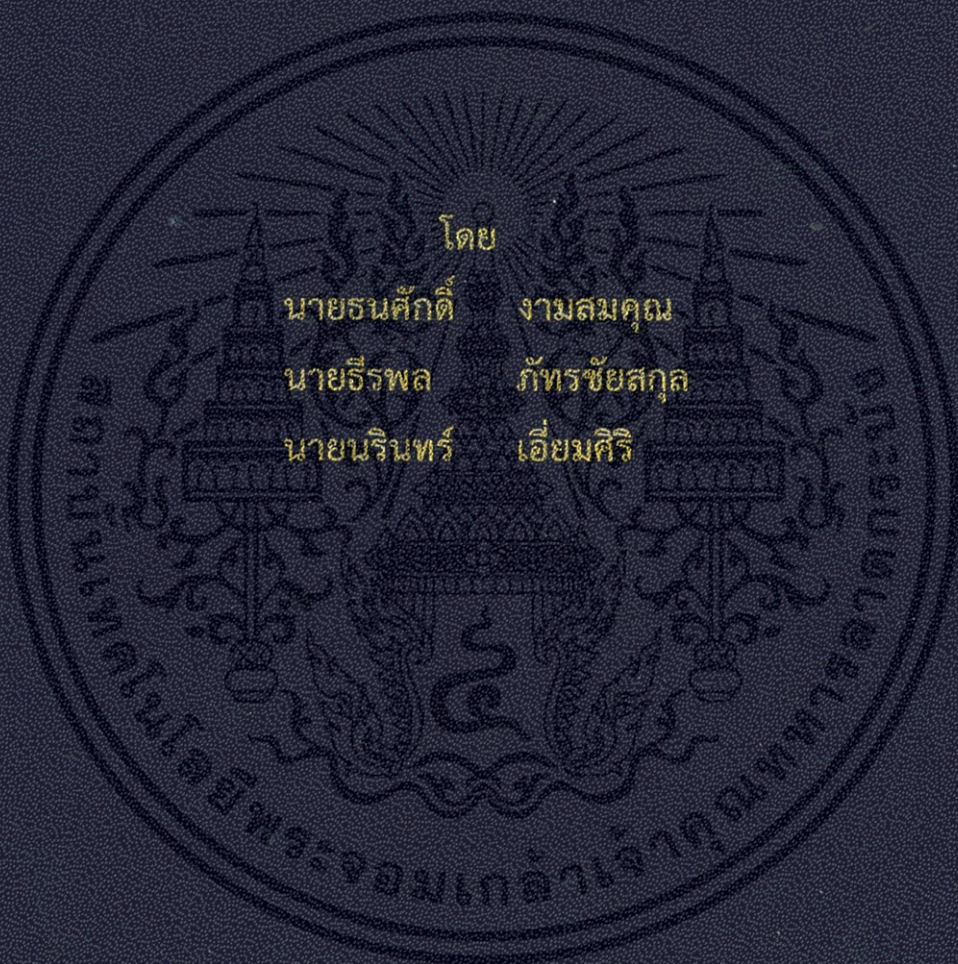


สายอากาศอาร์เอฟไอดีสำหรับการควบคุมการเข้าออก
RFID ANTENNA FOR ACCESS CONTROL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

สายอากาศอาร์เอฟไอดีสำหรับการควบคุมการเข้าออก
RFID ANTENNA FOR ACCESS CONTROL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

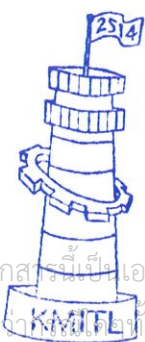
สายอากาศอาร์เอฟไอดีสำหรับการควบคุมการเข้าออก
RFID ANTENNA FOR ACCESS CONTROL

โดย

นายธนกัณฑ์	งามสมคุณ	52010466
นายธีรพล	ภัทรชัยสกุล	52010523
นายนรินทร์	เอี่ยมศิริ	52010574

อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์
รศ.ดร.จเร สุรวัฒน์ปัญญา

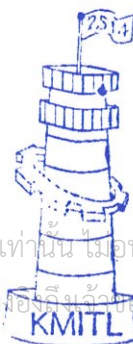
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555



ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(Signature)
.....
อาจารย์ที่ปรึกษา

5 19/12/56



ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(Signature)
.....

กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน
18/12/56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการคัดค้าน
ไม่อาจใช้ได้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงแหล่งที่มาของการนำใบเสนอราคาไปใช้

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สายอากาศอาร์เอฟไอดีสำหรับการควบคุมการเข้าออก

RFID ANTENNA FOR ACCESS CONTROL

ผู้จัดทำ

- | | | |
|-----------------|-------------|----------|
| 1. นายธนกศักดิ์ | งามสมคุณ | 52010466 |
| 2. นายธีรพล | ภัทรชัยสกุล | 52010523 |
| 3. นายนรินทร์ | เยี่ยมศิริ | 52010574 |



(รศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.จเร สุรวัดน์ปัญญา)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดีนั้นทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา คือ รศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการทำปริญญานิพนธ์ ตลอดจนพี่ๆในห้องแลปทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และแนวทางกับทางคณะผู้จัดทำ และขอขอบคุณบริษัทซิลิคอน คราฟท์ เทคโนโลยี จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ในการทดลองและให้คำแนะนำในการทำปริญญานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้ที่เป็นแรงบันดาลใจอันสำคัญยิ่ง รวมถึงกำลังใจที่ได้รับเสมอมาจากคุณพ่อ คุณแม่ อีกทั้งญาติพี่น้องของทางคณะผู้จัดทำ ทำให้คณะผู้จัดทำมีความมานะพากเพียรทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศอาร์เอฟไอดีสำหรับการควบคุมการเข้าออก
RFID ANTENNA FOR ACCESS CONTROL

โดย นายธนศักดิ์ งามสมคุณ 52010466
นายธีรพล ภัทรชัยสกุล 52010523
นายนรินทร์ เอี่ยมศิริ 52010574

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ดร.จเร สุรวัฒนปัญญา

บทคัดย่อ

ปฏิญานินพนธ์นี้ได้นำเสนอการศึกษาและออกแบบสายอากาศอาร์เอฟไอดีสำหรับควบคุมการเข้าออก ซึ่งใช้งานในย่านความถี่ 13.56 MHz โดยระบบนี้จะประกอบไปด้วยสายอากาศแท็กที่ใช้สำหรับระบุตัวตนของผู้ใช้งาน ที่จะทำงานร่วมกับเครื่องอ่านสายอากาศแท็กที่มีพิสัยการอ่านระยะใกล้ ที่จะตรวจสอบการอนุญาตการเข้าออกของผู้ใช้งาน โดยข้อมูลที่อ่านได้จากแท็กจะนำมาประมวลผลเทียบกับฐานข้อมูล

ABSTRACT

THIS PROJECT PRESENTS THE STUDY AND DESIGN OF RFID ANTENNAS FOR ACCESS CONTROL. THE OPERATING FREQUENCY OF 13.56MHz IS USED FOR THE SYSTEM TO CONFIRM THE ATTENDANCE AND ACCESS CONTROL. THIS SYSTEM CONSISTS OF TAG ANTENNA FOR USER IDENTIFICATION AND OPERATES WITH SHORT RANGE READER TO READ DATA FROM TAG ANTENNA TO PERMIT THE USER ACCESS. THEN DATA FROM TAG ANTENNA WILL BE EXECUTED IN DATABASE.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	XII
บทที่ 1	
บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
บทที่ 2	
ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 บทนำ	3
2.2 ระบบอาร์เอฟไอดี	3
2.2.1 แท็ก	4
2.2.1.1 แท็กของระบบอาร์เอฟไอดีแบบพาสซีฟ	4
2.2.1.2 แท็กของระบบอาร์เอฟไอดีแบบแอ็กทีฟ	5
2.2.1.3 แท็กของระบบอาร์เอฟไอดีแบบกึ่งแอ็กทีฟ	6
2.2.2 ประเภทของแท็กในระบบอาร์เอฟไอดี	7
2.2.2.1 แท็กแบบจานและเหรียญ (Disk and Coin)	7
2.2.2.2 แท็กแบบกระเปาะแก้ว (Glass Housing)	8
2.2.2.3 แท็กแบบพลาสติก (Plastic Housing)	8
2.2.2.4 แท็กสำหรับใช้เฉพาะกิจ	9
2.2.2.5 แท็กแบบพวงกุญแจ (Key and Key fob)	9
2.2.2.6 แท็กแบบนาฬิกา	10
2.2.2.7 แท็กมาตรฐาน ID-1 และ สมาร์ทการ์ดแบบไร้การสัมผัส	10
2.2.2.8 แท็กแบบ Smart Label	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.2.9 แท็กแบบขดลวดบนชิป (Coil-on-Chip)	11
2.2.3 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader)	11
2.3 คุณลักษณะของอุปกรณ์ระบบอาร์เอฟไอดี	12
2.3.1 ลักษณะการทำงาน (Operation type)	12
2.3.1.1 การรับส่งข้อมูลแบบ Full duplex (FDX)	12
2.3.1.2 การรับส่งข้อมูลแบบ Half duplex (HDX)	13
2.3.2 ขนาดข้อมูล (Data quantity)	13
2.3.3 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable)	13
2.3.4 แหล่งพลังงาน (Power supply)	14
2.3.5 ย่านความถี่ใช้งาน (Frequency range)	14
2.4 ข้อพิจารณาการเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ	15
2.4.1 ความถี่ใช้งาน	15
2.4.2 ระยะทำการ	15
2.4.2.1 การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล	16
2.4.2.2 การรักษาความปลอดภัยที่มีผลกระทบต่อมนุษย์	16
2.4.3 ขนาดของหน่วยความจำ	16
2.5 เทคโนโลยีระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่ใช้การสื่อสารแบบ เหนี่ยวนำ	16
2.5.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่านข้อมูลไปยังแท็ก	17
2.5.2 การส่งข้อมูลจากแท็กมายังเครื่องอ่านข้อมูล	18
2.5.2.1 เทคโนโลยี Load modulation	18
2.6 ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการออกแบบสายอากาศขดลวดของเครื่องอ่าน ข้อมูล	19
2.6.1 การเหนี่ยวนำแรงดันในสายอากาศขดลวด	22
2.6.2 ชนิดและความต้านทานที่สูญเสียของลวด	27
2.6.2.1 ขนาดและค่าความต้านทานทางด้านไฟกระแสตรง	27
2.6.2.2 ค่าความต้านทานทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับของลวด	29
2.6.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวด	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.3.1 ค่าความเหนียวนำของเส้นลวด	30
2.6.3.2 ค่าความเหนียวนำของขดลวด 1 ชั้น	30
2.6.3.3 ค่าความเหนียวนำของสายอากาศขดลวดแบบป่วง วงกลมหลายชั้น	31
2.6.3.4 ค่าความเหนียวนำของขดลวดป่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัส	32
2.7 รูปแบบของสายอากาศขดลวด	33
2.7.1 สายอากาศขดลวดของแท็ก	33
2.7.2 สายอากาศขดลวดของเครื่องอ่านข้อมูล	34
2.8 วงจรเรโซแนนซ์ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ (Q) และแบนด์วิดท์	35
2.8.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน	35
2.8.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม	38
2.8.3 ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพและแบนด์วิดท์	39
2.8.3.1 ข้อกำหนดของค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ	41
2.8.3.2 วิธีการจูน	41
2.9 ระยะเวลาการอ่านของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ	43
2.10 หลักการและตัวอย่างการออกแบบวงจรแมตซ์สำหรับสายอากาศป่วง เกลียว	45
2.10.1 การทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ	45
2.10.2 การปรับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศด้วยวงจรแมตซ์	46
2.11 บทสรุป	49
บทที่ 3 การออกแบบและการจำลอง	50
3.1 บทนำ	50
3.2 โครงสร้างของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล	50
3.3 การจำลองสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล	51
3.4 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศเครื่อง อ่านข้อมูล	53
3.5 โครงสร้างของสายอากาศแท็ก	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 การจำลองสายอากาศแท็ก	55
3.7 การออกแบบ	56
3.7.1 ส่วนของวงจรที่ใช้ในระบบควบคุมการเข้า-ออก	56
3.7.1.1 ไมโครเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี	56
3.7.1.2 ไมโครคอนโทรเลอร์ (PIC18F458)	57
3.7.1.3 จอแอลซีดีขนาด 16X2 (LCD Module 16X2)	58
3.7.1.4 วงจรเสียง	58
3.7.1.5 วงจรไอซีแสดงเวลา	59
3.7.1.6 วงจรคีย์สวิตช์	59
3.7.1.7 วงจรรีเลย์	60
3.7.2 การทำงานของโปรแกรม	60
3.7.2.1 โหมดเพิ่มรหัสบัตร	60
3.7.2.2 โหมดตั้งเวลา	62
3.7.2.3 โหมดดับบันทึกการใช้งาน	63
3.7.2.4 โหมดควบคุมการเปิด - ปิดประตู	63
3.8 บทสรุป	65
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ	66
4.1 บทนำ	66
4.2 เครื่องมืออุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดสอบ	66
4.3 การหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวของสายอากาศ	66
4.4 การทดสอบสายอากาศ	68
4.4.1 ผลการทดสอบสายอากาศกับแท็ก ISO15693	73
4.5 การทดสอบสายอากาศแท็ก	77
4.6 ผลการทดสอบระบบควบคุมการเข้า - ออก	81
4.6.1 การส่งข้อมูลของไมโครเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี	81

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6.1.1 การรับข้อมูลจากพอร์ทอนุกรมโดยใช้โปรแกรม serial monitor	82
4.6.1.2 การวัดสัญญาณจากพอร์ทอนุกรมโดยใช้ออสซิลโลสโคป	82
4.6.2 การทำงานของระบบควบคุมการเข้า-ออกที่สร้างขึ้น	85
4.7 บทสรุป	90
บทที่ 5	
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	91
5.1 สรุปผล	91
5.2 ข้อเสนอแนะ	92
บรรณานุกรม	93



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของแท็ก	4
2.2 แท็กของระบุลักษณะทางคลินิกแบบพาสซีฟ	4
2.3 หลักการทำงานของแท็กชนิดพาสซีฟ	5
2.4 แท็กของระบบอาร์เอฟไอดีแบบแอ็กทีฟ	5
2.5 หลักการทำงานของแท็กชนิดแอ็กทีฟ	6
2.6 แท็กระบบอาร์เอฟไอดีแบบกึ่งแอ็กทีฟ	6
2.7 หลักการทำงานของแท็กชนิดกึ่งแอ็กทีฟ	7
2.8 แท็กแบบจางและเหรียญ	7
2.9 แท็กแบบกระดาษแก้ว	8
2.10 แท็กแบบพลาสติก	8
2.11 แท็กสำหรับใช้เฉพาะกิจ	9
2.12 แท็กแบบพวงกุญแจ	9
2.13 แท็กแบบนาฬิกา	10
2.14 แท็กมาตรฐาน ID-1 และ สมาร์ทการ์ดแบบไร้การสัมผัส	10
2.15 แท็กแบบ Smart Label	11
2.16 ส่วนประกอบของเครื่องอ่าน	12
2.17 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex และ Half Duplex	13
2.18 การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กเป็นการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน	16
2.19 การคำนวณของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก B ที่จุดสังเกต P โดยการป้อนกระแส (I) ที่ลวดตัวนำ	20
2.20 การคำนวณความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก B ที่จุดสังเกต P โดยการป้อนกระแส (I) เข้าบ่วง	21
2.21 การลดลงของค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก B กับระยะห่าง r	22
2.22 พื้นฐานโครงสร้างของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลและสายอากาศแท็กในระบบอาร์เอฟไอดี	23
2.23 การปรับทิศทางของสายอากาศของแท็กให้เหมาะสม	25
2.24 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-รอบกับระยะการอ่าน	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25 รูปของขดลวด 1 ชั้น	31
2.26 สายอากาศขดลวดบ่วงวงกลมแกนอากาศจำนวนรอบใดๆ	32
2.27 สายอากาศขดลวดแบบบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสหลายชั้น	33
2.28 รูปแบบต่าง ๆ ของสายอากาศขดลวดของแท็ก	33
2.29 สายอากาศบ่วงหม้อแปลงของเครื่องอ่านข้อมูล	34
2.30 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน	36
2.31 วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม	38
2.32 ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ	40
2.33 การหาค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพจากแบนด์วิดธ์	40
2.34 ค่าแรงดันกับค่าความถี่สำหรับวงจรเรโซแนนซ์	42
2.35 ผลตอบสนองทางความถี่สำหรับวงจรเรโซแนนซ์	42
2.36 ระยะเวลาอ่านกับขนาดของแท็กสำหรับการประยุกต์ที่ระยะใกล้	44
2.37 ระยะเวลาอ่านกับขนาดของแท็กสำหรับการประยุกต์ที่ระยะไกล	44
2.38 การนำวงจรแมตซ์ชิงมาต่อเข้ากับสายอากาศ	45
2.39 คุณสมบัติและค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศด้วยสมิตชาร์ต	46
2.40 การจำลองการปรับค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศด้วยสมิตชาร์ต	48
3.1 โครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ 1 บ่วง	50
3.2 โครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ 3 บ่วง	51
3.3 โครงสร้างการจำลองแบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็ก	52
3.4 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ 1 บ่วง	52
3.5 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ 3 บ่วง	53
3.6 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ 3 บ่วง ที่ระยะ 5 cm	53
3.7 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ 3 บ่วง ที่ระยะ 10 cm	54
3.8 โครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9	55
3.10	55
3.11	56
3.12	57
3.13	57
3.14	58
3.15	58
3.16	59
3.17	59
3.18	60
3.19	61
3.20	62
3.21	63
3.22	64
4.1	68
4.2	69
4.3	69
4.4	70
4.5	71
4.6	71
4.7	72
4.8	72
4.9	73
4.10	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กที่ระนาบทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ 10 cm	76
4.12 สายอากาศแท็กต้นแบบ	77
4.13 ค่าการเหนี่ยวนำของสายอากาศแท็ก	77
4.14 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารของแท็กต้นแบบที่ระนาบทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ 5 cm	79
4.15 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารของแท็กต้นแบบที่ระนาบทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ 10 cm	80
4.16 รูปแบบการส่งและรับข้อมูลเลขฐาน 16	81
4.17 สัญญาณที่เครื่องอ่านส่งกลับมา กรณีที่อ่านข้อมูลจากบัตรได้	83
4.18 สัญญาณที่เครื่องอ่านส่งกลับมา กรณีที่อ่านข้อมูลจากบัตรไม่ได้	84
4.19 เตรียมทดสอบระบบ	85
4.20 ตัวเลือกการทำงานในโหมดต่างๆ	86
4.21 การใช้งานโหมดบันทึกรหัสบัตร	86
4.22 การใช้งานโหมด เวลา (Time)	87
4.23 วันและเวลาที่เรที่ตั้งค่าไว้	87
4.24 สถานะรอการทาบบัตร	88
4.25 กรณีบัตรที่มาทาบตรงกับในฐานข้อมูล	88
4.26 กรณีบัตรที่มาทาบไม่ตรงกับในฐานข้อมูล	89
4.27 บันทึกการใช้งาน	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่าพารามิเตอร์ของลวด	28
4.1	ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ 3 บ่วงใน แนวแกน y ที่ระยะ 5 cm และ 10 cm	76
4.2	ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กต้นแบบ ในแนวแกน y ที่ระยะ 5 cm และ 10 cm	81



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (Radio frequency identification : RFID) ถูกพัฒนาขึ้นมาในยุค ค.ศ. 1970 อุปกรณ์อาร์เอฟไอดี ที่มีการประดิษฐ์ขึ้นใช้งานเป็นครั้งแรกนั้นเป็นผลงานของ Leon Theremin เพื่อนำไปใช้ในการบ่งชี้วัตถุในระยะไกล และสามารถอ่านข้อมูลจากแท็กอาร์เอฟไอดี (RFID Tag) ได้พร้อมๆกันหลายแท็ก โดยที่เครื่องอ่านข้อมูลไม่ต้องสัมผัสกับแท็กอาร์เอฟไอดี การอ่านข้อมูลสามารถอ่านได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ยุคเริ่มแรกของการใช้อาร์เอฟไอดีในเชิงพาณิชย์ ได้แก่ ระบบกันขโมย ในห้างสรรพสินค้า โดยที่ตัวสินค้าจะมีการติดแท็กอาร์เอฟไอดี แบบ 1 บิต (ซึ่งจะมีค่าเป็น 0 หรือ 1) เมื่อมีการชำระสินค้าเครื่องอ่านและเขียนข้อมูลจากแท็กอาร์เอฟไอดี จะทำการเปลี่ยนค่าบิต เป็น 0 ทำให้สามารถนำสินค้าออกจากร้านได้ แต่หากมีการนำสินค้าออกจากร้านโดยที่วัตถุที่ติดแท็กอาร์เอฟไอดี มีบิตเป็น 1 สัญญาณเตือนจะดังขึ้นในช่วงต้นปี ค.ศ. 1990 บริษัท ไอบีเอ็มได้พัฒนาและจดสิทธิบัตรอาร์เอฟไอดี ในย่านยูเอชเอฟ (ย่านความถี่ตั้งแต่ 300 MHz ถึง 3 GHz) แต่เมื่อ บริษัทไอบีเอ็ม มีปัญหาทางการเงิน จึงได้ขายสิทธิบัตรเกี่ยวกับอาร์เอฟไอดี ให้กับบริษัท Intermec ในช่วงกลาง ค.ศ. 1990 ซึ่งในขณะนั้นการใช้งานอุปกรณ์อาร์เอฟไอดี ยังไม่แพร่หลายมากนักเนื่องจากอุปกรณ์มีราคาสูง อาร์เอฟไอดีกลับมาได้รับความนิยมอีกครั้ง ในปี ค.ศ. 1999 เมื่อ UCC (Uniform Code Council) EAN International บริษัท Procter & Gamble และ บริษัท Gillette ได้ร่วมกันก่อตั้งศูนย์ Auto-ID ขึ้นที่สถาบันเทคโนโลยีแมสซาชูเซตส์ (MIT) ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อพัฒนาแนวทางการใช้อาร์เอฟไอดีในห่วงโซ่อุปทาน สำหรับติดตามสินค้าที่ส่งในห่วงโซ่อุปทานของตนเอง ภายหลังจากได้มีการนำอาร์เอฟไอดีมาประยุกต์ใช้กับงานด้านต่างๆ กันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นการเก็บค่าทางด่วนอัตโนมัติ โดยนำแท็กอาร์เอฟไอดีติดกับรถ และติดเครื่องอ่านข้อมูลที่ด่านเก็บเงิน หรือในทางด้านการเกษตรของสหรัฐ มีการนำป้ายแบบพาสซีฟชนิดความถี่ 125 kHz สำหรับติดที่ตัววัวเพื่อใช้เก็บข้อมูลการฉีดวัคซีนของวัวแต่ละตัว เป็นต้น

โดยในปัจจุบันนี้การควบคุมการเข้าออก (Access Control) ได้รับความนิยมและการใช้งานอย่างแพร่หลายเป็นอย่างมากทั้งในหน่วยงานราชการ บริษัท มหาวิทยาลัย โรงเรียน และหอพัก โดยการควบคุมการเข้าออก นั้นได้มีการนำเทคโนโลยีมาใช้ควบคุมการเข้าออกอยู่หลายเทคโนโลยี เช่น ระบบอาร์เอฟไอดี ระบบสแกนลายนิ้วมือ ระบบสแกนม่านตา ระบบการจดรหัส เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิญานี้จึงได้นำเสนอการใช้เทคโนโลยีระบบอาร์เอฟไอดี ในการควบคุม การเข้าออกโดยใช้ในความถี่ 13.56 MHz ซึ่งอยู่ในย่านความถี่สูง (High Frequency) ใน ปฏิญานี้ ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็นส่วนๆได้ 2 ส่วน คือ ในส่วนของการออกแบบสายอากาศ และ ในส่วนการเขียนโปรแกรมควบคุมระบบการเข้าออก

ในส่วนของการออกแบบสายอากาศนั้น ได้มีการออกแบบสายอากาศของเครื่องอ่าน โดยออกแบบให้ใช้ในความถี่ 13.56 MHz ได้ และ ทำให้สายอากาศมีประสิทธิภาพในการอ่านมีมากขึ้น ทั้งในแกนการอ่านหลัก(ด้านหน้า) และแกนอื่น(ด้านข้าง) รวมถึงระยะในการอ่านที่ไกลขึ้น

ในส่วนของการเขียนโปรแกรมควบคุมการเข้าออกนั้น จะทำการเขียนโปรแกรมให้ สามารถแยกบุคคลในการเข้าออกได้ โดยนำข้อมูลที่รับจากเครื่องอ่านมาเทียบกับฐานข้อมูล ซึ่ง ถ้าข้อมูลที่ตรงกับข้อมูลในฐานข้อมูล ระบบก็จะอนุญาตให้เข้าออกได้ โดยปฏิญานี้จะ เขียนโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ PIC เป็นตัวควบคุมการทำงาน

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.ศึกษาและออกแบบสายอากาศอาร์เอฟไอดีสำหรับควบคุมการเข้าออก โดยใช้งานใน ย่านความถี่ 13.56 MHz
- 2.ศึกษาและออกแบบโปรแกรมสำหรับสั่งการเข้าออกและเก็บฐานข้อมูลของผู้ใช้งาน ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- 3.ศึกษาและออกแบบสายอากาศแท็กที่สามารถระบุตัวตนของผู้ใช้งานและทำงาน ร่วมกับเครื่องอ่านได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ทำการนำเสนอการศึกษาและออกแบบระบบการเข้าออกประตูด้วยระบบอาร์เอฟไอดี ในย่านความถี่สูง โดยทำงานที่ความถี่ 13.56 MHz และการใช้คำสั่งการเข้าออกด้วยสายอากาศแท็ก และไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยนำระบบนี้มาใช้ยืนยันบุคคลและเวลาการเข้าออกของผู้ใช้งาน

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการทั่วไปของระบบอาร์เอฟไอดีที่ย่านความถี่สูง ซึ่งประกอบด้วย ประเภทของแท็กแบบต่าง ๆ หลักการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดีกับแท็ก หลักการสื่อสารแบบการเชื่อมต่อโดยการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก (Inductive coupling) การเลือกใช้อุปกรณ์ของระบบอาร์เอฟไอดี และการออกแบบสายอากาศบนแผ่นวงจรพิมพ์ ที่ใช้ในระบบอาร์เอฟไอดีที่ย่านความถี่สูง

2.2 ระบบอาร์เอฟไอดี

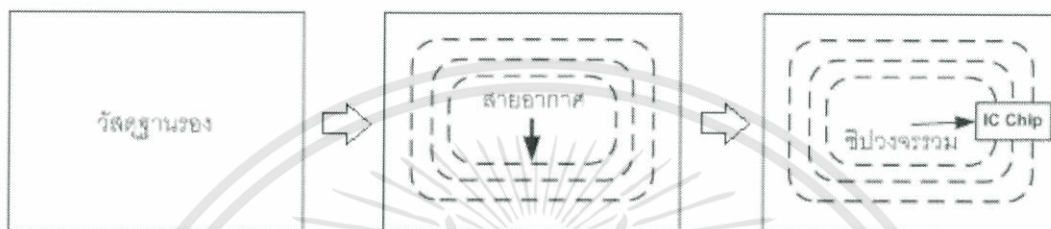
ระบบอาร์เอฟไอดี (RFID) ย่อมาจาก Radio frequency identification เป็นระบบระบุลักษณะของวัตถุด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ ปีค.ศ.1980 มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อนำไปใช้งานแทนระบบบาร์โค้ด (Barcode) โดยจุดเด่นของระบบอาร์เอฟไอดีอยู่ที่สามารถ อ่านข้อมูลจากแท็ก (Tag) ได้หลาย ๆ แท็กแบบไร้สัมผัส และสามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แสงสั่นสะเทือนการกระทบกระแทก และสามารถจะอ่านข้อมูลด้วยความเร็วสูง โดยข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในไมโครชิปที่อยู่ในแท็ก

ในระบบอาร์เอฟไอดี จะมีองค์ประกอบหลัก ๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือแท็ก ส่วนที่สองคือเครื่องอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในแท็กด้วยคลื่นความถี่วิทยุ เพื่อความเข้าใจจึงขอเปรียบเทียบกับระบบบาร์โค้ด เพื่อให้เห็นภาพชัดเจน แท็กในระบบอาร์เอฟไอดีคือ ตัวบาร์โค้ดที่ติดกับฉลากของสินค้า และเครื่องอ่านข้อมูลในระบบอาร์เอฟไอดีก็คือเครื่องอ่านข้อมูลบาร์โค้ด โดยข้อแตกต่างของทั้งสองระบบคือ ระบบอาร์เอฟไอดีจะใช้คลื่นความถี่วิทยุในการอ่านหรือเขียน ส่วนระบบบาร์โค้ดจะใช้แสงเลเซอร์ในการอ่าน โดยข้อเสียของระบบบาร์โค้ด คือหลักการอ่านเป็นการใช้แสงในการอ่านบาร์โค้ดซึ่งจะต้องอ่านบาร์โค้ดที่ไม่มีอะไรปกปิดหรือต้องอยู่ในเส้นตรงเดียวกับลำแสงที่ยิงจากเครื่องสแกน และอ่านวัตถุได้ทีละชิ้น ในระยะใกล้ ๆ แต่ระบบอาร์เอฟไอดีจะแตกต่าง โดยสามารถอ่านแท็กได้โดยไม่ต้องเห็นแท็ก หรือแท็กนั้นอยู่ภายในวัตถุและไม่จำเป็นต้องอยู่ในเส้นตรงกับคลื่นเพียงแต่อยู่ในบริเวณที่สามารถรับคลื่นวิทยุได้ก็สามารถอ่านข้อมูลได้และการอ่านแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุยังสามารถอ่านได้หลายๆ แท็กในเวลาเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 แท็ก

โครงสร้างภายในของแท็กจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ขดลวดขนาดเล็กซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ สำหรับรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุและสร้างพลังงานป้อนให้ส่วนของไมโครชิป (Microchip) ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุ เช่นรหัสสินค้า โดยทั่วไปแท็กอาจอยู่ในชนิดทั้งเป็น กระจก แผ่นฟิล์ม พลาสติก มีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำไปเอาไปติด และมีหลายรูปแบบ เช่น ขนาดเท่าบัตรเครดิต เหรียญ กระดุม ฉลากสินค้า แคปซูล เป็นต้น



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของแท็ก

แต่โดยหลักการอาจแบ่งแท็ก ที่มีใช้งานกันอยู่นั้นจะมีอยู่ 3 ชนิดใหญ่ ๆ โดยแต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันในเรื่องของการใช้งาน ราคา โครงสร้างและหลักการทำงาน ซึ่งจะขอกล่าวถึงและอธิบายแยกเป็นหัวข้อดังนี้

2.2.1.1 แท็กของระบบอาร์เอฟไอดีแบบพาสซีฟ

แท็กชนิดนี้ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอกใด ๆ แสดงตามรูปที่ 2.2 เพราะภายในแท็กจะมีวงจรกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาดเล็ก เป็นแหล่งจ่ายไฟในตัวอยู่ทำให้การอ่านข้อมูลทำได้ไม่ไกลมากนัก ขึ้นอยู่กับความแรงของเครื่องส่งและคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ ขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ไปจนถึงขนาดใหญ่สะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.2 แท็กของระบบลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบพาสซีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

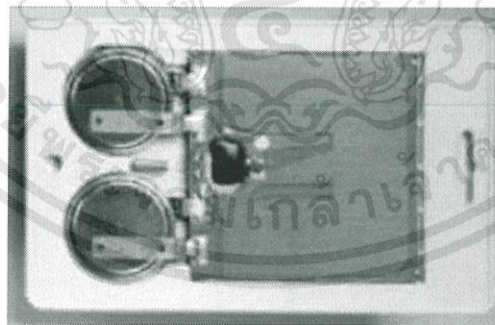
ในรูปที่ 2.3 แสดงหลักการทำงานของแท็กชนิดพาสซีฟ การติดต่อสื่อสารระหว่างแท็กไปยังเครื่องอ่านข้อมูลนั้น เครื่องอ่านข้อมูลจะเป็นตัวติดต่อก่อนเสมอแล้วตามด้วยการติดต่อกลับของแท็ก



รูปที่ 2.3 หลักการทำงานของแท็กชนิดพาสซีฟ

2.2.1.2 แท็กของระบบอาร์เอฟไอดีแบบแอ็กทีฟ

แท็กชนิดนี้จะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ เพื่อจ่ายพลังงานให้กับวงจรเครื่องส่งภายในแท็กซึ่งแท็กชนิดนี้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ส่งสัญญาณได้ไกล มีอายุการใช้งานสั้น และมีราคาแพง มักนิยมใช้กับเครื่องอ่านย่านความถี่ ยูเอชเอฟ หรือ ไมโครเวฟ



รูปที่ 2.4 แท็กของระบบอาร์เอฟไอดีแบบแอ็กทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

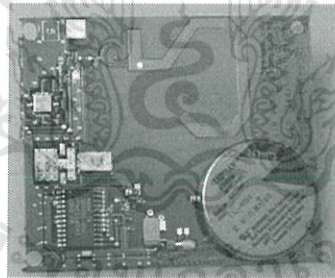
โดยหลักการทำงานของสายอากาศแท็ก ชนิดแอ็กทีฟแสดงดังรูปที่ 2.5 แท็กจะทำการติดต่อสื่อสารก่อนแล้วตามด้วยเครื่องอ่านข้อมูล โดยจะสามารถทำให้สามารถรับส่งสัญญาณข้อมูลกับ เครื่องอ่านข้อมูลระบบอาร์เอฟไอดี ได้ในระยะที่ไกล โดยระยะทางในการติดต่อสื่อสารสูงได้ถึง 100 ฟุต



รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของแท็กชนิดแอ็กทีฟ

2.2.1.3 แท็กของระบบอาร์เอฟไอดีแบบกึ่งแอ็กทีฟ

แท็กแบบกึ่งแอ็กทีฟ (Semi-active tag) หรืออีกชื่อหนึ่งคือแท็กแบบกึ่งพาสซีฟ (Semi-passive tag) แท็กชนิดนี้จะทำงานได้ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ เพื่อจ่ายพลังงานให้กับวงจรไฟฟ้าภายในแท็ก แต่อย่างไรก็ตามแท็กชนิดนี้ยังต้องใช้กำลังงานที่ได้รับจากเครื่องอ่านข้อมูลในการส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่านข้อมูล



รูปที่ 2.6 แท็กระบบอาร์เอฟไอดีแบบกึ่งแอ็กทีฟ

หลักการทำงานของแท็กชนิดกึ่งแอ็กทีฟแสดงดังรูปที่ 2.7 เครื่องอ่านจะทำการติดต่อสื่อสารมาก่อนแล้วจะตามด้วยการทำงานของแท็ก ส่วนการส่งสัญญาณกลับยังคงจะต้องใช้สัญญาณที่เกิดจากการกระจัดกระจายย้อนกลับ และใช้เวลาเพียงเล็กน้อยในการอ่านข้อมูล ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้แท็กชนิดนี้มีความเหมาะสมกับการใช้งานระบุตัวตนของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง



รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของแท็กชนิดกึ่งแอ็กทีฟ

2.2.2 ประเภทของแท็กในระบบอาร์เอฟไอดี

อุปกรณ์แท็กในระบบอาร์เอฟไอดี ที่มีการผลิตใช้งานในกิจการ ในปัจจุบันสามารถแยกกล่าวตามความแตกต่างของโครงสร้างและการออกแบบเป็นสำคัญตามด้วยตัวอย่างประเภทของการประยุกต์ใช้งาน

2.2.2.1 แท็กแบบจานและเหรียญ (Disk and Coin)

แท็กจะถูกบรรจุอยู่ในโครงสร้างทรงกลมคล้ายจานหรือเหรียญและมีการเคลือบป้องกันไว้เป็นอย่างดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท็กชนิดนี้มีตั้งแต่ 1 mm ไปจนถึง 10 cm

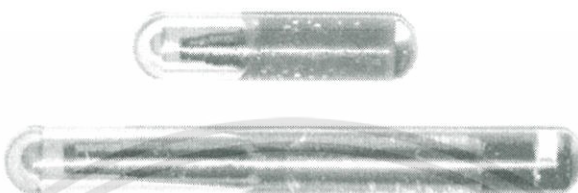


รูปที่ 2.8 แท็กแบบจานและเหรียญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 แท็กแบบกระเปาะแก้ว (Glass housing)

เป็นแท็กที่ได้รับการพัฒนาและผลิตขึ้นสำหรับใช้ฝังไว้ใต้ผิวหนังของสัตว์เพื่อใช้ในการติดตามข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแวดวงปศุสัตว์และการสาธารณสุข ตัวกระเปาะแก้วมีขนาดความยาวในช่วง 12 mm ถึง 32 mm



รูปที่ 2.9 แท็กแบบกระเปาะแก้ว

2.2.2.3 แท็กแบบพลาสติก (Plastic housing)

นิยมเรียกกันในชื่อย่อว่า PP (Plastic package) ได้รับการคิดค้นและพัฒนาขึ้นสำหรับใช้ในกิจการอุตสาหกรรมบางประเภทที่มีความต้องการเฉพาะรูปแบบ แท็กแบบนี้มีขนาดบางและสามารถนำไปติดตั้งประกอบกับผลิตภัณฑ์หลาย ๆ ประเภท

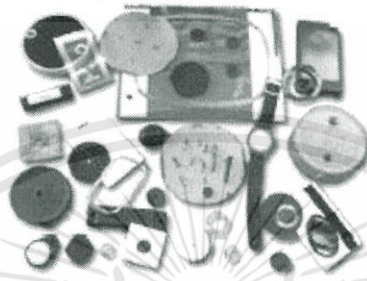


รูปที่ 2.10 แท็กแบบพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.4 แท็กสำหรับใช้เฉพาะกิจ

เป็นแท็กในระบบอาร์เอฟไอดี อีกประเภทหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษ สำหรับใช้งานในกรณีเฉพาะกิจ โดยมีการคิดค้นและพัฒนาเพื่อบรรจุแท็กลงในโครงสร้างและหน้าสัมผัสที่เป็นโลหะ



รูปที่ 2.11 แท็กสำหรับใช้เฉพาะกิจ

2.2.2.5 แท็กแบบพวงกุญแจ (Key and Key fob)

แท็กในระบบอาร์เอฟไอดี สามารถได้รับการพัฒนาให้อยู่ในรูปของกุญแจพิเศษที่ใช้ในการเปิดปิดประตู หรือใช้กับระบบรักษาความปลอดภัยต่าง ๆ ซึ่งพวงกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้ไม่มีลูกกุญแจ แต่กลับทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งอาจมีการนำเข้ารหัสเพื่อใช้ในการยืนยันตัวตนบุคคล

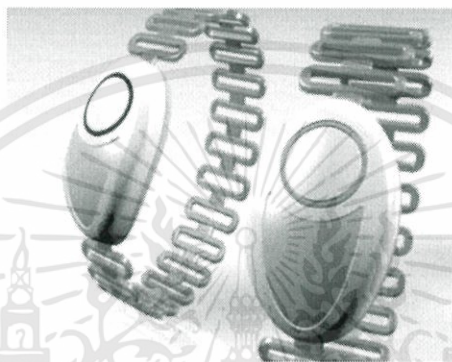


รูปที่ 2.12 แท็กแบบพวงกุญแจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.6 แท็กแบบนาฬิกา

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



รูปที่ 2.13 แท็กแบบนาฬิกา

2.2.2.7 แท็กมาตรฐาน ID-1 และ สมาร์ทการ์ดแบบไร้การสัมผัส

แท็กแบบ ID-1 มีรูปลักษณ์ภายนอกไม่ต่างจากบัตรเครดิตหรือบัตรโทรศัพท์ทั่วไป โดยมีขนาดในด้านยาวเท่ากับ 85.72 mm ด้านกว้างเท่ากับ 54.03 mm และความหนาเท่ากับ 0.76 mm เป็นแท็กที่ได้รับการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย ด้วยคุณสมบัติพิเศษก็คือระยะทำการรับส่งสัญญาณที่เหนือกว่าแท็กแบบอื่น ๆ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากพื้นที่หน้าตัดที่กว้างมากของตัวบัตร ทำให้สามารถจัดวางระบบสายอากาศที่มีแกนขนาดใหญ่ช่วยเพิ่มรัศมีทำการขึ้นได้อีกมาก



รูปที่ 2.14 แท็กมาตรฐาน ID-1 และ สมาร์ทการ์ดแบบไร้การสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.8 แท็กแบบ Smart Label

เป็นแท็กในระบบอาร์เอฟไอดี ที่บางที่สุดที่ได้รับการออกแบบเป็นกระดาษบาง ๆ สามารถงอหรือทบได้ โดยขดลวดสำหรับรับส่งสัญญาณจะถูกออกแบบเป็นแถบพอยล์พลาสติกความหนาเพียง 0.1 mm โดยใช้ขบวนการผลิตแบบพิมพ์สกรีน โดยทั่วไปแถบพอยล์เหล่านี้จะถูกเคลือบชั้นหนึ่งโดยเยื่อกระดาษและทับอีกชั้นหนึ่งด้วยสารยึดเกาะ เพื่อป้องกันการฉีกขาด



รูปที่ 2.15 แท็กแบบ Smart Label

2.2.2.9 แท็กแบบขดลวดบนชิป (Coil-on-Chip)

แท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ชนิดนี้มีความแตกต่างจากแท็กแบบอื่น ๆ ซึ่งมีการแยกส่วนระหว่างแท็กกับขดลวดหรือสายอากาศอย่างชัดเจน แต่สำหรับแท็กแบบขดลวดบนชิปนั้นจะรวมส่วนที่เป็นขดลวดสายอากาศและตัววงจรประมวลผลเข้าด้วยกัน

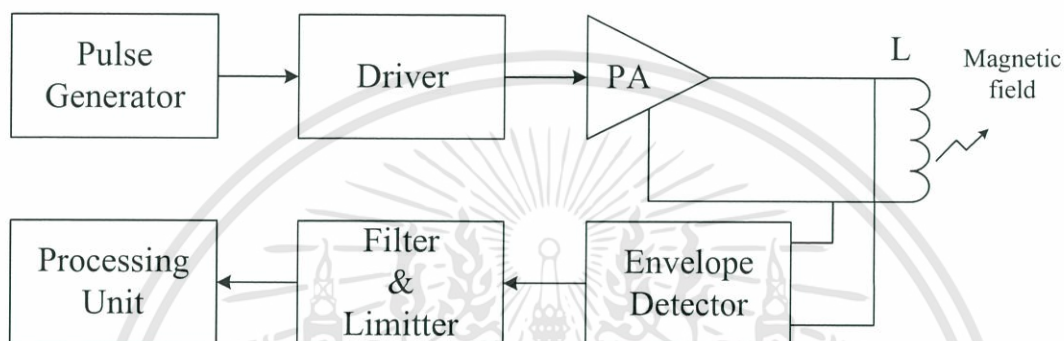
2.2.3 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader)

โดยหน้าที่ของเครื่องอ่านข้อมูลก็คือ การเชื่อมต่อเพื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลลงในแท็กด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ ภายในเครื่องอ่านข้อมูลแสดงดังรูปที่ 2.16 จะประกอบด้วย สายอากาศที่ทำจากขดลวดทองแดงเพื่อใช้รับส่งสัญญาณ ภาครับ-ส่งสัญญาณวิทยุ และวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูล จำพวกไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครื่องอ่านข้อมูลจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

1. ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ
2. ภาคสร้างสัญญาณพาหะ
3. ลายทองแดงที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ
4. วงจรจูนสัญญาณ
5. หน่วยประมวลผลข้อมูล และภาคเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปหน่วยประมวลผลข้อมูลที่อยู่ภายในเครื่องอ่านข้อมูลมักใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ภายในโปรแกรม จะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล (Decoding) ที่ได้รับ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยลักษณะขนาดและรูปร่างของเครื่องอ่านข้อมูลจะแตกต่างกันไปตามประเภทของการใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็กหรือติดผนัง จนถึงขนาดใหญ่เท่าประตู (Gate size) เป็นต้น



รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบของเครื่องอ่าน

2.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์ระบบอาร์เอฟไอดี

2.3.1 ลักษณะการทำงาน (Operation type)

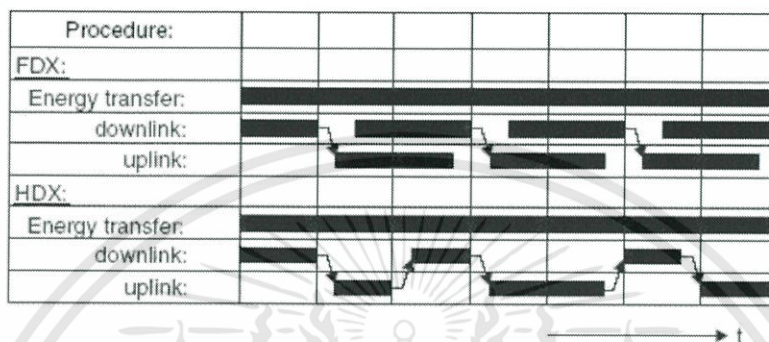
อุปกรณ์ระบบอาร์เอฟไอดี ทั้งแท็กและเครื่องอ่านข้อมูลจะมีรูปแบบข้อมูลบนการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งระหว่างการรับส่งข้อมูลแบบ Full duplex (FDX) หรือ Half duplex (HDX)

2.3.1.1 การรับส่งข้อมูลแบบ Full duplex (FDX)

เครื่องอ่านข้อมูลจะทำการส่งสัญญาณข้อมูลออกตลอดเวลา ซึ่งเท่ากับว่าเป็นการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านทางคลื่นวิทยุไปจ่ายให้กับแท็กที่อยู่ในบริเวณการใช้งานด้วย และเนื่องจากความแรงของคลื่นสัญญาณความถี่วิทยุที่แท็กส่งออกมามีกำลังส่งต่ำ ทำให้มีแนวโน้มว่าสัญญาณอาจส่งไปไม่ถึงเครื่องอ่าน หรืออาจส่งไปถึงแต่มีระดับสัญญาณรบกวนปะปนอยู่ด้วย เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่านข้อมูล ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นของตนเองทำให้ส่งสัญญาณออกมาได้สูงกว่าดังนั้นจึงต้องมีมาตรการในการสร้างความแตกต่างของสัญญาณคลื่นวิทยุที่มีการส่งออกมาจากแท็กแต่ละเครื่อง ให้มีเอกลักษณ์ (Identity) ที่แตกต่างกัน เพื่อให้เครื่องอ่านข้อมูลสามารถแยกแยะแหล่งที่มาได้อย่างถูกต้อง โดยใช้มอดูเลตสัญญาณแบบ Load modulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการสื่อสารแบบ Full duplex เครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณที่สามารถตรวจจับและแปลงเป็นกำลังงานไฟฟ้าให้กับแท็กได้ตลอดเวลา การส่งสัญญาณจากเครื่องอ่านไปยังแท็ก (Downlink) และการส่งข้อมูลจากแท็กกับมายังเครื่องอ่าน (Uplink) สามารถกระทำขึ้นเมื่อใดก็ได้ไม่จำเป็นต้องรอจังหวะในการส่งไปกลับแต่อย่างใด ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex และ Half Duplex

2.3.1.2 การรับส่งข้อมูลแบบ Half duplex (HDX)

การสื่อสารแบบ Half duplex เครื่องอ่านข้อมูลจะทำการส่งพลังงานไฟฟ้าไปให้กับแท็กตลอดเวลา ซึ่งการส่งสัญญาณจากเครื่องอ่านไปยังแท็ก (Downlink) และการส่งข้อมูลจากแท็กกับมายังเครื่องอ่านข้อมูล (Uplink) จะต้องมีการกำหนดจังหวะผลัดการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็ก ดังรูปที่ 2.17

2.3.2 ขนาดข้อมูล (Data quantity)

โดยทั่วไปอุปกรณ์แท็กในระบบอาร์เอฟไอดี จะมีขนาดของหน่วยความจำ หรือที่นิยมเรียกกันว่าขนาดความจุข้อมูล (Data capacity) ไล่ขนาดตั้งแต่ไม่กี่ไบต์ไปจนถึงหลาย ๆ กิโลไบต์ ตัวอย่างแท็กในระบบอาร์เอฟไอดี อีกกลุ่มหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาให้มีขนาดความจุเพียง 1 บิต (1-bit Transponder) ซึ่งแท็กแบบนี้ก็มีราคาประหยัดและมีจุดประสงค์ในการนำไปใช้งานเพียงเพื่อการแจ้งสถานภาพเท่านั้น

2.3.3 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable)

การจำแนกประเภทของแท็กในระบบอาร์เอฟไอดี ตามขีดความสามารถในการโปรแกรมข้อมูล สามารถแบ่งออกได้เป็นแท็กที่ไม่สามารถโปรแกรมได้ ซึ่งภายในจะมีการเขียนข้อมูลที่อาจเป็นรหัสเลขหมายใด ๆ ตามที่ได้รับคำสั่งจ้างทำมาตั้งแต่สายการผลิตและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ อีกประเภทหนึ่งเป็นแท็กในระบบอาร์เอฟไอดี ที่สามารถทำการโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลผ่านทางเครื่องอ่านข้อมูลได้ การจัดการลำดับคำสั่ง (Sequence) ในกรณีของแท็กที่สามารถโปรแกรมได้นั้น ก็มีเทคนิคที่ใช้ในการจัดการประมวลผลข้อมูลให้เลือกพิจารณาเป็นเรื่องทางเทคนิค

2.3.4 แหล่งพลังงาน (Power supply)

เป็นคุณสมบัติทางเทคนิคที่มีความสำคัญมากในการพิจารณาเลือกใช้แท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ทั้งนี้สามารถจำแนกประเภทของแท็กออกเป็น 2 กลุ่ม คือ แบบพาสซีฟ ซึ่งเป็นแท็กที่ไม่ต้องการแหล่งจ่ายไฟบรรจุไว้ภายในตัว แต่จะอาศัยการแปลงสัญญาณพลังงานไฟฟ้าที่ส่งมาจากเครื่องอ่านข้อมูลมาเป็นไฟเลี้ยงเพียงอย่างเดียว กับอีกประเภทหนึ่ง คือ แบบแอ็กทีฟ ซึ่งต้องการระบบจ่ายไฟภายในแท็กเพื่อใช้ป้อนจ่ายให้กับชิปประมวลผลที่ติดตั้งอยู่ภายใน

2.3.5 ย่านความถี่ใช้งาน (Frequency range)

ความหมายของความถี่ใช้งาน (Operating frequency) ในมาตรฐานของระบบอาร์เอฟไอดี นั้นจะหมายถึงคลื่นความถี่วิทยุที่เครื่องอ่านข้อมูลทำการส่งออกไปเท่านั้น โดยจะไม่นับถือว่าแท็กจะส่งคลื่นความถี่ในย่านใดตอบกลับมา ยิ่งในบางกรณีแท็กอาจมีการส่งคลื่นความถี่กลับมาเป็นค่าความถี่เดียวกับที่เครื่องอ่านข้อมูลส่งออกไป โดยแยกแยะความแตกต่างกันด้วยเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณแบบ Load modulation ประเด็นของคลื่นความถี่จากแท็กจึงไม่ใช่สาระสำคัญในการนำมาพิจารณา ในปัจจุบันคลื่นพาหะที่ใช้งานกันในระบบอาร์เอฟไอดี จะอยู่ในย่านความถี่ ISM (Industrial-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดในการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสาร โดยทั่วไปมีความถี่ใช้งาน สำหรับคลื่นพาหะที่ใช้กันในระบบอาร์เอฟไอดีแบ่งออกได้เป็น 4 ย่าน หลักได้แก่

- ย่านความถี่ต่ำ (Low frequency : LF) 125 kHz และ 134 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 (ย่านความถี่ต่ำ ระยะอ่านประมาณ 1 cm จนถึง 1 m และ ย่านความถี่สูงระยะอ่านประมาณ 1 m) เช่น การตรวจสอบการผ่านเข้าออกพื้นที่ การตรวจหาและเก็บประวัติในสัตว์ ส่วนย่านความถี่สูงยิ่ง จะถูกใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล (ย่านความถี่สูงยิ่ง ระยะอ่านประมาณ 1m จนถึง 10 m) เช่น ระบบเก็บค่าบริการทางด่วน และในปัจจุบันระบบอาร์เอฟไอดีกำลังถูกวิจัยและพัฒนาในย่านความถี่ไมโครเวฟที่ความถี่ 2.4 GHz และความถี่ 5.8 GHz เพื่อใช้งานที่ต้องการระยะอ่านที่ไกลกว่า 10 m เป็นต้น

ในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้วระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุด และมีราคาแพงที่สุดด้วย

เช่นกัน ส่วนระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้คลื่นพาหะในอีก 2 ย่านความถี่แรกจะมีระดับราคาและความเร็วลดหลั่นกันไป

2.4 ข้อพิจารณาการเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบอาร์เอฟไอดี

2.4.1 ความถี่ใช้งาน

หลักการของระบบอาร์เอฟไอดี ที่ใช้ย่านความถี่ในช่วง 100 kHz ถึง 30 MHz จะใช้รูปแบบส่งถ่ายสัญญาณข้อมูลระหว่างแท็กกับเครื่องรับเป็นการเชื่อมต่อโดยการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก (Inductive coupling) ในขณะที่อุปกรณ์ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ที่มีการสื่อสารโดยใช้ความถี่ย่านไมโครเวฟซึ่งอยู่ในช่วง 2.4 ถึง 5.8 GHz จะใช้การส่งถ่ายสัญญาณข้อมูลในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การดูดซับคลื่นสัญญาณของตัวนำที่เป็นน้ำ ที่ความถี่ใช้งาน 100 kHz จะมีค่าต่ำกว่าการใช้งานที่ความถี่ 1 GHz ถึง 100,000 เท่า การเลือกใช้งานอุปกรณ์ของระบบอาร์เอฟไอดี ที่ความถี่สูงระดับ 1 GHz ในกรณีที่มีฝนตกย่อมจะเกิดปัญหาการลดทอนสัญญาณระหว่างแท็กและเครื่องอ่านซึ่งอยู่กลางแจ้งมากกว่าการใช้งานแบบเดียวกันที่ความถี่ 100 kHz การเลือกใช้อุปกรณ์ของระบบอาร์เอฟไอดี ทำงานที่ความถี่ในย่านความถี่สูง น่าจะให้ผลดีในการแพร่กระจายคลื่นในระยะทางกว้าง

ส่วนการเลือกใช้อ่านความถี่ไมโครเวฟนั้น โดยทั่วไปจะให้ผลดีในเรื่องของระยะทางที่ไกลกว่าการเหนี่ยวนำโดยใช้คลื่นความถี่ต่ำ แต่อุปกรณ์แท็กที่ทำงานในย่านไมโครเวฟนั้นจำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายไฟสำรองไฟฟ้าทำให้ต้องมีขนาดใหญ่และมีข้อจำกัดในการพกพาหลาย ๆ ประการ สิ่งที่ต้องพิจารณาประการหนึ่งสำหรับการใช้งานอุปกรณ์ของระบบอาร์เอฟไอดี ในย่านความถี่สูงก็คือการที่ระบบอาจถูกรบกวนจากการเดินเครื่องมอเตอร์ที่อยู่ใกล้เคียงได้ เนื่องจากเป็นการรับส่งข้อมูลที่ใช้การเหนี่ยวนำ ทำให้มีความนิยมใช้งานการสื่อสารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟแทนในกรณีของการใช้งานภายในโรงงานอุตสาหกรรม

2.4.2 ระยะทำการ

ปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องโดยตรงต่อระยะทำการในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กของระบบอาร์เอฟไอดี สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประการคือ ตำแหน่งของแท็กหรือระยะห่างชั้นต่ำระหว่างแท็กแต่ละตัวกับเครื่องอ่านข้อมูล ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไปตามประเภทของการใช้งาน ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแท็ก และความเร็วในการอ่านหรือเขียนข้อมูลของแท็ก

2.4.3.1 การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล

การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วยการตรวจยืนยันแท้กของระบบอาร์เอฟไอดี และการเข้ารหัสข้อมูลที่จะถูกส่งผ่านทางคลื่นวิทยุ กระบวนการหรือความต้องการใช้งานในกรณีนั้น ๆ จำเป็นต้องใช้มาตรการรักษาความปลอดภัยหรือไม่ หรือหากต้องการใช้จะเป็นเพียงระดับใด เพื่อให้การลงทุนเป็นไปอย่างเหมาะสมที่สุด

2.4.3.2 การรักษาความปลอดภัยที่มีผลกระทบต่อมนุษย์

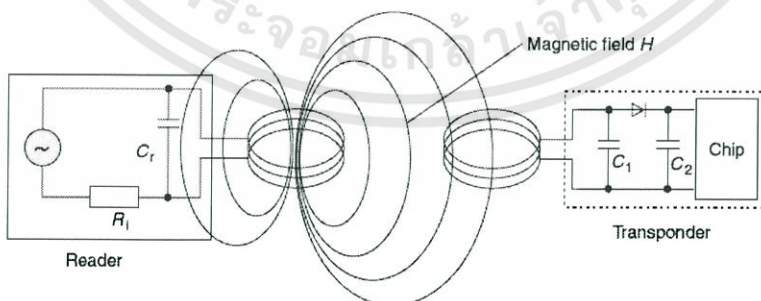
การรักษาความปลอดภัยที่มีผลกระทบต่อมนุษย์ที่ความถี่ 0.1 ถึง 3.0 MHz จะต้องมีค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า (Electric field strength : E) ไม่เกิน 614 V/m ค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Strength : H) ไม่เกิน $16.3/f$ A/m ค่าความหนาแน่นกำลัง (Power density : S) ไม่เกิน $10,000/f^2$ mW/cm² โดยคิดที่เวลาเฉลี่ย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

2.4.4 ขนาดของหน่วยความจำ

ต้นทุนของแท็กในระบบอาร์เอฟไอดี ย่อมมีความสัมพันธ์กับลักษณะและขนาดของหน่วยความจำที่บรรจุอยู่ภายใน การใช้งานในระดับสาธารณะ เช่น ระบบขนส่ง จึงนิยมใช้แท็กที่มีหน่วยความจำน้อย หรือในบางกรณีอาจใช้แท็กแบบโปรแกรมไม่ได้ เพื่อควบคุมต้นทุนของบัตร โดยอาจใช้บัตรหรือแท็กทำหน้าที่ส่งข้อมูลแสดงหมายเลข แล้วให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้นใช้งานภายในระบบหรือเครือข่ายขนส่งทำหน้าที่ตรวจสอบแทน โดยไม่ต้องเก็บข้อมูลไว้ในบัตร

2.5 เทคโนโลยีระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้การสื่อสารแบบเหนี่ยวนำ

เป็นมาตรฐานที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็ก โครงสร้างของแท็กประกอบไปด้วยแผงวงจรหรือชิปที่เก็บบันทึกข้อมูลต่าง ๆ โดยมีขดลวดพื้นที่กว้างทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับและส่งสัญญาณ



รูปที่ 2.18 การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก เป็นการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่านข้อมูลไปยังแท็ก

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

เทคโนโลยีของระบบอาร์เอฟไอดี แบบเหนี่ยวนำส่วนใหญ่ใช้ความถี่ต่ำเพียง 125 kHz ถึง 134 kHz หรือ 13.56 MHz ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีความยาวคลื่นยาวมากถึง 2,400 m ที่ความถี่ 125 kHz ถึง 134 kHz และ 22.12 m ที่ความถี่ 13.56 MHz จึงไม่มีปัญหาในเรื่องของความยาวคลื่นที่สั้นเกินไปจนเกิดปรากฏการณ์เลี้ยวเบนหรือถูกกลทอนจากผนังอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่างๆ หากพิจารณาถึงพื้นที่ใช้งานโดยทั่วไปที่ไม่ได้ไกลหรือกว้างมากนัก

สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะตกกระทบขดลวดสายอากาศของแท็ก ก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขนาดอ่อน ๆ ขึ้นบนขดลวด ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกนำไปเข้ากระบวนการกรองสัญญาณ โดยตัวเก็บประจุและไดโอดเพื่อกรองให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับป้อนให้กับอุปกรณ์ชิป การออกแบบอยู่ที่การเลือกค่าของตัวเก็บประจุ (C_1) ซึ่งจะต้องมีค่าสัมพันธ์กับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดสายอากาศ เพื่อให้สามารถกำหนดค่าความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant frequency) ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่านข้อมูล เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่แท็ก เปรียบเทียบการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าระหว่างขดลวดทั้งสองในรูปที่ 2.18 จะเทียบได้กับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขดลวด 2 ชุด แต่ขดลวดทั้งสองมีได้พันอยู่บนแกนแม่เหล็กเดียวกัน โดยใช้อากาศซึ่งมีการลวดทอนมากกว่าแกนแม่เหล็กมาก ๆ

ดังนั้นในการออกแบบระบบอาร์เอฟไอดี ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงานให้มากที่สุดจึงต้องเน้นไปที่ย่านความถี่ที่เหมาะสมต่อการส่งกระจายพลังงาน จำนวนรอบของขดลวดที่เครื่องอ่านข้อมูล และพื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่แท็ก มุมติดตั้ง และระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็ก

เมื่อความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารมีค่าสูงมากขึ้น จะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องใช้สำหรับขดลวดสายอากาศของแท็กจะมีค่าน้อยลง ซึ่งหมายถึงใช้จำนวนรอบในการพันลดลงเช่นกัน ตัวอย่างเช่น หากใช้งานที่ความถี่ย่าน 125 kHz จะต้องมีการพันขดลวดสายอากาศที่แท็กในช่วง

100 ถึง 1,000 รอบ แต่หากเพิ่มความถี่ในการใช้งานเป็น 13.56 MHz ก็จะสามารถลดจำนวนรอบของขดลวดจะเหลือเพียง 3 ถึง 10 รอบเท่านั้น ซึ่งจะมีผลทำให้สามารถลดขนาดของอุปกรณ์ที่ตกลงได้ แต่ในขณะเดียวกันก็จะส่งผลให้แรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามเหล็กในย่านความถี่สูงลดลงเมื่อเทียบกับการใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ทำให้จำกัดระยะทางในการใช้งานมากขึ้น การเลือกใช้อุปกรณ์อาร์เอฟไอดี จึงต้องพิจารณาทั้งขนาดของแท่งและระยะทางที่ต้องการใช้งาน ตรวจสอบเป็นสำคัญ เพื่อใช้กำหนดเลือกย่านความถี่ที่เหมาะสมของอุปกรณ์ใช้งาน

สิ่งที่ควรให้ความสนใจเกี่ยวกับการออกแบบระบบอาร์เอฟไอดี แบบเหนี่ยวนำ ก็คือ พฤติกรรมการกินกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ชิปที่ติดตั้งอยู่บนแท่ง เนื่องจากค่อนข้างมีความหลากหลายและสัมพันธ์กับรูปแบบในการนำไปประยุกต์ใช้งาน การเลือกค่าความถี่พื้นฐานในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท่งระยะทางพื้นที่ใช้งาน และขนาดของอุปกรณ์อื่นเนื่องมาจากจำนวนรอบของขดลวดสายอากาศ จึงจำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับประเภทของการใช้งานอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

2.5.2 การส่งข้อมูลจากแท่งมายังเครื่องอ่านข้อมูล

มาตรฐานของระบบอาร์เอฟไอดีแบบเหนี่ยวนำ กำหนดรูปแบบการส่งข้อมูลจากแท่งมายังเครื่องอ่านข้อมูล โดยใช้เทคโนโลยีที่เป็นการส่งกระจายคลื่นความถี่วิทยุคือ Load modulation จะมีหลักการทำงานดังนี้

2.5.2.1 เทคโนโลยี Load modulation

พฤติกรรมในการส่งสัญญาณระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและขดลวดของแท่งมีแบบจำลองที่ไม่ต่างจากการทำงานของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าแต่อย่างใด หากแต่เพียงตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายทอดพลังงานเป็นอากาศไม่ใช่โลหะดังเช่นที่พบเห็นในหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป แต่การใช้อากาศเป็นตัวกลางถ่ายทอดสัญญาณระหว่างขดลวดทั้งสองนั้น จะทำได้ก็ต่อเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านข้อมูลและแท่งห่างกันไม่เกิน 0.16 เท่าของค่าความยาวคลื่น (0.16λ) ซึ่งหากคิดกรณีที่ใช้ความถี่ในย่าน 125 kHz ที่มีความยาวคลื่น 2,400 m ก็จะหมายความว่า จะวางแท่งกับเครื่องอ่านห่างกันได้ในระยะทางไม่เกิน $0.16 \times 2,400 = 384$ m

หากมีการนำแท่งซึ่งมีคุณสมบัติของขดลวดและตัวเก็บประจุ ตรงกันกับค่าความถี่เรโซแนนซ์ของเครื่องอ่านมาใช้ในพื้นที่ตรวจสอบที่มีการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กจากเครื่องอ่านข้อมูล แท่งย่อมจะดึงพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการเหนี่ยวนำเพื่อสร้างแรงดันไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน ซึ่งหากพิจารณาในแง่ของวงจรไฟฟ้าแล้ว เครื่องอ่านข้อมูลจะมองเห็นแท่งเป็นโหลดวงจรตัวหนึ่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ Z_L ต่อพ่วงอยู่กับขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล การเปลี่ยนแปลงใด ๆ ไม่ว่าจะเป็นการส่งหรือหยุดส่งพลังงานจาก

เครื่องอ่านข้อมูล ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ที่เครื่องอ่านข้อมูลอย่างแน่นอน เนื่องจากในแง่ของวงจรเรโซแนนซ์ ที่เกิดจากขดลวด และตัวเก็บประจุ บนแท่งย่อมมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่และไม่มีภาระจ่ายพลังงานก็เทียบเท่ากับความถี่เท่ากับศูนย์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์เสมือนนี้ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลโดยปริยาย ซึ่งเป็นสัญญาณแจ้งให้เครื่องอ่านข้อมูลทราบว่า กำลังจะมีการส่งข้อมูลจากแท่งมา เรียกเทคโนโลยีนี้ว่า Load modulation ส่วนจะประยุกต์ใช้งานส่งข้อมูลแบบ Half duplex หรือ Full duplex นั้นขึ้นอยู่กับกรออกแบบวงจรตรวจจับและถอดรหัสสัญญาณซึ่งเป็นเรื่องทีลงรายละเอียดไปในการออกแบบ

2.6 ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการออกแบบสายอากาศขดลวดของเครื่องอ่านข้อมูล

ในการพัฒนาสายอากาศระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุของเครื่องอ่านข้อมูล มีเหตุผลหลักอยู่ 2 ประการคือ

- เพื่อต้องการส่งความถี่วิทยุ (คลื่นพาห้) ให้เป็นกำลังงานของแท่ง
- เพื่อรับสัญญาณความถี่วิทยุ (สัญญาณข้อมูล) จากแท่ง

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

การทำให้เกิดสนามโดยสายอากาศแบบบ่วงขนาดเล็กนั้นจะไม่แพร่กระจายคลื่น แต่จะทำให้คลื่นอ่อนกำลังลงมากกว่า ความเข้มสนามถูกลดลงด้วย r^{-3} (เมื่อ $r =$ ระยะห่างจากสายอากาศ) ในสนามระยะใกล้ (r^{-3}) เป็นปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวจำกัดระยะการอ่านในการใช้งานของระบบอาร์เอฟไอดี

เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กจะเคลื่อนที่ผ่านขดลวด (สายอากาศ) เป็นการเหนี่ยวนำแรงดันให้ตกคร่อมด้านปลายสุดของขดลวด แรงดันนี้จะใช้เพื่อกระตุ้นแท่งแบบพาสซีฟ ดังนั้นสายอากาศขดลวดส่วนมากจะถูกออกแบบให้สามารถเหนี่ยวนำแรงดันได้สูงสุด

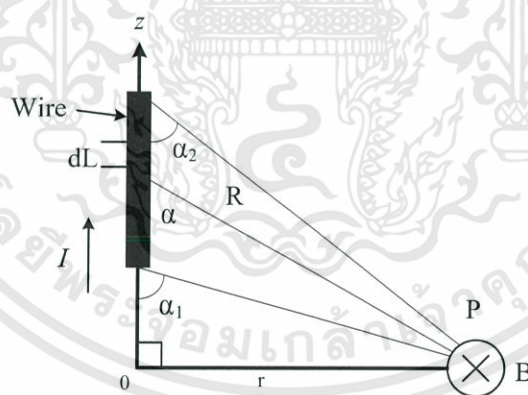
จากสมการที่ 2.1 เป็นสมการของ Biot-savart ที่ได้มาจากกฎของแอมแปร์ ได้กล่าวไว้ว่า การไหลของกระแสในตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบ ๆ ตัวนำ รูปที่ 2.19 แสดงสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสส่วนหนึ่ง ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในตัวนำ (ลวด) ที่มีความยาวจำกัดคิดได้จากสมการ

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

โดยที่ I = กระแส
 r = ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของลวด
 μ_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 2.19 การคำนวณของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก B ที่จุดสังเกต P โดยการป้อนกระแส (I) ที่ลวดตัวนำ

ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก ที่เกิดจากสายอากาศขดลวดแบบบ่วงวงกลม จำนวน N รอบ แสดงได้ดังรูปที่ 2.19 จะได้สมการดังนี้

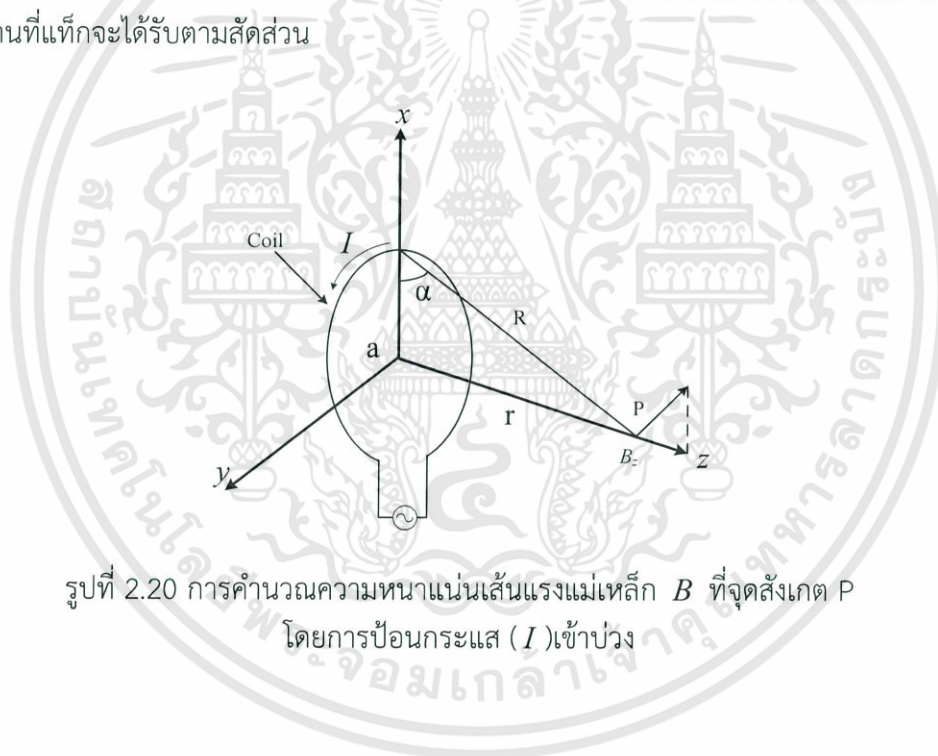
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

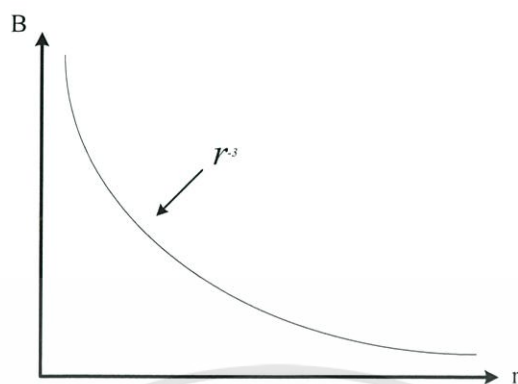
โดยที่ $a =$ รัศมีของบ่วง

สมการที่ 2.4 นี้แสดงให้เห็นว่า สนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายอากาศแบบบ่วง ถูกลดลงด้วย $1/r^3$ ดังแสดงในรูปที่ 2.21 ความเข้มของสนามที่มากที่สุดในระนาบของบ่วงและทิศทางที่เหมาะสมสัมพันธ์กับค่ากระแส (I) จำนวนรอบ (N) และพื้นที่ผิวของบ่วง สมการที่ 2.4 ใช้มากสำหรับคำนวณหาค่า กระแส-รอบ ซึ่งจำเป็นสำหรับระยะการอ่าน ความเข้มสนามแม่เหล็กที่มีผลต่อกำลังงานที่แท็กจะได้รับตามสัดส่วน



รูปที่ 2.20 การคำนวณความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก B ที่จุดสังเกต P โดยการป้อนกระแส (I) เข้าบ่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 การลดลงของค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก B กับระยะห่าง r

2.6.1 การเหนี่ยวนำแรงดันในสายอากาศขดลวด

จากกฎของฟาราเดย์ กล่าวว่า ถ้าเมื่อสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาผ่านพื้นผิวปิด จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำรอบวง ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานที่มีความสำคัญสำหรับการทำงานของอุปกรณ์ระบบอาร์เอฟไอดีแบบพาสซีฟ รูปที่ 2.22 แสดงรูปแบบอย่างง่ายของการใช้งานระบบอาร์เอฟไอดี เมื่อสายอากาศของแท็กและสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลอยู่ในระยะที่ใกล้กัน สนามแม่เหล็ก B ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจะเกิดจากสายอากาศขดลวดของเครื่องอ่านข้อมูลเหนี่ยวนำแรงดัน ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive force) ในสายอากาศขดลวดของแท็ก และทำให้เกิดกระแสไหลในขดลวดที่เหมาะสมได้เรียกว่ากฎของฟาราเดย์

ในการเหนี่ยวนำแรงดันบนสายอากาศขดลวดของแท็ก เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic flux : ψ) ต่อเวลา จะได้ตั้งสมการที่ 2.5

$$V = -N \frac{d\psi}{dt} \quad (2.5)$$

โดยที่ N = จำนวนรอบของสายอากาศขดลวด
 ψ = เส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านแต่ละรอบ

จากสมการที่ 2.6 สังเกตได้ว่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก \bar{B} และพื้นที่ผิว $d\bar{S}$ เป็นปริมาณเวกเตอร์ ผลลัพธ์ของสองเวกเตอร์ในสมการที่ 2.6 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดที่เคลื่อนที่ผ่านสายอากาศขดลวด ซึ่งผลลัพธ์ของสองเวกเตอร์จะมีค่ามากที่สุดเมื่อเวกเตอร์ทั้งสองอยู่ในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ผ่านสายอากาศขดลวดของแท่งจะมีค่ามากที่สุดเมื่อขดลวดทั้งสอง (สายอากาศขดลวดของเครื่องอ่านข้อมูลและสายอากาศขดลวดของแท่ง) อยู่ในทิศทางที่ขนานกัน

จากสมการที่ 2.3-2.6 จะเป็นการเหนี่ยวนำแรงดัน V_o สำหรับสายอากาศแบบบ่วงที่ไม่ได้จูน จะได้สมการที่ 2.7 ดังนี้

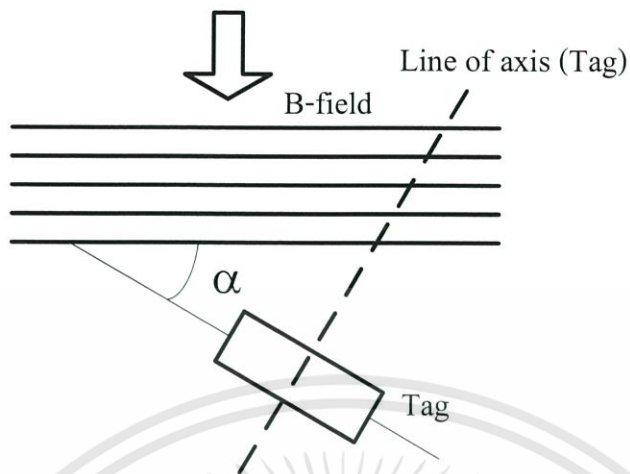
$$V_o = 2\pi fNSB_o \cos \alpha \quad (2.7)$$

โดยที่ f = ความถี่ของสัญญาณ
 N = จำนวนรอบของขดลวดในบ่วง
 S = พื้นที่ของบ่วงในหน่วย(m²)
 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



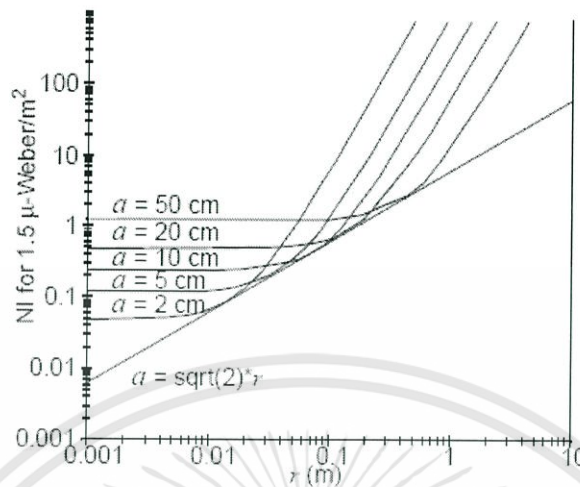
รูปที่ 2.23 การปรับทิศทางของสายอากาศของแท็กให้เหมาะสม

การเหนี่ยวนำแรงดันข้ามสายอากาศขดลวดแบบปวงเป็นของฟังก์ชันมุมของสัญญาณแรงดันเหนี่ยวนำจะมีค่ามากที่สุดเมื่อสายอากาศขดลวดอยู่ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกับทิศทางของสัญญาณที่ $\alpha = 0$

ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก B ที่แท็กต้องการสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 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 2.24 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-รอบกับระยะการอ่าน

จากรูปที่ 2.24 ค่า B_0 ที่ใช้เท่ากับ $1.5 \mu\text{Wb/m}^2$ และรัศมีที่เหมาะสมของบ่วง
ต้องการค่าของกระแส-รอบที่น้อยที่สุด สำหรับระยะของการอ่านสามารถหาได้จากสมการที่ (2.10)
เช่น

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

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

โดยการนำอนุพันธ์มาใช้ในการหาค่ารัศมีจะได้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการข้างต้นจะกลายเป็นสมการที่มีค่าน้อยที่สุดเมื่อ

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

จากผลลัพธ์ข้างต้นจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะของการอ่านกับขนาดของแท่งคาร์ซีมที่เหมาะสมจะหาได้จาก

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

โดยที่ a = รัศมีของขดลวด
 r = ระยะการอ่าน

จากผลลัพธ์ข้างต้นบอกให้รู้ว่า คาร์ซีมที่เหมาะสมที่สุดของบ่วงสำหรับสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลจะมีค่าประมาณ 1.414 เท่า ของระยะการอ่าน

2.6.2 ชนิดและความต้านทานที่สูญเสียของลวด

2.6.2.1 ขนาดและค่าความต้านทานทางด้านไฟกระแสดตรง

เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทางไฟฟ้าจะแสดงตัวเลขตามมาตรฐานอเมริกา (American wire gauge : AWG) ค่าตัวเลขจะเป็นสัดส่วนที่ตรงกันข้ามกับค่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง และเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าทุก ๆ ขนาดลวดลดไปหกเบอร์ ลวดที่เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กจะมีค่าความต้านทานทางด้านไฟกระแสดตรงที่สูง ค่าความต้านทานทางด้านไฟกระแสดตรงของตัวนำที่เป็นแบบเดียวกันตามพื้นที่หน้าตัดหาค่าได้โดย

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

โดยที่ l = ความยาวทั้งหมดของลวด
 σ = ค่าความนำไฟฟ้า
 S = พื้นที่หน้าตัด

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	8.8	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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2.2 ค่าความต้านทานทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับของลวด

สำหรับไฟฟ้ากระแสตรง ประจุเคลื่อนพาหุจะกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วหน้าตัดของลวด ขณะที่ความถี่เพิ่มขึ้นค่ารีแอกแตนซ์ในลวดก็เพิ่มขึ้นด้วย มีผลให้ขอบเขตความหนาแน่นกระแสในค่าอิมพีแดนซ์สูง ดังนั้นประจุจะเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางของลวดไปยังขอบของลวด มีผลทำให้ความหนาแน่นกระแสลดลงในจุดศูนย์กลางของลวดและเพิ่มขึ้นใกล้ขอบของลวด เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าปรากฏการณ์คลื่นผิว (Skin effect) ความหนาแน่นภายในตัวนำที่มีความหนาแน่นกระแสลดลง $1/e$ หรือ 37% จากค่าความลึกผิว (Skin depth) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

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

โดยที่ f = ความถี่
 $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ = ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก
 μ_0 = ค่าความซึมซาบแม่เหล็กของอากาศ
 μ_r = ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ของวัสดุ
 σ = ค่าความนำไฟฟ้าของวัสดุ

ค่าความต้านทานของลวดที่ขึ้นกับความถี่ และค่าความต้านทานที่เกิดจากความหนาของพื้นผิวเรียกว่า ความต้านทานทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับ 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/A^2 ค่าความนำไฟฟ้าเท่ากับ $59.6 \times 10^6 \text{ s/m}$ และ มีค่าความสูญเสียประมาณได้โดยค่าความต้านทานทางด้านไฟฟ้ากระแสตรงของขดลวด ถ้ารัศมีของเส้นลวดใหญ่กว่า $0.066/\sqrt{f} \text{ cm}$

2.6.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวด

กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาสามารถทำให้เกิดการไหลของกระแสผ่านตัวนำอีกตัวหนึ่ง เรียกว่า ค่าความเหนี่ยวนำ (L) ค่าความเหนี่ยวนำขึ้นอยู่กับค่าคุณลักษณะของตัวนำ ขดลวดจะมีค่าความเหนี่ยวนำมากกว่าเส้นลวดที่เป็นวัสดุที่เหมือนกัน และขดลวดที่มีจำนวนรอบมากก็จะมีค่าความเหนี่ยวนำมากกว่าขดลวดที่มีจำนวนรอบน้อย ค่าความเหนี่ยวนำของตัวนำมีนิยามคือ อัตราส่วนของเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดต่อกระแสที่ไหลผ่านตัวนำ

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

โดยที่ $N =$ จำนวนรอบ
 $I =$ กระแส
 $\psi =$ เส้นแรงแม่เหล็ก

2.6.3.1 ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวด

ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวดตรง 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

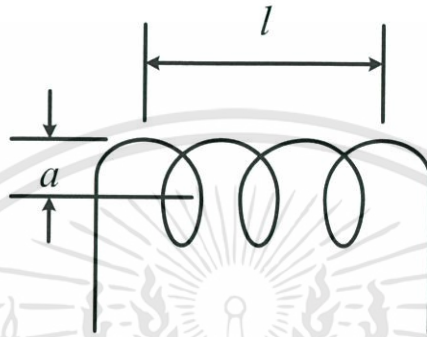
2.6.3.2 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด 1 ชั้น

ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดดังแสดงในรูปที่ 2.25 สามารถคำนวณได้จาก

สมการ

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

โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด มีหน่วยเป็น μH
 a = รัศมีของขดลวด มีหน่วยเป็น cm
 l = ความยาวของขดลวด มีหน่วยเป็น cm
 N = จำนวนรอบ



รูปที่ 2.25 รูปของขดลวด 1 ชั้น

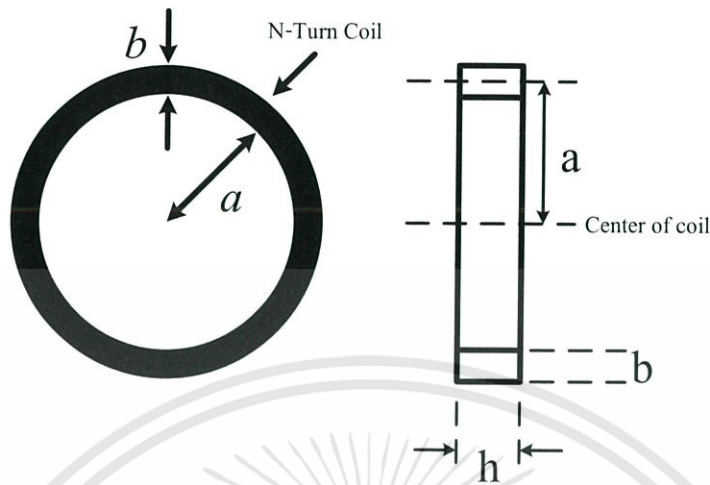
สำหรับค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพที่ดีที่สุดของขดลวดควรจะมี ความยาวประมาณเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวด

2.6.3.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดบ่วงวงกลมหลายชั้น

จากรูปแบบค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดขนาดใหญ่ในขอบเขตที่จำกัด จะมีค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพมากเมื่อพันขดลวดหลาย ๆ รอบ เป็นเหตุผลของรูปแบบในการออกแบบโครงสร้างสายอากาศขดลวดของระบบอาร์เอฟไอดี แสดงดังรูปที่ 2.26 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดแบบบ่วงวงกลม สามารถคำนวณได้จากสมการ

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

โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวด มีหน่วยเป็น μH
 a = รัศมีเฉลี่ยของขดลวด มีหน่วยเป็น cm
 N = จำนวนรอบ
 b = ความหนาในการขด มีหน่วยเป็น cm
 h = ความสูงในการขด มีหน่วยเป็น cm



รูปที่ 2.26 สายอากาศขดลวดบ่วงวงกลมแกนอากาศจำนวนรอบใดๆ

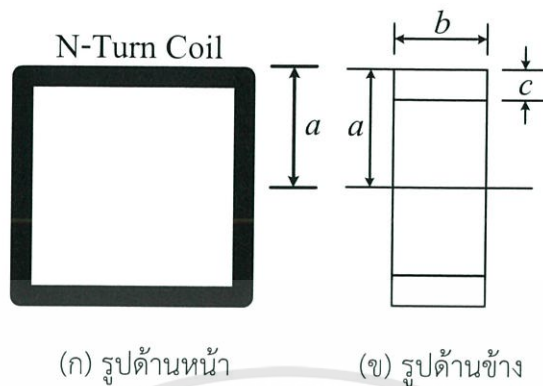
จำนวนรอบที่ต้องการสำหรับค่าความเหนี่ยวนำที่แน่นอน สามารถคำนวณได้จากการประยุกต์สมการที่ 2.18 ซึ่งจะได้สมการดังนี้

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

2.6.3.4 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ถ้า N คือจำนวนรอบ และ a เป็นความยาวที่วัดจากจุดศูนย์กลางของสี่เหลี่ยมถึงขอบด้านนอกของบ่วง ส่วนด้านข้างของบ่วงเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความยาว b และความหนา c ดังแสดงในรูปที่ 2.27

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

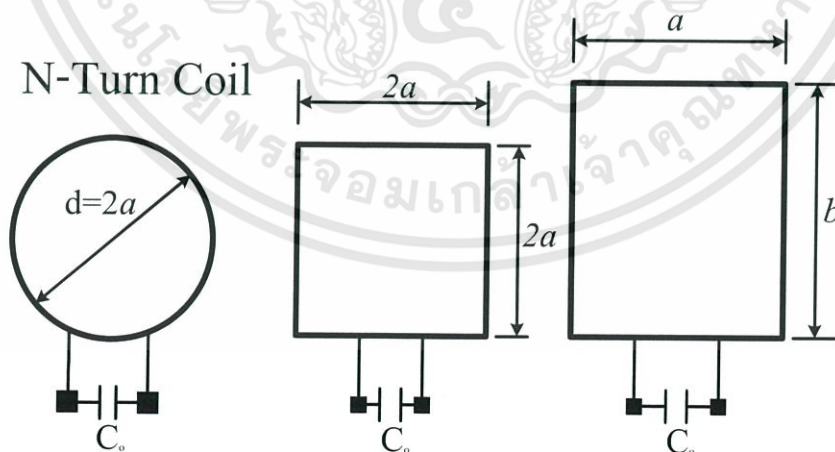


รูปที่ 2.27 สายอากาศขดลวดแบบบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสหลายชั้น

2.7 รูปแบบของสายอากาศขดลวด

2.7.1 สายอากาศขดลวดของแท็ก

สายอากาศขดลวดสำหรับแท็กของระบบอาร์เอฟไอดี สามารถทำได้หลายรูปแบบที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการประยุกต์การใช้งาน ตัวอย่างหนึ่งของสายอากาศของแท็กที่ทำงานในย่านความถี่สูง เช่นแบบ Smart label หรือ Smartcard มีรูปแบบสายอากาศเป็นสี่เหลี่ยมโดยมีขนาดแตกต่างกันไปตามการใช้งาน รูปที่ 2.28 แสดงลักษณะต่างๆ ของสายอากาศแท็ก สายอากาศขดลวดโดยทั่วไปมักทำด้วยลวดเส้นเล็ก ๆ ค่าความเหนี่ยวนำและจำนวนรอบของขดลวดสามารถคำนวณได้จากสมการดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 2.28 รูปแบบต่าง ๆ ของสายอากาศขดลวดของแท็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

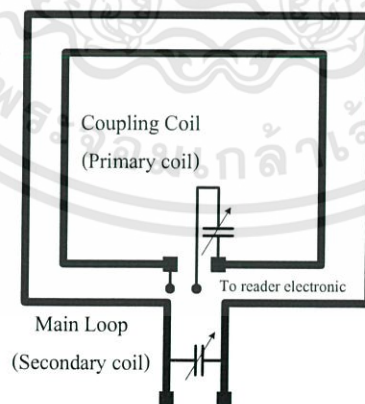
2.7.2 สายอากาศขดลวดของเครื่องอ่านข้อมูล

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

ในรูปแบบวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมผลที่ได้จะให้ค่าความต้านทานที่มีค่าน้อยที่ความถี่เรโซแนนซ์ ดังนั้นจะทำให้กระแสมีค่ามาก ส่วนในวงจรเรโซแนนซ์ขนานจะให้ผลของค่าความต้านทานสูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ ดังนั้นจะทำให้กระแสมีค่าน้อย เนื่องจากแรงดันสามารถเพิ่มระดับขึ้นได้โดยการใช้รูปแบบบ่วงคู่ขนาน วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานมักจะใช้สำหรับระบบที่ต้องการสัญญาณที่มีแรงดันสูง รูปที่ 2.29 แสดงตัวอย่างของสายอากาศบ่วงหม้อแปลง (Transformer loop) ที่บ่วงหลักเป็นรูปแบบของรอบโครงสร้างขนาดใหญ่ของลวด โดยจุดที่ตัวเก็บประจุเพื่อให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์ (13.56 MHz) บ่วงอื่นจะเรียกว่าบ่วงเชื่อมต่อและจะมีรูปแบบที่เล็กกว่า 2 ถึง 3 รอบของขดลวด ตำแหน่งของบ่วงเชื่อมต่อจะวางอยู่ในบ่วงหลัก

บ่วงเชื่อมต่อจะทำให้ได้ค่าอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสมกับค่าอิมพีแดนซ์ที่อินพุตหรือเอาต์พุตของเครื่องอ่าน การเชื่อมต่อขดลวดที่จุดอินพุตหรือเอาต์พุตในตัวอ่าน ที่บ่วงหลักจะต้องทำการจูนให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์และไม่ได้มีการเชื่อมต่อกับเครื่องอ่าน

บ่วงเชื่อมต่อโดยทั่วไปจะไม่ได้ทำการจูน แต่ในการออกแบบจะทำการจูนที่ตัวเก็บประจุ C_2 ที่ต่ออนุกรมอยู่กับบ่วงเชื่อมต่อ เพราะว่าจำนวนรอบที่บ่วงหลักมากกว่าบ่วงเชื่อมต่อ 2 ถึง 3 รอบ ทำให้ที่บ่วงเชื่อมต่อมีค่าความเหนี่ยวนำน้อย เป็นผลให้ต้องใช้ค่าตัวเก็บประจุมีค่ามาก



รูปที่ 2.29 สายอากาศบ่วงหม้อแปลงของเครื่องอ่านข้อมูล

2.8 วงจรเรโซแนนซ์ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ (Q) และแบนด์วิดธ์

ในการประยุกต์ระบบอาร์เอฟไอที สายอากาศขดลวดเป็นส่วนสำคัญของวงจรเรโซแนนซ์และระยะในการอ่านของอุปกรณ์ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการทำงานของวงจรเรโซแนนซ์อย่างมาก

รูปที่ 2.30 และ 2.31 แสดงตัวอย่างรูปแบบของวงจรเรโซแนนซ์ ของสายอากาศขดลวดและการจูนตัวเก็บประจุ ความถี่เรโซแนนซ์ (f_0) สามารถคำนวณได้จาก

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

โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวด
 C = ค่าความจุไฟฟ้าที่ใช้จูน

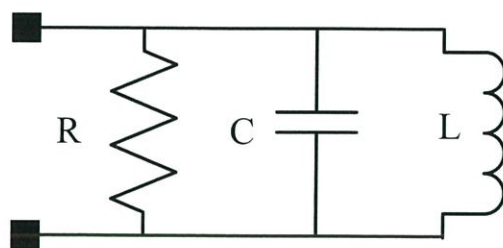
วงจรเรโซแนนซ์สามารถที่จะมีรูปแบบเป็นแบบอนุกรม หรือ แบบขนาน วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมจะมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำที่ความถี่เรโซแนนซ์ ผลลัพธ์คือจะมีกระแสที่ใช้ในวงจรมาก โดยทั่วไปจะใช้วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมสำหรับสายอากาศของเครื่องอ่านส่วนวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะมีค่าอิมพีแดนซ์สูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งค่ากระแสที่ได้จะมีค่าต่ำและแรงดันจะมีค่าสูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะใช้สำหรับสายอากาศของแท็ก

2.8.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

รูปที่ 2.30 แสดงตัวอย่างวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน ค่าอิมพีแดนซ์รวมของวงจรสามารถหาได้จากสมการ

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

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



รูปที่ 2.30 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

ในที่นี้ไม่สนใจค่าความต้านทาน (r) ของขดลวด ค่าอิมพีแดนซ์จะมีค่ามากเมื่อตัวส่วนในสมการ (2.22) มีค่ามาก และค่าอิมพีแดนซ์จะมีค่าน้อยเมื่อ

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

เรียกว่าสภาวะเรโซแนนซ์และความถี่เรโซแนนซ์หาได้จาก

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

ทำการแทนสมการที่ 2.23 ลงในสมการที่ 2.22 ค่าความต้านทานที่ความถี่เรโซแนนซ์จะกลายเป็น

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

ค่า R และ C ในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน สามารถนำมาคำนวณแบนด์วิดธ์ 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 2.27 ตัวประกอบเชิงคุณภาพ (Q) ในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะได้ดังสมการ

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

ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะแปรผันตรงกับค่าความต้านทาน และค่ารากที่สองอัตราส่วนระหว่างค่าความจุกับค่าความเหนี่ยวนำในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะใช้สำหรับวงจรสายอากาศของแท่ง แร่งตันที่ตกคร่อมในวงจรสามารถที่จะคำนวณได้จากสมการที่ 2.8 และ สมการที่ 2.28 ดังนี้

$$V_0 = 2\pi f_0 N \left(R\sqrt{\frac{C}{L}} \right) SB_0 \cos \alpha \quad (2.29)$$

สมการข้างต้นแสดงถึงการเหนี่ยวนำแรงดันในขดลวดแท่งเป็นส่วนกลับของรากที่สองของค่าความเหนี่ยวนำ และเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบและพื้นที่ผิวของขดลวด

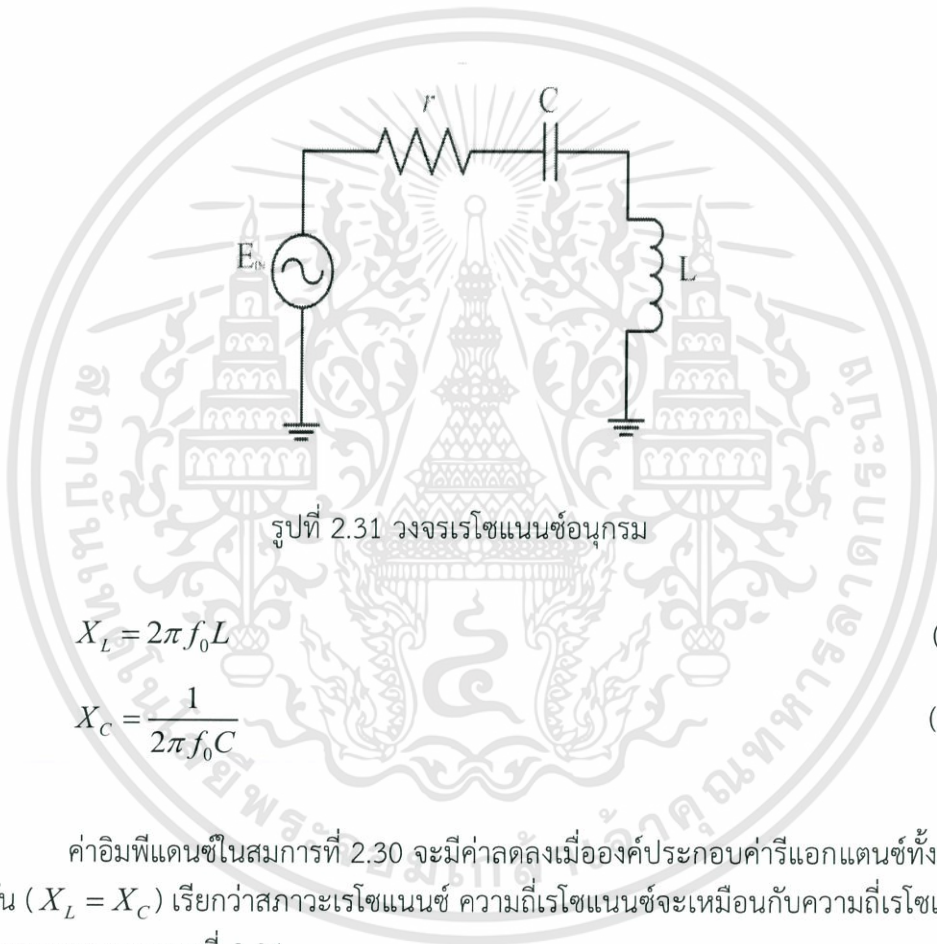
วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานสามารถใช้ในสายอากาศแบบบ่วงหม้อแปลง สำหรับเครื่องอ่านที่ระยะทางไกล ๆ อธิบายได้ในสายอากาศขดลวดของเครื่องอ่าน (รูปที่ 2.29) แรงดันในบ่วงหุติยภูมิจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราส่วนของจำนวนรอบ (n_2/n_1) ของบ่วงหม้อแปลง แม้ว่าสัญญาณมีแรงดันสูงก็ตามไม่สามารถที่จะรับสัญญาณได้ สาเหตุที่แยกสายอากาศเพื่อต้องการสำหรับการรับสัญญาณ วงจรสายอากาศรับควรจะจูนสัญญาณที่ทำการมอดูเลตของแท่ง

2.8.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมอย่างง่ายแสดงดังในรูปที่ 2.31 สมการแสดงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรคือ

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

โดยที่ r = ความต้านทานของวงจร



รูปที่ 2.31 วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม

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

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

ค่าอิมพีแดนซ์ในสมการที่ 2.30 จะมีค่าลดลงเมื่อองค์ประกอบค่ารีแอกแตนซ์ทั้งสองมีค่าเท่ากัน ($X_L = X_C$) เรียกว่าสภาวะเรโซแนนซ์ ความถี่เรโซแนนซ์จะเหมือนกับความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรขนานตามสมการที่ 2.24

แบนด์วิดท์ครึ่งกำลังจะถูกกำหนดโดยค่า r และ L ดังสมการ

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

ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ (Q) ในวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมสามารถแสดงได้ดังนี้

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

วงจรอนุกรมเป็นรูปแบบการแบ่งแรงดันเพราะฉะนั้นแรงดันที่ตกคร่อมในขดลวดจะคำนวณได้จากสมการ

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

หรือ

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

2.8.3 ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพและแบนด์วิดท์

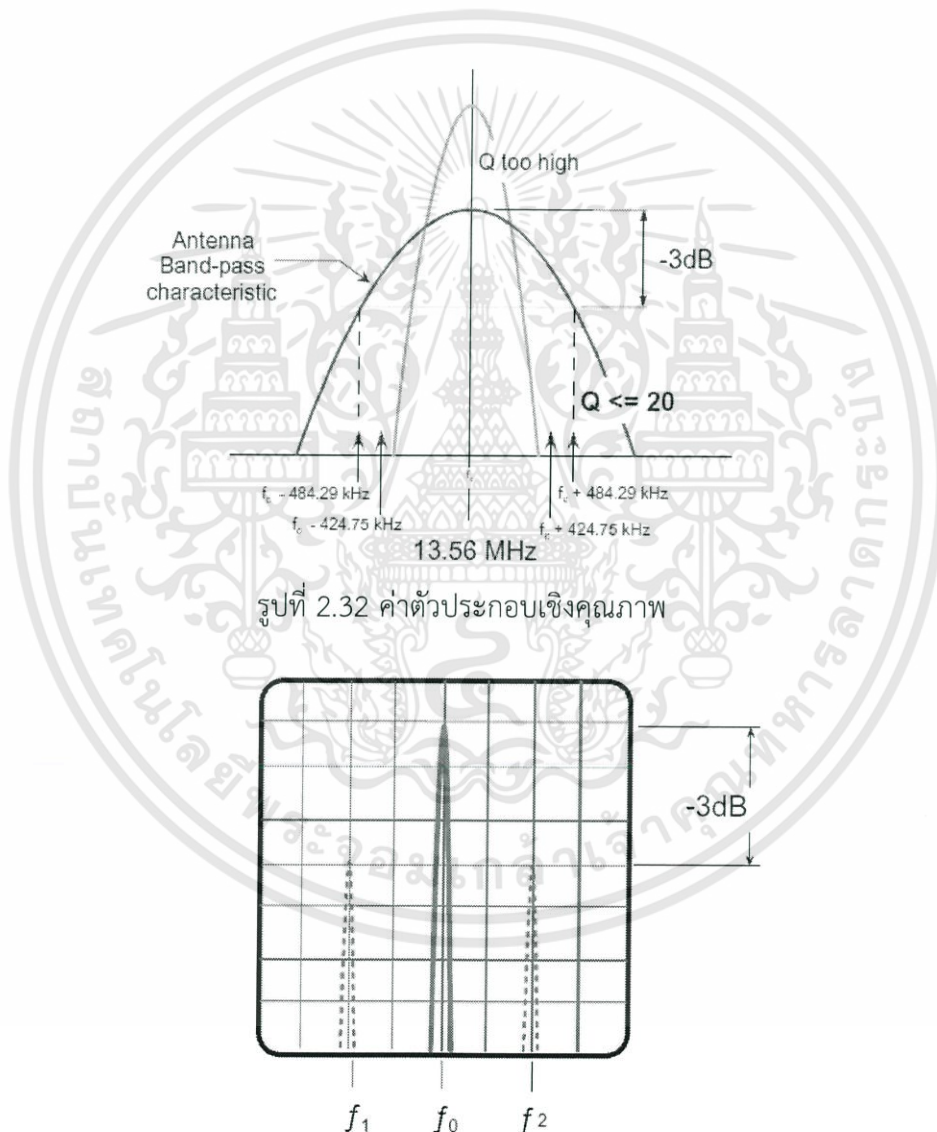
ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพนิยามขึ้นเพื่อแสดงถึงคุณสมบัติของสายอากาศในเชิงความสามารถในการเลือกความถี่หรือ ซีเล็กติวิตี (Selectivity) และการสูญเสียกำลังงานของสายอากาศโดยทั่วไปแล้วค่าประกอบเชิงคุณภาพที่สูงจะให้ค่ากำลังงานที่ออกมาสูง สำหรับสายอากาศที่มีการระบุขนาดที่แน่นอน แต่ว่าค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพที่มากขึ้นจะทำให้คุณลักษณะของการจำกัดความถี่ลดลงและถ้าจำนวนบ่วงมากขึ้นก็จะสร้างปัญหาให้กับ Protocol timing bit สำหรับเหตุผลต่างๆเหล่านี้ค่าประสิทธิภาพของสายอากาศใช้งานกับอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ควรเลือกค่าประสิทธิภาพที่ไม่เกิน 20 ในการใช้งานย่านความถี่สูง

การวัดค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพของสายอากาศในขณะที่มีโหลด สามารถทำการวัดได้โดยง่ายถ้าใช้เครื่องมือวัดที่มีความสามารถให้กำเนิดความถี่ระหว่าง 13 MHz ถึง 14 MHz จากรูปที่ 2.33 เป็นการวัดค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบความถี่ (Spectrum Analyzer) เนื่องจากค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพมีความสัมพันธ์กับแบนด์วิดท์ และแบนด์วิดท์จะนิยามจากช่วงความถี่แถบข้าง (f_1, f_2) ที่มีกำลังงานต่ำกว่าที่ ณ ความถี่เรโซแนนซ์

(f_0) เท่ากับ 3 dB จะสามารถหาค่าแบนด์วิดท์กับค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพจากค่าที่ได้จากการวัด โดยนำมาคำนวณได้ตามสมการที่ 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 2.33 การหาค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพจากแบนด์วิดท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3.1 ข้อจำกัดของค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ

เมื่อทำการออกแบบวงจรสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล อาจะหลงคิดว่าการออกแบบขดลวดจะต้องมีค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพสูง ในที่นี้มีสามประการที่สำคัญที่เป็นข้อจำกัดของวิธีนี้

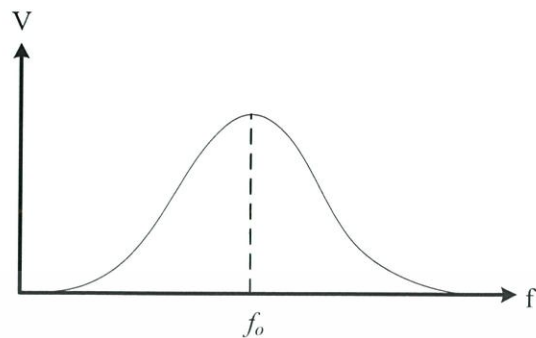
- ก. แรงดันที่สูงมากสามารถทำให้ฉนวนเบรกดาวน์เช่น ที่ขดลวดหรือตัวเก็บประจุที่เรโซแนนซ์ ยกตัวอย่าง กระแส 1 A ที่ไหลในขดลวด 2 mH จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมขดลวด 1500 Vpp ในกรณีของการออกแบบขดลวดเพียงบ่วงเดียวของตัวอ่าน การกั้สัญญาณที่ได้รับจากแท็กจะต้องทำในขณะที่แรงดันที่มีค่าสูง
- ข. การจูนที่เหมาะสมในช่วงวิกฤต อุปกรณ์ที่ใช้วัดวงจสายอากาศที่มีค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพสูง แรงดันสูงจะมีส่วนประกอบของค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอมได้และ มีความเสถียรภาพสูงน่าจะมีใช้ แต่โดยทั่วไปจะมีราคาแพงและยากที่จะมีใช้โดยทั่วไป
- ค. ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพของวงจรที่ได้รับมีค่าสูง ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่ย้อนกลับมาจะสัมพันธ์กับกำลังของคลื่นพาท์ที่ได้รับ ซึ่งสัญญาณที่ออกมาจากแท็กจะมีค่าน้อย วงจรของเครื่องอ่านอาจเกิดความสับสนได้ในการกั้สัญญาณ

2.8.3.2 วิธีการจูน

วงจรจะต้องจูนที่ความถี่เรโซแนนซ์สำหรับค่ามากที่สุดที่แสดง (ระยะการอ่าน) ของอุปกรณ์ มีอยู่สองตัวอย่างของการจูนของวงจรมีดังนี้

1. วิธีการวัดค่าแรงดัน

- ก. ทำการปรับค่าแรงดันที่ต้นกำเนิดของสัญญาณที่ความถี่เรโซแนนซ์ (13.56 MHz)
- ข. ต่อแรงดันที่ได้จากต้นกำเนิดของสัญญาณคร่อมวงจเรโซแนนซ์
- ค. ต่อออสซิลโลสโคปคร่อมวงจเรโซแนนซ์
- ง. จูนตัวเก็บประจุหรือขดลวดขณะที่สังเกตแอมพลิจูดของสัญญาณที่ออสซิลโลสโคป
- จ. หยุดการจูนเมื่อได้ค่าแรงดันสูงสุด



รูปที่ 2.34 ค่าแรงดันกับค่าความถี่สำหรับวงจรเรโซแนนซ์

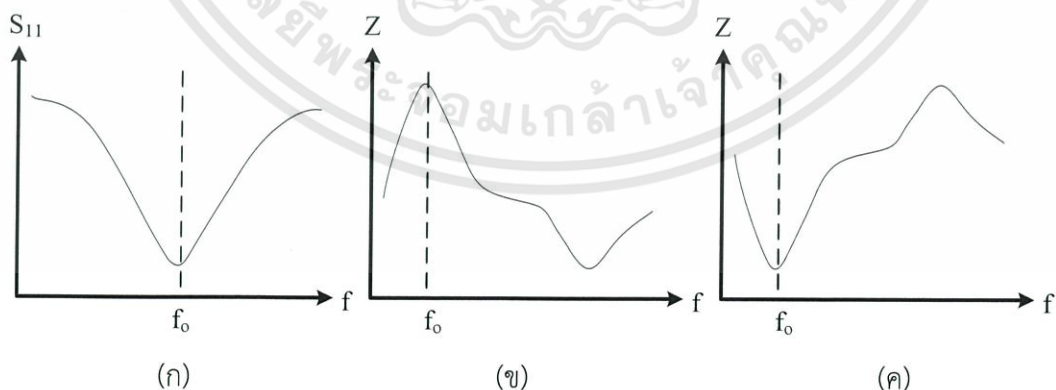
2. เอส-พารามิเตอร์หรือวิธีการวัดค่าอิมพีแดนซ์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย(Network Analyzer)

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

ข. วัดค่า $|S_{11}|$ สำหรับวงจรเรโซแนนซ์

ค. อิมพีแดนซ์ที่สะท้อนหรือแอดมิตแตนซ์ที่สะท้อนสามารถวัดแทนค่า $|S_{11}|$ ได้

ง. จุดตัวเก็บประจุหรือขดลวดจนวนกระทั้งมีค่าน้อยที่สุด หรือมีค่าเป็นศูนย์ $|S_{11}|$ ที่เกิดขึ้นที่ความถี่เรโซแนนซ์ f_0 สำหรับการวัดค่าอิมพีแดนซ์ค่ายอดที่มีค่ามากที่สุดจะเกิดขึ้นสำหรับวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานและค่าพีคน้อยที่สุดสำหรับวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม



รูปที่ 2.35 ผลตอบสนองทางความถี่สำหรับวงจรเรโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (ก) แสดงผลตอบสนองของ $|S_{11}|$
- (ข) แสดงผลตอบสนองของค่าอิมพีแดนซ์สำหรับวงจรรีโซแนนซ์แบบขนานและ
- (ค) แสดงผลตอบสนองของค่าอิมพีแดนซ์สำหรับวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรม

ในรูปที่ 2.35 (ก) จะไม่มีค่าที่ความถี่เรโซแนนซ์แสดงถึงการส่งกลับอินพุตที่มีค่าน้อยที่ความถี่เรโซแนนซ์ วิธีนี้วงจรจะดูกลับสัญญาณที่ความถี่อื่น ๆ สะท้อนกลับมา ในรูปที่ 2.35 (ข) ความไวที่ค่าอิมพีแดนซ์จะมีพีคที่ความถี่เรโซแนนซ์ ในที่นี้เพราะว่าวงจรรีโซแนนซ์แบบขนานมีค่าอิมพีแดนซ์มากที่สุดที่ความถี่เรโซแนนซ์ ส่วนในรูปที่ 2.35 (ค) แสดงผลตอบสนองสำหรับวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรม วงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรมมีค่าอิมพีแดนซ์น้อยที่สุดที่ความถี่เรโซแนนซ์ และยอดที่มีค่าน้อยที่สุดเกิดขึ้นที่ความถี่เรโซแนนซ์

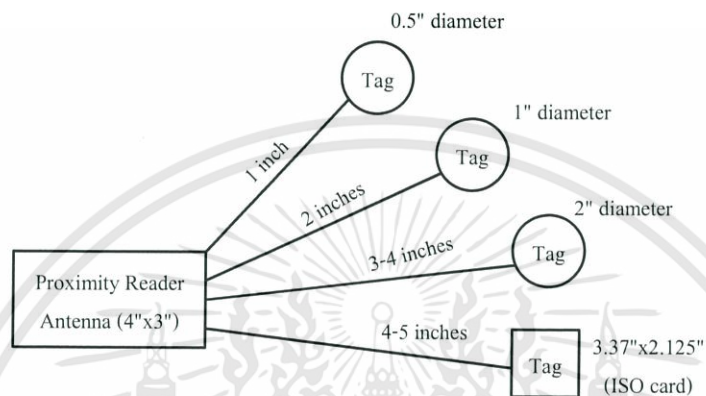
2.9 ระยะเวลาอ่านของอุปกรณ์ระบบอาร์เอฟไอดี

ระยะเวลาอ่านเป็นคำจำกัดความของค่าที่มากที่สุด ในระยะที่ใช้สื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและแท็ก ระยะเวลาอ่านของอุปกรณ์ระบบอาร์เอฟไอดี ชนิดพาสซีฟจะอยู่ในช่วง 1 cm ถึง 1 m จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของระบบ ระยะเวลาอ่านของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุโดยทั่วไปจะมีผลกระทบมาจากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

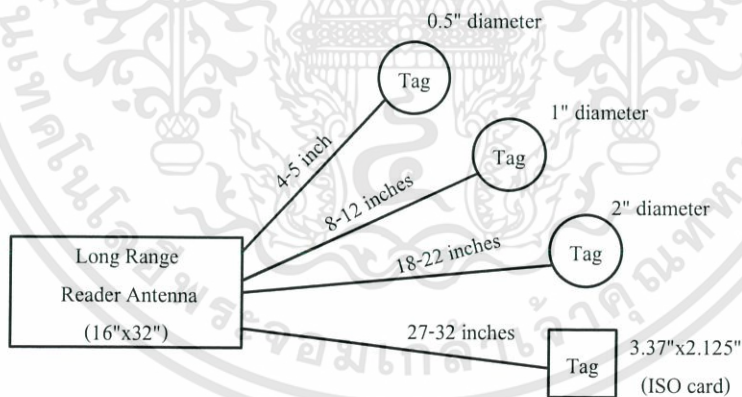
- ก. ความถี่ที่ใช้และการทำงานของขดลวดสายอากาศ
- ข. ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพของสายอากาศการจูนวงจร
- ค. การปรับทิศทางของสายอากาศ
- ง. ค่ากระแสและแรงดัน
- จ. ความไวของการรับสัญญาณ
- ฉ. การเข้ารหัส (หรือการมอดูเลต) และการถอดรหัส (หรือการดีมอดูเลต)
- ช. จำนวนของบิตข้อมูล
- ซ. สภาพของสิ่งแวดล้อม (โลหะ สัญญาณรบกวนจากเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์)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

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

ขนาดของสายอากาศจะมีผลต่อระยะการอ่านข้อมูลซึ่งสายอากาศที่มีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะทำให้ระยะการอ่านมากขึ้นด้วย รูปที่ 2.36 และ 2.37 แสดงตัวอย่างของระยะการอ่านของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุชนิดพาสซีฟแบบต่างๆ



รูปที่ 2.36 ระยะการอ่านกับขนาดของแท็กสำหรับการประยุกต์ที่ระยะใกล้

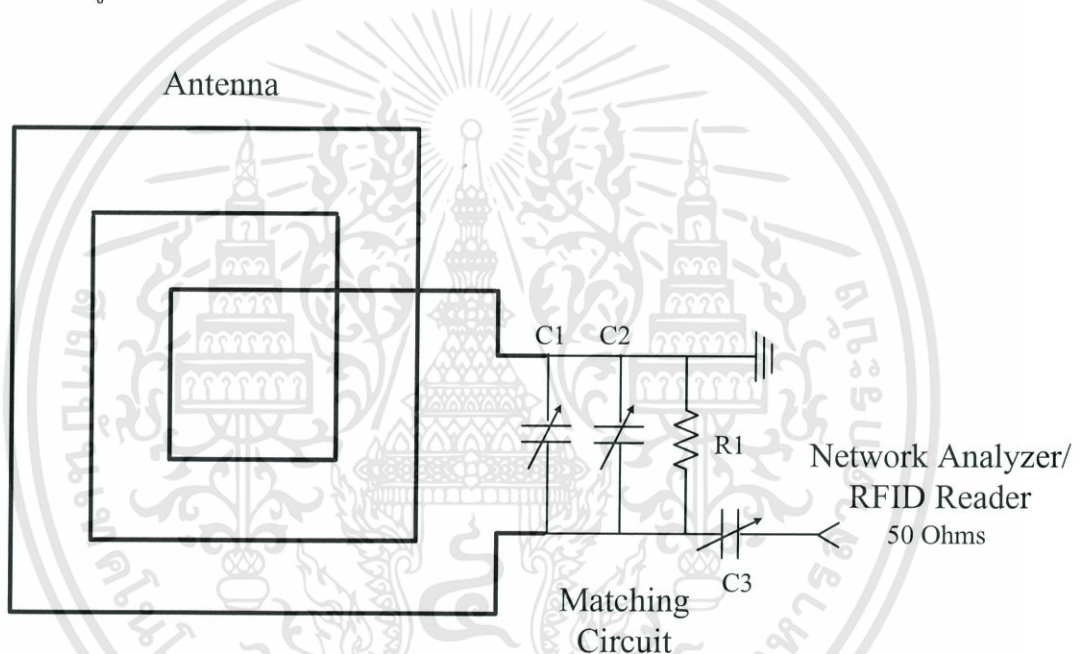


รูปที่ 2.37 ระยะการอ่านกับขนาดของแท็กสำหรับการประยุกต์ที่ระยะไกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 หลักการและตัวอย่างการออกแบบวงจรแมตชิ่งสำหรับสายอากาศบ่วงเกลียว

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอหลักการและตัวอย่างการออกแบบวงจรแมตชิ่งเพื่อให้เครื่องอ่านข้อมูลสามารถส่งผ่านกำลังงานเข้าสายอากาศได้มากที่สุด ด้วยการทำให้อิมพีแดนซ์ของสายอากาศเป็น 50Ω ซึ่งวงจรแมตชิ่งที่นำเสนอนี้เรียกว่า Tree element match โดยมีโครงสร้างของวงจรที่ไม่ซับซ้อนและออกแบบง่าย ส่วนของวงจรจะประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพียงสองชนิดคือ ตัวเก็บประจุที่สามารถปรับค่าได้ (C) และตัวต้านทาน (R) ซึ่งค่าตัวต้านทานที่เหมาะสมจะอธิบายการคำนวณอย่างละเอียดในหัวข้อการปรับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศซึ่งอยู่ในหัวข้อที่ 2.10.2 รูปที่ 2.38 แสดงการนำวงจรแมตชิ่งมาต่อเข้ากับสายอากาศ



รูปที่ 2.38 การนำวงจรแมตชิ่งมาต่อเข้ากับสายอากาศ

2.10.1 การทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ

ขั้นตอนแรกในการแมตชิ่งสายอากาศคือการปรับเทียบเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายซึ่งในการปรับเทียบนั้นจะมีสามขั้นตอนดังนี้คือ ขั้นตอนแรกต่อดัวยโหลด (Load) 50Ω ขั้นตอนที่สองคือลัดวงจร (Short) ด้วยความต้านทาน 0Ω และขั้นตอนที่สามคือเปิดวงจร (Open) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานในการปรับเทียบเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเพื่อทดสอบกับระบบ RF ทั่วไป เมื่อทำปรับเทียบเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแล้วก็จะนำสายอากาศมาเชื่อมต่อเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายโดยขั้นตอนนี้จะยังไม่มีส่วนของวงจรแมตชิ่งเข้ามาเกี่ยวข้อง เพราะว่าจะต้องดูคุณสมบัติของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนว่ามีคุณสมบัติเป็น L หรือเป็น C ซึ่งดูได้จาก Smith chart โดยหลักการของวงจรนี้ถ้าหากสายอากาศมีคุณสมบัติเป็น C จะต้องนำ L หรือขดลวดมาต่ออนุกรมในวงจรเพื่อให้สายอากาศมีคุณสมบัติเป็น L ก่อน เมื่อสายอากาศมีคุณสมบัติเป็น L แล้ว ก็จะเป็นขั้นตอนของการนำวงจรแมตซิงเข้ามาเชื่อมต่อกับสายอากาศเพื่อปรับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศให้ได้ 50Ω หรือใกล้เคียงมากที่สุด รายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.10.2 การปรับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศด้วยวงจรแมตซิง

ในขั้นตอนนี้จะนำวงจรแมตซิงมาเชื่อมต่อกับสายอากาศและนำไปต่อกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเพื่อดูค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ รูปที่ 2.39 แสดงตัวอย่างวัดค่าอิมพีแดนซ์และดูคุณสมบัติของสายอากาศจากจากรูปสมิตชาร์ต



รูปที่ 2.39 คุณสมบัติและค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศด้วยสมิตชาร์ต

จากรูปที่ 2.39 จะเห็นว่าค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศมีค่าเท่ากับ $0.4648 + j107.42 \Omega$ และมีคุณสมบัติเป็น L โดยมีค่า L เท่ากับ $1.2608 \mu\text{H}$ ที่ความถี่ 13.56 MHz จาก สมิตชาร์ตจะเห็นว่าค่าอิมพีแดนซ์ยังอยู่วงกลมด้านนอกซึ่งไม่ใช่วงกลม 50Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะต้องมาสนใจที่วงจรมอดูมซึ่ง โดยขั้นตอนแรกจะต้องคำนวณหาค่า R_1 ที่เหมาะสมให้ได้ก่อน ซึ่งในการคำนวณหาค่า R_1 นั้นจะต้องหาค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ (Q) ออกมาก่อน

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

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

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

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

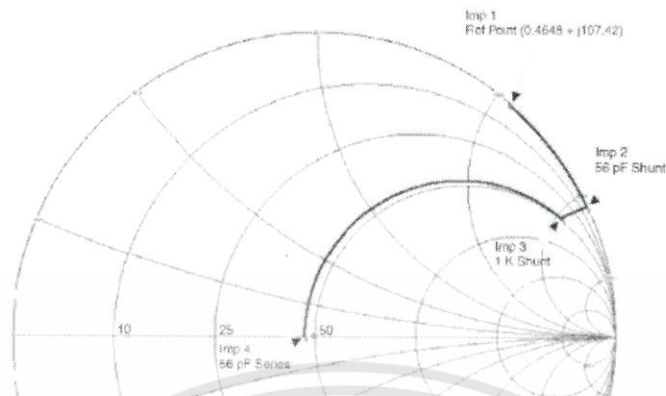
$$Q = \frac{R}{(2\pi)(13.56\text{MHz})(1.2608\mu\text{H})} = \frac{R}{107.42}$$

โดยที่ค่า X_L สามารถนำค่าจากสมิตชาร์ตมาใช้ได้เลย ดังนั้นจากสมิตชาร์ตจะได้ค่า X_L เท่ากับ 107.42 Ω เพราะฉะนั้นเราสามารถคำนวณหาค่า R_p ได้

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.40 การจำลองการปรับค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศด้วยสมิตชาร์ต

การวัดค่าอิมพีแดนซ์จากรูปที่ 2.39 แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.40 จะเห็นค่าอิมพีแดนซ์ที่หนึ่งจะอยู่ที่วงนอกสุด การที่จะทำให้อิมพีแดนซ์ของสายอากาศขยับเข้ามาใกล้วงกลม 50 Ω คือการนำ $C1$ และ $C2$ มาต่อขนานกันจากนั้นให้ทำการปรับจูน จะเห็นว่าค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศขยับลงมาอยู่ที่ค่าอิมพีแดนซ์ที่สอง ต่อไปให้นำ $R1$ มาต่อขนานไปที่ $C1$ และ $C2$ ค่าอิมพีแดนซ์ก็จะขยับลงมาอยู่ที่ค่าอิมพีแดนซ์สาม ขั้นตอนสุดท้ายคือการนำ $C3$ มาต่ออนุกรมเข้าไปแล้วทำการปรับจูนก็จะได้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศอยู่ที่วงกลม 50 Ω พอดี ก็คือจะได้สายอากาศที่มีอิมพีแดนซ์ใกล้เคียงหรือเท่ากับ 50 Ω นั่นเอง ข้อเสนอแนะในการเลือกค่า $C1$ $C2$ และ $C3$ ควรจะเป็น C ปรับค่าที่มีช่วงกว้างๆ เนื่องจากว่าจำเป็นต้องมีการปรับจูน ส่วนค่า $R1$ ก็จะได้จากการคำนวณหรือ R_p นั่นเอง

2.11 บทสรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีและหลักการของระบบอาร์เอฟไอดี ย่านความถี่สูงไม่ว่าจะเป็นลักษณะและประเภทของแท็ก การทำงานของเครื่องอ่าน ข้อพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์การสื่อสารแบบเชื่อมต่อโดยการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก ระยะในการติดต่อสื่อสารของระบบอาร์เอฟไอดี ในย่านความถี่สูง วงจรจูนเพื่อให้เครื่องอ่านข้อมูลส่งผ่านกำลังงานเข้าสายอากาศสูงสุด นอกจากนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบสายอากาศขดลวดที่นิยมใช้กันทั่วไป เพื่อจะเป็นความรู้พื้นฐานในการนำไปทำการออกแบบสายอากาศของระบบอาร์เอฟไอดี ย่านความถี่สูงต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการจำลอง

3.1 บทนำ

บทนี้นำเสนอการวิเคราะห์และการจำลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศ ที่มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและมีคุณสมบัติในการกระจายสนามแม่เหล็กที่ดีโดยพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวของทั้งสามแนวแกนหลักให้สอดคล้องกับการประยุกต์ใช้งาน โดยรูปแบบของสายอากาศที่นำมาวิเคราะห์จะเป็นสายทองแดงแถบเดียวจัดวางเป็นบ่วงเกลียวสี่เหลี่ยมจัตุรัส 1 บ่วง และ 3 บ่วง โดยมีจุดประสงค์เพื่อดูผลการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศแต่ละแบบเพื่อให้ได้สายอากาศที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ และทำการจำลองสายอากาศแท่งให้สามารถทำงานร่วมกับชิปแท่งได้ ซึ่งในการวิเคราะห์และจำลองนั้นได้ใช้โปรแกรม CST มาทำการวิเคราะห์และจำลอง และในบทนี้ยังได้ทำการออกแบบระบบการควบคุมการเข้าออกด้วย

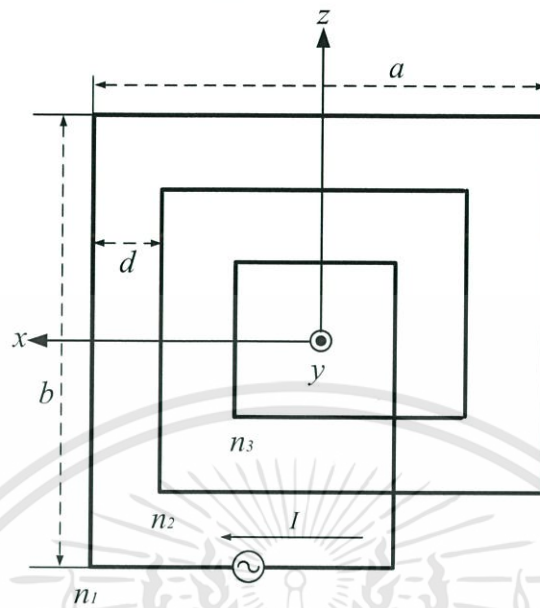
3.2 โครงสร้างของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล

โครงสร้างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลประกอบด้วยบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ 1 บ่วง และ 3 บ่วง ที่เกิดจากการจัดวางของสายทองแดงแถบเดียวให้มีลักษณะเป็นบ่วงสี่เหลี่ยมบ่วงเดียว และเป็นบ่วงซ้อนกัน 3 บ่วง โดยวางซ้อนกันจากใหญ่ไปหาเล็ก ซึ่งทั้งแบบ 1 บ่วง และ 3 บ่วง มีขนาดเท่ากับ $a \times b$ หรือ $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ และมีขนาดความกว้างสายทองแดงเท่ากับ 0.5 cm และในแบบ 3 บ่วงจะมีระยะห่าง d เท่ากับ 2 cm ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 โครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ 1 บ่วง

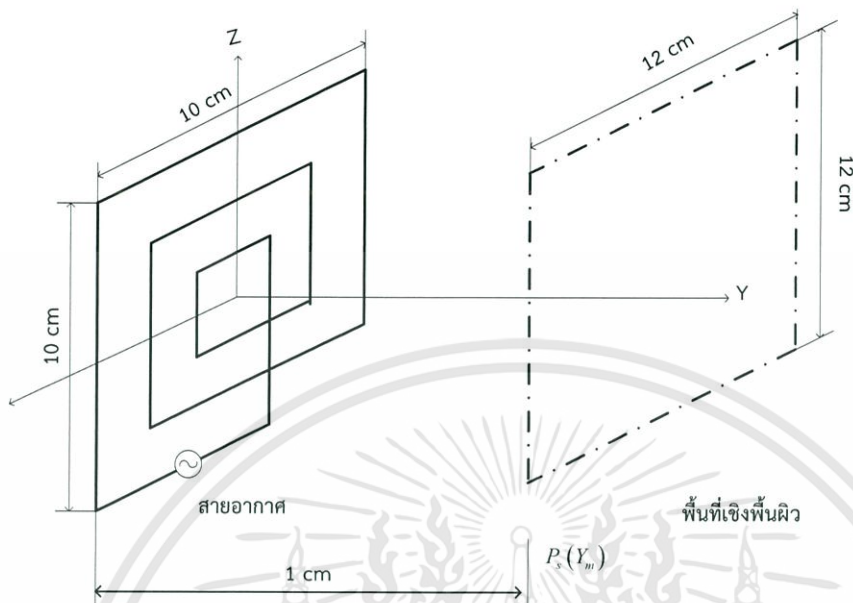
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 โครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ 3 บ่วง

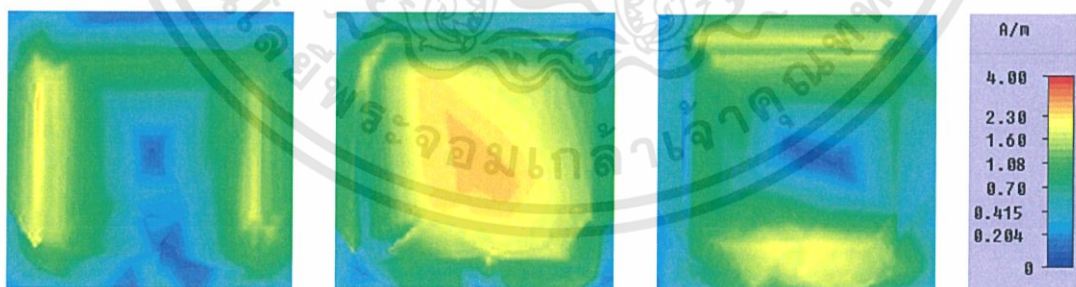
3.3 การจำลองสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล

จากโครงสร้างของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.2 ดังนั้นในหัวข้อนี้จะมีสายอากาศที่นำมาวิเคราะห์และจำลองผลทั้งหมด 2 แบบด้วยกัน โดยแบ่งออกเป็นสายอากาศบ่วงธรรมดาที่ไม่มีเกลียวซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศแบบบ่วง 1 แบบ สายอากาศบ่วงแบบขดเกลียวที่ขดให้เกลียวทับกันจำนวน 3 ขด 1 แบบ จุดประสงค์ในการวิเคราะห์เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนบ่วงของสายอากาศที่จะมีผลต่อแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็ก การวิเคราะห์แบบรูปการกระจายแม่เหล็กโดยใช้โปรแกรม CST โดยแทนค่าขนาด a และ b เท่ากับ 10 cm ซึ่งเป็นขนาดที่จะนำไปสร้างสายอากาศต้นแบบเพื่อทดสอบ กระแสแหล่งกำเนิดที่ใช้ในการคำนวณเท่ากับ 1 A ทำการพล็อตสนามแม่เหล็กในระนาบ xz โดยค่าแกน x เริ่มจาก -6 cm ถึง 6 cm และค่าแกน z เริ่มจาก -6 cm ถึง 6 cm ที่ระยะ y เท่ากับ 1 cm ทำการพล็อตค่าสนามแม่เหล็กทั้ง 3 องค์ประกอบ คือ $H(x)$ $H(y)$ และ $H(z)$ โดยแสดงโครงสร้างแบบจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 โครงสร้างการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็ก

ผลการจำลองของเครื่องอ่านข้อมูลถูกแสดงออกมาเป็นแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศของทั้งสามแนวแกนหลักในแนวตั้งฉากกับระนาบ xz ของสายอากาศ คือ $H(x)$ $H(y)$ และ $H(z)$ เพื่อใช้ในวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศแต่ละแบบได้แม่นยำ ถูกต้อง และเหมาะสม โดยแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศดังแสดงในรูปที่ 3.4 ถึงรูปที่ 3.5



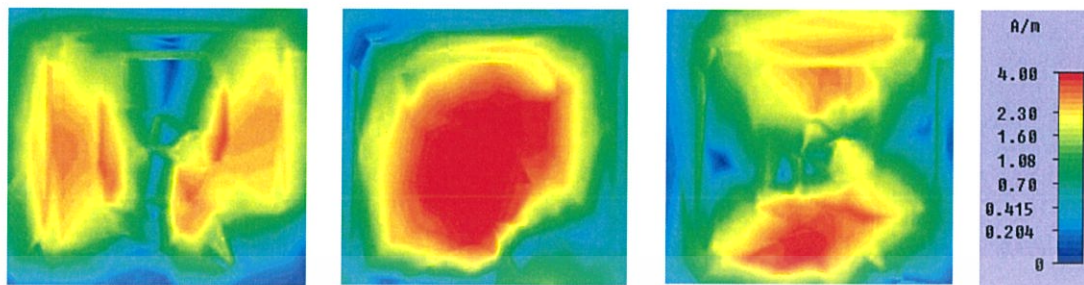
(ก) $H(x)$

(ข) $H(y)$

(ค) $H(z)$

รูปที่ 3.4 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจตุรัสแบบ 1 บ่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) $H(x)$

(ข) $H(y)$

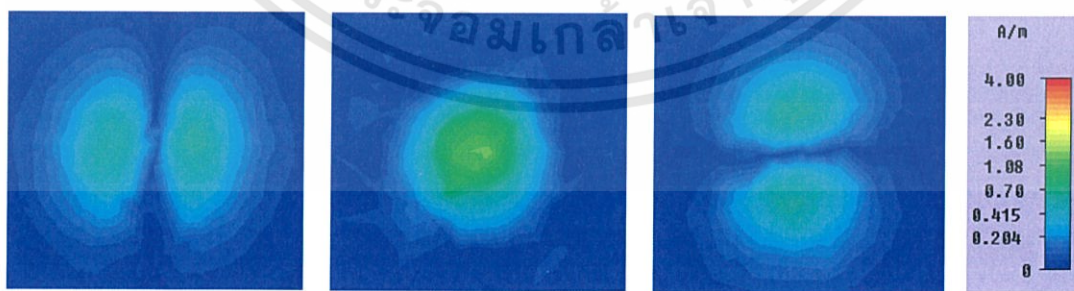
(ค) $H(z)$

รูปที่ 3.5 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ 3 บ่วง

เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองจากรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 ทำให้ทราบว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ 3 บ่วง จะมีความเข้มสนามแม่เหล็กมากกว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ 1 บ่วง โดยในแกน y จะมีความเข้มสนามแม่เหล็กมากที่สุดบริเวณตรงกลางของสายอากาศ และมีค่าน้อยลงเรื่อยในทุกทิศทางจนถึงขอบของสายอากาศ ส่วนในแกน x และแกน z จะมีความเข้มสนามแม่เหล็กมากที่สุดบริเวณด้านข้างของสายอากาศ โดยในแกน x จะมีความเข้มสนามแม่เหล็กมากที่สุดบริเวณด้านข้างซ้ายและข้างขวา ส่วนในแกน z จะมีความเข้มสนามแม่เหล็กมากที่สุดบริเวณด้านบนและด้านล่าง

3.4 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล

เมื่อพิจารณาแบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กขององค์ประกอบในแต่ละทิศทางในระนาบ xz มาพิจารณา ซึ่งพื้นผิวที่ใช้จะมีขนาดเท่ากับ $12\text{ cm} \times 12\text{ cm}$ ที่มีระยะห่างจากสายอากาศในแนวแกน y เท่ากับ 5 cm และ 10 cm ผลที่ได้ดังรูปที่ 3.6 และ รูปที่ 3.7



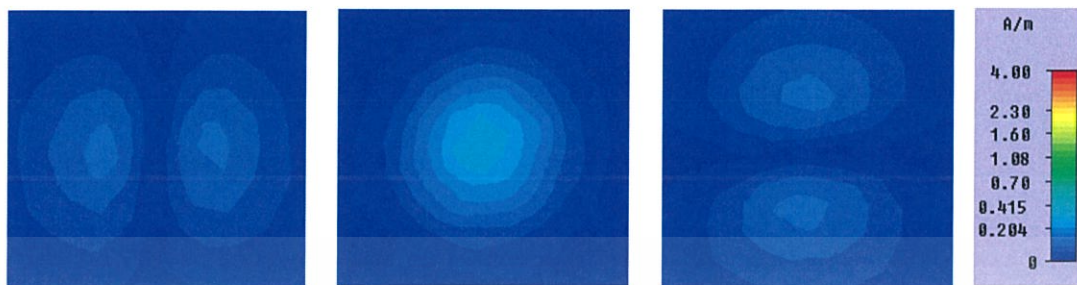
(ก) $H(x)$

(ข) $H(y)$

(ค) $H(z)$

รูปที่ 3.6 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ 3 บ่วง ที่ระยะ 5 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) $H(x)$

(ข) $H(y)$

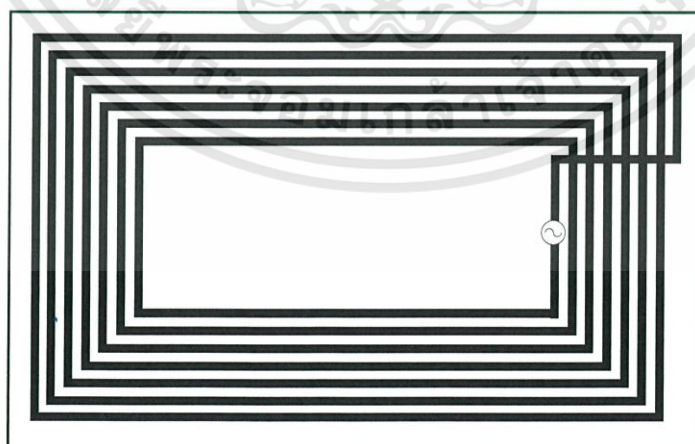
(ค) $H(z)$

รูปที่ 3.7 ผลการจำลองแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัดรัสแบบ 3 บ่วง ที่ระยะ 10 cm

จากผลการจำลองสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัดรัสแบบ 3 บ่วง ในรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเพิ่มมากขึ้น ความเข้มสนามแม่เหล็กจะมีค่าน้อยลงเรื่อยๆ แต่แนวโน้มของการกระจายสนามแม่เหล็กยังคงเหมือนเดิม ตามผลการจำลองในรูปที่ 3.5 ที่ดูการกระจายสนามแม่เหล็กที่ระยะ 1 cm

3.5 โครงสร้างของสายอากาศแท็ก

โครงสร้างสายอากาศแท็กประกอบด้วยบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบ 7 บ่วง ที่เกิดจากการจัดวางของลายทองแดงแถบเดียวให้มีลักษณะเป็นบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าวางซ้อนกัน 7 บ่วง โดยวางซ้อนกันจากใหญ่ไปหาเล็ก ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 8.6 cm x 5.4 cm และมีขนาดความกว้างลายทองแดงเท่ากับ 1 mm มีระยะห่างเท่ากับ 1 mm ดังแสดงในรูปที่ 3.8

