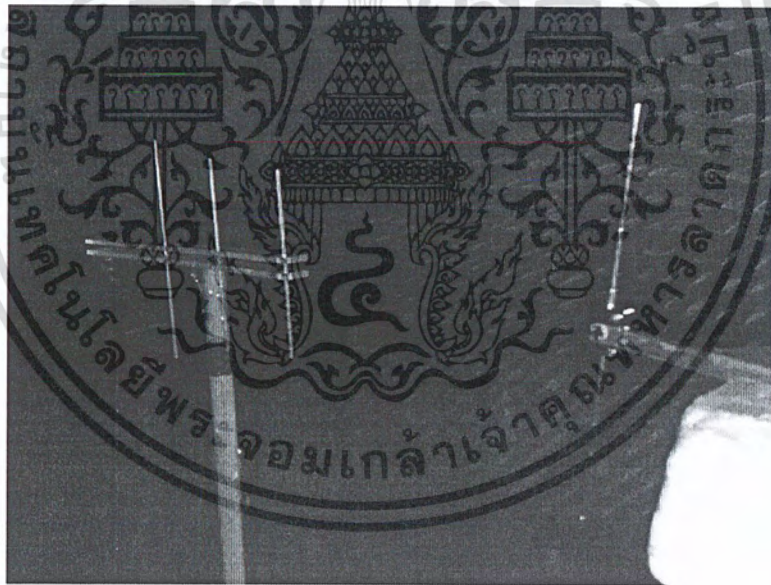


รูปที่ 4.5 การวัดแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า ของสายอากาศแต่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

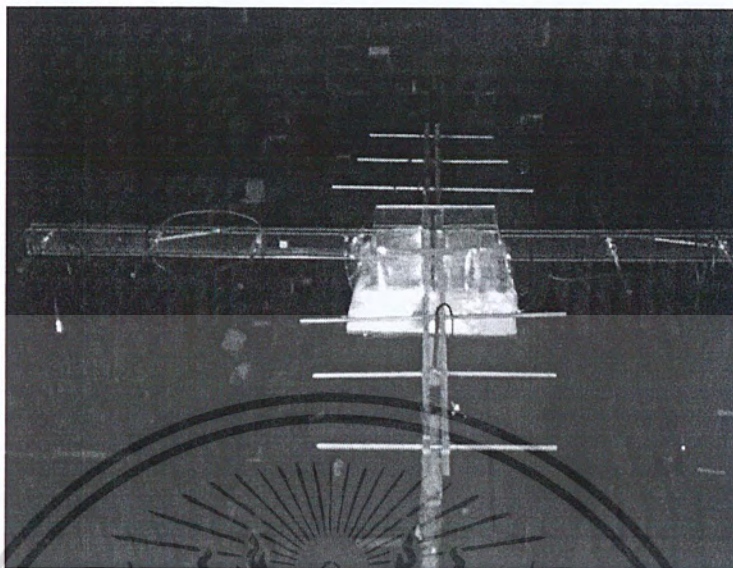


รูปที่ 4.6 การวางสายอากาศเพื่อวัดแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก  
ของสายอากาศแต่ละตัว

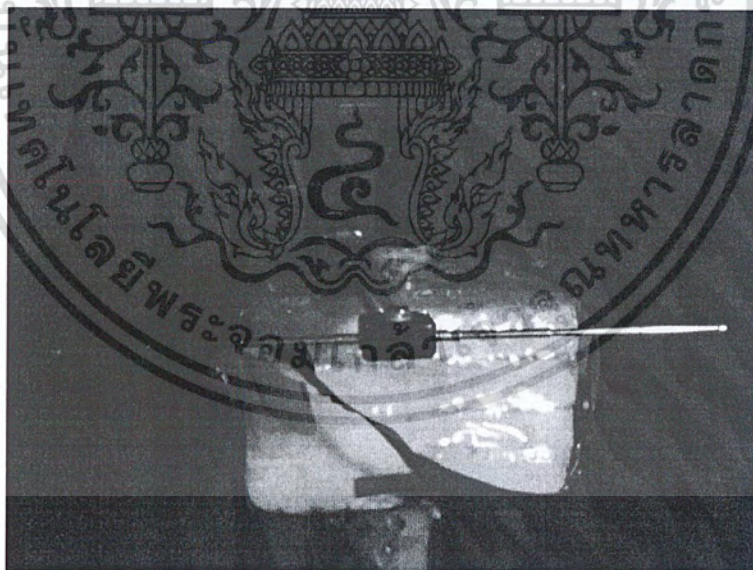


รูปที่ 4.7 การวัดแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศ  
แต่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 การวางสายอากาศเพื่อวัดแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า  
ของสายอากาศทั้ง 4 ทิศทาง

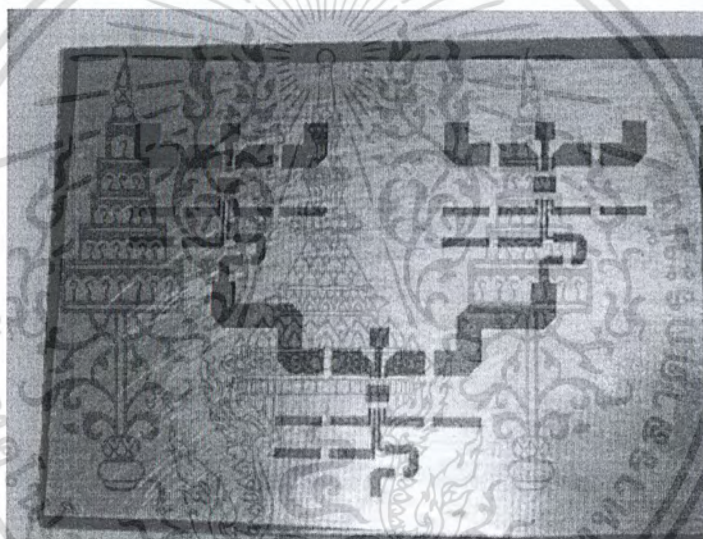


รูปที่ 4.9 การวางสายอากาศตัวส่งเพื่อวัดแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ  
สนามไฟฟ้าของสายอากาศทั้ง 4 ทิศทาง

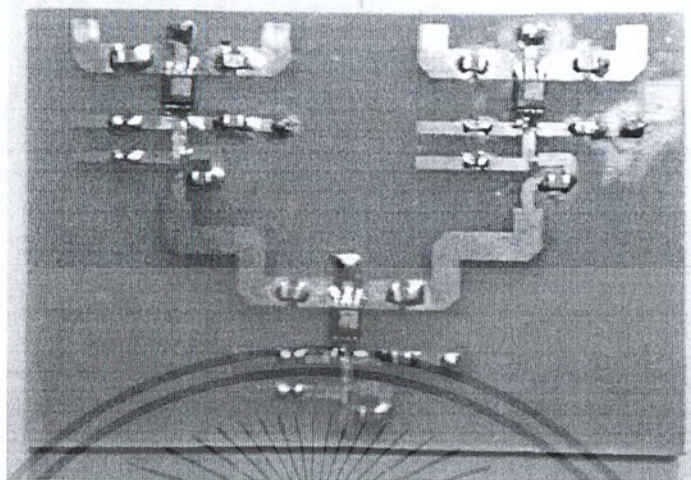
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วงจร RF switch

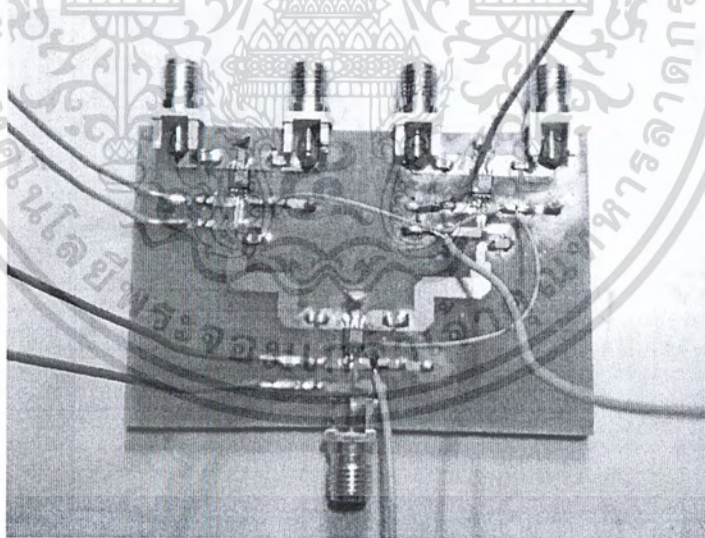
นำแผ่นทองแดงมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมพื้นผิวขนาด 10x15 cm รีดรายวงจรตามที่ได้เขียน ลายเอาไว้แล้วใช้เครื่องรีด รีดให้สติกเกอร์กับแผ่นทองแดงติดกัน แล้วนำแผ่นทองแดงไป ฉายแสง จากนั้นก็นำไปแช่ในน้ำยากัดปรินท์ขยำให้ทองแดงในส่วนที่ไม่มีสติกเกอร์หลุด ออก นำลายวงจรที่ได้รีดด้วยเบสในบริเวณที่สติกเกอร์ติดอยู่เพื่อให้สติกเกอร์ลอกออก นำ ตัวต้านทาน คาร์ป้าซิเตอร์ และตัว RF switch มาบัดกลึงลงตามที่เขียนเอาไว้ในลายวงจร ดังรูป 4.10



รูปที่ 4.10 ลายวงจร RF switch ที่รีดและฉายแสงแล้ว



รูปที่ 4.11 ลายวงจร RF switch ที่ลงอุปกรณ์ IC แล้ว



รูปที่ 4.12 ลายวงจร RF switch ที่เสร็จสมบูรณ์

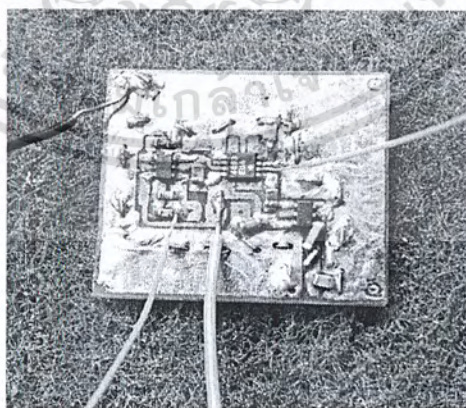
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วงจร RF detector

นำแผ่นทองแดงขนาด 6x6 cm รีดรอยวงจรตามที่ได้เขียนลายเอาไว้แล้วใช้เครื่องรีดทำการรีดให้สติกเกอร์กับแผ่นทองแดงติดกัน แล้วเอาแผ่นทองแดงไปฉายแสงจากนั้นนำไปแช่ในน้ำยาคัดปริน แล้วเขย่าให้ทองแดงในส่วนที่ไม่มีสติกเกอร์หลุดออก นำลายวงจรที่ได้มา เชื่อมด้วยเบสในบริเวณที่สติกเกอร์ติดอยู่เพื่อที่จะให้สติกเกอร์ลอกออกนำ R L C และตัว IC มาบัดดลึงตามที่ได้เขียนเอาไว้ในลายวงจร ดังรูป



รูปที่ 4.13 วงจร RF detector ที่ยังไม่สมบูรณ์



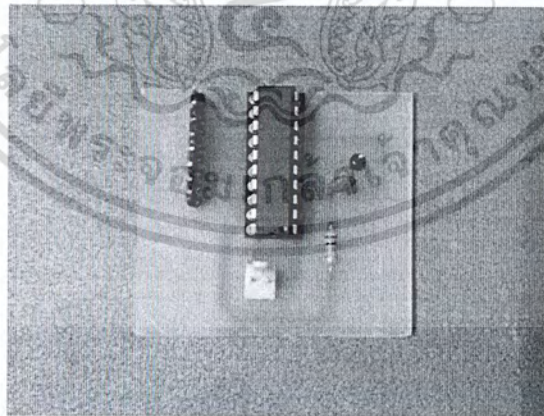
รูปที่ 4.14 วงจร RF detector ที่เสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 การทดสอบวงจร RF detector

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล  
 ทำการถอดสายวงจรตามที่ได้ออกแบบไว้จากนั้นนำ IC และอุปกรณ์ต่างๆ มาบัดกรีลง  
 บนลายวงจรที่เตรียมไว้



รูปที่ 4.16 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

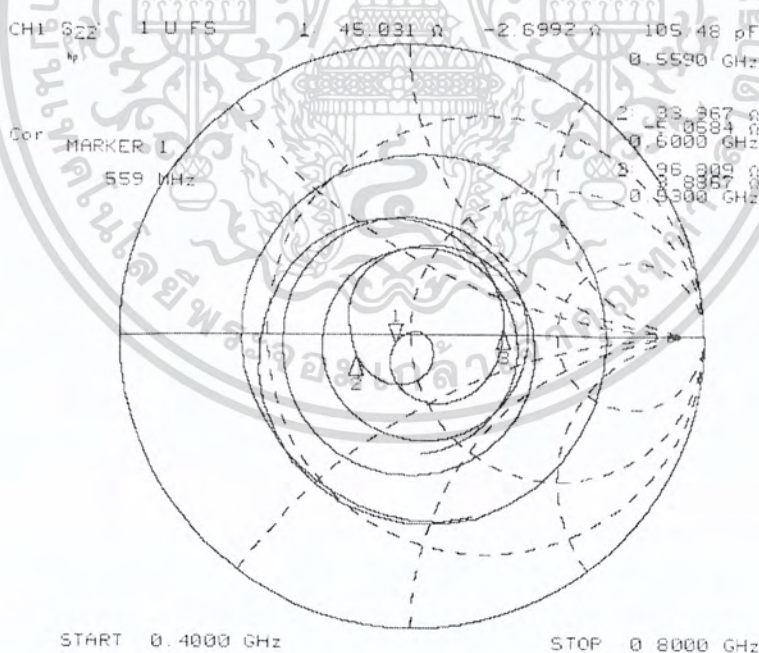
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการทดลอง

ในส่วนของการทดลองของสายอากาศ ได้ทำการแยกผลการทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือ ผลการทดลองที่ได้จากสายอากาศทั้ง 4 ตัวแบบที่ยังไม่ได้นำมาประกอบรวมกัน และส่วนที่สองคือ ผลการทดลองที่ได้จากการนำสายอากาศทั้ง 4 ตัวมารวมกันแล้ว จากนั้นจึงเป็นผลของการทดลองในส่วนของวงจรแต่ละวงจร และการทำงานของทั้งระบบ

### 4.2.1 ผลการทดลองที่ได้จากสายอากาศทั้ง 4 ตัวแบบเดี่ยว

4.2.1.1 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ (Impedance) ของสายอากาศเดี่ยว สามารถวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ โดยการอ่านค่า Smith Chart จากเครื่อง Network Analyzer ผลการทดลองของสายอากาศทั้ง 4 ดัน ได้ดังรูปที่ 4.7 ถึง 4.10



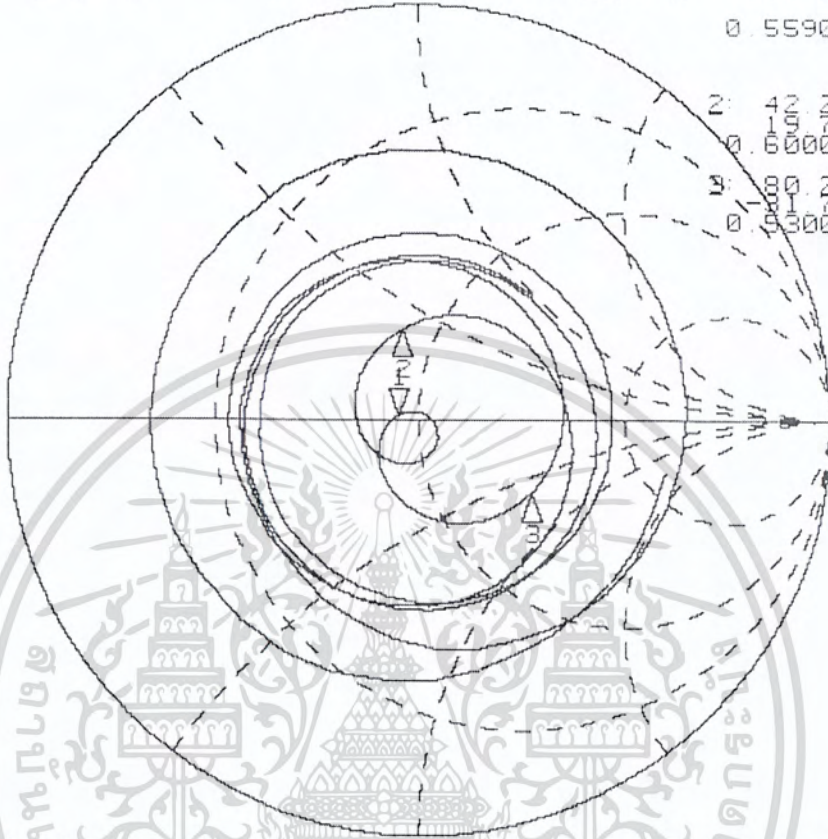
รูปที่ 4.17 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศหมายเลข 1 จาก Smith Chart ที่ความถี่ 559 MHz มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $45.031 - j2.6992 \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CH1 S<sub>22</sub> 1 UFS 1: 45.641 Ω 1.0801 Ω 307.51 pF  
 hp 0.5590 GHz

Cor

2: 42.227 Ω  
 0.6000 GHz  
 3: 80.277 Ω  
 0.9300 GHz



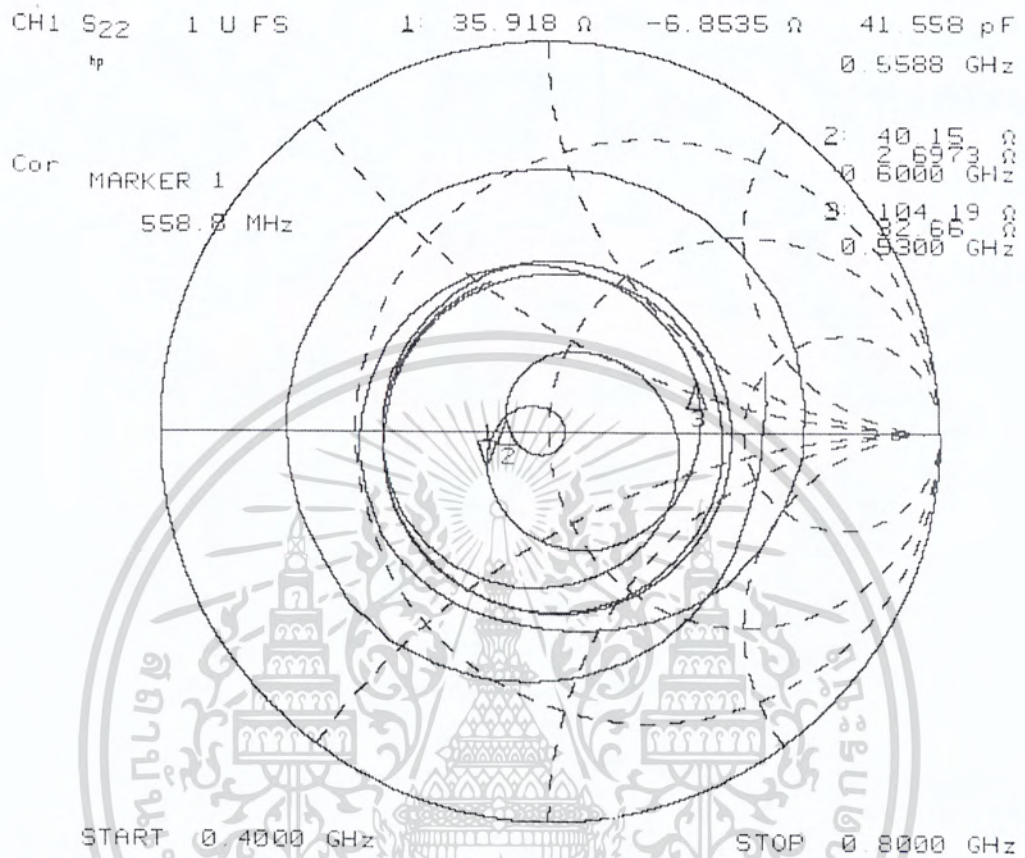
START 0.4000 GHz

STOP 0.8000 GHz

รูปที่ 4.18 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศหมายเลข 2 จาก Smith chart ที่ความถี่ 559 MHz มีค่า

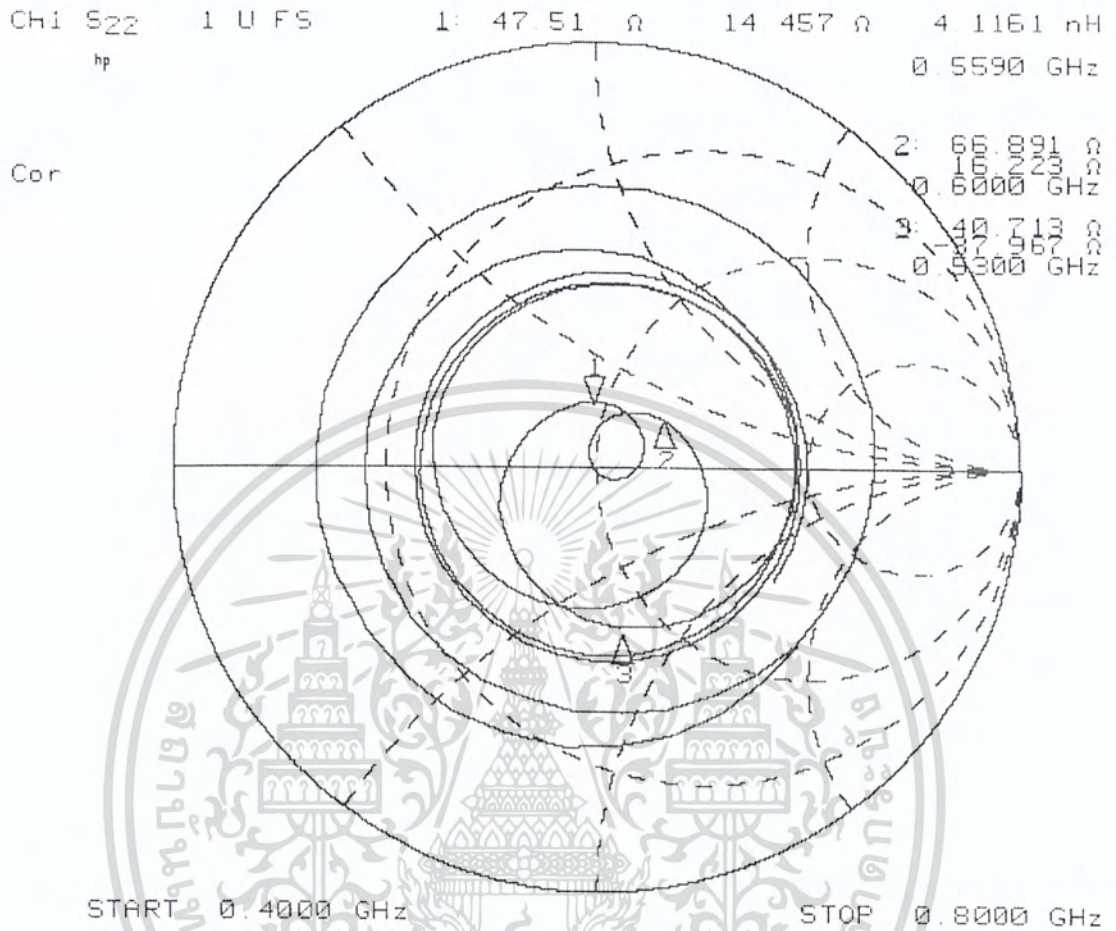
อิมพีแดนซ์เท่ากับ  $45.641 + j1.0801 \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศหมายเลข 3 จาก Smith Chart ที่ความถี่ 559 MHz มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $35.918-j6.8535 \Omega$

