

# โครงสร้างเดือยสำหรับสายนำสัญญาณไมโครสตริปและการประยุกต์ใช้งาน

## Spurline for Microstrip Lines and Its Applications

จักรพนธ์ อบมา\*<sup>1</sup> อติสร นวลอ่อน<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000

<sup>2</sup>หน่วยปฏิบัติการวิจัยแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงคำนวณและระบบเชิงแสง คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

Jagraphon Obma\*<sup>1</sup> Adisorn Noan-on<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering ,

Rajamangala University of Technology Khonkaen Campus ,Moung, Khonkaen 40000

<sup>2</sup>Research Unit for Computational Electromagnetics and Optical Systems (CEMOS),

Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantarawichai, Maha Sarakham 44150

Tel : 0-4333-6370-1 Ext. 3330 E-mail: Jagraphon.ob@muti.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอโครงสร้างเดือยที่ใช้ในสายนำสัญญาณไมโครสตริปเพื่อหยุดแถบความถี่ผ่านหรือเกิดความถี่กำรในตัวเองความถี่และสายอากาศแบบไมโครสตริปโครงสร้างเดือยเป็นที่นิยมใช้งานเนื่องจากมีความง่ายในการออกแบบกะทัดรัด ลดพื้นที่วัสดุฐานรองและสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายบทความนี้อธิบายถึงการออกแบบโครงสร้างเดือยวงจรมุมที่เกี่ยวของงานวิจัยที่ใช้โครงสร้างเดือยทั้งวงจรรองความถี่และสายอากาศแบบไมโครสตริป การประยุกต์และดัดแปลงโครงสร้างเดือยเป็นการปรับทัศนวิสัยจากอดีตจนถึงปัจจุบันเพื่อพัฒนางานวิจัยด้านนี้ต่อไป

**คำหลัก** โครงสร้างเดือย ไมโครสตริป หยุดแถบความถี่ความถี่กำร ตัวกรองความถี่ สายอากาศ

### Abstract

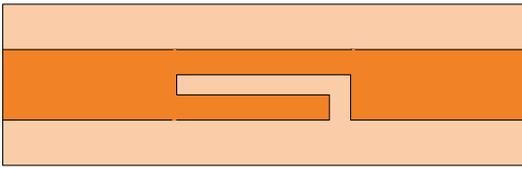
This paper proposes spurline structure used for microstrip bandstop filter and microstrip antenna. This structure is widely used because of its ease in design, compact size, substrate area reduction, and varieties of applications. The spurline structural design, equivalent circuits, and researches using spurline structure for microstrip filters and microstrip antennas, are presented. The application and

modification of spurline structure in the literature review are discussed for future research development in this area.

**Keywords:** spurline, microstrip, band stop frequency, resonance frequency, frequency filter, antennas.

### 1. บทนำ

โครงสร้างเดือยเป็นโครงสร้างประเภทหนึ่งในวงจรรองความถี่แบบไมโครสตริปมีลักษณะรูปตัวแอลบนแผ่นวงจรมุม นิยมใช้งานออกแบบบนสายส่งและสายอากาศแบบไมโครสตริปในปัจจุบัน [1-4] มีคุณสมบัติสามารถหยุดแถบความถี่ในสายส่งทั้งตัวกรองความถี่แบบไมโครสตริปและสายอากาศแบบไมโครสตริป [5-11] และสามารถเกิดความถี่กำรบนสายอากาศแบบไมโครสตริป [12] โครงสร้างเดือยมีการออกแบบใช้งานทั้งวงจรรองความถี่แบบไมโครสตริป ไม่มีความซับซ้อน และเป็นวิธีการลดพื้นที่วัสดุฐานรองวิธีหนึ่งโดยการเจาะรูบนแผ่นวงจรมุม ดังรูปที่ 1 ผู้ประพันธ์ได้ปรับทัศนวิสัยงานวิจัยที่ใช้งานโครงสร้างเดือยทั้งตัวกรองความถี่และสายอากาศแบบไมโครสตริปแบบที่แตกต่างกันไป และการนำโครงสร้างเดือยมาดัดแปลงประยุกต์เป็นรูปแบบต่างๆ และได้ผลการทดลองที่น่าสนใจสามารถออกแบบและนำไปใช้งานได้จริง



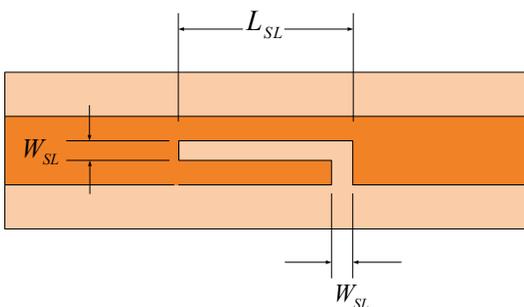
รูปที่ 1 โครงสร้างเดือยบนแผ่นวงจรพิมพ์

**2. คุณสมบัติพื้นฐานของโครงสร้างเดือย**

การออกแบบและวิเคราะห์วงจรความถี่และสายอากาศแบบไมโครสตริปที่นำคุณสมบัติของโครงสร้างเดือยเข้ามาเกี่ยวข้อง ผู้ประพันธ์ขอกล่าวพื้นฐานการออกแบบโครงสร้างเดือยสำหรับไมโครสตริป การหาความยาวคลื่น การหาค่าประกอบทางไฟฟ้าโดยใช้วงจรสมมูล พารามิเตอร์แบบการจัดกระจาย (scattering parameter) สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (transmission coefficient)

**2.1 การออกแบบโครงสร้างเดือยสำหรับไมโครสตริป**

โครงสร้างเดือยมีลักษณะเป็นรูปตัวแอล ดังรูปที่ 2 เป็นการเซาะผิวทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่บริเวณส่วนของสายส่งเพื่อให้เกิดการหยุดแถบความถี่ในวงจรความถี่และความถี่กำรในสายอากาศ มีความกว้าง  $W_{SL}$  สามารถออกแบบโดยให้  $L_{SL}$  เป็นความยาวของโครงสร้างเดือยมีขนาดเท่ากับ  $1/4$  เท่าของความยาวคลื่น ( $\lambda_g$ ) ดังสมการที่ 1 เพื่อออกแบบการหยุดแถบความถี่ที่ต้องการ ( $f_0$ ) โดยมีค่า  $C = 3 \times 10^8$  m/s และ  $\epsilon_{eff}$  คือค่าคงตัวไดอิเล็กทริกยังผลของวัสดุฐานรอง (effective permittivity of the substrate) [10] ดังสมการที่ 2

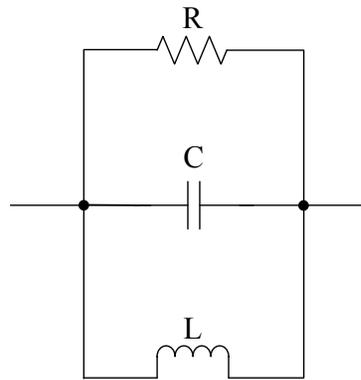


รูปที่ 2 โครงสร้างเดือยที่มีขนาดและความยาวคลื่น

$$L_{SL} = \frac{\lambda_g}{4} \tag{1}$$

$$f_0 = \frac{C}{4L_{SL}\sqrt{\epsilon_{eff}}} \tag{2}$$

ต่อมาเป็นวงจรสมมูลของโครงสร้างเดือยประกอบไปด้วย RLC แบบขนานดังรูปที่ 3 โดยความยาว  $L_{SL}$  ของโครงสร้างเดือยเปรียบเสมือนค่า L ช่องความกว้างของโครงสร้างเดือย  $W_{SL}$  เปรียบเสมือนค่า C เมื่อนำใช้งานกับวงจรความถี่หรือสายส่งแบบไมโครสตริปทำให้เกิดคุณลักษณะเป็นวงจรกรองแถบความถี่หยุดผ่านเมื่อนำมาใช้ร่วมกับสายอากาศเพื่อทำให้เกิดการแพร่กระจายของคลื่นทำให้เกิดความถี่กำร การหาค่า RLC จากสมการที่ 3-6



รูปที่ 3 วงจรสมมูลของโครงสร้างเดือย

$$R = 2Z_0 \left( \frac{1}{|S_{21}|} - 1 \right) \text{ โดยที่ } f = f_0 \tag{3}$$

$$C = \frac{\sqrt{0.5(R_i + 2Z_0)^2 - 4(Z_0)^2}}{2.83\pi Z_0 R \Delta f} \tag{4}$$

$$L = \frac{1}{4(\pi f_0)^2 C} \tag{5}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{6}$$

เมื่อ R คือ ค่าการสูญเสียและผลจากการแพร่กระจายคลื่น (radiation effect and loss) (Ohm)  $Z_0$  คือ ค่าอิมพีแดนซ์ลักษณะของสายส่ง (characteristic impedance) C คือ ค่าเก็บประจุไฟฟ้าของโครงสร้าง

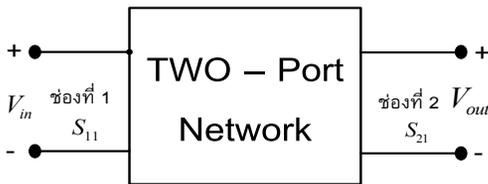
เดี่ย (farad)  $L$  คือ ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าของ  
 โครงสร้างเดี่ย (henry)  $|S_{21}|$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การ  
 ส่งผ่าน  $f_0$  คือ ความถี่กลาง และ  $\Delta f$  คือ ความกว้างแถบ  
 ความถี่ (bandwidth) ของการทำงานตั้งแต่ -3 dB (Hz)

$$S_{ij} = 20 \log \left( \frac{V_i}{V_j} \right) \quad (8)$$

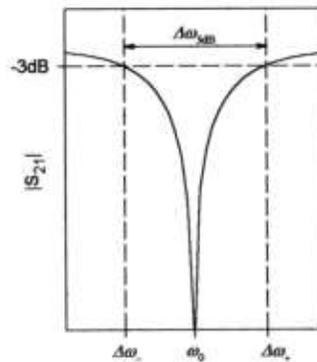
## 2.2 การวัดค่าพารามิเตอร์ในโครงสร้างเดี่ยสำหรับ สายนำสัญญาณไมโครสตริป

สิ่งที่นักวิจัยต้องทราบคือพื้นฐานการวัด  
 ค่าพารามิเตอร์ในสายส่งและสายอากาศแบบไมโครสตริป  
 ที่เรียกว่า พารามิเตอร์แบบกระจายโดยกระจายโดยการจ่าย  
 พลังงานจากช่องที่ 1 พิจารณาถึงปริมาณของกำลังงานมี  
 ค่าการสะท้อนช่องที่ 1 เรียกว่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน  
 (reflection coefficients :  $S_{11}$ ) และ การจ่ายพลังงานจาก  
 ช่องที่ 1 ส่งผ่านไปยังช่องที่ 2 พิจารณาถึงปริมาณของ  
 กำลังงานจะเกิดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (forward  
 transmission coefficients :  $S_{21}$ ) ดังรูปที่ 4

เมื่อวิเคราะห์ข่ายงานแบบสองช่องทางแล้วผลของ  
 การวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ( $S_{11}$ ) และค่า  
 สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน( $S_{21}$ ) ผลที่ได้คือพารามิเตอร์แบบ  
 กระจายกระจาย มีการทำงานความถี่คutoffเท่ากับ -3 dB  
 ลงไปจนถึงความถี่กลาง ( $\omega_0$ ) ที่ออกแบบไว้และกลับ  
 ขึ้นมาจนถึง -3 dB ความกว้างแถบความถี่ เกิดขึ้น  
 ในช่วง  $\Delta\omega$  ไปจนถึง  $\Delta\omega_+$  โดยนับตั้งแต่ช่วงความถี่คutoff  
 ออกที่ -3 dB ดังรูปที่ 5 ช่วงความถี่ไม่สามารถผ่านได้  
 เช่นกัน



รูปที่ 4 การวิเคราะห์ข่ายงานแบบสองช่องทาง

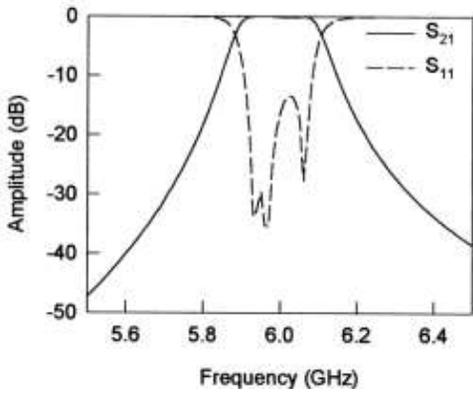


รูปที่ 5 ความกว้างแถบความถี่และความถี่คutoffที่ -3 dB[4]

สัมประสิทธิ์การสะท้อนและส่งผ่านเกิดจากค่า  
 อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave  
 Ratio : VSWR) เกิดจากการไม่แมตซ์ของอิมพีแดนซ์  
 ระหว่างสายอากาศและสายส่งจนทำให้เกิดการสะท้อน  
 กลับของคลื่นเข้าไปในสายส่ง ในขณะที่สัมประสิทธิ์การ  
 สะท้อนและส่งผ่านที่เกิดขึ้นในสายส่งสามารถคำนวณหา  
 ค่าได้จากอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่งที่ได้จากการวัดตั้ง  
 สมการที่ 7 การวิเคราะห์ข่ายงานแบบสองช่องทาง  
 สามารถวัดเป็นรูปแบบ สัมประสิทธิ์การสะท้อนและ  
 ส่งผ่าน ( $S_{ij}$ ) โดยให้  $i$  และ  $j$  คือช่องที่ต้องการเปรียบเทียบ  
 พลังงานดังสมการที่ 8 [4]

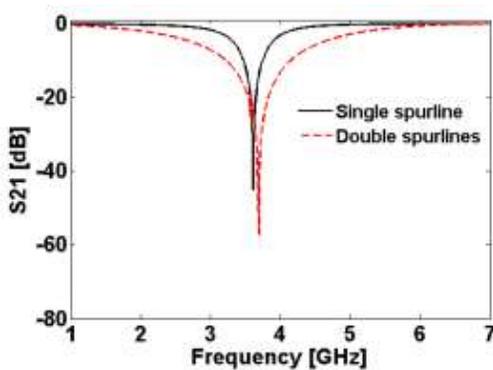
สิ่งที่เกิดขึ้นในวงจรกรองแถบความถี่ผ่านที่มีการ  
 ทำงาน 2 ช่องทางเมื่อวิเคราะห์แล้ว จะได้ค่าพารามิเตอร์  
 ด้าน  $S_{11}$  ทำงานตั้งแต่ความถี่คutoffที่ 1 ไปยัง  
 ความถี่คutoffที่ 2 และ  $S_{21}$  ในช่วงความถี่ -3 dB  
 เนื่องจากมีพลังงานผ่านหมด ไม่มีการสะท้อนกลับไปยัง  
 ช่องที่ 1 ดังรูปที่ 6 ที่มีการทำงานในช่วงความถี่ 5.9 - 6.1  
 GHz

$$VSWR = \frac{1 + |S_{ij}|}{1 - |S_{ij}|} \quad (7)$$



รูปที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน  $S_{21}$  และ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน  $S_{11}$  ของวงจรกรองความถี่ทั่วไป [4]

โครงสร้างเดี่ยวที่นำเสนอมีคุณสมบัติเป็นตัวหยุดความถี่เมื่อออกแบบ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน  $S_{21}$  จะไม่มีช่วงความถี่นั้นเกิดขึ้นกลับไปทำงานตั้งแต่ -3 dB ขึ้นไป และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน  $S_{11}$  ในช่วงความถี่นั้นเข้าใกล้ -3 dB หรือเท่ากับ 0 dB ตามประสิทธิภาพของโครงสร้างเดี่ยว ดังแสดงในรูปที่ 7 เป็นการออกแบบโครงสร้างเดี่ยวเพื่อหยุดแถบความถี่ในสายส่งไมโคร-สตริปเพื่อนำมาใช้งานวิจัยด้านวงจรกรองความถี่และสายอากาศแบบไมโครสตริปในแต่ละรูปแบบ



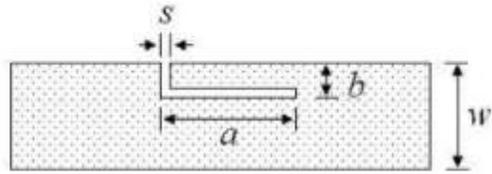
รูปที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน  $S_{21}$  ของโครงสร้างเดี่ยวในสายส่งไมโครสตริปทำให้เกิดการหยุดแถบความถี่ [10]

### 3. งานวิจัยที่ประยุกต์ใช้งานโครงสร้างเดี่ยวในวงจรกรองแถบความถี่ไมโครสตริป

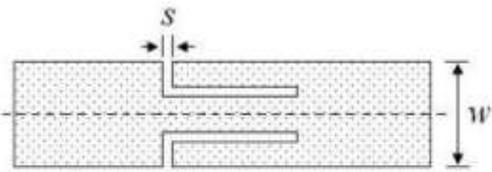
งานวิจัยในด้านวงจรกรองแถบความถี่แบบไมโครสตริปที่นิยมใช้โครงสร้างเดี่ยวมาประยุกต์ใช้งานเพื่อให้เกิดวงจรกรองความถี่หลากหลายตามที่ต้องการดังนี้

### 3.1 คุณสมบัติช่องแถบแบบคู่ขนานของตัวกรองความถี่แบบโครงสร้างเดี่ยวและสมการวงจรมุมูล

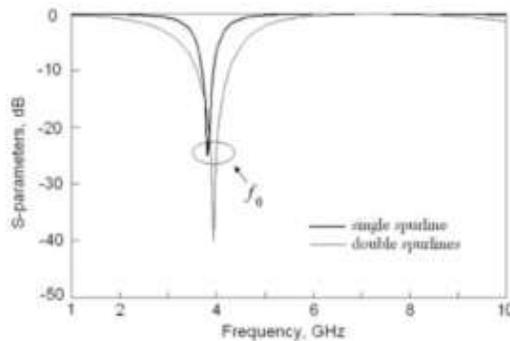
ปี 2007 Haiwen Liu และคณะ[13] ได้ทำการวิจัยโครงสร้างเดี่ยวช่องแถบแบบคู่ขนานนำมาเปรียบเทียบกับโครงสร้างเดี่ยวช่องแถบแบบเดี่ยว ดังรูปที่ 8(A) และ 8(B) เพื่อทดลองเรื่องคุณสมบัติการหยุดแถบความถี่ ออกแบบโครงสร้างเดี่ยวให้ค่า  $s = 0.2$  มม.,  $a = 1.2$  มม.  $b = 0.4$  มม.สายส่งมีความกว้าง  $w = 1.17$  มม. จากผลการทดลองโครงสร้างเดี่ยวทั้ง 2 รูปแบบเทียบเคียงกันที่ความถี่  $f_0 = 4$  GHz มีประสิทธิภาพการหยุดแถบความถี่ที่ดีขึ้นมากกว่า -20 dB มีช่วงกว้างแถบความถี่ที่มากขึ้น สังเกตจากความถี่คัทออฟจนถึง  $f_0$  ในช่วงความถี่ดังกล่าวแต่เกิดการเลื่อนของความถี่เล็กน้อย ดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 (A) โครงสร้างเดี่ยวช่องแถบแบบเดี่ยว[13]



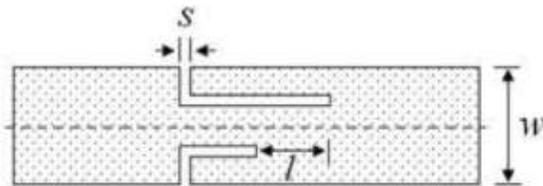
รูปที่ 8(B) โครงสร้างเดี่ยวช่องแถบแบบคู่[13]



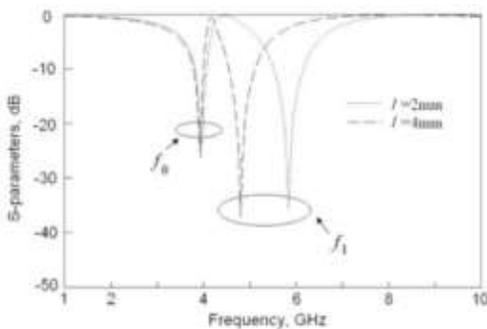
รูปที่ 9 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน  $S_{21}$  เพื่อหยุดแถบความถี่ทั้งโครงสร้างเดี่ยวแบบเดี่ยวและแบบคู่[13]

ต่อมอลตความยาวของโครงสร้างเดี่ยวหนึ่งด้านดังรูปที่ 10 เพื่อทดลองการเปลี่ยนแปลงทางความถี่และประสิทธิภาพการหยุดแถบความถี่ที่สูงขึ้นตามความยาว

คลื่นของโครงสร้างเดี่ยว โดยลดค่า  $l$  เป็น 2 ระยะคือ 2 มม. และ 4 มม. จากผลการทดลองค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน  $S_{21}$  เกิดการหยุดแถบความถี่ที่ 2 ( $f_1$ ) ที่ความถี่สูงขึ้นตามลำดับ ดังรูปที่ 11 งานวิจัยนี้ได้ใช้สมการที่ 3-5 โดยวงจรสมมูลทางไฟฟ้าดังรูปที่ 3 เมื่อทำโครงสร้างเดี่ยวขึ้นเพิ่มเปรียบเสมือนการอนุกรมวงจรเพิ่ม 1 วงจร โดยมีนักวิจัยบางคนได้นำโครงสร้างเดี่ยวแบบคู่ขนานนี้ไปใช้พัฒนาประสิทธิภาพงานวิจัย



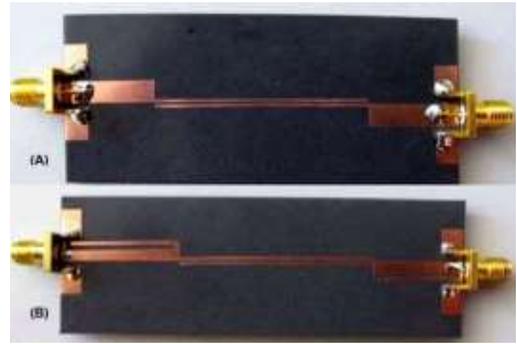
รูปที่ 10 โครงสร้างเดี่ยวช่องแถบแบบคู่ที่ลดความยาวด้านหนึ่ง[13]



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านเพื่อหยุดแถบความถี่ของโครงสร้างเดี่ยวที่ลดความยาวด้านหนึ่ง[13]

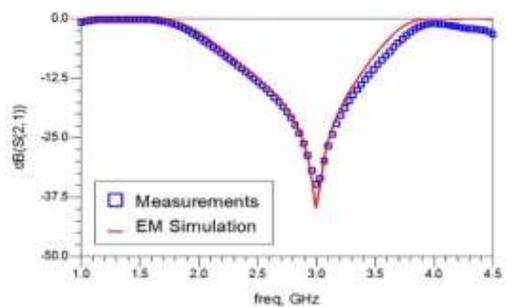
### 3.2 โครงสร้างเดี่ยวและการประยุกต์ใช้งานบนสายส่งแบบคู่ขนานไมโครสตริปความถี่ไมโครเวฟ

ปี 2011 J.R. Loo-Yau และคณะ [14] วิจัยเรื่องการนำโครงสร้างเดี่ยวมาประยุกต์ใช้งานกับสายส่งแบบคู่ขนานไมโครสตริปความถี่ไมโครเวฟ [15-16] โดยออกแบบสายส่งแบบคู่ขนานไมโครสตริปให้เกิดการหยุดแถบความถี่ที่ 3 GHz ดังรูปที่ 12(A) และออกแบบโครงสร้างเดี่ยวให้ทำงานที่ความถี่ 3 GHz เช่นกัน เซาะร่องไว้ที่บริเวณต้นทางเข้าของสายส่งสัญญาณช่องที่ 1 โครงสร้างเดี่ยวมีความกว้าง 1 มม. ความยาว 23.6 มม. และปลายทางออกของสายส่งสัญญาณช่องที่ 2 โครงสร้างเดี่ยวมีความกว้าง 1 มม. ความยาว 17.3 มม. ดังรูปที่ 12(B)

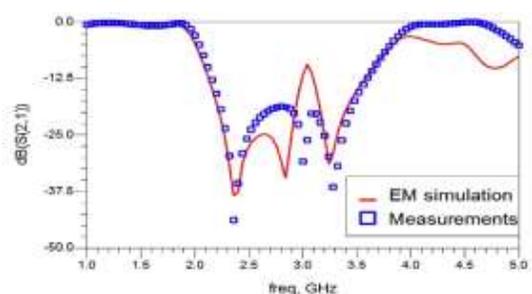


รูปที่ 12 (A) สายส่งไมโครสตริปแบบคู่ขนาน [14] (B) สายส่งไมโครสตริปแบบคู่ขนานแบบมีโครงสร้างเดี่ยว [14]

ผลของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน ( $S_{21}$ ) แสดงดังรูปที่ 14 เมื่อนำโครงสร้างเดี่ยวเข้ามารวมออกแบบ ทำให้ช่วงกว้างแถบความถี่กลางคือ 2.7 GHz ความถี่ทำงานเริ่มต้นที่ 2.4 GHz ( $F_L$ ) และสิ้นสุดที่ความถี่ 3.2 GHz ( $F_H$ ) ทำให่วงจรกรองความถี่นี้มีประสิทธิภาพของช่วงในการหยุดแถบความถี่ได้กว้างถึง 1 GHz หรือ 50% เมื่อเทียบผลของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน ( $S_{21}$ ) กับสายส่งแบบคู่ขนานแบบเดิม แสดงดังรูปที่ 13 แต่ยังคงมีปัญหาที่ช่วงความถี่ 3.0 GHz ที่เป็นช่วงการหยุดแถบความถี่ที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด และต้องนำโครงสร้างเดี่ยวแบบคู่ขนานเพื่อให้สามารถกีดช่วงความถี่นั้นได้



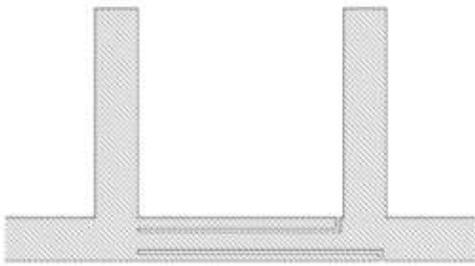
รูปที่ 13 ผลของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ไมโครสตริปเดี่ยว [14]



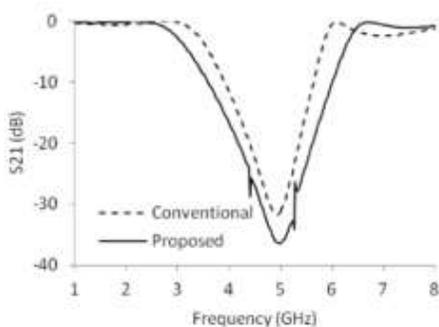
รูปที่ 14 ผลของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่นำโครงสร้างเดี่ยวออกแบบไว้ต้นทางและปลายทางของงานวิจัย [14]

### 3.3 การจำลองของวงจรกรองหยุดแถบความถี่ 2 ปลายเปิดและโครงสร้างเดี่ยวแบบไม่สมมาตร

ปี 2014 S.Yang [17] ได้นำวงจรกรองหยุดแถบความถี่สลับแบบ 2 ปลายเปิดเป็นต้นแบบในการจำลองวงจรกรองหยุดแถบความถี่ที่ช่วงความถี่ 4.9 GHz ประยุกต์นำโครงสร้างเดี่ยวที่ความยาวไม่เท่ากัน โดยมีความยาวทั้ง 2 คือ 6.86 มม. และ 5.66 มม. ความกว้างเท่ากันคือ 0.1 มม. ใส่ตรงกลางของโครงสร้างสลับแบบ 2 ปลายเปิด ออกแบบที่ความถี่กลาง 4.8 GHz แสดงดังรูปที่ 15 สังเกตผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน ( $S_{21}$ ) ที่ความถี่กลาง 4.8 GHz มีช่วงการหยุดแถบความถี่จากเดิม 0.64 GHz เป็น 1.42 GHz ช่วงกว้างแถบความถี่เพิ่มขึ้น 780 MHz ดังรูปที่ 16



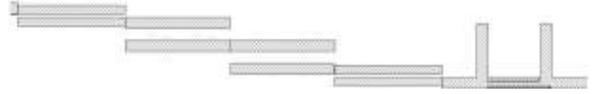
รูปที่ 15 วงจรกรองหยุดแถบความถี่ที่นำโครงสร้างเดี่ยวแบบไม่สมมาตรเข้ามาใช้งาน [17]



รูปที่ 16 ผลของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านระหว่างวงจรกรองหยุดแถบความถี่แบบดั้งเดิมและแบบที่เสนอ [17]

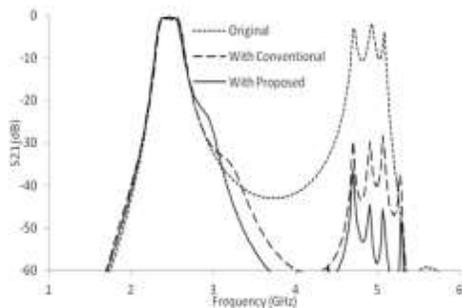
งานวิจัยนี้ได้นำผลการจำลองมาประยุกต์ใช้งานในวงจรกรองแถบความถี่สายส่งไมโครสตริปแบบคู่ขนานอันดับ 3 วงจรนี้สามารถกรองแถบความถี่ผ่านที่ 2.4 GHz มีความถี่ 4.9 GHz เป็นความถี่ที่ 2 วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้ทำการจำลอง โดยนำโครงสร้างวงจรกรองหยุดแถบความถี่แบบที่นำเสนอมารวมเข้ากับสายส่งช่องที่ 2

ดังรูปที่ 17 เพื่อลดความถี่ที่ 2 เพื่อให้การทำงานในวงจรกรองความถี่มีประสิทธิภาพที่กรองผ่านความถี่เดียวคือ 2.4 GHz



รูปที่ 17 วงจรกรองความถี่สายส่งแบบไมโครสตริปแบบคู่ขนานอันดับ 3 ที่นำโครงสร้างที่นำเสนอเข้ามาต่อปลายช่องที่ 2 [17]

จากการเปรียบเทียบวงจรกรองความถี่ทั้ง 3 รูปแบบ ผลการจำลองวงจรที่นำเสนอมารถหยุดแถบความถี่ที่ 2 คือ 4.9 GHz ได้อย่างมีประสิทธิภาพจากค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน  $S_{21}$  ที่ลดลงลงไปมากถึง -4.0 dB ดังรูปที่ 18 วงจรกรองความถี่ที่นำเสนอมิโครสตริปใหญ่พอสมควร ไม่เหมาะสมสำหรับงานที่ใช้พื้นที่ขนาดเล็ก

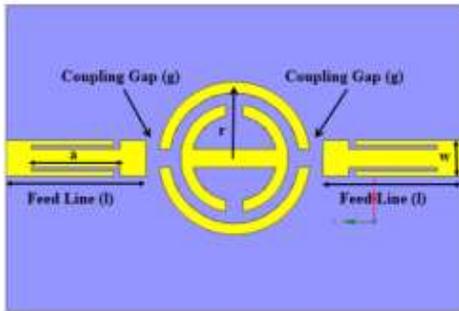


รูปที่ 18 ผลของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่นำโครงสร้างที่นำเสนอเปรียบเทียบกับแบบดั้งเดิม [17]

### 3.4 การหยุดความถี่ที่ไม่ต้องการของวงจรความถี่ผ่านวงแหวนแยกแบบสมมาตรโดยใช้โครงสร้างเดี่ยวแบบคู่ขนาน

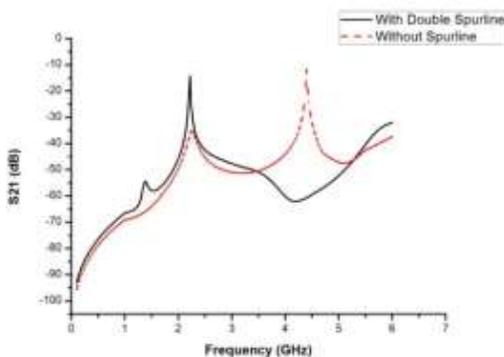
ปี 2015 Rammah A. Alahnomi และคณะ [18] ทำการออกแบบวงจรกรองความถี่ผ่านแบบวงแหวนแยกแบบสมมาตร คณะวิจัยได้ออกแบบวงจรที่มีวงแหวนซ้อนภายในเพิ่ม 1 วงแหวนแบบแยก [19] โครงสร้างแบบดั้งเดิมจากสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน ( $S_{21}$ ) มีความถี่ผ่านคือ 2.2 GHz และความถี่ 4.4 GHz นักวิจัยคณะนี้ได้นำโครงสร้างเดี่ยวแบบคู่ขนานแบบสมมาตรมาใช้ที่บริเวณ

สายส่งต้นทางช่องที่ 1 และสายส่งปลายทางช่องที่ 2 โดยโครงสร้างเดียวมีความยาว 12.76 มม. ทั้ง 2 ด้าน ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 วงจรกรองความถี่ผ่านวงแหวนแยกแบบสมมาตรโดยใช้โครงสร้างเดียวแบบคู่ขนานเข้ามาออกแบบร่วม [18]

ผลของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความถี่ที่ 2 คือ 4.4 GHz ไม่ทำงาน ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจาก -10 dB ลดลงไปถึง -6.0 dB แต่ความถี่ 2.2 GHz ประสิทธิภาพการส่งผ่านที่ดีขึ้น สังเกตจากรูปที่ 20 เป็นการเปรียบเทียบจากวงจรกรองความถี่ที่ไม่มีโครงสร้างเดียวและมีโครงสร้างเดียวแบบคู่ขนาน มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจาก -40 dB ขึ้นไปจนถึง -10 dB



รูปที่ 20 ผลของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านเปรียบเทียบระหว่างมีโครงสร้างเดียวและไม่มีโครงสร้างเดียว [18]

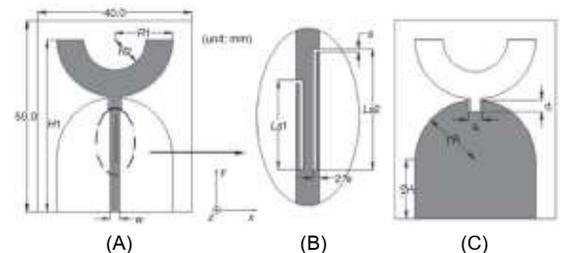
#### 4. งานวิจัยที่ประยุกต์ใช้งานโครงสร้างเดียวในสายอากาศแบบไมโครสตริป

งานวิจัยทางระบบสายอากาศแบบไมโครสตริปมีการออกแบบเพื่อให้เกิดการหยุดแถบความถี่ หรือเกิดความถี่ก้ำกรัที่ 2 หรือมากกว่านั้นเพื่อนำไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย และบางงานวิจัยนำโครงสร้าง

เดียวไปใช้ในการเข้ารหัสสัญญาณแบบความถี่ประยุกต์ใช้งานกับ RFID ซึ่งมีความน่าสนใจเช่นกันดังนี้

#### 4.1 การแยกสัญญาณความถี่คู่สายอากาศไมโครสตริปแถบความถี่กว้าง โดยใช้โครงสร้างเดียวแบบไม่สมมาตร

งานวิจัย ปี 2008 Y.H. Zhao และคณะ[20] ได้ออกแบบสายอากาศไมโครสตริปความถี่กว้างแบบรูปตัววายโค้ง ดังรูปที่ 21(A) ออกแบบให้ทำงานที่ความถี่ 2.5 - 12 GHz วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อทำการแยกความถี่ให้ทำงานในช่วง WiMAX (IEEE 802.11e) 3.5 GHz , 5.2/5.8GHz [21] โดยมีการนำโครงสร้างเดียวทำเป็นแบบคู่ขนานไม่สมมาตร เขาจะลงบนสายส่ง[11] ดังรูปที่ 21(B) เพื่อหยุดแถบความถี่ไม่ใหทำงานที่ช่วงความถี่ 3.95 - 4.55GHz และ 5.35 - 6.0 GHz ออกแบบสายอากาศแบบไมโครสตริป สายส่ง โครงสร้างเดียว มีรูปร่างและขนาดดังตารางที่ 1 ออกแบบให้ความยาวโครงสร้างเดือนไม่สมมาตรกันเพื่อหยุดแถบความถี่ 2 ช่วงที่ต้องการ

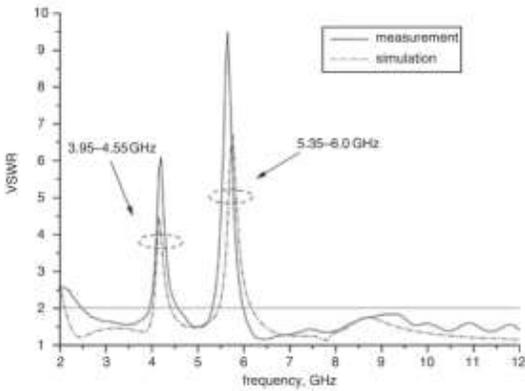


รูปที่ 21(A) ด้านหน้าสายอากาศไมโครสตริปแถบความถี่กว้าง [20]  
 (B) รูปขยายโครงสร้างเดียวในสายส่งของสายอากาศ [20]  
 (C) ด้านหลังสายอากาศไมโครสตริปแถบความถี่กว้าง [20]

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศที่นำเสนอ [20]

Parameter	w	H1	H2	R1	R2	Ls1	Ls2	s	a	b
Value (mm)	2.3	45.05	15	15	8	8.8	12	0.11	3.6	2.9

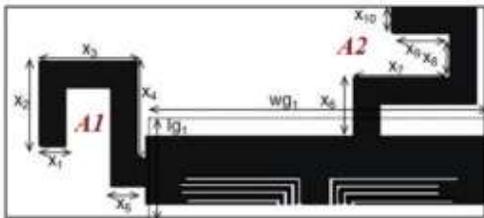
จากการจำลองโดยวัดจากค่าอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง ช่วงระหว่าง 3.95-4.55 GHz และ 5.3 - 6 GHz มีค่า VSWR ที่มากกว่า 2 โดยไม่สามารถทำงานที่ความถี่นั้นได้ และมีช่วง VSWR น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 ที่สายอากาศสามารถทำงานได้คือ 2.59 - 3.95 GHz , 4.55 - 5.35 GHz และ 6-12 GHz ดังรูปที่ 22 โดยการจำลองนี้ประสิทธิภาพยังไม่ครอบคลุมการทำงานที่ความถี่ 5.8 GHz เพราะอยู่ในช่วงหยุดแถบความถี่



รูปที่ 22 ค่าอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่งในสายอากาศที่นำเสนอ[20]

### 4.2 การสร้างรหัสความถี่ RFID TAG แบบ Chipless โดยใช้ความถี่จากโครงสร้างเดียว

ปี 2012 M.SUM I และคณะ [22] ได้ทำการออกแบบและสร้าง RFID Tag แบบ Chipless [23] ในช่วงการทำงานที่ความถี่ 2-5 GHz โดยใช้คุณสมบัติการหยุดแถบความถี่ในสายส่งของโครงสร้างเดียว สร้างการหยุดแถบความถี่ในแต่ละช่วงที่ต้องการคือ 2.38 GHz, 2.5 GHz, 2.75 GHz, 2.98 GHz, 3.44 GHz, 3.79 GHz, 3.85 GHz และ 4.04 GHz เปรียบเทียบความถี่นั้นเป็น 1 บิต โดยสร้างพื้นที่สายส่ง 11x40 มม. และสร้างสายอากาศ A1 และ A2 ต่อจากพื้นที่สายส่งออกแบบให้ความกว้างแถบความถี่ทำงานตั้งแต่ 2 - 5 GHz เพื่อเป็นตัวส่งสัญญาณแต่ละการหยุดแถบความถี่ที่สร้างไว้ดังรูปที่ 23

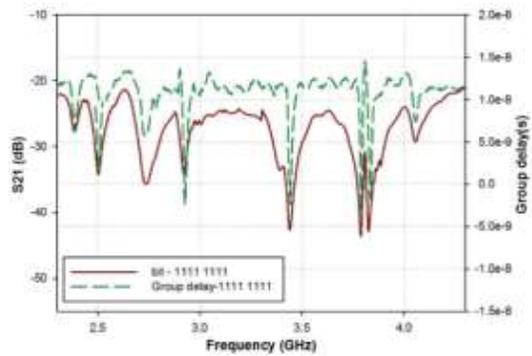


รูปที่ 23 RFID TAG แบบ Chipless โดยโครงสร้างเดียวสร้างชุดความถี่เป็นชุดรหัสความถี่ และมีสายอากาศแบบไมโครสตริปความถี่ 2-5 GHz เพื่อส่งสัญญาณ [22]

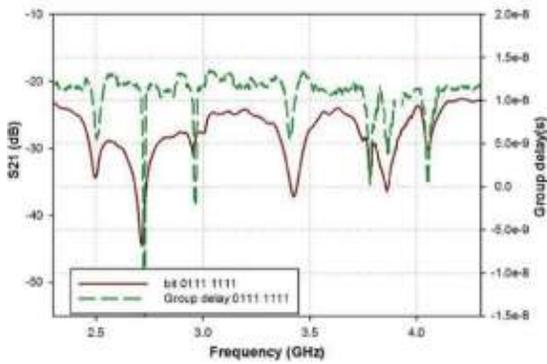


รูปที่ 24 การทดสอบ RFID TAG แบบ Chipless ที่นำเสนอ [22]

จากทดลองดังรูปที่ 24 RFID TAG ที่ระยะห่าง 5 ซม. จากตัวอ่านสายอากาศสามารถระบุตัวตนของความถี่ได้ทุกความถี่ มีการตอบสนองจาก RFID Tag สำหรับชุด 1111 1111 ดังรูปที่ 25 และ 0111 1111 ดังรูปที่ 26 การจับกลุ่มของบิตมีความน่าเชื่อถือและพบว่ามีการทำงานที่ถูกต้อง งานวิจัยที่กล่าวมายังมีจุดบกพร่องคือการเปลี่ยนรหัสบิต เพราะจำเป็นจะต้องสร้างความถี่เพื่อเพิ่มบิตหรือลดบิตตามความเหมาะสมที่ต้องการทำเป็นรหัสเพื่อ RFIDTag และช่วงความถี่ที่ใช้งานมีความกว้างและไม่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานและยังต้องพัฒนาต่อไป



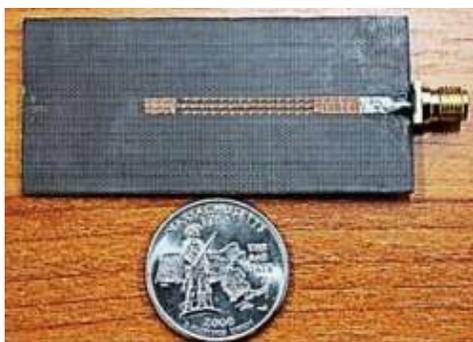
รูปที่ 25 ช่วงความถี่ที่ตอบสนองในการระบุตัวตนของ RFID Tag สำหรับชุด 1111 1111 [22]



รูปที่ 26 ช่วงความถี่ที่ตอบสนองในการระบุตัวตนของ RFID Tag สำหรับชุด 0111 1111 [22]

### 4.3 สายอากาศขั้วเดียวสองแถบความถี่โดยใช้โครงสร้างเดียวสำหรับ PCS และ Bluetooth

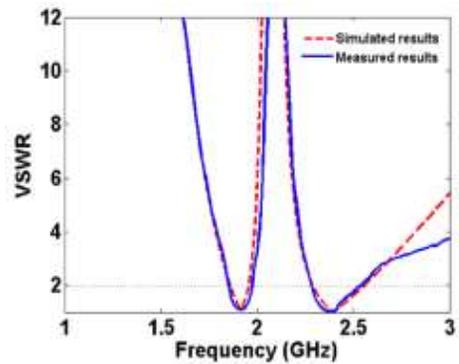
งานวิจัยปี 2016 N.Angkawisittpan และคณะ [24] ทำการวิจัยสายอากาศขั้วเดียวสองแถบความถี่โดยใช้โครงสร้างเดียว [25] โดยออกแบบความถี่ดั้งเดิมในสายอากาศขั้วเดียวไว้ที่ความถี่ 1.9 GHz ตามความยาวคลื่นส่วนสี่ เท่ากับ 30 มม. และเสาทรงโครงสร้างเดียวบนส่วนสายอากาศด้านในแบบคู่ขนานแบบสมมาตรมีความยาวคลื่นส่วนสี่เช่นกันที่ความถี่ 2.4 GHz ความยาว 24.5 มม. ความกว้าง 0.5 มม. ดังรูปที่ 27 โดยได้ทำการจำลองและวัดประสิทธิภาพการทำงานของสายอากาศชนิดที่นำเสนอ



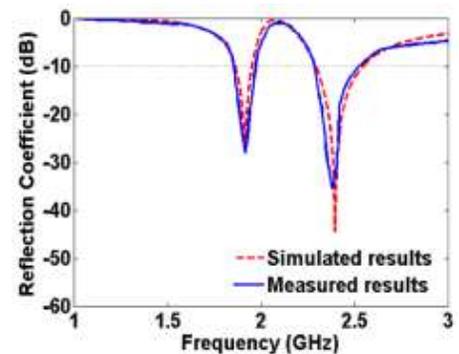
รูปที่ 27 สายอากาศขั้วเดียวสองแถบความถี่โดยใช้โครงสร้างเดียวสำหรับ PCS และ Bluetooth ที่นำเสนอ [24]

งานวิจัยมีการเปรียบเทียบการทดลองแบบจำลองและแบบทดสอบวัดจากเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (vector network analyzer) ผลการทดลองโดยทำการวัดค่าอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง มีความถี่ที่ค่า VSWR น้อยกว่า 1 ต่อ 2 มี 2 ช่วงความถี่ที่ความถี่ 1.9

GHz และความถี่ 2.4 GHz ดังรูปที่ 28 และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ต่ำกว่า -10 dB มี 2 ช่วงความถี่ที่ความถี่ 1.9 GHz ที่ -30 dB และความถี่ 2.4 GHz ที่ -45 dB ดังรูปที่ 29 จากผลการจำลองและการทดลองวัดจริงมีผลการทดลองที่ใกล้เคียงกัน สามารถนำมาสร้างและใช้งานจริงในความถี่ที่ต้องการได้ มีขนาดกะทัดรัด ออกแบบกับงานขนาดเล็ก เช่น คอมพิวเตอร์แบบพกพา โทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ต และอุปกรณ์อื่นๆ ที่ต้องใช้งานความถี่ดังกล่าว



รูปที่ 28 การวัดค่าอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่งของสายอากาศที่นำเสนอ [24]



รูปที่ 29 การวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศที่นำเสนอ [24]

### 5. การประยุกต์และดัดแปลงโครงสร้างเดียวเพื่อมาใช้งานในไมโครสตริปรูปแบบต่าง ๆ

งานวิจัยมีการนำตัวโครงสร้างเดียวมาประยุกต์และดัดแปลงเพื่อให้เกิดคุณสมบัติสามารถหยุดแถบความถี่ได้ในความถี่ต่ำ อยู่ในช่วงความถี่ UHF ที่ใช้งานกันในประเทศไทย เช่น สายอากาศหรือวงจรถ่วงความถี่ในโทรศัพท์ระบบดิจิทัล ที่ช่วงความถี่ 470 - 800 MHz

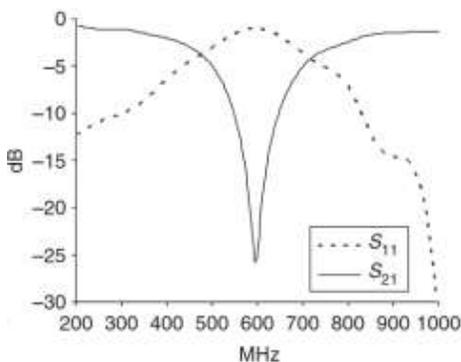
เป็นต้น [26] จากโครงสร้างเดียวตามความยาวคลื่นส่วนสี่ ( $\lambda/4$ ) ทำให้ความยาวของโครงสร้างเดียวยาวขึ้นตามทำให้ไม่สะดวกต่อการใช้งาน บางงานวิจัยสามารถประยุกต์และดัดแปลงโครงสร้างเดียวให้เล็กลง พบให้ลดพื้นที่เพื่อทำงานที่ความถี่ต่ำโดยปริทัศน์งานวิจัยที่น่าสนใจดังต่อไปนี้

### 5.1 โครงสร้างเดียวพับแบบขดขนาดกะทัดรัดสำหรับ การประยุกต์ใช้งานความถี่ต่ำ

ปี 2011 J.V.S. Hari Krishna [27] ได้ทำการวิจัย โครงสร้างเดียวให้ทำงานหยุดแถบความถี่ที่ 600 MHz ตามการหาค่าคุณลักษณะเท่ากับ  $1/4$  เท่าของความยาวคลื่น ดังสมการที่ 1 รูปที่ 30 เมื่อทำการออกแบบและสร้างทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ( $S_{11}$ ) และสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน ( $S_{21}$ ) มีการทำงานหยุดแถบความถี่ 600 MHz ที่ -25 dB ดังรูปที่ 31 ส่วนโครงสร้างเดียวมีความยาว 73.9 มม. ทำให้มีพื้นที่วัสดุฐานรองที่ยาวไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน

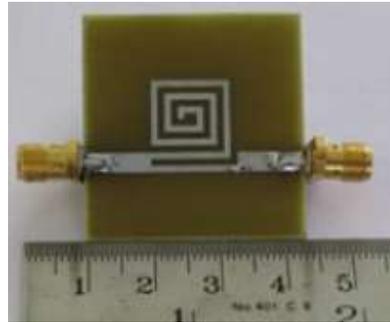


รูปที่ 30 โครงสร้างเดียวที่ออกแบบให้หยุดแถบความถี่ที่ 600 MHz แบบดั้งเดิม [27]

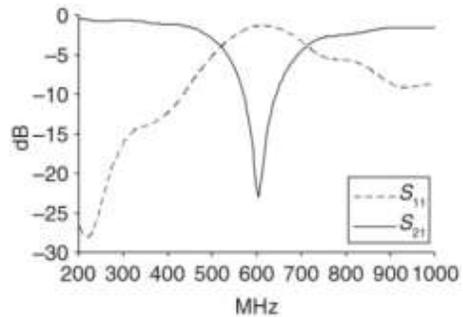


รูปที่ 31 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนและส่งผ่านงานวิจัยแบบดั้งเดิม [27]

ทำงานที่โครงสร้างเดียวโดยพับเป็นขดเพื่อลดพื้นที่วัสดุฐานรองให้มีขนาดกะทัดรัด สามารถหยุดความถี่ในช่วงความถี่ต่ำที่ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 32 โครงสร้างเดียวมีการลดระยะความยาวจาก 73.9 มม. เหลือเพียง 12 มม. วิธีนี้สามารถลดความยาวของโครงสร้างเดียวและพื้นที่วัสดุฐานรองได้ 83% ประสิทธิภาพการหยุดแถบความถี่ 600 MHz ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ -23 dB ยังคงเดิมดังรูปที่ 33 แต่ยังมีข้อเสียของพื้นที่แนวกว้างเพิ่มขึ้น



รูปที่ 32 โครงสร้างเดียวแบบพับเป็นขดที่นำเสนอ [27]

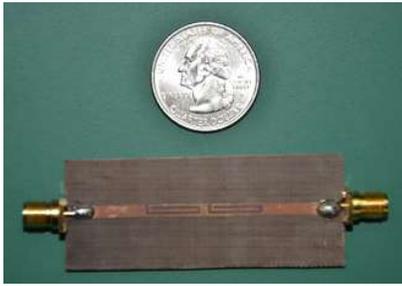


รูปที่ 33 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนและส่งผ่านของงานวิจัยแบบที่นำเสนอ [27]

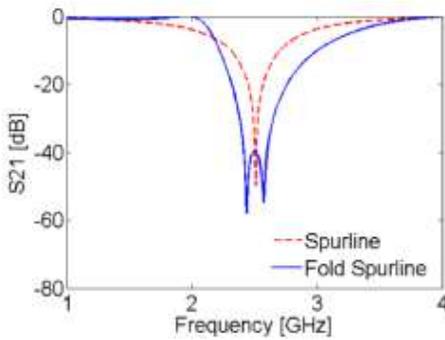
### 5.2 การออกแบบวงจรกรองสัญญาณแถบความถี่หยุดผ่านไมโครสตริบโดยใช้โครงสร้างเดียวพับครึ่ง และการประยุกต์ใช้งาน

ปี 2012 อลงกรณ์ หลงกุล และคณะ [28] ได้ออกแบบวงจรกรองหยุดแถบความถี่ โดยใช้โครงสร้างเดียวพับครึ่ง นักวิจัยได้ออกแบบเป็น 2 ชุดบนสายส่ง ดังรูปที่ 34 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหยุดแถบความถี่ให้มีช่วงที่กว้างขึ้นโดยการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านระหว่างโครงสร้างเดียวแบบดั้งเดิมและแบบพับครึ่งดังรูปที่ 35 ผลการทดลองโครงสร้างเดียวแบบพับครึ่งมีประสิทธิภาพในการหยุดแถบความถี่ได้กว้างขึ้น

นักวิจัยขณะนี้ต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพการ

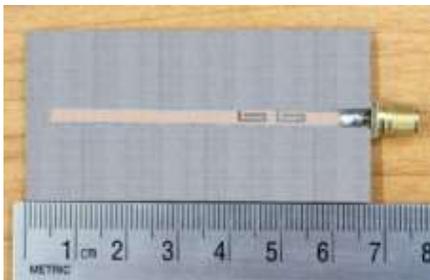


รูปที่ 34 โครงสร้างเดี่ยวพ้องที่นำเสนอสื่อ [28]



รูปที่ 35 ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างเดี่ยวแบบดั้งเดิมเปรียบเทียบกับแบบพ้องที่นำเสนอสื่อ [28]

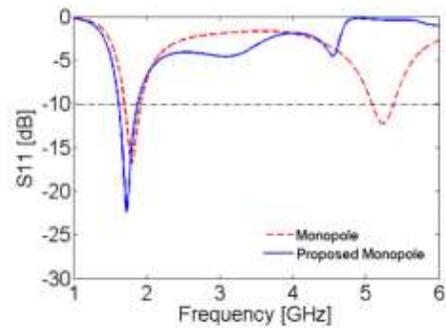
ต่อมาจึงได้นำโครงสร้างเดี่ยวพ้องที่นำเสนอมานำประยุกตใ้ใช้งานกับสายอากาศขั้วเดี่ยวโดยออกแบบที่ความถี่ 1.8 GHz เมื่อทำการจำลองแล้วได้ความถี่ 1.8 GHz ตามที่ต้องการแต่มีความถี่ที่ 2 เกิดขึ้นที่ 5.3 GHz นักวิจัยจึงได้นำโครงสร้างเดี่ยวพ้อง 2 ชุด มาประยุกตใ้ใช้งานบนสายส่งในสายอากาศที่ออกแบบไว้ดังรูปที่ 36 เพื่อหยุดความถี่ที่ไม่ต้องการ



รูปที่ 36 โครงสร้างเดี่ยวพ้องที่นำมาประยุกตใ้ใช้งานกับสายอากาศขั้วเดี่ยว [28]

จากผลการทดสอบเห็นได้ว่าเมื่อนำโครงสร้างเดี่ยวแบบพ้องมาประยุกตใ้ใช้ในสายส่งจำนวน 2 ชุดสายอากาศขั้วเดี่ยวสามารถลดความถี่ที่ 2 คือความถี่ 5.3 GHz ได้และยังเพิ่มประสิทธิภาพค่าสัมประสิทธิ์การ

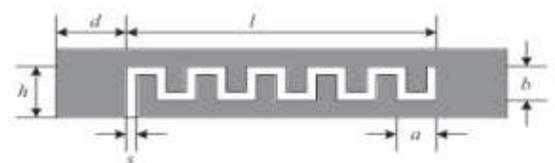
สะท้อนของสายอากาศขั้วเดี่ยวที่ความถี่ 1.8 GHz ได้จาก -15 dB เป็น -23 dB ดังรูปที่ 37 และเห็นได้ว่าเป็นการลดพื้นที่ของสายอากาศได้อีกด้วย จากการออกแบบโครงสร้างที่นำเสนอนี้ยังมีปัญหาในส่วนของ การออกแบบโครงสร้างเดี่ยวแบบพ้องที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มม. ลดไปทำให้การรบกวนสายส่งหรือสายอากาศมีความลำบากแต่เปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่ได้ยังคงมีประสิทธิภาพพออยู่เช่นกัน



รูปที่ 37 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสายอากาศขั้วเดี่ยวดั้งเดิมและมีโครงสร้างเดี่ยวแบบพ้อง [28]

### 5.3 การปรับวงจรกรองหยุดแถบความถี่ขนาดกะทัดรัดโดยใช้โครงสร้างเดี่ยวแบบคดเคี้ยวและลำดับปลายเปิดแบบพ้อง

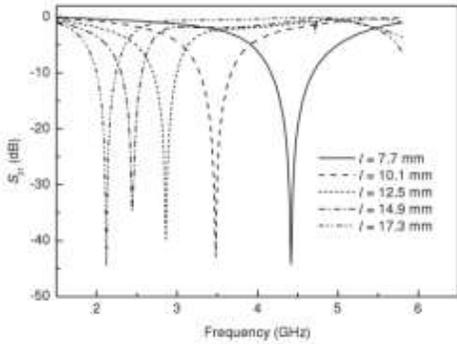
ปี 2012 Ying Liu และคณะ [29] ได้ทำการวิจัยและออกแบบวงจรกรองหยุดแถบความถี่ขนาดกะทัดรัดโดยใช้โครงสร้างเดี่ยวแบบคดเคี้ยว [30] เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพโครงสร้างเดี่ยวให้มีความยาวขึ้นแต่ใช้พื้นที่น้อยลง เพื่อให้สามารถหยุดแถบความถี่ที่ความถี่ต่ำได้ทำการจำลองออกแบบโครงสร้างเดี่ยวที่นำเสนอสื่อ ดังรูปที่ 38 ทำการคดเคี้ยวในช่วงความยาวของโครงสร้างเดี่ยวให้เท่ากันในช่วง a



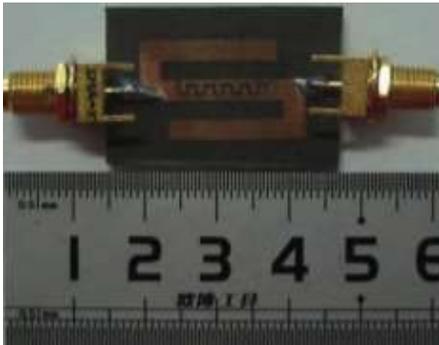
รูปที่ 38 โครงสร้างเดี่ยวแบบคดเคี้ยว [29]

จากผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของโครงสร้างที่นำเสนอสื่อเมื่อเพิ่มความยาวตั้งแต่  $l = 7.7$

มม. , 10.1 มม. , 12.5 มม. , 14.9 มม. , 17.3 มม. ทำให้ความถี่ต่ำลงเรื่อยๆ ตั้งแต่ 4.4 GHz ลงไปยังความถี่ 2.2 GHz ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ -45 dB ดังรูปที่ 38 จากคุณสมบัติของโครงสร้างเดี่ยวแบบคดเคี้ยวนี้ จะคงพื้นที่วัสดุฐานรองเท่าเดิม แต่เพิ่มความยาว โดยการคดเคี้ยวตรงโครงสร้างเดี่ยวเพื่อให้ความยาวของโครงสร้างเดี่ยวเท่ากับความยาวคลื่น



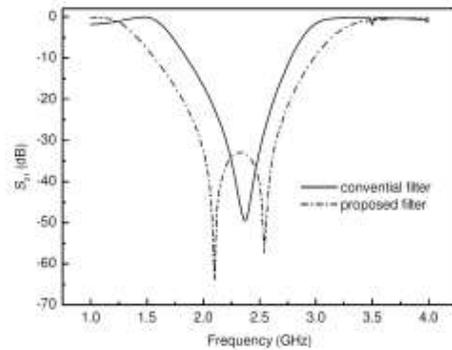
รูปที่ 39 การปรับค่าความยาว  $l$  ของโครงสร้างเดี่ยวแบบคดเคี้ยวที่มีผลต่อความถี่จากค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน [29]



รูปที่ 40 วงจรกรองความถี่สลับปลายเปิดแบบพับที่นำโครงสร้างเดี่ยวแบบคดเคี้ยวมาประยุกต์ใช้งาน [29]

เมื่อที่มวิจัยได้ผลการจำลองตามโครงสร้างเดี่ยวที่นำเสนอมาประยุกต์ใช้งาน ออกแบบและสร้างกับวงจรกรองความถี่สลับปลายเปิดแบบพับที่มีโครงสร้างเดี่ยวแบบคดเคี้ยวดังรูปที่ 40 ผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างวงจรกรองความถี่สลับปลายเปิดแบบพับแบบดั้งเดิมมีการหยุดแถบความถี่ที่ 2.35 GHz แต่มีช่วงแถบความถี่ที่แคบ ความถี่คัทออฟอยู่ที่ 1.75 – 2.75 GHz กับวงจรกรองความถี่ที่นำเสนอโดยใช้โครงสร้างเดี่ยวแบบคดเคี้ยวมีการทำงานในช่วงความถี่กลาง 2.35 GHz แต่มีช่วงแถบความถี่ที่กว้างขึ้นนับจากความถี่คัทออฟที่

1.25 – 3.25 GHz และการหยุดแถบความถี่สูงสุดที่ -65 dB ที่ความถี่ 2.1 GHz ดังรูปที่ 41 เมื่อนำมาวิเคราะห์กับงานวิจัยวงจรสลับปลายเปิดทั่วไป[31-33] จะมีโครงสร้างขนาดใหญ่แต่โครงสร้างที่นำเสนอมีขนาดกะทัดรัด สามารถทำงานงานการหยุดแถบความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 41 ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของวงจรกรองความถี่สลับปลายเปิดแบบพับที่นำโครงสร้างเดี่ยวแบบคดเคี้ยวมาใช้งาน [29]

## 6. บทวิเคราะห์

จากการปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยในเรื่องโครงสร้างเดี่ยวสำหรับไมโครสตริปและการประยุกต์ใช้งานวิจัยที่กล่าวมา โครงสร้างเดี่ยวเป็นโครงสร้างที่ง่ายต่อการออกแบบ สามารถทำเป็นแบบเดี่ยวหรือแบบคู่ขนานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านและสะท้อนได้ สามารถเจาะร่องบนสายส่งหรือสายอากาศและทำให้เกิดการหยุดแถบความถี่หรือความถี่กำรตามที่ต้องการ ความน่าสนใจนี้นำไปใช้ตามวัตถุประสงค์งานวิจัยที่แตกต่างกันไป

ผู้ประพันธ์ได้ทำการวิเคราะห์วรรณกรรมงานวิจัยในเรื่องโครงสร้างเดี่ยวที่นำไปประยุกต์ใช้งานทั้งทางด้านวงจรกรองหยุดความถี่ สายอากาศ สรุปประเด็นการทำงานของโครงสร้างเดี่ยวแต่ละชนิดที่ใช้งานอยู่ 4 ชนิดจากขนาดโครงสร้าง ความกว้างแถบความถี่ พื้นที่ที่ใช้งานวัสดุฐานรอง ประสิทธิภาพการหยุดแถบความถี่และความถี่กำรตามความยาวคลื่น นำมาเปรียบเทียบโครงสร้างเดี่ยวแต่ละชนิดที่ปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของโครงสร้างเดี่ยวแต่ละชนิดที่ปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัย

ชนิดของโครงสร้างเดี่ยว	ขนาดของโครงสร้าง	ความกว้างแถบความถี่ความถี่	พื้นที่การใช้งานวัสดุฐานรอง	ประสิทธิภาพการหยุดแถบความถี่และความถี่ก่การตามความยาวคลื่น
แบบเดี่ยว	เล็ก	แคบ	น้อย	ความถี่สูง
แบบคู่ขนาน	เล็ก	กว้าง	น้อย	ความถี่สูง
แบบพับ	เล็ก	กว้าง	น้อย	ความถี่ต่ำ
แบบขด	ใหญ่	แคบ	มาก	ความถี่ต่ำ
แบบคดเคี้ยว	เล็ก	กว้าง	น้อย	ความถี่ต่ำ

## 7. บทสรุป

บทความนี้เสนอเรื่องโครงสร้างเดี่ยวและการประยุกต์ใช้งานในไมโครสตริป กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้งานของโครงสร้างเดี่ยว แยกประเด็นออกเป็น 3 ประเภทหลักคือ วงจรกรองความถี่แบบไมโครสตริป สายอากาศแบบไมโครสตริป การประยุกต์และตัดแปลงโครงสร้างเดี่ยว โดยปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยเพื่อให้ครอบคลุมประเภทงานวิจัยความแตกต่างในการใช้งานและการประยุกต์ใช้งานอย่างถูกต้อง โครงสร้างเดี่ยวสามารถทำให้ประสิทธิภาพของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านและสะท้อนดีขึ้น ยังเป็นการออกแบบที่ง่ายไม่มีความยุ่งยากในการเพิ่มพื้นที่ของสายส่งและสายอากาศเป็นที่ยอมรับในการประยุกต์ใช้งานกับงานไมโครสตริปแบบต่างๆ เพราะมีสมการรองรับในการออกแบบทั้งวงจรมุมูลทางไฟฟ้าและความยาวของโครงสร้างเดี่ยว

โครงสร้างเดี่ยวมีข้อจำกัดบางประการ เช่น การออกแบบเพื่อไปใช้งานในความถี่ต่ำทำให้โครงสร้างเดี่ยวมีความยาวมากขึ้น ตามความยาวคลื่นส่วนสี่ประเด็นเรื่องการประยุกต์และตัดแปลงโครงสร้างเดี่ยวแบบต่างๆ ทำให้มองเห็นปัญหาเช่น โครงสร้างเดี่ยวแบบพับขด [27] สามารถทำงานในความถี่ต่ำได้ ลดพื้นที่ทางความยาวได้แต่ยังไม่สามารถลดพื้นที่ในทางกว้างได้เช่นกัน ปัญหาต่อมาคือโครงสร้างเดี่ยวมีการเซาะร่องในระดับ 2 มม. ลงไปการออกแบบและสร้างถ้าเครื่องมือในการออกแบบไม่ทันสมัย สามารถเซาะได้ในระดับมิลลิเมตรนั้นเป็นปัญหาอีกประการหนึ่งเช่นกัน ในปัญหาดังกล่าวที่ทีมงานวิจัย

ทางด้านไมโครสตริปได้โครงสร้างแบบใหม่ เพื่อทดแทนหรือออกแบบให้มีความง่ายต่อการใช้งานมีสมการรองรับมีประสิทธิภาพและพัฒนาต่อไปในอนาคต

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.นิวัฒน์ อังควิเศษพันธ์ และอาจารย์ ดร.นรินทร์ พิลาแดง จากหน่วยปฏิบัติการวิจัยแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงคำนวณและระบบเชิงแสง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความรู้ความเข้าใจในการเขียนบทความวิชาการในครั้งนี้ ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น สำหรับการสนับสนุนการทำบทความวิชาการในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Hong, J. and Lancaster, M. J. 2001. Microstrip filter for RF / microwave applications . A wiley-interscience publication .
- [2] นิวัฒน์ อังควิเศษพันธ์. 2554. เทคโนโลยีในการออกแบบวงจรกรองความถี่แถบหยุดผ่านไมโครสตริป. วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อ., 4(2): 35-49.
- [3] ศักดิ์ชัย ต้นดีวิวัฒน์. 2559. การออกแบบไมโครสตริปเรโซเนเตอร์ขนาดกะทัดรัดสำหรับการสื่อสารไร้สาย. วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อ., 9(1): 105-117.
- [4] จักรพันธ์ ออบมา และ นิวัฒน์ อังควิเศษพันธ์. 2559. การลดสัญญาณแทรกข้ามในสายส่งแบบไมโครสตริปความถี่ย่านไมโครเวฟ. วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อ., 9(1): 118-130.
- [5] Zhu, L., Sun, S. and Li, R. 2012. Microwave Bandpass Filters for Wideband Communication . A John Wiley and Sons, inc., publication .
- [6] Corrales, E., Menéndez, O. and Paco, P. 2011. Compact dual-band filter based on microstrip - DGS resonator pairs .Microwave Conference (EuMC), 41st European, IEEE, 10-13 Oct 2011: 464 – 467.
- [7] Kumar, C. and Guha, D. 2015. Reduction in cross-polarized radiation of microstrip patches

- using geometry-independent resonant -type Defected Ground Structure (DGS). IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 63(6): 2767 - 2772.
- [8] Verma, A., De, D., Nanda, S., Tripathy, A. and Sahu, P.K. 2016. Design of a dual band rectangular Microstrip Patch Antenna with DGS for wireless applications. Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), 3rd International Conference on 11-12 Feb 2016: 102 - 105
- [9] Chongcheawchamnan, M., Shafique, M.F. and Robertson, I.D. 2011. Miniaturisation and electronic tuning techniques for microstrip spurline filters. IET Microwaves, Antennas & Propagation, 5(1): 1-9 .
- [10] Angkawisittpan, N. 2012. Miniaturization of bandstop filter using double spurlines and double stubs *przeglad elektrotechniczny*, 88(11): 178-181.
- [11] Su, G., Liao, C. and Zheng, X. 2009. Harmonic suppression with spur-line for Microstrip Patch Antenna. Microwave Antenna Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications. 3rd IEEE International Symposium, 27-29 Oct 2009.
- [12] Hammad, H.F., Antar, Y.M.M. and Freundorfer, A.P. 1997, Dual band aperture coupled antenna Using spurline. IET Electronics Letters, 33(25) : 2088-2090.
- [13] Liu, H., Sun, L. and Shi, Z. 2007. Dual - bandgap characteristics of spurline filters and its circuit models. Microwave and Optical Technology Letter, 49(11): 2805-2807 .
- [14] Loo-Yau, J.R., Gómez-Pichardo, O.I. and Sandoval-Ibarra, F. 2011. Spurline structures and its application on microwave coupled line filter. *Revista Mexicana de física*, 57(3): 184-187.
- [15] Phromloungsri, R., Chongcheawchamnan, M. and Robertson, I.D. 2006. Inductively compensated parallel coupled microstrip lines and their applications. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 54(9): 3571 -3582
- [16] Lee, J. and Lee, J.H. 2007. Parallel coupled bandstop filter using double negative coupled transmission Line. IEEE Microwave and Wireless Components Letter, 17(4): 283 – 285.
- [17] Yang, S. 2014, Simulation of a bandstop filter with two open stubs and asymmetrical double spurlines. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, 3(9): 11697-11701.
- [18] Alahnomi, R. A., Zakaria, Z., Ruslan, E., Bahar, A.A.M., Abu - Khadrah, A. 2015. Harmonic suppression of symmetrical split ring. IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT), IEEE.
- [19] Angkawisittpan, N. 2012, Harmonic suppression of microstrip ring resonator using double spurlines . International Journal of the Physical Sciences, 7(1): 31-36.
- [20] Zhao, Y.H., Xu, J.P. and Yin, K. 2008. Dual band-notched ultra-wideband microstrip antenna using asymmetrical spurlines. Electronics Letters IET, 44(18): 1051-1052.
- [21] Hoang, T.V., Le, T.T., Li, Q.Y. and Park, H.C. 2015, Quad-band circularly polarized antenna for 2.4/5.3/5.8-GHz WLAN and 3.5-GHz WiMAX applications. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 15: 1032 - 1035.
- [22] Sumi, M., Dinesh, R., Nijas, C.M., Mridula, S. and Mohanan, P. 2012, Frequency coded chipless RFID tag using spurline resonators. RADIOENGINEERING, 23: 203 - 208.
- [23] Preradovic, S., Karmakar, N. and Zenere, M. 2010. UWB chipless tag RFID reader design.

- Microwave, RFID- Technology and Applications (RFID-TA), IEEE International Conference. 17-19 June 2010.
- [24] Angkawisittpan, N. and Siritaratiwat, A. 2016, A dual frequency monopole antenna with double spurlines for PCS and bluetooth applications. ACES JOURNAL, 31(8): 976 - 981.
- [25] จักรพันธ์ ออบมา, นิวัตร์ อังควิษฐพันธ์ และ ณัฐวุฒิ สุวรรณทา . 2555. การออกแบบสายอากาศขั้วเดี่ยวสองแถบความถี่ขนาดกะทัดรัดแบบใหม่สำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย. วารสารวิจัย มข., 17(1): 153-161.
- [26] Vainikainen, P., Holopainen, J. and Kyro, M. 2012, Antennas for digital television receivers in mobile terminals. Proceedings of the IEEE, 100(7): 2341 - 2348.
- [27] Krishna, H. 2011, Compact spiral folded spurline for low - frequency applications. Electronics Letters IET, 47(15): 861 - 862.
- [28] อลงกรณ์ หลงกุล ,นิวัตร์ อังควิษฐพันธ์ และ ณัฐวุฒิ สุวรรณทา. 2555. การออกแบบวงจรกรองสัญญาณแถบความถี่หยุดผ่านไมโครสตริปโดยใช้โครงสร้างแบบเตี้ยพับครึ่งและการประยุกต์ใช้งาน . วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อ., 5(1): 48-55.
- [29] Liu, Y., Zheng, H. and Sun, C. 2012, A tunable compact bandstop filter using meander spurline and folding open stubs. Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), 2012 2nd International Conference. 21 - 23 April 2012.
- [30] Liu, H., Knoechel, R.H. and Schuenemann, K.F. 2007, Miniaturized bandstop filter using meander spurline and capacitively loaded stubs. ETRI Journal, 29(5): 614 - 618.
- [31] Khalaj - Amirhosseini , M., Moghavvemi, M., Ameri, H. and Attaran, A. 2011, Microstrip diplexers with double-stub bandpass filters. International Journal on Communications Antenna and Propagation, 1(1): 64 - 67.
- [32] Safwat, A.M.E., Ibrahim, A.A. , Othman, M.A. , Shafee,M. and Abuelfadl,T.M. 2013, Stub based equivalent circuit models for even/odd mode dual crlh unit cells. Progress In Electromagnetics Research M, 30: 195 - 209.
- [33] Yang, S. 2015. A dual -band bandstop filter having open stubs and two equivalent t-shaped lines. International Journal of Electromagnetics and Applications, 5(3): 108-111.