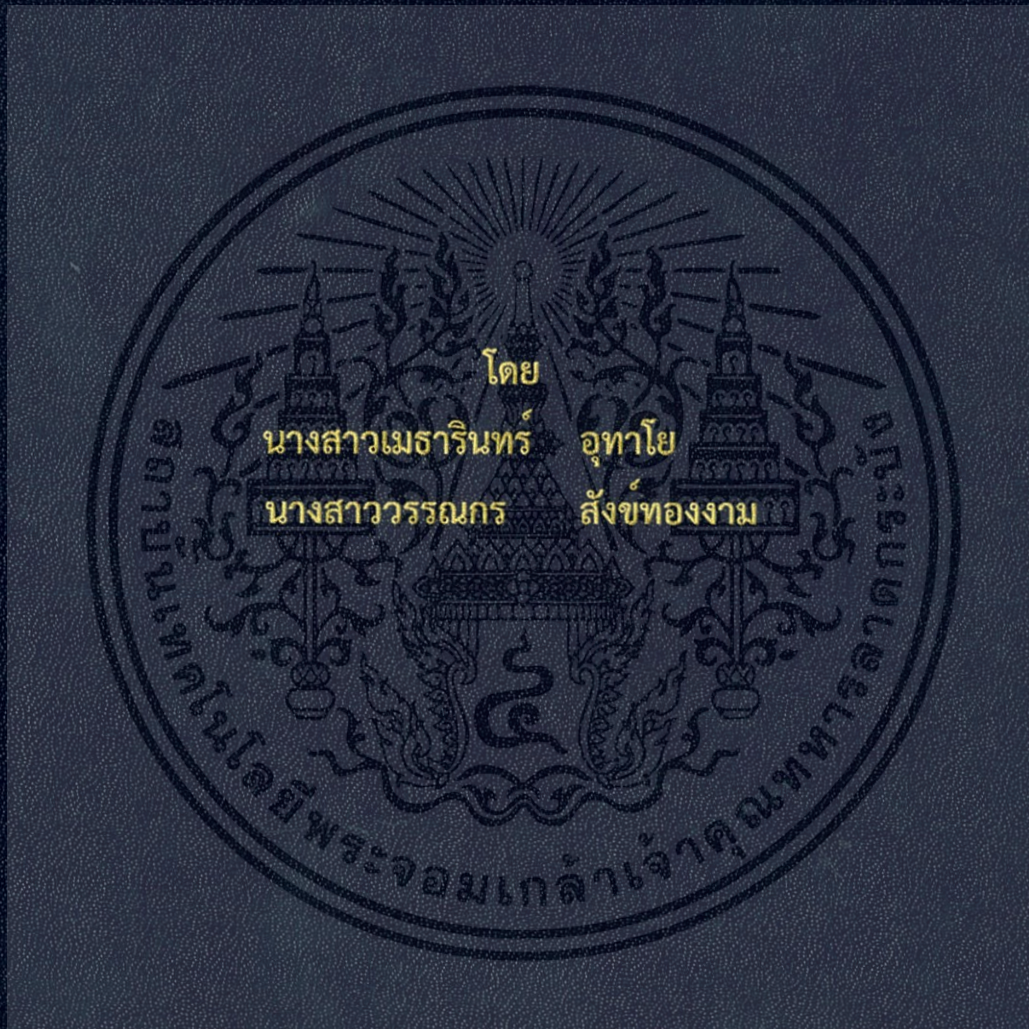


สายอากาศยามีแอนเตอร์ไลน์ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงาน
PATTERN RECONFIGURABLE YAGI MEANDER LINE ANTENNA



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

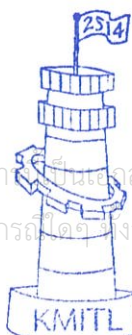
ปีการศึกษา 2557

สายอากาศยาก็มีแอนเตอร์ไลน์ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงาน
PATTERN RECONFIGURABLE YAGI MEANDER LINE ANTENNA

โดย
นางสาวเมธารินทร์ อุทาโย 54011038
นางสาววรรณกร สังกข์ทองงาม 54011128

อาจารย์ที่ปรึกษา
ศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557



ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

อาจารย์ที่ปรึกษา

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering



ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน

30/04/58

วิศวกรรมโทรคมนาคม

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สายอากาศยาก็มีแอนเทนนาที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงาน

PATTERN RECONFIGURABLE YAGI MEANDER LINE ANTENNA

ผู้จัดทำ

1. นางสาวเมธารินทร์ อุทโย 54011038
2. นางสาววรรณกร สังข์ทองงาม 54011128


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้จะสำเร็จลุล่วงไม่ได้หากขาดความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์ ที่ให้ความรู้ ให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหาตลอดการทำปริญญาานิพนธ์ และประสบการณ์ดี ๆ แก่ผู้จัดทำ ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนปริญญาานิพนธ์นี้ขึ้นมา ทางกลุ่มผู้จัดทำรู้สึกขอบพระคุณอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณพี่ๆ ในห้องปฏิบัติการ T-104 ทุกคนที่ให้คำแนะนำ คอยให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือ และคอยให้กำลังใจในการทำปริญญาานิพนธ์ และขอขอบคุณพี่ๆ ห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สายสำหรับความช่วยเหลือในการใช้ห้องทดสอบสายอากาศ และเครื่องมือในการทดลอง

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของผู้จัดทำทุกคน ที่มอบความปรารถนาดี และมอบกำลังใจที่สำคัญให้แก่ข้าพเจ้า อีกทั้งยังส่งเสริมด้านการศึกษามาเป็นอย่างดี

เมธารินทร์ อุทาโย
วรรณกร สังข์ทองงาม
ผู้จัดทำ

สายอากาศยาก็มีแอนเตอร์ไลน์ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบ
รูปการแผ่พลังงาน
PATTERN RECONFIGURABLE YAGI MEANDER LINE
ANTENNA

โดย นางสาวเมธารินทร์ อุทาโย 54011038

นางสาววรรณกร สังข์ทองงาม 54011128

อาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอสายอากาศเส้นคดเคี้ยวแบบยาก็ สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ย่านความถี่เอชเอฟ โดยสามารถลดขนาดสายอากาศยาก็ได้ และสามารถสวิตซ์ทิศทางสายอากาศได้สี่ทิศทาง สำหรับพารามิเตอร์ของสายอากาศสามารถวิเคราะห์จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ขนาดของสายอากาศได้โดยการปรับเปลี่ยนขนาดจนเหมาะสมและได้ประสิทธิภาพตามต้องการ

ABSTRACT

The dissertation present a pattern reconfigurable Yagi meander line antenna for TV signal reception at UHF frequency band. A meander line is used to reduce dimension of conventional Yagi antenna. The proposed antenna can switch beam with into directions. The parameters of the antenna are calculated and simulated by using computer program. The optimized dimensions are obtained by varying dimensions until the desired performances are obtained.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|---|-----------|
| กิตติกรรมประกาศ | I |
| บทคัดย่อ | II |
| สารบัญ | III |
| สารบัญรูป | V |
| สารบัญตาราง | XI |
| | |
| บทที่ 1 | |
| บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ | 1 |
| | |
| บทที่ 2 | |
| ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง | 2 |
| 2.1 บทนำ | 2 |
| 2.2 ทฤษฎีและหลักการของระบบสื่อสารไร้สาย | 8 |
| 2.3 เทคโนโลยีโทรทัศนภาคพื้นดินระบบดิจิทัล | 10 |
| 2.4 ทฤษฎีและหลักการของสายอากาศยาเก-อูดะ | 12 |
| 2.5 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานในการวิเคราะห์สายอากาศ | 15 |
| | |
| บทที่ 3 | |
| การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์ | 21 |
| 3.1 การออกแบบสายอากาศ | 21 |
| 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง | 40 |
| 3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง | 41 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| บทที่ 4 | 45 |
| การสร้างและผลการทดสอบ | 45 |
| 4.1 การสร้างสายอากาศยาก็มีแอนเตอร์ไลน์ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบ รูปการแผ่พลังงาน | 45 |
| 4.2 การทดสอบและผลการทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศ | 50 |
| 4.3 การประยุกต์ใช้งานสายอากาศยาก็มีแอนเตอร์ไลน์ที่สามารถ ปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงาน | 81 |
| บทที่ 5 | 84 |
| สรุปผลและข้อเสนอแนะ | 84 |
| 5.1 สรุปผล | 84 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 85 |
| บรรณานุกรม | 86 |
| ภาคผนวก | 87 |
| GENERAL PROPOSE PIN DIODE BAP50-02 | 87 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 สายอากาศยาก็-อุตะ | 2 |
| 2.2 ลักษณะสายอากาศมีแอนเตอร์ไลน์ | 3 |
| 2.3 สายอากาศที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานโดยแถวลำดับ ปรสิตแบบไมโครสตริป | 4 |
| 2.4 สายอากาศยาก็-อุตะบนแผ่นปริ้นท์ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่ พลังงาน | 5 |
| 2.5 สายอากาศยาก็ที่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่และแบบรูปการแผ่พลังงาน | 6 |
| 2.6 จำลองโครงสร้างสายอากาศควอไซยาก็ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการ แผ่พลังงานได้ 2 ทิศทาง บนตัวนำแม่เหล็ก | 7 |
| 2.7 สายอากาศยาก็ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานได้ 4 ทิศทาง | 8 |
| 2.8 องค์ประกอบของระบบการสื่อสารไร้สาย | 9 |
| 2.9 ตารางกำหนดของความถี่วิทยุ | 11 |
| 2.10 ตารางแผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล ประเทศไทย | 12 |
| 2.11 สายอากาศยาก็-อุตะของ HIDETSUGU YAGI | 13 |
| 2.12 โครงสร้างสายอากาศยาก็-อุตะและองค์ประกอบต่างๆ | 14 |
| 2.13 แบบรูปการแผ่กระจายสนามไฟฟ้าไดโพล | 16 |
| 2.14 แบบรูปการแผ่กระจายสนามแม่เหล็กไดโพล | 16 |
| 2.15 แสดงการเกิดการย้อนกลับของกำลังงาน | 19 |
| 3.1 การกำหนดขนาดพารามิเตอร์ | 22 |
| 3.2 องค์ประกอบรับการป้อน | 22 |
| 3.3 องค์ประกอบการสะท้อน | 23 |
| 3.4 สายอากาศยาก็มีแอนเตอร์ไลน์ | 24 |
| 3.5 ผลการจำลององค์ประกอบการนำคลื่นเมื่อเพิ่มความยาวส่วนปลาย | 26 |
| 3.6 สายอากาศยาก็สองตัวไขว้กัน | 27 |
| 3.7 ทิศทางสายอากาศ | 31 |
| 3.8 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนในทิศทางการแผ่พลังงานที่ 0 องศา | 31 |
| 3.9 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนในทิศทางการแผ่พลังงานที่ 90 องศา | 32 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า | |
|--------|--|----|
| 3.10 | ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนในทิศทางการแผ่พลังงานที่ 180 องศา | 32 |
| 3.11 | ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนในทิศทางการแผ่พลังงานที่ 270 องศา | 33 |
| 3.12 | แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 514 MHZ | 33 |
| 3.13 | แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 594 MHZ | 34 |
| 3.14 | แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 626 MHZ | 34 |
| 3.15 | แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 658 MHZ | 35 |
| 3.16 | แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 722 MHZ | 35 |
| 3.17 | แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็กในทิศทาง 0 องศา | 36 |
| 3.18 | วงจรรีดไอดิโอด | 36 |
| 3.19 | วงจรรีดไอดิโอดเมื่อสร้างจริง (A) ด้านหน้า (B) ด้านหลัง | 37 |
| 3.20 | ผลการทดลองเมื่อไดโอดป็นยังไม่มีการป้อนแรงดัน (สถานะ OFF) | 38 |
| 3.21 | ผลการทดลองเมื่อไดโอดป็นมีการป้อนแรงดัน (สถานะ ON) | 38 |
| 3.22 | SCHEMATIC DIAGRAM | 39 |
| 3.23 | AGILENT TECHNOLOGIES รุ่น FIELD FOX N9916A | 40 |
| 3.24 | NETWORK ANALYZER HP รุ่น 8720C (50MHZ-20GHZ) | 41 |
| 3.25 | จัดเตรียมการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน | 42 |
| 3.26 | จัดเตรียมการวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น | 43 |
| 3.27 | จัดเตรียมการทดลองภาคสนาม | 44 |
| 4.1 | สายอากาศต้นแบบสายอากาศยาภิมีแอนเตอร์ไลน์ | 46 |
| 4.2 | ลักษณะการเว้นช่องบากร่อง | 46 |
| 4.3 | ขนาดพารามิเตอร์ของสายอากาศ | 46 |
| 4.4 | การใช้ไดโอดป็นในการเชื่อมต่อช่องบากร่อง | 48 |
| 4.5 | การใช้ดิฟฟราคชันร่วมกับสายอากาศ | 48 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า | |
|--------|---|----|
| 4.6 | ลักษณะสายอากาศ (ด้านบน) | 49 |
| 4.7 | ลักษณะสายอากาศ (ด้านข้าง) | 49 |
| 4.8 | อะคริลิค | 49 |
| 4.9 | การทดสอบ $ S_{11} $ ของสายอากาศต้นแบบ | 50 |
| 4.10 | ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 0 องศา | 51 |
| 4.11 | ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 90 องศา | 52 |
| 4.12 | ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 180 องศา | 52 |
| 4.13 | ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 270 องศา | 53 |
| 4.14 | เปรียบเทียบผลทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 0 องศา | 53 |
| 4.15 | เปรียบเทียบผลทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 90 องศา | 54 |
| 4.16 | เปรียบเทียบผลทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 180 องศา | 55 |
| 4.17 | เปรียบเทียบผลทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 270 องศา | 55 |
| 4.18 | ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 0 องศา โดยใช้ไดโอดพิน | 55 |
| 4.19 | ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 90 องศา โดยใช้ไดโอดพิน | 56 |
| 4.20 | ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 180 องศา โดยใช้ไดโอดพิน | 56 |
| 4.21 | ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 270 องศา โดยใช้ไดโอดพิน | 57 |
| 4.22 | การทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ | 58 |
| 4.23 | การทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (ก) สายอากาศเชื่อมโดยการบัดกรี (ข) สายอากาศเชื่อมโดยไดโอดพิน | 58 |
| 4.24 | การทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า | 59 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.25 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 514 MHZ ที่ 0 องศา | 61 |
| 4.26 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 514 MHZ ที่ 90 องศา | 61 |
| 4.27 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 514 MHZ ที่ 180 องศา | 62 |
| 4.28 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 514 MHZ ที่ 270 องศา | 62 |
| 4.29 รวมแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-PLANE) 514 MHZ ที่ 0 องศา | 63 |
| 4.30 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 594 MHZ ที่ 0 องศา | 63 |
| 4.31 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 594 MHZ ที่ 90 องศา | 64 |
| 4.32 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 594 MHZ ที่ 180 องศา | 64 |
| 4.33 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 594 MHZ ที่ 270 องศา | 65 |
| 4.34 รวมแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-PLANE) ที่ 594 MHZ | 65 |
| 4.35 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 626 MHZ ที่ 0 องศา | 66 |
| 4.36 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 626 MHZ ที่ 90 องศา | 66 |
| 4.37 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 626 MHZ ที่ 180 องศา | 67 |
| 4.38 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 626 MHZ ที่ 270 องศา | 67 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.39 รวมแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-PLANE) ที่ 626 MHZ | 68 |
| 4.40 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 658 MHZ ที่ 0 องศา | 68 |
| 4.41 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 658 MHZ ที่ 90 องศา | 69 |
| 4.42 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 658 MHZ ที่ 180 องศา | 69 |
| 4.43 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 658 MHZ ที่ 270 องศา | 70 |
| 4.44 รวมแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-PLANE) ที่ 658 MHZ | 70 |
| 4.45 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 722 MHZ ที่ 0 องศา | 71 |
| 4.46 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 722 MHZ ที่ 90 องศา | 71 |
| 4.47 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 722 MHZ ที่ 180 องศา | 72 |
| 4.48 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 722 MHZ ที่ 270 องศา | 72 |
| 4.49 รวมแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-PLANE) ที่ 722 MHZ | 73 |
| 4.50 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-PLANE) ที่ 514 MHZ | 74 |
| 4.51 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-PLANE) ที่ 594 MHZ | 74 |
| 4.52 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-PLANE) ที่ 626 MHZ | 75 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.53 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-PLANE) ที่ 658 MHZ | 75 |
| 4.54 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-PLANE) ที่ 722 MHZ | 76 |
| 4.55 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก ที่ 514 MHZ | 77 |
| 4.56 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก ที่ 594 MHZ | 77 |
| 4.57 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก ที่ 626 MHZ | 78 |
| 4.58 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก ที่ 658 MHZ | 78 |
| 4.59 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก ที่ 722 MHZ | 79 |
| 4.60 รวมแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-PLANE) ที่ 0 องศา | 79 |
| 4.61 การติดตั้งสายอากาศต้นแบบเพื่อรับสัญญาณทีวีดิจิตอล | 81 |
| 4.62 หน้าจอแสดงผล (ก) จอแสดงจำนวนช่องที่รับสัญญาณได้ (ข) จอแสดงช่องที่รับสัญญาณได้ | 81 |
| 4.63 ทดสอบสายอากาศรับทีวีดิจิตอลภาคสนาม (ก) การจัดวางสายอากาศ (ข) การจัดวางจอแสดงผล | 82 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 3.1 ความยาวคลื่นที่ความถี่ต่างๆ | 21 |
| 3.2 พิจารณาหาความยาวองค์ประกอบการสะท้อน | 23 |
| 3.3 ความยาวรวมขององค์ประกอบการนำคลื่นเมื่อทำการปรับที่ความถี่ 514 MHZ และ 594 MHZ | 25 |
| 3.4 ความยาวรวมขององค์ประกอบการนำคลื่นเมื่อทำการปรับที่ความถี่ 626 MHZ และ 658 MHZ | 25 |
| 3.5 ความยาวรวมขององค์ประกอบการนำคลื่นเมื่อทำการปรับที่ความถี่ 722 MHZ | 26 |
| 3.6 พิจารณาจำลองของสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราขยายของสายอากาศยาก็สองตัวนำมาไขว้กัน | 27 |
| 3.7 พิจารณาระยะห่างขององค์ประกอบการนำคลื่นและองค์ประกอบการสะท้อนจากองค์ประกอบรับการป้อน | 28 |
| 3.8 สรุปผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ความถี่ 514 MHZ | 29 |
| 3.9 สรุปผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ความถี่ 594 MHZ | 29 |
| 3.10 สรุปผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ความถี่ 626 MHZ | 29 |
| 3.11 สรุปผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ความถี่ 658 MHZ | 30 |
| 3.12 สรุปผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ความถี่ 722 MHZ | 30 |
| 3.13 ค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่ความถี่ต่างๆ | 37 |
| 4.1 แสดงขนาดพารามิเตอร์ของสายอากาศ | 47 |
| 4.2 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ($ S_{11} $) เมื่อเชื่อมต่อช่องบากร่องด้วยการบัดกรี | 49 |
| 4.3 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ($ S_{11} $) เมื่อเชื่อมต่อช่องบากร่องด้วยไดโอดพิน | 51 |
| 4.4 ผลการทดสอบค่า F/B RATIO (DB) ในระนาบสนามไฟฟ้าด้วยการบัดกรี | 59 |
| 4.5 ผลการทดสอบค่า F/B RATIO (DB) ในระนาบสนามไฟฟ้าด้วยการใช้ไดโอดพิน | 60 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|---|------|
| 4.6 | ผลการทดสอบค่า F/B RATIO (DB) สนามแม่เหล็กสนามไฟฟ้าโดยการ บัดกรี | 76 |
| 4.7 | อัตราขยายของสายอากาศเมื่อใช้การบัดกรี | 80 |
| 4.8 | อัตราขยายของสายอากาศเมื่อใช้ไดโอดพิน | 80 |
| 4.9 | ผลจากการทดสอบสายอากาศดิจิทัลทีวี รุ่น SP-073 | 82 |
| 4.10 | ผลจากการทดสอบสายอากาศยาก็มีแอนเนอไรเนอร์ที่สามารถปรับเปลี่ยน แบบรูปการแผ่พลังงาน | 82 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงระบบโทรทัศน์ภาคพื้นดินเข้าสู่ยุคดิจิทัลดำเนินการโดยสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) เริ่มต้นการรับส่งสัญญาณวิทยุโทรทัศน์ในระบบดิจิทัลภายในปี พ.ศ. 2555 ในระบบการสื่อสารไร้สาย สายอากาศเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแผ่กระจายคลื่นซึ่งเป็นการสื่อสารโดยไม่ผ่านสาย เคเบิลผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์จึงเห็นว่าสายอากาศมีความสำคัญจึงได้ทำการสร้างสายอากาศยาภิมีแอนเตอร์ไลน์ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานรอบทิศทางขึ้นเพื่อใช้สำหรับรับความถี่ของผู้ให้บริการโครงข่ายดิจิทัลทั้ง 5 โครงข่ายคือที่ความถี่ 514, 594, 626, 658 และ 722 MHz และสามารถเปลี่ยนทิศทางไปได้รอบทิศทาง

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาทฤษฎีสายอากาศยาภิมีแอนเตอร์ไลน์ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานรอบทิศทางสำหรับโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล ที่ความถี่ของผู้ให้บริการโครงข่ายที่ 1 ถึง 5
- 2) เพื่อคำนวณ ออกแบบสายอากาศยาภิมีแอนเตอร์ไลน์ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานรอบทิศทางสำหรับโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล แต่ละความถี่ของผู้ให้บริการโครงข่ายที่ 1 ถึง 5
- 3) สร้างและทดสอบสายอากาศยาภิมีแอนเตอร์ไลน์ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานรอบทิศทางสำหรับโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล ที่ความถี่ของผู้ให้บริการโครงข่ายที่ 1 ถึง 5

1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณ ออกแบบ และสร้างสายอากาศยาภิมีแอนเตอร์ไลน์ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานได้ เริ่มจากการออกแบบให้สายอากาศยาภิมีขนาดลดลงโดยการขดสายอากาศ และออกแบบให้สายอากาศสามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานรอบทิศทางและเปลี่ยนความถี่ได้ โดยในส่วนของภาคเรียนที่ 1 ทำการออกแบบสายอากาศโดยการวิเคราะห์และจำลองสายอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์สายอากาศที่เหมาะสมและมีคุณสมบัติตามต้องการ เมื่อได้ขนาดสายอากาศที่ต้องการทำการสร้างและทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสายอากาศ และในส่วนของภาคเรียนที่ 2 ใช้ไดโอดพินในการสวิตช์ลำคลื่น ออกแบบและสร้างวงจรสวิตช์ลำคลื่นเพื่อนำมารวมกับสายอากาศที่ได้จากภาคเรียนที่ 1 ทำการวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นและสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศ และนำสายอากาศมาทดสอบภาคสนามโดยติดตั้งสายอากาศกับกล่องรับสัญญาณทีวีดิจิทัลและใช้ทีวีดิจิทัลเพื่อสังเกตการรับสัญญาณของสายอากาศ

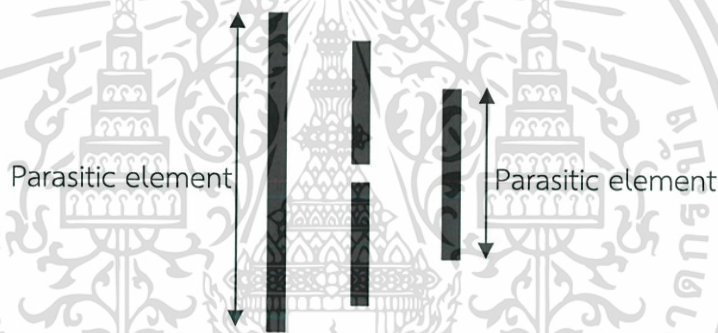
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

สายอากาศในปริณยานิพนธ์นี้อยู่บนหลักการของสายอากาศยากิ-อุตะของ Hidetsugu Yagi ที่ตีพิมพ์ครั้งแรกในปี ค.ศ.1928 [1] เป็นการเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศเบื้องต้น ใช้การจัดวางสายอากาศแบบอาร์เรย์ มีฟังก์ชันการทำงานโดยเชื่อมต่อกันด้วยระบบสายป้อน (Feeding network) เพียงองค์ประกอบตัวเดียวเท่านั้นที่ใช้เป็นตัวส่งหรือตัวรับ ส่วนองค์ประกอบตัวอื่น ๆ จะเป็นแค่ตัวพาราสิติก (Parasitic) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยจะเรียกอาร์เรย์ชนิดนี้ว่า พาราสิติกอาร์เรย์ (Parasitic array) โดยองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เรียกว่า องค์ประกอบพาราสิติก



รูปที่ 2.1 สายอากาศยากิ-อุตะ [1]

ขนาดของสายอากาศเป็นเรื่องสำคัญถ้าสายอากาศมีขนาดเล็กลงจะทำให้สะดวกในการใช้งานนั้นทำให้ในปี ค.ศ.2012 V.B.Ambhore และ A.P.Dhande ได้นำเสนอผลงาน “การพิจารณาคุณสมบัติ และพารามิเตอร์และการออกแบบสายอากาศมีแอนเดอร์ไลน์” [2] เป็นการลดขนาดสายอากาศโดยทำการพับสายตัวนำไปมาดังรูปที่ 2.2 โดยสายอากาศมีแอนเดอร์ไลน์มีแนวโน้มที่จะเรโซแนนท์ที่ความถี่ต่ำ ได้ดีกว่าสายอากาศธรรมดา จากการทดลองพบว่าสายอากาศแบบมีแอนเดอร์ไลน์จะมีแบบรูปการกระจายกระแสที่เหมือนกับสายอากาศแบบไดโพลครึ่งคลื่น การขดสายอากาศมาขดเป็นการเพิ่มเส้นทางการไหลของกระแสและผลของการขดเป็นการลดความถี่ที่เรโซแนนท์ของสายอากาศมีแอนเดอร์ไลน์มากกว่าสายอากาศเส้นตรง ในขณะที่ใช้ขนาดความยาวที่เท่ากัน



รูปที่ 2.2 ลักษณะสายอากาศมีแอนเตอร์ไลน์ [2]

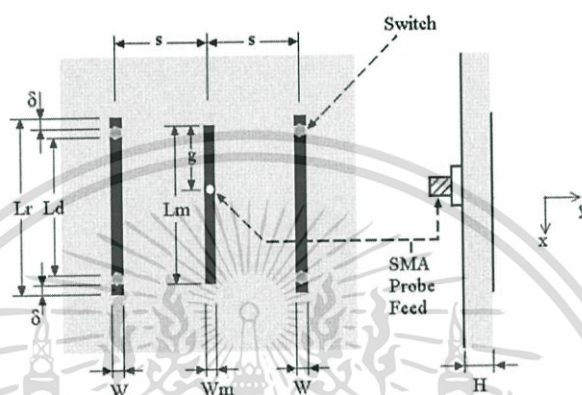
ถ้าจำนวนรอบยิ่งมากค่าประสิทธิภาพยิ่งมาก ถ้าระยะห่างที่ชิดยิ่งมากขึ้นค่าความถี่ที่เรโซแนนซ์จะยิ่งน้อยลง และถ้าระยะห่างช่องว่าง ของตัวนำเพิ่มขึ้นความถี่ที่เรโซแนนซ์จะลดลง สายอากาศแบบมีแอนเตอร์ไลน์เป็นการประยุกต์มาจากสายอากาศแบบทวง (Fold Antennas) ประสิทธิภาพของสายอากาศแบบมีแอนเตอร์ไลน์จะดีกว่าสายอากาศโมโนโพล ($\lambda/4$) และสายอากาศแบบไดโพล ($\lambda/2$)

สายอากาศที่นำเสนอมาก่อนหน้านี้เป็นสายอากาศแบบทิศทางเดียว จึงได้มีการพัฒนาสายอากาศให้ประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมกับการใช้งานมากขึ้นซึ่งเรียกว่า สายอากาศรีคอนฟิกูเรเบิล โดยสามารถแบ่งกลุ่มของสายอากาศรีคอนฟิกูเรเบิลที่แตกต่างกันได้ 4 กลุ่ม คือ

- กลุ่มที่ 1 :สายอากาศสามารถปรับเปลี่ยนแถบความถี่ (Frequency reconfigurable antenna) สามารถเปลี่ยนแถบความถี่ให้ทำงาน หรือไม่ทำงานได้ โดยแถบความถี่มีความแตกต่างกัน
- กลุ่มที่ 2 :สายอากาศสามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation pattern reconfigurable antenna) สามารถเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงาน เช่น เปลี่ยนรูปร่างของการแผ่พลังงาน เปลี่ยนทิศทางการแผ่พลังงาน หรืออัตราขยายของการแผ่พลังงาน
- กลุ่มที่ 3 :สายอากาศสามารถปรับเปลี่ยนโพลาไรเซชัน (Polarization reconfigurable antenna) ทั้งในแนวนอน แนวตั้ง เอียง $\pm 45^\circ$ คลื่นโพลาไรซ์วงซ้าย หรือคลื่นโพลาไรซ์วงขวา
- กลุ่มที่ 4 :กลุ่มนี้เป็นการรวมกันของสามกลุ่มแรก เช่น สายอากาศสามารถปรับเปลี่ยนความถี่ และ ลำคลื่นสายอากาศสามารถปรับเปลี่ยนความถี่ และโพลาไรซ์

มีการนำเสนองานเกี่ยวกับสายอากาศสามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงาน ออกมามากมาย โดยในปี ค.ศ. 2004 S. Zhang และคณะได้นำเสนอสายอากาศที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานโดยแถวลำดับปรสิตแบบไมโครสตริป สายอากาศมีลักษณะ

โครงสร้างขนาดดังรูป 2.3 ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีขนาดเล็กและมีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ทำงานที่ความถี่ 3.65 GHz มีแบนด์วิธตั้งแต่ 3.67 ถึง 3.86 GHz ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 2.3 โดยวางอยู่บนแผ่นซับสเตรต จากนั้นมีการป้อนโพรบที่ตรงกลางของสตริปกลาง โดยข้างๆสตริปตรงกลางทั้งสองด้าน สตริปพาราซิติกที่มีการสวิตช์การเชื่อมต่อไว้ และการเชื่อมต่อที่กล่าวถึงเป็นการใช้สตริปทองแดงเชื่อมต่อช่องว่าง (Gap) เท่านั้นเพื่อเป็นการพิสูจน์หลักการพื้นฐานนี้เท่านั้น

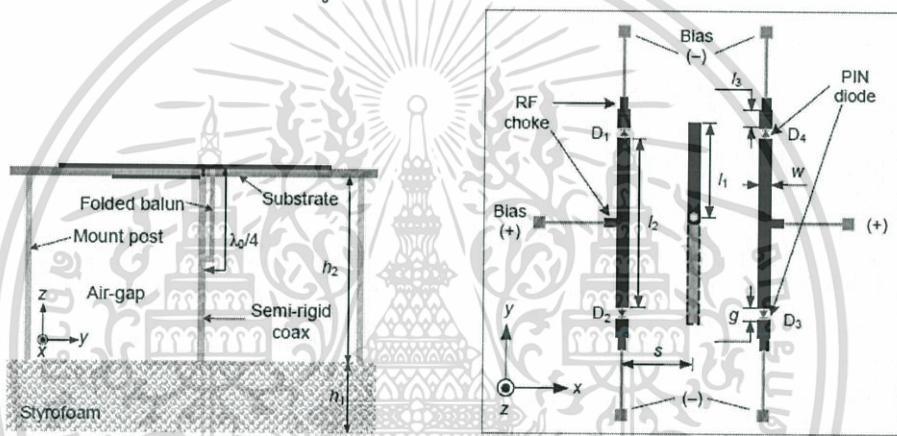


รูปที่ 2.3 สายอากาศที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานโดยแวลวลำดับปรสิคแบบไมโครสตริป [3]

จากรูปที่ 2.3 สายอากาศประกอบด้วยสตริป 3 เส้น วางขนานกันบนแผ่นพิมพ์ โดยด้านหลังแผ่นพิมพ์เป็นกราวด์ ระยะห่างระหว่างสตริปจะอยู่ประมาณหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นในอากาศ ความยาวตรงกลางสตริปอยู่ประมาณครึ่งของความยาวคลื่นในตัวกลาง (Guided wavelength) ที่ความถี่เรโซแนนซ์ ใช้หัวต่อเอสเอ็มเอในการป้อนสัญญาณ (รัศมี 0.65 mm) และเพื่อให้ได้สายอากาศที่มีอิมพีแดนซ์ที่ตี สามารถทำได้โดยการปรับจุดโพรบที่ป้อนสัญญาณไปตามแนวระนาบแกน x ที่สตริปตัวกลาง สตริปพาราซิติกที่อยู่ด้านข้างของสตริปกลางสามารถปรับให้มีขนาดยาวหรือสั้นกว่าสตริปตรงกลางได้ โดยใช้การเปิดและปิดช่องเชื่อมต่อไว้ เนื่องจากโครงสร้างสายอากาศ ซึ่งคล้ายกับไดโพลบนแผ่นพิมพ์ และเป็นโพลาไรซ์เชิงเส้น โดยสายอากาศสามารถทำงานได้ 3 รูปแบบ คือ RD DD และ DR ซึ่ง R และ D เป็นตัวสะท้อน และตัวนำคลื่น ตามลำดับ โดยการทำงานในรูปแบบ RD องค์กรประกอบช่องต่อ (Gap) ทางซ้ายจะปิด ส่วนทางขวาจะเปิด ทำให้ความยาวพาราซิติกด้านซ้ายยาวกว่าความยาวเรโซแนนซ์จึงทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อน ในทางกลับกัน พาราซิติกทางขวาจะสั้นกว่าความยาวเรโซแนนซ์เป็นตัวนำคลื่น แสดงว่าสายอากาศประพุดิตัวเหมือนสายอากาศยาคิ-อูเด แต่เนื่องด้วยสายอากาศที่นำเสนอนี้มีระนาบกราวด์อยู่ด้านหลัง ทำให้การแผ่พลังงานมีทิศไปครึ่งบน แบบรูปการแผ่พลังงานระนาบสนามแม่เหล็กเอียงไปสู่แกน $+y$ ส่วนในรูปแบบ DR จะสมมาตรกับ RD โดยหลักการการทำงานจะเหมือนกันแต่เอียงไปสู่แกน $-y$ และเมื่อช่องต่อเปิดทั้งสองด้านจะเป็นรูปแบบ DD การเหนี่ยวนำกระแสบนปรสิคทั้งสองข้างจะน้อยกว่าที่

การเหนี่ยวนำที่ตัวไดโอด ทำให้มีผลกระทบกับแบบรูปการแผ่พลังงานน้อย ดังนั้นแบบ DD มีแบบรูปการแผ่พลังงานไปด้านข้าง และแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของโหมด RD , DD , และ DR มีทิศทางการแผ่พลังงานมากที่สุดที่มุม $+35^\circ$, 0° และ -35° ตามลำดับ [3]

ต่อมาในปี ในปี 2009 [4] Jung-Woo Baik และคณะได้นำเสนอสายอากาศยาจิก-อูตะบนแผ่นพิมพ์ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานได้ สายอากาศทำงานที่ความถี่ 3 GHz โดยการสวิตซ์ตัวนำคลื่นและตัวนำคลื่นด้วยการใช้ โดยใช้อาร์เอพไดโอดพิน (RF PIN diode) ที่สามารถปรับทิศทางการแผ่พลังงานไปยังทิศทางที่สัญญาณต้องการหรือหลีกเลี่ยงทิศทางที่มีสัญญาณรบกวนในทิศทางตรงกันข้าม มีแบนด์วิธอยู่ที่ 210 MHz (2.9-3.11 GHz) อัตราขยาย 8.02 dBi ลักษณะโครงสร้างสายอากาศแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 2.4 สายอากาศยาจิก-อูตะบนแผ่นปริ้นที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงาน [4]

สายอากาศสร้างบน RT/Duroid 5880 ด้วยค่าคงตัวไดอิเล็กตริกเท่ากับ 2.2 ความหนา 0.508 mm สายอากาศยาจิก-อูตะอยู่ จะประกอบด้วยไดรเวอร์ (Driver) โดยขาไดโพลแต่ละขาจะเชื่อมกับภายในของสายโคแอกเชียล (Inner core) และด้านนอกของสายโคแอกเชียล (Outer core) ต่อเข้ากับบาลันที่มีความยาว $\lambda_0/4$ (25 mm) ซึ่ง λ_0 เป็นความยาวคลื่นในตัวกลางที่ความถี่ศูนย์กลาง 3 GHz โครงสร้างด้านล่างคือสโตรีโฟม ตัวสะท้อนวางห่างจากไดรเวอร์เป็นระยะ 18 มิลลิเมตร ($0.25 \lambda_0$) ความหนาของไดรเวนและพาราซิติคเท่ากับ 1.5 mm แขนข้างหนึ่งของไดรเวนยาว 21.45 (l_1) ความยาวตัวนำคลื่นเป็น 34.4 มิลลิเมตร ($0.478 \lambda_0$) ความยาวของพาราซิติคที่เพิ่มเพื่อให้ทำงานเป็นตัวสะท้อนคลื่น (l_3) เท่ากับ 5.3 mm ความสูงสโตรีโฟม (h_1) และช่องอากาศ (h_2) เท่ากับ 25 mm และ 75 mm ช่องต่อสำหรับเชื่อมอาร์เอพไดโอดพินห่าง 1 มิลลิเมตร และความยาวทั้งหมดของตัวสะท้อนเป็น 47 มิลลิเมตร เมื่ออาร์เอพไดโอดพินทำงานจะเกิดการสวิตซ์จากตัวนำคลื่นเป็นตัวสะท้อนคลื่น โดยใช้อาร์เอพโซลสำหรับการไอโซเรทของพาราซิติคและไฟตรงที่ไบแอสเข้ามา เมื่อใช้ตัวเหนี่ยวนำ 100 nH และ ซิลิกอนไดโอดของ Siemens BAR64-02W โดย

การทำงานของสายอากาศนี้ ไดโอด D1 (หรือ D4) และ D2 (หรือ D3) เป็นสถานะทำงาน และอีกฝั่งจะต้องอยู่ในสถานะไม่ทำงาน โดยฝั่งที่อยู่ในสถานะทำงานจะเป็นตัวสะท้อน ส่วนที่อยู่ในสถานะไม่ทำงานจะเป็นตัวนำคลื่น จึงทำให้สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานได้ 2 ทิศทาง [4]

จากนั้นในปี 2012 H.A Majid และคณะได้นำเสนอสายอากาศยาก็ที่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่และแบบรูปการแผ่พลังงานใน [5] สายอากาศประกอบด้วยไดรเว้น ตัวสะท้อนคลื่น และตัวนำคลื่น 2 ตัว โดยใช้พินไดโอดที่ไดรเว้นเพื่อสวิตช์ความถี่ทั้งหมด 3 ความถี่ คือ 1.25GHz, 1.85 GHz และ 2.45 GHz และสามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานให้สามารถแผ่พลังงานได้ทิศทางเดียวและรอบทิศทางได้โดยการควบคุมสวิตช์พินไดโอดระหว่างตัวนำคลื่นและตัวสะท้อนคลื่น โดยสายอากาศที่มีการแผ่พลังงานทิศทางเดียวมีอัตราขยายเพิ่มจาก 3.3 dBi เป็น 5 dBi เมื่อเทียบกับสายอากาศที่มีการแผ่พลังงานรอบทิศทาง

การปรับเปลี่ยนความถี่สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนความยาวที่ไดรเว้นและการปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานสามารถทำได้จากการสวิตช์พินไดโอดที่ตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่น ดังแสดงโครงสร้างสายอากาศดังรูปที่ 3 ออกแบบโดยการใช้แผ่นพิมพ์ FR-4 ที่มีค่าไดอิเล็กตริกเท่ากับ 4.5 หนา 1.6 mm ความยาวรวมของไดรเว้นเท่ากับ 83.8 mm ตัวสะท้อนคลื่นและนำคลื่นยาว 113.8 mm และ 47 mm ตามลำดับที่ความถี่ 1.25 GHz โดยให้ระยะระหว่างตัวสะท้อนคลื่นและไดรเว้น (d) 29 mm (ประมาณ 0.25 λ ที่ 1.25 GHz) และระยะระหว่างตัวนำคลื่นและไดรเว้น (e) 38mm (ประมาณ 0.5 λ ที่ 1.85 GHz)



รูปที่ 2.5 สายอากาศยาก็ที่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่และแบบรูปการแผ่พลังงาน [5]

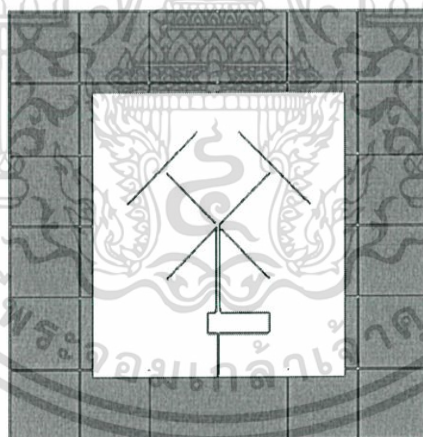
ใช้ซิลิกอนพินไดโอด BAR 64-02 สำหรับการสวิตช์เพื่อเปลี่ยนแปลงความถี่และแบบรูปการแผ่พลังงาน แต่เพื่อให้ง่ายในการจำลองผลสวิตช์ถูกแทนด้วยแผ่นทองแดง สวิตช์ถูกแทนด้วย s1,s2,s3,s4 และ s5 ดังรูป ระยะห่างระหว่าง S4 และ S5 เท่ากับ 11 mm และระยะระหว่างสวิตช์ s3 เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 8.5 ถึง 10.7mm การเปลี่ยนแปลงความถี่สามารถทำได้โดยการสวิตช์ s1 และ s2 ที่ความถี่ 1.85 GHz และ 2.45 GHz มีความยาว 51.8 mm และ 37 mm ตามลำดับ

ระยะระหว่างจุดป้อนสัญญาณและไดรเวนเท่ากับ 11 mm การปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานในทิศทางเดียวจะให้สวิตช์ s3, s4 และ s5 ทำงาน แต่ถ้าต้องการให้สามารถแผ่พลังงานได้รอบทิศทางต้องกำหนดให้ s3, s4 และ s5 ไม่ทำงาน

ใช้ตัวเก็บประจุขนาด 100 pF ทั้งสองข้างของแขนไดโพลวางไว้กับจุดป้อนสัญญาณ RF (RF input) เพื่อป้องกันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่ไหลมากับสัญญาณที่ป้อนเข้า (RF input) และใช้ตัวเหนี่ยวนำขนาด 27 nH เพื่อไม่ให้สัญญาณ RF ผ่าน จากการที่ไบแอสไฟตรงเข้ามา

อัตราขยายของสายอากาศที่เพิ่มขึ้นจากสายอากาศไดโพลเป็นสายอากาศยาก็ที่ความถี่ 1.25, 1.85 GHz และ 2.45 GHz เป็น 2.8 dBi, 4.69 dBi และ 5 dBi ตามลำดับ

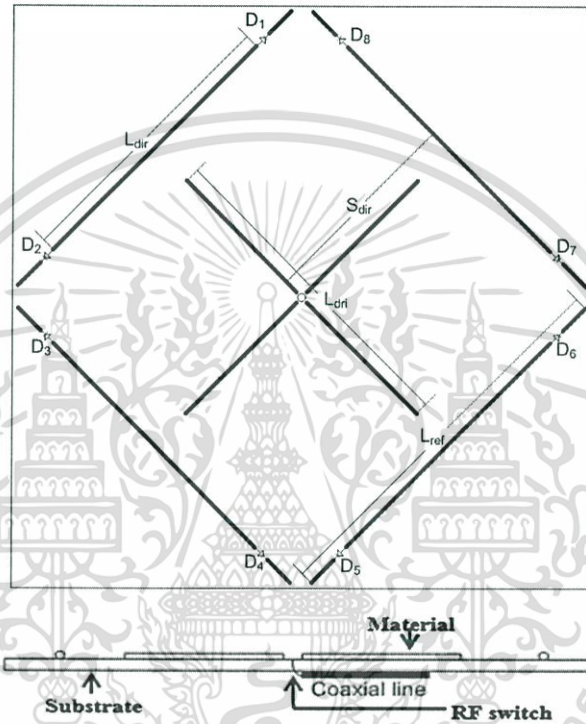
ในปี 2012 ไชยณรงค์ กิตติญาณปัญญา และ โมไนย ไกรฤกษ์ ได้นำเสนอสายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงาน เพื่อใช้รับสัญญาณโทรทัศน์ที่ย่านความถี่เอชเอฟ (558-566 MHz) สำหรับการติดตั้งบนหลังคารถซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้า จึงมีการใช้โครงสร้างอเล็กโตรแม็กเนติกแบนด์แก๊ปที่ประพุดิตัวเหมือนตัวนำแม่เหล็ก โดยเริ่มแรกออกแบบสายอากาศควอไซยาก็ที่สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการแผ่พลังงานได้ 2 ทิศทางบนตัวนำแม่เหล็ก โดยใช้สวิตช์อาร์เอฟในการสวิตช์เลือกให้สายอากาศไดโพลเอียง $\pm 45^\circ$ แบนด์วิดท์ของสายอากาศเท่ากับ 19 MHz และอัตราขยายเท่ากับ 4.21 dBi ที่ความถี่ 562 MHz



รูปที่ 2.6 จำลองโครงสร้างสายอากาศควอไซยาก็ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานได้ 2 ทิศทาง บนตัวนำแม่เหล็ก [6]

จากนั้นจึงได้พัฒนาสายอากาศให้ปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานได้ 4 ทิศทางบนตัวนำแม่เหล็ก โดยอยู่บนพื้นฐานของสายอากาศยาก็ ซึ่งองค์ประกอบพาราซิตีของสายอากาศสามารถเปลี่ยนเป็นไดเรกเตอร์ หรือตัวสะท้อนได้โดยใช้ไดโอดพิน และในองค์ประกอบรับการป้อน

สามารถสวิตช์ไดโพลให้เอียง $\pm 45^\circ$ โดยใช้สวิตช์อาร์เอฟ ซึ่งทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงาน และสายอากาศสามารถสวิตช์แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบอะซิมูตด้วยลำคลื่นที่เอียงขึ้นจากระนาบของสายอากาศได้ โดยแบนด์วิดท์ของสายอากาศเท่ากับ 32 MHz และอัตราขยายเท่ากับ 2.01 dBi ที่ความถี่ 562 MHz จากการทดสอบภาคสนามแสดงให้เห็นว่าสายอากาศนี้มีอัตราขยายไดเวอร์ซิตี 16 dB เมื่อเทียบกับสายอากาศแบบลำคลื่นคงที่ [6]



รูปที่ 2.7 สายอากาศยาก็ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานได้ 4 ทิศทาง [6]

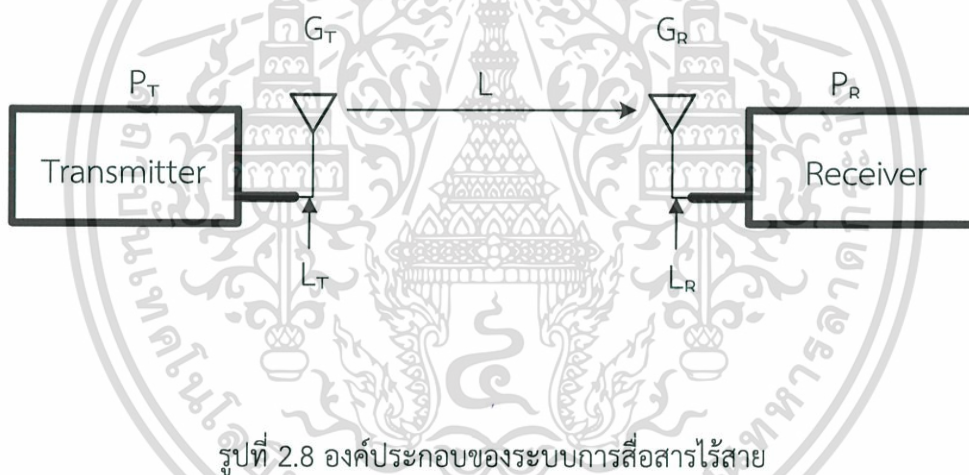
2.2 ทฤษฎีและหลักการของระบบสื่อสารไร้สาย

ใน พ.ศ.2555 ประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงระบบโทรทัศน์ภาคพื้นดินเข้าสู่ยุคดิจิทัลดำเนินการโดย สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) [7] เริ่มต้นการรับส่งสัญญาณวิทยุโทรทัศน์ในระบบดิจิทัลภายใน 4 ปี นับแต่วันที่แผนแม่บทการบริหารคลื่นความถี่ใช้บังคับเมื่อวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2555 และตามแผนแม่บทกิจการกระจายเสียง และกิจการโทรทัศน์ ฉบับที่ 1 ซึ่งมีกรอบการดำเนินงานอยู่ในช่วงระหว่างปี 2555-2559 ยุทธศาสตร์การเปลี่ยนผ่านไปสู่การรับส่งสัญญาณวิทยุกระจายเสียงและวิทยุโทรทัศน์ในระบบดิจิทัล ได้มีการกำหนดระยะเวลาในการดำเนินงาน อาทิ ให้มีการเริ่มรับส่งสัญญาณวิทยุกระจายเสียงและวิทยุโทรทัศน์ในระบบดิจิทัล ภายใน 4 ปี มีมาตรการส่งเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนับสนุนการวิจัยและพัฒนาการผลิตอุปกรณ์รับสัญญาณวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ภายใน 3 ปี มีมาตรการส่งเสริมสนับสนุนอุปกรณ์รับสัญญาณวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ในระบบดิจิทัลสำหรับผู้มีรายได้ไม่น้อยภายใน 3 ปี และมีจำนวนครัวเรือนในเมืองใหญ่ที่สามารถรับสัญญาณวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ในระบบดิจิทัลได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ภายใน 5 ปี

สายอากาศเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปเรียกว่าตัวส่ง และในทางกลับกันก็รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้ามาเรียกว่าตัวรับ ดังนั้นหน้าที่ดังกล่าวของสายอากาศจึงเป็นจุดเริ่มต้นของระบบการสื่อสารไร้สาย ซึ่งเป็นการสื่อสารโดยไม่ผ่านสายเคเบิลใดๆ จึงอาจได้ว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของระบบการสื่อสารไร้สาย ระบบสื่อสารไร้สายในรูปที่ 2.3 ประกอบด้วยเครื่องส่งวิทยุที่มีกำลังส่ง P_T ส่งกำลังผ่านสายส่งที่มีการสูญเสีย L_T ออกอากาศผ่านสายอากาศที่มีอัตราขยาย G_T คลื่นวิทยุจะเดินทางผ่านตัวกลาง เช่น อวกาศว่าง (Free space)มายังเครื่องรับวิทยุ ทำให้ได้กำลังรับ P_R เมื่อใช้สายอากาศที่มีอัตราขยาย G_R และสายส่งที่มีการสูญเสีย L_R



ในกรณีของอวกาศว่าง เราหาการสูญเสียได้จากสมการของฟรีส (Friis equation)

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R}{L_T L L_R} \quad (2.1)$$

$$L = \frac{P_T}{P_R} = \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad (2.2)$$

D เป็นระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสอง และ λ เป็นความยาวคลื่น เมื่อทำเป็นเดซิเบล จะเขียนสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L(dB) = 10\log\left(\frac{P_T}{P_R}\right) \quad (2.3)$$

ในทางปฏิบัติแล้วช่องสัญญาณ (Channel) ที่อยู่ระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับอาจไม่เป็นอวกาศว่าง ทำให้มีคลื่นที่เดินทางผ่านเครื่องส่งมายังเครื่องรับประกอบด้วยหลายส่วน ไม่ว่าจะเป็นคลื่นเดินทางตรงมาจากเครื่องส่ง รวมทั้งคลื่นหลายวิถี (multipath) ที่เกิดจากการสะท้อน (Reflect) จากผนังเรียบของอาคาร เลี้ยวเบน (Diffract) จากขอบของอาคาร กระเจิง (Scatter) จากผิวขรุขระจากสิ่งต่างๆที่มีในช่องสัญญาณ รูปที่ 2.3 ประกอบ ซึ่งคลื่นเหล่านี้เมื่อมาถึงเครื่องรับจะรวมกันแบบเฟสเซอร์ (Phasor) ที่คิดผลของเฟสด้วย ทำให้อาจเสริมหรือหักล้างกันขึ้นอยู่กับระยะทางที่คลื่นเดินทาง สิ่งเหล่านี้จะเป็นบ่อเกิดของสัญญาณรบกวน (Noise source) ที่จะมีค่าเป็นผลคูณกับคลื่นที่ส่งมาจากสายอากาศส่ง

นอกจากนี้สัญญาณรบกวนจากความร้อนในเครื่อง (Thermal noise) รวมทั้งจากบรรยากาศรวมถึงการแทรกสอด (Interference) ต่างๆจะมีผลในลักษณะผลบวกต่อสัญญาณที่ถูกส่งมาจากเครื่องส่ง อิทธิพลเหล่านี้ทำให้ขนาดของกำลังที่เครื่องรับมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามเวลาได้ ทำให้สัญญาณที่รับได้มีค่าไม่คงที่ มีการจางหาย (Fading) ของสัญญาณ

2.3 เทคโนโลยีโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล

2.3.1 ขอบข่าย

แผนความถี่วิทยุฉบับนี้กำหนดช่องความถี่วิทยุและเงื่อนไขการใช้งานความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลซึ่งอาศัยระบบ Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2) บนย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency : UHF) [4] โดยแผนความถี่วิทยุฉบับนี้สอดคล้องกับนโยบายด้านการวางแผนความถี่ในประกาศคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง แผนการเปลี่ยนระบบการรับส่งสัญญาณวิทยุโทรทัศน์เป็นระบบดิจิทัลทั้งนี้แผนความถี่วิทยุฉบับนี้เป็นการกำหนดสำหรับช่วงการรับส่งสัญญาณวิทยุโทรทัศน์ในระบบดิจิทัลและระบบแอนะล็อกแบบคู่ขนาน (Simulcast) โดยมีความสอดคล้องกับแผนความถี่วิทยุโทรทัศน์ของประเทศ พ.ศ. 2539 ซึ่งเป็นแผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบแอนะล็อกเดิม

2.3.2. ความถี่วิทยุ

- 1) กำหนดความถี่วิทยุ 510 – 790 เมกะเฮิร์ตซ์
- 2) กำหนดความกว้างแถบคลื่นความถี่ (Bandwidth) 8 เมกะเฮิร์ตซ์
- 3) กำหนดช่องความถี่วิทยุเป็นดังรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| หมายเลข ช่องความถี่ วิทยุ | ความถี่วิทยุ (เมกะเฮิรตซ์) | | ความถี่ กึ่งกลาง (Center Frequency) | หมายเลข ช่องความถี่ วิทยุ | ความถี่วิทยุ (เมกะเฮิรตซ์) | | ความถี่ กึ่งกลาง (Center Frequency) |
|---------------------------------|-------------------------------|-------|--|---------------------------------|-------------------------------|-------|--|
| | ขอบล่าง | ขอบบน | | | ขอบล่าง | ขอบบน | |
| 26 | 510 | 518 | 514 | 44 | 654 | 662 | 658 |
| 27 | 518 | 526 | 522 | 45 | 662 | 670 | 666 |
| 28 | 526 | 534 | 530 | 46 | 670 | 678 | 674 |
| 29 | 534 | 542 | 538 | 47 | 678 | 686 | 682 |
| 30 | 542 | 550 | 546 | 48 | 686 | 694 | 690 |
| 31 | 550 | 558 | 554 | 49 | 694 | 702 | 698 |
| 32 | 558 | 566 | 562 | 50 | 702 | 710 | 706 |
| 33 | 566 | 574 | 570 | 51 | 710 | 718 | 714 |
| 34 | 574 | 582 | 578 | 52 | 718 | 726 | 722 |
| 35 | 582 | 590 | 586 | 53 | 726 | 734 | 730 |
| 36 | 590 | 598 | 594 | 54 | 734 | 742 | 738 |
| 37 | 598 | 606 | 602 | 55 | 742 | 750 | 746 |
| 38 | 606 | 614 | 610 | 56 | 750 | 758 | 754 |
| 39 | 614 | 622 | 618 | 57 | 758 | 766 | 762 |
| 40 | 622 | 630 | 626 | 58 | 766 | 774 | 770 |
| 41 | 630 | 638 | 634 | 59 | 774 | 782 | 778 |
| 42 | 638 | 646 | 642 | 60 | 782 | 790 | 786 |
| 43 | 646 | 654 | 650 | | | | |

รูปที่ 2.9 ตารางกำหนดช่องความถี่วิทยุ [8]

2.3.3 สถานีวิทยุคมนาคมสำหรับกิจการโทรทัศนภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล

2.3.3.1 สถานที่ตั้งของสถานีวิทยุคมนาคม

สถานที่ตั้งของสถานีวิทยุคมนาคมสำหรับกิจการโทรทัศนภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล (เครื่องส่งและระบบสายอากาศ) จะอ้างอิงจากแนวทางในรูปที่ 2.10 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดการใช้งานโครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่เดิมและการใช้งานโครงสร้างพื้นฐานร่วมกัน รวมถึงให้มีเขตบริการใกล้เคียงกับระบบแอนะล็อกเดิม ทั้งนี้คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศนและกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติจะพิจารณาให้ตั้งสถานีวิทยุคมนาคมตามเหตุผลและความจำเป็นโดยที่เขตบริการต้องมีคุณลักษณะทางวิชาการสอดคล้องกับเขตบริการที่คำนวณได้จากรูปที่ 2.10

2.3.3.2 ความสูงของสายอากาศ

กำหนดให้ความสูงของสายอากาศจากระดับพื้นดินเฉลี่ยเป็นไปตามแนวทางในรูปที่ 2.10 ทั้งนี้คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศนและกิจการโทรคมนาคม

แห่งชาติจะพิจารณาให้ติดตั้งสายอากาศตามระดับความสูงที่เหมาะสม โดยที่เขตบริการต้องมีคุณลักษณะทางวิชาการสอดคล้องกับที่กำหนดไว้ในรูปที่ 2.10

2.3.3.3 กำลังส่งสูงสุดของเครื่องส่ง (Maximum Transmitter Power)

ไม่กำหนดค่ากำลังส่งสูงสุดของเครื่องส่ง แต่เมื่อเครื่องส่งทำงานร่วมกับระบบสายอากาศแล้วควรมีกำลังส่งออกอากาศ (ERP) ตามแนวทางในตารางรูปที่ 2.10 ซึ่งค่ากำลังส่งออกอากาศดังกล่าวหมายถึง ค่ากำลังส่งออกอากาศจริงในทิศทางที่กระจายคลื่นสูงสุดและได้นำมาใช้ในการคำนวณเขตบริการ

ทั้งนี้คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติจะพิจารณาให้ใช้กำลังส่งออกอากาศเท่าที่จำเป็นหรือควบคุมการแพร่กระจายคลื่นในแต่ละทิศทางเพิ่มเติมจากที่ระบุไว้ในตารางรูปที่ 2.10 เพื่อป้องกันการรบกวนซึ่งกันและกัน

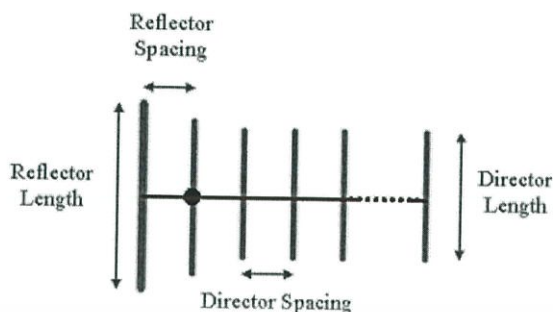
| No. | Name | Area | Lat | Long | GL(m) | h(m) | h1(m) | CG | #1 | #2 | #3 | #4 | #5 | Ach | Max ERP (kW) |
|-----|-----------------|-------------|---------------|----------------|-------|------|-------|----|----|----|----|----|----|-------------|--------------|
| 1.0 | กรุงเทพ | จันทบุรี | 13 45 15.6 N | 100 32 24 E | 330 | 25 | 341 | D2 | 26 | 36 | 40 | 44 | 48 | 29/32 | 155.00 |
| 1.1 | ท่าตะเกียบ | | | | | | | D1 | 28 | 31 | 35 | 39 | 43 | - | |
| 1.2 | พิบูลย์ | อ.ศรีราชา | 13 11 23.36 N | 100 57 02.03 E | 260 | 40 | 260 | D3 | 27 | 30 | 33 | 37 | 41 | 38/46/48/50 | 2.22 |
| 1.3 | หนองใหญ่ ชลบุรี | | | | | | | D4 | 34 | 38 | 42 | 46 | 50 | - | |
| 1.4 | นครนายก | | | | | | | D1 | 28 | 31 | 35 | 39 | 43 | - | |
| 1.5 | สมุทรสงคราม | | | | | | | D2 | 26 | 36 | 40 | 44 | 48 | - | |
| 1.6 | พระนครศรีอยุธยา | | | | | | | D2 | 26 | 36 | 40 | 44 | 48 | - | |
| 2.0 | กาญจนบุรี | เมือง | 14 04 28.1 N | 99 25 13.8 E | 35 | 120 | 124 | D3 | 27 | 30 | 41 | 45 | 49 | 34/38/48 | 22.80 |
| 2.1 | ทองกภูมิ | | | | | | | D2 | 32 | 36 | 40 | 26 | 29 | - | |
| 2.2 | ศรีสวัสดิ์ | | | | | | | D3 | 33 | 37 | 41 | 27 | 30 | - | |
| 2.3 | สิงห์บุรี | | | | | | | D1 | 35 | 39 | 43 | 28 | 31 | - | |
| 2.4 | ราชบุรี | | | | | | | D3 | 33 | 37 | 41 | 27 | 30 | - | |
| 2.5 | จอมบึง | | | | | | | D2 | 26 | 36 | 40 | 44 | 41 | - | |
| 2.6 | โพธาราม | | | | | | | D3 | 33 | 37 | 41 | 27 | 30 | - | |
| 3.0 | สีทันดร | ศาลายาระงัน | 14 49 59 N | 100 22 51 E | 5 | 120 | 124 | D1 | 47 | 51 | 35 | 39 | 43 | 28/31/53 | 61.00 |
| 3.1 | สุพรรณบุรี | เมือง | 14 29 0 N | 100 8 0 E | 10 | 120 | 100 | D1 | 47 | 51 | 35 | 39 | 43 | - | 1.60 |
| 3.2 | กำแพง | | | | | | | D2 | 29 | 32 | 36 | 40 | 26 | - | |
| 3.3 | ม่วงเหล็ก | ม่วงเหล็ก | 14 39 1.8 N | 101 09 25 E | 559 | 30 | 469 | D1 | 47 | 51 | 35 | 39 | 43 | 34 | 0.075 |
| 3.4 | ชัยบาดาล | | | | | | | D1 | 47 | 51 | 35 | 39 | 43 | - | |

รูปที่ 2.10 ตารางแผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลประเทศ [8]

2.4 ทฤษฎีและหลักการของสายอากาศยาคิ-อูตะ

สายอากาศยาคิ-อูตะเป็นพื้นฐานในการสร้างสายอากาศยาคิมิแอนเดอร์ไลน์ สายอากาศยาคิ-อูตะของ Hidetsugu Yagi ที่ตีพิมพ์ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1928 [9]

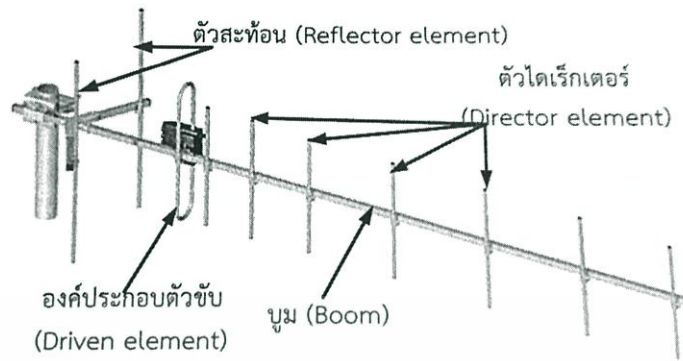
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 สายอากาศยาคิ-อุตะของ Hidetsugu Yagi [9]

หนทางหนึ่งที่จะทำการเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศไดโพล คือ การใช้การจัดวางสายอากาศแบบอาร์เรย์ โดยทั่วไปองค์ประกอบของอาร์เรย์ทุกตัวจะมีลักษณะเหมือนกันและมีฟังก์ชันการทำงานเหมือนกัน โดยเชื่อมต่อกันด้วยระบบสายป้อน (Feeding network) และอาร์เรย์อีกแบบจะมีเพียงองค์ประกอบตัวเดียวเท่านั้นที่ใช้เป็นตัวส่งหรือตัวรับ ส่วนองค์ประกอบตัวอื่น ๆ จะเป็นแค่ตัวพาราสิติก (Parasitic) โดยจะเรียกอาร์เรย์ชนิดนี้ว่า พาราสิติกอาร์เรย์ (Parasitic array) โดยองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เรียกว่า องค์ประกอบพาราสิติก ที่ไม่ใช่ตัวขับ (Driven) จะได้รับการกระตุ้นจากการคัปปลิงระยะใกล้จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวขับ โดยพาราสิติกอาร์เรย์เชิงเส้นที่ขนานกับไดโพลจะเรียกว่า ยาคิ-อุตะอาร์เรย์ (Yagi-Uda array) หรือ สายอากาศยาคิ-อุตะ (Yagi-Uda antenna) หรือเรียกง่าย ๆ ว่า ยาคิ สายอากาศยาคิ-อุตะได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในการนำมาประยุกต์ใช้งาน โดยเฉพาะเป็นสายอากาศรับในระบบโทรทัศน์ ทั้งนี้เนื่องจากการออกแบบที่ไม่ซับซ้อนมากนัก ต้นทุนต่ำและมีอัตราขยายที่ค่อนข้างสูง โดยในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงหลักการและการออกแบบสายอากาศยาคิ-อุตะซึ่งมีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบชี้ทิศทาง ส่วนประกอบหลักๆประกอบด้วย 4 ส่วน คือ องค์ประกอบตัวขับ (Driven element) องค์ประกอบตัวสะท้อน (Reflector element) องค์ประกอบตัวไดเรกเตอร์ (Director element) และสุดท้ายคือส่วนของแกนที่ยึดองค์ประกอบให้อยู่ด้วยกัน เรียกว่า บูม (Boom)

ส่วนประกอบทั้ง 4 แสดงดังรูปที่ 2.12 โดยทั่วไปจะเรียกสายอากาศยาคิตตามจำนวนองค์ประกอบทั้งหมด เช่น รูปที่ 2.12 เป็นสายอากาศยาคิ 9E (E มาจากคำว่า Element-ข้อ) ประกอบด้วย ตัวขับ 1 องค์ประกอบ ตัวสะท้อน 1 องค์ประกอบ และตัวไดเรกเตอร์ 7 องค์ประกอบ



รูปที่ 2.12 โครงสร้างสายอากาศยาภิ-อูตะและองค์ประกอบต่างๆ [9]

สายอากาศยาภิที่สั้นที่สุดจะประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วน คือ มีเพียง ตัวขับ ตัวสะท้อน และไดเรกเตอร์อย่างละหนึ่งตัว (3E) เพื่อทำความเข้าใจหลักการทำงานเบื้องต้นของสายอากาศยาภิจะใช้สายอากาศยาภิที่สั้นที่สุดช่วยในการอธิบาย โดยเริ่มต้นจากตัวขับและเพิ่มตัวพาราสิติก (ตัวสะท้อนและตัวไดเรกเตอร์) โดยตัวขับจะใช้ไดโพลเรโซแนนซ์ความยาวครึ่งความยาวคลื่น (Resonant half-wavelength dipole) และถ้านำตัวพาราสิติกมาวางไว้ใกล้ ๆ ตัวขับ ดังนั้นสนามที่ส่งไปยังตัวพาราสิติกจะมีค่าเท่ากับบอออกจากตัวขับ

$$E_{incident} = E_{driven} \quad (2.4)$$

กระแสที่เกิดขึ้นจะไปกระตุ้นตัวพาราสิติกและผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นคือ จะเกิดสนามไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกจะเรียกว่า $E_{parasitic}$ ในทิศทางสัมผัส (Tangent) กับเส้นลวด โดยจะมีขนาดเท่ากัน แต่มีเฟสตรงกันข้ามกับคลื่นที่ตกกระทบที่ส่งมาจากตัวขับที่วางไว้ใกล้ ๆ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าสนามไฟฟ้าที่ส่วนของตัวพาราสิติกจากตัวขับจะเกิดตามแนวสัมผัสและสนามไฟฟ้ารวมแนวสัมผัสของตัวนำสมบูรณ์จะมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือ $E_{incident} + E_{parasitic} = 0$ และจากสมการที่ (2.4) สามารถเขียนใหม่เป็น

$$E_{parasitic} = -E_{incident} = -E_{driven} \quad (2.5)$$

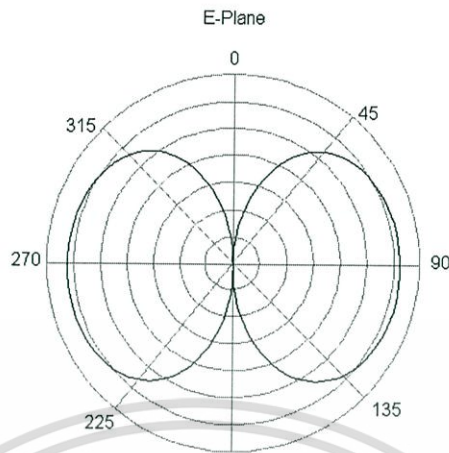
สายอากาศยาภิ-อูตะ ประกอบด้วยจำนวนขององค์ประกอบไดโพลที่เรียงเป็นเส้นตรง โดยหนึ่งตัวในนั้นจะถูกป้อนด้วยแหล่งกำเนิดกำลัง (Driven element) ส่วนที่เหลือจะประพืดตัวเป็นปรสิติกซึ่งจะมีไดเรกเตอร์ และตัวสะท้อน ซึ่งเหนี่ยวนำโดยการเชื่อมต่อร่วม และสายอากาศนี้จะเป็นแถวลำดับแบบเอนด์ไฟร์

การสร้างลำคลื่นแบบเอนตีไฟร์ให้สำเร็จ องค์ประกอบปรสิทในทิศของลำคลื่นจะมีความยาวสั้นกว่าความยาวขององค์ประกอบที่ถูกป้อน โดยปกติความยาวขององค์ประกอบรับการป้อนจะเรโซแนนซ์ด้วยความยาวที่สั้นกว่าครึ่งความยาวคลื่น $\lambda/2$ (โดยปกติ 0.45-0.49 λ) ในทางตรงกันข้ามความยาวของไดเรกเตอร์จะอยู่ประมาณ 0.4-0.45 λ อย่างไรก็ตามไดเรกเตอร์ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องมีความยาว หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เท่ากัน ระยะห่างระหว่างไดเรกเตอร์โดยปกติอยู่ประมาณ 0.3-0.4 λ และไม่จำเป็นที่จะต้องมีรูปแบบเฉพาะสำหรับการออกแบบที่เหมาะสม ความยาวของตัวสะท้อนจะยาวกว่าความยาวขององค์ประกอบรับการป้อน ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบรับการป้อน และตัวสะท้อนจะเหมาะสมอยู่ที่ 0.25 λ

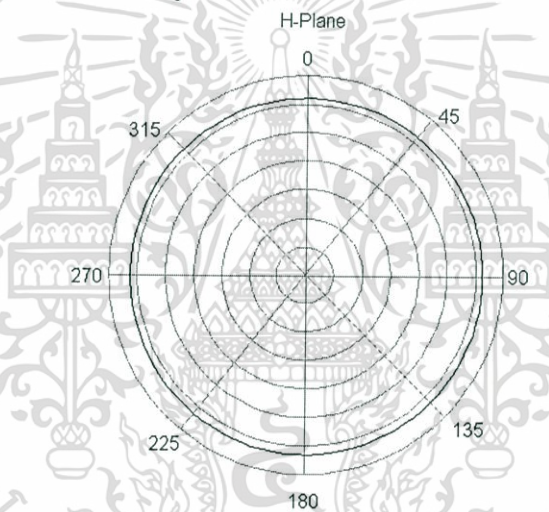
2.5 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานในการวิเคราะห์สายอากาศ

2.5.1 แบบรูปการแผ่กำลังงาน (Radiation Pattern)

แบบรูปการแผ่กำลังงานหรือแบบรูปกระจายคลื่นของสายอากาศได้ถูกนิยามว่า “เป็นการนำเสนอคุณสมบัติในการแผ่กำลังงานของสายอากาศในรูปของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นในรูปพิกัดตำแหน่ง (Space coordinate) ในการพิจารณาแบบรูปการแผ่กำลังงานจะต้องกระทำในบริเวณสนามระยะไกล (Far-Field Region) เท่านั้นและจะนำเสนอในรูปฟังก์ชันของพิกัดทิศทาง (Directional coordinate) เสมอ” [10] แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) จากสายอากาศมีความสำคัญมากโดยเฉพาะในขั้นตอนการออกแบบระบบสื่อสารไร้สายเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปแบบของสายอากาศเป็นหลักผลกระทบของขนาดสายอากาศ กับรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นดังตัวอย่าง คือ ถ้านำสายอากาศ ไดโพลขนาดหนึ่งความยาวคลื่น และสายอากาศไดโพลขนาดครึ่งความยาวคลื่น มาใช้กับคลื่นวิทยุความถี่เดียวกัน ระยะทางที่ประจุไฟฟ้า ใช้ในการเดินทางบนสายอากาศจะแตกต่างกัน ส่งผลให้รูปแบบ ของสนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้นระหว่างประจุไฟฟ้าบวกลบแตกต่างกัน ลักษณะของสนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้นก็คือรูปแบบในการแผ่กระจายคลื่นนั่นเองดังรูปที่ 2.13 และลักษณะการแผ่กระจายของสนามแม่เหล็กของสายอากาศไดโพลมีลักษณะดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 แบบรูปการแผ่กระจายสนามไฟฟ้าไดโพล [10]



รูปที่ 2.14 แบบรูปการแผ่กระจายสนามแม่เหล็กไดโพล [10]

2.5.2 อัตราขยาย (Gain)

อัตราขยายเป็นหนึ่งจากการวัดที่ใช้อธิบายประสิทธิภาพของสายอากาศ อัตราขยายจะมีความสัมพันธ์กับค่าเจาะจงทิศทาง โดยอัตราขยายของสายอากาศจะวัดคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของแบบรูปและรวมประสิทธิภาพของสายอากาศรวมเข้าด้วยกัน ในขณะที่ค่าสภาพเจาะจงทิศทางอธิบายคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของแบบรูปสายอากาศเท่านั้น

อัตราขยายของสายอากาศ ในทิศทางที่กำหนดถูกนิยามว่า เป็นอัตราส่วนของความเข้มในทิศทางที่กำหนดต่อความเข้มการแผ่พลังงาน ที่ได้จากสายอากาศที่เป็นไอโซทรอปิก กำลังการแผ่พลังงานของไอโซทรอปิกที่ให้ความเข้มการแผ่พลังงาน มีค่าเท่ากับกำลังที่รับได้ (อินพุต) ด้วยสายอากาศหารด้วย 4π สามารถเขียนในรูปสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Gain = 4\pi \frac{\text{radiation intensity}}{\text{total input (accepted) power}} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.6)$$

โดยทั่วไปมักจะกล่าวถึงอัตราขยายสัมพัทธ์ (Relative gain) ซึ่งถูกนิยามเป็นอัตราส่วนของอัตราขยายกำลังในทิศทางที่กำหนดต่ออัตราขยายกำลังของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น เมื่อกำลังที่ป้อนเข้าสู่สายอากาศทั้งสองนั้นต้องเท่ากัน สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบอาจเป็นแหล่งจ่ายไอโซทรอปิก สายอากาศไดโพล สายอากาศปากแตร หรือสายอากาศอื่น ๆ ซึ่งคำนวณอัตราขยายได้ง่ายหรือรู้ค่าอยู่แล้ว แต่ส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบจะเป็นแหล่งจ่ายไอโซทรอปิกที่ไม่มีการสูญเสีย ดังนั้น

$$G = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in} (\text{lossless isotropic source})} \quad (2.7)$$

เมื่อไม่กำหนดทิศทาง อัตราขยายของกำลังปกติจะหมายถึงทิศทางของการแผ่พลังงานมากที่สุด

เมื่อกำลังงานที่แผ่กระจายรวม (P_{rad}) สัมพันธ์กับกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ (P_{in}) ด้วย

$$P_{rad} = e_{cd} P_{in} \quad (2.8)$$

เมื่อ e_{cd} คือประสิทธิภาพของสายอากาศ โดยข้อกำหนดของมาตรฐาน IEEE อัตราขยายจะไม่รวมการสูญเสียของการที่สายอากาศไม่แมตซ์และการสูญเสียที่เกิดจากการที่ไม่แมตซ์ของโพลาริเซชัน

มีการแบ่งอัตราขยายออกเป็นสองอย่างคือ อัตราขยาย (G) และอีกอันคืออัตราขยายสัมบูรณ์ (Absolute Gain : G_0) ซึ่งจะรวมการสูญเสียการสะท้อนที่เกิดจากการไม่แมตซ์สมการ 2.8 แทนใน สมการ 2.7 จะได้

$$G(\theta, \phi) = e_{cd} \left[4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{rad}} \right] \quad (2.9)$$

ซึ่งสัมพันธ์ระหว่างสภาพเจาะจงทิศทางกับอัตราขยายเป็นดังสมการ

$$G(\theta, \phi) = e_{cd} D(\theta, \phi) \quad (2.10)$$

ในทำนองเดียวกัน ค่าสูงสุดของอัตราขยายจะสัมพันธ์กับค่าสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดโดย

$$G_0 = G(\theta, \phi) |_{\max} = e_{cd} D(\theta, \phi) |_{\max} = e_{cd} D_0 \quad (2.11)$$

ขณะที่สมการ 2.8 จะรวมการสูญเสียผ่านตัวสายอากาศแต่จะไม่รวมการสูญเสียระหว่างสายอากาศกับสายนำสัญญาณ การสูญเสียที่จุดเชื่อมจะหมายถึงการสูญเสียจากการที่สายไม่แมตซ์กับสายนำสัญญาณ โดยจะทำให้เกิดสัมประสิทธิ์การสะท้อน ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการสะท้อน e_r และสามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} G_{abs}(\theta, \phi) &= e_r G(\theta, \phi) = (1 - |\Gamma|^2) G(\theta, \phi) \\ &= e_r e_{cd} D(\theta, \phi) = e_0 D(\theta, \phi) \end{aligned} \quad (2.12)$$

เมื่อ e_t คือ ประสิทธิภาพรวม และ G_{0abs} คือ อัตราขยายสัมบูรณ์สูงสุด โดยมีความสัมพันธ์ของสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดคือ

$$\begin{aligned} G_{0abs} &= G_{abs}(\theta, \phi)|_{\max} = e_r G(\theta, \phi)|_{\max} = (1 - |\Gamma|^2) G(\theta, \phi)|_{\max} \\ &= e_r e_{cd} D(\theta, \phi)|_{\max} = e_0 D(\theta, \phi)|_{\max} = e_0 D_0 \end{aligned} \quad (2.13)$$

ถ้าสายอากาศแมตช์กับสายนำสัญญาณ คืออินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ Z_{in} มีค่าเท่ากับอินพุตอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ Z_0 ($|\Gamma| = 0$)

อัตราขยายบางส่วนของสายอากาศสำหรับโพลาริเซชันที่กำหนดในทิศทางที่กำหนด ถูกนิยามว่าเป็นสัดส่วนของความเข้มการแผ่พลังงาน สำหรับโพลาริเซชันที่กำหนดหารความเข้มการแผ่พลังงานรวมที่เกิดจากสายอากาศไอโซทรอปิก ดังนั้นอัตราขยายสามารถหาได้จากการรวมของอัตราขยายบางส่วนในแต่ละโพลาริเซชันที่ต่างกัน สำหรับระบบโคออดิเนตแบบทรงกลม อัตราขยายสูงสุดรวม G_0 สำหรับองค์ประกอบที่ตั้งฉากกันระหว่าง θ และ ϕ ของสายอากาศสามารถเขียนได้ในรูปแบบเดียวกันกับสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด คือ

$$G_0 = G_\theta + G_\phi \quad (2.14)$$

เมื่อ G_θ และ G_ϕ สามารถหาได้จาก

$$G_\theta = \frac{4\pi U_\theta}{P_{in}} \quad (2.15)$$

$$G_\phi = \frac{4\pi U_\phi}{P_{in}} \quad (2.16)$$

เมื่อ

U_θ = ความเข้มการแผ่พลังงานในทิศทางที่กำหนดที่ประกอบด้วยองค์ประกอบสนาม

U_ϕ = ความเข้มการแผ่พลังงานในทิศทางที่กำหนดที่ประกอบด้วยองค์ประกอบสนาม

P_{in} = กำลังรวมที่อินพุต

สำหรับสายอากาศในทางปฏิบัติ เพื่อสะดวกต่อการใช้งานอย่างง่าย ค่าประมาณของอัตราขยายสูงสุดจะมีค่าเป็น

$$G_0 \approx \frac{30000}{\Theta_{1d} \Theta_{2d}} \quad (2.17)$$

ในทางปฏิบัติ เมื่อก้าวถึงอัตราขยายมักจะหมายถึง อัตราขยายกำลังงานสูงสุด ดังแสดงในสมการที่ 2.18

$$G_0(dB) = 10 \log[e_{cd} D_0] \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio : SWR)

ถ้าคลื่นที่มีแอมพลิจูดและความถี่เท่ากันสองคลื่นเคลื่อนที่ในสายส่งในทิศทางตรงกันข้ามคลื่นทั้งสองจะรวมตัวและหักล้างซึ่งกันและกันสลับกันไปผลที่ได้จะเป็นคลื่นนิ่ง (Standing wave) แสดงให้เห็นว่าคลื่นทั้งสองคลื่นรวมตัวเป็นคลื่นนิ่งได้อย่างไรสังเกตว่าจุดที่เกิดแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุดอยู่ที่เดิมเมื่อเทียบกับเวลาจุดที่คลื่นผ่านศูนย์ (Zero crossing) เรียกว่าบวม (Node) และตำแหน่งที่เกิดแอมพลิจูดสูงสุดเรียกว่ายอดโง่ง (Antinode)

อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (Voltage standing wave ratio : VSWR) ในสายส่งที่มีการสูญเสียพลังงานน้อยมีค่าจำกัดความเป็นอัตราส่วนของแรงดันที่มากที่สุดต่อแรงดันที่น้อยที่สุดเมื่อเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์

$$VSWR = \frac{|V_{max}|}{|V_{min}|} \quad (2.7)$$

เราสามารถให้ค่าจำกัดความ VSWR ให้เป็นค่าที่จุดๆหนึ่งในสายโดยใช้ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับสัมประสิทธิ์การสะท้อนดังนี้

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.8)$$

$$\Gamma = \frac{Z_m - Z_c}{Z_m + Z_c} \quad (2.9)$$

โดยที่

Γ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนของคลื่น

Z_m คือ อิมพีแดนซ์ด้านขาเข้าของสายอากาศ

Z_c คือ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายอากาศ

จากสมการ (2.9) จะพบว่าถ้า $Z_L = Z_0$ นั่นคือจะไม่เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นซึ่งจะส่งผลให้ค่า $VSWR = 1$ ซึ่งก็คือการแมตชิ่งกันระหว่างสายส่งกับสายอากาศนั่นเองแต่ถ้า $Z_L \neq Z_0$ จะทำให้ $\Gamma \neq 0$ ก็จะส่งผลทำให้ค่า $VSWR \neq 1$ นั่นคือจะเกิดการไม่แมตชิ่งกันระหว่างสายส่งกับสายอากาศซึ่งถ้าค่า VSWR มีค่ามากก็อาจส่งผลกระทบต่อเครื่องส่งทำให้เครื่องส่งเกิดความเสียหายได้สำหรับค่า VSWR ที่สามารถยอมรับได้ในทางปฏิบัตินั้นจะต้องมีค่าไม่เกิน 1.5

2.5.4 ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return loss)

การสูญเสียหรือ Loss นั้นจะเกิดขึ้นทุกครั้งเมื่อระบบการสื่อสารของเราเริ่มทำงานซึ่งผลของมันอาจจะไม่เป็นที่ต้องการของเราเพราะมันจะทำให้ระบบของเรามีประสิทธิภาพต่ำลงนั่นเองโดยการสูญเสียในทางโทรคมนาคมที่เราจะกล่าวถึงในหัวข้อนี้คือ

ค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ

ซึ่งการสูญเสียประเภทนี้มักจะเกิดขึ้นเมื่อมีการส่งสัญญาณข้อมูลเข้าไปในระบบดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.15 แสดงการเกิดการย้อนกลับของกำลังงาน [10]

ซึ่งค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Return loss [dB]} = -10 \log \left(\frac{P_r}{P_i} \right) \quad (2.10)$$

โดย

P_i คือ กำลังงานของสัญญาณอินพุต

P_r คือ กำลังงานของสัญญาณที่สะท้อนกลับ

P_o คือ กำลังงานของสัญญาณเอาต์พุต

จากสมการจะเห็นว่าค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ คืออัตราส่วนของกำลังงานของสัญญาณที่สะท้อนกลับกับกำลังงานของสัญญาณอินพุตซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพการส่งผ่านซึ่งแสดงได้ว่าถ้าค่า Return loss ต่ำๆจะยิ่งดีเนื่องจากจะมีประสิทธิภาพการส่งผ่านที่ต่ำนั่นเอง

จากการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่มีมาก่อนทำให้ทราบแนวทางในการออกแบบสายอากาศต้นแบบ โดยสายอากาศออกแบบอยู่บนพื้นฐานของสายอากาศยาคิ-อูตะ และสายอากาศที่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่และแบบรูปการแผ่พลังงานได้ ซึ่งสายอากาศทำงานที่ความถี่ของผู้ให้บริการทั้ง 5 โคร่งข่าย โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศได้แก่ แบบรูปการแผ่พลังงาน อัตราขยาย และสัมประสิทธิ์การสะท้อน [10]

บทที่ 3

การออกแบบ

บทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศยาก็มีแอนเทนน่าที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานสำหรับใช้งานที่ความถี่ 514, 594, 626, 658 และ 722 MHz ทำการออกแบบทั้ง 5 ความถี่ลงบนสายอากาศเพียงตัวเดียว ออกแบบสายอากาศโดยใช้สายอากาศยาก็เป็นสายอากาศต้นแบบในการออกแบบ และนำสายอากาศยาก็มาไขว้ทับกันในลักษณะรูปกากบาท เพื่อให้สายอากาศสามารถปรับทิศทางได้ 4 ทิศทาง ใช้ไดโอดพินในการสับเปลี่ยนความถี่และทิศทางออกแบบและจำลองผลโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อหาขนาดของสายอากาศและจำลองผลพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ เพื่อความสะดวกในการออกแบบได้ทำการออกแบบและทำการสร้างลงบนแผ่นปริ้นท์ทาง่ายและมีน้ำหนักเบา

3.1 การออกแบบสายอากาศ

3.1.1 สายอากาศยาก็มีแอนเทนน่า

สายอากาศยาก็มีแอนเทนน่าอยู่บนพื้นฐานของสายอากาศยาก็-อูตะ ซึ่งเป็นการนำสายอากาศยาก็-อูตะมาทำการขดให้มีขนาดลดลง เริ่มการออกแบบโดยคำนวณความยาวองค์ประกอบป้อนสัญญาณ หรือไดร์เวน โดยในทางทฤษฎีองค์ประกอบรับการป้อนสัญญาณจะมีความยาวประมาณความยาวครึ่งคลื่น คำนวณโดยใช้สมการความยาวคลื่น $\lambda = c/f$ คำนวณความยาวในทุกความถี่ จะได้ความยาวคลื่นที่ความถี่ต่างๆดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความยาวคลื่นที่ความถี่ต่างๆ

| ความถี่ (MHz) | ความยาวคลื่น (m) | ความยาวองค์ประกอบรับการป้อน (m) |
|---------------|------------------|---------------------------------|
| 514 | 0.58 | 0.29 |
| 594 | 0.51 | 0.25 |
| 626 | 0.48 | 0.24 |
| 658 | 0.46 | 0.23 |
| 722 | 0.42 | 0.21 |

จากตารางที่ 3.1 ที่ความถี่ 514 MHz จะมีความยาวองค์ประกอบรับการป้อนยาวกว่าความถี่อื่นๆความยาวเท่ากับ 0.29 m และความยาวองค์ประกอบรับการป้อนจะลดลงเรื่อยๆแปรผกผันกับความถี่ที่เพิ่มขึ้น จึงได้ว่าในการออกแบบส่วนองค์ประกอบรับการป้อนจะใช้ความยาวที่ความถี่ 514 MHz เป็นหลักและใช้การบากร่ององค์ประกอบรับการป้อนเพื่อสับสวิตซ์ความถี่ จากความถี่ 514 ไปที่ความถี่ 594, 626, 658 และ 722 MHz ตามลำดับ

นำองค์ประกอบรับการป้อนมาขีดและสร้างสายอากาศ โดยขีดสายอากาศลักษณะดังรูปที่ 3.1 ให้ความยาวในระนาบแกน y เท่ากับ a ความยาวระนาบแกน x เท่ากับ b กำหนดให้ a เท่ากับ b ทำการจำลองที่ความยาวการขีดเท่ากับ 10 12 14 16 18 20 22 24 26 และ 28 mm ตามลำดับ และมีความหนาหรือ w เท่ากับ 2.8 mm



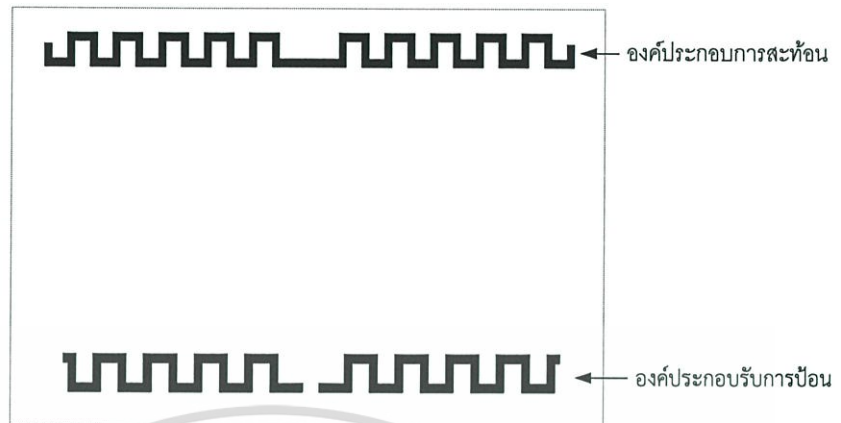
รูปที่ 3.1 การกำหนดขนาดพารามิเตอร์

จำลองสร้างและหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะได้ $|S_{11}|$ ของความยาวขีดที่ 12 mm มีค่าเท่ากับ -23.08 dB ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่เหมาะสมเนื่องจากให้ค่าอัตราขยายที่มากและค่า $|S_{11}|$ อยู่ในช่วงที่ใช้งานได้จึงเลือกความยาวนี้เป็นองค์ประกอบรับการป้อนของสายอากาศต้นแบบ ลักษณะองค์ประกอบรับการป้อนจะเป็นดังรูปที่ 3.2 ส่วนที่โตนบากร่องไบนั้นเป็นจุดสำหรับป้อนสัญญาณซึ่งเป็นที่มาของชื่อองค์ประกอบรับการป้อน จากนั้นทำการออกแบบองค์ประกอบการสะท้อนและองค์ประกอบการนำคลื่นต่อไป



รูปที่ 3.2 องค์ประกอบรับการป้อน

เมื่อได้ขนาดพารามิเตอร์องค์ประกอบรับการป้อนแล้วทำการกำหนดพารามิเตอร์ตัวต่อไปคือ องค์ประกอบการสะท้อนหรือรีเฟล็กชั่น โดยให้ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบทั้งสองเท่ากับ $\lambda/4$ หรือเท่ากับ 146 mm (ต่อไปนี้จะกล่าวถึงความยาวคลื่นของความถี่ 514 MHz) ลักษณะการออกแบบดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 องค์ประกอบการสะท้อน

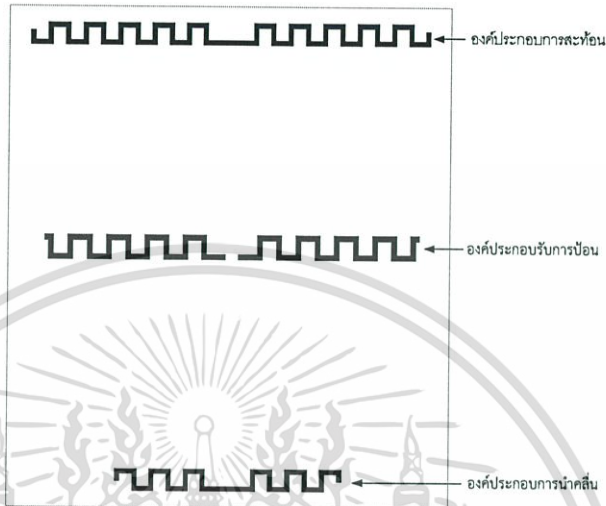
ทำการจำลองความยาวรวมขององค์ประกอบการสะท้อนเริ่มต้นให้มากกว่าความยาวรวมขององค์ประกอบรับการป้อนตั้งแต่ 0.32λ ถึง 0.38λ โดยจากการจำลองผลพบว่าเมื่อเพิ่มองค์ประกอบการสะท้อนเข้าไปจะทำให้ความถี่ที่เรโซแนนท์เปลี่ยนแปลงไป ทำการออกแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พิจารณาหาความยาวขององค์ประกอบการสะท้อน

| ความยาวรวมขององค์ประกอบการสะท้อน (m) | $ S_{11} $ (dB) | Gain (dBi) |
|--------------------------------------|-----------------|------------|
| 0.32λ | -10.80 | 5.73 |
| 0.33λ | -14.17 | 4.73 |
| 0.34λ | -15.31 | 4.66 |
| 0.35λ | -16.16 | 4.15 |
| 0.36λ | -16.89 | 3.86 |
| 0.37λ | -16.62 | 3.65 |
| 0.38λ | -16.52 | 3.57 |

ผลจากการจำลองพบว่าความยาวขององค์ประกอบการสะท้อนที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราขยายของสายอากาศ คือที่ความยาวรวมขององค์ประกอบการสะท้อนเท่ากับ 0.34λ

เมื่อได้ขนาดพารามิเตอร์องค์ประกอบรับการป้อนและองค์ประกอบการสะท้อนแล้ว กำหนดองค์ประกอบสุดท้ายคือ องค์ประกอบนำคลื่นหรือไดเรกชัน ให้ระยะห่างระหว่าง องค์ประกอบรับการป้อนและองค์ประกอบนำคลื่นเท่ากับ $\lambda/4$ หรือเท่ากับ 146 mm ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 สายอากาศยาภิรมีแอนเตอร์ไลน์

ทำการจำลองความยาวรวมขององค์ประกอบนำคลื่นเริ่มต้นให้น้อยกว่าความยาวรวมขององค์ประกอบรับการป้อน โดยมีความยาวรวมตั้งแต่ 0.16λ ถึง 0.20λ โดยให้ความยาวของ องค์ประกอบรับการป้อนคงที่ จากการจำลองผลทั้ง 5 ความถี่พบว่า การเพิ่มความยาวขององค์ประกอบนำคลื่นเข้าไปทำให้อัตราขยายมีค่ามากขึ้น แต่ความถี่ที่เรโซแนนท์มีค่าเปลี่ยนแปลงไป จึงได้ จำลองผลเพิ่มโดยการตัดให้ความยาวขององค์ประกอบรับการป้อนลดลง จะได้ค่าการจำลองผลดังตาราง ที่ 3.3 ถึง 3.5 จากนั้นทำการเพิ่มส่วนด้านปลายขององค์ประกอบนำคลื่นโดยเว้นระยะห่างที่มีการบากร่องเพื่อให้สายอากาศสามารถเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงาน พบว่าการเพิ่มส่วนด้านปลาย เข้าไปมีผลต่อผลการจำลองก่อนใส่ ดังนั้นจากผลการจำลองจึงได้เลือกความยาวขององค์ประกอบนำ คลื่นเท่ากับ 0.18λ ดังแสดงได้ดังรูป 3.5

ตารางที่ 3.3 ความยาวรวมขององค์ประกอบการนำคลื่นเมื่อทำการปรับ
ที่ความถี่ 514 MHz และ 594 MHz

| ความยาวรวมของ องค์ประกอบการนำคลื่น | 514 MHz | | 594 MHz | |
|---------------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| | $ S_{11} $ (dB) | Gain (dBi) | $ S_{11} $ (dB) | Gain (dBi) |
| 0.16 λ | -21.87 | 4.829 | -19.85 | 4.221 |
| 0.17 λ | -21.17 | 5.096 | -17.52 | 4.489 |
| 0.18 λ | -21.11 | 5.103 | -17.48 | 4.505 |
| 0.19 λ | -20.19 | 5.228 | -17.21 | 4.602 |
| 0.20 λ | -19.83 | 5.316 | -17.20 | 5.205 |

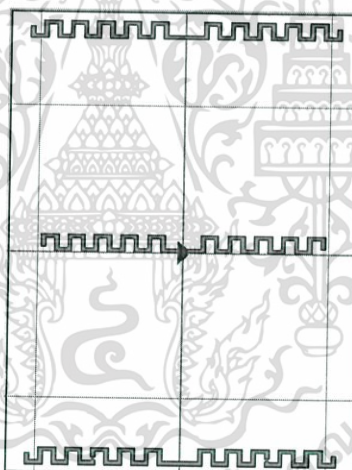
ตารางที่ 3.4 ความยาวรวมขององค์ประกอบการนำคลื่นเมื่อทำการปรับ
ที่ความถี่ 626 MHz และ 658 MHz

| ความยาวรวมของ องค์ประกอบการนำคลื่น | 626 MHz | | 658 MHz | |
|---------------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| | $ S_{11} $ (dB) | Gain (dBi) | $ S_{11} $ (dB) | Gain (dBi) |
| 0.16 λ | -17.93 | 4.140 | -17.35 | 4.045 |
| 0.17 λ | -17.31 | 4.602 | -17.00 | 4.286 |
| 0.18 λ | -17.32 | 4.669 | -16.97 | 4.308 |
| 0.19 λ | -17.70 | 4.940 | -17.89 | 4.191 |
| 0.20 λ | -14.53 | 4.758 | -20.65 | 3.550 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

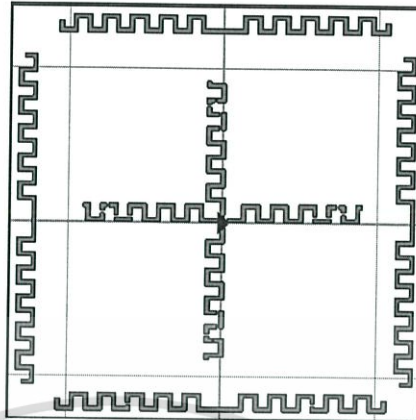
ตารางที่ 3.5 ความยาวรวมขององค์ประกอบการนำคลื่นเมื่อทำการปรับ
ที่ความถี่ 722 MHz

| ความยาวรวมของ องค์ประกอบการนำคลื่น | 722 MHz | |
|---------------------------------------|-----------------|------------|
| | $ S_{11} $ (dB) | Gain (dBi) |
| 0.16 λ | -21.98 | 3.256 |
| 0.17 λ | -60.34 | 4.063 |
| 0.18 λ | -23.41 | 4.348 |
| 0.19 λ | -23.95 | 4.453 |
| 0.20 λ | -33.30 | 4.414 |



รูปที่ 3.5 ผลการจำลององค์ประกอบการนำคลื่นเมื่อเพิ่มความยาวส่วนปลาย

เมื่อได้สายอากาศยาก็มีแอนเตอร์ไลน์แล้วนำสายอากาศยาก็ 2 ตัวมาวางไขว้กันดังรูป
ที่ 3.6 เพื่อให้ได้สายอากาศยาก็มีแอนเตอร์ไลน์ที่สามารถปรับเปลี่ยนทิศทางได้ เมื่อนำสายอากาศมา
ไขว้กันจะได้ค่าจำลองของสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราขยายดังตารางที่ 3.6



รูปที่ 3.6 สายอากาศยาก็สองตัวไขว้กัน

ตารางที่ 3.6 พิจารณาการจำลองของสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราขยายของสายอากาศยาก็สองตัวนำมาไขว้กัน

| ความยาวองค์ประกอบ การนำคลื่น | | 514 MHz | 594 MHz | 626 MHz | 658 MHz | 722 MHz |
|---------------------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0.18 λ | $ S_{11} $ (dB) | -19.66 | -18.25 | -16.02 | -17.00 | -25.43 |
| | Gain (dBi) | 4.95 | 4.41 | 4.41 | 4.10 | 4.29 |

เพื่อลดขนาดสายอากาศให้มากขึ้นกำหนดพารามิเตอร์ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบรับการป้อนกับองค์ประกอบการสะท้อน และระยะห่างระหว่างองค์ประกอบรับการป้อนกับองค์ประกอบการนำคลื่น หาระยะห่างระหว่างองค์ประกอบทั้งสองคู่นั้นโดยให้มีระยะเท่ากันและเลื่อนระยะเข้าจากเดิมที่ใช้ 0.25 λ เพื่อหาระยะให้ได้ขนาดสายอากาศที่มีขนาดเล็กและยังได้ผลที่เหมาะสม

ทั้งนี้ผลสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราขยายที่นำมาวิเคราะห์ในการเลือกพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ยึดกับทิศทางสายอากาศเพียงทิศทางเดียวซึ่งเป็นทิศทางด้านหน้าของสายอากาศ

ตารางที่ 3.7 พิจารณาระยะห่างขององค์ประกอบนำคลื่นและองค์ประกอบสะท้อน
จากองค์ประกอบรับการป้อน

| ระยะห่าง | | 514 MHz | 594 MHz | 626 MHz | 658 MHz | 722 MHz |
|----------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0.21 λ | $ S_{11} $ (dB) | -13.82 | -17.03 | -14.41 | -14.15 | -27.17 |
| | Gain (dBi) | 4.95 | 4.94 | 5.00 | 4.93 | 3.79 |
| 0.23 λ | $ S_{11} $ (dB) | -19.66 | -17.36 | -15.24 | -15.68 | -19.74 |
| | Gain (dBi) | 5.71 | 4.69 | 4.69 | 4.58 | 4.15 |
| 0.25 λ | $ S_{11} $ (dB) | -19.66 | -18.25 | -17.01 | -16.74 | -22.79 |
| | Gain (dBi) | 4.95 | 4.41 | 4.39 | 4.07 | 4.25 |
| 0.27 λ | $ S_{11} $ (dB) | -22.70 | -18.31 | -18.12 | -17.16 | -19.86 |
| | Gain (dBi) | 4.71 | 3.98 | 3.91 | 3.43 | 4.38 |

จากตารางจึงได้เลือกระยะห่างระหว่างองค์ประกอบรับการป้อนกับองค์ประกอบสะท้อน และระยะห่างระหว่างองค์ประกอบรับการป้อนกับองค์ประกอบสะท้อนเท่ากับ 122.55 mm เพื่อให้ขนาดของสายอากาศมีขนาดเล็กและมีผลการจำลองที่เหมาะสม และสุดท้ายได้มีการปรับช่องบากแต่ละความถี่อีกครั้งเพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุดและแต่ละความถี่ให้ผลการจำลองที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ผลสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราขยายที่นำมาวิเคราะห์ในการเลือกพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ยึดแบบรูปการแผ่พลังงานที่ 0 องศา หรือทิศทางไปด้านหน้าของสายอากาศ เนื่องจาก ในทิศที่ 90 , 180, และ 270 องศา

3.1.1.1 สรุปผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

- 1) สรุปผลการจำลองค่าด้วยโปรแกรมตั้งตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.8 สรุปผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ความถี่ 514 MHz

| คุณลักษณะ | | 0 degree | 90 degree | 180 degree | 270 degree |
|-----------|---------------------------|----------|-----------|------------|------------|
| 514 MHz | $ S_{11} $ (dB) | -16.84 | -17.75 | -23.91 | -19.92 |
| | Gain (dBi) | 4.61 | 4.29 | 4.54 | 5.21 |
| | F/B ระนาบ E-Plane (dB) | 8.50 | 7.00 | 7.6 | 8.2 |
| | F/B ระนาบ H-Plane (dB) | 8.66 | 7.12 | 8.8 | 11.9 |

ตารางที่ 3.9 สรุปผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ความถี่ 594 MHz

| คุณลักษณะ | | 0 degree | 90 degree | 180 degree | 270 degree |
|-----------|---------------------------|----------|-----------|------------|------------|
| 594 MHz | $ S_{11} $ (dB) | -15.54 | -13.68 | -15.47 | -13.40 |
| | Gain (dBi) | 4.39 | 4.35 | 4.37 | 4.48 |
| | F/B ระนาบ E-Plane (dB) | 5.40 | 5 | 5.2 | 5.1 |
| | F/B ระนาบ H-Plane (dB) | 5.40 | 5.0 | 5.1 | 5.5 |

ตารางที่ 3.10 สรุปผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ความถี่ 626 MHz

| คุณลักษณะ | | 0 degree | 90 degree | 180 degree | 270 degree |
|-----------|---------------------------|----------|-----------|------------|------------|
| 626 MHz | $ S_{11} $ (dB) | -13.52 | -14.21 | -13.68 | -13.71 |
| | Gain (dBi) | 4.69 | 4.58 | 4.65 | 4.66 |
| | F/B ระนาบ E-Plane (dB) | 4.8 | 4.8 | 4.4 | 4.68 |
| | F/B ระนาบ H-Plane (dB) | 4.8 | 4.8 | 4.42 | 4.7 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

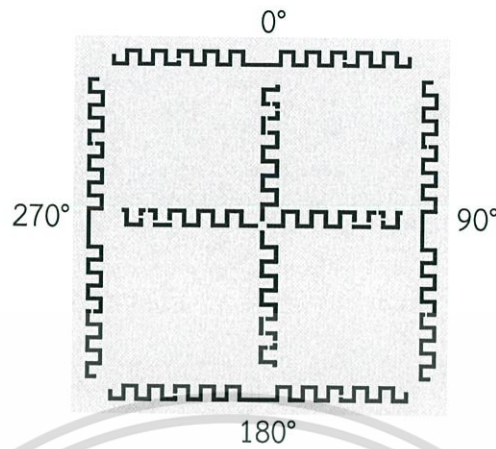
ตารางที่ 3.11 สรุปผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ความถี่ 658 MHz

| คุณลักษณะ | | 0 degree | 90 degree | 180 degree | 270 degree |
|-----------|---------------------------|----------|-----------|------------|------------|
| 658 MHz | $ S_{11} $ (dB) | -12.86 | -13.63 | -13.41 | -13.60 |
| | Gain (dBi) | 4.86 | 4.81 | 4.81 | 4.87 |
| | F/B ระนาบ E-Plane (dB) | 3.1 | 3.25 | 3.1 | 3.3 |
| | F/B ระนาบ H-Plane (dB) | 3.05 | 3.25 | 3.05 | 3.28 |

ตารางที่ 3.12 สรุปผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ความถี่ 722 MHz

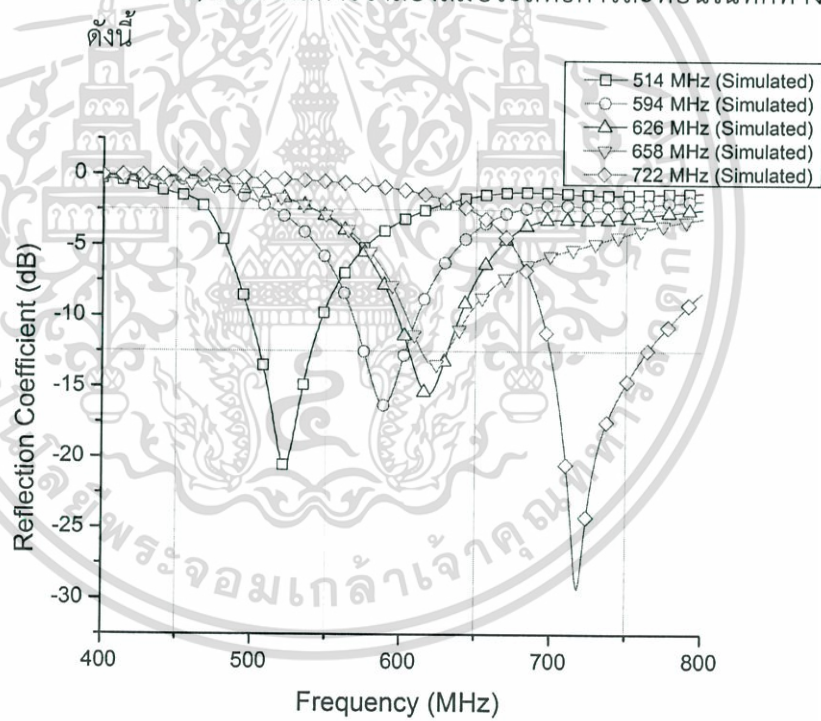
| คุณลักษณะ | | 0 degree | 90 degree | 180 degree | 270 degree |
|-----------|---------------------------|----------|-----------|------------|------------|
| 722 MHz | $ S_{11} $ (dB) | -25.93 | -26.53 | -26.89 | -25.56 |
| | Gain (dBi) | 4.50 | 4.54 | 4.52 | 4.51 |
| | F/B ระนาบ E-Plane (dB) | 4.1 | 4.4 | 4.4 | 4.1 |
| | F/B ระนาบ H-Plane (dB) | 4.15 | 4.37 | 4.42 | 4.08 |

เพื่อให้เข้าใจมากขึ้นได้ทำการแยกผลการจำลองออกเป็นทิศทางทั้งหมด 4 ทิศทางและแต่ละทิศทางมีความถี่ทั้งหมด 5 ความถี่ ทำการพล็อตค่าการจำลองในทิศทางต่างๆโดยแบบรูปการแผ่พลังงานที่ 0 องศา เรียกว่าทิศทางไปด้านหน้าของสายอากาศและที่ 90, 180, และ 270 องศาทำการหมุนตามเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 3.7



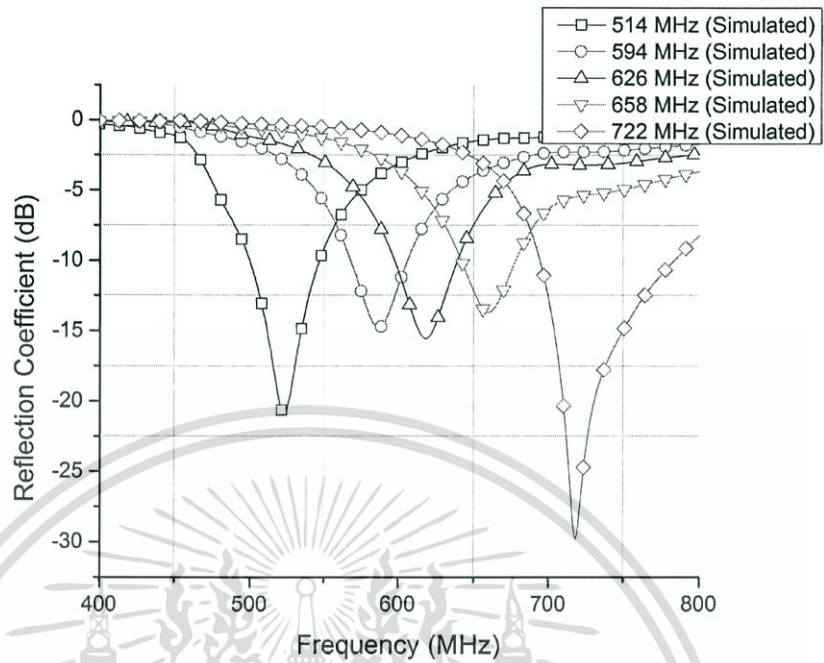
รูปที่ 3.7 ทิศทางสายอากาศ

2) แสดงผลการจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อนในทิศทางต่างๆ

