

# สารบัญ

	หน้า
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
<b>2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>5</b>
2.1 สายอากาศแบบไมโครสตริป.....	5
2.2 รูปแบบของสายอาไมโครสตริป.....	7
2.3 คลื่นที่แพร่กระจายใน ไมโครสตริป.....	10
2.4 สายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป.....	11
2.5 วิธีผลต่างสี่บเนื่องจำกัดใน โดเมนเวลา.....	17
2.6 การวิเคราะห์สายอากาศด้วย FDTD.....	20
<b>3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....</b>	<b>23</b>
3.1 ออกแบบสายส่งสัญญาณไมโครสตริป.....	23
3.2 คำนวณหาค่าความยาวคลื่นสัมพันธ์ ( $\lambda_g$ ).....	24
3.3 จำลองสายอากาศด้วยวิธีผลต่างสี่บเนื่องจำกัดใน โดเมนเวลา (FDTD).....	24
3.4 สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล.....	27
3.5 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ 1 ปี.....	27
<b>4 ผลการทดลอง.....</b>	<b>28</b>
4.1 สายอากาศแบบช่องเปิดรูปเส้นตรง.....	28
4.2 สายอากาศแบบช่องเปิดรูปด้วย 1 องค์กรประกอบ.....	35

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 สายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยู 2 องค์ประกอบ.....	50
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	63
5.1 สรุปผลการศึกษาและวิเคราะห์.....	63
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	68
บรรณานุกรม.....	70



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม  
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

## สารบัญตาราง

หน้า

### ตารางที่

4.1 ขนาดโครงสร้างของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปเส้นตรง.....	29
4.2 คุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปเส้นตรง.....	30
4.3 ขนาดโครงสร้างของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูหงาย.....	37
4.4 คุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูหงาย.....	38
4.5 ขนาดโครงสร้างของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูคว่ำ.....	45
4.6 คุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูคว่ำ.....	46
4.7 ขนาดโครงสร้างของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยู วางซ้อนแบบหงาย.....	52
4.8 คุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยู วางซ้อนแบบหงาย.....	52
4.9 ขนาดโครงสร้างของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยู วางซ้อนแบบหงายคว่ำ.....	57
4.10 คุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยู วางซ้อนแบบหงายคว่ำ.....	57
5.1 แสดงค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศแบบช่องเปิด รูปเส้นตรงและรูปตัวยู 1 องค์ประกอบ.....	65
5.2 แสดงค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศแบบช่องเปิด รูปเส้นตรงและรูปตัวยู 2 องค์ประกอบ.....	66

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่	
2.1 โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศไมโครสตริป.....	5
2.2 สายอากาศแบบแผ่น (Patch antenna).....	8
2.3 สายอากาศแบบช่องเปิด (Slot antenna).....	9
2.4 สายอากาศแบบไดโพล (Dipole antenna).....	9
2.5 ลักษณะของคลื่นที่แพร่กระจายในไมโครสตริป.....	10
2.6 โครงสร้างของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป.....	12
2.7 เส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้าในระนาบตามขวางของสายส่งสัญญาณ แบบไมโครสตริป.....	13
2.8 การบิดวงจรปลายสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป.....	13
2.9 การเปิดวงจรปลายสายส่งไมโครสตริป.....	14
2.10 การกระจายคลื่นและการเกิดคลื่นผิวนอกจากปลายสาย ไมโครสตริปและวงจรสมมูล.....	15
2.11 โครงสร้างสามมิติสำหรับกริดเซลล์ของ FDTD (FDTD grid).....	18
2.12 ระบบพิกัดสามมิติสำหรับการแปลงสนามระยะใกล้ เป็นสนามระยะไกล.....	22
2.13 ก่อตั้งเสมือนสำหรับการแปลงสนามระยะใกล้เป็นสนามระยะไกล....	22
3.1 เกาส์เซียนพัลส์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สายอากาศ.....	26
4.1 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปเส้นตรง.....	28
4.2 การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ของสายอากาศแบบช่องเปิด รูปเส้นตรงที่ความถี่ 2.4 GHz และ 5.2 GHz .....	30

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่	
4.3 การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปเส้นตรงที่ได้จากวิธี MoM.....	31
4.4 อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปเส้นตรงที่ความถี่ 2.4 GHz.....	32
4.5 อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปเส้นตรงที่ความถี่ 5.2 GHz.....	32
4.6 ค่า VSWR ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปเส้นตรงที่ความถี่ 2.4 GHz และ 5.2 GHz.....	33
4.7 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปเส้นตรงที่ความถี่ 2.4 GHz และ 5.2 GHz.....	33
4.8 สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปเส้นตรงที่ความถี่ 2.4 GHz.....	34
4.9 สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปเส้นตรงที่ความถี่ 5.2 GHz.....	34
4.10 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปเส้นตรงที่ความถี่ 2.4 GHz และ 5.2 GHz .....	35
4.11 โครงสร้างของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยู .....	36
4.12 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศช่องเปิดรูปตัวยูหงาย.....	36
4.13 การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ของสายอากาศช่องเปิดรูปตัวยูหงาย เมื่อทำการปรับความกว้างและความยาวรวมของช่องเปิด	39
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้าง (S) และความยาวรวมของช่องเปิด (A+2B) .....	40

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.15 การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ของสายอากาศช่องเปิดรูปตัวยูหงาย เมื่อทำการปรับอัตราส่วนในแต่ละด้าน.....	40
4.16 การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูหงายที่อัตราส่วน 2:1 จากวิธี MoM.....	41
4.17 อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูหงายที่อัตราส่วน 2:1.....	42
4.18 ค่า VSWR ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูหงายที่อัตราส่วน 2:1	42
4.19 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูหงายที่อัตราส่วน 2:1 .....	42
4.20 สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูหงายที่อัตราส่วน 2:1 .....	43
4.21 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูหงายที่อัตราส่วน 2:1.....	44
4.22 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูคว่ำ.....	44
4.23 การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูคว่ำ.....	46
4.24 การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูคว่ำจากวิธี MoM.....	47
4.25 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูคว่ำ.....	48
4.26 สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูคว่ำ.....	48
4.27 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูคว่ำ	49
4.28 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูวางชันแบบหงาย.....	51

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.29 การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูวางซ้อนแบบหงาย.....	53
4.30 การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูวางซ้อนแบบหงาย จากวิธี MoM.....	53
4.31 ค่า VSWR ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูวางซ้อนแบบหงาย....	54
4.32 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูวางซ้อนแบบหงายที่ความถี่ 2.4 GHz และ 5.2 GHz.....	54
4.33 สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูวางซ้อนแบบหงายที่ความถี่ 2.4 GHz .....	55
4.34 สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูวางซ้อนแบบหงายที่ความถี่ 5.2 GHz.....	55
4.35 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูวางซ้อนแบบหงายที่ความถี่ 2.4 GHz และ 5.2 GHz.....	55
4.36 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูวางซ้อนแบบหงายคำว่า.....	56
4.36 การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูวางซ้อนแบบหงายคำว่า.....	57
4.37 การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูวางซ้อนแบบหงายคำว่า จากวิธี MoM.....	58
4.39 ค่า VSWR ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูวางซ้อนแบบหงายคำว่า	59
4.40 อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูวางซ้อนแบบหงายคำว่า.....	59
4.41 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปตัวยูวางซ้อนแบบหงายคำว่า.....	60

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.42 สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบช่องเปิด รูปตัววางซ้อนแบบหงายคว่ำที่ความถี่ 2.4 GHz.....	60
4.43 สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบช่องเปิด รูปตัววางซ้อนแบบหงายคว่ำที่ความถี่ 5.2 GHz.....	61
4.44 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของสายอากาศแบบช่องเปิด รูปตัววางซ้อนแบบหงายคว่ำที่ความถี่ 2.4 GHz และ 5.2 GHz.....	61



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม  
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY