

สายอากาศแถบความถี่คู่สำหรับประยุกต์ใช้งาน

ในย่านความถี่ยูเอชเอฟ และไมโครเวฟ

DUAL-BAND ANTENNA FOR UHF AND MICROWAVE APPLICATION



โดย

นายธนวัฒน์ พรมสาร

นายธนุส ตักศิริกุล

นายปฐมวีร์ ช่างสาน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

สายอากาศแถบความถี่คู่สำหรับประยุกต์ใช้งาน
ในย่านความถี่ยูเอชเอฟ และไมโครเวฟ
DUAL-BAND ANTENNA FOR UHF AND MICROWAVE APPLICATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้สอยเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ปีการศึกษา 2556

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศแถบความถี่คู่สำหรับประยุกต์ใช้งาน
ในย่านความถี่ยูเอชเอฟ และไมโครเวฟ
DUAL-BAND ANTENNA FOR UHF AND MICROWAVE APPLICATION

โดย

นายธนวัฒน์	พรมสาร	53010657
นายธนุส	ตักศิริกกุล	53010695
นายปฐวีร์	ช่างสาน	53010907

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพานิชย์

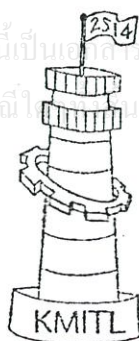
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

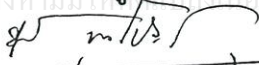
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

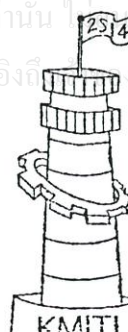
ปีการศึกษา 2556




ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว


(.....)
อาจารย์ที่ปรึกษา
13, ๑๓, ๕7

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering



ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว


(.....)
กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน
13, ๑๓, ๕7

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering

โครงการนปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

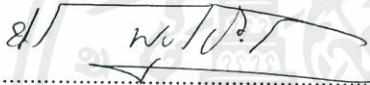
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สายอากาศแถบความถี่คู่สำหรับประยุกต์ใช้งาน ในย่านความถี่ยูเอชเอฟ และไมโครเวฟ

DUAL-BAND ANTENNA FOR UHF AND MICROWAVE APPLICATION

ผู้จัดทำ

- | | |
|-----------------------|----------|
| 1. นายธนวัฒน์ พรหมสาร | 53010657 |
| 2. นายธนุส ตักศิริกุล | 53010695 |
| 3. นายปฐวีร์ ช่างสาน | 53010907 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สามารถดำเนินงานสำเร็จได้ด้วยดีด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก อาจารย์ผู้ดูแล และเป็นผู้ช่วยเหลือแนะนำทั้งแนวทางทางด้านการศึกษาปริญญาานิพนธ์ หลักการการ ดำเนินชีวิตและหลักการคิดให้ชีวิตดำรงอยู่ได้อย่างมีความสุขและทั้งยังแนะนำกระบวนการคิด และหลักการทำปริญญาานิพนธ์ ให้แก่ข้าพเจ้าเสมอมา และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ตลอดช่วงชีวิตการศึกษาของข้าพเจ้าที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้ง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงยิ่ง

ขอขอบคุณสมาชิกห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สายทุกท่านสำหรับคำแนะนำ กำลังใจและข้อคิด ที่ดีตลอดช่วงเวลาที่ผ่านมา โดยเฉพาะ คุณสิทธิชัย เตนต์รี และคุณบัญชา เหลือแดง ที่คอย ช่วยเหลือในปริญญาานิพนธ์ของข้าพเจ้าเสมอมาขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

นายธนวัฒน์ พรหมสาร
นายธนุส ตักศิริกุล
นายปฐวีร์ ช่างสาน
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศแถบความถี่คู่สำหรับประยุกต์ใช้งาน ในย่านความถี่
ยูเอชเอฟ และไมโครเวฟ
DUAL-BAND ANTENNA FOR UHF AND MICROWAVE
APPLICATION

โดย	นายธนวัฒน์	พรมสาร	53010657
	นายธนุต	ตักสิริกุล	53010695
	นายปฐวีร์	ช่างसान	53010907

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

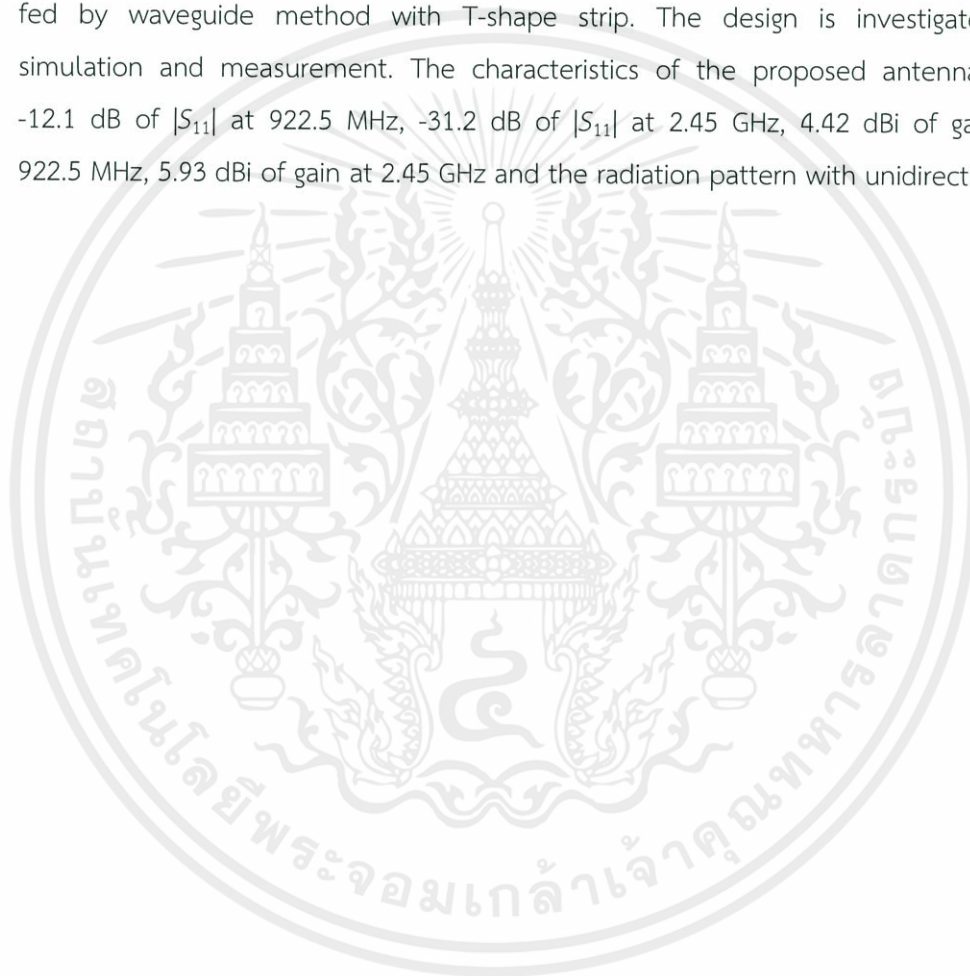
บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอสายอากาศแถบความถี่คู่สำหรับประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟ และไมโครเวฟ โดยสายอากาศที่นำเสนอในปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้ถูกออกแบบสำหรับใช้งานที่ความถี่ในช่วง 920 MHz – 925 MHz และ 2.40 GHz – 2.48 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ของระบบ RFID สายอากาศที่นำเสนอประกอบด้วยตัวแพร่กระจายคลื่นขนาด 5 cm x 10 cm และตัวสะท้อนคลื่น ขนาด 15 cm x 15 cm ซึ่งสร้างจากแผ่นพิมพ์ FR-4 สองหน้า ที่มีความหนา 1.6 mm และมีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์เท่ากับ 4.3 ซึ่งเป็นวัสดุที่หาง่ายและราคาถูก สำหรับแพร่กระจายคลื่นจะมีการป้องกันสัญญาณโดยวิธีเวฟไกด์พอร์ตผ่านเส้นสตรีปรูปตัวที ซึ่งหลังจากการออกแบบได้ทำการจำลองค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม และสร้างสายอากาศจริงสำหรับทำการทดสอบ เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศยกตัวอย่างเช่น $|S_{11}|$ อัตราขยาย และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า สายอากาศต้นแบบมีค่า $|S_{11}|$ ที่ความถี่ 922.5 MHz มีค่าเท่ากับ -12.1 dB และที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าเท่ากับ -31.2 dB อัตราขยายของสายอากาศต้นแบบที่ความถี่ 922.5 MHz มีค่าเท่ากับ 4.42 dBi และที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่าเท่ากับ 5.93 dBi และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเป็นแบบทิศทางเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

This thesis presents Dual-band Antenna for UHF and Microwave application. The proposed antenna is designed for RFID system in the frequency band of 920 MHz – 925 MHz and 2.40 GHz – 2.48 GHz. The antenna consists of a radiator with the size of 5 cm x 10 cm and reflector with the size of 15 cm x 15 cm that are fabricated on FR-4 with the permittivity of 4.3 and thickness 1.6 mm. The radiator is fed by waveguide method with T-shape strip. The design is investigate for simulation and measurement. The characteristics of the proposed antenna are -12.1 dB of $|S_{11}|$ at 922.5 MHz, -31.2 dB of $|S_{11}|$ at 2.45 GHz, 4.42 dBi of gain at 922.5 MHz, 5.93 dBi of gain at 2.45 GHz and the radiation pattern with unidirectional.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บดคัดย่อ	II
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	XIII
บทที่ 1	
บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษาและขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.3 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2	
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 บทนำ	3
2.2 ยูเอชเอฟ (UHF)ไมโครเวฟ (Microwave)	3
2.3 ไมโครเวฟ (Microwave)	5
2.4 ระบบอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification: RFID)	7
2.4.1 คลื่นวิทยุและมาตรฐานสำหรับอาร์เอฟไอดี	7
2.4.2 หลักการทั่วไปของระบบอาร์เอฟไอดี	9
2.5 ทฤษฎีและหลักการของสายอากาศไมโครสตริป	11
2.5.1 ข้อดีและข้อเสียของสายอากาศไมโครสตริป	12
2.6 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานในการวิเคราะห์สายอากาศ	13
2.6.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)	13
2.6.2 อัตราขยาย (Gain)	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.3 ประสิทธิภาพของสายอากาศ	16
2.6.4 อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio)	17
2.6.5 การสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)	18
2.6.6 แบนด์วิดท์ (Bandwidth)	18
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
2.7.1 สายอากาศสองย่านความถี่กว้างบนแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับการประยุกต์ใช้งาน WLAN และ WIMAX	19
2.7.2 สายอากาศแบบช่องบนแผ่นวงจรพิมพ์ป้อนด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริป	26
2.7.2.1 การสร้าง และผลการทดลอง	27
2.7.2.2 ข้อสรุป	29
2.7.3 การออกแบบสายอากาศโมโนโพลรูปตัวทีสำหรับ WIFI กับระนาบกราวด์ที่ไม่เท่ากัน	29
2.7.3.1 การออกแบบและผลการทดสอบ	30
2.7.3.2 ผลการทดสอบ และ ข้อเสนอแนะ	32
2.7.3.3 สรุป	33
บทที่ 3 การออกแบบ	34
3.1 บทนำ	34
3.2 โครงสร้างสายอากาศ	34
3.2.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 การออกแบบสายอากาศแถบความถี่ที่ใช้ในงานในย่านความถี่ ยูเอชเอฟและไมโครเวฟ	37
3.2.2.1 โครงสร้างเบื้องต้นของสายอากาศ	38
3.2.2.2 โครงสร้างเบื้องต้นของสายอากาศหลังจากลดกราวด์	39
3.2.2.3 โครงสร้างเบื้องต้นของสายอากาศหลังจากเพิ่มเส้นป้อน สัญญาณ	41
3.2.2.4 โครงสร้างเบื้องต้นของสายอากาศหลังจากเพิ่มแผ่น สะท้อน	42
3.3 การศึกษาค่าพารามิเตอร์	43
3.3.1 การศึกษาพารามิเตอร์ความสูงของกราวด์ (L_g)	43
3.3.2 การศึกษาพารามิเตอร์ความกว้างของเส้นป้อนสัญญาณ (W_0)	44
3.3.3 การศึกษาพารามิเตอร์ความกว้างของวัสดุฐานรอง (W_s)	45
3.3.4 การศึกษาพารามิเตอร์ความยาวของวัสดุฐานรอง (L_s)	46
3.3.5 การศึกษาค่าพารามิเตอร์ความยาวของเส้นป้อนสัญญาณ (L_f)	47
3.3.6 การศึกษาค่าพารามิเตอร์ความกว้างของโลหะตัวนำ (W)	48
3.3.7 การศึกษาค่าพารามิเตอร์ความยาวของโลหะตัวนำ (L)	49
3.3.8 การศึกษาค่าพารามิเตอร์ความกว้างของแผ่นสะท้อน (W_r)	50
3.3.9 การศึกษาค่าพารามิเตอร์ความยาวของแผ่นสะท้อน (L_r)	51
3.3.10 การศึกษาค่าพารามิเตอร์ระยะห่างระหว่างแผ่นสะท้อนกับ สายอากาศ (W_r)	52
3.4 บทสรุป	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 4	4.1 บทนำ	57
	4.2 สายอากาศต้นแบบ	57
	4.3 วงจรสมมูล	60
	4.3.1 ปรับค่าความต้านทานวงจรสมมูลของสายอากาศ	61
	4.3.2 ปรับค่าความเหนี่ยวนำวงจรสมมูลของสายอากาศ	62
	4.3.3 ปรับค่าตัวเก็บประจุวงจรสมมูลของสายอากาศ	65
	4.4 การทดสอบสายอากาศ	69
	4.4.1 ผลการทดสอบ $ S_{11} $	69
	4.4.2 ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	71
	4.4.3 ผลการทดสอบอัตราขยาย	76
	4.5 สมรรถนะของสายอากาศต้นแบบ	78
4.6 บทสรุป	79	
บทที่ 5	5.1 บทนำ	80
	5.2 สรุปผลการทดสอบ	80
	5.3 ข้อดี ข้อเสีย ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา	83
บรรณานุกรม		85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงย่านความถี่เอชเอฟสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	4
2.2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	5
2.3 ส่วนประกอบของระบบอาร์เอฟไอดี	9
2.4 วิธีการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก ซึ่งใช้ในย่านความถี่ต่ำและย่านความถี่สูง	10
2.5 วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งใช้ในย่านความถี่สูงยิ่งและย่านความถี่ไมโครเวฟ	10
2.6 โครงสร้างทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป	11
2.7 ระบบพิกัดทรงกลมซึ่งใช้สำหรับวิเคราะห์แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	13
2.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว	15
2.9 การสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)	18
2.10 โครงสร้างทางเรขาคณิตของสายอากาศบนแผ่นวงจรพิมพ์ในหน่วยมิลลิเมตร	20
2.11 ผลการจำลองและผลการทดสอบค่า $ S_{11} $ ของสายอากาศ	22
2.12 ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	24
2.13 ผลจากการทดสอบอัตราขยายสูงสุดที่เกี่ยวข้องกับความถี่ของสายอากาศ	25
2.14 โครงสร้างของสายอากาศแบบช่องสำหรับการนำไปใช้ในระบบ WIFI	26
2.15 ผลการเปรียบเทียบค่า $ S_{11} $ ระหว่างผลการจำลอง และการทดสอบของสายอากาศ	27
2.16 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากการทดสอบ	28
2.17 โครงสร้างของสายอากาศที่ได้นำเสนอ	30
2.18 ผลการทดสอบ และการจำลองค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.19 ผลการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศในกรณีที่ไม่มีช่องเป็นทางยาว ในระนาบ yz	32
2.20 ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่สนามระยะไกล	33
3.1 โครงสร้างของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟ และไมโครเวฟ	34
3.2 โครงสร้างสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและ ไมโครเวฟเริ่มต้น	38
3.3 $ S_{11} $ ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและ ไมโครเวฟ ของค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นจากการคำนวณ	38
3.4 โครงสร้างสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและ ไมโครเวฟด้านหลังหลังจากลดกราวด์ลง	39
3.5 $ S_{11} $ ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและ ไมโครเวฟของค่าพารามิเตอร์หลังจากลดกราวด์	40
3.6 โครงสร้างสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและ ไมโครเวฟเมื่อเพิ่มเส้นป้อนสัญญาณทั้งสองด้าน	41
3.7 $ S_{11} $ ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและ ไมโครเวฟเมื่อเพิ่ม FEED LINE ออกสองด้าน	41
3.8 โครงสร้างระยะห่างระหว่างสายอากาศกับแผ่นสะท้อน	42
3.9 $ S_{11} $ ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและ ไมโครเวฟเมื่อปรับค่าขนาดความสูงของกราวด์	43
3.10 $ S_{11} $ ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและ ไมโครเวฟเมื่อปรับค่าความกว้างของเส้นป้อนสัญญาณ (W_0)	44
3.11 $ S_{11} $ ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและ ไมโครเวฟเมื่อปรับค่าความกว้างของวัสดุฐานรอง (W_r)	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 S_{11} ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟ และ ไมโครเวฟ เมื่อปรับค่าความยาวของวัสดุฐานรอง (L_s)	46
3.13 S_{11} ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและ ไมโครเวฟ เมื่อปรับค่าความสูงของเส้นป้อนสัญญาณเส้นกลางจาก กึ่งกลางของวัสดุฐานรอง (L_f)	47
3.14 S_{11} ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและ ไมโครเวฟ เมื่อปรับค่าความกว้างของโลหะตัวนำ (W)	48
3.15 S_{11} ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและ ไมโครเวฟ เมื่อปรับค่าความยาวของโลหะตัวนำ (L)	49
3.16 S_{11} ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและ ไมโครเวฟ เมื่อปรับค่าความกว้างของโลหะตัวนำ (W_r)	50
3.17 S_{11} ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและ ไมโครเวฟ เมื่อปรับค่าความยาวของแผ่นสะท้อน (L_r)	51
3.18 S_{11} ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและ ไมโครเวฟ เมื่อปรับค่าความยาวของแผ่นสะท้อน (Z)	52
3.19 โครงสร้างของสายอากาศต้นแบบสำหรับสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟ	53
3.20 S_{11} ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและ ไมโครเวฟเมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม	53
3.21 กราฟแสดงอัตราขยายสายอากาศในย่านความถี่ยูเอชเอฟ และ ไมโครเวฟของความถี่ 922.5 MHz	54
3.22 กราฟแสดงอัตราขยายสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ ยูเอชเอฟและไมโครเวฟของความถี่ 2.45 GHz	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.23 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 922.5 MHz ในระนาบ xz และในระนาบ yz	55
3.24 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz ในระนาบ xz และในระนาบ yz	55
4.1 ภาพถ่ายสายอากาศต้นแบบ	58
4.2 วงจรสมมูลของสายอากาศ	60
4.3 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศ	61
4.4 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่าความต้านทาน R_1 และ R_4 ลดลง	61
4.5 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่าความต้านทาน R_5 เพิ่มขึ้น	62
4.6 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่าตัวเหนี่ยวนำ L_2 และ L_3 มากขึ้น	63
4.7 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่าตัวเหนี่ยวนำ L_2 และ L_3 น้อยลง	63
4.8 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่าตัวเหนี่ยวนำ L_5 เพิ่มขึ้น	64
4.9 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่าตัวเหนี่ยวนำ L_5 ลดลง	65
4.10 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่าตัวเก็บประจุ C_2 และ C_3 มากขึ้น	66
4.11 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่าตัวเก็บประจุ C_2 และ C_3 น้อยลง	66
4.12 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่าตัวเก็บประจุ C_5 เพิ่มขึ้น	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่าตัวเก็บประจุ C_5 ลดลง	68
4.14 การทดสอบค่า $ S_{11} $ ของสายอากาศ	70
4.15 ผลการทดสอบค่า $ S_{11} $	70
4.16 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	73
4.17 การจัดเตรียมเครื่องมือสำหรับการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	73
4.18 ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	74
4.19 การเปรียบเทียบผลการทดสอบและผลจำลองอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 922.5 MHz	77
4.20 การเปรียบเทียบผลการทดสอบและผลจำลองอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz	78
5.1 โครงสร้างสายอากาศ	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สเปกตรัมของคลื่นความถี่วิทยุ	3
2.2	ตารางการใช้ความถี่ในแต่ละประเทศหลัก	8
2.3	ขอบเขตแถบความถี่ที่ต่ำกว่า -10 dB จากการจำลอง และแถบความถี่สำหรับสายอากาศซึ่งถูกนำเสนอเกี่ยวกับการเปลี่ยนขนาดของ W_1 และ W_2	21
3.1	พารามิเตอร์ของสายอากาศต้นแบบ	35
3.2	สรุปสมรรถนะของสายอากาศ	56
4.1	พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ	58
4.2	สมรรถนะของสายอากาศต้นแบบ	78
5.1	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากระบบดังกล่าวไม่จำเป็นต้องใช้สายนำสัญญาณในการติดต่อสื่อสาร ด้วยการให้บริการของระบบเหล่านี้จึงสามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวกในทุกสถานที่ทุกเวลาที่มีความแรงของสัญญาณเข้าถึงเพียงพอ และมีอุปกรณ์ติดต่อสื่อสารรองรับ เพราะฉะนั้นสิ่งที่ขาดไม่ได้สำหรับการสื่อสารไร้สายนั้นก็คือสายอากาศ ซึ่งมีหน้าที่แปลงสัญญาณข้อมูลข่าวสารให้กลายเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและแพร่กระจายออกไป ในความถี่ของช่องสัญญาณที่ต่างกัน เช่น ยูเอชเอฟ ไมโครเวฟ ซึ่งการเลือกใช้งานของแต่ละความถี่จะขึ้นอยู่กับกฎหมายของแต่ละประเทศ และลักษณะการใช้งานของสายอากาศที่สามารถทำการออกแบบและทำการสร้างได้โดยหลักการง่ายๆ นั่นคือ สายอากาศไมโครสตริบ เนื่องจากมีราคาถูกและสามารถหาวัสดุได้ง่ายดังนั้นปริยฐานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอสายอากาศแถบความถี่คู่สำหรับประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟ (Dual-band antenna for UHF and Microwave Application) เพื่อตอบสนองย่านความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษาและขอบเขตปริญญาานิพนธ์

วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เพื่อศึกษา และออกแบบสายอากาศแถบความถี่คู่สำหรับประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟ และไมโครเวฟ (Dual-band antenna for UHF and Microwave Application) เพื่อตอบสนองย่านความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz โดยครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 920 MHz ถึง 925 MHz และ 2.4 GHz ถึง 2.5 GHz จากแผ่นวงจรพิมพ์โดยมุ่งเน้นถึงการประยุกต์ใช้งานให้มีประสิทธิภาพดี มีต้นทุนต่ำและสามารถสร้างจากวัสดุพื้นฐานซึ่งหาซื้อได้ง่าย

1.3 รายละเอียดของปริญญาานิพนธ์

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท คือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์การศึกษาและขอบเขตของปริญญาานิพนธ์ และรายละเอียดของปริญญาานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการ และทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศไมโครสตริปแถบความถี่คู่สำหรับประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟ และไมโครเวฟ และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 กล่าวถึงการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของสายอากาศที่จะทำการสร้าง เริ่มต้นจากการคำนวณค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นจากย่านความถี่ จากนั้นนำค่าที่ได้จากการคำนวณไปวิเคราะห์ในโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO[®] เพื่อศึกษาถึงความสอดคล้องของทฤษฎีและทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ของสายอากาศเพื่อให้ได้ค่าอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสม ย่านความถี่สำหรับที่ต้องการใช้งาน

บทที่ 4 กล่าวถึงผลจากการทดสอบสายอากาศที่ได้ทำการวิเคราะห์มาในขั้นต้น แล้วนำมาสร้างขึ้นจริง จากนั้นนำผลจากการจำลองมาเปรียบเทียบกับผลในทางปฏิบัติจริงโดยแสดงถึง $|S_{11}|$ และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

บทที่ 5 กล่าวถึงการสรุปเนื้อหาของปริญญาานิพนธ์ ผลกระทบต่างๆที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ผลทดสอบของสายอากาศทั้งหมดที่ได้ทำการสร้างขึ้นรวมทั้งข้อดี และข้อเสียของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 บทนำ

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการของระบบยูเอชเอฟ ไมโครเวฟ และระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Identification : RFID) ทฤษฎีและหลักการของไมโครสตริป รวมถึงผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีมาก่อน สำหรับสายอากาศจะถูกสร้างขึ้นจากแผ่นวงจรพิมพ์ซึ่งถูกนำมาใช้งานสำหรับย่านความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz โดยครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 920 MHz ถึง 925 MHz และ 2.4 GHz ถึง 2.5 GHz

2.2 ยูเอชเอฟ (UHF)

ตารางที่ 2.1 สเปกตรัมของคลื่นความถี่วิทยุ [1]

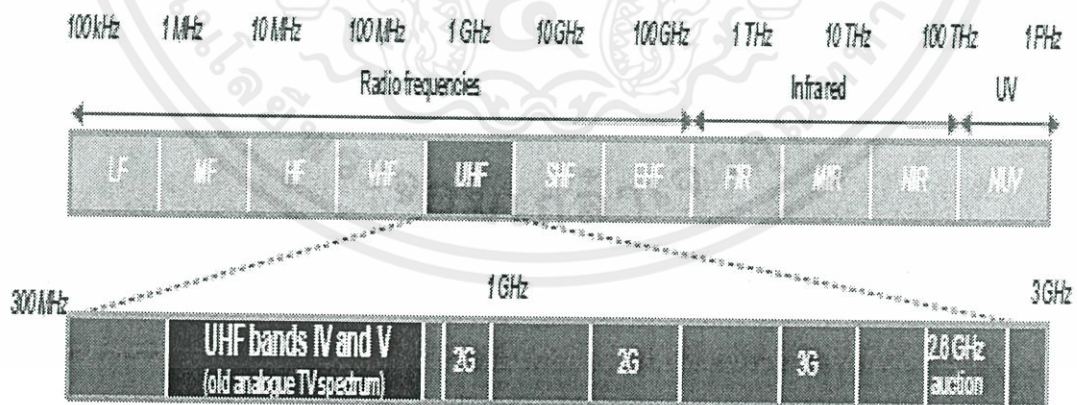
ย่านความถี่ (Frequency Band)	ช่วงความถี่ (Frequency range)	ความยาวคลื่น (Wave Length)
ย่านความถี่ต่ำมาก (Very Low Frequency : VLF)	3 - 30 kHz	10 - 100 km
ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency : LF)	30 - 300 kHz	1 - 10 km
ย่านความถี่ปานกลาง (Medium Frequency : MF)	300 - 3,000 kHz	100 m - 1 km
ย่านความถี่สูง (High Frequency : HF)	3 - 30 MHz	10 - 100 m
ย่านความถี่สูงมาก (Very High Frequency : VHF)	30 - 300 MHz	1 m - 10 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่านความถี่ (Frequency Band)	ช่วงความถี่ (Frequency range)	ความยาวคลื่น (Wave Length)
ย่านความถี่ยูเอชเอฟ (Ultra High Frequency : UHF)	300 – 3,000 MHz	1 mm – 1 m
ย่านความถี่เหนือสูงยิ่ง (Super High Frequency : SHF)	3 – 30 GHz	10 – 100 mm
ย่านความถี่สูงยิ่งยวด (Extremely High Frequency : EHF)	30 – 300 GHz	1 – 10 mm

จากตารางที่ 2.1 แสดงความถี่วิทยุ หรือย่านความถี่วิทยุ หมายถึง ช่วงสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นสามารถถูกสร้างออกมาโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับให้แก่สายอากาศ

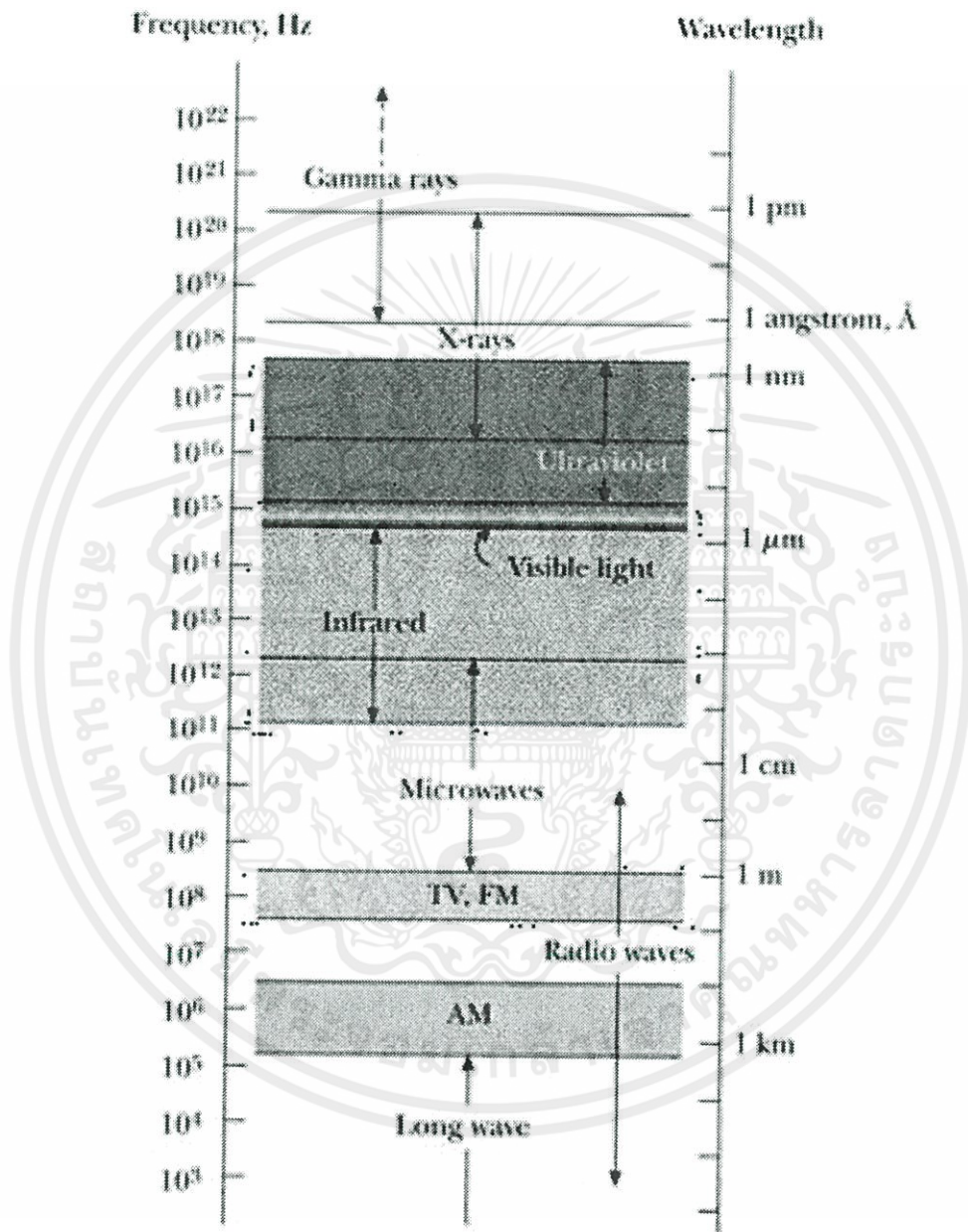
ยูเอชเอฟ (UHF) เป็นคลื่นความถี่สูงยิ่ง (Ultra-High Frequency) ลักษณะคลื่นเป็นคลื่นไมโครเวฟ มีย่านความถี่ระหว่าง 300 MHz ถึง 3 GHz มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 100 mm ถึง 1 m ส่วนมากแล้วโดยทั่วไปคลื่นความถี่ UHF เป็นการใช้งานสำหรับการส่งคลื่นวิทยุโทรทัศน์ระบบดิจิตอล โทรศัพท์เคลื่อนที่ และอุปกรณ์ไร้สาย