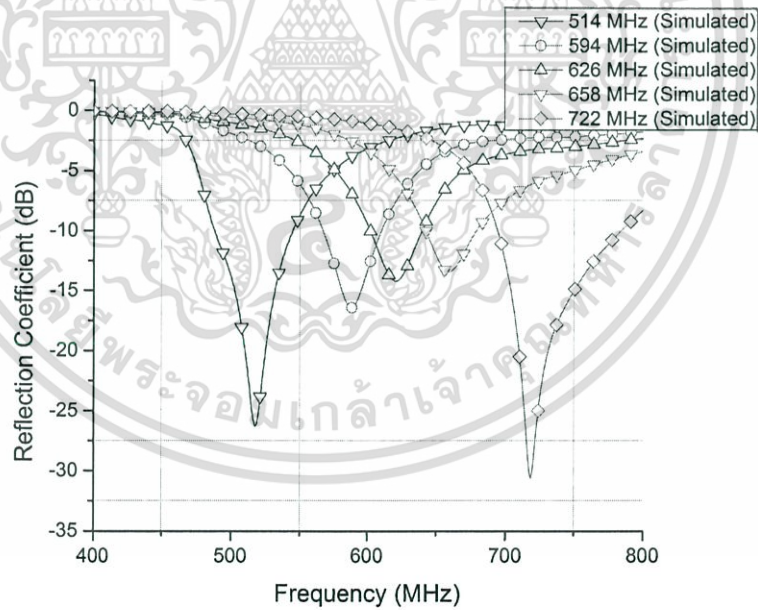


รูปที่ 3.8 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนในทิศทางการแผ่พลังงานที่ 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

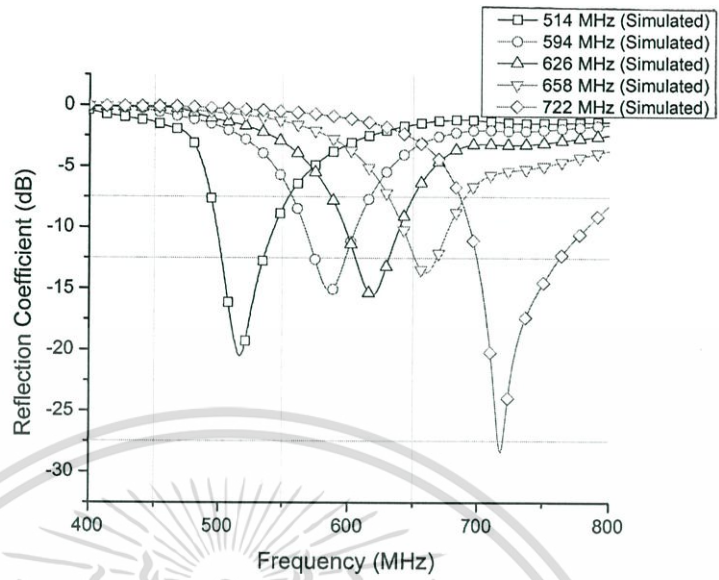


รูปที่ 3.9 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนในทิศทาง การแผ่พลังงานที่ 90 องศา



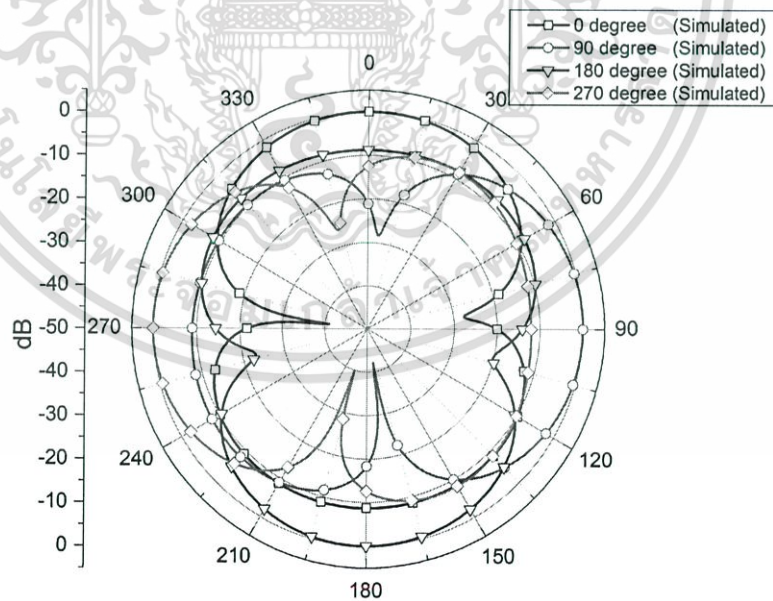
รูปที่ 3.10 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนในทิศทาง การแผ่พลังงานที่ 180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



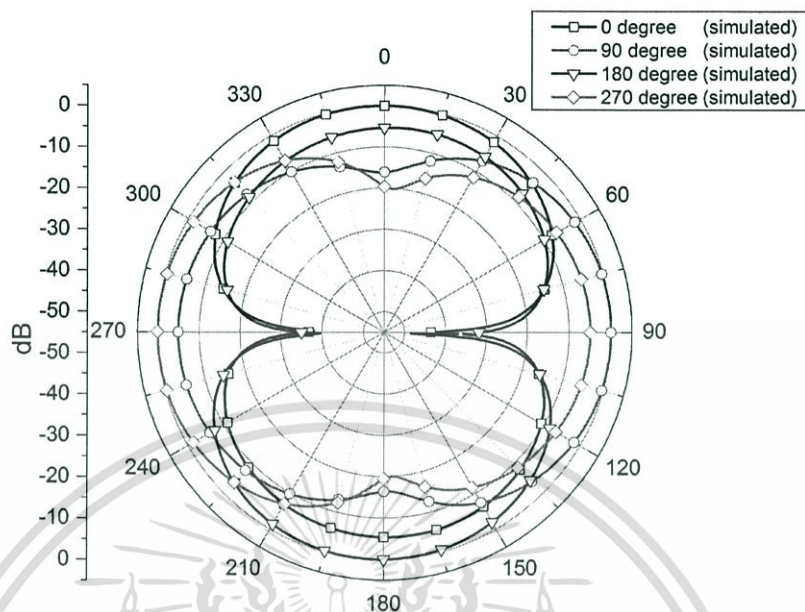
รูปที่ 3.11 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนในทิศทางการแผ่พลังงานที่ 270 องศา

3) แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศความถี่ต่างๆดังนี้

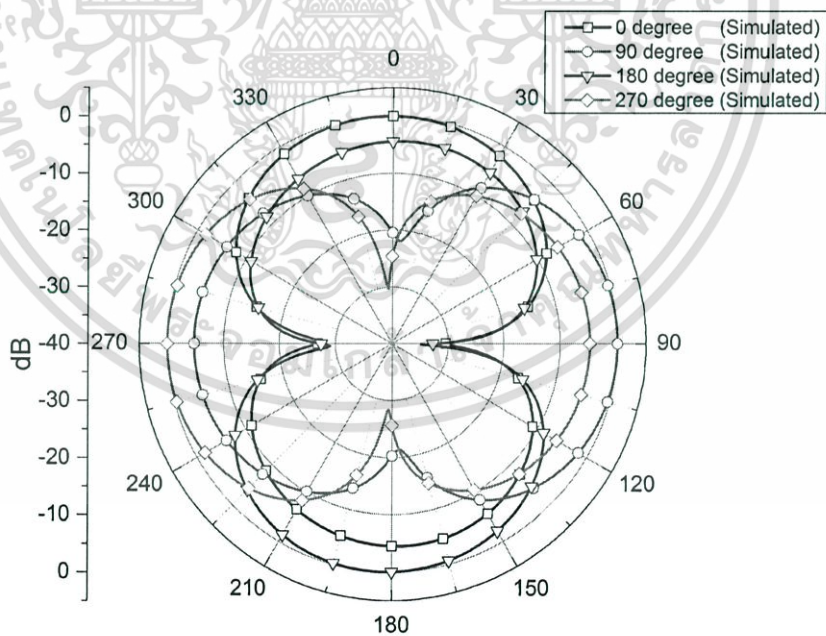


รูปที่ 3.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 514 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

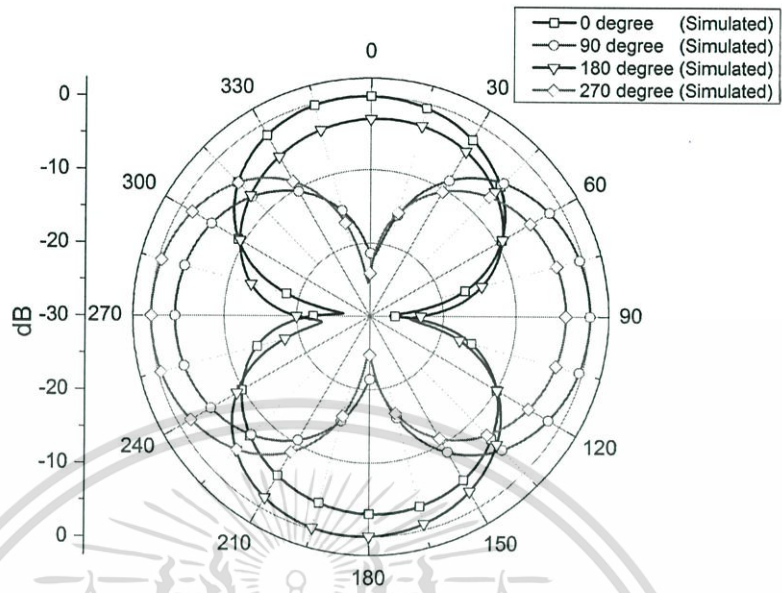


รูปที่ 3.13 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 594 MHz

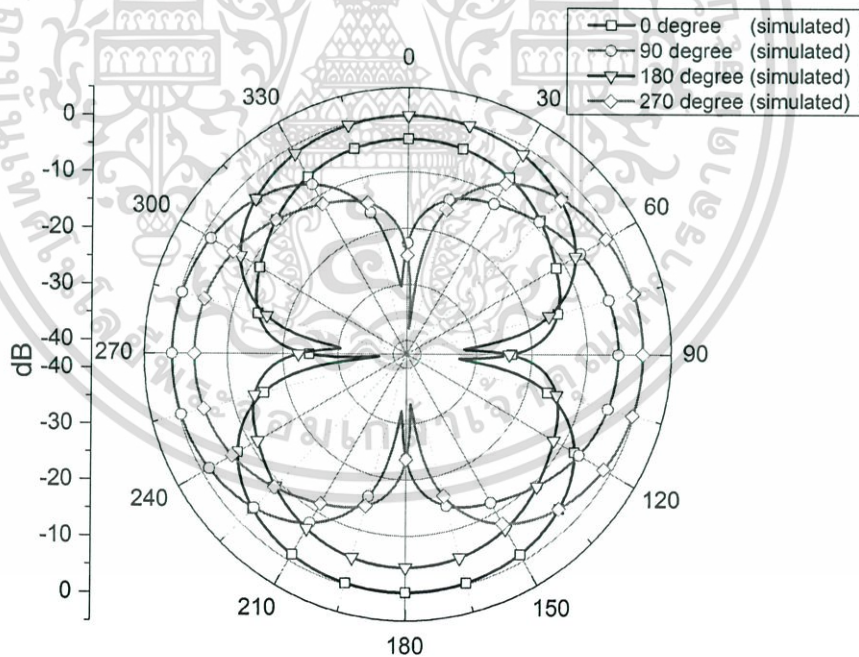


รูปที่ 3.14 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 626 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

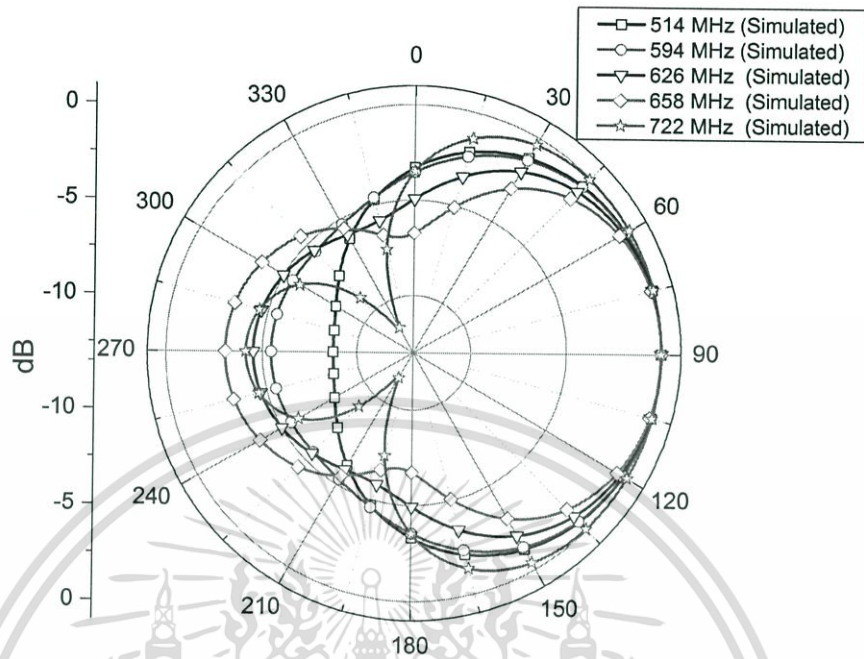


รูปที่ 3.15 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 658 MHz



รูปที่ 3.16 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 722 MHz

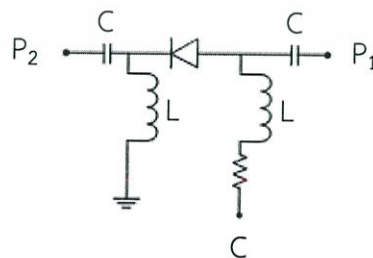
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็กในทิศทาง 0 องศา

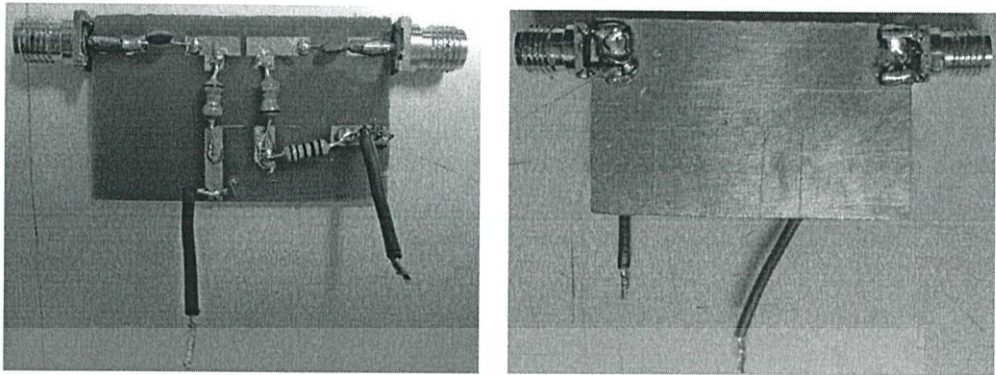
3.1.2 สายอากาศยาก็มีแอนเตอร์ไลน์ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานได้

การปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานและความถี่ของสายอากาศนั้นใช้ไดโอดพินสำหรับทำหน้าที่เป็นตัวสวิตช์ความถี่ ทำการสร้างวงจรไดโอดพินเพื่อหาค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุสำหรับใช้จริงในทุกความถี่ ออกแบบวงจรดังรูปที่ 3.18 โดย P1 , P2 คือ Port1 , Port2 สำหรับต่อ Port1 , Port2 ของเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์ตามลำดับ ทำการสร้างวงจรจริงดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.18 วงจรไดโอดพิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

(b)

รูปที่ 3.19 วงจรไดโอดพินเมื่อสร้างจริง (a) ด้านหน้า (b) ด้านหลัง

ทำการหาค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุโดยคำนวณได้จากสมการที่ (3.1) และ (3.2) ให้ $X_C = 1\Omega$ และ $X_L = 1000\Omega$ ทำการคำนวณจะได้ค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่ความถี่ต่างๆดังตารางที่ 3.13

$$X_C = \frac{-j}{\omega C} = \frac{1}{j\omega C} \quad (3.1)$$

$$X_L = j\omega L \quad (3.2)$$

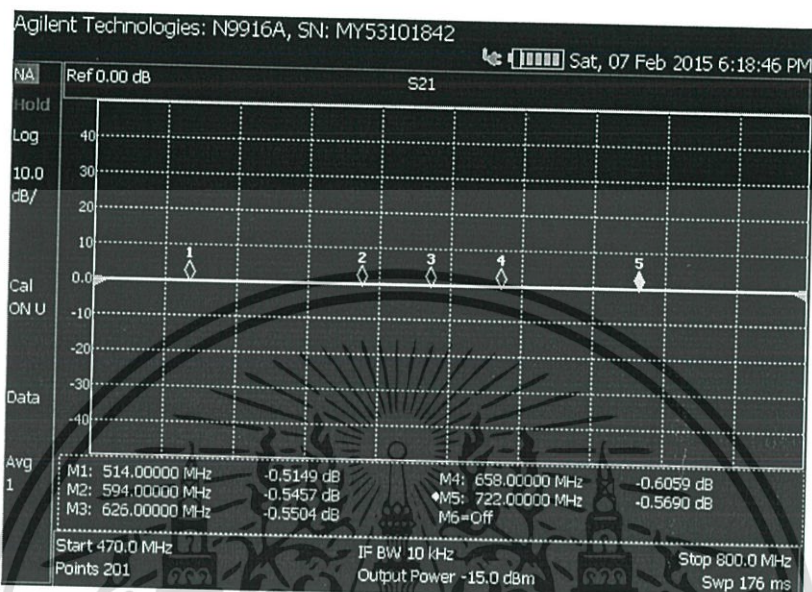
ตารางที่ 3.13 ค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่ความถี่ต่างๆ

| ความถี่ (MHz) | ตัวเก็บประจุ (uF) | ตัวเหนี่ยวนำ (nH) |
|---------------|-------------------|-------------------|
| 514 | 0.31 | 0.31 |
| 594 | 0.27 | 0.27 |
| 626 | 0.25 | 0.25 |
| 658 | 0.24 | 0.24 |
| 722 | 0.22 | 0.22 |

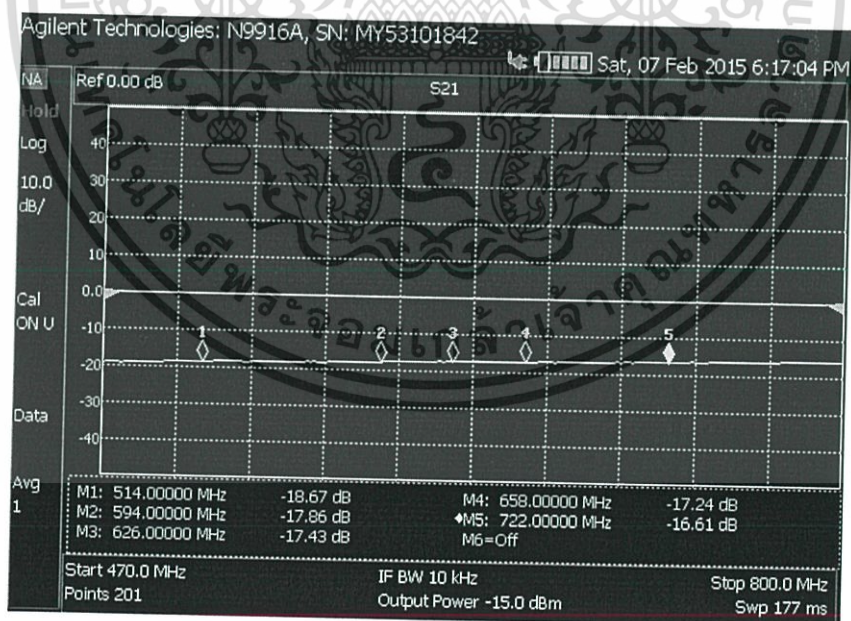
จากตารางที่ 3.13 เลือกค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่ครอบคลุมการทำงานทุกๆ ความถี่คือที่ความถี่ 514 MHz จากนั้นนำค่าที่ได้ติดตั้งลงบนวงจรรูปที่ 3.19 ทำการทดลองโดยวัด S_{21} คือวัดการส่งผ่านสัญญาณผ่านวงจรไดโอดพินจากการทดลองพบว่าต้องทำการเปลี่ยนค่าตัวเหนี่ยวนำเป็น 0.68 nH และตัวเก็บประจุเป็น 0.33 uF ซึ่งจะให้วงจรไดโอดพิน แยกสัญญาณได้ดีดังรูปที่ 3.20 จากรูปเห็นว่ามามีค่า Insertion loss ประมาณ -0.5 ถึง -0.6 dB และเมื่อทำการป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันเข้าวงจรไดโอดพิน จะได้ผลดังรูปที่ 3.21 จากภาพเห็นว่าวงจรสามารถแยกสัญญาณได้ดีและมีค่า ที่สามารถยอมรับได้คือประมาณ -17 ถึง -18 dB



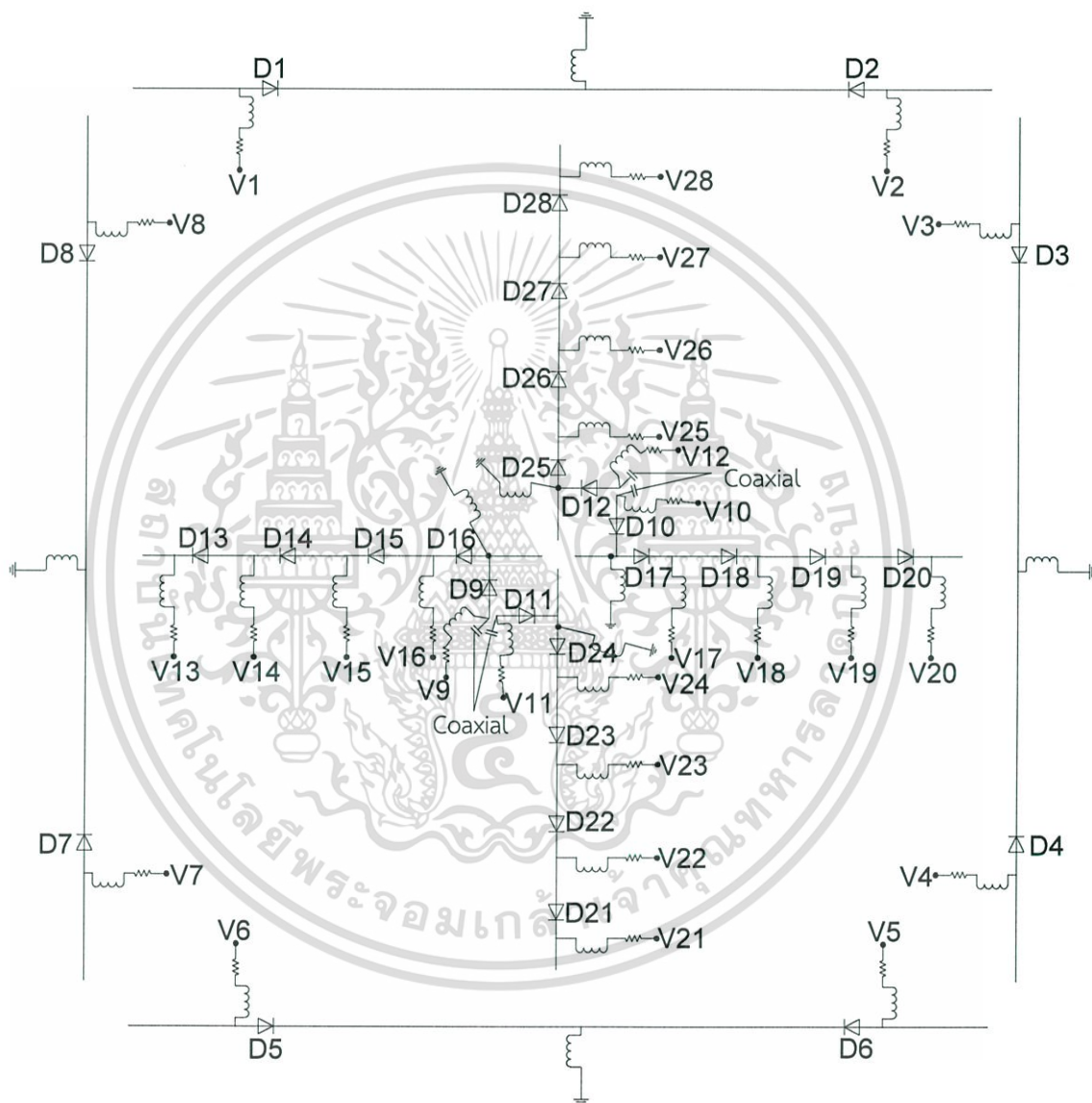
รูปที่ 3.20 ผลการทดลองเมื่อไดโอดพินยังไม่มี การป้อนแรงดัน (สถานะ OFF)



รูปที่ 3.21 ผลการทดลองเมื่อไดโอดพินมีการป้อนแรงดัน (สถานะ ON)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุทำการติดตั้งไดโอดพินลงบนสายอากาศ จากนั้นทำการติดตั้งไดโอดพินลงบนสายอากาศ ซึ่งไดโอดพินนั้นมีขนาดเล็กมากผู้จัดทำจึงต้องใช้ความระมัดระวังอย่างมากในการติดตั้ง จาก Schematic Diagram รูปที่ 3.22 นั้นในการจ่ายแรงดันนั้นทำการติดตั้งดีฟสวิทช์เพื่อให้่ายในการจ่ายแรงดันเข้าไดโอดพิน



รูปที่ 3.22 Schematic Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องวิเคราะห์ประสิทธิภาพสายอากาศ

3.2.1.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย แบบพกพา

เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ แบบพกพา Agilent Technologies รุ่น Field fox N9916A ดังรูปที่ 3.23 ใช้สำหรับวัดค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศ

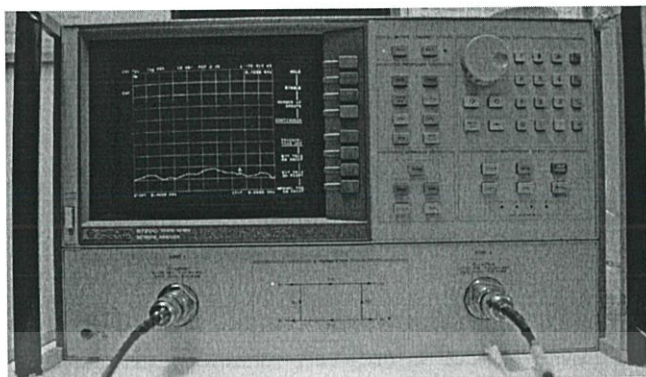


รูปที่ 3.23 Agilent Technologies รุ่น Field fox N9916A

3.2.1.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer)

เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย HP รุ่น 8720C (50MHz-20GHz) ดังรูปที่ 3.24 ทดลองในห้อง Anechoic chamber ใช้สำหรับวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น และอัตราขยายของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 HP รุ่น 8720C (50MHz-20GHz)

3.2.2 เครื่องมือทดสอบสายอากาศภาคสนาม

3.2.2.1 ทิวิตีครอยนด

3.2.2.2 กล้องรับสัญญาณทิวิตีจิตอล

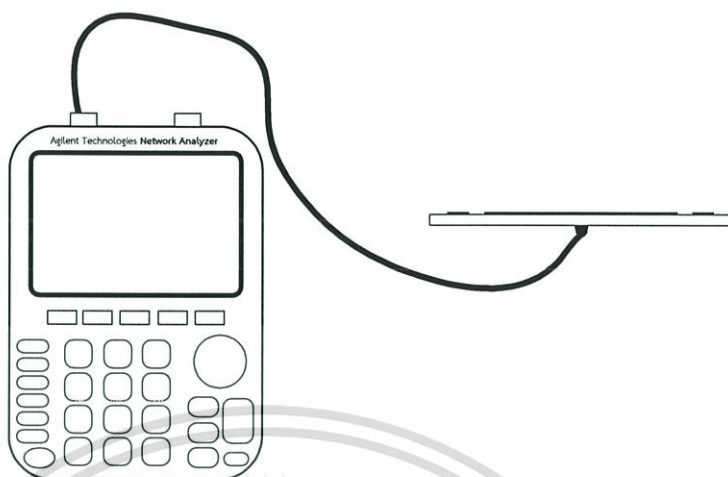
3.2.2.3 Power supply

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ($|S_{11}|$)

การจัดเก็บผลการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน เป็นการวัดระดับการสะท้อนของกำลังงานสายอากาศ หากสายอากาศมีการสะท้อนกลับของสัญญาณน้อย นั่นคือสายอากาศสามารถส่งผ่านสัญญาณได้ดีซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของสายอากาศ แต่หากมีการสะท้อนกลับของสัญญาณมากนั่นคือสายอากาศมีการส่งผ่านไม่ดี ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ได้ควรมีค่าต่ำๆซึ่งเป็นที่สำหรับสายอากาศที่ดี

ขั้นตอนการวัดนั้นทำการวัดโดยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย แบบพกพา Agilent Technologies รุ่น Field fox N9916A ขั้นแรกทำการปรับเทียบ (Calibration) เครื่อง Network Analyzer เพื่อเป็นการปรับเครื่องให้อยู่ที่มาตรฐาน จากนั้นทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนโดยต่อสายอากาศเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย จัดเตรียมการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ดังรูป 3.25



รูปที่ 3.25 จัดเตรียมการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน

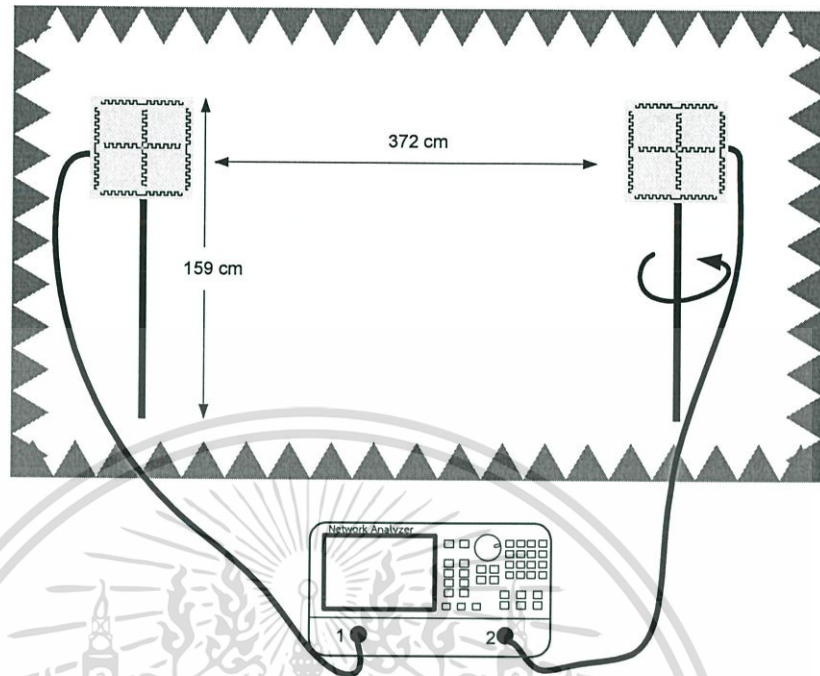
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ได้จะอยู่ในหน่วยเดซิเบล หรือ dB ทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนทุกทิศทางและทุกความถี่

3.3.2 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น

แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศนั้นเป็นการบอกคุณสมบัติการแผ่พลังงานของสายอากาศ ทำการวัดโดยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย รุ่น 8720C (50MHz-20GHz) บริเวณที่ใช้วัดสายอากาศต้องไม่มีการรบกวนจากคลื่นภายนอกทำการวัด ณ ห้องไร้การสะท้อน หรือ Microwave Anechoic chamber และระยะที่ใช้ในการทดสอบต้องเป็นระยะมากกว่าหรือเท่ากับสนามไกล (Far field)

ขั้นตอนการวัดนั้นทำการวัดสายอากาศโดยใช้สายอากาศสองตัวคือสายอากาศต้นแบบ และ DTV Antenna ซึ่งใช้เป็นสายอากาศมาตรฐานในการวัดแบบรูป คำนวณสนามไกลของสายอากาศต้นแบบจากสูตร $R \gg 2D^2 / \lambda$ โดยที่ D คือ ขนาดของสายอากาศที่มีความยาวที่สุด และ λ คือ ความยาวคลื่นในสายอากาศโดยพิจารณาความถี่ที่ใช้งาน จากสายอากาศต้นแบบสนามไกลมีค่าประมาณ 70 cm ดังนั้นในการทดสอบหาแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสายอากาศทั้งสองตัวต้องวางห่างกันมากกว่า 70 cm จัดเตรียมการวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น ดังรูปที่ 3.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 จัดเตรียมการวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น

ให้สายอากาศต้นแบบเป็นสายอากาศตัวรับโดยสายอากาศตัวรับนั้นจะติดตั้งกับแท่นหมุนซึ่งถูกควบคุมด้วยเครื่องควบคุมอัตโนมัติหมุนครั้งละ 5 องศา สายอากาศตัวส่งนั้นคือ DTV ทำการส่งสัญญาณออกไปทั่วห้องไร้การสะท้อนและวางตัวอยู่กับที่ เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ จะทำการวัดกำลังสนามไฟฟ้าทุกองศาตามการหมุนของแท่นหมุน เมื่อทำการวัดครบ 360 องศา นำค่าที่ได้นั้นมาพล็อตกราฟแบบรูปการแผ่พลังงาน

3.3.3 อัตราขยาย

การหาอัตราขยายสายอากาศใช้สายอากาศ 3 ตัวในวัดทดสอบ สายอากาศที่ต้องการวัดทดสอบมีเพียงตัวเดียวและอีกสองตัวที่เหลือเป็นสายอากาศที่มีความถี่การใช้งานเดียวกับสายอากาศที่ต้องการทดสอบ ผู้จัดทำได้ใช้สายอากาศ DTV จำนวนสองตัวเป็นสายอากาศที่มีความถี่เดียวกับสายอากาศที่ต้องการทดสอบ ทำการวัดสายอากาศเป็นคู่ๆเป็นจำนวนสามคู่แบบไม่ซ้ำกัน เมื่อทำการวัดแล้วใช้สมการของฟรีส สามารถคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศได้ตามสมการด้านล่างนี้

$$(G_{or})_{dB} + (G_{or})_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

G_{0t} คือ อัตราขยายของสายอากาศตัวส่ง

G_{0r} คือ อัตราขยายของสายอากาศตัวรับ

R คือ ระยะห่างของสายอากาศทั้งสอง

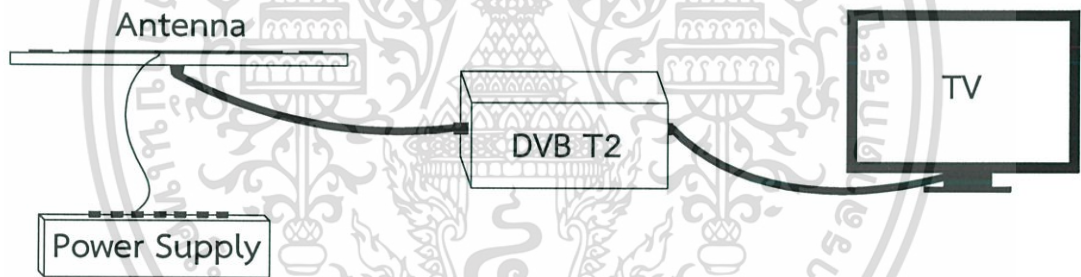
λ คือ ความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งาน

P_t คือ กำลังงานภาคส่ง

P_r คือ กำลังงานภาครับ

3.3.4 จัดเก็บผลการทดลองภาคสนาม

จัดเก็บโดยติดตั้งสายอากาศยาก็มีแอนเนเตอร์ไลน์ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานได้กับกล่องรับสัญญาณทีวีดิจิตอลและเชื่อมต่อกับทีวีดิจิตอลเพื่อดูผลการรับสัญญาณจริงของแต่ละความถี่ วางสายอากาศไว้ตำแหน่งเดียวให้ไดโอดพินทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางของสายอากาศ สังเกตการณ์รับสัญญาณของแต่ละทิศทางและความถี่ แสดงการติดตั้งการทดลองภาคสนามตามไดอะแกรมรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 จัดเตรียมการทดลองภาคสนาม

จากการออกแบบในหัวข้อที่ 3.1 ทำการสร้างสายอากาศต้นแบบโดยการกัดปรินท์และทำการเก็บผลการทดลองสายอากาศเป็นสองแบบคือแบบอุดมคติและแบบใช้ไดโอดพิน โดยการจัดเก็บแบบอุดมคติเพื่อดูว่าสายอากาศที่ทำการออกแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เมื่อทำการสร้างจริงจะได้ผลเป็นเช่นไร และแบบใช้ไดโอดพินเพื่อนำมาใช้ในการใช้งานสายอากาศ ทำการจับเก็บผลการทดลองโดยใช้เครื่องมือตามหัวข้อที่ 3.2 และจัดเก็บผลการทดลองตามหัวข้อที่ 3.3 คือหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น อัตราขยายและจัดเก็บผลการทดลองภาคสนาม โดยผลการทดลองสายอากาศทั้งหมดจะแสดงในบทที่ 4

บทที่ 4

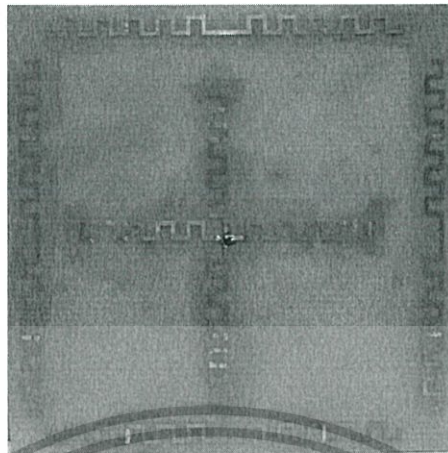
การสร้างและผลการทดสอบ

พื้นฐานสายอากาศยาภิประกอบด้วยองค์ประกอบรับการป้อน องค์ประกอบการนำคลื่น และองค์ประกอบการสะท้อน ซึ่งมีทิศทางการแผ่กระจายคลื่นทิศทางเดียว จึงเกิดข้อจำกัดในการใช้งาน จึงได้มีการออกแบบ สร้าง และทดสอบเพื่อให้สายอากาศสามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นได้ 4 ทิศทาง และยังสามารถปรับเปลี่ยนความถี่ในการใช้งานเพื่อให้สอดคล้องกับการประยุกต์ใช้งานดิจิทัลทีวี

4.1 การสร้างสายอากาศยาภิมีแอนเตอร์ไลน์ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงาน

จากการออกแบบสายอากาศด้วยการจำลองผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อให้สายอากาศสามารถทำงานที่ความถี่และทิศทางที่ต้องการ สามารถทำได้โดยการบากร่อง ที่องค์ประกอบรับการป้อน การบากร่องแก็บให้องค์ประกอบรับการป้อนมีความยาวที่เหมาะสมจะสามารถทำให้สายอากาศสามารถเปลี่ยนความถี่ตั้งแต่ 514, 594, 626 และ 722 MHz ลักษณะการบากร่อง แสดงดังรูปที่ 4.2 โดยสายอากาศที่มีความถี่สูงความยาวคลื่นจะสั้น ดังแสดงได้ดังรูป 4.1 ยกตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่องค์ประกอบรับการป้อนมีช่องบากร่อง 4 ช่อง เมื่อต้องการให้สายอากาศสามารถทำงานที่ความถี่ 514 MHz จะต้องทำให้ช่องบากร่อง ทั้ง 4 ช่องเชื่อมกันทั้งหมด หากต้องการให้สายอากาศทำงานที่ความถี่ 594 MHz จะมีการเชื่อม 3 ช่องเชื่อมกันเป็นแผ่นทองแดงเส้นเดียวกัน และที่ความถี่ 722 MHz จะไม่มีการเชื่อมช่องบากร่องทั้ง 4 ช่องเป็นต้น และการเปลี่ยนทิศทางการแผ่กระจายคลื่นให้สามารถทำงานได้ 4 ทิศทาง ทำได้โดยมีการช่องบากร่อง ที่องค์ประกอบพาราซิติคที่ขนานอยู่กับองค์ประกอบรับการป้อนทั้งสองตัว โดยหากต้องการให้องค์ประกอบรับการป้อนประพุดิตัวเป็นองค์ประกอบการสะท้อนทำได้โดยการเชื่อมช่องแก็บทั้งสองช่องขององค์ประกอบพาราซิติคข้างใดข้างหนึ่งขององค์ประกอบรับการป้อน ในขณะที่องค์ประกอบพาราซิติคจะต้องทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบการสะท้อนโดยไม่ต้องทำการช่องบากร่องที่มีการบากร่องไว้ และมีการสับเปลี่ยนการป้อนสัญญาณที่องค์ประกอบรับการป้อนสัญญาณทำให้สายอากาศ เพื่อให้สายอากาศการทิศทางการแผ่พลังงานได้ 4 ทิศทาง

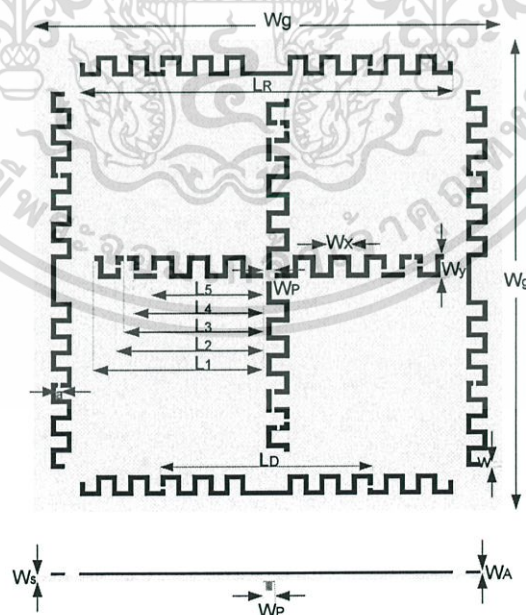
ขนาดพารามิเตอร์ของสายอากาศจากการออกแบบแสดงได้ดังรูป 4.3 และตารางที่ 4.1 จากนั้นนำขนาดของสายอากาศมาสร้างสายอากาศได้ขนาดพารามิเตอร์ตามที่กำหนด ใช้แผ่นปริ้นท์ชนิด FR 4 มีค่าไดอิเล็กทริกเท่ากับ 4.40 ทองแดงมีความหนา 0.0795 mm ความกว้างของสายอากาศรวมเท่ากับ 27 x 27 cm



รูปที่ 4.1 สายอากาศต้นแบบสายอากาศยามิมีแอนเตอร์ไลน์
ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงาน



รูปที่ 4.2 ลักษณะการเว้นช่องบากร่อง



รูปที่ 4.3 ขนาดพารามิเตอร์ของสายอากาศ

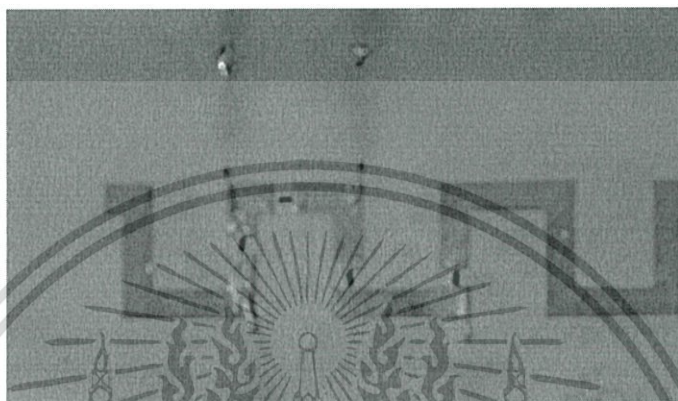
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงขนาดพารามิเตอร์ของสายอากาศ

| | |
|--|-------|
| ความกว้างระนาบกรวด (W_g) | 27.00 |
| ความยาวองค์ประกอบการสะท้อน (L_R) | 21.40 |
| ความยาวองค์ประกอบการป้อนที่ความถี่ 722 MHz (L_5) | 5.70 |
| ความยาวองค์ประกอบการป้อนที่ความถี่ 658 MHz (L_4) | 6.70 |
| ความยาวองค์ประกอบการป้อนที่ความถี่ 626 MHz (L_3) | 7.10 |
| ความยาวองค์ประกอบการป้อนที่ความถี่ 594 MHz (L_2) | 7.55 |
| ความยาวองค์ประกอบการป้อนที่ความถี่ 514 MHz (L_1) | 8.60 |
| ความกว้างตำแหน่งพอร์ต (W_p) | 0.60 |
| ความกว้างในแนวแกน x (W_x) | 1.20 |
| ความกว้างในแนวแกน y (W_y) | 1.20 |
| ความกว้างช่องว่างช่องอากาศ (a) | 0.15 |
| ความกว้างทองแดง (w) | 0.28 |
| ความยาวองค์ประกอบการนำคลื่น (L_p) | 12.10 |
| ความหนาแผ่นรอง (W_s) | 0.14 |
| ความหนาแผ่นทองแดง (W_A) | 0.07 |

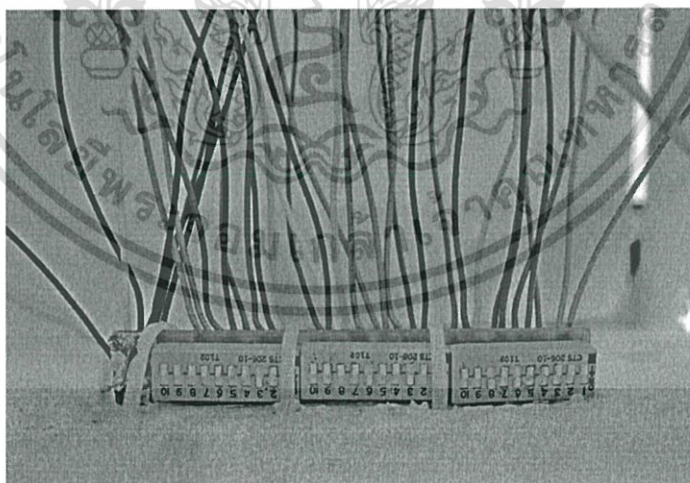
ในการออกแบบด้วยการจำลองสายอากาศใช้การเชื่อมช่องบากร่อง ทำได้โดยการเชื่อมแผ่นทองแดงให้เป็นเส้นเดียวกันแบบอุดมคติ โดยเมื่อมีการเชื่อมช่องบากร่อง ทำให้อิมพีแดนซ์ตรงช่องที่นำแผ่นทองแดงมาเชื่อมจะกลายเป็นศูนย์ ในขณะที่การไม่เชื่อมช่องบากร่อง ทำให้อิมพีแดนซ์ตรงบากร่องนั้นเป็นอนันต์ แต่ในการสร้างแล้วทดสอบสายอากาศใช้การเชื่อมช่องบากร่อง ด้วยสติกเกอร์ทองแดงติดแล้วทำการบัดกรีให้ทองแดงเชื่อมกันทั้งเส้น และถ้าไม่ต้องการให้มีการเชื่อมช่องบากร่อง ต้องนำสติกเกอร์ทองแดงออก ส่วนการป้อนสัญญาณใช้สายโคแอกเซียลที่มีความยาว ($\lambda/4$) เชื่อมต่อกับหัวต่อจากนั้นนำสายอากาศไปทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น อัตราขยายของสายอากาศ

โดยพบว่าผลการทดสอบสายอากาศมีแนวโน้มการเปลี่ยนทิศทางและความถี่ สอดคล้องกับการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จึงได้มีการแทนช่องบากร่อง ด้วยไดโอดพิน BAP51-02 แทนการบัดกรีสติ๊กเกอร์ทองแดงโดยเมื่อไดโอดพินทำงานจะเป็นการเชื่อมช่องบากร่อง ในขณะที่ถ้าไดโอดพินไม่ทำงานช่องบากร่องนั้นจะไม่เชื่อม



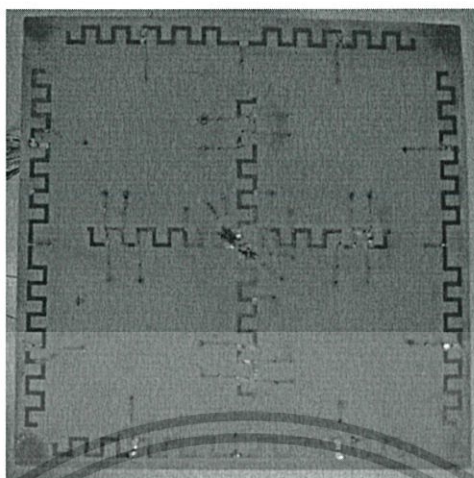
รูปที่ 4.4 การใช้ไดโอดพินในการเชื่อมต่อช่องบากร่อง

จากนั้นและใช้ดิพสวิตช์ (dip switch) ในการเลือกให้ไดโอดพินทำงานโดยมีลักษณะการเชื่อมต่อดัง รูป 4.5 และ 4.6

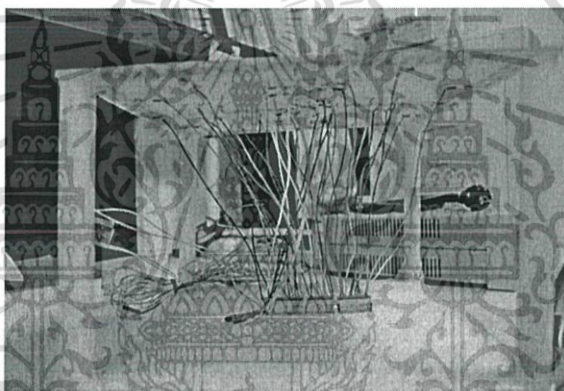


รูปที่ 4.5 การใช้ดิพสวิตช์ร่วมกับสายอากาศ

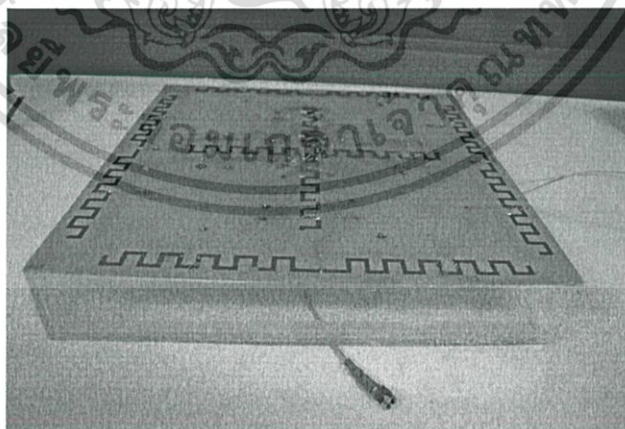
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ลักษณะสายอากาศ (ด้านบน)



รูปที่ 4.7 ลักษณะสายอากาศ (ด้านข้าง)



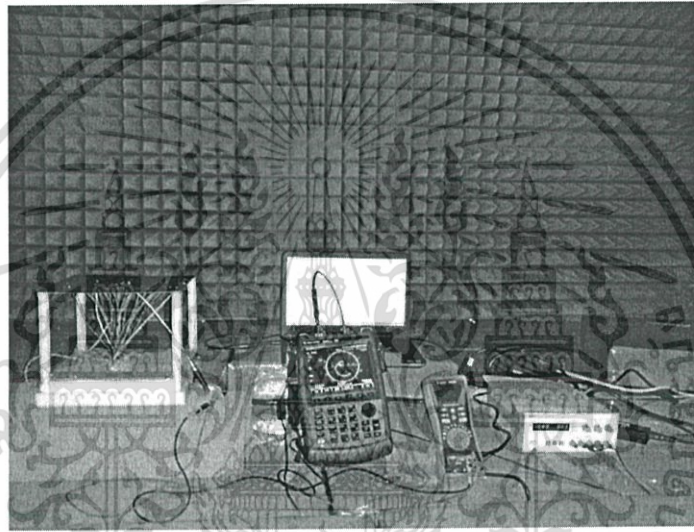
รูปที่ 4.8 อะคริลิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบและผลการทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศ

4.2.1 การทดสอบและผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ($|S_{11}|$)

ทดสอบสายอากาศเพื่อหา $|S_{11}|$ เป็นการวัดระดับการสะท้อนของกำลังงานสายอากาศ ต้นแบบ วัดโดยการต่อคอนเนกเตอร์สายอากาศต้นแบบกับพอร์ต 1 ของเครื่อง Network Analyzer ดังรูปที่ 4.9 ทำการวัดสายอากาศต้นแบบทุกความถี่ทั้ง 4 ทิศทาง ซึ่งผลทดสอบจากการเชื่อมต่อ บากร่องด้วยการบัดกรีเป็นดังตารางที่ 4.2 ผลทดสอบจากการเชื่อมต่อ บากร่อง ด้วยไดโอดพินเป็น ดังตารางที่ 4.3 และนำค่าจากการทดสอบพล็อตเปรียบเทียบดังแสดงดังรูป 4.10 ถึง 4.22



รูปที่ 4.9 การทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศต้นแบบ

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ($|S_{11}|$) เมื่อเชื่อมต่อ บากร่องด้วยการบัดกรี

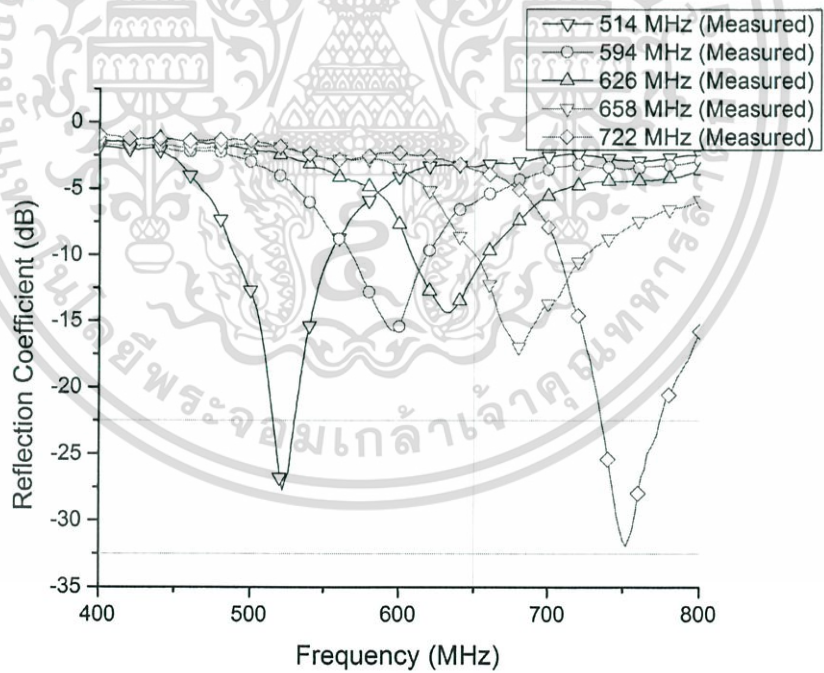
| ความถี่ให้บริการโครงข่าย (MHz) | $ S_{11} $ ในทิศทางการแผ่พลังงาน (dB) | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|------------|-------------|-------------|
| | 0° | 90° | 180° | 270° |
| 514 | -15.83 | -15.32 | -21.29 | -16.48 |
| 594 | -17.63 | -15.23 | -15.62 | -17.84 |
| 626 | -13.53 | -16.22 | -13.72 | -13.83 |
| 658 | -11.30 | -14.72 | -11.58 | -12.60 |
| 722 | -15.86 | -13.73 | -15.39 | -14.46 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ($|S_{11}|$) เมื่อเชื่อมต่อขงบารองด้วยไดโอดพิน

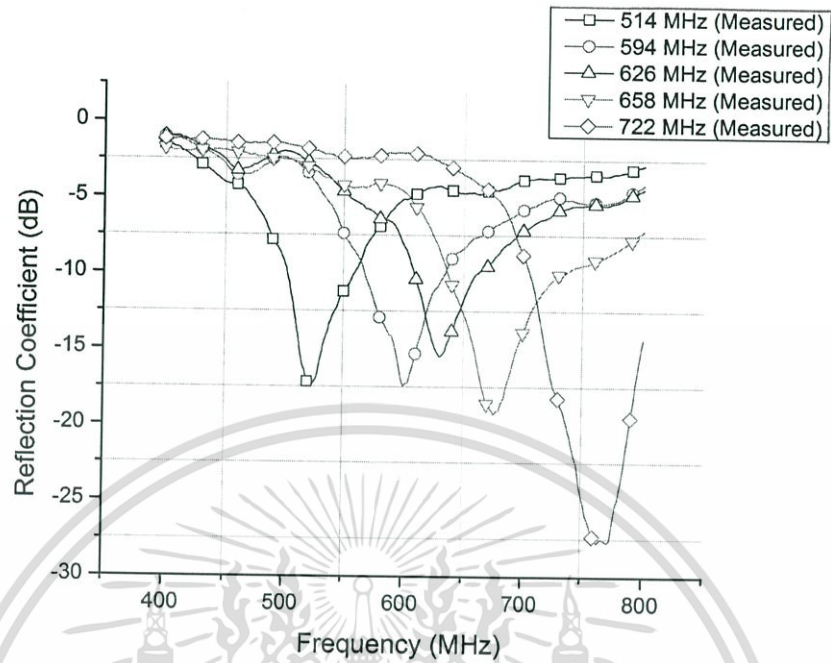
| ความถี่ให้บริการโครงข่าย (MHz) | $ S_{11} $ ในทิศทางการแผ่พลังงาน (dB) | | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|--------|--------|--------|
| | 0° | 90° | 180° | 270° |
| 514 | -8.16 | -7.92 | -10.18 | -6.04 |
| 594 | -9.30 | -10.37 | -7.59 | -7.78 |
| 626 | -10.29 | -11.38 | -10.01 | -6.04 |
| 658 | -10.31 | -8.81 | -11.23 | -8.61 |
| 722 | -14.25 | -12.35 | -11.56 | -11.88 |

นำผลจากการทดสอบเชื่อมต่อขงบารองด้วยการบัดกรีพลัดเปรียบเทียบดังแสดงดังรูป 4.10 ถึง 4.18

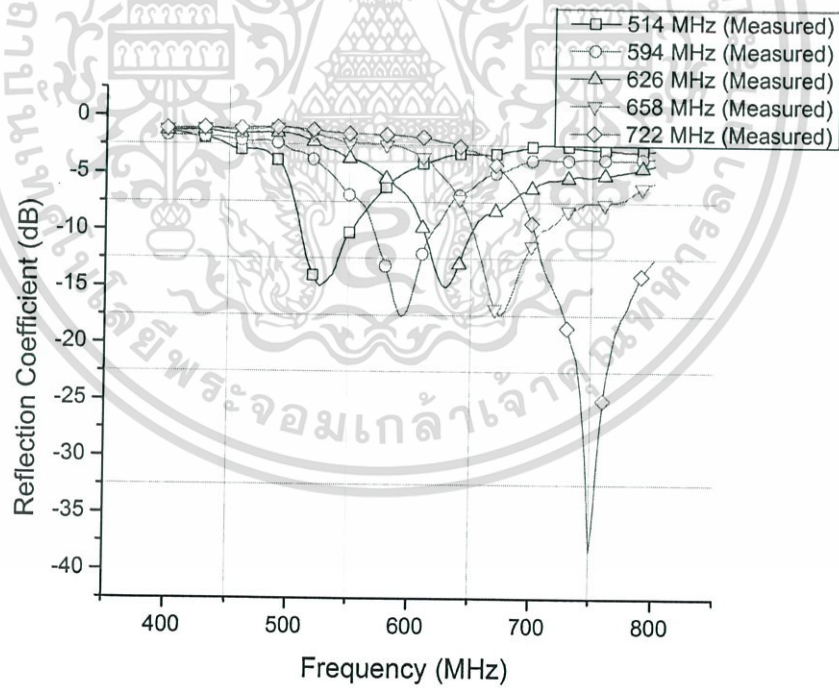


รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

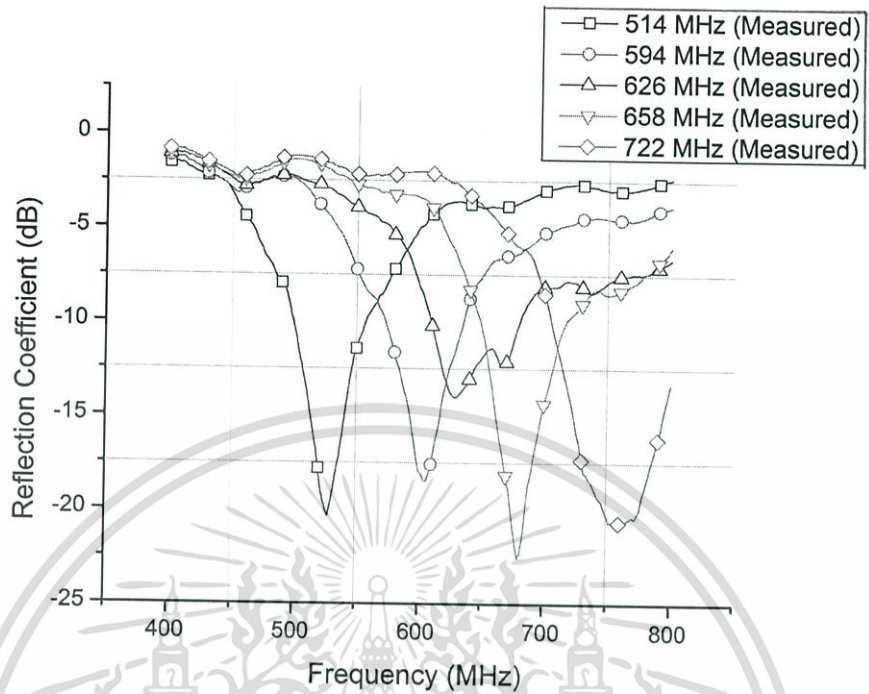


รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 90 องศา

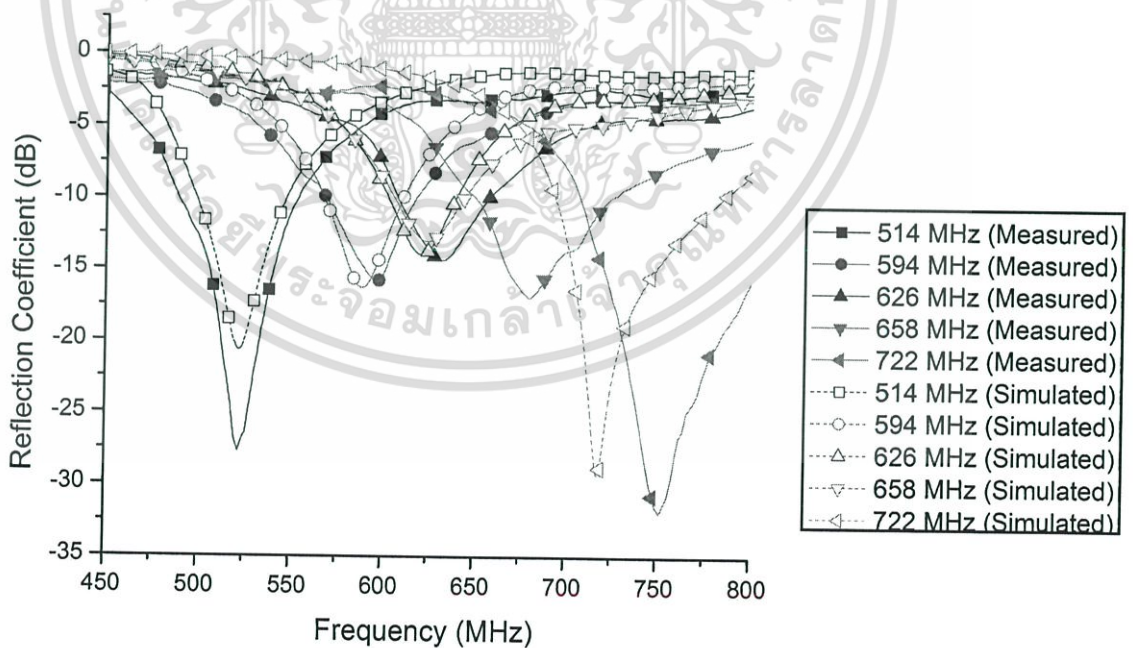


รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

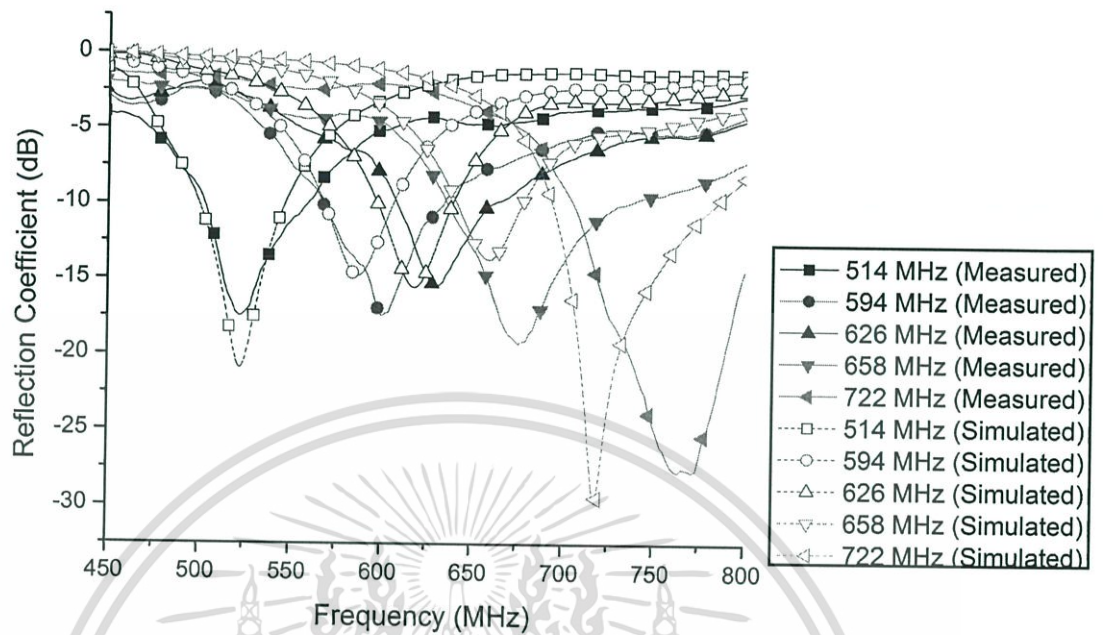


รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 270 องศา

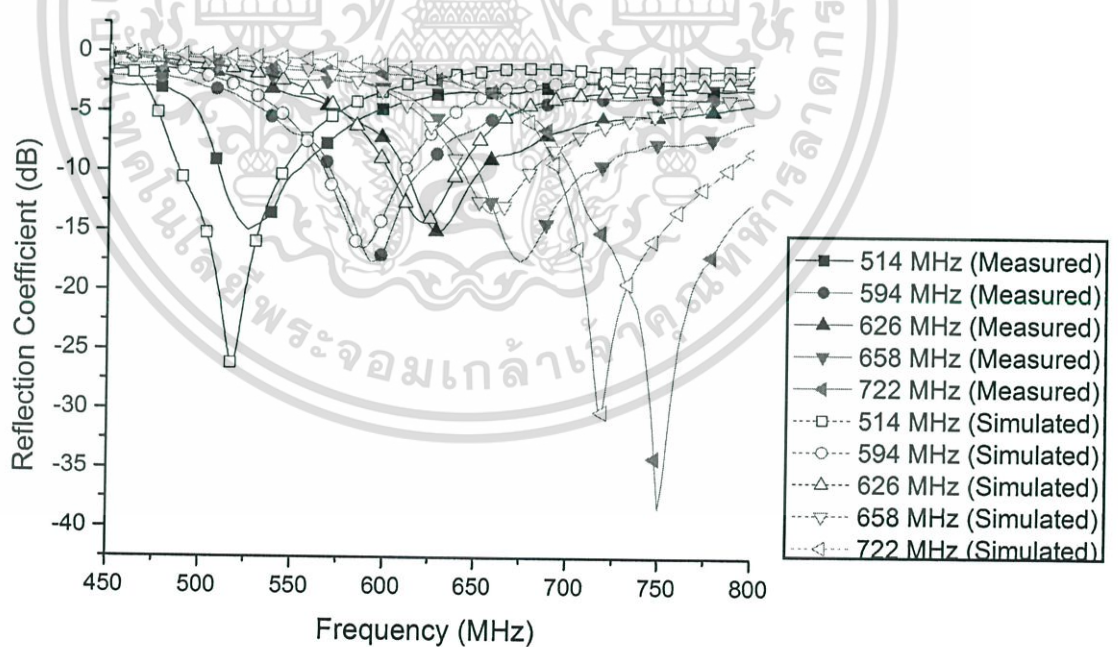


รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบผลทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

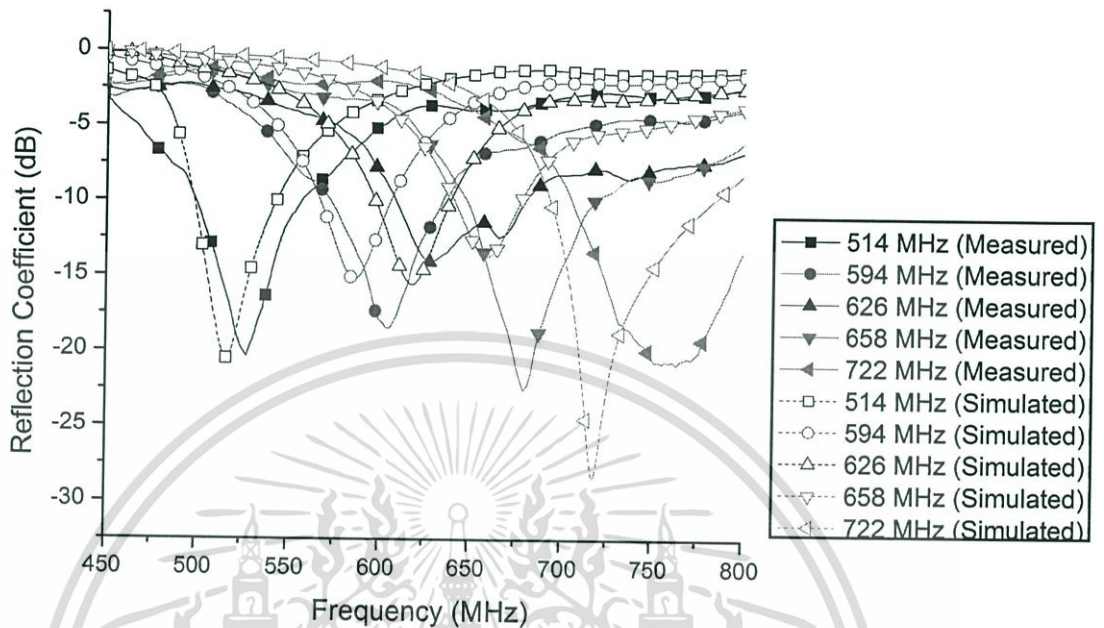


รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบผลทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 90 องศา

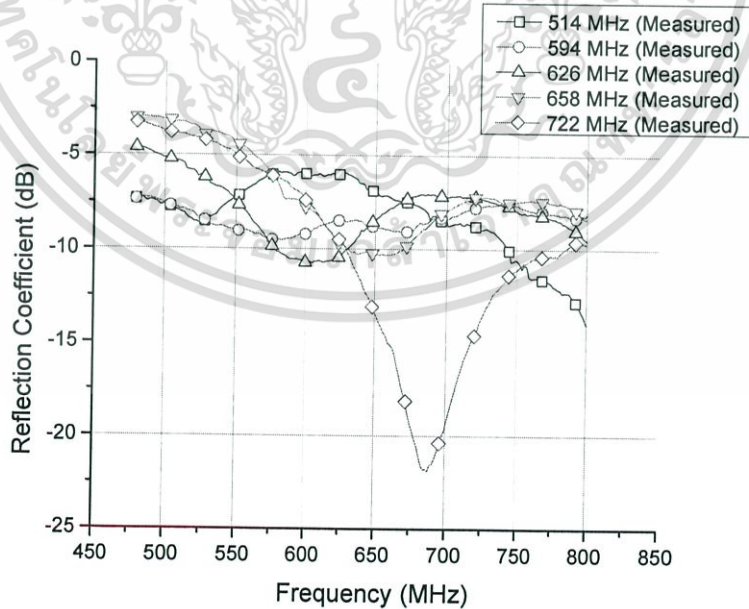


รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบผลทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

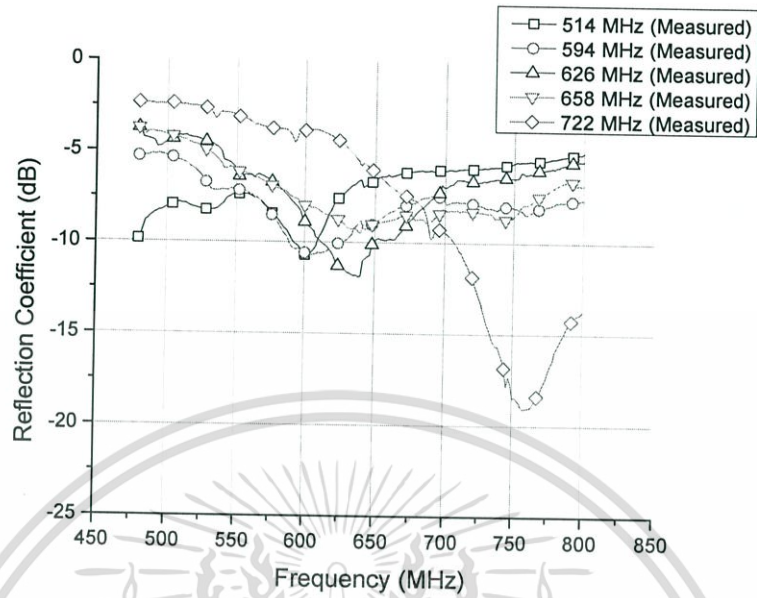


รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบผลทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 270 องศา นำผลจากการเชื่อมช่องบากร่องด้วยไดโอดพินพล็อตเปรียบเทียบดังแสดงดังรูป 4.19 ถึง 4.22

