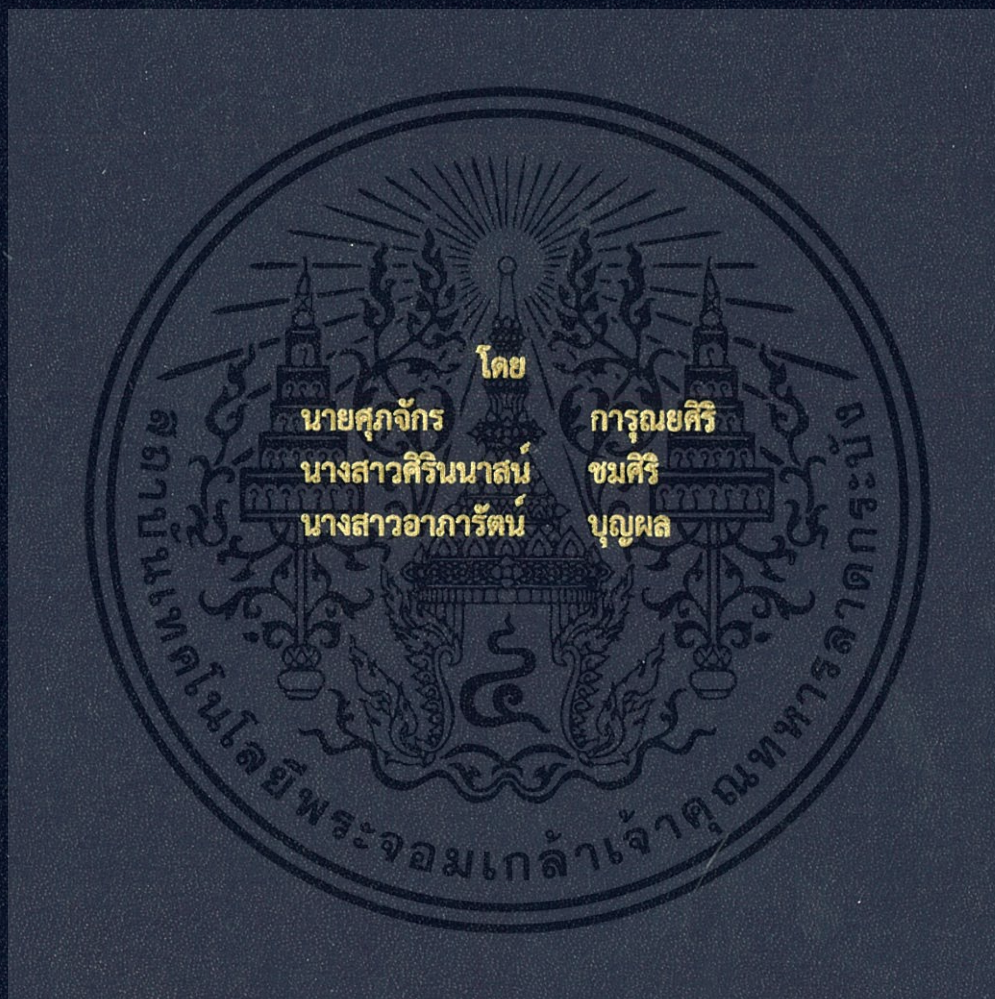


สายอากาศสำหรับระบบการส่งผ่านกำลังงานไร้สาย
ANTENNA FOR WIRELESS POWER TRANSMISSION SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

สายอากาศสำหรับระบบการส่งผ่านกำลังงานไร้สาย
ANTENNA FOR WIRELESS POWER TRANSMISSION SYSTEM

โดย

นายศุภจักร	การุณยศิริ	55011232
นางสาวศิริณาสน์	ชมศิริ	56011215
นางสาวอภารัตน์	บุญผล	56011459

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศสำหรับระบบการส่งผ่านกำลังงานไร้สาย
ANTENNA FOR WIRELESS POWER TRANSMISSION SYSTEM

โดย

นายศุภจักร	การุณยศิริ	55011232
นางสาวศิรินนาสน์	ชมศิริ	56011215
นางสาวอารัตน์	บุญผล	56011459

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559



ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(.....)
.....

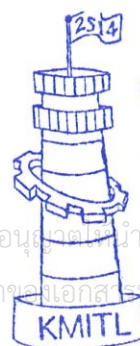
อาจารย์ที่ปรึกษา

16/กย 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering



ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(.....)
.....

กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน

16/กย 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

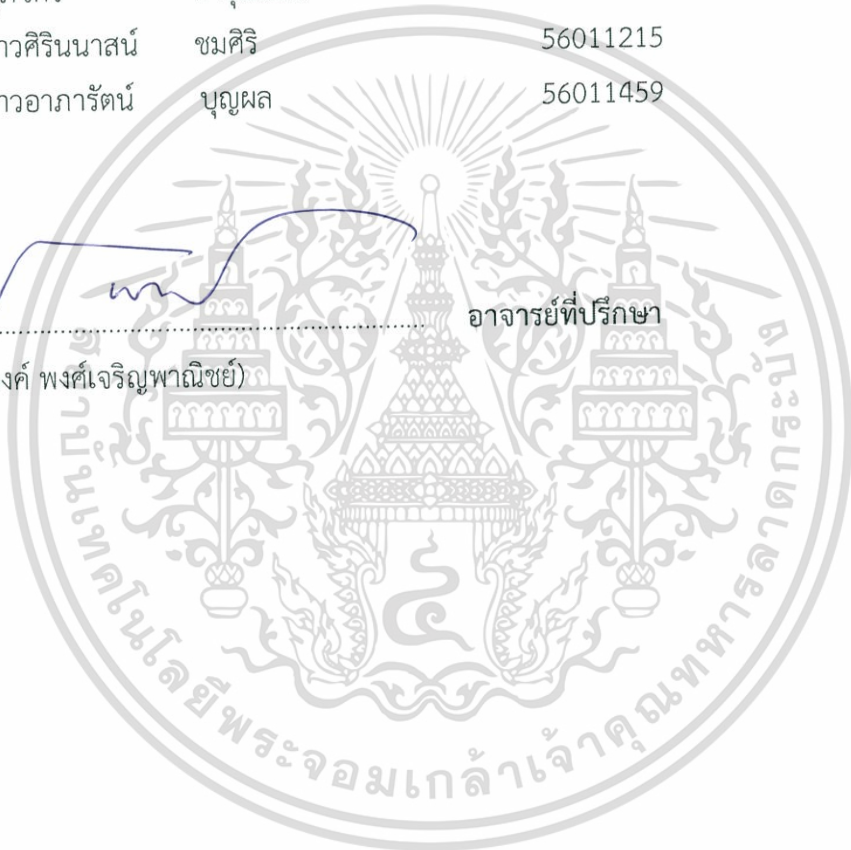
เรื่อง สายอากาศสำหรับระบบการส่งผ่านกำลังงานไร้สาย

ANTENNA FOR WIRELESS POWER TRANSMISSION SYSTEM

ผู้จัดทำ

- | | | |
|--------------------|------------|----------|
| 1. นายศุภจักร | การุณยศิริ | 55011232 |
| 2. นางสาวศิริณาสน์ | ชมศิริ | 56011215 |
| 3. นางสาวอาภารัตน์ | บุญผล | 56011459 |


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ที่ให้คำแนะนำ คำสั่งสอน ให้ความรู้ความเข้าใจในเรื่องที่ทำ ปริญญานิพนธ์นี้ และนอกจากนี้ยังขอขอบคุณ พี่ ๆ ห้องปฏิบัติการวิจัยนวัตกรรมสายอากาศและการประยุกต์แม่เหล็กไฟฟ้า ทุกท่านและเพื่อน ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำอย่างเต็มที่

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้จัดทำ

ขอขอบคุณบิดามารดา ที่ให้ความสนับสนุนทางด้านทุนทรัพย์และที่สำคัญที่สุดคอยเป็นแรงผลักดันและกำลังใจให้การทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ประสบความสำเร็จด้วยดี

นายศุภจักร

นางสาวศิริณานาสน์

นางสาวอารัตน์

การุณยศิริ

ชมศิริ

บุญผล

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศสำหรับระบบการส่งผ่านกำลังงานไร้สาย
Antenna for Wireless Power Transmission System

โดย นายศุภจักร การุณยศิริ 55011232
นางสาวศิรินาสน์ ชมศิริ 56011215
นางสาวอารรัตน์ บุญผล 56011459

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพานิชย์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการสร้างระบบการส่งผ่านกำลังงานไร้สาย ซึ่งเป็นระบบที่ใช้หลักการแปลงคลื่นวิทยุเป็นกำลังงานไฟฟ้า โดยระบบดังกล่าวจะประกอบด้วย สายอากาศและวงจรเรียงกระแสไฟฟ้า โดยสายอากาศจะทำหน้าที่ในการรับคลื่นวิทยุ และส่งผ่านให้วงจรเรียงกระแสไฟฟ้า เพื่อแปลงคลื่นวิทยุเป็นกำลังงานไฟฟ้า สำหรับโครงการนี้นำเสนอ การออกแบบสายอากาศและวงจรเรียงกระแส รวมถึงการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์เพื่อหาขนาดของพารามิเตอร์ที่เหมาะสม นอกจากนี้ทำการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศและวงจรเรียงกระแสเพื่อเป็นการยืนยันสมรรถนะของสายอากาศและวงจรเรียงกระแส

ABSTRACT

This project is about of the wireless power transmission system that used the principle of radio wave transforms to electrical power. It is created by antenna integrated with rectifying circuit: rectenna. The antenna is used to receive radio wave and transfers it to the rectifying circuit to transform to electrical power. For this project, we will present the antenna and rectifying circuit design and study effects of all parameters to achieve the appropriate parameters. In addition, we tested property of antenna and rectifying circuit to investigate their performances.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า	
กิตติกรรมประกาศ	I	
บทคัดย่อ	II	
สารบัญ	III	
สารบัญรูป	V	
สารบัญตาราง	VIII	
บทที่ 1	บทนำ	
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2	วัตถุประสงค์	1
1.3	ขอบเขตของโครงการ	1
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1	ทฤษฎีการส่งผ่านกำลังงานไร้สาย	2
2.2	นิโคลา เทสลา	2
2.3	พื้นฐานสายอากาศ	3
2.4	สายอากาศไมโครสตริปวงกลม	7
2.5	คุณลักษณะของสายอากาศ	10
2.6	วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit)	19
2.7	วงจรแบ่งกำลังไฟฟ้า (Power divider)	26
บทที่ 3	การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์	
3.1	โครงสร้างและการออกแบบสายอากาศ	29
3.2	การศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ของสายอากาศองค์ประกอบเดียว สำหรับการ ส่งผ่านกำลังงานไร้สายในย่านความถี่ 2.40 GHz	29
3.3	การศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ของสายอากาศแถวลำดับสำหรับการ ส่งผ่านกำลังงานไร้สายในย่านความถี่ 2.40 GHz	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 โครงสร้างและการออกแบบวงจรรวมกำลังงาน	39
3.5 โครงสร้างและการออกแบบวงจรเรียงกระแส	41
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 บทนำ	44
4.2 ขั้นตอนและผลการทดสอบสายอากาศ	44
4.3 สายอากาศองค์ประกอบเดียว	47
4.4 โครงสร้างสายอากาศแถวลำดับแบบมี ช่องว่างอากาศ	49
4.5 ขั้นตอนและผลการทดสอบวงจรรเรียงกระแส	55
4.6 ขั้นตอนและผลการทดสอบวงจรรวมกระแส	57
4.7 ผลการทดลองการส่งผ่านกำลังงาน	58
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	60
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา	61
บรรณานุกรม	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การทดสอบการส่งผ่านกำลังงานไร้สายของเสา	3
2.2 ส่วนประกอบหลักของการสื่อสารโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	4
2.3 ชนิดของสายอากาศ	5
2.4 แสดงลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบต่าง ๆ	6
2.5 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ให้ลำคลื่นรูปกรวย	7
2.6 โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศไมโครสตริป	8
2.7 พูคลื่นการแผ่กำลังงานและบีบอัดของสายอากาศ	11
2.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในรูป 2 มิติ	12
2.9 ช่วงกว้างความถี่	16
2.10 การโพลาริซ	19
2.11 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นบวก	20
2.12 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นลบ	21
2.13 รอยหยักของสัญญาณขาออกจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น	22
2.14 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นบวก	23
2.15 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นลบ	23
2.16 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์	24
2.17 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	25
2.18 ไดโอด D_1 และ D_2 ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด (V_{out})	25
2.19 ไดโอด D_3 และ D_4 ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด (V_{out})	26
2.20 รูปคลื่น V_{out} เปรียบเทียบกับ V_{in} ของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ ตัวแบ่งกำลังงาน	26
2.21 เทคนิคตัวแบ่งกำลังงาน Wilkinson	26
2.22 ตัวแบ่งกำลังงาน Wilkinson ที่ถูกทำให้แมตซ์	27
2.23 โครงสร้างของสายอากาศเริ่มต้น	28

สารบัญรูป (ต่อ)

3.1	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศเมื่อปรับพารามิเตอร์ A_s	30
3.2	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศเมื่อปรับพารามิเตอร์ P	32
3.3	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อปรับพารามิเตอร์ α	32
3.4	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อปรับพารามิเตอร์ที่เหมาะสม	33
3.5	แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศเริ่มต้นเมื่อปรับพารามิเตอร์ที่เหมาะสม	34
3.6	สายอากาศแถวลำดับแบบไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยม	34
3.7	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัว	35
3.8	ผลการจำลอง $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อปรับพารามิเตอร์ที่เหมาะสม	36
3.9	แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแถวลำดับปรับพารามิเตอร์ที่เหมาะสม	38
3.10	วงจรถ่ายโอนแบบวงจรรวมกำลังงานเริ่มต้น ผลจำลอง $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของวงจรรวมกำลังงานเริ่มต้นหลัง	38
3.11	การปรับค่าที่เหมาะสม	39
3.12	วงจรวจรเรียงกระแสเริ่มต้น	40
3.13	ผลจำลอง $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของวงจรวจรเรียงกระแสเริ่มต้นหลังการปรับค่าที่เหมาะสม	41
3.14	การต่อการจำลองเพื่อทดสอบวงจรวจรเรียงกระแส	42
3.15	ผลการจำลองค่าแรงดันที่ขาออกของวงจรวจรเรียงกระแส	43
3.16	การติดตั้งการทดสอบคุณลักษณะ	43
4.1	ผลการทดสอบ $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศแถวลำดับต่อ	45
4.2	กับวงจรรวมกระแสที่ได้จากการทดลองแบบ	45

สารบัญรูป (ต่อ)

4.3	การติดตั้งสายอากาศสำหรับทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	46
4.4	รูปถ่ายสายอากาศต้นแบบ	47
4.5	ผลการทดสอบ $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศแบบมีช่องว่าง	48
4.6	รูปถ่ายโครงสร้างสายอากาศแถวลำดับสี่องค์ประกอบ แบบมีช่องว่าง	50
4.7	ผลการทดสอบ $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศแถวลำดับแบบมีช่องว่างอากาศที่พอร์ตที่ 1	51
4.8	ผลการทดสอบ $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศแถวลำดับแบบมีช่องว่างอากาศที่พอร์ตที่ 2	51
4.9	ผลการทดสอบ $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศแถวลำดับแบบมีช่องว่างอากาศที่พอร์ตที่ 3	53
4.10	ผลการทดสอบ $ S_{11} $ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศแถวลำดับแบบมีช่องว่างอากาศที่พอร์ตที่ 4	54
4.11	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ได้จากการทดสอบ	53
4.12	รูปถ่ายวงจรเรียงกระแส	55
4.13	$ S_{11} $ จากการทดสอบวงจรเรียงกระแส	55
4.14	รูปการต่อวงจรเรียงกระแสเข้ากับเครื่องกำเนิดสัญญาณ	56
4.15	แรงดันที่ขาออกที่ความถี่ 2.45 GHz	56
4.16	รูปถ่ายวงจรเรียงกระแส	57
4.17	$ S_{11} $ จากการทดสอบวงจรรวมกระแส	58
4.18	การติดตั้งสายอากาศสำหรับทดสอบแรงดัน	58
4.19	แรงดันทางด้านเอาต์พุตที่ระยะต่างๆ	59

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	พารามิเตอร์ของโครงสร้างสายอากาศเริ่มต้น	31
3.2	พารามิเตอร์ของโครงสร้างสายอากาศแถวลำดับแบบไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยม	36
3.3	พารามิเตอร์ของวงจรรวมกำลังงานที่มีค่าแมตซ์ซึ่งที่เหมาะสม	39
3.4	พารามิเตอร์ของวงจรเรียงกระแสที่มีค่าแมตซ์ซึ่งที่เหมาะสม	42
4.1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศองค์ประกอบเดียว	48
4.2	ผลการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศ แบบมีช่องว่างอากาศ	49
4.3	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศแถวลำดับสี่องค์ประกอบ	50
4.4	ผลการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับ แบบมีช่องว่างอากาศ	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการใช้ชีวิตประจำวันล้วนเกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็น การชาร์ตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน เป็นต้น แม้ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีจะช่วยพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้มีขนาดเล็กกะทัดรัดพกพาสะดวกแล้วก็ตาม แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของพลังงานที่จำเป็นต้องพกพาสายไฟเมื่อใช้อุปกรณ์ ซึ่งจะส่งผลให้ไม่สะดวกต่อการใช้งาน อาจสร้างความยุ่งยากในชีวิตประจำวัน ถึงแม้ว่าปัจจุบันมีการพัฒนาโดยนำแบตเตอรี่มาใช้ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าแทนแหล่งจ่ายหลัก แต่แบตเตอรี่ก็จ่ายพลังงานได้เพียงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น ทำให้นักวิจัยหันมาพัฒนาและสนใจเทคโนโลยีการส่งพลังงานไร้สาย หรือ ไฟฟ้าแบบไร้สายกันมากขึ้น ทำให้การดำเนินชีวิตประจำวันนั้นสะดวกสบายมากขึ้น

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทำให้คณะผู้จัดทำมีแนวความคิดออกแบบสายอากาศแฉก ลำดับสำหรับการประยุกต์ใช้งานระบบการส่งผ่านกำลังงานไร้สายในย่านความถี่ 2.4 GHz จึงได้จัดทำปริยญาณิพนธ์นำเสนอการออกแบบระบบการส่งผ่านกำลังงานไร้สายที่มีการออกแบบโครงสร้างไม่ซับซ้อนง่ายต่อการออกแบบ โดยใช้เครื่องกำเนิดความถี่ (Radio Frequency Generator) ในการป้อนสัญญาณความถี่เพื่อที่จะศึกษาและทดสอบการส่งผ่านกำลังงานระหว่างสายอากาศ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีสายอากาศสำหรับระบบการส่งผ่านกำลังงานไร้สาย
2. เพื่อออกแบบสายอากาศสำหรับระบบการส่งผ่านกำลังงานไร้สาย
3. เพื่อประยุกต์ใช้งานสายอากาศร่วมกับวงจรเรียงกระแสสำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สายร่วมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการกำลังงานในการทำงานต่ำ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาและออกแบบสายอากาศสำหรับระบบการส่งผ่านกำลังงานไร้สาย
2. ศึกษาและออกแบบวงจรเรียงกระแส
3. ทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ และทดสอบสมรรถนะของสายอากาศร่วมกับวงจรเรียงกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการส่งผ่านกำลังงานไร้สาย

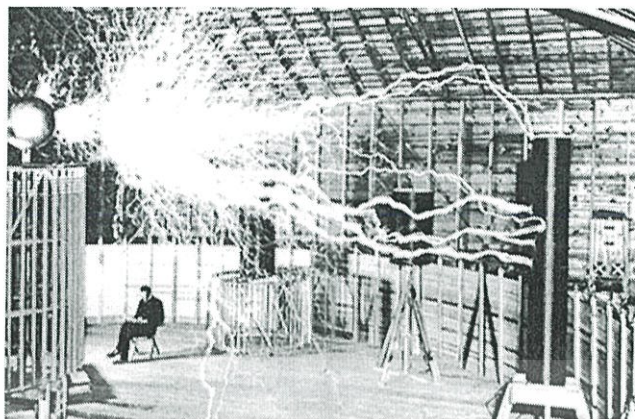
การส่งพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย คือ การใช้พลังงานไฟฟ้ามาแปลงเป็นพลังงานรูปแบบอื่น ซึ่งไม่ต้องอาศัยตัวนำในการเดินทางที่ตัวส่ง จากนั้นส่งพลังงานรูปแบบนี้ไปยังตัวรับ แล้วตัวรับก็มีหน้าที่แปลงพลังงานนั้นกลับเป็นไฟฟ้าอีกครั้ง

2.2 นิโคลาส เทสลา

นิโคลาส เทสลา (Nikola Tesla) เกิดเมื่อ 10 กรกฎาคม พ.ศ. 2399 ถึงแก่กรรม 7 มกราคม พ.ศ. 2486 (86 ปี) เป็น นักประดิษฐ์, นักฟิสิกส์, วิศวกรเครื่องกล, วิศวกรไฟฟ้า และ นักทำนายอนาคต เขาเกิดที่ Smiljan ในอดีตออสเตรีย - ฮังการี ซึ่งปัจจุบันคือสาธารณรัฐโครเอเชีย ภายหลังเขาได้รับสัญชาติเป็นพลเมืองอเมริกัน

2.2.1 ความเป็นมาของการส่งผ่านกำลังงานไร้สาย

แนวคิดการส่งพลังงานไร้สายเริ่มขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1899 มาจากแนวคิดและการทดสอบของนิโคลาส เทสลา (Nikola Tesla) ได้สาธิตการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย เพื่อเปิดหลอดไฟที่อยู่ห่างออกไปให้มีแสงสว่าง โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นความถี่สูง การทดสอบดังกล่าวประกอบด้วย ขดลวดขนาดใหญ่ (Gigantic Coil) ทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดกว้าง 60 m ยาว 60 m โดยขดลวดนี้สามารถกำเนิดสัญญาณที่มีความถี่เท่ากับ 150 kHz และมีกำลังงานมากถึง 300 kW ในส่วนด้านบนของขดลวดสี่เหลี่ยมได้ทำการติดตั้งแท่งเสาโลหะ โดยยอดเสาโลหะจะถูกติดตั้งลูกบอลทองแดงขนาดใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1 m ผลการทดสอบการส่งผ่านกำลังงานไร้สายของเทสลา พบว่าเมื่อทำการปล่อยกำลังงานออกจากลูกบอลทองแดง จะมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเท่ากับ 100 MV อยู่รอบ ๆ ชั้นอากาศ ดังรูปที่ 2.1