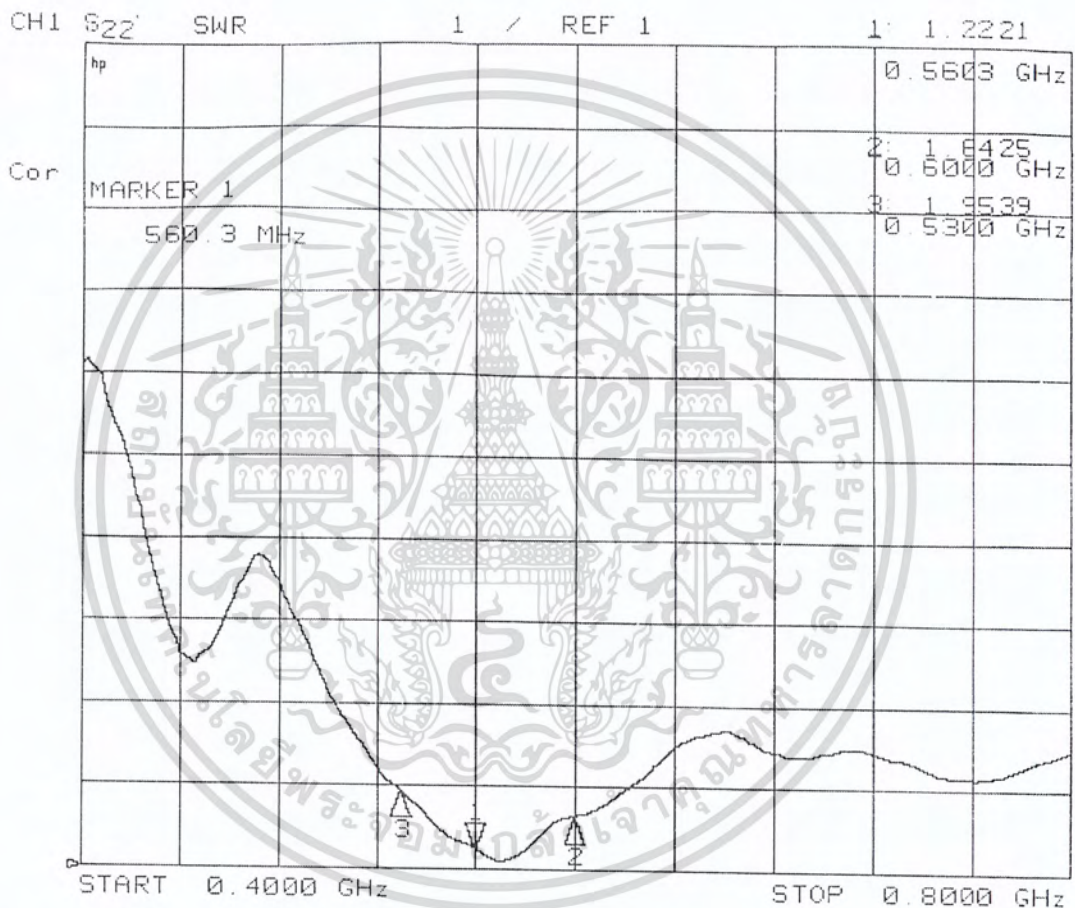
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศหมายเลข 4 จาก Smith Chart ที่ความถี่ 559 MHz มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $47.51 + j14.4570 \Omega$

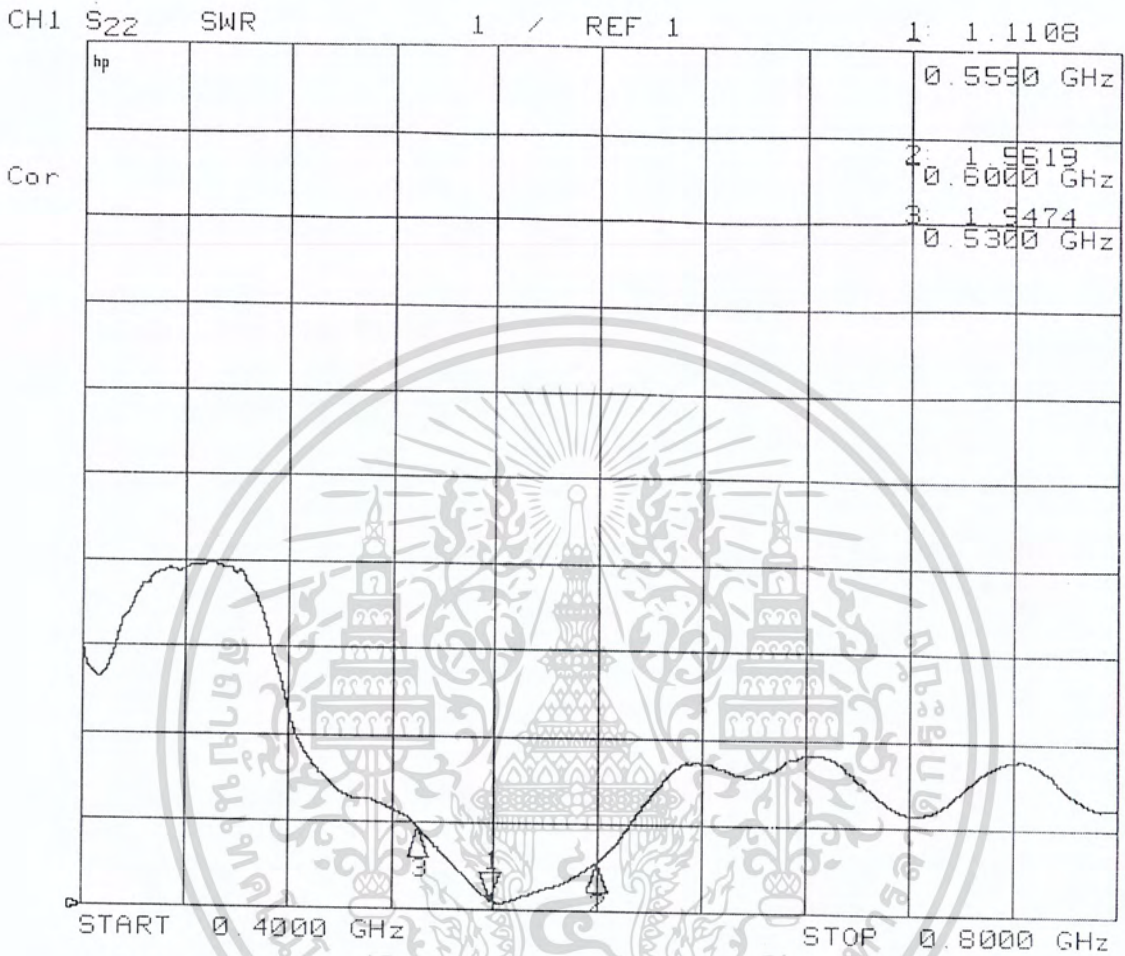
#### 4.2.1.2 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) ของสายอากาศเดี่ยว

การทดสอบหาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศ สามารถหาได้จาก เครื่อง Network Analyzer โดยจะได้ผลการทดลองของสายอากาศทั้ง 4 ต้น ตามรูปที่ 4.11 ถึง 4.14 โดยอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่สามารถใช้งานได้นั้นต้องมีค่าไม่เกิน 2:1



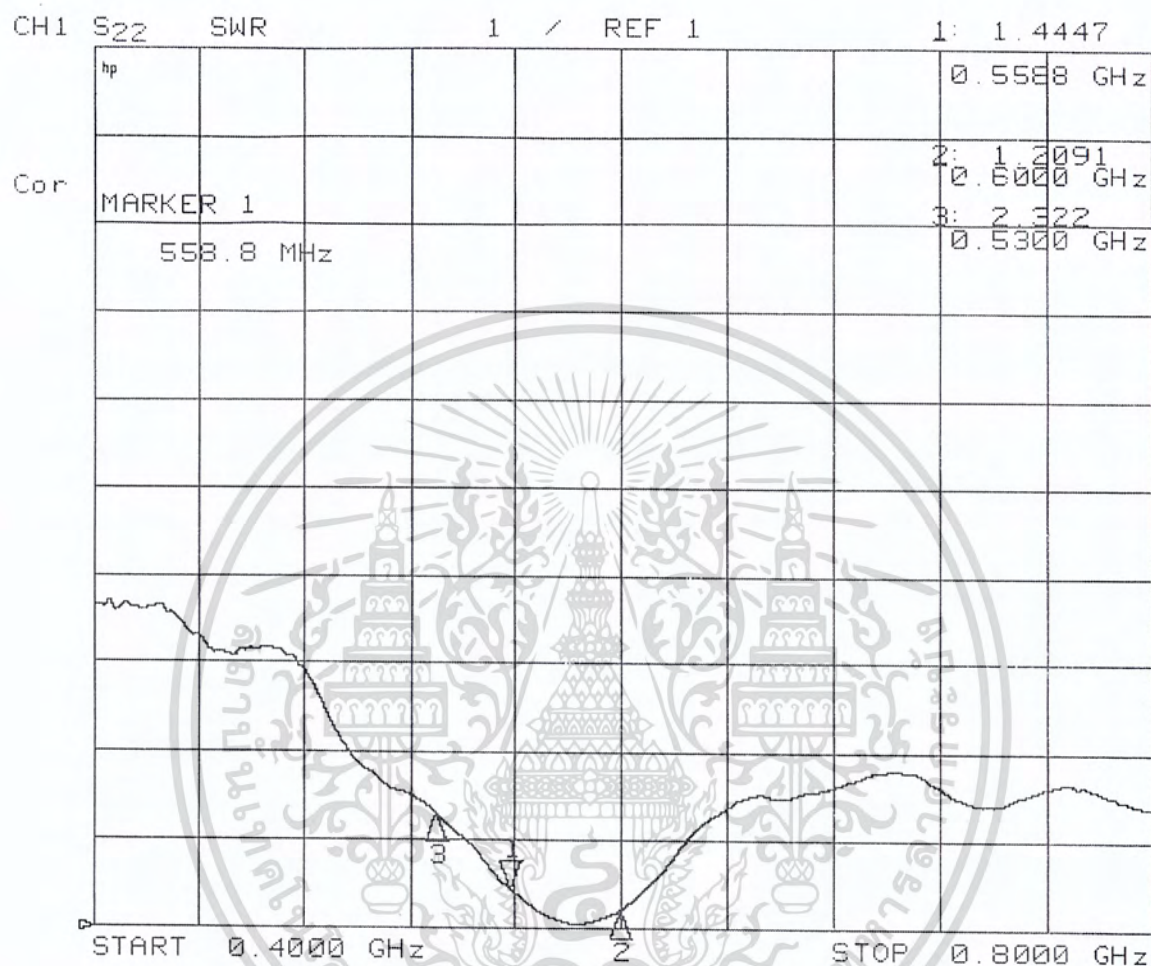
รูปที่ 4.21 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศหมายเลข 1 ที่ความถี่ 559 MHz สามารถอ่านค่าได้เท่ากับ 1.2220 : 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



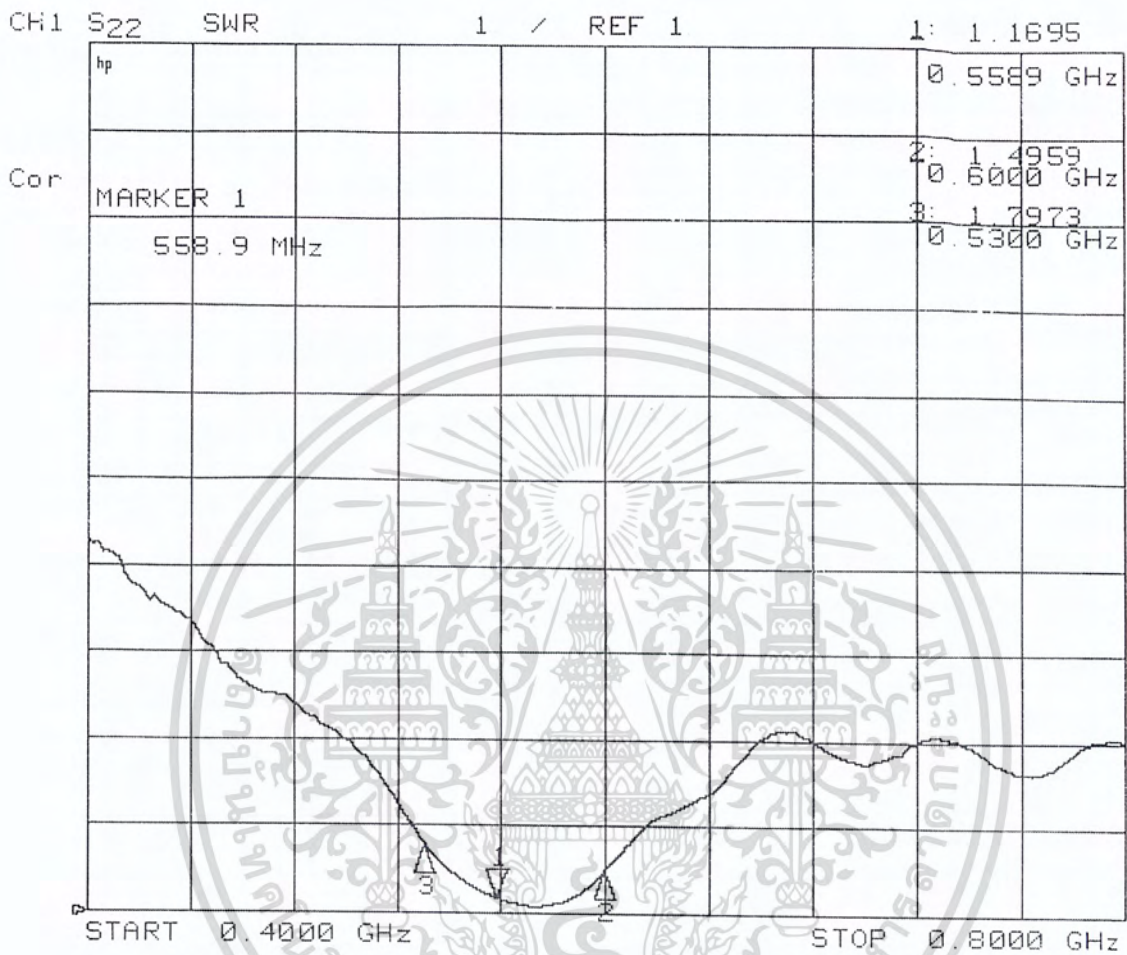
รูปที่ 4.22 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศหมายเลข 2 ที่ความถี่ 559 MHz สามารถอ่านค่าได้เท่ากับ 1.1108 : 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศหมายเลข 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศหมายเลข 4 ที่ความถี่ 559 MHz สามารถอ่าน

ได้เท่ากับ 1.1695 : 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศของสายอากาศเดี่ยว

การทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศจะทำได้ในห้องไร้คลื่นสะท้อน โดยหาระยะที่ใช้ในการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานจะใช้บริเวณสนามระยะไกล (Far-Field) เมื่อทำการวัดค่าสนามแม่เหล็ก และค่าสนามไฟฟ้าของสายอากาศทั้ง 4 ตัว แล้วนำมาพลอตกราฟ แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ จะได้ดังรูปที่ 4.15 ถึง 4.18

$$\text{Far Field Distance (R)} = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (4.1)$$

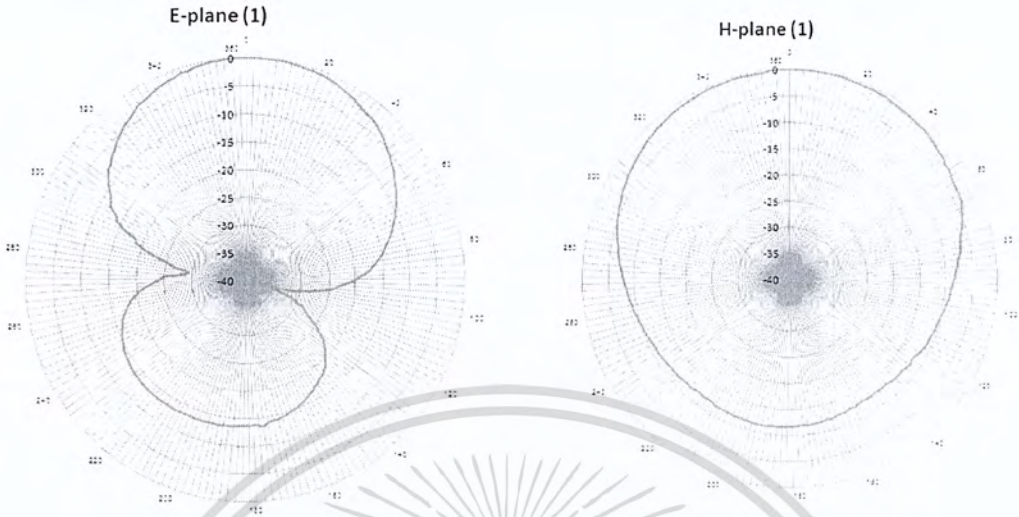
โดยที่

R = ระยะห่างระหว่างสายอากาศรับกับสายอากาศส่ง (เมตร)

D = มิติด้านที่กว้างที่สุดของสายอากาศ (เมตร)

ดังนั้นสามารถคำนวณระยะการแผ่พลังงาน โดยใช้ค่า  $D = 0.36$  เมตร และ  $\lambda = 0.536$  เมตร จะได้ระยะ 0.48 เมตร ในที่นี้จะใช้ระยะในการวัด 3 เมตร

โดยการวัดค่ากำลังสนามในระนาบสนามไฟฟ้า ต้องติดตั้งสายอากาศที่ใช้รับและส่งให้ขนานกับพื้นระนาบ ดังรูปที่ 4.4 กรณีระนาบสนามแม่เหล็กจะติดตั้งสายอากาศที่ใช้รับและส่งให้ตั้งฉากกับพื้นระนาบดังรูปที่ 4.5 แล้วทำการทดลอง โดยใช้เครื่อง Network Analyzer



ระนาบสนามไฟฟ้า

ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.25 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศหมายเลข 1  
จากการวัด โดยเครื่อง Network analyzer

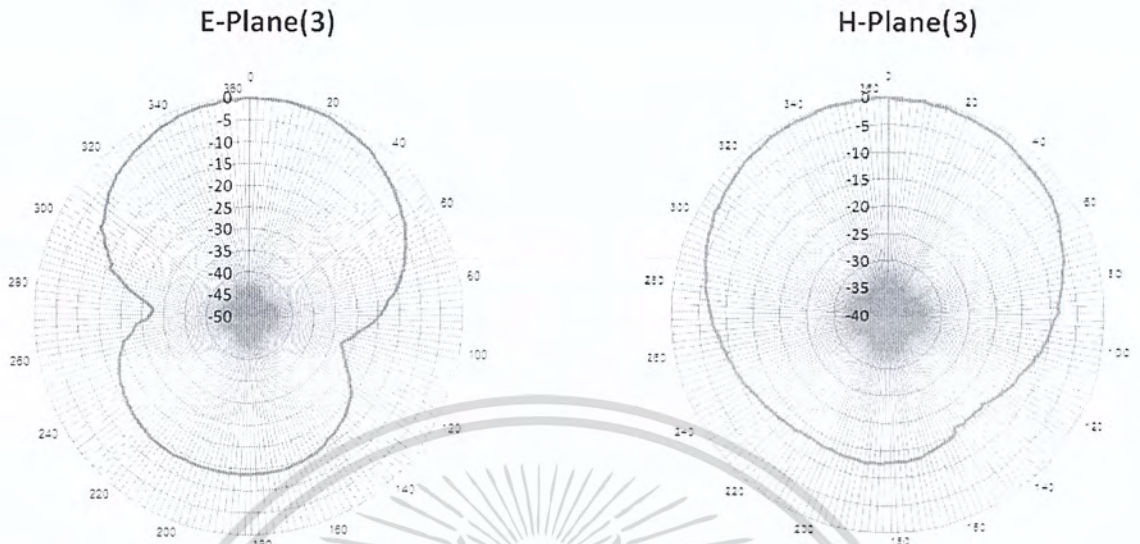


ระนาบสนามไฟฟ้า

ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.26 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศหมายเลข 2  
จากการวัด โดยเครื่อง Network analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ระนาบสนามไฟฟ้า

ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.27 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศหมายเลข 3

จากการวัด โดยเครื่อง Network analyzer



ระนาบสนามไฟฟ้า

ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.28 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศหมายเลข 4

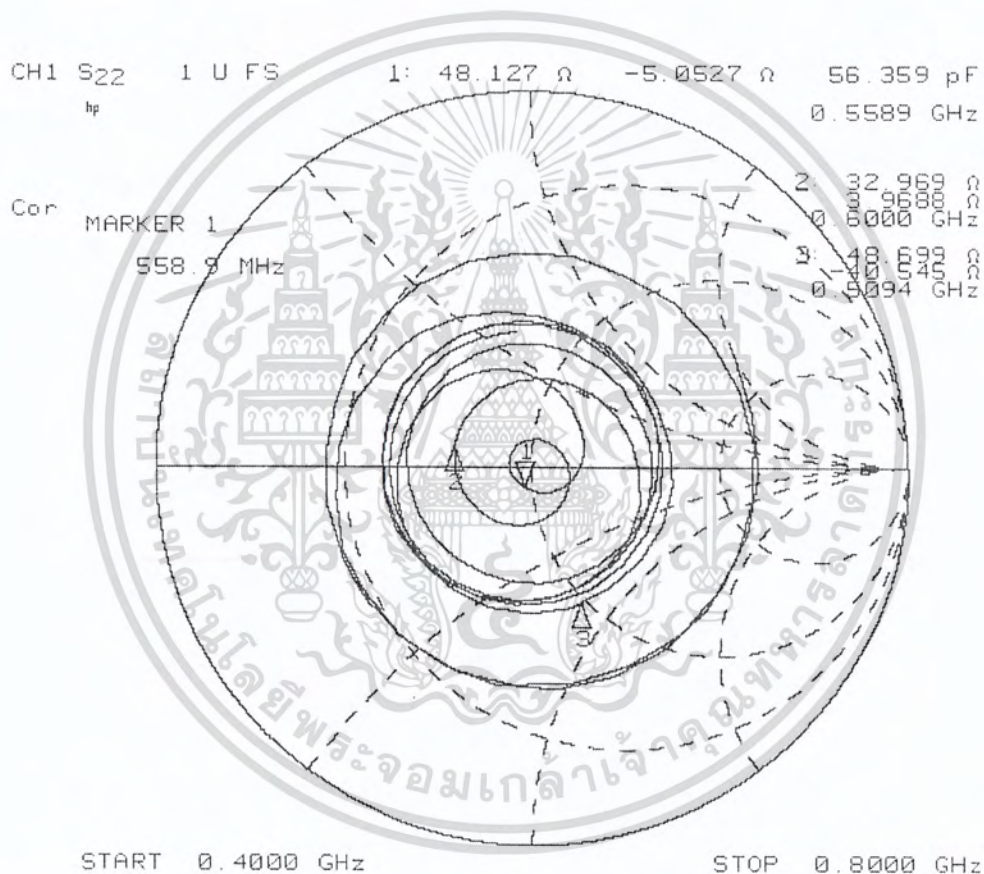
จากการวัด โดยเครื่อง Network analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

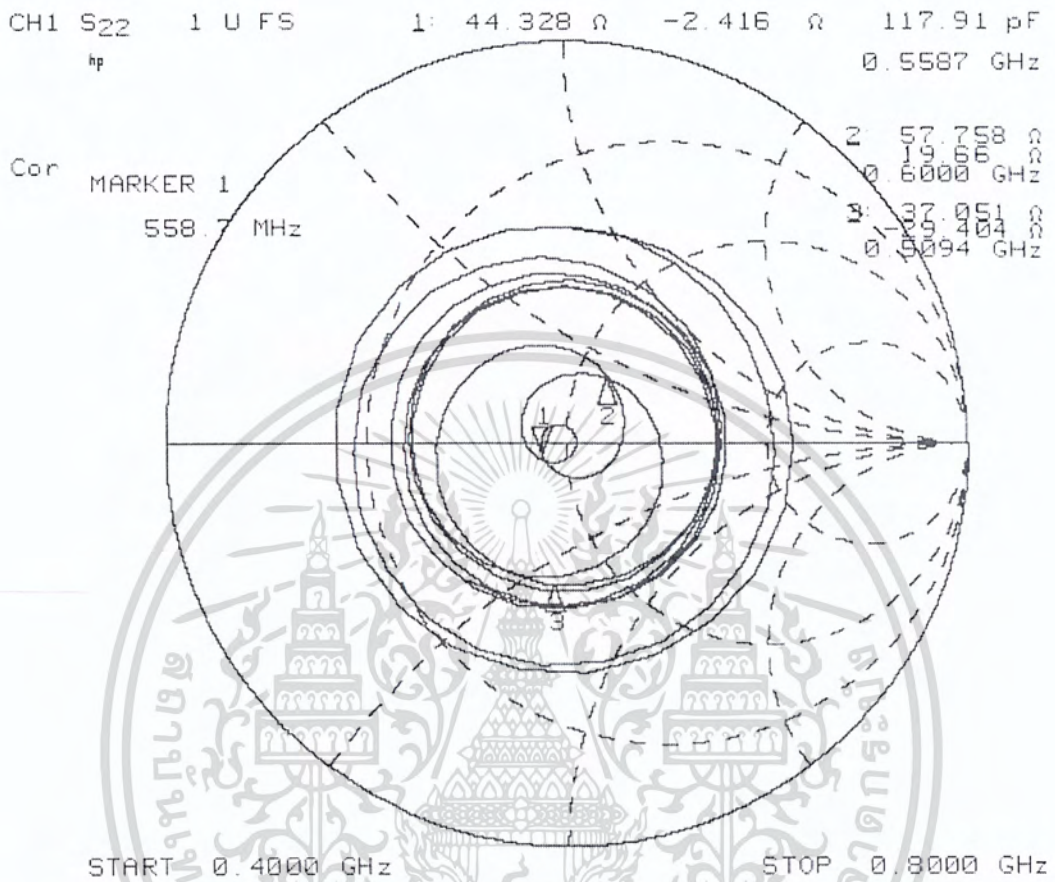
## 4.2.2 ผลการทดลองที่ได้จากสายอากาศ 4 ทิศทาง

### 4.2.2.1 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ (Impedance)

สามารถวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ โดยการอ่านค่า Smith Chart จากเครื่อง Network Analyzer ผลการทดลองของสายอากาศทั้ง 4 ต้น ได้ดังรูปที่ 4.19 , 4.20 , 4.21 และ 4.22