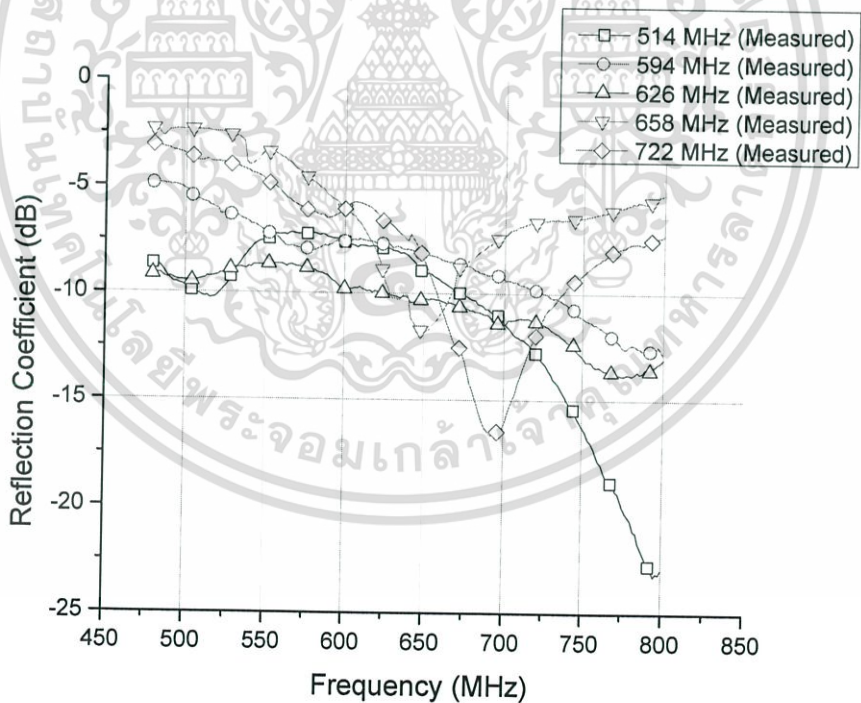


รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 0 องศา โดยใช้ไดโอดพิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

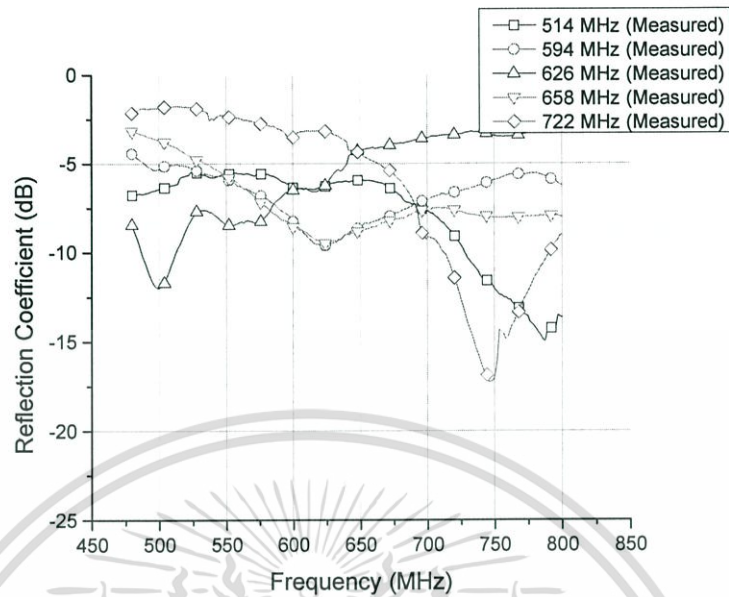


รูปที่ 4.19 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 90 องศา โดยใช้ไดโอดพิน



รูปที่ 4.20 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่นที่ 180 องศา โดยใช้ไดโอดพิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

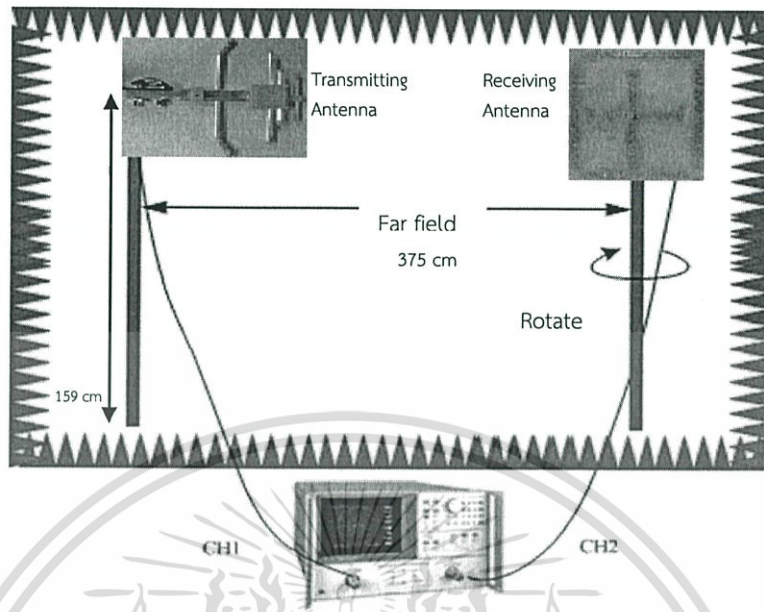


รูปที่ 4.21 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อแผ่กระจายคลื่น
ที่ 270 องศา โดยใช้ไดโอดพิน

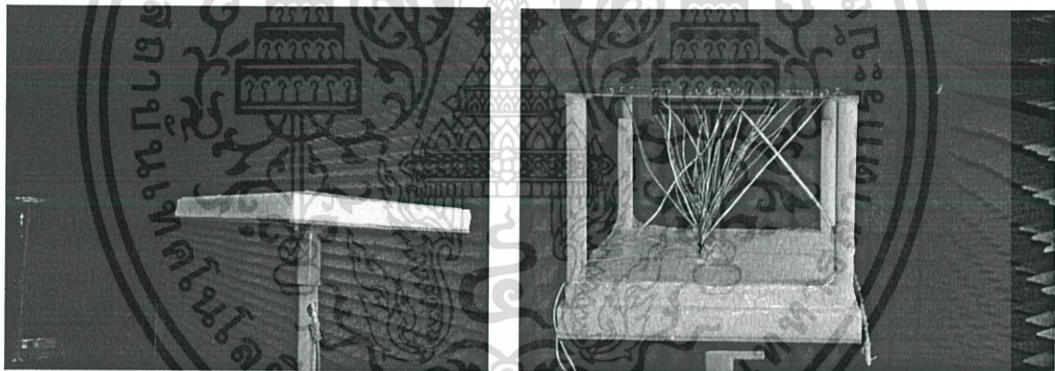
จากการทดสอบจะเห็นว่า ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ($|S_{11}|$) เมื่อเชื่อมต่อขงบารองด้วยการบัดกรี มีค่า $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนยังมีค่าต่ำกว่า -10 dB แสดงว่าสายอากาศสามารถรับกำลังงานไว้ได้และเกิดคลื่นที่สะท้อนกลับน้อยตามทฤษฎีที่กำหนด แต่พบว่าเมื่อใช้ไดโอดพินแทนการบัดกรีจะได้ผลดังตาราง 4.3 มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนบางค่ามากกว่า -10 dB ซึ่งไม่ได้เป็นตามมาตรฐานที่กำหนดแต่เป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ในทางปฏิบัติ

4.2.2 การทดสอบและผลการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ

การวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง บริเวณที่ใช้วัดสายอากาศต้องไม่มีการรบกวนจากคลื่นภายนอกและสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้ และระยะที่ใช้ในการทดสอบต้องเป็นระยะมากกว่าหรือเท่ากับสนามไกล (Far field) จึงได้ทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ห้องไร้การสะท้อนคลื่น (Anechoic chamber) ทำการวัดสายอากาศโดยใช้สายอากาศสองตัวคือสายอากาศต้นแบบและ DTV Antenna ซึ่งใช้เป็นสายอากาศมาตรฐานในการวัดแบบรูปการแผ่พลังงาน สามารถคำนวณสนามไกลของสายอากาศต้นแบบจากสูตร $R \gg 2D^2 / \lambda$ โดยที่ D คือ ขนาดของสายอากาศที่มีความยาวที่สุด และ λ คือ ความยาวคลื่นในสายอากาศโดยพิจารณาความถี่ที่ใช้งาน จากสายอากาศต้นแบบสนามไกลมีค่าประมาณ 70 cm ดังนั้นในการทดสอบหาแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสายอากาศทั้งสองตัวต้องวางห่างกันมากกว่า 70 cm และสายอากาศทั้งสองตัวอยู่สูงกว่าพื้นมากกว่า $\lambda/4$ จัดเตรียมการทดสอบดังรูปที่ 4.23

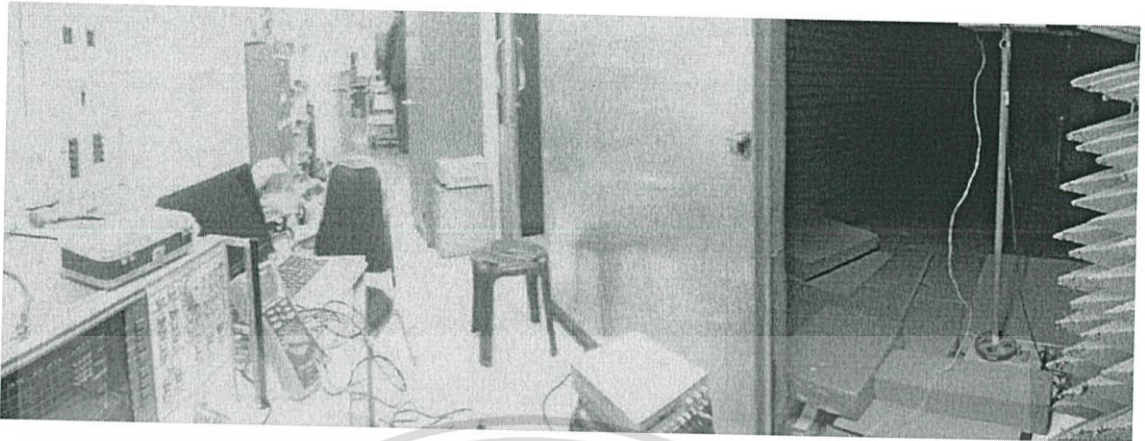


รูปที่ 4.22 การทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ



(ก) สายอากาศเชื่อมโดยการบัดกรี (ข) สายอากาศเชื่อมโดยไดโอดพิน
รูปที่ 4.23 การทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 การทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า

ในการทดสอบสายอากาศตัวรับจะติดตั้งกับแท่นหมุนซึ่งถูกควบคุมด้วยเครื่องควบคุมอัตโนมัติ หมุนครั้งละ 5 องศา วัดกำลังสนามไฟฟ้าจากเครื่อง Network Analyzer เครื่องส่งจะอยู่กับที่และส่งกำลังออกไปทั่วห้องไร้การสะท้อนในการวัดจริงให้สายอากาศตัวรับและตัวส่งอยู่ห่างกันเป็นระยะ 357 cm

4.2.2.1 ผลการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane)

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบค่า F/B ratio (dB) ในระนาบสนามไฟฟ้าด้วยการบัดกรี

| Frequency (MHz) | F/B Ratio (dB) | | | |
|--------------------|----------------|-------|-------|-------|
| | 0° | 90° | 180° | 270° |
| 514 | 5.08 | 5.94 | 5.48 | 5.17 |
| 594 | 1.59 | 0.82 | 1.24 | 0.31 |
| 626 | 2.10 | 2.05 | 4.86 | 2.86 |
| 658 | 3.42 | 4.99 | 6.55 | 4.75 |
| 722 | -5.93 | -8.18 | -6.03 | -5.64 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

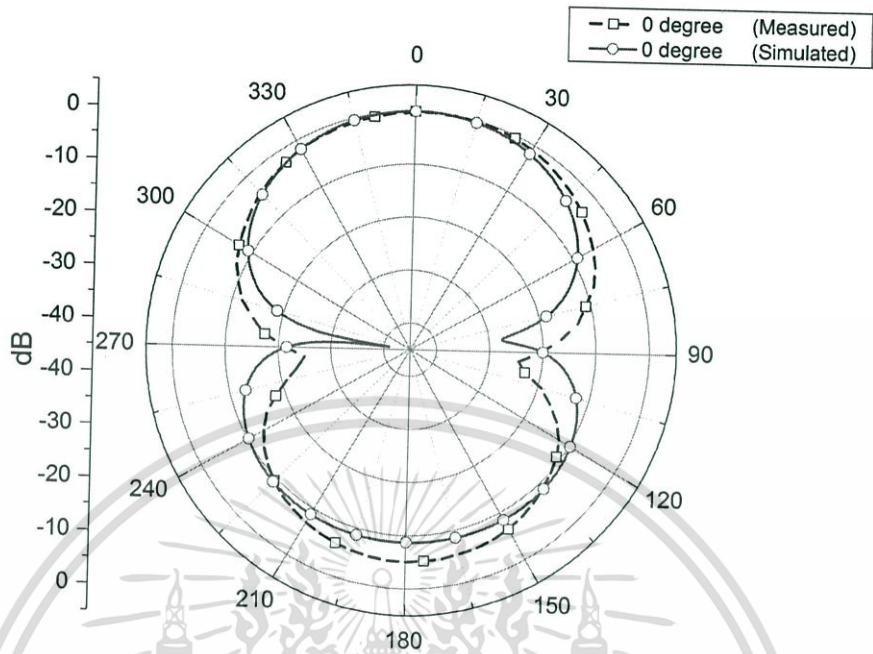
แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก โดยการเปรียบเทียบผลจากการจำลองและผลจากการทดสอบ ดังรูปที่ 4.26 ถึง 4.49

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบค่า F/B ratio (dB) ในระนาบสนามไฟฟ้าด้วยการใช้ไดโอดพิน

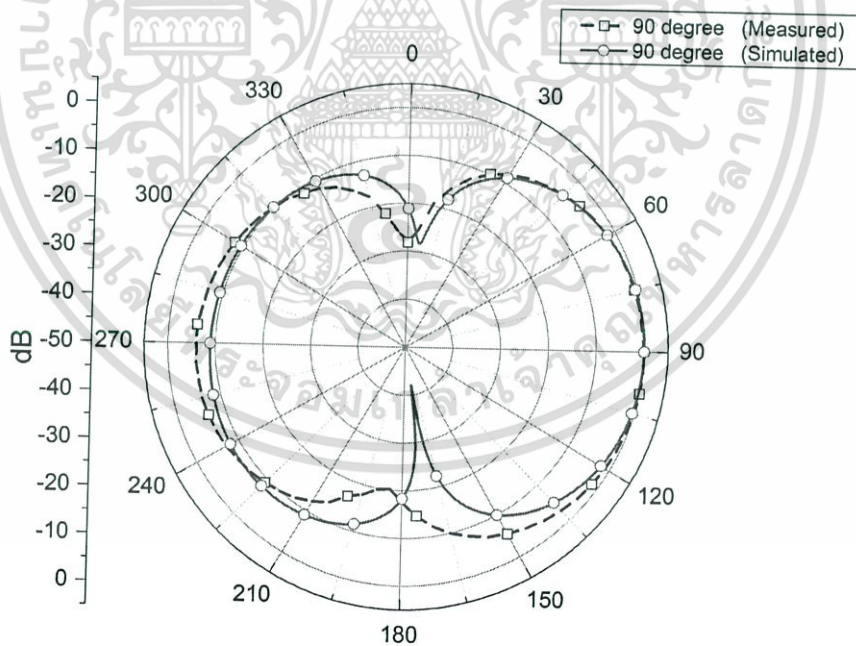
| Frequency (MHz) | F/B Ratio (dB) | | | |
|-----------------|----------------|-------|-------|-------|
| | 0° | 90° | 180° | 270° |
| 514 | 8.84 | 3.55 | 4.87 | 2.97 |
| 594 | 1.75 | 4.65 | 2.85 | 3.62 |
| 626 | 1.55 | -1.01 | 2.26 | 4.54 |
| 658 | -5.04 | -1.25 | 1.51 | 3.36 |
| 722 | -5.71 | -3.67 | -5.94 | -6.33 |

1) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) ที่ความถี่ 514 MHz โดยการบัดกรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

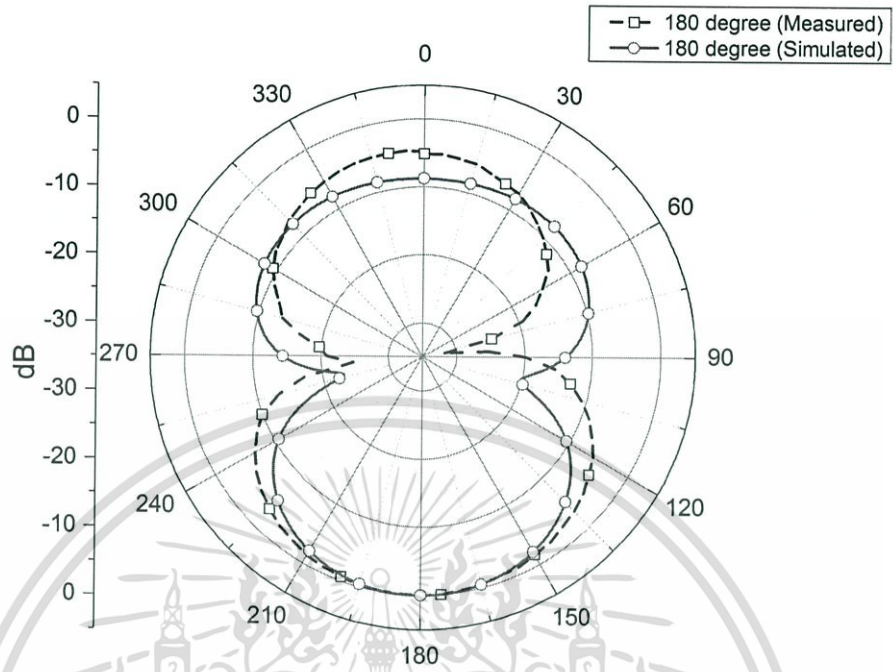


รูปที่ 4.25 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 514 MHz ที่ 0 องศา

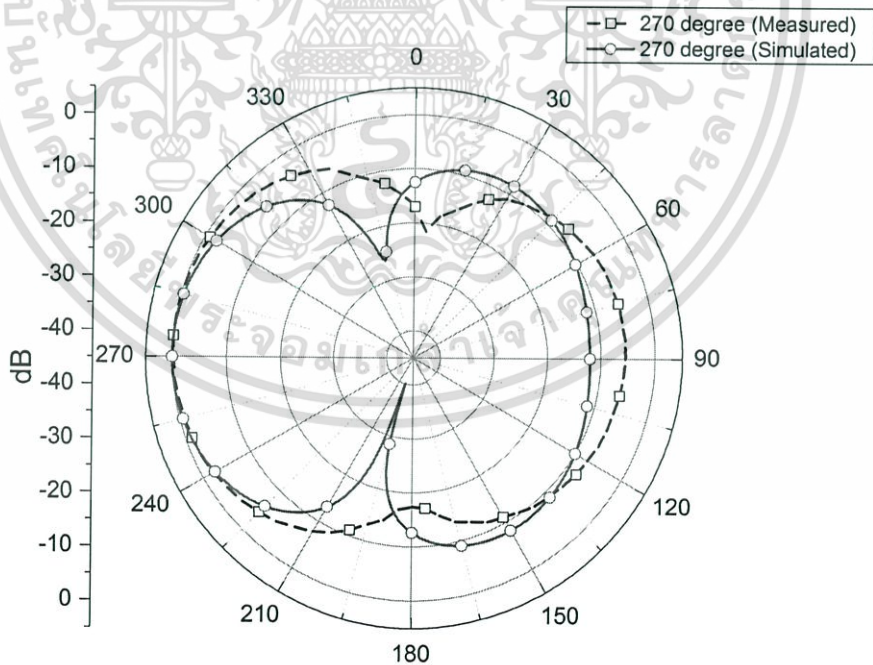


รูปที่ 4.26 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 514 MHz ที่ 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

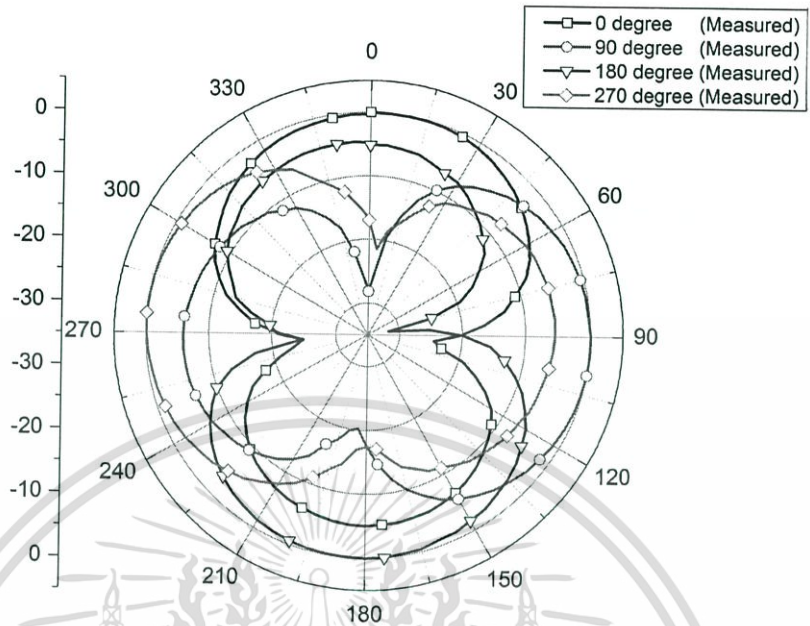


รูปที่ 4.27 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 514 MHz ที่ 180 องศา

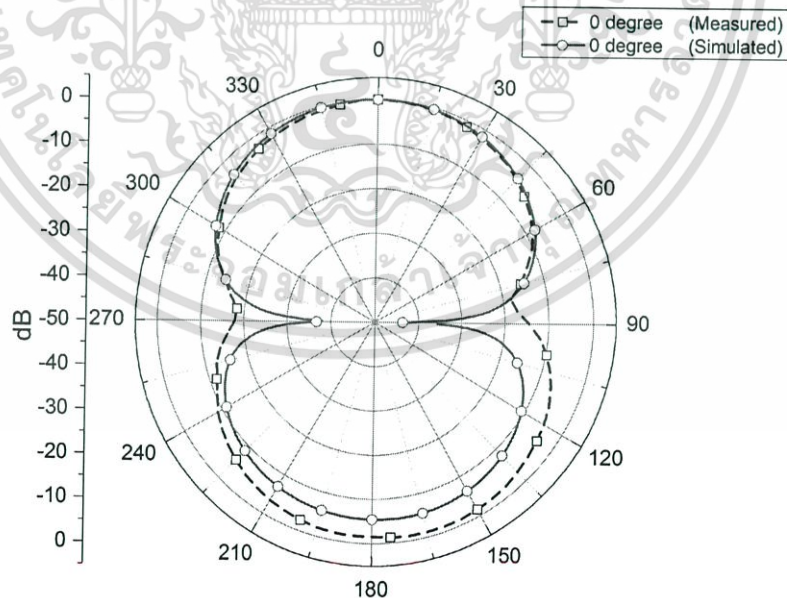


รูปที่ 4.28 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 514 MHz ที่ 270 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

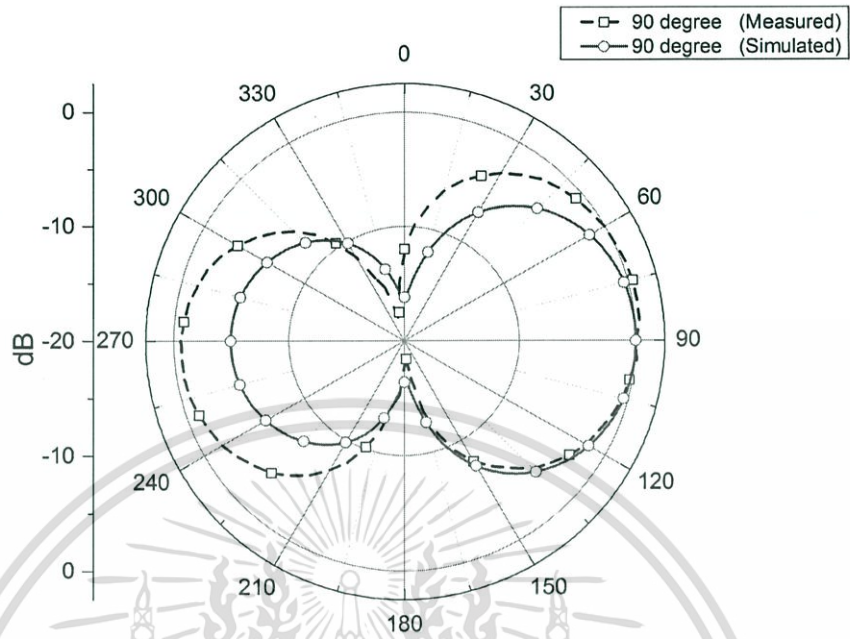


รูปที่ 4.29 รวมแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 514 MHz ที่ 0 องศา
 2) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane)
 ที่ความถี่ 594 MHz ด้วยการบัดกรี

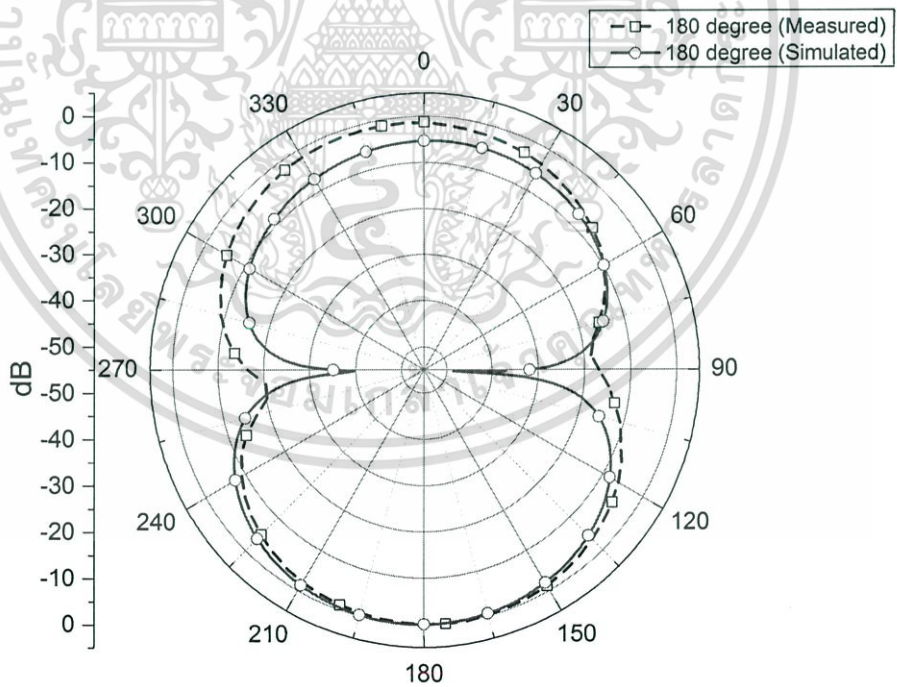


รูปที่ 4.30 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 594 MHz ที่ 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

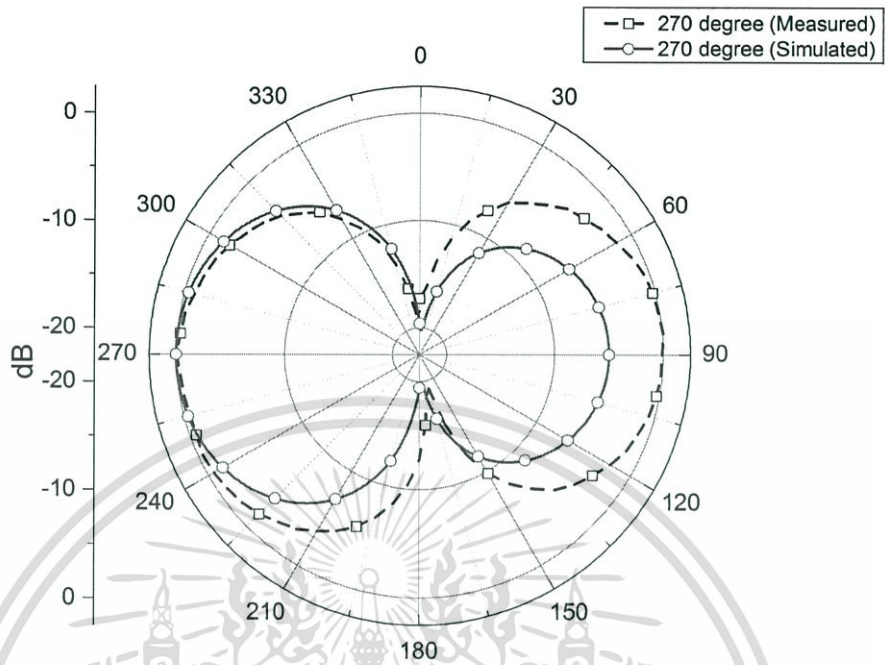


รูปที่ 4.31 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 594 MHz ที่ 90 องศา

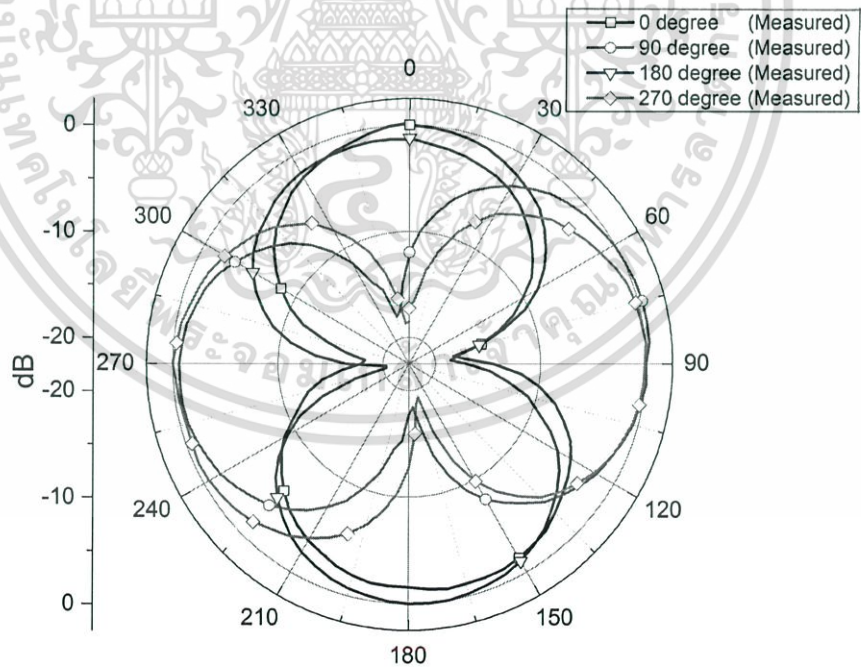


รูปที่ 4.32 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 594 MHz ที่ 180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



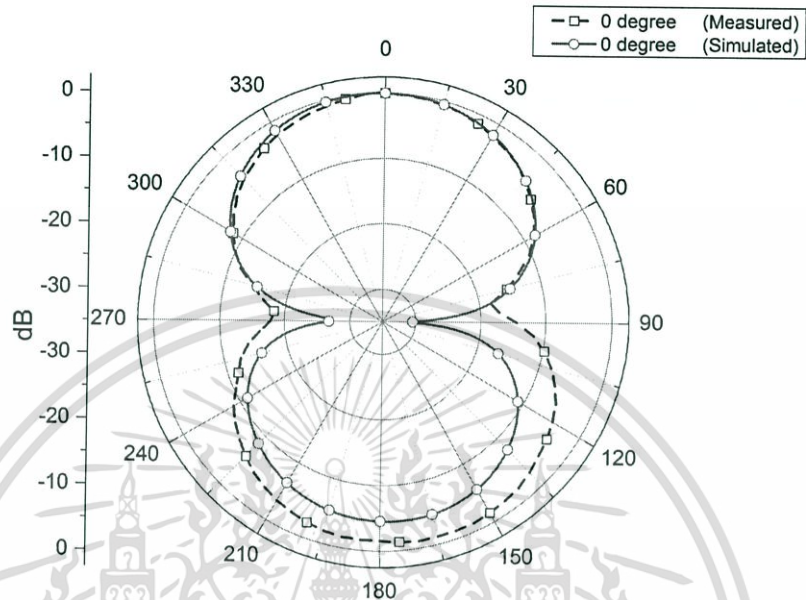
รูปที่ 4.33 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 594 MHz ที่ 270 องศา



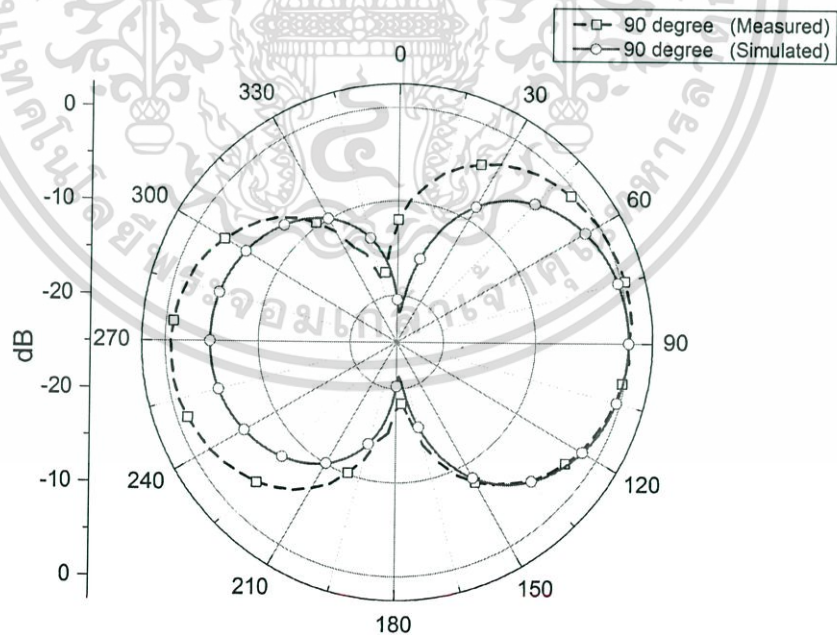
รูปที่ 4.34 รวมแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) ที่ 594 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane)
ที่ความถี่ 626 MHz ด้วยการบัดกรี

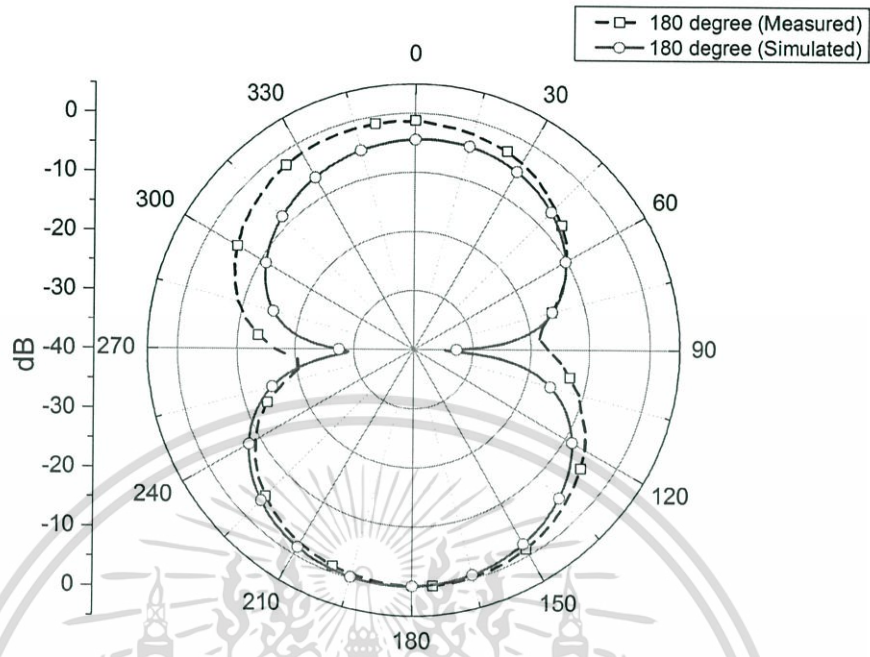


รูปที่ 4.35 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 626 MHz ที่ 0 องศา

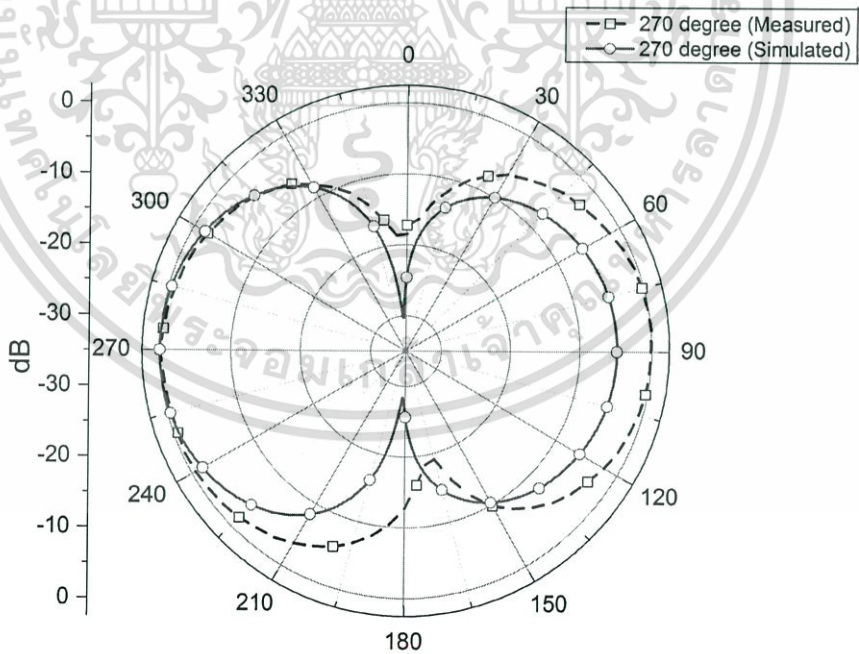


รูปที่ 4.36 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 626 MHz ที่ 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

