



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เสาอากาศรีทางสำหรับส่งคลื่นแม่เหล็กทำงานในย่านความถี่สูง (3 MHz – 30 MHz)

Directive Magnetic Antenna for HF Band (3 MHz – 30 MHz)

นายฉัตรพด ภคศิริ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2558

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เสาอากาศชี้ทางสำหรับส่งคลื่นแม่เหล็กทำงานในย่านความถี่สูง (3 MHz – 30 MHz)

Directive Magnetic Antenna for HF Band (3 MHz – 30 MHz)



T145351

นายฉัตรพล ภคศิริ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 145351
รับเดือน.ปี 14 ก.พ. 2560

.b. 1283032X
.i.

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2558

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) เสาอากาศชี้ทางสำหรับส่งคลื่นแม่เหล็กทำงานในย่านความถี่สูง (3 MHz – 30 MHz).....

แหล่งเงิน เงินรายได้.....

ประจำปีงบประมาณ 2558..... จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000..... บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1.5..... ปี ตั้งแต่ 1 ต.ค. 2557..... ถึง 30 พ.ค. 2559.....

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

นาย ฉัตรพล ภคศิริ วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล โทร.02-329-8264 ,email: chatrpol.pa@kmitl.ac.th
(หัวหน้าโครงการ).....

บทคัดย่อ

การสื่อสารระยะใกล้มักใช้คลื่นแม่เหล็กเป็นพาหะ ดังนั้นเสาอากาศที่ใช้จึงต้องเป็นเสาอากาศสำหรับการส่งคลื่นแม่เหล็ก เสาอากาศที่ใช้สำหรับส่งคลื่นแม่เหล็ก โดยทั่วไปจะเป็น ในรูปของ ลูป ซึ่งอาจมีทั้งแบบขดลวดและแบบที่สร้างบนแผ่นวงจร (printed circuit board) คลื่นแม่เหล็กที่กระจายออกมาจากเสาอากาศ มักจะกระจายออกมาแบบทั่วทุกทิศทาง อย่างไรก็ตามการใช้งานบางอย่างสำหรับการสื่อสารระยะใกล้ จำเป็นต้องใช้เสาอากาศชี้ทิศทาง เพื่อให้การกระจายของคลื่นแม่เหล็กเป็นไปในทิศทางที่กำหนด ในโครงการนี้เสาอากาศแบบลูปได้รับการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งคลื่นแม่เหล็กแบบชี้ทาง และมีการปรับปรุงเพื่อให้เสาอากาศสามารถส่งคลื่นแม่เหล็กได้แรงขึ้น โดยเสาอากาศที่ออกแบบทำงานในย่านความถี่ประมาณ 20 MHz

คำสำคัญ : เสาอากาศชี้ทาง เสาอากาศทำงานย่านความถี่กว้าง เสาอากาศทำงานในระยะใกล้

Research Title: Directive magnetic antenna for HF band (3 MHz – 30 MHz).....

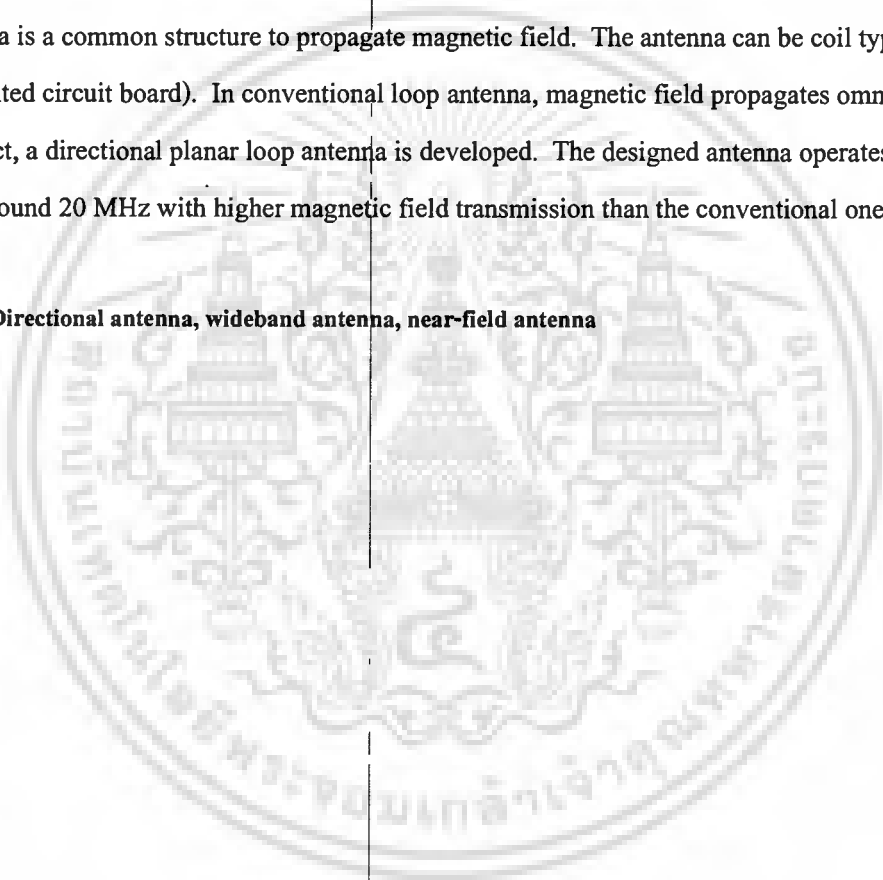
Researcher: Chatrpol Pakasiri.....

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

ABSTRACT

In near field communication, using magnetic field as a carrier is appropriate for many applications. Loop antenna is a common structure to propagate magnetic field. The antenna can be coil type or planar type (on printed circuit board). In conventional loop antenna, magnetic field propagates omnidirectionally. In this project, a directional planar loop antenna is developed. The designed antenna operates at the frequency around 20 MHz with higher magnetic field transmission than the conventional one.

Keywords : Directional antenna, wideband antenna, near-field antenna



กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จล่วงได้ด้วยดีจากความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่สามารถกล่าวได้ทั้งหมด ซึ่งผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ราชศักดิ์ สักคานุภาพ ที่ให้ความช่วยเหลือต่างๆ ในการทำโครงการนี้ ผู้จัดทำขอขอบคุณ ดร. เลิศศักดิ์ เลขวัต ในการให้คำแนะนำต่างๆ ในการทำโครงการ การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

ฉัตรพล ภคศิริ



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.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	1
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	1
1.5 สมมุติฐานงานวิจัย (ถ้ามี).....	1
บทที่ 2 เสาอากาศแบบรูป	2
2.1 เสาอากาศแบบรูปขนาดเล็ก.....	2
2.2 วงจรสมมูลของเสาอากาศแบบรูป.....	3
2.3 การแพร่กระจายคลื่นของเสาอากาศแบบรูป.....	3
2.4 การเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กจากเสาอากาศแบบรูปไปยังเสาอากาศตัวรับ.....	4
2.5 เสาอากาศแบบรูปมี ferrite.....	5
บทที่ 3 การออกแบบเสาอากาศแบบรูป	6
3.1 การออกแบบเสาอากาศสำหรับการสื่อสารระยะใกล้.....	6
3.1.1 เสาอากาศแบบรูป.....	6
3.1.2 เสาอากาศแบบรูปมี ferrite.....	8
3.2 การวัดค่าความชันนำสำหรับเสาอากาศในการสื่อสารระยะใกล้.....	9
บทที่ 4 ผลการวิจัย	13
4.1 การวัดที่ความสูงต่างๆ.....	13
4.2 การวัดแนวระนาบ.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	19
5.1 สรุปผลการวิจัย	19
5.2 ข้อเสนอแนะ	19
บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง	20
ประวัตินักวิจัย	21



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ประสิทธิภาพความชื้นน้ำ (D) วัดที่ระนาบที่ความสูงต่างๆ.....	10
4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การชี้ทางของเสาอากาศทั้งสองแบบ.....	18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของเสาอากาศแบบรูปขนาดเล็ก	2
2.2 วงจรสมมูลของเสาอากาศแบบรูป	3
2.3 วงจรแมตซ์หึ่งและเสาอากาศแบบรูป	4
2.4 วงจรสมมูลของการถ่านอินพลังงานระหว่างเสาอากาศแบบรูป	5
3.1 โครงสร้างของเสาอากาศแบบรูป	7
3.2 โครงสร้างของเสาอากาศแบบรูปมี ferrite	9
3.3 การวัดค่าความชี้นำโดยวัดที่พื้นผิวระนาบ	10
3.4 ขนาดของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่ระนาบความสูง 1 mm จากเสาอากาศ	11
4.1 การวัดสัญญาณจากเสาอากาศตัวส่ง ไปยังตัวรับ	13
4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านทางตรงของเสาอากาศทั้งสองแบบ	14
4.3 ตำแหน่งในการวัดสัญญาณของเสาอากาศตัวรับในแนวระนาบที่ตำแหน่งต่างๆ	15
4.4 ขนาดของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านทางตรงวัดที่เสาอากาศตัวรับอยู่ที่ระดับ $h=0$ cm จากตัวส่งในแนวระนาบ	16
4.5 ขนาดของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านทางตรงวัดที่เสาอากาศตัวรับอยู่ที่ระดับ $h=3.5$ cm จากตัวส่งในแนวระนาบ	17

บทที่ 1

บทนำ

การสื่อสารระยะไกลมักใช้คลื่นแม่เหล็กเป็นพาหะ ดังนั้นเสาอากาศที่ใช้จึงต้องเป็นเสาอากาศสำหรับการส่งคลื่นแม่เหล็ก เสาอากาศที่ใช้สำหรับส่งคลื่นแม่เหล็ก โดยทั่วไปจะเป็นในรูปของ รูป ซึ่งอาจมีทั้งแบบขดลวดและแบบที่สร้างบนแผ่นวงจร (printed circuit board) คลื่นแม่เหล็กที่กระจายออกมาจากเสาอากาศมักจะกระจายออกมาแบบทั่วทุกทิศทาง อย่างไรก็ตามในการใช้งานบางอย่างสำหรับการสื่อสารระยะไกลจำเป็นต้องใช้เสาอากาศทิศทาง เพื่อให้การกระจายของคลื่นแม่เหล็กเป็นไปในทิศทางที่กำหนด

เพื่อให้การกระจายคลื่นเป็นไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง การใช้เสาอากาศหลายๆตัวมารวมกันในรูปแบบเสาอากาศแถวลำดับ (array antenna) มักเป็นรูปแบบที่นิยมใช้ในการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับการสื่อสารระยะไกล อย่างไรก็ตาม การใช้เสาอากาศแถวลำดับจะทำให้ขนาดโดยรวมของเสาอากาศใหญ่ขึ้น ซึ่งอาจไม่เหมาะกับการสื่อสารระยะไกลที่ต้องการขนาดเสาอากาศที่ไม่ใหญ่จนเกินไปและสามารถกระจายคลื่นแม่เหล็กในระยะไกลในทิศทางที่กำหนด

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เสาอากาศที่แบบรูปโดยทั่วไปจะแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบทุกทิศทาง (Omnidirection) เพื่อให้เสาอากาศแบบรูปแพร่กระจายคลื่นในทิศทางเดียว โครงการนี้จึงทำการศึกษาและปรับปรุงเสาอากาศแบบรูปเพื่อให้มีการแพร่กระจายคลื่นในแบบทิศทางได้ดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อ ออกแบบเสาอากาศทิศทางที่ส่งคลื่นแม่เหล็กในการสื่อสารระยะไกลที่ทำงานในย่านความถี่สูง (3 MHz – 30 MHz)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

รูปแบบของเสาอากาศทิศทางที่ส่งคลื่นแม่เหล็กในการสื่อสารระยะไกลที่ทำงานในย่านความถี่สูง (3 MHz – 30 MHz) โดยมีการส่งคลื่นแม่เหล็กแบบทิศทาง ที่นำไปใช้ในการจดอนุสิทธิบัตร

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

ออกแบบเสาอากาศและใช้การจำลองไฟในเอลิเมนต์ในการวิเคราะห์หาค่าคลื่นแม่เหล็กจากเสาอากาศหาค่าเหมาะสมที่สุด (optimization) ของรูปแบบเสาอากาศ โดยเปรียบเทียบกับผลการจำลองของเสาอากาศแบบรูปทั่วไปที่มีขนาดเท่ากัน จากนั้นนำผลที่ได้ไปจดในรูปอนุสิทธิบัตร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อนำไปพัฒนาสร้างนวัตกรรม ผลิตภัณฑ์ หรือนำไปสู่การจดทะเบียนทรัพย์สินทางปัญญาได้

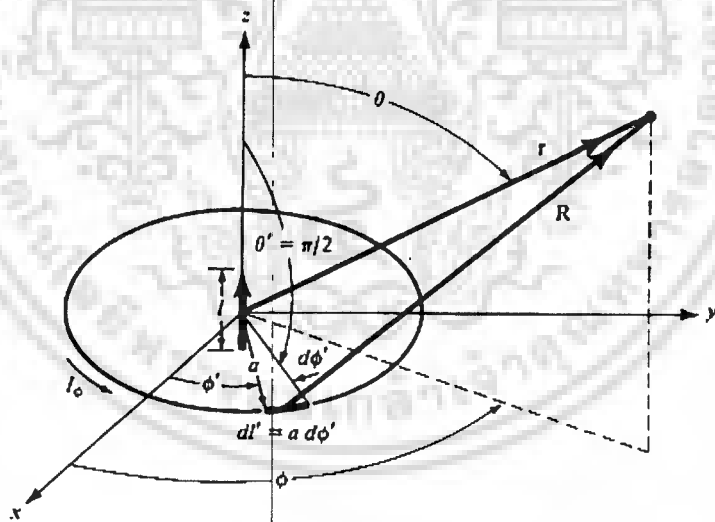
บทที่ 2

เสาอากาศแบบดูล

เสาอากาศแบบดูลมักนิยมใช้ในการสื่อสารในย่านต่างๆ ซึ่งเสาอากาศอาจเป็นในรูปแบบขด หรือถูกสร้างอยู่ในแผ่นวงจรและมีรูปแบบเป็นระนาบ [11],[12] โดยปกติเสาอากาศแบบดูลจะมีความยาวน้อยกว่าความยาวคลื่น (electrically small antenna) ซึ่งในกรณีนี้จะทำให้ค่าความต้านทานการแผ่ (radiation resistance) มีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทานการสูญเสีย (loss resistance) ดังนั้นพลังงานส่วนมากที่จ่ายให้กับเสาอากาศจะสูญเสียมากกว่าที่จะแผ่กระจายออกไป วิธีการที่จะทำให้การแผ่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าดีขึ้นวิธีการหนึ่งคือการเพิ่มความยาวของดูล หรือการเพิ่มจำนวนขด

2.1 เสาอากาศแบบดูลขนาดเล็ก

เสาอากาศที่แบบดูลขนาดเล็กมีโครงสร้างตามภาพที่ 2.1 โดยเสาอากาศมีขดเพียงขดเดียวและมีลักษณะเป็นวงกลม



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเสาอากาศแบบดูลขนาดเล็ก [1]

สำหรับเสาอากาศแบบดูลขนาดเล็ก ค่าสนามแม่เหล็ก (magnetic field, H) สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ [1]

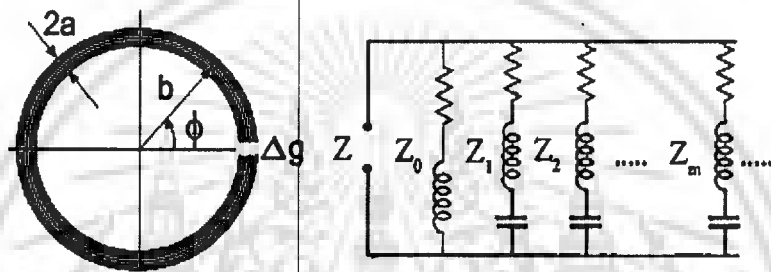
$$H_r = \frac{I_m l \cos(\theta)}{2\pi\eta r^2} \left[1 + \frac{1}{jkr} \right] e^{-jkr} \quad (2.1)$$

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

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 ค่าความต้านทานการแผ่กระจายคลื่น 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]

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

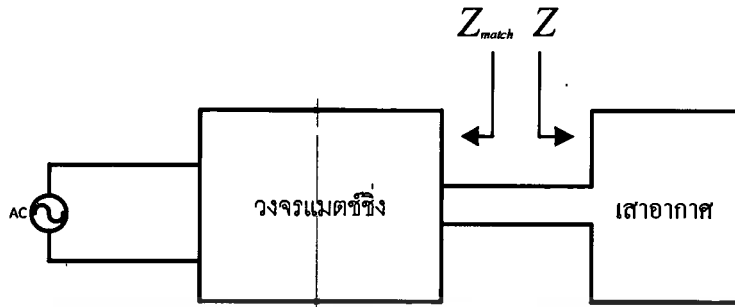
ซึ่ง R_0 และ L_0 ไม่ใช่ค่าคงที่ แต่แปรผันตามความถี่ ค่าอิมพีแดนซ์ของโหมดอื่น ๆ ก็เช่นเดียวกัน [2]

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

โดย R_m L_m และ C_m ไม่ใช่ค่าคงที่ แต่แปรผันตามความถี่

2.3 การแพร่กระจายคลื่นของเสาอากาศแบบลูป

เพื่อให้เสาอากาศแบบลูปมีการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กได้ดี จำเป็นต้องให้เสาอากาศมีการเรโซแนนซ์ (resonance) เกิดขึ้น สำหรับเสาอากาศแบบลูปสามารถทำได้โดยการทำคอนจูเกตแอมดัซ (impedance complex conjugate) เข้าไปที่อิมพีแดนซ์ของเสาอากาศ สำหรับวงจรที่ต่อเพิ่มเติมเพื่อให้เสาอากาศเกิดการเรโซแนนซ์เรียกว่าวงจรแมตช์ซิง (matching network) ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 วงจรแมตซ์ซิ่งและเสาอากาศแบบรูป

เพื่อให้เกิดการเรโซแนนซ์ที่ความถี่ที่ต้องการค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรแมตซ์ซิ่งเมื่อมองไปทางแหล่งจ่ายต้องมีค่าเป็นค่าคอนจูเกตกับค่าอิมพีแดนซ์ของเสาอากาศแบบรูป

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

โดย * แสดงถึงการคอนจูเกต (complex conjugate)

2.4 การเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กจากเสาอากาศแบบรูปไปยังเสาอากาศตัวรับ

เสาอากาศแบบรูปสามารถถ่ายโอนพลังงานจากตัวส่งไปยังตัวรับผ่านทาง การเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็ก (mutual inductance) ตามภาพที่ 2.4 การเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กสามารถเขียนได้คือ [10]

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

โดย $\overrightarrow{dl_1}$ และ $\overrightarrow{dl_2}$ คือส่วนย่อยของเสาอากาศรูป 1 และ เสาอากาศรูป 2 ส่วน r_{12} คือระยะห่างระหว่าง $\overrightarrow{dl_1}$ และ $\overrightarrow{dl_2}$ วงจรสมมูลของการถ่ายโอนพลังงานของเสาอากาศทั้งสองแสดงตามภาพที่ 2.4 อินพุตอิมพีแดนซ์เมื่อมองจาก port 1 จะมีค่าเป็น

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

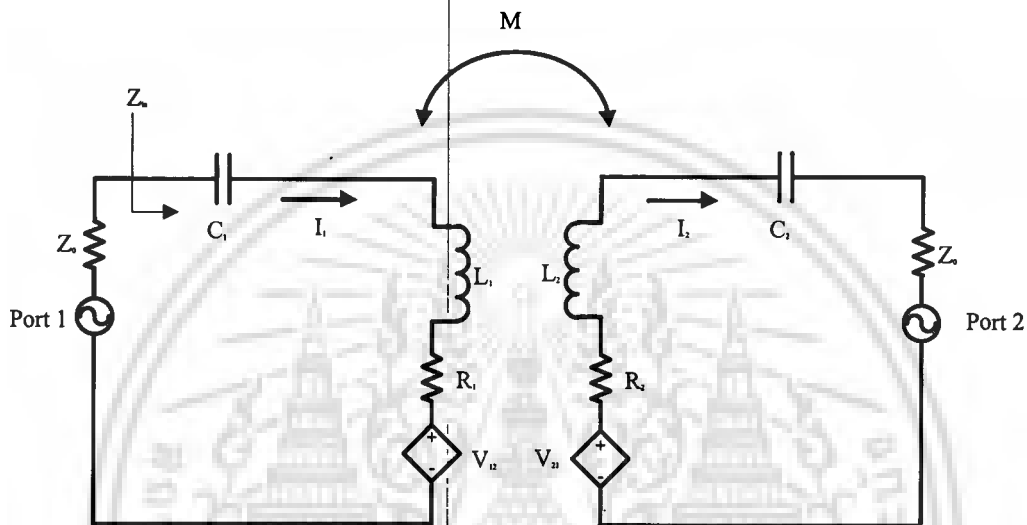
หากพิจารณาค่า forward transmission coefficient (S_{21}) จะได้ค่าดังนี้

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

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 ยังเกี่ยวเนื่องกับความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กตามสมการ [3]

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

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



ภาพที่ 2.4 วงจรสมมูลของการถ่ายโอนพลังงานระหว่างเสาอากาศแบบรูป

2.5 เสาอากาศแบบรูปมี ferrite

การเพิ่มแผ่น ferrite เข้ามาในเสาอากาศได้ช่วยให้เสาอากาศแบบรูปมีประสิทธิภาพดีขึ้น ดังแสดงในผลงานสิทธิบัตรของ [4] นอกจากนี้ แผ่น ferrite ยังสามารถนำมาใช้ในการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี ดังแสดงในงานวิจัยของ [5] นอกจากนี้แผ่น ferrite ยังนำไปใช้เพื่อเพิ่มช่วงความถี่ในการทำงานของเสาอากาศดังแสดงในงานวิจัยของ [6]-[9] ในโครงงานนี้จะใช้ ferrite เพื่อช่วงเพิ่มประสิทธิภาพในการชี้หน้าของเสาอากาศ

บทที่ 3

การออกแบบเสาอากาศแบบลูป

ในการออกแบบเสาอากาศแบบลูปจะใช้โปรแกรมไฟในอิลิเมนต์ เป็นตัวช่วย ซึ่งการออกแบบจะเริ่มจากการออกแบบเสาอากาศแบบลูป จากนั้นจึงออกแบบเสาอากาศแบบลูปมี ferrite การออกแบบเสาอากาศทั้งสองแบบจะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการขึ้นนำโดยการเปรียบเทียบค่าของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กบนพื้นผิวซึ่งอยู่ในแนวระนาบกับเสาอากาศ

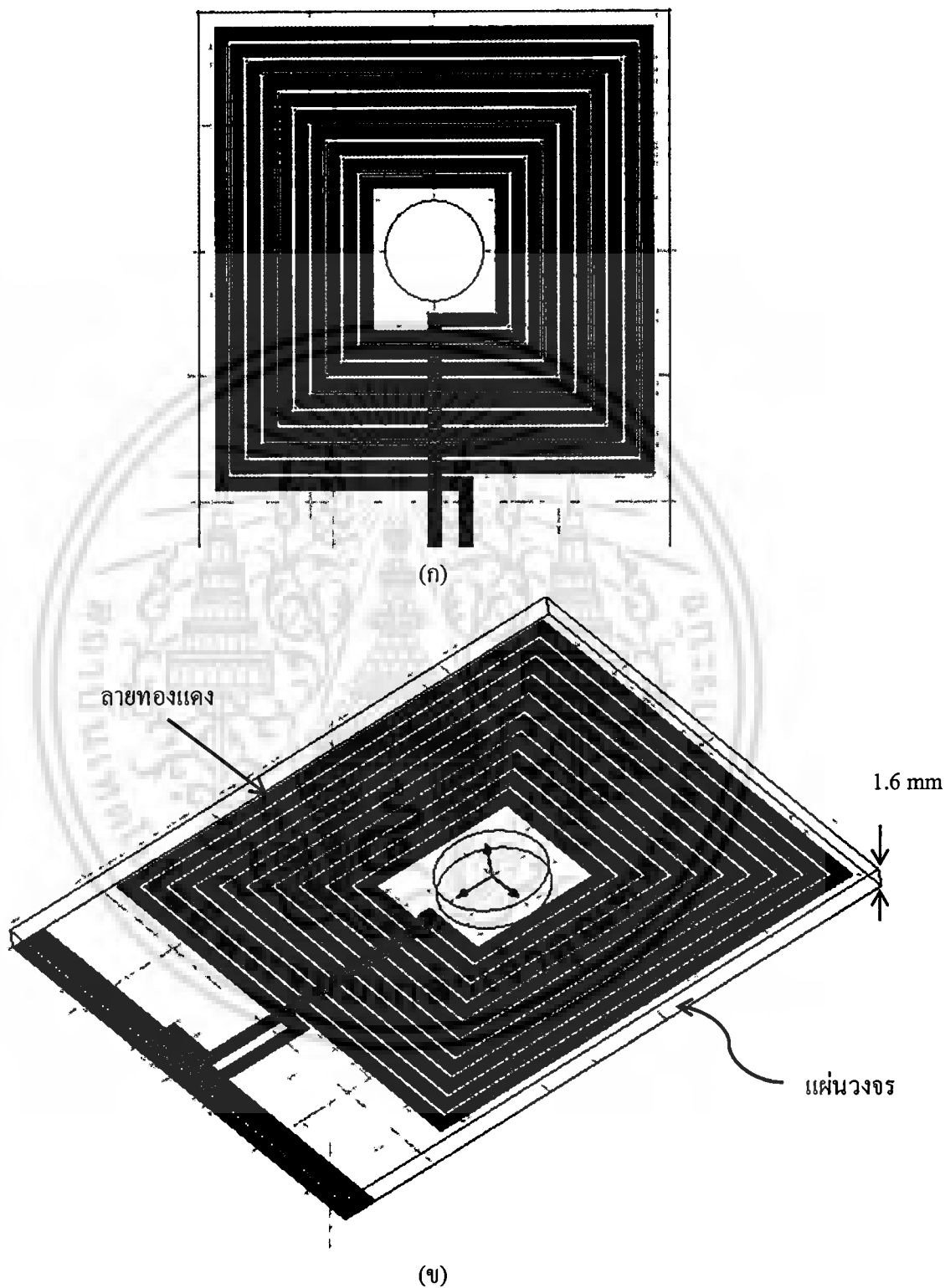
3.1 การออกแบบเสาอากาศสำหรับการสื่อสารระยะใกล้

ในการออกแบบเสาอากาศสำหรับการสื่อสารระยะใกล้จะออกแบบโดยใช้ลักษณะเสาอากาศแบบลูปซึ่งทำงานที่ความถี่ 20 MHz นอกจากเสาอากาศแบบลูปแบบทั่วไปแล้ว ยังออกแบบเสาอากาศแบบลูปมี ferrite ด้วย สำหรับโครงสร้างของเสาอากาศทั้งสองแบบ จะเป็นดังต่อไปนี้

3.1.1 เสาอากาศแบบลูป

เสาอากาศแบบลูปจะถูกสร้างโดยใช้ลายทองแดงบนแผ่นวงจรไฟฟ้า (printed circuit board: PCB) ซึ่งแผ่นวงจรไฟฟ้านี้มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant) เท่ากับ 4.2 นอกจากนี้ลายทองแดงยังมีค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเท่ากับ $5.96E7$ S/m แผ่นวงจรมีความหนาเท่ากับ 1.6 mm และลายทองแดงมีความหนาเท่ากับ 0.035 mm

ลายทองแดงที่ออกแบบมีความหนา 1 mm วนเป็นสี่เหลี่ยมออกจากภายในโดยเว้นระยะภายใน 10×10 mm² และวนออกมาทั้งหมด 10 ขด ซึ่งแต่ละขดมีระยะช่องว่างระหว่างกันเท่ากับ 0.3 mm ตรงกลางเสาอากาศเจาะรูวงกลมด้วยรัศมี 4 mm ภาพที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของเสาอากาศ



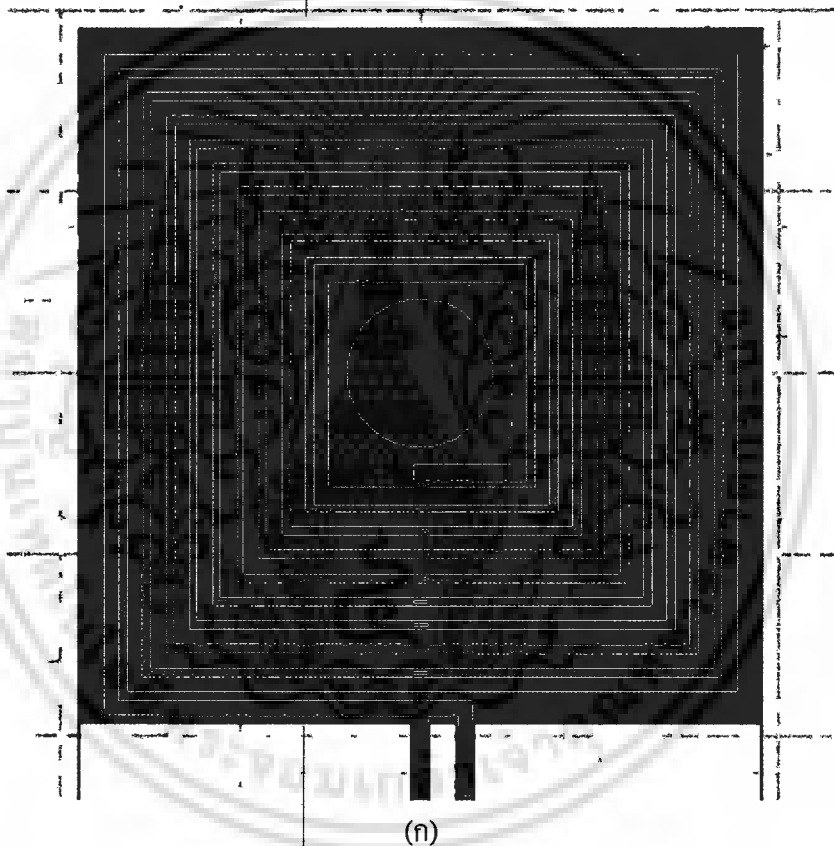
ภาพที่ 3.1 โครงสร้างของเสาอากาศแบบรูป (ก) เสาอากาศแบบรูปมองจากด้านบน (ข) เสาอากาศแบบรูปมองจากด้านข้าง

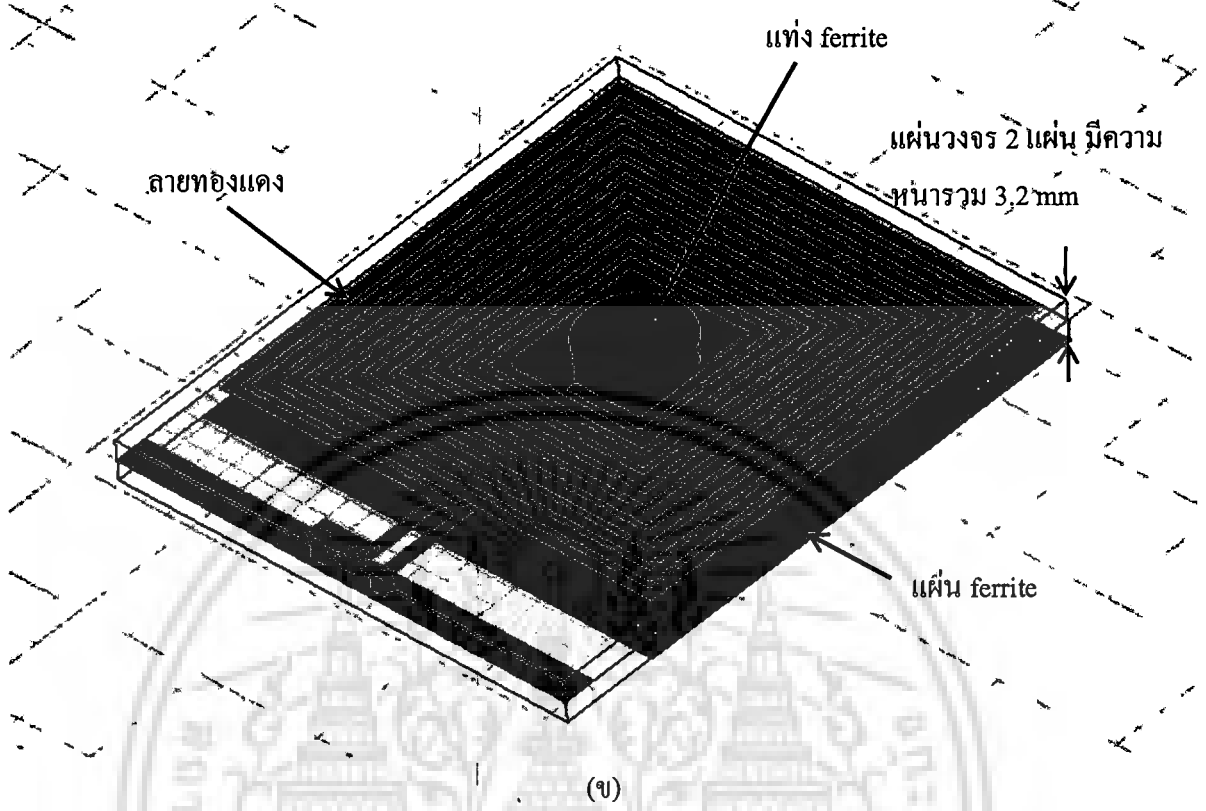
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 7
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 เสาอากาศแบบรูปมี ferrite

เสาอากาศแบบรูปมี ferrite จะมีโครงสร้างเหมือนกับเสาอากาศแบบรูป แต่จะมีโครงสร้างเพิ่มเติมคือจะมีแผ่นวงจรอีกหนึ่งแผ่นอยู่ข้างใต้เสาอากาศเดิม นอกจากนี้จะมีแผ่น ferrite ปิดอยู่ด้านใต้ และมีแท่ง ferrite อยู่ตรงกลางดังแสดงในภาพที่ 2

แท่ง ferrite ที่ใช้จะมีค่าความซึมซาบแม่เหล็กเชิงซ้อน (complex permeability) คือ $125 + j30$ H/m ที่ความถี่ 20 MHz ส่วนแผ่น ferrite ที่ใช้จะมีค่าความซึมซาบแม่เหล็กเชิงซ้อน (complex permeability) คือ $125 + j20$ H/m ที่ความถี่ 20 MHz



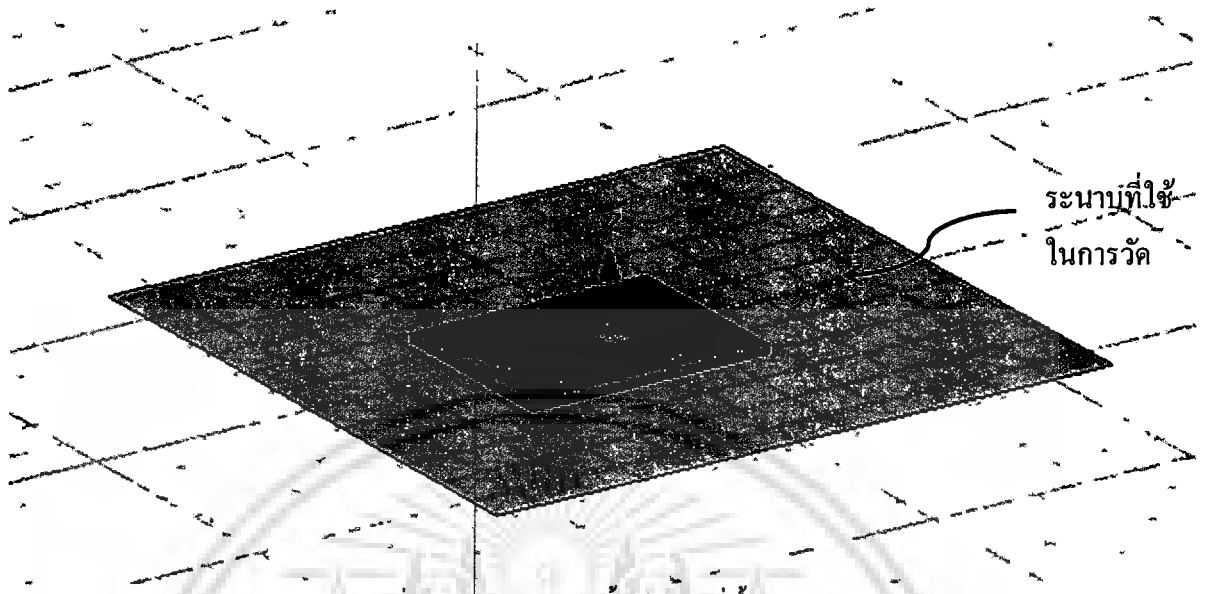


ภาพที่ 3.2 โครงสร้างของเสาอากาศแบบลูปมี ferrite (ก) เสาอากาศแบบลูปมี ferrite มองจากด้านบน (ข) เสาอากาศแบบลูปมี ferrite มองจากด้านข้าง

สำหรับการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเสาอากาศทั้งสองทำได้โดยใช้โปรแกรมจำลอง ไฟในอิลิเมนต์ และคำนวณหาค่าความถี่นำคลื่นแม่เหล็กของเสาอากาศทั้งสองดังแสดงในหัวข้อต่อไป

3.2 การวัดค่าความถี่นำสำหรับเสาอากาศในการสื่อสารระยะใกล้

ในการวัดค่าความถี่นำจะทำการวัด โดยใช้ขนาดของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (magnetic flux density) ซึ่งผ่านพื้นผิวซึ่งขนานกับระนาบของเสาอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 การวัดค่าความซึมผ่านโดยวัดที่พื้นผิวระนาบ

ในการวัดประสิทธิภาพความซึมผ่าน (D) จะวัดโดยใช้ค่าขนาดของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดต่อขนาดของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดบนพื้นผิวระนาบดังสมการต่อไปนี้

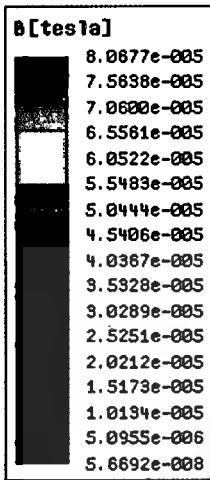
$$D = \frac{\hat{B}_{n,max}}{\iint_S |\hat{B} \cdot \hat{n}| ds} \quad (3.1)$$

โดย S คือพื้นที่ของพื้นผิวระนาบ $\hat{B}_{n,max}$ คือค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดบนระนาบในแนวตั้งฉากกับระนาบ \hat{n} คือเวกเตอร์ตั้งฉากกับระนาบ ผลการคำนวณจากโปรแกรมไฟไนติเมทได้ตามตารางที่ 3.1 โดยระนาบที่วัดจะวางที่ความสูงจากเสาอากาศ 1 mm และ 5 mm

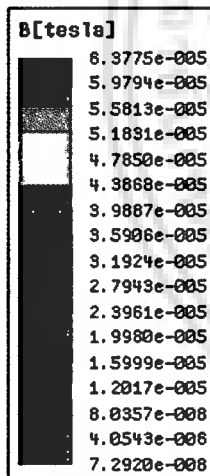
ตารางที่ 3.1 ประสิทธิภาพความซึมผ่าน (D) วัดที่ระนาบที่ความสูงต่างๆ

ความสูง ชนิดเสาอากาศ	1 mm	5 mm
เสาอากาศแบบลูป	1.57E3	1.18E3
เสาอากาศแบบลูปมี ferrite	3.23E3	1.59E3

จากผลการจำลองจะเห็นได้ว่าเสาอากาศแบบลูปมี ferrite สามารถส่งคลื่นแม่เหล็กได้ดีกว่าเสาอากาศแบบลูป ทั้งยังมีประสิทธิภาพการซึมผ่านที่ดีกว่า นอกจากนี้หากพิจารณาขนาดของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก โดยการพล็อตแบบพื้นผิวดังแสดงในภาพที่ 3.4 จะเห็นความแตกต่างการกระจายตัวของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.4 ขนาดของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่ระนาบความสูง 1 mm จากเสาอากาศของ (ก) เสาอากาศแบบรูป (ข) เสาอากาศแบบรูปมี ferrite

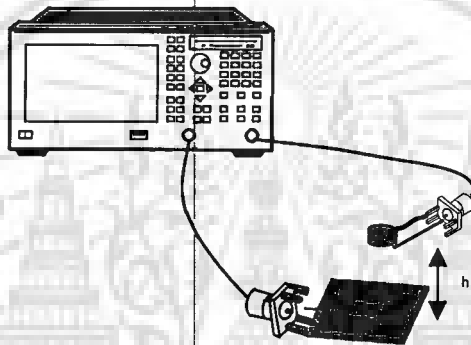
ภาพที่ 3.4 ยังแสดงให้เห็นว่าเสาอากาศแบบรูปมี ferrite จะมีความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กอยู่บริเวณกึ่งกลาง ซึ่งจะเป็นการชี้ทางได้ดีกว่าเสาอากาศแบบรูป จากผลการจำลองจึงสามารถสรุปได้ว่าเสาอากาศแบบรูปมี ferrite จะมีประสิทธิภาพในการชี้ทางที่ดีกว่าเสาอากาศแบบรูป ในบทความต่อไปจะเป็นสร้างเสาอากาศเพื่อการทดลองในการใช้งานจริง



บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในการวัดประสิทธิภาพของเสาอากาศในการสื่อสารระยะใกล้ จะใช้เสาอากาศแบบขดลวดเป็นตัวตรวจจับสัญญาณ และ โดยจะทำการส่งสัญญาณจากเครื่อง network analyzer ที่ port 1 ที่ระดับสัญญาณ 0 dBm ไปยังเสาอากาศที่ออกแบบ จากนั้นจะใช้เสาอากาศตัวรับ รับสัญญาณและส่งต่อไปยังเครื่อง network analyzer ที่ port 2 ดังแสดงในภาพที่ 1

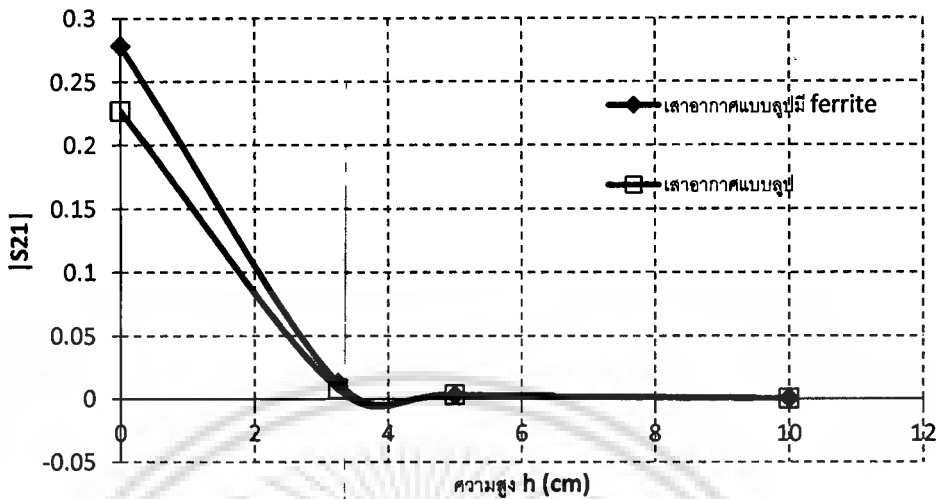


ภาพที่ 4.1 การวัดสัญญาณจากเสาอากาศตัวส่งไปยังตัวรับ

สำหรับเสาอากาศที่ใช้ในการส่งสัญญาณจะมี 2 รูปแบบเพื่อการเปรียบเทียบ คือ 1. เสาอากาศแบบลูปทั่วไป 2. เสาอากาศแบบลูปที่มี ferrite สำหรับการวัดเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของเสาอากาศ ในการวัดจะใช้ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านทางตรง S_{21} (forward transmission coefficient) ซึ่งค่า S_{21} จะแปรผันตรงกับความเข้มของสนามแม่เหล็ก (magnetic field intensity) ดังนั้นเมื่อค่า S_{21} มากจะแสดงถึงการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กที่ดีของเสาอากาศ รูปแบบการวัดจะมีการวัดสองแบบคือการวัดที่ความสูงต่างๆและ การวัดแนวระนาบที่ตำแหน่งต่างๆ

4.1 การวัดที่ความสูงต่างๆ

เสาอากาศตัวส่งจะวางแนวระนาบ เสาอากาศตัวรับจะวางที่จุดกึ่งกลางของเสาอากาศตัวส่ง และปรับความสูง (h) ตามภาพที่ 1 ผลการวัดที่ได้แสดงค่า S_{21} ที่ระยะความสูงต่างๆ ตามภาพที่ 2



ภาพที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านทางตรงของเสาอากาศทั้งสองแบบ

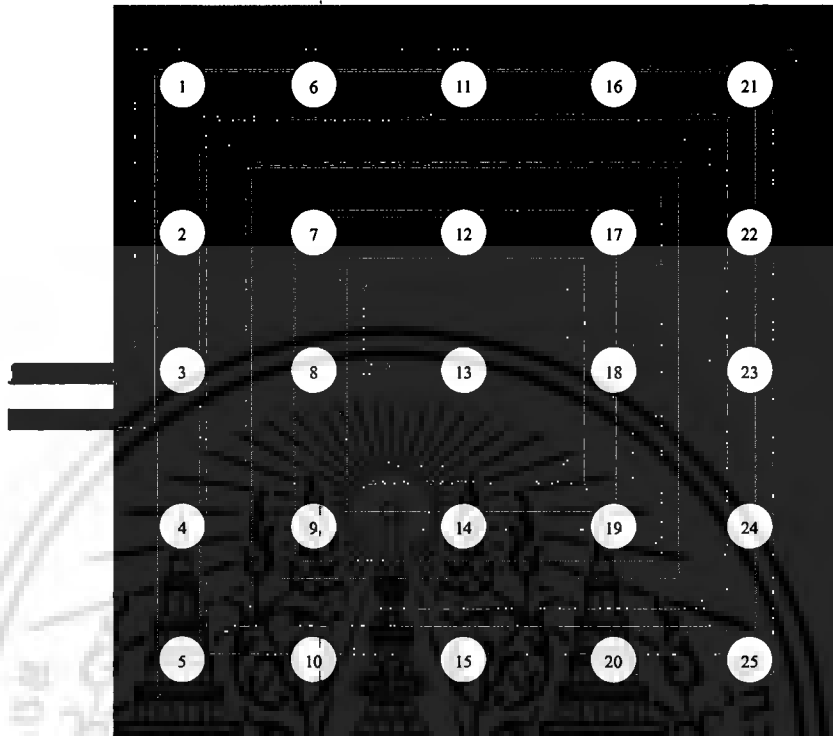
จากภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่าของเสาอากาศแบบรูปมี ferrite จะมีค่าขนาด S_{21} มากกว่าเสาอากาศแบบรูปทั่วไป ที่มีขนาดเท่ากัน ทั้งนี้เสาอากาศแบบรูปที่มี ferrite จะมีการลดทอนของขนาดค่า S_{21} อย่างรวดเร็วกว่าความสูงที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเป็นผลดีกับการประยุกต์ใช้ในการส่งสัญญาณระยะใกล้ที่ไม่ต้องการให้สัญญาณแพร่กระจายไปในวงกว้าง แต่มีความแรงของสัญญาณในช่วงที่กำหนด ในที่นี้คือที่ความสูงน้อยกว่า 5 cm

4.1 การสื่อสารระยะใกล้มักใช้คลื่นแม่เหล็กเป็นพาหะ ดังนั้นเสาอากาศที่ใช้จึงต้องเป็นเสาอากาศสำหรับการส่งคลื่นแม่เหล็ก เสาอากาศที่ใช้สำหรับส่งคลื่นแม่เหล็กโดยทั่วไปจะเป็นในรูปของ ลูป ซึ่งอาจมีทั้งแบบขดลวดและแบบที่สร้างบนแผ่นวงจร (printed circuit board) คลื่นแม่เหล็กที่กระจายออกมาจากเสาอากาศมักจะกระจายออกมาแบบทั่วทุกทิศทาง อย่างไรก็ตามการใช้งานบางอย่างสำหรับการสื่อสารระยะใกล้จำเป็นต้องใช้เสาอากาศชี้ทิศทาง เพื่อให้การกระจายของคลื่นแม่เหล็กเป็นไปในทิศทางที่กำหนด

เพื่อให้การกระจายคลื่นเป็นไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง การใช้เสาอากาศหลายๆตัวมารวมกันในรูปแบบเสาอากาศแถวลำดับ (array antenna) มักเป็นรูปแบบที่นิยมใช้ในการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับการสื่อสารระยะไกล อย่างไรก็ตาม การใช้เสาอากาศแถวลำดับจะทำให้ขนาดโดยรวมของเสาอากาศใหญ่ขึ้น ซึ่งอาจไม่เหมาะกับการสื่อสารระยะใกล้ที่ต้องการขนาดเสาอากาศที่ไม่ใหญ่จนเกินไปและสามารถกระจายคลื่นแม่เหล็กในระยะใกล้ในทิศทางที่กำหนด

4.2 การวัดแอมพลิจูด

การทดลองนี้เป็นการวัดสัญญาณที่ตำแหน่งต่างๆ บริเวณเสาอากาศตัวส่ง ทั้งนี้เพื่อเป็นการทดสอบถึงประสิทธิภาพการชี้ทางของเสาอากาศ



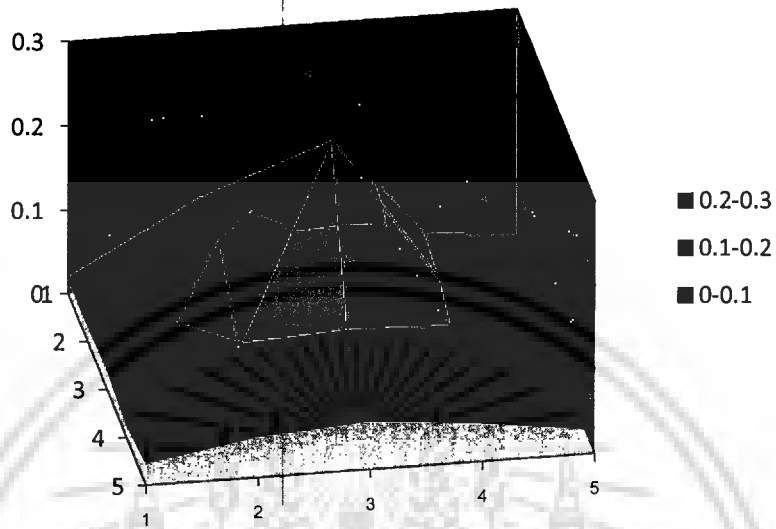
ภาพที่ 4.3 ตำแหน่งในการวัดสัญญาณของเสาอากาศตัวรับในแนวระนาบที่ตำแหน่งต่างๆ

ผลการวัดสำหรับเสาอากาศทั้งสองแบบแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5 ดังจะเห็นได้ว่าเสาอากาศทั้งสองมีค่าขนาด S_{21} แรงแรงที่สุดที่จุดกลางของเสาอากาศตัวส่ง นอกจากนี้ จะเห็นว่าที่ความสูง $h = 0$ cm เสาอากาศแบบรูปมี ferrite มีการชี้ทางไปทางตรงกลางได้ดีกว่าเสาอากาศแบบรูป ส่วนที่ความสูง $h = 3.5$ cm เสาอากาศทั้งสองมีลักษณะการชี้ทางน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กมีความอ่อนตัวลงมากด้วย

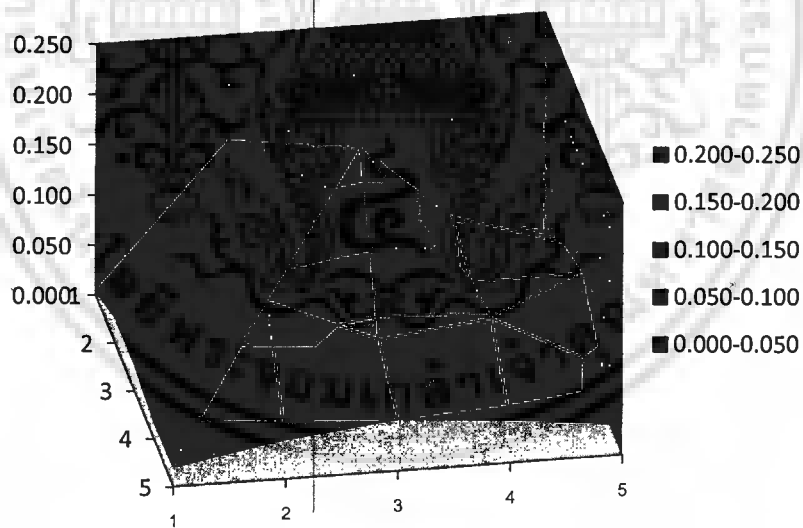
ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบ กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การชี้ทางในการส่งระยะใกล้โดยยึดทิศทางที่จุดกึ่งกลางของเสาอากาศเป็นทิศทางที่ต้องการ เป็น

$$D = \frac{|S_{21}|_{13}}{\frac{1}{25} \sum_{n=1}^{25} |S_{21}|_n} \quad (4.1)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การชี้ทางของเสาอากาศทั้งสองแบบเมื่อคำนวณตามสมการที่ (4.1) แสดงในตารางที่ 4.1 โดยค่าที่คำนวณแสดงว่าเสาอากาศแบบ ferrite มีค่าสัมประสิทธิ์การชี้ทางที่ดีกว่า เสาอากาศแบบรูป

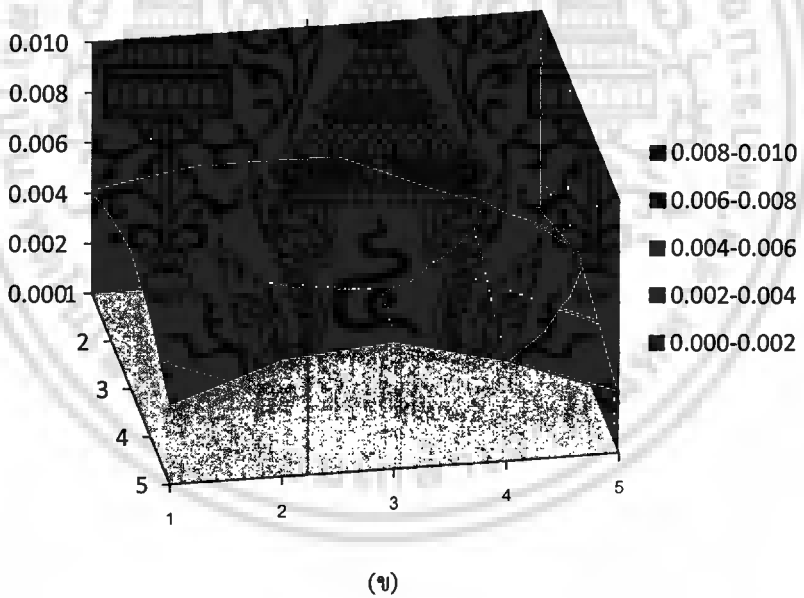
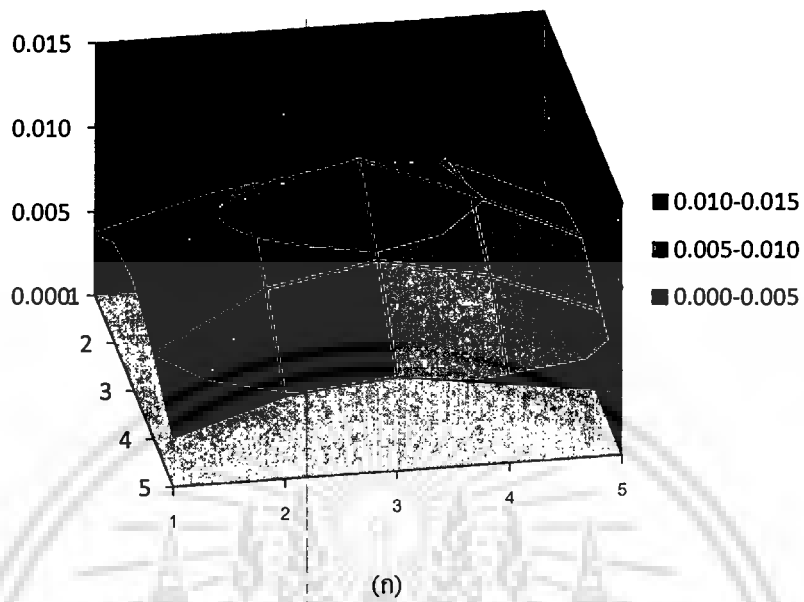


(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.4 ขนาดของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านทางตรงวัดที่เสาอากาศตัวรับอยู่ที่ระดับ $h = 0$ cm จากตัวส่งในแนวระนาบของ (ก) เสาอากาศแบบรูปมี ferrite (ข) เสาอากาศแบบรูป



ภาพที่ 4.5 ขนาดของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านทางตรงวัดที่เสาอากาศตัวรับอยู่ที่ระดับ $h = 3.5$ cm จากตัวส่งในแนวระนาบของ (ก) เสาอากาศแบบลูปมี ferrite (ข) เสาอากาศแบบลูป

ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การชี้ทางของเสาอากาศทั้งสองแบบ

เสาอากาศ	ค่าสัมประสิทธิ์การชี้ทางที่ ความสูง $h=0$ cm	ค่าสัมประสิทธิ์การชี้ทางที่ ความสูง $h=3.5$ cm
เสาอากาศแบบลูปมี ferrite	4.08	1.87
เสาอากาศแบบลูป	3.21	1.64



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในโครงการนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนาต้นแบบของเสาอากาศสำหรับการสื่อสารระยะใกล้ที่ความถี่ 20 MHz โดยเลือกใช้เสาอากาศแบบรูป ประโยชน์ของเสาอากาศที่ออกแบบมุ่งไปที่การใช้งานแบบชี้ทางในการสื่อสารระยะใกล้โดยให้ขนาดของเสาอากาศไม่ใหญ่จนเกินไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

เสาอากาศที่แบบรูปโดยทั่วไปจะแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบทุกทิศทาง (Omnidirection) เพื่อให้เสาอากาศแบบรูปแพร่กระจายคลื่นในทิศทางเดียว โครงการนี้จึงทำการศึกษาและปรับปรุงเสาอากาศแบบรูปโดยการเพิ่มโครงสร้างของ ferrite เข้าไปเพื่อให้มีการแพร่กระจายคลื่นในแบบชี้ทิศทางได้ดีขึ้น ทั้งนี้ในการทดลองแสดงว่า ในการรับคลื่นที่เสาอากาศตัวรับ คลื่นจะมีแนวโน้มในการชี้ทางที่ดีกว่าเสาอากาศแบบรูป

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาเพื่อนำไปใช้งานในย่านความถี่ที่กว้างขึ้น จำเป็นต้องออกแบบวงจรเมตซ์ซิ่งที่มีประสิทธิภาพมากกว่านี้

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] M.T. Islam and M.R.I. Faruque, "Design analysis of ferrite sheet attachment for SAR reduction in human head," PIER, vol. 98, pp. 191-205, 2009.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] B. Lee, et. al., "Enhanced loop structure of NFC antenna for mobile handset applications," Intl. Journal of Antennas and Propagation, 2014.
- [9] M. A. Chung and C. F. Yang, "Miniaturized NFC antenna design for a tablet PC with a narrow border and metal back-cover," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2016.
- [10] Hiroshi Hirayama (2012). Equivalent Circuit and Calculation of Its Parameters of Magnetic-Coupled-Resonant Wireless Power Transfer, Wireless Power Transfer - Principles and Engineering Explorations, Dr. Ki Young Kim (Ed.), ISBN: 978-953-307-874-8, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/wireless-power-transfer-principles-and-engineering-explorations/equivalent-circuit-and-calculation-of-its-parameters-of-magnetic-coupled-resonant-wireless-power-transfer>
- [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.

ประวัตินักผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นัทรพล ภกศิริ

เพศ ชาย หญิง วันเดือนปีเกิด 20 ม.ค. 2518 อายุ 41 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 .

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.