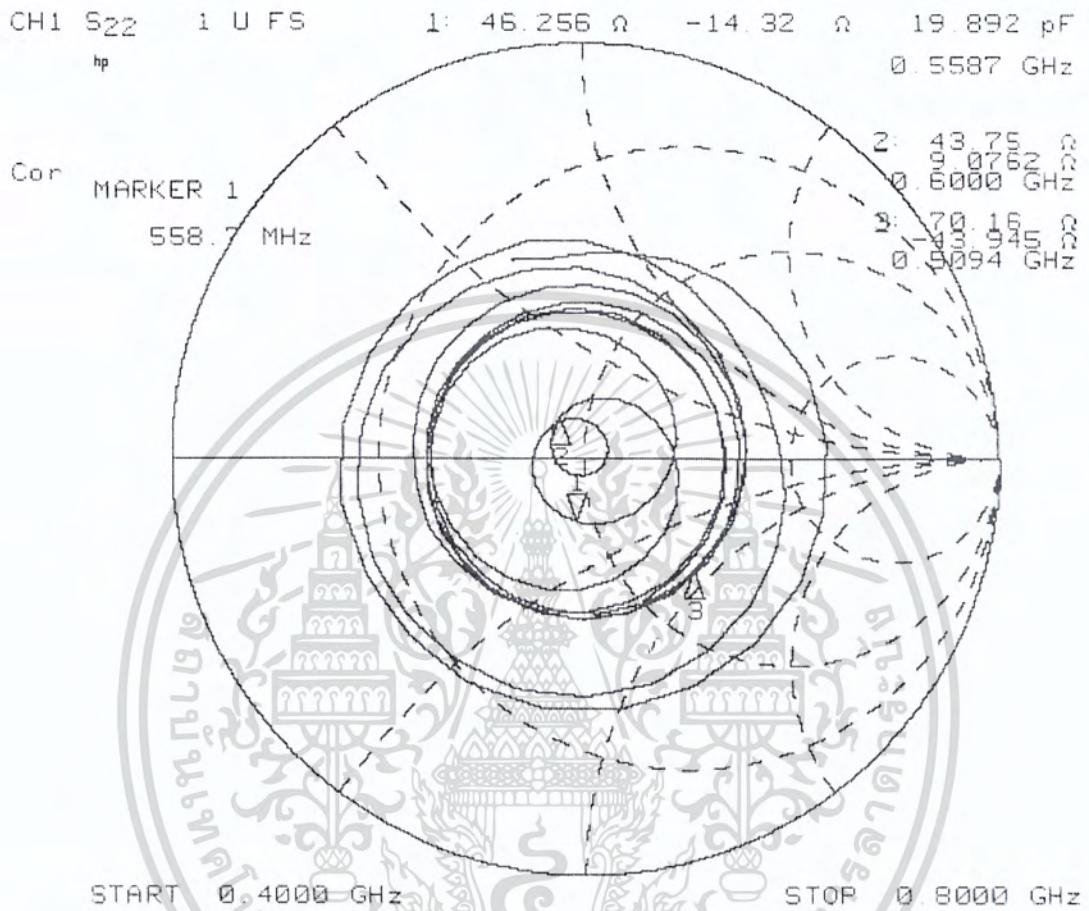


รูปที่ 4.29 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศหมายเลข 1 จาก Smith Chart ที่ความถี่ 559 MHz มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $48.127 - j5.0527 \Omega$



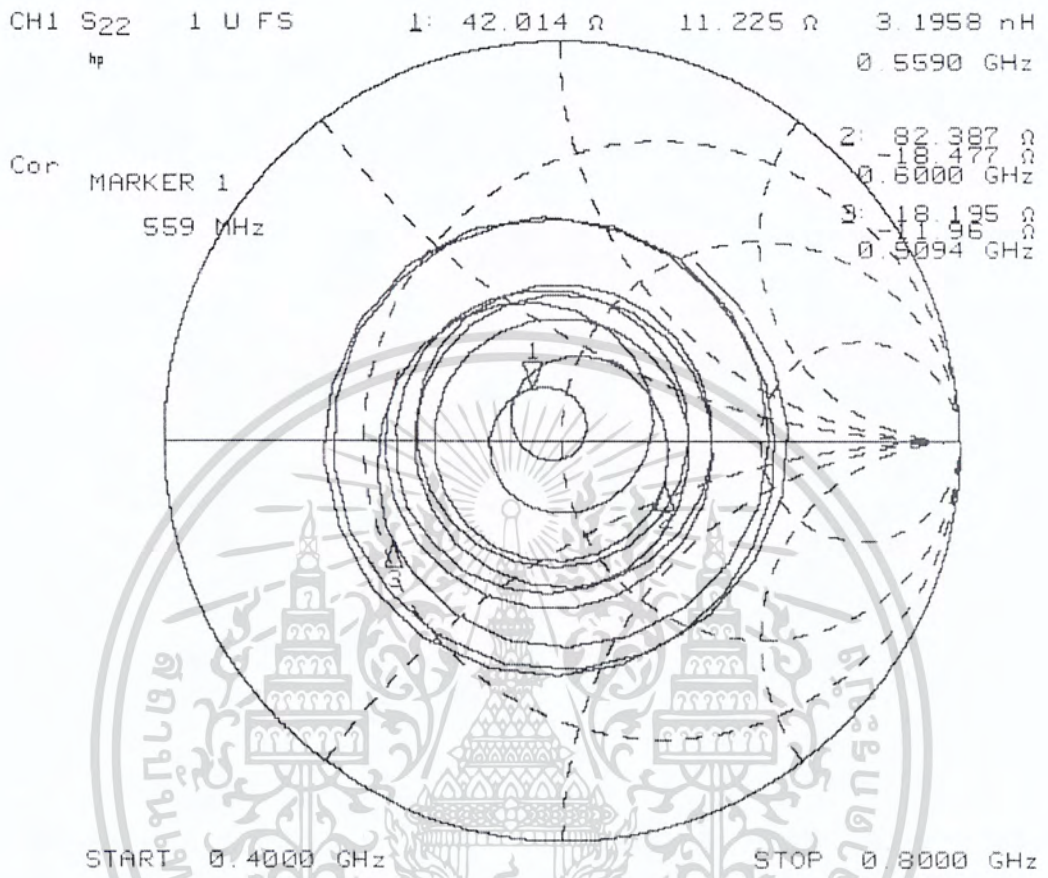
รูปที่ 4.30 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศหมายเลข 2 จาก Smith Chart ที่ความถี่ 559 MHz มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $44.328 - j2.416 \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศหมายเลข 3 จาก Smith Chart ที่ความถี่ 559 MHz มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $46.256-j14.32 \Omega$

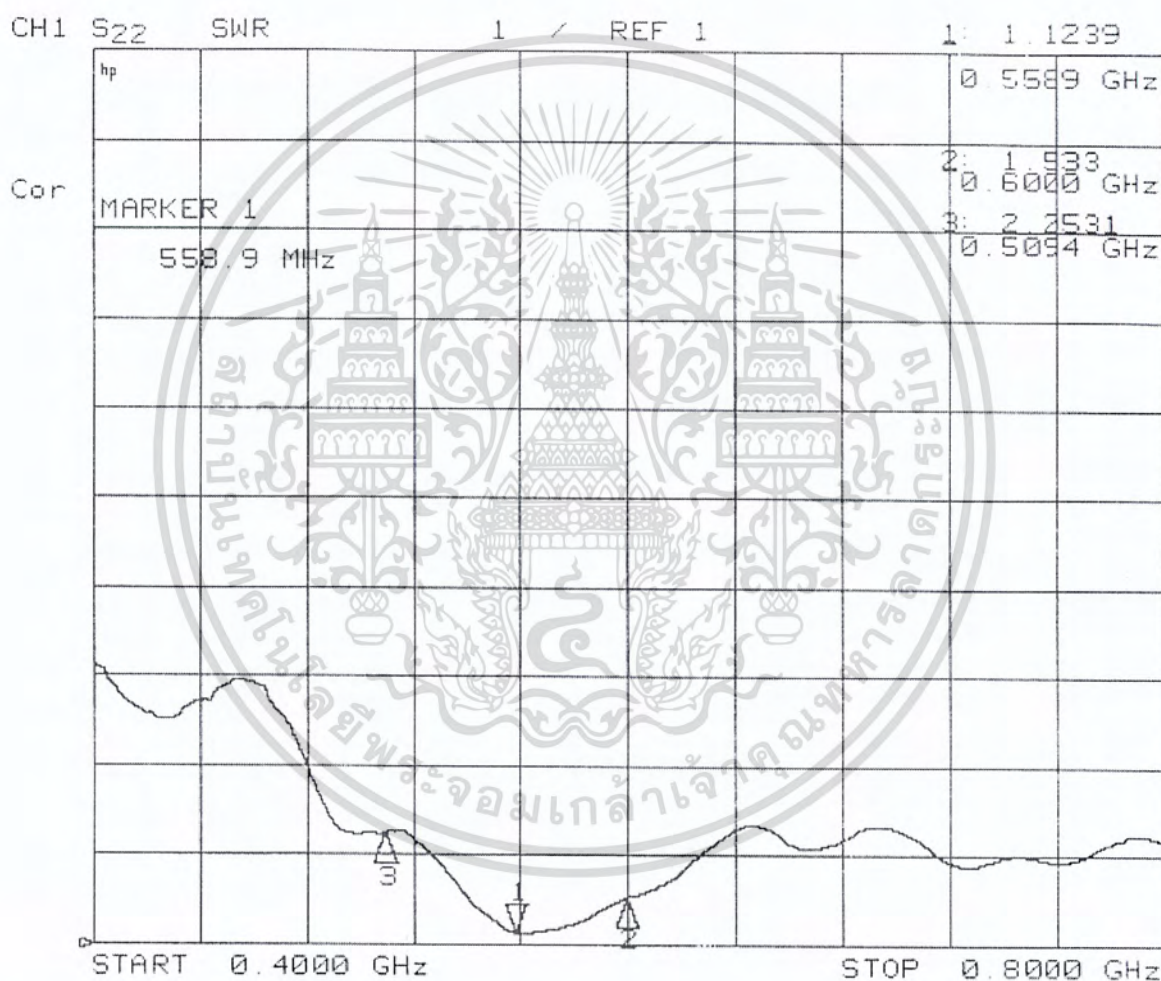
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศหมายเลข 4 จาก Smith Chart ที่ความถี่ 559 MHz มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $42.014 + j11.225 \Omega$

#### 4.2.2.2 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR)

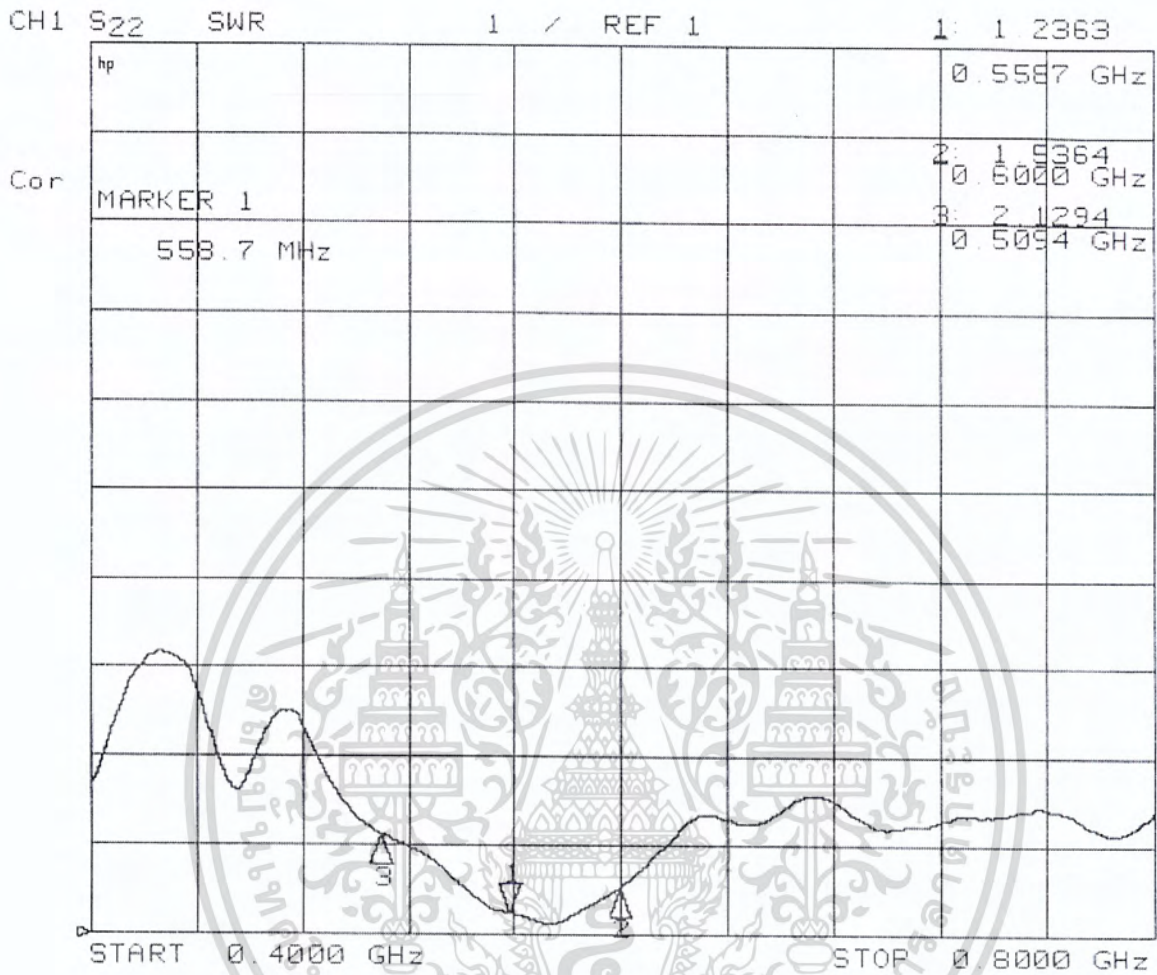
การทดสอบหาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศ สามารถหาได้จากเครื่อง Network analyzer โดยจะได้ผลการทดลองของสายอากาศทั้ง 4 ต้น ตามรูปที่ 4.23 ถึง 4.26 โดยอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่สามารถใช้งานได้นั้นต้องมีค่าไม่เกิน 2:1