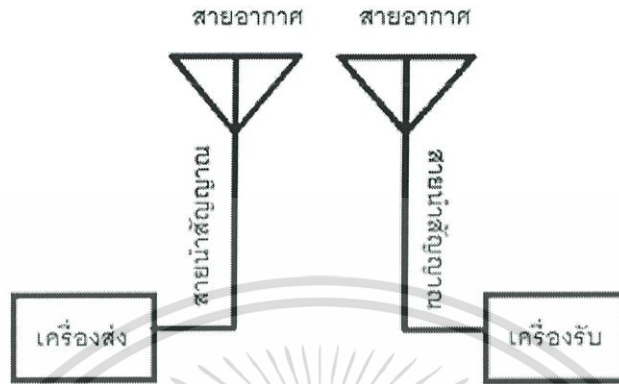
รูปที่ 2.1 การทดสอบการส่งผ่านกำลังงานไร้สายของเทสลา [1]

นอกจากนี้เทสลาได้ประสบความสำเร็จกับการส่งผ่านกำลังงานไร้สาย โดยได้อาศัยบอลลูนในการรับและส่งกำลังงานไฟฟ้า ซึ่งบอลลูนจะถูกลอยอยู่บนชั้นบรรยากาศ โดยมีระยะห่างระหว่างบอลลูนทั้งสองเป็นระยะทางเท่ากับ 42 km จากการทดสอบดังกล่าวพบว่า สามารถทำให้หลอดไฟติดมากกว่า 200 ดวง โดยแต่ละดวงจะใช้กำลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 50 W ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา การส่งผ่านกำลังงานไร้สายจึงกลายเป็นงานวิจัยที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก จนกระทั่งในปี ค.ศ.1933 ถึง ค.ศ. 1934 นักวิจัยชื่อ เอช.วี. โนเบิล (H.V. Noble) ได้อาศัยแนวคิดและทฤษฎีของเทสลานำมาวิจัยและพัฒนาเพื่อต้องการให้การส่งผ่านกำลังงานไร้สายมีประสิทธิภาพมากกว่าที่เทสลาเคยทำมาก่อนหน้านี้ โดยโนเบิลได้ทำการเปลี่ยนลูกบอลทองแดงที่มีหน้าที่ส่งกำลังงานมาเป็นสายอากาศไดโพลแทน โดยการส่งกำลังงานนี้ถูกส่งด้วยความถี่ 100 MHz ผลจากการทดสอบพบว่า การส่งกำลังงานไร้สายไปยังสายอากาศไดโพลด้านรับสามารถรับกำลังงานได้ถึง 100 W [2]

2.3 พื้นฐานสายอากาศ

สายอากาศเป็นอุปกรณ์สำหรับรับและส่งคลื่นความถี่ทั้งในย่านความถี่วิทยุ (Radio Frequency) และความถี่ไมโครเวฟ (Microwave Frequency) ในการสื่อสารแบบไร้สายนั้น โดยทั่วไปจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ เครื่องส่ง (Transmitter) สายนำสัญญาณ (Transmission Line) สายอากาศ (Antenna) และเครื่องรับ (Receiver) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยสายนำสัญญาณจะทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากเครื่องส่งไปยังสายอากาศมายังเครื่องรับ สายอากาศนั้นอาจกล่าวได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงกำลังไฟฟ้าจากเครื่องส่งให้เป็นคลื่น

แม่เหล็กไฟฟ้า และในขณะเดียวกันก็จะทำหน้าที่รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วส่งเข้าสายนำสัญญาณในรูปของกำลังไฟฟ้าเพื่อส่งผ่านไปยังเครื่องรับต่อไป



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบหลักของการสื่อสารโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.3.1 ประเภทของสายอากาศ

2.3.1.1 แบ่งตามลักษณะโครงสร้าง

สายอากาศสามารถแบ่งได้ตามลักษณะโครงสร้างดังนี้

สายอากาศแบบลวดตัวนำ (Wire antenna) สายอากาศเส้นลวดเป็นสายอากาศพื้นฐานที่นิยมใช้มากที่สุด โดยรูปร่างของสายอากาศมีหลายรูปแบบ เช่น ไดโพล หรือ โมโนโพล บ่วง สายอากาศเกลียว สำหรับสายอากาศบ่วงไม่จำกัดรูปเฉพาะวงกลม แต่สามารถสร้างเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส วงรี สามเหลี่ยมหรือรูปใด ๆ ก็ได้ อย่างไรก็ตามวงกลมจะเป็นโครงสร้างที่ง่ายและนิยมมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 2.3 (ก)

สายอากาศแบบช่องเปิด (Aperture antenna) สายอากาศชนิดนี้มีการใช้งานมากในอดีตโดยเฉพาะในการใช้งานย่านความถี่สูง สายอากาศชนิดนี้มีประโยชน์มากในด้านอากาศยาน หรือยานอวกาศ เนื่องจากความสะดวกในการติดตั้ง และยังสามารถหุ้มด้วยฉนวนหรือวัสดุที่ไม่เป็นสื่อไฟฟ้าได้เพื่อป้องกันสภาพที่เป็นอันตรายต่อระบบสื่อไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 2.3 (ข)

สายอากาศแบบอาร์เรย์ (Array antenna) การประยุกต์ใช้งานสายอากาศโดยส่วนมากแล้วจะมีคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นไม่เหมือนกัน ทำให้เกิดวิธีการนำองค์ประกอบมาใช้งานร่วมกันเพื่อสนองกับความต้องการใช้งานต่าง ๆ ซึ่งสามารถกำหนดให้ทิศทางหลักในการแพร่ของคลื่นของสายอากาศอยู่ทางทิศใดก็ได้ การนำสายอากาศหลาย ๆ องค์ประกอบ

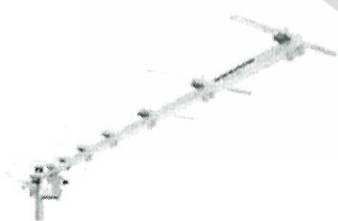
มาต่อเรียงกันเป็นแผง เรียกว่าอาร์เรย์ มีผลให้อัตราขยายมากขึ้น และยังควบคุมทิศทางการแพร่คลื่นได้แสดงดังรูปที่ 2.3 (ค)

สายอากาศไมโครสตริป (Microstrip antenna) สายอากาศไมโครสตริปมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ราคาถูก สามารถผลิตด้วยเทคโนโลยีวงจรรวม ซึ่งสามารถนำไปใช้งานร่วมกับวงจรรีเลย์ทรานซิสได้ และสายอากาศไมโครสตริปสามารถใช้งานในงานย่านความถี่ไมโครเวฟได้ดี ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐาน คือ แผ่นตัวนำสายอากาศ ชั้นวัสดุฐานรอง ระบายกราวด์ และสายนำสัญญาณ สำหรับสายอากาศไมโครสตริปนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดในแต่ละชนิดจะมีรูปแบบ และคุณสมบัติแตกต่างกันออกไปแสดงดังรูปที่ 2.3 (ง)

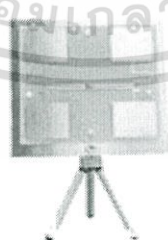
สายอากาศจาน (Dish antenna) เป็นสายอากาศที่นิยมใช้ในการรับส่งสัญญาณดาวเทียม ซึ่งทำหน้าที่สะท้อนสัญญาณที่ตกกระทบผิวจานสายอากาศไปยังตัวป้อนสัญญาณที่ทำหน้าที่แปลงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า (กรณีรับสัญญาณ) ในทางกลับกันตัวป้อนสัญญาณจะแปลงสัญญาณไฟฟ้าส่งให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ไปยังผิวของจานสายอากาศเพื่อสะท้อนไปยังทิศทางที่ต้องการสื่อสาร แสดงดังรูปที่ 2.3 (จ)

(ก) สายอากาศแบบลวดตัวนำ

(ข) สายอากาศแบบช่องเปิด



(ค) สายอากาศแบบแถวลำดับ



(ง) สายอากาศไมโครสตริป



(จ) สายอากาศจาน

รูปที่ 2.3 ชนิดของสายอากาศ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 แบ่งตามแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น

สายอากาศแบบไอโซทรอปิก (Isotropic antenna) เป็นสายอากาศที่ถูกสมมุติขึ้น โดยมีคุณสมบัติของการแผ่พลังงานเท่ากันทุกทิศทุกทาง จึงมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นเป็นรูปทรงกลม หรือที่เรียกว่า ไอโซทรอปิก (Isotropic) เช่น แหล่งกำเนิดแบบจุด (Point source) เป็นสายอากาศแบบหนึ่งที่ไม่สามารถสร้างจริงได้ แต่มักจะใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศที่ใช้งานจริง โดยเฉพาะการแสดงความสัมพันธ์การแผ่กระจายคลื่น รวมทั้งอัตราขยายของสายอากาศ แสดงดังรูปที่ 2.4 (ก)

สายอากาศแบบชี้ทิศทาง (Directional antenna) เป็นสายอากาศที่มีทิศทางในการแผ่กระจายของคลื่นที่มีทิศทางชัดเจน เหมาะสำหรับการติดต่อระหว่างจุดต่อจุด สามารถเพิ่มระยะทางการใช้งานได้ไกลกว่าสายอากาศแบบรอบตัว แต่มีข้อเสียคือ ถ้าไม่อยู่ในทิศทางในการแผ่กระจายของคลื่นจะไม่สามารถรับส่งสัญญาณได้ ชนิดสายอากาศแบบนี้ที่นิยมใช้กันได้แก่ สายอากาศแบบเซ็กเตอร์ (Sector antenna) สายอากาศแบบยาคิ (Yagi antenna) สายอากาศแบบกริด (Grid antenna) สายอากาศแบบจาน (Dish antenna) ซึ่งสายอากาศในลักษณะนี้จะมีอัตราขยายค่อนข้างสูง แสดงดังรูปที่ 2.4 (ข)

สายอากาศแบบรอบตัว (Omnidirectional antenna) สายอากาศประเภทนี้มีทิศทางในการแผ่กระจายคลื่นรอบทิศทาง 360° ในระนาบใดระนาบหนึ่ง เหมาะสำหรับการใช้ติดต่อกับเครื่องลูกข่ายที่เคลื่อนไหวอยู่ในตำแหน่งและทิศทางที่ไม่แน่นอน แสดงดังรูป 2.4 (ค)

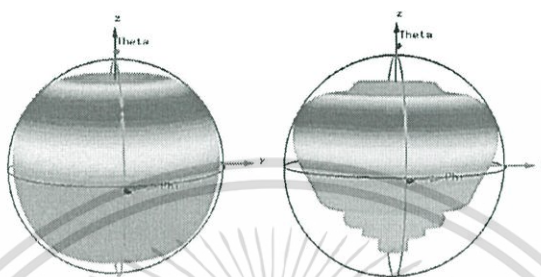


(ก) สายอากาศแบบไอโซทรอปิก (ข) สายอากาศแบบชี้ทิศทาง (ค) สายอากาศแบบรอบตัว

รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการแผ่กระจายคลื่นแบบต่าง ๆ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศแบบลำคลื่นรูปกรวย (Conical beam antenna) สายอากาศแบบลำคลื่นรูปกรวยนั้นมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางในระนาบเดียวกับพื้นโลก แต่จะมีลำคลื่นที่มีค่าสภาพเจาะจงทิศทางอยู่ในทิศทางที่สูงขึ้นจากพื้นดินหรือระนาบมุมยกของลำคลื่นที่ชี้ไปในมุม 30° – 60° โดยส่วนใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ให้ลำคลื่นรูปกรวย [3]

2.4 สายอากาศไมโครสตริปแบบแถวลำดับ (Array Antenna)

แถวลำดับของสายอากาศ (Antenna Array) หมายถึง การนำเอาสายอากาศหลายๆ ตัวมาจัดวางเรียงกัน โดยมีระยะห่างที่แน่นอน โดยสายอากาศแต่ละตัวที่นำมาจัดเรียงให้เป็นแถวลำดับนั้น จะเรียกว่า องค์ประกอบ (Element) ซึ่งการนำเอาองค์ประกอบมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับ จะให้ สมรรถนะคล้ายคลึงกับสายอากาศองค์ประกอบเดียวที่มีขนาดใหญ่มาก แต่การจัดเรียงเป็นแถว ลำดับนั้นจะสามารถจัดปัญหาในเรื่องของกลไกต่างๆ อันเนื่องมาจากขนาดที่ใหญ่เทอะทะของสายอากาศได้ ข้อดีของการนำสายอากาศมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับ จะทำให้สามารถเพิ่มค่าสภาพเจาะจงทิศทางและค่าอัตราขยายของสายอากาศได้ นอกจากนี้สายอากาศแบบแถวลำดับยังสามารถปรับขนาดของแอมพลิจูดและเฟสของสัญญาณที่ป้อนให้แก่แต่ละองค์ประกอบได้อีกด้วย ซึ่งทำให้สามารถปรับแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานให้เป็นไปตามที่เราต้องการ ในการใช้งานแต่ละประเภทได้

เราสามารถแบ่งการจัดเรียงองค์ประกอบของแถวลำดับตามรูปร่างได้หลายประเภท เช่น แถวลำดับแบบเชิงเส้น (Linear Array) จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบจำนวนมากที่จัดเรียงกัน อย่างสมมาตรเมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลางของแถวลำดับในแนวเส้นตรง ซึ่งอาจจะมีระยะระหว่างองค์ประกอบห่างเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ ประเภทต่อไปคือ แถวลำดับเชิงระนาบ (Planar Array)

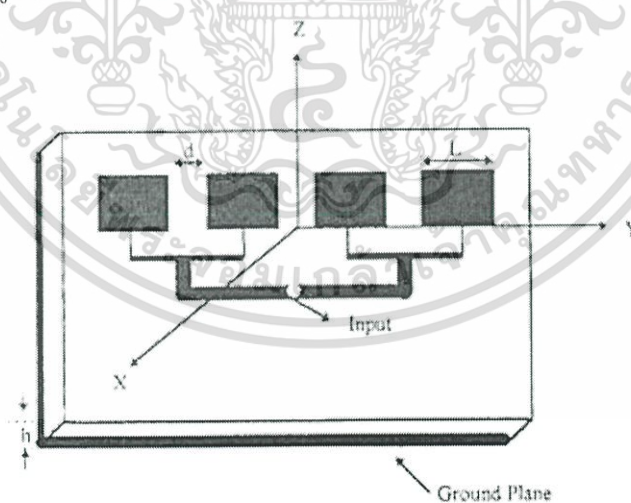
เป็นการจัดเรียงองค์ประกอบในลักษณะสองมิติบนแผ่นระนาบ ซึ่งการจัดเรียงแถวลำดับในลักษณะนี้อาจจัดเรียงในลักษณะของสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือรูปร่างกลมก็ได้ โดยขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่มีอยู่

สายอากาศแถวลำดับแบบไมโครสตริป (Microstrip Antenna Array) ประกอบขึ้นจากการนำสายอากาศแบบไมโครสตริปหลาย ๆ อิลิเมนต์มาประกอบหรือเรียงลำดับกันให้มีรูปร่างเชิงเรขาคณิต เพื่อเพิ่มขนาดขององค์ประกอบที่ใช้ในการแผ่คลื่นให้มีขนาดใหญ่ขึ้น [8]

สนามรวมที่เกิดจากแถวลำดับแบบไมโครสตริปจะเกิดจากการทับซ้อนเชิงเวกเตอร์ของสนามที่แผ่ออกมาจากแต่ละอิลิเมนต์ การที่จะได้แบบรูปการแผ่คลื่นในทิศทางที่กำหนดให้มีค่าสูงกว่าในทิศทางอื่นนั้น ต้องทำให้สนามที่เกิดจากแต่ละอิลิเมนต์มีเฟสที่เสริมกันในทิศทางที่ต้องการ และในขณะเดียวกันสนามที่เกิดจากแต่ละอิลิเมนต์ก็ต้องหักล้างกันในทิศทางที่ไม่ต้องการด้วย

เราสามารถควบคุมรูปร่างของแบบรูปการแผ่กำลังงานรวมของสายอากาศได้ โดยการควบคุม ดังต่อไปนี้

- รูปร่างของแถวลำดับจะต้องมีลักษณะที่เป็นรูปทรงทางเรขาคณิต เช่น เส้นตรง วงกลม สี่เหลี่ยม ทรงกลม เป็นต้น
- ระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์แต่ละตัวของแถวลำดับ
- แอมพลิจูดของกระแสที่ป้อนให้กับแต่ละอิลิเมนต์
- เฟสของกระแสที่ป้อนให้กับแต่ละอิลิเมนต์
- แบบรูปการแผ่กำลังงานของแต่ละอิลิเมนต์ให้สัมพันธ์กัน



รูปที่ 2.6 โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศไมโครสตริป [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 แผ่นตัวนำสายอากาศ

เป็นแผ่นโลหะแบบบางทำหน้าที่เป็นตัวแพร่พลังงานและมีค่าความต้านทานต่ำ ทนทานต่อสภาวะแวดล้อม สามารถยึดติดกับผิวของชั้นวัสดุฐานรองได้เป็นอย่างดี โดยทั่วไปทำจาก ทองแดง ทองคำหรืออลูมิเนียม แผ่นตัวนำอาจมีรูปร่างต่าง ๆ เช่น สี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมจัตุรัส วงกลม วงรี ฯลฯ วัสดุที่นำมาใช้ทำแผ่นตัวนำสายอากาศนี้ส่งผลต่อประสิทธิภาพของสายอากาศ และความซับซ้อนในการผลิต นอกจากนี้แล้วขนาดและรูปร่างของแผ่นตัวนำสายอากาศยังเป็น ปัจจัยต่อการกำหนดความถี่ใช้งาน แบบรูปการแพร่พลังงานและอิมพีแดนซ์ด้านเข้า ปัจจุบันแผ่น ตัวนำสายอากาศที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นแผ่นตัวนำรูปสี่เหลี่ยมและวงกลมเนื่องจากการออกแบบและการ ผลิตสามารถทำได้ง่าย

2.4.2 วัสดุฐานรอง

ชนิดและขนาดของชั้นวัสดุฐานรองเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบสายอากาศและ เป็นองค์ประกอบสำคัญที่กำหนดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริป การแพร่พลังงาน ของสายอากาศจะลดลงเมื่อค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองเพิ่มมากขึ้น โดยที่ความ หนาของชั้นวัสดุฐานรองมีค่าคงที่การแพร่พลังงานของสายอากาศจะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของชั้น วัสดุฐานรองเพิ่มขึ้น และการแพร่พลังงานนี้จะมีปริมาณลดลง เมื่อความหนาท่อความยาวคลื่นมี ค่าประมาณ 0.05 mm การเลือกวัสดุเพื่อใช้เป็นวัสดุฐานรอง นอกจากต้องคำนึงถึงสมบัติทาง กายภาพ สมบัติทางไฟฟ้า ความคงทนต่อสภาวะแวดล้อม และความสามารถในการยึดติดกับผิว โลหะได้ดี ความเรียบของผิวซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติดติดกับโลหะ และสามารถผลิตเป็นชั้น วัสดุฐานรองสำหรับสายอากาศได้ นอกจากนี้สมบัติทางไฟฟ้ายังเป็นตัวแปรสำคัญในการเลือกวัสดุ เช่น ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ (Dielectric Constants) วัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุเนื้อเดียว เพื่อให้ ค่าสภาพยอมของสารไดอิเล็กตริกมีค่าคงที่ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกบ่งบอกคุณสมบัติของการเป็นสาร ไดอิเล็กตริกโดยเทียบกับอากาศว่าง ซึ่งค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ควรมีค่าต่ำ เนื่องจากค่าคงตัว ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ต่ำทำให้สายอากาศมีประสิทธิภาพที่ดี และทำให้การผลิตมีความผิดพลาดน้อย

2.5 คุณลักษณะของสายอากาศ

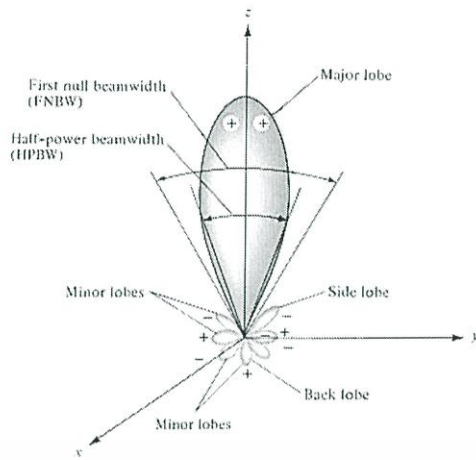
สำหรับในการอธิบายพฤติกรรมของสายอากาศตัวใดตัวหนึ่ง จำเป็นต้องทราบคำนิยามของ คุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศ เพื่อพิจารณาประกอบการประเมินประสิทธิภาพของสายอากาศที่จะช่วยในการตัดสินใจและประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับงานต่าง ๆ มากมาย โดยมีส่วนสำคัญ ดังนี้

2.5.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation patterns)

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น คือรูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเฟส (Phase) หรือการโพลาไรซ์ (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงการแจกแจงรูปของพลังงานเป็นฟังก์ชันของแบบรูปที่เขียนอยู่ในรูป 2 มิติ หรือ 3 มิติ เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าที่จุดห่างไกลจากแหล่งกำเนิดคลื่นในทิศของ θ หรือ ϕ แบบรูปการกระจายคลื่นโดยทั่วไปจะมี 2 แบบ คือ $D|\theta, \phi|$ ถ้าเขียนจากสนามไฟฟ้า จะเรียกว่า รูปแบบสนาม (Field Pattern) ถ้าเป็นแบบรูปที่เขียนจากกำลังคลื่น $D|\theta, \phi|$ จะเรียกว่าแบบรูปกำลัง (Power Pattern) และโดยปกติจะถูกหารด้วยค่าสูงสุด (Normalize) ซึ่งจะทำให้แบบรูปมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 หรือถ้ากำกับหน่วยเป็น dB ค่าสูงสุดก็จะเป็น 0 dB บางครั้งการแสดงการเปลี่ยนแปลงของเฟสก็มีความหมายในทางปฏิบัติเช่นเดียวกัน แบบรูปที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของเฟสนี้เรียกว่า แบบรูปเฟส ซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับเฟสเกี่ยวกับความเข้มของสนามไฟฟ้าล้วนอยู่ใน $D|\theta, \phi|$ ทั้งสิ้นนอกจากนั้น $D|\theta, \phi|$ ยังบอกทิศทางของการโพลาไรซ์ของ \vec{E} อีกด้วย

