

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบขดเกลียวสำหรับเครื่องอ่าน
ข้อมูลของระบบระบุวัตถุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่สูง

DESIGN OF SPIRAL SQUARE LOOP ANTENNA FOR READER
OF HF-RFID SYSTEM



T117927

ปัญญา เหลืองแดง

BANCHA LUADANG

จพ.
๒๕๕๓

เลขหมู่.....๑๕๕๔
เลขทะเบียน.....**117927**
วัน,เดือน,ปี.....**22 ต.ค. 2554**

12348971.
b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2554

KMITL-2011-EN-M-010-071

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DESIGN OF SPIRAL SQUARE LOOP ANTENNA FOR READER
OF HF-RFID SYSTEM**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2011

KMITL-2011-EN-M-010-071

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2011

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบขดเกลียวสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่สูง
นักศึกษา	นายบัญชา เหลือแดง
รหัสประจำตัว	52611208
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2554
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบขดเกลียวด้วยการวิเคราะห์จำนวนบ่วงและระยะห่างระหว่างบ่วง เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีรูปแบบที่เหมาะสม มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน สร้างง่ายและมีคุณสมบัติในการกระจายคลื่นที่ดีทั้งสามแนวแกนหลักซึ่งใช้สำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (RFID: Radio Frequency Identification) ย่านความถี่สูง (13.56 MHz) โดยพิจารณาจากความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กด้วยค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร จากผลการจำลองที่ได้ นำไปสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบและทำการทดสอบสายอากาศต้นแบบพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แนวแกนหลักมีค่า P_{v,H_x} เท่ากับ 86.17 เปอร์เซ็นต์ P_{v,H_y} เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และ P_{v,H_z} เท่ากับ 82.71 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำสายอากาศที่ผ่านการทดสอบเบื้องต้นไปอ่านค่าแท็กจำนวนหลายแท็กในเวลาเดียวกันเพื่อประเมินประสิทธิภาพของสายอากาศ พบว่าสายอากาศสามารถอ่านแท็กได้อย่างแม่นยำและคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ได้ค่าในแนวแกน x เท่ากับ 92 เปอร์เซ็นต์ ในแนวแกน y เท่ากับ 97.33 เปอร์เซ็นต์ และในแนวแกน z เท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดสอบดังกล่าวจึงสามารถยืนยันได้ว่าสายอากาศสามารถใช้งานกับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่สูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Design of Spiral Square Loop Antenna for Reader of HF- RFID System
Student	Mr. Bancha Luadang
Student ID.	52611208
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2011
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Chuwong Phongcharoenpanich

ABSTRACT

This thesis presents the spiral square loop antenna for the radio frequency identification (RFID) system at high frequency band (13.56 MHz). The number of loops and spacing between loops is used to analyze the antenna parameters to obtain the suitable structure. The spiral structure can provide the magnetic field distribution to cover specific area in various directions. The antenna prototype was fabricated and measured. It is found that the measured percentages of volume are $P_{v,H_x} = 86.17\%$, $P_{v,H_y} = 100\%$ and $P_{v,H_z} = 82.71\%$, respectively, where the percentage of volume is related to the communication performance between readers and tags. The percentage of the detection accuracy for the multiple tags in x -axis is 92%, y -axis is 97.33% and z -axis is 90%, respectively. The experimental results can verify the useful of antenna performance in HF-RFID system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์ เป็นผู้ให้โอกาสทั้งในด้านการศึกษา เกี่ยวเชิญอบรมสั่งสอน ขอขอบคุณ คุณศุภกิต แก้วดวงตา ผู้ซึ่งให้แนวคิดในการวิจัย คำแนะนำในการวิเคราะห์และทดสอบ ขอขอบคุณ คุณสิทธิชัย เต็นตรี คุณเรวัฒน์ เสนาทอง คุณประชา โฆษคลัง ผู้ซึ่งช่วยค้นคว้าข้อมูลการวิจัย การสร้างและทดสอบสายอากาศ ขอขอบคุณ รศ.ดร.สมพล โกศลวิตร คุณคมกฤษ บุญยิ่ง สำหรับความช่วยเหลือทั้งอุปกรณ์ในการทดลองรวมทั้งคำปรึกษาและคำแนะนำ ขอขอบคุณอาจารย์วัชรกร หนูทอง ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ที่เอื้อเฟื้อสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลเพื่อใช้ในการทดสอบสายอากาศ ขอขอบคุณสมาชิกในห้องปฏิบัติการการสื่อสารไร้สายทุกท่าน ขอขอบคุณหัวหน้างานและเพื่อนร่วมงานที่บริษัทเซเลสติกาทุกท่าน

ขอขอบคุณ คุณศิริวรรณ หน่อพันธ์ ที่คอยรับฟังปัญหาและสอบถามความคืบหน้าอยู่เสมอ สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและกำลังใจในทุกสิ่ง คุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอบแต่ บิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักยิ่งของข้าพเจ้า ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้แก่ข้าพเจ้า

บัญชา เหลือแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII

บทที่ 1.....	1
--------------	---

บทนำ.....	1
-----------	---

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย.....	1
--------------------------------	---

1.2 ความสำคัญของงานวิจัย.....	5
-------------------------------	---

1.3 วัตถุประสงค์และขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	6
---	---

1.4 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	6
--------------------------------	---

บทที่ 2.....	8
--------------	---

ทฤษฎีและหลักการของระบบระบุลักษณะ.....	8
---------------------------------------	---

ทางคลื่นวิทยุย่านความถี่สูง.....	8
----------------------------------	---

2.1 บทนำ.....	8
---------------	---

2.2 ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	8
--------------------------------------	---

2.2.1 แท็ก.....	9
-----------------	---

2.2.2 ประเภทของแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	10
---	----

2.2.3 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader).....	14
---------------------------------------	----

2.3 คุณลักษณะของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	15
---	----

2.3.1 ลักษณะการทำงาน (Operation Type).....	15
--	----

2.3.2 ขนาดข้อมูล (Data Quantity).....	16
---------------------------------------	----

2.3.3 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable).....	16
--	----

2.3.4 แหล่งพลังงาน (Power Supply).....	16
--	----

2.3.5 ย่านความถี่ใช้งาน (Frequency Range).....	16
--	----

2.4 ข้อพิจารณาการเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	17
--	----

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.1 ความถี่ใช้งาน.....	17
2.4.2 ระยะทำการ.....	18
2.4.3 ข้อกำหนดด้านการรักษาความปลอดภัย.....	18
2.4.4 ขนาดของหน่วยความจำ.....	19
2.5 เทคโนโลยีระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่ใช้การสื่อสารแบบ Inductive Coupling.....	19
2.5.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่านข้อมูลไปยังแท็ก.....	19
2.5.2 การส่งข้อมูลจากแท็กมายังเครื่องอ่านข้อมูล.....	21
2.6 ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการออกแบบสายอากาศขดลวดของเครื่องอ่านข้อมูล.....	21
2.6.1 การเหนี่ยวนำแรงดันในสายอากาศขดลวด.....	24
2.6.2 ชนิดและความต้านทานที่สูญเสียของลวด.....	29
2.6.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวด.....	31
2.7 รูปแบบของสายอากาศขดลวด.....	35
2.7.1 สายอากาศขดลวดของแท็ก.....	35
2.7.2 สายอากาศขดลวดของเครื่องอ่านข้อมูล.....	35
2.8 วงจรเรโซแนนซ์ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ (Q) และแบนด์วิดท์.....	36
2.8.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน.....	37
2.8.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม.....	39
2.8.3 ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพและแบนด์วิดท์.....	40
2.9 ระยะเวลาอ่านของอุปกรณ์ระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	44
2.10 หลักการและตัวอย่างการออกแบบวงจรแมตซ์ซิ่งสำหรับสายอากาศบ่วงเกลียว [8].....	45
2.10.1 การวัดค่าเพื่อคุณสมบัติของสายอากาศ.....	46
2.10.2 การปรับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศด้วยวงจรแมตซ์ซิ่ง.....	47
2.11 บทสรุป.....	49
บทที่ 3.....	50
การจำลองแบบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ.....	50
3.1 บทนำ.....	50
3.2 โครงสร้างของสายอากาศ.....	50
3.3 การจำลองผลของสายอากาศ.....	51
เอกสาร 3.4 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ.....	56

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5 ผลการจำลองค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวของสายอากาศ	59
3.6 บทสรุป	60
บทที่ 4.....	61
การทดสอบและผลการทดสอบ	61
4.1 บทนำ	61
4.2 เครื่องมืออุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดสอบ	61
4.3 การทดสอบสายอากาศ	63
4.3.1 ผลการทดสอบสายอากาศกับแท็ก ISO15693	66
4.4 บทสรุป	68
บทที่ 5.....	69
การประเมินผลและตัวอย่างการประยุกต์ใช้กับ	69
ชั้นวางของ	69
5.1 บทนำ	69
5.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ ที่ใช้ในการประเมินผล	69
5.3 การประเมินผลสายอากาศ	70
5.3.1 ผลการประเมินสายอากาศ	72
5.4 สรุป.....	74
บทที่ 6.....	75
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	75
6.1 สรุปเนื้อหาโดยรวม.....	75
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	76
6.2.1 ข้อเสนอแนะ	76
6.2.2 แนวทางในการพัฒนา.....	77
เอกสารอ้างอิง.....	78
ประวัติผู้เขียน.....	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์ของลวด.....	30
ตารางที่ 3.1 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวของสายอากาศในแต่ละแบบ	59
ตารางที่ 3.2 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวของสายอากาศที่มี d เท่ากับ 5 cm ที่แนวแกน $y = 2$ ถึง 20 cm.....	60
ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงการอ่านแท็กจำนวน 25 แท็กที่ระยะทางทดสอบตั้งแต่ 0-20 cm.....	74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 ลักษณะการสื่อสารข้อมูลระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก [1]	2
รูปที่ 1.2 สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า	3
รูปที่ 1.3 สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัส	4
รูปที่ 1.4 สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบขดเกลียว	5
รูปที่ 2.1 แท็กของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบพาสซีฟ	9
รูปที่ 2.2 แท็กของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบแอ็กทีฟ	10
รูปที่ 2.3 แท็กแบบจานและเหรียญ	10
รูปที่ 2.4 แท็กแบบกระดาษแข็ง	11
รูปที่ 2.5 แท็กแบบพลาสติก	11
รูปที่ 2.6 แท็กสำหรับใช้เฉพาะกิจ	11
รูปที่ 2.7 แท็กแบบพวงกุญแจ	12
รูปที่ 2.8 แท็กแบบนาฬิกา	12
รูปที่ 2.9 แท็กมาตรฐาน ID-1 และ สมาร์ทการ์ดแบบไร้การสัมผัส	13
รูปที่ 2.10 แท็กแบบ Smart Label	13
รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของเครื่องอ่าน [1]	14
รูปที่ 2.12 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex และ Half Duplex [1]	15
รูปที่ 2.13 การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กเป็นการรับพลังงานไฟ	19
รูปที่ 2.14 การคำนวณของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก B ที่จุดสังเกต P โดยการป้อน	23
รูปที่ 2.15 การคำนวณความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก B ที่จุดสังเกต P โดยการป้อนกระแส (I)	24
รูปที่ 2.16 การลดลงของค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก B กับระยะห่าง r [3]	24
รูปที่ 2.17 พื้นฐานโครงสร้างของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลและสายอากาศแท็กในระบบระบุ ลักษณะทางคลื่นวิทยุ [3]	25
รูปที่ 2.18 การปรับทิศทางของสายอากาศของแท็กให้เหมาะสม [3]	27
รูปที่ 2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-รอบกับระยะการอ่าน [3]	28
รูปที่ 2.20 รูปของขดลวด 1 ชั้น [3]	33
รูปที่ 2.21 สายอากาศขดลวดบ่วงวงกลมแกนอากาศจำนวนรอบใด ๆ [3]	34
รูปที่ 2.22 สายอากาศขดลวดแบบบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสหลายชั้น [3]	34
รูปที่ 2.23 รูปแบบต่าง ๆ ของสายอากาศขดลวดของแท็ก [3]	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.24 สายอากาศบ่วงหม้อแปลงของเครื่องอ่านข้อมูล [3]	36
รูปที่ 2.25 แสดงวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน [3]	37
รูปที่ 2.26 แสดงวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม [3]	39
รูปที่ 2.27 ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ	41
รูปที่ 2.28 การหาค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพจากแบนด์วิดท์	41
รูปที่ 2.29 ค่าแรงดันกับค่าความถี่สำหรับวงจรเรโซแนนซ์ [3]	43
รูปที่ 2.30 ผลตอบสนองทางความถี่สำหรับวงจรเรโซแนนซ์ [3]	43
รูปที่ 2.31 ระยะเวลาอ่านกับขนาดของเท็กสำหรับการประยุกต์ที่ระยะใกล้ [3]	45
รูปที่ 2.32 ระยะเวลาอ่านกับขนาดของเท็กสำหรับการประยุกต์ที่ระยะไกล [3]	45
รูปที่ 2.33 แสดงการนำวงจรแมตซ์มาต่อเข้ากับสายอากาศ	46
รูปที่ 2.34 แสดงคุณสมบัติและค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศด้วย Smith Chart	47
รูปที่ 2.35 แสดงการจำลองการปรับค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศด้วย Smith Chart	48
รูปที่ 3.1 โครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบขดเกลียว	51
รูปที่ 3.2 โครงสร้างการจำลองแบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็ก	52
รูปที่ 3.3 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยม	52
รูปที่ 3.4 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบขดเกลียวที่ขดให้เกลียวทับกันจำนวน 3 ขด	53
รูปที่ 3.5 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบขดเกลียวที่มี d เท่ากับ 0.5 cm	53
รูปที่ 3.6 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบขดเกลียวที่มี d เท่ากับ 1 cm	53
รูปที่ 3.7 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบขดเกลียวที่มี d เท่ากับ 1.5 cm	54
รูปที่ 3.8 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบขดเกลียวที่มี d เท่ากับ 2 cm	54
รูปที่ 3.9 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบขดเกลียวที่มี d เท่ากับ 2.5 cm	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.10 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ ขดเกลียวที่มี d เท่ากับ 3 cm.....	55
รูปที่ 3.11 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ ขดเกลียวที่มี d เท่ากับ 3.5 cm.....	55
รูปที่ 3.12 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ ขดเกลียวที่มี d เท่ากับ 4 cm.....	55
รูปที่ 3.13 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ ขดเกลียวที่มี d เท่ากับ 4.5 cm.....	56
รูปที่ 3.14 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ ขดเกลียวที่มี d เท่ากับ 5 cm.....	56
รูปที่ 3.15 การแบ่งระยะตามแนว x และ z ออกเป็นส่วนย่อย	58
รูปที่ 3.16 การพิจารณาหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร	58
รูปที่ 4.1 เครื่องอ่านข้อมูล RFID ความถี่ 13.56MHz.....	62
รูปที่ 4.2 สายนำสัญญาณ	63
รูปที่ 4.3 ชนิดของแท็กที่ใช้ในการทดสอบ (ISO15693).....	63
รูปที่ 4.4 ลักษณะการวางตัวของแท็กชนิด ISO-Card ในทิศทาง $x y$ และ z	64
รูปที่ 4.5 บล็อกไดอะแกรมในการทดสอบสายอากาศ.....	65
รูปที่ 4.6 สายอากาศต้นแบบ.....	65
รูปที่ 4.7 ค่า S_{11} ของสายอากาศที่มีค่าเท่ากับ -25.47 dB.....	65
รูปที่ 4.8 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็ก ที่ระยะทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ.....	66
รูปที่ 4.9 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็ก ที่ระยะทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ.....	66
รูปที่ 4.10 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็ก ที่ระยะทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ.....	67
รูปที่ 4.11 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็ก ที่ระยะทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ.....	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.12 ความสามารถในการติดต่อดูสารกับแท่ง ที่ระนาบทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ 20 cm.....	67
รูปที่ 5.1 บล็อกไดอะแกรมในการประเมินผลสายอากาศ	70
รูปที่ 5.2 รูปในการประเมินผลสายอากาศ.....	71
รูปที่ 5.3 รูปตัวอย่างการอ่านแท่งของสายอากาศเมื่อเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์	71
รูปที่ 5.4 ความสามารถในการติดต่อดูสารกับแท่งจำนวน 25 แท่ง ที่ระนาบทดสอบห่างจาก สายอากาศเท่ากับ 0 cm.....	72
รูปที่ 5.5 ความสามารถในการติดต่อดูสารกับแท่งจำนวน 25 แท่ง ที่ระนาบทดสอบห่างจาก สายอากาศเท่ากับ 4 cm.....	72
รูปที่ 5.6 ความสามารถในการติดต่อดูสารกับแท่งจำนวน 25 แท่ง ที่ระนาบทดสอบห่างจาก สายอากาศเท่ากับ 8 cm.....	73
รูปที่ 5.7 ความสามารถในการติดต่อดูสารกับแท่งจำนวน 25 แท่ง ที่ระนาบทดสอบห่างจาก สายอากาศเท่ากับ 12 cm.....	73
รูปที่ 5.8 ความสามารถในการติดต่อดูสารกับแท่งจำนวน 25 แท่ง ที่ระนาบทดสอบห่างจาก สายอากาศเท่ากับ 16 cm.....	73
รูปที่ 5.9 ความสามารถในการติดต่อดูสารกับแท่งจำนวน 25 แท่ง ที่ระนาบทดสอบห่างจาก สายอากาศเท่ากับ 20 cm.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

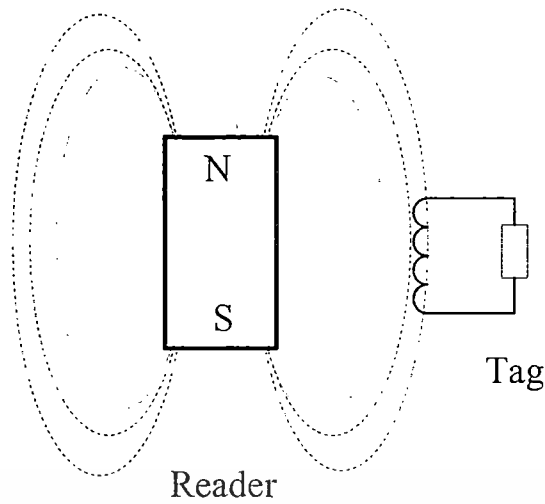
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (Radio frequency identification : RFID) ถูกพัฒนามาในยุค ค.ศ. 1970 อุปกรณ์ RFID ที่มีการประดิษฐ์ขึ้นใช้งานเป็นครั้งแรกนั้น เป็นผลงานของ Leon Theremin เพื่อนำไปใช้ในการบ่งชี้วัตถุในระยะไกล และสามารถอ่านข้อมูลจากป้าย (RFID Tag) ได้พร้อม ๆ กันหลายป้าย โดยที่เครื่องอ่านไม่ต้องสัมผัสกับตัวป้าย(RFID Tag) การอ่านข้อมูลสามารถอ่านได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ยุคเริ่มแรกของการใช้ RFID ในเชิงพาณิชย์ได้แก่ระบบกันขโมย ในห้างสรรพสินค้า โดยที่ตัวสินค้าจะมีการติด RFID แบบ 1 บิต (ซึ่งจะมีค่าเป็น '0' หรือ '1') เมื่อมีการชำระสินค้าเครื่องอ่านและเขียนข้อมูล RFID จะทำการเปลี่ยนค่าบิตเป็น '0' ทำให้สามารถนำสินค้าออกจากร้านได้ แต่หากมีการนำสินค้าออกจากร้าน โดยที่วัตถุที่ติด RFID มีบิตเป็น '1' สัญญาณเตือนจะดังขึ้นในช่วงต้นปี ค.ศ. 1990 บริษัท ไอบีเอ็มได้พัฒนาและจดสิทธิบัตร RFID ในย่าน UHF (ย่านความถี่ตั้งแต่ 300 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 3 กิกะเฮิร์ตซ์) แต่เมื่อบริษัทไอบีเอ็ม มีปัญหาด้านการเงิน จึงได้ขายสิทธิบัตรเกี่ยวกับ RFID ให้กับบริษัท Intermec ในช่วงกลาง ค.ศ. 1990 ซึ่งในขณะนั้นการใช้งานอุปกรณ์ RFID ยังไม่แพร่หลายมากนักเนื่องจากอุปกรณ์มีราคาสูง RFID กลับมาได้รับความนิยมอีกครั้ง ในปี ค.ศ. 1999 เมื่อ UCC (Uniform Code Council) EAN International บริษัท Procter & Gamble และ บริษัท Gillette ได้ร่วมก่อตั้งศูนย์ Auto-ID ขึ้นที่สถาบันเทคโนโลยีแมสซาชูเซตส์ (MIT) ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อพัฒนาแนวทางการใช้ RFID ในห่วงโซ่อุปทาน สำหรับติดตามสินค้าที่ส่งในสายโซ่อุปทานของตนเอง ภายหลังได้มีการนำ RFID มาประยุกต์ใช้กับงานด้าน ๆ กันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นการเก็บค่าทางด่วนอัตโนมัติ โดยนำ RFID Tag ติดกับรถ และ ติดเครื่องอ่านที่ควมเก็บเงิน หรือในทางด้านการเกษตรของสหรัฐ มีการนำป้ายแบบ Passive ชนิดความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ สำหรับติดที่ตัววัว เพื่อใช้เก็บข้อมูลการฉีดวัคซีนของวัวแต่ละตัว เป็นต้น

RFID เป็นเทคโนโลยีที่ใช้คลื่นวิทยุในการระบุลักษณะของคน สัตว์ หรือวัตถุโดยอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless communications) การสื่อสารข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ คือการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน (Reader) กับ แท็ก (Tag) โดยแบ่งออกเป็นสองหลักการคือ วิธีแรกเป็นวิธีเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive coupling หรือ Proximity electromagnetic) วิธีที่สองเป็นวิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic propagation coupling) ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้งานในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ [1] ดังแสดงในรูปแบบที่ 1.1

ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) วิธีเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในย่านความถี่ LF และ HF



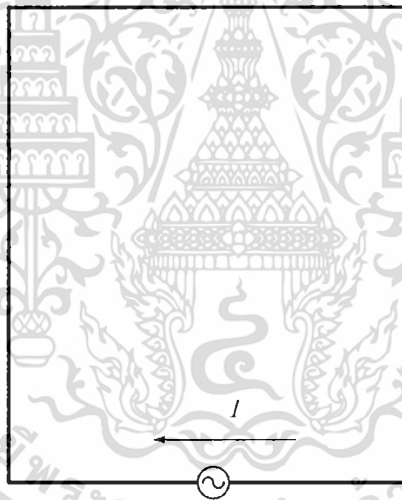
(ข) วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในย่านความถี่ UHF และ Microwave

รูปที่ 1.1 ลักษณะการสื่อสารข้อมูลระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก [1]

ปัจจุบันระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุในย่านความถี่สูงนิยมนำมาประยุกต์ใช้งานกับระบบการจัดการหนังสือและการจัดการคลังสินค้าเนื่องจากมีการประมวลผลที่รวดเร็วและมีความแม่นยำสูง อันจะทำให้เป็นการเพิ่มความสามารถในการทำงาน ตรวจสอบและควบคุมให้กับห้องสมุดและผู้ประกอบการร้านค้า ซึ่งระบบการทำงานที่รวดเร็วแม่นยำ มีการควบคุมและระบบตรวจสอบที่ดีก็จะเป็นพื้นฐานให้กับการจัดการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับระบบนั้นๆ ในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ สายอากาศเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญเพราะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กที่ติดอยู่กับตัวสินค้า โดยที่แท็กส่วนใหญ่สำหรับการติดที่ตัวสินค้าจะเป็นแบบพาสซีฟ (Passive tag) ซึ่งไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอก และมีทิศทางวางตัวที่แน่นอนในการใช้งานจริง

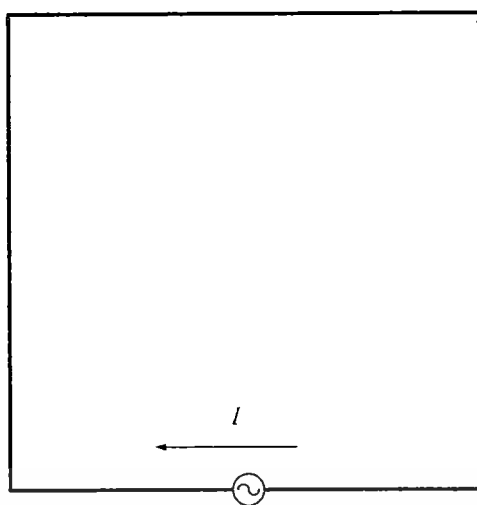
สำหรับสายอากาศของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุของเครื่องอ่านข้อมูลในย่านความถี่สูงที่มีความถี่ 13.56 MHz ในการประยุกต์ใช้งานในระบบการบ่งชี้และการจัดการสินค้า

โดยทั่วไปมีรูปร่างเป็นแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular loop) ดังแสดงในรูปที่ 1.2 เป็นแบบบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square loop) ดังแสดงในรูปที่ 1.3 หรือเป็นแบบบ่วงวงกลม (Circular loop) [1]-[2] ซึ่งบ่วงลักษณะนี้ใช้งานกับแท่งได้ในบางลักษณะการจัดวางเท่านั้น ซึ่งถ้าสายอากาศของการติดต่อสื่อสารด้อยลง [1]-[2] นอกจากนี้รูปแบบของสายอากาศก็จะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสมกับการใช้งานในด้านต่าง ๆ ซึ่งลักษณะการติดตั้งสายอากาศแบบที่นิยมใช้ทั่วไปเช่น สายอากาศมีลักษณะเป็นแบบบ่วงอย่างเดี่ยวที่ไม่มีเกลียว เนื่องจากสายอากาศลักษณะนี้สามารถติดต่อกับแท่งได้ในบางลักษณะการจัดวางเท่านั้น ดังนั้นการออกแบบสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้สายอากาศมีโครงสร้างที่เหมาะสมกับการใช้งานในสถานที่ที่มีลักษณะการติดตั้งแบบต่าง ๆ และให้เครื่องอ่านและแท่งสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ในทุกลักษณะการจัดวางและเพียงพอกับความต้องการของระบบ ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเวลาและลดความผิดพลาดในการตรวจสอบหนังสือหรือตัวสินค้า



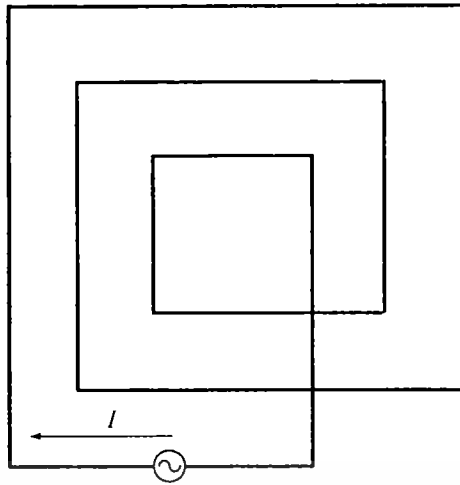
รูปที่ 1.2 สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัส

สายอากาศที่ดีจะต้องสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้หลากหลายลักษณะการจัดวาง ซึ่งพิจารณาจากการส่งผ่านข้อมูลของเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก โดยใช้สนามแม่เหล็กที่กระจายออกจากสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลและการที่เครื่องอ่านข้อมูลจะสามารถติดต่อกับแท็กได้นั้น แท็กจะต้องสามารถรับความเข้มสนามแม่เหล็กอย่างน้อยเท่ากับค่าความเข้มสนามแม่เหล็กกระตุ้น (Activation magnetic field strength) ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่แท็กจะสามารถรับได้นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวางของแท็ก และลักษณะการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศ จึงจำเป็นต้องหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลแบบบ่วงคู่ เริ่มจากการพิจารณาแบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กก่อน จากนั้นจึงนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร (Percentage of volume: P_v) ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรสามารถหาได้จากค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นผิว (Percentage of surface: P_s) และค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้น (Percentage of line: P_l) โดยที่ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรเป็นค่าคุณสมบัติที่บอกลักษณะความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กในบริเวณหรือปริมาตรที่พิจารณา เมื่อค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรมีค่าสูง เครื่องอ่านข้อมูลและแท็กสามารถติดต่อสื่อสารได้อย่างทั่วถึง



รูปที่ 1.4 สายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบขดเกลียว

อย่างไรก็ตามลักษณะการจัดวางของแท่งก็มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร ดังนั้นในทางปฏิบัติการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรจะทำการวิเคราะห์สำหรับการจัดวางของแท่งในสามทิศทางหลักที่ตั้งฉากกัน คือค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มข้นแม่เหล็กในแนวแกน x (P_{v,H_x}) ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มข้นแม่เหล็กในแนวแกน y (P_{v,H_y}) และค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มข้นแม่เหล็กในแนวแกน z (P_{v,H_z}) โดยที่สายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลที่ต้องการให้ติดต่อสื่อสารได้อย่างทั่วถึงจะต้องมีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรเหล่านี้ที่สูงในทุกแนวแกน อย่างไรก็ตามกระบวนการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศต้องการระเบียบขั้นตอนที่มีความยืดหยุ่นเพียงพอสำหรับการประยุกต์ในการใช้งานแต่ละชนิด เนื่องจากพารามิเตอร์ของสายอากาศมีหลายตัวแปร ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอการหาค่าที่เหมาะสมของสายอากาศ

1.2 ความสำคัญของงานวิจัย

เนื่องจากการออกแบบงานด้านวิศวกรรมเพื่อให้ได้ผลงานที่มีลักษณะตามความต้องการมีความยุ่งยาก โดยเฉพาะงานด้านวิศวกรรมการออกแบบสายอากาศเพราะเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของตัวสายอากาศและคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและเกี่ยวเนื่องกับรูปร่างของสายอากาศ ฉะนั้นหากสายอากาศมีโครงสร้างที่ซับซ้อนมากก็ยิ่งทำให้เกิดจำนวนตัวแปรที่ต้องทำการออกแบบมากขึ้นเป็นเหตุให้การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศทำได้ยาก จากการออกแบบสายอากาศแบบบ่วงเพื่อให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรมากที่สุดในทุกแนวแกนนั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการออกแบบสายอากาศบ่วงเกลียวโดยพัฒนาจากสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยม มีข้อดีคือสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของสายอากาศทั้งสามแนวแกนหลักได้ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเลือกที่

จะศึกษาสายอากาศแบบบ่วงที่มีเก็ลยเพื่อให้ได้สายอากาศที่มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน ออกแบบง่ายและมีคุณสมบัติเหมาะสมมากที่สุด

1.3 วัตถุประสงค์และขอบเขตวิทยานิพนธ์

ในการออกแบบสายอากาศแบบบ่วงหรือสายอากาศแบบใด ๆ นั้นความซับซ้อนและยุ่งยากในการออกแบบจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสายอากาศ ฉะนั้นในการหาค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้สายอากาศมีคุณสมบัติตามต้องการจึงต้องใช้เวลาและอาศัยบุคลากรในการจำลองแบบเพื่อค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบบ่วง จากกรณีการนำระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่สูงใช้งานชั้นวางของอัจฉริยะ อย่างเช่นระบบจัดการสินค้า ระบบจัดการหนังสือ จำเป็นต้องใช้สายอากาศแบบบ่วงที่สามารถติดต่อกับเสาอากาศได้หลากหลายลักษณะการจัดวาง ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงมีวัตถุประสงค์

1. สร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับการประยุกต์กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมเพื่อใช้สำหรับการออกแบบสายอากาศแบบบ่วง
2. ใช้หลักการเพิ่มบ่วงให้กับสายอากาศเพื่อพัฒนาคุณสมบัติของสายอากาศแบบบ่วงให้สามารถติดต่อกับเสาอากาศได้ดีทั้งสามแนวแกนหลัก
3. พัฒนาสายอากาศแบบบ่วงให้มีระยะการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและเสาอากาศได้ไกลที่สุด

1.4 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมา ความสำคัญของปัญหาและวัตถุประสงค์ของการเพิ่มบ่วงในการออกแบบสายอากาศแบบบ่วงสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่สูง

บทที่ 2 ในบทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีและหลักการของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่สูงไม่ว่าจะเป็นลักษณะและประเภทของเสา การทำงานของเครื่องอ่าน ข้อพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ นอกจากนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบสายอากาศขดลวดที่นิยมใช้กันทั่วไปในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

บทที่ 3 ในบทนี้ได้เสนอการวิเคราะห์และการจำลองแบบเพื่อหาโครงสร้างและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ ซึ่งรูปแบบของสายอากาศจะเป็นลวดตัวนำเส้นเดียวจัดวางเป็นบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสเพื่อปรับปรุงความสามารถในการติดต่อกับเสาอากาศทั้งสามแนวแกนหลัก ทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรเข้าใกล้ 100% ทั้งสามแนวแกนหลัก และทำการวิเคราะห์ความสามารถของการติดต่อกับเสาอากาศของสายอากาศแบบบ่วงเก็ลยที่มีระยะห่างของบ่วงและจำนวนบ่วงที่ต่างกัน ซึ่งเป็น โครงสร้างที่ได้กำหนดขึ้นเป็นกรณีศึกษา เพื่อเปรียบเทียบค่า

เอเจนซี่บริการที่ปรึกษาการดำเนินงานโครงการค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของสายอากาศแต่ละแบบ ซึ่งในการวิเคราะห์นั้นได้ใช้โปรแกรม NEC มาวิเคราะห์

บทที่ 4 กล่าวถึงการทดสอบสายอากาศเบื้องต้น เพื่อพิจารณาความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กของสายอากาศต้นแบบ ซึ่งดูจากความสามารถในการอ่านแท็กในลักษณะการจัดวางทั้งสามแนวแกนหลัก และพิจารณาความเป็นไปได้ที่จะนำสายอากาศไปประเมินผลเพื่อประยุกต์ใช้งานกับระบบ RFID ย่านความถี่สูง

บทที่ 5 กล่าวถึงการนำสายอากาศจากบทที่ 4 มาประเมินผลโดยให้อ่านแท็กจำนวนมากๆ ในเวลาเดียวกันเพื่อพิสูจน์ให้เห็นว่าสายอากาศต้นแบบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบ RFID ย่านความถี่สูงได้ ตัวอย่างเช่นระบบการจัดการหนังสือและการจัดการสินค้าเป็นต้น

บทที่ 6 สรุปเนื้อหาทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการของระบบระบุลักษณะ ทางคลื่นวิทยุย่านความถี่สูง

2.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการทั่วไปของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่ย่านความถี่สูง ซึ่งประกอบด้วย ประเภทของแท็กแบบต่าง ๆ หลักการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ กับแท็ก หลักการสื่อสารแบบ Inductive coupling การเลือกใช้อุปกรณ์ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ และการออกแบบสายอากาศแบบขดลวดที่ใช้ในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่สูง

2.2 ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (RFID) ย่อมาจาก Radio frequency identification เป็นระบบระบุลักษณะของวัตถุด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อนำไปใช้งานแทนระบบบาร์โค้ด (Barcode) โดยจุดเด่นของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุอยู่ที่สามารถ อ่านข้อมูลจากแท็ก (Tag) ได้หลาย ๆ แท็กแบบไร้สัมผัส และสามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แรงดันสะเทือนการกระทบกระแทก และสามารถจะอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง โดยข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในไมโครชิปที่อยู่ในแท็ก

ในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ จะมีองค์ประกอบหลัก ๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือแท็ก ที่ใช้ติดกับวัตถุต่าง ๆ ที่เราต้องการ โดยแท็กที่ว่าจะบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้น ๆ เอาไว้ ส่วนที่สองก็คือเครื่องสำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในแท็กด้วยคลื่นความถี่วิทยุ เพื่อความเข้าใจจึงขอเปรียบเทียบกับระบบบาร์โค้ด เพื่อให้เห็นภาพชัดเจน แท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุก็คือ ตัวบาร์โค้ดที่ติดกับฉลากของสินค้า และเครื่องอ่านข้อมูลในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ก็คือเครื่องอ่านข้อมูลบาร์โค้ด โดยข้อแตกต่างของทั้งสองระบบคือ ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุจะใช้คลื่นความถี่วิทยุในการอ่านหรือเขียน ส่วนระบบรหัสแท่งจะใช้แสงเลเซอร์ในการอ่าน โดยข้อเสียของระบบบาร์โค้ด คือหลักการอ่านเป็นการใช้แสงในการอ่านรหัสแท่งซึ่งจะต้องอ่านรหัสแท่งที่ไม่มีอะไรไปปิดหรือต้องอยู่ในเส้นตรงเดียวกับลำแสงที่ยิงจากเครื่องสแกนและอ่านวัตถุได้ที่ละชิ้น ในระยะใกล้ ๆ แต่ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุจะแตกต่าง โดยสามารถอ่านแท็กได้โดยไม่ต้องเห็นแท็ก หรือแท็กนั้นซ่อนอยู่ภายในวัตถุและไม่จำเป็นต้องอยู่ในเส้นตรงกับคลื่นเพียงแต่อยู่ในบริเวณที่สามารถรับคลื่นวิทยุได้ก็สามารถอ่านข้อมูลได้และการอ่านแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุยังสามารถอ่านได้หลาย ๆ แท็กในเวลาเดียวกัน

แม้ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 แท็ก

โครงสร้างภายในของแท็กจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ขดลวดขนาดเล็กซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna) สำหรับรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุและสร้างพลังงานป้อนให้ส่วนของไมโครชิป (Microchip) ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุเช่นรหัสสินค้า โดยทั่วไปแท็กอาจอยู่ในชนิดทั้งเป็น กระดาษ แผ่นฟิล์ม พลาสติก มีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำไปติด และมีหลายรูปแบบ เช่น ขนาดเท่าบัตรเครดิต เหรียญ กระดุม ฉลากสินค้า แคลปซูล เป็นต้น แต่โดยหลักการอาจแบ่งแท็ก ที่มีใช้งานกันอยู่นั้นจะมีอยู่ 2 ชนิดใหญ่ ๆ โดยแต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันในเรื่องของการใช้งาน ราคา โครงสร้างและหลักการทำงาน ซึ่งจะขอลำถึงและอธิบายแยกเป็นหัวข้อดังนี้

2.2.1.1 แท็กของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ แบบพาสซีฟ

แท็กชนิดนี้ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอกใด ๆ แสดงตามรูปที่ 2.1 เพราะภายในแท็กจะมีวงจรกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาดเล็ก เป็นแหล่งจ่ายไฟในตัวอยู่ทำให้การอ่านข้อมูลทำได้ไม่ไกลมากนัก ขึ้นอยู่กับความแรงของเครื่องส่งและคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ ขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ไปจนถึงขนาดใหญ่สะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน

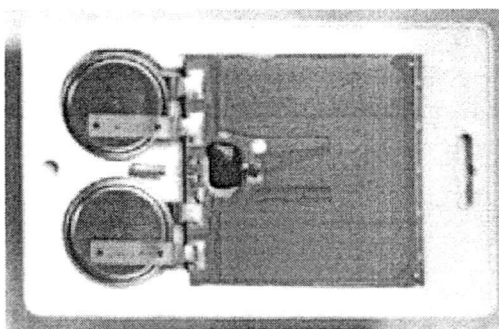
รูปที่ 2.1 แท็กของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบพาสซีฟ

ที่มา : <http://glossary.ippaper.com>

2.2.1.2 แท็กของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบแอ็กทีฟ

แท็กชนิดนี้จะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ เพื่อจ่ายพลังงานให้กับวงจรเครื่องส่งภายในแท็กซึ่งแท็กชนิดนี้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ส่งสัญญาณได้ไกล มีอายุการใช้งานสั้นและมีราคาแพง มักนิยมใช้กับเครื่องอ่านย่านความถี่ UHF หรือ ไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แท้ของระบบลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบแอ็กทีฟ

ที่มา : <http://www.acentech.net>

2.2.2 ประเภทของแท็กในระบบลักษณะทางคลื่นวิทยุ

อุปกรณ์แท็กในระบบระบบลักษณะทางคลื่นวิทยุ ประเภทต่าง ๆ ที่มีการผลิตใช้งานในกิจการต่าง ๆ ในปัจจุบัน โดยแยกกล่าวตามความแตกต่างของโครงสร้างและการออกแบบเป็นสิ่งสำคัญตามด้วยตัวอย่างประเภทของการประยุกต์ใช้งาน

2.2.2.1 แท็กแบบจานและเหรียญ (Disk and Coin)

แท็กจะถูกบรรจุอยู่ในโครงสร้างทรงกลมคล้ายจานหรือเหรียญและมีการเคลือบป้องกันไว้เป็นอย่างดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท็กชนิดนี้มีตั้งแต่ไม่กี่มิลลิเมตร ไปจนถึง 10 cm

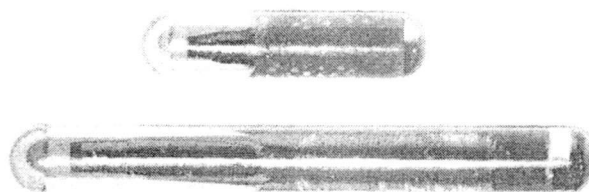
รูปที่ 2.3 แท็กแบบจานและเหรียญ

ที่มา : <http://www.diytrade.com>

2.2.2.2 แท็กแบบกระเปาะแก้ว (Glass housing)

เป็นแท็กที่ได้รับการพัฒนาและผลิตขึ้นสำหรับใช้ฝังไว้ใต้ผิวหนังของสัตว์เพื่อใช้ในการติดตามข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแวดวงปศุสัตว์และการสาธารณสุข ตัวกระเปาะแก้วมีขนาดความยาวในช่วง 12-32 mm

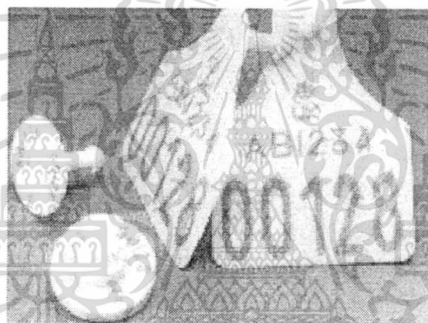
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แท็กแบบกระเปาะแก้ว ที่มา : <http://www.alibaba.com>

2.2.2.3 แท็กแบบพลาสติก (Plastic housing)

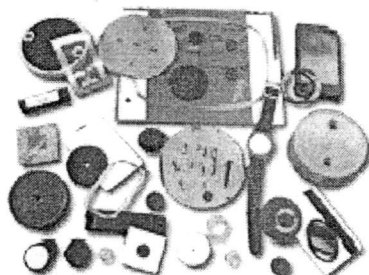
นิยมเรียกกันในชื่อย่อว่า PP (Plastic package) ได้รับการคิดค้นและพัฒนาขึ้นสำหรับใช้ในกิจการอุตสาหกรรมบางประเภทที่มีความต้องการเฉพาะรูปแบบ แท็กแบบนี้มีขนาดบางและสามารถนำไปติดตั้งประกอบกับผลิตภัณฑ์หลายๆ ประเภท



รูปที่ 2.5 แท็กแบบพลาสติก ที่มา : <http://www.alibaba.com>

2.2.2.4 แท็กสำหรับใช้เฉพาะกิจ

เป็นแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ อีกประเภทหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษ สำหรับใช้งานในกรณีเฉพาะกิจ โดยมีการคิดค้นและพัฒนาเพื่อบรรจุแท็กลงในโครงสร้างและหน้าสัมผัสที่เป็นโลหะ



รูปที่ 2.6 แท็กสำหรับใช้เฉพาะกิจ ที่มา : <http://www.alibaba.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ให้ดูตัวอย่างเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ใช่เพื่อใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.5 แท็กแบบพวงกุญแจ (Key and Key fob)

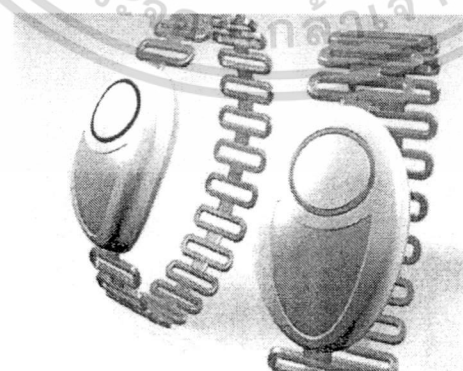
แท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ สามารถได้รับการพัฒนาให้อยู่ในรูปของกุญแจพิเศษที่ใช้ในการเปิดปิดประตู หรือใช้กับระบบรักษาความปลอดภัยต่าง ๆ ซึ่งพวงกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้ไม่มีลูกกุญแจ แต่กลับทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งอาจมีการนำเข้ารหัสเพื่อใช้ในการยืนยันตัวตน



รูปที่ 2.7 แท็กแบบพวงกุญแจ ที่มา : <http://www.ankaka.com>

2.2.2.6 แท็กแบบนาฬิกา

แท็กแบบนาฬิกาได้รับการคิดค้นและพัฒนาตั้งแต่ พ.ศ. 2533-2535 โดยบริษัทสัญชาติออสเตรเลียที่มีชื่อว่า Sky-data โดยผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นนาฬิกาสวมใส่ข้อมือและใช้เป็นอุปกรณ์แสดงตัวตนในลักษณะช่องเซ็นเซอร์แบบไร้การสัมผัส (Contactless sensor) เพื่อผ่านเข้าสู่ตู้เล่นสกีสำหรับนักสกีทั้งหลาย



รูปที่ 2.8 แท็กแบบนาฬิกา ที่มา : <http://web.tradecorea.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.7 แท็กมาตรฐาน ID-1 และ สมาร์ทการ์ดแบบไร้การสัมผัส

แท็กแบบ ID-1 มีรูปลักษณะภายนอกไม่ต่างจากบัตรเครดิตหรือบัตรโทรศัพท์ทั่วไป โดยมีขนาดประมาณ 85.72 คูณ 54.03 mm ความหนา 0.76 mm เป็นแท็กที่ได้รับการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย ด้วยคุณสมบัติพิเศษก็คือระยะทำการรับส่งสัญญาณที่เหนือกว่าแท็กแบบอื่น ๆ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากพื้นที่หน้าตัดที่กว้างมากของตัวบัตร ทำให้สามารถจัดวางระบบสายอากาศที่มีแกนขนาดใหญ่ช่วยเพิ่มรัศมีทำการขึ้นได้อีกมาก

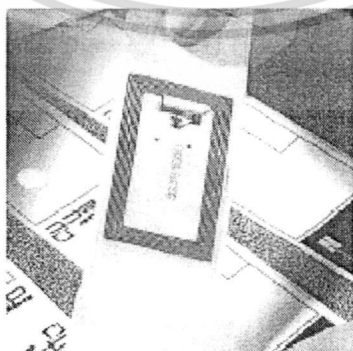


รูปที่ 2.9 แท็กมาตรฐาน ID-1 และ สมาร์ทการ์ดแบบไร้การสัมผัส

ที่มา : <http://www.alibaba.com>

2.2.2.8 แท็กแบบ Smart Label

เป็นแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ บางที่สุดที่ได้รับการออกแบบเป็นกระดาษบาง ๆ สามารถงอหรือทบได้ โดยขดลวดสำหรับรับส่งสัญญาณจะถูกออกแบบเป็นแถบพอยล์พลาสติกความหนาเพียง 0.1 mm โดยใช้กระบวนการผลิตแบบพิมพ์สกรีน โดยทั่วไปแถบพอยล์เหล่านี้จะถูกเคลือบชั้นหนึ่งโดยเยื่อกระดาษและทับอีกชั้นหนึ่งด้วยสารยึดเกาะ เพื่อป้องกันการฉีกขาด



รูปที่ 2.10 แท็กแบบ Smart Label

ที่มา : <http://www.alibaba.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.9 แท็กแบบขดลวดบนชิป (Coil-on-Chip)

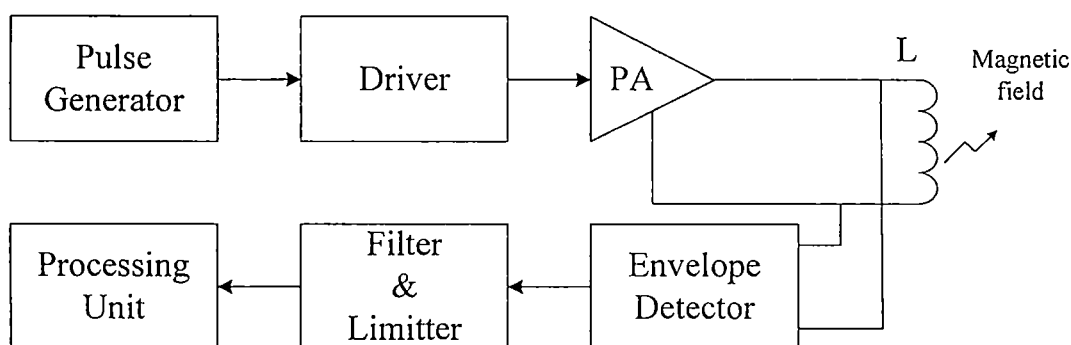
แท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ชนิดนี้มีความแตกต่างจากแท็กแบบอื่น ๆ ซึ่งมีการแยกส่วนระหว่างแท็กกับขดลวดหรือสายอากาศอย่างชัดเจน แต่สำหรับแท็กแบบขดลวดบนชิปนั้นจะรวมส่วนที่เป็นขดลวดสายอากาศและตัววงจรประมวลผลเข้าด้วยกัน

2.2.3 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader)

โดยหน้าที่ของเครื่องอ่านข้อมูลก็คือ การเชื่อมต่อเพื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลลงในแท็กด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ ภายในเครื่องอ่านข้อมูลแสดงดังรูปที่ 2.11 จะประกอบด้วย สายอากาศที่ทำจากขดลวดทองแดงเพื่อใช้รับส่งสัญญาณ ภาครับ-ส่งสัญญาณวิทยุ และวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูล จำพวกไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครื่องอ่านข้อมูลจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้ [1]-[2]

- ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ
- ภาคสร้างสัญญาณพาหะ
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ
- วงจรจูนสัญญาณ
- หน่วยประมวลผลข้อมูล และภาคเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

โดยทั่วไปหน่วยประมวลผลข้อมูลที่อยู่ภายในเครื่องอ่านข้อมูลมักใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ภายใน โปรแกรม จะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล (Decoding) ที่ได้รับ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยลักษณะขนาดและรูปร่างของเครื่องอ่านข้อมูลจะแตกต่างกันไปตามประเภทของการใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็กหรือติดผนัง จนไปถึงขนาดใหญ่เท่าประตู (Gate Size) เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของเครื่องอ่าน [1]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

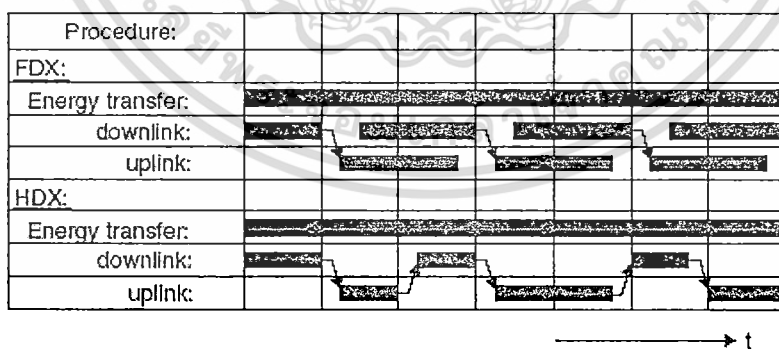
2.3 คุณลักษณะของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

2.3.1 ลักษณะการทำงาน (Operation type)

อุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ทั้งแท็กและเครื่องอ่านจะมีรูปแบบมุลบนการทำงานอย่างไรอย่างหนึ่งระหว่างการรับส่งข้อมูลแบบ Full duplex (FDX) / Half duplex (HDX)

2.3.1.1 การรับส่งข้อมูลแบบ Full duplex (FDX)

เครื่องอ่านข้อมูลจะทำการส่งสัญญาณข้อมูลออกตลอดเวลา ซึ่งเท่ากับว่าเป็นการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านทางคลื่นวิทยุไปจ่ายให้กับแท็กที่อยู่ในบริเวณการใช้งานด้วย และเนื่องจากความแรงของคลื่นสัญญาณความถี่วิทยุที่แท็กส่งออกมามีกำลังส่งต่ำ ทำให้มีแนวโน้มว่าสัญญาณอาจส่งไปไม่ถึงเครื่องอ่าน หรืออาจส่งไปถึงแต่มีระดับสัญญาณรบกวนปะปนอยู่ด้วย เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่านข้อมูล ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นของตนเองทำให้ส่งสัญญาณออกมาได้สูงกว่าดังนั้นจึงต้องมีมาตรการในการสร้างความแตกต่างของสัญญาณคลื่นวิทยุที่มีการส่งออกมาจากแท็กแต่ละเครื่อง ให้มีเอกลักษณ์ (Identity) ที่แตกต่างกัน เพื่อให้เครื่องอ่านข้อมูลสามารถแยกแยะแหล่งที่มาได้อย่างถูกต้อง โดยใช้มอดูเลตสัญญาณแบบ Load modulation ซึ่งการสื่อสารแบบ Full duplex เครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณที่สามารถตรวจจับและแปลงเป็นกำลังงานไฟฟ้าให้กับแท็กได้ตลอดเวลา การส่งสัญญาณจากเครื่องอ่านข้อมูลไปยังแท็ก (Downlink) และการส่งข้อมูลจากแท็กกลับมายังเครื่องอ่าน (Uplink) สามารถกระทำขึ้นเมื่อใดก็ได้ไม่จำเป็นต้องรอจังหวะในการส่งไปกลับแต่อย่างใด ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex และ Half Duplex [1]

2.3.1.2 การรับส่งข้อมูลแบบ Half duplex (HDX)

การสื่อสารแบบ Half duplex เครื่องอ่านข้อมูลจะทำการส่งพลังงานไฟฟ้าไปให้กับแท็กตลอดเวลา ซึ่งการส่งสัญญาณจากเครื่องอ่านไปยังแท็ก (Downlink) และการส่งข้อมูลจากแท็กกลับมายังเครื่องอ่าน (Uplink) ไม่สามารถกระทำขึ้นเมื่อใดก็ได้ไม่จำเป็นต้องรอจังหวะในการส่งไปกลับแต่อย่างใด ดังรูปที่ 2.12

มายังเครื่องอ่านข้อมูล (Uplink) จะต้องมีการกำหนดจังหวะผลการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็ก ดังรูปที่ 2.12

2.3.2 ขนาดข้อมูล (Data quantity)

โดยทั่วไปอุปกรณ์แท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ จะมีขนาดของหน่วยความจำ หรือที่นิยมเรียกกันว่าขนาดความจุข้อมูล (Data capacity) ไล่ขนาดตั้งแต่ไม่กี่ไบต์ไปจนถึงหลาย ๆ กิโลไบต์ ตัวอย่างแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ อีกกลุ่มหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาให้มีขนาดความจุเพียง 1 บิต (1-bit Transponder) ซึ่งแท็กแบบนี้มักมีราคาประหยัดและมีจุดประสงค์ในการนำไปใช้งานเพียงเพื่อการแจ้งสถานภาพเท่านั้น

2.3.3 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable)

การจำแนกประเภทของแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ตามขีดความสามารถในการโปรแกรมข้อมูล สามารถแบ่งออกได้เป็นแท็กที่ไม่สามารถโปรแกรมได้ ซึ่งภายในจะมีการเขียนข้อมูลที่อาจเป็นรหัสเลขหมายใด ๆ ตามที่ได้รับคำสั่งจ้างทำมาตั้งแต่สายการผลิตและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ อีกประเภทหนึ่งเป็นแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ที่สามารถทำการ โปรแกรมข้อมูลผ่านทางเครื่องอ่านข้อมูลได้ การจัดการลำดับคำสั่ง (Sequence) ในกรณีของแท็กที่สามารถโปรแกรมได้นั้น ก็มีเทคนิคที่ใช้ในการจัดการประมวลผลข้อมูลให้เลือกพิจารณาเป็นเรื่องทางเทคนิค

2.3.4 แหล่งพลังงาน (Power supply)

เป็นคุณสมบัติทางเทคนิคที่มีความสำคัญมากในการพิจารณาเลือกใช้แท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ทั้งนี้สามารถจำแนกประเภทของแท็กออกเป็น 2 กลุ่ม คือ แบบพาสซีฟ (Passive transponder) ซึ่งเป็นแท็กที่ไม่ต้องการแหล่งจ่ายไฟบรรจุไว้ภายในตัว แต่จะอาศัยการแปลงสัญญาณพลังงาน ไฟฟ้าที่ส่งมาจากเครื่องอ่านข้อมูลมาเป็นไฟเลี้ยงเพียงอย่างเดียว กับอีกประเภทหนึ่ง คือ แบบแอ็กทีฟ (Active transponder) ซึ่งต้องการระบบจ่ายไฟภายในแท็กเพื่อใช้ป้อนจ่ายให้กับชิปประมวลผลที่ติดตั้งอยู่ภายใน

2.3.5 ย่านความถี่ใช้งาน (Frequency range)

ความหมายของความถี่ใช้งาน (Operating frequency) ในมาตรฐานของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ นั้นจะหมายถึงคลื่นความถี่วิทยุที่เครื่องอ่านทำการส่งออกไปเท่านั้น โดยจะไม่นับถือว่าแท็กจะส่งคลื่นความถี่ในย่านใดตอบกลับมา ยิ่งในบางกรณีแท็กอาจมีการส่งคลื่นความถี่กลับมาเป็นค่าความถี่เดียวกับที่เครื่องอ่านข้อมูลส่งออกไป โดยแยกแยะความแตกต่างกันด้วยเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณแบบ Load modulation ประเด็นของคลื่นความถี่จากแท็กจึงไม่ใช่

สาระสำคัญในการนำมาพิจารณา ในปัจจุบันคลื่นพาหะที่ใช้งานกันในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ จะอยู่ในย่านความถี่ ISM (Industrial-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดในการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสาร โดยทั่วไปมีความถี่ใช้งาน สำหรับคลื่นพาหะที่ใช้กันในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบ่งออกได้เป็น 4 ย่าน หลักได้แก่

- ย่านความถี่ต่ำ (Low frequency : LF) ต่ำกว่า 150 kHz
- ย่านความถี่สูง (High frequency : HF) 13.56 MHz
- ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra high frequency : UHF) 433/868/915 MHz
- ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave) 2.4/5.8 GHz

ในการใช้งาน 2 ย่านความถี่แรกจะเหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะใกล้ (LF ระยะอ่านประมาณ 1 cm จนถึง 1 m และ HF ระยะอ่านประมาณ 1 m) เช่น การตรวจสอบการผ่านเข้าออกพื้นที่ การตรวจหาและเก็บประวัติในสัตว์ ส่วนย่าน UHF จะถูกใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล (UHF ระยะอ่านประมาณ 1-10 m) เช่น ระบบเก็บค่าบริการทางด่วน และในปัจจุบันระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ กำลังถูกวิจัยและพัฒนาในย่านความถี่ไมโครเวฟที่ความถี่ 2.4 GHz และความถี่ 5.8 GHz เพื่อใช้งานที่ต้องการระยะอ่านที่ไกลกว่า 10 m เป็นต้น

ในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้วระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุด และมีราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วนระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่ใช้คลื่นพาหะในอีก 2 ย่านความถี่แรกจะมีระดับราคาและความเร็วลดหลั่นกันไป

2.4 ข้อพิจารณาการเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

2.4.1 ความถี่ใช้งาน

หลักการของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ที่ใช้ย่านความถี่ในช่วง 100 kHz ถึง 30 MHz จะใช้รูปแบบส่งถ่ายสัญญาณข้อมูลระหว่างแท็กกับเครื่องรับเป็นแบบเหนี่ยวนำ (Inductive coupling) ในขณะที่อุปกรณ์ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ที่มีการสื่อสารโดยใช้ความถี่ย่านไมโครเวฟซึ่งอยู่ในช่วง 2.45-5.8 GHz จะใช้การส่งถ่ายสัญญาณข้อมูลในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การควบคุมคลื่นสัญญาณของตัวนำที่เป็นน้ำ ที่ความถี่ใช้งาน 100 kHz จะมีค่าต่ำกว่าการใช้งานที่ความถี่ 1 GHz ถึง 100,000 เท่า การเลือกใช้งานอุปกรณ์ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ที่ความถี่สูงระดับ 1 GHz ในกรณีที่มีฝนตกย่อมจะเกิดปัญหาการลดทอนสัญญาณระหว่างแท็กและเครื่องอ่านซึ่งอยู่กลางแจ้งมากกว่าการใช้งานแบบเดียวกันที่ความถี่ 100 kHz การเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกใช้อุปกรณ์ของระบบลักษณะทางคลื่นวิทยุ ทำงานที่ความถี่ในย่าน HF น่าจะให้ผลดีในการแพร่กระจายคลื่นในระยะทางกว้าง

ส่วนการเลือกใช้ย่านความถี่ไมโครเวฟนั้น โดยทั่วไปจะให้ผลดีในเรื่องของระยะทางที่ไกลกว่าการเหนี่ยวนำโดยใช้คลื่นความถี่ต่ำ แต่อุปกรณ์แท็กที่ทำงานในย่านไมโครเวฟนั้น จำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายไฟสำรองไฟฟ้าทำให้ต้องมีขนาดใหญ่และมีข้อจำกัดในการพกพาหลาย ๆ ประการ สิ่งที่ควรพิจารณาประการหนึ่งสำหรับการใช้งานอุปกรณ์ของระบบระบบลักษณะทางคลื่นวิทยุ ในย่านความถี่สูงก็คือ การที่ระบบอาจถูกรบกวนจากการเดินเครื่องมอเตอร์ที่อยู่ใกล้เคียงได้ เนื่องจากการรับส่งข้อมูลที่ใช้การเหนี่ยวนำ ทำให้มีความนิยมใช้งานการสื่อสารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟแทนในกรณีของการใช้งานภายในโรงงานอุตสาหกรรม

2.4.2 ระยะเวลาทำการ

ปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องกับโดยตรงต่อระยะเวลาทำการในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและแท็กของระบบระบบลักษณะทางคลื่นวิทยุ สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประการคือ ตำแหน่งของแท็กหรือระยะห่างขั้นต่ำระหว่างแท็กแต่ละตัวกับเครื่องอ่านข้อมูล ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไปแล้วแต่ประเภทของการใช้งาน ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแท็ก และความเร็วในการอ่าน/เขียนข้อมูลของแท็ก

2.4.3 ข้อกำหนดด้านการรักษาความปลอดภัย

2.4.3.1 การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล

การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วยการตรวจยืนยันแท็กของระบบระบบลักษณะทางคลื่นวิทยุ และการเข้ารหัสข้อมูลที่จะถูกส่งผ่านทางคลื่นวิทยุ กระบวนการหรือความต้องการใช้งานในกรณีนั้น ๆ จำเป็นต้องใช้มาตรการรักษาความปลอดภัยหรือไม่ หรือหากต้องการใช้จะเป็นเพียงระดับใด เพื่อให้การลงทุนเป็นไปอย่างเหมาะสมที่สุด

2.4.3.2 การรักษาความปลอดภัยที่มีผลกระทบต่อมนุษย์

การรักษาความปลอดภัยที่มีผลกระทบต่อมนุษย์ ที่ความถี่ 0.1-3.0 MHz จะต้องมีค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า (Electric field strength : E) ไม่เกิน 614 V/m ค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Strength : H) ไม่เกิน $16.3/f$ A/m ค่าความหนาแน่นกำลัง (Power density : S) ไม่เกิน $10,000/f^2$ mW/cm² โดยคิดที่เวลาเฉลี่ย (Averaging time) 6 นาที ซึ่ง f มีหน่วยเป็น MHz [2] และในส่วนของมาตรฐานการลดทอนของความเข้มสนามแม่เหล็กที่ระยะ 10 m จะต้องมีค่าไม่เกิน 72 dB μ A/m ซึ่งเป็นมาตรฐานยุโรป EN300 [2]

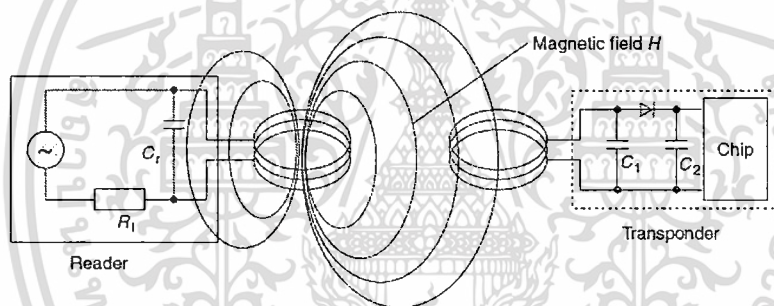
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 ขนาดของหน่วยความจำ

ต้นทุนของแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ย่อมมีความสัมพันธ์กับลักษณะและขนาดของหน่วยความจำที่บรรจุอยู่ภายใน การใช้งานในระดับสาธารณะ เช่น ระบบขนส่งจึงนิยมใช้แท็กที่มีหน่วยความจำน้อย หรือในบางกรณีอาจใช้แท็กแบบโปรแกรมไม่ได้ เพื่อควบคุมต้นทุนของบัตร โดยอาจใช้บัตรหรือแท็กทำหน้าที่ส่งข้อมูลแสดงหมายเลข แล้วให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้นใช้งานภายในระบบหรือเครือข่ายขนส่งทำหน้าที่ตรวจสอบแทน โดยไม่ต้องเก็บข้อมูลไว้ในบัตร

2.5 เทคโนโลยีระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่ใช้การสื่อสารแบบ Inductive coupling

เป็นมาตรฐานที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็ก โครงสร้างของแท็กประกอบไปด้วยแผงวงจรหรือชิปที่เก็บบันทึกข้อมูลต่าง ๆ โดยมีขดลวดพื้นที่กว้างทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับและส่งสัญญาณ



รูปที่ 2.13 การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กเป็นการรับพลังงานไฟฟ้า จากเครื่องอ่าน [1]

2.5.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่านข้อมูลไปยังแท็ก

เนื่องจากการทำงานของแท็กนั้นเป็นแบบพาสซีฟ (Passive operation) คือไม่มีแหล่งพลังงานภายในเป็นของตัวเอง จึงจำเป็นต้องรับพลังงาน (Energy) มาจากเครื่องอ่านข้อมูลโดยตรง ด้วยเหตุนี้ จึงต้องมีการออกแบบระบบสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล (ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งทั้งข้อมูลและพลังงานไปในตัว) ให้สามารถส่งพลังงานสนามแม่เหล็กที่กำลังสูงพอให้สามารถแพร่กระจายไปในพื้นที่ใช้งาน และสามารถเหนี่ยวนำขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศของแท็กได้อย่างเหมาะสม ประกอบทั้งความยาวคลื่นของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งกระจายออกมาจากเครื่องอ่านข้อมูลนั้นมีค่ามากกว่าระยะห่างระหว่างแท็กกับเครื่องอ่านข้อมูล ซึ่งโดยทั่วไปวางห่างกันไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยีของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบ Inductive coupling ส่วนใหญ่ใช้ความถี่ต่ำเพียง 125-134.2 kHz หรือ 13.56 MHz ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีความยาวคลื่นยาวมากถึง 2,400 m ที่ความถี่ 125-134.2 kHz และ 22.12 m ที่ความถี่ 13.56 MHz จึงไม่มีปัญหาในเรื่องของความยาวคลื่นที่สั้นเกินไปจนเกิดปรากฏการณ์เลี้ยวเบนหรือถูกกลทอนจากผนังอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ หากพิจารณาถึงพื้นที่ใช้งานโดยทั่วไปที่ไม่ได้ไกลหรือกว้างมากนัก

สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะตกกระทบขดลวดสายอากาศของแท็ก ก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขนาดอ่อน ๆ ขึ้นบนขดลวด ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกนำไปเข้ากระบวนการกรองสัญญาณ โดยตัวเก็บประจุและไดโอดเพื่อกรองให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับป้อนให้กับอุปกรณ์ชิป การออกแบบอยู่ที่การเลือกค่าของตัวเก็บประจุ (C) ซึ่งจะต้องมีค่าสัมพันธ์กับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดสายอากาศ เพื่อให้สามารถกำหนดค่าความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant frequency) ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่านข้อมูล เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่แท็ก เปรียบเทียบการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าระหว่างขดลวดทั้งสองในรูปแบบที่ 2.13 จะเทียบได้กับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขดลวด 2 ชุด แต่ขดลวดทั้งสองมิได้พันอยู่บนแกนแม่เหล็กเดียวกัน โดยใช้อากาศซึ่งมีการลวดทอนมากกว่าแกนแม่เหล็กมาก ๆ

ดังนั้นในการออกแบบระบบ RFID ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงานให้มากที่สุดจึงต้องเน้นไปที่ย่านความถี่ที่เหมาะสมต่อการส่งกระจายพลังงาน จำนวนรอบของขดลวดที่เครื่องอ่านข้อมูล และพื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่แท็ก มุมติดตั้ง และระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็ก

เมื่อความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารมีค่าสูงมากขึ้น จะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องใช้สำหรับขดลวดสายอากาศของแท็กจะมีค่าลดลง ซึ่งหมายถึงใช้จำนวนรอบในการพันลดลงเช่นกัน ตัวอย่างเช่น หากใช้งานที่ความถี่ย่าน 125 kHz จะต้องมีการพันขดลวดสายอากาศที่แท็กในช่วง 100-1,000 รอบ แต่หากเพิ่มความถี่ในการใช้งานเป็น 13.56 MHz ก็จะสามารถลดจำนวนรอบของขดลวดจะเหลือเพียง 3-10 รอบเท่านั้น ซึ่งจะมีผลทำให้สามารถลดขนาดของอุปกรณ์แท็กลงได้ แต่ในขณะเดียวกันก็จะส่งผลให้แรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามเหล็กในย่านความถี่สูงลดลงเมื่อเทียบกับการใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ทำให้จำกัดระยะทางในการใช้งานมากขึ้น การเลือกใช้อุปกรณ์ RFID จึงต้องพิจารณาทั้งขนาดของแท็กและระยะทางที่ต้องการใช้งานตรวจสอบเป็นสำคัญ เพื่อใช้กำหนดเลือกย่านความถี่ที่เหมาะสมของอุปกรณ์ใช้งาน

สิ่งที่ควรให้ความสนใจเกี่ยวกับการออกแบบระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบ Inductive coupling ก็คือพฤติกรรมการกินกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ชิปที่ติดตั้งอยู่บนแท็ก เนื่องจากค่อนข้างมีความหลากหลายและสัมพันธ์กับรูปแบบในการนำไปประยุกต์ใช้งาน การเลือกค่าความถี่พื้นฐานในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กระยะทางพื้นที่ใช้งาน และขนาดของอุปกรณ์อื่นเนื่องมาจากจำนวนรอบของขดลวดสายอากาศ จึงจำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ประเภทของการใช้งานอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้
ไม่เวอร์ชันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การส่งข้อมูลจากแท็กมายังเครื่องอ่านข้อมูล

มาตรฐานของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ แบบ Inductive coupling กำหนดรูปแบบการส่งข้อมูลจากแท็กมายังเครื่องอ่านข้อมูล หรือ Uplink communication โดยใช้เทคโนโลยีที่เป็นการส่งกระจายคลื่นความถี่วิทยุคือ Load modulation จะมีหลักการทำงานดังนี้

2.5.2.1 เทคโนโลยี Load modulation

พฤติกรรมในการส่งสัญญาณระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและขดลวดของแท็กมีแบบจำลองที่ไม่ต่างจากการทำงานของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าแต่อย่างใด หากแต่เพียงตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายทอดพลังงานเป็นอากาศไม่ใช่โลหะดังเช่นที่พบเห็นในหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป แต่การใช้อากาศเป็นตัวกลางถ่ายทอดสัญญาณระหว่างขดลวดทั้งสองนั้น จะทำได้ก็ต่อเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กห่างกันไม่เกิน 0.16 เท่าของค่าความยาวคลื่น (0.16λ) ซึ่งหากคิดกรณีที่ใช้ความถี่ในย่าน 125 kHz ที่มีความยาวคลื่น $2,400$ m ก็จะหมายความว่า จะวางแท็กกับเครื่องอ่านห่างกันได้ในระยะทางไม่เกิน 0.16 คูณ $2,400 = 384$ m [3]

หากมีการนำแท็กซึ่งมีคุณสมบัติของขดลวดและตัวเก็บประจุ ตรงกันกับค่าความถี่เรโซแนนซ์ของเครื่องอ่านมาใช้ในพื้นที่ตรวจสอบที่มีการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กจากเครื่องอ่านข้อมูล แท็กย่อมจะดึงพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการเหนี่ยวนำเพื่อสร้างแรงดันไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน ซึ่งหากพิจารณาในแง่ของวงจรไฟฟ้าแล้ว เครื่องอ่านข้อมูลจะมองเห็นแท็กเป็นโหลดวงจรตัวหนึ่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ Z_T ต่อพ่วงอยู่กับขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล การเปลี่ยนแปลงใด ๆ ไม่ว่าจะเป็นการส่งหรือหยุดส่งพลังงานจากเครื่องอ่านข้อมูล ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ Z_T ที่เครื่องอ่านข้อมูลอย่างแน่นอน เนื่องจากในแง่ของวงจรเรโซแนนซ์ ที่เกิดจากขดลวด และตัวเก็บประจุ บนแท็กย่อมมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่และไม่มีการจ่ายพลังงานก็เทียบเท่ากับความถี่เท่ากับศูนย์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์เสมือน Z_T นี้ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล โดยปริยาย ซึ่งเป็นสัญญาณแจ้งให้เครื่องอ่านข้อมูลทราบว่ากำลังจะมีการส่งข้อมูลจากแท็กมา เรียกเทคโนโลยีนี้ว่า Load modulation ส่วนจะประยุกต์ใช้งานส่งข้อมูลแบบ Half duplex หรือ Full duplex นั้นขึ้นอยู่กับกรออกแบบวงจรตรวจจับและถอดรหัสสัญญาณซึ่งเป็นเรื่องที่ยังรายละเอียดไปในการออกแบบ

2.6 ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการออกแบบสายอากาศขดลวดของเครื่องอ่านข้อมูล

ในการพัฒนาสายอากาศระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุของเครื่องอ่านข้อมูล มีเหตุผลหลักอยู่ 2 ประการคือ

- เพื่อต้องการส่งความถี่วิทยุ (คลื่นพาห้) ให้เป็นกำลังงานของแท็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- เพื่อรับสัญญาณความถี่วิทยุ (สัญญาณข้อมูล) จากแท็ก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณความถี่คลื่นวิทยุ สามารถที่จะแพร่กระจายได้อย่างมีประสิทธิภาพในมิติเชิงเส้นของสายอากาศ ซึ่งเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งาน ในการประยุกต์ใช้งานระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่ย่านความถี่สูง (13.56 MHz) ความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งานจะมีค่าประมาณ 22.12 m เนื่องจากค่าของความยาวคลื่นมีค่ายาวมาก ในความเป็นจริงไม่สามารถที่จะสร้างสายอากาศได้ในระยะที่จำกัดตามจริง แต่มีทางเลือกหนึ่งเป็นสายอากาศขดลวดแบบบ่วงขนาดเล็ก พิจารณาจากความยาวเส้นลวดรวมทั้งหมดของสายอากาศที่น้อยกว่า $\lambda/10$ ซึ่งจะเรโซแนนซ์ที่ความถี่ใช้งาน (13.56MHz) สายอากาศชนิดนี้จะใช้สนามแม่เหล็กกระยะใกล้ (Magnetic in Near Field) ในการเชื่อมต่อการเหนี่ยวนำระหว่างสายอากาศขดลวดตัวส่งและตัวรับ

การทำให้เกิดสนาม โดยสายอากาศแบบบ่วงขนาดเล็กนั้นจะไม่แพร่กระจายคลื่น แต่จะทำให้คลื่นอ่อนกำลังลงมากกว่า ความเข้มสนามถูกลดลงด้วย r^{-3} (เมื่อ $r =$ ระยะห่างจากสายอากาศ) ในสนามระยะใกล้ (r^{-3}) เป็นปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวจำกัดระยะการอ่านในการใช้งานของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ [3]

เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กจะเคลื่อนที่ผ่านขดลวด (สายอากาศ) เป็นการเหนี่ยวนำแรงดันให้ตกคร่อมด้านปลายสุดของขดลวด แรงดันนี้จะใช้เพื่อกระตุ้นแท็กแบบพาสซีฟ ดังนั้นสายอากาศขดลวดส่วนมากจะถูกออกแบบให้สามารถเหนี่ยวนำแรงดันได้สูงสุด

จากสมการที่ 2.1 เป็นสมการของ Biot-savart ที่ได้มาจากกฎของแอมแปร์ ได้กล่าวไว้ว่าการไหลของกระแสในตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบ ๆ ตัวนำ รูปที่ 2.14 แสดงสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสส่วนหนึ่ง ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในตัวนำ (ลวด) ที่มีควมยาวจำกัด [3]-[5] คิดได้จากสมการ

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \quad (2.1)$$

โดยที่ $I =$ กระแส

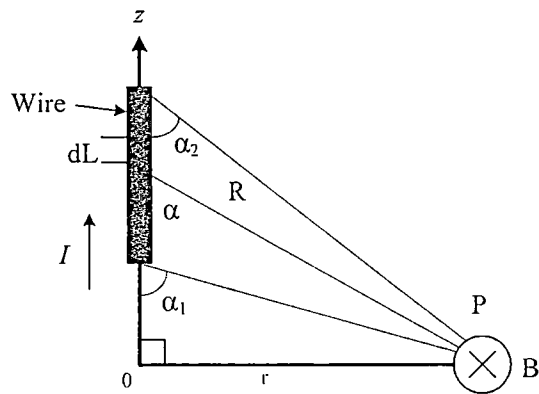
$r =$ ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของลวด

$\mu_0 =$ ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (Permeability) ของช่องว่างอิสระ

มีค่า $4\pi \times 10^{-7}$ (Henry/meter)

ในกรณีที่ลวดมีความยาวอนันต์ที่ $\alpha_1 = 180^\circ$ และ $\alpha_2 = 0^\circ$ จากสมการที่ 2.1 สามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.14 การคำนวณของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก B ที่จุดสังเกต P โดยการป้อนกระแส (I) ที่ลวดตัวนำ [3]

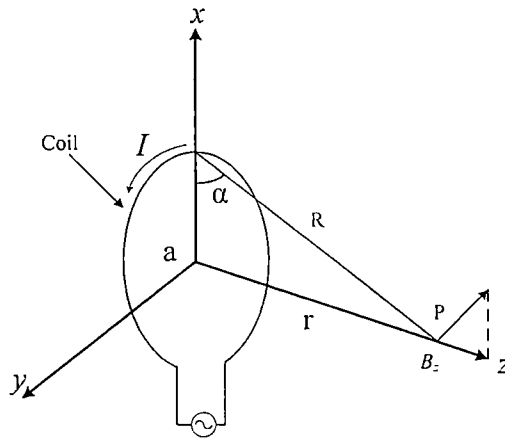
ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากสายอากาศชนิดลวดแบบบ่วงวงกลม จำนวน N รอบ แสดงได้ดังรูปที่ 2.4 จะได้สมการดังนี้ [3]

$$B_z = \frac{\mu_0 I N a^2}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} \quad (2.3)$$

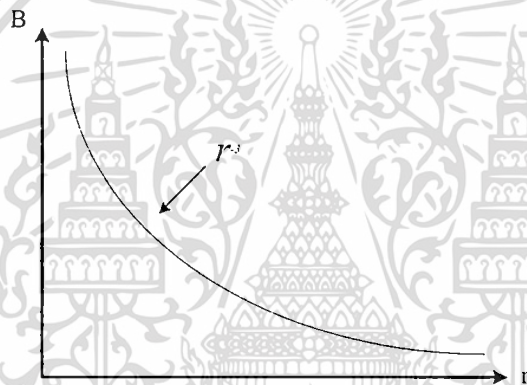
$$B_z = \frac{\mu_0 I N a^2}{2} \left(\frac{1}{r^3} \right) ; r^2 \geq a^2 \quad (2.4)$$

โดยที่ $a =$ รัศมีของบ่วง

สมการที่ 2.4 นี้แสดงให้เห็นว่า สนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายอากาศแบบบ่วง ถูกลดลงด้วย $1/r^3$ ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ความเข้มของสนามที่มากที่สุดในระยะของบ่วงและทิศทางที่เหมาะสม สัมพันธ์กับค่ากระแส (I) จำนวนรอบ (N) และพื้นที่ผิวของบ่วง สมการที่ 2.4 ใช้มากสำหรับคำนวณหาค่า กระแส-รอบ ซึ่งจำเป็นสำหรับระยะเวลาอ่าน ความเข้มสนามแม่เหล็กที่มีผลต่อกำลังงานที่แท่งจะได้รับตามสัดส่วน



รูปที่ 2.15 การคำนวณความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก B ที่จุดสังเกต P โดยการป้อนกระแส (I) เข้าบ่วง [3]



รูปที่ 2.16 การลดลงของค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก B กับระยะห่าง r [3]

2.6.1 การเหนี่ยวนำแรงดันในสายอากาศขดลวด

จากกฎของฟาราเดย์ กล่าวไว้ว่า เมื่อสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาผ่านพื้นผิวปิด จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำรอบบ่วง ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานที่มีความสำคัญสำหรับการทำงานของ อุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบพาสซีฟ รูปที่ 2.17 แสดงรูปแบบอย่างง่ายของการใช้งานระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ เมื่อสายอากาศของแท็กและสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล อยู่ในระยะที่ใกล้กัน สนามแม่เหล็ก B ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจะเกิดจากสายอากาศขดลวดของ เครื่องอ่านข้อมูลเหนี่ยวนำแรงดัน ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive force) ในสายอากาศ ขดลวดของแท็ก และทำให้เกิดกระแสไหลในขดลวดที่เหมาะสมได้เรียกว่ากฎของฟาราเดย์

ในการเหนี่ยวนำแรงดันบนสายอากาศขดลวดของแท็ก เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของ

เส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic flux : ψ) ต่อเวลา จะได้ดังสมการที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ผ่านสายอากาศขดลวดของแท่งจะมีค่ามากที่สุด เมื่อขดลวดทั้งสอง (สายอากาศขดลวดของเครื่องอ่านข้อมูลและสายอากาศขดลวดของแท่ง) อยู่ในทิศทางที่ขนานกัน

จากสมการที่ 2.3-2.6 จะเป็นการเหนี่ยวนำแรงดัน V_o สำหรับสายอากาศแบบบ่วงที่ไม่ได้จูน จะได้สมการที่ 2.7 ดังนี้

$$V_o = 2\pi fNSB_o \cos \alpha \quad (2.7)$$

โดยที่ f = ความถี่ของสัญญาณ

N = จำนวนรอบของขดลวดในบ่วง

S = พื้นที่ของบ่วงในหน่วย(m^2)

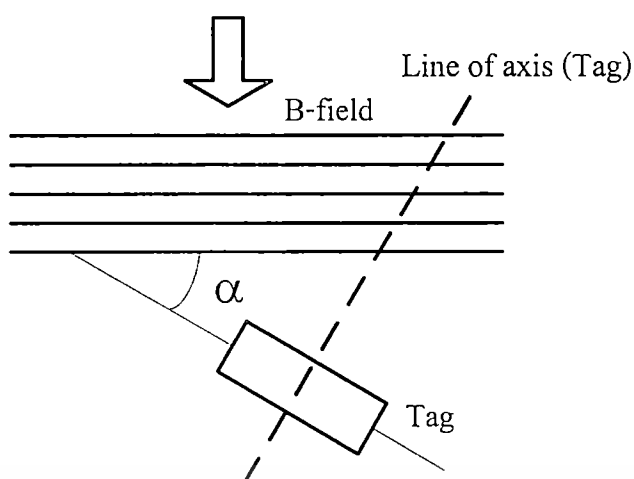
B_o = ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก

α = มุมระหว่างลูกข้ายกับระนาบสนามแม่เหล็ก

ถ้าทำการจูนขดลวด (ด้วยตัวเก็บประจุ : C) ที่สัญญาณความถี่ (13.56 MHz) แรงดันเอาต์พุต V_o ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างมาก แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากสมการที่ 2.7 จะคูณด้วยค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ (Quality factor) ของวงจรจูน ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ตั้งแต่ 5 ถึง 50 ที่ความถี่ต่ำของการใช้งานระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

$$V_o = 2\pi f_o NQSB_o \cos \alpha \quad (2.8)$$

โดยค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ เป็นสิ่งบ่งชี้ของการเลือกความถี่ที่เหมาะสม



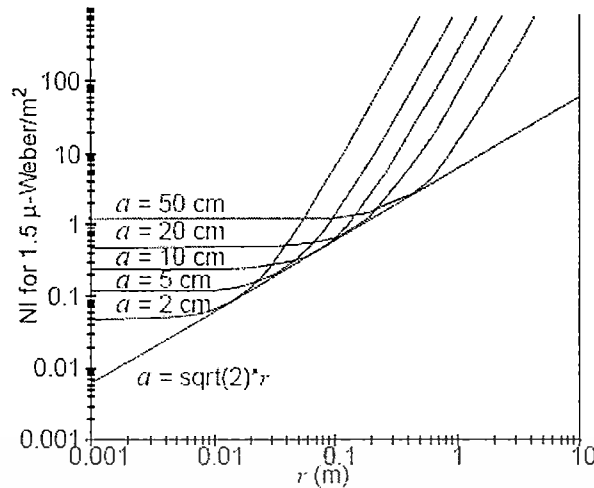
รูปที่ 2.18 การปรับทิศทางของสายอากาศของแท่งให้เหมาะสม [3]

การเหนี่ยวนำแรงดันข้ามสายอากาศขดลวดแบบบ่วงเป็นของฟังก์ชันมุมของสัญญาณแรงดันเหนี่ยวนำจะมีค่ามากที่สุดเมื่อสายอากาศขดลวดอยู่ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกับทิศทางของสัญญาณที่ $\alpha = 0$

ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก B ที่แท่งต้องการสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.8 และค่ากระแส-รอบ (Ampere-turns) ของสายอากาศขดลวดเครื่องอ่านข้อมูลที่มีรัศมีใด ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$NI = \frac{2B_0 (a^2 + r^2)^{3/2}}{\mu a^2} \quad (2.9)$$

สำหรับระยะการอ่านที่เพิ่มมากขึ้นเป็นการบอกถึงการพิจารณา การเพิ่มขึ้นของรัศมีของขดลวดซึ่งจะได้ผลมากกว่าการเพิ่มกระแสให้กับขดลวด



Note: $B_0 = 1.5 \mu\text{Wb/m}^2$ is used.

รูปที่ 2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-รอบกับระยะการอ่าน [3]

จากรูปที่ 2.19 ค่า B_0 ที่ใช้เท่ากับ $1.5 \mu\text{Wb/m}^2$ และรัศมีที่เหมาะสมของบ่วงต้องการค่าของกระแส-รอบที่น้อยที่สุด สำหรับระยะของการอ่านสามารถหาได้จากสมการที่ (2.3) เช่น

$$NI = K \frac{(a^2 + r^2)^{3/2}}{a^2} \quad (2.10)$$

โดยที่

$$K = \frac{2B_0}{\mu_0}$$

โดยการนำอนุพันธ์มาใช้เพื่อหาค่ารัศมีจะได้

$$\begin{aligned} \frac{d(NI)}{da} &= K \frac{3/2(a^2 + r^2)^{1/2}(2a^3) - 2a(a^2 + r^2)^{3/2}}{a^4} \\ &= K \frac{(a^2 - 2r^2)(a^2 + r^2)^{1/2}}{a^3} \end{aligned}$$

จากสมการข้างต้นจะกลายเป็นสมการที่มีค่าน้อยที่สุดเมื่อ

$$a^2 - 2r^2 = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลลัพธ์ข้างต้นจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะของการอ่านกับขนาดของแท่ง ค่ารัศมีที่เหมาะสมจะหาได้จาก

$$a = \sqrt{2}r \quad (2.11)$$

โดยที่ a = รัศมีของขดลวด

r = ระยะการอ่าน

จากผลลัพธ์ข้างต้นบอกให้รู้ว่า ค่ารัศมีที่เหมาะสมที่สุดของบ่วงสำหรับสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลจะมีค่าประมาณ 1.414 เท่า ของระยะการอ่าน

2.6.2 ชนิดและความต้านทานที่สูญเสียของลวด

2.6.2.1 ขนาดและค่าความต้านทานทางดำนไฟฟ้ากระแสตรง

เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทางไฟฟ้าจะแสดงตัวเลขตามมาตรฐานอเมริกา (American wire gauge : AWG) ค่าตัวเลขจะเป็นสัดส่วนที่ตรงกันข้ามกับค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางและเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าทุก ๆ ขนาดลวดลดไปหกเบอร์ ลวดที่เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กจะมีค่าความต้านทานทางดำนไฟฟ้ากระแสตรงที่สูง ค่าความต้านทานทางดำนไฟฟ้ากระแสตรงของตัวนำที่เป็นแบบเดียวกันตามพื้นที่หน้าตัดหาค่าได้โดย

$$R_{DC} = \frac{l}{\sigma S} \quad (2.12)$$

โดยที่ l = ความยาวทั้งหมดของลวด

σ = ค่าความนำไฟฟ้า

S = พื้นที่หน้าตัด

ตารางที่ 2.1 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับดำนในและสารเคลือบโลหะของลวด และค่าความต้านทานทางดำนไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อ $1 \text{ mil} = 2.54 \times 10^{-3} \text{ cm}$

ตารางที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์ของลวด

Wire Size (AWG)	Dia. in Mils (bare)	Dia. in Mils (coated)	Ohms/1000 ft.	Cross section (mils)	Wire Size (AWG)	Dia. in Mils (bare)	Dia. in Mils (coated)	Ohms/1000 ft.	Cross section (mils)
1	289.3	-	0.126	83690	26	15.9	17.2	41.0	253
2	287.6	-	0.156	66360	27	14.2	15.4	51.4	202
3	229.4	-	0.197	52620	28	12.6	13.8	65.3	159
4	204.3	-	0.249	41740	29	11.3	12.3	81.2	133
5	181.9	-	0.313	33090	30	10.0	11.0	106	100
6	162.0	-	0.395	26240	31	8.9	9.9	131	79.3
7	166.3	-	0.498	20820	32	8.0	6.8	162	64.0
8	128.5	131.6	0.628	16510	33	7.1	7.9	206	50.4
9	114.4	116.3	0.793	13090	34	6.3	7.0	261	39.7
10	101.9	106.2	0.999	10380	35	5.6	6.3	331	31.4
11	90.7	93.5	1.26	8230	36	5.0	5.7	415	25.0
12	80.8	83.3	1.59	6530	37	4.5	5.1	512	20.2
13	72.0	74.1	2.00	5180	38	4.0	4.5	648	16.0
14	64.1	66.7	2.52	4110	39	3.5	4.0	847	12.2
15	57.1	59.5	3.18	3260	40	3.1	3.5	1080	9.61
16	50.8	52.9	4.02	2580	41	2.8	3.1	1320	7.84
17	45.3	47.2	5.05	2060	42	2.5	2.8	1660	6.25
18	40.3	42.4	6.39	1620	43	2.2	2.5	2140	4.84
19	35.9	37.9	8.05	1290	44	2.0	2.3	2590	4.00
20	32.0	34.0	10.1	1020	45	1.76	1.9	3350	3.10
21	28.5	30.2	12.8	812	46	1.57	1.7	4210	2.46
22	25.3	28.0	16.2	640	47	1.40	1.6	5290	1.96
23	22.6	24.2	20.3	511	48	1.24	1.4	6750	1.54
24	20.1	21.6	25.7	404	49	1.11	1.3	8420	1.23
25	17.9	19.3	32.4	320	50	0.99	1.1	10600	0.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2.2 ค่าความต้านทานทางดำนไฟฟ้ากระแสสลับของลวด

สำหรับไฟฟ้ากระแสตรง ประจุคลื่นพาห้จะกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วหน้าตัดของลวด ขณะที่ความถี่เพิ่มขึ้นค่ารีแอกแตนซ์ไกล์จุดศูนย์กลางของลวดก็เพิ่มขึ้นด้วย มีผลให้ขอบเขตความหนาแน่นกระแสในค่าอิมพีแดนซ์สูง ดังนั้นประจุจะเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางของลวดไปยังขอบของลวด มีผลทำให้ความหนาแน่นกระแสลดลงในจุดศูนย์กลางของลวดและเพิ่มขึ้นไกล์ขอบของลวด เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าปรากฏการณ์คลื่นผิว (Skin effect) ความหนาภายในตัวนำที่มีความหนาแน่นกระแสลดลง $1/e$ หรือ 37% จากค่าความลึกผิว (Skin depth) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ [3]

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (2.13)$$

โดยที่ f = ความถี่

$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ = ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก

μ_0 = ค่าความซึมซาบแม่เหล็กของอากาศ

μ_r = ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ของวัสดุ

σ = ค่าความนำไฟฟ้าของวัสดุ

ค่าความต้านทานของลวดที่ขึ้นกับความถี่ และค่าความต้านทานที่เกิดจากความหนาของพื้นผิวเรียกว่า ความต้านทานทางดำนไฟฟ้ากระแสสลับ การประมาณค่าความต้านทานของไฟฟ้ากระแสสลับหาได้จากสมการ

$$R_{ac} \approx \frac{1}{2\sigma\pi\delta} = (R_{DC}) \frac{a}{2\delta} \quad (2.14)$$

โดยที่ a = รัศมีของขดลวด

สำหรับลวดทองแดง มีค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์เท่ากับ 1.2566 N/A² ค่าความนำไฟฟ้าเท่ากับ 59.6×10^6 s/m และมีค่าความสูญเสียประมาณได้โดยค่าความต้านทานทางดำนไฟฟ้ากระแสตรงของขดลวด ถ้ารัศมีของเส้นลวดใหญ่กว่า $0.066/\sqrt{f}$ cm

2.6.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวด

กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาสามารถทำให้เกิดการไหลของกระแสผ่านตัวนำอีกตัวหนึ่ง เรียกว่า ค่าความเหนี่ยวนำ (L) ค่า

ความเหนี่ยวนำขึ้นอยู่กับค่าคุณลักษณะของตัวนำ ขดลวดจะมีค่าความเหนี่ยวนำมากกว่าเส้นลวดที่เป็นวัสดุที่เหมือนกัน และขดลวดที่มีจำนวนรอบมากก็จะมีค่าความเหนี่ยวนำมากกว่าขดลวดที่มีจำนวนรอบน้อย ค่าความเหนี่ยวนำของตัวนำมีนิยามคือ อัตราส่วนของเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดต่อกระแสที่ไหลผ่านตัวนำ

$$L = \frac{N\psi}{I} \quad (2.15)$$

โดยที่ N = จำนวนรอบ

I = กระแส

ψ = เส้นแรงแม่เหล็ก

2.6.3.1 ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวด

ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวดตรง ที่แสดงในรูปที่ 2.14 สามารถหาได้จากสมการ

$$L = 0.002l \left[\log_e \frac{2l}{a} - \frac{3}{4} \right] \quad (2.16)$$

โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวด มีหน่วยเป็น μH

l และ a = ความยาวและรัศมีของลวดในหน่วย cm ตามลำดับ

2.6.3.2 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด 1 ชั้น

ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดดังแสดงในรูปที่ 2.20 สามารถคำนวณได้จากสมการ

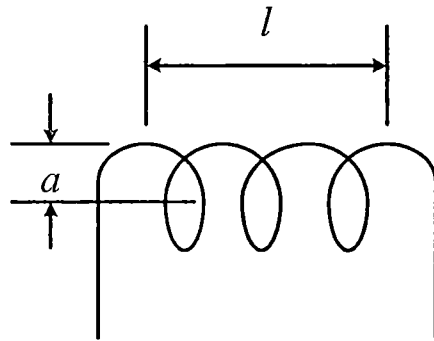
$$L = \frac{(aN)^2}{22.9l + 25.4a} \quad (2.17)$$

โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด มีหน่วยเป็น μH

a = รัศมีของขดลวด มีหน่วยเป็น cm

l = ความยาวของขดลวด มีหน่วยเป็น cm

N = จำนวนรอบ



รูปที่ 2.20 รูปของขดลวด 1 ชั้น [3]

สำหรับค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพที่ดีที่สุดของขดลวด ควรจะมีความยาวประมาณเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวด

2.6.3.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดแบบบ่วงวงกลมหลายชั้น

จากรูปแบบค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดขนาดใหญ่ในขอบเขตที่จำกัด จะมีค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพมากเมื่อพันขดลวดหลาย ๆ รอบ เป็นเหตุผลของรูปแบบในการออกแบบโครงสร้างสายอากาศขดลวดของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ แสดงดังรูปที่ 2.21 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดแบบบ่วงวงกลม สามารถคำนวณได้จากสมการ [3]

$$L = \frac{0.31(aN)^2}{6a + 9h + 10b} \quad (2.18)$$

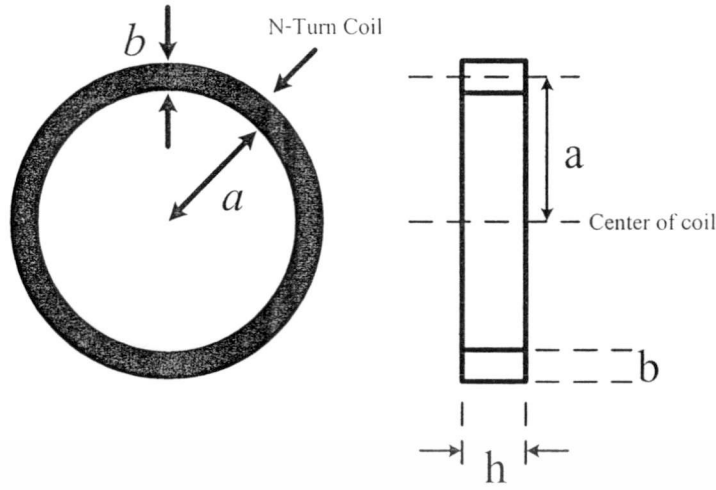
โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวด มีหน่วยเป็น μH

a = รัศมีเฉลี่ยของขดลวด มีหน่วยเป็น cm

N = จำนวนรอบ

b = ความหนาในการขด มีหน่วยเป็น cm

h = ความสูงในการขด มีหน่วยเป็น cm



รูปที่ 2.21 สายอากาศขดลวดบ่วงวงกลมแกนอากาศจำนวนรอบใด ๆ [3]

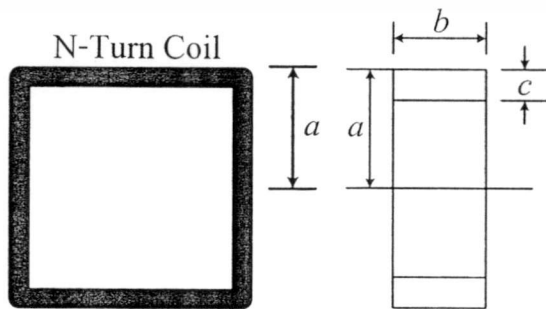
จำนวนรอบที่ต้องการสำหรับค่าความเหนี่ยวนำที่แน่นอน สามารถคำนวณได้จากการประยุกต์สมการที่ 2.16 ซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$N = \sqrt{\frac{L_{\mu H} (6a + 9h + 10b)}{(0.31)a^2}} \tag{2.19}$$

2.6.3.4 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ถ้า N คือจำนวนรอบและ a เป็นความยาวที่วัดจากจุดศูนย์กลางของสี่เหลี่ยมถึงขอบด้านนอกของบ่วง ส่วนด้านข้างของบ่วงเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความยาว b และความหนา c ดังแสดงในรูปที่ 2.22

$$L = 0.008aN^2 \left(2.303 \log_{10} \left(\frac{a}{b+c} \right) + 0.2235 \frac{b+c}{a} + 0.726 \right) \tag{2.20}$$



(ก) รูปด้านหน้า

(ข) รูปด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

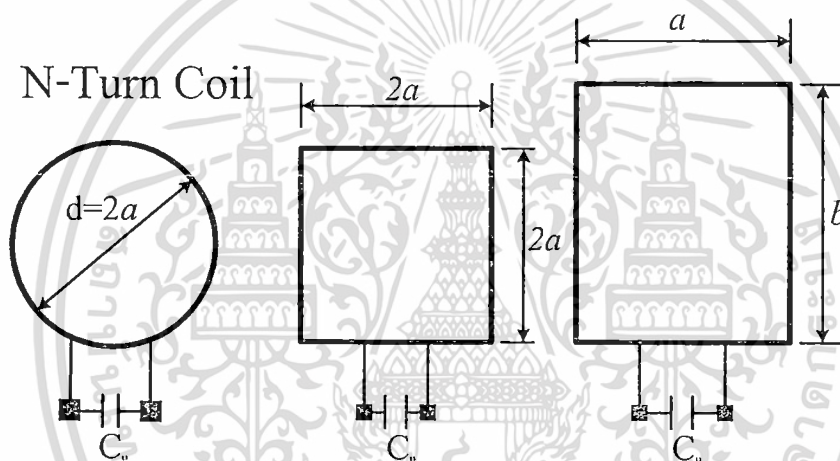
รูปที่ 2.22 สายอากาศขดลวดแบบบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสหลายชั้น [3]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 รูปแบบของสายอากาศขดลวด

2.7.1 สายอากาศขดลวดของแท็ก

สายอากาศขดลวดสำหรับแท็กของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ สามารถทำได้หลายรูปแบบที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการประยุกต์การใช้งาน ตัวอย่างหนึ่งของสายอากาศของแท็กที่ทำงานในย่านความถี่สูง เช่นแบบ Smart label หรือ Smartcard มีรูปแบบสายอากาศเป็นสี่เหลี่ยม โดยมีขนาดแตกต่างกันไปตามการใช้งาน รูปที่ 2.23 แสดงลักษณะต่างๆ ของสายอากาศแท็กสายอากาศขดลวดโดยทั่วไปมักทำด้วยลวดเส้นเล็ก ๆ ค่าความเหนี่ยวนำและจำนวนรอบของขดลวดสามารถคำนวณได้จากสมการดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 2.23 รูปแบบต่างๆ ของสายอากาศขดลวดของแท็ก [3]

2.7.2 สายอากาศขดลวดของเครื่องอ่านข้อมูล

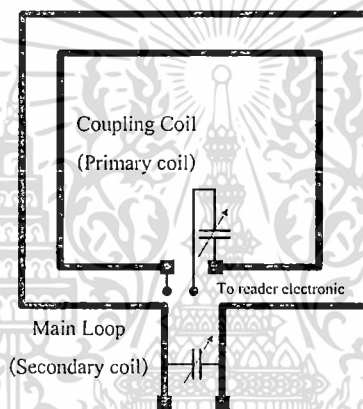
ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดเครื่องอ่านข้อมูล โดยทั่วไปจะมีค่าน้อยๆ เนื่องจากความจํากัดของค่าความจุของตัวเก็บประจุที่ใช้ในการแมชชิง ให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์ที่ย่านความถี่สูง สายอากาศขดลวดเครื่องอ่านข้อมูลจึงควรมีค่าความเหนี่ยวนำไม่เกิน $5 \mu\text{H}$ จะใช้ค่าความจุประมาณ 27 pF ที่ความถี่เรโซแนนซ์ที่ย่านความถี่สูงซึ่งเป็นค่าเก็บประจุที่สามารถหาได้ง่าย สายอากาศขดลวดเครื่องอ่านข้อมูลสามารถที่จะทำเป็นบ่วงเดียวตามรูปแบบวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม หรือ บ่วงคู่ (Transformer) ตามรูปแบบวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

ในรูปแบบวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมผลที่ได้จะให้ค่าความต้านทานที่มีค่าน้อยที่ความถี่เรโซแนนซ์ ดังนั้นจะทำให้กระแสมีค่ามาก ส่วนในวงจรเรโซแนนซ์ขนานจะให้ผลของค่าความต้านทานสูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ ดังนั้นจะทำให้กระแสมีค่าน้อย เนื่องจากแรงดันสามารถเพิ่มระดับขึ้นได้โดยการใส่รูปแบบบ่วงคู่ขนาน วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานมักจะใช้สำหรับระบบที่ไม่ว่กรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการสัญญาณที่มีแรงดันสูง รูปที่ 2.24 แสดงตัวอย่างของสายอากาศบ่วงหม้อแปลง (Transformer loop) ที่บ่วงหลักเป็นรูปแบบของรอบ โครงสร้างขนาดใหญ่ของลวด โดยจูนค่าที่ตัวเก็บประจุเพื่อให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์ (13.56MHz) บ่วงอื่นจะเรียกว่าบ่วงเชื่อมต่อและจะมีรูปแบบที่เล็กกว่า 2-3 รอบของขดลวด ตำแหน่งของบ่วงเชื่อมต่อจะวางอยู่ในบ่วงหลัก

บ่วงเชื่อมต่อจะทำให้ได้ค่าอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสมกับค่าอิมพีแดนซ์ที่อินพุต/เอาต์พุตของเครื่องอ่าน การเชื่อมต่อขดลวดที่จุดอินพุต/เอาต์พุตในตัวอ่าน ที่บ่วงหลักจะต้องทำการจูนให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์และไม่ได้มีการเชื่อมต่อกับเครื่องอ่าน

บ่วงเชื่อมต่อโดยทั่วไปจะไม่ได้ทำการจูน แต่ในการออกแบบจะทำการจูนที่ตัวเก็บประจุ C_2 ที่ต่ออนุกรมอยู่กับบ่วงเชื่อมต่อ เพราะจำนวนรอบที่บ่วงหลักมากกว่าบ่วงเชื่อมต่อ 2-3 รอบ ทำให้ที่บ่วงเชื่อมต้อมีค่าความเหนี่ยวนำน้อย เป็นผลให้ต้องใช้ค่าตัวเก็บประจุมีค่ามาก



รูปที่ 2.24 สายอากาศบ่วงหม้อแปลงของเครื่องอ่านข้อมูล [3]

2.8 วงจรเรโซแนนซ์ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ (Q) และแบนด์วิดท์

ในการประยุกต์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ สายอากาศขดลวดเป็นส่วนสำคัญของวงจรเรโซแนนซ์และระยะในการอ่านของอุปกรณ์ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการทำงานของวงจรเรโซแนนซ์อย่างมาก

รูปที่ 2.25 และ 2.26 แสดงตัวอย่างรูปแบบของวงจรเรโซแนนซ์ ของสายอากาศขดลวด และการจูนตัวเก็บประจุ ความถี่เรโซแนนซ์ (f_0) สามารถคำนวณได้จาก

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.21)$$

โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

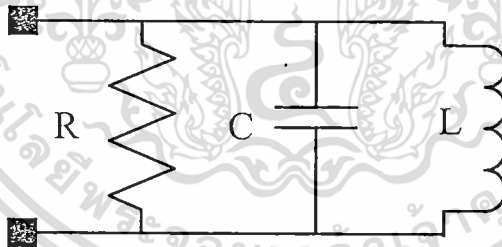
วงจรเรโซแนนซ์สามารถที่จะมีรูปแบบเป็นแบบอนุกรม หรือ แบบขนาน วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมจะมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำที่ความถี่เรโซแนนซ์ ผลลัพธ์คือจะมีกระแสที่ใช้ในวงจรมาก โดยทั่วไปจะใช้วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมสำหรับสายอากาศของเครื่องอ่านส่วนวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะมีค่าอิมพีแดนซ์สูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งค่ากระแสที่ได้จะมีค่าต่ำและแรงดันจะมีค่าสูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะใช้สำหรับสายอากาศของแท็ก

2.8.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

รูปที่ 2.25 แสดงตัวอย่างวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน ค่าอิมพีแดนซ์รวมของวงจรสามารถหาได้จากสมการ

$$Z(j\omega) = \frac{j\omega L}{(1 - \omega^2 LC) + j\frac{\omega L}{R}} \quad (2.22)$$

โดยที่ $\omega =$ ความถี่เชิงมุม $= 2\pi f$
 $R =$ ความต้านทานโหลด



รูปที่ 2.25 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน [3]

ในที่นี้ไม่สนใจค่าความต้านทาน (r) ของขดลวด ค่าอิมพีแดนซ์จะมีค่ามากเมื่อตัวส่วนในสมการ (2.20) มีค่ามาก และค่าอิมพีแดนซ์จะมีค่าน้อยเมื่อ

$$\omega^2 LC = 1 \quad (2.23)$$

เรียกว่าสภาวะเรโซแนนซ์และความถี่เรโซแนนซ์หาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.24)$$

ทำการแทนสมการที่ 2.21 ลงในสมการที่ 2.20 ค่าความต้านทานที่ความถี่เรโซแนนซ์จะกลายเป็น

$$Z = R \quad (2.25)$$

ค่า R และ C ในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน สามารถนำมาคำนวณแบนด์วิดท์ B ของวงจรได้ดังสมการ

$$B = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.26)$$

ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ (Q) สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$Q = \frac{f_0}{B} \quad (2.27)$$

โดยที่ f_0 = ความถี่เรโซแนนซ์

B = แบนด์วิดท์

แทนสมการที่ 2.24 และ สมการที่ 2.26 ลงในสมการที่ 2.28 ตัวประกอบเชิงคุณภาพ (Q) ในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะได้ดังสมการ

$$Q = R\sqrt{\frac{C}{L}} \quad (2.28)$$

ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะแปรผันตรงกับค่าความต้านทาน และค่าอาร์กที่สองอัตราส่วนระหว่างค่าความจุกับค่าความเหนี่ยวนำในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะใช้สำหรับวงจรสายอากาศของแท็ก แรงดันที่ตกร้อมในวงจรสามารถที่จะคำนวณได้จากสมการที่ 2.8 และ สมการที่ 2.28 ดังนี้

$$V_0 = 2\pi f_0 N \left(R\sqrt{\frac{C}{L}} \right) S B_0 \cos \alpha \quad (2.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการข้างต้นแสดงถึงการเหนี่ยวนำแรงดันในขดลวดแท็กเป็นส่วนกลับของรากที่สองของค่าความเหนี่ยวนำ และเป็นสัดส่วน โดยตรงกับจำนวนรอบและพื้นที่ผิวของขดลวด

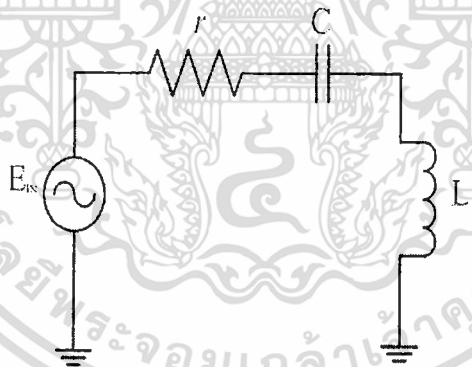
วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานสามารถใช้ในสายอากาศแบบบ่วงหม้อแปลง สำหรับเครื่องอ่านที่ระยะทางไกล ๆ อธิบายได้ในสายอากาศขดลวดของเครื่องอ่าน (รูปที่ 2.24) แรงดันในบ่วงทุติยภูมิจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราส่วนของจำนวนรอบ (n_2/n_1) ของบ่วงหม้อแปลง แม้ว่าสัญญาณมีแรงดันสูงก็ตาม ไม่สามารถที่จะรับสัญญาณได้ สาเหตุที่แยกสายอากาศเพื่อต้องการสำหรับการรับสัญญาณ วงจรสายอากาศรับควรจะจูนสัญญาณที่ทำการมอดูเลตของแท็ก

2.8.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมอย่างง่ายแสดงดังในรูปที่ 2.26 สมการแสดงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรคือ

$$Z(j\omega) = r + j(X_L - X_C) \quad (2.30)$$

โดยที่ $r =$ ความต้านทานของวงจร



รูปที่ 2.26 วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม [3]

$$X_L = 2\pi f_0 L \quad (2.31)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f_0 C} \quad (2.32)$$

ค่าอิมพีแดนซ์ในสมการที่ 2.30 จะมีค่าลดลงเมื่อองค์ประกอบค่ารีแอคแตนซ์ทั้งสองมีค่าเท่ากัน ($X_L = X_C$) เรียกว่าสถานะเรโซแนนซ์ ความถี่เรโซแนนซ์จะเหมือนกับความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรขนานตามสมการที่ 2.24 การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์วิดท์ครึ่งกำลังจะถูกกำหนดโดยค่า r และ L ดังสมการ

$$B = \frac{r}{2\pi L} \quad (2.33)$$

ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ (Q) ในวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมสามารถแสดงได้ดังนี้

$$Q = \frac{f_0}{B} = \begin{cases} \frac{\omega L}{r} = \frac{1}{\omega Cr} \\ \frac{1}{r} \sqrt{\frac{L}{C}} \end{cases} \quad (2.34)$$

วงจรมีอนุกรมเป็นรูปแบบการแบ่งแรงดันเพราะฉะนั้นแรงดันที่ตกคร่อมในขดลวดจะคำนวณได้จากสมการ

$$V_0 = \frac{jX_L}{r + jX_L - jX_C} V_m \quad (2.35)$$

หรือ

$$\left| \frac{V_0}{V_m} \right| = \frac{X_L}{\sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{X_L}{r \sqrt{1 + \left(\frac{X_L - X_C}{r} \right)^2}} = \frac{Q}{\sqrt{1 + \left(\frac{X_L - X_C}{r} \right)^2}} \quad (2.36)$$

2.8.3 ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพและแบนด์วิดท์

ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพนิยามขึ้นเพื่อแสดงถึงคุณสมบัติของสายอากาศในเชิงความสามารถในการเลือกความถี่หรือ ซีเล็กติวิตี (Selectivity) และการสูญเสียกำลังงานของสายอากาศโดยทั่วไปแล้วค่าประกอบเชิงคุณภาพที่สูงจะให้ค่ากำลังงานที่ออกมาสูง สำหรับสายอากาศที่มีการระบุนขนาดที่แน่นอน แต่ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพที่มากขึ้นจะทำให้คุณลักษณะของการจำกัดความถี่ลดลงและถ้าจำนวนบ่วงมากขึ้นก็จะสร้างปัญหาให้กับ Protocol timing bit สำหรับเหตุผลต่างๆเหล่านี้ค่าประสิทธิภาพของสายอากาศใช้งานกับอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ควรเลือกค่าประสิทธิภาพที่ไม่เกิน 20 ในการใช้งานย่านความถี่สูง

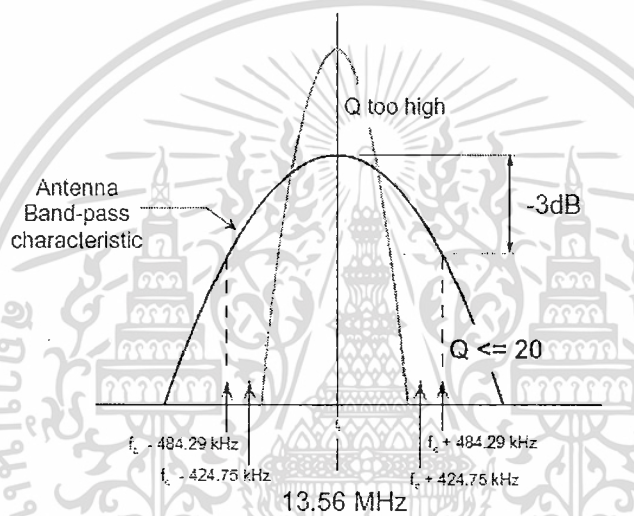
การวัดค่าค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพของสายอากาศในขณะที่มีโหลด สามารถทำการวัด

ได้โดยง่ายถ้าใช้เครื่องมือวัดที่มีความสามารถให้กำเนิดความถี่ระหว่าง 13 MHz-14 MHz จากรูปที่ 2.28 เป็นการวัดค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพโดยใช้สเปคตรัมอนาลิเซอร์ เนื่องจากค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพสูงเกินไป อาจส่งผลให้ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพลดลง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

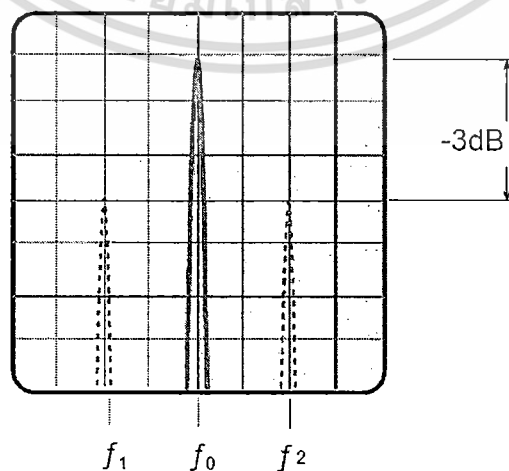
เชิงคุณภาพมีความสัมพันธ์กับแบนด์วิดท์ และแบนด์วิดท์จะนิยามจากช่วงความถี่แถบข้าง (f_1, f_2) ที่มีกำลังงานต่ำกว่าที่ ณ ความถี่เรโซแนนซ์ (f_0) เท่ากับ 3dB จะสามารถหาค่าแบนด์วิดท์กับค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพจากค่าที่ได้จากการวัดโดยนำมาคำนวณได้ตามสมการที่ 2.37 และ 2.38 ตามลำดับ

$$B = f_2 - f_1 \quad (2.37)$$

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1} \quad (2.38)$$



รูปที่ 2.27 ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 2.28 การหาค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพจากแบนด์วิดท์
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3.1 ข้อจำกัดของค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ

เมื่อทำการออกแบบวงจรสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล อาจจะมีผลคิดว่าการออกแบบขดลวดจะต้องมีค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพสูง ในที่นี้มีสามประการที่สำคัญที่เป็นข้อจำกัดของวิธีนี้

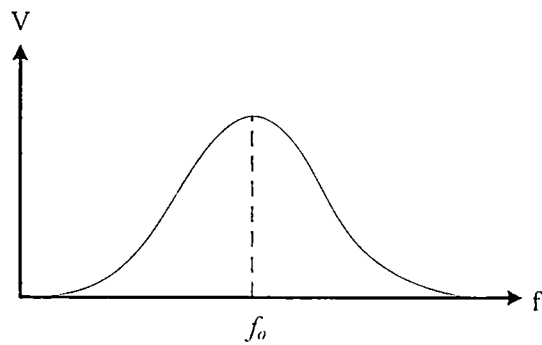
- ก) แรงดันที่สูงมากสามารถทำให้ฉนวนเบรกควาน์เช่น ที่ขดลวดหรือตัวเก็บประจุที่เรโซแนนซ์ ยกตัวอย่าง กระแส 1 A ที่ไหลในขดลวด 2 mH จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมขดลวด 1500 Vpp ในกรณีของการออกแบบขดลวดเพียงบ่วงเดียวของตัวอ่าน การกู้สัญญาณที่ได้รับจากแท็กจะต้องทำในขณะที่แรงดันที่มีค่าสูง
- ข) การจูนที่เหมาะสมในช่วงวิกฤต อุปกรณ์ที่ใช้วงจรสายอากาศที่มีค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพสูง, แรงดันสูงจะมีส่วนประกอบของความคลาดเคลื่อนที่ยินยอมได้และ มีความเสถียรภาพสูงน่าจะมีใช้ แต่โดยทั่วไปจะมีราคาแพงและยากที่จะมีใช้โดยทั่วไป
- ค) ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพของวงจรที่ได้รับมีค่าสูง ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่ย้อนกลับมาจะสัมพันธ์กับกำลังของคลื่นพาห้ที่ได้รับ ซึ่งสัญญาณที่ออกมาจากแท็กจะมีค่าน้อย วงจรของเครื่องอ่านอาจเกิดความสับสนได้ในการกู้สัญญาณ

2.8.3.2 วิธีการจูน

วงจรจะต้องจูนที่ความถี่เรโซแนนซ์สำหรับค่ามากที่สุดที่แสดง (ระยะการอ่าน) ของอุปกรณ์ มีอยู่สองตัวอย่างของการจูนของวงจรมีดังนี้

1. วิธีการวัดค่าแรงดัน

- ก) ทำการปรับค่าแรงดันที่ต้นกำเนิดของสัญญาณที่ความถี่เรโซแนนซ์ (13.56 MHz)
- ข) ต่อแรงดันที่ได้จากต้นกำเนิดของสัญญาณคร่อมวงจรเรโซแนนซ์
- ค) ต่อออสซิลโลสโคปคร่อมวงจรเรโซแนนซ์
- ง) จูนตัวเก็บประจุหรือขดลวดขณะที่สังเกตแอมพลิจูดของสัญญาณที่ออสซิลโลสโคป
- จ) หยุดการจูนเมื่อได้ค่าแรงดันสูงสุด



รูปที่ 2.29 ค่าแรงดันกับค่าความถี่สำหรับวงจรเรโซแนนซ์ [3]

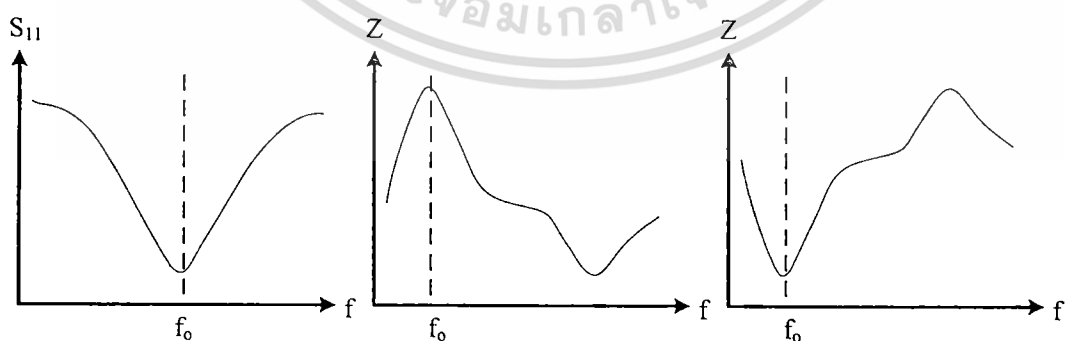
2. เอส-พารามิเตอร์หรือวิธีการวัดค่าอิมพีแดนซ์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer)

ก) ทำการปรับค่าเอส-พารามิเตอร์ ทดสอบการปรับค่า (Network Analyzer) สำหรับการวัด S_{11} และปรับให้อยู่ในตำแหน่งมาตรฐาน

ข) วัดค่า S_{11} สำหรับวงจรเรโซแนนซ์

ค) อิมพีแดนซ์ที่สะท้อนหรือแอดมิตแตนซ์ที่สะท้อนสามารถวัดแทนค่า S_{11} ได้

ง) จุดตัวเก็บประจุหรือขดลวดจนวนกระทั่งมีค่าน้อยที่สุด หรือมีค่าเป็นศูนย์ (S_{11}) ที่เกิดขึ้นที่ความถี่เรโซแนนซ์ f_0 สำหรับการวัดค่าอิมพีแดนซ์ค่ายอดที่มีค่ามากที่สุดจะเกิดขึ้นสำหรับวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานและค่าพีคน้อยที่สุดสำหรับวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 2.30 ผลตอบสนองทางความถี่สำหรับวงจรเรโซแนนซ์ [3] (ก) แสดงผลตอบสนองของ S_{11} (ข) แสดงผลตอบสนองของค่าอิมพีแดนซ์สำหรับวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานและ

(ค) แสดงผลตอบแทนของค่าอิมพีแดนซ์สำหรับวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

ในรูปที่ 2.29 (ก) จะไม่มีค่าที่ความถี่เรโซแนนซ์แสดงถึงการส่งกลับอินพุตที่มีค่าน้อยที่ความถี่เรโซแนนซ์ วิธีนี้วงจรจะคุกกลืนสัญญาณที่ความถี่ขณะที่ความถี่อื่น ๆ สะท้อนกลับมา ในรูปที่ 2.29 (ข) ความโค้งที่ค่าอิมพีแดนซ์จะมีพีคที่ความถี่เรโซแนนซ์ ในที่นี้เพราะว่าวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานมีค่าอิมพีแดนซ์มากที่สุดที่ความถี่เรโซแนนซ์ ส่วนในรูปที่ 2.29 (ค) แสดงผลตอบแทนสำหรับวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมมีค่าอิมพีแดนซ์น้อยที่สุดที่ความถี่เรโซแนนซ์ และยอดที่มีค่าน้อยที่สุดเกิดขึ้นที่ความถี่เรโซแนนซ์

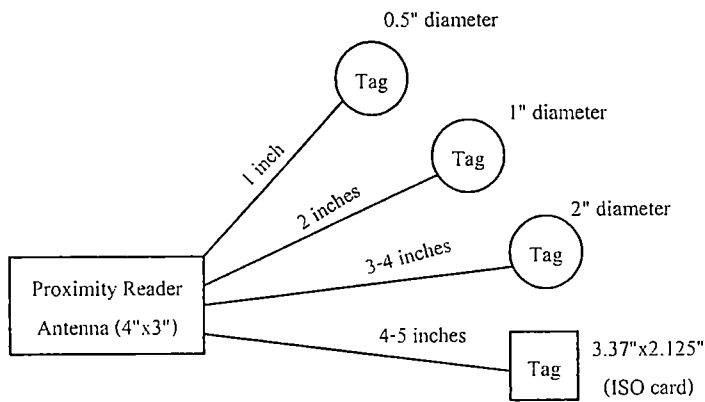
2.9 ระยะเวลาอ่านของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

ระยะเวลาอ่านเป็นค่าจำกัดความของค่าที่มากที่สุด ในระยะที่ใช้สื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและแท็ก ระยะเวลาอ่านของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุชนิดพาสซีฟจะอยู่ในช่วง 1 นิ้วถึง 1 เมตร จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของระบบ ระยะเวลาอ่านของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุโดยทั่วไปจะมีผลกระทบมาจากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

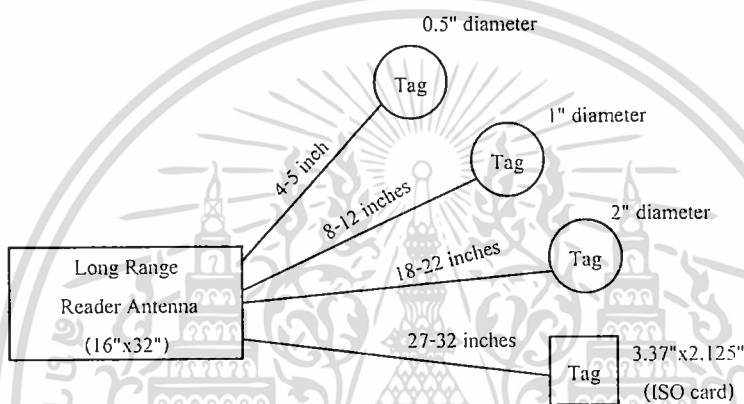
- ก) ความถี่ที่ใช้และการทำงานของขดลวดสายอากาศ
- ข) ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพของสายอากาศการจูนวงจร
- ค) การปรับทิศทางของสายอากาศ
- ง) ค่ากระแสและแรงดัน
- จ) ความไวของการรับสัญญาณ
- ฉ) การเข้ารหัส (หรือการมอดูเลต) และการถอดรหัส (หรือการดีมอดูเลต)
- ช) จำนวนของบิตข้อมูล
- ซ) สภาพของสิ่งแวดล้อม (โลหะ, สัญญาณรบกวนจากเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์) อื่นๆ

ความถี่ที่ใช้จะเป็นข้อจำกัดที่กล่าวมาแล้ว (ก-ค) จะมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของสายอากาศและการจูนวงจร ข้อจำกัด (ง-จ) จะกำหนดโดยเทคโนโลยีของวงจรของเครื่องอ่าน ข้อจำกัด (ฉ) คือ โปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารของอุปกรณ์ และ (ซ) แสดงความสัมพันธ์ของโปรแกรม Firm Ware สำหรับการแปลความหมายของข้อมูล

ขนาดของสายอากาศจะมีผลต่อระยะเวลาอ่านข้อมูลซึ่งสายอากาศที่มีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะทำให้ระยะเวลาอ่านมากขึ้นด้วย รูปที่ 2.30 และ 2.31 แสดงตัวอย่างของระยะเวลาอ่านของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุชนิดพาสซีฟแบบต่างๆ



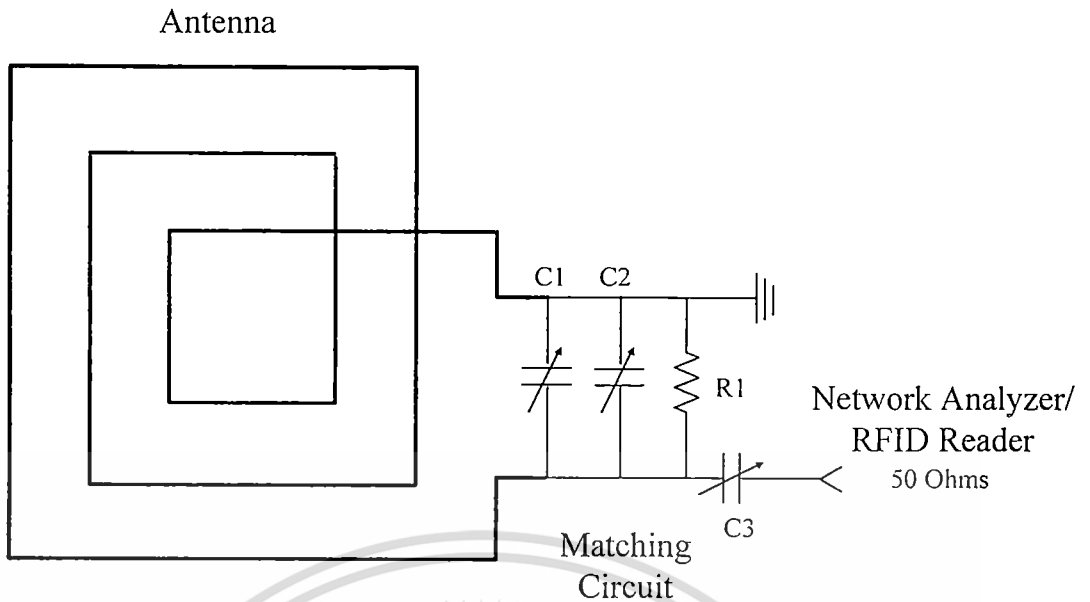
รูปที่ 2.31 ระยะการอ่านกับขนาดของแท็กสำหรับการประยุกต์ที่ระยะใกล้ [3]



รูปที่ 2.32 ระยะการอ่านกับขนาดของแท็กสำหรับการประยุกต์ที่ระยะไกล [3]

2.10 หลักการและตัวอย่างการออกแบบวงจรเมตซิ่งสำหรับสายอากาศบ่วงเกลียว [8]

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอหลักการและตัวอย่างการออกแบบวงจรเมตซิ่งเพื่อให้เครื่องอ่านข้อมูลสามารถส่งผ่านกำลังงานเข้าสายอากาศได้มากที่สุด ด้วยการทำให้อิมพีแดนซ์ของสายอากาศเป็น 50 โอห์ม ซึ่งวงจรเมตซิ่งที่นำเสนอนี้เรียกว่า Tree element match โดยมีโครงสร้างของวงจรที่ไม่ซับซ้อนและออกแบบง่าย ส่วนของวงจรจะประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพียงสองชนิดคือ ตัวเก็บประจุที่สามารถปรับค่าได้ (C) และตัวต้านทาน (R) ซึ่งค่าตัวต้านทานที่เหมาะสมจะอธิบายการคำนวณอย่างละเอียดในหัวข้อการปรับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศซึ่งอยู่ในหัวข้อที่ 2.10.2 รูปที่ 2.33 แสดงการนำวงจรเมตซิ่งมาต่อเข้ากับสายอากาศ



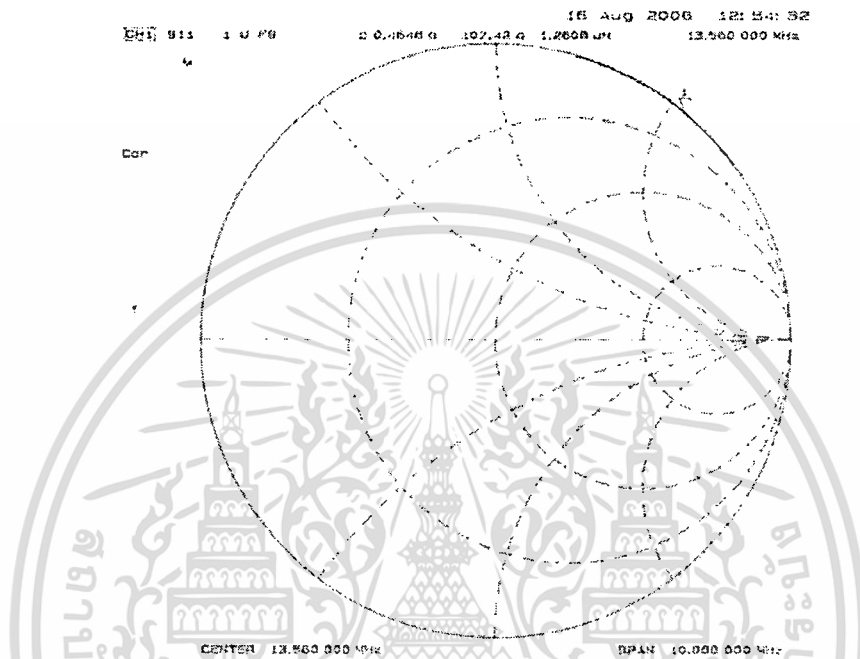
รูปที่ 2.33 การนำวงจรแมตซิ่งมาต่อเข้ากับสายอากาศ

2.10.1 การทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ

ขั้นตอนแรกในการแมตสายอากาศคือการปรับเทียบเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายซึ่งในการปรับเทียบนั้นจะมีสามขั้นตอนดังนี้คือ ขั้นตอนแรกต่อด้วยโหลด (Load) 50 โอห์ม ขั้นตอนที่สองคือลัดวงจร (Short) ด้วยความต้านทาน 0 โอห์ม และขั้นตอนที่สามคือเปิดวงจร (Open) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานในปรับเทียบเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเพื่อทดสอบกับระบบ RF ทั่วไป เมื่อทำปรับเทียบเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแล้วก็จะนำสายอากาศมาเชื่อมต่อเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายโดยขั้นตอนนี้จะยังไม่มีส่วนของวงจรแมตซิ่งเข้ามาเกี่ยวข้อง เพราะว่าจะต้องดูคุณสมบัติของสายอากาศก่อนว่ามีคุณสมบัติเป็น L หรือเป็น C ซึ่งดูได้จาก Smith chart โดยหลักการของวงจรนี้ถ้าหากสายอากาศมีคุณสมบัติเป็น C จะต้องนำ L หรือขดลวดมาต่ออนุกรมในวงจรเพื่อทำให้สายอากาศมีคุณสมบัติเป็น L ก่อน เมื่อสายอากาศมีคุณสมบัติเป็น L แล้ว ก็จะเป็นขั้นตอนของการนำวงจรแมตซิ่งเข้ามาเชื่อมต่อกับสายอากาศเพื่อปรับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศให้ได้ 50 โอห์มหรือใกล้เคียงมากที่สุด รายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.10.2 การปรับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศด้วยวงจรมัดตั้ง

ในขั้นตอนนี้จะนำวงจรมัดตั้งมาเชื่อมต่อกับสายอากาศและนำไปต่อกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเพื่อดูค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ รูปที่ 2.34 แสดงตัวอย่างวัดค่าอิมพีแดนซ์และคุณสมบัติของสายอากาศจากจาก Smith Chart



รูปที่ 2.34 คุณสมบัติและค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศด้วย Smith Chart

จากรูปที่ 2.34 จะเห็นว่าค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศมีค่าเท่ากับ $(0.4648\Omega + j107.42)$ และมีคุณสมบัติเป็น L โดยมีค่า L เท่ากับ $1.2608 \mu\text{H}$ ที่ความถี่ 13.56 MHz จาก Smith Chart จะเห็นว่าค่าอิมพีแดนซ์ยังอยู่วงกลมด้านนอกซึ่งไม่ใช่วงกลม 50 โอห์ม ดังนั้นจะต้องมาสนใจที่วงจรมัดตั้ง โดยขั้นตอนแรกจะต้องคำนวณหาค่า R_1 ที่เหมาะสมให้ได้ ก่อนซึ่งในการคำนวณหาค่า R_1 นั้นจะต้องหาค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ (Q) ออกมาก่อน

$$Q = \frac{F_0}{BW} \quad (2.38)$$

$$Q = \frac{13.56\text{MHz}}{2\text{MHz}} = 6.78$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้จะกำหนดให้แบนด์วิดธ์ของสายอากาศเท่ากับ 2MHz ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานสำหรับ RFID ย่านความถี่สูงที่กำหนดใน ISO15693 และ ISO14443/B ดังนั้นการคำนวณหาค่า R_1 สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

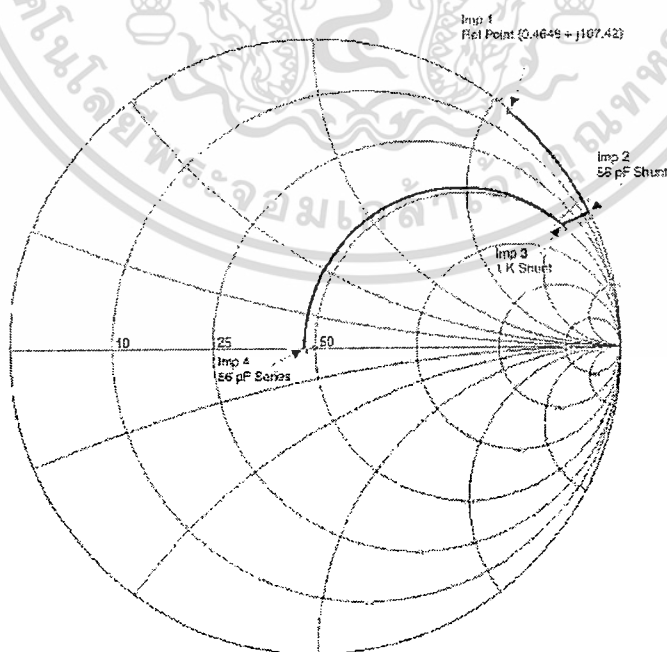
$$Q = \frac{R_p}{X_L} \quad (2.39)$$

$$Q = \frac{R}{(2\pi)(13.56\text{MHz})(1.2608\mu\text{H})} = \frac{R}{107.42}$$

โดยที่ค่า X_L สามารถนำค่าจาก Smith Chart มาใช้ได้เลย ดังนั้นจาก Smith Chart จะได้ค่า X_L เท่ากับ 107.42 โอห์ม เพราะฉะนั้นเราสามารถคำนวณหาค่า R_p ได้

$$R_p = \frac{Q}{X_L} \quad (2.40)$$

$$R_p = \frac{6.78}{107.02} = 728\Omega$$



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 2.35 การจำลองการปรับค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศด้วย Smith Chart โดยผู้จัดทำเอกสารขอสงวนลิขสิทธิ์ไว้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดค่าอิมพีแดนซ์จากรูปที่ 2.34 แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.35 จะเห็นค่าอิมพีแดนซ์ที่หนึ่งจะอยู่ที่วงนอกสุด การที่จะทำให้อิมพีแดนซ์ของสายอากาศขยับเข้ามาใกล้วงกลม 50 โอห์มคือการนำ C1 และ C2 มาต่อขนานกันจากนั้นให้ทำการปรับจูน จะเห็นว่าค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศขยับลงมาอยู่ที่ค่าอิมพีแดนซ์ที่สอง ต่อไปให้นำ R1 มาต่อขนานไปที่ C1 และ C2 ค่าอิมพีแดนซ์ก็จะขยับลงมาอยู่ที่ค่าอิมพีแดนซ์สาม ขั้นตอนสุดท้ายคือการนำ C3 มาต่ออนุกรมเข้าไปแล้วทำการปรับจูนก็จะได้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศอยู่ที่วงกลม 50 โอห์มพอดี ก็คือจะได้สายอากาศที่มีอิมพีแดนซ์ใกล้เคียงหรือเท่ากับ 50 โอห์มนั่นเอง ข้อเสนอแนะในการเลือกค่า C1, C2 และ C3 ควรจะเป็น C ปรับค่าที่มีช่วงกว้างๆ เนื่องจากว่าจำเป็นต้องมีการปรับจูน ส่วนค่า R1 ก็จะได้จากการคำนวณหรือ R_p นั้นเอง

2.11 บทสรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีและหลักการของระบบ RFID ยานความถี่สูงไม่ว่าจะเป็นลักษณะและประเภทของแท็ก การทำงานของเครื่องอ่าน ข้อพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ การสื่อสารแบบ Inductive coupling ระยะในการติดต่อสื่อสารของระบบ RFID ในย่านความถี่สูง วงจรจูนเพื่อให้เครื่องอ่านข้อมูลส่งผ่านกำลังงานเข้าสายอากาศสูงสุด นอกจากนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบสายอากาศชนิดที่นิยมใช้กันทั่วไป เพื่อจะเป็นความรู้พื้นฐานในการนำไปทำการออกแบบสายอากาศของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่สูงต่อไป

บทที่ 3

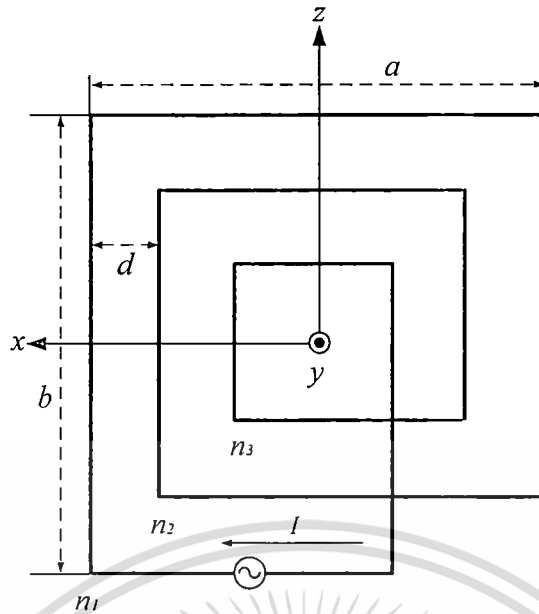
การจำลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ

3.1 บทนำ

บทนี้นำเสนอการวิเคราะห์และการจำลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศ ที่มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและมีคุณสมบัติในการกระจายสนามแม่เหล็กที่ดี โดยพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้น ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นผิวและค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรทั้งสาม แนวแกนหลักให้สอดคล้องกับการประยุกต์ใช้งาน โดยรูปแบบของสายอากาศที่นำมาวิเคราะห์จะเป็นลวดตัวนำเส้นเดียวจัดวางเป็นบ่วงเกลียวสี่เหลี่ยมจัตุรัสซ้อนกัน 3 บ่วง โดยสายอากาศแต่ละแบบถูกกำหนดให้มีระยะห่างระหว่างบ่วงที่ต่างกัน จุดประสงค์เพื่อดูผลการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศแต่ละแบบเพื่อให้ได้สายอากาศที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ซึ่งในการวิเคราะห์นั้นได้ใช้โปรแกรม NEC มาทำการวิเคราะห์

3.2 โครงสร้างของสายอากาศ

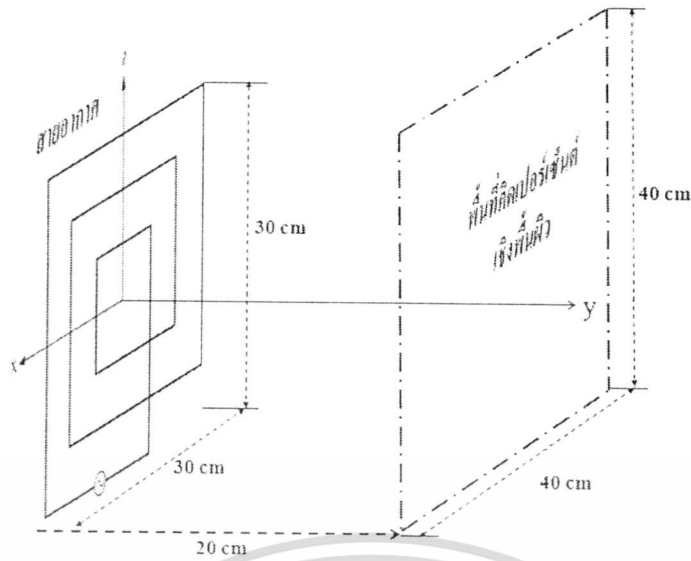
โครงสร้างสายอากาศประกอบด้วยบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่เกิดจากการจัดวางของเส้นลวดตัวนำเดียวกันให้มีลักษณะเป็นบ่วงเกลียวซ้อนกัน ซึ่งมีขนาดเท่ากับ $a \times b$ หรือ 30×30 cm ขนาดของบ่วงจะวางซ้อนกันจากใหญ่ไปหาเล็ก โดยมีตัวแปรสำคัญคือระยะห่างระหว่างบ่วง โดยกำหนดให้เป็น d แต่ยังคงจำนวนบ่วงไว้เท่าเดิมคือ 3 บ่วง โดยกำหนดให้เป็น n ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้จำแนกสายอากาศเพื่อทำการวิเคราะห์ตามค่า d ที่มีค่าต่างๆกันดังนี้คือ 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 และ 5 cm ซึ่ง d แต่ละค่าก็คือสายอากาศแต่ละแบบที่นำมาวิเคราะห์นั่นเอง โครงสร้างและค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบขดเกลียว

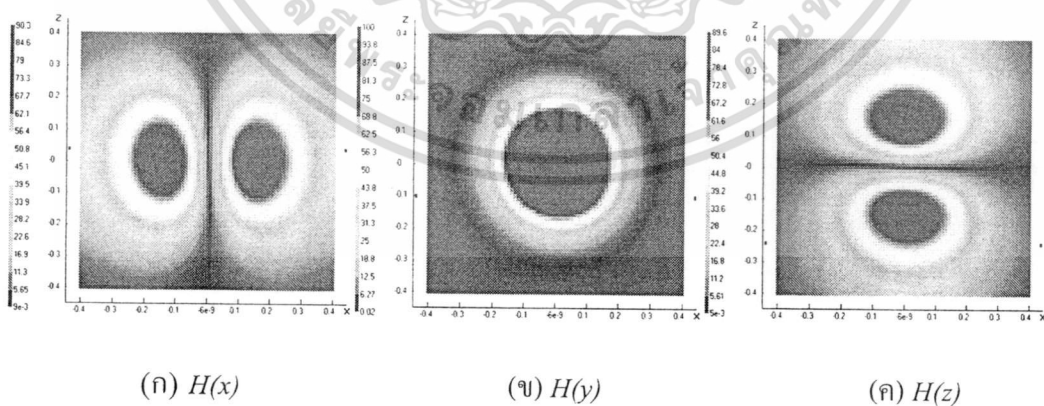
3.3 การจำลองสายอากาศ

จากโครงสร้างของสายอากาศที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.2 ดังนั้นในหัวข้อนี้จะมีสายอากาศที่นำมาวิเคราะห์และจำลองผลทั้งหมด 12 แบบด้วยกัน โดยแบ่งออกเป็นสายอากาศบ่วงธรรมดาที่ไม่มีเกลียวซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศแบบบ่วง 1 แบบ สายอากาศบ่วงแบบขดเกลียวที่ขดให้เกลียวทับกันจำนวน 3 ขด 1 แบบ และสายอากาศบ่วงแบบขดเกลียวที่มีระยะห่างระหว่างบ่วง d ตั้งแต่ 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 และ 5 cm ทั้งหมด 10 แบบ รวมกันเป็น 12 แบบ จุดประสงค์ในการวิเคราะห์เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างบ่วงกับจำนวนบ่วงของสายอากาศที่จะมีผลต่อแบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็ก การวิเคราะห์แบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กโดยใช้โปรแกรม NEC โดยแทนค่าขนาด a และ $b = 30$ cm ซึ่งเป็นขนาดที่จะนำไปสร้างสายอากาศต้นแบบเพื่อทดสอบ กระแสแหล่งกำเนิดที่ใช้ในการคำนวณเท่ากับ 1 A ทำการพล็อตสนามแม่เหล็กในระนาบ xz โดยค่าแกน x เริ่มจาก -20 ถึง 20 cm และค่าแกน z เริ่มจาก -20 ถึง 20 cm ที่ระยะ y เท่ากับ 20 cm ทำการพล็อตค่าสนามแม่เหล็กทั้ง 3 องค์ประกอบ คือ $H(x)$, $H(y)$ และ $H(z)$ โดยแสดงโครงสร้างแบบจำลองแบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โครงสร้างการจำลองแบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็ก

ผลการจำลองแบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศซึ่งในส่วนนี้เป็นการนำผลที่ได้จากการจำลองมาแสดงผลในรูปของสนามแม่เหล็กที่กระจายออกทั้งสามแนวแกนหลักในแนวตั้งฉากจากระนาบ xz ของสายอากาศคือ $H(x)$, $H(y)$ และ $H(z)$ โดยผลการจำลองดังกล่าวจะถูกนำค่าออกมาในรูปของเปอร์เซ็นต์เชิงเส้น และจะถูกนำไปคำนวณให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่เพื่อให้วิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศแต่ละแบบได้แม่นยำ ถูกต้องและเหมาะสมซึ่งจะกล่าวอย่างละเอียดในหัวข้อที่ 3.5 รูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศดังแสดงในรูปที่ 3.3 ถึงรูปที่ 3.14



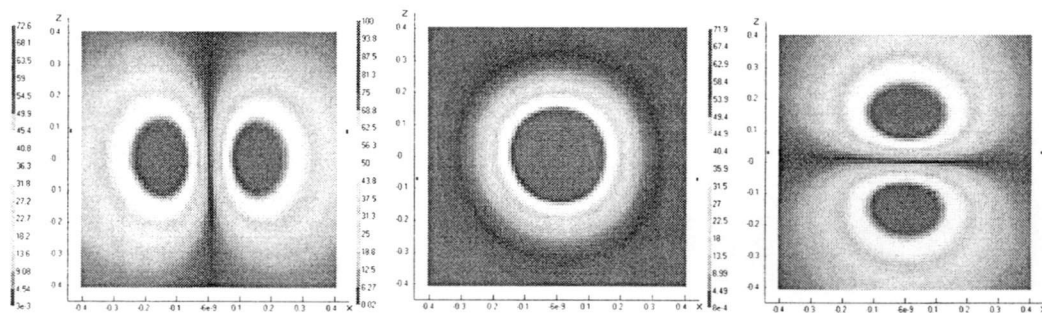
(ก) $H(x)$

(ข) $H(y)$

(ค) $H(z)$

รูปที่ 3.3 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบวงสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

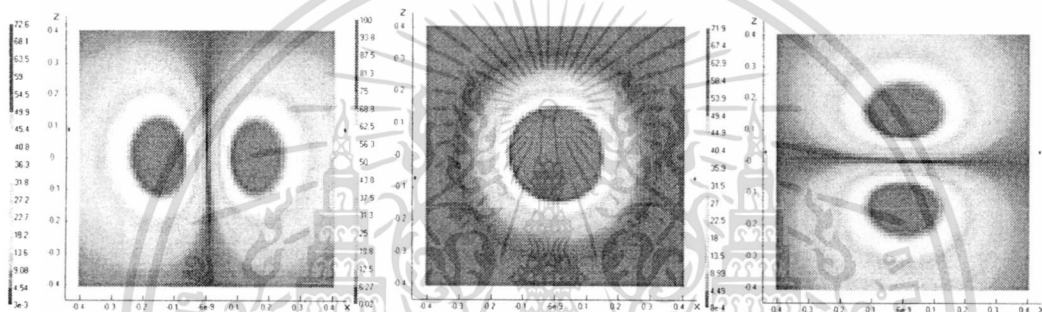


(ข) $H(x)$

(ง) $H(y)$

(ค) $H(z)$

รูปที่ 3.4 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ
ขดเกลียวที่ขดให้เกลียวทับกันจำนวน 3 ขด

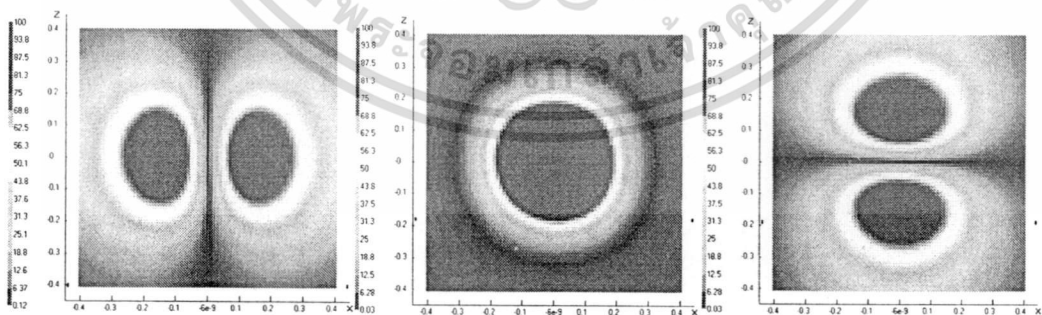


(ก) $H(x)$

(ข) $H(y)$

(ค) $H(z)$

รูปที่ 3.5 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ
ขดเกลียวที่มี d เท่ากับ 0.5 cm



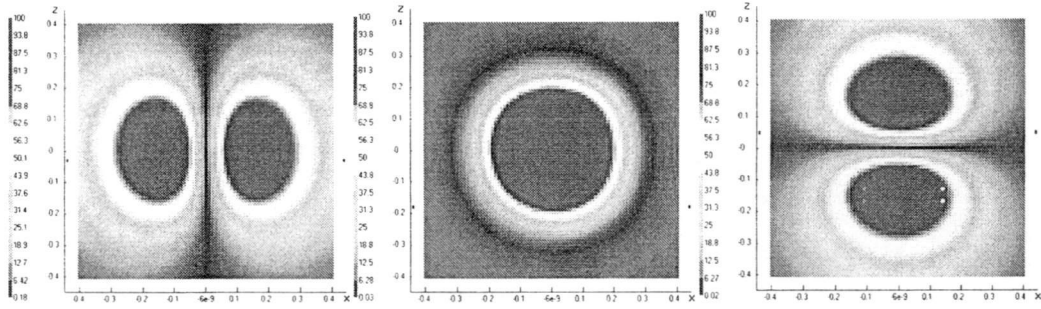
(ก) $H(x)$

(ข) $H(y)$

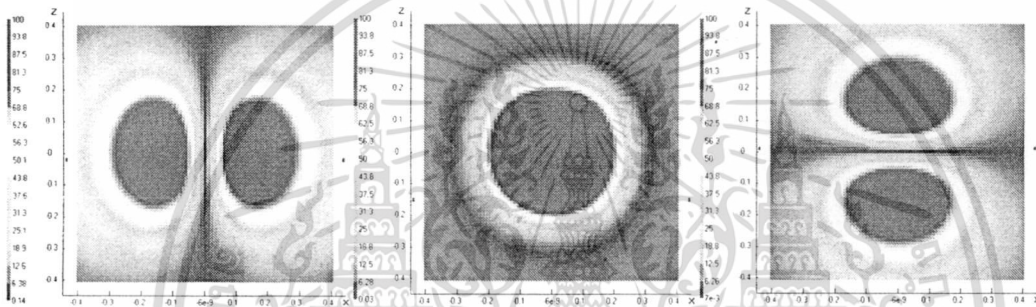
(ค) $H(z)$

รูปที่ 3.6 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ
ขดเกลียวที่มี d เท่ากับ 1 cm

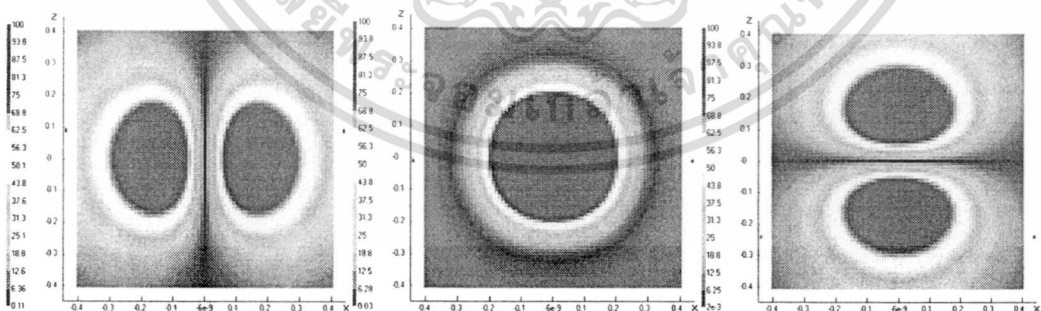
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) $H(x)$ (ข) $H(y)$ (ค) $H(z)$

รูปที่ 3.7 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศวงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ
ขดเกลียวที่มี d เท่ากับ 1.5 cm

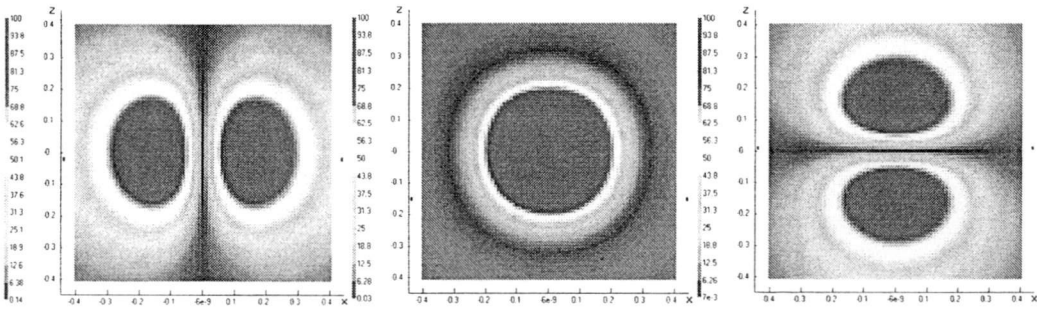
(ก) $H(x)$ (ข) $H(y)$ (ค) $H(z)$

รูปที่ 3.8 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศวงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ
ขดเกลียวที่มี d เท่ากับ 2 cm

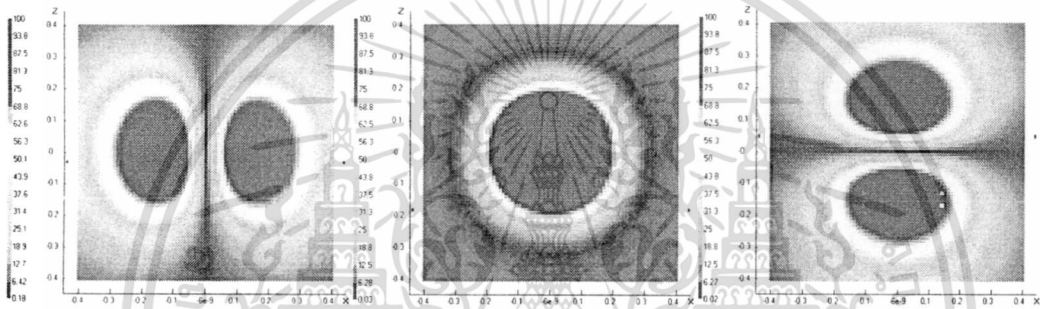
(ก) $H(x)$ (ข) $H(y)$ (ค) $H(z)$

รูปที่ 3.9 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศวงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ
ขดเกลียวที่มี d เท่ากับ 2.5 cm

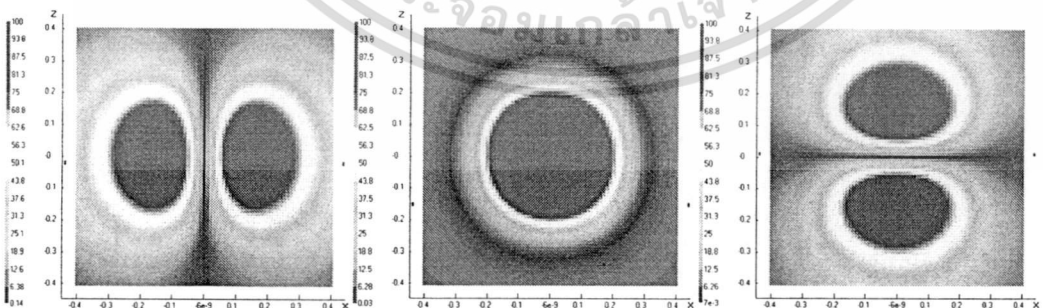
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) $H(x)$ (ข) $H(y)$ (ค) $H(z)$

รูปที่ 3.10 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศวงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ
 ขดเกลียวที่มี d เท่ากับ 3 cm

(ก) $H(x)$ (ข) $H(y)$ (ค) $H(z)$

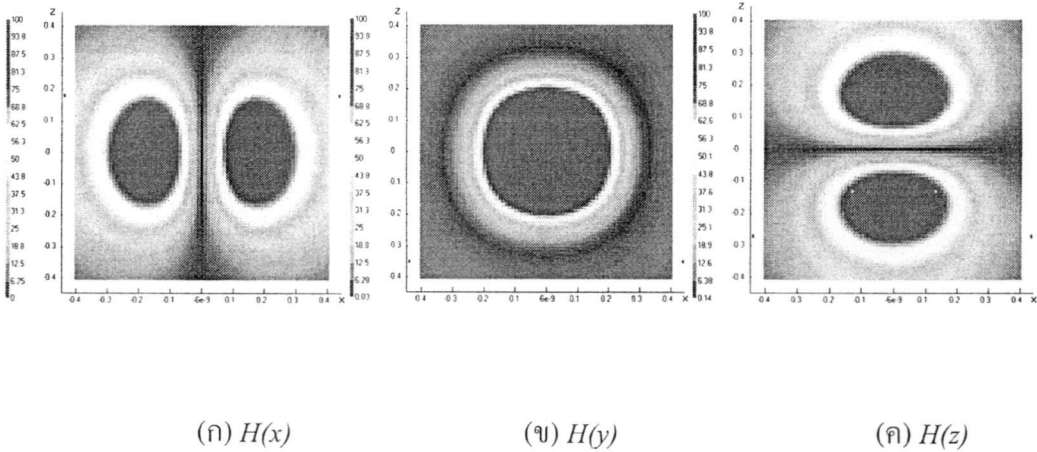
รูปที่ 3.11 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศวงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ
 ขดเกลียวที่มี d เท่ากับ 3.5 cm

(ก) $H(x)$ (ข) $H(y)$ (ค) $H(z)$

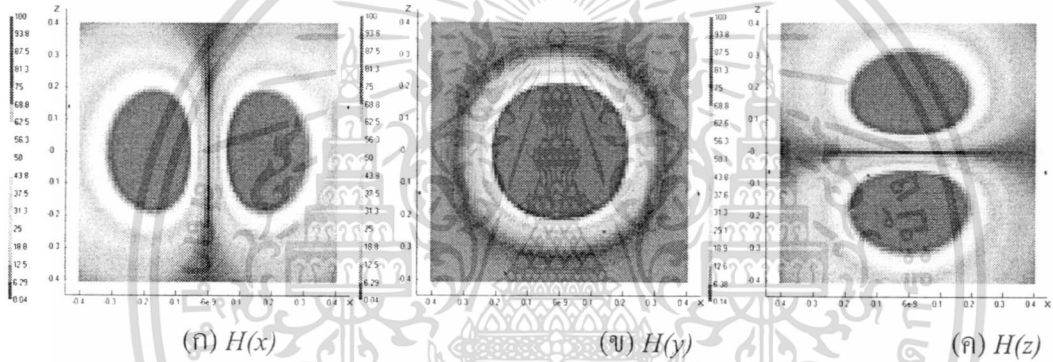
รูปที่ 3.12 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศวงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ

ขดเกลียวที่มี d เท่ากับ 4 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบขดเกลียวที่มี d เท่ากับ 4.5 cm



รูปที่ 3.14 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบขดเกลียวที่มี d เท่ากับ 5 cm

3.4 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ

การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศนั้น เริ่มจากการพิจารณาแบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กก่อน จากนั้นจึงนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้น ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นผิวและค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของสายอากาศ ซึ่งนิยามของค่าเปอร์เซ็นต์เหล่านี้จะกล่าวถึงในลำดับถัดไป

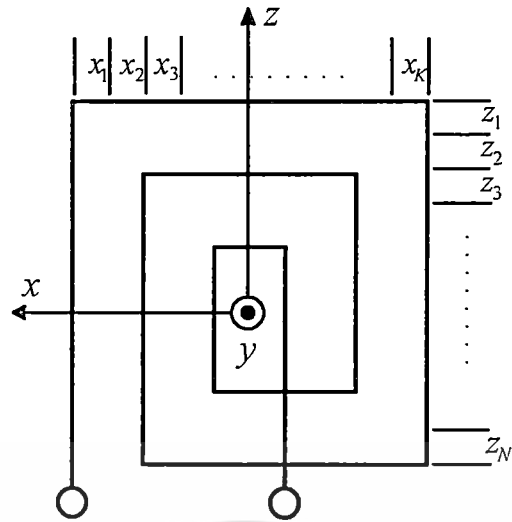
การพิจารณาหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้น เปอร์เซ็นต์เชิงพื้นผิว จะใช้แบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กขององค์ประกอบในแต่ละทิศทางในระนาบ xz มาพิจารณาพื้นผิวที่ใช้จะมีขนาดของพื้นที่เท่ากับ 40×40 cm โดยการแบ่งระยะตามแนว z ออกเป็นเส้นย่อย ๆ เป็นจำนวน N ส่วนดังแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งในแต่ละเส้นของ z นั้นจะแบ่งย่อยระยะตามแนว x ออกเป็นส่วน ๆ เป็นจำนวน K ส่วน เพื่อให้ผลลัพธ์เกิดการลู่เข้า (Converge) จะให้แต่ละจุดห่างกัน 1 cm (โดย

จุดที่วิเคราะห์นั้นจะอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของส่วนย่อย) และจากนั้นพิจารณาค่าความเข้มสนามแม่เหล็กในแต่ละส่วน $H(x_k)$ เปรียบเทียบกับค่าความเข้มสนามแม่เหล็กกระตุ้น H , โดยที่ค่าความแรงนี้สามารถหาได้จากการทดสอบร่วมกับการจำลอง โดยวัฏธนะการอ่านที่ไกลที่สุดจากแท็กไปยังเครื่องอ่านข้อมูลแล้วนำระยะอ่านที่ไกลที่สุดนี้ไปจำลองแบบเพื่อหาค่า H , ซึ่งจะเท่ากับ 56 mA/m (สำหรับแท็กชนิด ISO Card) ในกรณีที่สมมุติการป้อนแหล่งจ่ายกระแสของสายอากาศเครื่องอ่านเท่ากับ 1 A สาเหตุที่ต้องใช้การสมมุติกระแสที่แหล่งจ่ายเพราะไม่สามารถวัดกระแสที่ป้อนให้แก่สายอากาศได้โดยตรง เนื่องจากเครื่องมือวัดมีผลกระทบต่อระยะการอ่านของเครื่องอ่านเป็นอย่างมาก ดังนั้นผลที่ได้จะมีความผิดพลาดมาก การหาค่า H , โดยใช้วิธีนี้มีความน่าเชื่อถือได้ เพราะได้ทดสอบกับสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลที่มีลักษณะหลายแบบหลายรูปทรง พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องกันดี

การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้นนั้นจะพิจารณาจากการนำสายอากาศไปใช้ในทางปฏิบัติคือ แท็กจะถูกวางอยู่กับที่ในแนวเส้นตรงกับสายอากาศ ดังนั้นถ้าจุดใดจุดหนึ่งในแนวเส้นตรง (แนวแกน x) ที่ระยะ z_n ที่พิจารณาอยู่จากด้านหน้าของสายอากาศ ณ จุดใดจุดหนึ่ง มีค่า $|H(x_k)| \geq H$, จะถือว่าเส้นตรงเส้นนั้นมีค่า $P_l(z_n)$ เท่ากับ 100% ในทางกลับกันถ้าทุกจุดบนเส้นตรงจากด้านหน้าของสายอากาศมีค่า $|H(x_k)| < H$, เส้นตรงนั้นจะมีค่า $P_l(z_n)$ เท่ากับ 0% เสร็จแล้วนำค่า $P_l(z_n)$ นั้นมาใช้คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ดังสมการต่อไปนี้

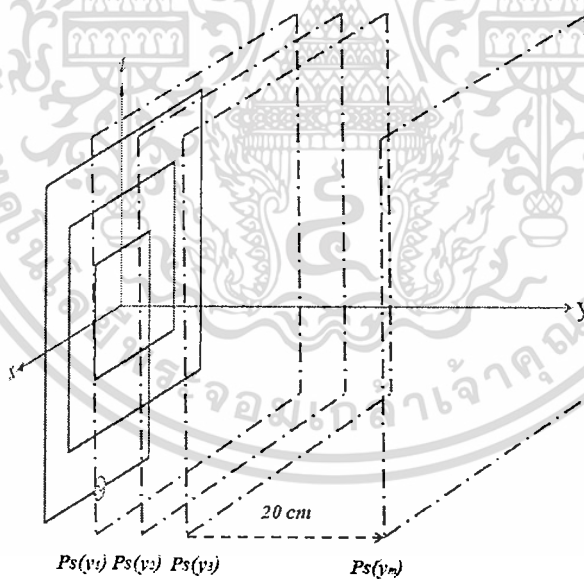
$$P_s(y_m) = \frac{\sum_{n=1}^N P_l(z_n)}{N} ; P_s(y_m) \leq 100\% \quad (3.1)$$

ซึ่ง N คือ จำนวนเส้นทั้งหมดที่แบ่งตามแนวแกน z เพื่อให้ผลลัพธ์เพียงพอสำหรับการสุ่มเข้า จะกำหนดให้แต่ละจุดห่างกัน 1 cm (โดยจุดที่วิเคราะห์นั้นจะอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของส่วนย่อย) $P_s(y_m)$ คือ เปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ที่ตำแหน่ง y_m ใดๆ n เท่ากับ 1, 2, 3, ..., N และ m เท่ากับ 1, 2, 3, ..., M



รูปที่ 3.15 การแบ่งระยะตามแนว x และ z ออกเป็นส่วนย่อย

จากการพิจารณาในกรณีของแต่ละพื้นผิวจาก $y = 2$ ถึง 20 cm จึงสามารถคิดในกรณีทั้งปริมาตรระหว่างสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรแสดงได้ดังสมการที่ (3.2)



รูปที่ 3.16 การพิจารณาหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร

$$P_v = \frac{\sum_{m=1}^M P_s(y_m)}{M} ; P_v \leq 100\% \quad (3.2)$$

ซึ่ง M คือ จำนวนของพื้นผิวทั้งหมดที่แบ่งตามแนวแกน y เพื่อให้ผลลัพธ์เกิดการถ่วงเข้าจะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า กำหนดให้แต่ละพื้นผิวห่างกัน 2 cm P_v คือ ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรที่แสดงถึงความสามารถในไม่วากรณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก และ m เท่ากับ 1, 2, 3,..., M เนื่องจากค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรนั้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการติดต่อสื่อสารของเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก ฉะนั้นเมื่อค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรมีค่าสูงก็จะหมายความว่า ณ บริเวณที่พิจารณา มีเนื้อที่ส่วนมากที่เครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กสามารถติดต่อสื่อสารกันสำเร็จ แต่ถ้าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรมีค่าต่ำก็จะหมายความว่า ณ บริเวณที่พิจารณานั้น มีเนื้อที่ส่วนน้อยที่เครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กสามารถติดต่อสื่อสารกันสำเร็จ

3.5 ผลการจำลองค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นผิวของสายอากาศ

การพิจารณาหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นผิว จะใช้แบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กขององค์ประกอบในแต่ละทิศทางในระนาบ xz มาพิจารณา ซึ่งพื้นผิวที่ใช้จะมีขนาดของพื้นที่เท่ากับ 40×40 cm ที่มีระยะห่างจากสายอากาศในแนวแกน y เท่ากับ 20 cm ผลที่ได้จากการคำนวณดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นผิวของสายอากาศในแต่ละแบบ

รูปแบบ	P_{x,H_x} (%)	P_{x,H_y} (%)	P_{x,H_z} (%)
แบบสี่เหลี่ยม	89.7	100	89.7
แบบมีเกลียวทับกัน 3 ขด	91.4	100	90.2
แบบมีเกลียวที่ d เท่ากับ 0.5 cm	93.6	100	93.5
แบบมีเกลียวที่ d เท่ากับ 1 cm	94.1	100	94.4
แบบมีเกลียวที่ d เท่ากับ 1.5 cm	95.7	100	95.8
แบบมีเกลียวที่ d เท่ากับ 2 cm	96.1	100	96.2
แบบมีเกลียวที่ d เท่ากับ 2.5 cm	96.4	100	96.4
แบบมีเกลียวที่ d เท่ากับ 3 cm	96.7	100	96.7
แบบมีเกลียวที่ d เท่ากับ 3.5 cm	96.9	100	97.0
แบบมีเกลียวที่ d เท่ากับ 4 cm	97.3	100	97.3
แบบมีเกลียวที่ d เท่ากับ 4.5 cm	97.5	100	97.5
แบบมีเกลียวที่ d เท่ากับ 5 cm	100	100	97.5

ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นผิวของสายอากาศแต่ละแบบดังแสดงในตารางที่ 3.1 ในกรณีที่ค่า H_x เท่ากับ 56 mA/m (สำหรับแท็กชนิด ISO Card) ทำให้สรุปได้ว่าสายอากาศแบบไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บ่วงที่มีเกลียวสามารถเพิ่มการกระจายความเข้มของสนามแม่เหล็กได้จริงทั้งสามแนวแกนหลัก คือ $H(x)$, $H(y)$ และ $H(z)$ จากผลที่ได้พบว่าสายอากาศที่มี d เท่ากับ 5 cm ให้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นผิวสูงสุดทั้งสามแนวแกนหลัก คือ P_{s,H_x} เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ P_{s,H_y} เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และ P_{s,H_z} เท่ากับ 97.5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงนำสายอากาศที่มี d เท่ากับ 5 cm ไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรซึ่งค่าที่ได้แสดงเอาไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นผิวของสายอากาศที่มี d เท่ากับ 5 cm ที่แนวแกน $y = 2$ ถึง 20 cm

ระยะ	P_{s,H_x} (%)	P_{s,H_y} (%)	P_{s,H_z} (%)
$y=2$ cm	100	100	97.5
$y=4$ cm	100	100	97.5
$y=6$ cm	100	100	97.5
$y=8$ cm	100	100	97.5
$y=10$ cm	100	100	97.5
$y=12$ cm	100	100	97.5
$y=14$ cm	100	100	97.5
$y=16$ cm	100	100	97.5
$y=18$ cm	100	100	97.5
$y=20$ cm	100	100	97.5

นำค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นผิวที่ได้จากตารางที่ 3.2 มาหาผลรวมตั้งแต่ y เท่ากับ 2 cm จนถึง y เท่ากับ 20 cm ทั้งสามแนวแกนหลักก็จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของสายอากาศ ซึ่งมีค่า ดังนี้คือ P_{v,H_x} เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ P_{v,H_y} เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และ P_{v,H_z} เท่ากับ 97.5 เปอร์เซ็นต์

3.6 บทสรุป

การจำลองแบบสายอากาศแบบบ่วงเกลียวที่นำเสนอในบทนี้ มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาสายอากาศให้มีความสามารถในการติดต่อสื่อสารในทุกแนวแกนให้ใกล้เคียง 100 เปอร์เซ็นต์ ด้วยการเพิ่มจำนวนบ่วงของสายอากาศ โดยสายอากาศที่ทำการวิเคราะห์จะถูกกำหนดให้มีระยะห่างระหว่างบ่วง d เท่ากับ 0.5 cm จนถึง 5 cm จากผลที่ได้พบว่าสายอากาศที่มีระยะห่างระหว่างบ่วง d เท่ากับ 5 cm มีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นผิวทั้งสามแนวแกนหลักที่ตั้งฉากกันมีค่าเหมาะสมที่สุดอยู่ที่ P_{s,H_x} เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ P_{s,H_y} เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และ P_{s,H_z} เท่ากับ 97.5 เปอร์เซ็นต์ ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรที่ y เท่ากับ 2 cm ไปจนถึง y เท่ากับ 20 cm โดยแต่ละพื้นผิวห่างกัน 2 cm ซึ่งมีค่าดังนี้คือ P_{v,H_x} เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ P_{v,H_y} เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และ P_{v,H_z} เท่ากับ 97.5 เปอร์เซ็นต์ ผลที่ได้จากการจำลองทำให้สรุปได้ว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบขดเกลียวสามารถเพิ่มความแรงของสนามแม่เหล็กที่กระจายออกจากสายอากาศได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบ

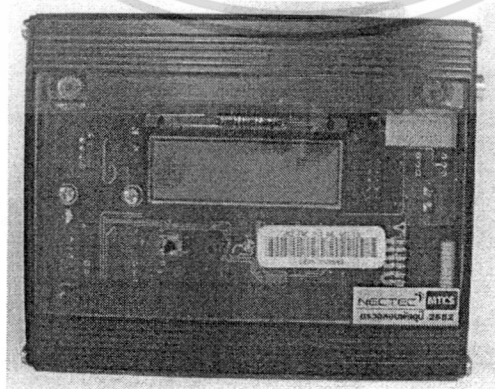
4.1 บทนำ

จากบทที่ 3 ได้จำลองและวิเคราะห์รูปแบบโครงสร้างของสายอากาศเพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสม โดยเริ่มการวิเคราะห์จากสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ซึ่งเป็นสายอากาศพื้นฐานที่นำมาเปรียบเทียบ) ตามด้วยสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบขดเกลียวที่มีจำนวนบ่วงเท่ากับ 3 บ่วงที่มีระยะห่างต่างๆกัน และในบทนี้จะนำสายอากาศที่มีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวสูงที่สุดในสามแนวแกนหลัก จากการจำลองแบบมาสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบและทำการทดสอบ โดยการทดสอบสายอากาศต้นแบบมีรายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

4.2 เครื่องมืออุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดสอบ

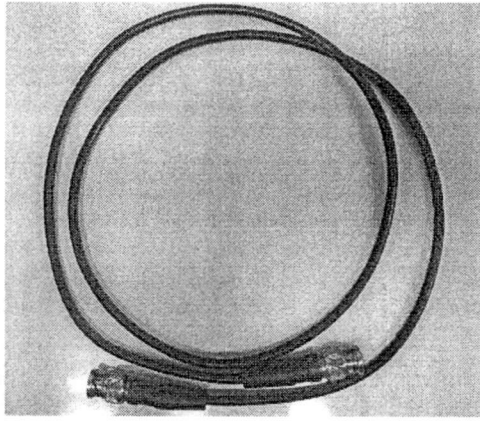
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

1. เครื่องอ่านข้อมูล RFID 13.56 MHz จำนวน 1 เครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 4.1
2. แท็กในระบบ RFID HF 13.56 MHz, ISO 15693 , ใช้ชิปของ Philips I-Code SLI หน่วยความจำ 1 kbit ผลิตในรูปแบบ sticker สามารถถอดติดที่กล่องบรรจุสินค้า, หนึ่งสื่อ ฯลฯ ตัวแท็กมีขนาด 55 x 55 mm
3. มัลติมิเตอร์ (Multimeter)
4. สายนำสัญญาณ (Transmission Line)

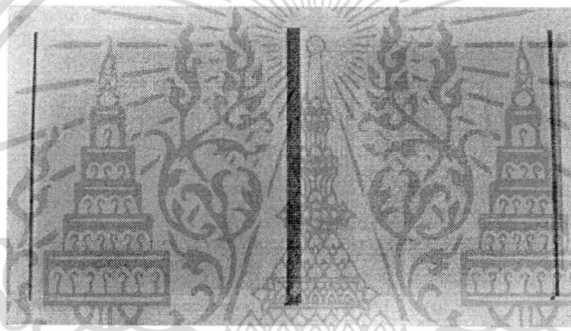


รูปที่ 4.1 เครื่องอ่านข้อมูล RFID ความถี่ 13.56MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 สายนำสัญญาณ

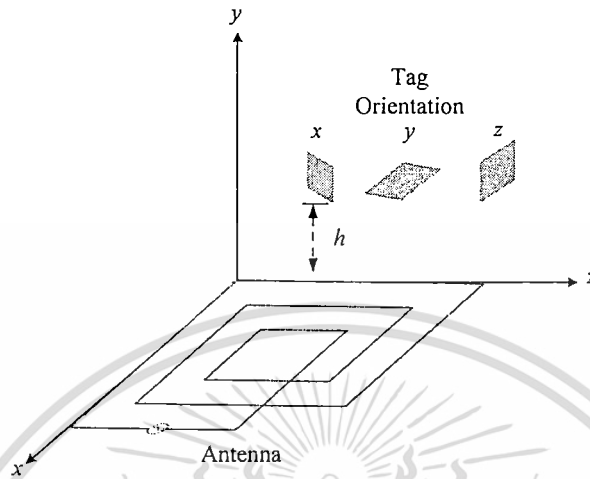


รูปที่ 4.3 ชนิดของแท่งที่ใช้ในการทดสอบ (ISO15693)

4.3 การทดสอบสายอากาศ

สายอากาศที่ทำการทดสอบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้หมายถึงสายอากาศที่ได้จากการจำลองและให้ผลการจำลองเหมาะสมที่สุด โดยมีแบบรูปการกระจายความเข้มของสนามแม่เหล็กมากที่สุด ในสามแนวแกนหลัก $H(x)$, $H(y)$ และ $H(z)$ ซึ่งก็คือสายอากาศที่มีระยะห่างระหว่างบ่วง d เท่ากับ 5 cm และมีจำนวนบ่วง n เท่ากับ 3 บ่วง สร้างมาจากเส้นลวดทองแดงเป็นสายเปลือยมีรัศมีของเส้นลวดอยู่ที่ 0.5 mm โดยสายอากาศที่ทำการทดสอบจะถูกนำมาวิเคราะห์ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท่งที่ระยะห่างต่างๆกัน ในแต่ละแนวแกนหลักและนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวเพื่อให้วิเคราะห์สายอากาศได้แม่นยำและถูกต้อง ในส่วนของการทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท่งในแนวเส้นตรงของแต่ละแกนหลักของสายอากาศนั้น ได้แบ่งจุดทดสอบออกทั้งหมด 81 จุด โดยแต่ละจุดห่างกัน 5 cm ซึ่งเป็นระยะห่างที่ใกล้เคียงกับขนาดของแท่งคือ 5.5 x 5.5 cm การทดสอบเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวในเอกสารฉบับนี้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอ่านค่าแท็กในแต่ละแนวแกนนั้นจะอ้างอิงโดยใช้แกนที่ตั้งฉากกับระนาบขดลวดของแท็ก ซึ่งลักษณะการวางตัวของแท็กชนิด ISO-Card ในทิศทาง x y และ z จะแสดงในรูปที่ 4.4

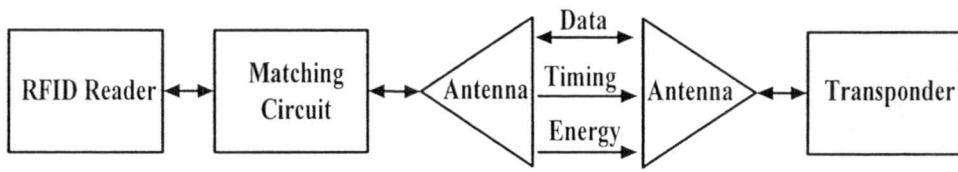


รูปที่ 4.4 ลักษณะการวางตัวของแท็กชนิด ISO-Card ในทิศทาง x y และ z

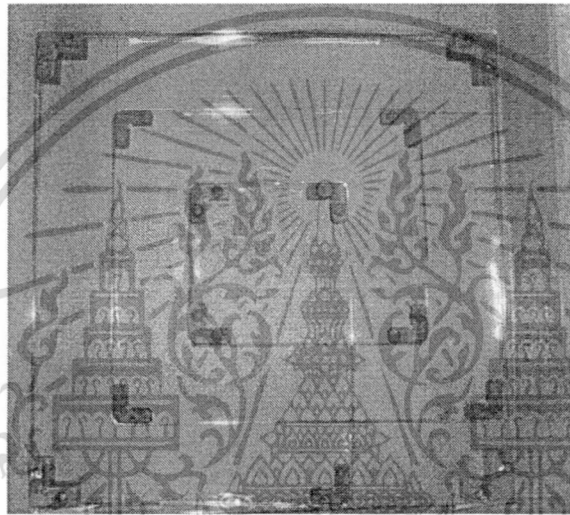
รูปที่ 4.5 เป็นบล็อกไดอะแกรมในการทดสอบสายอากาศ ตามบล็อกไดอะแกรมประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆคือ ภาคส่งกับภาครับ ในส่วนของภาคส่งก็จะมีเครื่องอ่านข้อมูล RFID ย่านความถี่สูงส่วนพอร์ตอีกด้านหนึ่งของเครื่องอ่านข้อมูลก็จะมาเชื่อมต่อเข้ากับวงจรแมตซิ่งและสายอากาศสายอากาศและในส่วนของภาครับหรือในส่วนของแท็กซึ่งประกอบไปด้วยสายอากาศแท็กกับทรานสปอนเดอร์ทั้งภาคส่งและภาครับก็ทำการส่งผ่านข้อมูลกันด้วยวิธีการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีวิธีการและขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

- เตรียมเครื่องอ่านข้อมูลให้อยู่ในสถานะที่พร้อมทำการทดสอบ
- นำสายอากาศที่ต่อกับวงจรแมตซิ่งเรียบร้อยแล้วไปปรับจูนให้ได้ค่าอิมพีแดนซ์เข้าใกล้ 50 โอห์ม ให้มากที่สุดด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย
- เมื่อปรับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศได้แล้ว
- นำสายอากาศไปต่อเข้ากับเครื่องอ่านข้อมูล
- นำแท็กมาทำการทดสอบ โดยให้สายอากาศอ่านแท็กทั้ง 81 จุดต่อหนึ่งพื้นผิวทดสอบตามรายละเอียดข้างต้นที่ได้กล่าวมาแล้ว และทำซ้ำแบบเดิมที่ระยะทางต่างๆจากสายอากาศที่ต้องการทดสอบ และบันทึกผลอย่างละเอียด
- ทดสอบการอ่านแท็กของสายอากาศให้ครบในทิศทาง x y และ z ด้วยลักษณะการจัดวางตามรูปที่ 4.4

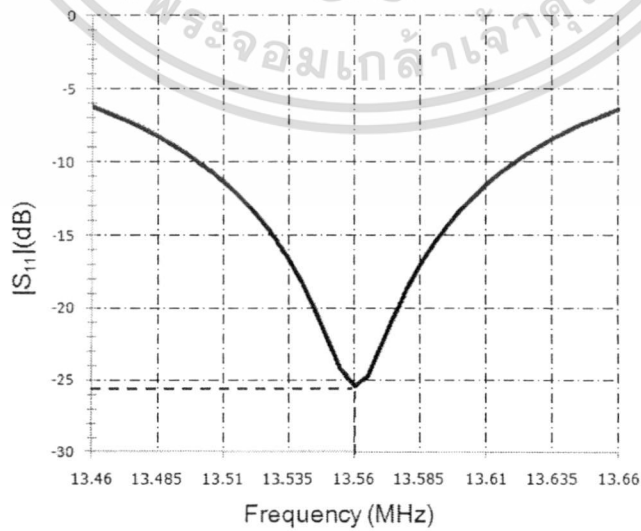
ในรูปที่ 4.6 เป็นสายอากาศต้นแบบที่สร้างขึ้นมาเพื่อทดสอบและรูปที่ 4.7 เป็นค่า S_{11} ของสายอากาศซึ่งมีค่าเท่ากับ -25.47 dB ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 บล็อกไดอะแกรมในการทดสอบสายอากาศ



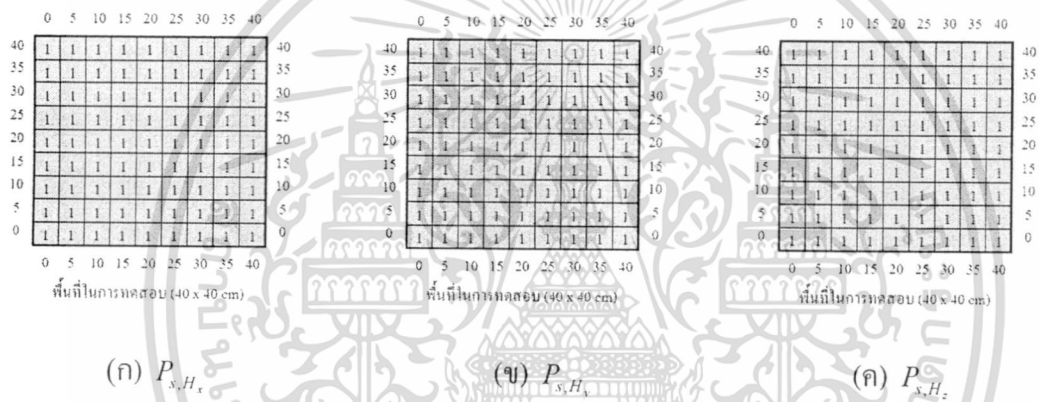
รูปที่ 4.6 สายอากาศต้นแบบ



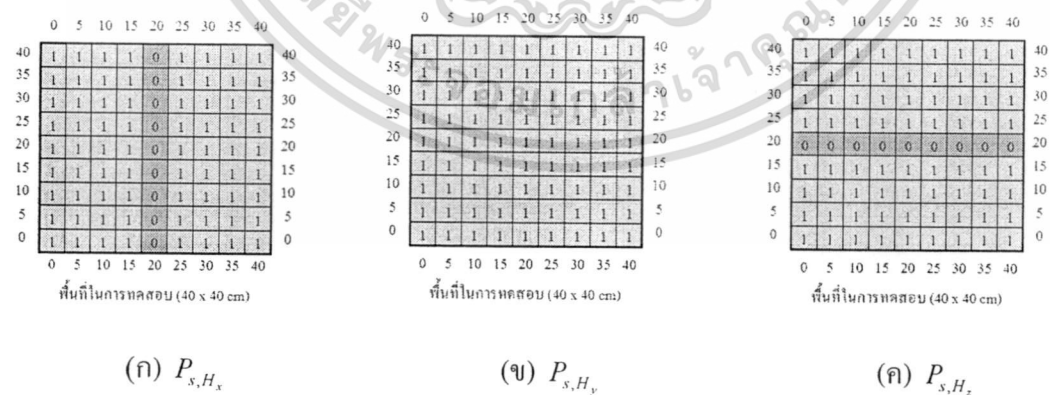
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **รูปที่ 4.7** ค่า S_{11} ของสายอากาศที่มีค่าเท่ากับ -25.47 dB
 ไม่ควรนำข้อมูลนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของข้อมูล และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ผลการทดสอบสายอากาศกับแท็ก ISO15693

ผลการทดสอบสายอากาศกับแท็กแบบ ISO15693 ผลการทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กของแต่ละพื้นผิวในแต่ละแนวแกนหลักที่ระนาบทดสอบที่ระยะทางต่างๆกันจากสายอากาศดังแสดงในรูปที่ 4.8 ถึง รูปที่ 4.12 และได้นำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มข้นแม่เหล็กทั้ง 3 ทิศทางมีค่า P_{v,H_x} เท่ากับ 86.17 เปอร์เซ็นต์ P_{v,H_y} เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และ P_{v,H_z} เท่ากับ 82.71 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่าผลทดสอบที่ได้เป็นไปได้ในทิศทางเดียวกับผลการจำลอง

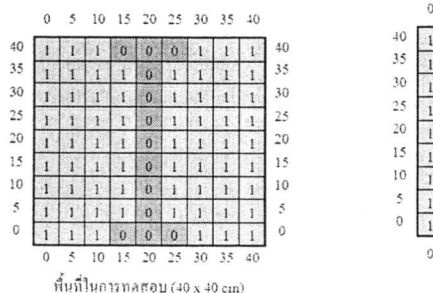


รูปที่ 4.8 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กที่ระนาบทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ 4 cm

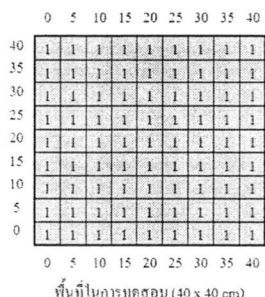


รูปที่ 4.9 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กที่ระนาบทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ 8 cm

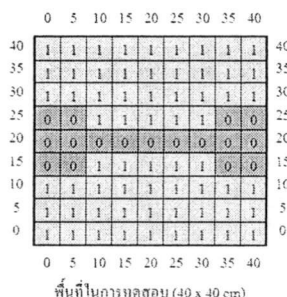
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) P_{s,H_x}

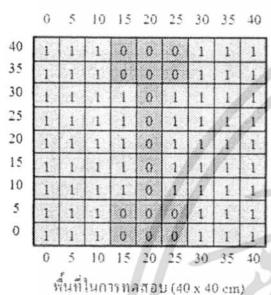


(ข) P_{s,H_y}

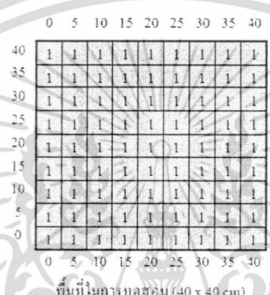


(ค) P_{s,H_z}

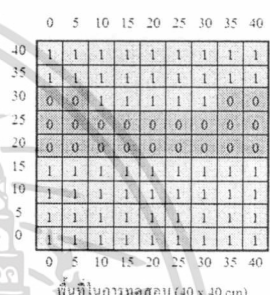
รูปที่ 4.10 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กที่ระนาบทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ 12 cm



(ก) P_{s,H_x}

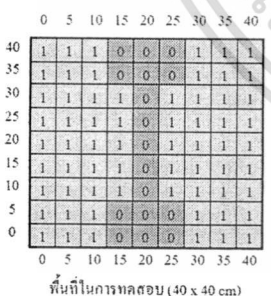


(ข) P_{s,H_y}

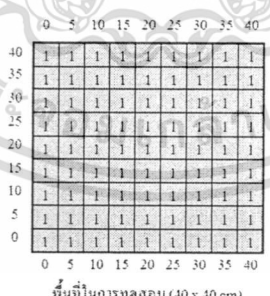


(ค) P_{s,H_z}

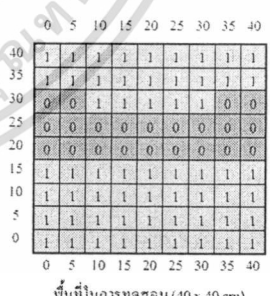
รูปที่ 4.11 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กที่ระนาบทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ 16 cm



(ก) P_{s,H_x}



(ข) P_{s,H_y}



(ค) P_{s,H_z}

รูปที่ 4.12 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กที่ระนาบทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ 20 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 บทสรุป

จากผลการทดสอบสายอากาศพบว่ามีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกันกับผลที่ได้จากการจำลองแบบ โดยพิจารณาจากความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก ด้วยค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แนวแกนหลักมีค่า P_{v,H_x} เท่ากับ 86.17 เปอร์เซ็นต์ P_{v,H_y} เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และ P_{v,H_z} เท่ากับ 82.71 เปอร์เซ็นต์ แต่ผลที่ได้จากการทดสอบจะไม่ดีเท่าผลที่ได้จากการจำลองเนื่องจากมีองค์ประกอบหลายอย่างที่มีผลต่อการอ่านแท็ก ตัวอย่างเช่น ชนิดของเครื่องอ่านข้อมูล กำลังส่งของเครื่องอ่านข้อมูล ชนิดและขนาดของแท็ก ทิศทางในการวางตัวของแท็ก ประสิทธิภาพของวงจรแมตซ์ ซึ่ง สภาพแวดล้อมรอบข้าง อย่างเช่น จอคอมพิวเตอร์หรือจอ โทรทัศน์ก็ส่งผลกระทบต่อในการอ่านข้อมูลเช่นกัน ซึ่งองค์ประกอบต่างเหล่านี้จะไม่มีผลในการจำลองผลแต่ในทางกลับกันก็จะมีผลโดยตรงกับการทดสอบโดยสายอากาศที่ผ่านการทดสอบเบื้องต้นนี้จะถูกนำไปประเมินผลโดยการอ่านค่าแท็กหลายๆแท็กในเวลาเดียวกันเพื่อดูประสิทธิภาพของสายอากาศ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้สำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่สูง ซึ่งในขั้นตอนนี้จะกล่าวไว้อย่างละเอียดในบทที่ 5 ในหัวข้อการประเมินผลและตัวอย่างการประยุกต์ใช้กับชั้นวางของ

บทที่ 5

การประเมินผลและตัวอย่างการประยุกต์ใช้กับ ชั้นวางของ

5.1 บทนำ

สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงการนำสายอากาศต้นแบบที่ได้ทำการออกแบบและทดสอบเบื้องต้นซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 และบทที่ 4 มาเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อผลการรับส่งข้อมูลระหว่างสายอากาศกับแท็กที่มีจำนวนมากว่าหนึ่งแท็กในเวลาเดียวกัน โดยในการทดสอบจะใช้แท็ก ISO15693 มาจัดเรียงในลักษณะการวางของหรือการวางหนังสือเพื่อให้มีลักษณะใกล้เคียงกับชั้นวางสินค้าหรือชั้นวางหนังสือ มีจุดประสงค์เพื่อประเมินประผลของสายอากาศในกรณีที่น่าไปประยุกต์ใช้กับชั้นวางของ โดยวิธีการจัดเรียงแท็กนั้นได้ทำการปรับเปลี่ยนทิศทางทั้งสามแนวแกนหลัก x , y และ z

5.2 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการประเมินผล

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

1. เครื่องอ่านข้อมูล RFID 13.56 MHz จำนวน 1 เครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 5.1
2. แท็กในระบบ RFID HF 13.56 MHz, ISO 15693 , ใช้ชิปของ Philips I-Code SLI หน่วยความจำ 1 kbit ผลิตในรูปแบบ Sticker สามารถลอกติดที่กล่องบรรจุสินค้า หนังสือ ฯลฯ ตัวแท็กมีขนาด 55 x 55 mm
3. สายนำสัญญาณระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องอ่านข้อมูล (USB Link)
4. สายนำสัญญาณระหว่างสายอากาศกับเครื่องอ่านข้อมูล (Transmission Line)
5. คอมพิวเตอร์

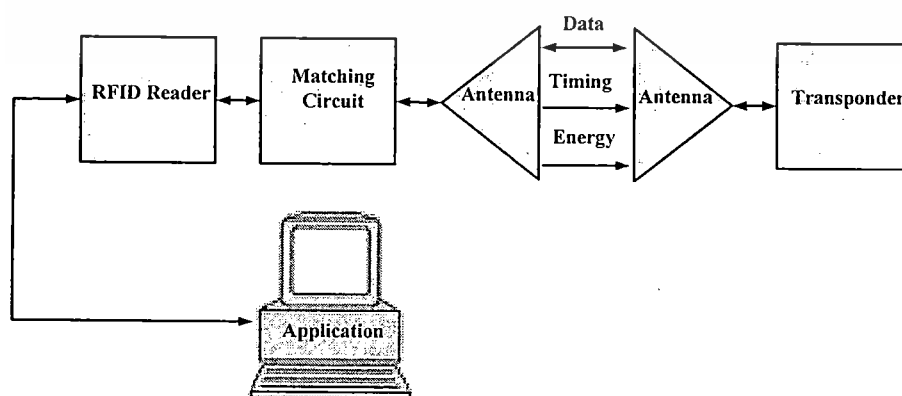
5.3 การประเมินผลสายอากาศ

วิธีการในการประเมินผลสายอากาศคือ แบ่งจุดทดสอบทั้งหมดออกเป็น 25 จุด ตามพื้นที่หน้าตัดของสายอากาศ เนื่องจากสายอากาศมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 30×30 cm และแท็กมีขนาดเท่ากับ 5.5×5.5 cm ดังนั้นจำนวนที่เหมาะสมที่สุดในการเลือกจำนวนแท็กก็คือ 25 แท็กนั่นเอง จากนั้นทำการการจัดวางแท็กให้มีทิศทางในลักษณะทั้งสามแนวแกนหลักเพื่อดูผลการอ่านแท็กผ่านทางคอมพิวเตอร์

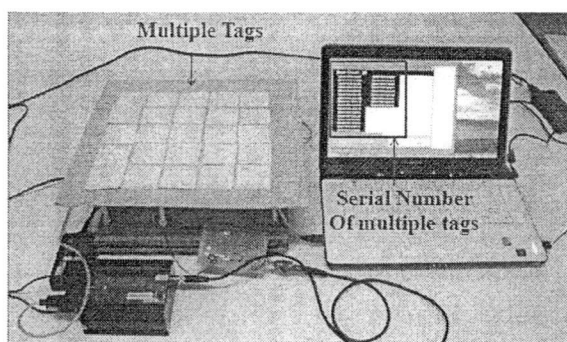
รูปที่ 5.1 เป็นบล็อกไดอะแกรมในการประเมินผลสายอากาศเพื่อที่จะนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้กับชั้นวางของตามบล็อกไดอะแกรมประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆคือ ภาคส่งกับภาครับ ในส่วนของภาคส่งก็จะมีคอมพิวเตอร์ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับเครื่องอ่านข้อมูลด้วยโปรแกรมซอฟต์แวร์ในการส่งคำสั่งควบคุมและรับข้อมูล RFID ส่วนพอร์ตอีกด้านหนึ่งของเครื่องอ่านข้อมูลก็จะมาเชื่อมต่อเข้ากับวงจรแม่ขั้วและสายอากาศสายอากาศ ในส่วนของภาครับหรือในส่วนของแท็กซึ่งประกอบไปด้วยสายอากาศแท็กกับทรานสปอนเดอร์ ทั้งภาคส่งและภาครับก็ทำการส่งผ่านข้อมูลกันด้วยวิธีการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีวิธีการและขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

- เตรียมเครื่องอ่านข้อมูลต่อกับสายอากาศให้อยู่ในสถานะที่พร้อมทำการทดสอบ
- นำเครื่องอ่านข้อมูลต่อเชื่อมกับคอมพิวเตอร์โดยผ่าน Hyper terminal
- นำแท็กมาทำการทดสอบโดยให้สายอากาศอ่านแท็กจำนวน 25 แท็กในเวลาเดียวกันต่อหนึ่งพื้นผิวทดสอบตามรายละเอียดข้างต้นที่ได้กล่าวมาแล้ว และทำซ้ำแบบเดิมที่ระยะทางต่างๆจากสายอากาศที่ต้องการทดสอบ และบันทึกผลอย่างละเอียด
- ทดสอบการอ่านแท็กของสายอากาศให้ครบในทิศทาง xy และ z

และรูปที่ 5.2 แสดงการประเมินผลของสายอากาศ

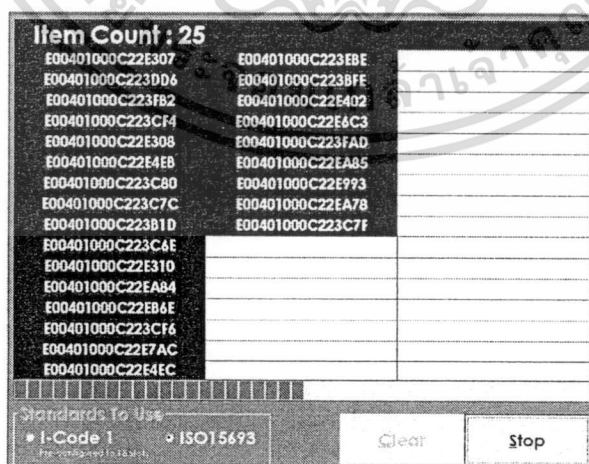


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 5.1 บล็อกไดอะแกรมในการประเมินผลสายอากาศ



รูปที่ 5.2 รูปในการประเมินผลสายอากาศ

รูปที่ 5.3 แสดงตัวอย่างการอ่านแท็กของสายอากาศเมื่อทำการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ จากรูปเป็นการแสดงการอ่านแท็กชนิด ISO15693 ซึ่งสามารถสังเกตได้จากมุมด้านล่างซ้ายของรูปและมีการอ่านแท็กทั้งหมด 25 แท็กโดยเริ่มจากแท็กตัวที่ 1 ที่สายอากาศสามารถอ่านได้คือ E00401000C22E307 และแท็กตัวที่ 25 ก็คือ E00401000C223C7F โดยความสามารถในการอ่านแท็กของสายอากาศจะไม่ขึ้นอยู่กับสายอากาศเพียงอย่างเดียว แต่มีองค์ประกอบมากมายที่มีผลต่อการอ่านแท็กและตัวอย่างดังต่อไปนี้เป็นส่วนหนึ่งที่วิเคราะห์ได้จากการทดสอบ เช่น ชนิดของเครื่องอ่านข้อมูล กำลังส่งของเครื่องอ่านข้อมูล ชนิดและขนาดของแท็ก ทิศทางการวางตัวของแท็ก ประสิทธิภาพของวงจรแมตซ์ สภาพแวดล้อมรอบข้างอย่างเช่น จอคอมพิวเตอร์หรือจอโทรทัศน์ที่ส่งผลกระทบต่อในการอ่านข้อมูลเช่นกัน

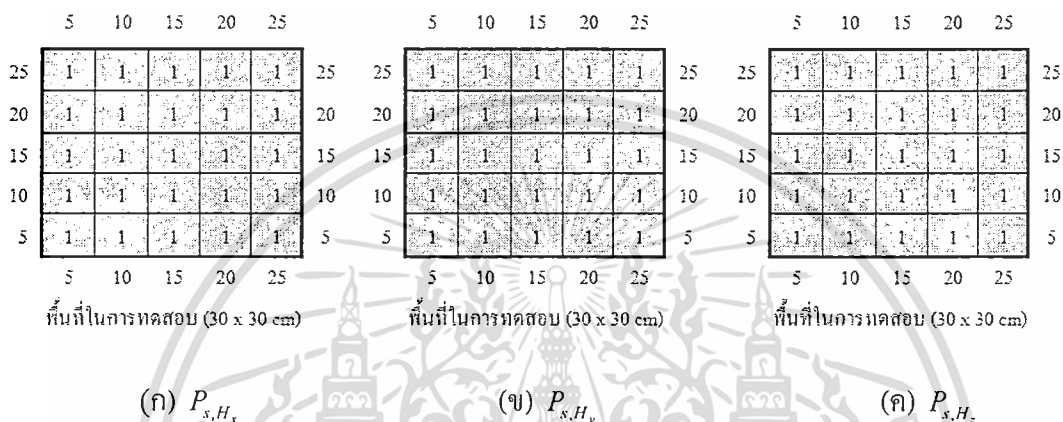


รูปที่ 5.3 รูปตัวอย่างการอ่านแท็กของสายอากาศเมื่อเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

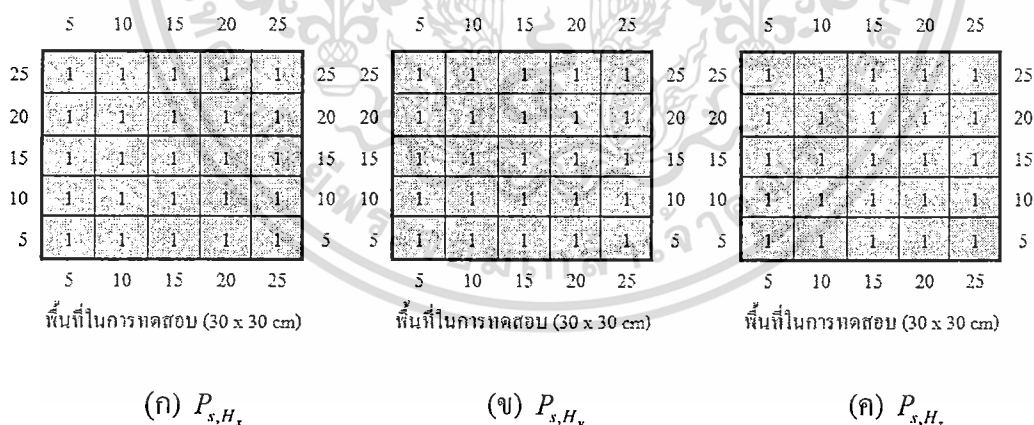
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1 ผลการประเมินสายอากาศ

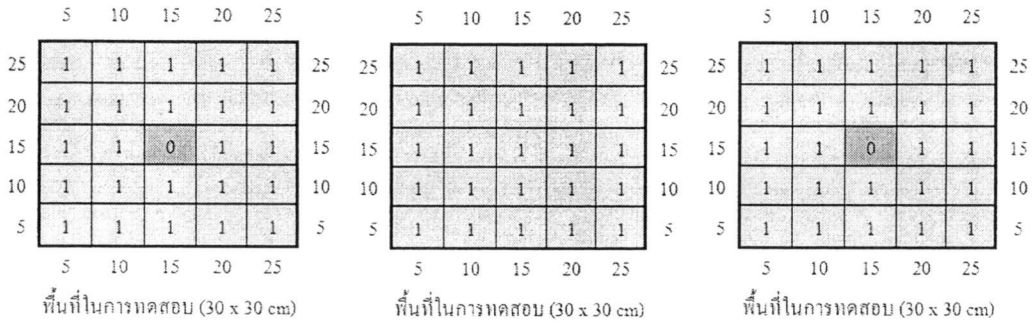
ผลการประเมินสายอากาศด้วยการอ่านแท็กจำนวน 25 แท็กในเวลาเดียวกันของแต่ละพื้นผิวในแต่ละแนวแกนหลักที่ระนาบทดสอบที่ระยะทางต่างๆกันจากสายอากาศดังแสดงในรูปที่ 5.3 ถึง รูปที่ 5.8 ผลที่ได้จากการประเมินจะสรุปเอาไว้ในตารางที่ 5.1 และได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กจำนวน 25 แท็ก ที่ระนาบทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ 0 cm



รูปที่ 5.5 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กจำนวน 25 แท็ก ที่ระนาบทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ 4 cm

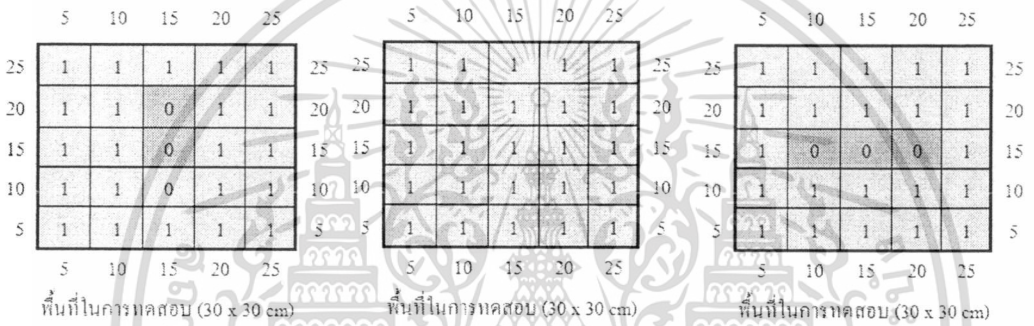


(ก) P_{s,H_x}

(ข) P_{s,H_y}

(ค) P_{s,H_z}

รูปที่ 5.6 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กจำนวน 25 แท็ก ที่ระนาบทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ 8 cm

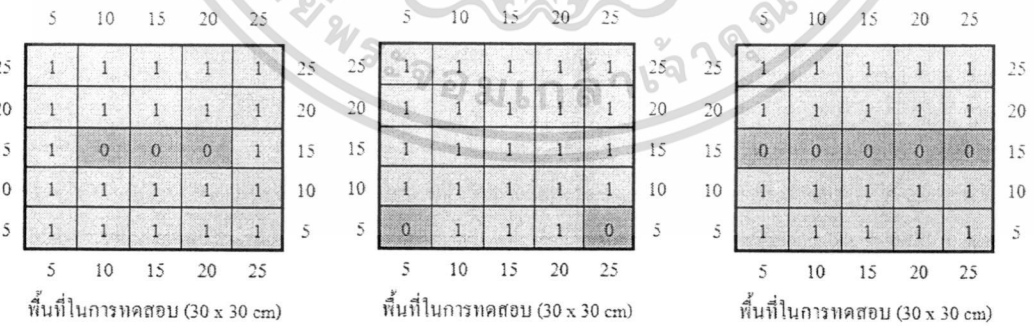


(ก) P_{s,H_x}

(ข) P_{s,H_y}

(ค) P_{s,H_z}

รูปที่ 5.7 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กจำนวน 25 แท็ก ที่ระนาบทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ 12 cm



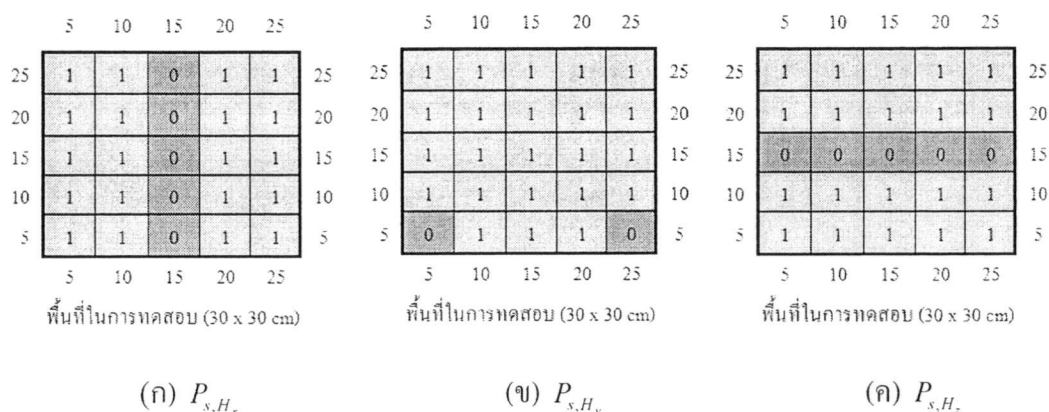
(ก) P_{s,H_x}

(ข) P_{s,H_y}

(ค) P_{s,H_z}

รูปที่ 5.8 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กจำนวน 25 แท็ก ที่ระนาบทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ 16 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กจำนวน 25 แท็ก ที่ระนาบทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ 20 cm

ตารางที่ 5.1 ตารางการอ่านแท็กจำนวน 25 แท็กที่ระยะทางทดสอบตั้งแต่ 0-20 cm

ระยะห่างจาก สายอากาศ h (cm)	จำนวนแท็กที่อ่านได้ในแต่ละ แนวแกน			คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)		
	x	y	z	x	y	z
0	25	25	25	100	100	100
4	25	25	25	100	100	100
8	24	25	24	96	100	96
12	23	25	22	88	100	88
16	22	23	20	88	92	80
20	20	23	20	80	92	80

5.4 สรุป

ผลการรับส่งข้อมูลระหว่างสายอากาศกับแท็กที่มีจำนวนมากกว่าหนึ่งแท็กในเวลาเดียวกันด้วยการทดสอบกับแท็ก ISO15693 ในลักษณะการจัดเรียงเหมือนการวางของหรือการวางหนังสือด้วยจำนวนแท็กเท่ากับ 25 แท็ก โดยพิจารณาจากความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กเพื่อดูความแม่นยำในการอ่านแท็กของสายอากาศทั้ง 3 แนวแกนหลัก ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำในการอ่านแท็กในแนวแกน x เท่ากับ 92 เปอร์เซ็นต์ แนวแกน y เท่ากับ 97.33 เปอร์เซ็นต์ และแนวแกน z เท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่าสายอากาศที่สร้างขึ้นมานั้นมีความแม่นยำในการอ่านค่าแท็กที่ 90 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่า ดังนั้นมีความเป็นไปได้สูงที่จะนำสายอากาศไปใช้สำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่สูงและสามารถที่จะนำไปพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้กับชั้นวางของได้ ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบขดเกลียวด้วยการวิเคราะห์จำนวนบ่วงและระยะห่างระหว่างบ่วง เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีรูปแบบที่เหมาะสม มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน สร้างง่ายและมีคุณสมบัติในการกระจายคลื่นที่ดีทั้งสามแนวแกนหลักซึ่งใช้สำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (RFID: Radio Frequency Identification) ย่านความถี่สูง (13.56 MHz) โดยจุดประสงค์เพื่อสร้างสายอากาศที่สามารถใช้งานกับแท็กได้ทุกลักษณะการจัดวาง

ในหัวข้อ 6.1 จะกล่าวถึงผลสรุปโดยรวมของวิทยานิพนธ์นี้ซึ่งประกอบไปด้วยผลการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบขดเกลียว การพิจารณาความสามารถในการติดต่อสื่อสารในทิศทางตามแนวแกน x , y และ z ของสายอากาศ ในหัวข้อ 6.2 จะกล่าวถึงข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อไป

6.1 สรุปเนื้อหาโดยรวม

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้อธิบายถึงทฤษฎีและหลักการของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่สูง หลักการออกแบบสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบขดเกลียวสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่สูง ทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศ โดยใช้โปรแกรม NEC จำลองแบบของสายอากาศแล้วนำค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่ได้จากการจำลองผลซึ่งเป็นค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กเชิงเส้น นำมาคำนวณเป็นค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวจากนั้นนำค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวของแต่ละพื้นผิวมาหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรเพื่อใช้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสายอากาศ

จากผลการจำลองและทำการวิเคราะห์ จากนั้นนำผลที่ได้มาสรุปเลือก โครงสร้างของสายอากาศที่ให้ผลการจำลองเหมาะสมที่สุดในที่นี้คือสายอากาศที่สามารถกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กมากที่สุดในสามแนวแกนหลัก ซึ่งสายอากาศดังกล่าวคือสายอากาศที่มีระยะห่างระหว่างบ่วงเท่ากับ 5 cm และมีจำนวนบ่วงเท่ากับ 3 บ่วง มาสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบและนำไปทดสอบผลเบื้องต้น จากผลการทดสอบสายอากาศด้วยการอ่านข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กในแนวเส้นตรงที่ใช้พิจารณาเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิว เพื่อใช้วิเคราะห์ความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กของแต่ละพื้นผิว โดยในแนวแกนที่ทดสอบ

การพิจารณาจาก 0 ถึง 20 cm ตลอดแนวเส้นตรงจากนั้นนำมาวิเคราะห์หาผลรวมของเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ในแต่ละแนวแกนก็จะได้เป็นเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร ด้วยค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของการอ่านแท็กทั้ง 3 แนวแกนหลักมีค่า P_{v,H_x} เท่ากับ 86.17 เปอร์เซ็นต์ P_{v,H_y} เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และ P_{v,H_z} เท่ากับ 82.71 เปอร์เซ็นต์ เมื่อดูผลที่ได้จากการทดสอบพบว่ามีความสอดคล้องเป็นไปได้ในทิศทางเดียวกับผลที่ได้จากการจำลอง แต่ผลที่ได้จากการทดสอบจะไม่ดีเท่าผลที่ได้จากการจำลองเนื่องจากมีองค์ประกอบหลายอย่างที่มีผลต่อการอ่านแท็ก ตัวอย่างเช่น ชนิดของเครื่องอ่านข้อมูล กำลังส่งของเครื่องอ่านข้อมูล ชนิดและขนาดของแท็ก ทิศทางในการวางตัวของแท็ก ประสิทธิภาพของวงจรแม่ตซึ่ง สภาพแวดล้อมรอบข้างอย่างเช่น จอคอมพิวเตอร์หรือจอโทรทัศน์ก็ส่งผลกระทบต่อในการอ่านข้อมูลเช่นกัน ซึ่งองค์ประกอบต่างเหล่านี้จะไม่มีผลในการจำลองผลแต่ในทางกลับกันคือจะมีผลโดยตรงกับการทดสอบ

เมื่อได้สายอากาศที่ผ่านการทดสอบเบื้องต้นมาแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็จะเป็นการประเมินความสามารถของสายอากาศโดยการนำสายอากาศกับเครื่องอ่านข้อมูลมาเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อดูผลการรับส่งข้อมูลระหว่างสายอากาศกับแท็กที่มีจำนวนมากว่าหนึ่งแท็กในเวลาเดียวกัน โดยในการประเมินผลจะใช้แท็ก ISO15693 มาจัดเรียงในลักษณะการวางของหรือการวางหนังสือจำนวนทั้งหมด 25 แท็ก โดยวิธีการจัดเรียงแท็กนั้นได้ทำการปรับเปลี่ยนทิศทางทั้งสามแนวแกนหลักเพื่อดูประสิทธิภาพในการอ่านแท็กของสายอากาศในแต่ละแกนพบว่าสายอากาศสามารถอ่านแท็กได้อย่างแม่นยำและคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ได้ค่าในแนวแกน x เท่ากับ 92 เปอร์เซ็นต์ ในแนวแกน y เท่ากับ 97.33 เปอร์เซ็นต์ และในแนวแกน z เท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดสอบดังกล่าวจึงสามารถสรุปได้ว่าสายอากาศสามารถใช้งานกับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

6.2.1 ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยสายอากาศบ่งชี้ให้ทีมจัดรูปแบบขดเกลียวด้วยการใช้เส้นลวดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อดีคือ โครงสร้างของสายอากาศไม่ซับซ้อน สร้างง่าย ราคาถูก แต่สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงในการออกแบบและสร้างสายอากาศให้พิจารณาดังนี้

- ก) เส้นลวดในการสร้างสายอากาศต้องมีคุณภาพดี ในกรณีนี้อาจจะต้องมีการทดลองกับเส้นลวดหลายๆแบบ ตัวอย่างเช่น เส้นลวดเปลือยกับเส้นลวดแบบมีฉนวนว่าให้ผลต่างกันหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ข) ขนาดของเส้นลวดซึ่งจะมีผลอย่างมากต่อการกระจายความเข้มของสนามแม่เหล็กในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้พบว่าเส้นลวดที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีการกระจายความเข้มของสนามแม่เหล็กแรงกว่าเส้นลวดขนาดเล็ก
- ค) จำนวนและระยะห่างของขดเกลียวของสายอากาศ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้พบว่าทั้งสองพารามิเตอร์นี้มีความสำคัญที่สุดและต้องคำนึงถึงเป็นอย่างแรกในการออกแบบสายอากาศ โดยจำนวนและระยะห่างของขดเกลียวของสายอากาศต้องมีค่าที่เหมาะสมไม่มากและน้อยไปถึงจะให้การกระจายความเข้มของสนามแม่เหล็กได้ดีในสามแนวแกนหลัก
- ง) วงจรแมตซิ่งเพื่อส่งผ่านกำลังไปยังสายอากาศให้ได้สูงสุด ซึ่งในการออกแบบสายอากาศแบบบ่วงในระบบ RFID ย่านความถี่สูงนั้นจำเป็นต้องมีวงจรแมตซิ่งเพื่อแมตสายอากาศให้ได้ค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ซึ่งวงจรแมตมิให้เลือกหลายรูปแบบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้วงจรแมตที่เรียกว่า Tree Element Match
- จ) เครื่องอ่านข้อมูล ซึ่งเครื่องอ่านข้อมูลที่เหมาะสมในการใช้งานกับระบบ RFID ย่านความถี่สูงนั้นควรจะเป็นเครื่องอ่านข้อมูลระยะไกล แต่ในกรณีที่ไม่สามารถหาเครื่องอ่านข้อมูลระยะไกลได้นั้น สามารถใช้เครื่องอ่านข้อมูลระยะใกล้ได้แต่จะให้ผลได้ไม่ดีเท่า
- ฉ) ชนิดและขนาดของแท่งที่นำมาทดสอบ โดยชนิดของแท่งต้องมีประเภทของโปรโตคอลตรงกับเครื่องอ่านข้อมูลด้วยและขนาดของแท่งก็มีผลต่อการอ่านข้อมูลระหว่างสายอากาศกับแท่งเช่นกัน

ซึ่งตัวแปรทั้งหมดที่ได้กล่าวมาข้างต้นให้ผู้ออกแบบสายอากาศแบบบ่วงสำหรับระบบ RFID ย่านความถี่สูงคำนึงถึงเป็นอันดับแรกก่อนที่จะทำการออกแบบ ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะช่วยชี้แนะแนวทางในการออกแบบและสร้างสายอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีปัญหาน้อยที่สุด

6.2.2 แนวทางในการพัฒนา

การเพิ่มระยะการใช้งานอาจเพิ่มได้โดยวิธีการเพิ่มสายอากาศให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและยังสามารถใช้วิธีการ Optimized โครงสร้างและขนาดของสายอากาศอย่างละเอียดโดยวิธี GA (Genetic Algorithm) หรือวิธีการอื่นๆ เพื่อเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการใช้งานให้ดีขึ้นได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Finkenzeller, RFID Handbook, John Wiley & Sons, 2003.
- [2] D. Paret, RFID and Contactless Smart Card Applications, John Wiley & Sons, 2005.
- [3] AN678 RFID Coil Design, [Online]. Available: <http://www.microchip.com>
- [4] U2270B Antenna Design Hints, [Online]. Available: <http://ftp.jettedata.cz/pub/ham/sheet/u/u22-70hin.pdf>
- [5] W. H. Hayt Jr., Engineering Electromagnetics, fifth Edition, McGraw-Hill, New York, 1989.
- [6] G. J. Burke and A. J. Poggio. Numerical Electromagnetics Code (NEC) Method of Moment, Part I-III. Lawrence Livermore Nat. Lab., Livermore, CA, 1981.
- [7] US 4,135,183. "Antipilferage System Utilizing Figure-8 Shaped Field Producing And Detector Coils." Jan 16, 1979.
- [8] J. Schillinger, "Antenna Matching for the TRF7960 RFID Reader", *SLOA135-May 2009*
- [9] X. Qing and Z. N. 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, November 2007, pp.3105-3111.
- [10] H. M. Elkamechouchi and M. N. Abd El-Salam, "Square Loop Antenna Miniaturization using Fractal Geometry," *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, Vol.4, June 2003, pp.254-257.
- [11] X. Qing, Z. N. Chen and A. Cai, "Multi-loop Antenna for High Frequency RFID Smart Shelf Application," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, June 2007, pp.5467-5470.
- [12] S.Kawdungta, C.Phongcharoenpanich, and D.Torrungrueng, "Design of Spiral Square Loop Antennas for HF-RFID Smart Shelf Systems," *Proceedings of the 2008 International Symposium on Antennas and Propagation*, Taipei, pp.1426-1429, October 2008.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล นายบัญชา เหลือแดง
 วัน เดือน ปีเกิด 16 กุมภาพันธ์ 2522
 ประวัติการศึกษา 2546 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] B. Luadang and C. Phongcharoenpanich, "Investigation of Spiral Square Loop Antenna for Reader of HF-RFID System," *Proceedings of the 25th International Technical Conference on Circuits/ Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC2010)*, Pattaya, pp.1024-1027, July 2010.
- [2] B. Luadang and C. Phongcharoenpanich, "A Walk-through Gate Antenna using Paralleled Spiral Square Loop for HF-RFID Applications," *Proceedings of the 2010 International Workshop on Information Communication Technology (ICT2010)*, Bangkok, pp. W1A-1 24, Aug 2010.