



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

สายอากาศสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีย่านความถี่สูง

Antenna for RFID Reader at HF Frequency

นายฉัตรพล ภคศิริ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2559

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

สายอากาศสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีย่านความถี่สูง

Antenna for RFID Reader at HF Frequency

นายฉัตรพล ภคศิริ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2559

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH
ศ ๒๓๓๘
๒๕๕๙

b. 1286254X
i.

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 147867
เอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ณ เดือน ปี 15 08 2560
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย)สายอากาศสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีย่านความถี่สูง
แหล่งเงินเงินรายได้.....
ประจำปีงบประมาณ 2559 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 40,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ต.ค. 2559 ถึง 30 ก.ย. 2560
ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด
นาย ฉัตรพล ภคศิริ วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง โทร.02-329-8264 email: chatrpol.pa@kmitl.ac.th
(หัวหน้าโครงการ).....

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยี RFID (Radio frequency Identification) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในด้านต่าง มากมาย อาทิเช่น ด้านธุรกิจบริการ ธุรกิจสินค้าคงคลังและการจัดส่งสินค้า การบริหารจัดการด้านความ ปลอดภัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านอุตสาหกรรมการผลิต อาร์เอฟไอดีเริ่มเข้ามามีบทบาทสำคัญ เนื่องจากการ ใช้อาร์เอฟไอดีจะทำให้ข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการผลิตสามารถถูกเข้าถึงได้แบบทันที (real-time access) ข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเช่น ตารางเวลาการผลิต จำนวนวัตถุดิบในการผลิต การบรรจุ ฯลฯ สามารถส่งผ่านอาร์เอฟไอดีไปยังฝ่ายควบคุมการผลิต ทางผู้จัดทำจึงได้เล็งเห็นความสำคัญของการพัฒนา สายอากาศของตัวส่งสัญญาณ (RFID Reader) ที่สามารถใช้งานในย่านความถี่ 13.56 MHz ให้มี ประสิทธิภาพมากขึ้นทั้งด้านกำลังและขอบเขตการอ่านเพื่อใช้ในด้านอุตสาหกรรมการผลิตเพื่อช่วยทำให้เกิด ความสะดวกในกระบวนการและทำให้ง่ายในการตรวจสอบปัญหาในไลน์การผลิต

ในโครงการนี้จะศึกษาการปรับปรุงสายอากาศของเครื่องอ่าน RFID ด้วยแผ่นเฟอร์ไรต์ผลการจำลอง สนามแม่เหล็กแสดงให้เห็นว่าที่ความสูงจากตัวสายอากาศเท่ากับสายอากาศที่มีแผ่นเฟอร์ไรต์ให้ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กมากกว่าสายอากาศธรรมดาและจากการใช้เมทซิงเน็ตเวิร์คที่เหมาะสมเครื่องอ่าน RFID ที่ใช้สายอากาศที่มีเฟอร์ไรต์มีระยะการอ่านมากกว่าเครื่องอ่านที่ใช้อากาศแบบธรรมดาใน สภาพแวดล้อมที่มีโลหะและสภาพแวดล้อมที่ไม่มีโลหะ

คำสำคัญ : สายอากาศ, เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี, อาร์เอฟไอดี, อิมพีแดนซ์เมทซิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Antenna for RFID reader at HF frequency

Researcher: Chatrpol Pakasiri

Faculty: College of Advanced Manufacturing Innovation **Department:** -

ABSTRACT

Nowadays, RFID (Radio Frequency Identification) system has played a key role in many aspects such as service, inventory, logistic, security management and especially industrial manufacturing process because RFID can provide real-time assessment in manufacturing information. For example production schedule, raw materials, packaging process, etc. This information, transmitted to production control department, helps the department to improve the efficiency of the production process, especially complex or non-sequence process. Hence, the author has realized the importance of improving the transponder antenna (RFID reader's antenna) operating at high frequency (13.56 MHz) in terms of transmitting power and reading range to make tracking and troubleshooting in the production line easier.

In this research, performance of the planar loop antenna of RFID reader is improved with additional ferrite sheet. The field simulated results show that the antenna with undercover ferrite sheet provides more magnetic flux density at the same distance away from it. By using proper matching networks, the RFID Reader with undercover ferrite sheet planar antenna provides longer reading range than conventional planar RFID reader in both metallic and non-metallic environments.

Keywords : Antenna, Impedance matching, RFID, RFID Reader

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีจากความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่สามารถกล่าวได้ทั้งหมด ซึ่งผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณ นาย กิตติพล ก้านขุนทด ที่ให้ความช่วยเหลือต่างๆ ในการทำโครงการนี้ การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุน งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

นัศรพล ภคศิริ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อiiiการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เสาอากาศแบบลูป	4
2.1 เสาอากาศแบบลูปขนาดเล็ก.....	4
2.2 วงจรสมมูลของเสาอากาศแบบลูป.....	5
2.3 การแพร่กระจายคลื่นของเสาอากาศแบบลูป.....	5
2.4 การเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กจากเสาอากาศแบบลูปไปยังเสาอากาศตัวรับ.....	6
2.5 เสาอากาศแบบลูปมี ferrite.....	7
บทที่ 3 การออกแบบเสาอากาศแบบลูป	8
3.1 การทำอิมพีแดนซ์แมทซิงของสายอากาศเข้ากับตัวส่งที่ความถี่ต่าง ๆ.....	8
3.2 การพัฒนาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศ.....	8
3.2.1 การจำลองและเปรียบเทียบความเข้มของสนามแม่เหล็ก.....	9
3.2.2 การศึกษาการอ่านอินพุตพลังงานในระยะใกล้.....	10
3.3 การออกแบบสายอากาศสำหรับเครื่องอ่าน RFID ที่ความถี่ 13.56 MHz.....	17
บทที่ 4 ผลการวิจัย	28
4.1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศ.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

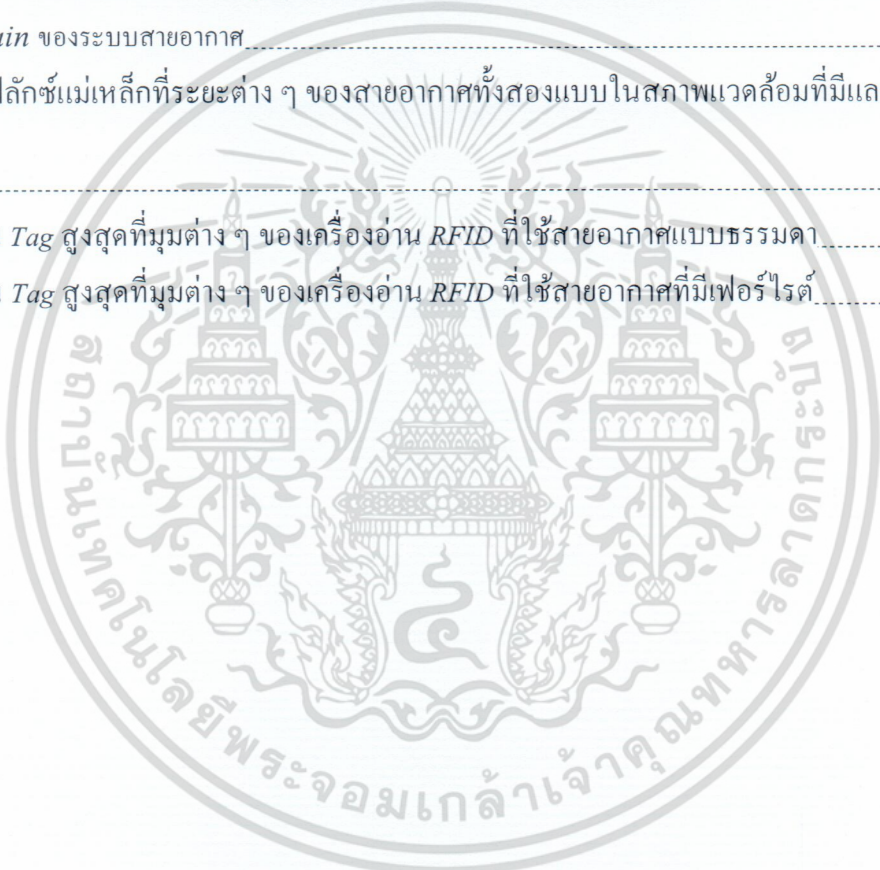
	หน้า
4.2 ผลการออกแบบสายอากาศสำหรับเครื่องอ่าน RFID ที่ความถี่ 13.56 MHz.....	30
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	33
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	33
5.2 การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ(Publications).....	34
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	34
บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง.....	35
ประวัตินักวิจัย.....	36
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยเผยแพร่.....	38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แมทซิงเน็ตเวิร์คของระบบสายอากาศที่ระยะการวัดต่างๆ.....	14
3.2 ขา Pin ต่างๆ ของ Module Pi-931MD.....	17
3.3 แสดงค่าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจรแมทซิง.....	25
4.1 ผลการจำลองค่าความเข้มฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดของสายอากาศทั้ง 2 ชนิดที่ความสูงต่าง ๆ.....	28
4.2 ค่า <i>Power gain</i> ของระบบสายอากาศ.....	29
4.3 ค่าความเข้มฟลักซ์แม่เหล็กที่ระยะต่าง ๆ ของสายอากาศทั้งสองแบบในสภาพแวดล้อมที่มีและไม่มีโลหะ.....	30
4.4 ระยะการอ่าน <i>Tag</i> สูงสุดที่มุมต่าง ๆ ของเครื่องอ่าน <i>RFID</i> ที่ใช้สายอากาศแบบธรรมดา.....	31
4.5 ระยะการอ่าน <i>Tag</i> สูงสุดที่มุมต่าง ๆ ของเครื่องอ่าน <i>RFID</i> ที่ใช้สายอากาศที่มีเฟอร์ไรต์.....	32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของเสาอากาศแบบลูปขนาดเล็ก.....	4
2.2 วงจรสมมูลของเสาอากาศแบบลูป.....	5
2.3 วงจรแมตซ์ซิ่งและเสาอากาศแบบลูป.....	6
2.4 วงจรสมมูลของการถ่าน โอนพลังงานระหว่างเสาอากาศแบบลูป.....	7
3.1 โครงสร้างของสายอากาศในหน่วยมิลลิเมตร.....	9
3.2 โมเดลสายอากาศที่ใช้ในการจำลอง (ก) สายอากาศแบบธรรมดา (ข) สายอากาศแบบมีแผ่นเฟอร์ไรต์.....	9
3.3 แสดงระนาบในการวัดความเข้มฟลักซ์แม่เหล็กของสายอากาศที่ระยะ 2, 5, 10, 20, 30, 40, และ 50 มิลลิเมตร.....	10
3.4 ขนาดของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่ระนาบความสูง 1 mm จากเสาอากาศ.....	11
3.5 อุปกรณ์การทดลอง.....	12
3.6 อุปกรณ์การทดลอง (ต่อ).....	13
3.7 แมทซิ่งเน็ตเวิร์คของระบบสายอากาศ.....	13
3.8 เนื้อหาภายในไฟล์ .s2p.....	14
3.9 วงจรในการจำลองสายอากาศ.....	15
3.10 อุปกรณ์การทดลอง.....	15
3.11 อุปกรณ์การทดลอง (ต่อ).....	16
3.12 การวัดค่า s parameters ของระบบสายอากาศ.....	16
3.13 ส่วนประกอบและขาเชื่อมต่อของ Module Pi-931MD [9].....	17
3.14 Block diagram อย่างง่ายของ Module Pi-931MD [9].....	19
3.15 แสดง Block Diagram ของเครื่องอ่าน RFID Pi-931-X34CC [9].....	21
3.16 แสดงแมทซิ่งเน็ตเวิร์คของเครื่องอ่าน RFID [10].....	22
3.17 แสดงโครงสร้างของสายอากาศในหน่วยมิลลิเมตร.....	22
3.18 อุปกรณ์การทดลอง.....	23
3.19 อุปกรณ์การทดลอง (ต่อ).....	23
3.20 การต่อสายอากาศสำหรับการวัดค่า s parameters แบบ 2 พอร์ต.....	24
3.21 แสดงการแบ่งครึ่งระบบเครื่องอ่าน RFID.....	24
3.22 แสดงวงจรสมมูลของเครื่องอ่าน RFID และแมทซิ่งเน็ตเวิร์ค.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.23 หน้าต่างโปรแกรมสำหรับอ่าน RFID SIC HF SDK_V1	26
3.24 รูปแสดงการวัดระยะการอ่านสูงสุดของเครื่องอ่าน RFID	26
3.25 การวัดระยะการอ่านของเครื่องอ่าน RFID ในสภาพแวดล้อมที่มีโลหะ	27
4.1 กราฟเปรียบเทียบความเข้มฟลักซ์แม่เหล็กที่ความสูงต่าง ๆ ของสายอากาศแบบธรรมดาและสายอากาศที่มีแผ่นเฟอร์ไรต์	29
4.2 แสดงค่าความเข้มฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่ระยะความสูงต่าง ๆ ของสายอากาศสองชนิด (ก) สภาพแวดล้อมที่ไม่มีโลหะ (ข) สภาพแวดล้อมที่มีโลหะ	31



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อาร์เอฟไอดี (RFID ย่อมาจากคำเต็มว่า Radio-frequency identification) เป็นวิธีการในการเก็บข้อมูลหรือระบุข้อมูลแบบอัตโนมัติ โดยทำงานผ่านการรับสัญญาณจากแท็ก (tag) เข้าสู่ตัวส่งสัญญาณ (RFID reader) ผ่านทางคลื่นวิทยุ แท็กของอาร์เอฟไอดีโดยปกติจะมีขนาดเล็กซึ่งสามารถติดตั้งเข้ากับผลิตภัณฑ์สินค้า สัตว์ บุคคลได้ ซึ่งเมื่อตัวส่งสัญญาณส่งคลื่นวิทยุไป และพบเจอแท็กนี้ สัญญาณจะถูกส่งกลับพร้อมกับข้อมูลที่เก็บไว้ในแท็ก โดยตัวส่งสัญญาณนี้เองยังสามารถบันทึกข้อมูลลงในแท็กได้

ปัจจุบันเทคโนโลยี RFID (Radio frequency Identification) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในด้านต่าง มากมาย อาทิเช่น ด้าน ธุรกิจบริการ ธุรกิจสินค้าคงคลังและการจัดส่งสินค้า การบริหารจัดการด้านความปลอดภัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านอุตสาหกรรมการผลิต โดยมีวัตถุประสงค์ในการใช้ที่แตกต่างกันไปในแต่ละด้านซึ่งอยู่บนหลักการพื้นฐานเดียวกัน คือ การใช้คลื่นวิทยุเพื่อระบุตัวตนของวัตถุหรือเจ้าของวัตถุที่ติดป้าย RFID (tag) แทนการระบุด้วยวิธีการอื่น ตัวอย่างเช่น การนำ RFID เข้ามาแทนระบบบาร์โค้ด (Barcode) ซึ่งทำให้ไม่ต้องเสียเวลาในการยิงอ่านบาร์โค้ดสินค้าทีละชิ้น การนำ RFID มาแทนการใช้บัตรรูทแบบแถบแม่เหล็ก โดยใช้วิธีการแตะแทนการรูทแบบเดิมซึ่งจะทำให้แถบแม่เหล็กเกิดการเสื่อมสภาพ การใช้ในด้านอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตโดยการติด Tag RFID ไว้กับชิ้นส่วนในไลน์การผลิตเพื่อตรวจสอบเวลาในแต่ละกระบวนการ ทำให้สะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตอีกด้วย

ทางผู้จัดทำจึงได้เล็งเห็นความสำคัญของการพัฒนาสายอากาศของตัวส่งสัญญาณ (RFID Reader) ที่สามารถใช้งานในย่านความถี่ 13.56 MHz ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อใช้ในด้านอุตสาหกรรมการผลิตเพื่อช่วยทำให้เกิดความสะดวกในกระบวนการและทำให้ง่ายในการตรวจสอบปัญหาในไลน์การผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.1.1 เพื่อศึกษาหลักการพื้นฐานของ RFID
- 1.2.2 สามารถนำความรู้จากภาคทฤษฎีมาใช้ในการออกแบบสายอากาศสำหรับตัวอ่าน RFID ที่ใช้งานได้จริง
- 1.2.3 ออกแบบสายอากาศและวงจร Matching Network ของสายอากาศสำหรับทำงานในย่านความถี่สูง 13.56)MHz (
- 1.2.4 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการอ่านของเครื่องอ่าน RFID เมื่อเพิ่มแผ่นเฟอร์ไรต์ที่สายอากาศ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการเล่มนี้เป็นการนำเสนอสายอากาศสำหรับเครื่องอ่าน RFID ที่เป้าหมายในการประยุกต์ใช้งานในด้านอุตสาหกรรม โดยมีขอบเขตการศึกษาทดลองดังนี้

- 1.3.1 ศึกษาสายอากาศที่สามารถใช้งานในย่านความถี่สูง 13.56)MHz(
- 1.3.2 ศึกษาการใช้งานโปรแกรม Advanced Design System ในการออกแบบและการจำลองคุณสมบัติของสายอากาศ
- 1.3.3 ศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของสายอากาศที่ได้จากการวัดและการทำการ Matching Impedance ของสายอากาศกับตัวส่งสัญญาณ)RFID Reader(และผลที่เกิดจากสารเฟอร์ไรต์ต่อประสิทธิภาพของสายอากาศ

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานมีดังต่อไปนี้

- 1.4.1 ศึกษาการใช้งานโปรแกรม Advanced Design System ในการออกแบบและการจำลองคุณสมบัติของสายอากาศ
- 1.4.2 ศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของสายอากาศที่ได้จากการวัดและทดสอบความถูกต้องของการวัดคุณสมบัติของสายอากาศ
- 1.4.3 สร้างสายอากาศต้นแบบที่ใช้งานได้จริงกับเครื่องส่งสัญญาณ)RFID Reader ในช่วงความถี่ (13.56MHz รวมถึงการศึกษาผลของสารเฟอร์ไรต์ที่มีต่อการอ่านของเครื่องอ่าน RFID
- 1.4.4 สรุปผลการทำโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 รู้และเข้าใจหลักการการทำงานและประโยชน์รวมถึงความสำคัญของเทคโนโลยี RFID ในการประยุกต์ใช้ในด้านอุตสาหกรรม
- 1.5.2 สามารถสร้างสายอากาศของตัวส่งสัญญาณที่มีสามารถประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมที่มีความถี่ 13.56 MHz



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

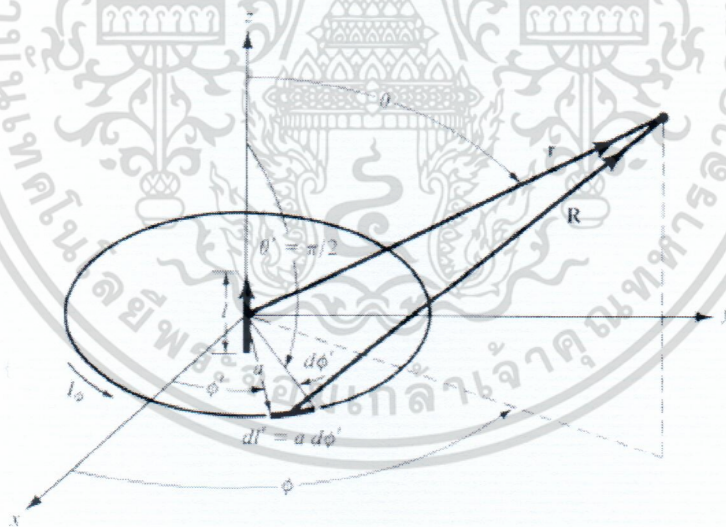
บทที่ 2

เสาอากาศแบบรูป

เสาอากาศแบบรูปมักนิยมใช้ในการสื่อสารในย่านต่างๆ ซึ่งเสาอากาศอาจเป็นในรูปแบบขด หรือถูกสร้างอยู่ในแผ่นวงจรและมีรูปแบบเป็นระนาบ [11],[12] โดยปกติเสาอากาศแบบรูปจะมีความยาวน้อยกว่าความยาวคลื่น (electrically small antenna) ซึ่งในกรณีนี้จะทำให้ค่าความต้านทานการแผ่ (radiation resistance) มีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทานการสูญเสีย (loss resistance) ดังนั้นพลังงานส่วนมากที่จ่ายให้กับเสาอากาศจะสูญเสียมากกว่าที่จะแผ่กระจายออกไป วิธีการที่จะทำให้การแผ่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าดีขึ้นวิธีการหนึ่งคือการเพิ่มความยาวของรูป หรือการเพิ่มจำนวนขด

2.1 เสาอากาศแบบรูปขนาดเล็ก

เสาอากาศที่แบบรูปขนาดเล็กมีโครงสร้างตามภาพที่ 2.1 โดยเสาอากาศมีขดเพียงขดเดียวและมีลักษณะเป็นวงกลม



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเสาอากาศแบบรูปขนาดเล็ก [1]

สำหรับเสาอากาศแบบรูปขนาดเล็ก ค่าสนามแม่เหล็ก (magnetic field, H) สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไป้ [1]

$$H_r = \frac{I_m l \cos(\theta)}{2\pi\eta r^2} \left[1 + \frac{1}{jkr} \right] e^{-jkr} \quad (2.1)$$

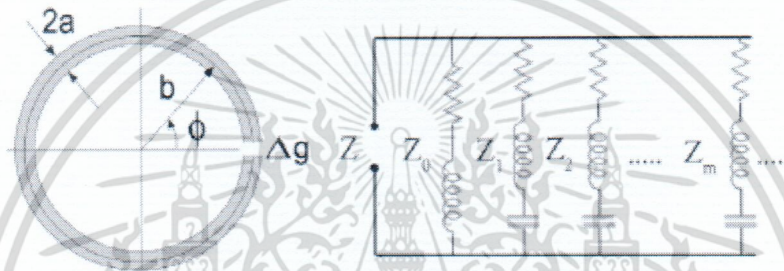
$$H_\theta = j \frac{k I_m l \sin(\theta)}{4\pi\eta r} \left[1 + \frac{1}{jkr} + \frac{1}{(kr)^2} \right] e^{-jkr} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย H_r คือสนามแม่เหล็กในแนว radial และ H_θ คือสนามแม่เหล็กในแนว azimuth I_m คือกระแสที่จ่ายให้กับเสาอากาศ l คือความยาวของลูป η คือค่า intrinsic impedance ของอากาศ k คือค่า propagation constant ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า r คือระยะทางในแนว radial และ θ คือมุม azimuth

2.2 วงจรสมมูลของเสาอากาศแบบลูป

วงจรสมมูลของเสาอากาศแบบลูปขนาดเล็กสามารถเขียนได้ตามภาพที่ 2.2 [2] วงจรจะประกอบด้วย ค่าความเหนี่ยวนำ ค่าความต้านทานสูญเสีย ค่าความต้านทานการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งสามารถรวมเป็นค่าอิมพีแดนซ์ของเสาอากาศแบบโหมดต่างๆ



ภาพที่ 2.2 วงจรสมมูลของเสาอากาศแบบลูป [2]

ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของเสาอากาศแบบลูป (Z) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการต่อไปนี้ [2]

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{Z_0} + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{Z_m}} \quad (2.3)$$

ค่าอิมพีแดนซ์ Z_0 ประกอบด้วยค่าความต้านทานและค่าความเหนี่ยวนำ [2]

$$Z_0 = R_0 + j\omega L_0 \quad (2.4)$$

ซึ่ง R_0 และ L_0 ไม่ใช่ค่าคงที่ แต่แปรผันตามความถี่ ค่าอิมพีแดนซ์ของโหมดอื่นๆก็เช่นเดียวกัน [2]

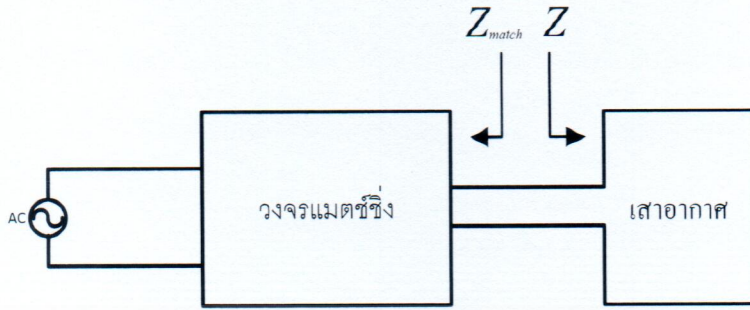
$$Z_m = R_m + j\left(\omega L_m - \frac{1}{\omega C_m}\right) \quad (2.5)$$

โดย R_m L_m และ C_m ไม่ใช่ค่าคงที่ แต่แปรผันตามความถี่

2.3 การแพร่กระจายคลื่นของเสาอากาศแบบลูป

เพื่อให้เสาอากาศแบบลูปมีการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กได้ดี จำเป็นต้องให้เสาอากาศมีการเรโซแนนซ์ (resonance) เกิดขึ้น สำหรับเสาอากาศแบบลูปสามารถทำได้โดยการทำคอนจูเกตแอมตซ์ (impedance complex conjugate) เข้าไปที่อิมพีแดนซ์ของเสาอากาศ สำหรับวงจรที่ต่อเพิ่มเติมเพื่อให้เสาอากาศเกิดการเรโซแนนซ์เรียกว่าวงจรแมตซ์ซิง (matching network) ดังแสดงในภาพที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 วงจรแมตช์ซิ่งและเสาอากาศแบบขลุ่ย

เพื่อให้เกิดการเรโซแนนซ์ที่ความถี่ที่ต้องการค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรแมตช์ซิ่งเมื่อมองไปทางแหล่งจ่ายต้องมีค่าเป็นค่าคอนจูเกตกับค่าอิมพีแดนซ์ของเสาอากาศแบบขลุ่ย

$$Z_{match} = Z^* \quad (2.6)$$

โดย * แสดงถึงการคอนจูเกต (complex conjugate)

2.4 การเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กจากเสาอากาศแบบขลุ่ยไปยังเสาอากาศตัวรับ

เสาอากาศแบบขลุ่ยสามารถถ่ายโอนพลังงานจากตัวส่งไปยังตัวรับผ่านการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็ก (mutual inductance) ตามภาพที่ 2.4 การเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กสามารถเขียนได้คือ [3]

$$M = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_1 \oint_2 \frac{dl_1 \cdot dl_2}{r_{12}} \quad (2.7)$$

โดย $\overline{dl_1}$ และ $\overline{dl_2}$ คือส่วนย่อยของเสาอากาศขลุ่ย 1 และ เสาอากาศขลุ่ย 2 ส่วน r_{12} คือระยะห่างระหว่าง $\overline{dl_1}$ และ $\overline{dl_2}$ วงจรสมมูลของการถ่ายโอนพลังงานของเสาอากาศทั้งสองแสดงตามภาพที่ 2.4 อินพุตอิมพีแดนซ์เมื่อมองจาก port 1 จะมีค่าเป็น

$$Z_{in} = R_1 + j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1} + \frac{\omega^2 M^2}{j\omega L_2 + R_2 + \frac{1}{j\omega C_2} + Z_0} \quad (2.8)$$

หากพิจารณาค่า forward transmission coefficient (S_{21}) จะได้ค่าดังนี้

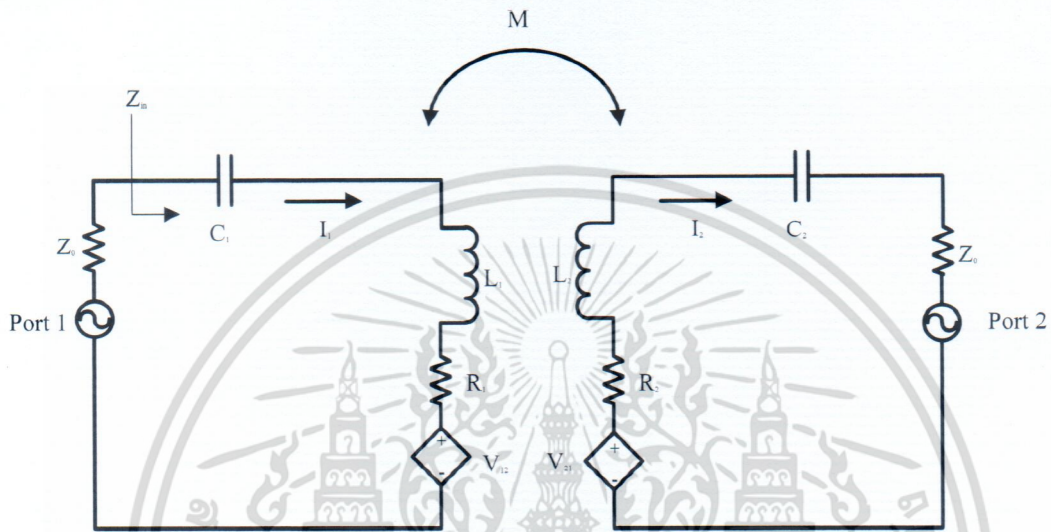
$$S_{21} = \frac{j2\omega M Z_0}{(R_1 + j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1} + Z_0)(R_2 + j\omega L_2 + \frac{1}{j\omega C_2} + Z_0) + \omega^2 M^2} \quad (2.9)$$

ซึ่งโดยทั่วไป ค่า $(R_1 + j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1} + Z_0)(R_2 + j\omega L_2 + \frac{1}{j\omega C_2} + Z_0) \gg \omega^2 M^2$ ดังนั้นค่า S_{21} จะแปรผันตามค่า M นอกจากนี้ค่า M ยังเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กตามสมการ [3]

$$M = \frac{N_2 \frac{d}{dt} (\int \vec{B}_1 \cdot d\vec{S}_2)}{\frac{di_1}{dt}} \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นหากสนามแม่เหล็กจากขดลวดที่ 1 ถูกเหนี่ยวนำไปยังขดลวดที่ 2 ได้มาก ค่า M ก็จะมาก และค่า S_{21} ก็จะมากตามไปด้วย ซึ่งในการวัดจะใช้ค่า S_{21} เป็นตัวเปรียบเทียบประสิทธิภาพการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กของเสาอากาศ



ภาพที่ 2.4 วงจรสมมูลของการถ่ายโอนพลังงานระหว่างเสาอากาศแบบลูป

2.5 เสาอากาศแบบลูปมี ferrite

การเพิ่มแผ่น ferrite เข้ามาในเสาอากาศ ได้ช่วยให้เสาอากาศแบบลูปมีประสิทธิภาพดีขึ้น ดังแสดงในผลงานสิทธิบัตรของ [4] นอกจากนี้ แผ่น ferrite ยังสามารถนำมาใช้ในการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี ดังแสดงในงานวิจัยของ [5] นอกจากนี้แผ่น ferrite ยังนำไปใช้เพื่อเพิ่มช่วงความถี่ในการทำงานของเสาอากาศดังแสดงในงานวิจัยของ [6]-[7] ในโครงการนี้จะใช้ ferrite เพื่อช่วงเพิ่มประสิทธิภาพในการอ่านของเครื่อง RFID reader

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบเสาอากาศแบบดูป

การศึกษาสายอากาศสำหรับตัวอ่าน RFID แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ 1) การทำอิมพีแดนซ์แมทซิงของสายอากาศแบบ Single ended เข้ากับตัวส่งที่มีความถี่ต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบทฤษฎีที่ใช้และดูความสามารถในการแมทซิงสายอากาศกับตัวส่ง เปรียบเทียบผลการวัดกับผลการจำลองวงจรไมโครเวฟด้วยโปรแกรม Advanced Design System (ADS) และทำการเปลี่ยนสายอากาศโดยทำการเพิ่มสารเฟอร์ไรต์เข้าไปที่สายอากาศเดิมและวัดความสามารถในการแมทซิงอิมพีแดนซ์ ส่วนต่อมาก็คือ การทำการจำลองสนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมาจากสายอากาศธรรมดาและสายอากาศที่ทำการเพิ่มสารเฟอร์ไรต์เพื่อเปรียบเทียบความแรงและรูปแบบการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กระหว่างสายอากาศสองชนิดด้วยโปรแกรม ANSYS Maxwell และส่วนสุดท้ายคือการออกแบบสายอากาศโดยใช้แผ่นเฟอร์ไรต์ติดเข้ากับสายอากาศและทำการแมทซิงอิมพีแดนซ์เข้ากับเครื่องอ่าน RFID และทดสอบการใช้งาน

3.1 การทำอิมพีแดนซ์แมทซิงของสายอากาศเข้ากับตัวส่งที่มีความถี่ต่าง ๆ

ในส่วนนี้เป็นการทำการทดลองทำแมทซิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่มีความถี่ต่าง ๆ และวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ Γ หรือ s_{11} (S parameter) ของสายอากาศทั้งแบบธรรมดาและแบบที่มีแผ่นเฟอร์ไรต์ติดอยู่ที่ด้านล่างเพื่อตรวจสอบว่าสายอากาศจะสามารถส่งผ่านพลังงานได้สูงสุดที่ความถี่ที่ต้องการได้หรือไม่ (ขนาดของค่า s_{11} ที่ความถี่นั้น ๆ จะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความถี่อื่น) โดยจะเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่ได้จากการวัด 3 วิธีคือ

1. จากการวัดสายอากาศที่มีแมทซิงเน็ตเวิร์คโดยตรง
2. จากการวัดสายอากาศแยกกับแมทซิงเน็ตเวิร์คแล้วนำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ทั้งสองมารวมกันตามทฤษฎีไมโครเวฟ
3. สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Advanced Design System

ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่ได้จากทั้ง 3 วิธีมีค่าสอดคล้องไปในทางเดียวกันแสดงว่าวิธีในการจำลองและการคำนวณทางทฤษฎีนี้มีความถูกต้องและเชื่อถือได้และสามารถนำไปใช้ในการออกแบบสายอากาศในการทดลองถัดไปได้

3.2 การพัฒนาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศ

เมื่อทำการทดสอบการแมทซิงสายอากาศธรรมดาและสายอากาศที่มีสารเฟอร์ไรต์เพื่อทดสอบว่าสายอากาศทั้งสองชนิดสามารถเกิดการเรโซแนนซ์ที่ความถี่ที่ต้องการได้หรือไม่ในหัวข้อที่ 3.1 แล้ว ในหัวข้อ

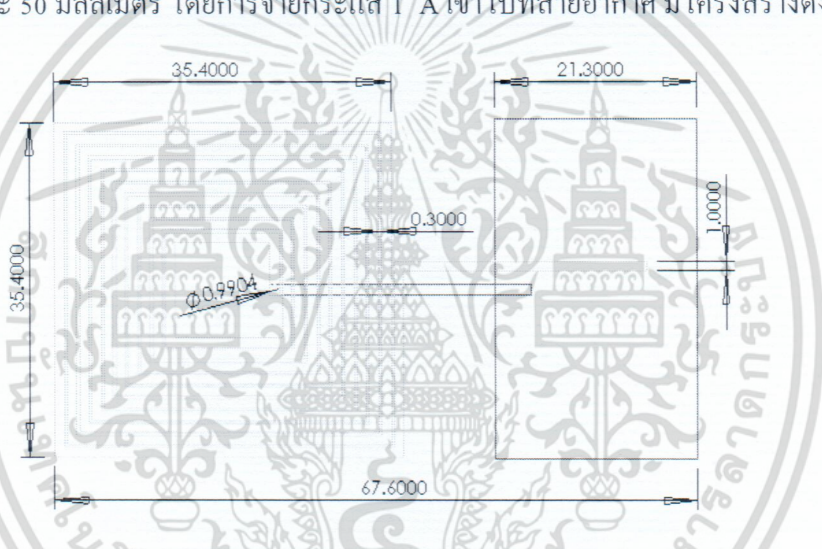
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี่จะเป็นการพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศทั้งสองชนิดโดยจะทำการทดสอบและเปรียบเทียบผล ดังนี้

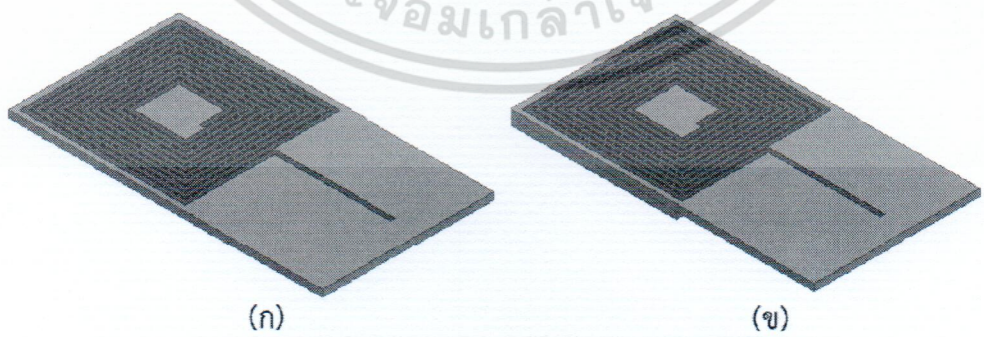
1. จำลองความเข้มของสนามแม่เหล็กด้วยโปรแกรม ANSYS Maxwell
2. การส่งผ่านพลังงานระยะใกล้

3.2.1 การจำลองและเปรียบเทียบความเข้มของสนามแม่เหล็ก

การจำลองความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศเป็นการวัดความสามารถในการปล่อยพลังงานในรูปแบบของสนามแม่เหล็กของสายอากาศทำได้โดยใช้โปรแกรม ANSYS Maxwell โดยการจำลองจะวัดความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux density) ที่ตำแหน่งเหนือสายอากาศในแนวนอนเป็นระยะ 2, 5, 10, 20, 30, 40, และ 50 มิลลิเมตร โดยการจ่ายกระแส 1 A เข้าไปที่สายอากาศมีโครงสร้างดังภาพที่ 3.1

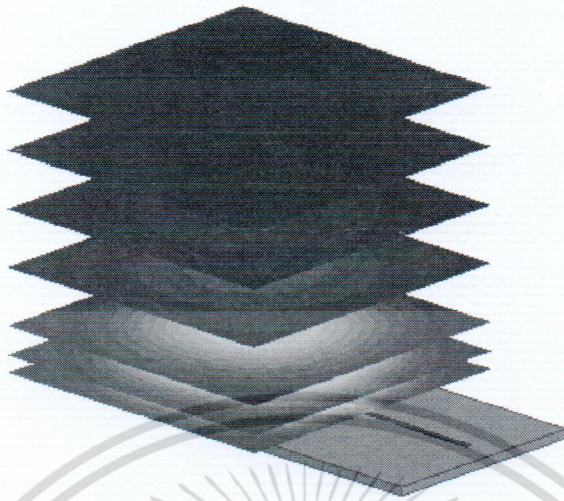


ภาพที่ 3.1 โครงสร้างของสายอากาศในหน่วยมิลลิเมตร



ภาพที่ 3.2 โมเดลสายอากาศที่ใช้ในการจำลอง (ก) สายอากาศแบบธรรมดา (ข) สายอากาศแบบมีแผ่นเฟอโรไรต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



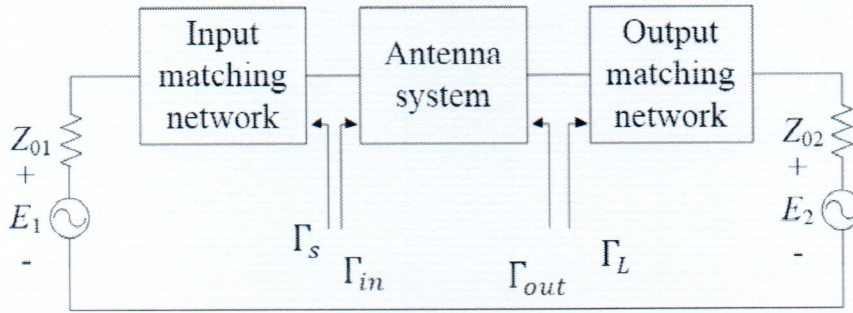
ภาพที่ 3.3 แสดงระนาบในการวัดความเข้มฟลักซ์แม่เหล็กของสายอากาศที่ระยะ 2, 5, 10, 20, 30, 40, และ 50 มิลลิเมตร

เมื่อทำการจำลองความเข้มฟลักซ์แม่เหล็กของสายอากาศธรรมดาและสายอากาศที่มีแผ่นเฟอร์ไรต์เรียบร้อยแล้วจึงนำค่าความเข้มฟลักซ์แม่เหล็กมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบ ซึ่งการจำลองในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศทั้ง 2 ชนิด ในทางทฤษฎีเท่านั้น

3.2.2 การศึกษาการถ่ายโอนพลังงานในระยะใกล้

ในการเปรียบเทียบการส่งผ่านพลังงานระยะใกล้ของสายอากาศทั้งสองจะทำได้โดยการใช้สายอากาศแบบเดียวกับการทดลองในหัวข้อที่ 3.1 และ 3.2 จำนวน 2 ตัว โดยแรกจะทำหน้าที่เป็นสายอากาศตัวส่ง ส่วนอีกตัวทำหน้าที่เป็นสายอากาศตัวรับ โดยกรณีสายอากาศที่มีแผ่นเฟอร์ไรต์จะทำการใส่ที่สายอากาศตัวส่ง ในการวัดจะจ่ายพลังงานเข้าที่สายอากาศตัวส่งและใช้สายอากาศตัวรับวางไว้ที่ตำแหน่ง 2, 5, และ 10 มิลลิเมตรและเปรียบเทียบ Power gain ที่ได้สายอากาศแบบธรรมดาและสายอากาศแบบที่มีแผ่นเฟอร์ไรต์แบบใดได้ค่า gain ที่สูงกว่าแสดงว่าสายอากาศชนิดนั้นมีการส่งผ่านพลังงานได้ดีกว่าโดยจะเปรียบเทียบผลการจำลองโดยใช้โปรแกรม ADS และจากการวัดจริง ภาพที่ 3.4 แสดงระบบของสายอากาศแบบ 2 พอร์ตซึ่งประกอบไปด้วยสายอากาศทั้งตัวรับและตัวส่งวางในแนวขนานกัน โดยสายอากาศทั้งสองเชื่อมต่อกับอินพุตและเอาต์พุตแมทซิงเน็ตเวิร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 ระบบสายอากาศแบบ 2 พอร์ต

ซึ่งในการออกแบบสายอากาศที่อยู่ในระบบ 2 พอร์ตนั้นจำเป็นต้องมีเมทซิงเน็ตเวิร์คดังกล่าว เพื่อให้คอนจูเกตของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของระบบสายอากาศที่มองจากพอร์ตที่ 1 (Γ_{in}^*) เท่ากับสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของอินพุตเมทซิงเน็ตเวิร์คที่มองย้อนกลับไปทางพอร์ตที่ 1 (Γ_S) ซึ่งเป็นพอร์ตที่ส่งพลังงานคลื่น และให้คอนจูเกตของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของระบบสายอากาศที่มองจากพอร์ตที่ 2 (Γ_{out}^*) เท่ากับสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของเอาต์พุตเมทซิงเน็ตเวิร์คที่มองย้อนกลับไปทางพอร์ตที่ 2 (Γ_L)

$$\Gamma_S = \Gamma_{in}^* \quad (3.1)$$

$$\Gamma_L = \Gamma_{out}^* \quad (3.2)$$

ซึ่งการออกแบบเมทซิงเน็ตเวิร์ควิธีนี้เรียกว่าวิธี Conjugate Match [8] โดยจะนำค่า Γ_S^* และ Γ_L^* ไปออกแบบเมทซิงเน็ตเวิร์คโดยใช้ smith chart ที่ความถี่ 13.56 MHz โดยที่ Γ_S และ Γ_L หาได้ดังนี้

$$\Gamma_S = \frac{B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 4|C_1|^2}}{2C_1} \quad (3.3)$$

$$\Gamma_L = \frac{B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4|C_2|^2}}{2C_2} \quad (3.4)$$

เมื่อ

$$B_1 = 1 + |s_{11}|^2 - |s_{22}|^2 - |\Delta|^2 \quad (3.5)$$

$$B_2 = 1 + |s_{22}|^2 - |s_{11}|^2 - |\Delta|^2 \quad (3.6)$$

$$C_1 = s_{11} - \Delta s_{22}^* \quad (3.7)$$

$$C_2 = s_{22} - \Delta s_{11}^* \quad (3.8)$$

$$\Delta = s_{11}s_{22} - s_{12}s_{21} \quad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ s คือค่า s parameters ของระบบสายอากาศ ซึ่งค่า Power gain ที่จะใช้เปรียบเทียบในบทนี้ประกอบไปด้วย Transducer power gain, G_T คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ส่งผ่านไปยังโหลดกับพลังงานของแหล่งจ่าย Operating power gain, G_p คืออัตราส่วนของพลังงานที่ส่งผ่านไปยังโหลดกับพลังงานที่เข้าสู่เน็ทเวิร์ค (ระบบสายอากาศ) [8] โดยมีสมการดังนี้

$$G_T = \frac{\text{power delivered to the load}}{\text{power available from the source}} = |s_{21}|^2 \quad (3.10)$$

$$G_p = \frac{\text{power delivered to the load}}{\text{power input to the network}} = \frac{1}{1-|s_{11}|^2} * G_T \quad (3.11)$$

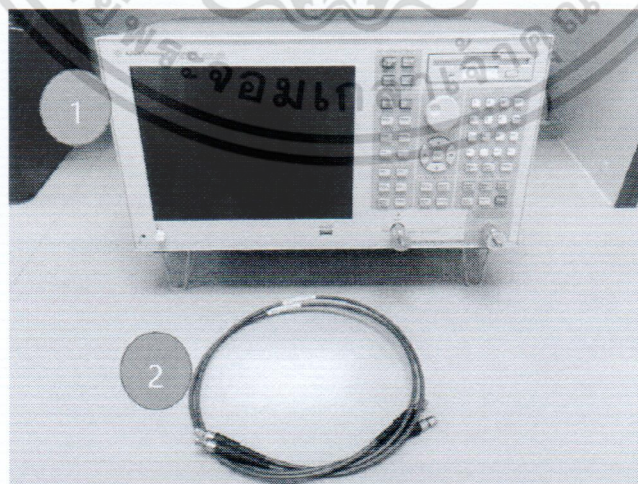
เมื่อทราบถึงทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณแล้ว ต่อไปจะเป็นขั้นตอนการทดลอง โดยจะแบ่งออกเป็น การจำลองการส่งผ่านพลังงาน และการวัดค่าการส่งผ่านพลังงาน โดยอุปกรณ์และขั้นตอนการทดลองมีดังต่อไปนี้

3.2.2.1 การจำลองการส่งผ่านพลังงานของสายอากาศด้วยโปรแกรม Advanced Design System

ในการจำลองนี้จะใช้ค่า s parameters ของระบบสายอากาศมาคำนวณหาเมทริกซ์เน็ทเวิร์คจากนั้นจึงใช้โปรแกรม Advanced Design System ในการใส่วงจรเมทริกซ์เพื่อวัดค่า

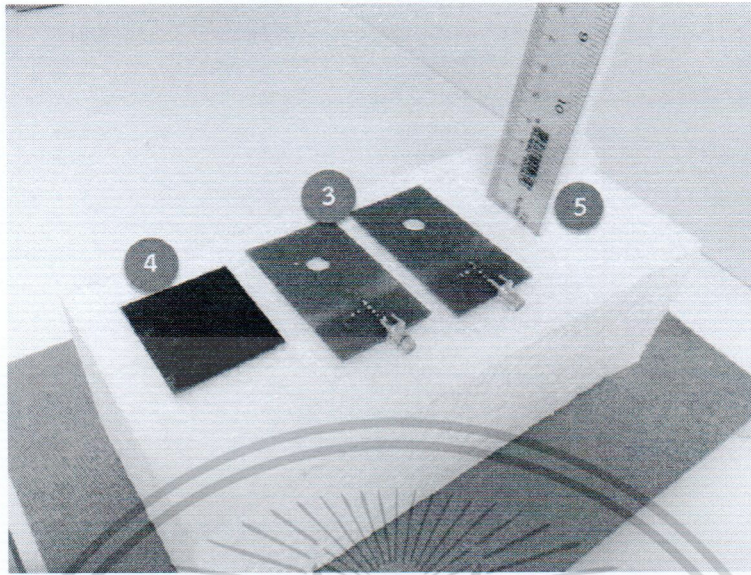
3.2.2.1.1 อุปกรณ์การทดลอง

1. E5062A ENA-L RF Network Analyzer
2. สายโคแอกเซียล
3. สายอากาศบนแผ่น PCB แบบธรรมดาที่มีเมทริกซ์เน็ทเวิร์ค ตัว 2 (ตัวรับและตัวส่ง)
4. แผ่นสติกเกอร์เพื่อไรต์ติดเข้ากับแผ่น PCB เปล่า ขนาด 4 x 3.8 x 1.6 mm
5. แท่นวางพร้อมไม้บรรทัดวัดระยะ



ภาพที่ 3.5 อุปกรณ์การทดลอง

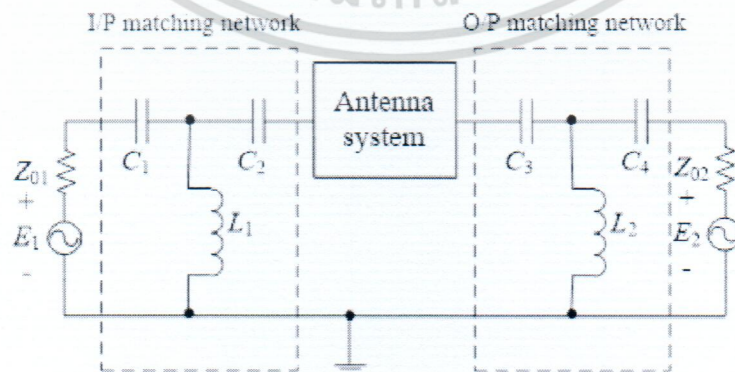
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.6 อุปกรณ์การทดลอง (ต่อ)

3.2.2.1.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการวัดค่า s parameters ของระบบสายอากาศที่ความถี่ 13.56MHz โดยนำสายอากาศตัวส่งแบบธรรมดาภายในแนวระนาบจากนั้นนำสายอากาศตัวรับวางคว่ำให้ห่างเป็นระยะ 2, 5, และ 10 ลีขนสายอากาศตัวส่งเป็นแบบที่ไม่แผ่นเฟอร์ไรต์แล้ววัดค่ามิลลิเมตร จากนั้นปัส parameters อีกครั้งแล้วบันทึกค่า
2. ลบค่า s parameters ของหัวเชื่อมต่อ SMA ออกจากระบบสายอากาศสามารถดูวิธีการคำนวณได้ในภาคผนวก ก
3. นำค่า s parameters ที่ลบผลของหัวเชื่อมต่อ SMA ออกแล้วมาคำนวณหาค่า Γ_S และ Γ_L ตามสมการที่ (3.9) ถึง (3.3) เพื่อที่จะได้นำค่าดังกล่าวมาคำนวณหาเมทริกซ์เนตเวิร์คแสดงดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 เมทริกซ์เนตเวิร์คของระบบสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำค่า Γ_S และ Γ_L มาทำการคอนจูเกตแล้วคำนวณหาแมทซิงเน็ตเวิร์คในรูปแบบเดียวกับแมทซิงเน็ตเวิร์คในหัวข้อ 3.1.3 โดยออกแบบได้ค่าดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 3.1 แมทซิงเน็ตเวิร์คของระบบสายอากาศที่ระยะการวัดต่างๆ

Distance (mm)	Transmitting Antenna	C1 (pF)	L1 (nH)	C2 (pF)	C3 (pF)	L2 (nH)	C4 (pF)
2	Bare	220	1000	82	82	1000	220
	Ferrite	180	1500	2700	75	1000	330
5	Bare	160	2200	160	160	2200	160
	Ferrite	120	1000	47	56	820	220
10	Bare	330	2200	56	56	2200	330
	Ferrite	160	2200	75	47	1000	390

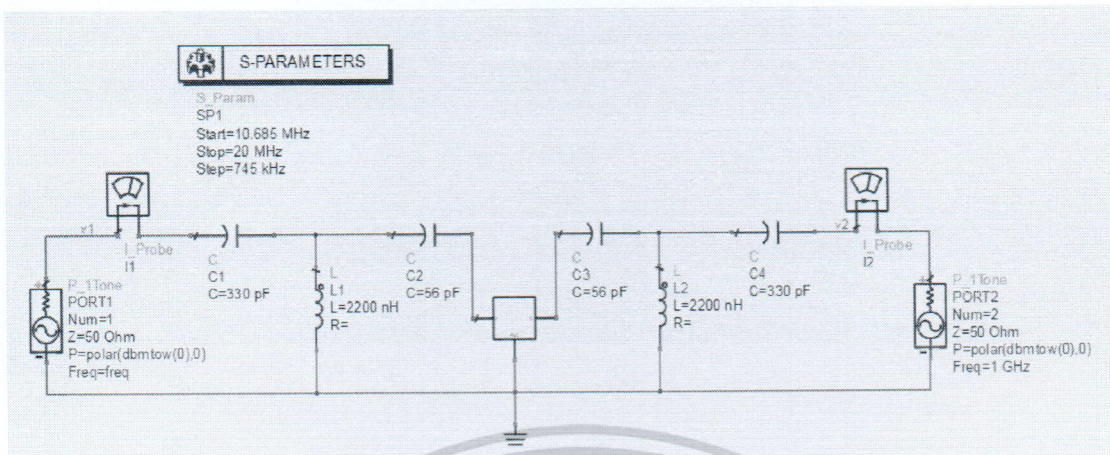
1. ใช้โปรแกรม Advanced Design System ในการจำลองการส่งผ่านพลังงาน โดยจะใช้ค่า s parameter ที่ได้จากการวัดสายอากาศบันทึกลงในไฟล์สกุล .s2p เมื่อเปิดด้วย Notepad จะมีเนื้อหาภายในไฟล์เป็นดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 เนื้อหาภายในไฟล์ .s2p

- จากรูปเป็นตัวอย่างค่า s parameters ของระบบสายอากาศแบบธรรมดาโดยวัดที่ระยะ 2 มิลลิเมตร โดยจะต้องใส่ค่า s parameters ในบรรทัดที่ 8 โดยเรียงลำดับการใส่ค่าตามบรรทัดที่ 5
2. ทำการต่อวงจรในโปรแกรม Advanced Design System ดังภาพที่ 3.9 และทำการจำลองเพื่อหาค่า s parameters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.9 วงจรในการจำลองสายอากาศ

3. และนำค่า s parameters ที่ได้จากการจำลองมาคำนวณหาค่า Power gain ตามสมการที่ 3.10 และ 3.11

3.2.2.2 การวัดค่าการส่งผ่านพลังงานของสายอากาศ

เมื่อทำการจำลองการส่งผ่านพลังงานของสายอากาศในหัวข้อ 3.2.2.1 ที่ผ่านมา ในหัวข้อนี้จะเป็นการวัดการส่งผ่านพลังงานของสายอากาศเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบโดยมีอุปกรณ์และขั้นตอนดังต่อไปนี้

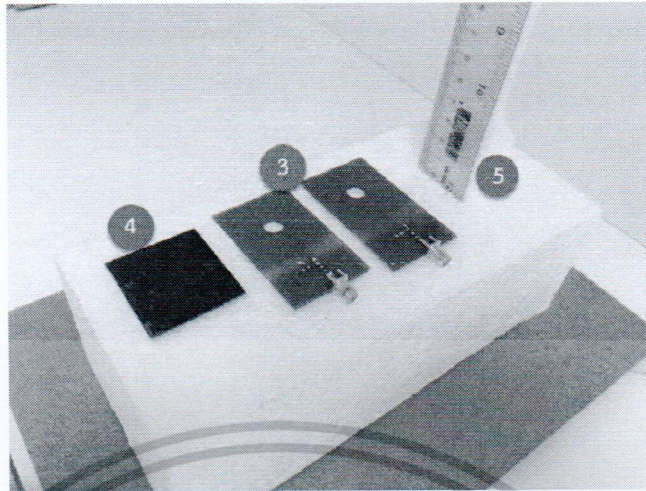
3.2.2.2.1 อุปกรณ์การทดลอง

1. E5062A ENA-L RF Network Analyzer
2. สายโคแอกเซียล
3. สายอากาศบนแผ่นแบบธรรมดาที่มีเมทซิงเน็ตเวิร์ค ตัว 2 (ตัวรับและตัวส่ง)
4. แผ่นสติกเกอร์เพื่อไรต์ติดเข้ากับแผ่น PCB เปล่า ขนาด 4 x 3.8 x 1.6 mm
5. ไม้บรรทัดวัดระยะ



ภาพที่ 3.10 อุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.11 อุปกรณ์การทดลอง (ต่อ)

3.2.2.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำสายอากาศทั้งตัวรับและตัวส่งมาทำการบัดกรีเมทซิงเนตเวิร์คตามระยะที่จะทำการวัดตามตารางที่ 3.1
2. ทำการวัดค่า s parameters ที่ความถี่ 13.56MHz ที่ระยะต่างๆ โดยนำสายอากาศตัวส่งต่อเข้ากับพอร์ต 2 และนำสายอากาศตัวรับต่อเข้ากับพอร์ต 1 ของเครื่อง Network Analyzer ดังภาพที่ 3.21



ภาพที่ 3.12 การวัดค่า s parameters ของระบบสายอากาศ

3. นำค่า s parameters ของระบบสายอากาศที่ 13.56MHz มาทำการลบค่า s parameters ของหัวเชื่อมต่อ SMA แบบ พอร์ตซึ่งได้กล่าวไว้ในภาคผนวก ก 2
4. ทำการคำนวณหาค่า Power gain ตามสมการที่ 3.11 และ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

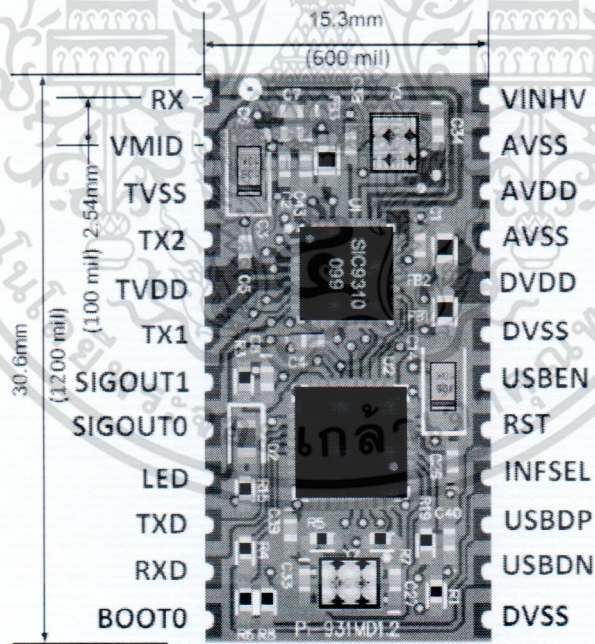
5. นำค่า Gain ที่ได้จากการจำลองและการวัดจริงมาทำการเปรียบเทียบกัน

3.3 การออกแบบสายอากาศสำหรับเครื่องอ่าน RFID ที่ความถี่ 13.56 MHz

ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาการออกแบบสายอากาศที่สามารถใช้กับเครื่องอ่าน RFID ที่ความถี่ 13.56 MHz โดยจะทำการนำสายอากาศที่ออกแบบไว้มาทำการศึกษาวิธีการที่จะทำให้สามารถใช้สายอากาศดังกล่าวกับเครื่องอ่าน RFID ได้ และทำการเปรียบเทียบระยะเวลาการอ่านระหว่างสายอากาศแบบธรรมดาและแบบมีแผ่นเฟอร์ไรต์รวมทั้งเปรียบเทียบระยะเวลาการอ่านเมื่อเครื่องอ่าน RFID อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีโลหะ โดยใช้ Module สำหรับอ่าน RFID คือ 13.56 MHz Multi-Standard RFID Reader Module ของ Silicon Craft รุ่น Pi-931MD

13.56 MHz Multi-Standard RFID Reader Module Pi-931MD

Pi-931 เป็น Module ขนาดเล็กสำหรับอ่าน RFID ของบริษัท Silicon Craft ภายในมี IC หลักคือ SIC9310 ซึ่งเป็น IC ประสิทธิภาพสูงที่ใช้สำหรับอ่าน RFID ที่ความถี่ 13.56 MHz แบบไม่มีการสัมผัสระหว่างตัว Tag กับเครื่องอ่าน โดยมีส่วนประกอบและคำอธิบายขา Pin ต่าง ๆ ดังภาพที่ 3.22 และ ตารางที่ 3.2 และ Block diagram คร่าว ๆ ดังภาพที่ 3.23



ภาพที่ 3.13 ส่วนประกอบและขาเชื่อมต่อของ Module Pi-931MD [9]

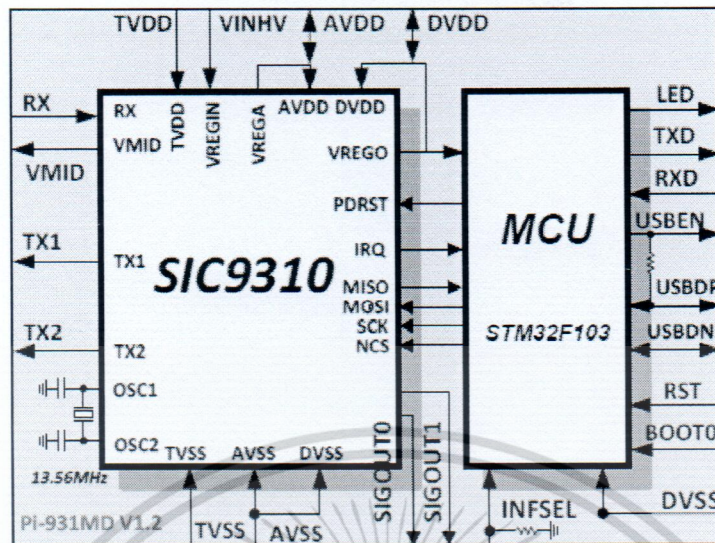
ตารางที่ 3.2 ขา Pin ต่างๆ ของ Module Pi-931MD

PIN	SYMBOL	TYPE	Related SUPPLY	Description
1	RX	IN	AVDD, AVSS	Receiver Input
2	VMID	OUT	AVDD, AVSS	Mid Rail Reference

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

				Voltage
3	TVSS	Power	TVDD, TVSS	Transmitter Ground
4	TX2	OUT	TVDD, TVSS	Transmitter Output 2
5	TVDD	Power	TVDD, TVSS	Transmitter VDD
6	TX1	OUT	TVDD, TVSS	Transmitter Output 1
7	SIGOUT1	OUT	DVDD, DVSS	Test signal SIGOUT1 from SIC9310
8	SIGOUT0	OUT	DVDD, DVSS	Test signal SIGOUT0 from SIC9310
9	LED	OUT	DVDD, DVSS	LED Output
10	UTXD	OUT	DVDD, DVSS	UART TX
11	URXD	IN	DVDD, DVSS	UART RX
12	BOOT0	IN	DVDD, DVSS	Firmware Programming Enable
13	DVSS	Power	DVDD, DVSS	Digital Ground
14	USBDN	IN/OUT	DVDD, DVSS	USB DN
15	USBDP	IN/OUT	DVDD, DVSS	USB DP
16	INFSEL	IN	DVDD, DVSS	Interface select (0 = USB, 1 = RS232)
17	RST	IN	DVDD, DVSS	Reset
18	USBEN	Power	DVDD, DVSS	USB Enable (Left Float)
19	DVSS	Power	DVDD, DVSS	Digital Ground
20	DVDD	Power	DVDD, DVSS	Digital Positive Power Supply
21	AVSS	Power	AVDD, AVSS	Analog Ground
22	AVDD	Power	AVDD, AVSS	Analog Positive Power Supply
23	AVSS	Power	AVDD, AVSS	Analog Ground
24	VREGIN	Power	AVSS	Regulator Input

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.14 Block diagram อย่างง่ายของ Module Pi-931MD [9]

- คุณสมบัติต่าง ๆ ของ Pi-931MD

RFID Front-End Chip

- SIC9310

Supported Protocols

- ISO14443A/B, all bit rates: 106, 212, 424 and 848 kbps
- ISO15693, all modes
 - Downlink 1 of 4 and 1 of 256
 - Uplink 6.6/13/26/53 kbps with 1 & 2 sub-carrier
- MIFARE Classic

Card Compatibilities

- ISO14443A
 - MIFARE 1k, 4k, Mini, Ultralight
 - Smartcard ISO14443A
- ISO14443B
 - Smartcard ISO14443B, SRI4K, SRI512
- ISO15693
 - SIC5600,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ICODE-SLI, ICODE-SLI-L, ICODE-SLI-S

Hardware Features

- Support various RF topologies
 - Closed coupling antenna
 - Class E driver
- Read Range of the reference design (ISO15693)
 - 3.5 cm x 5 cm close coupling antenna: 10 cm
 - 14 cm x 14 cm close coupling antenna: 30 cm
- Host interface
 - 3.3V RS232 (UART): 115,200 kbps
 - USB 2.0 Full speed
- Heat dissipation pad
- High power transmitter
 - 200 mA @ 5V TVDD
 - 300 mA @ 7V TVDD
- Rx sensitivity down to 1 mVpkpk
- On-board 3.3V regulator
- LED Status
- Dimension: 17.8 mm x 30.8 mm
- DIP 24-pin compatible (100-mil spacing)

Operating Conditions

- Storage temperature from -40 to 85oC
- Operating temperature from -40 to 85oC
- Core operating voltage from 2.7 to 3.3 V
- Transmitter operating voltage from 2.7 to 7 V
- Power consumption 60 mA in active mode (excluding Ant)

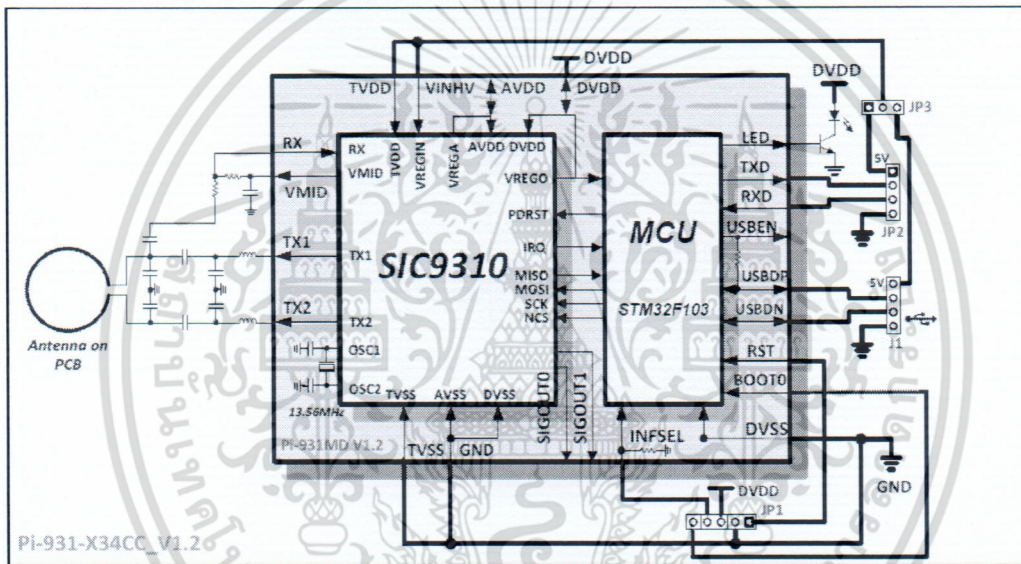
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ20ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Information Support

- Visual C# demonstration software
- Protocol Information

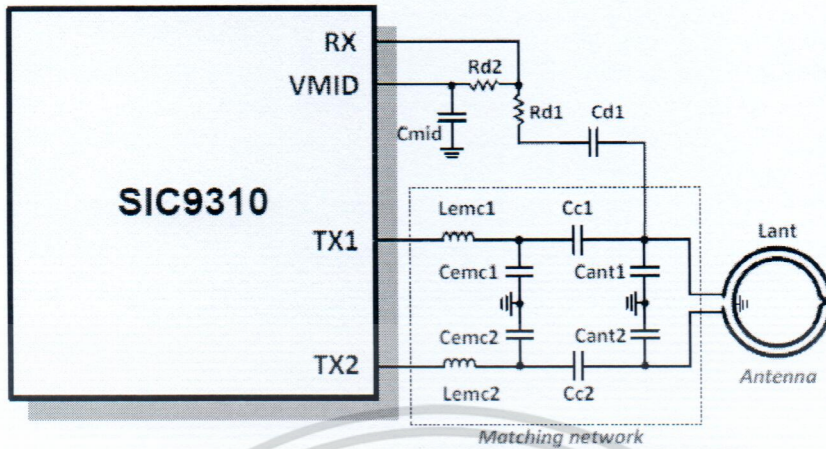
- เครื่องอ่าน RFID

เครื่องอ่าน RFID ที่ใช้ในหัวข้อนี้จะใช้ Module Pi-931MD มาต่อตาม Block Diagram Pi931-X34CC_V1.2 RFID Reader[9] ที่แสดงใน Data Sheet ของ Module Pi-931MD ดังภาพที่ 3.24 ซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับ Computer ผ่าน USB Port โดยส่วนของเมทซิงเน็ตเวิร์กแสดงดังภาพที่ 3.25



ภาพที่ 3.15 แสดง Block Diagram ของเครื่องอ่าน RFID Pi-931-X34CC [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 21 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.16 แสดงเมทซิงเน็ตเวิร์คของเครื่องอ่าน RFID [10]

สายอากาศที่ใช้กับเครื่องอ่าน RFID จะเป็นสายอากาศชนิด Differential มีโครงสร้างดังภาพที่ 3.26(มีลักษณะใกล้เคียงกับ Pi931-X34CC_V1.2 RFID Reader เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ)

ภาพที่ 3.17 แสดงโครงสร้างของสายอากาศในหน่วยมิลลิเมตร

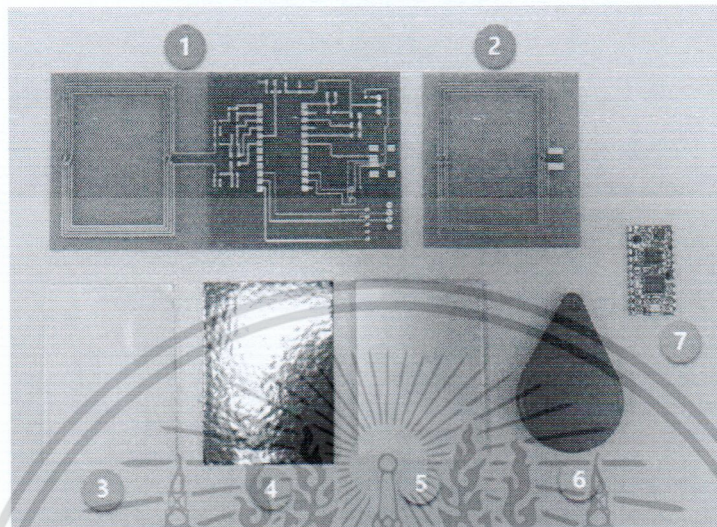
3.3.1 อุปกรณ์การทดลอง

1. แผ่น PCB ลายวงจรของเครื่องอ่าน RFID Pi-931-X34CC_V1.2
2. แผ่น PCB สายอากาศ
3. แผ่น PCB เปล่าขนาด 4.2x 6x 1.6 mm
4. แผ่นเฟอร์ไรต์ ขนาด 4.2 x 6 mm
5. แผ่นทองแดงหนา 0.035mm บน PCB ขนาด 4.2x 6x 1.6 mm
6. Tag ชนิด Passive มาตรฐาน ISO 14443A
7. Module Pi-9310MD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 22 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ฐานรองวัดพร้อมไม้บรรทัดวัดระยะ

9. เสาคั่งพร้อมไม้หนีบ



ภาพที่ 3.18 อุปกรณ์การทดลอง

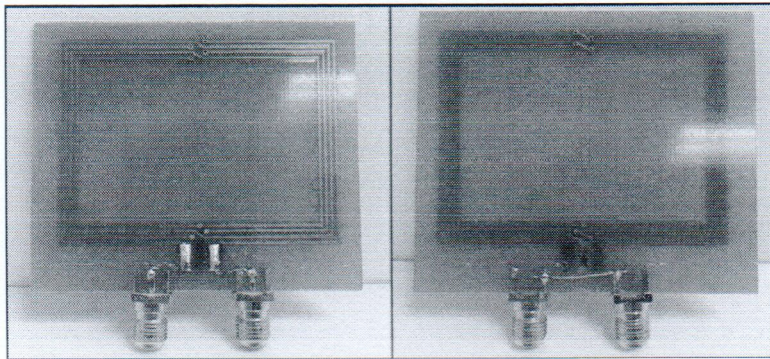


ภาพที่ 3.19 อุปกรณ์การทดลอง (ต่อ)

3.3.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการวัดค่า s parameter ของสายอากาศธรรมดาแบบ 13.56 พอร์ตที่ความถี่ 2MHz โดยการใส่หัวเชื่อมต่อ SMA เข้ากับสายอากาศดังภาพที่ 3.29 และเชื่อมต่อขาราวด์ของหัวเชื่อมต่อ SMA เข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 23 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



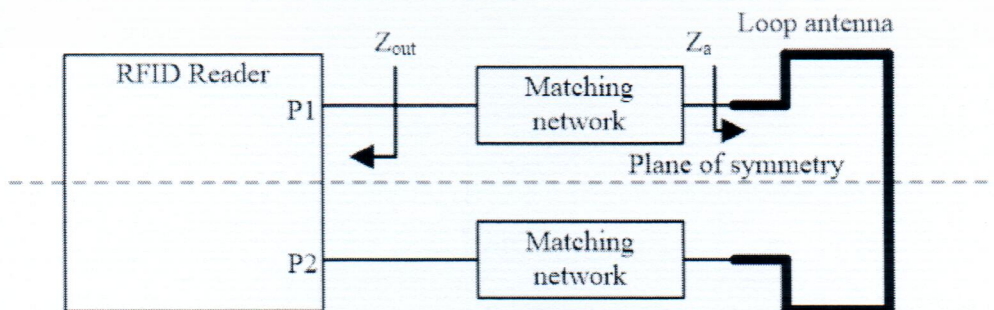
ภาพที่ 3.20 การต่อสายอากาศสำหรับการวัดค่า s parameters แบบ 2 พอร์ต

2. จากนั้นนำแผ่นเฟอร์ไรต์ติดเข้ากับแผ่น PCB เปล่าขนาด 4.2x 6x 1.6 mm แล้ววัดค่า s parameters ของสายอากาศที่มีแผ่นเฟอร์ไรต์
3. นำค่า s parameters ของสายอากาศแบบธรรมดาและแบบที่มีเฟอร์ไรต์มาลบผลของหัวเชื่อมต่อ SMA แบบ มพีแดนซ์ของสายอากาศพอร์ตและคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ (Z_a) จากสมการ

$$Z_a = Z_0 \frac{(1 + S_{11a})(1 + S_{22a}) - S_{12a}S_{21a}}{2S_{21a}}$$

เมื่อ Z_0 คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของ Network Analyzer (50Ω), Z_a คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ, S_a คือ ค่า s parameters ของสายอากาศ

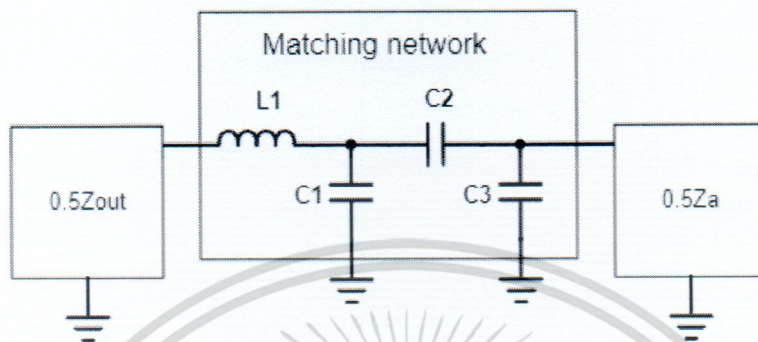
4. ต่อไปเป็นขั้นตอนการทำเมทซิงเน็ตเวิร์คโดยอ้างอิงจาก Data sheet HF RFID Antenna matching design ของบริษัท Silicon Craft ซึ่งเป็นการออกแบบเมทซิงเน็ตเวิร์คสำหรับเครื่องอ่าน RFID ที่มีสายอากาศแบบ Differential โดยขั้นตอนการทำงานจะเรียงต่อไปนี้ในข้อที่ 5
5. ในการทำเมทซิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะทำการแบ่งครึ่งระบบดังภาพที่ แล้วค่อยทำการ 3.29 ออกแบบเมทซิงเน็ตเวิร์ค



ภาพที่ 3.21 แสดงการแบ่งครึ่งระบบเครื่องอ่าน RFID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 24 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การทำแมทเน็ทเวิร์คจะนำครึ่งหนึ่งของค่าอิมพีแดนซ์สายอากาศมาแมทไปที่ครึ่งหนึ่งของอิมพีแดนซ์เครื่องอ่าน RFID และออกแบบแมทซิงเน็ทเวิร์คดังภาพที่ 3.30



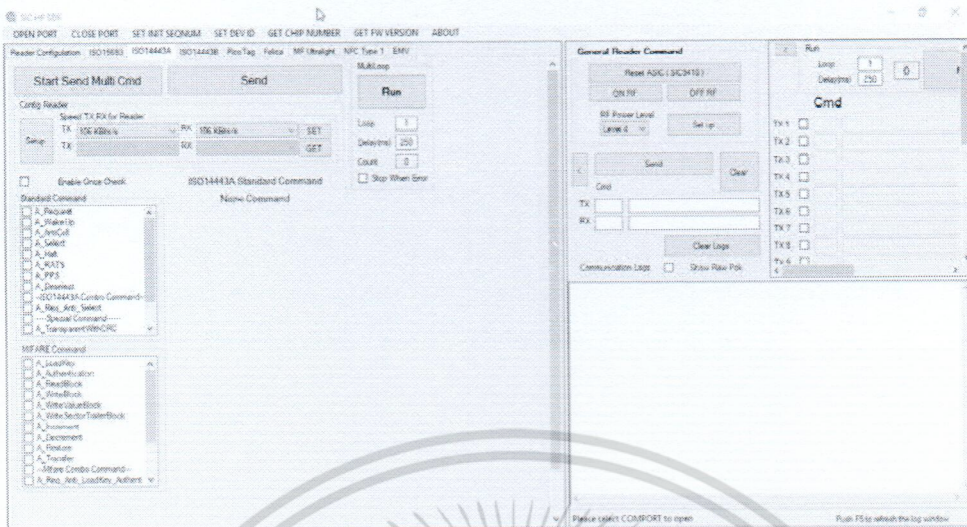
ภาพที่ 3.22 แสดงวงจรสมมูลของเครื่องอ่าน RFID และแมทซิงเน็ทเวิร์ค

จะได้ค่าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในแมทซิงเน็ทเวิร์คของสายอากาศแบบธรรมดาและสายอากาศแบบมีเฟอร์ไรต์แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจรแมทซิง

ชนิดของสายอากาศ	ส่วนประกอบของแมทซิงเน็ทเวิร์ค			
	L_1 (nH)	C_1 (pF)	C_2 (pF)	C_3 (pF)
สายอากาศแบบธรรมดา	270	430	68	68
สายอากาศแบบมีเฟอร์ไรต์	470	430	160	68

7. ทำการใส่วงจรแมทซิงเข้ากับเครื่องอ่าน RFID แล้วเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านสาย USB จากนั้นทำการเปิดโปรแกรม SIC HF SDK_V1 ซึ่งเป็นโปรแกรมอ่าน RFID ที่ทางบริษัท Silicon Craft ให้มา มีหน้าตาโปรแกรมดังภาพที่ 3.31



ภาพที่ 3.23 หน้าต่างโปรแกรมสำหรับอ่าน RFID SIC HF SDK_V1

8. ทำการวัดระยะการอ่านสูงสุดโดยใช้ Tag มาตรฐาน ISO 14443A หนีบกับไม้หนีบเริ่มจากการเลื่อน Tag จากจุดที่เกิดระยะการอ่านของเครื่องอ่าน RFID ลงมาจนกว่าจะเกิดการอ่าน Tag ได้ แสดงดังภาพที่ 3.24



ภาพที่ 3.24 รูปแสดงการวัดระยะการอ่านสูงสุดของเครื่องอ่าน RFID

9. จากนั้นทำการวัดระยะการอ่านสูงสุดเมื่อทำการเอียง Tag เป็นมุม 30, 45, 60 องศา แล้วบันทึกผลการวัด
10. ทำการวัดสายอากาศแบบมีเฟอร์ไรต์แบบเดียวกับที่ทำในสายอากาศแบบธรรมดา แล้วทำการบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 26 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. จากนั้นจะทำการดูระยะในการอ่านเมื่อเครื่องอ่าน RFID อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีโลหะ โดยการใช้แผ่นทองแดงหนา 0.035mm ที่ติดกับแผ่น PCB มาวางใต้เครื่องอ่าน โดยขึ้นด้วยแผ่นโฟมหนา 1cm ดังภาพที่ 3.25 และทำการวัดระยะการอ่านสูงสุดทั้งสายอากาศแบบธรรมดาและสายอากาศแบบมีเฟอโรไรต์



ภาพที่ 3.25 การวัดระยะการอ่านของเครื่องอ่าน RFID ในสภาพแวดล้อมที่มีโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศ

จากการพัฒนาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศในหัวข้อที่ 3.2 ซึ่งได้มีการทดสอบโดยการจำลองความเข้มฟลักซ์แม่เหล็กและการเปรียบเทียบการถ่ายโอนพลังงานระยะใกล้ได้ผลการทดลองดังนี้

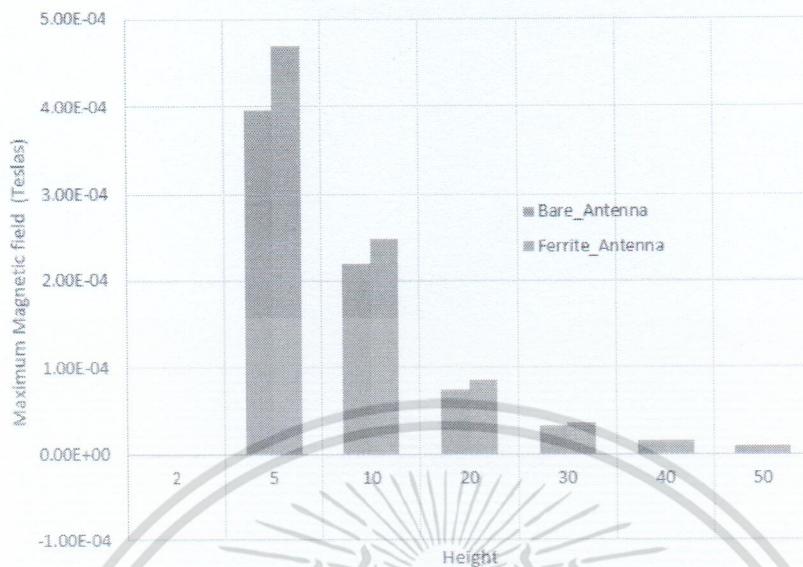
4.1.1 ผลการจำลองและเปรียบเทียบสนามแม่เหล็ก

ค่าความเข้มฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเหนือสายอากาศเป็นระยะ 2, 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิเมตร แสดงในตารางที่ 4.1 และทำการพล็อตเพื่อเปรียบเทียบระหว่างสายอากาศแบบธรรมดาและสายอากาศที่มีเฟอร์ไรต์แสดงในภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการจำลองค่าความเข้มฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดของสายอากาศทั้ง 2 ชนิดที่ความสูงต่าง ๆ

ระยะความสูง (mm)	ความเข้มฟลักซ์แม่เหล็ก (Teslas)	
	สายอากาศธรรมดา	สายอากาศแบบมีเฟอร์ไรต์
2	-6.610×10^{-8}	-7.599×10^{-7}
5	3.960×10^{-4}	4.688×10^{-4}
10	2.200×10^{-4}	2.475×10^{-4}
20	7.430×10^{-5}	8.500×10^{-5}
30	3.280×10^{-5}	3.600×10^{-5}
40	1.620×10^{-5}	1.620×10^{-5}
50	9.260×10^{-6}	9.630×10^{-6}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 28 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบความเข้มฟลักซ์แม่เหล็กที่ความสูงต่างๆ ของสายอากาศแบบธรรมดาและสายอากาศที่มีแผ่นเฟอร์ไรต์

จากภาพที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าสายอากาศที่มีแผ่นเฟอร์ไรต์ให้ความเข้มฟลักซ์แม่เหล็กมากกว่าสายอากาศแบบธรรมดาในทุกระยะความสูงเนื่องจากสารเฟอร์ไรต์ซึ่งเป็นสารเฟอร์โรแมกเนติกเมื่อได้รับสนามแม่เหล็กจากภายนอก (จากสายอากาศที่มีกระแสไหลผ่านเกิดสนามแม่เหล็ก) ทำให้เกิดการจัดเรียงขั้วแม่เหล็กที่เกิดจากการหมุนตัวของอิเล็กตรอนในเนื้อสารเฟอร์โรแมกเนติกทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น

4.1.2 ผลเปรียบเทียบการถ่ายโอนพลังงานระยะใกล้

ค่า Transducer power gain (G_T) และ Operating power gain (G_p) ของสายอากาศแบบธรรมดาและสายอากาศที่มีเฟอร์ไรต์ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Advanced design system และจากการวัดแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่า Power gain ของระบบสายอากาศ

ระยะความสูง (mm)	ชนิดของ สายอากาศ	ผลการจำลอง		ผลการวัด	
		G_T	G_p	G_T	G_p
2	ธรรมดา	0.891	0.902	0.559	0.610
	เฟอร์ไรต์	0.972	0.976	0.652	0.712
5	ธรรมดา	0.874	0.875	0.750	0.765
	เฟอร์ไรต์	0.873	0.878	0.579	0.588
10	ธรรมดา	0.742	0.745	0.802	0.838

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	เฟอร์ไรต์	0.799	0.800	0.651	0.657
--	-----------	-------	-------	-------	-------

จากตารางที่ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบ Transducer power gain (G_T) และ Operating power gain (G_p) ที่ได้จากการจำลองพบว่าค่า gain ทั้งสองของสายอากาศที่มีเฟอร์ไรต์มีค่ามากกว่าสายอากาศแบบธรรมดา ในทางกลับกันค่า gain ที่ได้จากการวัดจริงของสายอากาศแบบธรรมดามีค่ามากกว่าสายอากาศแบบที่มีเฟอร์ไรต์ที่ระยะความสูง 5 และ 10 มิลลิเมตร ซึ่งผลการวัดดังกล่าวไม่สอดคล้องกับการจำลอง ซึ่งการผิดพลาดดังกล่าวอาจเกิดจากโมเดลที่ใช้ในการทดลองมีความไม่ถูกต้อง หรืออีกกรณีคือเกิดจากการ coupling ที่เกิดจากสนามไฟฟ้าระหว่างสายอากาศตัวรับและตัวส่งทำให้การส่งผ่านพลังงานที่ได้จากการวัดจริงเกิดความผิดพลาดได้

4.2 ผลการออกแบบสายอากาศสำหรับเครื่องอ่าน RFID ที่ความถี่ 13.56 MHz

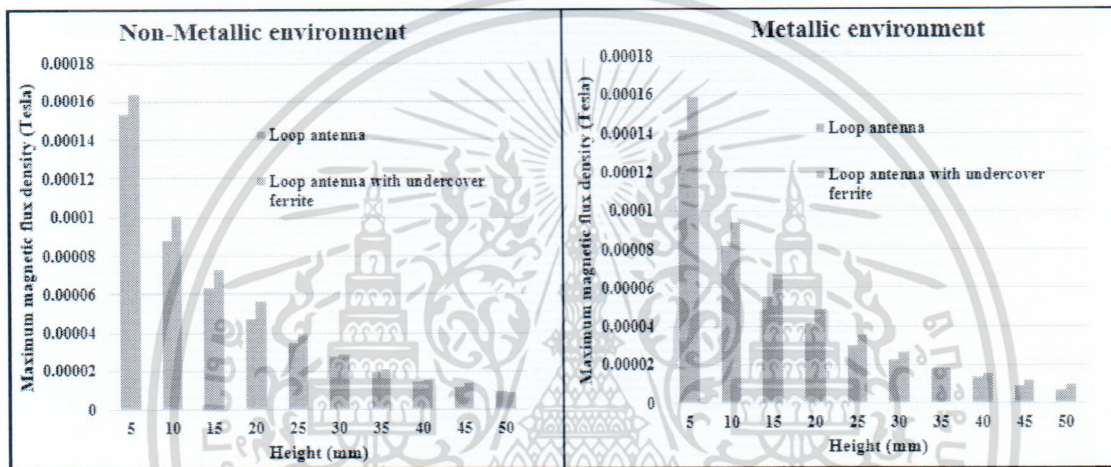
จากการออกแบบสายอากาศสำหรับเครื่องอ่าน RFID โดยใช้ Module Pi-931MD ซึ่งขั้นแรกจะทำการจำลองสนามแม่เหล็กของสายอากาศธรรมดาและแบบที่มีเฟอร์ไรต์ได้ผลดังตารางที่ 4.3 จากนั้นได้ทำการแมทชิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบธรรมดาและแบบที่มีเฟอร์ไรต์เข้ากับเครื่องอ่าน แล้วทำการทดลองที่ 1 คือการวัดระยะการอ่าน Tag สูงสุดที่ได้จากสายอากาศทั้งสองแบบโดยใช้มุมต่าง ๆ จากนั้นจึงทำการทดลองซ้ำโดยการทดลองที่ 2 คือ ให้เครื่องอ่าน RFID อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีโลหะ โดยการนำแผ่นทองแดงมาวางคั่นด้วยโฟมหนา 1 เซนติเมตร ได้เครื่องอ่านเพื่อดูระยะการอ่านที่เปลี่ยนแปลงไป โดยผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.4 และ 4.5

ตารางที่ 4.3 ค่าความเข้มฟลักซ์แม่เหล็กที่ระยะต่าง ๆ ของสายอากาศทั้งสองแบบในสภาพแวดล้อมที่มีและไม่มีโลหะ

ระยะความสูง (mm)	ค่าความเข้มฟลักซ์แม่เหล็ก (Teslas)			
	สภาพแวดล้อมที่ไม่มีโลหะ		สภาพแวดล้อมที่มีโลหะ	
	สายอากาศ ธรรมดา	สายอากาศที่มีเฟอร์ ไรต์	สายอากาศธรรมดา	สายอากาศที่มีเฟอร์ ไรต์
5	1.54×10^{-4}	1.64×10^{-4}	1.42×10^{-4}	1.59×10^{-4}
10	8.78×10^{-5}	1.01×10^{-4}	8.21×10^{-5}	9.35×10^{-5}
15	6.37×10^{-5}	7.24×10^{-5}	5.57×10^{-5}	6.67×10^{-5}
20	4.71×10^{-5}	5.61×10^{-5}	4.13×10^{-5}	4.88×10^{-5}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 30 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25	3.52×10^{-5}	3.93×10^{-5}	2.99×10^{-5}	3.58×10^{-5}
30	2.72×10^{-5}	2.88×10^{-5}	2.24×10^{-5}	2.66×10^{-5}
35	1.96×10^{-5}	2.07×10^{-5}	1.80×10^{-5}	1.79×10^{-5}
40	1.46×10^{-5}	1.56×10^{-5}	1.28×10^{-5}	1.51×10^{-5}
45	1.17×10^{-5}	1.38×10^{-5}	9.22×10^{-6}	1.19×10^{-5}
50	9.36×10^{-6}	8.75×10^{-6}	7.00×10^{-6}	9.51×10^{-6}



(ก)

(ข)

ภาพที่ 4.2 แสดงค่าความเข้มฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่ระยะความสูงต่างๆ ของสายอากาศสองชนิด (ก)

สภาพแวดล้อมที่ไม่มีโลหะ (ข) สภาพแวดล้อมที่มีโลหะ

จากภาพที่ 4.2 ที่ระยะ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 มิลลิเมตร สายอากาศที่มีเฟอร์ไรต์มีความเข้มสนามแม่เหล็กมากกว่าสายอากาศธรรมดาทั้งสภาพแวดล้อมที่มีโลหะและไม่มีโลหะ

ตารางที่ 4.4 ระยะการอ่าน Tag สูงสุดที่มุมค่าๆ ของเครื่องอ่าน RFID ที่ใช้สายอากาศแบบธรรมดา

สายอากาศ ธรรมดา	ระยะการอ่านสูงสุดที่มุม Tag ต่างๆ (cm.)			
	0°	30°	45°	60°
การทดลองที่ 1	3.2	3.1	2.8	1.6
การทดลองที่ 2	2.5	2.3	1.9	1.5

ตารางที่ 4.5 ระยะการอ่าน Tag สูงสุดที่มุมค่าๆ ของเครื่องอ่าน RFID ที่ใช้สายอากาศที่มีเฟอร์ไรต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 31 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศที่มี เฟอร์ไรต์	ระยะการอ่านสูงสุดที่มุม Tag ต่าง ๆ (cm.)			
	0°	30°	45°	60°
การทดลองที่ 1	5.2	4.9	4.5	4
การทดลองที่ 2	5.3	5.1	4.7	4.5

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการทำอิมพีแดนซ์แมทชิงสายอากาศที่มีเฟอร์ไรต์ให้ระยะการอ่าน Tag ของเครื่องอ่าน RFID ได้มากกว่าเครื่องอ่านที่ใช้สายอากาศแบบธรรมดาและช่วยลดผลกระทบจากสภาพแวดล้อมที่มีโลหะได้ดีกว่าเครื่องอ่าน RFID ที่ใช้สายอากาศแบบธรรมดาซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่สายอากาศแบบมีเฟอร์ไรต์ให้ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงกว่าสายอากาศแบบธรรมดาทั้งสภาพแวดล้อมที่มีโลหะและไม่มีโลหะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ32ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในโครงการนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนาต้นแบบของสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีย่านความถี่สูง โดยเลือกใช้เสาอากาศแบบลูป ประโยชน์ของเสาอากาศที่ออกแบบมุ่งไปที่การใช้งานในสถานะที่มีโลหะในบริเวณใกล้เคียงแต่ยังคงประสิทธิภาพการอ่านใกล้เคียงสถานะที่ไม่มีโลหะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การใช้สารเฟอร์ไรต์ในการเพิ่มประสิทธิภาพของการอ่าน Tag สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในภาคอุตสาหกรรมได้ ซึ่งก่อนทำการใช้สายอากาศกับเครื่องอ่านได้นั้นจำเป็นต้องทำอิมพีแดนซ์แมทชิงเพื่อให้เครื่องอ่านส่งผ่านพลังงานไปที่สายอากาศได้สูงสุดและจึงทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศธรรมดาและสายอากาศที่มีแผ่นเฟอร์ไรต์โดยการจำลองและการวัดค่าจริง โดยขั้นแรกจะเป็นการศึกษาการทำอิมพีแดนซ์แมทชิงของสายอากาศแบบ Single ended ให้สายอากาศเกิดการเรโซแนนซ์ที่ความถี่ที่ต้องการซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถทำการแมทชิงให้สายอากาศทั้งสองชนิดเรโซแนนซ์ที่ความถี่ที่ต้องการได้แต่จะมีความคลาดเคลื่อนนิคหนอยอันเกิดจากตัวอุปกรณ์ (ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ) ซึ่งมีช่วงการทำงานไม่ตรงกับความถี่ที่ทดลองและอีกส่วนหนึ่งเกิดจากการสูญเสียในวงจรสายอากาศและแผ่น PCB โดยผลการจำลองนั้นสายอากาศจะเรโซแนนซ์ได้ตรงกับความถี่ที่ต้องการ

ในส่วนของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศทั้งสองจะเปรียบเทียบสนามแม่เหล็กที่สายอากาศปล่อยออกมาในระยะความสูง 2, 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิเมตรซึ่งผลการจำลองด้วยโปรแกรม ANSYS Maxwell แสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่มีเฟอร์ไรต์ให้ค่าความเข้มฟลักซ์แม่เหล็กมากกว่าสายอากาศแบบธรรมดาในทุกระยะความสูง ส่วนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการส่งผ่านพลังงานระยะไกลนั้นได้ทำการนำสายอากาศที่เหมือนกันสองตัวเพื่อใช้เป็นสายอากาศตัวรับและตัวส่งจากนั้นทำการจำลองและวัดค่า Transducer power gain (G_T) และ Operating power gain (G_P) ที่ระยะห่างของสายอากาศทั้งสองเท่ากับ 2, 5, และ 10 มิลลิเมตร จากการจำลองพบว่าสายอากาศที่มีเฟอร์ไรต์ให้ค่า gain ทั้งสองสูงกว่าสายอากาศแบบธรรมดา แต่ผลจากการวัดจริงสายอากาศที่มีแผ่นเฟอร์ไรต์ให้ค่า gain ทั้งสองต่ำกว่าสายอากาศแบบธรรมดาที่ระยะ 5 และ 10 มิลลิเมตร สาเหตุอาจเกิดจากโมเดลที่ใช้ในการทดลองมีความไม่ถูกต้อง หรืออีกกรณีคือเกิดจากการ coupling ที่เกิดจากสนามไฟฟ้าระหว่างสายอากาศตัวรับและตัวส่งทำให้การส่งผ่านพลังงานที่ได้จากการวัดจริงเกิดความผิดพลาดได้

ส่วนสุดท้ายจะเป็นการออกแบบสายอากาศเพื่อใช้กับเครื่องอ่าน RFID ซึ่งสายอากาศที่ใช้จะเป็นแบบ Differential ซึ่งจะมีวิธีการทำแมทชิงอิมพีแดนซ์ที่แตกต่างไปจากสายอากาศที่มีอิมพีแดนซ์แบบ Single

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 33 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ended ในการทดลองนี้จะเปรียบเทียบระยะเวลาการอ่าน Tag ที่มุมของ Tag 0, 30, 45 และ 60 องศา ของเครื่องอ่าน RFID ที่มีสายอากาศแบบธรรมดาและสายอากาศแบบที่มีเฟอร์ไรต์ในสองสภาพแวดล้อมคือสภาพแวดล้อมแบบไม่มีโลหะและสภาพแวดล้อมที่มีโลหะ ผลการวัดแสดงให้เห็นว่าเครื่องอ่าน RFID ที่ใช้สายอากาศที่มีเฟอร์ไรต์มีระยะเวลาการอ่านที่มากกว่าเครื่องอ่าน RFID ที่ใช้สายอากาศแบบธรรมดาและยังมีประสิทธิภาพมากกว่าสายอากาศแบบธรรมดาเมื่อเครื่องอ่านอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีโลหะ โดยผลการจำลองสนามแม่เหล็กของสายอากาศทั้งสองด้วยโปรแกรม ANSYS Maxwell ที่ระยะ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 มิลลิเมตรผลที่ได้คือสายอากาศที่มีเฟอร์ไรต์มีความเข้มสนามแม่เหล็กมากกว่าสายอากาศธรรมดาในทุกๆระยะที่ทำการจำลองซึ่งผลการจำลองกับผลการวัดจริงที่ได้มีความสอดคล้องกัน

5.2 การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ(Publications)

Conference paper:

K. Khakhunthod, **C. Pakasiri**, "Study Performance of Near-Field HF Antenna using Undercover Ferrite Sheet," The 2017 International Electrical Engineering Congress, pp. 493-496, 8-10 March 2017, Phuket, Thailand.

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการสื่อสารระยะใกล้จำเป็นต้องมีการศึกษาและพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อให้การส่งผ่านพลังงานระยะใกล้ของสายอากาศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด การพัฒนาเครื่องอ่าน RFID ขนาดใหญ่เพื่อให้เหมาะกับการใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิตมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง

- [1] Antenna Theory Analysis and Design, C. A. Balanis, Wiley, 3rd ed., New Jersey, pp. 231-273, 2005
- [2] A.F. McKinley, et. al., "Theory of the circular closed loop antenna in the terahertz, infrared, and optical regions," Journal of Applied Physics, vol. 114, 2013.
- [3] Microchip Application note AN710, "Antenna circuit design for RFID applications", Microchip Technology Inc., 2003.
- [4] Loop antenna unit and radio communication medium processor, US Patent, US 7446729 B2, Pub. Date Nov. 4, 2008.
- [5] F. Erkmen, et. al., "Impedance matched ferrite layers as ground plane treatments to improve antenna wide-band performance," IEEE Trans. Ants. Prop., vol. 57, no. 1, pp. 263-266, Jan., 2009.
- [6] Y. S. Hwang, et. al., "The design of a near-field antenna with a ferrite sheet for UHF EPC applications," Journal of Electromagnetic Engineering and Science, vol. 14, no. 3, pp. 317-320, Sep., 2014.
- [7] B. Lee, et. al., "Enhanced loop structure of NFC antenna for mobile handset applications," Intl. Journal of Antennas and Propagation, 2014.
- [8] Gonzalez, G. (1996). Microwave transistor amplifiers: Analysis and design. 2nd ed. New York : Pearson Education.
- [9] Module Datasheet Pi-931MD. 2010. Silicon Craft Co.,Ltd.
- [10] Thantipwan, T. 2010. Application Note HF RFID Antenna Matching Design. Silicon Craft Co.,Ltd.
- [11] Antenna module and radio communication device, US Patent, US 2014/0184462 A1, Pub. Date Jul. 3, 2014.
- [12] Loop antenna unit and radio communication medium processor, US Patent, US 7446729 B2. Pub. Date Nov. 4, 2008.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 35 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัตินักผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นั้ตรพล ภกศิริ

เพศ ชาย หญิง วันเดือนปีเกิด 20 ม.ค. 2518 อายุ 42 ปี

สถานภาพ โสด สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	อิเล็กทรอนิกส์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2539
วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต	ECE	University of Houston, Texas, U.S.A.	2544
วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต	EECS	National Chiao Tung University, Taiwan	2556
วิศวกรรมศาสตรดุษฎี บัณฑิต	ECE	University of Houston, Texas, U.S.A.	2548

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) การประยุกต์ทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
วงจรอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง การออกแบบเสาอากาศ การใช้ระเบียบวิธีทางตัวเลขในการศึกษาค้น
แม่เหล็กไฟฟ้า

รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้
-	-	-

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2542	Research assistantships	University of Houston
2554	Scholarships	National Chiao Tung University

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 36 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

- 1) Pakasiri, C. and Torrungrueng, D., "Forward-backward Method with a Spectral Acceleration Algorithm for Capacitance Extraction of Planar Structures on a Single-Layered Medium," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 56, no. 3, March 2014, pp. 694-700.
- 2) Lertsirimit, C. and Torrungrueng, D., "Fast capacitance extraction for finite planar periodic structures using the generalized forward-backward and novel spectral acceleration method," *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 96, pp. 251-266, 2009.
- 3) Lertsirimit, C., Jackson, D. R., Wilton, D. R., "An efficient hybrid method for calculating the EMC coupling to a device on a printed circuit board inside a cavity by a wire penetrating an aperture," *Electromagnetics*, vol. 25, pp. 637-654, 2005.
- 4) Lertsirimit, C., Jackson, D. R., Wilton, D. R., "Time-domain coupling to a device on printed circuit board inside a cavity," *Radio Science*, vol. 40, pp. 1-12, 2005.
- 5) Wang, Y.J., Liao, I-No, Tsai, C.H., Pakasiri, C., "A Millimeter-Wave In-Phase Gate-Boosting Rectifier," *IEEE Trans. Micro. Theo. Tech.*, pp. 2768-2783, Nov 2014.

ภาคผนวก ก

ผลงานวิจัยเผยแพร่

โครงการนี้ได้ทำเผยแพร่ผลงานวิจัย ที่ “The 2017 International Electrical Engineering Congress” หรือ iEECON2017 ซึ่งจัดในช่วงวันที่ 8-10 มีนาคม 2017 ณ โรงแรม Holiday Inn, Pattaya ประเทศไทย ในหัวข้อ เรื่อง “Study Performance of Near-Field HF Antenna using Undercover Ferrite Sheet”



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 38 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study Performance of Near-Field HF Antenna using Undercover Ferrite Sheet

Kittipon Kankhunthod

College of Advanced Manufacturing Innovation
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand

Chatrpol Pakasiri

College of Advanced Manufacturing Innovation
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
Email: chatrpol.pa@kmitl.ac.th

Abstract—A planar loop antennas with and without undercover ferrite are studied in this paper. The field simulated results show that the antenna with undercover ferrite provides more magnetic flux density at the same distance away from it. Using a receiving loop antenna in the simulation, the power gain of both transmitting antennas is compared. By using proper matching networks, the planar loop antenna with undercover ferrite provides a better power gain than that of the planar loop antenna.

Keywords—planar loop antenna; ferrite sheet; wireless power transfer

I. INTRODUCTION

Near field communication (NFC) has been used widely in many wireless communication applications, especially in the HF band of 13.56 MHz frequency. The key performance of NFC is to have a strong magnetic field in the communication region and weak field in the far-field region. Therefore, transmitting antenna with an ability to wirelessly transfer power in the near field region is desired. Ferromagnetic material, which has relatively high loss permeability, has long been used as parts of antennas. It was believed that high loss permeability material yielding degraded radiation efficiency until recently T. Yousefi et al. [1] show that the radiation efficiency is not necessarily reduced by the magnetic permeability loss. High loss permeability material can also provide high radiation efficiency for electrically small antennas. B. Lee, et al. [2] uses ferromagnetic material as a ground plane of the loop antenna and changes the sequences of the loop turn to improve the quality factor and reading range of HF NFC antenna. Lau [3] has studied the effect of undercover ferrite sheet of the loop antenna on the NFC communication. The read range with the metallic environment has been drastically improved for the antenna with undercover ferrite sheet. This paper investigates the performance of antenna with undercover ferrite sheet in term of power transfer for near field communication.

II. TRANSMITTING ANTENNAS FIELD SIMULATION

First, transmitting antennas are simulated using ANSYS Maxwell. There are two types of antennas being considered. One is a planar loop antenna on FR4 substrate. The other is the same loop antenna with undercover ferrite sheet located

below the loop antenna with another FR4 PCB separated between them. Figure 1 shows the structures of both antennas.

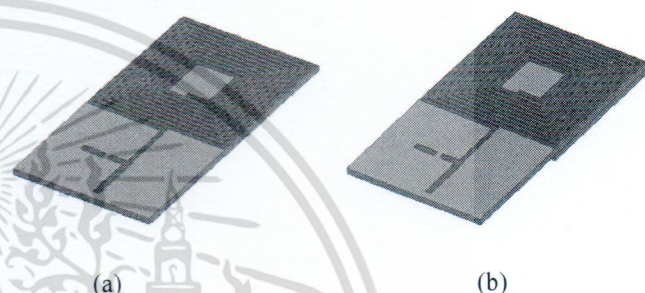


Fig. 1 Structures of the antennas under consideration (a) planar loop antenna (b) planar loop antenna with undercover ferrite.

The maximum magnetic flux density at various height are plotted and compared in Fig. 2. The results show that with the same amount of current delivered to the antenna, the antenna with undercover ferrite yields higher magnetic flux density at the distance below 30 mm. For the distance above 30 mm, the magnetic flux density of the planar loop antenna is higher but they are both insignificant.

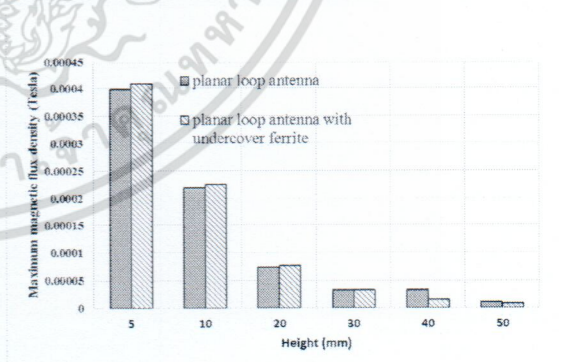


Fig. 2 Maximum magnetic flux density at various height.

III. MAGNETICALLY COUPLED ANTENNAS SIMULATION

From the field theory, the magnetic mutual inductance between two antennas is defined as [4],

$$M_{21} = \frac{1}{I_1 I_2} \int_{vol} \vec{B}_2 \cdot \vec{H}_1 dv \quad (1)$$

where \vec{B}_2 is the magnetic flux density resulting from current at the second antenna, I_2 , (with currently created by the first antenna, I_1 , equals zero) and \vec{H}_1 is the magnetic field intensity due to current I_1 (with $I_2 = 0$). While M_{12} is defined similarly, it is necessarily equal to M_{21} . Equation (1) shows how much the amount of the magnetic field generated from one antenna can couple to the other antenna with currents being normalized. To check the transmitting field of two different types of transmitting antenna, the receiving antenna is set to locate at the same position and orientation so that I_2 and \vec{B}_2 is set. Then the higher amount of mutual inductance implies that there is stronger magnetic field generated from the transmitting antenna. Next consider an equivalent circuit of magnetically coupled near-field antenna shown in Fig. 3.

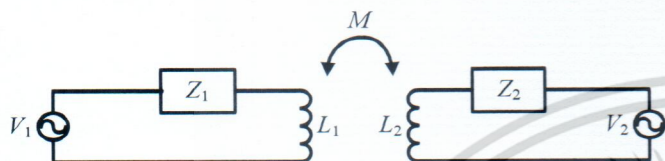


Fig. 3 An equivalent circuit of magnetically coupled antennas.

From Fig. 3, the voltage and current of both antennas can be written as [5]

$$V_1 = (Z_1 + j\omega L_1)I_1 + j\omega M I_2, \quad (2)$$

$$V_2 = j\omega M I_1 + (Z_2 + j\omega L_2)I_2. \quad (3)$$

With an open circuit is terminated at the second terminal, the equivalent circuit in Fig. 3 becomes Fig. 4.

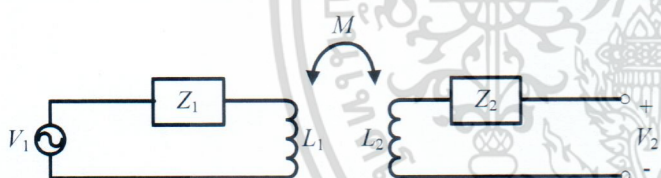


Fig. 4 The equivalent circuit of magnetically coupled antennas with an open-circuited load terminated at the second terminal.

Then the mutual inductance, M , can be found as

$$M = \frac{V_2}{I_1} \Big|_{I_2=0} \cdot \frac{1}{j\omega}. \quad (4)$$

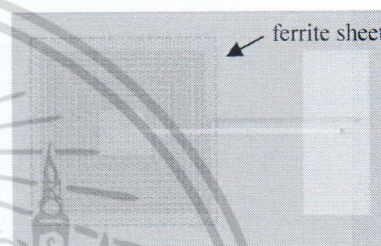
If the receiving antenna is fixed in position and orientation, the stronger the mutual inductance, the stronger the transmitted magnetic field from the transmitting antenna. Therefore, in the following experiments to check the performance of transmitting antennas, the receiving antenna is at the same position in each setup for comparison.

For the simulation experiment, consider a transmitting antenna shown in Fig. 5. The antenna is a planar rectangular spiral loop with trace width of 1 mm, space between trace of 0.3 mm. The antenna is made of copper trace on 1.6 mm

thickness FR4 printed circuit board. The other transmitting antenna is similar to the first one except there is additional FR4 printed circuit board with a 0.1 mm thickness ferrite sheet at the bottom. The ferrite sheet has a complex permeability of $\mu_f = (120 - j2)\mu_0$, where μ_0 is the air permeability. The receiving antenna is shown in Fig. 6. Both transmitting and receiving antennas are placed in parallel with a separation distance, d . Figure 7 shows the simulation system setup.



(a)



(b)

Fig. 5 Top view of the transmitting antennas [6]: (a) planar loop antenna (b) planar loop antenna with undercover ferrite sheet.

The following simulation results are calculated by ADS Momentum [6]. Consider the separation distance, d , equals 2 mm. Using a 1mA current source excitation and a 50 Ω load at the second terminal, Fig. 8 shows the current gain and power gain. Figure 9 shows the mutual inductance with the second terminal terminated with an open-circuited load.

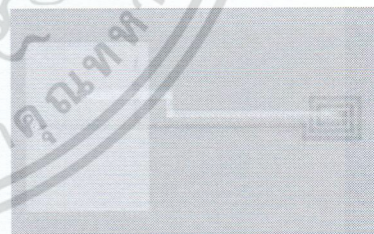


Fig. 6 Top view of the receiving antenna [6].

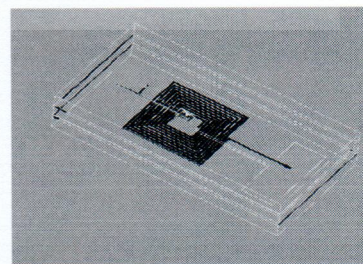
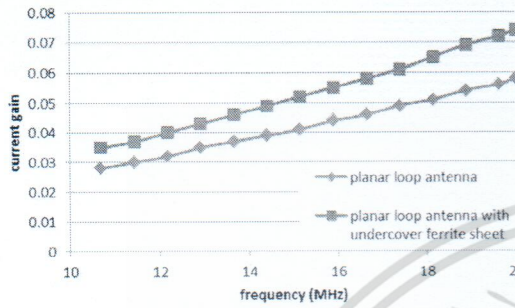


Fig. 7 Simulation system setup [6].

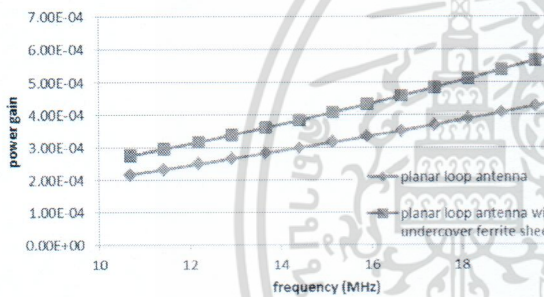
From Fig. 8 and Fig. 9, the transmitting antenna with undercover ferrite sheet performs better with the same excitation current source. Next, consider a power source excitation. The transducer power gain, G_T , and the operating power gain, G_p , are defined as follows [7]:

$$G_T = \frac{\text{power delivered to the load}}{\text{power available from the source}} \quad (5)$$

$$G_p = \frac{\text{power delivered to the load}}{\text{power input to the network}} \quad (6)$$



(a)



(b)

Fig. 8 Gain of the transmitting antennas at $d = 2$ mm: (a) current gain (b) power gain.

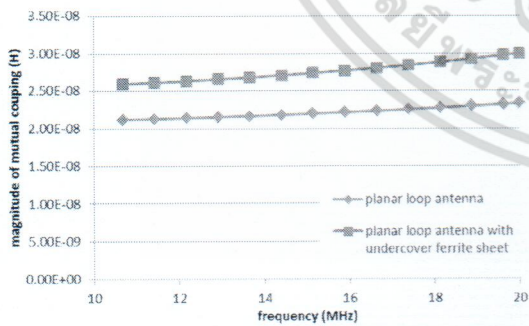


Fig. 9. Mutual inductance at $d = 2$ mm with the second terminal terminated with an open-circuited load.

The measured system used is 50 ohms. The source and load impedances are also 50 ohms and therefore the reflection coefficient at the source and at the load are equal to zero. To compare the transducer power gain and the

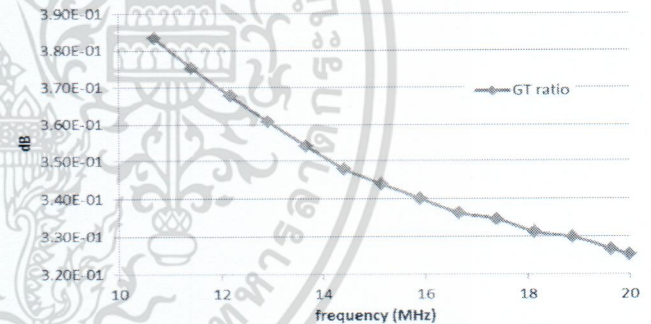
operating power gain of both transmitting antennas, the decibel definition is used as follows:

$$G_{T,dB} = 10\log(G_{T2}/G_{T1}), \quad (7)$$

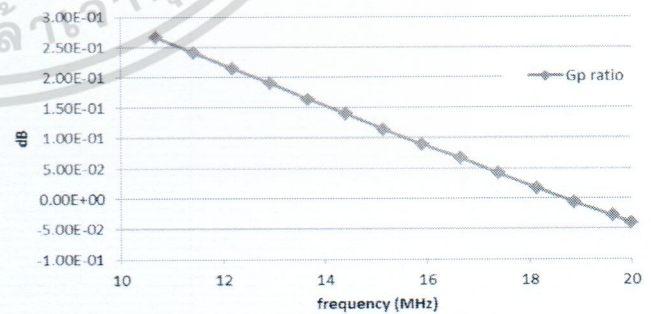
$$G_{p,dB} = 10\log(G_{p2}/G_{p1}), \quad (8)$$

where G_{T1} and G_{T2} are the transducer power gain of the planar loop antenna and the planar loop antenna with undercover ferrite sheet, respectively while G_{p1} and G_{p2} are the operating power gain of the planar loop antenna and the planar loop antenna with undercover ferrite sheet, respectively. Figure 10 shows the comparison of the gain values in dB.

Figure 10 implies that the planar loop antenna with undercover ferrite sheet provides more transducer power gain for the frequency band of interest. However, the operating power gain of the planar loop antenna with undercover ferrite sheet is more than that of the planar loop antenna for frequencies below 18 MHz but is less for higher frequencies. Since the input impedance to the system of the planar antenna with undercover ferrite is higher than that of the planar antenna, more power is dissipated in the system with a constant power source. At the frequency above 18 MHz, the impedance mismatch of the planar antenna with undercover ferrite eventually causes the operating power gain to drop less than that of the planar antenna. Therefore matching networks are required at the transmitting and receiving antenna to achieve optimum performance.



(a)



(b)

Fig. 10. Comparison of (a) the transducer and (b) operating power gain values in dB.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IV. ANTENNA MATCHING NETWORKS

Consider a block diagram representing the antenna system in Fig. 11. The antenna system consisting of the transmitting and receiving antennas separated by a fix distance is modeled as a two-port network. Input and output matching networks are designed at a required frequency to maximize power transferred to the load.

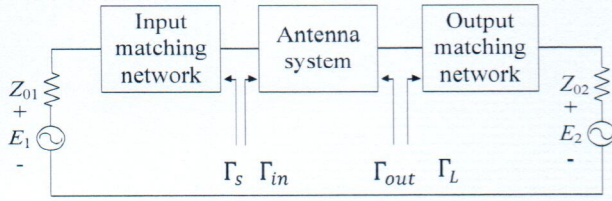


Fig. 11. Antenna system represented by two-port network.

The antenna system is represented by S-parameters of two port network, S_a , as

$$S_a = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Using conjugate match condition, the source and load reflection coefficients are calculated as [7]

$$\Gamma_s = (B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 4|C_1|^2}) / 2C_1 \quad (10)$$

$$\Gamma_L = (B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4|C_2|^2}) / 2C_2 \quad (11)$$

where

$$B_1 = 1 + |s_{11}|^2 - |s_{22}|^2 - |\Delta|^2 \quad (12)$$

$$B_2 = 1 + |s_{22}|^2 - |s_{11}|^2 - |\Delta|^2 \quad (13)$$

$$C_1 = s_{11} - \Delta s_{22}^* \quad (14)$$

$$C_2 = s_{22} - \Delta s_{11}^* \quad (15)$$

$$\Delta = s_{11}s_{22} - s_{12}s_{21} \quad (16)$$

Note that * is the complex conjugate operator. To see the affects of the impedance matching network, consider the simulation case in the previous section at 20 MHz where the operating power gain of the planar antenna is greater than that of the planar antenna with undercover ferrite. Using T-matching networks as shown in Fig. 12, the designed matching network elements are shown in Table I. Ideally, the antenna systems with conjugated matching networks should have the same value of G_p and G_T . However, with some numerical errors in calculating matching network elements, both values are not exact but relatively closed in values. The planar antenna with undercover ferrite yields better results for both gain values. These results imply that with a proper matching network, the planar antenna with undercover ferrite can transmit magnetic near field better than the planar antenna.

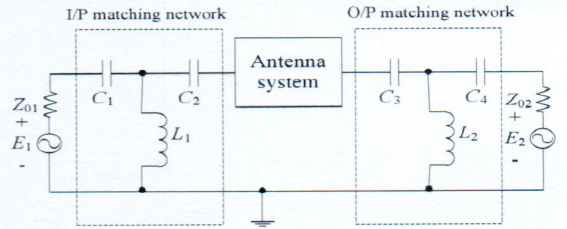


Fig. 12. Antenna system with matching networks.

TABLE I. MATCHING NETWORKS ELEMENTS

TRANSMITTING ANTENNA	C1 (PF)	L1 (NH)	C2 (PF)	C3 (PF)	L2 (NH)	C4 (PF)	G_p	G_T
PLANAR	388	220	19.5	250.2	185.4	19	0.39	0.36
PLANAR WITH UNDERCOVER FERRITE	139	291.5	15.3	446.5	77.4	97	0.53	0.53

V. CONCLUSIONS

The planar loop antenna with undercover ferrite sheet is studied in this paper. In term of the magnetic field, the antenna with undercover ferrite provides higher magnitude values of magnetic flux density at the same vertical distance away from the antenna. These results imply that the undercover ferrite increases the flux density produced by the antenna. Next, a receiving antenna is set above the transmitting antenna forming an antenna system. Since the input impedances looking into the system are different for the antenna with and without undercover ferrite, the input powers delivered into the system are different. Therefore, the output power can be less than expected yielding a lower operating power gain. By using conjugated matching network, the power can be transferred to the load optimally. From the simulation results, the antenna with undercover ferrite shows a better performance than does the antenna without undercover ferrite. In conclusion, the planar antenna with undercover ferrite is promising in antenna application.

REFERENCES

- [1] T. Yousefi, T. Sebastian, and R. E. Diaz, "Why the magnetic loss tangent is not a relevant constraint for permeable conformal antennas," IEEE Trans. Ants. Prop., vol. 64, pp. 2784-2796, no. 7, July, 2016.
- [2] B. Lee, B. Kim, F. J. Harackiewicz, B. Mun and H. Lee, "NFC antenna design for low-permeability ferromagnetic material," IEEE Antennas and wireless propagation letters, vol. 13, pp. 59-62, 2014.
- [3] S. S. Lau, "Practical design of 13.56MHz Near Field Communication (NFC) and Radio Frequency Identification (RFID) antenna using ferrite sheet on metallic surface by Network Analyzer," IEEE Intl. Conf. Industrial Eng. and Industrial Management, pp. 1362-1366, Dec., 2015.
- [4] W. H. Hayt, Engineering Electromagnetics, 5th ed., McGraw-Hill: Singapore, 1989, pp.303.
- [5] C. K. Alexander and A. Sadiku, Fundamentals of Electric Circuits, 3rd ed., McGraw-Hill, 2006, pp. 557-563.
- [6] Agilent Advanced Design System, Agilent Technologies, 2014.
- [7] G. Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers, 2nd ed., Prentice Hall: New Jersey, 1996, pp. 240-241.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้