รูปที่ 2.1 แสดงย่านความถี่ยูเอชเอฟ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ไมโครเวฟ (Microwave)



รูปที่ 2.2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.2 แสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ ชุดความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ต่ำกว่า 1 Hz ถึง 10^{25} Hz หรือ แถบความถี่ที่มีค่าความยาวคลื่น ตั้งแต่ 10^8 ถึง 10^{-17} เมตร

ไมโครเวฟ (Microwave) เป็นคลื่นความถี่วิทยุชนิดหนึ่งที่มีความถี่อยู่ระหว่าง 300 MHz ถึง 300 GHz สำหรับการใช้งานนั้นส่วนมากแล้วจะนิยมใช้งานในย่านความถี่ตั้งแต่ 1 GHz ถึง 40 GHz เนื่องจากเป็นย่านความถี่ที่สามารถผลิตขึ้นได้ด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ รูปแบบการสื่อสารโดยใช้คลื่นวิทยุความถี่สูงนี้ สามารถทำการสื่อสารได้ในระยะทางที่ไกล ๆ ผ่านชั้นบรรยากาศ และอวกาศได้ คลื่นไมโครเวฟจะมีย่านความถี่กว้างมากดังนั้นก็ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายชนิด และเป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลาย ทั้งงานทางด้านสื่อสาร งานทางด้านการตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่ และงานทางด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น

การใช้งานคลื่นไมโครเวฟแบ่งออกได้เป็นระบบเหนือขอบฟ้า ระบบดาวเทียม ระบบเรดาร์ ระบบเตาไมโครเวฟ และระบบเชื่อมต่อสัญญาณในระดับสายตา การสื่อสารไมโครเวฟในระดับสายตา ใช้สำหรับการสื่อสารของข้อมูลข่าวสารที่มีปริมาณมากๆ ช่องทางการสื่อสารในการสื่อสารนี้จะประมาณ 50 km ถึง 80 km และจะต้องไม่มีสิ่งกีดขวาง แต่ถ้าต้องการการสื่อสารในระยะที่ไกลกว่านี้ ก็จะต้องมีสถานีทวนสัญญาณเพื่อทำการรับสัญญาณและทำการขยายแล้วส่งสัญญาณต่อไปจนถึงปลายทางได้ สถานีทวนสัญญาณไมโครเวฟ จะใช้ในการสื่อสารไมโครเวฟในระดับสายตา เนื่องจากการสื่อสารในรูปแบบนี้มีผลต่อส่วนโค้งของโลก ดังนั้นในการสื่อสารไมโครเวฟนี้จะต้องมีสถานีทวนสัญญาณในทุกๆระยะ 50 km ถึง 80 km ซึ่งสถานีทวนสัญญาณจะทำการถ่ายทอดสัญญาณจากสถานีต้นทางแล้วทำการรับสัญญาณมา จากนั้นจะทำการขยายสัญญาณให้มีความแรงขึ้นแล้วก็ทำการส่งสัญญาณต่อไปจนถึงสถานีปลายทาง

สถานีทวนสัญญาณข่าวสารข้อมูล จะทำการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่รับเข้ามาให้เหลือเพียงความถี่ของข้อมูลข่าวสารก่อน จากนั้นจะทำการขยายสัญญาณให้มีความแรงขึ้น แล้วทำการผสมสัญญาณร่วมกับความถี่ไมโครเวฟความถี่ใหม่ และทำการส่งออกของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ระบบอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification: RFID)

2.4.1 คลื่นวิทยุและมาตรฐานสำหรับอาร์เอฟไอดี

ระบบอาร์เอฟไอดี ทำงานโดยอาศัยหลักการส่งกระจายคลื่นวิทยุที่ความถี่ต่างๆ ไปในอากาศ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำความเข้าใจเรื่องของคลื่นวิทยุ ที่สามารถนำมาใช้งานว่ามีลักษณะที่เหมาะสมกับงานในลักษณะใด อย่างไรก็ตาม การเลือกความถี่ที่จะนำมาใช้งานมีปัจจัยที่สำคัญที่ต้องทำการพิจารณามีดังต่อไปนี้

- 1.ข้อกำหนดทางกฎหมายที่แต่ละประเทศจะอนุญาตให้ใช้สำหรับกิจการอาร์เอฟไอดี
- 2.ความเหมาะสมกับวัตถุที่จะนำไปใช้งาน
- 3.มาตรฐานทางสิ่งแวดล้อมที่ว่าด้วยเรื่องของ คลื่นวิทยุ

- ความถี่สำหรับอาร์เอฟไอดี มีดังต่อไปนี้

1.ความถี่ต่ำ (Low Frequency)

ในอาร์เอฟไอดีนี้ จะมีความถี่ในช่วง 100 KHz ถึง 150 KHz ซึ่งมีสองย่านความถี่ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันคือ 125 KHz และ 134 KHz

2.ความถี่สูง (High Frequency)

จะใช้ความถี่ 13.56 MHz ความถี่ที่สูงขึ้น จะสามารถเพิ่มสมรรถนะในการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดี ได้แก่ ความเร็วในการอ่านข้อมูลที่เพิ่มขึ้น สามารถที่จะเพิ่มความจุของหน่วยความจุในแท็ก และเพิ่มความปลอดภัยในการอ่านเขียนข้อมูล

3.ความถี่ยูเอชเอฟ (Ultra High Frequency)

คือย่านความถี่ 900 MHz โดยจะมีการแบ่งย่อยตั้งแต่ความถี่ 860 MHz ถึง 960 MHz ตามกฎหมายของแต่ละประเทศ ซึ่งประเทศในฝั่งยุโรปจะใช้ความถี่ที่ต่ำกว่า 900 MHz ได้แก่ 865 MHz ถึง 868 MHz และฝั่งอเมริกาจะใช้ในช่วงความถี่ที่สูงกว่า 900 MHz ได้แก่ 922 MHz ถึง 928 MHz แต่มีอีกหลายประเทศในแถบเอเชียที่ใช้ทั้งสองช่วงความถี่ ได้แก่ สิงคโปร์ มาเลเซีย และฮ่องกง สำหรับประเทศไทยอนุญาตให้มีการใช้งานในช่วงความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz นอกจากนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังมีการใช้ความถี่อื่น ๆ อีกในกิจการอาร์เอฟเอที แต่โดยส่วนใหญ่จะใช้ในลักษณะอาร์เอฟเอที ชนิดแอมป์ ทิป ซึ่งโดยหลักๆ จะมีการใช้งานของความถี่ 433 MHz 2.4 GHz และ 5.2 GHz ถึง 5.8 GHz

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงการใช้ความถี่ในแต่ละประเทศหลัก [3]

ประเทศ	ความถี่ (MHz)	กำลังงาน
ไทย	920-925	4 W EIRP
ไต้หวัน	922-928	0.5 W WRP
		1 W ERP
จีน	840.5-844.5	2 W ERP
	920.5-924.5	
อินเดีย	865-867	2 W EIRP
ฮ่องกง	865-868	2 W ERP
	920-925	4 W EIRP
มาเลเซีย	866-869	2 W EIRP
	919-923	
เกาหลีใต้	917-920.8	4 W EIRP
	917-923.5	200 mW EIRP
ญี่ปุ่น	952-956.4	4 W EIRP
เยอรมัน	865.6-867.6	2 W ERP
ฝรั่งเศส	865.6-867.6	2 W ERP
อังกฤษ	865.6-867.6	2 W ERP
ออสเตรเลีย	920-926	4 W EIRP
	918-926	1 W EIRP
บราซิล	902-907.5	4 W EIRP
	915-928	
สหรัฐอเมริกา	902-928	4 W EIRP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

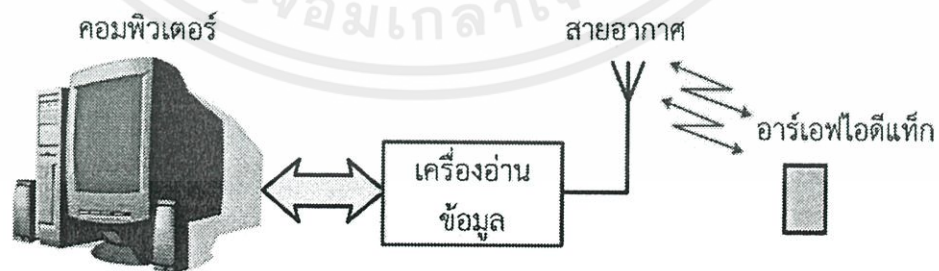
ตารางที่ 2.2 แสดงการใช้ความถี่อาร์เอฟไอดี ในย่านยูเอชเอฟ ในแต่ละประเทศ ซึ่งในแต่ละประเทศจะมีการใช้งานของย่านความถี่ 900 MHz ที่แตกต่างกันตามข้อกำหนดของแต่ละประเทศและตามมาตรฐานของแต่ละประเทศอ้างอิง

สำหรับการใช้งานคลื่นวิทยุในประเทศไทยมีหน่วยงานที่รับผิดชอบคือคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ หรือ กทช. ซึ่งได้มีข้อกำหนดสำหรับระบบอาร์เอฟไอดี ย่านความถี่ 900 MHz ตามประกาศเมื่อวันที่ 24 มกราคม 2549 ไว้ดังนี้

- คลื่นความถี่ 920 MHz ถึง 925 MHz
- กำลังส่ง 4 W E.I.R.P โดยถ้ากำลังส่งไม่เกิน 0.5 W E.I.R.P ไม่ต้องขออนุญาตใด ถ้ามากกว่าต้องขออนุญาต
- แท็ก หรือ Transponder ไม่ต้องมีการอนุญาตในการนำเข้า หรือส่งออก
- เครื่องอ่าน/เขียน จะต้องได้รับการทดสอบตัวอย่างและรับรองจากทางสำนักงานหรือห้องปฏิบัติการทดสอบรองรับมาตรฐานที่ยอมรับได้
- การใช้เครื่องวิทยุคมนาคมประเภทอาร์เอฟไอดี ถือเป็นบริการรอง (Secondary Service) ไม่ได้รับการคุ้มครองการรบกวนจากผู้อื่นๆ และถ้าหากการใช้งานก่อให้เกิดการรบกวนอย่างรุนแรงต่อ การใช้คลื่นความถี่ของกิจการหลัก ในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ผู้ใช้งานอาร์เอฟไอดี จะต้องหยุดการใช้งานอาร์เอฟไอดี ในบริเวณดังกล่าวทันที

2.4.2 หลักการทั่วไปของระบบอาร์เอฟไอดี

โดยทั่วไประบบอาร์เอฟไอดี ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ อาร์เอฟไอดีแท็ก สายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล เครื่องอ่านข้อมูล และเครื่องคอมพิวเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.3

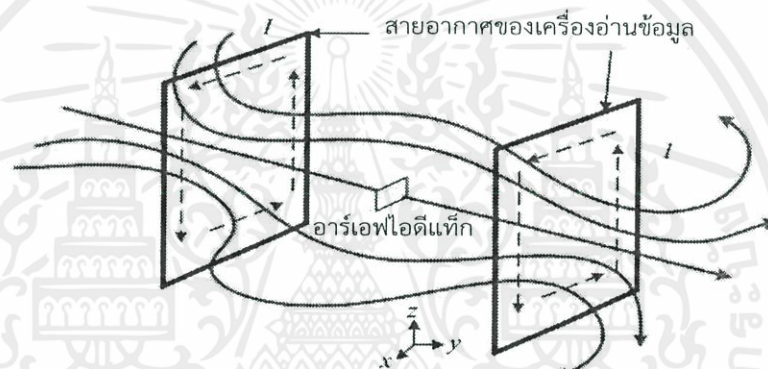


รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของระบบอาร์เอฟไอดี [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

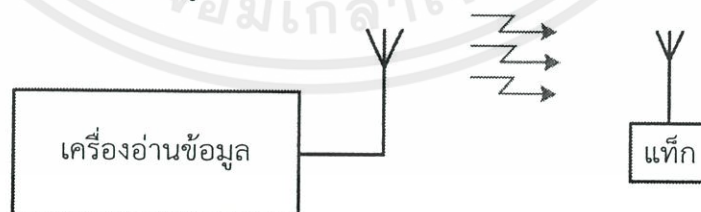
การติดต่อสื่อสารของระบบอาร์เอฟไอดี เป็นการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองชนิด คือแท็ก และเครื่องอ่านข้อมูล ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless Communications) โดยการนำข้อมูลที่ต้องการส่งมาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นวิทยุแล้วส่งออกผ่านทางสายอากาศที่ติดตั้งที่เครื่องอ่านข้อมูลและที่ติดอยู่กับแท็ก ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีด้วยกันคือ [4]

1. วิธีการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก (Inductive Coupling หรือ Proximity Electromagnetics) วิธีการนี้จะใช้งานในย่านความถี่ต่ำและย่านความถี่สูง ซึ่งมักจะใช้สายอากาศแบบบ่วงร่วมกับเครื่องอ่านข้อมูลและแท็ก เนื่องจากสามารถกระจายและรับสนามแม่เหล็กได้ดี ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วิธีการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก ซึ่งใช้ในย่านความถี่ต่ำ และย่านความถี่สูง [4]

2. วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Propagation Coupling) วิธีการนี้จะใช้งานในย่านความถี่สูงยิ่งและย่านความถี่ไมโครเวฟ ซึ่งเครื่องอ่านข้อมูลสามารถที่จะติดต่อสื่อสารกับแท็กที่อยู่ในระยะไกลได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



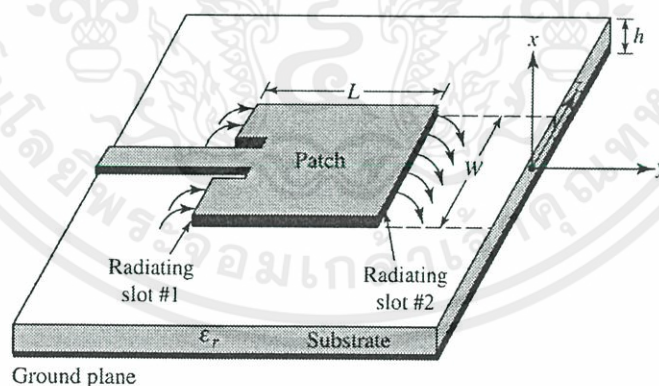
รูปที่ 2.5 วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งใช้งานในย่านความถี่สูงยิ่งและย่านความถี่ไมโครเวฟ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ทฤษฎีและหลักการของสายอากาศไมโครสตริป

โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปนั้น มีอยู่หลายรูปแบบซึ่งแบ่งตามลักษณะของแผ่นไมโครสตริป (Microstrip Patch) และลักษณะการป้อนของสัญญาณสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นระนาบ (Patch) และระนาบกราวด์แบบช่องเปิดที่มีหลายลักษณะ เช่น วงกลม แผ่นวงรี แผ่นสี่เหลี่ยม แผ่นห้าเหลี่ยมด้านเท่า และแผ่นวงแหวน เป็นต้น ส่วนการป้อนสัญญาณของไมโครสตริปสามารถแบ่งออกได้เป็นสองแบบ คือ การป้อนสัญญาณแบบตรงกลาง และการป้อนสัญญาณแบบเอียงจากตรงกลาง

ส่วนโครงสร้างของไมโครสตริปจะประกอบด้วยระนาบตัวนำสองด้าน ด้านหนึ่งเรียกว่าแผ่นระนาบกราวด์ (Ground Plane) และด้านที่สองใช้สำหรับการสร้างตัวป้อนสัญญาณลายวงจรหรือสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นวงจรพิมพ์ โดยมีวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก (Dielectric Substrate) อยู่ตรงกลาง ตัวนำส่วนใหญ่จะเป็นทองแดงซึ่งความหนาของทองแดง (t) ประมาณ 0.01778 mm ถึง 0.03556 mm ส่วนความหนาของวัสดุฐานรอง (h) มีหลายขนาดแต่ที่นิยมนำมาออกแบบคือ 0.8 mm และ 1.6 mm เป็นต้น ส่วนคุณสมบัติทางไฟฟ้าวัสดุฐานรองแสดงด้วยสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ (Relative Permittivity) หรือ ϵ_r และค่าของ Loss Tangent หรือ $\tan \delta$ คือ ระดับการทะลุทะลวงของสนามไฟฟ้า[6] และระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน[6] ลักษณะโครงสร้างทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริปสามารถแสดงได้ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป

โดยที่ W คือ ความกว้างของแผ่นระนาบ

L คือ ความยาวของแผ่นระนาบ

h คือ ความสูงของวัสดุฐานรอง

ϵ_r คือ ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์

2.5.1 ข้อดีและข้อเสียของสายอากาศไมโครสตริป [6]

สายอากาศไมโครสตริป มีข้อได้เปรียบหลายประการเมื่อเทียบกับสายอากาศที่ใช้ในย่านความถี่ไมโครเวฟแบบอื่น ๆ โดยสายอากาศไมโครสตริปสามารถใช้งานในย่านความถี่ตั้งแต่ 100 MHz ถึง 50 GHz

ข้อดีของสายอากาศไมโครสตริป

- น้ำหนักเบา (light weight), ขนาดเล็ก (low volume)
- สามารถผลิตได้ง่าย และราคาถูก (low fabrication cost)
- สามารถกำหนดลักษณะการเดินทางของคลื่นได้ทั้งแบบเส้นตรง และแบบวงกลม
- สามารถป้องกันสัญญาณและปรับอิมพีแดนซ์ได้พร้อมกับการสร้างสายอากาศ
- สามารถสร้างเป็นสายอากาศแถวลำดับ (Array) ได้ง่าย

ข้อเสียของสายอากาศไมโครสตริป

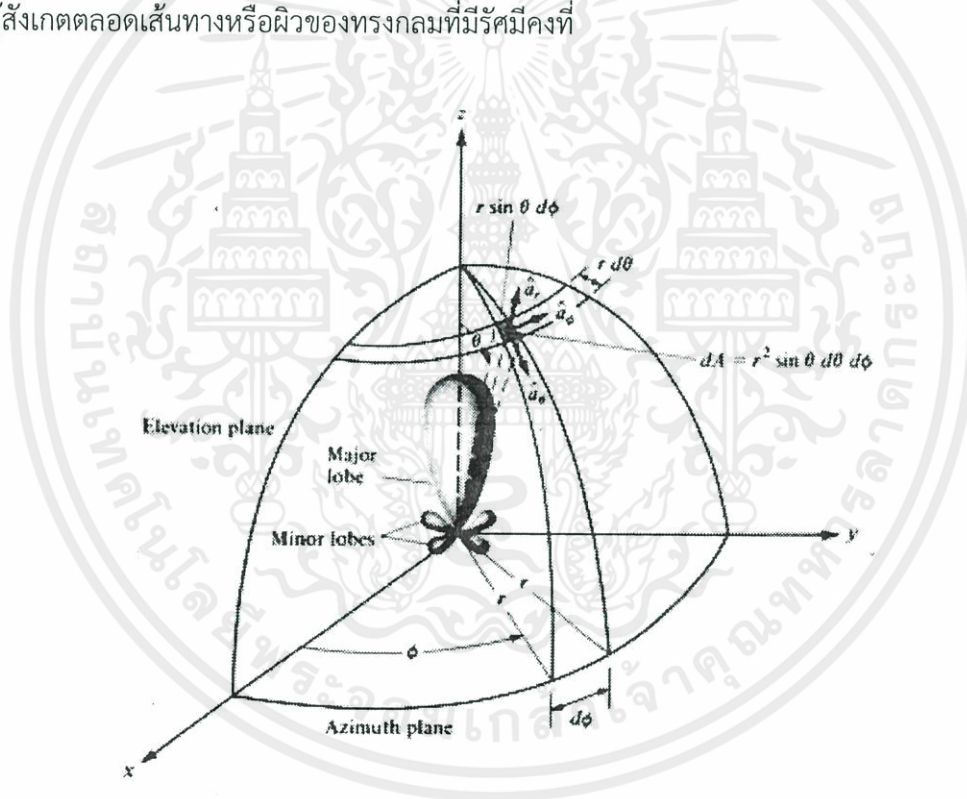
- มีอัตราขยายค่อนข้างต่ำ
- มีช่วงความถี่ที่รับและส่งสัญญาณแคบเกินไป (narrow bandwidth)
- มีการสูญเสีย (loss) มาก โดยมักเกิดจากการสูญเสียที่จุดต่อ และจุดป้องกันสัญญาณ
- มีการแพร่กระจายคลื่นต่ำ คือมีการแผ่พลังงานได้เพียงครึ่งระบบ
- สายอากาศอาจเกิดออกไซด์บริเวณผิว ทำให้มีการสูญเสียมากขึ้น
- ต้องเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิที่เหมาะสม เพื่อรักษาคุณสมบัติของสารที่ใช้ทำสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานในการวิเคราะห์สายอากาศ [7]

2.6.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

แบบรูปการกระจายคลื่นของสายอากาศ (Radiation Pattern) ได้ถูกนิยามว่า “เป็นการนำเสนอคุณสมบัติในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในรูปของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ซึ่งแสดงในรูปพิกัดตำแหน่ง (Space Coordinate) ในการพิจารณาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะต้องกระทำในบริเวณสนามระยะไกล (Far-Field Region) เท่านั้น และจะนำเสนอในรูปฟังก์ชันของพิกัดทิศทาง (Directional Coordinate) เสมอ” คุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น สามารถที่จะแสดงในรูปของการกระจายพลังงานในแต่ละตำแหน่งและทิศทางที่เป็นแบบสองมิติและสามมิติซึ่งเป็นฟังก์ชันตำแหน่งของผู้สังเกตตลอดเส้นทางหรือผิวของทรงกลมที่มีรัศมีคงที่

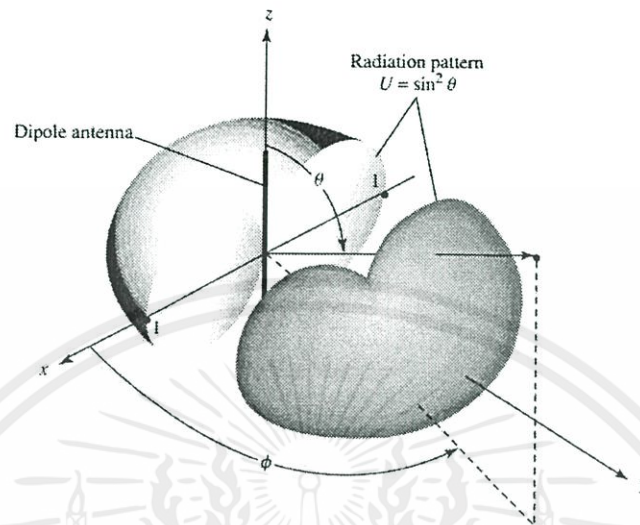


รูปที่ 2.7 ระบบพิกัดทรงกลมที่ใช้สำหรับวิเคราะห์แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.7 เส้นทางการกวาดของกำลังงานที่รับได้ที่ตำแหน่งรัศมีคงที่จะถูกเรียกว่า แบบรูปกำลังงาน (Field Pattern) และอีกวิธีหนึ่ง ถ้าเป็นแบบรูปที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า หรือสนามแม่เหล็กตามฟังก์ชันของตำแหน่ง เราจะเรียกว่า แบบรูปแอมพลิจูดของสนาม (Amplitude Field Pattern) ในทางปฏิบัตินั้น แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสามมิติ จะถูกวัดและบันทึกใน รูปแบบสองมิติโดยการพล็อตแบบรูปตามฟังก์ชันของมุม θ และ ϕ ให้สัมพันธ์ และต่อเนื่อกัน แบบรูปแบบไอโซทรอปิก (Isotropic) แบบมีทิศทาง (Direction) และแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว (Omni-direction) ตัวแพร่กระจายคลื่นแบบไอโซทรอปิก (Isotropic Radiator) คือ “สายอากาศที่ถู กสมมติขึ้นว่าไม่มีมีการสูญเสียกำลังภายในตัวเองและมีการแผ่กำลังออกมาเท่ากันทุกทิศทาง” ถึงแม้ว่าตัว แพร่กระจายคลื่นแบบนี้จะไม่มีจริงในทางปฏิบัติ แต่ก็มีประโยชน์ในการนำมาใช้งานเพื่อเป็นตัวอ้างอิงใน การหาคุณสมบัติของสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศที่มีอยู่จริง สำหรับสายอากาศแบบมีทิศทาง (Directional Antenna) คือ “สายอากาศที่มีคุณสมบัติในการแพร่กระจายคลื่นหรือรับคลื่น สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศทางอื่นๆ” ซึ่งคำนี้มักจะนำมาใช้กับสายอากาศที่ มีสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด (Maximum Directivity) มากกว่าจะใช้กับสภาพเจาะจงทิศทางของ สายอากาศไดโพลความยาวครึ่งคลื่น (Half-wave Dipole) ซึ่งตัวอย่างของสายอากาศที่มีแบบรูปการ แพร่กระจายคลื่นแบบมีทิศทาง ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ชัดเจนว่า ในระนาบมุมกวาด (Azimuth Plane) นั้นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะไม่มีทิศทาง แต่ส่วนที่มีทิศทางจะอยู่ในระนาบมุม ยก (Elevation Plane) ซึ่งเราเรียกแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นชนิดนี้ว่าเป็นแบบรอบทิศทางใน ระนาบเดียว (Omni-directional Pattern) โดยจะทำการนิยามว่า”เป็นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ ไม่มีทิศทางในระนาบที่กำหนด ในที่นี้คือมุมกวาด (Azimuth) และระนาบที่อยู่ตั้งฉากกันจะมี แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบมีทิศทาง ในกรณีนี้คือมุมยก (Elevation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว [7]

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะเป็นตัวแสดงถึงการกระจายกำลังงานออกไปตามฟังก์ชันของทิศทางของสัญญาณที่ส่งออกไปจากสายอากาศ ซึ่งแสดงถึงระดับสัมพันธ์ของกำลังงานที่ส่งออกไปซึ่งเป็นฟังก์ชันของทิศทาง ถึงแม้ว่าเราจะใช้คำว่า “การแพร่กระจายคลื่น” กับแบบรูปที่ใช้กับสายอากาศส่ง แต่ความจริงจะเป็นแบบรูปอันเดียวกันกับแบบรูป “การรับคลื่น” ในกรณีที่เป็นสายอากาศรับด้วย ตามทฤษฎีภาวะย้อนกลับ (Reciprocity Theorem) ถึงแม้ว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่สมบูรณ์จะเป็นฟังก์ชันแบบ 3 มิติ แต่โดยทั่วไปจะมีใช้งานกันเพียง 2 มิติ ซึ่งเพียงพอที่จะทราบถึงคุณลักษณะของสายอากาศที่มีทิศทางได้ ในทางปฏิบัติแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบหนึ่งๆ สามารถวัดได้โดยการหมุนสายอากาศในระนาบนั้นๆ ขณะที่ระดับของกำลังงานที่รับได้จะเป็นฟังก์ชันของการหมุนของสายอากาศ เพื่อให้ได้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ถูกต้องควรจะต้องจัดสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบสายอากาศที่จะทำการทดสอบให้ปราศจากวัตถุใดๆ ที่อาจจะทำให้เกิดการสะท้อนของสัญญาณและส่งกลับไปยังสายอากาศที่ทำการทดสอบอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 อัตราขยาย (Gain) [7]

ค่าอัตราขยายของสายอากาศ สามารถพิจารณาได้ 2 กรณีคือ

1. อัตราขยายจริง (Absolute Gain) ของสายอากาศ (ในทิศทางที่กำหนดให้) หมายถึง อัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่กำหนดให้ ต่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นที่ได้รับเข้ามา

2. อัตราขยายสัมพัทธ์ (Relative Gain) หมายถึง อัตราส่วนของอัตราขยายกำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ ต่ออัตราขยายกำลังงานของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบกับในทิศทางนั้น โดยกำลังงานที่ป้อนให้กับอินพุตของสายอากาศจะต้องเหมือนกันทั้งสองตัว โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้ในการเปรียบเทียบก็คือ สายอากาศที่เป็นแหล่งกำเนิดแบบไอโซทรอปิกที่ไม่มีการสูญเสีย และสายอากาศแบบไดโพล

2.6.3 ประสิทธิภาพของสายอากาศ [7]

ประสิทธิภาพของสายอากาศเป็นพารามิเตอร์ที่รวมประสิทธิภาพการสูญเสียของสายอากาศ และการสูญเสียต่างๆ ของโครงสร้างสายอากาศหาได้จาก

1. การสะท้อนกลับเนื่องจากการไม่แมชซิ่งกันระหว่างสายส่งกับสายอากาศ
2. การสูญเสียจากตัวนำและฉนวน

ประสิทธิภาพรวมของสายอากาศสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.1)

$$e_t = e_r e_c e_d \quad (2.1)$$

e_t คือ ประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ

$e_r = (1 - |\Gamma|^2)$ ประสิทธิภาพการสะท้อนกลับเนื่องจากการไม่แมชซิ่งกัน

e_c คือ ประสิทธิภาพของตัวนำ

e_d คือ ประสิทธิภาพของฉนวน (Dielectric)

โดยทั่วไป e_c และ e_d จะรวมเป็นตัวเดียวกันตามสมการที่ (2.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$e_{cd} = e_c e_d = \frac{R_r}{R_r + R_L} \quad (2.2)$$

R_r ความต้านทานจากการแพร่พลังงานคลื่นออกไป

R_L ความต้านทานที่โหลด

2.6.4 อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio) [7]

คืออัตราส่วนระหว่างแรงดันค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดในคลื่นนิ่งซึ่งสามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio: VSWR) ดังสมการที่ (2.3)

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.3)$$

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.4)$$

Γ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของแรงดัน (Voltage Reflection Coefficients)

สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของแรงดัน สามารถที่จะหาค่าได้จากอัตราส่วนของผลต่างและผลรวมระหว่างโหลดกับอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ ดังสมการที่ (2.4)

V_r คือ แรงดันสะท้อนกลับ

V_i คือ แรงดันตกกระทบ

Z_L คือ โหลดอิมพีแดนซ์

Z_0 คือ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ

ในกรณีที่ต่อไว้ด้วยแมตซิ่งโหลดนั้นค่า VSWR มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.5 การสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) [7]

การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศสามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.9 คือค่ากำลังที่สูญเสียที่โหลด เมื่ออิมพีแดนซ์ของสายส่งและสายอากาศไม่แมตช์กัน การสูญเสียย้อนกลับมีความสัมพันธ์กับ VSWR ซึ่งเป็นการแสดงการแมตช์อิมพีแดนซ์ระหว่างสายส่งกับสายอากาศตามสมการ โดยการสูญเสียย้อนกลับสามารถหาได้จากสมการที่ (2.5)



รูปที่ 2.9 การสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) [7]

P_i คือ กำลังงานของสัญญาณอินพุต

P_r คือ กำลังงานของสัญญาณที่สะท้อนกลับ

P_o คือ กำลังงานของสัญญาณเอาต์พุต

$$S_{11} = -20 \log_{10} |\Gamma| \quad (dB) \quad (2.5)$$

สำหรับการแมตช์อิมพีแดนซ์ที่สมบูรณ์ระหว่างสายส่งและสายอากาศ เมื่อ Γ มีค่าเท่ากับ 0 นั่นคือค่าความสูญเสียย้อนกลับเป็นอนันต์ แสดงว่าไม่มีกำลังงานสะท้อนกลับ ในทำนองเดียวกันเมื่อ Γ เท่ากับ 1 ค่าความสูญเสียย้อนกลับจะเป็น 0 dB ซึ่งแสดงว่ากำลังงานเกิดการสะท้อนกลับหมด

2.6.6 แบนด์วิดธ์ (Bandwidth) [7]

แบนด์วิดธ์ของสายอากาศเป็นช่วงของความถี่ ที่สามารถนำไปใช้งาน ซึ่งช่วงความถี่จะถูกกำหนดโดย $VSWR \cong 2$ หรือ พิจารณาจากการสูญเสียย้อนกลับ ($|S_{11}|$) ที่ระดับ -10 dB ดังสมการที่ (2.6) และสมการที่ (2.7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$BW_{\text{narrowband}} (\%) = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100 \quad (2.6)$$

$$BW_{\text{broadband}} (\%) = \frac{f_u}{f_l} \times 100 \quad (2.7)$$

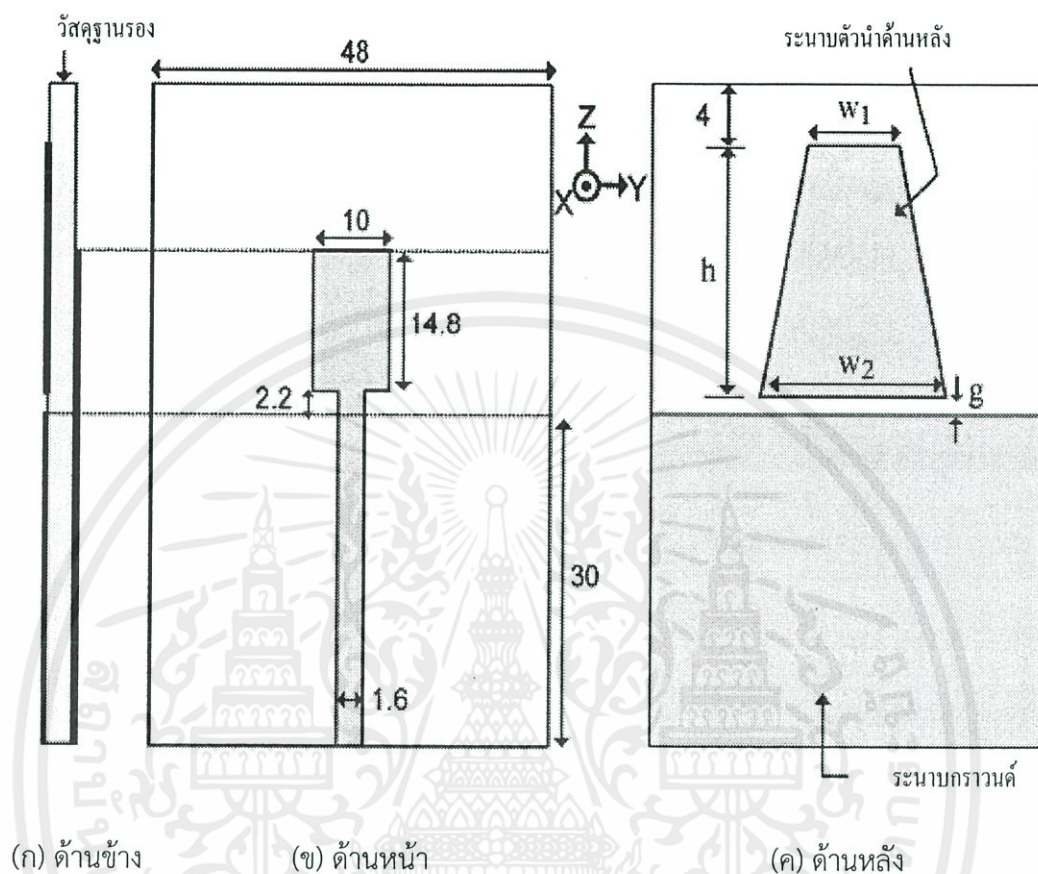
- เมื่อ BW คือ แบนด์วิดธ์ของสายอากาศ
- f_u คือ ขอบความถี่สูงของย่านความถี่
- f_l คือ ขอบความถี่ต่ำของย่านความถี่
- f_c คือ ความถี่กลางของย่านความถี่

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 สายอากาศสองย่านความถี่กว้างบนแผ่นวงจรมิซสำหรับการทำงาน WLAN และ WiMAX [8]

สายอากาศโมโนโพลบนแผ่นวงจรมิซที่ได้นำเสนอนี้ ถูกสร้างขึ้นโดย C.Y.Pan และคณะ สำหรับการทำงานทั้งสองระบบคือ WLAN และ WiMAX โดยโครงสร้างของสายอากาศเป็นแบบ โมโนโพลบนแผ่นวงจรมิซรูปทรงสี่เหลี่ยมกับสายนำสัญญาณสำหรับกระตุ้น และแผ่นตัวนำด้านหลัง รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูไว้สำหรับทำให้ย่านความถี่กว้างขึ้น โดยการทดสอบของสายอากาศ ค่า $|S_{11}|$ ที่ -10 dB จาก 2.01 GHz ถึง 4.27 GHz และ 5.06 GHz ถึง 6.79 GHz ครอบคลุมตลอดย่าน 2.4 5.2 5.8 GHz สำหรับ WLAN และ 2.5 3.5 5.5 GHz สำหรับ WiMAX โดยโครงสร้างของสายอากาศ สามารถแสดงดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 โครงสร้างทางเรขาคณิตของสายอากาศบนแผ่นวงจรพิมพ์ในหน่วยมิลลิเมตร [8]

จากรูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างของสายอากาศโมโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์สองย่านความถี่กว้าง สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานกับ WLAN และ WiMAX ซึ่งถูกสร้างจากแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board) โดยใช้วัสดุฐานรองชนิด FR4 มีค่า ϵ_r เท่ากับ 4.4 มีขนาด 30 มิลลิเมตร \times 60 มิลลิเมตร

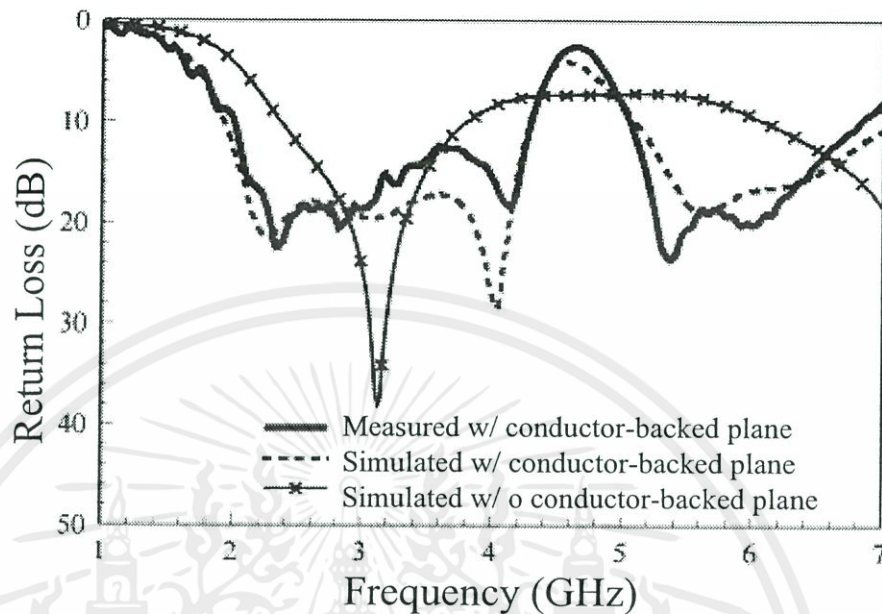
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ผลตอบสนองแถบความถี่ที่ต่ำกว่า -10 dB จากการจำลอง และแถบความถี่สำหรับสายอากาศกับการเปลี่ยนขนาดของ W_1 และ W_2 (h เท่ากับ 24.4 มิลลิเมตร และ g เท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร) [8]

W_1, W_2 (มิลลิเมตร)	ย่านความถี่ที่ 1 และแบนด์วิดธ์ (GHz)	ย่านความถี่ที่ 2 และแบนด์วิดธ์ (GHz)
4 และ 17	2.08 ถึง 4.14 และ 2.06	5.18 ถึง 6.09 และ 1.72
12 และ 17	2.00 ถึง 4.16 และ 2.16	5.02 ถึง 7.03 และ 2.01
16 และ 17	1.94 ถึง 4.18 และ 2.24	4.96 ถึง 6.94 และ 1.98
12 และ 11	1.94 ถึง 3.35 และ 1.41	5.34 ถึง 8.30 และ 2.96
12 และ 22	2.04 ถึง 4.15 และ 2.11	4.97 ถึง 5.71 และ 0.74

จากตารางที่ 2.3 แสดงค่า $|S_{11}|$ ของขอบเขตแถบความถี่ที่ต่ำกว่า -10 dB ที่ได้จากการจำลอง และระยะของย่านความถี่สำหรับสายอากาศเมื่อมีการเปลี่ยนค่าขนาดของ W_1 และ W_2 (h เท่ากับ 24.4 มิลลิเมตร และ g เท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร)

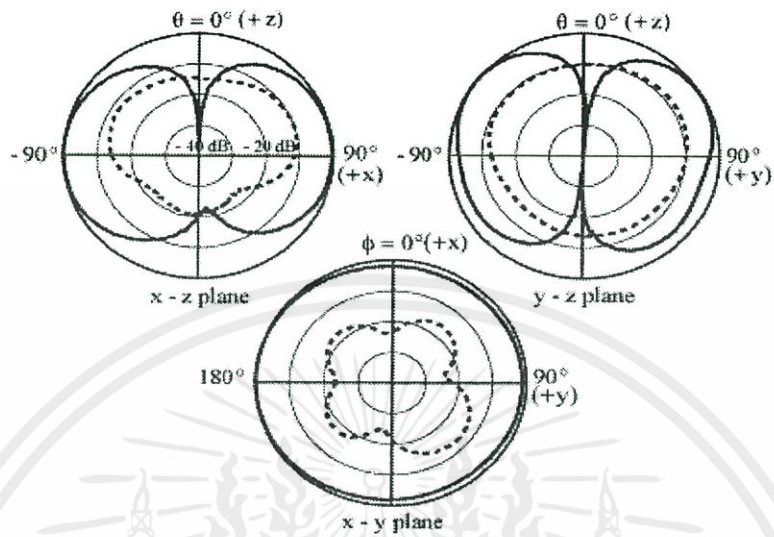
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



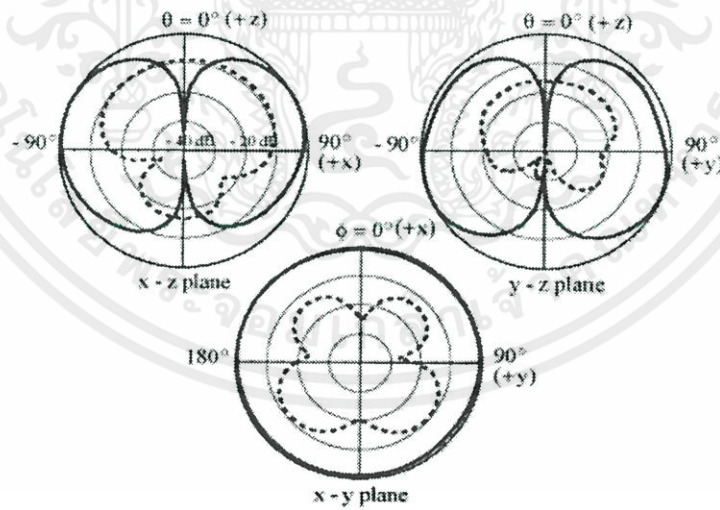
รูปที่ 2.11 ผลการจำลองและผลการทดสอบค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศ
(h เท่ากับ 24.4 มิลลิเมตร g เท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร w_1 เท่ากับ 12 มิลลิเมตร
และ w_2 เท่ากับ 17 มิลลิเมตร) [8]

จากรูปที่ 2.11 แสดงผลการจำลองและผลการทดสอบค่า $|S_{11}|$ สามารถสังเกตเห็นได้ว่าผลจากการจำลองในเส้นบางขาดด้วยกากบาทนั้นเมื่อสายอากาศไม่มีแผ่นตัวนำด้านหลังค่า $|S_{11}|$ นั้นจะมีค่าที่ไม่ครอบคลุมการใช้งานในระบบ WLAN และ WiMAX และเมื่อเพิ่มแผ่นตัวนำด้านหลังรูปสี่เหลี่ยมคางหมูเข้าไปในบริเวณในด้านหลังของสายอากาศเพื่อให้เกิดค่ากับอิมพีแดนซ์ที่แมตช์สำหรับการนำไปใช้งานในระบบ และครอบคลุมถึงการใช้งานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

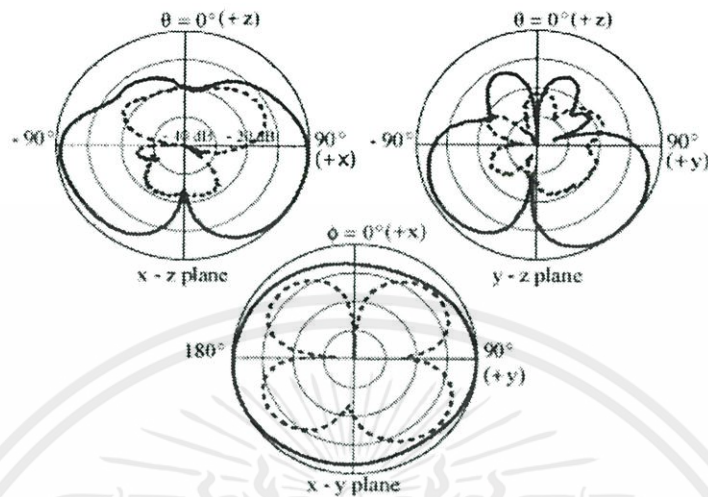


(ก) ความถี่ 2.5 GHz



(ข) ความถี่ 3.5 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

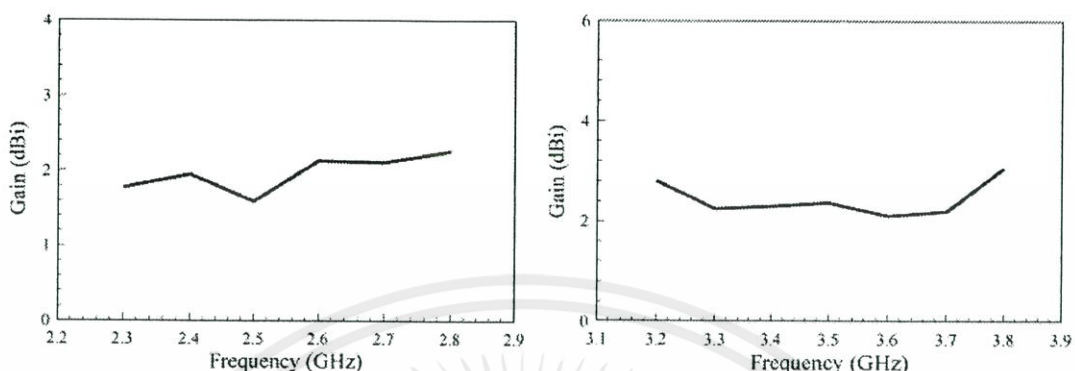


(ค) ความถี่ 5.5 GHz

รูปที่ 2.12 ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ [8]

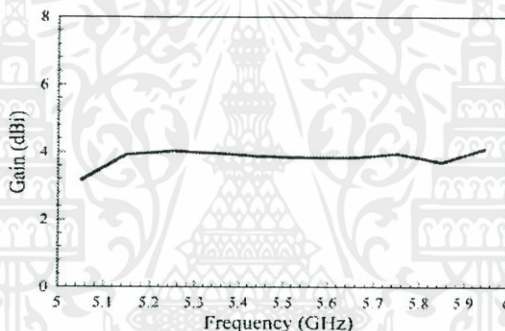
จากรูปที่ 2.12 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบ $x-y$ ระนาบ $x-z$ และระนาบ $y-z$ ให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวที่ความถี่ 2.5 GHz และ 3.5 GHz ซึ่งสามารถแสดงได้จากรูปที่ 2.12 (ก) และ (ข) ในระนาบ $x-y$ เป็นตัวบ่งชี้ว่ามีคุณสมบัติแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวเนื่องจากสนามในระนาบ $x-y$ มีลำคลื่นที่มีลักษณะเป็นวงกลม และยังคงความแตกต่างของลำคลื่นในแนวแกน x และ y มากกว่า -3 dB ซึ่งมากกว่ากำลังงานครึ่งหนึ่งของลำคลื่นจึงยังคงเป็นคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวอยู่ และความถี่ที่ให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทางคือ 5.5 GHz ซึ่งสามารถแสดงได้จากรูปที่ 2.12 (ค) ในระนาบ $x-y$ สังเกตได้ว่าลำคลื่นโดยรวมมีลักษณะเป็นวงรีมีทิศทางสูงสุดออกสองทิศทางมีลำคลื่นสูงสุดในแกน x และ y ต่างกัน น้อยกว่า -3 dB ซึ่งเกินกว่ากำลังงานครึ่งหนึ่งของลำคลื่นจึงบ่งชี้ได้ว่าลักษณะของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 5.5 GHz นี้ เป็นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทาง ส่วนของโพลารไรซ์ไชน์นั้นจากรูปที่ 2.12 ทั้ง (ก) (ข) และ (ค) จะสังเกตได้ว่ามีค่ามากกว่า -20 dB โดยที่ความถี่ 2.5 GHz ให้ค่าโพลารไรซ์ไชน์ต่ำที่สุด และที่ความถี่ 3.5 GHz มาเป็นอันดับรอง และที่ความถี่ 5.5 GHz มีค่าโพลารไรซ์ไชน์สูงที่สุด โดยแปรผันตามความถี่ ยิ่งมีความถี่สูงขึ้นค่าของโพลารไรซ์ไชน์ก็จะสูงขึ้นตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ความถี่ 2.3 GHz ถึง 2.8 GHz

(ข) ความถี่ 3.2 GHz ถึง 3.8 GHz



(ค) ความถี่ 5.05 GHz ถึง 5.95 GHz

รูปที่ 2.13 ผลการทดสอบอัตราขยายสูงสุดที่เกี่ยวข้องกับความถี่ของสายอากาศ [8]

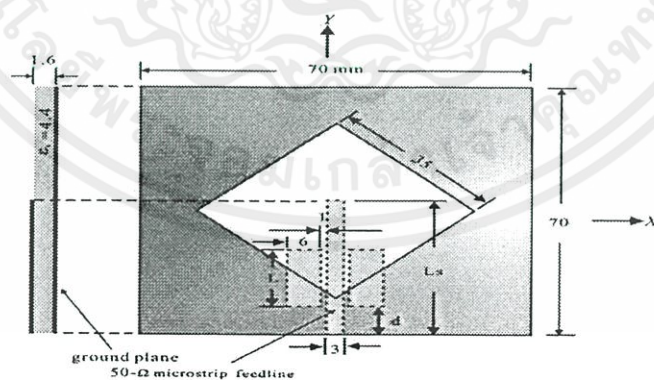
จากรูปที่ 2.13 คือค่าอัตราขยายในช่วงความถี่ 2.2 GHz ถึง 2.8 GHz 3.2 GHz ถึง 3.8 GHz ถึง 3.8 GHz และ 5.05 ถึง 5.95 GHz โดยในช่วงความถี่ต่ำของระบบหรือช่วงความถี่ 2.2 GHz ถึง 2.8 GHz คือค่าอัตราขยายเฉลี่ยที่มีค่าประมาณ 2 dBi ในช่วงความถี่กลางของระบบหรือในช่วงความถี่ 3.2 GHz ถึง 3.8 GHz มีอัตราขยายอยู่ประมาณ 2.1 dBi และในช่วงความถี่สูงของระบบหรือในช่วงความถี่ 5.05 ถึง 5.95 GHz มีอัตราขยายอยู่ประมาณ 4 dBi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 สายอากาศแบบช่องบนแผ่นวงจรพิมพ์ป้อนด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริป [9]

สายอากาศแบบช่องบนแผ่นวงจรพิมพ์ป้อนด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริปที่ได้นำเสนอนี้ นำเสนอโดย J.Y.Jan และคณะ ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาผลงานวิจัยของสายอากาศแบบช่องบนแผ่นวงจรพิมพ์มีอยู่มากมายเนื่องจากสายอากาศมีแบนด์วิดท์ที่กว้าง จากผลงานวิจัยดังกล่าวสามารถกล่าวได้ว่าแบนด์วิดท์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบช่องที่มีขนาดกว้างสามารถให้แบนด์วิดท์อิมพีแดนซ์ที่กว้างได้มากกว่าสายอากาศที่มีช่องแคบซึ่งแสดงไว้ในผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศช่องกว้างที่มีการป้อนด้วยสายนำสัญญาณแบบไมโครสตริป การออกแบบที่ดีของสายอากาศช่องกว้างป้อนด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริปแบบช่องสามารถปรับเปลี่ยนได้อย่างง่ายสำหรับความถี่ในระดับเดียวกันได้เคยถูกนำเสนอและวิเคราะห์ ซึ่งได้ผลของแบนด์วิดท์ที่กว้าง 2,200 MHz ที่ความถี่กลาง 4,453 MHz แต่อย่างไรก็ตามก็ไม่เพียงพอสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบ WiFi

ในผลงานวิจัยนี้ได้พัฒนาสายอากาศช่องเปิดแบบอื่นๆโดยถือเอาขนาดของเส้นประสิทธิ์ตามหลักของสายนำสัญญาณไมโครสตริปที่ได้เคยถูกนำเสนอ โดยเลือกตำแหน่งและระยะที่เหมาะสมของเส้นประสิทธิ์ของสายนำสัญญาณและสามารถที่จะคำนวณได้จากโหมดปฏิบัติการความถี่เรโซแนนซ์ ใกล้เคียงกับโหมดพื้นฐานที่สามารถหาได้จากหลักการสายอากาศช่องกว้าง เป็นผลทำให้ได้อิมพีแดนซ์ที่กว้างกว่าผลงานวิจัยที่เคยมีมา ดังนั้นสายอากาศแบบช่องย่านความถี่กว้างกับแบนด์วิดท์ที่กว้างกว่า จึงเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบ WiFi โดยรายละเอียดของผลงานวิจัยนี้ได้บอกถึงผลที่ได้จากการทดสอบ และข้อเสนอแนะ

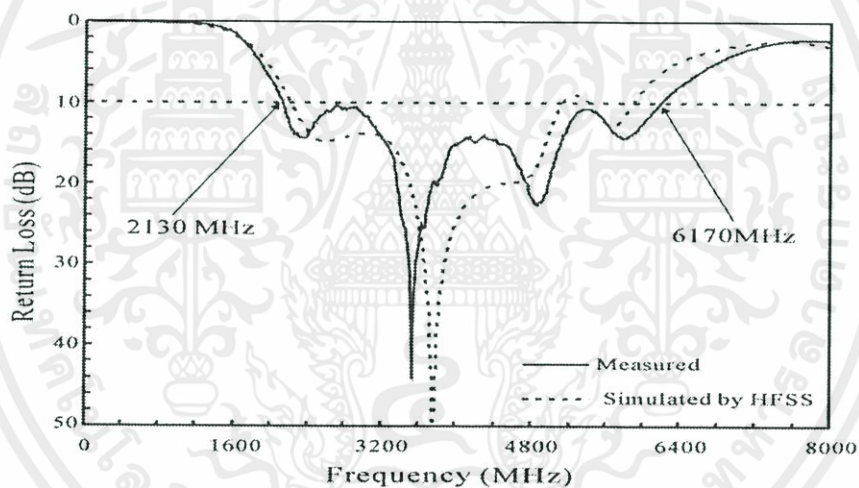


รูปที่ 2.14 โครงสร้างของสายอากาศแบบช่องสำหรับการนำไปใช้ในระบบ WiFi [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2.1 การสร้าง และผลการทดลอง

จากรูปที่ 2.14 แสดงรูปทรงของสายอากาศแบบช่องบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่ป้อนด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริป โดยสายอากาศที่ได้นำเสนอนี้ประกอบด้วยช่องที่เป็นลักษณะสี่เหลี่ยม รูปขนมเปียกปูนพร้อมด้วยระนาบกราวด์ มีขนาด 70 มิลลิเมตร \times 70 มิลลิเมตร อยู่บนวัสดุฐานรองชนิด FR4 มีความสูงของวัสดุฐานรอง 16 มิลลิเมตร และมีค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ ϵ_r เท่ากับ 4.4 ป้อนด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริปที่มีอิมพีแดนซ์ 50 Ω มีความกว้างของสายนำสัญญาณ 3 มิลลิเมตร วางอยู่หลังช่องสายอากาศโดยปรสิตของสายนำสัญญาณที่วางอยู่เป็นสัดส่วนตามสายนำสัญญาณที่ใช้ในการป้อน ระยะสายนำสัญญาณกำหนดให้เป็น L_s ในหน่วยมิลลิเมตร จากจุดป้อนถึงส่วนด้านบน



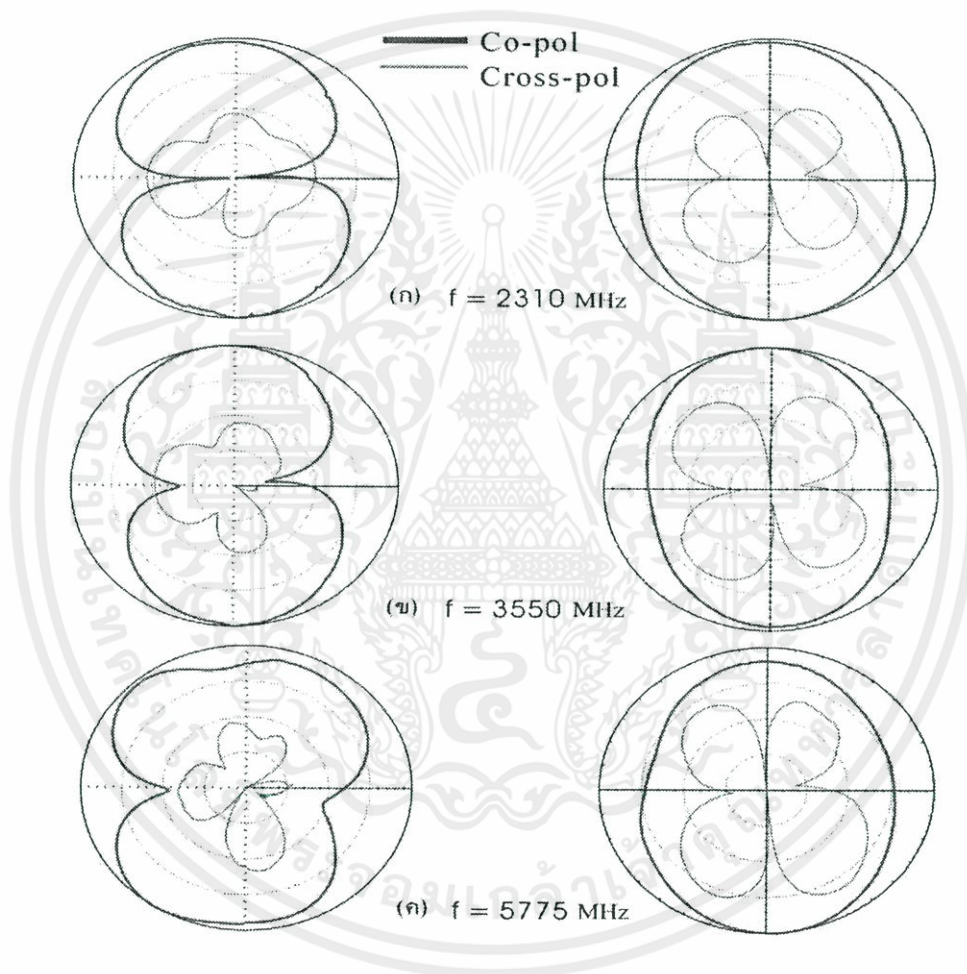
รูปที่ 2.15 ผลการเปรียบเทียบค่า $|S_{11}|$ ระหว่างผลการจำลอง และการทดสอบของสายอากาศ

ตามโครงสร้างในรูปที่ 2.14 เมื่อ d เท่ากับ 8 มิลลิเมตร และ L เท่ากับ 16 มิลลิเมตร [9]

จากรูปที่ 2.15 แสดงผลจากการทดสอบ และการจำลองของค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศที่ได้ นำเสนอในรูปที่ 2.15 ที่ d เท่ากับ 8 มิลลิเมตร และ L เท่ากับ 16 มิลลิเมตร โดยให้แบนด์วิดธ์ 4040 MHz โดยกำหนดค่า $|S_{11}|$ ที่ต่ำกว่า -10 dB ซึ่งได้ประมาณ 97.35 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์วิดท์ที่ได้ ประมาณ 97 ถึง 98 เปอร์เซ็นต์ นั้นสรุปได้ว่าถ้า d และ L อยู่ในระยะประมาณ 8 ถึง 9 มิลลิเมตร และประมาณ 15 ถึง 16 มิลลิเมตรตามลำดับ คุณลักษณะที่ได้แสดงนี้คือขอบเขตของการสร้างจากการออกแบบ ในรูปที่ 2.16 แสดงถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 2130 MHz ความถี่ 3550 MHz ความถี่ 5775 MHz ในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.16 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากการทดสอบที่ความถี่

