

# การเก็บเกี่ยวพลังงานจาก WIFI

## WIFI Energy Harvesting



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การเก็บเกี่ยวพลังงานจาก WIFI

## WIFI Energy Harvesting



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2565

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การเก็บเกี่ยวพลังงานจาก WIFI

WIFI Energy Harvesting

ผู้จัดทำ นายกันตภณ ว่องวัจนะ รหัสประจำตัว 62010051

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



Somph Wist

(ผศ.ดร.สุเมธ วิศยทักษิณ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการ	การเก็บเกี่ยวพลังงานจาก WIFI
นักศึกษา	นายกันตภณ ว่องวิจนะ รหัสประจำตัว 62010051
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	ผศ.ดร.สุเมธ วิศยทักษิณ

## บทคัดย่อ

โครงการนี้คือการศึกษาการแปลงพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ย่านความถี่ WIFI 2.4 GHz โดยปัจจุบัน WIFI เป็นสัญญาณที่นิยมในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบไร้สายกับสมาร์ทโฟนจึงมีการติดตั้งตัวกระจายสัญญาณ WIFI ตามที่ต่างๆ อาทิเช่นทั้งนอกร้าน พื้นที่สาธารณะ สถานที่ทำงาน ซึ่งโดยปกติแล้วจะทำการเปิดตลอดเวลาทั้งกลางวันและกลางคืนแม้จะไม่มีผู้ใช้ก็ตาม ผู้จัดทำจึงมีแนวคิดในการที่จะรวบรวมพลังงานที่เสียเปล่านั้นกลับมาใช้อีกครั้ง โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบเสาอากาศ วงจรกรองความถี่ วงจรเรียงกระแสและโปรแกรม CST Studio suite ในการจำลองการตอบสนองความถี่เสาอากาศ ซึ่งทำการทดลองโดยการนำเสาอากาศที่ออกแบบและทำขึ้นมาไปเชื่อมต่อกับวงจรกรองความถี่กับเรียงกระแสให้แรงดันเอาต์พุตที่ได้เป็นกระแสตรงที่ผ่านโหลดตัวต้านทานค่าหนึ่ง แล้วทำการวัดค่าแรงดันที่ได้ตามระยะต่างๆ ภายในหนึ่งเมตร รวมทั้งวัดแรงดันที่เสาอากาศแต่ละแบบรับสัญญาณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Project Title</b>	WIFI Energy Harvesting
<b>Student</b>	Mr. Guntapon Wongwajana Student ID 62010051
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering
<b>Program</b>	Electronics Engineering
<b>Year</b>	2022
<b>Project Advisor</b>	Asst. Prof. Sumeek Wisayataksin, Ph.D

## ABSTRACT

This project is about studying the conversion of electromagnetic wave transformation to electrical energy in the WIFI range of 2.4 GHz. Today, WIFI is a popular signal for wireless internet connections with smartphones, and WIFI signal distribution points are installed in various places such as homes, public areas, and workplaces. Usually, these WIFI signal distribution points are turned on all day and night, even when no one is using them. Therefore, the objective of this project is to collect the wasted energy and then use it again. The project aims to study the design of antennas, filter circuits, and rectifier circuits, as well as the CST Studio suite program for simulating the frequency response of the antenna. The experiment involves connecting the designed antenna to the frequency filter and rectifier circuits to generate a direct current output that passes through a resistor with a certain resistance value and then measures the voltage across the resistor at different distances, and the received signal voltage for each antenna design is also measured.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาจากผศ.ดร.สุเมธ วิชาญทัตติ และรุ่นพี่ที่ให้การปรึกษาความรู้เกี่ยวกับเทคนิคการใช้โปรแกรม การยืมเครื่องมือในการทดลอง คำแนะนำในการทำโครงการแต่ละขั้นตอน การจัดหาอุปกรณ์ รวมทั้งให้คำแนะนำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานมาโดยตลอดจนโครงการนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสุด

กันตภณ ว่องวัจนะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

บทคัดย่อ .....	I
ABSTRACT .....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูปภาพ .....	VII
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขต.....	1
1.4 ระยะเวลา.....	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	1
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	2
2.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	2
2.2 Dipole Antenna .....	2
2.3 Patch Antenna.....	3
2.4 WIFI 2.4 GHz bands.....	3
2.5 CST Studio suit .....	4
2.6 PI Model filter circuit.....	5
2.7 Full wave rectifier .....	5
2.8 Spectrum analyzer.....	6
2.9 Signal generator.....	6
บทที่ 3 การดำเนินงาน .....	7
3.1 การออกแบบเสาอากาศ.....	7
3.1.1 เสาอากาศแบบที่ 1.....	7
3.1.2 เสาอากาศแบบที่ 2.....	8
3.1.3 เสาอากาศแบบที่ 3.....	10
3.1.4 เสาอากาศแบบที่ 4.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบวงจรไฟฟ้า .....	13
3.2.1 วงจรกรองความถี่ .....	13
3.2.2 วงจรเรียงกระแส .....	14
3.2.3 Impedance matching .....	14
3.2.4 วงจรรวมทั้งหมด .....	15
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	16
4.1 การเก็บเกี่ยวพลังงานที่ระยะต่างๆของเสาอากาศ.....	16
4.1.1 ตารางผลการรับพลังงานของเสาอากาศชนิดต่างๆ.....	16
4.1.2 กราฟความสัมพันธ์การรับพลังงานกับระยะทาง .....	18
4.2 แรงแดันไฟฟ้าที่แปลงได้ในระยะต่างๆของเสาอากาศ.....	19
4.2.1 แรงแดันที่ได้ของแต่ละเสาอากาศตามระยะทาง.....	20
4.2.2 กราฟแรงแดันกับระยะทาง.....	21
4.2.3 กราฟแรงแดันกับระยะทางเทียบกับทั้งสองไดโอด.....	22
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	23
บรรณานุกรม.....	24
ภาคผนวก.....	25

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ตารางแรงดันและกำลังในหน่วย DBM $\mu$ W MV กับระยะทางของเสา.....	16
2 ตารางแรงดันและกำลังในหน่วย DBM $\mu$ W MV กับระยะทางของเสา.....	16
3 ตารางแรงดันและกำลังในหน่วย DBM $\mu$ W MV กับระยะทางของเสา.....	17
4 ตารางแรงดันและกำลังในหน่วย DBM $\mu$ W MV กับระยะทางของเสา.....	17
5 ตารางความสัมพันธ์แรงดันและกำลังของกระแสไฟตรงกับระยะทางด้วยไดโอด SMS7630 .....	20
6 ตารางความสัมพันธ์แรงดันและกำลังของกระแสไฟตรงกับระยะทางด้วยไดโอด MA4E22 .....	20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 กลไกการทำงานของเสาอากาศไดโพล .....	2
2.2 กลไกการทำงานของเสาอากาศไดโพล .....	2
2.3 กลไกการทำงานของ PATCH ANTENNA .....	3
2.4 รายการช่วงความถี่แต่ละแชนแนลของ WIFI 2.4 GHZ .....	3
2.5 หน้าต่างโปรแกรม CST STUDIO SUIT 2022 .....	4
2.6 วงจรรองความถี่แถบผ่านชนิด II.....	5
2.7 วงจรเรียงกระแสแบบแบบเต็มคลื่น .....	5
2.8 SPECTRUM ANALYZER ANRITSU MS8609A .....	6
2.9 SIGNAL GENERATOR ROHDE & SCHWARZ SMT03 .....	6
3.1 แบบจำลองเสาอากาศแบบที่ 1 .....	7
3.2 การจำลองการตอบสนองความถี่ของเสาอากาศแบบที่ 1 .....	8
3.3 เสาอากาศแบบที่ 1 .....	8
3.4 แบบจำลองเสาอากาศแบบที่ 2 .....	8
3.5 การจำลองการตอบสนองความถี่ของเสาอากาศแบบที่ 2 .....	9
3.6 เสาอากาศแบบที่ 2 .....	9
3.7 แบบจำลองเสาอากาศแบบที่ 3 .....	10
3.8 การจำลองการตอบสนองความถี่ของเสาอากาศแบบที่ 3 .....	10
3.9 เสาอากาศแบบที่ 3 .....	11
3.10 แบบจำลองเสาอากาศแบบที่ 4 .....	11
3.11 การจำลองการตอบสนองความถี่ของเสาอากาศแบบที่ 4 .....	12
3.12 เสาอากาศแบบที่ 4 .....	12
3.13 วงจรรองความถี่ 2350 - 2550 MHZ.....	13
3.14 การจำลองอิมพีแดนซ์อินพุตและเอาต์พุตของวงจรรองความถี่ .....	13
3.15 วงจรรองความถี่ที่ใช้ใน PCB.....	14
3.17 วงจรแปลงพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานไฟฟ้า.....	15
3.18 แผ่นวงจรแปลงพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานไฟฟ้า .....	15
4.1 กราฟความผันผุกำลังไฟฟ้าในหน่วย DBM กับระยะทาง .....	18
4.2 กราฟความผันผุกำลังไฟฟ้าในหน่วย $\mu$ W กับระยะทาง .....	19
4.3 กราฟความผันผวแรงดันในหน่วย MV กับระยะทาง .....	19
4.4 กราฟความผันผวแรงดันกับระยะทางของไดโอด SMS7630 .....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
4.5 กราฟความผันผวนแรงดันกับระยะทางของไดโอด MA4E2200B1 .....	21
4.6 กราฟความผันผวนแรงดันกับระยะทางของไดโอด SMS7630 กับ MA4E2200B1 .....	22



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันสัญญาณ WIFI เป็นสัญญาณที่ใช้อยู่ในหลากหลายพื้นที่ไม่ว่าจะเป็นบ้านเรือนหรือพื้นที่สาธารณะ ซึ่งสัญญาณ WIFI ถูกใช้ในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตและปล่อยสัญญาณได้ตลอดเวลา จึงทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไปโดยเปล่าประโยชน์ โครงการนี้จึงทำการศึกษาเพื่อเก็บเกี่ยวพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า เพื่อถูกนำไปใช้ศึกษาต่อในระยะที่ไกลขึ้นและใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้แก่ชิป IC อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้พลังงานต่ำและการเชื่อมต่อไร้สาย

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาหลักการออกแบบเสาอากาศ
2. ศึกษาวิธีการออกแบบวงจรรองความถี่
3. ศึกษาการออกแบบวงจรเรียงกระแส
4. ศึกษาการใช้โปรแกรม CST studio suite

### 1.3 ขอบเขต

1. เก็บเกี่ยวพลังงานในระยะหนึ่งเมตร
2. เสาส่งสัญญาณของเร้าเตอร์ WIFI ทั่วไป

### 1.4 ระยะเวลา

ตั้งแต่วันที่ 9 มกราคม 2566 ถึง 22 เมษายน 2566

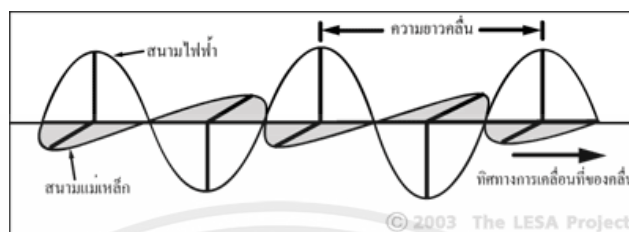
### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. วิธีการออกแบบและสร้างเสาอากาศ
2. การออกแบบวงจรรองความถี่
3. การแมทชิงอิมพีแดนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎี

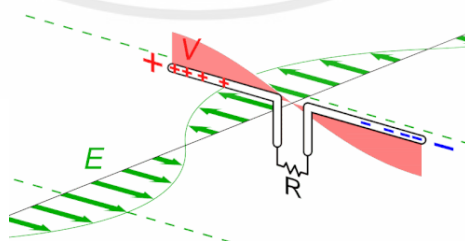
### 2.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 กลไกการทำงานของเสาอากาศไดโพล

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic waves : EM) ประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าเคลื่อนที่พามุมตั้งฉากกัน ระยะทางระหว่างยอดคลื่นหนึ่งถึงยอดคลื่นถัดไปเรียกว่า ความยาวคลื่น (Wavelength) แสงที่ตามองเห็น (Visible light) เป็นส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในช่วงคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร เมื่อความยาวคลื่นหลายๆความยาวคลื่นแสดงเป็นแถบเรียกว่า สเปกตรัม (Spectrum) โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละช่วงมีความยาวคลื่นแตกต่างกัน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเรียงตามขนาดความยาวคลื่นจากน้อยไปมากได้แก่ รังสีแกมมา (Gamma ray) ความยาวคลื่นน้อยกว่า 0.01 nm รังสีเอ็กซ์ (X-ray) มีความยาวคลื่น 0.01 - 1 nm รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet radiation) มีความยาวคลื่น 1 - 400 nm แสงที่ตามองเห็น (Visible light) มีความยาวคลื่น 400 – 700 nm รังสีอินฟราเรด (Infrared radiation) มีความยาวคลื่น 700 nm – 1 mm คลื่นไมโครเวฟ (Microwave) มีความยาวคลื่น 1 mm – 10 cm และคลื่นวิทยุ (Radio wave) ความยาวคลื่นมากกว่า 10 cm

### 2.2 Dipole Antenna

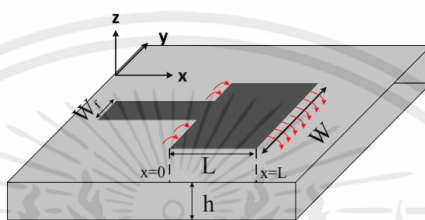


รูปที่ 2.2 กลไกการทำงานของเสาอากาศไดโพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาอากาศแบบไดโพลคือเสาที่วางแนวเดียวกันกับสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อมีสนามไฟฟ้าพุ่งไปยังทิศหนึ่งจะทำให้อิเล็กทรอนิกส์ไหลไปทางนั้นด้วยส่งผลให้มีแรงดันเป็นบวกและอีกฝั่งเป็นลบเมื่อคลื่นผ่านไปจึงทำให้แรงดันลดและเพิ่มไปยังอีกฝั่งเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยความยาวของเสาอากาศจะยาวเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น และจุดตรงกลางระหว่างสองข้างของเสาอากาศที่ไม่ได้เชื่อมต่อกันจะถูกนำไปใช้ในวงจรไฟฟ้าในการอ่านค่าและวัดแรงดัน

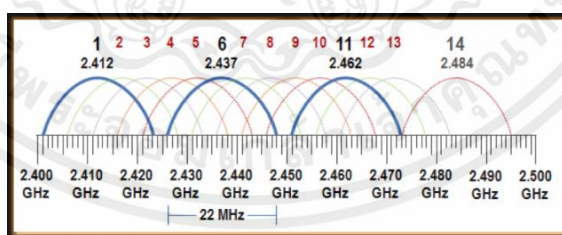
### 2.3 Patch Antenna



รูปที่ 2.3 กลไกการทำงานของ Patch antenna

เสาอากาศแบบแพตช์คือเสาอากาศที่อยู่บนผิววัสดุโดยมักทำเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมอยู่ด้านบนและมีกราวด์อยู่ด้านล่างเต็มแผ่นฐานรองวัสดุ เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามากระทบด้านข้างของแผ่นรองโลหะจะทำให้ที่ขอบของแผ่นสี่เหลี่ยมมีขนาดแรงดันตามสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านตลอดความยาวเสาอากาศ ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลจากแผ่นสี่เหลี่ยมไปยังกราวด์

### 2.4 WIFI 2.4 GHz bands



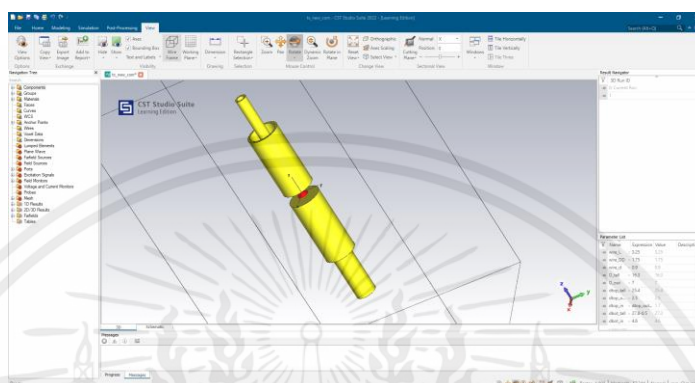
รูปที่ 2.4 รายการช่วงความถี่แต่ละแชนเนลของ WIFI 2.4 GHz

WiFi คือโพรโทคอลการสื่อสารไร้สายที่อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.11 ที่ใช้ในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตโดยไม่ใช้สายกับอุปกรณ์ต่างๆด้วยคลื่นวิทยุที่ความถี่ 2.4GHz 5GHz และ 6GHz ซึ่งมีการเชื่อมต่อแบบ Peer-to-Peer คือแบบจับคู่กันหนึ่งต่อหนึ่ง และแบบ Infrastructure คือแบบที่มีอุปกรณ์ 2 ประเภทได้แก่อุปกรณ์สถานีผู้ใช้ (Client Station) เชื่อมต่อผ่านสาย และ Client Adapter อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อผ่าน WiFi และรับส่งข้อมูลผ่าน Client Station เพื่อส่งข้อมูลไปยังตำแหน่งอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WIFI 2.4 GHz นั้นถูกแบ่งออกเป็น 13 แชนแนลที่สามารถใช้ได้อิสระตามประเทศไทย โดยแต่ละแชนแนลจะแบ่งช่วงความถี่แต่ละแชนแนลคือ 22 MHz ดังรูปภาพที่แสดง เพื่อลดความหนาแน่นของ Bandwidth ให้สามารถส่งข้อมูลได้ถูกต้องและรวดเร็วมากขึ้น

## 2.5 CST Studio suit

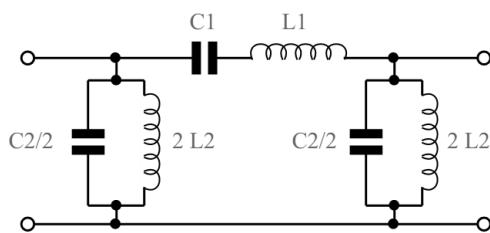


รูปที่ 2.5 หน้าต่างโปรแกรม CST Studio suit 2022

CST Studio Suite เป็นโปรแกรมเครื่องมือแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงคำนวณที่พัฒนาโดย Dassault Systèmes Simulia ประกอบด้วยวิธีการจำลองแบบต่างๆ เช่น Finite integration technique (FIT) Finite element method (FEM) Transmission line matrix (TLM) multilevel fast multipole method (MLFMM) และ Particle-in-Cell (PIC) เช่นเดียวกับ ตัวแก้ปัญหาหลายฟิสิกส์สำหรับโดเมนอื่นของฟิสิกส์ที่เชื่อมโยงกับแม่เหล็กไฟฟ้า วิธี FIT ของโดเมนเวลาใช้เทคนิคการผสมที่เรียกว่าการ perfect boundary approximation (PBA) เพื่อแสดงพื้นผิวโค้งในตาข่ายหกเหลี่ยม และยังมีตัวแก้ FEM ของโดเมนความถี่ด้วยวิธีการอื่นๆ ได้แก่ MLFMM และเครื่องแก้ปัญหา EM ของลำแสงขอบเขตการยิง นอกจากนี้ยังมีตัวแก้ปัญหาหลายฟิสิกส์เช่น PIC เวคฟิลด์ กลศาสตร์ความร้อน และโครงสร้าง โปรแกรม CST Studio Suite ยังมีเครื่องมือออกแบบภาพเรขาคณิตสามมิติในตัว มักถูกใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โทรคมนาคม การป้องกันประเทศ ยานยนต์ การบินและอวกาศ อิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์การแพทย์ แอปพลิเคชันหนึ่งของ CST Studio Suite คือการออกแบบและการจัดวางเสาอากาศและส่วนประกอบความถี่วิทยุอื่นๆ ระบบเสาอากาศ BepiColombo Mercury Planetary Orbiter ถูกพัฒนาในการใช้ CST Studio Suite ตรวจสอบรูปแบบการแผ่รังสีและการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

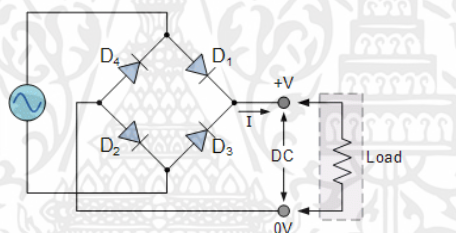
## 2.6 PI Model filter circuit



รูปที่ 2.6 วงจรกรองความถี่แถบผ่านชนิด  $\pi$

วงจรกรองความถี่ที่มีการวางอุปกรณ์ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำเป็นรูปพายตามตัวอักษรกรีกแล้วทำการกรองความถี่ที่ต้องการผ่านการตอบสนองของความถี่ที่สั้นพ้อง โดยมีข้อดีแรงดันเอาต์พุตที่สูง Ripple factor ต่ำ และอิมพีแดนซ์อินพุตกับเอาต์พุตสูง การส่งกำลังจากอินพุตไปยังเอาต์พุตสูญเสีย้น้อย

## 2.7 Full wave rectifier



รูปที่ 2.7 วงจรเรียงกระแสแบบแบบเต็มคลื่น

วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคาบคือวงจรที่แปลงจากกระแสไฟฟ้าสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดยการใช้ไดโอดสี่ตัวทำให้เมื่อแรงดันอินพุตขาขึ้นก็จะถูกส่งไปยังไปโหลดเมื่อแรงดันมากพอที่จะไดโอดทำงานและแรงดันอินพุตขาลงจะถูกทำให้ไปเพิ่มที่โหนดเดียวกับแรงดันเอาต์พุตขาขึ้น ทำให้ได้กระแสไฟที่ได้เป็นค่าบวกทั้งคู่และต่อตัวเก็บประจุขนาดกัโหนดทำให้แรงดันเอาต์พุตที่ได้มีความเป็นไฟฟ้ากระแสตรงมากขึ้น

## 2.8 Spectrum analyzer



รูปที่ 2.8 Spectrum analyzer Anritsu MS8609A

Spectrum analyzers คือเครื่องมือในการวัดขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมากๆ ซึ่งสามารถวัดได้ตามช่วงความถี่ของสเปคเครื่อง ซึ่งสามารถวัดสัญญาณอื่นๆ เช่น คลื่นความกดอากาศ คลื่นแสง โดยใช้ตัวทรานสดิวเซอร์ และยังมีเครื่องสเปกตรัมประเภทอื่นๆ เช่นสเปกตรัมวัดแบบใช้แสงโดยใช้เทคนิค Monochromator ในการวัด เครื่องสเปกตรัมมีการวัดสัญญาณโดยใช้โดเมนความถี่ซึ่งไม่สามารถวัดในโดเมนเวลาได้โดยง่าย และมักมีแอมพลิจูดอยู่ในรูปของแรงดัน หรือกำลังไฟฟ้าทั้งในหน่วยวัตต์ (W) และมิลลิเดซิเบล (m dB)

## 2.9 Signal generator



รูปที่ 2.9 Signal Generator Rohde & Schwarz SMT03

เครื่องกำเนิดสัญญาณคือเครื่องมือที่สร้างสัญญาณไฟฟ้าโดยมีแอมพลิจูด ความถี่ และรูปคลื่น โดยสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นจะถูกนำไปใช้ในการตอบสนองสัญญาณสำหรับการวัดค่าทางอิเล็กทรอนิกส์ ในการออกแบบ ทดสอบ แก้ปัญหา และซ่อมแซมเครื่องมือไฟฟ้า เครื่องกำเนิดสัญญาณมีอยู่หลายประเภทมีจุดประสงค์การใช้งานที่แตกต่างกันไปและมีราคาที่แตกต่างกัน ประเภทของเครื่องกำเนิดสัญญาณประกอบด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้า (Function generator) เครื่องกำเนิดสัญญาณคลื่น RF หรือคลื่นไมโครเวฟ เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่เสียง (Tone generator) เครื่องกำเนิดสัญญาณคลื่นตามต้องการ (Arbitrary Waveform Generator) เครื่องกำเนิดสัญญาณดิจิทัล (Digital pattern generator) และเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่ (Frequency generator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การดำเนินงาน

#### 3.1 การออกแบบเสาอากาศ

การออกแบบเสาอากาศแบบแพตช์ที่รับคลื่น WIFI ที่ความถี่ 2.4 GHz โดยความยาวของเสา รับสัญญาณคือ 61.22 มิลลิเมตร PCB มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกคือ 4.3 (FR-4 :  $\epsilon_r$ ) และความหนา (h) คือ 1.6 มิลลิเมตร เมื่อ c คือค่าคงที่ความเร็วแสง f คือความถี่ และ  $\lambda$  คือความยาวคลื่น

คำนวณด้วยสมการ

$$c = f\lambda$$

Effective dielectric constant

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + \frac{12h}{W} \right]^{-1/2}$$

ความกว้างของเสาอากาศ

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}}$$

ความยาวของเสาอากาศ

$$L = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{re}}}$$

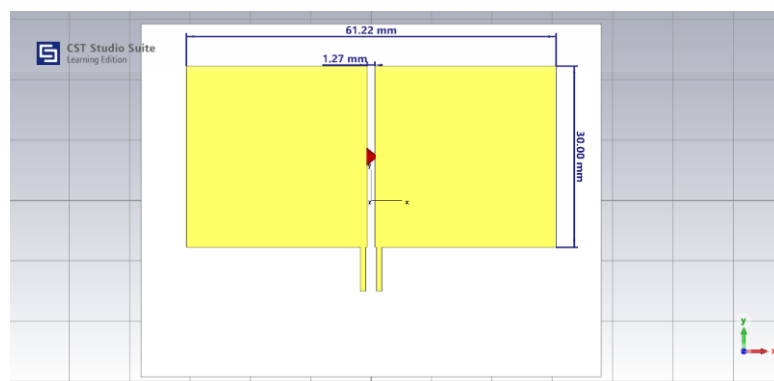
เมื่อคำนวณเสร็จจึงนำค่าที่ได้ไปออกแบบภาพสามมิติในโปรแกรม CST Studio suite แล้วทำการจำลองโดยใช้สัญญาณอินพุตขนาดกับความยาวเสาอากาศและจำลองการตอบสนองความถี่เพื่อดูค่า S-parameter ในการตอบสนองความถี่ที่ดีที่สุดจะมีค่าน้อยมากจากช่วงความถี่อื่นๆ

##### 3.1.1 เสาอากาศแบบที่ 1

ความยาวของเสาอากาศเท่ากับครึ่งความยาวคลื่นออกแบบมาเพื่อทดสอบค่าต่างๆ แล้วลองวัดเพื่อไปออกแบบเสาอากาศแบบอื่น

##### 3.1.1.1 การออกแบบเสาอากาศ

ความยาวของเสาอากาศ 61.22 มิลลิเมตร มีช่องว่างระกวางตรงกลาง 1.27 มิลลิเมตรและความกว้าง 30 มิลลิเมตร

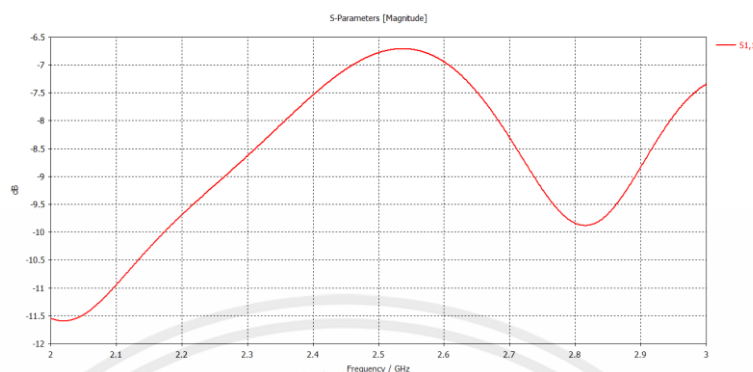


รูปที่ 3.1 แบบจำลองเสาอากาศแบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

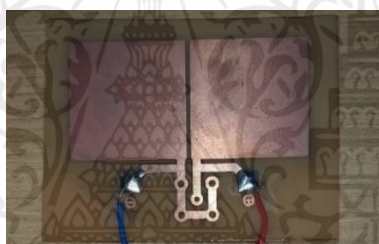
### 3.1.1.2 ผลการจำลองการตอบสนองความถี่

การจำลองเสาอากาศแบบที่ 1 มีการตอบสนองความถี่ 2.4 - 2.5 GHz อยู่ที่ -7.5 dBm



รูปที่ 3.2 การจำลองการตอบสนองความถี่ของเสาอากาศแบบที่ 1

### 3.1.1.3 เสาอากาศที่กั๊ดปร๊น

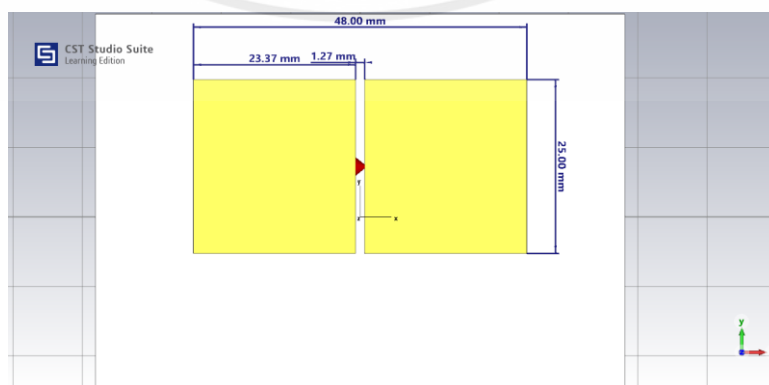


รูปที่ 3.3 เสาอากาศแบบที่ 1

### 3.1.2 เสาอากาศแบบที่ 2

ลดระยะความยาวและกว้างของเสาอากาศแบบที่ 1 เพื่อตอบสนองความถี่ให้ดีขึ้นโดยมีความยาวของเสาอากาศ 48 มิลลิเมตร ช่องว่างระหว่างเสา 1.27 มิลลิเมตรและความกว้าง 25 มิลลิเมตร

#### 3.1.2.1 การออกแบบเสาอากาศ

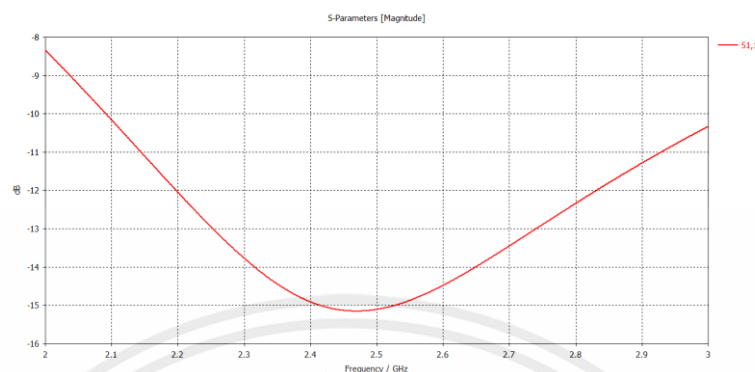


รูปที่ 3.4 แบบจำลองเสาอากาศแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2.2 ผลการจำลองการตอบสนองความถี่

การจำลองเสาอากาศแบบที่ 2 มีการตอบสนองความถี่ 2.4 - 2.5 GHz อยู่ที่ -15 dBm



รูปที่ 3.5 การจำลองการตอบสนองความถี่ของเสาอากาศแบบที่ 2

### 3.1.2.3 เสาอากาศที่กั๊ดปรีน



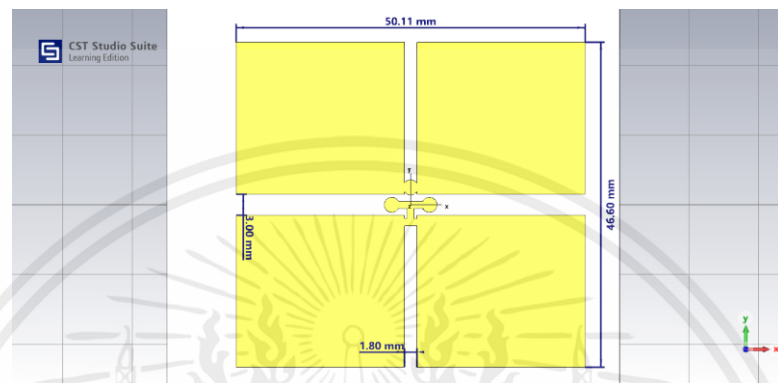
รูปที่ 3.6 เสาอากาศแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 เสาอากาศแบบที่ 3

ขนาดเสาอากาศแบบที่ 2 ต่อกันโดยมีความยาวเสาอากาศ 46.6 มิลลิเมตร ช่องว่างของฝั่งบวกและลบคือ 3 มิลลิเมตร ความกว้างคือ 24.155 มิลลิเมตรและช่องว่างระหว่างสองเสา 1.8 มิลลิเมตร รวมทั้งจุดเชื่อมต่ออยู่ตรงกลางของเสาอากาศ

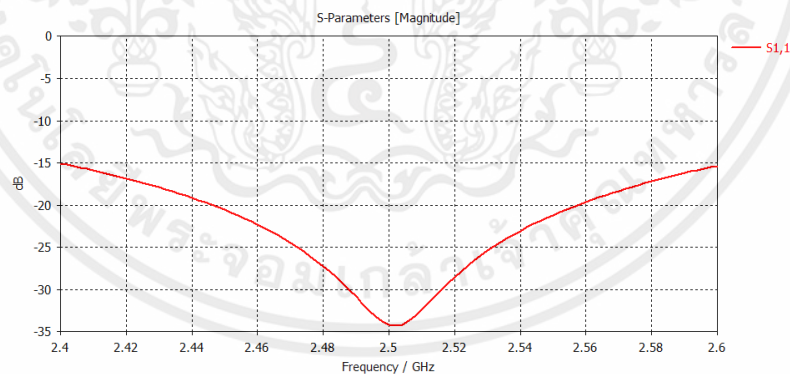
#### 3.1.3.1 การออกแบบเสาอากาศ



รูปที่ 3.7 แบบจำลองเสาอากาศแบบที่ 3

#### 3.1.3.2 ผลการจำลองการตอบสนองความถี่

การจำลองเสาอากาศแบบที่ 3 มีการตอบสนองความถี่ 2.4 - 2.5 GHz อยู่ที่ -30 ถึง -17 dBm



รูปที่ 3.8 การจำลองการตอบสนองความถี่ของเสาอากาศแบบที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3.3 เสาอากาศที่กั๊ดปรึ้น

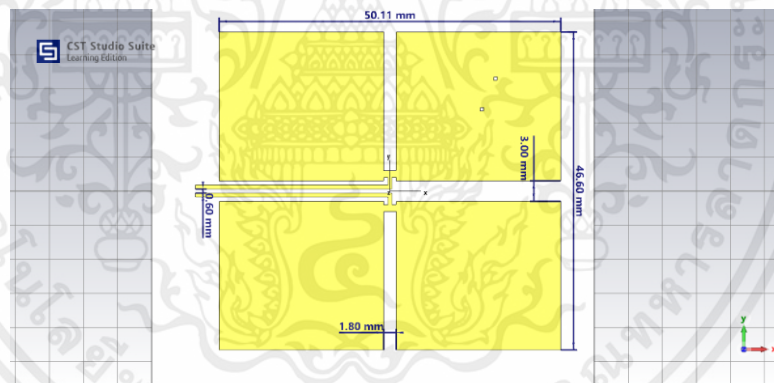


รูปที่ 3.9 เสาอากาศแบบที่ 3

### 3.1.4 เสาอากาศแบบที่ 4

เปลี่ยนจุดเชื่อมต่อไปยังวงจรไฟฟ้าของเสาที่ 3 ให้อยู่ข้างนอกบริเวณเสาอากาศความกว้างและความยาวรวมทั้งช่องว่างทั้งสองยังมีค่าเท่าเดิม

#### 3.1.4.1 การออกแบบเสาอากาศ

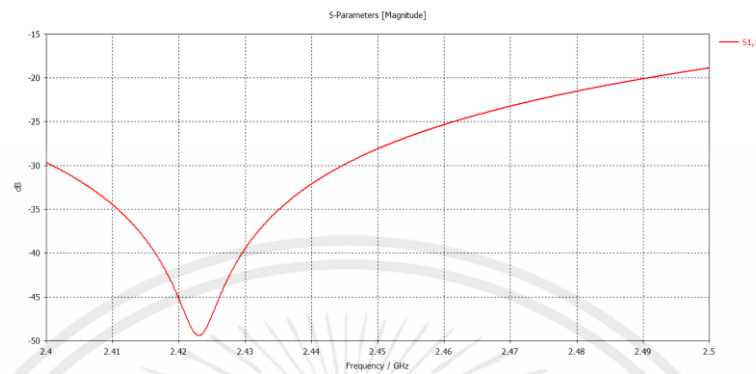


รูปที่ 3.10 แบบจำลองเสาอากาศแบบที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.4.2 ผลการจำลองการตอบสนองความถี่

การจำลองเสาอากาศแบบที่ 4 มีการตอบสนองความถี่ 2.4 - 2.5 GHz อยู่ที่ -50 ถึง -30 dBm



รูปที่ 3.11 การจำลองการตอบสนองความถี่ของเสาอากาศแบบที่ 4

### 3.1.4.3 เสาอากาศที่กัดปรีน



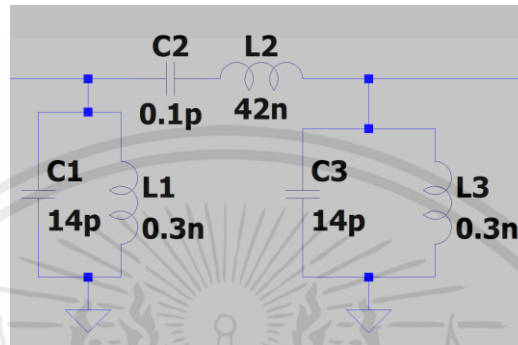
รูปที่ 3.12 เสาอากาศแบบที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 การออกแบบวงจรไฟฟ้า

### 3.2.1 วงจรกรองความถี่

การออกแบบวงจรกรองความถี่ Pi model แบบแถบความถี่ผ่านมีอิมพีแดนซ์อินพุตและเอาต์พุตเท่ากับ 50 โอห์ม และมีความถี่ในช่วง 2350 - 2550 MHz โดยคำนวณค่าตัวตามสมการดังต่อไปนี้



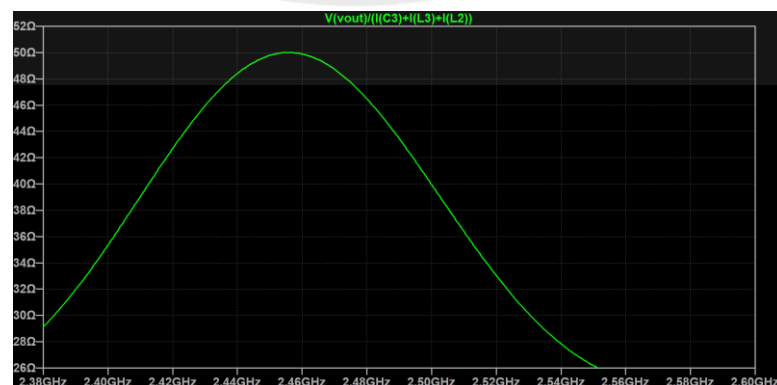
รูปที่ 3.13 วงจรกรองความถี่ 2350 - 2550 MHz

$$L_1 = L_3 = \frac{2Z_0(f_2 - f_1)}{4\pi f_1 f_2} \quad L_2 = \frac{Z_0}{2\pi(f_2 - f_1)}$$

$$C_1 = C_3 = \frac{1}{2\pi Z_0(f_2 - f_1)} \quad C_2 = \frac{2(f_2 - f_1)}{4\pi Z_0 f_1 f_2}$$

ทำให้ได้ค่าตัวเก็บประจุ C1, C3 คือ 15.91 pF และ C2 คือ 106.24 fF ค่าตัวเหนี่ยวนำ L1, L3 คือ 265.59 pH และ L2 คือ 39.79 nH

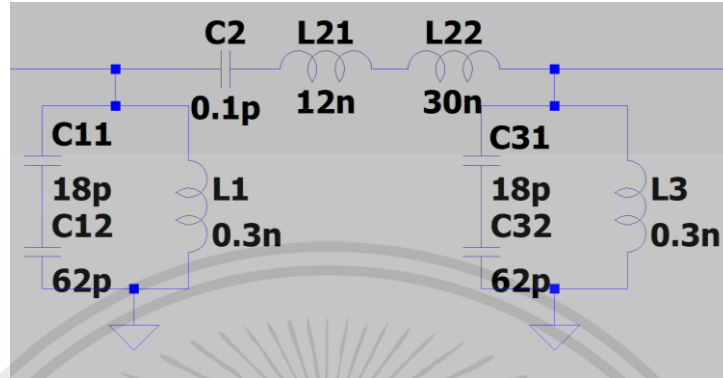
จากนั้นทำการจำลองและปรับค่าตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำให้มีค่าอิมพีแดนซ์ประมาณ 50 โอห์มที่อินพุตและเอาต์พุตตลอดช่วงความถี่ 2400 - 2470 MHz ซึ่งคือความถี่ของ WIFI ทุกแชนแนล ทำให้ได้ตัวเก็บประจุ C1, C3 คือ 14 pF และ C2 คือ 0.1 pF ตัวเหนี่ยวนำ L1, L3 คือ 0.3 nH และ L2 คือ 42 nH ดังรูปภาพข้างต้น และผลการจำลองอิมพีแดนซ์ดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 3.14 การจำลองอิมพีแดนซ์อินพุตและเอาต์พุตของวงจรกรองความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

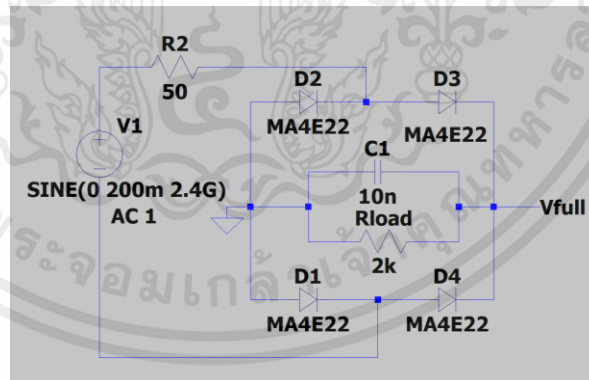
เมื่อได้วงจรกรองความถี่แล้วนั้นจึงทำการปรับแต่งวงจรให้สามารถหาค่าตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำได้ให้สามารถประกอบวงจรได้ โดยเปลี่ยน C1,C3 ให้เป็นตัวเก็บประจุค่า 18 pF กับ 62 pF ต่ออนุกรมกัน และเปลี่ยน L2 ให้เป็นตัวเหนี่ยวนำค่า 12 nH กับ 30 nH ต่ออนุกรม



รูปที่ 3.15 วงจรกรองความถี่ที่ใช้ใน PCB

### 3.2.2 วงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแสทำการต่อแบบ Full wave ทำให้ได้พลังงานตอนที่แรงดันมีขาขึ้นและขาลง โดยไดโอดที่ใช้ในที่นี้คือ SMS7630 และ MA4E2200B1 ไดโอดทั้งคู่ตอบสนองพลังงานสูงสุดที่โหลดตัวต้านทาน 2000 โอห์ม และทำการต่อตัวเก็บประจุขนานกับโหลดที่ค่า 10 nF เพื่อลดผลกระทบจากปรากฏการณ์แรงดันรีปเปิล มีวงจรดังรูป



รูปที่ 3.16 วงจรเรียงกระแสที่ใช้ใน PCB

### 3.2.3 Impedance matching

การแมทซิงอิมพีแดนซ์ระหว่างวงจรกรองความถี่และวงจรเรียงกระแสตอบสนองความถี่ 2442 MHz ซึ่งวงจรกรองความถี่มีอิมพีแดนซ์ที่อินพุตและเอาต์พุตคือ 50 โอห์ม จึงต้องทำการหาอิมพีแดนซ์ของวงจรเรียงกระแสให้สามารถส่งพลังงานไปได้สูงสุดโดยหาได้ตามสมการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_{in \text{ rectifier}} = \left[ 2 \left( R_{diode} + \frac{1}{j\omega C_{diode}} \right) \right] // \left( R_{load} // \frac{1}{j\omega C_{load}} \right)$$

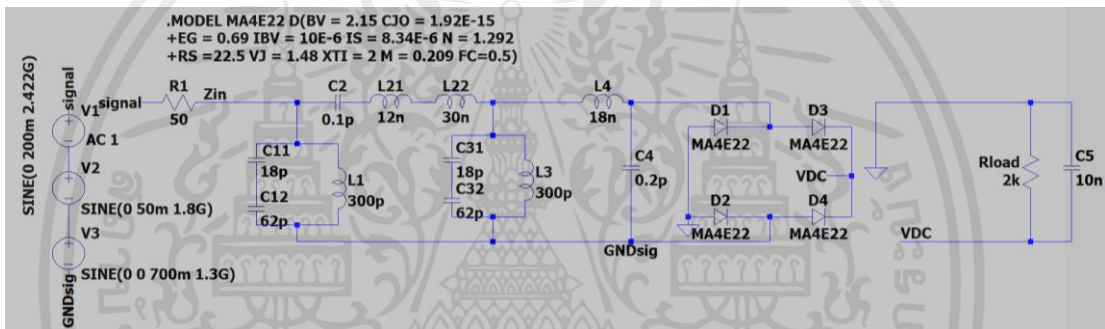
ได้อิมพีแดนซ์ขาเข้าของวงจรเรียงกระแส 1524 โอห์มและหาค่าตัวเหนี่ยวนำกับตัวเก็บประจุดังนี้

$$Q = \sqrt{\frac{|Z_{load}|}{|Z_{source}|}} - 1 \quad L = \frac{Q|Z_{source}|}{2\pi f_0} \quad C = \frac{1}{2\pi Q|Z_{source}|}$$

สำหรับไดโอด MA4E2200B1 ได้ค่าตัวเก็บประจุคือ 0.2 pF และตัวเหนี่ยวนำ 18 nH และสำหรับไดโอด SMS7630 ได้ค่าตัวเก็บประจุคือ 0.1 pF และตัวเหนี่ยวนำ 18 nH

### 3.2.4 วงจรรวมทั้งหมด

นำวงจรทั้งสามมารวมกันจะได้วงจรดังรูป



รูปที่ 3.17 วงจรแปลงพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 3.18 แผ่นวงจรแปลงพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การเก็บเกี่ยวพลังงานที่ระยะต่างๆของเสาอากาศ

เสาสัญญาณตัวส่งส่งไปในความถี่ที่ 2.457 GHz แอมพลิจูด -20 dBm และความต้านทานขาเข้าที่ 50 โอห์ม และอ่านค่าเสารับสัญญาณทุก 10 เซนติเมตรจนถึง 100 เซนติเมตร

##### 4.1.1 ตารางผลการรับพลังงานของเสาอากาศชนิดต่างๆ

###### 4.1.1.1 เสาอากาศแบบที่ 1

**ตารางที่ 1** ตารางแรงดันและกำลังในหน่วย dBm  $\mu$ W mV กับระยะทางของเสาอากาศแบบที่ 1

ระยะทาง (cm)	เสาอากาศแบบที่ 1		
	dBm	mV	$\mu$ W
10	-0.26	217.51	897.43
20	-5.54	109.64	285.76
30	-10.44	70.47	90.16
40	-9.19	72.11	108.39
50	-11.25	43.15	38.37
60	-12.07	50.85	48.64
70	-14.46	45.66	42.07
80	-13.38	41.83	35.32
90	-17.84	27.23	11.25
100	-23.56	13.72	2.38

###### 4.1.1.2 เสาอากาศแบบที่ 2

**ตารางที่ 2** ตารางแรงดันและกำลังในหน่วย dBm  $\mu$ W mV กับระยะทางของเสาอากาศแบบที่ 2

ระยะทาง (cm)	เสาอากาศแบบที่ 2		
	dBm	mV	$\mu$ W
10	-0.93	200.67	801.68
20	-6.63	106.41	260.02
30	-9.24	77.09	115.34
40	-14.44	42.36	35.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2 (ต่อ)

50	-18.22	25.64	15.92
60	-13.79	50.46	55.59
70	-22.28	18.64	6.07
80	-24.18	11.48	3.42
90	-17.02	38.11	26.79
100	-27.24	10.50	2.44

## 4.1.1.3 เสาอากาศแบบที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางแรงดันและกำลังในหน่วย dBm  $\mu$ W mV กับระยะทางของเสาอากาศแบบที่ 3

ระยะทาง (cm)	เสาอากาศแบบที่ 3		
	dBm	mV	$\mu$ W
10	3.65	346.72	2404.30
20	-2.44	161.43	576.77
30	-7.48	95.50	177.42
40	-8.91	84.62	156.67
50	-12.66	52.42	47.64
60	-12.41	63.82	72.11
70	-16.68	24.95	8.45
80	-16.04	45.34	34.04
90	-19.76	28.18	21.48
100	-18.72	29.78	20.09

## 4.1.1.4 เสาอากาศแบบที่ 4

ตารางที่ 4 ตารางแรงดันและกำลังในหน่วย dBm  $\mu$ W mV กับระยะทางของเสาอากาศแบบที่ 4

ระยะทาง (cm)	เสาอากาศแบบที่ 4		
	dBm	mV	$\mu$ W
10	0.94	242.37	1241.60
20	-3.12	155.23	456.04
30	-6.91	95.72	204.64

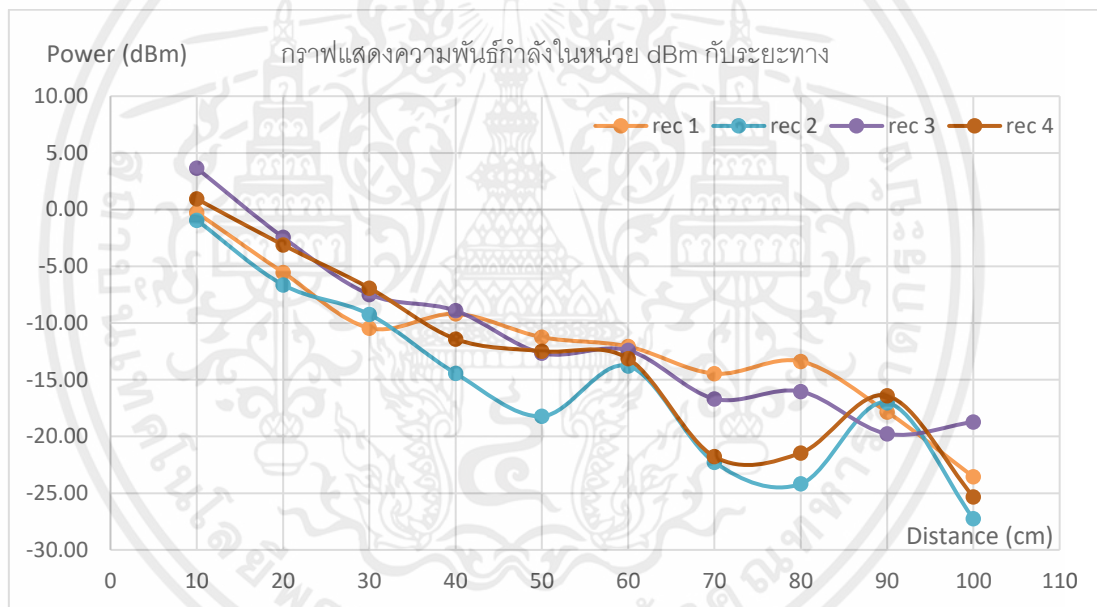
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 4 (ต่อ)

40	-11.41	60.25	71.61
50	-12.49	54.51	61.09
60	-13.14	52.90	57.15
70	-21.78	20.75	7.31
80	-21.45	21.88	10.28
90	-16.41	39.04	33.96
100	-25.31	28.18	13.52

## 4.1.2 กราฟความสัมพันธ์การรับพลังงานกับระยะทาง

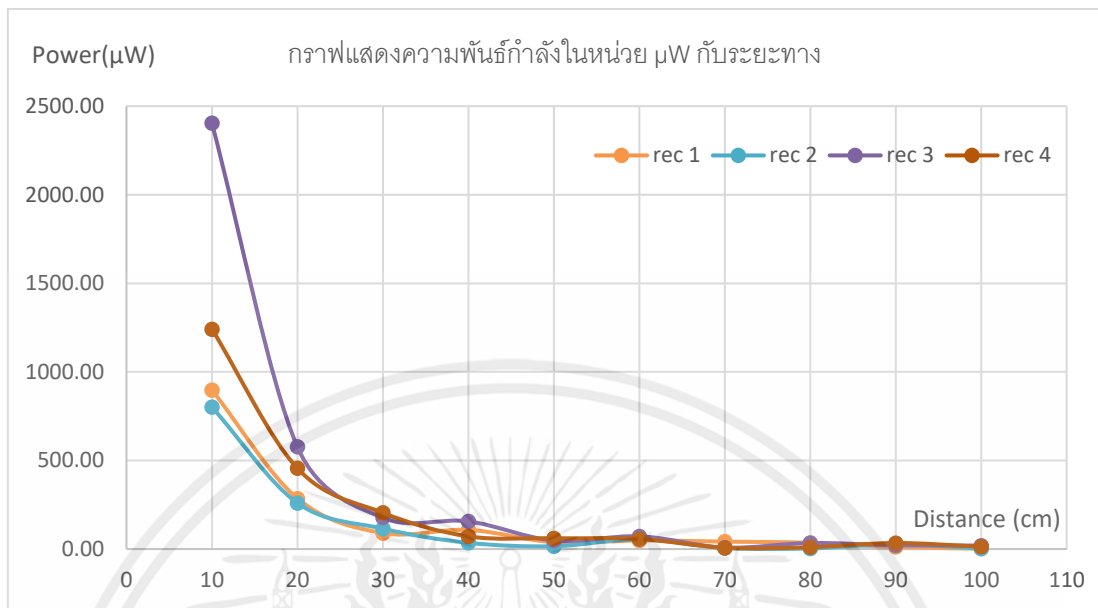
## 4.1.2.1 กำลังในหน่วย dBm



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้าในหน่วย dBm กับระยะทาง

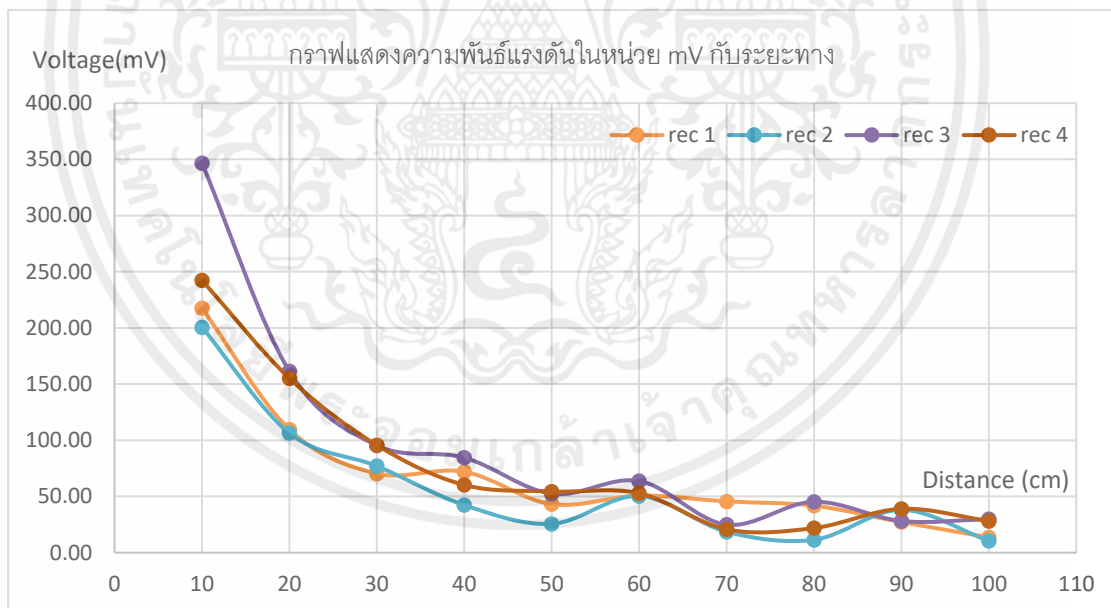
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2.2 กำลังในหน่วย $\mu\text{W}$



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้าในหน่วย  $\mu\text{W}$  กับระยะทาง

#### 4.1.2.3 แรงดันในหน่วย mV



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์แรงดันในหน่วย mV กับระยะทาง

## 4.2 แรงดันไฟฟ้าที่แปลงได้ในระยะต่างๆของเสาอากาศ

เสาสัญญาณตัวส่งส่งไปในความถี่ที่ 2.457 GHz ที่แอมพลิจูด 0 dBm และความต้านทานขาเข้าที่ 50 โอห์ม แล้วอ่านค่าแรงดันที่ตกรวมตัวต้านทานโหลด 2000 โอห์ม ทุก 10 เซนติเมตรจนถึง 100 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1 แรงแรงดันที่ได้ของแต่ละเสาอากาศตามระยะทาง

##### 4.2.1.1 ไดโอด SMS7630

ตารางที่ 5 ตารางความสัมพันธ์แรงแรงดันและกำลังของกระแสไฟตรงกับระยะทางด้วย

ไดโอด SMS7630

ระยะทาง (cm)		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
แรงแรงดัน (mV)	1	0.684	0.521	0.414	0.396	0.437	0.348	0.305	0.352	0.353	0.360
	2	0.475	0.624	0.555	0.639	0.544	0.440	0.482	0.431	0.434	0.485
	3	0.512	0.804	0.494	0.521	0.392	0.409	0.483	0.338	0.412	0.381
	4	0.818	0.433	0.451	0.414	0.479	0.343	0.305	0.394	0.375	0.411
กำลัง (nW)	1	0.234	0.136	0.086	0.078	0.095	0.061	0.047	0.062	0.062	0.065
	2	0.113	0.195	0.154	0.204	0.148	0.097	0.116	0.093	0.094	0.118
	3	0.131	0.323	0.122	0.136	0.077	0.084	0.117	0.057	0.085	0.073
	4	0.335	0.094	0.102	0.086	0.115	0.059	0.047	0.078	0.070	0.084

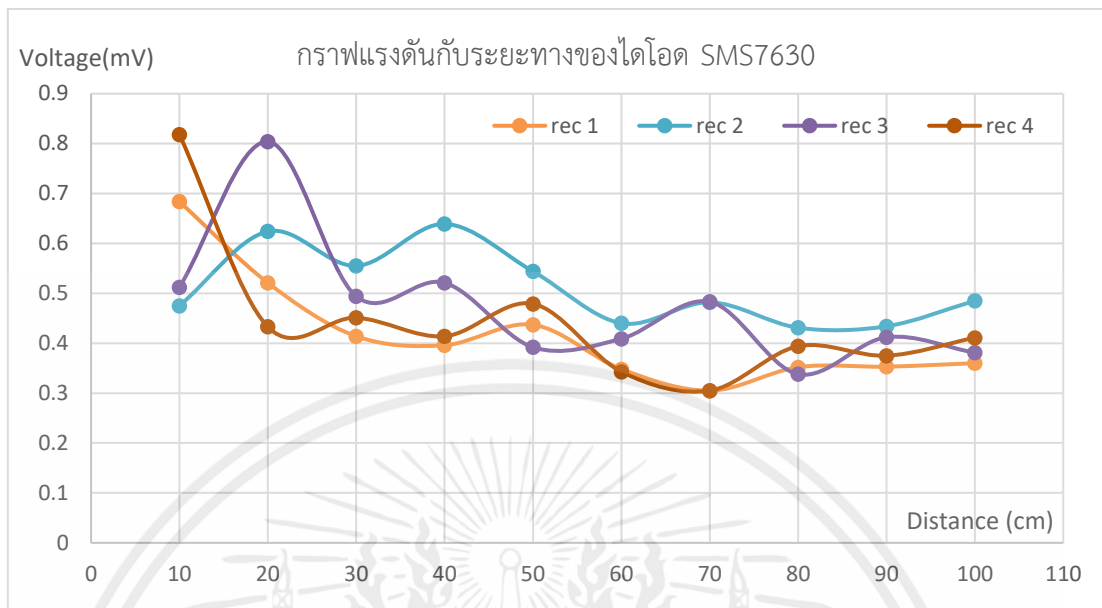
##### 4.2.1.1 ไดโอด MA4E2200B1

ตารางที่ 6 ตารางความสัมพันธ์แรงแรงดันและกำลังของกระแสไฟตรงกับระยะทางด้วย

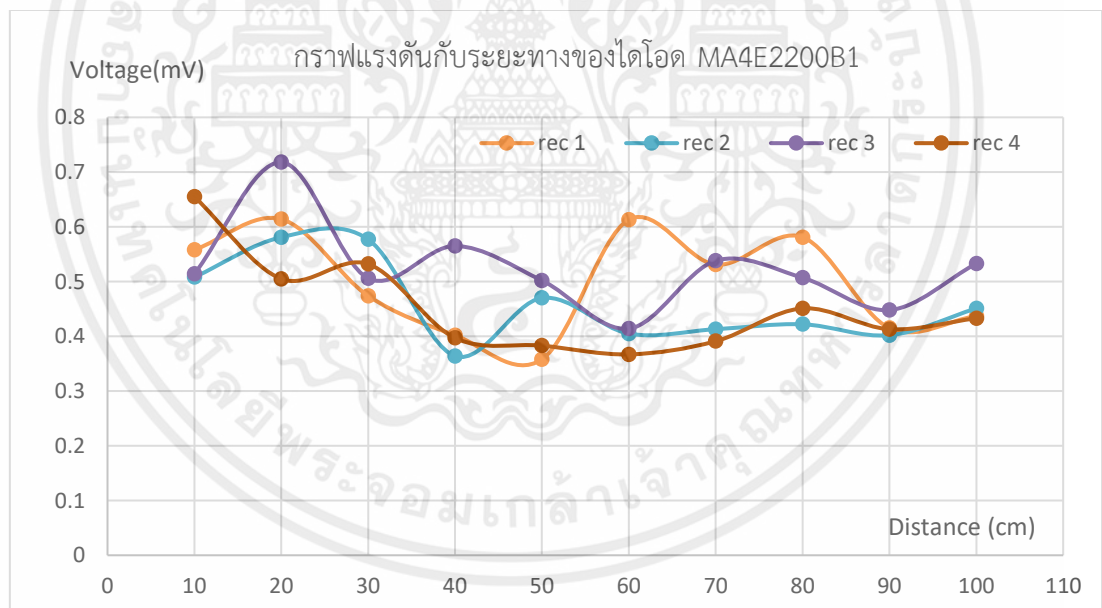
ไดโอด MA4E2200B1

ระยะทาง (cm)		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
แรงแรงดัน (mV)	1	0.558	0.614	0.474	0.402	0.358	0.613	0.531	0.581	0.415	0.437
	2	0.508	0.581	0.577	0.364	0.47	0.405	0.413	0.422	0.402	0.451
	3	0.514	0.718	0.506	0.565	0.502	0.414	0.538	0.507	0.448	0.533
	4	0.655	0.505	0.532	0.397	0.383	0.367	0.391	0.451	0.413	0.433
กำลัง (nW)	1	0.156	0.188	0.112	0.081	0.064	0.188	0.141	0.169	0.086	0.095
	2	0.129	0.169	0.166	0.066	0.110	0.082	0.085	0.089	0.081	0.102
	3	0.132	0.258	0.128	0.160	0.126	0.086	0.145	0.129	0.100	0.142
	4	0.215	0.128	0.142	0.079	0.073	0.067	0.076	0.102	0.085	0.094

#### 4.2.2 กราฟแรงดันกับระยะทาง



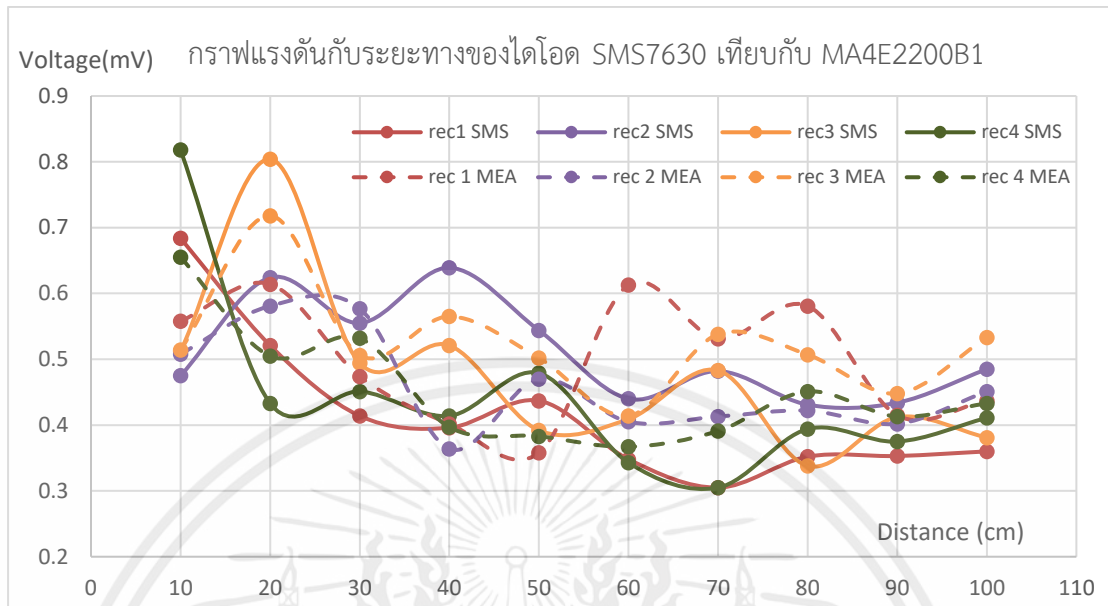
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์แรงดันกับระยะทางของไดโอด SMS7630



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์แรงดันกับระยะทางของไดโอด MA4E2200B1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.3 กราฟแรงดันกับระยะทางเทียบกับทั้งสองไดโอด



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์แรงดันกับระยะทางของไดโอด SMS7630 กับ MA4E2200B1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบและทดลองเสาอากาศทั้ง 4 แบบพบว่าเสาอากาศรับสัญญาณได้ดีจากมากไปน้อยคือแบบที่ 3 4 1 2 ตามลำดับที่ระยะ 10 ถึง 40 เซนติเมตร โดยระยะที่มากกว่า 40 เซนติเมตร แรงดันที่ได้มีค่า 100 – 250 มิลลิโวลต์ที่ระยะ 10 ถึง 20 เซนติเมตรซึ่งเป็นระยะที่คาดหวังว่าสามารถเก็บเกี่ยวพลังงานได้ดี กำลังไฟฟ้าของเสาอากาศที่วัดมีการเพิ่มและลดเป็นบางช่วงเนื่องจากสัญญาณมีการแทรกสอดของคลื่นที่เป็นบัพและปฏิบัพและการทดลองมีความคาดเคลื่อนของการหันหน้าเสาอากาศให้ตรงกับเสาส่งสัญญาณ รวมทั้งเสาอากาศแต่ละเสามีการตอบสนองความถี่สูงสุดที่ต่างกัน

จากการวัดแรงดันไฟฟ้าทั้ง 4 เสาสำหรับไดโอด SMS7630 แรงดันที่ได้โดยรวมจากมากไปน้อยคือเสาอากาศที่ 2 3 4 1 ตามลำดับและสำหรับไดโอด MA4E2200B1 แรงดันที่ได้โดยรวมจากมากไปน้อยคือเสาอากาศที่ 3 1 2 4 ตามลำดับ และเมื่อเทียบระหว่างไดโอดสองไดโอดแรงดันโดยรวมของไดโอด MA4E2200B1 แปลงพลังงานมาได้มากกว่าเล็กน้อย โดยการแปลงพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรงจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.5-0.8 mV ที่โหลด 2000 โอห์ม และจากกราฟที่แสดงในบทที่ 4 จะเห็นได้ว่าแรงดันของเสาอากาศตามระยะต่างๆ มีการขึ้นลงแม้จะห่างจากตัวส่งมากขึ้น ซึ่งเกิดจากการแทรกสอดของคลื่นและเร้าเตอร์ WIFI ที่ใช้งานอยู่ภายในห้องเมื่อห่างจากเสาส่งสัญญาณก็เข้าใกล้เร้าเตอร์ WIFI มากขึ้นจึงทำให้การแปลงที่ได้ผิดเพี้ยน รวมทั้งตำแหน่งของสิ่งของและผู้ทดลองเองมีผลต่อการแปลงพลังงาน

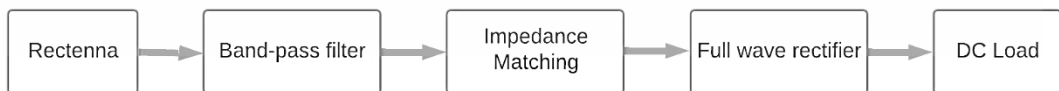
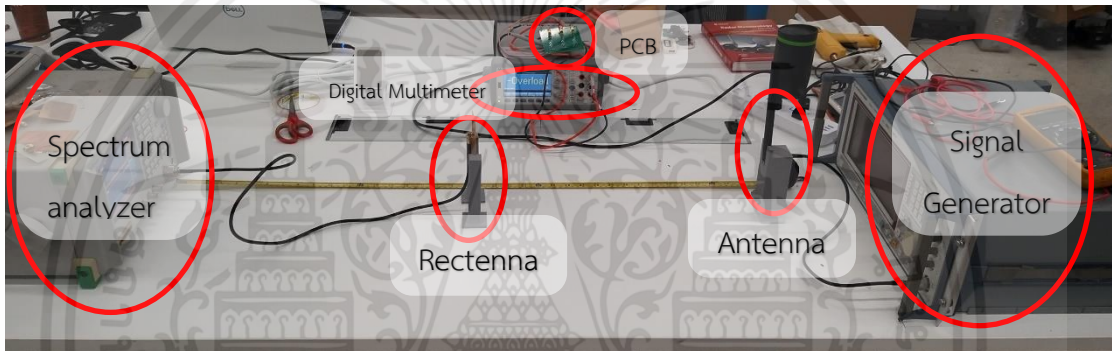
## บรรณานุกรม

- [1] Keerthana Sathiamoorthy. “Wireless Power Transfer Using Rectenna”[Online], แหล่งที่มา : <https://www.researchgate.net/>. สืบค้นเมื่อ 17 มกราคม 2566.
- [2] Ahmed Fatthi Alsager. “Design and Analysis of Microstrip Patch Antenna Arrays” [Online], แหล่งที่มา : [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net). สืบค้นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2566.
- [3] Iulian Rosu. “Impedance Matching” [Online], แหล่งที่มา : [https://www.qsl.net/va3iul/Impedance\\_Matching/Impedance\\_Matching.pdf](https://www.qsl.net/va3iul/Impedance_Matching/Impedance_Matching.pdf). สืบค้นเมื่อ 11 เมษายน 2566.
- [4] Online Electrical and Electronics Study. “Band Pass Filter” [Online], แหล่งที่มา : <https://www.eeeguide.com/band-pass-filter/>. สืบค้นเมื่อ 11 เมษายน 2566.
- [5] “List of WLAN channels” [Online], แหล่งที่มา : <https://en.wikipedia.org/>. สืบค้นเมื่อ 11 เมษายน 2566.
- [6] Mohammad Alhassoun. “Patch Antennas” [Online], แหล่งที่มา : <https://bpb-us-w2.wpmucdn.com/>. สืบค้นเมื่อ 22 กุมภาพันธ์ 2566.
- [7] “( $\pi$ - Section / Low-pass Filter)” [Online], แหล่งที่มา : <https://uotechnology.edu.iq/>. สืบค้นเมื่อ 8 เมษายน 2566.
- [8] LESA. “คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า” [Online], แหล่งที่มา : <http://www.lesa.biz/astronomy/light/em-waves>. สืบค้นเมื่อ 17 มกราคม 2566

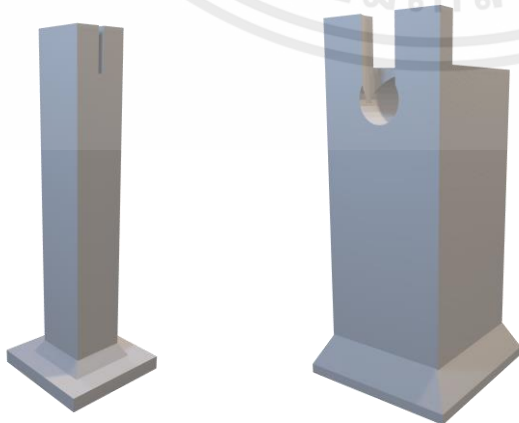
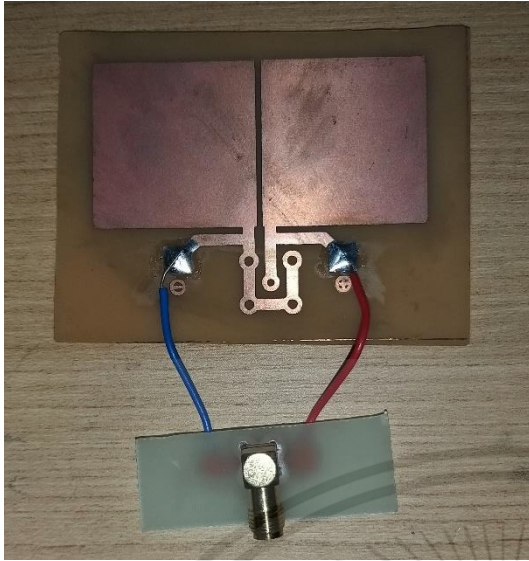


## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA SHEET

## Surface-Mount Mixer and Detector Schottky Diodes

### Applications

- Sensitive RF and microwave detector circuits
- Sampling and mixer circuits
- High-volume wireless
- Wi-Fi and mobile
- Low-noise receivers in high-sensitivity ID tags
- Radio designs



### Features

- Tight parameter distribution
- Available as singles, pairs, and dual pairs
- Packages rated MSL1, 260 °C per JEDEC J-STD-020



Skyworks Green™ products are compliant with all applicable legislation and are halogen-free. For additional information, refer to *Skyworks Definition of Green™*, document number SQ04-0074.





### Description

These low-cost, surface-mountable, plastic-packaged silicon mixer Schottky diodes are designed for RF and microwave mixers and detectors. They include low-barrier diodes and zero-bias detectors that combine Skyworks advanced semiconductor technology with low-cost packaging techniques. All diodes are 100 percent DC tested and deliver tight parameter distribution, which minimizes performance variability.

These diodes are available in SOD-882, SC-79, and SOT-23 packages. Wiring configurations include singles, series pairs, and reverse series pairs. They may be used at frequencies up to 24 GHz.

Table 1 describes the various packages and marking of the mixer and detector Schottky diodes.

**Table 1. Schottky Diode Packaging and Marking**

			
Single	Series Pair	Reverse Series Pair	Single
SC-79 Green™	SOT-23	SOT-23	SOD-882 Green™
◆ SMS7621-079LF Marking: Cathode and SA	◆ SMS7621-005LF Green™ Marking: XH2	◆ SMS7621-006LF Green™ Marking: XH8	SMS7621-040LF Marking: E
◆ SMS7630-079LF Marking: Anode and SC	SMS7630-005LF Green™ Marking: XD2	◆ SMS7630-006LF Green™ Marking: XD8	SMS7630-040LF Marking: P
$L_s = 0.7 \text{ nH}$	$L_s = 1.5 \text{ nH}$	$L_s = 1.5 \text{ nH}$	$L_s = 0.45 \text{ nH}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Electrical and Mechanical Specifications**

The absolute maximum ratings of the mixer and detector Schottky diodes are provided in Table 2. Electrical specifications are provided in Tables 3 and 4. The associated SPICE model parameters are provided in Table 5. A typical detector schematic diagram is shown in Figure 1.

Typical performance characteristics are illustrated in Figures 2 and 3. Package dimensions are shown in Figures 4 to 8 (even numbers), and tape and reel dimensions are provided in Figures 5 to 9 (odd numbers).

**Package and Handling Information**

Instructions on the shipping container label regarding exposure to moisture after the container seal is broken must be followed. Otherwise, problems related to moisture absorption may occur when the part is subjected to high temperature during solder assembly.

The mixer and detector Schottky diodes are rated to Moisture Sensitivity Level 1 (MSL1) at 260 °C for 5 seconds. They can be used for lead or lead-free soldering. For additional information, refer to the Skyworks Application Note, *Solder Reflow Information*, document number 200164.

Care must be taken when attaching this product, whether it is done manually or in a production solder reflow environment. Production quantities of this product are shipped in a standard tape and reel format.

**Table 2. Absolute Maximum Ratings<sup>1</sup>**

Parameter	Symbol	Minimum	Maximum	Units
Reverse voltage	V <sub>R</sub>		Rated V <sub>b</sub>	V
Forward current, steady state	I <sub>F</sub>		50	mA
Power dissipation	P <sub>D</sub>		75	mW
Storage temperature	T <sub>STG</sub>	-65	+150	°C
Operating temperature	T <sub>A</sub>	-65	+150	°C
Junction temperature	T <sub>J</sub>		+150	°C

<sup>1</sup> Exposure to maximum rating conditions for extended periods may reduce device reliability. There is no damage to device with only one parameter set at the limit and all other parameters set at or below their nominal value. Exceeding any of the limits listed here may result in permanent damage to the device.

**ESD HANDLING:** *Although this device is designed to be as robust as possible, electrostatic discharge (ESD) can damage this device. This device must be protected at all times from ESD when handling or transporting. Static charges may easily produce potentials of several kilovolts on the human body or equipment, which can discharge without detection. Industry-standard ESD handling precautions should be used at all times.*

**Table 3. Electrical Specifications<sup>1</sup>**  
(T<sub>A</sub> = +25 °C Per Junction, Unless Otherwise Noted)

Part Number	Barrier	Minimum V <sub>b</sub> @ 10 μA (V)	Typical C <sub>T</sub> @ 0 V (pF)	V <sub>F</sub> @ 1 mA (mV)	Maximum Pair Configuration ΔV <sub>F</sub> @ 1 mA (mV)	Maximum R <sub>T</sub> <sup>2</sup> (Ω)
SMS7621 series	Low	2	0.25	260 to 320	10	18 @ 5 mA

<sup>1</sup> Performance is guaranteed only under the conditions listed in this table.

<sup>2</sup> R<sub>T</sub> is the slope resistance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

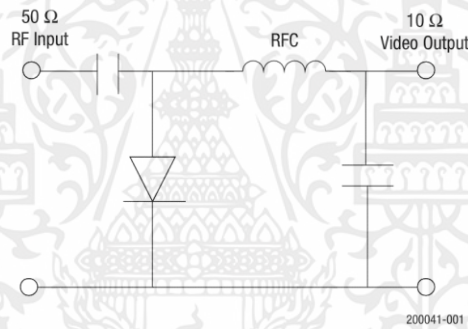
**Table 4. Electrical Specifications<sup>1</sup>**  
 (T<sub>A</sub> = +25 °C Per Junction, Unless Otherwise Noted)

Part Number	Minimum V <sub>b</sub> @ 100 μA (V)	Typical C <sub>t</sub> @ 0.15 V (pF)	V <sub>f</sub> @ 0.1 mA (mV)	V <sub>f</sub> @ 1 mA (mV)	Maximum Pair Configuration ΔV <sub>f</sub> @ 1 mA (mV)	Typical R <sub>v</sub> (Ω)
SMS7630 series	1	0.3	60 to 120	135 to 240	10	5000

<sup>1</sup> Performance is guaranteed only under the conditions listed in this table.

**Table 5. SPICE Model Parameters (Per Junction)**

Parameter	Units	SMS7621 Series	SMS7630 Series
I <sub>s</sub>	A	4E-8	5E-6
R <sub>s</sub>	Ω	12	20
N	-	1.05	1.05
TT	sec	1E-11	1E-11
C <sub>JO</sub>	pF	0.1	0.14
M	-	0.35	0.40
E <sub>g</sub>	eV	0.69	0.69
X <sub>TI</sub>	-	2	2
F <sub>c</sub>	-	0.5	0.5
B <sub>v</sub>	V	3	2
I <sub>sv</sub>	A	1E-5	1E-4
V <sub>J</sub>	V	0.51	0.34



**Figure 1. Typical Detector Circuit**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MA4E220 Series



## Surface Mount Zero Bias Schottky Detector Diodes

Rev. V5

### Features

- Designed for High Volume, Low Cost Detector Applications
- Available in Single, Series Pair and Unconnected Pair Configurations
- Small Profile Surface Mount Packages
- Tape and Reel Deliverable
- Lead Free (RoHS Compliant) Equivalents Available With 260 Deg. C Reflow Capability

### Description and Applications

The MA4E220 series are Silicon zero bias P-type detector diodes assembled in low cost surface mount plastic packages. They are designed for usage in a wide variety of detector applications.

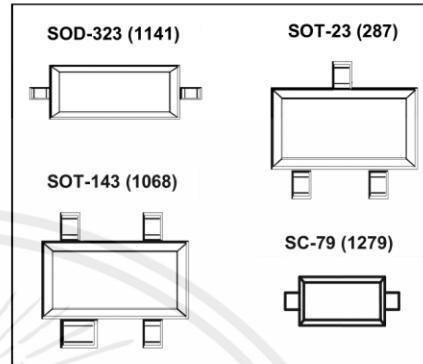
The MA4E220 series of zero bias detector diodes are available in the SOT-23 (case style 287) in series pair configurations, SOD-323 (case style 1141), SC-79 (1279) in a single configuration, and the SOT-143 (case style 1068) in a reverse unconnected pair configuration.

The part number consists of the base number MA4E2200, followed by the wiring configuration (A, B, D, E), the package style (287, 1068, 1141) and a "T" for tape and reel. The SC-79 part number is MADS-002200-12790T.

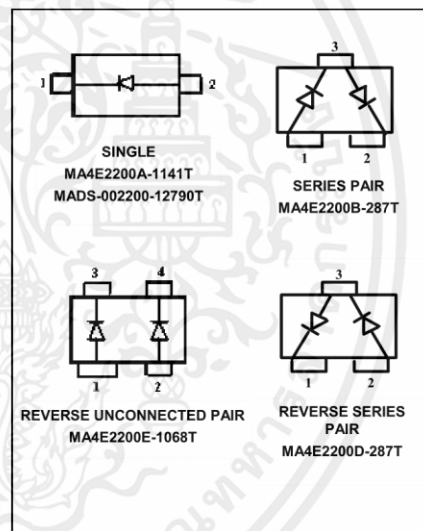
These parts are offered with Sn/Pb plating, as well as with 100 % matte Sn plating on the RoHS compliant part numbers.

The small diode package size and moderate parasitics make these parts attractive for Low Leakage Limiters and RF Temperature Compensated Envelope Detectors for RF ID Tags Applications up to 4 GHz.

### Package Outlines (Topviews)



### Configurations (Topviews)



1

MACOM Technology Solutions Inc. (MACOM) and its affiliates reserve the right to make changes to the product(s) or information contained herein without notice. Visit [www.macom.com](http://www.macom.com) for additional data sheets and product information.

For further information and support please visit: <https://www.macom.com/support>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

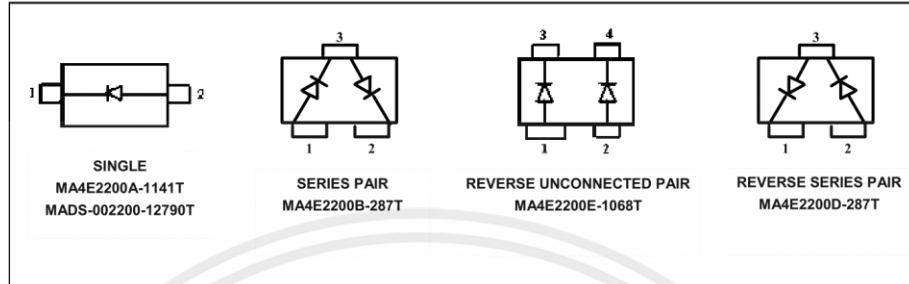
# MA4E220 Series



## Surface Mount Zero Bias Schottky Detector Diodes

Rev. V5

### Configurations (Top View)



### Standard Part Numbers and RoHS Equivalents

Standard Part Number	RoHS Compliant Part Number	Package Style
MA4E2200A-1141T	MA4E2200A1-1141T	SOD-323
MA4E2200B-287T	MA4E2200B1-287T	SOT-23
MA4E2200D-287T	MA4E2200D1-287T	SOT-23
MA4E2200E-1068T	MA4E2200E1-1068T	SOT-143
N/A	MADS-002200-12790T	SC-79

2

MACOM Technology Solutions Inc. (MACOM) and its affiliates reserve the right to make changes to the product(s) or information contained herein without notice. Visit [www.macom.com](http://www.macom.com) for additional data sheets and product information.

For further information and support please visit: <https://www.macom.com/support>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MA4E220 Series



## Surface Mount Zero Bias Schottky Detector Diodes

Rev. V5

### Maximum Ratings @ +25 °C (Unless Otherwise Defined) <sup>1,2</sup>

Parameter	Unit	Maximum Ratings
Operating Temperature	°C	-65 to +125
Storage Temperature	°C	-65 to +150
Junction Temperature	°C	+175
RF Incident Power (CW)	mW	75
Reverse Voltage @ 25 °C	V	1.5 V
Electrostatic Discharge (ESD) Classification <sup>3</sup>	-	Class 0

1. Operation above any one of the above parameters may cause permanent damage.
2. Please refer to Application Note M538 for Surface Mounting Instructions
3. Human Body Model

### Electrical Specifications @ +25 °C

Parameter	Condition	Symbol	Specification
Reverse Voltage Breakdown	$I_R = 100 \mu\text{A}$	$V_b$	1.5 V min.
Forward Voltage	$I_F = 0.1 \text{ mA}$	$V_F$	60 – 120 mV max.
Forward Voltage	$I_F = 1 \text{ mA}$	$V_F$	150 - 220 mV max.
Total Capacitance	$V_R = 0.15 \text{ V}$	$\Delta C_T$	.25 pF typical
Delta Forward Voltage	$I_F = 1 \text{ mA}$	$V_F$	10 mV max.
Video Resistance		$R_V$	7000 $\Omega$ typical

3

MACOM Technology Solutions Inc. (MACOM) and its affiliates reserve the right to make changes to the product(s) or information contained herein without notice. Visit [www.macom.com](http://www.macom.com) for additional data sheets and product information.

For further information and support please visit:  
<https://www.macom.com/support>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้