

การออกแบบสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบวงสำหรับระบบระบุบุคลิก
ทางคลื่นวิทยุย่านความถี่สูง

Design of the Printed Loop Antenna for HF-RFID System

รัตติญา ปงกา¹ วิฑูรย์ ส่องแสง¹ ศุภกิต แก้วดวงตา^{1*} และ ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์²

¹ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดเชียงใหม่ 50300

²สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบวงสำหรับระบบระบุบุคลิกทางคลื่นวิทยุ ย่านความถี่สูง (13.56 MHz) สายอากาศที่ได้นำเสนอนี้มีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งขดวงร่วมกับแผ่นสี่เหลี่ยมที่วางตัวอยู่ตรงกลางวง ซึ่งจะสามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้ในทุกทิศทางทำให้ระบบระบุบุคลิกทางคลื่นวิทยุนั้นสามารถที่จะติดต่อสื่อสารกับแท็กที่วางตัวอยู่ในลักษณะต่างๆ ได้ดี โดยในบทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศ การสร้าง และการทดสอบกับเครื่องอ่านข้อมูล ซึ่งพบว่าสายอากาศที่ได้นำเสนอสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กที่วางตัวอยู่ในลักษณะต่างๆ ได้ดีกว่าสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบวงสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะเป็นขดวง

Abstract

In this paper, the printed loop antenna is proposed for high frequency radio frequency identification (HF-RFID) systems (13.56 MHz). The proposed antenna is designed on the printed circuit board (PCB). The antenna structure consists of printed semi-spiral loop with rectangular structure patch at the middle of loop. It can provide the magnetic field distribution to cover the operating area with various directions that can improve the communication performance between reader and various tag orientations. From the measured results, the proposed antenna has more efficient than the printed spiral loop antenna

คำสำคัญ : ย่านความถี่สูง ระบบระบุบุคลิกทางคลื่นวิทยุ สายอากาศแผ่นพิมพ์แบบวง

Keywords : High Frequency (HF), Radio Frequency Identification System, Printed Loop Antenna

*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ supakitting@hotmail.com โทร. 08 6565 9485

1. บทนำ

ปัจจุบันระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Identification : RFID) ได้รับความนิยมนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น การควบคุมการเข้าออกอาคาร (Building Access Control) การติดตามสินค้า (Item-Level Tracking) และบริการห้องสมุด เป็นต้น ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุจำแนกตามย่านความถี่ที่ใช้งาน ซึ่งอยู่ในย่านความถี่ ISM (Industrial-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์และการแพทย์ได้แก่ ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency : LF) ย่านความถี่สูง (High Frequency : HF) ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency : UHF) และย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave) อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ความถี่แต่ละความถี่ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน [1]-[2] โดยระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุในย่านความถี่ต่างๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นมีการติดต่อสื่อสารกันระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กด้วยการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless Communication) สองวิธีคือ วิธีเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก (Inductive Coupling หรือ Proximity Electromagnetic) และวิธีแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Propagation) [2] ซึ่งในบทความนี้เป็นการกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่สูง (High Frequency Radio Frequency Identification : HF-RFID) โดยใช้วิธีการติดต่อสื่อสารแบบการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก ซึ่งประสิทธิภาพการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กจะขึ้นอยู่กับลักษณะการวางตัวของแท็กและทิศทางการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล

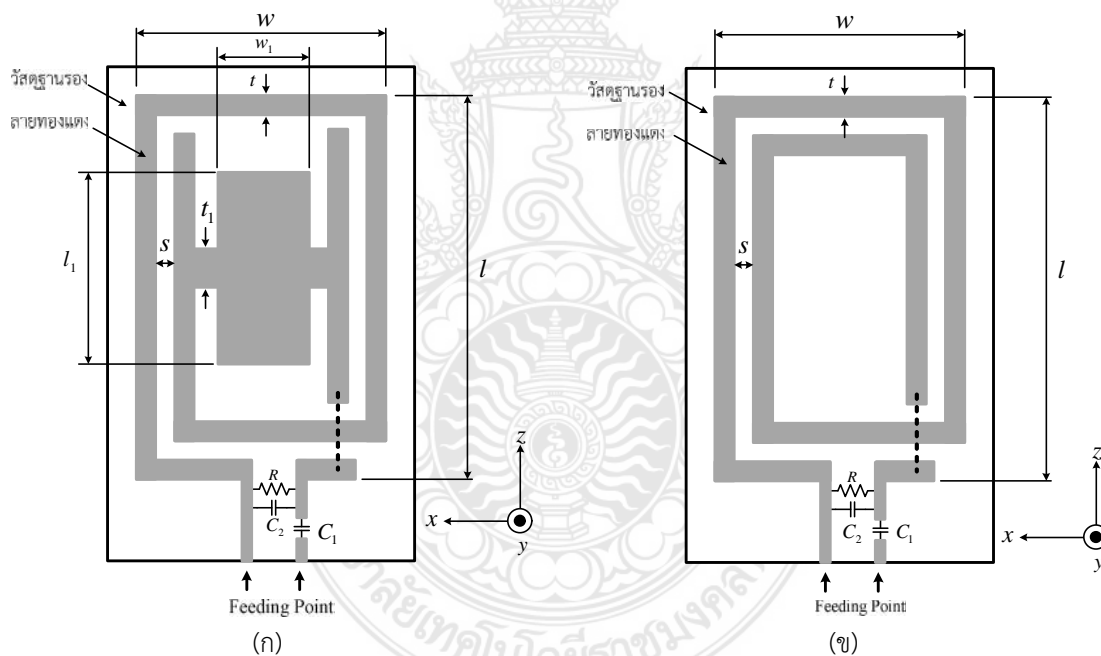
จากบทความวิจัยที่มีมาก่อนเกี่ยวกับการออกแบบสายอากาศสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุในย่านความถี่สูงในเอกสารอ้างอิงที่ [3]-[5] โดย X. Qing และคณะได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศแบบหลายบ่วงสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่สูง (13.56 MHz) โดยได้นำไปประยุกต์ใช้งานกับชั้นวางของอัจฉริยะ (Smart Shelf Application) ซึ่งสายอากาศที่ทำกรออกแบบนั้นมีลักษณะเป็นสายอากาศแบบบ่วงขดลวดหลายบ่วงวางตัวบนชั้นวางเพื่อที่จะทำให้เกิดการกระจายของสนามแม่เหล็กในทิศทางตามแนวแกน x ทั่วบริเวณของพื้นที่ใช้งานบนชั้นวางของ ซึ่งในบทความดังกล่าวได้ประยุกต์ใช้งานกับชั้นวางหนังสือ จากผลการทดสอบพบว่า สายอากาศที่ได้นำเสนอสามารถที่จะติดต่อสื่อสารกับแท็กที่ติดกับหนังสือได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามในการประยุกต์ใช้กับงานชั้นวางของอัจฉริยะนั้นมีความเป็นไปได้ที่แท็กจะวางตัวในทิศทางอื่นนอกเหนือจากแนวแกน x [3] ต่อมาในปี ค.ศ. 2007 X. Qing และ Z. N. Chen ได้นำเสนอผลกระทบของแผ่นโลหะหรือสิ่งแวดล้อมที่มีลักษณะเป็นโลหะต่อระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุในย่านความถี่สูง โดยได้ทำการศึกษากับสายอากาศแบบบ่วงที่สร้างจากแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board : PCB) พบว่าวัสดุโลหะชนิดต่างๆ ที่วางตัวในลักษณะใดๆ จะมีผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุและทิศทางการกระจายของสนามแม่เหล็ก รวมไปถึงความแรงของสนามแม่เหล็กด้วย ซึ่งในบทความดังกล่าวได้นำสายอากาศไปใช้กับชั้นวางหนังสือที่มีลักษณะเป็นโลหะ [4] และต่อมา S. Kawdangta และคณะ ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศแบบบ่วงขดลวดที่มีลักษณะเป็นขดลวดคววนสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุในย่านความถี่สูงเพื่อใช้งานกับชั้นวางของอัจฉริยะ สายอากาศที่นำเสนอสามารถที่จะกระจายสนามแม่เหล็กได้ครอบคลุมสามแนวแกนหลักคือ แกน x แกน y และแกน z สามารถใช้งานได้ที่ระยะประมาณ 20-30 cm เมื่อทดสอบกับเครื่องอ่านข้อมูลระยะไกล อย่างไรก็ตามสายอากาศดังกล่าวมียังคงมีโครงสร้างซับซ้อน [5]

ในบทความนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ย่านความถี่สูง ซึ่งถูกออกแบบด้วยแผ่นวงจรพิมพ์ มีลักษณะบาง น้ำหนักเบา สร้างได้ง่ายและราคาถูก อีกทั้งยังสามารถกระจายสนามแม่เหล็กในพื้นที่ใช้งานได้ครอบคลุมสามแนวแกนหลักคือ แกน x แกน y และแกน z จะเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กเพิ่มมากขึ้น โดยในบทความนี้จะกล่าวแยกเป็นหัวข้อต่างๆ ดังนี้คือ หัวข้อที่สองจะกล่าวถึงโครงสร้างและผลการจำลองสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วง ในส่วนของผลการสร้างและทดสอบสายอากาศต้นแบบจะถูกกล่าวถึงในหัวข้อที่สาม และในหัวข้อสุดท้ายจะกล่าวถึงสรุปผลของการออกแบบและการทดสอบ

2. วิธีการทดลอง

2.1 โครงสร้างและผลการจำลองแบบของสายอากาศ

สายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงที่ได้นำเสนอในบทความนี้มีลักษณะโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดวงวนรูปตัวเอชนั้นแสดงในรูปที่ 1(ก) ประกอบด้วยขดของสายทองแดงที่มีลักษณะเป็นเส้นที่มีความหนา t มีระยะห่างระหว่างเส้น s ตรงกลางของบ่วงจะมีแผ่นทองแดงลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความกว้าง w_1 ความยาว l_1 และเส้นเชื่อมต่อที่มีความหนา t_1 ซึ่งความกว้างทั้งหมดของสายอากาศคือ w และความยาวทั้งหมดของสายอากาศคือ l และในรูปที่ 1(ข) แสดงโครงสร้างของสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดวงวนรูปสี่เหลี่ยมโดยสายอากาศดังกล่าวมีความกว้างทั้งหมดของสายอากาศและความยาวทั้งหมดของสายอากาศคือ w และ l ตามลำดับ และมีขดของสายทองแดงที่มีลักษณะเป็นเส้นที่มีความหนา t มีระยะห่างระหว่างเส้น s ขดเป็นจำนวนสองรอบ ซึ่งสายอากาศทั้งสองนี้ต้องมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน (R) และตัวเก็บประจุ (C) เพื่อใช้ในการแมตชิงสายอากาศให้มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์เข้าใกล้ 50Ω ในช่วงความถี่ใช้งาน อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์การกระจายสนามแม่เหล็กจะวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมจำลอง [6]



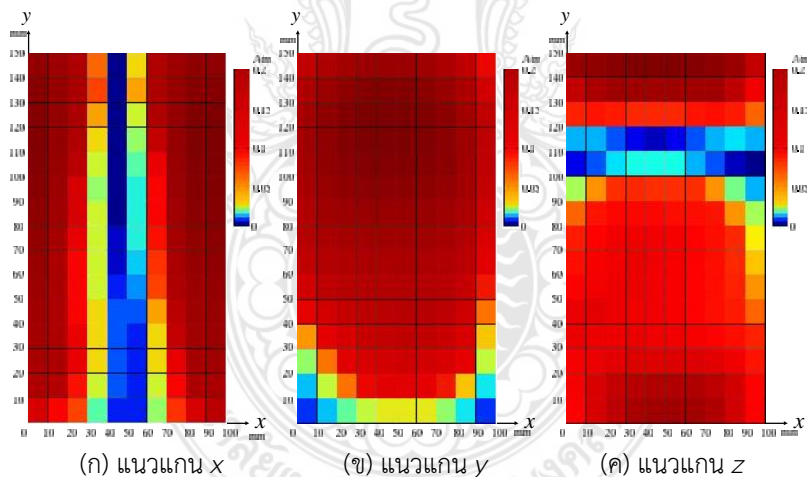
รูปที่ 1 โครงสร้างของสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วง (ก) สายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดวงวนรูปตัวเอช (ข) สายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดวงวนรูปสี่เหลี่ยม

จากนั้นทำการวิเคราะห์การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศทั้งสอง โดยเริ่มจากการกำหนดค่า w และ l ซึ่งเป็นการกำหนดขนาดของสายอากาศแบบบ่วง โดยพารามิเตอร์ทั้งสองนั้นจะมีผลกับค่าความถี่ใช้งาน ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ และความสามารถในการกระจายความเข้มของสนามแม่เหล็ก แต่อย่างไรก็ตามในบทความนี้ได้กำหนดไว้เป็นค่าคงที่เท่ากับ 90 mm และ 140 mm ตามลำดับ โดยพิจารณาจากขนาดที่เหมาะสมในการใช้งานของระบบควบคุมการเข้าออกภายในอาคาร แล้วจึงใช้โปรแกรมจำลองเพื่อวิเคราะห์ลักษณะการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศต่อไป จากขนาดของสายอากาศจึงถือว่าสายอากาศนี้เป็นสายอากาศแบบบ่วงขนาดเล็กเมื่อเทียบกับ

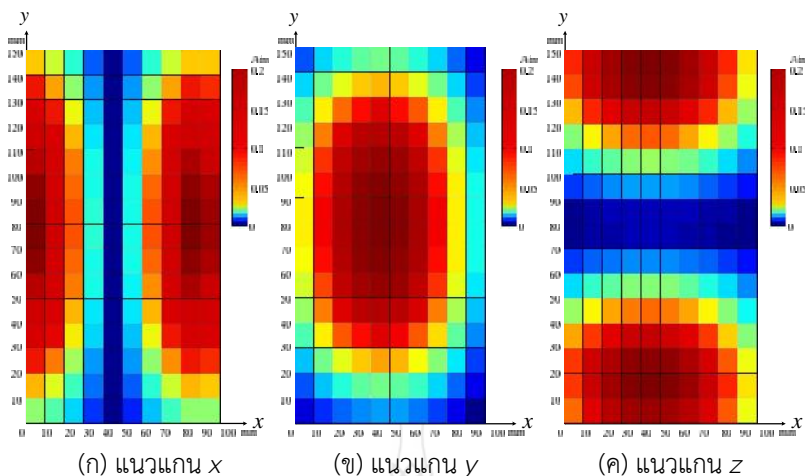
ความยาวคลื่นในช่วงความถี่ที่ใช้งาน ซึ่งในการศึกษาโครงสร้างที่เหมาะสมของสายอากาศนั้นจะพิจารณาที่ประสิทธิภาพในการกระจายสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แนวแกนหลักคือ แกน x แกน y และแกน z ด้วยการเลือกปรับค่าพารามิเตอร์เช่น t s w_1 l_1 และ t_1 เป็นต้น โดยในตารางที่ 1 แสดงพารามิเตอร์ของสายอากาศทั้งสองแบบหลังจากที่ได้ทำการจำลองเพื่อให้ได้การกระจายสนามแม่เหล็กที่ดีที่สุด จากค่าที่แสดงในตารางของสายอากาศทั้งสองจะถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าการกระจายสนามแม่เหล็กในแต่ละทิศทางดังแสดงในรูปที่ 2 ถึงรูปที่ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วง

ลำดับที่	สายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดคววนรูปตัวเอช	สายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดคววนรูปสี่เหลี่ยม	ขนาด (mm)
1	w	w	90
2	l	l	140
3	t	t	5
4	s	s	5
5	w_1	-	40
6	l_1	-	100
7	t_1	-	20

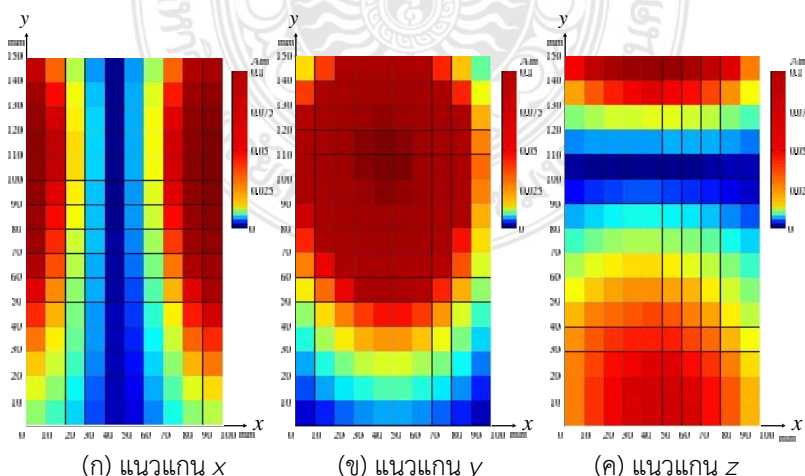


รูปที่ 2 การกระจายสนามแม่เหล็กในทิศทางตามแนวแกน x แกน y และแกน z ที่ระยะ y เท่ากับ 5 cm ของสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดคววนรูปตัวเอช

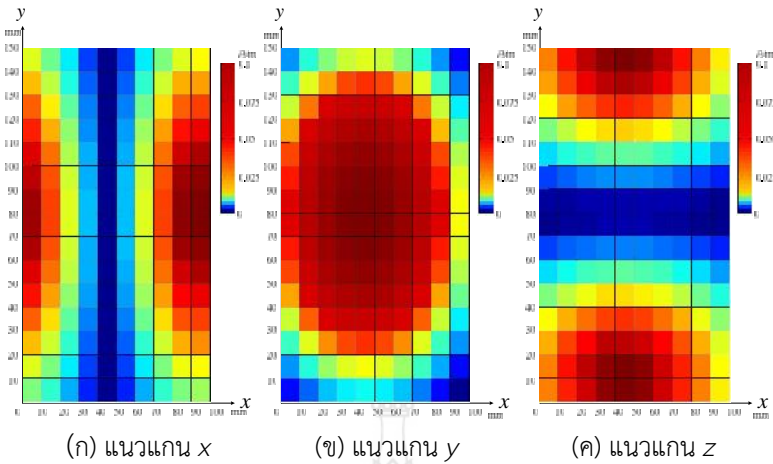


รูปที่ 3 การกระจายสนามแม่เหล็กในทิศทางตามแนวแกน x แกน y และแกน z ที่ระนาบ y เท่ากับ 5 cm ของสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดควมวนรูปสี่เหลี่ยม

จากผลการวิเคราะห์การกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศทั้งสองแบบที่ระนาบ y เท่ากับ 5 cm พบว่าสายอากาศทั้งสองแบบนี้สามารถที่จะกระจายสนามแม่เหล็กได้ในทั้ง 3 แนวแกน อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดควมวนรูปตัวเอชมีการกระจายสนามแม่เหล็กใน 3 แนวแกนได้ครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณที่ใช้งานได้มากกว่าสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดควมวนรูปสี่เหลี่ยมโดยเฉพาะในแนวแกน y และ z ตามลำดับจากนั้นเพื่อเป็นการยืนยันประสิทธิภาพของสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดควมวนรูปตัวเอชจึงได้ทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของสนามแม่เหล็กในระนาบที่ห่างออกไปอีกคือระนาบ y เท่ากับ 10 cm ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ จากรูปยังคงพบว่าสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดควมวนรูปตัวเอชยังคงมีประสิทธิภาพค่อนข้างดีกว่าสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดควมวนรูปสี่เหลี่ยม เนื่องจากมีแผ่นตัวนำบริเวณตรงกลางที่ช่วยในการกระจายสนามแม่เหล็กในทิศทางตามแนวแกน x และ z ในขณะที่เดียวกันยังคงรักษาความแรงของสนามแม่เหล็กในแนวแกน y ไว้ได้ จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจึงได้ทดลองสร้างและทดสอบสายอากาศต้นแบบดังที่จะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่สาม



รูปที่ 4 การกระจายสนามแม่เหล็กในทิศทางตามแนวแกน x แกน y และแกน z ที่ระนาบ y เท่ากับ 10 cm ของสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดควมวนรูปตัวเอช



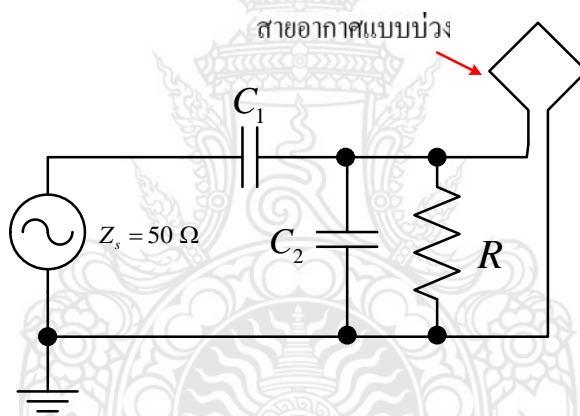
รูปที่ 5 การกระจายสนามแม่เหล็กในทิศทางตามแนวแกน x แกน y และแกน z ที่ระยะนาบ y เท่ากับ 10 cm ของสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดวงวนรูปสี่เหลี่ยม

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการสร้างและทดสอบสายอากาศต้นแบบทั้งสองโครงสร้าง โดยทำการสร้างด้วยแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR4 ที่มีความหนา 0.8 mm มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพันธ์ (ϵ_r) เท่ากับ 4.3 ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก) และ 6(ข) เมื่อได้สร้างสายอากาศต้นแบบเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงได้ทำการวัดค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ก่อนการแมตชิงด้วยเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายยี่ห้อ Agilent รุ่น 8753ES พบว่าสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดวงวนรูปตัวเอชมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ก่อนการแมตชิงเท่ากับ $0.3 + j 45.02 \Omega$ และสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดวงวนรูปสี่เหลี่ยมมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ก่อนการแมตชิงเท่ากับ $0.34 + j 72.91 \Omega$ จากนั้นจึงได้ใช้วงจรดังแสดงในรูปที่ 7 ในการแมตชิงสายอากาศเพื่อให้มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์เข้าใกล้ 50Ω ในช่วงความถี่ที่ใช้งานด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบไปด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุซึ่งเนื่องมาจากสายอากาศดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำ โดยค่าของวงจรที่ใช้สำหรับแมตชิงสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดวงวนรูปตัวเอชมีค่า $R=800 \Omega$ $C_1=66$ pF และ $C_2=200$ pF และสำหรับสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดวงวนรูปสี่เหลี่ยมมีค่า $R=1800 \Omega$ $C_1=42$ pF และ $C_2=120$ pF ตามลำดับ โดยในบทความนี้ได้ทำการพิจารณาการแมตชิงที่ความถี่กลางเท่ากับ 13.56 MHz และช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 2 MHz ทำให้ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ (Quality Factor : Q) มีค่าเท่ากับ 6.78 ทั้งนี้ในการสร้างได้ใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุแบบแผ่นฟิล์มหนาประเภทไร้ขา (Chip Resistor และ Chip Capacitor)

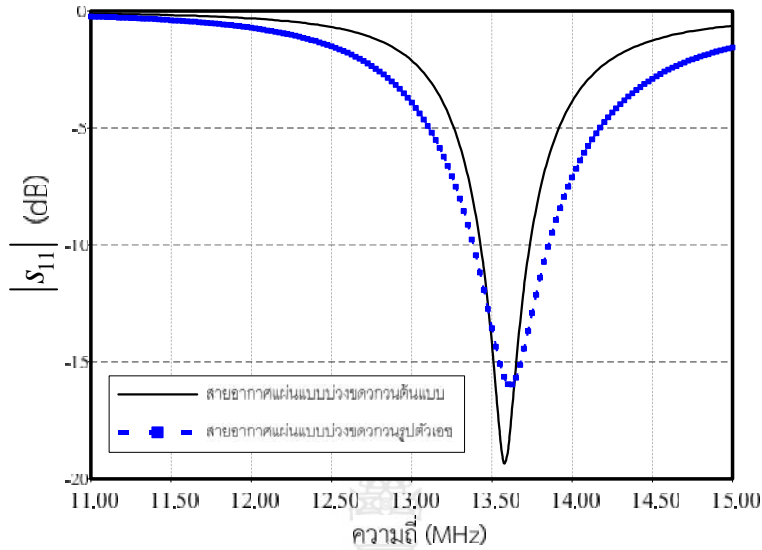


รูปที่ 6 สายอากาศต้นแบบ (ก) สายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดควมวนรูปตัวเอช
 (ข) สายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดควมวนรูปสี่เหลี่ยมตันแบบ

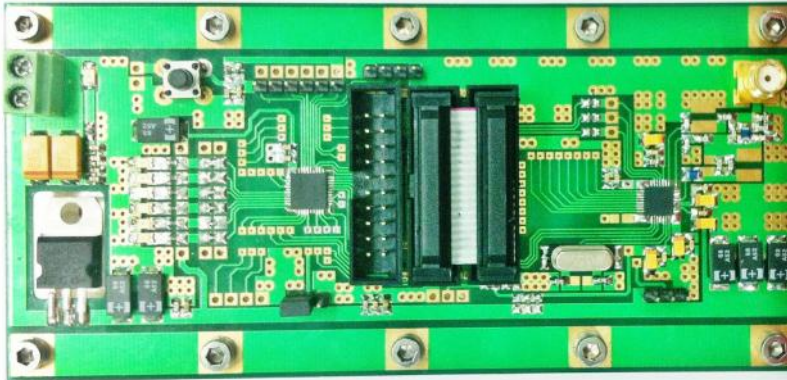


รูปที่ 7 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับการแมตซ์สายอากาศ

จากนั้นจึงได้ผลการทดสอบค่า $|S_{11}|$ หลังจากการแมตซ์ของสายอากาศทั้งสองตัวได้แสดงในรูปที่ 8 จากผล $|S_{11}|$ พบว่าสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดควมวนรูปตัวเอชมีช่วงกว้างความถี่กว้างกว่าสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดควมวนรูปสี่เหลี่ยม จากนั้นได้นำสายอากาศดังกล่าวไปทดสอบประสิทธิภาพการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิดพาสซีฟ (Tag-Ti, M08) โดยใช้เครื่องอ่านข้อมูลที่สร้างขึ้นโดยชิพไอซีเบอร์ TRF7960 บริษัท Texas Instruments Incorporated [7] ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งเป็นเครื่องอ่านข้อมูลระยะใกล้

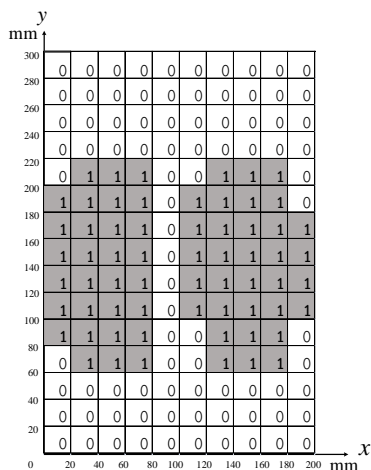


รูปที่ 8 ค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศต้นแบบสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดควมด้นรูปตัวเอช และสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดควมด้นรูปสี่เหลี่ยมด้นแบบ

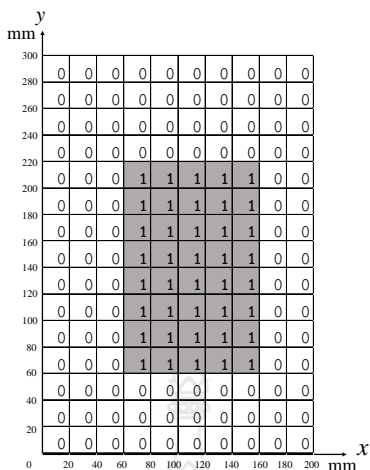


รูปที่ 9 เครื่องอ่านข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ 13.56 MHz

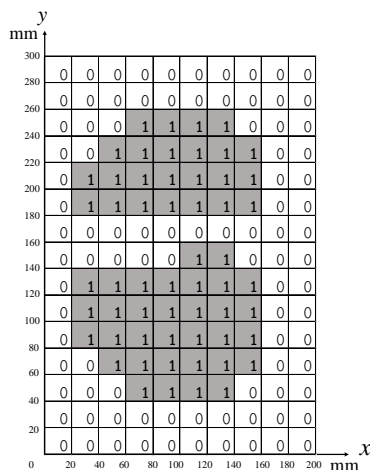
จากผลการทดสอบนั้นได้แสดงถึงประสิทธิภาพของการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กเมื่อเครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้จะแสดงเป็น “1” และเมื่อเครื่องอ่านข้อมูลไม่สามารถที่จะติดต่อสื่อสารกับแท็กได้จะแสดงเป็น “0” โดยได้ทำการทดสอบที่ระยะ y เท่ากับ 5 cm ดังแสดงในรูปที่ 10 และ 11 จากผลการทดสอบพบว่าสายอากาศแผ่นแบบบ่วงขดควมด้นรูปตัวเอชมีการกระจายสนามแม่เหล็กใน 3 แนวแกนได้ครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณที่ใช้งานได้มากกว่าสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดควมด้นโดยเฉพาะในแนวแกน x และ z ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 2 เมื่อทำการพิจารณาจำนวนจุดที่อ่านแท็กได้ต่อพื้นที่ที่พิจารณาออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์พบว่าสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดควมด้นรูปตัวเอชมีค่าเปอร์เซ็นต์การอ่านแท็กได้ที่ระยะ 5 cm ในแนวแกน $x=42\%$ $y=26.67\%$ และ $z=38\%$ ในขณะที่สายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดควมด้นรูปสี่เหลี่ยมมีค่าเปอร์เซ็นต์การอ่านแท็กได้ที่ระยะ 5 cm ในแนวแกน $x=30\%$ $y=22.67\%$ และ $z=27.33\%$ ตามลำดับ



(ก) แนวแกน x

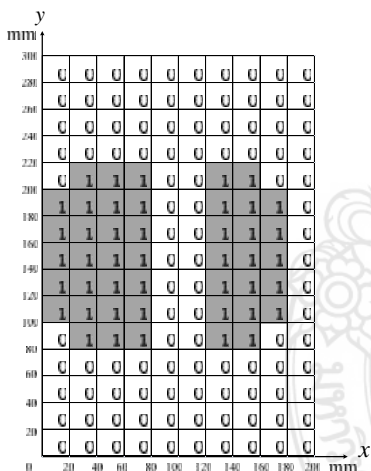


(ข) แนวแกน y

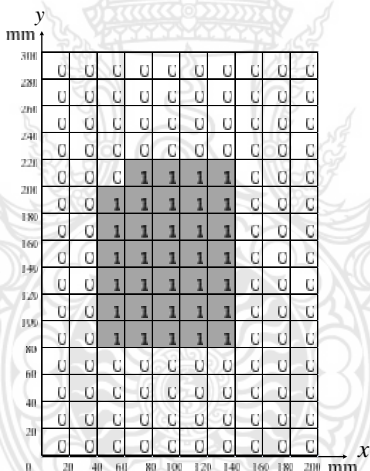


(ค) แนวแกน z

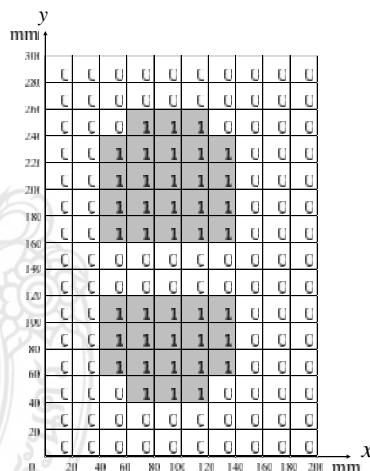
รูปที่ 10 การกระจายสนามแม่เหล็กในทิศทางตามแนวแกน x แกน y และแกน z ที่ระยะนาบ y เท่ากับ 5 cm ของสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดคววนรูปตัวเอช



(ก) แนวแกน x



(ข) แนวแกน y



(ค) แนวแกน z

รูปที่ 11 การกระจายสนามแม่เหล็กในทิศทางตามแนวแกน x แกน y และแกน z ที่ระยะนาบ y เท่ากับ 5 cm ของสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดคววนรูปสี่เหลี่ยม

4. สรุป

บทความนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่สูง โดยได้นำเสนอสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดคววนรูปตัวเอชและสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดคววนรูปสี่เหลี่ยมพบว่าสายอากาศทั้งสองแบบนี้สามารถที่จะกระจายสนามแม่เหล็กได้ในทั้งสามแนวแกนคือ แนวแกน x แกน y และแกน z แต่อย่างไรก็ตามจากผลการวิเคราะห์สนามแม่เหล็กและการทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่านข้อมูลพบว่าสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดคววนรูปตัวเอชสามารถที่จะกระจายสนามแม่เหล็กได้ดีกว่าสายอากาศแผ่นพิมพ์แบบบ่วงขดคววนรูปสี่เหลี่ยมในทั้งสามแนวแกนและครอบคลุมพื้นที่การใช้งานและยังสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้อีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ได้รับความอนุเคราะห์จาก อาจารย์ณฤทธิ ญิงธนิตรา ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในการให้คำแนะนำการออกแบบเครื่องอ่านข้อมูล ทำให้การวิจัยเป็นไปได้อย่างเรียบร้อยสมบูรณ์

6. เอกสารอ้างอิง

Klaus Finkenzeller, **RFID Handbook**, John Wiley& Sons, 2003.

Dominique Paret, **RFID and Contactless Smart Card Applications**, John Wiley&Sons, 2005.

Xianming Qing, Zhi Ning Chen and Ailian Cai, **Multi-loop Antenna for High Frequency RFID Smart Shelf Application**, IEEE Trans. on Antennas and Propagation, pp. 5467-5470, June 2007.

Xianming Qing and Zhi Ning Chen, **Proximity Effects of Metallic Environments on High Frequency RFID Reader Antenna: Study and Applications**, IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol. 55, No. 11, pp. 1426-1429, November 2007.

Supakit Kawdungta, Chuwong Phongcharoenpanich and Danai Torrungrueng, **Design of Spiral Square Loop Antennas for HF-RFID Smart Shelf Systems**, International Symposium on Antennas and Propagation 2008, pp. 3105-3111, October 2008.

CST Microwave Studio, **User's Manual**, 2006.

Texas Instruments Incorporated, **TRF7960 Technical Documents**, 2010.

