# สายอากาศแถวลำดับไมโครสตริปจัดรูปแบบลำคลื่นสำหรับระบบ WLAN

# คณะวัติ เนื่องวงษา<sup>1</sup>, ธัชชัย พุ่มพวง<sup>2</sup>และจรูญ วงษ์เจริญ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น <sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

# บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแถวลำดับร่วมกับโครงข่ายจัดรูปแบบ ลำคลื่นแบบ 4x4 บัตเลอร์เมทริกซ์ (Butler matrix) โครงสร้างของสายอากาศประกอบด้วยสายอากาศไมโครสตริปแผ่น สี่เหลี่ยม 4 ตัว โดยการนำเอาสายอากาศมาจัดวางเรียงกันโดยมีระยะห่างที่คงที่ โดยสายอากาศแต่ละตัวจัดเรียงให้เป็นแถว ลำดับ ซึ่งสายอากาศทุกตัวจะต่อร่วมกับวงจรจัดรูปแบบลำคลื่น และออกแบบและสร้างขึ้นให้เป็นสายส่งสัญญาณแบบไมโคร สตริปโดยใช้แผ่นวงจรพิมพ์ที่มีวัสดุฐานรองชนิด FR4 และโครงสร้างของสายอากาศถูกออกแบบให้มีอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม จาก ผลการทดสอบพบว่าสายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสองทิศทาง ครอบคลุมย่านความถี่ WLAN โดยมีอัตราการ ขยาย 6dBi และเมื่อนำมาเชื่อมต่อกับวงจรจัดรูปแบบลำคลื่นพบว่าสายอากาศมีแบนด์วิทธ์กว้างขึ้น

**คำสำคัญ:** สายอากาศไมโครสตริป, สายอากาศแถวลำดับ, สายอากาศแบบสมาร์ท, โครงข่ายจัดรูปแบบลำคลื่นและบัตเลอร์ เมทริกซ์

# Microstrip Array Antenna with Beam-forming for WLAN System

Kanawat Nuangwongsa<sup>1</sup>, Tajchai Pumpoung<sup>2</sup> and Jaroon Wongjarearn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Telecommunications Engineering Department, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology IsanKhon Kaen campus

<sup>2</sup>Telecommunications Engineering Department, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima

### Abstract

This paper presents the microstrip patch arrays antenna with 4x4 the Butler Matrix beam-forming network. Antenna structure consists of 4 microstrip patch antenna arranged by having the same spacing among them. All antennas are on the same PCB including the beam-forming network. The antenna has been designed and built as a microstrip transmission line using an FR4 material. The antenna is designed to be 50 Ohm.From the experimental results, the proposed antenna has bidirectional radiation pattern with the maximum gain about 6 dBi. The operating frequency covers the WLAN. When combined with the beam-forming Network the proposed antenna has better performance, i.e., wider bandwidth.

Keywords: Microstrip antenna, Arrays antenna, Smart Antenna, Beam-forming Network and Butler Matrix

# 1. บทนำ

ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless local area network: WLAN) คือ เทคโนโลยีที่เชื่อมอุปกรณ์ตั้งแต่สอง ตัวขึ้นไปเข้าด้วยกัน โดยใช้วิธีการกระจายแบบไร้สายด้วย สายอากาศ [1]

โดยปกติทั่วไปสายอากาศที่ใช้เชื่อมต่อสัญญาณใน อุปกรณ์ระบบ WLAN ในรูปแบบการ์ดโมเด็ม(modem card) และ USB(Universal Serial Bus) สำหรับ คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะมักจะมีแบบรูปการแพร่กระจาย คลื่นรอบทิศทางหรือบางครั้งไม่สามรถระบุทิศทางได้ซึ่งทำ ให้เกิดการสูญเสียพลังงานไปในทิศทางที่ไม่จำเป็น ด้วยเหตุ นี้อัตราขยายของเครื่องรับหรือคอมพิวเตอร์ลูกข่ายจึงมีค่าต่ำ ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบWLAN ต่ำไปด้วยและยัง มีผลให้เกิดการอับสัญญาณขึ้นในบางพื้นที่ ทางแก้ปัญหาใน ปัจจุบันทำได้โดยติดตั้งจุดเข้าถึงเครือข่าย (Access point) เพิ่มเติมซึ่งเป็นการลิ้นเปลืองงบประมาณเป็นอย่างมาก