(ก) 2130 MHz (ข) 3550 MHz (ค) 5775 MHz [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2.2 ข้อสรุป

สายอากาศแบบช่องป้อนด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริปบนแผ่นวงจรพิมพ์ ย่านความถี่กว้าง กับ เส้นปรสิติ พิสูจน์ได้ว่าผลที่ได้แสดงอยู่นั้นสามารถนำมาใช้งานในระบบ WIMAX ได้อย่างเหมาะสม และค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ถูกกำหนดโดยให้มี $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB ที่ความถี่กลาง 4040 MHz ให้แบนด์วิดท์ประมาณ 97.35 เปอร์เซ็นต์ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น แบบสองทิศทาง ซึ่งผลจากการทดสอบให้อัตราขยายต่ำกว่า 2 dBi ภายในระยะแบนด์วิดท์อิมพีแดนซ์นี้ ภายใต้ระบบ WiMAX

2.7.3 การออกแบบสายอากาศโมโนโพลรูปตัวทีสำหรับ WiFi กับระนาบกราวด์ที่ไม่เท่ากัน

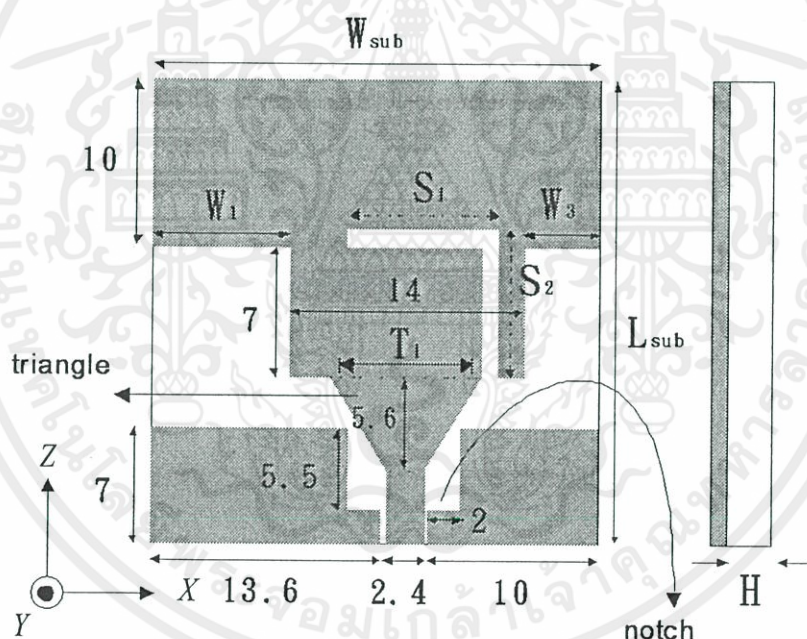
สายอากาศแบบช่องบนแผ่นวงจรพิมพ์ป้อนด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริปที่ได้นำเสนอนี้ นำเสนอโดย K.C.Yang [10] และคณะกับเทคโนโลยี WiFi เป็นมาตรฐานการใช้งานกับเครือข่ายไร้สาย ไร้พรหมแดน หรือ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ IEEE 802.11a/b ในระยะที่ผ่านมการออกแบบของสายอากาศ บางชนิดสำหรับ WiFi ได้ถูกนำเสนอ และเรียนรู้ในผลงานวิจัย เช่น การออกแบบของสายอากาศ โมโนโพลป้อนด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วมบนแผ่นวงจรพิมพ์ หรือการประยุกต์ใช้งานในระบบ WiFi สายอากาศแบบช่องย่านความถี่กว้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ซึ่งครอบคลุมความถี่ 2 GHz ถึง 3 GHz การออกแบบสายอากาศที่มีโครงสร้างที่สลับซับซ้อนและมีขนาดใหญ่ สายอากาศย่านกว้างในระบบ หรือ แพ็คเกจ (AiSiP) สำหรับ WLAN และ WIMAX ในการดำเนินการสองเครือข่ายในช่วงความถี่ 2.4 GHz และ 2.5 GHz สายอากาศไดโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์สองด้านสำหรับการประยุกต์ใช้ใน เทคโนโลยี บลูทูธ และ WIMAX ในย่านความถี่ 2.4 GHz ถึง 2.7 GHz และ 3.3 GHz ถึง 3.8 GHz สายอากาศแบบบ่วงกับขนาดเล็ก ด้วยขนาด 26 มิลลิเมตร × 8 มิลลิเมตร × 3 มิลลิเมตร สายอากาศ ที่ให้แบนด์วิดท์ 19.9 เปอร์เซ็นต์ (ความถี่ 2.26 GHz ถึง 2.76 GHz) และ 45.6 เปอร์เซ็นต์ (ความถี่ 4.03 GHz ถึง 6.4 GHz) คือสิ่งที่เคยถูกเสนอในการเรียนรู้ได้นำเสนอสายอากาศโมโนโพลป้อนด้วย ท่อนำคลื่นระนาบร่วมขนาดเล็ก กับองค์ประกอบสองย่านความถี่ที่ถูกตัดออก โดยแทรกช่องตัด เป็นทางยาวรูปตัวแอลกลับหัวแบบแคบไปบนแผ่นแพร่กระจายคลื่น คุณสมบัติสองด้านที่ถูก ตัดออกสามารถผลิตจากสายอากาศโมโนโพล ซึ่งนำไปสู่แบบของสายอากาศสามย่านความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบของสายอากาศและผลจากการทดสอบของสายอากาศที่ได้นำเสนอนั้นคือสิ่งที่ได้เรียนรู้ และศึกษาในผลงานวิจัยฉบับนี้

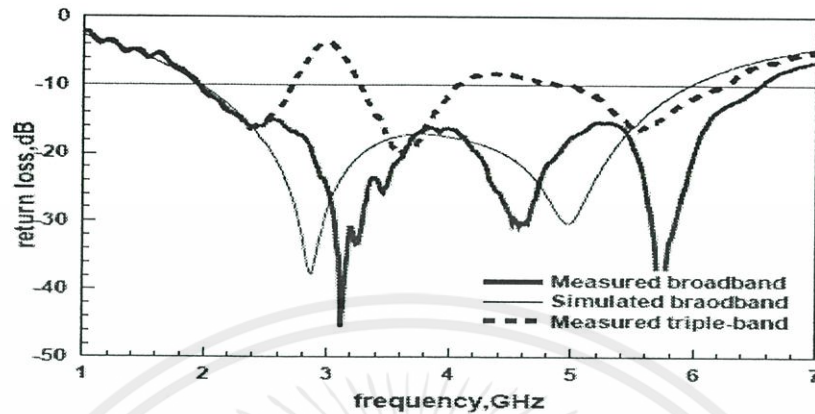
2.7.3.1 การออกแบบและผลการทดลอง

สายอากาศสามย่านความถี่บนแผ่นวงจรพิมพ์ สำหรับการประยุกต์ในระบบ WIMAX ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2.18 สายอากาศสร้างขึ้นจากแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยวัสดุฐานรองชนิด FR4 มีค่าความยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ ϵ_r เท่ากับ 4.4 และมีความหนา H เท่ากับ 0.8 มิลลิเมตร มีขนาด 28 มิลลิเมตร \times 26.4 มิลลิเมตร ป้อนตัวท่อนำคลื่นระนาบร่วมซึ่งมีอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม กับการคงไว้ซึ่งขนาดความกว้างของสายนำสัญญาณไว้ที่ 2.4 มิลลิเมตร และ ระยะห่างของช่องว่างจากจุดป้อน 0.2 มิลลิเมตร ความกว้างของจุดป้อนรูปสี่เหลี่ยมคางหมูเส้น T_1 คือ 9 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของสายอากาศสามย่านความถี่บนแผ่นวงจรพิมพ์ ในหน่วยมิลลิเมตร [10]

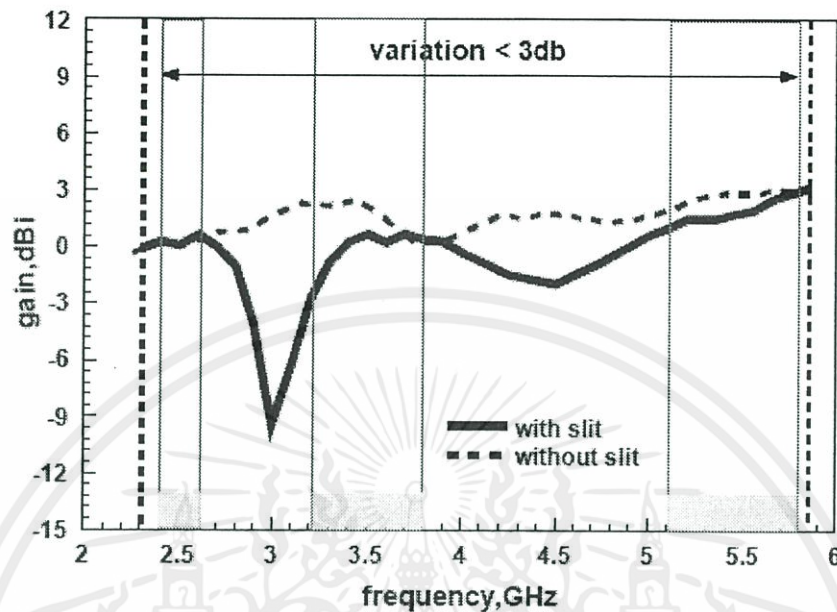
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ผลการทดสอบ และการจำลองค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ [10]

คุณสมบัติย่านความถี่กว้างของสายอากาศถูกปรับเปลี่ยนให้เหมาะสม แผ่นแพร่กระจายคลื่นรูปสี่เหลี่ยมได้ทำการเลือกกำหนดขนาดไว้ที่ 8 มิลลิเมตร \times 14 มิลลิเมตร ตั้งอยู่ตำแหน่งตรงกลางด้านบนของแผ่นแพร่กระจายคลื่นรูปสี่เหลี่ยมเป็นส่วนที่ยื่นออกไปเป็นแบบโมนโพลรูปทรงตัวที่ ระยะของ W_1 และ W_3 คือสิ่งที่ถูกใช้ในการปรับเปลี่ยนไปสู่การแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่ดีของสายอากาศที่ได้นำเสนอ และได้ขนาดที่ดีที่สุด 8 มิลลิเมตร และ 4 มิลลิเมตร หลังจากนั้นได้ตัดออกสองส่วนโดยขนาดที่เหมาะสมคือ 5.5 มิลลิเมตร \times 2 มิลลิเมตร บนส่วนขอบของระนาบกราวด์ การปรับแต่งนี้ นำไปสู่แบนด์วิดท์อิมพีแดนซ์ที่เลื่อนออกไปในด้านความถี่ต่ำ ความกว้างของระนาบกราวด์เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับคุณสมบัติความถี่กว้างของแบนด์วิดท์ และความสูงของระนาบกราวด์ทั้งสองด้านคงไว้ให้เป็น 7 มิลลิเมตร การปรับเปลี่ยนความถี่ที่ดีที่สุดนี้ อยู่ในระยะ 10 มิลลิเมตร และ 13.6 มิลลิเมตร ดังนั้นยังเหมาะที่จะนำไปใช้ในย่านความถี่บรอดแบนด์ นอกจากนี้ยังใส่ช่องเป็นทางยาวรูปตัวแอลกลับหัวแบบแคบ ($S_1 + S_2$) ที่ตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อให้เข้าคุณลักษณะสำหรับการตัดย่านความถี่สองย่านสามารถนำไปใช้ได้กับการใช้งานสำหรับ WiMAX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

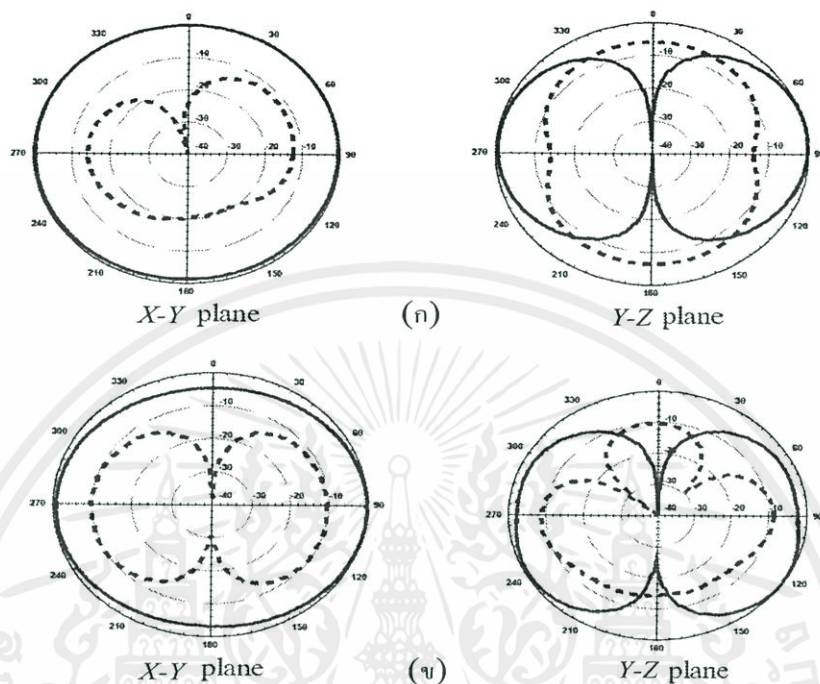


รูปที่ 2.19 อัตราขยายของสายอากาศจากการทดสอบของสายอากาศกับการไม่มีช่องเป็นทางยาว
ในระนาบ $y-z$ [10]

2.7.3.2 ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การจำลองของค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ แบนด์วิดธ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศย่านบรอดแบนด์ที่ไม่มีช่องทางยาว สามารถใช้งานได้จากความถี่ 1.96 GHz ถึง 2.17 GHz ความถี่ 3.26 GHz ถึง 3.80 GHz และความถี่ 5.03 GHz ถึง 6.24 GHz สายอากาศที่ได้นำเสนอให้กับคุณสมบัติการตัดออกสองย่านความถี่ตามมาตรฐานการประยุกต์ใช้ในระบบ WiFi ในรูปที่ 2.20 แสดงอัตราขยายสูงสุดจากการทดสอบจากความถี่ 2.2 GHz ถึงความถี่ 6 GHz สำหรับสายอากาศย่านความถี่บรอดแบนด์ และ สายอากาศสามย่านความถี่ ในการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศบรอดแบนด์ได้อัตราขยาย 0.14 dBi ถึง 2.97 dBi ในย่านความถี่ WiFi และ อัตราขยายจากการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ได้ต่ำกว่า 3 dBi ในรูปที่ 2.21 แสดงผลจากการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสามย่านความถี่ ที่ความถี่ 2.5 GHz และ ความถี่ 5.5 GHz ทั้งในระนาบ $y-z$ และ ระนาบ $x-y$ ตามลำดับให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวแม้กระทั่งความถี่ที่สูงกว่าในระนาบ $x-y$ เป็นลักษณะคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 ผลจากการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่สนามระยะไกล [10]

จากรูปที่ 2.20 ผลจากการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่สนามระยะไกล ของสายอากาศสามย่านความถี่ในระนาบ x-y และ y-z ที่ (ก) ความถี่ 2.5 GHz (ข) ความถี่ 5.5 GHz

2.7.3.3 สรุป

ในการออกแบบผลงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบสำหรับสายอากาศรูปตัวที สามย่านความถี่ บรอดแบนด์สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบ WiFi ในย่านความถี่ 2.5 GHz ขนาดของสายอากาศคือ 28 มิลลิเมตร x 26.4 มิลลิเมตร พารามิเตอร์ในส่วนที่ใช้ในการตัดความถี่ออกผ่านการแพร่กระจายคลื่นนั้นได้มาจากการศึกษา และวิเคราะห์ นอกจากนี้ได้ใช้การใส่ช่องทางยาวรูปตัวแอลกลับหัวแคบๆ บนโมโนโพลรูปตัวที ซึ่งให้ผลลัพธ์คือสามารถตัดสองย่านความถี่ออกไปได้ สายอากาศที่นำเสนอนี้มีขนาดกะทัดรัด และให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ดีเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานในระบบ WiFi ในย่านความถี่ 2.5 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

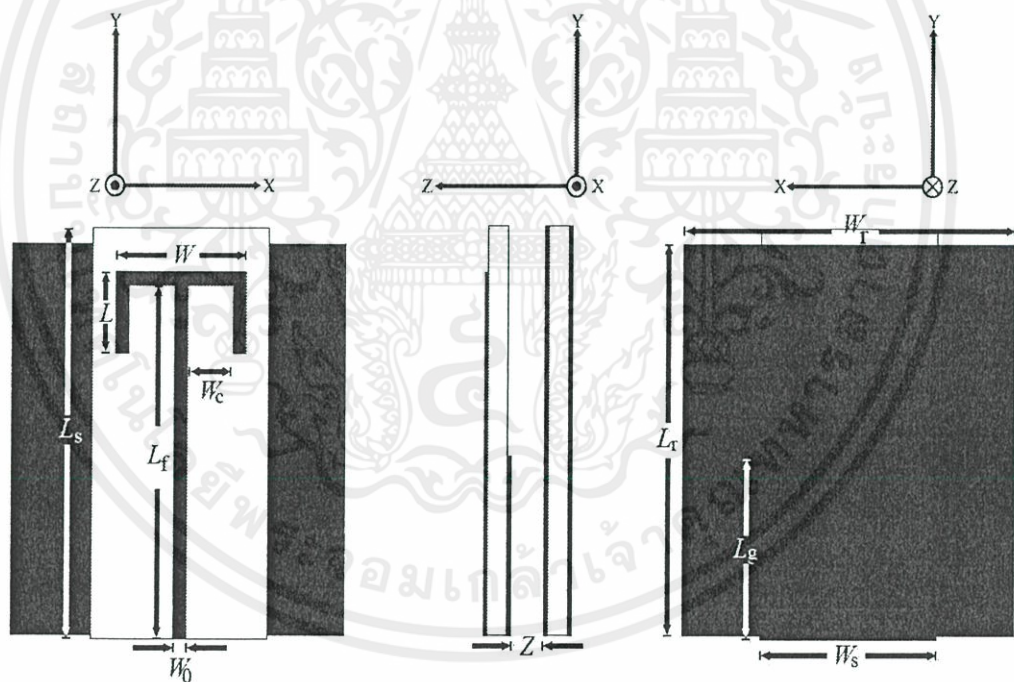
บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีในการคำนวณสำหรับสายอากาศแถบความถี่คู่อื่นๆ ในย่านความถี่เอชเอฟและไมโครเวฟ จากบทที่ 2 จากนั้นทำการจำลองผลเพื่อศึกษาถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของสายอากาศจากโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO เพื่อปรับปรุงสมรรถนะของสายอากาศที่จะสร้างขึ้น ซึ่งนำไปสู่การสร้างสายอากาศบนแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับการประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยี RFID ย่านความถี่เอชเอฟและไมโครเวฟ

3.2 โครงสร้างสายอากาศ



(ก) ด้านหน้า

(ข) ด้านข้าง

(ค) ด้านหลัง

รูปที่ 3.1 โครงสร้างของสายอากาศแถบความถี่คู่อื่นๆ ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและไมโครเวฟ

จากรูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของสายอากาศสำหรับการประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยี RFID สร้างจากวัสดุฐานรองชนิด FR4 เนื้อสารเป็นอีพ็อกซี เป็นวัสดุซึ่งสามารถหาซื้อได้ทั่วไปในตลาดอิเล็กทรอนิกส์ และมีราคาถูก มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์หรือ $\epsilon_r = 4.3$ โดยกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ของสายอากาศต้นแบบ

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (มิลลิเมตร)
W_s	ความกว้างของวัสดุฐานรอง	50
L_s	ความยาวของวัสดุฐานรอง	100
W_0	ความกว้างของเส้นป้อนสัญญาณ	3
L_f	ความยาวของเส้นป้อนสัญญาณ	84
W	ความกว้างของโลหะตัวนำ	37
L	ความยาวของโลหะตัวนำ	20
W_c	ความกว้างของช่องว่างระหว่างเส้นนำสัญญาณกับโลหะตัวนำ	14

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (มิลลิเมตร)
L_g	ความสูงของกราวนด์	38.5
W_r	ความกว้างของแผ่นสะท้อน	150
L_r	ความยาวของแผ่นสะท้อน	150
Z	ระยะห่างระหว่างสายอากาศกับแผ่นสะท้อน	100

3.2.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล

สำหรับการกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของสายอากาศไมโครสตริปนั้น ขั้นตอนแรก จะทำการคำนวณเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ความกว้างของเส้นป้อนสัญญาณ เริ่มจากสมการ 3.1

$$\text{เมื่อ } B = \frac{337\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad 3.1$$

$$B = \frac{337\pi}{2 \times 50 \times \sqrt{4.3}} = 5.7$$

ดังนั้นได้ค่า $B = 5.7$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า B ในสมการ 3.2

$$\frac{W_0}{h} = \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right] \quad 3.2$$

$$\frac{W_0}{0.16} = \frac{2}{\pi} \left[5.7 - 1 - \ln(2(5.7) - 1) + \frac{4.3 - 1}{2(4.3)} \left\{ \ln(5.7 - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{4.3} \right\} \right]$$

$$W_0 = 3.17 \text{ mm}$$

ดังนั้นค่าความกว้างเบื้องต้นของเส้นป้อนสัญญาณเท่ากับ 3.17 mm

3.2.2 การออกแบบสายอากาศแถบความถี่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและไมโครเวฟ

สำหรับการออกแบบสายอากาศนั้น ได้ทำการออกแบบพื้นฐานตามค่าพารามิเตอร์ โดยความยาวของ feed line เริ่มต้นได้จากการคำนวณดังนี้

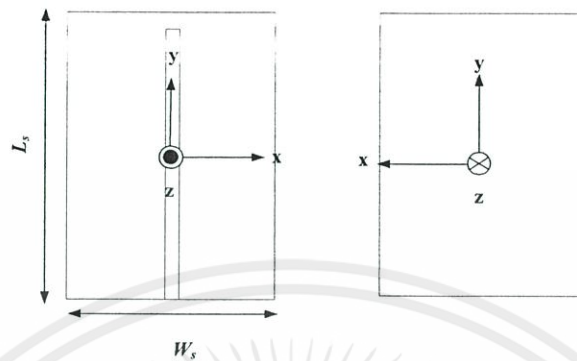
โดยอ้างอิงจาก

$$\lambda = \frac{c}{2 \times f} \quad 3.3$$

$$= \frac{3 \times 10^8}{2 \times 0.9225 \times 10^9} = 162 \text{ mm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.1 โครงสร้างเบื้องต้นของสายอากาศ

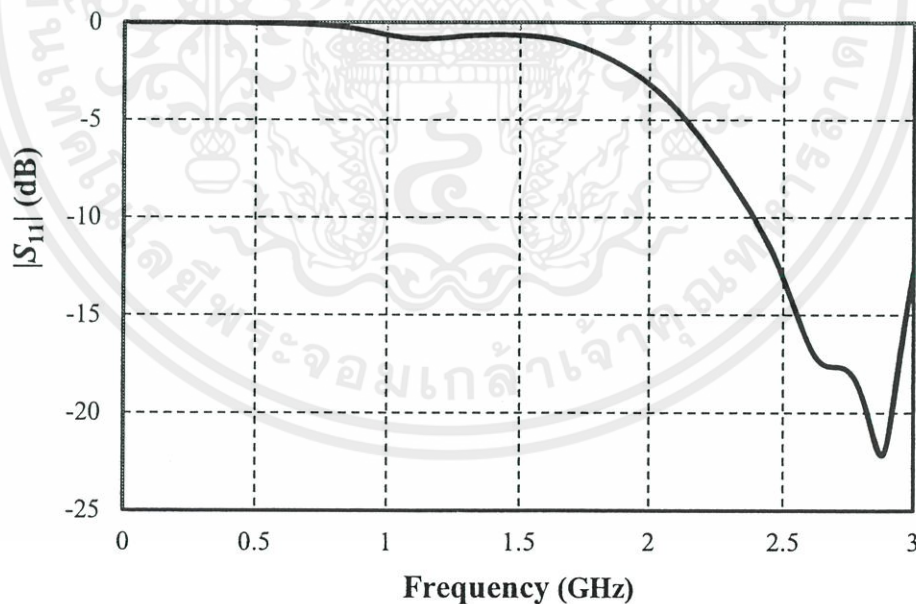


(ก) ด้านหน้า

(ข) ด้านหลัง

รูปที่ 3.2 โครงสร้างสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและไมโครเวฟเริ่มต้น

จากโครงสร้างของสายอากาศ ในย่านความถี่เอชเอฟ และ ไมโครเวฟ เริ่มต้น ได้มาจากการคำนวณค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น L และ W จึงได้ออกมาเป็นโครงสร้างเริ่มต้นดังรูปที่ 3.2 จากนั้นจึงทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นดังรูป ที่ 3.3

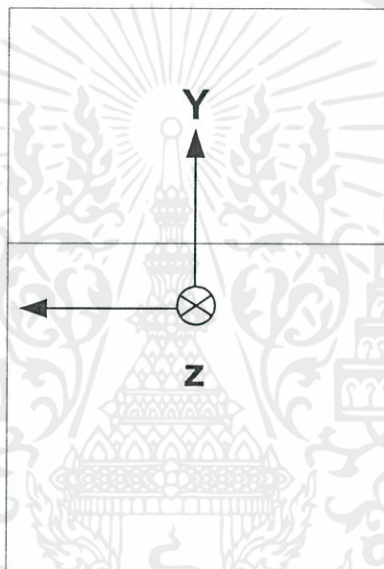


รูปที่ 3.3 $|S_{11}|$ ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ของค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นจากการคำนวณของศูนย์ฯ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

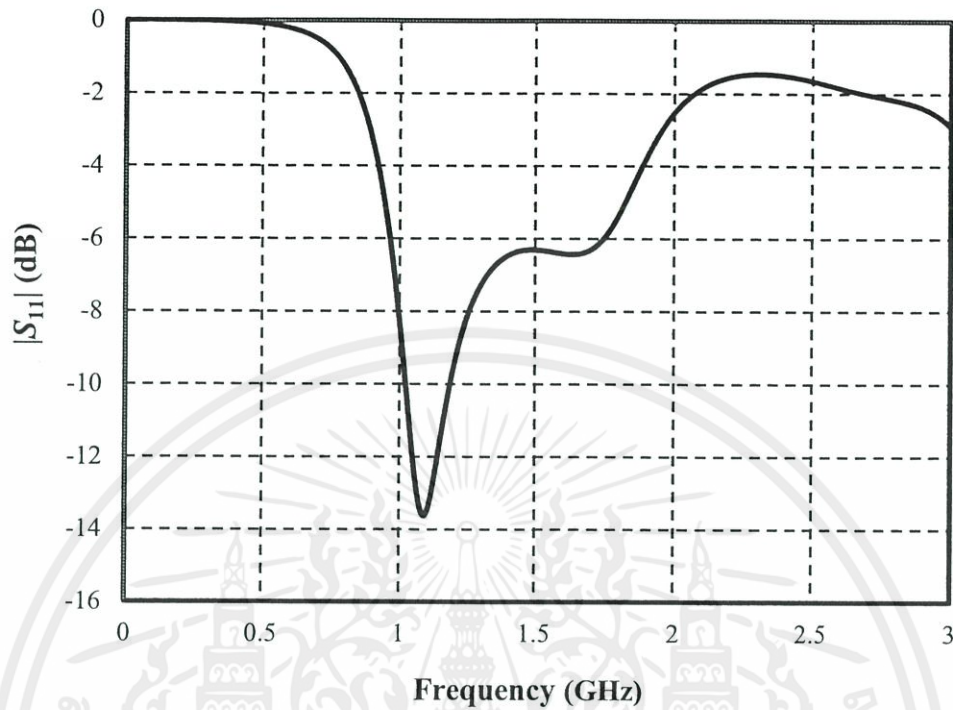
จากการศึกษาค่าพารามิเตอร์เบื้องต้น รูปที่ 3.3 $|S_{11}|$ ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งาน ในย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟ กราฟที่แสดงแถบความถี่ได้ความถี่ประมาณ 2.8 GHz แต่ยังไม่ตรงกับความถี่ที่ต้องการใช้งานจึงได้ทำการดัดแปลงรูปแบบของโครงสายอากาศโดยการลดกราวนด์ลงดังรูปที่ 3.4

3.2.2.2 โครงสร้างเบื้องต้นของสายอากาศหลังจากลดกราวนด์



รูปที่ 3.4 โครงสร้างสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟด้านหลัง หลังจากลดกราวนด์ลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

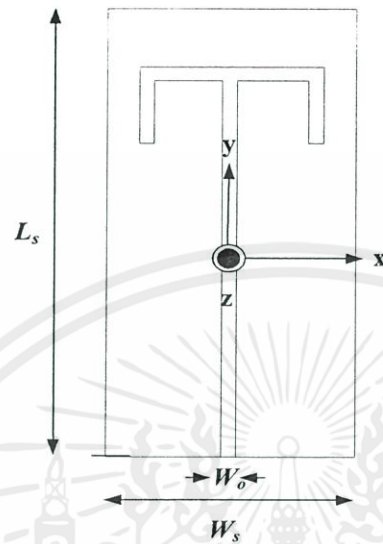


รูปที่ 3.5 $|S_{11}|$ ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและไมโครเวฟ
ของค่าพารามิเตอร์หลังจากลดกราวด์

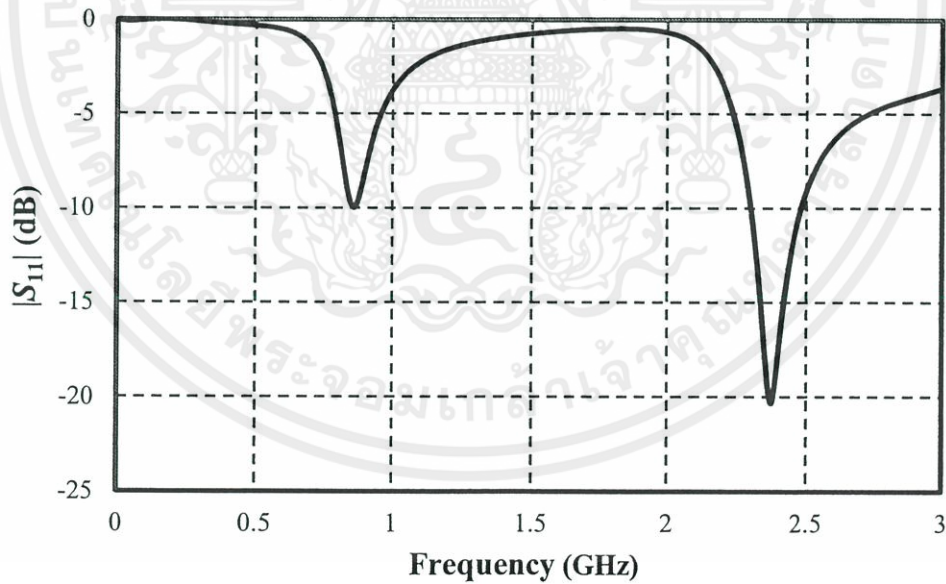
จากการศึกษาค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นหลังจากลดกราวด์ จากรูปที่ 3.7 $|s_{11}|$ ของสายอากาศ
ในย่านความถี่เอชเอฟ และ ไมโครเวฟ กราฟที่แสดงแถบความถี่เริ่มมีแนวโน้มเข้ามาใกล้ความถี่ที่
เราใช้งานมากกว่าเดิมโดยมีความถี่ที่ใช้งานได้หลายค่าแต่ยังไม่ตรงตามความถี่ที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.3 โครงสร้างเบื้องต้นของสายอากาศหลังจากเพิ่มเส้นป้อนสัญญาณ



รูปที่ 3.6 โครงสร้างสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและไมโครเวฟเมื่อเพิ่มเส้นป้อนสัญญาณทั้งสองด้าน



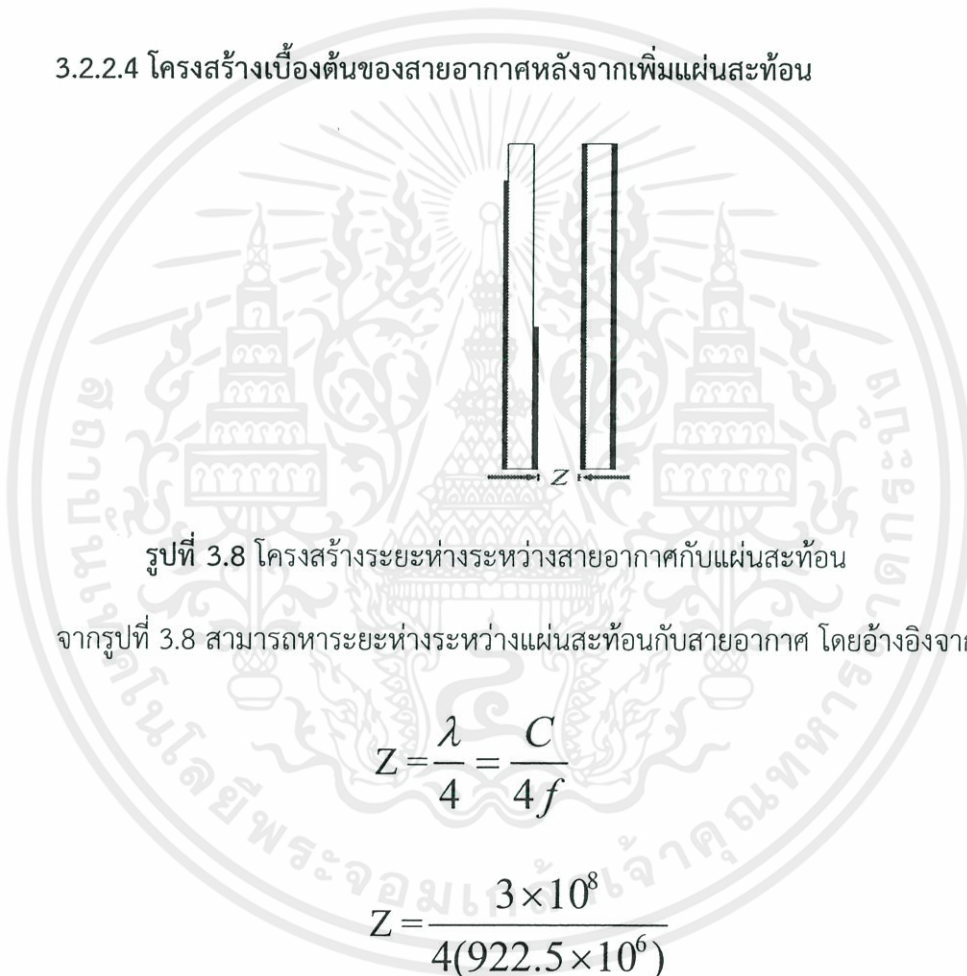
รูปที่ 3.7 $|S_{11}|$ ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและไมโครเวฟเมื่อ

เพิ่ม feed line ออกสองด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะทางเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นหลังจากลดกราวน์ จากรูปที่ 3.7 $|s_{11}|$ ของสายอากาศ ในย่านความถี่ยูเอชเอฟ และ ไมโครเวฟ กราฟที่แสดงแถบความถี่เริ่มมีแนวโน้มเข้ามาใกล้ความถี่ที่เราใช้งานมากกว่าเดิมโดยมีความถี่ที่ใช้งานได้หลายค่าแต่ยังไม่ตรงตามความถี่ที่ต้องการ ดังนั้น ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการศึกษาค่าพารามิเตอร์จากโครงสร้างที่เพิ่มเส้นป้อนสัญญาณแต่ละค่าเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด

3.2.2.4 โครงสร้างเบื้องต้นของสายอากาศหลังจากเพิ่มแผ่นสะท้อน



รูปที่ 3.8 โครงสร้างระยะห่างระหว่างสายอากาศกับแผ่นสะท้อน

จากรูปที่ 3.8 สามารถหาระยะห่างระหว่างแผ่นสะท้อนกับสายอากาศ โดยอ้างอิงจาก

$$Z = \frac{\lambda}{4} = \frac{C}{4f}$$

3.4

$$Z = \frac{3 \times 10^8}{4(922.5 \times 10^6)}$$

$$Z = 81 \text{ mm}$$

ดังนั้นได้ระยะห่างเบื้องต้นระหว่างแผ่นสะท้อนกับสายอากาศเท่ากับ 81 mm

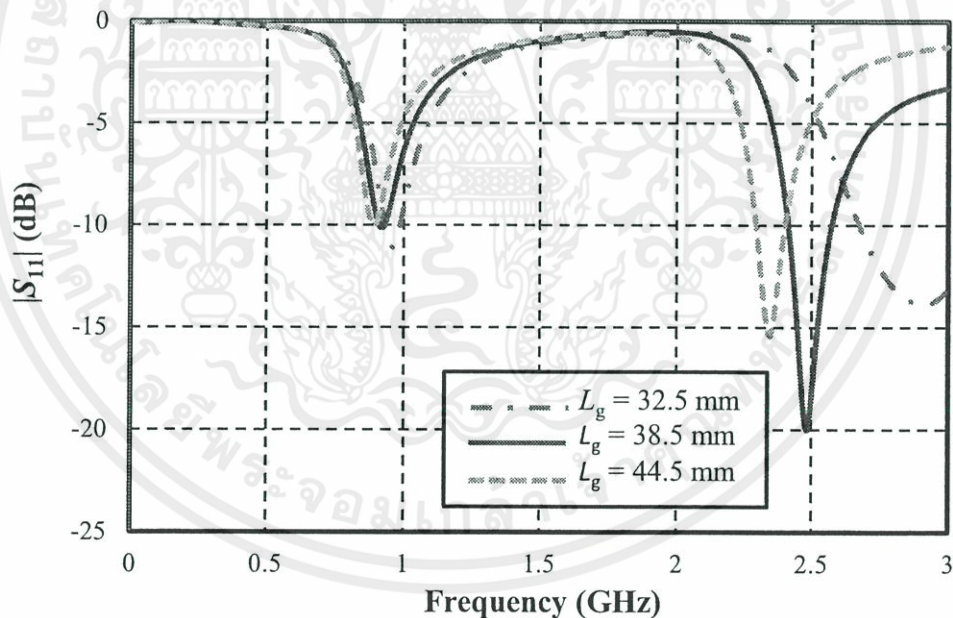
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การศึกษาค่าพารามิเตอร์

เพื่อทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับสายอากาศ จึงต้องทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

3.3.1 การศึกษาพารามิเตอร์ความสูงของกราวด์ (L_g)

โครงสร้างของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 จากโครงสร้างเริ่มดังกล่าวค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะมีค่าตามตารางที่ 3.1 จากนั้นทำการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio ซึ่งในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์ความสูงของกราวด์ (L_g) ของสายอากาศ โดยวัสดุที่ทำการออกแบบคือวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำทางไฟฟ้าสมบูรณ์ (PEC: Perfect Electric Conductor) ซึ่งวัสดุดังกล่าวจะมีค่าการสูญเสียเป็นศูนย์ สำหรับผลการจำลองค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจะทำการศึกษาค่า $|S_{11}|$ ซึ่งผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.8



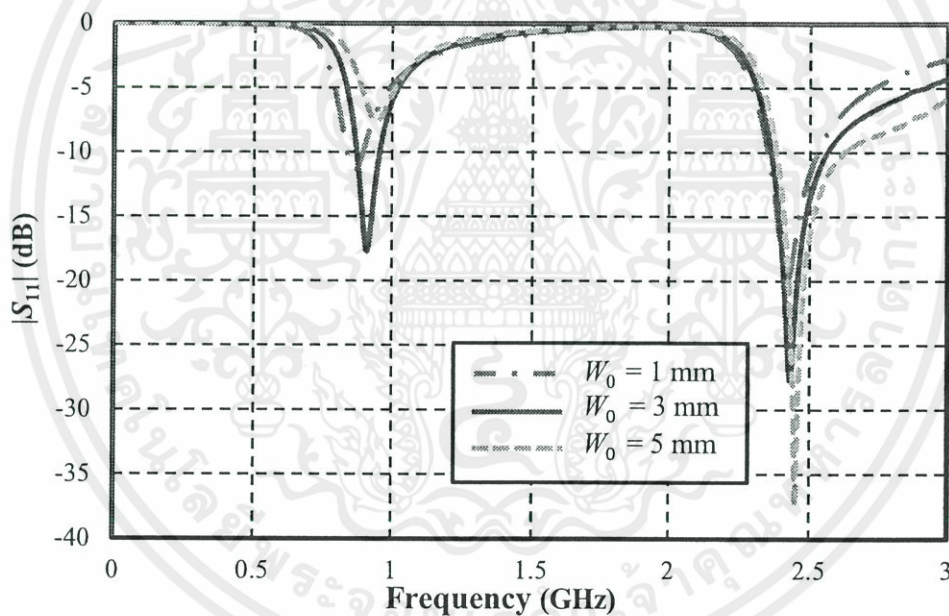
รูปที่ 3.9 $|S_{11}|$ ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟเมื่อปรับค่าขนาดความสูงของกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.8 แสดงผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ความสูงกราวน์ (L_g) จากผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ ของพารามิเตอร์ความสูงผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแถบความถี่ต่ำไม่ต่างกันมาก แต่ค่าพารามิเตอร์ความกว้างเหมาะสมที่สุดสำหรับแถบความถี่ที่ต้องการของสายอากาศจะมีค่าเท่ากับ 38.5 mm

3.3.2 การศึกษาพารามิเตอร์ความกว้างของเส้นป้อนสัญญาณ (W_0)

ในขั้นตอนนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ความกว้างของเส้นป้อนสัญญาณ (W_0) โดยค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 2 mm ผลของค่า $|S_{11}|$ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ความกว้างได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.10 $|S_{11}|$ ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและไมโครเวฟเมื่อปรับค่าความกว้างของเส้นป้อนสัญญาณ (W_0)

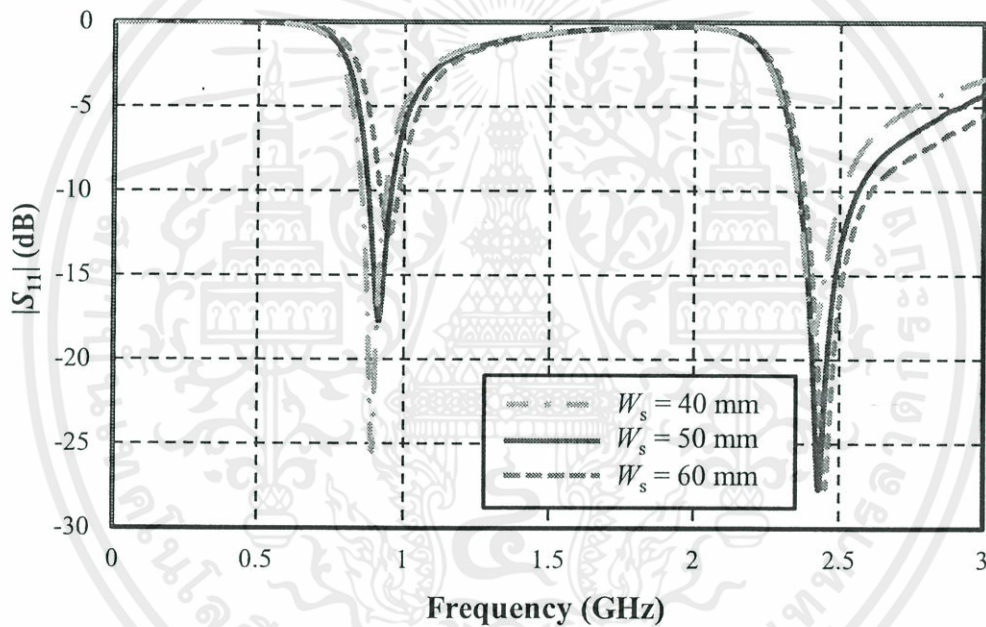
จากรูปพบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างของเส้นป้อนสัญญาณ (W_0) จะมีผลกระทบต่อค่า $|S_{11}|$ กล่าวคือ เมื่อความกว้างของเส้นป้อนสัญญาณ (W_0) มีค่าลดลงเหลือ 1 mm หรือมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 5 mm จะมีผลต่อการตอบสนองของแถบความถี่เปลี่ยนไป ดังนั้นจึงไม่สามารถนำมา

เอกสารนี้เป็นเพียงตัวอย่างผลงาน ชิ้นนี้ได้รับตีพิมพ์ในหนังสือพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ที่จัดทำขึ้นเพื่อประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการออกแบบได้ โดยเฉพาะที่ความกว้างของเส้นป้อนสัญญาณ เท่ากับ 1 mm ค่า $|S_{11}|$ มากกว่า -10 dB จึงเป็นค่าที่ไม่เหมาะสมสำหรับการออกแบบค่าพารามิเตอร์ความกว้างของเส้นป้อนสัญญาณ ที่มีความเหมาะสมสำหรับการออกแบบจะมีค่าเท่ากับ 3 mm

3.3.3 การศึกษาพารามิเตอร์ความกว้างของวัสดุฐานรอง (W_s)

ส่วนในขั้นตอนนี้จะเป็นการศึกษาค่าพารามิเตอร์ความกว้างของวัสดุฐานรองของสายอากาศจะได้กราฟ $|S_{11}|$ ดังนี้



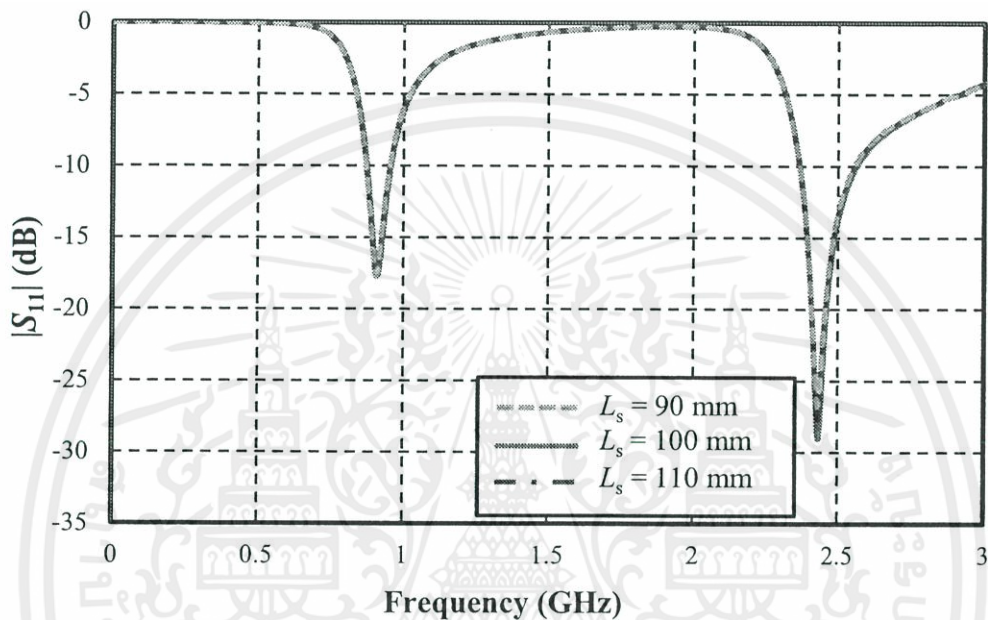
รูปที่ 3.11 $|S_{11}|$ ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและไมโครเวฟเมื่อปรับค่าความกว้างของวัสดุฐานรอง (W_s)

จากรูปที่ 3.10 แสดงผลการจำลองพารามิเตอร์ความกว้างของวัสดุฐานรอง จากผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ จะมีผลกระทบกับแถบความถี่ที่ใช้งานไม่มากนัก ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้งานในแถบความถี่ที่ต้องการจะมีค่าเท่ากับ 50 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การศึกษาพารามิเตอร์ความยาวของวัสดุฐานรอง (L_s)

จากการศึกษาค่าพารามิเตอร์ ความยาวของวัสดุฐานรอง (L_s) ของสายอากาศ ซึ่งผลการจำลองของค่าพารามิเตอร์ความยาว (L_s) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.11



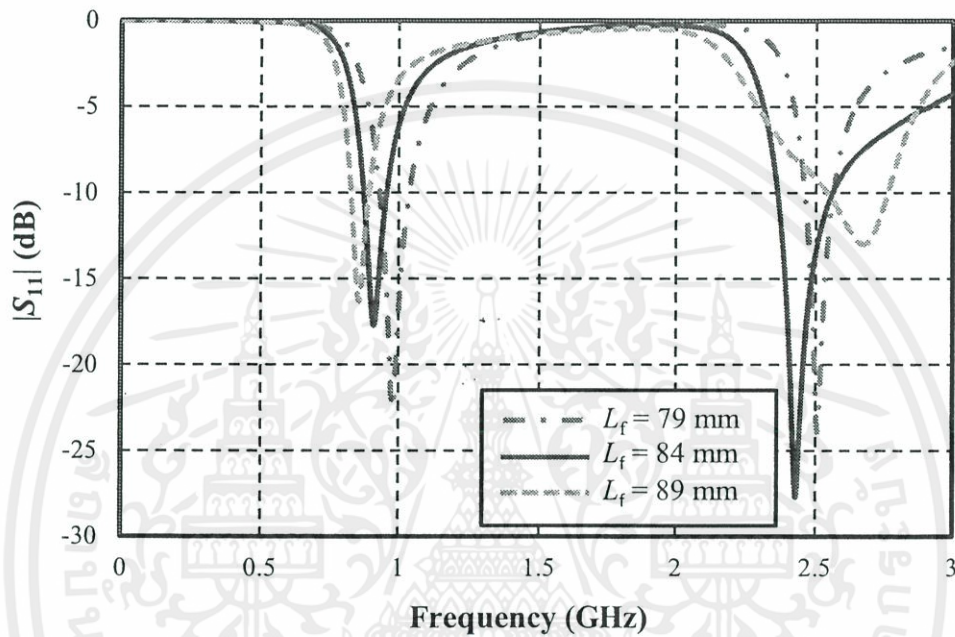
รูปที่ 3.12 $|S_{11}|$ ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและไมโครเวฟ เมื่อปรับค่าความยาวของวัสดุฐานรอง (L_s)

จากรูปที่ 3.11 แสดงผลการจำลองพารามิเตอร์ความยาวของวัสดุฐานรอง (L_s) จากผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ความยาวของวัสดุฐานรองจะไม่ค่อยมีผลกระทบต่อแถบความถี่ ดังนั้นขนาดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับความถี่ที่ใช้งานเท่ากับ 100 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การศึกษาค่าพารามิเตอร์ความยาวของเส้นป้อนสัญญาณ (L_f)

สำหรับหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาพารามิเตอร์ความสูงของเส้นป้อนสัญญาณเส้นกลางจากกึ่งกลางของวัสดุฐานรอง (L_f) เพื่อศึกษาถึงผลกระทบต่อย่านความถี่ที่ใช้งาน



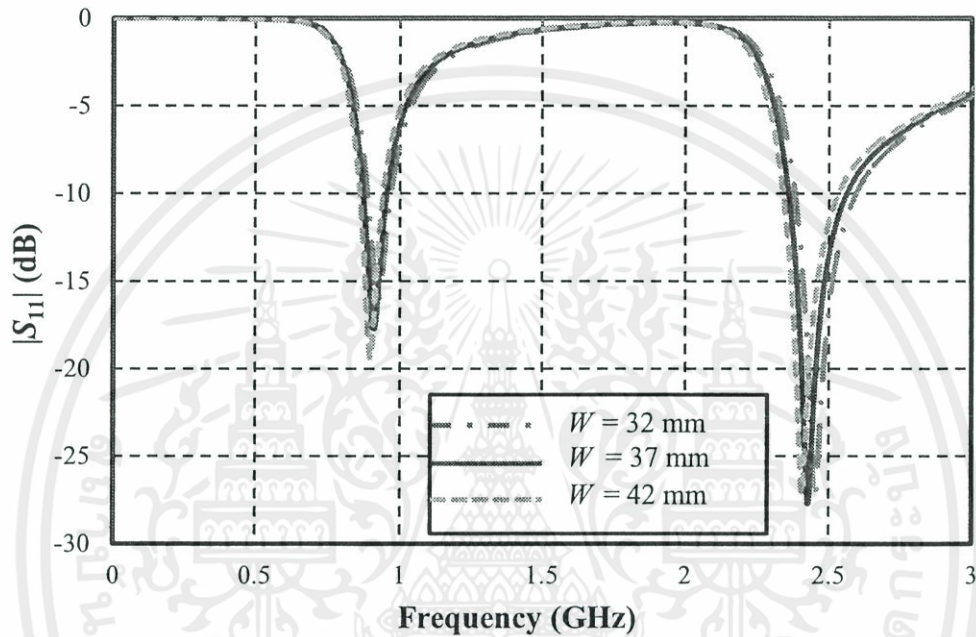
รูปที่ 3.13 $|S_{11}|$ ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟ เมื่อปรับค่าความสูงของเส้นป้อนสัญญาณเส้นกลางจากกึ่งกลางของวัสดุฐานรอง (L_f)

จากรูปที่ 3.12 แสดงผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ จะพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่าพารามิเตอร์เท่ากับ 89 mm จะทำให้ค่าแถบความถี่ 2.45 GHz เพิ่มขึ้น แต่ถ้าทำการลดค่าพารามิเตอร์ลงเท่ากับ 79 mm จะทำให้ค่าแถบความถี่ 922.5 MHz เลื่อนมาทางด้านขวามากกว่าเดิม ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแถบความถี่ที่ใช้งานทั้งสองความถี่เท่ากับ 84 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 การศึกษาค่าพารามิเตอร์ความกว้างของโลหะตัวนำ (W)

สำหรับหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาพารามิเตอร์ความสูงของเส้นป้อนสัญญาณเส้นทางด้านซ้าย (W) เพื่อศึกษาถึงผลกระทบต่อย่านความถี่ที่ใช้งานเมื่อทำการศึกษาพารามิเตอร์จะได้กราฟ $|S_{11}|$ ดังรูปที่ 3.13



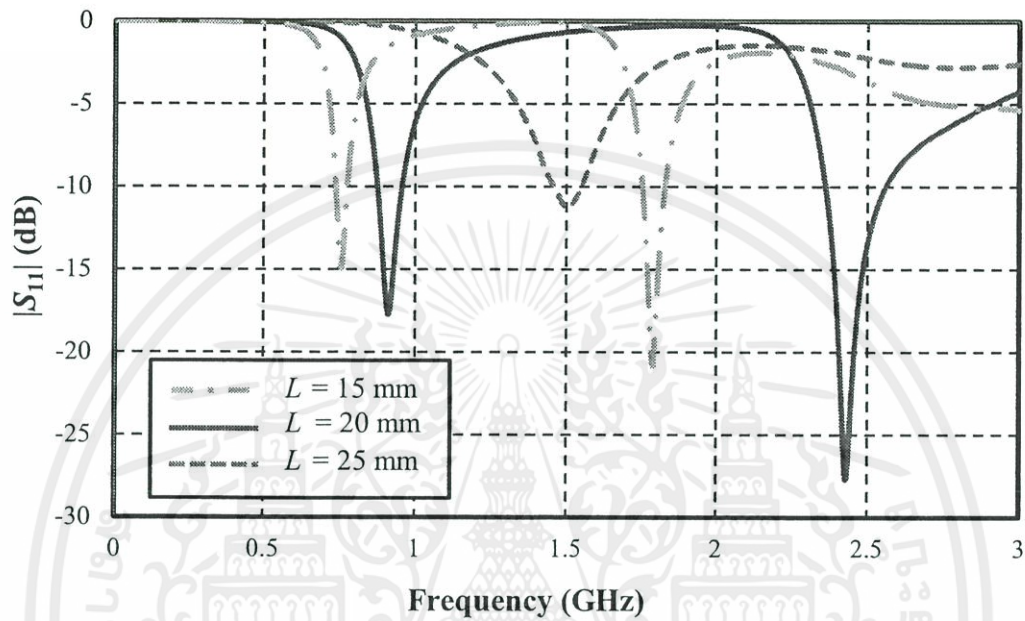
รูปที่ 3.14 $|S_{11}|$ ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและไมโครเวฟ เมื่อปรับค่าความกว้างของโลหะตัวนำ (W)

หลังจากศึกษาพารามิเตอร์ความกว้างของโลหะตัวนำ (W) ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและไมโครเวฟ พบว่าเมื่อปรับค่าความกว้างของโลหะตัวนำ (W) จะมีผลกระทบต่อความถี่ไม่มากนัก ดังนั้นการปรับค่าความกว้างของโลหะตัวนำที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 37 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7 การศึกษาค่าพารามิเตอร์ความยาวของโลหะตัวนำ (L)

สำหรับหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาพารามิเตอร์ความยาวของโลหะตัวนำ (L) เพื่อศึกษาถึงผลกระทบต่อย่านความถี่ที่ใช้งานเมื่อทำการศึกษาพารามิเตอร์จะได้กราฟ $|S_{11}|$ ดังรูปที่ 3.14



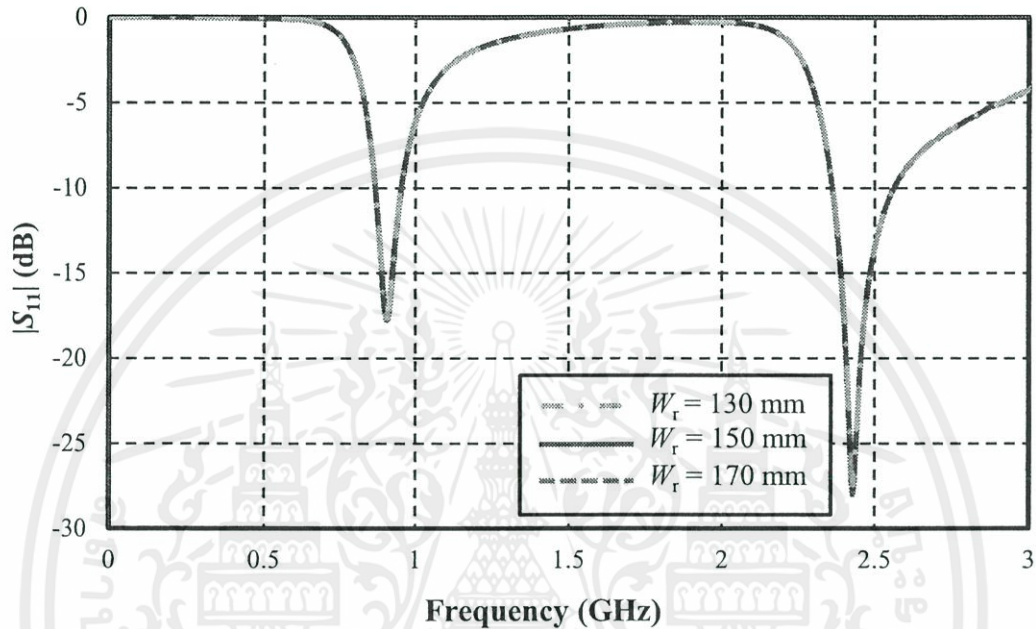
รูปที่ 3.15 $|S_{11}|$ ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟ เมื่อปรับค่าความยาวของโลหะตัวนำ (L)

หลังจากศึกษาพารามิเตอร์ความยาวของโลหะตัวนำ (L) ของสายอากาศ ในย่านความถี่ ยูเอชเอฟ และ ไมโครเวฟพบว่าเมื่อปรับค่าความยาวของโลหะตัวนำ (L) จะมีผลกระทบต่อความถี่ 2.45 GHz มากกว่าทางด้านความถี่ 922.5 MHz ซึ่งต่างจากความถี่ 922.5 MHz ซึ่งมีผลกระทบต่อความถี่ไม่มาก ดังนั้นการปรับค่าความยาวของโลหะตัวนำ (L) จึงมีผลต่อความถี่ 2.45 GHz มากกว่า ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ความยาวของโลหะตัวนำ (L) ที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 20 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.8 การศึกษาค่าพารามิเตอร์ความกว้างของแผ่นสะท้อน (W_r)

สำหรับหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาพารามิเตอร์ความกว้างของแผ่นสะท้อน (W_r) เพื่อศึกษาถึงผลกระทบต่อย่านความถี่ที่ใช้งานเมื่อทำการศึกษาพารามิเตอร์จะได้กราฟ $|S_{11}|$ ดังรูปที่ 3.15



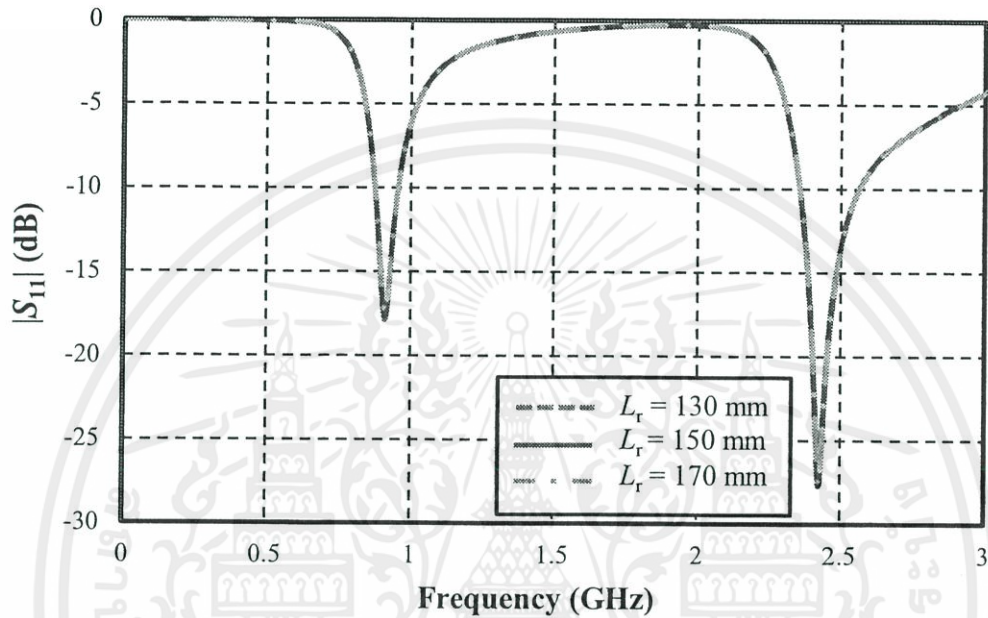
รูปที่ 3.16 $|S_{11}|$ ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟ เมื่อปรับค่าความกว้างของแผ่นสะท้อน (W_r)

หลังจากศึกษาพารามิเตอร์ความกว้างของแผ่นสะท้อน (W_r) ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟ พบว่าเมื่อปรับค่าความกว้างของแผ่นสะท้อน (W_r) จะมีผลกระทบต่อความถี่ไม่มากนัก ดังนั้นการปรับค่าความกว้างของแผ่นสะท้อนที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 150 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.9 การศึกษาค่าพารามิเตอร์ความยาวของแผ่นสะท้อน (L_r)

สำหรับหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาพารามิเตอร์ความยาวของแผ่นสะท้อน (L_r) เพื่อศึกษาถึงผลกระทบต่อย่านความถี่ที่ใช้งานเมื่อทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์จะได้กราฟ $|S_{11}|$ ดังรูปที่ 3.16



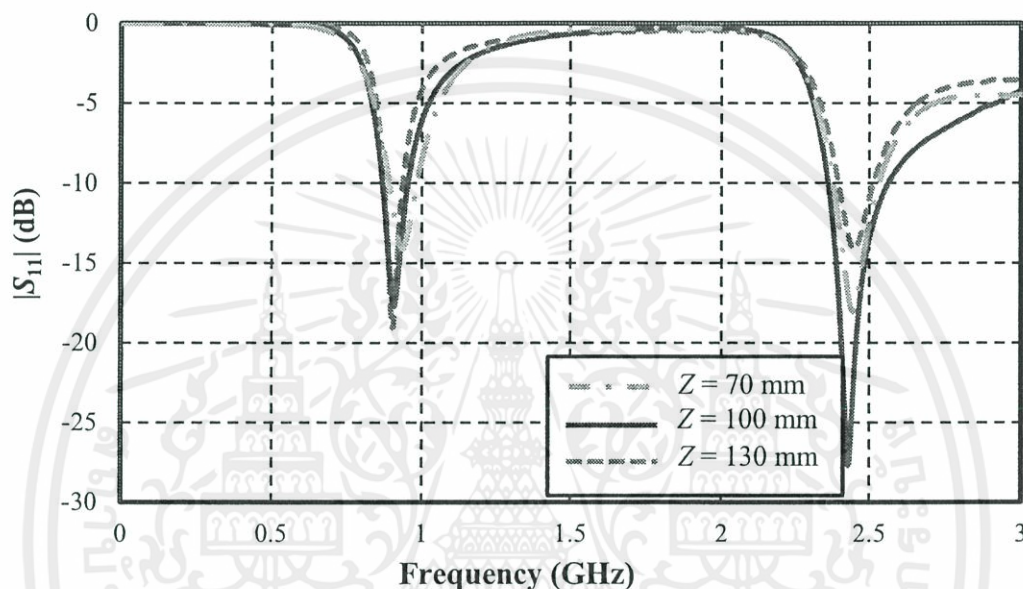
รูปที่ 3.17 $|S_{11}|$ ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟ เมื่อปรับค่าความยาวของแผ่นสะท้อน (L_r)

หลังจากศึกษาค่าพารามิเตอร์ความยาวของแผ่นสะท้อน (L_r) ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟ พบว่าเมื่อปรับค่าความยาวของแผ่นสะท้อน (L_r) จะมีผลกระทบต่อความถี่ไม่มากนัก ดังนั้นการปรับค่าความยาวของแผ่นสะท้อนที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 150 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.10 การศึกษาค่าพารามิเตอร์ระยะห่างระหว่างแผ่นสะท้อนกับสายอากาศ (Z)

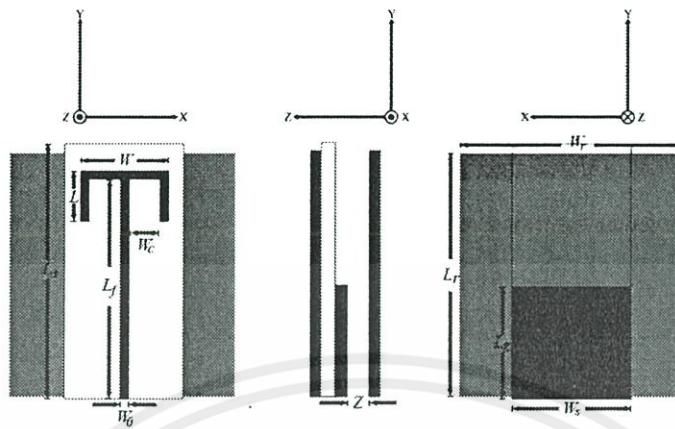
สำหรับหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาพารามิเตอร์ระยะห่างระหว่างแผ่นสะท้อนกับสายอากาศ (Z) เพื่อศึกษาถึงผลกระทบต่อย่านความถี่ที่ใช้งานเมื่อทำการศึกษาพารามิเตอร์จะได้กราฟ $|S_{11}|$ ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.18 $|S_{11}|$ ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและไมโครเวฟ เมื่อปรับค่าระยะห่างระหว่างแผ่นสะท้อนกับสายอากาศ (Z)

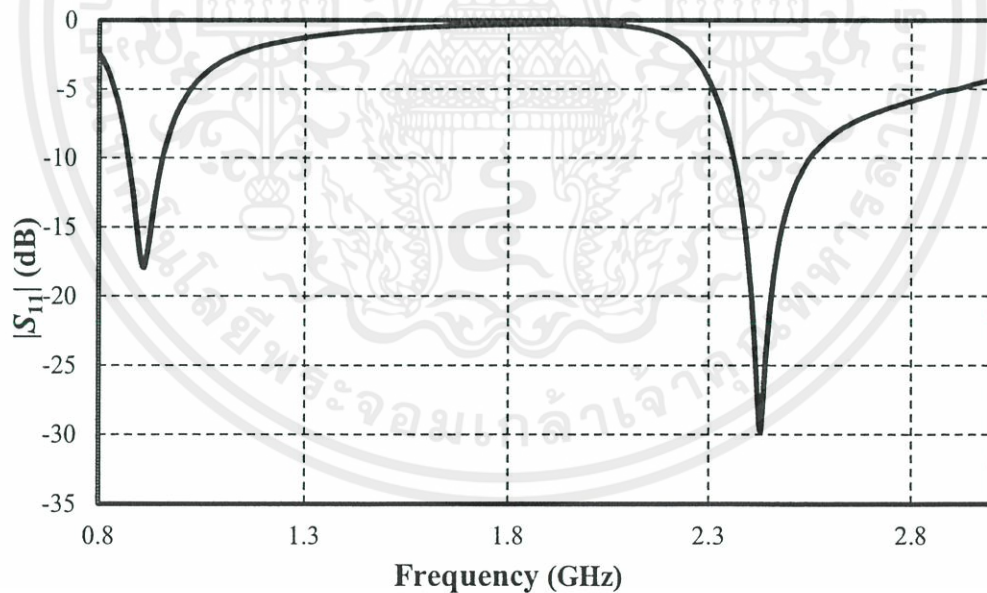
หลังจากศึกษาพารามิเตอร์ความยาวของแผ่นสะท้อน (L_r) ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและไมโครเวฟ พบว่าเมื่อปรับค่าความยาวของแผ่นสะท้อน (L_r) จะมีผลกระทบต่อความถี่ไม่มากนัก ดังนั้นการปรับค่าความยาวของแผ่นสะท้อนที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 100 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 โครงสร้างของสายอากาศต้นแบบสำหรับสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟ

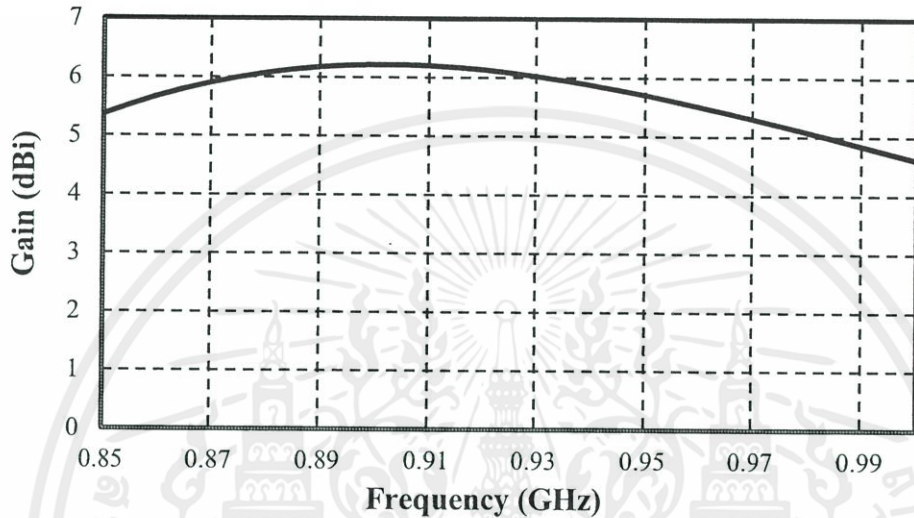
จากการออกแบบสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟ ด้วยโปรแกรม CST Microwave studio คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 3.11 (ก) (ข) และ (ค) ตามลำดับ



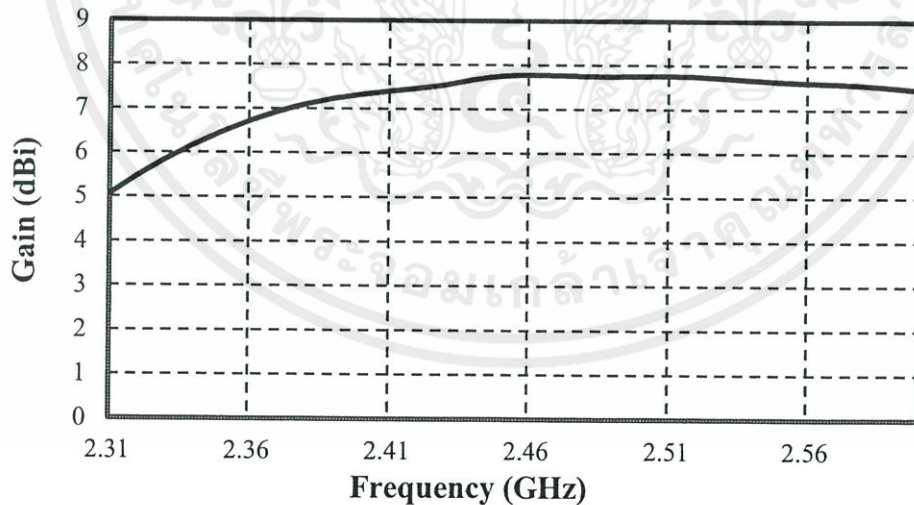
รูปที่ 3.20 $|S_{11}|$ ของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟเมื่อได้

ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

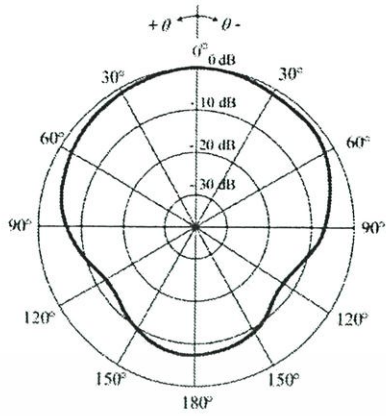
จาก $|S_{11}|$ ความถี่ที่ได้ช่วงตกของกราฟอาจจะไม่ตรงกับความต้องการแบบพอดิ แต่ความถี่ที่ต้องการยังอยู่ในช่วงแบนวิดท์ และยังต่ำกว่า -10 dB แต่ถ้าจะทำให้ความถี่ใดความถี่หนึ่ง กราฟตกตามความถี่แบบพอดิ จะทำให้อีกความถี่หนึ่งหลุดออกจากแบนวิดท์และอาจจะมีค่ามากกว่า -10 dB ดังนั้นจึงได้ความถี่มาดังรูปที่ 3.16 และเป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด



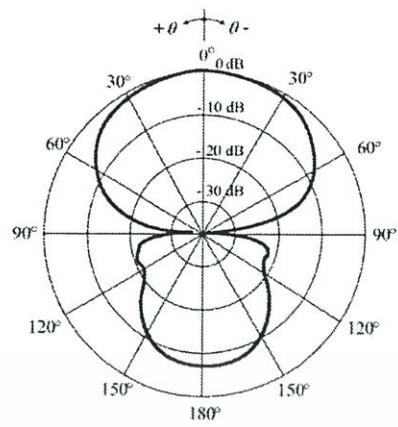
รูปที่ 3.21 กราฟแสดงอัตราขยายสายอากาศในย่านความถี่เอชเอฟ และ ไมโครเวฟของ ความถี่ 922.5 MHz



รูปที่ 3.22 กราฟแสดงอัตราขยายสายอากาศแถบความถี่คู่อื่นๆ ที่ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟและ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **ไมโครเวฟของ ความถี่ 2.45 GHz** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



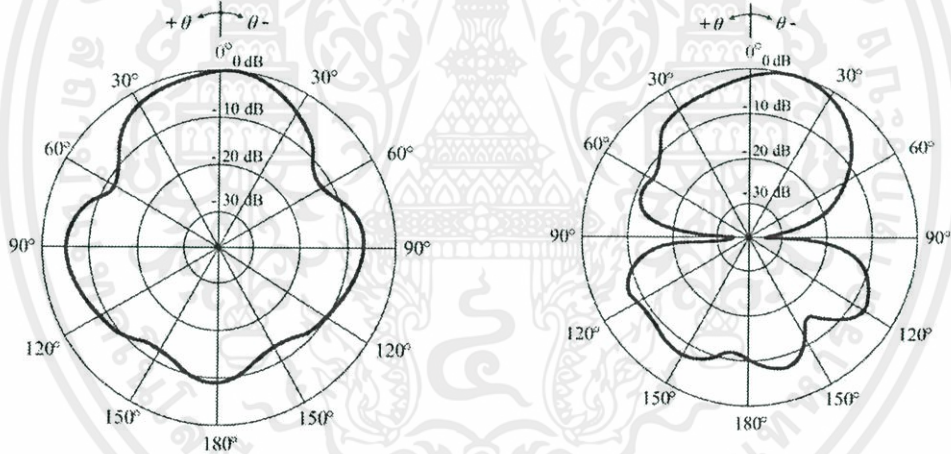
(ก) ระนาบ xz



(ข) ระนาบ yz

รูปที่ 3.23 (ก) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 922.5 MHz ในระนาบ xz

(ข) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 922.5 MHz ในระนาบ yz



(ก) ระนาบ xz

(ข) ระนาบ yz

รูปที่ 3.24 (ก) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 2.45 GHz ในระนาบ xz

(ข) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 2.45 GHz ในระนาบ yz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สรุปสมรรถนะของสายอากาศ

สมรรถนะของสายอากาศ	ค่าที่ได้จากการทดสอบที่ความถี่ 925 MHz	ค่าที่ได้จากการทดสอบที่ความถี่ 2.45 GHz
$ S_{11} $	-16.38 dB	-21.03 dB
ช่วงกว้างความถี่	870.53 MHz – 955.56 MHz	2.36 GHz – 2.55 GHz
อัตราขยาย	Max = 5.21 dB	Max = 7.50 dB
โพลาริซ	เชิงเส้น	เชิงเส้น
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	ทิศทางเดียว	ทิศทางเดียว
ความกว้างลำคลื่น	ระนาบ XZ 164.4 องศา ระนาบ YZ 79.5 องศา	ระนาบ XZ 74.6 องศา ระนาบ YZ 64 องศา

3.4 บทสรุป

ในบทนี้ได้เสนอขั้นตอนการออกแบบและการจำลองผลของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟและได้ทำการปรับเปลี่ยนโครงสร้าง เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการพิจารณาสมรรถนะของสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟพบว่าสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟอัตราขยายสูง มีโพลาริซเชิงเส้นและมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว เพื่อยืนยันความถูกต้องจากผลการจำลองสายอากาศ จึงสร้างสายอากาศแถบความถี่คู่ที่ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟเพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง ซึ่งจะกล่าวในบท

ต่อไป เอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบสายอากาศ

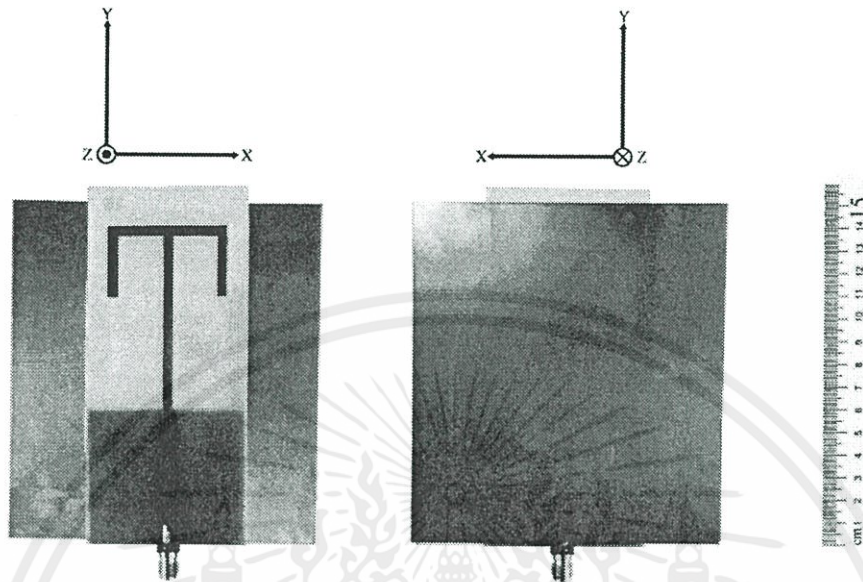
4.1 บทนำ

ในบทนี้จะทำการแสดงผลจากการทดสอบของสายอากาศสำหรับสายอากาศแถบความถี่คู่ สำหรับใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟที่ย่านความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz ที่มีคุณลักษณะของ $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz และระนาบ yz และอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ

4.2 สายอากาศต้นแบบ

หัวข้อนี้จะเสนอสายอากาศต้นแบบสำหรับอุปกรณ์รับสัญญาณ RFID โดยสายอากาศที่นำเสนอได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานในย่านความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ของสัญญาณยูเอชเอฟและไมโครเวฟในปัจจุบัน วัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างสายอากาศนั้นเป็นวัสดุแผ่นพิมพ์สองด้าน เนื่องจากเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่าย มีความแข็งแรง ทนทาน น้ำหนักเบา และมีราคาถูก ชิ้นผิวตัวนำเป็นทองแดง และมีวัสดุฐานรองเป็น FR4 ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก 4.3 ใช้ SMA CONNECTER เป็นตัวเชื่อมระหว่างสายอากาศกับสายนำสัญญาณ ภาพสายอากาศต้นแบบแสดงดังรูปที่ 4.1 ส่วนพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้สร้างสายอากาศต้นแบบ แสดงในตาราง 4.1 ซึ่งได้มาจากการจำลองในบทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายสายอากาศต้นแบบ

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (มิลลิเมตร)
W_s	ความกว้างของวัสดุฐานรอง	50
L_s	ความยาวของวัสดุฐานรอง	100
W_0	ความกว้างของเส้นป้อนสัญญาณ	3

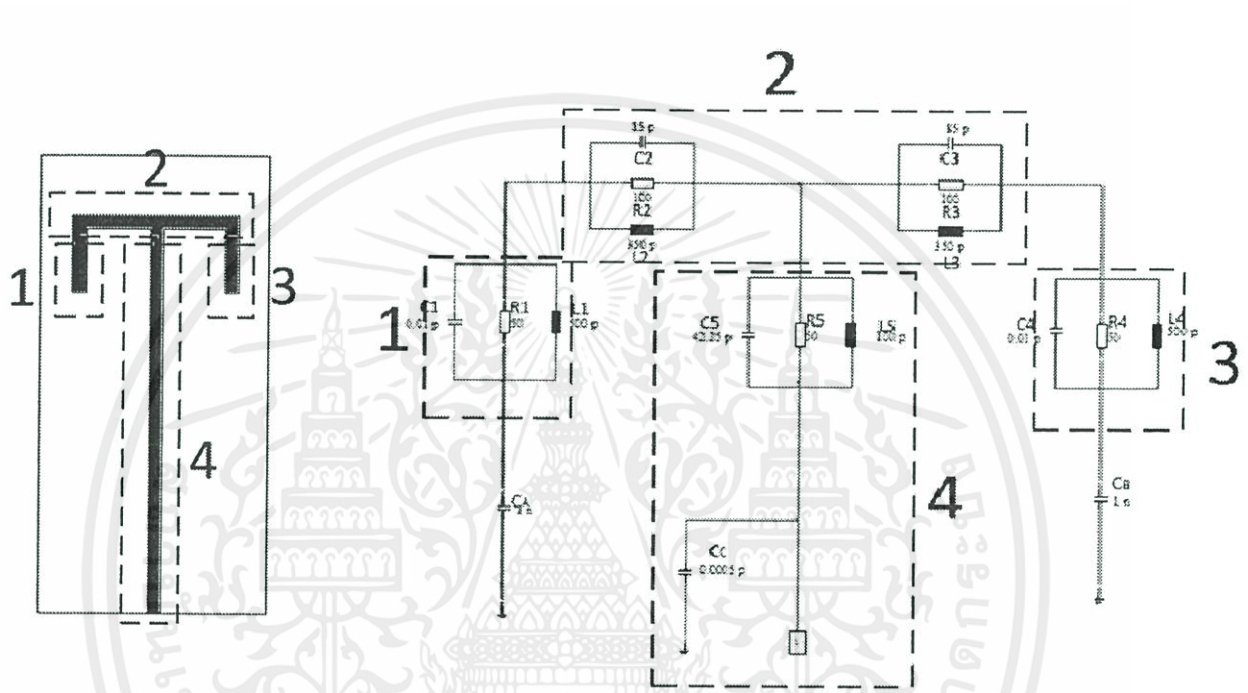
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (มิลลิเมตร)
L_f	ความยาวของเส้นป้อนสัญญาณ	84
W	ความกว้างของโลหะตัวนำ	37
L	ความยาวของโลหะตัวนำ	20
W_c	ความกว้างของช่องว่างระหว่างเส้นนำสัญญาณ กับโลหะตัวนำ	14
L_g	ความสูงของกราวด์	38.5
W_r	ความกว้างของแผ่นสะท้อน	150
L_r	ความยาวของแผ่นสะท้อน	150
Z	ระยะห่างระหว่างสายอากาศกับแผ่นสะท้อน	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วงจรสมมูล

จำลองรูปแบบวงจรสมมูลของสายอากาศเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของสายอากาศ โดยวงจรสมมูลของสายอากาศเป็นดังนี้

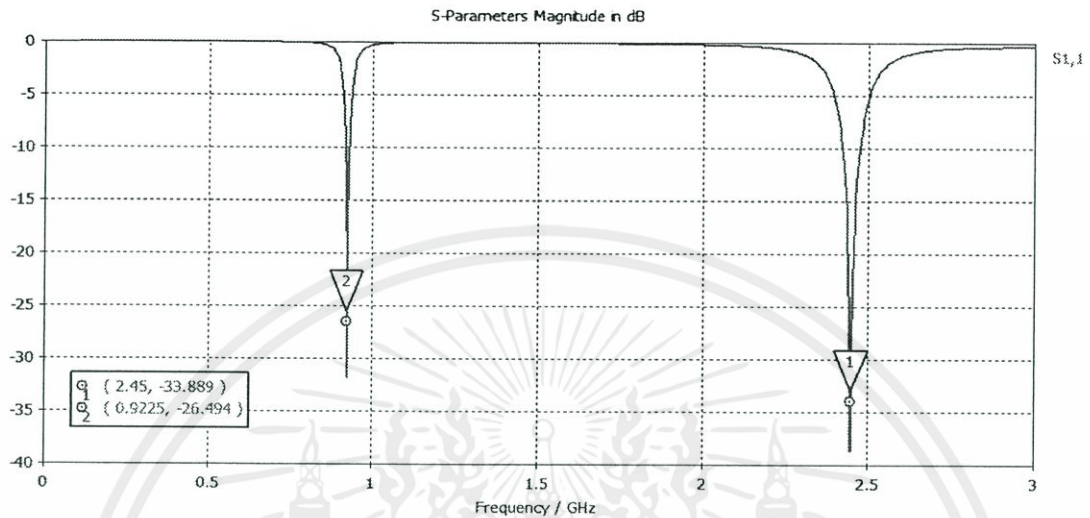


รูปที่ 4.2 วงจรสมมูลของสายอากาศ

จากรูปที่ 4.2 ส่วนที่ 1 คือ ส่วนของการแพร่กระจายคลื่น
 ส่วนที่ 2 คือ ส่วนของการแพร่กระจายคลื่น
 ส่วนที่ 3 คือ ส่วนของการแพร่กระจายคลื่น
 ส่วนที่ 4 คือ ส่วนของเส้นป้อนสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศ

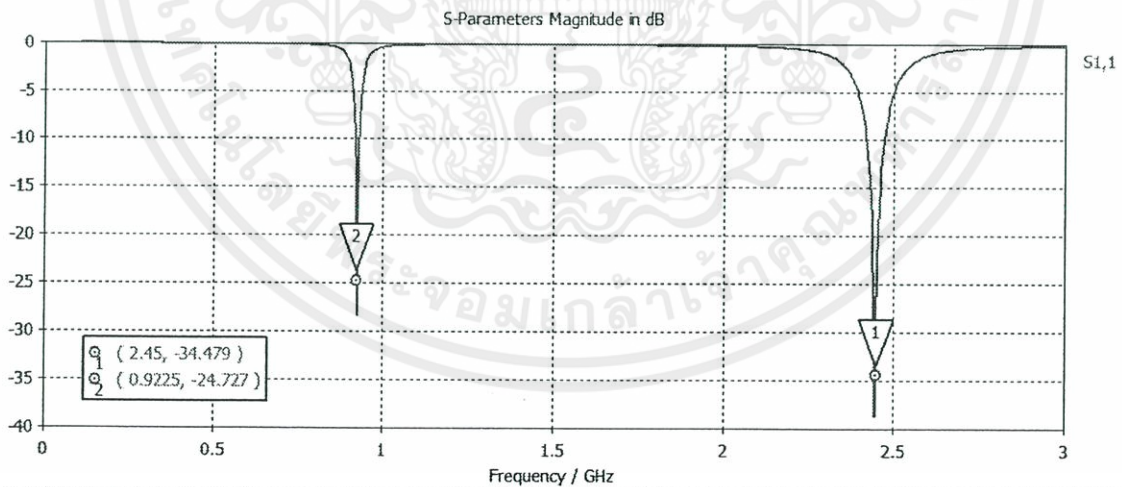


รูปที่ 4.3 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศ

4.3.1 ปรับค่าความต้านทานวงจรสมมูลของสายอากาศ

ทำการปรับค่าความต้านทาน R_1 และ R_4 ให้น้อยลงจาก 50Ω เป็น 1Ω ผลการ

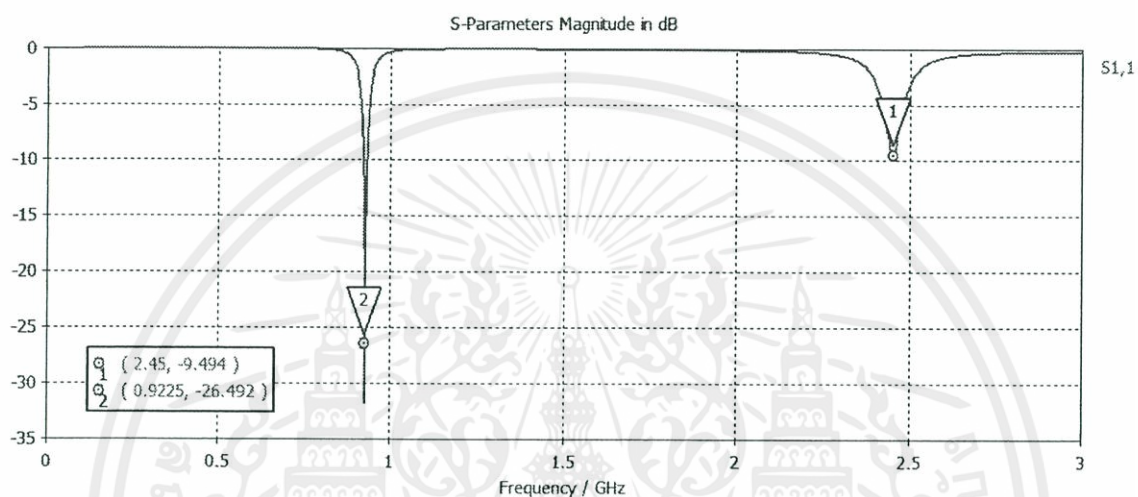
จำลองเป็นดังนี้



รูปที่ 4.4 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่าความต้านทาน R_1 และ R_4 ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการปรับค่าความต้านทาน R_1 และ R_4 เปรียบเสมือนการปรับความยาวโลหะตัวนำ (L) ของสายอากาศ โดยการปรับค่าความต้านทานน้อยลงจะไม่ส่งผลใดๆ ต่อความถี่แต่จะมีผลกับความแอมพลิจูดของสายอากาศที่ความถี่ 922.5 MHz ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 3.15 จากนั้นทำการปรับค่าความต้านทาน R_5 ให้เพิ่มขึ้นจาก 50Ω เป็น 100Ω ผลการจำลองเป็นดังนี้



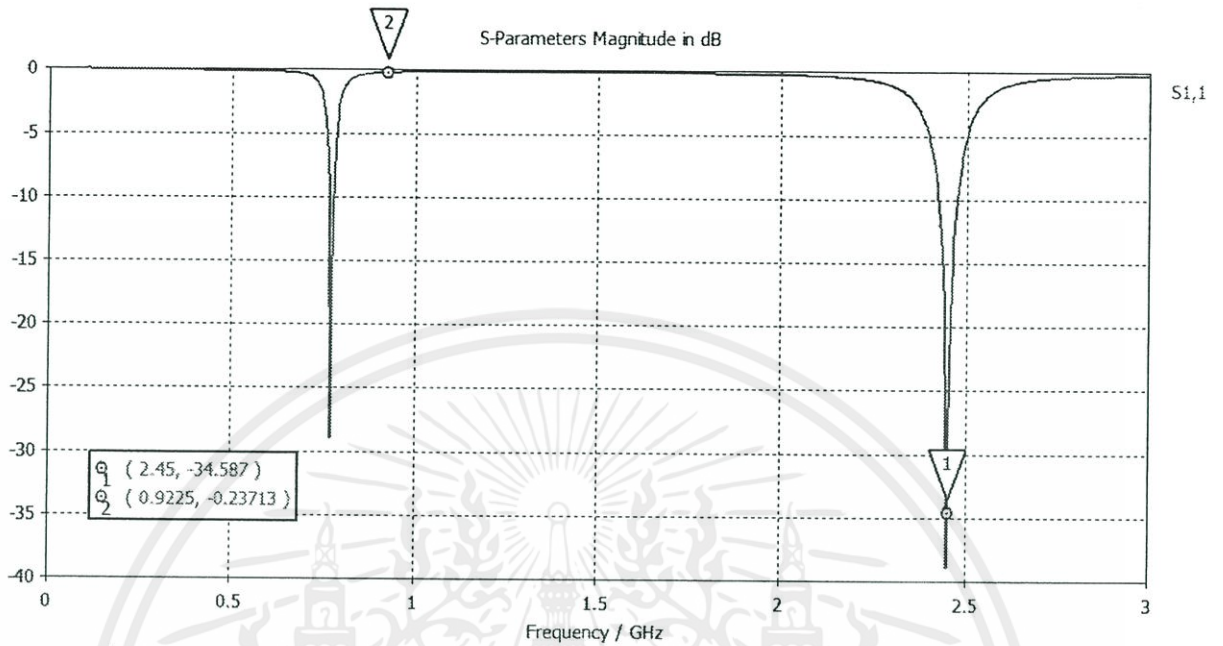
รูปที่ 4.5 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่าความต้านทาน R_5 เพิ่มขึ้น

จากการปรับค่าความต้านทาน R_5 เปรียบเสมือนการปรับความยาวของเส้นป้อนสัญญาณของสายอากาศ (L_p) โดยการปรับค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นจะ แต่จะมีผลกับความแอมพลิจูดของสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 3.13

4.3.2 ปรับค่าความเหนี่ยวนำวงจรสมมูลของสายอากาศ

ทำการปรับค่าความเหนี่ยวนำ L_2 และ L_3 ให้มากขึ้นจาก 350 pH เป็น 500 pH ผลการจำลองเป็นดังนี้

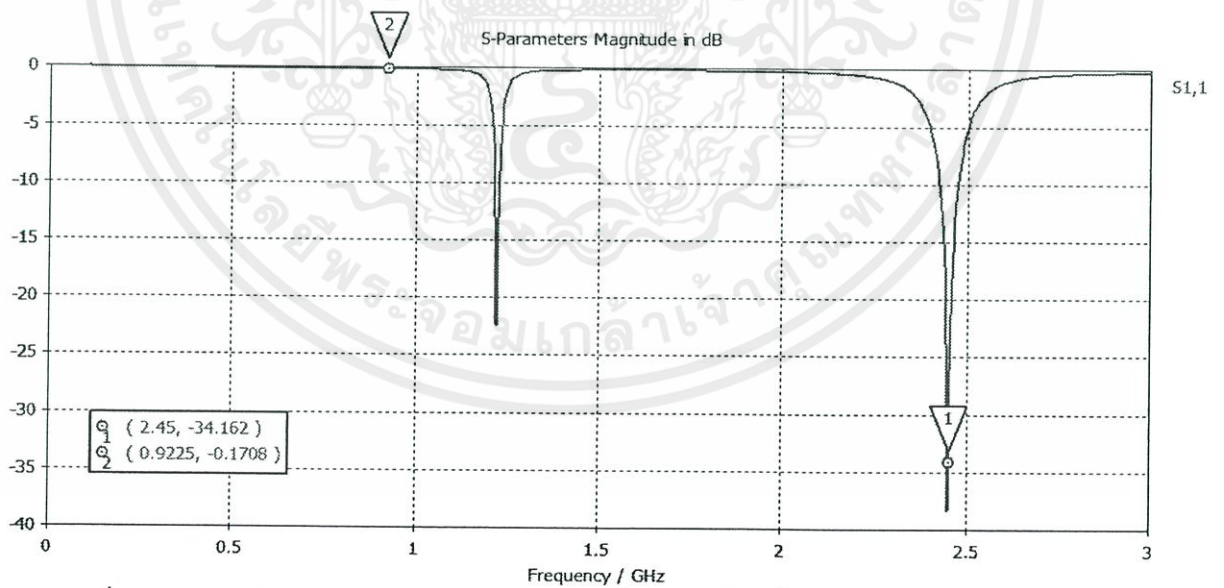
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่าตัวเหนี่ยวนำ L_2 และ L_3 มากขึ้น

ทำการปรับค่าความเหนี่ยวนำ L_2 และ L_3 ให้น้อยลงจาก 350 pH เป็น 200 pH

ผลการจำลองเป็นดังนี้

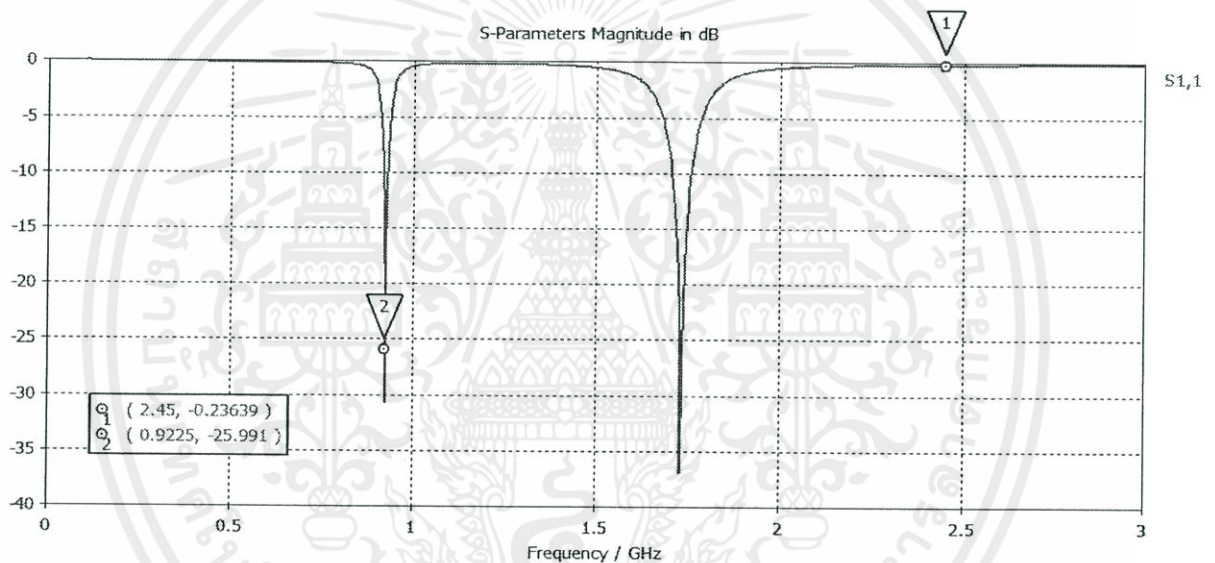


รูปที่ 4.7 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่าตัวเหนี่ยวนำ L_2 และ L_3 น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการจำลองพบว่า การปรับค่าความเหนี่ยวนำ L_2 และ L_3 นั้นจะส่งผลกับความถี่ โดยเมื่อค่าความเหนี่ยวนำน้อยลงจะทำให้กราฟไปตกที่ความถี่ที่สูงขึ้น ในขณะที่ค่าความเหนี่ยวนำมีค่ามากขึ้นส่งผลให้กราฟไปตกที่ความถี่ที่ต่ำลง ทำให้พบว่าตรงกับการปรับความกว้างโลหะตัวนำของสายอากาศ (W) ถ้าสายอากาศเรามีความกว้างของโลหะตัวนำมากขึ้นจะทำงานที่ความถี่ที่ต่ำลง และสายอากาศมีความกว้างของโลหะตัวนำลดลง จะทำงานที่ความถี่ที่สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 3.14

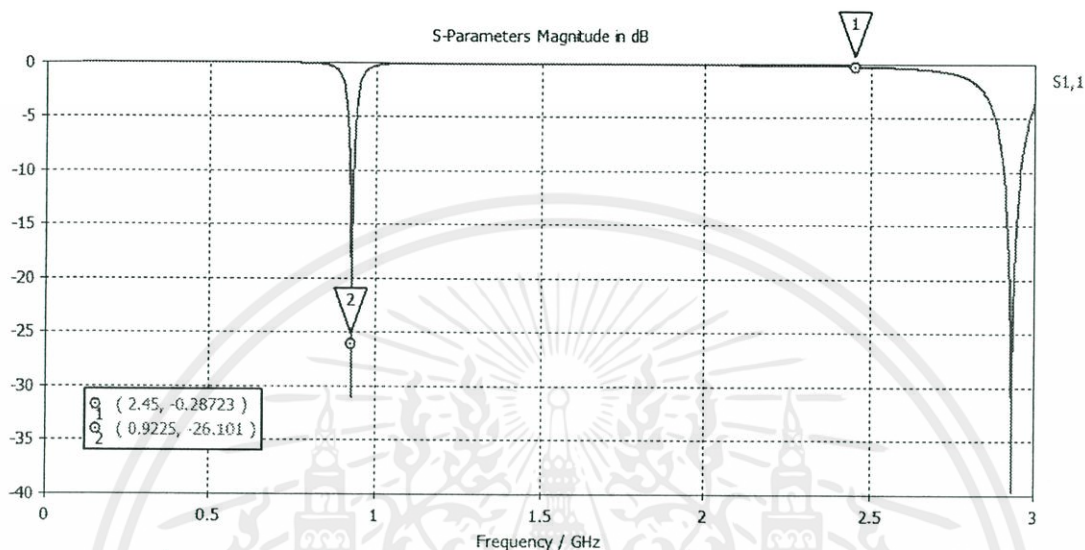
จากนั้นทำการปรับค่าความเหนี่ยวนำ (L_5) ให้เพิ่มขึ้นจาก 100 pH เป็น 200 pH ผลการจำลองเป็นดังนี้



รูปที่ 4.8 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่าตัวเหนี่ยวนำ L_5 เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการปรับค่าความเหนี่ยวนำ (L_5) ให้ลดลงจาก 100 pH เป็น 70 pH ผลการจำลองเป็นดังนี้



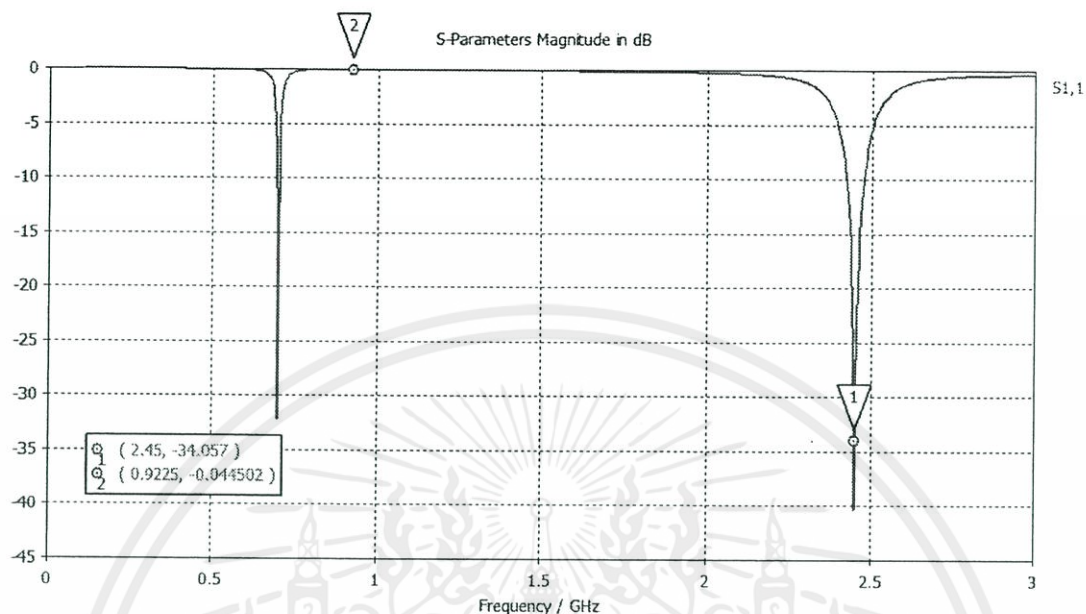
รูปที่ 4.9 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่าตัวเหนี่ยวนำ L_5 ลดลง

จากผลการจำลองพบว่า การปรับความเหนี่ยวนำ L_5 นั้นจะส่งผลกับความถี่ 2.45 GHz โดยเมื่อค่าความเหนี่ยวนำน้อยลงจะทำให้กราฟไปตกที่ความถี่ที่สูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันค่าความเหนี่ยวนำมีค่ามากขึ้นส่งผลให้กราฟจะไปตกที่ความถี่ที่ต่ำลง ทำให้พบว่าตรงกับการปรับความยาวของเส้นป้อนสัญญาณของสายอากาศ (L_p) ถ้าสายอากาศมีความยาวเส้นป้อนสัญญาณมากขึ้นจะทำงานที่ความถี่ที่ต่ำลง และถ้าสายอากาศมีความยาวของเส้นป้อนสัญญาณลดลง จะทำงานที่ความถี่ที่สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 3.13

4.3.3 ปรับค่าตัวเก็บประจุวงจรสมมูลของสายอากาศ

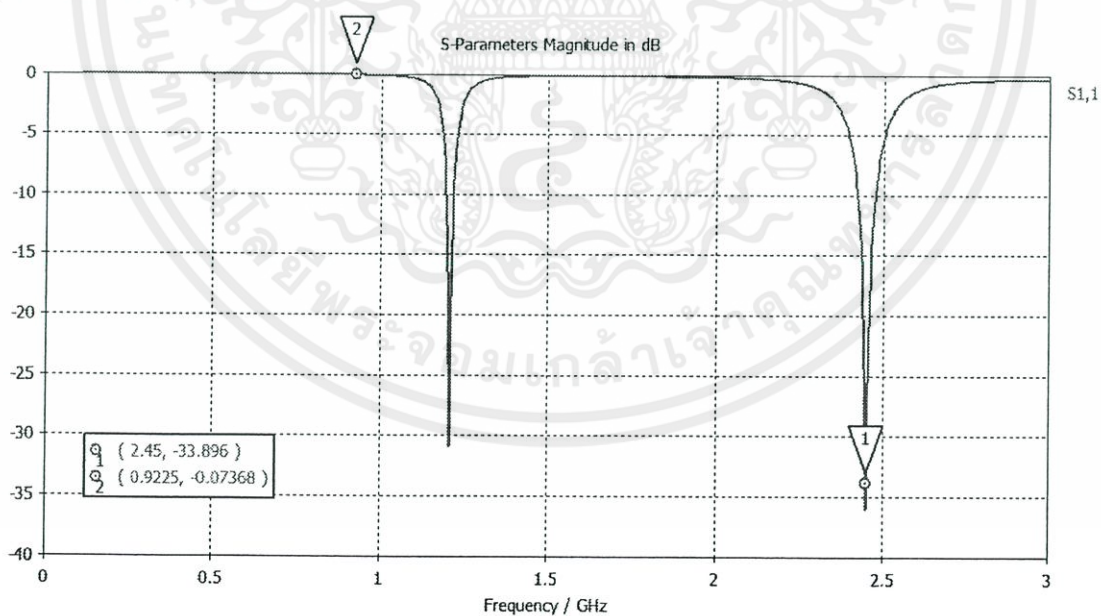
ทำการปรับค่าตัวเก็บประจุ C_2 และ C_3 ให้มากขึ้นจาก 85 pF เป็น 150 pF ผลการจำลองเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่าตัวเก็บประจุ C_2 และ C_3 มากขึ้น

จากนั้นทำการปรับค่าตัวเก็บประจุ (C_2 และ C_3) ให้น้อยลงจาก 85 pF เป็น 50 pF ผลการจำลองเป็นดังนี้

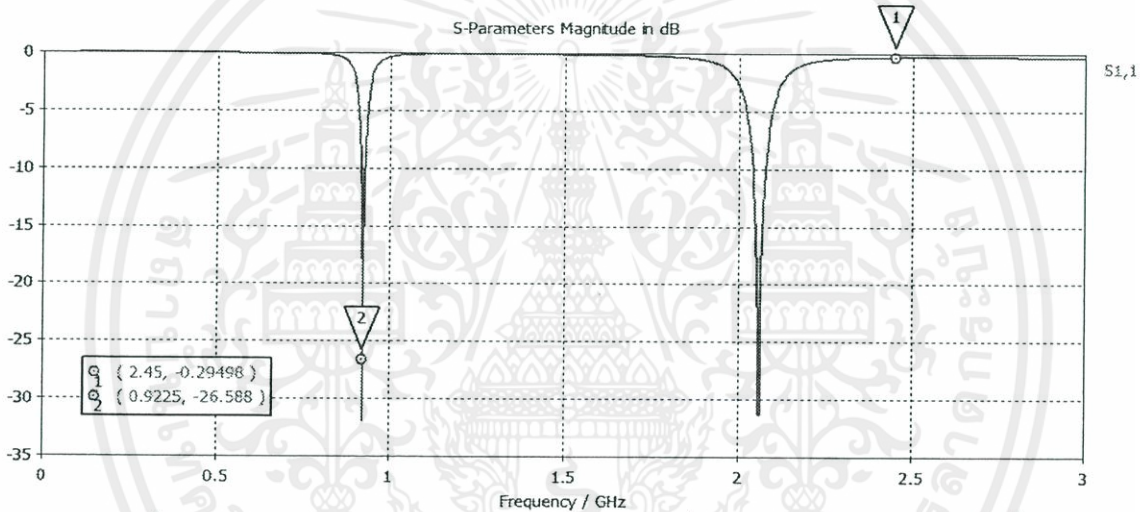


รูปที่ 4.11 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่าตัวเก็บประจุ C_2 และ C_3 น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการจำลองพบว่า การปรับค่าตัวเก็บประจุ C_2 และ C_3 นั้นจะส่งผลกับความถี่ 922.5 MHz โดยเมื่อค่าตัวเก็บประจุน้อยลงจะทำให้กราฟไปตกที่ความถี่ที่สูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันค่าตัวเก็บประจุมีค่ามากขึ้นส่งผลให้กราฟจะไปตกที่ความถี่ที่ต่ำลง ทำให้พบว่าตรงกับการปรับความกว้างโลหะตัวนำของสายอากาศ (W) ถ้าสายอากาศเรามีความกว้างโลหะตัวนำมากจะทำงานที่ความถี่ที่ต่ำลงและสายอากาศมีความกว้างโลหะตัวนำน้อยจะทำงานที่ความถี่ที่สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 3.14

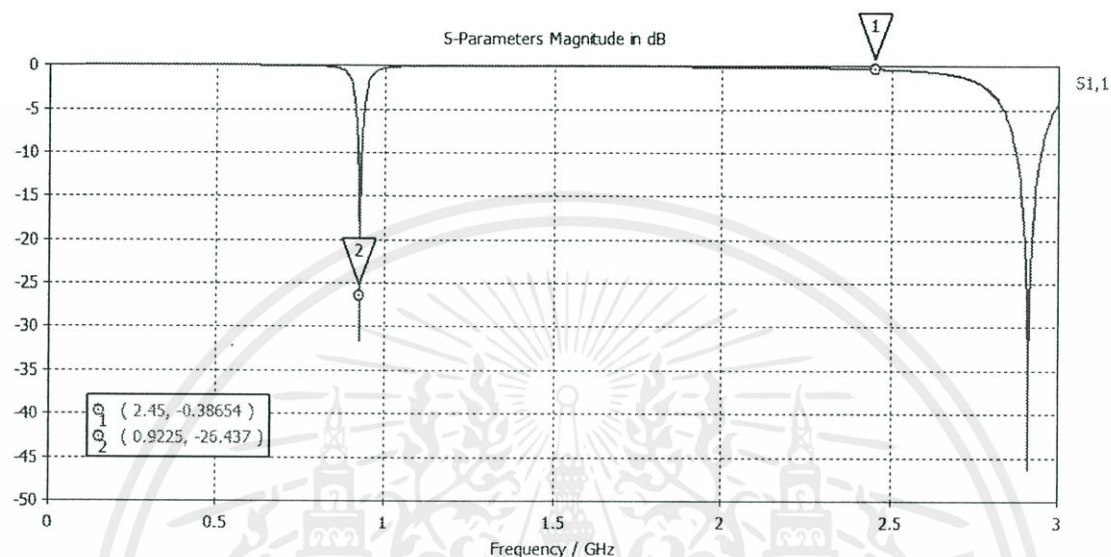
จากนั้นทำการปรับค่าตัวเก็บประจุ C_5 ให้เพิ่มขึ้นจาก 42.25 pF เป็น 60 pF ผลการจำลองเป็นดังนี้



รูปที่ 4.12 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่าตัวเก็บประจุ C_5 เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการปรับค่าตัวเก็บประจุ C_5 ให้ลดลงจาก 42.25 pF เป็น 30 pF ผลการจำลองเป็นดังนี้



รูปที่ 4.13 ผลการจำลองวงจรสมมูลของสายอากาศที่ปรับค่าตัวเก็บประจุ C_5 ลดลง

จากผลการจำลองพบว่า การปรับค่าตัวเก็บประจุ C_5 นั้นจะส่งผลกับความถี่ 2.45 GHz โดยเมื่อค่าตัวเก็บประจุน้อยลงจะทำให้กราฟไปตกที่ความถี่ที่สูงขึ้น ในขณะที่ความถี่ที่ต่ำลงจะทำให้กราฟไปตกที่ความถี่ที่ต่ำลง ทำให้พบว่าตรงกับการปรับความยาวของเส้นป้อนสัญญาณของสายอากาศ (L_f) ถ้าสายอากาศเรามีความยาวของเส้นป้อนสัญญาณมากจะทำงานที่ความถี่ที่ต่ำลง และสายอากาศที่มีความยาวของเส้นป้อนสัญญาณน้อยจะทำงานที่ความถี่ที่สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 3.13

สำหรับพารามิเตอร์อื่นเมื่อทำการปรับค่าให้มากขึ้นหรือน้อยลง จะไม่มีผลต่อทั้งความถี่และความแอมพลิจูดของสายอากาศเพียงแค่น้อย หรือไม่มีผลเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบสายอากาศ

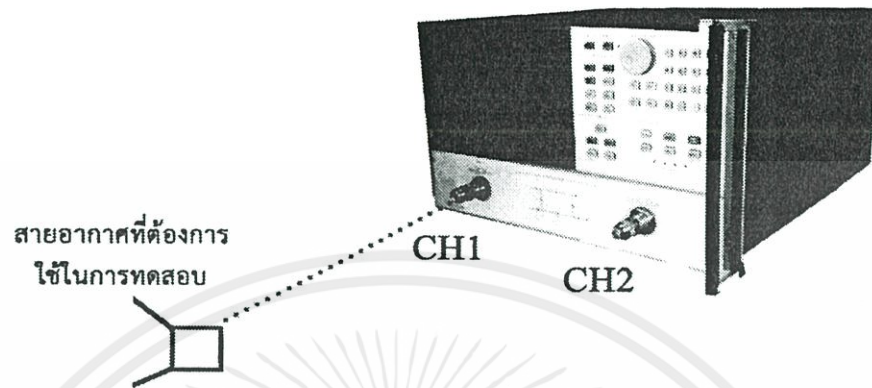
สำหรับขั้นตอนการทดสอบสายอากาศประกอบด้วย การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางไฟฟ้าของสายอากาศซึ่งได้แก่ การทดสอบค่า $|S_{11}|$ การทดสอบแบบรูปการแพร่ขยายคลื่น และการทดสอบอัตราขยาย โดยมีวิธีการทดสอบและผลการทดสอบดังแสดงต่อไปนี้ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสายอากาศประกอบด้วย

- 1) สายอากาศต้นแบบ
- 2) Network Analyzer
- 3) SMA Connector
- 4) สายนำสัญญาณ
- 5) ห้อง Microwave Anechonic Chamber

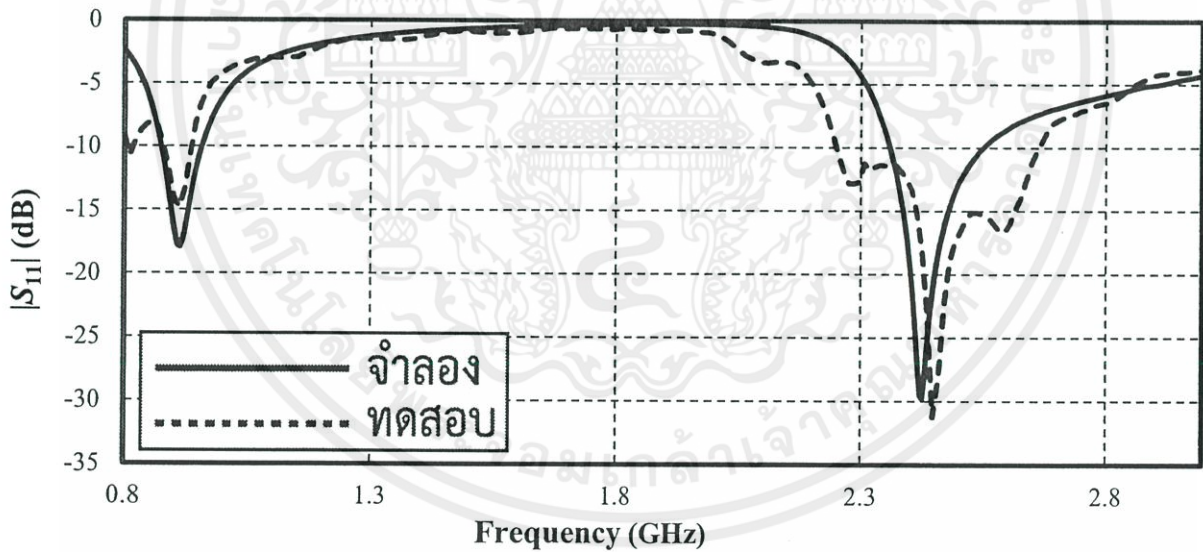
4.4.1 ผลการทดสอบ $|S_{11}|$

สำหรับขั้นตอนการทดสอบ $|S_{11}|$ หรือระดับการสะท้อนของกำลังงานซึ่งอยู่ในรูปพารามิเตอร์การสะท้อนจะแสดงผ่านทางค่า $|S_{11}|$ ในหน่วยของ dB การทดสอบอิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input impedance) การทดสอบค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) ในการทดสอบสามารถที่จะแสดงพารามิเตอร์ใดพารามิเตอร์หนึ่งก็ได้ เนื่องจากทุกพารามิเตอร์มีความสัมพันธ์กัน

เมื่อค่า $|S_{11}|$ อยู่ในหน่วย dB และ z_{in} คือ อิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศ และ Z_{out} คือค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณที่นำมาต่อที่หัวของสายอากาศ สำหรับการทดสอบในโครงการฉบับนี้จะแสดงค่าพารามิเตอร์การสะท้อนผ่านทางค่า $|S_{11}|$ ในหน่วย dB เพียงค่าเดียว โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer HP 8720C) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.14

รูปที่ 4.14 การทดสอบค่า $|S_{11}|$

ผลการทดสอบค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลอง ความถี่ที่ใช้ งานคือ 922.5 MHz และ 2.45 GHz ซึ่งผลการทดสอบได้ดังแสดงในรูปที่ 4.15

รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบค่า $|S_{11}|$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 แสดงผลของค่า $|S_{11}|$ ที่ได้รับการจำลองและจากการทดสอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงการแมตช์ของสายอากาศหรือแบนด์วิดท์ที่ได้ทั้งผลจากการจำลองและผลจากการทดสอบ โดยผลจากการจำลองค่าจะพิจารณาที่ $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ที่ใช้งาน คือ 922.5 MHz และ 2.45 GHz จะเห็นได้ว่าผลของ $|S_{11}|$ มีความผิดเพี้ยนเล็กน้อย สาเหตุเนื่องจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศต้นแบบ อาจจะมีการคลาดเคลื่อนไปจากค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองผล และวัสดุที่ใช้ในการทำสายอากาศด้วยเหตุนี้จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ผลที่ได้จากการทดสอบเกิดความคลาดเคลื่อนไปจากผลที่ได้จากการจำลอง แต่ผล $|S_{11}|$ ที่ต่ำกว่า -10 dB ยังสามารถครอบคลุมย่านความถี่ที่ใช้งานตั้งแต่ 880 MHz ถึง 935 MHz และ 2.25 GHz ถึง 2.66 GHz ซึ่งผลการทดสอบที่ได้เป็นที่น่าพอใจ

4.4.2 ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศนั้นเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของสายอากาศ และถูกจำกัดความไว้ว่าเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ หรือรูปภาพที่ใช้เป็นตัวแทนคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นซึ่งเป็นฟังก์ชันของโคออร์ดิเนตเชิงตำแหน่ง (Space Coordinates) ส่วนใหญ่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะพิจารณาที่สนามระยะไกล ที่ฟังก์ชันทิศทางรอบตัวของสายอากาศ ในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมักนิยมทดสอบใน 3 ระนาบหลักคือระนาบ xy ระนาบ xz และระนาบ yz ในรูปแบบพิกัดเชิงขั้วเมื่อ ระยะ R คือระยะห่างระหว่างสายอากาศที่มีระยะมากกว่า หรือ เท่ากับ ระยะสนามไกล ในโครงการฉบับนี้จะพิจารณาถึงการทดสอบเพียง 2 ระนาบ คือ xz และ yz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในการทดสอบได้ทำการทดสอบในห้องที่ไม่มีกระสะท้อน (Anechoic Chamber) ดังแสดงการจัดเตรียมการทดสอบในรูปที่ 4.7 ซึ่งในการทดสอบจะพิจารณาการแพร่กระจายคลื่น ในระนาบ xz และระนาบ yz ที่สนามระยะไกล (Far field) ซึ่งมีระยะห่างที่สั้นที่สุดระหว่างสายอากาศ ตัวส่งและตัวรับสามารถคำนวณได้จาก

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (4.3.2a)$$

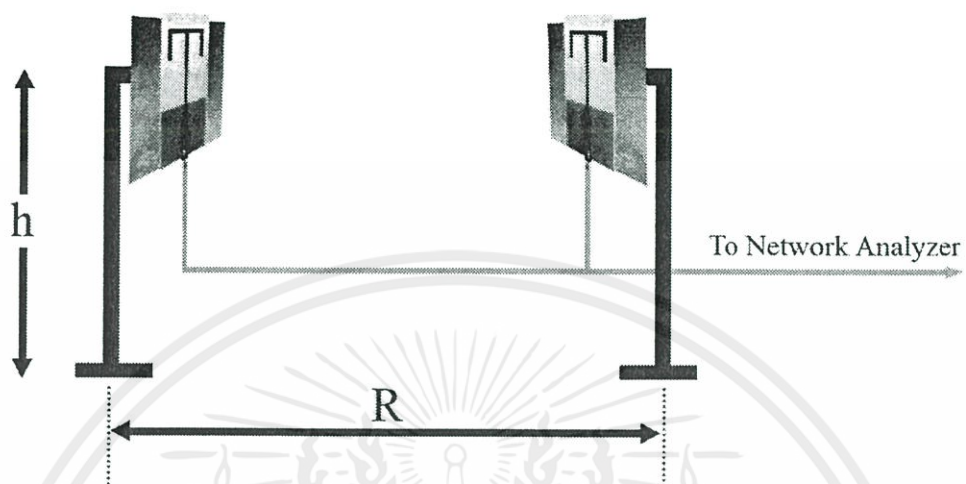
โดยที่ R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศ
 D คือ ขนาดที่ยาวที่สุดของสายอากาศแต่ถ้ากรณีพิจารณาการทดสอบ สายอากาศส่งและรับพร้อมกัน

$$D = D_T + D_R \quad (4.3.2b)$$

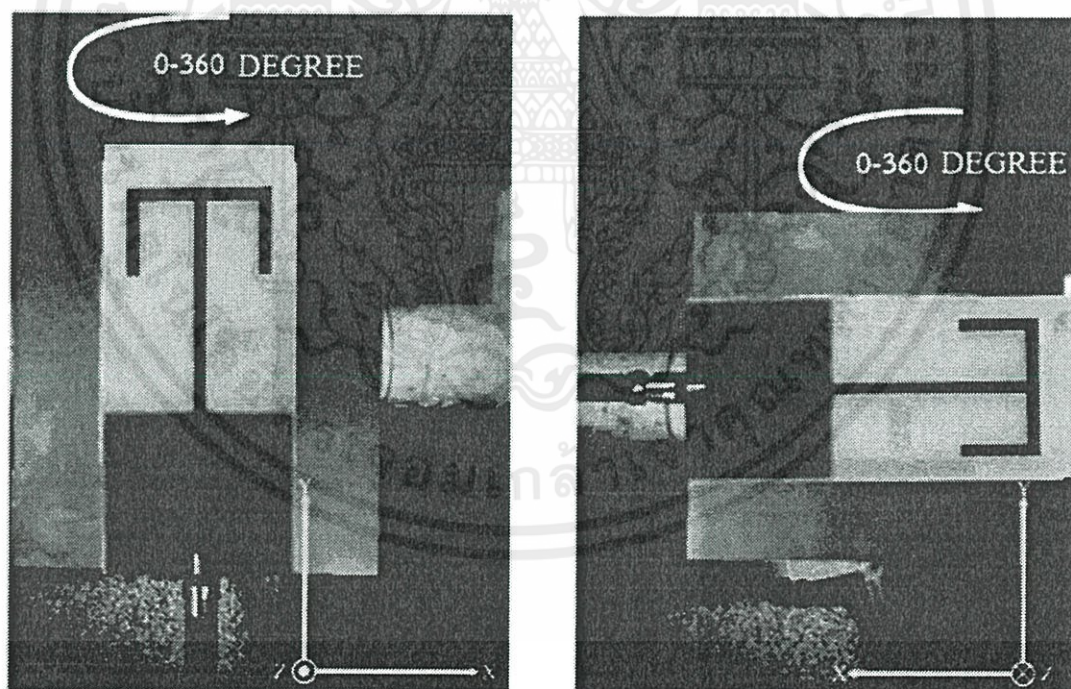
โดยที่ D_T คือขนาดที่ยาวที่สุดของสายอากาศส่ง
 D_R คือขนาดที่ยาวที่สุดของสายอากาศรับ

ซึ่งที่สนามระยะไกลนี้การเปลี่ยนแปลงของสนามจะไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะทาง ดังนั้นในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะต้องมีระยะห่างอย่างน้อยที่สุด 0.75 เมตร ซึ่งในการทดสอบจริงได้วางสายอากาศตัวส่งและตัวรับ มีระยะห่างเท่ากับ 1 เมตร โดยสายอากาศที่ทำการทดสอบนั้นต้องใช้สายอากาศคู่เหมือน คือ สายอากาศด้านส่งและด้านรับมีคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ สายอากาศด้านรับจำเป็นต้องหมุนรอบตัวเอง 360 องศา และระดับความสูงของสายอากาศ ด้านรับและด้านส่ง จำเป็นต้องมีความสูงเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



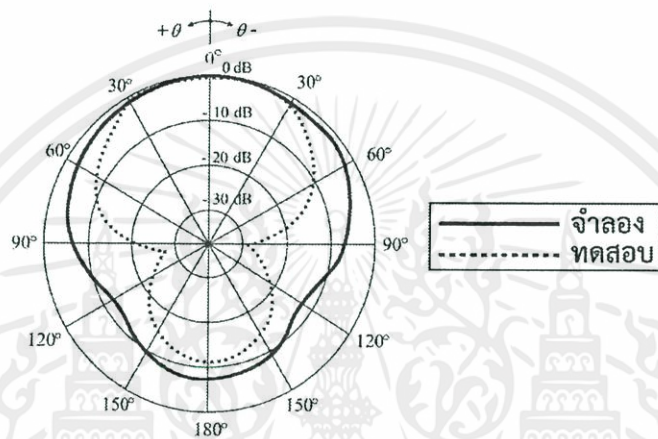
รูปที่ 4.16 การติดตั้งการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น



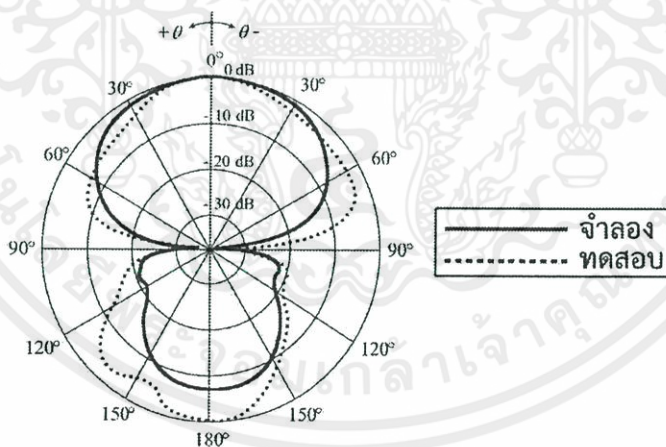
รูปที่ 4.17 การจัดเตรียมเครื่องมือสำหรับการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหัวข้อนี้จะได้ทำการเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ต่างๆ ของสายอากาศไมโครสตริปแบบมีแผ่นสะท้อน โดยนำแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz และระนาบ yz ที่ได้จากการจำลองและจากการทดสอบ มาเปรียบเทียบกันที่ความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz ดังแสดงในรูป 4.18 (ก) ถึง (ง) ตามลำดับ



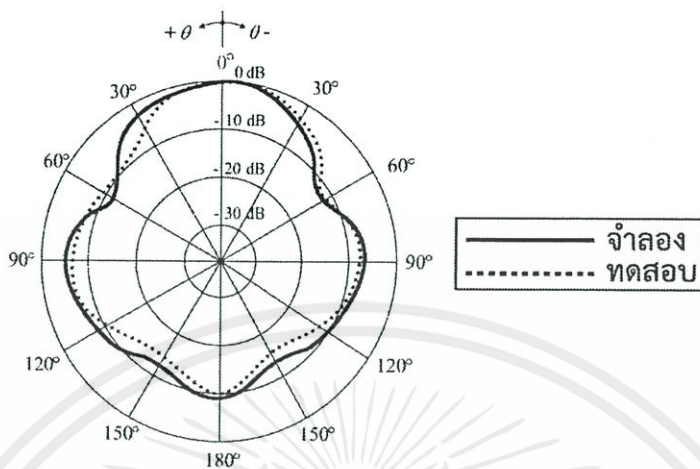
(ก) ระนาบ xz ความถี่ 922.5 MHz



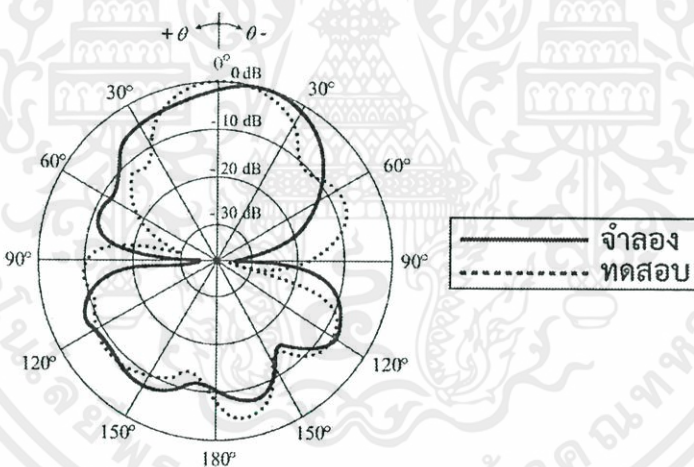
(ข) ระนาบ yz ความถี่ 922.5 MHz

รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) ระนาบ xz ความถี่ 2.45 GHz



(ง) ระนาบ yz ความถี่ 2.45 GHz

รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.18 (ก) ถึง (ง) แสดงผลของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz และระนาบ yz ที่ได้จากการทดสอบและจากการจำลอง ที่ความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz ซึ่งจะเห็นได้จากการทดสอบกับการจำลองมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันและมีค่าสูงในทิศทางบริเวณด้านหน้าของสายอากาศทั้งสองด้านในสายอากาศสองแบบ แต่ผลที่ได้จากการทดสอบพบว่าก็ยังมีความผิดเพี้ยนเกิดขึ้นอยู่ แต่ก็มีแนวโน้มที่สอดคล้องกันกับผลการจำลองที่ได้ศึกษา ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่พึงพอใจ สำหรับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ทดสอบจะเป็นแบบรอบตัว มีค่า HPBW ที่ความถี่ 922.5 MHz ในระนาบ xz และ yz เท่ากับ 65 องศา และมีค่า HPBW ที่ความถี่ 2.45 GHz ที่ระนาบ xz เท่ากับ 50 องศา และที่ระนาบ yz เท่ากับ 35 องศา

4.4.3 ผลการทดสอบอัตรายาย

ในการทดสอบอัตรายายของสายอากาศ จะทำการทดสอบอัตรายายสมบูรณ์ของสายอากาศ โดยใช้สายอากาศคู่เหมือนในการทดสอบเพื่อหาหาอัตรายายที่จากนั้นทำการคำนวณหาค่าอัตรายายสมบูรณ์ได้จากสมการของฟรีส ในหน่วย dB ดังสมการดังต่อไปนี้

$$(G_{or})_{dB} + (G_{or})_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{Pr}{Pt} \right) \quad (4.3.3a)$$

เมื่อ R คือระยะสนามระยะไกล

$$R \geq \frac{2(D^2)}{\lambda} \quad (4.3.3b)$$

และ D คือขนาดที่ยาวที่สุดของสายอากาศแต่ถ้ากรณีทีพิจารณาการทดสอบสายอากาศส่งและรับพร้อมกัน

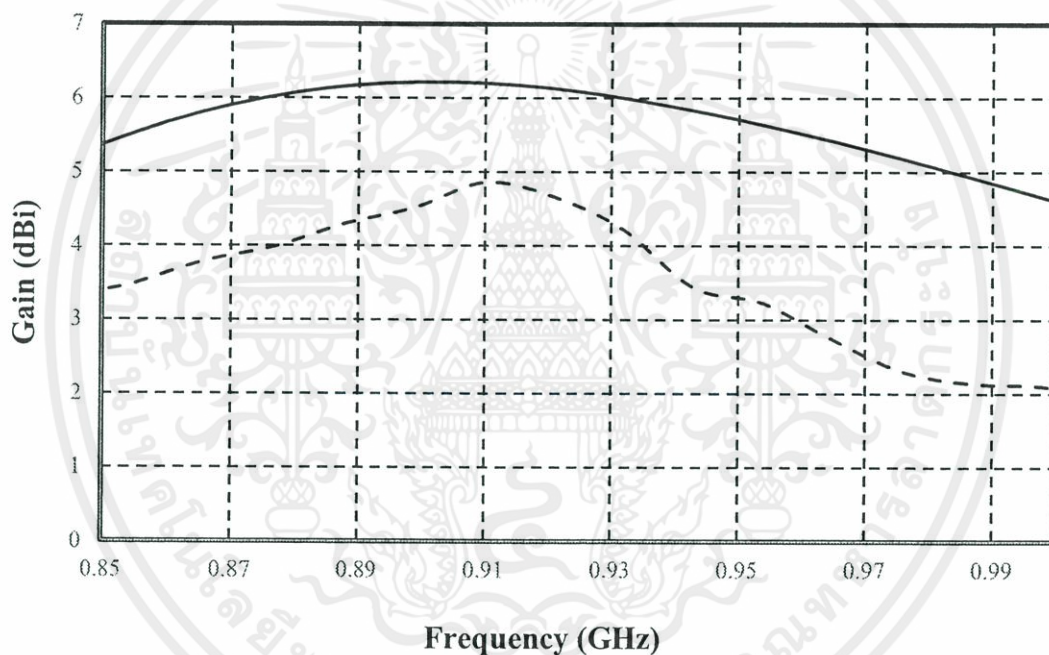
$$D = D_T + D_R \quad (4.2.2c)$$

โดยที่ D_T คือขนาดที่ยาวที่สุดของสายอากาศส่ง

D_R คือขนาดที่ยาวที่สุดของสายอากาศรับ

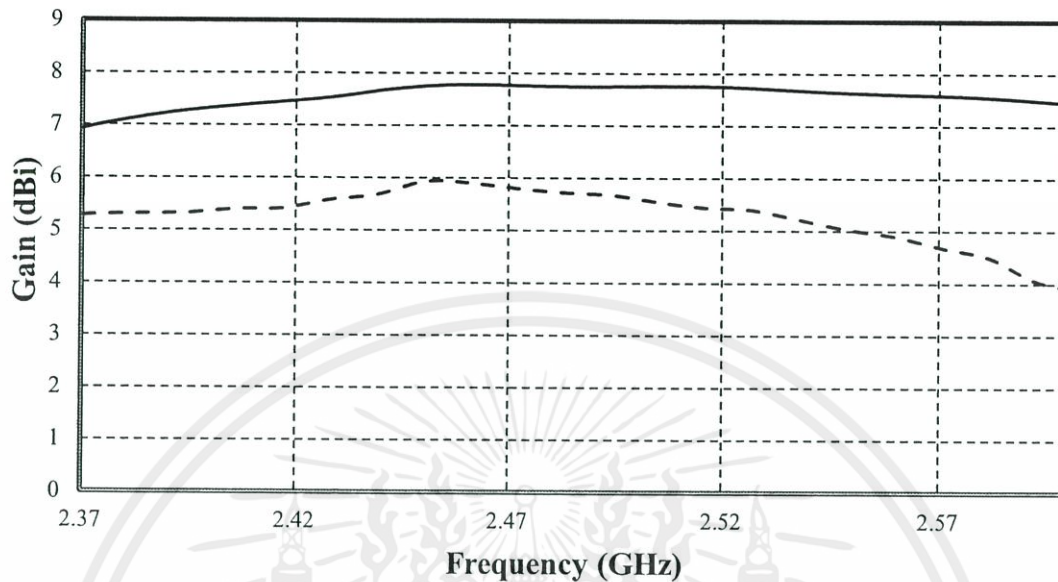
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายผ่านทางพารามิเตอร์การส่งผ่าน $|S_{21}|$ โดยที่พารามิเตอร์ $|S_{21}|$ ก็คือพารามิเตอร์ในรูปของฟังก์ชันคลื่น คืออัตราส่วนของสัมประสิทธิ์ของคลื่นที่ส่งผ่านเครือข่ายไปยังโหลดต่อสัมประสิทธิ์ของคลื่นที่ส่งเข้าไปในเครือข่าย พิจารณาได้ว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังทางด้านรับที่ช่อง 2 (P_r) ต่อกำลังส่งที่ช่องที่ 1 (P_t) ภายใต้เงื่อนไขแมตซ์โพลาไรซ์และมีระยะห่างระหว่างสายอากาศที่มีระยะมากกว่า หรือเท่ากับขอบเขตของสนามระยะไกล (Far-field) การทดสอบค่าอัตราขยายของสายอากาศแสดงได้ในรูปที่ 4.6 และผลของอัตราขยายที่ได้จากการทดสอบและการจำลอง แสดงดังในรูปที่ 4.7 และ 4.8



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบผลการทดสอบและจำลองอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 922.5 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบผลการทดสอบและจำลองอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz

จากรูปที่ 4.19 และ 4.20 จะแสดงผลการทดสอบเปรียบเทียบกับผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ทั้งสองย่านได้แก่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz ซึ่งจากกราฟจะสามารถหาอัตราการขยายของสายอากาศที่ความถี่ 922.5 MHz ได้เท่ากับ 4.42 dBi และอัตราการขยายของสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ 5.93 dBi

4.5 สมรรถนะของสายอากาศต้นแบบ

ตารางที่ 4.2 สมรรถนะของสายอากาศต้นแบบ

ความถี่ (GHz)	$ S_{11} $ (dB)	BW (GHz)	%BW (%)	DIRECTIONAL PATTERN	Gain(dBi)	HPBW(Degree)	
						xz	yz
0.9225	-12.1	0.055	6.06	uni	4.42	65	65
2.4500	-31.2	0.41	16.7	uni	5.93	50	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 สายอากาศต้นแบบมีค่า $|S_{11}|$ ที่ความถี่ 922.5 MHz เท่ากับ -12.1 dB และที่ความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ -31.2 dB โดยมีความถี่ใช้งานครอบคลุมย่านความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz ที่มีแบนวิดธ์ 0.055 GHz และ 0.41 GHz ตามลำดับ สายอากาศต้นแบบมีเปอร์เซ็นต์แบนวิดธ์ที่ย่านความถี่ 922.5 MHz เท่ากับ 6.06 เปอร์เซ็นต์ และที่ย่านความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ 16.7 เปอร์เซ็นต์ มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว สายอากาศมีอัตราการขยายที่ความถี่ 922.5 MHz เท่ากับ 4.42 dBi และที่ความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ 5.93 dBi ลายอากาศต้นแบบมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่ความถี่ 922.5 MHz ในระนาบ xz เท่ากับ 65 องศา ระนาบ yz เท่ากับ 65 องศา และที่ความถี่ 2.45 GHz สายอากาศต้นแบบมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังเท่ากับ 50 องศาที่ระนาบ xz และ 35 องศาที่ระนาบ yz

4.6 บทสรุป

ในบทนี้จะกล่าวถึง โครงสร้างของสายอากาศที่ได้ทำการสร้างขึ้นเพื่อทำการทดสอบ ขั้นตอนการทดสอบ และสร้างสายอากาศรวมถึงผลการทดสอบสายอากาศได้แก่ ค่า $|S_{11}|$ โดยในย่านความถี่ 922.5 MHz มีค่า -12.1 dB และย่านความถี่ 2.45 GHz มีค่า -31.2 dB สำหรับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะเป็นการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว ซึ่งอ้างอิงจากรูปที่ 4.6 (ก) ถึง (ง) และอัตราการขยายของสายอากาศที่ความถี่ 922.5 MHz มีค่า 4.42 dBi และที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่า 5.93 dBi นอกจากนี้ในบทนี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบค่าระหว่างผลการทดลองและผลจากการจำลองที่ได้ทำการวิเคราะห์การสร้างจากบทที่ 3 รวมทั้งได้แสดงถึงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศ พร้อมทั้งสรุปคุณสมบัติต่างๆ ที่ได้ทำการทดสอบ โดยสมรรถนะของสายอากาศต้นแบบที่ได้สร้างขึ้นนั้น ได้สรุปไว้เป็นตารางที่ 4.2 แสดงไว้ประกอบต่อท้ายจากรูปของผลการทดสอบ รวมถึงอธิบายข้อสันนิษฐานที่เกิดขึ้นจากการคลาดเคลื่อนของผลที่ได้รับจากการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบ และ ข้อเสนอแนะ

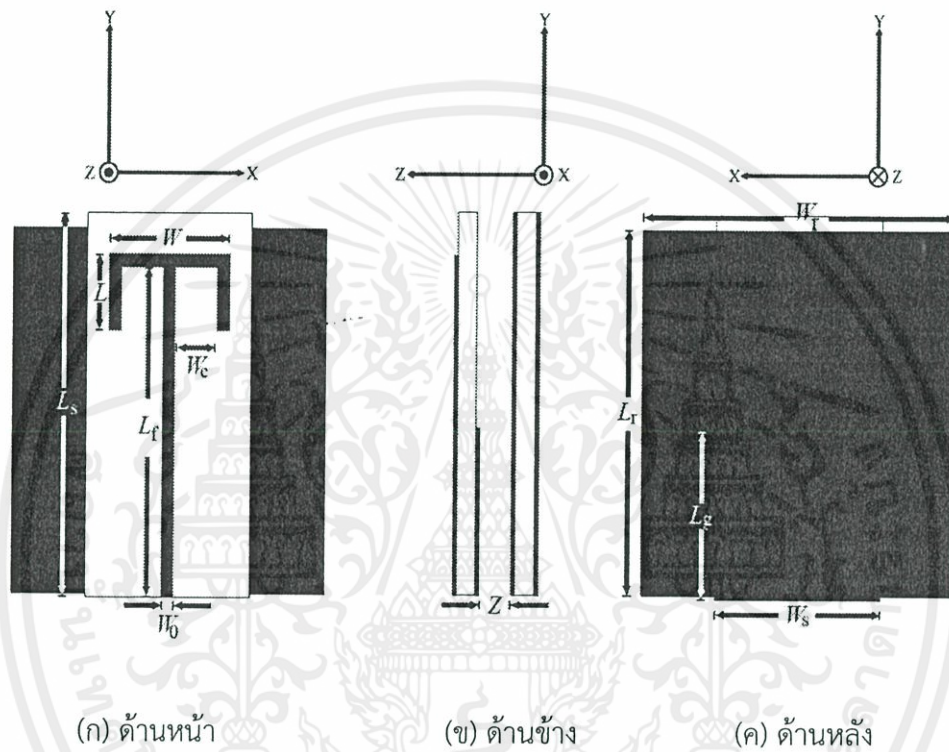
5.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงการสรุปผลการทดสอบสายอากาศ และข้อเสนอแนะในการสร้าง โดยปริญาณิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการสร้างสายอากาศแถบความถี่คู่สำหรับประยุกต์ใช้งาน ในย่านความถี่ยูเอชเอฟ และไมโครเวฟ เริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์จากการคำนวณในทางทฤษฎี จากนั้นทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานในระบบดังกล่าว ด้วยการจำลองโดยโปรแกรม CST Microwave Studio

5.2 สรุปผลการทดสอบ

ปริญาณิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอหลักการออกแบบสายอากาศแถบความถี่คู่สำหรับประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟ และไมโครเวฟ โดยสายอากาศจะถูกออกแบบให้มีความเหมาะสมเพื่อให้ได้ลักษณะของสายอากาศสำหรับใช้ในระบบสื่อสารแบบไร้สายโดยมีวัตถุประสงค์ต้องการให้สายอากาศสามารถใช้งานย่านความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียว โดยใช้การปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อทำให้ค่า $|S_{11}|$ มีค่าต่ำกว่า -10 dB ซึ่งจะทำให้ค่าที่เหมาะสมในการนำมาใช้งาน การออกแบบสายอากาศแถบความถี่คู่สำหรับประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟ และไมโครเวฟ ยังต้องคำนึงถึงค่าอัตราขยายและแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศอีกด้วย โดยโครงสร้างเริ่มต้นของสายอากาศแต่ละตัวนั้น จะเริ่มต้นพิจารณาสายอากาศไมโครสตริบ (Microstrip antenna) โดยสายอากาศตอบสนองย่านความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz ในการออกแบบจะเริ่มจากการคำนวณหาค่าความกว้างและความยาวของสายป้อนสัญญาณโดยพิจารณาที่ความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz จากนั้นทำการปรับพารามิเตอร์ต่างๆ โดยสายอากาศที่เหมาะสมที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio ให้สามารถตอบสนองที่ความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz ผลที่ได้คือ สายอากาศมีอัตราขยายที่ความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz เท่ากับ 5.21 dBi และ 7.50 dBi ตามลำดับ มีค่า $|S_{11}|$ ที่ความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz เท่ากับ -16.38 dB และ -21.03 dB ตามลำดับ มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่ความถี่ 922.5 MHz ในระนาบ xz และระนาบ yz เท่ากับ 164.4 องศาและ 79.5 องศา ตามลำดับ มีความกว้างลำคลื่นไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องกำลังที่ความถี่ 2.45 GHz ในระนาบ xz และระนาบ yz เท่ากับ 74.6 องศาและ 64 องศาตามลำดับ ซึ่งผลการจำลองสายอากาศจากโปรแกรม สามารถนำมาใช้งานในระบบสื่อสารแบบไร้สายได้ในย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน โดยมีโครงสร้างสายอากาศที่ทำการออกแบบดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 โครงสร้างของสายอากาศ

ในรูปที่ 5.1 แสดงโครงสร้างของสายอากาศแถบความถี่คู่สำหรับประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟ และไมโครเวฟ และการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์จากบทที่ 3 โดยขนาดและพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศที่ได้ทำการสร้างขึ้นนั้นแสดงในตารางที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (มิลลิเมตร)
W_s	ความกว้างของวัสดุฐานรอง	50
L_s	ความยาวของวัสดุฐานรอง	100
W_0	ความกว้างของเส้นป้อนสัญญาณ	3
L_f	ความยาวของเส้นป้อนสัญญาณ	84
W	ความกว้างของโลหะตัวนำ	37
L	ความยาวของโลหะตัวนำ	20
W_c	ความกว้างของช่องว่างระหว่างเส้นนำสัญญาณ กับโลหะตัวนำ	14
L_g	ความสูงของกราวด์	38.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพ (มิลลิเมตร)
W_r	ความกว้างของแผ่นสะท้อน	150
L_r	ความยาวของแผ่นสะท้อน	150
Z	ระยะห่างระหว่างสายอากาศกับแผ่นสะท้อน	100

เมื่อได้โครงสร้างสายอากาศต้นแบบดังรูปที่ 5.1 จากการปรับค่าพารามิเตอร์ นำมาสร้างสายอากาศตอบสนองย่านความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz ผลที่ได้คือ สายอากาศมีอัตราขยายที่ความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz เท่ากับ 4.42 dBi และ 5.93 dBi ตามลำดับ มีค่า $|S_{11}|$ ที่ความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz เท่ากับ -12.1 dB และ -31.2 dB ตามลำดับ มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่ความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz ในระนาบ xz เท่ากับ 65 องศา และ 50 องศา ตามลำดับ มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่ความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz ในระนาบ yz เท่ากับ 65 องศา และ 35 องศา ตามลำดับ และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว ซึ่งจากการทดสอบสายอากาศนี้ พบว่ามีผลที่สอดคล้องกับผลที่ได้จากการจำลอง และมีคุณลักษณะของสายอากาศที่สามารถนำมาใช้งานในระบบสื่อสารแบบไร้สายได้จริง

5.3 ข้อดี ข้อเสีย ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

จากการสร้างและการทดสอบสายอากาศจะเห็นว่าสายอากาศสามารถนำมาใช้ในระบบสื่อสารไร้สายได้ แต่สายอากาศต้นแบบที่สร้างขึ้นนี้มีขนาดเล็กมาก แต่ข้อดีของสายอากาศดังกล่าวคือมีโครงสร้างที่ง่าย ซึ่งผลจากการทดสอบและการจำลองอาจจะมีความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันเนื่องมาจากผลของวัสดุที่ไม่เป็นตัวนำที่ดีพอ และความคลาดเคลื่อนจากค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศ

จากการทดสอบสมรรถนะของสายอากาศจะเห็นได้ว่า ค่าอัตราขยายนั้นยังมีค่าที่ไม่สูงมากนัก ซึ่งอัตราขยายของสายอากาศจะสัมพันธ์กับขนาดพื้นที่ของสายอากาศ โดยสายอากาศต้นแบบที่สร้างขึ้นมีขนาดที่เล็กพอประมาณ ทำให้อัตราขยายของสายอากาศที่ได้มีค่าไม่สูงมากตามไปด้วย

แนวทางการพัฒนาคือ สายอากาศแถบความถี่คู่สำหรับประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่ยูเอชเอฟ และไมโครเวฟ นี้จะนำไปประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้งานกับความถี่ดังกล่าว หรืออาจมีการปรับปรุงคุณสมบัติของสายอากาศในย่านความถี่ 922.5 MHz ให้ดียิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] ความถี่วิทยุ,[online].Available:<http://th.wikipedia.org/wiki/ความถี่วิทยุ>
- [2] คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและความถี่วิทยุเพื่อการสื่อสาร,[online].Available,:http://thaitelecom.com.org/TTE/topic/attach/Electromagnetic_Spectrum_and_Radio_Frequen_Communications/index.php
- [3] คลื่นวิทยุและมาตรฐานสำหรับ RFID, [online].Available:<http://www.xsense.co.th/th/node/210>
- [4] รศ.ดร.दनัย ต.รุ่งเรือง, รศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์, ดร.ศุภกิต แก้วดวงตา และคณะ “การออกแบบสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลสำหรับระบบ RFID ในย่านความถี่ต่ำเพื่อการจัดการฟาร์มและการลงทะเบียนสัตว์”, [online].Available:<http://www.ecti-thailand.org/emagazine/views/106>
- [5] R. Garg, p. Bhartia, I. Bahl and A. Ittipiboon, “Microstrip Antenna Design Handbook”, Imprint Boston : Artech House, 2001.
- [6] I. J. Bahl and P. Bhartia, “Microstrip Antenna,” Artech House, 1980.
- [7] C.A. Balanis, “Antenna Theory: Analysis and Design”, John Wiley & Son, Inc., 2005.
- [8] C. Y. Pan, T. S Horg, W.S. Chen and C.-H Huang, “Dual wideband printed monopole antenna for WLAN/WiMAX applications,” *IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett.*, vol. 6. pp. 149-151. 2007.
- [9] J. Y. Jan and J. W. Su, “Bandwidth enhancement of a printed wide-slot antenna with a rotated slot”, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, no. 6, pp. 2111–2114, June 2005.
- [10] K. C. Yang, W. S, Chen and Y. H, Yu “Design of a WiMAX T-type monopole antenna with asymmetrical ground plane” *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, July 2008.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้