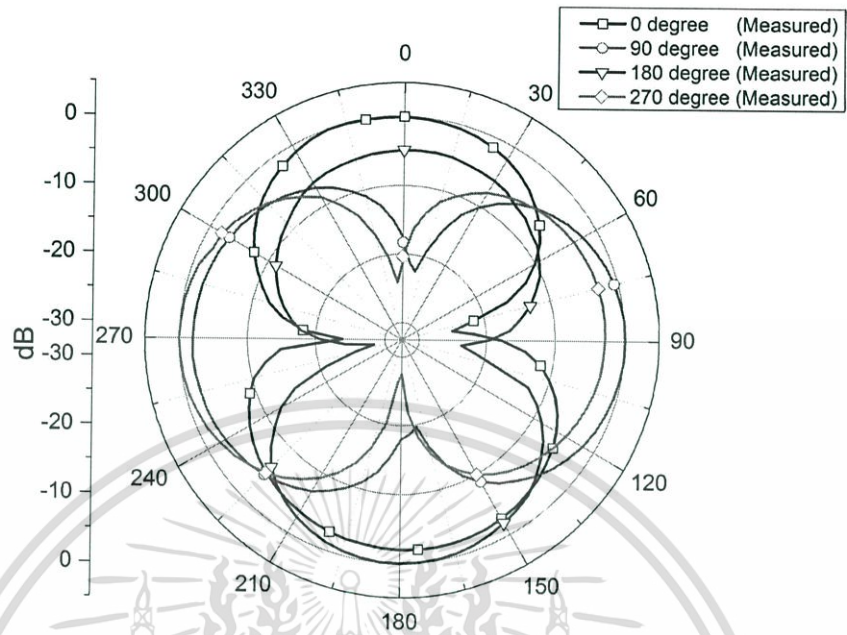


รูปที่ 4.37 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 626 MHz ที่ 180 องศา



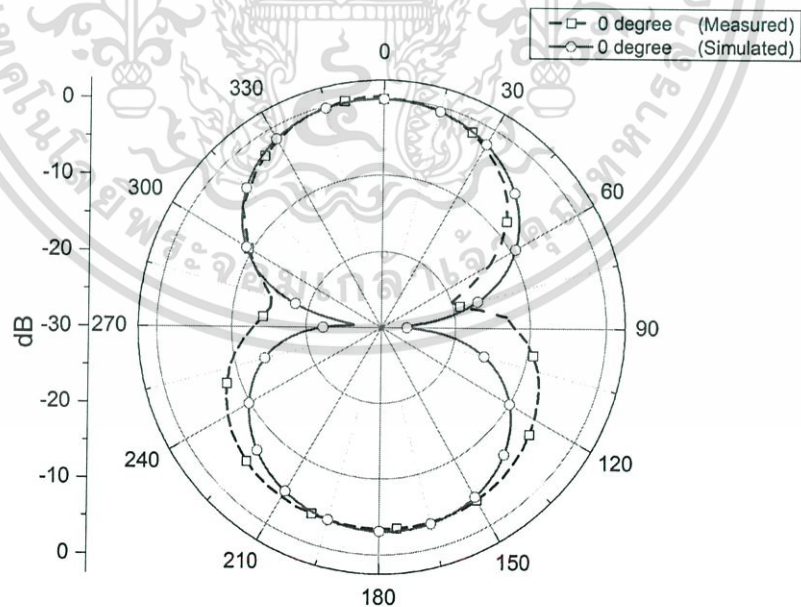
รูปที่ 4.38 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 626 MHz ที่ 270 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



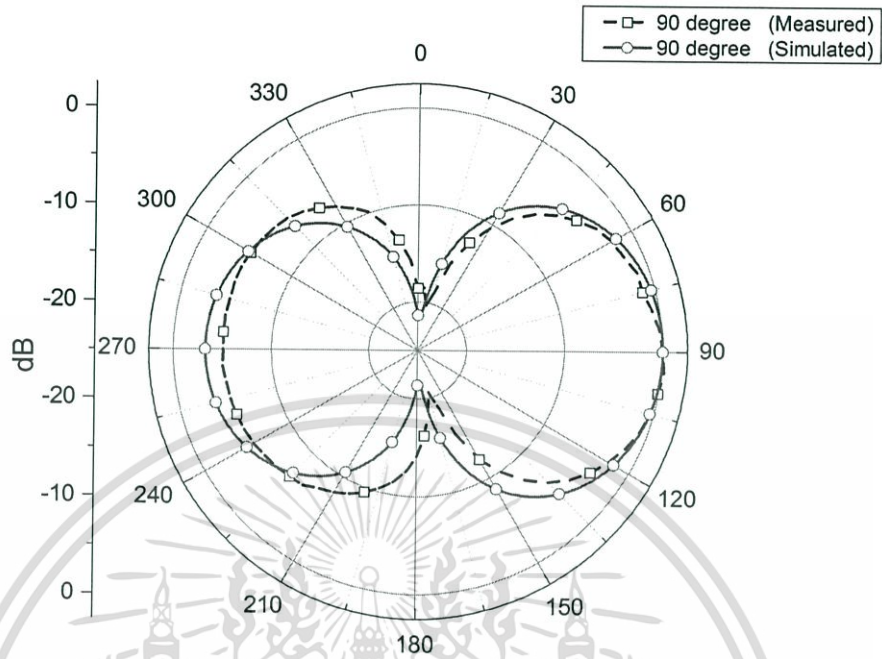
รูปที่ 4.39 รวมแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า(E-Plane) ที่ 626 MHz

4) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) ที่ความถี่ 658 MHz โดยการบัดกรี

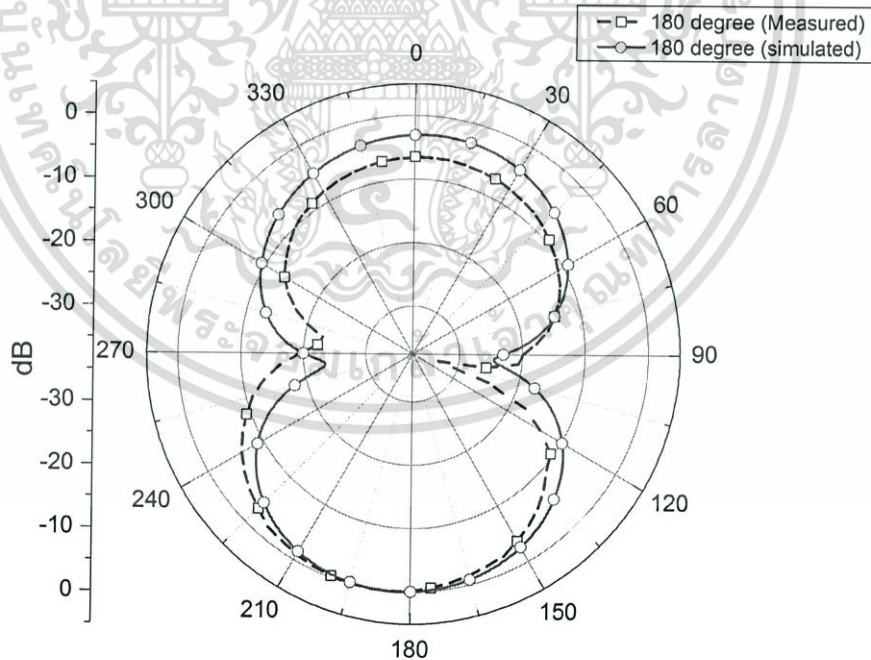


รูปที่ 4.40 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 658 MHz ที่ 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

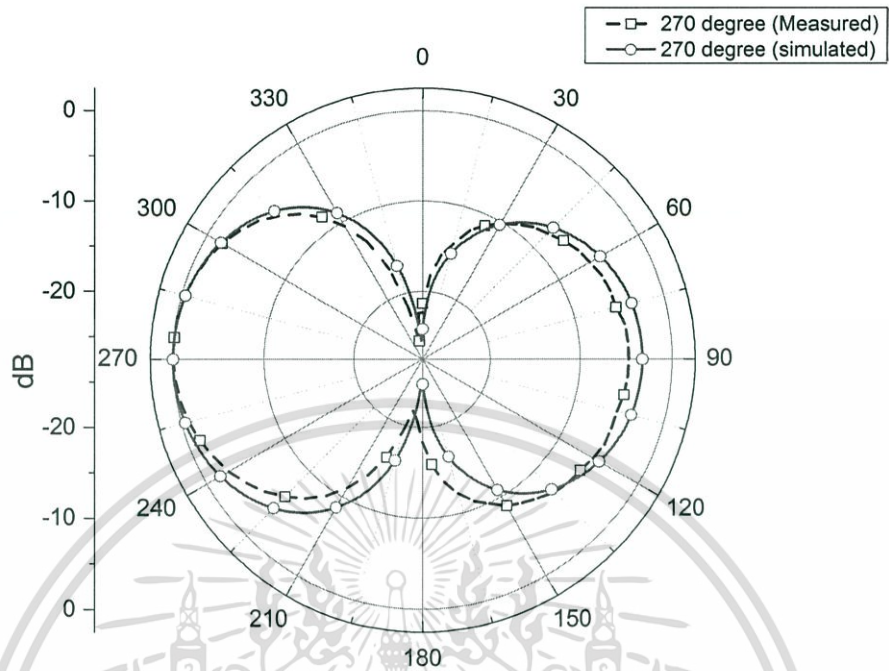


รูปที่ 4.41 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 658 MHz ที่ 90 องศา

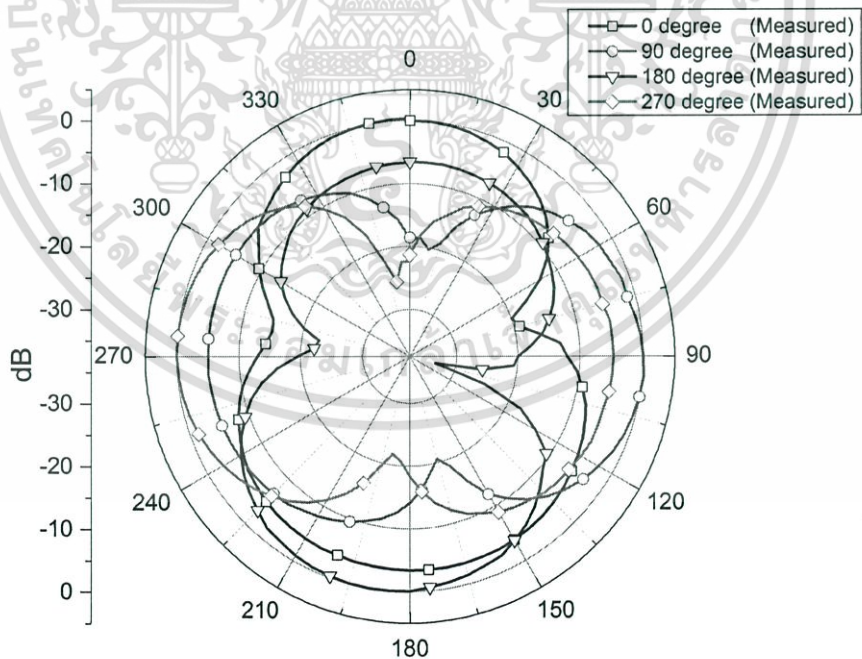


รูปที่ 4.42 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 658 MHz ที่ 180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



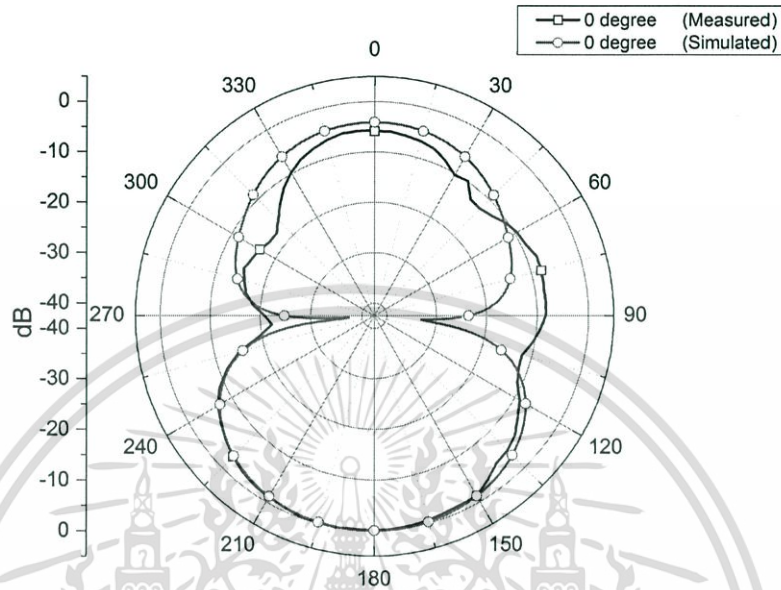
รูปที่ 4.43 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 658 MHz ที่ 270 องศา



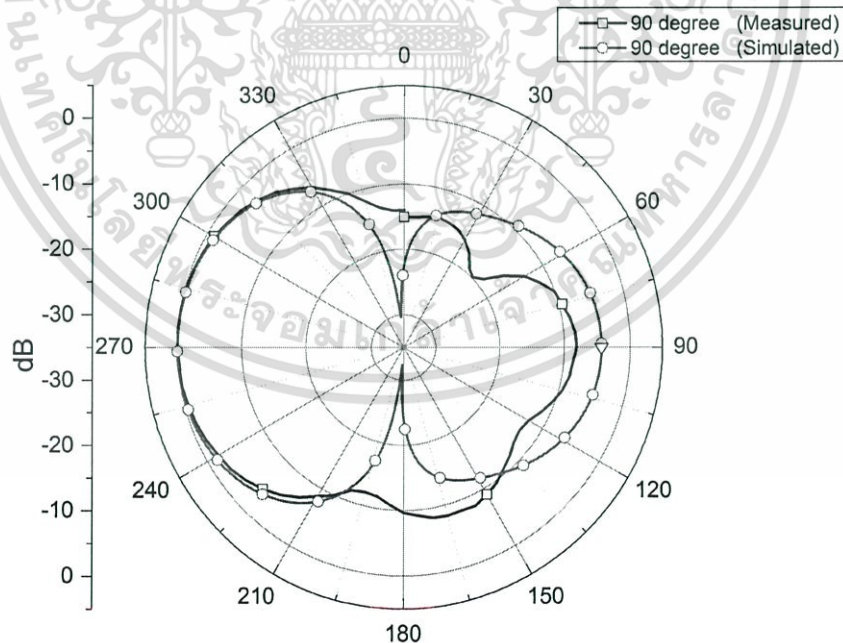
รูปที่ 4.44 รวมแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) ที่ 658MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane)
ที่ความถี่ 722 MHz โดยการบัดกรี

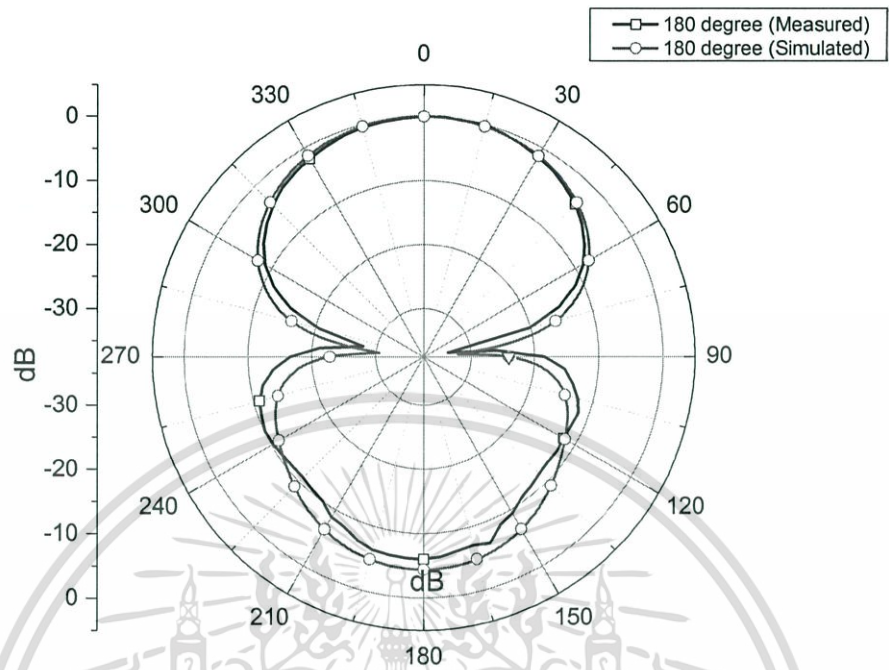


รูปที่ 4.45 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 722 MHz ที่ 0 องศา

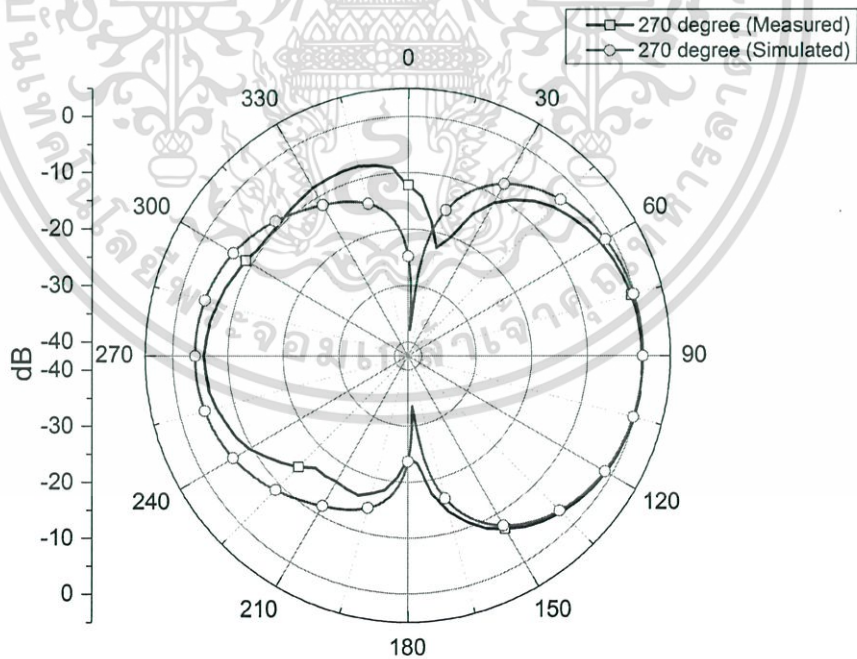


รูปที่ 4.46 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 722 MHz ที่ 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

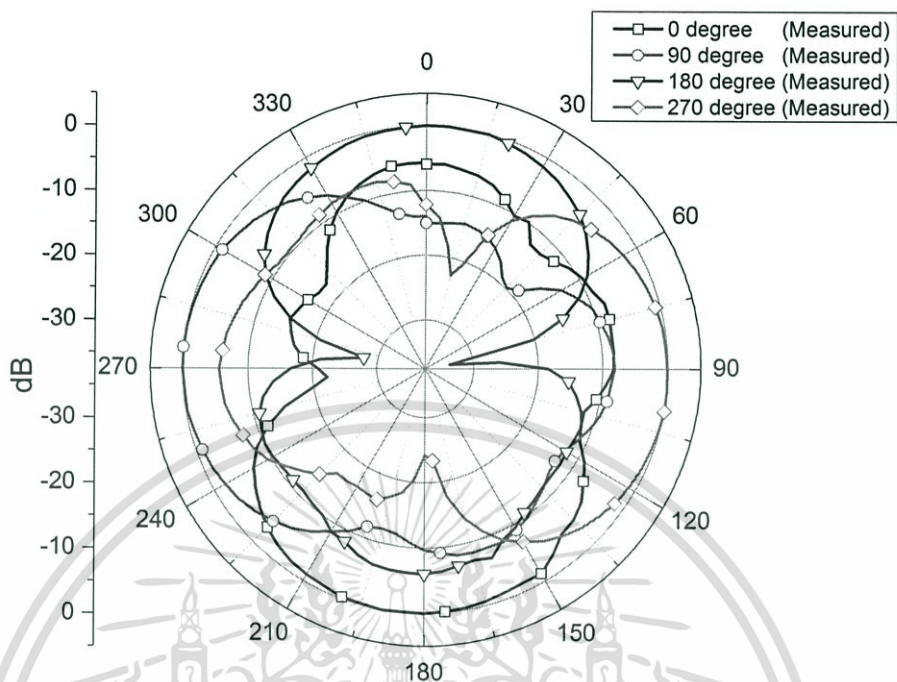


รูปที่ 4.47 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 722 MHz 180 องศา



รูปที่ 4.48 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า 722 MHz 270 องศา

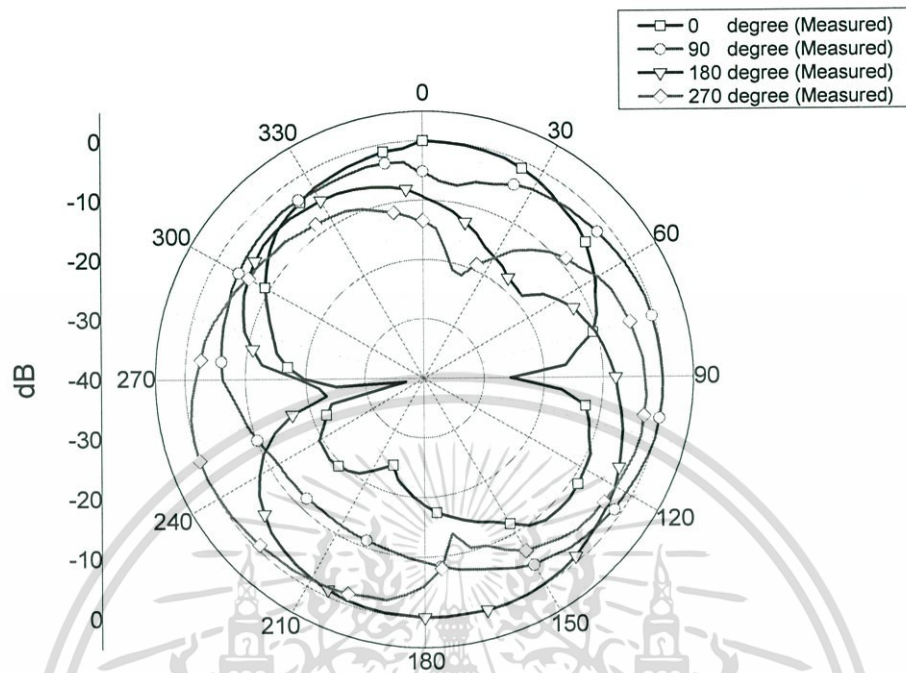
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



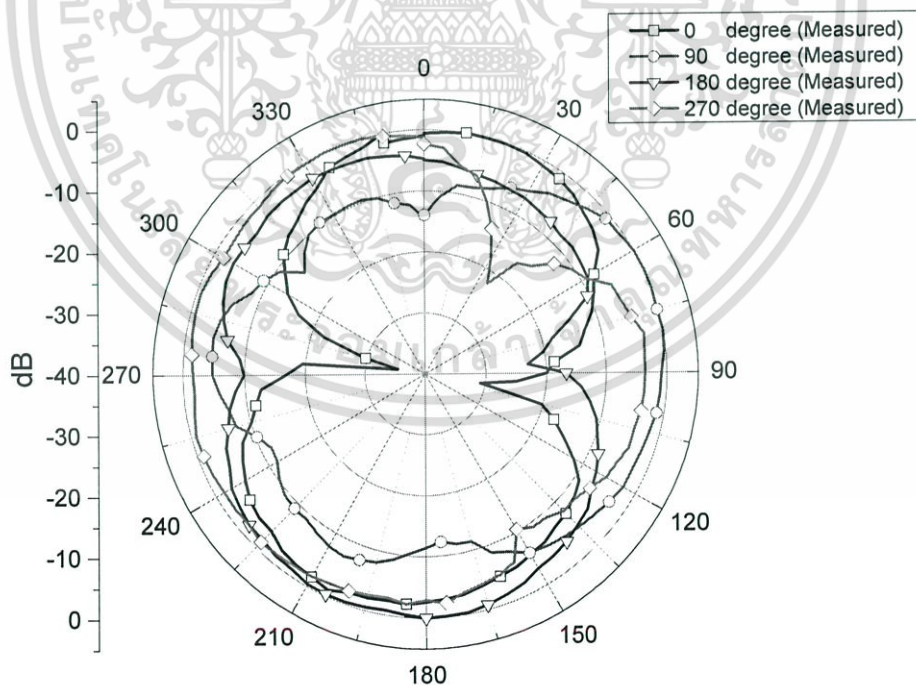
รูปที่ 4.49 รวมแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) ที่ 722 MHz

จากแนวโน้มแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศโดยการใช้การบัดกรีทองแดง เชื่อมช่องบากร่อง พบว่ามีแนวโน้มสอดคล้องกับผลจากการจำลองผลทั้งด้านทิศทางและความถี่ในการทำงาน จากนั้นจึงได้ใช้ไดโอดพินแทนการบัดกรี

แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าเมื่อใช้ไดโอดพินในการเชื่อมช่องบากร่อง โดยการเปรียบเทียบผลจากการทดสอบ ดังรูปที่ 4.50 - 4.49

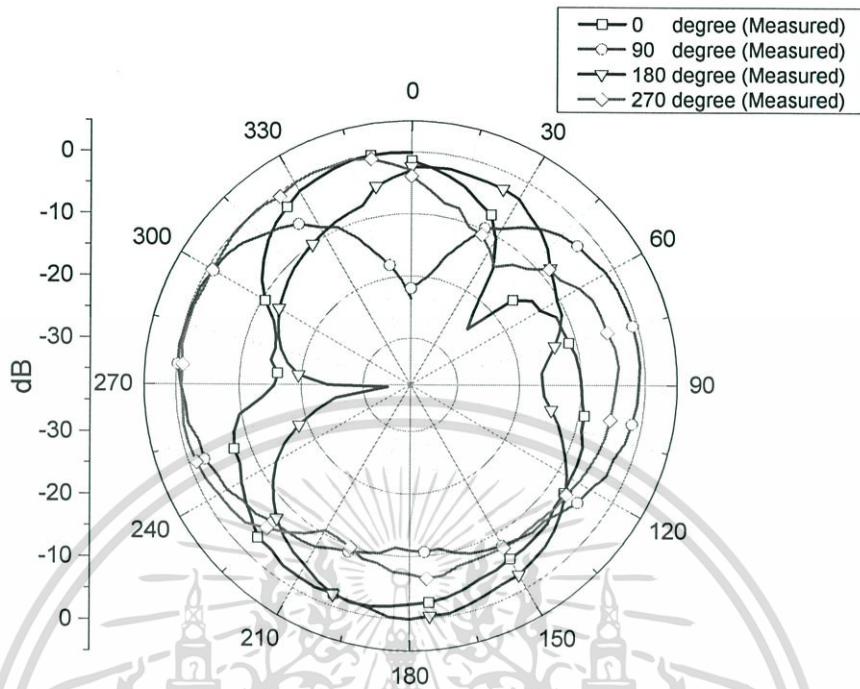


รูปที่ 4.50 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) ที่ 514 MHz

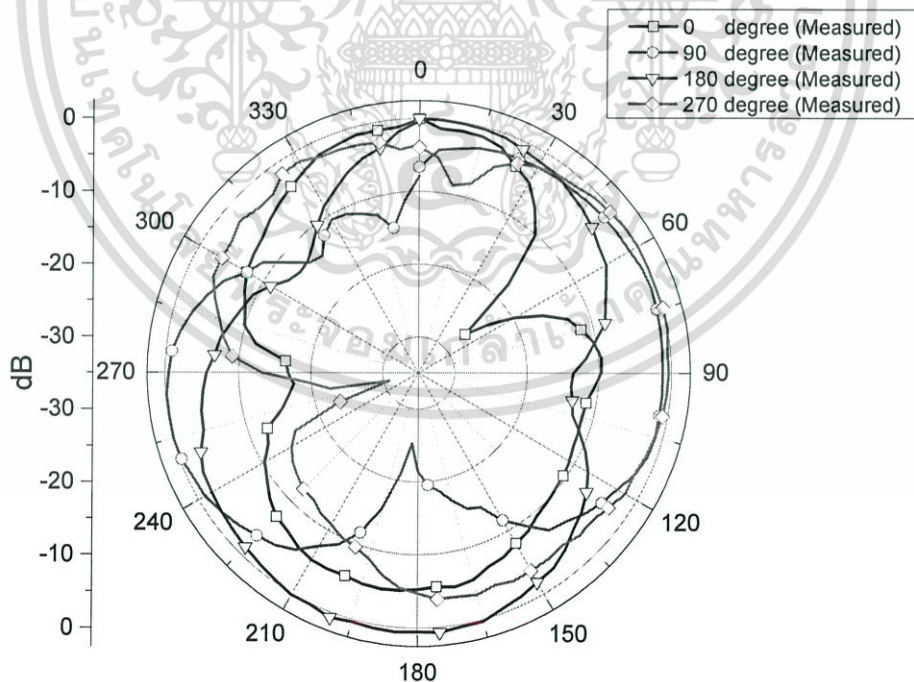


รูปที่ 4.51 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) ที่ 594 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

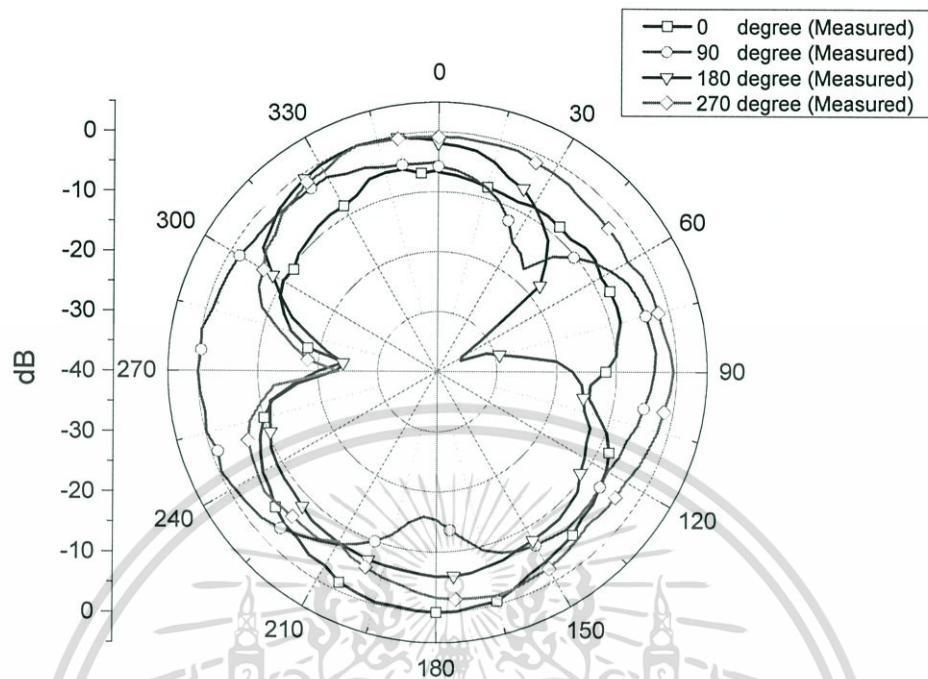


รูปที่ 4.52 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) ที่ 626 MHz



รูปที่ 4.53 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) 658 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.54 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) ที่ 722 MHz

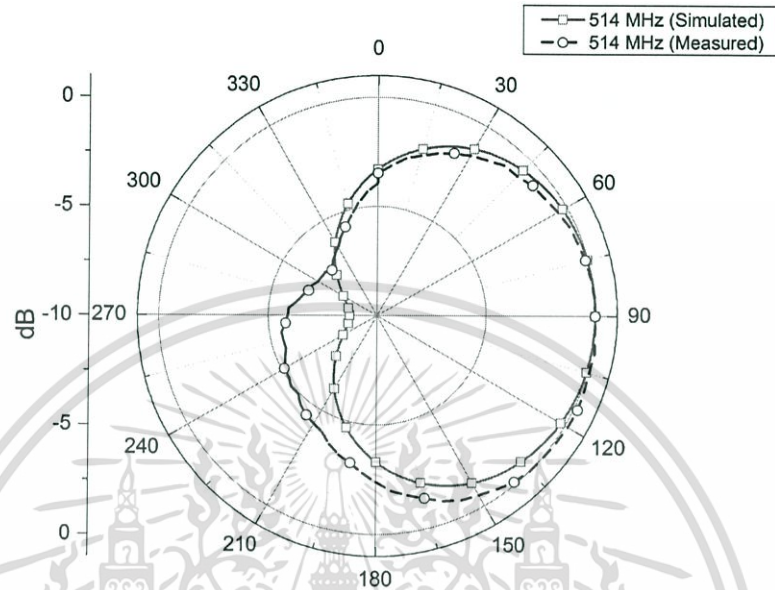
4.2.2.2 ผลการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็กสนามไฟฟ้า (H-Plane)

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบค่า F/B ratio (dB) สนามแม่เหล็กโดยการบัดกรี

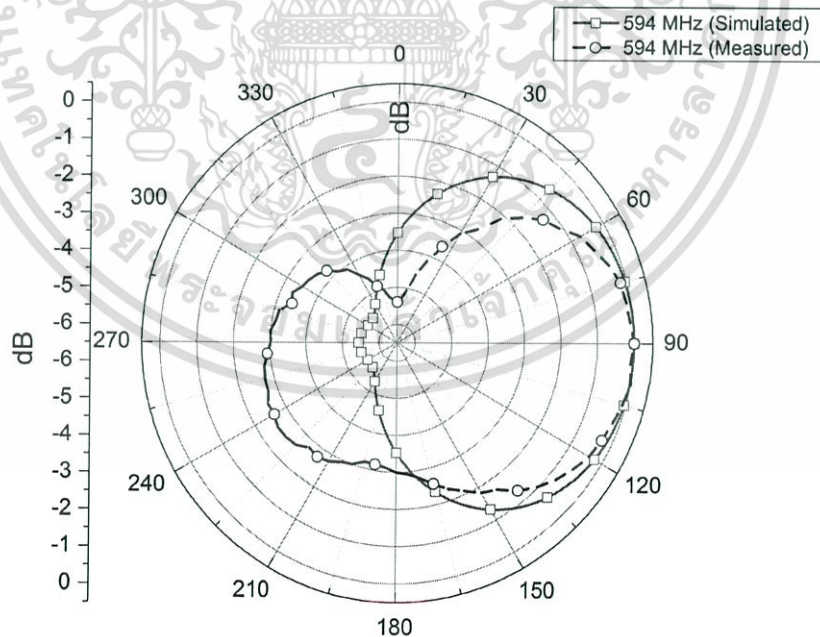
| | degree | 514 MHz | 594 MHz | 626 MHz | 658 MHz | 722 MHz |
|----------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| F/B,(dB) | 0 | 3.94 | 5.47 | 5.66 | 6.18 | 6.49 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (H-Plane) ในทิศทาง 0 องศา โดยการบัดกรี

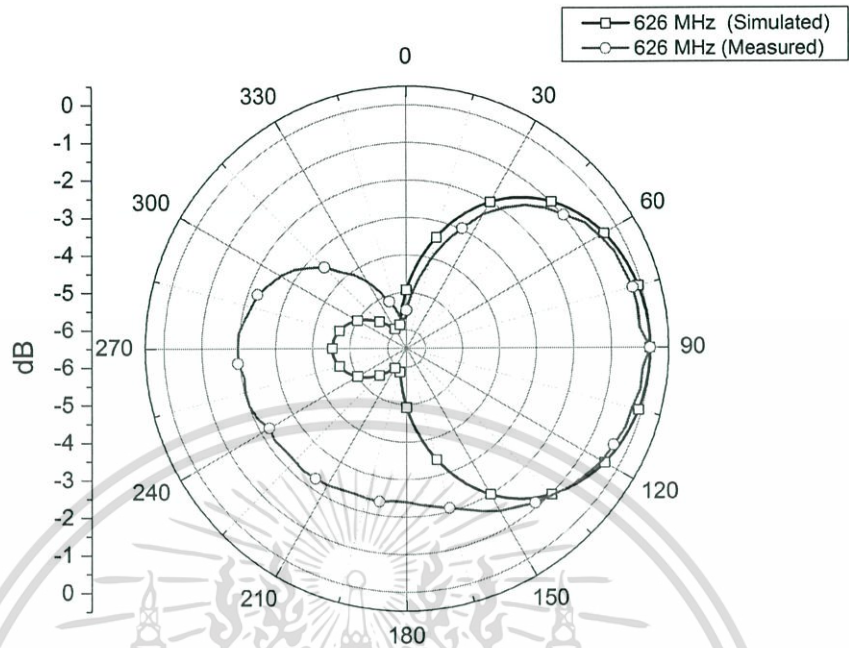


รูปที่ 4.55 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก ที่ 514 MHz

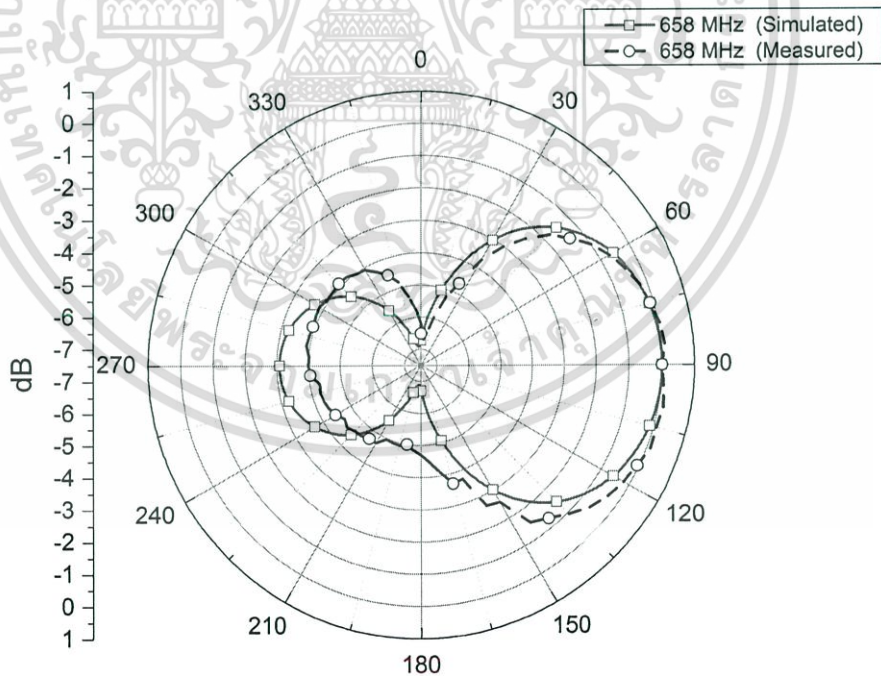


รูปที่ 4.56 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก ที่ 594 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

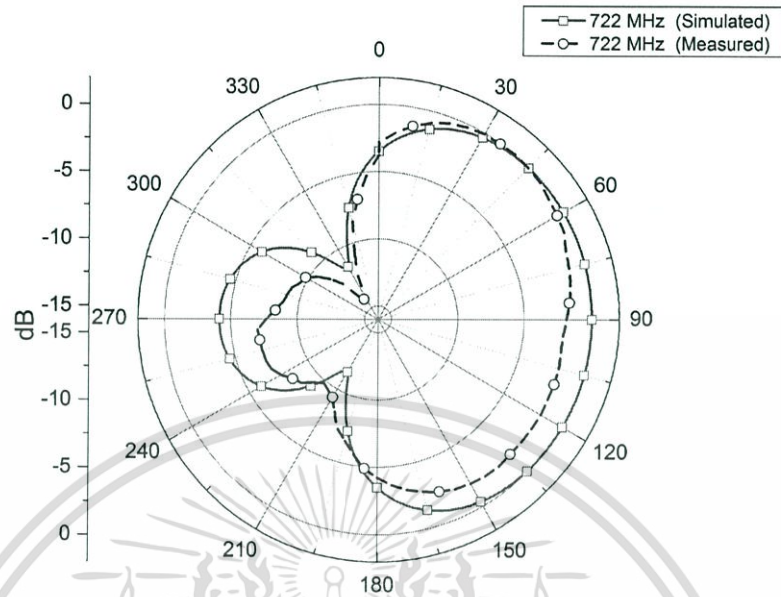


รูปที่ 4.57 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก ที่ 626 MHz

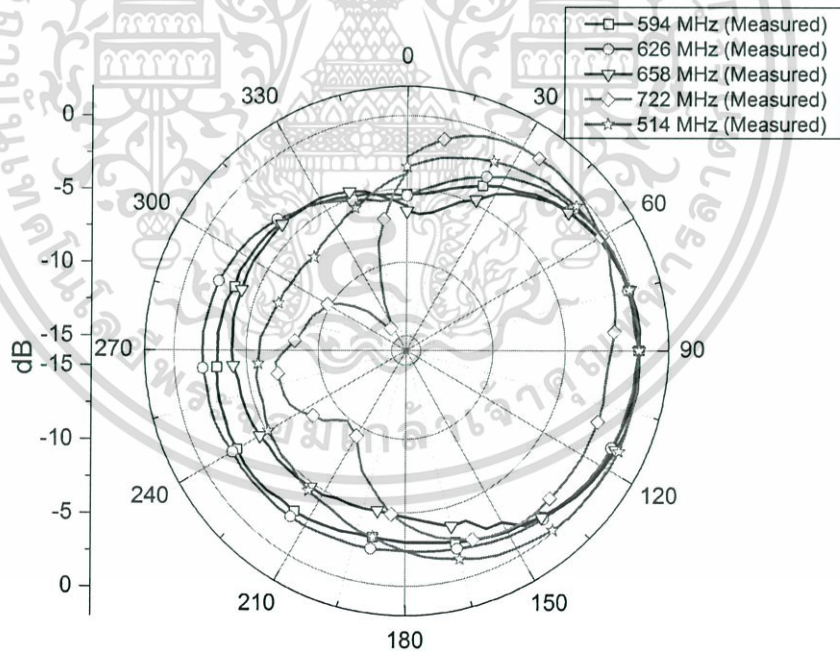


รูปที่ 4.58 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก ที่ 658 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.59 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก ที่ 722 MHz



รูปที่ 4.60 รวมแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) ที่ 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากขนาดของสายอากาศโดยการใช้ไดโอดพินไม่เหมาะสมในการทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก จึงทดสอบทิศทางการแผ่พลังงานเพียงระนาบสนามไฟฟ้าเท่านั้น

4.2.3 การทดสอบและผลการทดสอบอัตราขยาย

การทดสอบเพื่อหาอัตราขยายของสายอากาศได้ทดสอบในห้องไร้การสะท้อนใช้วิธีการวัดสายอากาศสองแบบคือ วิธีสายอากาศสองตัวและวิธีสายอากาศสามตัว เมื่อวัดอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้การปรับเปลี่ยนทิศทางและความถี่ด้วยการใช้การบัดกรีทองแดงที่ช่องบากร่อง ได้ใช้วิธีสายอากาศสองตัว และวัดอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้การปรับเปลี่ยนทิศทางและความถี่ด้วยการใช้ไดโอดพินได้ใช้วิธีสายอากาศสามตัวได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.7 อัตราขยายของสายอากาศเมื่อใช้การบัดกรี

| Frequency (MHz) | Gain (dBi) | | | |
|--------------------|------------|-----------|------------|------------|
| | 0 degree | 90 degree | 180 degree | 270 degree |
| 514 | 3.67 | 3.29 | 4.25 | 3.50 |
| 594 | 2.16 | 2.88 | 2.86 | 2.89 |
| 626 | 4.73 | 5.53 | 5.44 | 5.15 |
| 658 | 5.82 | 5.91 | 5.95 | 5.86 |
| 722 | 3.67 | 3.79 | 3.87 | 4.05 |

ตารางที่ 4.8 อัตราขยายของสายอากาศเมื่อใช้ไดโอดพิน

| Frequency (MHz) | Gain (dBi) | | | |
|--------------------|------------|-----------|------------|------------|
| | 0 degree | 90 degree | 180 degree | 270 degree |
| 514 | -0.13 | 0.76 | -4.16 | -2.27 |
| 594 | 0.42 | 0.19 | 2.83 | 3.47 |
| 626 | 1.57 | 1.824 | 2.42 | 2.59 |
| 658 | 4.16 | 4.41 | 6.05 | 6.17 |
| 722 | 1.98 | 1.80 | 1.80 | 2.07 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

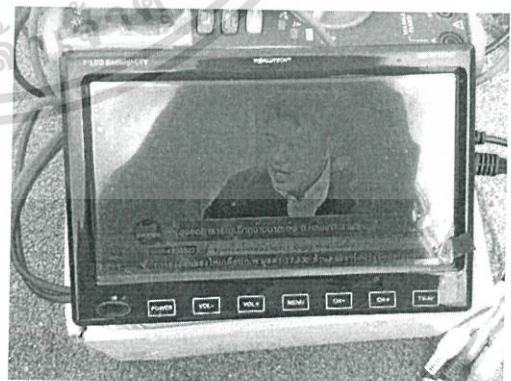
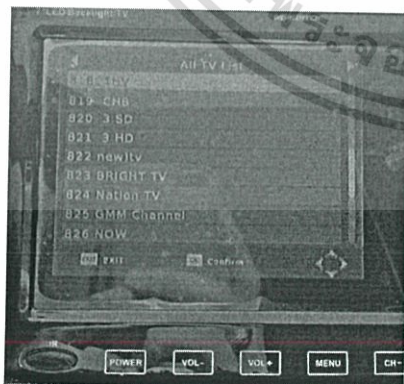
4.3 การประยุกต์ใช้งานสายอากาศยาก็มีแอนเตอร์ไลน์ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงาน

สายอากาศยาก็มีแอนเตอร์ไลน์ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานสามารถประยุกต์ใช้รับสัญญาณทีวีดิจิตอลเพื่อนำไปติดตั้งบนรถยนต์ ซึ่งสัญญาณทีวีดิจิตอลครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 514 , 594, 626 และ 722 MHz เมื่อติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการรับสัญญาณทีวีเสร็จแล้ว ได้ค้นหาสัญญาณที่สายอากาศสามารถรับได้ โดยสังเกตได้จากจอภาพที่ความถี่ต่างดังรูปที่ 4.62 จากนั้นจะได้ช่องทีวีตามความถี่ที่สายอากาศสามารถรับได้



รูปที่ 4.61 การติดตั้งสายอากาศต้นแบบเพื่อรับสัญญาณทีวีดิจิตอล

ได้ทดสอบการรับสัญญาณที่สถานจอดรถโดยวางอยู่กับที่ โดยได้นำสายอากาศดิจิตอลทีวีรุ่น SP-073 มาทดสอบเพื่อให้รู้ว่าในสภาพแวดล้อมนั้นจะสามารถรับสัญญาณความถี่ และช่องไหนได้ โดยผลจากการทดสอบสายอากาศดิจิตอลทีวี รุ่น SP-073 ได้ผลดังตารางที่ 4.9 และผลจากการทดสอบรับสัญญาณทีวีต้นแบบได้ผลดังรูปแสดงดังตารางที่ 4.10



(ก) จอแสดงจำนวนช่องที่รับสัญญาณได้

(ข) จอแสดงช่องที่ช่องที่รับสัญญาณได้

รูปที่ 4.62 หน้าจอแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ผลจากการทดสอบสายอากาศดิจิทัลทีวี รุ่น SP-073

| Frequency (MHz) | ความถี่ที่รับได้ (MHz) |
|-----------------|------------------------|
| 514 | 594,658,722 |
| 594 | 594,658,722 |
| 626 | 594,658,722 |
| 658 | 594,658,722 |
| 722 | 594,658,722 |

ตารางที่ 4.10 ผลจากการทดสอบสายอากาศวิทยุแกมมาเอ็อนเดอร์ไลน์ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงาน

| Frequency (MHz) | ความถี่ที่รับได้ (MHz) | | | |
|-----------------|------------------------|-----|-------------|-------------|
| | 0° | 90° | 180° | 270° |
| 514 | 594,722 | 722 | 594,722 | 594,722 |
| 594 | 594,722 | 722 | 594,722 | 594,722 |
| 626 | 594,722 | 722 | 594,722 | 594,658,722 |
| 658 | 594,722 | 722 | 594,722 | 594,658,722 |
| 722 | 594,658,722 | 722 | 594,658,722 | 594,658,722 |



(ก) การจัดวางสายอากาศ



(ข) การจัดวางจอแสดงผล

รูปที่ 4.63 ทดสอบสายอากาศรับทีวีดิจิทัลภาคสนาม

เมื่อนำสายอากาศไปติดตั้งบนรถยนต์เพื่อรับสัญญาณทีวีดิจิทัลในขณะรถเคลื่อนที่พบว่าสายอากาศสามารถทำงานได้ดังตารางความถี่ที่ 4.9 และยังสามารถรับช่องสัญญาณได้มากกว่าหรือน้อยกว่า โดยได้ขั้วบรเวณเป็นวงกลมทดสอบทิศทางที่สายอากาศสามารถรับได้เมื่อรถเคลื่อนไปแล้วสัญญาณขาดหายจึงได้เปลี่ยนสวิตช์เพื่อควบคุมทิศทางจนสามารถรับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ พบว่าขณะที่รถยนต์ขับเคลื่อนได้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมข้างเคียง และความเร็วของรถยนต์ที่เคลื่อน โดยถ้าสภาพแวดล้อมด้านข้างเป็นตึกล้อมรอบสัญญาณจะขาดหายในบางช่อง รับสัญญาณทีวี หรือถ้าอยู่ในที่โล่งจะสามารถรับสัญญาณทีวีได้หลายช่อง

จากการออกแบบ สร้าง และทดสอบสายอากาศต้นแบบ พบว่าสายอากาศสามารถทำงานได้ที่ความถี่ 514, 594, 626, 658 และ 722 MHz และสายอากาศสามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานได้ 4 ทิศทาง โดยทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศดังกล่าวที่ 4.2 ผลของการทดสอบแสดงว่าสายอากาศที่สร้างโดยการใช้การบัดกรีทองแดง มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงผลจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากนั้นจึงได้นำไดโอดพินมาใช้แทนการบัดกรีทองแดงแล้วทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศ พบว่าสายอากาศหลังการติดตั้งไดโอดพินทำให้สัมประสิทธิ์ของสายอากาศแย่ง และอัตราขยายของสายอากาศลดลง แต่ยังคงสามารถสลับทิศทางของคลื่นได้ จากนั้นได้นำสายอากาศไปทดสอบการรับสัญญาณทีวีดิจิตอลภาคสนาม โดยการติดตั้งกับรถยนต์ผลปรากฏว่าสายอากาศสามารถรับสัญญาณได้เป็นบางช่วง บางช่วงที่รับไม่ได้อาจเกิดจากสัญญาณโดนบังด้วยตึก รวมถึงฟิล์มของกระจกที่มีค่าซิกมาค่อนข้างสูง ทำให้สัญญาณอาจถูกลดทอนไปได้



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอสายอากาศยาก็มีแอนเตอร์ไลน์ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานสำหรับใช้ในการสื่อสารไร้สาย โดยมีจุดประสงค์หลักของปริญญานิพนธ์คือเพื่อสร้างสายอากาศโดยให้สายอากาศสามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานรอบทิศทางสำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบดิจิทัล โครงสร้างสายอากาศมีต้นแบบมาจากสายอากาศยาก็มีแอนเตอร์ไลน์ที่ทำการไขว้กันเป็นรูปกากบาท การไขว้กันของสายอากาศยาก็มีแอนเตอร์ไลน์นั้นเพื่อสำหรับการสับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศให้สามารถแผ่พลังงานได้รอบๆทิศทางเริ่มออกแบบสายอากาศเบื้องต้นโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และสร้างสายอากาศจากแผ่นปริ้นท์ที่สร้างได้ง่ายและมีน้ำหนักเบา ทำการบากร่องสำหรับติดตั้งไดโอดพินเพื่อให้สายอากาศสามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานและความถี่ ในบทนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆหัวข้อที่ 5.1 จะกล่าวถึงผลสรุปโดยรวมของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ส่วนหัวข้อที่ 5.2 จะกล่าวถึงข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อไป

5.1 สรุปผล

จากการออกแบบ สร้าง และทดสอบสายอากาศ เมื่อเชื่อมต่อขงบากร่องโดยใช้การบัดกรีจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่มีค่าต่ำกว่า -10 dB และอัตราขยายตั้งแต่ -4.16 ถึง 6.17 dB โดยแต่ละค่านั้นขึ้นอยู่กับความถี่และทิศทางของสายอากาศ เมื่อใส่ไดโอดพินลงบนสายอากาศแทนการบัดกรี ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ได้นั้นจะมีค่าต่ำกว่า -6 dB และอัตราขยายนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนไดโอดพินที่ทำงานคือเมื่อไดโอดพินทำงานจำนวนมากอัตราขยายจะน้อยและเมื่อไดโอดพินทำงานน้อยตัวอัตราขยายก็จะใกล้เคียงกับวิธีการบัดกรี จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าเมื่อติดตั้งไดโอดพินสายอากาศสามารถสวิตซ์ความถี่ได้ง่ายขึ้น แต่ประสิทธิภาพสายอากาศจะลดลงเล็กน้อยเนื่องจากไดโอดพิน เมื่อออกทดสอบภาคสนามสายอากาศสามารถรับสัญญาณทีวีดิจิทัลได้ และประสิทธิภาพสายอากาศจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและความเร็วของรถยนต์

สามารถสรุปได้ว่าสายอากาศยาก็มีแอนเตอร์ไลน์ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงาน สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแผ่พลังงานได้ 4 ทิศทางและทำงานได้ที่ความถี่ 514, 594, 626, 658 และ 722 MHz

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบและสร้างสายอากาศ ทำให้พบปัญหาบางส่วน จึงมีข้อเสนอแนะดังนี้ การบัดกรีช่องบากร่องและการใส่ไดโอดพินลงบนสายอากาศทำให้ประสิทธิภาพสายอากาศลดลง เนื่องจากไดโอดพินแต่ละตัวทำให้เกิดการสูญเสียในตัว เมื่อไดโอดพินทำงานมากตัวการสูญเสียของไดโอดพินก็ยิ่งสะสมมาก



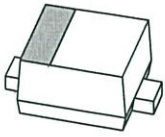
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] H. Yagi. "Beam transmission of the ultra short waves." Proc. IRE. 16. pp.715-741. Jun 1928.
- [2] V.B.Ambhore, A.P.Dhande. "An Overview on Properties, Parameter Consideration And Design of Meandering Antenna." IJSSAN.1. pp.59-62. 2012.
- [3] S. Zhang, G. H. Huff, J. Feng, and J. T. Bernhard, "A Pattern Reconfigurable Microstrip Parasitic Array." IEEE Trans. Antenna Propagat.52: pp.2773-2776. Oct 2004.
- [4] J. W. Baik, S. Pyo, T. H. Lee, and Y. S. Kim, "Switchable Printed Yagi-Uda Antenna with Pattern Reconfiguration." ETRI Journal. pp.318-320. Jun 2009.
- [5] H. A. Majid, M. K. A. Rahim , M. R. Hamid and M.F. Ismail, "frequency and Pattern Reconfigurable Yagi Antenna."Journal of Electromagnetic Waves and Applications. pp.379-389. 2012.
- [6] C. Kittiyapunya and M. Krairiksh, "Reconfigurable Yagi Antenna on a Magnetic Conductor." Thailand-Japan MicroWave. pp.107-110. Aug 2011.
- [7] ไพโรจน์ ปิ่นแก้ว และคณะ. เทคโนโลยีการกระจายเสียงและแพร่ภาพโทรทัศน์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บ้านหนังสือโกสสินทร์, 2553.
- [8] สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. แผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล. กรุงเทพฯ, 2555.
- [9] ศราวุธ ชัยมูล. วิศวกรรมสายอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ศูนย์ผลิตตำราเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2556.
- [10] รังสรรค์ วงศ์สรรค์. วิศวกรรมสายอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 2. นครราชสีมา : ศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2552.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



BAP50-02

General purpose PIN diode

Rev. 02 — 3 January 2008

Product data sheet

IMPORTANT NOTICE

Dear customer,

As from October 1st, 2006 Philips Semiconductors has a new trade name - NXP Semiconductors, which will be used in future data sheets together with new contact details.

In data sheets where the previous Philips references remain, please use the new links as shown below.

<http://www.philips.semiconductors.com> use <http://www.nxp.com>

<http://www.semiconductors.philips.com> use <http://www.nxp.com> (Internet)

sales.addresses@www.semiconductors.philips.com use salesaddresses@nxp.com (email)

The copyright notice at the bottom of each page (or elsewhere in the document, depending on the version)

- © Koninklijke Philips Electronics N.V. (year). All rights reserved - is replaced with:

- © NXP B.V. (year). All rights reserved. -

If you have any questions related to the data sheet, please contact our nearest sales office via e-mail or phone (details via salesaddresses@nxp.com). Thank you for your cooperation and understanding.

NXP Semiconductors



founded by Philips

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

General purpose PIN diode

BAP50-02

FEATURES

- Low diode capacitance
- Low diode forward resistance.

APPLICATIONS

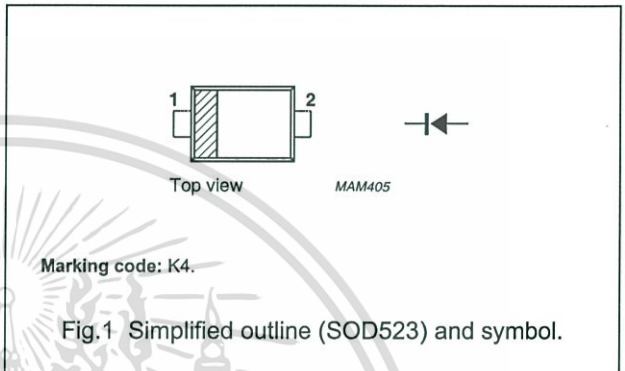
- General RF applications.

DESCRIPTION

General purpose PIN diode in a SOD523 small SMD plastic package.

PINNING

| PIN | DESCRIPTION |
|-----|-------------|
| 1 | cathode |
| 2 | anode |



LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134).

| SYMBOL | PARAMETER | CONDITIONS | MIN. | MAX. | UNIT |
|-----------|----------------------------|----------------------|------|------|------|
| V_R | continuous reverse voltage | | – | 50 | V |
| I_F | continuous forward current | | – | 50 | mA |
| P_{tot} | total power dissipation | $T_s = 90\text{ °C}$ | – | 715 | mW |
| T_{stg} | storage temperature | | –65 | +150 | °C |
| T_j | junction temperature | | –65 | +150 | °C |

General purpose PIN diode

BAP50-02

ELECTRICAL CHARACTERISTICS $T_j = 25\text{ °C}$ unless otherwise specified.

| SYMBOL | PARAMETER | CONDITIONS | MIN. | TYP. | MAX. | UNIT |
|--------------|--------------------------|---|------|------|------|---------------|
| V_F | forward voltage | $I_F = 50\text{ mA}$ | – | 0.95 | 1.1 | V |
| V_R | reverse voltage | $I_R = 10\text{ }\mu\text{A}$ | 50 | – | – | V |
| I_R | reverse current | $V_R = 50\text{ V}$ | – | – | 100 | nA |
| C_d | diode capacitance | $V_R = 0; f = 1\text{ MHz}$ | – | 0.4 | – | pF |
| | | $V_R = 1\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$ | – | 0.3 | 0.55 | pF |
| | | $V_R = 5\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$ | – | 0.22 | 0.35 | pF |
| r_D | diode forward resistance | $I_F = 0.5\text{ mA}; f = 100\text{ MHz}; \text{note 1}$ | – | 25 | 40 | Ω |
| | | $I_F = 1\text{ mA}; f = 100\text{ MHz}; \text{note 1}$ | – | 14 | 25 | Ω |
| | | $I_F = 10\text{ mA}; f = 100\text{ MHz}; \text{note 1}$ | – | 3 | 5 | Ω |
| $ s_{21} ^2$ | isolation | $V_R = 0; f = 900\text{ MHz}$ | – | 20.4 | – | dB |
| | | $V_R = 0; f = 1800\text{ MHz}$ | – | 17.3 | – | dB |
| | | $V_R = 0; f = 2450\text{ MHz}$ | – | 15.5 | – | dB |
| $ s_{21} ^2$ | insertion loss | $I_F = 0.5\text{ mA}; f = 900\text{ MHz}$ | – | 1.74 | – | dB |
| | | $I_F = 0.5\text{ mA}; f = 1800\text{ MHz}$ | – | 1.79 | – | dB |
| | | $I_F = 0.5\text{ mA}; f = 2450\text{ MHz}$ | – | 1.88 | – | dB |
| $ s_{21} ^2$ | insertion loss | $I_F = 1\text{ mA}; f = 900\text{ MHz}$ | – | 1.03 | – | dB |
| | | $I_F = 1\text{ mA}; f = 1800\text{ MHz}$ | – | 1.09 | – | dB |
| | | $I_F = 1\text{ mA}; f = 2450\text{ MHz}$ | – | 1.15 | – | dB |
| $ s_{21} ^2$ | insertion loss | $I_F = 10\text{ mA}; f = 900\text{ MHz}$ | – | 0.26 | – | dB |
| | | $I_F = 10\text{ mA}; f = 1800\text{ MHz}$ | – | 0.32 | – | dB |
| | | $I_F = 10\text{ mA}; f = 2450\text{ MHz}$ | – | 0.34 | – | dB |
| τ_L | charge carrier life time | when switched from $I_F = 10\text{ mA}$ to $I_R = 6\text{ mA}; R_L = 100\text{ }\Omega$; measured at $I_R = 3\text{ mA}$ | – | 1.05 | – | μs |
| L_S | series inductance | $I_F = 100\text{ mA}; f = 100\text{ MHz}$ | – | 0.6 | – | nH |

Note

1. Guaranteed on AQL basis: inspection level S4, AQL 1.0.

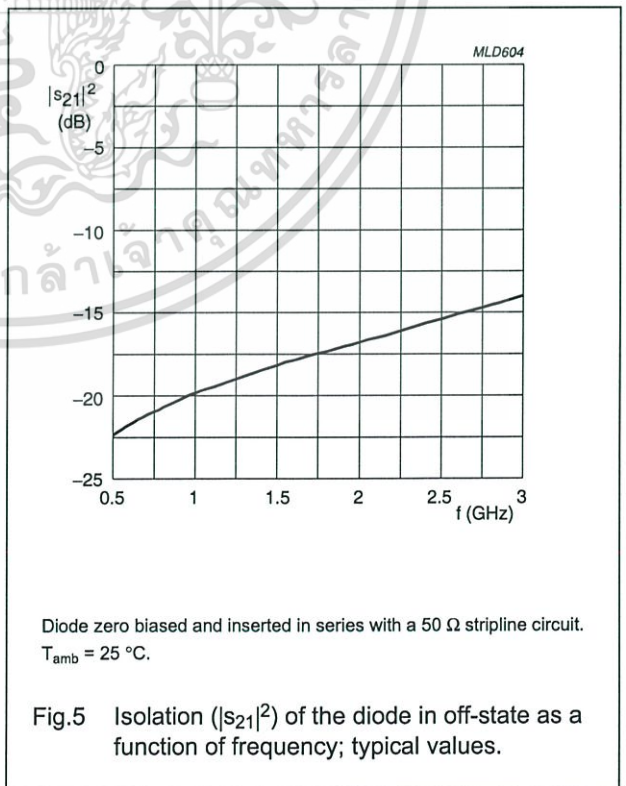
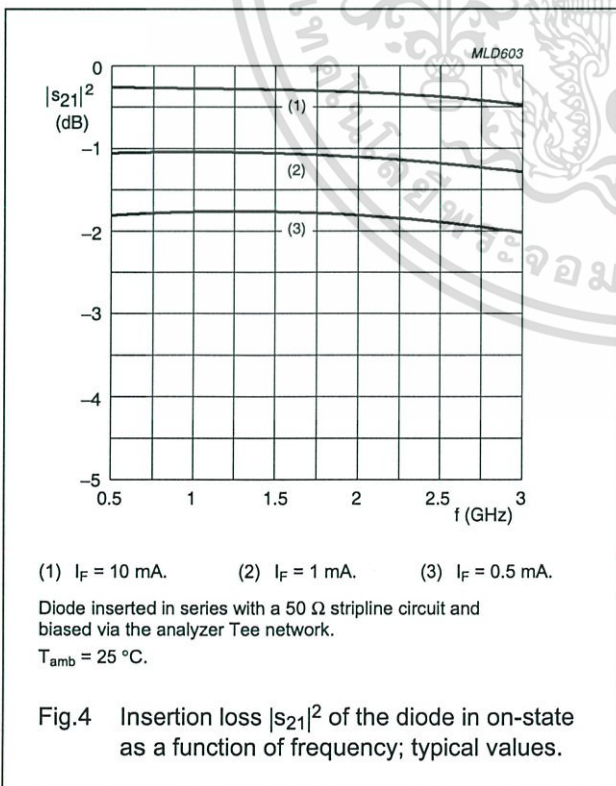
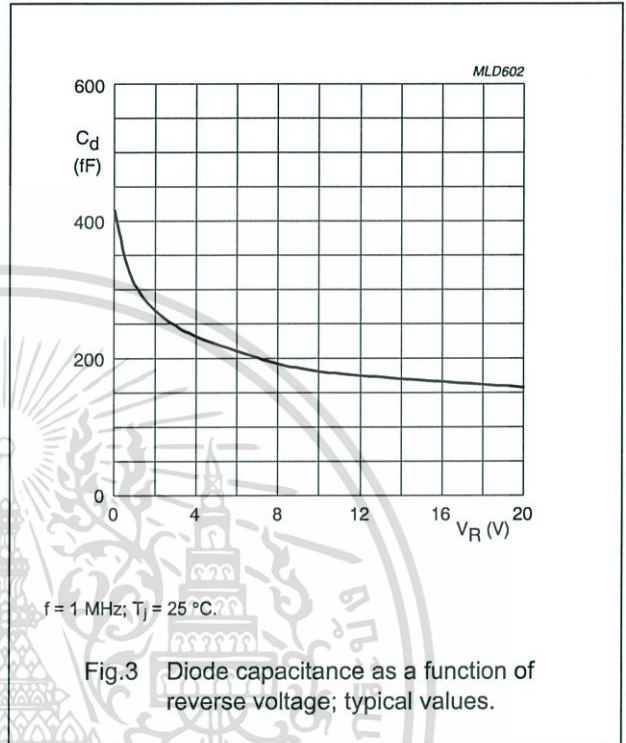
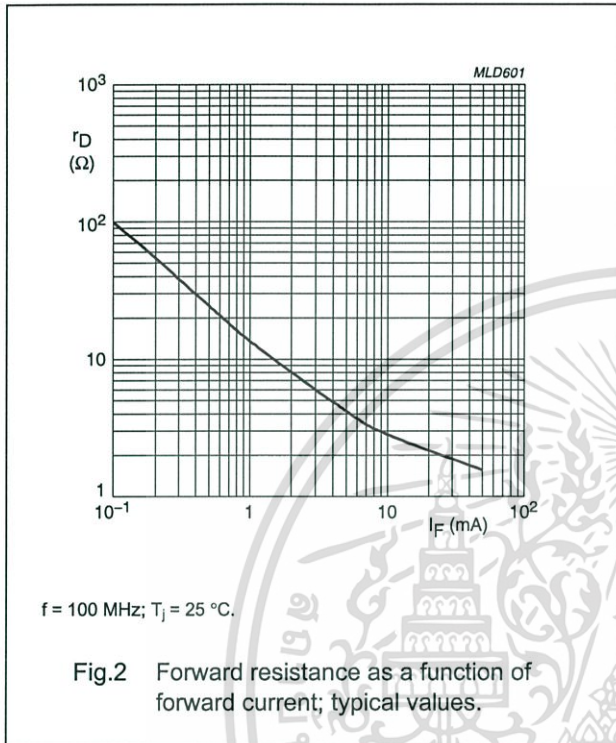
THERMAL CHARACTERISTICS

| SYMBOL | PARAMETER | VALUE | UNIT |
|---------------|---|-------|------|
| $R_{th\ j-s}$ | thermal resistance from junction to soldering point | 85 | K/W |

General purpose PIN diode

BAP50-02

GRAPHICAL DATA



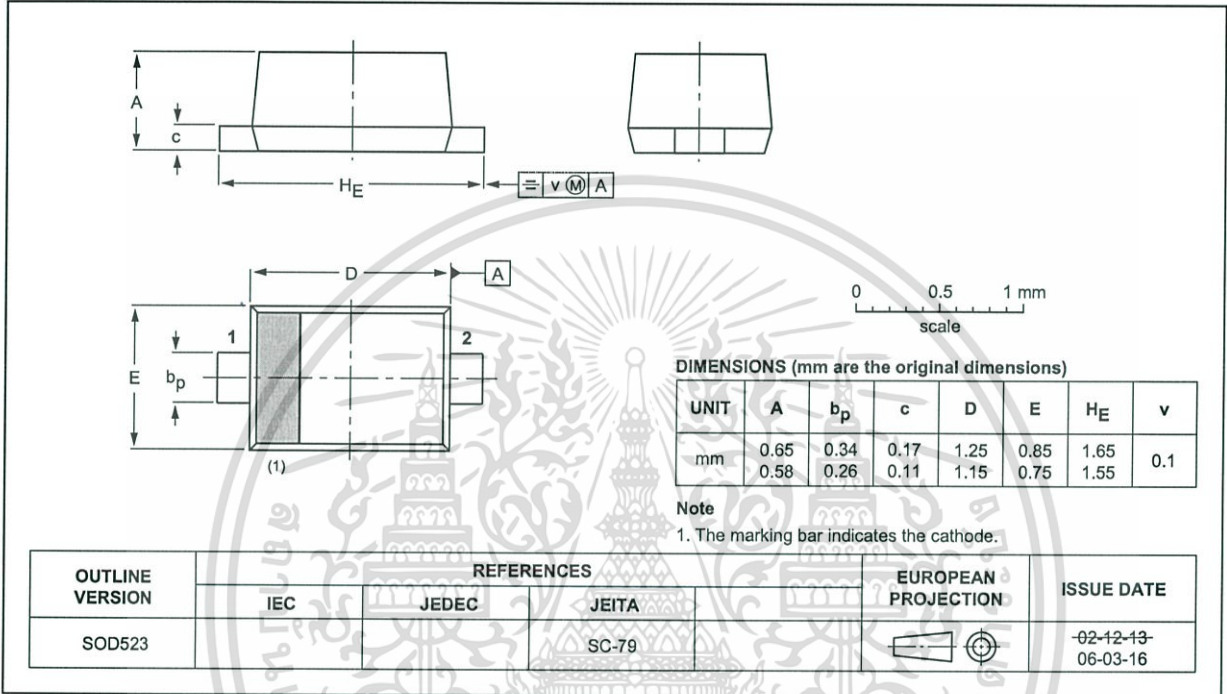
General purpose PIN diode

BAP50-02

PACKAGE OUTLINE

Plastic surface-mounted package; 2 leads

SOD523



Legal information

Data sheet status

| Document status ^{[1][2]} | Product status ^[3] | Definition |
|-----------------------------------|-------------------------------|---|
| Objective [short] data sheet | Development | This document contains data from the objective specification for product development. |
| Preliminary [short] data sheet | Qualification | This document contains data from the preliminary specification. |
| Product [short] data sheet | Production | This document contains the product specification. |

- [1] Please consult the most recently issued document before initiating or completing a design.
- [2] The term 'short data sheet' is explained in section "Definitions".
- [3] The product status of device(s) described in this document may have changed since this document was published and may differ in case of multiple devices. The latest product status information is available on the Internet at URL <http://www.nxp.com>.

Definitions

Draft — The document is a draft version only. The content is still under internal review and subject to formal approval, which may result in modifications or additions. NXP Semiconductors does not give any representations or warranties as to the accuracy or completeness of information included herein and shall have no liability for the consequences of use of such information.

Short data sheet — A short data sheet is an extract from a full data sheet with the same product type number(s) and title. A short data sheet is intended for quick reference only and should not be relied upon to contain detailed and full information. For detailed and full information see the relevant full data sheet, which is available on request via the local NXP Semiconductors sales office. In case of any inconsistency or conflict with the short data sheet, the full data sheet shall prevail.

Disclaimers

General — Information in this document is believed to be accurate and reliable. However, NXP Semiconductors does not give any representations or warranties, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of such information and shall have no liability for the consequences of use of such information.

Right to make changes — NXP Semiconductors reserves the right to make changes to information published in this document, including without limitation specifications and product descriptions, at any time and without notice. This document supersedes and replaces all information supplied prior to the publication hereof.

Suitability for use — NXP Semiconductors products are not designed, authorized or warranted to be suitable for use in medical, military, aircraft, space or life support equipment, nor in applications where failure or

malfunction of an NXP Semiconductors product can reasonably be expected to result in personal injury, death or severe property or environmental damage. NXP Semiconductors accepts no liability for inclusion and/or use of NXP Semiconductors products in such equipment or applications and therefore such inclusion and/or use is at the customer's own risk.

Applications — Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. NXP Semiconductors makes no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

Limiting values — Stress above one or more limiting values (as defined in the Absolute Maximum Ratings System of IEC 60134) may cause permanent damage to the device. Limiting values are stress ratings only and operation of the device at these or any other conditions above those given in the Characteristics sections of this document is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.

Terms and conditions of sale — NXP Semiconductors products are sold subject to the general terms and conditions of commercial sale, as published at <http://www.nxp.com/profile/terms>, including those pertaining to warranty, intellectual property rights infringement and limitation of liability, unless explicitly otherwise agreed to in writing by NXP Semiconductors. In case of any inconsistency or conflict between information in this document and such terms and conditions, the latter will prevail.

No offer to sell or license — Nothing in this document may be interpreted or construed as an offer to sell products that is open for acceptance or the grant, conveyance or implication of any license under any copyrights, patents or other industrial or intellectual property rights.

Trademarks

Notice: All referenced brands, product names, service names and trademarks are the property of their respective owners.

Contact information

For additional information, please visit: <http://www.nxp.com>

For sales office addresses, send an email to: salesaddresses@nxp.com

Revision history

Revision history

| Document ID | Release date | Data sheet status | Change notice | Supersedes |
|--|--------------|-----------------------|---------------|------------|
| BAP50-02_N_2 | 20080103 | Product data sheet | - | BAP50-02_1 |
| Modifications: <ul style="list-style-type: none"> • Package outline drawing on page 5 changed | | | | |
| BAP50-02_1 (9397 750 08113) | 20010417 | Product specification | - | - |



Please be aware that important notices concerning this document and the product(s) described herein, have been included in section 'Legal information'.

© NXP B.V. 2008. All rights reserved.

For more information, please visit: <http://www.nxp.com>
 For sales office addresses, please send an email to: salesaddresses@nxp.com

Date of release: 3 January 2008

Document identifier: BAP50-02_N_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้