รูปที่ 4.33 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศหมายเลข 1 ที่ความถี่ 559 MHz สามารถอ่านค่า

ได้เท่ากับ 1.1329 : 1

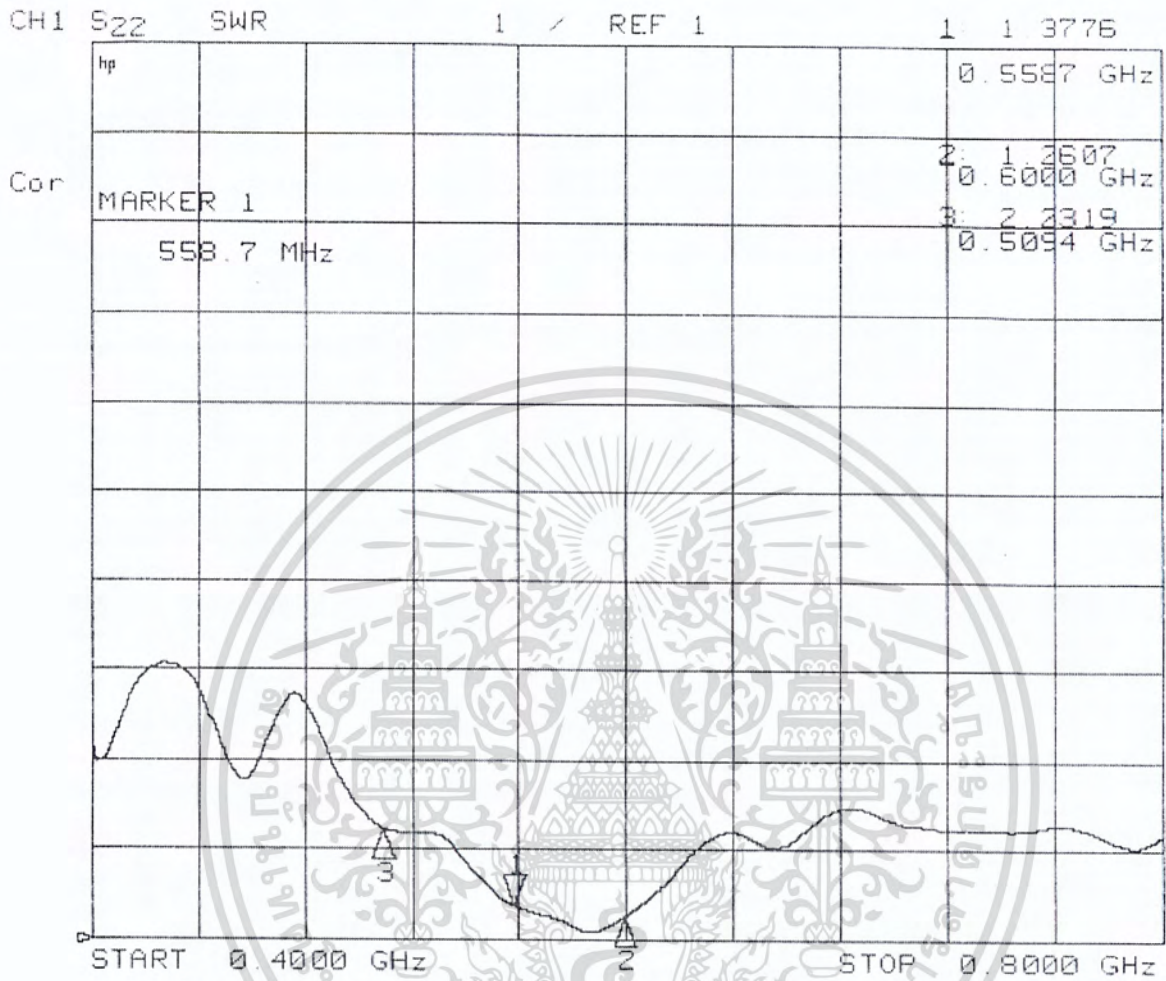
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศหมายเลข 2 ที่ความถี่ 559 MHz สามารถอ่านค่า

ได้เท่ากับ 1.2363 : 1

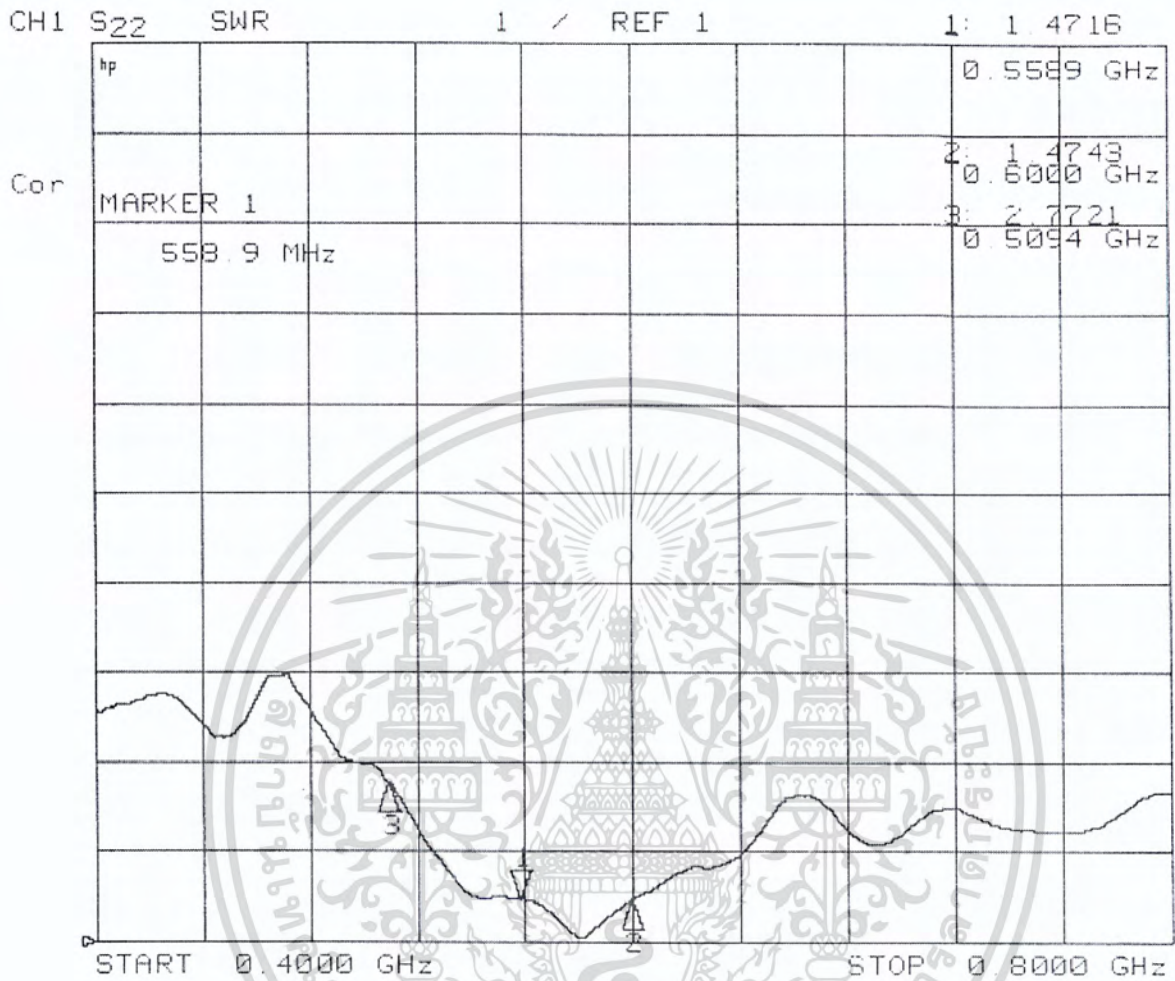
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศหมายเลข 3 ที่ความถี่ 559 MHz สามารถอ่านค่า

ได้เท่ากับ 1.3776 : 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศหมายเลข 4 ที่ความถี่ 559 MHz สามารถอ่านค่า

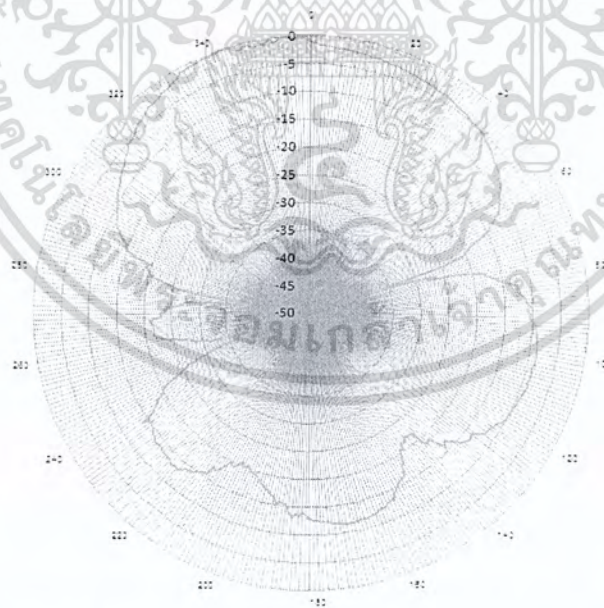
ได้เท่ากับ 1.4716 : 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ

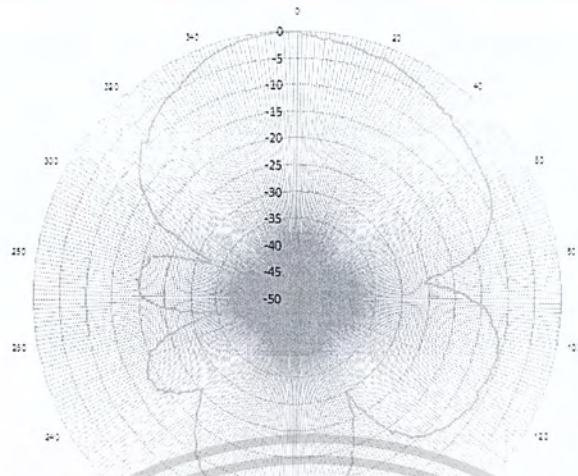
การทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศจะทำได้ในห้อง ไรค์คลื่นสะท้อน โดยหาระยะที่ใช้ในการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานจะใช้บริเวณสนาม ระยะไกล (Far-Field) เมื่อทำการวัดค่าสนามไฟฟ้าของสายอากาศทั้ง 4 ตัว แล้วนำมาพลอตกราฟ แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ จะได้ดังรูปที่ 4.27 ถึง 4.30 โดยการวัดค่ากำลังสนาม ในระนาบสนามไฟฟ้า ต้องติดตั้งสายอากาศที่ใช้รับและส่งให้ขนานกับพื้นระนาบ ดังรูปที่ 4.6 แล้วทำการทดลองโดยใช้เครื่อง Network Analyzer

ซึ่งบริเวณสนามระยะไกล (Far-Field) สามารถหาได้จากสมการที่ 4.1 จากการคำนวณระยะการแผ่พลังงานโดยใช้ค่า  $D = 0.36$  เมตร และ  $\lambda = 0.536$  เมตร จะได้ระยะ 0.48 เมตร ในที่นี้จะใช้ระยะในการวัด 3 เมตร



รูปที่ 4.37 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศหมายเลข 1  
จากการวัดโดยเครื่อง Network Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

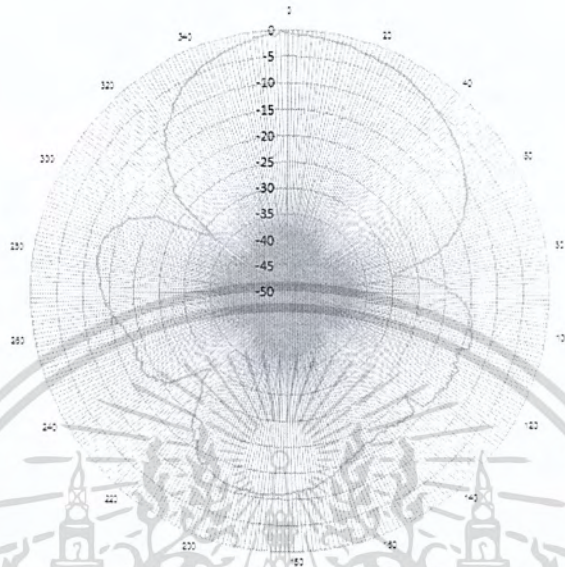


รูปที่ 4.38 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศหมายเลข 2  
จากการวัด โดยเครื่อง Network Analyzer



รูปที่ 4.39 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศหมายเลข 3  
จากการวัด โดยเครื่อง Network Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.40 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศหมายเลข 4

จากการวัดโดยเครื่อง Network Analyzer

#### 4.2.2.4 อัตราการขยายของสายอากาศ

การทดสอบอัตราขยายของสายอากาศ จะใช้สายอากาศทั้งตัวส่งและตัวรับที่มีรับที่โครงสร้างและคุณลักษณะเหมือนกัน วางห่างกันด้วยระยะทางที่มากกว่าหรือเท่ากับบริเวณสนามระยะไกล และใช้เครื่อง Network Analyzer เป็นตัวส่งและรับ โดยการคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศจะใช้สูตรดังนี้

$$G_t + G_r = 20 \log \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log \left( \frac{P_r}{P_t} \right) \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $G_t$  คืออัตราขยายของสายอากาศด้านส่ง (dBd)

$G_r$  คืออัตราขยายของสายอากาศด้านรับ (dBd)

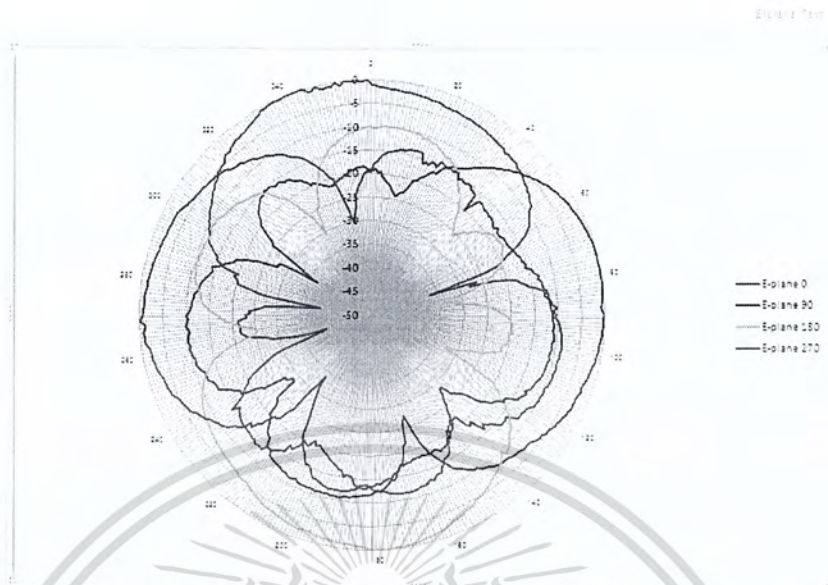
$R$  คือระยะ Far-field (m)

$P_t$  คือกำลังงานของสายอากาศด้านส่ง (W)

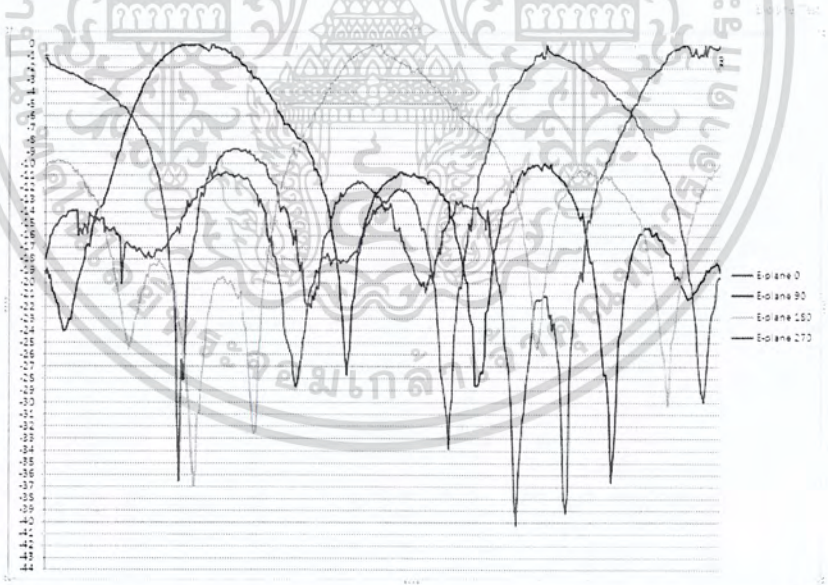
$P_r$  คือกำลังงานของสายอากาศด้านรับ (W)

จากการคำนวณ โดยใช้สมการที่ (4.2) จะได้ค่าอัตราขยายของสายอากาศ 4 ทิศทาง ดังต่อไปนี้

- 1) สายอากาศหมายเลข 1 มีอัตราขยายเท่ากับ 3.783 dBd
- 2) สายอากาศหมายเลข 2 มีอัตราขยายเท่ากับ 4.653 dBd
- 3) สายอากาศหมายเลข 3 มีอัตราขยายเท่ากับ 4.543 dBd
- 4) สายอากาศหมายเลข 4 มีอัตราขยายเท่ากับ 6.233 dBd



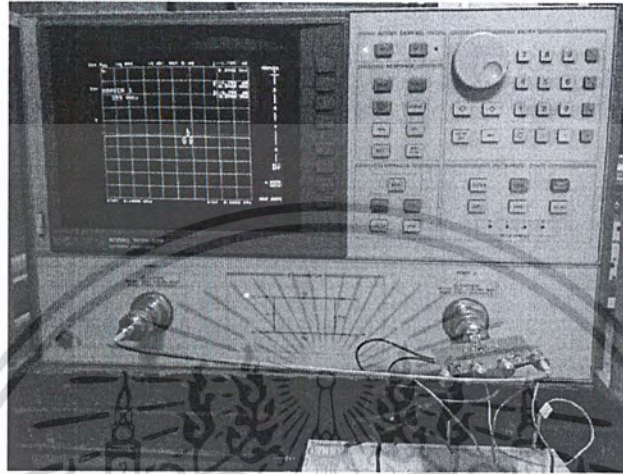
รูปที่ 4.41 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศทั้ง 4 ทิศทาง  
ที่ได้ทำการวัด โดยเครื่อง Network Analyzer



รูปที่ 4.42 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานบนกราฟเชิงเส้นของสายอากาศทั้ง 4 ทิศทาง  
ที่ได้ทำการวัด โดยเครื่อง Network Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3 ผลการทดลองวงจร RF switch



รูปที่ 4.43 แสดงการทดสอบวงจร RF switch โดยเครื่อง Network Analyzer

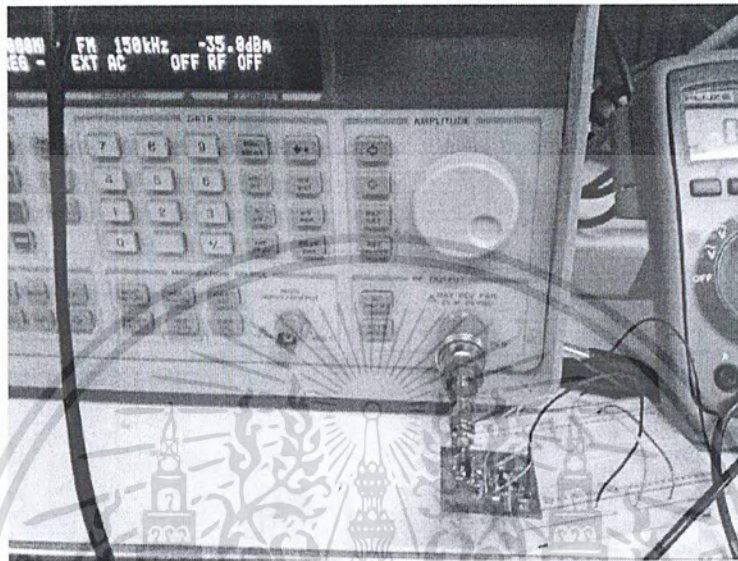
จากการทดสอบเมื่อทำการสวิตช์แล้ววัดค่า Transmissions loss พบว่าถ้าทำการสวิตช์ให้พอร์ต 1 ทำงาน ที่พอร์ต 1 จะมีค่า Transmissions loss ต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าสวิตช์มีการสวิตช์เปิดให้สัญญาณเดินทางผ่านพอร์ต 1 และสวิตช์ปิดพอร์ตอื่นๆ เช่นเดียวกันเมื่อทำการสวิตช์ไปยังพอร์ตอื่นๆ ก็จะมีการทำงานที่เหมือนกัน โดยค่าที่ได้ถูกแสดงไว้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า transitions loss ที่ได้จากการสวิตช์

	1	2	3	4
1	-1.769	-35.45	-55.14	-55.32
2	-33.88	-1.718	-58.76	-59.03
3	-44.51	-45.72	-1.734	-34.55
4	-44.53	-44.20	-34.33	-1.721

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.4 ผลการทดลองวงจร RF detector

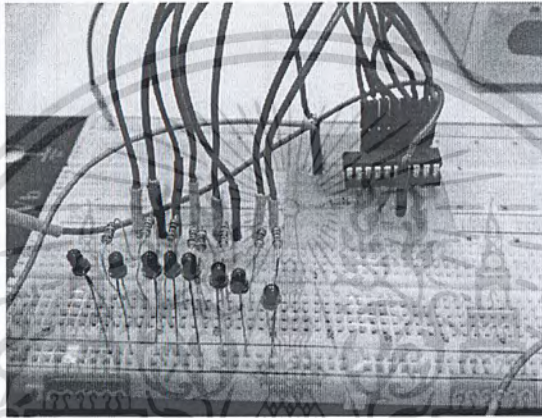


รูปที่ 4.44 แสดงการทดสอบวงจร RF switch โดยเครื่อง Network analyzer

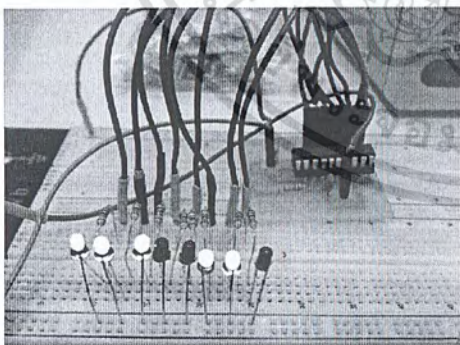
จากการทดสอบเมื่อป้อนสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุเข้า แล้วทำการปรับระดับความแรงของสัญญาณ พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออก มีการเปลี่ยนแปลงไปตามกันคือ ถ้าระดับความแรงของสัญญาณขาเข้ามีค่ามาก แรงดันไฟฟ้าออกก็มีค่ามากตามไปด้วย เป็นสัดส่วนกัน

#### 4.2.5 ผลการทดลองวงจร แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

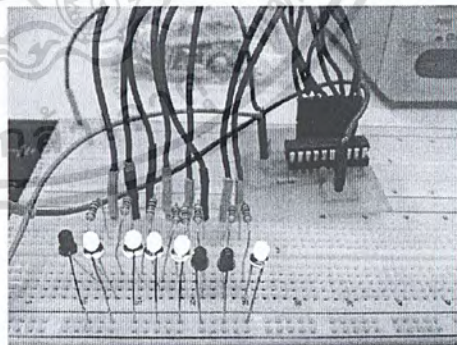
วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลมีการแปลงระดับแรงดันไฟที่เข้ามาให้อยู่ในรูปของบิตข้อมูล โดยมีระดับการแปลงอยู่ที่ 8 บิตหรือ 256 ระดับและเมื่อทำการทดลองป้อนแรงดันไฟแล้วพบว่าสามารถแปลงเป็นบิตข้อมูลได้ทดสอบโดยการใช้หลอด LCD ในการที่จะเปล่งแสงแทน ดังรูปที่ 4.33 และ 4.34(ก), (ข)



รูปที่ 4.45 แสดงการทดสอบวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (ยังไม่ป้อนสัญญาณขาเข้า)



(ก)