โดยองค์ประกอบของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น มีดังนี้

- ลำคลื่นหลัก (Main Beam) คือ ลำคลื่นที่มีกำลังการแพร่กระจายออกไปมากที่สุด และโดยทั่วไปจุดสูงสุดของแบบจะอยู่ในลำคลื่นหลักนี้
- ลำคลื่นย่อย (Side Lobe หรือ Minor Lobe) คือ ลำคลื่นส่วนอื่นทั้งหมด นอกจากลำคลื่นหลัก
- ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half – Power Beam Width : HPBW) คือ ช่วงมุมที่วัดจากจุด 2 จุดที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น เป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุด (-3 dB)
- ความกว้างลำคลื่นระหว่างจุดศูนย์จุดแรก (First Null Beam Width : FNBW) คือ ช่วงมุมที่เกิดจากการที่ค่าของกำลังเป็นศูนย์ครั้งแรก



(ก) พุคลื่นการแผ่กำลังงานและบีมวิดท์ของแบบรูปสายอากาศ

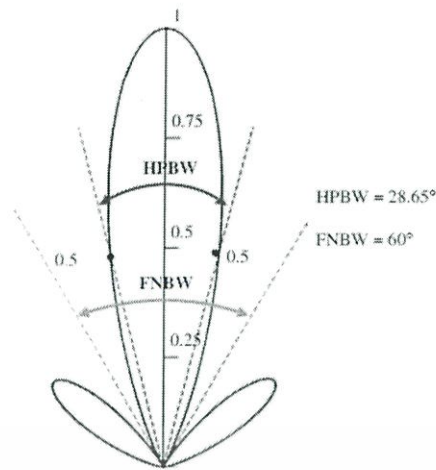


(ข) สเกลในเชิงเส้นของแบบรูปกำลังและความสัมพันธ์กับพหุคูณและบีมวิดท์

รูปที่ 2.7 พุคลื่นการแผ่กำลังงานและบีมวิดท์ของสายอากาศ [5]

2.5.2 ความกว้างลำคลื่น (Beam Width)

หนึ่งในพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับแบบรูปการแผ่พลังงานที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศ คือ ความกว้างลำคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยความกว้างลำคลื่นของแบบรูปเป็นการวัดมุมระหว่างจุดสองจุดที่มีค่าเท่ากันในด้านที่ตรงข้ามกันของแบบรูปสูงสุด ในแบบรูปของสายอากาศจะมีความกว้างลำคลื่นอยู่หลายแบบ ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง ซึ่งนิยามโดย IEEE ว่า “ในระนาบที่ประกอบด้วยทิศทางลำคลื่นที่มีค่ามากที่สุด (ลำคลื่นหลัก) มุมระหว่างทิศทางสองทางที่มีความเข้มของการแผ่พลังงานครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุดของลำคลื่น” [5] นอกจากนี้ ยังมีความกว้างลำคลื่นที่สำคัญอีก คือ ความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์จุดแรก FNBW นอกจากนี้แล้ว ยังมีความกว้างลำคลื่นอื่น ๆ เช่น ความกว้างลำคลื่น -10 dB จากค่าสูงสุดของคลื่นหรือจะเป็นค่าอื่น ๆ ก็ได้ อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ ความกว้างลำคลื่นโดยทั่วไปจะหมายถึง HPBW



รูปที่ 2.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในรูป 2 มิติ [5]

2.5.3 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio : SWR)

บางครั้งเรียกว่า Voltage standing wave ratio (VSWR) คือ อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุดของรูปคลื่นนิ่งบนสายนำสัญญาณ อัตราส่วนนี้เป็นค่าวัดปริมาณที่โหลดผิดไปจากสภาวะที่โหลดแมตช์มากน้อยเท่าไรจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1 เสมอ ถ้าโหลดที่ต่อมีค่าความต้านทานเท่ากับ และสายนำสัญญาณมีอิมพีแดนซ์เท่ากัน เราสามารถคำนวณค่า VSWR ได้จาก

$$VSWR = \frac{Z_0}{L_0} \quad \text{หรือ} \quad VSWR = \frac{L_0}{Z_0} \quad (2.1)$$

แล้วแต่ว่าตัวใดมีค่ามากกว่าจะอยู่ด้านบน หรือถ้ามี Reflection Coefficient (Γ) สามารถหาได้จาก

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.2)$$

$$\Gamma = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ Γ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนของคลื่น

Z_0 คือ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ

Z_L คือ อิมพีแดนซ์ของโหลด

จากสมการข้างบน จะพบว่า ถ้า Z_L เท่ากับ Z_0 จะทำให้ Γ เท่ากับ 0 นั่นคือ จะไม่เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นซึ่งจะส่งผลให้ค่า VSWR เท่ากับ 1 ซึ่งก็คือการแมตช์กันระหว่างสายส่งกับสายอากาศนั่นเอง แต่ถ้า Z_L ไม่เท่ากับ Z_0 จะทำให้ Γ ไม่เท่ากับ 0 ก็จะส่งผลทำให้ค่า VSWR ไม่เท่ากับ 1 นั่นคือ จะเกิดการไม่แมตช์กันระหว่างสายส่งกับสายอากาศ ซึ่งถ้าค่า VSWR มีค่ามาก ๆ ก็อาจส่งผลกระทบต่อเครื่องส่งทำให้เครื่องส่งเกิดความเสียหายได้ สำหรับค่า VSWR ที่สามารถยอมรับได้ในทางปฏิบัตินั้นจะต้องมีค่าไม่เกิน 1.5 การวัดค่า VSWR สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือที่เราเรียกว่า SWR Meter หรือ Refectometer หรือ Network Analyzer

2.5.4 ประสิทธิภาพสายอากาศ (Effective Antenna)

ประสิทธิภาพของสายอากาศ จะใช้เมื่อคำนึงถึงการสูญเสียต่าง ๆ ที่ขั้วอินพุท และภายในโครงสร้างของสายอากาศ โดยการสูญเสียเป็นผลมาจาก

1. การสะท้อนเนื่องจากความไม่แมตช์ (Mismatch) กันระหว่างสายส่งกับสายอากาศ
2. การสูญเสียทั้งในตัวนำและไดอิเล็กตริกของสายอากาศโดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพรวมทั้งหมด คำนวณได้จาก

$$e_t = e_r e_c e_d \quad (2.4)$$

เมื่อ e_t คือ ประสิทธิภาพรวม (ไม่มีหน่วย)

e_r คือ ประสิทธิภาพการสะท้อน คำนวณได้จาก $1 - |\Gamma|^2$ (ไม่มีหน่วย)

e_c คือ ประสิทธิภาพตัวนำ (ไม่มีหน่วย)

e_d คือ ประสิทธิภาพของไดอิเล็กตริก (ไม่มีหน่วย)

2.5.5 อัตราขยาย (Gain)

อัตราขยายเป็นค่าที่ได้จากการวัด ซึ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสายอากาศได้เป็นอย่างดี อัตราขยายของสายอากาศวัดคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น และรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้าด้วยกัน ในขณะที่ค่าสภาพเจาะจงทิศทางอธิบายคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของแบบรูปสายอากาศเท่านั้น อัตราขยายของสายอากาศในทิศทางที่กำหนดถูกนิยามว่าเป็น มาตรการส่วนของความเข้มของสนามในทิศทางที่กำหนดต่อความเข้มการแผ่พลังงานที่ได้รับจากสายอากาศที่เป็นไอโซทรอปิก กำลังการแผ่พลังงานของไอโซทรอปิกที่ให้ความเข้มการแผ่พลังงาน มีค่าเท่ากับกำลังที่ได้รับ สามารถเขียนในรูปสมการดังนี้

$$G_0 = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.5)$$

โดยทั่วไปมักกล่าวถึงอัตราขยายสัมพัทธ์ (Relative gain) ซึ่งได้ถูกนิยามว่าเป็นมาตรการส่วนของอัตราขยายกำลังในทิศทางที่กำหนดต่ออัตรากำลังของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้นเมื่อกำลังที่ป้อนเข้าสายอากาศทั้งสองนั้นต้องเท่ากัน สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบเป็นแหล่งจ่ายไอโซทรอปิก สายอากาศไดโพล สายอากาศปากแตร (Horn antenna) หรือสายอากาศอื่น ๆ ส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบจะเป็นแหล่งจ่ายไอโซทรอปิกที่ไม่มีการสูญเสีย เมื่อถึงทิศทางที่กำหนด อัตราของกำลังปกติหมายถึง ทิศทางของการแผ่พลังงานมากที่สุด สามารถเขียนได้ว่า กำลังงานที่แผ่กระจายรวม P_{rad} สัมพันธ์กับกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ P_{in}

$$P_{rad} = e_{cd} P_{in} \quad (2.6)$$

เมื่อ e_{cd} คือ ประสิทธิภาพของสายอากาศ ซึ่งถูกนิยามด้วยข้อกำหนดของมาตรฐาน IEEE “อัตราขยายจะไม่คำนึงถึงการสูญเสียอันเนื่องมาจากการไม่แมตช์ของอิมพีแดนซ์และการไม่แมตช์ของ โพลาริเซชัน” [5] สมการที่ (2.7) เป็นรวมการสูญเสียผ่านตัวสายอากาศแต่ไม่รวมการสูญเสียระหว่างสายอากาศกับสายนำสัญญาณ การสูญเสียที่จุดเชื่อมต่อเหล่านี้โดยทั่วไปหมายถึงการสูญเสียจากคุณลักษณะของสายไม่สอดคล้องกับสายนำสัญญาณ โดยทำให้เกิดสัมประสิทธิ์การสะท้อนซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการสะท้อน e_r

ในการทำงานเดียวกันสำหรับอัตราขยายบางส่วนของสายอากาศสำหรับโพลาริซซ์ที่กำหนดในทิศทางที่กำหนด ว่าเป็นส่วนของความเข้มการแผ่พลังงาน สำหรับโพลาริซซ์ที่กำหนดหาความเข้มการแผ่พลังงานรวมที่เกิดจากสายอากาศไอโซทรอปิก สำหรับนิยามดังกล่าวของอัตราขยายบางส่วนของทิศทางที่กำหนด ดังนั้นอัตรารวมสามารถหาได้จากการรวมอัตราขยายบางส่วนของแต่ละโพลาริซซ์ที่ตั้งฉากกัน สำหรับระบบพิกัดแบบทรงกลม อัตราขยายสูงสุดรวม G_0 สำหรับองค์ประกอบที่ตั้งฉากกันระหว่าง ϕ และ θ ของสายอากาศ สามารถเขียนในรูปแบบเดียวกันกับสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดแสดงดังสมการ (2.7)

$$G_0 = G_\theta + G_\phi \quad (2.7)$$

เมื่อ G_0 และ E_ϕ สามารถหาได้จาก

$$G_0 = \frac{4\pi U_0}{P_{in}} \quad (2.8ก)$$

$$G_\phi = \frac{4\pi U_\phi}{P_{in}} \quad (2.8ข)$$

เมื่อ U_0 คือ ความเข้มการแผ่พลังงานในทิศทางที่กำหนดที่ประกอบด้วยองค์ประกอบสนาม E_0

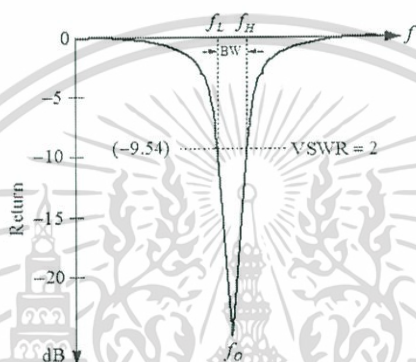
U_ϕ คือ ความเข้มการแผ่พลังงานในทิศทางที่กำหนดที่ประกอบด้วยองค์ประกอบสนาม E_ϕ

P_{in} คือ กำลังรวมที่อินพุต

2.5.6 ช่วงกว้างความถี่ (Bandwidth)

ช่วงกว้างความถี่ของสายอากาศจะถูกกำหนดความกว้างโดยย่านของความถี่ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสายอากาศ โดยทั่วไปช่วงความถี่ก็จะเป็นอัตราส่วนระหว่างความถี่ด้านสูงกับความถี่ด้านต่ำหรือเปอร์เซ็นต์ของความถี่กลาง (Center frequency : f_c) เนื่องจากคุณสมบัติของสายอากาศแต่ละตัวที่ไม่เหมือนกัน จึงเป็นการยากที่จะพิจารณาค่าของช่วงกว้างความถี่ จึงมีสองวิธีที่นิยมในการพิจารณาค่าของช่วงกว้างความถี่ คือ Pattern bandwidth และ Impedance bandwidth

Impedance Bandwidth คือย่านของความถี่ซึ่งมีค่าของอิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input impedance) อยู่ในช่วงมาตรฐาน โดยมาตรฐานแล้วคือ VSWR ไม่ควรมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 2 (หรือ $|\Gamma| \leq \frac{1}{3}$) หรือ ที่ $|S_{11}|$ น้อยกว่าหรือเท่ากับ -10 dB หรือมีการสะท้อนกลับของคลื่นประมาณ 11% ของกำลังส่งทางด้านอินพุตพิจารณาจากรูปที่ 2.9 และในบางงานที่ต้องการความแม่นยำก็จะใช้ค่า VSWR เป็น 1.5 หรือน้อยกว่า ในอนาคตอันใกล้นี้ช่วงกว้างความถี่ที่ใช้งานของสายอากาศอาจมีค่าน้อยลงกว่า Impedance bandwidth เนื่องมาจากตัวแปรต่าง ๆ (อัตราขยาย ค่าประสิทธิภาพ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น และอื่น ๆ) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความถี่



รูปที่ 2.9 ช่วงกว้างความถี่ [3]

2.5.7 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ (Antenna Impedance)

อิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input Impedance) คือเป็นอัตราส่วนของโวลเตจและกระแสที่จุดป้อนของสายอากาศ

$$Z_{in} = \frac{V}{I} = R + jX \quad (2.9)$$

ปกติแล้ว Z_{in} มีทั้งส่วนที่เป็นความต้านทานและส่วนที่เป็นรีแอกแตนซ์ (Reactance) คือ เมื่อนำสายนำสัญญาณซึ่งมีอิมพีแดนซ์เป็นความต้านทานอย่างเดียวมาต่อโดยตรงกับสายอากาศส่วนใหญ่จะเกิดการไม่แมตซ์ขึ้น คือ พลังงานของคลื่นส่งบางส่วนจะถูกสะท้อนกลับมาทางเครื่องส่ง ในทางปฏิบัติส่วนมากจึงต้องใช้ วงจรแมตซ์ซิง (Matching Circuit) มาต่อไว้ระหว่างสายส่งกับสายอากาศเพื่อเป็นการลดพลังงานส่วนนี้ให้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมพีแดนซ์ของการแพร่กระจายคลื่น อิมพีแดนซ์ของการแพร่กระจายคลื่นในกรณีของสายอากาศ ถ้ากระแสที่จุดป้อนเป็น I และกำลังคลื่นที่แพร่กระจายออกไปจากสายอากาศ (Radiation Power) เป็น W_r ให้ความต้านทานของการกระจายคลื่นเป็น

$$R_r = \frac{W_r}{|I|^2} \quad (2.10)$$

ในความเป็นจริงแล้ว คลื่นที่ออกจากผิวของสายอากาศยังมีส่วนคลื่นที่ไม่ได้กระจายออกไปรวมอยู่ด้วย ซึ่งกำลังคลื่นส่วนนี้จะเป็นพลังงานสะสมอยู่ใกล้ ๆ ตัวสายอากาศในลักษณะเดียวกับพลังงานส่วนที่สะสมอยู่ใน L และ C ในวงจรไฟฟ้าธรรมดา นั่นคือกำลังคลื่นที่ออกจากผิวของสายอากาศจะเป็นกำลังคลื่นเชิงซ้อน (Complex Power) ทำให้เราได้นิยามของอิมพีแดนซ์ของการกระจายคลื่นเป็นดังนี้

$$Z_r = R_r + jx_r = \frac{W_r + jW_s}{|I|^2} \quad (2.11)$$

โดยที่ W_s เป็นกำลังคลื่นที่เก็บสะสมอยู่ในตัวกลางรอบ ๆ สายอากาศ

อิมพีแดนซ์ระหว่างสายอากาศ (Mutual impedance) เมื่อสายอากาศในระบบมีมากกว่า 1 ตัวขึ้นไป กำลังคลื่นที่ส่งออกจากสายอากาศแต่ละอันจะส่งผลทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศอื่นเปลี่ยนไป ถ้าสายอากาศในระบบมีอยู่ n ตัว จากคุณสมบัติที่เป็นเชิงเส้นของสมการแมกซ์เวลล์ (Maxwell's equation) จะได้แรงดันที่จุดป้อนของสายอากาศเท่ากับ

$$V_i = \sum_{j=1}^N V_{ij} \frac{I_j}{I_j} \quad (2.12)$$

ถ้าให้

$$Z_i = \frac{V_{ij}}{I_j} \quad (2.13)$$

จะได้

$$V_i = \sum_{j=1}^N V_{ij} \frac{I_j}{I_i} \quad \text{ถ้า } i \text{ ไม่เท่ากับ } j \quad (2.14)$$

จะเรียกว่า อิมพีแดนซ์ระหว่างสายอากาศและถ้า i ไม่เท่ากับ j จะเรียกว่า อิมพีแดนซ์ของตัวสายอากาศ ซึ่งมีค่าเท่ากับการกระจายคลื่นของสายอากาศ ที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปใจความสำคัญได้ว่า อิมพีแดนซ์ด้านเข้าให้พิจารณาเหมือนค่าอิมพีแดนซ์ทั่วไป อิมพีแดนซ์ของการแพร่กระจายคลื่นจะมองเป็นกำลังคลื่นที่ออกจากผิวสายอากาศเป็นเชิงซ้อนและ อิมพีแดนซ์ระหว่างสายอากาศจะพิจารณาที่สายอากาศสองตัวขึ้นไป

2.5.8 กำลังงานการแพร่กระจายคลื่นไอโซทรอปิกประสิทธิผล (Effective Isotropic Radiation Power)

กำลังงานการแพร่กระจายคลื่นไอโซทรอปิกประสิทธิผลของสายอากาศหรือ EIRP ของสายอากาศ หมายถึง ค่าพลังงานที่ใช้ในการสร้างความเข้มสนามเท่ากับสายอากาศใช้งานจริงที่จุดเดียวกัน ใช้สมการ (2.15)

$$\text{EIRP} = \frac{P_t G_t}{L_t} \quad (2.15)$$

หรือ

$$\text{EIRP}(\text{dB}) = P_t(\text{dB}) + G_t(\text{dB}) - L_t(\text{dB}) \quad (2.16)$$

เมื่อ G_t คือ ค่าอัตราการขยายของสายอากาศ

P_t คือ กำลังที่ถูส่งทั้งหมดของสายอากาศ

L_t คือ การสูญเสียที่เกิดจากสายส่ง

2.5.9 การโพลาไรซ์ (Polarization)

การโพลาไรซ์ คือ พื้นที่ของการแพร่กระจายของสายอากาศ พิจารณาที่องค์ประกอบของสนามไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วคลื่นระนาบไม่ได้มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าชี้ทิศทางเดียว ในการให้นิยามของโพลาไรซ์ ถือเอาทิศของสนามไฟฟ้า \vec{E} บนระนาบที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่เป็นหลัก ถ้าทิศของปลายของ \vec{E} เป็นเส้นตรงเรียก โพลาไรซ์ของกรณีนี้ว่า โพลาไรซ์เชิงเส้น (Linear polarization) ถ้า

เป็นโพลาไรซ์เชิงเส้นที่ขนานกับพื้นโลก จะเรียกว่า โพลาไรซ์เชิงเส้นแนวนอน (Horizontal polarization) ถ้าตั้งฉากกับพื้นโลกเรียกว่า โพลาไรซ์เชิงเส้นแนวตั้ง (Vertical polarization) นอกจากโพลาไรซ์เชิงเส้นดังที่กล่าวมาแล้วนั้นก็ยังมี โพลาไรซ์แบบวงรี (Elliptical polarization) และโพลาไรซ์แบบวงกลม (Circular polarization) ซึ่งจะมีความแตกต่างกับการโพลาไรซ์เชิงเส้นคือ จะมีทิศทางการหมุนของ \vec{E} อาจจะเป็นแบบหมุนตามเข็มนาฬิกา หรือหมุนทวนเข็มนาฬิกาก็ได้ ในการให้นิยามนี้ให้ถือหลักดังนี้คือ เมื่อกำหนดระนาบ xy คงที่ และพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้า \vec{E} ในทิศทางเดียวกันที่เคลื่อนเดินทาง (เคลื่อนเดินทางในทิศ $+z$) และมีแอมพลิจูดคงที่ ถ้าสนามไฟฟ้า \vec{E} ที่ปรากฏบนระนาบหมุนตามเข็มนาฬิกา (Clockwise) จะเรียกว่า โพลาไรซ์วงกลมหมุนขวา (Right - Hand Circular Polarization : RHCP) และถ้า \vec{E} หมุนทวนเข็มนาฬิกา (Counter - Clockwise) จะเรียกว่า โพลาไรซ์วงกลมหมุนซ้าย (Left - Hand Circular Polarization : LHCP) ในทางกลับกันหากแอมพลิจูดของ \vec{E} ไม่คงที่และยังคงมีการหมุนของ \vec{E} อยู่การโพลาไรซ์ในลักษณะนี้จะเรียกว่า การโพลาไรซ์แบบวงรี แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การโพลาไรซ์ [5]

2.6 วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit)

วงจรเรียงกระแสเป็นวงจรที่มีคุณสมบัติในการแปลงค่ากระแสไฟฟ้า จากไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) หรืออาจเรียกได้ว่าวงจรเรียงกระแส นั้น เป็นวงจรที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปในทิศทางใด ทิศทางหนึ่ง โดยนิยมใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเป็นตัวควบคุมทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า สำหรับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่นิยมใช้ ทั่วไปคือ ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Diode) ซึ่งไดโอดที่นิยมใช้และขายทั่วไปตามท้องตลาด คือไดโอดชนิด ซิลิคอน ซึ่งมีความต่างศักย์ 0.7 V และชนิด เจอร์มันเนียม ซึ่งมีความต่างศักย์ 0.3 V