จากปัญหาที่ได้กล่าว จึงได้มีการออกแบบสายอากาศ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ WLANโดยการใช้ระบบของ สายอากาศสมาร์ท (Smart antenna system) ที่ คอมพิวเตอร์ลูกข่าย [2], [3] เนื่องจากสายอากาศดังกล่าว ในการจัดรูปแบบลำคลื่น (Beam-forming) ของลำคลื่น หลักจะจัดรูปแบบลำคลื่นไปในทิศทางที่เฉพาะเจาะจงใน ขณะที่หันจุดศูนย์ (Nulls) และลำคลื่นรองไปในทิศทางอื่นๆ ซึ่งไม่เพียงแต่จะทำให้อัตราขยายของระบบเพิ่มสูงขึ้นแล้วยัง ทำให้ลดสัญญาณรบกวนที่มาจากแหล่งอื่นได้อีกด้วย ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าการนำเอาสายอากาศสมาร์ทเข้ามาในระบบ สามารถลดปัญหาในเรื่องจุดอับสัญญาณและเพิ่มความแรง ของสัญญาณให้กับระบบได้อีกด้วย

# 1.1วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.1.1 เพื่อสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพ ให้กับระบบWLAN

 1.1.2 เพื่อประยุกต์ใช้หลักการของออกแบบสายอากาศ จัดรูปแบบลำคลื่นในทิศทางที่เฉพาะเจาะจงแทนระบบเดิมที่ มีอยู่ในปัจจุบัน

1.1.3 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารใน ระบบ WLAN

## 1.2 วิธีดำเนินการวิจัย

1.2.1 ออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น
 (Patch antenna) ที่มีค่าอิมพีแดนซ์50 โอห์ม ที่ความถี่ใช้
 งาน 2.45 GHz

 1.2.2 ออกแบบโครงข่ายจัดรูปแบบลำคลื่น (Beamforming network) แบบ 4 × 4 บัตเลอร์เมทริกซ์

1.2.3 ทดสอบและเก็บผลการทดสอบสายอากาศที่ย่าน ความถี่ WLAN

# 2. โครงสร้างสายอากาศต้นแบบ





รูปที่ 1 ลักษณะการทำงานของสายอากาศ

การสร้างสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแถว ลำดับโดยใช้โครงข่ายจัดรูปแบบลำคลื่นสำหรับระบบ WLANได้มีการประยุกต์ใช้สายอากาศแถวลำดับร่วมกับวงจร จัดรูปแบบลำคลื่นแบบบัตเลอร์เมทริกซ์ [4], [5] ซึ่งมีการใช้ สายอากาศแถวลำดับวางตัวเรียงกันแบบเชิงเส้นเป็น ระยะทาง λ/2 จำนวน 4 ตัว และนำมาเชื่อมต่อเข้ากับวงจร

จัดรูปแบบลำคลื่นแบบบัตเลอร์เมทริกซ์ [6], [7] ซึ่งใน โครงข่ายบัตเลอร์เมทริกซ์ นี้จะประกอบไปด้วยตัวเชื่อมต่อ (Coupler) แบบไฮบริด (Hybrid) 90 องศา จำนวน 4 ตัว ตัวไขว้สัญญาณ (Crossover) จำนวน 1 ตัว และตัวเลื่อน เฟส (phase shifter) จำนวน 2 ตัวซึ่งสายอากาศแบบ สมาร์ท (Smart antenna) โดยทั่วไปมีลักษณะพื้นฐานอยู่ สองชนิดดังแสดงในรูปที่ 1 คือสายอากาศสมาร์ทชนิดสวิตซ์ ลำคลื่น (Switched beam antenna) และสายอากาศ สมาร์ทชนิดปรับตัวได้ (Smart adaptive antenna) [8], [9]

