

การพัฒนาและออกแบบไมโครสตริปแพตช์สำหรับงานในระบบ RFID

ชุมพล ปทุมมาเกษร^{1*} โยชิตา เจริญศิริ¹ เทิดศักดิ์ อินทโชติ¹ วิวัฒน์ คลังวิจิตร¹

บทคัดย่อ

ปัจจุบันความต้องการสำหรับระบบระบุตัวตนด้วยคลื่นความถี่วิทยุหรืออาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification: RFID) มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีการนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย จึงทำให้มีการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ระบบอาร์เอฟไอดีออกมาเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีหรือที่เรียกว่า Tag ซึ่งนับว่าเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญเนื่องจากเป็นตัวช่วยให้อุปกรณ์อาร์เอฟไอดีสามารถแพร่กระจายคลื่นเพื่อติดต่อสื่อสารระหว่างกันได้ ซึ่งทำให้นักวิจัยมีความสนใจศึกษาระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุนี้อย่างกว้างขวาง เพื่อเป็นการพัฒนาระบบให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆ ได้อย่างหลากหลาย และพัฒนาระบบการรับส่งสัญญาณของอาร์เอฟไอดีให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการออกแบบสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีหรือ Tag แบบไมโครสตริปแพตช์รูปแบบใหม่ เพื่อให้ได้สายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับความต้องการใช้งานสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีมากที่สุด ซึ่งสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีดังกล่าวถูกออกแบบบนแผ่นวงจรพิมพ์ FR-4 โดย Tag ที่ได้มีขนาดเล็กกะทัดรัด น้ำหนักเบา โครงสร้างไม่ซับซ้อนและมีต้นทุนต่ำสำหรับการออกแบบสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีนั้นมีการวิเคราะห์และจำลองผลด้วยโปรแกรม CST จากนั้นทำการสร้างสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีต้นแบบจริงเพื่อเป็นการยืนยันผลการจำลองแบบ ซึ่งในการวัดและทดสอบพบว่าสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีมีแบนด์วิดท์ 14.25% ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานของระบบอาร์เอฟไอดีมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่ดี และมีอัตราขยายประมาณ 4.35 dB ที่ค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่าน สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุหรืออาร์เอฟไอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

คำสำคัญ: ไมโครสตริปแพตช์ สายอากาศ

¹ สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์สื่อสารและคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

* ผู้ประพันธ์หลัก e-mail: toy161@hotmail.com

Design and Development of Microstrip Patch Antenna for Radio Frequency Identification

Yosita Charoensiri¹ Chumpon Patummakason^{1*} Terdsak Intachot¹ Wiwat Klungvijit¹

Abstract

Nowadays the demands for radio frequency identification (RFID) have been widely used in many services in the industry because of its more capable in many ways. This makes the design and development for RFID system is numerous. In particular, the premier label antenna as well known as a Tag, which is one element that is important. Due to it is a device that allows the RFID system can be communication between them. The researchers are interested in studying the identification system with radio frequency extensively. The system can be utilized in a wide range of aspects. Furthermore, it can be development for signal transmission of the RFID system good to be most effective. In this research presented the design of the novel RFID Tag for the identification system with radio frequency. The antenna is designed to provide effective and appropriate to the requirements for the RFID system as well as possible. The propose antenna for the identification system with radio frequency is designed on FR4 substrate, since it is small size, easy fabrication and low cost. In antenna design, we analyze and simulate Tag antenna by using CST program. To confirmed simulation results, the purposed Tag antenna will be realized and experimented. In measurement, it found that antenna has bandwidth 14.25 % covered the operating frequency for RFID system at 2.45 GHz. This antenna has omni-directional radiation patterns and gain is about 4.95 dB with return loss less than -10 dB over the frequency range of 2.28 – 2.63 GHz. The advantage of the proposed Tag antenna is that it can be used in identification system with radio frequency more efficiently.

Keywords: Microstrip Patch, Antenna

¹ Faculty of Industrial Technology , Valaya Alongkorn Rajabhat University Under The Royal Patronage, e-mail: vrurdijournal@hotmail.com

* Corresponding author, email: toy161@hotmail.com

บทนำ

ปัจจุบันความต้องการสำหรับระบบระบุตัวตนด้วยคลื่นความถี่วิทยุหรืออาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification: RFID) มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีการนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความสามารถในการหลายด้าน โดยระบบการระบุตัวตนอัตโนมัติได้มีการใช้ในการจัดเก็บข้อมูลบุคคล สัตว์ สินค้า และผลิตภัณฑ์ต่างๆ จากการเพิ่มขึ้นของการทำงานในด้านต่างๆ อย่างไรก็ตามระบบรหัสแท่ง แม้จะมีราคาที่ถูก แต่ก็มีข้อจำกัดคือข้อมูลที่ไม่สามารถแก้ไขข้อมูลใหม่ได้ จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคการเก็บข้อมูลลงในชิปซิลิคอนที่เรียกว่า บัตรสมาร์ทการ์ด แต่ก็ยังมีข้อด้อยที่ต้องอาศัยการสัมผัสของจุดเชื่อมต่อ ซึ่งค่อนข้างไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ ดังนั้นการที่สามารถส่งผ่านข้อมูลได้ โดยมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลและอุปกรณ์อ่านค่าที่เหมาะสม น่าจะมีความยืดหยุ่นในการใช้งานมากกว่า และในการทำให้อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลทำงานนั้น พลังงานจะถูกส่งด้วยเทคโนโลยีไร้สาย จากขั้นตอนที่ใช้สำหรับการส่งผ่านพลังงาน และการรับส่งข้อมูลของระบบระบุตัวตนด้วยคลื่นความถี่วิทยุ จึงถูกเรียกว่าระบบอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification – RFID) ซึ่งการวิจัยเกี่ยวกับระบบอาร์เอฟไอดีถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 เนื่องจากจำนวนบริษัทที่เกี่ยวข้องกับงานในการพัฒนาและการขายระบบอาร์เอฟไอดีที่เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมาใช้ในระบบการรักษาความปลอดภัยและการจัดการฐานข้อมูลภายในบริษัทและหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน ส่งผลให้การใช้งานอาร์เอฟไอดีขยายตัวสูงขึ้นอย่างก้าวกระโดด จึงทำให้มีการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ระบบอาร์เอฟไอดีออกมาเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีหรือที่เรียกว่า Tag ซึ่งนับว่าเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญเนื่องจากเป็นตัวช่วยให้อุปกรณ์อาร์เอฟไอดีสามารถแพร่กระจายคลื่นเพื่อติดต่อสื่อสารระหว่างกันได้ ซึ่งทำให้นักวิจัยมีความสนใจศึกษาระบบการสื่อสารด้วยคลื่นความถี่วิทยุแบบไร้สายนี้อย่างกว้างขวาง เพื่อเป็นการพัฒนาระบบให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆ ได้อย่างหลากหลาย และพัฒนาระบบการรับส่งสัญญาณของอาร์เอฟไอดีให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด จากความสำคัญดังกล่าว ทำให้มีการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ระบบ RFID ออกมาเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะสายอากาศหรือ Tag ซึ่งนับว่าเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นตัวช่วยให้ระบบ RFID สามารถแพร่กระจายคลื่นติดต่อสื่อสารออกไปในอากาศทิศทางต่างๆ ได้ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้มีการออกแบบสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีหรือ Tag รูปแบบใหม่ เพื่อให้ได้สายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับความต้องการใช้งานสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีมากที่สุด ซึ่งสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีดังกล่าวถูกออกแบบบนแผ่นวงจรพิมพ์ FR-4 โดย Tag ที่ได้มีขนาดเล็กกะทัดรัด น้ำหนักเบา โครงสร้างไม่ซับซ้อนและมีต้นทุนต่ำ สำหรับการออกแบบสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีนั้นมีการวิเคราะห์และจำลองผลด้วยโปรแกรม CST จากนั้นทำการสร้างสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีต้นแบบจริงเพื่อเป็นการยืนยันผลการจำลองแบบ ซึ่งในการวัดและทดสอบพบว่าสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีมีแบนด์วิดท์ 16.32% ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานของระบบอาร์เอฟไอดีมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่ดี และมีอัตราขยายประมาณ 4.95 dB ที่ค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่าน สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบการสื่อสารด้วยคลื่นความถี่วิทยุหรืออาร์เอฟไอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

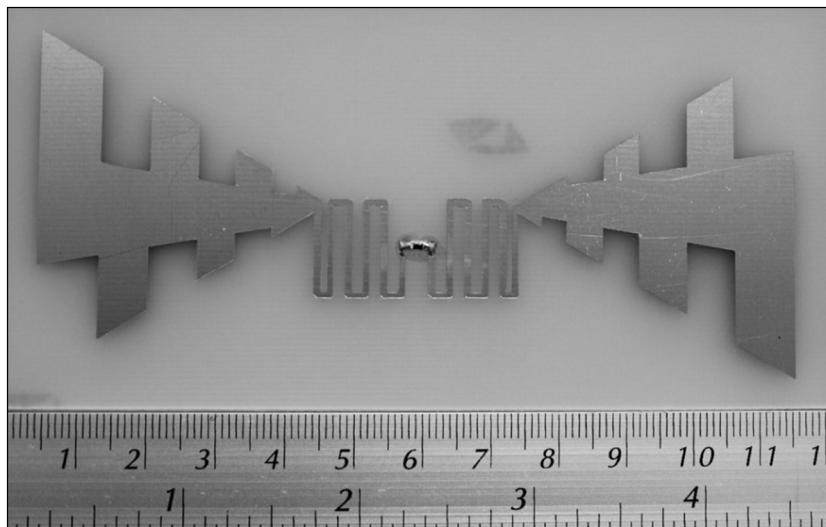
1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดีในเบื้องต้น
2. เพื่อศึกษาสายนำสัญญาณแบบไมโครสตริปสำหรับนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดี
3. เพื่อศึกษาวิธีการพัฒนาและการออกแบบสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีที่สามารถนำมาใช้งานกับระบบอาร์เอฟไอดีในปัจจุบัน

วิธีดำเนินการวิจัย

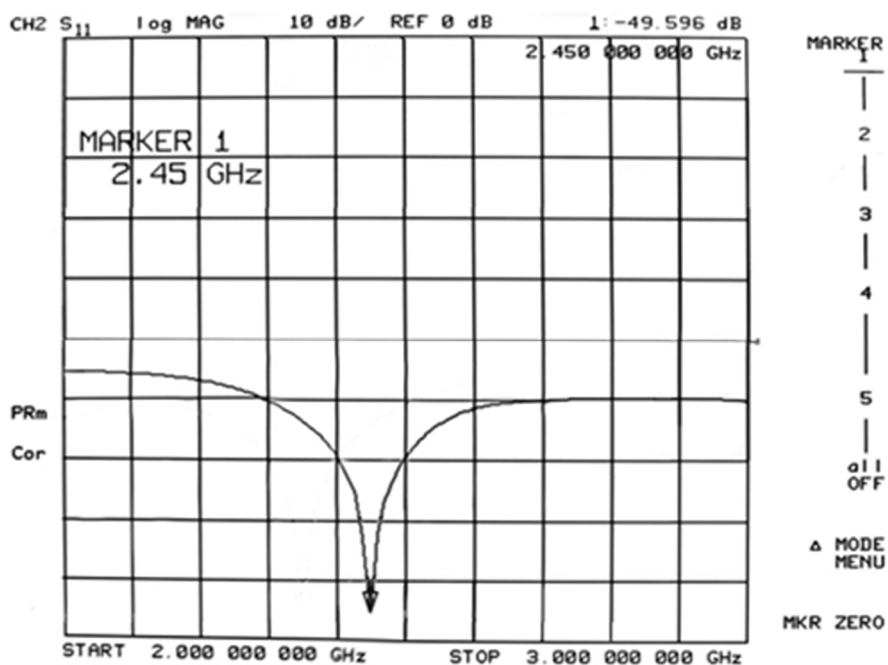
ผู้วิจัยได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีหรือ Tag แบบไมโครสตริปแพตช์รูปแบบใหม่ เพื่อให้ได้สายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับความต้องการใช้งานสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีมากที่สุด ซึ่งสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีดังกล่าวถูกออกแบบบนแผ่นวงจรพิมพ์ FR-4 โดย Tag ที่ได้มีขนาดเล็กกะทัดรัด น้ำหนักเบา โครงสร้างไม่ซับซ้อนและมีต้นทุนต่ำ สำหรับการออกแบบสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีนั้นมีการวิเคราะห์และจำลองผลด้วยโปรแกรม CST จากนั้นทำการสร้างสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีต้นแบบจริงเพื่อเป็นการยืนยันผลการจำลองแบบ โดยรายละเอียดในการออกแบบและวิเคราะห์ทั้งหมด นอกจากนี้ส่วนของการทดสอบและวัดผล ซึ่งในการวัดและทดสอบพบว่าสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีมีแบนด์วิดท์ 14.25% ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานของระบบอาร์เอฟไอดีมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่ดี และมีอัตราขยายประมาณ 4.35 dB ที่ค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่าน และมีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งประมาณ 1.02 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุหรืออาร์เอฟไอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

ผลการวิจัย

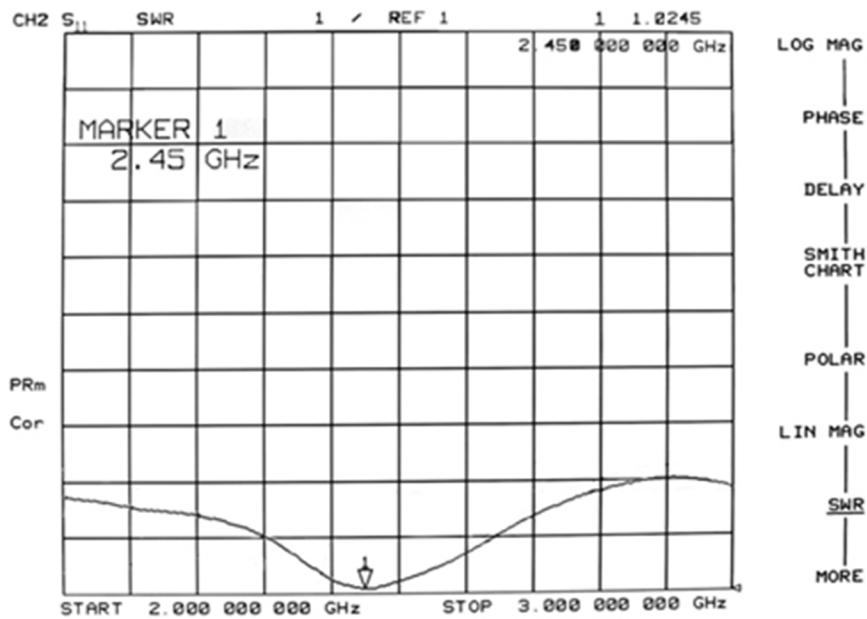
โครงสร้างของสายอากาศต้นแบบนั้นสามารถแสดงดังภาพที่ 1 ผลการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีต้นแบบ ผลการทดลองพบว่าสายอากาศมีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่มีค่าน้อยกว่า -10 dB ที่ตลอดย่านความถี่ 2.28 GHz ถึง 2.63 GHz ดังแสดงใน Error! Reference source not found. และค่าของอัตราส่วนคลื่นนิ่งซึ่งมีค่าที่ต่ำกว่า 2 สำหรับช่วงความถี่ 2.28 GHz ถึง 2.63 GHz แสดงได้ในภาพที่ 2



ภาพที่ 1 โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีต้นแบบ



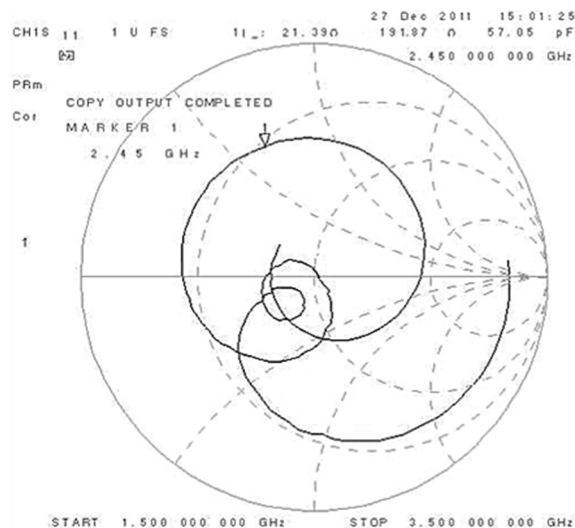
ภาพที่ 2 ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่ได้จากการทดสอบสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีต้นแบบ



ภาพที่ 2 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ได้จากการทดสอบสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอไดตันแบบ

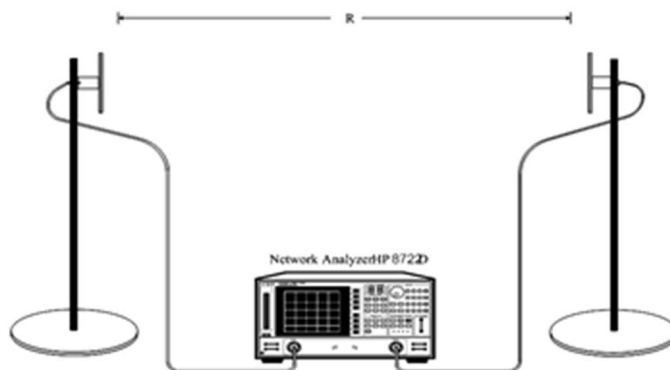
ผลการทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอไดตันแบบพบว่าสายอากาศ
ค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่กลาง 2.45 GHz เท่ากับ $21.39 + j191.87\Omega$ แสดงได้ดัง

ภาพที่ 3

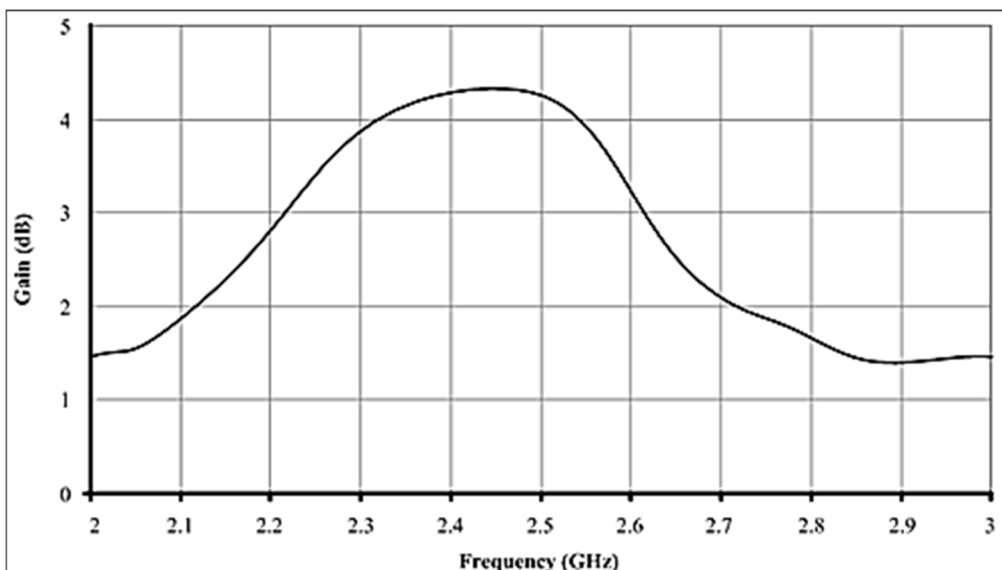


ภาพที่ 3 ค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการวัดทดสอบสายอากาศต้นแบบที่ความถี่ 2.45 GHz

ผลการทดลองวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีสำหรับการวัดอัตราการขยายของสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์วัดพลังงานที่รับได้ ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 4 และ Error! Reference source not found.

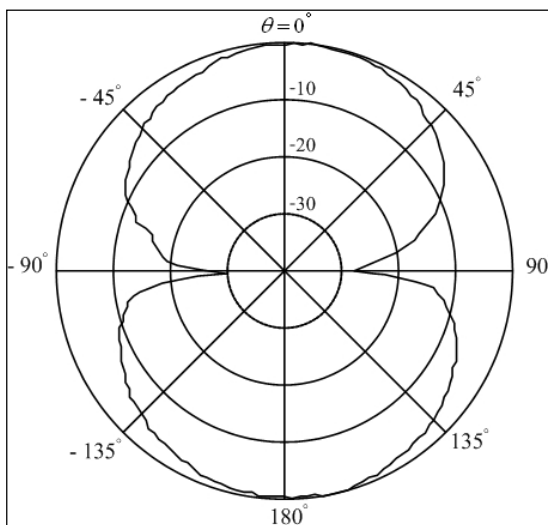


ภาพที่ 4 การเตรียมเครื่องมือสำหรับการวัดอัตราการขยายของสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดี

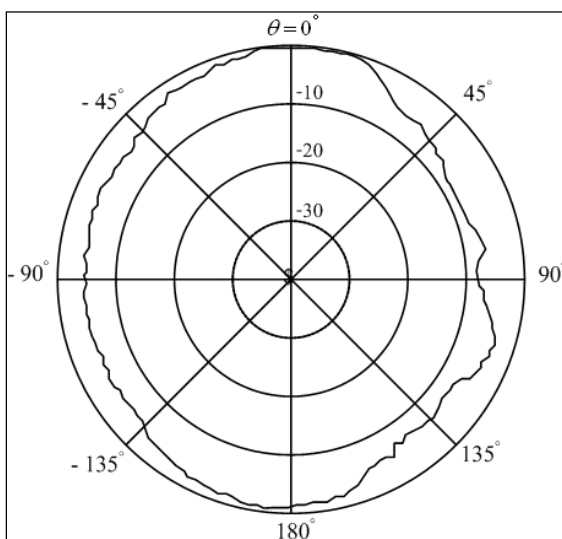


ภาพที่ 6 ผลการวัดอัตราการขยายของสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีต้นแบบ

ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีต้นแบบในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็ก ความถี่ 2.45 GHz สามารถแสดงได้ดังภาพที่ และภาพที่



ภาพที่ 7 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.45 GHz



ภาพที่ 8 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.45 GHz

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การสร้างและวัดทดสอบสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดี โดยมีการนำทฤษฎีและหลักการต่างๆ มาช่วยในการออกแบบและสร้างสายอากาศต้นแบบโดยในส่วนของทดลองและวัดค่าคุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีนั้นเป็นการพิจารณาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST และการวัดทดสอบผลที่ได้มีความสอดคล้องกันมากน้อยเพียงใด ซึ่งคุณลักษณะของสายอากาศที่นำมาพิจารณาได้แก่ ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ค่าอิมพีแดนซ์ อัตราการขยาย ค่าระยะการอ่านข้อมูลและแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ โดยจากผลการทดสอบและการจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CST ทั้งในส่วนของค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ อัตราการขยาย และแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศนั้น พบว่าผลที่ได้จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CST และผลที่ได้จากการทดสอบนั้น มีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยจากการทดสอบพบว่าสายอากาศมีค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ $21.39 + j191.87 \Omega$ มีความกว้างแถบประมาณ 14.25% ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานของระบบอาร์เอฟไอดีมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่ดี และมีอัตราขยายเฉลี่ยประมาณ 4.5 dB ที่ค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่าน สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุหรืออาร์เอฟไอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST กับผลการวัดทดสอบ

คุณลักษณะของสายอากาศ	การจำลองผลด้วยโปรแกรมCST	การวัดทดสอบ
% ความกว้างแถบ	11.38	14.25
ความถี่ด้านต่ำ (GHz)	2.32	2.28
ความถี่ด้านสูง (GHz)	2.60	2.63
อัตราขยายเฉลี่ย (dB)	4.55	4.50
ความถี่กลาง (GHz)	2.46	2.45

ข้อเสนอแนะ

การออกแบบสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีสำหรับระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุหรืออาร์เอฟไอดีลงบนแผ่นวงจรพิมพ์นั้น ส่วนที่สำคัญคือ วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศ คือแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งต้องเลือกที่มีความหนาและค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่แน่นอนและเหมาะสมกับงานที่ทำการออกแบบ เนื่องจากถ้าเลือกใช้ค่าที่ไม่เหมาะสมแล้วอาจทำให้เป็นปัญหาในการสร้าง รวมถึงเครื่องมือในการช่วยสร้างมีข้อจำกัด เช่นการเจาะร่องแผ่นวงจรพิมพ์โดยใช้เครื่องเจาะร่องใช้ดอกเจาะที่ไม่เหมาะสมจะทำให้แผ่นทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์เป็นรอยฉีกขาด ทำให้สิ้นเปลืองแผ่นวงจรพิมพ์ ผู้วิจัยคิดว่าการสร้างลายวงจรด้วยวิธีการใช้วิธีดั้งเดิม คือการใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ (FeCl_3) หรือน้ำยากัดแผ่นทองแดงที่มีขาย

ทั่วไปตามร้านจำหน่ายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งทำให้ลายวงจรไม่เป็นรอยฉีกขาดเนื่องจากการใช้เครื่องมือเขาระ่อง อีกทั้งวัสดุฐานรอง ก็ไม่เป็นรอยสึกอีกด้วย ซึ่งวิธีนี้ก็ไม่ถือว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุดเนื่องจากอาจจะทำให้ขนาดที่ได้คลาดเคลื่อนจากขนาดที่ได้ทำการออกแบบไปบ้าง แต่ก็ถือว่าประหยัดต้นทุน และนอกจากนี้เนื่องจากสายอากาศไมโครสตริปในการวิจัยนี้ได้ถูกสร้างจากวัสดุฐานรองชนิด FR-4 ซึ่งมีค่าไดอิเล็กตริกฐานรองต่ำ ซึ่งอาจจะทำให้สายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีที่ได้นั้นมีขนาดใหญ่กว่าสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีที่สร้างบนวัสดุฐานรองที่มีค่าไดอิเล็กตริกสูงๆ แต่อย่างไรก็ตามถ้าสายอากาศแผ่นป้ายอาร์เอฟไอดีที่ถูกสร้างบนวัสดุฐานรองที่มีค่าไดอิเล็กตริกสูงๆ ราคาต้นทุนก็จะสูงมากขึ้นด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านดำเนินงานวิจัย จากบุคคลดังต่อไปนี้ คือ นายไพรัช ทศติ นักศึกษาปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ให้โอกาสในการทำวิจัย และสนับสนุนค่าใช้จ่ายระหว่างการทำวิจัย เครื่องมือสำหรับการวิจัย จนเสร็จสิ้นการทำวิจัยด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

รังสรรค์ วงศ์สรรค์ และ ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ (ม.ป.ป.). คู่มือการทดลองพื้นฐานของสายอากาศ.

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

รังสรรค์ วงศ์สรรค์. (2548). วิศวกรรมสายอากาศ. [ออนไลน์]. ได้จาก : www.sut.ac.th/E-texteEng/Antennas/index.html.

Balanis, C. A. (1997). Antenna Theory: Analysis and Design. John Wiley & Sons, Inc.

Chen S-L. and Lin, K-H. (2008). A Slim RFID Tag Antenna Design for Metallic Object Applications. IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters.

Jan, J-Y. and Tseng, L-C. (2004). Small Planar Monopole Antenna With a Shorted Parasitic Inverted-L Wire for Wireless Communications in the 2.4, 5.2 and 5.8 GHz Bands. IEEE Trans on antennas and propagation, vol. 52. No. 7.

Kim, D-Z., Tae, H-S. Oh, K-S. Lee, M-Q. and Yu, J-W. (2009). Helical Reflector Antenna with a Wideband CP for RFID Reader. IEEE conference pp.1032-1035.

Lin, P-J. Teng, H-C., Huang, Y-J. and Chen, M-K. (2008). Design of Patch Antenna for RFID Reader Applications. IEEE conference. pp.132-140.

Nilsson, H-E. Siden, J. Olsson, T. Jonsson P. and Koptioug. A. (2007). Evaluation of a printed patch antenna for robust microwave RFID tags. IET Microw. Antennas Propag. 1. (3). pp. 776–781.

Svanda, M. and Polivka, M. (2008). DUALBAND WEARABLE UHF RFID ANTENNA. IEEE conference. pp.100-110.

Tan J. and Li, X. (2008). Wideband Double-UT RFID Tag Antenna Design. IEEE conference. pp.1256-1259.

