

การพัฒนาสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านระบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

ANTENNA DEVELOPMENT FOR RFID READER SYSTEM



T119523

โดย

นางสาวรัตนาวรรณ

ไม้สังข์

นางสาวลัดดา

พรมมาก

นางสาววัชรารณ์

ศิริวัฒนาโกศล

มพ.
๖๖๖๖
๒๕๕๓

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **119523**
วัน,เดือน,ปี - ๘ S.ค. 2554

b. 12360คค5
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านระบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ
ANTENNA DEVELOPMENT FOR RFID READER SYSTEM

โดย

นางสาวรัตนาวรรณ	ไม้สังข์	50011301
นางสาวลัดดา	พรมมาก	50011339
นางสาววัชรภรณ์	ศิริวัฒนาโกศล	50011434

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. พิษณุ สุพรรณกุล

ดร. สถาพร พรหมวงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

ผ่านการตรวจรับงานแล้ว

(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านระบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

ANTENNA DEVELOPMENT FOR RFID READER SYSTEM


ผู้จัดทำ

- | | | |
|---------------------|---------------|----------|
| 1. นางสาวรัตนาวรรณ | ไม้สังข์ | 50011301 |
| 2. นางสาวลัดดา | พรมมาก | 50011339 |
| 3. นางสาววัชรารัตน์ | ศิริวัฒนาโกศล | 50011434 |



(ผศ.พิชญ์ สุพรรณกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา



(ดร.สถาพร พรหมวงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้จะสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีมิได้ หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์ จากอาจารย์ที่ปรึกษา คือ ผศ.พิชญ์ สุพรรณกุล และดร.สถาพร พรหมวงศ์ ที่ให้คำปรึกษาที่ดีตลอดมาโดยตลอดเวลาในการทำงานวิจัยนี้ อีกทั้งยังคอยช่วยเหลือในด้านต่างๆ ทั้งให้ความรู้รับฟังการนำเสนอเสนอแนะแนวทางในการทำงานวิจัยเป็นอย่างดี ขอขอบคุณบิดาและมารดาที่คอยอบรมเลี้ยงดู และคอยเป็นกำลังใจในการทำงาน และขอขอบพระคุณที่ปริญญญาเอก ปริญญาโท และเพื่อนๆ ที่คอยแนะนำให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี ตลอดจนขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาโทรคมนาคม ที่ให้โอกาสคณะผู้จัดทำงานวิจัยนี้มาโดยตลอด

สุดท้ายขอขอบคุณค่าและประโยชน์ความดีอันพึงมีจากโครงการฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน และถ้าหากมีข้อผิดพลาดประการใดพวกข้าพเจ้าขอน้อมรับไว้ อีกทั้งยังหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจต่อไป

นางสาวรัตนาวรรณ

ไม่สังกัด

นางสาวลัดดา

พรมมาก

นางสาววัชรภรณ์

ศิริวัฒนาโกศล

ผู้จัดทำ

การพัฒนาสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านระบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

ANTENNA DEVELOPMENT FOR RFID READER SYSTEM

โดย	นางสาวรัตนาวรรณ	ไม้สังข์	50011301
	นางสาวลัดดา	พรมมาก	50011339
	นางสาววัชรภรณ์	ศิริวัฒนาโกศล	50011434

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. พิชญ์ สุพรรณกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ดร.สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุเข้ามามีบทบาทกับชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้นทั้งในด้านโลจิสติกส์ คมนาคม และการแพทย์ จึงมีการพัฒนาการทำงานของระบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุอย่างหลากหลาย ทั้งทางด้านซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ สำหรับประยุกต์ให้เหมาะสมกับการใช้งานในด้านต่างๆ ซึ่งในโครงการนี้ จึงนำเสนอการพัฒนาสายอากาศแผ่นแถวลำดับสององค์ประกอบ เพื่อนำมาใช้งานกับเครื่องอ่านการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ย่านความถี่ 2.45 GHz นอกจากนี้ยังได้สร้างสวิตช์ความถี่วิทยุเพื่อต่อกับสายอากาศโดยตั้งในทิศทางการแพร่กระจายคลื่นที่แตกต่างกันและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานของสวิตช์ความถี่วิทยุ เพื่อให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานได้ตามความต้องการ

ABSTRACT

Presently, the radio frequency identification (RFID) influence everyday life in term of logistic, communication and medical profession so there is development of RFID for a wide range of both software and hardware in order to apply with various field. This project presents the design and construction of array antenna two element, to be use with RFID reader readers at frequency 2.45 GHz also has a RF Switch to connect with antenna, set the direction of wave propagation that different and uses microcontroller for control the RF Switch to suit the application requirements.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การสื่อสารของระบบ RFID	3
2.1.1 องค์ประกอบของ RFID	3
2.1.1.1 ทรานสปอนเดอร์หรือแท็ก	4
2.1.1.2 เครื่องอ่านหรือเขียนข้อมูล	6
2.1.2 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ RFID	8
2.1.3 ความถี่การใช้งานในระบบ RFID	8
2.2 การประยุกต์ใช้งานระบบ RFID ย่านความถี่ไมโครเวฟ	9
2.2.1 อุตสาหกรรมรถยนต์	10
2.2.2 ทางด่วน	10
2.2.3 อุตสาหกรรมการผลิต	10
2.3 ปัญหาของระบบ RFID ในปัจจุบัน	11
2.3.1 ปัญหาระยะทางในการสื่อสาร	11
2.3.2 ปัญหาการแทรกสอดของสัญญาณ	11
2.3.3 ปัญหาการแพร่กระจายคลื่นในสภาวะแวดล้อมต่างๆ	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4	คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	12
2.4.1	บริเวณสนามของสายอากาศ	12
2.4.2	ลักษณะการแพร่กระจายคลื่น	13
2.4.3	โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	14
2.5	พารามิเตอร์ของสายอากาศ	14
2.5.1	อัตราขยาย	15
2.5.2	อินพุตอิมพีแดนซ์	16
2.6	สายอากาศ	17
2.6.1	สายอากาศที่มีโพลาริเซชันแบบเชิงเส้น	17
2.6.2	สายอากาศที่มีการโพลาริเซชันแบบวงกลม	17
2.6.3	สายอากาศแบบไมโครสตริป	17
2.6.4	สายอากาศแผ่นชนิดวงกลมแบบไมโครสตริป	20
บทที่ 3	การออกแบบและการจัดทำปฏิยานุพันธ์	24
3.1	โครงสร้างของเครื่องอ่าน RFID	24
3.1.1	โครงสร้างเครื่องอ่าน RFID	24
3.1.2	การทำงานของเครื่องอ่าน RFID ที่ทำการพัฒนา	28
3.1.3	วงจรมicrocontroller (PIC18F458)	29
3.1.4	วงจร RF switch	31
3.1.5	วงจร Max 232	32
3.1.6	วงจรรวม	33
3.2	การออกแบบสายอากาศแบบแผ่นไมโครสตริป	35
3.2.1	ขั้นตอนการคำนวณและออกแบบแผ่นตัวนำ (patch)	35
3.2.2	การคำนวณและออกแบบตัวป้อนสัญญาณ และ Power combiner	38
3.3	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	46
3.3.1	การวัดค่าความสูญเสียย้อนกลับ	46
3.3.2	การวัดอัตราขยาย	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.3 การวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	46
3.4 การจัดเก็บผลการทดลอง	47
3.4.1 การวัดค่าความสูญเสียย้อนกลับ	47
3.4.2 การวัดอัตราขยาย	47
3.4.3 การวัดแบบรูปการแผ่คลื่น	47
3.4.4 การวัดผลการทดลองการนำสายอากาศมาใช้กับเครื่องอ่าน	48
บทที่ 4 ผลการทดลอง	49
4.1 การสร้างและทดสอบคุณสมบัติสายอากาศ	49
4.1.1 อัตราขยาย	51
4.1.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ	52
4.2 การวัด แบบรูปการแพร่คลื่นในห้องไร้การสะท้อน	55
4.2.1 แบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศไมโครสตริปแบบแถวลำดับ	57
4.2.2 แบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศโมนโพล	60
4.3 กำลังงานรับต่อระยะทาง	61
4.4 RF Switch	62
4.5 วงจร	63
4.5.1 วงจร MAX 232	63
4.5.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์	65
4.5.3 จอแสดงผล LCD	66
4.6 ผลการทดสอบกำลังงานส่งของเครื่องอ่าน	67
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	68
5.1 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ	68
5.2 สรุปผลการทดลอง	68
5.3 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	69

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3.1 ปัญหา	69
5.3.2 แนวทางแก้ไข	70
5.4 แนวทางการพัฒนา	70
บรรณานุกรม	71



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 การทำงานของระบบ RFID	4
2.2 ลักษณะของแท็กแบบแอกทีฟ	5
2.3 ลักษณะของแท็กแบบพาสซีฟ	6
2.4 รูปแบบโครงสร้างภายในเครื่องอ่าน	7
2.5 ตัวอย่างเครื่องอ่าน RFID	7
2.6 สเปกตรัมการใช้งานย่านความถี่	9
2.7 การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	12
2.8 บริเวณสนามของสายอากาศ	13
2.9 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลกับสายอากาศไอโซทรอปิก	15
2.10 (ก) ป้าย RFID ที่ใช้สายอากาศแบบไดโพล และ (ข) วงจรสมมูลของ (ก)	16
2.11 ตัวอย่างลักษณะสายอากาศแบบไมโครสตริป	18
2.12 โครงสร้างการต่อกันของสายอากาศแบบไมโครสตริป	19
2.13 โครงสร้างของสายอากาศแผ่นชนิดวงกลมแบบไมโครสตริป	20
3.1 องค์ประกอบของระบบ RFID	24
3.2 องค์ประกอบของเครื่องอ่าน RFID	25
3.3 วงจรควบคุมของเครื่องอ่าน RFID	25
3.4 วงจรความถี่สูงของเครื่องอ่าน RFID ความถี่ 2.45 GHz	26
3.5 สัญลักษณ์ทางวงจรของภาคความถี่สูง	27
3.6 โพล์ซาร์ตของการทำงานของเครื่องอ่าน RFID	28
3.7 การทำงานของเครื่องอ่าน RFID	29
3.8 วงจร Microcontroller (PIC18F458)	30

สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 วงจร RF switch และพอร์ตที่ใช้งาน	31
3.10 วงจร Max 232	32
3.11 วงจรรวมของระบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่สามารถเคลื่อนที่ทิศทางของสายอากาศได้	33
3.12 แสดงโฟลว์ชาร์ตในการทำงานของเครื่องอ่าน RFID ใหม่	34
3.13 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป	38
3.14 การทำ Insert feed ในสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป	38
3.15 ลักษณะของ Power combiner	40
3.16 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแผ่นแฉกลำดับแบบไมโครสตริป	44
3.17 แบบรูปการแพร่คลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ที่มุม เท่ากับ 0 องศาของสายอากาศ	45
3.18 S ₁₁ คุณสมบัติของสายอากาศแผ่นแฉกลำดับแบบไมโครสตริป	45
4.1 สายอากาศแผ่นแบบแฉกลำดับที่สร้างขึ้น	51
4.2 ผลที่ได้จากการจำลองค่าการสูญเสียย้อนกลับ	52
4.3 S ₁₁ คุณสมบัติของสายอากาศแผ่นแฉกลำดับแบบไมโครสตริปที่สร้างขึ้น	53
4.4 S ₁₁ คุณสมบัติของสายอากาศโมโนโพล	54
4.5 การจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ	55
4.6 แบบจำลองการทดสอบของแผ่คลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ ที่มุม θ เท่ากับ 0°	56
4.7 แบบจำลองการทดสอบของแผ่คลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ที่มุม ϕ เท่ากับ 0°	56
4.8 การทดสอบแบบรูปการแผ่คลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ ที่มุม θ เท่ากับ 0°	57
4.9 แบบรูปการแผ่คลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ที่มุม ϕ เท่ากับ 0°	59
4.10 การทดสอบแบบรูปการแผ่คลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ ที่มุม θ เท่ากับ 0°	60
4.11 แบบรูปการแผ่คลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ที่มุม ϕ เท่ากับ 0°	60

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 เปรียบเทียบกำลังงานต่อระยะทางของสายอากาศอาร์เรย์กับสายอากาศโมโนโพล	61
4.13 วงจร RF Switch	62
4.14 สเปคตรัมของ RF Switch	63
4.15 วงจร MAX232 และ วงจรแปลงไฟ 5 โวลต์	63
4.16 สัญญาณที่ได้จากการวัดสัญญาณที่ได้จากวงจร MAX232	64
4.17 PIC18F458 กับ LCD	65
4.18 จอแสดงผลเมื่อ RF Switch ใช้งานทางด้านขวา	66
4.19 จอแสดงผลเมื่อ RF Switch ใช้งานทางด้านซ้าย	66
4.20 จอแสดงผลเมื่อ RF Switch ไม่มีการใช้งาน	67

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แอปพลิเคชันการใช้งาน	10
4.1 ค่าของลอจิกที่ป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์	65
4.2 ผลการทดสอบกำลังงานส่งของเครื่องอ่าน	67



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ (Radio frequency identification : RFID) เป็นเทคโนโลยี ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายไปทั่วโลก โดยนำไปประยุกต์ใช้ในหลากหลายด้าน เช่น การขนส่งในอุตสาหกรรม ห้างสรรพสินค้า การคมนาคม เป็นต้น ซึ่งจะเพิ่มความสะดวกและความรวดเร็วให้กับระบบดังกล่าว แต่ในปัจจุบันก็ยังมีปัญหาด้านการใช้งานอยู่ เช่น ปัญหาด้านการชนกันของเครื่องอ่าน ปัญหาทางด้านระยะทางของการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและแท็กและปัญหาอัตราข้อมูลหรือความเร็วในการสื่อสารและการแทรกสอดของสัญญาณรบกวน ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากคุณลักษณะของการจัดการทางอุปกรณ์ของเครื่องอ่านหรือแท็ก และที่สำคัญคือสายอากาศและทิศทางการแพร่กระจายคลื่นของเครื่องอ่าน ไปยังแท็ก เพื่อให้เครื่องอ่านมีความยืดหยุ่นสูงต่อการใช้งานและรองรับการทำงานได้หลากหลาย ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้ทำการพิจารณาโครงสร้างทางสายอากาศใหม่ของเครื่องอ่าน เพื่อความเหมาะสมกันในแต่ละการใช้งาน โดยคำนึงถึงความยืดหยุ่นของเครื่องอ่าน ราคา กำลังงาน และประสิทธิภาพของสายอากาศ ทั้งนี้ได้สร้างสายอากาศต้นแบบเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาโครงสร้างของสายอากาศอัจฉริยะ (Smart antenna) ด้วยการใช้หลักการสวิตช์빔 (Switch beam) ปรับทิศทางการแพร่กระจายคลื่น โดยพิจารณาสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปที่ง่ายต่อการออกแบบและราคาถูกมาใช้ในการทำโครงการและวิจัย จากนั้นวิเคราะห์สัญญาณจากการวัดจริง ด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector network analyzer : VNA) ซึ่งเป็นแนวทางการพัฒนาต่อเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นให้เครื่องอ่านในการรับส่งข้อมูล

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาเทคโนโลยี RFID ที่ย่านความถี่ 2.45 GHz เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาศักยภาพของเครื่องอ่าน
- 2) ศึกษาออกแบบและสร้างสายอากาศแผ่นแถวลำดับแบบไมโครสตริป ย่านความถี่ 2.45 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศแผ่นไมโครสตริปที่นำมาใช้ในการรับ-ส่งสัญญาณให้มีทิศทางดีขึ้นหรือใหม่ ของเครื่องอ่าน RFID
- 4) ประเมินผลการศึกษาและการทดสอบคุณสมบัติของเครื่องอ่าน RFID ตลอดจนการสรุปผลนำเสนอปริญญาโท

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ทำการศึกษาโครงสร้างเครื่องรับ-ส่ง และคุณลักษณะต่างๆของเครื่องอ่าน เพื่อเป็นแนวทางพัฒนาการปรับปรุงระบบการรับ-ส่งสัญญาณของเครื่องอ่าน ทำการแสดงผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของ RF front end โดยการออกแบบและสร้างสายอากาศแผ่นแฉวลำดับแบบไมโครสตริป เพื่อปรับเปลี่ยนชนิดและทิศทางการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศส่ง จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลทางสัญญาณ เปรียบเทียบกับสายอากาศแบบเดิมและทำการประเมินผลการทดลองรวมถึงสรุปผลของโครงการ

บทที่ 2

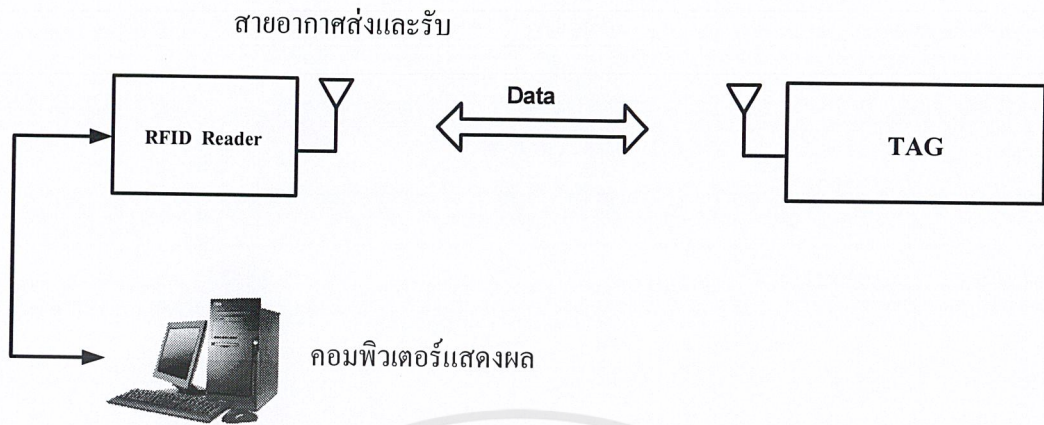
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยีระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ (Radio frequency identification : RFID) เป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบันและในอนาคต สำหรับประเทศไทยมีการรองรับการอนุญาตใช้งาน ได้ทั้งความถี่ต่ำและย่านความถี่สูงยิ่งทั้งในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม สำหรับงานวิจัยหลายๆงานวิจัยได้ให้ความสำคัญในการใช้งานย่านความถี่ไมโครเวฟ ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ไม่ต้องขออนุญาต สำหรับภาคอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์และการแพทย์ สามารถนำมาศึกษาและวิจัยต่างๆได้ ทั้งนี้หากกล่าวถึง โครงสร้างระบบการทำงานต่างๆทางซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ มีการพัฒนาศักยภาพของเครื่องอ่านซึ่งถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของระบบในการรับ-ส่งข้อมูลข่าวสารกับแท็ก ทั้งนี้ทั้งนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดการทำงาน โครงสร้างและอื่นๆของเทคโนโลยี RFID รวมถึงการประยุกต์ใช้งาน รวมทั้งทฤษฎีพื้นฐานทางสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป

2.1 การสื่อสารของระบบ RFID

2.1.1 องค์ประกอบของ RFID

ระบบ RFID จะมีองค์ประกอบหลักอยู่สองส่วน โดยส่วนแรกคือทรานสปอนเดอร์หรือแท็ก (Transponder/Tag) ที่ใช้ติดกับวัตถุต่างๆที่ต้องการ โดยแท็กจะบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้นๆไว้ ส่วนที่สองคือ เครื่องสำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในแท็กด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Interrogator/Reader) โดยการทำงานนั้นเครื่องอ่านจะทำหน้าที่จ่ายกำลังงานในรูปคลื่นความถี่วิทยุให้กับตัวบัตรทำให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในสามารถส่งข้อมูลเฉพาะที่แสดงถึง "Identity" กลับมาประมวลผลที่ตัวอ่านได้



รูปที่ 2.1 การทำงานของระบบ RFID

2.1.1.1 ทรานสปอนเดอร์หรือแท็ก (Transponder / Tag)

แท็ก (Tag) นั้นเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าทรานสปอนเดอร์ (Transponder) แท็กจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณหรือข้อมูลที่บันทึกอยู่ในแท็ก ตอบสนองไปที่ตัวอ่านข้อมูล เป็นการสื่อสารกัน โดยอาศัยช่องความถี่วิทยุผ่านอากาศ โครงสร้างภายในแท็กจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ ส่วนของไอซีซึ่งเป็นชิปสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor chip) และส่วนของขดลวด ซึ่งทำหน้าที่เป็นเสาอากาศสำหรับรับและส่งข้อมูล โดยทั้งสองส่วนนี้จะเชื่อมต่ออยู่ด้วยกัน ไอซีของแท็กที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กมากจนแทบไม่สามารถมองเห็นหรือไปจนถึงขนาดใหญ่ ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปโครงสร้างภายในส่วนที่เป็น ไอซีของแท็กนั้น จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่

ส่วนของการควบคุมภาครับ-ส่งสัญญาณวิทยุ สำหรับ โครงสร้างของส่วนนี้ ก็จะประกอบด้วยภาคติมอดูเลตและภาคมอดูเลตสำหรับรับส่งข้อมูล ระหว่างแท็กกับตัวเครื่องอ่าน และวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