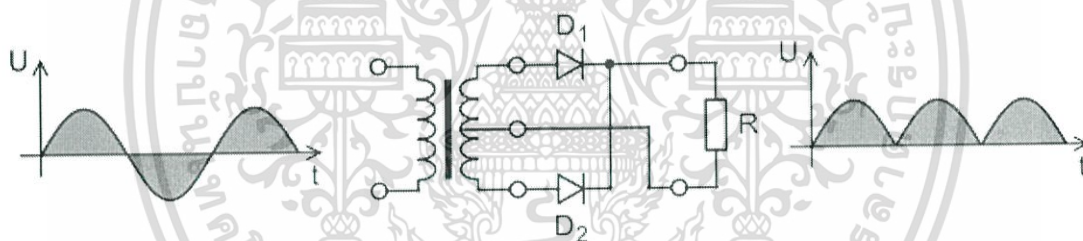
วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น (Half wave rectifier circuit) วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่น (Full wave rectifier circuit) และ วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์ (Bridge rectifier circuit) โดยวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแต่ละชนิดมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.6.1 วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น (Half wave rectifier circuit)

วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นประกอบด้วยไดโอด 1 ตัว โดยวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นบวก และวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นลบดังนี้

2.6.1.1 วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นบวก

วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นบวก สามารถต่อวงจรได้ดังรูปที่ 2.11



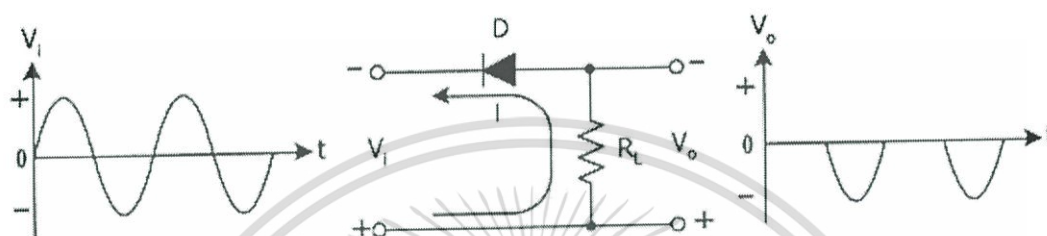
รูปที่ 2.11 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นบวก [6]

จากรูปที่ 2.11 เมื่อมีสัญญาณขาเข้า (Input) ซึ่งเป็นสัญญาณครึ่งคลื่นบวกเข้ามา ไดโอดจะถูกไบอัสตรง (Forward bias) เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร เกิดแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวต้านทาน R ตามลักษณะของสัญญาณขาเข้า หรืออาจกล่าวได้ว่าสัญญาณขาออก (Output) เหมือนกับสัญญาณขาเข้า (Input) นั้นเอง หลังจากนั้น เมื่อมีสัญญาณขาเข้า (Input) ซึ่งเป็นสัญญาณครึ่งคลื่นลบเข้ามา ไดโอดจะถูกไบอัสย้อนกลับ (Reverse bias) ทำให้ไม่เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร ส่งผลให้ไม่เกิดแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวต้านทาน R หรือ R เท่ากับ 0Ω หรืออาจกล่าว

ได้ว่าไม่เกิดสัญญาณขาออก (Output) นั่นเอง จนกระทั่งสัญญาณขาเข้า (Input) ซ้ำเป็นสัญญาณครึ่งบวกวนกลับมาอีกครั้งจึงได้สัญญาณขาออก (Output) เกิดขึ้นอีกครั้ง

2.6.1.2 วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นลบ

วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นลบ สามารถต่อวงจรได้ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นลบ [6]

จากรูปที่ 2.12 เมื่อมีสัญญาณขาเข้า (Input) ซึ่งเป็นสัญญาณครึ่งคลื่นลบเข้ามา ไดโอดจะถูกไบอัสตรง (Forward bias) เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร เกิดแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวต้านทาน R_L ตามลักษณะของสัญญาณขาเข้า หรืออาจกล่าวได้ว่าสัญญาณขาออก (Output) เหมือนกับสัญญาณขาเข้า (Input) นั่นเอง

หลังจากนั้น เมื่อมีสัญญาณขาเข้า (Input) ซึ่งเป็นสัญญาณครึ่งคลื่นบวกเข้ามา ไดโอดจะถูกไบอัสย้อนกลับ (Reverse bias) ทำให้ไม่เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร ส่งผลให้ไม่เกิดแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวต้านทาน R_L หรือ R_L เท่ากับ 0Ω หรืออาจกล่าวได้ว่าไม่เกิดสัญญาณขาออก (Output) นั่นเอง จนกระทั่งสัญญาณขาเข้า (Input) ซึ่งเป็นสัญญาณครึ่งลบวนกลับมาอีกครั้งจึงได้สัญญาณขาออก (Output) เกิดขึ้นอีกครั้ง โดยความต่างศักย์ที่ตกคร่อมไดโอด สามารถคำนวณได้ดังนี้

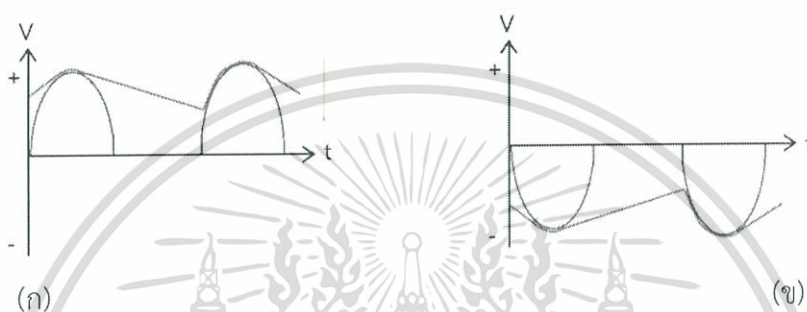
$$V_{dc} = 0.707V_{ac} \quad (2.17)$$

เมื่อ V_{ac} ความต่างศักย์ไฟฟ้าขาเข้า (Input voltage) มีหน่วยเป็น V

V_{dc} ความต่างศักย์ไฟฟ้าขาออก (Output voltage) มีหน่วยเป็น V

2.6.2 วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่น (Full wave rectifier circuit)

เนื่องจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นจะเกิดปัญหาระดับสัญญาณไฟฟ้าขาออก (Output) ไม่เรียบ หรือเกิดรอยหยัก (Ripple) ของสัญญาณไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.13 จึงมีการคิดค้นวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นขึ้น เพื่อลดปัญหาของรอยหยักที่เกิดขึ้นจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น



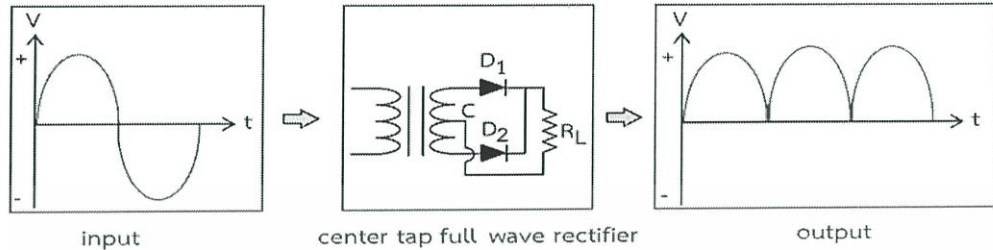
รูปที่ 2.13 รอยหยักของสัญญาณขาออกจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น [7]

- ก. สัญญาณขาออกของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นบวก
- ข. สัญญาณขาออกของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นลบ

จากรูปที่ 2.13 ในการแก้ปัญหารอยหยักของสัญญาณขาออก วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่น จึงได้นำมาใช้ โดยวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นนั้นประกอบด้วยไดโอด 2 ตัว โดยวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่น นั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นบวก และวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นลบ ดังนี้

2.6.2.1 วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นบวก

วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นบวก สามารถต่อวงจรได้ดังรูปที่ 2.14

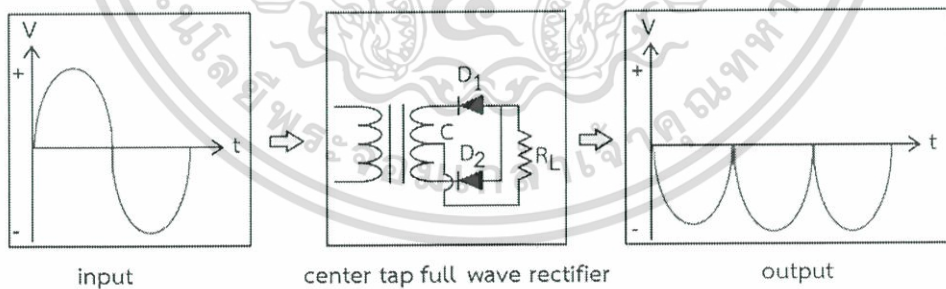


รูปที่ 2.14 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นบวก [7]

จากรูปที่ 2.14 ไม่ว่าสัญญาณขาเข้า (Input) จะอยู่ในซีกบวกหรือซีกลบ ก็จะสามารถผ่าน R_L กระแสไฟฟ้า สามารถไหลเข้ามาครบวงจรบริเวณ Center tap ของหม้อแปลงแบบ Center tap transformer ได้ โดยจะเห็นได้ว่าสัญญาณไฟฟ้าที่ผ่านได้นั้น จะผ่านมาได้เฉพาะสัญญาณซีกบวกเท่านั้น

2.6.2.2 วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นลบ

วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นลบ สามารถต่อวงจรได้ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นลบ [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.15 ไม่ว่าสัญญาณขาเข้า (Input) จะอยู่ในซีกบวกหรือซีกลบ ก็จะสามารถผ่านกระแสไฟฟ้า สามารถไหลเข้ามานครบวงจรบริเวณจุด Center tap ของหม้อแปลงแบบ Center tap transformer ได้ โดยจะเห็นได้ว่าสัญญาณไฟฟ้าที่ผ่านได้นั้น จะผ่านมาได้เฉพาะสัญญาณซีกลบเท่านั้น การคำนวณความต่างศักย์ไฟฟ้า หรือแรงดันไฟฟ้าในวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่น จะเป็น 2 เท่าของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น สามารถทำได้โดยใช้สมการที่ดังนี้

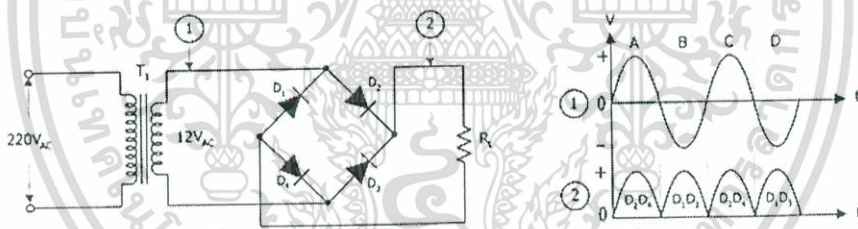
$$V_{dc} = 1.414V_{ac} \tag{2.18}$$

เมื่อ V_{ac} ความต่างศักย์ไฟฟ้าขาเข้า (Input voltage) มีหน่วยเป็น V

V_{dc} ความต่างศักย์ไฟฟ้าขาออก (Output voltage) มีหน่วยเป็น V

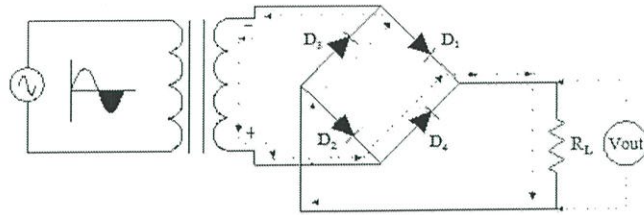
2.6.3 วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์ (Bridge rectifier circuit)

วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์ เป็นวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง โดยใช้ไดโอดทั้งหมด 4 ตัว ต่อเป็นวงจรได้ดังนี้



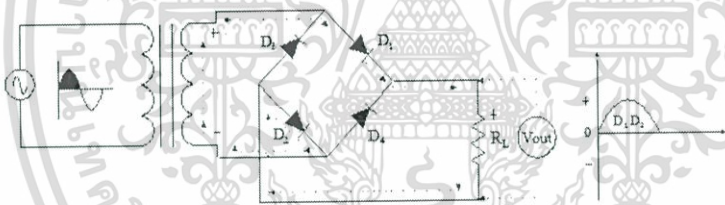
รูปที่ 2.16 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์ [6]

วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์มีลักษณะเหมือนวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น เพราะแรงดันเอาต์พุตที่ได้เป็นแบบเต็มคลื่น ข้อแตกต่างระหว่างการเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ และแบบเต็มคลื่นธรรมดา ต่างกันตรงการต่อวงจรไดโอด แบบเต็มคลื่นจะใช้ไดโอด 2 ตัว แบบบริดจ์จะใช้ไดโอด 4 ตัว และหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ก็แตกต่างกัน แบบเต็มคลื่นธรรมดาใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง (Center Tap : CT) มี 3 ขั้ว แบบบริดจ์ใช้หม้อแปลง 2 ขั้วหรือ 3 ขั้วก็ได้ แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ [7]

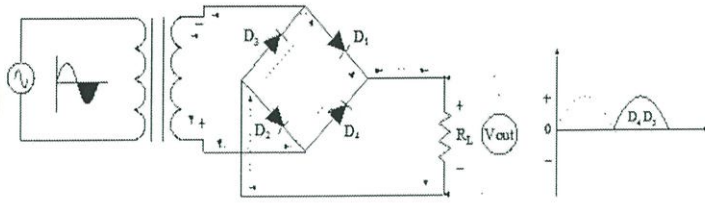
การทำงานของวงจร ไดโอดจะผลัดกันนำกระแสครึ่งละ 2 ตัว โดยเมื่อไซเคิลบวกของแรงดันไฟสลับ (V_{in}) ปรากฏที่ด้านบนของขดทุติยภูมิของหม้อแปลงและด้านล่างจะเป็นลบ จะทำให้ไดโอด D_1 และ D_2 ได้รับไบอัสตรงจะมีกระแสไหลผ่านไดโอด D_1 ผ่านโหลด R_L ผ่านไดโอด D_2 ครบวงจรที่หม้อแปลงด้านล่าง มีแรงดันตกคร่อมโหลด R_L ด้านบนเป็นบวก ด้านล่างเป็นลบ ได้แรงดันไฟช่วงบวกออกทางขาออก



รูปที่ 2.18 ไดโอด D_1 และ D_2 ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด (V_{out}) [7]

ในช่วงเวลาต่อมาไซเคิลลบของแรงดันไฟสลับ (V_{in}) ปรากฏที่ด้านบนของขดทุติยภูมิของหม้อแปลง และด้านล่าง เป็นบวก ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ในช่วงเวลานี้ไดโอด D_1 และ จะได้รับไบอัสกลับแต่ไดโอด D_3 และจะได้รับไบอัสตรง ทำให้มีกระแสไหลผ่านไดโอด D_4 ผ่านโหลด R_L และผ่านไดโอด D_3 ครบวงจรที่หม้อแปลงด้านบน มีแรงดันตกคร่อมโหลด R_L ด้านบนเป็นบวก ด้านล่างเป็นลบ ได้แรงดันไฟช่วงบวกออกทางเอาต์พุตทำให้ได้คลื่นไฟตรงรวมกันเต็มคลื่นดังรูปที่

2.20



รูปที่ 2.19 ไดโอด D_3 และ D_4 ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด (V_{out}) [7]



รูปที่ 2.20 รูปคลื่น V_{out} เปรียบเทียบกับ V_{in} ของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ [7]

2.7 วงจรแบ่งกำลังไฟฟ้า (Power divider)

ตัวแบ่งกำลังงาน คือ เป็นการที่ทำให้สัญญาณที่เข้ามาเพียงสัญญาณเดียวแต่มีสัญญาณออกเป็น 2 สัญญาณหรือมากกว่านั้น ดังรูปที่ 2.21 ในปริญญานิพนธ์นี้จะเลือกใช้ตัวแบ่งกำลังงานแบบ Wilkinson



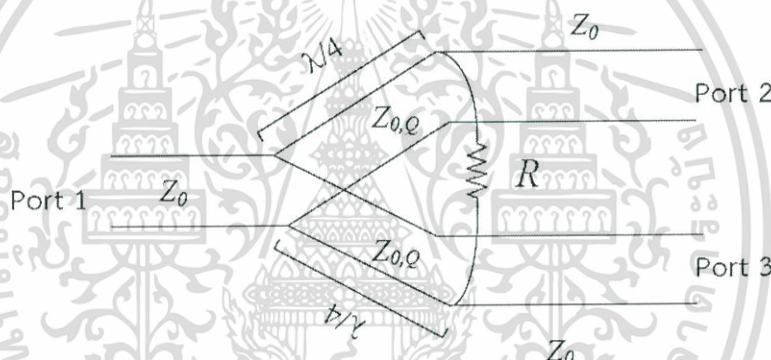
รูปที่ 2.21 ตัวแบ่งกำลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาตัวแบ่งกำลังงานแบบ Wilkinson จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.22 โดยตัวแบ่งกำลังงานรูปแบบนี้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถสร้างขึ้นได้ง่าย และมีคุณสมบัติที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้งานดังนี้

1. สามารถทำให้แมตซ์ได้ทุกพอร์ต
2. มีการแยกออกระหว่างพอร์ตเอาต์พุตขนาดใหญ่
3. มีความเป็นรีซีฟโพรคอล
4. มีการสูญเสียของสัญญาณน้อยเมื่อมีการแมตซ์ที่พอร์ตเอาต์พุต

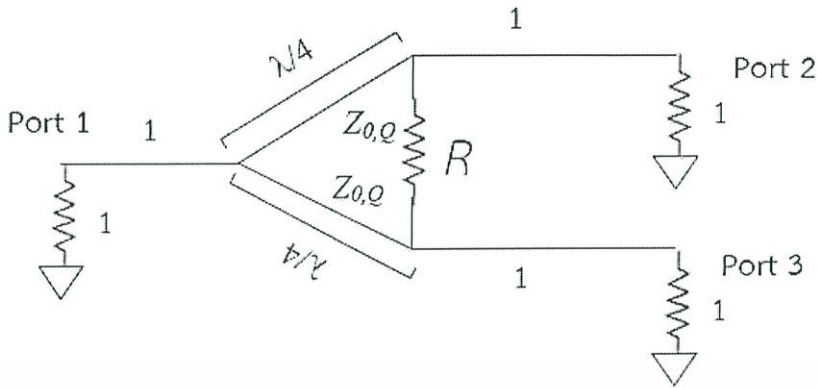
เมื่อวงจรที่ออกแบบมีความสมมาตรที่เหมาะสม จะสามารถคำนวณหาค่า S-parameter ได้ง่ายกว่า โดยเฉพาะถ้าหากต้องการกระตุ้นวงจรที่พิเศษมากใน 2 องค์กรประกอบ (สมมาตร และ ไม่สมมาตร) โดยการเพิ่ม 2 วิธีดังกล่าวเพื่อแก้ปัญหาทั้งหมดของวงจร



รูปที่ 2.22 เทคนิคตัวแบ่งกำลังงาน Wilkinson [5]

สำหรับการสร้างและออกแบบ ตัวแบ่งกำลังงาน Wilkinson จะทำการคำนวณค่า $Z_0 = \sqrt{2}Z_0$ และ $R = 2Z_0$ และการทำให้แมตซ์ ทำได้โดยการนอร์มอลไรซ์ในทุกอิมพีแดนซ์ของ Z_0

เมื่ออิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่งเท่ากับ $2Z_0$ จะสามารถอธิบายโดยการแบ่งกำลังงานที่ถูกทำให้แมตซ์ดังแสดงในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ตัวแบ่งกำลังงาน Wilkinson ที่ถูกทำให้แมตซ์ [5]

จากทฤษฎีข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า เมื่อสร้างตัวแบ่งกำลังงานให้แมตซ์ที่ทุกพอร์ตจะได้ค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 S_{11} &= 0 && (Z_{in} = 1 \text{ ที่พอร์ต 1}) \\
 S_{22} &= S_{33} = 0 && (\text{พอร์ต 2 และพอร์ต 3 แมตซ์}) \\
 S_{12} &= S_{21} = \frac{V_1^e + V_1^o}{V_2^e + V_2^o} = -j/\sqrt{2} \\
 S_{13} &= S_{31} = -j/\sqrt{2} \\
 S_{23} &= S_{32} = 0 \\
 |S_{12}| &= |S_{21}| = |S_{13}| = |S_{31}| = \frac{1}{2} && (\text{หรือเท่ากับ } -3\text{dB})
 \end{aligned}$$

และสำหรับตัวแบ่งกำลังงาน 4 พอร์ต กำลังงานที่เอาต์พุตพอร์ตจะลดลงไปอีกครึ่งหนึ่งหรือเท่ากับ $\frac{1}{4}$ (หรือ -6 dB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการจำลองสายอากาศ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการออกแบบสายอากาศแฉวลำดับสำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สายซึ่งทำงานในย่านความถี่ 2.40 GHz นำมาประยุกต์ใช้ในการรับสัญญาณเทคโนโลยีแบบไร้สายดังทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 และนำมาออกแบบโดยใช้โปรแกรมจำลองเพื่อศึกษาผลกระทบที่ได้คำนวณทางทฤษฎี โดยมุ่งเน้นพิจารณาคุณลักษณะของสายอากาศ ซึ่งประกอบด้วย $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อัตราขยาย และแรงดันที่ได้จากวงจรเรียงกระแส โดยศึกษาถึงผลกระทบต่อสายอากาศที่ได้ทำการออกแบบ แล้วทำการปรับขนาดพารามิเตอร์เพื่อปรับปรุงสมรรถนะของสายอากาศสำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สาย เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทคโนโลยี WLAN ย่านความถี่ 2.40 GHz

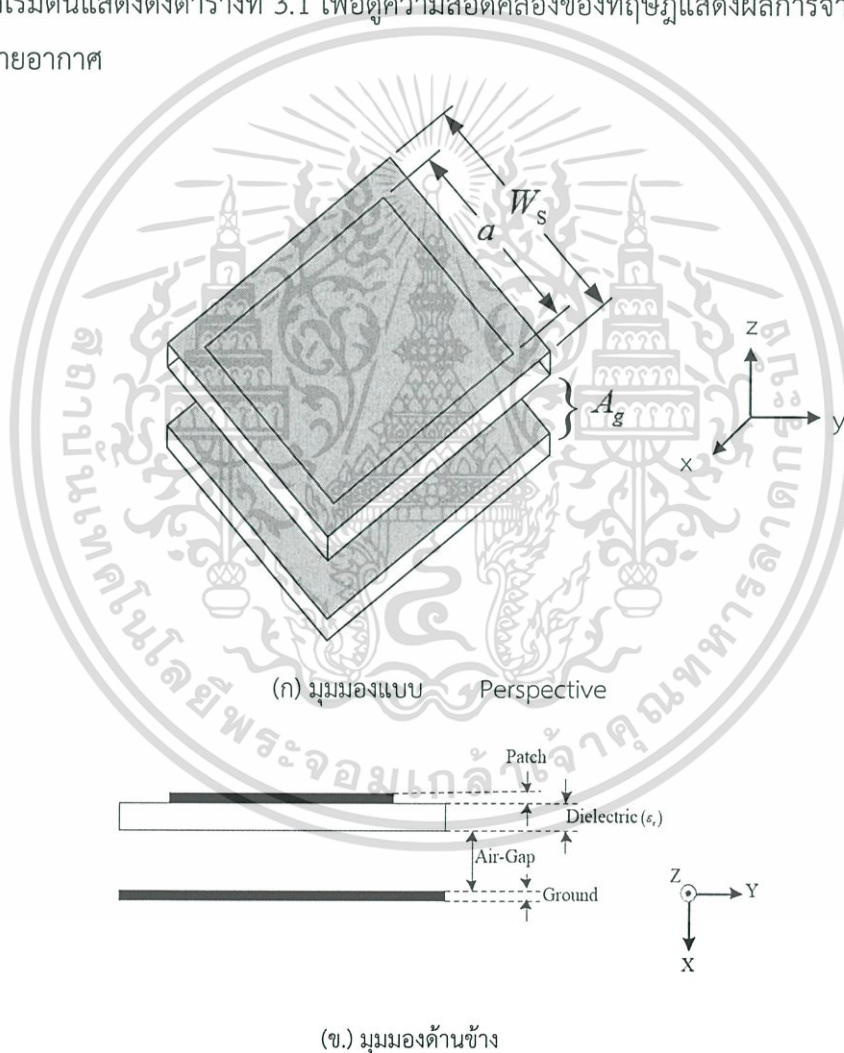
3.1 โครงสร้างและการออกแบบสายอากาศ

ในขั้นตอนของการออกแบบมุ่งเน้นเพื่อให้ได้สายอากาศแฉวลำดับสำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สายในย่านความถี่ 2.40 GHz ซึ่งการออกแบบโครงสร้างสายอากาศในเบื้องต้นโดยใช้ทฤษฎีอ้างอิงของสายอากาศไมโครสตริปสี่เหลี่ยมเป็นเงื่อนไขเริ่มต้น สำหรับใช้ในการคำนวณหาความยาวทั้งหมดของสายอากาศ เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO และทำการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆ ในการออกแบบสายอากาศโดยพิจารณา $|S_{11}|$ น้อยกว่าหรือเท่ากับ -10 dB ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่สำคัญในการออกแบบสายอากาศและเสนอในขั้นส่วนถัดไป

3.2 การศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ของสายอากาศองค์ประกอบเดียวสำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สายในย่านความถี่ 2.40 GHz

ในขั้นตอนการปรับปรุงการออกแบบสายอากาศแฉวลำดับสำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สายในย่านความถี่ 2.40 GHz (2.40 GHz ถึง 2.484 GHz) ซึ่งทำการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปสี่เหลี่ยม โดยใช้วัสดุฐานรองชนิด FR4 ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r) เท่ากับ 4.3 ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปและมีราคาถูก โดยใช้คอนเน็คเตอร์ชนิด SMA เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างสายอากาศและสายนำสัญญาณ อีกทั้งยังใช้เทคนิค ช่องว่างอากาศ (Air-gap) ที่จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของคุณลักษณะอัตราขยาย เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่สายอากาศนั้นไม่มีช่องว่าง

อากาศ โดยแผ่นแรกทำหน้าที่ในการแพร่กระจายคลื่น (Radiated Patch) ที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยม ส่วนอีกแผ่นถูกใช้เพื่อเป็นระนาบกราวด์ (Ground) สำหรับโครงสร้างเริ่มต้นของสายอากาศไมโครสตริปสี่เหลี่ยมมีจุดบ่อนสัญญาณอยู่บริเวณกึ่งกลาง ในการคำนวณหาขนาดทางกายภาพของสายอากาศเริ่มต้นพิจารณาที่ความถี่กลาง(2.45 GHz)และระนาบกราวด์ของสายอากาศไมโครสตริปมีค่าความยาวคลื่น ($\lambda/4 = 3.5$ cm) รวมทั้งใช้เทคนิคของช่องว่างอากาศ (Air-gap) เพื่อปรับปรุงสมรรถนะของสายอากาศให้มีอัตราขยายที่สูงขึ้น ซึ่งโครงสร้างสายอากาศประกอบด้วยแผ่นแพร่กระจายคลื่นช่องว่างอากาศและระนาบกราวด์ แสดงดังรูปที่ 3.1 และพารามิเตอร์ของสายอากาศเริ่มต้นแสดงดังตารางที่ 3.1 เพื่อดูความสอดคล้องของทฤษฎีแสดงผลการจำลองในการออกแบบสายอากาศ



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของสายอากาศเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ของโครงสร้างสายอากาศเริ่มต้น

พารามิเตอร์	คำอธิบาย	ขนาดทางกายภาพ (mm)
W_s	ความกว้างและความยาวของแผ่นวัสดุฐานรอง	66.5
a	ความกว้างและความยาวของแผ่นแพร่กระจายคลื่น	45.5
P	ระยะห่างจากกึ่งกลางสี่เหลี่ยมของจุดป้อนสัญญาณ	20.0
A_g	ระยะห่างของช่องว่างอากาศ	5.0

จากรูปที่ 3.1 แสดงการออกแบบโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปเริ่มต้นซึ่งประกอบไปด้วยแผ่นแพร่กระจายคลื่น ช่องว่างอากาศและระนาบกราวด์ โดยใช้วัสดุฐานรองชนิด FR4 ซึ่งมีค่าไดอิเล็กตริก (ϵ_r) เท่ากับ 4.30

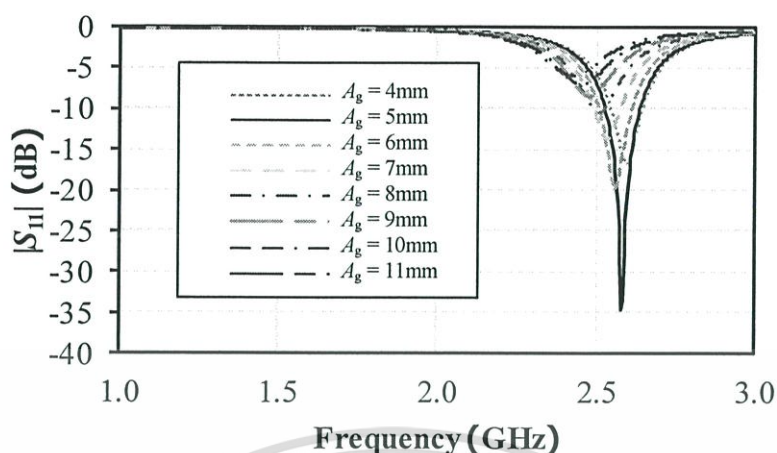
ในขั้นต้นของการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยม ได้ออกแบบโดยใช้โปรแกรมจำลอง โดยทำการออกแบบและวิเคราะห์พารามิเตอร์ของสายอากาศเพื่อให้มีคุณลักษณะตามที่ต้องการและเหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีแบบไร้สายในย่านความถี่ 2.40 GHz (2.40 GHz ถึง 2.484 GHz) ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g

3.2.1 การปรับพารามิเตอร์ของสายอากาศองค์ประกอบเดียว

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการปรับพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ ที่มีผลกระทบต่อคุณลักษณะของสายอากาศจะกล่าวดังหัวข้อต่อไปนี้

3.2.1.1 สายอากาศเมื่อปรับพารามิเตอร์ A_g

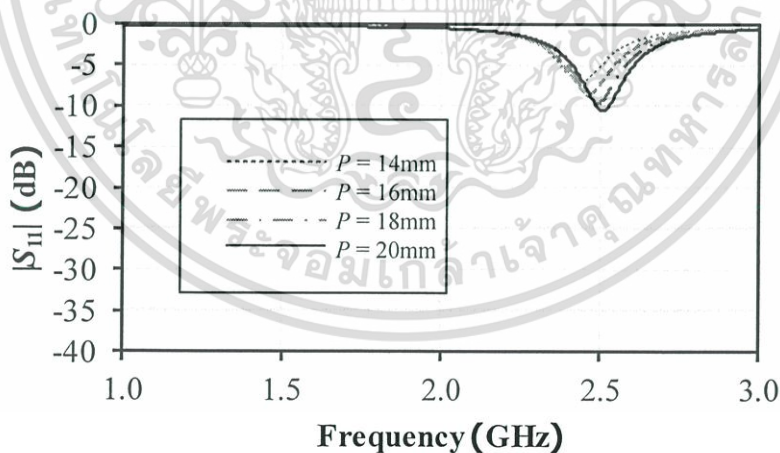
จากผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศเริ่มต้นพบว่ายังไม่ได้ความถี่เรโซแนนซ์ในย่านความถี่ที่ต้องการและไม่มีความเหมาะสมกับระบบที่ต้องการนำไปใช้งาน จึงเริ่มทำการปรับพารามิเตอร์ของสายอากาศ ซึ่งพารามิเตอร์แรกที่จะทำการปรับคือพารามิเตอร์ A_g คือระยะห่างของช่องว่างอากาศ ซึ่งผลการจำลอง $|S_{11}|$ แสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศเมื่อปรับพารามิเตอร์ A_g

จากรูปที่ 3.2 สังเกตได้ว่าเมื่อทำการปรับพารามิเตอร์ หรือระยะห่างของช่องว่างอากาศเพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะและหาค่าที่เหมาะสม โดยพิจารณาการเพิ่มระยะห่างของช่องว่างอากาศตั้งแต่ 4 mm ถึง 11 mm พบว่าที่ระยะห่างช่องว่างอากาศเท่ากับ 5 mm ให้ค่าที่เหมาะสมมากที่สุด ซึ่งมีแนวโน้ม $|S_{11}|$ ครอบคลุมในย่านความถี่ตั้งแต่ 2.40 GHz ถึง 2.484 GHz

3.2.1.2 สายอากาศเมื่อปรับพารามิเตอร์ P

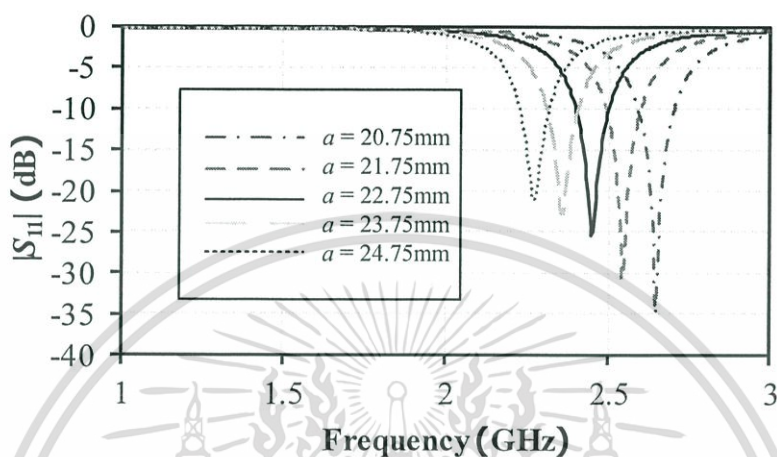


รูปที่ 3.3 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศเมื่อปรับพารามิเตอร์ P

จากรูปที่ 3.3 สังเกตได้ว่าเมื่อป้อนจุดสัญญาณเปลี่ยนตำแหน่งไปไม่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะ $|S_{11}|$ จึงได้เปลี่ยนพารามิเตอร์ในการศึกษาคุณลักษณะสายอากาศใหม่ เป็นการเปลี่ยนแปลงความกว้างและความยาวของแผ่นแพร่กระจายคลื่นที่เป็นส่วนในการแพร่กระจาย

คลื่น (a) โดยมีการเปลี่ยนแปลง ในช่วง 20.75 mm ถึง 24.75 mm ซึ่งผลการจำลองพารามิเตอร์ดังกล่าวสามารถแสดงได้ในรูปที่ 3.4

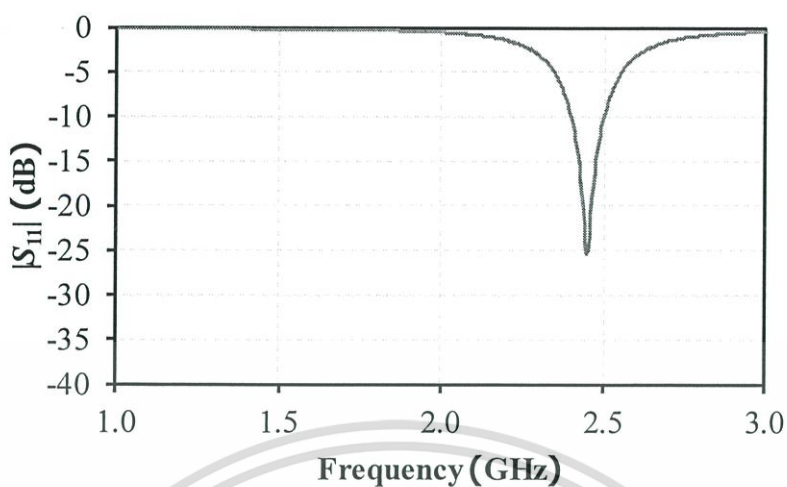
3.2.1.3 สายอากาศเมื่อปรับพารามิเตอร์ a



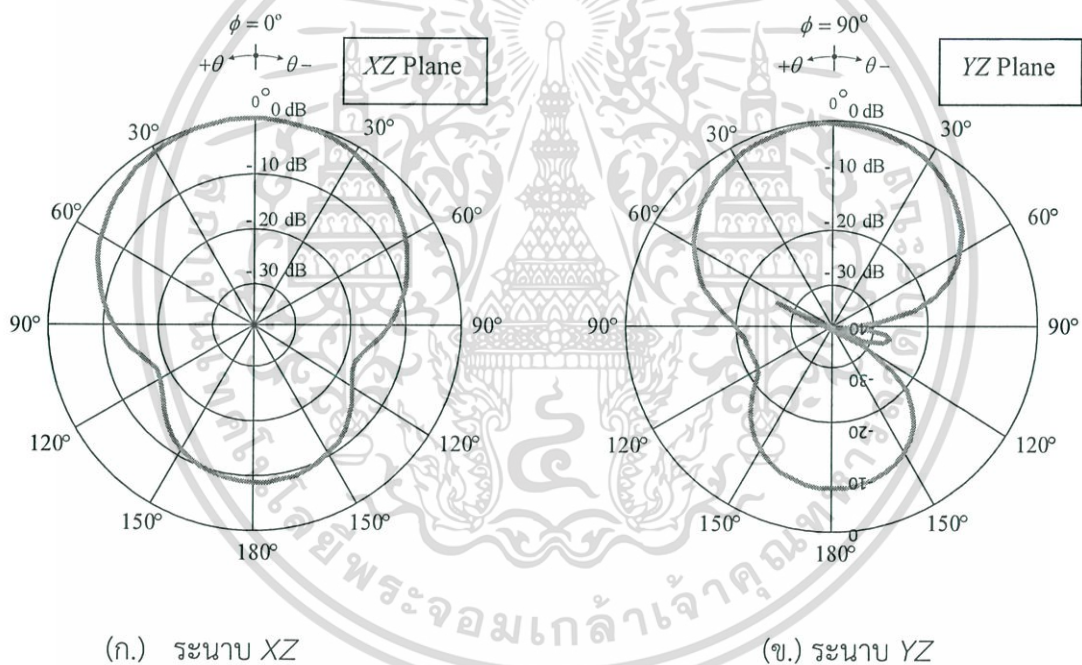
รูปที่ 3.4 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อปรับพารามิเตอร์ a

ผลจากการเปลี่ยนแปลงความกว้างและความยาวของแผ่นแพรกระจายคลื่นนั้นทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะ $|S_{11}|$ อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งขนาดทางกายภาพที่จะทำให้สายอากาศทำงานช่วงความถี่ 2.45 GHz ได้ดีคือ 22.75 mm

ผลจากการออกแบบและปรับปรุงสายอากาศแถวลำดับไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมเริ่มต้นได้มีการอ้างอิงขนาดทางกายภาพ โดยอ้างอิง ณ ความถี่กลางที่สนใจ จากนั้นได้ทำการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงคุณลักษณะของสายอากาศให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งขนาดทางกายภาพของสายอากาศแถวลำดับไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมที่นำเสนอได้นั้นได้นำเสนอไว้ในตารางที่ 3.1 โดยสายอากาศสามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ 2.38 GHz ถึง 2.5 GHz (เมื่อพิจารณา $|S_{11}|$ ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ -10 dB) มีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นทิศทางเดียว ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.5 และ รูปที่ 3.6 มีช่วงกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบ XZ และ ระนาบ YZ เป็น 70 องศา และ 60 องศา ตามลำดับ



รูปที่ 3.5 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อปรับพารามิเตอร์ที่เหมาะสม



(ก.) ระนาบ XZ

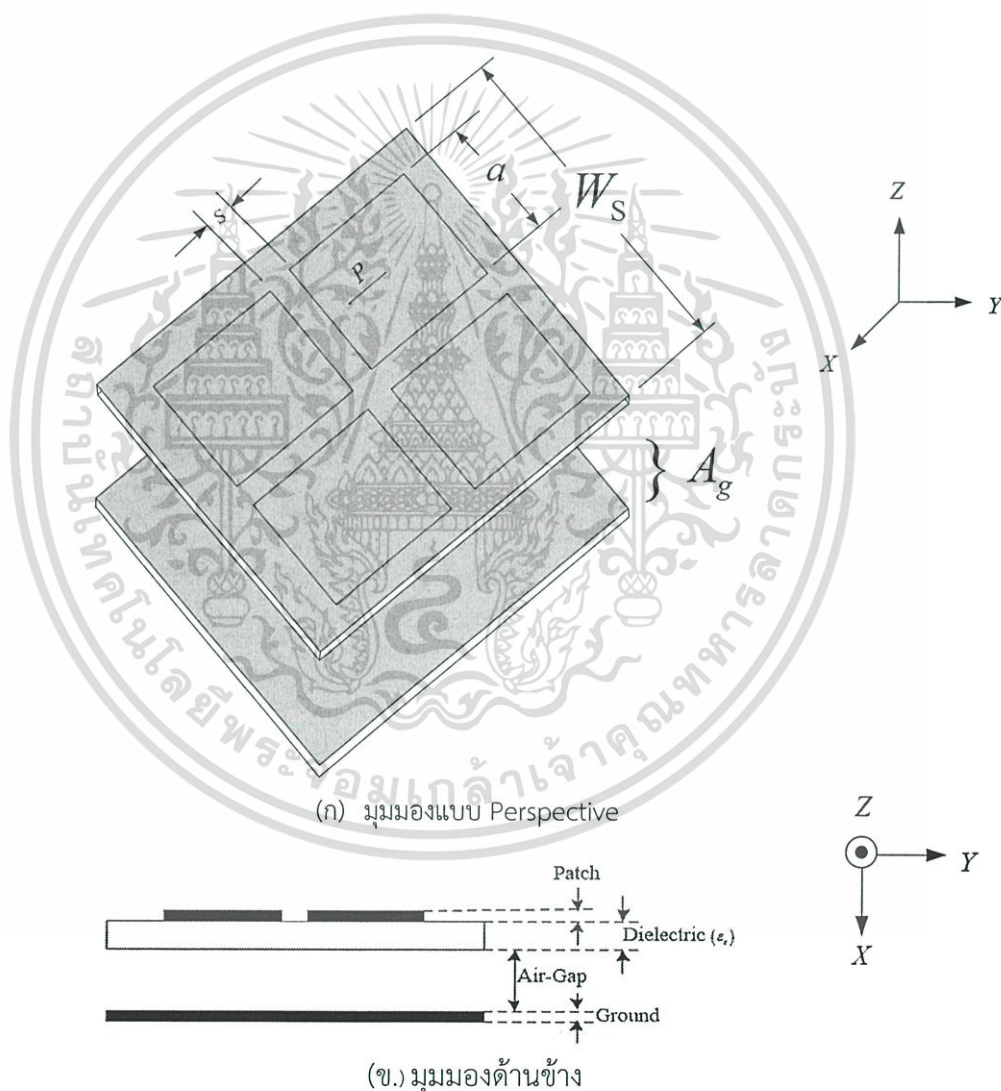
(ข.) ระนาบ YZ

รูปที่ 3.6 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศเริ่มต้นเมื่อปรับพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ของสายอากาศแฉวลำดับสำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สายในย่านความถี่ 2.40 GHz

หลังจากได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับออกแบบสายอากาศต้นแบบแล้วจึงได้นำเอาสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมมาวางร่วมกัน โดยให้สายอากาศแต่ละแฉวลำดับทำมุมเท่าๆกัน และทำการศึกษาผลกระทบของ $|S_{11}|$ แบบรูปผลการแพร่กระจายคลื่น และอัตราการขยาย โดยมีระยะห่างช่องว่างอากาศกับระยะนาบกราวด์เท่ากับ 5 mm แสดงดังรูป 3.7 และมีพารามิเตอร์แสดงดังตารางที่ 3.2