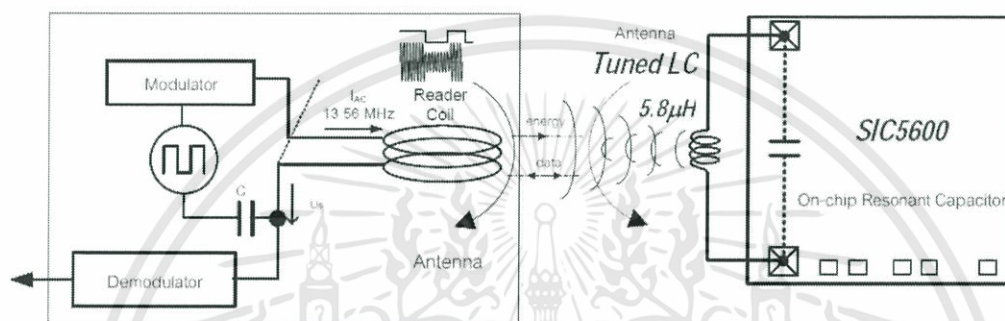


รูปที่ 3.8 โครงสร้างสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

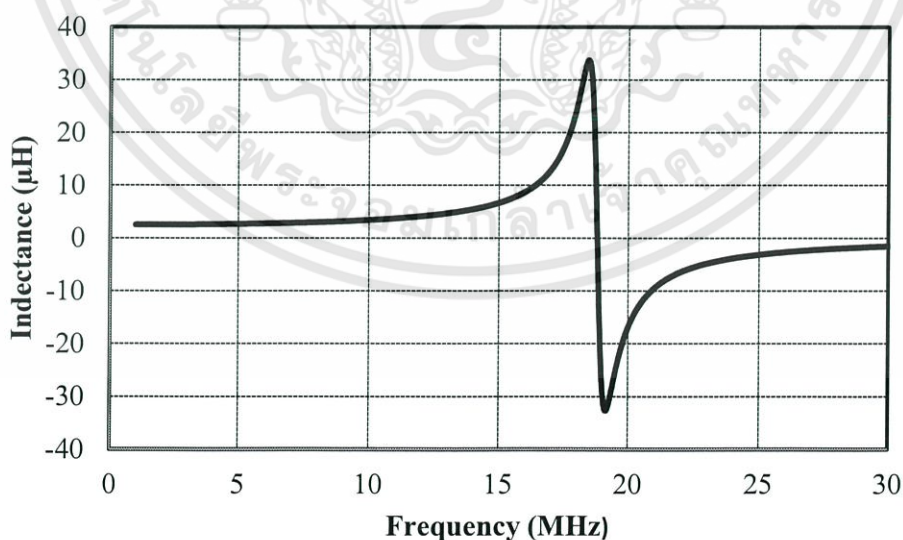
3.6 การจำลองสายอากาศแท็ก

จากโครงสร้างของสายอากาศแท็กที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.5 ดังนั้นในหัวข้อนี้จะต้องจำลองสายอากาศให้สามารถทำงานร่วมกับชิปแท็กได้ โดยใช้ชิปของบริษัท Silicon Craft Technology ซึ่งมีค่าการเก็บประจุเท่ากับ 23.5 pF ที่ความถี่ 13.56 MHz ดังนั้นจึงต้องจำลองสายอากาศให้มีคุณสมบัติให้มีค่าความเหนี่ยวนำเท่ากับ $5.8 \text{ } \mu\text{H}$



รูปที่ 3.9 แสดงการทำงานระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับสายอากาศแท็ก

ดังนั้นจากการจำลองตามโครงสร้างในรูปที่ 3.8 ทำให้สามารถหาค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศแท็กออกมาได้ดังรูปที่ 3.10 โดยที่ความถี่ 13.56 MHz ได้ค่าความเหนี่ยวนำเท่ากับ $5.09 \text{ } \mu\text{H}$



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศแท็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การออกแบบระบบ

การทำงานโดยรวมของระบบควบคุมการเข้าออกด้วยอาร์เอฟไอดีและไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้ออกแบบขึ้นนั้น จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักด้วยกัน คือ ส่วนของวงจรที่ใช้ในระบบควบคุมการเข้า-ออก ส่วนการแสดงผล และส่วนของเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี โดยการออกแบบดังกล่าวนั้นเป็นการออกแบบเพื่อจะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบ และส่งคำสั่งให้เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีอ่านแท็กและส่งข้อมูลมาให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะประมวลผลเปรียบเทียบกับรหัสแท็กที่มีอยู่ในฐานข้อมูล และส่งคำสั่งไปยังส่วนแสดงผล ถ้าตรงกันจะทำการบันทึกสถานะการใช้งานและส่งเปิดประตู แต่หากรหัสของแท็กไม่ตรงกับรหัสที่มีอยู่ในฐานข้อมูล ระบบก็จะทำการแจ้งเตือนผู้ใช้งานผ่านทางหน้าจอแอลซีดี



รูปที่ 3.11 ภาพรวมการทำงานของระบบควบคุมการเข้าออก

สำหรับการทำงานโดยรวมของระบบจะเริ่มจากการใช้โปรแกรม ccs c compiler ซึ่งเป็นตัวคอมไพล์เลอร์ภาษาซี สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC) เขียนซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องอ่าน และกลไกต่างๆ เช่น การแสดงผลผ่านทางแอลซีดี ไฟสถานะ เสียงเตือน เป็นต้น โดยผู้ดูแลระบบสามารถเรียกใช้งานคำสั่งโหมดต่างๆ ได้ในตอนเริ่มต้นใช้งาน 4 โหมดดังนี้ เพิ่มรหัสป้ายแท็ก ตั้งเวลา ดูบันทึกการใช้งาน จากนั้นจึงสั่งให้เข้าสู่โหมดใช้งานเปิด-ปิดประตูปกติ ผู้ใช้งานจะนำป้ายอาร์เอฟไอดีมาทาบกับเครื่องอ่านซึ่งควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ เครื่องอ่านก็จะเริ่มทำการอ่านค่าจากป้ายแล้วทำการส่งค่ารหัสกลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ นำไปเปรียบเทียบกับรหัสที่อยู่ในฐานข้อมูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ หากรหัสของป้ายตรงกับรหัสที่อยู่ในฐานข้อมูล ก็จะทำการบันทึกการใช้งานในฐานข้อมูล หลังจากนั้นจะส่งคำสั่งไปยังส่วนแสดงผล เพื่อแสดงผลบนหน้าจอแอลซีดี แสดงไฟสถานะ ส่งเสียงเตือน และเปิด-ปิดประตู

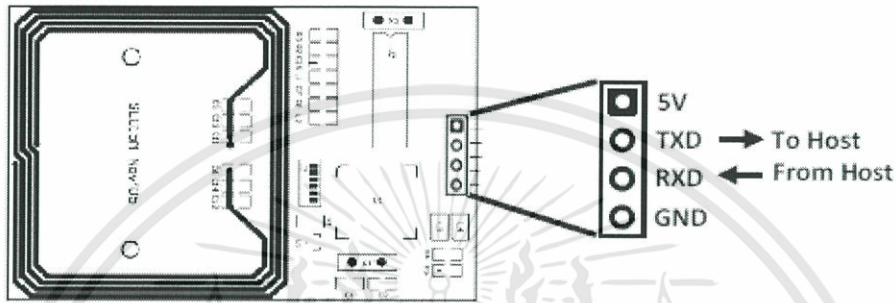
3.7.1 ส่วนของวงจรที่ใช้ในระบบควบคุมการเข้า-ออก

ในส่วนของวงจรที่ใช้ในระบบควบคุมการเข้า-ออก จะต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมส่วนต่างๆ เพื่อให้ทำงานได้ตรงกับความต้องการ

3.7.1.1 โมดูลเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี

ในโครงการนี้เราได้เลือกใช้โมดูลที่ทำงานในย่านความถี่ 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยใช้มาตรฐานคือ ISO15693 ติดต่อผ่านทาง UART TTL ซึ่งทำให้ง่ายต่อการ

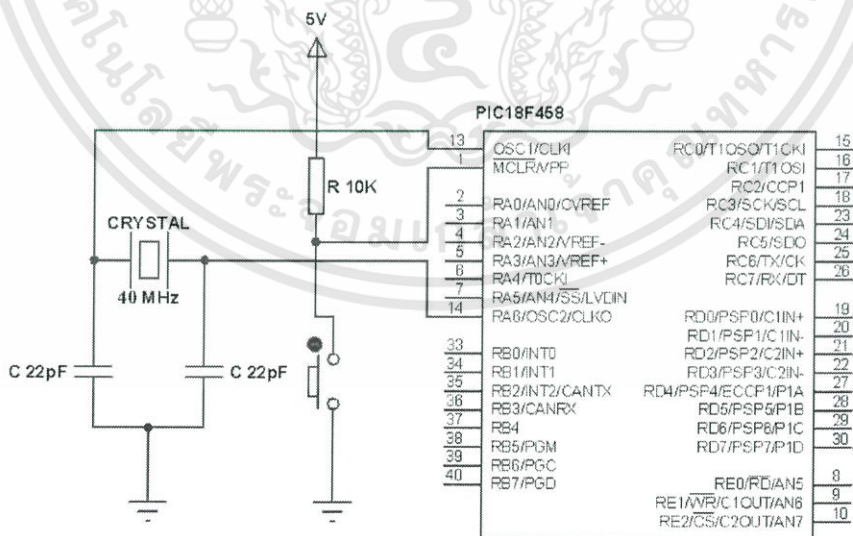
เชื่อมต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ รองรับ baud rate ที่ 115,200 บิตต่อวินาที (ในที่นี้ bit rate กับ baud rate เท่ากัน จึงเรียกแทนกันได้) จะอ่านป้ายอาร์เอฟไอดีเมื่อมีการส่งคำสั่งมากระตุ้นเท่านั้น สำหรับการต่อโมดูลเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีเพื่อใช้งานทำได้ดังรูป โดยสามารถนำขา TX และ RX ของโมดูลไปต่อเข้ากับขา RX และ TX ตามลำดับ ของพอร์ต USART ของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ทันที ส่วนอีก 2 ขาที่เหลือ เป็นขาไฟเลี้ยงและขากาวด์



รูปที่ 3.12 การต่อโมดูลเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีเพื่อใช้งาน

3.7.1.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC18F458)

ในด้านของไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้ PIC18F458 ในการควบคุมการทำงานของเครื่องอ่านและกลไกต่างๆ ในฝั่งส่ง โดยใช้โปรแกรม ccs c complier ซึ่งเป็นตัวคอมไพลเลอร์ภาษาซี ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานต่างๆ ลงไปบนไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานได้ตรงตามความต้องการ

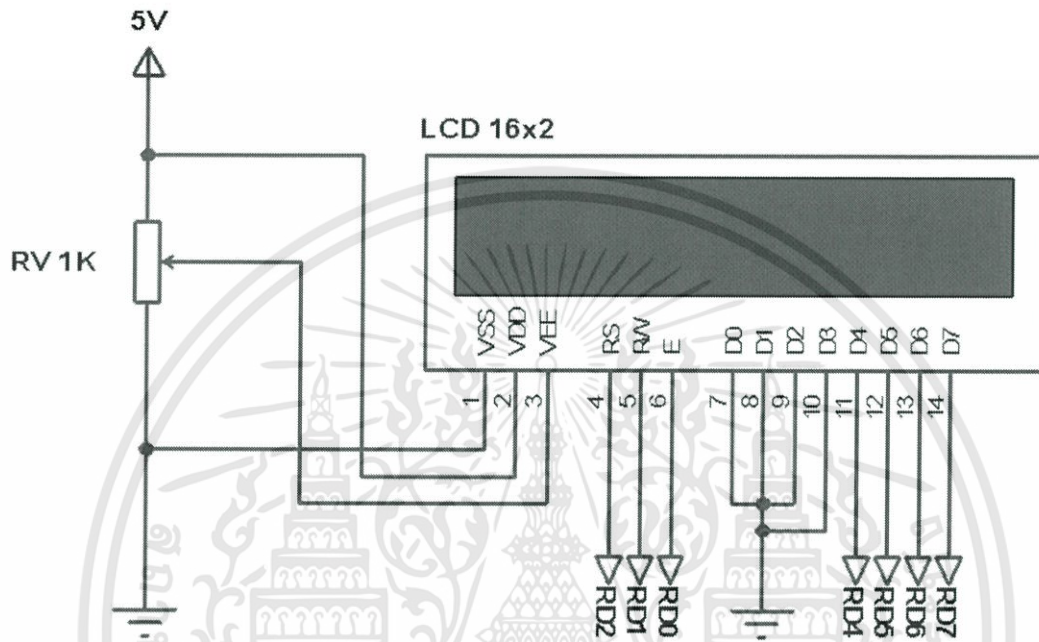


รูปที่ 3.13 การต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC18F458)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.1.3 จอแอลซีดีขนาด 16x2 (LCD Module 16x2)

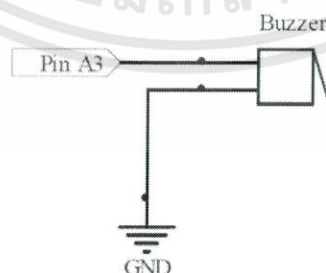
จอแอลซีดีเป็นส่วนที่ใช้ในการแสดงสถานะของเครื่องควบคุมการเข้า-ออก โดยจอแอลซีดีสามารถแสดงผลได้สองบรรทัด บรรทัดละ 16 ตัวอักษร เมื่อมีการทำงานก็จะแสดงผลการทำงาน ซึ่งตัวต้านทานปรับค่าได้จะใช้สำหรับปรับความเข้มของจอแอลซีดี



รูปที่ 5.4 การต่อจอแอลซีดีขนาด 16x2 (LCD Module 16x2)

3.7.1.4 วงจรเสียง

ใช้บัชเซอร์ (Buzzer) หรือลำโพงแบบแม่เหล็กในการส่งเสียงบอกสถานะการทำงานของตัวเครื่องควบคุมการเข้า-ออก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์มีการส่งค่า High มายัง Input ก็จะทำให้บัชเซอร์ทำงานเกิดเสียงดังขึ้น

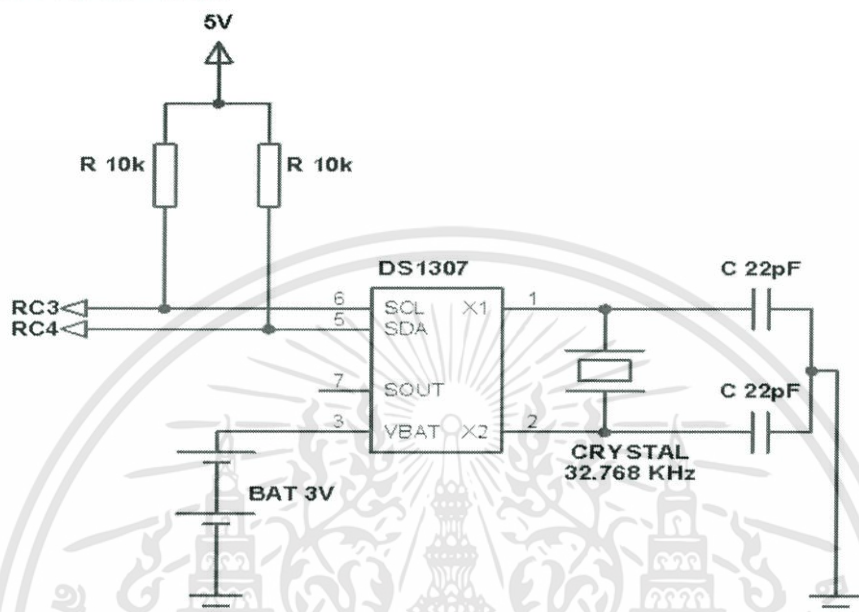


รูปที่ 1.15 การต่อใช้งานบัชเซอร์ (Buzzer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.1.5 วงจรไอซีแสดงเวลา

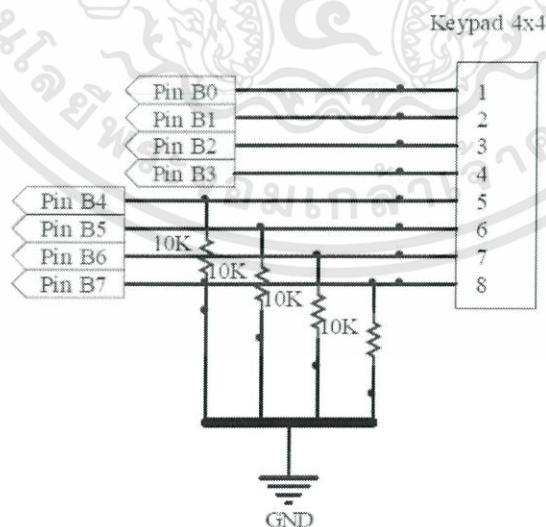
ใช้ไอซีเบอร์ DS1307 สำหรับนำมาแสดงเวลาและวันที่จริงผ่านหน้าจอแอลซีดี สามารถตั้งเวลาและวันที่ได้



รูปที่ 3.16 การต่อใช้งานวงจรไอซีแสดงเวลา

3.7.1.6 วงจรคีย์สวิตช์

จะเป็นส่วนที่ใช้ป้อนข้อมูลและเลือกโหมดการทำงานต่างๆ ที่ถูกเขียนอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ออกมาใช้ตามที่ต้องการ

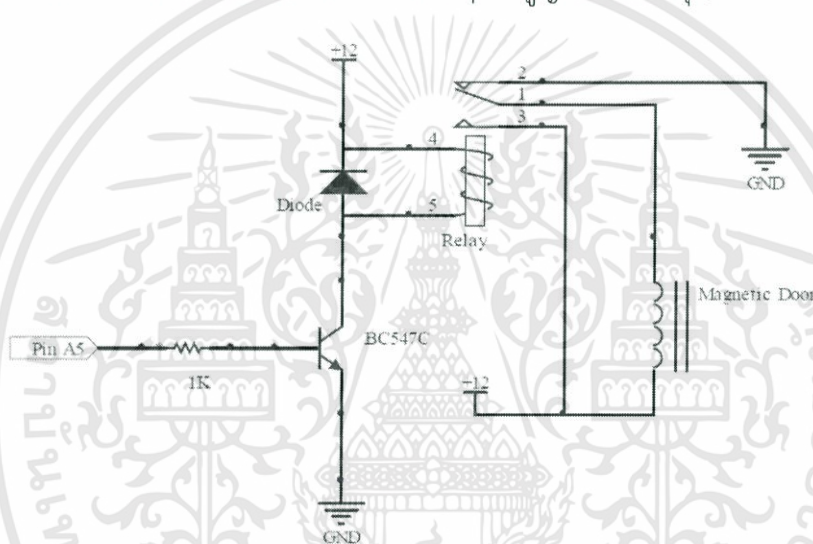


รูปที่ 3.17 การต่อใช้งานวงจรคีย์สวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.1.7 วงจรรีเลย์

ในขณะที่ประตูปิดอยู่ จะไม่มีการส่งสัญญาณมาที่ขา A5 จะทำให้รีเลย์ไม่ทำงาน ขาของรีเลย์ขา COM (ในรูปคือขาที่ 1) จะสัมผัสกับขา NC (ในรูปคือขาที่ 2) ประตูแม่เหล็กไฟฟ้าก็จะปิดอยู่ แต่เมื่อมีคำสั่งเปิดประตู ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะส่งสัญญาณมาที่ขา A5 ไปยังทรานซิสเตอร์ รีเลย์ก็จะทำงานขาของรีเลย์ขา COM จะสัมผัสกับขา NO (ในรูปคือขาที่ 3) จะทำให้ประตูแม่เหล็กไฟฟ้าก็เปิด (ที่ต้องต่อไดโอดเพราะว่าเมื่อทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าค่าสูงจำนวนหนึ่ง เนื่องจากผลของการเปลี่ยนแปลงของกระแสในตัวเหนี่ยวนำของรีเลย์ และแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้ อาจจะเป็นอันตรายต่อทรานซิสเตอร์ การต่อไดโอดคร่อมขดลวดของรีเลย์จะทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้วนผ่านขดลวดไปเรื่อยๆ จนสูญเสียไปในที่สุด)



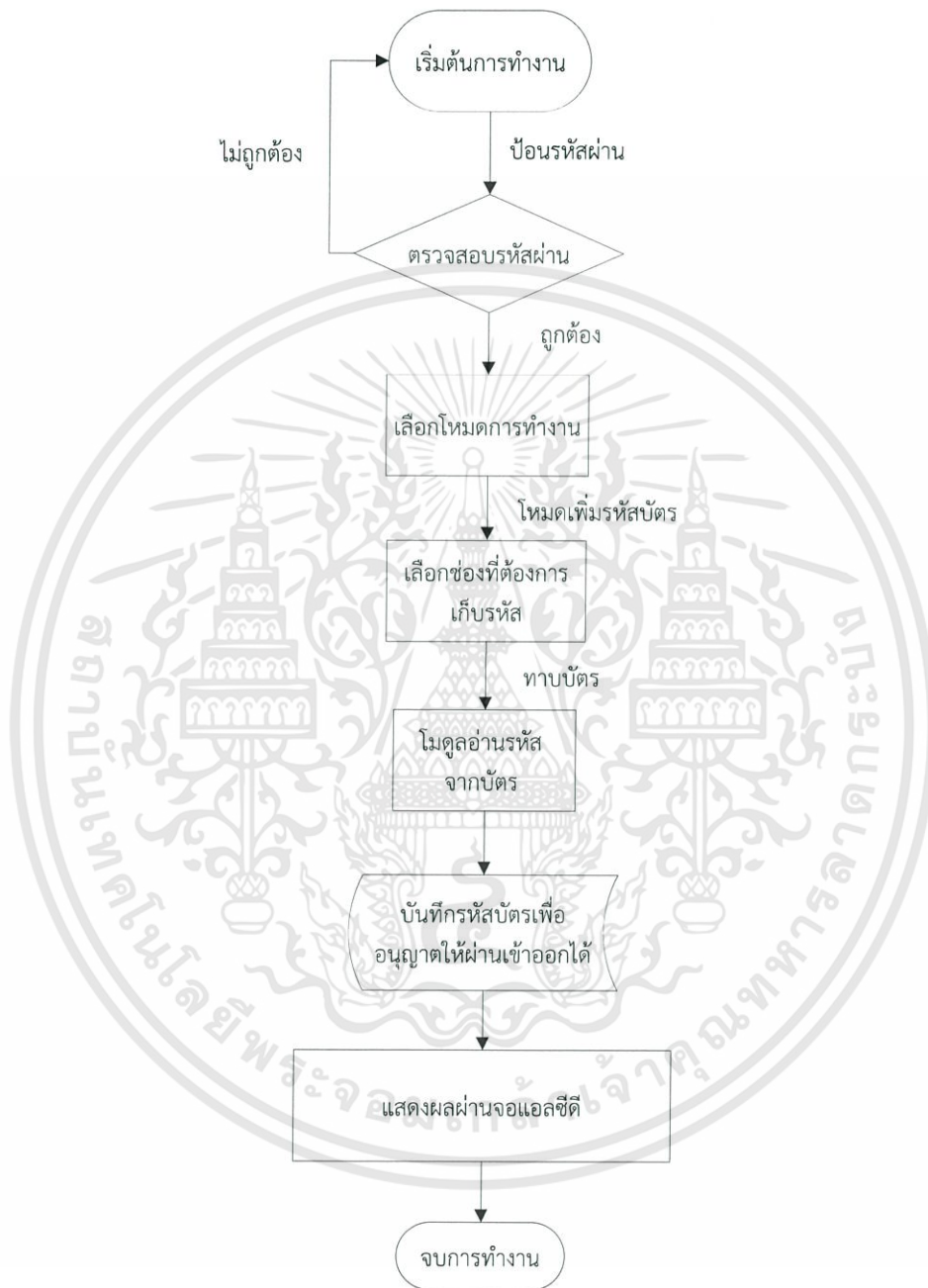
รูปที่ 3.18 การต่อใช้งานวงจรรีเลย์สำหรับควบคุมประตู

3.7.2 การทำงานของโปรแกรม

การทำงานของโปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 4 โหมดการใช้งานดังนี้ โหมดเพิ่มรหัสบัตร โหมดตั้งเวลา โหมดดูบันทึกการใช้งาน โหมดควบคุมการเปิด-ปิดประตู ซึ่งตอนเริ่มต้นของโปรแกรม ผู้ดูแลระบบจะต้องใส่รหัสผ่านก่อน จึงจะสามารถเข้าไปใช้งานโหมดต่างๆ ได้ ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ใช้งานทั่วไปเข้าถึงโหมดอื่นๆ นอกจากโหมดการเปิด-ปิดประตูได้

3.7.2.1 โหมดเพิ่มรหัสบัตร

เมื่อเข้าสู่การทำงานของโหมดนี้ ระบบจะให้เลือกว่าจะเก็บรหัสบัตรไว้ที่ช่องรหัสอะไร (มีตั้งแต่ 01 ถึง 08) พร้อมกับทำการทาบบัตรอาร์เอฟไอดี จากนั้นจะแสดงผลออกทางหน้าจอแอลซีดี และเก็บค่ารหัสบัตรนั้นไว้ที่หน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

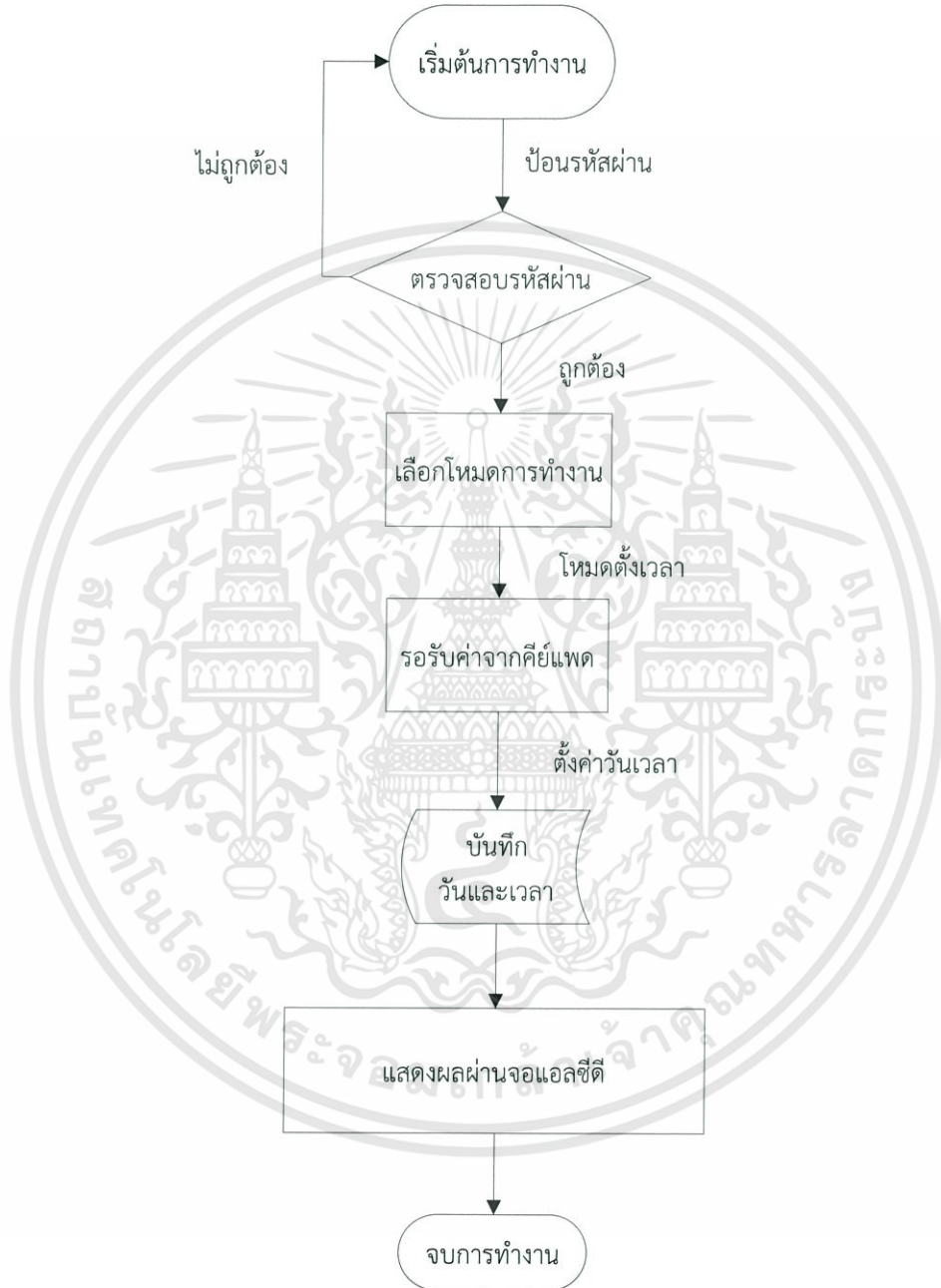


รูปที่ 3.19 ภาพรวมการทำงานโหมตเพิ่มรหัสบัตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2.2 โหมดตั้งเวลา

เมื่อเข้าสู่การทำงานของโหมดนี้ให้เราเลือกตั้งค่าวัน เดือน ปี และเวลา จาก คีย์แพด จากนั้นสามารถตรวจสอบวันและเวลาได้โดยเลือกให้แสดงผลบนหน้าจอแอลซีดี



รูปที่ 3.20 ภาพรวมการทำงานโหมดตั้งเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.3 โหมดดูบันทึกการใช้งาน

เมื่อเข้าสู่การทำงานของโหมดนี้ ระบบจะให้เลือกว่า ต้องการเข้าดูหรือ ยกเลิก ให้เรากดหมายเลข 1 บนคีย์แพด ระบบจะแสดงข้อมูลการใช้งานบนหน้าจอแอลซีดี 10 ครั้งล่าสุด

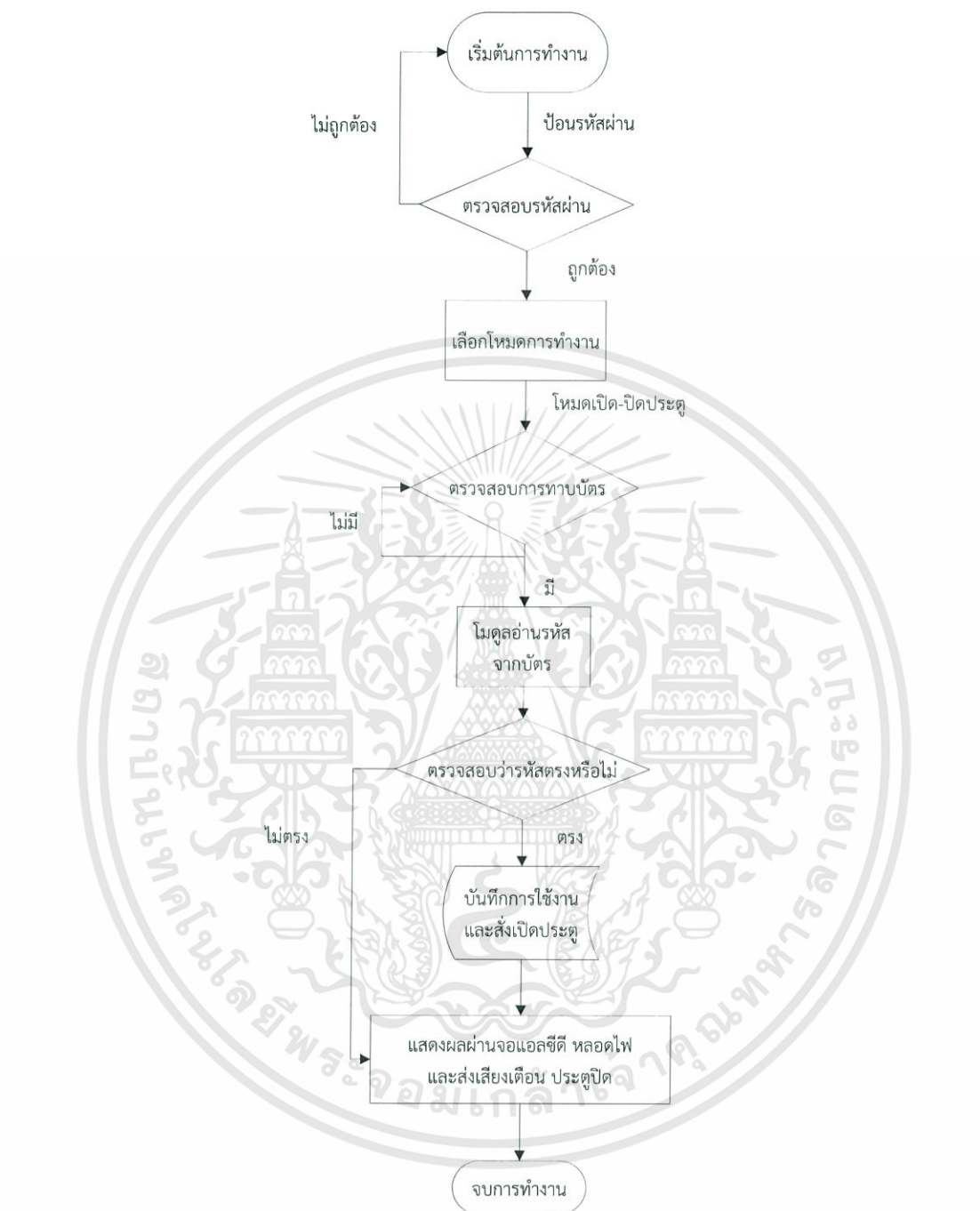


รูปที่ 3.21 ภาพรวมการทำงานโหมดดูบันทึกการใช้งาน

3.7.2.4 โหมดควบคุมการเปิด - ปิดประตู

ผู้ใช้งานทั่วไปจะได้รับอนุญาตให้ใช้งานแค่โหมดนี้ เมื่อเข้าสู่โหมดนี้ระบบจะทำการส่งคำสั่งไปให้เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีให้อ่านค่าบัตรเข้าไปเรื่อยๆ (เนื่องจากเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีตัวที่ใช้ไม่มีระบบตรวจจับการทาบบัตรแบบอัตโนมัติ) เมื่อมีการทาบบัตร ระบบจะตรวจสอบว่าตรงกับในฐานข้อมูลที่เก็บไว้หรือไม่ ถ้าตรงจะมีการแสดงผลบนหน้าจอลแอลซีดี หลอดไฟ และส่งเสียงเตือน จากนั้นจะส่งสัญญาณไปสั่งเปิดประตู แต่ถ้าไม่ตรงก็จะมีการแสดงผลบนหน้าจอลแอลซีดี หลอดไฟ แต่จะไม่มีการส่งคำสั่งไปเปิดประตู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 ภาพรวมการทำงานโหมดควบคุมการเปิด - ปิดประตู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 บทสรุป

การนำเสนอสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสในบทนี้ มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาสายอากาศ ให้มีความสามารถในการติดต่อสื่อสารได้ดีขึ้น ด้วยการเพิ่มจำนวนบ่วงของสายอากาศ ผลที่ได้จากการจำลองทำให้สรุปได้ว่าสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ 3 บ่วง สามารถเพิ่มความแรงของสนามแม่เหล็กที่กระจายออกจากสายอากาศได้ และในสายอากาศแท่งนั้นเมื่อจำลองแบบตามโครงสร้างในรูป 3.8 ทำให้สามารถหาค่าความเหนี่ยวนำได้ใกล้เคียงพอที่สามารถนำมาใช้งานร่วมกับชิปแท่งได้ และจากการออกแบบระบบการควบคุมการเข้าออกจะนำไปใช้ทดสอบในบทที่ 4 ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 บทนำ

จากบทที่ 3 ได้จำลองและวิเคราะห์รูปแบบโครงสร้างของสายอากาศเพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสม โดยเริ่มการวิเคราะห์จากสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ซึ่งเป็นสายอากาศพื้นฐานที่นำมาเปรียบเทียบ) ตามด้วยสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบขดเกลียวที่มีจำนวนบ่วงเท่ากับ 3 บ่วงที่มีระยะห่างต่างๆกันและจะนำสายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่สนามแม่เหล็กหนาแน่นมากที่มาสรางเป็นสายอากาศต้นแบบและทำการทดสอบ และทำการสร้างสายอากาศแท็กต้นแบบ ที่สามารถทำงานร่วมกับชิปแท็กได้ แล้วนำสายอากาศแท็กต้นแบบมาทดสอบ และในบทนี้ได้นำระบบการควบคุมการเข้าออกที่ออกแบบไว้ในบทที่ 3 มาทำการเก็บผล

4.2 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

1. เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย 1 MHz ถึง 3 GHz
2. เครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีย่านความถี่สูง 13.56 MHz จำนวน 1 เครื่อง
3. แท็กในระบบอาร์เอฟไอดี ย่านความถี่สูง 13.56 MHz, ISO 15693 ,ใช้ชิปของ Silicon Craft หน่วยความจำ 1kbitผลิตในรูปแบบสติ๊กเกอร์โดยแท็กมีขนาด 55 mm x 55 mm
4. มัลติมิเตอร์(Multimeter)
5. สายนำสัญญาณ (Transmission Line)

4.3 การหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ของสายอากาศ

การพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ของสายอากาศ จะใช้แบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กขององค์ประกอบในแต่ละทิศทางในระนาบ xz มาพิจารณาพื้นที่ที่มีขนาดของพื้นที่เท่ากับ $12\text{ cm} \times 12\text{ cm}$ โดยการแบ่งระยะตามแนว x ออกเป็นเส้นย่อย ๆ เป็นจำนวน N ส่วนดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งในแต่ละเส้นของ x_n นั้นจะแบ่งย่อยระยะตามแนว x ออกเป็นส่วน ๆ เป็นจำนวน K ส่วน เพื่อให้ผลลัพธ์เกิดการลู่เข้า (Converge) จะให้แต่ละจุดห่างกัน 1 cm (โดยจุดที่วิเคราะห์นั้นจะอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของส่วนย่อย) และจากนั้นพิจารณาค่าความเข้มสนามแม่เหล็กในแต่ละส่วน $H(x_k)$ เปรียบเทียบกับค่าความเข้มสนามแม่เหล็กกระตุ้น H_0 โดยที่ค่าความแรงนี้

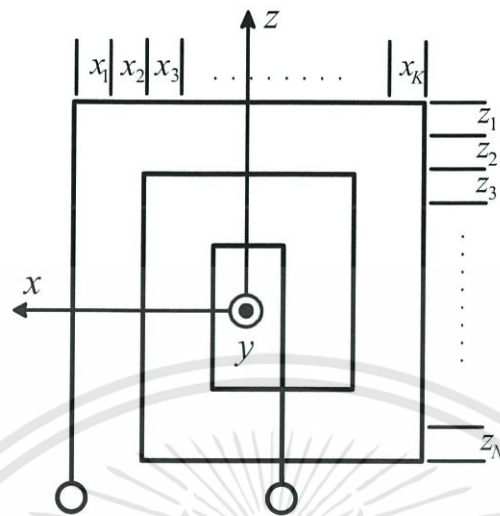
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถทำได้จากการทดสอบร่วมกับการจำลอง โดยวัดระยะการอ่านที่ไกลที่สุดจากแท็กไปยังเครื่องอ่านข้อมูลแล้วนำระยะอ่านที่ไกลที่สุดนี้ไปจำลองแบบเพื่อหาค่า H_t ซึ่งจะเท่ากับ 56mA/m (สำหรับแท็กชนิด ISO Card) ในกรณีที่สมมุติการป้อนแหล่งจ่ายกระแสของสายอากาศเครื่องอ่านเท่ากับ 1A สาเหตุที่ต้องใช้การสมมุติกระแสที่แหล่งจ่ายเพราะไม่สามารถวัดกระแสที่ป้อนให้แก่สายอากาศได้โดยตรง เนื่องจากเครื่องมือวัดมีผลกระทบต่อระยะการอ่านของเครื่องอ่านเป็นอย่างมาก ดังนั้นผลที่ได้จะมีความผิดพลาดมาก การหาค่า H_t โดยใช้วิธีนี้มีความน่าเชื่อถือได้เพราะได้ทดสอบกับสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลที่มีลักษณะหลายแบบหลายรูปทรง พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องกันดี

การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้นนั้นจะพิจารณาจากการนำสายอากาศไปใช้ในทางปฏิบัติคือ แท็กจะถูกวางอยู่กับที่ในแนวเส้นตรงกับสายอากาศ ดังนั้นถ้าจุดใดจุดหนึ่งในแนวเส้นตรง (แนวแกน x) ที่ระยะ z_n ที่พิจารณาอยู่จากด้านหน้าของสายอากาศ ณ จุดใดจุดหนึ่ง มีค่า $|H(x_i)| \geq H_t$ จะถือว่าเส้นตรงเส้นนั้นมีค่า $P_t(z_n)$ เท่ากับ 100% ในทางกลับกันถ้าทุกจุดบนเส้นตรงจากด้านหน้าของสายอากาศมีค่า $|H(x_i)| < H_t$ เส้นตรงนั้นจะมีค่า $P_t(z_n)$ เท่ากับ 0% เสร็จแล้วนำค่า $P_t(z_n)$ นั้นมาใช้คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวดังสมการต่อไปนี้

$$P_s(y_m) = \frac{\sum_{n=1}^N P_t(z_n)}{N} ; P_s(y_m) \leq 100\% \quad (4.1)$$

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

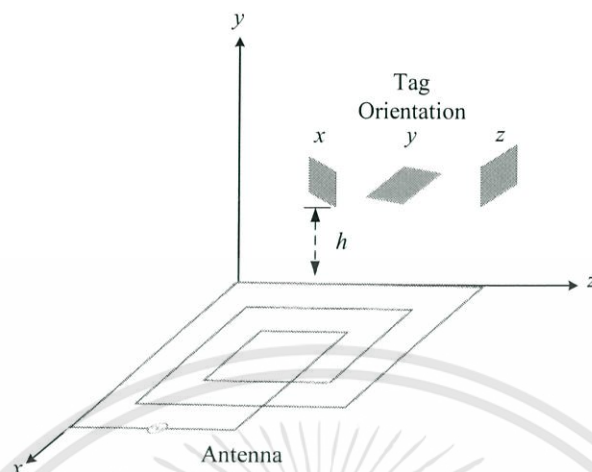


รูปที่ 4.1 การแบ่งระยะตามแนว x และ z ออกเป็นส่วนย่อย

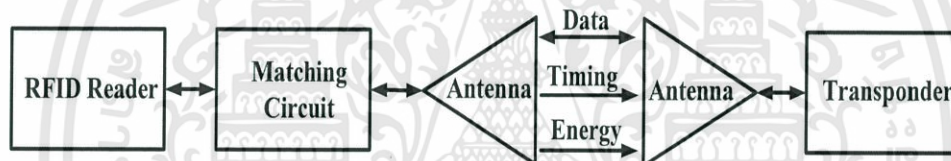
4.4 การทดสอบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล

สายอากาศที่ทำการทดสอบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้หมายถึงสายอากาศที่ได้จากการจำลองและให้ผลการจำลองเหมาะสมที่สุดโดยมีแบบรูปการกระจายความเข้มของสนามแม่เหล็กมากที่สุด ในสามแนวแกนหลัก $H(x)$ $H(y)$ และ $H(z)$ ซึ่งก็คือสายอากาศบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบ 3 บ่วง สร้างมาจากลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์โดยสายอากาศที่ทำการทดสอบจะถูกนำมาวิเคราะห์ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กที่ระยะห่างต่างๆกันในแต่ละแนวแกนหลักและนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวเพื่อให้วิเคราะห์สายอากาศได้แม่นยำและถูกต้องในส่วนของการทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแนวเส้นตรงของแต่ละแกนหลักของสายอากาศนั้นได้แบ่งจุดทดสอบออกทั้งหมด 12 จุดในแนวแกน x และ แกน z โดยแต่ละจุดห่างกัน 1 cm รวมเป็น 144 จุด โดยการทดสอบเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวในการอ่านค่าแท็กในแต่ละแนวแกนนั้นจะอ้างอิงโดยใช้แกนที่ตั้งฉากกับระนาบขดลวดของแท็กซึ่งลักษณะการวางตัวของแท็กชนิด ISO-Card ในทิศทาง xy และ z จะแสดงในรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ลักษณะการวางตัวของแท็กชนิด ISO-Card ในทิศทาง xy และ z



รูปที่ 4.3 บล็อกไดอะแกรมในการทดสอบสายอากาศ

รูปที่ 4.3 เป็นบล็อกไดอะแกรมในการทดสอบสายอากาศตามบล็อกไดอะแกรม ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ ภาคส่งกับภาครับ ในส่วนของภาคส่งก็จะมีเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟ ไอเดีย่านความถี่สูง โดยพอร์ตด้านหนึ่งของเครื่องอ่านข้อมูลจะเชื่อมต่อกับวงจรแมตซ์ซึ่งที่เชื่อมต่อกับสายอากาศ ในส่วนของภาครับประกอบไปด้วยสายอากาศแท็กกับทรานสปอนเดอร์ที่ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลด้วยวิธีการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กโดยมีวิธีการและขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

- เตรียมเครื่องอ่านข้อมูลให้อยู่ในสถานะที่พร้อมทำการทดสอบ
- นำสายอากาศที่ต่อกับวงจรแมตซ์ซึ่งเรียบร้อยแล้วไปปรับจูนให้ได้ค่าอิมพีแดนซ์เข้าใกล้ $12.725 - j6.1807$ โอห์ม ให้มากที่สุดด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6
- เมื่อปรับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศได้แล้ว
- นำสายอากาศไปต่อเข้ากับเครื่องอ่านข้อมูล

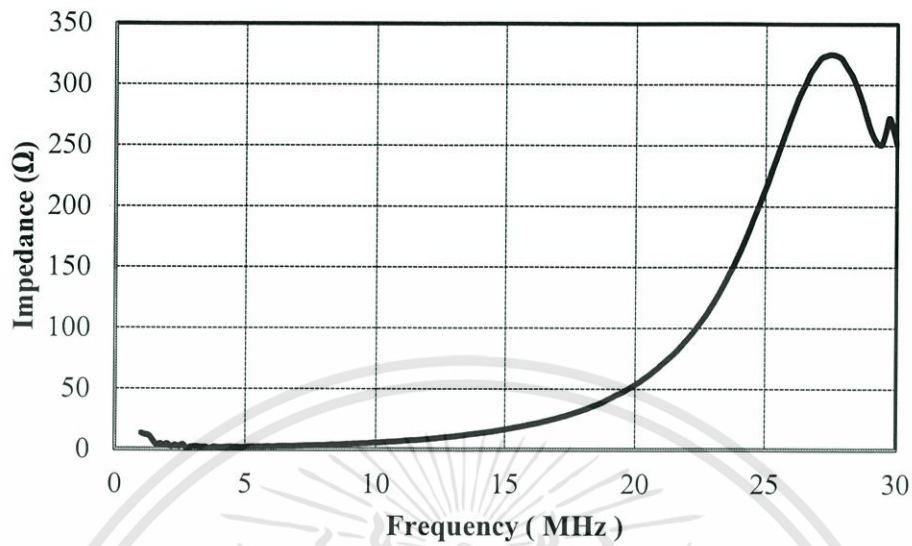
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำแท็กมาทำการทดสอบโดยให้สายอากาศอ่านแท็กทั้ง 144 จุดต่อหนึ่งพื้นผิว ทดสอบตามรายละเอียดข้างต้นที่ได้กล่าวมาแล้ว และทำซ้ำแบบเดิมที่ระยะทาง ต่างจากสายอากาศที่ต้องการทดสอบ และบันทึกผลอย่างละเอียด
- ทดสอบการอ่านแท็กของสายอากาศให้ครบในทิศทาง xy และ z ด้วยลักษณะการ จัดวางตามรูปที่ 4.2

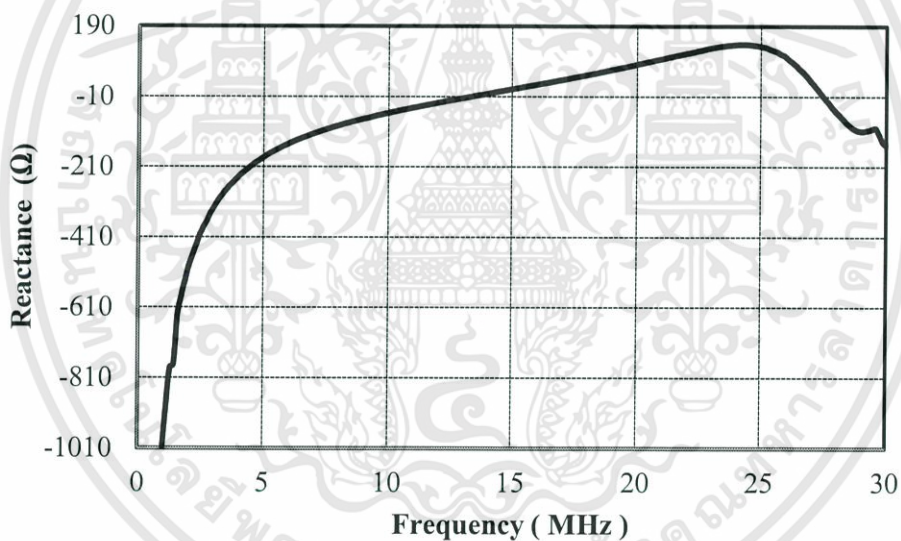


รูปที่ 4.4 สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

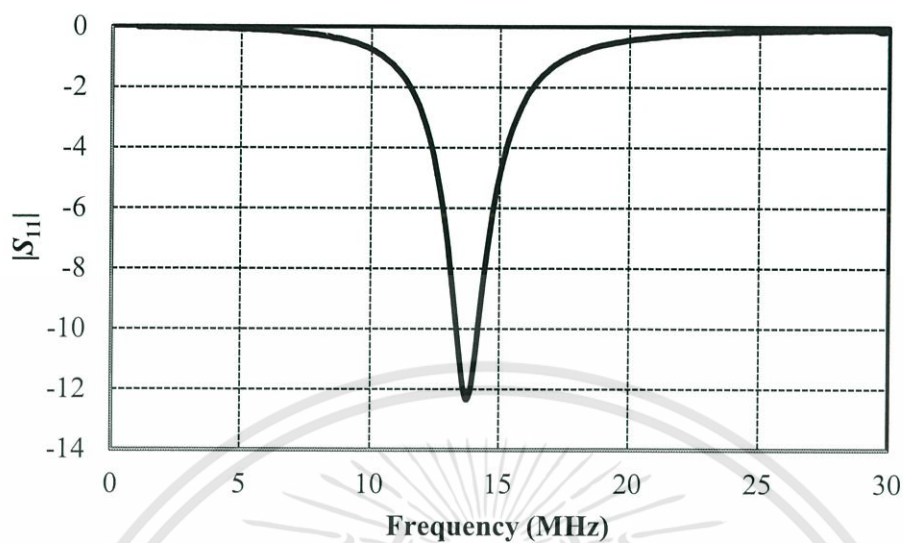


รูปที่ 4.5 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลหลังจากการปรับจูนแล้ว



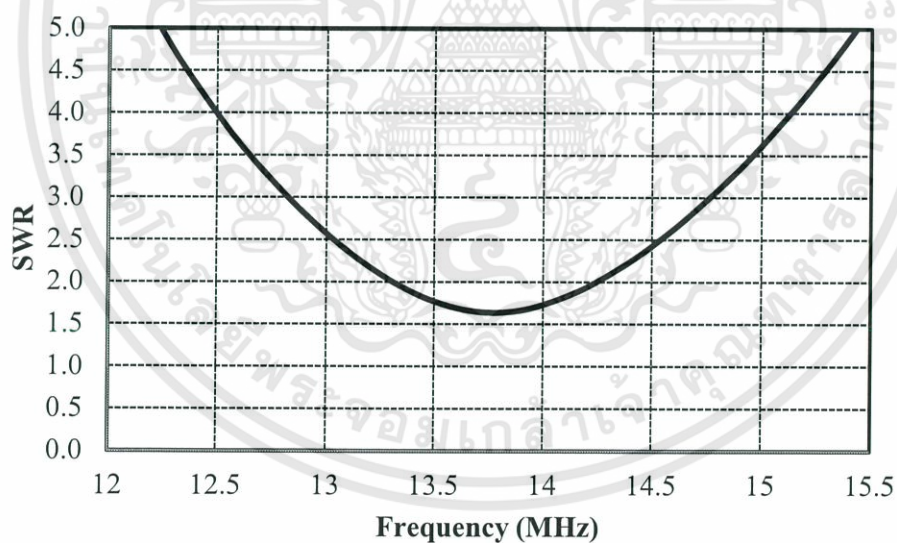
รูปที่ 4.6 ค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลหลังจากการปรับจูนแล้ว

จากรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล หลังจากการปรับจูนที่ความถี่ 13.56 MHz มีค่าเท่ากับ $12.519 - j6.6660$ โอห์มซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับอิมพีแดนซ์ของเครื่องอ่านข้อมูล



รูปที่ 4.7 ค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลหลังจากปรับจูนแล้ว

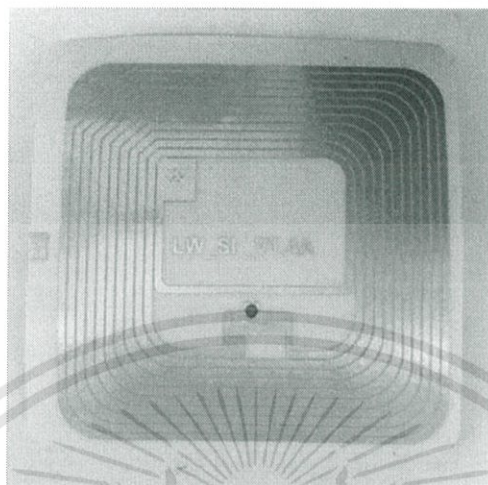
จากรูปที่ 4.7 แสดงค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลหลังจากการปรับจูนที่ความถี่ 13.56 MHz มีค่าเท่ากับ -11.508 dB



รูปที่ 4.8 ค่า SWR ของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลหลังจากปรับจูนแล้ว

จากรูปที่ 4.8 แสดงค่า SWR ของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลหลังจากการปรับจูนที่ความถี่ 13.56 MHz มีค่าเท่ากับ 1.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แท็ก ISO15693 ที่ใช้ในการทดสอบ

4.4.1 ผลการทดสอบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก ISO15693

ผลการทดสอบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กแบบ ISO15693ตามรูปที่ 4.9 ได้ผลการทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กของแต่ละพื้นผิวในแต่ละแนวแกนหลักที่ระนาบทดสอบที่ระยะทางต่าง ๆ กันจากสายอากาศดังแสดงในรูปที่ 4.10 ถึง รูปที่ 4.11

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(ก) P_{s,H_x}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(ข) P_{s,H_y}

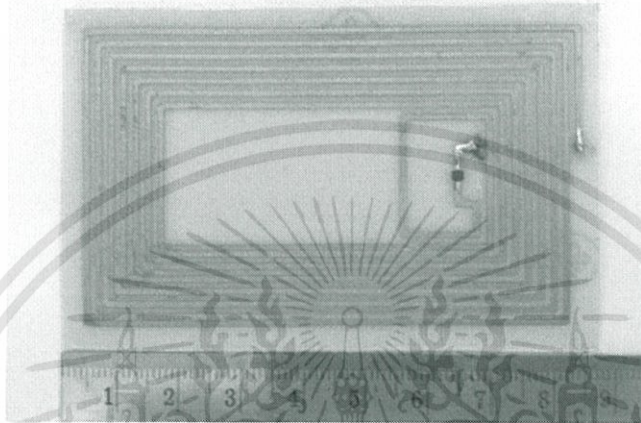
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(ค) P_{s,H_z}

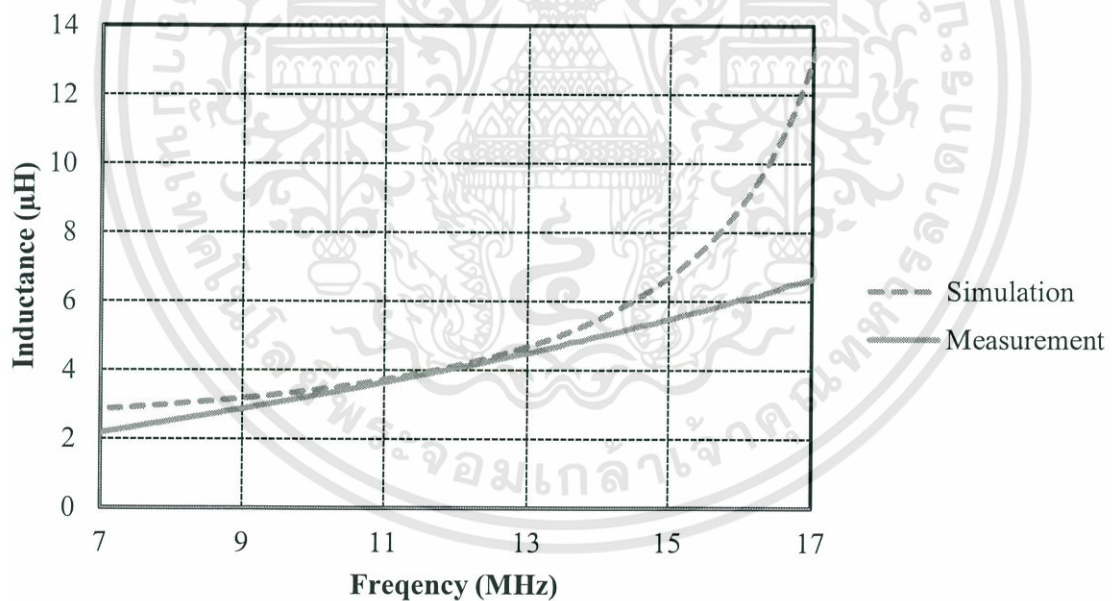
รูปที่ 4.10 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท่งที่ระนาบ
ทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ 5 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดสอบสายอากาศแท่ง



รูปที่ 4.12 สายอากาศแท่งต้นแบบ



รูปที่ 4.13 ค่าการเหนี่ยวนำของสายอากาศแท่ง

รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเหนี่ยวนำของสายอากาศแท่งที่ความถี่ 13.56 MHz มีผลการจำลองเท่ากับ 5.09 μH และจากผลทดสอบจริงเท่ากับ 4.7728 μH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 แสดงสายอากาศแท่งกั้นแบบ โดยนำสายอากาศแท่งกั้นแบบนี้มาทดสอบความสามารถในการสื่อสารกับเครื่องอ่านข้อมูลที่ได้สร้างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลต้นแบบขึ้นมาเองในรูปที่ 4.1 โดยผลที่ได้จะแสดงในรูปที่ 4.10 และ 4.11

1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0

(ก) P_{s,H_x}

0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0

(ข) P_{s,H_y}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(ค) P_{s,H_z}

รูปที่ 4.14 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารของแท่งต้นแบบที่ระนาบ
ทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ 5 cm

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(ก) P_{s,H_x}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(ข) P_{s,H_v}

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(ค) P_{s,H_z}

รูปที่ 4.15 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารของแท็กต้นแบบที่ระนาบ
ทดสอบห่างจากสายอากาศเท่ากับ 10 cm

จากผลการทดสอบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กต้นแบบที่ได้ในรูปที่ 4.14 และรูปที่ 4.15 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการจำลองในบทที่ 3 ตามรูปที่ 3.6 และ 3.7 นั้นได้ผลที่ใกล้เคียงกัน ทำให้สามารถหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลได้ดังตารางที่ 4.2

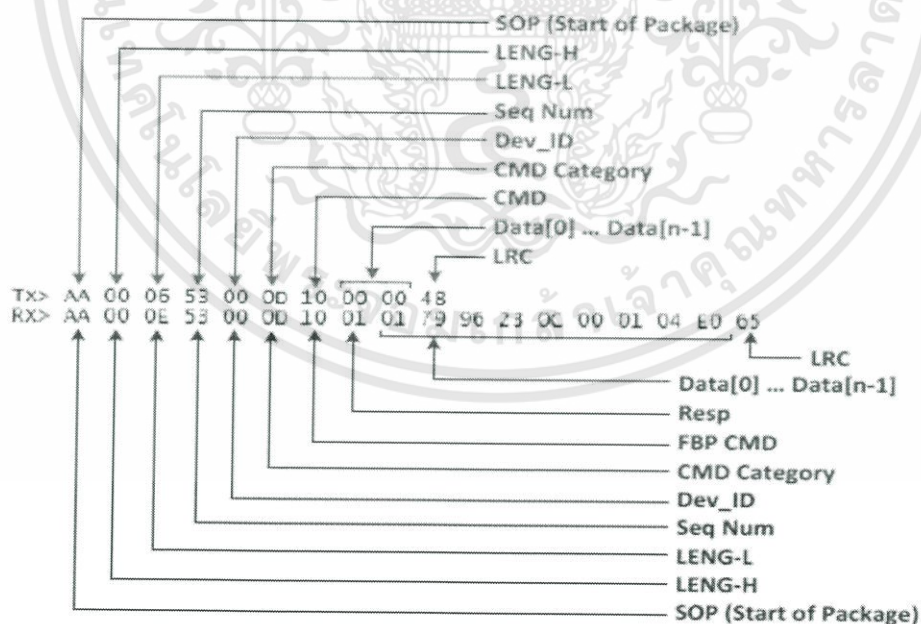
ตารางที่ 4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กต้นแบบ
ในแนวแกน y ที่ระยะ 5 cm และ 10 cm

ระยะ	P_{s,H_x} (%)	P_{s,H_y} (%)	P_{s,H_z} (%)
$y=5$ cm	79.86	78.47	61.11
$y=10$ cm	0.00	11.11	0.00

4.6 ผลการทดสอบระบบควบคุมการเข้า-ออก

4.6.1 การส่งข้อมูลของโมดูลเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี

ทำการวัดสัญญาณสัญญาณที่ได้จากโมดูลเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีว่ามีความถูกต้องตรงตามรูปแบบที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยการส่งคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังโมดูลเพื่ออ่านค่ารหัสจากบัตร โดยสัญญาณที่ส่งออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์และโมดูลจะเป็นสัญญาณแบบ TTL ซึ่งจะอยู่ในลักษณะของเลขฐานสิบหก มีอัตราบอด (Baud rate) อยู่ที่ 115,200 บิตต่อวินาที ในการอ่านค่าป้ายอาร์เอฟไอดีด้วยโมดูลนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องทำการส่งคำสั่งไปยังโมดูล และโมดูลก็จะทำการส่งข้อมูลตอบกลับมา จะมีส่วนที่เป็นรหัสเฉพาะของป้ายอาร์เอฟไอดีอยู่ 9 บิต ซึ่งเราจะนำรหัสนี้มาใช้ในการเปรียบเทียบกับรหัสที่อยู่ในหน่วยความจำเพื่อควบคุมการเข้า-ออกและบันทึกเวลาต่อไป



รูปที่ 4.16 รูปแบบการส่งและรับข้อมูลเลขฐาน 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.1.1 การรับข้อมูลจากพอร์ทอนุกรมโดยใช้โปรแกรม serial monitor

ทำการส่งคำสั่งชุดเลขฐาน 16 จากคอมพิวเตอร์ไปสั่งการเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี และรับค่าที่เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีตอบกลับมาให้แสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ซึ่งได้ผลดังนี้
ค่าที่ตอบกลับมาจากเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีในกรณีที่อ่านค่าจากบัตรได้
โดย Tx คือคำสั่งที่ส่งไปยังเครื่องอ่าน และ Rx คือผลที่เครื่องอ่านส่งกลับมา

```
Tx> AA 00 06 56 00 0D 10 00 00 4D
```

```
Rx> AA 00 0E 56 00 0D 10 01 00 FE 72 06 30 00 03 39 E0 24
```

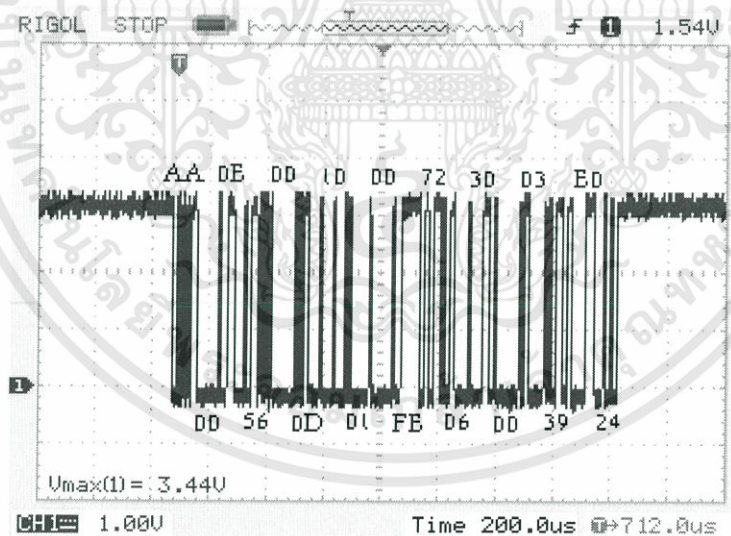
ค่าที่ตอบกลับมาจากเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีในกรณีที่อ่านค่าจากบัตรไม่ได้
โดย Tx คือคำสั่งที่ส่งไปยังเครื่องอ่าน และ Rx คือผลที่เครื่องอ่านส่งกลับมา

```
Tx> AA 00 06 56 00 0D 10 00 00 4D
```

```
Rx> AA 00 05 56 00 0D 10 E0 AE
```

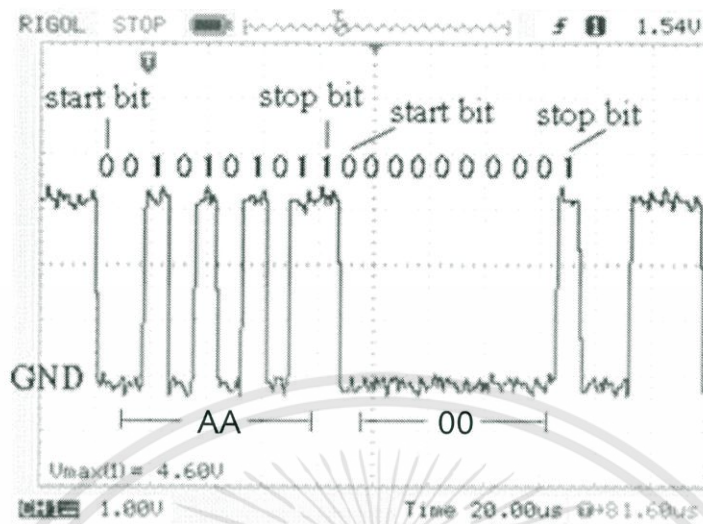
4.6.1.2 การวัดสัญญาณจากพอร์ทอนุกรมโดยใช้ออสซิลโลสโคป

เมื่อนำออสซิลโลสโคปมาทำการวัดสัญญาณที่เครื่องอ่านตอบกลับมายังไมโครคอนโทรลเลอร์ จะได้เป็น 2 กรณีคือ กรณีที่อ่านข้อมูลจากบัตรได้ และกรณีที่อ่านข้อมูลจากบัตรไม่ได้

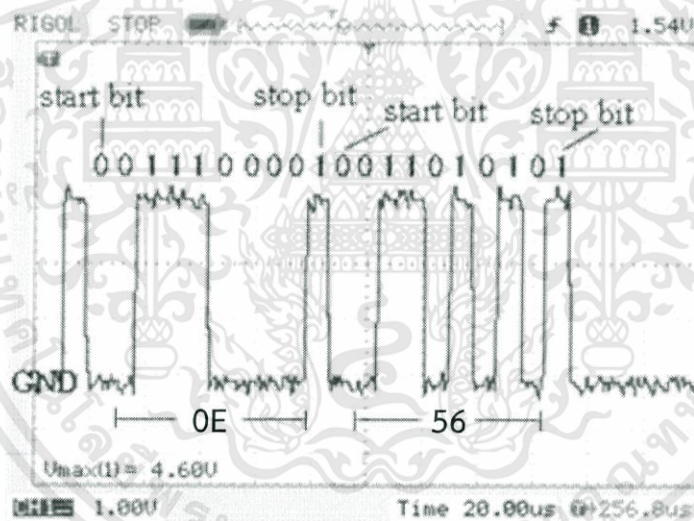


(ก) สัญญาณรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



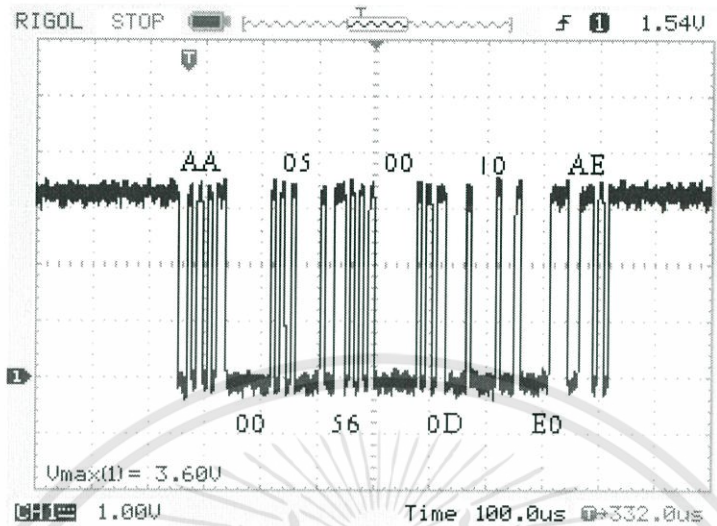
(ข)ค่าที่อ่านได้คือ AA 00



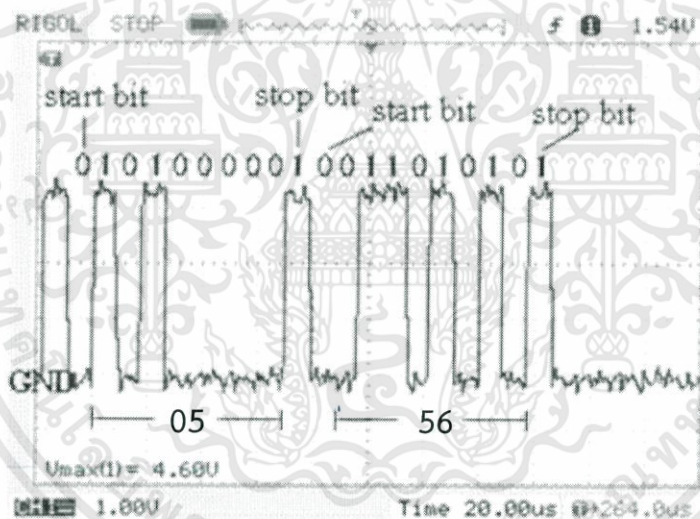
(ค)ค่าที่อ่านได้คือ 0E 56

รูปที่ 4.17 สัญญาณที่เครื่องอ่านส่งกลับมา กรณีที่อ่านข้อมูลจากบัตรได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณรวม



(ข) ค่าที่อ่านได้คือ 05 56

รูปที่ 4.18 สัญญาณที่เครื่องอ่านส่งกลับมา กรณีที่อ่านข้อมูลจากบัตรไม่ได้

จากรูปที่ 4.17 (ข),(ค) และรูปที่ 4.18 (ข) แสดงการอ่านค่าที่ได้จาก ออสซิลโลสโคป โดยจากรูปที่ 4.17 (ข) คือ การอ่านค่าที่ได้จากออสซิลโลสโคปดังรูปจะแบ่งเป็น 2 ชุดคือ 0010101011 000000001 การส่งข้อมูลของแต่ละชุดจะส่ง start bit บิต 0 จากนั้นจะ ส่งบิตข้อมูลตามมา 8 บิตโดยจะส่งบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด (Least significant bit: LSB) เป็นบิตที่มี

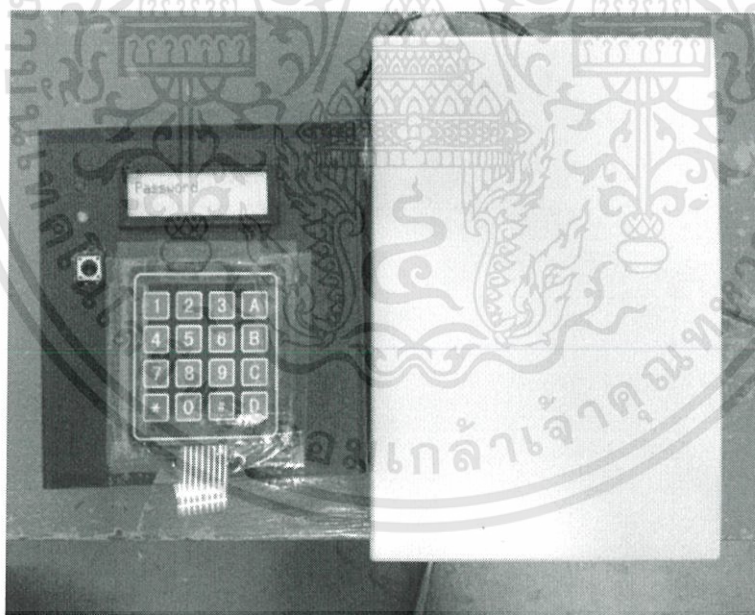
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าประจำหลักน้อยที่สุดมาก่อน และไล่ไปเรื่อยๆ จนถึงบิตข้อมูลตัวสุดท้ายจะเป็นบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุด (Most significant bit: MSB) เป็นบิตที่มีค่าประจำหลักมากที่สุดซึ่งเวลานำมาแปลความหมายต้องทำการแยก start bit (เลข 0 ตัวแรก) กับ stop bit (เลข 1 ตัวสุดท้าย) ของแต่ละชุดออกมาก่อนตัวเลขที่เหลือข้างใน 8 ตัวจะเป็นบิตข้อมูล จากนั้นทำการกลับชุดข้อมูลจากหลังมาหน้า (ให้ MSB อยู่ซ้ายมือสุดและ LSB อยู่ขวามือสุด) จะได้ 10101010 00000000 เป็นเลขฐาน 2 ซึ่งตรงกับ AA 00 ในเลขฐาน 16

4.6.2 การทำงานของระบบควบคุมการเข้า-ออกที่สร้างขึ้น

การทำงานของระบบจะแบ่งออกเป็น 4 โหมดการใช้งานดังนี้ โหมดเพิ่มรหัสบัตร โหมดตั้งเวลา โหมดดูบันทึกการใช้งาน และโหมดควบคุมการเปิด-ปิดประตูซึ่งใน 3 โหมดแรกจะอนุญาตให้เฉพาะผู้ดูแลระบบเท่านั้นที่สามารถใช้ได้ผู้ใช้งานทั่วไปจะใช้งานได้แค่โหมดการเปิด-ปิดประตูเท่านั้น

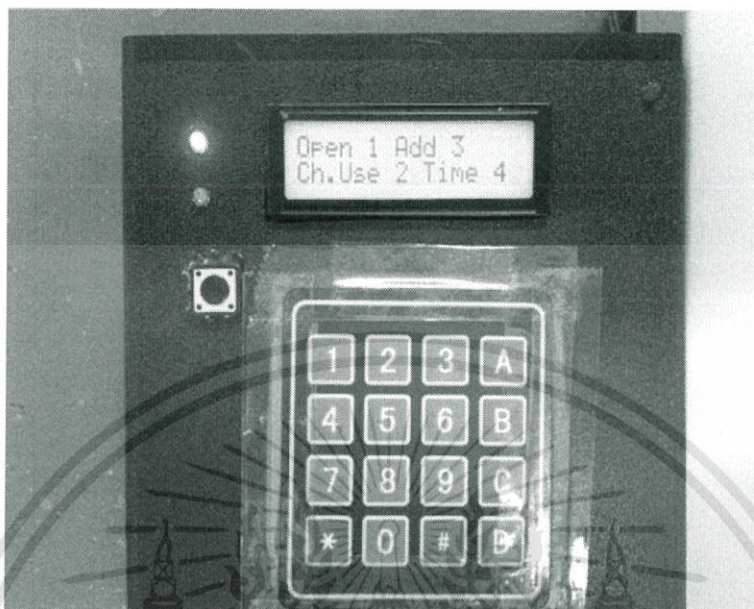
ตัวสายอากาศจะติดอยู่กับตัวเครื่องอ่านทางด้านขวาและจะเชื่อมต่อกับส่วนประมวลผลทางด้านซ้ายโดยเมื่อเริ่มต้นโปรแกรมจะต้องมีการใส่รหัสผ่านเพื่อเข้าเลือกโหมดการใช้งาน



รูปที่ 4.19 เตรียมทดสอบระบบ

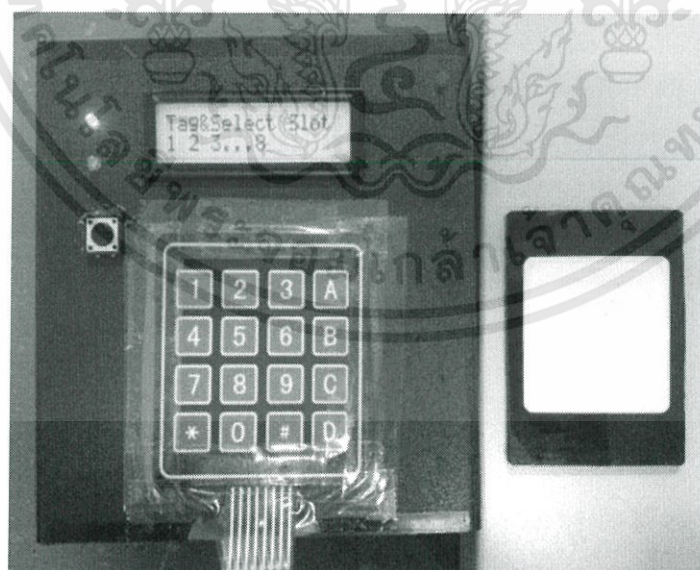
จากนั้นโดยโปรแกรมจะแสดงโหมดการทำงานบนหน้าจอแอลซีดี และไฟสีแดงจะสว่าง โดยผู้ใช้งานต้องกดเลือกโหมดการทำงานจากคีย์แพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ตัวเลือกการทำงานในโหมดต่างๆ

ก่อนการใช้งานผู้ใช้งานจะต้องบันทึกค่ารหัสการ์ดลงในโปรแกรมก่อนเพื่อโปรแกรมจะได้จดจำค่ารหัสที่จะอนุญาตให้ผ่านได้โดยผู้ใช้งานต้องนำบัตรทาบส่วนบริเวณกล่องทางด้านขวา จากนั้นกดเลือกโหมด “Add” และเลือกช่องที่ต้องการบันทึกรหัสบัตรใบนั้นไว้ (1-8) โปรแกรมจะทำการอ่านค่าและจดจำรหัสบัตรใบที่ต้องการใช้งาน



รูปที่ 4.21 การใช้งานโหมดบันทึกรหัสบัตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถป้อนวันและเวลาให้ถูกต้องโดยเลือกโหมด Time เพื่อนำไปใช้บันทึกเวลาการทำงานได้



รูปที่ 4.22 การใช้งานโหมด เวลา (Time)



รูปที่ 4.23 วันและเวลาที่เรารตั้งค่าไว้

ต่อไปจะเป็นโหมดควบคุมการเปิด-ปิดประตู (Open) ซึ่งเป็นโหมดที่ผู้ใช้งานทั่วไปสามารถใช้ได้ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งคำสั่งไปที่เครื่องอ่านเรื่อยๆ จนกว่าจะมีการทาบบัตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 สถานะรอการทาบบัตร

เมื่อมีบัตรมาทาบบัตรจะมีการตรวจสอบว่าตรงกับรหัสในฐานข้อมูลหรือไม่ ถ้ารหัสตรงกัน จะมีข้อความขึ้นบอก และแสดงเวลาที่ใช้งานบนหน้าจอแอลซีดี หลอดไฟสีเขียวจะสว่าง ระบบจะทำการบันทึกการใช้งานไว้ และส่งสัญญาณไปเพื่อเปิดประตู แต่ถ้าบัตรที่มาทาบบัตรไม่ถูกต้อง จะมีข้อความขึ้นแสดงบนหน้าจอแอลซีดี และหลอดไฟสีแดงจะดับ



รูปที่ 4.25 กรณีบัตรที่มาทาบบัตรตรงกับในฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 กรณีบัตรที่มาทาบไม่ตรงกับในฐานข้อมูล

ผู้ดูแลระบบสามารถเรียกดูบันทึกการใช้งานได้ 10 ครั้งล่าสุด โดยเลือกโหมดดูบันทึกการใช้งาน (Ch. Use)



รูปที่ 4.27 แสดงบันทึกการใช้งาน

จากรูปที่ 5.24 หมายเลข 01 คือรหัสของบัตรที่บันทึกไว้ในช่องที่เราเลือกไว้ในตอนแรก ในที่นี้เลือกบันทึกไว้ในช่อง 1) ตัวเลขชุดถัดมาจะเป็นเวลาที่ใช้งาน และตัวเลขชุดสุดท้ายจะเป็นวันที่และเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 บทสรุป

จากผลการทดสอบสายอากาศพบว่ามีแนวโน้มเป็นไปได้ในทางเดียวกันกับผลที่ได้จากการจำลองแบบโดยพิจารณาจากความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กด้วยค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวของความเข้มสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แนวแกนหลักที่ระยะ 5 cm มีค่า P_{s,H_x} เท่ากับ 69.44% P_{s,H_y} เท่ากับ 63.88% และ P_{s,H_z} เท่ากับ 56.94% และที่ระยะ 10 cm มีค่า P_{s,H_x} เท่ากับ 0.00% P_{s,H_y} เท่ากับ 25.00% และ P_{s,H_z} เท่ากับ 0.00% แต่ผลที่ได้จากการทดสอบจะไม่ดีเท่าผลที่ได้จากการจำลองเนื่องจากมีองค์ประกอบหลายอย่างที่มีผลต่อการอ่านแท็ก ตัวอย่างเช่น ชนิดของเครื่องอ่านข้อมูล กำลังส่งของเครื่องอ่านข้อมูล ชนิดและขนาดของแท็ก ทิศทางในการวางตัวของแท็ก ประสิทธิภาพของวงจรแมตซ์ซิง สภาพแวดล้อมรอบข้างอย่างเช่น จอคอมพิวเตอร์หรือจอโทรทัศน์ที่ส่งผลกระทบต่อในการอ่านข้อมูลเช่นกัน ซึ่งองค์ประกอบต่างเหล่านี้ จะไม่มีผลในการจำลองผลแต่ในทางกลับกันคือจะมีผลโดยตรงกับการทดสอบและจากการทดสอบสายอากาศแท็กต้นแบบทำให้สามารถหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวของความเข้มสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แนวแกนหลักที่ระยะ 5 cm มีค่า P_{s,H_x} เท่ากับ 79.86% P_{s,H_y} เท่ากับ 78.47% และ P_{s,H_z} เท่ากับ 61.11% และที่ระยะ 10 cm มีค่า P_{s,H_x} เท่ากับ 0.00% P_{s,H_y} เท่ากับ 11.11% และ P_{s,H_z} เท่ากับ 0.00% และระบบควบคุมการเข้าออกสามารถทำงานร่วมกับสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูล และสายอากาศแท็กได้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการศึกษาและออกแบบการสร้างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลและสายอากาศแท็กในระบบอาร์เอฟเอไอ ในย่านความถี่สูง (High Frequency : HF) ที่ความถี่ 13.56 MHz โดยนำสายอากาศนี้มาประยุกต์ใช้งานกับระบบควบคุมการเข้าออก ซึ่งออกแบบให้สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลมีประสิทธิภาพในการอ่านข้อมูลของสายอากาศแท็กได้

ในปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบสายอากาศแบบวงสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยออกแบบให้สายอากาศมีการกระจายของสนามแม่เหล็กในแต่ละแกนให้มากที่สุด ส่วนค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศนั้นต้องออกแบบให้มีค่าใกล้เคียงกับเครื่องอ่านข้อมูล โดยในสายอากาศประเภทนี้จัดเป็นสายอากาศขนาดเล็ก ทำให้การแมตชิงของสายอากาศทำได้ลำบากขึ้น ดังนั้นจึงต้องท่วงจรเซอร์กิตแมตชิงเพื่อให้อิมพีแดนซ์ของสายอากาศมีค่าเท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ของเครื่องอ่านข้อมูล ซึ่งจากการที่ศึกษาและออกแบบมาทำให้เราทราบว่าขนาดของสายทองแดงและระยะห่างของสายทองแดงมีผลต่อการกระจายของสนามแม่เหล็กและค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ส่วนวงจรแมตชิงสายอากาศนั้นต้องใช้ตัวเก็บประจุและตัวต้านทาน มาแมตให้ค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับเครื่องอ่านข้อมูล โดยจากการทดลองทำให้เราทราบว่าผลของคาร์แคเตอร์มีผลต่อการอ่านข้อมูลของเครื่องอ่านข้อมูลมากกว่าคาร์ซีสแตนท์ เนื่องจากคาร์แคเตอร์นั้นสามารถประพุดิตัวเป็นตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำได้ทั้งสองแบบ ทำให้เกิดการดูดกลืนค่าเอาไว้และไม่มีการแพร่กระจายออกไปนั่นเอง ส่วนในการออกแบบสายอากาศแท็กนั้น ต้องออกแบบสายอากาศตามคุณสมบัติของชิปแท็กแต่ละชนิด โดยชิปแท็กที่นำมาใช้งานในปริญญานิพนธ์นี้มีค่าเป็นตัวเก็บประจุ จึงต้องออกแบบให้สายอากาศมีค่าเป็นตัวเหนี่ยวนำ เพื่อให้เกิดการหักล้างกันของคาร์แคเตอร์ จึงทำให้ชิปแท็กสามารถทำงานร่วมกับสายอากาศแท็กได้ และในส่วนของระบบควบคุมการเข้าออกนั้นออกแบบให้ระบบเก็บค่าของวัน เดือน ปีและเวลาที่เข้าออกได้ และสามารถระบุตัวบุคคลที่เข้าออกในเวลาต่างๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบและสร้างสายอากาศ พบว่าผลที่ออกมามีค่าแตกต่างกับที่ออกแบบไว้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะวัสดุที่ใช้ในการสร้าง และ ขั้นตอนการสร้างสายอากาศ โดยอาจเกิดจากการที่มีการกัดลายทองแดงออกมาไม่สมบูรณ์ ซึ่งทำให้ตำแหน่งและขนาดของสายอากาศผิดเพี้ยนได้ ทำให้การกระจายของสนามแม่เหล็กผิดเพี้ยนไป ส่วนของวงจรแมตซ์สายอากาศนั้นต้องทำการยึดอุปกรณ์แต่ละตัวให้มั่นคงและมีระยะที่แน่นอนเพราะถ้าเกิดการหลุดอาจทำให้ค่าที่ได้เปลี่ยนแปลงไป และในส่วนของระบบการควบคุมเข้าออกนั้นยังสามารถเก็บข้อมูลได้น้อยอยู่ ถ้าต้องการเก็บข้อมูลมากขึ้นต้องทำการเพิ่มหน่วยความจำหรือเก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอก



บรรณานุกรม

- [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.jetedata.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. Elkamchouchi 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.