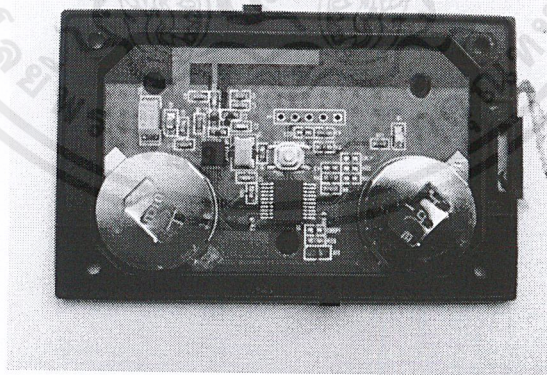
ส่วนของการควบคุมภาคดิจิทัลซึ่งมีหน้าที่จัดการเกี่ยวกับกระบวนการทางดิจิทัลทั้งหมด โครงสร้างหลักๆ ของส่วนการทำงานนี้ จะประกอบไปด้วย ส่วนบันทึกข้อมูล ซึ่งประกอบด้วยหน่วยความจำแรม (RAM) , รม (ROM) , อีอีพรอม (EEPROM) ส่วนของการเข้ารหัส (Crypts unit) ส่วนตอบรับสัญญาณร้องขอ (Answer to request) ส่วนควบคุมและประมวลผลด้านทางคณิตศาสตร์ (Control & arithmetic unit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แท็กที่มีการใช้งานกันอยู่นั้นจะมีอยู่ 2 ชนิดใหญ่ๆ โดยแต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันในเรื่องของการใช้งาน ราคา โครงสร้างและหลักการทำงานอยู่ ซึ่งสามารถแยกออกเป็นหัว 2 ข้อ ดังนี้

1) แท็กชนิดแอกทีฟ

แท็กชนิดนี้จะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟ จากแบตเตอรี่ภายนอก เพื่อใช้จ่ายพลังงานให้กับวงจรภายในทำงานเราจะสามารถทั้งอ่านและเขียนข้อมูล ลงในแท็กชนิดนี้ได้ และการที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้แท็กชนิดแอกทีฟ มีอายุการใช้งานจำกัด เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำแท็กไปทิ้ง ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ถ้าเราสามารถออกแบบวงจรของแท็กให้กินกระแสไฟน้อยๆ ก็อาจจะ มีอายุการใช้งานนานนับสิบปี โดยแท็กชนิดนี้สามารถมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกกะไบต์ และยังสามารถอ่านข้อมูลได้ระยะไกลสูงสุดประมาณ 10 เมตร ซึ่งไกลกว่าแท็กชนิดพาสซีฟอีกทั้งยังมีกำลังส่งสูงกว่า และยังสามารถทำงาน ในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดีอีกด้วย แม้ว่าแท็กชนิดนี้จะมีข้อดีอยู่ในหลายๆ ส่วน แต่ก็มีข้อเสียด้วยเช่นกัน คือ มีราคาต่อหน่วยแพงและมีขนาดค่อนข้างใหญ่

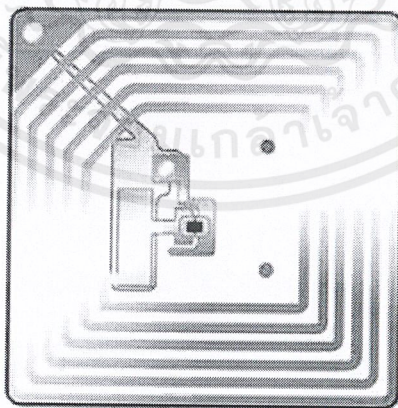


รูปที่ 2.2 ลักษณะของแท็กแบบแอกทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) แท้กชนิดพาสซีฟ

แท้กชนิดนี้ไม่จำเป็นต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากภายนอกใดๆ เพราะภายในแท้ก จะมี วงจรกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาดเล็ก เป็นแหล่งจ่ายไฟในตัว ทำให้การอ่านข้อมูลนั้นทำได้ในระยะ อ่านสูงสุดประมาณ 1 เมตร โดยจะขึ้นอยู่กับความแรงของเครื่องส่งและคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ โดยปกติแล้วแท้กชนิดนี้มักมีหน่วยความจำขนาดเล็ก โดยทั่วไปประมาณ 16 ถึง 1,024 ไบต์เท่านั้น และด้วยความที่แท้กชนิดนี้ ไม่มีแบตเตอรี่ภายในจึงทำให้มีน้ำหนักเบากว่าแท้กชนิดแอคทีฟ ราคาต่ำกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือ ตัวอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวสูงและมักมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อม ที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ด้วยข้อได้เปรียบในเรื่องราคาและอายุการใช้งานทำให้แท้กชนิดพาสซีฟนี้เป็นที่นิยมมากกว่า มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็ก จนแทบไม่สามารถมองเห็นได้จนไปถึงขนาดใหญ่ ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมตามลักษณะของการใช้งานที่แตกต่างกันไป โดยทั่วไปโครงสร้างภายในส่วนที่เป็นไอซีของแท้กนั้นจะประกอบด้วย ส่วนหลักๆ 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนควบคุมการทำงานของภาครับส่งสัญญาณวิทยุ (Analog front-end) ส่วนควบคุมภาคลอจิก (Digital control unit) ส่วนของหน่วยความจำ (Memory) ซึ่งอาจจะเป็นแบบ ROM หรือ EEPROM



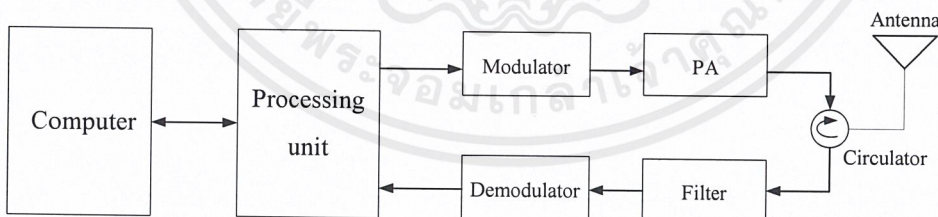
รูปที่ 2.3 ลักษณะของแท้กแบบพาสซีฟ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 เครื่องอ่านหรือเขียนข้อมูล (Interrogator / Reader)

หน้าที่ของเครื่องอ่านก็คือ การเชื่อมต่อหรือเขียนข้อมูลลงในแท็ก ด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ นอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่น ในกรณีที่แท็กถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรือ อยู่ในระหว่างการรับส่ง ก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากแท็กซ้ำอยู่เรื่อยๆ ไม่สิ้นสุด ดังนั้นตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีระบบป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้ที่เรียกว่าระบบ "Hands down polling" โดยตัวอ่านข้อมูล จะสั่งให้แท็กหยุดการส่งข้อมูลในกรณีเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว หรืออาจมีบางกรณีที่มีแท็กหลายๆแท็ก อยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกัน หรือที่เรียกว่า "Batch reading" ตัวอ่านข้อมูลควรมีความสามารถที่จะจัดลำดับการอ่านแท็กทีละตัวได้ ซึ่งการที่จะชี้เฉพาะระบุตัวแท็กนั้น เป็นระบบอัตโนมัติ (Automatic identification) ดังแสดงโครงสร้างภายในของเครื่องอ่านในรูปแบบที่ 2.4 โครงสร้างภายในประกอบด้วยส่วนหลักๆดังนี้

- ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ
- ภาครับสร้างสัญญาณพาหะ
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ
- วงจรจูนสัญญาณ
- หน่วยประมวลผลข้อมูล และภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.4 รูปแบบโครงสร้างภายในเครื่องอ่าน

โดยทั่วไปหน่วยประมวลผลข้อมูลที่อยู่ในเครื่องอ่านมักเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ภายในโปรแกรม จะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล (Decoding) ที่ได้รับ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยลักษณะ ขนาด และรูปร่างของเครื่องอ่านจะแตกต่างกันไปตามประเภท

ของการใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็ก หรือแบบติดผนัง จนไปถึงขนาดใหญ่เท่าประตู (Gate size) เป็นต้น



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างเครื่องอ่าน RFID [2]

2.1.2 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ RFID

- 1) ตัวอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา และคอยตรวจจับว่ามีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ การคอยตรวจจับว่ามีการมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่
- 2) เมื่อมีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แท็กจะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้แท็กเริ่มทำงาน และจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในแท็ก
- 3) คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากแท็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด , ความถี่ หรือเฟส ขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต
- 4) ตัวอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูลแล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ความถี่การใช้งานในระบบ RFID

ในปัจจุบันย่านความถี่ที่ใช้งานกันในระบบ RFID จะอยู่ในย่านความถี่ ISM (Industrial-scientific-medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดในการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสาร โดยทั่วไป โดยมี 3 ย่านความถี่ใช้งาน คือ สำหรับคลื่นพาหะที่ใช้กันในระบบ RFID อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ย่านหลักๆ ได้แก่

- ย่านความถี่ต่ำ (Low frequency : LF) ต่ำกว่า 150 KHz
- ย่านความถี่สูง (High frequency : HF) 13.56 MHz
- ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra high frequency : UHF) 433/868/915 MHz



รูปที่ 2.6 สเปกตรัมการใช้งานย่านความถี่ [3]

ส่วนย่านความถี่สูงยิ่งจะถูกใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล (UHF ระยะอ่านประมาณ 1 – 10 เมตร) เช่นระบบเก็บค่าบริการทางด่วน ซึ่งในปัจจุบัน ระบบ RFID กำลังถูกวิจัย และพัฒนาในย่านความถี่ไมโครเวฟที่ความถี่ 2.45 GHz และความถี่ 5.8 GHz เพื่อใช้งานที่ต้องการอ่านในระยะไกลกว่า 10 เมตร

ตารางที่ 2.1 แอปพลิเคชันการใช้งาน

ย่านความถี่	คุณลักษณะ	การใช้งาน
ย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.45 GHz	<ul style="list-style-type: none"> - ระยะการรับส่งข้อมูลไกล (10 เมตร) - ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง - แพร่กระจายคลื่นด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า - ความแม่นยำสูง 	<ul style="list-style-type: none"> - ทางกายภาพ - ระบบเก็บค่าผ่านทาง - อุตสาหกรรม Logistic - Access control การเข้าออกสถานที่

2.2 การประยุกต์ใช้งานระบบ RFID ย่านความถี่ไมโครเวฟ

เราสามารถนำระบบ RFID ไปใช้งานได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นการขนส่งในอุตสาหกรรมการผลิต การค้าหรือการบริการต่างๆซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลที่ต้องการได้เช่นบันทึกเวลาทำงานของพนักงาน เก็บเงินค่าใช้บริการทางด่วน หรือระบบกันขโมยรถยนต์ แต่การพิจารณานำระบบ RFID มาใช้งานยังต้องคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ ในการใช้งานไม่ว่าจะเป็นเรื่องสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในสภาพแวดล้อม หรือกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับระเบียบการใช้คลื่นความถี่วิทยุและกำลังส่งของแต่ละประเทศ โดยการนำเทคโนโลยี RFID ไปใช้งานมีตัวอย่างดังต่อไปนี้

2.2.1 อุตสาหกรรมรถยนต์

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี RFID กับอุตสาหกรรมรถยนต์มีงานหลัก ๆ คือ การติดตามส่วนประกอบรถยนต์ ก็จะประกอบไปด้วย การบริหารสินค้าคงคลัง การประกอบรถยนต์ การป้องกันการขโมย การยืนยันความถูกต้องของตัวสินค้าว่าเป็นของแท้ไม่ได้มีการทำลอกเลียนแบบ การบำรุงรักษา และการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) อีกด้านหนึ่งในส่วนของการประยุกต์ใช้กับตัวรถยนต์ ก็จะให้ความสำคัญในเรื่อง การแสดงตัวของรถยนต์แต่ละคัน การอนุญาตการเข้า-ออก(การฝัง RFID ไว้กับกุญแจ หรือคีย์การ์ดสำหรับเปิดประตูรถ) และการติดตามวัดแรงดันของยางรถยนต์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ทางด่วน

ในบางประเทศก็มีการใช้ระบบ RFID ในการเก็บค่าผ่านทางด่วนโดยที่ผู้ใช้บริการทางด่วนไม่ต้องหยุดรถเพื่อจ่ายค่าบริการ ผู้ใช้บริการทางด่วนจะมีแท็กติดอยู่กับรถ และแท็กจะทำการสื่อสารกับตัวอ่านข้อมูล ผ่านสายอากาศขนาดใหญ่ที่ติดตั้งอยู่ตรงบริเวณทางขึ้นทางด่วน ในขณะที่รถแล่นผ่านสายอากาศ ตัวอ่านข้อมูลก็จะคิดค่าบริการและบันทึกจำนวนเงินที่เหลือลงในแท็กโดยอัตโนมัติ

2.2.3 อุตสาหกรรมการผลิต

ในอุตสาหกรรมการผลิต และการจัดการ โลจิสติกส์ทุกวันนี้มีการใช้ RFID มากในสายการผลิต ระบบสายพานลำเลียง การผลิตเชิงอุตสาหกรรม คลังวัสดุ/สินค้า โลจิสติกส์ การจำหน่าย การทดสอบ และการขนส่ง ระบบ RFID มักจะถูกใช้งานด้วยวัตถุประสงค์ต่าง ๆ คือ

- 1) เพื่อให้ถึงจุดที่ได้ผลดีที่สุดสำหรับการไหลของวัสดุและโลจิสติกส์
- 2) เพื่อการผลิตที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมหนักที่มีสภาพแวดล้อมรุนแรงและอากาศปนเปื้อน เช่น การทำตัวถังรถยนต์ การพ่นสี และการประกอบชิ้นสุดท้ายในสายการผลิตรถยนต์ สายการผลิตเครื่องยนต์ ชุดเกียร์ ชุดพวงมาลัย ระบบเบรก ประตูดึงลมนิรภัย และแผงหน้าปัด สำหรับคนขับ และอุตสาหกรรมอื่น ๆ มีอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า อุตสาหกรรมแก้วและเซรามิก เป็นต้น
- 3) เพื่อการจำหน่ายสินค้า การขนส่ง และโลจิสติกส์สำหรับคลังสินค้า เช่น ในงานส่งเอกสารคลังสินค้ารวมถึงการรับใบสั่งของ การซื้อตัวตู้คอนเทนเนอร์หรือเรือที่ขนส่ง การซื้อตัวรถขนส่ง เพallet หีบห่อ หรือ ตู้คอนเทนเนอร์บรรจุน้อย การควบคุมการบรรจุและการจัดจำหน่ายด้วยบันทึกนำส่งทางอิเล็กทรอนิกส์ การซื้อตัวชิ้นส่วนสำหรับสิ่งทอ และเครื่องนุ่งห่ม และอื่น ๆ รวมถึงการส่งหีบห่อและการติดตาม เป็นต้น

2.3 ปัญหาของระบบ RFID ในปัจจุบัน

2.3.1 ปัญหาระยะทางในการสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องด้วยข้อจำกัดทางการผลิตและพัฒนาศักยภาพในการรับส่งสัญญาณระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กยังไม่ตอบสนองความต้องการและประสิทธิภาพได้ดีพอต่อผู้บริโภค ปัจจัยสำคัญต่อการสื่อสารและรับ-ส่งสัญญาณนั้นคือ สายอากาศ ระยะทาง ความเร็วในการรับส่งขึ้นอยู่กับสายอากาศที่นำมาใช้งาน สายอากาศที่ใช้กับเครื่องอ่านหรือแท็กในปัจจุบันถูกออกแบบมาเพื่อลดต้นทุนการผลิต และประสิทธิภาพต่ำ ทำให้รับ-ส่งสัญญาณได้ในระยะใกล้ ในกรณีการนำสายอากาศที่มีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางมาใช้งานนั้นง่ายต่อการติดตั้ง แต่ระยะทางไม่ได้ไกลมากนักหากนำมาใช้ในบริเวณที่มีเครื่องอ่านที่ต้องติดตั้งใกล้กันอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของสัญญาณระหว่างกันได้เช่นกัน

2.3.2 ปัญหาการแทรกสอดของสัญญาณ

ต่อเนื่องกับปัญหานี้ส่งผลกระทบต่ออย่างยิ่งต่อการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับแท็ก โดยแท็กที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ซ้อนทับกันของสัญญาณเครื่องอ่านระหว่างกัน อาจไม่สามารถเลือกได้ว่าจะต้องส่งสัญญาณข้อมูลไปยังเครื่องอ่านตัวไหน หรือส่งไปยังทั้งสองตัวซึ่งก็อาจจะเกิดปัญหาตามมาคือ การชนกันของข้อมูลก็เป็นได้ หรือการแทรกสอดระหว่างเครื่องอ่านด้วยกันเองก็อาจเกิดปัญหาความผิดเพี้ยนจากอินเทอร์มอดูเลชัน (Intermodulation distortion) จากการรับสัญญาณของเครื่องอ่านก็เป็นได้

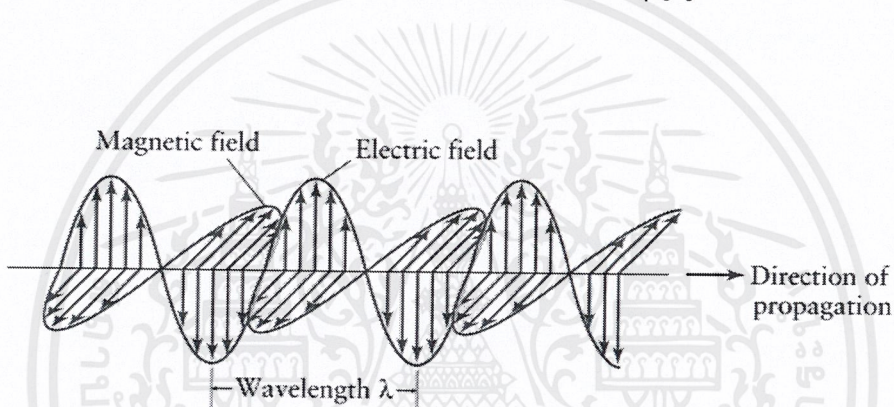
2.3.3 ปัญหาการแพร่กระจายคลื่นในสถานะแวดล้อมต่างๆ

เนื่องด้วยการติดตั้งเครื่องอ่านจะต้องคำนึงถึงทิศทางการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศด้วยเช่นกัน เพื่อลดปัญหาการซ้อนทับกันของสัญญาณ อาจพิจารณาสายอากาศที่มีคุณลักษณะการแพร่กระจายมีทิศทางที่ดีขึ้น อาจเพิ่มระยะทาง และลดปัญหาการแทรกสอดได้ในระดับหนึ่ง รวมถึงปัญหาการจางหายของคลื่นอันเนื่องมาจากทิศทางหลายวิถีของคลื่นที่เดินทางมาถึงภาครับ ซึ่งก็เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา ทั้งในสถานะแวดล้อมภายในและภายนอกอาคาร เป็นต้น

เพราะฉะนั้นปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้ด้วยหลักการหลายๆวิธี ไม่ว่าจะเป็นการใช้สายอากาศแบบลำดับแถว (Array) ในการเพิ่มอัตราการขยายของสัญญาณ การใช้เทคนิคที่เรียกว่า ไดเวอร์ซิตี (Diversity technique) รวมถึงการพัฒนาไปเป็นสายอากาศอัจฉริยะ (Smart antenna)

2.4 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic disturbance) ทำให้สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อสนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กหรือถ้าสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงก็จะเหนี่ยวนำทำให้เกิดสนามไฟฟ้า คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง ประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่มีการสั่นในแนวตั้งฉากกันและอยู่บนระนาบตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นตามรูปที่ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ในสุญญากาศได้



รูปที่ 2.7 การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [4]

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเดินทางด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสงในที่ว่าง (Free space) คือ $c = 3 \times 10^8$ เมตร/วินาที สอดคล้องกับความสัมพันธ์ $c = f\lambda$ นอกจากนี้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ออกไปอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกดูดทอนจากปัจจัยภายนอกทั้งหมด

2.4.1 บริเวณสนามของสายอากาศ

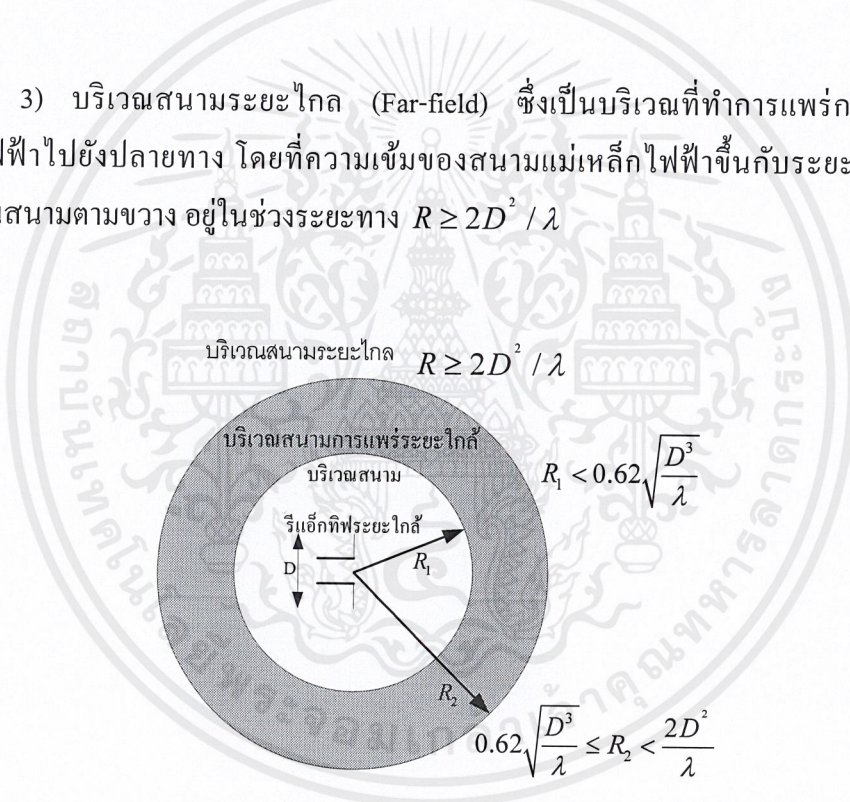
บริเวณที่ล้อมรอบสายอากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 บริเวณตามรูปที่ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) บริเวณสนามรีแอ็กทีฟระยะใกล้ (Reactive near-field) เมื่อ R คือระยะทางจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศไปยังจุดที่กำลังพิจารณาและ D คือความยาวของสายอากาศ อยู่ในช่วงระยะทาง $R < 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$

2) บริเวณสนามการแผ่ระยะใกล้ (Radiating near-field) เป็นบริเวณที่มีสนามการแผ่อยู่เป็นส่วนใหญ่ โดยความเข้มของการแผ่จะแปรผันตามระยะทางจากสายอากาศไปยังจุดที่สนใจ สายอากาศมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น บริเวณสนามการแผ่ระยะใกล้นี้จะไม่เกิดขึ้น อยู่ในช่วงระยะทาง $0.62\sqrt{D^3/\lambda} \leq R < 2D^2/\lambda$

3) บริเวณสนามระยะไกล (Far-field) ซึ่งเป็นบริเวณที่ทำการแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังปลายทาง โดยที่ความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นกับระยะทาง และมีลักษณะเป็นสนามตามขวาง อยู่ในช่วงระยะทาง $R \geq 2D^2/\lambda$



รูปที่ 2.8 บริเวณสนามของสายอากาศ

เนื่องจากบริเวณสนามระยะไกลเป็นบริเวณที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะไม่ขึ้นกับระยะทาง ในการออกแบบระบบ การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศบนพื้นฐานของสายอากาศที่ทำงานในระยะไกลเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่น

ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

- 1) สายอากาศไอโซทรอปิก (Isotropic radiator) คือสายอากาศที่ถูกสมมุติขึ้นมาเพื่อใช้อ้างอิงในการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ สายอากาศไอโซทรอปิกมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ การแพร่กระจายคลื่นจะเท่ากันในทุกทิศทาง
- 2) สายอากาศแบบชี้ทิศทาง (Directional antenna) เป็นสายอากาศที่มีคุณสมบัติในการส่งและรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีในเฉพาะทิศทางที่กำหนดไว้เท่านั้น
- 3) สายอากาศแบบออมนิไดเรกชันแนล (Omnidirectional antenna) ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบไม่มีทิศทางในระนาบแอสิมัท (Azimuth plane) แต่เป็นแบบชี้ทิศทางในระนาบเอลิเวชัน (Elevation plane) สายอากาศแบบนี้นิยมใช้ในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่

2.4.3 โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เป็นรูปแสดงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกไป ซึ่งใช้ในการอธิบายทิศทางและขนาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่แปรผันตามเวลา รูปแสดงโพลาริเซชันจะแสดงการเปลี่ยนแปลงของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ณ ตำแหน่งที่ทำการสังเกต โดยมองตามหลังการเคลื่อนที่ของคลื่น

การโพลาริเซชันแบ่งเป็น 3 แบบคือ โพลาริเซชันแบบเชิงเส้น (Linear polarization) โพลาริเซชันแบบวงกลม (Circular polarization) และ โพลาริเซชันแบบวงรี (Elliptic polarization) ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเวกเตอร์สนามไฟฟ้า กล่าวคือ ถ้าเวกเตอร์สนามไฟฟ้า ณ จุดใดๆในที่ว่างจะชี้เป็นเส้นตรงเสมอ (แนวนอนหรือแนวตั้ง) เรียกว่าโพลาริเซชันแบบเชิงเส้น แต่ถ้าเวกเตอร์สนามไฟฟ้ามีการหมุนแบบรูปวงกลมจะเรียกว่าโพลาริเซชันแบบวงกลม และถ้าเวกเตอร์สนามไฟฟ้ามีการหมุนแบบรูปวงรีก็จะเรียกว่าโพลาริเซชันแบบวงรี

2.5 พารามิเตอร์ของสายอากาศ

สายอากาศ (Antenna) คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการรับส่ง(หรือการแพร่กระจาย)คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปสายอากาศมีหลายประเภทโดยแต่ละประเภทจะถูกออกแบบให้เหมาะสม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับการใช้งานที่แตกต่างกัน ดังนั้นการออกแบบสายอากาศจึงควรเข้าใจถึงพารามิเตอร์ที่สำคัญของสายอากาศ ได้แก่ อัตราขยาย (Gain) , อินพุตอิมพีแดนซ์ (Input impedance) เป็นต้น

2.5.1 อัตราขยาย

อัตราขยายซึ่งเป็นอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้วัดคุณสมบัติค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) สามารถบอกถึงปริมาณของการแพร่กระจายคลื่น โดยวัดเทียบกับสายอากาศอ้างอิง ซึ่งส่วนใหญ่จะไดโพลขนาด $\frac{\lambda}{2}$ หรือเป็นสายอากาศไอโซทรอปิกที่มีลักษณะการแพร่กระจายรอบทิศทาง

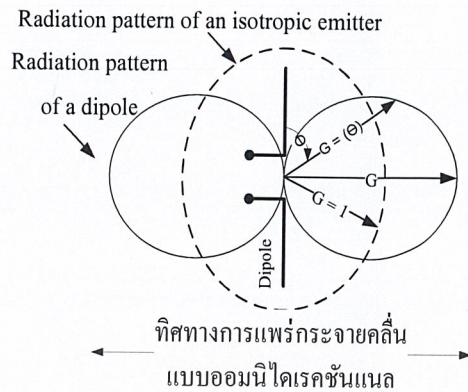
สายอากาศไอโซทรอปิกจะแผ่กำลังงาน P_{EIRP} ไปในที่ว่างทุกทิศทาง โดยที่ความหนาแน่นการแพร่กระจาย W เป็นไปตามสมการ ถ้าทำการหาปริพันธ์ของ W ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วทั้งพื้นผิวทรงกลมก็จะให้ผลลัพธ์คือ

$$P_{EIRP} = \int_{sphere} W dA \quad (2.1)$$

สามารถนำมาใช้การคำนวณกำลังงานการแพร่กระจายของสายอากาศได้ทุกชนิดรูปที่เปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลกับสายอากาศไอโซทรอปิก โดยที่ความยาวเวกเตอร์ $G(\theta)$ บ่งบอกถึงความหนาแน่นการแพร่กระจายสัมพันธ์ในทิศทางของเวกเตอร์นั้น ความหนาแน่นการแพร่กระจายจะมีค่าเท่ากับ

$$W = \frac{PG}{4\pi r^2} \quad (2.2)$$

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.9 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลกับสายอากาศไอโซทรอปิก

เมื่อ G คืออัตราขยายของสายอากาศ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่บอกถึงความหนาแน่นการแพร่กระจาย W ว่ามีค่ามากกว่า W ของสายอากาศไอโซทรอปิกเท่าใด และ P คือกำลังงานที่ป้อนให้กับสายอากาศในการส่งสัญญาณ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ P_{EIRP} คือ

$$P_{EIRP} = PG \quad (2.3)$$

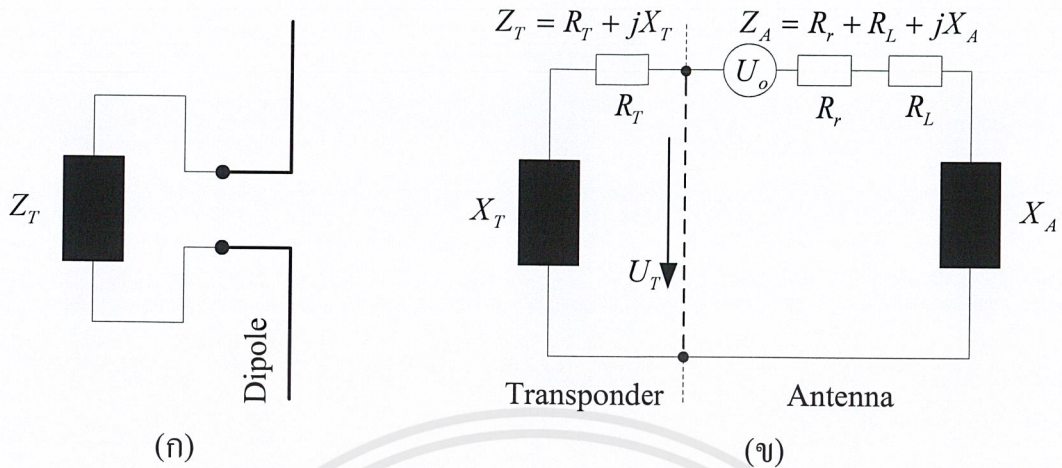
2.5.2 อินพุตอิมพีแดนซ์

การทำงานของสายอากาศสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของวงจรสมมูลได้ตามที่แสดงในรูปที่ 2.10 โดยที่อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ นั่นคือ Z_A มีค่าเท่ากับ

$$Z_A = R_r + R_L + jX_A \quad (2.4)$$

119523

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 (ก) ป้าย RFID ที่ใช้สายอากาศแบบไดโพล และ (ข) วงจรสมมูลของ (ก)

โดยที่ R_r คือความต้านทานการแพร่กระจาย, R_L คือความต้านทานการสูญเสีย และ X_A คือค่ารีแอคแตนซ์ของสายอากาศ

ความต้านทานการแพร่กระจาย R_r ที่อธิบายถึงปริมาณของกำลังงานที่แพร่กระจายออกไปจากสายอากาศในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความต้านทานการสูญเสีย R_L อธิบายถึงกำลังงานที่สูญเสียไปในสายส่ง

ในทางปฏิบัติเมื่อสายอากาศทำงานที่ความถี่การเรโซแนนซ์ f_{RES} ค่ารีแอคแตนซ์ X_A ของสายอากาศจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้นสำหรับสายอากาศที่ไม่มีการสูญเสีย นั่นคือ $R_L = 0$ จะได้ว่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ทำงาน ณ ความถี่การเรโซแนนซ์จะมีค่าเท่ากับ

$$Z_A(f_{RES}) = R_r \quad (2.5)$$

2.6 สายอากาศ

2.6.1 สายอากาศที่มีโพลาริเซชันแบบเชิงเส้น

สายอากาศที่แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีโพลาริเซชันแบบเชิงเส้น ซึ่งแบ่งออกเป็นสองแบบคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) โพลาริเซชันแนวนอน (Horizontal polarization) คือโพลาริเซชันแบบเชิงเส้น โดยที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางในแนวที่ขนานไปกับพื้นดินของผิวโลก

2) โพลาริเซชันแนวตั้ง (Vertical polarization) คือโพลาริเซชันแบบเชิงเส้น โดยที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางในแนวตั้งฉากกับพื้นดินของผิวโลก

จะส่งบีมการแพร่กระจายที่แคบเพื่อเพิ่มระยะการอ่านของป้าย RFID เครื่องอ่านที่ใช้จะอ่อนไหวกับการวางตำแหน่ง ดังนั้นสายอากาศประเภทนี้จึงเหมาะกับการงานประยุกต์ที่ป้าย RFID มีการวางตำแหน่งที่แน่นอน

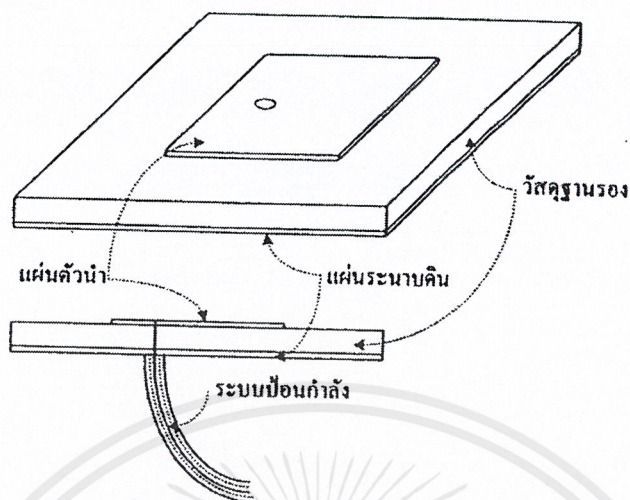
2.6.2 สายอากาศที่มีการโพลาริเซชันแบบวงกลม

สายอากาศที่แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีโพลาริเซชันแบบวงกลม จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบในแนวนอนและในแนวตั้งจาก สายอากาศประเภทนี้จะไม่อ่อนไหวต่อการวางตำแหน่งป้าย RFID ดังนั้นสายอากาศประเภทนี้เหมาะสำหรับการประยุกต์ที่ไม่ทราบการวางตำแหน่งและโพลาริเซชันของป้าย RFID

2.6.3 สายอากาศแบบไมโครสตริป

เริ่มเป็นที่นิยมใช้งานมากในหลายๆงานประยุกต์ใช้ โดยเฉพาะในอุปกรณ์สื่อสารยุคใหม่ที่มีขนาดเล็ก เช่น วงจรรับสัญญาณของ GPS และอุปกรณ์แผ่นในระบบ RFID เป็นต้น

สายอากาศไมโครสตริปที่มีรูปแบบง่ายที่สุดจะประกอบไปด้วยแผ่นวงจรพิมพ์ที่ผ่านการเคลือบทั้งสองด้าน โดยด้านหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นสายดิน และส่วนด้านบนจะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดเล็กที่ด้านหนึ่งต่อเข้ากับจุดป้อนสัญญาณตามรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างลักษณะสายอากาศแบบไมโครสตริป

โดยทั่วไปความยาวของสายอากาศแบบไมโครสตริปจะเป็นตัวกำหนดค่าความถี่กำลังของสายอากาศนั้น ถ้ากำหนดให้ $h_D \leq \lambda$ จะได้

$$L_p = \frac{\lambda}{2} - h_D \quad (2.6)$$

เมื่อค่าความหนาของซับสเตรต h_D จะอยู่ที่ประมาณ 1-2% ของความยาวคลื่น ในขณะที่ความกว้าง W_p จะมีผลกระทบต่อความถี่กำลังของสายอากาศเพียงเล็กน้อย แต่จะเป็นตัวกำหนดค่าความต้านทานการแพร่กระจาย R_L ของสายอากาศ โดยที่ถ้า $W_p < \frac{\lambda}{2}$ จะได้ว่า

$$R_r = \frac{90(\lambda / W_p)^3}{(\epsilon_r + 1) / 2 + (\epsilon_r - 1) \sqrt{4 + (48h_p / W_p)}} \quad (2.7)$$

ในขณะที่ถ้า $W_p > \frac{3\lambda}{2}$ จะได้

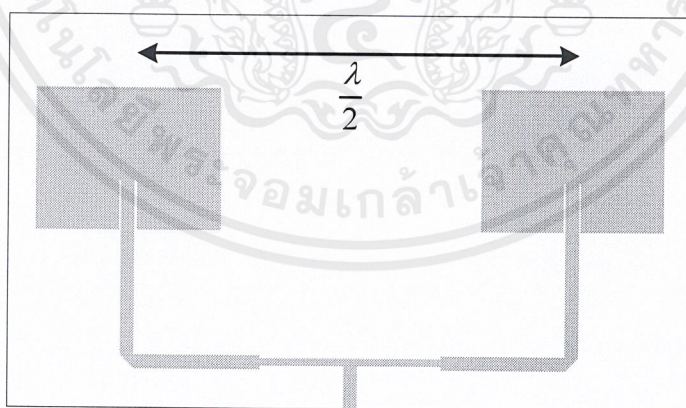
$$R_r = \frac{120\lambda / W_p}{(\epsilon_r + 1) / 2 + (\epsilon_r - 1) \sqrt{4 + (48h_p / W_p)}} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าสายอากาศแบบไมโครสตริปทำงานที่ความถี่กำหนด จะทำให้มุมเฟสที่ขอบด้าน a และ b มีความต่างเฟสเท่ากับ 180° พอดี โดยที่เส้นสนามไฟฟ้าจะเดินทางในเฟสเดียวกัน ณ ขอบด้านขาเข้าและด้านขาออกของแผ่นปะ นอกจากนี้โพลาไรเซชันของสายอากาศนี้จะเป็นเชิงเส้นและมีทิศทางขนานไปตามขอบในแนวนอน และถ้าต้องการให้สายอากาศมีโพลาไรเซชันแบบวงกลมก็สามารถทำได้โดยการกำหนดวงจรจ่ายสัญญาณที่ขอบทั้งสองด้านมีมุมต่างเฟสกัน 90°

รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างการรวมสายอากาศแบบไมโครสตริปให้เป็นกลุ่ม มีผลทำให้อัตราขยายของสายอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น โดยแต่ละตัวมีความยาว $\frac{\lambda}{2}$ และแต่ละตัวห่างกันประมาณ $\frac{\lambda}{2}$ เช่นกัน

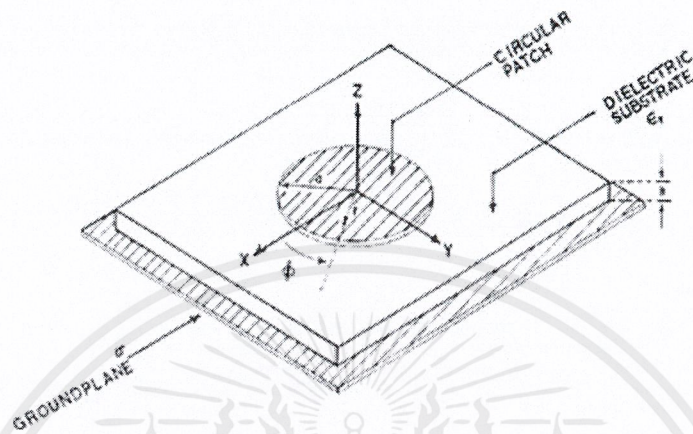
ข้อดีของสายอากาศไมโครสตริปคือ ทุกองค์ประกอบของแถวลำดับและวงจรโครงข่ายการป้อนสัญญาณสามารถที่จะอยู่รวมกันบนด้านเดียวของแผ่นวงจรพิมพ์เป็นจำนวนหลายๆ องค์ประกอบได้ สายอากาศมีลักษณะบาง ดังนั้นสายอากาศชนิดนี้จึงมีประสิทธิภาพสูงมาก ข้อดีอีกประการหนึ่งคือ ความแม่นยำของสายอากาศ เพราะว่าแถวลำดับทั้งหมดถูกสร้างจากส่วนทองแดงเพียงชั้นเดียว เพราะฉะนั้นความถี่ของการเชื่อมต่อกันจึงมีน้อยมาก ข้อจำกัดของสายอากาศไมโครสตริปก็คือมีแถบความถี่ใช้งานที่แคบมาก จึงทำให้สามารถนำไปใช้งานได้เฉพาะความถี่ใดความถี่หนึ่งเท่านั้น



รูปที่ 2.12 โครงสร้างการต่อกันของสายอากาศแบบไมโครสตริป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 สายอากาศแผ่นชนิดวงกลมแบบไมโครสตริป



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของสายอากาศแผ่นชนิดวงกลมแบบไมโครสตริป [5]

จากรูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างของสายอากาศแผ่นชนิดวงกลมแบบไมโครสตริป โดยมีรัศมีของวงกลมเป็น a และจุดป้อนสัญญาณไปตามแกน x ของมุม ϕ เป็น γ จากนั้น n คือความสูงของแผ่นวัสดุฐานรอง และมี ϵ_r เป็นค่าคงที่ของแผ่นวัสดุฐานรอง

คุณลักษณะของสนามไฟฟ้าของสายอากาศลักษณะเขียนเป็นสมการ ดังต่อไปนี้

$$E_z = E_0 J_n(Kr) \cos(n\phi) \quad (2.9)$$

คุณลักษณะของสนามแม่เหล็ก

$$H_r = -\frac{j\omega\epsilon}{k} E_0 J_n(Kr) \sin(n\phi) \quad (2.10)$$

$$H_\phi = -\frac{j\omega\epsilon}{k} E_0 J_n(Kr) \cos(n\phi) \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ K คือ ค่าคงที่ของการแพร่กระจายของไดอิเล็กทริก ซึ่งค่าคงที่ของไดอิเล็กทริก $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$, J_n เป็นฟังก์ชันเบสิก และ ω คือ ความถี่เชิงมุม $= 2\pi f$

ความถี่ โชนเนซของสายอากาศสำหรับแต่ละ TM

$$f_{nm} = \frac{A_{nm} \cdot c}{2\pi a_{\text{eff}} \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.12)$$

โดย a_{eff} เป็นรัศมีประสิทธิผลของแผ่นตัวนำแบบวงกลม สามารถเขียนเป็นสมการดังนี้

$$a_{\text{eff}} = a \cdot \left[1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r} \left(\ln \left\{ \frac{\pi a}{2h} \right\} + 1.7726 \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.13)$$

$\frac{a}{h} \gg 1$

เมื่อ a เป็นรัศมีทางกายภาพของสายอากาศ ดังนี้

$$a = \frac{A_{nm} \cdot c}{2\pi \sqrt{\epsilon_r}} \left[1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r} \left(\ln \left\{ \frac{\pi a}{2f_{nm} h} \right\} + 1.7726 \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.14)$$

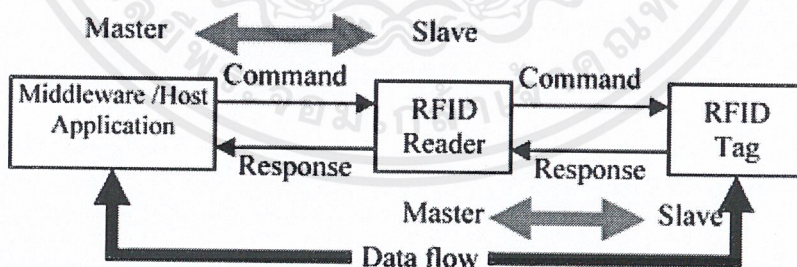
บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปฏิญานិพนธ์

การนำหลักการออกแบบโครงสร้างหรือปรับปรุงทางฮาร์ดแวร์ของเครื่องอ่าน RFID นั้น เป็นความท้าทายใหม่ต่อการประยุกต์ใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสายอากาศเป็นส่วนสำคัญทำให้เครื่องอ่าน RFID มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับ การออกแบบรองรับการประยุกต์ต่อการใช้งาน ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดโครงสร้างของเครื่องอ่าน RFID แบบเดิมกับนำเสนอหลักการสวิตซ์สายอากาศด้วยโปรแกรมการเลือกสายอากาศส่ง รวมทั้งการออกแบบทางสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป

3.1 เครื่องอ่าน RFID

3.1.1 โครงสร้างเครื่องอ่าน RFID

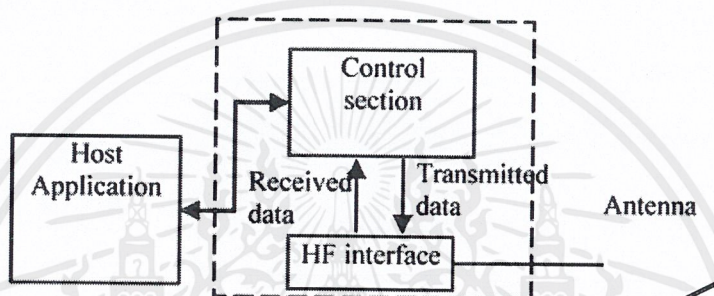


รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของระบบ RFID [6]

จากรูปที่ 3.1 แสดงองค์ประกอบการเชื่อมต่อของระบบการสื่อสาร RFID เครื่องอ่าน RFID เป็นอุปกรณ์ทั้งส่งและรับสัญญาณคลื่นวิทยุจากแท็กในระบบแบบเพสซีฟแท็กจะต้องอาศัย

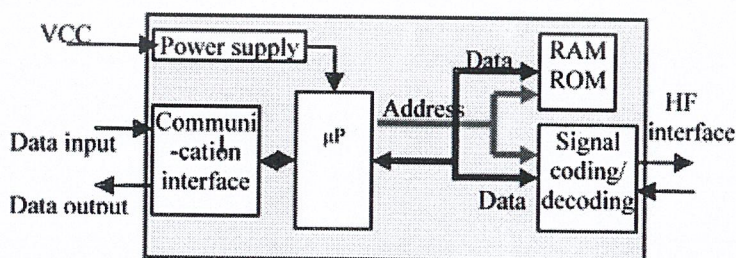
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานจากเครื่องอ่านในการมอดูเลตสัญญาณกลับไปยังเครื่องอ่าน ดังนั้นเครื่องอ่านและแท็กจึงมีความสัมพันธ์จากเปรียบเสมือนเครื่องแม่ข่ายและลูกข่าย เครื่องอ่านจะถูกควบคุมด้วยแอปพลิเคชันทางซอฟต์แวร์หรือเรียกว่า หน่วยประมวลผลและแสดงผล โดยควบคุมด้วยคำสั่งทางซอฟต์แวร์ภาษาเครื่อง ซึ่งหมายความว่าเครื่องอ่านจะสามารถใช้งานได้ก็ต่อเมื่อได้รับคำสั่งจากโปรแกรมในการอ่านและเขียนข้อมูลลงแท็ก



รูปที่ 3.2 องค์ประกอบของเครื่องอ่าน RFID [6]

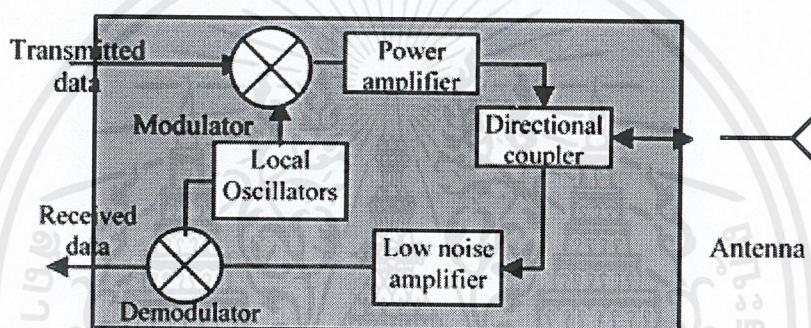
องค์ประกอบของเครื่องอ่าน RFID สามารถแบ่งส่วนของการทำงานได้ 3 ส่วนหลักๆ ดังรูปที่ 2 ได้แก่ ส่วนของภาคการควบคุม (Control section) , ภาคความถี่สูง (High frequency) และภาคของสายอากาศ (Antenna)



รูปที่ 3.3 วงจรควบคุมของเครื่องอ่าน RFID [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.3 แสดงส่วนของภาคการควบคุมข้อมูลในการรับส่งของเครื่องอ่าน RFID ซึ่งต้องอาศัยชิปประมวลผลทางสัญญาณดิจิทัลควบคุมกระบวนการสัญญาณข้อมูลทั้งการส่งและรับจากแท็ก ไม่ว่าจะเป็นการควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณและการป้องกันการชนกันของข้อมูล , การมอดูเลต , การเข้าและถอดรหัสสัญญาณ ข้อมูลนี้อาจจะเป็นได้ทั้งการอ่านและเขียนข้อมูลจากแท็ก และในส่วนนี้จะประกอบด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ บล็อกของหน่วยความจำทั้ง RAM และ ROM

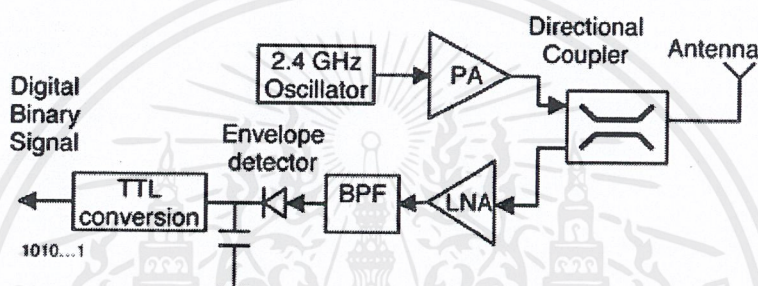


รูปที่ 3.4 วงจรความถี่สูงของเครื่องอ่าน RFID ความถี่ 2.45 GHz [6]

จากรูปที่ 3.4 แสดงการเชื่อมต่อของวงจรความถี่สูงของเครื่องอ่าน RFID ที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนทั้งการส่งและรับสัญญาณ ด้วยการสร้างสัญญาณคลื่นพาห์จากออสซิลเลเตอร์ ทำการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลที่ควบคุมจากชิปประมวลผลทางดิจิทัลกับสัญญาณคลื่นพาห์เข้าด้วยกัน สัญญาณที่ผ่านกระบวนการมอดูเลตแล้วจะผ่านเข้าตัวขยายกำลังสัญญาณ เพื่อชดเชยกำลังงานที่ขาดหายจากการสูญเสียภายในวงจรในแต่ละส่วน จากนั้นอุปกรณ์สวิตซ์ทิศทาง จะพิจารณาสัญญาณทั้งส่งและรับเปรียบเสมือนตัวเซอคูเรเตอร์และส่งผ่านสัญญาณไฟฟ้าไปยังสายอากาศเพื่อเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกอวกาศว่างและภาครับสัญญาณจากแท็กซึ่งสัญญาณอาจจะมีกำลังงานต่ำจึงต้องอาศัยอุปกรณ์ในการลดสัญญาณรบกวนและขยายกำลังของสัญญาณด้วย LNA ก่อนผ่านเข้าอุปกรณ์ดีมอดูเลตสัญญาณข้อมูลและถอดรหัสสัญญาณ ตามลำดับ

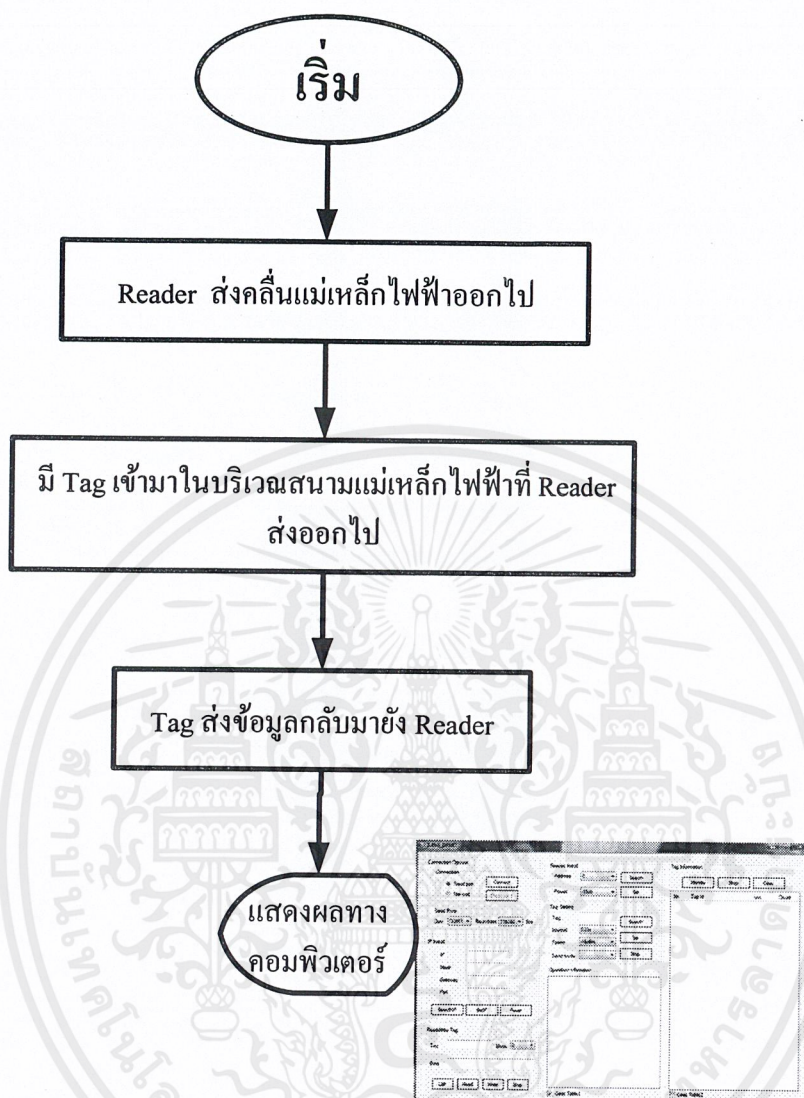
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยส่วนมากภาควงจรความถี่สูงนี้เป็นส่วนที่มีความซับซ้อนมากที่สุดของเครื่องอ่าน RFID และการป้องกันสัญญาณรบกวนของการมอดูเลตในส่วนนี้นั้น โดยปกติจะอาศัยหลักการและเทคนิคของการมอดูเลตที่มีประสิทธิภาพสูงไม่ว่าจะเป็น Binary phase shift keying (BPSK) หรือ Quadrature amplitude modulation (QAM) เป็นต้น ปกติเครื่องอ่านทั่วไปใช้เทคนิค BPSK และ ASK ซึ่งง่ายต่อการออกแบบวงจรภาคความถี่สูงและการสร้างสัญญาณคลื่นพาห์



รูปที่ 3.5 สัญลักษณ์ทางวงจรของภาคความถี่สูง [6]

การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศของเครื่องอ่าน RFID นั้น ขึ้นอยู่กับการออกแบบคุณลักษณะให้เหมาะสมกับการใช้งานและสภาวะแวดล้อม ซึ่งสายอากาศเป็นสิ่งสำคัญต่อการสื่อสารของระบบ RFID ซึ่งหากมีการออกแบบและใช้งานไม่เหมาะสมอาจส่งผลต่อการรับส่งสัญญาณข้อมูลสูง การเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศอาจทำประสิทธิภาพของระบบดียิ่งขึ้น เพราะฉะนั้นสิ่งที่สามารถปรับเปลี่ยนได้สิ่งหนึ่งในส่วนฟังก์ชันทางวิทยุของเครื่องอ่าน RFID ก็คือ สายอากาศ



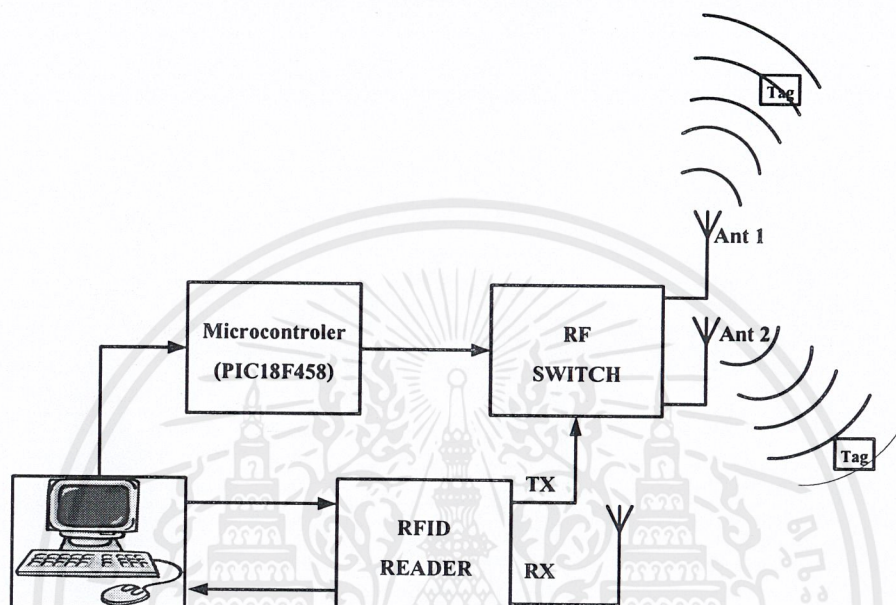
รูปที่ 3.6 โฟลว์ชาร์ตของการทำงานของเครื่องอ่าน RFID

3.1.2 การทำงานของเครื่องอ่าน RFID ที่ทำการพัฒนา

ระบบจะทำการสั่งการด้วยคอมพิวเตอร์ จะควบคุมทั้งในส่วนของเครื่องอ่าน RFID และ Microcontroller (PIC18F458) โดยใช้ Microcontroller ควบคุมการทำงานของ RF switch ในการปล่อยพลังงานให้แก่สายอากาศตัวใดตัวหนึ่ง หรือทั้งสองตัวในการค้นหาแท็ก เมื่อแท็กได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณจะทำการสะท้อนสัญญาณกลับมายังภาครับ ทางภาครับจะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะสามารถนำไปประยุกต์ในการใช้งานด้านต่างๆได้ ดังรูปที่ 3.7

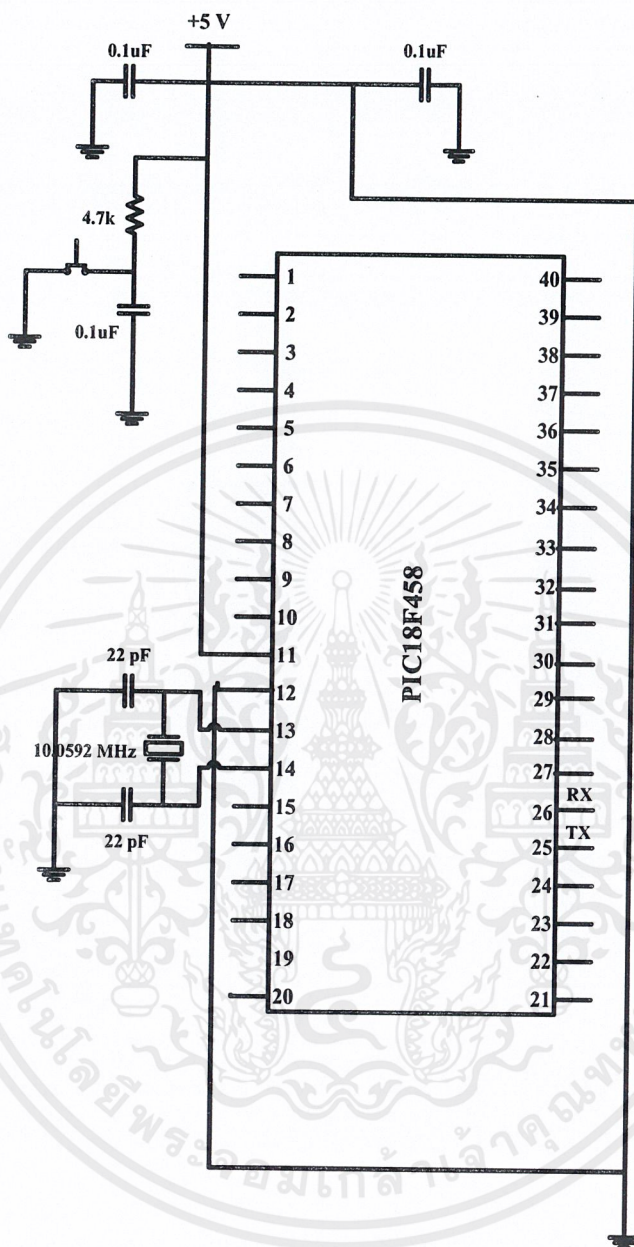


รูปที่ 3.7 การทำงานของเครื่องอ่าน RFID

3.1.3 วงจร Microcontroller (PIC18F458)

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC18F458) ตระกูล PIC ขนาด 40 ขา โดยการป้อน
 โลจิกเข้าไปเพื่อควบคุมการทำงานของ RF switch เพื่อให้สายอากาศแพร่กระจายคลื่น
 แม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 วงจร Microcontroller (PIC18F458)

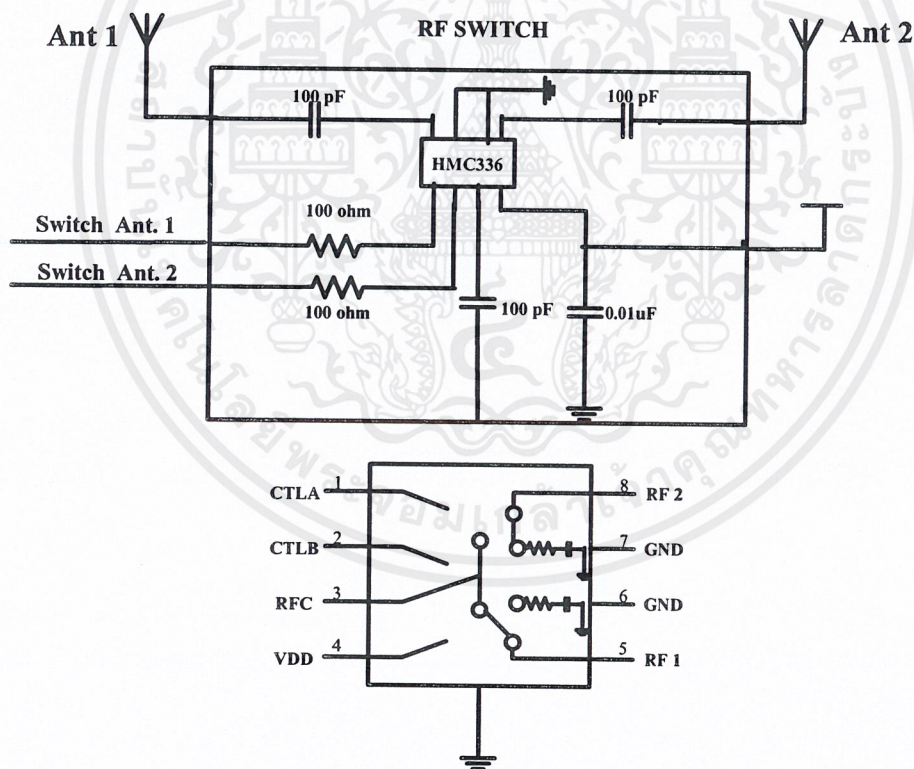
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 วงจร RF switch

HMC336 เป็นบรอดแบนด์ที่ไม่มีภาระสะท้อน ควบคุมกระแสไฟตรงถึง 6 GHz สวิตช์นี้มีการแยกกระแสไฟสูงและการแทรกของการสูญเสียต่ำ โดยใช้สวิตช์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าของ 0/+5 โวลต์ และต้องการแรงดันเข้าอย่างคงที่ 5 โวลต์ สวิตช์นี้เหมาะกับการใช้งานของระบบที่ 50 โอห์ม และ 75 โอห์ม

ถ้าจะให้ทำงานที่ RF1 ต้องป้อน $S_1 = \text{Low}$, $S_2 = \text{High}$

ถ้าจะให้ทำงานที่ RF2 ต้องป้อน $S_1 = \text{High}$, $S_2 = \text{Low}$

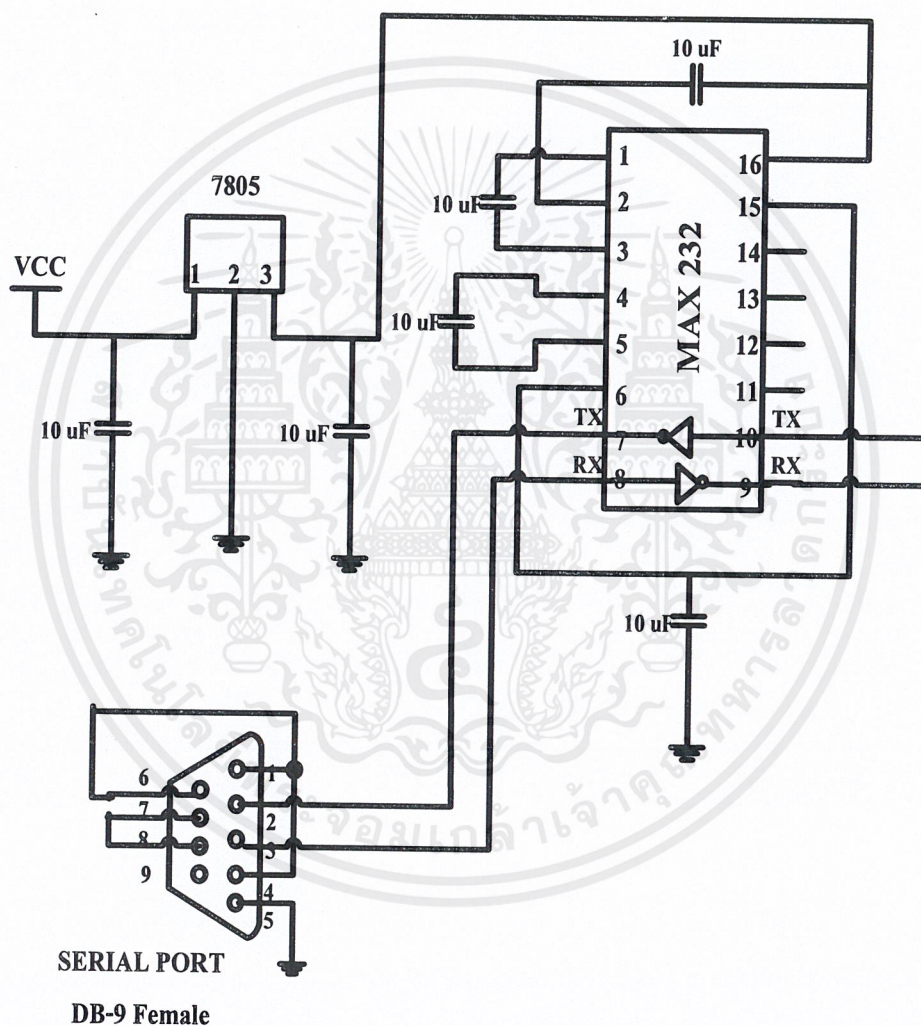


รูปที่ 3.9 วงจร RF switch และพอร์ตที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 วงจร Max 232

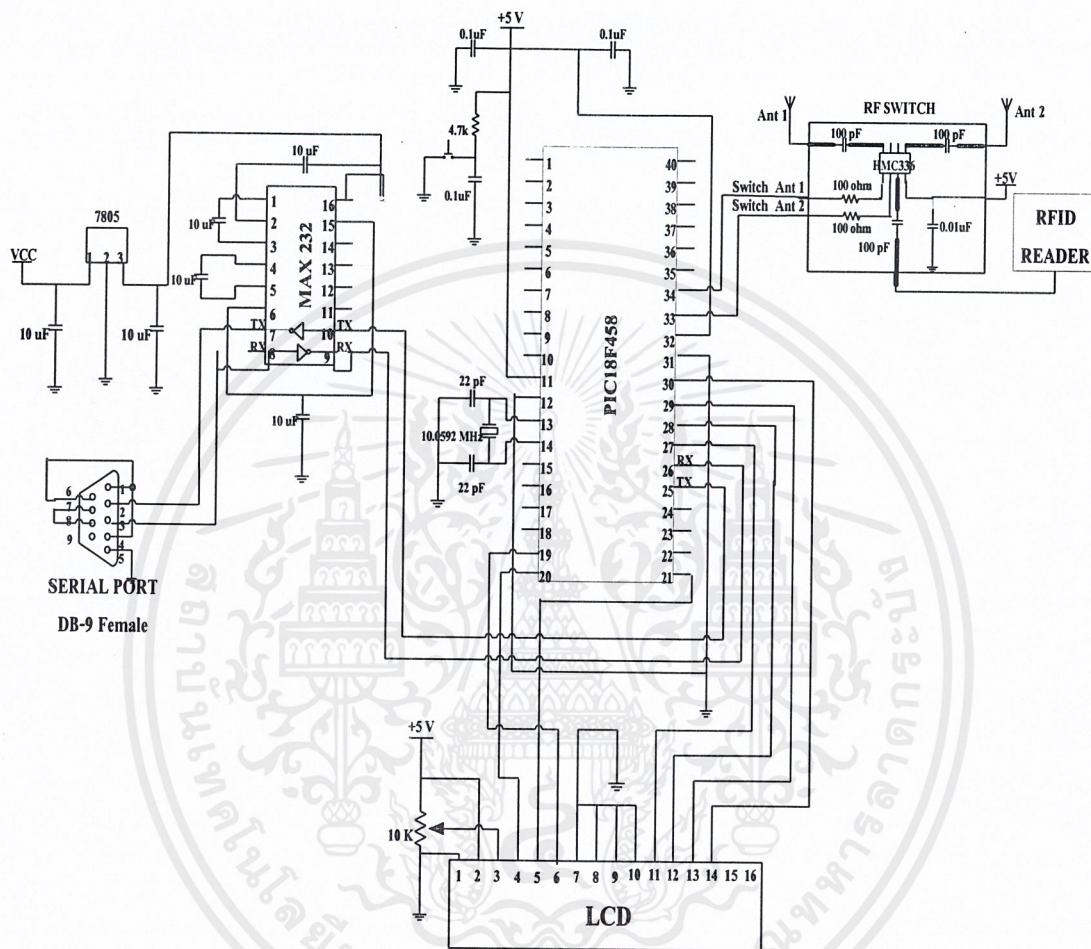
เป็นวงจรที่แปลงสัญญาณ TTL ให้เป็นสัญญาณ RS-232 เพื่อใช้เชื่อมต่ออุปกรณ์กับคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 วงจร Max 232

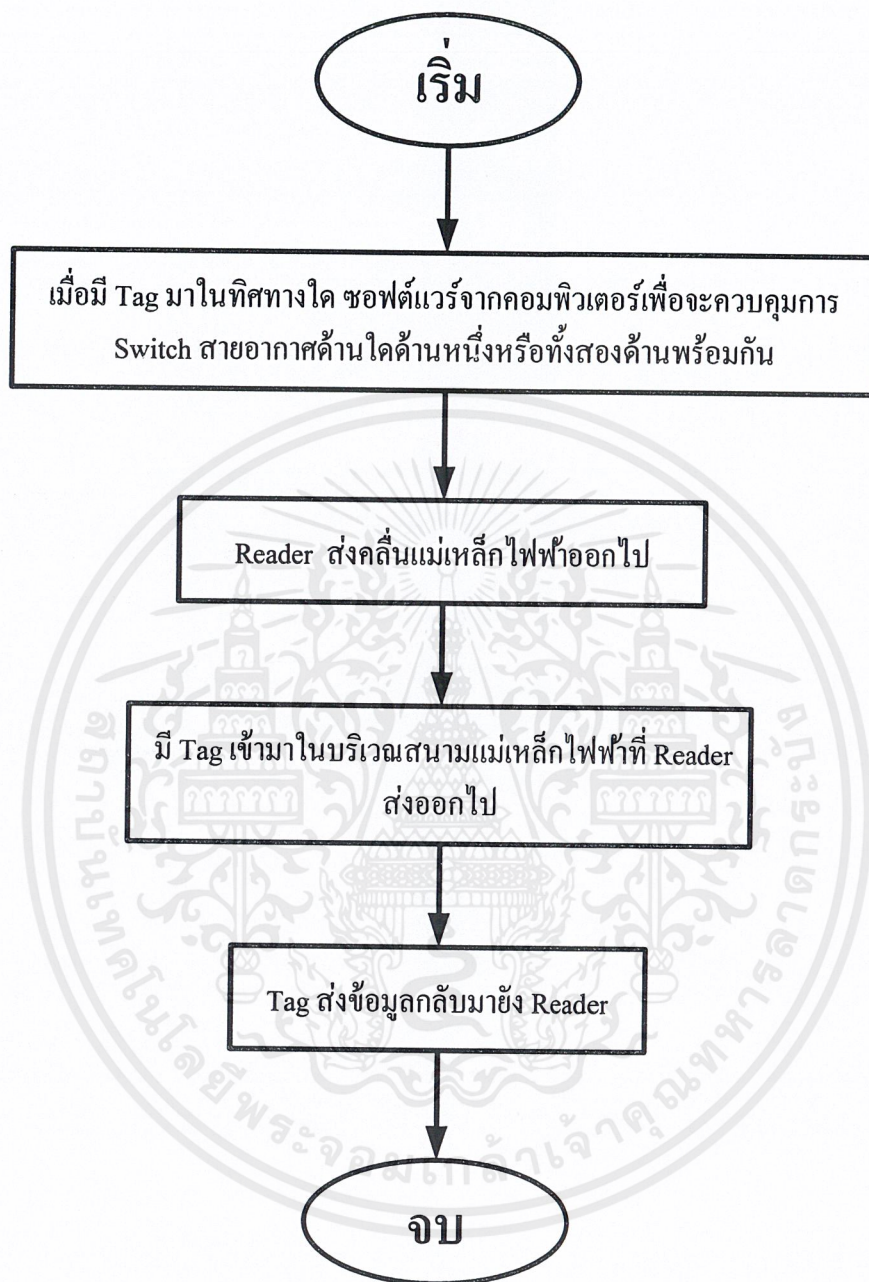
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 วงจรรวม



รูปที่ 3.11 วงจรรวมของระบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่สามารถเลือกทิศทางของสายอากาศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงโฟลว์ชาร์ตในการทำงานของเครื่องอ่าน RFID ใหม่

3.2 การออกแบบสายอากาศแบบแผ่นไมโครสตริป

โครงการนี้สายอากาศไมโครสตริปอาร์เรย์จำนวน 2 ตัว โดยจะสร้างจากแผ่น Epoxy Printed 2 หน้า ที่มีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

- ความหนาแน่นของชั้น Substrate เท่ากับ 1.441 mm
- ความหนาแน่นของชั้นทองแดง 0.0795 mm
- ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ (ϵ_r) เท่ากับ 4.36

3.2.1 ขั้นตอนการคำนวณและออกแบบแผ่นตัวนำ (Patch)

สายอากาศไมโครสตริปที่จะทำการออกแบบนี้จะใช้โครงสร้างของแผ่นตัวนำเป็นชนิดสี่เหลี่ยม ผืนผ้า ในการคำนวณจะต้องหาขนาดความกว้าง (W) และความยาว (L) โดยสามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

จาก
$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (3.1)$$

เมื่อ	λ_0	คือความยาวคลื่นในอากาศมีหน่วยเป็นเมตร
	c	คือความเร็วแสงในอวกาศ มีหน่วยเมตรต่อวินาที
	f	คือความถี่ของคลื่น มีหน่วยเป็นเฮิร์ตซ์

โดย
$$= \frac{3 \times 10^8}{2.45 \times 10^9}$$

$$= 0.122m$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าความถี่ที่ใช้งานกับสายอากาศ และค่า Permittivity ของสารไดอิเล็กตริก เราสามารถหาค่าความกว้างของแผ่นตัวนำได้จากสมการ

$$w = \frac{1}{2f\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3.2)$$

โดยที่ ϵ_0 คือค่าสภาพยอมไฟฟ้าในอวกาศว่าง (Permittivity) มีค่า 8.854×10^{-12} F/m

ϵ_r คือค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์

μ_0 คือค่าความซาบซึมแม่เหล็กในอวกาศว่าง (Permeability) มีค่า $4\pi \times 10^{-7}$ H/m

$$w = \frac{1}{2 \times 2.45 \times 10^9 \times \sqrt{4\pi \times 10^{-7} \times 8.854 \times 10^{-12}}} \sqrt{\left(\frac{2}{4.36 + 1}\right)}$$

$$= 37.373 \text{ mm}$$

จากค่าความสูงของสารไดอิเล็กตริกและค่า ϵ_{reff} สามารถหาความยาวของแผ่นตัวนำได้จากสมการ

$$L = \frac{1}{2f(\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}})(\sqrt{\epsilon_0\mu_0})} - 2\Delta L \quad (3.3)$$

โดยที่ ϵ_{reff} คือค่าคือค่าสภาพยอมไฟฟ้าประสิทธิผล สามารถคำนวณจากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3.4)$$

และค่า ΔL สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8 \right)} \quad (3.5)$$

เมื่อแทนค่าต่างๆจะได้

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{4.36 + 1}{2} + \frac{4.36 - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{1.441 \times 10^{-3}}{37.373 \times 10^{-3}} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$= 4.075$$

$$\Delta L = 0.412(1.441 \times 10^{-3}) \frac{(4.075 + 0.3) \left(\frac{37.373}{1.441} + 0.264 \right)}{(4.075 - 0.258) \left(\frac{37.373}{1.441} + 0.8 \right)}$$

$$= 6.482 \times 10^{-4} m$$

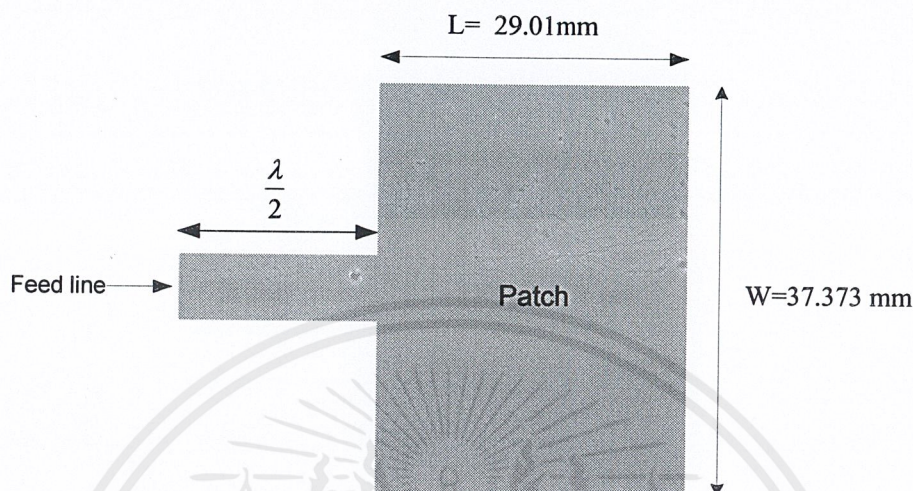
$$L = \frac{1}{2 \times 2.45 \times 10^9 \times (\sqrt{4.075}) \times (\sqrt{4\pi \times 10^{-7}} \times 8.854 \times 10^{-12})}$$

$$- 2(6.482 \times 10^{-4})$$

$$= 29.01 mm$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

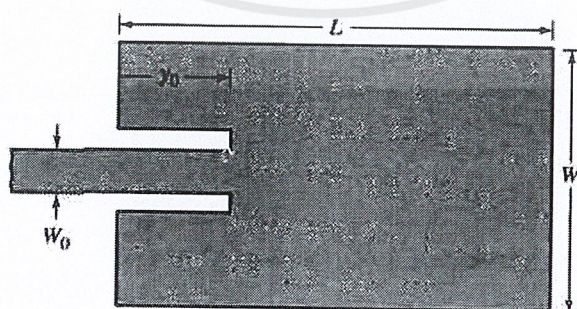
เมื่อคำนวณค่าต่างๆแล้วสามารถแสดงโครงสร้างตามรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.13 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป

3.2.2 การคำนวณและออกแบบตัวป้อนสัญญาณ และ Power combiner

เนื่องจากพอร์ตของสายอากาศมีค่าอิมพีแดนซ์เป็น 50Ω แต่สายอากาศของเรานั้นมีค่าอิมพีแดนซ์ จึงไม่สามารถต่อเข้าด้วยกันได้เนื่องจากเกิดการ Mismatch ให้มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ จึงจำเป็นต้องทำให้ Impedance matching กันโดยในโครงการนี้เราจะเลือกวิธี Insert feed ซึ่งมีลักษณะดังรูป



รูปที่ 3.14 การทำ Insert feed ในสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสามารถแสดงการคำนวณระยะ Insert feed จากสมการ

$$R_{in}(y = y_0) = R_{in}(y = 0) \cos^2\left(\frac{\pi y_0}{L}\right) \quad (3.6)$$

จากสมการจะได้ว่า

$$R_{in}(y = y_0) \text{ เท่ากับ } 50\Omega$$

$R_{in}(y = 0)$ เท่ากับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศซึ่งสามารถคำนวณตามสมการดังนี้

$$z_A = 90 \times \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left(\frac{L}{W}\right)^2 \quad (3.7)$$

$$z_A = 90 \times \frac{4.36^2}{4.36 - 1} \left(\frac{29.01 \times 10^{-3}}{37.373 \times 10^{-3}}\right)^2$$

$$= 306.80\Omega$$

เมื่อแทนค่าได้ว่า

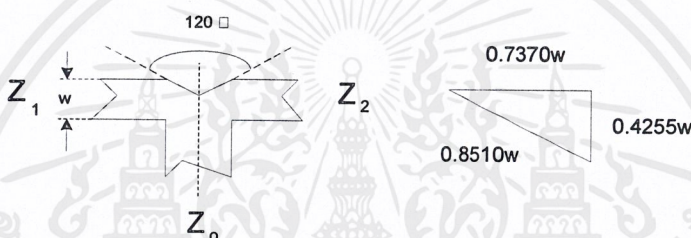
$$50 = 306.80 \cos^2\left(\frac{\pi y_0}{29.01 \times 10^{-3}}\right)$$

$$y_0 \approx 10\text{mm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งก็คือถ้าเราป้อนเข้าไปในแผ่นตัวนำตามรูปที่ 3.4 เป็นระยะ 10 mm จะทำให้สามารถต่อ เข้ากับสายป้อน 50Ω ได้โดยตรงเลย

เนื่องจากแพทเทิร์นของเราที่ได้จากการจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นเป็นแพทเทิร์นตามที่เราต้องการคือ มีจุด Null อยู่ที่ 45 องศาจึงไม่ต้องทำการปรับเฟสซึ่งก็คือสายป้อนเข้าทั้งสองข้างของแผ่นตัวนำทั้งสองด้วยยาวเท่ากัน แต่การที่จะทำการรวมสายทั้งสองข้างเข้าด้วยกันต้องต่อเข้ากับ Power combiner ซึ่งมีลักษณะดังรูป



รูปที่ 3.15 ลักษณะของ Power combiner

ซึ่งค่าอิมพีแดนซ์ (z_0)หาได้จากสูตร $z_0 = \frac{z_1 z_2}{z_1 + z_2}$ เนื่องจากพอร์ตของเรามีค่า

อิมพีแดนซ์เป็น 50Ω การที่จะรวมค่าอิมพีแดนซ์ให้ได้เป็น 50Ω ตามสูตรนั้น สายทั้งสองของเราต้องมีค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าเป็น 100Ω แต่เนื่องจากที่สายเราต่อกับแผ่นตัวนำเป็นสายที่มีค่าอิมพีแดนซ์เป็น 50Ω เพราะฉะนั้นเราจึงต้องใช้หลักการของ Quarter wave transform มาช่วยในการ Matching impedance 50Ω กับ 100Ω เข้าด้วยกันซึ่งสามารถแสดงหลักการดังนี้ ความยาวสายช่วง Quarter wave เป็นความช่วงที่มีความยาวเท่ากับ $\lambda_g / 4$ โดยที่ λ_g ความยาวคลื่นในตัวป้อน สัญญาณมีหน่วยเป็นเมตร สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งคุณสมบัติของ Quarter wave ก็สามารถทำการ Matching impedance ที่สายส่งได้ โดยสามารถพิสูจน์ได้จากสมการสายส่ง

$$z_{in} = z_0 \frac{z_L + jz_0 \tan(\beta l)}{z_0 + jz_L \tan(\beta l)} \quad (3.9)$$

โดย β คือค่าที่เฟสมีค่าเท่ากับ $2\pi / \lambda_g$

l คือความยาวของสาย

$$\begin{aligned} z_{in} &= z_0 \frac{z_L + jz_0 \tan\left(\frac{2\pi}{\lambda_g} \times \frac{\lambda_g}{4}\right)}{z_0 + jz_L \tan\left(\frac{2\pi}{\lambda_g} \times \frac{\lambda_g}{4}\right)} \\ &= z_0 \frac{z_L + jz_0 \tan\left(\frac{\pi}{2}\right)}{z_0 + jz_L \tan\left(\frac{\pi}{2}\right)} \end{aligned}$$

เมื่อ $\tan\left(\frac{\pi}{2}\right) = \infty$ จะได้เป็น $\frac{\infty}{\infty}$ จึงหาค่าใหม่ด้วยการคูณทั้งสองข้างด้วย $\frac{\tan\left(\frac{\pi}{2}\right)}{\tan\left(\frac{\pi}{2}\right)}$

จะได้เป็น

$$z_{in} \left[\frac{\tan\left(\frac{\pi}{2}\right)}{\tan\left(\frac{\pi}{2}\right)} \right] = z_0 \frac{z_L + jz_0 \tan\left(\frac{\pi}{2}\right)}{z_0 + jz_L \tan\left(\frac{\pi}{2}\right)} \left[\frac{\tan\left(\frac{\pi}{2}\right)}{\tan\left(\frac{\pi}{2}\right)} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= z_0 \frac{\frac{z_L}{\tan\left(\frac{\pi}{2}\right)} + \frac{jz_0 \tan\left(\frac{\pi}{2}\right)}{\tan\left(\frac{\pi}{2}\right)}}{\frac{z_0}{\tan\left(\frac{\pi}{2}\right)} + \frac{jz_L \tan\left(\frac{\pi}{2}\right)}{\tan\left(\frac{\pi}{2}\right)}} \\
 &= z_0 \frac{0 + jz_0}{0 + jz_L}
 \end{aligned}$$

$$z_{in} = \frac{z_0^2}{z_L}$$

ซึ่งจากสมการจะพบว่าถ้าเราเลือกค่า Characteristic impedance ที่เหมาะสมจะทำให้สามารถ Matching ค่าของ z_{in} กับ z_L เข้าด้วยกันได้

แทนค่าตัวแปร

$$\begin{aligned}
 z_0 &= \sqrt{z_{in} \times z_L} \\
 &= \sqrt{50 \times 100} \\
 &= 70.71 \Omega
 \end{aligned}$$

ดังนั้นเราจึงสามารถต่อสายป้อนเข้าทั้งสองข้างกับ Power combiner และพอร์ต์ได้อย่างสมบูรณ์ การหาค่าความกว้างของตัวป้อนสัญญาณจะเกี่ยวข้องกับค่า Characteristic impedance ดังแสดงในสมการ (3.10 และ 3.11)

$$\begin{aligned}
 w &= h \frac{8e^A}{e^{2A} - 2}; \text{ for } \frac{w}{h} < 2 \\
 w &= \frac{2h}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right) \right]; \text{ for } \frac{w}{h} > 2
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$A = \frac{z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right)$$

$$B = \frac{377\pi}{2z_0\sqrt{\epsilon_r}}$$

ดังนั้นเราจึงสามารถหาความกว้างสายช่วงต่างๆได้เป็น

$z_0 = 50\Omega$ หาได้จาก

$$B = \frac{377\pi}{2(50)\sqrt{4.36}}$$

$$= 5.672$$

$$w = \frac{2 \times 1.441 \times 10^{-3}}{\pi} \left[5.672 - 1 - \ln((2 \times 5.672) - 1) + \frac{4.36 - 1}{2 \times 4.36} \left(\ln(5.672 - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{4.36} \right) \right]$$

$$= 2.68 \text{ mm}$$

$z_0 = 70.71\Omega$ หาได้จาก

$$A = \frac{70.71}{60} \sqrt{\frac{4.36 + 1}{2}} + \frac{4.36 - 1}{4.36 + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{4.36} \right)$$

$$= 2.0893$$

$$w = \frac{1.441 \times 10^{-3} \times 8e^{2.0893}}{e^{(2 \times 2.0893)} - 2}$$

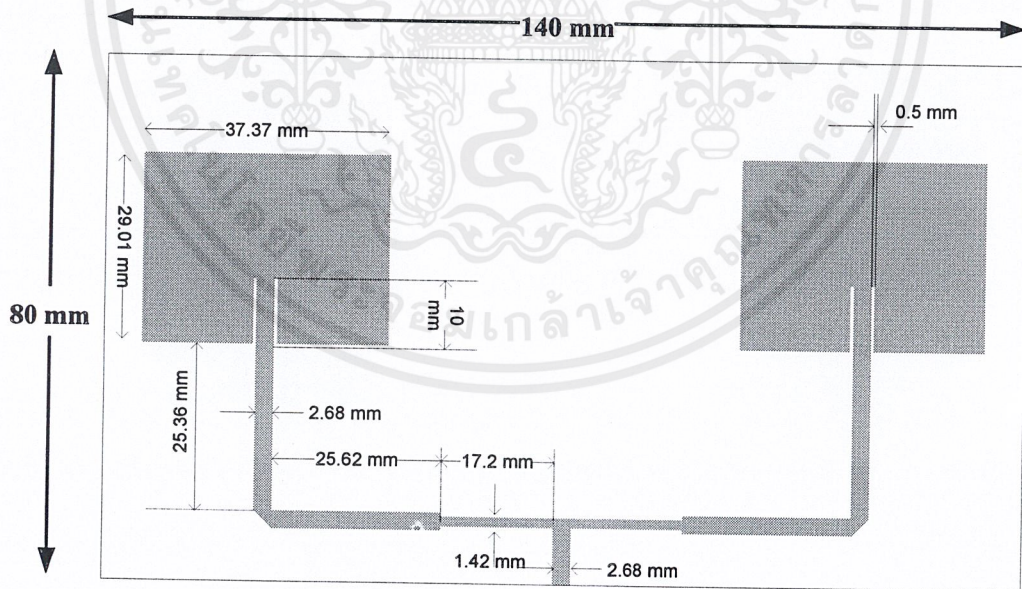
$$= 1.42 \text{ mm}$$

จากความกว้างของสายช่วง Quarter wave เราสามารถหาความยาวได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\epsilon_{re} &= \frac{4.36+1}{2} + \frac{4.36-1}{2} \left(1 + \frac{12 \times 1.441 \times 10^{-3}}{1.42 \times 10^{-3}} \right)^{\frac{1}{2}} \\ &= 3.14 \\ l &= \frac{\lambda_g}{4} = \frac{\lambda}{4\sqrt{\epsilon_{re}}} \\ &= \frac{0.122}{4\sqrt{3.14}} \\ &= 17.20 \text{ mm}\end{aligned}$$

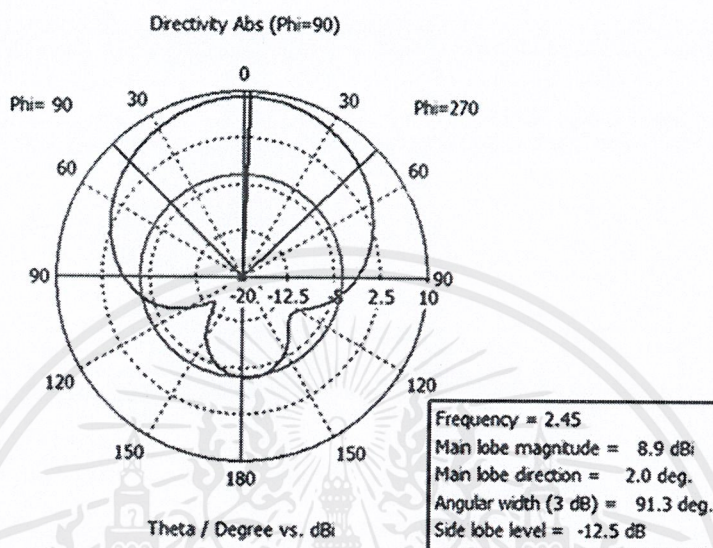
ในส่วนของแผ่นระนาบดินนั้นเราเลือกให้มีความกว้างและความยาวเท่ากับ 100 mm และ 60 mm ตามลำดับ จากพารามิเตอร์ที่ได้คำนวณมาทั้งหมดสามารถแสดงโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.16 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแผ่นแฉกลำดับแบบไมโครสตริป

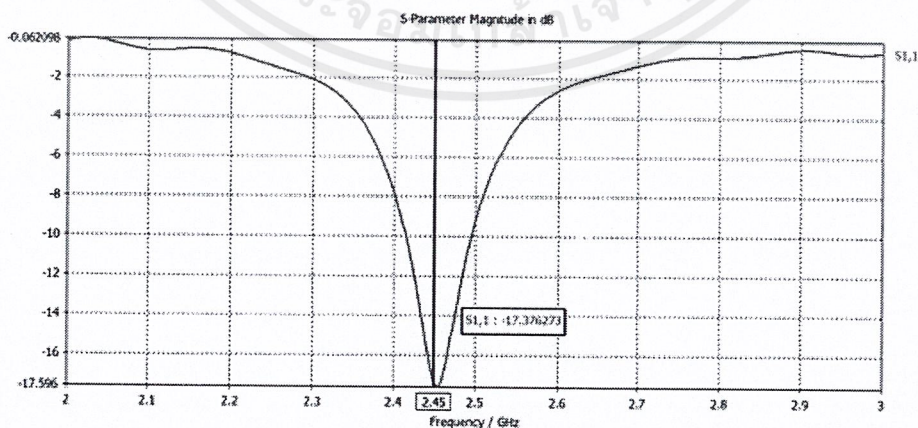
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำโครงสร้างนี้ไปจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave studio พบว่ามีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและค่าต่างดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.17 แบบรูปการแพร่คลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ ที่มุม θ เท่ากับ 0 องศาของสายอากาศ

ผลการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave studio ว่ามีแบนด์วิดท์ในช่วง 2.42-2.5 GHz



รูปที่ 3.18 $|S_{11}|$ คุณสมบัติของสายอากาศแผ่นแฉกลำดับแบบไมโครสตริป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในการวัดผลการทดลองของสายอากาศในโครงการนี้จะประกอบไปด้วยการวัดคุณสมบัติต่างๆเช่น ค่าความสูญเสียย้อนกลับ (Return loss) ค่าความถี่เรโซแนนซ์กับสายอากาศ อัตราขยายการวัดแบบรูปการกระจายคลื่น (สนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก) เพื่อประเมินคุณภาพของสายอากาศ

3.3.1 การวัดค่าความสูญเสียย้อนกลับ ค่าความถี่เรโซแนนซ์ Impedance smith chart

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดคือ

- 1) เครื่อง Network analyzer
- 2) ชุด Calibrate kit
- 3) สายอากาศที่ต้องการทดสอบ

3.3.2 การวัดอัตราขยาย

อุปกรณ์ที่ใช้คือ

- 1) สายอากาศที่ต้องการทดสอบ และสายอากาศที่ใช้เป็นตัวส่ง
- 2) เครื่อง Network analyzer
- 3) สาย coaxial
- 4) ชุด Calibrate kit

3.3.3 การวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

- 1) สายอากาศที่ต้องการทดสอบ และสายอากาศ (ใช้เป็นตัวรับ)
- 2) เครื่อง Network analyzer
- 3) สาย Coaxial
- 4) ชุด Calibrate kit
- 5) stepping motor หมุน 360 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.4.1 การวัดค่าความสูญเสียย้อนกลับ ค่าความถี่เรโซแนนซ์ Impedance smith chart

- 1) ทำการ Calibrate เครื่อง Network analyzer ด้วยชุดคาร์รีเบรท
- 2) เลือกความถี่เริ่มต้น 2 GHz และความถี่สุดท้าย 3 GHz
- 3) ทำการต่อสายอากาศไมโครสตริปแบบลำดับแถวเข้ากับเครื่อง Network analyzer
- 4) กดปุ่ม Format และกดที่ปุ่มต่างๆที่ต้องการดูค่า เช่น Return loss , Smith chart เป็นต้น

3.4.2 การวัดอัตราขยาย

- 1) ต่อสายอากาศทั้งตัวส่งและตัวรับเข้ากับเครื่อง Network analyzer
- 2) นำสายอากาศทั้งสองไปตั้งไว้ในห้อง Anechoic chamber ที่ระยะห่างมากกว่า Far-field
- 3) ทำการส่งคลื่นด้วยกำลังงาน 0 dBm
- 4) นำค่ากำลังที่ได้วัดได้จากเครื่องมาคำนวณในสูตร

$$(G_t)_{dB} = (G_r)_{dB} = \frac{1}{2} \left[20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log \frac{P_r}{P_t} \right] \quad (3.12)$$

3.4.3 การวัดแบบรูปการแผ่คลื่น

แบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศคือ การวัดหาสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กโดยส่วนใหญ่แบบรูปการแผ่คลื่นมักคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far-field) ซึ่งสามารถคำนวณหาระยะทางของสนามระยะไกลได้จาก

$$R = \frac{2(D_1 + D_2)^2}{\lambda_0} \quad (3.13)$$

โดยที่

- R = ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ (เมตร)
 D = มิติด้านที่กว้างที่สุดของสายอากาศ (เมตร)

$$R = \frac{2 \times (0.15 + 0.16)^2}{0.122} \\ = 1.575m$$

เมื่อได้ค่า Far-field จึงตั้งสายอากาศโดยให้อยู่ในระยะที่มากกว่า Far-field โดยให้สายอากาศแถวลำดับแบบไมโครสตริปที่ได้ทำการสร้างขึ้น 2 ตัวมาเป็นตัวรับและส่งสัญญาณ จากนั้นทำการปรับมุมของสายอากาศหมุนทีละ 5 องศา แล้ววัดความแรงของสัญญาณที่ได้จากเครื่อง Network analyzer ที่แต่ละมุม จากนั้นจึงนำมาพล็อตเป็นกราฟต่อไป เพื่อให้ได้กราฟแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น นำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการซิมูเลชัน แล้วจึงนำไปเปรียบเทียบกับสายอากาศเดิมคือสายอากาศโมโนโพลที่มาพร้อมกับเครื่องอ่าน เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติและประสิทธิภาพของสายอากาศ

3.4.4 การวัดผลการทดลองการนำสายอากาศมาใช้กับเครื่องอ่าน

- 1) ทำการทดลองโดยใช้สายอากาศโมโนโพลรับส่งข้อมูลระหว่างแท็กกับเครื่องอ่าน แล้ววัดระยะเวลาส่งข้อมูล
- 2) ต่อสายอากาศแถวลำดับแบบไมโครสตริปที่ได้สร้างขึ้นเข้ากับ RF switch
- 3) ต่อสายอากาศที่ได้ทำการต่อเข้ากับ RF switch ประกอบเข้ากับเครื่องอ่าน
- 4) ต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เป็นตัวควบคุม RF switch เพื่อป้อนลอจิกในการควบคุมทิศทางของสายอากาศ
- 5) ทำการทดลองการรับส่งข้อมูลระหว่างแท็กกับเครื่องอ่านแล้ววัดระยะเวลาส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ทำการเปรียบเทียบระยะทางของสายอากาศแบบโมโนโพล และแบบสายอากาศ
แถวลำดับแบบไมโครสตริป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

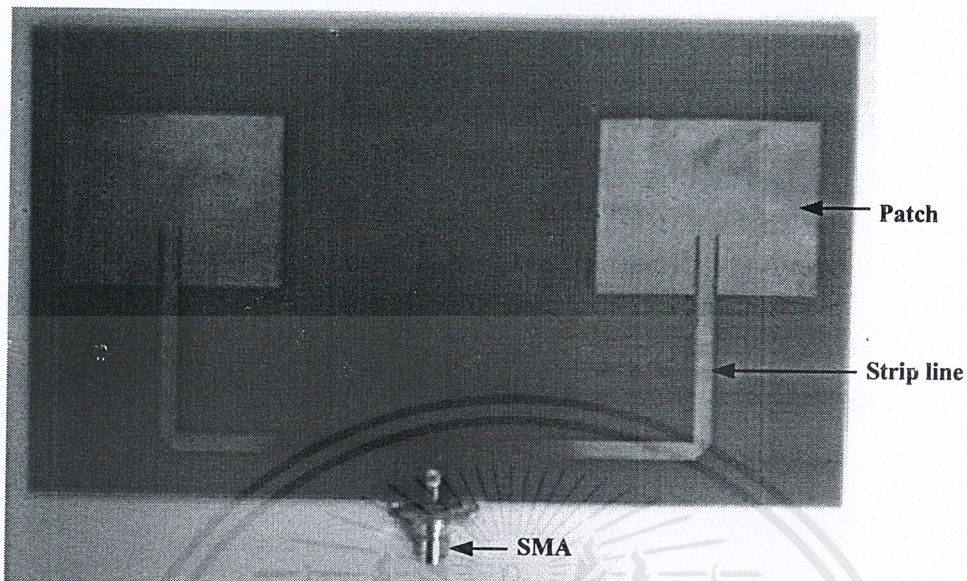
บทที่ 4

ผลการทดลอง

โครงการนี้ได้ศึกษาถึงโครงสร้างของเครื่องอ่าน RFID หาแนวทางการพัฒนาทางด้านอนาล็อก โดยเฉพาะทางสายอากาศ จึงได้นำสายอากาศมาประยุกต์กับเครื่องอ่าน RFID เพื่อรองรับการทำงานการดำเนินงานทางซอฟต์แวร์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และแสดงผลทางสัญญาณของสายอากาศ เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะทางสัญญาณที่ได้รับมาจากการส่งด้วยสายอากาศที่ออกแบบขึ้นมา โดยการเปรียบเทียบผลจากการจำลองและผลที่วัดจริงจากสายอากาศที่ได้ทำการสร้างขึ้น

4.1 การสร้างและทดสอบคุณสมบัติสายอากาศ

สายอากาศที่สร้างเพื่อทดสอบมีขนาด และโครงสร้างตามรูปที่ 4.1 ซึ่งจะทำการทดสอบคุณสมบัติประจำตัวของสายอากาศ คือ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ แบบรูปการแผ่คลื่นในระนาบ ϕ ที่มุม θ เท่ากับ 0° โดยสายอากาศมีความกว้าง $W=37.373$ มิลลิเมตร ความยาว $L=29.01$ มิลลิเมตร และใช้วัสดุฐานรองแบบ FR-4 มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ϵ_r เท่ากับ 4.36 ค่าแทนเจนต์ความสูญเสีย 0.01178 ความหนา h เท่ากับ 1.441 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.1 สายอากาศแผ่นแบบแถวลำดับที่สร้างขึ้น

ขนาดของสายอากาศที่ได้จากการชิมูเลชันกับสายอากาศที่สร้างจริงขนาดของสายอากาศมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากวัสดุที่นำมาใช้มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ไม่ตรงกับที่ใช้ในการชิมูเลชัน

4.1.1 อัตราขยาย

$$(G_t)_{\text{dB}} = (G_r)_{\text{dB}} = \frac{1}{2} \left[20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \right] \text{ เมื่อ } G_t = G_r \quad (4.1)$$

โดยที่ G_t คือ อัตราขยายของสายอากาศส่ง

G_r คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ

R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและรับ มีหน่วยเป็นเมตร

λ คือ ความยาวคลื่นในอวกาศว่างที่ความถี่ใช้งาน มีหน่วยเป็นเมตร

P_t คือ กำลังงานที่ส่งออกที่สายอากาศส่ง มีหน่วยเป็นวัตต์

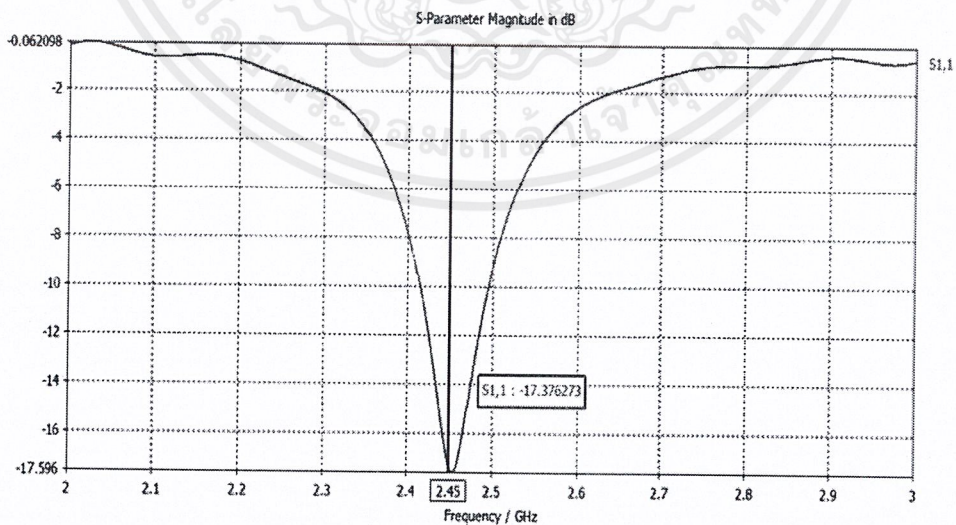
P_r คือ กำลังงานที่รับได้ที่สายอากาศรับ มีหน่วยเป็นวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 4.1 เราสามารถนำมาคำนวณอัตราขยายได้โดยการวัดค่ากำลังงานที่รับได้จากสายอากาศรับ ค่ากำลังงานที่ป้อนให้กับสายอากาศส่ง และระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและรับ จากนั้นแทนลงในสมการ จะสามารถหาคำตอบได้ดังนี้ คือ ที่ความถี่ 2.45 GHz และมีความยาวคลื่นคือมีค่าเท่ากับ 0.122 เมตร และกำลังงานที่อ่านได้จากเครื่อง Network analyzer มีค่าเท่ากับ -37.987 dB โดยวางสายอากาศส่งและรับห่างกัน 1.6 เมตร จากข้อมูลทั้งหมดสามารถคำนวณอัตราขยายได้ดังนี้

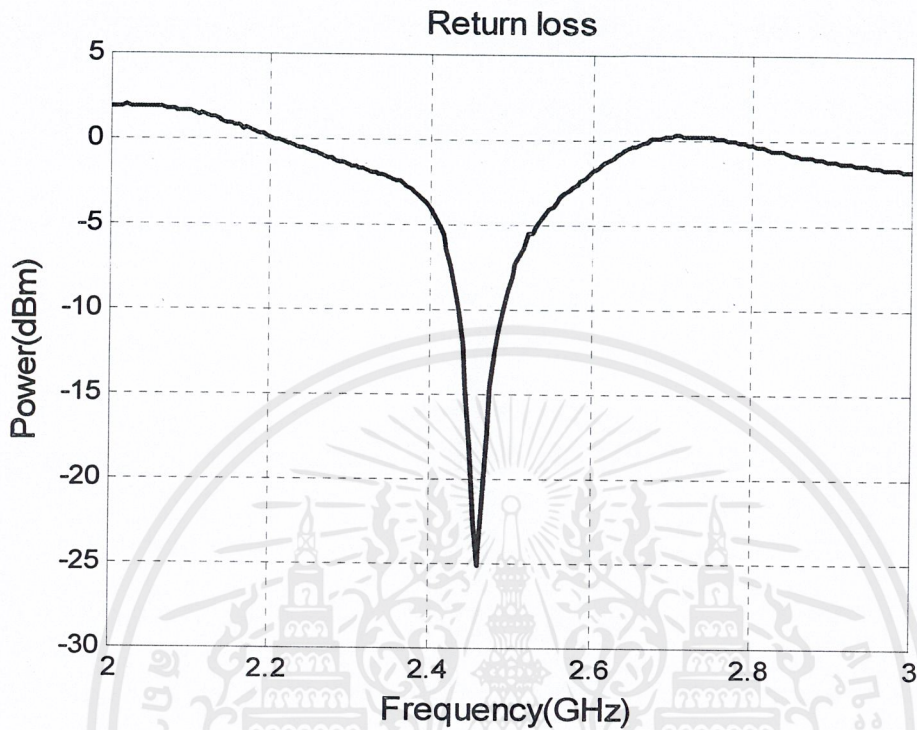
$$\begin{aligned}
 G &= \frac{1}{2} \left[20 \log_{10} \left(\frac{4\pi \times 1.6}{0.122} \right) - 37.987 \right] \\
 &= \frac{1}{2} [44.33 - 37.987] \\
 &= 3.1 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

4.1.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ



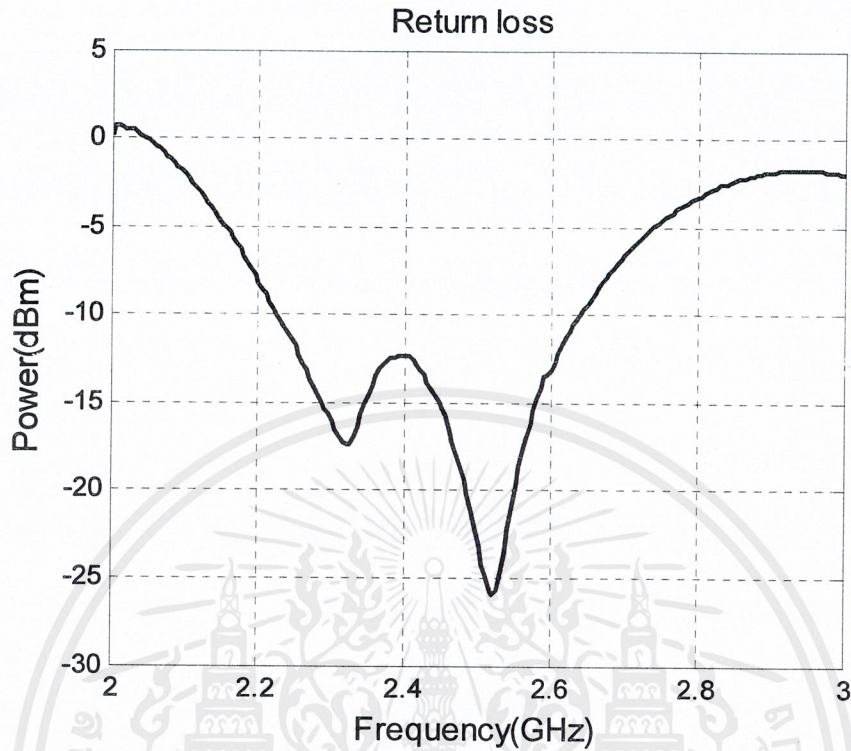
รูปที่ 4.2 ผลที่ได้จากการจำลองค่าการสูญเสียย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 $|S_{11}|$ คุณสมบัติของสายอากาศแผ่นแฉวลำดับแบบไมโครสตริปที่สร้างขึ้น

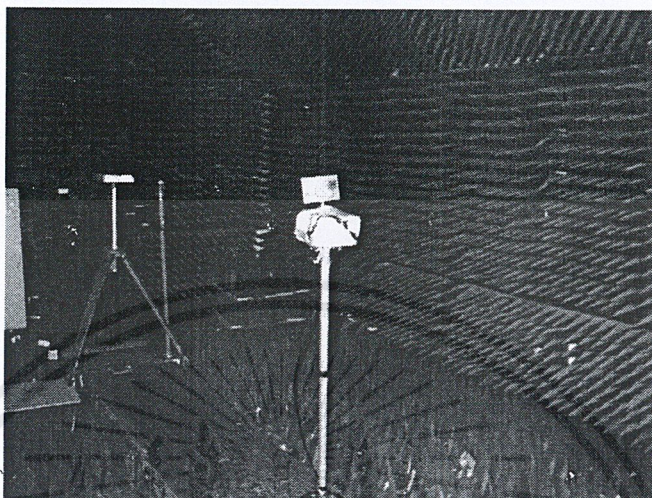
แสดงการเปรียบเทียบค่าความสูญเสียย้อนกลับระหว่างการจำลองกับผลที่ได้จากการวัด จะสังเกตได้ว่าที่ความถี่ 2.45 GHz ค่าที่ได้จากการจำลองและค่าที่ได้จากการวัดเท่ากับ -17.37 dB และ -18.55 dB ตามลำดับ ซึ่งผลจากการจำลองและการวัดจะแตกต่างกัน 1.18 dB ทั้งนี้เป็นผลมาจากค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศและความไม่เที่ยงตรงของอิมพีแดนซ์ประจำตัวของตัวเชื่อมแบบ SMA (SMA Connector) ที่ใช้งานจริง เนื่องจากในการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave studio ใช้ตัวป้อนกำลังแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete port) เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการสร้างแบบจำลอง ขณะที่การทดสอบนั้นใช้ตัวป้อนกำลังแบบแกนร่วม อีกประการหนึ่งคือ เป็นผลมาจากการเชื่อมต่อร่วม (Mutual coupling) ระหว่างจุดป้อนกำลัง อย่างไรก็ตามค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้นี้สามารถยอมรับได้เนื่องจากมีค่าต่ำกว่า -10 dB ซึ่งค่านี้เองจะทำให้อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศมีค่าไม่เกิน 2



รูปที่ 4.4 $|S_{11}|$ คุณสมบัติของสายอากาศโมนโพล

รูปแสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแบบโมนโพล ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีแบนด์กว้างกว่าสายอากาศแบบลำดับแถวและมีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ -11.13 dB

4.2 การวัด แบบรูปการแผ่คลื่นในห้องไร้การสะท้อน

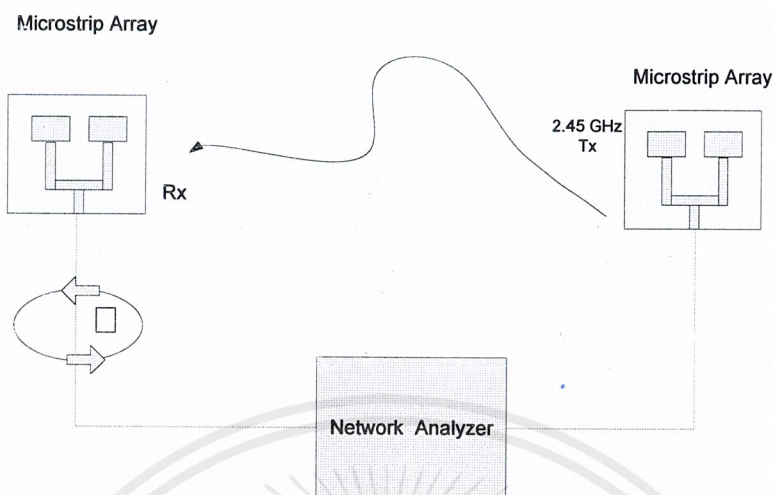


รูปที่ 4.5 การจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ

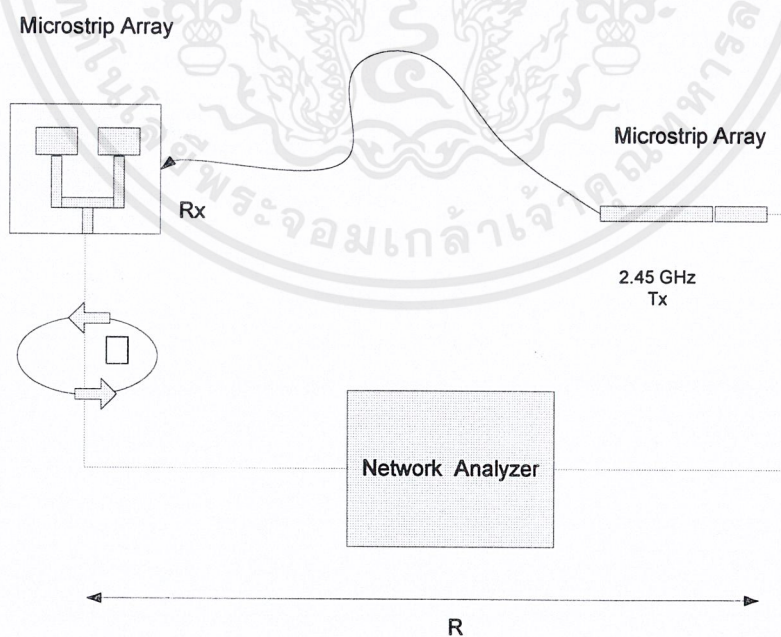
การทดสอบแบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz ได้กระทำในห้องป้องกันการสะท้อนคลื่น (Anechoic chamber) แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบดังนี้คือ

- 1) การทดสอบแบบรูปการแผ่คลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ ที่มุม θ เท่ากับ 0° ตามรูปที่ 4.6 โดยหมุนสายอากาศรับซึ่งคือสายอากาศไมโครสตริปแบบแถวลำดับความถี่ 2.45 GHz $0^\circ - 360^\circ$ และใช้สายอากาศไมโครสตริปแบบแถวลำดับเป็นตัวส่งคลื่น โดยเครื่องมือที่ช่วยทดสอบคือ เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network analyzer)
- 2) การทดสอบแบบรูปการแผ่คลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ที่มุม ϕ เท่ากับ 0° ตามรูปที่ 4.7 โดยหมุนสายอากาศรับซึ่งคือสายอากาศไมโครสตริปความถี่ 2.45 GHz $0^\circ - 360^\circ$ และใช้สายอากาศแถวลำดับแบบไมโครสตริป เป็นตัวส่งคลื่นเช่นเดียวกันกับ แบบที่

1



รูปที่ 4.6 แบบจำลองการทดสอบของแผ่นคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ ที่มุม θ เท่ากับ 0°

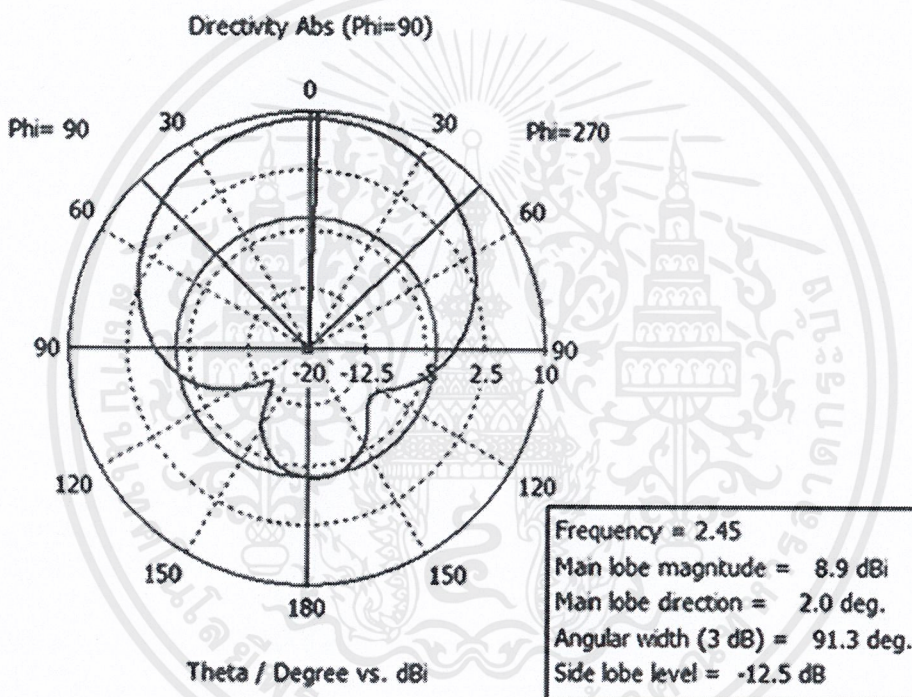


รูปที่ 4.7 แบบจำลองการทดสอบของแผ่นคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ที่มุม ϕ เท่ากับ 0°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

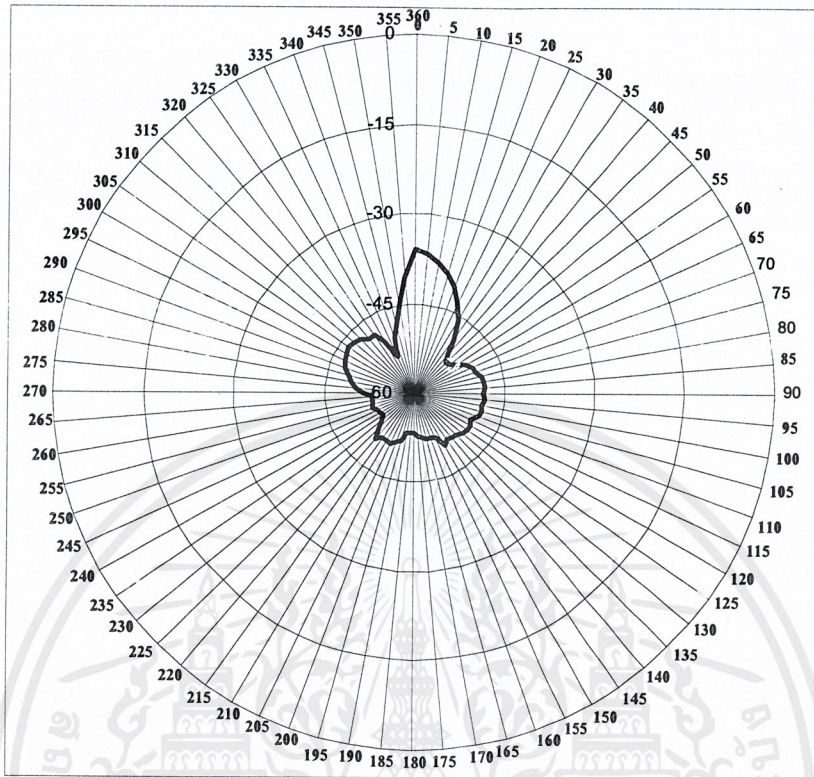
4.2.1 แบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศไมโครสตริปแบบลำดับแถว

แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศอาร์เรย์ ที่วัดได้จากการชิมูเลชันและวัดจากเครื่อง VNA เปรียบเทียบกัน จากรูปที่ 4.8 พบว่าแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นที่ได้เป็นแบบมีทิศทาง (Directional) มีค่าใกล้เคียงกันคือมีทิศทางการแผ่กระจายคลื่นออกในทิศทางเดียวกันคือแผ่กระจายคลื่นออกทางด้านหน้า



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

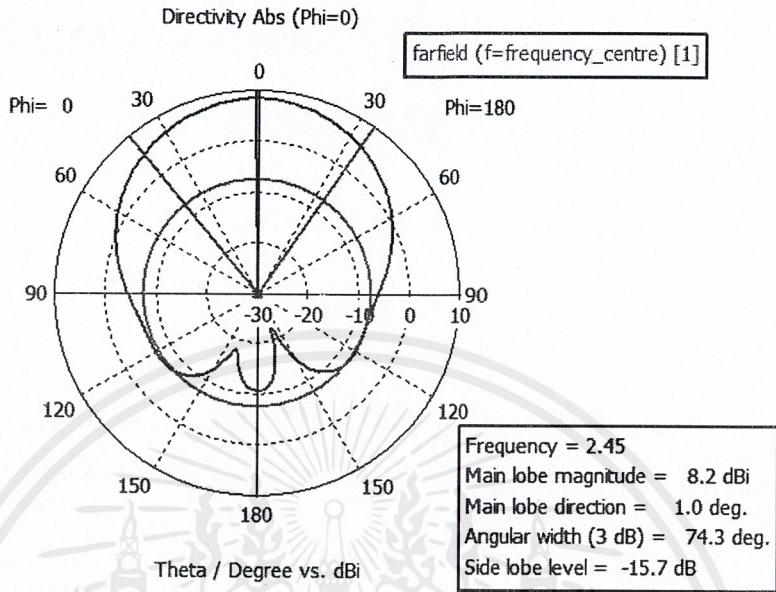


(จ)

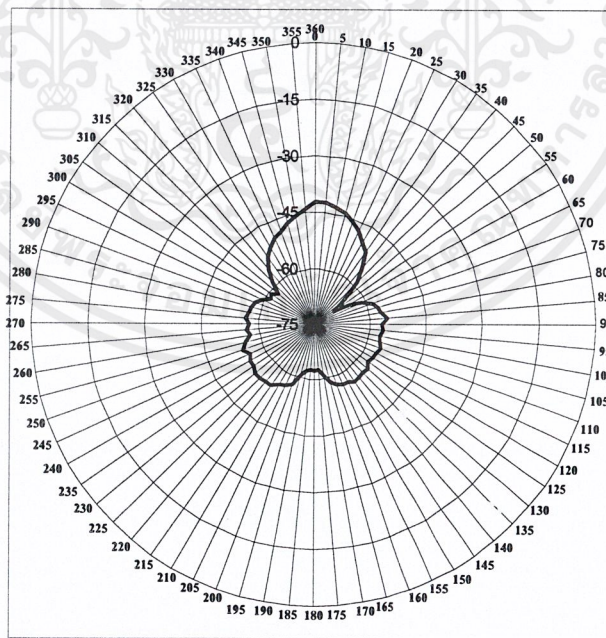
รูปที่ 4.8 การทดสอบแบบรูปการแผ่คลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ ที่มุม θ เท่ากับ 0°

(ก) ผลจากการซิมูเลต (ข) ผลจากการวัดจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

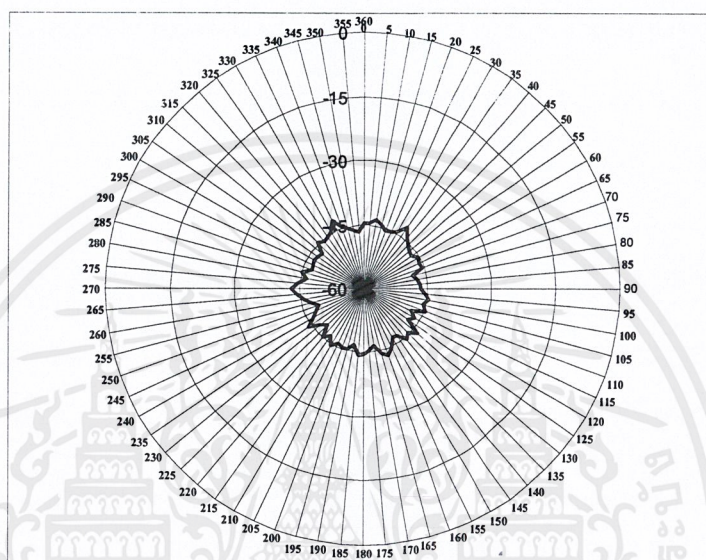
รูปที่ 4.9 แบบรูปการแผ่คลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ที่มุม ϕ เท่ากับ 0°

(ก) ผลจากการซิมูเลต (ข) ผลจากการวัดจริง

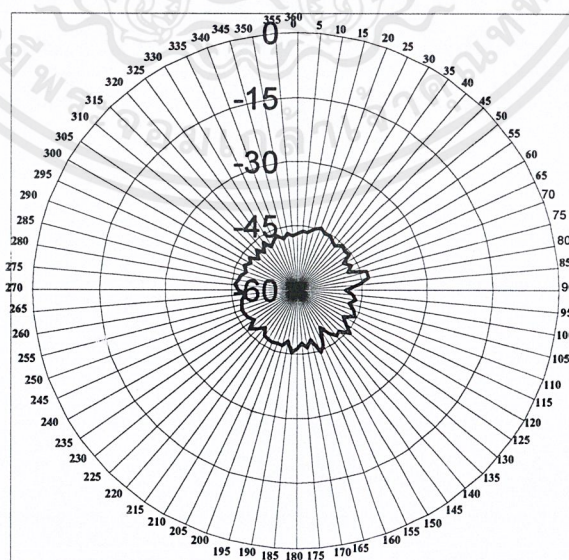
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 แบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศโมนโพล

สายอากาศแบบ โมน โพล เป็นสายอากาศที่เดิมของเครื่องอ่าน RFID



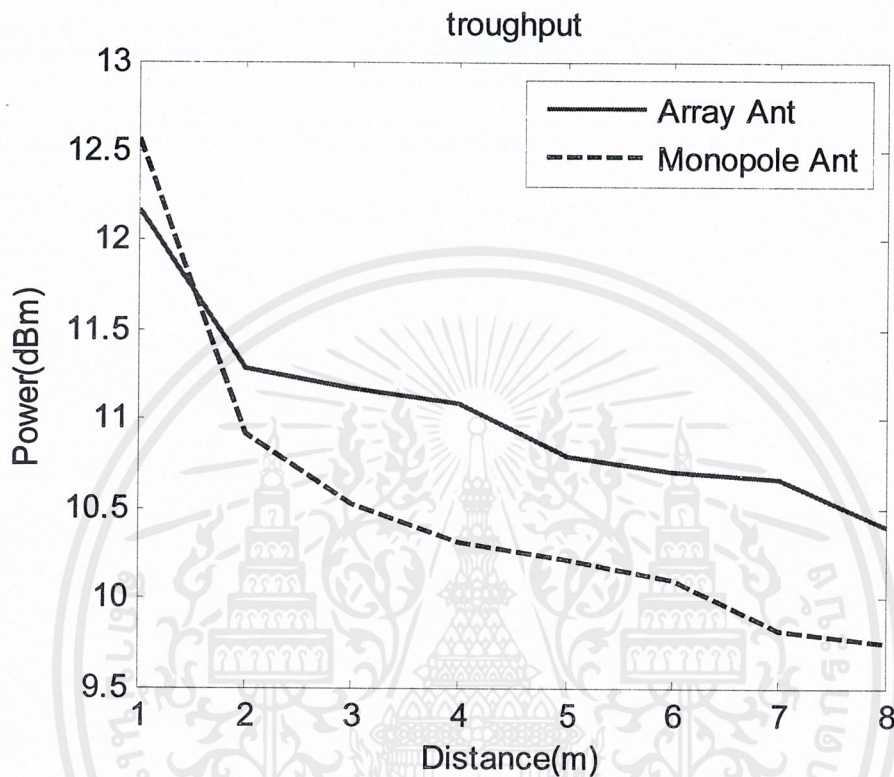
รูปที่ 4.10 การทดสอบแบบรูปการแผ่คลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ ที่มุม θ เท่ากับ 0°



รูปที่ 4.11 แบบรูปการแผ่คลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ที่มุม ϕ เท่ากับ 0°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

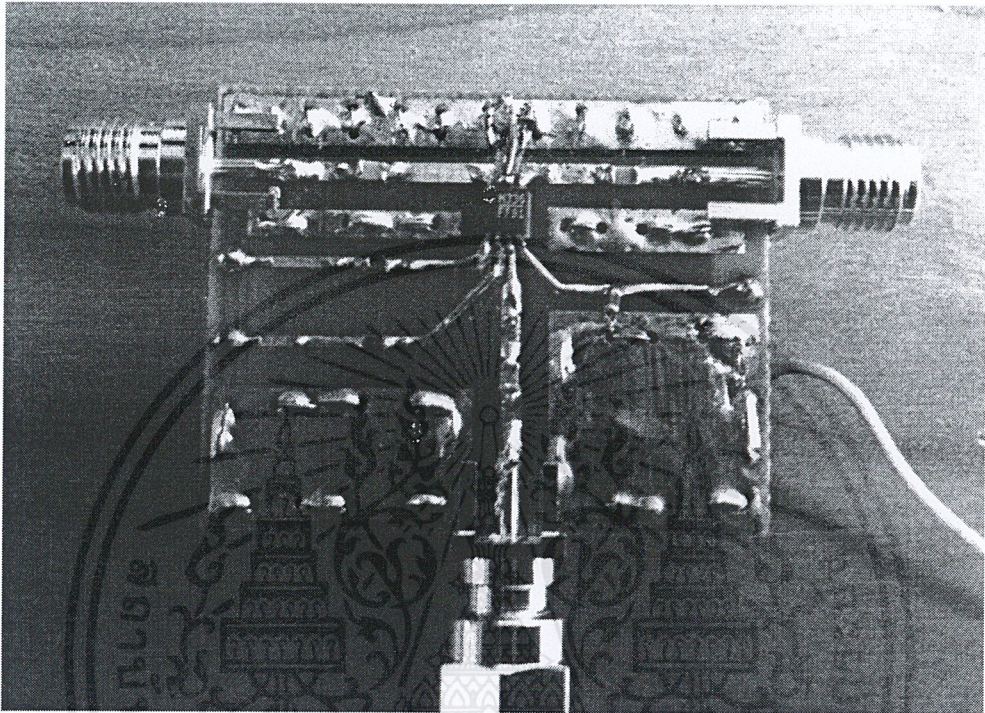
4.3 กำลังงานรับต่อระยะทาง



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบกำลังงานต่อระยะทางของสายอากาศอาร์เรย์กับสายอากาศโมโนโพล

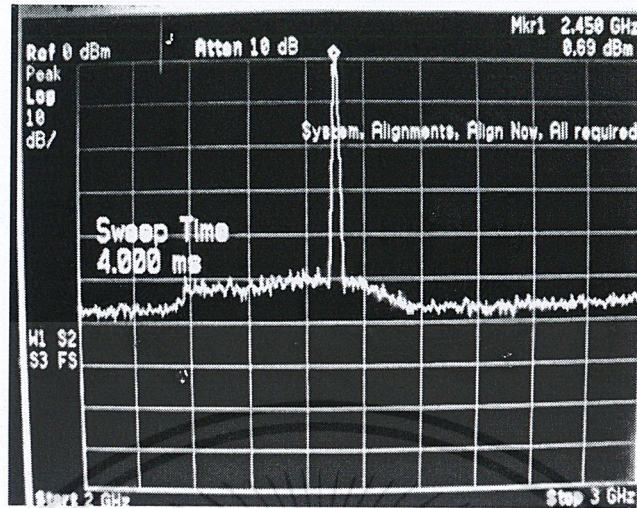
กราฟแสดงค่ากำลังงานที่รับได้ต่อระยะทางของสายอากาศแบบลำดับแถว และสายอากาศแบบโมโนโพล พบว่าที่ระยะทางใกล้ๆ สายอากาศแบบโมโนโพลกำลังงานที่รับได้ของสายอากาศแบบโมโนโพลจะมีค่ามากกว่า แต่ที่ระยะทางไกลๆสายอากาศแบบลำดับแถวจะมีกำลังงานที่รับได้สูงกว่า ดังนั้นสรุปได้ว่า ที่ระยะทางไกลกว่าสายอากาศแบบลำดับแถว มีประสิทธิภาพในการรับสัญญาณได้ดีกว่า

4.4 RF switch



รูปที่ 4.13 วงจร RF switch

รูปวงจร RF switch ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องอ่าน RFID เข้ากับสายอากาศแบบอาร์เรย์สองตัวโดยจัดให้สายอากาศมีทิศทางในการแพร่กระจายสัญญาณในทิศทางที่แตกต่างกัน ซึ่ง วงจร RF switch นี้มีคุณสมบัติในการสวิตช์เลือกทิศทางของเอาต์พุทพอร์ต โดยเอาต์พุทพอร์ตนี้ก็คือพอร์ตที่ต่อเข้ากับสายอากาศ เพื่อให้สายอากาศแพร่กระจายสัญญาณไปในทิศทางที่ต้องการ

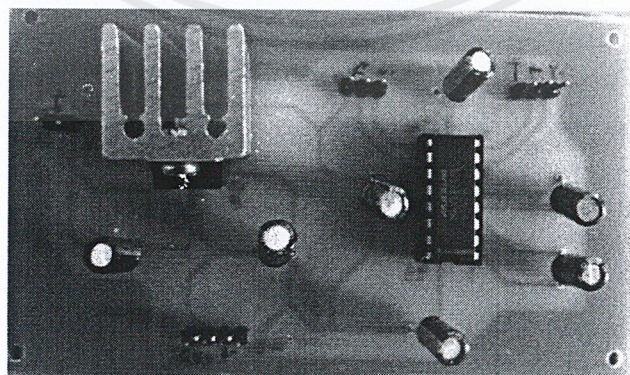


รูปที่ 4.14 สเปกตรัมของ RF switch

รูปสเปกตรัมของวงจร RF switch ซึ่งจะบ่งบอกถึงค่าการสูญเสียของพลังงานในการส่งออกของวงจร ซึ่งวงจรมีเมื่อนำค่าที่อ่านได้จากเครื่องสเปกตรัม ไปคำนวณหาค่าการสูญเสียของพลังงานในการส่งออกของวงจร จะได้ค่าเท่ากับ -2.288 dB

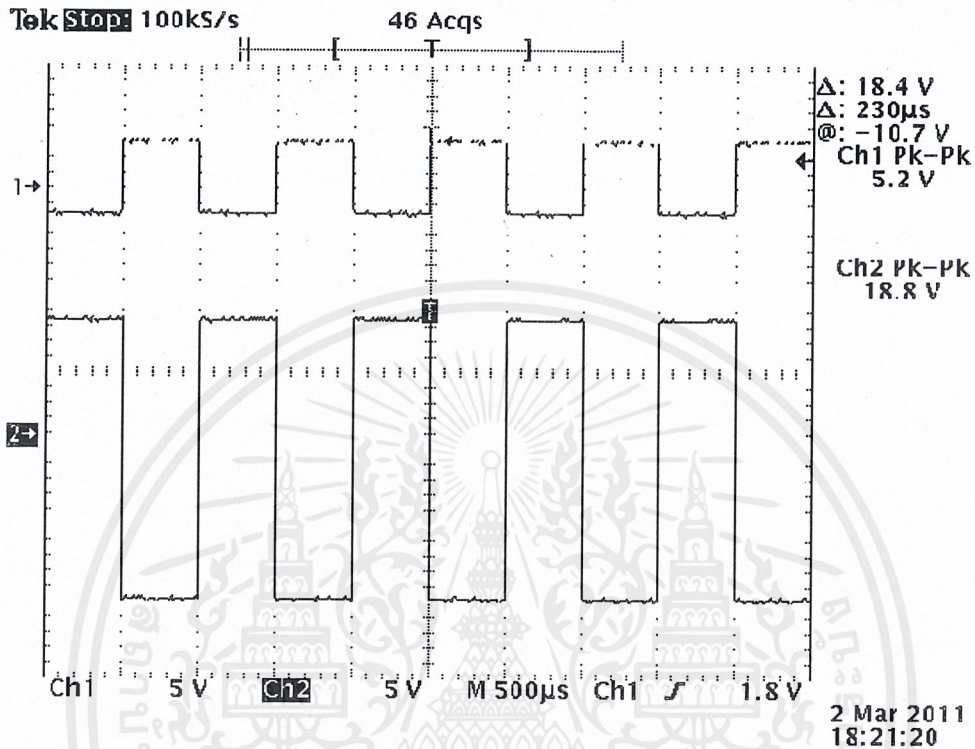
4.5 วงจร

4.5.1 วงจร MAX 232



รูปที่ 4.15 วงจร MAX232 และ วงจรแปลงไฟ 5 โวลต์

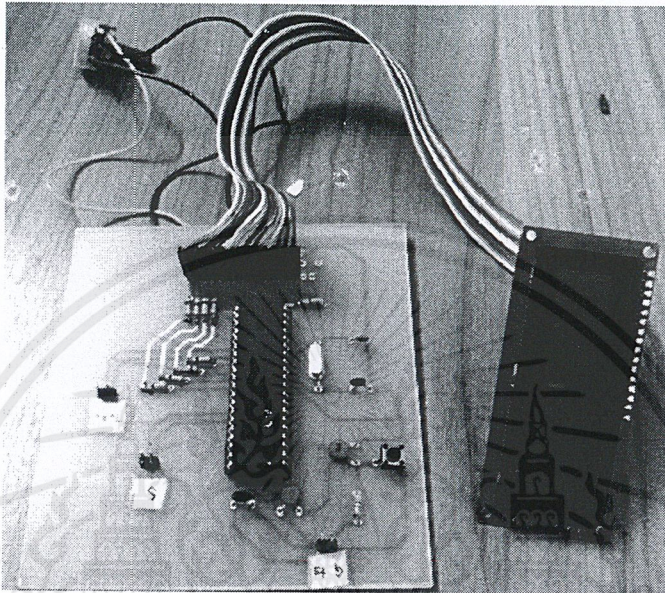
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 สัญญาณที่ได้จากการวัดสัญญาณที่ได้จากวงจร MAX232

วงจร MAX232 เป็นวงจรที่ใช้ในการติดต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232 โดยหน้าที่ของวงจรคือ เปลี่ยนระดับสัญญาณ TTL ที่มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เป็นระดับสัญญาณ RS-232 เพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ จากรูปจะเห็นว่าแรงดันไฟขาออกจะขยายจากแรงดันไฟขาเข้า

4.5.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 4.17 PIC18F458 กับ LCD

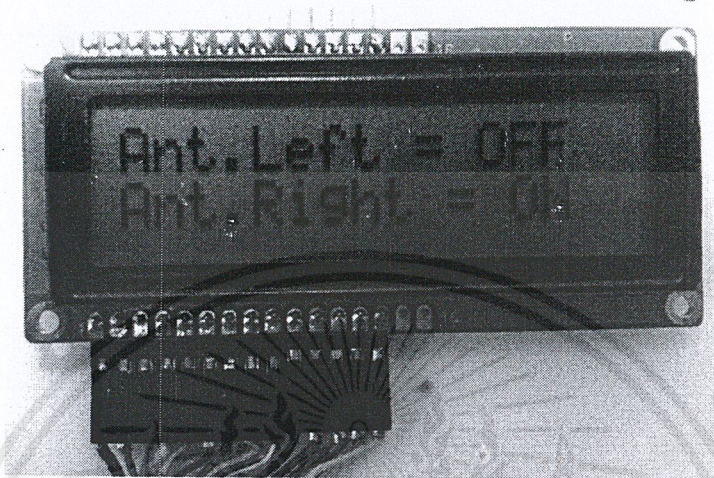
รูปวงจรของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ไอซีเบอร์ PIC18F458 ซึ่งใช้ในการป้อน
ลอจิกเพื่อควบคุมการทำงานของ RF switch และแสดงผลออกทางหน้าจอ LCD

ตารางที่ 4.1 ค่าของลอจิกที่ป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

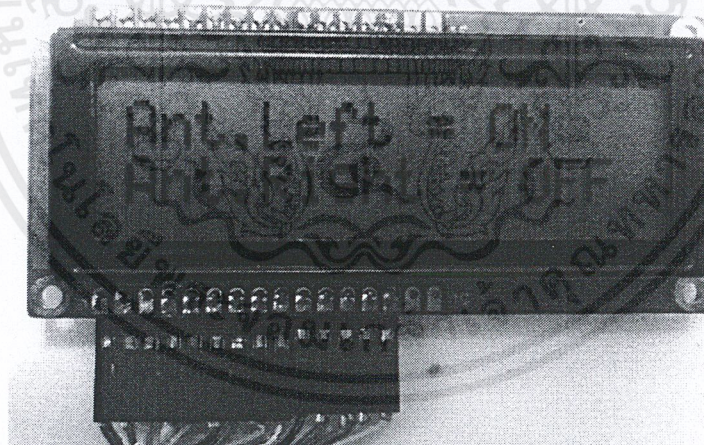
Logic	Right	Left
00	OFF	OFF
01	OFF	ON
10	ON	OFF

ตารางค่าของลอจิกที่ป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมพอร์ตเอาต์พุตของสายอากาศ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 จอแสดงผล LCD

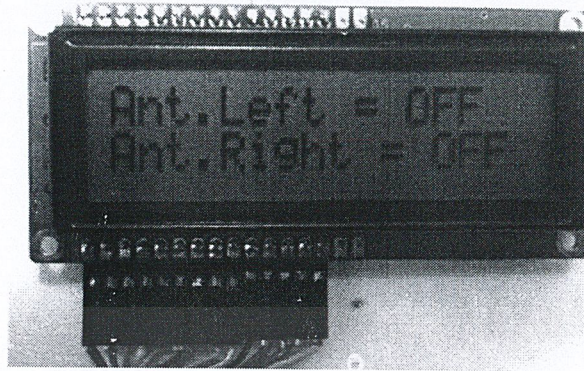


รูปที่ 4.18 จอแสดงผลเมื่อ RF switch ใช้งานทางด้านขวา



รูปที่ 4.19 จอแสดงผลเมื่อ RF switch ใช้งานทางด้านซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 จอแสดงผลเมื่อ RF switch ไม่มีการใช้งาน

4.6 ผลการทดสอบกำลังงานส่งของเครื่องอ่าน

ผลการทดสอบโดยใช้เครื่องอ่าน RFID ที่ประกอบด้วยสายอากาศแบบแถวลำดับโดยให้เครื่องอ่านเป็นตัวส่งสัญญาณ แล้วติดตั้งสายอากาศฝั่งรับเข้ากับเครื่องสเปคตรัมแอนนาไลเซอร์ ระยะทางในการส่งโดยเปลี่ยนระยะทางครั้งละ 0.5 เมตร โดยป้อนกำลังส่งจากเครื่องอ่านที่ 0 dB แล้วบันทึกค่ากำลังที่รับได้ทีอ่านจากเครื่องสเปคตรัมแอนนาไลเซอร์

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบกำลังงานส่งของเครื่องอ่าน

ระยะทาง (เมตร)	กำลังงานรับ (dBm)
0.5	-37.66
1.0	-39.65
1.5	-42.12
2.0	-43.15
2.5	-44.78
3.0	-44.97
3.5	-45.69
4.0	-46.08
4.5	-48.54
5.0	-49.76

บทที่ 5

สรุปวิจารณ์และแนวทางการพัฒนา

5.1 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลของการศึกษาและวิจัยของ โครงการนี้ จากผลการทดสอบ โดยมี เป้าหมายเพื่อให้ระบบการอ่านแท็กของเครื่องอ่านมีความแม่นยำมากขึ้น และมีความหลากหลายต่อ การใช้งาน โครงการนี้สังเกตเห็นถึงความสำคัญของสายอากาศซึ่งเป็นอุปกรณ์ทางวิทยุ ที่เป็น ตัวกำหนดประสิทธิภาพของเครื่องอ่าน เพื่อนำไปใช้ได้กับการประยุกต์ใช้งานต่างๆของ RFID โดย สายอากาศ เพื่อตอบสนองความต้องการในการใช้งานของระบบ RFID ในอนาคต

5.2 สรุปผลการทดลอง

ในโครงการนี้พิจารณาโครงสร้างเครื่องอ่าน และการสื่อสารของระบบ RFID 2.45 GHz รวมถึงโครงสร้างสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป ซึ่งการพัฒนาสายอากาศแถวลำดับแบบ สององค์ประกอบทำงานที่ย่านความถี่ 2.45 GHz สามารถเปรียบเทียบผลการทดสอบหาค่า คุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศ ทำให้มีอัตราขยายสูงขึ้น มีประสิทธิภาพดีขึ้น สามารถปรับเปลี่ยน ทิศทางการใช้งานสายอากาศของเครื่องอ่าน RFID โดยใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นตัวควบคุม RF Switch เพื่อใช้ในการเลือกทิศทางการแพร่กระจายสัญญาณของสายอากาศ ซึ่งสามารถนำไป ประยุกต์ใช้งานได้ในอนาคต

5.3 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

5.3.1 ปัญหา

ในการจัดทำโครงการนี้ สามารถสรุปปัญหาที่เกิดขึ้นดังนี้

- 1) ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำให้แผ่นตัวนำที่ใช้ทำเป็นกราวด์เพลนมีขนาดที่ไม่จำกัด และเป็นตัวนำที่สมบูรณ์ได้
- 2) วัสดุที่นำมาทำสายอากาศมีค่า ϵ_r ไม่ตรงตามที่ใช้ในการซิมูเลชัน ทำให้ออกแบบสร้างผลที่ได้ไม่เป็นไปตามทฤษฎีที่คำนวณได้
- 3) ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปเมื่อนำมาจำลองโดยโปรแกรม CST และการออกแบบสร้างผลที่ได้ไม่เป็นไปตามทฤษฎีที่คำนวณได้
- 4) การสร้างแผ่นแพร์กระจายคลื่นให้มีขนาดตรงตามที่คำนวณทำได้ยาก เพราะมีความละเอียดมาก จึงไม่สามารถสร้างตามการคำนวณได้
- 5) การบัดกรีเพื่อทำการเชื่อมต่อตัวเชื่อมต่อแบบ SMA กับสายส่งไมโครสตริปนั้นทำได้ยาก เพราะจุดเชื่อมต้อมีขนาดเล็ก และแผ่นทองแดงสามารถหลุดจากฉนวนได้ถ้าการบัดกรีใช้ความร้อนสูงเกินไป
- 6) การบัดกรีวงจร RF Switch ทำได้ยากเนื่องจากเป็นวงจรความถี่สูงจึงมีขนาดของไอซีที่เล็ก
- 7) เกิดคราบออกไซด์บนแผ่นแพร์กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริป ทำให้มีผลต่อการแพร์กระจายคลื่นของสายอากาศ

การประยุกต์ใช้งานกับแอปพลิเคชันต่างๆ ต้องมีการออกแบบการติดตั้งให้เหมาะสม เนื่องจากอุปกรณ์มีความไวต่อความถี่สูงเนื่องจากเป็น RFID ที่ย่านความถี่ 2.45 GHz เป็นย่านที่มีการใช้งานหลากหลาย เช่น ไร้เลสเรทเตอร์ หรืออุปกรณ์บลูทูธ ทำให้มีสัญญาณรบกวนได้ง่าย ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องอ่านลดลง

5.3.2 แนวทางแก้ไข

- 1) ออกแบบสายอากาศให้แผ่นตัวนำที่ใช้ทำเป็นกราวด์เพลนมีขนาดใหญ่มากที่สุดเท่าที่สามารถทำได้
- 2) ในการออกแบบสายอากาศ ค่าคงตัวของสารที่ใช้เป็นฉนวน ต้องกำหนดให้ได้ตรงตามค่าของสารนั้น และถูกต้องมากที่สุด
- 3) ในส่วนของการสร้างสายอากาศไมโครสตริป ต้องสร้างให้ได้ขนาดตามที่ออกแบบให้มากที่สุด คือต้องออกแบบขนาด โดยใช้เครื่องมือที่สามารถกำหนด และวัดขนาดของแผ่นแพร์กระจายคลื่นที่มีความละเอียดสูง และให้เกิดค่าที่คลาดเคลื่อนจากการออกแบบน้อยที่สุด
- 4) การวัดและทดสอบถ้าจะให้ค่าต่างๆ มีความถูกต้องและสอดคล้องกันต้องสร้างสายอากาศให้มีขนาดที่ถูกต้อง และมีรายละเอียดในการสร้างให้สูงมากขึ้น
- 5) ในการวัดและทดสอบรูปแบบการแพร์กระจายคลื่นต้องใช้เครื่องมือและชุดทดสอบที่มีความเที่ยงตรงและผิดพลาดน้อยที่สุด รวมทั้งห้องที่ทำการทดสอบต้องเป็นห้องที่ไร้การสะท้อนและจัดตำแหน่งของสายอากาศ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ภายในห้อง ไม่ให้เกิดการรบกวน
- 6) การบัดกรีต้องใช้เครื่องมือบัดกรีที่ควบคุมอุณหภูมิได้อย่างสม่ำเสมอ เพื่อที่จะสามารถควบคุมอุณหภูมิในขณะที่ทำการเชื่อมต่อ ไม่ให้มีความร้อนสูงเกินไป
- 7) การขจัดคราบออกไซด์ทำได้โดยกรดทำความสะอาดแผ่นแพร์กระจายคลื่น

5.4 แนวทางการพัฒนา

การศึกษาโครงสร้างของระบบ RFID ทำให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ และขอบเขตของโครงการที่ได้ตั้งไว้ซึ่งอาจจะพัฒนาให้สอดคล้องกับหลักการของ SDR (Software define radio) โดยควบคุมเครื่องอ่าน RFID ด้วยซอฟต์แวร์ในชิปประมวลผลทางดิจิทัล เช่น DSP , FPGA ทั้งนี้ได้สร้างสายอากาศต้นแบบเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาโครงสร้างของสายอากาศอัจฉริยะ (Smart antenna) ด้วยการใช้หลักการสวิตช์บีม (Switch beam) ปรับทิศทางการแพร์กระจายคลื่น สามารถนำไปพัฒนาต่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้

บรรณานุกรม

- [1] ฌุชนารถ. “RFID (Radio Frequency Identification)-Tag,” <http://rfid-datacom.blogspot.com>
- [2] วีระศักดิ์ ชื่นตา และสัญญา ควรคิด และปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์. “เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีและการประยุกต์ใช้งาน,” <http://www.ecti-thailand.org/emagazine/views/60>
- [3] SUNANTHA. “RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION (RFID),” <HTTP://SUNANTHA-AI.BLOGSPOT.COM/2010/08/RADIO-FREQUENCY-IDENTIFICATION-RFID2.HTML>
- [4] น.ท.นิวัติ เนียมพลอย. “What is an Electronic Warfare?,” <https://nniwat.wordpress.com/tag/ew-definition>
- [5] Randy Bancroft. “Circular Microstrip Antennas,” <http://www.globalspec.com/reference/70599/203279/chapter-3-circular-microstrip-antennas>
- [6] Stevan Preradovic and Nema C. Karmakar Electrical. “Modern RFID Readers,” http://www.mwjjournal.com/Journal/article.asp?HH_ID=AR_4830
- [7] สภาวิศวกร. *ความรู้พื้นฐานวิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร*. กรุงเทพฯ. 2549.
- [8] ประจัน พลังสันติกุล, “PIC Work,” *แอปซอฟต์แวร์เทค*, กรุงเทพฯ. 2537.
- [9] Hirochi Harada, “*Simulation And Software Radio For Mobile Communication*,”
- [10] C.A. Balanis, “*Antenna Theory Analysis and Design*,” Third edition, Wiley, 2005.