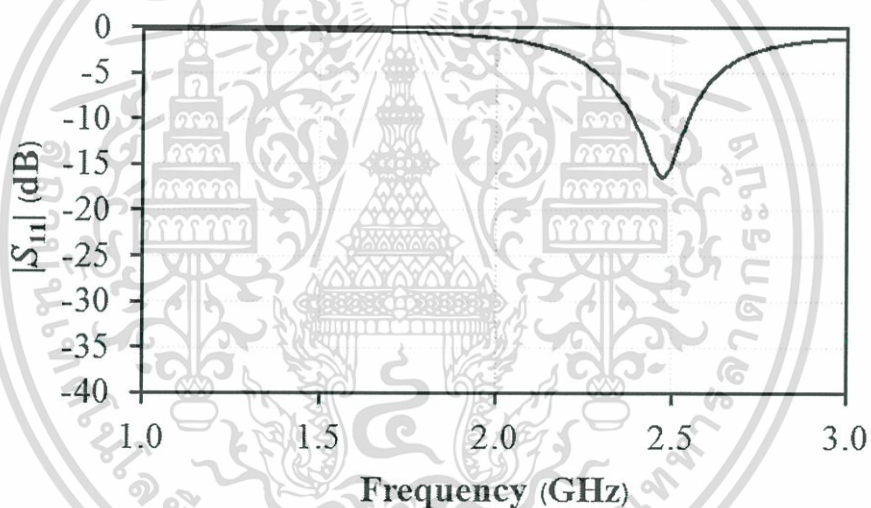
รูปที่ 3.7 สายอากาศแฉวลำดับแบบไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

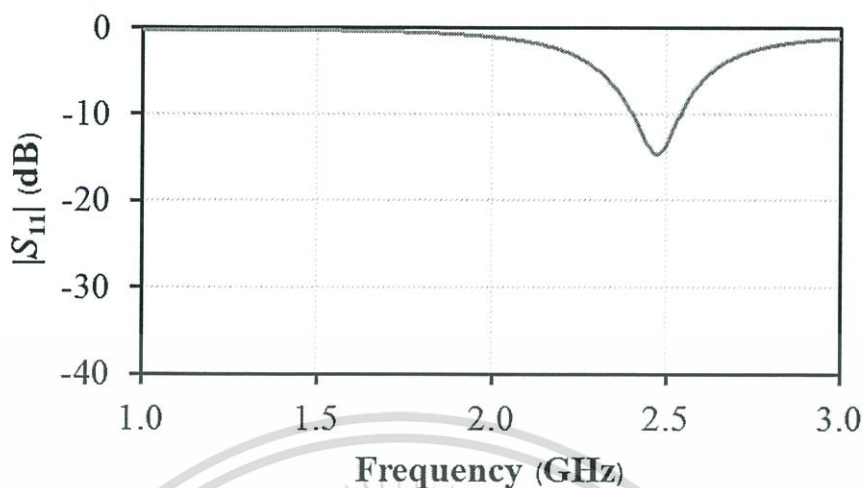
ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ของโครงสร้างสายอากาศแถวลำดับแบบ Suspended รูปสี่เหลี่ยม

พารามิเตอร์	คำอธิบาย	ขนาดทางกายภาพ (mm)
W_s	ความกว้างและความยาวของแผ่นวัสดุฐานรอง	131.0
a	ความกว้างและความยาวของแผ่นแพร่กระจายคลื่น	45.5
P	ระยะห่างจากกึ่งกลางสี่เหลี่ยมของจุดป้อนสัญญาณ	20.0
A_g	ระยะห่างของช่องว่างอากาศ	5.0
S	ระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัว	8.0

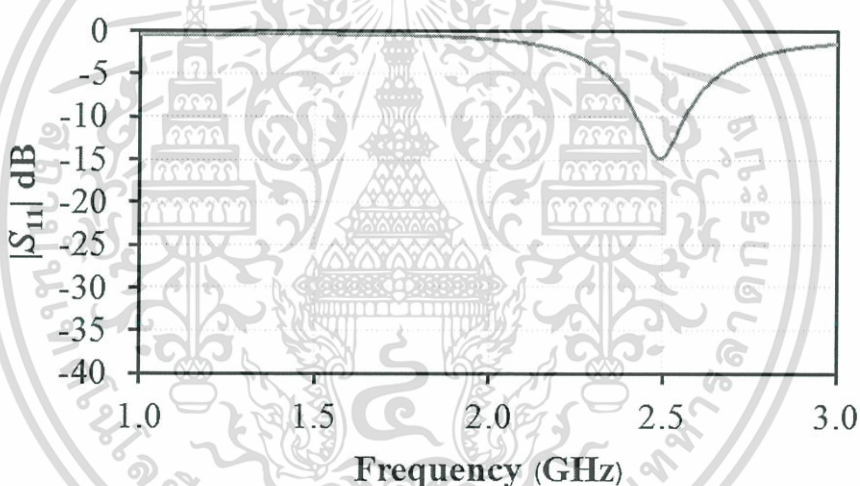
3.3.1 การจำลองหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมของสายอากาศ



(ก) ผลการจำลอง $|S_{11}|$ เมื่อระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัวเท่ากับ 8 mm



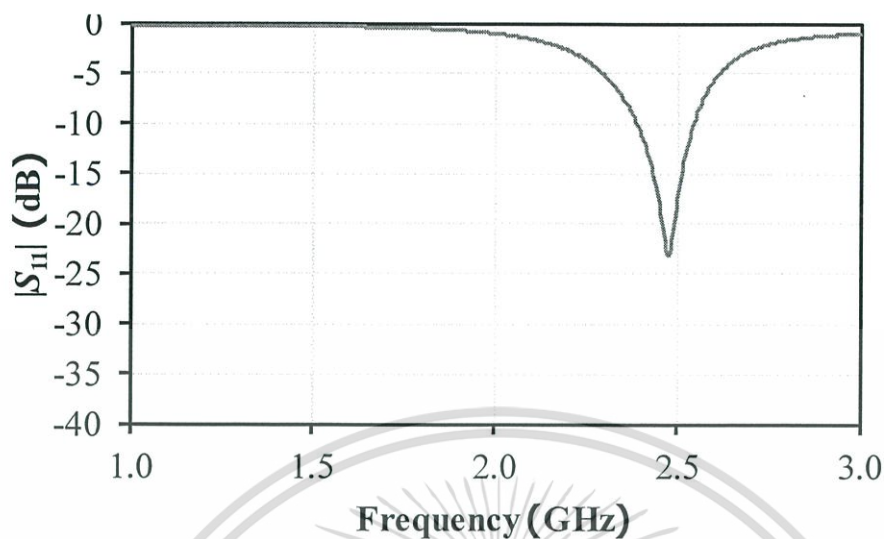
(ข) ผลการจำลอง $|S_{11}|$ เมื่อระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัวเท่ากับ 10 mm



(ค) ผลการจำลอง $|S_{11}|$ เมื่อระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัวเท่ากับ 14 mm

รูปที่ 3.8 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัว

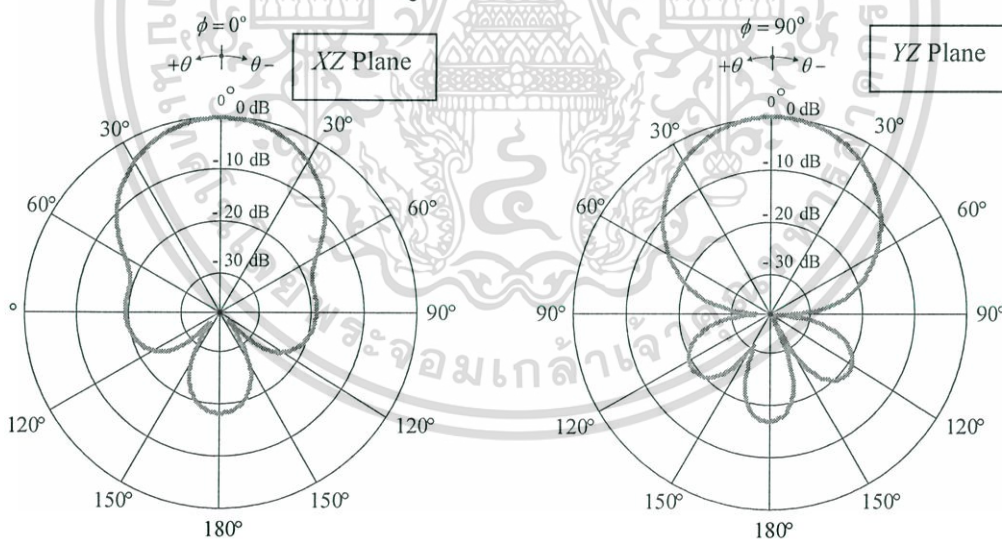
จากรูปที่ 3.8 แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ เพื่อหาดำแหน่งระยะห่างที่เหมาะสมของสายอากาศแต่ละองค์ประกอบ จากคุณลักษณะ $|S_{11}|$ พบว่าที่ระยะห่างสายอากาศแต่ละองค์ประกอบมีระยะห่าง เท่ากับ 8 mm ให้ตำแหน่งที่เหมาะสม ซึ่งมีช่วงกว้างความถี่ทำงานครอบคลุมตั้งแต่ 2.4 GHz ถึง 2.485 GHz



รูปที่ 3.9 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เมื่อปรับพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

รูปที่ 3.9 แสดงผลการจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศทั้งสี่องค์ประกอบเมื่อปรับพารามิเตอร์ที่เหมาะสม พบว่าสายอากาศมี $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB ตั้งแต่ความถี่ 2.40 GHz ถึง 2.53 GHz ครอบคลุมย่านความถี่

3.3.2 ผลการจำลองแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ



รูปที่ 3.10 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแถวลำดับปรับพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

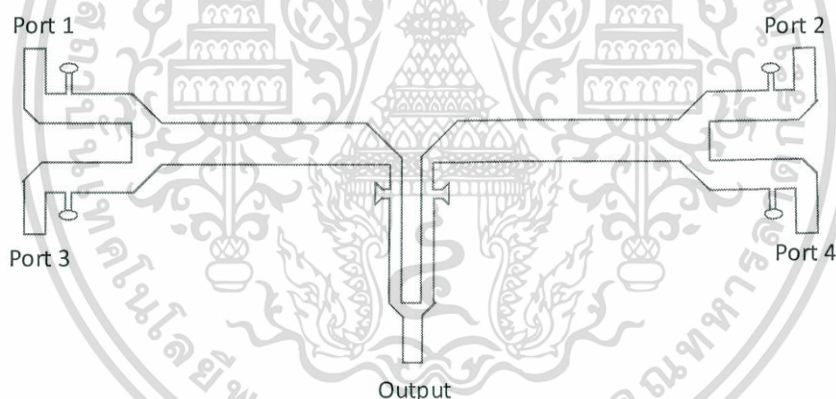
จากรูปที่ 3.10 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับเมื่อทำการปรับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมพบว่าสายอากาศมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว

มีแบนด์วิดท์ในระนาบ XZ และ YZ ที่ความถี่ 2.40 GHz มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง 48 องศา และ 48 องศา ตามลำดับ

3.4 โครงสร้างและการออกแบบวงจรรวมกำลังงาน

วงจรรวมกำลังงานหรือวงจรคอมไบน์เนอร์เป็นวงจรสำคัญในระบบสื่อสารครอบคลุม ตั้งแต่ความถี่ย่านไมโครเวฟจนถึงย่านความถี่เทอราเฮิรตซ์ วงจรทำหน้าที่รวมกำลังงานโดยมีเงื่อนไข เฟสของสัญญาณเฉพาะ สำหรับระบบสื่อสารไร้สายที่สามารถรองรับการสื่อสารในอนาคตได้จะต้อง รองรับความต้องการในการสื่อสารมากกว่าหนึ่งช่องทาง ดังนั้นในหนึ่งเครื่องมือสื่อสารจึงต้องรองรับ ระบบสื่อสารหลายช่องทาง หากสามารถออกแบบวงจรรวมกำลังงานหรือวงจรคอมไบน์เนอร์ ให้ทำงานได้หลายความถี่และมีฟังก์ชันที่สามารถเลือกความถี่การทำงานได้โดยนำวงจรนี้ไปประยุกต์ ออกแบบใช้งานในเครื่องมือสื่อสาร จะสามารถรองรับการสื่อสารไร้สายในอนาคตได้

3.4.1 โครงสร้างวงจรรวมกำลังงานเริ่มต้น



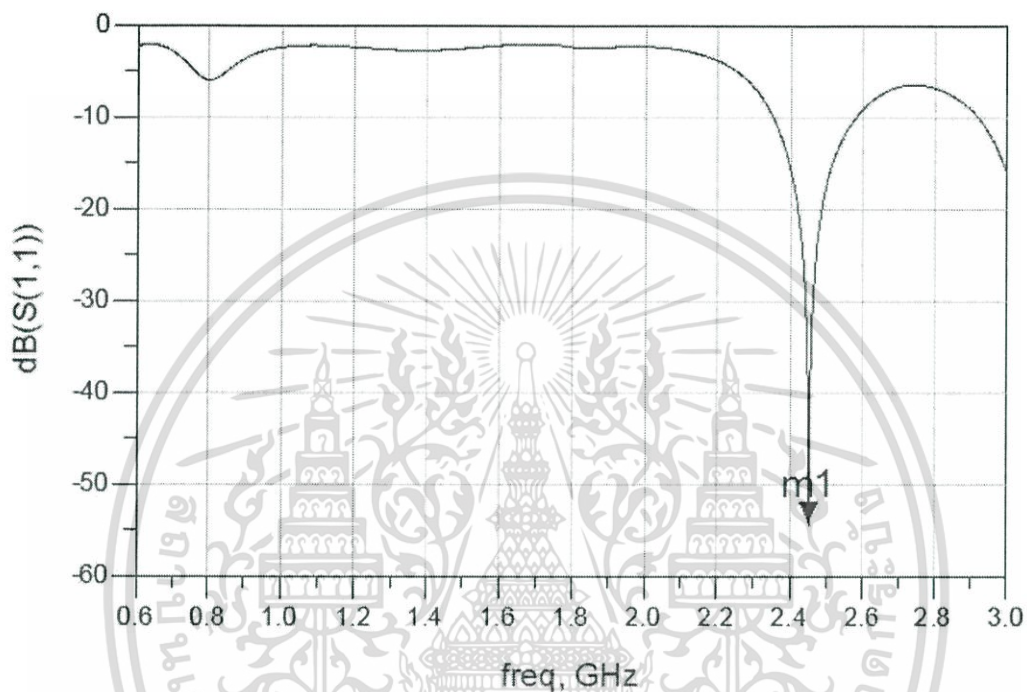
รูปที่ 3.11 วงจรที่ใช้ออกแบบวงจรรวมกำลังงานเริ่มต้น

จากวงจรเริ่มต้นนี้ทำการจำลองโดยใช้โปรแกรม Advance Design System (ADS) ในการจำลองผล โดยให้ค่าสัญญาณขาเข้าผ่านอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรคือตัวต้านทาน 100 3 ตัว ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ของวงจรรวมกำลังงานที่ให้มีค่าแมตซ์ซึ่งที่เหมาะสม

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์
R	100 Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.12 วงจรเรียงกระแสมีย่านความถี่ $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB ตั้งแต่ 2.3 GHz ถึง 2.6 GHz โดย $|S_{11}|$ ต่ำสุดเท่ากับ -54.45 dB อยู่ที่ความถี่ 2.45 GHz ซึ่งครอบคลุมความถี่ใช้งานคือ ตั้งแต่ 2.4 GHz ถึง 2.485 GHz



รูปที่ 3.12 ผลจำลอง $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของวงจรรวมกำลังงานเริ่มต้นหลังการปรับค่าที่เหมาะสม

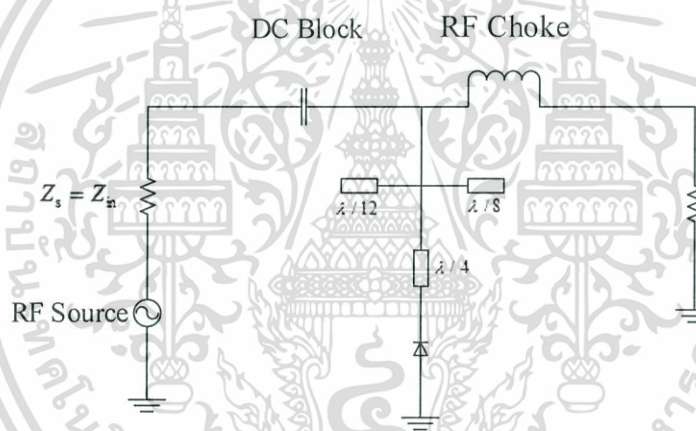
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 โครงสร้างและการออกแบบวงจรเรียงกระแส

สำหรับการออกแบบวงจรเรียงกระแสที่ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานกับสายอากาศสำหรับส่งพลังงาน (Wireless power transfers) ที่ทำงานในย่านความถี่ 2.45 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่เราสนใจ

วงจรเรียงกระแสเป็นวงจรที่มีคุณสมบัติในการแปลงค่ากระแสไฟฟ้า จากไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้า กระแสตรง หรือวงจรเรียงกระแส เป็นวงจรที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปทิศทางใด ทิศทางหนึ่ง โดยนิยมใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเป็นตัวควบคุมทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า สำหรับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่นิยมใช้ทั่วไปคือ ไดโอด (diode) ซึ่งไดโอดที่นิยมใช้และขายทั่วไปตามท้องตลาด

3.5.1 โครงสร้างวงจรเรียงกระแสเริ่มต้น



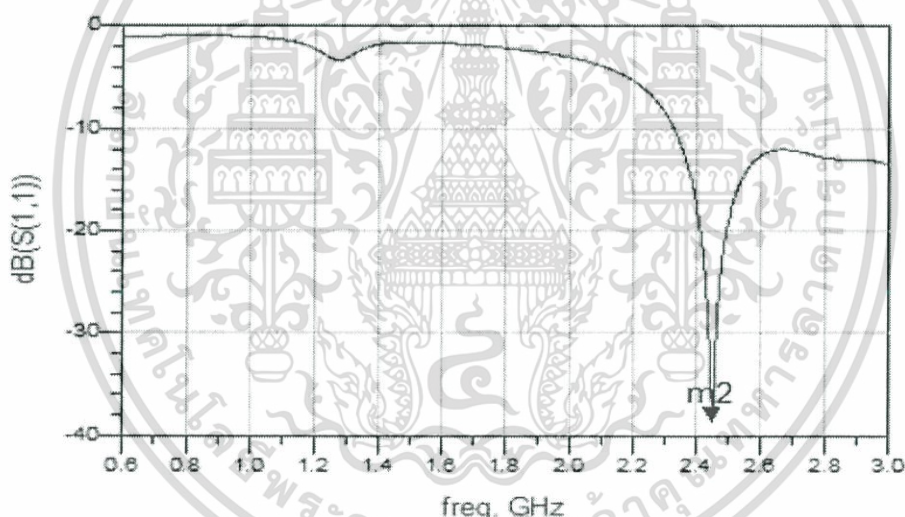
รูปที่ 3.13 วงจรเรียงกระแสเริ่มต้น

จากวงจรเรียงกระแสเริ่มต้นนี้จำลองโดยใช้โปรแกรม Advance Design System (ADS) ในการจำลองผล โดยให้ค่าสัญญาณขาเข้าผ่านอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรเช่น ไดโอด ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ และตัวต้านทาน แสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ของวงจรเรียงกระแสที่ให้ค่าแมตซ์ซิ่งที่เหมาะสม

สัญลักษณ์	พารามิเตอร์
C	120 pF
L	10 nH
R	10 k Ω
Diode	SMS7630-006

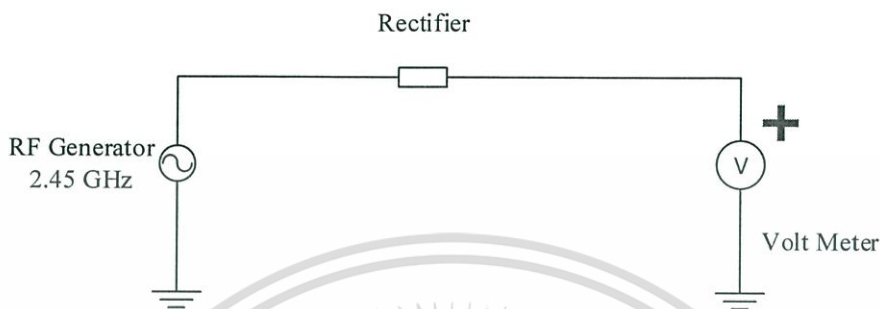
จากรูปที่ 3.15 วงจรเรียงกระแสมีย่านความถี่ $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB ตั้งแต่ 2.3 GHz ถึง 2.6 GHz โดย $|S_{11}|$ ต่ำสุดเท่ากับ -38.63 dB อยู่ที่ความถี่ 2.45 GHz ซึ่งครอบคลุมความถี่ที่ต้องการ คือ ตั้งแต่ 2.4 GHz ถึง 2.485 GHz



รูปที่ 3.14 ผลจำลอง $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของวงจรเรียงกระแสเริ่มต้นหลังการปรับค่าที่เหมาะสม

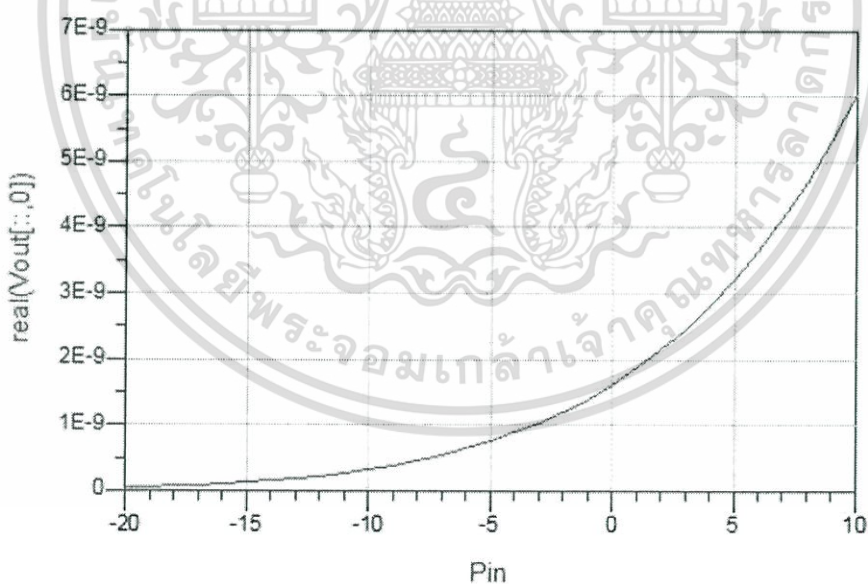
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14 เป็นผังการจำลองเพื่อทดสอบแรงดันทางด้านขาออกของวงจรเรียงกระแสโดยใช้โปรแกรม Advanced Design System (ADS) เพื่อเปรียบเทียบความถี่ที่ป้อนทางด้านขาเข้า



รูปที่ 3.15 การต่อการจำลองเพื่อทดสอบวงจรเรียงกระแส

ผลการจำลองค่าแรงดันที่ขาออกของวงจรเรียงกระแสพบว่าเมื่อปรับกำลังขาเข้าตั้งแต่ -20 dBm ถึง 20 dBm พบว่าเมื่อปรับค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ แรงดันที่เอาต์พุตมีค่ามากขึ้น



รูปที่ 3.16 ผลการจำลองค่าแรงดันที่ขาออกของวงจรเรียงกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะนำเสนอผลการทดสอบคุณลักษณะของสายสำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สาย วงจรรวมกระแสและวงจรเรียงกระแสในย่านความถี่ 2.40 GHz ซึ่งพิจารณาจากคุณลักษณะของ $|S_{11}|$ และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อัตราขยายของสายอากาศ และแรงดันทางด้านขาออกของวงจรเรียงกระแส ซึ่งได้จากบทที่ 3 เพื่อยืนยันความถูกต้องและแม่นยำระหว่างผลที่ได้จากการจำลองและการทดสอบ

4.2 ขั้นตอนและผลการทดสอบสายอากาศ

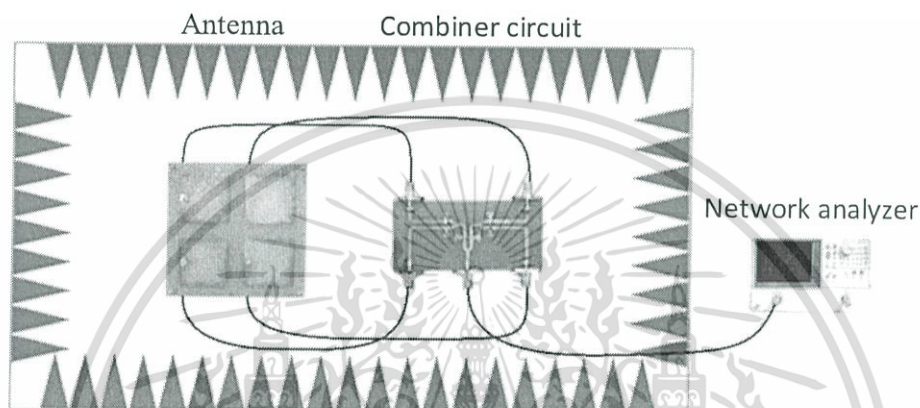
จากบทที่ 3 ที่ได้ทำการวิเคราะห์สายอากาศรวมทั้งหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศด้วยโปรแกรมจำลองจากนั้นนำพารามิเตอร์มาทำการสร้างสายอากาศต้นแบบเพื่อนำมาทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศซึ่งประกอบไปด้วย $|S_{11}|$ อัตราขยายและแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศส่งผ่านกำลังงานไร้สายมีอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

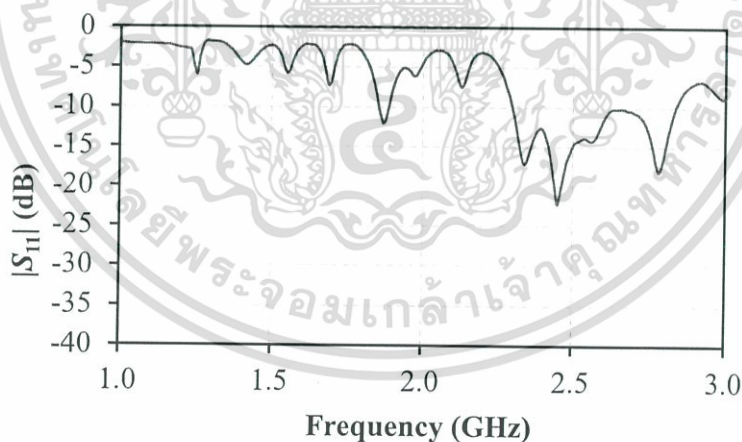
1. ห้องไร้การสะท้อนของคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Anechoic Chamber)
2. เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer HP 8720c)
3. สายนำสัญญาณ 50 Ω
4. สายอากาศต้นแบบ

4.2.1 การทดสอบคุณลักษณะของ $|S_{11}|$

การทดสอบคุณลักษณะของ $|S_{11}|$ ทำโดยนำสายอากาศสำหรับส่งผ่านกำลังงานไร้สาย เชื่อมต่อกับวงจรรวมกระแสด้วยสายนำสัญญาณที่พอร์ตที่ 2 3 4 และ 5 นำพอร์ตที่ 1 ของวงจรรวมกระแสต่อกับพอร์ตที่ 1 ของเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายตามลำดับ โดยการทดสอบ $|S_{11}|$ จะทำการติดตั้งสายส่งเชื่อมต่อกับสายอากาศจะแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 และผลของคุณลักษณะดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 การติดตั้งการทดสอบของสายอากาศ



รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศแบบแถว ลำดับต่อกับวงจรรวมกระแสที่ได้จากการทดลอง

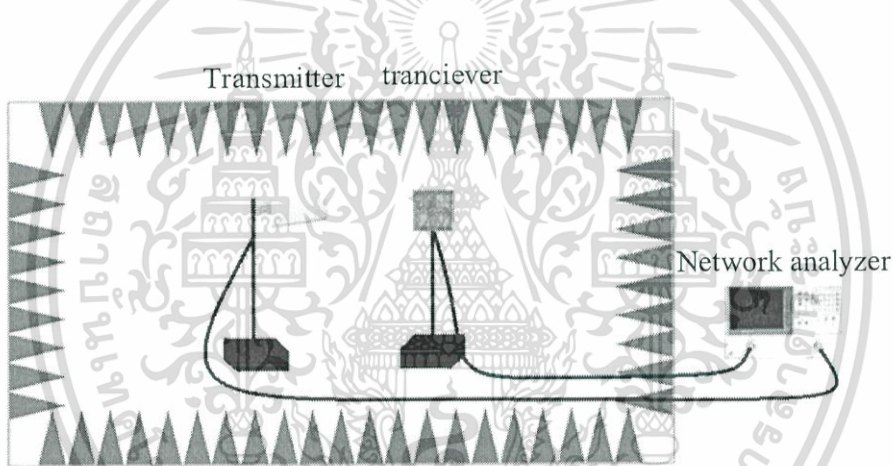
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าสายอากาศทำงานได้ดีที่ 2.40 GHz แต่ว่าค่าคุณลักษณะของ $|S_{11}|$ มีความสอดคล้องกันกับผลการจำลอง ที่ย่านความถี่ 2.40 GHz มีค่า $|S_{11}|$ มากกว่า -10 dB

4.2.2 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern)

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ซึ่งจะเป็นการทดสอบในส่วนของภาครับจะใช้สายอากาศมาตรฐานเป็นสายอากาศภาคส่งสำหรับการทดสอบ

โดยในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ สำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สายจะทดสอบในห้องไร้การสะท้อนคลื่น ซึ่งเป็นห้องที่มีสภาวะแวดล้อมใกล้เคียงช่องว่างอิสระ (Free space) มากที่สุด โดยการติดตั้งเพื่อทำการทดสอบการแพร่กระจายคลื่น โดยทำการเชื่อมต่อสายอากาศภาคส่งเข้ากับพอร์ตที่ 1 และเชื่อมต่อสายอากาศภาครับเข้ากับพอร์ตที่ 2 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การติดตั้งสายอากาศสำหรับทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การทดสอบอัตรายายของสายอากาศ (Gain)

ในการทดสอบอัตรายายของสายอากาศสามารถใช้วิธีการติดตั้งดังรูปที่ 4.6 โดยใช้สายอากาศไดโพลในการส่ง ที่มีอัตรายายอยู่ที่ 2 dBi และใช้สายอากาศในส่วนของภาครับ เพื่อทดสอบหาอัตรายายซึ่งอัตรายายสามารถหาได้จากสมการที่ 4.1 โดยการติดตั้งสายอากาศดังรูปที่ 4.3

$$(G_{0t})_{dB} + (G_{0r})_{dB} = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) + 10\log_{10}\left(\frac{P_r}{P_t}\right) \quad (4.1)$$

เมื่อ G_{0t} คือ อัตรายายของสายอากาศภาคส่ง (dBi)
 G_{0r} คือ อัตรายายของสายอากาศภาครับ (dBi)
 R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับ
 P_r คือ กำลังของทางด้านภาครับ
 P_t คือ กำลังของทางด้านภาคส่ง

4.3 สายอากาศองค์ประกอบเดียว

ในหัวข้อนี้นำเสนอสายอากาศสำหรับการส่งผ่านกำลังงานในย่านความถี่ 2.4 GHz เพื่อยืนยันความถูกต้องและความแม่นยำจากผลการจำลอง โดยโครงสร้างของสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมแสดงดังรูปที่ 4.4 และวัดค่าคุณลักษณะ $|S_{11}|$ ได้ดังรูปที่ 4.5 โดยมีค่าพารามิเตอร์ที่ออกแบบมาจากโปรแกรมจำลองแสดงในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.4 รูปถ่ายสายอากาศต้นแบบ

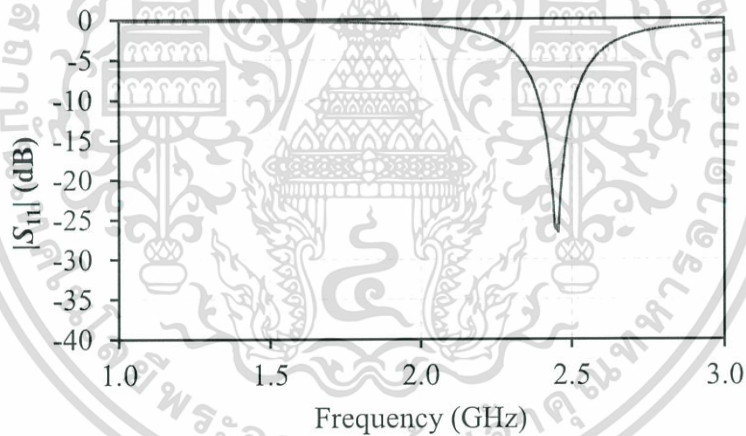
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศองค์ประกอบเดียว

พารามิเตอร์ของสายอากาศ	คำอธิบาย	ขนาดทางกายภาพ (mm)
a	ความกว้างของแผ่นแพร่กระจายคลื่น	21.4
A_g	ขนาดของช่องว่างอากาศ	5
H_c	ความหนาของทองแดง	0.05
H_s	ความหนาของแผ่นวัสดุ	1.5
P	ระยะจุดไฟดจากศูนย์กลาง	15
W_s	ความกว้างของแผ่นวัสดุ	62.8

4.3.1 ผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศองค์ประกอบเดียว

สำหรับการพิจารณา $|S_{11}|$ ของสายอากาศพิจารณาที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ -10 dB ตลอดช่วงความถี่ที่ใช้งาน ซึ่งผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศองค์ประกอบเดียวแสดงดังรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศแบบมีช่องว่าง

จากรูปที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ซึ่งจากผลการทดสอบ พบว่า $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุมในย่านความถี่ 2.40 GHz ตั้งแต่ 2.41 GHz ถึง 2.50 GHz ซึ่งมีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 0.09 GHz

เนื่องด้วยการออกแบบสายอากาศส่งผ่านกำลังงานไร้สายจำเป็นต้องมีอัตราขยายที่สูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งผ่านกำลังงานไร้สาย จึงได้ทำการปรับปรุงสายอากาศโดยเพิ่มองค์ประกอบเป็น สายอากาศแถวลำดับสี่องค์ประกอบ ซึ่งจะนำเสนอในหัวข้อถัดไป

4.3.2 ผลการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศองค์ประกอบเดียว

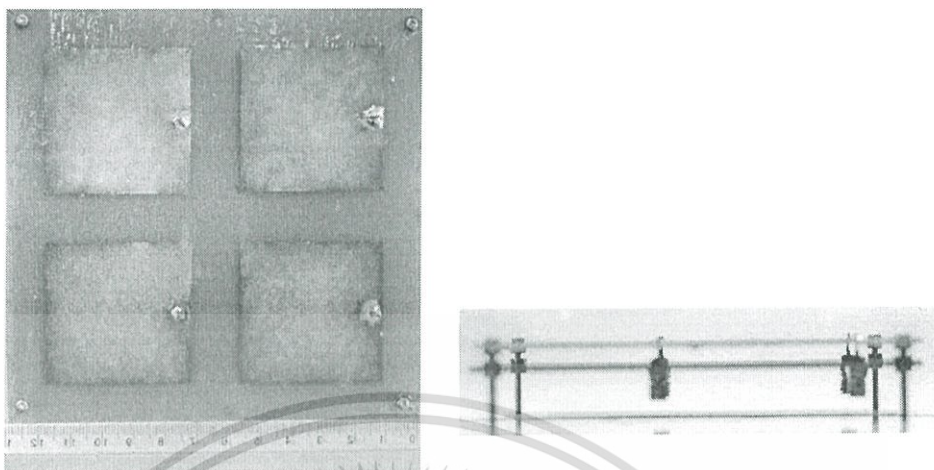
ในหัวข้อนี้จะนำเสนอผลการจำลองและผลการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศองค์ประกอบเดียวซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศ แบบมีช่องว่างอากาศ

ความถี่ (GHz)	อัตราขยาย (dBi)	ความถี่ (GHz)	อัตราขยาย (dBi)
2.40	8.05	2.45	8.38
2.41	8.15	2.46	8.23
2.42	8.25	2.47	7.78
2.43	8.18	2.48	7.63
2.44	8.25	2.49	7.32

4.4 โครงสร้างสายอากาศแถวลำดับแบบมี ช่องว่างอากาศ (Air-gap)

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอในส่วนของสายอากาศที่ทำการปรับปรุงจากสายอากาศแบบเดิม เป็นสายอากาศแถวลำดับแบบมีช่องว่างอากาศโดยโครงสร้างของสายอากาศแสดงดังรูป 4.6 โดยมีค่าพารามิเตอร์จากผลการจำลองดังตารางที่ 4.3



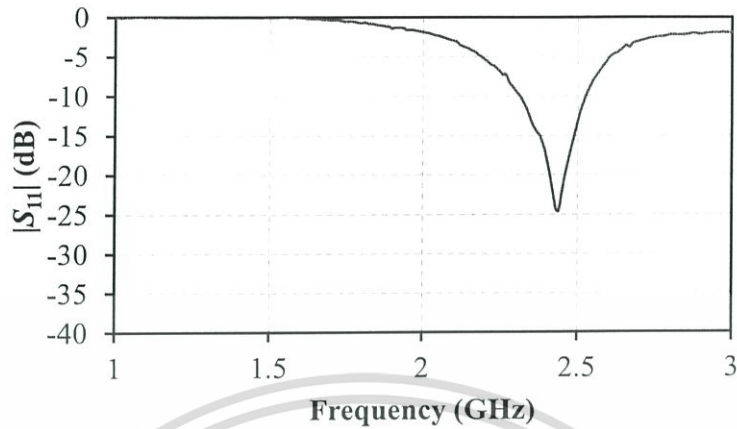
(ก) รูปถ่ายโครงสร้างสายอากาศด้านหน้า (ข) รูปถ่ายโครงสร้างสายอากาศด้านข้าง
รูปที่ 4.6 รูปถ่ายโครงสร้างของสายอากาศแถวลำดับสี่องค์ประกอบ แบบมีช่องว่าง

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศแถวลำดับสี่องค์ประกอบ

พารามิเตอร์ของสายอากาศ	คำอธิบาย	ขนาดทางกายภาพ (mm)
a	ความกว้างของแผ่นแพร่กระจายคลื่น	45.5
A_g	ขนาดของช่องว่างอากาศ	5
H_c	ความหนาของทองแดง	0.05
H_s	ความหนาของแผ่นวัสดุ	1.5
P	ระยะจุดพีคจากศูนย์กลาง	20
W_s	ความกว้างของแผ่นวัสดุ	131

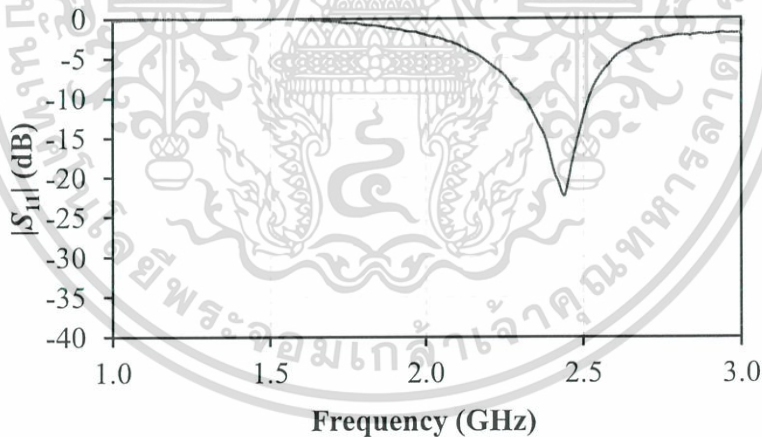
4.4.1 ผลการทดลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศสี่องค์ประกอบ

สำหรับการพิจารณา $|S_{11}|$ ของสายอากาศ พิจารณาน้อยกว่าหรือเท่ากับ -10 dB ตลอดช่วงความถี่ที่ใช้งาน ซึ่งผลการทดลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศแถวลำดับสี่องค์ประกอบที่พอร์ต 1 2 3 และ 4 แสดงในรูปที่ 4.7 , 4.8 , 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ



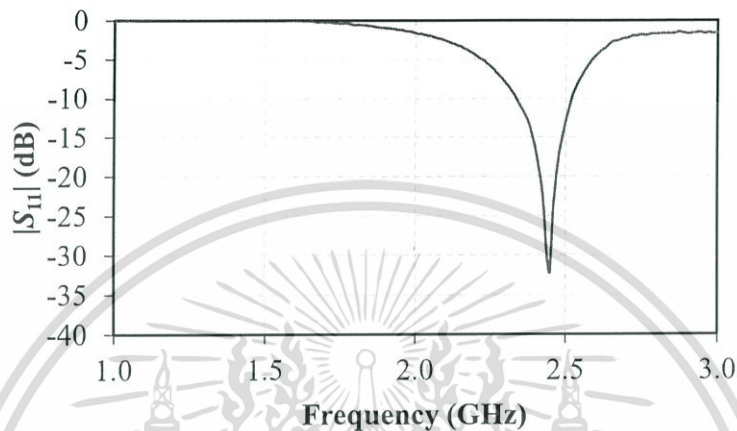
รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศแกลวลำดับแบบมีช่องว่างอากาศที่พอร์ตที่ 1

จากรูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ที่พอร์ตที่ 1 ของสายอากาศ ซึ่งจากผลการทดสอบ พบว่า $|S_{11}|$ ที่น้อยกว่า -10 dB ครอบคลุมในย่านความถี่ 2.4 GHz ตั้งแต่ 2.30 GHz ถึง 2.54 GHz ซึ่งมีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 0.24 GHz



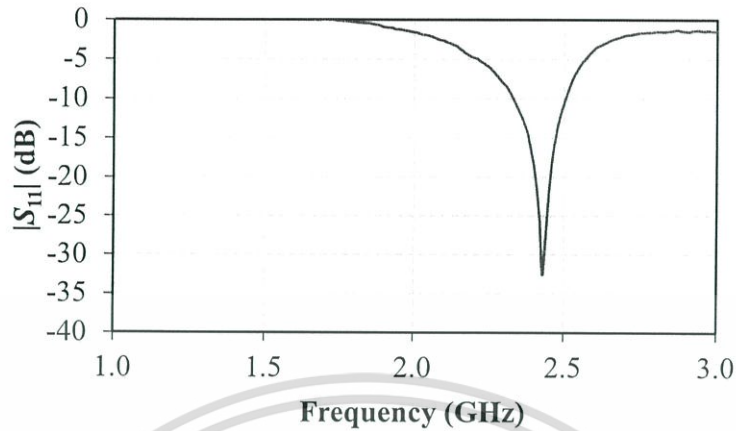
รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศแกลวลำดับแบบมีช่องว่างพอร์ตที่ 2

จากรูปที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ที่พอร์ตที่ 2 ของสายอากาศ ซึ่งจากผลการทดสอบ พบว่า $|S_{11}|$ ที่น้อยกว่ากว่า -10 dB ครอบคลุมในย่านความถี่ 2.4 GHz ตั้งแต่ 2.28 GHz ถึง 2.51 GHz ซึ่งมีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 0.23 GHz



รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศแกลวลำดับแบบมีช่องว่างอากาศที่พอร์ตที่ 3

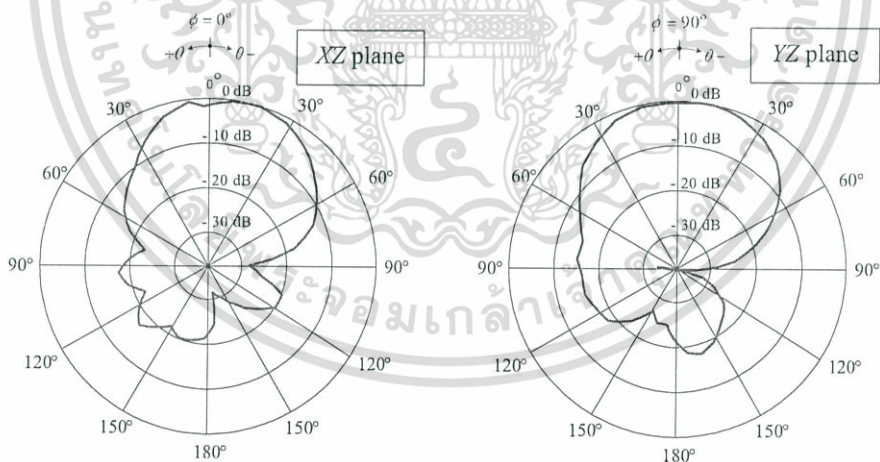
จากรูปที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ที่พอร์ตที่ 3 ของสายอากาศ ซึ่งจากผลการทดสอบ พบว่า $|S_{11}|$ ที่น้อยกว่ากว่า -10 dB ครอบคลุมในย่านความถี่ 2.40 GHz ตั้งแต่ 2.38 GHz ถึง 2.52 GHz ซึ่งมีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 0.24 GHz



รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสายอากาศแถวลำดับแบบมีช่องว่างอากาศที่พอร์ตที่ 4

จากรูปที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบ $|S_{11}|$ ที่พอร์ตที่ 1 ของสายอากาศ ซึ่งจากผลการทดสอบ พบว่า $|S_{11}|$ ที่น้อยกว่า -10 dB ครอบคลุมในย่านความถี่ 2.4 GHz ตั้งแต่ 2.37 GHz ถึง 2.50 GHz ซึ่งมีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 0.23 GHz

4.4.2 ผลการทดลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น



รูปที่ 4.11 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ได้จากการทดสอบ

จากรูปที่ 4.11 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบทิศทางเดียวซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองในบทที่ 3

4.4.3 ผลการทดลองอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับสี่องค์ประกอบ

ผลการทดลองอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับสี่องค์ประกอบจะได้ดังตารางที่ 4.3 ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับ แบบมีช่องว่างอากาศ

ความถี่ (GHz)	อัตราขยาย (dBi)
2.40	13.02
2.41	13.14
2.42	13.28
2.43	13.20
2.44	13.17
2.45	13.29
2.46	13.24
2.47	12.99
2.48	12.63
2.49	12.34

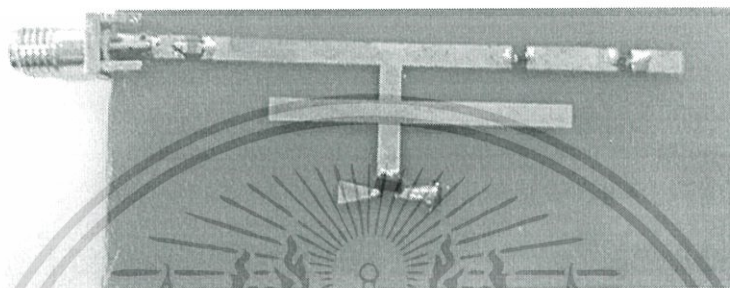
จากตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบอัตราขยายที่ความถี่ 2.45 GHz มีอัตราขยายอยู่ที่ 13.28 dBi โดยที่มีความสอดคล้องกันระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบจะเห็นว่าผลการทดสอบนั้นจะมีค่าอัตราขยายน้อยกว่าค่าจากการจำลองอาจจะมีสาเหตุมาจากสัญญาณที่ส่งมาจากเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายทำให้เกิดการสูญเสียระหว่างคอนเนคเตอร์และสายนำสัญญาณ และเนื่องจากวัสดุที่ทำอาจมีส่วนประกอบอื่นนอกเหนือจากทองแดงก็อาจทำให้เกิดการสูญเสียได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ขั้นตอนและผลการทดสอบวงจรเรียงกระแส

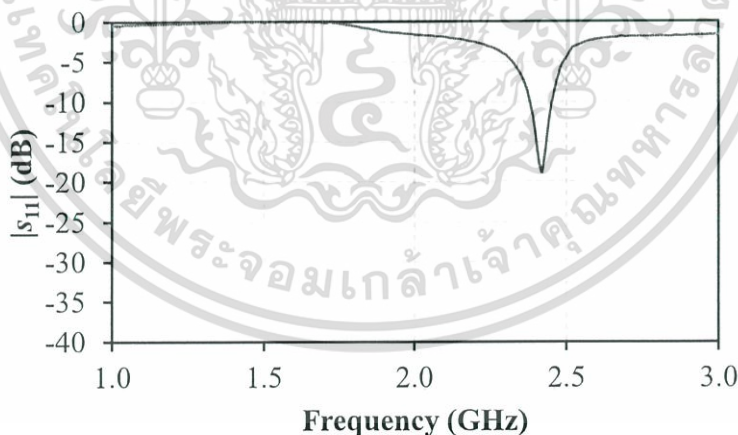
ในหัวข้อนี้จะนำเสนอวงจรเรียงกระแส และการทดสอบคุณลักษณะของวงจรเรียงกระแส จึงได้สร้างวงจรเรียงกระแสและทดสอบคุณลักษณะ โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วน คือ ผลการทดลองคุณลักษณะ $|S_{11}|$ และแรงดันทางด้านขาออก

รูปที่ 4.12 เป็นวงจรเรียงกระแสโดยสร้างจากวัสดุเดียวกับสายอากาศคือแผ่น FR



รูปที่ 4.12 รูปถ่ายของวงจรเรียงกระแส

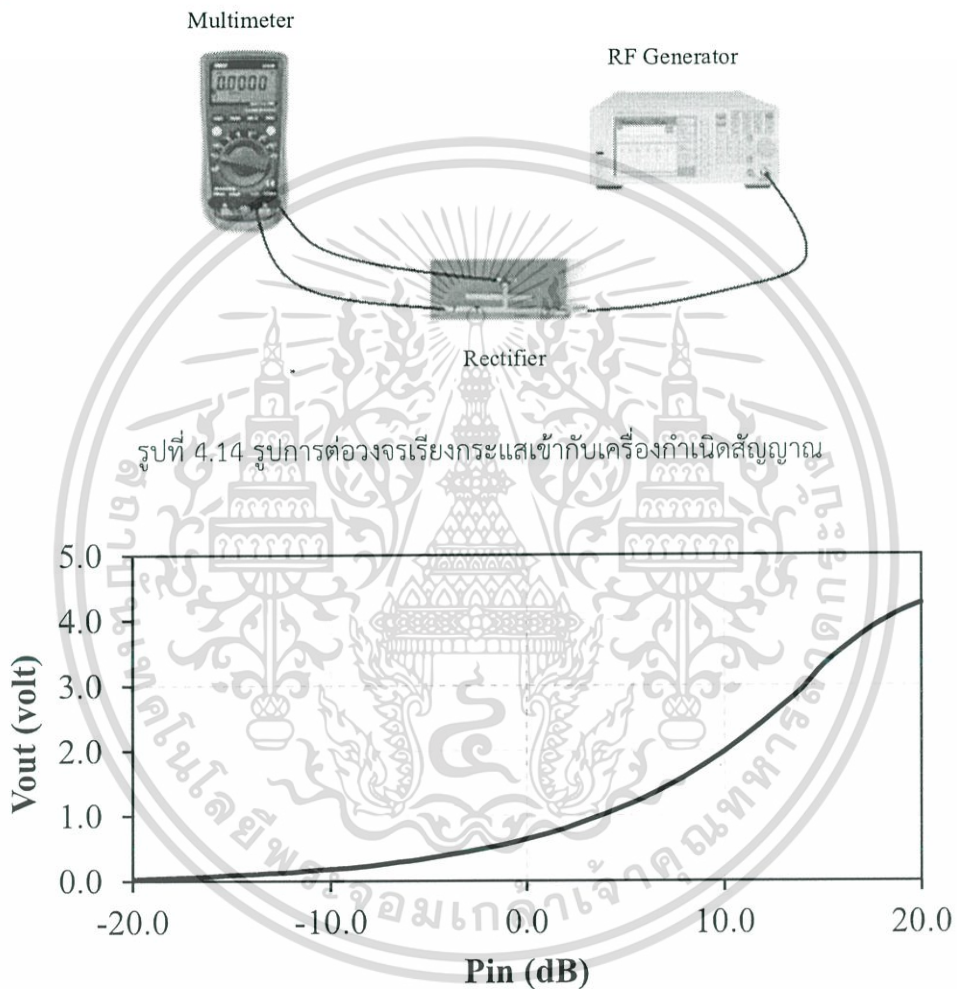
เมื่อสร้างเสร็จแล้วนำมาต่อกับสายอากาศเพื่อทดสอบคุณลักษณะต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบกับผลจำลองโดยโปรแกรม advanced design system (ADS) โดยทำการทดสอบ $|S_{11}|$ ดังรูป 4.13



รูปที่ 4.13 $|S_{11}|$ จากการทดสอบวงจรเรียงกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่า $|S_{11}|$ ของวงจรเรียงกระแสที่ต่ำกว่า -10 dB อยู่ในช่วงตั้งแต่ 2.35 ถึง 2.48 GHz โดย $|S_{11}|$ ต่ำที่สุดอยู่ที่ 2.45 GHz ซึ่งมีแนวโน้มสอดคล้องกับผลการจำลองวงจรเรียงกระแสจากนั้นทำการวัดแรงดันที่ขาออกของวงจรเรียงกระแส โดยมีการติดตั้งดังรูปที่ 4.14 ทำการจดบันทึกค่าที่ได้แล้วนำมาพล็อตกราฟของแรงดันที่ขาออกของวงจรเรียงกระแสจะได้ดังรูปที่ 4.15

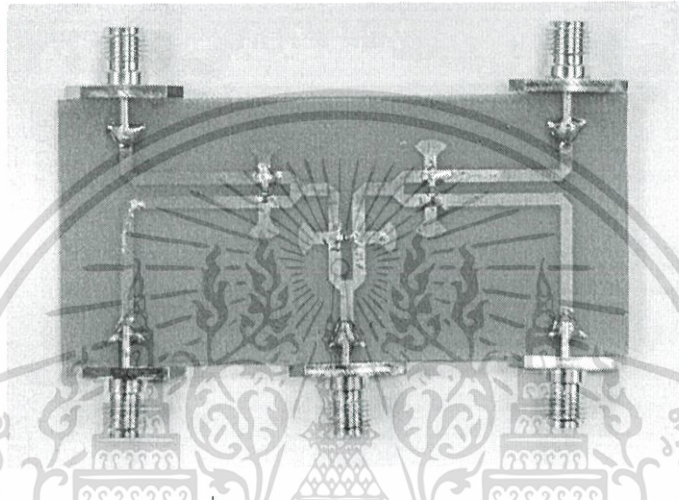


รูปที่ 4.15 แรงดันที่ขาออกที่ความถี่ 2.45 GHz

จากรูปที่ 4.15 แสดงค่าแรงดันที่ขาออกของวงจรเรียงกระแส ที่มีอินพุตตั้งแต่ -20.0 dB ถึง 20 dB ซึ่งมีแนวโน้มที่มากขึ้นเรื่อยเมื่อเพิ่มแรงดันอินพุต

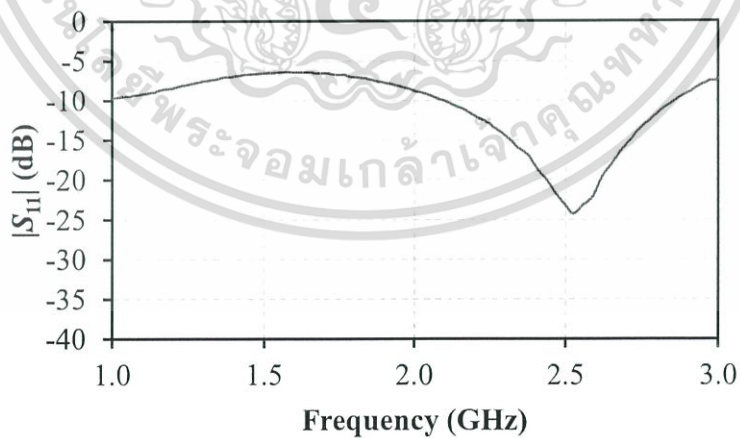
4.6 ขั้นตอนและผลการทดสอบวงจรรวมกระแส

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอวงจรรวมกระแส (power combiner) และการทดสอบคุณลักษณะของวงจรรวมกระแสจึงได้สร้างวงจรรวมกระแสและทดสอบคุณลักษณะ โดยวงจรรวมกระแสมีโครงสร้างดังรูปที่ 4.16 ซึ่งมีวัสดุเดียวกับสายอากาศคือแผ่น FR-4 และการวัดคุณลักษณะ $|S_{11}|$ ได้ผลดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.16 รูปถ่ายวงจรรวมกระแส

เมื่อสร้างเสร็จแล้วจึงนำมาวัดคุณลักษณะเพื่อเปรียบเทียบกับผลจำลองโดยโปรแกรม Advance design system (ADS) โดยการทดสอบได้ผลดังรูป 4.17



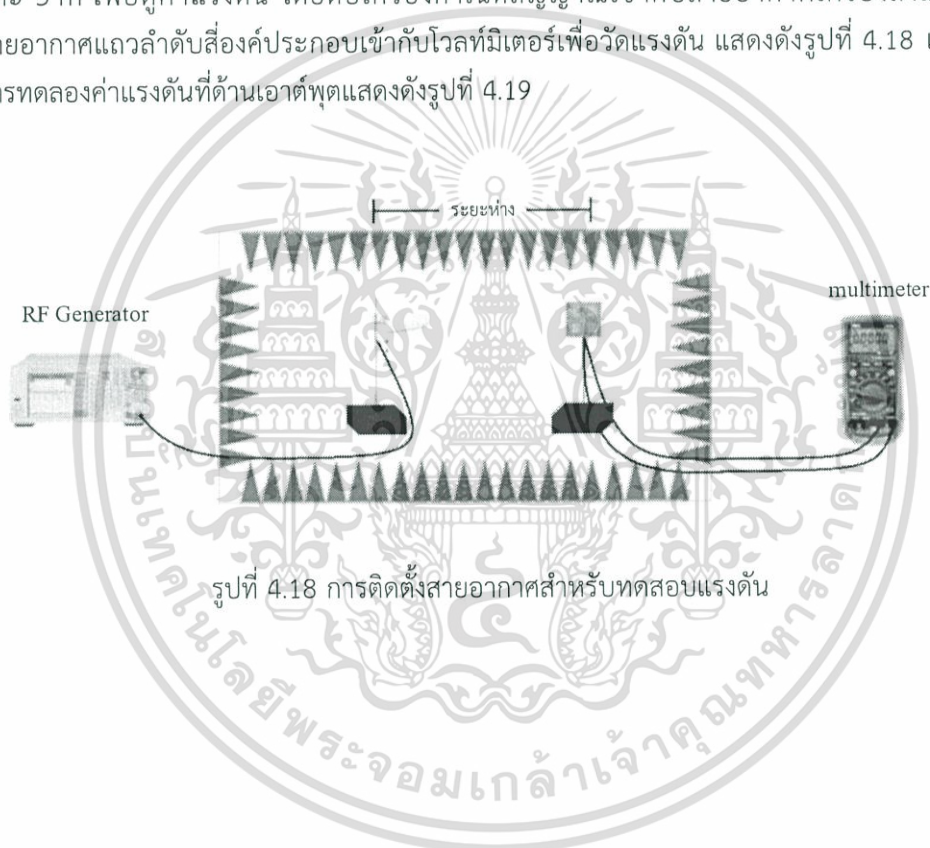
รูปที่ 4.17 $|S_{11}|$ จากการทดสอบวงจรรวมกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.17 แสดงผลการทดลองจากวงจรรวมกระแส $|S_{11}|$ ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า $|S_{11}|$ ที่น้อยกว่า -10 dB ครอบคลุมในย่านความถี่ 2.4 GHz ตั้งแต่ 2.23 GHz ถึง 2.78 GHz ซึ่งมีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 0.55 GHz

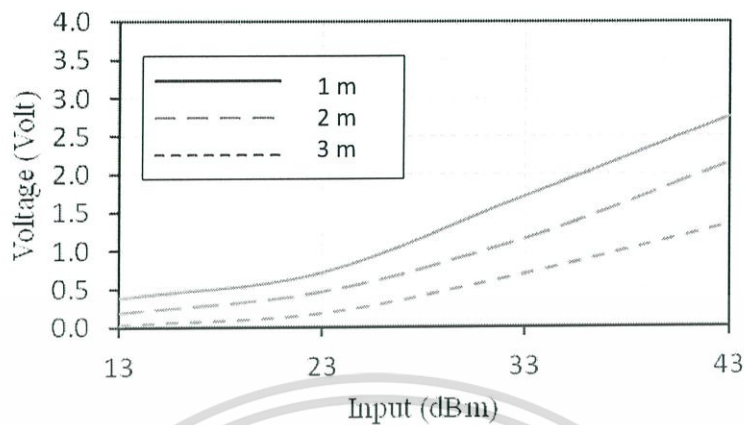
4.7 ผลการทดสอบการส่งผ่านกำลังงาน

สายอากาศจัดเรียงกระแสนอกจากจะให้ความสนใจในเรื่องกระแสไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรที่ได้จากการเรียงกระแส ดังนั้นได้ทำการทดลองวัดแรงดันที่ด้านเอาต์พุตที่ระยะ 1 m 2 m และ 3 m เพื่อดูค่าแรงดัน โดยต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณเข้ากับสายอากาศเครื่องส่งและต่อสายอากาศแถวลำดับสี่องค์ประกอบเข้ากับโวลต์มิเตอร์เพื่อวัดแรงดัน แสดงดังรูปที่ 4.18 และผลการทดลองค่าแรงดันที่ด้านเอาต์พุตแสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.18 การติดตั้งสายอากาศสำหรับทดสอบแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 แรงดันทางด้านขาออกที่ระยะต่างๆ

จากรูปที่ 4.19 แสดงผลการทดลองวัดขาออกที่ระยะ 1 m 2 m และ 3 m เมื่อป้อนทางด้านขาเข้าที่ 0 dBm ที่ระยะ 1 m จะได้แรงดัน 3.21 V ที่ระยะ 2 m จะได้ 2.75 V และที่ 3 m จะได้แรงดัน 1.68 V

เมื่อนำค่าแรงดันที่วัดได้มาคำนวณค่ากระแสที่ไหลผ่านในชิ้นงานที่ได้นำเสนอมีค่าความต้านทาน 100 โอห์ม จะได้ค่าของกระแสโดยอ้างอิงที่ระยะ 1 m จะได้ค่ากระแส 32.1 mA

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบระบบการส่งผ่านกำลังงานไร้สาย ซึ่งเป็นระบบที่ใช้หลักการแปลงคลื่นวิทยุเป็นกำลังงานไฟฟ้า โดยจะกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศสำหรับระบบส่งผ่านกำลังงานไร้สาย รวมถึงวงจรรวมกำลังงานและวงจรเรียงกระแส ที่สามารถแปลงกำลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อนำไปขับ LED (light-emitting diode) ให้สว่าง ซึ่งได้ทำการออกแบบและปรับปรุงคุณลักษณะของสายอากาศที่มีโครงสร้างแถวลำดับสี่องค์ประกอบแบบ Suspended รูปสี่เหลี่ยม และใช้เทคนิคช่องว่างอากาศเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศ และโครงสร้างเรียบง่ายไม่ซับซ้อน มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีไร้สาย WLAN ในย่านความถี่ 2.40 GHz (2.4 GHz ถึง 2.485 GHz)

โดยเนื้อหาหลักได้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของการออกแบบจำลองสายอากาศ การออกแบบวงจรรวมกำลังงาน และการออกแบบวงจรเรียงกระแส โดยทำการทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ในแต่ละส่วนได้กล่าวไว้อย่างละเอียดในบทที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

การออกแบบสายอากาศแถวลำดับ Suspended รูปสี่เหลี่ยมได้มีการอ้างอิงขนาดทางกายภาพ โดยอ้างอิง ฐ ความถี่กลางที่สนใจ จากนั้นได้ทำการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงคุณลักษณะของสายอากาศให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งขนาดทางกายภาพของสายอากาศแถวลำดับ Suspended รูปสี่เหลี่ยมที่นำเสนอได้นำเสนอไว้ในตารางที่ 3.2 โดยสายอากาศสามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ 2.38 GHz ถึง 2.55 GHz (เมื่อพิจารณา $|S_{11}|$ ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ -10 dB) มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียว ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.10 และมีช่วงกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบ XZ และ ระนาบ YZ เป็น 70 องศา และ 50 องศา ตามลำดับ มีอัตราขยาย 13.29 dBi เมื่อพิจารณาที่ความถี่ 2.45 GHz

ในส่วนการจำลองวงจรรวมกำลังงานและวงจรเรียงกระแสใช้โปรแกรม Advance Design System (ADS) ในการออกแบบวงจรใน การจำลองการป้อนและรับสัญญาณได้ทำการทดสอบคุณสมบัติในการแปลงสัญญาณกระแสสลับให้เป็นกระแสตรงสามารถทำงานได้ที่ระยะ 1 ถึง 3 เมตร และส่งผลให้ LED (light-emitting diode) ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบคุณลักษณะของวงจรเรียงกระแสในส่วนของเอาต์พุตที่เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนั้นพบว่ามีความถี่มากเพียงพอที่จะนำไปขับ LED (light-emitting diode) ให้สว่างได้ แต่ก็ยังต้องปรับปรุงในส่วนของการกระแสไฟฟ้าที่ได้นั้นยังมีค่าน้อย ซึ่งอาจเป็นเหตุให้ไม่สามารถนำไปขับอุปกรณ์อื่นที่มีความต้องการในส่วนของการกระแสมาก ๆ ได้ ฉะนั้นในอนาคตการปรับปรุงวงจรเรียงกระแสจึงเป็นสิ่งที่ไม่ควรมองข้าม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] N. Tesla. "My Inventions: The Autobiography of Nikola Tesla."
<http://www.teslasautobiography.com>.
- [2] Bernd Strassner, "Microwave Power Transmission: Historical Milestones and System Components", IEEE Historical Wptaccomplishments. vol.101, no.6, 2013.
- [3] นางสาวอุมาภรณ์ อุดมศิลป์ และ นายนฤชล กวินปกรณ. (2558). สายอากาศที่มีลำคลื่นรูปกรวย และการโพลาริซวงกลมสำหรับประยุกต์ใช้งานบนยานพาหนะ. ปริญญาโท วิศวกรรมไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา ถ่ายเอกสาร.
- [4] Li. Zhifang, J.L. Volakis, "Optimization of patch antennas on ferrite substrate using the finite element methods", IEEE Antenna and Prop. pp. 244-247, 1998.
- [5] Constantine A. Balanis, "Antenna theory: Analysis and Design", John Wiley & Son, Inc., 2005.
- [6] Lander, Cyril W. (1993). "Rectifying Circuits", Power electronics (3rd ed.). London: McGraw-Hill. ISBN 978-0-07-707714-3.
- [7] สุวัฒน์ หนูศิริ. "วงจรเรียงกระแส (Rectifier)."
<http://xn-12cf2dh2ca0a5c6bxd4ik1d.blogspot.com/2014/07/rectifier.html>
- [8] รังสรรค์ วงศ์สรณ์, "วิศวกรรมสายอากาศ Antenna engineering", สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2555.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้