### 3. การออกแบบสายอากาศต้นแบบ

#### การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแผ่น 3.1 สี่เหลี่ยมผืนผ้า





ในรูปที่ 2 แสดงโครงสร้างการออกแบบของสายอากาศ ไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า [10] ที่ความถี่ 2.4 - 2.5 GHz ประกอบไปด้วยแบบแผ่นแพร่กระจายคลื่น (Radiator patch) ซึ่งอยู่คนละด้านกันกับระนาบกราวนด์ (Ground plane) ตรงกลางเป็นวัสดุฐานรอง (Substrate) ชนิด FR4 (E<sub>r</sub> = 4.3) และมีทองแดงทั้งสองด้าน เส้นตัวนำสัญญาณถก ออกแบบให้ชิดกับขอบของแผ่นวงจร เพื่อให้สามารถ เชื่อมต่อกับคอนเนคเตอร์ชนิด SMA (Sub-Miniature version A) ได้พอดี

โดยสมการตั้งต้นที่ใช้สำหรับการออกแบบอากาศ ไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้านั้นถูกแสดงไว้ในสมการที่ 1 ถึง 3 [10]

ดารางที่	1	พาราบิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการออกแบบ
	т	

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
$W_2$	3.0
$W_3$	38.0
$W_1$	50.0
L <sub>2</sub>	28.0
$L_1$	40.0
<i>S</i> <sub>1</sub>	4.0
<i>S</i> <sub>2</sub>	7.5
g	1.0

$$\frac{W_1}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ B \cdot 1 \cdot \ln(2B \cdot 1) + \frac{\varepsilon_r \cdot 1}{2\varepsilon_r} \left[ \ln(B \cdot 1) \right] + 0.39 \cdot \frac{0.69}{\varepsilon_r} \right\} (1)$$
$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\varepsilon_r}} \tag{2}$$

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_{r+1}}{2} + \frac{\varepsilon_{r-1}}{2} \left( 1 + \frac{12h}{W_1} \right)^{1/2}; \frac{W_1}{h} > 1$$
(3)

ซึ่งจากโครงสร้างในรูปที่ 2 และสมการตั้งตัวที่ (1) – (3) จึงได้ทำการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆแล้วนำมาทำการ ้จำลองผลด้วยโปรแกรมจำลองทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดย การหาค่าที่ดีที่สดสำหรับนำไปประยกต์ใช้งานจึงได้ พารามิเตอร์ของสายอากาศแบบไมโครสตริปต้นแบบดัง แสดงในตารางที่ 1

L<sub>1</sub> คือ ความยาวของโครงสร้างทั้งหมดของสายอากาศ L2 คือความยาวของแผ่นแพร่ไมโครสตริป หรือแผ่น แพร่กระจายคลื่น W, คือความกว้างของโครงสร้างทั้งหมด ของสายอากาศ W2 คือความกว้างของเส้นตัวนำสัญญาณW3 คือความกว้างของของแผ่นแพร่ไมโครสตริป และความหนา ของวัสดุฐานรองคือ 1.5 มิลลิเมตร

จากการปรับพารามิเตอร์ในขั้นตอนสุดท้ายคือ พารามิเตอร์ $S_1$ สังเกตได้ว่าช่องว่าง  $S_1$  ที่แมตซ์ที่ดีที่สุดและ ตรงกับความถี่กลางของระบบที่ความถี่ 2.45 GHz มากที่สุด อยู่ที่ 1 มิลลิเมตร เมื่อกำหนดให้ขนาดของช่องว่างS<sub>1</sub> เปลี่ยนไปจาก 0.5 ถึง 1.5 มิลลิเมตร ดังแสดงข้อมูล ความสัมพันธ์ไว้ในตารางที่ 2

วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : เทพสตรี I-TECH ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2560

<b>ตารางที่ 2</b> การปรับระยะ S <sub>1</sub>	ของสายอากาศไมโครสตริป
แผ่นสี่เหลี่ยม	

พาราพิเตอร์	ระยะของ S₁(มิลลิเมตร)			
M 19 191941619	0.5	1	1.5	
ความถี่ (GHz)	2.431	2.450	2.488	
S <sub>11</sub>   (dB)	-34.20	-39.42	-28.43	
VSWR:1	1.04	1.02	1.08	
Impedance	55.43-	55.43-	55.43-	
$(\Omega)$	<i>j</i> 0.28	<i>j</i> 0.15	<i>j</i> 0.27	
Gain (dBi)	6.04	6.05	6.04	
Bandwidth (MHz)	55.56	55.55	55.73	

# 3.2 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริป แผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบแถวลำดับ

สายอากาศไมโครสตริปแต่ละตัวมีระยะระหว่างกัน λ/2 (d) วางห่างกันเป็นแถวลำดับได้ลักษณะดังรูปที่ 3



**รูปที่3** ระยะห่างสายอากาศไมโครสตริปจำนวน 4 ตัวที่ ทำการออกแบบ



**รูปที่4** ผลการจำลองค่า |S<sub>11</sub>| (dB) ของสายอากาศทั้ง 4 ตัว



(ก) ระนาบ xz





**รูปที่ 5** แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศใน ระนาบ xz และ yz ที่ความถี่ 2.45 GHz จากการจำลอง

# 3.3 การออกแบบโครงข่ายจัดรูปแบบลำคลื่น

สำหรับโครงข่ายจัดรูปแบบลำคลื่นนี้จะประกอบไปด้วย อุปกรณ์หลัก 3 ชนิด คือ การเชื่อมต่อแบบไฮบริด 90 องศา ตัวไขว้สัญญาณ และตัวเลื่อนเฟส ดังต่อไปนี้

3.3.1 การจำลองแบบการเชื่อมต่อแบบไฮบริด 90 องศา





(ข) การเชื่อมต่อแบบไฮบริดที่ออกแบบ รูปที่ 6 การเชื่อมต่อแบบไฮบริด 90 องศา -10 କ୍ରି -20 <u>-30</u> -40 -50 2.4 2.5 ความถี่ (GHz) 2.2 2.3 2 2.1 2.6 2.7 2.8 2.9 (ก) ค่า|S<sub>11</sub>|(dB) จากการจำลองเบื้องต้น 300 200 = -29.047 100 [deg] 0 -100 -)= -119 446 -200 -300 2.7 2.4 2.5 ความถี่ (GHz) 2.6 2.1 2.2 2.3 2.8 2.9 (ข) เฟสระหว่างพอร์ต P1กับพอร์ต P2 จากการจำลองเบื้องต้น

**รูปที่ 7** ผลการจำลองการเชื่อมต่อแบบไฮบริด90 องศา

ไฮบริด 90 องศา ทำหน้าที่แยกเส้นทางของ การ เชื่อมต่อ พลังงานจะถูกแบ่งเท่ากันระหว่างพอร์ต P2 และ พอร์ต P3 ซึ่งพลังงานที่ได้จะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของพลังงานที่ เข้ามาในพอร์ต P1 พลังงานที่ได้จากพอร์ต P2 และ P3 จะ ล้าหลังกันอยู่ประมาณ 90.40องศา และจะไม่มีพลังงาน ออกไปที่พอร์ต P4

การเชื่อมต่อแบบไฮบริด 90 องศา สามารถคำนวณหา ค่าพารามิเตอร์ต่างๆจากรูปได้ดังต่อไปนี้

$$Z_{o} = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_{r}}} \ln\left(\frac{8d}{W} + \frac{W}{4d}\right) & ; \frac{W}{d} \leq 1\\ \sqrt{\varepsilon_{r}\left[\frac{W}{d} + 1.393 + 0.667\ln\left(\frac{W}{d} + 1.444\right)\right]} ; \frac{W}{d} \geq 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon_{r} = \frac{\varepsilon_{r} + 1}{2} + \frac{\varepsilon_{r} - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12\frac{d}{W}}}\right)$$

$$(5)$$

เมื่อทำการคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวเชื่อมต่อ แบบไฮบริด 90 องศา แล้วจะได้ขนาดของพารามิเตอร์ต่างๆ และได้ผลการจำลอง |S<sub>11</sub>| (dB) และเฟสระหว่างพอร์ต P1 กับพอร์ต P2 ดังรูปที่ 7

3.3.2 การออกแบบตัวไขว้สัญญาณ
 ตัวไขว้สัญญาณเป็นวงจรเชื่อมต่อโดยที่มีสัญญาณมารวมกัน
 โดยไม่มีการสูญเสียพลังงานและความล้าหลังระหว่างกัน
 ลักษณะการไหลของพลังงานจะเป็นแบบไขว้ คือเมื่อ
 พลังงานเข้าทางพอร์ต P1 พลังงานนั้นก็จะออกพอร์ต P3
 และเมื่อพลังงานเข้าพอร์ต P4 พลังงานนั้นก็จะออกพอร์ต
 P2 ดังรูปที่ 8



**รูปที่ 8** ตัวไขว้สัญญาณ

ตัวไขว้สัญญาณจะมีรูปร่างคล้ายกับตัวการเชื่อมต่อ 2 ตัวที่นำมาต่อรวมกัน ดังนั้นการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ ต่างๆของตัวไขว้สัญญาณจะมีลักษณะคล้ายกับการ คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวการเชื่อมต่อแบบไฮบริด 90

จากค่าที่ทำการออกแบบ ที่ค่า S<sub>12</sub> ซึ่งค่าที่ได้นั้นมีค่าต่ำ กว่า -10 dB ในทางทฤษฎีนั้นจะแสดงให้รู้ว่าไม่มีสัญญาณ ไหลย้อนกลับออกมาที่พอร์ต P1 แต่เนื่องจากวงจร Crossover นั้นมีหลักการทำงาน คือ สัญญาณที่เข้ามานั้น จะมีการเดินทางในลักษณะไขว้เพียงเส้นทางเดียวก็คือ จะมี สัญญาณจากพอร์ต P1 ไปพอร์ต P3 และพอร์ต P4 ไป พอร์ต P2 ซึ่งตามทฤษฎีได้กล่าวไว้ว่า พอร์ตที่มีการไหลของ สัญญาณควรจะมีค่าเข้าใกล้ค่าศูนย์มากที่สุด



3.3.3 การจำลองแบบตัวเลื่อนเฟส 45 องศา



**รูปที่ 10** ความยาวของตัวเลื่อนเฟส 45 องศา ที่สร้างจากการออกแบบ

ความยาวระหว่างพอร์ต P4 กับพอร์ต P2 รวมกับค่า ของตัวเลื่อนเฟส 45 องศา มีค่าเท่ากันกับค่าของตัวเลื่อน เฟส ประมาณ 45.34 องศา ภายในโครงข่ายระหว่างพอร์ต P1 กับพอร์ต P3 ดังรูปที่10 เพื่อให้เข้ากับโครงข่ายได้ เมื่อ ทำการคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวไขว้สัญญาณแล้วทำ การจำลองแบบพบว่ามีผลการจำลองดังรูปที่ 11

เมื่อทำการออกแบบวงจรจัดรูปแบบลำคลื่นแบบ4x4 บัตเลอร์เมทริกซ์ ซึ่งภายในวงจรจัดรูปแบบลำคลื่นนั้นจะ ประกอบไปด้วยตัวการเชื่อมต่อแบบไฮบริด 90 องศา





รูปที่ 11 ผลการจำลองการออกแบบตัวเลื่อนเฟส 45 องศา



รูปที่ 12 เครือข่ายจัดรูปแบบลำคลื่นที่ออกแบบ

# 4.ผลการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ สายอากาศ

ในหัวข้อนี้เป็นการนำโครงสร้างจากการวิเคราะห์ใน หัวข้อที่ 2 และ 3ทั้งหมด คือการออกแบบสายอากาศไม โครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า และเครือข่ายจัดรูปแบบลำ คลื่น มาทำการสร้าง และรวมเข้าเป็นระบบ เพื่อทดสอบทำ คุณลักษณะทางไฟฟ้าต่าง ๆ แล้วเปรียบเทียบผลดังแสดง โครงสร้างต้นแบบของสายอากาศไมโครสตริปจำนวน 4 ตัว และภาพรวมของอุปกรณ์ต้นแบบ ไว้ดังรูปที่ 13 และ 14 ตามลำดับ



**รูปที่ 13** สายอากาศไมโครสตริปจำนวน 4 ตัวที่ทำการออกแบบ



**รูปที่ 14** ภาพรวมของอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างตามที่ ออกแบบและคำนวณจากทฤษฎี

ในรูปที่ 14 แสดงลักษณะการต่อสายอากาศไมโครสตริป แผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแถวลำดับร่วมกับเครือข่ายจัดรูปแบบลำ คลื่น เพื่อทำการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับในแต่ละ พอร์ตของพอร์ตเอาท์พุตทั้งหมด 4 พอร์ต

จากรูปที่ 15 (ก) จะเห็นได้ว่าจากผลการทดสอบในทุกๆ พอร์ตที่ของสายอากาศตั้งแต่พอร์ต P1 ถึง P4 จะมีค่า |S<sub>11</sub>| (dB)ต่ำกว่า -10 dB ตลอดช่วงที่ความถี่ที่ใช้งานของระบบ WLAN ย่าน 2.45 GHz คือ สามารถใช้งานได้ตลอดย่าน ความถี่ 2.4-2.5 GHz นอกจากนี้ผลจากการทดสอบยังมี แนวโน้มว่าสายอากาศที่ได้ทำการทดสอบมีแนวโน้มของการ ใช้งานได้มากกว่าการใช้งานของระบบ WLAN 2.45 GHz คือสามารถใช้งานได้ตั้งแต่ย่านความถี่ 2.3- 2.6 GHz ในขณะที่รูปที่ 15 (ข) ผลจากการทดสอบเฟสระหว่าง พอร์ต P1 กับพอร์ตสายอากาศ จะสังเกตได้ว่าที่พอร์ต P1 กับ Ant 1 และ Ant 4 มีแนวโน้มของกราฟที่คล้ายคลึงกัน และมีเฟสที่ตรงกัน พฤติกรรมนี้จะทำให้เพิ่มอัตราขยายของ สายอากาศได้เปรียบเสมือนการนำสายอากาศสองตัวมาทำ การอาร์เรย์กัน ในขณะที่พอร์ต P1 กับ Ant 2 และ Ant 3 มีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันแต่มีการเลื่อนของเฟส ด้วยความ แตกต่างของเฟสนี้จะทำให้สามารถปรับลำคลื่นของ สายอากาศไปในยังทิศทางต่างๆได้ที่ต้องการได้ เปรียบเสมือนสายอากาศอาร์เรย์ที่มีเฟสไม่ตรงกันจะเกิดการ หักล้างในทิศทางการแพร่กระจายคลื่น ทำให้มุมของ สายอากาศเปลี่ยนไป



 (ข) เฟสระหว่างพอร์ต P1 กับพอร์ตสายอากาศ
 รูปที่ 15 ผลการทดสอบ |S<sub>11</sub>| (dB) และเฟสระหว่างพอร์ต P1 กับสายอากาศต้นแบบ

โดยในรูปที่ 16 แสดงแบบรูปการคลื่นของสายอากาศ แบบที่ได้ทำการทดสอบที่โดยการป้อนสัญญาณเข้าที่พอร์ต P1ด้านขาเข้าแล้วทำการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจาย คลื่น





รูปที่ 16 ผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระคลื่นของ สายอากาศ2.45 GHz

# 5. สรุปและอภิปรายผล

สายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแถวลำดับ โดยใช้โครงข่ายจัดรูปแบบลำคลื่นสำหรับระบบ WLAN จะมี ส่วนประกอบหลักๆ คือ สายอากาศไมโครสตริปแถวลำดับ และวงจรจัดรูปแบบลำคลื่นแบบบัตเลอร์เมทริกซ์

สามารถใช้งานครอบคุลมได้ตั้งแต่ย่านความถี่ 2.35-2.60 GHz (ทุกพอร์ต) มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบ เจาะจงทิศทาง ในส่วนของโครงข่ายจัดรูปแบบลำคลื่น สามารถออกแบบให้เฟสเอาท์พุตมีเฟสที่ตรงกันได้สองพอร์ต คือ พอร์ต P1 และ P4 ในขณะที่ พอร์ต P2 และ P3 มีรูป สัญญาณเฟสที่คล้ายคลึงกันแตกมีลักษณะเลื่อนเฟสออกไป

คุณลักษณะดังกล่าวจึงทำให้ในการปรับเปลี่ยนลำคลื่น สามารถเสริมกันเป็นสายอากาศแบบอาร์เรย์ที่มีเฟสเดียวกัน มีอัตราขยายเพิ่มขึ้นได้ ในขณะที่ความแตกต่างของเฟสจะ ช่วยให้ลำคลื่นของสายอากาศเปลี่ยนได้

จากการทดสอบการใช้สายอากาศไมโครสตริปแผ่น สี่เหลี่ยมผืนผ้าแถวลำดับโดยใช้โครงข่ายจัดรูปแบบลำคลื่น พบว่าสายอากาศสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานให้กับ ระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายได้มากยิ่งขึ้น มีขนาด แบนด์วิทธ์ที่กว้างซึ่งทำให้สามารถรับสัญญาณจากหลาย แหล่งจากเครื่องส่งที่มีความถี่ไม่เหมือนกัน สามารถรับ สัญญาณได้ในระยะที่ไกลขึ้นเมื่อเทียบกับสายอากาศไดโพล มีอัตราขยายของระบบที่เพิ่มสูง ลดจุดอับสัญญาณ เพิ่ม ความแรงของสัญญาณให้กับระบบ

ข้อด้อยของสายอากาศคือยังมีขนาดที่ใหญ่นำไปใช้งาน ลำบาก แนวทางการพัฒนาต่อไปคือสร้างเครือข่าย จัดรูปแบบลำคลื่นไว้หลังโคงสร้างของสายอากาศเพื่อลดเนื้อ ที่การใช้งานและจะมีขนาดที่เล็กลงกว่าเดิม และเพื่อการใช้ งานที่สะดวกมากขั้นสายอากาศไมโครสตริปโครงข่าย ้จัดรูปแบบลำคลื่นสำหรับระบบ WLAN จะต้องมีการใช้งาน ร่วมกันระบบคอนโทรลเลอร์จึงจะมีประสิทธิภาพในการใช้ งานที่เต็มดี และเต็มระบบ

# 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Wikipedia The Free Encyclopedia. "Wireless LAN." [Online]. Available: https://en.wikipedia .org/wiki/Wireless\_LAN.
- [2] รวมพร นุกูลโรจน์และอภิธาน คงเจริญ,"การเพิ่ม ประสิทธิภาพของระบบWLANโดยใช้สายอากาศเก่ง แบบสวิตซ์ลำคลื่น",สำนักวิชาการคณะ วิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี,2550
- [3] F. E. Fakoukakis, S. G. Diamantis, A. P. Orfanides, and G. A. Kyriacou, "Development of an Adaptive and a Switched Beam Smart Antenna for Wireless System Communications", Proc. Progress In Electromag. Research Sym. 2005, Hangzhou, China, Aug. 22-26, 2005, pp. 276-280.

- [4] N. T. Pham, G.-A. Lee, and F. D. Flaviis, "Microstrip Antenna Array with Beamforming Network for WLAN Applications", Proc.IEEE Ant. and Propa. Soc. Int. Sym. 2005, WASHINGTON DC, USA, 3-8 July, 2005, pp. 267-170.
- [5] V. R. G. and N. Gupta. 2006, "Two Compact Microstrip Patch Antennas for 2.4 GHz Band – A Comparison", Microwave Review, Dec. 22, 2016, pp. 29-31.
- [6] P. Q. Mariadoss, M. K. A. Rahim and M. Z. A. A. Aziz, "Design and implementation of a compact Butler matrix using mitered bends", 2005 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings, Beijing, Chaina,Dec. 4-7, 2005, pp. 1-4.
- [7] A. M. El-Tager and M. A. Eleiwa, "Design and Implementation of a Smart Antenna Using Butler Matrix for ISM-band", Proc. Progress In Electromag. Research Sym. 2005, Hangzhou, Beijing, China, March 23–27, 2009, pp. 571-575.
- [8] P. Q. Mariadoss, M. K. A. Rahim and M. Z. A.
   Abd Aziz, "Butler matrix using circular and mitered bends at 2.4 GHz" 2005 13<sup>th</sup> IEEE Int.
   Conf. on Networks Jointly held with the 2005
   IEEE 7<sup>th</sup> Malaysia Int.Conf. on Communic.
   2005,Kuala Lumpur, Malaysia, Nov. 16 - 18,
   2005, pp. 214-218.
- [9] H. Nord, "Implementation of a 8x8 Butler-Matrix in Microstrip", Technische Universitat Wien, Diploma Thesis, Royal Institute of Technology Stockholm.
- [10] อานนท์และ ประยงค์, สายอากาศไมโครสตริปแบบ แพทซ์สี่เหลี่ยม,สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน,2544.