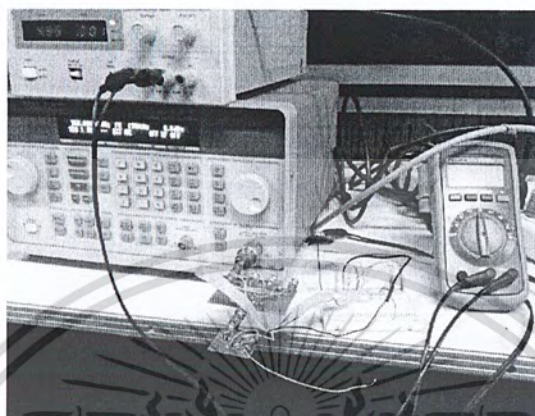


(ข)

รูปที่ 4.46 (ก)และ(ข) แสดงการทดสอบวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (เมื่อป้อนสัญญาณขาเข้าในระดับแรงดันไฟที่ต่างกัน)

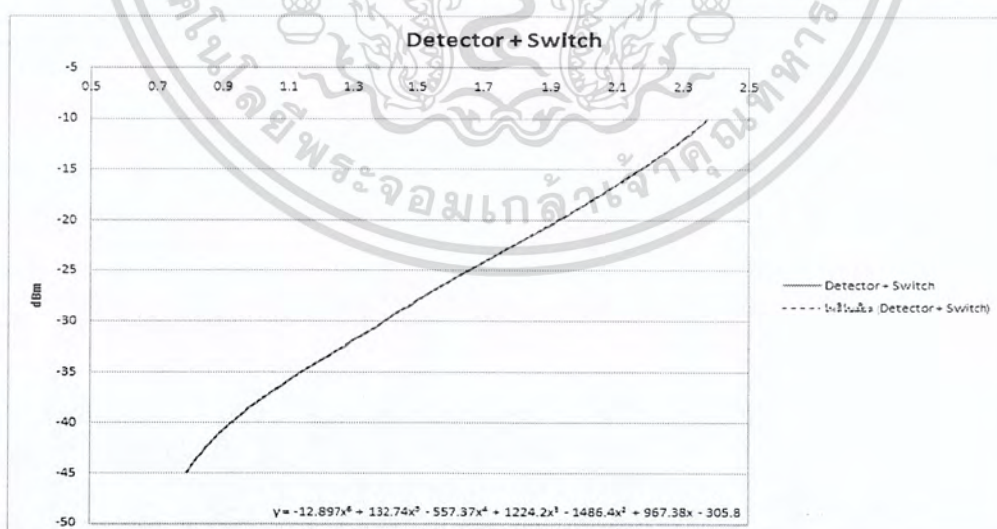
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.6 ผลการทดลองวงจร RF switch + วงจร RF detector



รูปที่ 4.47 การทดสอบวงจร RF switch + วงจร RF detector

เมื่อทำการทดลองโดยนำวงจร RF switch และวงจร RF detector มาต่อร่วมกัน แล้วทำการป้อนสัญญาณผ่าน RF switch แล้วทำการสวิตช์ผ่านไปยังวงจร RF detector แล้วเก็บผล โดยเปลี่ยนระดับความแรงของสัญญาณขาเข้า จะได้ผลจากการวัดที่แรงดันไฟขาออกเป็นไปดังรูปที่ 4.36

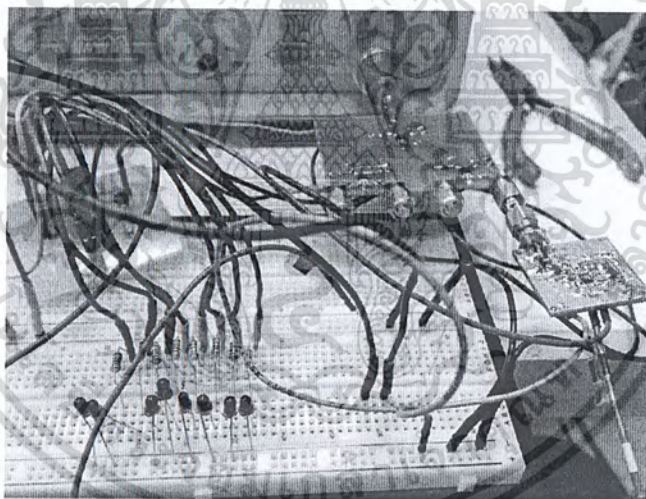


รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบวงจร RF switch + วงจร RF detector

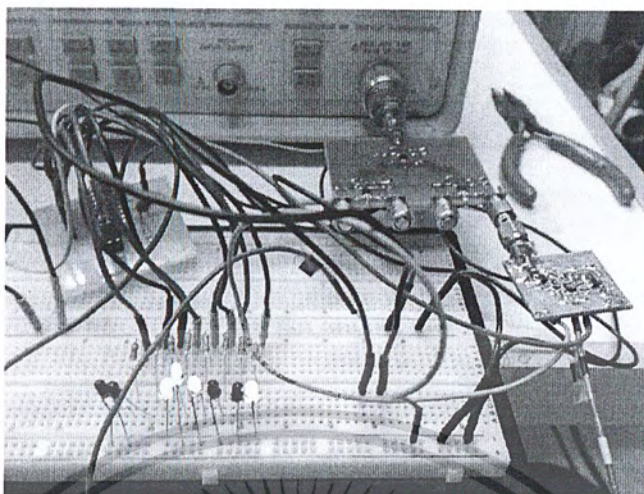
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.7 ผลการทดลองวงจร RF switch วงจร RF detector และวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ก่อนหน้านี้เป็นการทำงานทดลองวงจรที่ใช้ในการแปลงสัญญาณทั้งหมดที่แยกกันอยู่ ซึ่งเห็นได้ว่าวงจรแต่ละวงจรมีการทำงานที่ดี แต่ในการทดลองนี้จะเป็นการนำเอาวงจรแต่ละวงจรมารวมกันเพื่อนำไปใช้งานจริง เห็นได้ว่าการทดลองนี้เป็นไปด้วยดีคือวงจรแต่ละวงจรยังคงสามารถทำงานได้เหมือนเดิม โดยวงจร RF switch จะทำการเลือกสวิตซ์สัญญาณและทำการส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุที่ได้ไปแปลงเป็นระดับแรงดันไฟโดยวงจร RF detector และจากระดับแรงดันไฟจะถูกแปลงเป็นบิตข้อมูลโดยวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ดังรูปที่ 4.37 และ 4.38



รูปที่ 4.49 วงจร RF switch วงจร RF detector และ วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (ยัง ไม่มีการป้อนสัญญาณ)



รูปที่ 4.50 วงจร RF switch วงจร RF detector และวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (เมื่อมีการป้อนสัญญาณ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สายอากาศนั้นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้รับส่งสัญญาณเช่นรับส่งสัญญาณของวิทยุ โทรทัศน์ หรืออุปกรณ์สื่อสารอื่นอีกมากมาย และเมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับวงจรต่างๆ โดยมีการควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงทำให้เกิดเป็นอุปกรณ์ หรือเครื่องมือที่มีประโยชน์ที่สามารถนำไปใช้งานได้อีกหลายๆ ด้าน

#### 5.1 สรุปผล

โครงการนี้ได้นำเสนอการออกแบบสร้างและทดสอบสายอากาศเพื่อรับสัญญาณ ในช่วงความถี่ที่กำหนดให้รับได้โดยจะอยู่ในย่าน UHF มีความถี่ 558-566 MHz ซึ่งเป็นความถี่ในการกระจายสัญญาณของไทยทีวีสี ช่อง 3 รวมทั้งวงจรต่างๆที่ใช้ในการแปลงสัญญาณให้สามารถนำไปประมวลผลต่อได้ และส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จะเป็นตัวคำนวณผล ประมวลผล และทำการแสดงผล

โดยผู้จัดทำได้ออกแบบสายอากาศ ยากิ-อูตะ ชนิด 3 Element ซึ่งได้สร้าง สายอากาศ ชนิดดังกล่าวขึ้นมา 4 ต้น โดยจะวางสายอากาศให้รับสัญญาณในแนวระนาบกับพื้น และวางทำมุม ห่างกันทีละ 90 องศา เพื่อที่จะให้สายอากาศที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถรับสัญญาณ ได้รอบทิศทาง

ในส่วนของวงจรจะแบ่งออกโดยแยกตามการทำงานได้ 3 วงจร ได้แก่ วงจร RF switch ที่ทำหน้าที่สวิตช์เปิด ปิดรับสัญญาณที่ได้จากสายอากาศแต่ละตัว วงจร RF detector เป็น วงจรที่จะทำการแปลงสัญญาณที่ออกมาจากวงจรสวิตช์ ให้เป็นระดับแรงดันไฟ และวงจรสุดท้าย ก็คือวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลทำงาน โดยแปลงระดับแรงดันไฟให้เป็นบิต ข้อมูลเพื่อที่จะนำไปประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการรับค่าที่เข้ามาและทำการประมวลผล จากนั้นจะแสดงค่าที่ต้องการออกทางจอ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่ผู้จัดทำได้สร้างสายอากาศ ยากิ อุตะ และวงจรต่างๆ รวมถึงการเขียนโปรแกรม การคำนวณ การประมวลผล และการแสดงผลขึ้นมาสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการหา ทิศของช่องสัญญาณในกรณีที่ผู้ใช้งานอยู่ในบริเวณต่างๆ แล้วต้องการทราบว่าสัญญาณที่แรงที่สุด ที่เข้ามานั้นเข้ามาจากทางด้านทิศใดของห้อง สายอากาศที่สร้างขึ้นมานี้จะสามารถบอกได้ว่า สัญญาณที่เข้ามานั้นมาจากทิศทางใดโดยสายอากาศจะบอกทิศทางของช่องสัญญาณเป็นองศา มี ค่าความละเอียดในการวัด 1.0 องศา ทำให้ผู้ใช้งานสามารถทราบได้ว่าสัญญาณที่แรงที่สุดมาจาก ทิศทางใด

จากการที่ได้ศึกษา และ สร้างสายอากาศขึ้นมาทำให้ผู้จัดทำมีความรู้ความเข้าใจใน การสร้างสายอากาศ การต่อวงจร การเลือกใช้อุปกรณ์หรือ IC ให้ตรงตามความต้องการมากขึ้น และมีความชำนาญในการใช้เครื่องมือและโปรแกรม CST Microwave Studio มากขึ้นสามารถใช้ เครื่อง Network Analyzer ได้ดียิ่งขึ้น ทำให้รู้จักการทำงานเป็นกลุ่ม รู้จักวิธีการคิดแก้ไขปัญหา ต่างๆ ได้ดีขึ้น มีความรับผิดชอบหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย สามารถทำงานร่วมกับคนอื่น ได้เป็น อย่างดี สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ให้ประโยชน์ได้เมื่อจบการศึกษา

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบและสร้างสายอากาศพบว่าผลที่ออกมาไม่แตกต่างกับที่จำลองไว้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะวัสดุที่ใช้ในการสร้างและขั้นตอนการสร้างสายอากาศ หรืออาจผิดพลาดจาก การวัดระยะ ซึ่งทำให้ขนาดของสายอากาศผิดเพี้ยน เช่น ความห่างของ Element ของสายอากาศ แต่ละตัวมีระยะห่างที่คลาดเคลื่อน เป็นต้น จึงควรสร้างสายอากาศให้มีค่าให้ใกล้เคียงกับที่ ออกแบบไว้ให้มากที่สุด เพื่อให้ผลการทดลองผิดเพี้ยนน้อยที่สุด และจากการทดลองใช้งาน เครื่องมือ พบว่าอีกปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นคือ ปัญหาจากมัลติพาสเฟดดิ้ง ทำให้ระดับของสัญญาณที่ รับได้ มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างบ่อยครั้ง ทำให้การประมวลผลมีความคลาดเคลื่อน ดังนั้นใน การวัดจึงควรมีการประมวลผลและเก็บค่าหลายๆครั้ง หรือใช้วิธีการเชิงสถิติเข้ามาช่วย

## บรรณานุกรม

- [1] Richard C. Johnson. *Antenna Engineering Handbook*, 3<sup>rd</sup> ed. United States of America. R.R. Donelley & Sons Company, 1993.
- [2] C.A. Balanis. *Antenna Theory Analysis and Design*, 2<sup>nd</sup> ed. John : Wiley Sons Inc., 1997
- [3] Kamarudin, Muhammad R. Onbody Diversity and Angle-of-Arrival Measurement Using and a Pattern Switching Antenna. *IEEE Transactions On Antennas*, 2009
- [4] P.J. Wood. *Reflector antenna analysis and design*, London : Peter Peregrinus, 1980
- [5] โมไนย ไกรฤกษ์. *ทฤษฎีสายอากาศ*. กรุงเทพฯ : หจก.สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2535.
- [6] นคร ภัคดีชาติ, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. *ทดลองและใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ด้วยโปรแกรมภาษา C ฉบับ P89V51RD2* : บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด