

# ระบบขยายสัญญาณรบกวนต่ำความถี่ 2.45 GHz สำหรับการเชื่อมต่อ โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบจุดต่อจุด

## 2.45 GHz Low Noise Amplifier System for Point-to-Point WLAN

ชาญชัย ทองโสภณ<sup>1</sup> ประพล จาระตะคุ<sup>2</sup> และ อภิชาติ อินทรพานิชย์<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบระบบขยายสัญญาณรบกวนต่ำความถี่ 2.45 GHz สำหรับการเชื่อมต่อ โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบจุดต่อจุด ซึ่งประกอบด้วยสายอากาศแผ่นสะท้อนคลื่นทรงพาราโบลาแบบออฟเซต ส่วนของวงจขยายสัญญาณสองทิศทาง (Bi-Directional Amplifier: BDA) ต่อรวมเข้ากับอุปกรณ์ให้บริการจุดเข้าถึง (Access Point) โดยในส่วนของสายอากาศแบ่งออกเป็นสองส่วนคือส่วนของตัวสายอากาศแถบความถี่กว้างที่ทำหน้าที่แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและส่วนของแผ่นสะท้อนคลื่นพาราโบลาแบบออฟเซตโดยลักษณะของตัวสายอากาศแถบความถี่กว้างมีรูปร่างเป็นตัวยาวซ้อนกันสองชุดซึ่งมีความกว้างและยาวเท่ากับ 55 มิลลิเมตรมีค่าช่วงกว้างความถี่ (VSWR < 2:1) 29.17% ที่ศูนย์กลางความถี่ 2.45 GHz ช่วงความถี่ 2.06 - 2.76 GHz มีอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังประมาณ 15 dB ค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half Power Beam Width: HPBW) 40° และอัตราการขยายของสายอากาศตลอดช่วงแถบความถี่ เท่ากับ 9 dBi เมื่อนำตัวสายอากาศมาต่อรวมกับตัวสะท้อนคลื่นพาราโบลาแบบออฟเซตขนาดความถี่กว้าง 350 มิลลิเมตรทำให้ได้อัตราการขยายเป็น 15 dBi ค่าความถี่ครึ่งกำลัง 20° มีอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังน้อยกว่า 20 dB ตลอดย่านความถี่กว้าง ในส่วนของวงจขยายสัญญาณแบบสองทิศทางความถี่ 2.45 GHz ทำงานในแบบครึ่งคู่เพื่อกซ์ (Half-Duplex) ออกแบบโดยใช้อุปกรณ์เป็นวงจรวม MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) โดยใช้โปรแกรมความถี่สูง Microwave Office™ ในการจำลองแบบการทำงานหาอัตราขยายสัญญาณ ( $S_{21}$ ) อัตราการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับด้านอินพุต ( $S_{11}$ ) อัตราการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับด้านเอาต์พุต ( $S_{22}$ ) และออกแบบสร้างบนแผ่นวงจรมพิมพ์วัสดุฐานรองสำหรับความถี่สูง RO4003C<sup>®</sup> ซึ่งมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ( $\epsilon_r$ ) เท่ากับ 3.38 ความหนาแผ่นวงจรมพิมพ์เท่ากับ 0.203 มิลลิเมตร และความหนาทองแดงเท่ากับ 0.034 มิลลิเมตร ซึ่งผลจากการทำงานมีอัตราการขยายสัญญาณภาครับประมาณ 15 dB และมีอัตราการขยายสัญญาณภาคส่งประมาณ 12 dB และสุดท้ายทำการทดสอบอัตราการขยายสัญญาณทั้งระบบของโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายในสภาพการใช้งานจริงเทียบกับระยะทางที่ได้จากการคำนวณและทดสอบจริงซึ่งให้ผลเป็นที่น่าพอใจสามารถใช้งานเป็นโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบจุดต่อจุดที่ให้อัตราการขยายสูง ออกแบบง่าย น้ำหนักเบา ใช้วัสดุที่หาง่าย ราคาถูก และมีลักษณะการกระจายคลื่นแบบเจาะจงทิศทาง (Directional) ที่ดีเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11b,g

**คำสำคัญ:** วงจขยายสัญญาณสองทิศทาง, สายอากาศแผ่นสะท้อนคลื่น, โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

<sup>1</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

<sup>2</sup> เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

<sup>3</sup> นักวิจัย, ศูนย์คอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์แห่งชาติ (NECTEC), กระทรวงวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย.

### Abstract

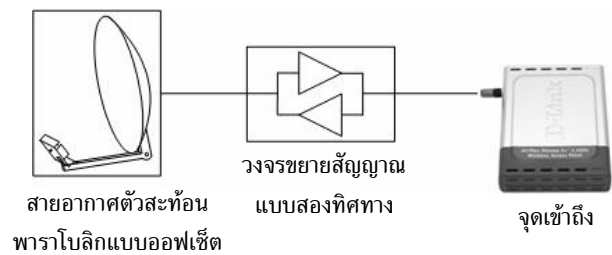
This paper presents a low noise booster design for 2.45 GHz point-to-point wireless LAN system. The booster consists of a Bi-directional Amplifier (BDA) and an offset feed parabolic antenna. A U-shape broadband antenna is employed as a feeder for the parabolic reflector. The feeder has gain of 9dBi with front to back ratio of 15dB in the frequency range 2.06 - 2.76 GHz. With this feeder, the offset feed parabolic antenna with the diameter of 350 mm yields 15dBi of gain and front to back ratio of 20dB. The 2.45 GHz BDA is operated in half-duplex mode. The BDA utilizes Monolithic Microwave Integrated Circuit (MMIC). The BDA performance analysis is performed in Microwave Office using the S-parameters provided by the MMIC manufacturers. The final BDA is built on 0.203 mm thick RO4003C laminate with dielectric constant of 3.38. The BDA gains in both directions are measured by using a spectrum analyzer. The BDA measured receiving and transmitting gains are 15 dB and 12 dB respectively. We have performed the field test to verify the performances of the booster. We have found that the booster performances closely agree with the calculation in the point-to-point wireless LAN environment.

**Keywords:** Bi-Directional Amplifier, Reflector antenna, wireless local area network (WLAN)

### 1. บทนำ

โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย(Wireless Local Area Network หรือ WLAN) ปัจจุบันได้รับความนิยมเป็นอย่างมากทั้งในสำนักงาน สถานที่ราชการหรือในหน่วยธุรกิจต่างๆ เนื่องจากการเข้าถึงข้อมูลมีความสะดวกและคล่องตัว โดยไม่ต้องมีการเดินสายนำสัญญาณไปยังอุปกรณ์ปลายทาง (Wireless Terminal) จึงทำให้การเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ปลายทางเป็นไปอย่างอิสระ รวมทั้งสามารถลดค่าใช้จ่ายในการสร้างโครงข่ายได้ การใช้งานโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายจะใช้จุดเข้าถึง (Access Point) เป็นตัวให้บริการในการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ปลายทาง ทำให้การติดต่อสื่อสารจำกัดอยู่เฉพาะในพื้นที่ให้บริการเท่านั้น เมื่อต้องการขยายพื้นที่ให้บริการหรือขยายตำแหน่งให้บริการไปในบริเวณอื่นๆ จะใช้การเพิ่มจำนวนจุดเข้าถึง ซึ่งส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นตามมาด้วย ดังนั้นบทความนี้จึงเสนอการใช้งานจุดเข้าถึงร่วมกับอุปกรณ์ขยายสัญญาณและสายอากาศ เพื่อทำให้คลื่นออกจากจุดเข้าถึงมีอัตราขยายสูงขึ้น และเปลี่ยนแปลงสายอากาศของจุดเข้าถึงให้มีการแพร่กระจายคลื่นให้เป็นการเชื่อมต่อจุดต่อจุด เพื่อขยายพื้นที่การให้บริการต่อไปโดยระบบรับส่งใช้งานย่าน ISM ความถี่ 2.4 -

2.483 GHz มาตรฐาน IEEE 802.11 b และ g โครงสร้างระบบขยายสัญญาณรบกวนต่ำความถี่ 2.45 GHz [1] แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างระบบขยายสัญญาณรบกวนต่ำความถี่ 2.45 GHz

จากรูปที่ 1 แสดงโครงสร้างระบบขยายสัญญาณรบกวนต่ำความถี่ 2.45 GHz สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ประกอบด้วยสายอากาศที่รับสัญญาณมาขยายด้วยวงจรขยายสัญญาณสองทิศทางที่มีลักษณะการทำงานเป็นแบบครึ่งคูเพิลเลอร์ [2] และส่งสัญญาณไปยังจุดเข้าถึงเพื่อให้บริการเครื่องคอมพิวเตอร์ในโครงข่ายต่อไป

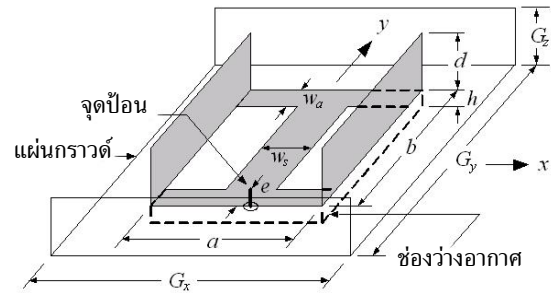
## 2. การออกแบบ

ระบบขยายสัญญาณแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่เป็นสายอากาศทำหน้าที่แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อส่งสัญญาณออกอากาศไปยังจุดปลายทาง และส่วนที่เป็นวงจรขยายสัญญาณแบบสองทิศทาง เพื่อขยายสัญญาณให้สามารถรับส่งสัญญาณได้ไกลยิ่งขึ้น โดยมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่คงที่

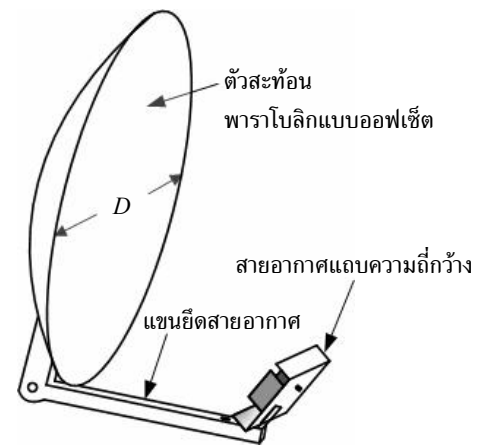
### 2.1 ส่วนของสายอากาศ

สายอากาศแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่เป็นตัวสายอากาศทำหน้าที่แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปยังอากาศและส่วนสะท้อนคลื่น เป็นตัวสะท้อนและรวมคลื่นเพื่อส่งต่อไปยังสายอากาศ หรือ จากสายอากาศสะท้อนคลื่นส่งต่อไปยังจุดปลายทาง

ตัวสายอากาศแถบความถี่กว้าง [3] ซึ่งมีลักษณะเป็นวัสดุแผ่นทองเหลืองหนา 0.4 มิลลิเมตร ความยาว  $a$  และความกว้าง  $b$  เท่ากับ 55 มิลลิเมตร พับด้านปีกทั้งสองด้านขึ้นเป็นรูปตัวยู ความสูงจากส่วนที่พับขึ้นคือ  $d$  เท่ากับ 33 มิลลิเมตร ฐานล่างเจาะเป็นช่องสี่เหลี่ยมสองด้านเว้นตรงกลางกว้าง  $w_s = 15$  มิลลิเมตร มีแกนยึดแกนกลางทั้งสองด้าน  $w_u$  กว้าง 3.8 มิลลิเมตร วางไขว้บนแผ่นระนาบกราวด์ซึ่งทำด้วยแผ่นโลหะหนา 1 มิลลิเมตร พับด้านปีกทั้งสองด้านขึ้นมาเป็นรูปตัวยู ขนาด  $106 \times 104 \times 36$  ลูกบาศก์มิลลิเมตร ซึ่งระหว่างสายอากาศกับระนาบกราวด์เป็นช่องว่างอากาศ  $h$  ห่างกันเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ส่วนป้อนสัญญาณจากด้านล่างสายอากาศระยะห่าง  $e = 3.8$  มิลลิเมตร จากขอบวัสดุแผ่นทองเหลือง ซึ่งวางอยู่บนแผ่นกราวด์ที่เป็นอลูมิเนียมมีแผ่นโฟมเป็นจุดฐานรองความสูง จุดป้อน (feed point) อยู่ด้านล่างของระนาบกราวด์ เป็นตัวป้อนผ่านช่องแผ่นกราวด์ โดยติดตั้งตัวต่อ SMA ตัวเมีย อิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม อัตราการขยายสัญญาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ  $9.0 \pm 0.5$  dBi โครงสร้างสายอากาศแสดงดังรูปที่ 2 และเมื่อนำไปติดตั้งร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นทรงพาราโบลาแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 โครงสร้างสายอากาศแถบความถี่กว้าง



รูปที่ 3 โครงสร้างสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลาแบบออฟเซต

สายอากาศแถบความถี่กว้างติดตั้งกับตัวสะท้อนคลื่นพาราโบลาแบบออฟเซต [4] ที่มีขนาด ความกว้าง  $D$  เท่ากับ 350 มิลลิเมตร ความลึกก้นจาน  $d$  เท่ากับ 33 มิลลิเมตร ระยะโฟกัส  $F = D^2/16d$  ทำหน้าที่สะท้อนคลื่นที่มาจากทางด้านหน้าแล้วสะท้อนคลื่นรวมไว้ที่จุดติดตั้งสายอากาศทำให้ได้สายอากาศที่มีอัตราการขยายสูงสุด

$$G_{dBi} = 10 \log \left( \eta \frac{4\pi}{\lambda^2} A \right) \text{ dBi} \quad (1)$$

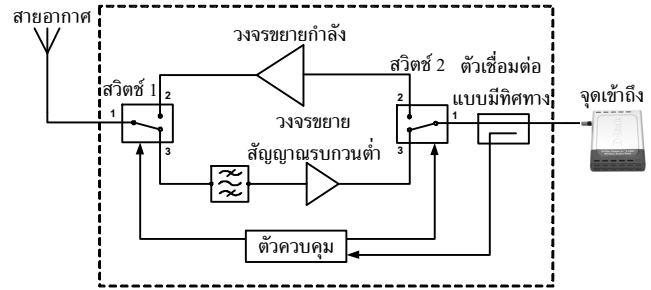
โดยที่  $\eta$  คือ ประสิทธิภาพตัวสะท้อนคลื่นมีค่า 60 เปอร์เซ็นต์  $\lambda$  คือ ความยาวคลื่น  $A$  คือ พื้นที่ตัวสะท้อนคลื่น ซึ่งผลจากการคำนวณอัตราการขยายของตัวสะท้อนคลื่น

พาราโบลา ( $G_{dB}$ ) ที่ความถี่ 2.45 GHz มีอัตราขยายสัญญาณจากการคำนวณเท่ากับ 16.67 dBi อัตราส่วนระยะโฟกัสต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าจาน (Focus length to the diameter ratios :  $f/D$ ) เท่ากับ 0.66

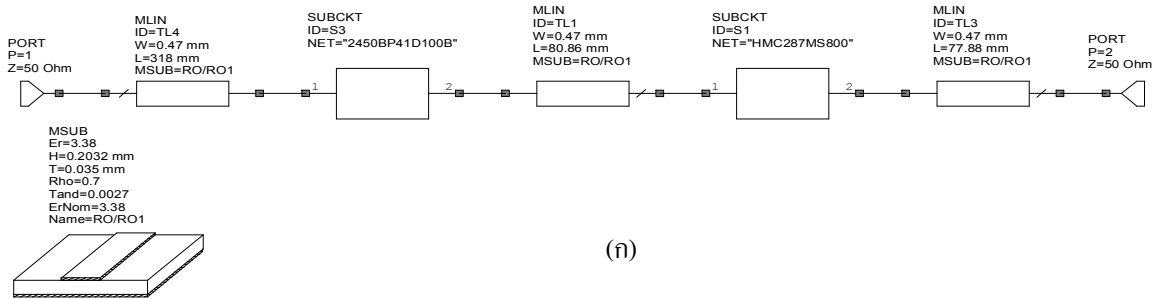
2.2 ส่วนของวงจรถ่ายสัญญาณสองทิศทาง

วงจรถ่ายสัญญาณสองทิศทางแสดงดังรูปที่ 4 ที่ติดตั้งอยู่ระหว่างสายอากาศกับจุดเข้าถึง วงจรจะทำงานในลักษณะเป็นแบบครึ่งคูเพิลเลอร์ การทำงานในสภาวะปกติวงจรจะอยู่ในสถานะการรับสัญญาณจากสายอากาศผ่านสวิตช์ซึ่งปกติจะอยู่ตำแหน่ง 3 สัญญาณจะผ่านตัวกรองแถบสัญญาณเพื่อให้ช่วงความถี่ที่ต้องการผ่าน จากนั้นสัญญาณขนาดเล็กจะถูกขยายด้วยวงจรถ่ายสัญญาณรบกวนต่ำ และถูกส่งผ่านไปยังสวิตช์ไปยังจุดเข้าถึง เพื่อให้บริการแก่เครื่องลูกข่าย ส่วนสัญญาณจากจุดเข้าถึงที่จะส่งออกไปผ่านตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทาง (Directional Coupler) สัญญาณที่ถูกเชื่อมต่อจะไปควบคุมให้

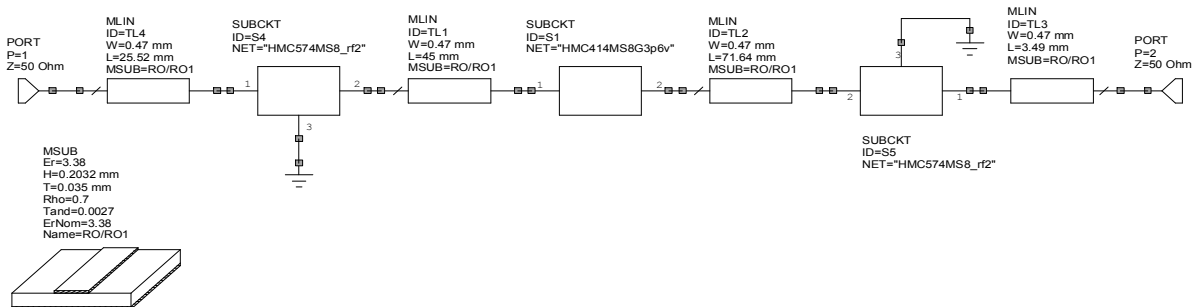
ตำแหน่งสวิตช์ทั้งสองตัวเลื่อน ไปอยู่ที่ตำแหน่ง 2 ทำให้สัญญาณผ่านไปยังขยายด้วยวงจรถ่ายกำลัง เพื่อขยายสัญญาณให้ได้กำลังสูงขึ้น จากนั้นสัญญาณที่ถูกขยายจะส่งผ่านสวิตช์และออกไปยังสายอากาศ เพื่อให้บริการเครื่องลูกข่ายปลายทางต่อไป



รูปที่ 4 วงจรถ่ายสัญญาณสองทิศทางความถี่ 2.45 GHz



(ก)



(ข)

รูปที่ 5 (ก) วงจรจำลองแบบของวงจรถ่ายรับ (ข) วงจรจำลองแบบของวงจรถ่ายส่ง

วงจรขยายสัญญาณสองทิศทาง ได้ทำการจำลองแบบการทำงานเพื่อดูผลตอบสนองเชิงขนาด ด้วยโปรแกรมออกแบบความถี่สูง Microwave Office™ โดยได้แบ่งวงจรเป็น 2 ภาค คือ ภาครับและภาคส่งสัญญาณ แสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งในส่วนของภาครับ ประกอบด้วยวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (Low Noise Amplifier :LNA) ซึ่งใช้อุปกรณ์วงจรรวม MMIC [5-6] และทำการแมตซ์อิมพีแดนซ์ด้านอินพุตและเอาต์พุต 50 โอห์ม ภาคส่งสัญญาณประกอบด้วยวงจรขยายกำลัง (Power Amplifier) แบบวงจรรวม MMIC และด้านอินพุตและเอาต์พุตของทั้งสองภาคต่อกับสวิตช์เพื่อสลับวงจรการทำงานระหว่างภาครับและภาคส่งสัญญาณ ซึ่งได้ทำการแมตซ์อิมพีแดนซ์ด้านอินพุตและเอาต์พุต 50 โอห์มเช่นกัน โดยทำการจำลองแบบการทำงานบนแผ่นวงจรพิมพ์วัสดุฐานรองสำหรับความถี่สูง RO4003C® ซึ่งมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ( $\epsilon_r$ ) เท่ากับ 3.38 ความหนาแผ่นวงจรพิมพ์เท่ากับ 0.203 มิลลิเมตร และความหนาทองแดงเท่ากับ 0.034 มิลลิเมตร ซึ่งผลจากการจำลองแบบการทำงานแสดงดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7

ในรูปที่ 6 แสดงผลตอบสนองเชิงขนาดของวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ มีอัตราขยาย ( $S_{21}$ ) 17 dB อัตราการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับด้านอินพุต ( $S_{11}$ ) -20 dB อัตราการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับด้านเอาต์พุต ( $S_{22}$ ) -14 dB ที่ความถี่กลาง 2.45 GHz ส่วนรูปที่ 7 แสดงผลตอบสนองเชิงขนาดของวงจรขยายกำลัง มีอัตราขยาย 19.85 dB อัตราการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับทางด้านอินพุต -13.15 dB และอัตราการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับทางด้านเอาต์พุต -11.12 dB ที่ความถี่กลาง 2.45 GHz เช่นกัน

การออกแบบวงจรรับส่งความถี่ 2.45 GHz ประกอบด้วยวงจรขับกำลัง 2 ภาคด้วยกันคือ ในส่วนรับสัญญาณซึ่งจะมีวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ และส่วนที่เป็นการส่งสัญญาณคือวงจรขยายกำลัง นอกจากนั้นจะมีสวิตช์ HMC574MS8 ที่ทำหน้าที่สลับส่วนของการทำงานด้านรับและด้านส่ง ใช้ MMIC เบอร์ HMC574MS8 ของบริษัท Hittite ซึ่งมีค่าสูญเสียสอดแทรก (Insertion Loss) 0.3 dB ตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทาง (Directional coupler) ใช้ MMIC เบอร์ DC25-73 ของบริษัท Skyworks ชุดควบคุม ใช้ MMIC RF Detector เบอร์ AD8314

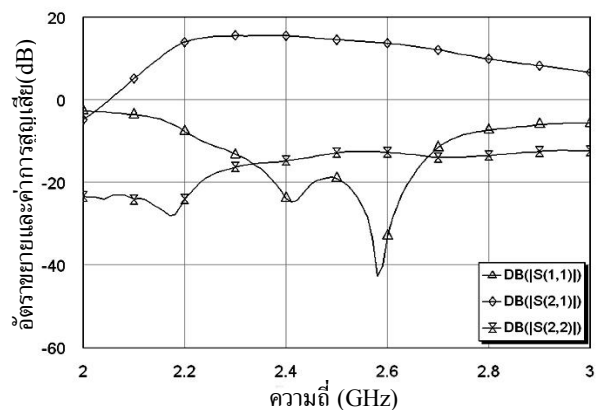
ของบริษัท Analog Devices และ ชุดควบคุมสวิตช์ Power MOSFET เบอร์ RF1K49093 ของบริษัท intersil ซึ่งมีค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนกับซอร์ส ขณะทำงาน 0.13 โอห์ม โดยโครงสร้างของวงจรรับส่งความถี่ 2.45 GHz แสดงดังรูปที่ 8

### 2.2.1 ภาครับสัญญาณ

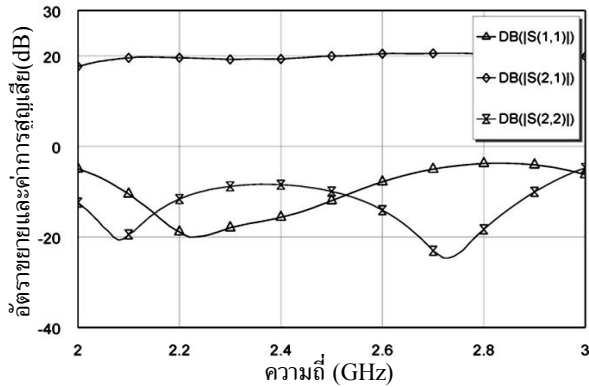
วงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ ใช้วงจรรวม MMIC เบอร์ HMC287MS8 ของบริษัท Hittite ซึ่งมีอัตราขยาย 21 dB ค่าสูญเสียการย้อนกลับ (Return Loss) -14 dB ตัวเลขสัญญาณรบกวน (Noise Figure) 2 dB วงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำต่อกับตัวกรองแถบสัญญาณ (Band Pass Filter) เบอร์ 2450BP41D100B ของบริษัท Johanson ที่ความถี่กลาง 2.45 GHz

### 2.2.2 ภาคส่งสัญญาณ

ในภาคส่งสัญญาณประกอบด้วยวงจรขยายกำลังโดยใช้วงจรรวม MMIC เบอร์ HMC414MS8G ของบริษัท Hittite ซึ่งมีอัตราขยายสูงสุด 25 dB มีค่าสูญเสียการย้อนกลับ (Return Loss) -14 dB ภาคส่งสัญญาณต่อกับสวิตช์เบอร์ HMC574MS8 ของบริษัท Hittite เพื่อสลับการทำงานระหว่างภาครับและภาคส่งสัญญาณ แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรรับส่งความถี่ 2.45 GHz เมื่อลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้วแสดงดังรูปที่ 13 ซึ่งแผ่นวงจรมีขนาดความกว้าง 27.16 มิลลิเมตร และความยาว 63.82 มิลลิเมตร เชื่อมต่อด้วยขั้วต่อแบบ SMA ทั้งด้านเข้า และด้านออก



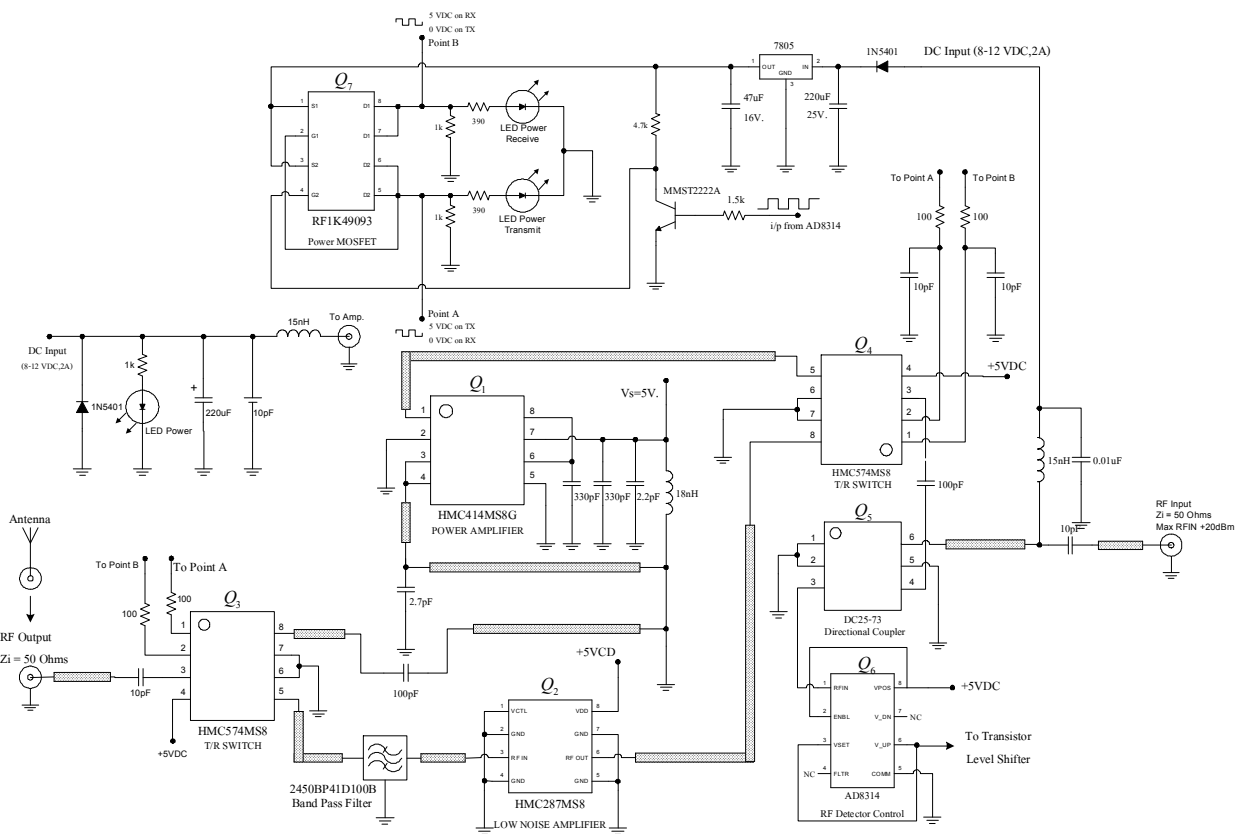
รูปที่ 6 ผลตอบสนองเชิงขนาดของวงจรภาครับ



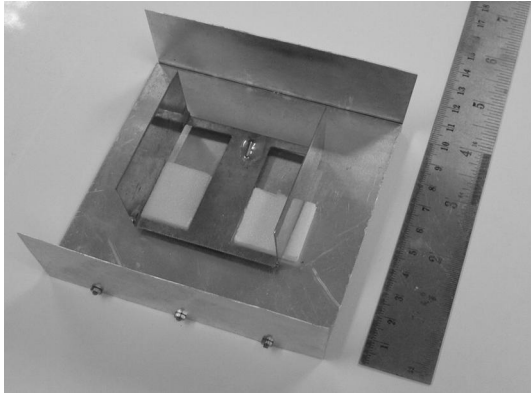
รูปที่ 7 ผลตอบสนองเชิงขนาดของวงจรถ่ายส่ง

### 3. ผลการทดสอบ

การทดสอบระบบขยายสัญญาณรบกวนต่ำความถี่ 2.45 GHz สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ทดสอบโดยการแบ่งส่วน การทดสอบเป็นสามส่วนคือ ส่วนของสายอากาศ ส่วนของ วงจรขยายสัญญาณแบบสองทิศทางและทดสอบรวมทั้งระบบ ขยายสัญญาณ ในส่วนของสายอากาศทำการทดสอบคุณสมบัติ การแผ่กระจายคลื่น ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ และ อัตราการขยายสัญญาณของสายอากาศ ส่วนของวงจรขยาย สัญญาณสองทิศทางทดสอบอัตราการขยายสัญญาณ ทั้งภาครับ และภาคส่งส่วนการทดสอบรวมทั้งระบบทำการทดสอบ การรับส่งความแรงของสัญญาณเทียบกับระยะทาง



รูปที่ 8 วงจรสมบูรณของวงจรถ่ายส่งสัญญาณสองทิศทางความถี่ 2.45 GHz สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย



รูปที่ 9 สายอากาศแถบความถี่กว้าง

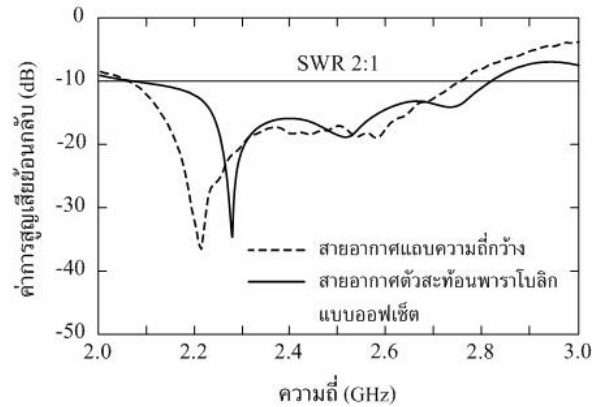


รูปที่ 10 สายอากาศแถบความถี่กว้างติดตั้งร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นพาราโบลาแบบออฟเซต

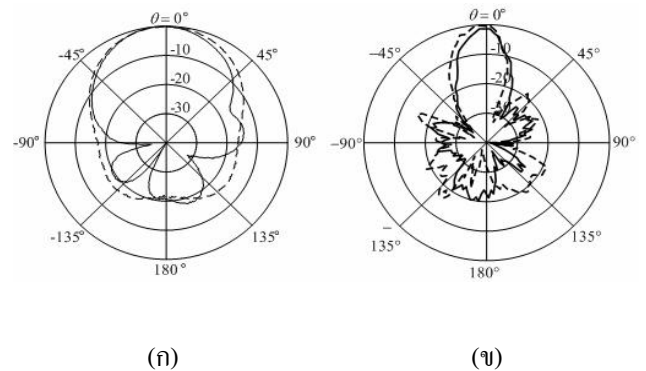
ทำการทดสอบค่าพารามิเตอร์การกระจาย (S<sub>11</sub>) ของสายอากาศ ด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย(Network Analyzer) HP 8722D ผลจากการทดสอบจะได้ช่วงกว้างความถี่ (VSWR < 2:1) 29.17% ที่ศูนย์กลางความถี่ 2.45 GHz ช่วงความถี่ 2.06 - 2.76 GHz ของสายอากาศแถบความถี่กว้าง ดังแสดงรูปที่ 11 และช่วงกว้างความถี่ 29.75% (2.06 - 2.78 GHz) ของสายอากาศที่ติดตั้งตัวสะท้อนคลื่นพาราโบลาแบบออฟเซต แสดงดังรูปที่ 11 ซึ่งจะสังเกตได้ว่า ช่วงกว้างความถี่ของสายอากาศที่ติดตั้งตัวสะท้อนคลื่น และสายอากาศที่ไม่ได้ติดตั้งตัวสะท้อนคลื่นมีคุณสมบัติไปในทิศทางเดียวกันและครอบคลุมตลอดย่านการใช้งานในระบบ WLAN ส่วนรูปที่ 9

### 3.1 ส่วนของสายอากาศ

และ รูปที่ 10 แสดงสายอากาศแถบความถี่กว้าง และสายอากาศแถบความถี่กว้างติดตั้งร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นพาราโบลาแบบออฟเซต



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแถบความถี่กว้างกับสายอากาศที่มีตัวสะท้อนคลื่นพาราโบลาแบบออฟเซต

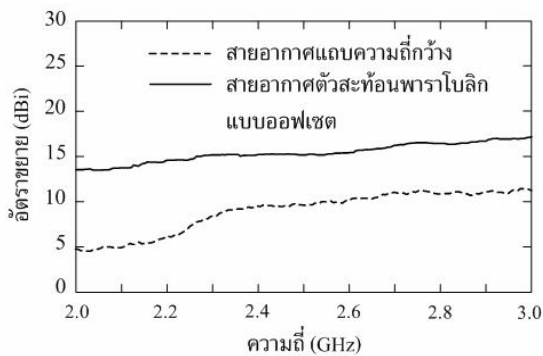


รูปที่ 12 ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศระนาบ E เส้นประ และ H เส้นทึบ ที่ความถี่ 2.45 GHz (ก) สายอากาศแถบความถี่กว้าง (ข) สายอากาศตัวสะท้อนคลื่นพาราโบลาแบบออฟเซต

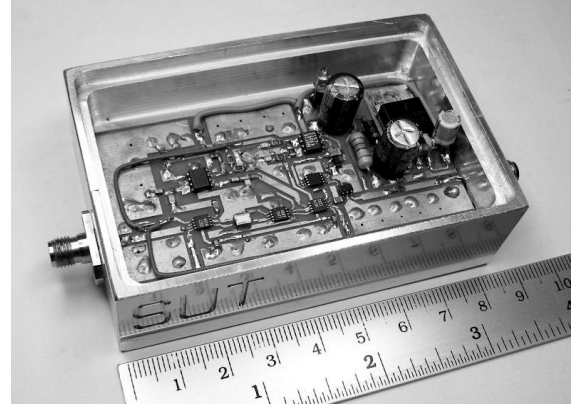
จากรูปที่ 12 แสดงผลการทดสอบรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแถบความถี่กว้างและสายอากาศตัวสะท้อนคลื่น พาราโบลาแบบออฟเซต เส้น ทึบ แทน ระนาบ

สนามแม่เหล็ก H และเส้นประแทนระนาบสนามไฟฟ้า E รูปที่ 12(ก) แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถบความถี่กว้างซึ่งมีอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังประมาณ 15 dB ค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (half power beamwidth: HPBW) ประมาณ  $40^\circ$  ส่วนรูปที่ 12(ข) แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ สายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิกแบบออฟเซต มีอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังมากกว่า 20 dB ค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง ประมาณ  $20^\circ$  ส่วนโพลาริเซชันไขว้ทั้งสองรูปไม่ได้แสดงในรูปเนื่องจากสัญญาณมีระดับสัญญาณที่ต่ำมาก ทั้งระนาบ E และระนาบ H

อัตราขยายสัญญาณของสายอากาศแถบความถี่กว้างที่ความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ 9 dBi และของสายอากาศตัวสะท้อนคลื่นพาราโบลิกแบบออฟเซตประมาณ 15 dBi โดยอัตราการขยายสัญญาณของสายอากาศตัวสะท้อนคลื่นพาราโบลิกแบบออฟเซตจะสูงกว่า ประมาณ 5 dB ตลอดย่านความถี่ แสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 เปรียบเทียบอัตราการขยายสัญญาณของสายอากาศที่ความถี่ 2.0-3.0 GHz



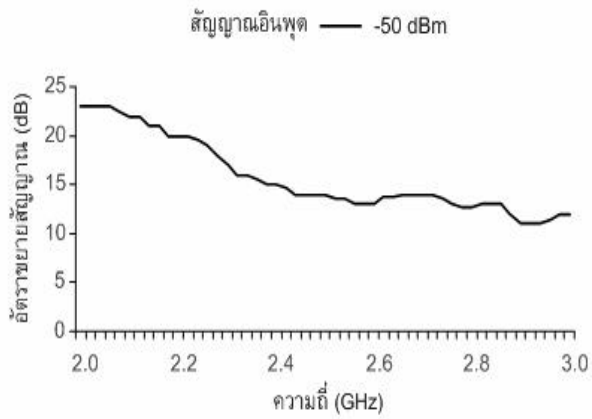
รูปที่ 14 วงจรขยายสัญญาณสองทิศทาง

### 3.2 ส่วนของวงจขยายสัญญาณสองทิศทาง

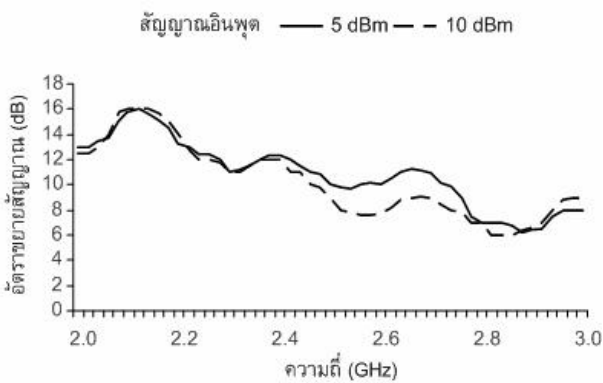
วงจรที่ได้ออกแบบและจำลองแบบการทำงานได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นเป็นลายวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์ โดยใช้วัสดุฐานรองสำหรับความถี่สูง RO4003C<sup>®</sup> ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเท่ากับ 3.38 มีความหนาเท่ากับ 0.203 มิลลิเมตร และความหนาทองแดงเท่ากับ 0.034 มิลลิเมตร อุปกรณ์ที่ใช้เป็นชิพขนาด 0603 แสดงดังรูปที่ 15 เป็นวงจขยายสัญญาณสองทิศทางที่ลงอุปกรณ์ในกล่องโลหะ

ผลจากการทดสอบการตอบสนองทางความถี่ของวงจขยายสัญญาณสองทิศทาง ด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณ Marconi 2032 และเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม IFR AN930A แสดงดังรูปที่ 15 ซึ่งผลการทดสอบด้านภาครับสัญญาณแสดงดังรูป 15(ก) โดยทำการป้อนสัญญาณด้านเข้าที่ -50 dB มีอัตราการขยายสัญญาณประมาณ 15 dB ที่ความถี่กลาง 2.45 GHz รูปที่ 15(ข) เป็นการทดสอบสัญญาณด้านส่งโดยป้อนสัญญาณเข้าที่ระดับสัญญาณ 5 dBm ได้อัตราขยายสัญญาณประมาณ 12 dB และป้อนสัญญาณเข้า 10 dBm ได้อัตราขยายสัญญาณ 11 dB ที่ความถี่กลาง 2.45 GHz





(ก)



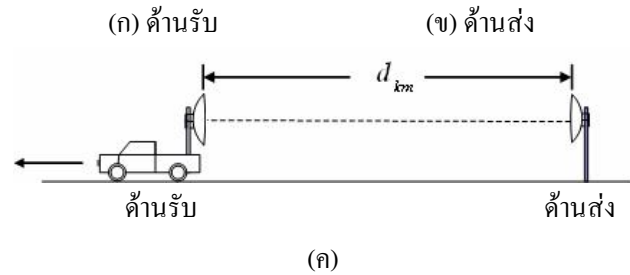
(ข)

รูปที่ 15 (ก) อัตราการขยายสัญญาณภาครับ (ข) อัตราการขยายสัญญาณภาคส่ง

3.3 การทดสอบระบบขยายสัญญาณรบกวนต่ำความถี่ 2.45 GHz ในสภาพการใช้งานจริง

การทดสอบระบบขยายสัญญาณรบกวนต่ำความถี่ 2.45 GHz สำหรับการเชื่อมต่อโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบจุดต่อจุดในสภาพการใช้งานจริงโดยทำการส่งสัญญาณที่ความถี่กลาง 2.45 GHz ที่ระดับสัญญาณ -5 dBm, 0 dBm และ 5 dBm ด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณ Marconi รุ่น 2032 ผ่านวงจรถ่ายสัญญาณสองทิศทางโดยกำหนดให้ภาคส่งทำงาน ร่วมกับสายอากาศแผ่นสะท้อนคลื่นทรงพาราโบลิกแบบออฟเซต ส่วนด้านรับใช้เครื่องวิเคราะห์ความถี่ IFR รุ่น AN930A ต่อกับวงจรถ่ายสัญญาณแบบสองทิศทางโดยกำหนดให้ภาครับ

ทำงาน ร่วมกับสายอากาศตัวสะท้อนคลื่นพาราโบลิกแบบออฟเซตแสดงผังรูปที่ 16



(ค)

รูปที่ 16 การติดตั้งวัดสัญญาณเพื่อทดสอบในสภาพการใช้งานจริง (ก) ระบบด้านรับ (ข) ระบบด้านส่ง (ค) รูปวาดระบบการรับส่งสัญญาณ

การติดตั้งเครื่องมือสำหรับการทดสอบระบบในสภาพการใช้งานจริงโดยกำหนดให้ภาครับสัญญาณรับสัญญาณที่ -50 dBm ที่ ทดสอบการรับสัญญาณที่ระยะทางตั้งแต่ 100 ถึง 1300 เมตรและสามารถคำนวณหาระยะทางเปรียบเทียบกับขนาดของการส่งสัญญาณ [7] โดยระดับสัญญาณด้านรับคงที่ที่ -50 dBm เทียบกับการวัดโดยใช้สมการที่ 2 และ 3

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_{fsp} \tag{2}$$

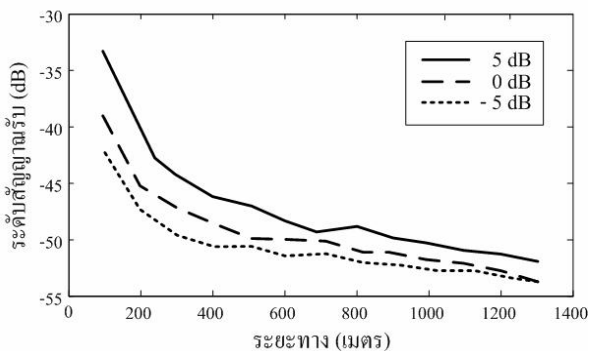
$$L_{fsp} = 32.4 + 20 \log(f_o) + 20 \log(d_{km}) \tag{3}$$

โดยที่  $P_r$  คือกำลังทางด้านรับ  $P_t$  คือกำลังทางด้านส่ง  $G_r$  คืออัตราการขยายสายอากาศทางด้านรับ  $G_t$  คืออัตราการขยายสายอากาศทางด้านส่ง  $L_{fsp}$  คือค่าการสูญเสียในอากาศว่าง  $f_o$  คือความถี่กลาง (MHz)  $d_{km}$  คือระยะทาง (กิโลเมตร)

ซึ่งผลจากการทดลองวัดสัญญาณในสภาพการใช้งานจริง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณเมื่อกำหนดความถี่กลางที่ 2.45GHz อัตราการขยายสายอากาศทางด้านรับและอัตราการขยายสายอากาศทางด้านส่งเท่ากับ 15 dB กำลังในการส่งสัญญาณที่ -5 dBm, 0 dBm และ 5 dBm ตามลำดับ กำลังในภากรับสัญญาณคงที่ที่ -50dB จะเห็นได้ว่าระยะทางที่วัดจริงกับระยะทางจากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกันแสดงดังตารางที่ 1 โดยได้ผลของระยะทางจากการคำนวณ 310 เมตร 551 เมตร และ 980 เมตร และผลจากการวัดจริงที่ 340 เมตร 510 เมตร และ 900 เมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบระยะทางการรับสัญญาณจากการทดสอบและการคำนวณ

กำลังส่ง(dBm)	ระยะทาง(คำนวณ)	ระยะทาง (ทดสอบ)
-5	310 เมตร	340 เมตร
0	551 เมตร	510 เมตร
5	980 เมตร	900 เมตร



รูปที่ 17 แสดงระยะทางต่อระดับการรับสัญญาณของวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำความถี่ 2.45 GHz

จากรูปที่ 16 แสดงที่ระยะทางต่างๆของระบบขยายสัญญาณรบกวนต่ำที่ความถี่ 2.45 GHz สามารถรับสัญญาณได้ โดยกำลังในการส่งสัญญาณที่ -5 dBm, 0 dBm และ 5 dBm จะเห็นได้ว่าที่ระยะทางที่มากขึ้นภากรับสัญญาณจะรับสัญญาณได้ลดลงโดยระยะทางในช่วงแรกจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งการลด

ของสัญญาณที่ระยะทางต่างๆ จะมีผลต่ออัตราการรับส่งข้อมูล (bit rate) ซึ่งสามารถแสดงอัตราการรับส่งข้อมูล ตามมาตรฐาน IEEE802.11 b [8] ที่ระยะทางต่าง ๆ โดยคำนวณจากสมการที่ 2 และ 3 ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราการรับส่งข้อมูลจากการคำนวณที่ระยะทางต่างๆ

ระดับสัญญาณรับ (dB)	ระดับสัญญาณด้านส่ง (dBm)			อัตราการรับส่งข้อมูล (Mbps)
	-5	0	5	
ระยะทาง (กิโลเมตร)				
$\geq -75$	5.51	9.80	17.42	11
-76 ถึง -79	8.73	15.52	27.61	5.5
-80 ถึง -81	10.99	19.54	34.75	2
-82 ถึง -84	15.52	27.61	49.09	1

โดยที่ระดับการรับสัญญาณที่มากกว่า -75 dB ด้วยระดับสัญญาณด้านส่งที่ -5 dBm, 0 dBm และ 5 dBm จะได้ระยะทางสูงสุดที่ 5.51 กิโลเมตร 9.80 กิโลเมตรและ 17.42 กิโลเมตรตามลำดับและได้อัตราการรับส่งข้อมูลที่ 11 Mbpsโดยประมาณ และที่ระดับการรับสัญญาณที่น้อยกว่า -75 dB จะได้ระยะทางมากขึ้นแต่อัตราการรับส่งข้อมูลจะน้อยลงด้วย

#### 4. สรุป

บทความนี้นำเสนอการสร้างระบบขยายสัญญาณรบกวนต่ำความถี่ 2.45 GHz สำหรับการเชื่อมต่อโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบจุดต่อจุด ซึ่งประกอบด้วยสายอากาศแถบความถี่กว้าง ซึ่งให้อัตราขยายสัญญาณ 9 dB และเมื่อติดตั้งร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นพาราโบลาแบบออฟเซต ทำให้ได้อัตราขยายสัญญาณเพิ่มเป็น 15 dB อีกทั้งสายอากาศยังมีสภาพเงาเงงทิศทางสูง โดยมีค่าความกว้างลำครั้งกำลัง 20° มีอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังน้อยกว่า 20 dB ซึ่งเหมาะใช้ในงานโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย และการเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุด ส่วนของวงจรขยายสัญญาณแบบสองทิศทางความถี่ 2.45 GHz ใช้อุปกรณ์วงจรรวม MMIC โดยการออกแบบโดยใช้โปรแกรมความถี่สูง

Microwave Office™ และการทดสอบแบ่งเป็นภาครับและภาคส่ง ตามลักษณะการทำงาน พบว่า วงจรขยายด้านรับมีอัตราขยาย สัญญาณ 20.84 dB และด้านส่งมีอัตราขยาย 19.85 dB ที่ความถี่กลาง 2.45 GHz รวมถึงการทดสอบระบบการสื่อสารในสภาพการใช้งานจริงเทียบระยะทางกับกำลังส่งสัญญาณผลเป็นที่น่าพอใจสามารถนำไปใช้ในการขยายสัญญาณในระบบขยายสัญญาณรบกวนต่ำความถี่ 2.45 GHz เพื่อขยายพื้นที่การให้บริการโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### เอกสารอ้างอิง

- 1 R. Jordan and C. T. Abdallah, "Wireless communications and Networking: an overview," IEEE Trans. Antennas Propagat. Mag., vol. 44, no. 1, Feb. 2002, pp.185-193.
- 2 Baoyong.C and Bingxue.S, "A 2.4-GHz CMOS monolithic transceiver front-end for IEEE 802.11b wireless LAN application" Proceedings. 5th International Conference on Vol. 2, 21-24 Oct. 2003 pp.1006 – 1009.
- 3 Thongsopa.C, Jarataku.P and Sukpong.P, "Wide Band U-Shaped cross section Antenna with a strip on a U-Shaped ground plane," IEEE Transactions on Magnetics, Beijing, China, Apr. 2005., pp.458-461.
- 4 Thongsopa.C, Srimoon.D and Jarataku.P, "A U-Shaped Cross Sectional Antenna on a U-Shaped Ground Plane with an Offset Parabolic Reflector for WLAN". IEEE AP-S International Symposium 2007, 10-15 Jun.2007, pp.5159-5162.
- 5 S.P. Marsh, A. P. Long, G. D. Edwards, B. J. Buck, N. A. Peniket, M. W. Geen and S D Wadsworth, "GaAs MMIC technology for IT and wireless communications". ICSE'98 Proceedings, Nov. 1998, pp.I-VII.
- 6 Rodriguez-Tellez.J, Mezher.K.A, Ali.N.T, Fernandez.T, Mediavilla. A, Tazon.A and Navarro.C, "Optically controlled 2.4GHz MMIC amplifier." Electronics.Circuits and Systems, Proceedings 10th IEEE International Conference on Volume 3, 14-17 Dec. 2003 pp. 970 – 973.
- 7 Neeli.R and Prasad.N.R, "IEEE 802.11 system design", Personal Wireless Communications, IEEE International Conference on 17-20 Dec. 2000, pp. 490 – 494.
- 8 T.S. Rappaport, "Wireless Communications: Principles and Practice", Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall, 2002.

### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนาสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม และ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี